

石柱土家族自治县工业园区  
区域气候可行性论证整体评价

重庆舍特气象应用研究所  
二〇二〇年四月

项目名称：石柱土家族自治县工业园区区域气候可行性论证整体评价

委托单位：石柱土家族自治县工业园区管理委员会

承担单位：重庆舍特气象应用研究所

项目负责人：程炳岩

编写人员：吴思颖 柴闯闯 李兆东 秦文思

吴 息 秦学智 骆 琪 郭利敏

郭 威 张永亮 谢源威

审核人：柴闯闯

审定人：程炳岩

批准人：曾 宇

# 声 明

1. 《石柱土家族自治县工业园区区域气候可行性论证整体评价》报告（简称本报告）是重庆舍特气象应用研究所受石柱土家族自治县工业园区管理委员会委托而完成的技术成果，其使用权归双方共同所有，并受中华人民共和国知识产权法保护。该技术成果的知识产权归重庆舍特气象应用研究所所有。
2. 本报告有承担单位盖章方有效。
3. 本报告的区域性气候可行性论证结论仅限于区域内所有符合规划的入驻项目使用。
4. 本报告中的所用气象资料和地理信息资料仅限于本项目使用，涉密资料使用时须根据国家有关保密法律法规的要求，采取有效的保密措施，严防泄密。
5. 本报告结论中的建议是基于标准气象观测资料、数值模拟资料计算得出，超出规定值的气象风险损坏是存在的。
6. 本报告中所提的气象灾害防护措施的建议，不能替代规划或建设项目的具体设计意见。
7. 本报告有效期5年，自2020年4月20日起至2025年4月20日止。其间若出现重大气象灾害并造成严重影响，须重新开展区域性气候可行性论证。
8. 对本报告若有异议，应于收到本报告之日起15个工作日内向承担单位提出。

重庆舍特气象应用研究所

2020年4月20日

# 目 录

1 概述 .....	1
1.1 论证目的及论证原则 .....	1
1.2 编制依据 .....	1
1.2.1 政策法规 .....	1
1.2.2 标准规范 .....	2
1.3 计量单位与专业术语 .....	3
1.3.1 计量单位 .....	3
1.3.2 专业术语 .....	3
1.4 论证内容和步骤 .....	4
1.4.1 论证对象和范围 .....	4
1.4.2 论证内容 .....	7
1.4.3 论证工作步骤 .....	8
2 气象资料来源及代表性分析 .....	10
2.1 气象站概况 .....	10
2.2 资料来源及说明 .....	11
2.3 资料质量控制与均一性检查 .....	12
2.4 参证站的选取 .....	13
2.4.1 气温的相关性分析 .....	13
2.4.2 降水的相关性分析 .....	14
2.4.3 风的相关性分析 .....	15
2.4.4 结论 .....	16
3 园区气候背景 .....	17
3.1 大气环流特征 .....	18
3.1.1 春季环流背景场 .....	18
3.1.2 夏季环流背景场 .....	19
3.1.3 秋季环流背景场 .....	19
3.1.4 冬季环流背景场 .....	20
3.2 气压 .....	20
3.2.1 年际变化 .....	20
3.2.2 年变化 .....	22
3.2.3 日变化 .....	23
3.3 气温 .....	24
3.3.1 年际变化 .....	24
3.3.2 年变化 .....	25
3.3.3 日变化 .....	26
3.4 相对湿度 .....	27
3.4.1 年际变化 .....	27
3.4.2 年变化 .....	28
3.4.3 日变化 .....	28
3.5 降水 .....	29
3.5.1 降水量 .....	29
3.5.2 降水日数 .....	30

3.5.3 不同降水等级分布.....	31
3.6 蒸发量.....	33
3.6.1 年际变化.....	33
3.6.2 年变化.....	33
3.7 日照.....	34
3.7.1 年际变化.....	34
3.7.2 年变化.....	34
3.8 风.....	35
3.8.1 风速年际变化.....	35
3.8.2 风速年变化.....	37
3.8.3 风速日变化.....	37
3.8.4 风向频率年及季节变化.....	38
4 高影响天气现象分析.....	40
4.1 园区关键影响气象因子确定.....	40
4.1.1 气象灾害占比情况.....	40
4.1.2 基于典型案例的园区气象敏感度分析.....	40
4.1.3 园区气象灾害敏感度分析.....	42
4.1.4 关键气象因子及高影响天气现象选择.....	42
4.2 极端气温.....	42
4.3 降水极值情况.....	44
4.4 大风日数.....	45
4.5 积雪.....	46
4.6 结冰日数.....	47
4.7 冰雹.....	48
4.8 雾.....	49
4.9 雷暴日数.....	51
5 关键气象参数分析及推算.....	53
5.1 设计风速.....	53
5.1.1 标准风速资料序列的建立.....	53
5.1.2 年最大风速的概率计算.....	55
5.1.3 基本风压计算.....	64
5.2 重现期极值.....	65
5.2.1 重现期最大日降水量.....	65
5.2.2 重现期极端高温.....	66
5.2.3 重现期极端低温.....	67
5.2.4 重现期高温日数.....	69
5.3 逆温分析.....	70
5.3.1 局地气候数值模拟.....	71
5.3.2 四季平均气温随高度变化曲线.....	72
5.3.3 逆温的日变化特征.....	73
5.3.4 逆温的空间变化特征.....	75
5.4 室外排水设计气象参数.....	78
5.4.1 降水气候特征分析.....	78
5.4.2 暴雨强度公式.....	84

5.4.3	年径流总量控制率对应的设计降雨量.....	86
5.5	园区气温推算.....	88
5.5.1	气温计算方法.....	88
5.5.2	园区气温的推算.....	89
5.6	室外空气气象参数.....	90
5.6.1	冬季空调和供暖参数.....	91
5.6.2	夏季空调参数.....	92
5.6.3	夏季和冬季通风参数.....	93
5.7	污染气象参数.....	93
5.7.1	春季污染系数.....	94
5.7.2	夏季污染系数.....	95
5.7.3	秋季污染系数.....	96
5.7.4	冬季污染系数.....	98
5.7.5	小结.....	99
5.8	混合层厚度分析.....	99
5.8.1	研究方法.....	99
5.8.2	混合层厚度统计特征.....	101
5.9	防雷设计气象参数.....	104
5.9.1	建筑物年预计雷击次数校正系数 $k$ .....	104
5.9.2	雷击大地的年平均密度.....	104
6	专题影响评估.....	105
6.1	暴雨灾害风险评估与区划.....	105
6.1.1	暴雨灾害风险评估.....	105
6.1.2	暴雨灾害风险区划.....	110
6.1.3	暴雨风险对策、措施与建议.....	115
6.2	高温灾害风险评估与区划.....	117
6.2.1	高温灾害风险评估.....	117
6.2.2	高温灾害风险区划.....	120
6.2.3	高温风险对策、措施与建议.....	125
6.3	大风灾害风险评估与区划.....	126
6.3.1	大风灾害风险评估.....	126
6.3.2	大风灾害风险区划.....	130
6.3.3	大风风险对策、措施与建议.....	134
6.4	雷电灾害风险区划.....	135
6.4.1	雷电风险识别.....	135
6.4.2	雷电灾害风险区划.....	137
6.4.3	雷电风险对策、措施与建议.....	141
7	园区规划建设对局地气候的可能影响.....	144
8	结论及建议.....	145
8.1	结论.....	145
8.1.1	气候背景.....	145
8.1.2	高影响天气.....	146
8.1.3	关键气象参数推算结果.....	146
8.1.4	灾害风险评估.....	148

8.1.5 园区规划建设对局地气候的可能影响.....	148
8.2 适用性.....	149
8.3 建议.....	149
8.3.1 应对暴雨天气的建议.....	149
8.3.2 应对高温天气的建议.....	149
8.3.3 应对大风天气的建议.....	150
8.3.4 应对雷电天气的建议.....	150
8.3.5 规划布局相关建议.....	151
附录.....	153
A 风险矩阵法.....	153
B 气象灾害风险区划模型.....	155
C 数值模式介绍.....	158
D 重现期计算方法.....	160
E 园区及重点企业气象要素、高影响天气敏感度调查表.....	161

## 1 概述

为落实《重庆市人民政府关于印发重庆市工程建设项目审批制度改革试点实施方案的通知》（渝府发〔2018〕43号）和《重庆市工程建设项目审批制度改革试点工作领导小组办公室关于转发市规划自然资源局重庆市建设项目区域整体评价工作实施细则（试行）》（渝工程改办〔2018〕6号）文件要求，石柱土家族自治县工业园区管理委员会根据园区性质、定位、区位，委托重庆舍特气象应用研究所开展石柱土家族自治县工业园区区域气候可行性论证整体评价。

在接受委托后，重庆舍特气象应用研究所立即成立编制工作组，收集了石柱土家族自治县工业园区周边相关气象资料，并前往工业园区进行现场调查，按照园区的性质、规模、建设内容、发展规划等要求确定气候可行性论证的重点、范围、技术路线等，形成工作方案。在此基础上，按照《重庆市气象局关于印发重庆市建设项目气候可行性论证区域整体评价工作规程（试行）的通知》（渝气发〔2018〕140号）的要求编制了该项目的大纲，并完成石柱土家族自治县工业园区区域气候可行性论证整体评价报告。

### 1.1 论证目的及论证原则

随着经济社会发展，全球气候变暖加剧，极端气候事件多发频发，气象灾害及其引发的次生、衍生灾害对人民生命财产和经济社会发展造成了较为严重的影响，开发区、工业园区（以下简称“园区”）的规划和建设对天气气候特别是灾害性天气的敏感度和脆弱性加大。因此，开展园区气候适宜性和风险性论证工作势在必行，气候可行性论证工作能够从源头上有效避免或者减轻园区的规划和建设遭受极端气象灾害的不利影响，对于其规划、建设、运营等意义重大。

本报告以石柱土家族自治县工业园区建设项目周边国家气象站以及区域自动站等观测资料为基础，结合数值模拟、现场测试资料及历史灾情资料，对石柱土家族自治县工业园区建设项目区域的气候条件开展论证分析工作，并从气象防灾减灾、灾害风险防御的角度对开发区规划、建设给出指导建议。

### 1.2 编制依据

#### 1.2.1 政策法规

- （1）《中华人民共和国气象法》（2016年11月7日修正版）

- (2) 《气候可行性论证管理办法》（中国气象局第 18 号令）
- (3) 《国务院关于印发清理规范投资项目报建审批事项实施方案的通知》（国发〔2016〕29 号）
- (4) 《重庆市气象灾害防御条例》
- (5) 《重庆市人民政府关于印发重庆市工程建设项目审批制度改革试点实施方案的通知》（渝府发〔2018〕43 号）
- (6) 《重庆市工程建设项目审批制度改革试点工作领导小组办公室关于转发市规划自然资源局重庆市建设项目区域整体评价工作实施细则（试行）》（渝工程改办〔2018〕6 号）
- (7) 《重庆市气象局关于印发重庆市建设项目气候可行性论证区域整体评价工作规程（试行）的通知》（渝气发〔2018〕140 号）

### 1.2.2 标准规范

- (1) GB/T 27921-2011 风险管理 风险评估技术
- (2) GB 50009-2012 建筑结构荷载规范
- (3) GB 50014-2016 室外排水设计规范（2016 版）
- (4) GB 50019-2015 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- (5) GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范
- (6) GB 50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- (7) GB/T 3840-1991 制定地方大气污染物排放标准的技术方法
- (8) QX/T 85-2018 雷电灾害风险评估技术规范
- (9) QX/T 118-2010 地面气象观测资料质量控制
- (10) QX/T 423-2018 气候可行性论证规范报告编制
- (11) QX/T 436-2018 气候可行性论证规范：抗风参数计算
- (12) QX/T 469-2018 气候可行性论证规范 总则
- (13) QX/T 452-2018 基本气象资料和产品提供规范
- (14) QX/T 453-2018 基本气象资料和产品使用规范
- (15) 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则（住房和城乡建设部、中国气象局 2014 年 4 月）
- (16) DL/T 5158-2012 电力工程气象勘测技术规范

- (17) QX/T 457-2018 气候可行性论证规范气象观测资料加工处理
- (18) HJ 2.2-2018 环境影响评价技术导则大气环境
- (19) 区域性气候可行性论证技术指南（中国气象局预报与网络司 2019 年 8 月）
- (20) DB50/T 958-2019 重大建设项目气候可行性论证技术规范

## 1.3 计量单位与专业术语

### 1.3.1 计量单位

详见表 1.3-1。

表 1.3-1 报告涉及的计量单位

序号	类别	单位
1	时间	年 a、天 d、小时 h、分钟 min
2	长度	千米（公里）km、米 m、厘米 cm、毫米 mm
3	面积	平方米 m <sup>2</sup> 、平方千米（平方公里）km <sup>2</sup> 、公顷 hm <sup>2</sup>
4	容积	立方米 m <sup>3</sup>
5	重量	克 g、千克（公斤）kg
6	温度	摄氏度℃
7	湿度	百分比%
8	速度	米/秒 m/s、米/平方秒 m/s <sup>2</sup>
9	流量	立方米/秒 m <sup>3</sup> /s
10	变率	摄氏度/10 年℃/10a、米/秒/10 年 m/s/10a、天/10 年 d/10a、百分比/10 年%/10a
11	密度	克/立方厘米 g/cm <sup>3</sup> 、吨/立方米 t/m <sup>3</sup>
12	强度	毫米/分钟 mm/min、升/秒/公顷 l/s/hm <sup>2</sup> 、次/平方公里/年次/km <sup>2</sup> /a
13	压强	百帕 hPa、千牛/平方米 kN/m <sup>2</sup>
14	电流	千安 kA
15	电阻率	欧姆·米 Ω·m
16	功率	千瓦 kW
17	陡度	千安/微秒 kA/μs

### 1.3.2 专业术语

(1) 参证气象站：气象分析计算所参照具有长年代气象数据的国家气象观测站。

(2) 关键气象因子：对开发区、工业园区的气候适宜性和风险性有重大影响的单个气象要素或多个气象要素的组合。

- (3) 高影响天气：直接影响开发区、工业园区项目建设和运营的天气现象。
- (4) 基本风速：开阔平坦地貌条件下，地面以上 10m 高度处，50 年重现期的 10min 平均年最大风速。
- (5) 设计风速：在基本风速基础上，考虑局部地表粗糙度影响，项目所在地地面以上 10m 高度处 50 年重现期的 10min 平均年最大风速。
- (6) 冬季空气调节室外计算温度：近 30 年不保证 1d 的日平均温度。
- (7) 夏季空气调节室外计算日平均温度：近 30 年平均不保证 5d 的日平均温度。
- (8) 冬季通风室外计算温度：常年（近 30 年）最冷月平均温度。
- (9) 夏季通风室外计算温度：常年（近 30 年）最热月 14 时的月平均温度的平均值。
- (10) 暴雨强度公式：短历时暴雨过程中降雨强度—降雨历时—重现期三者间函数关系的数学表达式。
- (11) 暴雨日数：指 24 小时降雨量 $\geq 50\text{mm}$  的日数。
- (12) 日最大降水量：指一年中出现的一日最大降水量。
- (13) 大风：瞬时风速达到或超过 17m/s 的风。
- (14) 最大风速：给定时段内的 10min 平均风速的最大值。
- (15) 极大风速，给定时段内的瞬时风速的最大值。
- (16) 热岛效应：是由于人们改变地表而引起小气候变化（一个地区的气温高于周围地区）的综合现象。
- (17) 数值模拟：在一定的控制条件下，利用相应的气象数值模式，模拟城市及周边地区的气象要素及其变化情况。

## 1.4 论证内容和步骤

### 1.4.1 论证对象和范围

石柱土家族自治县地处长江上游南岸、重庆东部、三峡库区腹心，是以古代巴人为主体的，与其他民族融合而成的土家族栖息地之一。石柱土家族自治县东接湖北省利川市，南连重庆市彭水县，西南临重庆市丰都县，西北界重庆市忠县，北与重庆市万州区接壤。全县幅员面积 3014 平方公里，辖 3 个街道、17 个镇、13 个乡，有土家族、汉族、苗族、独龙族等 29 个民族。

本次论证对象为石柱土家族自治县工业园区。石柱土家族自治县工业园区位于石柱土家族自治县，地处重庆东大门和“两翼”地区结合部，是川渝地区与中、东部地区水陆联系的战略要塞，具有“南北承启、左右传递”的区域优势。2006年1月经重庆市特色工业园区领导小组批准设立的特色工业园区，园区重点培育绿色康养产品、医药及医疗服务、清洁能源、机械设备、电子信息等产业。石柱土家族自治县工业园区建成园区全包含A（万安街道城南社区1.89平方公里）、B（下路街道金彰社区1.73平方公里）、C（下路街道金彰社区3.17平方公里）三个区域。A区已纳入县城城区规划，根据县委县政府的总体部署，按“成熟一块、搬迁一块”的原则，将逐步启动搬迁到B、C及拓展区等地，进行产业转移。

本次论证范围为重庆市石柱土家族自治县工业园B、C区，面积约4.91km<sup>2</sup>，其中，B区1.47km<sup>2</sup>，C区2.45km<sup>2</sup>，综合服务区0.99km<sup>2</sup>（图1.4-3）。石柱土家族自治县工业园区规划将规划区在空间上划分为五大产业集中片区及一个产业预留区。

**食品药品产业区：**主要集中在B区东南部分及D区（近期拟拓展区）南侧部分区域。依托现状产业发展基础，以绿色食品、医药等产业为主的产业发展片区。产业重点发展辣椒、莼菜、粮油等农特产品深加工，啤酒、黄连等健康饮料生产，休闲食品、中成药、医疗器械、中兽药等产业。

**电子信息产业区：**现状标准厂房（一组团）周边，B区西北侧区域。以电子信息产业为主的产业发展片区。重点发展电子元器件、仪器仪表、手机、电脑、电池、线材等产业。

**机械材料产业区：**主要集中在C区。以数控机床、汽车、新型材料等产业为主的产业发展片区。重点发展数控机床生产、用数控机床加工各种金属件、数控机床配套、汽车制造、新型建筑材料、风力发电设备等产业。

**绿色食品产业区：**主要集中C区西侧部分区域。依托现状产业发展基础，以绿色食品加工为主的产业发展片区。重点发展辣椒、莼菜、粮油等农特产品深加工，休闲食品、健康饮料等加工产业。

**新型综合产业区：**主要集中在D区（近期拟拓展区）。以机械、电子信息、轻工制造为主的产业发展片区。重点发展为各种机械加工、电脑、手机、纺织服装、鞋业等产业。

**产业预留区：**主要集中在工业园区 E 区（远期拟拓展区）。工业园区战略预留用地，作为今后石柱产业方向调整功能后所预留的产业落实空间。

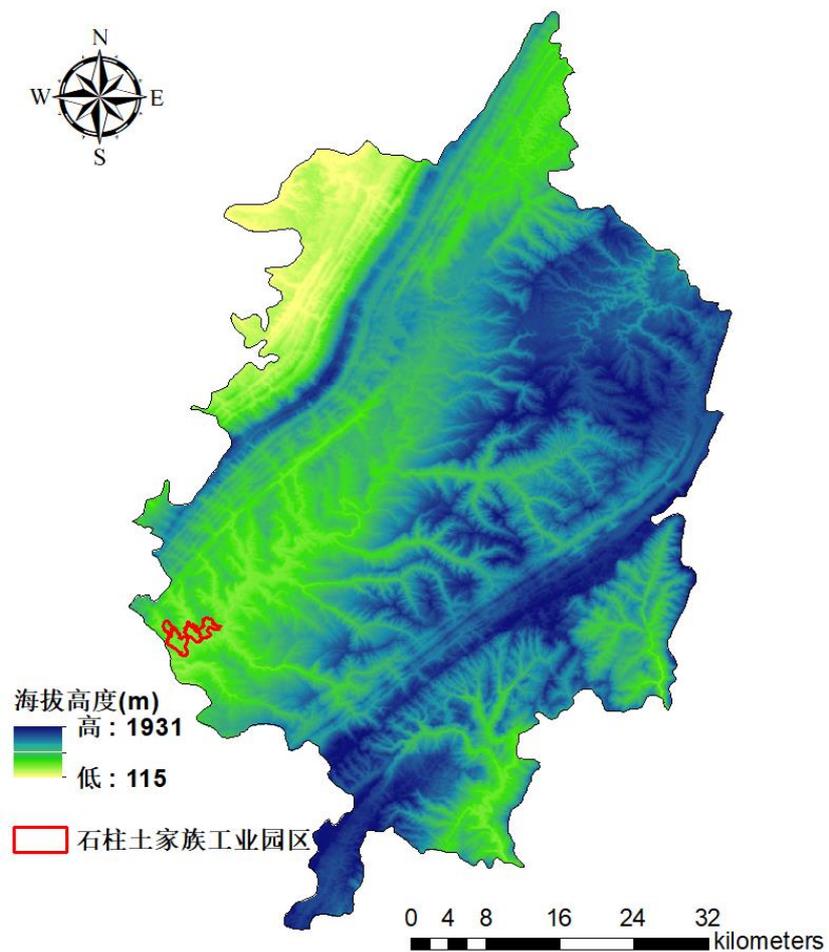


图 1.4-1 石柱土家族自治县地形图

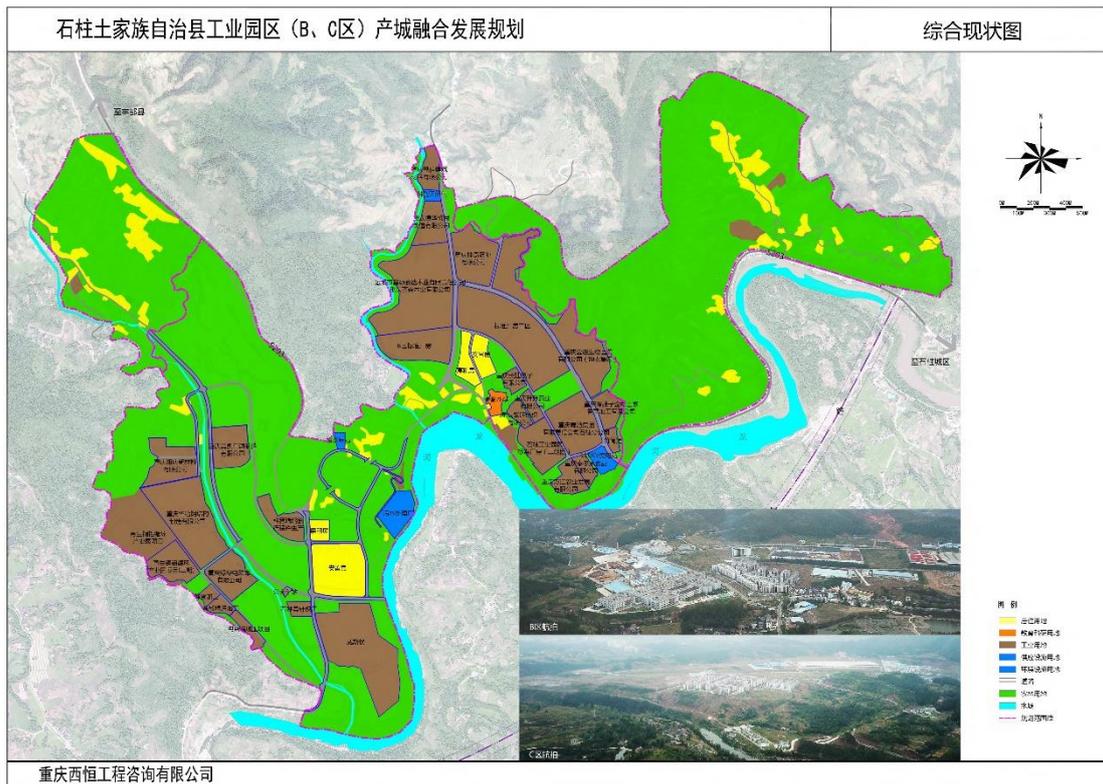


图 1.4-2 石柱土家族自治县工业园区 (B、C 区) 产业融合发展规划综合现状图

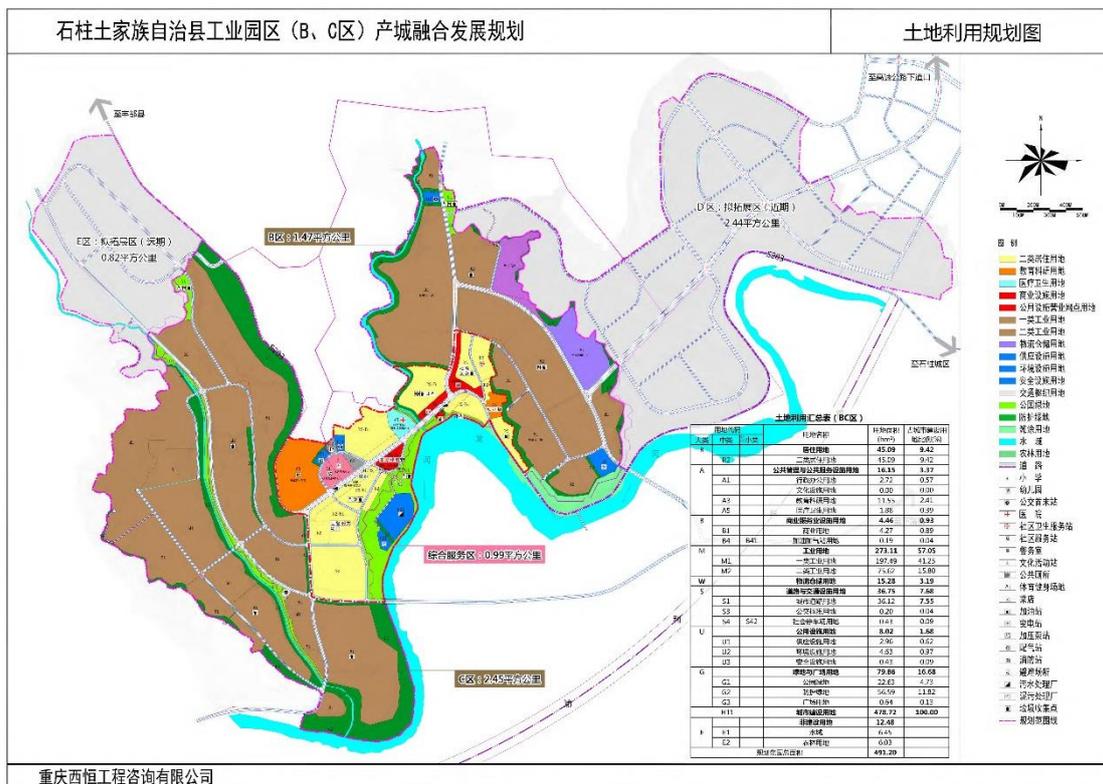


图 1.4-3 石柱土家族自治县工业园区 (B、C 区) 产城融合发展规划土地利用图

### 1.4.2 论证内容

气候可行性论证包括了现场调查、参数计算、结果分析、气象灾害风险分析和气候环境影响等，是从气候的角度对建设工程全面的、科学的评价。气候可行

性论证是工程项目气象防灾减灾的依据，也是实现科学防灾、全面防灾的基础工作之一。

根据合同要求，石柱土家族自治县工业园区区域气候可行性评价项目主要包含的内容如下：

- (1) 园区勘测与数据的收集处理；
- (2) 园区气候背景与极端天气气候事件分析；
- (3) 园区气候环境精细化分析；
- (4) 园区主要气象灾害风险评估；
- (5) 园区规划建设工程气象参数计算分析；
- (6) 区域项目建设对局地气候的可能影响；
- (7) 结论和主要对策建议；

### 1.4.3 论证工作步骤

论证工作步骤分为六个阶段：准备阶段、现场调查阶段、分析论证阶段、报告编制阶段、专家评审阶段和修改完善阶段。

#### (1) 准备阶段

根据气候可行性论证技术规范、具体情况和相关法律法规、标准、规范，对园区项目类型、规模、敏感气候要素等进行初步研究，编制气候论证工作方案，做好观测资料等方面的准备工作。

#### (2) 现场调查阶段

对园区所在区域进行实地踏勘、调研，了解区域地形地貌和周边环境特征，开展现场气象灾害调查。

#### (3) 分析论证阶段

依据相关规范和标准，对园区所在区域的气候特征、主要气象灾害、极端天气气候事件、与工程设计建设运行相关的气象参数等气象要素进行计算分析。

#### (4) 报告编制阶段

对分析论证结果进行汇总，结合分析评估的内容，编制《气候可行性论证报告》。

#### (5) 专家评审阶段

由重庆市气象局组织项目评审会，邀请相关领域专家参加评审会，对《气候

可行性论证报告》进行评审，并提出意见和合理建议。

(6) 修改完善阶段

根据项目评审会专家意见，对报告进行补充、修改、完善，形成报告归档版，向项目建设方提交最终的《气候可行性论证报告》。

## 2 气象资料来源及代表性分析

### 2.1 气象站概况

石柱土家族自治县工业园区建设项目（以下简称为园区）建设区域周边最近的国家气象站为石柱站，此外，选取石柱土家族自治县工业园区附近临近的区域自动站进行分析，包括距离石柱土家族自治县工业园区 6.5km 具有四要素的区域自动站南宾站、距离石柱土家族自治县工业园区 1.2km 具有两要素的区域自动站下路站和距离石柱土家族自治县工业园区 1.3km 具有两要素的区域自动站江池站。园区及周边气象台站位置及相关情况见表 2.1-1 和图 2.1-1。

由于园区范围内没有区域自动站，而周边区域自动站的数据观测时间较短、观测要素不全，不满足气象分析的相关规范，因此考虑选用园区周边附近的国家站作为参证站。石柱站是距离石柱土家族自治县工业园区最近的国家气象站，级别属于一般站，石柱站距园区的距离较近，地理位置、下垫面和海拔高度与园区区域类似，1957 年至今发生一次迁站，迁站前后海拔和地理条件变化不大，数据观测质量较好，观测序列较长，可考虑作为参证站。

在石柱土家族自治县工业园区的附近，有三个区域自动站，其中南宾区域自动站为四要素(气温、降水、风速、风向)自动站，下路区域自动站和江池区域自动站为两要素（气温、降水）自动站，且有连续的观测资料。因此考虑将石柱气象站与三个区域站的基本气象要素进行相关分析，进一步论证所选参证气象站的代表性。

表 2.1-1 石柱土家族自治县工业园区周边气象站分布情况

区站号	站名	经度	纬度	海拔(m)	用途	相对应园区方位和距离
57438	石柱	108.12°	29.98°	632.3	参证站	东北, 5.6km
A7895	南宾	108.11°	30.00°	565	参考	东北, 6.5km
A7896	下路	108.09°	29.94°	512.5	参考	东, 1.2km
A7532	江池	108.03°	29.91°	580	参考	西南, 1.3km

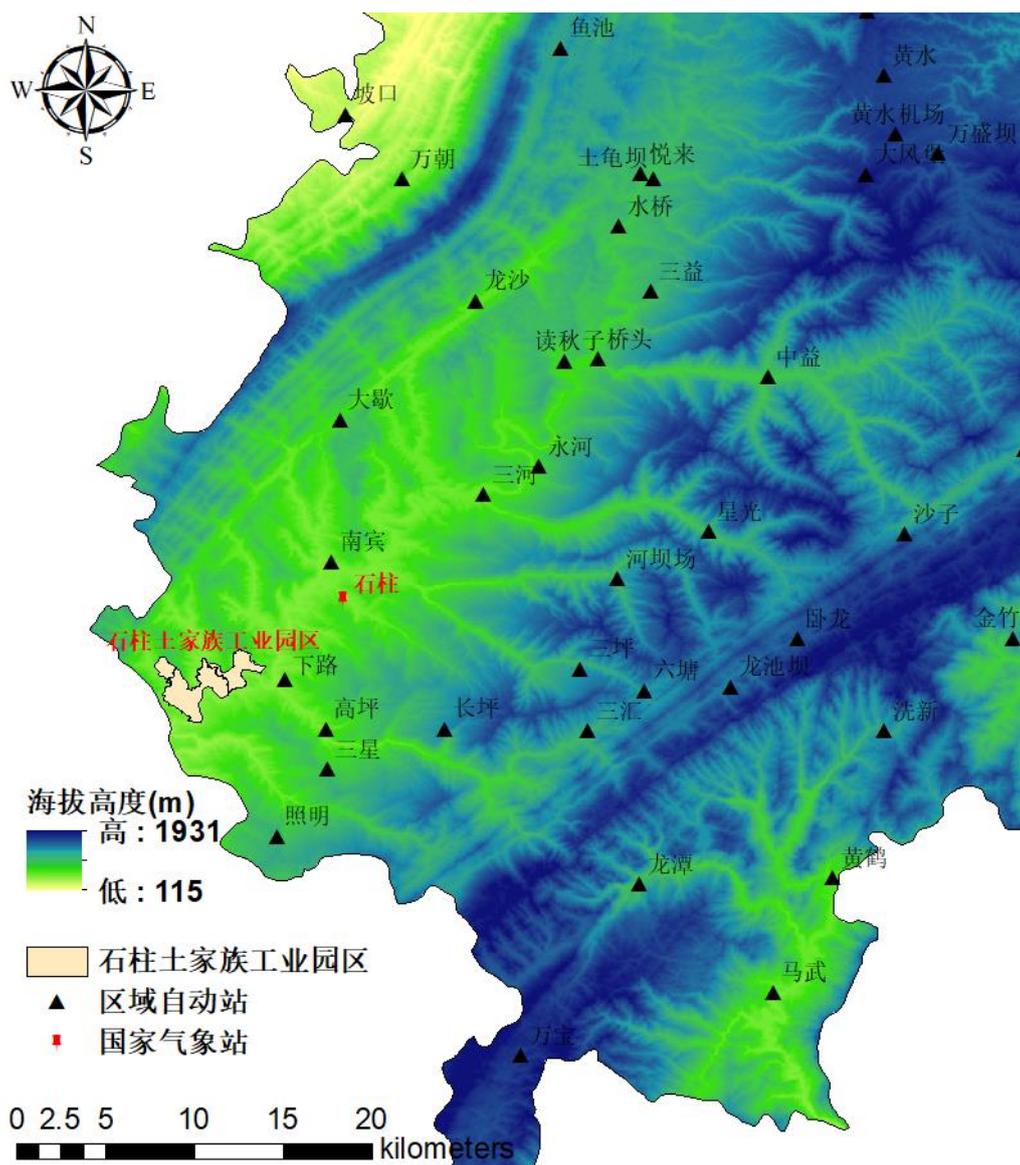


图 2.1-1 石柱土家族自治县工业园区及周边气象站分布图

## 2.2 资料来源及说明

报告中涉及的国家气象站观测资料来源于重庆市气象信息与技术保障中心，均从经过审核后的信息化资料中提取。所用资料涉及以下几类：

(1) 地面气象站资料：国家气象站资料主要用于参证站选取、气候背景、关键气象参数分析及推算、高影响天气现象等分析，涉及气压、气温、降水、风、相对湿度、蒸发量、日照、雷暴、冰雹、雾、结冰、云量等气象要素及天气现象。区域自动气象站资料主要用于关键气象参数订正。

(2) 气象灾害资料：对石柱土家族自治县工业园区影响较大的气象灾害主要包括暴雨、大风、干旱、雷电等，相关记录一部分来自重庆市气象信息与技术保障中心的信息化资料以及气象年、月报表，另一部分来源于中国气象灾害大典一

重庆卷、历史灾情统计及民政和农业部门灾情报告。

(3) 再分析格点资料：采用由美国气象环境预报中心（NCEP）和美国国家大气研究中心（NCAR）联合制作的 NCEP/NCAR 再分析数据集，时间长度为 1989~2018 年，高度为 500hPa，分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，主要用于大气环流背景分析。

(4) 地理信息资料：主要用于卫星影像的裁剪，并制作园区边界图层。数字高程模型数据（DEM）由美国 NASA LP DAAC（美国陆地过程分布式活动档案中心）提供的 30m 空间分辨率 ASTER GDEM（V2）数据得到，主要用于地形特征分析。

### 2.3 资料质量控制与均一性检查

国家站数据均经过质量控制和均一性检验。数据质量控制通常将范围值检查、内部一致性检查、时变检查、持续性检查和空间一致性检查综合应用。

**范围值检查：**气候极值检查是检查各要素值是否超过历史上出现过的最大值和最小值。选取全国自动站经度、纬度、拔海高度以及自动站数据为样本，建立多元线性回归方程，推求出各要素极值随时间（月份）、经度、纬度、拔海高度的多元线性方程，然后利用该方程，计算出任意地理位置的各气象要素极值。

**内部一致性检查：**有些气象观测要素相互之间关系密切，其变化规律具有一致性。根据该特性，就可对相关数据是否保持这种内部关系来检查其是否发生异常，以确定数据质量。

**时变检查：**大气中的有些观测数据与时间显著相关，具有良好的时间一致性，将此类数据与其时间上前、后的测值相比较，来判断其数据是否发生异常。

**持续性检查：**在一段时间内（如一天），许多气象要素值会随着时间、地域的变化出现波动。如果某要素值没有发生变化有可能观测仪器或传输设备出现故障。

**空间一致性检查：**气象要素分布的地理空间具有相关性，空间距离较近的气象站点比距离较远的站点其特征值具有更大的相似性。这是空间插值的理论依据之一，也是空间一致性检查的理论基础。根据插值原理，对于被检站被检时次的某个要素（如气温），可用邻近参考站的数据来估计被检站数据，再根据实测值与估计值差值大小，确定数据质量控制码。

## 2.4 参证站的选取

由于园区范围内没有区域自动站，而周边区域自动站的数据观测时间较短、观测要素不全，不满足气象分析的相关规范，因此考虑选用园区周边附近的国家站作为参证站。石柱国家站地理位置、下垫面和海拔高度与园区区域类似，1957年至今发生一次迁站，迁站前后海拔和地理条件变化不大，数据观测质量较好，观测序列较长，可考虑作为参证站。将石柱国家站和园区周边 3 个区域自动站 2013~2018 年气象要素序列进行对比，并做气温、风速的相关分析，论证石柱气象站的代表性。

### 2.4.1 气温的相关性分析

#### (1) 气温逐月变化

表 2.4-1 为石柱气象站和园区周边自动站 2013~2018 年月平均气温，对比结果显示石柱气象站和园区周边自动站逐月气温变化具有较好的一致性，月平均气温最高值均出现在 7 月份，月平均气温最低值均出现在 1 月份（图 2.4-1）。

表 2.4-1 2013~2018 年石柱气象站与周边区域自动站逐月平均气温(°C)

站点 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
石柱	6.4	7.9	12.8	17.2	20.0	23.5	26.7	26.2	21.9	17.2	12.2	7.2
南宾	6.9	8.4	13.1	17.6	20.4	23.9	27.1	26.5	22.4	17.7	12.8	7.7
下路	6.6	8.1	12.8	17.2	20.1	23.5	26.5	26.0	21.9	17.2	12.3	7.3
江池	6.3	7.9	12.7	17.3	20.1	23.7	26.8	26.1	21.8	17.0	12.1	7.0

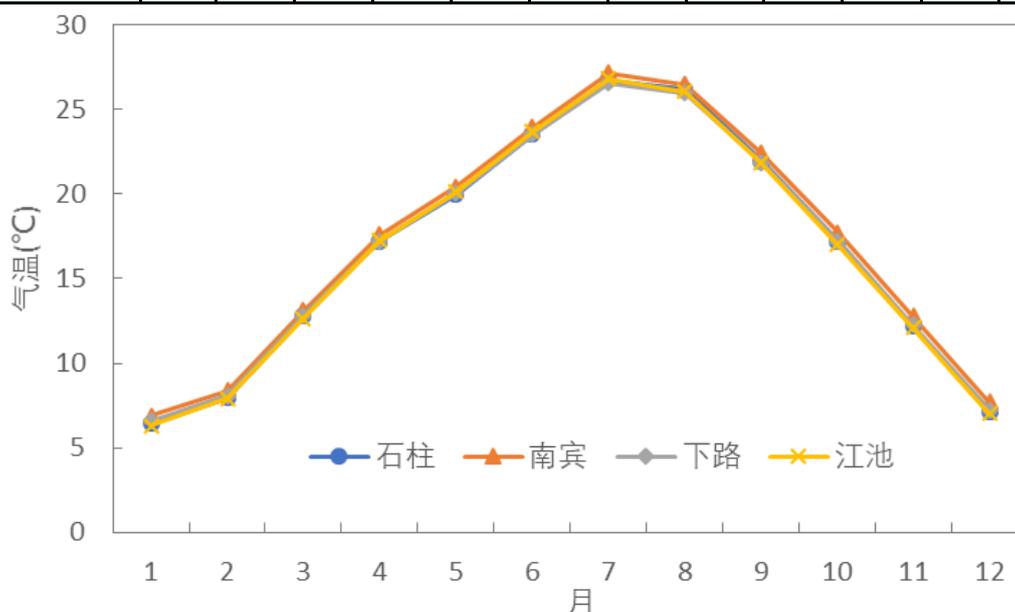


图 2.4-1 石柱气象站与周边区域自动站平均气温年变化(2013~2018 年)

(2) 气温相关性检验

将石柱气象站与园区周边自动站 2013~2018 年的逐日气温有效样本进行相关性检验，各区域自动站与石柱站的相关系数均在 0.99 以上，通过信度为 0.01 的检验，达到极显著相关水平（图 2.4-2）。

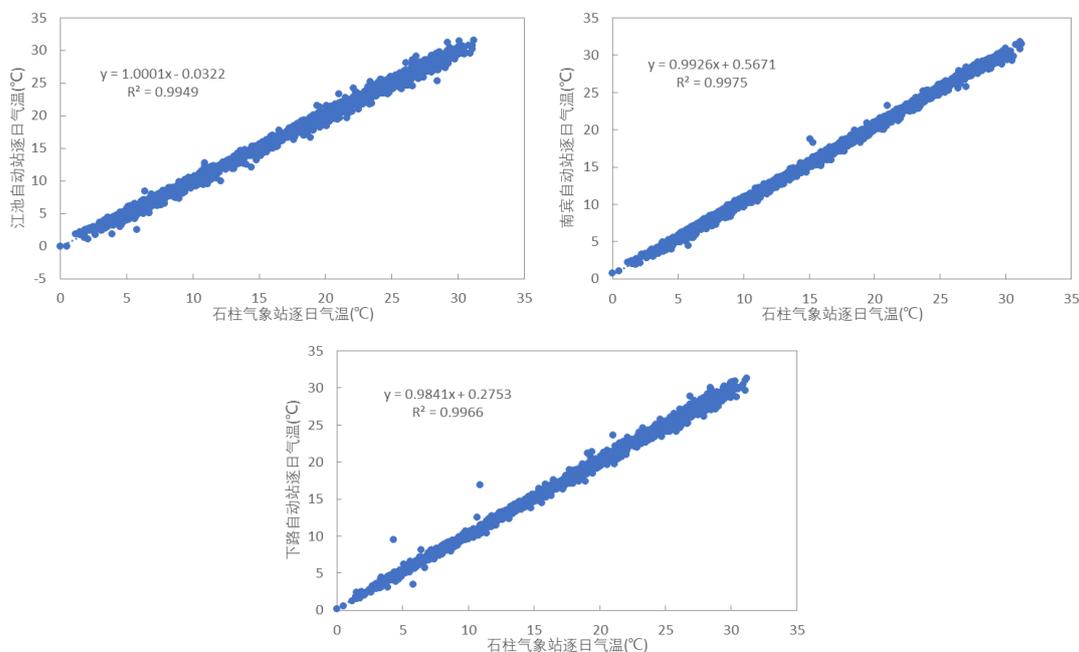


图 2.4-2 石柱气象站与园区周边自动站逐日平均气温相关图(2013~2018 年)

2.4.2 降水的相关性分析

表 2.4-2 为石柱气象站和园区周边自动站 2013~2018 年月平均降水量，对比结果显示石柱气象站和园区周边自动站逐月变化趋势基本一致，最大月降水量均出现在 5、6 月份，下路自动站和江池自动站最小月降水量出现在 1 月，石柱气象站和南宾自动最小月降水量均出现在 12 月，降水主要集中在 4~9 月（图 2.4-3）。

表 2.4-2 2013~2018 年石柱气象站与周边自动站逐月及全年降水量(mm)

站点\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
石柱	16.6	16.0	51.2	118.7	174.7	160.1	113.8	104.8	145.3	68.4	57.5	16.0	1042.9
南宾	14.6	13.5	43.7	104.5	183.9	163.4	132.7	114.3	143.7	66.7	54.8	11.2	1047.0
下路	12.3	12.6	42.7	86.0	137.6	138.4	80.4	92.3	129.7	46.4	40.4	13.0	831.8
江池	19.2	15.2	52.0	92.3	145.7	162.2	123.4	100.5	114.8	68.4	58.8	19.4	971.8

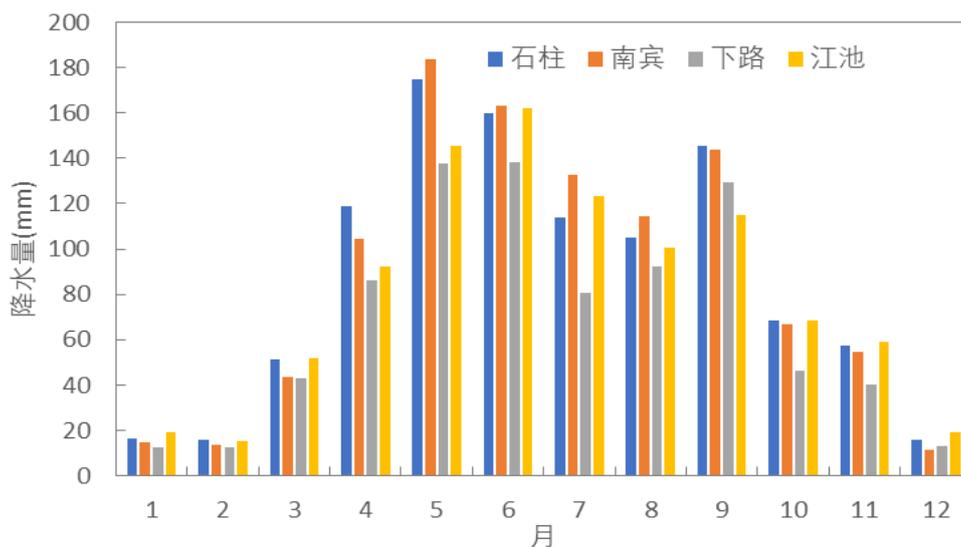


图 2.4-3 石柱气象站与园区周边自动站降水量年变化(2013~2018年)

### 2.4.3 风的相关性分析

#### (1) 风速月变化

由于园区周边下路、江池区域自动站没有风要素观测，因此风的相关性分析只选取南宾区域自动站。石柱气象站和南宾自动站的年平均风速分别为 1.4m/s 和 0.7m/s。石柱气象站的最大月平均风速均出现在 7 月份，风速为 1.6m/s，南宾气象站的最大月平均风速均出现在 8 月份，风速为 0.9m/s。石柱国家站各月的平均风速均大于南宾自动站，平均风速的年变化趋势基本一致（图 2.4-4）。

表 2.4-3 2013~2018 年石柱气象站与南宾自动站逐月平均风速(m/s)

站点 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
石柱	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.6	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3
南宾	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.6

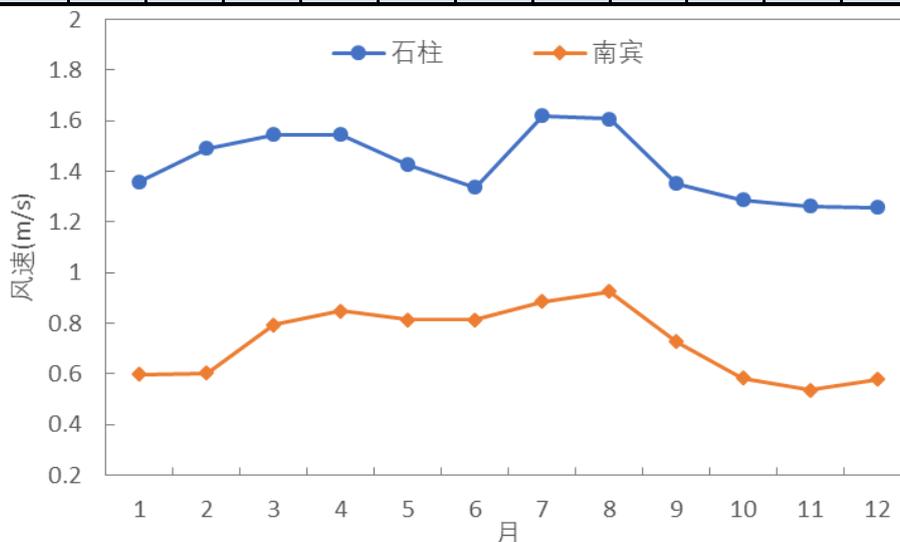


图 2.4-4 石柱气象站与南宾自动站平均风速年变化(2013~2018年)

## (2) 风速相关性检验

将石柱气象站与南宾自动站 2013~2018 年的逐日风速有效样本进行相关性检验，相关系数为 0.53，通过信度为 0.05 的检验，达到显著相关水平（图 2.4-5）。

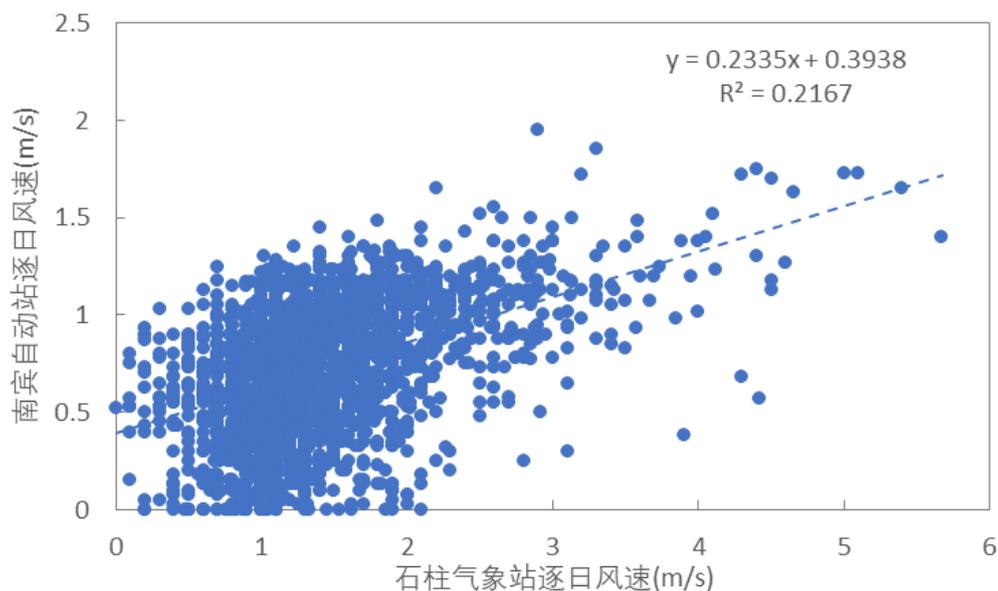


图 2.4-5 石柱气象站与南宾自动站逐日平均风速相关图(2013~2018 年)

### 2.4.4 结论

从以上基本气象要素的对比分析可见，石柱土家族自治县工业园区周边自动站与石柱气象站气候特征基本一致。综合考虑石柱气象站与园区周边自动站的自然地理位置、相对距离、下垫面条件及数据质量等条件，选定石柱气象站作为参证站，用该站长期气象资料来代表园区的气候背景。

### 3 园区气候背景

本章对石柱站各气象要素的多年平均统计采用的是近 30 年 1989~2018 年资料，极值统计采用的是石柱气象站建站~2018 年的资料。

石柱国家气象观测台站观测场位于 108.1167° E, 29.9833° N, 海拔高度 632.3m。石柱土家族自治县属于中亚热带湿润季风区，气候温和，雨水充沛，四季分明，具有春早、夏长、秋短、冬迟的特点。日照少，气候垂直差异大，灾害性天气频繁。近 30 年（1989~2018 年）的累年平均日照时数为 1264.7 小时，累年平均气温为 16.5℃，极端最高气温为 42.0℃，出现在 2013 年 7 月 31 日，极端最低气温为-4.7℃，出现在 1975 年 12 月 16 日；累年平均气压为 942.7hPa，年极端最高和最低气压分别为 967.9hPa、914.6hPa，分别出现在 2016 年 1 月 24 日和 2009 年 2 月 12 日；累年平均降水量为 1040.9mm，年降水量最多为 1359.1mm，出现在 1998 年，最少为 707.2mm，出现在 2001 年；累年平均风速为 1.3m/s，年最大风速为 13.2m/s。

表 3.1-1 主要气候特征值

气候要素		值	单位	出现时间
气温	年平均气温	16.5	°C	/
	极端最高气温	42.0	°C	2013 年 7 月 31 日
	极端最低气温	-4.7	°C	1975 年 12 月 16 日
降水	年平均降水量	1040.9	mm	/
	年最多降水量	1359.1	mm	1998 年
	年最少降水量	707.2	mm	2001 年
	最大日降水量	199.7	mm	2006 年 7 月 5 日
气压	年平均气压	942.7	hPa	/
风	年平均风速	1.3	m/s	/
	年最大风速	13.2	m/s	2014 年 8 月 2 日
	年最大风速对应的风向	NNW	方位	/
	年极大风速	22.9	m/s	2014 年 8 月 2 日
	年极大风速对应的风向	NNW	方位	/
	主导风向	SW	方位	/
雷暴	年平均雷暴日数	38.3	天	/
	年最多雷暴日数	56	天	1973 年
	年最少雷暴日数	22	天	2011 年
结冰	年平均结冰日数	9	天	/
	年最多结冰日数	31	天	1984 年

	年最少结冰日数	0	天	/
其它要素	平均雾日数	15.2	天	/
	平均轻雾日数	182.2	天	

注：平均值统计时段为 1989~2018 年，极值统计时段为 1957~2018 年；雷暴平均日数统计时段为 1984~2013 年，极值日数统计时段为 1957~2018 年。

### 3.1 大气环流特征

#### 3.1.1 春季环流背景场

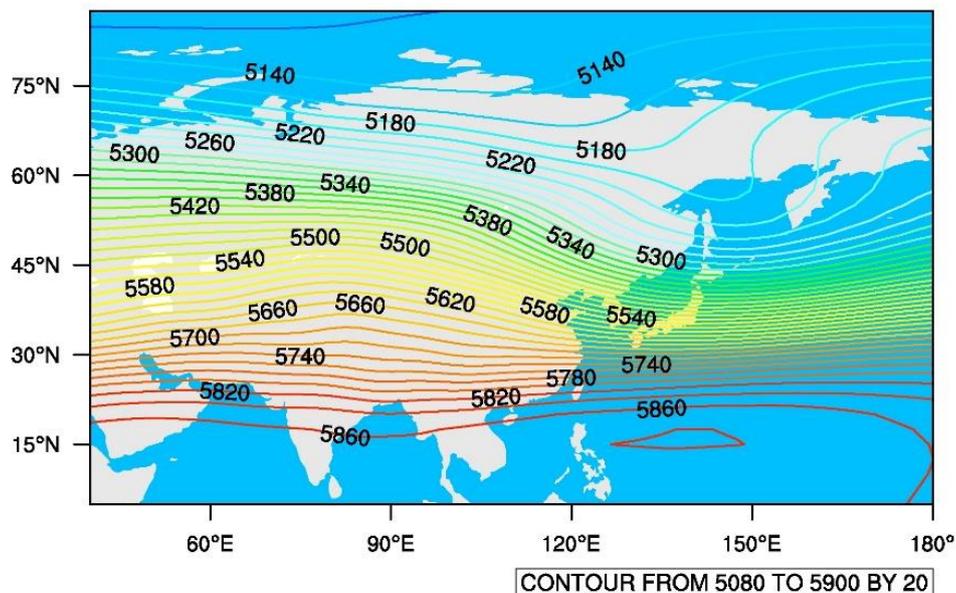


图 3.1-1 春季 500hPa 平均环流场

由图 3.1-1 可以看出，春季随着气温的逐渐升高，蒙古高压和阿留申低压明显减弱北退，低纬度地区的印度低压已经出现并向东北方向伸展，太平洋西部也由副热带高压所控制。500hPa 位势高度场上，东亚大槽变得很浅，副热带高压随之北移。

在春季环流形势下，园区所在区域内气温回暖快，但不稳定，起伏大，寒潮、大风、冰雹等灾害天气较为频繁。

### 3.1.2 夏季环流背景场

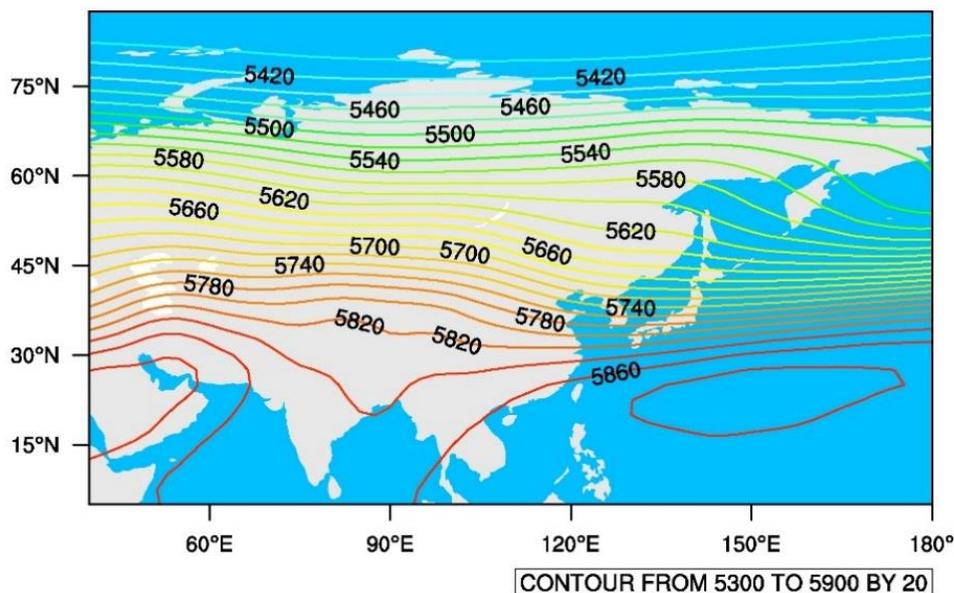


图 3.1-2 夏季 500hPa 平均环流场

由图 3.1-2 可以看出，夏季我国主要受印度低压和西太平洋副热带高压两个大气活动中心的影响。石柱亦属于副热带高压的控制之下，表现出高温高湿，降雨分布不均。园区所在区域的异常高温和暴雨洪涝在很大程度上取决于西太平洋副热带高压的位置和强度差异。当园区位于西太平洋副热带高压边缘时，冷暖空气的相互作用可以引起暴雨洪涝和持续阴雨天气，当受西太平洋副热带高压控制时，多处于高温伏旱天气。

### 3.1.3 秋季环流背景场

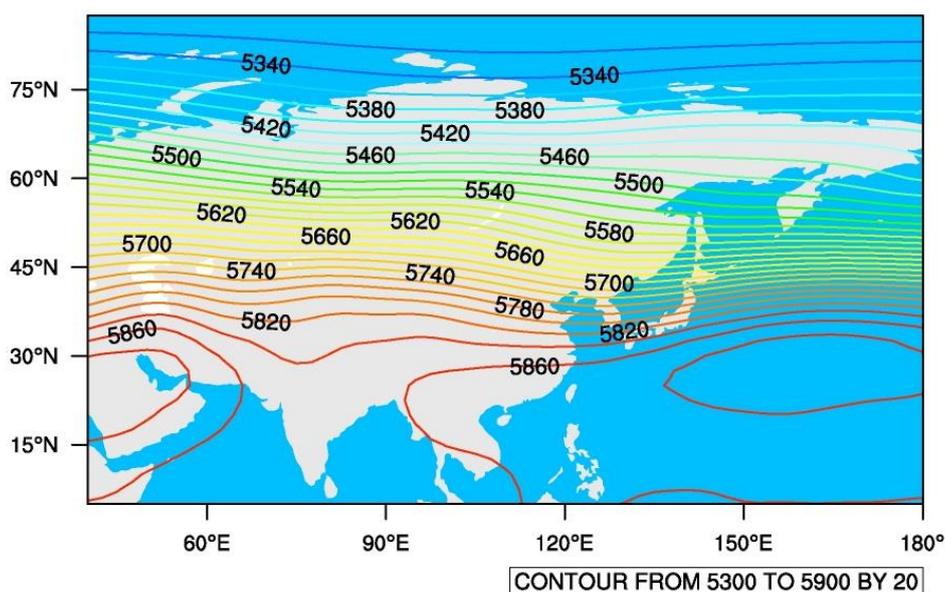


图 3.1-3 秋季 500hPa 平均环流场

由图 3.1-3 可以看出，秋季印度低压和西太平洋副热带高压开始衰退，蒙古高压和阿留申低压开始活跃。500hPa 位势高度场上，青藏高原南侧的南支槽比较活跃，东亚大槽逐步加强，影响园区建设区域的副热带高压逐渐减弱，南撤至海上。北方冷空气活动较为频繁，园区区域多阴雨天气，气温逐步下降。

### 3.1.4 冬季环流背景场

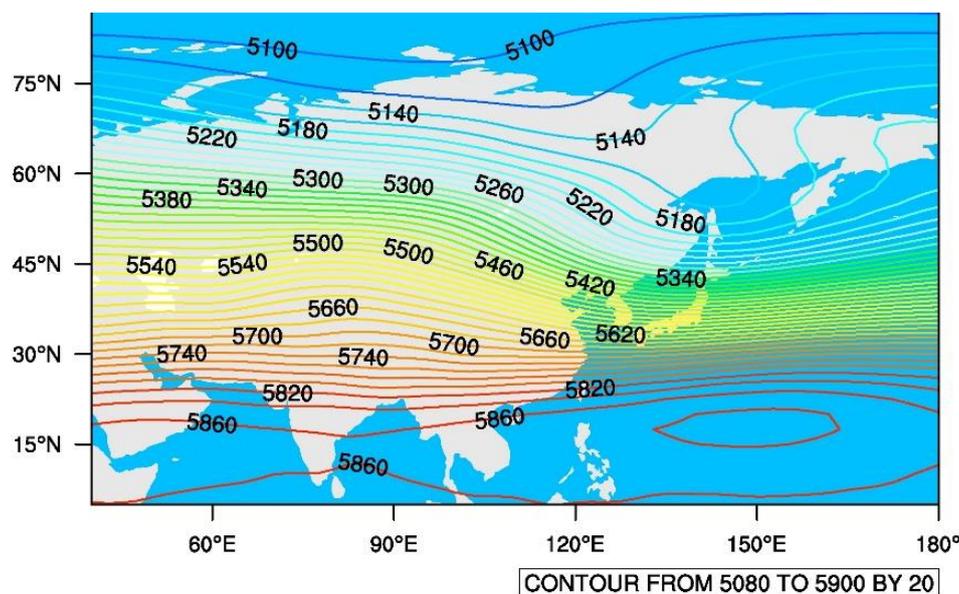


图 3.1-4 冬季 500hPa 平均环流场

由图 3.1-4 可以看出，冬季我国主要受蒙古冷高压和阿留申低压控制，而副热带高压已退缩至太平洋上。工业园区建设区域处于蒙古高原前部，加之 500hPa 高度场的东亚大槽与乌拉尔高脊的影响，园区位于槽后脊前，使得冷空气南下，易造成大风和降温天气。

从地面到高空，该地区受偏北气流控制，冷空气活动频繁，温度低，云雾多，冷空气一旦与向北输送的西南暖流湿空气相遇时，会出现降温降雨天气。

## 3.2 气压

### 3.2.1 年际变化

#### (1) 平均气压

近 30 年(1989~2018 年)石柱站年平均气压 942.7hPa，年平均最高和最低气压分别为 944.9hPa、939.8hPa。近 30 年，石柱站的年平均气压、年平均最高气压、年平均最低气压均呈下降趋势，下降速率分别为 0.778hPa/10a、0.696hPa/10a、0.806hPa/10a（图 3.2-1）。

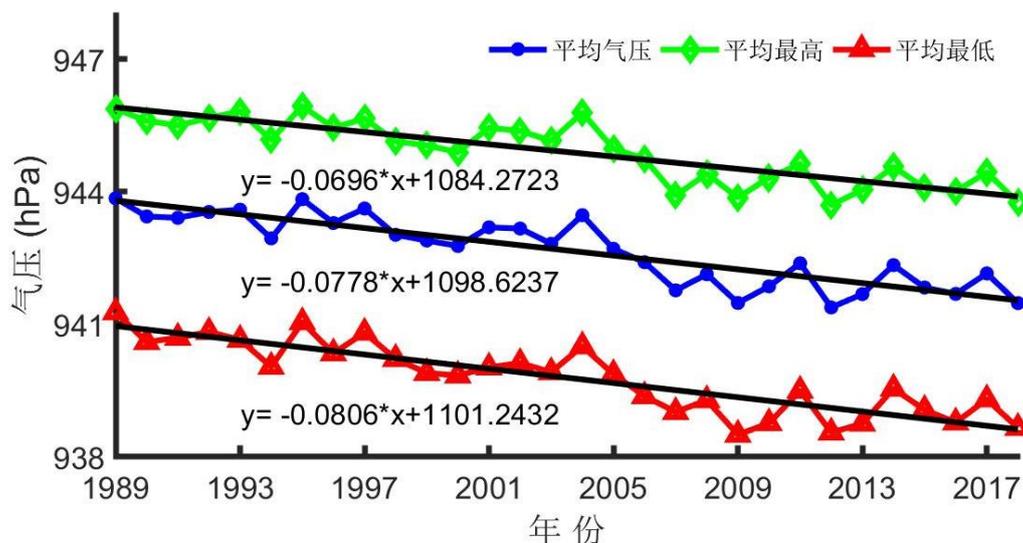


图 3.2-1 石柱站年平均气压、平均最高气压、平均最低气压年际变化(1989~2018 年)

(2) 极端气压

石柱站极端气压的观测从 1980 年至今。1980~2018 年，极端最高气压出现在 2016 年，为 967.9hPa，极端最高气压年际变化呈现缓慢下降趋势，速率为 0.162hPa/10a。极端最低气压出现在 2009 年，为 914.6hPa，除 2009 年外，其余 38 年的极端最低气压均高于 920.0hPa。极端最低气压年际变化呈现下降趋势，速率为 0.724hPa/10a（图 3.2-2、图 3.2-3）。

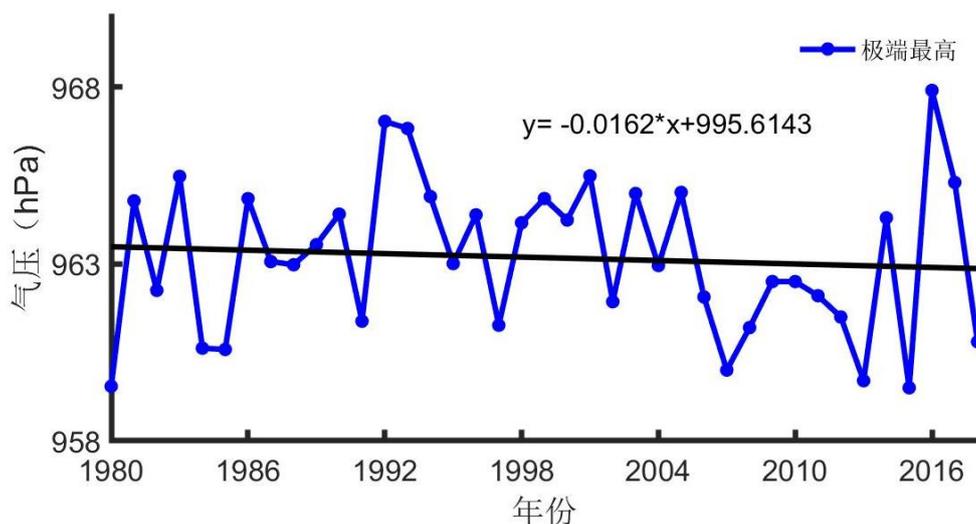


图 3.2-2 石柱站极端最高气压年际变化(1980~2018 年)

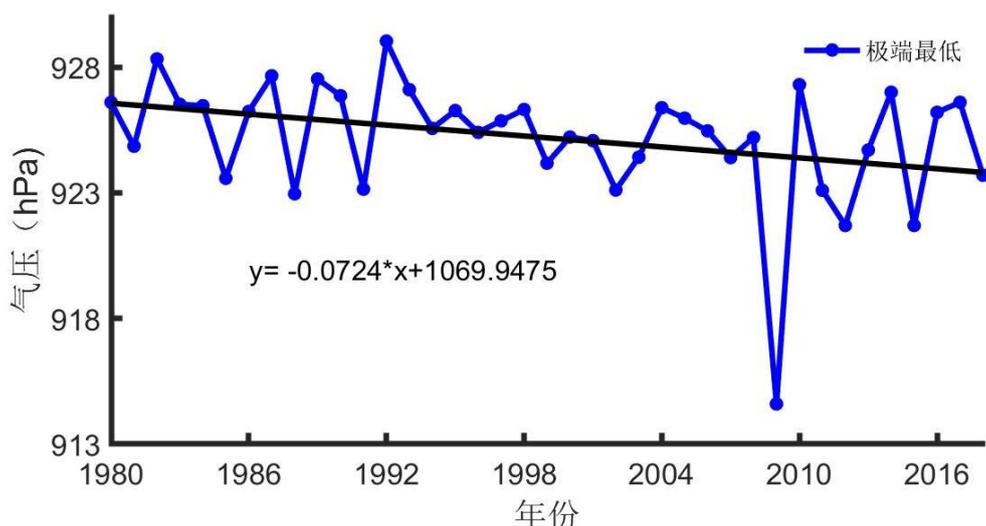


图 3.2-3 石柱站极端最低气压年际变化(1980~2018 年)

### 3.2.2 年变化

#### (1) 平均气压

由表 3.2-1 可以看出，近 30 年（1989~2018 年），石柱站平均气压年变化在 933.5hPa~950.7hPa 之间，最小值出现在 7 月，最大值出现在 12 月。石柱站气压季节变化特征明显，呈“U”型变化特征。其中冬季平均气压较高，最高值出现在 12 月，其次是秋季，夏季气压最低，最低值出现在 7 月，最高气压和最低气压的年变化特征与平均气压的年变化特征基本一致(图 3.2-4)。

表 3.2-1 1989~2018 年各月及年平均气压、平均最高气压、平均最低气压统计表(hPa)

月份 项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
平均气压	949.4	947	944.3	941	938.6	935	933.5	936	941.3	946.9	948.6	950.7	942.7
平均最高	952.1	949.7	947.1	943.5	940.8	936.7	935	937.6	943.1	949	951.1	953.4	944.9
平均最低	946.3	943.6	940.6	937.6	935.6	932.8	931.2	933.6	938.9	944.3	945.6	947.6	939.8

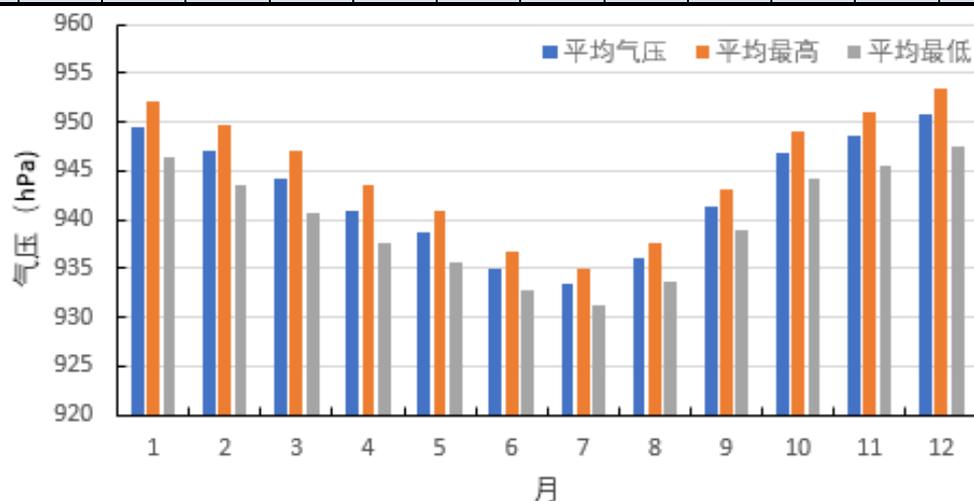


图 3.2-4 石柱站平均气压、平均最高气压、平均最低气压年变化（1989~2018 年）

## (2) 极端最高气压

石柱站极端最高气压的观测从 1980 年至今，1980~2018 年的各月极端最高气压值在 944.6hPa~967.9hPa 之间，最大值出现在 2016 年 1 月 24 日，为 967.9hPa（表 3.2-2）。各月极端最高气压中，1 月最高，7 月最低。

表 3.2-2 1980~2018 年石柱站各月极端最高气压(hPa)

月份 站名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	极值
石柱	967.9	964.4	964.8	960	957.7	947	944.6	948.1	953.4	962.3	967	966.8	967.9

## (3) 极端最低气压

石柱站极端最低气压的观测从 1980 年至今，1980~2018 年各月极端最低气压值在 914.6 hPa~934.7hPa 之间，最小值出现在 2009 年 2 月 12 日，为 914.6hPa（表 3.2-3）。各月极端最低气压中，12 月最高，2 月最低。

表 3.2-3 1980~2018 年石柱站各月极端最低气压(hPa)

月份 站名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	极值
石柱	931.3	914.6	923	921.7	923.1	924.4	923.7	924.9	927.9	932.4	932.6	934.7	914.6

### 3.2.3 日变化

图 3.2-5 为石柱站近 10 年（2009~2018 年）平均气压的日变化曲线，地面气压呈“W”型日变化特征，气压从 05 时开始逐渐升高，到 10 时达到峰 942.5hPa；之后开始下降，最低值出现在 17 时，为 939.8hPa；之后又开始缓慢升高，在 00 时达到次高值 942.4hPa，随后开始下降，直至次日 05 时。

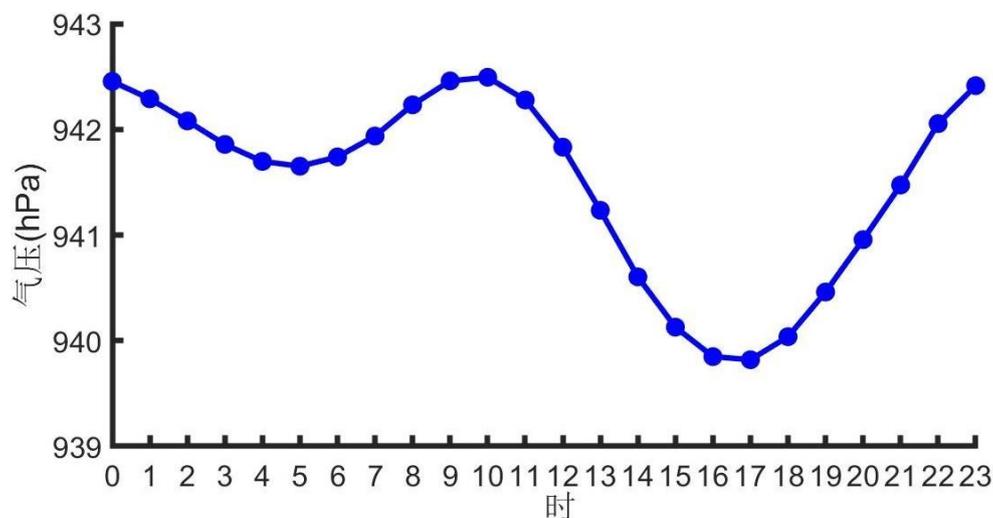


图 3.2-5 石柱站平均气压的日变化(2009~2018 年)

### 3.3 气温

#### 3.3.1 年际变化

##### (1) 平均气温

近 30 年（1989~2018 年）石柱站累年平均气温、平均最高气温及平均最低气温分别为 16.5℃、21.5℃、13.2℃。年平均气温在 15.6℃~17.3℃之间变化，年平均最高气温在 20.2℃~23.1℃之间变化，年平均最低气温在 12.5℃~13.9℃之间变化。年平均气温年际变化趋势略微上升，上升速率为 0.026℃/10a，年平均最高气温变化呈上升趋势，速率为 0.256℃/10a，年平均最低气温年际变化趋势略微下降，速率为 0.031℃/10a（图 3.3-1）。

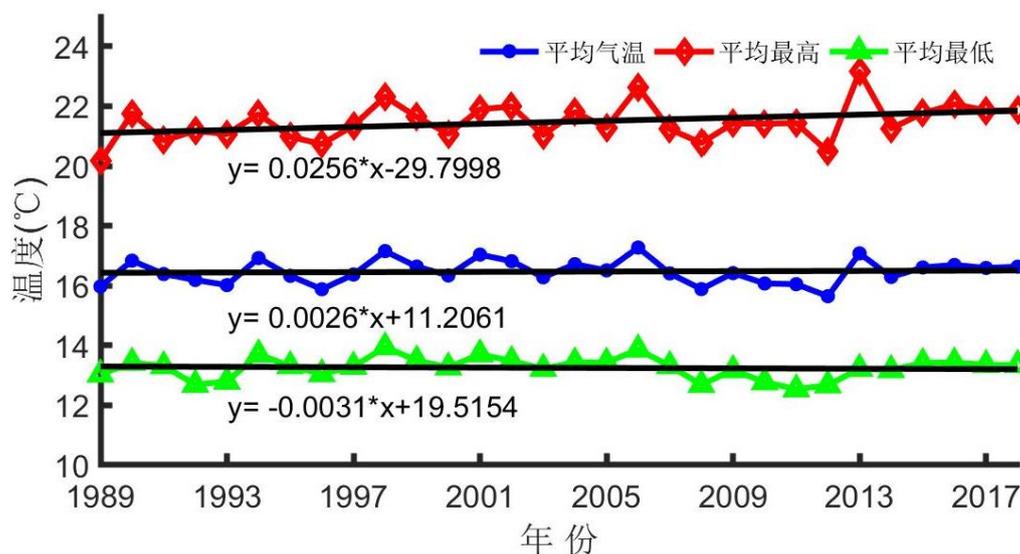


图 3.3-1 石柱站平均气温、平均最高气温、平均最低气温年际变化(1989~2018 年)

##### (2) 极端气温

石柱站建站至今（1957~2018 年）的年极端最高气温在 34.7℃~42.0℃之间变化，最高值出现在 2013 年 7 月 31 日，年极端最高气温呈上升趋势，速率为 0.250℃/10a（图 3.3-2）。除 1993 年外，年极端最高气温均在 35℃以上，近 10 年（2009~2018 年）的年极端最高气温平均值为 39.3℃，较 1999~2009 年的年极端最高气温平均值 37.7℃上升了 1.6℃。

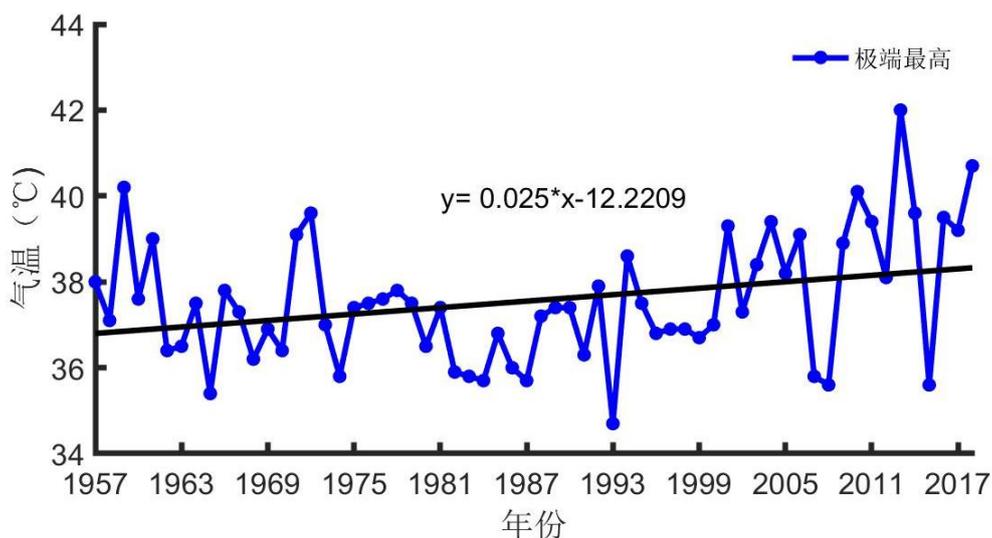


图 3.3-2 石柱站极端最高气温年际变化(1957~2018 年)

石柱站建站至今(1957~2018 年)的年极端最低气温在 $-4.7^{\circ}\text{C}$ ~ $0^{\circ}\text{C}$ 之间变化,最小出现在 1975 年,最大出现在 1988 年。年极端最低气温略呈上升趋势,速率为 $0.095^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图 3.3-3)。

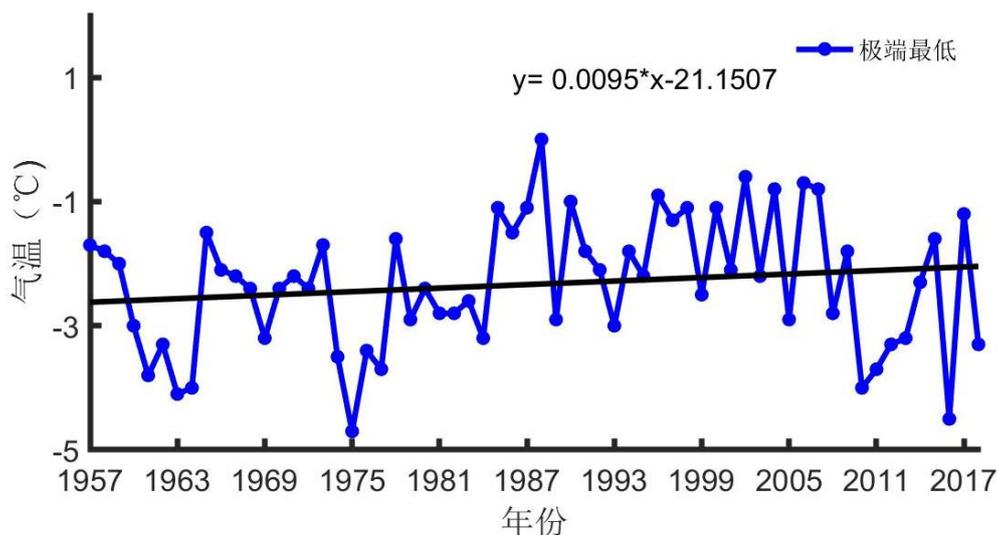


图 3.3-3 石柱站极端最低气温年际变化(1957~2018 年)

### 3.3.2 年变化

#### (1) 平均气温

表 3.3-1 可以看出,近 30 年(1989~2018 年)石柱站平均气温年变化在 $5.9^{\circ}\text{C}$ ~ $26.4^{\circ}\text{C}$ 之间,平均最低气温在 $3.5^{\circ}\text{C}$ ~ $22.4^{\circ}\text{C}$ 之间,平均最高气温在 $9.5^{\circ}\text{C}$ ~ $32.5^{\circ}\text{C}$ 之间。最高气温和最低气温的年变化特征与平均气温的年变化特征基本一致,气温有随季节变化的特点,冬季气温较低,夏季气温较高(图 3.3-4)。

表 3.3-1 1989~2018 年石柱站月平均气温、平均最高气温、平均最低气温统计表(°C)

月份 项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
平均气温	5.9	7.9	11.9	16.5	20.3	23.4	26.4	25.9	22.3	16.9	12.4	7.4	16.4
平均最高	9.5	12.1	17	22.1	25.7	28.6	32.4	32.5	27.9	21.5	16.9	11.1	21.4
平均最低	3.5	5.2	8.5	12.9	16.6	19.9	22.4	21.8	18.8	14.2	9.7	5	13.2

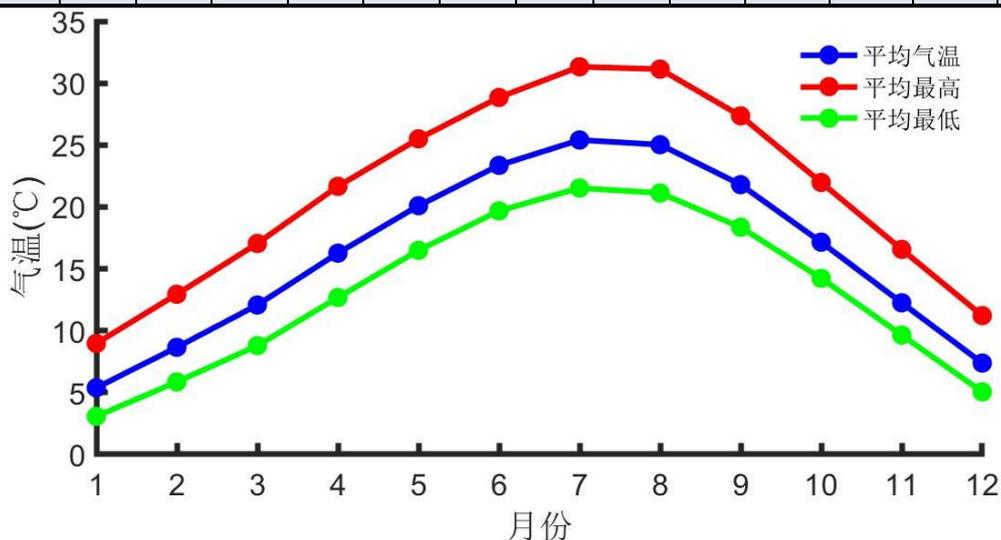


图 3.3-4 石柱站平均气温、平均最高气温、平均最低气温年变化(1989~2018 年)

## (2) 极端气温

石柱气象站建站至今(1957~2018 年)的各月极端最高气温值在 22.4°C~42°C 之间,最大值出现在 2013 年 7 月 31 日;各月极端最低气温值在 -4.7°C~16.1°C 之间,最小值出现在 1975 年 12 月 16 日(表 3.3-2)。

表 3.3-2 1957~2018 年石柱站各月极端气温(°C)

月份 项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	极值
极端最高	22.4	27.9	33.4	35.9	37.9	37.8	42	40.7	39.1	34.7	28.9	22.4	42
极端最低	-4.5	-4	-1.5	0.3	8.8	13.6	15.4	16.1	11.8	4.3	-0.8	-4.7	-4.7

## 3.3.3 日变化

近 10 年(2009~2018 年)石柱站小时平均气温呈单峰型变化。每天 06 时为一天气温的最低值,为 13.5°C;06 时开始,气温迅速上升,到 15 时达到峰值 20.3°C;之后开始下降,直至次日 06 时(图 3.3-5)。

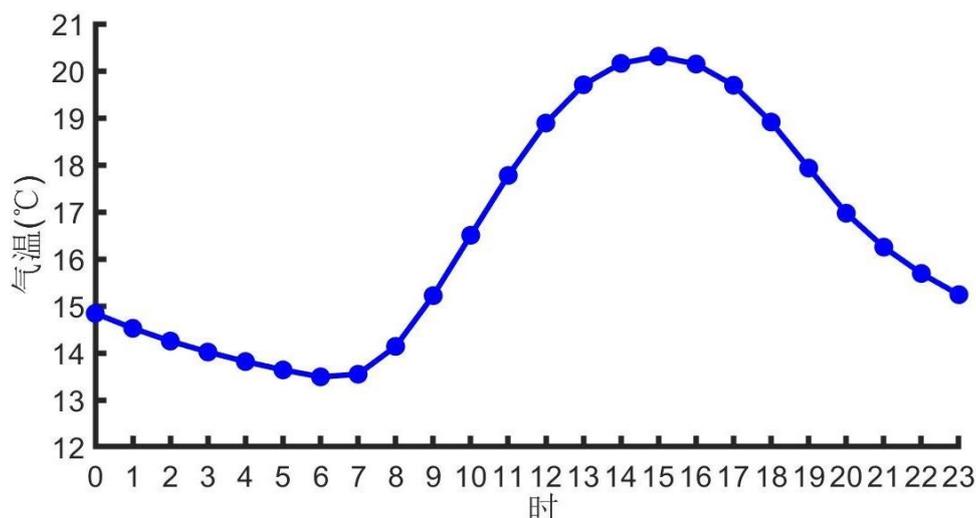


图 3.3-5 石柱站平均气温的日变化(2009~2018 年)

### 3.4 相对湿度

#### 3.4.1 年际变化

##### (1) 平均相对湿度

近 30 年（1989~2018 年），石柱站历年平均相对湿度为 79.3%，其中年平均相对湿度最高出现在 2008 年，为 83.7%；最低出现在 2013 年，为 71.6%。年平均相对湿度呈现下降趋势，速率为 1.15%/10a（图 3.4-1）。

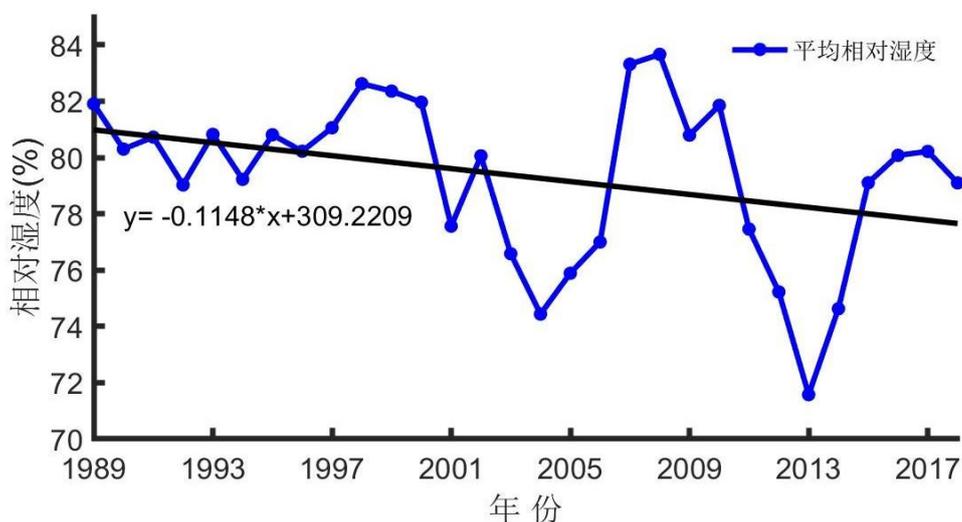


图 3.4-1 石柱站平均相对湿度年际变化(1989~2018 年)

##### (2) 最小相对湿度

石柱站最小相对湿度的观测从 1980 年至今。石柱站（1980~2018 年）的年平均最小相对湿度在 9%~25%之间变化，最小值出现在 2014 年，最大值出现在 1983 年，最小相对湿度也有减小的趋势，下降速率为 2.68%/10a（图 3.4-2）。

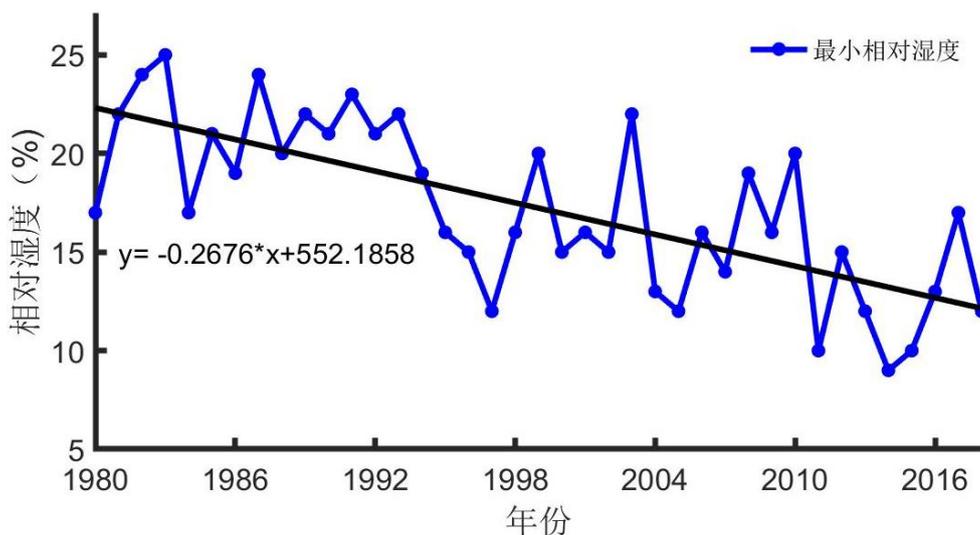


图 3.4-2 石柱站最小相对湿度年际变化(1980~2018 年)

### 3.4.2 年变化

近 30 年(1989~2018 年),石柱站平均相对湿度的年变化范围为 75.8%~83.4%,最小出现在 3 月,最多出现在 10 月。春季平均相对湿度 78.2%,夏季平均相对湿度 78.4%,秋季平均相对湿度 81.6%,冬季平均相对湿度 79.0% (图 3.4-3)。

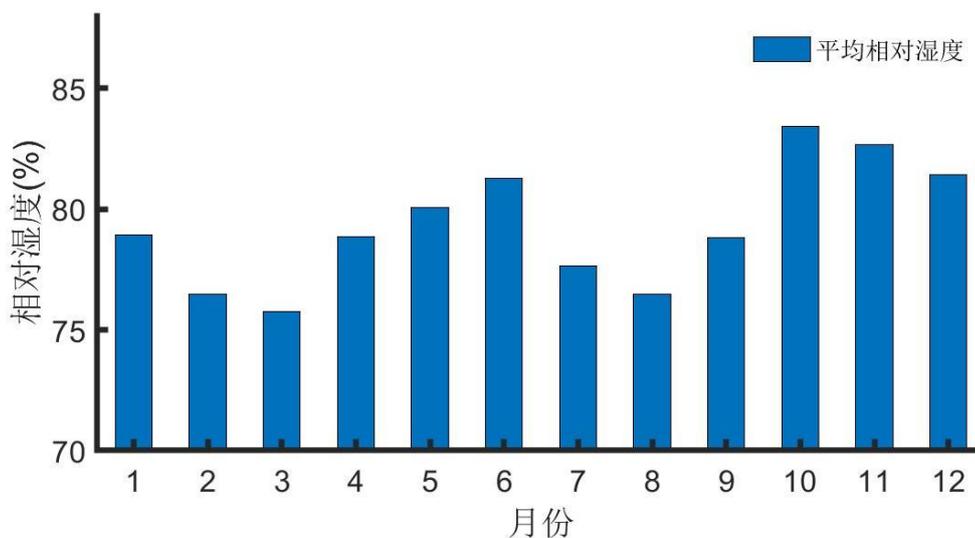


图 3.4-3 石柱站平均相对湿度年变化(1989~2018 年)

### 3.4.3 日变化

近 10 年(2009~2018 年),石柱站相对湿度日变化呈单峰型变化。每天 07 时为一天的最高值,为 90.4%;07 时开始,相对湿度逐渐减小,到 15 时达到谷底,为 60.4%;之后再次开始上升,直至次日 07 时(图 3.4-4)。

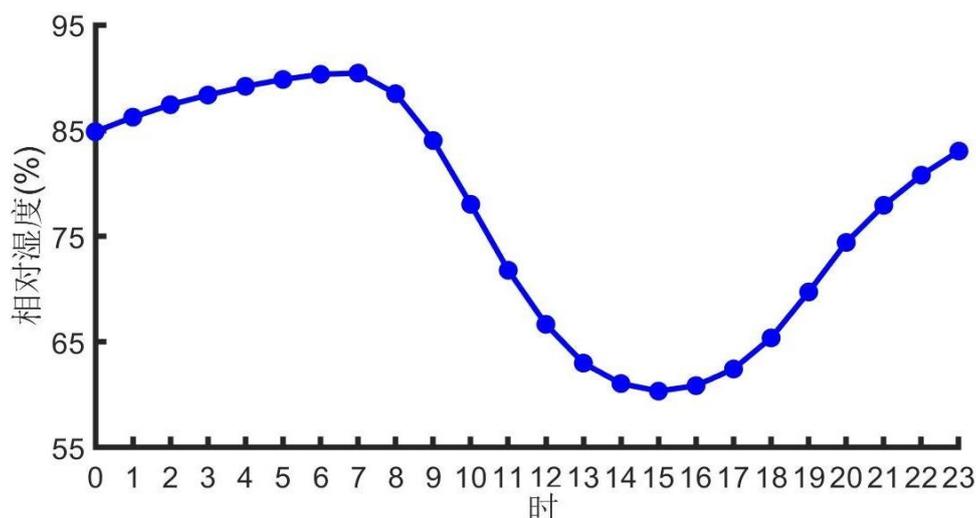


图 3.4-4 石柱站平均相对湿度的日变化(2009~2018 年)

## 3.5 降水

### 3.5.1 降水量

#### (1) 年际变化

近 30 年（1989~2018 年）石柱站累年平均降水量为 1040.9mm，降水量在 707.2mm~1359.1mm 之间变化，最少出现在 2001 年，最多出现在 1998 年。年降水量呈下降趋势，速率为 19.3mm/10a（图 3.5-1）。

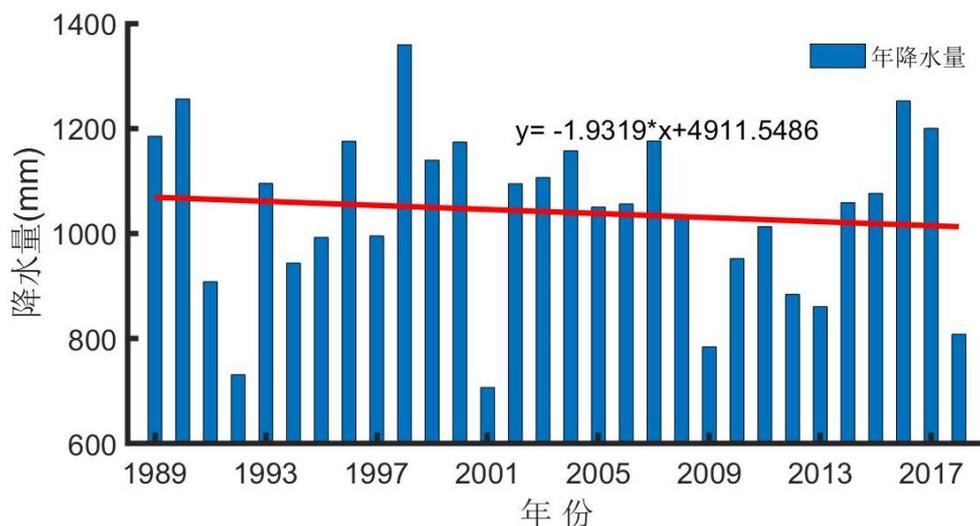


图 3.5-1 石柱站年降水量年际变化(1989~2018 年)

#### (2) 年变化

近 30 年（1989~2018 年）石柱站各月降水量在 15.8mm~165.1mm 之间变化，最小出现在 1 月，最多出现在 5 月，季节变化特征明显，冬季（12~2 月）最少，各月降水量在 15.8mm~19.6mm 之间，占 5.0%；夏季（6~8 月）最多，各月降水

量在 129.2mm~151.8mm 之间，占 39.7%。降水主要集中在 4~10 月，占全年降水总量的 85.5%，其中 5 月降水量最大，然后逐渐减少（图 3.5-2）。

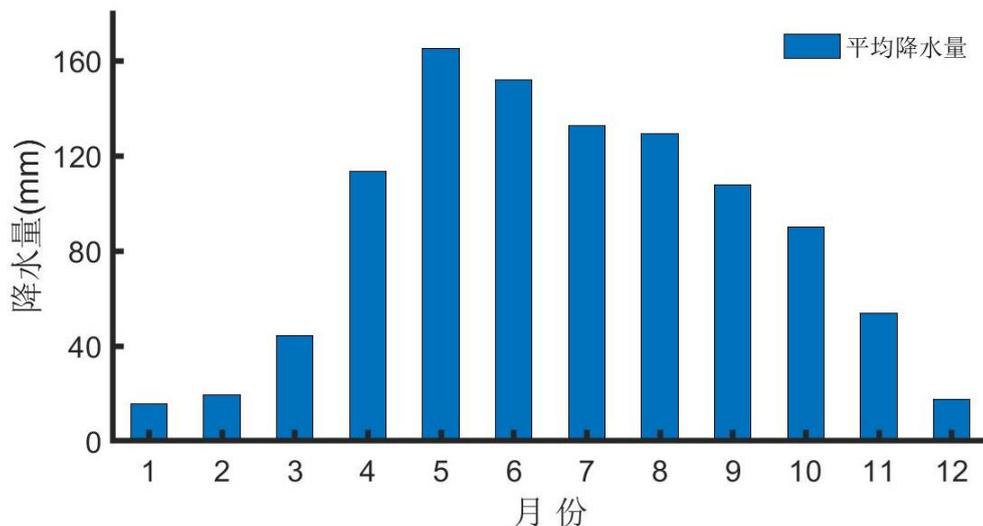


图 3.5-2 石柱站年降水量年变化(1989~2018 年)

### 3.5.2 降水日数

#### (1) 年际变化

近 30 年（1989~2018 年）石柱站年平均降水日数为 155.4 天，历年降水日数在 122 天~188 天之间，最少出现在 2013 年，最多出现在 1995 年，年际变化为下降趋势，速率为 7.19d/10a（图 3.5-3）。

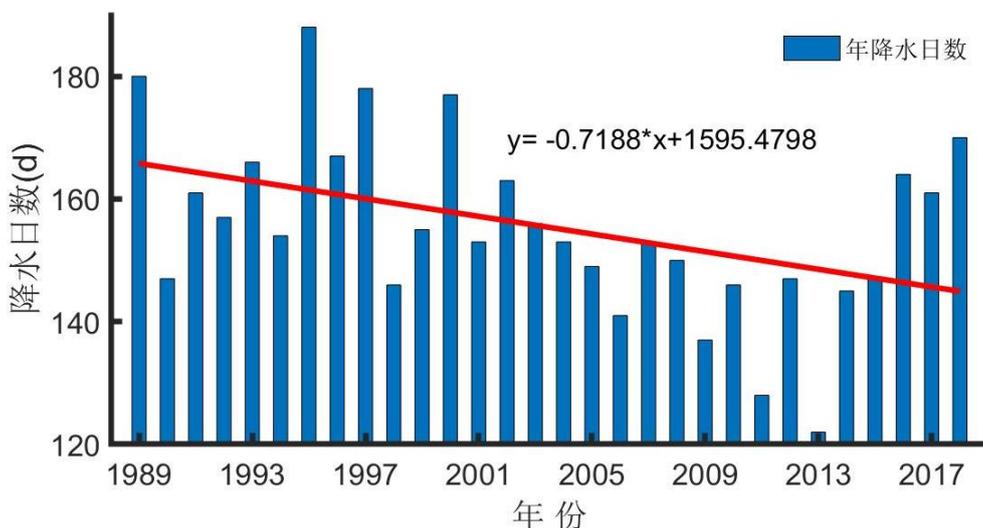


图 3.5-3 石柱站年降水日数年际变化(1989~2018 年)

#### (2) 年变化

石柱站各月平均降水日数在 8.8 天~16.7 天之间，最少出现在 2 月，最多出现在 5 月。从季节分布来看，冬季（12~2 月）降水日数最少，平均各月 9.1 天，春季（3~5 月）最多，平均各月 14.9 天，夏季（6~8 月）平均各月 14.5 天，秋季

(9~11月)平均各月13.3天(图3.5-4)。

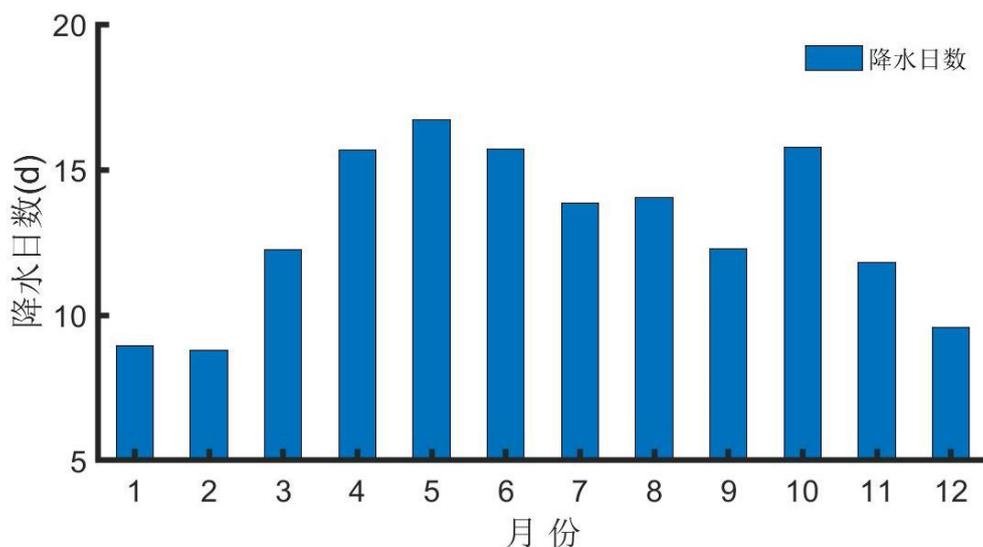


图 3.5-4 石柱站年降水日数年变化(1989~2018年)

### 3.5.3 不同降水等级分布

参照 GB/T 28592-2012《降水量等级》规范要求的日降水量标准,降水等级分布如表 3.5-1 所示。

由图 3.5-5 至图 3.5-8 可知,近 30 年来,从年变化来看,石柱站小雨日数在 8.5 天~12.9 天之间;中雨日数在 0.2 天~3.7 天之间;大雨日数在 0 天~1.5 天之间;暴雨日数在 0 天~0.5 天之间。从季节变化来看,小雨平均日数在春季最高,冬季最低;中雨平均日数在春季最高,冬季最低;大雨平均日数在夏季最高,冬季最低;暴雨平均日数在夏季最高,冬季最低。

由于小雨不足以净化空气,反而通过增加地面相对湿度为颗粒物湿增长创造了有利条件,不利于大气沉降,因此,在小雨发生频率较高的春季,大气污染物浓度相对较高。

表 3.5-1 日降水强度标准

降水等级	降水量(mm)
小雨	0.1-9.9
中雨	10-24.9
大雨	25-49.9
暴雨	50-99.9

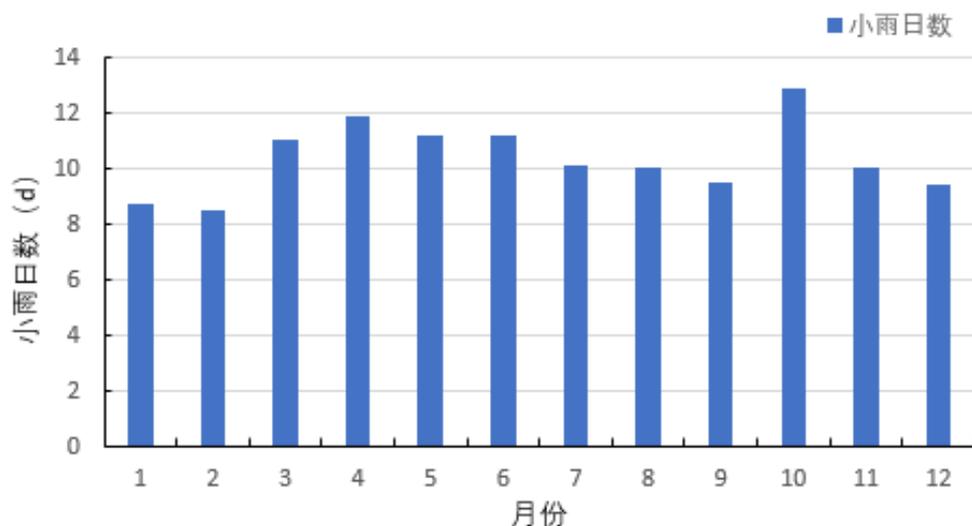


图 3.5-5 石柱站小雨日数年变化(1989~2018年)

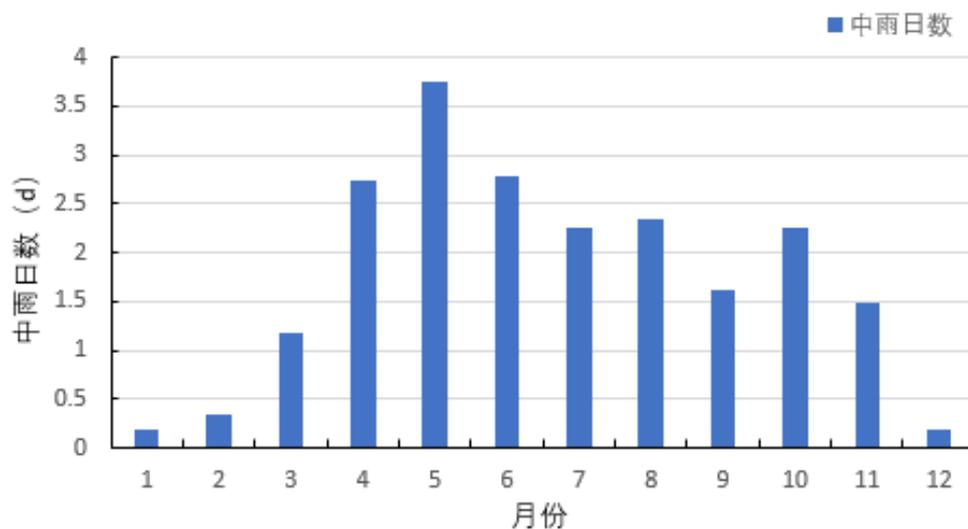


图 3.5-6 石柱站中雨日数年变化(1989~2018年)

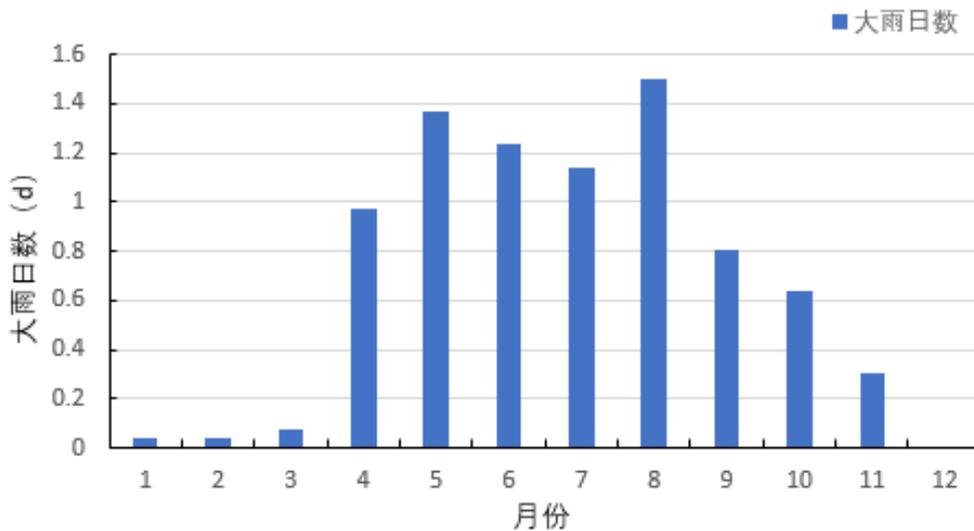


图 3.5-7 石柱站大雨日数年变化(1989~2018年)

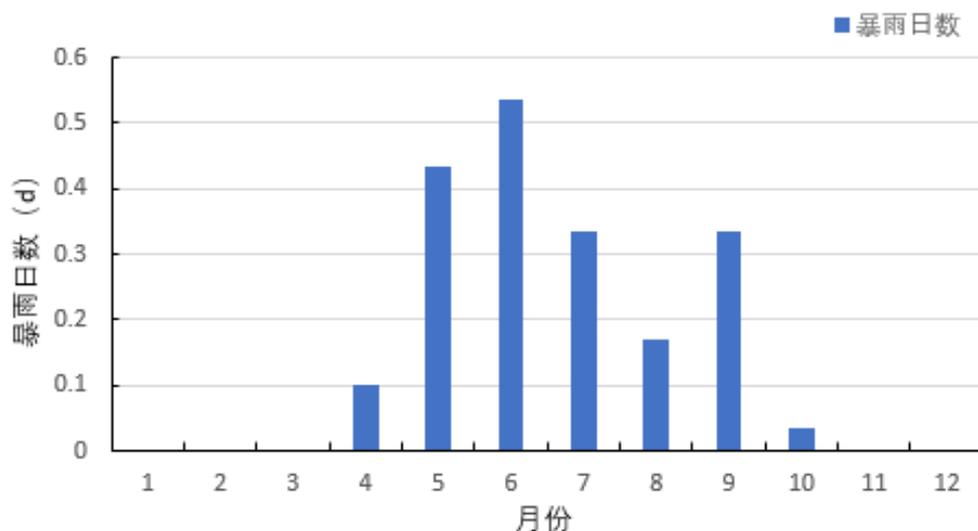


图 3.5-8 石柱站暴雨日数年变化(1989~2018 年)

## 3.6 蒸发量

### 3.6.1 年际变化

石柱站小型蒸发皿观测蒸发量时间至 2013 年,选取 1984~2013 年共 30 年的小型蒸发量数据进行分析,石柱站累年平均蒸发量为 1005.6mm,历年蒸发量在 855.9mm~1329.7mm 之间变化。年蒸发量呈下降趋势,下降速率为 68.7mm/10a (图 3.6-1)。

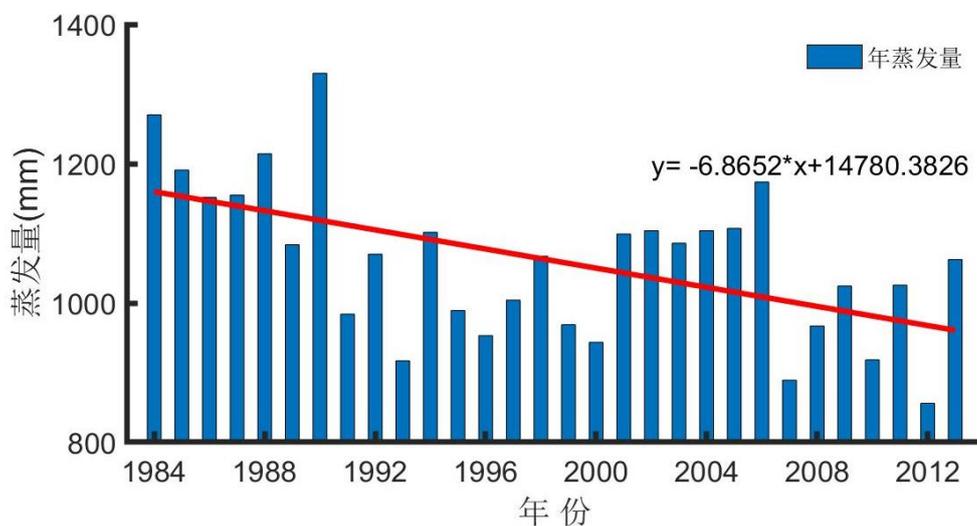


图 3.6-1 石柱站年蒸发量年际变化(1984~2013 年)

### 3.6.2 年变化

1984~2013 年石柱站各月蒸发量在 30.4mm~169.9mm 之间,最小值出现在 12 月,最大值出现在 8 月,季节特征明显,呈倒“U”型,冬季(12~2 月)平均蒸发量最少,各月在 30.4mm~42.2mm 之间,夏季(6~8 月)最多,各月在

114.1mm~169.9mm 之间（图 3.6-2）。

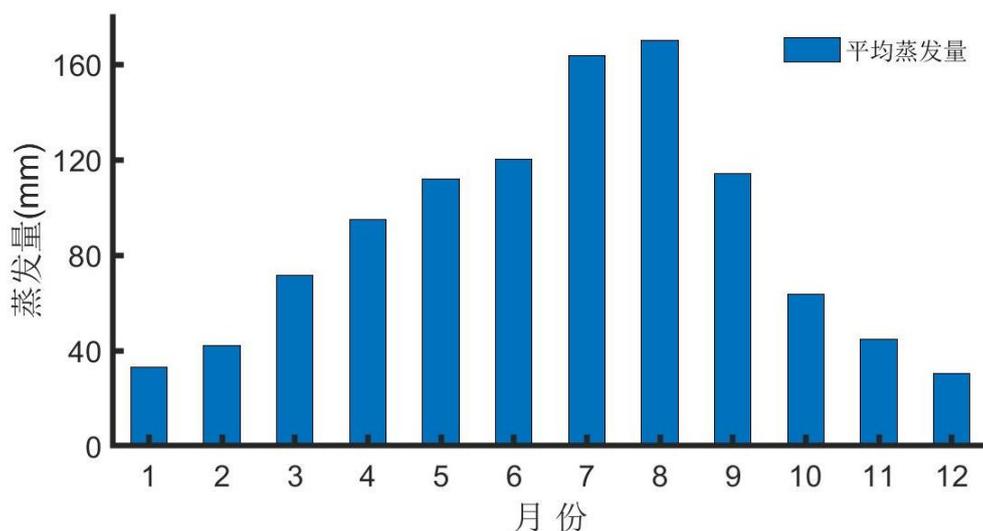


图 3.6-2 石柱站蒸发量年变化(1984~2013 年)

### 3.7 日照

#### 3.7.1 年际变化

近 30 年（1989~2018 年）石柱站累年平均日照时数为 1264.7h，年日照时数在 1039.3h（1996 年）~1570.9h（2013 年）之间变化，年际变化差异较大。年日照时数呈上升趋势，速率为 45.7h/10a（图 3.7-1）。

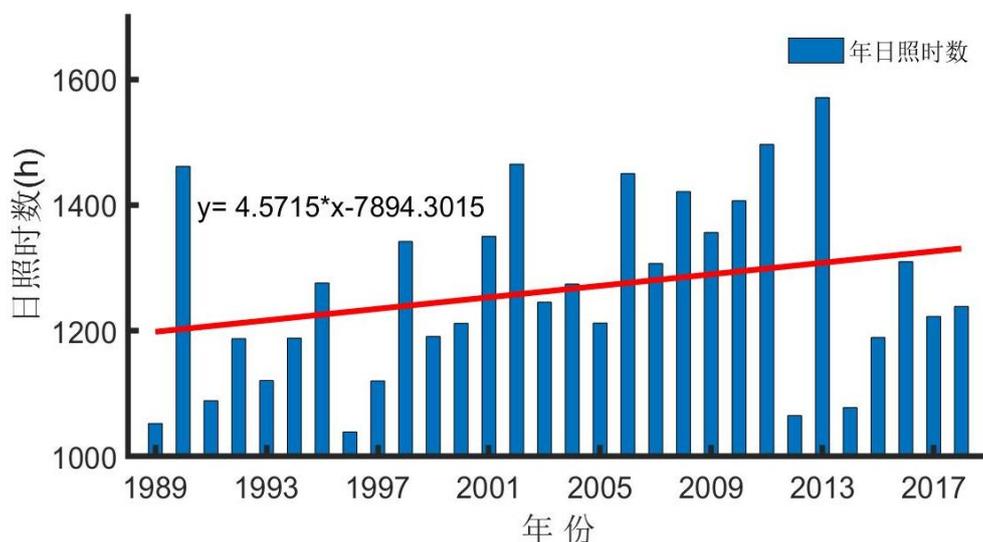


图 3.7-1 石柱站年日照时数年际变化(1989~2018 年)

#### 3.7.2 年变化

1989~2018 年石柱站各月日照时数在 45.8h~199.3h 之间，最小值出现在 1 月，最大值出现在 8 月，季节特征明显，冬季（12~2 月）平均日照时数最少，各月在 45.8~55.0h 之间，占全年日照时数的 11.9%；夏季（6~8 月）平均日照时数最多，

各月在 119.1~199.3h 之间，占全年日照时数的 40%。冬半年日照时数低于平均值，夏半年日照时数高于平均值，7、8 月相较于其他月份日照时数明显较多，达到 180h 以上（图 3.7-2）。

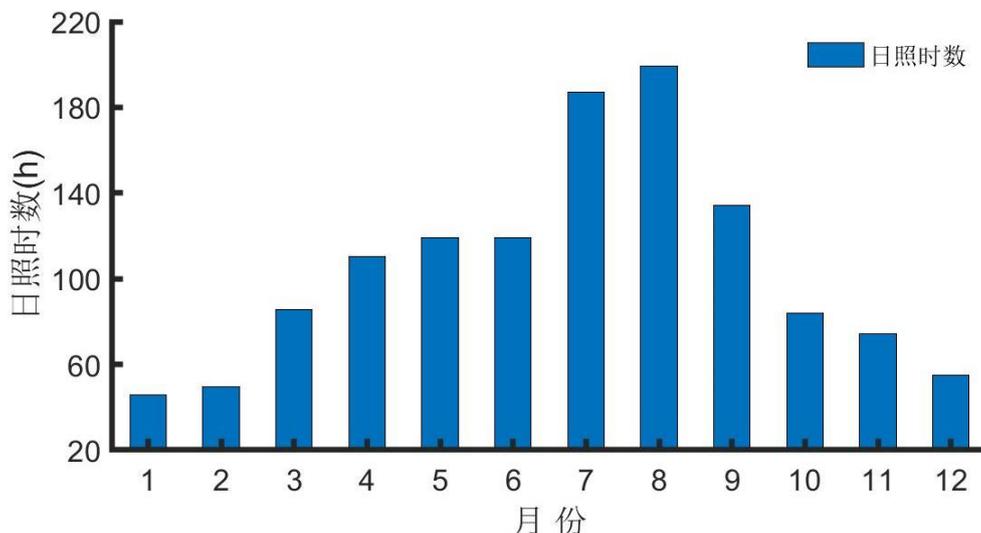


图 3.7-2 石柱站平均日照时数年变化(1989~2018 年)

### 3.8 风

#### 3.8.1 风速年际变化

##### (1) 平均风速

近 30 年（1989~2018 年），石柱气象站年平均风速为 1.3m/s，风速年际变化呈上升趋势，上升速率为 0.013m/s/10a。其中 1990 年平均风速最大，为 1.8m/s；2000 年平均风速最小，为 0.9m/s（图 3.8-1）。

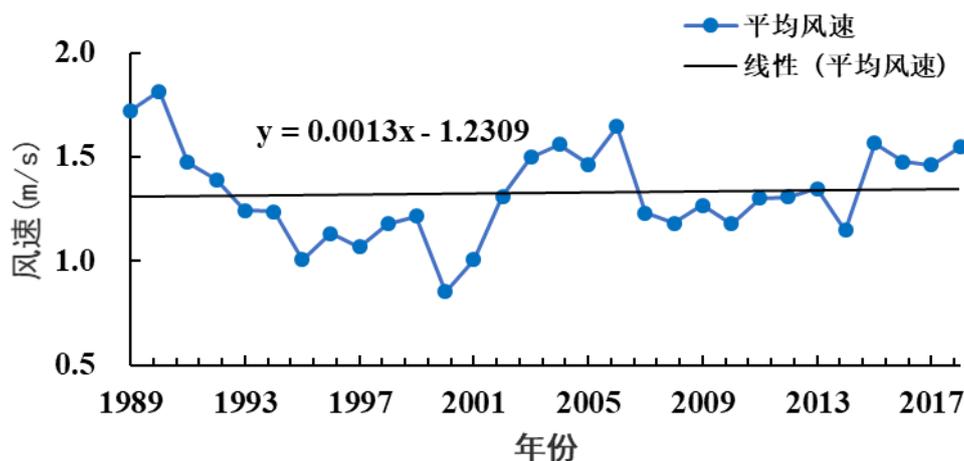


图 3.8-1 石柱站年平均风速年际变化(1989~2018 年)

##### (2) 最大风速

石柱气象站最大风速的观测时段为 1972~1976 年、1983~1987 年、2003 年 1 月至今。石柱站最大风速序列高度订正和时矩订正后，近 47 年（1972~2018 年），

2001 年年最大风速最大，为 18.1m/s，1987 年年最大风速最小，为 6.0m/s，年最大风速呈上升趋势，上升速率为 0.208m/s/10a（图 3.8-2）。

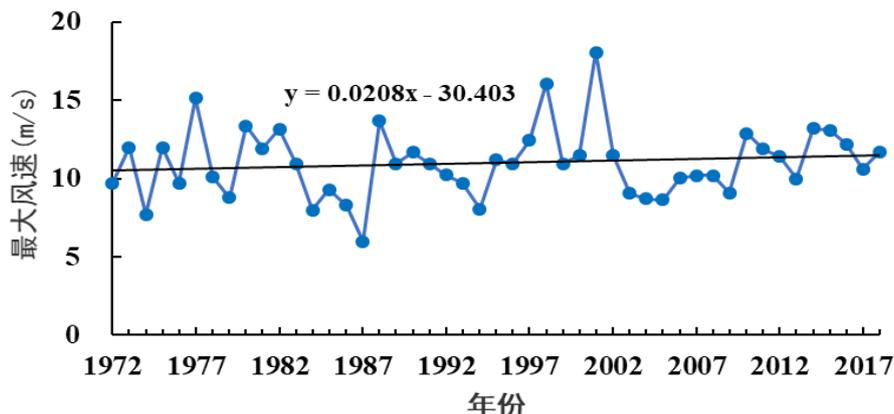


图 3.8-2 石柱站年最大风速年际变化(1972~2018 年)

### (3) 极大风速

石柱气象站极大风速值从 2003 年开始记录。近 16 年（2003~2018 年）年极大风速呈上升趋势，上升速率为 3.09m/s/10a（图 3.8-3）。年极大风速最大值为 22.9m/s（NNW），出现在 2014 年 8 月 2 日；次大值为 22.8m/s（NE），出现在 2015 年 8 月 6 日（表 3.8-1）。年极大风速主要出现在夏季，且极大风速的主要为偏东北风。

表 3.8-1 2003~2018 年石柱站历年极大风速(m/s)

年份	极大风速 (m/s)	风向	日期	年份	极大风速 (m/s)	风向	日期
2003	15.8	SSE	08-03	2011	19.4	E	06-25
2004	16.5	ENE	08-04	2012	17.4	ESE	08-12
2005	12.5	WNW	04-09	2013	15.9	SSE	07-30
2006	17.5	NE	07-25	2014	22.9	NNW	08-02
2007	17.6	NE	08-22	2015	22.8	NE	08-06
2008	17.3	E	06-13	2016	16.9	NE	08-02
2009	13.7	ENE	02-26	2017	18.3	W	08-03
2010	19.4	未记录	08-05	2018	19.1	E	08-17

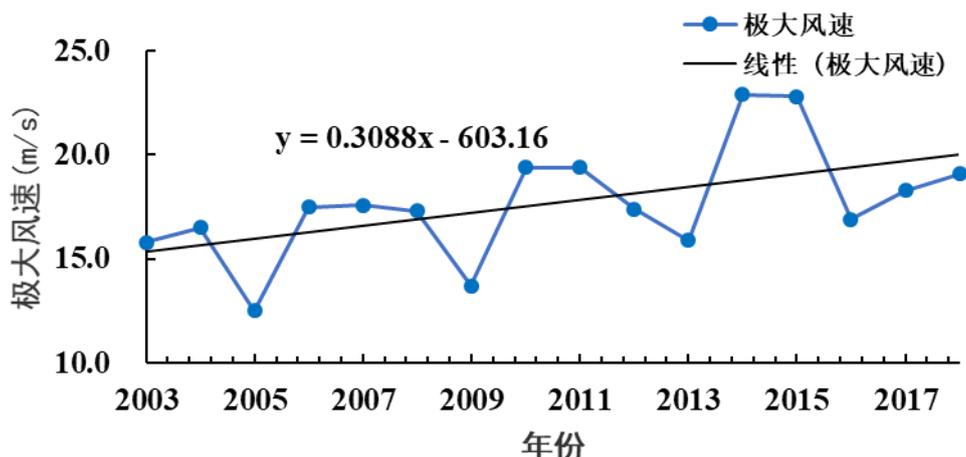


图 3.8-3 石柱站极大风速年际变化(2003~2018年)

### 3.8.2 风速年变化

近 30 年（1989~2018 年），石柱气象站平均风速 1~9 月较大，均达到 1.0m/s 以上。平均风速 3 月最大，为 1.5m/s；10 月最小，为 1.2m/s。从季节上看，春季、夏季平均风速较大，秋季、冬季平均风速较小（图 3.8-4）。

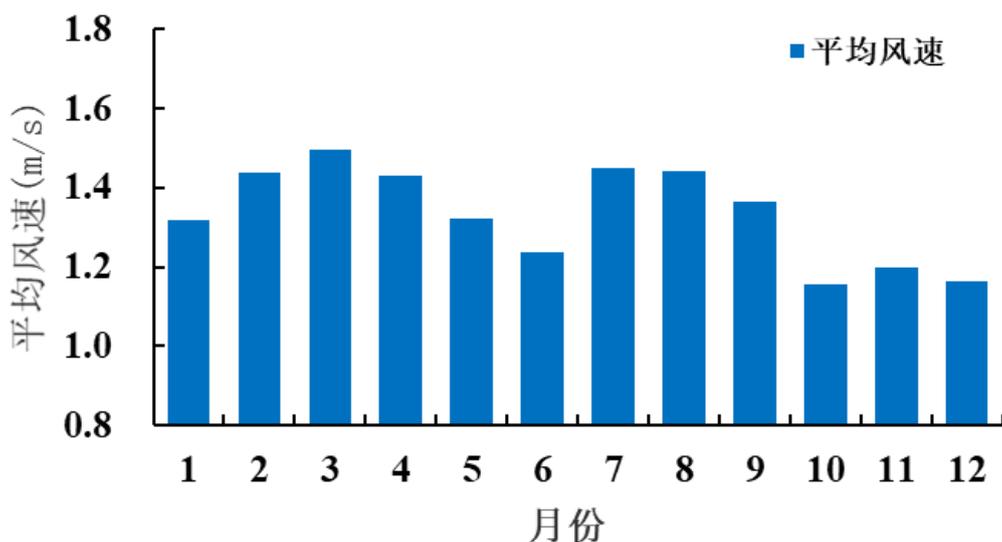


图 3.8-4 石柱站平均风速年变化(1989~2018年)

### 3.8.3 风速日变化

石柱气象站近 10 年（2009~2018 年）风速日变化特征为每天 08 时为一天平均风速的最小值，为 1.05m/s，随后平均风速逐渐增大，至 16 时达到最大值，为 1.86m/s，之后逐渐下降，直至次日 08 时（图 3.8-5）。

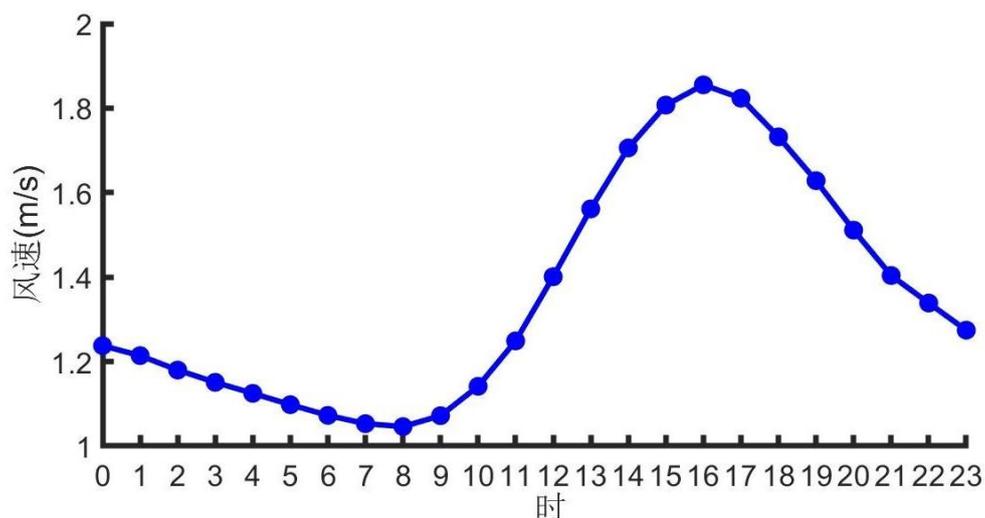


图 3.8-5 石柱站平均风速日变化(2009~2018 年)

### 3.8.4 风向频率年及季节变化

2009~2018 年石柱站累年全年最多风向为 SW 风，风向频率为 15.3%。四季出现频率最高的都是 SW 风向，春季频率为 13.3%，夏季频率为 15.5%，秋季频率为 17%，冬季频率为 15.4%（图 3.8-6）。

表 3.8-2 2009~2018 年石柱站各月及年最多风向及频率

月份 项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
主导风向	SW	SW	SW	ESE	SW								
频率 (%)	13.9	17	13	12.6	14.5	15.8	14.4	16.4	16.8	17.5	16.7	15.2	15.3

表 3.8-3 2009~2018 年石柱站四季及年各风向频率(%)

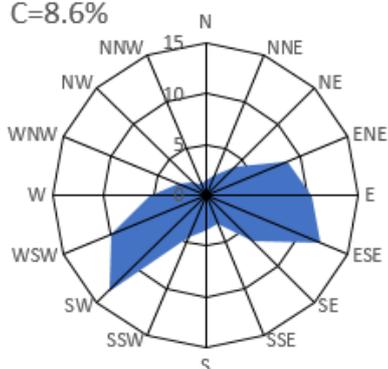
项目 方位	春	夏	秋	冬	年
N	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5
NNE	2.2	2.1	2	2.2	2.1
NE	4.1	4	3.5	3.4	3.8
ENE	8.6	6.1	4.5	7	6.6
E	10.5	6.5	6.5	10	8.4
ESE	12.2	11.2	12.2	11.3	11.7
SE	6.4	7.6	6.7	6.4	6.8
SSE	3.1	5.5	3.1	2.6	3.6
S	3.5	5.3	3.4	3.1	3.8
SSW	4.5	6.1	6	4.1	5.2
SW	13.3	15.5	17	15.4	15.3
WSW	10	8.4	9.7	10.3	9.6
W	5.4	3.4	4.8	6.1	4.9

石柱土家族自治县工业园区区域气候可行性论证整体评价

WNW	2.9	2.2	2.5	2.7	2.6
NW	1.9	3.1	2.9	1.4	2.3
NNW	1.3	2.4	1.8	1.2	1.7
C	8.6	8.9	12	11.2	10.2

春季

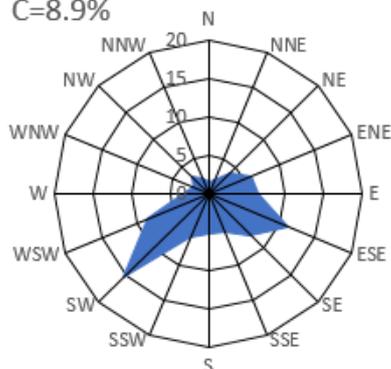
C=8.6%



(a)春季

夏季

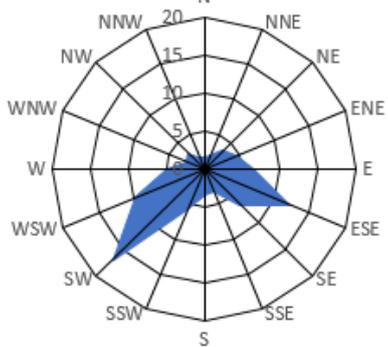
C=8.9%



(b)夏季

秋季

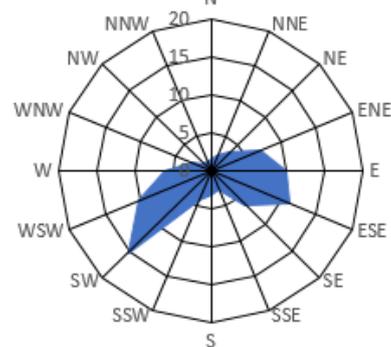
C=12%



(c)秋季

冬季

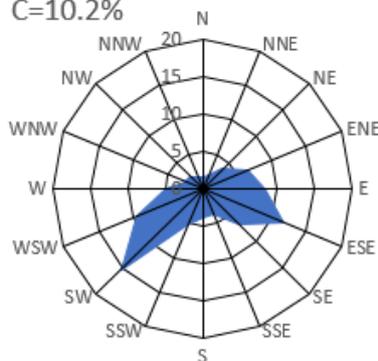
C=11.2%



(d)冬季

全年

C=10.2%



(e)全年

图 3.8-6 石柱站四季及年风向频率 (2009~2018 年)

## 4 高影响天气现象分析

### 4.1 园区关键影响气象因子确定

典型气象灾害主要包括暴雨洪涝、干旱、寒潮冻害、连阴雨、强对流（大风、龙卷、冰雹、雷电等）等。通过对石柱典型灾害案例的解析，可以看出石柱以暴雨洪涝、大风、干旱灾害居多，园区高影响天气为暴雨、强对流和干旱，致灾的关键气象因子包括强降水、大风、雷电、高温等。

#### 4.1.1 气象灾害占比情况

根据历史灾情统计，1984~2018年石柱土家族自治县发生的气象灾害有暴雨洪涝、大风和干旱。发生频次以暴雨洪涝最高，占62%，其次是大风，占16%。可见，石柱土家族自治县主要气象灾害为暴雨洪涝、大风和干旱。由于干旱与高温密切相关，因此针对干旱重点分析高温情况。

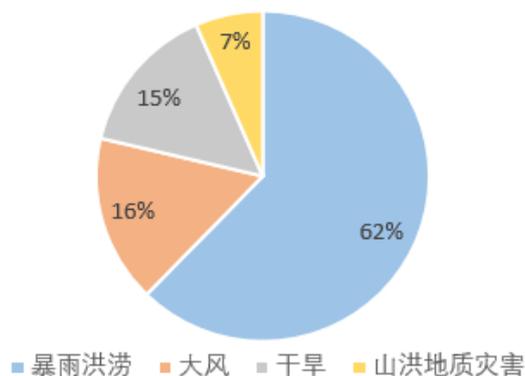


图 4.1-1 园区及周边地区气象灾害类型发生频率

#### 4.1.2 基于典型案例的园区气象敏感度分析

##### 4.1.2.1 暴雨洪涝

暴雨洪涝是园区的重要气象灾害，主要通过持续性、高强度的降水造成的积水、洪水、溃口以及衍生的灾害对行业产生影响。强降雨引发的灾害包括江河库湖洪水泛滥、城市积涝，对农林牧渔、工矿企业、水电两通、人身财产等造成损失。

从2011年6月22日20时起至23日16时，石柱土家族自治县普降暴雨，全县共有23个乡镇达暴雨，其中有洗新乡、黄水镇、龙潭乡、新乐乡、悦崂镇、河嘴等12个乡镇达大暴雨，马武镇降雨量最大，为276.3mm，达到特大暴雨，创石柱土家族自治县有气象资料记载来的最高记录。根据统计，全县受灾人口

315000 人，死亡 1 人，失踪 2 人，倒塌房屋 89 间，损坏房屋 475 间，农作物受灾面积 4573 公顷，冲毁圈舍 36 栋，毁坏 4 个乡镇场镇供水系统和部分人饮工程，损毁河堤、渠堰 3400 余米，山坪塘损毁 34 口，塌方 20 处，水利，电力、广播电视、通讯等设施不同程度受损，造成直接经济损失 11200 万元。

#### 4.1.2.2 大风

强对流天气是雷电、雷雨大风、冰雹和龙卷风等灾害天气的统称。由于天气变化剧烈，破坏力很强，常常导致房屋倒毁，庄稼树木受到摧残，电信交通受损，甚至造成人员伤亡等。世界上把它列为仅次于热带的气旋、地震、洪涝之后的第 4 位具有杀伤性的灾害性天气。强对流包括雷暴、雷雨大风、冰雹、龙卷风等，对农林牧、工矿企业、水电两通、人身财产等造成损失。

2008 年 8 月 6 日 16 时，临溪镇出现雷雨，并伴有大风。临溪镇南峰村烤烟受到比较严重的损失，83 户有 30 户受灾严重，绝收面积达 36.2 亩，损失产量 9050 斤，烟农直接经济损失 54300 元。

#### 4.1.2.3 干旱

干旱主要是由于长时间少雨或无雨引发的，同时与许多因素有关，如蒸发、气温、土壤墒情、灌溉条件、种植结构等。长时间的干旱可能导致江河径流、水库水位、湖泊水位、地下水位下降，严重时影响到人民生活或经济需水，造成生存环境恶化，加剧经济损失。

2006 年 7 月 10 日到 8 月 20 日高温天气过程，35℃ 以上高温日数为 21 天，37℃ 以上高温日数为 7 天。全县受灾人口 300000 人，农作物受灾面积 14900 公顷，农作物成灾面积 4300 公顷，农作物绝收面积 1600 公顷，直接经济损失 5300 万元。

#### 4.1.2.3 冰雹

冰雹是指坚硬的球状、锥状或不规则的固体降水，民间称为“雪弹子”。

2008 年 6 月 5 日下午，石柱土家族自治县普降小雷阵雨，部分乡镇达中雷阵雨，雷雨时局部地区伴有大风及冰雹，下路、黄水、龙沙、石家、枫木等乡镇遭受冰雹袭击受灾，导致部分农作物受损，带来较大损失。据统计，此次灾害涉及 14 个乡镇 75 个村 12415 户 52000 人，全县农作物受灾 2023 公顷。242 间农户屋面受损，损失瓦片 244.5 万块，无人畜伤亡。

### 4.1.3 园区气象灾害敏感度分析

根据园区实地踏勘调查，结合园区规划和已入驻企业性质，对园区气象灾害敏感度进行分析，详见附录 E。通过走访问卷调查可知企业关注的高影响天气包括暴雨、雷电、高温、大风、大雾等灾害。

### 4.1.4 关键气象因子及高影响天气现象选择

极端天气气候事件是指天气（气候）的状态严重偏离其平均态，在统计上属于小概率事件。通过现场灾情数据收集、典型案例以及企业对高影响天气敏感度调查，最终确定石柱土家族自治县工业园区主要的气象灾害为暴雨洪涝、大风、干旱、雷电。

## 4.2 极端气温

日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 为一般高温， $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 为中等高温， $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 为严重高温。资料统计，石柱站多年平均的年高温日数 7、8 月份最常出现，占到 85.3%。一般高温日数多年平均为 12.1 天，中等高温日数多年平均为 3.7 天，严重高温日数多年平均为 0.2 天。自建站以来，日最高气温极值为  $42.0^{\circ}\text{C}$ 。从高温日数年际变化看，一般高温、中等高温和严重高温日数均呈增加趋势，一般高温的增加速率为  $0.707^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、中等高温的增加速率为  $1.10^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ （图 4.2-1）。

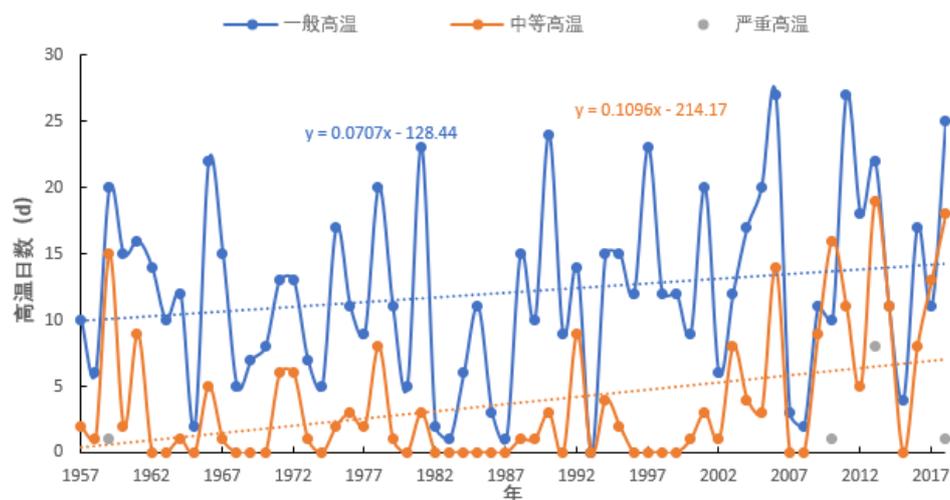


图 4.2-1 石柱站累年高温日数年际变化(1957~2018 年)

石柱土家族自治县 2013~2018 年，极端最高气温在  $31.0^{\circ}\text{C}$ （黄水镇）~ $44.1^{\circ}\text{C}$ （下路镇）之间，石柱土家族自治县极端最高气温空间分布总体呈现西部较高、东部较低的特征，其中由于位于南部的龙潭乡南部区域以及位于中部的六塘镇与沙子镇的交界处的海拔较高，因此出现该部分区域极端最高气温较低的现象。石

石柱土家族自治县工业园区于石柱土家族自治县西南部区域，极端最高气温处于较高水平（图 4.2-2）。

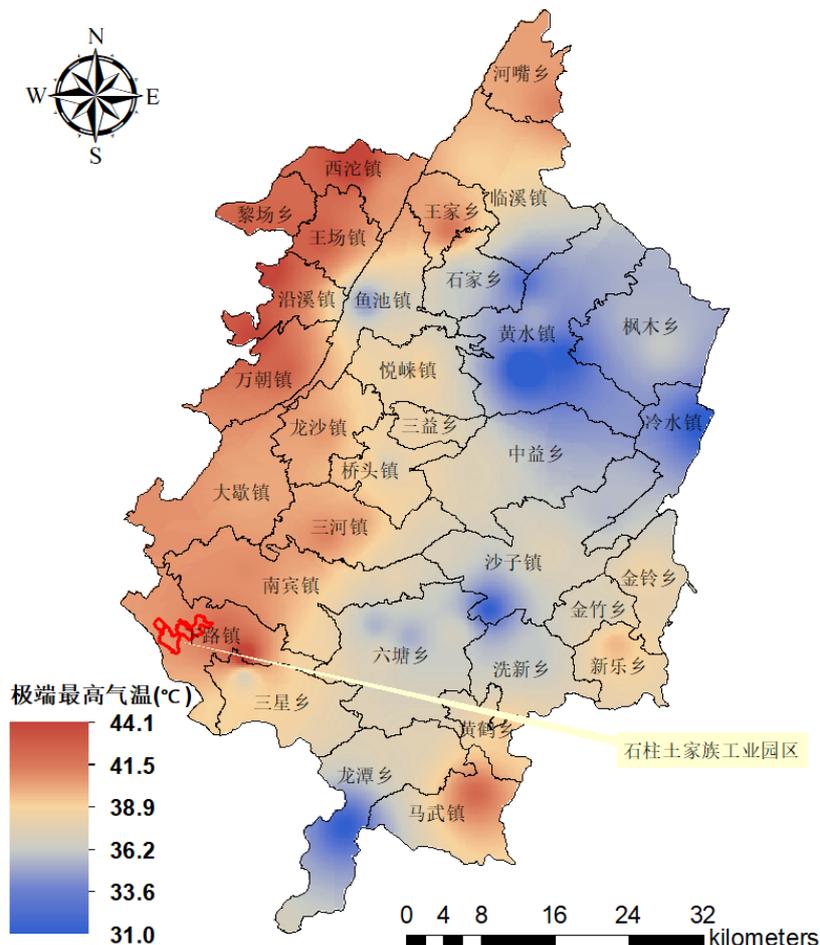


图 4.2-2 石柱极端最高气温空间分布图(2013~2018 年)

石柱 2013~2018 年，极端最低气温在-9.9℃（石子乡）~0.7℃（石宝镇）之间，石柱极端最低气温除石子乡等高海拔地区极端最低气温较低以外，其余地区基本呈现西北部低，东南部高的分布特征，且东南部靠近长江地区极端最低气温相对较高。石柱土家族自治县工业园区位于石柱沿江区域，极端最低气温相对较高（图 4.2-3）。

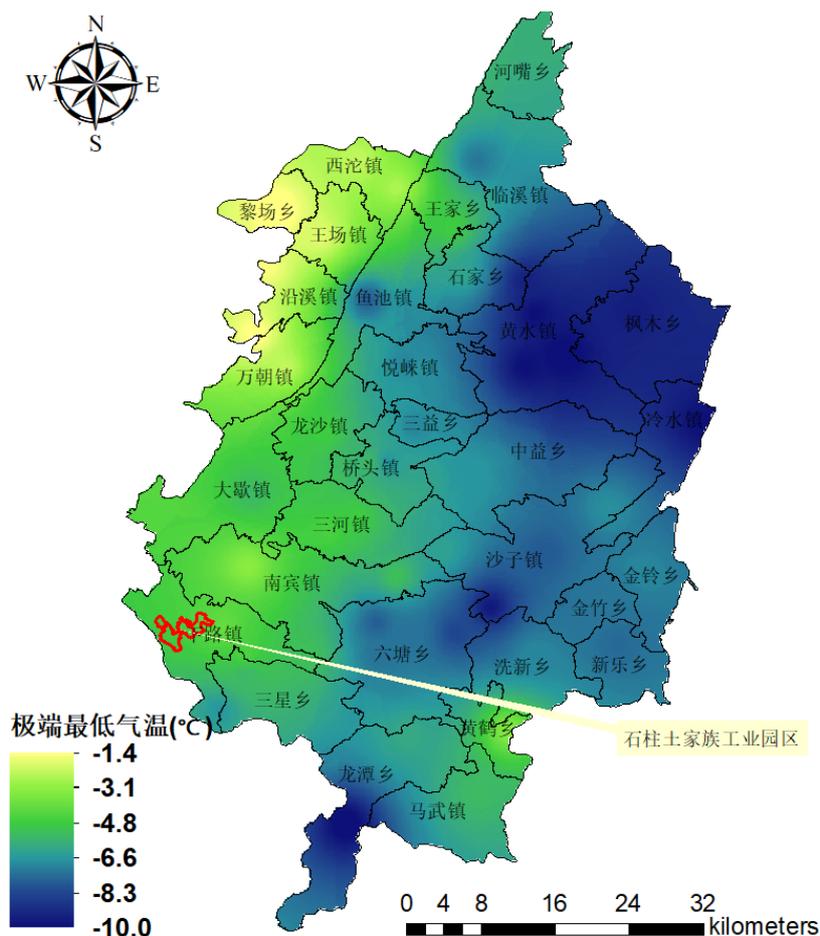


图 4.2-3 石柱极端最低气温空间分布图(2013~2018 年)

### 4.3 降水极值情况

1957~2018 年，石柱站逐年日最大降水量呈增加趋势，增加速率为 2.86mm/10a。2006 年 7 月 5 日为历史最高，日最大降水量为 199.7mm。1982 年日最大降水量也较高，为 165.7mm（图 4.3-1）。

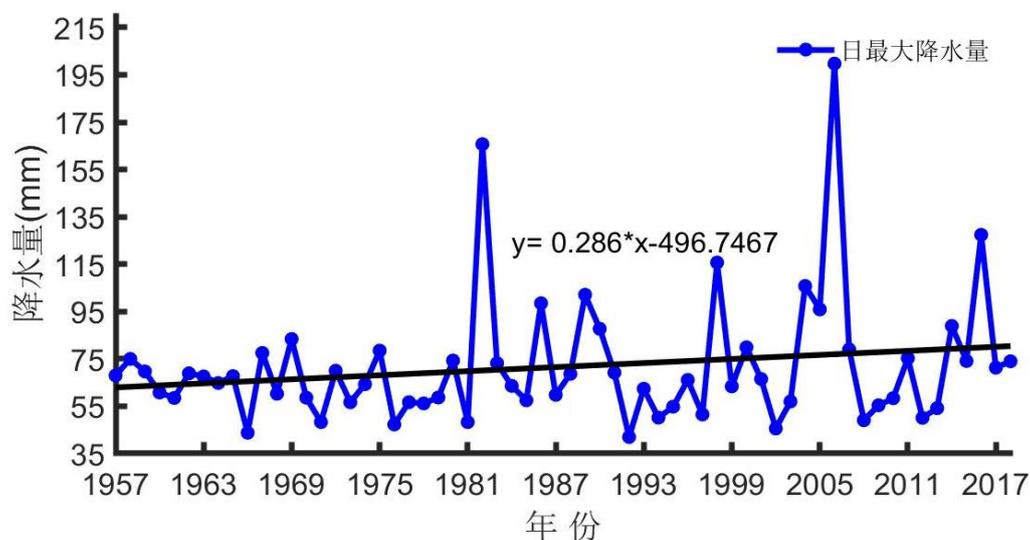


图 4.3-1 石柱站日最大降水量年际变化(1957~2018 年)

石柱土家族自治县 2013~2018 年,日降水极值在 70.7mm(黄水镇)~237.3mm(龙潭乡)之间,除龙潭乡北部和洗新乡中部等地区的日降水极值较高以外,石柱土家族自治县日降水极值空间变化但总体呈现自西向东逐渐降低的分布特征。石柱土家族自治县工业园区于石柱土家族自治县西南部区域,位于日降水极值中上水平的区域(图 4.3-2)。

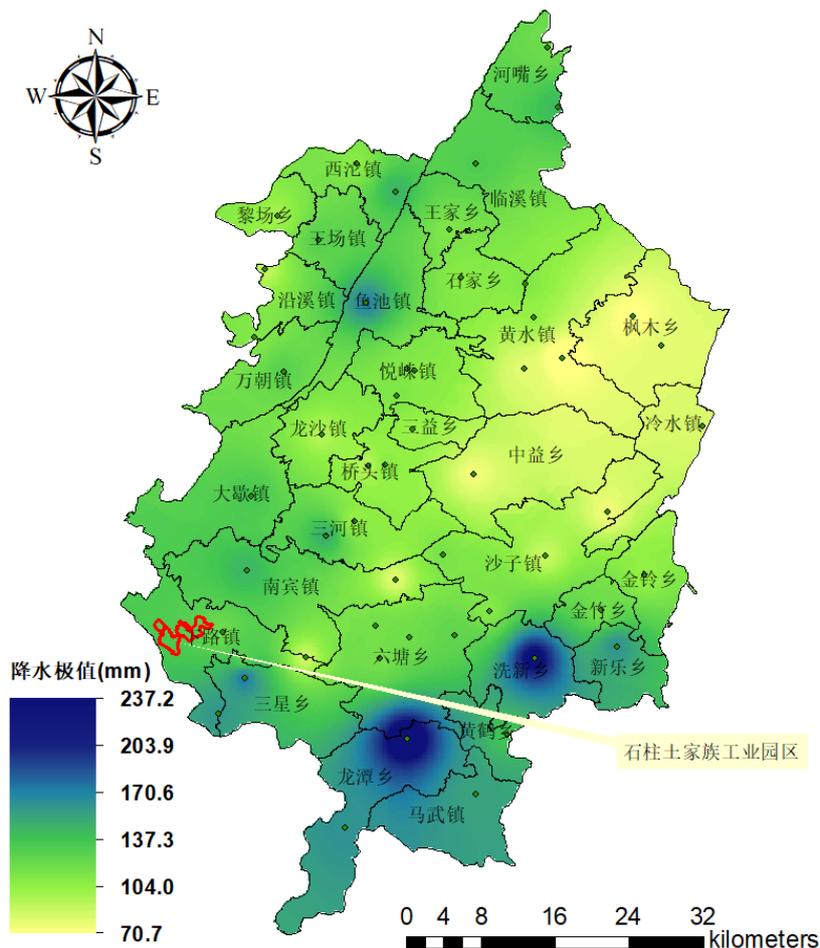


图 4.3-2 石柱日降水极值空间分布图(2013~2018 年)

#### 4.4 大风日数

石柱气象站的风速观测包括 1 日 4 次(北京时 02 时、08 时、14 时、20 时)定时 2min 平均风速,最大风速和极大风速。定时 2min 平均风速自建站以来均有记录,最大风速的观测时段为 1972~1976 年、1983~1987 年、2003 年至今,极大风速的连续观测时段为 2003 年 1 月至今。定义大风为瞬时风速 $\geq 17\text{m/s}$  的风速,或者最大风速 $\geq 10\text{m/s}$  的风速的当天为大风日。结合石柱气象站大风现象记录,将整合出的大风日数列出,得到大风日数年际变化。

石柱 1972~2018 年大风日数的年际变化总体呈上降趋势,上升速率为

0.232d/10a。大风日数共计 78 天，年数 47 年，平均每年出现 1.7 天大风。大风日数最多的年份为 2005 年和 2007 年，出现 6 天（图 4.4-1）。

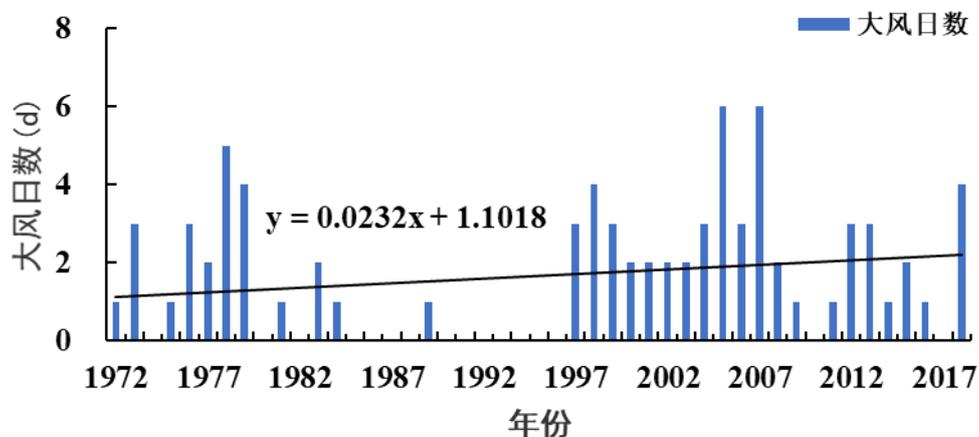


图 4.4-1 石柱站大风日数年际变化(1972~2018 年)

石柱 1972~2018 年大风日数的年变化表现为 4 月和 8 月最多，为 0.42 天，6 月次之，为 0.28 天，再次是 5 月为 0.26 天，7 月为 0.23 天，其余月份的累积大风日数低于 0.2 天，1 月、11 月和 12 月未发现大风（图 4.4-2）。

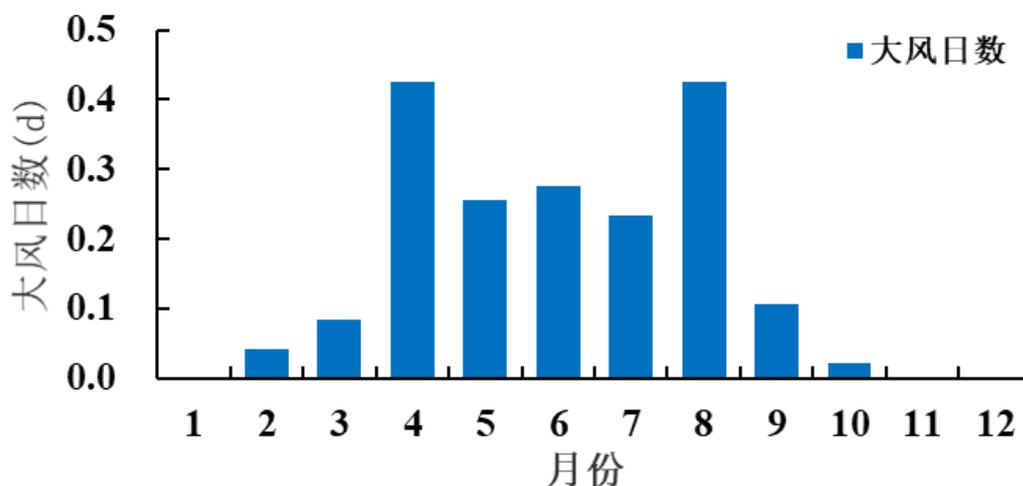


图 4.4-2 石柱站大风日数年变化(1972~2018 年)

## 4.5 积雪

石柱站对积雪现象的记录从 1973 年至今。1973~2018 年，石柱站累年平均积雪日数为 1.1 天，年积雪日数在 0 天~6 天之间变化，年积雪日数最多出现在 1983 年，年日数以 0.107d/10a 的速率减少（图 4.5-1）。积雪日数主要发生在 1 月，1973~2018 年累计出现 28 天，年均 0.61 天/年，占全年积雪发生日数的 57.1%（图 4.5-2）。

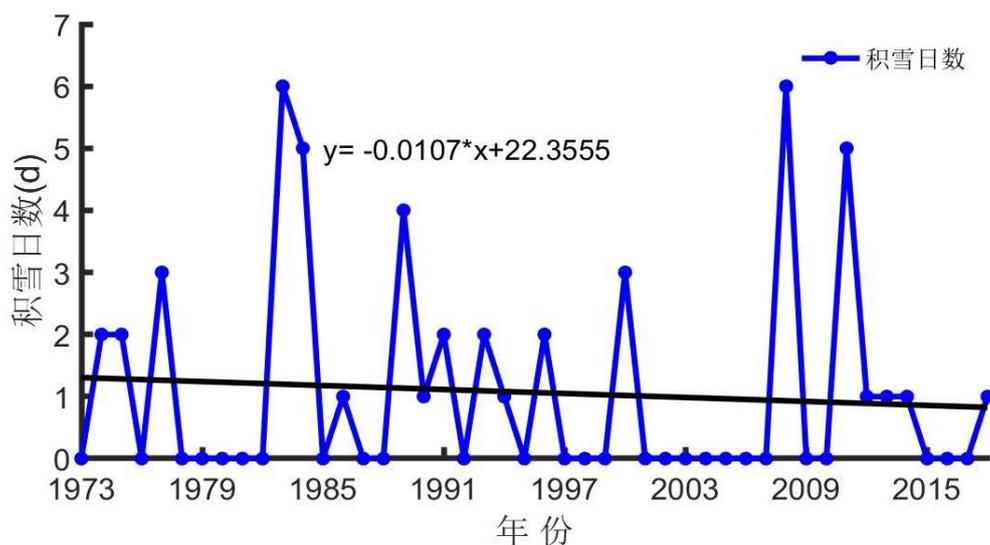


图 4.5-1 石柱站积雪日数年际变化(1973~2018年)

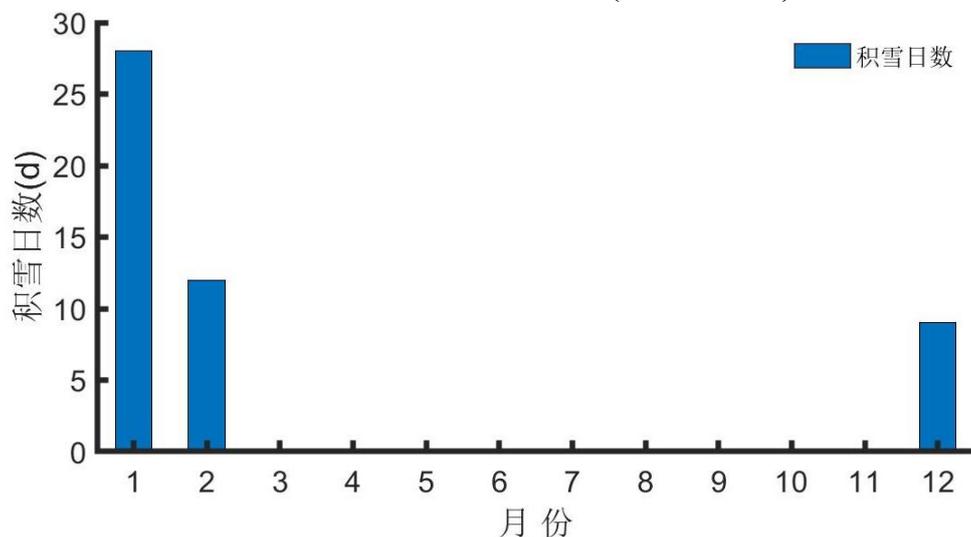


图 4.5-2 石柱站累年积雪日数年变化(1973~2018年)

#### 4.6 结冰日数

石柱站对结冰现象的记录从 1973 年至今。1973~2018 年，石柱站累年平均结冰日数为 9 天，年结冰日数在 0~31 天之间变化，年结冰日数最多出现在 1984 年，年日数以 0.016d/10a 的速率减少（图 4.6-1）。年变化在 0 天~4.8 天之间，主要发生在冬季，占全年结冰发生日数的 97.6%（图 4.6-2）。

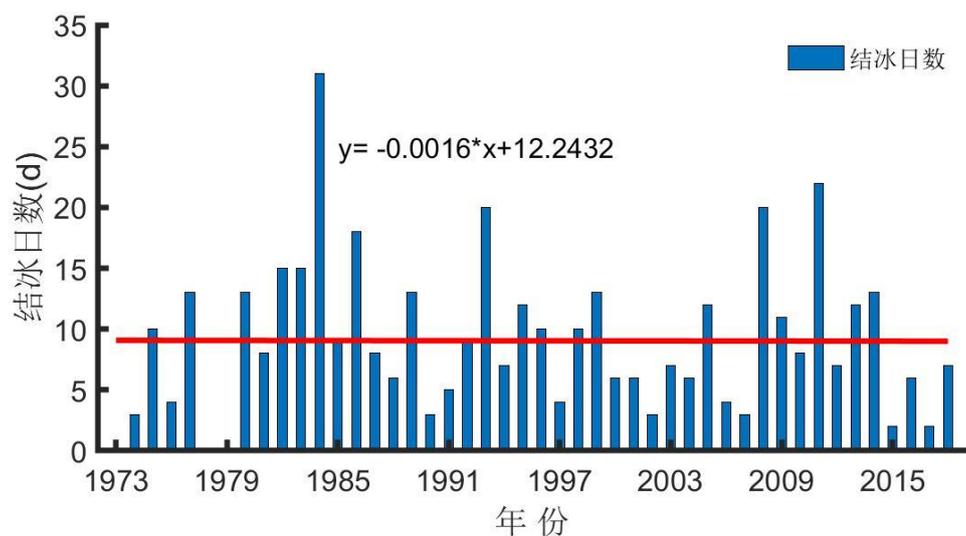


图 4.6-1 石柱结冰日数年际变化(1973~2018 年)

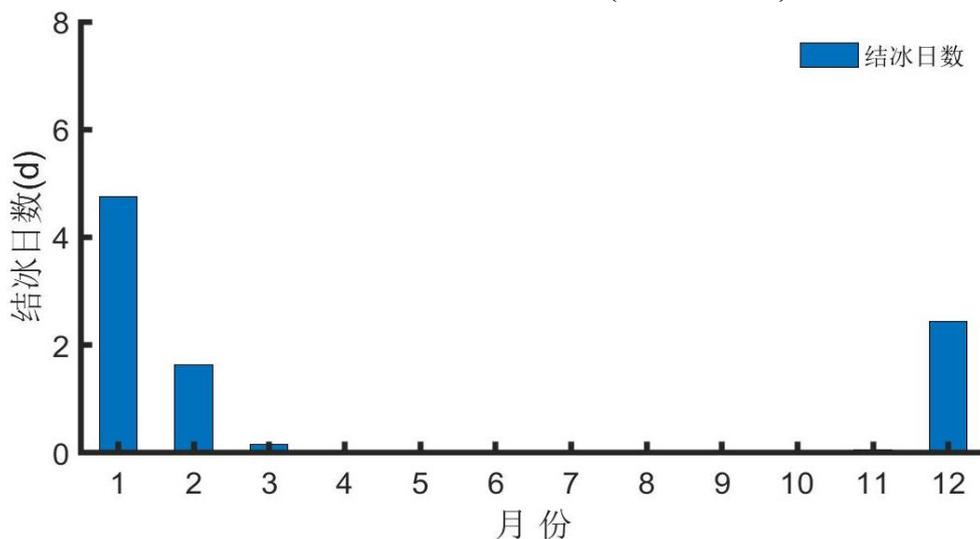


图 4.6-2 石柱结冰日数年变化(1973~2018 年)

## 4.7 冰雹

冰雹是指坚硬的球状、锥状或不规则的固体降水。降雹多在春夏两季，常伴随阵性大风、阵雨、雷电，降落时间短暂，来势凶猛，造成危害较大。1973~2018年，石柱站出现了11次冰雹，1982年出现2次（图4.7-1）。冰雹一般出现时间多在上半夜和午后，降雹时间少则1分钟，多则30分钟，一般持续10~20分钟。

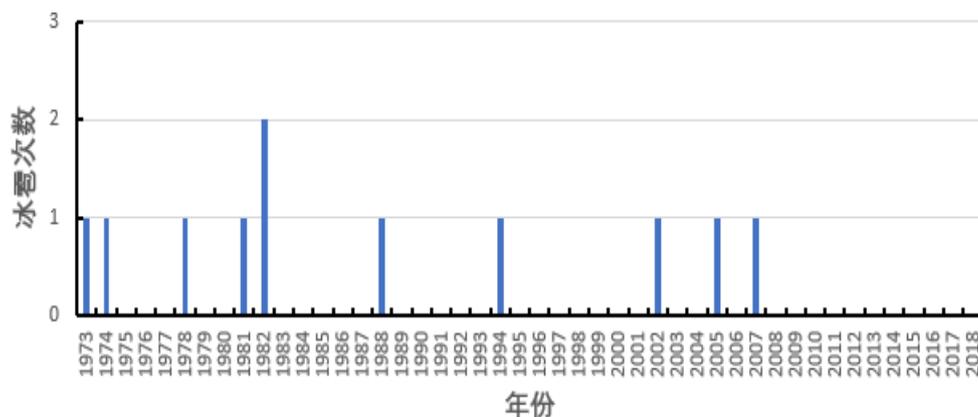


图 4.7-1 石柱站累年冰雹次数年际变化(1973~2018 年)

## 4.8 雾

石柱站对雾现象的记录从 1973~2013 年。气象学上把能见度在 1~10km 的雾称为轻雾，而雾指能见度小于 1km 的雾。

### (1) 轻雾

1973~2013 年，石柱站年平均轻雾日数为 182.2 天，年际变化在 52 天~279 天之间，年平均轻雾日数最少出现在 2013 年，最多出现在 1993 年，年轻雾日数呈减少趋势，速率为 8.54d/10a（图 4.8-1）。

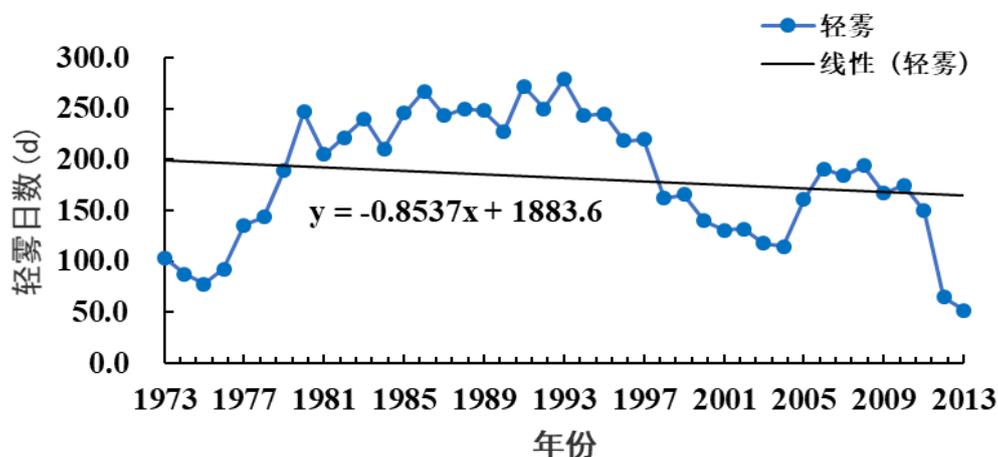


图 4.8-1 石柱站累年轻雾日数年际变化(1973~2013 年)

石柱站轻雾日数年变化在 10.6 天~19.9 天之间，最少出现在 7 月，最多出现在 1 月，夏季日数较少，秋、冬季日数较多。轻雾日数主要发生在冬季，占全年轻雾发生日数的 29.0%（图 4.8-2）。

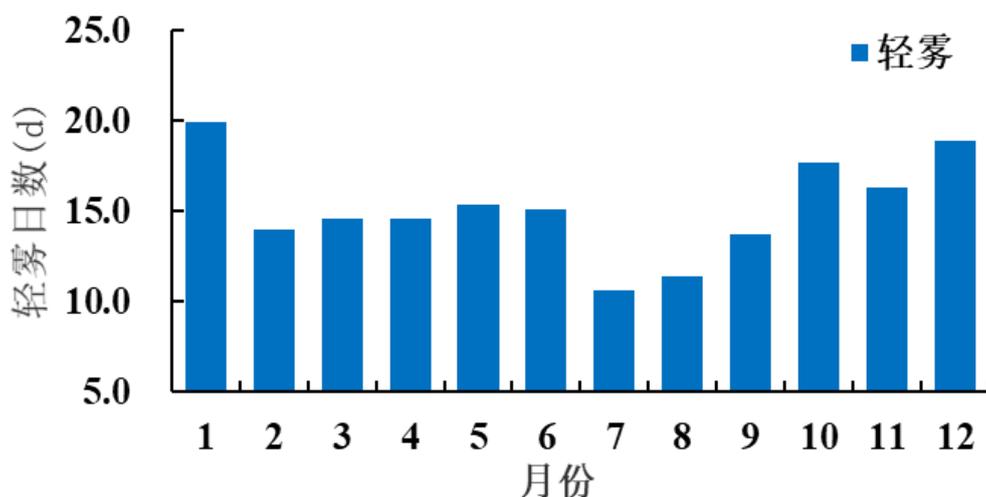


图 4.8-2 石柱站轻雾平均日数年变化(1973~2013 年)

## (2) 雾

1973~2013 年, 石柱站累年平均雾日数为 15.2 天, 年平均雾日数在 1 天~28 天之间变化, 年平均雾日数最少出现在 2012 年, 最多出现在 1982 年, 年平均雾日数呈减少趋势, 以 1.48d/10a 的速率减少 (图 4.8-3)。

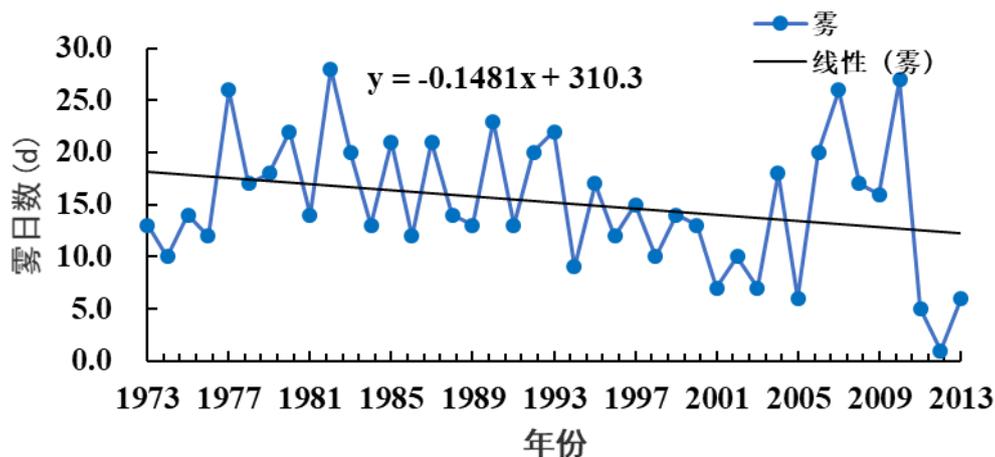


图 4.8-3 石柱站雾日数年际变化(1973~2013 年)

雾日数年变化在 0 天~3.4 天之间, 最少出现在 8 月, 最多出现在 12 月, 春、夏季日数较少, 秋、冬季日数较多。雾日数主要发生在冬季, 占全年雾发生日数的 58.9%, 其中 12 月和 1 月是高发时段, 占全年雾发生日数的 44.3% (图 4.8-4)。

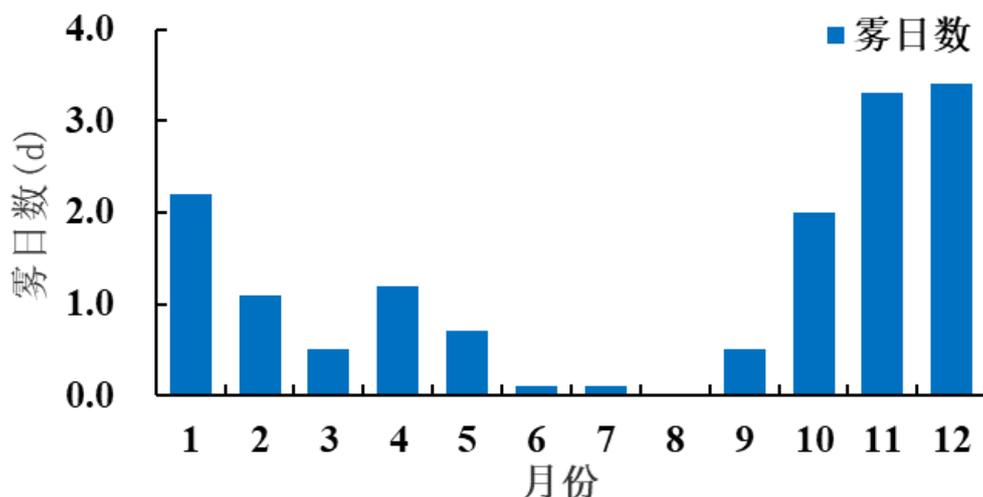


图 4.8-4 石柱站雾平均日数年变化(1973~2013 年)

#### 4.9 雷暴日数

统计石柱气象站 1973~2013 年的地面观测资料 (2013 年后没有观测记录), 多年年平均雷暴日数为 38.3 天, 年雷暴日数在 22 天~56 天之间变化, 最少出现在 2011 年, 最多出现在 1973 年, 年日数以 3.82d/10a 的速率减少 (图 4.9-1)。年变化在 0 天~9.3 天之间, 主要发生在 4~8 月, 占全年雷暴发生日数的 83.6%, 7 月和 8 月是高发时段, 占全年雷暴发生的 45.3% (图 4.9-2)。

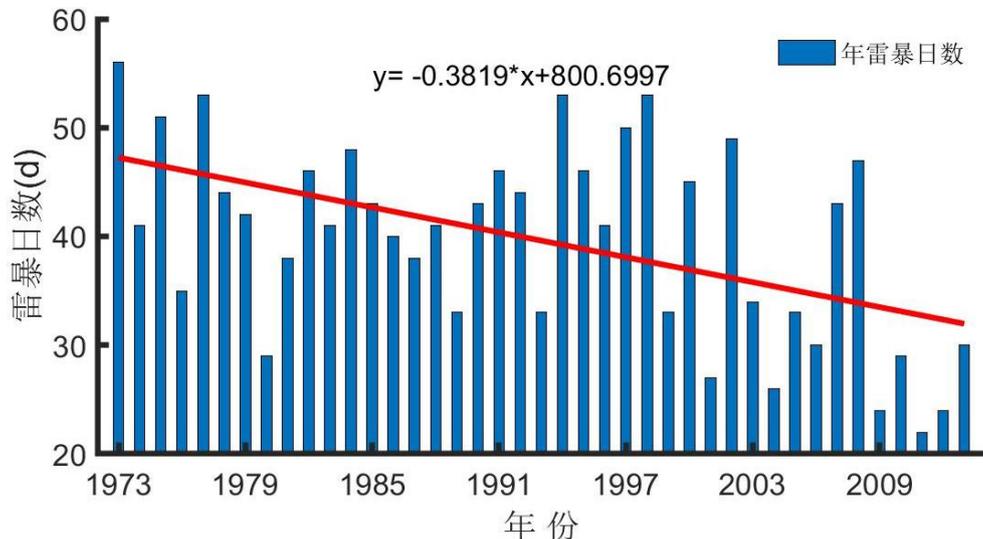


图 4.9-1 石柱站雷暴日数年际变化(1973~2013 年)

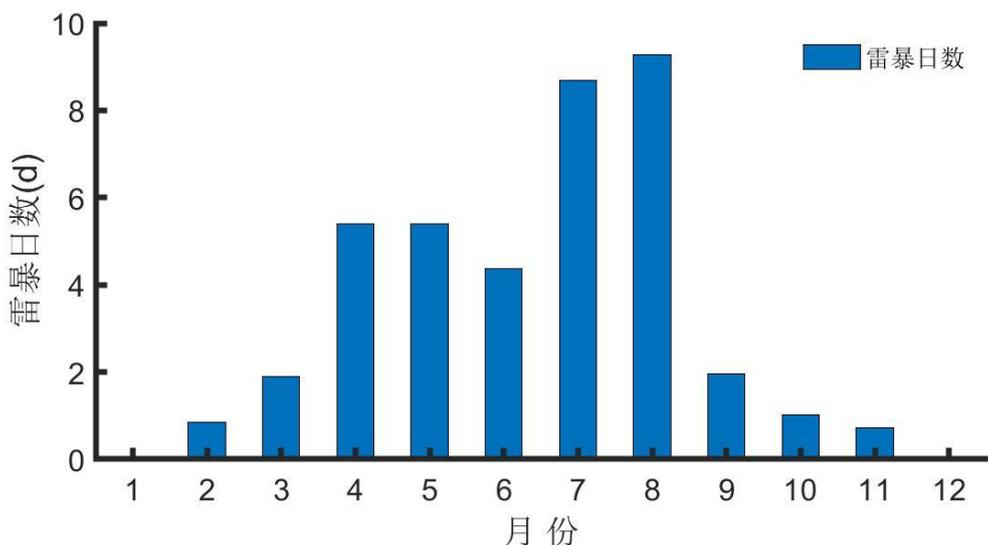


图 4.9-2 石柱站累年雷暴日数年变化(1973~2013 年)

重庆近 30 年年平均雷暴日数在 24.8（潼南）~47.4（酉阳）天之间，雷暴日数呈渝东北、渝西较低，渝东南较高分布特征，除渝东北和渝西地区外，其他地区年均雷暴日数均在 30 天以上。石柱位于重庆东部，处于重庆雷暴发生日数中高地区（图 4.9-3）。

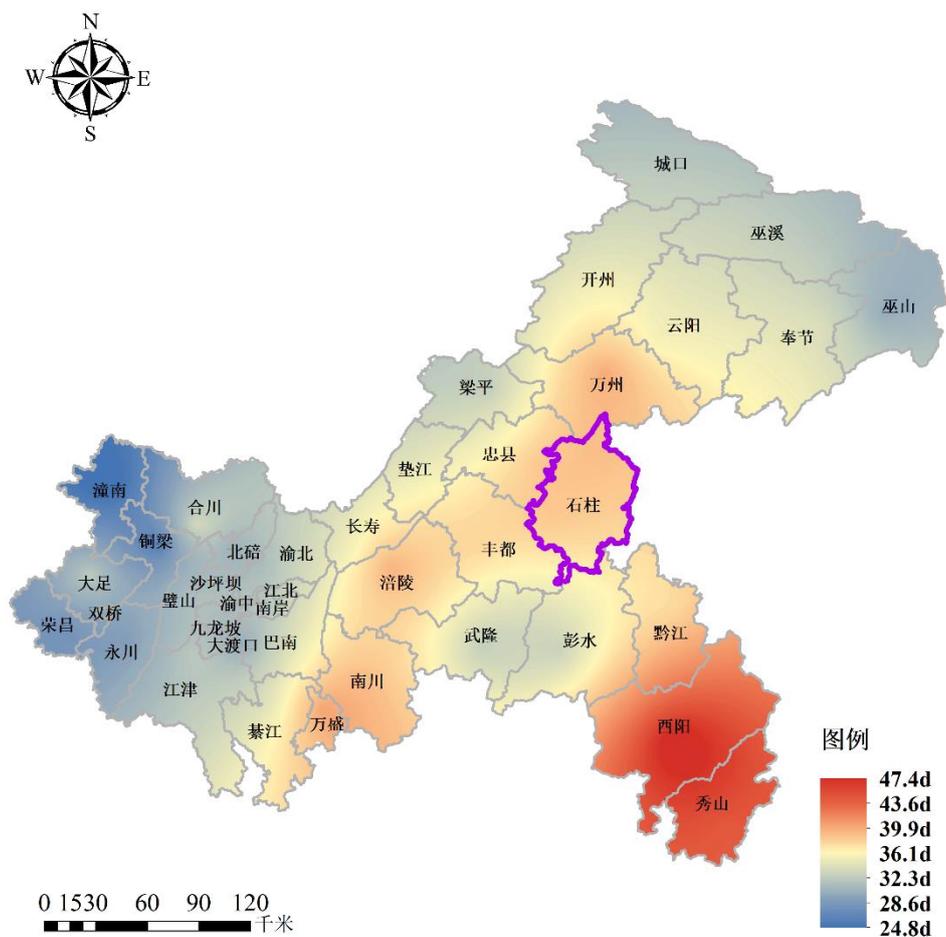


图 4.9-3 重庆多年平均雷暴日数分布(1984~2013 年)

## 5 关键气象参数分析及推算

### 5.1 设计风速

《电力工程气象勘测技术规程》中对基本风速的确定方法有明确的要求：“当气象站有连续 25 年以上的年最大风速资料时，可直接进行频率计算推求气象站设计风速。当气象站风速资料短缺时，可选择邻近地区地形、气候条件相似，有长期风速资料的气象站进行相关分析，展延资料序列后计算设计风速。气象站设计风速应采用 P-III 型分布或极值 I 型分布进行频率计算”，“气象站风速资料为定时观测 2min 平均最大值时，应进行观测次数和风速时矩的换算，统一订正为自记 10min 平均最大风速”。

#### 5.1.1 标准风速资料序列的建立

参证站设计风速计算需要对原始最大序列进行风仪高度和时矩订正。石柱站最大风速资料从最大风速的观测时段为 1972 年 8 月~1976 年 12 月、1983 年 1 月~1987 年 3 月，2003 年至今。最大风速的测风仪器在 1969~2001 年为 EL 型电接风向风速计，测风高度为 11.7m；2002 年至今采用新型的风向风速传感器（EZC-1）。1972 年之后发生一次迁站记录，台站海拔高度在 2007 年由 571.6m 变为 632.3m，观测环境由郊外变成山坡。

首先对缺测数据进行插补，重庆地区具有长年代最大风速观测的站点有 8 个，具体如下：沙坪坝（1956~）、长寿（1972~）、永川（1971~）、奉节（1972~）、梁平（1972~）、万州（1972~）、涪陵（1983~）、酉阳（1983~）。石柱站与奉节站地理环境相似，距离相对较近，相比其他具有长年代最大风速观测站点相关系数较高，两站最大风速的年最大值相关系数为 0.36，考虑选取相关系数最高的奉节站 10min 平均最大风速的年最大值作为自变量  $x$ ，石柱站最大风速的年最大值作为因变量  $y$ ，通过比值法对石柱缺测时段数据进行插补。设计风速计算要求风速离地 10m 高，因此，还需要对年最大风速进行高度订正。

假设风随高度呈现出幂指数变化，其计算公式如下：

$$v_2 = v_1 \left( \frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha$$

式中：

$v_2$ ——高度  $z_2$  处的风速，单位为米每秒（m/s）；

$v_1$ ——高度 $z_1$ 处的风速，单位为米每秒（m/s）；

$z_2$ ——第二层高度，单位为米（m）；

$z_1$ ——第一层高度，单位为米（m）；

$\alpha$ ——地面粗糙度指数。

当个实测风廓线缺乏时， $\alpha$ 可根据不同下垫面按表 5.1-1 取值。气象观测站一般处于开阔平坦地表，按 B 类地表取值。

表 5.1-1 不同下垫面粗糙度指数

地表类别	地表状况	粗糙度指数
A	海面、海岸、开阔水面、沙漠	0.12
B	田野、乡村、开阔平坦地及低层建筑物稀疏地区	0.16
C	树木及低层建筑物等密集地区、中高层建筑物稀疏地区、平缓的丘陵地	0.22
D	中高层建筑物密集地区、起伏较大的丘陵地	0.30

国家有关建筑规范中，基本风速的推算要使用电接风仪的日记“10min 平均”年最大风速资料，工程设计需要的这种“现场”多年风速资料，是通过确定工程现场与邻近气象站风速的相关关系后外推得到的。由于当前工程现场的短期风速观测一般都能记录逐日逐时 2min/10min 风速风向，而各地气象站风速资料由于观测标准和要求不同，却有瞬时、1min、2min、10min 等时距差别，因此工程气象评估中，对非标准时距的气象站风速需要进行转换为 10min 时距风速的订正计算。

时距不同的气象数据，所求的要素平均值也不相同。国内外的一些研究表明，时距越短，该时距内的平均风速就越大。由大量的实测资料，可以得到气象站不同时距平均风速与 10min 平均风速的比值。表 5.1-2 瞬时风速与 10min 平均风速的比值，在工程中称为“阵风系数”。对于气象站风速观测资料，非标准时距资料可按照表订正到标准时距。

表 5.1-2 不同时距的比值系数表

时距	1h	10min	5min	2min	瞬时
比值	0.94	1	1.07	1.16	1.5

石柱站年最大风速序列高度订正和时距订正后的结果如图 5.1-1 所示。

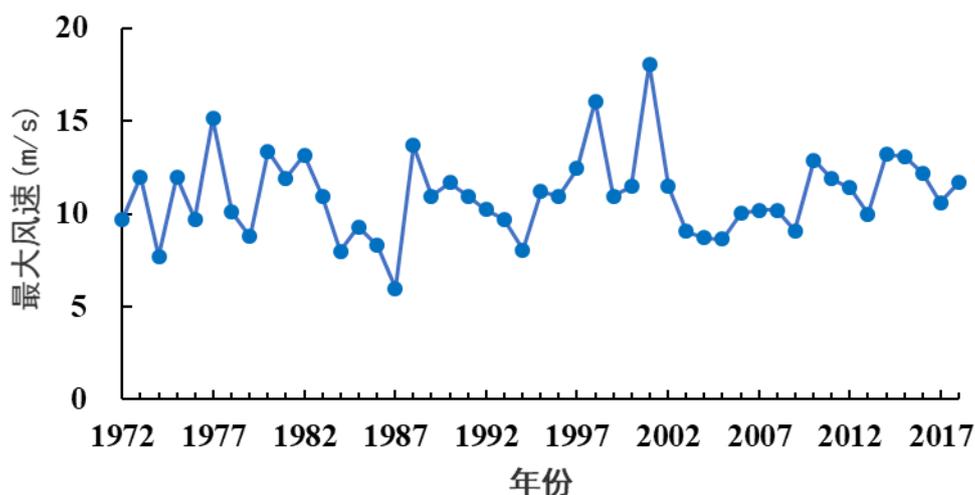


图 5.1-1 参证站订正后年最大风速

### 5.1.2 年最大风速的概率计算

#### (1) 皮尔逊-III 型分布

一八九五年英国生物学家皮尔逊根据许多经验资料的统计结果，建立了机率密度微分方程的经验式，解此方程得出一簇皮尔逊曲线，其中皮尔逊—III 分布曲线常用于气象水文统计之中，特别是水利建设之中。

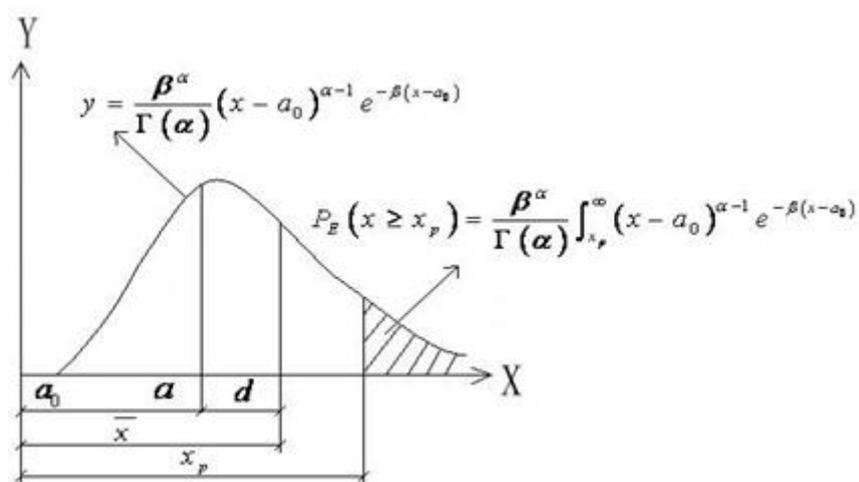
皮尔逊—III 型分布的机率密度函数为：

$$y = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)}$$

式中  $a_0$  一皮尔逊 III 型分布曲线方程中起点与系列零点的距离，见下图，

$\alpha$ ， $\beta$  为参数。

$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$  为  $\Gamma$  函数—伽码函数。



$$\beta = \frac{2}{x C_v C_s} \quad \alpha = \frac{4}{C_s^2} \quad a_0 = \bar{x} - (a + d) = \bar{x} \left( 1 - \frac{2C_v}{C_s} \right) \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(\bar{x})^2 (n-1)}}$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(\bar{x})^3 (n-3) C_v^3}$$

超过机率  $P_E$  的关系式:

$$P_E(x \geq x_p) = \int_{x_p}^{\infty} f(x) dx = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx$$

对上式进行积分变换, 使  $t = \beta(x - a_0)$  得:

$$P_E(x \geq x_p) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{t_p}^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

式中

$$t_p = \beta(x_p - a_0)$$

由上式可知当  $P_E$  一定时,  $t_p$  仅依赖于  $\alpha$  或  $C_s$ , 得:

$$x_p = \frac{t_p}{\beta} + a_0 = \frac{\bar{x} C_v C_s}{2} t_p + \bar{x} - \frac{2\bar{x} C_v}{C_s}$$

则

$$\frac{x_p - \bar{x}}{\bar{x} \cdot C_v} = \left( \frac{C_s}{2} t_p - \frac{2}{C_s} \right) = \phi$$

即  $\phi = \frac{C_s}{2} t_p - \frac{2}{C_s}$  定义为离均系数

故

$$x_p = (1 + \phi \cdot C_v) \cdot \bar{x}$$

由上式可知, 在已知  $\bar{x}$ ,  $C_v$ ,  $C_s$ ,  $P$  的情况下, 则可得出  $x_p$ 。皮尔逊-III型分布的  $x_p$  的精度在于如何正确求解 ( $P$ ,  $C_s$ ) —  $\phi$  值表, 而这一直处于研究之中。由于暴雨资料有限, 很难可靠地理论求出, 一般均由试算估计。

## (2) 极值 I 型分布—耿贝尔曲线

极值分布适用于每年选一个极大值的年最大值选样, 应用极值分布理论的

第一形式一耿贝尔分布于暴雨频率分布理论中，其频率分布形态为偏态，降雨强度与重现期在耿贝尔纸上呈一直线。

耿贝尔分布形式：

$$F(x) = p(X_{\max} < X) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

式中 $P(x)$ —耿贝尔分布的非超过机率， $x$ —强度 $i$ ， $a$ ， $c$ —统计参数。

$$p(x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

#### a、用耿贝尔法估计参数 $\alpha$ 和 $u$

令  $y = \alpha(x - u)$ ，求得  $y$  的保证率函数为：

$$p(y) = p(Y \geq y) = 1 - e^{-e^{-y}}$$

$$E(Y) = \alpha[E(X_M) - u]$$

$$D(Y) = \alpha^2 D(X_M)$$

由此得到：

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_{XM}}$$

$$u = E(X_M) - \frac{1}{\alpha} E(y) = E(X_M) - \frac{\sigma_{XM}}{\sigma_y} E(y)$$

以样本序列的均值及标准差作为  $E(X_M)$  及  $\sigma_{XM}$  的近似估计值。而  $E(y)$  和  $\sigma_y$  的近似估计值  $\bar{y}$  及  $S_y$  只与  $N$  有关，有表可查。将上述四个估计值代入上式求出  $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{u}$ ，进而可得：

$$X_p = \hat{u} - \frac{1}{\hat{\alpha}} \ln[-\ln(1-p)]$$

#### b、矩法参数估算法

中国气象科学研究院的专家，在 1999 年给出了矩法参数估算法，方法较新，用这个方法再进行一次计算，目的是用来检验以上的计算结果。

分布函数也可以写成：

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}$$

式中  $u$  是分布的位置参数，即其分布的众值：

$\alpha$  是分布的尺度参数，它们与矩的关系为：

一阶矩（均值）： $E(x) = \frac{a}{\alpha} + u$ ，式中  $a = 0.57722$

二阶矩（方差）： $\sigma^2 = \frac{C^2}{\alpha^2}$ ，式中  $C = \frac{\pi}{\sqrt{6}} = 1.28255$

因此得：

$$\alpha = \frac{1.28255}{\sigma}$$

$$u = E(x) - \frac{0.57722}{\alpha}$$

### (3) 指数分布

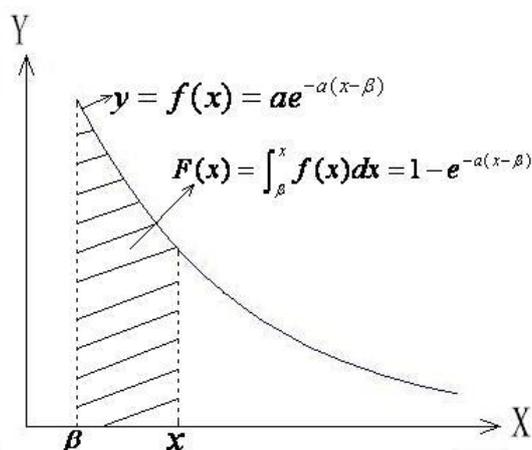
指数分布理论适用于年最大值法选样，可用指数分布曲线配合，降雨强度与重现期在半对数纸上呈直线。指数分布的密度函数公式：

$$y = f(x) = ae^{-a(x-\beta)}$$

式中： $x$ —暴雨强度 $i$ ；

$a$ —表示离散程度的参数；

$\beta$ —分布曲线的下限。



机率分布函数公式为

$$F(x) = \int_{\beta}^x f(x) dx = 1 - e^{-a(x-\beta)}$$

超过机率  $P_E$ ：

$$P_E(x \geq x_i) = 1 - F(x < x_i) = e^{-a(x-\beta)}$$

由  $T_E = \frac{1}{P_E}$  得：

$$T_E = e^{a(x-\beta)}$$

两边取对数经整理得：

$$x = \frac{1}{a} \ln T_E + \beta = \alpha \ln T_E + \beta$$

上式中  $T_E$ —非年最大值法选样重现期 ( $T_E = \frac{N+1}{m}$ , N—资料年限, m—非年最大值法选样的雨样从大到小排序的序号), 上式中参数  $\alpha$ ,  $\beta$  可用矩法或最小二乘法求得: 由矩法求得:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \sqrt{x^2 - (\bar{x})^2} \\ \beta &= \bar{x} - \sigma_x = \bar{x} - \sqrt{x^2 - (\bar{x})^2} \end{aligned} \right\}$$

由最小二乘法原理得:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{\bar{x} \cdot \overline{\ln T_E} - \bar{x} \cdot \ln T_E}{(\overline{\ln T_E})^2 - (\ln T_E)^2} \\ \beta &= \bar{x} - \alpha \cdot \overline{\ln T_E} \end{aligned} \right\}$$

#### (4) 三参数的韦布尔分布

三参数韦布尔分布函数为

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-c}{\alpha}\right)^k}$$

式中  $\alpha$ 、 $k$ 、 $c$  分别称为尺度参数、形状参数和位置参数, 且  $k > 0$ ,  $\alpha > 0$ ,  $c > 0$ 。

对上式进行两次对数变换得:

$$\ln \left( \ln \frac{1}{1-F(x)} \right) = k \ln(x-c) - k \ln(a)$$

$$\text{令} \begin{cases} Y = \ln \left( \ln \left( \frac{1}{1-F(x)} \right) \right) \\ X = \ln(x-c) \\ b = -k \ln(a) \end{cases}$$

则公式变为  $Y = kX + b$ ,  $X$  与  $Y$  之间是直线关系。在  $c$  估计正确时,  $X$  与  $Y$  成线性关系, 即  $X$  与  $Y$  之间有最大的相关系数;  $c$  的估计值与相关系数  $R$  之间的关系: 随

着估计值的增加， $R$ 逐渐增加，当估计值达到理论值时， $R$ 也达到最大值；当估计值进一步增大时， $R$ 又逐渐减小。由此可见，相关系数 $R$ 最大时估计值，就是位置参数的最佳估计值。求得位置参数估计值后，利用极大似然估计或最小二乘法即可求得 $k$ 和 $a$ 的估计值。

### (5) 三参数的对数正态分布

三参数对数正态分布函数为

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x - x_0) - u}{\sigma}\right), \quad (x \geq x_0)$$

式中 $x_0$ 、 $u$ 、 $\sigma$ 分别称为初始位置、均值和标准差， $\Phi$ 为标准正态分布。

令

$$U = \frac{\ln(x - x_0) - u}{\sigma}$$

这里 $U$ 为标准正态偏量，于是

$$\ln(x - x_0) = u + \sigma U$$

令 $Y = a + bX$

其中

$$\begin{cases} Y = \ln(x - c), X = U \\ a = u, b = \sigma \end{cases}$$

则 $X$ 与 $Y$ 之间是直线关系。可以根据一直样本计算累计频率，再根据累计频率折算出对应的标准正态偏离量 $x_p$ ，通过上式 $X$ 与 $Y$ 的线性关系，可求得 $X$ 与 $Y$ 之间的相关系数 $R$ ；当相关系数 $R$ 最大时的 $x_p$ ，就是位置参数的最佳估计值。求得位置参数估计值后，利用极大似然估计或最小二乘法即可求得 $u$ 和 $\sigma$ 的估计值。

### (6) 重现期计算

按标准的规定，用皮尔逊 III、耿贝尔分布、指数分布、三参数对数正态分布、三参数韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出石柱站不同重现期的最大风速。由表 5.1-3 计算结果可知皮尔逊 III 最小二乘法拟合效果最优，推荐使用皮尔逊 III 最小二乘法计算不同重现期的最大风速。由表 5.1-4 可以看出石柱站 10a、50a、100a 一遇设计风速分别为 14.2m/s、17.6m/s、19.1m/s。

表 5.1-3 石柱站五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	4.0%	0.40	0.985
	最小二乘法	3.3%	0.43	0.985
耿贝尔分布	矩法	4.9%	0.41	0.986
	耿贝尔法	4.3%	0.38	0.986
指数分布	矩法	8.8%	0.67	0.958
	最小二乘法	8.4%	0.64	0.958
韦布尔分布	相关系数法	3.8%	0.51	0.973
对数正态分布	相关系数法	3.6%	0.38	0.986

表 5.1-4 石柱站皮尔逊 III 最小二乘法拟合不同重现期日最大风速

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
最大风速(m/s)	10.7	11.7	13.1	14.2	15.7	15.7	17.6	19.1

皮尔逊 III 型频率曲线

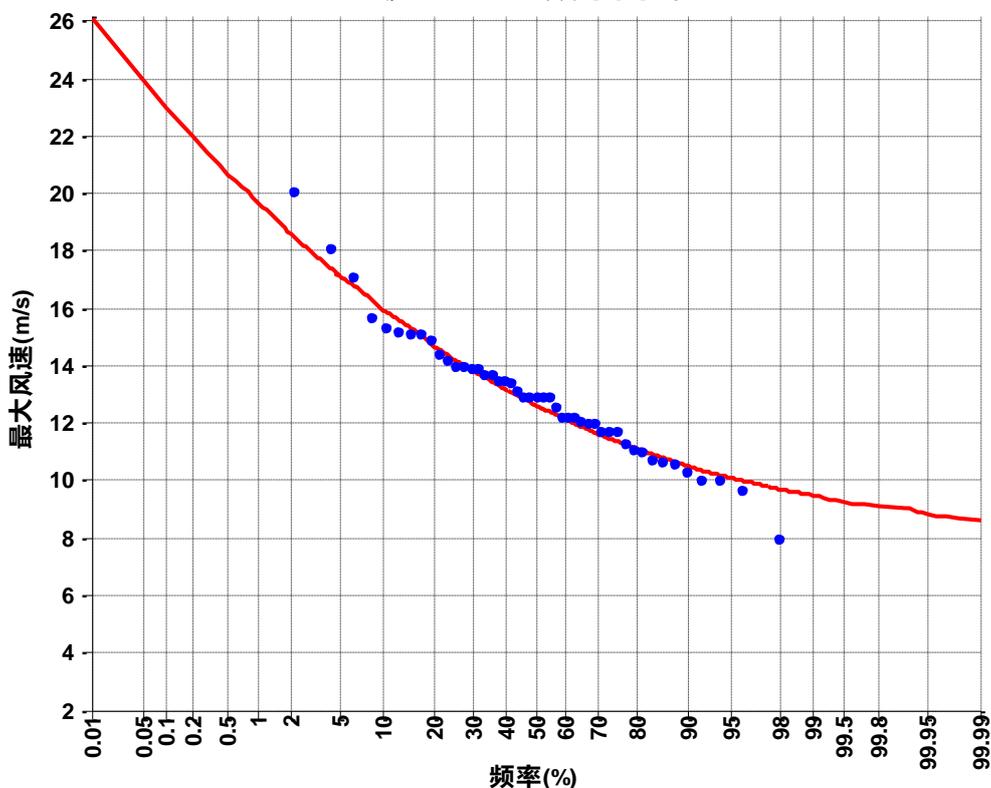


图 5.1-2 石柱站皮尔逊 III 频率拟合曲线

### (7) 拟合适度检验

采用参数检验法（柯尔莫戈洛夫拟合适度检验）来校核上述概率分布模型的合理性。

柯尔莫戈洛夫拟合适度检验：

假设在总体中， $x$  的理论分布函数是  $F(x)$ 。

现有有一个容量为  $n$  的样本的经验分布函数是：

$$F^*(x_m) = \frac{m}{n+1}, (m=1, 2, \dots, n)$$

经验分布和理论分布最大的离差出现在  $x = x_k$  处，令离差按柯尔莫哥洛夫定理： $\lim_{n \rightarrow \infty} P(D_n \geq D_\alpha) = 1 - Q(\lambda) = \alpha$

式中  $D_\alpha = \frac{\lambda}{\sqrt{n}}$ ， $\lambda$  是正数。 $Q(\lambda) = \sum (-1)^l e^{-2l^2 \lambda^2}$  是  $\lambda$  的函数。

柯尔莫哥洛夫检验的意义是：如果总体中  $x$  服从  $F(x)$  分布，从总体中抽出容量为  $n$  的样本的经验分布为  $F^*(x)$ ，与  $F(x)$  的最大离差  $D_n$  一般不大， $D_n \geq D_\alpha$  的概率  $\alpha$  很小，给定一个小概率  $\alpha$ ，利用前述公式可算出一个  $D_\alpha$ 。今有  $x$  的一个样本，经验分布为  $F^*(x)$ ，不知它是否属于分布为  $F(x)$  的总体，若由样本算出的  $D_n$  达到或超过  $D_\alpha$ ，说明  $F^*(x)$  与  $F(x)$  差异过大，则  $x$  不服从  $F(x)$  分布；反之，如果  $D_n < D_\alpha$ ，则推断  $x$  服从  $F(x)$  分布。可见， $\alpha$  是原假设“ $x$  服从  $F(x)$  分布”为真而舍弃原假设的概率，是第一类错误的概率，称为信度或显著性水平。

$\alpha$  是可以由人们控制的，一般给定一个小概率，例如  $\alpha = 0.05$ ，则  $Q(\lambda) = 1 - \alpha = 0.95$ ，可以算出  $\lambda = 1.36$ ，于是  $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}$ 。视样本容量  $n$  而最后算出  $D_\alpha$ 。

可以给定不同的  $\alpha$ ，其对应的  $\lambda$  值如表 5.1-5。

表 5.1-5  $\alpha$  对应的  $\lambda$  值

$\alpha$	0.01	0.05	0.10	0.20
$\lambda$	1.63	1.36	1.22	1.07

人们虽然可以指定较小的  $\alpha$ ，是第一类错误的概率较小，但不能指定过小的  $\alpha$ 。若  $\alpha$  过小，第二类错误（原假设不真而接受原假设）的概率便会较大。

表 5.1-6 皮尔逊 III 型概率分布下风速的绝对偏差

年	年最大风速(m/s)	拟合最大风速(m/s)	F(x <sub>i</sub> )	F*(x <sub>i</sub> )	F*(x <sub>i</sub> )- F(x <sub>i</sub> )
2001	18.1	17.4	0.979	0.985	0.006
1998	16.1	16.0	0.957	0.959	0.002
1977	15.1	15.2	0.936	0.934	0.002
1988	13.7	14.6	0.915	0.864	0.051
1980	13.4	14.2	0.894	0.843	0.051
2014	13.2	13.8	0.872	0.829	0.043
1982	13.2	13.5	0.851	0.826	0.025
2015	13.1	13.2	0.830	0.821	0.009
2010	12.9	13.0	0.809	0.804	0.005
1997	12.4	12.7	0.787	0.756	0.031
2016	12.2	12.5	0.766	0.730	0.036
1973	12.0	12.3	0.745	0.705	0.039
1975	12.0	12.2	0.723	0.705	0.018
1981	11.9	12.0	0.702	0.694	0.008
2011	11.9	11.8	0.681	0.692	0.011
1990	11.7	11.5	0.638	0.664	0.026
2018	11.7	11.7	0.660	0.665	0.005
2000	11.5	11.4	0.617	0.632	0.015
2002	11.5	11.2	0.596	0.632	0.037
2012	11.4	11.1	0.574	0.621	0.046
1995	11.2	11.0	0.553	0.587	0.033
1983	11.0	10.9	0.532	0.550	0.018
1989	11.0	10.7	0.511	0.550	0.039
1991	11.0	10.6	0.489	0.550	0.061
1996	11.0	10.5	0.468	0.550	0.082
1999	11.0	10.4	0.447	0.550	0.103
2017	10.6	10.3	0.426	0.486	0.060
1992	10.2	10.2	0.404	0.417	0.013
2007	10.2	10.1	0.383	0.411	0.028
2008	10.2	9.9	0.362	0.411	0.049
1978	10.1	9.8	0.340	0.390	0.049
2006	10.0	9.7	0.319	0.376	0.056
2013	10.0	9.6	0.298	0.373	0.075
1993	9.7	9.5	0.277	0.320	0.043
1976	9.7	9.4	0.255	0.316	0.060
1985	9.3	9.3	0.234	0.242	0.008
2009	9.1	9.1	0.213	0.207	0.006
2003	9.1	9.0	0.191	0.201	0.010

年	年最大风速(m/s)	拟合最大风速(m/s)	F(x <sub>i</sub> )	F*(x <sub>i</sub> )	F*(x <sub>i</sub> )- F(x <sub>i</sub> )
1979	8.8	8.9	0.170	0.154	0.016
2004	8.7	8.7	0.149	0.144	0.005
2005	8.6	8.6	0.128	0.133	0.006
1986	8.3	8.4	0.106	0.092	0.014
1994	8.0	8.2	0.085	0.065	0.020
1984	8.0	8.0	0.064	0.062	0.002
1974	7.7	7.8	0.043	0.038	0.004
1987	6.0	7.4	0.021	0.010	0.011

设 $F(x_i)$ 为概率分布函数的理论值， $F^*(x_i)$ 为概率分布函数经验值，令理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n$ 。表5.1-6为各点的理论分布与经验分布的偏差，从中可得到皮尔逊III型概率分布下 $D_n = 0.103$ ，而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = 0.198$ ，则 $D_n = 0.103 < 0.198$ ，因此样本序列服从该型概率分布。

### 5.1.3 基本风压计算

基本风压采用50年一遇最大风速进行计算。风压计算公式

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2$$

式中： $\omega_0$ 为风压(kn/m<sup>2</sup>)

$\rho$ 为空气密度(t/m<sup>3</sup>)

$v_0$ 为重现期10分钟平均最大风速(m/s)

根据GB50009-2001的推荐， $\rho$ 的值根据所在地的气温、气压、水气压按以下公式确定空气密度：

$$\rho = \frac{0.001276(p - 0.378e)}{(1 + 0.00366t) * 100000}$$

式中： $p$ 为气压(pa)

$t$ 为气温(°C)

$e$ 为水气压(Pa)

石柱站近30年平均气温为 $t=16.5^\circ\text{C}$ ，年平均气压为950.2hPa，年平均水气压为15.8hPa，由此得到石柱站区域空气密度为0.001173(t/m<sup>3</sup>)。30年一遇、50年一遇和百年一遇的基本风压分别为0.14361kN/m<sup>3</sup>、0.180472kN/m<sup>3</sup>、0.212546kN/m<sup>3</sup>。

## 5.2 重现期极值

### 5.2.1 重现期最大日降水量

本报告使用的资料是石柱气象站 1957~2018 年年最大日降水量序列，有 62 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的最大日降水量，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合参数估计法计算出的结果。

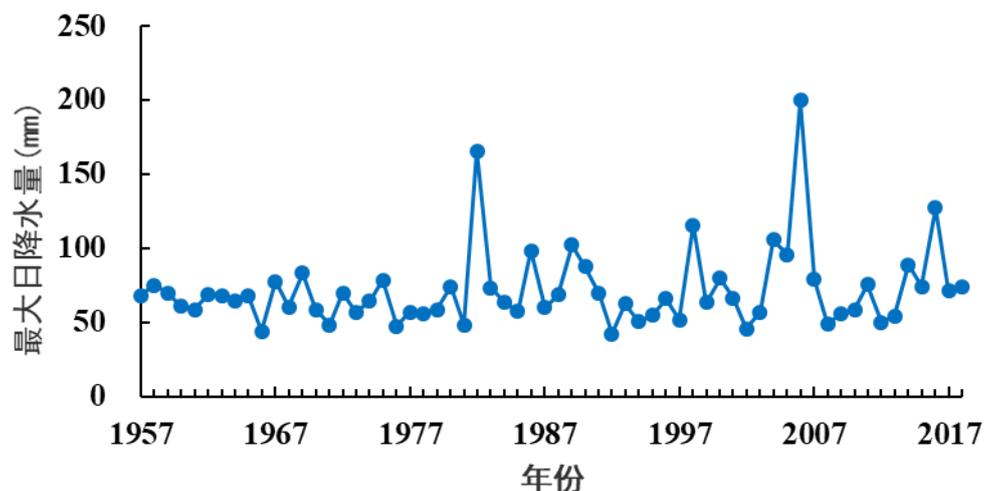


图 5.2-1 石柱气象站最大日降水量年际变化(1957~2018 年)

从图 5.2-1 石柱站历年最大日降水量可知，1992 年最大日降水量最小为 42.0mm，2006 年最大日降水量最大为 199.7mm。分别采用五种概率拟合方法的参数估算法进行计算，由表 5.2-1 计算结果可知皮尔逊 III 分布最小二乘法拟合效果最优，推荐使用皮尔逊 III 分布最小二乘法计算不同重现期的最大日降水量(表 5.2-2)。

皮尔逊III分布最小二乘法计算理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n=0.12$ ，而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}=0.17$ ，则 $D_n=0.12<0.17$ ，通过柯尔莫哥洛夫95%的显著性检验。

表 5.2-1 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	7.1%	6.81	0.973

	最小二乘法	6.4%	6.72	0.973
耿贝尔分布	矩法	10.7%	10.07	0.926
	耿贝尔法	12.7%	10.28	0.926
指数分布	矩法	7.2%	7.73	0.960
	最小二乘法	6.9%	7.49	0.960
韦布尔分布	相关系数法	7.4%	11.26	0.923
对数正态分布	相关系数法	9.0%	7.66	0.923

表 5.2-2 皮尔逊 III 分布最小二乘法拟合不同重现期日最大降水量

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
最大日降水量(mm)	63.9	73.8	90.9	110.8	131.6	144.5	160.9	183.3

### 5.2.2 重现期极端高温

本报告使用的资料是石柱气象站 1957~2018 年年极端最高气温序列，有 62 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的极端最高气温，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合参数估计法计算出的结果。

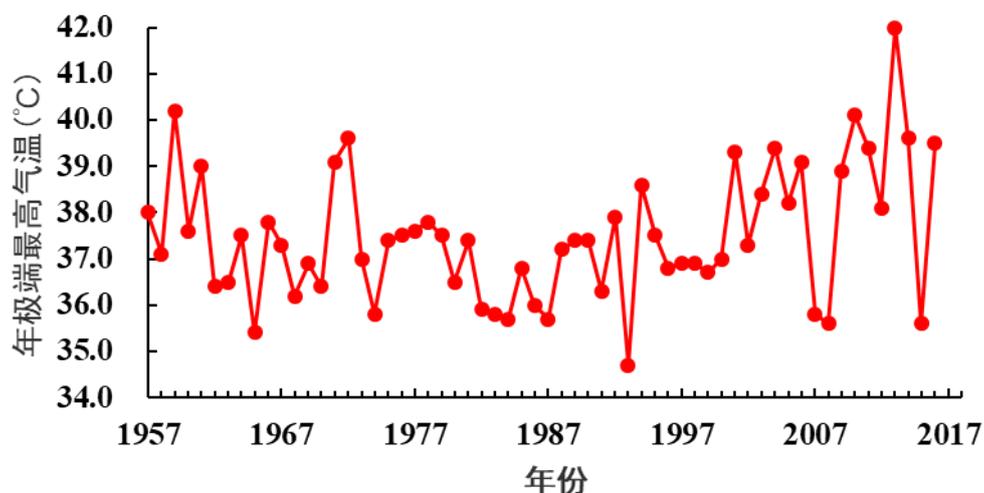


图 5.2-2 石柱气象站年极端最高气温年际变化(1957~2018 年)

从图 5.2-2 石柱站历年极端最高气温可知，1993 年极端最高气温最低为 34.7°C，2013 年极端最高气温最高为 42.0°C。分别采用五种概率拟合方法的参数

估算法进行计算，由表 5.2-3 计算结果可知皮尔逊 III 分布最小二乘法拟合效果最优，推荐使用皮尔逊 III 分布最小二乘法拟合计算不同重现期的极端最高气温。

皮尔逊III分布最小二乘法计算理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n=0.06$ ，而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}=0.17$ ，则 $D_n=0.06<0.17$ ，通过柯尔莫哥洛夫95%的显著性检验。

表 5.2-3 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	0.5%	0.19	0.993
	最小二乘法	0.4%	0.16	0.993
耿贝尔分布	矩法	0.6%	0.21	0.992
	耿贝尔法	0.5%	0.18	0.992
指数分布分布	矩法	1.1%	0.40	0.966
	最小二乘法	1.0%	0.38	0.966
韦布尔分布	相关系数法	0.6%	0.22	0.989
对数正态分布	相关系数法	2.6%	0.16	0.994

表 5.2-4 皮尔逊 III 分布最小二乘法拟合不同重现期极端最高气温

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极端最高气温(℃)	37.4	38.0	38.8	39.7	40.6	40.9	41.9	42.8

### 5.2.3 重现期极端低温

本报告使用的资料是石柱气象站 1957~2018 年年极端最低气温序列，有 62 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的极端最低气温，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合分布参数估计法计算出的结果。

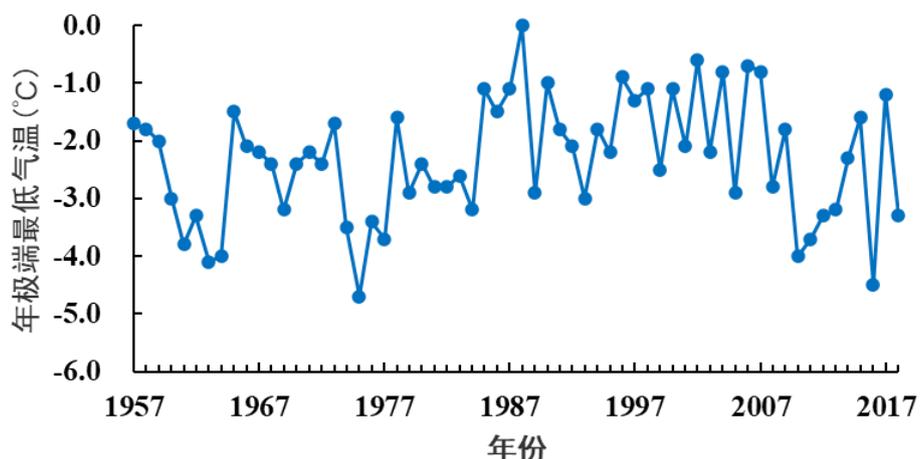


图 5.2-3 石柱气象站年极端最低气温变化图(1957~2018 年)

从图 5.2-3 石柱站历年极端最低气温可知,1975 年极端最低气温最低为 $-4.7^{\circ}\text{C}$ ,1988 年极端最低气温最高为 $0.0^{\circ}\text{C}$ 。分别采用五种概率拟合方法的参数估算法进行计算,由表 5.2-5 计算结果可知三参数的对数正态分布拟合效果最优,推荐使用三参数的对数正态分布计算不同重现期的极端最低气温。

三参数的对数正态分布计算理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n=0.05$ ,而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}=0.17$ ,则 $D_n=0.05<0.17$ ,通过柯尔莫哥洛夫95%的显著性检验。

表5.2-5 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	0.8%	0.18	0.993
	最小二乘法	0.4%	0.08	0.993
耿贝尔分布	矩法	1.0%	0.21	0.981
	耿贝尔法	0.9%	0.20	0.981
指数分布	矩法	1.7%	0.38	0.933
	最小二乘法	1.6%	0.38	0.933
韦布尔分布	相关系数法	0.4%	0.08	0.996
对数正态分布	相关系数法	0.4%	0.08	0.997

表 5.2-6 三参数对数正态分布拟合不同重现期极端最低气温

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极端最低气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	-2.3	-2.8	-3.3	-3.8	-4.4	-4.5	-5.2	-5.7

### 5.2.4 重现期高温日数

本报告使用的资料是石柱气象站 1957~2018 年年高温日数序列，有 62 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的高温日数，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III、耿贝尔、指数、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合参数估计法计算出的结果。

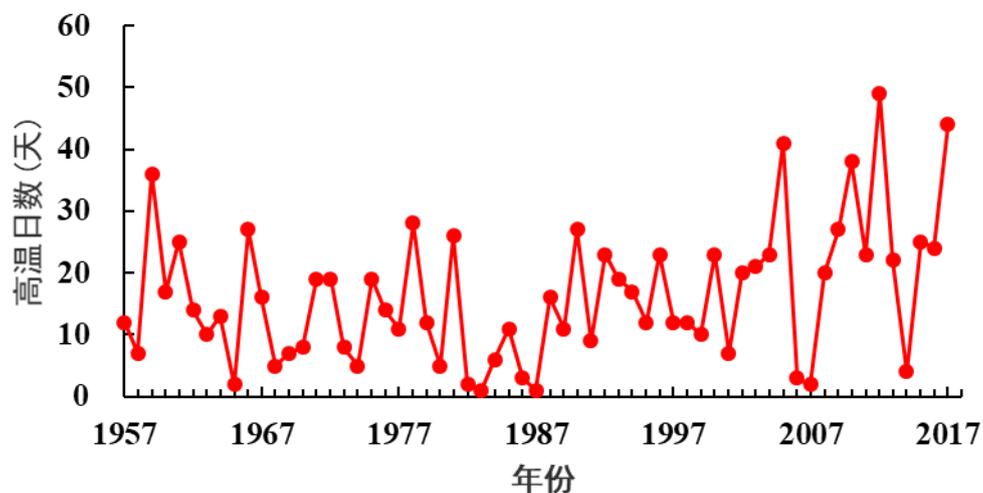


图 5.2-4 石柱气象站高温日数年际变化图(1957~2018 年)

从图 5.2-4 石柱站历年高温日数可知，1983 年和 1987 年高温日数最少为 1 天，2012 年高温日数最多为 49 天。分别采用五种概率拟合方法的参数估算法进行计算，由表 5.2-7 计算结果可知三参数韦布尔分布拟合效果最优，推荐使用三参数韦布尔分布计算不同重现期的高温日数。

三参数韦布尔分布计算理论值与经验值的最大绝对偏差为  $D_n = 0.09$ ，而  $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = 0.17$ ，则  $D_n = 0.09 < 0.17$ ，通过柯尔莫哥洛夫 95% 的显著性检验。

表 5.2-7 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	3.6%	1.53	0.991
	最小二乘法	1.8%	1.39	0.991
耿贝尔分布	矩法	2.7%	1.55	0.992

	耿贝尔法	3.9%	1.36	0.992
指数分布	矩法	10.4%	2.58	0.975
	最小二乘法	9.2%	2.41	0.975
韦布尔分布	相关系数法	1.2%	1.19	0.994
对数正态分布	相关系数法	3.1%	1.60	0.951

表 5.2-8 三参数韦布尔分布拟合不同重现期高温日数

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
高温日数(天)	14.1	20.0	26.8	35.1	42.9	47.3	52.6	59.5

### 5.3 逆温分析

在对流层大气中，平均情况下气温随高度的升高而降低，每上升 100m 气温下降 0.6℃。但也会在某一高度范围内出现气温随高度升高而增加的现象，即逆温，气温随高度升高而增加的大气层称为逆温层。逆温层会抵制下层大气垂直对流运动的发生发展，阻碍大气中热量和水汽自下而上的垂直交换。

温度层结状况对大气中热量扩散稀释有直接影响，逆温对天气和大气污染的扩散都有相当大的影响，会对空气质量产生很大影响。逆温会阻碍空气的垂直对流运动，大气处于稳定状态，妨碍烟尘、污染物、水汽凝结物的扩散，有利于雾的形成并使能见度变差，使大气污染更为严重，危害人体健康。因此报告采用中尺度大气数值模式 WRF 模拟了石柱 3km×3km 格点上的气温，提取了园区所在区域 2018 年各高度气温，分析其逆温特征。

根据逆温层的位置，可以分为接地逆温和低空逆温。接地逆温是从地面开始的逆温（图 5.3-1）。低空逆温是指从离开地面一定高度开始的逆温，可以有一层或多层（图 5.3-2）。

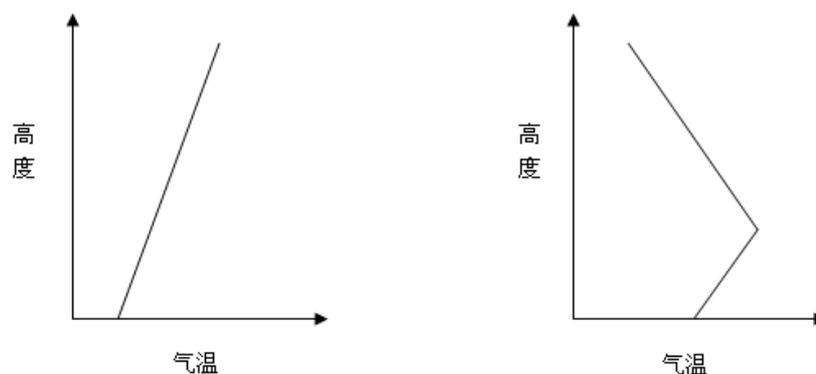


图 5.3-1 接地逆温示意图

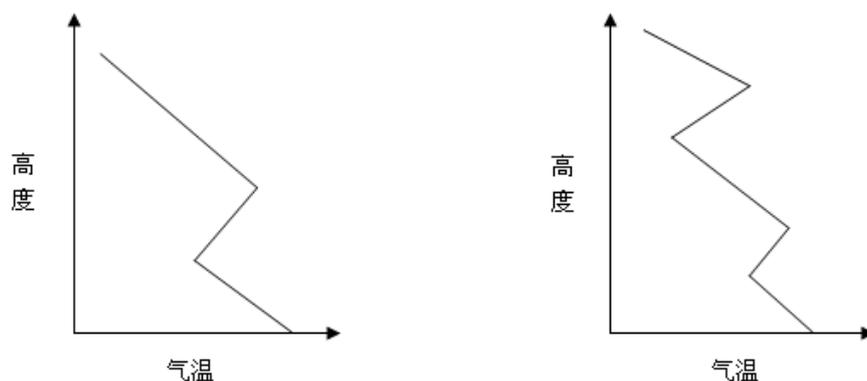


图 5.3-2 低空逆温示意图

表征逆温特征的要素有逆温层底高、顶高、厚度和逆温强度。逆温层厚度是指逆温层的底部到顶部之间的距离，接地逆温的厚度是地面到顶部的距离。逆温强度是逆温层内气温垂直递增率。计算方法如下：

逆温层厚度： $\Delta H = H_2 - H_1$ ，其中 $H_1$ 为逆温层的底高， $H_2$ 为逆温层的顶高，单位为 m。

逆温强度：逆温层内每升高 100m 气温的增加值，用 I 表示， $I = \frac{\Delta T}{\Delta H} \times 100 = \frac{T_2 - T_1}{H_2 - H_1} \times 100$ ，其中 $T_1$ 为逆温层底部气温， $T_2$ 为逆温层顶部气温，单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

### 5.3.1 局地气候数值模拟

#### 5.3.1.1 模式设置

模式使用 NCEP、CFSR 作为初始和侧边界条件，采用了 3 层嵌套，兰伯特投影，由外至内，各层网格分辨率分别为：27km、9km、3km。模式的相关物理参数化方案选项见表 5.3-1。模式垂直方向设为 49 层，顶层气压 50hPa。垂直分层特别对近地层进行了加密，以适应近地层温度场和风场精细描述。离地 150m 以内每 20m 一层。对 2018 年 1 月、4 月、7 月、10 月四个典型月展开连续模拟，采用 120s 积分步长，最终得到逐小时的三维大气场模拟结果。

表 5.3-1 模式物理参数化设置

物理参数化方案	参数设置
积云对流参数化方案	Kain-Fritsch scheme
短波辐射方案	Goddard scheme
长波辐射方案	RRTM scheme
近地层方案	Monin-Obukhov (Janjic Eta) scheme

云微物理参数化方案	WSM6 scheme
陆面过程参数化方案	Noah scheme
边界层参数化方案	MYJ scheme

### 5.3.1.2 模拟结果与观测对比

图 5.3-3 所示分别为将在 1 月、4 月、7 月和 10 月的模拟结果插值到石柱国家气象站后计算的气温与石柱国家站观测气温对比。从图中可见，WRF 模拟的气温与实际观测值在数值上都较为接近，变化趋势基本一致，仅有个别极端天气事件如极端降温、升温过程等出现较明显误差，但整体而言都在可接受范围内。因此可使用该模拟结果用于项目建设地的逆温分析。

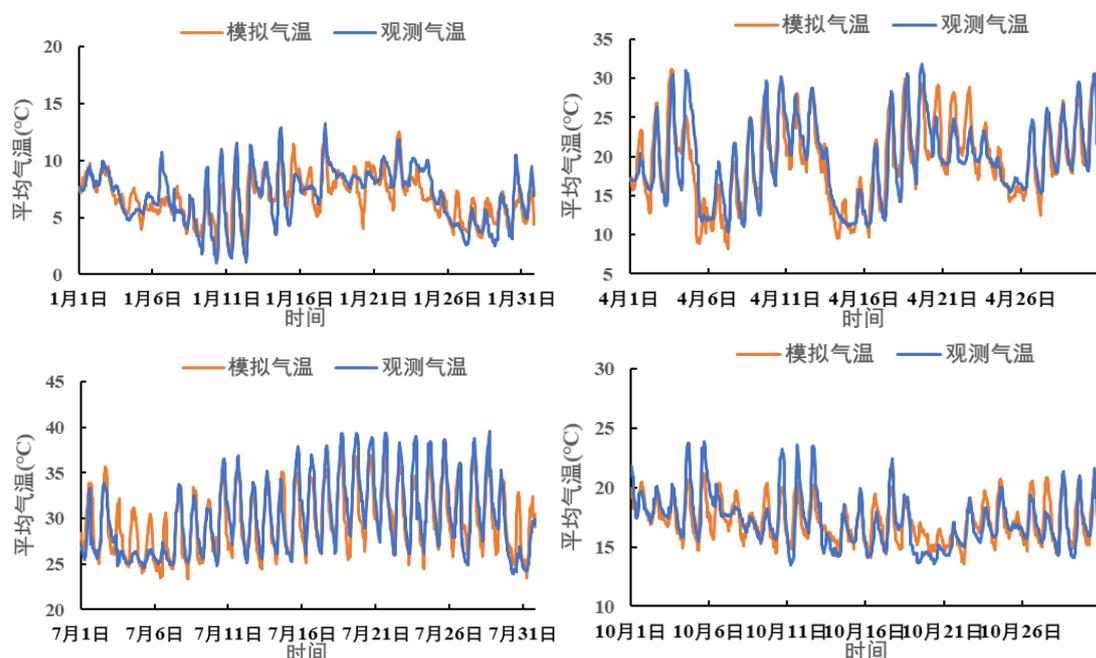


图 5.3-3 月模拟气温与观测气温对比

### 5.3.2 四季平均气温随高度变化曲线

2018 年从地面至 300m 高空，园区平均气温随高度变化曲线见图 5.3-4。春季平均气温变化范围为 15.7°C~16.9°C，最高气温出现在离地面 10m~30m 左右；夏季平均气温变化范围 24.4°C~25.9°C，最高气温出现在地面；秋季平均气温变化范围为 12.8°C~14.2°C，最高气温出现在离地面 30m~70m 左右；冬季平均气温变化范围为 1.1°C~2.6°C，最高气温出现在地面。秋季有明显的接地逆温出现，逆温主要出现在离地 100m 以下，而其他三季不明显或未出现逆温。

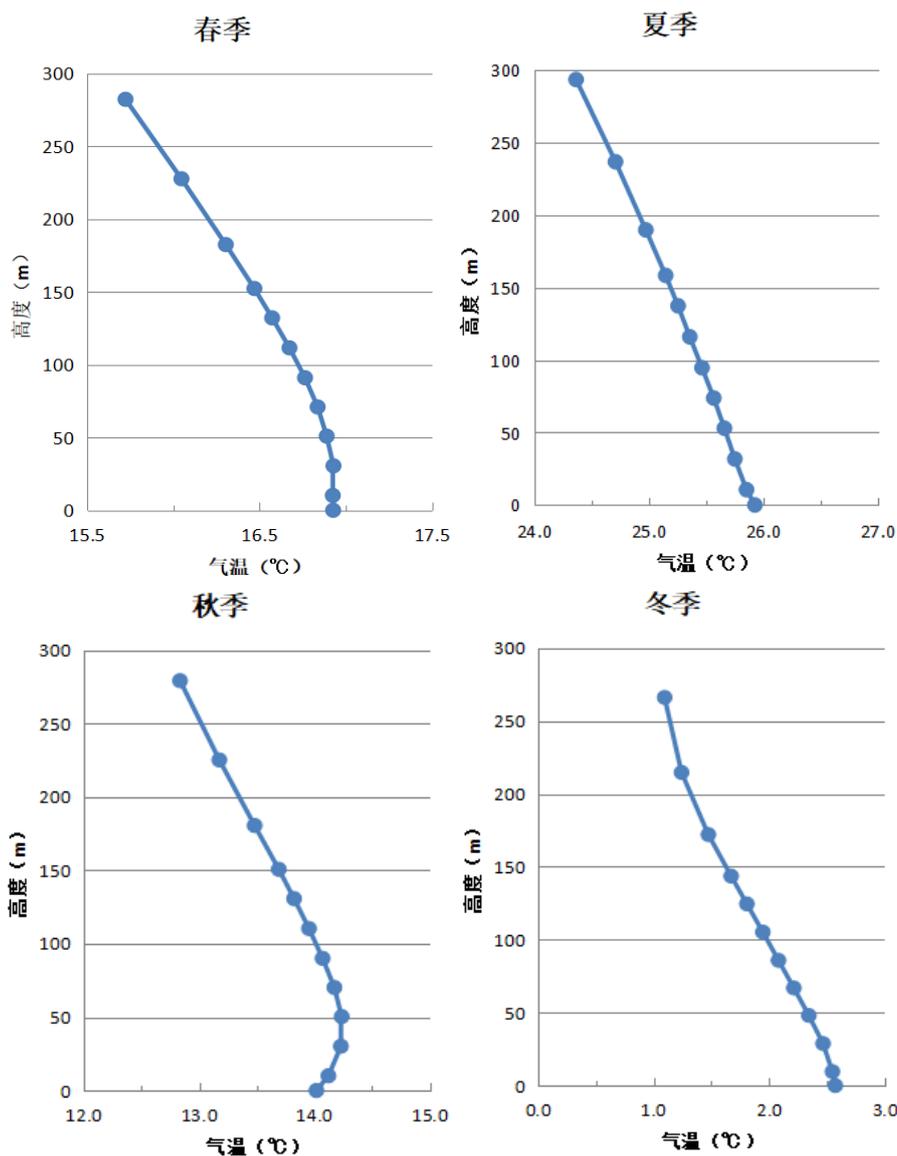


图 5.3-4 石柱土家族自治县工业园区春、夏、秋、冬平均气温随高度变化曲线

### 5.3.3 逆温的日变化特征

园区各时刻平均气温随高度变化的廓线如图 5.3-5 所示。接地逆温在 20 时前后开始形成,至次日 8 时前后结束,随着太阳辐射增强,近地面气温开始升高,空气垂直运动突破逆温层,上下层空气发生热量交换,接地逆温逐渐消失,10 时至 16 时无逆温出现。

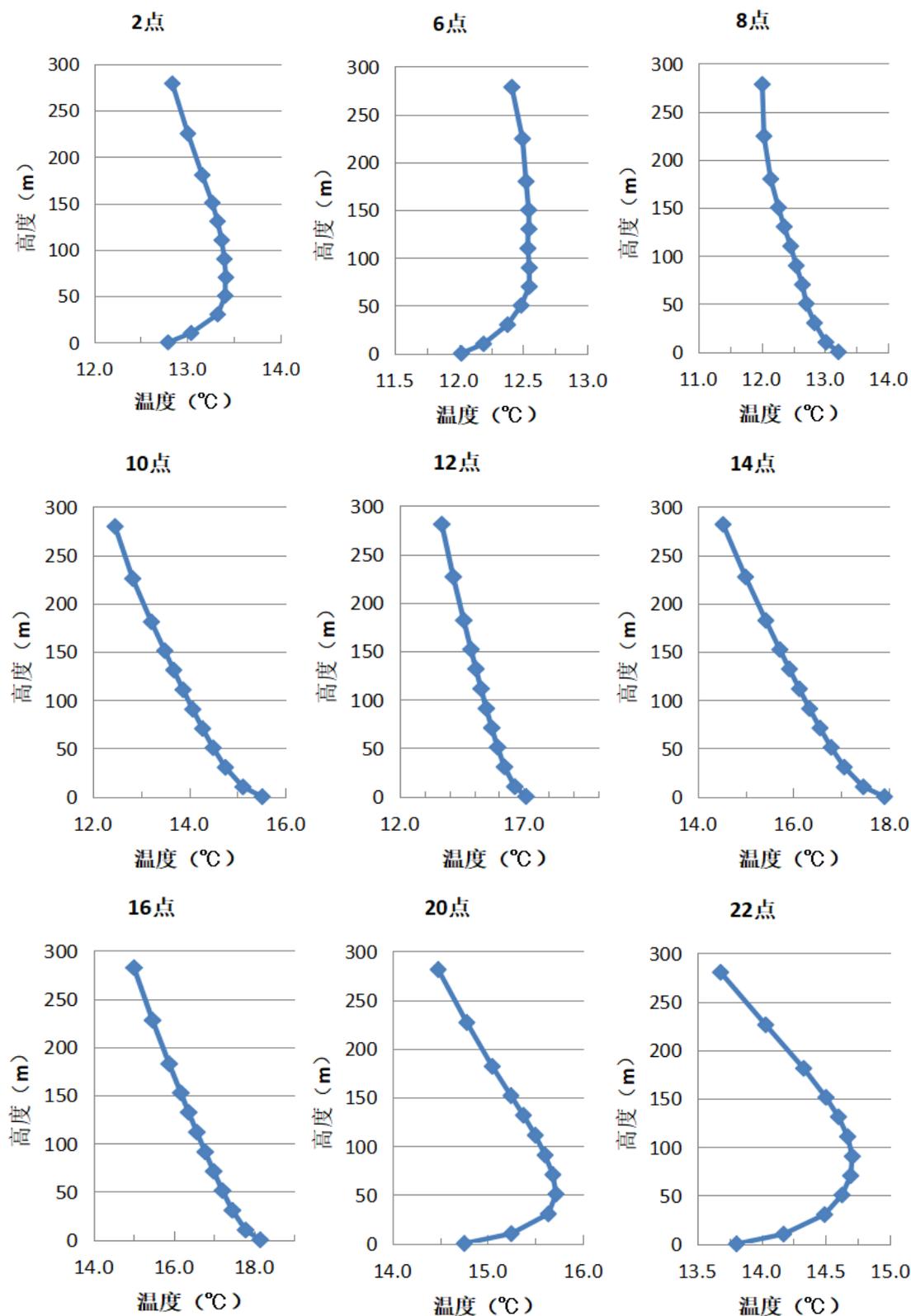


图 5.3-5 石柱土家族自治县工业园区各时刻平均气温随高度变化曲线

石柱土家族自治县工业园区上空气温变化特征如图 5.3-6 所示。园区日平均气温变化范围为 13.5~14.8°C，气温随高度先增大后减小，最高出现在离地面 10~30m 左右；白天平均气温变化范围为 13.9~16.6°C，气温随高度减小，未出现

逆温情况；夜间平均气温变化范围为 13.1~13.7℃，气温随高度先增大后减小出现接地逆温，最高出现在 50~110m 左右。

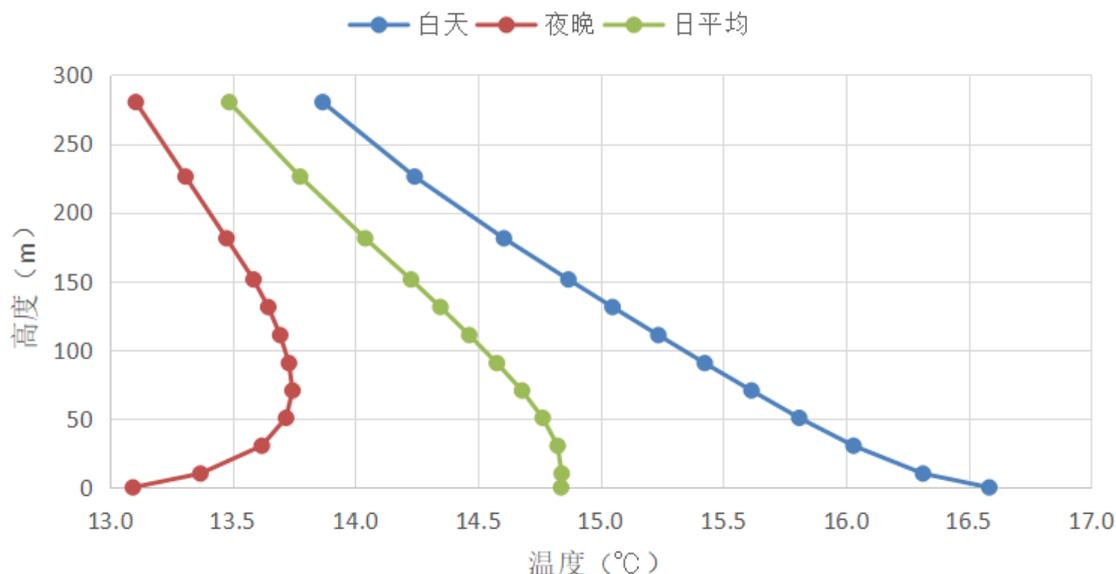


图 5.3-6 石柱土家族自治县工业园区低空白天、夜间和日平均气温随高度变化曲线

### 5.3.4 逆温的空间变化特征

全年和各季的逆温频率、强度，结果统计见表 5.3-1~5.3-5。

从表 5.3-1 全年的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率相对于低空逆温出现的频率更小，强度更强。平均频率为 10.5%，厚度在 0~50m 之间出现最多，达到 18.6%。接地逆温的平均厚度为 82.3m，各高度的平均厚度在 20.0~215.5m 之间，平均强度为 2.0℃/hm，最大强度为 10.7℃/hm 出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看，频率相比接地逆温大，逆温出现的频率为 63.1%，逆温平均底高 486.0m，平均顶高 730.3m，平均厚度 244.3m，平均强度 0.6℃/hm，最大厚度为 989.2m，最大强度 10.9℃/hm。

表 5.3-1 石柱土家族自治县工业园区逆温厚度、强度及频率统计结果(全年)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	20.0	2.0	49.9	10.7	18.6
	50<H≤100	70.6	3.4	95.8	9.1	10.7
	100<H≤150	122.8	2.3	149.7	5.1	4.3
	H>150	215.5	1.3	534.8	4.6	8.3
	平均/最大	82.3	2.0	534.8	10.7	10.5
低空逆温		244.3	0.6	989.2	10.9	63.1

从表 5.3-2 春季的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率相对于低空逆温出现的频率更小，强度更强。平均频率为 12.4%，厚度在 0~50m 之间出现最多，达到 18.1%。接地逆温的平均厚度为 99.1m，各高度的平均厚度在 17.2~208.9m 之间，平均强度为 2.1℃/hm，最大强度为 9.1℃/hm，出现在 50~100m 厚度之间。

从低空逆温来看，频率相比接地逆温大，逆温出现的频率为 50.4%，逆温平均底高 437.3m，平均顶高 678.0m，平均厚度 240.7m，平均强度 0.6℃/hm，最大厚度为 910.0m，最大强度 7.4℃/hm。

表 5.3-2 石柱土家族自治县工业园区逆温厚度、强度及频率统计结果(春季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(℃/hm)	最大厚度(m)	最大强度(℃/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	17.2	2.1	49.7	8.3	18.1
	50<H≤100	70.7	3.6	92.4	9.1	10.5
	100<H≤150	120.3	2.8	134.7	5.1	5.9
	H>150	208.9	1.6	426.0	4.6	15.1
	平均/最大	99.1	2.1	426.0	9.1	12.4
低空逆温		240.7	0.6	910.0	7.4	50.4

从表 5.3-3 夏季的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率相对于低空逆温出现的频率更大，强度更强。平均频率为 12.9%，厚度在 50~100m 之间出现最多，达到 27.4%。接地逆温的平均厚度为 81.3m，各高度的平均厚度在 18.9~212.5m 之间，平均强度为 1.2℃/hm，最大强度为 6.4℃/hm，出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看，频率相比接地逆温小，逆温出现的频率为 48.3%，逆温平均底高 472.9m，平均顶高 671.4m，平均厚度 198.5m，平均强度 0.3℃/hm，最大厚度为 518.2m，最大强度 4.3℃/hm。

表 5.3-3 石柱土家族自治县工业园区逆温厚度、强度及频率统计结果(夏季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(℃/hm)	最大厚度(m)	最大强度(℃/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	18.9	1.2	32.2	6.4	27.4
	50<H≤100	69.9	2.1	95.8	5.8	8.0
	100<H≤150	127.3	1.9	138.2	4.5	3.8

	H>150	212.5	1.0	534.8	2.4	12.4
	平均/最大	81.3	1.2	534.8	6.4	12.9
低空逆温		198.5	0.3	518.2	4.3	48.3

从表 5.3-4 秋季的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率相对于低空逆温出现的频率更小，强度更强。平均频率为 11.4%，厚度在 50~100m 之间出现最多，达到 19.7%。接地逆温的平均厚度为 66.6m，各高度的平均厚度在 19.2~189.7m 之间，平均强度为 2.7°C/hm，最大强度为 8.5°C/hm，出现在 50~100m 厚度之间。

从低空逆温来看，频率相比接地逆温大概，逆温出现的频率为 54.5%，逆温平均底高 409.4m，平均顶高 616.1m，平均厚度 206.7m，平均强度 0.7°C/hm，最大厚度为 695.4m，最大强度 10.9°C/hm。

表 5.3-4 石柱土家族自治县工业园区逆温厚度、强度及频率统计结果(秋季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	19.2	2.7	49.9	8.2	17.2
	50<H≤100	69.3	4.0	91.3	8.5	19.7
	100<H≤150	122.5	2.6	149.7	5.1	4.4
	H>150	189.7	1.2	224.1	3.0	4.2
	平均/最大	66.6	2.7	224.1	8.5	11.4
低空逆温		206.7	0.7	695.4	10.9	54.5

从表 5.3-5 冬季的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率相对于低空逆温出现的频率较小，强度较强。平均频率为 5.3%，厚度在 0~50m 之间出现最多，达到 10.6%。接地逆温的平均厚度为 81.5m，各高度的平均厚度在 26.0~281.2m 之间，平均强度为 2.4°C/hm，最大强度为 10.7°C/hm，出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看，频率相比接地逆温大，逆温出现的频率为 78.7%，逆温平均底高 547.6m，平均顶高 832.1m，平均厚度 284.5m，平均强度 0.7°C/hm，最大厚度为 989.2m，最大强度 6.3°C/hm。

表 5.3-5 石柱土家族自治县工业园区逆温厚度、强度及频率统计结果(冬季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	26.0	2.4	49.0	10.7	10.6
	50<H≤100	74.5	3.2	87.3	6.5	5.2
	100<H≤150	122.0	1.5	147.0	4.1	3.1
	H>150	281.2	1.1	499.3	2.0	2.5
	平均/最大	81.5	2.4	499.3	10.7	5.3
低空逆温		284.5	0.7	989.2	6.3	78.7

## 5.4 室外排水设计气象参数

### 5.4.1 降水气候特征分析

#### 5.4.1.1 强降水日数

##### (1) 日降水量≥25.0mm 日数

日降水量≥25.0mm 为大雨以上量级。石柱气象站近 62 年（1957~2018 年）日降水量≥25.0mm 的累年平均日数为 10.5 天，年日数在 2 天（2001 年）~20 天（1982 年）之间，年际变化以 0.148d/10a 的速率减少（图 5.4-1a）。日数年变化在 0 天（12 月）~2.1 天（6 月）之间，主要集中在 4~10 月（图 5.4-1b）。从年代变化看，近 10 年（2009~2018 年）日降水量≥25.0mm 的平均日数为 9.4 天，较 1999~2008 年的 10.1 天减少了 0.7 天，较 1989~1998 年的 11 天减少了 1.6 天。

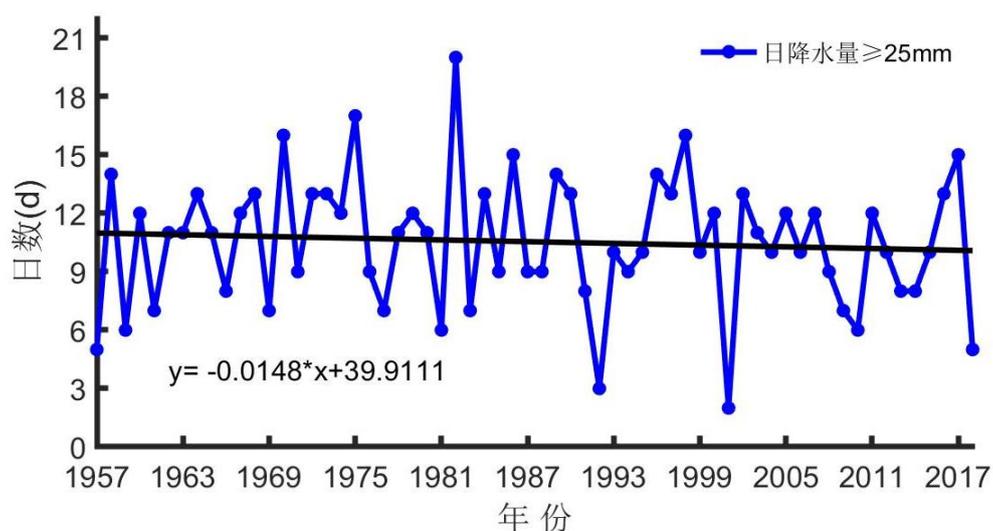


图 5.4-1a 日降水量≥25.0mm 日数的年际变化(1957~2018 年)

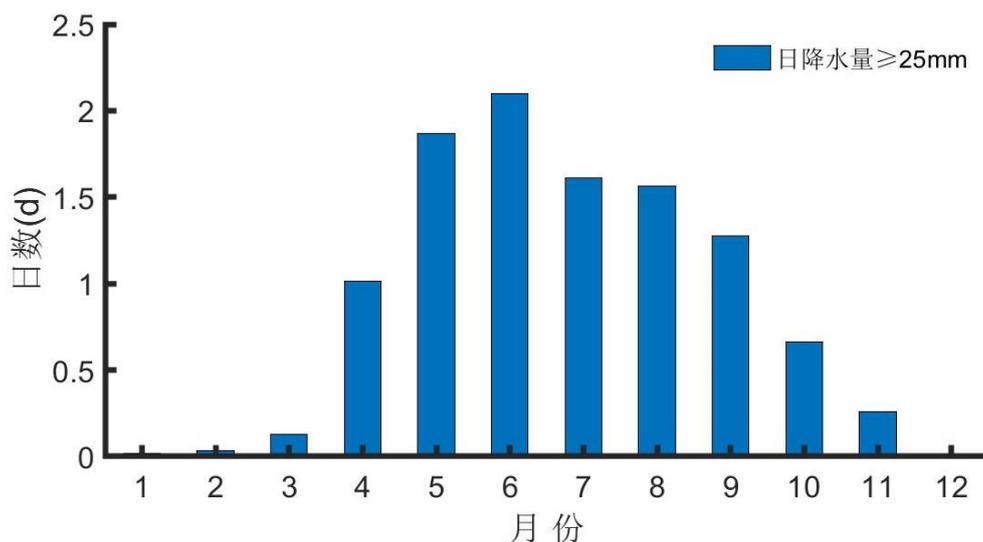


图 5.4-1b 日降水量≥25.0mm 平均日数的年变化(1957~2018年)

### (2) 日降水量≥50.0mm 日数

日降水量≥50.0mm 为暴雨以上量级。石柱气象站近 62 年（1957~2018）日降水量≥50.0mm 的累年平均日数为 2.2 天，年日数在 0 天~6 天（1975、1982 年）之间，年际变化略微减少，速率为 0.006d/10a（图 5.4-2a）。日数年变化在 0 天~0.6 天（6 月）之间，主要集中在 5~9 月（图 5.4-2b）。从年代变化看，近 10 年（2009~2018 年）日降水量≥50.0mm 的平均日数为 2.5 天，较 1999~2008 年的 1.7 天增加了 0.8 天，较 1989~1998 年的 2.1 天增加了 0.4 天。

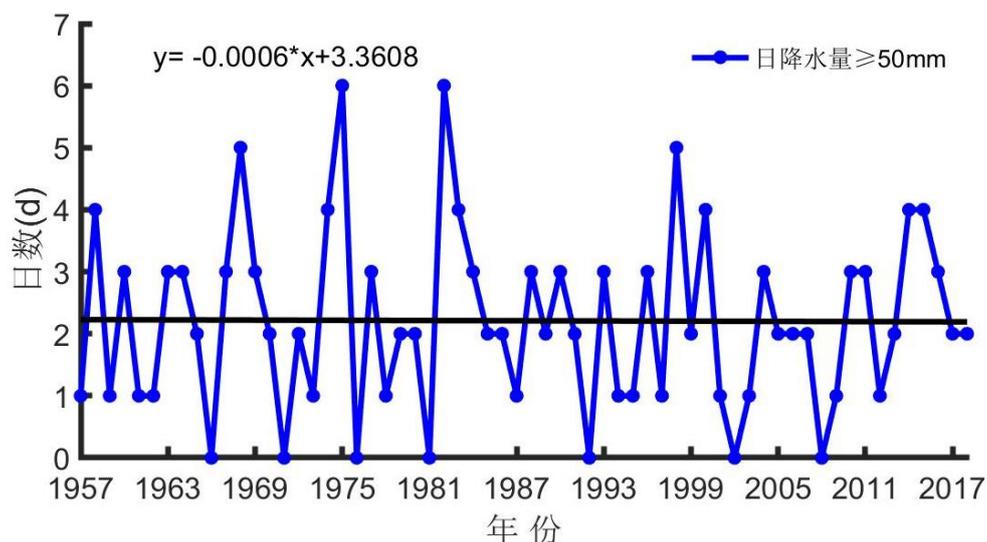


图 5.4-2a 日降水量≥50.0mm 日数的年际变化(1957~2018年)

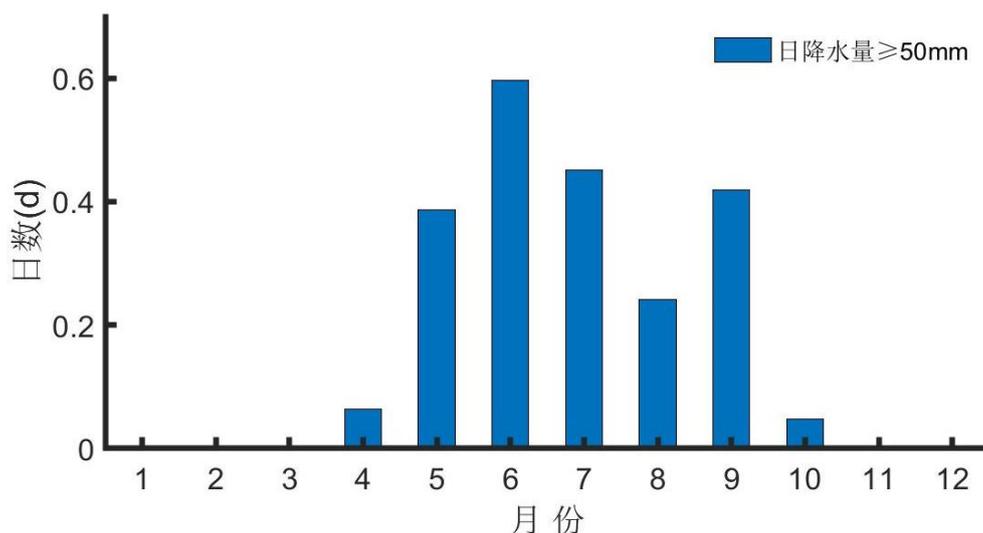


图 5.4-2b 日降水量≥50.0mm 平均日数的年变化(1957~2018 年)

### (3) 日降水量≥100.0mm 日数

日降水量≥100.0mm 为大暴雨以上量级。石柱气象站近 62 年（1957~2018）日降水量≥100.0mm 的累年平均日数为 0.1 天，年日数在 0 天~2 天（1982 年）之间，年际变化以 0.032d/10a 的速率增加（图 5.4-3a）。日数年变化在 0 天~0.06 天（7 月）之间，主要集中在 7~9 月（图 5.4-3b）。从年代变化看，近 10 年（2009~2018 年）日降水量≥100.0mm 的平均日数为 0.1 天 1999~2008 年的 0.2 天减少了 0.1 天，较 1989~1998 年的 0.2 天同样减少了 0.1 天。

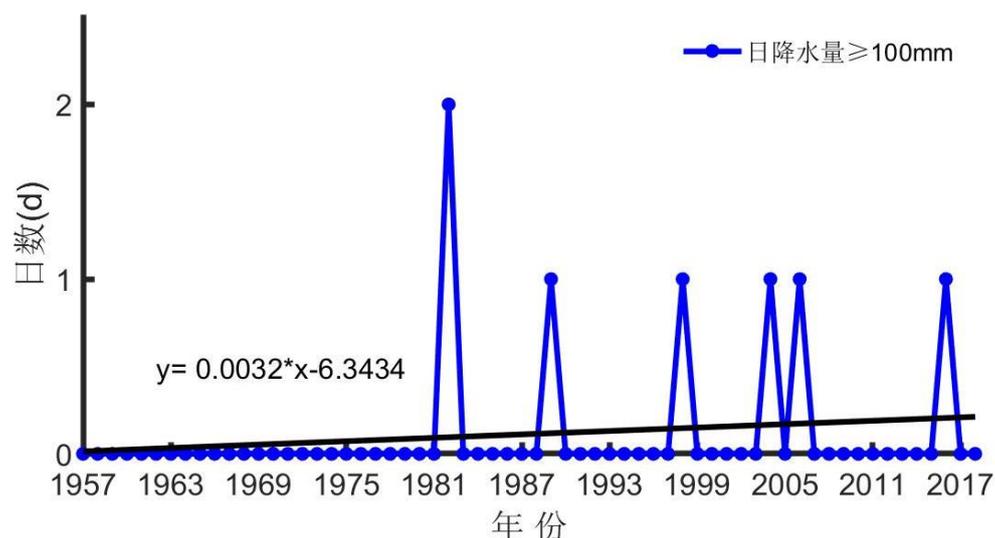


图 5.4-3a 日降水量≥100.0mm 日数的年际变化(1957~2018 年)

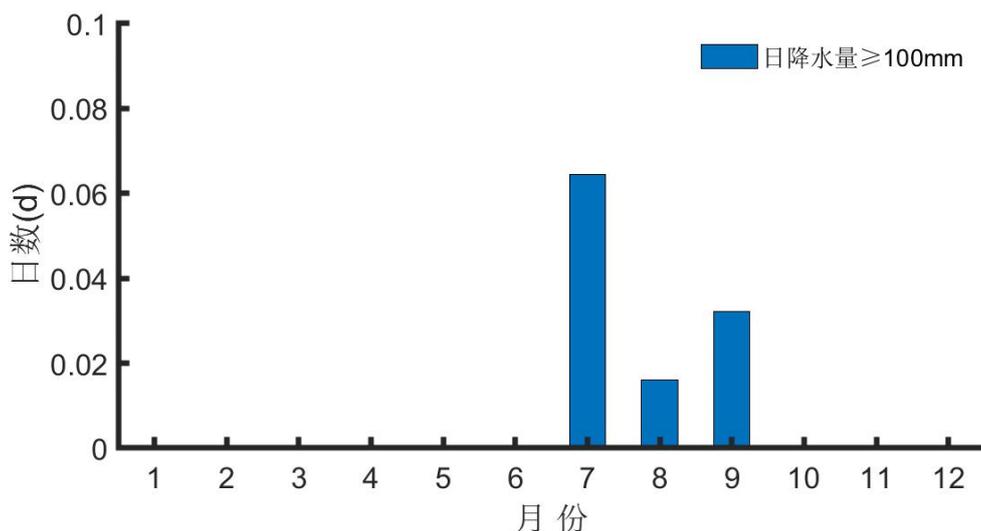


图 5.4-3b 日降水量≥100.0mm 平均日数的年变化(1957~2018 年)

#### (4) 日降水量≥250.0mm 日数

日降水量≥250.0mm 为特大暴雨，1957~2018 年，石柱站未出现特大暴雨。

#### 5.4.1.2 一次降水最长持续日数

如表 5.4-1 所示，1957~2018 年，石柱站一次降水最长持续日数在 6 天(2004、2008、2014、2015 年)~15 天(1965、2003 年)之间，持续降水在 6 月最多，有 19 次，10 月次之，共 18 次；1、2、12 月最少，为 0 次。一次持续降水的总量在 6.2mm (2005 年 11 月)~229.9mm (1998 年 8 月)之间变化，最大一次降水量持续了 12 天。

表 5.4-1 1957~2018 年历年一次降水最长持续日数及总量

年份	开始日期	结束日期	最大连续天数	累计雨量	年份	开始日期	结束日期	最大连续天数	累计雨量
1957	11-22	12-2	11	31.1	1988	5-23	5-31	9	21.3
1958	9-13	9-19	7	48.2	1989	6-14	6-22	9	86.9
1959	5-6	5-16	11	76	1990	3-11	3-17	7	13.6
						10-6	10-12		30.6
1960	6-18	7-1	14	139.8	1991	6-30	7-10	11	90.6
1961	5-14	5-22	9	33.1	1992	10-2	10-11	10	61.2
	10-27	11-4		37.0					
1962	10-23	11-3	12	62.7	1993	5-13	5-19	7	19.2
						6-16	6-22		30
						8-7	8-13		77.9
						9-15	9-21		59.5
						10-24	10-30		23.2
1963	11-10	11-18	9	25	1994	7-1	7-10	10	75.6
1964	10-15	10-28	14	52.2	1995	4-12	4-24	13	81
1965	9-26	10-10	15	142	1996	5-29	6-10	13	180.2

1966	10-2	10-14	13	67.5	1997	3-20	3-27	8	14.5
						9-13	9-20		36.5
						10-2	10-9		46.8
1967	6-12	6-21	10	151.1	1998	8-1	8-12	12	229.9
1968	5-18	5-25	8	102.5	1999	10-9	10-17	9	70.2
1969	7-10	7-21	12	146.5	2000	7-1	7-9	9	114
						8-2	8-10		80.5
						10-21	10-29		85
1970	6-18	6-28	11	78.4	2001	10-12	10-21	10	84
1971	9-6	9-19	14	105.5	2002	8-9	8-21	13	126.9
1972	9-2	9-10	9	65.7	2003	5-4	5-18	15	122.7
1973	6-14	6-25	12	112.9	2004	4-11	4-16	6	23.5
						5-10	5-15		18.3
						6-1	6-6		43.1
						6-10	6-15		85
1974	9-29	10-11	13	72.2	2005	11-13	11-19	7	6.2
1975	6-8	6-16	9	154.6	2006	10-1	10-7	7	23.9
	6-24	7-2		153.5			11-24		11-30
1976	6-22	6-29	8	48.2	2007	6-16	6-22	7	159.7
						8-31	9-6		52.8
						10-10	10-16		44.7
1977	4-21	5-4	14	151.2	2008	5-26	5-31	6	8.7
						8-25	8-30		58.3
1978	10-20	10-27	8	63	2009	10-8	10-14	7	16.9
	11-14	11-21		18					
1979	6-21	6-28	8	97.2	2010	9-25	10-2	8	57.2
1980	6-16	6-25	10	141.3	2011	11-1	11-9	9	52.7
1981	9-29	10-10	12	89.8	2012	9-20	9-30	11	39.5
1982	6-9	6-17	9	68.6	2013	8-30	9-7	9	83.5
1983	10-18	10-25	8	42	2014	3-28	4-2	6	35.9
						8-23	8-28		102.8
1984	5-12	5-24	13	106.7	2015	4-4	4-9	6	30.8
						6-13	6-18		59.7
						6-30	7-5		40.9
1985	10-16	10-24	9	35.4	2016	8-1	8-8	8	69.1
1986	4-4	4-17	14	55.5	2017	10-10	10-19	10	103.7
1987	6-30	7-8	9	85	2018	9-21	9-28	8	39.4

#### 5.4.1.3 短历时降水特征

从石柱站 1981~2018 年共 38 年的逐分钟雨量数据中，滑动提取 5、10、15、20、30、45、60、90、120、180min 共 10 个历时的逐年最大降水量数据进行分析。

表 5.4-2 石柱站短历时(min)年最大降水量平均值(mm)及标准差(mm)

历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180
平均值	9.8	14.9	18.6	22.1	27.2	32.7	36.8	42.5	46.6	53
标准差	4.1	6.1	7.1	8.2	10.1	12.5	14.4	17.4	20.1	24.9

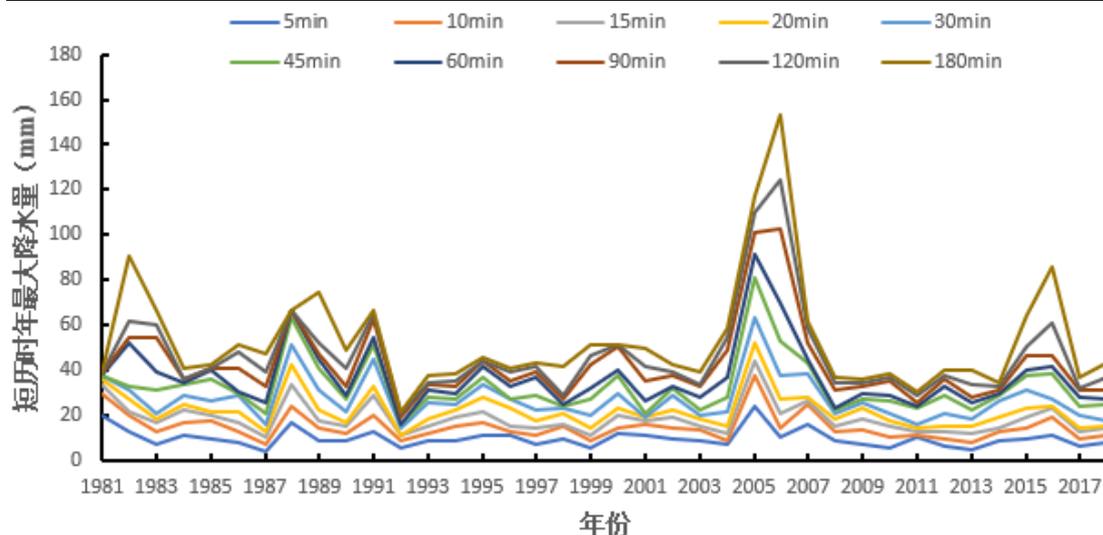


图 5.4-4 短历时年最大降水量年际的变化趋势图(1981~2018 年)

表 5.4-3 短历时年最大降水量气候倾向率(1981~2018 年)

气象要素	倾向率	单位
5min 年最大降水量	-0.072	$\text{mm} \cdot (5\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
10min 年最大降水量	-0.124	$\text{mm} \cdot (10\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
15min 年最大降水量	-0.144	$\text{mm} \cdot (15\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
20min 年最大降水量	-0.172	$\text{mm} \cdot (20\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
30min 年最大降水量	-0.164	$\text{mm} \cdot (30\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
45min 年最大降水量	-0.129	$\text{mm} \cdot (45\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
60min 年最大降水量	-0.168	$\text{mm} \cdot (60\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
90min 年最大降水量	-0.117	$\text{mm} \cdot (90\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
120min 年最大降水量	-0.054	$\text{mm} \cdot (120\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
180min 年最大降水量	-0.036	$\text{mm} \cdot (180\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$

由短历时年最大降水量年际变化趋势图（图 5.4-4）可以看出，10 个降水历时年最大降水量的年际趋势大致一致，各历时年最大降水量随时间均呈较少趋势（表 5.4-3）。短历时年最大降水量的标准差随历时增长而增加（表 5.4-2），说明短历时年最大降水量随历时增长，数据内部波动变化增大。

### 5.4.2 暴雨强度公式

根据重庆市市政设计研究院和重庆市气候中心联合编制的《重庆市暴雨强度修订公式与设计暴雨雨型》（以下简称“暴雨强度公式与设计暴雨雨型”），由重庆市城乡建设委员会 2017 年 8 月发布的最新版暴雨强度总公式为：

$$q = \frac{799(1+0.997 \lg P)}{(t+3.120)^{0.558}} \quad (\text{L}/(\text{s} \cdot 10^4 \text{m}^2))$$

其中：P——设计重现期（年）；

q——暴雨强度（L/(s·10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>））；

t——降雨历时（min）。

表 5.4-4 单一重现期暴雨强度公式

重现期 P（年）	公式
P=1	$q=1888.77/(t+12.203)^{0.790}$
P=2	$q=1693.046/(t+7.552)^{0.684}$
P=3	$q=1582.826/(t+5.624)^{0.634}$
P=5	$q=1446.554/(t+3.476)^{0.578}$
P=10	$q=1497.155/(t+2.410)^{0.545}$
P=20	$q=1621.403/(t+1.937)^{0.528}$
P=30	$q=1693.714/(t+1.727)^{0.522}$
P=40	$q=1745.15/(t+1.591)^{0.518}$
P=50	$q=1784.896/(t+1.489)^{0.515}$
P=60	$q=1817.461/(t+1.409)^{0.512}$
P=70	$q=1844.849/(t+1.342)^{0.510}$
P=80	$q=1868.563/(t+1.284)^{0.509}$
P=90	$q=1889.605/(t+1.234)^{0.507}$
P=100	$q=1908.309/(t+1.190)^{0.506}$

表 5.4-5 重现期区间暴雨强度公式

P（年）	区间	参数	公 式
1—10	II	n	$0.722-0.096 \ln(T-0.509)$
		b	$8.628-3.499 \ln(T-0.640)$
		A	$11.119-1.549 \ln(T-0.116)$
10—100	III	n	$0.556-0.011 \ln(T-7.290)$
		b	$2.995-0.397 \ln(T-5.632)$
		A	$6.524+1.065 \ln(T-0.107)$

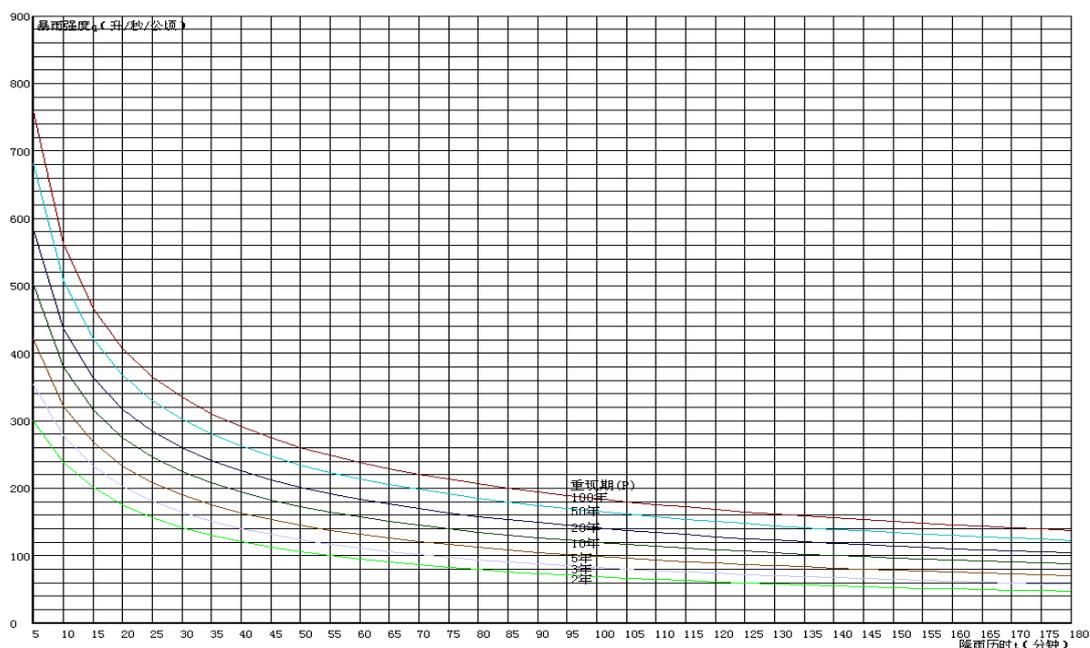


图 5.4-5 短历时不同重现期降水强度随降雨历时的变化曲线

将石柱 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min、180min 共 11 个历时不同重现期（2a、3a、5a、10a、20a、30a、50a、100a）暴雨强度计算结果换算成对应历时不同重现期降水量（单位： $L/(s \cdot 10^4 m^2)$ ），结果如表 5.4-6 所示。

表 5.4-6 石柱降水强度、重现期、降水历时（i-P-t）表（ $L/(s \cdot 10^4 m^2)$ ）

重现期	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5min	322.8	366.4	421.4	495.9	570.4	614.0	668.9	743.5
10min	247.0	280.4	322.4	379.4	436.4	469.8	511.8	568.8
15min	206.3	234.1	269.2	316.9	364.5	392.3	427.4	475.1
20min	180.1	204.4	235.0	276.6	318.1	342.5	373.1	414.7
30min	147.3	167.2	192.3	226.3	260.3	280.2	305.3	339.3
45min	119.6	135.8	156.1	183.7	211.3	227.5	247.8	275.5
60min	102.8	116.7	134.2	157.9	181.7	195.5	213.0	236.8
90min	82.8	93.9	108.0	127.1	146.2	157.4	171.5	190.6
120min	70.8	80.4	92.4	108.8	125.1	134.7	146.7	163.1
150min	62.7	71.2	81.8	96.3	110.8	119.3	129.9	144.4
180min	56.7	64.4	74.1	87.2	100.3	107.9	117.6	130.7

#### 暴雨强度公式使用说明：

设计暴雨强度可按选定设计重现期直接查用表列数值（单一重现期暴雨强度公式见表 5.4-4）。若采用其它重现期，设计暴雨强度可用重现期区间参数公式计算：

$$q = \frac{167A}{(t + b)^n}$$

式中：q—设计暴雨强度（升/(秒·公顷)）

t—降雨历时（分钟）

A—雨力

b、n—常数

（A、b、n 按重现期区间参数公式计算，公式见表 5.4-5）

暴雨强度总公式：

$$q = \frac{799(1+0.997 \lg P)}{(t+3.120)^{0.558}} \quad (\text{L}/(\text{s} \cdot 10^4 \text{m}^2))$$

其中：P——设计重现期（年）；

q——暴雨强度(L/(s·10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>))；

t——降雨历时（min）。

应用重现期区间参数公式计算暴雨强度实例：求 P=8 年，t=50 分钟的暴雨强度 q。从重现期区间参数公式 III，得：

$$n=0.722-0.096\text{Ln}(T-0.509)=0.528685 \quad (\text{取 } 0.529)$$

$$b=8.628-3.499\text{Ln}(T-0.640)=1.643786 \quad (\text{取 } 1.644)$$

$$A=11.119-1.549\text{Ln}(T-0.116)=7.920570 \quad (\text{取 } 7.921)$$

配得 P=8 年的暴雨强度计算公式如下：

$$q = \frac{1322.807}{(t+1.644)^{0.529}}$$

可按上式计算 1~200 分钟中任何时段的暴雨强度。

当 t=50:

$$q = \frac{1322.807}{(50+1.644)^{0.529}} = 164.176 \quad (\text{L}/(\text{s} \cdot 10^4 \text{m}^2))$$

### 5.4.3 年径流总量控制率对应的设计降雨量

基于 1957~2018 年石柱国家站逐日降水量数据，采用《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建》推荐方法，计算不同年径流总量控制率对应的设计降雨量，结果表明：年径流总量控制率达 70%、80%、90% 对应的设计降雨量分别为 15.4mm、21.6mm、32.7mm，其中 1957~2018 年年径流总量控制率达 80% 的天数为 816 天。

### 5.4.3.1 概念定义简述

#### (1) 年径流总量控制率(volume capture ratio of annual rainfall)

根据多年日降雨量统计数据进行分析计算，通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发（腾）等方式，场地内累计全年得到控制（不外排）的雨量占全年总降雨量的百分比。

#### (2) 设计降雨量(design rainfall depth)

为实现一定的年径流总量控制目标（年径流总量控制率），用于确定低影响开发设施设计规模的降雨量控制值，一般通过当地多年日降雨资料统计数据获取，通常用日降雨量（mm）表示。

#### (3) 年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系

城市年径流总量控制率对应的设计降雨量值的确定，是通过统计学方法获得的。选取至少近 30 年（反映长期的降雨规律和近年气候的变化）日降雨（不包括降雪）资料，扣除小于等于 2mm 的降雨事件的降雨量，将降雨量日值按雨量由小到大进行排序，统计小于某一降雨量的降雨总量（小于该降雨量的按真实雨量计算出降雨总量，大于该降雨量的按该降雨量计算出降雨总量，两者累计总和）在总降雨量中的比率，此比率（即年径流总量控制率）对应的降雨量（日值）即为设计降雨量。

### 5.4.3.2 不同年径流总量控制率对应的设计降雨量

(1) 径流总量控制率为 10%~95%所对应的设计降雨量（表 5.4-7）。借鉴发达国家实践经验，年径流总量控制率最佳为 80%~85%，可见，不同年径流总量控制率达 80%~85%对应的设计降雨量分别为 21.6mm~26.2mm 之间。北京市年径流总量控制率为 80%和 85%时，对应的设计降雨量为 27.3mm 和 33.6mm。对比而言，设计降雨量小于北京市。

表 5.4-7 1957~2018 年不同年径流总量控制率对应的设计降雨量

年径流总量控制率 (%)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
设计降雨量 (mm)	1.2	2.5	4	5.9	8.2	11.3	15.4	18.2	21.6	26.2	32.7	44.2

(2) 根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》中不同年径流总量控制率对应的设计降雨量计算方法，采用尝试带入的方法进行试验（图 5.4-7），计算得到近 62 年来，不同年径流总量控制率对应的设计降雨量，可以

看出年径流总量控制率达 75%、80%、85% 对应的设计降雨量分别为 18.2mm、21.6mm、26.2mm。

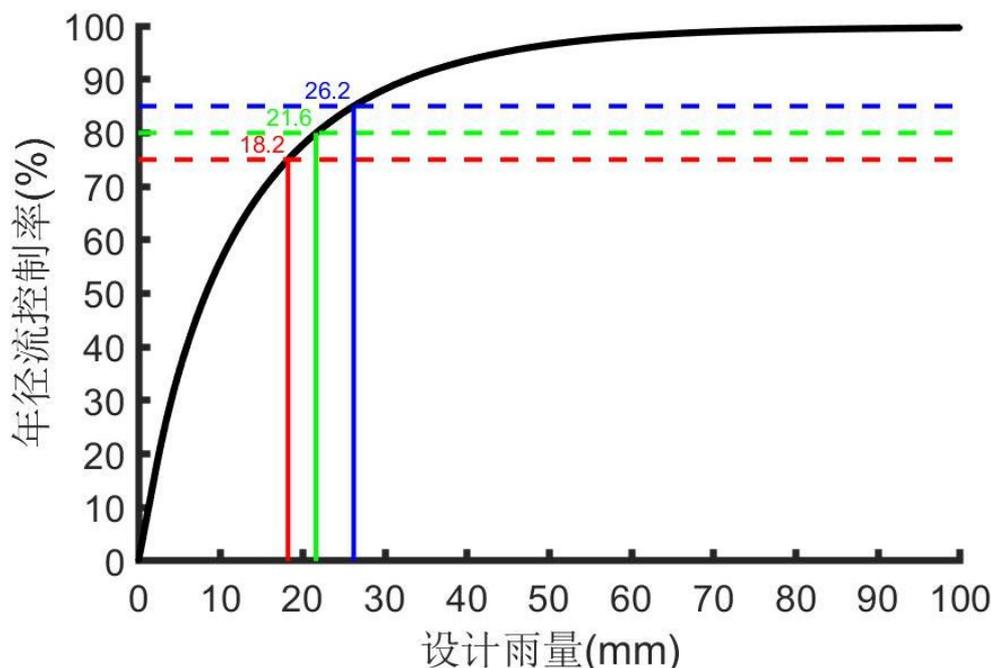


图 5.4-7 石柱站不同年径流控制率对应的设计降雨量(1957~2018 年)

## 5.5 园区气温推算

### 5.5.1 气温计算方法

本报告中对园区气温的推算采用 Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model (PRISM)插值法。PRISM 空间内插方法是由美国气象科学家 Christopher Daly 提出，这种方法基于地理空间特征和回归统计方法生成气候图的模型，在美国，PRISM 模型技术已经广泛应用于气候制图的诸多领域，主要成果包括整个美国及其相邻地区 103 年气候时间序列数据集，如美国国家气候数据中心新版的气候图集等。

PRISM 模型的原理基于如下二个方面：（1）海拔对气温的影响：除了由观测数据所确定的异常情况外，在给定的山体坡度下，气温随海拔高度升高而递减；

（2）山系的空间格局对温度的影响：气温与海拔的关系明显受到地区或区域山体的坡向及逆风阻挡等因素的影响，因此需要将复杂的山地景观区分为不同对于气温的空间计算认定为在一定的区域内控制气象要素空间分布最主要的因素是高程和坡向。其原理基于以下几个方面以数字高程模型（DEM）为平台结合 GIS 空间插补技术，综合考虑高程、距离、坡向、坡度等因子对气象要素的影响，通过开窗技术对整个大区域进行线性插值，从而得到气象要素的空间分布特征。基

于石柱 55 个气象站近 6 年历史观测的四季和年平均气温数据和精细化地形数据，按照不同栅格位置与观测站点间的高度差、水平距离、坡向差等，建立加权回归模型，构建了台站与精细化地形的回归关系，实现点到面的精细化插值，进而得到园区的气温。

本报告中考虑了距离、高程、坡度、坡向、垂直分层 5 个权重因子，利用气象数据高程梯度变化来计算每个 DEM 网格的气象数据。在每一个窗口内可用公式计算格网的气象数据。

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i (G \times (H - h_i) + B_i)$$

式中，Y 为空间内插的气象要素；n 为内插所使用的站点个数；G 为这层内气象要素随高程变化的梯度； $a_i$  为第 i 个站点的权重；H 为使用 DEM 格网上的高程； $h_i$  为第 i 个站点的高程； $B_i$  为第 i 个站点的气象要素的数据。本算法中，站点的属性数据和气象数据是实地获取的，因此决定内插经度的决定因素是权重因子。本研究中，它是距离、坡度、坡向权重因子的综合。高程权重在计算公式中已经由 DEM 格网上高程和站点高程之间的高程差体现出来，而垂直分层的权重也在气象要素随高程变化梯度的不同体现出来。

### 5.5.2 园区气温的推算

利用石柱的数字高程模型(DEM)数据和 55 个站点的气温观测数据，求取近 6 年年平均气温、最高气温、最低气温进行插值，得到石柱温度空间分布数据。对插值结果使用 ArcGIS10.2 进行处理、制图和出图，最终生成年平均气温、最高气温、最低气温的空间分布图(图 5.5-1)。

从图 5.5-1 可以看出：基于 PRISM 的插值结果能够很好地反映气温随海拔的变化趋势，温度的分布与海拔变化趋势一致；石柱地区海拔变化较大，地形较为复杂，气温的变化也比较复杂；气温的分布在海拔高度相同的情况下，温度的分布受坡向的影响较明显，阴坡地区的温度较低。基于 PRISM 的插值结果的空间分布和地形变化有较好的一致性。利用该方法求的石柱土家族自治县工业园区各组团气温如表 5.5-1 所示。

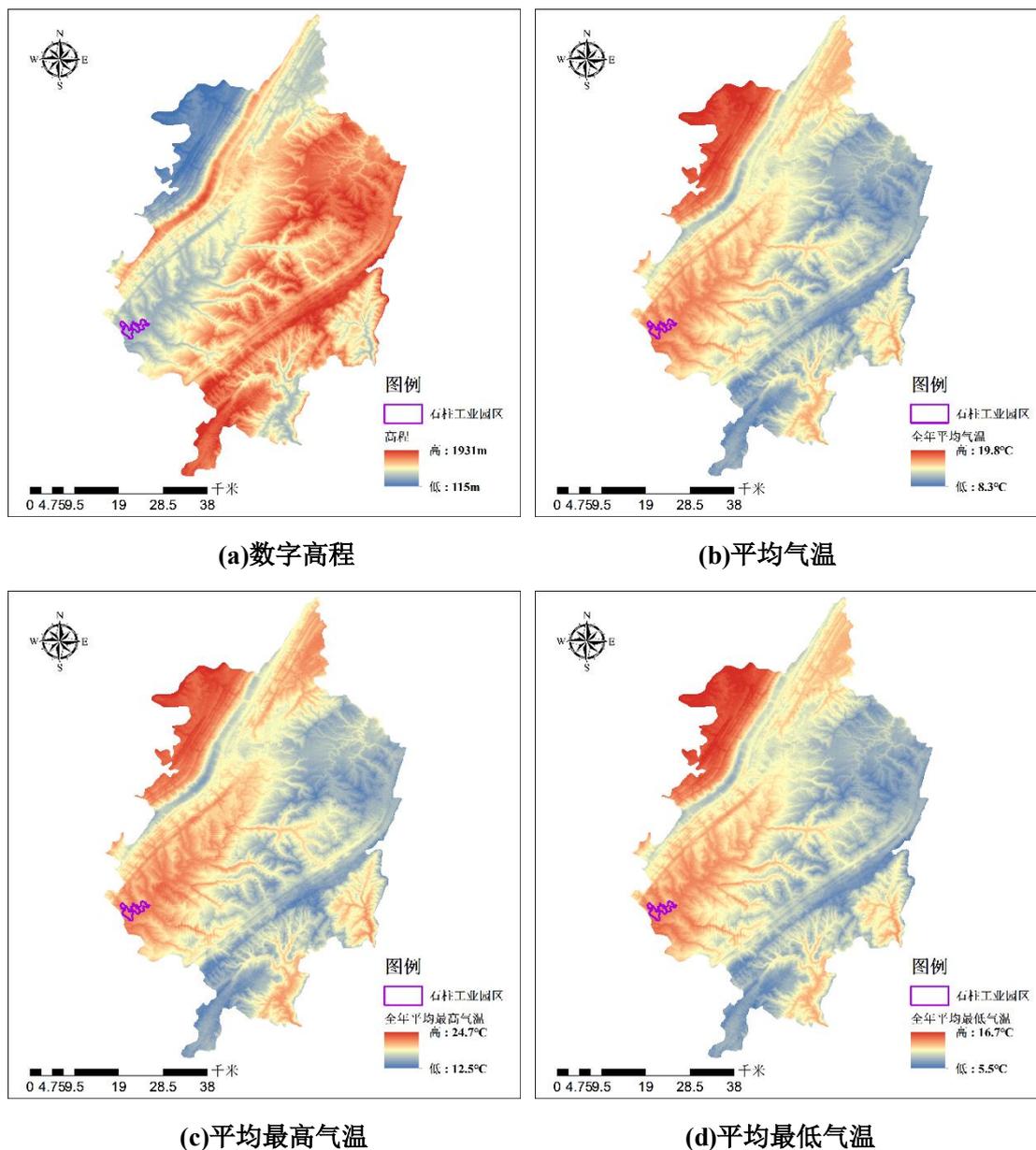


图 5.5-1 PRISM 全年平均气温插值结果

表 5.5-1 石柱土家族自治县工业园区各组团四季和年平均气温、最高气温和最低气温

组团 \ 要素		春季	夏季	秋季	冬季	全年
B 区	平均气温(°C)	16.9	25.7	17.4	7.5	16.9
	平均最高气温(°C)	22.6	32.3	22.0	11.5	22.1
	平均最低气温(°C)	13.3	21.7	14.7	5.0	13.7
C 区	平均气温(°C)	16.8	25.7	17.3	7.4	16.9
	平均最高气温(°C)	22.4	32.1	21.8	11.3	22.0
	平均最低气温(°C)	13.3	21.7	14.6	4.9	13.7

## 5.6 室外空气气象参数

建筑室外空气气象参数是暖通空调行业进行负荷计算和设备选型的基础设

计参数，是影响空调系统整体性能优劣的先决条件。如果参数过于保守，将会导致不必要的投资和较低的运行效率，造成能源浪费；如果参数过于苛刻，设备或系统的运行则会受到影响，同时可能无法满足室内对温度和湿度的控制要求。因此，适宜的建筑室外空气气象参数对设备运行效率、人体舒适度和建筑节能等都至关重要。

建筑室外空气气象参数与气候条件密切相关，建筑室外空气气象参数统计年份的选取也十分重要。年份取得长，气象参数的稳定性好，数据更有代表性，但是由于全球变暖，环境温度攀升，统计年份选取过长则不能完全切合实际需求根据；年份取得短，虽然在一定程度上更贴近实际气温变化趋势，但是会放大极端天气对设计参数的影响。从气象的角度，30年是比较有代表性的观测统计期，且《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范（GB50019-2015）》和《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范（GB50736-2012）》中都推荐使用30年的统计年份。不足30年者，也可按实有年份采用，但不得少于10年。近几十年在全球变暖的背景下，石柱气候也发生了明显的变化。因此，本节利用2009~2018年（最近10年）的逐小时、1989~2018年（近30年）逐日、逐月的气温和相对湿度数据计算石柱站的夏季空调室外计算干球温度、夏季空调室外计算日平均温度、夏季通风室外计算温度、夏季通风室外计算相对湿度、冬季通风室外计算温度、供暖室外计算温度和冬季空调室外计算温度这7个室外空气气象参数。

### 5.6.1 冬季空调和供暖参数

冬季空调和供暖参数包括冬季空调室外计算温度和供暖室外计算温度这2个室外空气气象参数。冬季空调室外计算温度主要用于计算新风负荷和围护结构传热，用于指导空调设计负荷，温度升高（降低）使得冬季空调设计负荷降低（升高）。供暖室外计算温度主要用于计算锅炉，尤其是集中采暖锅炉的燃料定额，从而确定其供热容量。供暖室外温度升高（降低）使得供暖燃料定额降低（升高）。以上2个参数的具体计算方法如下：

- （1）冬季空调室外计算温度：采用累年平均每年不保证1d的日平均温度；
- （2）供暖室外计算温度：采用累年平均每年不保证5d的日平均温度，即日平均温度低于采暖室外计算温度的天数不大于5d。

历年：逐年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的每一年。

累年：多年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的累计。

根据上述方法计算出石柱站冬季空调和供暖参数如下表所示，由此可知，石柱站供暖室外计算温度为 3.0℃，冬季空调室外计算温度为 1.3℃。

表 5.6-1 冬季空调和供暖参数值

供暖室外计算温度 (℃)	冬季空调室外计算温度 (℃)
3.0	1.3

### 5.6.2 夏季空调参数

夏季空调参数包括夏季空调室外计算干球温度和夏季空调室外计算日平均温度这 2 个室外空气气象参数。夏季空调室外计算干球温度可以影响围护结构传热和设备冷却效果，主要用于确定新风负荷。夏季空调室外计算干球温度的升高，将导致新风负荷增加，使室内的制冷能耗增加，不利于节能工作。同时，原有供冷设备选型供冷量偏低，在室外温度升高的同时，增加了设备负荷，将使设备容量难以符合负荷增加的需求，设备的使用存在一定的安全风险。以上 2 个空气室外参数的具体计算方法如下：

(1) 夏季空调室外计算干球温度：采用累年平均每年不保证 50h 的干球温度；

(2) 夏季空调室外计算日平均温度：采用累年平均每年不保证 5d 的日平均温度。

历年：逐年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的每一年。

累年：多年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的累计。计算夏季空调室外计算干球温度所需要的近 10 年逐小时气温数据。

根据上述方法计算出石柱站冬季空调和供暖参数如下表所示，由此可知，石柱站夏季空调室外计算干球温度为 35.6℃，夏季空调室外计算日平均温度为 29.2℃。

表 5.6-2 夏季空调参数值

夏季空调室外计算干球温度 (°C)	夏季空调室外计算日平均温度 (°C)
35.6	29.2

### 5.6.3 夏季和冬季通风参数

夏季和冬季通风参数包括夏季通风室外计算温度、夏季通风室外计算相对湿度和冬季通风室外计算温度这 3 个室外空气气象参数。通风分为卫生通风和热舒适通风。供暖、空调只是部分时间、部分建筑的补充需要，通风不仅是建筑的基本需求，也是建筑节能的关键。冬夏季通风是建筑节能的主要手段之一。通风室外计算温度可以确定通过通风可以消除多少余热，而相对湿度与人体舒适度有直接关系，进而影响到通风行为以及通风效果。以上 3 个空气室外气象参数的具体计算方法如下：

(1) 夏季通风室外计算温度：采用历年最热月 14:00 平均温度的平均值；

(2) 夏季通风室外计算相对湿度：采用历年最热月 14:00 平均相对湿度的平均值；

(3) 冬季通风室外计算温度：采用历年最冷月月平均温度的平均值。

历年：逐年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的每一年。

累年：多年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的累计。

根据上述方法计算出石柱站夏季和冬季通风参数如下表所示，由此可知，石柱站夏季通风室外计算温度为 31.4°C，夏季通风室外计算相对湿度为 54.0%，冬季通风室外计算温度为 5.8°C。

表 5.6-3 夏季和冬季通风参数值

夏季通风室外计算温度 (°C)	夏季通风室外计算相对湿度 (%)	冬季通风室外计算温度 (°C)
31.4	54.0	5.8

## 5.7 污染气象参数

风会将污染带到下侧，风向频率决定了污染源下风向地区受污染影响的时间，但不能决定该地区受到污染程度。设想某风向虽然出现的频率较小，但时常伴随着不利的扩散稀释条件，则该污染源下风区的空气污染浓度依然会很高。考虑风速是影响浓度的一个重要因素，它与浓度成反比，因此可定义一个污染系数。

$$P=f/\bar{U}$$

式中  $f$  为风向频率,  $\bar{U}$  为这一风向的平均风速, 根据近年资料, 污染系数  $P$  应定义为:

$$p = f \cdot \left( \frac{1}{\bar{U}} \right)$$

这里  $P$  应为风向频率  $f$  乘以这一风向的风速倒数的平均值, 而不是风向频率除以平均风速。

污染系数综合了风向和风速的作用, 代表了某方位下风向空气污染的程度, 值越大说明该方位下风向空气污染越严重。本节采用石柱国家站近 10 年 (2009~2018 年) 逐小时 10min 平均风向风速资料, 计算春、夏、秋、冬不同季节的污染系数。

### 5.7.1 春季污染系数

园区春季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.7-1 所示, 具体数值详见表 5.7-1。风向频率以 SW 风为主, 占比 14.5%; 平均风速以 ESE、E 方向最大, 为 2m/s; 污染系数以 SW 方向最大, 系数值为 13.6, 此外, ESE 方向污染系数也较大, 系数值为 11。表明 SW 和 ESE 方向的空气污染较严重, 可在城市 SW、ESE 方向多布置绿源, 以降低空气污染。

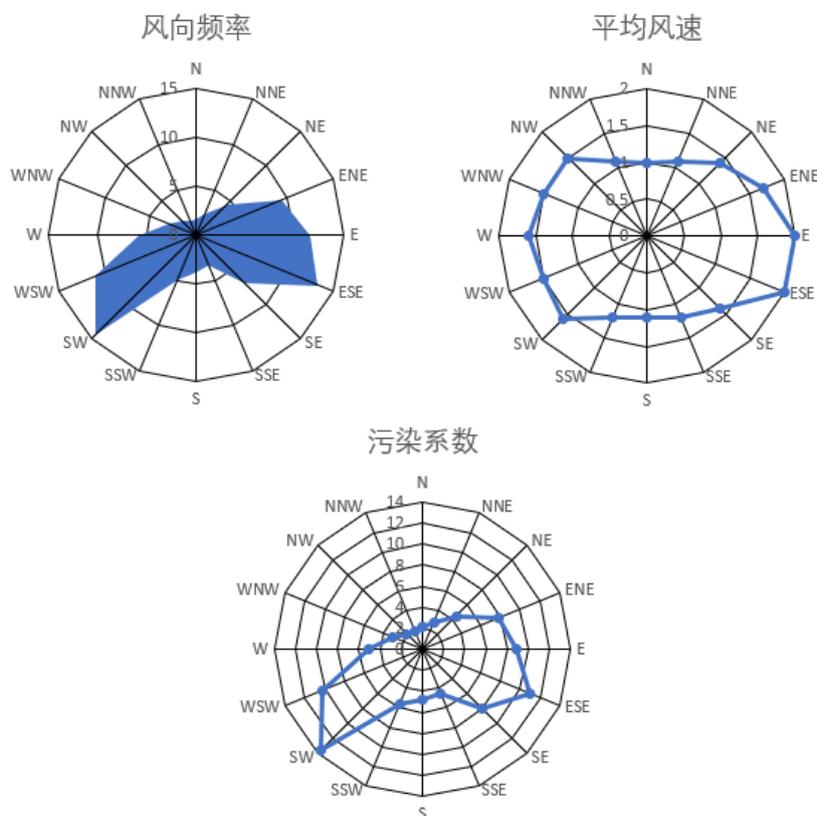


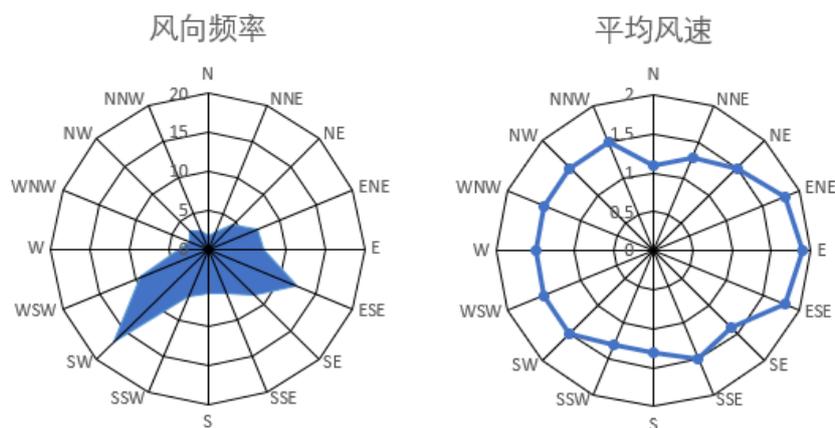
图 5.7-1 春季风向频率、平均风速及污染系数分布(2009~2018 年)

表 5.7-1 2009~2018 年春季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.6	1	2.1
NNE	2.4	1.1	2.8
NE	4.5	1.4	4.5
ENE	9.4	1.7	7.8
E	11.5	2	8.9
ESE	13.4	2	11
SE	7	1.4	8
SSE	3.4	1.2	4.5
S	3.8	1.1	4.8
SSW	5	1.2	5.7
SW	14.5	1.6	13.6
WSW	11	1.5	10.3
W	5.8	1.6	5.1
WNW	3.1	1.5	3
NW	2	1.5	2.1
NNW	1.5	1.1	1.8

### 5.7.2 夏季污染系数

园区夏季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.7-2 所示，具体数值详见表 5.7-2。风向频率以 SW 风为主，占比 17%；平均风速以 E 方向最大，为 1.9m/s；污染系数以 SW 方向最大，系数值为 16.8，此外，ESE 方向污染系数也较大，系数值为 10.2。表明 SW、ESE 方向的空气污染较严重。



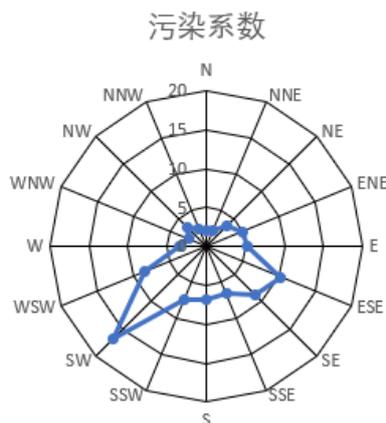


图 5.7-2 夏季风向频率、平均风速及污染系数分布(2009~2018 年)

表 5.7-2 2009~2018 年夏季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.7	1.1	2
NNE	2.3	1.3	2.3
NE	4.4	1.5	3.7
ENE	6.8	1.8	5
E	7.1	1.9	5.3
ESE	12.3	1.8	10.2
SE	8.3	1.4	8.9
SSE	6.1	1.5	6.6
S	5.8	1.3	6.8
SSW	6.7	1.3	7.3
SW	17	1.5	16.8
WSW	9.2	1.5	8.6
W	3.8	1.5	3.5
WNW	2.5	1.5	2.5
NW	3.4	1.5	3.5
NNW	2.6	1.5	2.5

### 5.7.3 秋季污染系数

园区秋季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.7-3 所示，具体数值详见表 5.7-3。风向频率以 SW 风为主，占比 19.3%；平均风速以 E、ESE 方向最大，为 1.7m/s；污染系数以 SW 方向最大，系数值为 20.7，次大值在 ESE 方向，系数值为 12.9。表明 SW 和 ESE 方向的空气污染较严重。

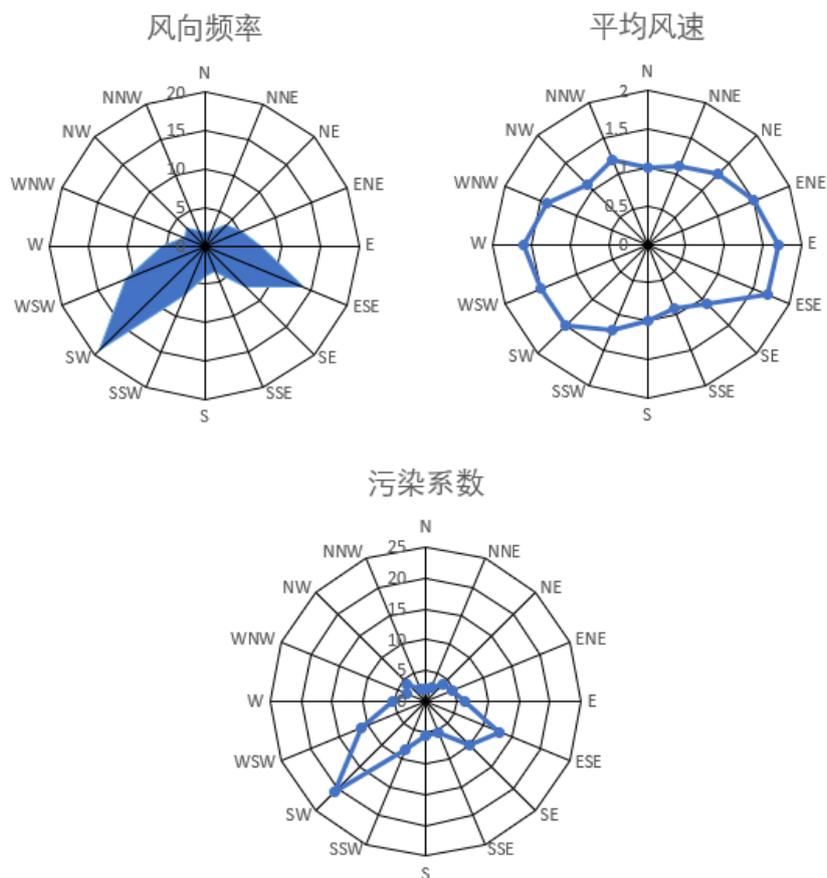


图 5.7-3 秋季风向频率、平均风速及污染系数分布(2009~2018 年)

表 5.7-3 2009~2018 年秋季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.7	1	2.1
NNE	2.2	1.1	2.5
NE	3.9	1.3	3.8
ENE	5.1	1.5	4.5
E	7.3	1.7	6.2
ESE	13.8	1.7	12.9
SE	7.6	1.1	10.1
SSE	3.5	0.9	5.3
S	3.9	1	5.4
SSW	6.8	1.2	8.3
SW	19.3	1.5	20.7
WSW	11	1.5	11.2
W	5.5	1.6	5.2
WNW	2.8	1.4	3.2
NW	3.3	1.1	4.1
NNW	2.1	1.2	2.3

### 5.7.4 冬季污染系数

园区冬季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.7-4 所示，具体数值详见表 5.7-4。风向频率以 SW 风为主，占比 17.3%；平均风速以 E 方向最大，为 1.9m/s；污染系数以 SW 方向最大，系数值为 18.1，此外，ESE 方向污染系数也较大，系数值为 12.7。表明 SW 和 ESE 方向的空气污染较严重。

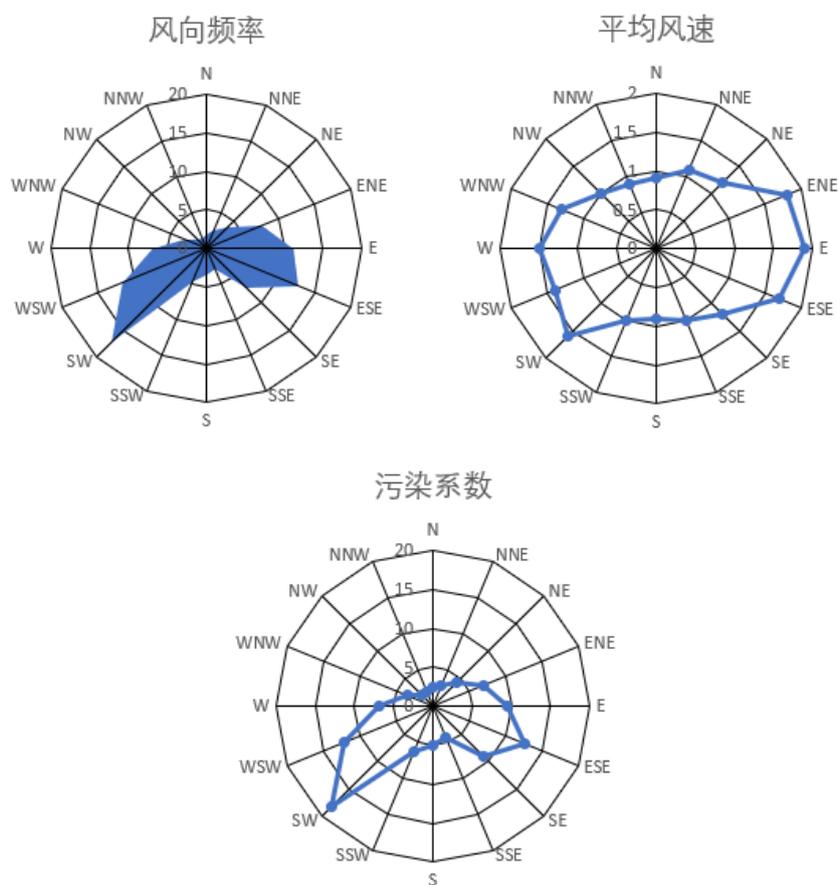


图 5.7-4 冬季风向频率、平均风速及污染系数分布(2009~2018 年)

表 5.7-4 2009~2018 年冬季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.7	0.9	2.4
NNE	2.5	1.1	2.8
NE	3.9	1.2	4.2
ENE	7.8	1.8	6.9
E	11.2	1.9	9.4
ESE	12.7	1.7	12.7
SE	7.2	1.2	9
SSE	3	1	4.4
S	3.5	0.9	5.1

SSW	4.6	1	6.4
SW	17.3	1.6	18.1
WSW	11.6	1.4	12.2
W	6.9	1.5	6.8
WNW	3.1	1.3	3.5
NW	1.6	1	2.1
NNW	1.4	0.9	2

### 5.7.5 小结

从全年来看，工业园区四季污染系数在 SW 方向最大，其次 ESE 方向也较大。在 SW 方向上，春季（13.6）<夏季（16.8）<冬季（18.1）<秋季（20.7）；在 ESE 方向上，夏季（10.2）<春季（11）<冬季（12.7）<秋季（12.9）。由结果表来看，SW、ESE 方向污染较重，建议在 SW、ESE 方向种植净化绿植，增强净化能力，减小污染。

## 5.8 混合层厚度分析

在污染气象学中，湍流特征不连续界面以下湍流充分发展的大气层称为混层，其高度就是混合层厚度，它表征了污染物在垂直方向被热力湍流稀释的范围，与近地面的空气污染有密切的联系。由于混合层厚度是反映边界层大气特征的重要参数，同时也是空气污染潜势预报中必须考虑的重要参数，它直接影响到污染物浓度及分布范围的计算，是污染气象学研究领域的重要内容。重庆由于其特殊的地理位置导致中低层风速小，静风频率高，大气污染严重。为了创造一个良好的生存与投资环境，本节对混合层厚度进行了分析。

### 5.8.1 研究方法

报告采用 2004~2013 年石柱站 3 个时次（08 时，14 时，20 时）的地面风速、云量等气象观测资料计算区域的大气稳定性和混合层厚度。

地面风速和云量与大气稳定度的关系如表 5.8-1、表 5.8-2。地面风速和太阳辐射等级决定大气稳定度；云量和太阳高度角决定太阳辐射等级。风速和云量可以实测，但太阳高度角需要计算。

太阳高度角和太阳倾角的关系可以用以下公式表示：

$$h_0 = \arcsin [\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos(15t + \gamma - 300)]$$

式中： $h_0$ 为太阳高度角，度

$\phi$ 为当地纬度

$\gamma$ 为当地经度

$\delta$ 为太阳倾角

$t$ 为进行观测时的北京时间

纬度、经度和观测时间可查资料或测得。太阳倾角虽然可以查表得到，但有时并不方便，通过下式可以计算：

$$\delta = \left( \begin{array}{l} 0.006918 - 0.399912\cos\theta_0 + 0.070257\sin\theta_0 - 0.00675\cos2\theta_0 \\ + 0.000907\sin2\theta_0 - 0.002697\cos3\theta_0 + 0.00148\sin3\theta_0 \end{array} \right) 180/\pi$$

式中 $\theta_0 = 2\pi dn/365$ ，度。

$dn$ 为一天中日期序数，1月1日为0,12月31日是364。

表 5.8-1 大气稳定度等级表

地面风速, m/s	太阳辐射等级					
	+3	+2	+1	0	-1	-2
≤1.9	A	A~B	B	D	E	F
2~2.9	A~B	B	C	D	E	F
3~4.9	B	B~C	C	D	D	E
5~5.9	C	C~D	D	D	D	D
≥6	D	D	D	D	D	D

表 5.8-2 太阳辐射等级表

云量, 1/10	太阳高度角 $h_0$				
	夜间	$h_0 \leq 15^\circ$	$15^\circ < h_0 \leq 35^\circ$	$35^\circ < h_0 \leq 65^\circ$	$> 65^\circ$
总云/低云					
≤4/≤4	-2	-1	+1	+2	+3
5-7/≤4	-1	0	+1	+2	+3
≥8/≤4	-1	0	0	+1	+1
≥5/5-7	0	0	0	0	+1
≥8/≥8	0	0	0	0	0

当大气稳定度为 A、B、C 和 D 时： $h_{xd} = a_s U_{10}/f$

当大气稳定度为 E 和 F 时： $h_{xd} = b_s \sqrt{U_{10}/f}$ ，见表 5.8-3。

表 5.8-3 是根据标准 GB/T 3840 中给出的我国各地区 $a_s$ 和 $b_s$ 值(静风区各类稳定度的 $a_s$ 和 $b_s$ 可取表中最大值)

式中： $h_{xd}$ 为混合层厚度(E、F 时指近地层厚度)，m；

$U_{10}$ 为 10m 高度平均风速，m/s；大于 6m/s 时取 6m/s；

$a_s$ 、 $b_s$ 为混合层系数，重庆取四川地区混合层系数，详见表 5.8-3；

$f$ 为地转参数， $f = 2\omega \sin\phi$

$\omega$ 为地转角速度，取 $7.29 \times 10^{-5}$ 弧度/秒

$\phi$ 为地理纬度

表 5.8-3 我国各地区和取值表

地区	$a_s$				$b_s$	
	A	B	C	D	E	F
新疆 西藏 青海	0.090	0.067	0.041	0.031	1.66	0.7
黑龙江 吉林 辽宁 内蒙古 北京 天津 河北 河南 山东 山西 陕西(秦岭以北) 宁夏 甘肃(渭河以北)	0.073	0.060	0.041	0.019	1.66	0.7
上海 广东 广西 湖南 湖北 江苏 浙江 安徽 海南 台湾 福建 江西	0.056	0.029	0.020	0.012	1.66	0.7
云南 贵州 四川 甘肃(渭河以南) 陕西(秦淮以南)	0.073	0.048	0.031	0.022	1.66	0.7

### 5.8.2 混合层厚度统计特征

对计算得到的每日各个时次的大气混合层厚度的统计结果表明，2004~2013年期间石柱土家族自治县大气混合层的平均值为415m，最大值为3161m，最小值为0m(与零风速对应的值，实际上混合层厚度不会为零，而这里的零值只是表明此时垂直方向湍流非常微弱)。

统计得出的各段混合层厚度出现频率见表 5.8-4。从表 5.8-4 可知，石柱土家族自治县大气混合层厚度主要分布于0~600m 范围内，累计占总样本数的 77.7%；0~600m 范围内分布不均匀，以 0~100m 范围内居多。在国标法中，大气混合层厚度是风速和稳定度综合作用的结果。从实际统计得出的各级稳定度和风速下混合层厚度变化可知，风速越大，混合层厚度也越高。从表 5.8-5 还可看出，当稳定度在 F~C 类(如由 E 类转为 D 类)之间、风速在 0~1.5m / s 之间变化时，总体而言，混合层厚度对稳定度等级的改变较为敏感；而在其他情况下，风速等级的改变较稳定度等级的改变对混合层厚度的影响明显，当稳定度为 B~C 时混合层厚度最高。基于考虑到上述 F~C 类稳定度和 0~1.5m / s 风速范围是石柱土家族自治县的常年主导气象特征，因此可以认为石柱土家族自治县大气混合层厚度的影响因子以大气稳定度为主。

表 5.8-4 各段大气混合层厚度频率分布

混合层厚度/m	0~100	101~200	201~400	401~600	601~800	801~1000	1000 以上
频率/%	25.6	17.2	24.2	10.7	6.3	4.7	11.3

表 5.8-5 各级稳定度下混合层厚度统计结果

稳定度等级	A	A~B	B	B~C	C	C~D	D	E	F
混合层厚度/m	1167	1247	725	1975	1218	1963	328	189	74

表 5.8-6 各级风速下混合层厚度统计结果

风速(m/s)	0.0	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0 以上
混合层厚度/m	0	101	286	506	726	1114

### 5.8.2.1 年变化特征

图 5.8-1 同时给出了 2004~2013 年期间年平均混合层厚度的时间变化序列。从图 5.8-1 可以看出, 2004~2013 年混合层厚度在 258m(2006 年)~512m(2013 年)之间变化, 近 10 年年平均混合层厚度达 415m, 混合层厚度总体上呈现增加趋势, 表明大气垂向平均稀释能力有增强的趋势, 这可能与近年来城市人为热排放增加以及城市下垫面变粗、变干有关。而这些典型城市特征的变化可引起大气边界层内热力湍流和动力湍流加剧, 从而使得混合层变厚。

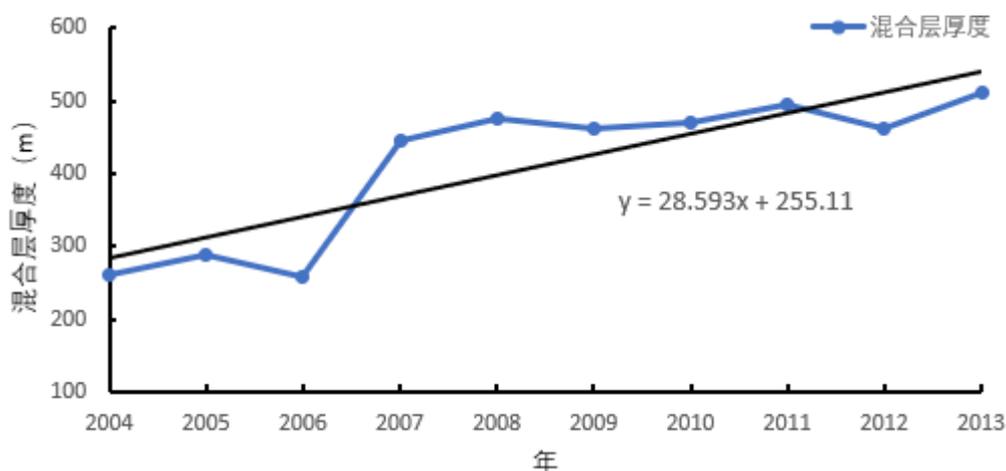


图 5.8-1 混合层厚度年变化特征(2004~2013 年)

### 5.8.2.2 月、季变化特征

混合层厚度月平均值在 272m~541m 之间变化, 月平均值最小出现在 12 月, 最大出现在 8 月(图 5.8-2)。7 月~8 月混合层厚度较大, 主要是因为夏季太阳辐射

增强，气温增高，热力湍流加强，混合层厚度增加。6月混合层厚度较7、8月份偏低，主要由重庆的气候特征决定，6月是重庆梅雨主要时期，多阴雨天气，混合层厚度相对较低。

图 5.8-3 给出了四季混合层厚度变化柱形图。从图可以看出一年之中，春夏季平均混合层厚度较高，其中夏季最高为 490m；秋冬季平均混合层厚度则低，冬季最低为 340m。混合层厚度的这种季节变化与太阳辐射、湍流强弱的季节变化基本一致：秋季和冬季因太阳辐射变弱，风速减小，相应地湍流减弱，混合层厚度减小；春季和夏季，太阳辐射增强，对流旺盛，湍流能充分发展，不稳定类稳定度出现频率相对增加，故混合层厚度值相应要高。

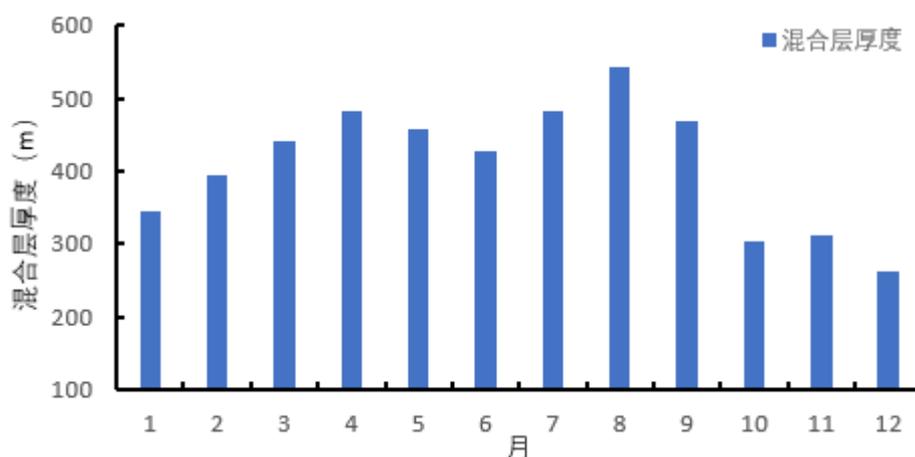


图 5.8-2 混合层厚度月变化特征(2004~2013 年)

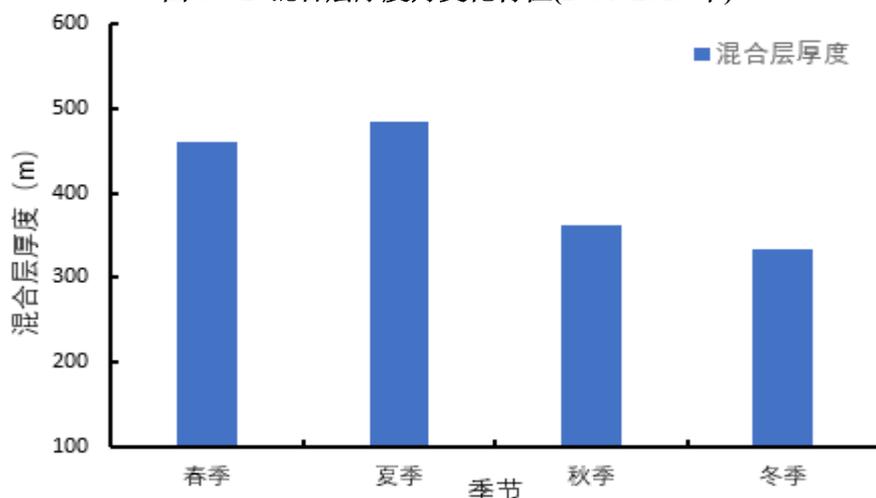


图 5.8-3 混合层厚度季节变化特征(2004~2013 年)

### 5.8.2.3 日变化特征

受太阳辐射日变化的影响，混合层厚度也呈现出极为明显的日变化特征。根据石柱站每日的三次观测结果进行分析 (表 5.8-7)，混合层最大值出现在 14:00，平均值为 695m；最小值出现在 20:00，平均值为 270m，还不到午后峰值的

一半。参考其他站点数据，早上和夜间(20:00至08:00)的混合层厚度较低，白天由于太阳辐射作用，湍流发展旺盛，混合层厚度也相应较大，一般从午后到傍晚混合层厚度将达到一天中的极大值，这一时段也是大气对污染物的扩散稀释能力最强的时段，利于污染物排放。建议工业点源的排污安排在午后至傍晚时段。

表 5.8-7 2004~2013 年各时次平均混合层厚度

时刻	08:00	14:00	20:00
混合层厚度/m	272	695	270

## 5.9 防雷设计气象参数

### 5.9.1 建筑物年预计雷击次数校正系数 k

建筑物年预计雷击次数  $N$  是防雷设计中非常重要的关键参数，它表征该项目一年时间中可能遭受雷击直接击中的次数，按如下公式计算：

$$N = k \times N_g \times A_e$$

式中：

$N$ ——建筑物年预计雷击次数（次/a）；

$k$ ——校正系数；

$N_g$ ——建筑物所处地区雷击大地的年平均密度（次/(a\*km<sup>2</sup>))；

$A_e$ ——与建筑物截收相同雷击次数的等效面积（km<sup>2</sup>）。

校正系数  $k$  用来表征环境影响，该参数与园区所处环境紧密相关。根据 GB50057-2010 建筑物防雷设计规范和对石柱园区周边环境的勘探，确定石柱园区校正系数为 1，无特殊变化。

### 5.9.2 雷击大地的年平均密度

雷击大地密度 ( $N_g$ ) 是进行防雷设计和防雷管理的重要参数之一。GB50057-2010 建筑物防雷设计规范中规定，雷击大地密度  $N_g$  值可采用当地气象部门提供的所在城市的年平均雷暴日 ( $T_d$ ) 来计算评估。

$$N_g = 0.1 \times T_d$$

式中：

$T_d$ ——年平均雷暴日数，根据当地气象台站资料确定（天/a）；

由上式计算石柱园区雷击大地密度平均值为 3.8 次/(年\*平方公里)。

## 6 专题影响评估

### 6.1 暴雨灾害风险评估与区划

暴雨灾害风险评估采用风险矩阵法对评估区域的整体的风险水平的评估,风险区划为在风险评估的基础上对风险的更加精细的划分。

#### 6.1.1 暴雨灾害风险评估

##### 6.1.1.1 暴雨风险识别

###### (1) 资料与数据

本节暴雨灾害风险评估采用的资料与数据包括:石柱国家站建站以来逐日降雨量、逐时降雨量观测数据,石柱暴雨灾害历史灾情数据等。

###### (2) 暴雨特征分析

石柱地处属中亚热带湿润季风区,气候温和,雨水充沛,四季分明,具有春早、夏长、秋短、冬迟特点。日照少,气候垂直差异大,灾害性天气频繁。石柱暴雨季节较长为4月份至10月,但集中在相对多雨的5~9月,随着夏季风的爆发,5月暴雨次数有了一个明显的增加,到6月为峰值平均暴雨日数0.6天/年,其次为7月、9月、8月,4月和10月份暴雨次数相对较少。

石柱雨量充沛,降雨量时空分配极不平衡。多年平均降水量1040.9毫米,汛期(4~10月)降雨量占全年降水的85.5%,4~6月是第一个多雨季节,称前汛期,主要是锋面低槽带来的降水,降水量为430.3毫米,占全年降水量的41.3%。7~10月份为第二个多雨季节,称后汛期,主要是热带气旋、热带辐合带等带来的降水,降水量在459.6毫米,占全年降水量的44.2%。11月份开始,降水明显减少。

根据资料统计,1957~2018年,石柱共出现暴雨日数137天,年平均暴雨日数2.2天,其中1975年和1982年多达6天。石柱暴雨主要集中于5~9月,其中6月最多,平均暴雨日数0.6天。大暴雨最多出现在7月,特大暴雨未出现。一年中出现暴雨的最早日期是4月5日(2018年),最晚日期是10月13日(1982年和1998年)。

###### (3) 暴雨灾害典型案例

###### 1) 2010年7月4日到5日暴雨天气过程

由于西太平洋副热带高压南撤东退结合中高空切变线的共同影响,2010年7月4日至5日,石柱土家族自治县普降大到暴雨,龙沙镇、王场镇、悦崧镇、临溪镇、沿溪镇、黄水镇、鱼池镇、冷水镇、沙子镇、枫木乡、大歇镇达暴雨,万朝乡达大暴雨,降雨量为106.8mm。此次灾害涉及11乡镇76个村21800余户9.8万人,直接经济损失110万元。农作物受灾1897公顷,绝收185公顷。其中:水稻受灾430公顷,绝收85公顷;玉米受灾336公顷、绝收34公顷;马铃薯受灾331公顷;烤烟受灾272公顷,绝收9公顷;辣椒受灾305公顷,绝收56公顷;中药材受灾97公顷;其它作物受灾128公顷。公路损毁12.5公里,损毁河堤、渠堰960米。

#### 2) 2010年7月8日至9日暴雨天气过程

由于西太平洋副热带高压南撤东退的影响,2010年7月8日00时至9日13时,石柱土家族自治县普降大到暴雨,洗新乡、桥头镇、西沱镇、冷水镇、王场镇、马武镇、龙潭镇、六塘乡、沙子镇、下路镇达暴雨,新乐乡、黎场乡达大暴雨,其中新乐乡最大降雨量为120.0mm。预计后期降雨天气仍将持续。此次灾害共造成10000人受灾,1人受伤,直接经济损失达2202.65万元。农作物受灾2600公顷。其中:水稻受灾434公顷,玉米受灾973公顷,马铃薯受灾87公顷,烤烟受灾401公顷,辣椒受灾236公顷,中药材受灾173公顷,其它作物受灾213公顷。公路损毁27.6公里,损毁河堤、渠堰2850米,冲毁人行便桥12座,房屋倒塌58间。重庆绿家园肉兔养殖场冲毁围墙86米,淹死伊拉祖代兔386只,父母代3812只,损毁饲料21吨、水泥16吨,直接经济损失达800万元。

#### 3) 2011年6月22日到23日暴雨天气过程

受切变辐合系统东移并结合西南暖湿气流的共同影响,从6月22日20时起至23日16时,石柱土家族自治县普降暴雨,全县共有23个乡镇达暴雨,其中有洗新乡、黄水镇、龙潭乡、新乐乡、悦崧镇、河嘴等12个乡镇达大暴雨,马武镇降雨量最大,为276.3mm,达到特大暴雨,创石柱土家族自治县有气象资料记载来的最高记录。据统计,此次暴雨共造成我县26个乡镇175个村7.8万户31.5万人不同程度受灾,直接经济损失达1.12亿元。在整个灾害发生过程中,共造成1人死亡、2人失踪。

#### 4) 2012年9月11日暴雨天气过程

受高空低槽切变线和中低层切变辐合系统东移的共同影响，从9月11日06时起至12日20时，石柱土家族自治县境内23个乡镇过程降雨量达50mm以上；鱼池、万朝、王场、沿溪、石家、西沱、大歇、三益、河嘴等9个乡镇过程降雨量达100mm以上。其中鱼池观测点累计雨量达164.3mm，为今年最高记录。此次暴雨共造成我县12个乡镇50个村3.6万人不同程度受灾，直接经济损失达1020万元。鱼池、王场、万朝道路塌方，交通中断，其中鱼池镇交通中断3小时，王场镇公路受损0.8千米，影响通行。烤烟、水稻等农作物受灾较严重，受灾面积达1070公顷。

#### 5) 2014年9月1日到2日暴雨天气过程

受高空低槽切变线和中低层切变辐合系统东移的共同影响，从9月1日午后起至2日白天，石柱土家族自治县普降暴雨，全县共有6个乡镇大暴雨，18个乡镇暴雨，8个乡镇大雨19个乡镇达暴雨，洗新乡降雨量最大，为220.1mm。全县32个乡镇共10159人受灾，转移60人，垮塌房屋133间，农作物受灾面积2694公顷，公路损毁约204公里，多处人行桥、沟渠被冲毁，六塘乡三汇村、金竹乡上升村出现滑坡，龙沙镇石西路垮塌导致天然气主管道泄漏，全城停气12个小时。据估计，直接经济损失达6500万元。

#### 6) 2014年9月17日到19日暴雨天气过程

从9月17日午后起至19日10时，石柱土家族自治县普降暴雨。我县除马武镇、洗新乡、新乐乡、金铃乡累积降雨量在50mm以下外，其余28个乡镇累积雨量均超过50mm。其中南宾镇、万朝镇、王家乡、悦崮镇、桥头镇、三益乡、龙沙镇、黄水镇、黎场乡、西沱镇、沿溪镇、三星乡、三河镇等13个乡镇累积雨量超过100mm，其中万朝镇雨量最大，累积雨量达143.4mm。此次强降雨造成我县公路、人行桥、沟渠、电力等基础设施不同程度损毁。共造成202间房屋垮塌，转移人员204人；部分乡镇供水系统和人饮工程受损，农作物受灾面积达8000公顷。中核集团、三层岩电站等公司部分设备被冲走，无人员伤亡。经济损失达6000万元。

#### (4) 暴雨风险源与隐患分析

暴雨引发的积涝和洪水可对建筑、水利工程、交通、电力等城市基础设施和人民的生命财产安全产生危害，并造成重大损失并影响正常的社会秩序。对于本

报告风险评估的对象石柱土家族自治县工业园区而言，暴雨灾害可能造成的影响主要包括以下几方面：

- 1) 暴雨造成的积水可能造成石柱土家族自治县工业园区露天停车场车辆等受损。
- 2) 暴雨可能引发石柱土家族自治县工业园区周边的山体滑坡，造成厂区内道路损毁甚至引发人员伤亡。
- 3) 暴雨可能造成石柱土家族自治县工业园区办公大楼一楼的办公设备遭水浸而损坏。
- 4) 暴雨引发的内涝可能损坏石柱土家族自治县工业园区内物流货物遭水淹导致损毁。
- 5) 暴雨可能造成石柱土家族自治县工业园区内厂房一楼设施的损坏。
- 6) 暴雨可能造成石柱土家族自治县工业园区内变压器室电力设施的损坏。

#### 6.1.1.2 暴雨灾害风险评估

##### (1) 暴雨灾害风险评估方法

暴雨灾害风险评估方法采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理风险评估技术》中的风险矩阵法对本项目的暴雨灾害风险通过评估和分级，具体方法详见附录 A。暴雨灾害事件发生可能性的计算以项目选取的参证气象站降水历史观测数据为基础，使用数理统计方法对降水极值概率分布函数进行拟合，进一步求出降雨量超过特定值的概率。

##### (2) 暴雨发生的可能性评估

石柱全年都可能出现暴雨，5~9月出现次数较多。1957~2018年，石柱气象站共录得137次暴雨以上降水，其中7次为大暴雨（日雨量 $\geq 100\text{mm}$ ），无特大暴雨（日雨量 $\geq 250\text{mm}$ ）；平均每年发生暴雨以上强降水的次数为2.2次（表6.1-1）。2006年7月5日，石柱出现大暴雨降水过程，石柱国家气象站录得199.7mm大暴雨，创下建站以来的单日降水最高记录(表6.1-1)。

表 6.1-1 石柱暴雨发生强度分析表

站号	暴雨发生的强度指标		
	平均雨强 (mm/天)	暴雨日雨量 极值 (mm)	平均每年发生 暴雨次数
57438	66.3	199.7	2.2

利用石柱气象站建站以来的年最大日雨量建立评估序列,采用 Gumble 分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布和 Pearson-III型分布对该站降水极值进行了概率分布拟合,并检验筛选最优模型。结果表明,采用 Pearson-III分布概率分布函数为最优模型。计算得到石柱气象站不同重现期日雨量,见表 6.1-2:

表 6.1-2 参证气象站不同重现期暴雨量

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
最大日降水量(mm)	63.9	73.8	90.9	110.8	131.6	144.5	160.9	183.3

结合石柱历史暴雨灾情记录,综合考虑以园区的特性,本报告认为当日雨量超过 150mm,可能对本项目所评估的石柱土家族自治县工业园区内企业造成影响,因此以日雨量 $\geq 150\text{mm}$ 作为暴雨灾害事件,并结合参考气象站日雨量的概率分布函数,计算得出本项目所在区域发生暴雨灾害事件的概率大于 0.02 小于 0.1。按照表 A.1 给出的灾害风险可能性等级分值划分,石柱土家族自治县工业园区区域暴雨灾害发生的可能性等级为 3 级,即可能发生。

### (3) 暴雨发生的后果损失评估

按照石柱土家族自治县工业园区现有的排涝设计,暴雨引发厂区内积涝的可能性较低,但部分露天设备、露天停车场等有可能会遭遇水浸发生故障。暴雨可能造成厂房周边山体滑坡,厂房内道路因此会受损,甚至造成人员受伤。

暴雨可能造成园内厂区内变压器室电力设施的损坏。

暴雨可能造成园内厂房一楼设施的损坏。

办公大楼主要注意暴雨引发积水对于一楼办公设备的损坏。

综合考虑上文所述各种情形,结合 A.3 暴雨灾害事件造成后果分析等级划分,确定暴雨灾害对石柱土家族自治县工业园区可能造成后果的等级为 3 级。

### (4) 暴雨风险水平的确定

综合石柱土家族自治县工业园区暴雨灾害发生的可能性等级和后果等级,参照“表 A.4 灾害风险分级矩阵”,石柱土家族自治县工业园区的暴雨风险为中等风险。

## 6.1.2 暴雨灾害风险区划

气象灾害风险区划是指气象气候条件产生不利影响可能性的空间区域划分。气象灾害风险区划的目的是为了防灾减灾，哪些地区是气象灾害高风险区，不适合建居民点、开发区和工程，为防灾工程的设计标准提供科学依据，以防御灾害风险的发生。

从整体上来说石柱土家族自治县工业园区暴雨灾害风险水平为**中等风险**，但是在整个评估区域内的暴雨灾害风险分布略有不同，依据附录 B 气象灾害风险评估模型，从气象灾害致灾因子危险性、承灾体暴露性、承灾体脆弱性、防灾减灾能力 4 个方面选取指标，构建了暴雨灾害风险评估模型对石柱土家族自治县工业园区的暴雨灾害分布进行分析。

### 6.1.2.1 暴雨灾害致灾因子危险性

致灾因子危险性指暴雨诱发的次生灾害的自然变异因素及其异常程度。一般来说，暴雨灾害致灾因子危险性越高，其造成损失的风险也就越大。这里暴雨灾害致灾因子主要考虑暴雨灾害频次和模拟淹没水深（图 6.1-1 和图 6.1-2）。模拟水深采用的是 FloodArea 水文模型，是基于 GIS 栅格数据的二维非恒定流水动力模型，开发公司为德国 Geomer 公司。以模块形式与 ArcGIS®无缝集成，目前已在 20 多个国家的决策、科研和工程等部门得到应用。

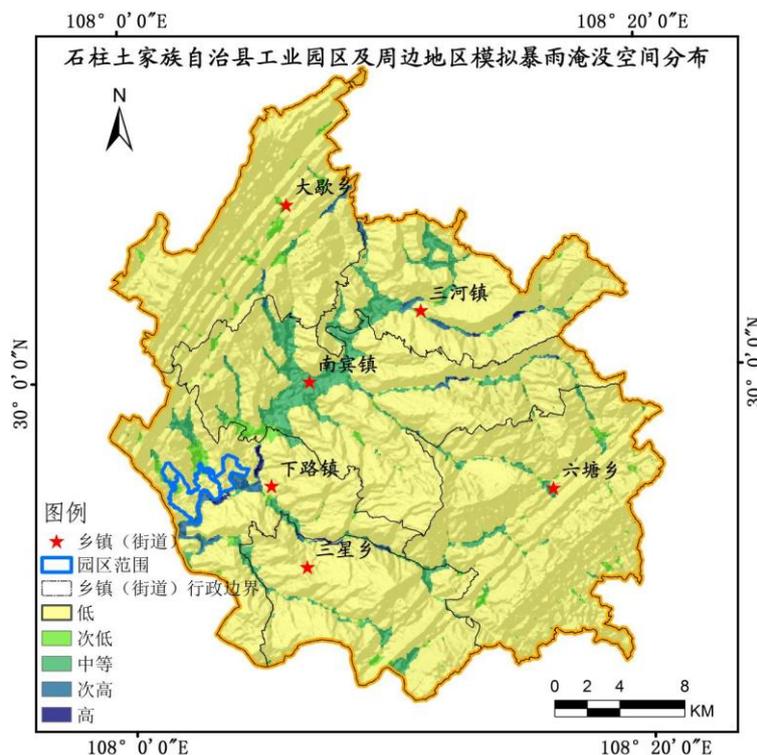


图 6.1-1 石柱土家族自治县工业园区及周边地区淹没水深模拟空间分布

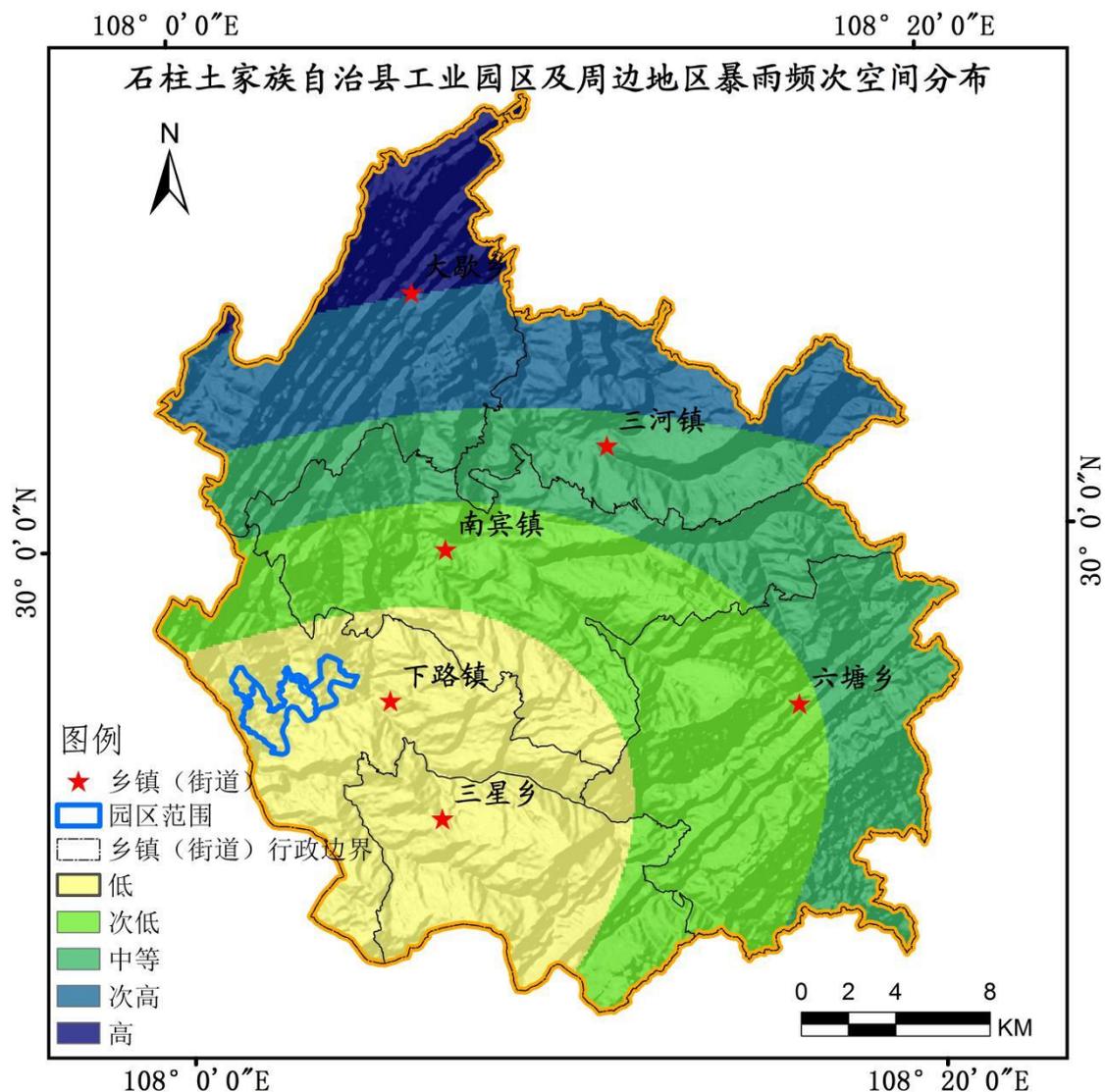


图 6.1-2 石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨频次空间分布

#### 6.1.2.2 暴雨灾害承灾体暴露性

暴雨灾害承灾体暴露性是指可能受到暴雨威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于暴雨灾害危险因素的价值密度越高，可能遭受的潜在损失也就越大，风险也越高。本项目选取人口密度和经济密度作为承灾体暴露性评估指标。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱性等级，依次为低、次低、中等、次高、高等 5 个危险区，对应的值依次为 0.50~0.52、0.52~0.57、0.57~0.63、0.63~0.74 和 0.74~0.92，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体暴露性区划图（图 6.1-3）。

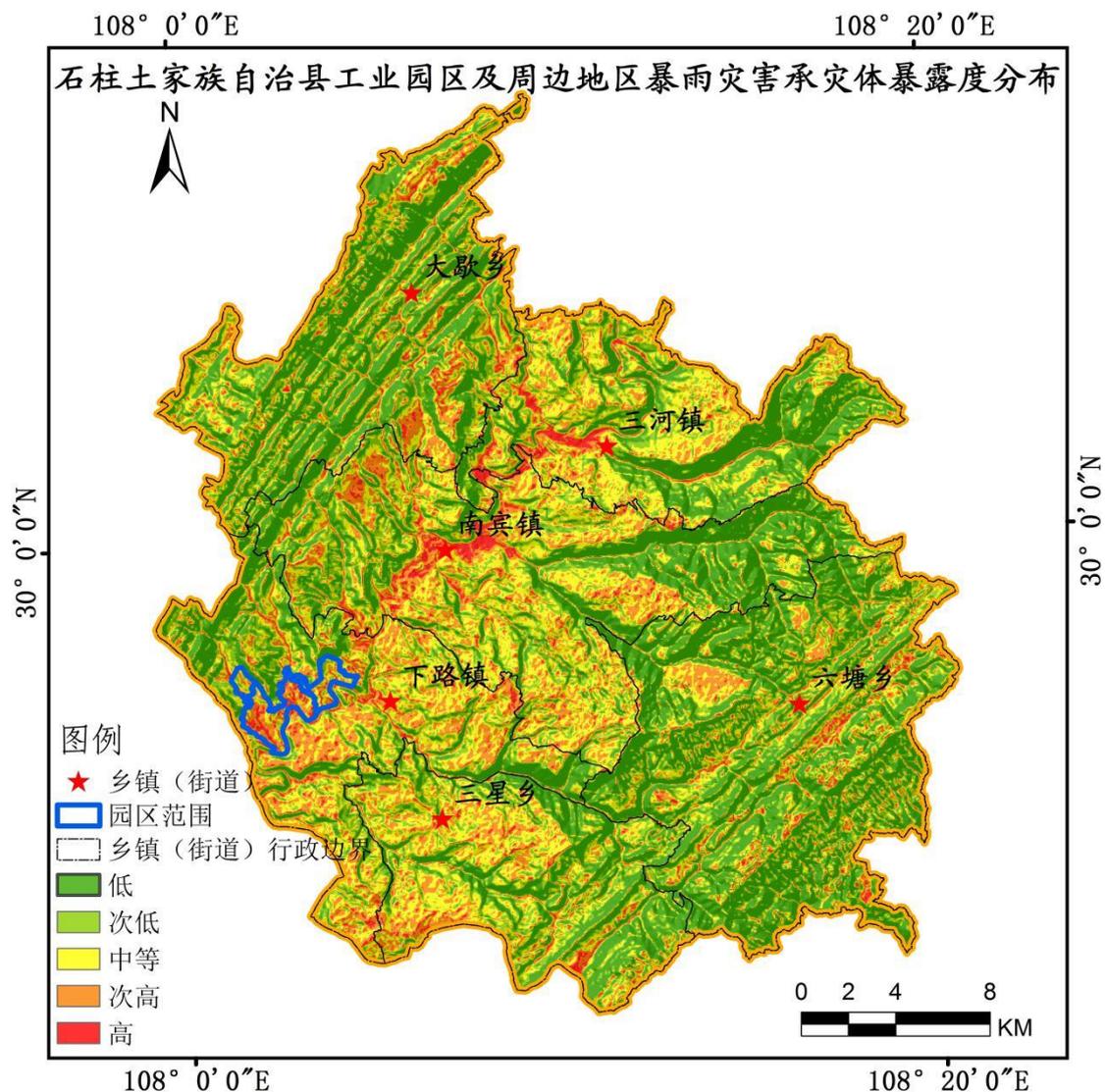


图 6.1-3 石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体暴露度分布

### 6.1.2.3 暴雨灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对暴雨灾害影响的敏感度和适应能力的综合反映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，暴雨灾害风险也越大。根据自然环境对暴雨灾害的影响能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取地形坡度和河网密度作为承灾体脆弱性评价指标。在地心引力作用下，地表径流向低洼地区汇聚，因此地形坡度越大，越容易发生暴雨洪涝。河网密度是流域结构性特征的重要指标，反映了流域地形切割程度，决定了该流域能承受暴雨洪涝能力的强弱。河网密度越高，产生暴雨洪涝灾害的可能性越大，危险性越大；反之危险性越小。

运用 GIS 空间分析功能,并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个脆弱区,依次为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级,对应的值依次为 0.25~0.40、0.40~0.44、0.44~0.47、0.47~0.50 和 0.50~0.67,得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区灾害承灾体脆弱性区划图(图 6.1-4)。

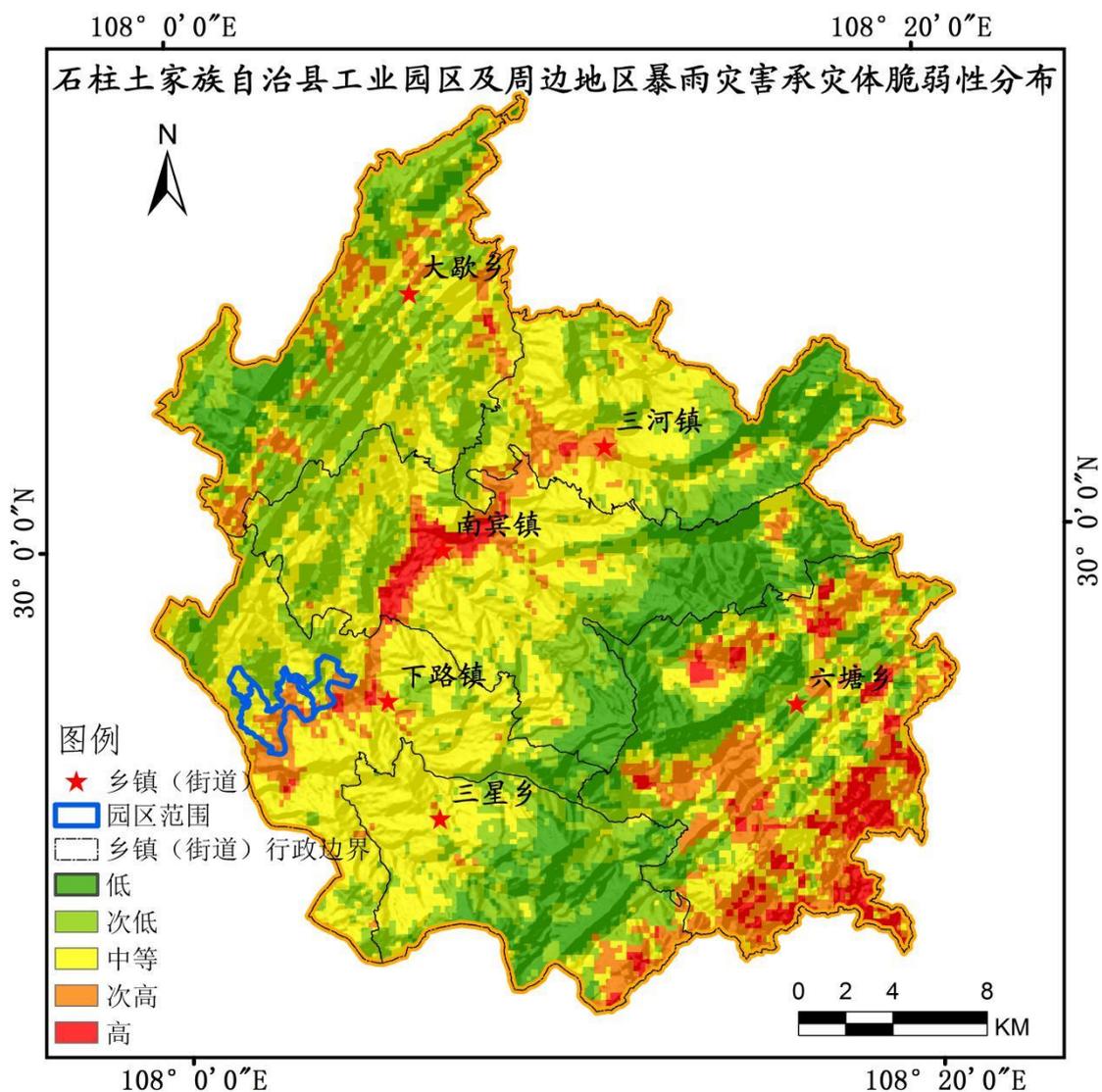


图 6.1-4 石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体脆弱性分布

#### 6.1.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指灾害风险评估区对暴雨灾害的抵御和恢复能力,是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对暴雨灾害所造成损失和破坏的能力,与地方经济发展水平呈正相关。这里主要考虑人均 GDP 和植被指数作为防灾减灾能力的体现。人均 GDP 越高经济越发达地区,防灾减灾的工程和非工程性措施数量相对越多,暴雨抗灾能力相对较强。植被指数越高,覆盖越高越广,涵养水源的能效越强。

基于 GIS 空间分析功能，利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个能力区，分别为低、次低、中等、次高、高等 5 个防灾减灾能力等级，对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、0.70~0.75 和 0.75~0.94，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害防灾减灾能力区划图（图 6.1-5）。

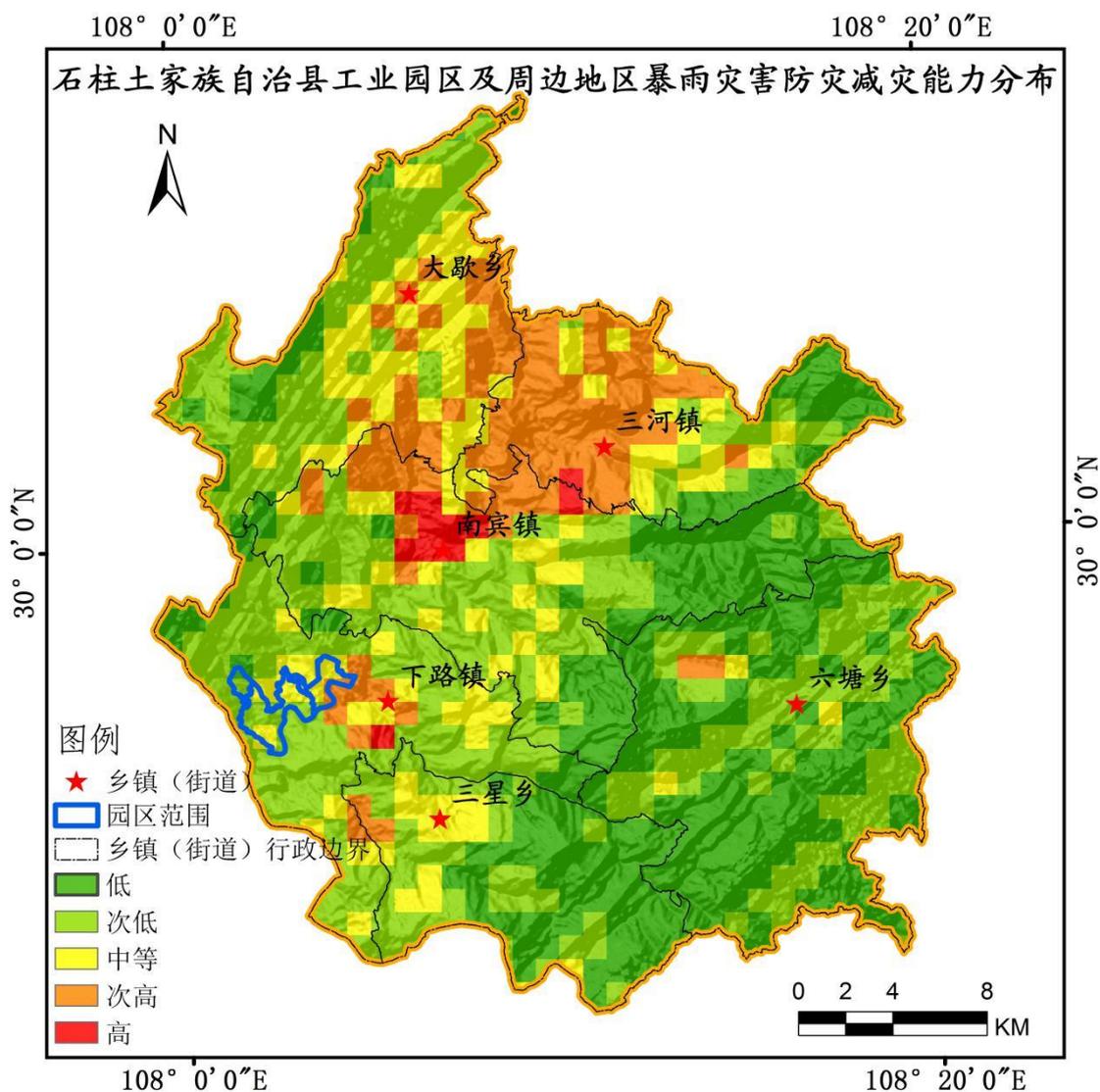


图 6.1-5 石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害防灾减灾能力分布

#### 6.1.2.5 暴雨灾害风险区划

在定量分析暴雨致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上，根据暴雨灾害风险评估模型综合风险值将石柱土家族自治县工业园区及周边地区内暴雨灾害风险区划分为低、次低、中等、次高、高等 5 个风险等级区，运用 GIS 软件并结合自然断点法得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害综合风险等级区划图（图 6.1-6），依次为 0.39~0.47、0.47~0.48、0.48~0.49、0.49~0.50 和 0.50~0.61。

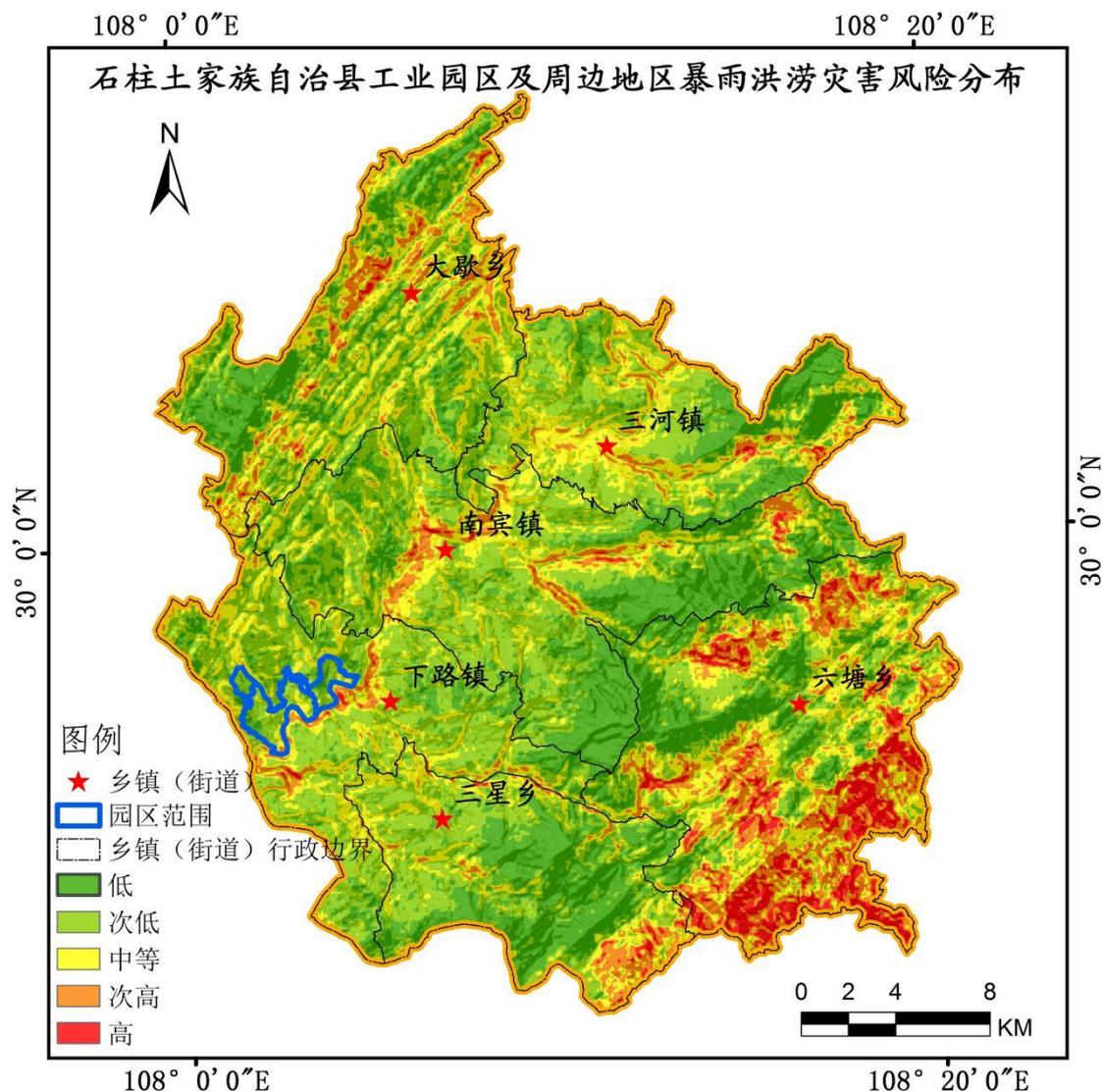


图 6.1-6 石柱土家族自治县工业园区及周边地区暴雨灾害风险分布

### 6.1.3 暴雨风险对策、措施与建议

石柱土家族自治县工业园区应针对暴雨灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施（表 6.1-3）。

表 6.1-3 石柱土家族自治县工业园区应对暴雨灾害性天气事件引发安全事故的控制措施表

措施类别	应采取的控制措施
预防措施	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.将防御暴雨灾害的安全气象保障工作纳入本园区安全稳定工作，层层分解落实石柱土家族自治县工业园区安全气象保障工作目标任务和责任；</li> <li>2.每年组织一次有关专家开展石柱土家族自治县工业园区暴雨气象灾害隐患排查工作，并且发现隐患都及时治理；</li> <li>3.明确负责安全稳定的领导分管暴雨气象灾害防御工作，并纳入了石柱土家族自治县工业园区应急值班范畴。</li> <li>4.开展暴雨气象防灾减灾知识和避险自救技能科普宣传。</li> <li>5.建立手机安全气象预警预报信息接收终端，接到预警预报信息，及时采取相关防范措施。</li> <li>6.园区内建筑物及排水系统应符合防御暴雨气象灾害的相关要求</li> </ol>

措施类别	应采取的控制措施
减轻事故后果的应急措施	1.制定防御暴雨气象灾害的应急预案； 2.明确气象灾害应急避难场所； 3.储备防御暴雨气象灾害应急物资； 4.建立防御暴雨气象灾害工作档案，以便出灾之后查阅，采取有效措施。

(1) 石柱土家族自治县工业园区存在中等暴雨风险，需要注意防御暴雨灾害。建议充分考虑石柱土家族自治县工业园区所在区域暴雨多发的特点，适当定期检查排水系统，定期检查排水管道是否畅通，尽可能降低强降水引发积涝的可能；对于石柱气象局发布的暴雨预警信号要密切关注。在石柱气象局发布台风预警信号后，要立即进行隐患排查并做出相应的治理。对于暴雨灾害隐患，重点除了日常的排查外，还应在每年汛期来临前，一般在4月份之前，进行一次全面的暴雨灾害隐患排查和治理。调研石柱土家族自治县工业园区周边内涝隐患情况，提高暴雨引发的积涝灾害的防御能力。建议在石柱土家族自治县工业园区主要隐患点增加警示标牌并在园区内增设气象电子显示屏，及时接受石柱气象局发布的暴雨预警信号。

(2) 制定针对暴雨灾害的应急预案，建立各级防汛责任制，定期对厂房、办公大楼的渗漏水及雨水倒灌风险隐患进行排查；石柱土家族自治县工业园区防汛办公室负责气象预警信号和天气动态预报信息的接收，密切与石柱气象局等政府部门进行沟通，及时通过文件、电视、网站、手机、传真、微信等渠道获取最新气象信息。石柱土家族自治县工业园区相关人员在接收到区气象台的预报或区防汛防台抗旱指挥部的灾情信息后，立即向石柱园区管委会报告。根据事故后果的严重程度、影响范围及单位控制事态的能力，将石柱土家族自治县工业园区的应急响应分为IV级、III级、II级、I级，通常按预警等级（颜色）相应提高，但是情况紧急也可以越级响应。同时按照应急响应等级做出相应的应对措施。要求全体员工必须清楚应急预案，并熟悉各自的职责，各部门、各应急小组组织学习和演练。石柱土家族自治县工业园区办公室不定期检查各部门的学习和演练情况，每年至少组织一次联合演习和针对性的学习。同时积极参加当地政府组织的应急救援演练。

(3) 石柱土家族自治县全年各月均有可能出现暴雨，其中在5~9月出现机会较多。但在全球变暖、极端天气气候事件多发的背景下，非汛期同样可能出现极端的强降水，例如2018年4月5日暴雨过程。因此，除了在汛期做好暴雨防

御工作之外，非汛期也需要警惕暴雨发生的可能，避免因防灾减灾意识松懈带来风险隐患。

(4) 要注意短历时强降水过程对石柱土家族自治县工业园区内需重点关注的风险源的影响。

## 6.2 高温灾害风险评估与区划

高温灾害风险评估采用风险矩阵法对评估区域的整体的风险水平的评估，风险区划为在风险评估的基础上对风险的更加精细的划分。

### 6.2.1 高温灾害风险评估

#### 6.2.1.1 高温风险识别

##### (1) 资料与数据

本报告高温灾害风险评估采用的资料与数据包括：石柱国家站建站以来逐日极端最高气温观测数据，石柱高温灾害历史灾情数据等。

##### (2) 高温灾害典型案例

###### 1) 1998年3月1日到3月31日高温天气过程

1998年3月1日到3月31日，出现了31天降雨量仅19.4mm的高温天气过程。造成人员牲畜饮水困难，农作物受灾，受灾人口达250000人，农作物受灾面积5000公顷。

###### 2) 2001年7月10日到8月7日高温天气过程

2001年7月10日到8月7日，48天降雨量23.0mm，蒸发达197.9mm。造成人员牲畜饮水困难，农作物受灾。全县受灾人口362000人，饮水困难人口200000人，农作物受灾面积29066.67公顷，农作物成灾面积10866.67公顷，农作物绝收面积4800公顷，直接经济损失3100万元。

###### 3) 2006年7月10日到8月20日高温天气过程

2006年7月10日到8月20日高温天气过程，35℃以上高温日数为21天，37℃以上高温日数为7天。全县受灾人口300000人，农作物受灾面积14900公顷，农作物成灾面积4300公顷，农作物绝收面积1600公顷，直接经济损失5300万元。

###### 4) 2013年6月1日到8月30日高温天气过程

从 2013 年 6 月起，石柱土家族自治县持续出现高温少雨时段，6 月平均气温 25.0℃，较历史同期偏高 0.7℃，降雨量 117.5mm，较历史同期偏少 48.5mm；7 月平均气温 28.6℃，较历史同期偏高 2.4℃，降雨量 55.4mm，较历史同期偏少 97.6mm。此外，7、8 月共出现 40℃ 以上高温天气 6 天，7 月 31 日极端最高气温 42.0℃，创造了新的历史纪录。石柱土家族自治县西沱、沿溪、临溪、三星等 22 个乡镇不同程度受灾，灾害总损失 7208 万元。因旱造成 3 万人 1.3 万头大牲畜饮水困难。农作物受灾面积近 12.7 万亩，其中粮食作物受灾面积 8210 亩，经济作物受灾面积 4453 亩。

### (3) 高温风险源与隐患分析

高温危害可分为直接危害和间接危害，直接危害包括高温引起的人体不适、中暑甚至死亡，自燃性火灾等，间接危害包括导致工作效率下降，农业干旱，重、特大火灾集中发生，拉闸限电，爆胎及车祸等。对于本报告风险评估的对象而言，高温灾害可能造成的影响主要包括以下几方面：

1) 持续高温影响石柱土家族自治县工业园区正常生产活动。高温灾害是发生频率高、影响范围广和（危害）程度大的气象灾害之一。其中最主要的是对人的生命和健康的危害，以及造成的生产中断、生活工作失常而造成的财富损失，主要包括供水、供电超负荷量；工矿停产、商业停业、交通、通讯中断。城市由于“热岛效应”的增温作用使得城区的气温平均比郊区高 2~3℃，最大的甚至可比郊区高 5~8℃。因此城区比郊区更加闷热难忍。

2) 某些易燃的化学物品当气温高于 30℃ 时，如保存不当就易自燃，甚至爆炸，引发城市火灾等灾难事故。可能造成园区人员伤亡和财产损失。

3) 持续高温对工业园区内工人健康造成不利影响，体弱者容易出现中暑等情况。高温和闷热天气不仅会使与热有关的各种疾病的发病率和死亡率增高，而且还会影响人的思维活动和生理机能，容易使人疲劳、烦躁和发怒，各种事故相对增多，影响人的活动能力、工作能力。连日高温闷热会使中暑人数明显增多。因此高温对工人健康造成不利影响，体弱者容易出现中暑。例如 2011 年夏季，连续的高温引发的疾病特别多，截至 8 月 17 日，重庆市高温中暑病例累计达到 141 例，轻度 110 例，重度达到 29 例，因中暑而死亡的有 2 例。

4) 高温高湿的闷热天气对粮食贮藏、食品、物资的贮运也带来危害；加重许多商品、药品霉变的损失，使食物不易保存，易腐败变质，对工业园区食堂的食物保鲜不利有可能对工人身体健康和工业园区卫生造成不利影响，从而引发工人的安全事故。

5) 天气炎热，会促使油路胀大，进而易诱发燃油外泄，成为汽车自燃的一个常见隐患。高温天气可能引发工业园区货运车辆在行驶过程中自燃，引发安全事故。

6) 高温使工业园区的火险等级增加，容易引发安全事故。

### 6.2.1.2 高温灾害风险评估

#### (1) 高温灾害风险评估方法

本报告采用经典的风险定义来表达灾害风险，并采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理 风险评估技术》中的风险矩阵法对石柱土家族自治县工业园区的高温灾害风险通过评估和分级。灾害风险分级由灾害风险事件发生的可能性和产生的后果来决定。高温灾害事件发生可能性的计算以项目选取的参证气象站和参考站历史 5 月~10 月逐日最高气温观测数据为基础，使用数理统计方法对高温概率分布函数进行拟合，进一步求出极端高温超过特定值的概率。高温定义采用重庆市地方标准 DB50/T 270-2008《气象灾害标准》中对高温的定义：轻度高温： $35^{\circ}\text{C} \leq \text{日最高气温} < 37^{\circ}\text{C}$ ；中度高温： $37^{\circ}\text{C} \leq \text{日最高气温} < 40^{\circ}\text{C}$ ；严重高温：日最高气温  $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 。

#### (2) 高温发生的可能性评估

利用石柱气象站建站以来的年逐日极端最高气温资料建立评估序列，采用 Gumble 分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布和 Pearson-III 型分布对该站极端气温进行了概率分布拟合，并检验筛选最优模型。结果表明，采用皮尔逊 III 分布最小二乘法函数为最优模型。计算得到石柱气象站不同重现期极端最高气温，见表 6.2-1。

表 6.2-1 参证站不同重现期极端最高气温

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极端最高气温( $^{\circ}\text{C}$ )	37.4	38.0	38.8	39.7	40.6	40.9	41.9	42.8

结合石柱历史高温灾情记录,综合考虑企业的特性,本报告认为当日极端最高气温 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ ,即发生中度高温,可能对本项目所评估的石柱土家族自治县工业园区内企业造成影响,因此以日极端最高气温 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 作为高温灾害事件,并结合参证气象站日极端最高气温的概率分布函数,计算得出本项目所在区域发生高温灾害事件的概率大于 0.5。按灾害风险可能性等级分值划分,石柱土家族自治县工业园区区域高温灾害发生的可能性等级为**2级**,即**很可能发生**。

### (3) 高温发生的后果损失评估

- 1) 持续高温影响石柱土家族自治县工业园区正常生产活动。
- 2) 某些易燃的化学物品受高温影响易自燃,甚至爆炸,引发城市火灾等灾难事故。
- 3) 持续高温对园区内工人健康造成不利影响,体弱者容易出现中暑等情况。
- 4) 高温高湿的闷热天气对粮食贮藏、食品、物资的贮运也带来危害。
- 5) 高温天气可能引发园区货运车辆在行驶过程中自燃,引发安全事故。
- 6) 高温使园区的火险等级增加,容易引发安全事故。

综合考虑上文所述各种情形,结合灾害事件造成后果分析等级划分,确定高温灾害对石柱土家族自治县工业园区可能造成后果的等级为**4级**。

### (4) 高温风险水平的确定

综合石柱土家族自治县工业园区高温灾害发生的可能性等级和后果等级,参照“表 A.4 灾害风险分级矩阵”,石柱土家族自治县工业园区的高温风险为**中等风险**。

## 6.2.2 高温灾害风险区划

从整体上来说石柱土家族自治县工业园区高温灾害风险水平为高风险,但是在整个评估区域内的高温灾害风险分布略有不同,利用气象灾害风险区划模型对石柱土家族自治县工业园区的高温灾害分布进行分析。

### 6.2.2.1 高温灾害致灾因子危险性

致灾因子危险性指形成高温灾害的自然变异因素及其异常程度。一般来说,气温越高,高温灾害致灾因子危险性也越高,其导致的相关风险也就越大。这里高温灾害致灾因子主要考虑极端高温空间分布(图 6.2-1)。

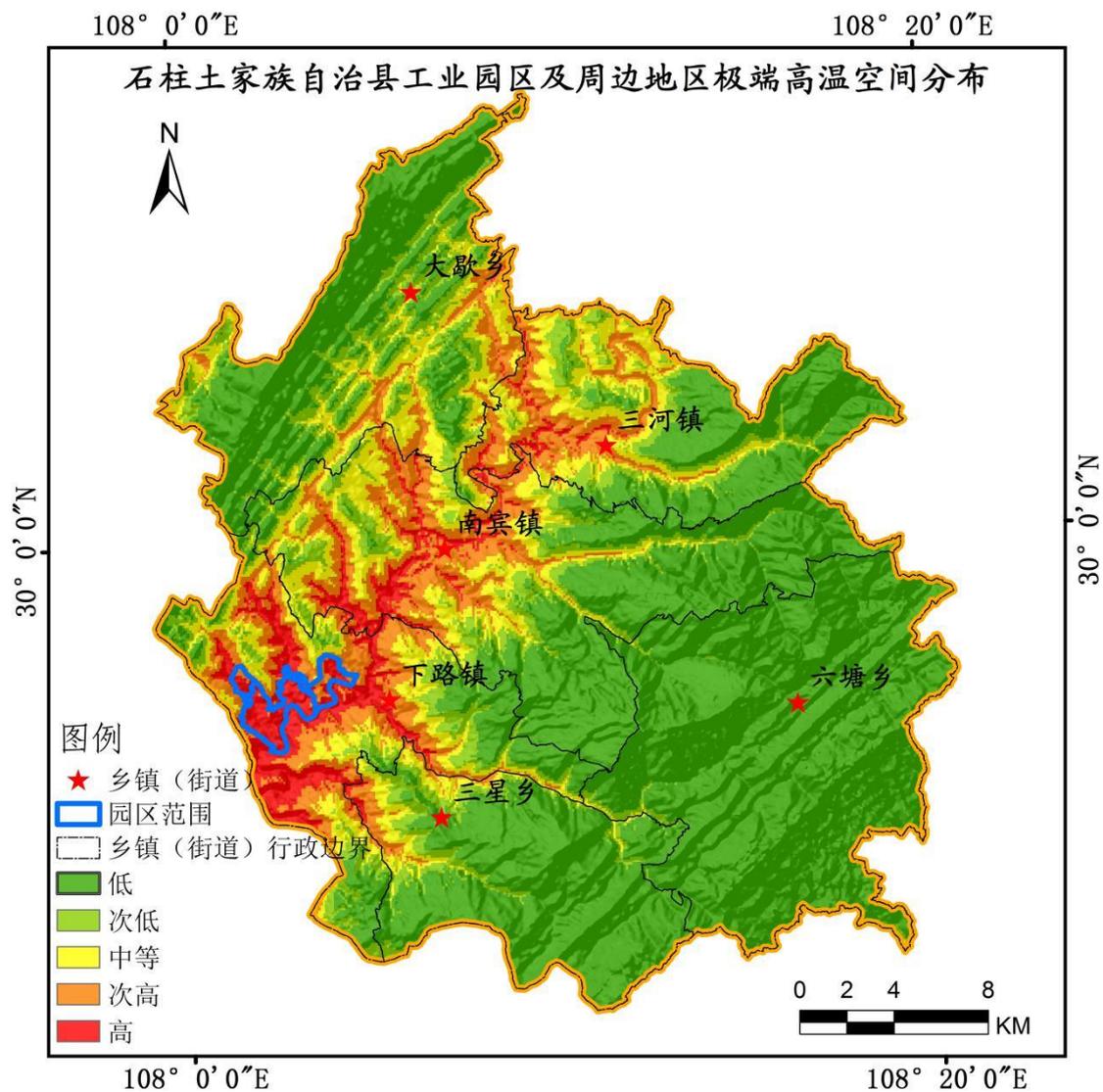


图 6.2-1 石柱土家族自治县工业园区及周边地区极端高温空间分布

#### 6.2.2.2 高温灾害承灾体暴露性

承灾体暴露性是指可能受到高温威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于高温灾害危险因素的价值密度越高，可能遭受的潜在损失也就越大，风险也越高。本文选取人口密度和经济密度作为承灾体暴露性评估指标。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱性等级，依次为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级，对应的 E 依次为 0.47~0.52、0.53~0.59、0.59~0.65、0.65~0.71 和 0.71~0.85，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温承灾体暴露性区划图（图 6.2-2）。

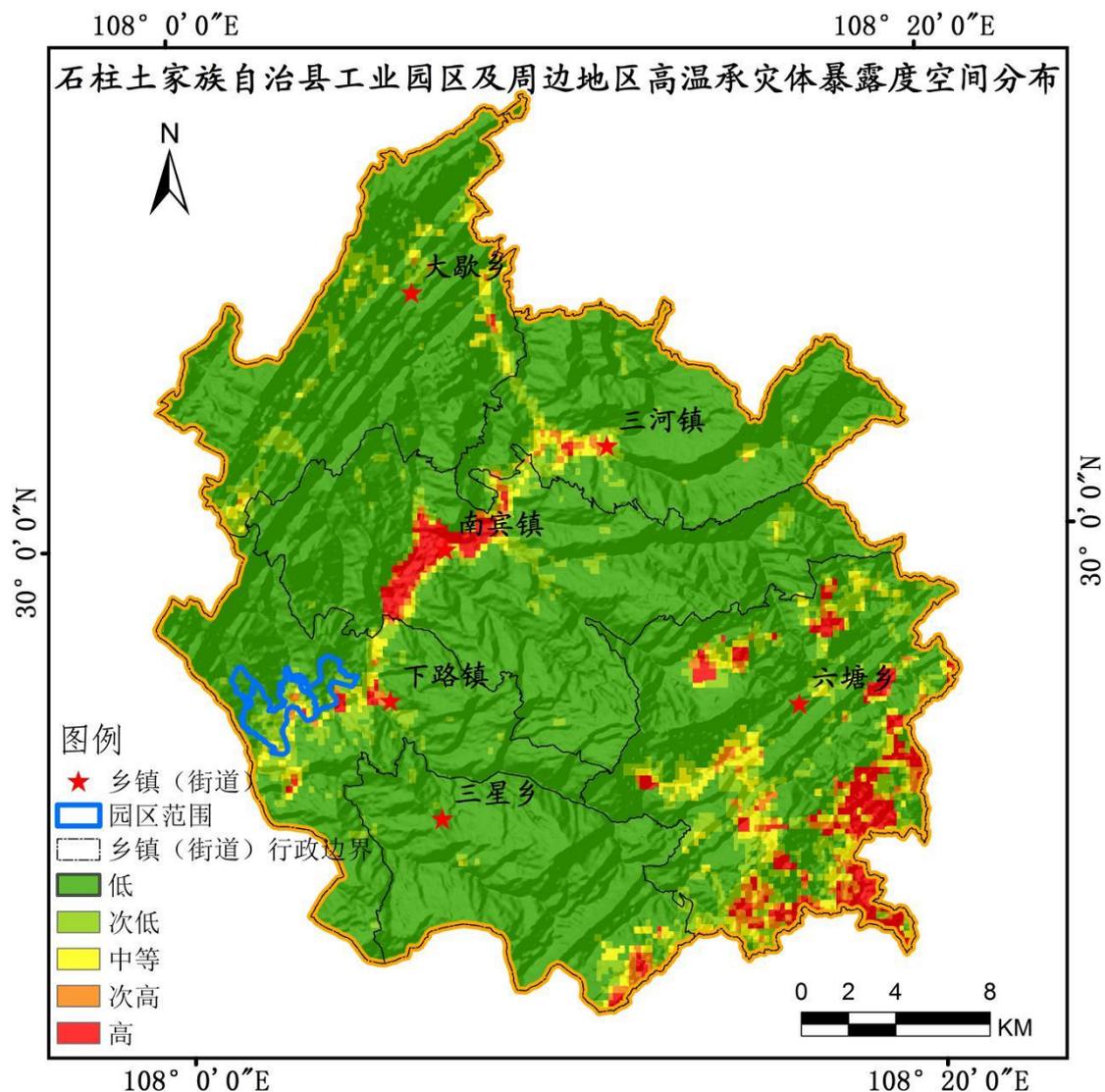


图 6.2-2 石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温承灾体暴露度空间分布

### 6.2.2.3 高温灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对高温灾害影响的敏感度和适应能力的综合反映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，高温灾害风险也越大。根据自然环境对高温灾害的承受能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取海拔高度和河网密度作为承灾体脆弱性评价指标。在海拔越高，气温越低。河网密度越高，其应对高温的脆弱性越低。

运用 GIS 空间分析功能，并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.25~0.40、0.40~0.44、0.44~0.47、0.47~0.50 和 0.50~0.67，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温灾害承灾体脆弱性区划图（图 6.2-3）。

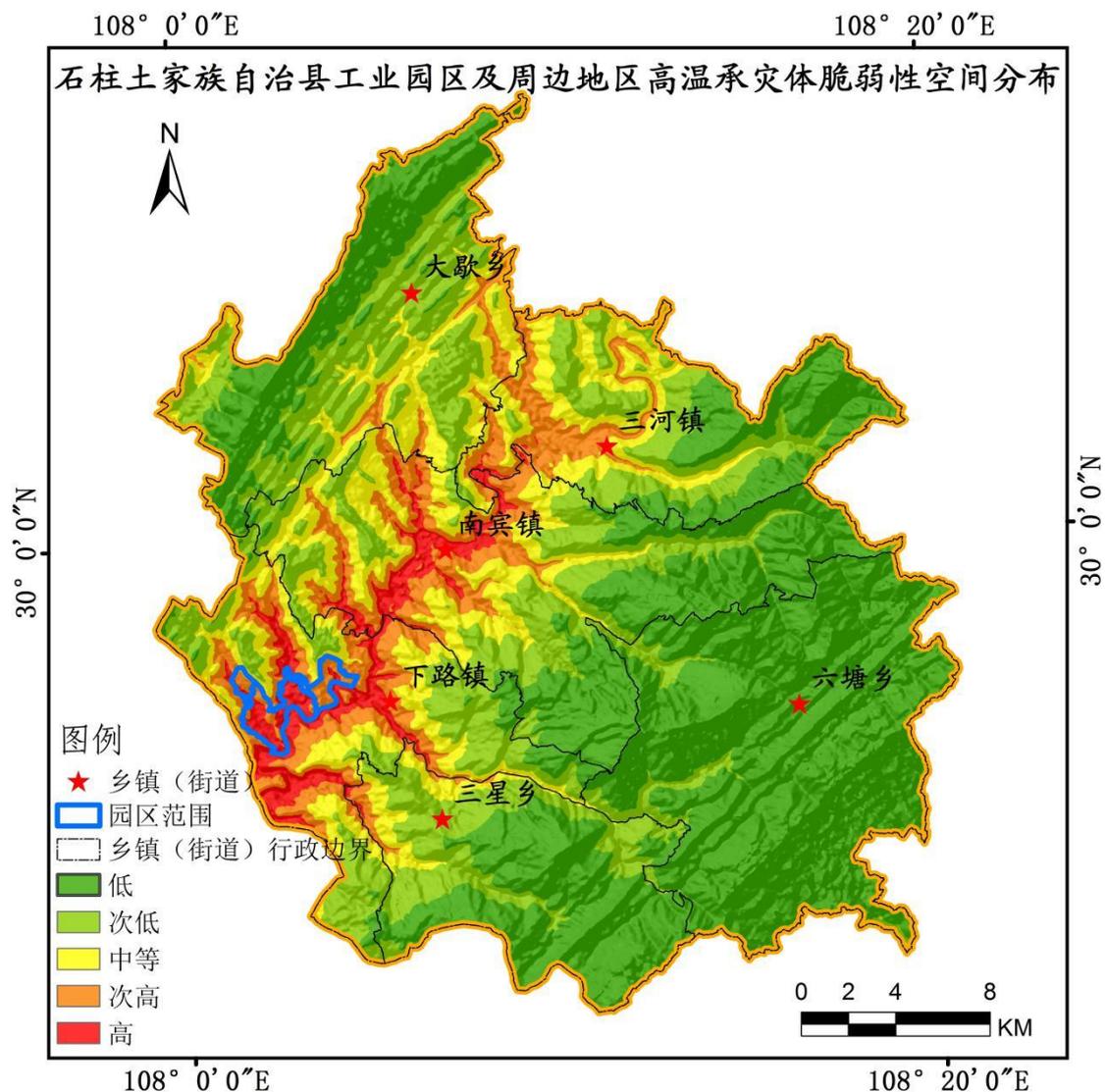


图 6.2-3 石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温灾害承灾体脆弱性空间分布

#### 6.2.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾风险区对高温灾害的抵御和恢复能力，是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对高温灾害所造成损失和破坏的能力，与地方经济发展水平呈正相关。这里主要考虑人均 GDP 和植被指数作为防灾减灾能力的体现。人均 GDP 越高经济越发达地区，防灾减灾的工程和非工程性数量相对越多，应对高温的能力相对较强。植被指数越高，覆盖越高越广，抵御高温的能力越强。

基于 GIS 空间分析功能，利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个等级，分别为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、0.70~0.75 和 0.75~0.94，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温灾害防灾减灾能力区划图（图 6.2-4）。

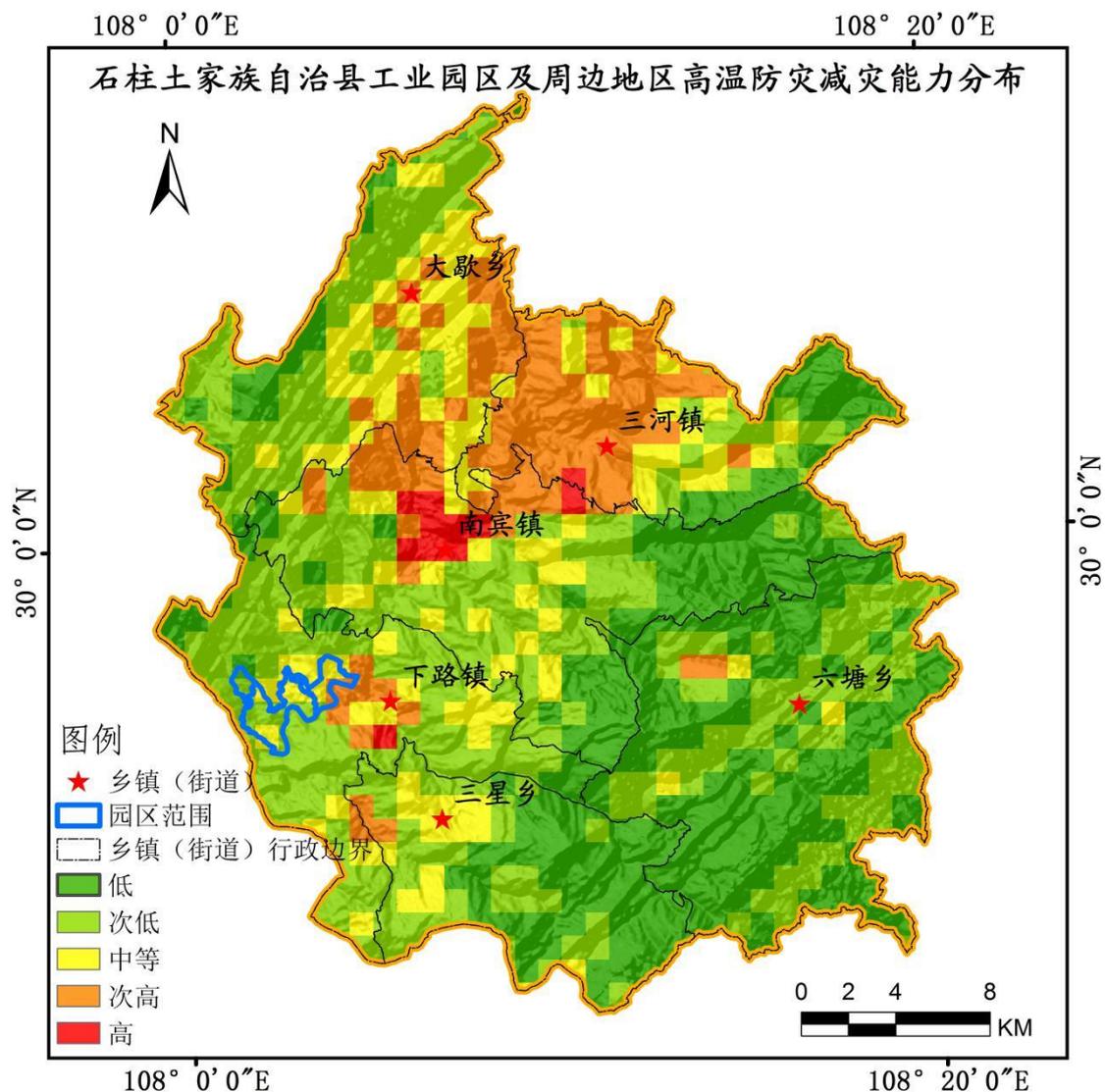


图 6.2-4 石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温灾害防灾减灾能力分布

#### 6.2.2.5 高温灾害风险区划

在定量分析致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上，根据高温灾害风险评估模型计算得到石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温灾害风险分布，并将其划分为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级，运用 GIS 软件并结合自然断点法得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温灾害综合风险等级区划图(图 6.2-5)，依次为 0.47~0.54、0.54~0.60、0.60~0.69、0.69~0.78 和 0.78~0.87。

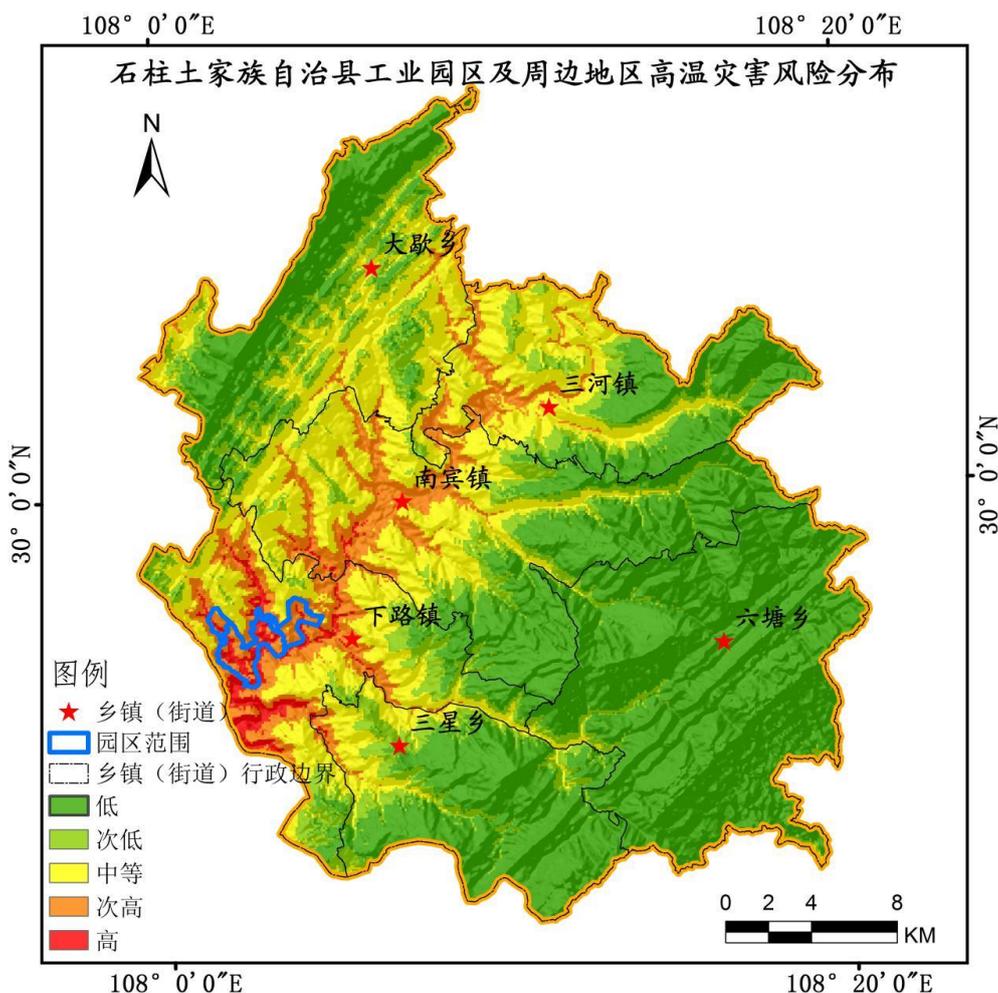


图 6.2-5 石柱土家族自治县工业园区及周边地区高温气象灾害风险分布

### 6.2.3 高温风险对策、措施与建议

园区应针对高温灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施（表 6.2-2）。

表 6.2-2 应对高温灾害性天气事件引发安全事故的控制措施表

措施类别	应采取的控制措施
预防措施	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.将防御高温灾害的安全气象保障工作纳入本园区安全稳定工作，层层分解落实石柱土家族自治县工业园区安全气象保障工作目标任务和责任。</li> <li>2.每年组织一次有关专家开展石柱土家族自治县工业园区高温气象灾害隐患排查工作，重点排查高温诱发火灾隐患，并且发现隐患都及时治理。</li> <li>3.明确负责安全稳定的领导分管高温气象灾害防御工作，并纳入了石柱土家族自治县工业园区应急值班范畴。</li> <li>4.开展高温气象防灾减灾知识和避险自救技能科普宣传，重点普及了防中暑科普知识和高温天气车辆行驶安全教育。</li> <li>5.建立手机安全气象预警预报信息接收终端，接到高温预警预报信息，及时采取防暑降温措施。</li> <li>6.建筑物防火等级符合消防规定。</li> <li>7.在夏季高温期间应采取防暑降温措施，如石柱土家族自治县工业园区空调、食堂冰箱等工作正常。</li> </ol>

措施类别	应采取的控制措施
减轻事故后果的应急措施	1.制定防御高温气象灾害的应急预案； 2.储备防暑降温药品和其他应急物资； 3.建立防御高温气象灾害工作档案，以便出灾之后查阅，采取有效措施。

(1) 高温来临前应及时安装降温设备，如电扇、空调、冰箱等，必要时进行隔热处理。在办公室的窗户和窗帘之间安装临时反热窗，如铝箔表面的硬纸板。早晨或下午能进太阳光的窗户用窗帘(遮光帘)遮好。对园区工人进行防暑指导。准备防暑降温饮料和常用防暑药品。持续的高温干旱天气又可能造成供水紧张，应及时储备。全面提高园区绿地覆盖率和种树，增加园区水域面积和喷、洒水设施，降低温度，缓解城市热岛效应。加强防暑降温保健知识和防火知识的宣传。

(2) 高温天气中组织开展火灾逃生知识的宣传和技能培训。通知员工尽量留在室内，并避免阳光直射。暂停户外活动。白天尽量减少户外作业，尤其是在中午到下午这段时间，要避免在强烈的阳光下暴晒。对员工进行防暑指导和开展火灾逃生知识的宣传和技能培训。加强食品卫生安全监督检查。食堂多准备咸食、凉白开水、冷盐水、白菊花水或绿豆汤等。注意做好运营车辆车况检查工作，做好防火准备工作。特别注意防范用电量过高导致园区电线、变压器等电力设备负载大而引发的火灾。建议在石柱土家族自治县工业园区内增设气象电子显示屏，及时接受石柱气象局发布的高温预警信号。制定针对高温灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

### 6.3 大风灾害风险评估与区划

大风灾害风险评估采用风险矩阵法对评估区域的整体的风险水平的评估，风险区划为在风险评估的基础上对风险的更加精细的划分。

#### 6.3.1 大风灾害风险评估

##### 6.3.1.1 大风风险识别

###### (1) 资料与数据

本报告大风灾害风险评估采用的资料与数据包括：石柱国家基本站建站以来逐日极大风速观测数据，石柱大风灾害历史灾情数据等。

###### (2) 大风灾害等级

参照中国气象局预测减灾司气预函〔2005〕47号关于下发《突发气象灾害预警信号发布业务规范》(试行)的通知和国家气象局地面天气观测规范以及浦福风力等级把大风灾害天气分为四个强度等级(表6.3-1)。

表 6.3-1 大风灾害天气强度等级表

强度等级	名称	浦福风力等级	风速范围(m/s)	地物征象	预警信号
一级	一般大风	7	13.9-17.1	全树动摇,大树枝弯下来,迎风不行感觉不便	蓝色预警
二级	较严重大风	8	17.2-20.7	可折毁小树枝,人迎风前行感觉阻力甚大	蓝色或黄色预警
		9	20.8-24.4	草房遭受破坏、屋瓦被掀起,大树枝可折断	黄色预警
三级	严重大风	10	24.5-28.4	树木可被吹倒,一般建筑物遭破坏	黄色或橙色预警
		11	28.5-32.6	大树可被风吹倒,一般建筑物遭严重破坏	橙色预警
四级	特严重大风	12	>32.6	摧毁力极大	红色预警

### (3) 大风灾害典型案例

#### 1) 1992年4月20日大风天气过程

1992年4月20日,悦来镇,黄水镇出现大风。此次大风造成比较严重的损失,受灾人口29646人,转移安置人口3280人,农作物受灾面积3280公顷,直接经济损失106万元。

#### 2) 1993年5月1日大风天气过程

1993年5月1日,全县出现大风。此次大风造成严重的损失,受灾人口200000人,死亡1人,农作物受灾面积634.3公顷,损失粮食2356.5公顷,直接经济损失255.01万元。

#### 3) 2008年8月6日大风天气过程

2008年8月6日16时,临溪镇出现雷雨,并伴有大风。临溪镇南峰村烤烟受到比较严重的损失,83户有30户受灾严重,绝收面积达36.2亩,损失产量9050斤,烟农直接经济损失54300元。

#### 4) 2009年5月12日大风天气过程

2009年5月12日至13日凌晨,我县大歇、马武等乡镇遭受暴雨、大风袭击。此次灾害涉及4个乡镇,10个村4125户1.8万人,农作物受灾665公顷。其中:马铃薯391公顷,玉米80公顷,烤烟139公顷,其它作物55公顷,辣椒苗

床 367 个，低压线断档 7 处，公路损毁 8.2 公里，房屋受损 61 间，无人员伤亡。造成直接经济损失 850 万元。

#### (4) 大风风险源与隐患分析

大风天气可能造成的危害范围很广，包括各类危旧住房、厂房、工棚、围墙、临时建筑、在建工程、市政公用设施（如路灯等）、游乐设施、各类吊机、施工电梯、脚手架、电线杆、树木、广告牌、铁塔和阳台、屋顶上的花盆、空调室外机、雨蓬、太阳能热水器、屋顶杂物以及建筑工地上的零星物品、工具、建筑材料等，上述目标物被强风吹落或因强风崩塌后易造成人员伤亡；强风易吹倒输电线路并造成电网线路跳闸；强风易吹倒通信基站造成通信网络设施受损，通讯中断。因此大风造成的安全隐患主要出现在未达到一定抗风能力的建筑物和设施以及未能及时收到气象预警信息而未采取防护措施的人群中。对于本报告风险评估的对象而言，大风灾害可能造成的影响主要包括以下几方面：

1) 大风可能拔起大树、折断电杆，毁坏地面设施和建筑物，特别是会对抗风性能较弱的房屋造成损毁，影响园区正常的运行。

2) 大风容易吹落高层建筑物的门窗和屋顶的物品以及广告牌，有时甚至吹倒建筑物，对园区工人安全构成威胁。

3) 大风影响能见度，易吹倒行道树木等，影响园区车辆的交通正常运行。

4) 大风可能造成水、电、通信等线路中断，影响电力、水等正常供应以及造成通讯中断和设施损毁。

5) 大风极易刮断电线等引发火灾，危及园区基础设施。

6) 大风影响园区户外活动。

### 6.3.1.2 大风灾害风险评估

#### (1) 大风灾害风险评估方法

大风灾害风险评估方法同样采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理 风险评估技术》中的风险矩阵法对本项目的大风灾害风险通过评估和分级。大风灾害事件发生可能性的计算以项目选取的参证气象站大风历史观测数据为基础，使用数理统计方法对极大风速概率分布函数进行拟合，进一步求出极大风速超过特定值的概率。

## (2) 大风发生的可能性评估

根据第五章设计风速建立年极大风速评估序列，采用 Gumble 分布、Weibull 分布、对数正态分布和 Pearson-III 型分布对该站年极大风速极值进行了概率分布拟合，并检验筛选最优模型。结果表明，采用皮尔逊 III 最小二乘法概率分布函数为最优模型。计算出代表石柱土家族自治县工业园区的参证气象站不同重现期极大风速值如表 6.3-2 所示。

表 6.3-2 参证站不同重现期极大风速

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极大风速(m/s)	16.5	18.3	20.1	22.5	25.4	27.1	29.2	32.1

结合石柱历史大风记录、不同重现期极大风速计算结果，综合考虑石柱土家族自治县工业园区特点，本报告认为当极大风速超过 9 级（20.8m/s），可能对石柱土家族自治县工业园区的建筑物及外露设备造成一定影响，因此以极大风速超过 9 级作为大风灾害事件，并结合参考气象站极大风速的概率分布函数，可计算出评估对象所在区域发生大风灾害事件的概率 0.5。

按照灾害风险可能性分级表给出的灾害风险可能性等级分值划分，石柱土家族自治县工业园区所在区域大风灾害发生的可能性等级为 **2 级**，即很可能发生。

## (3) 大风发生的后果损失评估

大风可能拔起大树、折断电杆，毁坏地面设施和建筑物，特别是会对抗风性能较弱的房屋造成损毁，影响园区正常的运行。大风容易吹落高层建筑物的门窗和屋顶的物品以及广告牌，有时甚至吹倒建筑物，对园区工人安全构成威胁。大风影响能见度，易吹倒行道树木等，影响园区车辆的交通正常运行。大风可能造成水、电、通信等线路中断，影响电力、水等正常供应以及造成通讯中断和设施损毁。大风极易刮断电线等引发火灾，危及园区基础设施。大风影响园区户外活动。

综合考虑上文所述各种情形，结合灾害事件造成后果分析等级划分，确定大风灾害对园区可能造成后果的等级为 **4 级**。

## (4) 大风风险水平的确定

综合石柱土家族自治县工业园区所在区域大风灾害发生的可能性等级和后果等级，参照“表 A.4 灾害风险分级矩阵”，此区域内大风风险为**中等风险**。

### 6.3.2 大风灾害风险区划

从整体上来说石柱土家族自治县工业园区大风灾害风险水平为高风险,但是在整个评估区域内的大风灾害风险分布略有不同,利用气象灾害风险区划模型对石柱土家族自治县工业园区的大风灾害分布进行分析。

#### 6.3.2.1 大风灾害致灾因子危险性

致灾因子危险性指形成大风灾害的自然变异因素及其异常程度。一般来说,大风致灾因子危险性越高,大风灾害的风险也就越大。这里大风灾害致灾因子主要考虑模拟的大风风速分布(图 6.3-1)。

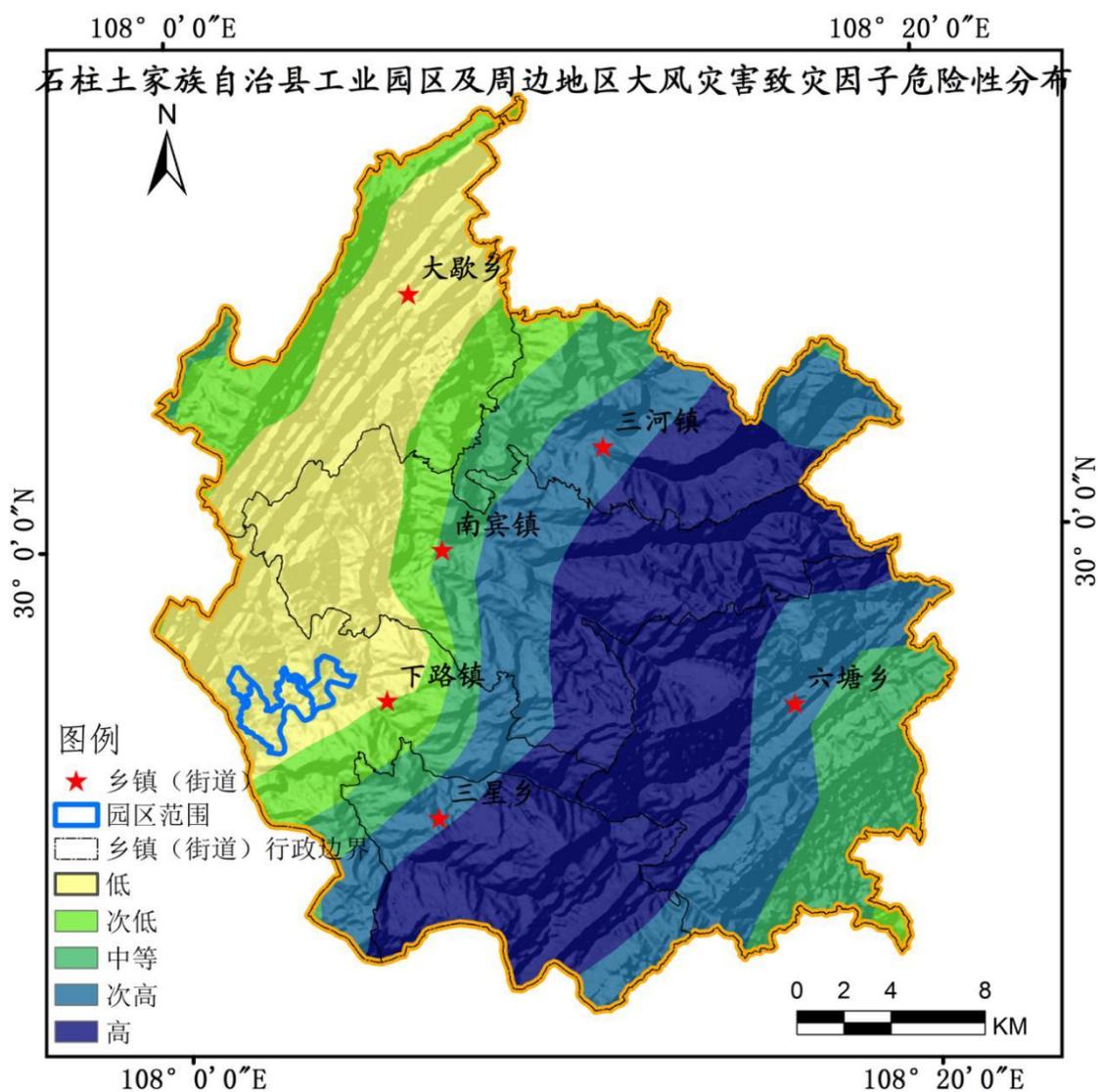


图 6.3-1 石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害致灾因子危险性分布

#### 6.3.2.2 大风灾害承灾体暴露性

承灾体暴露性是指可能受到大风威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于大风灾害危险因素的价值密度越高,可能遭受的潜在损失也就越大,

风险也越高。本文选取人口密度和经济密度作为承灾体暴露性评估指标。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.23~0.29、0.29~0.35、0.35~0.43、0.43~0.55 和 0.55~0.71，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害承灾体暴露性区划图（图 6.3-2）。

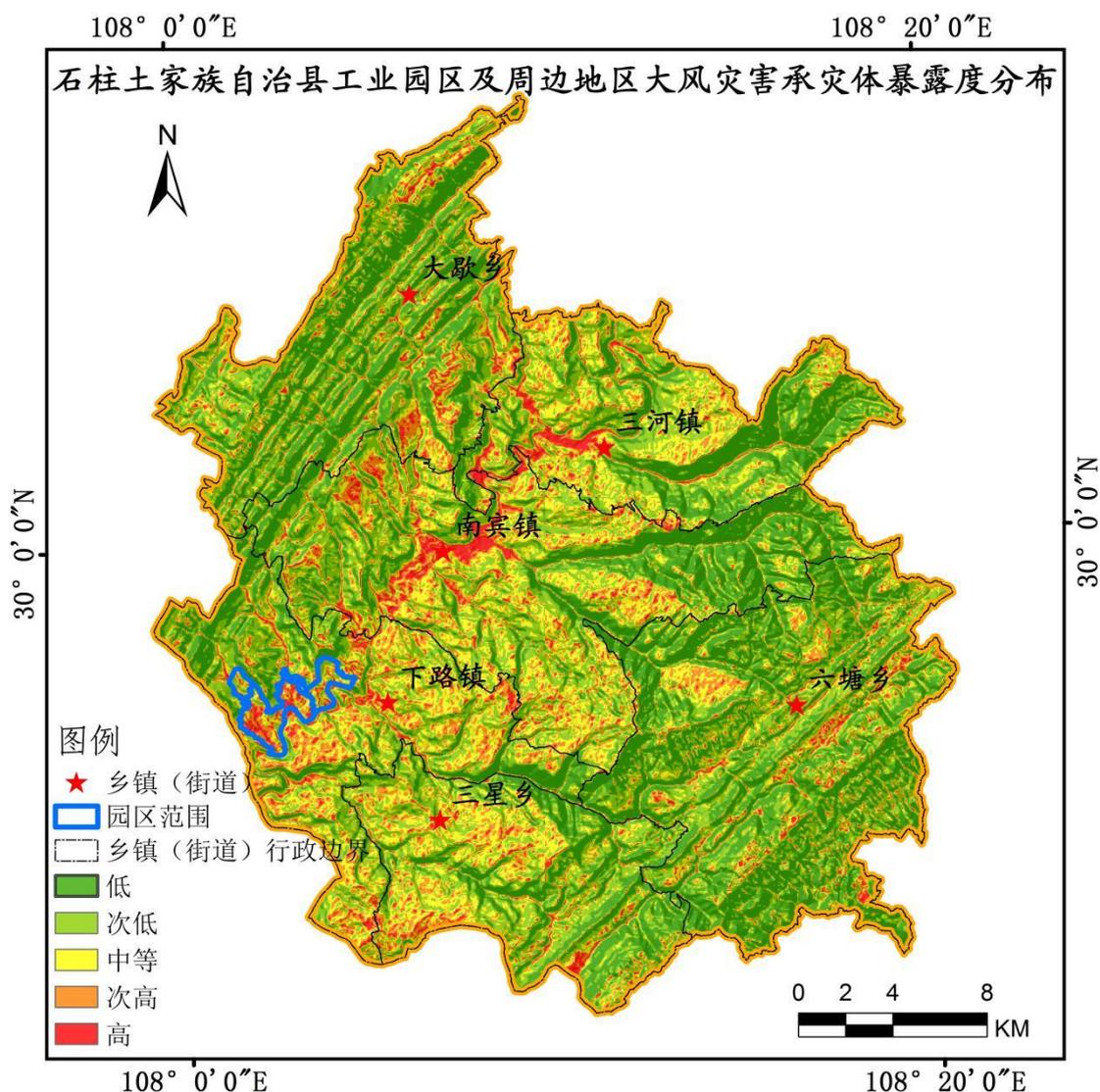


图 6.3-2 石柱土家族自治县工业园区及周边地区承灾体暴露度分布

### 6.3.2.3 大风灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对大风灾害影响的敏感度和适应能力的综合反映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，

承灾体脆弱性越高,大风灾害风险也越大。根据自然环境对大风灾害的影响能力,并结合重庆地区的孕灾环境,主要选取地形坡度作为承灾体脆弱性评价指标。地形对大风具有阻挡作用,因此地形坡度越大,对大风的阻挡作用越强。

运用 GIS 空间分析功能,并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个脆弱性等级,依次为低、次低、中等、次高、高等,对应的值依次为 0.26~0.40、0.40~0.48、0.48~0.57、0.57~0.65 和 0.65~0.78,得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害承灾体脆弱性区划图(图 6.3-3)。

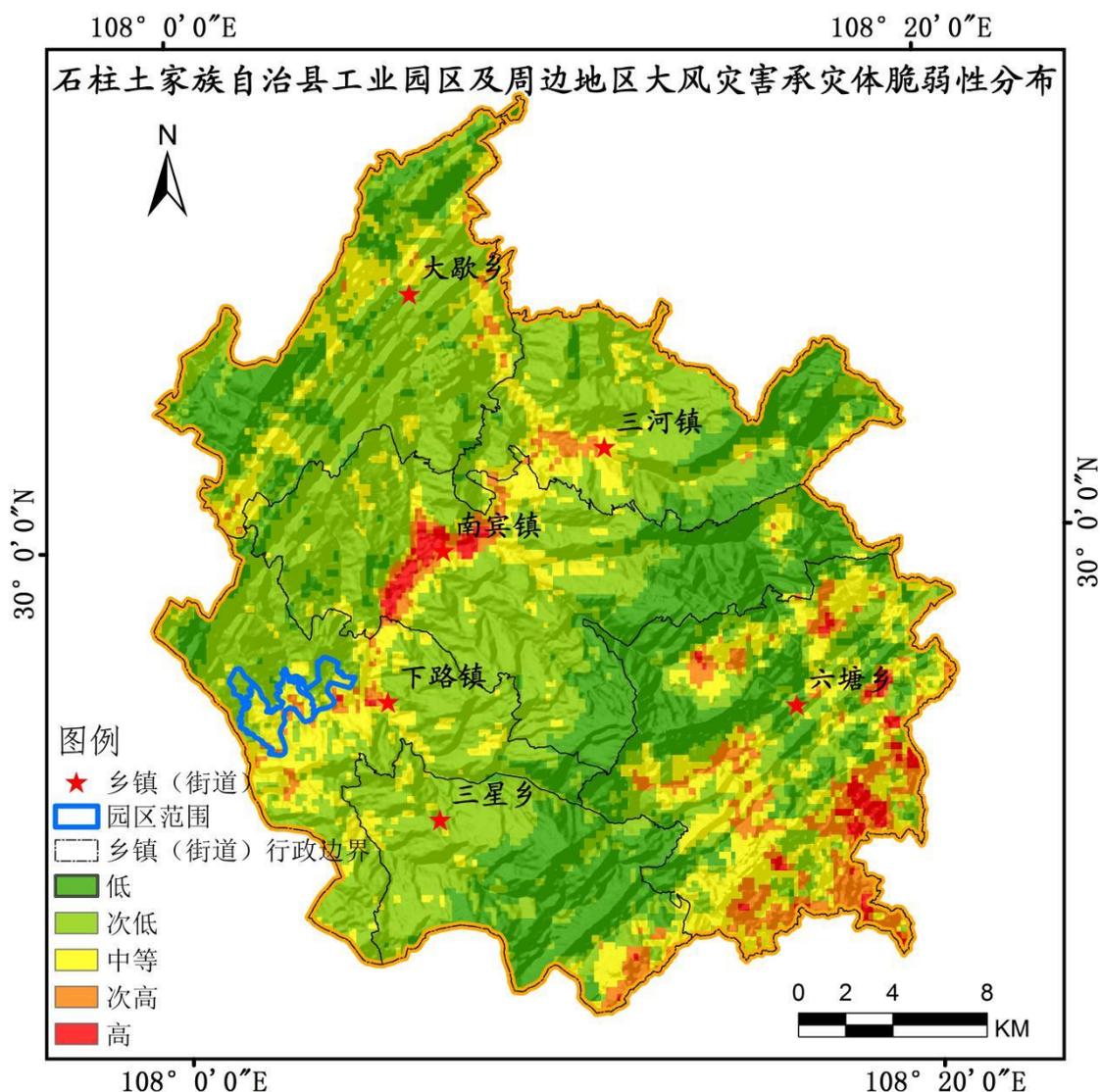


图 6.3-3 石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风承灾体脆弱性分布

#### 6.3.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾风险区对大风灾害的抵御和恢复能力,是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对大风灾害所造成损失和破坏的能力,与地方经济发展水平呈正相关。这里主要考虑人均 GDP 和植被指数作为防灾减灾能力的体

现。人均 GDP 越高经济越发达地区，防灾减灾的工程和非工程性措施数量相对越多，大风抗灾能力相对较强。植被指数越高，覆盖越高越广，抵御大风的能力越强。

基于 GIS 空间分析功能，利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个等级，分别为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、0.70~0.75 和 0.75~0.94，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害防灾减灾能力区划图（图 6.3-4）。

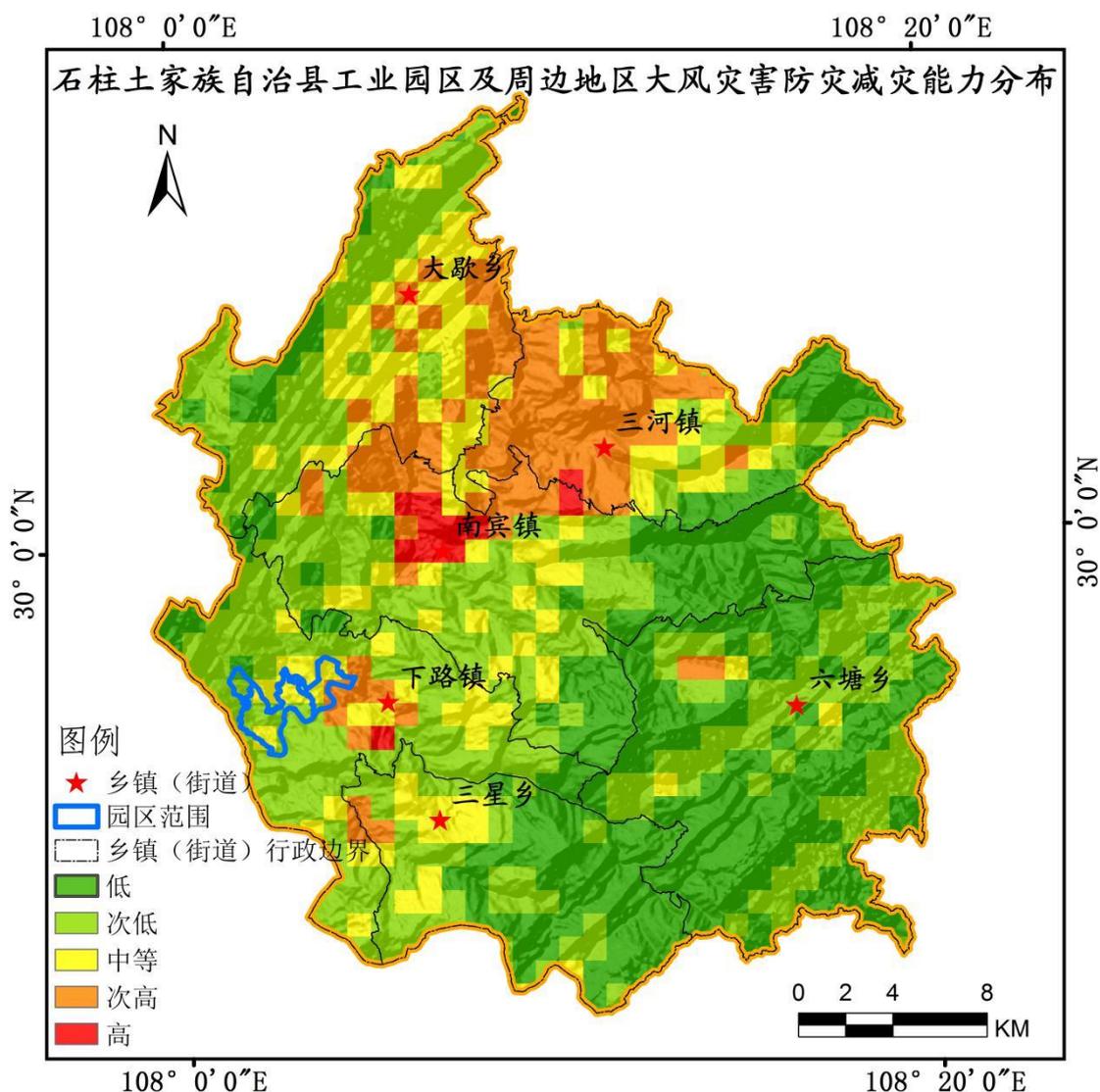


图 6.3-4 石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害防灾减灾能力分布

### 6.3.2.5 大风灾害风险区划

在定量分析致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上，根据大风灾害风险评估模型技术出风险指数的空间分布，运用 GIS 软件并结合自然断点法将大风灾害风险分为低、次低、中等、次高、高等 5 个风险

等级区,得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害综合风险等级区划图(图 6.3-5),依次为 0.37~0.45、0.45~0.52、0.52~0.60、0.60~0.70 和 0.70~0.81。

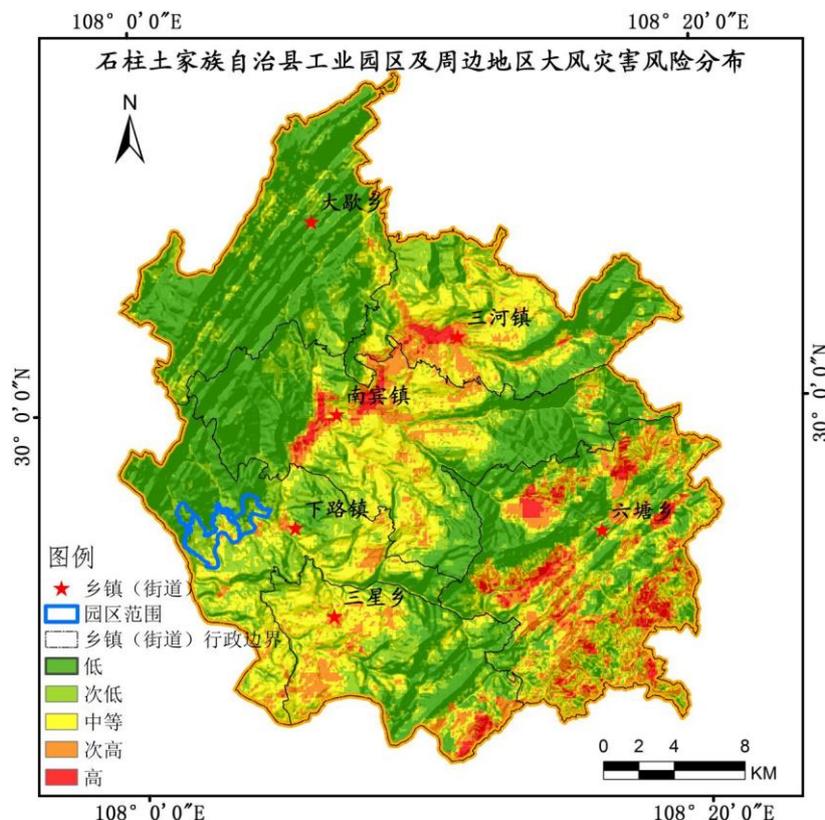


图 6.3-5 石柱土家族自治县工业园区及周边地区大风灾害风险分布

### 6.3.3 大风风险对策、措施与建议

园区应针对大风灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施(表 6.3-3)。

表 6.3-3 石柱土家族自治县工业园区应对大风灾害性天气事件引发安全事故的控制措施表

措施类别	应采取的控制措施
预防措施	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.将防御大风灾害的安全气象保障工作已纳入安全稳定工作,层层分解落实石柱土家族自治县工业园区安全气象保障工作目标任务和责任。</li> <li>2.每年组织一次有关专家开展石柱土家族自治县工业园区大风气象灾害隐患排查工作,重点排查大风诱发建筑物的门窗脱落和屋顶的物品掉下以及是否有危房等隐患,并且发现隐患都及时治理。</li> <li>3.明确负责安全稳定的领导分管大风气象灾害防御工作,并纳入石柱土家族自治县工业园区应急值班范畴。</li> <li>4.开展大风气象防灾减灾知识和避险自救技能科普宣传,重点普及防高空坠落科普知识和大风天气车辆行驶安全教育。</li> <li>5.建立手机安全气象预警预报信息接收终端,接到大风预警预报信息,及时采取防御大风措施。</li> <li>6.建筑物符合抗大风的安全要求,并符合建筑物防火等级要求。</li> </ol>

措施类别	应采取的控制措施
减轻事故后果的应急措施	1.制定防御大风气象灾害的应急预案。 2.储备防御大风气象灾害的应急物资。 3.建立大风气象灾害的工作档案，以便出灾之后查阅，采取有效措施。

石柱土家族自治县工业园区防御大风灾害天气风险的处置措施与对策建议如下：

(1) 大风来临前。应及时加固地面设施，有建设工程的石柱土家族自治县工业园区要遮盖建筑物资，妥善安置易受大风影响的室外物品。对简易建筑、临时搭建物、门窗、电气线路、室外体育器械等进行重点排查，消除因大风可能导致安全事故的隐患，在危险地段设置安全警示牌。在房间里要小心关好窗户，在窗玻璃上贴上“米”字形胶布，防止玻璃破碎，远离窗口，避免强风席卷沙石击破玻璃伤人。对园区工作人员进行安全教育，提高安全意识。

(2) 大风影响中。尽量减少外出，必须外出时不要在广告牌、临时搭建建筑物下面逗留、避风。停止进行户外活动或露天集会。园区车辆如果正在行驶中，应及时驶入地下停车场或隐蔽处。特别注意防范用大风刮断石柱土家族自治县工业园区电线等引发火灾。做好停电、停水的各项应急工作。建议在石柱土家族自治县工业园区内增设气象电子显示屏，及时接受石柱气象局发布的大风预警信号。制定针对大风灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

## 6.4 雷电灾害风险区划

### 6.4.1 雷电风险识别

#### 6.4.1.1 资料与数据

本节雷电灾害风险评估采用的资料与数据包括：石柱国家基本站建站以来雷电天气现象观测数据，石柱雷电灾害历史灾情数据等。

#### 6.4.1.2 雷电风险源与隐患分析

石柱属于雷电高发区，年平均雷暴日为 38.3 天。根据石柱土家族自治县工业园区内各类设施和建（构）筑物的结构分析，将其可能遭受到的雷击和损坏情况归纳如下。

##### (1) 直接雷击

雷击是严重的自然灾害之一，当雷电击中建筑物时，由于雷击时具有高电压，大电流，作用时间极短的瞬变过程，通常在瞬间释放出巨大的能量，把被击中的

金属物融化，使物体水分受热膨胀，产生强大的机械力，或分解成氢气和氧气，产生爆炸，使建筑物遭到破坏。雷击的高温引起建筑物燃烧构成火灾和产生高压引起触电。现有直接雷击系统都需要使用接闪器接闪，通过引下线将雷电流引下至接地装置，由接地装置散入大地中。在此过程存在以下雷击安全隐患：

雷电流由散流装置入地过程中形成的电位梯度过大会导致行人因跨步电压而发生人身伤亡事故。

直接雷击时雷电流在泄放和散流过程中因电阻压降和电感压降导致高电位反击导致人身伤亡和电子设备损坏，或者因反击产生电火花，引起着火爆炸等导致人员伤亡和设备损失。

雷暴期间在建(构)筑物天面或空旷地带的人员遭受直接雷击导致人身伤亡。

还应提防雷暴期间可能发生的球形雷窜入室内引起火灾导致人员伤亡和设备损失。

## (2) 闪电电涌侵入

闪电电涌是指闪电击于防雷装置或线路上以及由闪电静电感应或雷击电磁脉冲引发，表现为过电压、过电流的瞬态波。其可能沿着架空线路、电缆线路或金属管道等侵入屋内，危及人身安全或损坏设备。

①建筑物外部电涌由雷击入户设施或其附近地面产生，并经管线本身传输到电气和电子系统，导致电气和电子系统故障。

②建筑物内部电涌由雷击建筑物或附近地面产生，通过分流或闪电电磁感应使管线产生电涌，并传输至电气和电子系统，导致电气和电子系统故障。

## (3) 闪电感应

①散流时引起的过流(压)损坏：当雷电击中该项目建(构)筑物散流时，分流到配电系统、其他金属管道中的雷电流引起设备过压(流)损坏或者火灾爆炸等引起人身事故。

②发生直接雷击，雷电流泄放时，建筑物内部分布着暂态电磁场，尤其以引下线周围最为强烈。此电磁场将会对该项目内各个系统产生作用，引起设备误动作或损坏，应采取相应的防护措施。

③室内暂态磁场作用于信息系统环路上，将会产生感应过电压(流)，导致设备接口或设备本身损坏。

④雷雨云引起的感应雷击而发生损坏。当由雷雨云经过该项目上空或附近时，由于静电感应会在电源线路、控制线路、金属屋面等感应出极性相反的静电荷，当雷云放电后，这些静电荷不能及时入地会产生过电压（流）损坏设备。

⑤云内闪和云际闪对信息系统设备的影响。云际闪和云内闪产生的雷电电磁脉冲可能引起内部设备因感应过电压损坏。

#### 6.4.2 雷电灾害风险区划

利用气象灾害风险区划模型对石柱土家族自治县工业园区的雷电灾害分布进行分析。

##### 6.4.2.1 雷电灾害致灾因子危险性

致灾因子危险性指形成雷电灾害的自然变异因素及其异常程度。一般来说，雷电灾害致灾因子危险性越高，其风险也就越大。本项目中雷电灾害致灾因子主要考虑雷电频次（图 6.4-1）。

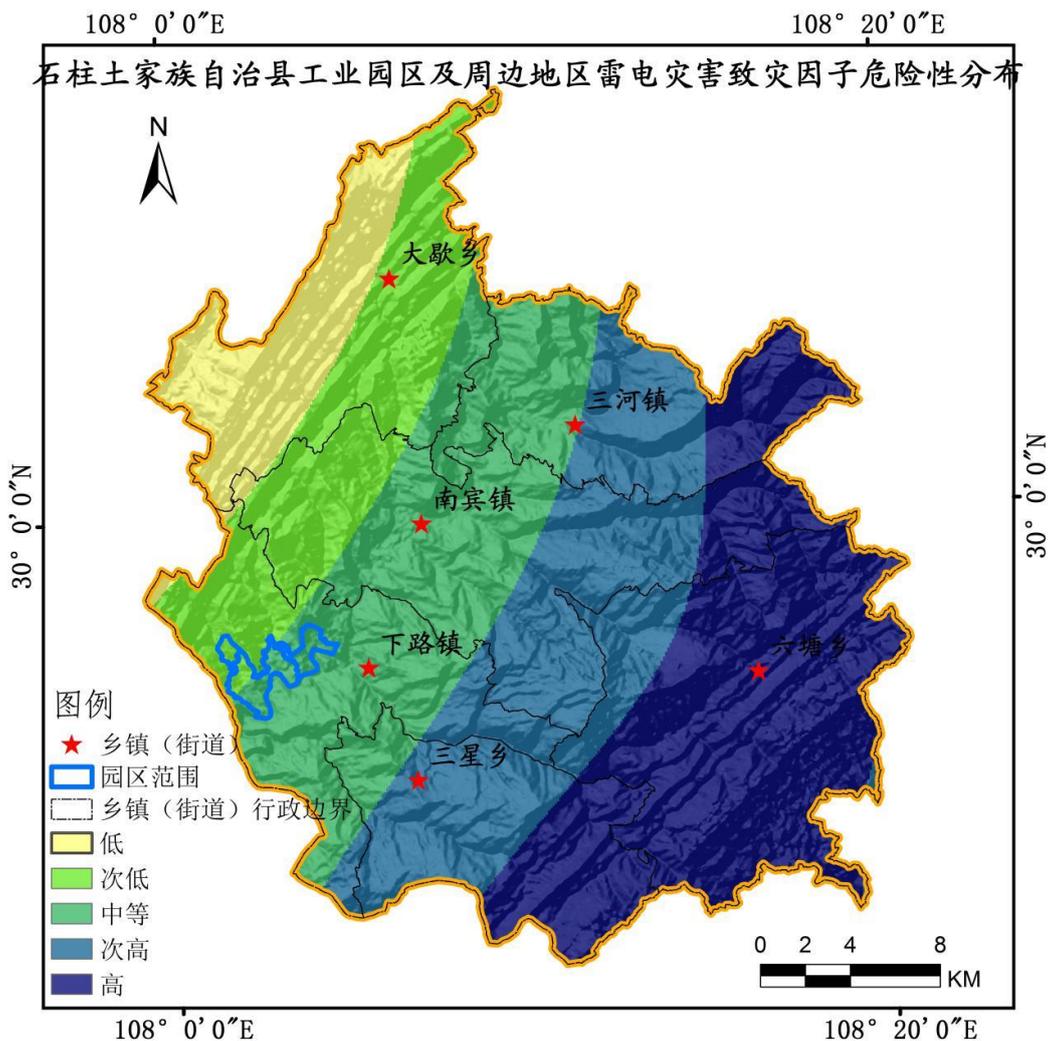


图 6.4-1 石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电致灾因子危险性分布

### 6.4.2.2 雷电灾害承灾体暴露性

承灾体暴露性是指可能受到雷电威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于雷电灾害危险因素的价值密度越高，可能遭受的潜在损失也就越大，风险也越高。本文选取人口密度和经济密度作为承灾体暴露性评估指标。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱性等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.52~0.57、0.57~0.63、0.63~0.72、0.72~0.79 和 0.79~0.85，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区灾害承灾体暴露性区划图（图 6.4-2）。

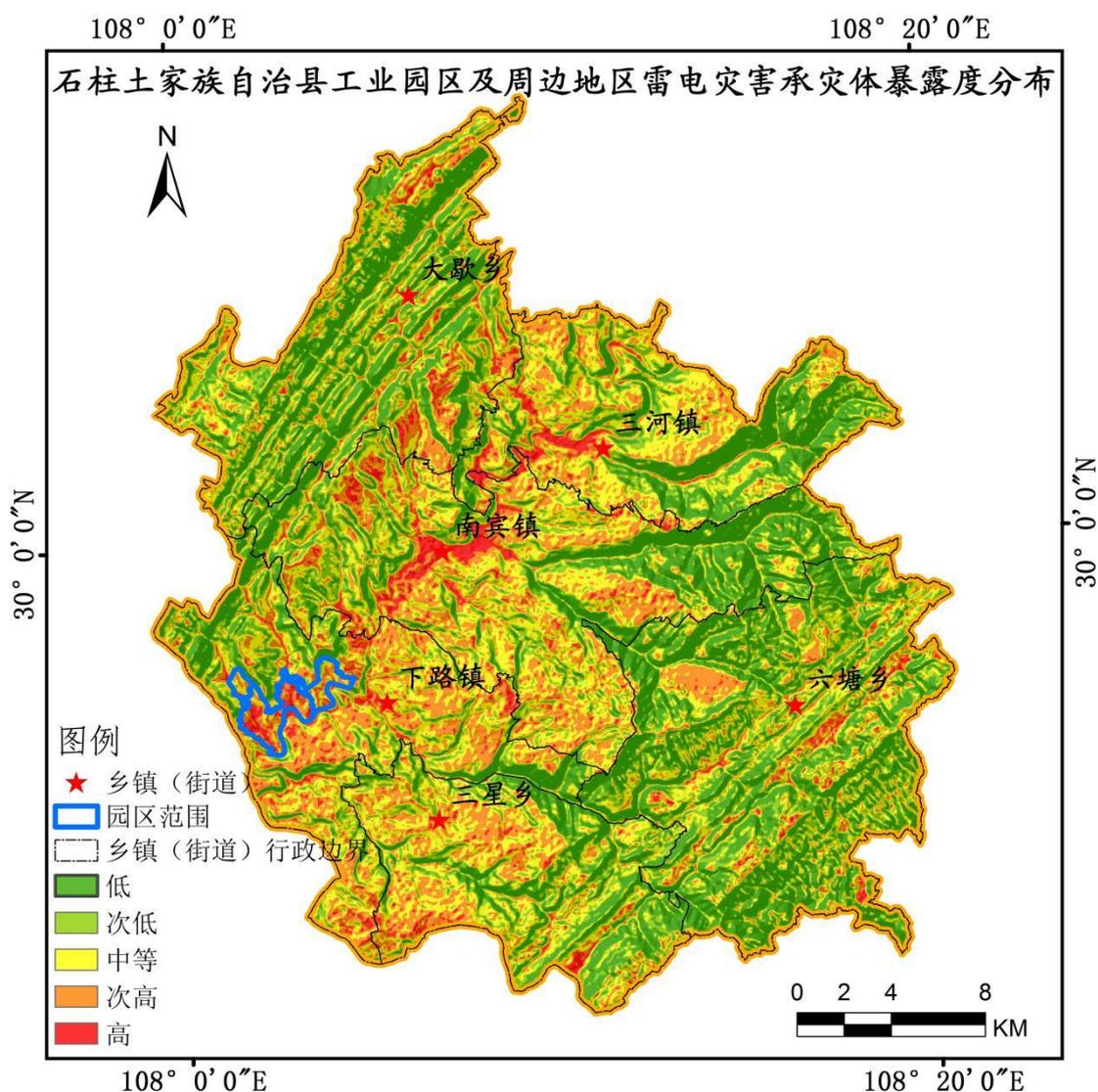


图 6.4-2 石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电承灾体暴露度分布

### 6.4.2.3 雷电灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对雷电灾害影响的敏感度和适应能力的综合反映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，雷电灾害风险也越大。根据自然环境对雷电灾害的影响能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取植被指数和河网密度作为承灾体脆弱性评价指标。

运用 GIS 空间分析功能，并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个脆弱区等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.46~0.53、0.53~0.64、0.64~0.71、0.71~0.80 和 0.80~0.90，得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电灾害承灾体脆弱性区划图（图 6.4-3）。

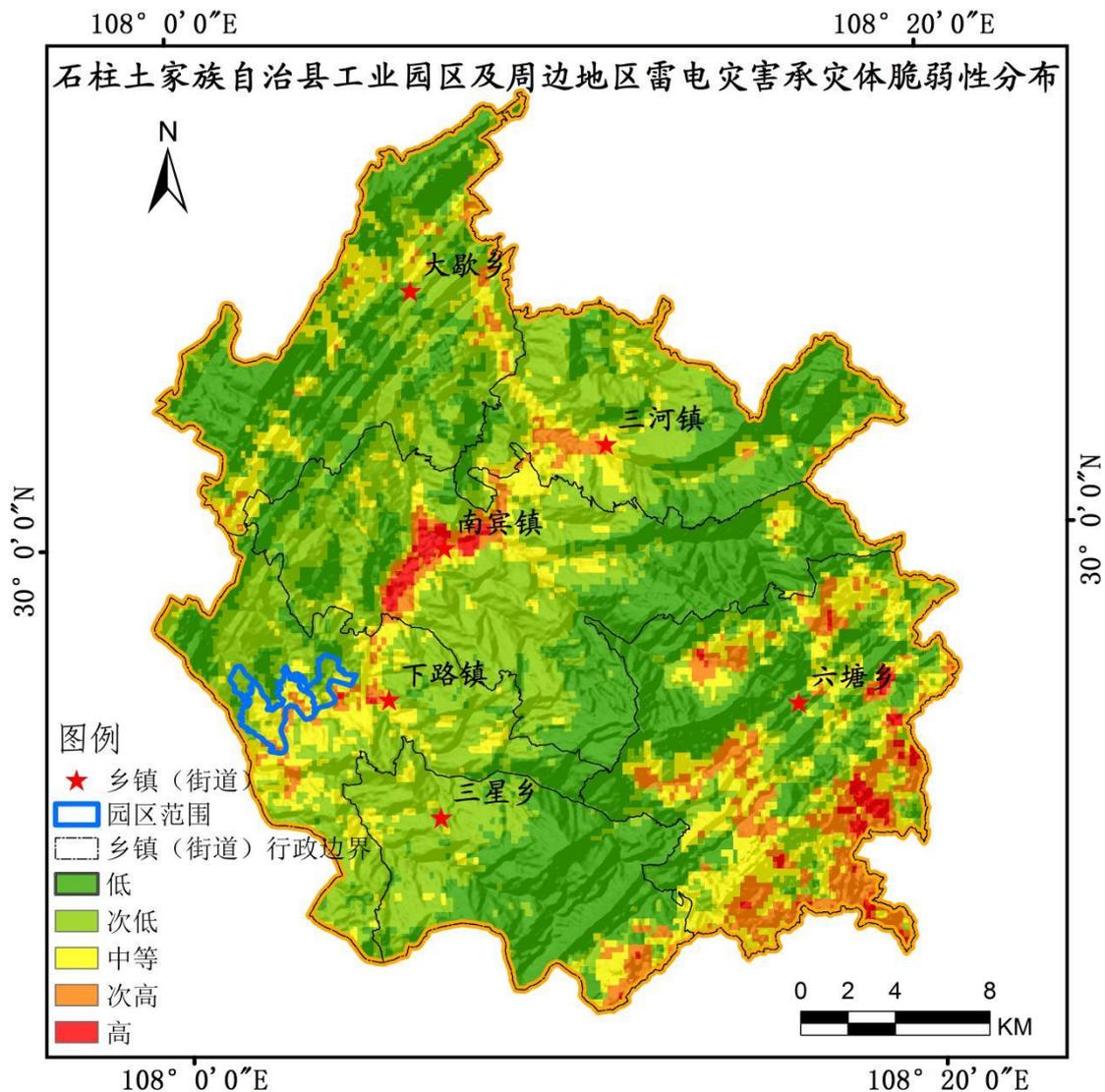


图 6.4-3 石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电灾害承灾体脆弱性分布

#### 6.4.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾风险区对雷电灾害的抵御和恢复能力,是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对雷电灾害所造成损失和破坏的能力,与地方经济发展水平呈正相关。这里主要考虑人均 GDP 作为防灾减灾能力的体现。人均 GDP 越高经济越发达地区,防灾减灾的工程和非工程性措施数量相对越多,雷电抗灾能力相对较强。

基于 GIS 空间分析功能,利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个等级,分别为低、次低、中等、次高、高等,对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、0.70~0.75 和 0.75~0.94,得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电灾害防灾减灾能力区划图(图 6.4-4)。

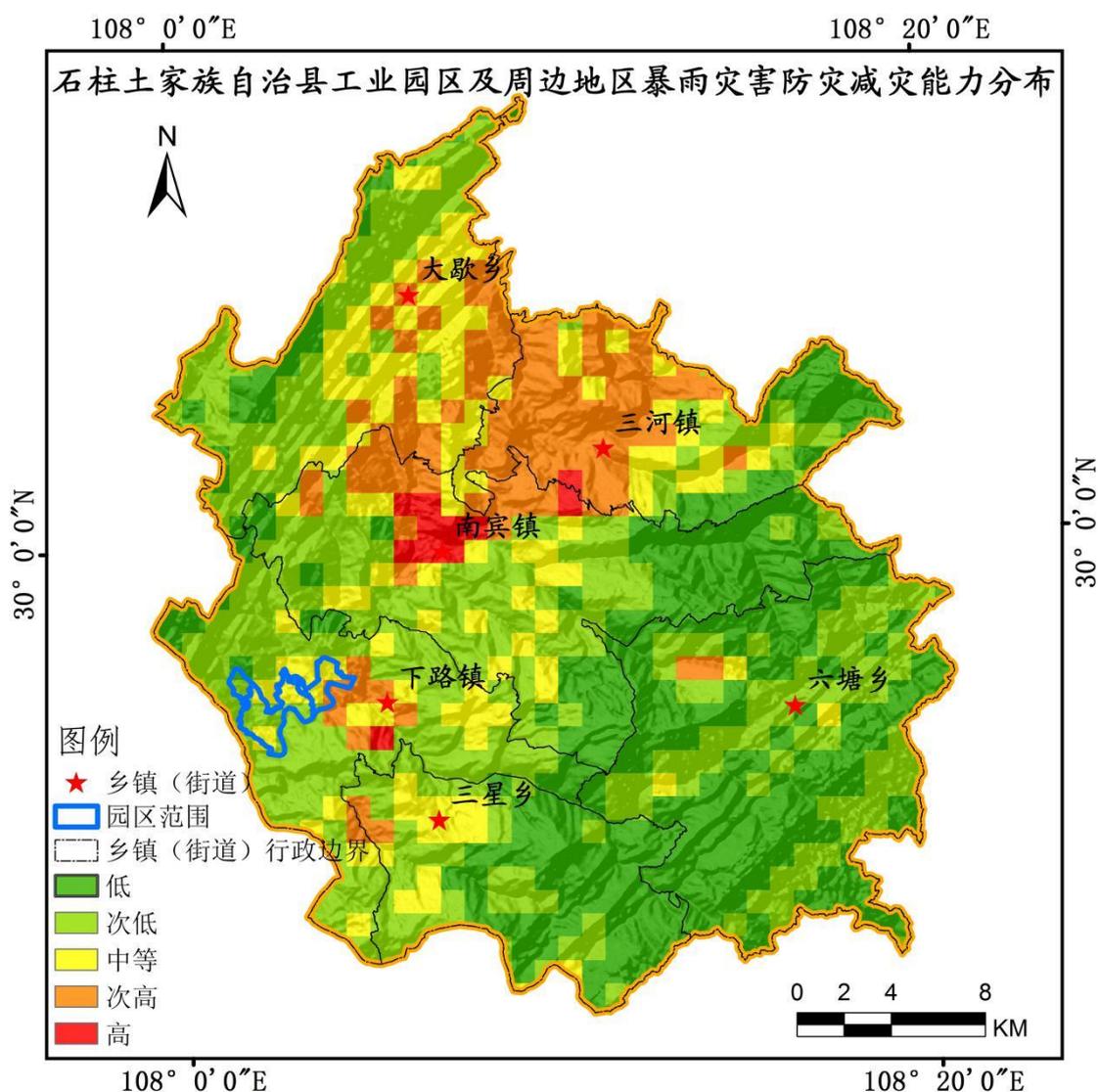


图 6.4-4 石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电防灾减灾能力分布

### 6.4.2.5 雷电灾害风险区划

在定量分析致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上,根据雷电灾害风险评估模型计算得到综合风险值,运用 GIS 软件并结合自然断点法将雷电灾害风险划分为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级区,得出石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电灾害综合风险等级区划图(图 6.4-5),依次为 0.47~0.53、0.53~0.60、0.60~0.69、0.69~0.75 和 0.75~0.91。

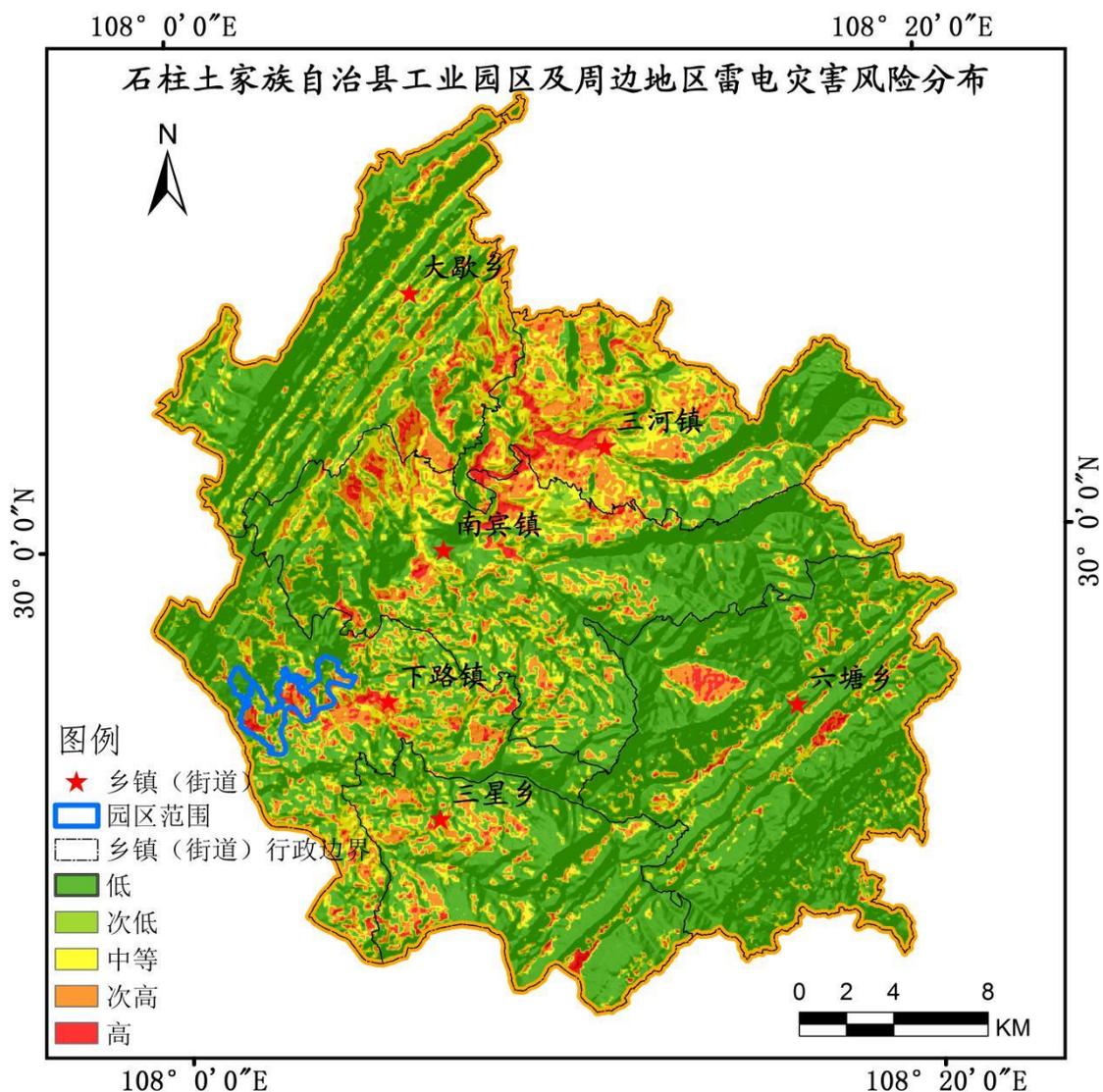


图 6.4-5 石柱土家族自治县工业园区及周边地区雷电灾害风险分布

### 6.4.3 雷电风险对策、措施与建议

#### 6.4.3.1 设备安装调试过程防雷安全指导意见

- (1) 需安装的设备就位后应及时地与预留的接地端子等电位连接;
- (2) 施工现场临时用电主干线宜采用屏蔽电缆,屏蔽层两端应作等电位和接地处理。

(3) 施工单位应制定防雷安全管理制度，并对施工人员进行防雷安全知识培训。

(4) 为防止接触电压导致人身伤亡事故，在人可接触的部位采取隔离措施或作绝缘处理，并设立警示标志。

#### 6.4.3.2 人身安全防雷指导意见

忽视防雷安全管理，不懂雷电管理的有关知识，疏于防范容易引起雷击伤亡和火灾爆炸事故，造成很大的灾害和损失。

因此为避免在工程施工过程中雷击事故的发生，应对施工人员进行以下措施：

(1) 应提高施工人员对雷电及火灾危险性的认识，提供工作人员的防雷安全素质，加强工作人员的防雷安全管理。

(2) 为避免在工作过程中违反防雷安全规定和规则，人为造成火灾事故，应对施工人员进行上岗前防雷培训，使其系统地掌握防雷安全知识，通晓防雷安全的“应知应会”内容，实行持证上岗制度，电气焊工、电工要经过考试合格取得证书后才能上岗。

#### 6.4.3.3 现场施工人员防雷应急措施

施工人员防雷安全施工现场人员众多，保证施工人员的防雷安全是第一位的。

(1) 遇有雷雨天气，特别是当闪电临近时，管理人员应当提醒、督促施工人员马上停止作业，进入安全区域。室外施工人员应该及时躲入建筑物内，不宜停留在无防雷措施的车库，工棚，也要尽量远离大树和高压线等物体，防止遭受直接雷击。

(2) 雷雨天气施工时，施工人员不要肩扛金属材料和潮湿的木料在建筑物外围或建筑物顶部、高处行走。

(3) 闪电时施工人员不要靠近金属水管、暖气管道及配电箱等与室外有电气连接的金属设施，不要停留在门窗处。

(4) 外围人员雷雨时不要在孤立的大树、高压输配电铁塔、高大的广告牌下行走或停留，防止接触电压或跨步电压的伤害。

(5) 有合格防雷装置的建筑物属于防雷相对安全区域。雷闪时所有施工现场的外部人员应及时躲避到建筑物内部。

(6) 在室内最简易直接的防雷方法，是拔下所有电源插头，也不失为一种实用的应急措施。

#### **6.4.3.4 如遭受雷击时应采取的避雷措施**

(1) 人体在遭受雷击后一般会出现昏迷、假死等症状，应立即采取抢救措施，首先应马上进行人工呼吸，其次要对伤者进行心脏按摩并立即通知医院进行抢救处理。

(2) 如果伤者遭受雷击引起衣服着火，为避免火势蔓延全身，应迅速叫此人平躺，用衣服或厚毯子、水等为伤者灭火。

(3) 人被雷击中后身上不会带电，雷电电流击中人后已经通过人体泄放到大地，所以接触受伤者进行抢救是没有危险的。受伤者被雷电的电火花烧伤只是表面现象，最危险的是对心脏和呼吸系统的伤害。通常被击中的受伤者，常常会引发心脏停跳、呼吸停止，这实际上是一种雷电“假死”现象。要立即组织抢救，并向 120 求助。

#### **6.4.3.5 雷击事故处理方法**

(1) 发生雷击事故后，岗位人员要沉着、镇定，不要惊慌，应迅速对伤者采取人工呼吸和进行心脏按摩，同时拨打 120 求助。

(2) 雷击事故发生后，应尽快通知当地防雷主管机构，并由防雷主管机构组织相关部门以及人员进行雷电灾害调查，做出该次雷灾事故鉴定。

(3) 雷击事故发生后，要组织人员对临近的设备管线的防雷设施进行仔细检查，避免雷击灾害再次发生。

## 7 园区规划建设对局地气候的可能影响

现代社会科学技术和生产力发展水平较高，人类社会生产实践活动的能力增强，活动的领域范围也不断扩大。人类社会生产活动在科学适应和利用气候环境资源的同时，也会给气候环境造成一定的影响。从现代气候的形成理论上讲，人类社会生产活动对气候的影响途径主要体现在三个方面：一是人类生产活动会改变地面物理性质，如土壤、草地、水泥、沥青等地表面，不同物质的地面因热力属性不同而影响气候；二是人类生产和生活会向大气中排放特殊气体如二氧化硫、二氧化碳等，通过改变大气成分而影响气候；三是人类社会生产和生活大量利用化石燃料形成的人为热量释放，会对局部气候造成一定影响。

石柱土家族自治县工业园区规划建设面积仅有 4.91 平方公里，由于园区生产建筑设施、道路改变了原来规划建设前下垫面的热力特性，同时生产过程和运输会导致能源消耗增加，因此对局部气候的影响也将表现为：园区近地面气温比规划开发前的气温会有升高现象，而且气温的日较差会变小，在大尺度环境风弱的晴天条件下更明显，会产生一定的热岛效应；工业园区的升温作用和石柱城区的热岛效应叠加，可能将使石柱的可观测热岛面积增大，在特殊的天气背景条件下强度有所增强。

城市化及园区规划建设发展是区域经济社会发展和人民生活改善的必然要求。我国境内南北、东西各地，处于不同气候带的一线城市和新一线城市的建设发展更快，城市化规模更大，对局地气候的影响更明显，没有因对局部气候的影响而止步发展。这源于现代城市化和园区建设对气候环境保影响毕竟是局地性的。从重庆近几十年气候变化的特征看，阶段性变化的特征比较明显，主要原因是气候自然变化引起的，城市化的影响比较小。同样石柱土家族自治县工业园区建设对局地气候的影响还是比较小的。

但城市化和园区规划建设在科学利用气候环境资源的同时，采取积极的应对策略性措施，譬如园区规划设计建设，按照生态园区、海绵园区的建设理念进行设计建设，能够减轻园区建设对局地气候的影响，有利于促进经济社会与生态自然环境的协调发展。

## 8 结论及建议

### 8.1 结论

#### 8.1.1 气候背景

石柱气候属中亚热带湿润季风区，气候温和，雨水充沛，四季分明，具有春早、夏长、秋短、冬迟的特点。日照少，气候垂直差异大，灾害性天气频繁。参证站近 30 年（1989~2018 年）年平均风速 1.3m/s，主导风向为 SW，年平均气温 16.5℃，年平均降水量 1040.9mm，年平均气压为 942.7hPa，累年平均日照时数为 1264.7h；建站至 2018 年，极端最高气温 42.0℃，极端最低气温-4.7℃，降水持续最长日数 15 天，年极端最高气压 967.9hPa，年极端最低气压 914.6hPa，年最大风速 13.2m/s。

气候要素年际变化：气温呈上升趋势，1957~2018 年极端最高气温在 34.7℃~42.0℃之间，极端最低气温在-4.7℃~0℃之间；日照时数和风呈上升趋势；气压、降水总量、蒸发、降水日数、相对湿度均呈下降趋势。

气候要素月际变化：气温、降水、蒸发、日照时数均在夏季达峰值；气温最高出现在 7 月份，最低出现在 1 月份；降水夏季降水最多在 39.7%，4~10 月占全年降水量的 85.5%；日照 8 月份最多，高达 199.3h，1 月最少，只有 45.8h；相对湿度 10 月份最大，达 83.4%；风速在春季 3 月达到峰值；气压在 7 月为最低值。四季出现频率最高的风向均为 SW 风向，频率分别为 13.3%、15.5%、17.0%和 15.4%。

气候要素日变化：气温、风速、相对湿度为单峰曲线，气温在 6 时出现最低值，6 时开始，气温逐渐升高，到 15 时达到峰值 20.3℃，之后开始下降，直至次日 6 时；风速在 16 时达到峰值；相对湿度每日 7 时为一天相对湿度的最高值，达 90.4%，7 时开始相对湿度逐渐减小，到 15 时达到最低点，为 60.4%，之后再开始上升，直至次日 7 时；气压为“W”型曲线，从 5 时开始逐渐升高，到 10 时达到峰 942.5hPa，之后开始下降，最低值出现在 17 时，为 939.8hPa，之后又开始缓慢升高，在次日 0 时达到次高值 942.4hPa，随后开始下降，直至 5 时。

### 8.1.2 高影响天气

通过历史气象灾害调查、典型案例解析并结合园区规划和已入驻企业性质，综合分析可知，园区高影响天气包括强降水、大风、雷电、高温等。参证气象站石柱站年平均暴雨日数为 2.2d，并以 0.006d/10a 的速率下降，暴雨主要出现在 5~9 月。日最大降水量呈增加趋势，增加幅度为 2.86mm/10a，历史极值为 199.7mm。石柱多年平均年高温日数为 19.7 天，高温日数出现较多，7、8 月份最常出现，占到 85.3%。石柱多年年平均雷暴日数为 38.3 天，年雷暴日数在 22 天（2011 年）~56 天（1973 年）之间变化，年日数以 3.82d/10a 的速率减少。石柱常年大风日数为 1.7d，大风主要出现在 3~9 月。此外石柱有观测以来共出现 28 次积雪和 11 次冰雹，多年平均年结冰日数为 9.0 天，雾日数为 15.2 天，轻雾日数为 182.2 天。

### 8.1.3 关键气象参数推算结果

石柱土家族自治县工业园区的不同重现期设计基准值、室外空气计算参数、不同历时暴雨强度、年径流总量控制率对应的设计降雨量、污染系数、逆温、混合层厚度等关键气象参数分布如表 8.1~8.7 所示。

表 8.1 园区不同重现期设计值结果

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
设计风速(m/s)	10.7	11.7	13.1	14.2	15.7	15.7	17.6	19.1
极大风速(m/s)	16.5	18.3	20.1	22.5	25.4	27.1	29.2	32.1
极端高温(°C)	37.4	38.0	38.8	39.7	40.6	40.9	41.9	42.8
极端低温(°C)	-2.3	-2.8	-3.3	-3.8	-4.4	-4.5	-5.2	-5.7
高温日数(d)	14.1	20.0	26.8	35.1	42.9	47.3	52.6	59.5
最大日降水量(mm)	63.9	73.8	90.9	110.8	131.6	144.5	160.9	183.3

表 8.2 园区室外空气气象参数

项目	值
供暖室外计算温度(°C)	3.0
冬季空调室外计算温度(°C)	1.3
夏季空调室外计算干球温度(°C)	35.6
夏季空调室外计算日平均温度(°C)	29.2
夏季通风室外计算温度(°C)	31.4
夏季通风室外计算相对湿度(%)	54.0
冬季通风室外计算温度(°C)	5.8

表 8.3 园区降水强度、重现期、降水历时 (i-P-t) 表 ( $L/(s \cdot 10^4 m^2)$ )

重现期	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5min	322.8	366.4	421.4	495.9	570.4	614.0	668.9	743.5
10min	247.0	280.4	322.4	379.4	436.4	469.8	511.8	568.8
15min	206.3	234.1	269.2	316.9	364.5	392.3	427.4	475.1
20min	180.1	204.4	235.0	276.6	318.1	342.5	373.1	414.7
30min	147.3	167.2	192.3	226.3	260.3	280.2	305.3	339.3
45min	119.6	135.8	156.1	183.7	211.3	227.5	247.8	275.5
60min	102.8	116.7	134.2	157.9	181.7	195.5	213.0	236.8
90min	82.8	93.9	108.0	127.1	146.2	157.4	171.5	190.6
120min	70.8	80.4	92.4	108.8	125.1	134.7	146.7	163.1
150min	62.7	71.2	81.8	96.3	110.8	119.3	129.9	144.4
180min	56.7	64.4	74.1	87.2	100.3	107.9	117.6	130.7

表 8.4 园区不同年径流总量控制率对应的设计降雨量

年径流总量 控制率 (%)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
设计降雨量 (mm)	1.2	2.5	4	5.9	8.2	11.3	15.4	18.2	21.6	26.2	32.7	44.2

表 8.5 园区四季污染系数分布

方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
春季	2.1	2.8	4.5	7.8	8.9	11	8	4.5	4.8	5.7	13.6	10.3	5.1	3	2.1	1.8
夏季	2	2.3	3.7	5	5.3	10.2	8.9	6.6	6.8	7.3	16.8	8.6	3.5	2.5	3.5	2.5
秋季	2.1	2.5	3.8	4.5	6.2	12.9	10.1	5.3	5.4	8.3	20.7	11.2	5.2	3.2	4.1	2.3
冬季	2.4	2.8	4.2	6.9	9.4	12.7	9	4.4	5.1	6.4	18.1	12.2	6.8	3.5	2.1	2

表 8.6 园区全年逆温厚度、强度及频率统计表

类型		平均厚度(m)	平均强度( $^{\circ}C/hm$ )	最大厚度(m)	最大强度( $^{\circ}C/hm$ )	频率(%)
接地逆温	$H \leq 50$	20.0	2.0	49.9	10.7	18.6
	$50 < H \leq 100$	70.6	3.4	95.8	9.1	10.7
	$100 < H \leq 150$	122.8	2.3	149.7	5.1	4.3
	$H > 150$	215.5	1.3	534.8	4.6	8.3
	平均/最大	82.3	2.0	534.8	10.7	10.5
低空逆温		244.3	0.6	989.2	10.9	63.1

表 8.7 园区各段大气混合层厚度频率分布表

混合层 厚度/m	0-100	101-200	201-400	401-600	601-800	801-1000	1000 以上
频率/%	25.6	17.2	24.2	10.7	6.3	4.7	11.3

#### 8.1.4 灾害风险评估

石柱土家族自治县工业园区的气象灾害主要有暴雨、大风、雷电、高温等。

**暴雨：**多年平均暴雨日数为 2.2 天，多发生在 4~10 月，占到 85.5%，其中最早出现在 4 月份，最晚出现在 10 月份。自 1957 年以来，日最大降水量极值高达 199.7mm。园区暴雨灾害发生的可能性等级为 **3 级**，即**可能发生**；暴雨灾害可能造成后果的等级为 **3 级**，可能造成园区内电力设施损坏、底楼设备遭水淹、部分露天设备、露天停车场等有可能会遭遇水浸发生故障，还可能造成周边山体滑坡，甚至人员伤亡；园区暴雨风险为**中等风险**。

**大风：**园区大风灾害发生的可能性等级为 **2 级**，即**很可能发生**；大风灾害可能造成后果的等级为 **4 级**，可能对抗风性能较弱的房屋造成损毁，影响园区正常的运行，容易吹落高层建筑物的门窗和屋顶的物品以及广告牌，有时甚至吹倒建筑物，对园区工作人员安全构成威胁，可能造成水、电、通信等线路中断，影响电力、水等正常供应以及造成通讯中断和设施损毁，刮断电线等引发火灾，危及园区基础设施；园区大风风险为**中等风险**。

**雷电：**石柱土家族自治县工业园区区域内雷电活动频繁，年平均雷暴日数为 38.3 天，每年的 7 月至 8 月是石柱土家族自治县工业园雷电活动的高发期；区域内雷击电磁场干扰较强，土壤电阻率较大，雷击损害风险为高风险。雷电灾害会影响电子设备、可能会引发火灾，增加人员伤亡风险。

**高温：**园区高温灾害发生的可能性等级为 **2 级**，即**很可能发生**；高温灾害可能造成后果的等级为 **4 级**，可能使园区火险风险增加，汽车自燃引发安全事故，影响园区内工作人员健康，体弱者出现中暑，对物资的储运也带来风险；园区高温风险为**中等风险**。

#### 8.1.5 园区规划建设对局地气候的可能影响

根据国内现代城市化和工业园区建设对局部气候影响的研究成果，石柱土家族自治县工业园区规划建设面积 4.91 平方公里，由于园区生产建筑设施、道路改变了原来规划建设前下垫面的热力特性；同时生产过程和运输会导致能源消耗

增加，因此对局部气候的影响也将表现为：园区近地面气温比规划开发前的气温会有升高现象，而且气温的日较差会变小，在大尺度环境风弱的晴天条件下更明显，会产生一定的热岛效应；工业园区的升温作用和石柱城区的热岛效应叠加，可能将使石柱的可观测热岛面积增大，在特殊的天气背景条件下强度有所增强。

## 8.2 适用性

由于园区范围内没有区域自动站，而周边区域自动站的数据观测时间较短、观测要素不全，不满足气象分析的相关规范，因此报告中气候背景分析和关键工程气象参数的计算选用的是距离园区最近的石柱国家站。石柱国家气象站与园区周边自动站的相对距离较近、地理位置和下垫面条件相似，可认为石柱国家气象站与园区气候特征基本一致，可用于园区气候背景分析和关键工程气象参数的计算。为了更好地开展工作，得到更具有针对性和代表性的气象分析结果，建议在园区内设立临时气象观测站，增加气象要素观测，进行一定时期的稳定观测。

## 8.3 建议

### 8.3.1 应对暴雨天气的建议

(1) 石柱土家族自治县工业园区存在中等暴雨风险，需要注意防御暴雨灾害。建议充分考虑石柱土家族自治县工业园区所在区域暴雨多发的特点，适当定期检查排水系统，定期检查排水管道是否畅通，尽可能降低强降水引发积涝的可能；在园区主要隐患点增加警示标牌并在园区内增设气象电子显示屏，及时接受气象局发布的暴雨预警信号。

(2) 制定针对暴雨灾害的应急预案，建立各级防汛责任制；除了在 5~9 月做好暴雨防御工作之外，非汛期也需要警惕暴雨发生的可能，避免因防灾减灾意识松懈带来风险隐患；特别要注意短历时强降水过程对园区内需重点关注的风险源的影响。

### 8.3.2 应对高温天气的建议

(1) 高温来临前，必要时进行隔热处理。在办公室的窗户和窗帘之间安装临时反热窗。早晨或下午能进太阳光的窗户用窗帘（遮光帘）遮好。对园区工人进行防暑指导。准备防暑降温饮料和常用防暑药品。持续的高温干旱天气又可能造成供水紧张，应及时储备。全面提高园区绿地覆盖率和种树，增加园区水域面

积和喷、洒水设施，降低温度，缓解城市热岛效应。加强防暑降温保健知识和防火知识的宣传。

(2) 高温天气中，应对员工进行防暑指导和开展火灾逃生知识的宣传和技能培训；白天尽量减少户外作业，尤其是在中午到下午这段时间，要避免在强烈的阳光下暴晒；加强食品卫生安全监督检查；注意做好运营车辆车况检查工作，做好防火准备工作；特别注意防范用电量过高导致园区电线、变压器等电力设备负载大而引发的火灾；建议在园区内增设气象电子显示屏，及时接受气象局发布的高温预警信号；制定针对高温灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

### 8.3.3 应对大风天气的建议

(1) 大风来临前，应及时加固地面设施，有建设工程的园区要遮盖建筑物资，妥善安置易受大风影响的室外物品；对简易建筑、临时搭建物、门窗、电气线路、室外体育器械等进行重点排查，消除因大风可能导致安全事故的隐患，在危险地段设置安全警示牌。

(2) 大风影响中，尽量减少外出，必须外出时不要在广告牌、临时搭建筑物下面逗留、避风；停止进行户外活动或露天集会；园区车辆如果正在行驶中，应及时驶入地下停车场或隐蔽处；特别注意防范用大风刮断石柱土家族自治县工业园区电线等引发火灾；做好停电、停水的各项应急工作，制定针对大风灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

### 8.3.4 应对雷电天气的建议

(1) 在设计施工时一定要按照防雷技术规范实行，有条件情况下，应加强非工程性防雷措施（如建设系统的雷电预警系统、制定完善的防雷安全管理制度等），可以更加科学地指导该区域雷电灾害防御，有效提升防雷安全。

(2) 在设计时宜适当提高接地性能，投入使用后应定期开展防雷装置检测工作确保设备正常运行，发现问题及时处理。新建项目根据自身情况合理防雷，防雷设计应按照第三类防雷建筑物标准及以上进行。

(3) 遇有雷雨天气，特别是当闪电临近时，园区工作人员应当及时进入安全区域，不宜停留在无防雷措施的车库，工棚，也要尽量远离大树和高压线等物体，防止遭受直接雷击。

(4) 园区定时组织人员对临近的设备管线的防雷设施进行仔细检查，避免雷击灾害发生。

(5) 发生雷击事故后，岗位人员要沉着、镇定，不要惊慌，应迅速对伤者采取人工呼吸和进行心脏按摩，同时拨打 120 求助。尽快通知当地防雷主管机构，并由防雷主管机构组织相关部门以及人员进行雷电灾害调查，做出该次雷灾事故鉴定。

### 8.3.5 规划布局相关建议

(1) 园区规划建设时应充分考虑设计风速的大小，提高建筑物抗风能力；在雨水利用和排水管网设计方面考虑不同历时重现期暴雨强度及年径流总量控制率对应的设计降雨量；不同重现期最大降水量、极端高温、高温日数、极端低温可作为设置园区暴雨和高温应急响应等级的参考。

(2) 根据园区逆温的计算可以看出冬季大气扩散能力弱，污染事件容易发生，建议减少在该时间段带有污染的生产运营活动；污染系数在全年和四季西南(SW)和东南东(ESE)方向较大，建议不要在这两个方向布置可能污染的企业，并考虑在这两个方向上多布置绿源。

(3) 混合层厚度分析结果显示园区秋、冬季混合层厚度较低，大气扩散能力弱，大气污染事件发生概率较春、夏季高，建议减少在该时间段带有污染的生产运营活动。一天当中，午后到傍晚混合层高度达到最大值，这一时段也是大气对污染物的扩散稀释能力最强的时段，利于污染物排放。建议工业点源的排污安排在午后至傍晚时段。

(4) 适宜的建筑室外空气气象参数对设备运行效率、人体舒适度和建筑节能等都至关重要。园区在暖通空调行业进行负荷计算和设备选型时应充分参考建筑室外空气气象参数的推算结果，合理设计通风、降温、空调设备，节能和舒适有机结合。

(5) 考虑到石柱土家族自治县工业园区建设，可能引起园区近地面气温比规划开发前的气温会有升高现象，而且气温的日较差会变小，在大尺度环境风弱的晴天条件下更明显，会产生一定的热岛效应。建议园区规划建设，按照生态园区、海绵园区的建设理念进行设计，合理布设风道，同时注重园区的绿化建设，

提高园区的绿化率，有效控制区域热岛效应的增强，保障石柱土家族自治县工业园区经济社会的可持续发展。

## 附 录

### A 风险矩阵法

自然灾害风险是以自然变异为主因导致的未来不利事件发生的可能性及其损失。由不利事件的可能性和损失作为灾害风险分级的量化指标，利用风险量化矩阵进行风险分级。

采用经典的风险定义来表达灾害风险，并采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理 风险评估技术》中的风险矩阵法进行气象灾害风险评估和分级。灾害风险分级由灾害风险事件发生的可能性和产生的后果来决定。以 P 代表灾害风险事件发生的可能性的分级，以 C 代表灾害风险事件产生的后果的分级，以 R 代表灾害风险。灾害风险 R 的分级由 P 和 C 的乘积决定。其数学计算公式为：

$$R=P*C \quad (A.1)$$

式中，R (risk) 表示灾害风险，P (probability) 表示灾害风险事件发生的可能性，C (consequence) 表示灾害风险事件产生的后果。

#### (1) P—发生的可能性

灾害险可能性的等级按照表 A.1 所示标准进行划分。依据事件在一定时期发生的概率或发生可能性的文字描述，相应的评分从 1 到 4 代表可能性发生的从高到低。

表 A.1 灾害风险可能性等级分值

可能性等级分值	定性判断标准	定量判断标准 (概率区间)
1	极可能	$P_f \geq 0.5$
2	很可能	$0.1 \leq P_f < 0.5$
3	可能	$0.02 \leq P_f < 0.1$
4	可能性低	$0.01 \leq P_f < 0.02$

#### (2) C——事件后果的严重性

针对自然灾害风险事件可能造成后果的严重性，根据对人的影响、对设备的影响以及对生产的影响三个方面进行后果严重性等级划分。按照事件的后果严重程度分为“非常严重、严重、一般、轻微”四个级别，相对应的评分分别为 1、2、3、4。

表 A.2 灾害事件造成后果分析等级划分

后果等级 分值	风险事件 后果	对人的影响	对设备的影响	对生产的影响
1	非常严重	多人死亡和/或严重受伤	多数设备遭严重损害, 主要系统严重受伤	生产活动中断 12 小时以上
2	严重	一人死亡和/或严重受伤	大量设备遭严重损害, 主要系统受损	生产活动中断 6-12 小时
3	一般	多人轻微受伤	部分设备遭严重损害, 对主要系统造成轻微影响	生产活动中断 1-6 小时
4	轻微	可能造成一人轻微受伤	部分设备遭轻微损害, 不影响主要系统	生产活动中断不足 1 小时

后果的分级方法是根据灾害风险事件产生指标的等级分值, 将后果从大到小分为四个等级, 分别用等级 C 的分值表示 (表 A.3)。一次灾害风险事件的多个指标的等级分值不同时, 后果等级分值 C 取其指标等级分值中的最大者。表 A.3 提供了一种灾害风险的后果等级 C 的分值的取值示例。

表 A.3 灾害风险后果严重性等级分值

后果等级分值 C	风险事件后果	后果指标分值				
		指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	其他指标
1	非常严重	1	1	1	1	1
2	严重	2	2	2	2	2
3	一般	3	3	3	3	3
4	轻微	4	4	4	4	4

### (3) 风险分级矩阵

根据灾害风险事件的可能性等级分值 P 和灾害风险事件的后果 C 的分值, 建立灾害风险分级矩阵。风险等级分值 R 为灾害风险, 是灾害风险事件的可能性等级分值 P 与后果等级分值 C 相乘的结果。根据风险等级的划分, R 被赋以四种颜色, 分别表示灾害风险的四个等级: 红色代表极高风险, R 分值为 1-2; 橙色代表高风险, R 分值为 3-4; 黄色代表中等风险, R 分值为 6-9; 蓝色代表低风险, R 分值为 12-16。

表 A.4 灾害风险分级矩阵

风险等级分值 R			后果等级分值 C			
			非常严重	严重	一般	轻微
			1	2	3	4
可能性等级分值 P	极可能	1	1	2	3	4
	很可能	2	2	4	6	8
	可能	3	3	6	9	12
	可能性低	4	4	8	12	16

## B 气象灾害风险区划模型

气象灾害风险区划工作的目的是为了辨识危害、降低风险损失，是基于灾害风险理论及气象灾害风险形成机制，通过对致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性、防灾减灾能力等多因子综合分析，构建各种灾害风险评价的框架、指标体系、方法与模型，对各种气象灾害风险程度进行评价和等级划分，借助 GIS 绘制相应的风险区划图系。其中，危险性是灾害产生的先决条件，表示引起灾害的致灾因子强度及概率特征；脆弱性表示在气候条件相同的情况下，某个孕灾环境的地理地貌条件与致灾因子配合，在很大程度上能加剧或减弱气象灾害及次生灾害；暴露性表示承灾体易于遭受灾害威胁和损失的性质和状态；防灾减灾能力意为承灾体抵御灾害的能力（图 B.1）。

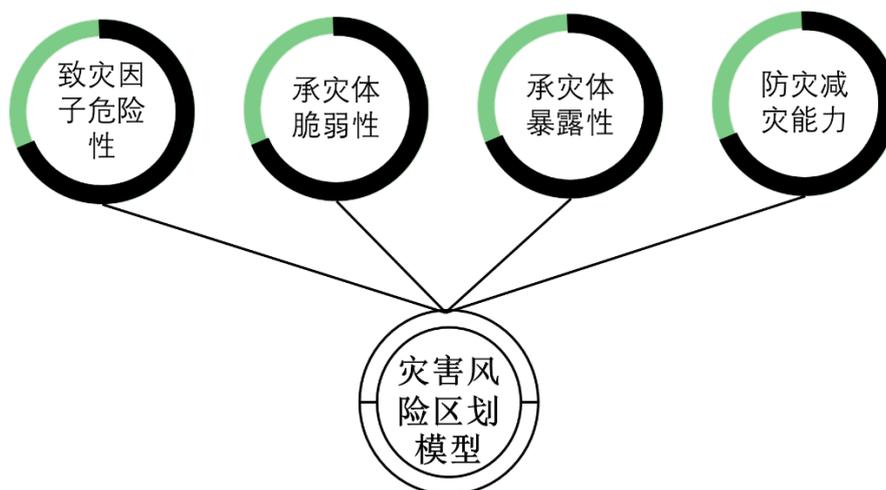


图 B.1 气象灾害风险的形成和组成要素

### (1) 气象灾害风险指数层级结果模型

总的来说各种气象灾害的风险区划均采用气象灾害风险指数的层次结构模型，具体如下：

$$HDRI = (VE^{we})(VH^{wh})(VS^{ws})(VR^{wr})$$

HDRI 为气象灾害风险指数，用于表示气象灾害风险程度，其值越大，则灾害风险程度越大，VE、VH、VS、VR 的值是气象灾害危险性、承灾体暴露性、承灾体脆弱性和抗灾能力各因子指数。we、wh、ws、wr 是各评价因子的权重，权重的大小根据专家打分法确定。

为了消除各指标的量纲差异，对每一个指标值进行归一化处理。对于气象灾害危险性、承灾体暴露性和承灾体脆弱性所包含的各个指标归一化计算公式为：

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

由于防灾减灾能力越强，相应的灾害风险越小，因此，抗灾能力的各个指标归一化方法与其他要素不同，计算公式为：

$$D_{ij} = 1.0 - 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

式中  $D_{ij}$  是  $j$  站（格）点第  $i$  个指标的归一化值， $A_{ij}$  是  $j$  站（格）点第  $i$  个指标值， $\min_i$  和  $\max_i$  分别是第  $i$  个指标值中的最小值和最大值。

各评价因子指数（即危险性、暴露性、脆弱性和抗灾能力）的计算则采用加权综合评价法，把各个具体指标的作用大小综合起来，用一个数量化指标加以集中表示整个评价对象的影响程度，计算公式为：

$$V_j = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_{ij}$$

式中， $V_j$  是评价因子的总值， $W_i$  是指标  $i$  的权重， $D_{ij}$  是对于因子  $j$  的指标  $i$  的归一化值； $n$  是评价指标个数。

## (2) 专家打分法

通过专家打分法确定因子权重。专家打分法也称为德尔菲法（Delphi），是指通过匿名方式征询有关专家的意见，对专家意见进行统计、处理、分析和归纳，可观地综合多数专家经验与主观判断，对大量难以采用技术方法进行定量分析的因子做出合理估算，经过多轮意见征询、反馈和调整，来确定各因子的权重系数。该方法确定的权重系数能较好地反应实际情况下各致灾因子在灾害形成过程的作用，但存在一定的主观因素。

## (3) 气象灾害风险因子层的叠置综合

灾害风险是致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力四个因子综合作用的结果。不同因子层还需要进行叠加运算才能得到综合风险结果，在进行运算前首先保证各因子层具有统一的投影坐标和栅格框架，

以保证运算时各层间能够逐点对应。不同因子层的叠加计算在 ArcGIS 中空间分析模块的栅格计算器中实现，计算原理如图 B.2 所示。

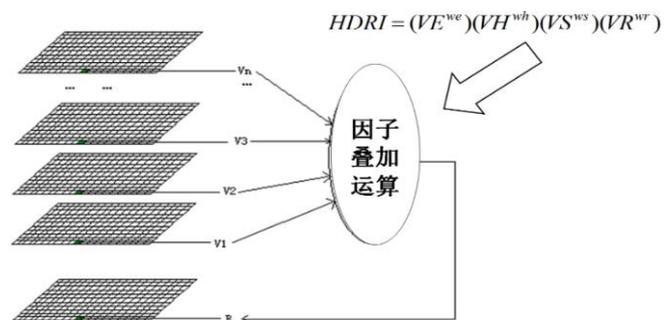


图 B.2 因子综合的运算原理

#### (4) 分级与区划方法

区划分级采用的方法为自然断点法（Jenks Natural Breaks Optimization），其原理是根据数据序列本身的统计规律，按要求设定等级断点的个数，使得级内方差最小以及不同等级间方差最大的一种最优化数据分组方法。

## C 数值模式介绍

大气数值模式是通过数值计算方法对大气动力及热力过程进行求解，从而研究大气状况的重要工具，被广泛应用于天气预报、气候可行性论证、城市规划等领域。目前常用的数值模式有很多，根据不同应用场景的时空尺度，可简单将其分为大气环流模式、区域数值模式和微尺度模式。其中大气环流模式主要用于全球气候变化研究，区域数值模式可用于分析百米至千米分辨率的局地气候状况，而微尺度模式则主要应用于十米至数十米分辨率的局地微气候研究。

随着计算机技术的迅速发展，数值模式在数值天气预报及天气、气候研究中起到了越发重要的作用。为对数值模式进行规范，以便业务科研中的交流，美国国家大气研究中心(NCAR)、美国国家环境预报中心(NCEP)、美国国家海洋和大气的管理局(NOAA) 以及天气预报研究院(FSL)联合开发了新一代中尺度天气预报模式——Weather Research and Forecasting Model（简称 WRF 模式）。由于精度高、模拟效果好、代码开源等特点，不管是在业务部门还是科研机构，WRF 模式都得到了广泛应用；其在区域气候数值模拟研究中的适用性也得到了大量论证。本次使用的是 WRF3.9.4 版本。

WRF 模式包含三个主要结构层：驱动层、中间层和模式层。其中，驱动层负责模式初始化、输入输出、时间积分、计算区域嵌套以及并行计算等；中间层则负责提供驱动层与模式层之间的交互和接口；模式层则主要包括动力学框架、物理过程等。除此之外，WRF 模式还提供了多种理想试验方案、多种模式初始化方案、多个滤波方案以及大量的物理过程参数化方案等，以更好地应用于不同情境。WRF 水平方向采用 Arakawa-C 网格，垂直方向采用地形跟随  $\eta$  坐标系，时间积分采用三阶 Runge-Kutta 方案。图 C.1 与图 C.2 分别为 WRF 垂直坐标系示意及水平和垂直网格分布。关于 WRF 模式的更多介绍可在其官网（<http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>）获得。

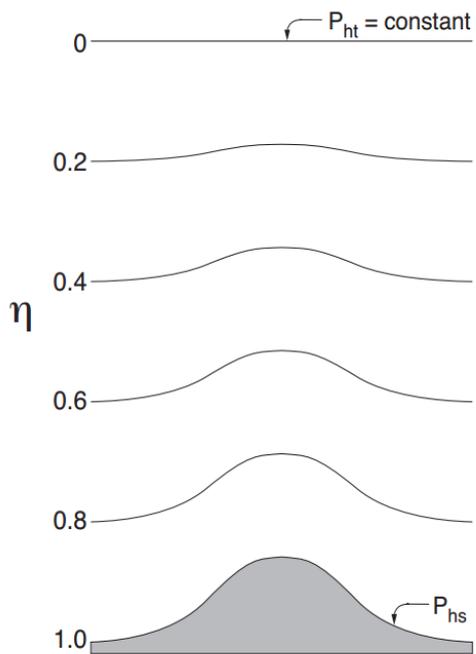


图 C.1 WRF 模式垂直坐标系

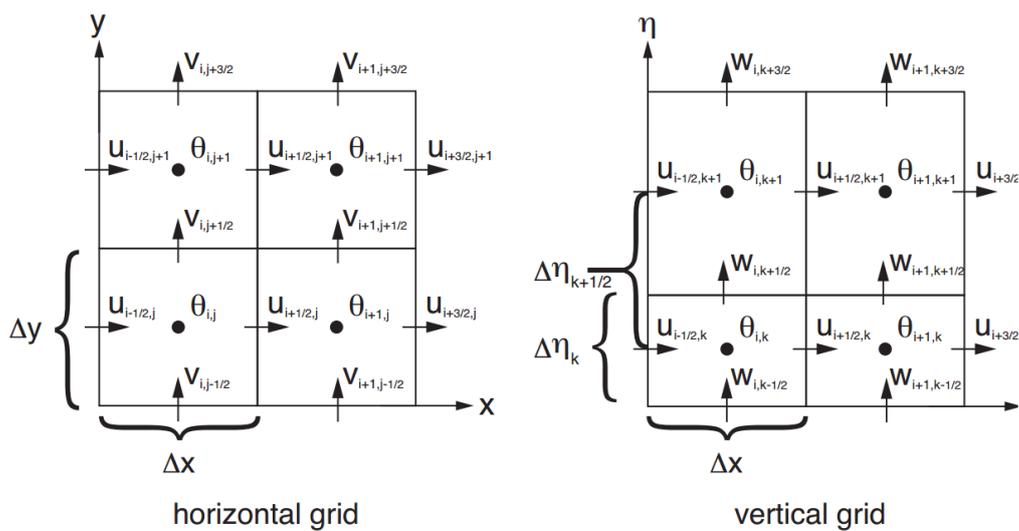


图 C.2 WRF 水平（左）及垂直（右）方向网格

## D 重现期计算方法

推算气候极值较常用的概率分布模型包含对数正态分布、Weibull 分布、皮尔逊-III 型分布、耿贝尔分布、指数分布等。其中对数正态分布和 Weibull 分布可以是两参数分布，也可以是三参数分布。显然，两参数分布是三参数分布的特殊情形，因此，三参数分布拟合精度更高，适用范围更广。常用概率模型的分布函数及其参数情况如表 D.1 所示，误差分析统计量如表 D.2 所示。

表 D.1 常用概率模型的分布函数及其参数情况

概率模型	分布函数 $F(x) = P(X \leq x)$	模型参数
对数正态分布	$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-x_0)-u}{\sigma}\right), (x \geq x_0)$	$x_0$ -初始位置, $u$ -均值, $\sigma$ -标准差
Weibull 分布	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-c}{\alpha}\right)^k},$ $(x > c; k > 0; \alpha \geq 0)$	$\alpha$ -尺度参数, $c$ -初始位置, $k$ -形状参数
皮尔逊-III 型分布	$F(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_0}^x (t-x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(t-x_0)} dt$ $(\alpha, \beta > 0; x \geq x_0)$	$x_0$ -初始位置, $\alpha$ -形状参数, $\beta$ -尺度参数
耿贝尔分布	$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$	$\alpha$ -尺度参数, $u$ -位置参数
指数分布	$F(x) = 1 - e^{-\alpha(x-u)}$	$\alpha$ -尺度参数, $u$ -初始位置

注： $\Phi$ 表示标准正态分布。

表 D.2 误差分析统计量

误差变量	计算公式
柯尔莫哥洛夫拟合度 $D_n$	$D_n = \max F(x_i) - P_i $
相关系数 $R$	$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(\hat{x}_i - \hat{\bar{x}})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - \hat{\bar{x}})^2}}$
绝对均方根误差 $RMSE$	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}$
相对均方根误差 $U_m$	$U_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{x}_i - x_i}{x_i}\right)^2} \times 100\%$

