



中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1784 — 2017

多雷区 110kV ~ 500kV 交流同塔 多回输电线路防雷技术导则

Technical guide for lightning protection of 110kV~500kV AC multi-circuit
transmission line on the same tower in more thunderstorm region

2017-12-27 发布

2018-06-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 同塔线路防雷总体要求..... 2

5 同塔线路防雷基本措施..... 3

6 同塔线路雷击同时跳闸防治措施..... 8

7 继电保护和自动重合闸装置技术要求..... 12

8 同塔线路防雷措施的实施..... 12

附录 A （资料性附录） 降低接地电阻防治雷击同时跳闸的效果..... 14

附录 B （资料性附录） 增加绝缘子片数防治雷击同时跳闸效果..... 17

附录 C （资料性附录） 安装线路避雷器防治雷击同时跳闸效果..... 19

附录 D （资料性附录） 安装绝缘子并联间隙防治雷击同时跳闸效果..... 22

附录 E （资料性附录） 同塔线路仿真计算用典型杆塔型式..... 24

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业过电压与绝缘配合标准化技术委员会（DL/TC 38）归口。

本标准主要起草单位：广东电网有限责任公司电力科学研究院、中国电力科学研究院、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、武汉大学、广东电网有限责任公司、清华大学、中国能源建设集团广东省电力设计研究院、成都星河科技产业有限公司。

本标准主要起草人：彭向阳、张翠霞、陈家宏、赵淳、时卫东、文习山、王锐、任华、周华敏、张英、潘春平、余占清、黄振、王羽、苏杰、雷梦飞、李倩、张强。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

多雷区 110kV~500kV 交流同塔 多回输电线路防雷技术导则

1 范围

本标准规定了 110kV~500kV 交流架空同塔多回输电线路防雷要求。

本标准适用于电力系统多雷区和强雷区交流同塔多回输电线路（含新建线路和改建线路）的防雷设计、防雷改造、设备选型、施工及运行管理，对于中雷区和少雷区有特殊防雷要求的输电线路，也可参照执行。

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/T 2900.19 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合

GB/T 50064 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范

DL/T 1293 交流架空输电线路绝缘子并联间隙使用导则

3 术语和定义

GB/T 2900.19 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地闪密度 ground flash density

每平方千米、每年地面的落雷次数。

3.2

多雷区 more thunderstorm region

平均年雷暴日数超过 40 [地闪密度 2.78 次/ (km² · a)]，但不超过 90 [地闪密度 7.98 次/ (km² · a)] 的地区。

3.3

强雷区 strong thunderstorm region

平均年雷暴日数超过 90 [地闪密度 7.98 次/ (km² · a)] 以及根据运行经验雷害特殊严重的地区。

3.4

反击闪络 back flashover

雷击线路杆塔或地线造成的相导线与地之间的绝缘闪络。

3.5

绕击闪络 shielding failure flashover

雷电绕过地线或杆塔击中导线引起的相导线与地之间的绝缘闪络。

3.6

雷击同时跳闸 simultaneous tripping caused by lightning strike

因为雷击原因，导致同塔多回输电线路的两回及以上线路发生同时跳闸事件，简称“雷击同跳”

或“同跳”。

3.7

雷击跳闸率 lightning trip rate

每年、百千米输电线路因雷击引起的跳闸次数。

3.8

耐雷水平 lightning withstand level

雷击输电线路时，能引起绝缘闪络的最小临界雷电流幅值。

注：耐雷水平包括反击耐雷水平和绕击耐雷水平。

3.9

不平衡绝缘 unbalanced insulation

同一电压等级的架空线路回路间采用不同绝缘水平，用于减少雷击引起的多回同时闪络故障。

3.10

绝缘不平衡度 insulation unbalance degree

同塔线路回路间采用不平衡绝缘设计时，较高绝缘水平回路与较低绝缘水平回路绝缘子（串）电弧距离的差值，与较低绝缘水平回路绝缘子（串）电弧距离的比值。

3.11

保护角 shielding angle

杆塔处，不考虑风偏时，地线对水平面的垂线，和地线与导线或分裂导线最外侧子导线连线之间的夹角。

3.12

绝缘子并联间隙 parallel gap for insulator strings

和线路绝缘子并联安装的防雷间隙装置，一般由位于绝缘子高、低压端的一组放电电极和连接金具组成，间隙距离小于绝缘子电弧距离。

3.13

雷击高风险线路 high lightning stroke risk transmission lines

一般指线路走廊雷电活动强烈、容易遭受雷击及雷击跳闸率、故障率较高的线路。

3.14

同塔多回输电线路 transmission lines with multiple circuit on the same tower

一般指一个及以上电压等级的两回及以上回路同塔共架的输电线路，典型同塔多回输电线路包括同塔双回线路、同塔四回线路等。本标准中也简称“同塔线路”。

4 同塔线路防雷总体要求

4.1 输电线路防雷应在设计、建设、运行等各阶段采取措施，应根据线路重要程度、雷电强度、地形地貌、杆塔结构，以及线路不同地域、电压等级，不同设计、运行条件，采取差异化防雷措施，提高防雷措施的针对性和有效性。

4.2 对同塔线路，宜在不降低单回耐雷水平的基础上，减少多回线路雷击同跳事件，避免雷击导致整个输电通道供电中断。

4.3 对同塔线路，应注重降低接地电阻、加强绝缘配置、减小保护角等基础防雷措施应用，并对110kV、220kV线路重点采取不平衡绝缘配置，将雷击同跳次数占雷击跳闸总次数比例控制在10%以内。

4.4 同塔线路不平衡绝缘防雷措施包括：在不同回路间，采取增加绝缘子片数（或各回路采用不同材质、不同电弧距离的盘形悬式绝缘子或复合绝缘子）、安装线路避雷器、安装并联间隙等方式。

4.5 同塔线路防治雷击同时跳闸技术原则如下：

- a) 雷电反击是同塔线路同跳的主要原因，强雷暴过程中连续雷电绕击也会导致同跳，除采取不平衡绝缘和降低接地电阻、加强绝缘等防反击措施外，也应采取减小保护角等防绕击措施。
- b) 110kV、220kV 线路应兼顾雷电反击和绕击防护，500kV 线路应以雷电绕击防护为主。
- c) 110kV 同塔线路、220kV 同塔线路宜采用不平衡高绝缘配置，绝缘不平衡度宜大于 20%，不宜低于 15%，110kV 同塔线路不平衡度宜大于 220kV 同塔线路。
- d) 500kV 同塔线路宜采用平衡高绝缘配置，330kV 同塔线路可参照 500kV 同塔线路进行平衡高绝缘配置。
- e) 根据运行经验，应重点对高直线塔、复合绝缘子线路及山区、突出暴露地形的同塔线路采取针对性防雷措施。

4.6 对运行可靠性要求较高的同塔线路，如核电厂出线、换流站出线、铁路牵引站供电、自同一电源送出或向同一负荷供电线路，以及其他重要输电线路，应在设计阶段采取有效防雷措施。

4.7 输电线路防雷应综合采取一次、二次方面的防雷、防停电措施，减少因同塔线路雷击同跳导致电网大面积停电事故，提高供电可靠性。

4.8 应充分利用雷电定位系统开展雷电参数统计、线路防雷运行分析和防雷性能评估，明确雷击风险和防雷策略，为防雷设计和改造提供依据。基于地闪密度和雷暴日的雷区分级标准见表 1。

表 1 电力系统雷区分级标准

名称	地闪密度 N_g 次/ (km ² · a)	雷暴日 T_d d
少雷区	$N_g \leq 0.78$	$T_d \leq 15$
中雷区	$0.78 < N_g \leq 2.78$	$15 < T_d \leq 40$
多雷区	$2.78 < N_g \leq 7.98$	$40 < T_d \leq 90$
强雷区	$N_g > 7.98$	$T_d > 90$

注 1：电网雷区分级基于本地区多年的雷电参数，原则上以十年及以上雷电参数为分级依据；
注 2：不宜以特定年份或较短时间段的地闪密度统计参数，作为本地区雷区分级的评判依据。

5 同塔线路防雷基本措施

5.1 降低接地电阻

5.1.1 在雷雨季干燥条件下，每基杆塔不连架空地线的工频接地电阻，高度 40m 以下杆塔不宜超过表 2 第一类接地电阻值，高度 40m 及以上杆塔不宜超过表 2 第二类接地电阻值。重要线路、雷击高风险线路及有降阻条件线路，接地电阻不宜超过表 2 第二类接地电阻值。降低接地电阻对同塔线路防雷效果参见附录 A。

表 2 输电线路杆塔工频接地电阻

土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	≤ 100	100~500	500~1000	1000~2000	> 2000
第一类接地电阻 Ω	10	15	20	25	30
第二类接地电阻 Ω	7	10	15	20	25

5.1.2 变电站进线段杆塔工频接地电阻不宜高于 10 Ω ，土壤电阻率不超过 1000 $\Omega \cdot m$ 时不宜高于 7 Ω ，土壤电阻率不超过 500 $\Omega \cdot m$ 时不宜高于 5 Ω 。

5.1.3 土壤电阻率是线路杆塔接地装置设计和改造依据，设计资料应提供线路每基杆塔土壤电阻率参数和工频接地电阻设计值。

5.1.4 杆塔接地改造应进行技术经济比较，采用垂直接地极、伸长接地极、局部换土等措施，可开展新材料、新技术的试点应用。

5.1.5 杆塔接地改造严禁使用化学降阻剂或含化学成分的降阻接地模块，不应采用有腐蚀作用的降阻剂或接地模块。在盐碱腐蚀较严重地段，宜选用耐腐蚀性材料或防腐措施，水塘、淤泥等腐蚀严重地区应适当增大接地引下线的截面积。

5.1.6 杆塔接地装置的设计型式、埋设深度、单根放射形接地极的最大长度应满足 GB/T 50065 的规定。在雷雨季节前，应开展接地引下线与杆塔连接情况的检查。

5.2 加强绝缘配置

5.2.1 线路绝缘配合设计应满足一般杆塔设计要求，即海拔不超过 1000m 地区交流架空线路绝缘子串及空气间隙不应小于表 3 所列数值：

- a) 耐张绝缘子串的绝缘子片数应在表 3 悬垂串绝缘子片数的基础上增加，对 110kV、220kV 线路增加 1 片，对 500kV 线路增加 2 片。
- b) 全高超过 40m 有地线的杆塔，高度每增高 10m，应在表 3 基础上增加一片高度相当于 146mm 的绝缘子；全高超过 100m 的杆塔，绝缘子数量应结合运行经验，通过反击雷电过电压计算确定。

表 3 线路悬垂绝缘子每串最少片数和杆塔最小空气间隙

系统电压 kV	110	220	330	500
雷电过电压间隙 cm	100	190	230	330 (330)
操作过电压间隙 cm	70	145	195	270 (250)
工频电压间隙 cm	25	55	90	130 (120)
单片绝缘子高度 mm	146	146	146	155
绝缘子片数 片	7	13	17	25

注：500kV 括弧内数据适用于海拔不超过 500m 地区，括弧外数据适用于海拔超过 500m 但不超过 1000m 的地区。

5.2.2 海拔不超过 1000m 地区，110kV 及以上线路典型绝缘配置见表 4，在此基础上进行同塔线路的不平衡高绝缘配置（对 110kV、220kV 线路）或平衡高绝缘配置（对 330kV、500kV 线路）。

表 4 海拔不超过 1000m 地区输电线路典型（常规）绝缘配置

系统电压 kV	110	220	330	500
单片绝缘子的高度 mm	146	146	146	155
绝缘子片数 片	8	14	21	28
复合绝缘子电弧距离 mm	1168	2044	3066	4340

表 4 (续)

系统电压 kV	110	220	330	500
每增加一片绝缘子电弧 距离增加的百分比 %	12.5	7.1	4.7	3.5

5.2.3 在满足塔头空气间隙、线路风偏及交叉跨越距离条件下, 根据雷电活动强度、线路重要性和实际设计、运行条件, 应按以下原则提高线路绝缘水平:

- a) 新建线路。110kV、220kV 同塔线路绝缘配置不宜低于表 4 的要求。采用不平衡绝缘设计时, 常规绝缘回路不宜低于表 4 的要求, 高绝缘回路按照本标准第 6 章要求设计。

500kV 同塔双回线路采用平衡高绝缘设计, 使用的绝缘子不宜小于 31 片, 使用复合绝缘子电弧距离不宜小于 4805mm (应考虑均压环影响)。

- b) 运行线路。110kV、220kV 同塔线路进行不平衡绝缘改造时, 常规绝缘回路可保持原绝缘配置, 高绝缘回路按照本标准第 6 章要求设计。500kV 同塔双回线路, 可参考新建线路绝缘配置原则, 考虑进行平衡高绝缘防雷改造。

5.2.4 绝缘子选型应符合下列要求:

- a) 绝缘子选型应满足机械强度和污区分级要求, d、e 级重污区悬垂串宜选用复合绝缘子、外伞型防污盘形悬式绝缘子、复合化盘形悬式绝缘子, a、b、c 级轻污区悬垂串宜选用盘形悬式绝缘子; 耐张串宜选用盘形悬式绝缘子。
- b) 新建、改建线路使用复合绝缘子时, 应考虑绝缘子金具长度、均压环对其电弧距离的影响, 复合绝缘子雷电冲击绝缘水平宜与盘形悬式绝缘子保持一致。
- c) 强雷区线路宜优先选用盘形悬式绝缘子。
- d) 500kV 线路采用复合绝缘子时, 悬垂绝缘子宜采用双联串。
- e) 输电线路跨越 110kV 及以上线路、铁路、高速公路或一级公路, 特殊管道及一、二级通航河流时, 悬垂绝缘子宜采用独立挂点的双联串。
- f) 架空绝缘地线绝缘子宜采用双联盘形悬式绝缘子, 绝缘子间隙的设计和安装应可靠。

5.2.5 110kV 及以上同塔双回线路雷电反击耐雷水平不宜低于表 5 数值, 变电站进线段反击耐雷水平不宜低于表 5 中的较高值。

表 5 110kV 及以上同塔双回线路雷电反击耐雷水平

标称电压 kV	110	220	500
单回闪络 kA	59~70	86~101	156~176
双回闪络 kA	63~82	91~115	165~195
注 1: 表中反击耐雷水平较低/较高值分别对应杆塔冲击接地电阻 15Ω 和 7Ω; 注 2: 变电站进线段反击耐雷水平不宜低于表中较高值。			

5.3 减小地线保护角

5.3.1 输电线路地线保护角应满足表 6 的要求。保护角设计应考虑山区地面倾角的影响, 山区线路尽量采用较小保护角。

表 6 110kV 及以上架空线路地线保护角

标称电压 kV	110		220		330		500	
线路回数	单回	双回	单回	双回	单回	双回	单回	双回
平丘	$\leq 15^\circ$	$\leq 10^\circ$	$\leq 15^\circ$	$\leq 0^\circ$	$\leq 15^\circ$	$\leq 0^\circ$	$\leq 10^\circ$	$\leq 0^\circ$
山区	$\leq 10^\circ$	$\leq 5^\circ$	$\leq 10^\circ$	$\leq 0^\circ$	$\leq 10^\circ$	$\leq 0^\circ$	$\leq 5^\circ$	$\leq 0^\circ$

注：对冰区输电线路，地线保护角可适当增大。

5.3.2 运行线路一般不进行地线保护角改造。

5.3.3 在技术经济允许条件下，对绕击率较高的运行线路特殊杆塔，可采用减小地线保护角或安装线路避雷器等合理措施进行改造。山区地面倾角超过 25° 的线路，若减小保护角有困难，可考虑安装线路避雷器提高耐雷水平。

5.4 安装线路避雷器

5.4.1 线路上安装的避雷器分为线路中间避雷器和线路终端避雷器，主要用于运行线路的防雷改造，新建线路防雷设计一般在必要时采用。其防雷应用主要有以下三方面：

- 线路中间避雷器：安装于线路中间杆塔，用于易击段、易击塔、易击相的防雷保护。
- 线路终端避雷器：安装于线路终端杆塔，用于终端塔的防雷保护，兼顾变电站侵入波保护。
- 用于同塔线路形成不平衡高绝缘配置，防治雷击多回同时跳闸事件。

5.4.2 线路避雷器对雷电反击、绕击保护均有效，但保护范围限于所在塔的安装相，宜根据线路重要性和技术经济原则应用。

5.4.3 易击段线路避雷器应用原则如下：

- 线路避雷器主要用于强雷区或多雷区线路易击段的防雷保护，线路易击段、易击塔、易击相应根据多年雷击跳闸统计数据确定，重要线路和雷击高风险线路易击段优先安装。
- 山区线路易击段，接地电阻、耐雷水平不满足设计要求，采用降低接地电阻、加强绝缘、减小保护角等防雷措施不可行或效果不明显或技术经济极不合理时，可安装线路避雷器。
- 雷击高风险线路的变电站进线段、高杆塔、大档距杆塔、耐张转角塔及其前后直线塔，接地电阻、耐雷水平不满足设计要求的，可安装线路避雷器。
- 供电可靠性要求较高的重要线路易击段，可安装线路避雷器。
- 山区地面倾角较大，雷电绕击率较高的高风险线路，可在其边坡外侧边相安装线路避雷器。
- 线路中间避雷器宜选择带串联间隙的金属氧化物避雷器，不宜使用无间隙避雷器；线路终端避雷器的选型宜兼顾变电站侵入波保护绝缘配合和避雷器自身可靠性要求。
- 同塔线路采用线路避雷器加强易击段防雷的，应兼顾防雷击同跳的不平衡绝缘配置要求。

5.4.4 易击段线路避雷器安装方式如下：

- 110kV~220kV 同塔双回，兼顾雷电反击和绕击防护，优先安装顺序为上相→中相→下相，或上相→下相→中相；位于边坡的杆塔，优先在边坡外侧一回安装。
- 500kV 同塔双回，重点防护雷电绕击，优先安装顺序为中相→下相→上相，或下相→中相→上相；位于边坡的杆塔，优先在边坡外侧一回安装。
- 110kV、220kV 同压四回，优先在上层的一回或两回安装，优先顺序为上相→中相→下相；位于边坡的杆塔，优先在边坡外侧的一回或两回安装。
- 110kV、220kV 混压四回，优先在下层 110kV 的一回或两回安装，优先顺序为上相→中相→下相；位于边坡的杆塔，优先在边坡外侧下层 110kV 回路的下相或上相安装。
- 220kV、500kV 混压四回，优先在下层 220kV 的一回或两回安装；位于边坡的杆塔，优先在边

坡外侧下层 220kV 回路安装。

5.4.5 线路避雷器用于防治同塔线路雷击同时跳闸时，其安装要求按照本标准 6.2 的规定。

5.5 安装并联间隙

5.5.1 并联间隙具有提供雷击闪络路径、转移疏导工频电弧等功能，其防雷应用主要有以下两方面：

- a) 作为“疏导型”防雷措施，用于保护绝缘子免遭雷击损坏，降低雷击事故率，提高自动重合闸成功率，减少故障查找和运维工作。
- b) 用于同塔线路形成不平衡绝缘配置，防治雷击多回同时跳闸事件。

5.5.2 并联间隙的应用原则如下：

- a) 并联间隙主要用于强雷区或多雷区、供电可靠性要求不高的雷击高风险线路；供电可靠性要求较高的重要线路或 500kV 线路，不宜安装并联间隙。一般情况下并联间隙宜全线安装。
- b) 绝缘子雷击受损频繁，断路器、继电保护和自动装置动作可靠性较高，线路跳闸对电网影响较小且运维特殊困难的山区线路，可全线或在易击段和运维困难区段安装并联间隙。
- c) 同塔线路安装并联间隙，宜选择雷击风险较高的回路或相别安装。同塔线路安装并联间隙应兼顾不平衡绝缘配置要求。
- d) 杆塔空气间隙允许时，宜先提高线路绝缘水平，再安装并联间隙，即保证安装并联间隙后，线路雷击跳闸率不明显提高。
- e) 并联间隙宜在新建线路设计安装，也可在运行线路安装。

5.5.3 并联间隙绝缘配合及技术要求如下：

- a) 并联间隙雷电冲击放电电压、工频放电电压与线路绝缘水平相配合，保证雷电过电压下先于绝缘子放电，而工频及操作过电压下不放电。
- b) 运行线路安装并联间隙应对杆塔空气间隙进行校核，需要先增加绝缘子提高绝缘水平再安装并联间隙时，还应对线路弧垂、交叉跨越距离等进行校核。
- c) 用于绝缘子保护的并联间隙距离 Z 宜取绝缘子电弧距离 Z_0 的 80%~85%，并联间隙用于防治同塔线路雷击同时跳闸时，间隙距离 Z 的取值按照本标准 6.3 的规定。
- d) 并联间隙宜采用热镀锌钢等耐弧防腐材料，通过雷电和工频放电电压、雷电冲击伏秒特性、工频电弧燃弧特性、短路电流通流能力等型式试验，间隙型式及试验要求应满足 DL/T 1293 的规定。

5.5.4 并联间隙安装及运维要求如下：

- a) 悬垂串用并联间隙电极宜顺着导线方向安装，且绝缘子两侧均需安装，边相的也可在垂直于导线的外侧方向安装；耐张串仅需在绝缘子向上的一侧安装。
- b) 并联间隙安装前应进行外观检查，确认并联间隙电极及连接金具材料、规格满足要求，镀锌质量良好，登塔前可进行预组装。
- c) 间隙安装应牢固，确保间隙电极和连接金具可靠连接。安装后应进行现场检查和测量，确保并联间隙布置方式、间隙距离满足设计要求，并记录存档。
- d) 巡视发现并联间隙电极有新的烧蚀痕迹则判断并联间隙放电，同时应观察绝缘子是否有闪络痕迹。间隙距离增加超过 50mm 时应作为缺陷进行记录，结合线路停电机会进行更换。

5.5.5 并联间隙用于防治同塔线路雷击同时跳闸时，其安装方式按照本标准 6.3 的规定。

5.6 安装耦合地线

5.6.1 耦合地线通过增加导线间耦合作用减小绝缘子承受的雷电过电压，通过分流减少雷击杆塔入地电流、降低塔顶电位，提高线路耐雷水平。

5.6.2 耦合地线适用于土壤电阻率较高、降低接地电阻困难的山区线路或雷击跳闸率高的平原线路，可在架空线路易击段或地形允许的线段安装，可按耐张段分段架设。

5.6.3 耦合地线宜设置在导线下方，悬挂高度应根据线路运行情况和地理条件确定，安装耦合地线应对杆塔荷载、弧垂、交叉跨越以及覆冰等进行校核。

6 同塔线路雷击同时跳闸防治措施

6.1 增加绝缘子片数

6.1.1 同塔双回线路

同塔双回线路增加绝缘子片数应符合下列要求：

- 110kV 同塔双回线路。将其中一回各相增加 2 片绝缘子，另一回绝缘水平不变；运行线路条件受限时，将其中一回各相增加 1 片绝缘子，另一回绝缘水平不变。
- 220kV 同塔双回线路。将其中一回各相增加 3 片绝缘子，另一回绝缘水平不变；运行线路条件受限时，将其中一回各相增加 2 片绝缘子，另一回绝缘水平不变。
- 500kV 同塔双回线路。宜采用平衡高绝缘配置，每回线路各相正常情况下不宜小于 31 片绝缘子。

6.1.2 同塔四回线路

同塔四回线路增加绝缘子片数应符合下列要求：

- 110kV 同塔四回线路。保持上层一回绝缘不变，其他三回各相增加 2 片绝缘子；运行线路条件受限时，保持上层一回绝缘不变，其他三回各相增加 1 片绝缘子。
- 220kV 同塔四回线路。保持上层一回绝缘不变，其他三回各相均增加 3 片绝缘子；运行线路条件受限时，保持上层一回绝缘不变，其他三回各相增加 2 片绝缘子。
- 500kV 同塔四回线路。宜采用平衡高绝缘配置，线路设计时应进行防雷专题研究。
- 220kV/110kV 混压四回线路。下层 110kV 一回绝缘不变，另一回各相增加 2 片绝缘子，上方两回 220kV 线路绝缘不变；运行线路条件受限时，下层 110kV 一回绝缘不变，另一回各相增加 1 片绝缘子，上方两回 220kV 线路绝缘不变。
- 500kV/220kV 混压四回线路。下层 220kV 一回绝缘不变，另一回各相增加 3 片绝缘子，上方两回 500kV 线路绝缘不变；运行线路条件受限时，下层 220kV 一回绝缘不变，另一回各相增加 2 片绝缘子，上方两回 500kV 线路绝缘不变。

6.1.3 不平衡绝缘配置方法

按照以上原则，基于增加绝缘子片数的不平衡绝缘配置方法见表 7。增加绝缘子片数防治同塔线路雷击同时跳闸的效果参见附录 B。

表 7 基于增加绝缘子片数的同塔线路不平衡绝缘配置方法

同塔线路	绝缘子配置（片）			
同塔双回	回路 I		回路 II	
110kV 同塔双回	N_1		$N_1+2\left(N_1+1\right)$	
220kV 同塔双回	N_2		$N_2+3\left(N_2+2\right)$	
500kV 同塔双回	N_5		N_5	
同塔线路	绝缘子配置（片）			
同塔四回（垂直布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV
110kV 同塔四回	N_1	$N_1+2\left(N_1+1\right)$	$N_1+2\left(N_1+1\right)$	$N_1+2\left(N_1+1\right)$

表 7（续）

同塔线路	绝缘子配置（片）			
同塔四回（垂直布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV
220kV 同塔四回	N_2	$N_2+3 (N_2+2)$	$N_2+3 (N_2+2)$	$N_2+3 (N_2+2)$
220kV/110kV 混压四回	N_2	N_2	N_1	$N_1+2 (N_1+1)$
500kV/220kV 混压四回	N_5	N_5	N_2	$N_2+3 (N_2+2)$
同塔线路	绝缘子配置（片）			
同塔四回（水平布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV
110kV 同塔四回	N_1	$N_1+2 (N_1+1)$	$N_1+2 (N_1+1)$	$N_1+2 (N_1+1)$
220kV 同塔四回	N_2	$N_2+3 (N_2+2)$	$N_2+3 (N_2+2)$	$N_2+3 (N_2+2)$
同塔线路	绝缘子配置（片）			
同塔四回（三角形布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV
220kV/110kV 混压四回	N_2	N_2	N_1	$N_1+2 (N_1+1)$
500kV/220kV 混压四回	N_5	N_5	N_2	$N_2+3 (N_2+2)$
				
注 1: N_1 、 N_2 、 N_5 分别为 110kV、220kV、500kV 线路每相绝缘子片数； 注 2: 同压四回线路主要布置方式为回路垂直布置方式，也存在回路水平布置方式； 注 3: 220kV/110kV、500kV/220kV 混压四回线路，采用垂直或三角形布置方式时，上层回路 I 和 II 为高电压回路，下层回路 III 和 IV 为低电压回路。混压四回线路一般不采用水平布置方式； 注 4: 括弧内数据为条件受限时的不平衡绝缘配置方案； 注 5: 对特高杆塔、绝缘子片数较多以及同塔六回等线路，可参照以上原则执行。				

6.2 安装线路避雷器

6.2.1 同塔双回线路

同塔双回线路安装线路避雷器按照下列原则：

- 对 110kV 同塔双回、220kV 同塔双回线路，选择雷击跳闸率较高的一回或其易击段安装，优先顺序为上相→中相→下相；
- 位于边坡的杆塔，优先在边坡外侧一回安装；
- 原则上每基杆塔安装 1 相～3 相避雷器，一般不宜多于 3 相。

6.2.2 同塔四回线路

同塔四回线路安装线路避雷器按照下列原则：

- 110kV 同塔四回线路、220kV 同塔四回线路安装线路避雷器原则：
 - 选择雷击跳闸较多的横担同一侧回路或其易击段安装，优先顺序为上层回路上相→中相→下相，下层回路上相→下相或中相（根据反击、绕击跳闸情况确定）→横担另一侧下层回路上相；
 - 位于边坡的杆塔，优先在边坡外侧回路安装；
 - 原则上每基杆塔安装 2 相～5 相避雷器，一般不宜多于 6 相。

b) 220kV/110kV 混压四回线路安装线路避雷器原则:

- 1) 选择下层 110kV 的一回或其易击段安装, 优先顺序为上相→中相→下相, 其次是同侧上层 220kV 上相→对侧上层 220kV 上相;
- 2) 位于边坡的杆塔, 优先在边坡外侧回路安装;
- 3) 原则上每基杆塔安装 2 相~4 相避雷器, 一般不宜多于 5 相。

c) 500kV/220kV 混压四回线路安装线路避雷器原则:

- 1) 选择下层 220kV 的一回或其易击段安装, 优先顺序为上相→中相→下相;
- 2) 位于边坡的杆塔, 优先在边坡外侧一回安装;
- 3) 原则上每基杆塔安装 1 相~3 相避雷器, 一般不宜多于 3 相。

6.2.3 不平衡绝缘配置方法

按照以上原则, 基于线路避雷器的同塔线路不平衡绝缘配置方法如图 1 所示, 图中黑点为线路避雷器的安装位置, 斜线表示山坡。安装线路避雷器防治同塔线路雷击同时跳闸的效果参见附录 C。

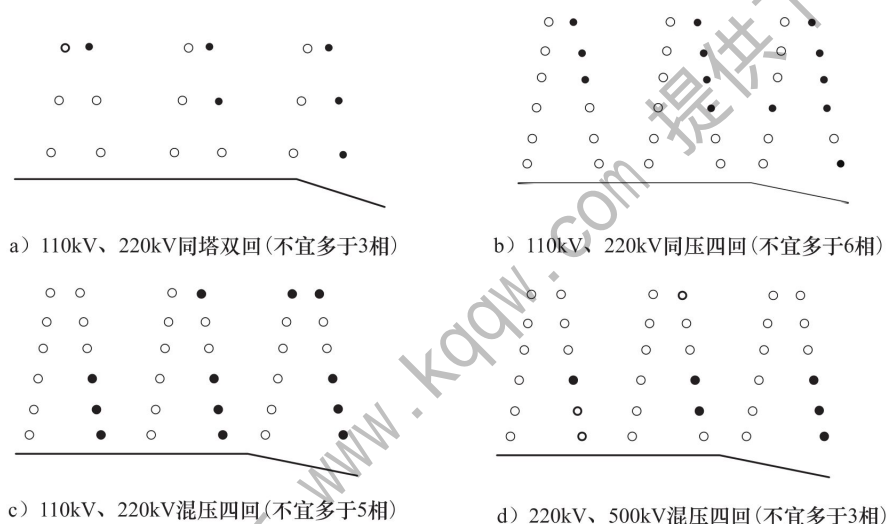


图 1 基于线路避雷器的同塔线路不平衡绝缘配置方法

6.3 安装绝缘子并联间隙

6.3.1 同塔双回线路

同塔双回线路安装绝缘子并联间隙应符合下列要求:

- a) 110kV 同塔双回线路。两回各相增加 2 片绝缘子, 并在其中一回各相安装并联间隙; 运行线路条件受限时, 两回各相增加 1 片绝缘子, 并在其中一回各相安装并联间隙。
- b) 220kV 同塔双回线路。两回各相增加 3 片绝缘子, 并在其中一回各相安装并联间隙; 运行线路条件受限时, 两回各相增加 2 片绝缘子, 并在其中一回各相安装并联间隙。

6.3.2 同塔四回线路

同塔四回线路安装绝缘子并联间隙应符合下列要求:

- a) 110kV 同塔四回线路。四回各相增加 2 片绝缘子, 并在上层一回各相安装并联间隙; 运行线路条件受限时, 四回各相增加 1 片绝缘子, 并在上层一回各相安装并联间隙。
- b) 220kV 同塔四回线路。四回各相增加 3 片绝缘子, 并在上层一回各相安装并联间隙; 运行线路条件受限时, 四回各相增加 2 片绝缘子, 并在上层一回各相安装并联间隙。
- c) 220kV/110kV 混压四回线路。下层 110kV 两回各相增加 2 片绝缘子, 并在其中一回各相安装

并联间隙；运行线路条件受限时，下层 110kV 两回各相增加 1 片绝缘子，并在其中一回各相安装并联间隙。

- d) 500kV/220kV 混压四回线路。下层 220kV 两回各相增加 3 片绝缘子，并在其中一回各相安装并联间隙；运行线路条件受限时，下层 220kV 两回各相增加 2 片绝缘子，并在其中一回各相安装并联间隙。

6.3.3 间隙距离取值

并联间隙用于不平衡绝缘配置时，110kV 线路间隙距离 Z 宜取绝缘子电弧距离 Z_0 的 80%，220kV 线路间隙距离 Z 宜取绝缘子电弧距离 Z_0 的 85%。

6.3.4 不平衡绝缘配置方法

按照以上原则，基于绝缘子并联间隙的同塔线路不平衡绝缘配置方法见表 8。安装绝缘子并联间隙防治同塔线路雷击同时跳闸的效果参见附录 D。

表 8 基于绝缘子并联间隙的同塔线路不平衡绝缘配置方法

同塔线路	绝缘子配置（片）				并联间隙安装回路
同塔双回	回路 I		回路 II		回路 I
110kV 同塔双回	$N_1+2(N_1+1)$		$N_1+2(N_1+1)$		$Z/Z_0=0.80$
220kV 同塔双回	$N_2+3(N_2+2)$		$N_2+3(N_2+2)$		$Z/Z_0=0.85$
500kV 同塔双回	N_5		N_5		不装间隙
同塔四回（垂直布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV	回路 I（同压）； 回路 III（混压）
110kV 同塔四回	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$Z/Z_0=0.80$
220kV 同塔四回	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$Z/Z_0=0.85$
220kV/110kV 混压四回	N_2	N_2	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$Z/Z_0=0.80$
500kV/220kV 混压四回	N_5	N_5	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$Z/Z_0=0.85$
同塔四回（水平布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV	回路 I
110kV 同塔四回	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$Z/Z_0=0.80$
220kV 同塔四回	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$Z/Z_0=0.85$
同塔四回（三角形布置）	回路 I	回路 II	回路 III	回路 IV	回路 III
220kV/110kV 混压四回	N_2	N_2	$N_1+2(N_1+1)$	$N_1+2(N_1+1)$	$Z/Z_0=0.80$
500kV/220kV 混压四回	N_5	N_5	$N_2+3(N_2+2)$	$N_2+3(N_2+2)$	$Z/Z_0=0.85$
<div><div><div>回路 I { ○ ○ } 回路 II { ○ ○ }</div><div>回路 I { ○ ○ } 回路 II { ○ ○ }</div><div>回路 III { ○ ○ } 回路 IV { ○ ○ }</div><div>回路 I { ○ ○ } 回路 II { ○ ○ }</div><div>回路 III { ○ ○ } 回路 IV { ○ ○ }</div></div><div>同塔双回 同塔四回（垂直布置） 同塔四回（水平布置） 同塔四回（三角形布置）</div></div>					
<p>注 1: N_1、N_2、N_5 分别为 110kV、220kV、500kV 线路每相绝缘子片数；</p> <p>注 2: 同压四回线路主要布置方式为回路垂直布置方式，也存在回路水平布置方式；</p> <p>注 3: 220kV/110kV、500kV/220kV 混压四回线路，采用垂直或三角形布置方式时，上层回路 I 和 II 为高电压回路，下层回路 III 和 IV 为低电压回路。混压四回线路一般不采用水平布置方式；</p> <p>注 4: 括弧内数据为条件受限时的不平衡绝缘配置方案；</p> <p>注 5: 对特高杆塔、绝缘子片数较多以及同塔六回等线路，可参照以上原则执行；</p> <p>注 6: Z/Z_0 为间隙距离与绝缘子电弧距离比值，110kV 线路取 0.80kV、220kV 线路取 0.85。</p>					

7 继电保护和自动重合闸装置技术要求

7.1 受雷电流幅值概率分布特性、防雷设计和改造的技术经济限制，线路防雷在一次方面存在一定的局限性，应同时在二次方面采取技术措施提高运行可靠性。

7.2 应加强继电保护和重合闸管理，及时投入重合闸，在雷击跳闸发生后及时切除故障和恢复送电，防止线路瞬时雷击故障扩大及造成永久停电。

7.3 对于 220kV 线路，具备一路光纤通道的应至少配置一套纵联电流差动保护，具备两路光纤通道的宜配置两套纵联电流差动保护；同塔共架长度超过 5km 或超过线路全长 30% 的线路，应配置两套纵联电流差动保护；存在旁路代运行方式的同塔线路，可配一套纵联电流差动保护和一套传输分相命令的纵联距离保护。通道条件具备时，每套保护宜采用双通道。

7.4 对于 500kV 线路，具备一路光纤通道的应至少配置一套光纤电流差动保护，具备两路光纤通道的宜配置两套光纤电流差动保护。同塔共架长度超过 5km 或超过线路全长 30% 的线路，应配置两套光纤电流差动保护。

7.5 对于同塔多回运行线路，应改造其不满足跨线故障正确选相动作的保护，如纵联距离保护、纵联方向保护等。

7.6 对 220kV 终端线路宜采用综合重合闸策略，以提高 220kV 终端站的供电可靠性。对涉及地方电源的应考虑增加联切回路，并完善低频低压解列装置等安自设备，以提高重合闸成功率。

7.7 加强对同塔线路继电保护原理性缺陷的管控，强化版本管理，杜绝因二次方面的原因导致同塔线路发生雷击“N—2”事故。

7.8 对于可能因功率倒向等原因导致选相错误的工频变化量距离保护应退出，消除缺陷前不予投入。

7.9 变电站应建立自动对时系统，继电保护和自动重合闸装置记录线路跳闸时间应精确到秒和毫秒，以便利用雷电定位系统准确定位雷击故障点。

8 同塔线路防雷措施的实施

8.1 新建线路

8.1.1 防雷设计原则如下：

- a) 新建线路的防雷设计，应统筹考虑防污、防风、防冰设计等要求。
- b) 在相同条件下，同塔线路应按本标准第 5 章规定，采取高于单回线路的防雷设计标准。防雷条件特别差的线路区段（如山顶、突出暴露地形），应提高防雷设计标准。
- c) 加强雷电定位系统在新建线路防雷设计中的应用，在线路设计、杆塔定位阶段将杆塔坐标输入雷电定位系统，统计分析新建线路走廊雷电活动情况，明确易击段。
- d) 应区别重要线路和一般线路进行差异化防雷设计，合理确定线路绝缘水平、绝缘子型式、地线保护角、杆塔接地电阻。
- e) 新建线路设计应尽量避免局部强雷区、突出暴露地形和微气象等特殊地形，在满足交叉跨越、对地距离和塔窗尺寸条件下，尽量降低呼称高度、优化塔头尺寸，以减小线路雷击概率。
- f) 新建线路设计宜采取降低接地电阻、加强绝缘配置、减小地线保护角等措施，必要时可采取并联间隙、耦合地线等措施，一般不宜采取线路避雷器、杆塔避雷针等措施，具体选择原则按照本标准第 5 章的规定。

8.1.2 雷击同跳防治措施按照下列原则选择：

- a) 强雷区及多雷区的新建同塔线路，特别是单电源供电同塔线路，自同一电源送出或向同一负荷供电同塔线路，应采取不平衡绝缘或平衡高绝缘防雷措施。
- b) 110kV 同塔双回及四回，220kV 同塔双回及四回，220kV/110kV 混压四回以及 500kV/220kV

混压四回线路，宜采取不平衡绝缘配置；500kV 同塔线路宜采取平衡高绝缘配置。具体配置原则按照本标准第 6 章的规定。

- c) 新建线路不平衡绝缘设计宜全线采用，应优先采取增加绝缘子片数和安装并联间隙方式。运维特别困难线路可采取并联间隙方式，采取并联间隙方式时，线路设计应采用该塔型最高绝缘配置。
- d) 可通过采用不同材质、不同电弧距离的盘形悬式绝缘子或复合绝缘子形成不平衡绝缘配置。在 d、e 级重污区，常规绝缘回路可采用复合绝缘子，其他高绝缘配置回路可采用盘形悬式绝缘子。具体配置原则参照本标准第 6 章的规定。

8.2 运行线路

8.2.1 防雷改造原则如下：

- a) 运行线路应区分重要线路和一般线路、雷击高风险线路和低风险线路进行差异化防雷改造，应提出具体改造目标和改造措施，通过技术经济比较选择合适方案。
- b) 加强运行线路雷电参数统计和防雷运行分析，优先对重要线路和雷击高风险线路进行改造，宜在每年雷雨季前完成防雷改造。
- c) 提高反击耐雷水平，可采取加强绝缘和降低接地电阻等措施。减少绕击跳闸率，可采取减小架空地线保护角等措施。安装线路避雷器可同时防止雷电反击和绕击闪络。具体选择原则按照本标准第 5 章的规定。
- d) 运行维护及故障查找困难、绝缘子频繁雷击受损的雷击高风险线路，可全线或部分线段安装并联间隙，以降低雷击事故率，提高重合闸成功率。
- e) 运行线路部分区段或整体改造或迁建时，若条件允许宜按新建线路防雷标准设计。局部改造的线路，可在保证安全条件下采取适当的防雷措施。
- f) 应定期开展运行线路防雷改造后评估工作，分析、评价防雷改造效果，总结经验，提高防雷改造措施的针对性和有效性。

8.2.2 雷击同跳防治措施按照下列原则选择：

- a) 强雷区及多雷区单电源供电同塔线路，自同一电源送出或向同一负荷供电同塔线路，应采取不平衡绝缘或平衡高绝缘防雷措施。
- b) 雷击同跳占雷击跳闸的比例高于 10% 的同塔线路，强雷区及多雷区的重要线路、雷击高风险线路，应采取不平衡绝缘或平衡高绝缘防雷措施。
- c) 110kV 同塔双回及四回，220kV 同塔双回及四回，220kV/110kV 混压四回以及 500kV/220kV 混压四回线路，具备改造条件的应进行不平衡绝缘改造；500kV 同塔线路，具备改造条件的应进行平衡高绝缘改造。具体改造原则按照本标准第 6 章的规定。
- d) 运行线路不平衡绝缘改造宜全线进行，应优先采取增加绝缘子片数方式，运维检修困难线路可采用并联间隙方式，部分重要线路、条件受限的短线路可采用线路避雷器方式。
- e) 重要线路不平衡绝缘改造宜采取增加绝缘子片数方式、技术经济允许的可采用线路避雷器，重要线路不宜直接安装并联间隙，应按本标准规定增加绝缘子后再安装。
- f) 增加绝缘子片数方式包括：在运行盘形悬式绝缘子串的一端增加绝缘子片数；在运行复合绝缘子的一端加挂盘形悬式绝缘子；整体更换运行复合绝缘子，采用电弧距离更长的复合绝缘子或盘形悬式绝缘子串。
- g) 可通过采用不同材质、不同电弧距离的盘形悬式绝缘子或复合绝缘子进行不平衡绝缘改造。采用复合绝缘子的线路，可保持其中一回为复合绝缘子，其他回路改造为高绝缘的盘形悬式绝缘子。具体配置原则参照本标准第 6 章的规定。

附录 A (资料性附录)

降低接地电阻防治雷击同时跳闸的效果

A.1 计算模型及参数

A.1.1 耐雷水平

雷电反击耐雷水平计算采用 ATP-EMTP 对线路建模, 通过连续仿真计算得到。

雷电流波形采用 $2.6\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ 双斜角波冲击电流源, 雷电通道波阻抗取 300Ω , 雷电流注入点在杆塔顶部中间。雷暴日数取 40。

线路杆塔采用分段多波阻抗模型, 杆塔接地电阻采用集中参数电阻进行等值, 阻值取杆塔冲击接地电阻值, 可采用杆塔工频接地电阻折算。

采用先导法作为绝缘闪络判据, 即通过绝缘间隙中先导发展长度来判断绝缘是否发生闪络, 如先导贯穿间隙, 先导长度大于或等于间隙长度时, 认为闪络发生。

先导发展计算公式如下:

$$\frac{dL}{dt} = ku(t) \left[\frac{u(t)}{D-L} - E_0 \right] \quad (\text{A.1})$$

式中: L ——先导已发展长度, m;

k ——经验系数, $\text{m}^2/(\text{s} \cdot \text{kV}^2)$, E_0 取 500kV/m 时, k 取 1.1;

$u(t)$ ——绝缘间隙承受的电压, kV;

D ——绝缘间隙长度, m;

E_0 ——先导起始场强, 取 500kV/m 。

计算时认为杆塔塔头空气间隙足够, 不考虑空气间隙击穿。

同塔线路仿真计算用典型杆塔形式参见附录 E。

A.1.2 跳闸率

雷电反击跳闸率采用 GB/T 50064 规定的方法进行计算, 计算公式如下:

$$N = N_L \eta g P_1 \quad (\text{A.2})$$

$$N_L = N_g \left(\frac{28h_t^{0.6} + b}{10} \right) \quad (\text{A.3})$$

$$\eta = (4.5E^{0.75} - 14) \times 10^{-2} \quad (\text{A.4})$$

$$E = U_n / (\sqrt{3}l_i) \quad (\text{A.5})$$

$$P_1(i \geq I_1) = \frac{1}{1 + (I_1/31)^{2.6}} \quad (\text{A.6})$$

式中: N ——雷电反击跳闸率, 次/($100\text{km} \cdot \text{a}$);

N_L ——每年百千米线路落雷次数, 次/($100\text{km} \cdot \text{a}$);

η ——建弧率, 即绝缘子和空气间隙在雷电流冲击后转为稳定工频电弧的概率;

g ——击杆率, 平原为 $1/6$, 山区为 $1/4$;

P_1 ——超过雷击杆塔顶部反击耐雷水平 I_1 的雷电流概率;

N_g ——地闪密度, 次/ (km² · a);
 h_t ——杆塔高度, m;
 b ——两根地线间的距离, m;
 E ——绝缘子串平均运行电压 (有效值) 梯度, kV/m;
 U_n ——线路标称电压, kV;
 l_i ——绝缘子串的放电距离, m。

A.2 计算结果

A.2.1 同塔双回线路

同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 A.1。

表 A.1 同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	导线 布置方式	绝缘子 片数	冲击接地电阻 Ω	耐雷水平 kA		跳闸率 次/ (100km · a)	
					单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
1D2W6	110kV	垂直排列	8	30	45	47	1.190	1.095
				15	59	63	0.684	0.591
				10	66	72	0.532	0.435
				7	70	82	0.465	0.319
				5	74	89	0.408	0.262
2D2W2	220kV	垂直排列	14	30	65	69	0.826	0.721
				15	86	91	0.427	0.372
				10	95	101	0.335	0.288
				7	101	115	0.288	0.208
				5	106	125	0.255	0.168
5D2W2	500kV	垂直排列	31	30	140	145	0.191	0.175
				15	156	165	0.145	0.126
				10	168	178	0.120	0.103
				7	176	195	0.106	0.082
				5	180	201	0.100	0.076

A.2.2 同塔四回线路

同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 A.2。

表 A.2 同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔 型式	电压 等级	回路 布置 方式	绝缘子 片数	冲击接 地电阻 Ω	耐雷水平 kA				跳闸率 次/ (100km · a)			
					单回 闪络	双回 闪络	三回 闪络	四回 闪络	单回 跳闸	双回 同跳	三回 同跳	四回 同跳
1D4W3	110kV	垂直 排列	8	15	57	62	78	90	1.056	0.878	0.516	0.365
				7	67	80	106	156	0.737	0.486	0.244	0.092

表 A.2 (续)

杆塔 型式	电压 等级	回路 布置 方式	绝缘子 片数	冲击接 地电阻 Ω	耐雷水平 kA				跳闸率 次/ (100km · a)			
					单回 闪络	双回 闪络	三回 闪络	四回 闪络	单回 跳闸	双回 同跳	三回 同跳	四回 同跳
2D4W3	220kV	垂直 排列	14	15	82	89	121	166	0.770	0.631	0.294	0.131
				7	100	113	191	326	0.474	0.349	0.091	0.023

A.2.3 混压四回线路

混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 A.3。

表 A.3 混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔 型式	电压 等级	回路 电压	导线 布置方式	绝缘子 片数	冲击接地 电阻 Ω	耐雷水平 kA		跳闸率 次/ (100km · a)	
						单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
2/1 I3	220kV /110kV	220kV	垂直排列	14	15	118	168	0.236	0.096
		110kV	垂直排列	8		75	81	0.638	0.531
		220kV	垂直排列	14	7	138	189	0.159	0.071
		110kV	垂直排列	8		84	91	0.487	0.400
ZS3732	500kV /220kV	500kV	垂直排列	31	15	193	300	0.009	0.003
		220kV	蝶形排列	14		103	118	0.042	0.030
		500kV	垂直排列	31	7	208	314	0.007	0.002
		220kV	蝶形排列	14		158	198	0.014	0.008

附录 B

(资料性附录)

增加绝缘子片数防治雷击同时跳闸效果

B.1 计算模型及参数

计算模型及参数同 A.1。

B.2 计算结果

B.2.1 同塔双回线路

同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 B.1。

表 B.1 同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	导线布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘/高绝缘)	耐雷水平 kA		跳闸率 次/(100km·a)	
				单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
1D2W6	110kV	垂直排列	8/8	66	72	0.532	0.435
			8/9	66	89	0.532	0.236
			8/10	66	110	0.532	0.127
2D2W2	220kV	垂直排列	14/14	95	101	0.335	0.288
			14/16	95	127	0.335	0.144
			14/17	95	142	0.335	0.103
5D2W2	500kV	垂直排列	28/28	168	178	0.131	0.113
			31/31	186	195	0.092	0.082

B.2.2 同塔四回线路

同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 B.2。

表 B.2 同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	回路布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘/高绝缘)	耐雷水平 kA				跳闸率 次/(100km·a)			
				单回闪络	双回闪络	三回闪络	四回闪络	单回跳闸	双回同跳	三回同跳	四回同跳
1D4W3	110kV	垂直排列	8/8	62	70	92	123	0.878	0.666	0.346	0.168
			8/9	62	76	103	147	0.878	0.494	0.236	0.096
			8/10	62	89	127	163	0.878	0.338	0.139	0.074
2D4W3	220kV	垂直排列	14/14	91	96	114	213	0.598	0.524	0.342	0.069
			14/16	91	126	164	250	0.598	0.236	0.120	0.041
			14/17	91	149	198	274	0.598	0.146	0.070	0.030
2F4W8	220kV	水平排列	14/14	95	116	127	162	0.415	0.252	0.201	0.108
			14/16	95	126	160	203	0.415	0.205	0.111	0.060
			14/17	95	159	176	222	0.415	0.113	0.087	0.048

B.2.3 混压四回线路

混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 B.3。

表 B.3 混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	回路电压	导线 布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘 /高绝缘)	耐雷水平 kA		跳闸率 次/ (100km • a)	
					单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
2/1 I3	220kV /110kV	220kV	垂直排列	14/14	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	8/8	80	85	0.547	0.473
		220kV	垂直排列	14/14	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	8/9	80	110	0.547	0.250
		220kV	垂直排列	14/14	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	8/10	80	139	0.547	0.138
ZS3732	500kV /220kV	500kV	垂直排列	31/31	205	303	0.007	0.003
		220kV	蝶形排列	14/14	109	129	0.037	0.024
		500kV	垂直排列	31/31	205	303	0.007	0.003
		220kV	蝶形排列	14/16	112	175	0.034	0.011
		500kV	垂直排列	31/31	205	303	0.007	0.003
		220kV	蝶形排列	14/17	117	192	0.031	0.009

附录 C
(资料性附录)

安装线路避雷器防治雷击同时跳闸效果

C.1 计算模型及参数

计算模型及参数同 A.1。
采用带串联间隙型线路避雷器，其伏安特性曲线如图 C.1 所示。

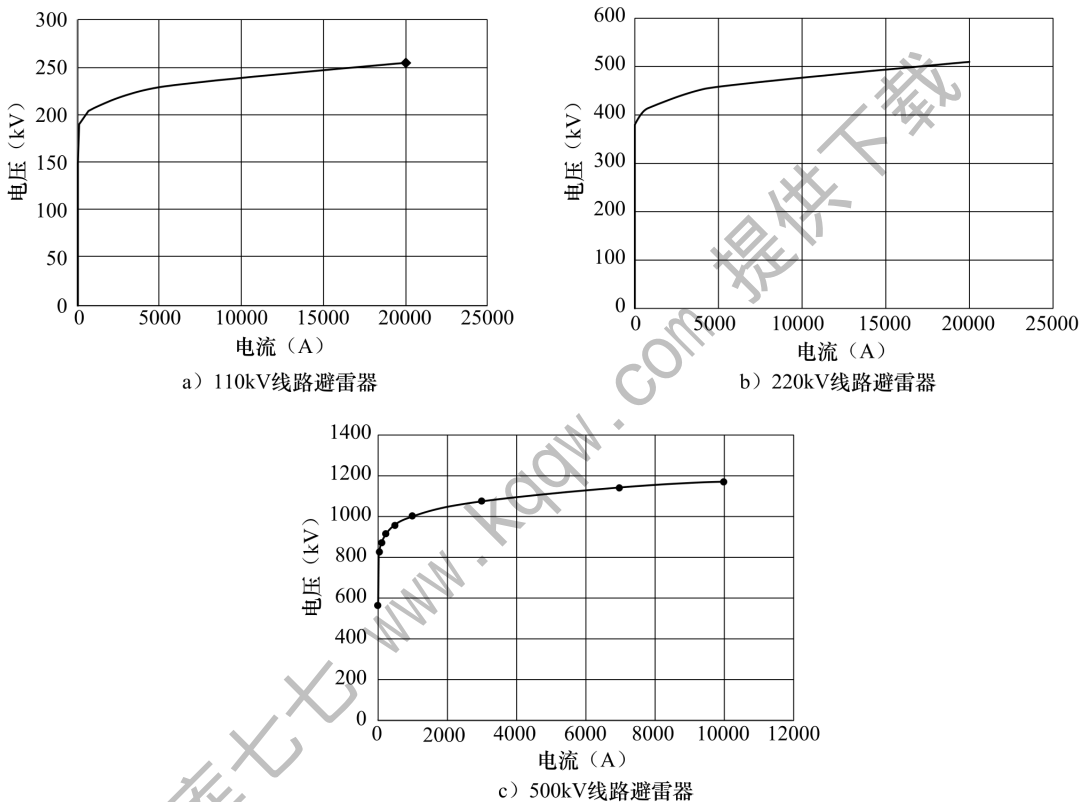


图 C.1 带串联间隙型线路避雷器伏安特性曲线

C.2 计算结果

C.2.1 同塔双回线路

同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 C.1。

表 C.1 同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果







杆塔型式	电压等级	导线 布置方式	绝缘子 片数	避雷器 安装方式	耐雷水平 kA		跳闸率 次/（100km·a）	
					单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
1D2W6	110kV	垂直排列	8	无安装	66	72	0.532	0.435
					72	95	0.435	0.223

表 C.1 (续)







杆塔型式	电压等级	导线 布置方式	绝缘子 片数	避雷器 安装方式	耐雷水平 kA		跳闸率 次/ (100km · a)	
					单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
1D2W6	110kV	垂直排列	8		79	115	0.349	0.139
					85	—	0.293	—
2D2W2	220kV	垂直排列	14	无安装	95	101	0.335	0.288
					102	132	0.281	0.147
					111	147	0.227	0.112
					123	—	0.175	—

注：图中黑点表示线路避雷器的安装位置。

C.2.2 同塔四回线路

同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 C.2。

表 C.2 同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	回路 布置方式	绝缘子 片数	避雷器 安装方式	耐雷水平 kA				跳闸率 次/ (100km · a)			
					单回 闪络	双回 闪络	三回 闪络	四回 闪络	单回 跳闸	双回 同跳	三回 同跳	四回 同跳
1D4W3	110kV	垂直排列	8	无安装	62	70	92	123	0.878	0.666	0.346	0.168
					81	94	112	—	0.472	0.328	0.212	—
					81	101	145	—	0.472	0.275	0.110	—
					81	107	157	—	0.472	0.238	0.090	—
2D4W3	220kV	垂直排列	14	无安装	91	96	114	213	0.598	0.524	0.342	0.069
					114	131	207	—	0.342	0.240	0.074	—
					114	144	232	—	0.342	0.189	0.055	—
					114	153	235	—	0.342	0.162	0.054	—

注：图中黑点表示线路避雷器的安装位置。

C.2.3 混压四回线路

混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 C.3。

表 C.3 混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	回路电压	导线 布置方式	绝缘子 片数	避雷器 安装方式	耐雷水平 kA		跳闸率 次/ (100km · a)	
						单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
2/1 I3	220kV /110kV	220kV	垂直排列	14	无安装	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	8		80	85	0.547	0.473

表 C.3 (续)

杆塔型式	电压等级	回路电压	导线布置方式	绝缘子片数	避雷器安装方式	耐雷水平 kA		跳闸率 次/ (100km · a)	
						单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
2/1 I3	220kV / 110kV	220kV	垂直排列	14		130	184	0.185	0.076
		110kV	垂直排列	8		96	—	0.351	—
		220kV	垂直排列	14		132	202	0.178	0.060
		110kV	垂直排列	8		96	—	0.351	—
		220kV	垂直排列	14		138	205	0.159	0.057
		110kV	垂直排列	8		96	—	0.351	—
ZS3732	500kV / 220kV	500kV	垂直排列	31	无安装	205	303	0.088	0.032
		220kV	蝶形排列	14		109	129	0.454	0.297
		500kV	垂直排列	31		205	303	0.088	0.032
		220kV	蝶形排列	14		111	145	0.434	0.221
		500kV	垂直排列	31		208	305	0.085	0.031
		220kV	蝶形排列	14		114	162	0.406	0.166
		500kV	垂直排列	31		210	306	0.083	0.031
		220kV	蝶形排列	14		123	—	0.335	—

注：图中黑点表示线路避雷器的安装位置。

附录 D (资料性附录)

安装绝缘子并联间隙防治雷击同时跳闸效果

D.1 计算模型及参数

计算模型及参数同 A.1。

绝缘子两端安装有并联间隙时，由于并联间隙短接了绝缘子长度，应根据间隙距离调整绝缘子串长度，使其等于并联间隙距离（Z 值）。

D.2 计算结果

D.2.1 同塔双回线路

同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 D.1。

表 D.1 同塔双回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	导线 布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘 /高绝缘)	耐雷水平 kA		跳闸率 次/（100km·a）	
				单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
1D2W6	110kV	垂直排列	8/8	66	72	0.532	0.435
			9（0.80）/9	63	92	0.532	0.217
			10（0.80）/10	66	108	0.435	0.133
2D2W2	220kV	垂直排列	14/14	95	101	0.335	0.288
			16（0.85）/16	93	132	0.314	0.130
			17（0.85）/17	96	139	0.275	0.108
5D2W2	500kV	垂直排列	28/28	168	178	0.131	0.113
			28（0.85）/28	150	185	0.175	0.102
			31/31	186	195	0.092	0.082
			31（0.85）/31	160	211	0.136	0.067
注：括弧内数据为并联间隙距离与绝缘子电弧距离的比值 Z/Z_0 。							

D.2.2 同塔四回线路

同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 D.2。

表 D.2 同塔四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	回路布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘/高绝缘)	耐雷水平 kA				跳闸率 次/(100km·a)			
				单回闪络	双回闪络	三回闪络	四回闪络	单回跳闸	双回同跳	三回同跳	四回同跳
1D4W3	110kV	垂直排列	8/8	62	70	92	123	0.878	0.666	0.346	0.168
			9 (0.80) /9	59	79	106	150	0.882	0.451	0.219	0.091

表 D.2 (续)

杆塔型式	电压等级	回路布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘/高绝缘)	耐雷水平 kA				跳闸率 次/(100km·a)			
				单回 闪络	双回 闪络	三回 闪络	四回 闪络	单回 跳闸	双回 同跳	三回 同跳	四回 同跳
1D4W3	110kV	垂直排列	10 (0.80) /10	65	89	127	163	0.646	0.307	0.126	0.067
2D4W3	220kV	垂直排列	14/14	91	96	114	213	0.598	0.524	0.342	0.069
			16 (0.85) /16	89	122	176	256	0.561	0.256	0.100	0.038
			17 (0.85) /17	93	126	209	286	0.478	0.223	0.061	0.027
2F4W8	220kV	水平排列	14/14	95	116	127	162	0.415	0.252	0.201	0.108
			16 (0.85) /16	80	130	169	213	0.561	0.168	0.086	0.047
			17 (0.85) /17	89	142	177	205	0.411	0.127	0.072	0.050

注：括弧内数据为并联间隙距离与绝缘子电弧距离的比值 Z/Z_0 。

D.2.3 混压四回线路

混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果见表 D.3。

表 D.3 混压四回线路反击耐雷水平及反击跳闸率计算结果

杆塔型式	电压等级	回路电压	导线 布置方式	绝缘子片数 (常规绝缘/高绝缘)	耐雷水平 kA		跳闸率 次/(100km·a)	
					单回闪络	双回闪络	单回跳闸	双回同跳
2/1 I3	220kV /110kV	220kV	垂直排列	14/14	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	8/8	80	85	0.547	0.473
		220kV	垂直排列	14/14	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	9 (0.80) /9	73	98	0.612	0.300
		220kV	垂直排列	14/14	130	179	0.185	0.081
		110kV	垂直排列	10 (0.80) /10	82	111	0.422	0.200
ZS3732	500kV /220kV	500kV	垂直排列	31/31	205	303	0.007	0.003
		220kV	蝶形排列	14/14	109	129	0.037	0.024
		500kV	垂直排列	31/31	205	303	0.007	0.003
		220kV	蝶形排列	16 (0.85) /16	91	153	0.057	0.016
		500kV	垂直排列	31/31	205	303	0.007	0.003
		220kV	蝶形排列	17 (0.85) /17	118	166	0.030	0.013

注：括弧内数据为并联间隙距离与绝缘子电弧距离的比值 Z/Z_0 。

附录 E
(资料性附录)

同塔线路仿真计算用典型杆塔型式

E.1 同塔线路概述

典型同塔线路包括同塔双回线路、同塔四回线路等，其中：

a) 同塔双回线路

同塔双回线路包括 110kV 同塔双回线路、220kV 同塔双回线路、500kV 同塔双回线路等。典型杆塔结构为：杆塔设置三层导线横担，左、右侧三层横担各布置一回，每回线路相线上下垂直排列。

同塔双回线路也有两层或一层导线横担结构，左、右侧横担各布置一回，每回线路相线呈三角形排列（两层导线横担）或水平排列（一层导线横担）。

本标准中，不特指情况下，同塔双回线路均指上述典型杆塔结构线路（三层导线横担）。

b) 同塔四回线路

同塔四回线路包括 110kV 同压四回线路、220kV 同压四回线路、110kV 双回线路与 220kV 双回线路构成混压四回线路、220kV 双回线路与 500kV 双回线路构成混压四回线路等。典型杆塔结构为回路垂直布置方式，也有回路水平布置方式和三角形（蝶形）布置方式，分别如下：

- 1) 回路垂直布置：六层导线横担，上方三层横担左右各一回，下方三层横担左右各一回，每回线路相线上下垂直排列。其中，混压四回线路上方两回一般为高电压回路，下方两回为低电压回路。
- 2) 回路水平布置：三层导线横担，每回线路的相线上下垂直排列，左、右侧三层横担各布置两回线路。其中，混压四回线路一般不采用回路水平布置方式。
- 3) 三角形（蝶形）布置：500kV/220kV 混压四回线路较多采用这种方式，其中上方三层横担左右各一回垂直排列的 500kV 线路，下方两层横担左右各一回三角形排列的 220kV 线路。

本标准中，不特指情况下，同塔四回线路均指回路垂直布置方式。

E.2 同塔双回线路

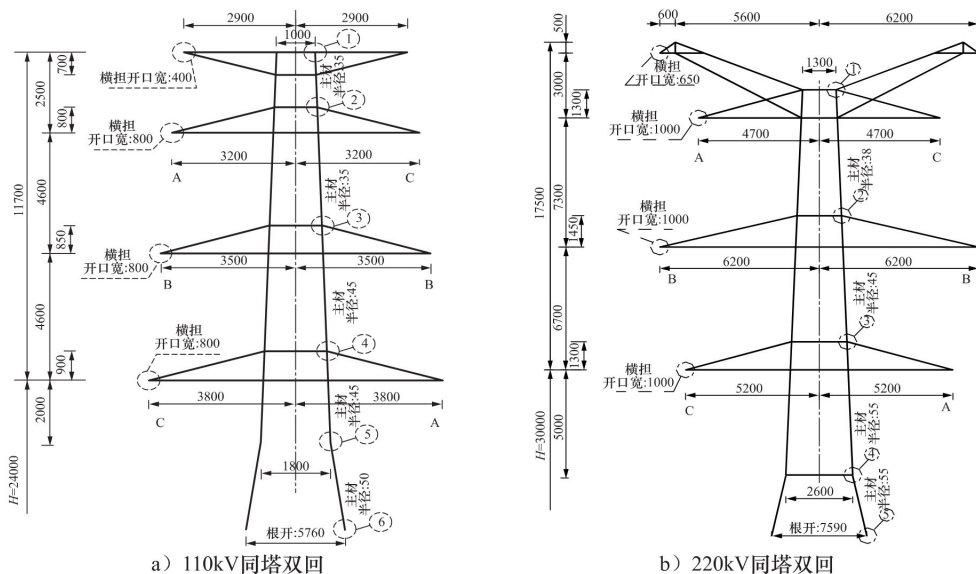


图 E.1 同塔双回线路典型杆塔

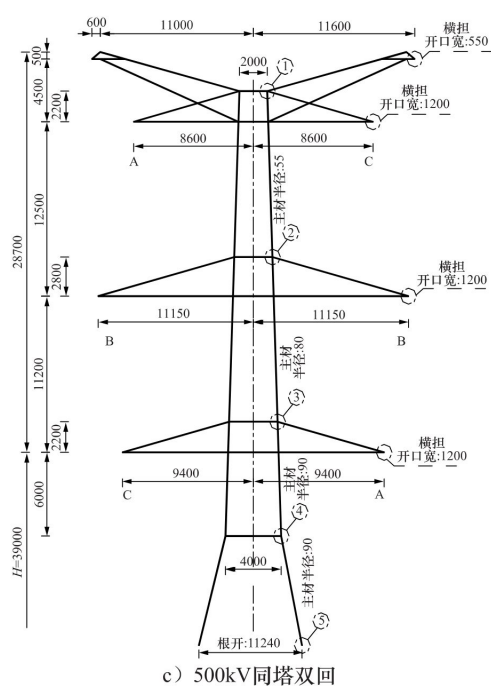


图 E.1 同塔双回线路典型杆塔 (续)

E.3 同塔四回线路

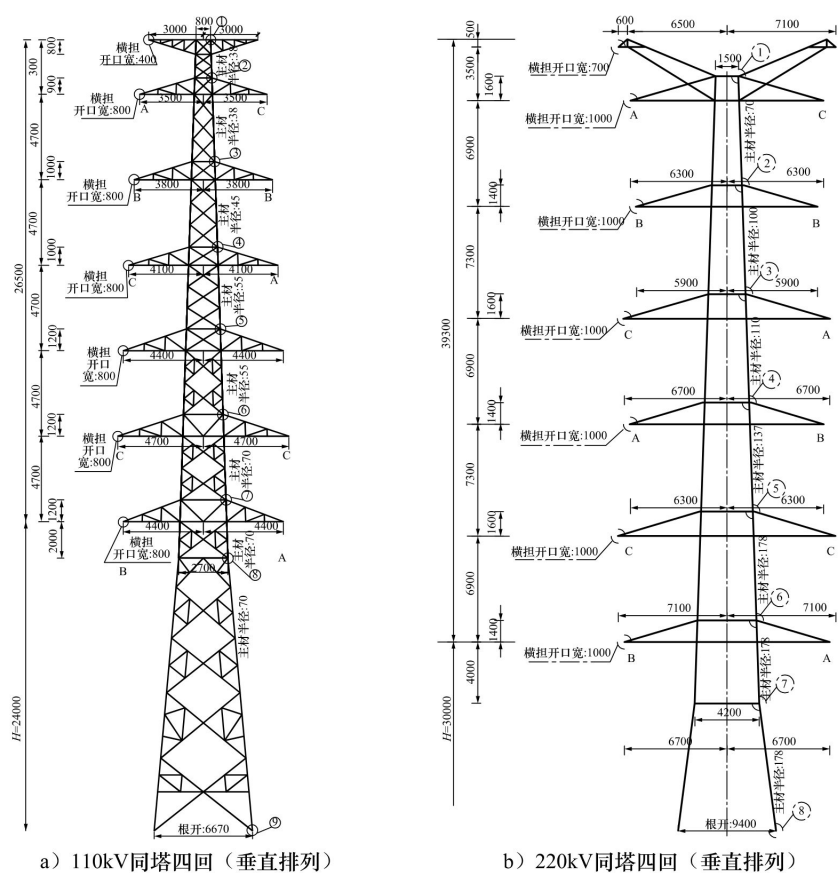
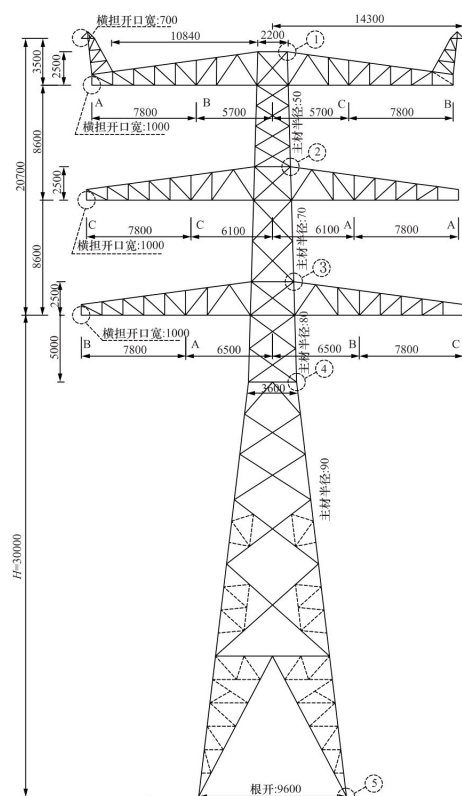
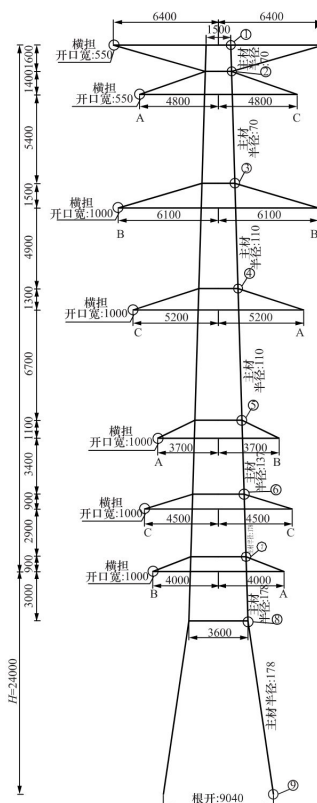


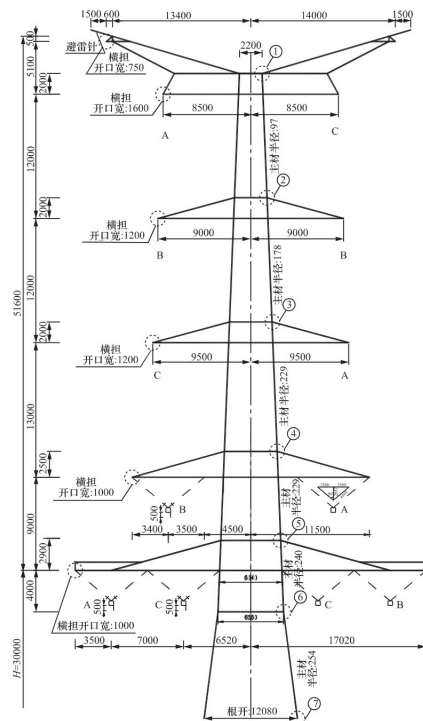
图 E.2 同塔四回线路典型杆塔



c) 220kV同塔四回（水平排列）



d) 220/110kV同塔混压四回（垂直排列）



e) 500kV/220kV同塔混压四回（三角形排列）

图 E.2 同塔四回线路典型杆塔 (续)

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
多雷区 110kV~500kV 交流同塔
多回输电线路防雷技术导则
DL/T 1784—2017

*

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>)
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

*

2018 年 10 月第一版 2018 年 10 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.75 印张 33 千字
印数 001—200 册

*

统一书号 155198·965

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

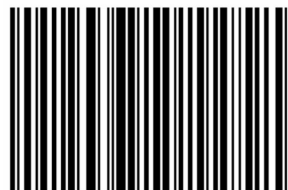


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.965