

国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司物资采购标准

Q/GDW 13001-2014
高海拔外绝缘配置技术规范

国家电网公司 颁布

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

国家电网公司物资采购标准
高海拔外绝缘配置技术规范

*

中国电力出版社出版、发行

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

北京丰源印刷厂印刷

*

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月北京第一次印刷

880 毫米 × 1230 毫米 16 开本 2.5 印张 77 千字

印数 0001—3000 册

*

统一书号 155123 · 2123 定价 15.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

目 次

前言	
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 海拔分级	2
5 修正方法	2
6 变电站电气一次设备外绝缘水平	5
7 输电线路复合绝缘子外绝缘水平	9
附录 A (资料性附录) 海拔分级的说明	11
附录 B (资料性附录) 修正方法的说明	12
附录 C (资料性附录) 变电站电气一次设备外绝缘水平的说明	16
附录 D (规范性附录) 高海拔地区使用变电站电气一次设备在海拔不超过 1000m 地区的 外绝缘耐受试验电压	18
附录 E (规范性附录) 高海拔地区使用的复合绝缘子在海拔不超过 1000m 地区的 外绝缘耐受电压	22
附录 F (资料性附录) 输电线路复合绝缘子外绝缘水平的说明	23
编制说明	31

前　　言

本标准提出了系统标称电压为 6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV 和 750kV 电压等级、频率为 50Hz 三相交流输电系统中，变电站电气一次设备和输电线路复合绝缘子高海拔外绝缘参数。

本标准由国家电网公司物资部提出并解释。

本标准由国家电网公司科技部归口。

本标准起草单位：国网青海省电力公司、中国电力科学研究院。

本标准主要起草人：康钧、王煜杰、包正红、张爱民、杨小库、张海宁、黄常元、马丽山、李玉海、邓大勇、王平、谢彭盛、廖鹏、曲全磊、何喜梅、王生杰、周军、朱永平、张仲秋、周瑜、石径、王志惠、路自强、何艳娇、沈洁。

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网公司科技部。

高海拔外绝缘配置技术规范

1 范围

本标准规定了变电站电气一次设备及输电线路复合绝缘子高海拔外绝缘参数。

本标准适用于系统标称电压为 6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV 和 750kV 电压等级，频率为 50Hz 的三相交流输电系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 311.1 高压输变电设备的绝缘配合

GB 311.2 绝缘配合使用导则

GB 1094.3—2003 电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB/T 2900.8 电工术语 绝缘子

GB/T 4109—2008 交流电压高于 1000V 的绝缘套管

GB/T 5582—1993 高压电力设备外绝缘污秽等级

GB/T 11022 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 16434—1996 高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准

GB/T 16927.1 高电压试验技术：一般试验要求

GB 26218.1—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分：定义、信息和一般原则

JB/T 5895—1991 污秽地区绝缘子使用导则

DL/T 562—1995 高海拔污秽地区悬式绝缘子串片数选用导则

DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合

DL/T 5092—1999 110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程

DL/T 5352—2006 高压配电装置设计技术规程

Q/GDW 152—2006 电力系统污区分级与外绝缘选择标准

Q/GDW 179—2008 110kV ~ 750kV 架空输电线路设计技术规定

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 2900.15、GB/T 2900.19、GB/T 2900.20 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

外绝缘 external insulation

空气间隙及电气设备固体绝缘的外露表面。它们承受电压并受大气污秽、湿度和小动物等外界条件的影响。

3.2

电弧距离 arcing distance

绝缘子在正常带有运行电压的两个金属部件之间外部空间的最短距离。

注 1：当绝缘子是由若干元件串联组成时，此电弧距离指上述两电极间最短距离或是各元件两端金属附件间沿元件外部空气的最短距离之和，二者中较短者。

注 2：也可以使用术语“干弧距离”。

3.3

爬电距离 creepage distance

在绝缘子正常施加运行电压的导电部件之间沿其表面的最短距离或是最短距离之和。

注 1：水泥或其他非绝缘的胶合材料表面不能计入爬电距离。

注 2：若在绝缘子的绝缘件上施有高阻层，该绝缘件视为有效绝缘表面，其表面距离计入爬电距离。

3.4

统一爬电比距 unified specific creepage distance

绝缘子的爬电距离与绝缘子两端最高运行电压有效值的比值。

注 1：此定义与采用设备最高线电压的爬电比距不同（对于交流系统一般为 $U_m / \sqrt{3}$ ），对于相对地绝缘，此定义所得到的值为 IEC 60815：1986 定义的爬电比距值的 $\sqrt{3}$ 倍。

注 2： U_m 的定义见 IEC 604-03-01。

注 3：统一爬电比距的单位一般以 mm/kV 表示。

3.5

高海拔地区 high altitudes

海拔高于 1000m 的地域。

4 海拔分级

4.1 变电站电气一次设备

对于海拔高度大于 1000m 但又不超过 2000m 地区，电气设备外绝缘参数统一按照海拔 2000m 进行选取；在海拔 2000m 以上地区，110kV 及以下电压等级电气一次设备外绝缘参数，按照 1000m 一档进行海拔分级；110kV 以上电压等级一次电压设备外绝缘参数，按照 500m 一档进行海拔分级。

4.2 输电线路复合绝缘子

对于海拔高度大于 1000m 但又不超过 2000m 地区，复合绝缘子外绝缘参数统一按照海拔 2000m 进行选取；海拔 2000m 以上地区，外绝缘参数统一按照 500m 一档进行海拔分级，具体海拔分级方法见附录 A。

5 修正方法

5.1 绝缘子试验电压海拔修正

高海拔地区使用的绝缘子，在海拔不超过 1000m 地区进行外绝缘耐受电压试验时，应对试验电压按照公式（1）进行修正，海拔修正系数 K_a 按照公式（2）确定，具体修正方法见附录 B。

$$U = K_a U_0 \quad (1)$$

式中：

U ——高海拔用绝缘子在海拔不超过 1000m 地区试验时的外绝缘试验电压，kV；

U_0 ——绝缘子额定耐受电压，kV。

$$K_a = e^{-\frac{H-1000}{8150}} \quad (2)$$

式中：

H ——设备使用地点海拔高度，m；

m ——海拔修正因子，工频、雷电电压修正因子 $m=1.0$ ；操作过电压修正因子 $m=0.75$ ，见图 1。

对于试验地点海拔超过 1000m，但低于绝缘子使用地点的海拔高度时，电压海拔修正系数 K_a 由公

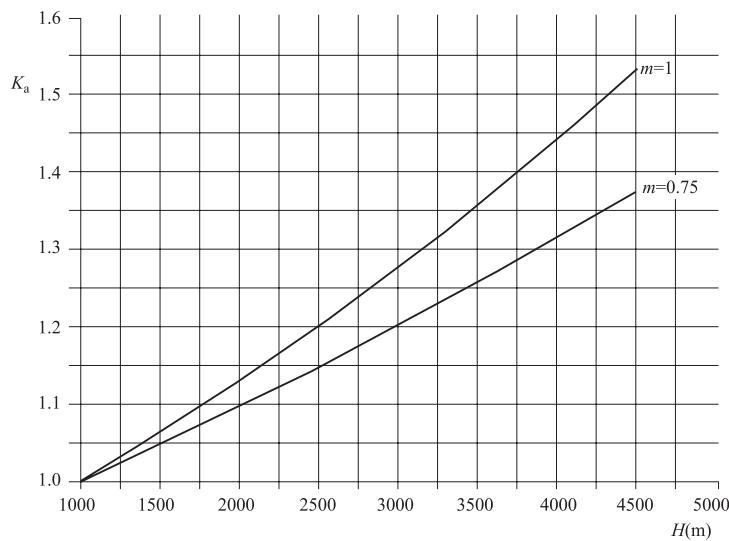


图 1 海拔修正系数与海拔高度关系

式(3)决定。

$$K_a = e^{\frac{m(H_2 - H_1)}{8150}} \quad (3)$$

式中：

H_2 ——绝缘子使用地点海拔高度，m；

H_1 ——试验地点海拔高度，m；

m ——海拔修正因子，工频、雷电电压修正因子 $m=1.0$ ，操作过电压修正因子 $m=0.75$ 。

5.2 空气间隙放电电压海拔修正

空气间隙放电电压海拔修正系数 K_a 由公式(4)确定，具体修正方法见附录 B。

$$K_a = e^{\frac{mH}{8150}} \quad (4)$$

式中：

H ——海拔高度，m；

m ——海拔修正因子，工频、雷电电压修正因子 $m=1.0$ ，操作过电压修正因子见图 2。

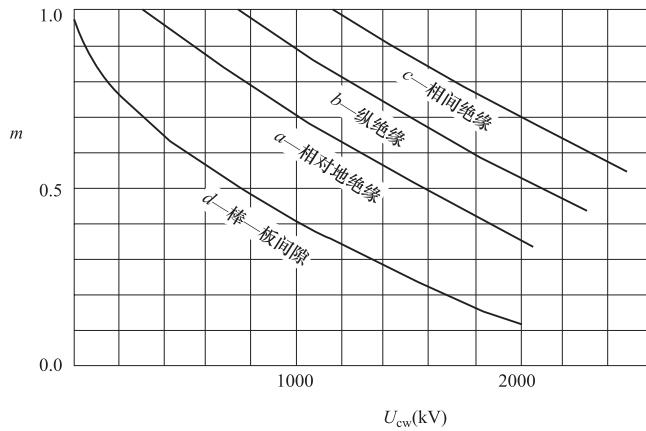


图 2 海拔修正因子

5.3 爬电距离修正

5.3.1 污秽分级标准

污秽度等级：从标准化考虑，从非常轻到非常重定义了五个污秽等级来表征现场污秽度，见表 1。

表中，a 表示“非常轻”，b 表示“轻”，c 表示“中”，d 表示“重”，e 表示“非常重”。

注 1：该字母等级不直接对应以前有关标准中的数字等级。

注 2：从一级变到另一级是渐变的，因此，当确定绝缘子尺寸时需考虑现场污秽度等级。

表 1 典型环境污湿特性与相应现场污秽度评估示例

mm/kV

示例	典型环境的描述	现场污秽度分级	统一爬电比距
E1	很少人类活动，植被覆盖好，且：距海、沙漠或开阔干地 > 50km，距大中城市 > 30km ~ 50km，距上述污染源更短距离内，但污染源不在积污期主导风上	a 非常轻	22.0 ~ 25.2
E2	人口密度 500 人/km ² ~ 1000 人/km ² 的农业耕作区，且：距海、沙漠或开阔干地 > 10km ~ 50km，距大中城市 15km ~ 50km，重要交通干线沿线 1km 内。 距上述污染源更短距离内，但污染源不在积污期主导风上。 工业废气排放强度小于 1000 万标 m ³ /km ² 。 积污期干旱少雾少凝露的内陆盐碱（含盐量小于 0.3%）地区	b 轻	25.2 ~ 31.5
E3	人口密度 1000 人/km ² ~ 10 000 人/km ² 的农业耕作区，且：距海、沙漠或开阔干地 > 3km ~ 10km，距大中城市 15km ~ 20km，重要交通干线沿线 0.5km 及一般交通线 0.1km 内。 距上述污染源更短距离内，但污染源不在积污期主导风上。 包括乡镇工业在内工业废气排放强度不大于 1000 万 ~ 3000 万标 m ³ /km ² 。 退海轻盐碱和内陆中等盐碱（含盐量 0.3% ~ 0.6%）地区	c 中	31.5 ~ 39.4
E4	距上述 E3 污染源更远（距离在 b 级污区的范围内），但：在长时间（几星期或几月）干旱无雨后，常常发生雾或毛毛雨，积污期后期可能出现持续大雾或融冰雪的 E3 类地区，灰密为等值盐密 5 倍 ~ 10 倍及以上的地区	c 中	31.5 ~ 39.4
E5	人口密度大于 10 000 人/km ² 的居民区和交通枢纽，距海、沙漠或开阔干地 3km 内，距独立化工及燃煤工业源 0.5km ~ 2km 内，乡镇工业密集区及重要交通干线 0.2km，重盐碱（含盐量 0.6% ~ 1.0%）地区	d 重	39.4 ~ 50.4
E6	距比 E5 上述污染源更长的距离（与 c 级污区对应的距离），但：在长时间（几星期或几月）干旱无雨后，常常发生雾或毛毛雨，积污期后期可能出现持续大雾或融冰雪的 E5 类地区，灰密为等值盐密 5 倍 ~ 10 倍及以上的地区	d 重	39.4 ~ 50.4
E7	沿海 1km 和含盐量大于 1.0% 的盐土、沙漠地区，在化工、燃煤工业源区内及距此类独立工业源 0.5km，距污染源的距离等同于 d 级污区，且：直接受到海水喷溅或浓盐雾，同时受到工业排放物如高电导废气、水泥等污染和水汽湿润	e 非常重	50.4 ~ 59.8
台风影响可能使距海岸 50km 以外的更远距离处测得较高的等值盐密值。 在当前大气环境条件下，我国中东部地区电网不宜设“非常轻”污秽区。 取决于沿海的地形和风力。			

各级污秽区绝缘子，包括变电设备的绝缘子，其统一爬电比距与现场污秽度关系见图 3。

5.3.2 户外变电站电气一次设备爬电距离修正

本标准中不含户外变电站电气一次设备爬电距离的海拔修正。电气一次设备爬电距离 L 按式 (5) 计算确定。

$$L = K_d \lambda U_m / \sqrt{3} \quad (5)$$

式中：

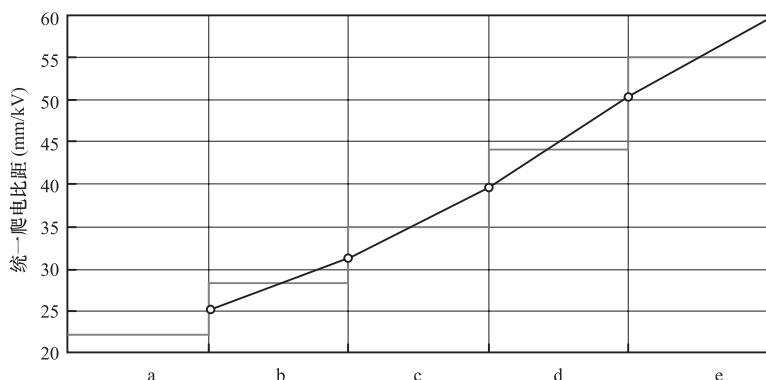


图 3 统一爬电比距和现场污秽度的相互关系

L ——户外电气设备的几何爬电距离，mm；

λ ——统一爬电比距，mm/kV；

K_d ——户外电气设备爬电距离增大系数。

K_d 与瓷件直径 D_m 有关，对应不同的 D_m ，宜采用如下的爬电距离增大系数 K_d ：

$D_m < 300\text{mm}$ ， $K_d = 1.0$ ；

$300\text{mm} \leq D_m < 500\text{mm}$ ， $K_d = 1.1$ ；

$D_m \geq 500\text{mm}$ ， $K_d = 1.2$ 。

5.3.3 输电线路复合绝缘子统一爬电比距海拔修正

高海拔地区复合绝缘子统一爬电比距 λ' 按照公式 (6) 进行修正

$$\lambda' = \lambda(1+k) \quad (6)$$

式中：

k ——特征指数，参考值见表 2；

λ ——1000m 以下地区统一爬电比距，mm/kV。

表 2 复合绝缘子的 k 参考值

材 料	k 值	
	海拔每增加 1000m	海拔每增加 500m
复合绝缘子	6%	3%

5.3.4 复合绝缘子爬电距离

高海拔地区复合绝缘子爬电距离由公式 (7) 确定：

$$L_0 = \frac{\lambda' U}{K_e} \quad (7)$$

式中：

K_e ——绝缘子爬电距离的有效系数， $K_e = 1$ ；

λ' ——修正后统一爬电比距，mm/kV；

U ——绝缘子两端承担的最高运行电压（对于交流系统，为最高相电压），kV；

L_0 ——绝缘子的几何爬电距离，mm。

6 变电站电气一次设备外绝缘水平

6.1 变电站电气一次设备外绝缘额定耐受电压

本节规范的设备外绝缘额定耐受电压，适用于系统标称电压为 6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、

110kV、220kV、330kV、500kV 和 750kV 电压等级、频率为 50Hz 三相交流输电系统中的电器、变压器、开关等电力设备和装置中使用的套管、支柱绝缘子。变电站电气一次设备外绝缘额定耐受电压详细说明见附录 C。

根据本标准 5.1 条绝缘子外绝缘试验电压的海拔修正方法，规范了高海拔地区使用的绝缘子在海拔不超过 1000m 地区外绝缘耐受电压试验时的试验电压值（附录 D）。对于试验地点海拔超过 1000m，但低于绝缘子使用地点的海拔高度时的试验电压值，由供需双方根据本标准 5.1 条提供的方法确定海拔修正系数。

6.1.1 变电站电气一次设备外绝缘额定工频耐受电压

变电站电气一次设备外绝缘额定工频耐受电压见表 3。

表 3 变电站电气一次设备外绝缘额定工频耐受电压（有效值）

kV

系统标称电压(有效值)	设备最高电压 U_m (有效值)	额定工频耐受电压							
		变压器	GIS	电流互感器	电压互感器	断路器	隔离开关	避雷器	支柱绝缘子(湿)
6	7.2	22	20	20	20	20	20	20	20
10	12	30	28	28	28	28	28	28	28
20	24	55	50	50	50	50	50	50	50
35	40.5	95	95	95	95	95	95	95	95
66	72.5	147/150 ^a	160	160	160	160	160	140	140
110	126	230	230	230	230	230	230	185	200
220	252	460	460	460	460	460	460	395	395
330	363	570	510	510	510	510	510	510	510
500	550	740	740	740	740	740	740	680	740
750	800	900	960	975	975	960	960	960	960

^a 750kV 油浸式单相三绕组无励磁调压自耦变压器 66kV 侧套管外绝缘额定工频耐受电压。

6.1.2 变电站电气一次设备外绝缘额定雷电冲击耐受电压

变电站电气一次设备外绝缘额定雷电冲击耐受电压见表 4。

表 4 变电站电气一次设备外绝缘额定雷电冲击耐受电压（峰值）

kV

系统标称电压(有效值)	设备最高电压 U_m (有效值)	额定雷电冲击耐受电压							
		变压器	GIS	电流互感器	电压互感器	断路器	隔离开关	避雷器	支柱绝缘子
6	7.2	60	60	60	60	60	60	60	60
10	12	75	75	75	75	75	75	75	75
20	24	125	125	125	125	125	125	125	125
35	40.5	200	200	200	200	200	200	200	200
66	72.5	325/350 ^a	350	350	350	350	350	325	325
110	126	550	550	550	550	550	550	450	450
220	252	1050	1050	1050	1050	1050	1050	950	950
330	363	1175	1175	1175	1175	1175	1175	1175	1175

表 4 (续)

系统标称电压(有效值) kV	设备最高电压 U_m (有效值) kV	额定雷电冲击耐受电压							
		变压器	GIS	电流互感器	电压互感器	断路器	隔离开关	避雷器	支柱绝缘子
500	550	1675	1675	1550	1550	1675	1675	1550	1675
750	800	1950	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
^a 750kV 油浸式单相三绕组无励磁调压自耦变压器 66kV 侧套管外绝缘额定雷电冲击耐受电压。									

6.1.3 变电站电气一次设备外绝缘额定操作冲击耐受电压

变电站电气一次设备外绝缘额定操作冲击耐受电压见表 5。

表 5 变电站电气一次设备外绝缘额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV

系统标称电压(有效值) kV	设备最高电压 U_m (有效值) kV	额定操作冲击耐受电压							
		变压器	GIS	电流互感器	电压互感器	断路器	隔离开关	避雷器	支柱绝缘子
220 ^a	252	750	—	—	—	—	—	—	—
330	363	950	950	950	950	950	950	950	950
500	550	1175	1300	1175	1175	1300	1300	1175	1240
750	800	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
^a 根据变压器标准例行试验的相关规定，变压器用套管相应增加 220kV 系列操作冲击电压耐受水平。									

6.2 户外变电站要求的最小电弧距离

本标准所指的最小电弧距离应理解为其静电场不受绝缘子结构的影响。最小电弧距离规定值不涉及绝缘子本身的闪络距离或其表面爬电距离，也不考虑鸟类或其他兽类带来的使其距离减小的影响。

本标准制定的最小电弧距离是：提供一个最小的、无危险的间隙，实际空气间隙至少要等于本标准规定的最小电弧距离。如供方提供的产品最小电弧距离不小于本标准规定的最小电弧距离，可不进行外绝缘耐受电压试验。如供方提供的产品最小电弧距离小于本标准规定的最小电弧距离，则供方应提供国家或电力行业权威检测部门出具的外绝缘型式试验报告，试验电压值应严格执行本标准附录 D 中的规定。试验程序、试验判据及试验电压波形均应执行相关标准的规定。

考虑到避雷器产品的特殊性，对避雷器产品的最小电弧距离不做强制要求，但是避雷器瓷套外绝缘耐受电压值应严格执行本标准附录 D 中的规定。

户外变电站电气一次设备要求的最小电弧距离见表 6、表 7。

表 6 110kV 及以下电压等级户外变电站电气一次设备要求的最小电弧距离

系统标称电压 kV	海拔 m	1000		2000		3000		4000		5000	
		相对地	相间								
6	200	200	226	226	256	256	288	288	327	327	327
10	200	200	226	226	256	256	288	288	327	327	327
20	300	300	339	339	384	384	432	432	490	490	490

表 6 (续)

系统标称电压 kV	海拔 m 间隙 mm	1000		2000		3000		4000		5000	
		相对地	相间								
35		400	400	427	427	454	454	480	480	510	510
66		650	650	717	717	784	784	850	850	918	918
110J		900	1000	1017	1117	1135	1235	1250	1350	1370	1470

表 7 110kV 以上电压等级户外变电站电气一次设备要求的最小电弧距离

系统标称电压 kV	海拔 m 间隙 mm	1000		2000		2500		3000		3500		4000	
		相对 地	相间										
220J		1800	2000	2000	2200	2100	2300	2170	2370	2280	2480	2350	2550
330J		2500	2800	2950	3250	3200	3500	3480	3780	3820	4120	—	—
500J		3800	4300	4680	—	5600	—	—	—	—	—	—	—
750J		5500	7200	5950	—	6300	—	6700	—	7400	—	—	—

6.3 户内变电站要求的最小电弧距离

户内变电站电气一次设备要求的最小电弧距离见表 8。

表 8 户内变电站电气一次设备要求的最小电弧距离

系统标称电压 kV	海拔 m 间隙 mm	1000		2000		2500		3000	
		相对地	相间	相对地	相间	相对地	相间	相对地	相间
6		100	100	113	113	128	128	128	128
10		125	125	141	141	160	160	160	160
20		180	180	203	203	230	230	230	230
35		300	300	327	327	354	354	354	354
66		550	550	617	617	684	684	684	684
110J		850	900	967	1017	1085	1135	1085	1135
220J		1800	2000	2000	2200	2100	2300	2170	2370
6		144	144	144	144	164	164	164	164
10		180	180	180	180	204	204	204	204

表 8 (续)

系统标称电压 kV	海拔 m	3500		4000		4500		5000	
		相对地	相间	相对地	相间	相对地	相间	相对地	相间
20	259	259	259	259	294	294	294	294	294
35	380	380	380	380	410	410	410	410	410
66	750	750	750	750	818	818	818	818	818
110J	1200	1250	1200	1250	1320	1370	1320	1370	1370
220J	2280	2480	2350	2550	—	—	—	—	—

注 : 表中规定的最小电弧距离不适用于采用绝缘包覆等复合绝缘形式下的电气设备 , 可在实际使用条件下进行 100% 出厂试验电压值的绝缘强度考核。

7 输电线路复合绝缘子外绝缘水平

7.1 复合绝缘子外绝缘额定耐受电压

复合绝缘子外绝缘额定耐受电压见表 9。高海拔地区使用的复合绝缘子在海拔不超过 1000m 地区的外绝缘耐受电压见附录 E。

表 9 复合绝缘子外绝缘额定耐受电压

系统标称电压 kV	6/10	35	110	220	330	500	750
湿工频 1min 耐受电压 kV	40	95	230	395	570	740	1050
雷电全波冲击耐受电压 kV	95	230	550	1000	1425	2050	2700
湿操作冲击耐受电压 kV	—	—	—	—	950	1240	1800

7.2 复合绝缘子最小电弧距离

复合绝缘子最小电弧距离见表 10。

表 10 复合绝缘子最小电弧距离

系统标称电压 kV	海拔 m	1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500
		1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500
6/10	140	140	170	190	190	230	230	230
35	450	610	650	700	750	800	850	850
110	1000	1250	1290	1400	1460	1600	1700	1700
220	1900	2100	2200	2300	2400	2600	2750	2750
330	2600	3150	3150	3150	3200	3300	—	—

表 10 (续)

系统标称电压 kV	距离 mm	海拔 m	1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500
			1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500
500		3900	4210	4480	4760	5060	5380	—	
750		5300	5750	6150	6150	6600	6600	—	

7.3 复合绝缘子公称爬电距离

复合绝缘子公称爬电距离见表 11。输电线路复合绝缘子外绝缘水平的说明见附录 F。

表 11 复合绝缘子公称爬电距离

系统 标称 电压 kV	距离 mm	海拔 m	1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500
			1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500
10	a、 b、 c	280	290	300	310	320	325	330	
	d	350	350	350	355	365	375	380	
	e	415	415	415	420	430	440	455	
35	a、 b、 c	930	980	1010	1040	1060	1090	1120	
	d	1180	1180	1180	1190	1230	1260	1290	
	e	1400	1400	1400	1410	1450	1490	1530	
110	a、 b、 c	2870	3050	3130	3210	3300	3390	3470	
	d	3670	3670	3670	3670	3670	3680	3770	
	e	4350	4350	4350	4350	4350	4370	4480	
220	a、 b、 c	5740	6090	6260	6420	6600	6770	6940	
	d	7340	7340	7340	7340	7340	7350	7540	
	e	8710	8710	8710	8710	8710	8730	8950	
330	a、 b、 c	8260	8770	9020	9250	9500	9750	—	
	d	10 570	11 200	11 510	11 850	12 160	12 790	—	
	e	12 540	13 290	13 670	14 050	14 420	14 800	—	
500	a、 b、 c	12 520	13 280	13 660	14 010	14 390	14 770	—	
	d	16 010	16 010	16 010	16 010	16 010	16 040	—	
	e	18 990	18 990	18 990	18 990	18 990	19 060	—	
750	a、 b、 c	18 200	19 310	19 870	20 370	20 930	21 480	—	
	d	23 280	23 280	23 280	23 280	23 280	23 330	—	
	e	27 630	27 630	27 630	27 630	27 630	27 720	—	

高海拔地区使用的复合绝缘子在海拔不超过 1000m 地区的外绝缘耐受电压见附录 E。

附录 A
(资料性附录)
海拔分级的说明

在现代雪线(海拔4400m)以上地区,终年积雪,既不能发展农业,又不能发展畜牧业,很少有人居住,更无大型工业。因此本次外绝缘标准制定,对于海拔4000m~5000m地区,只考虑110kV及以下电压等级输变电设备。在海拔3000m~4000m地区,牧草生长茂盛,可以发展畜牧业,已经有了人类生存的条件,但人口非常稀少,以青海海西自治州为例,人口密度为1人/km²左右。但是由于330kV~750kV输电线路有可能经过这一地区,因此对于330kV~750kV电压等级变电类电气一次设备以海拔3500m为上限制定标准;输电线路以海拔4000m为上限制定标准。

此外,由于海拔2000m~3000m地区自然条件相对较好,人口密度较高(如在青海地区该高度范围内每平方千米达110人左右),经济较发达,是电网覆盖较为密集的地区,因此合理的海拔分级对这一地区尤为重要。根据高海拔地区地理位置、气象条件的实际情况,结合高海拔地区设计、运行和维护经验,综合考虑国内生产厂家电气设备产品序列。为增强设备的统一性和通用性,本标准按照以下原则进行海拔分级。

(1) 变电站电气一次设备。

变电站电气一次设备对于海拔高度大于1000m但又不超过2000m地区,电气设备外绝缘参数统一按照海拔2000m进行选取;在海拔2000m以上地区,110kV及以下电压等级电气一次设备外绝缘参数,按照1000m一档进行海拔分级;110kV以上电压等级一次电压设备外绝缘参数,按照500m一档进行海拔分级。根据国内规划和工程建设实际,本标准海拔上限如表A.1所示。

表 A.1 变电站电气一次设备海拔上限

电压等级 kV	海拔上限 m
110 及以下	5000
220	4000
500	2500
330、750	3500

(2) 输电线路复合绝缘子。

对于海拔高度大于1000m但又不超过2000m地区,复合绝缘子外绝缘参数统一按照海拔2000m进行选取;海拔2000m以上地区,考虑输电线路走廊海拔分布的连续性,输电线路复合绝缘子外绝缘参数按照500m一档进行海拔分级,输电线路复合绝缘子海拔上限参见表A.2。

表 A.2 输电线路复合绝缘子海拔上限

电压等级 kV	海拔上限 m
220 及以下	4500
220 以上	4000

注:因中国缺乏海拔4500m以上地区复合绝缘子运行经验,本标准未规定海拔4500m以上地区复合绝缘子外绝缘参数。

附录 B
(资料性附录)
修正方法的说明

通常认为气隙放电遵循巴申定律，放电电压和放电间隙距离与大气压力的乘积存在着巴申曲线的，随着海拔高度的增加，大气压力下降，空气密度减小，外绝缘的放电电压也随之下降，相同放电电压对应的放电间隙则变大。试验表明间隙较短时，放电呈流注型，放电电压与间隙长度成比例，而较长（例如极间距离大于 1m）时，放电呈先导型，由于放电机理的改变将出现饱和特性，也就是说气体介质的绝缘强度将随绝缘距离的增加而呈现明显的饱和趋势，因而单纯地按线性增加绝缘间隙或距离的方法并不能有效解决高海拔带来的问题。

B.1 标准中推荐的海拔校正方法

国内外相关标准中给出了外绝缘海拔修正的方法，主要有以下几种：

- a) GB/T 16927.1 中规定的气象条件修正方法。测量到的破坏性放电电压值校正到标准参考标准气象条件下电压值为

$$U_0 = U / K_t \quad (\text{B.1})$$

式中：

U ——试品外绝缘试验电压值，kV；

U_0 ——标准气象条件下电压值，kV；

K_t ——气象校正因数。

气象校正因数 K_t 为

$$K_t = \delta^m K^w \quad (\text{B.2})$$

式中：

m ——空气密度校正指数；

w ——湿度校正指数；

δ ——相对空气密度，其可由测量的空气气压 b 和环境温度 t 得出

$$\delta = \frac{b}{b_0} \frac{273 + t_0}{273 + t} \quad (\text{B.3})$$

1) 交流电压： $K = 1 + 0.012(h/\delta - 11)$ $1 \leq h/\delta < 15$

2) 冲击电压： $K = 1 + 0.010(h/\delta - 11)$ $1 \leq h/\delta < 15$

空气密度校正指数 m 和湿度校正指数 w 由预放电形式定义的参数 g 决定，参数 g 为

$$g = U_B / 500L\delta K \quad (\text{B.4})$$

式中：

U_B ——实际气象条件下的 50% 破坏性放电电压值，kV；

L ——试品最小放电路径，m。

由参数 g 得出的空气密度校正指数 m 和湿度校正指数 w 是在不同条件下由试验值导出的，但限于在海拔高度 2000m 以下使用。指数 m 和 w 仍在研究中。

- b) DL/T 620—1997 中规定的气象条件修正方法。外绝缘所在地区气象条件异与标准气象条件时，放电电压为

$$u = \frac{\delta u_0}{H^n} \quad (\text{B.5})$$

式中：

- u_0 ——标准气象条件下的放电电压，kV；
- u ——实际放电电压，kV；
- δ ——相对空气密度，标准气象条件下为 1；
- H ——空气湿度校正系数，由下式决定：
 - 交流电压： $H = 1 + 0.0125(11 - h)$ ；
 - 冲击电压： $H = 1 + 0.009(11 - h)$ 。
 - h ——空气绝对湿度， g/m^3 。

1) 工频交流电压、正极性操作冲击电压时， n 为

$$n = 1.12 - 0.12l_i \quad (\text{B.6})$$

式中：

l_i ——绝缘长度（对绝缘子串为净长，对空气间隙为间距），m。

n ——指数，与绝缘长度有关。

该式适用于 $l_i > 6$ ，对于另外的 l_i ，取 $n = 1$ 。

2) 正极性雷电冲击电压： $n = 1$ 。

以上修正方法限于在海拔高度 3500m 以下使用。

c) GB 311.1 中规定的海拔校正因数计算方法。GB 311.1 中 3.4 条规定：“对用于海拔高于 1000m，但不超过 4000m 处的设备的外绝缘及干式变压器的绝缘，海拔每升高 100m，绝缘强度约降低 1%，在海拔不高于 1000m 的地点试验时，其试验电压应按本标准规定的额定耐受电压乘以海拔校正因数 K_a 。”

$$K_a = \frac{1}{1.1 - H \times 10^{-4}} \quad (\text{B.7})$$

式中：

H ——设备安装地点的海拔高度，m。

这里需要说明：GB 311.1 规定的额定电压已经换算为海拔 1000m 的电压值，对用于 1000m 以下的设备不必进行海拔修正。因此，在以海拔 0m 进行海拔校正因数 K_a 的分析时，需要考虑海拔 0m 与海拔 1000m 海拔修正（放电电压）的不同，按上式计算为 $K_{1000} = 1 / (1.1 - 0 \times 10^{-4}) = 1 / 1.1$ ，以海拔 0m 为基准的海拔校正因数 K_a 需除以 K_{1000} ，即可表示为

$$K_a = \frac{1.1}{1.1 - H \times 10^{-4}} \quad (\text{B.8})$$

d) GB 311.2 海拔校正因数计算方法

$$K_a = e^{m(H/8150)} \quad (\text{B.9})$$

GB 311.2 推荐的 K_a 中指数 m 取值为：

对配合雷电冲击放电电压， $m = 1.0$ ；

对空气间隙和洁净绝缘子短时工频放电电压， $m = 1.0$ ；

对配合操作冲击放电电压， m 按图 B.1 取值。

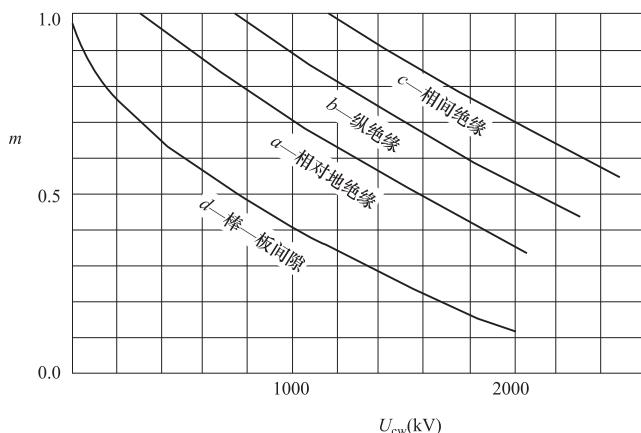
e) DL/T 5092—1999 规定在海拔高度为 1000m ~ 3500m 的地区，如无运行经验时，绝缘子串的片数为

$$n_h = n[1 + 0.1(0.001H - 1)] \quad (\text{B.10})$$

式中：

n_h ——高海拔地区绝缘子数量，片；

n ——海拔 1000m 以下地区绝缘子数量，片；

图 B.1 指数 m 与操作冲击放电电压的关系 H —— 海拔高度，m。

- f) DL/T 562—1995 规定海拔高度为 1000m 以上地区单片绝缘子的污秽耐压值应该直接在线路需经过的高海拔地区按规定进行试验来确定，如因试验条件所限制，不可能在线路所经过的高海拔地区进行绝缘子污秽耐压试验，则可按下式进行换算

$$U_{d,n,g} = U_{d,n} (P / P_1)^n \quad (\text{B.11})$$

B.2 青藏铁路 期 110kV 输变电工程关键技术研究

国网青海省电力公司通过承担的《青藏铁路 期 110kV 输变电工程关键技术研究》之《高海拔地区 110kV 输变电工程绝缘空气间隙研究》项目，分别在武汉（23m）、西宁（2254m）、拉萨（3698m）及那曲（4510m）四个试验区开展了 110kV 典型杆塔空气间隙在 0.5m、1.0m、1.5m 和 2.0m 下的工频、操作和雷电冲击放电电压试验，参照 GB 311.2 中海拔校正因数的指数公式形式，对线路间隙的工频放电电压、操作 50% 放电电压和雷电 50% 放电电压在 0.5m ~ 1.5m 的间隙距离内按下式形式（指数经验公式）进行最小二乘法拟合，其中指数 a 在表 B.1 中列出。

$$K = e^{aH} \quad (\text{B.12})$$

式中：

 K —— 各试验数据点的海拔校正因数； H —— 试点的海拔高度，m。工频电压： $K_a = e^{0.118 \times 10^{-3} \times H} = e^{0.961 \times H / 8150} = e^{1.0 \times H / 8150}$ 。操作冲击电压： $K_a = e^{0.111 \times 10^{-3} \times H} = e^{0.901 \times H / 8150} = e^{0.9 \times H / 8150}$ 。

雷电冲击电压： $K_a = e^{0.125 \times 10^{-3} \times H} = e^{1.019 \times H / 8150} = e^{1.0 \times H / 8150}$ 。可见空气间隙的工频闪络电压和雷电 50% 放电电压海拔校正因数按 GB 311.2 定义的指数 m 等于 1.0，操作 50% 放电电压的指数 m 等于 0.9。

表 B.1 海拔校正因数的指数拟合

间隙距离 m	工频	操作	雷电
0.5	0.120×10^{-3}	0.105×10^{-3}	0.130×10^{-3}
1.0	0.118×10^{-3}	0.109×10^{-3}	0.120×10^{-3}
1.5	0.116×10^{-3}	0.117×10^{-3}	0.125×10^{-3}
平均值	0.118×10^{-3}	0.111×10^{-3}	0.125×10^{-3}

B.3 国内外各种标准及试验研究获得的修正因数比较

以工频放电电压为例，同时将所有标准的适用范围外延至 5000m，利用各种标准及试验研究获得的修正因数，分别计算其工频电压海拔校正因数，结果如表 B.2 所示。

表 B.2 各种标准下工频电压海拔校正因数计算结果

标准 \ 海拔 m	0	1000	2000	3000	4000	5000	规程允许的应用 海拔高度 m
GB/T 16927.1	1.00	1.11	1.23	1.35	1.49	1.63	2000
DL/T 620	1.00	1.15	1.30	1.47	1.65	1.85	3500
DL/T 5092	1.00	1.11	1.22	1.33	1.44	1.56	3500
DL/T 562	1.00	1.10	1.21	1.34	1.49	1.66	—
GB 311.1	1.00	1.10	1.22	1.38	1.57	1.83	4000
GB 311.2	1.00	1.13	1.28	1.44	1.63	1.85	2000
试验研究获得的 指数公式	1.00	1.13	1.27	1.42	1.60	1.80	—

注：其中根据 DL/T 5092 和 GB 311.1 规程中公式基准海拔为 1000m，为便于比较，已将公式换算至基准海拔为 0m。

结合国网青海省电力公司近年来关于高海拔地区空气间隙、相间距离、外绝缘研究成果及大量的试验数据，得出以下结论：

- a) 试验研究得到海拔修正系数与 GB 311.1 和 GB 311.2 中海拔修正公式计算的海拔修正系数最为接近。
- b) GB 311.1 中所提供的公式是基于 1000m 海拔进行修正的，在 4500m 及以下工频及雷电冲击电压海拔修正系数明显较“试验研究获得的指数公式”所得结论偏低。
- c) GB 311.1 提供的修正办法中确定的操作冲击电压海拔校正因数过于严格，如按照该方法进行高海拔地区电气一次设备外绝缘水平修正时，对于 330kV 及以上电压等级电气设备其经济技术性较差，故不建议采用。
- d) GB 311.2 规定的海拔校正方法，与试验研究所得到的高海拔修正系数差别较小，建议采用 GB 311.2 中所提供的高海拔修正公式。

根据国内外相关标准中海拔修正方法，结合国网青海省电力公司在高海拔外绝缘领域研究成果，采用以下海拔修正方法。

- a) 外绝缘试验电压海拔修正如正文 5.1 条所述。
- b) 空气间隙放电电压海拔修正如正文 5.2 条所述。
- c) 爬电距离修正：

本标准中“统一爬电比距”定义为“绝缘子的爬电距离与该绝缘子上承载的最高运行电压的方均根值之比”。该定义实际上包括相电压和线电压，其电压值由电力设备实际运行电压确定。在实际运行和试验中都比较直观。而 GB/T 5582—1993、GB/T 16434—1996、JB/T 5895—1991 定义的术语“爬电比距”为电力设备外绝缘的爬电距离与设备最高电压之比。设备最高电压并不是设备上的直接承受的电压。对于线对地绝缘，此“统一爬电比距”产生的值将是 GB/T 5582—1993 定义的“爬电比距”给出的值的 $\sqrt{3}$ 倍。

对于高海拔地区变电站内一次电气一次设备绝缘子爬电距离确定以下两点原则：变电站户外电气一次设备外绝缘爬电距离不进行海拔修正；考虑到目前国内缺乏高海拔、超高压、污秽条件下的放电曲线试验数据，有效爬电距离 L 按式 $L = K_d \lambda U_m / \sqrt{3}$ 计算确定。

根据 Q/GDW 179—2008 第 9 章修正统一爬电比距。复合绝缘子爬电距离确定如正文 5.3.4 所述。

附录 C
(资料性附录)
变电站电气一次设备外绝缘水平的说明

C.1 根据 GB 311.1 中第 5.3 条 , 关于高压输变电设备的额定绝缘水平 , 对于范围 的设备 ($1kV \leq U_m \leq 252kV$) 选取设备的绝缘水平时 , 首先应考虑雷电冲击作用电压 , 和每一设备最高电压相对应 , 给出了设备绝缘水平的两个耐受电压 , 即 : 额定雷电冲击耐受电压 ; 额定短时工频耐受电压。

对于范围 的设备 ($U_m > 252kV$) 选取设备的绝缘水平时 , 考虑操作冲击和雷电冲击作用电压 , 和每一设备最高电压相对应 , 给出了设备绝缘水平的两个耐受电压 , 即 : 额定雷电冲击耐受电压 ; 额定操作冲击耐受电压。

C.2 在高海拔地区设备材料统一标准中推荐电气一次设备的额定外绝缘水平除因电压等级不同而确定的耐受电压外 , 还有受耐受电压控制的最小空气间隙。在进行高海拔地区外绝缘修正时应根据推荐的外绝缘水平同时对耐受电压和最小空气间隙进行修正。

C.2.1 变电站电气一次设备外绝缘额定耐受电压。

涉及高海拔地区物资采购的变电站内电气一次设备绝缘子主要包括以下几种形式的瓷和复合绝缘子 : 支柱绝缘子 ; 开关类设备用空心套管 ; 绕组类设备用套管 (电容型套管); 互感器类设备用瓷套 ; 避雷器用瓷套。

规定的变电站内电气一次设备外绝缘额定耐受电压 , 适用于系统标称电压为 $6kV$ 、 $10kV$ 、 $20kV$ 、 $35kV$ 、 $66kV$ 、 $110kV$ 、 $220kV$ 、 $330kV$ 、 $500kV$ 和 $750kV$ 电压等级、频率为 $50Hz$ 三相交流输电系统中 , 变电站内变压器、断路器、 GIS 等装置中使用的瓷套管 (复合套管) 及互感器、避雷器等装置中使用的瓷套 (复合套) 。对于敞开式隔离开关等装置中使用的支柱绝缘子外绝缘耐受电压也应执行本标准。

根据 GB/T 4109—2008 中表 7 规定 $35kV$ 及以下电压等级变电站电气一次设备外绝缘额定耐受电压。

根据国家电网公司招标范本规定 $35kV$ 以上电压等级变电站电气一次设备外绝缘额定耐受电压。高海拔地区变电站内电气一次设备用绝缘子外绝缘耐受电压均应执行本标准的规定。试验程序、试验判据及试验电压波形均应执行国内相关标准及规定。

C.2.2 户外变电站要求的最小空气间隙。

C.2.2.1 最小空气间隙的说明。本标准所指的最小空气间隙应理解为其静电场不受绝缘子 (如套管) 结构的影响。最小空气间隙规定值不涉及绝缘子本身的闪络距离或其表面爬电距离 ; 也不考虑鸟类或其他兽类带来的使其距离减小的影响。

本标准的间隙要求 , 对于两个圆角化的电极之间的间隙是适用的。本标准认为导线夹持件和其屏蔽罩形状合适 , 不会降低原有的闪络电压 ; 还认为进线布置也不会使原有的有效空气间隙减小。如果用户用特殊的连接方法 , 以致减小原有的最小空气间隙时 , 则应采取特殊措施。

规定有足够的裕度的空气间隙值可能有一定的技术困难。本标准的原则是 : 提供一个最小的、无危险的间隙 , 不必再用论证或试验的方法来检验它们在各种系统条件下和不同气候条件下是否有足够的安全性。根据上述原则确定的最小空气间隙实际上是最小值 , 在选择时实际空气间隙至少要等于规定的最小空气间隙。

避雷器外绝缘的要求不等同于其他高压电器 , 避雷器外绝缘瓷套同时也是安放电阻片的容器 , 避雷器用均压环除优化高压带电部分电场分布外 , 还有优化电阻片电压分布的作用。研究表明 , 电阻片是限压元件 , 对过电压的响应时间仅 $20ns$ 。若对避雷器产品的最小空气间隙进行修正 , 会导致瓷套的危险断面的应力增加从而对避雷器的机械强度产生影响。考虑到避雷器产品的特殊性 , 对避雷器产品的最小空气间隙不做强制要求 , 但是避雷器瓷套外绝缘耐受电压值应严格执行本标准附录 D 中的规定。

注：如供方提供的产品最小电弧距离不小于本标准的最小空气间隙，可不进行外绝缘耐受电压试验；如产品最小电弧距离小于本标准的最小空气间隙，则供方应提供国家或电力工业权威部门出具的外绝缘型式试验报告，试验电压值应严格执行本标准附录 D 中的规定。

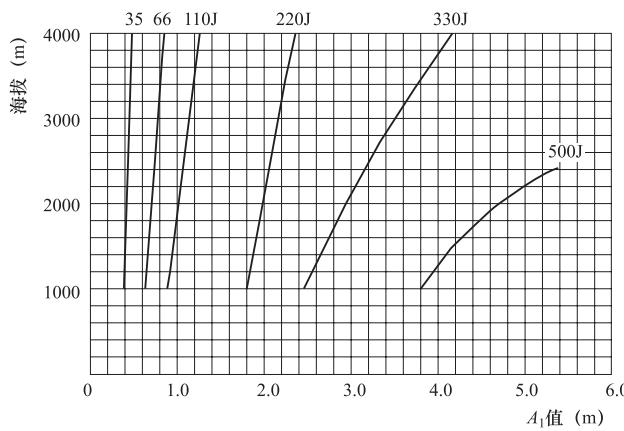
C.2.2.2 海拔不超过 1000m 地区变电站要求的最小空气间隙确定原则。根据 DL/T 5352—2006 中表 8.1.1 规定海拔不超过 1000m 地区，变电站内其他配电装置相对地、相间最小空气间隙。

C.2.2.3 高海拔地区变电站要求的最小空气间隙的修正原则。根据 GB 1094.3—2003 中第 16.1 条：“如果变压器在海拔高于 1000m 的地区运行时，其所需的空气间隙，应按每增加 100m（对 1000m 海拔而言），最小空气间隙加大 1% 来计算。”

GB 311.1—1997 中第 3.4 条：“对用于海拔高于 1000m，但不超过 4000m 处的设备的外绝缘及干式变压器的绝缘，海拔每升高 100m，绝缘强度约降低 1%。”

本标准考虑到当电压等级较高、最小空气间隙距离较大时，单纯地按线性增加绝缘间隙或距离的方法并不能有效解决高海拔带来的问题。因此在确定高海拔地区变电站要求的最小空气间隙时遵循以下原则：

- a) 对于标称电压为 6kV ~ 20kV 电压等级三相交流输电系统，考虑到其最小空气间隙是由雷电过电压决定的，而雷电过电压 50% 放电电压基本呈线性关系。因此，由雷电冲击电压海拔校正系数和海拔不超过 1000m 地区最小空气间隙，确定高海拔地区变电站要求的相对地最小空气间隙和相间最小空气间隙。
- b) 对于 35kV ~ 500kV 电压等级三相交流输电系统，根据 DL/T 5352—2006 给出的 35kV ~ 220kV 电压等级变电站，海拔大于 1000m 时的 A 值修正曲线（如图 C.1 所示）来确定高海拔地区变电站要求的最小相对地空气间隙和最小相间空气间隙。
- c) 对于 750kV 电压等级三相交流输电系统，根据 DL/T 620—1997 中绝缘配合的方法和南瑞集团有限公司（国网电力科学研究院）提供的真型模型放电试验数据来确定高海拔地区变电站要求的最小相对地空气间隙和最小相间空气间隙。



注： A_2 值和屋内的 A_1 、 A_2 值可按本图之比例递增。

图 C.1 DL/T 5352—2006 附录 B 中海拔大于 1000m 时 A 值的修正

C.2.3 户内变电站要求的最小空气间隙。户内变电站要求的高海拔地区最小空气间隙，在海拔不超过 1000m 地区要求的最小空气间隙值基础之上，根据户外变电站最小空气间隙增加之比例来确定。

附录 D
(规范性附录)

高海拔地区使用变电站电气一次设备在海拔不超过 1000m 地区的外绝缘耐受试验电压

表 D.1 高海拔地区 110kV 及以下电压等级电气一次设备在海拔不超过 1000m 地区的外绝缘耐受试验电压

kV

海拔高度 m	系统标称电压	电压类型	变压器	GIS	电流互感器	电压互感器	断路器	隔离开关	避雷器	支柱绝缘子
1000 < H ≤ 2000	6	工频	25	23	23	23	23	23	23	23 (湿)
		雷电冲击	68	68	68	68	68	68	68	68
	10	工频	34	32	32	32	32	32	32	32 (湿)
		雷电冲击	85	85	85	85	85	85	85	85
	20	工频	62	57	57	57	57	57	57	57 (湿)
		雷电冲击	140	140	140	140	140	140	140	140
	35	工频	107	107	107	107	107	107	107	107 (湿)
		雷电冲击	225	225	225	225	225	225	225	225
	66	工频	167/170 ^a	180	180	180	180	180	158	158 (湿)
		雷电冲击	370/395 ^a	395	395	395	395	395	370	370
	110	工频	260	260	260	260	260	260	209	226 (湿)
		雷电冲击	545	620	620	620	620	620	510	510
2000 < H ≤ 3000	6	工频	28	26	26	26	26	26	26	26 (湿)
		雷电冲击	77	77	77	77	77	77	77	77
	10	工频	38	36	36	36	36	36	36	36 (湿)
		雷电冲击	95	95	95	95	95	95	95	95
	20	工频	70	65	65	65	65	65	65	65 (湿)
		雷电冲击	160	160	160	160	160	160	160	160
	35	工频	120	120	120	120	120	120	120	120 (湿)
		雷电冲击	255	255	255	255	255	255	255	255
	66	工频	188/195 ^a	205	205	205	205	205	180	180 (湿)
		雷电冲击	415/450 ^a	450	450	450	450	450	415	415
	110	工频	295	295	295	295	295	295	235	255 (湿)
		雷电冲击	705	705	705	705	705	705	575	575
3000 < H ≤ 4000	6	工频	32	30	30	30	30	30	30	30 (湿)
		雷电冲击	85	85	85	85	85	85	85	85
	10	工频	43	40	40	40	40	40	40	40 (湿)
		雷电冲击	110	110	110	110	110	110	110	110

表 D.1 (续)

海拔高度 m	系统标 称电压	电压类型	变压器	GIS	电流 互感器	电压 互感器	断路器	隔离 开关	避雷器	支柱 绝缘子
3000 < H ≤ 4000	20	工频	80	70	70	70	70	70	70	70 (湿)
		雷电冲击	180	180	180	180	180	180	180	180
	35	工频	140	140	140	140	140	140	140	140 (湿)
		雷电冲击	290	290	290	290	290	290	290	290
	66	工频	213/217 ^a	231	231	231	231	231	202	202 (湿)
		雷电冲击	470/505 ^a	505	505	505	505	505	470	470
	110	工频	332	332	332	332	332	332	267	289 (湿)
		雷电冲击	795	795	795	795	795	795	650	650
4000 < H ≤ 5000	6	工频	36	33	33	33	33	33	33	33 (湿)
		雷电冲击	100	100	100	100	100	100	100	100
	10	工频	50	45	45	45	45	45	45	45 (湿)
		雷电冲击	125	125	125	125	125	125	125	125
	20	工频	90	80	80	80	80	80	80	80 (湿)
		雷电冲击	205	205	205	205	205	205	205	205
	35	工频	155	155	155	155	155	155	155	155 (湿)
		雷电冲击	330	330	330	330	330	330	330	330
	66	工频	240/245 ^a	260	260	260	260	260	230	230 (湿)
		雷电冲击	530/570 ^a	570	570	570	570	570	530	530
	110	工频	375	375	375	375	375	375	300	325 (湿)
		雷电冲击	900	900	900	900	900	900	735	735
^a 750kV 油浸式单相三绕组无励磁调压自耦变压器 66kV 侧套管外绝缘耐受电压。										

表 D.2 高海拔地区 110kV 以上电压等级电气一次设备在海拔不超过 1000m 地区的外绝缘耐受电压

kV

海拔高度 m	系统标 称电压	电压类型	变压器	GIS	电流 互感器	电压 互感器	断路器	隔离 开关	避雷器	支柱 绝缘子
1000 < H ≤ 2000	220	工频	520	520	520	520	520	520	450	450 (湿)
		雷电冲击	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1075	1075
		操作冲击	825	—	—	—	—	—	—	—
	330	工频	645	580	580	580	580	580	580	580 (湿)
		雷电冲击	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330
		操作冲击	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040

表 D.2 (续)

海拔高度 m	系统标称电压	电压类型	变压器	GIS	电流互感器	电压互感器	断路器	隔离开关	避雷器	支柱绝缘子
1000 < H ≤ 2000	500	工频	840	840	840	840	840	840	770	840 (湿)
		雷电冲击	1895	1895	1755	1755	1895	1895	1755	1895
		操作冲击	1290	1425	1290	1290	1425	1425	1290	1360
	750	工频	1020	1085	1105	1105	1085	1085	1085	1085 (湿)
		雷电冲击	2205	2375	2375	2375	2375	2375	2375	2375
		操作冲击	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
2000 < H ≤ 2500	220	工频	555	555	555	555	555	555	475	475 (湿)
		雷电冲击	1265	1265	1265	1265	1265	1265	1145	1145
		操作冲击	860	—	—	—	—	—	—	—
	330	工频	685	615	615	615	615	615	615	615 (湿)
		雷电冲击	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415
		操作冲击	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090
	500	工频	890	890	890	890	890	890	820	890 (湿)
		雷电冲击	2015	2015	1865	1865	2015	2015	1865	2015
		操作冲击	1350	1495	1350	1350	1495	1495	1350	1425
	750	工频	1085	1155	1175	1175	1155	1155	1155	1155 (湿)
		雷电冲击	2345	2525	2525	2525	2525	2525	2525	2525
		操作冲击	1880	1880	1880	1880	1880	1880	1880	1880
2500 < H ≤ 3000	220	工频	590	590	590	590	590	590	505	505 (湿)
		雷电冲击	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1215	1215
		操作冲击	905	—	—	—	—	—	—	—
	330	工频	730	655	655	655	655	655	655	655 (湿)
		雷电冲击	1505	1505	1505	1505	1505	1505	1505	1505
		操作冲击	1145	1145	1145	1145	1145	1145	1145	1145
	500	工频	945	945	945	945	945	945	869	945 (湿)
		雷电冲击	2140	2140	2140	1980	2140	2140	1980	2140
		操作冲击	1415	1565	1415	1415	1565	1565	1415	1490
	750	工频	1150	1230	1245	1245	1230	1230	1230	1230 (湿)
		雷电冲击	2495	2685	2495	2685	2685	2685	2685	2685
		操作冲击	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860
3000 < H ≤ 3500	220	工频	625	625	625	625	625	625	540	540 (湿)
		雷电冲击	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1290	1290
		操作冲击	945	—	—	—	—	—	—	—

表 D.2 (续)

海拔高度 m	系统标 称电压	电压类型	变压器	GIS	电流 互感器	电压 互感器	断路器	隔离 开关	避雷器	支柱 绝缘子
3000 < H ≤ 3500	330	工频	775	695	695	695	695	695	695	695 (湿)
		雷电冲击	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
		操作冲击	1195	1195	1195	1195	1195	1195	1195	1195
	500	工频	1005	1005	1005	1005	1005	1005	925	1005 (湿)
		雷电冲击	2275	2275	2105	2105	2275	2275	2105	2275
		操作冲击	1480	1640	1480	1480	1640	1640	1480	1560
	750	工频	1225	1305	1325	1325	1305	1305	1305	1305 (湿)
		雷电冲击	2650	2855	2855	2855	2855	2855	2855	2855
		操作冲击	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950

附录 E
(规范性附录)

高海拔地区使用的复合绝缘子在海拔不超过 1000m 地区的外绝缘耐受电压

表 E.1 高海拔地区 220kV 及以下电压等级复合绝缘子在
海拔不超过 1000m 地区耐受电压

kV

系统标称电压	电压 电压类型	海拔 m	2000	2500	3000	3500	4000	4500
6/10	湿工频 1min 耐受电压		45	48	50	54	58	61
	雷电全波冲击耐受电压		107	114	120	130	137	145
35	湿工频 1min 耐受电压		107	114	120	130	137	145
	雷电全波冲击耐受电压		260	275	295	315	330	355
110	湿工频 1min 耐受电压		260	275	295	315	330	355
	雷电全波冲击耐受电压		625	660	705	745	795	845
220	湿工频 1min 耐受电压		445	475	505	535	570	605
	雷电全波冲击耐受电压		1130	1200	1280	1360	1445	1535

表 E.2 高海拔地区 220kV 以上电压等级复合绝缘子在
海拔不超过 1000m 地区耐受电压

kV

系统标称电压	电压 电压类型	海拔 m	2000	2500	3000	3500	4000
330	湿工频 1min 耐受电压		645	685	730	775	825
	雷电全波冲击耐受电压		1610	1715	1820	1940	2060
	湿操作冲击耐受电压		1040	1090	1140	1195	1250
500	湿工频 1min 耐受电压		835	890	945	1005	1070
	雷电全波冲击耐受电压		2320	2465	2620	2785	2960
	湿操作冲击耐受电压		1360	1425	1490	1560	1635
750	湿工频 1min 耐受电压		1185	1260	1340	1425	1515
	雷电全波冲击耐受电压		3050	3245	3450	3670	3900
	湿操作冲击耐受电压		1975	2065	2165	2265	2370

附录 F
(资料性附录)
输电线路复合绝缘子外绝缘水平的说明

F.1 概述

输电线路复合绝缘子外绝缘耐受电压、高海拔地区复合绝缘子爬电距离和最小电弧距离遵循以下原则。

- a) 因国内缺乏海拔 4500m 及以上地区复合绝缘子运行经验，本次未规定海拔 4500m 以上地区复合绝缘子外绝缘参数。
- b) 因国内西北高海拔地区未涉及 66kV 电压等级输电线路，本次未规定 66kV 电压等级输电线路复合绝缘子高海拔地区外绝缘参数。
- c) 因 20kV 电压等级输电线路为城区电缆供电，因此未规定 20kV 电压等级输电线路复合绝缘子高海拔地区外绝缘参数。
- d) 35kV 及以下电压等级输电线路复合绝缘子外绝缘参数参照 Q/GDW 179—2008 中绝缘配合方法计算。

F.2 复合绝缘子最小电弧距离

- a) 确定复合绝缘子最小电弧距离原则。
 - 1) 750kV 电压等级输电线路复合绝缘子最小电弧距离按照实际工程，以操作过电压进行绝缘配合同时校核雷电过电压间隙。
 - 2) 330kV 电压等级输电线路复合绝缘子最小电弧距离在计算值基础上，参考实际工程取值。
 - 3) 110kV 参考了《青藏铁路 110kV 输变电工程的绝缘配合》中的结论与工程实际取值。
 - 4) 对于 500kV 电压等级及以下输电线路复合绝缘子最小电弧距离按照雷电过电压进行绝缘配合确定。
 - 5) 根据 Q/GDW 179—2008 第 9 章中的方法确定雷电过电压间隙。

如因高海拔而需增加绝缘子数量，则雷电过电压最小间隙也应相应增大。在雷电过电压情况下，其空气间隙的正极性雷电冲击放电电压应与绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压相匹配。不必按绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压的 100% 确定间隙，对于 750kV 输电线路只需按绝缘子串 50% 雷电冲击放电电压的 80% 确定间隙，对 500kV 及以下线路只需按绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压的 85% 确定间隙（污秽区该间隙可仍按 a 级污秽区配合），即按下式进行配合：

$$U'_{50\%} = 85\% U_{50\%} \quad (\text{适用于 } 500\text{kV 及以下电压等级输电线路});$$

$$U'_{50\%} = 80\% U_{50\%} \quad (\text{适用于 } 750\text{kV 电压等级输电线路})$$

$$U_{50\%} = 556l \quad (\text{F.1})$$

式中：

$U_{50\%}$ —— 绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压，kV；

l —— 绝缘子串绝缘长度，m。

雷电冲击放电电压 $U_{50\%}$ 与空气间隙的关系为

$$U_{50\%} = 582d \quad (\text{F.2})$$

式中：

d —— 空气间隙，m。

- b) 330kV 电压等级复合绝缘子海拔 3000m 地区最小电弧距离计算示例。
- 1) 根据 DL/T 620—1997 中表 15 及 Q/GDW 179—2008 中表 9 规定 , 在海拔高度 1000m 以下地区 , 对于 330kV 电压等级输电线路 , 要求的悬垂绝缘子串绝缘子片数不应小于 17 片 (单片绝缘子高度为 146mm) 。
 - 2) 绝缘子 50% 雷电冲击放电电压为 $U_{50\%} = 556l = 556 \times 146 \times (17+1) = 1461.17$ (kV) 。
 - 3) 在雷电过电压情况下 , 其空气间隙的正极性雷电冲击放电电压应与绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压配合。对 500kV 及以下输电线路只需按绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压的 85% 确定间隙 (污秽区该间隙可仍按 0 级污秽区配合) , 则 $U'_{50\%} = 85\%U_{50\%} = 85\% \times 1461.17 = 1241.99$ (kV) 。
 - 4) 根据本标准 5.2 节空气间隙放电电压海拔修正公式 , 确定海拔 3000m 地区雷电冲击放电电压海拔修正系数 $K_a = 1.445$ 。
 - 5) 修正到海拔 3000m 地区 , 绝缘子空气间隙雷电冲击放电电压为 $U''_{50\%} = K_a U'_{50\%} = 1.445 \times 1241.99 = 1794.68$ (kV) 。
 - 6) 根据雷电冲击放电电压 $U_{50\%}$ 与空气间隙的关系确定复合绝缘子外绝缘最小空气间隙 , 为 $1794.68 = 582d$, 得出空气间隙为 3.08m 。
 - 7) 参考实际工程取值 , 推荐 3000m 地区 330kV 复合绝缘子最小电弧距离为 3150mm 。
- c) 750kV 电压等级复合绝缘子海拔 2500m 地区最小电弧距离计算示例。
- 1) 根据 Q/GDW 179—2008 第 9 章雷电过电压间隙确定方法 , 计算海拔 2500m 地区 750kV 输电线路雷电过电压最小空气间隙为 5.01m 。
 - 2) 对于操作过电压间隙选择 , 计算中取绝缘配合系数 $k = 1.25$, $U_{50\%} = 1.25U_s = 1469.85$ (kV) , U_s 为操作过电压 , kV 。对于 750kV 输电线路操作过电压水平为 1.8p.u. 。
 - 3) 根据本标准第 5.2 节操作冲击放电电压海拔修正系数 , 得到 $K_a U_{50\%} = 1690.33$ (kV) , 长度为 D 间隙的操作冲击 50% 放电电压 $U_{50\%}$ 为 $U_{50\%} = 3400K / (1+8/D)$, 得到海拔 2500m 时操作过电压空气间隙为 6.1m 。
 - 4) 海拔 2500m 地区 750kV 输电线路复合绝缘子最小电弧距离为 6150mm 。
- 根据上述原则 , 确定的高海拔地区复合绝缘子最小电弧距离如正文表 10 所示。

F.3 复合绝缘子公称结构高度

复合绝缘子公称结构高度如正文 7.3 条表中规定。

F.4 复合绝缘子公称爬电距离

目前国内外普遍结论认为 : 随气压降低 , 污染绝缘的直流和交流闪络电压都会降低 , 污闪电压与气压之间呈非线性关系为

$$U = U_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^n \quad (\text{F.3})$$

式中 :

U_0 ——常压 P_0 下污闪电压 ;

U ——低气压 P 下的污闪电压 ;

n ——下降指数 , 大小反映气压对于污闪电压的影响程度。

从大量的污闪试验结果可以看出 , 随海拔的下降指数 n 不仅和伞裙形状有关 , 而且还和盐密、海拔高度有关。污闪电压和气压之间是非线性的关系 , 在实际的外绝缘的工程设计中进行绝缘子串长选择时 , 应用起来很不方便。

表 F.1 为气象部门提供的海拔高度和气压的具体数据。

表 F.1 海拔高度和气压的对应关系 (青藏高原)

海拔高度 H km	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
气压 P MPa	0.101 33	0.098 95	0.096 61	0.094 32	0.092 08	0.089 87	0.087 72
海拔高度 H km	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
气压 P MPa	0.085 6	0.083 52	0.081 49	0.079 5	0.077 54	0.075 63	0.073 75
海拔高度 H km	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
气压 P MPa	0.071 91	0.070 11	0.068 34	0.066 62	0.064 92	0.063 26	0.061 64
海拔高度 H km	4.2	4.4	4.6	5.4	5.6	5.8	6.0
气压 P MPa	0.060 05	0.058 49	0.056 97	0.051 19	0.049 83	0.048 49	0.047 18

对表 F.1 中数据 , 进行曲线拟合 , 可以得出

$$P = 0.102 2 e^{-0.127 2 H} \quad (\text{F.4})$$

而其相关系数 $R^2 = 0.999 6$

于是可得

$$\begin{aligned} \frac{U}{U_0} &= \left(\frac{P}{P_0} \right)^n \\ &= \left(\frac{0.102 2 e^{-0.127 2 H}}{0.101 3} \right)^n \\ &= \left(\frac{0.102 2}{0.101 3} \right)^n \times e^{-0.127 2 n H} \end{aligned} \quad (\text{F.5})$$

其中 : $e^{-0.127 2 n H} = 1 - 0.127 2 n H + \frac{0.127 2^2 \times n^2 \times H^2}{2!} - \frac{0.127 2^3 \times n^3 \times H^3}{3!} = 1 - 0.127 2 n H + 0.008 1 n^2 H^2 - 0.000 34 n^3 H^3$

从表 F.2 可见 , 系数 n 从 0 ~ 1 的范围内 , 与 1 最大相差 0.008 59。因此可以近似认为系数为 1。

表 F.2 不同 n 值下的系数

n	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
系数	1	1.000 86	1.001 71	1.002 57	1.003 43	1.004 28	1.005 14	1.006 00	1.006 86	1.007 72	1.008 59

所以

$$\frac{U}{U_0} = 1 - 0.127 2 n H + 0.008 1 n^2 H^2 - 0.000 34 n^3 H^3 \quad (\text{F.6})$$

忽略二次项和三次项，得到式

$$\frac{U}{U_0} = 1 - 0.127 2nH \quad (\text{F.7})$$

令 $k_1 = 0.127 2n$

则得出了海拔高度和闪络电压之间的关系

$$\frac{U}{U_0} = 1 - k_1 H \quad (\text{F.8})$$

上式也可以换算为

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \frac{U_0 - U}{U_0} = k_1 H \quad (\text{F.9})$$

$k_1 = 0.127 2n$ ，可称为下降斜率。

综上所述，高海拔地区复合绝缘子统一爬电比距 λ' 按照如下公式进行修正

$$\lambda' = \lambda(1 + k) \quad (\text{F.10})$$

式中：

k —— 特征指数，参考值见表 F.3；

λ —— 1000m 以下地区统一爬电比距，mm/kV。

表 F.3 复合绝缘子的 k 参考值

材 料	k 值	
	海拔每增加 1000m	海拔每增加 500m
复合绝缘子	6%	3%

高海拔地区统一爬电比距修正如表 F.4 所示。

表 F.4 高海拔地区统一爬电比距修正表

污秽等级	1000m 以下地区不同污秽等级统一爬电比距 λ m/kV									
	下限	上限	下限	上限	下限	上限	下限	上限	下限	上限
统一爬电比距	22	25	25	31.5	31.5	39.4	39.4	50.4	50.4	59.8
海拔高度										
1000m 以上海拔修正统一爬电比距 λ' mm/kV										
1500	22.66	25.75	25.75	32.45	32.45	40.58	40.58	51.91	51.91	61.59
2000	23.32	26.50	26.50	33.39	33.39	41.76	41.76	53.42	53.42	63.39
2500	23.98	27.25	27.25	34.34	34.34	42.95	42.95	54.94	54.94	65.18
3000	24.64	28.00	28.00	35.28	35.28	44.13	44.13	56.45	56.45	66.98
3500	25.30	28.75	28.75	36.23	36.23	45.31	45.31	57.96	57.96	68.77
4000	25.96	29.50	29.50	37.17	37.17	46.49	46.49	59.47	59.47	70.56
4500	26.62	30.25	30.25	38.12	38.12	47.67	47.67	60.98	60.98	72.36

a) 10kV 线路复合绝缘子串爬电比距计算。10kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c 污区取 c 级

上限 $39.4\text{mm}/\text{kV}$, d、e 级污区的统一爬电比距按规定不应小于悬式盘形绝缘子的 $3/4$, 本标准中 d、e 污区分别取上限爬电比距的 0.9 倍, 10kV 线路复合绝缘子串爬电比距见表 F.5。

表 F.5 10kV 线路复合绝缘子串爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	46.7	55.4
2000		41.8	41.8	41.8	48.1	57.1
2500		43.0	43.0	43.0	49.4	58.7
3000		44.1	44.1	44.1	50.8	60.3
3500		45.3	45.3	45.3	52.2	61.9
4000		46.5	46.5	46.5	53.5	63.5
4500		47.7	47.7	47.7	54.9	65.1

b) 35kV 线路复合绝缘子爬电比距计算。 35kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c 污区取 c 级上限 $39.4\text{mm}/\text{kV}$, d、e 级污区的统一爬电比距按规定不应小于悬式盘形绝缘子的 $3/4$, 本标准中 d、e 污区分别取上限爬电比距的 0.9 倍, 35kV 线路复合绝缘子爬电比距见表 F.6。

表 F.6 35kV 线路复合绝缘子爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	46.7	55.4
2000		41.8	41.8	41.8	48.1	57.1
2500		43.0	43.0	43.0	49.4	58.7
3000		44.1	44.1	44.1	50.8	60.3
3500		45.3	45.3	45.3	52.2	61.9
4000		46.5	46.5	46.5	53.5	63.5
4500		47.7	47.7	47.7	54.9	65.1

c) 110kV 线路复合绝缘子爬电比距计算。 110kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c 污区取 c 级上限 $39.4\text{mm}/\text{kV}$, d、e 级污区的统一爬电比距按规定不应小于悬式盘形绝缘子的 $3/4$, 本标准中 d、e 污区分别取上限爬电比距的 0.85 倍, 110kV 线路复合绝缘子爬电比距见表 F.7。

表 F.7 110kV 线路复合绝缘子爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	44.1	52.4
2000		41.8	41.8	41.8	45.4	53.9
2500		43.0	43.0	43.0	46.7	55.4

表 F.7 (续)

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
3000		44.1	44.1	44.1	48.0	56.9
3500		45.3	45.3	45.3	49.3	58.5
4000		46.5	46.5	46.5	50.5	60.0
4500		47.7	47.7	47.7	51.8	61.5

d) 220kV 线路复合绝缘子爬电比距计算。220kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c 污区取 c 级上限 39.4mm/kV , d、e 级污区的统一爬电比距按规定不应小于悬式盘形绝缘子的 $3/4$, 本标准中 d、e 污区分别取上限爬电比距的 0.85 倍, 220kV 线路复合绝缘子爬电比距见表 F.8。

表 F.8 220kV 线路复合绝缘子爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	44.1	52.4
2000		41.8	41.8	41.8	45.4	53.9
2500		43.0	43.0	43.0	46.7	55.4
3000		44.1	44.1	44.1	48.0	56.9
3500		45.3	45.3	45.3	49.3	58.5
4000		46.5	46.5	46.5	50.5	60.0
4500		47.7	47.7	47.7	51.8	61.5

e) 330kV 线路复合绝缘子爬电比距计算。330kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c、d、e 污区均取上限, 330kV 线路复合绝缘子爬电比距见表 F.9。

表 F.9 330kV 线路复合绝缘子爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	52.0	61.6
2000		41.8	41.8	41.8	53.4	63.4
2500		43.0	43.0	43.0	54.9	65.2
3000		44.1	44.1	44.1	56.5	67.0
3500		45.3	45.3	45.3	58.0	68.8
4000		46.5	46.5	46.5	61.0	70.6

f) 500kV 线路复合绝缘子爬电比距计算。500kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c 污区取 c 级上限 39.4mm/kV , d、e 级污区的统一爬电比距按规定不应小于悬式盘形绝缘子的 $3/4$, 本标准中 d、e 污区分别取上限爬电比距的 0.85 倍, 500kV 线路复合绝缘子爬电比距见表 F.10。

表 F.10 500kV 线路复合绝缘子爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	44.1	52.4
2000		41.8	41.8	41.8	45.4	53.9
2500		43.0	43.0	43.0	46.7	55.4
3000		44.1	44.1	44.1	48.0	56.9
3500		45.3	45.3	45.3	49.3	58.5
4000		46.5	46.5	46.5	50.5	60.0

g) 750kV 线路复合绝缘子爬电比距计算。750kV 线路复合绝缘子爬电比距在 a、b、c 污区取 c 级上限 39.4mm/kV , d、e 级污区的统一爬电比距按规定不应小于悬式盘形绝缘子的 3/4 , 本标准中 d、e 污区分别取上限爬电比距的 0.85 倍 , 750kV 线路复合绝缘子爬电比距见表 F.11。

表 F.11 750kV 线路复合绝缘子爬电比距

mm/kV

海拔 m	污秽	a	b	c	d	e
1500		40.6	40.6	40.6	44.1	52.4
2000		41.8	41.8	41.8	45.4	53.9
2500		43.0	43.0	43.0	46.7	55.4
3000		44.1	44.1	44.1	48.0	56.9
3500		45.3	45.3	45.3	49.3	58.5
4000		46.5	46.5	46.5	50.5	60.0

综合考虑复合绝缘子爬电比距海拔修正、与瓷绝缘子的比值、实际生产等因素考虑，各电压等级的复合绝缘子爬电距离推荐值如正文表 11 所示。

高海拔外绝缘配置技术规范

编 制 说 明

目 次

1 编制背景	33
2 编制主要原则	33
3 与其他标准的关系	34
4 主要工作过程	34
5 标准的结构和内容	35
6 条文说明	35

1 编制背景

空气间隙和绝缘子构成了电气设备的外绝缘，空气间隙的击穿电压及绝缘子的闪络电压和大气条件有关。随着海拔高度增加，空气密度下降，外绝缘放电电压随之下降，因此高海拔地区电气设备外绝缘配置必须考虑这一因素的影响。

目前，国家标准、行业标准及相关国际标准中，已经给出了外绝缘放电电压与大气参数之间关系的经验公式，这些公式形式不同、校正方法不同、确定的海拔校正因数不同，且适用范围也不尽相同。使得高海拔地区电气设备外绝缘的选择无统一标准可依，高海拔地区电气设备外绝缘不一致，无法从经济和技术上统筹兼顾，无法保证电气设备的安全稳定运行。

此外，在进行高海拔外绝缘校正时，因没有科学、统一的海拔分级标准，导致高海拔地区电气设备参数杂乱、同类型设备序列较多、规格型号不统一，造成电气设备生产周期长、成本高，通用互换性较差，不利于提高物资集约化管理的整体水平。

因此，根据国家电网公司集约化、精细化管理的要求，充分发挥集团规模优势，降低采购成本，必须统一设备技术标准，全面推进技术标准化、产品系列化，提高物资采购过程工作效率。国家电网公司物资部委托国网青海省电力公司编写本标准。该标准的制定将有利于减少高海拔地区设备型式，方便工程设计、招标和运行维护；有利于缩短工程建设周期，降低工程建设和运营成本；有利于设备厂家推行技术进步和降低制造成本；有利于增强设备的统一性和通用性，提高工程建设水平。

2 编制主要原则

遵照 DL/T 5352—2006、DL/T 620—1997 和参照 Q/GDW 179—2008 中的原则，以及相关的设备、试验标准，并充分吸收规程颁发以来电力行业标准化、信息化研究推广应用的成果，在总结和分析的基础上广泛征求各方意见，形成本标准。

2.1 参考标准

本标准在编制过程中主要依据的标准如表 1 所示。

表 1 依 据 的 主 要 标 准

序号	标 准 名 称	标 准 号
1	高压配电装置设计技术规程	DL/T 5352—2006
2	交流电气装置的过电压保护和绝缘配合	DL/T 620—1997
3	110kV ~ 750kV 架空输电线路设计技术规定	Q/GDW 179—2008
4	电工术语 绝缘子	GB/T 2900.8—1995
5	高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求	GB/T 11022—1999
6	电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙	GB 1094.3—2003
7	电力系统污区分级与外绝缘选择标准	Q/GDW 152—2006
8	高压输变电设备的绝缘配合	GB 311.1—1997
9	交流电压高于 1000V 的绝缘套管	GB/T 4109—2008

2.2 有关问题说明

本标准根据国内外相关标准结合国网青海省电力公司高海拔外绝缘研究成果，确定了输变电设备外绝缘耐受电压海拔修正方法。

本标准根据国内相关标准和国家电网公司集中招标范本，确定了输变电设备外绝缘额定耐受电压、

最小空气间隙。

本标准确定了高海拔地区外绝缘配置时的海拔分级原则。

本标准根据国内制造能力，推荐了不同海拔地区、不同电压等级变电站电气一次设备用绝缘子最小电弧距离和爬电距离。

本标准推荐了输电线路复合绝缘子最小电弧距离和爬电距离。

本标准研究生产运行提出的问题和经验，在安全、经济、合理的基础上增加了适当的条文规定。

3 与其他标准的关系

物资采购技术标准在满足有关国家、行业和公司企业标准的基础上，结合公司企业标准和基建、运检、营销等专业管理要求，针对工程的特殊性提出了具体的技术要求和质量标准。采购标准经招标文件的引用，成为招标文件的组成部分，与招标文件具有同等的法律效力，招标文件中不再重复通用技术规范的内容。

本标准为变电站电气一次设备及输电线路复合绝缘子物资采购标准提供了外绝缘海拔修正依据。

4 主要工作过程

为完成高海拔外绝缘配置技术规范，国网青海电力充分收集了电力行业标准化、信息化研究推广应用的成果，生产制造厂商资料，以及相关的设备、试验标准，开展高海拔地区电气设备外绝缘水平校正工作，具体实施内容如下：

2009年2月4日~5日，在北京召开750kV电气设备外绝缘海拔修正专题研讨会。会上，西北电力设计院对750kV变电站电气设备外绝缘参数选取情况作了介绍，与会代表及特邀专家针对高海拔地区的设备外绝缘试验电压、套管外绝缘爬电距离、干弧距离等问题进行了讨论，并达成一致意见，为标准的编写提供了理论依据。国网青海电力根据会议确定的方法、结合高海拔外绝缘配置技术研究工作，编写本标准初稿。

2009年12月16日，在北京召开了高海拔地区设备材料外绝缘统一标准初稿评审会，会议对初稿进行了初步评审，提出大量建议和意见。根据会议意见，国网青海电力对本标准中电气设备的空气间隙、复合绝缘子的绝缘距离等关键参数的选取进行进一步论证并修改。针对报告中的不足之处，国网青海电力加强与生产制造厂商的沟通交流，并对国内各类一次电气设备主要生产厂家进行收资，掌握套管、线路复合绝缘子等设备的产品序列，并组织相关生产厂家就电气设备外绝缘参数进行讨论。结合国内电气设备制造水平和修正后电气设备外绝缘参数，最终确定高海拔地区一次电气设备外绝缘参数，并进行合理取整。同时，结合中国电力科学研究院提供的技术支持，完善电压和空气间隙高海拔修正办法，阐明电气设备外绝缘参数海拔校正计算过程，为本标准的编写做好了技术储备。

2010年1月12日，在北京召开了高海拔地区设备材料外绝缘统一标准编制研讨会，根据各专家提出的建议和意见，对该标准的海拔分级方式完善修改、规定套管绝缘净距、爬电距离等易度量的参数来保证高海拔地区电气设备外绝缘水平。并通过核对500kV电压等级输变电设备的高海拔外绝缘实际应用参数及设计方法依据相关标准对35kV及以下电压等级开关柜相关内容进一步完善。

2010年1月16日，在西安召开了高海拔地区设备材料外绝缘统一标准编制研讨会。会议就高海拔地区用变电站一次电气设备绝缘子海拔分级、外绝缘参数的选择等相关内容进行了讨论，对本标准中海拔分级原则、外绝缘参数选择进行了明确，依照会议上提出的意见和建议，对本标准进行详细论证和修改。

2010年2月4日，在北京召开了本标准的审查会。会议对本标准进行认真、仔细讨论，提出了建议和意见，结合会议纪要，对本标准进行修改和完善。

2013年10月17日，在北京召开了物资采购标准《高海拔外绝缘配置技术规范》(报批稿)审查会。会议对标准进行认真讨论，提出了修改意见和建议，重点对高海拔地区统一爬电比距修正进行论证，确

定用另一简单实用的线性公式进行修正，结合会议提出的意见和建议，对本标准进行最终修订。

在总结和分析的基础上广泛征求各方意见，加强与多家生产制造厂商的沟通交流、结合多次专业会议提出的意见和建议，在进行了大量的论证和修改的基础上，编制完成本标准。

5 标准的结构和内容

本标准共分 7 章：范围、规范性引用文件、术语和定义、海拔分级、修正方法、变电站电气一次设备外绝缘水平、输电线路复合绝缘子外绝缘水平。

6 条文说明

本标准第 5 章，依据国家和电力行业相关标准给出了海拔修正方法，并且结合国家电网公司科技项目《青藏铁路一期 110kV 输变电工程关键技术研究》，给出了海拔修正因子确定值。本标准第 6 章中，对于 750kV 电压等级三相交流输电系统，根据 DL/T 620—1997 中绝缘配合的方法和南瑞集团（国网电科院）提供的真型模型放电试验数据确定了高海拔地区变电站要求的最小相对地空气间隙和最小相间空气间隙。本标准第 7 章中，对于复合绝缘子外绝缘额定耐受电压，根据国内复合绝缘子制造水平，规定输电线路复合绝缘子外绝缘额定耐受电压。试验程序、试验判据及试验电压波形均应执行国内相关标准及规定。
