

电网工程部送电电气专业技术培训专题

专题之十三 大跨越设计

2011 年 12 月

批准：

审核：

校核：

编写：李奇峰

一 跨越点选择

1.1 大跨越定义

送电线路跨越通航大河流、湖泊或海峡等，因档距较大（一般在 1000m 以上）、或塔的高度较高（一般在 100m 以上）、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或修复特别困难的耐张段设计。

1.2 一般跨越型式

一般大跨越采用独立耐张段设计，常用的独立耐张段为耐-耐、耐-直-耐、耐-直-直-耐、耐-直-直-直-耐。

1.3 跨越点选择原则

跨越地点应结合路径方案，通过综合技术经济比较确定，选择跨越点应综合考虑水文、地质等条件，避开河道不稳定、地震断裂、崩塌滑坡、山洪冲刷及其他影响线路安全运行的地带，或采取可靠措施。

1.4 跨越点比较

一般工程应至少选择 2 个跨越点进行技术经济比较，不同跨越点的比较需要计算跨越工程的造价和一般线路的造价，进行综合比较后确定推荐的跨越方案。

例：跨越方案比较表

项 目	方案一	方案二	方案三	方案四
-----	-----	-----	-----	-----

跨越方式					
两堤顶间距 m					
档距分布 m					
跨越塔高度 m					
水文地质条件					
跨越塔	塔重钢材 t				
	基础混凝土 m ³				
	基础钢材 t				
跨越段	长度 m				
	差值 m				
导线费用差					
本体费用差					
一般 线路	长度 m				
	差值 m				
分歧塔	转角度数				
	塔重钢材 t				
	基础混凝土 m ³				
	基础钢材				
分歧塔费用					
一般线路本体差值					
房屋 拆迁	面积				
	费用差				
总体本体投资差值					

二 气象条件

2.1 最大风速

2.1.1 取值规定

表 2-1 最大风速取值规定

电压等级 (kV)	220、330	500	1000、800
重现期(年)	30	50	100
基准高度 (m)	10	10	10

2.1.2 气象台站

规程规定，收集当地气象台站的 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，区最大风速的统计值。

计算出的风速最大值考虑增大 10%选用，同时考虑水面影响增大 10%选用。既统计风速增加 20%选用。

330kV 及以下线路的最大风速不低于 25m/s，500kV 及以上线路的最大风速不低于 30m/s。

2.1.3 建筑结构荷载规范

《建筑结构荷载规范》(GB50009-2001)附表列出的 100 年一遇基本压，利用以下基本风压公式，可计算出基本风压对应的风速。

$$W_0=V_0^2/1600$$

W_0 ：基本风压， kN/m^2 ；

V_0 ：基本风速， m/s 。

由于基本风压在所适用地区使用时，可不考虑不同地点上的差异，故由基本风压换算为基本风速后，仅需考虑水面影响，增大 10%使用。

2.1.4 运行经验

根据附近已建成线路的设计资料和运行情况，综合考虑大跨越的

设计风速，一般情况下，大跨越的设计风速不低于同电压等级常规线路的 110%。

2.2 覆冰设计

大跨越的导线设计冰厚，除无冰区外，宜较附近一般输电线路的设计冰厚增加 5mm。地线的设计冰厚在导线设计冰厚的基础上在增加 5mm。

2.3 其它气象条件

同常规线线路，大跨越的跨越弧垂计算铝合金线采用 90 度，铝包钢线采用 100 度。

三 导、地线选择

3.1 导、地选择原则

3.1.1 导线选择

应从导线的载流量、机械特性、制造条件、环境指标三方面进行综合的技术经济比较。

3.1.2 地线选择（OPGW）

地线选择应满足热稳定要求、满足电线电晕控制下的地线最小直径、与导线匹配的机械特性、地线安全系数大于导线安全系数、OPGW 光缆还应有合理的结构型式，具有足够的耐雷击性能。

3.2 导线载流量

大跨越段的导线载流量的选择应满足常规线路的要求，避免输送容量受大跨越段的限制，考虑到电网发展，大跨越导线的载流量选择应留有预度。

以下条件为例：

- ① 系统额定电压：1000kV
- ② 系统最高运行电压：1100kV

- ③ 计算电压：1050kV
- ④ 系统输送功率：6000MW
- ⑤ 事故时极限输送功率：12000MW
- ⑥ 功率因数：0.95

得出大跨越导线的载流量控制值为下表

分裂根数	4	6	8	10
每相导线输送电流 (A)	7293A			
单根导线载流量 (A)	≥1823	≥1215	≥912	≥729

一般情况大跨越的导线分裂根数小于常规线路的分裂根数，常规线路为 4 分裂的 500kV 线路，其大跨越导线的分裂根数为 3 跟或者 2 跟。8 分裂的 1000kV 线路，其大跨越的导线，目前国内工程均为 6 分裂。

3.3 导线制造

大跨越整个耐张段导线不允许接头，需要调研参选导线的最大制造长度，一般情况下导线的最大制造长度要大于耐张段长度加 200m。增加的 200m 为导线架线施工的用量。

3.4 导线电磁环境

500kV 及以下电压等级的大跨越，导线的环境指标基本不控制。
交流 1000kV 和直流 800kV 特高压线路的大跨越需分别计算不同导线方案的导线表面场强、可听噪声、无线电干扰的值，满足限制要求。

3.5 导线机械性能

大跨越导线的控制条件大部分为年平均控制，年平均张力一般取实验保证拉断力的 20%，按照目前国内大跨越导线的主流线型为特强钢芯铝合金绞线的参数计算，导线的最大使用张力（覆冰工况）一般

都小于实验保证拉断力的 33%。

例：不同导线的机械性能比较表

序号		1	2
导线型号			
分裂根数			
结构	钢(铝包钢)		
	铝合金		
截面 S (mm ²)	钢		
	铝合金(铝)		
	总截面		
铝钢比			
单重 W(kg/km)			
外径 D(mm)			
计算拉断力 T(kN)			
拉重比 T/W(km)			
综合破坏应力 $\sigma_b(MPa)$			
$\sigma_{cp} / \sigma_b(\%)$			
平均运行应力 $\sigma_{cp}(MPa)$			
最大使用应力 $\sigma_m(MPa)$			
安全系数 $K = \sigma_b / \sigma_m$			
覆冰过载能力(mm)			
最高线温弧垂 F(m)			
直线跨越塔呼高(m)			
覆冰工况	相导线水平荷重(N)		
	相导线垂直荷重(N)		

大风工况	相导线水平荷重(N)		
	相导线垂直荷重(N)		
相导线最大张力(N)			
纵向不平衡张力 60%(N)			
悬垂绝缘子串(安全系数)			
耐张绝缘子串(安全系数)			
塔重比例			
基础混凝土比例			
基础钢材比例			

注：悬垂绝缘子串的强度选择时考虑了防振锤、间隔棒等附件的荷载。

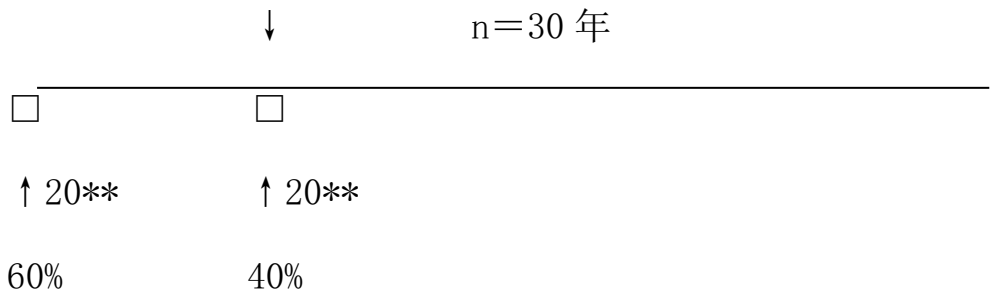
3.6 导线选择综合比较

导线最终需要用最小年费用法进行计算，找出技术经济上最优的导线方案。

例：计算原则

根据工程的实际情况，年费用的计算原则如下。

投产、补充千瓦投资



① 开工为 2008 年中，投产为 2009 年底，经济使用年限为 30

年

- ② 按 2008 年投资 60%，2009 年投资为 40%
- ③ 补充千瓦投资按 5000 元/kW 计
- ④ 年损耗小时数按 3000、3500、4000 小时计
- ⑤ 设备运行维护费率为 1.4%
- ⑥ 电力工程回收率按 6%、8%、10%三种利率计。
- ⑦ 上网电价按 0.25、0.3、0.35 元/度计

最小年费用比较表

序号							
相分裂导线型号							
20℃直流电阻(Ω/km)							
交流电阻(Ω/km)							
输送容量(MW)							
双回电阻损耗(kW)							
补充千瓦投资(万元)							
双回电晕损耗(10 ⁴ kW·h)							
年损耗小时数(小时)							
双回电阻损耗(10 ⁴ kW·h)							
双回年电能损耗 10 ⁴ kW·h							
年损耗费用 (万元)	0.25 元/度						
	0.3 元/度						
	0.35 元/度						
损耗费用差值 (万元)	0.25 元/度						
	0.3 元/度						
	0.35 元/度						
本体投资(万元)							
投资差额(万元)							
导线年费用(万元)	回收率 6%	0.25 元/度					
	回收率 8%						

	回收率 10%							
	回收率 6%	0.30 元/度						
	回收率 8%							
	回收率 10%							
	回收率 6%	0.35 元/度						
	回收率 8%							
	回收率 10%							
导线年费用 差值(万元)	回收率 6%	0.25 元/度						
	回收率 8%							
	回收率 10%							
	回收率 6%	0.30 元/度						
	回收率 8%							
	回收率 10%							
	回收率 6%	0.35 元/度						
	回收率 8%							
	回收率 10%							

通过最小年费用比较选择出最经济合理的导线方案

3.7 地线选型

(1) 具有足够的热容量，满足单相接地短路情况下的热稳定要求；

(2) 满足电线电晕控制下的地线最小直径。根据《1000kV 交流架空输电线路设计暂行技术规定》，地线应按电晕起晕条件进行校验，一般情况下地线表面工作场强与起晕场强之比不宜大于 0.75，且标称截面不宜小于 170mm^2 。

(3) 合理(较低)的平均运行应力，具有较好的耐振性能，与导线配合合理；

(4) 地线安全系数大于导线安全系数；

(5) OPGW 光缆还应有合理的结构型式，具有足够的耐雷击性能，

绞线单丝直径不宜过小(尤其是外层单丝)，以免产生雷击断股。

3.8 OPGW 选型

一般大跨越的 OPGW 地线采用不锈钢管层绞式全铝包钢结构，OPGW 的截面积大于对应的分流线，目前特高压单回路大跨越的 OPGW 截面取 240mm，双回路取 340mm。

3.9 导、地线的防舞、防振

合理的控制年平均应力，减轻导地线的振动，目前大跨越的防振方案大部分为阻尼线加防震锤的组合防振方案，防振方案由科研单位研究确定。防舞根据舞动图确定舞动级别，分析线路方向和风向之间的关系，防舞设施一般是回转间隔棒加防舞器。

四 绝缘配置和防雷保护

4.1 污区划分

根据污区图，结合沿线污秽调查的成果及附近线路的运行经验，划分大跨越的污区。

4.2 绝缘子选型及绝缘配置

4.2.1 绝缘子强度选型

大跨越的悬垂和耐张绝缘子一般都是选择瓷质绝缘子，大跨越绝缘子的安全系数如下表：

工 况	安全系数
运行情况	3.0
事故断一串	2.0
验算情况、不均匀冰荷载情况	1.5
年平均气温情况	5.0*

*仅适用于瓷绝缘子。

大跨越绝缘子的运行工况的安全系数较常规线路由 2.7 提升到

了 3.0.

根据大跨越导线的外负荷需要对不同强度的绝缘子通过经济比较进行选择。

以皖电东送淮河大跨越为例

组装串方案及费用比较

串型	绝缘子吨位	联数	片数	单片价格 (元)	费用 (万元)	绝缘子结构高度 (m)
悬垂串	420kN	6	60	380	13.68	12.3
	550kN	4	55	600	13.2	13.2
耐张串	420kN	10	60	380	22.8	12.3
	550kN	8	50	600	26.4	13.2

同时需要考虑串型的受力情况和运行围护难度，最终淮河大跨越悬垂串和耐张串分别选择 4 联和 8 联 550kN 绝缘子串。

4.2.2 绝缘配置

根据污区划分情况和工程现场的主要污染源情况，750kV 及以下的大跨越目前是采用泄露比距法进行污区配置，大跨越铁塔一般全高都超过 100m，同时结合操作过电压的对于绝缘子片数的要求进行绝缘配置。

特高压交流 1000kV 和直流 800kV 的大跨越，进行绝缘配置时，在海拔高度 1000m 以下地区，工频(工作)电压要求的悬垂绝缘子串绝缘子片数，不宜少于下表的数值。

工频(工作)电压要求的悬垂绝缘子串片数

标称电压(kV)	1000	±800
盐密(mg/cm ²)	0.06	0.05
单片绝缘子的高度(mm)	195	170

绝缘子片数（片）	54	64
----------	----	----

1000kV、±800kV 线路的防污绝缘设计，应依照审定的污秽分区图划定的污秽等级，并结合现场实际调查结果进行。绝缘子片数的确定可采用泄漏比距法，也可采用污耐压法。当采用泄漏比距法时，绝

缘子片数通过以下公式 $n \geq \frac{\lambda U_n}{L_s}$ 确定。

式中：LS—单片绝缘子的有效泄漏距离，cm。

LS= KS L0，其中 KS 单片绝缘子的泄漏距离有效系数；L0 为单片绝缘子的几何泄漏距离

n —每串绝缘子所需片数；

λ —泄漏比距，cm/kV，对直流线路 $\lambda = \lambda_{dc} = K_{dc} * \lambda_{ac}$ ，Kdc 一直交比，不小于 2.0，λ ac—交流泄漏比距，cm/kV；

Un—系统标称电压，kV；

耐张绝缘子串的绝缘子片数一般可取悬垂串同样的数值。但考虑耐张绝缘子串的自洁性能较好，在同一污区，其泄漏比距根据运行经验较悬垂绝缘子串可适当减少。

在海拔高度超过 1000m 的地区，绝缘子的片数应进行修正，修正方法可按公式 $n_H = n(P_0/P)^{m_1}$ 确定。

式中：nH — 高海拔下每串绝缘子所需片数；

P 及 P0 — 实际及标准状态下的气压，Pa；

m1 — 气压修正指数，它反映气压对于污闪电压的影响程度。

表 9-2 1000kV 交流特高压部分形状的绝缘子 m1 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

4.3 电气间隙

1000kV 线路带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉等）的间隙，在相应风偏条件下，不应小于下表所列数值。

表带电部分与杆塔构件的最小间隙（m）

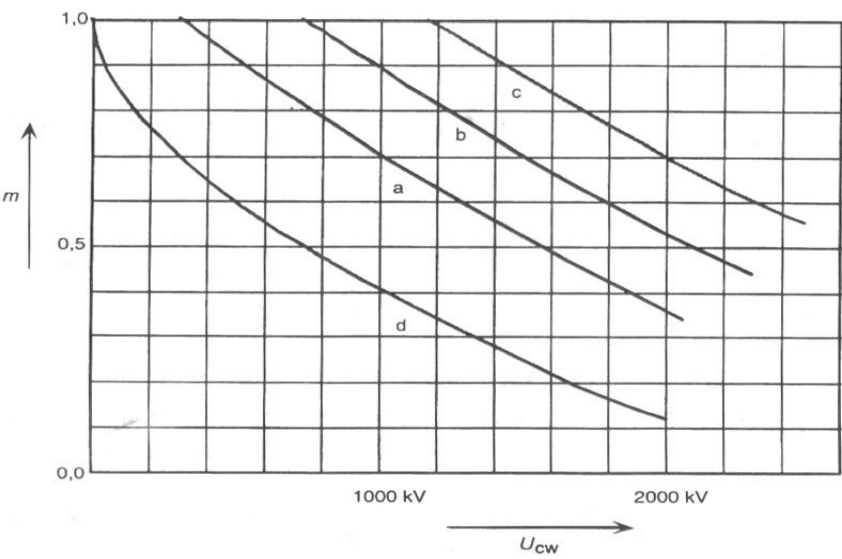
标称电压（kV）		1000			±800		
雷电过电压		应通过雷电过电压计算确定			应通过雷电过电压计算确定		
海拔(m)		500	1000	1500	500	1000	1500
操作过电压	边相(交流为 I 串)	5.6/6.2	6.0/6.6	6.4/7.0	*6.1/6.9	*6.7/7.6	*7.3/8.2
	中相 V 型串	6.7(7.9)	7.2(8.0)	7.7(8.1)			
工频电压（边相 I 串）、工作电压		2.7	2.9	3.1	2.55	2.7	2.85

注：括号内数值为对上横担最小间隙值，操作过电压(按 1.7pu 和 1.85pu)。

空气放电电压海拔修正系数 K_a 可按公式 $K_a = e^{mH/8150}$ 确定，

式中：H—海拔高度，m；（H≤2000m）

m—修正因子，工频电压、雷电过电压修正因子 m=1.0；操作过电压修正因子见图 9-1 中的曲线 a（相对地绝缘）。



修正因子 m

注：曲线 a—相对地绝缘间隙，曲线 b—纵绝缘间隙，曲线 c—相间绝缘间隙，曲线 d—棒—板绝缘间隙(标准间隙)

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下表所列数值。

带电作业时带电部分对杆塔接地部分的校验间隙

	1000			±800		
海拔高度 (m)	500	1000	1500	500	1000	1500
中相 V 串校验间隙 (m)	6.2	6.7	7.2			
边相(交流为 I 串)校验间隙 (m)	5.6	6.0	6.4	6.0	6.4	6.8

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。

4.4 防雷保护

1000kV、±800kV 大跨越线路的耐雷水平不应低于 200kA，跨越段应沿全线架设双地线。

跨越杆塔上地线对边导线的保护角，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。

为防止雷击档距中央地线时反击导线，年平均气温，无风时，档距中央导线与地线的距离宜按公式（1）和（2）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必须符合公式（9-5）的要求。

$$S1 \geq 0.012L+1 \quad (1)$$

式中：

S1—导线与地线间的距离 m；

L—档距长度 m.

$$S2 \geq 0.1I \quad (2)$$

式中：

S2 导线与地线间的距离 m；

I-档距中央的耐雷水平，取 200KA。

大跨越杆塔的接地，应采用四点方式，接地体引出线的截面应不小于 70mm²，接地体应镀锌；在接地体的搭接处，应进行防腐处理。

大跨越塔接地电阻不应超过下表数值

大跨越塔接地电阻值

1 土壤 电阻率 2 Ω.m	3 ≤ 100	4 >100~ 500	5 >500~ 1000	6 >1000~ 2000	7 >2000 ^b
8 工频 接地电 阻 9 Ω	10 5	11 7.5	12 10	13 12.5 ^a	14 15 ^a
15 a 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。					
16 B 如土壤电阻率超过2000Ω.m, 接地电阻也不宜超过20Ω.m					

五 金具选型

5.1 安全系数规定

情况	安全系数
运行情况	3.0
断线情况	2.0
断联情况	1.5
验算情况	1.5

5.2 主要金具选型

与横担连接的第一个金具应回转灵活且受力合理。由于磨损较大，其强度较串内其它金具强度适当提高，其运行安全系数，宜较规

定适当加大。

两端耐张金具串应有弧垂调整装置。调整长度当采用固定型悬垂线夹时，要满足施工架线的要求；当采用滑动型悬垂线夹时，还要按运行中可能出现的弧垂误差确定。

耐张线夹（包括浇铸式）安装后，导线、地线和 OPGW 光缆的强度降低值不应超过抗拉强度的 5%。耐张线夹的握着强度在架线施工前应进行试验，试件不得少于 3 组，其试验握着强度不得小于导线，地线或 OPGW 光缆额定抗拉强度的 95%。

六 塔头和塔高

6.1 塔高计算

6.1.1 直线塔

杆塔高度由以下各量所决定

- 1) 跨越河流的通航桅杆高度。
- 2) 最高通航水位。
- 3) 百年洪水位（若塔位立于河道滩地上决定基础的抬高）。
- 4) 塔基高程。
- 5) 绝缘子串长。
- 6) 导线与船桅顶端电气间隙。
- 7) 通航浪高 m 。
- 8) 施工、测量误差。
- 9) 导线最高线温 (90°C) 时弧垂。

考虑以上因素决定跨越塔的高度

6.1.2 耐张塔

耐张塔考虑导线对地距离和锚塔的跳线串的对地距离来确定锚塔呼高。

6.2 直线塔塔头确定

6.2.1 按大跨越设计技术规定计算

根据大跨越设计技术规定(8.0.3-1)公式提出,水平线距可按下列公式计算:

$$D = 0.4L_K + U/110 + K\sqrt{f}$$

式中K为系数,取0.8~1.0(取1)。

6.2.2 日本经验公式

日本资料(“电气计算”36卷节6号)在统计世界上电压220kV以上的14个大跨越的基础上,提出水平线距上限计算公式 $D=0.005S+10\text{m}$,式中S为跨距。

6.2.3 运行经验

根据以往500kV大跨越的统计,(跨距在1000m以上)水平线间距离约是档距的0.9%~1.0%。

6.2.4 根据电气间隙圆计算

根据铁塔间隙圆,布置直线塔塔头尺寸

一般的特高压和超高压大跨越工程,导线的线间距离受电气间隙控制,超高压线路也有受最小线间距离控制的

6.3 耐张塔塔头确定

耐张塔塔头一般受电气间隙控制。