

ICS 29.240

P 62

备案号: J2064—2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5504 — 2015

**特高压架空输电线路大跨越
设计技术规定**

**Technical code for design of long span
crossing of UHV 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

特高压架空输电线路大跨越
设计技术规定

Technical code for design of long span
crossing of UHV overhead transmission line

DL/T 5504—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

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项和电力标准(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
.....						
126	DL/T 5504—2015	特高压架空输电 线路大跨越设计技 术规定			2015-07-01	2015-12-01
.....						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2010 年第一批能源领域行业标准制(修)订计划的通知》(国能科技〔2010〕320 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结特高压大跨越方面的设计工作经验,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准共分 18 章和 3 个附录,主要内容包括:总则,术语和符号,跨越位置和跨越方式,气象条件,导地线选择,导地线防振和防舞,绝缘配合、防雷和接地,绝缘子和金具,塔高和塔头布置,塔型选择,荷载,材料,结构设计基本规定,结构构造要求,基础,环境保护,劳动安全和工业卫生,附属设施等。

本标准由国家能源局负责管理,由电力规划设计总院提出,由能源行业电网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华东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华东电力设计院有限公司

参 编 单 位:中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司

中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司

广东省电力设计研究院

主要起草人:廖宗高 薛春林 赵 峥 袁志磊 马 凌

肖洪伟 潘春平 王衍东 温作铭 刘仲全

李 健 黄伟中 董建尧 王 咏 陈 媛

贺 磊 肖立群 傅鹏程 梁 明 汪晶毅

主要审查人:李喜来 王 盾 赵江涛 赵胜计 李永双

周 康	李 晋	王小松	高学彬	吴巾克
李 三	鲁景星	鞠 勇	郭玉珠	张国良
吴建生	王 钢	王虎长	马志坚	林致添
陈稼苗	郭咏华	李占岭	赵庆斌	

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	跨越位置和跨越方式	(6)
4	气象条件	(7)
5	导地线选择	(8)
6	导地线防振和防舞	(10)
7	绝缘配合、防雷和接地	(11)
8	绝缘子和金具	(16)
9	塔高和塔头布置	(18)
10	塔型选择	(20)
11	荷 载	(21)
12	材 料	(31)
13	结构设计基本规定	(37)
13.1	一般规定	(37)
13.2	承载能力和正常使用极限状态计算	(37)
13.3	结构基本规定	(39)
14	结构构造要求	(41)
14.1	角钢塔构造要求	(41)
14.2	钢管塔构造要求	(42)
15	基 础	(44)
15.1	基础基本设计原则和型式	(44)
15.2	基础设计一般规定	(44)

16	环境保护	(47)
17	劳动安全和工业卫生	(48)
18	附属设施	(49)
18.1	登塔设施	(49)
18.2	警航设施	(49)
18.3	其他设施	(49)
附录 A	舞动校验方法	(51)
附录 B	各种绝缘子的 m_1 参考值	(58)
附录 C	等直径钢管起振临界风速 V_{cr}	(62)
	本标准用词说明	(64)
	引用标准名录	(65)
	附:条文说明	(67)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Crossing position and layout	(6)
4	Meteorological conditions	(7)
5	Selection of conductor and earth wire	(8)
6	Anti-vibration and anti-galloping of conductor and earth wire	(10)
7	Insulation coordination, lightning protection and grounding	(11)
8	Insulators and armour clamp	(16)
9	Tower height and tower head arrangement	(18)
10	Selection of tower type	(20)
11	Load	(21)
12	Material	(31)
13	Fundamental requirements for structure design	(37)
13.1	General requirements	(37)
13.2	Calculation of ultimate limit states and serviceability limit states	(37)
13.3	Fundamental requirements for structure	(39)
14	Constructional requirements of structure	(41)
14.1	Constructional requirements for angle tower	(41)
14.2	Constructional requirements for steel tubular tower	(42)

15	Foundation	(44)
15.1	Principle of foundation design and foundation type	(44)
15.2	General requirements for foundation design	(44)
16	Environmental protection	(47)
17	Labor safety and industrial health	(48)
18	Ancillary facilities	(49)
18.1	Ascending facilities	(49)
18.2	Aviation warning facilities	(49)
18.3	Other facilities	(49)
Appendix A	The method of conductor gallop checking	(51)
Appendix B	Reference value of m_1 for different insulators	(58)
Appendix C	Critical wind speed for breeze vibration of equal diameter tube	(62)
	Explanation of wording in this standard	(64)
	List of quoted standards	(65)
	Addition: Explanation of provisions	(67)

1 总 则

1.0.1 为规范特高压架空输电线路大跨越工程设计,做到安全可靠、先进适用、经济合理、资源节约、环境友好,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于交流 1000kV、直流±800kV 特高压架空输电线路大跨越工程设计。

1.0.3 特高压架空输电线路跨越通航江河、湖泊、海峡等,因档距较大(在 1000m 以上)或塔的高度较高,导线选型或塔的设计需予以特殊考虑,且发生故障时严重影响航运、交通或修复特别困难的耐张段应按大跨越设计。

1.0.4 特高压大跨越工程应遵循资源节约、环境友好的设计理念,方便运行,积极采用新技术、新材料、新工艺。

1.0.5 特高压大跨越工程设计除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 特高压架空输电线路 ultra-high voltage overhead transmission line

标称电压为交流 1000kV、直流±800kV 及以上的架空输电线路。

2.1.2 大跨越 long span crossing

特高压架空输电线路跨越通航江河、湖泊或海峡等,因档距较大(在 1000m 以上)或杆塔较高(交流在 150m 以上,直流在 130m 以上),导线选型或杆塔设计需特殊考虑,且发生故障时严重影响航运或修复特别困难的耐张段。

2.1.3 轻、中、重冰区 light/medium/heavy icing area

设计覆冰厚度为 10mm 及以下为轻冰区,设计覆冰厚度大于 10mm 小于 20mm 为中冰区,设计覆冰厚度为 20mm 及以上为重冰区。

2.1.4 基本风速 reference wind speed

取历年大风季节平均最低水位以上 10m 高度处 10min 的平均最大风速观测数据,经概率统计得出 100 年一遇最大值确定的风速。

2.1.5 稀有风速,稀有覆冰 rare wind speed, rare ice thickness

根据历史上记录存在,显著地超过历年记录频率曲线的严重大风、覆冰。

2.1.6 耐张段 strain section

两耐张铁塔间的线路部分。

2.1.7 平均运行张力 average operating tension

年平均气温计算情况下,弧垂最低点的导线或地线张力。

2.1.8 间隙 electrical clearance

线路任何带电部分与接地部分的最小距离。

2.1.9 保护角 shielding angle

通过地线的垂直平面与地线和被保护受雷击的外侧子导线平面之间的夹角。

2.2 符 号

2.2.1 作用与作用效应:

C ——结构或构件的裂缝宽度或变形的规定限值;

F ——漂流物作用在水位线上的冲撞力;

W ——漂流物的重力;

F_w ——流水对基础的压强;

R ——抗力,按本标准有关规定计算;

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数;

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应;

S_{EQK} ——导、地线张力可变荷载代表值的效应;

S_{EVK} ——竖向地震作用标准值的效应;

S_{GK} ——永久荷载标准值的效应;

S_{GE} ——永久荷载代表值的效应;

S_{Qik} ——第 i 项可变荷载标准值的效应;

S_{wk} ——风荷载标准值的效应;

T_R ——绝缘子的额定机械破坏负荷;

T ——绝缘子承受的最大使用荷载、断线、断联、验算荷载或常年荷载;

V ——基准高度为 10m 的风速;

W_I ——绝缘子串风荷载标准值;

W_0 ——基准风压标准值;

W_s ——杆塔风荷载标准值；

W_x ——垂直于导线及地线方向的水平风荷载标准值。

2.2.2 电工：

n ——每联绝缘子所需片数；

U ——线路电压，对于交流线路取标称线电压，对于直流线路取导线对地标称电压；

λ ——爬电比距。

2.2.3 计算系数：

B_1 ——导线、地线及绝缘子覆冰后风荷载增大系数；

B_2 ——构件覆冰后风荷载增大系数；

K ——基础柱的形状系数；

K_c ——单片绝缘子的爬电距离有效系数；

K_1 ——绝缘子串机械强度的安全系数；

α ——风压不均匀系数；

β_c ——导线及地线风荷载调整系数；

β_z ——杆塔风荷载调整系数；

ψ ——可变荷载组合系数；

ψ_{wE} ——抗震基本组合中的风荷载组合系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_{Qi} ——第 i 项可变荷载的分项系数；

γ_{Eh}, γ_{EV} ——水平、竖向地震作用分项系数；

γ_{EQ} ——导、地线张力可变荷载的分项综合系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

μ_s ——风荷载体型系数；

μ_{sc} ——导线或地线的体型系数；

μ_z ——风压高度变化系数。

2.2.4 几何参数：

A_s ——构件承受风压的投影面积计算值；

- D ——导线水平线间距离；
- D_p ——导线间水平投影距离；
- D_x ——导线三角排列的等效水平线间距离；
- D_z ——导线间垂直投影距离；
- f_c ——导线最大弧垂；
- L ——档距；
- L_0 ——单片绝缘子的几何爬电距离；
- L_k ——绝缘子串长度；
- L_s ——单片绝缘子的有效爬电距离。

3 跨越位置和跨越方式

3.0.1 跨越位置应结合一般线路路径方案,通过综合技术经济比较确定,并符合跨越所在区域的规划、航空、军事、航道、海事、水利、环保等相关部门的要求。

3.0.2 跨越位置的选择宜避开河道不稳定、地震断裂、崩塌滑坡、山洪冲刷等影响线路安全运行的地带,对于无法避开的,应采取可靠措施。必要时由专业部门针对跨越方案做综合评估。

3.0.3 大跨越杆塔宜设置在5年一遇洪水淹没区以外,并考虑50年堤岸冲刷变迁的影响。对于重要通航河流,跨越塔基础外缘应根据水利主管部门相关规定,与堤防坡脚保持安全距离。

3.0.4 在水中立塔,应考虑河床稳定和避开主航道,应按100年一遇水文数据考虑塔基冲刷深度及基础高度。

3.0.5 大跨越应自成耐张段。

3.0.6 跨越塔采用悬垂型或耐张型,应根据地形、地质、施工和运行等条件,通过技术经济比较确定。

3.0.7 对工程所在地及周边地区应进行舞动调查,存在舞动可能性的大跨越应合理选择跨越方案,宜避开易舞动地区、减小大跨越段线路走向与冬季主导风向夹角。

4 气象条件

4.0.1 设计气象条件,应根据跨越点附近的气象资料的数理统计结果,并考虑附近已有工程的运行经验确定,重现期按 100 年确定。

4.0.2 基本设计风速应按当地气象台、站 10 分钟时距平均的年最大风速作样本,并宜采用极值 I 型分布作为概率模型,取最大风速统计值。统计风速的高度取历年大风季节平均最低水位以上 10m。

4.0.3 大跨越基本风速,如无可靠资料,宜将附近陆上输电线路的风速统计值换算到跨越处历年大风季节平均最低水位以上 10m 处,并增加 10%。

4.0.4 考虑水面影响,基本风速还应增加 10%。

4.0.5 基本风速不应低于 30m/s,且不应低于与之相连接一般线路的基本风速。

4.0.6 大跨越设计冰厚,除无冰区外,导线设计冰厚宜较附近一般输电线路导线的设计覆冰增加 5mm;地线设计冰厚,除无冰区外,应较导线增加 5mm。

4.0.7 验算气象条件可按历史上有记录的稀有大风及覆冰资料选定。

5 导地线选择

5.0.1 导线和地线(含光纤复合架空地线)的选择,应进行综合技术经济比较,通过分析论证确定,宜采用已有运行经验的型号和线型,新制导线和地线时应进行相关试验。地线宜采用铝包钢绞线。当工程需采用光纤复合架空地线时,普通地线选型应与光纤复合架空地线匹配。

5.0.2 导线截面应按系统极限输送容量选择。验算导线载流量时,钢芯铝绞线和钢芯铝合金绞线的允许温度宜采用 $+90^{\circ}\text{C}$,钢芯铝包钢绞线(包括铝包钢绞线)的允许温度宜采用 $+100^{\circ}\text{C}$,或经试验确定。环境气温采用最高气温月的最高平均气温,风速采用 0.6m/s ,太阳辐射功率密度采用 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 。

5.0.3 1000kV 交流架空输电线路无线电干扰、湿导线的可听噪声设计控制值应符合现行国家标准《 1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665 的规定。

1000kV 线路的线下最大场强限值在居民区为 $7\text{kV}/\text{m}$,在非居民区为 $10\text{kV}/\text{m}$,线路临近民房时,房屋所在位置离地 1.5m 高处最大未畸变场强不应超过 $4\text{kV}/\text{m}$ 。

5.0.4 $\pm 800\text{kV}$ 直流架空输电线路无线电干扰、可听噪声(L50)的设计控制值应符合现行国家标准《 $\pm 800\text{kV}$ 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 的规定。

直流线路下晴天时地面合成场强和离子流密度限值不应超过表 5.0.4 的规定。线路邻近民房,民房所在地面湿导线情况下未畸变合成电场不应超过 $15\text{kV}/\text{m}$ 。

表 5.0.4 合成场强和离子流密度限值

	合成场强(kV/m)	离子流密度(nA/m ²)
居民区	25	80
一般非居民区 (如跨越农田)	30	100

5.0.5 地线除应满足短路电流热容量要求外,应按电晕起晕条件进行校验。交流工程地线表面静电场强与起晕场强之比不宜大于 0.8。直流工程地线表面最大场强不应大于 18kV/cm。

5.0.6 大跨越段的导线、地线,其单丝及绞线均不允许接头。

5.0.7 大跨越工程光纤复合架空地线的选择应优先考虑全铝包钢结构的线型,结构选型应考虑耐雷击性能,外层单丝直径不应小于 3.2mm。

5.0.8 工程未使用过的导线、地线产品及为工程新制的光纤复合架空地线应提供完整的型式试验报告,并经鉴定合格后方可使用。

5.0.9 导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5,悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。地线设计安全系数不应小于导线的设计安全系数。

5.0.10 在验算气象条件下,导线和地线的最大张力不应超过拉断力的 60%,悬挂点张力不应超过拉断力的 66%。

5.0.11 导线和地线平均运行张力的上限应根据防振措施确定,悬挂点的平均运行张力不应超过拉断力的 25%,或按运行经验确定。地线的平均运行张力百分数不宜大于导线的平均运行张力百分数。

5.0.12 导线和地线的塑性伸长率应根据试验数据或已有工程的验证值确定。架线时应计及对塑性伸长影响的补偿。

6 导地线防振和防舞

6.0.1 大跨越工程的防振、防舞设计应从实际出发,结合工程特点,灵活应用,积极慎重地采用具有成功经验的新设备、新方法。

6.0.2 导线、地线的防振宜采用防振锤、阻尼线或阻尼线加防振锤等防振措施,分裂导线应采用阻尼式间隔棒。

6.0.3 导、地线在悬垂线夹内均应安装预绞丝护线条,在防振锤、阻尼线线夹内宜安装预绞丝护线条。

6.0.4 为了控制分裂导线次档距振荡,导线分裂间距与直径之比宜大于 14。间隔棒的布置方案采用不等距安装,各间隔棒对档距中央呈不对称布置,最大次档距长度应根据计算确定,不宜过大。

6.0.5 施工架线过程中导、地线悬空以后,应及时安装临时防振装置,不得在无防振装置的情况下超过 12h。

6.0.6 为了验证防振设计的可靠性,架线完成及半年后均应进行测振,测振时间不少于 14 天。

6.0.7 在易舞地区新建的大跨越工程,应校验舞动情况下的电气间隙,采取提高杆塔、金具和绝缘子串的机械强度,加装或预留安装防舞装置等措施。舞动校验及防舞措施可按附录 A 执行。

7 绝缘配合、防雷和接地

7.0.1 特高压输电线路的绝缘配合,应使输电线路能在工频(工作)电压、操作过电压和雷电过电压等各种条件下安全可靠地运行。

7.0.2 在海拔高度 1000m 及以下地区,1000kV、±800kV 线路工频电压(工作电压)、操作过电压、雷电过电压要求下的悬垂绝缘子串绝缘子片数,不宜少于表 7.0.2-1、表 7.0.2-2 的数值。耐张绝缘子不需增加片数。

**表 7.0.2-1 1000kV 线路工频电压、操作过电压要求的
悬垂绝缘子串片数**

电压(kV)	工频电压	操作过电压	雷电过电压
盐密(mg/cm ²)	0.06	—	—
单片绝缘子 高度/爬距(mm)	195/485	195/485	195/485
绝缘子片数(片)	54	39	43

注:1 操作过电压中 1.7p. u. = 1909kV(中相已考虑 2 片零值)。

2 单回路塔全高 60m,冲击接地电阻 $R_{ch} = 15\Omega$ 满足 200kA 耐雷水平。

**表 7.0.2-2 ±800kV 输电线路轻污区要求的钟罩型
悬垂绝缘子串(“I”型)片数**

电压(kV)	工作电压	雷电过电压
盐密(mg/cm ²)	0.05	0.05
单片绝缘子 高度/爬距(mm)	195/635	195/635
绝缘子片数(片)	56	44

注:单回路塔全高 60m,冲击接地电阻 $R_{ch} = 15\Omega$ 满足 200kA 耐雷水平。

7.0.3 交流大跨越雷电过电压下所要求的实际绝缘子片数根据大跨越雷电过电压计算结果和运行经验确定。雷电过电压最小空气间隙应与雷电过电压片数相匹配。

7.0.4 特高压交流大跨越的防污绝缘设计,应依照审定的污秽分布图确定的污秽等级,并结合现场实际调查结果进行。绝缘子片数的确定可采用爬电比距法,也可采用污耐压法。当采用爬电比距法时,绝缘子片数应通过下式确定。

$$n \geq \frac{\lambda U}{L_s} \quad (7.0.4)$$

式中: n ——每串绝缘子所需片数;

λ ——爬电比距(cm/kV);

U ——系统标称电压(kV);

L_s ——单片绝缘子的有效爬电距离(cm), $L_s = K_c L_0$,其中,
 K_c 为单片绝缘子的爬电距离有效系数, L_0 为单片绝缘子的几何爬电距离。

7.0.5 特高压直流大跨越的防污绝缘设计,应依照审定的污秽分布图确定的污秽等级,并结合现场调查结果,确定污秽区对应的盐密和灰密。绝缘子片数应取污耐压法和爬电比距法计算结果的较大值。

7.0.6 特高压大跨越带电部分与杆塔构件(包括脚钉等)的间隙,在相应风偏条件下,不应小于表 7.0.6-1、表 7.0.6-2 所列数值。

表 7.0.6-1 1000kV 线路带电部分与杆塔构件的最小间隙(m)

作用电压类型	线路类型	最小空气间隙距离	
		海拔高度 500m	海拔高度 1000m
工频	单回	2.7	2.9
	同塔双回	2.7	2.9
操作	单回(边相 I 串)	5.6	6.0
	单回(中相 V 串)	6.7(7.9)	7.2(8.0)
	同塔双回	6.0	6.2
雷电	单回	不予规定	
	同塔双回	6.7	7.1
	大跨越	按绝缘子串雷电要求的放电电压的 80% 配合	

注:1 括号内数值为对上横担最小间隙值。

2 对雷电活动较强烈的山区可根据工程实际条件适当增大雷电最小空气间隙距离。

表 7.0.6-2 ±800kV 线路带电部分与杆塔构件的最小间隙(m)

作用电压类型	最小空气间隙距离	
	海拔高度(m)	
	500	1000
操作过电压(1.6p. u.)	4.9	5.3
工作电压	2.1	2.3
雷电过电压	按绝缘子串雷电要求的放电电压的 80%配合	

7.0.7 带电作业时带电部分对杆塔接地部分的校验间隙不应小于表 7.0.7-1、表 7.0.7-2 所列数值。±800kV 线路带电检修最小安全距离如表 7.0.7-3 所示。

表 7.0.7-1 1000kV 单回路带电作业时带电部分对杆塔接地部分的校验间隙(m)

海拔高度	500	1000
中相 V 串校验间隙	6.2	6.7
边相 I 串校验间隙	5.6	6.0

表 7.0.7-2 1000kV 双回路带电作业时带电部分对杆塔接地部分的校验间隙(m)

海拔高度	0	500
对塔身校验间隙	5.2	5.5
对下侧横担校验间隙	5.4	5.7

续表 7.0.7-2

海拔高度	0	500
对顶部构架校验间隙	6.5	6.8

- 注:1 对操作人员需要停留工作的部位,还应考虑人体活动范围 0.5m。
 2 校验带电作业的间隙时,采用的计算条件为:气温+15℃,风速 10m/s。
 3 带电作业间隙不作为铁塔设计的控制条件。

表 7.0.7-3 士800kV 直流线路带电作业时带电部分对杆塔接地部分的校验间隙(m)

位置	线路中点	线路起点
计算内容	最小安全距离	最小安全距离
地电位作业	6.9	5.8
等电位作业	6.9	5.9

- 注:1 对操作人员需要停留工作的部位,还应考虑人体活动范围 0.5m。
 2 校验带电作业的间隙时,采用的计算条件为:气温+15℃,风速 10m/s。
 3 带电作业间隙不作为铁塔设计的控制条件。

7.0.8 在一般土壤电阻率地区($500\Omega \cdot m$ 及以下),特高压大跨越工程的反击耐雷水平不宜低于 200kA,对发电厂、变电所进线段内的大跨越工程反击耐雷水平不宜低于 250kA。跨越段应沿全线架设双地线。

7.0.9 跨越塔上地线对边导线的防护宜采用负保护角。杆塔上两根地线之间的距离,不宜超过地线与导线间垂直距离的 5 倍,同时,根据特高压实际工程条件确定线路保护角。

7.0.10 宜用数值计算的方法确定档距中央导线与地线之间的距离。

7.0.11 大跨越杆塔的接地应采用逐腿接地方式,接地体引下线的截面不应小于 70mm^2 ,接地体应镀锌。在接地体的搭接处,应进行防腐处理。

7.0.12 大跨越杆塔接地电阻不应超过表 7.0.12 的数值。

表 7.0.12 大跨越杆塔接地电阻值

土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	≤ 100	$> 100 \sim 500$	$> 500 \sim 1000$	$> 1000 \sim 2000$	> 2000 ^②
工频接 地电阻(Ω)	5	7.5	10	12.5 ^①	15 ^①

注：①当塔较高且处于高土壤电阻率地区时，其工频接地电阻可不大于 10Ω 。

②当土壤电阻率大于 $2000\Omega \cdot m$ 时，工频接地电阻不宜大于 20Ω 。

8 绝缘子和金具

8.0.1 绝缘子的机械强度安全系数不应小于表 8.0.1 的数值。双联及以上的多联绝缘子串应验算断一联后的机械强度,其荷载及安全系数按断联情况考虑。

表 8.0.1 绝缘子的机械强度安全系数

情 况	安全系数
	盘形绝缘子
最大使用荷载	3.0
断线、断联情况	2.0
验算情况	1.8
常年荷载情况	5.0

绝缘子的机械强度安全系数应按下列式计算:

$$T_R \geq T/K_1 \quad (8.0.1)$$

式中: T_R ——绝缘子的额定机械破坏负荷(kN);

T ——绝缘子承受的最大使用荷载、断线、断联、验算荷载或常年荷载(kN),常年荷载是指年平均气温条件下绝缘子所承受的荷载,验算荷载是指验算条件下绝缘子所承受的荷载,断线、断联的气象条件是无风、有冰、 -5°C ;

K_1 ——绝缘子串机械强度的安全系数。

8.0.2 绝缘子串每串不得少于两联。

8.0.3 金具的强度安全系数不应小于表 8.0.3 的数值。

表 8.0.3 金具的强度安全系数

情 况	安全系数
最大使用荷载	3.0
断线、断联情况	2.0
验算情况	1.8

- 8.0.4** 绝缘子金具串安装前应进行试组装。
- 8.0.5** 与横担连接的第一个金具应转动灵活且受力合理,其强度应高于串内其他金具强度。
- 8.0.6** 光纤复合架空地线的悬垂线夹(型式、悬垂角、曲率半径等)和耐张线夹应根据工程情况、悬挂点局部弯曲引起的附加张力及光纤复合架空地线具体型式确定,悬垂宜使用双线夹。
- 8.0.7** 两端耐张金具串应有弧垂调整装置,调整长度应满足施工架线的要求。
- 8.0.8** 耐张线夹安装后,导线、地线和光纤复合架空地线的强度降低值不应超过抗拉强度的5%。
- 8.0.9** 采用非标准金具时,应通过试验验证。
- 8.0.10** 跳线、间隔棒、绝缘子串等金具设计的表面场强应满足要求。

9 塔高和塔头布置

9.0.1 导线至最高通航水位时最高桅顶的电气安全距离,不应小于表 9.0.1 所列数值。

表 9.0.1 最小电气安全距离

电压等级(kV)	1000	±800
最小电气安全距离(m)	10	10.5

9.0.2 跨越塔悬挂点高度的计算应考虑测量、设计和施工的综合误差,综合误差宜取表 9.0.2 所列数值。

表 9.0.2 测量、设计和施工的综合误差

跨越档档距(m)	1500 以下	1500~1800	1800~2000	2000~2500
综合误差(m)	1.8	2.0	2.2	2.8

9.0.3 导线的线间距离宜按下列要求,结合运行经验确定:

1 同一回路导线的水平线间距离,档距在 1000m 至 2500m 时,按档距中导线接近条件考虑,并用下式计算:

$$D=0.4L_k+K_U \cdot U/110+K \sqrt{f}+A \quad (9.0.3-1)$$

式中: D ——导线水平线间距离(m);

L_k ——悬垂绝缘子串长度(m);

K_U ——系数,对于 1000kV 交流线路, $K_U=1.0$,对于直流线路, $K_U=\sqrt{2}$;

U ——线路电压(kV),对于 1000kV 交流线路取标称线电压,对于直流线路取导线对地标称电压;

K ——系数,取 0.8~1.0;

f ——导线最大弧垂(m);

A ——增大系数,对于 1000kV 交流线路和 ±800kV 直流线

路,10mm~15mm 覆冰 $A=0$,20mm 覆冰 $A=0.5\text{m}$ 。

2 导线垂直排列的垂直线间距离,采用同一回路水平线间距离的 75%,并满足上层导线及其金具带电部分至下层横担构件的最小空气间隙所要求的距离。

3 导线三角排列的等效水平线间距离,可按下式计算:

$$D_x = \sqrt{D_p^2 + (4/3D_z)^2} \quad (9.0.3-2)$$

式中: D_x ——导线三角排列的等效水平线间距离(m);

D_p ——导线间水平投影距离(m);

D_z ——导线间垂直投影距离(m)。

9.0.4 上、下导线间及导线与地线间的水平偏移不宜小于 1m(无冰区的大跨越可根据运行经验适当减小),并按导线和地线不均匀脱冰时,跳跃接近及静态接近情况下,不发生导线间和导线与地线间的危险接近进行校验。

9.0.5 双回路塔上,不同回路的不同相导线间的水平或垂直距离,应比本标准第 9.0.3 条要求的线间距离大 0.5m。

9.0.6 在易舞区,考虑导线可能发生舞动,塔头布置时应校验舞动时运行电压要求的空气间隙值。

10 塔型选择

10.0.1 跨越塔塔型应通过综合技术经济比较确定,宜选用风荷载效应较小的结构。

10.0.2 钢结构跨越塔宜优先采用钢管塔,也可采用角钢塔。塔高与根开之比宜取 4~6。

10.0.3 耐张塔应采用自立式结构,并尽量降低塔高。双回路大跨越工程,耐张塔宜按单回路塔设计;当受到地形条件等限制时,可采用双回路耐张塔。

11 荷 载

11.0.1 荷载分类宜符合下列要求：

1 永久荷载：导线及地线、绝缘子及其附件、杆塔结构构件、杆塔上各种固定设备、基础以及土体等的重力荷载；土压力及预应力等荷载；

2 可变荷载：风和冰（雪）荷载；导线、地线及拉线的张力；安装检修的各种附加荷载；结构变形引起的次生荷载以及各种振动动力荷载。

11.0.2 杆塔的作用荷载宜分解为横向荷载、纵向荷载和垂直荷载。

11.0.3 各类杆塔均应计算线路正常运行情况、断线（含纵向不平衡张力）、不均匀覆冰情况和安装情况下的荷载组合，必要时尚应验算地震等稀有情况。

11.0.4 各类杆塔的正常运行情况应计算下列荷载组合，并考虑高差和档距不等在导、地线中产生的纵向不平衡荷载。耐张塔应按转角和终端两种状态计算。

1 基本风速、无冰、未断线（包括最小垂直荷载和最大横向荷载组合）；

2 设计覆冰、相应风速及气温、未断线；

3 最低气温、无冰、无风、未断线（仅适用于耐张塔）。

11.0.5 悬垂型跨越塔的断线（含纵向不平衡张力）情况，应按 -5°C 、无风、有冰的气象条件，计算下列荷载组合：

1 对单回路杆塔，任意一相（极）导线有纵向不平衡张力，地线未断；断任意一根地线，导线无纵向不平衡张力；

2 对双回路杆塔，同一档内，任意两相导线有纵向不平衡张力，地线未断；同一档内，断一根地线和任意一相导线有纵向不平

衡张力；同一档内，断两根地线，导线无纵向不平衡张力。

11.0.6 耐张型杆塔的断线情况应按 -5°C 、无风、有冰的气象条件，计算下列荷载组合：

- 1 同一档内，断任意一根地线，任意一相(极)导线有纵向不平衡张力；
- 2 同一档内，任意两相(极)导线有纵向不平衡张力，地线未断；
- 3 同一档内，断两根地线，导线无纵向不平衡张力。

11.0.7 20mm 中冰区及以下冰区导、地线断线张力(纵向不平衡张力)的取值不应低于表 11.0.7 规定的导、地线最大使用张力的百分数，垂直冰荷载按 100%设计冰荷载。

表 11.0.7 导、地线断线张力(或导线纵向不平衡张力)取值表(%)

覆冰厚度 (mm)	地线	悬垂跨越塔导线 (悬挂在固定线夹上)	耐张塔导线
<20	100	60	70
20	100	60	80

11.0.8 10mm 冰区不均匀覆冰的导、地线不平衡张力应按 -5°C 、有不均匀冰、10m/s 风速的气象条件和跨越段实际档距、高差计算，且不低于表 11.0.8 规定的数值。垂直荷载按不小于 75%设计冰荷载计算。各类杆塔均应考虑所有导、地线同时同向作用有不均匀覆冰的不平衡张力。

表 11.0.8 不均匀覆冰情况的导、地线不平衡张力(%)

悬垂型杆塔		耐张型杆塔	
导线	地线	导线	地线
10	20	30	40

15mm 及 20mm 中冰区不均匀覆冰的导、地线不平衡张力应按照现行行业标准《重覆冰架空输电线路设计技术规程》DL/T 5440 规定的覆冰气象条件和跨越段实际档距、高差计算。导、地线不平衡张力不应低于现行行业标准《重覆冰架空输电线路设计技术规程》DL/T 5440 规定的相应数值。垂直荷载按不小于 75%设计冰荷载

计算。各类杆塔均应考虑所有导、地线同时同向或同时不同向作用有不均匀覆冰不平衡张力。

11.0.9 各类杆塔在断线情况下的断线张力(含纵向不平衡张力),以及不均匀覆冰情况下的不平衡张力均应按静态荷载计算。

11.0.10 各类杆塔的安装情况,应按 10m/s 风速、无冰、相应气温的气象条件考虑下列荷载组合:

1 悬垂型杆塔的安装荷载应符合下列规定:

导、地线垂直荷载可按 1.5 倍自重计算,提升绝缘子和金具等荷载可按 2.0 倍自重计算,导、地线安装的附加荷载(包括安装工人和工具的重量)可按表 11.0.10 取值。

表 11.0.10 附加荷载标准值(kN)

电压等级 (kV)	导 线		地 线		跳线
	跨越塔	耐张塔	跨越塔	耐张塔	耐张塔
±800、1000	12.0	16.0	6.0	6.0	8.0

2 耐张型杆塔的安装荷载应符合下列规定:

1) 导线及地线荷载:

耐张塔应考虑线路侧导线和地线尚未架设和已经架设两种受力状态;

2) 临时拉线所产生的荷载:

耐张塔可不考虑临时拉线水平力的平衡作用,但应计入临时拉线产生的垂直荷载;

3) 导地线牵引绳产生的荷载:

紧线牵引绳对地夹角不宜大于 20°,计算紧线张力时应计及导、地线的初伸长、施工误差和过牵引的影响;

4) 安装时的附加荷载:

可按表 11.0.10 取值;

5) 安装动力系数取 1.1。

3 导、地线的架设次序,宜考虑自上而下、从左到右依次对称地逐相(极、根)架设。

4 与水平面夹角不大于 30° 、可以上人的杆塔构件,应能承受设计值 1000N 人重荷载,且不与其他荷载组合。

11.0.11 计算曲线型铁塔时,应考虑沿高度方向不同时出现最大风速的组合情况。

11.0.12 杆塔的验算情况按不断线考虑,作用荷载应按验算气象条件计算确定。验算冰情况,应按验算冰厚、 -5°C 、10m/s 风,所有导、地线同时同向存在不平衡张力。验算冰不均匀脱冰的不平衡张力,应按脱冰档内的脱冰重不小于计算覆冰冰重的 50% 计算。

11.0.13 大跨越工程的地震设计烈度应采用基本烈度,必要时可提高一度设防。

11.0.14 位于地震烈度为 9 度及以上地区的钢结构杆塔应进行抗震验算。

11.0.15 圆管构件应根据雷诺数 R_e 的不同情况进行横向风振(涡流脱落)校核。

11.0.16 作用在扶梯和走道上的风载计算方法与塔身相同,不考虑铁塔构件的屏蔽效应。扶梯和走道上的垂直荷载应考虑自重和可变荷载,其中可变荷载的标准值不宜小于 $2.5\text{kN}/\text{m}^2$,且不与其他荷载组合。作用在扶梯、走道、休息平台等栏杆顶部的水平荷载应取 $1.0\text{kN}/\text{m}$,竖向荷载应取 $1.2\text{kN}/\text{m}$,水平荷载与竖向荷载应分别考虑。

11.0.17 导线及地线的水平风荷载标准值和基准风压标准值,应按下列公式计算:

$$W_x = \alpha \cdot W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_{sc} \cdot \beta_c \cdot d \cdot L_p \cdot B_1 \cdot \sin^2 \theta \quad (11.0.17-1)$$

$$W_0 = V^2 / 1600 \quad (11.0.17-2)$$

式中: W_x ——垂直于导线及地线方向的水平风荷载标准值(kN);

α ——风压不均匀系数,应根据设计基本风速,按表 11.0.17 确定;

W_0 ——基准风压标准值(KN/m^2);

μ_z ——风压高度变化系数,基准高度为 10m 的风压高度变

化系数按表 11.0.21 取值；

μ_{sc} ——导线或地线的体型系数，线径小于 17mm 或覆冰时（不论线径大小），应取 $\mu_{sc} = 1.2$ ；线径大于或等于 17mm 时， μ_{sc} 取 1.1；

β_c ——导线及地线风荷载调整系数，仅用于计算作用于杆塔上的导线及地线风荷载（不含导线及地线张力弧垂计算和风偏角计算）， β_c 应按表 11.0.17 取值；

d ——导线或地线的外径或覆冰时的计算外径(m)，分裂导线取所有子导线外径的总和；

L_p ——杆塔的水平档距(m)；

B_1 ——导线、地线及绝缘子覆冰后风荷载增大系数，5mm 冰区取 1.1，10mm 冰区取 1.2，15mm 冰区取 1.3，20mm 冰区取 1.5~2.0；

θ ——风向与导线或地线方向之间的夹角(°)；

V ——基准高度为 10m 的风速(m/s)。

表 11.0.17 风压不均匀系数 α 和导地线风载调整系数 β_c

风速 v (m/s)		<20	$20 \leq v < 27$	$27 \leq v < 31.5$	≥ 31.5
α	计算 1000kV、 ±800kV 杆塔荷载	1.00	0.85	0.75	0.70
	设计杆塔(风偏计算用)	1.00	0.75	0.61	0.61
β_c	计算 1000kV、 ±800kV 杆塔荷载	1.00	1.10	1.20	1.30

注：对跳线计算 α 宜取 1.2。

11.0.18 杆塔风荷载的标准值，应按下式计算：

$$W_s = W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_s \cdot \beta_z \cdot B_2 \cdot A_s \quad (11.0.18)$$

式中： W_s ——杆塔风荷载标准值(kN)；

μ_s ——风荷载体型系数，按第 11.0.19 条的规定取值；

β_z ——杆塔风荷载调整系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 计算，但其加权平均值对自立

式铁塔不宜小于 1.6。基础设计时, β_z 取值可根据杆塔设计的 β_z 和塔位地质情况适当降低, 但加权平均值不应小于 1.3;

B_2 ——构件覆冰后风荷载增大系数, 5mm 冰区取 1.1, 10mm 冰区取 1.2, 15mm 冰区取 1.6, 20mm 冰区取 1.8, 20mm 以上冰区取 2.0~2.5;

A_s ——构件承受风压的投影面积计算值(m^2)。

11.0.19 构件的体型系数 μ_s 应符合下列规定:

1 角钢塔体型系数 μ_s 应取 $1.3(1+\eta)$, η 为塔架背风面风载降低系数, 应按表 11.0.19 取值。

表 11.0.19 塔架背风面风载降低系数 η

A_s/A b/a	≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	≥ 0.6
≤ 1	1.0	0.85	0.66	0.50	0.33	0.15
2	1.0	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30

注:1 A —塔架轮廓面积, m^2 ; a —塔架迎风面宽度, m ; b —塔架迎风面与背风面之间的距离, m 。

2 中间值可按线性插入法计算。

2 钢管塔体型系数 μ_s 应按下列规定取值:

1) 当 $\mu_z \cdot W_0 \cdot d^2 \leq 0.003$ 时, μ_s 值按角钢塔架的 μ_s 值乘以 0.8 采用, d 为钢管直径(m);

2) 当 $\mu_z \cdot W_0 \cdot d^2 \geq 0.021$ 时, μ_s 值按角钢塔架的 μ_s 值乘以 0.6 采用;

3) 当 $0.003 < \mu_z \cdot W_0 \cdot d^2 < 0.021$ 时, μ_s 值按插入法计算。

3 当铁塔为钢管和角钢等不同类型截面组成的混合结构时, 应按不同类型杆件迎风面积分别计算或按照杆塔迎风面积加权平均选用 μ_s 值。

11.0.20 绝缘子串风荷载的标准值, 应按下列式计算:

$$W_1 = W_0 \cdot \mu_z \cdot B_1 \cdot A_1 \quad (11.0.20)$$

式中: W_1 ——绝缘子串风荷载标准值(kN);

A_1 ——绝缘子串承受风压面积计算值(m^2)。

11.0.21 对于平坦或稍有起伏的地形,风压高度变化系数应根据地面粗糙度类别按表 11.0.21 的规定确定。

表 11.0.21 风压高度变化系数 μ_z

离地面或海 平面高度(m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.17	1.00	0.74	0.62
10	1.38	1.00	0.74	0.62
15	1.52	1.14	0.74	0.62
20	1.63	1.25	0.84	0.62
30	1.80	1.42	1.00	0.62
40	1.92	1.56	1.13	0.73
50	2.03	1.67	1.25	0.84
60	2.12	1.77	1.35	0.93
70	2.20	1.86	1.45	1.02
80	2.27	1.95	1.54	1.11
90	2.34	2.02	1.62	1.19
100	2.40	2.09	1.70	1.27
150	2.64	2.38	2.03	1.61
200	2.83	2.61	2.30	1.92
250	2.99	2.80	2.54	2.19
300	3.12	2.97	2.75	2.45
350	3.12	3.12	2.94	2.68
400	3.12	3.12	3.12	2.91
≥ 450	3.12	3.12	3.12	3.12

注:地面粗糙度类别:

A类指近海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区;

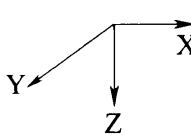
B类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区;

C类指有密集建筑群的城市市区;

D类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。

11.0.22 杆塔设计不同荷载组合,应按表 11.0.22 的规定考虑各个方向的荷载与作用。表中符号“O”表示该方向应包括这项荷载。

表 11.0.22 荷载组合的作用与方向

塔型	荷载情况	塔身风压				导、地线荷载与塔的重力荷载										备注		
		风向与 Y 轴夹角				X 方向				Y 方向				Z 方向				
		90°	60°	45°	0°	W_x	T_x	P_x	M_x	W_y	T_y	P_y	M_y	G_t	G_e			
直线塔	运行	大风	0				0	0					0			0	0	 <p>X 为垂直线路方向 Y 为并行线路方向 Z 为垂直地面方向</p>
		大风		0			0	0			0	0				0	0	
		大风			0		0	0			0	0				0	0	
		大风				0	0	0			0	0				0	0	
	覆冰	覆冰	0				0	0		0						0	0	
		不均匀覆冰	0				0	0		0						0	0	
	安装	安装	0				0	0		0		0	0	0	0	0	0	
	断线	断线						0		0	0	0	0	0	0	0	0	
	舞动	舞动	0				0	0			0					0	0	
	验算	大风	0				0	0			0					0	0	
		大风		0			0	0			0	0				0	0	
		大风			0		0	0			0	0				0	0	
		大风				0	0	0			0	0				0	0	
	覆冰	覆冰	0				0	0		0					0	0	包括不均匀脱冰	
	地震	地震	0				0	0			0				0	0	—	
	风振	风振	0				0	0			0				0	0	适用于圆形断面构件的风激振动	

续表 11.0.22

塔型	荷载情况	塔身风压				导、地线荷载与塔的重力荷载										备注
		风向与 Y 轴夹角				X 方向				Y 方向				Z 方向		
		90°	60°	45°	0°	W_x	T_x	P_x	M_x	W_y	T_y	P_y	M_y	G_t	G_e	
耐张塔	运行	大风	0			0	0				0			0	0	—
					0	0	0			0	0			0	0	—
					0	0				0	0			0	0	—
	验算	覆冰	0			0	0		0		0			0	0	—
		不均匀覆冰	0			0	0		0		0			0	0	—
		低温					0				0			0	0	—
	安装	安装	0			0			0		0			0	0	—
		断线					0	0	0		0	0	0	0	0	—
		舞动	0				0	0		0		0	0	0	0	—
	验算	大风		0			0	0			0			0	0	—
						0	0	0		0	0			0	0	—
						0	0			0	0			0	0	—
		覆冰	0				0	0		0			0	0	包括不均匀脱冰	
		地震	0				0	0			0			0	0	—
	风振	0				0	0			0			0	0	适用于圆形断面构件的风激振动	

注： W_x 、 W_y —导线、地线和绝缘子风压在 X、Y 方向的分量； T_x 、 T_y —导线、地线张力和不平衡张力在 X、Y 方向的分量； G_t —塔和设备质量； P_x 、 P_y —导线、地线断线张力在 X、Y 方向的分量； M_x 、 M_y —不对称张力或不对称垂直质量引起的扭矩或弯矩在 X、Y 方向的分量； G_e —导线、地线和绝缘子等质量，以及安装时导线、地线张力的垂直分量。

11.0.23 风向与导、地线方向或塔面成夹角时，导线、地线风载在

垂直和顺线条方向的分量,塔身和横担风载在塔面两垂直方向的分量,按表 11.0.23 取值。

表 11.0.23 角度风吹时风荷载分配表

风向角 θ ($^{\circ}$)	线条风荷载		塔身风荷载		水平横担风荷载		备注
	X	Y	X	Y	X	Y	
0	0	$0.25W_x$	0	W_{sb}	0	W_{sc}	
45	$0.5W_x$	$0.15W_x$	$\varphi \times 0.424 \times (W_{sa} + W_{sb})$	$\varphi \times 0.424 \times (W_{sa} + W_{sb})$	$\varphi \times 0.35W_{sc}$	$\varphi \times 0.7W_{sc}$	
60	$0.75W_x$	0	$\varphi \times (0.747W_{sa} + 0.249W_{sb})$	$\varphi \times (0.431W_{sa} + 0.144W_{sb})$	$\varphi \times 0.45W_{sc}$	$\varphi \times 0.55W_{sc}$	
90	W_x	0	W_{sa}	0	$0.50W_{sc}$	0	

- 注: 1 X、Y 分别为垂直与顺导、地线方向风荷载的分量。
 2 W_x 为风垂直导、地线方向吹时, 导、地线风荷载标准值。
 3 W_{sa} 、 W_{sb} 分别为风垂直于“a”面及“b”面吹时, 塔身风荷载标准值。
 4 W_{sc} 为风垂直于横担正面吹时, 横担风荷载标准值。
 5 塔身及横担风荷载系数 φ , 对单肢构件取 1.0, 对组合构件取 1.1。

12 材 料

12.0.1 钢材的材质应根据结构的重要性、结构形式、连接方式、钢材厚度和结构所处的环境及气温等条件进行合理选择。钢材牌号宜采用 Q235、Q345、Q390 和 Q420，有条件时也可采用 Q460。钢材的质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

12.0.2 钢材质量等级应满足不低于 B 级钢的质量要求。当结构工作温度不高于 -40°C 时，Q235、Q345 和 Q390 的焊接构件和 Q420 钢材质量等级应满足不低于 C 级钢的质量要求，Q460 钢材质量等级应满足不低于 D 级钢的质量要求，螺栓孔应采用钻孔工艺。

12.0.3 当采用 40mm 及以上厚度的钢板时，应采取防止钢材层状撕裂的措施。

12.0.4 结构连接宜采用 4.8、5.8、6.8、8.8 级热浸镀锌螺栓和螺母，有条件时也可使用 10.9 级螺栓，其材质和机械特性应分别符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 和《紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹》GB/T 3098.2 及《输电线杆塔及电力金具用热浸镀锌螺栓与螺母》DL/T 284 的规定。

12.0.5 钢材手工焊焊接用焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 和《热强钢焊条》GB/T 5118 的规定。

12.0.6 自动焊和半自动焊应采用与主体金属强度相适应的焊丝和焊剂，应保证熔敷金属的力学性能不低于现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293 和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 中相关的规定，且抗拉强度不应低于相应手工焊焊条的数值。

12.0.7 不同强度的钢材相焊接时,可按强度较低的钢材选用焊接材料。

12.0.8 钢管管材不宜采用屈服强度 f_y 超过 345N/mm^2 以及屈强比 f_y/f_u 大于 0.8 的钢材。有经验时,也可采用屈服强度 f_y 高于 345N/mm^2 以及屈强比 f_y/f_u 大于 0.8 的钢材。

12.0.9 钢材(型钢)机械性能指标应按表 12.0.9 采用。

表 12.0.9 钢材(型钢)机械性能指标

标准代号	牌号	质量等级	拉伸试验						180°冷弯试验 d 为弯心直径 (mm) a 为试样厚度 (直径)(mm)
			屈服点 f_y (N/mm^2)			抗拉强度 f_u (N/mm^2)	断后伸长率 (%)		
			钢材厚度 (直径)(mm)						
			≤ 16	>16 ~ 40	$>40\sim 60$ 或 $>40\sim 63$				
GB/T 700 —2006	Q235	A~E	235	225	215 ($>40\sim 60$)	370~500	26	25 ($>40\sim 60$)	纵: $d=a$ 横: $d=1.5a$
GB/T 1591— 2008	Q345	A、B	345	335	325 ($>40\sim 63$)	470~630	20	19($>40\sim 63$)	$d=2a\leq 16$ $d=3a> 16\sim 100$
		C~E					21	20($>40\sim 63$)	
	Q390	A~E	390	370	350 ($>40\sim 63$)	490~650	20	19($>40\sim 63$)	
	Q420	A~E	420	400	380 ($>40\sim 63$)	520~680	19	18	
	Q460	C~E	460	440	420 ($>40\sim 63$)	550~720	17	16	

注:GB/T 700—2006 与 GB/T 1591—2008 在厚度分档上有所不同,故用括号内数字区别说明。

12.0.10 钢材(型钢)物理性能指标应按表 12.0.10 采用。

表 12.0.10 钢材(型钢)物理性能指标

弹性模量 E (N/mm^2)	剪切模量 G (N/mm^2)	线弹性系数 α (以每 $^{\circ}C$ 计)	质量密度 (kg/m^3)
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

12.0.11 钢材的强度设计值应按表 12.0.11 采用。

表 12.0.11 钢材强度设计值(N/mm^2)

类别		厚度或直径 (mm)	抗拉	抗压和抗弯	抗剪	孔壁承压*
钢 材	Q235	≤ 16	215	215	125	370
		$> 16 \sim 40$	205	205	120	
		$> 40 \sim 60$	200	200	115	
		$> 60 \sim 100$	190	190	110	
	Q345	≤ 16	310	310	180	510
		$> 16 \sim 35$	295	295	170	490
		$> 35 \sim 50$	265	265	155	440
		$> 50 \sim 100$	250	250	145	415
	Q390	≤ 16	350	350	205	530
		$> 16 \sim 35$	335	335	190	510
		$> 35 \sim 50$	315	315	180	480
		$> 50 \sim 100$	295	295	170	450
	Q420	≤ 16	380	380	220	560
		$> 16 \sim 35$	360	360	210	535
		$> 35 \sim 50$	340	340	195	510
		$> 50 \sim 100$	325	325	185	480
	Q460	≤ 16	415	415	240	595
		$> 16 \sim 35$	395	395	230	575
		$> 35 \sim 50$	380	380	220	560
		$> 50 \sim 100$	360	360	210	535

注：* 适用于构件上螺栓端距大于或等于 $1.5d$ (d 为螺栓直径)。

12.0.12 螺栓和锚栓的强度设计值应按表 12.0.12 采用。

表 12.0.12 螺栓和锚栓强度设计值(N/mm²)

材料		类别	厚度或直径 (mm)	抗拉	抗压和 抗弯	抗剪	螺杆 承压*
镀锌 粗制 螺栓 (C级)	4.8级	标称直径 $d \leq 39$		200	—	170	420
	6.8级	标称直径 $d \leq 39$		300	—	240	600
	8.8级	标称直径 $d \leq 39$		400	—	300	800
	10.9级	标称直径 $d \leq 39$		500	—	380	900
锚栓	Q345钢	外径 ≥ 16		205	—	—	—
	45号优质 碳素钢	外径 ≥ 16		215	—	—	—
	40Cr合金 结构钢	外径 ≥ 16		260	—	—	—
	42CrMo合金 结构钢	外径 ≥ 16		310	—	—	—

注:1 *适用于构件上螺栓端距大于或等于 $1.5d$ (d 为螺栓直径)。

2 8.8级及以上高强度螺栓应具有塑性性能和强度试验项目的合格证明。

3 40Cr合金结构钢、42CrMo合金结构钢抗拉强度为热处理后的强度,热处理后的材料机械性能应满足现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077的要求。

12.0.13 焊缝的强度设计值应按表 12.0.13 采用。

表 12.0.13 焊缝强度设计值(N/mm²)

焊接方法和 焊条型号	构件钢材		对接焊缝			角焊缝 抗拉、 抗压和 抗剪 f_w^v	
	牌号	厚度或 直径(mm)	抗压 f_w^c	焊缝质量为下列 等级时,抗拉 f_w^t			抗剪 f_w^v
				一级、二级	三级		
自动焊、半 自动焊和 E43 型 焊条的手工焊	Q235 钢	≤ 16	215	215	185	125	
		$> 16 \sim 40$	205	205	175	120	
		$> 40 \sim 60$	200	200	170	115	
		$> 60 \sim 100$	190	190	160	110	

续表 12.0.13

焊接方法和 焊条型号	构件钢材		对接焊缝			角焊缝
	牌号	厚度或 直径(mm)	抗压 f_c^w	焊缝质量为下列 等级时,抗拉 f_t^w		抗剪 f_v^w
				一级、二级	三级	
自动焊、半 自动焊和 E50 型焊条的手工焊	Q345 钢	≤ 16	310	310	265	180
		$> 16 \sim 35$	295	295	250	170
		$> 35 \sim 50$	265	265	225	155
		$> 50 \sim 100$	250	250	210	145
自动焊、半 自动焊和 E55 型焊条的手工焊	Q390 钢	≤ 16	350	350	300	205
		$> 16 \sim 35$	335	335	285	190
		$> 35 \sim 50$	315	315	270	180
		$> 50 \sim 100$	295	295	250	170
	Q420 钢	≤ 16	380	380	320	220
		$> 16 \sim 35$	360	360	305	210
		$> 35 \sim 50$	340	340	290	195
		$> 50 \sim 100$	325	325	275	185
自动焊、半 自动焊和 E60 型焊条的手工焊	Q460 钢	≤ 16	415	415	350	240
		$> 16 \sim 35$	395	395	335	230
		$> 35 \sim 50$	380	380	320	220
		$> 50 \sim 100$	360	360	305	210

- 注:1 自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂,应保证其熔敷金属的力学性能不低于现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293 和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 中相关的规定。
- 2 焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定,其中,厚度小于 8mm 钢材的对接焊缝不应采用超声波探伤确定焊缝质量等级。
- 3 对接焊缝在受压区的抗弯强度设计值取 f_c^w ,在受拉区的抗弯强度设计值取 f_t^w 。
- 4 表中厚度系指计算点的钢材厚度,对轴心受拉和受压构件系指截面中较厚板件的厚度。

12.0.14 混凝土的轴心抗压、轴心抗拉强度设计值 f_c 、 f_t 应按表 12.0.14 采用。

表 12.0.14 混凝土强度设计值(N/mm²)

强度 种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

12.0.15 普通钢筋的强度设计值 f_y 应按表 12.0.15 采用。

表 12.0.15 普通钢筋强度设计值(N/mm²)

种 类		直径 d (mm)	强度设计值
热轧钢筋	HPB300	6~22	270
	HRB335、HRBF335	6~50	300
	HRB400、HRBF400、RRB400	6~50	360

注：1 热轧钢筋直径 d 系指公称直径。

2 当采用直径大于 40mm 的钢筋时，应有可靠的工程经验。

13 结构设计基本规定

13.1 一般规定

13.1.1 结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计法,结构构件的可靠度采用可靠指标度量,极限状态设计表达式采用荷载代表值、材料性能标准值、几何参数标准值以及各种分项系数等表达。

13.1.2 结构的极限状态是指结构或构件在规定的各种荷载组合作用下或在各种变形或裂缝的限值条件下,满足线路安全运行的临界状态。极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态。

1 承载力极限状态:结构或结构构件达到最大承载力或不适于继续承载的变形;

2 正常使用极限状态:结构或结构构件的变形或裂缝等达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。

13.1.3 结构或构件的强度、稳定和连接强度,应按承载力极限状态的要求,采用荷载的设计值和材料强度的设计值进行计算;结构或构件的变形或裂缝,应按正常使用极限状态的要求,采用荷载的标准值和正常使用规定限值进行计算。

13.2 承载能力和正常使用极限状态计算

13.2.1 结构或构件的承载力极限状态应采用下式表达:

$$\gamma_0(\gamma_G \cdot S_{GK} + \psi \cdot \sum \gamma_{Qi} \cdot S_{QiK}) \leq R \quad (13.2.1)$$

式中: γ_0 ——杆塔结构重要性系数,不应小于 1.1;

γ_G ——永久荷载分项系数,对结构受力有利时不大于 1.0,不利时取 1.2;

S_{GK} ——永久荷载标准值的效应;

ψ ——可变荷载组合系数,正常运行情况取 1.0,断线情况、安装情况和不均匀覆冰情况取 0.9,验算情况取 0.75;

γ_{Qi} ——第 i 项可变荷载的分项系数,取 1.4;

S_{QiK} ——第 i 项可变荷载标准值的效应;

R ——结构构件的抗力设计值。

13.2.2 结构或构件的正常使用极限状态应采用下式表达:

$$S_{GK} + \psi \cdot \sum S_{QiK} \leq C \quad (13.2.2)$$

式中: C ——结构或构件的裂缝宽度或变形的规定限值。

13.2.3 结构或构件承载力的抗震验算应采用下式表达:

$$\begin{aligned} &\gamma_G \cdot S_{GE} + \gamma_{Eh} \cdot S_{Ehk} + \gamma_{EV} \cdot S_{EVK} \\ &+ \gamma_{EQ} \cdot S_{EQK} + \psi_{wE} \cdot S_{wk} \leq R/\gamma_{RE} \end{aligned} \quad (13.2.3)$$

式中: γ_G ——永久荷载分项系数,对结构受力有利时取 1.0,不利时取 1.2,验算结构抗倾覆或抗滑移时取 0.9;

S_{GE} ——永久荷载代表值的效应;

γ_{Eh}, γ_{EV} ——水平、竖向地震作用分项系数,应按表 13.2.3-1 的规定采用;

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应;

S_{EVK} ——竖向地震作用标准值的效应;

γ_{EQ} ——导、地线张力可变荷载的分项综合系数,取 0.5;

S_{EQK} ——导、地线张力可变荷载代表值的效应;

ψ_{wE} ——抗震基本组合中的风荷载组合系数,可取 0.3;

S_{wk} ——风荷载标准值的效应;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,应按表 13.2.3-2 采用。

表 13.2.3-1 地震作用分项系数

地震作用		γ_{Eh}	γ_{EV}
仅计算水平地震作用		1.3	0.0
仅计算竖向地震作用		0.0	1.3
同时计算水平 与竖向地震作用	水平地震作用为主时	1.3	0.5
	竖向地震作用为主时	0.5	1.3

表 13.2.3-2 承载力抗震调整系数

结 构 构 件	承载力抗震调整系数
铁塔拉压构件	0.85
钢管混凝土构件	0.80
焊缝和螺栓	1.00

13.3 结构基本规定

13.3.1 在荷载的长期效应组合(无冰、风速 5m/s 及年平均气温)作用下,杆塔的计算挠曲度(不包括基础倾斜)不应超过下列数值:

- | | |
|-----------|-----------|
| 1 悬垂直线跨越塔 | $3h/1000$ |
| 2 耐张塔 | $7h/1000$ |

注: h 为基础顶面起至计算点高度。对耐张塔,设计应提出施工预偏的要求。

13.3.2 钢结构构件允许最大的长细比:

- | | |
|-----------------------|-----|
| 1 受压主材 | 150 |
| 2 受压材 | 200 |
| 3 辅助材 | 250 |
| 4 受拉材(预拉力的拉杆可不受长细比限制) | 400 |

13.3.3 钢管构件长细比的确定尚应考虑风激横向振动效应。钢管构件的起振临界风速 v_{cr} ,可根据钢管构件的长细比和两端连接情况由附录 C 求得,一阶起振临界风速不应小于 8m/s。

13.3.4 杆塔铁件应采用热浸镀锌防腐,或采用其他等效的防腐措施。

13.3.5 受剪螺栓的螺纹不应进入剪切面。当无法避免螺纹进入剪切面时,应按净面积进行剪切强度验算。

13.3.6 全塔螺栓应采取防松措施。受拉螺栓及位于横担、顶架等易振动部位的螺栓宜采取双帽防松措施。地面以上 10m 范围内塔腿上的连接螺栓宜采取防卸措施。

13.3.7 当铁塔底脚板用地脚螺栓与基础连接时,宜在底脚板下设置抗剪键。

13.3.8 构件长细比较小时,应考虑节点刚度所引起的次弯矩影响。

14 结构构造要求

14.1 角钢塔构造要求

14.1.1 常用组合构件的断面型式见图 14.1.1。

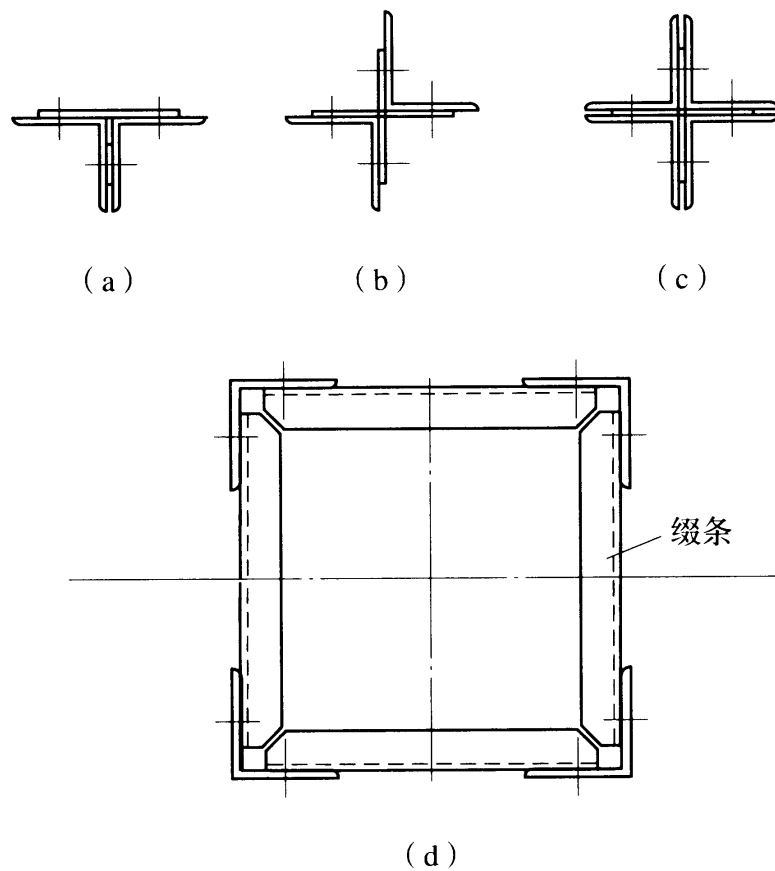


图 14.1.1 组合构件断面图

14.1.2 用填板连接而成的双角钢和四角钢构件,其填板之间的距离不应超过下列数值:

受压构件: $40r$

受拉构件: $80r$

注: r 为截面的回旋半径。

当使用图 14.1.1 中(a)、(c)所示断面时,取一个角钢对与板平行的形心轴的回旋半径;当使用图 14.1.1 中(b)所示断面时,取一个角钢的最小回旋半径。受压构件的两个侧向支承点之间的缀板数量不得少于 2 个。

图 14.1.1 中(d)所示断面是一个由 4 根角钢和缀条组成的格构式轴心受力构件的断面型式,其分枝的长细比 λ 不应大于构件两个方向长细比(对虚轴取换算长细比)的较大值 λ_{\max} 的 0.7 倍。斜缀条与构件轴线之间的夹角应控制在 $40^\circ \sim 70^\circ$ 范围内。缀条宜布置在构件断面的内侧,减小构件的受风面积。格构式构件在横向力作用处和安装吊点均应设置横隔。

14.1.3 斜材与主材的夹角不应小于 15° 。

14.2 钢管塔构造要求

14.2.1 圆钢管的外直径与壁厚之比不应超过 $90(235/f_y)$; 方形管或矩形管的_{最大外缘尺寸与壁厚之比不应超过 $40\sqrt{235/f_y}$, 不满足上述构造要求时,强度设计值应予折减。}

14.2.2 当主材长径比不小于 12、斜材长径比不小于 24 时,可按照空间桁架铰接体系进行结构内力分析。否则,应考虑主材刚度、节点刚性的影响。

14.2.3 主材与斜材的连接可采用直接焊接、节点板和螺栓连接等形式。主材和斜材之间采用直接焊接(或称为相贯连接)如图 14.2.3 中(a)所示。主材与斜材采用节点板和螺栓连接[见图 14.2.3 中(b)、(c)],但节点两端应设置加强板。加强板宜呈扇形或梯形,其所对应的圆心角不宜小于 30° ,位于同一平面内的相邻加强板应连成为一块。节点板自由边长度 L_f 与厚度 t 之比不应大于 $60\sqrt{235/f_y}$ 。

14.2.4 钢管主材与斜材轴线之间、斜材与斜材轴线之间的夹角不宜小于 30° 。

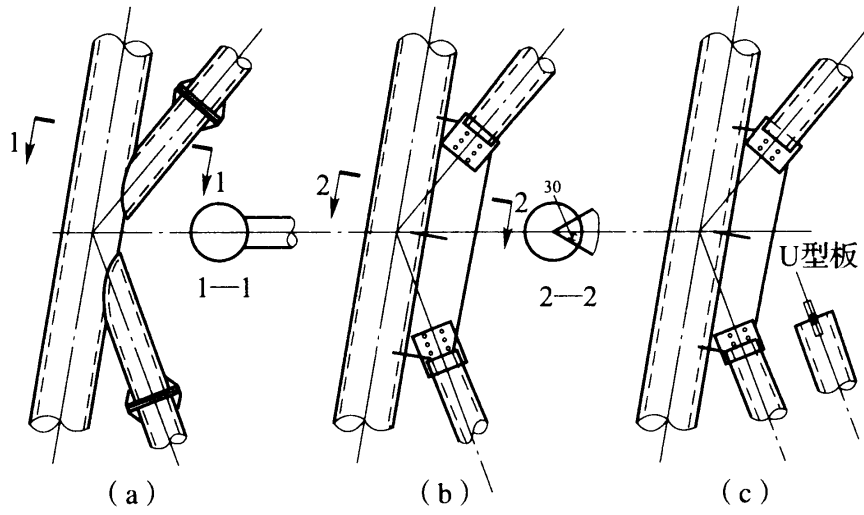


图 14.2.3 腹杆节点连接图

15 基 础

15.1 基础基本设计原则和型式

15.1.1 基础设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，在规定的各种荷载组合作用下或各种变形的限值条件下，满足特高压大跨越线路安全运行的要求。

15.1.2 基础设计应根据跨越的地形、施工条件、岩土工程勘察资料合理选择基础型式，避免破坏自然环境，满足安全、经济、环保的要求。

15.1.3 基础型式宜采用人工挖孔桩、钻孔灌注桩、预制桩、钢桩等桩基础。当地质条件较好时，也可采用掏挖基础、岩石基础、板式基础等型式。

15.1.4 桩基础的单桩竖向承载力和水平承载力的设计值应分别通过单桩竖向和单桩水平静力载荷试验确定。在同一条件下的试桩数量不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。

15.2 基础设计一般规定

15.2.1 基础应进行稳定(包括上拔、下压及倾覆)计算、强度计算。必要时，尚应进行水平位移、不均匀沉降、抗滑移、基础裂缝等计算。

15.2.2 基础位于地震烈度 7 度及以上地震区时，对饱和砂土和饱和粉土应考虑地震引起液化的可能性，基础设计应采取必要的稳定地基或基础的抗震措施。液化判别深度不应超过 20m。

15.2.3 对膨胀土、冻土、湿陷性黄土、盐渍土等特殊地质应按照相关规范设计。

15.2.4 当基础设置在河床内、堤外(迎水面)滩地时,应考虑冲刷影响、动水压力、漂流物的作用等。当基础所在的河流可能严重冰冻时,应考虑冻融期的拥冰堆积作用。荷载组合应考虑下列情况:

1 设计风荷载和相应的冲刷深度(宜取最大冲刷深度的50%~70%),荷载组合系数为1.0;

2 最大冲刷深度和50%设计风荷载,荷载组合系数为1.0;

3 最大冲刷深度和50%设计风荷载并同时考虑漂流物及水流的作用,所有荷载组合系数均取0.75。当与1、2项组合相比基础造价增加过多时,宜采取防护措施。

15.2.5 漂流物对基础的冲撞力应按下列式计算:

$$F = \frac{WV_w}{gT} \quad (15.2.5-1)$$

式中: F ——漂流物作用在水位线上的冲撞力(kN);

W ——漂流物的重力(kN);

V_w ——水流速度(m/s);

g ——重力加速度, $g=9.81\text{m/s}^2$;

T ——撞击时间,如无数据,可取1s。

流水对基础产生的压力应按下列式计算:

$$F_w = KA \frac{\gamma V_w^2}{2g} \quad (15.2.5-2)$$

式中: F_w ——流水对基础的压强(kN);

K ——基础柱的形状系数,正方形断面取1.5,长方形断面(长边与水流平行)取1.3,圆形断面取0.8,尖端形断面取0.7,圆端形断面取0.6;

A ——计算至一般冲刷处的基础阻水面积(m^2);

γ ——水的密度(kN/m^3)。

流水压力作用在设计水位线以下1/3处。

15.2.6 基础的倾斜率允许值应按表15.2.6采用。

表 15.2.6 基础倾斜率允许值

塔的总高度 $H(\text{m})$	倾斜率允许值 $\tan\theta(\%)$
$50 < H \leq 100$	0.50
$100 < H \leq 150$	0.40
$150 < H \leq 200$	0.30
$200 < H \leq 250$	0.20
$250 < H \leq 300$	0.15
$300 < H \leq 400$	0.10

15.2.7 环境对基础有腐蚀作用(如海水侵蚀、大气污染、地下水腐蚀、盐碱地等)时,基础设计应采取有效的防腐措施。

15.2.8 当桩基础处于湿陷性黄土及液化土时,需考虑负摩阻力的影响。

15.2.9 桩基础宜按摩阻端承桩设计,如桩尖嵌入基岩、圆砾、卵石层时,不宜采用打入桩。

15.2.10 基础应采取有效措施防止温度应力和收缩应力引起的裂缝。

16 环境保护

16.0.1 大跨越工程设计应符合国家环境保护、水土保持的有关法律法规要求。在设计阶段,应做相应的环境影响评价、环境保护工程设计和编制水土保持方案报告。

16.0.2 交流大跨越线路临近居住建筑时,居住建筑所在位置距地 1.5m 高处最大未畸变场强不得超过 4kV/m;直流大跨越线路临近居住建筑时,居住建筑所在地面湿导线情况下未畸变合成电场不得超过 15kV/m。

16.0.3 大跨越工程应减小因施工、运输等对周边环境的影响。施工结束后,应对周边环境进行恢复。

17 劳动安全和工业卫生

17.0.1 大跨越工程设计时,应满足国家规定的有关防火、防爆、防尘、防毒及劳动安全与卫生等的要求。

17.0.2 大跨越杆塔应采取高空作业工作人员的安全保护措施。

17.0.3 大跨越工程施工时,应针对由邻近输电线路可能产生的感应电压采取安全保护措施。

17.0.4 大跨越工程建成通电后,对平行接近或交叉的其他输电线路、通信线等存在感应电压影响时,邻近线路在施工、运行和维修时应做好安全措施。

17.0.5 在封航、架线等施工过程中,应按有关规定落实好安全、警示措施,确保安全施工。

18 附属设施

18.1 登塔设施

18.1.1 跨越塔宜设置动力提升装置和爬梯。动力提升装置宜结构简单、安全可靠、便于维修。所有设施接近地面的部分应具有防卸和封闭功能。

18.1.2 各类登塔设施可按以下原则进行设置：

1 动力提升装置可采用电梯或攀爬机。电梯应至少配有一套可靠电源和一套备用电源，载重量不宜小于 500kg，攀爬机载重量不宜小于 200kg；

2 旋梯梯宽不宜小于 600mm，并应设置高度不小于 1.2m 的护栏，当旋梯跨度超过 8m 时，应设置桁架托梁；

3 直爬梯应设置于塔面的适当位置上，并有可靠的支承点，梯宽宜为 450mm~500mm，踏步间距宜为 350mm~400mm，护圈直径不宜小于 600mm；

4 休息平台宜结合塔身隔面设置，间隔 30m~40m，并应设置高度不小于 1.2m 的护栏；

5 跨越塔主材、钢管塔带有中间节点的水平材和斜材应设置脚钉，间距宜为 400mm~450mm。

18.2 警航设施

18.2.1 跨越塔应根据航空和航道管理的有关要求，安装可靠耐用的航空障碍灯和警示标志。

18.2.2 航空障碍灯的备用光源应具备自投入功能。

18.3 其他设施

18.3.1 跨越塔导、地线横担和通往航空障碍灯处均应设置安全

走道,宽度不宜小于 600mm,两侧应设置高度不小于 1.2m 的护栏。走道应与登塔设施(或平台)相连接,并能到达各挂线点和需维护设备的位置。

18.3.2 在通航(或水中有漂流物冲撞)河流中立塔,应考虑外力撞击作用,必要时采取防冲撞保护设施。

18.3.3 大跨越工程可根据运行维护需要设置附属建筑设施和在线监测装置。

18.3.4 铁塔应根据加工、施工、运行的要求设置相应的辅助孔(件)。

附录 A 舞动校验方法

A.1 加大舞动电气间隙

A.1.1 舞动电气间隙是指相导线间或相导线对地线间的电气间隙。

加大舞动电气间隙是指适当加大相导线间或相导线对地线间的电气间隙,在线路舞动时不致因舞动产生短路和电弧烧伤。对于易舞动地区的大跨越,应根据其特点及舞动强度选择电气间隙。在海拔 1000m 以下地区,相间及相对地最小电气间隙不应小于表 A.1.1 所列数值,以保证舞动后不发生相间闪络及相对地短路跳闸。

表 A.1.1 各电压等级的最小电气间隙

电压等级(kV)	1000	±800
相间隙(m)	5.2	5.3
相对地间隙(m)	3.1	2.65

A.1.2 塔头尺寸及相间、相对地的间距设计可依照如下的方法进行。

假定导线舞动时地线不舞动,此时地线仅产生与导线相靠近的风偏角 ϕ_g (图 A.1.2)。导线舞动轨迹为椭圆,椭圆长轴 a 与垂线间的夹角 θ 可取 $5^\circ \sim 10^\circ$,导线弧垂 f_c 的风偏角 ϕ_g 取 $10^\circ \sim 15^\circ$,地线弧垂 f_g 的风偏角 ϕ_g 根据其保护角的正负和对舞动导线可能发生的严重接近情况来确定,最小取 0° ,最大可比导线风偏角大 5° 。导线沿长轴向下舞动的最大振幅可取为: $a_1 = (0.2 \sim 0.25)a$,向上的最大振幅可取为: $a_2 = (0.75 \sim 0.8)a$,舞动轨迹的椭圆短轴

$b \approx 0.4a$ 。以上参数的取值视可能出现的舞动强度而定,强舞动区宜取上限。

应保证在可预测的舞动振幅的情况下相间及相对地有足够的电气间隙,确保舞动时线路不产生相间及相对地短路。舞动的振幅应根据线路的气象状况估算,可依据下式计算:

$$a = \eta U_w \sin \beta / f \quad (\text{A. 1. 2-1})$$

式中: a ——舞动振幅(椭圆轨迹的长轴,m);

η ——舞动的气象系数,宜取 0.15;

U_w ——风速(m/s);

β ——风向与导线轴线的夹角;

f ——舞动频率(Hz)。

舞动频率 f 可用下式进行估算:

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad (\text{A. 1. 2-2})$$

式中: n ——半波数,即舞动的阶次。对档距 $l \leq 200\text{m}$ 的档,可取

$n=1$ 或 2;对档距在 $200\text{m} < l \leq 500\text{m}$,可取 $n=2$ 或 3;

对档距 $l > 500\text{m}$ 的档,可取 $n=2、3$ 或 4;

l ——档距(m);

T ——导线张力(N);

m ——导线单位长度质量(kg/m)。

同时,由于舞动影响因素众多,上述估算可能与实际情况有一定的出入,因此,在上述舞动振幅估算的基础上,还应结合国内外的经验,进行舞动振幅的简单预测。对于强舞动区,对一般档距,最大 a 值可取 12m,对大跨越档距可取 20m,对于一般舞动地区,可依据上述估算确定振幅。

此外,由于增大塔头尺寸势必增加线路造价,因此,应考虑适当增大塔头尺寸,使得发生中等强度的舞动时不致发生短路和电弧烧伤,也就是说,根据预测的振幅,考虑一般情况下的舞动振幅,进行塔头尺寸设计。

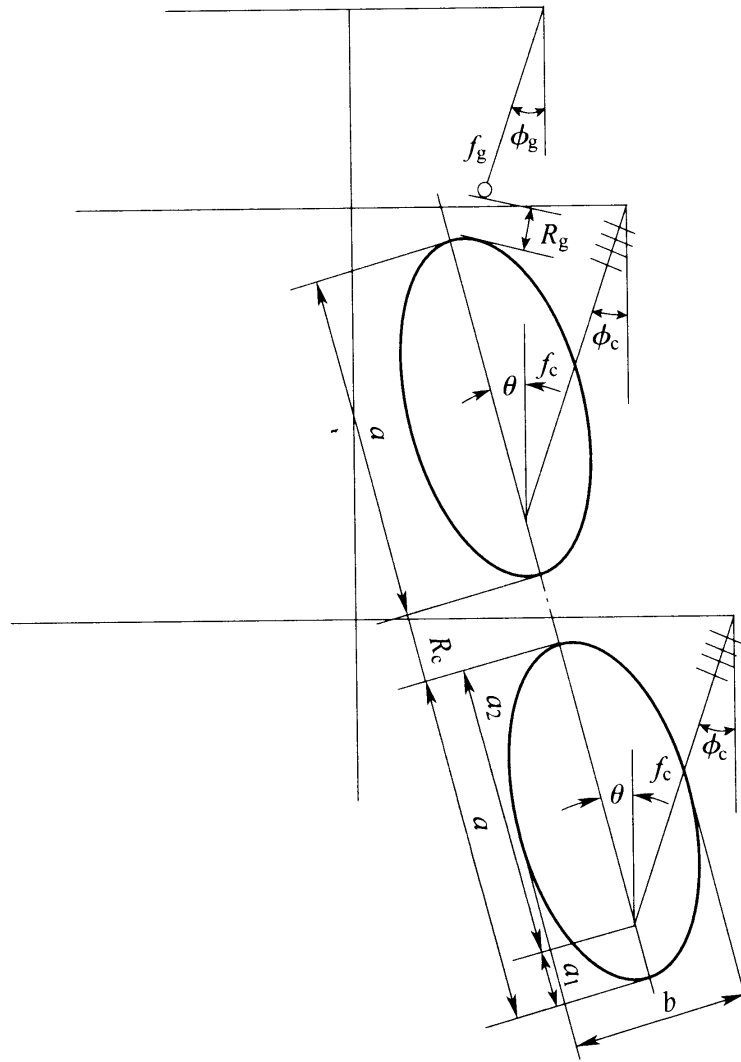


图 A.1.2 导线舞动时的电气间隙

A.2 提高机械强度

A.2.1 对于易舞动地区的大跨越,应适当提高杆塔、导线、金具和绝缘子等的机械强度,避免舞动时因机械强度不足而发生事故。

1 可通过加大铁塔底宽和顶宽来提高输电铁塔振动可靠性。此外可适当提高铁塔设计强度,以提高其抵抗舞动产生的动荷载的能力。易舞区的杆塔应加强螺栓的防松性能,推荐采用经技术鉴定的有成功运行经验的防松螺栓,防止舞动造成铁塔螺栓松脱

而引发杆塔损坏,甚至倒塔。

2 线路舞动时将产生巨大的动态荷载,导线舞动产生的最大张力约为静态张力的 2 倍,即:

$$T_{\max} \approx 2T_0 \quad (\text{A. 2. 1})$$

式中: T_{\max} ——舞动产生的最大张力(kN);

T_0 ——导线静态张力(kN)。

线路加装防舞器后,线路即使发生舞动,其振幅和最大张力应有所减小,不宜超过静态张力的 1.5 倍。

3 在发生中等强度以上的舞动时,金具及绝缘子的安全系数可能不能满足强度安全的需要,应将经过舞动多发及强舞动地区线路的金具及绝缘子的设计安全系数适当提高,提高的幅度应视可能出现的舞动强度而定,可将金具的设计安全系数提高至 3.0~4.0,绝缘子的设计安全系数提高至 3.5~4.5。

同时,可采取局部加强连接部件的强度,如将绝缘子球头的设计值提高 1.5 倍,以提高其承受张力增加和冲击载荷的能力。

对绝缘子而言,可增大绝缘子串的质量以降低张力变化引起的振幅。同时可采用 V 型绝缘子串限制导线的风偏,提高输电线路的抗舞性能。

此外,可采用耐磨金具以避免舞动造成金具失效,还可采用具有抗舞性能的金具。

A. 3 加装防舞装置

A. 3. 1 当加装防舞装置时,宜采取宏观集中、微观分散的布置方式。

A. 3. 2 可选择线夹回转式间隔棒、双摆防舞器、失谐摆、偏心重锤、扰流防舞器、阻尼器、动力减振器等装置作为防舞措施。慎用新型防舞装置。

A. 3. 3 加装防舞器后应考虑导、地线运行应力的增加。

A. 3. 4 从经济角度而言,“合理选择跨越方案”、“加大舞动电

气间隙”及“提高机械强度”等往往造价较高,且技术难度较大,对线路进行防舞设计更多的是在设计阶段进行加装防舞器的防舞方案设计,在建设过程中加装防舞器。根据舞动线路的技术条件,应用稳定性防舞设计方法,通过分析计算来确定双摆防舞器的理论摆长、理论摆角、理论质量等设计参数,结合实际使用的间隔棒确定防舞器的实际臂长、实际摆角、实际质量,初步定型防舞器。双摆防舞器在档内的布置方式可采取宏观集中、微观分散的布置方式,即宏观上,把双摆总质量均分为三份,分别布置在档长的 $2/9$ 、 $1/2$ 、 $7/9$ 处;为防止过重的集中质量影响导线的防微风振动性能,在微观上,则把各部分集中质量按适当间隔(如 7m)作分散布置,具体的布置间隔应根据微风振动考核试验的优选结果确定。对一些特大跨越,还可采取部分集中、部分分散的布置方式,即除了按上述方式作宏观集中、微观分散的布置外,另取一部分防舞器作沿档分散布置,以抵御高阶舞动。

A. 3.5 失谐摆的计算实际上就是计算导线在覆冰和加装失谐摆之后的扭转与横向固有频率,并以 $f_t = Nf_{v3}$ (其中, f_t 为扭转固有频率, f_{v3} 为横向振动的第三阶固有频率, N 为安全系数,宜取为 1.5) 为设计准则,计算出失谐摆的质量、摆臂长,并确定失谐摆在导线上的分布方案。当失谐摆安装于档距中点时,对导线总刚度的贡献最大,对导线扭振固有频率提高的贡献最大,配置点愈靠近两端,对刚度与固有频率的贡献愈小。为了避免集中布置可能对导线造成的损伤,另一方面,舞动发生的阶数主要为一、二、三阶,为能同时抑制一、二、三阶振型,较为合适的配置方案是 2 、 3 阶波腹的中点及档距中点,即档距的 $2/9$ 、 $1/2$ 、 $7/9$ 等处。

A. 3.6 “双摆防舞器”在国内防舞实践中应用较为广泛,大量应用于输电线路的分裂导线的防舞设计,防舞效果明显,是经实践证明具有成功经验的防舞技术。“偏心重锤”的防舞机理类似于双摆

防舞器,其重量和布置方式对防舞效果影响大。“压重防舞器”主要指集中防振锤方式的防舞技术,应注意重量的配置和沿档的布置,应用较少。“扰流防舞器”为国外防舞技术,国内很少采用,主要应用于覆冰较薄的场合。“失谐摆”国内应用较少,对于单导线有一定的防舞效果,但对分裂导线有待进一步研究和实践。“线夹回转式间隔棒”在国内应用很少,其对我国架空线路的防舞效果有待实践检验。其他诸如“阻尼器”、“动力减振器”等国外有所应用,国内无使用经验。

A. 3. 7 加装防舞器的防舞设计应与线路设计相结合,确保防舞设计不对线路安全稳定运行产生不良影响。对线路加装防舞装置,应进行线路弧垂、运行应力的校核,并确保线路微风振动水平不超标。在新建线路设计中考虑加装防舞装置时,应将计入防舞装置的质量后的导线平均运行应力控制在不大于导线破坏应力的25%。新建线路在建成投运后再考虑加装防舞装置,应严格控制加装的防舞装置的质量。为防止安装的防舞装置损伤导线并降低导线的振动水平,在防舞装置质量较大时,在防舞装置线夹处宜加装预绞丝护线条。对500kV及以上等级的线路还应注意防舞器应有良好的防电晕性能。

A. 3. 8 需要说明的是,防舞设计方法中,每种方法都有其优缺点,其主要特点详见表A. 3. 8。因此,强调在设计阶段进行严格的技术经济比较,选择技术合理又造价经济的方法,优先选择有成功经验的防舞技术。

表 A. 3. 8 防舞装置及其主要特点

防舞器	造价	主要特点
双摆防舞器	较低	适用于分裂导线,安装方便,防舞效果较好
扰流防舞器	较高	主要用于覆冰较薄的地区,单导线上应用多于分裂导线
阻尼器	较高	对低频舞动较有效
偏心重锤	较低	适用于分裂导线,应注意对微风振动的影响,防舞效果较好

续表 A.3.8

防舞器	造价	主要特点
失谐摆	较低	在单导线上应用有效,在分裂导线上的应用有待研究
压重防舞器	较高	应注意对导线弧垂、微风振动等的影响
动力减振器	高	国外应用,国内已有专利产品试用
线夹回转式 间隔棒	较高	布置方式对防舞效果的影响较大

附录 B 各种绝缘子的 m_1 参考值

B.0.1 交流绝缘子 m_1 参考值试验研究。

武汉高压研究所针对 FC-400/205 型玻璃绝缘子在青海电力试验研究院进行了高海拔下的 $U_{50\%}$ 人工污秽工频耐受电压特性研究,同时,在武汉高压研究所也进行了三片串的比对试验。SDD 取为 $0.1\text{mg}/\text{cm}^2$, NSDD 取 $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ 和 $1.0\text{mg}/\text{cm}^2$, 绝缘子的 $U_{50\%}$ 随着海拔高度的增加呈下降趋势。SDD/NSDD 为 0.1/0.5 时,在海拔高度为 2261m、气压为 77.9kPa 的条件下,FC-400/205 型玻璃绝缘子 $U_{50\%}$ 较平原地区降低约 11%;SDD/NSDD 为 0.1/1.0 时,其 $U_{50\%}$ 较平原地区降低约 13%。其 $U_{50\%}$ 下降率可近似认为 $5.5\%/ \text{km}$ 。经过计算可以得出,对于 FC-400/205 型玻璃绝缘子, m_1 为 0.47~0.53,取其算术平均值 $m_{1av}=0.50$ 。

“西北电网 750kV 输变电工程关键技术研究”课题《高海拔区 750kV 输变电设备外绝缘选取方法及绝缘子选型研究》研究报告给出的 m_1 值如表 B.0.1-1。

表 B.0.1-1 各种绝缘子的 m_1 值

绝缘子型式	m_1 值		
	EDSS $0.05\text{mg}/\text{cm}^2$	EDSS $0.20\text{mg}/\text{cm}^2$	平均值
标准型	0.66	0.64	0.65
双伞防污型	0.42	0.34	0.38
三伞防污型	0.22	0.40	0.31

至目前为止,国际上有关 m_1 值的资料不多,Hubert P. Mercure 在分析了前苏联等国家的研究结果后指出,对于交流电压, m_1 值可取 0.5,标准型绝缘子污闪电压随气压的下降率为

6%/km。另外,国内的清华大学和重庆大学也在气压罐内对短串绝缘子进行了污秽试验,清华大学的210kN普通型瓷绝缘子试验研究结果表明,特征指数为0.65;重庆大学研究的结果表明,对于交流系统, m_1 为0.44~0.65,从试验结果分析,本次试验所得特征指数与国内外经验值接近,具有可比较性。由于目前尚未对特高压长串绝缘子进行高海拔条件下的人工污秽试验,在现阶段,对于运行在高海拔地区交流系统内的普通盘形瓷绝缘子, m_1 可暂取0.5,长串绝缘子的高海拔修正因数需进一步研究。

对于1000kV交流特高压部分形状的绝缘子, m_1 值建议如表B.0.1-2。

表 B.0.1-2 1000kV 交流特高压部分形状的绝缘子 m_1 值

绝缘子型式	普通型	双伞防污型	三伞防污型
m_1	0.50	0.38	0.31

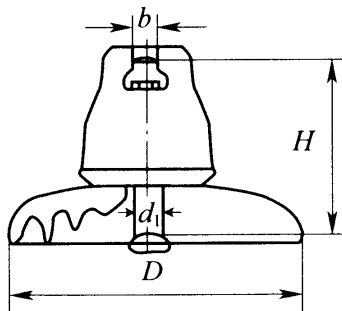
B.0.2 各种1000kV交流线路绝缘子的 m_1 值见表B.0.2-1。

表 B.0.2-1 各种绝缘子的 m_1 参考值

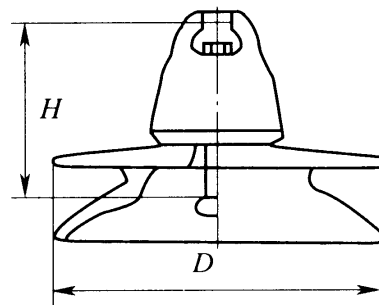
试品	材料	m_1 值		
		盐密 0.05mg/cm ²	盐密 0.2mg/cm ²	平均值
1#	瓷	0.66	0.64	0.65
2#		0.42	0.34	0.38
3#		0.28	0.35	0.32
4#		0.22	0.40	0.31
5#	玻璃	0.54	0.37	0.45
6#		0.36	0.36	0.36
7#		0.45	0.59	0.52
8#		0.30	0.19	0.25
9#	复合	0.18	0.42	0.30

表 B.0.2-2 瓷和玻璃绝缘子试品的尺寸和形状如下

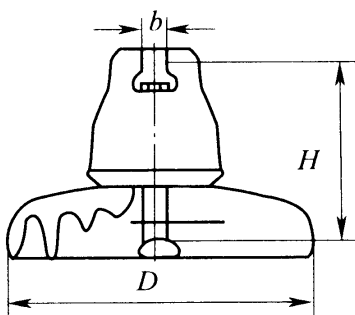
试品	材料	盘径 (mm)	结构高度 (mm)	爬电距离 (cm)	表面积 (cm ²)	重量 (kg)	机械强度 (kN)
1#	瓷	280	170	33.2	1730.27	8.5	210
2#		300	170	45.9	2784.86	11.5	210
3#		320	195	45.9	3025.98	13.5	300
4#		340	170	53.0	3627.04	12.1	210
5#	玻璃	280	170	40.6	2283.39	7.2	210
6#		320	195	49.2	3087.64	10.6	300
7#		320	195	49.3	3147.4	11.3	300
8#		380	145	36.5	2476.67	6.2	120



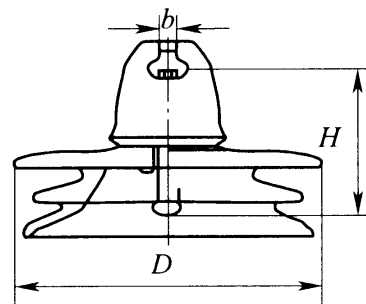
1#试品



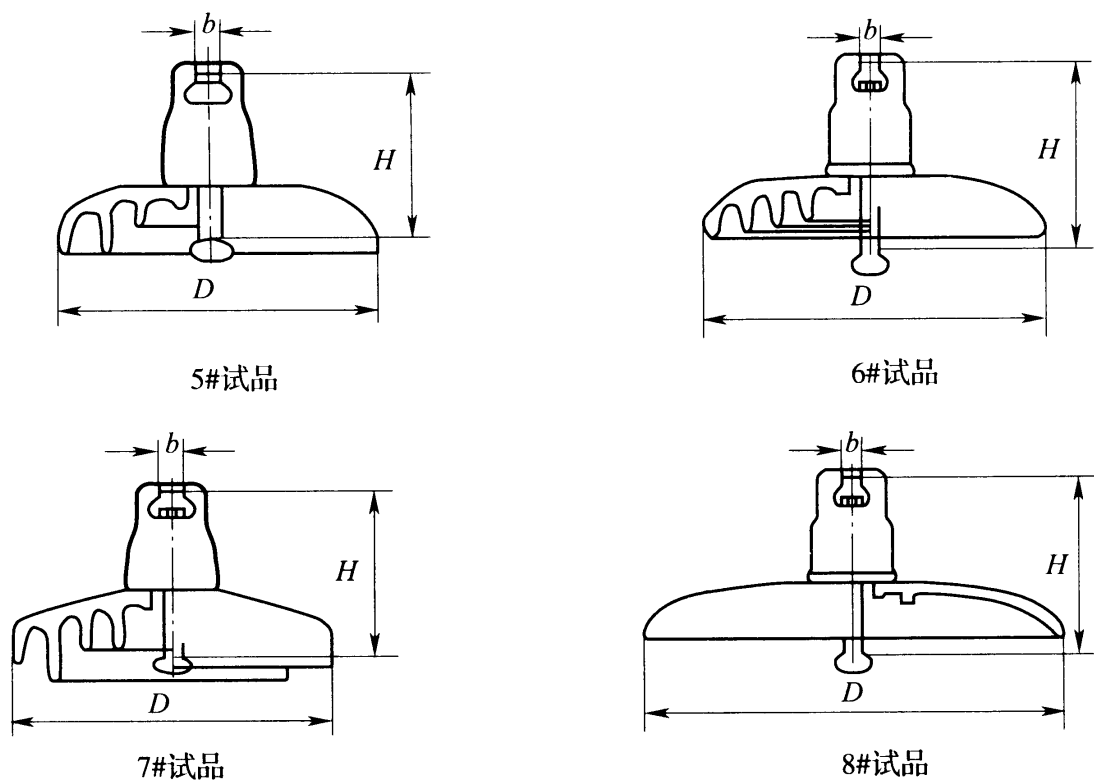
2#试品



3#试品



4#试品



B.0.3 特高压直流绝缘子 m_1 值。

1 中国电科院在文献《±800kV 直流绝缘子污秽放电特性及高海拔放电系数研究》报告中得出结论,在高海拔的 1000m~4000m 地区,线路绝缘子海拔修正系数为:海拔每升高 1000m,绝缘子的耐污闪能力就下降钟罩型绝缘子为 5.9%,外伞型绝缘子为 3.9%,复合绝缘子为 6.4%。

2 特高压直流线路各种绝缘子 m_1 值应根据实际试验数据确定,当无试验数据时建议参考交流线路绝缘子 m_1 值。

附录 C 等直径钢管起振临界风速 V_{cr}

C.0.1 等直径钢管微风振动的起振临界风速可按下式计算：

$$V_{cr} = 11530 \frac{\lambda_n^2}{\lambda^2} \quad (\text{C.0.1})$$

式中： λ_n ——自振频率参数，依钢管杆件的振动阶次与杆端约束条件而定，对于一阶振动，杆件两端固接时取 4.730，一端固接一端铰接时取 3.927，两端铰接时取 3.142，悬臂时取 1.875；

λ ——钢管杆件的长细比。

C.0.2 等直径钢管微风振动的一阶起振临界风速可查表 C.0.2 得出。

表 C.0.2 等直径钢管一阶起振临界风速 (m/s)

杆件 长细比	杆端约束条件			
	两端固接	一端固接一端铰接	两端铰接	悬臂
50	103.2	71.1	45.5	16.2
60	71.6	49.4	31.6	11.3
70	52.6	36.3	23.2	8.3
80	40.3	27.8	17.8	6.3
90	31.8	21.9	14.0	5.0
100	25.8	17.8	11.4	4.1
110	21.3	14.7	9.4	3.4
120	17.9	12.3	7.9	2.8
130	15.3	10.5	6.7	2.4
140	13.2	9.1	5.8	2.1

续表 C.0.2

杆件 长细比	杆端约束条件			
	两端固接	一端固接一端铰接	两端铰接	悬臂
150	11.5	7.9	5.0	1.8
160	10.0	6.9	4.4	1.6
170	8.9	6.2	3.9	1.4
180	8.0	5.5	3.5	1.3
190	7.1	4.9	3.1	1.1
200	6.4	4.4	2.8	1.0
210	5.8	4.0	2.6	0.92
220	5.3	3.7	2.4	0.84
230	4.9	3.4	2.2	0.77
240	4.5	3.1	2.0	0.70
250	4.1	2.8	1.8	0.65

不同连接节点对应的杆端约束条件,可按如下原则确定:

- 1 I型、T型、U型、]型插板连接:杆件沿螺栓轴线方向振动时可取铰接约束,垂直螺栓轴线方向振动时可取固接约束;
- 2 十字型插板连接、法兰连接:取一端固接一端铰接约束;
- 3 相贯焊连接:取固接约束。

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

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665
- 《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《合金结构钢》GB/T 3077
- 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1
- 《紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹》GB/T 3098.2
- 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293
- 《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470
- 《输电线路杆塔及电力金具用热浸镀锌螺栓与螺母》DL/T 284
- 《重覆冰架空输电线路设计技术规程》DL/T 5440

中华人民共和国电力行业标准

特高压架空输电线路大跨越
设计技术规定

DL/T 5504—2015

条文说明

制 订 说 明

《特高压架空输电线路大跨越设计技术规定》DL/T 5504—2015,经国家能源局 2015 年 7 月 1 日以第 4 号公告批准发布。

本标准在现行电规送(1998)11 号《架空送电线路大跨越设计技术规定》(试行)技术原则框架基础上,归纳和汲取了近年来已建、在建的交流和直流超高压、特高压(交流 1000kV、直流±800kV)输电线路大跨越建设的宝贵经验和技术创新,贯彻国家电力基础设施建设基本方针,认真落实安全可靠、经济合理、技术先进、环境友好的技术原则,通过技术创新和科技进步突出展现设计方案的经济性、合理性、先进性。本标准还针对 2008 年初我国南方地区电网覆冰灾害经验教训进行了认真仔细的研究和分析,提出了特高压大跨越工程抗冰设防的要求。

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	(73)
2	术语和符号	(75)
2.1	术语	(75)
2.2	符号	(75)
3	跨越位置和跨越方式	(76)
4	气象条件	(78)
5	导地线选择	(80)
6	导地线防振和防舞	(88)
7	绝缘配合、防雷和接地	(92)
8	绝缘子和金具	(109)
9	塔高和塔头布置	(116)
10	塔型选择	(118)
11	荷 载	(119)
12	材 料	(126)
13	结构设计基本规定	(129)
13.1	一般规定	(129)
13.2	承载能力和正常使用极限状态计算	(129)
13.3	结构基本规定	(130)
14	结构构造要求	(132)
14.1	角钢塔构造要求	(132)
14.2	钢管塔构造要求	(132)
15	基 础	(134)
15.1	基础基本设计原则和型式	(134)
15.2	基础设计一般规定	(134)

16	环境保护	(136)
17	劳动安全和工业卫生	(137)
18	附属设施	(138)
18.1	登塔设施	(138)
18.2	警航设施	(138)
18.3	其他设施	(139)

1 总 则

1.0.1 本条提出了特高压架空输电线路大跨越设计技术规定的目的,要求协调好各方面的相互关系,以合理的投资使特高压大跨越线路能获得最佳的综合效益。

1.0.2 本条明确本标准适用于新建和改建的交流 1000kV、直流±800kV 特高压大跨越工程的设计。

1.0.3 本条为大跨越设计条件。跨越通航江河、湖泊、海峡等新建交流 1000kV、直流±800kV 特高压输电线路,满足第 1.0.3 条的各项条件时应按大跨越进行设计。

大跨越实际上是由四项因素组成:①特殊的跨越点;②档距 1000m 以上或塔全高较高;③导线选型或塔的设计需予以特殊考虑;④事故时严重影响航运、交通或修复特别困难。需要强调的是应完整地把握大跨越的定义,第③、④项条件均应满足,如导线选型或塔的设计需予以特殊考虑且事故时严重影响航运、交通或修复特别困难,才可以按大跨越工程来设计,反之,则宜按大档距来设计,或参照大跨越工程设计。

电规送(1998)11 号《架空送电线路大跨越设计技术规定》(试行)将大跨越工程第②项定义为“档距 1000 米”或“塔高 100 米以上”。在《110~750kV 架空输电线路大跨越设计技术规定》中,也将大跨越的塔高定义为大于 100m。特高压的各类空气间隙要求已高出 500kV 输电线路几近一倍,再加上塔头布置和离堤脚安全距离的考虑,同样一个跨越点,在设计 500kV 输电线路的大跨越和特高压工程的大跨越时,塔高显然是不一样的。考虑以上因素,特高压跨越塔塔高判别值对交流 1000kV 双回路宜取 150m,对交流 1000kV 单回路、直流±800kV 宜取 130m。

1.0.4 为了在交流 1000kV、直流±800kV 特高压架空输电线路大跨越设计中贯彻国家的基本建设方针和技术经济政策,做到安全可靠、先进适用、经济合理、资源节约、环境友好,制订本条文。

1.0.5 本标准是针对特高压架空输电线路大跨越设计的特点编写的,有些与架空输电线路设计有关的标准和强制性条文并未列出。因此,特高压大跨越工程设计,除应遵循本标准外,还应符合现行的国家标准、电力行业标准的有关要求。

2 术语和符号

2.1 术 语

对特高压大跨越工程设计中涉及的主要专用名词给出统一的定义和解释。

2.2 符 号

根据正文所用的字母符号,按照作用与作用效应、电工、计算系数和几何参数分四部分列出。

3 跨越位置和跨越方式

3.0.1 根据大跨越工程的实际经验,跨越方案的确定要综合陆上线路路径方案,并且要取得跨越所在区域的规划、航空、军事、航道、海事、水利、环保等相关部门的认可意见。

随着《中华人民共和国防洪法》的出台,负责堤防管理的水利部门也对跨越塔位置提出了新的管理要求;除控制塔位对堤防的安全距离外,还要由专业部门针对跨越方案进行防洪评估。大跨越基础的施工,还受到汛期的制约,这一切应结合工期等一起考虑。

3.0.3 为避免工程建成后由于河床变迁使基础受水流冲刷,影响线路安全运行,跨越塔位置需考虑河床变迁的影响,以确保运行安全,并应考虑 50 年及以上水文资料及其变化的影响。为防止基础施工危及堤防安全,铁塔基础外缘与堤防坡脚之间应根据水利主管部门相关规定保持足够的安全距离。

3.0.4 受跨越点限制,需在江(河)中立塔时,为不影响河道通航,塔位应避开主航道,并按 100 年一遇水文数据考虑冲刷影响。大跨越的基础高度应高于 100 年一遇的水位高度。位于江(河)中的基础应考虑漂流物的撞击作用,当按此设计的基础造价太高时,为降低工程造价宜采用防冲撞措施。

3.0.5 由于大跨越工程设计标准较陆上一般线路高,施工难度大,因此要求自成一个耐张段以便于施工。宜采用耐一直一直一耐的方式,也可采用耐张塔跨越,或者 2 基以上跨越塔连续跨越的方式。采取独立的耐张段可限制事故范围,提高运行可靠性。

3.0.6 大跨越的跨越方式根据跨越位置的地理、运行条件确定,各种跨越方式均需结合地形地貌、地质、水文及施工运行条件,进

行综合技术经济比较后确定。

3.0.7 对经过易舞区的新建大跨越工程,应进行必要的舞动情况及气象、地形条件的调查。调查过程中应收集相关资料。宜避开舞动多发地区,在平原开阔地带,应尽可能减小大跨越段线路走向与冬季主导风向的夹角。

4 气象条件

4.0.1 根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 的规定,架空输电线路(含大跨越工程)的基本风速、设计冰厚数理统计重现期按 100 年考虑。

4.0.2 有关基本风速的规定引自现行国家标准《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》GB 50545—2010 第 4.0.2 条。

4.0.3 考虑到大跨越的重要性高于一般线路,在将陆上线路的风速换算到跨越处历年大风季节平均最低水位以上 10m 处后,再将该风速增加 10%。

4.0.4 一般跨江跨湖的地面大都属于 B 类粗糙度,跨海处可划为 A 类粗糙度。大跨越杆塔的高度一般在 130m~400m 之间,因此,100m 以上的塔身和横担的风荷载和导地线荷载对铁塔和导线的设计起到关键的作用。在 100m~400m 的高度范围内,A 类粗糙度与 B 类粗糙度比值约为 1.05~1.148。因此,考虑大跨越处水面影响,将历年大风季节平均最低水位以上 10m 处的风速增加 10%。将水面风速增加 10%后,大跨越工程可按 B 类粗糙度设计。

4.0.5 现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 中,一般线路的基本风速统一采用 10min 时距平均的年最大风速作样本,统计风速的高度取离地面 10m。规定输电线路的基本风速按不低于 27m/s 考虑。大跨越工程基本风速统计与《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》一样,按当地气象台、站 10min 时距平均的年最大风速作样本,统计风速的高度取历年大风季节

平均最低水位以上 10m。因此,大跨越基本风速不应低于 30m/s。

基本风速不低于 30m/s,且不应低于与之相连接陆上线路换算到同一高程的风速(因两个基准点不同)。

4.0.6 本条规定地线覆冰较导线增加 5mm 的条件,仅用来计算地线覆冰的垂直荷载,加强地线支架的机械强度设计,而电气设计可按不增加 5mm 覆冰的条件考虑。大跨越工程的冰区属性和覆冰时的荷重计算原则,由导线覆冰值决定。

4.0.7 验算气象条件是为了保证大跨越工程在稀有大风或稀有覆冰情况下的安全可靠,宜按历史上有记录的稀有大风或稀有覆冰资料选定。计算验算条件时,可变荷载组合系数应取 0.75。

5 导地线选择

5.0.1 在以前规定的措词上,地线和避雷线均有出现,本标准取名“地线”以和线路设计规定一致,并增加光纤复合架空地线部分的内容。除了特意指明 OPGW 光缆,一般对地线的要求同时也涵盖了 OPGW 光缆。

“优先采用已有运行经验的型号和线型”中“型号”是指采用同一导线,不做任何变动,完全属于“复制选择”;而采用同一线型,应理解为导线的材料、结构、钢铝比、生产工艺等保持不变,而单丝直径等可作调整,以适应不同工程的需要。在这一领域,我国已积累了丰富的经验,如同为特强钢芯高强度铝合金导线的 AACSR - 500/230, AACSR - 450/200, 它们的结构相同,42 股铝合金 + 19 股钢芯(直径分别为 3.9、3.7),三广直流的大埠街(长江)、康家吉(沅水)、关山(澧水)大跨越工程,三沪直流的荻港(长江)大跨越工程,所用导线与龙政直流的芜湖大跨越完全一致,500kV 交流马鞍山大跨越和 500kV 的江阴大跨越导线也完全相同。这种选用既有运行经验,又省去了研制等问题,是很明智的做法。

在大跨越工程中,地线不宜再采用普通的镀锌钢绞线,这是对大跨越工程运行调研后的一个主要结论。运行经验证明,在目前的大气环境和大跨越工程水气充沛的综合条件下,普通镀锌钢绞线一般不能满足工程对地线的防腐、防振、强度及寿命上的要求。一些工程在运行十年或稍长一些时间,就处于必须换线的尴尬处境。而由此产生的停电、封航施工等投入远非一根地线的代价可比拟。镀锌钢绞线运行寿命较短有多方面的原因,有防振设计的问题,有防腐性能的问题,但普通镀锌钢绞线综合性能不佳(尤其是防腐性能)不能不说是一个主

要病因。反过来,铝包钢线制造技术已非常成熟,在一些普通线路上已大量应用,就一个 3km 左右规模(耐长段长)的大跨越工程而言,将普通钢绞线换为铝包钢地线,对工程的投资影响甚微,但工程在地线上的技术层次和运行寿命上却提高很多,无疑是值得的。

在地线和 OPGW 光缆的配合上,本标准强调了应以 OPGW 光缆为主,地线应注意与其配合,原因是 OPGW 光缆选型考虑的问题比较多,先把 OPGW 光缆的问题考虑稳妥了,再选地线与其配合比较容易。

在当前一些大跨越工程中,出现了按双光缆设计的倾向,无论是出于需要或备份都是正确的。光纤复合架空地线的制造技术已完全成熟,在大跨越工程上采用双光缆设计,技术经济上具有很大的优越性,运行的安全储备也更高。以 80 年代建设的荻港大跨越工程进行的双地线更换光缆的改造为例,约需投资 253 万元,而光缆的投入不超过 10%(若更换单根光纤复合架空地线,只能省下几万元)。

在采用双光缆设计时,塔头的设计以及导地线之间的配合也变得较为简单。

根据导体和加强材料的组合,现在国内外大跨越导线最常用的有:钢绞线、钢芯铝绞线 ACSR、高强度钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线、高强度钢芯铝合金绞线 AACSR、特高强度钢芯(EST)铝合金绞线 AACSR/EST、高强度钢芯耐热铝合金绞线 KTACSR、特高强度钢芯(EST)耐热铝合金绞线 KTACSR/EST、铝包钢绞线、钢芯铝包钢绞线等。现阶段在建和已建特高压大跨越工程,根据导线电气性能和机械性能要求选用特高强度钢芯(EST)铝合金绞线 AACSR/EST,其特性如表 1 所示。

表 1 大跨越工程基本参数

项目/型号	单位	AACSR/EST	AACSR/EST	AACSR/EST
规格		500/230	640/290	720/300
铝(铝合金)	根	42	42	40
铝(铝合金)单丝	mm	3.9	4.4	4.8

续表 1

项目/型号	单位	AACSR/EST	AACSR/EST	AACSR/EST
铝(铝合金)面积	mm ²	501.7	638.62	723.82
铝(铝合金)单线强度	MPa	315	315	315
铝(铝合金)伸率	%	3	3	1.5
铝(铝合金)弹性模量	GPa	55	55	55
铝(铝合金)热胀系数	10 ⁻⁶ /°C	23	23	23
钢丝(铝包钢丝)	根	37	37	37
钢丝(铝包钢丝)单丝	mm	2.8	3.14	3.2
钢丝(铝包钢丝)面积	mm ²	227.8	286.5	297.57
钢丝(铝包钢丝)单线强度	MPa	1770	1770	1770
钢丝(铝包钢丝)1%伸长应力	MPa	1550	1550	1550
钢丝(铝包钢丝)伸率	%	2.5	2	2
钢丝(铝包钢丝)弹性模量	GPa	190	190	190
钢丝(铝包钢丝)热胀系数	10 ⁻⁶ /°C	11.5	11.5	11.5
直径	mm	35.2	39.58	41.6
单位长度质量	kg/km	3190	4016.7	4338.9
额定抗拉力	kN	511.2	645.3	689.24
导线弹性模量	GPa	97.16	96.81	94.33
导线热胀系数	10 ⁻⁶ /°C	16.2	16.01	16.53
直流电阻(20°C)	Ω/km	0.0671	0.05267	0.04646
导线面积	mm ²	729.5	925.14	1021.4

5.0.2 大跨越导线截面如按允许载流量选择,由于允许运行温度的不同,其(总)截面往往会比相连陆上部分线路的要小,这是可以的。但全线输送容量不应受到大跨越段的限制。同时,对导线截面(或直径),仍应进行电磁环境要求方面的校核,亦应满足相关要求。

验算导线截面流量时,钢芯铝包钢绞线(包括铝包钢绞线)的

允许温度,日本 JCS0374:2003《裸线载流量计算方法》规定:长期为 200℃,短时间为 230℃,瞬时为 400℃。浙江华电器材检测研究所为 220kV 舟山与大陆联网输电线路大猫山跨越工程所做的铝包钢线经不同温度单丝抗拉强度试验,也表明在经 100℃、120℃、140℃、160℃、180℃、200℃各 100h 加热后,铝包钢单丝的抗拉强度较常温下强度不但没有下降,反而稍有提高。这也说明钢芯铝包钢绞线(包括铝包钢绞线)的允许温度可超过+100℃。

5.0.3 本条规定了无线电干扰、可听噪声和电场的设计控制值。

海拔超过 500m 的线路,其无线电干扰限值应进行高海拔修正,修正因数为:以 500m 为基准,海拔高度每增加 1000m,无线电干扰限值增加 3dB。

可听噪声可按照美国 BPA 公式计算。对于海拔超过 500m 的线路,其可听噪声限值应进行高海拔修正,修正因数为:以 500m 为基准,海拔高度每增加 1000m,可听噪声限值增加 3dB。根据工程具体情况,仍需满足环保部门批复的声环境要求。

5.0.4 本条规定了无线电干扰、可听噪声、地面合成场强和离子流密度的设计控制值。

对于海拔超过 1000m 的线路,其无线电干扰限值应进行高海拔修正,修正因数为:以 1000m 为基准,海拔高度每增加 330m,无线电干扰限值增加 1dB。现行国家标准《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 规定,采用国际无线电干扰特别委员会(CISPR)推荐的无线电干扰场强的计算公式,该式适用于 0~500m 海拔(即该式计算值为 500m 海拔无线电干扰场强),其后海拔每升高 330m,无线电干扰增加 1dB。

海拔高度大于 1000m 且线路经过人烟稀少的非居民区时,可听噪声的设计控制值控制在 50dB(A)以下。根据工程具体情况,仍需满足环保部门批复的声环境要求。

5.0.5 地线表面场强过高将会引起地线的全面电晕,不但电晕损耗急剧增加,而且会带来其他很多问题,因此,应该适当限制地线

的表面场强。我国 500kV 输电线路地线表面工作场强与起晕场强之比在 0.5 左右；韩国 765kV 输电线路地线表面工作场强与起晕场强之比约为 0.6；日本 1000kV 地线截面达到 500mm²，地线直径较大，地线表面工作场强与起晕场强之比约为 0.5；前苏联在设计 1150kV 输电线路时没有考虑地线表面工作场强，但是他们采用了双分裂地线。我国 750kV 官兰线的地线表面工作场强与起晕场强之比约为 0.5。1000kV 特高压试验示范工程猫头塔 (ZM1)、酒杯塔 (ZB1) 及同塔双回路地线 E_m/E_0 计算结果均不大于 0.75。

对于特高压直流线路，地线上的感应电荷较大，有可能在地线上产生很大的表面电场强度，当超过起始电晕电场强度时，亦会产生电晕损失、无线电干扰和可听噪声干扰等，应予以限制。目前，只能计算导线无电晕时地线的表面电场强度值，当导线有电晕时计算非常复杂，国内外尚未深入研究。

根据报道，有一条 ±400kV 线路有两根地线，导线无电晕时地线表面电场强度值为 29kV/cm。±800kV 特高压直流输电工程对 3 种主要导线组合方案情况下，导线无电晕时，地线表面电场强度与地线直径的关系进行了分析计算，结果列于表 2。

表 2 地线表面电场强度与地线直径关系表

导线型号	地线直径/地线表面电场强度(kV/cm)				
	15mm	16mm	17.5mm	18mm	19mm
6×LGJ-630/45	12.931	12.225	11.302	11.032	10.521
6×ACSR-720/50	13.394	12.657	11.703	11.418	10.891
6×JL/G3A-900/40	13.456	12.723	11.772	11.489	10.915

一般直流线路导线的起始电晕电场强度采用 15kV/cm，计算地线时应留有裕度，因为导线常处于电晕状态，使地线上的表面电场强度有所增大(类似于导线的综合场强)，但增大多少，目前尚在研究。另外还有高海拔的影响，暂建议地线的表面电场强度不超

过 18kV/cm(海拔 1000m 及以下用),建议地线直径在 18.0mm 左右,便于与交流特高压的地线要求一致,故规定直流特高压线路地线的最小截面应大于 170mm²。

根据中国电科院提供的最新计算和现场测试结果,地线的表面电场强度可以适当放宽,建议地线的表面电场强度不超过 18kV/cm。按 18kV/cm 作为地线表面电场强度控制条件,地线截面不小于 150mm² 的表面电场强度均满足要求。溪浙和哈郑 ±800kV 特高压直流线路地线截面均取 150mm²。

5.0.6 本条保留了《架空送电线路大跨越设计技术规定》(试行)第 4.0.3 条的规定。

5.0.7 在大跨越条件下光纤复合架空地线的选型通常由机械特性控制,即使在热容量要求较高的条件下,由于大跨越地线的力学特性要求高,需要一定的截面支撑,随之带来的热容量也能满足要求。但是,在具体考虑光纤复合架空地线的结构时,全铝包钢结构应予以优先考虑,从大跨越工程地线的耐振性能、耐腐蚀性能及弧垂特性上考虑,全铝包钢结构无疑是最优秀的。我国数万公里的光纤复合架空地线运行经验以及雷击试验均表明:对同样导电率的单丝,直径大的耐雷性能要好于直径小的;对同样直径的单丝,导电率低的耐雷性能要好于导电率高的,而且,铝包钢单丝的生产质量的稳定性及性价比,以“中间段”(即导电率是 20%~27% IACS)产品最优。

对光纤复合架空地线外层的单丝直径,一般 500kV 线路已不小于 3.0mm。考虑到常用的地线结构 95/55,其地线外径为 16mm,若按(1+6+12)配置,3.2mm 的单丝直径也能满足要求,况且大跨越用地线,16mm 的直径(作为下限)总是需要的,再结合防雷要求,故作出这一规定。

光纤复合架空地线的价格,其单价已由初期的 6 万元~8 万元降至目前的 2 万元~3 万元(大跨越工程用光纤复合架空地线略微贵一些),这使工程采用双光纤复合架空地线设计具备了一定

的合理性。华东地区的长兴岛大跨越(跨距 1519m)和 500kV 的马鞍山大跨越(跨距 1960m)均采用了双光纤复合架空地线设计。首先是经济上付出不多,与大跨越常规选配的地线相比,投资上要贵一点,但仅局限于大跨越有限的一段,一般在 3.5 公里左右,投资增加并不多,但好处带来不少:首先是塔头(主要是地线顶架)设计合理,不存在两种线型间的匹配问题,而且光纤复合架空地线可以互为备用,极大地提高了光纤在大跨越工作段内的可靠性(因为大跨越段内光纤复合架空地线的着雷率更高,振动断股的可能性更大,更换地线的困难程度更高),因此,当经济差异不大时,可采用双光纤复合架空地线架设。

5.0.8 大跨越工程的导地线(含光缆)的耐振性能始终是应予以重点关注的问题,它不仅和导地线的结构有关,还取决于材质和制造工艺。已多次出现同样型号的导线,其耐振性能呈波动性,这说明我国在高强度铝合金制造技术上并不十分稳定。故条文作出这样的规定。

5.0.9 本条保留了《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》的第 4.0.5 条,增加了光纤复合架空地线的规定。

2008 年初的南方雪灾,对我国现行的输电线路设计规程产生了重大影响,冰区分级和显著地提高验算覆冰被作为输电线路的抗冰措施之一。但大跨越工程在运行上并未出现覆冰事故,故仍维持原条文规定。

5.0.11 导地线(含光纤复合架空地线)的平均运行张力选择是大跨越工程设计中的一个重要问题。本条仍延续了《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》的条文,但对光纤复合架空地线平均运行张力的选用,实际应用水平一直不高,通常也就是在 20% RTS 以下,而绝大部分为 18% 左右。不同材料、不同结构的光纤复合架空地线及光纤单元管是否会在长期疲劳振动下断裂,从目前的情况看,运行经验明显不够。由于光纤复合架空地线平均运行张力实际使用水平不高,运行经验是安全的。按我们的经验判

断,这里面存在相当的提高空间,若能提高 1 个百分点,大约可降低 3m~6m 的塔头高度(对应的档距为 1200m~2000m)。从我国已有的几个大跨越进口光纤复合架空地线疲劳试验的结果来看,均获得通过,但在工程的实际应用中,仍处于一个较低的水平。原因有二:其一是光纤复合架空地线在大跨越工程中的运行经验还不够丰富;其二是对光纤复合架空地线防振方案的有效性无法完全把握。所以在标准条文的基础上提示,在顶架的匹配中,光纤复合架空地线的平均运行张力不应大于导线的平均运行张力。在编写过程中,也分析了光纤复合架空地线与分流地线在平均张力上的关系,要求光纤复合架空地线的平均运行张力不小于地线有时会比较困难。地线的选择范围很宽,当光纤复合架空地线设定以后,地线的匹配主要在弧垂方面,有时其平均运行张力会比较低。

5.0.12 我国在架空导线的蠕变伸长方面积累了比较丰富的经验,超高压电网的大部分导线如 LGJ - 400/35~50, LGJ - 630/45, LGJ - 720/50 等品种,积累了丰富的蠕变试验资料。从试验结果分析,试验导线的加工工艺状态对蠕变曲线的斜率(影响 10 年最终蠕变量)影响较大,有时会超过 20%,同时我们也注意到,绝大部分的导线(包括许多大跨越导线)并没有做试验,而是采用经验值或现行国家标准《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》GB 50545—2010 中第 5.0.11 条的规定,这也是可以的,所以本标准增加了“已有工程的验证值”。

6 导地线防振和防舞

6.0.1 本条是对大跨越导地线防振、防舞设计的原则要求。

6.0.2 目前国内大跨越导地线防振措施有：防振锤防振方案、阻尼线防振方案、阻尼线加防振锤联合防振方案、圣诞树阻尼线防振方案等，具体的大跨越导地线防振方案应根据运行经验或通过实验来确定。

6.0.3 导、地线安装护线条可增加线夹出线口附近电线的刚度，减少弯曲及挤压应力和减少导线磨损，同时还能对振动起阻尼作用。因此，大跨越悬垂线夹处一般都应安装护线条（除钢绞线采用固定线夹外），护线条一般采用预绞丝护线条。

6.0.4 次档距振荡是指风的尾流效应引起的分裂导线子导线在次档距内（两个间隔棒间）的振动，频率一般为 $1\text{Hz}\sim 5\text{Hz}$ ，幅值一般为子导线直径的 4 倍 ~ 20 倍。次档距振荡随时可能发生，特别是在开阔地带、近海、近湖、近水库的地方可能更加严重。一般认为分裂导线间保持足够的距离就可以避免出现次档距振荡现象，根据国内、外研究，当分裂间距与子导线直径之比 $S/d > 14$ 时，可以避免出现次档距振荡。另外，通过对次档距进行优化配置、减小次档距长度和使用阻尼间隔棒等措施也可以防止子导线之间的鞭击，抑制导线微风振动和次档距振荡。

最大次档距和端次档距的选取，原《架空送电线路大跨越设计技术规定（试行）》第 6.0.3 条规定“次档距不宜过大，一般在 70m 左右，端次档距在 35m 左右”。

国外对次档距振荡的研究投入了很大的力量。英国 Dunlop 公司的 D. Hearnshaw 通过研究安装四分裂间隔棒的导线振动，发现了分裂导线反相位振动波节点和相邻档距长度的关系（用曲

线进行表示,此曲线是无量纲曲线),并进一步给出了分裂导线振动的对数衰减率和次档距布置的关系曲线,提出了一种次档距布置的计算方法。

苏联于 20 世纪 80 年代建设的 1150kV 特高压线路上使用了刚性间隔棒,次档距为 50m~80m,其两种刚性间隔棒——环形间隔棒和组合型间隔棒交迭布置。

日本在其 1000kV 特高压输电线路使用的间隔棒是弹簧型八分裂间隔棒,并按等距离安装。日本特高压输电特别委员会推荐对于 $8 \times \text{ACSR}810$ 线路,最大次档距取 55m。日本旭电机株式会社通过对 $8 \times \text{ACSR}810$ 导线衰减特性的研究,推荐一般线路次档距按照 50m~55m 布置。

目前国内次档距布置主要采用经验公式或编程计算的方式确定次档距布置方案。

中国电科院(原国电电力建设研究所)建立了一种以抑制次档距振荡为主要目的,同时考虑微风振动的影响并满足工程实际的次档距布置设计方法。以次档距振荡时系统的对数衰减率为目标函数,对间隔棒的布置方案进行优选。

6.0.5 大跨越导线、地线一般都是特殊制造,造价较高,一旦因振动断股影响大,国内外曾发生施工时因未及时采取防振措施,短期内就发生导线振动断股,给工程建设带来了很大的影响。因此,规定“施工架线过程中导、地线悬空以后,应及时安装临时防振装置,不得在无防振装置的情况下超过 12h”。

6.0.6 目前国内对施工架线后和运行中的测振要求尚无正式标准,国际上各国根据本国情况制定了不同的判断标准。以往国内大跨越一般要求振动角不大于 $5'$ 。前苏联防振导则规定,导线在线夹出口处的振动角小于 $10'$ 是无危险的。美国以前认为振动角高到 $10'$ 是能够允许的。因此,国内以往设计和运行中均认为振动角不大于 $5'$ 是无危险的。

国外大多已采用动弯应变值来判断振动危险与否,且对于导

地线的动弯应变许用标准的主张基本上差别不大。中国电科院(原国电电力建设研究所)正在编制国家电网公司企业标准《架空送电线路导、地线微风振动现场测量技术条件》,该标准根据国外资料和国内导地线振动的实践经验,提出了我国导地线动弯应变许用值,如表 3 所示,可用于我国送电线路的防振设计,并作为微风振动测量的判断标准。

表 3 大跨越送电线路防振标准

线 型	导地线动弯应变许用值 $\mu\epsilon$
钢芯铝绞线	± 100
钢芯铝合金绞线	$\pm 100 \sim \pm 120$
铝包钢绞线、钢芯铝包钢绞线	± 150
镀锌钢绞线	± 200
OPGW(铝包钢混绞)	± 150
OPGW(铝合金或铝合金和铝包钢混绞)	± 120

原《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 6.0.5 条规定“测振时间不小于 20 天”,是参照 CIGRE(国际大电网)及 IEEE(美国电子电气工程师协会)等国际公认的有关导则和标准中的相关条款制定的,而《架空送电线路导、地线微风振动现场测量技术条件》根据国外资料和国内大跨越导地线现场测振的实践经验,提出“现场测振时间不小于 14 天”,因此,本标准中现场测振时间改为“不小于 14 天”。

为保障特高压大跨越的运行安全,应在施工安装完成后及运行半年后均进行测振。

6.0.7 对经过易舞区的新建大跨越工程,应进行必要的舞动情况及气象、地形条件的调研。调研过程中应收集相关资料。应尽可能避开舞动多发地区,避开雨淞或冻雨地带,避免横穿风口、江河湖面;在平原开阔地带,应尽可能减小大跨越段线路走向与冬季主导风向夹角。

由于舞动的必要条件是线路的覆冰,因此,若为冬季不可能覆冰的地区(如冬季气温在零度以上的地区),则无需进行防舞设计。对工程所在地区历史上已建线路的舞动情况的调研,可具体到线路经过地区的市县级范围。对工程所在地区气象情况的调研主要指冬季(11月至次年3月)主导风向、风速、结构物的覆冰情况、空气湿度、气温等。

导线舞动时产生椭圆轨迹的运动,要保证舞动过程中不产生相间、相对地闪络及电弧烧伤,应保证足够的相间及相对地距离,为此,在线路设计时对塔头尺寸的设计非常关键。一般而言,各电压等级的输电线路发生舞动时的最小电气间隙应满足运行电压下的规定值。

对于大跨越防舞设计除采取合理选择跨越方案、加大舞动电气间隙、提高机械强度等必要措施外,更多的是在设计阶段进行加装防舞器的防舞方案设计,加装防舞器的防舞设计应与线路设计相结合,确保防舞设计不对线路安全稳定运行产生不良影响。

位于易舞区的已建大跨越,应在舞动季节进行现场观测,制定应急预案,必要时可提前加装防舞装置。若发生舞动,应立即采取应对措施。

对已发生舞动的特高压大跨越线路,应及时设计防舞方案,加装防舞装置。应对大跨越进行适当改造,提高线路的抗舞能力。

应在加装集中防舞装置后一年内进行现场测振试验,确保线路安全运行。

在已建线路加装防舞器,应避免对线路的运行带来副作用,例如,不得使线路微风振动水平超标。一般情况下,在安装刚性防舞器的情况下,在一档内安装的防舞器的总质量不大于全档导线总质量的5%。

7 绝缘配合、防雷和接地

7.0.1 1000kV、±800kV 输电线路悬垂杆塔上悬垂绝缘子串的绝缘子片数选择,一般需满足能够耐受长期工频(工作)电压的作用和操作过电压作用的要求,对一般线路,雷电过电压一般不作为选择绝缘子片数的决定条件,仅作为耐雷水平是否满足要求的校验条件,但是,大跨越杆塔很高,需要按耐雷水平、跳闸率和雷电过电压下安全运行年数分别校核反击和绕击条件下所需的绝缘子片数和空气间隙。

7.0.2 (1)在海拔高度 1000m 以下地区的 1000kV 线路。

按国家现行标准《1000kV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合》GB/Z 24842 及《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T 620 规定,每串绝缘子片数应满足工频电压的爬电距离要求。校验线路绝缘子串操作过电压水平为 1.70p. u.、统计配合系数 K_1 不应小于 1.25 时的统计操作过电压,1000kV 线路采用 54 片单片绝缘子高度为 195mm 的绝缘子组成的悬垂绝缘子串时可以满足操作过电压要求。

耐张绝缘子串受力比悬垂绝缘子串大,容易产生零值绝缘子,一般要求在悬垂串片数基础上增加绝缘子片数。但 1000kV 线路悬垂杆塔悬垂绝缘子串的绝缘子片数选择主要取决于工频电压,且按工频电压选择的绝缘子串的操作冲击 50%放电电压远大于系统操作过电压,例如,1000m 海拔 0 级污区 300kN 级绝缘子满足操作过电压要求的片数边相仅为 34 片,中相 V 串仅为 39 片。所以耐张串绝缘子片数仍可按本标准表 7.0.2-1 执行。

操作过电压要求的线路绝缘子串正极性操作冲击电压波 50%放电电压 U_{50} 应符合下式要求:

$$U_{50} \geq K_1 \cdot U_s \quad (1)$$

式中： K_1 ——线路绝缘子串操作过电压统计配合系数，根据电力科学研究院“1000kV 交流输变电工程过电压与绝缘配合研究”（2006 年 6 月），操作过电压统计配合系数 K_1 取为 1.25；

U_s ——线路相对地统计操作过电压(kV)。

1000kV 输电线路统计操作过电压倍数取 1.7p. u.。系统最高运行电压取 1100kV。正极性操作冲击电压波 50%放电电压 U_{50} 为：

$$U_{50} \geq 1.25 \times 1.7 \times \sqrt{2} \times 1100 / \sqrt{3} = 1909 (\text{kV}) \quad (2)$$

根据电力科学研究院“500kV 交流和直流输电线路杆塔绝缘强度和作用电压”（1991 年 6 月），在临界波头长度下绝缘子串 50%闪络电压与串长的关系：

对于边相：

$$U_{50\text{cr}} = \frac{4460}{1 + \frac{7.6}{l}} \quad (3)$$

对于中相：

$$U_{50\text{cr}} = \frac{4020}{1 + \frac{7.2}{l}} \quad (4)$$

式中： $U_{50\text{cr}}$ ——临界波头长度下绝缘子串 50%闪络电压(kV)；

l ——绝缘子串长(m)。

对于实际波头长度的操作波，其闪络电压要高于临界波头情况，可按下式修正：

$$\frac{U_{50}}{U_{50\text{cr}}} = \frac{1.22 \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{cr}}} \right)^2 + 0.84 \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{cr}}} \right) + 1}{\left(\frac{\tau}{\tau_{\text{cr}}} + 0.75 \right)^2} \quad (5)$$

式中： U_{50} 、 $U_{50\text{cr}}$ ——波头长度为 τ 和 τ_{cr} 时的绝缘子串 50%闪络电压(kV)；

τ, τ_{cr} ——实际波头长度和临界波头长度(μs),实际波头长度取 $250\mu s$ 。

对于不同的绝缘子串长,上式中的临界波头长度由下式计算:

$$\tau_{cr} = 35l + 50 \quad (6)$$

由于以上的计算公式均按标准气象条件给出,故应进行气象修正:

$$U = K_1 U_0 \quad (7)$$

式中: U, U_0 ——实际状态和标准状态下的外绝缘放电电压(kV);

K_1 ——空气密度修正系数。

$$K_1 = (\delta_2 / \delta_1)^n \quad (8)$$

$$\delta = (1 - \alpha H / T)^{4.26} \quad (9)$$

式中: n ——特性指数,取 $n = 0.5$;

α ——空气温度梯度,取 $0.0065^\circ C/m$;

H ——海拔高度(m);

T ——绝对温度,取 $293^\circ C$ 。

操作过电压要求的线路绝缘子串片数(以普通型 300kN 绝缘子计算)列于表 4。

表 4 操作过电压要求绝缘子串片数/绝缘长度(mm)

海拔高度(m) 操作过电压(kV)		0	1000	2000	3000
		1.7p. u. = 1909kV	边相	32/6200	32/6200
中相	37/7150		37/7150	40/7800	45/8650

考虑 2 片零值绝缘子后操作电压要求的 1000kV 交流输电线绝缘子串片数(以普通型 300kN 绝缘子计算)列于表 5。

表 5 绝缘子串片数

海拔高度(m) 操作过电压(kV)		0	1000	2000	3000
		1.7p. u. = 1909kV	边相	34	34
中相	39		39	42	47

雷电过电压选择绝缘子片数：

1) 绝缘子串的雷电放电特性曲线见表 6 及图 1(武汉高压研究所, 高海拔地区输变电外绝缘特性研究, 2002 年 5 月)。

表 6

片 数	波前时间	FC - 300	变异系数 $z(\%)$
		$U_{50\%}$ (kV)	
25	1.2	2769	0.7
30	1.2	3254	1.5
35	1.2	3735	1.3

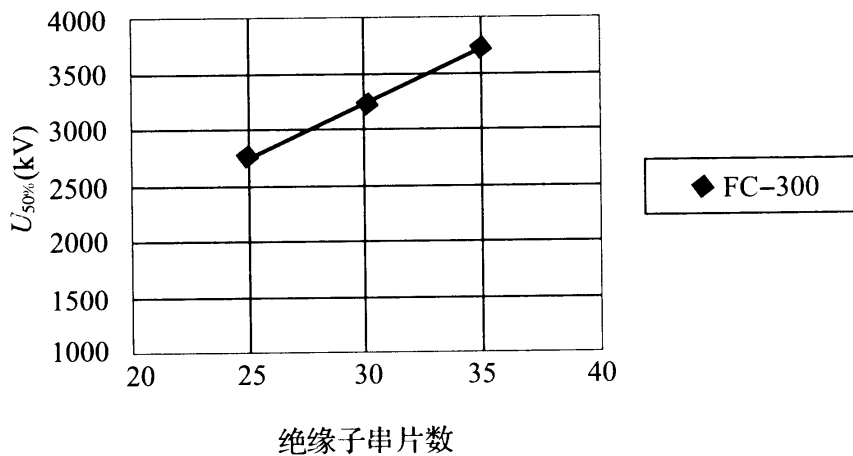


图 1

2) 采用规程法, 计算用波形取半余弦波形。雷击塔顶时, 在杆塔绝缘上的电压 (U) 由以下三个分量组成: 流经杆塔的电在杆塔接地电阻上形成的电压降; 流经杆塔的电在杆塔电感上形成的电压降; 在导线上感应的电压。

$$U = \frac{\beta I R_{ch}}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi t}{\tau_t} \right) (1 - k) + \beta \frac{1}{2} L_t \left(\frac{h_a}{h_t} - k \right) \times \frac{\pi}{\tau_t} \sin \frac{\pi t}{\tau_t} + \frac{a}{2} (h_{av} - k h_{gv}) \left(1 - \cos \frac{\pi t}{\tau_t} \right) \quad (10)$$

式中: β ——杆塔分流系数;

I ——雷电流幅值(耐雷水平)(kA);

- R_{ch} ——杆塔冲击接地电阻(Ω);
 t ——冲击放电时间(μs);
 τ_i ——雷电流波头长度,雷电流最大陡度取 $50kA/\mu s$,故 $\tau_i = \pi I/100$;
 k ——导线与地线间的耦合系数;
 L_t ——杆塔电感,可根据试验及实测数据选取,高杆塔亦可取 $0.55\mu H/m \sim 0.6\mu H/m$;
 h_a ——导线横担高度(m);
 h_t ——杆塔总高度(m);
 a ——感应过电压系数,其值等于随雷电流幅值(I)而变化的系数, $a = 0.1I + 10$;
 h_{av} ——导线的平均高度(m);
 h_{gv} ——地线的平均高度(m)。

根据要求的耐雷水平(I),按式(10)计算出不同时间(t)杆塔绝缘上的冲击电压(U)曲线($U-t$ 曲线)后,再根据绝缘子的伏秒特性,绘出不同片数绝缘子的伏秒特性曲线。由 $U-t$ 曲线与绝缘子伏秒特性曲线相切点即可确定所需绝缘子片数。绝缘子的伏秒特性可根据有关试验数据选取,若无恰当数据,亦可将拟选用的绝缘子型式及片数按高度折算成 $146mm \times 254mm$ 标准绝缘子片数查《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)图 2-6-58 曲线。

3) 计算 50m 呼称高单回路海拔 1000m 时的耐雷水平见表 7。

表 7 不同绝缘子串片数的耐雷水平

$R_{ch}(\Omega)$ \ 塔型	42 片		43 片		44 片	
	ZB	ZM	ZB	ZM	ZB	ZM
7	244.9	249.6	250.8	255.6	256.6	261.5
10	223.5	227.1	228.8	232.5	234.1	237.9
15	196.0	198.4	200.6	203.1	205.3	207.8

1000kV 特高压线路耐雷水平按 $I_1 = 200\text{kA}$ 考虑,冲击接地电阻 $R_{ch} = 15\Omega$,要求的绝缘子串片数为 43 片 300kN 强度等级,结构高度 $H = 195\text{mm}$ 绝缘子,50% 雷电冲击放电电压为 4588kV。按此要求进行雷电过电压间隙选择。

(2)在海拔高度 1000m 以下地区的 $\pm 800\text{kV}$ 输电线路。

自三沪直流线路开始,我国 $\pm 500\text{kV}$ 直流线路基本取消清洁区,起步按轻污区,盐密按 $0.05\text{mg}/\text{cm}^2$ 考虑,综合污耐压与爬电比距法及运行经验确定的片数为 40 片,因此,按线性推算, $\pm 800\text{kV}$ 直流线路轻污区取 64 片(单片绝缘子的高度取 170mm 或 205mm)。

(3)特高压交、直流线路,在海拔高度超过 1000m 的地区,绝缘子的片数应进行修正,修正方法可按下式确定:

$$n_H = ne^{0.1215m_1(H-1000) \cdot 1000} \quad (11)$$

式中: n_H ——高海拔地区每串绝缘子所需片数;

m_1 ——特征指数,它反映气压对于污闪电压的影响程度,由试验确定;

H ——海拔高度(m)。

特高压交、直流线路各种绝缘子 m_1 值一般应根据实际试验数据确定,当无试验数据时建议采用的 m_1 见表 8,有关说明和取值见附录 C。

表 8 特高压交、直流部分形状的绝缘子 m_1 值

绝缘子型式	普通型	双伞防污型	三伞防污型
m_1	0.50	0.38	0.31

7.0.3 由于线路按工频电压(工作电压)确定的绝缘子串长具有较高的耐雷电冲击绝缘水平,计算表明,一般不再增加片数已能保证较高的耐雷水平和较低的雷击跳闸率水平。但是,大跨越杆塔很高,需要根据具体工程情况通过计算确定在雷电过电压下所要求的实际绝缘子片数。随着杆塔高度的增加,大跨越杆塔的反击耐雷水平呈下降趋势,宜适当增加杆塔的绝缘水

平。由于高杆塔而增加绝缘子片数时,雷电过电压最小间隙也相应增大。

7.0.4 现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665 规定采用爬电比距法确定绝缘子片数,若采用统一爬电比距计算需做相应转换。统一爬电比距是指绝缘子表面爬电距离与绝缘子两端最高运行电压(对于交流系统,为最高相电压,1.1 额定线电压/ $\sqrt{3}$)之比。

7.0.5 绝缘子片数应取污耐压法和爬电比距法计算结果的较大值。当采用污耐压法时,主要原则如下:

(1)确定污秽区等值附盐密度 ESDD、ESDD 上下表面积污率比 CUR 与等值附灰密度 NSDD。

(2)确定使用的绝缘子长串 U_{50} 污耐压特性曲线。

(3)安全系数(或标偏系数) K 、单串闪络概率 p 及单片最大耐受电压的确定。

由线路设计闪络概率 P 确定单串闪络概率 p :

$$P=1-(1-p)^n \approx np(\text{当 } n \text{ 很大时})$$

其中, n 为并联绝缘子串数。

绝缘子串污秽闪络电压按正态分布函数 $\phi(k)=1-p$ 分布, K 由正态分布表得出,可由单串闪络概率 p 和标准偏差 σ (可取 7% 或由试验数据计算)计算 $U'_{耐}$:

$$U'_{耐}=(1-K\sigma) \times U_{50}$$

$$K=2.00:U'_{耐}=0.86U_{50},p=2.275\%;$$

$$K=2.15:U'_{耐}=0.8495U_{50},p=1.58\%;$$

$$K=2.50:U'_{耐}=0.825U_{50},p=0.621\%;$$

$$K=3.00:U'_{耐}=0.79U_{50},p=0.135\%。$$

安全系数 K 取值取决于 ESDD 的准确性,如果 ESDD 取值准确,则 K 取较小值,反之则取较大值。安全系数 K 取值取决于线路的重要性,如线路特别重要,则要求单串闪络概率 p 小,因此 K 取较大值,反之则取较小值。

(4) NSDD 校正, 校正系数 K_1 。

绝缘子人工污秽闪络电压 U_{50} (kV/片) 是 $CUR = 1 : 1$, $NSDD = 0.1 \text{ mg/cm}^2$ 时的数值, 实际上 NSDD 应根据实际情况确定, 当 NSDD 大于 0.1 mg/cm^2 时, 应修正耐受电压值。按公式修正则是最低值。

公式: $V_{NSDD} = V_{(0.1)} \times (NSDD/0.1)^{-0.12}$, 校正系数 $K_1 = (NSDD/0.1)^{-0.12}$

(5) ESDD 上下表面积污比校正, 校正系数 K_2 。

内伞型绝缘子: 上下表面积污比校正系数 $K_2 = 1 - 0.38 \log(CUR)$

三伞型绝缘子: 上下表面积污比校正系数 $K_2 = 1 - 0.8 \log(CUR)$

(6) 污秽成分分析校正, 校正系数 K_3 。

人工污秽闪络电压曲线是纯 NaCl , 比实际污秽严重, 实际污秽成分主要是石膏盐 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等。因此, 人工污秽电压实验数据低于实际情况下的自然污秽值。

在清洁区因为 ESDD 取值小, 可以不考虑可溶性物质的影响。在重污区则需考虑可溶性物质盐与石膏的比例, 因为有石膏的存在而不全是盐, 实际污耐受电压会相应提高。经验公式:

石膏 : 盐 = 100 : 25, 则耐污压 $\times 1.2$

石膏 : 盐 = 100 : 10, 则耐污压 $\times 1.3$

石膏 : 盐 = 100 : 5, 则耐污压 $\times 1.4$

(7) 确定设计污耐受电压 $U_{\text{耐}} = K_1 \times K_2 \times K_3 \times (1 - K_{\sigma}) U_{50} = KK \times U_{50}$ 。

(8) 确定绝缘子串片数 $N = U_m / U_{\text{耐}}$, U_m 为最高运行电压。

国内外对绝缘子的人工污耐压试验证明: 在相同的盐密下, 直流条件下的污耐压值较交流低 $15\% \sim 20\%$, 因此, 直流的爬电比距应是交流的 2 倍以上 ($\sqrt{3} \times 1.2 = 2.08$), 按上式计算出直流线

路爬电比距应满足表 9 的要求。

表 9 按推算的爬电比距要求的绝缘子片数

直流等值盐密 (mg/cm ²)	等效交流等值盐密 (mg/cm ²)	推算的直流线路要求 爬电比距(cm/kV)	±800kV 要求 的片数
0.05	0.10	4.32	63
0.08	0.16	4.82	71
0.15	0.30	5.49	80

7.0.6 (1)在海拔高度 1000m 以下地区的 1000kV 线路。

表 7.0.6-1 中同塔双回最小间隙值为 I 串数据。

表 7.0.6-1 中雷电间隙为一般线路数据,但是对于大跨越来说,因跨越塔较高,应考虑雷电过电压空气间隙影响。

1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压线路西化工黄河大跨越采用耐一直一直一直—耐方式,跨越档距为 450m—1220m—995m—986m,耐张段总长度 3651m,跨越直线塔呼高 112m,全高 122.8m。黄河大跨越地段按 III 级污秽区考虑,爬电比距宜大于或等于 3.2cm/kV,根据污秽程度、主要污秽成分,参照电科院双伞型 420kN 绝缘子配置片数取 59 片,考虑 2 片零值绝缘子,采用 61 片成串,相应的爬电比距为 3.68cm/kV,绝缘子结构长度 12505mm。雷电过电压空气间隙取值为 $(43 \times 195 + 7 \times 146) \times 0.8 = 7.5\text{m}$ 。沿山头汉江大跨越采用耐一直一直—耐方式,跨越档距为 706m—1650m—600m,耐张段总长度 2956m,跨越直线塔呼高 168m,全高 181.8m,汉江大跨越地段按 II 级污秽区考虑,导线悬垂串采用 4 联 550kN 绝缘子(单片结构高度 240mm,爬电距离 700mm),按瓷件长度 10530mm 换算到 550kN 绝缘子约为 44 片,考虑增加 2 片零值绝缘子,采用 46 片成串,相应的爬电比距为 3.22cm/kV。雷电过电压空气间隙

取值为 $(43 \times 195 + 13 \times 146) \times 0.8 = 8.2(\text{m})$ 。

(2) 在海拔高度 1000m 以下地区的 $\pm 800\text{kV}$ 输电线路。

表 7.0.6-1 括号内数据为云广 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的设计值,其他数值是向上、锦苏 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的设计值。

对 $\pm 800\text{kV}$ 特高压一般线路可不考虑雷电过电压空气间隙,但是,对于大跨越来说,因跨越塔较高,应考虑雷电过电压空气间隙影响。

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路工程新吉阳长江大跨越采用单回路设计,采用耐一直一直一耐方式布置,耐张段长度为 2985m,档距布置为 518m—2052m—415m,南岸跨越塔呼高为 221m,全高为 230m;北岸跨越塔呼高为 233m,全高为 242m。满足 200kA 耐雷水平时雷电过电压间隙为 6.1m。

(3) 大于 1000m 海拔的线路带电部分与杆塔构件的最小间隙参见现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665 和《 $\pm 800\text{kV}$ 直流架空输电线路设计规范》GB 50790。

(4) 大于 1000m 海拔的空气放电电压按下式修正:

$$U_h = \frac{U_0}{K_a} \quad (12)$$

式中: U_h ——海拔为 h 时的 50% 放电电压(kV);

U_0 ——海拔为 0m 时的 50% 放电电压(kV);

K_a ——空气放电电压海拔修正系数。

空气放电电压海拔修正系数 K_a 可按下式确定:

$$K_a = e^{\frac{mH}{50}} \quad (13)$$

式中: m ——海拔修正因子,工频电压、雷电过电压海拔修正因子 $m=1.0$,操作过电压海拔修正因子见图 2 中的曲线 a (相对地绝缘);

H ——海拔高度(m) ($H \leq 2000\text{m}$)。

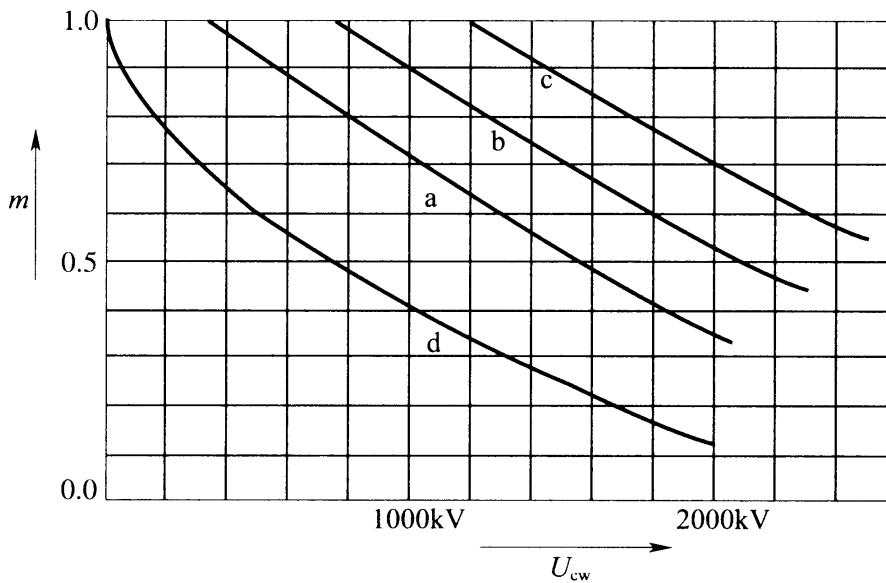


图 2 修正因子 m

a—相对地绝缘间隙；b—纵绝缘间隙；

c—相间绝缘间隙；d—棒-板绝缘间隙(标准间隙)

7.0.7 《带电作业工具基本技术要求及设计导则》规定可以接受的危险率水平为 1.0×10^{-5} 。确定 1000kV 线路带电作业时,应考虑单相接地分闸过电压,而不考虑合闸空载线路操作。

表 10 中数值为中国电力科学研究院通过 $\pm 800\text{kV}$ 线路带电检修研究试验得到的相关成果,并根据分析和试验结果,计算出满足带电作业危险率小于 1×10^{-5} 的最小安全距离。

表 10 $\pm 800\text{kV}$ 直流线路带电作业时带电部分对杆塔接地部分的校验间隙(m)

位 置	线 路 中 点		线 路 起 点	
	危险率(1×10^{-6})	最小安全距离	危险率(1×10^{-6})	最小安全距离
地电位作业	5.49	6.9	6.05	5.8
等电位作业	5.49	6.8	8.8	5.7
等电位作业	9.04	6.9	4.71	5.9

注:1 对操作人员需要停留工作的部位,还应考虑人体活动范围 0.5m。

2 校验带电作业的间隙时,采用的计算条件为:气温 $+15^\circ\text{C}$, 风速 10m/s。

3 带电作业间隙不作为铁塔设计的控制条件。

7.0.8 现行国家标准《1000kV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合》GB/Z 24842 给出的特高压一般线路反击耐雷水平不宜低于 200kA,因此 1000kV、±800kV 大跨越工程的反击耐雷水平不宜低于一般线路。同时现行国家标准《1000kV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合》GB/Z 24842 要求变电站 2km 架空进线段范围内反击耐雷水平不宜小于 250kA,因此,要求对发电厂、变电所进线段内的特高压大跨越工程反击耐雷水平不宜低于 250kA。另外,现行国家标准《1000kV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合》GB/Z 24842 要求大跨越档在雷电过电压下安全运行年数不宜少于 50 年,大跨越工程也照此执行。

1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压线路大跨越工程数据:

(1)中线特高压黄河跨越酒杯型塔雷击无故障时间是 72 年,等值雷击跳闸率为 0.36 次/100km·a,绕击跳闸率多于反击跳闸率,雷击无故障时间均大于 50 年,等值雷击跳闸率也小于 1 次/100km·a,均能满足安全运行要求。

(2)中线特高压汉江跨越酒杯型塔雷击无故障时间是 98 年,等值雷击跳闸率为 0.35 次/100km·a,绕击和反击各占雷击跳闸的约 1/2,雷击无故障时间均大于 50 年,等值雷击跳闸率也小于 1 次/100km·a,均能满足安全运行要求。

(3)根据电科院等科研单位针对中线特高压大跨越工程实际杆塔尺寸进行的耐雷水平计算结果,为加强本工程跨越段的防雷保护,采用如下防雷保护措施:

1)本工程大跨越段架设双地线(其中一根为普通地线,另一根为 OPGW);

2)地线与导线间的水平位移按不小于 1m 考虑,跨越塔上地线对导线的保护角小于 0° ,有效的防护雷电对导线的绕击;

3)加大档距中央导线和地线之间的距离($>20\text{m}$),使雷击档距中央的耐雷水平满足 200kA;

4)对直线跨越塔适当加强绝缘,本跨越悬垂串选用每联 46 片

550kN 绝缘子；

5)设计要求接地电阻应小于 5Ω 。

向家坝—上海±800kV 特高压直流输电线路工程数据：

电科院和清华大学分别对向上线工程的耐雷性能进行了计算。对绕击耐雷性能，电科院采用电气几何模型，清华大学采用先导发展模型；对反击耐雷性能，均采用行波法进行计算。表 11 为电科院和清华大学的绕击闪络率计算结果。

表 11 全线绕击闪络率

地 形	比 例(%)	绕击闪络率(次/100km·a)	
		电科院	清华大学
河网	6.74	0.337	0.179
平地	20.83	0.337	0.179
丘陵	18.75	0	0
一般山地	36.97	0.307	0.0129
高山大岭	16.71	0.667	0.0359
全线	100	0.319	0.0601

由反击耐雷性能计算可以看出，对于负极性雷，反击闪络均发生在正极线上，负极线不易发生反击闪络。而对反击耐雷水平及闪络率影响较大的是接地电阻，接地电阻和地质地貌有密切关系，根据地形比例计算全线反击闪络率，表 12 列出了电科院和清华大学对全线反击闪络率的计算结果。

表 12 全线反击闪络率

地形	比例(%)	工频接地 电阻(Ω)	反击闪络率(次/100km·a)	
			电科院	清华大学
河网	6.74	5	0.004	0.0084
平地	20.83	10	0.030	0.0167
丘陵	18.75	10~15	0.095	0.0281
一般山地	36.97	15~20	0.311	0.0475
高山大岭	16.71	20~30	0.845	0.110
全线	100	—	0.28	0.0453

计算全线综合雷击跳闸率,结果见表 13。

表 13 全线雷击闪络率

	反击闪络率 (次/100km·a)	绕击闪络率 (次/100km·a)	全线雷击闪络率 (次/100km·a)	全线年 闪络次数(次)
电科院	0.28	0.319	0.599	11.4
清华大学	0.0453	0.0601	0.1054	2.0

从上表可见,电科院与清华大学对耐雷性能的计算结果有较大差异,这是由于计算采用的模型、边界条件对耐雷性能的计算结果有较大影响。考虑到影响雷击闪络率的因素很多,单纯理论计算不一定完全反映线路的耐雷性能,因此,本工程与已投运±500kV直流线路防雷指标进行了比较。

表 14 为国家电网公司±500kV 跨区直流输电工程2004年~2007年的运行情况。

表 14 ±500kV 直流线路雷电闪络事故

线路	线路长度 (km)	雷击闪络次数					雷击闪络率 (次/100km·a)
		2004	2005	2006	2007	合计	
葛南线	1045	4	0	3	4	11	0.26
龙政线	895	1	2	1	4	8	0.22
江城线	940	1	2	4	4	11	0.29
宜华线	1070	—	—	—	5	5	0.47

综合比较电科院、清华大学对本工程耐雷性能的计算结果,结合国家电网公司±500kV 跨区直流输电工程 2004年~2007年的运行情况,分析得出电科院的耐雷性能计算结果偏保守,同时考虑到本工程相当一部分杆塔,由于 V 串夹角较小,塔头空气间隙大约可以到 10m,因此,实际耐雷水平会比计算值更高。

根据电科院对±800kV 直流线路闪络率计算结果和±500kV 直流线路的闪络率统计结果的对比,可以看出±800kV 直流耐雷性能略高于±500kV 直流线路。

向上线新吉阳长江大跨越位于平地,保护角为 -4° ,小于一般线路,绝缘子串长 17.52m,对应的空气间隙达到 10m,雷击闪络率低于一般线路。

广东省电力设计研究院对 1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流黄河大跨越(单回路)、1000kV 淮南—上海特高压交流长江大跨越(同塔双回路)和 ± 800 kV 锦屏—苏南特高压直流长江大跨越(单回路)的耐雷水平、跳闸率和雷电过电压下安全运行年进行了验算,结果如下:

(1)晋南荆线黄河大跨越的反击耐雷水平为 306.3kA,反击跳闸率为 0.0117 次/(100km·a·40 雷电日),绕击跳闸率为 0.150 次/(100km·a·40 雷电日),线路总雷击跳闸率为 0.1617 次/(100km·a·40 雷电日),雷电过电压下安全运行年数可达 169 年。

(2)淮上线长江大跨越单回反击耐雷水平为 240kA,单回反击跳闸率为 0.0369 次/(100km·a·40 雷电日),单回绕击跳闸率为 0.57 次/(100km·a·40 雷电日),线路单回总雷击跳闸率为 0.6069 次/(100km·a·40 雷电日),折算成雷击无故障时间达 52 年,满足雷击跳闸 50 年一次的要求。

(3)锦苏线长江大跨越的正极反击耐雷水平为 343kA,反击跳闸率为 0.0041 次/(100km·a·40 雷电日),正极绕击耐雷水平为 69kA,绕击跳闸率为 0.1315 次/(100km·a·40 雷电日),正极总雷击跳闸率为 0.1355 次/(100km·a·40 雷电日);负极反击耐雷水平超过 500kA,反击跳闸率几乎为 0,负极绕击跳闸率为 0.0969 次/(100km·a·40 雷电日),负极总雷击跳闸率近似等于其绕击跳闸率。折算成雷击无故障时间,正极为 252 年,负极为 353 年。

7.0.9 大跨越随杆塔高度增加宜适当增加杆塔的绝缘水平。绝缘子串的长度应根据雷电过电压计算进行校核,并根据雷电过电压计算确定导线对杆塔的空气间隙距离,一般大跨越雷电过电压

空气间隙按照绝缘子串放电电压的 80% 配合。根据雷击档距中央地线时控制反击的条件,大跨越档距中央导线与地线间的距离应通过雷电过电压计算确定。

1000kV 线路杆塔上地线对边相导线的保护角应符合下列规定:

(1)对于单回路线路,在平原丘陵地区不宜大于 6° ,在山区不宜大于 -4° ;

(2)对于双回路线路,保护角在平原丘陵地区不宜大于 -3° ,在山区不宜大于 -5° ;

(3)耐张塔地线对跳线保护角,平原单回路不宜大于 6° ,山区单回路和双回路不宜大于 0° ;

(4)变电站 2km 进出线段不宜大于 -4° 。

$\pm 800\text{kV}$ 直流输电线路杆塔上地线对导线采用负保护角,在山区不宜大于 -10° ,平地线路地线对导线采用负保护角。

采用电气几何模型 EGM 理论计算表明,塔头上两根地线的距离达到地线与导线间垂直距离的 5 倍时,穿过两根地线绕击导线的雷电流也不足以引起特高压线路闪络,为降低中相绕击概率,仍沿用现行行业标准《110kV~750kV 架空输电线路大跨越设计技术规程》DL/T 5485 的规定。

最近几年,各地电网纷纷反映,超高压线路的雷击(其中主要为绕击)有增加的趋势。这与电网发展,尤其是双回路的大量出现,塔高趋高有密切的关系。有些省公司(如江苏、福建)已明确要求各地在新建工程中将线路保护角大幅度缩小,使双回路的保护角在 0° 左右。但运行经验表明,在大跨越工程中,雷击(含绕击)问题并不突出,甚至可以用比较稀罕来做结论。这和大跨越设计规定(98 版)调研时的结论基本一致。这可能和大跨越工程的绝缘配置本身已足够强,雷击(包括绕击)不足以引起跳闸有关。

在 20 世纪 90 年代以后的大跨越工程,保护角有减小的趋势,这些工程的跨越塔也比较高,综合分析比较这些工程的运行经验,

结合晋东南—南阳—荆门 1000kV 特高压线路及大跨越设计经验,进行了一些修改,要求特高压大跨越地线对边导线的保护角宜小于一般线路保护角。

7.0.10 根据国网电科院研究成果,对特高压大跨越工程由于线路工作电压高,档距中央导线与地线间距离不考虑线路的工作电压影响是不合适的,宜在计算公式中增加反映线路工作电压的影响项。

一般大跨越档为防止雷击档距中央地线时反击导线,在气温+15℃、无风、无冰时,档距中央导线与地线的距离宜按式 14 或 15 和 16 计算,并选其较小者。对发电厂、变电所进线段内的大跨越档,导线与地线间的距离应符合式 16 的要求。

$$1000\text{kV 交流线路: } S \geq 0.015L + \sqrt{2}U_m / \sqrt{3} / 500 + 2 \quad (14)$$

$$\pm 800\text{kV 直流输电线路: } S \geq 0.015L + U_m / 500 + 2 \quad (15)$$

$$S \geq 0.1I \quad (16)$$

式中: S ——导线与地线间的距离(m);

L ——档距长度(m);

U_m ——最高运行(工作)电压(kV);

I ——档距中央的耐雷水平(kA)。

7.0.11 大跨越工程的接地体引出线截面大于一般线路。利用自然接地体时,接地体可不镀锌。

7.0.12 大跨越杆塔的接地电阻要求值与一般线路工程相比要小,本标准没有直接和电压挂钩,当土壤电阻率较高时,在采用降阻模块等技术措施后,要达到所要求的工频接地电阻值并不困难。

8 绝缘子和金具

8.0.1 本条基本沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第7.0.1条。

现行行业标准《(110—500)kV 架空送电线路设计技术规程》DL/T 5092—1999 第8.0.1条对瓷质盘型绝缘子有校验常年荷载安全系数的要求,此条是针对当初瓷绝缘子质量不稳定,发生事故较多而提出的,目前国产瓷绝缘子产品质量不断提高,在目前有条件择优选购的情况下,在限制常年荷载的问题上瓷质绝缘子和玻璃绝缘子可以等同看待。电力规划设计总院以电规总送(2002)73号文,对华东电力设计院《关于盘型绝缘子常年荷载安全系数的复函》,已明确在择优采购的情况下,瓷和玻璃绝缘子在限制常年荷载问题上可以等同看待,其常年安全系数一般输电线路工程按不低于4.0考虑,此要求已在现行国家标准《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》GB 50545—2010第6.0.1条中体现。常年荷载状态下安全系数不仅对绝缘子有影响,对金属件也有影响,为此电力行业标准要求所有绝缘子均通过微风振动的试验。

年平均气温时的安全系数与绝缘子老化有关,据有关资料介绍,平均气温时安全系数达到5及以上,老化率趋向于零,考虑到大跨越工程的重要性,且在轻载地区,正常运行的绝缘子有足够的安全性,因此,常年荷载安全系数取5.0适用于所有绝缘子。

8.0.2 绝缘子串断串的原因,主要是串中有零值绝缘子,绝缘子劣化因素很多,如先天性内应力、金具和瓷件的热膨胀、水泥的化学膨胀,以及冻结膨胀等引起的应力重叠作用下常年负荷的作用,都是不可忽视的因素。因此,大跨越绝缘子串每组不少于两联,且各串中当发生

断任何一串时,余下各联绝缘子串的安全系数不小于 2。

8.0.3 本条沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 7.0.3 条。

8.0.4 由于大跨越金具串基本上均为特殊设计、加工相对复杂,且目前金具采用的强度标准不统一,另外,大跨越高空安装复杂,高空安装时发现问题工期已跟不上,为此,要求绝缘子金具串安装前应进行试组装,校核强度及连接尺寸是否相匹配。

8.0.5 本条沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 7.0.4 条。

与横担连接的第一个金具受力较复杂,国内早期运行经验已经证明这一金具不可采用可锻铸铁制造的产品。1988 年发生在 500kV 大房线上的球头断裂事故证明:第一个金具不够灵活,不但本身易受磨损,还将引起相邻的其他金具受到损坏。因此,在选择第一个金具时,应从强度、材料、型式三方面考虑。国外对此金具也有特殊考虑的事例,加拿大 BC 省水电局是采取加大一个强度等级的措施;日本则通过疲劳、磨损等试验对各种金具型式进行选择;意大利设计了一种两个方向的回转轴心基本上在同一个平面上的金具,使得两个方向转动都较灵活。因此,现在设计的 500kV 线路,对第一个金具的选择,除了要求结构上灵活外,同时要求强度上适当提高。大跨越工程更应如此。

8.0.6 大跨越工程用光纤复合架空地线的一种常用形式是双悬垂预绞式线夹,如图 3 所示,这种线夹包括一定数量的护线条、预绞丝、氯丁橡胶制成的衬垫(两片)以及两个悬垂夹体。橡胶内衬包裹住缠有护线条的光纤复合架空地线,外层预绞丝从外面包裹住橡胶内衬,铝合金夹体在最外层,它起到锁紧护线条装置的作用,并有效地防止光缆的轴向移动。此种线夹的缺点是它的握力难以超过 38kN。此种线夹目前常用于层绞式光纤复合架空地线。

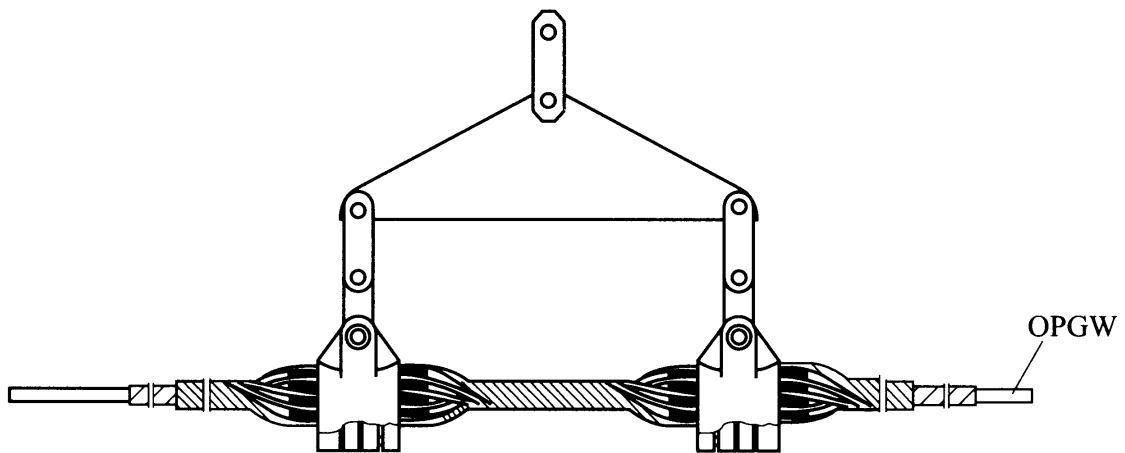


图 3 双悬垂预绞式线夹

另一种常用的是船式悬垂线夹,如图 4 所示,更确切地说是提包式悬垂线夹。对此种线夹的技术要求,主要有下面几点:第一,具有比较好的机械强度;第二,对导线具有一定的握力;第三,线槽具有一定的曲率半径,能够降低导线的弯曲应力和比较好地降低由于振动对光纤复合架空地线造成的应力损伤。此种悬垂线夹船体常用材料是铝合金,目前常用于铝骨架式 OPGW。

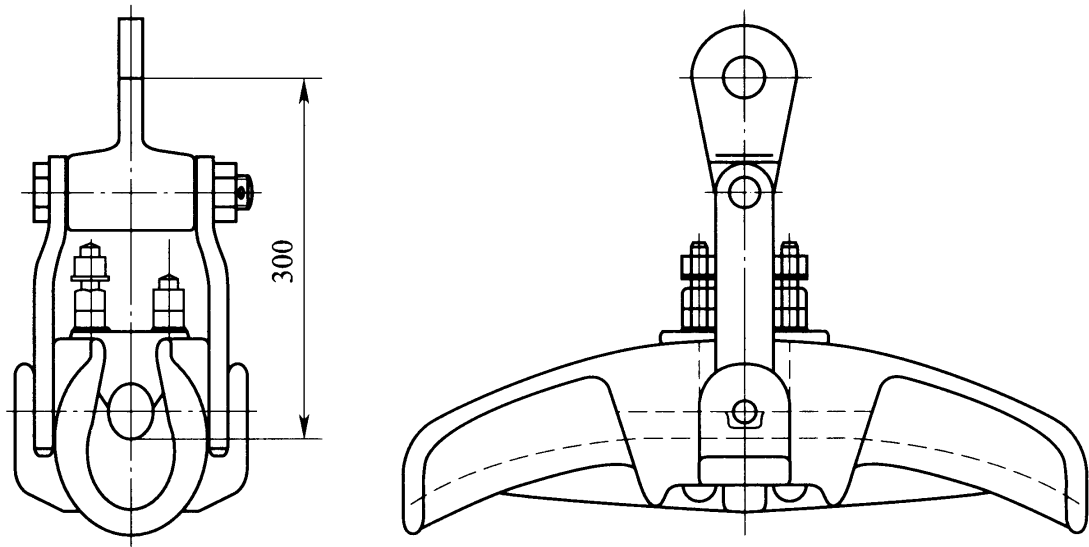


图 4 固定式悬垂线夹

第三种常用的是悬垂—双耐张线夹,如图 5 所示,更确切地说是两个预绞式耐张线夹通过一个三联板用作一个悬垂线夹。此种线夹的特点主要有下面几点:第一,对导线具有足够的握力;第二,可以满足 30° 以上的悬垂角的要求;第三,对直线塔的要求与一般悬垂串相同。此种形式目前常用于铝管式光纤复合架空地线。

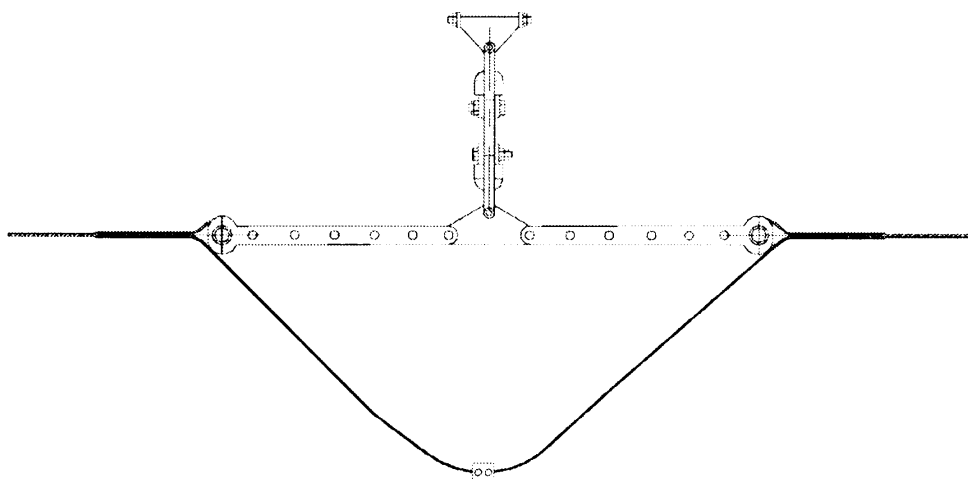


图 5 悬垂-双耐张线夹

为此,光纤复合架空地线的悬垂线夹选择应根据工程情况、悬挂点局部弯曲引起附加应力及光纤复合架空地线具体型式优化确定。以上型式供参考。

光纤复合架空地线的耐张线夹一般有以下几种型式:

一种常用形式是双预绞丝式耐张线夹,如图 6 所示,它的预绞丝一般由 5 根或更多螺旋状的金属丝组合而成,并在组合体的内表面附有细小且均匀的金刚砂,以增大接触面的摩擦系数。通过嵌环来保护预绞丝环状末端,使其不受磨损。由于沿光缆的环向压力被分布到了较大的接触面积上,此种线夹目前常用于层绞式光纤复合架空地线。

另一种常用的是 U-bolt 耐张线夹,如图 7 所示,由开槽的线夹体、夹持线条与楔子组成。夹持线条与楔子、线夹体相连,它将轴向力和压应力分布到光纤复合架空地线一个比较长的区域上。此种线夹的缺点是对施工工艺要求比较严格,通常需使用测力扳手按规定扭矩紧固螺栓。目前常用于层绞式光纤复合架空地线。

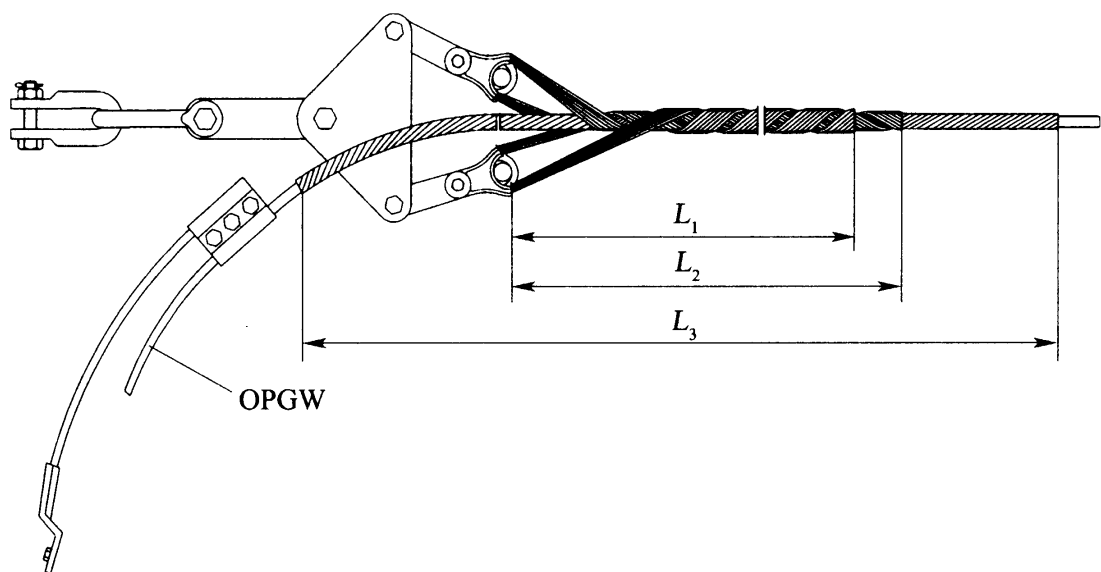


图 6 双预绞丝式耐张线夹

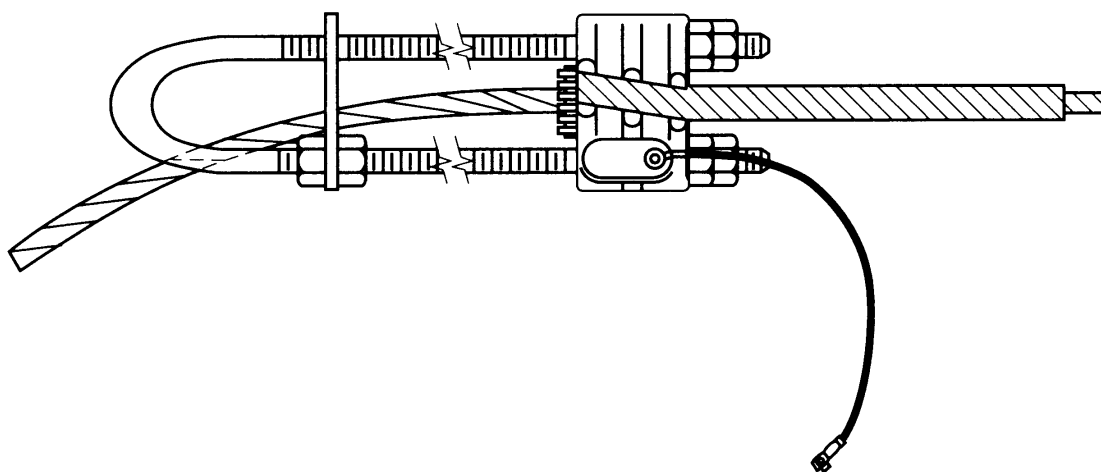


图 7 U-bolt 耐张线夹

第三种常用的是楔形线夹,如图 8 所示,此种线夹对光纤复合架空地线有比较大的挤压力,目前常用于铝骨架式光纤复合架空地线。

为此,光纤复合架空地线的耐张线夹应根据工程情况光纤复合架空地线的具体型式优化确定。以上型式供参考。

8.0.7 本条基本沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 7.0.5 条。随着技术的不断发展,现在大跨越悬垂线夹一般不用滑动型悬垂线夹,因此删除滑动型悬垂线夹的内容。

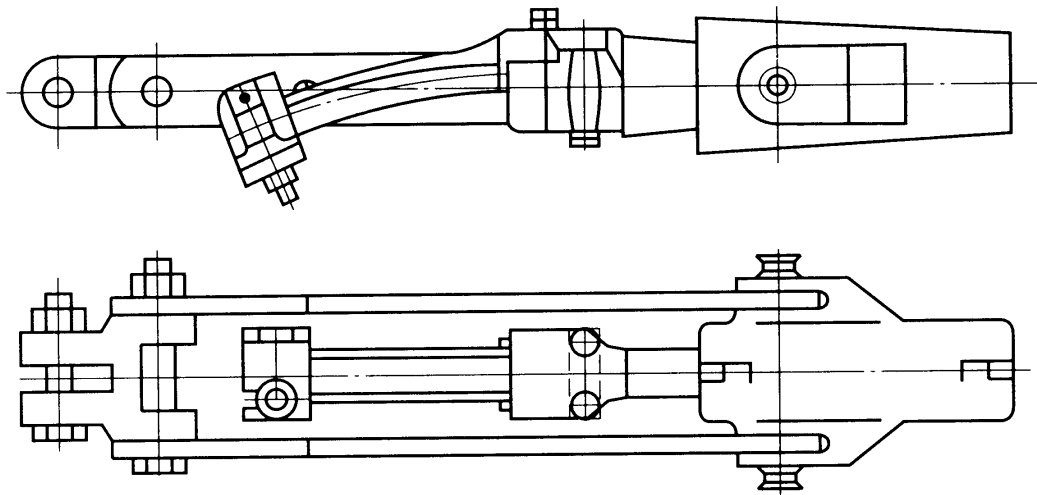


图 8 楔式耐张线夹

8.0.8 本条基本沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 7.0.6 条。补充耐张线夹施工前需进行试验。

大跨越耐张线夹比较特殊,其握着强度在架线施工前应进行试件试验,根据规范要求,试件不得少于 3 组,其试验握着强度都不得小于导线或地线额定拉断力的 95%。另外,施工前进行试件试验有利于掌握压接施工工艺。

8.0.9 本条沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 7.0.7 条。

大跨越工程往往采用特种导线、地线,金具承受的荷重较大,常采用非标准金具,在具体工程设计中需试制、试验合格后才可使用,其中导线、地线悬垂线夹,通常有固定型、滑动型和有限握力型(如线托)三大类。固定线夹应保证握力大于断线张力,滑动线夹和有限握力线夹(如线托)可使断线时纵向荷重减轻,可是,防振金具和间隔棒需采用释放型,各项试验工作量也较大。大跨越工程选用哪种悬垂线夹合适,需作全面的经济、技术比较(包括塔和防振金具),慎重确定,并经试验验证、改进,方可使用。

500kV 平武线工程汉水(中山口)大跨越,由于发生舞动,线托的剪切销钉剪断,线夹的船体滑脱,磨伤导线,致断股。因此,易

发生舞动地区的大跨越工程(尤其是分裂导线),对悬垂线夹型式的选择和设计,以及试制、试验方案和要求,都应格外慎重。这是非常重要的。

8.0.10 特高压金具设计时需重点对跳线、间隔棒、绝缘子串等金具的表面场强复核校验,优化设计控制其表面场强。

9 塔高和塔头布置

9.0.1 该距离按操作过电压间隙控制,并考虑一定的裕度,对1000kV交流线路,按导线最大过电压间隙7m加上3m裕度,取为10m,对±800kV特高压直流线路,按导线最大过电压间隙7.5m加上3m裕度,取为10.5m。

9.0.2 为了解决测量、计算和施工误差而引起的导线对水面和桅杆顶距离的减小,在确定跨越杆塔悬挂点高度时应预留“误差裕度”,以进行补偿。

测量误差主要包括:档距测量误差、高差测量误差、塔位高程联测误差和水位高程联测误差。对于档距的测量误差,考虑到目前我国大跨越施工时大都采用直接法观测、控制架线弧垂,其档距的测量误差不会对塔高的计算产生影响,因此不予考虑;对于塔位高差测量误差,参照现行行业标准《架空送电线路大跨越工程勘测技术规程》DL/T 5049中关于高差测量的规定,其允许值如表15,为安全起见,可取三者中较大值。

表15 塔位高差测量允许误差

跨越档档距(m)	1500	2000	2500	3000	3500
GPS测量较差(m)	±0.07				
两测回观测高差较差(m)	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7
检验测量高差较差(m)	±0.3				

导线弧垂计算误差主要考虑了由于导线参数(W 、 d)、物理特性(E 、 α)的实际数值与计算采用的数据间存在差异所致,其误差值与档距长度有关,可达0.6m~1.5m。

施工误差主要包括基础的坑深误差和架线时的弧垂施工误差。基础的坑深允许误差取±0.1m,弧垂施工误差按现行国家标准

《110kV~750kV 架空输电线路施工及验收规范》GB 50233—2014 “跨越通航河流的大跨越档其弧垂允许偏差不应大于±1%，其正偏差值不应超过 1m”，最大弧垂时误差也取 1m。

根据误差传播定律，取 2 倍中误差作为综合误差，因此跨越档档距的综合误差取为 1.8m~2.8m。当有特殊要求或情况发生重大变化时，可通过误差计算进行调整。

9.0.3 本条基本沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 8.0.3 条，仅对特高压直流线路 20mm 覆冰，线间距离增加 0.5m。档距大于 2500m 时应通过专题研究后确定。

9.0.4 目前，我国的 1000kV 特高压线路运行时间较短，也没有 750kV 大跨越，关于超高压线路水平偏移的运行资料，在一般覆冰地区的线路已不多见，大跨越则更罕见。由于水平偏移所发生的事故少见，运行单位的关注则更少。本条结合了晋东南—南阳—荆门 1000kV 特高压试验示范工程沿山头汉江大跨越和黄河大跨越的设计经验，对水平偏移提出 1m 限值的要求。

校验导线间和导线与地线间在不均匀脱冰情况下危险接近时，一般取验算档的上层导线或地线的冰重为 100%设计冰重，下层导线脱冰重量可取 50%~100%设计冰重(覆冰厚度 5mm~10mm 时脱冰重量宜取 100%)。

跳跃接近应满足运行电压要求的最小空气间隙，静态接近应满足内过电压要求的最小空气间隙。地线弧垂最低点不应低于导线弧垂最低点，上层导线弧垂最低点不应低于下层导线弧垂最低点。

9.0.5 本条沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 8.0.5 条。

9.0.6 本条沿用《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 8.0.6 条。

10 塔型选择

10.0.1 跨越塔的主要荷载是风荷载。跨越塔的高度一般较高,风荷载体型系数对塔的荷载影响较大。塔的高度越高,体型系数的影响越明显。选用风荷载体型系数较小的结构,塔本体和基础的材料量通常都有所降低。但是,钢管塔、角钢塔等上部结构的单位造价不同,所以在选择跨越塔塔型时,应对跨越塔结构和基础的造价进行综合经济比较。

10.0.2 根据大跨越工程的设计实践,钢管塔的经济性一般优于角钢塔,因此宜优先采用钢管塔。角钢跨越塔的构件断面形式一般包括实腹式组合断面和格构式断面两种,目前在国内外已有大量的设计和使用经验,因此也可作为大跨越杆塔的选择方案。鉴于特高压大跨越铁塔负荷较大,故工程确有需要时也可采用钢管混凝土结构。浙江省电力设计院在按 500kV 设计的舟山大跨越跨越塔中采用了钢管混凝土结构,取得了良好的社会和经济效益。但是,目前特高压大跨越中使用钢管混凝土结构尚缺乏成熟经验,使用时仍宜进行充分论证和试验验证。塔的总高度与根开的比例取自以往大跨越工程设计经验。

10.0.3 大跨越的耐张塔长期承受较大的张力,使用拉线(钢绞线或钢丝绳)或者圆钢斜材等柔性结构时水平变形较大,在长期荷载作用下,由于蠕变等因素变形还会进一步增大。为了确保耐张塔的刚度要求,减小结构变形,推荐采用刚性较大的自立式结构。

11 荷 载

11.0.1 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.1 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.1 条的规定。

11.0.2 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.2 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.2 条的规定。

11.0.3 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.3 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.3 条的规定。正常运行情况、断线(含纵向不平衡张力)情况和安装情况的荷载组合是各类杆塔的基本荷载组合,不论线路工程处于何种气象区都应计算。当线路工程所处气象区有覆冰条件时,还应计算不均匀覆冰的情况。

11.0.4 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.4 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.4 条的规定改写。基本风速、无冰、未断线的正常运行情况应分别考虑最大垂直荷载和最小垂直荷载两种组合。大跨越的高差和档距相差很大,即使 90°大风时导、地线中也存在纵向不平衡张力,因此计算时需同时考虑。由于大跨越工程可能先于一般线路建成,而且导、地线张力很大,临时拉线效果较差,因此耐张塔应按转角和终端两种状态计算。

11.0.5 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.5 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.5 条的规定改写。对双回路

杆塔增加了同一档内,断二根地线,导线无纵向不平衡张力的荷载组合。断线工况均考虑同一档内断线。当实际工程气象条件无冰时,应按 -5°C 、无冰、无风计算。

11.0.6 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.6 条和《 $\pm 800\text{kV}$ 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.6 条的规定改写。无冰区断线气象条件可按 -5°C 、无风、无冰设计。

11.0.7 以往的输电线路规程规定的断线为无冰、无风状态,本条结合 2008 年初的覆冰灾害情况将断线修改为有冰、无风状态,并给出了设计覆冰不大于 20mm 中冰区时的断线张力取值。地线一般没有绝缘子,断线时地线张力衰减有限,所以无论悬垂跨越塔还是耐张塔的地线,断线张力均取 100%地线最大使用张力。对于悬垂跨越塔,由于绝缘子较长,断线时绝缘子偏斜导致导线张力较大幅度衰减,因此,悬垂塔的断线张力(即分裂导线纵向不平衡张力)取最大使用张力的 60%。对于耐张塔导线,由于一相导线全部断线的可能性较小,因此不考虑全部导线同时断裂,断线张力按设计覆冰取为 70%和 80%的导线最大使用张力。

设计覆冰为 20mm 重冰区及以上时的断线张力建议取值见表 16,供设计参考。

表 16 导、地线断线张力(或导线纵向不平衡张力)取值表(%)

覆冰厚度 (mm)	地线	悬垂跨越塔导线	耐张塔导线
20~30	100	60	80
>30		70	90

11.0.8 通过对历次冰灾事故的调查,地线覆冰厚度一般厚于导线。因此,对于不均匀覆冰情况,地线的不平衡张力取值(占最大使用张力的百分数)应大于导线。无冰区和 5mm 冰区可不考虑不均匀覆冰情况引起的不平衡张力。

在 15mm 及 20mm 中冰区建设大跨越工程,不均匀覆冰情况下的不平衡张力应参考现行行业标准《重覆冰架空输电线路设计技术规程》DL/T 5440 计算,并且不低于相关的限值。

11.0.9 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.10 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.10 条的规定。

11.0.10 大跨越架线都采用张力放线,因此可不考虑双倍起吊情况。考虑到施工牵引时的弧垂远大于设计状态,为安全起见,导、地线垂直荷载按 1.5 倍自重考虑。大跨越的设计档距一般都超过 1000m,施工工具较重,安装工人较多,参考现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665 和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 的相关规定,并结合以往特高压大跨越工程的施工经验,适当增大了附加荷载的数值。安装荷载计算时,导、地线张力一般应考虑过牵引系数 1.1,施工误差 1.05。结合我国施工人员和附带工具的情况,规定与水平面夹角不大于 30°,且可以上人的铁塔构件应能承受设计值为 1000N 的人重荷载,但不与其他荷载组合。

11.0.11 阵风在高度方向的差异对曲线型铁塔斜材产生的不利影响,也称埃菲尔效应。风速作为随机过程,在空间沿着三个方向都随着时间发生变化。由于铁塔结构具有很大的空间尺度,因此不可能同时在不同的高度上达到最大风速。当铁塔某个高度处的风速达到最大值时,离该点越远的高度处,风速达到最大值的概率就越小。风速变化的这种特性对曲线型铁塔斜材的受力影响很大。鉴于曲线型铁塔与埃菲尔铁塔外形相似,因此把这种影响称之为斜材的埃菲尔效应。曲线型铁塔斜材的埃菲尔效应一般可采取折减系数法和剪力比法进行计算。

(1)折减系数法。

折减系数法是以铁塔变坡段主材的交点为界,将铁塔分成上下两大部分,并在其上下分别作用设计风载和折减风载,从而求得

风速最不利分布下斜材内力的一种方法。设计风载是指按设计基本风速和相关系数计算确定的水平风荷载,折减风载是将设计风载乘以折减系数后得到的风荷载。折减系数法主要适用于 90° 大风或 0° 大风情况,计算步骤如下:

- 1) 首先确定铁塔每个变坡段主材交点的位置;
- 2) 分别以每个主材交点为界,将铁塔分成上下两个部分;
- 3) 在铁塔上下两个部分分别作用设计风荷载和折减风荷载,组成若干不同的荷载工况;
- 4) 与其他荷载组合工况一起进行电算,即可求得斜材的最大内力。

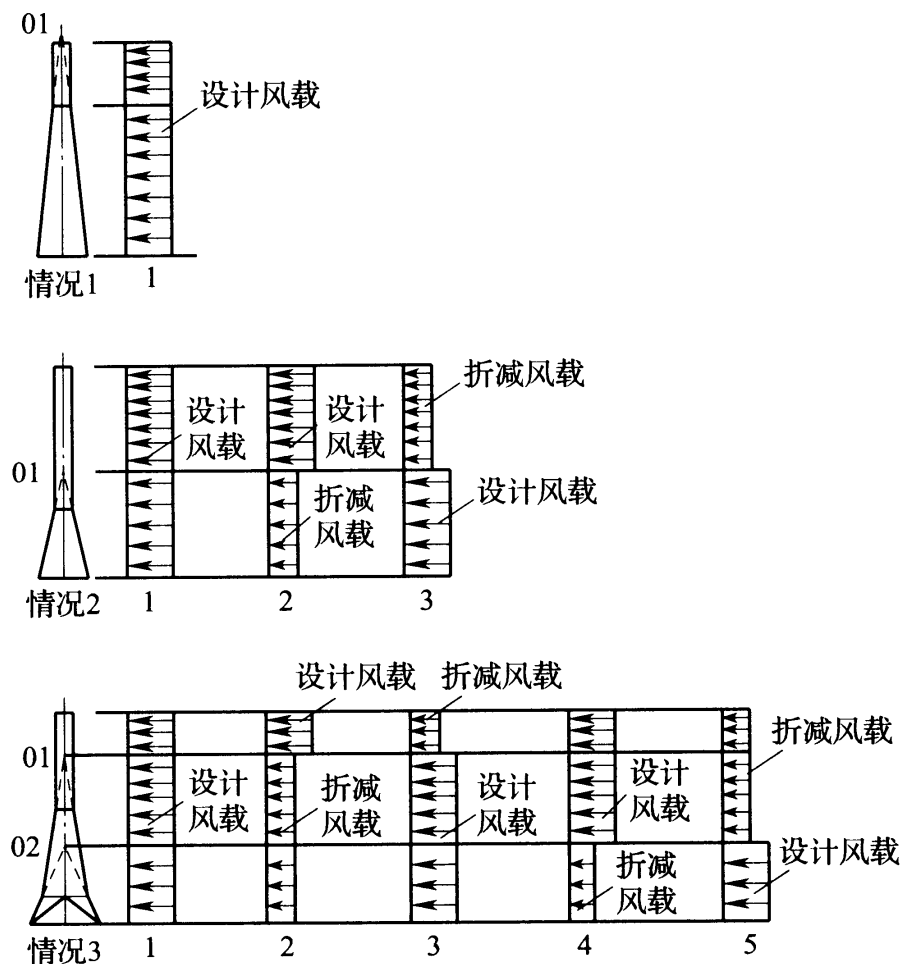


图 9 折减系数法荷载工况示意图

图 9 中情况 1, 变坡段主材交点位于塔顶以上, 不构成上下两部分的情况, 仅需按设计风载计算即可; 情况 2, 变坡段主材交点位于塔身内, 将铁塔分成上下两部分, 应按图示荷载计算 3 个工况; 情况 3, 塔身有 3 个坡度段, 主材的两个交点都位于塔身内, 应按图示荷载计算 5 个工况。当铁塔具有更多坡段时, 可按以上方法类推。折减系数的数值可按表 17 取用。

表 17 折减系数表

塔 型	风 荷 载	线 条 张 力
直线塔	0.3	—
转角塔(包括悬垂转角塔)	0.3	0.8

(2) 剪力比法。

剪力比法是根据铁塔斜材和主材承担的剪力比, 求得风速最不利分布时斜材内力的一种方法。现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 针对铁塔斜材的埃菲尔效应列出了相应的计算公式。规定当计算所得四边形钢塔斜杆的剪力与同层塔柱承担的剪力比 $\Delta = \left| \frac{Vb}{\sqrt{2}M \tan \theta} - 1 \right| \leq 0.4$ 时, 斜杆内力取塔柱内力乘以系数 α (见图 10), α 可按下式计算:

$$\alpha = \mu(0.228 + 0.649\Delta) \cdot \frac{b}{h} \quad (17)$$

式中: V ——层顶剪力(kN);

b ——层顶宽度(m);

M ——层顶弯矩(kN·m);

θ ——塔柱与铅直线之夹角($^{\circ}$);

μ ——系数, 刚性斜杆取 1.0, 柔性斜杆取 2.0;

h ——计算截面以上塔体高度(m)。

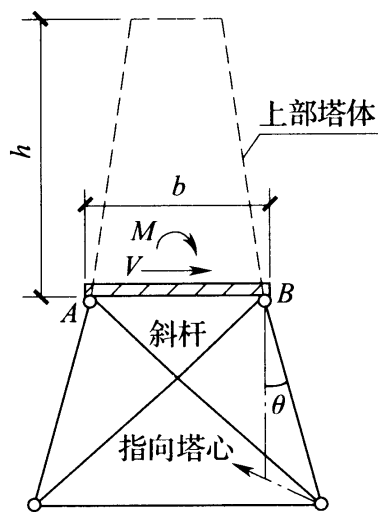


图 10 斜杆计算简图

(3)当曲线型铁塔斜材没有按照(1)或(2)条规定的方法考虑埃菲尔效应时,为了保证斜材具有足够的承载能力,其设计内力不宜小于主材内力的 3%~5%。

11.0.12 当导线设计冰厚不大于 10mm 时,验算冰不均匀脱冰的不平衡张力按 10mm 冰区规定计算,否则应按重覆冰区规定计算。

11.0.13 提高地震设计烈度可能涉及增加工程建设费用的问题,因此,一般采用基本烈度。当跨越塔建设场地的地质构造比较复杂,或者位于断层地带时可提高一度设防。

11.0.14 设计和运行经验显示,位于 9 度及以上地震区的钢结构杆塔的某些断面或构件由地震荷载控制。因此,9 度及以上地震地区的钢结构杆塔均应进行抗震验算。

11.0.15 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.17 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.17 条的规定改写。以往设计投运的大跨越钢管塔曾在不同地点、不同部位发生过微风振动现象。因此,圆筒形结构或圆管构件应进行横向风振校核。

11.0.16 在计算作用在扶梯和走道上的风载时,可不考虑铁塔构件的屏蔽效应。为保证施工和运行人员的安全,扶梯和走道上的可

变荷载按每平方米站立 3~4 个人考虑,取为 2.5kN/m²。根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 第 5.5.2 条,考虑输电线路的工业构筑物属性,栏杆顶部水平荷载取 1.0kN/m,竖向荷载取 1.2kN/m,水平荷载与竖向荷载应分别考虑。

11.0.17 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.18 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.18 条的规定改写。

11.0.18 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.19 条、第 10.1.21 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.19 条、第 10.1.21 条的规定改写。 β_z 的加权平均值应按对地高度加权的方法计算。对基础的 β_z ,可取对杆塔效应的 50%,即 $\beta_{z\text{基础}} = (\beta_{z\text{杆塔}} - 1)/2 + 1$ 。

11.0.19 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.20 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.20 条的规定。

11.0.20 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.22 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.22 条的规定。

11.0.21 本条采用现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.1.23 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 10.1.23 条的规定。大跨越线路跨越江、河、湖泊等时,地面粗糙度类别宜取 B 类;当跨越海峡或跨越位置位于海边、海岛时,应根据工程实际情况确定地面粗糙度类别。

11.0.22 本条按《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 9.0.13 条改写。

11.0.23 本条按《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》第 9.0.13 条改写。

12 材 料

12.0.1 近年来,经过调研及铁塔试验等工作,Q420 高强度角钢在国内第一条 750kV 线路工程中得到了成功应用,在新建 500kV 输电线路工程上也有许多应用实例。我国首条交流特高压工程—1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程中也用到了 Q420 高强度角钢和钢板。华东院设计的 500kV 吴淞口大跨越工程中应用了 Q390 的高强度钢板压制的钢管结构,并在 500kV 江阴大跨越工程中应用了 ASTM Gr65(屈服应力 450MPa)大规格角钢和厚钢板。因此,本标准将一般采用钢材等级提高到 Q420,此外,现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 已列入 Q460 高强度钢,有条件也可采用 Q460。

12.0.2 本条参考现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99,规定所有大跨越的钢材均应满足不低于 B 级钢的质量要求。

现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017,对需要验算疲劳的焊接结构钢材规定“当结构工作温度不高于 -20°C 时,对 Q235 钢和 Q345 钢应具有 -20°C 冲击韧性的合格保证;对 Q390 钢和 Q420 钢应具有 -40°C 冲击韧性的合格保证”。《架空送电线路大跨越设计技术规定(试行)》也规定“对于设计气温 -20°C 及以下的焊接构件,尚应满足 -20°C 冲击韧性的有关要求”。以上规定分别达到 D 级和 E 级钢的质量要求。

受到导地线的影响,跨越塔塔头振动比较严重,在低温环境下需考虑钢材的脆性影响,适当提高钢材的质量要求。因此,条文规定当结构工作温度不高于 -40°C 时,Q235、Q345 和 Q390 的焊接构件和 Q420 钢材质量等级应满足不低于 C 级钢的质量要求,

Q460 钢材质量等级应满足不低于 D 级钢的质量要求,螺栓孔应采用钻孔工艺。

12.0.3 本条是参照现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661—2011第 4.0.6 条的内容,结合输电结构的特点和制造工艺作出的规定。设计人员可根据结构的实际情况考虑采取防止钢材层状撕裂的措施,例如,可采用 Z 向性能钢板、控制焊接应力、控制钢材的断面收缩率、控制材料杂质含量、控制焊接工艺等。Z 向性能钢板应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的规定。

12.0.4 8.8 级螺栓近年来在杆塔上已应用较多,尤其是在大跨越杆塔结构和钢管塔的法兰上有一定的应用经验。10.9 级螺栓在输电塔上应用较少,曾发生过氢脆断裂现象,应谨慎使用,并确保螺栓的塑性性能符合现行国家标准《紧固件机械性能》GB/T 3098 的要求。

12.0.5 本条根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 3.3.8 条中有关手工焊接采用的焊条的规定改写。

12.0.6 本条根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 3.3.8 条中有关自动焊接或半自动焊接的焊丝和相应的焊剂的规定改写。

12.0.8 本条参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 10.1.3 条的规定改写。随着我国冶金工业水平的提高和制造企业加工能力的提升,目前部分企业已具备壁厚 25mm 以上钢管的冷弯成型能力。但是,考虑到焊接应力和沿厚度方向工作拉应力的作用,焊接结构使用厚度大于 25mm 的钢管时仍需慎重,并应采取有效措施防止层状撕裂。

12.0.9 钢材(型钢)机械性能指标摘自现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591。

12.0.10 钢材(型钢)物理性能指标摘自现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 3.4.3 条中的表 3.4.3。

12.0.11 钢材的强度设计值根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.2.4 条中的表 10.2.4 改写。

12.0.12 螺栓和锚栓的强度设计值根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 10.2.4 条中的表 10.2.4 改写,补充了 40Cr 合金结构钢、42CrMo 合金结构钢锚栓的强度设计值,删除了 Q235 碳素结构钢、35 号优质碳素结构钢锚栓的强度设计值。

近年来 8.8 级螺栓在输电杆塔上已得到一定程度的应用,但 10.9 级螺栓仍缺乏足够的使用经验。鉴于螺栓强度越高其硬度、脆性越大,故本条提出 8.8 级及以上高强度螺栓应按照现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 的内容提供塑性性能和强度试验项目的合格证明。

合金结构钢在经过热处理调质后能够得到较好的力学性能,但考虑到其塑性相对较差,并结合以往大跨越工程的使用经验,规定 40Cr 合金结构钢、42CrMo 合金结构钢锚栓的强度设计值分别取 260MPa 和 310MPa。综合考虑强度、塑性、淬透性等因素,特高压大跨越的锚栓可优先选用 42CrMo 合金结构钢。另外,当采用合金结构钢锚栓时,在加工和安装过程中不应焊接。

12.0.13 焊缝强度设计值参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 3.4.1 条中的表 3.4.1-3 编写。

12.0.14 混凝土强度设计值摘自现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 第 4.1.4 条中的表 4.1.4-1 和表 4.1.4-2。

12.0.15 普通钢筋强度设计值摘自现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 第 4.2.3 条中的表 4.2.3-1。

13 结构设计基本规定

13.1 一般规定

13.1.1~13.1.3 根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 确定。

13.2 承载能力和正常使用极限状态计算

13.2.1 承载力极限状态设计表达式是根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 规定的有关原则确定的。其中的荷载效应分项系数 γ_G 、 γ_{Qi} 和抗力分项系数 γ_R 以及组合值系数 ψ 等的取值不仅与原电力规程规定的安全度有关,而且与可靠指标 β 有关。在荷载标准已经确定的情况下,条文中所规定的各种系数值是不能随意改变的。

荷载标准值是指在杆塔结构的使用期间,在通常情况下可能出现的最大荷载平均值。由于荷载本身具有随机性,因而使用期间的最大荷载也是随机变量,原则上应用它的统计分布来描述。但是,鉴于目前的实际情况,除了风荷载有较详细的统计资料外,其他的荷载只能根据工程实践经验,通过分析判断后,规定一个公称值作为它的标准值。荷载设计值是用它的标准值乘以相应的荷载分项系数之后的数值。

构件抗力分项系数 γ_R 一般是包含在构件的材料强度设计值(或者抗力设计值)之中,即材料强度设计值是由其标准值除以抗力分项系数 γ_R 后得出的。材料强度设计值 f 和标准值 f_k 一般都能在有关的国家规范中找到。当材料的 f_k 和 f 值确定之后,抗力分项系数 γ_R 也就可以通过计算确定。例如 Q235 钢, $\gamma_R = 1.087$; 其他钢, $\gamma_R = 1.111$; 混凝土的 γ_R 为 1.4 等。

特高压大跨越工程,其故障时对电网系统、工农业生产和人民生活等的影响程度较大,结构重要性系数取值不应小于 1.1。

13.2.2 与正常使用极限状态有关的荷载效应是根据荷载标准值确定的。

13.2.3 本条是根据现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191和《电力设施抗震设计规范》GB 50260 的有关规定和线路杆塔结构的特点制订的。 S_{GE} 为永久荷载代表值,按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。

13.3 结构基本规定

13.3.1 对耐张塔,设计应提出施工预偏的要求。杆塔挠度由荷载、施工和长期运行等原因产生,设计上只能控制由荷载引起的挠度值。计算挠度限值的确定原则是使常用的杆塔结构尺寸在荷载的长期效应组合作用下一般能满足要求。

13.3.2 参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定,考虑到塔身斜材长细比较大时,因刚度较弱自重引起的下垂变形较大,故将一般受压材的最大允许长细比取为 200。

13.3.3 本条根据现行行业标准《架空输电线路钢管塔设计技术规定》DL/T 5254—2010 第 8.1.6 条的规定改写。根据目前大跨越及一般线路工程的设计经验,水平斜材钢管构件长细比不宜大于 140,其他斜材钢管构件长细比不宜大于 160。

13.3.4 大量工程实践证明热浸镀锌工艺是铁塔构件防腐的有效措施。当选用其他防腐措施时,应有足够资料证明其防腐性能不低于热浸镀锌工艺,方可采用。

13.3.5 铁塔的连接螺栓,螺纹进入剪切面,不仅降低螺栓的承载力,而且大量螺栓螺纹进入剪切面还影响铁塔的变形。因此,设计时应使螺纹不进入剪切面。

13.3.6 铁塔在长期运行中,受到外部荷载和导地线振动的作用,螺母常常会发生松脱,为保证铁塔构件紧密连接,规定铁塔螺栓应

采取防松措施。

13.3.7 为防止上拔状态下锚螺出现拉、剪受力状态,确保锚栓的承载能力,特此规定底脚板下宜设置抗剪键。

13.3.8 皖电东送淮南至上海 1000kV 特高压交流试验工程及其他一些线路工程的分析研究成果表明,输电铁塔往往在变坡和塔脚处表现出比较明显的次弯矩影响,其引起的效应最大可占总效应的 10%~15%左右。皖电东送工程钢管塔按变坡部位不大于 10%,塔腿不大于 5%~10%考虑次弯矩效应的影响,并可结合结构布置和节点构造处理进行适当调整。

14 结构构造要求

14.1 角钢塔构造要求

14.1.1、14.1.2 这两条根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 5.1.4 条和第 5.1.5 条的内容,以及输电铁塔的设计实践和经验编写。采用实腹式组合构件,两个侧向支承点之间的缀板宜沿杆件长度均匀、交错布置。采用格构式组合构件,当构件截面高度与其几何长度(节点中心间的距离)之比较小时,次弯矩对构件强度的影响比较明显,因此,在设计时应考虑次弯矩的影响。

14.1.3 本条是铁塔设计的一般要求。在已有的特高压杆塔设计中,均要求塔腿主斜材的夹角不小于 18° 。

14.2 钢管塔构造要求

14.2.1 规定钢管的径厚比或宽厚比是为了防止钢管发生局部屈曲。现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 10.1.2 条规定的径厚比为 $100(235/f_y)$,欧洲钢结构规范 *Eurocode 3: Design of Steel Structure* BS EN 1993-1-1:2005 规定第 3 类构件断面为 $90(235/f_y)$ 。根据钢管塔跨越塔和特高压输电铁塔的设计和试验经验,径厚比较大时构件容易发生局部屈曲,为防止构件整体失稳前出现局部屈曲,宜适当减小构件的径厚比。因此,参照欧洲钢结构规范的规定,将圆钢管的外直径与壁厚之比的限值定为 $90(235/f_y)$ 。在皖电东送工程中,根据相关的有限元分析和华东院试验塔 SZT2 等的试验结果,并考虑保证一定的截面塑性发展能力,将 Q345 钢管构件的径厚比限值取为 55,即 $80(235/f_y)$ 。

14.2.2 本条参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 10.1.4 条的规定。

14.2.3 相贯焊缝焊接困难,焊接质量控制复杂,容易产生应力集中,为保证铁塔构件的成品质量,改善节点受力性能,参考日本“钢管铁塔制作标准”,推荐采用节点板连接的结构型式。

14.2.4 本条根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 10.2.1 条改写。根据特高压钢管塔的具体情况,横担上、下平面主材之间的夹角一般不小于 18° ,塔腿主、斜材之间的夹角可按不小于 20° 控制。

15 基 础

15.1 基础基本设计原则和型式

15.1.1~15.1.3 主要规定了特高压大跨越基础设计的方法、原则和应予以优先采用的基础型式。

15.1.4 本条采用现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 第 8.5.6 条和第 8.5.8 条的规定。

15.2 基础设计一般规定

15.2.1 本条根据现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665—2011 第 12.0.2 条和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790—2013 第 12.0.2 条的规定改写。当大跨越建设场地出现软土层较厚或持力层地基土厚度分布不均匀或基础位于倾斜面等情况时,均可能导致基础产生较大的水平位移、不均匀沉降和基础滑移等。

15.2.2 当基本烈度为 6 度,按 7 度设计时,应按 7 度判别液化可能性;当基本烈度为 7 度及以上时,即使提高 1 度设计,应仍然按基本烈度判别液化可能性。

15.2.3 膨胀土、冻土、湿陷性黄土、盐渍土等特殊地质均有专门的设计规范,当大跨越基础遇到上述特殊地质时应按对应的规范设计。

15.2.4 考虑到最大风速和最大冲刷深度同时出现的概率很低,为了在确保特高压大跨越基础安全可靠的前提下节约投资费用,参考地震时的荷载组合,对最大风速和最大冲刷深度规定了 1~3 的三种荷载组合。对于前两种组合,出现的概率相对高些,因此荷载系数取 1.0;对于第三种组合,出现的概率很低,因此荷载系数

均取 0.75。最大冲刷深度取决于河道的水流流速和泥沙粒径,最大冲刷应等于一般冲刷加上局部冲刷。当基础所在的河流可能严重冰冻时,尚应按冻融作用等级满足混凝土耐久性要求。

15.2.5 漂流物对基础的冲撞力和流水对基础产生的压力的计算公式摘自《公路桥涵设计通用规范》JTG D60。特高压大跨越工程在计算洪水冲刷、流动水压力等时采用的洪水重现期可按 50 年一遇确定,当有特殊要求时,应遵循相关标准确定。

15.2.6 基础允许的最大倾斜率参照现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 规定的数值。

15.2.7 本条根据现行行业标准《架空输电线路基础设计技术规程》DL/T 5219—2014 第 3.0.15 条改写。当基础采取了与腐蚀环境隔离的有效防腐措施后,其裂缝要求可按一般混凝土基础确定,否则基础混凝土不允许出现裂缝。

15.2.8 当桩基础处于湿陷性黄土及液化土时,可能出现负摩阻力,对桩基承载力有较大影响。因此,当桩基础处于湿陷性黄土及液化土时,需考虑负摩阻力的影响。

15.2.9 当桩尖遇到基岩、圆砾、卵石层时,桩的施打非常困难,桩身容易发生破碎或断裂,因此不宜采用打入桩。

15.2.10 特高压大跨越基础一般几何尺寸较大、表面系数小。由于水泥水化热不易散发导致浇注体内外温差较大和混凝土收缩等原因,基础在施工浇注过程中容易出现裂缝。裂缝控制一般可采取选用水化热低和凝结时间长的水泥、优化粗骨料和细骨料级配、设置承受温度应力和收缩应力的构造钢筋、减少外部约束以及设置循环降温水管等措施。

16 环境保护

16.0.1 本条要求输电线路设计应符合国家环境保护、水土保持等相关法律、法规的要求。

16.0.2 大跨越工程临近居住建筑时,尚需满足现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665 和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 的规定。

16.0.3 大跨越工程的施工作业面大,采用的都是大型施工机具,塔材单件重量重、尺寸长,在运输和施工作业中对周围环境影响较大。为此,在运输和施工过程中应采取有效措施减少对周围环境的影响。施工结束后,应对塔基区、施工道路等区域进行地貌、植被等的恢复。

17 劳动安全和工业卫生

本章内容针对国家对劳动安全与工业卫生工作的要求,结合大跨越工程的具体特点,参照现行国家标准《1000kV 架空输电线路设计规范》GB 50665 和《±800kV 直流架空输电线路设计规范》GB 50790 等有关标准的相关内容编制。

18 附属设施

18.1 登塔设施

18.1.1 根据运行经验,150m左右的跨越塔,维护人员携简单工具登塔约需20min以上,更换绝缘子、防振锤等金具零件时,登塔的劳动强度很大,建议同时设置动力提升装置和爬梯。

18.1.2 本条是根据以往工程的设计和实践经验,总结、归纳的登塔设施设置要求。根据以往大跨越设计和运行经验,每隔30m~40m设置一处休息平台比较合适。

18.2 警航设施

18.2.1 根据《民用机场飞行区技术标准》有关规定,应使用B型高光强障碍灯标明架空电线或电缆等的支持杆塔的存在。航空障碍灯和标志的有关规定有:

(1)中光强障碍灯:应为红色闪光灯,晚间运行。闪光频率应在每分钟20次~60次之间,闪光的有效光强不小于 $2000 \times (1 \pm 25\%) \text{cd}$ 。

(2)高光强障碍灯:应为白色闪光灯,全天运行。闪光频率应在每分钟40次~60次之间,闪光的有效光强随背景亮度自动改变光强闪光,白天不应小于 $140000 \times (1 \pm 25\%) \text{cd}$,黄昏或黎明不小于 $20000 \times (1 \pm 25\%) \text{cd}$,夜间不小于 $2000 \times (1 \pm 25\%) \text{cd}$ 。

(3)航空障碍灯应设置在跨越塔对应下列高度位置:

- 1)跨越塔顶部;
- 2)导线的弧垂最低点(一般以年平均气温时下导线弧垂);
- 3)上述两层之间的大致中间部位。

铁塔涂漆标志应采用橙色与白色相间或红色与白色相间的水

平色标漆。

18.3 其他设施

18.3.1 根据以往大跨越设计和运行经验,走道宽度 0.6m、围栏高度 1.2m 比较合适。

18.3.2 除设置警示标志外,常用的防冲撞保护设施有自身防撞和独立防撞两种。自身防撞可采用在承台四周装设钢制套箱的方法以吸收撞击能量,独立防撞可采用设置独立防撞桩等方法,具体可根据工程情况合理选择。