

ICS 29.240

P 62

备案号: J2068—2015

**DL**

**中华人民共和国电力行业标准**

**P**

**DL/T 5509 — 2015**

---

# **架空输电线路覆冰勘测规程**

**Code of icing survey for overhead transmission line**

2015-07-01 发布

2015-12-01 实施

---

**国家能源局 发布**

中华人民共和国电力行业标准

架空输电线路覆冰勘测规程

Code of icing survey for overhead transmission line

**DL/T 5509—2015**

主编部门：电力规划设计总院

批准部门：国家能源局

施行日期：2015年12月1日

中国计划出版社

2015 北 京

# 国家能源局

## 公告

2015年 第4号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法(试行)〉及实施细则的通知》(国能局科技〔2009〕52号)有关规定,经审查,国家能源局批准《压水堆核电厂用不锈钢 第40部分:推内构件用奥氏体不锈钢锻件》等133项行业标准,其中能源标准(NB)58项、电力标准(DL)75项,现予以发布。

附件:行业标准目录

国家能源局

2015年7月1日

附件:

### 行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
.....						
131	DL/T 5509—2015	架空输电线路 覆冰勘测规程		IEC60826: 2003 IDT	2015-07-01	2015-12-01
.....						

# 前 言

根据《国家能源局关于下达 2012 年第一批能源领域行业标准制(修)订计划的通知》(国能科技〔2012〕83 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结架空输电线路覆冰勘测技术工作经验及覆冰应用技术研究成果,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准共有 8 章和 4 个附录,主要技术内容包括:总则,术语,覆冰调查,覆冰踏勘,覆冰观测原则,设计冰厚分析计算,冰区划分,各设计阶段覆冰勘测内容深度等。

本标准由国家能源局负责管理,由电力规划设计总院提出,由能源行业发电设计标准化技术委员会负责日常管理,由中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送电力规划设计总院(地址:北京市西城区安德路 65 号,邮政编码:100120)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

**主 编 单 位:**中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司

**参 编 单 位:**贵州电力设计研究院

**主要起草人:**熊海星 刘 渝 金西平 王 劲 晋明红

曹双和 谭 绒 苏义全 胡 波

**主要审查人:**朱京兴 吴庆华 秦学林 王 勇 蒋正龙

张建刚 欧子春 姚 鹏 饶贞祥 李卫林

张性慧 许 轶 曹立志 潘晓春 侯长健

付敏刚

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术 语 .....	( 2 )
3	覆冰调查 .....	( 3 )
3.1	一般规定 .....	( 3 )
3.2	电力部门覆冰调查 .....	( 4 )
3.3	气象部门覆冰调查 .....	( 5 )
3.4	通信部门覆冰调查 .....	( 5 )
3.5	其他相关部门覆冰调查 .....	( 5 )
3.6	文献查阅 .....	( 6 )
3.7	覆冰调查资料整理 .....	( 6 )
4	覆冰踏勘 .....	( 8 )
4.1	一般规定 .....	( 8 )
4.2	拟建线路覆冰踏勘 .....	( 8 )
4.3	冰害线路覆冰踏勘 .....	( 9 )
5	覆冰观测原则 .....	( 10 )
6	设计冰厚分析计算 .....	( 11 )
6.1	覆冰密度计算 .....	( 11 )
6.2	标准冰厚计算 .....	( 12 )
6.3	设计冰厚计算 .....	( 12 )
6.4	覆冰的频率计算 .....	( 13 )
6.5	覆冰的高度换算 .....	( 14 )
6.6	覆冰的线径换算 .....	( 14 )
6.7	覆冰的地形换算 .....	( 15 )
6.8	线路走向换算 .....	( 16 )

7	冰区划分	( 17 )
7.1	一般规定	( 17 )
7.2	路径冰区划分	( 17 )
7.3	区域基本冰区图绘制方法	( 19 )
7.4	冰区划分的合理性检查	( 21 )
8	各设计阶段覆冰勘测内容深度	( 23 )
8.1	路径规划阶段覆冰勘测内容深度	( 23 )
8.2	可行性研究阶段覆冰勘测内容深度	( 23 )
8.3	初步设计阶段覆冰勘测内容深度	( 24 )
8.4	施工图设计阶段覆冰勘测内容深度	( 25 )
附录 A	覆冰调查记录表	( 27 )
附录 B	覆冰种类判别条件表	( 28 )
附录 C	覆冰调查整编成果表	( 29 )
附录 D	覆冰踏勘观测记录表	( 30 )
	本标准用词说明	( 31 )
	引用标准名录	( 32 )
	附:条文说明	( 33 )

# Contents

1	General provisions	( 1 )
2	Terms	( 2 )
3	Line icing investigation	( 3 )
3.1	General	( 3 )
3.2	Icing investigation of power department	( 4 )
3.3	Icing investigation of meteorological department	( 5 )
3.4	Icing investigation of communication department	( 5 )
3.5	Icing investigation of other related departments	( 5 )
3.6	Documents consultation	( 6 )
3.7	Processing of the icing investigation data	( 6 )
4	Line icing reconnaissance	( 8 )
4.1	General	( 8 )
4.2	Icing reconnaissance of proposed lines	( 8 )
4.3	Icing reconnaissance of ice-damaged lines	( 9 )
5	Icing observation principle	( 10 )
6	Analysis and calculation on design ice thickness	( 11 )
6.1	Ice density	( 11 )
6.2	Standard ice thickness	( 12 )
6.3	Design ice thickness	( 12 )
6.4	Frequency analysis	( 13 )
6.5	Height conversion	( 14 )
6.6	Line diameter conversion	( 14 )
6.7	Topographic conversion	( 15 )
6.8	The conversion of line trend	( 16 )

7	Icing zone categorizing .....	( 17 )
7.1	General .....	( 17 )
7.2	Icing zone categorizing for transmission line .....	( 17 )
7.3	Method of plotting basic icing distribution .....	( 19 )
7.4	Validation of icing zone categorizing .....	( 21 )
8	Contents of icing survey and design at each stage .....	( 23 )
8.1	Contents of icing survey and design at route planning stage .....	( 23 )
8.2	Contents of icing survey and design at feasibility study stage .....	( 23 )
8.3	Contents of icing survey and design at preliminary stage .....	( 24 )
8.4	Contents of icing survey and design at working drawing stage .....	( 25 )
Appendix A	Record of icing investigation .....	( 27 )
Appendix B	Table of distinguishing conditions for various icing types .....	( 28 )
Appendix C	Table of compiled data of icing investigation .....	( 29 )
Appendix D	Record of icing reconnaissance .....	( 30 )
	Explanation of wording in this code .....	( 31 )
	List of quoted standards .....	( 32 )
	Addition: Explanation of provisions .....	( 33 )

# 1 总 则

**1.0.1** 为了使架空输电线路覆冰勘测设计满足安全适用、技术先进、经济合理的要求,制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于 110kV 及以上电压等级架空输电线路工程的覆冰勘测。

**1.0.3** 输电线路的冰区划分应以工程所在区域及路径通道的气象、地形、覆冰观测、覆冰调查、覆冰踏勘及已建线路运行情况等基础资料为依据。

**1.0.4** 输电线路覆冰分析计算使用的基础资料应满足可靠性、一致性、代表性要求。

**1.0.5** 输电线路设计冰厚的重现期标准应符合下列规定:

1 110kV~330kV 输电线路为 30 年一遇;

2 500kV、750kV、±400kV~±660kV 输电线路为 50 年一遇;

3 1000kV、±800kV 输电线路为 100 年一遇。

**1.0.6** 设计冰厚的离地基本高度应为 10m,离地高度大于 10m 的应进行高度换算。

**1.0.7** 覆冰重现期分析应根据资料的不同条件,相应选用覆冰极值系列频率分析法及历史覆冰调查法。

**1.0.8** 在覆冰勘测的基础上,当输电线路通过易覆冰区域时应开展覆冰专项查勘,当输电线路通过设计冰厚 20mm 及以上重冰区时应开展覆冰专题论证。

**1.0.9** 输电线路覆冰勘测除应符合本标准外,尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 覆冰过程 icing process

指一次覆冰从开始出现到完全消融的时间。可分为发展、保持和消融三个阶段。

### 2.0.2 覆冰气象指数 icing meteorological index

指满足覆冰条件的气温、相对湿度、风速等主要气象要素对覆冰的贡献的综合指标。

### 2.0.3 冰区划分 icing zone categorizing

指根据输电线路设计要求将路径的设计冰厚进行分区。

### 2.0.4 易覆冰区域 icing prone area

指最大覆冰厚度大于 10mm 且每年均有不同程度覆冰的地区。

### 2.0.5 基本冰区图 basic icing distribution

指重现期 50 年离地高度 10m 的标准冰厚分布图。

## 3 覆冰调查

### 3.1 一般规定

3.1.1 覆冰调查前应编制调查提纲,并应准备路径图,路径图比例尺宜为 1:10000~1:100000。

3.1.2 覆冰调查记录格式应规范,覆冰调查记录内容可按本标准附录 A 规定的格式填写。

3.1.3 覆冰调查对象应包括电力、气象、通信、交通、工矿、民政、林业等部门的运行、管理人员以及当地居民。

3.1.4 覆冰调查应包括下列内容:

1 覆冰地点、海拔、地形、风向,覆冰附着物种类、直径、离地高度、走向;

2 覆冰发生时间和持续日数,覆冰时天气现象包括雾天、雨天、雪天、阴天、晴天;

3 覆冰种类,调查覆冰种类的判定应符合本标准附录 B 的规定;

4 覆冰的形状、长径、短径和冰重;

5 覆冰重现期,历史上大覆冰出现的次数、时间及冰害情况;

6 沿线地形、植被及水体分布等情况。

3.1.5 覆冰搜资应包括下列内容:

1 已建输电线路的设计标准及设计冰厚,投运时间,运行中的实测、目测覆冰资料;冰害线路搜资内容应包括冰厚、冰重、杆塔型、杆塔高、线径、挡距和冰害后的修复标准,以及冰害记录、影像资料、报告等;

2 覆冰观测站(点)观测资料宜包括:测冰日期、长径、短径、冰重、性质、覆冰起止时间,覆冰过程及前后 3 天时段相应的逐时气温、相对湿度、风速风向;

3 通信线路的设计冰厚、线径、杆高和运行情况,冬季打冰情况、实测覆冰周长、直径;

4 高山气象站的观测资料以及通信基站、高山道班、风电场、光伏电站的冰害记录和报告;

5 地方志、覆冰分析研究报告、冰情资料汇编、区域冰区图等。

**3.1.6** 对于线路沿线及其与线路通道地形、气候类似的区域,重冰区应 1km~2km 布置 1 个调查点,微地形严重覆冰段应加密布置调查点;中冰区应 2km~5km 布置 1 个调查点,微地形易覆冰段应加密布置调查点;轻冰区应 5km~10km 布置 1 个调查点。

**3.1.7** 在重冰线路规划设计阶段,应在覆冰期对规划路径区域进行覆冰调查。

**3.1.8** 覆冰调查同行人数不应少于 2 人,对严重冰害区域应进行摄像、地形描述、路径图覆冰信息标注。

**3.1.9** 覆冰严重区域同一地点宜调查多人,并应互相印证,还应请被调查人实地指认。

## 3.2 电力部门覆冰调查

**3.2.1** 电力部门覆冰调查的对象应是负责输电线路勘测设计、运维的工作人员。

**3.2.2** 调查搜集内容主要应包括已建及拟建输电线路的冰区划分、投运时间、运行情况及其覆冰监测数据等。

**3.2.3** 重冰区线路应调查搜集重冰区的地形、最高海拔、最低海拔、植被情况,并应调查搜集运行中的实测最大覆冰资料。

**3.2.4** 冰害线路调查搜集的资料主要应包括:冰害时间、地点、海拔、地形,覆冰长径、短径、冰重、持续时间、形状、密度,修复采用的冰厚值、抗冰措施及实施后的效果。

**3.2.5** 高山风电场及光伏电站的调查搜集资料应为集电线路的设计冰厚及冰害情况。

### 3.3 气象部门覆冰调查

3.3.1 气象观测站覆冰资料搜集内容主要应包括观测场位置、海拔、地形及观测年限,雨淞架高度,观测方法,逐年逐次覆冰过程极值的长径、短径、冰重、覆冰起止时间及覆冰种类。

3.3.2 覆冰灾害天气资料调查搜集内容主要应包括覆冰同时气象条件、天气系统的形成与发展,冷暖气团的移动路径、影响范围及持续时间。

### 3.4 通信部门覆冰调查

3.4.1 调查搜集内容主要应包括通信线路的投运时间,实测、目测覆冰长径,相应冰重及覆冰种类,易覆冰地段的位置及杆距或地理位置及长度。

3.4.2 高山通信基站应调查搜集供电线路的实测、目测覆冰长径,相应冰重及覆冰种类。

3.4.3 高山电视转播塔应调查搜集转播塔及其供电线路的覆冰和受损情况。

3.4.4 冰害通信线路调查搜集的资料主要应包括:冰害时间、地点、海拔、地形,覆冰长径、冰重、持续时间、形状,杆高、线径、杆距、修复采用的抗冰措施及实施后的效果。

### 3.5 其他相关部门覆冰调查

3.5.1 交通部门覆冰调查搜集资料主要应包括冰雪交通管制路段、时间、路面冰雪情况。

3.5.2 林业部门覆冰调查搜集资料主要应包括受灾的区域、范围、海拔,树木种类、高度、直径,倒伏比例,树干结冰厚度、树枝覆冰长径;并应实地查看林木受灾情况及受损痕迹。

3.5.3 民政和应急部门覆冰调查搜集资料应为区域冰害情况报告。

### 3.6 文献查阅

3.6.1 覆冰文献查阅的部门应是地方志办公室、档案馆及图书馆等。

3.6.2 查阅的冰害文献应包括地方志、气象志、中国气象灾害大典及地方年鉴等。

3.6.3 冰害文献查阅内容应包括历史覆冰的天气描述、覆冰的景况描述、覆冰量描述及覆冰灾害描述。

### 3.7 覆冰调查资料整理

3.7.1 覆冰调查资料应在现场汇总整编,并应在现场进行合理性检查,发现问题应及时复查核实。覆冰调查整编成果宜按本标准附录 C 规定的格式填写。

3.7.2 调查资料的覆冰密度应根据类似气候、地形区域的实测资料分析选用,在无实测覆冰资料且借用覆冰密度有困难的地区,覆冰密度范围可按表 3.7.2 的规定选用。

表 3.7.2 覆冰密度范围

覆冰种类	雨淞	雾淞	雨雾淞混合冻结	湿雪
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.7~0.9	0.1~0.3	0.2~0.6	0.2~0.4

3.7.3 调查最大覆冰的重现期应根据现场调查资料、冰害记载查阅资料等进行综合分析确定。

3.7.4 覆冰调查整编成果应进行可靠性程度评价,覆冰调查资料可靠性程度可按表 3.7.4 的规定评定。

表 3.7.4 覆冰调查资料可靠性程度评定标准

可靠程度	可靠	较可靠	供参考
评定因素	1. 实测; 2. 电力、通信、气象或高山建筑物的值班、巡视、抢修人员现场观测,有记录,有旁证	当地居民或知情者亲眼所见、目测,印象较深刻,所述情况较逼真,有旁证	亲眼所见,但所述情况不够清楚、具体,或清楚具体,但无旁证

**3.7.5** 某一地点的调查覆冰厚度的选用值应为同一地点多个较可靠的调查覆冰厚度的均值。

## 4 覆冰踏勘

### 4.1 一般规定

4.1.1 易覆冰地区的拟建线路在覆冰过程中应进行覆冰踏勘,已建线路在运行中出现冰害时也应进行覆冰踏勘。

4.1.2 覆冰踏勘主要内容应包括覆冰要素观测、气象要素观测、地形类别判定及气象站覆冰过程的气象资料搜集。覆冰观测记录可按本标准附录 D 规定的格式填写。

4.1.3 覆冰要素应包括长径、短径、冰重、周长等,并应测量覆冰附着物的直径及离地高度;气象要素应包括气温、风速风向、积雪深度及天气现象等。

4.1.4 踏勘结束后应编写覆冰踏勘报告。

### 4.2 拟建线路覆冰踏勘

4.2.1 拟建线路覆冰踏勘范围应是输电线路通道中设计冰厚大于 10mm 的中、重冰区,其中重点踏勘区域应是 20mm 及以上重冰区、轻、中、重冰区分界点及微地形重冰地段。

4.2.2 拟建线路覆冰踏勘准备的主要内容应包括:查阅拟建线路工程的相关资料,搜集相邻地区覆冰资料及分析成果报告,准备沿线 1:50000 或 1:10000 路径图,编制工作大纲,准备相关仪器设备。覆冰踏勘不应少于 2 人一同进行。

4.2.3 拟建线路覆冰踏勘内容主要应包括有覆冰现象的起始海拔及最高海拔,查明微地形严重覆冰地段,测量不同地段不同地形的覆冰要素及同时气象要素,标注各覆冰区域测冰点位置,查清覆冰区域分布,调查访问路径通道居民,搜集历史大覆冰资料并与踏勘时覆冰对比分析,复核原冰区划分的合理性。

**4.2.4** 覆冰踏勘拍摄影像应包括导线、拉线、杆塔、树枝及其他物体上的覆冰；测冰点一般地段宜 1km~3km 布置 1 点，微地形严重覆冰段应加密布置测冰点，并应对测冰地点的海拔、地形作具体描述。

**4.2.5** 现场踏勘成果资料主要应包括覆冰观测、影像、调查访问、现场描述等，资料应准确完整。踏勘报告主要应包括覆冰天气分析，踏勘成果资料，覆冰分布图，对原冰区划分的合理性评价。

### **4.3 冰害线路覆冰踏勘**

**4.3.1** 冰害线路踏勘应包括因冰害需修复的输电线路和历史冰害的输电线路。

**4.3.2** 需修复的冰害线路踏勘的主要内容应包括观测或调查导线、拉线、塔材及树枝上的覆冰要素；拍摄冰害线路导线、地线、杆塔及树枝的覆冰；搜集气象资料及线路运行记录，调查冰害线路附近的覆冰情况。

**4.3.3** 需修复的冰害线路踏勘主要成果应包括覆冰天气分析，冰害损失，覆冰观测及调查结果，覆冰随地形的分布。

**4.3.4** 历史冰害线路踏勘的主要内容应包括覆冰地形特性及覆冰随地形的分布。

**4.3.5** 历史冰害线路踏勘搜资内容应符合本标准第 3.2.4 条的规定。

**4.3.6** 历史冰害线路覆冰踏勘主要成果应包括历史冰害损失与覆冰情况，踏勘时的覆冰观测及调查结果，覆冰随地形的分布。

## 5 覆冰观测原则

- 5.0.1** 当输电线路经过覆冰严重的山地区域且既无实测覆冰资料也不具覆冰调查条件时,应建立观冰站或观冰点进行覆冰观测。
- 5.0.2** 拟建线路覆冰观测应满足线路路径方案优选论证及工程技术经济分析比较的要求。
- 5.0.3** 冰害线路覆冰观测应满足冰害线路重建设计方案优选论证的要求。
- 5.0.4** 拟建线路观冰站址应选择在重冰区域。观测资料应代表该区域的覆冰特性,观测设施应包括站房、雨淞塔与地面气象观测场。
- 5.0.5** 拟建线路观冰点址应选择在覆冰区域。观测资料应代表局部地段或微地形的覆冰特性,观测设施为雨淞架。
- 5.0.6** 冰害线路应在相应地点设立观冰点进行覆冰观测。观冰点的位置应在冰害线路附近,其观测数据应具有代表性。
- 5.0.7** 观冰站的观测年限不应少于 5 年,观冰点的观测期限不应少于 1 个覆冰期。
- 5.0.8** 观冰站(点)建站(点)、观测及资料整编应符合现行行业标准《架空输电线路覆冰观测技术规定》DL/T 5462 的有关规定。

## 6 设计冰厚分析计算

### 6.1 覆冰密度计算

6.1.1 在有实测覆冰资料的地区,覆冰密度可根据资料情况按下列公式计算:

1 根据实测长、短径计算时,覆冰密度可按下式计算:

$$\rho = \frac{4G}{\pi L(ab - 4r^2)} \quad (6.1.1-1)$$

2 根据周长计算时,覆冰密度可按下式计算:

$$\rho = \frac{4\pi G}{L(I^2 - 4\pi^2 r^2)} \quad (6.1.1-2)$$

3 根据横截面积计算时,覆冰密度可按下式计算:

$$\rho = \frac{G}{L(A - \pi r^2)} \quad (6.1.1-3)$$

式中: $\rho$ ——覆冰密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$G$ ——冰重( $\text{g}$ );

$\pi$ ——圆周率;

$L$ ——覆冰体长度( $\text{m}$ );

$a$ ——覆冰长径,包括覆冰附着物( $\text{mm}$ );

$b$ ——覆冰短径,包括覆冰附着物( $\text{mm}$ );

$r$ ——覆冰附着物半径( $\text{mm}$ );

$I$ ——覆冰周长( $\text{mm}$ );

$A$ ——覆冰横截面积,包括覆冰附着物( $\text{mm}^2$ )。

6.1.2 在无实测覆冰资料的地区,覆冰密度可分析借用邻近地区实测覆冰密度资料;借用覆冰密度有困难的地区,覆冰密度可按本标准表 3.7.2 的规定选用,高海拔地区宜选用较低值,低海拔地区宜选用较高值。

## 6.2 标准冰厚计算

6.2.1 标准冰厚可根据实测或调查覆冰资料按下列公式计算：

1 根据实测冰重计算时，标准冰厚可按下式计算：

$$B_0 = \left( \frac{G}{0.9\pi L} + r^2 \right)^{0.5} - r \quad (6.2.1-1)$$

2 根据实测覆冰长、短径计算时，标准冰厚可按下式计算：

$$B_0 = \left[ \frac{\rho}{3.6} (ab - 4r^2) + r^2 \right]^{0.5} - r \quad (6.2.1-2)$$

3 根据调查或实测覆冰直径计算时，标准冰厚可按下式计算：

$$B_0 = \left[ \frac{\rho}{0.9} (K_s R^2 - r^2) + r^2 \right]^{0.5} - r \quad (6.2.1-3)$$

式中： $B_0$ ——标准冰厚(mm)；

$R$ ——覆冰半径，包括覆冰附着物(mm)；

$K_s$ ——覆冰形状系数，覆冰短径与覆冰长径的比值。

6.2.2 覆冰形状系数应由当地实测覆冰资料计算分析确定，对无实测资料地区，可按表 6.2.2 的规定选用，小覆冰的形状系数宜选用较低值，大覆冰的形状系数宜选用较高值。

表 6.2.2 覆冰形状系数

覆冰种类	覆冰附着物名称	覆冰形状系数
雨淞、雾淞、 雨雾淞混合冻结	电力线、通信线	0.80~0.90
	树枝、杆件	0.30~0.70
湿雪	电力线、通信线、树枝、杆件	0.80~0.95

## 6.3 设计冰厚计算

6.3.1 设计冰厚应根据工程设计要求、覆冰影响因素、区域覆冰特性及资料情况，按下列公式计算：

1 单导线设计冰厚计算时，可按下式计算：

$$B = K_T K_h K_\phi K_d K_f K_j B_0 \quad (6.3.1-1)$$

式中： $B$ ——设计冰厚(mm)；

$K_T$ ——重现期换算系数；

$K_h$ ——高度换算系数；

$K_\phi$ ——线径换算系数；

$K_d$ ——地形换算系数；

$K_f$ ——线路走向换算系数；

$K_j$ ——挡距换算系数。

2 单导线设计冰厚简化计算时,可按下式计算：

$$B = K_T K_h K_\phi K_d B_0 \quad (6.3.1-2)$$

**6.3.2** 设计冰厚计算公式中的换算系数应按实测覆冰资料分析计算确定,对无实测覆冰资料的地区,可按本标准第 6.4 节~6.8 节规定的计算方法确定或按所给定的经验系数选用。

## 6.4 覆冰的频率计算

**6.4.1** 在观冰站或高山气象站覆冰观测年限大于 10 年时,测站设计冰厚应采用频率计算方法确定。

**6.4.2** 频率计算中概率分布模型应根据冰厚时间序列的分布特性选用,并应选择其中与观测数据拟合最佳的模型计算值作为测站设计冰厚采用值。

**6.4.3** 覆冰概率分布模型应选用 P-Ⅲ型、极值 I 型、GPD 型,也可选用威布尔、伽马及第一类贝塔等分布模型。

**6.4.4** 在观冰站或高山气象站覆冰观测年限仅有 5 年~10 年时,测站设计冰厚可采用 GPD 概率分布模型计算。

**6.4.5** 当观测资料年限少于 5 年或无观测资料而仅有某个时期中的 1 次覆冰过程极值调查资料时,其极值覆冰的重现期的确定可应用历史覆冰调查法或覆冰气象指数频率分析法。

**6.4.6** 调查或实测的最大覆冰值估算重现期如与设计重现期不同,应作重现期换算。不同重现期换算系数可按表 6.4.6 的规定

选用。在应用表 6.4.6 时,调查覆冰的重现期不宜小于 10 年。

表 6.4.6 重现期换算系数

设计重现期 (年)	调查重现期(年)							
	100	50	30	20	15	10	5	2
100	1.00	1.10	1.16	1.28	1.32	1.43	1.75	2.42
50	0.91	1.00	1.10	1.16	1.23	1.30	1.60	2.20
30	0.86	0.94	1.00	1.10	1.15	1.25	1.50	2.10

## 6.5 覆冰的高度换算

**6.5.1** 设计冰厚的确定应考虑不同高度对覆冰的影响,当调查或实测覆冰标准冰厚与设计冰厚的高度不一致时,应将覆冰标准冰厚换算为设计高度的标准冰厚。

**6.5.2** 覆冰的高度换算系数可按下式计算:

$$K_h = \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^\alpha \quad (6.5.2)$$

式中:  $Z$ ——设计导线离地高度(m);

$Z_0$ ——实测或调查覆冰附着物高度(m);

$\alpha$ ——覆冰高度变化指数,应按实测覆冰资料分析确定,无实测覆冰资料地区取值可为:在离地 10m 以内取值 0.17,在离地 10m~20m 取值 0.14。

## 6.6 覆冰的线径换算

**6.6.1** 设计冰厚的确定应考虑不同线径对覆冰的影响,当调查或实测覆冰标准冰厚与设计冰厚的线径不一致时,应将调查或实测的覆冰标准冰厚换算为设计线径的标准冰厚。

**6.6.2** 覆冰的线径换算系数应按实测数据分析确定,无实测资料地区可按下式计算:

$$K_\phi = 1 - 0.14 \ln\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right) \quad (6.6.2)$$

式中： $\phi$ ——设计线径(mm)， $\phi$ 小于或等于40mm；

$\phi_0$ ——覆冰线径(mm)。

## 6.7 覆冰的地形换算

**6.7.1** 覆冰的地形换算应以一般地形的覆冰作为相对基准，地形换算系数设定为1.0，一般地形应具有风速流畅的风特性。不同地形的换算系数应根据实测资料分析确定，无实测资料地区可按表6.7.1的经验系数选用。

表 6.7.1 地形换算系数

地形类别	系数范围
一般地形	1.0
风口或风道	2.0~3.0
迎风坡	1.2~2.0
山岭	1.0~2.0
背风坡	0.5~1.0
山麓	0.5~1.0
山间平坝	0.7

**6.7.2** 风口或风道地形应具有风速流畅、风速特别偏大的风特性。风口收缩的程度越大，风速应越大，覆冰应越重。风口不同位置覆冰量的变化可利用与一般地形的同步测冰资料分析确定。

**6.7.3** 迎风坡地形应具有风速流畅、风速偏大的风特性。迎风坡越接近山岭，风速应越大，覆冰应越重。迎风坡不同地带覆冰量的变化可利用与一般地形的同步测冰资料分析确定。

**6.7.4** 山岭地形应具有风速流畅、风速偏大的风特性，覆冰气流到达山岭前被迫抬升并在山岭处集中流过，气流越集中，风速应越大，覆冰应越重。同一山岭不同地段覆冰量的变化可利用与一般地形的同步测冰资料分析确定。

## 6.8 线路走向换算

**6.8.1** 设计冰厚的确定应考虑线路不同走向对覆冰的影响,当调查或实测覆冰标准冰厚与线路设计冰厚的走向不一致时,应将调查或实测的覆冰标准冰厚换算为线路设计走向的标准冰厚。

**6.8.2** 覆冰的线路走向换算系数可按下式计算:

$$K_f = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} \quad (6.8.2)$$

式中: $\theta_1$ ——实测或调查覆冰导线走向与覆冰期主导风向的夹角;

$\theta_2$ ——设计导线走向与覆冰期主导风向的夹角。

## 7 冰区划分

### 7.1 一般规定

7.1.1 输电线路通道冰区划分分析的重点范围应是易覆冰区段。

7.1.2 对于易覆冰山地地形,可分为起伏平缓的一般山地、风口或风道、迎风坡、山岭、背风坡、山麓、山间平坝 7 类地形单元。

7.1.3 对于易覆冰山间平坝地形,应分为山脉(岭)迎风面方向的山间平坝地形与背风面方向的山间平坝地形 2 类地形单元。

7.1.4 山地各类地形单元及归类的相似地形单元,均应有可供分析利用的覆冰观测或调查资料。

7.1.5 对覆冰观测资料、调查资料、已建输电线路设计及运行资料,均应分析归并至相应的地形单元。地形单元分类应符合本标准第 7.1.2 条与第 7.1.3 条的规定。

7.1.6 各观测与调查点的资料应明确其所处的位置、地形单元归类、海拔及所代表的地域范围。

7.1.7 经分析整理的各点的设计冰厚应按本标准表 6.7.1 的规定换算为相应海拔一般地形的覆冰值,并应以表格的形式表达,表格内容应包括覆冰点编号、设计冰厚、覆冰性质、地形单元分类、海拔、一般地形冰厚、可靠度评价。

7.1.8 冰区划分所采用的资料应是在各类地形及地形单元之间进行分析比较后被评级为可靠或较可靠的资料,评级为供参考的资料不宜应用。

### 7.2 路径冰区划分

7.2.1 输电线路工程覆冰勘测应按设计要求将设计冰厚分级归并,提出冰区划分成果。设计冰区应分为轻冰区、中冰区与重

冰区。

**7.2.2** 设计冰区的划分不应过于零碎。

**7.2.3** 设计冰区的划分应分级归并取得。设计冰厚小于 20mm, 级差应为 5mm; 设计冰厚大于 20mm, 级差应为 10mm。设计冰区的分级归并应符合表 7.2.3 的标准。

**表 7.2.3 设计冰区分级归并标准**

序 号	设计冰厚 $B$ (mm)	归并的设计冰区(mm)
1	$0 < B \leq 5$	5
2	$5 < B \leq 10$	10
3	$10 < B \leq 15$	15
4	$15 < B \leq 25$	20
5	$25 < B \leq 35$	30
6	$35 < B \leq 45$	40
7	$45 < B \leq 55$	50
8	$55 < B \leq 65$	60
9	$65 < B \leq 75$	70
10	$75 < B \leq 85$	80

**7.2.4** 同一冰区的气候与地形应类似, 线路走向应大体一致, 设计冰区取值与分析计算值相差应小于 5mm。

**7.2.5** 冰区划分的主要依据应包括下列内容:

1 覆冰成因及影响覆冰的气象条件分析结果应包括形成覆冰天气的冷暖气流的来源、移动路径、影响范围及程度、覆冰性质; 影响覆冰的气象条件分析结果应包括典型覆冰天气过程相应的气温、相对湿度、降水、日照时数、风速、过程持续时间;

2 沿路径通道各调查点设计冰厚的分析计算结果应包括调查分析的设计冰厚、相应的地形单元类别、海拔, 以及与需要划分冰区的路径的相对位置关系;

3 区域气象站、观冰站(点)覆冰分析计算结果应包括计算分

析的设计冰厚、相应的地形单元类别、海拔,以及与需要划分冰区的路径通道的相对位置关系;

**4** 沿路径通道地形单元分类及相应海拔;

**5** 对于沿路径通道相邻区域已建输电线路设计冰区及运行资料,正常运行的线路应包括大于 10mm 冰区的各级冰区的分布范围、相应的地形单元类别、海拔,以及与需要划分冰区的路径通道的相对位置关系;冰害线路应包括原采用的设计冰厚、线路受害时的覆冰资料、相应的地形单元类别、海拔,以及与需要划分冰区的路径通道的相对位置关系,线路受害时的覆冰资料还应包括依据实测和目测资料分析计算的标准冰厚、结构分析反推的标准冰厚及线路改造时选择的设计冰厚;

**6** 邻近地区冰雪灾害记录或报告应包括历史严重覆冰气象灾害发生的年份,灾害地域,覆冰量级及相应的地形单元类别、海拔,以及与需要划分冰区的路径通道的相对位置关系。

**7.2.6** 在同一类似气候地形区域内,不同地形间覆冰量的换算关系应以当地的同步实测资料分析确定,无实测资料地区可按本标准表 6.7.1 的规定换算。对类似地形及同一冰区的划定应在现场踏勘、调查等相关资料基础上综合分析,慎重确定。

**7.2.7** 易覆冰区域地形覆冰量级从大到小的分布次序应是风口或风道、迎风坡、山岭、一般地形、背风坡、山麓、山间平坝。

**7.2.8** 对于易覆冰区域的风口或风道、分水岭等容易形成严重覆冰的微地形,应加强实地踏勘与考察,在无已建线路运行经验且又无实测或无条件调查覆冰资料的地段,冰区量级宜在冰区分析值基础上提高一个等级。

### **7.3 区域基本冰区图绘制方法**

**7.3.1** 基本冰区图的标准应为重现期 50 年离地高度 10m 的标准冰厚,基本冰区图的比例应为 1 : 50000~1 : 200000。

**7.3.2** 基本冰区图应客观准确地反应各类气候及地形区的覆

冰量。

**7.3.3** 基本冰区图绘制依据的覆冰资料主要应包括下列内容：

- 1 观冰站(点)观测覆冰资料；
- 2 输电线路及巡线实测覆冰资料；
- 3 工程调查覆冰资料；
- 4 工程应用的设计冰厚资料；
- 5 覆冰气象模型计算的覆冰资料。

**7.3.4** 实测或监测覆冰资料的观测方法应符合现行行业标准《架空输电线路覆冰观测技术规定》DL/T 5462、《地面气象观测规范 第 15 部分：电线积冰观测》QX/T 59 的相关规定；覆冰调查资料的调查方法应符合本标准第 3 章的相关规定；模型计算覆冰资料应用的覆冰气象模型应基于实测覆冰及气象资料建立，并通过实测覆冰资料检验。

**7.3.5** 基本冰区图插值计算网格尺度应为  $1\text{km} \times 1\text{km}$ 。插值计算基础数据的数量应符合下列规定：

- 1 轻冰区应在每  $5\text{km} \times 5\text{km} \sim 10\text{km} \times 10\text{km}$  内不应少于 1 个；
- 2 中冰区应在每  $3\text{km} \times 3\text{km} \sim 5\text{km} \times 5\text{km}$  内不应少于 1 个；
- 3 重冰区应在每  $2\text{km} \times 2\text{km} \sim 3\text{km} \times 3\text{km}$  内不应少于 1 个。

**7.3.6** 基本冰区图应使用 DEM 图作为底图，并应具有山脉、水系、交通及主要城镇等信息。

**7.3.7** 覆冰量插值计算应进行每个网格覆冰地形类别判定并作覆冰地形换算，覆冰地形换算应符合本标准第 6.7 节的相关规定。一个网格中包含的地形类别多于 1 个的，类别应按对覆冰量增加偏大的选定。

**7.3.8** 冰区归类划区的量级应符合本标准第 7.2.3 条的规定，被划为同一冰区的网格覆冰计算值与划区覆冰量级相差不应大于  $5\text{mm}$ ，不同覆冰量级冰区可用不同的颜色区分。

**7.3.9** 基本冰区图应有编制说明，编制说明应包括下列内容：

- 1 区域覆冰气候及地形分区；
- 2 基础资料及可靠性评价；
- 3 插值基本数据分析计算方法与成果；
- 4 格点数据插值方法与成果；
- 5 冰区图应用注意事项。

#### 7.4 冰区划分的合理性检查

7.4.1 在冰区初步划定后,应进行区域冰区划分的合理性检查及协调修正,冰区划分的合理性检查的依据应是对覆冰有重要影响的气象及地形因素。

7.4.2 对覆冰有重要影响的气象因素应包括:气温,湿度,风速及风向,日照时数,具备覆冰的气象条件的持续时间,准静止锋及逆温层。在易覆冰区域,在其他覆冰气象因素不变条件下,下列气象因素条件应有利于覆冰量增长:

- 1 气温在 $-0.5^{\circ}\text{C} \sim -4.0^{\circ}\text{C}$ ,覆冰量应大于其他气温的覆冰量;
- 2 相对湿度在 $95\% \sim 100\%$ ,覆冰量应大于其他相对湿度的覆冰量;
- 3 风速在 $0.3\text{m/s} \sim 3.0\text{m/s}$ ,覆冰量应大于其他风速的覆冰量;
- 4 日照时数小于 $2\text{h}$ ,覆冰量应大于日照时数大于 $2\text{h}$ 的覆冰量;
- 5 具备覆冰的气象条件的持续时间越长,覆冰量应越大;
- 6 准静止锋持续时间越长,覆冰量应越大;
- 7 在逆温层范围内覆冰量应更大。

7.4.3 对覆冰有重要影响的地形因素应包括最大覆冰海拔,风口或风道,迎风坡,山岭或山脊,一般地形,背风坡,山间平坝。覆冰量随海拔和地形的变化应具有下列特点:

- 1 在同一覆冰过程中的最大覆冰海拔线以下易覆冰区域,同

一类似地形区中海拔越高覆冰应越大；在最大覆冰海拔线以上覆冰区域，同一类似地形区中海拔越高覆冰应越小；

2 在易覆冰区域，在同一覆冰气候区内的同一覆冰过程，不同地形的覆冰量级从大到小的排序应符合本标准第 7.2.7 条的规定。

7.4.4 在易覆冰区域的同一覆冰过程，受准静止锋影响地区的覆冰量级应大于不受准静止锋影响地区的覆冰量级。

7.4.5 在易覆冰区域，覆冰气流移动路径前段区域的覆冰量级应大于其后段区域的覆冰量级。

7.4.6 在易覆冰区域，同一山脉或山岭，风口的覆冰量级应大于迎风坡及山岭的覆冰量级，迎风坡的覆冰量级应大于背风坡的覆冰量级。

7.4.7 在易覆冰区域，地形类似且海拔相近的地带，风速大的地方的覆冰量级应大于风速小的地方的覆冰量级。

## 8 各设计阶段覆冰勘测内容深度

### 8.1 路径规划阶段覆冰勘测内容深度

**8.1.1** 对覆冰分布复杂地区的输电线路工程,在路径规划阶段应开展覆冰勘测。

**8.1.2** 对易覆冰地区,应调查搜集规划输电线路通道区域覆冰状况及相邻或类似区域已建输电线路的冰灾记录,并应对规划输电线路通道的覆冰严重程度进行评估,还应提出是否进行覆冰观测的意见。

**8.1.3** 当需要对覆冰进行建站(点)观测时,应编制覆冰观测的立项报告,观冰站(点)规划原则应符合本标准第5章的相关规定。

**8.1.4** 在覆冰观测立项报告通过项目业主组织的评审后,应及时开展建站(点)及观测工作。观冰站(点)的选址建设及观测应符合现行行业标准《架空输电线路覆冰观测技术规定》DL/T 5462 的规定。

### 8.2 可行性研究阶段覆冰勘测内容深度

**8.2.1** 应搜集各个路径比较方案通道区域气象站、观冰站(点)的覆冰及覆冰气象资料,以及测站沿革、观测情况、观测场地形特征;并应搜集已建电力线路的设计冰区及运行情况、电力线路冰灾情况及线路改造的相关资料;还应搜集气象、通信、交通、农林等部门冰灾的相关记录资料。

**8.2.2** 对可能存在覆冰的输电线路工程应进行实地踏勘与覆冰情况调查核实;对可能存在或确实存在重冰区的输电线路工程应进行专项踏勘与调查,应查明微地形微气象重冰段,并应落实覆冰量级与分布。

**8.2.3** 应利用线路区域覆冰及覆冰气象资料、踏勘调查资料,分析估算各个比较路径方案的设计冰区,推荐设计冰区经济合理的路径方案。

**8.2.4** 当资料缺乏并且覆冰分布复杂、设计冰厚等于或大于20mm的输电线路工程应编制设计冰区分析论证专题报告,专题论证报告主要内容应包括路径概况、区域覆冰成因、区域覆冰分布特点、覆冰观测、覆冰调查、已建线路覆冰灾害、设计冰区初步划分、线路路径与冰区划分图、线路推荐路径高程与冰区划分图等。

**8.2.5** 设计冰厚小于20mm的输电线路工程应在水文气象报告中专门编写覆冰查勘与分析计算章节,其主要内容应包括区域覆冰成因及分布特点、覆冰调查及计算结果、已建线路设计冰厚及运行情况、设计冰区初步划分、线路路径与冰区划分图等。

**8.2.6** 线路路径与冰区划分图应包括路径拐点编号、观测资料计算冰厚、调查资料计算冰厚、冰害线路及其改造前后的设计冰厚、勘测冰区划分等。

**8.2.7** 线路推荐路径高程与冰区划分图应包括路径剖面、路径拐点编号、冰区等级、观测或调查冰厚、冰害线路冰厚、地形类别等。

### **8.3 初步设计阶段覆冰勘测内容深度**

**8.3.1** 在可行性研究搜资的基础上,应补充搜集推荐路径方案通道区域的覆冰及对覆冰有影响的气象与地形资料。

**8.3.2** 在可行性研究现场查勘基础上,应对重冰区进行复查,并应对路径通道的风口或风道、迎风坡、山岭、背风坡等微地形区的覆冰分布特点进行实地查勘,还应对邻近区域或类似地形气候区域冰害线路的覆冰及地形特点进行实地查勘。

**8.3.3** 当有覆冰观测资料时,应对观测场地形及观测资料进行分析,并应计算观测场的设计冰厚。

**8.3.4** 冰区分析论证应利用线路区域实测覆冰分析数据、沿线搜集的覆冰及覆冰气象资料、踏勘的覆冰地形资料、覆冰调查资料、

冰害线路的踏勘及分析资料,分析论证并推荐路径通道的设计冰区划分。

**8.3.5** 当资料缺乏并且覆冰分布复杂、设计冰厚等于或大于20mm的输电线路工程应编制设计冰区分析论证专题报告,报告的主要内容应包括路径概况、区域覆冰成因、区域覆冰分布特点、覆冰观测、覆冰调查、已建线路覆冰灾害、设计冰厚分析、微地形覆冰分析、冰区划分及重冰区划分说明、线路路径与冰区划分图、线路推荐路径高程与冰区划分图等。

**8.3.6** 设计冰厚小于20mm的输电线路工程应在水文气象报告中专门编写覆冰查勘与分析计算章节,其主要内容应包括区域覆冰成因及分布特点、覆冰调查及计算结果、已建线路设计冰厚及运行情况、设计冰厚分析、设计冰区划分及说明、线路路径与冰区划分图等。

#### **8.4 施工图设计阶段覆冰勘测内容深度**

**8.4.1** 在初步设计勘测基础上,对全线路冰区应进行实地踏勘,复核对覆冰有影响的微地形区段及地形类别,提出更为合理可靠的冰区划分。

**8.4.2** 对存在中、重冰区的输电线路工程,水文气象勘测人员应参加室内航测图选线工作。

**8.4.3** 对覆冰复杂地区的输电线路工程,应在每个勘测队配置不少于1名水文气象专业人员全线路查勘冰区。

**8.4.4** 对于被确定为中、重冰区的路径区段,应逐档线路进行现场踏勘,复核地形类别、冰区量级及划分位置,提出合理可靠的冰区量级与不同冰区的分界塔位,并应根据微地形特征提出应加强抗冰设计的塔位。

**8.4.5** 对于被确定为风口或风道、迎风坡、山岭等严重微地形覆冰区段,应逐塔逐挡进行现场踏勘,复核地形类别、冰区量级及划分位置,提出合理可靠的冰区量级与不同冰区的分界塔位,并应根

据微地形特征提出应加强抗冰设计的塔位。

**8.4.6** 当资料缺乏并且覆冰分布复杂、设计冰厚等于或大于20mm的输电线路工程应编制设计冰区优化论证专题报告,报告的主要内容应包括路径概况、区域覆冰成因、区域覆冰分布特点、覆冰观测、覆冰调查、已建线路覆冰灾害、设计冰厚分析、微地形覆冰分析、冰区复核优化的调整变动情况、冰区划分及重冰区划分说明、杆塔号与冰区划分表、线路路径与冰区划分图、线路路径高程与冰区划分图等。

**8.4.7** 设计冰厚小于20mm的输电线路工程应在水文气象报告中专门编写覆冰查勘与分析计算章节,主要内容应包括区域覆冰成因及分布特点、覆冰调查及计算结果、已建线路设计冰厚及运行情况、设计冰厚分析、冰区复核优化的调整变动情况、设计冰区划分及说明、杆塔号与冰区划分表、线路路径与冰区划分图等。

**8.4.8** 冰区勘测成果中的线路杆塔号与冰区划分表、线路路径与冰区划分图、线路路径高程与冰区划分图、设计专业的杆塔成果一览表,应密切相连、协调一致。

## 附录 A 覆冰调查记录表

表 A 覆冰调查记录表

调查点编号：				调查记录内容
时间：				
地点：				
海拔：				
地形类别：				
姓名	年龄	职业	联系方式	

注：调查记录主要内容应包括：

- 1 覆冰附着物种类、型号及直径、离地高度、走向；
- 2 覆冰发生时间和持续日数，覆冰时天气现象（雾天、雨天、雪天、阴天、晴天）；
- 3 覆冰种类；
- 4 覆冰的形状、长径、短径和冰重；
- 5 覆冰重现期情况，包括历史上大覆冰出现的次数和时间，以及冰害情况；
- 6 植被及水体分布等情况。

## 附录 B 覆冰种类判别条件表

表 B 覆冰种类判别条件表

项目	雨 淞	雾 淞		雨雾淞 混合冻结	湿 雪
		粒 状	晶 状		
气温(℃)	0~-3.0	低于-3.0	低于-8.0	-1.0~-9.0	-1.0~-3.0
降水类别	小雨、 毛毛雨或雾	雾或 毛毛雨	雾	有雾、 毛毛雨或小雪	雪或雨夹雪
视感	透明或半透明、 密实、无孔隙	粗颗粒、 不透明	细粒、 不透明	成层或不成层， 似毛玻璃，较密 实，基本无孔隙	白色不透明
手感	坚硬、光滑、 湿润	脆、较湿润	松、脆、 干燥	较坚硬、 较湿润	较松散、较湿润
形状色泽	椭圆形、 光滑似玻璃	椭圆形、 白色	针状、 纯白色	椭圆形、 不光滑	圆形、白色
附着力	牢固	较牢固	轻微振动 就容易脱落	较牢固	能被强风吹掉

## 附录 C 覆冰调查整编成果表

表 C 覆冰调查整编成果表

序号	地名	海拔 (m)	年份	地形 类别	覆冰 直径 (mm)	覆冰附着物			重现期 (a)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	形状 系数	可 靠 性
						名称	直径 (mm)	高度 (m)				
1												
2												
3												
4												
5												
覆 冰 照 片												

## 附录 D 覆冰踏勘观测记录表

**表 D 覆冰踏勘观测记录表**

观测时间					备 注
观测地点					
海拔(m)					
地形类别					
覆冰种类					
覆冰附着物名称					
覆冰附着物离地高度(m)					
覆冰附着物直径(mm)					
覆冰长径(mm)					
覆冰短径(mm)					
覆冰周长(mm)					
总重(g)					
盒重(g)					
净重(g)					
每米冰重(g/m)					
同时气象要素	气温 (°C)	风向	风速 (m/s)	雪深 (cm)	天气现象

观测：\_\_\_\_\_ 记录：\_\_\_\_\_ 校对：\_\_\_\_\_

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

《架空输电线路覆冰观测技术规定》DL/T 5462

《地面气象观测规范 第 15 部分：电线积冰观测》QX/T 59

中华人民共和国电力行业标准  
架空输电线路覆冰勘测规程

**DL/T 5509—2015**

条文说明



## 制 定 说 明

《架空输电线路覆冰勘测规程》DL/T 5509—2015,经国家能源局 2015 年 7 月 1 日以第 4 号公告批准发布。

本标准编制中主要遵循如下原则:

1. 坚持技术上的先进性、经济上的合理性、安全上的可靠性、实施上的可操作性原则。

2. 认真贯彻执行国家的有关法律、法规和方针、政策,密切结合工程自然条件,充分考虑设计、施工和运行的要求。

3. 全面总结多年来架空输电线路覆冰勘测的经验和覆冰应用技术的研究成果,体现行业需求与应用水平。

4. 注意与现行相关技术标准相协调。

5. 积极、稳妥地采用新技术、新工艺、新设备、新方法,尤其是相关国际标准的技术规定。

6. 注意标准的通用性和可操作性。

7. 开展必要的现场调研和专题研究,为标准条文的制定奠定基础。

8. 标准编写的体例符合《工程建设标准编写管理规定》中的相关要求。

本标准在现有相关标准基础上,总结和采纳了我国电力行业三十多年的覆冰勘测与观测经验,特别是总结和采纳了近年来特高压输电线路、电网加强抗冰能力改造覆冰勘测经验及覆冰研究成果,借鉴了国际电工委员会《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003(英文名: *Design criteria of overhead transmission lines* IEC 60826 - 2003)的冰荷载计算技术。

为使本标准能充分体现近年来输电线路覆冰勘测技术在国外

和国内的应用及研究水平,编制组完成了“IEC 60826—2003 采标”、“冰害线路覆冰勘测”、“设计冰厚计算方法”、“设计冰区划分方法”4个调研专题。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 目 次

1	总 则 .....	( 39 )
3	覆冰调查 .....	( 48 )
3.1	一般规定 .....	( 48 )
3.2	电力部门覆冰调查 .....	( 48 )
3.3	气象部门覆冰调查 .....	( 49 )
3.6	文献查阅 .....	( 49 )
3.7	覆冰调查资料整理 .....	( 52 )
4	覆冰踏勘 .....	( 53 )
4.1	一般规定 .....	( 53 )
4.2	拟建线路覆冰踏勘 .....	( 53 )
5	覆冰观测原则 .....	( 56 )
6	设计冰厚分析计算 .....	( 58 )
6.1	覆冰密度计算 .....	( 58 )
6.2	标准冰厚计算 .....	( 58 )
6.3	设计冰厚计算 .....	( 59 )
6.4	覆冰的频率计算 .....	( 59 )
6.5	覆冰的高度换算 .....	( 63 )
6.6	覆冰的线径换算 .....	( 64 )
6.7	覆冰的地形换算 .....	( 65 )
6.8	线路走向换算 .....	( 65 )
7	冰区划分 .....	( 67 )
7.1	一般规定 .....	( 67 )
7.2	路径冰区划分 .....	( 69 )
7.3	区域基本冰区图绘制方法 .....	( 70 )

7.4	冰区划分的合理性检查 .....	( 73 )
8	各设计阶段覆冰勘测内容深度 .....	( 74 )
8.1	路径规划阶段覆冰勘测内容深度 .....	( 74 )
8.4	施工图设计阶段覆冰勘测内容深度 .....	( 74 )

# 1 总 则

**1.0.1** 在诸多的天气现象中,低温、大风、覆冰、雷暴、降水等均会对输电线路构成影响,其中覆冰、大风、低温对输电线路影响较严重。输电线路导线在覆冰、大风、低温时承受较大拉力,若拉力超过其极限强度,会发生断线,或使铁塔构件、横担、地线支架变形损坏甚至拉倒铁塔。在覆冰、大风、低温三种天气现象中,对线路影响较大并会导致严重后果的是导线覆冰和大风。因此,电网中的冰灾与风灾事故发生较频繁。以 LGJ-240 导线为例,分别计算覆冰 10mm、15mm 量级与风速 28m/s、30m/s 量级的比载,计算结果表明,覆冰比载远大于大风比载,覆冰对线路的影响远大于大风。因此,在诸多的天气现象中,覆冰对输电线路的影响和危害最严重。

覆冰勘测成果是易覆冰地区输电线路设计中最重要气象条件。在 20 世纪 80 年代,俄、加、美、日、英、捷克和挪威等国家,通过长期观测和研究,建立了覆冰区域概率分布图,供输电线路规划设计使用。我国由于缺乏覆冰基础资料与成熟的冰区计算技术,在输电线路避冰及抗冰设计中,冰区的合理可靠确定一直都是一个难题。

输电线路覆冰勘测的基本内容与方法,在《330kV~750kV 架空输电线路勘测规范》GB 50548—2010、《电力工程气象勘测技术规程》DL/T 5158—2012 等综合性标准中已作了原则性规定,但其具体技术方法规定较为缺乏,特别是线路路径冰区划分、区域基本冰区图绘制与冰区的合理性检查等技术规定内容尤为缺乏。

本标准在现有相关标准基础上,总结和采纳我国电力行业三十多年的覆冰勘测与观测经验,特别是总结和采纳近年来特高压

输电线路、电网加强抗冰能力改造的覆冰勘测经验与覆冰研究成果,借鉴和采纳国际电工委员会《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003(英文名:*Design criteria of overhead transmission lines* IEC 60826 - 2003)的冰荷载计算技术,并结合我国气候与地形特点及电网建设的抗冰设计实际要求编制而成。

**1.0.3** 易覆冰地区输电线路,一般位于山地,这些区域基本都是覆冰资料空白区。设计冰区划分的传统方法是依据当地调查资料进行一系列换算得出。调查资料能准确地定性反映区域之间覆冰的严重程度,但要准确地定量反映区域之间覆冰分布,特别是地形复杂的山地覆冰分布,存在较大的不确定性。与覆冰有关的基础资料的不确定性,会导致冰区划分结果的不确定性,进而导致输电线路避冰及抗冰设计方案对真实覆冰环境的不适应,最终会导致线路工程投资的不合理的增加或线路可靠运行的安全风险。因而强调,冰区划分应以工程所在区域及路径通道的覆冰气象、覆冰地形、覆冰观测、覆冰调查、覆冰踏勘及已建线路抗冰运行经验等基础资料为依据。

覆冰气象资料包括形成一次覆冰过程的大气环流特性,覆冰天气特点,覆冰过程的主要气象要素如气温、相对湿度、降水量、风速及风向、日照时数,能见度等,覆冰过程持续时间。

覆冰地形资料包括覆冰点的海拔,地形类别,地面植被分布。

覆冰观测资料包括观测点位置,覆冰重量,覆冰体的长径与短径,覆冰附着物的名称、直径、离地高度及与覆冰主导风向的夹角。

覆冰调查资料包括覆冰年份,调查覆冰点位置,覆冰点地形及海拔,覆冰附着物名称、直径、离地高度及与覆冰主导风向的夹角,覆冰后的长径,覆冰持续时间,覆冰形状及性质,覆冰时天气现象(雾天、雨天、雪天、阴天、晴天),覆冰灾害情况,资料可靠性评价。

覆冰踏勘资料包括覆冰要素观测、气象要素观测、覆冰地形类别判定及覆冰区域分布。

已建线路抗冰运行资料包括正常运行线路及冰害线路的相关

资料。正常运行线路覆冰资料包括线路设计采用的冰厚,相应地形类别及海拔。冰害线路覆冰资料包括冰害线路原采用的设计冰厚,线路受害时(不是之后)的覆冰资料,线路受害时的覆冰资料包括:

- 1 实测、目测资料,其内容为:线路名称,冰害线路点位置,地形类别及海拔,导线型号、直径及与覆冰主导风向的夹角,导线覆冰后的直径或厚度、覆冰重量、覆冰性质,测冰时覆冰体的完整情况(导线悬在空中覆冰体完整,导线悬在空中覆冰体有脱落,导线掉在地面覆冰体仍裹覆在导线上并保持完整,导线掉在地面覆冰脱离导线但覆冰体完整,导线掉在地面覆冰体散碎),覆冰及测冰照片,使用的测冰方法,资料可靠性评价。

- 2 结构分析反推的标准冰厚数据。

- 3 冰害线路改造时选用的设计冰厚,改造实施的设计方案。

**1.0.4** 一个覆冰数据是一组确定的气象条件与一个确定的地形条件共同作用的产物。某一覆冰数据可满足设计冰区分析计算的基本条件为:

- 1 该覆冰数据的气象条件明确。

- 2 该覆冰数据的地形条件明确。

- 3 该覆冰数据的位置条件(覆冰附着物,离地高度,覆冰附着物与覆冰期主导风向的夹角)明确。

- 4 该覆冰数据的获取方法明确。

- 5 该覆冰数据的可靠性评级明确。

注意利用可能获得的各方面与覆冰相关的资料,并注意分析相关资料的可靠性、相互间的协调性及合理性。

**1.0.5** 输电线路防御气象灾害的设计重现期标准是根据国家现行标准《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》GB 50545—2010、《1000kV 架空输电线路勘测规范》GB 50741—2012 与《电力工程气象勘测技术规程》DL/T 5158—2012 等标准的规定确定,架空输电线路的设计重现期为:110kV~330kV 输电线路设计重

现期为 30 年；330kV～750kV 输电线路设计重现期为 50 年；±500kV 输电线路设计重现期为 50 年；1000kV、±800kV 输电线路设计重现期为 100 年。综合以上成果，本标准对 110kV～330kV 输电线路设防覆冰气象灾害的标准规定为 30 年一遇，对 500kV、750 kV 输电线路及 ±400kV～±660kV 直流输电线路设防覆冰气象灾害的标准规定为 50 年一遇，1000kV 输电线路及 ±800kV 直流输电线路设防覆冰气象灾害的标准规定为 100 年一遇。

国际电工委员会《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003 (英文名: *Design criteria of overhead transmission lines IEC 60826 - 2003*), 以气候极限荷载的重现期表示的可靠性等级见表 1。

表 1 输电线路的可靠性等级

可靠性等级	1	2	3
气候极限荷载的重现期(年)	50	150	500

可靠性要求旨在使输电线路在设计使用寿命内，确保线路能够承受规定的气候极限荷载(指定重现期的风、冰、冰和风)，并且在这些条件下能够正常运行。

输电线路可按不同的可靠性等级(或级别)设计。基准可靠性等级相应的气候事件重现期为 50 年，其对应的导线抗阻强度为极限值的 10%(适用于可靠性最低的部件)。此基准可靠性等级通常被认为是输电线路连续性供电和安全运行的合理的可靠性等级。

可通过增加气候事件的重现期使设计线路的可靠性等级更高。例如，可通过线路在网络内的重要性采用更高的可靠性。该标准提出了三级可靠性，并且假定其覆盖了大部分输电线路范围。对于临时线路、一些木制电杆或重要性有限的线路，合适的重现期大约为 25 年。

如果当地条件证明合适，表 1 的重现期可使用 50 年～500 年

的范围中的其他值,如 100 年、200 年和 400 年。

在某些情况下,应各公用事业企业的要求,可能根据输电线路的投资、运行风险及设计输入参数的不确定性而指定其他的可靠性等级。

**1.0.6** 输电线路设计冰厚离地基本高度,在 2008 年南方地区电网罕见冰灾后,我国电网规划设计、建设、运行管理等部门,在总结我国多年来重冰线路设计运行经验以及新近覆冰科研成果基础上,确定了设计冰厚的基本高度。国家电网公司企业标准《中重冰区架空输电线路设计技术规定》Q/GDW 182—2008 规定:“架空输电线路基本冰厚应采取以下标准:330kV 及以下等级为离地 10m 高、30 年一遇的冰厚;750kV、500kV 为离地 10m 高、50 年一遇的冰厚”。在 2009 年建成投运的云广±800kV 线路、2010 年建成投运的向上±800kV 线路、2013 年建成投运的锦苏±800kV 线路,以及其他等级的输电线路设计冰厚的基本高度均为 10m。

覆冰量的大小与风速有关,风速随着离地高度的增加呈幂函数变化规律。覆冰观测资料表明,在近地层覆冰随着离地高度的增加存在类似于风的变化规律。输电线路的导线及地线的实际悬挂高度远远大于 10m 达到 20m~80m,为了客观反映不同高度的覆冰量,确保线路安全抗冰运行,因此本标准规定输电线路离地高度大于 10m 的设计冰厚,应在基本高度为 10m 的冰厚基础上进行高度换算。

**1.0.7** 我国导线覆冰资料缺乏,输电线路设计冰厚分析计算存在较大困难。

(1)覆冰资料情况。

1)气象部门的覆冰资料。

我国气象部门在 20 世纪 50 年代建立了为数极少的高山气象站,开展了高山气象与“电线积冰”观测,至 80 年代基本停止观测;在国家基本站和一般站中有约 500 个站设有“电线积冰”观测项目。气象部门的“电线积冰”记录是在离地 1.6m、2.2m 高、长

1.0m 直径 4mm 的铁线上观测的,受地物环境影响较大,要将其作为输电线路覆冰的计算依据,需要进行必要的分析订正处理。

## 2) 电力部门的覆冰资料。

至 20 世纪 80 年代,我国的电网建设从局部小区域发展到局部大区域,越来越多的输电线路开始穿越一些高山大岭中的易覆冰区域,电网冰灾从开始少量出现到大量出现。在 20 世纪 80 年代较大的线路冰灾有:浙江富金 220kV 线路,广东鹰坪 110kV 线路,福建矾龙 110kV 线路,因覆冰出现倒塔、断线的气象灾害;1984 年 1 月,华东电网、贵州电网,因大面积覆冰导致电网解列气象灾害。输电线路冰灾逐渐引起了电力部门的重视,开始在一些覆冰严重的规划线路通道开展导线覆冰观测,如四川的黄茅埂、二郎山、泥巴山、罗汉林、红原、木里观冰站,云南的大山包、竹园观冰站,贵州的娄山关、毕节、威宁观冰站,湖南的雪峰山观冰站,陕西的秦岭、六盘山观冰站等。这些针对具体工程项目建立的观冰站,一般观测年限较短,多数站只有 1 年~5 年的观测记录;其中少数站观测年限较长,如黄茅埂观冰站已有 31 年观测记录,二郎山观冰站已有 13 年的观测记录。这些观冰站的雨淞塔观测导线截面在  $400\text{mm}^2$  及以上,架设高度在 10m 及以上,导线长度在 6m~10m 及以上,与输电线路架设条件更相似,但仍然不能完全代表实际输电线路的覆冰特性,要将其作为输电线路覆冰的计算依据,仍然需要进行必要的分析订正处理。

## (2) 计算方法。

《电力工程气象勘测技术规程》DL/T 5158—2012 对设计冰厚分析计算方法的规定为:

工程地点或与工程地点的地理、气候类似的区域具有 10 年以上最大覆冰观测资料,应采用频率分析法计算设计冰厚,并考虑具体地形影响因素移用至线路工程地段;覆冰频率计算线型应采用 P-Ⅲ型分布或极值 I 型分布。

工程区域仅有 1 年~5 年短期年最大覆冰观测资料,可应用

观冰站与邻近气象站覆冰气象要素合成的覆冰气象指数进行频率分析确定统计参数,并计算设计冰厚。

工程区域无覆冰观测资料,可对工程地点及与工程地点的地理、气候类似的区域进行历史覆冰调查,分析计算设计冰厚。

#### 1) 较长系列资料分析计算设计冰厚。

我国长系列覆冰样本较少,根据对导线覆冰现象的分析,覆冰现象属于随机事件,覆冰事件在生成、发展、保持与消融过程中,具有确定性、随机性和地域性规律。西南电力设计院应用国内几个高山气象站与黄毛埂观冰站的长系列覆冰资料,进行覆冰概率分布拟合分析,发现覆冰样本的概率分布能较好地符合 P-Ⅲ型和极值 I 型分布;西南电力设计院还应用六盘山、金佛山、绿葱坡、黄茅埂 4 个长系列覆冰样本,分别对 P-Ⅲ型和极值 I 型分布进行了频率适线对比,结果表明:两种分布的计算结果相对差值均小于 5%,能够满足工程应用的精度要求,P-Ⅲ型和极值 I 型分布均可作为输电线路覆冰频率分析的实用模型,在实际应用时可任选其一;选用 P-Ⅲ型分布描述覆冰随机现象较极值 I 型分布更具适用性。

#### 2) 短期资料分析计算设计冰厚。

短期 1 年~5 年覆冰观测资料计算设计冰厚,关键问题是对观测期限的年最大覆冰的重现期分析定量。

传统做法,一般选用参证气象站历年最长覆冰持续时间,进行经验频率分析,以此确定所观测最大覆冰值的重现期。覆冰与积冰持续时间有一定关系,但还与气温、相对湿度、风速等有重要联系。

2008 年南方地区电网罕见冰灾后,西南电力设计院应用由满足覆冰生成、发展与保持条件的持续日数及其相应的日平均气温、相对湿度、风速等项气象要素组成覆冰气象指数(覆冰强度指数),进行经验频率分析评估 2008 年罕见覆冰重现期,取得了较好的效果;江苏省电力设计院基于覆冰强度概念,提出了一种简单的适用

于中、轻冰区的覆冰重现期分析模型,较好地解决了历史覆冰重现期确定难题。

2009年~2010年,西南电力设计院应用了电力行业二郎山观冰站、黄茅埂观冰站、老林口观冰点的覆冰观测资料与气象部门威宁站、峨眉山站、绿葱坡站、庐山站、金佛山站、三穗站的多年覆冰观测资料及捷克斯洛伐克 Studnice 观冰站覆冰极值长系列资料,对覆冰极值的概率统计适用模型与应用短期覆冰资料推算设计冰厚的实用方法及其合理性进行了专项研究。

研究在极值 I 型基础上引进广义极值分布(Generalized Extreme Value Distribution)和广义帕雷托分布(Generalized Pareto Distribution)两种新的分布模型,研究发现:

①广义极值分布模型不需要预先假定极值分布类型,是经典极值分布的广义形式,适用性更广泛;广义帕累托分布采用基于超限峰值法抽样,能充分利用有限样本信息,增加极值样本容量,为短序列覆冰设计冰厚极值估计提供了理论基础。

②我国的导线覆冰极值的概率分布均符合广义极值分布模型和广义帕累托分布模型,其拟合精度高于以往常用的极值 I 型。

③覆冰极值样本长度对广义帕累托分布模型参数估计稳定性的影响小于广义极值分布模型,一般样本容量达到 20 年左右时,广义帕累托分布模型设计冰厚极值的估计趋于稳定,可以作为短序列下估计导线覆冰极值的较好方法。通过动态建模研究,对比分析不同长度序列下设计冰厚的差异,提出了依据 5 年~10 年短期观测资料应用广义帕累托分布模型估计设计冰厚的可行性。

(3)《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003 应用的概率统计分布模型。

国际电工委员会《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003 (英文名: *Design criteria of overhead transmission lines* IEC 60826 - 2003)列出的气象要素概率统计分布模型有 4 种,这些分布模型分别是:极值 I 型(Gumbel distribution),威布尔分布

(Weibull distribution), 伽马分布(Gamma distribution), 第一类贝塔分布(Beta-distribution, first type)。

这些分布模型对气象要素极值样本的统计拟合方法,在国内出版的有关概率与统计的专著中有介绍。

**1.0.8** 严重覆冰一般出现在山地,覆冰随地形变化复杂,一般缺乏实测资料,要准确定量输电线路设计覆冰参数,技术难度较大。覆冰对输电线路安全可靠运行影响极大,覆冰量级的增加对输电线路造价增高影响十分显著。因此,特别强调要对设计冰厚20mm及以上重冰区开展覆冰专题论证工作。

不易覆冰的平原或水汽缺乏地区的拟建线路的设计冰厚主要依据该地区已建线路使用的覆冰条件确定,覆冰踏勘调查方式与其他气象条件相同。

覆冰的专项查勘是指在易覆冰地区可能存在20mm及以上量级的覆冰地域的现场踏勘、调查访问及分析等工作;覆冰专题论证是指在易覆冰地区覆冰专项查勘基础上已确认相关区域覆冰已达20mm及以上,进而展开的更深入广泛的现场查勘及分析论证工作。

易覆冰地区有别于平原地区,地形起伏变化复杂,容易形成风口(风道)、山岭及迎风坡等容易覆冰的微地形。对于路径中可能存在的严重覆冰的微地形,需通过现场踏勘及调查访问后判断,并且还要在相邻类似地形进行覆冰调查访问作为旁证。当确认有设计冰厚达到20mm及以上量级时,则需按本标准第8.2.4条、第8.3.5条、第8.4.6条的规定进行覆冰专题论证的相关工作。当确认设计冰厚小于20mm时,则需按本标准第8.2.5条、第8.3.6条、第8.4.7条的规定进行覆冰分析的相关工作。

## 3 覆冰调查

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 我国严重缺乏覆冰观测资料,覆冰调查是为补充观测资料不足所进行的工作,调查资料有助于分析覆冰的地区分布规律、考证覆冰重现期,调查成果是线路设计冰厚及冰区划分的重要依据。

**3.1.3** 注意加强对高山气象站、通信基站、风电场、光伏电站、道班及电力线运维部门的值班人员调查。

**3.1.7** 覆冰调查注意侧重的内容有:对规划路径通道覆冰区域已建线路、树枝覆冰进行实测、摄像;对区域覆冰性质与量级分区勾绘在地形图上;查找并标注路径通道覆冰严重的微地形地段、覆冰相对不严重的微地形地段。

### 3.2 电力部门覆冰调查

**3.2.1** 电力部门负责输电线路设计、运维人员对所管辖区域内输电线路所遭遇的覆冰情况较为熟悉,通过对这些人员的详细调查访问,可以获得大量的可靠的覆冰信息。

**3.2.3** 一个覆冰过程的最大覆冰厚度与所形成覆冰的气温和水汽的变化密切相关,每一场覆冰相应的气象因素都是不同的(随机事件)。每一个覆冰过程都对应一个海拔区间,而每一个覆冰过程的海拔区间也是不同的(随机事件),查明大覆冰的海拔分布及覆冰的起始海拔与覆冰的最高海拔对路径冰区的划分具有重要作用。

**3.2.4** 输电线路因覆冰灾害而导致倒塔、断线、跳闸时,电力部门的相关专业人员会赶赴现场进行相关工作,会认真记录覆冰的相关资料,调查搜集这些资料对设计冰厚取值具有重要作用。

### 3.3 气象部门覆冰调查

3.3.2 覆冰同时气象条件包括气温、相对湿度、风速风向、降水量及天气现象(雾天、雨天、雪天、阴天、晴天)。

### 3.6 文献查阅

覆冰文献查阅,主要从覆冰影响范围、冰雪严重程度、积雪深度、覆冰厚度等方面查阅历史文献资料,其成果对覆冰量级排位和重现期的确定具有重要意义。本条文说明以湖南省最近 200 年出现大冰雪的史料为例,介绍利用覆冰史料估计 2008 年覆冰重现期。

嘉庆二十年,1815 年,平江冬十二月大凌。

咸丰十一年,1861 年,醴陵正月兼旬大冻,木冰介,大树冻死;善化、宁乡、益阳等地腊月大雪深四五尺,河水冰坚可渡,树木人畜多冻死。

同治元年,1862 年,保靖境内冬大凌,坚冰厚三尺,池塘可行人,逾旬不解,树木多冻死,柑橘尤甚;善化冬大凌,竹木多折;宁乡、武冈、益阳正月雪深二尺有余,坚冰厚三寸,池塘可行,逾旬不解,树木多死;新宁、岳阳、平江等地正月大凌,各县大雪,深达四五尺,河水冰坚,树木多冻死,人畜亦冻死不少。

同治三年,1864 年,安华正月大冰,树木压折至伤人;宁乡正月大雪;善化正月大凌;湘乡大凌,浏阳正月恒寒,十九日雪而雷;攸县正月河池皆冰,鱼多冰毙;兴宁正月大雪月余,冰厚盈尺,树木多折。

同治四年,1865 年,清泉正月大雪雨,木冰旬余乃介,蔬菜尽搞;邵阳、安仁正月江水冻结,可通往来;桂阳大雪十余日,鸟兽草木冻死者半,鱼冻死自浮冰上。

光绪十八年,1892 年,宁远冬大雪,冰历月余,雀兔冻死者无数。

光绪二十六年,1900年,宁乡正月木冰介,十一月大雪旬日,深尺余,结冰。

1916年,益阳、宁乡各地冬大凌,历年罕见,长沙、岳阳等地连日冰冻,以致电杆被折坏,脱断电线数百副,电杆数十根。

1917年,宁乡十一月底下雪,冰凌一个月,沔乌一带雪深尺余,塘冰三至四尺。

1924年,宁乡、益阳、古丈冬大雪,十一月至次年正月大雪大凌,局地雪深三尺。

1929年,益阳冬凝寒,竹木多冻死,江河水面可行车;临湘、湘阴冬作物大损;宁乡大雪大凌,沔山雪深四至五尺,湘北十一月中旬大冰冻,岳阳平地雪深两尺,铁路沿线电杆电线压断不少,电信中断,铁路停车;洞庭湖面冰厚达半尺;冬作物全部冻死,铁路沿线电杆电线压断不少;临湘、岳阳冰冻四十五天;湘潭、湘乡冰冻四十八天;宁远、汝城、永兴等地冰冻四十八天,池塘冰厚二尺,竹木折断百分之八十以上。

1932年,宁乡冬雪凌一月,偕乐桥雪深尺余;古丈、新化十二月大冻,雪深三尺许,冻断竹树甚多。

1938年,宁乡冬雪凝,朱石桥雪深一尺多。

1943年,益阳、岳阳冬大雪十多天;永兴山地冰冻一个月,平地半个月,折树百分之六十以上,死牛甚多。

1954年12月下旬至1955年1月,湖南省出现1929年以来罕见的大冰冻;最低气温 $-8^{\circ}\text{C} \sim -9^{\circ}\text{C}$ ,洞庭湖冰冻时间持续18d~20d,湘中10d~15d,南岳高山长达31d,电线覆冰直径一般5cm~7cm,沅江12cm,南岳望日台覆冰长径120cm,南岳山1m电线覆冰最大重量16.4kg;岳阳电线积冰长径约70mm;常德、益阳、怀化等地均冰凌严重,灾害损失惨重。

1963年,湖南省出现大范围冰雪天气,平均积雪深度15cm~20cm,山地深约30cm;雨淞一般持续5d~6d,最长的湘西持续约20多天,高山寒地达一个月;湘西平地雪深15cm,长沙电话线冰

厚约 1cm;其余各地均受灾严重。

1968 年,湖南省大部分地区出现 1954 年以来最严重冰冻,湘北、湘南雨淞冰冻 20 天,其他地区 10d 以上,临湘出现最低温  $-18.1^{\circ}\text{C}$ ,为湖南有气温记载以来最低纪录;各地都倒杆断线,损失惨重。

1976 年冬季至次年 2 月,湖南省出现历史罕见的低温严寒大雪天气;湘西、常德、湘潭等地均有少见的冻害;岳阳雪深 17cm,怀化最大积雪深度 5cm,郴州平均冰冻天气约 20d,最长冰冻达 53d(永兴县);受灾严重。

1984 年,受强冷空气影响,99 个县市出现冰冻,一般冰冻日数 5d~15d,最长 22d,一般地区积雪深度 22cm,个别山谷地区约 30cm,有 3 个县市积雪超过历史纪录;湘南以冰冻为主,湘中、湘北以积雪为主,湘西南和湘东南为严重冰冻年,湘西北、湘东北为轻冰冻年,其他地区为中等冰冻年。

1999 年元月中旬,受弱冷空气和高空暖湿气流影响,湘西、株洲受到大雪、冰冻袭击,交通、电力、工农业均受到一定影响,灾害造成了不少经济损失;其中株洲 6 条供电线路、2 个变电站受灾。

根据上述的历史覆冰气象情况统计,从影响范围、冰雪严重程度、覆冰厚度、积雪深度等方面综合比较,2008 年的冰灾大约排在 1815 年以来的第 2 位,估计其覆冰重现期约 100 年。

湖南从 1929 年开始有电线覆冰记录,记录中电线覆冰严重的年份有 1929 年、1943 年、1954 年、1968 年、1976 年、1982 年、1998 年、2005 年、2008 年。在 2008 年前记录的最大覆冰是 1982 年南岳高山站实测电线覆冰  $23.02\text{kg}/\text{m}$ ,换算标准冰厚为 88mm;次大覆冰是 1954 年冰重为  $16.4\text{kg}/\text{m}$ ,换算标准冰厚为 74mm;2008 年 1 月在湖南雪峰山观冰站实测的最大覆冰标准冰厚大于 100mm,2008 年覆冰量级排在有记录以来的第 1 位,估计其覆冰重现期大于 80 年。

### 3.7 覆冰调查资料整理

**3.7.2** 根据调查资料判定覆冰种类及密度,可结合邻近地区实测导线覆冰密度资料确定。覆冰性质不同,密度有差异;性质相同,测量阶段(发展期、保持期、崩溃期)不同,密度也有差异;在同一覆冰过程相应最大覆冰海拔线以上,雾凇和雨雾凇混合冻结覆冰的密度,随海拔高度升高而减小。

**3.7.4** 覆冰调查时所取得的调查成果可能不是最大冰厚,若是由于日照已开始融化后的覆冰厚度,注意加以订正。

**3.7.5** 同一地点的调查覆冰厚度的取值为多个可靠和较可靠的调查覆冰厚度的算术平均值。

## 4 覆冰踏勘

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 重覆冰线路,覆冰量级复杂,呈不连续的跳跃式分布,覆冰随地形的不同存在较大的差异性。当覆冰资料稀少或无实测资料时,对在规划设计中的中、重冰区进行覆冰踏勘和搜集沿线覆冰资料是合理确定线路设计冰区的有效途径,可为易覆冰地区输电线路的经济建设与可靠运行提供重要支撑。对历史冰害线路的踏勘获取相关资料,通过对线路原设计冰厚条件、冰害改建采用的设计冰厚、线路抗冰运行经验,结合线路覆冰地形特性分析,可以得出微地形覆冰的分布规律,为相邻区域新建线路的抗冰设计与区域基本冰区图绘制积累宝贵的基础数据。

**4.1.2~4.1.4** 在输电线路覆冰踏勘中,主要工作内容包括了覆冰观测、气象观测、地形判别和气象站覆冰过程气象资料的搜集。其主要目的是搞清实地的覆冰大小、种类及分布情况,不遗漏微地形导致的覆冰严重区域。

### 4.2 拟建线路覆冰踏勘

**4.2.1** 拟建线路在各勘测设计阶段已对冰区作了划分,且设计冰厚与冰区的确定对线路的安全与技术经济指标有显著影响,大量的冰害线路与观冰数据表明,导线覆冰受微地形的影响极大,覆冰量级分布复杂。因此,中、重冰区段内覆冰情况需作复核;轻冰区中的微地形及与其他冰区的分界点也要复核。微地形重冰段是指易出现严重覆冰的微地形,主要包括风口或风道、山岭、迎风坡等地形。

**4.2.2** 通过查阅工程相关资料、覆冰数据及分析成果报告,了解

覆冰严重地段及需要在覆冰期进行现场复核的地段,在路径图上作出标注,确定覆冰踏勘路线及重点踏勘区域。由于是在覆冰过程中进行踏勘,要获取覆冰要素及同时气象要素、覆冰影像等资料,所以要准备好获取这些资料的工具,并随身携带。又由于易覆冰线路大多在山区,覆冰期冰雪较大容易迷路、滑倒等,十分危险,所以还要准备好必要的安全装备,以保证踏勘人员的人身安全。为了保证资料的真实性和准确性,同时也是考虑踏勘人员的安全,因此踏勘工作不得少于2人同行。

**4.2.3 覆冰踏勘的重点是踏勘地形对覆冰的影响,特别是微地形对覆冰的影响,微地形重冰区一般位于寒潮路径区域山地的迎风坡、山岭、风口、邻近湖泊等大水体的山地、盆地与山地的交汇地带。在实地踏勘时,对于特殊地形点,踏勘工作更要详细,包括绘制地形草图,辨别冬季主导风向,了解冷空气、逆温带和地形对覆冰的影响,观察气候、植被情况等,为准确地分析定量覆冰量级提供支撑。沿线对当地居民的调查收资宜在同一地点查访多人,相互印证,如调查结果差异较大时,就需要邀请有文化的村干、教师、老农等座谈,分析查明差异原因。当环境变化后,如山区因森林砍伐变荒秃、荒山植树造林变林区、大型水库建设使水体面积增加等,应搜集环境变化前后覆冰量的变化。**

在四川,云南及西北部分区域等,踏勘重点是查明地形和冷空气共同影响覆冰的规律;在湖南、贵州、湖北、江西、广西、广东北部等区域踏勘重点是查明地形与冻雨对覆冰的影响规律;在沿海低海拔局部区域,如浙江、福建覆冰严重山区,踏勘重点是查明覆冰期寒流和海洋气流对覆冰的影响规律。在踏勘工作中微地形区域覆冰量判别应注意以下几点:

(1)风口等微地形对覆冰的增大影响显著;

(2)通常海拔越高,温度越低,风速越大,如果湿度条件适宜,覆冰就越大,但在一些特定的地形及气象条件下,覆冰并非随海拔增高而增大,如俗称“腰凌”地带;

(3)受寒潮和海洋气流影响,沿海低海拔覆冰相对严重。

**4.2.4** 对于实地的静态和动态覆冰情况,保留影像记录是必要的。影像记录能形象地反映实地情况,并且方便查看,是宝贵的覆冰资料。注意重点拍摄导线、拉线、杆塔、树枝及其他物体上的覆冰,此外还要注意拍摄包括地形、云雾地点、云雾流动方向以及覆冰的剖面情况。

测冰点的布置原则是能涵盖覆冰区不同地形和气候区域,具有代表性,能充分反映每个冰区段的覆冰特性。微地形严重覆冰段的覆冰分布复杂,为更准确地反映该段覆冰特性,需注意加密测冰点。

## 5 覆冰观测原则

**5.0.1** 导线覆冰与天气条件和地形环境关系密切。鉴于我国现有气象台(站)中有覆冰观测项目的很少,并且观测的覆冰资料对山区输电线路缺乏代表性,山区输电线路通道的无人区和无覆冰资料地区较多,需要进行覆冰观测获取数据,为输电线路的抗冰设计提供基本依据。

根据拟建线路工程设计的需要,结合工程区域的导线覆冰轻重程度,选择对工程区域覆冰有代表性的地点为观冰站(点)址;由于山区地形复杂,规划线路通道可能出现变动,观冰站的选址十分关键,选址合理与否直接影响到观测资料对工程的代表性与适用性。观测数据是为输电线路工程设计冰区分析计算服务的,观测数据要代表一个地理气候类似的较大区域的覆冰特性的一般情况。

观冰点是对局部区段或微地形点的覆冰观测,观测年限短,采取巡测,一般不设站房等设施。观冰点一般是对输电线路规划通道局部区段或微地形点的覆冰观测,观测数据代表一个特定的局部区域或地段的覆冰特性。

**5.0.3** 冰害线路覆冰观测采用观冰点方式,观冰点建立在输电线路发生冰害的地域,注意在不同地形类别地段分别布置观冰点。

**5.0.4** 选定一个代表性较好的观冰站址,是保证覆冰观测项目顺利实施和解决重冰区段无覆冰资料问题的关键。观冰站承担规范的覆冰与气象观测,一般观测年限相对较长,观冰站的选择一般通过普选、比选和优选三个阶段,最后确定站址。观冰站址要求选在覆冰严重但又非微地形微气象覆冰处。

观冰站址的最大覆冰量级一般大于 20mm,正常年覆冰过程

一般在 2 次以上。

**5.0.5** 观冰点的观测设施相对简易,一般属于临时性观测,每年冬季建点、观测结束时撤点,对点址的调整相对容易。观冰点可设在地形处包括一般地形和覆冰特别严重的微地形处。

设立观冰点有利于搜集区域不同地形、不同海拔的覆冰数据,可为输电线路区域冰区划分积累较为全面的基础数据。

观冰点址的最大覆冰量级一般大于 10mm,常年覆冰过程一般在 1 次以上。

**5.0.6** 在输电线路发生冰害后,根据输电线路重建的需要,可设立临时短期观冰点进行覆冰观测,至少要 1 个覆冰期。临时观冰点建立在输电线路发生冰害地域,可按不同地形类别地段分别布置观冰点。

**5.0.8** 覆冰受近地面风速影响较大,据国内建立观冰站的观测经验,雨淞塔高 10m 较为适宜。一般观冰站位于高寒风急地带,冬季冰凌覆盖,天气潮湿寒冷,工作、生活用房注意配备可靠的供电、供暖设施。雨淞塔设计荷载标准注意不低于 50 年一遇,特殊地区要适当增加安全裕度。

观冰点分为有人值守和无人值守两种方式。一般情况下为有人值守观冰点,只有在自然条件极其恶劣无法安排人员驻点值守情况下才采用无人值守方式。有人值守观冰点由驻点人员根据覆冰情况随时进行覆冰观测,无人值守观冰点是由观测人员巡测。观冰点的观测设施在覆冰期前安装于观冰点位置。导线方向的布置一般按东西和南北两个方向架设。若点址位置受地形条件的限制(包括山脉走向)或某段重冰线路受特殊微地形因素的影响等,观测导线的架设可与规划线路平行或垂直于覆冰主导风向。

## 6 设计冰厚分析计算

### 6.1 覆冰密度计算

**6.1.1** 三种覆冰密度计算方法均比较实用,横截面积法成果精度相对较高。根据实测资料分析,一般在同一覆冰过程相应最大覆冰海拔线以上的覆冰密度较低海拔覆冰密度小,这与水汽条件、过冷却水滴的大小有关。

**6.1.2** 无实测密度资料地区,首先要了解当地对线路危害最大的覆冰种类,调查覆冰特性;其次参考邻近海拔、地形、气候条件相似地区的同类覆冰密度;最后再按本标准表 3.7.2 选用覆冰密度,经综合分析后确定工程的覆冰密度。

有些输电线路路径较长,受地形、气候影响,各段线路覆冰的种类、密度不一致,要注意根据实际情况,分段选用不同的覆冰密度数据。

### 6.2 标准冰厚计算

**6.2.1** 标准冰厚的计算公式是将并非完全是圆形的覆冰横截面概化为圆形,由线径和覆冰的重量、直径推导出的。考虑到实测覆冰资料较少的实际情况,也规定了可用式 6.2.1-3 计算调查覆冰标准冰厚。通常覆冰形状为近似椭圆形的不规则体,由于导线距地面几米至十余米,目估误差较大,调查资料多称覆冰形状为圆形,故该式为了减少目估误差,进而考虑了覆冰形状系数  $K_s$ ,即椭圆短径与长径的比值。

**6.2.2** 小覆冰大多为迎风侧覆冰的扁平形,形状系数小;大覆冰多为近似圆形的椭圆形,形状系数大。对线路产生危害的是大覆冰,因此在计算形状系数时注意选取大覆冰值相应的长、短径数

据,使成果趋于安全、合理。

### 6.3 设计冰厚计算

**6.3.1** 影响设计冰厚的因素较多,除了覆冰概率分布外,还有导线悬挂高度、线径、线路走向、档距与地形等。关于线路档距、线路走向与冰厚(冰重)的关系,国内外研究资料较少,目前无成熟的经验总结,有待进一步的试验研究。因此,在设计冰厚计算时一般应用式 6.3.1-2。

### 6.4 覆冰的频率计算

**6.4.1** 现行行业标准《电力工程气象勘测技术规程》DL/T 5158—2012 中规定工程地点或与工程地点的地理、气候类似的区域具有 10 年以上年最大覆冰观测资料,应采用频率分析法计算设计冰厚,并考虑具体地形影响因素移用至线路工程地段。

**6.4.2** 概率分布模型有多种,在水文和气象领域应用较多,Gumbel 在 1958 年首先向统计学家与工程技术人员提出,应该将极值理论应用于某些人曾经用经验方法考虑过的分布,用极值理论解释了工程领域中的洪水统计分布,然后又用于其他气象现象与异常观测值的统计问题。概率分布模型还可用于研究降雨、河海工程设计、设计风速等方面,具有广泛的应用价值。此外,概率分布模型广泛应用于材料强度、地质灾害、金融风险等方面,相对而言,对于输电线路覆冰概率模型的研究较少。目前来讲,覆冰应用最多的是 P-Ⅲ型分布或极值 I 型分布模型。在选用概率模型时,要选择拟合度最好的分布模型。

**6.4.3** 现行行业标准《电力工程气象勘测技术规程》DL/T 5158—2012 规定:覆冰频率计算线型应采用 P-Ⅲ型分布或极值 I 型分布。国际电工委员会《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003(英文名: *Design criteria of overhead transmission lines* IEC 60826 - 2003)给出了可用于表示气象因子的荷载的分

布函数,包括极值 I 型、威布尔、伽马及第一类贝塔分布模型等。

2008 年南方地区电网罕见冰灾后,西南电力设计院新引进 GPD(广义帕雷托)分布模型对导线覆冰冰厚极值概率分布模拟的适用性进行了专项研究,结果表明,我国导线覆冰冰厚极值的概率分布符合 GPD 模型,其拟合精度高于以往常用的极值 I 型。

对于 GPD 模型,首先是确定门限值,找出门限值以上的数据,准备模型拟合的基本数据,GPD 分布模型门限值  $\beta$  按下列方法确定:

超门限覆冰极值出现次数服从泊松分布,则每年发生超门限的次数  $k$  的概率为:

$$P_k(K = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

式中: $\lambda$ ——Poisson 分布的参数,表示年交叉率, $\lambda = m/n$ ,其中  $m$  为超过门限值的极值数量, $n$  为资料记录的总年数。

再结合 Hill 图最终确定门限值  $\beta$ 。Hill 估计量可按下式计算:

$$\gamma(m) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [\ln x_j - \ln \beta] \quad (2)$$

式中: $\beta$ ——门限值;

$x_j$ ——大于门限值的变量;

$m$ ——超过门限值的极值数量。

考察 Hill 估计量随门限值的演变情况,取 Hill 估计量趋于稳定时对应的数值为最佳门限值。

GPD 分布模型为:

$$F(x) = 1 - \left[ 1 - \xi \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{1/\xi} \quad \xi \neq 0, \beta \leq x \leq \frac{\alpha}{\xi} \quad (3)$$

式中: $\xi$ ——形状参数;

$\alpha$ ——尺度参数。

参数  $\xi$  与  $\alpha$  按下列公式计算:

$$\xi = \frac{\lambda_1 - \beta}{\lambda_2} - 2 \quad (4)$$

$$\alpha = (\lambda_1 - \beta) \left( 1 + \frac{\lambda_1 - \beta}{\lambda_2} - 2 \right) \quad (5)$$

式中： $\lambda_1 = b_0$ ； $\lambda_2 = 2b_1 - b_0$ 。

$$\text{其中：} b_0 = \bar{X}；b_1 = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n-j)X_j}{n(n-1)}$$

$\bar{X}$ ——大于门限值样本的平均值。

GPD 模型设计冰厚按下列公式计算：

$$x_T = \beta + \frac{\alpha}{\xi} [1 - (\lambda T)^{-\xi}] \quad \xi \neq 0 \quad (6)$$

$$x_T = \beta + \alpha \ln(\lambda T) \quad \xi = 0 \quad (7)$$

式中： $x_T$ ——重现期为  $T$  年的冰厚极值；

$T$ ——重现期(a)。

例如：以峨眉山气象站为例，计算不同重现期的设计冰厚。

利用峨眉山气象站积冰资料，选取门限值，得到相应超门限极值次数序列，见表 2。再利用公式(2)计算不同门限值下的 Hill 估计量，考察 Hill 估计量随门限值的演变情况，见图 1。

表 2 峨眉山站标准冰厚超门限值出现次数 Poisson 分布的  $\chi^2$  检验

门限值 (mm)	统计 年数	出现 次数	年交叉率 $\lambda$	统计量 $U$	自由度 $\gamma$	$\chi_{0.05}^2$	是否通过检验
9	39	168	4.3077	14.4093	8	16.5070	否
10	39	122	3.1282	14.3924	6	12.5920	否
11	39	94	2.4103	7.0846	3	7.8150	是
14	39	39	1.0000	5.4719	2	5.9910	是

结合 Hill 图中 Hill 估计量随门限值变化趋于稳定的点，可以确定峨眉山的最佳门限值约为 11mm。再利用峨眉山的超门限极值冰厚系列，进行 GPD 模型重现期极值计算，计算结果见表 3。

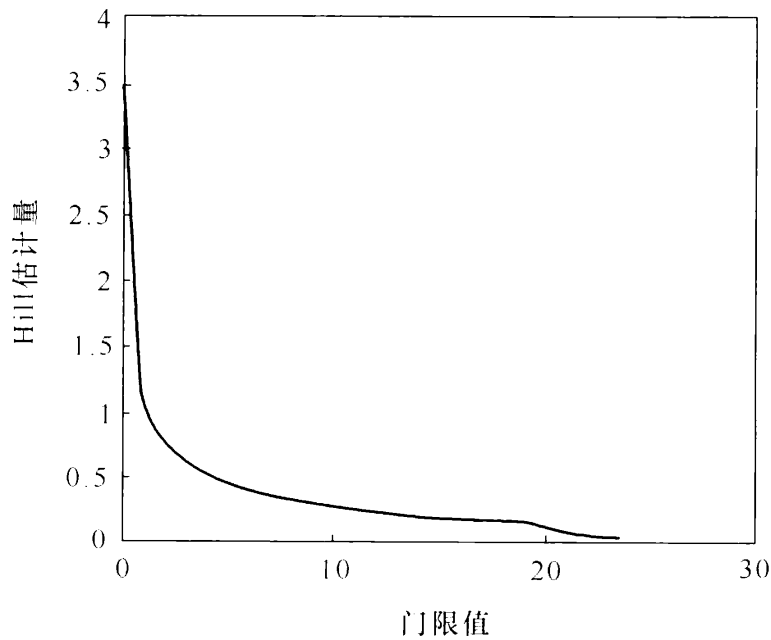


图 1 峨眉山站标准冰厚的 Hill 图

表 3 峨眉山站设计冰厚计算结果

重现期(年)	15	30	50	100
设计冰厚(mm)	23	25	27	29

**6.4.4** GPD(广义帕累托)分布采用基于超门限值法(POT),能充分利用有限样本信息,增加极值样本量。其优越性为短序列覆冰设计冰厚的估计提供了理论基础。在 GPD(广义帕累托)分布中,通过超门限覆冰次数的泊松分布拟合检验,结合 Hill 图解,提出了 POT 抽样门限确定的方法,为 GPD(广义帕累托)分布在极值研究中的应用提供了重要技术支持。

**6.4.5** 覆冰气象指数频率分析方法,在选择历年(冬半年)最大覆冰指数时,由于涉及的基本资料量较大,因此在实际工程中尚未应用。该方法的基本资料处理及计算步骤如下:

(1)在每一个冬半年(一般为 10 月至次年 3 月)中,选择日平均气温低于或等于  $0^{\circ}\text{C}$  的天气过程(时段),一个冬半年中的覆冰天气过程总个数记为  $M$ 。选择的年数为 25 年。

(2)对每一个覆冰天气过程中的主要覆冰气象要素对覆冰的贡献量进行评定。某日的覆冰气象指数等于各要素贡献量之和。覆冰主要气象要素对覆冰贡献量标准见表 4。

表 4 覆冰主要气象要素对覆冰贡献量标准

日平均气温(C)	-0.5~-4.0	-4.0~-6.0	-6.0~-10.0	其他
气温贡献量	3	2	1	0
日平均相对湿度(%)	100~90	90~70	70~50	其他
相对湿度贡献量	4	2	1	0
日平均风速(m/s)	0.3~3.0	3.0~6.0	6.0~15.0	其他
风速贡献量	3	2	1	0

(3)一个覆冰过程的覆冰气象指数等于覆冰过程逐日覆冰气象指数之和除以覆冰过程总日数。在一个冬半年中可计算出  $M$  个覆冰气象指数。

(4)从一个冬半年的  $M$  个覆冰气象指数中选择最大者为该年最大覆冰过程相应的年最大覆冰气象指数。

(5)按照步骤 1 至步骤 4,针对 25 个冬半年,逐一计算并选择年最大覆冰气象指数,可得到连续 25 年的最大覆冰气象指数统计样本。

(6)应用 25 年的最大覆冰气象指数样本进行频率计算,分析实测或调查覆冰值的重现期。

**6.4.6** 表 6.4.6 是引用现行行业标准《电力工程气象勘测技术规程》DL/T 5158—2012 中的重现期换算系数表。

## 6.5 覆冰的高度换算

**6.5.1** 覆冰大小与导线悬挂高度有关,在近地层风速随高度增加,在覆冰发展期、在相同水汽条件下,在一定风速  $0.3\text{m/s}\sim 3.0\text{m/s}$  范围,风速愈大导线捕获的水滴就愈多,覆冰就愈大。一般导线悬挂高度在  $30\text{m}$  以下,在离地  $30\text{m}$  以内,覆冰发展期的风向如无变

化,两高度的冰厚比就是冰厚的高度换算系数。大量实测资料表明,两高度的覆冰厚度比是高度比的幂函数,即  $K_h = (Z/Z_0)^\alpha$ ,它表示了冰厚随高度变化的关系,指数  $\alpha$  综合反映了风速、含水量、捕获系数等随高度的变化。输电线路设计冰厚离地基本高度,在2008年南方地区电网罕见冰灾后,我国电网规划设计、建设、运行管理等部门,在总结我国多年来重冰线路设计运行经验以及新近覆冰科研成果基础上,确定了设计冰厚的基本高度为10m。

捕获系数是描述导线捕获空气中过冷却水滴的有效性的系数,定义为水滴在导线上实际积聚的水分质量与假定水滴不绕过导线时可能积聚的水分质量之比。

**6.5.2** 指数  $\alpha$  的取值是由西南电力设计院分析提出的。西南电力设计院应用黄茅埂观冰站雨淞塔1988年~1995年同线径、同方向2、9、16、23m 4层同步覆冰观测数据及罗汉林观冰站雨淞塔2006年~2010年同线径、同方向2、5、10m 3层同步覆冰观测数据,计算各个高度的标准冰厚的平均值进行指数拟合,得出了参考指数取值。黄茅埂观冰站雨淞塔地面海拔2835m,地面开阔平坦,植被为草甸。

另外,目前我国的超高压、特高压等输电线路越来越多,这些输电线路导线大多位于较高高度,由于目前缺乏观测数据,尚未进行相关分析研究。

然而,在国际电工委员会《架空输电线路设计标准》IEC 60826—2003(英文名:*Design criteria of overhead transmission lines* IEC 60826 - 2003)中:“有越来越多的证据表明,某些覆冰种类,在较高的接地线可能积聚更多的覆冰。”

综上所述,对于导线悬挂离地高度大于20m的覆冰变化规律有必要做进一步的分析研究。

## 6.6 覆冰的线径换算

**6.6.1** 导线覆冰与线径的关系较为复杂,国内外有关学者至今有

着不同的看法,概括讲有两种观点:一是认为导线覆冰与线径大小有关,即导线覆冰冰重随线径的增大而增加,冰厚随线径的增大而减小;二是认为导线覆冰与线径无关。国外标准中认为覆冰与线径有关,且给出了有关的系数。西南电力设计院在西南及中南山区建立了多个观冰站,大量实测资料表明,导线覆冰与线径有关。

**6.6.2** 公式 6.6.2 是西南电力设计院应用二郎山观冰站 2009 年 1 月~3 月挡距 25m 雨淞塔上在同高度同方向不同线径导线的 40 组同步观测数据拟合得出。观测导线的型号及线径分别为: LGJ-970、39.6mm, LGJ-720、36.24mm, LGJ-630、34.32mm, LGJ-400、27.68mm, LGJ-185、19.02mm。由于导线覆冰的复杂性,线径换算系数注意根据各地实测资料分析确定,无实测资料地区可按公式 6.6.2 使用。

## 6.7 覆冰的地形换算

**6.7.1** 覆冰的增长与风力密切相关,而风力又与地形密切相关。在气流的运动过程中,地形的起伏变化导致了气流的分流、扩散与集中,因而,在易覆冰区域地形的差别导致了(即使在相同海拔条件下)覆冰分布的差异性。

表 6.7.1 是西南电力设计院根据 9 个观冰站及 107 个观冰点多年对比观测资料,统计各类地形相应覆冰过程的最大覆冰标准冰厚,总结形成的一般地形(平坦、开阔、风速流畅性一般)与常见特殊地形的覆冰变化关系。由于地形变化异常复杂,对地形的分类及地形换算系数的取值要特别慎重。

关于各类地形的基本描述见本标准条文说明第 7.1.2 条。

**6.7.2~6.7.4** 在其他气象条件相同的情况下,风速在 0.3m/s~3.0m/s 区间,风速越大则覆冰越严重。

## 6.8 线路走向换算

**6.8.1、6.8.2** 线路走向与导线覆冰的关系,目前国内外研究资料

较少,无成熟的经验总结,有待进一步的试验研究,其换算系数应根据各地实测资料分析确定。西南电力设计院的研究发现,导线覆冰是与覆冰期主导风向有密切关系的,二郎山垭口的微地形重冰地段,先后有三条线路经过,在线路设计时,根据 2000 年 10 月至 2013 年西南电力设计院在二郎山垭口建立的观冰站的观测数据,分析研究发现导线覆冰与覆冰期主导风向有密切关系,在垂直主导风向上的覆冰较其他角度的覆冰显著偏大,导线与主导风向夹角不同的覆冰量与夹角存在密切关系。大渡河水电送出 500kV 线路及雅安特高压变 500kV 配套工程均应用此结果,使线路在翻越二郎山垭口重冰区的冰区划分满足了安全性和经济性要求。线路走向换算的相关条件与结果见本标准条文说明第 7.2.3 条。

## 7 冰区划分

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 10mm 以上覆冰区域,尤其是地形有起伏的丘陵和山地区域,受地形因素的影响容易出现严重覆冰的微地形一般都是重冰区所在地。重冰区不仅对输电线路安全运行构成重大影响,还对工程造价有很大影响。以 500kV 单回线路  $4 \times 400\text{mm}^2$  导线为例测算,不同等级冰区对输电线路塔材耗量和本体造价的影响对比为:20、30、40、50mm 重冰区每千米塔材耗量分别是 10mm 轻冰区的 2.2 倍、3.6 倍、5.2 倍和 6.8 倍;20、30、40、50mm 重冰区每千米造价以 2008 年物价水平计分别是 10mm 轻冰区的 1.8 倍、2.6 倍、3.6 倍和 4.8 倍。因此,本标准强调输电线路通道冰区划分分析的重点范围应是易覆冰区段。

**7.1.2** 对于山地地形的分类,由于地形变化较为复杂,目前对地形分类尚无定量的计算方法,仍处于定性描述水平。定性描述与个人经验有较大关系,可能因人而异。因此,对山地地形的类别判定需要特别慎重,对地形类别的判定要注意地形的有形的形状,更重要的是要注意风场的特性。

一般地形,地形平缓起伏较小,相对高差较小,风速流畅,风场均匀。

风口地形,一般称山口或垭口,地形两侧有较高的山岭,气流受两侧山岭阻挡,部分或较大部分气流不是爬升后越过山岭或山脊,而是集中从这个风口通道流过。风口地形的风速流畅,风速特别偏大。

迎风坡地形,山岭(脊)迎风方向气流能受到一定程度集中的坡地。迎风坡地形风速流畅,风速偏大。

山岭地形,长条形或带状连续的山体,与覆冰期主导风向垂直或有较大角度,气流到达山体不能从山体两侧绕流通过,而是被山岭前的坡地抬升并在山岭或山脊处集中流过。山岭(脊)地形风速流畅,风速偏大。

背风坡地形,山岭(脊)背风方向气流能受到一定程度扩散的坡地,风速受到地形不同程度的屏蔽影响。背风坡地形风速不大或偏小。

山麓地形,山岭或山体与平坝的相连地带,风速受到地形不同程度的屏蔽影响。山麓地形风速不大或偏小。

山间平坝地形,山地中的洼地或盆地,周围存在较高的山地,相对高差较大,风速受到地形不同程度的屏蔽影响。山间平坝地形风速小。

**7.1.3** 在气候变化规律的地理分布上,大地形山脉或连续山岭一般是不同气候的分界线。覆冰的地域分布与气候的地域分布有类似的规律。同样是山间平坝,在山脉(岭)迎风面方向的山间平坝地形的覆冰一般要大于背风面方向的山间平坝地形的覆冰。

**7.1.4** 易覆冰地区输电线路路径各个地段冰区都是依据该地或类似地形的覆冰资料分析确定的,因此在对易覆冰山地覆冰勘测时,要求各类地形单元及归类的相似地形单元均应有可供分析利用的覆冰观测或调查资料,注意不能留下覆冰信息的空白区域。

**7.1.6** 一个覆冰数据与其所形成的地形条件密切相关,对某个覆冰数据要能有效利用,首先要清楚该数据产生的具体地形条件。在分析应用覆冰基本资料时,要注意分析、复核、确认其所处的位置、地形单元类别、高程及所代表的地域范围。

**7.1.7** 易覆冰山地,地形复杂多变,将各类地形单元的覆冰统一换算至一般地形,便于对覆冰量在面上进行合理性比较,在将其移用至类似地域不同类别地形单元时,再按本标准表 6.7.1 规定换算。

## 7.2 路径冰区划分

**7.2.1** 在 2008 年南方地区电网冰灾前,设计冰区的分级一般为 0、5、10、20、30、40、50、60mm 等,在个别地区如湖南省有 15mm 冰区分级。通过对多次冰灾线路特别是 2005 年和 2008 年南方地区电网冰灾的分析总结,冰灾受损线路绝大多数都发生在小于 20mm 的设计轻冰区,为了提高电网的抗冰能力,中国电力工程顾问集团公司多次组织专家对提高输电线路工程抗冰能力进行研讨,提出了设计冰厚大于 10mm 且小于 20mm 的中冰区概念,并对中冰区线路从结构上采取了比轻冰区更强的抗冰措施。

**7.2.2** 为了便于线路工程的设计,冰区划分是把同一气候区内海拔相近、地理环境类似、设计冰厚基本相同的地段划为一个冰区。覆冰受地形影响,存在地区的相似性和差异性特点,在划分的同一量级冰区内,要注意既要考虑覆冰量级随地形的差异,也要考虑在覆冰量级基本相近前提下,尽量避免分区过于零碎,以利于工程的设计、施工与运行维护。

**7.2.3** 冰区分级为 5、10、15 及 10mm 的整倍数取值,这是我国输电线路设计的适用取值标准,这与现行行业标准《重覆冰架空输电线路设计技术规程》DL/T 5440—2009 规定是一致的。根据我国易覆冰地区大量已建线路的抗冰运行经验,按 20mm 及以上覆冰等级重冰区设计的线路,均表现出了可靠的抗冰能力,说明按重冰规范设计的线路具有安全可靠抗冰的冗余度,因此,在冰区量级大于 20mm 的重冰区的设计冰区归并采用了 5 舍 6 入的规则。对于大于 80mm 冰区也按本原则进行归并。

我国已建重冰线路,最大冰区等级一般为 60mm。但也有例外,四川省康定冷竹关水电站至邛崃 220kV 输电线路,在翻越二郎山垭口的微地形重冰地段,在 1999 年无覆冰基础资料时,线路设计采用了 40mm 冰区,该线路于 2000 年 9 月建成投运,同年 10 月二郎山垭口铁塔塔头因覆冰受损,根据线路投运第一个冬季的

现场覆冰踏勘数据,在线路改造时选择为 80mm 冰区设计,之后一直安全运行。后来新建的康定水电送出 500kV 线路在翻越二郎山段的设计冰区均采用为 60mm,运行正常。

2000 年 10 月,西南电力设计院在二郎山垭口建立观冰站,进行连续覆冰观测至 2013 年,应用已有的 13 年覆冰极值系列,统计得出二郎山观冰站雨凇塔 50 年一遇标准冰厚为:东西向模拟导线 96mm,与覆冰期主导风向夹角  $52.7^{\circ}$ ;南北向模拟导线 73mm,与覆冰期主导风向夹角  $37.3^{\circ}$ ;翻越二郎山垭口线路与覆冰期主导风向的夹角为  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ;通过线路走向换算得线路设计冰厚为 51mm~61mm,因此线路设计冰区取值 60mm。

**7.2.4** 对于易覆冰区域的类似气候区,其区域气候环境基本一致,形成覆冰的大气环流及天气一致,气温、湿度、降水及风速等均符合成冰条件,成冰气象要素数值分布不大于 10%。

对于易覆冰区域的类似地形区,大的地形相同,地形单元类别相同,海拔相差不大于 200m,地形起伏相对高差不大于 50m。

**7.2.8** 导线覆冰分布除受气象因素影响以外,还受微地形的重要影响,山区线路自然地形千差万别,覆冰在空间上的变化十分复杂。我国自 20 世纪 80 年代以来发生的几次区域性电网严重冰灾,其受损线路绝大多数都位于微地形重冰区。对山区线路路径通道覆冰分布的准确认识和把握,需要对地形和气候特点做深入细致的踏勘与考察。注意判定微地形重冰区与轻冰区,合理可靠地确定设计冰厚。对于通过风口、山岭与迎风坡等地段的线路,覆冰一般较其他地形严重,线路冰害较多,需要适当增大覆冰量级,以提高线路的抗冰能力;对于通过背风坡、山间盆地(谷地)等地段的输电线路,一般覆冰相对较轻,需要适当减小覆冰量级,以提高工程造价的经济合理性。

### 7.3 区域基本冰区图绘制方法

**7.3.1** 区域基本冰区图是某一区域输电线路在不同地形及气候

条件的重现期为 50 年离地高度为 10m 的标准冰厚的分布图,基本冰区图为电网设计与运行部门直观了解覆冰信息提供便利。其他设计重现期的标准冰厚可通过重现期 50 年覆冰值与重现期换算系数求得。

**7.3.2** 适用的冰区图,各国都已进行过大量的研究。俄罗斯、加拿大等覆冰灾害频繁的国家都绘制了指导输电线路设计的冰区图。我国西南地区在 20 世纪 70 年代至 80 年代也进行了冰区图的绘制,但由于缺少可靠的覆冰资料,冰区图客观准确性低,未被实际工程应用。进入 21 世纪后,国内大电网建设快速发展,同时极端天气频发,南方多个省(市、区)都出现了罕见的覆冰天气,其中 2008 年初的严重覆冰灾害是有记录以来影响范围最广、造成输电线路损失最大的一次覆冰天气。在此背景之下,国家电网公司和南方电网公司以及下属的各省(市、区)电网公司、电科院及电力设计院相继开展了冰区图编制工作,部分省(市、区)已完成了冰区图的绘制。但是,由于没有统一的标准可循,加上各地所能应用的可靠覆冰资料仍然缺乏,因此,在冰区图的编制过程中所使用的方法各有不同,根据各地冰区图应用的反馈意见,大部分省(市、区)的冰区图只能体现覆冰分布的大致趋势,在冰区量级精度、覆冰地形分布等方面尚存在较多的问题和缺陷。因此,现有的冰区图在实际应用时大多只能作为参考,要使冰区图能成为输电线路设计和运行的适用依据,需要通过长期的、大量的覆冰资料积累,并在此基础上对冰区图进行不断修编、完善。

**7.3.3~7.3.5** 基本冰区图编制工作所面临的主要制约因素是覆冰原始资料的匮乏,这也是各地近年来基本冰区图编制工作的主要问题和瓶颈。众所周知,电网基本冰区图是对长期的覆冰资料进行数学统计后的成果,没有基础资料支撑,易覆冰地区的基本冰区图是空中楼阁。因此,本标准对输电线路基本冰区图编制依据的基础资料作了具体要求。

**7.3.6~7.3.8** 目前,国内应用的基本冰区图编制方法主要包括

覆冰插值绘制法、覆冰模型绘制法、经验法等。

(1)覆冰插值绘制法。由区域覆冰调查点资料推算设计冰厚,并采用合适的插值法换算面上其他网格的冰厚,再通过数据处理程序绘制成图。该方法适用于人口较为密集、易于开展覆冰调查的区域。主要技术路线为:

1)收集整理绘图区域的已有覆冰资料;

2)绘图区域覆冰调查点布设与调查;

3)对覆冰调查点的信息进行整理、计算和分析,将计算结果与对应调查点附近的覆冰信息进行比对,检验其可靠性,筛选出较可靠的点作为插值法的基础点;

4)利用绘图区域各基础点的冰厚,插值计算其他网格的冰厚;

5)根据冰区量级划分冰区,分色拼接后成图。

(2)覆冰模型绘制法。由天气学原理或统计学方法,建立气象因子、地理因子与覆冰厚度的转换关系(数学模型),同时,采用调查覆冰数据、实测覆冰数据、线路设计运行资料等对覆冰模型进行检验和修正,再通过数据处理程序绘制成图。该方法适用于覆冰观测站点较多,资料积累较长的区域。主要技术路线为:

1)收集整理绘图区域的观冰站(点)、气象站的覆冰观测资料及相关气象要素,无覆冰观测的气象站收集各年冬季的雨(雾)淞日数、气温、降水、相对湿度、风速等与覆冰关系密切的气象要素;历次冰灾过程中实测的覆冰数据;电力部门覆冰在线监测的覆冰数据;

2)建立覆冰基础资料数据库;

3)选择代表性好、覆冰序列完整、观测年限大于30年的观冰站(气象站)作为基础点,对覆冰厚度与气象要素进行相关性分析,建立覆冰厚度与气象要素的关系模型,并利用观冰站(气象站)相应时段的其他覆冰实测资料对覆冰模型的可靠性进行检验;

4)利用代表站建立的覆冰与气象要素关系模型推算周边无覆冰观测的气象站的覆冰序列;

5)将各观冰站(气象站)的覆冰序列进行整理,并按概率统计方法计算设计频率的标准冰厚,结合各站地理信息(海拔、经纬度)建立覆冰厚度与地理位置关系的计算模型;利用覆冰调查资料、已建线路设计运行资料对冰厚与地理位置关系模型进行检验;

6)通过冰厚与地理位置关系模型计算出工作区域内各像素点的冰厚,利用图形处理软件,按不同冰区的分界值划分各冰区量级,分色拼接后成图。

(3)经验法。针对指定的覆冰区域,运用长期积累的覆冰资料或线路设计运行经验,以某一高程作为冰区的分界,通过闭合高程线进行基本冰区图绘制。该方法适用于覆冰量级变化规律、冰区分级被普遍认同、同时已有多年的线路运行经验和覆冰资料积累的区域。主要技术路线为:

- 1)收集、整理绘图区域的覆冰资料;
- 2)分析、计算区域内各冰区量级之间的分界海拔;
- 3)利用覆冰观测资料、已建线路的设计运行资料等对计算结果进行验证,进一步确定各冰区量级的分界海拔;
- 4)根据各冰区量级分界海拔,分色划区拼接后成图。

本标准推荐了插值绘图法。插值基础数据可来源于实测覆冰统计值、覆冰调查分析计算值、线路应用的覆冰计算值、覆冰气象模型计算值,但都要求其数据要客观可靠,并且对基础数据的数量及地形类别也作了要求。在此基础上应用插值绘图法绘制的基本冰区图可客观准确地体现各类气候及地形区的覆冰量级。根据我国覆冰的区域覆冰特点所需绘制基本冰区图的区域及相应区域系统的观测站网的规划与观测有待研究与规划实施,插值绘图法的技术细节也有待总结与完善。

## 7.4 冰区划分的合理性检查

**7.4.7** 在其他气象条件相同的情况下,风速在  $0.3\text{m/s}\sim 3.0\text{m/s}$  区间,风速越大则覆冰越大。

## 8 各设计阶段覆冰勘测内容深度

### 8.1 路径规划阶段覆冰勘测内容深度

**8.1.1~8.1.4** 一方面,覆冰对电网的安全及投资影响大,因而对冰区勘测成果的合理性及可靠性的要求高;另一方面,输电线路可行性研究勘测设计的周期相对较短,一些覆冰情况复杂的输电线路在可行性研究才开始进行覆冰勘测的相关工作,并且要求覆冰勘测成果要达到较高的质量水平,因而其工期与质量的矛盾就很突出。本标准关于路径规划阶段覆冰勘测的内容正是针对这一实际问题而规定的。

对于那些覆冰严重、线路穿越多个地理气候区、覆冰量级分布复杂、可供利用和借鉴的资料缺乏的输电线路工程,特别注意在工程可行性研究前的路径规划阶段就要开展覆冰勘测的相关工作。

过去,已有较多的覆冰严重、覆冰分布复杂的输电线路工程,在路径规划阶段就进行覆冰勘测工作。其中较为典型的工程有:四川二滩电站送出 500 kV 输电线路、大渡河水电送出 500 kV 输电线路,云广、向上、锦苏、溪浙±800 kV 输电线路,溪广±500 kV 输电线路等。

### 8.4 施工图设计阶段覆冰勘测内容深度

**8.4.3** 覆冰复杂地区,一般都位于山地,地形变化复杂,覆冰分布多变而且变化较大或很大,对微地形严重覆冰地段,需要根据大的地形环境、微地形特点、地形海拔、覆冰期的主导风向等多种覆冰影响因素,进行综合分析判定地形单元类别。因此,对于覆冰复杂地区需要对全路径做深入细致的现场查勘,要求勘测人员全线路查勘,对特别复杂的地段,注意集中经验丰富的专业人员实地查勘

会商确定。

**8.4.8** 冰区勘测成果提资,特别注意坚持客观与可靠原则,确保所提资料能够经得起实际覆冰的检验。山地设计冰区,变化复杂,因地而异。无实测资料支撑,取值要特别慎重。对风口、风道、流域分水岭地段特别要注意在附近地域尽可能全面深入地调查,特别注意尽可能客观认知工程环境及相关影响因素,冰区取值特别注意在可靠性基础上追求合理性。

S/N:1580242·743



9 158024 274301



DL/T 5509—2015

中华人民共和国电力行业标准  
**架空输电线路覆冰勘测规程**  
**DL/T 5509—2015**

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

---

850mm×1168mm 1/32 2.75印张 67千字

2015年11月第1版 2015年11月第1次印刷

印数 1—3000册

☆

统一书号:1580242·743

定价:25.00元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换