

沿海电网 防风加固优化设计

广东电网公司江门供电局 组编
赵树华 刘树堂 彭炽刚 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

沿海电网

防风加固优化设计

中国电力出版社 2013年11月第1版
ISBN 978-7-121-20811-1



中国电力出版社

专业书

本书可作为电力系统相关专业人员的参考书，也可作为电力系统相关专业人员的培训教材。本书可作为电力系统相关专业人员的参考书，也可作为电力系统相关专业人员的培训教材。

沿海电网 防风加固优化设计

广东电网公司江门供电局 组编

赵树华 刘树堂 彭炽刚 蔡德华 朱灼新 魏远航
吴强盛 欧郁强 陈剑光 吴烈鑫 陈福才 甄洪沃
林冬 莫穗江 李端姣 刘正超 张峰 范亚洲
雷炳晖 张雪莹 余启育 梁位正

编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分十九章,系统地介绍了架空电力线路及杆塔结构的力学计算及设计基本理论,架空电力线路及杆塔结构的风振特性及防风设计基本理论,剖析了江门沿海地区气象条件对架空电力线路及系统设备影响因素,提出了江门沿海架空电力线路防风加固设计标准,介绍了江门沿海架空电力线路防风加固的技术要求和设计方法,介绍了江门沿海架空电力线路防风加固工程设计案例,总结了江门沿海架空电力线路及杆塔结构的防风加固成果及运行维护经验。

本书可供从事架空电力线路及杆塔结构的工程设计、施工、运行检修及管理工作的工程技术人员参考使用,以及相关专业的本科生、研究生及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

沿海电网防风加固优化设计/广东电网公司江门供电局组编;
赵树华等编著. —北京:中国电力出版社,2013.11

ISBN 978-7-5123-4644-4

I. ①沿… II. ①广… ②赵… III. ①沿海—地区电网—防风—
最优设计 ②沿海—地区电网—加固—最优设计 IV. ①TM727.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第148643号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年11月第一版 2013年11月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26.5印张 644千字

定价 55.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

沿海电网防风加固优化设计

广东电网公司江门供电局 组编

赵树华 刘树堂 彭炽刚 蔡德华

朱灼新 魏远航 吴强盛 欧郁强

陈剑光 吴烈鑫 陈福才 甄洪沃

林 冬 莫穗江 李端姣 刘正超

张 峰 范亚洲 雷炳晖 张雪莹

余启育 梁位正 编著



江门电网是广东重要的电能基地、珠江三角洲地区的电源枢纽之一、西电东送的重要通道，每年向珠三角负荷中心输送电量超 330 亿 kWh，对广东社会经济发展发挥了积极重要的作用。江门地区地处广东省西南部，濒临南海，是台风、雷暴等极端气候多发地。江门电网现拥有 35kV 及以上输电线路 311 回，总长 4309km；10kV 配网线路 13 186km。

江门电网具有地域广，发生事故影响范围大的特点，架空线路杆塔多位于沿海地形复杂的微气候、微地形地区，极易受到台风的正面侵袭，引起供电线路故障跳闸较为频繁。根据近几年的运行经验统计，电网停电事故多发生在台风等恶劣气候条件下，尤其是线路跳闸次数占总跳闸次数的 30% 以上，重合成功率低，故障点查找难度高，影响供电可靠性。

加强沿海地区输电线路抗风设计是解决供电可靠性的主要工作方面之一。本书从杆塔结构设计基本理论出发，结合相关设计规范和行业技术规定，较详细介绍输配电线路绝缘配合与抗风设计及相关方面、本地区输电线路的防风设计，总结了架空输配电线路防风抗风的运行维护经验。

参加本书编写人员为：赵树华，刘树堂（广州大学），彭炽刚，蔡德华，朱灼新，魏远航，吴强盛，欧郁强，陈剑光，吴烈鑫，陈福才，甄洪沃，林冬，莫穗江，李端姣，刘正超，张峰，范亚洲，雷炳晖，张雪莹，余启育，梁位正。

在本书编写中难免会出现一些笔误，敬请读者指正。

作者

2012 年 3 月



前言

第 1 章 江门沿海气象灾害对电网设备影响的研究	1
1.1 项目研究的必要性	1
1.2 气象灾害发生发展的规律和特点	1
1.3 气象灾害影响情况的分析	6
1.4 基于微气象和微地形的电力风力分布图	19
第 2 章 架空线的类型及物理特性	22
2.1 架空线的截面构造型式	22
2.2 架空线物理特性	23
第 3 章 架空线力学计算	27
3.1 架空线比载的计算	27
3.2 架空线悬链线方程及力学计算	30
3.3 大高差档中架空线的斜抛物线方程及力学计算	34
3.4 大高差档受分段荷载架空线的斜抛物线方程及力学计算	40
3.5 小高差档的平抛物线方程及力学计算	44
3.6 悬点等高档的平抛物线方程及力学计算	45
3.7 杆塔荷载设计档距	47
第 4 章 气象变化时架空线的计算	50
4.1 导线与地线选取的原则	50
4.2 架空线状态方程式	51
4.3 状态方程式的解法	53
4.4 控制气象与临界档距的概念	55
4.5 最大弧垂气象条件的判定方法	57
4.6 临界档距的计算与控制气象的判定	59
4.7 应力弧垂曲线	67
4.8 安装曲线	71
4.9 架空线“初伸长”的补偿方法	72
第 5 章 架空线微风振动与防振措施	74
5.1 架空线微风振动	74
5.2 微风振动的理论分析	74
5.3 从能量平衡原理估算架空线的振动频率	80
5.4 影响微风振动的因素	81

5.5	微风振动的消振装置	85
第6章	输电线路杆塔结构类型	90
6.1	杆塔结构的分类	90
6.2	铁塔的构造型式	90
6.3	钢筋混凝土杆的构造型式	98
第7章	架空电力线路绝缘配合设计	103
7.1	架空电力线路绝缘配合设计的概述	103
7.2	绝缘子的选择	104
7.3	杆塔外形尺寸设计因素	110
7.4	导线挂点之间距离的确定	111
7.5	导线与塔构的空气间隙校验	113
7.6	地线支架高度的确定	116
7.7	杆塔呼称高的确定	119
第8章	杆塔结构设计荷载	130
8.1	荷载分类	130
8.2	重力荷载计算	130
8.3	风荷载计算	131
8.4	转角杆塔横向角度荷载及纵向不平衡张力计算	139
8.5	安装荷载计算	139
8.6	水平地震作用标准值计算	142
8.7	竖向地震作用标准值计算	147
8.8	荷载组合	148
8.9	设计气象条件	150
第9章	铁塔内力与变形分析	152
9.1	基本概念	152
9.2	坐标系的旋转	154
9.3	杆件坐标系的定位与转轴矩阵	158
9.4	杆件坐标系下的单元刚度矩阵	160
9.5	结构坐标系下的单元刚度矩阵	161
9.6	空间桁架的总节点刚度矩阵	162
9.7	空间桁架的综合节点荷载	164
9.8	杆件上荷载引起的约束杆端力	165
9.9	总节点刚度矩阵方程的求解	170
9.10	最终杆端力的计算	172
9.11	塔架变形计算	172
第10章	自立式电杆内力和变形分析	174
10.1	自立式单杆电杆内力分析	174
10.2	自立式单杆电杆挠度计算	178
10.3	门型双杆电杆内力分析	180

10.4	A 字型双杆电杆内力计算	184
第 11 章	拉线杆塔内力分析	185
11.1	外拉线门型塔的内力分析	185
11.2	外拉线门型塔考虑构架侧移时的内力分析	186
11.3	拉线门型杆考虑构架侧移时的内力分析	189
11.4	外拉线门型杆拉线张力简化分析	190
11.5	八字拉线门型杆拉线张力简化分析	194
11.6	拉线电杆主杆挠度和弯矩的计算	196
11.7	多层拉线单柱铁塔内力分析	198
第 12 章	铁塔结构构件设计	205
12.1	基本计算规定	205
12.2	轴心受力构件强度计算	207
12.3	轴心受压构件整体稳定计算	209
12.4	受弯构件计算	210
12.5	受压同时受弯构件的局部稳定计算	210
12.6	受拉同时受弯构件的强度计算	211
12.7	格构式柱的设计	211
12.8	铁塔结构构件计算长度与长细比的确定	218
12.9	铁塔构件长细比修正系数	220
第 13 章	环形截面混凝土构件的设计及变形计算	222
13.1	承载力计算	222
13.2	正常使用极限状态裂缝宽度验算	225
13.3	电杆变形验算	226
13.4	预应力混凝土环形截面电杆的计算	227
第 14 章	杆塔的构造及连接设计	233
14.1	角钢塔的构造	233
14.2	组合角钢塔的构造	234
14.3	钢管塔的构造	236
14.4	一般要求	239
14.5	节点构造	240
14.6	具有靴板的塔脚结构设计	241
14.7	无靴板有加劲板的塔脚结构设计	243
14.8	无靴板无加劲板的塔脚结构设计	244
14.9	有加劲板法兰盘计算	245
14.10	无加劲板法兰盘计算	247
14.11	叉梁抱箍计算	248
14.12	拉线抱箍计算	249
14.13	拉线板计算	249
14.14	避雷线眼圈螺栓计算	250

14.15	插入角钢连接计算	251
第 15 章	风荷载与风振响应	252
15.1	风的形成	252
15.2	结构上风力及风力效应	254
15.3	风速与风压	255
15.4	顺风向的等效风荷载	257
15.5	横风向涡流脱落共振等效风荷载	267
15.6	空气动力失稳	269
第 16 章	杆塔基础设计	270
16.1	基础分类	270
16.2	影响基础埋深的主要因素	273
16.3	地下水对基础工程的影响	274
16.4	基础极限状态表达式	274
16.5	“大开挖”基础和掏挖扩底基础上拔稳定的计算	275
16.6	地基压力计算	282
16.7	原状土基础考虑侧向土压力时弯矩的近似计算	284
16.8	地基承载力计算	286
16.9	地基强度验算	287
16.10	地基变形计算	289
16.11	基础倾覆稳定计算	291
16.12	钻(冲、挖)孔灌注桩基础	296
16.13	复合式沉井基础	309
16.14	岩石基础	312
16.15	装配式基础	317
第 17 章	江门沿海配电网抗风技术要求、设计案例及造价比较	322
17.1	江门沿海配电网抗风技术要求	322
17.2	设计案例	322
17.3	抗风加固项目造价比较	340
第 18 章	沿海输电线路抗风设计	344
18.1	工程概况	344
18.2	线路路径	344
18.3	气象条件	345
18.4	导、地线的选型及防振	349
18.5	铁塔规划设计	350
18.6	基础选型	358
第 19 章	江门供电局沿海架空线路防风加固成果	360
19.1	概述	360
19.2	2008~2010 三年间线路跳闸情况	361
19.3	跳闸原因浅析	362

19.4 防风加固举措	363
19.5 防风加固成果	369
附录 A 典型气象区	371
附录 B 高压架空线路污秽分级标准	371
附录 C 弱电线路等级、公路等级	372
附录 D 绝缘子类型与规格	373
附录 E 导线、地线的规格与特性	381
附录 F 钢材、螺栓连接、焊缝、锚栓、混凝土、钢筋的强度与特性	383
附录 G 热轧等边角钢、热轧无缝钢管规格及截面特性	387
附录 H 轴心受压构件稳定系数	395
附录 I 螺栓规格、角钢上螺栓线距表	399
附录 J 地基土(岩)的分类和土的工程特性指标	401
附录 K 地基岩土承载力特征值	404
附录 L 土的内摩擦角、凝聚力、计算内摩擦角、计算容重、计算上拔角	407
附录 M 风力等级	408
附录 N 土与混凝土基础接触面间的摩阻系数	410
参考文献	411

江门沿海气象灾害对电网设备影响的研究

1.1 项目研究的必要性

江门地区面积约 9541km²，面积大、地域广，海岸线长度约 285km，每年登陆或影响江门地区的台风有 5~6 个，江门台山沿海地区建设有铜鼓电厂，现有 6 回 500kV、7 回 220kV 和 11 回 110kV 输电线路运行中，未来还将有台山核电厂及相应的输电线路、220kV 阁安（海晏）输电变工程等大量 110~500kV 输电线路投入运行。自 2010 年川岛变电站投产，江门供电局开始运行维护海岛变电站和输电线路，沿海及海岛容易受极端气候的影响，对电网设备的运维带来较大的影响，急需研究沿海气象灾害对电网设备运维的影响。

气象灾害案例如下：

(1) 2008 年 9 月 24 日超强台风黑格比（风速达 15 级），超出线路 12 级风速的设计能力，导线风偏过大，对塔身安全距离不足，台山电厂沿海送出线路：220kV 铜唐甲线、铜唐乙线、铜水线、铜能线跳闸，电厂停机，线路导线因放电损坏严重。

(2) 2009 年 9 月 15 日，超强台风巨爵在台山电厂附近地域登陆，风速达 15 级（50.1 m/s），造成当地大量民用和公用设施损坏。同时，台风强度大大超出台山电厂 4 回 220kV 线路耐张铁塔的 12 级风速的抗风能力，导线跳线风偏过大，对塔身绝缘电气间隙安全距离不足，造成台山电厂沿海四回送出线路：220kV 铜唐甲线、铜唐乙线、铜水线、铜能线相继跳闸，严重影响电厂电能送出，威胁电网安全运行。

1.2 气象灾害发生发展的规律和特点

江门沿海台站主要是台山站和上川岛站，其气象观测起始时间分别为 1954 年和 1958 年。

1.2.1 降水量统计分析

台山年降雨量如图 1-1 所示，台山年降水量分级如图 1-2 所示，上川年降雨量如图 1-3 所示，上川年降水量分级如图 1-4 所示。

从台山年降雨量和根据标准差的降水量分析（见图 1-2）可以看出，大于等于一个标准差的年份有 1964、1965、1972、1973、1981、1993、1998、2001、2008 年，小于等于一个标准差的年份 1956、1958、1962、1963、1967、1977、1988、1989、1991、2004、2007 年。

从上川年降雨量和根据标准差的年降水量分析（见图 1-4）可以看出，大于等于一个标

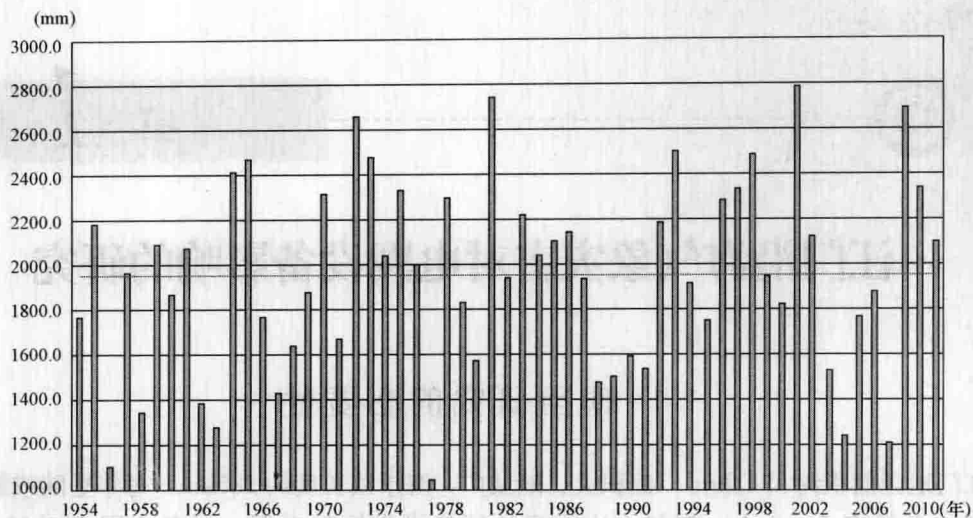


图 1-1 台山年降雨量

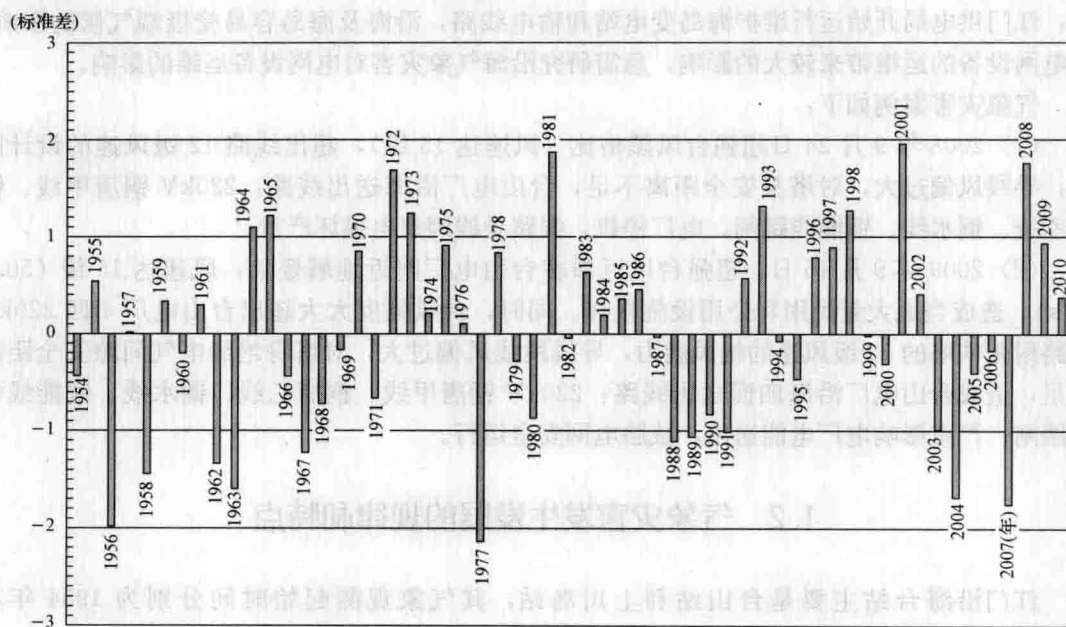


图 1-2 台山年降水量分级

准差的年份有 1965、1972、1973、1975、1976、2001、2008、2009、2010 年，小于等于一个标准差的年份 1958、1962、1963、1971、1977、1980、1991、1999、2004 年。

1.2.2 气温分析

从图 1-5 所示台山年平均气温变化看出，年平均气温有增大趋势，线性趋势表明每年增大约 0.0171°C 。

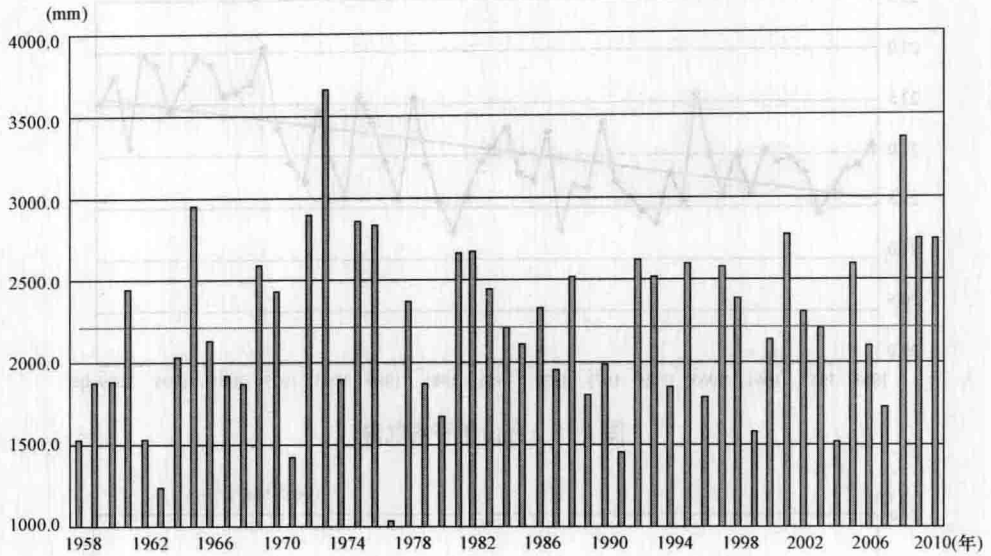


图 1-3 上川年降雨量

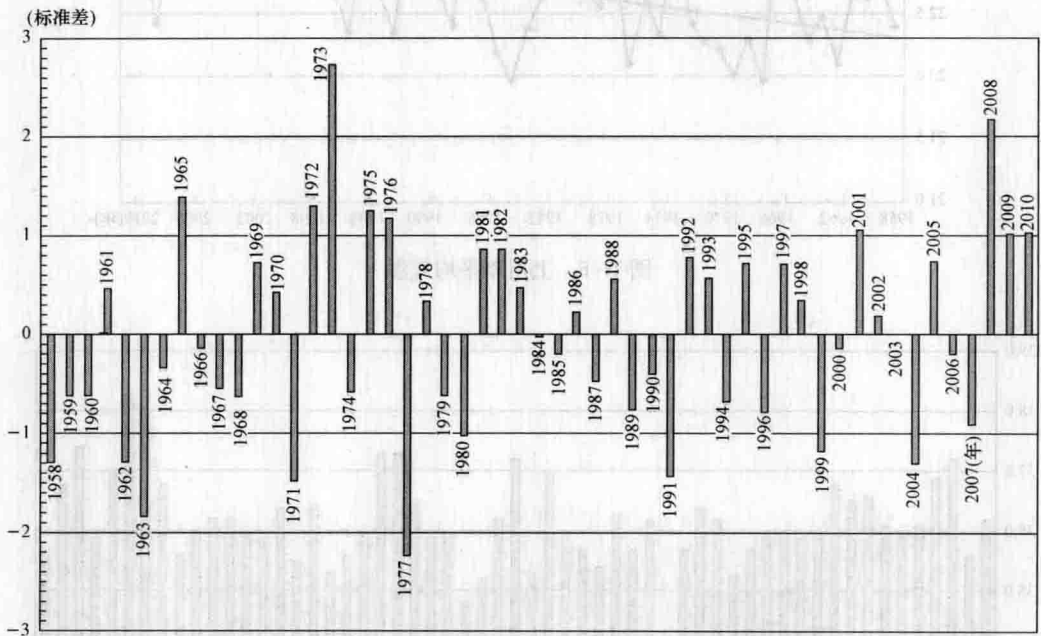


图 1-4 上川年降水量分级

从图 1-6 所示上川年平均气温变化看出,年平均气温有增大趋势,线性趋势表明每年增大约 0.0154°C 。

从图 1-7、图 1-8 所示台山和上川年最高气温看出,年最高气温可达 $37\sim 38^{\circ}\text{C}$ 。

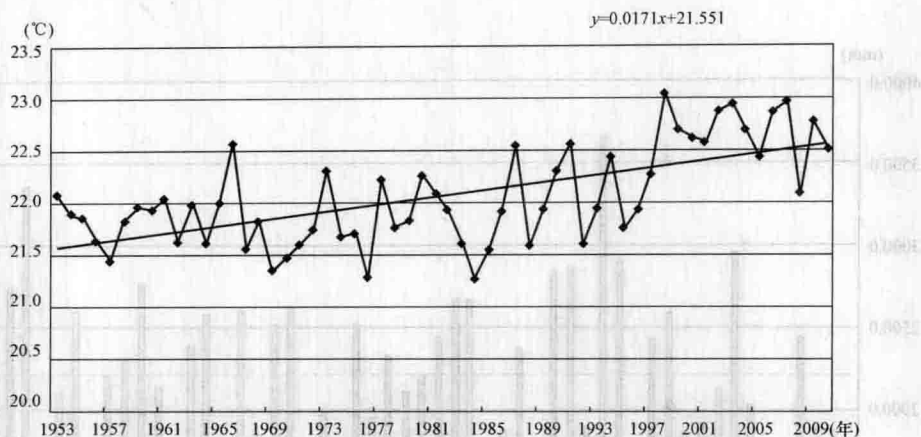


图 1-5 台山年平均气温

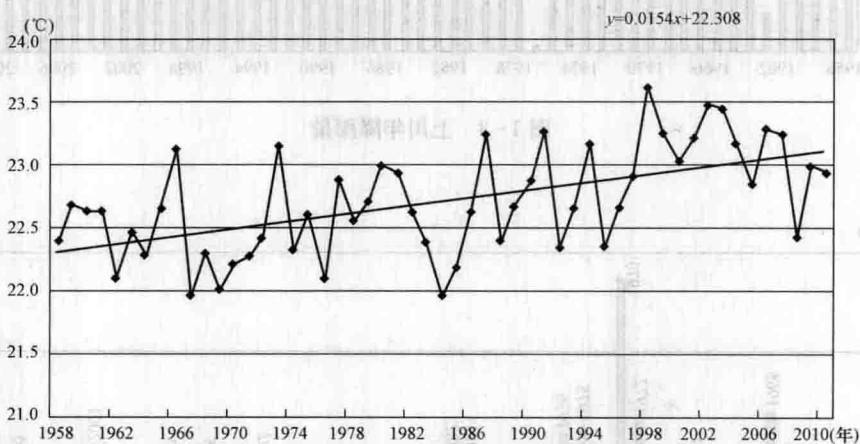


图 1-6 上川年平均气温

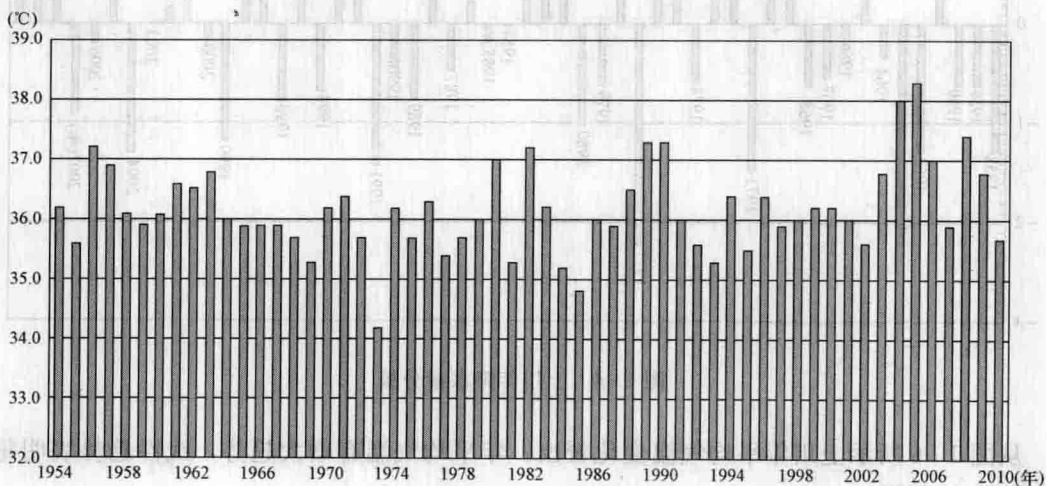


图 1-7 台山年最高气温

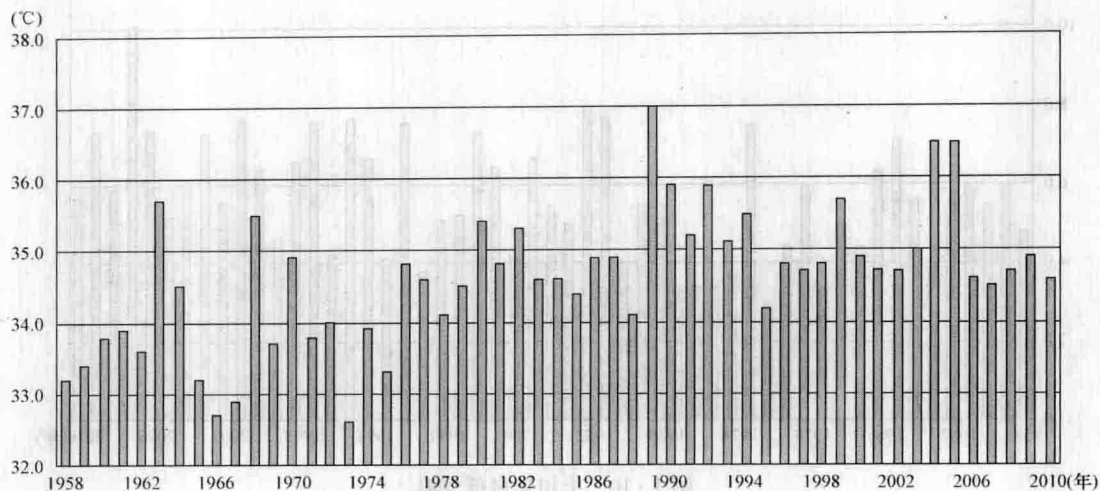


图 1-8 上川年最高气温

从图 1-9、图 1-10 所示台山和上川年最低气温看出，年最低气温分别小于 0°C 和小于 4°C 。

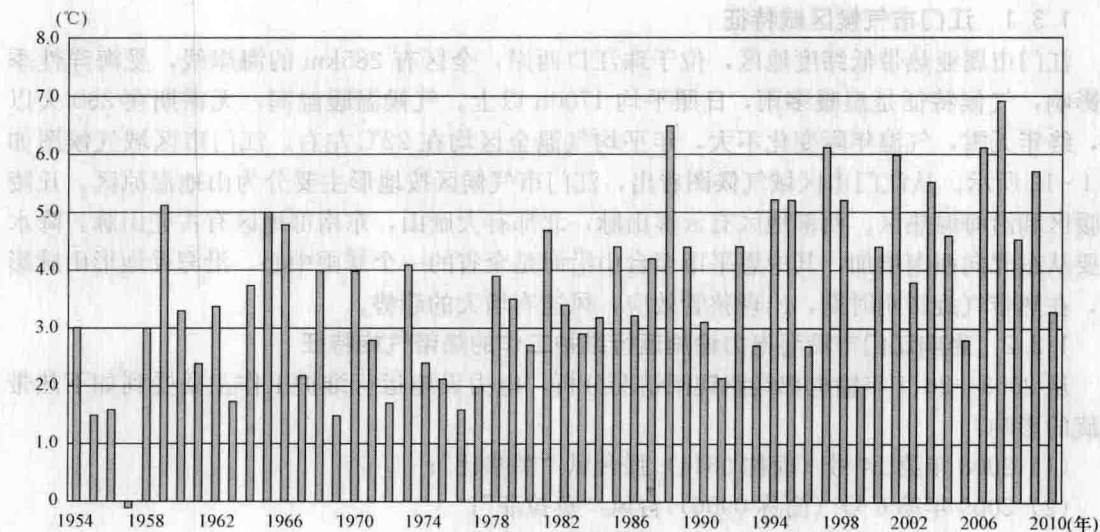


图 1-9 台山年最低气温

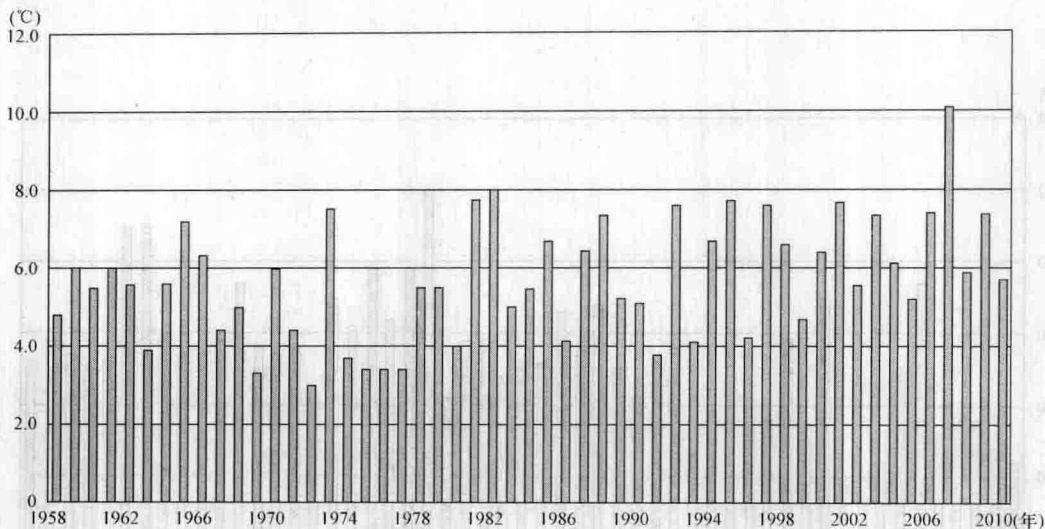


图 1-10 上川年最低气温

1.3 气象灾害影响情况的分析

江门市电力网设施分布如图 1-11 所示。

从江门市电力网设施分布可以看出，沿海有电力输送大动脉，各主要城市也是电力设施的主要分布点。

1.3.1 江门市气候区域特征

江门市属亚热带低纬度地区，位于珠江口西岸，全区有 285km 的海岸线，受海洋性季风影响，气候特征是温暖多雨，日照平均 1700h 以上。气候温暖湿润，无霜期在 360 天以上，终年无雪，气温年际变化不大，年平均气温全区均在 22℃ 左右。江门市区域气候图如图 1-12 所示。从江门市区域气候图看出，江门市气候区按地形主要分为山地温凉区、丘陵温暖区和沿海温热区。西部地区有云雾山脉，北部有大雁山，东南部地区有古兜山脉。降水主要从东北向西南增加，其中恩平市至台山沿海是全省的一个暴雨中心。沿海受地形山脉影响，在热带气旋影响时期，出现狭管效应，风速有增大的趋势。

1.3.2 影响江门市沿海电力设施运行维护工作的热带气旋特征

从 2008~2011 年输电部线路跳闸情况分析，电力设施运行维护工作主要受到如下热带气旋的影响：

- (1) 2008 年第 14 号（简称 0814）强台风“黑格比”；
- (2) 2009 年第 6 号（简称 0906）台风“莫拉菲”；
- (3) 2009 年第 7 号（简称 0907）热带风暴“天鹅”；
- (4) 2009 年第 15 号（简称 0915）台风“巨爵”；
- (5) 2011 年第 17 号（简称 1117）强台风“纳沙”。

1. 0814 强台风“黑格比”

0814 强台风“黑格比”的路径图和天气形势分析图如图 1-13 和图 1-14 所示。

风雨影响情况：0814 强台风“黑格比”于 9 月 24 日早晨 6 时 45 分在茂名市电白县陈村