

基于 500 kV 变电站的直击雷防护设计比较

殷勤¹, 任杰²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;
2. 广州供电局有限公司, 广东 广州 510000)

摘要:折线法被广泛应用于500 kV交流变电站的直击雷防护,滚球法主要用于换流站。但根据中国南方电网有限公司规范要求,500 kV保底变电站应采用滚球法进行直击雷防护,与通用作法不同。在分析两种算法的计算原理基础上,并以500 kV保底变电站为例,分别采用折线法、滚球法进行整站与分区域的防雷保护范围计算,并分析比较两种方法的差异及原因。最后基于500 kV保底变电站,总结折线法、滚球法的应用经验,提出了防雷设计建议。

关键词:滚球法;折线法;直击雷防护

中图分类号:TM86 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2020)05-0023-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.05.006

Comparison of Direct Lightning Protection Design Based on 500 kV Substation

Yin Qin¹, Ren Jie²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd.,
Guangzhou 510663, Guangdong, China; 2. Guangzhou Electric Power Supply Bureau Co., Ltd.,
Guangzhou 510000, Guangdong, China)

Abstract: Polygon method is widely applied in direct lightning protection in 500 kV substation, and rolling sphere method is applied in DC converter station. According to the requirements of China Southern Power Grid code, rolling sphere method should be applied in the important 500 kV substations. The calculation principles of two direct lightning stroke shielding methods are analyzed, and taking the important 500 kV substations for example, the scope of lightning protection of important 500 kV substations is calculated with these two methods. The differences of the results in two methods are compared and the reason of the differences is given. At last, the application experiences of these two methods are summarized, and the suggestions of direct lightning protection design for important 500 kV substations are given.

Key words: rolling sphere method; polygon method; direct lightning protection

0 引言

直击雷防护的基本思路是采用避雷针(线)引导雷电从保护物上方通过,并安全泄入大地,减小在其保护范围内的电气设备和建筑物遭受直击雷的概率^[1]。目前500 kV变电站一般采用折线法计算,选用避雷针实现直击雷防护。而换流站一般采用滚球法计算,选用避雷线柱实现直击雷防护。

根据中国南方电网有限公司《变电站(换流站)设施及附属设备装备技术导则(试行)》的要求,对于保底变电站(重要变电站,是防灾保底电网的组成部分),全站防雷设计应采用滚球法。根据《南方

电网35 kV~500 kV变电站装备技术导则(变电一次分册)》的要求,保底变电站应选用户内布置,因此保底变电站的500 kV配电装置与220 kV配电装置均为户内GIS。下面以保底变电站为例,分别采用目前常用的折线法与技术导则建议的滚球法做防雷保护计算,对计算结果进行对比、分析,并给出防雷设计建议。

1 防雷计算方法简介

1.1 折线法

折线法(详见GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》^[2]、DL/T

620—1997《交流电气装置的过电压和绝缘配合》^[3]运行经验丰富,能较好地实现对站内设备的直击雷防护。

折线法的基本原理如图1所示,被保护物高度 h_x 水平面的保护半径 r_x ,主要与避雷针高度 h 、被保护物高度 h_x 有关。

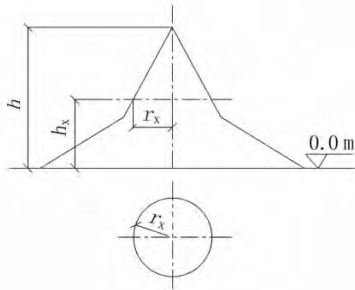


图1 折线法原理

折线法的保护高度主要与避雷针(线)高度 h 相关。对于等高的避雷针(线),最小保护高度的变化值受避雷针(线)间的距离影响,折线法没有考虑绝缘水平对防雷范围的影响。

1.2 滚球法

滚球法(详见 IEEE Std - 998—1996《IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations》^[4])是国际电工委员会(IEC)推荐的接闪器保护范围的一种计算方法。该方法基于电气几何模型,避雷针(线)的保护范围依赖于雷电流幅值,充分考虑了不同区域设备的绝缘水平。

滚球法的基本原理如图2所示,以半径为雷电流击距 S 的一个球体,沿需要防直击雷的部分滚动,当球体只触及到避雷针(线)或地面并不触及需保护的物体 h 时,设备得到了防雷保护。此时设备的保护裕度为 m ,滚球的沉降高度为 x 。

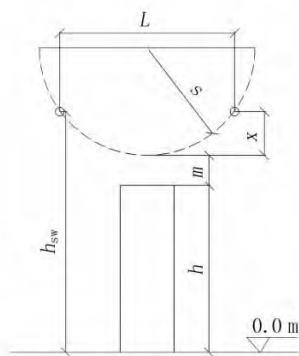


图2 滚球法原理

滚球法根据被保护设备的绝缘水平与导体的波阻抗,计算最大允许的雷电冲击电流值与雷电流

击距 S 。通过雷电流击距值 S 、避雷针(线)的高度 h_{sw} 及避雷针(线)间的距离 L ,计算保护范围。

滚球法的保护范围除了受避雷针(线)高度、避雷针(线)间的距离影响,与被保护设备的绝缘水平密切相关。

2 计算实例

采用折线法对常规500 kV 保底变电站进行防雷计算,如图3所示,在500 kV 进线构架上设置3根56 m 避雷针;在500 kV 出线构架上设置4根33 m 避雷针,对500 kV 的户外设备进行防雷保护。在220 kV 进线构架上设置4根38 m 避雷针;在220 kV 出线构架上设置4根21 m 避雷针,对220 kV 的户外设备进行防雷保护。500 kV 主变压器进线跨线、220 kV 主变压器进线跨线以及35 kV 场地设备由500 kV 与220 kV 进线构架的避雷针形成的联合保护范围来保护。

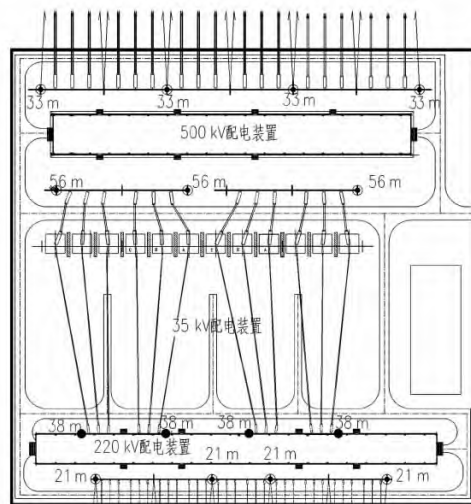


图3 防雷保护 - 折线法

采用滚球法对常规500 kV 保底站进行防雷计算,将变电站划分为3个区域,如表1所示,分别计算各区域的雷电流击距。

表1 500 kV 变电站雷电流击距计算数据

保护区域	雷电冲击耐 受绝缘水平 /kV	最大雷击 电流取值 /kA	雷电流击距 /m
500 kV 设备、主变压器 进线跨线区域	1550	8.67	33.92
220 kV 设备、主变压器 进线跨线区域	950	5.39	23.91
35 kV 设备区域	350	2.00	12.55

采用滚球法对各区域进行防雷计算,如图4所

示,在500 kV进线构架上设置6个33 m避雷线柱;在500 kV出线构架上设置4个33 m避雷线柱;在220 kV进线构架上设置9个28 m避雷线柱;在220 kV出线构架上设置4个21 m避雷线柱可以实现对变电站的防雷保护。

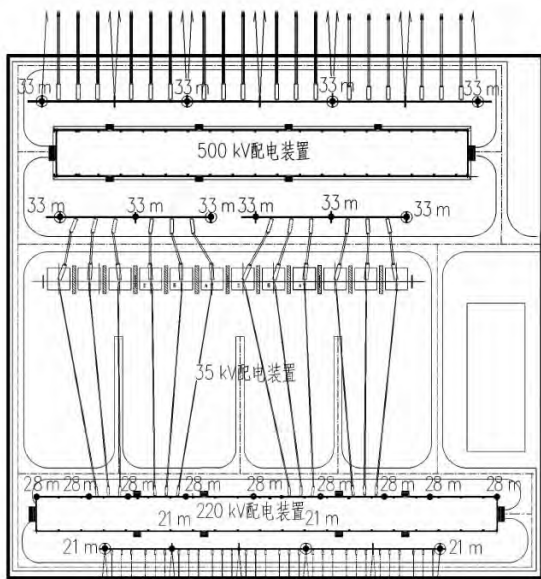


图4 防雷保护 - 滚球法

3 折线法和滚球法的保护措施比较

根据前面的计算结果,对于500 kV保底变电站,将折线法和滚球法的防雷保护措施列于表2。

表2 防雷保护措施对比

防雷保护措施	折线法	滚球法
500 kV进线构架	3根56 m避雷针	6个33 m避雷线柱
500 kV出线构架	4根33 m避雷针	4个33 m避雷线柱
220 kV进线构架	4根38 m避雷针	9个28 m避雷线柱
220 kV出线构架	4根21 m避雷针	4个21 m避雷线柱

如表2所示,采用折线法进行防雷保护,相对滚球法来说,避雷针的数量较少,高度更高。

折线法的保护高度和范围主要与避雷针(线)高度相关。对于等高的避雷针(线),最小保护高度的变化值和避雷针(线)间的距离呈线性关系。对于一定的保护高度,可以通过加高避雷针(线)的高度、加密避雷针(线)的设置有效扩大保护范围。因此和滚球法相比,折线法采用的避雷针数量少,而高度更高。

而滚球法是用设备的绝缘水平计算雷电流击距,再根据避雷线的位置计算滚球雷的沉降高度,校验保护距离。500 kV与220 kV交流设备区域绝缘

水平高,最大的允许雷击电流值较大,雷电流击距较大,避雷线柱布置地较为稀疏就可以有效地对该区域的设备进行防雷保护。35 kV交流设备区域绝缘水平低,最大的允许雷击电流值较小,雷电流击距较小,保护该区域的500 kV、220 kV进线构架的避雷线柱需加密设置才能实现对该区域设备的防雷保护。因此和折线法相比,滚球法在500 kV、220 kV进线构架设置的避雷线柱个数更多。

下面针对各电压等级的设备区域来进行滚球法与折线法的对比分析。

1) 对于500 kV设备区域,采用滚球法,如图5所示。在500 kV进线构架上设置3根33 m避雷线柱;在500 kV出线构架上设置4根33 m避雷线柱可以实现防雷保护。此时滚球的最大沉降高度为4.19 m,考虑弧垂3 m,最小保护高度为25.81 m,大于500 kV交流设备区域的最大保护高度(主变压器进线跨线)24 m,保护裕度不小于1.81 m。

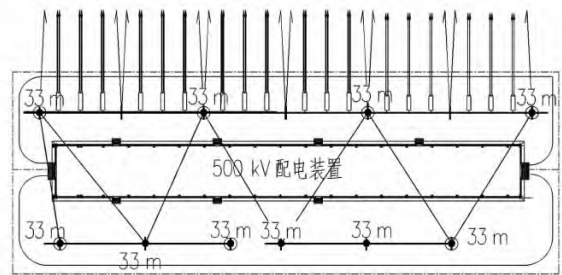


图5 500 kV设备区域防雷保护

将避雷线柱换成等高的避雷针,采用折线法进行防雷保护计算。考虑500 kV设备区域由33 m等高避雷针来保护,此时保护范围内上部边缘最低点的高度为26.8 m,保护裕度不小于2.8 m。

2) 对于220 kV设备区域,采用滚球法,如图6所示。在220 kV进线构架上设置5根26 m避雷线柱;在220 kV出线构架上设置4根21 m避雷线柱可以实现防雷保护。此时滚球的最大沉降高度为1.16 m,考虑弧垂3 m,最小保护高度为16.84 m,大于220 kV交流设备区域的最大保护高度(出线构架)14.5 m,保护裕度不小于2.34 m。

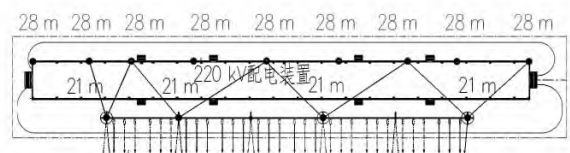


图6 220 kV设备区域防雷保护

将避雷线柱换成等高的避雷针,采用折线法进行

防雷保护计算。偏严考虑,220 kV 设备区域由 21 m 等高避雷针来保护,此时保护范围内上部边缘最低点的高度为 18.3 m,保护裕度不小于 3.8 m。

3) 对于 35 kV 设备区域,采用滚球法,如图 7 所示。在 500 kV 进线构架上设置 6 根 33 m 避雷线柱;在 220 kV 进线构架上设置 9 根 26 m 避雷线柱;可以实现防雷保护。此时滚球的最大沉降高度为 8.28 m,考虑弧垂 4.5 m,最小保护高度为 13.22 m,大于 35 kV 交流设备区域的最大保护高度(35 kV 设备) 10 m,保护裕度不小于 3.22 m。

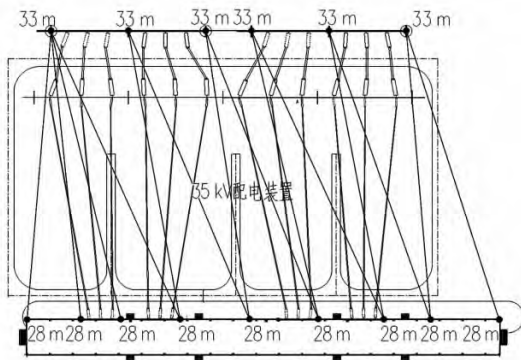


图 7 35 kV 设备区域防雷保护

4) 对于 500 kV 主变压器进线跨线,如图 8 所示,滚球的最大沉降高度为 2.12 m,考虑弧垂,此时的最小保护高度为 26 m,大于最大保护高度 24 m,保护裕度不小于 2 m。

对于 220 kV 主变压器进线跨线,如图 8 所示,滚球的最大沉降高度为 3.12 m,考虑弧垂,此时的最小保护高度为 21.6 m,大于最大保护高度 20 m,保护裕度不小于 1.6 m。

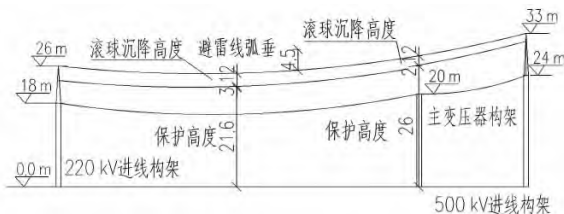


图 8 主变压器进线跨线区域防雷保护

采用相同的防雷措施,使用折线法进行防雷保护计算。考虑 35 kV 设备区域由等高避雷线来保护,考虑避雷线弧垂 4.5 m,此时保护范围内上部边缘最低点的高度为 17.6 m,保护裕度为 7.6 m。

对于 500 kV 主变压器进线跨线区域,考虑由等高避雷线来保护,如图 8 所示,考虑避雷线弧垂,避雷线高度不小于 28 m,此时保护范围内上部边缘最低点的高度为 21.25 m,小于最大保护高度 24 m。

对于 220 kV 主变压器进线跨线区域,考虑由等高避雷线来保护,如图 8 所示,考虑避雷线弧垂,避雷线高度不小于 24 m,此时保护范围内上部边缘最低点的高度为 18 m,小于最大保护高度 20 m。

将折线法与滚球法分区域的计算结果对比如表 3 所示。

表 3 防雷保护裕度计算结果 单位:m

保护区域	滚球法	折线法
500 kV 区域	1.81	2.80
220 kV 区域	2.34	3.80
35 kV 区域	3.22	7.60
500 kV 主变压器进线跨线	2.00	最小保护高度 21.25 m (< 24 m)
220 kV 主变压器进线跨线	1.60	最小保护高度 18 m (< 20 m)

如表 3 所示,对于 500 kV 设备区域和 220 kV 设备区域,折线法采用与滚球法避雷线柱等高的避雷针进行防雷保护计算,两种算法的保护裕度是接近的。对于 35 kV 设备区域,两种算法的防雷保护措施相同,折线法的保护裕度明显大于滚球法。对于 500 kV、220 kV 主变压器进线跨线区域,折线法不能实现防雷保护。由于折线法的保护高度和范围与避雷线高度相关,将避雷线的高度加大 3 m 可以实现对跨线区域的防雷保护。

由此推断,对于保底的 500 kV 变电站的 500 kV 设备区域、220 kV 设备区域,两种计算方法的结果是接近的;对于绝缘水平较低且跨度较大的 35 kV 设备区域、500 kV 及 220 kV 主变压器进线跨线区域,两种计算方案的差异相对明显。由于 35 kV 设备绝缘水平较低,滚球法需加密避雷线柱的布置来减少滚球的沉降高度,实现防雷保护。而根据折线法的计算原理,需加高避雷针的高度实现防雷保护。

折线法的保护范围受避雷针(线)高度影响更大,加大避雷针(线)高度可以明显扩大保护范围,和被保护设备的绝缘水平没有关系。而滚球法的保护范围受避雷针(线)间的距离、保护设备的绝缘水平影响更大,需针对不同的绝缘水平的设备进行分区域的保护范围校验。

4 结 语

通过上述分析,得到以下结论:

(下转第 72 页)

3) 提出考虑多维复杂特征的电网分层适应性评估指标体系。从经济发展适应性、能源结构适应性、电网结构适应性、网架安全适应性、可靠性适应性、故障恢复适应性 6 个方面构建电网适应性规划多维分层评估指标体系。

4) 提出考虑分布式决策变量的网源协同多适应性规划策略。通过交替方向乘子法搭建源网规划决策主体的分布式优化求解流程与协同互动交互机制。网源协同多适应性规划技术能够应用于四川电网等大规模送端电网中,为电网规划、项目评审工作提供重要参考。

参考文献

[1] 文云峰,杨伟峰,汪荣华,等. 构建 100% 可再生能源电力系统述评与展望 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(6): 1843 - 1856.

[2] Li T, Ye X, Zhu M, et al. Flexibility Planning of Transmission Grid Based on Correlation of Generation and Transmission [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 227: 22018.

[3] 唐权,胥威汀,叶希,等. 考虑聚合商参与的配电网分布式储能系统优化配置 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(17): 83 - 92.

[4] 曾鉴,叶希,瞿小斌,等. 异步互联格局下川渝送端电网的频率稳定特性与控制策略 [J]. 电力建设, 2018, 39(1): 68 - 75.

[5] 叶琳浩,刘泽槐,张勇军,等. 智能用电技术背景下的配电网运行规划研究综述 [J]. 电力自动化设备,

2018, 38(5): 154 - 163.

[6] 徐熙林,宋依群,姚良忠,等. 基于多层电价响应机制的主动配电网源-网-荷协调方法 [J]. 电力系统自动化, 2018, 42(5): 9 - 17.

[7] 岳云力,秦砺寒,李博,等. 含分布式电源配电网的“源网荷”协调规划体系 [J]. 能源工程, 2016(6): 17 - 21.

[8] 曾顺奇,汤森垚,程浩忠,等. 考虑源网荷储协调优化的主动配电网网架规划 [J]. 南方电网技术, 2018, 12(3): 35 - 43.

[9] 赵书强,索瑁,马燕峰. 高比例可再生能源的多点容量规划方法 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40(5): 8 - 15.

[10] 舒隽,王圆圆,韩冰. 计及碳捕集系统的源网协调规划模型 [J]. 现代电力, 2017, 34(3): 25 - 29.

[11] 高强,陈刚,王天群,等. 基于线性规划的源网荷储协调控制系统 [J]. 电子设计工程, 2019, 27(21): 27 - 31.

[12] 王晔,叶希,唐权,等. 基于广义灵活性指标体系的输电网扩展规划 [J]. 电力建设, 2019, 40(3): 67 - 76.

[13] 李婷,叶希,唐权等. 基于交替方向乘子法的源网协同多适应规划. 电力建设, 2017, 38(11): 105 - 112.

[14] 钟嘉庆,贺勇,陈冰,等. 考虑相关因子的基于可信性理论的厂网协调规划 [J]. 太阳能学报, 2020, 41(6): 16 - 24.

[15] 张宁,代红才,胡兆光,等. 考虑系统灵活性约束与需求响应的源网荷协调规划模型 [J]. 中国电力, 2019, 52(2): 61 - 69.

作者简介:

汪荣华(1964),男,高级工程师,主要从事电力系统规划与设计研究工作。

(收稿日期: 2020 - 08 - 14)

(上接第 26 页)

1) 对于 500 kV 变电站,采用折线法进行防雷保护,与滚球法相比,避雷针的数量较少,为了实现对 500 kV 主变压器进线跨线、220 kV 主变压器进线跨线的保护,500 kV、220 kV 进线构架的避雷针高度较高。采用滚球法进行防雷保护,为了实现对 35 kV 场地设备的保护,需加密避雷线柱的设置。

2) 500 kV 与 220 kV 区域采用相同高度的避雷针或避雷线柱进行保护,折线法、滚球法计算的保护裕度是接近的。对于 35 kV 场地设备、500 kV 主变压器进线跨线、220 kV 主变压器进线跨线区域,两种计算方法的区别较明显。

3) 对于重要的保底变电站,采用滚球法进行防雷保护范围校验,35 kV 场地设备区域的计算结果

相对折线法来说是偏严的,能达到更好的防护效果。

参考文献

[1] 赵晓君. 高压直流输电工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 中国电力企业联合会. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范: GB/T 50064—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社出版, 2014.

[3] 中国电力工业部. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合: DL/T 620—1997 [S]. 北京: 中国电力出版社出版, 1997.

[4] IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations: IEEE Std 998—1996 [S]. America: the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1996.

作者简介:

殷勤(1989),女,工程师,硕士,主要从事变电站和换流站设计的相关研究工作。(收稿日期: 2020 - 04 - 17)