

750kV GIS 配电装置出线间隔宽度优化研究

王椿丰 王彬彬

(中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司)

摘要：为进一步压缩 750kV GIS 配电装置的占地面积，本文分析基于 GIS 设备的 750kV 配电装置影响占地面积的主要因素。结合目前西北地区 750kV 变电站中常用的 750kV 出线间隔宽度及 750kV 通用设计方案，分析研究基于格构式和钢管人字柱构架型式的 750kV 出线间隔宽度确定方法，并对其各种工况条件进行校验，对今后 750kV GIS 配电装置布置具有一定的借鉴意义和推广应用价值。

关键词：750kV 变电站；封闭式组合电器（GIS）；间隔宽度；构架型式；优化设计

0 引言

随着电气设备技术的进步以及制造工艺的提高，封闭式组合电器（GIS）设备在变电站建设中得到越来越广泛的应用。GIS 设备是指将断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器等电气设备封闭在一个金属腔体内，并充以 SF₆ 气体绝缘的金属封闭开关设备，其凭借着电气元件的高度集成和精湛的制造工艺，实现了 20 年基本免维护。较常规的敞开式电气设备，GIS 设备具有占地面积小、抗污能力强、运行稳定性高、环境适应性强、耐地震水平强等诸多优点，尤其是在城市高速发展、土地资源越来越紧张的今天，GIS 设备在电力系统中的应用越来越广泛，从 110kV 到 1000kV 的电压等级中均得到了极大的推广^[1-3]。电压等级越高，设备的相间距离、相地距离的要求越大，采用常规的瓷柱式或者罐式设备的变电站占地面积很大，而采用

GIS 设备，在电压等级越高的变电站中，其节约占地的效果越显著。本文主要针对 750kV 变电站中 750kV 设备采用 GIS 时，如何优化减少 750kV GIS 配电装置占地面积开展研究。

由于 GIS 设备将断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器等电气设备封闭在一个金属腔体内，其本体尺寸较常规的敞开式设备大幅压缩，本体尺寸已不再是 750kV 配电装置场地中横向尺寸的控制因素，但 750kV 一般均采用架空出线，为了满足架空出线的电气距离，使得出线间隔宽度远大于设备本体尺寸，因此，出线间隔宽度往往是决定 750kV 配电装置场地中横向尺寸的主要因素^[4]。

国家电网公司颁布的 750kV 变电站通用设计方案^[5]，代表 GIS 方案的 750-A 方案中 750kV 出线梁宽为 40m，西北地区的 750kV 变电站中 750kV 出线

梁宽有 40m、41m、41.5m、42m 等多种，分析发现间隔宽度选取仍然按照敞开式设备（AIS）设备布置考虑，使得 GIS 设备压缩占地的优势并未有效发挥。

考虑到 GIS 配电装置内已不存在敞开带电部分，因此间隔宽度可不按照常规 AIS 设备在各种工况下的电气净距来确定，可按照 GIS 出线套管均压环尺寸及出线跳线风偏大小来确定。本文以西北地区某 750kV 变电站为依托，对如何压缩 750kV GIS 配电装置出线间隔宽度进行计算研究。

1 安全净距的选取

根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2018），750kV 屋外配电装置的安全净距主要取值如表 1 所示。

表 1 750kV 安全净距取值 (mm)

符号	适用范围	数值
A ₁	带电导体至接地构架	4800
	带电设备至接地构架	5500
A ₂	带电导体相间	7200
B ₁	带电导体至栅栏	6250
	运输设备外廓至带电导体	
	不同时停电检修的垂直交叉导体之间	
B ₂	网状遮栏至带电部分之间	5600
C	带电导体至地面	12000
D	不同时停电检修的两平行回路之间水平距离	7500
	带电导体至围墙顶部	
	带电导体至建筑物边缘	

注：上述表格中的安全净距取值是海拔不超过 1000m 时的数值。

2 构架型式分析

750kV 出线构架柱主要有两种型式：格构式和钢管人字柱。两种构架柱型式各有优缺点，格构式构架由角钢螺接而成，同等技术指标的格构式构架柱较钢管人字柱钢材用量省，格构式构架由于根开较大，对出线间隔宽度影响较大，占地面积也较大。本文针

对以下三种出线构架型式进行间隔宽度研究。

1) 出线梁两端均为格构式（以下简称构架型式 I），如图 1 所示。



图 1 750kV 出线构架型式 I 示意图

2) 出线梁两端均为人字柱（以下简称构架型式 II），如图 2 所示。



图 2 750kV 出线构架型式 II 示意图

3) 出线梁一端为格构式，一端为人字柱（以下简称构架型式 III），如图 3 所示。



图 3 750kV 出线构架型式 III 示意图

其中构架型式 III 是在构架型式 I 和 II 的基础上的一种组合，变电站中多回 750kV 出线时，构架型式 III 一般会设置在多回出线的中间位置，两侧采用构架型式 II 作为一种联合构架，中间的格构式构架主要用于吸收人字柱的温度效应和导线造成的侧向风压。如

图 4 所示。



图 4 构架型式 III 应用示意图

以下主要针对这三种通用的构架型式进行间隔宽度分析和校验。

3 750kV 出线梁宽度计算

750kV 出线侧设备典型布置如图 5 所示。

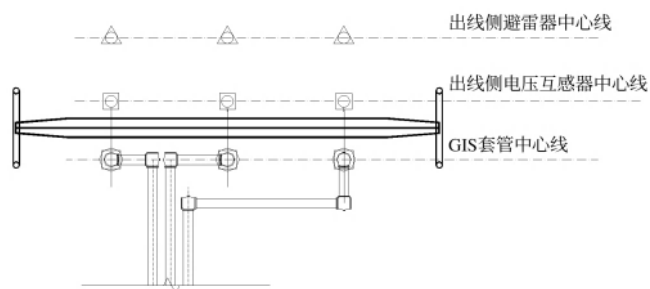


图 5 750kV 出线侧设备布置示意图

根据布置型式可以看出，设备之间的相间距离及设备对构架的相地距离主要受设备均压环的影响。

通过对多个避雷器生产厂家的调研，避雷器均压环直径最大达到 2.5m，考虑到避雷器均压环直径较大，将避雷器布置在远离构架、靠近道路的位置，这样可以有效控制间隔宽度。电压互感器均压环小于 GIS 套管，根据布置型式，相间距离及相地距离可由 GIS 均压环来控制。基于 GIS 设备套管，对新东北、西开、平高、ABB 等多个厂家进行调研，根据反馈，各个厂家 750kV GIS 采用复合绝缘套管的均压环直径均不大于 2.0m，本报告取 GIS 复合绝缘套管均压环最大直径 2.0m^[6]。

750kV 设备间电气安全净距要求值：

$$A_{11} = 5500\text{mm (相 - 地)}$$

$$A_{21} = 7200\text{mm (相 - 相)}$$

根据土建专业资料，格构式构架法兰最大外径 $b = 3500\text{mm}$ ，人字柱外径 $b' = 600\text{mm}$ 。GIS 设备均压环直径取 2000mm。

由此，带电设备对地和相间最小距离计算值 (mm)：

$$\text{相 - 相：} 7200 + 2000 = 9200 \text{ (mm)}$$

$$\text{构架型式 I 相 - 地距离：} L_1 = 5500 + 3500/2 + 2000/2 = 8250 \text{ (mm)}$$

$$\text{构架型式 II 相 - 地距离：} L_2 = 5500 + 600/2 + 2000/2 + 750 = 7550 \text{ (mm)}$$

其中构架型式 I 的相地距离计算时，考虑将爬梯设置在格构式构架内部，此处无需再增加 750mm 校验距离；对于构架型式 II 相 - 地计算时，考虑在人字柱处设置爬梯，增加 750mm 校验距离。

对于构架型式 III，格构式构架柱侧：相 - 地距离与构架型式 I 相同，对于人字柱构架柱侧，相 - 地距离与构架型式 II 相同。

根据以上计算，以 GIS 设备均压环控制的相间、相地距离最小值如表 2 所示。

表 2 以 GIS 均压环控制的相间、相地距离计算值

构架型式	相间距离 /mm	相地距离/mm	
		格构柱侧	人字柱侧
构架型式 I	9200	8250	/
构架型式 II	9200	/	7550
构架型式 III	9200	8250	7550

通过表 2 的计算可知，对于构架型式 I，出线间隔宽度不能小于 34.9m；对于构架型式 II，出线间隔宽度不能小于 33.5m；对于构架型式 III，出线间隔宽度不能小于 34.2m。

为考虑一定的通用性及设计裕度，其中相间和相地距离建议如表 3 设计，相应计算出间隔宽度取值如表 3 所示。

表 3 相间、相地距离及间隔宽度推荐值

构架型式	相间距离/m	相地距离/m		间隔宽度/m
		格构柱侧	人字柱侧	
构架型式I	9.5	9	/	37
构架型式II	9.5	/	8	35
构架型式III	9.5	9	8	36

三种构架型式的电气距离检验如图6~图8所示。

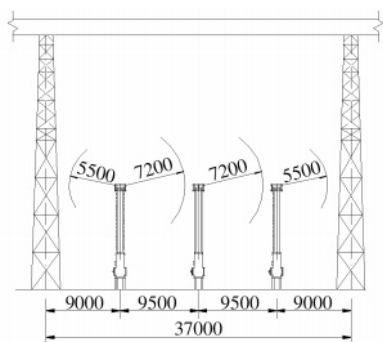


图 6 构架型式I电气距离校验示意图

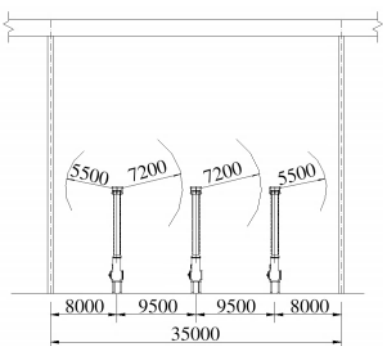


图 7 构架型式II电气距离校验示意图

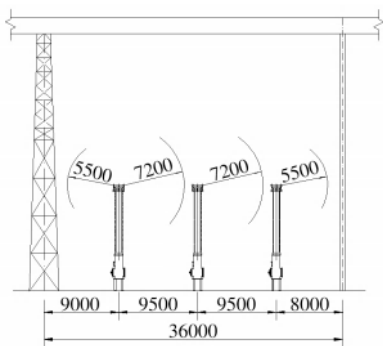


图 8 构架型式III电气距离校验示意图

4 750kV 出线梁宽度校验

上一节中以设备均压环为控制因素对进出线梁宽进行了计算，同时出线梁宽需要满足梁下跳线相间、相地距离在三种工况下的要求，即：

- 1) 工况一：大气过电压、风偏条件下；
- 2) 工况二：内部过电压、风偏条件下；
- 3) 工况三：最大工作电压、短路摇摆、风偏条件下。

本文考虑出线梁下悬挂悬垂绝缘子串，基于此进行计算和校验。

4.1 相间距离校验

出线梁下跳线相间距离校验如图9所示。

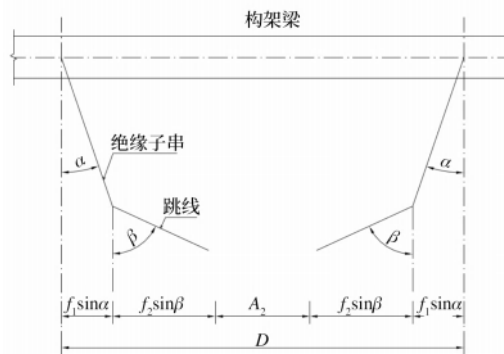


图 9 相间距离校验示意图

在三种工况下，相间距离 D 应满足：

$$D \geq A_2 + 2(f_1 \sin \alpha + f_2 \sin \beta) + d \cos \beta + 2r \quad (1)$$

式中， A_2 为不同相带电部分之间的最小电气距离； f_1 为悬垂绝缘子串长度； f_2 为导线弧垂； d 为导线分裂间距； r 为导线半径。

结合本站址污秽等级及绝缘子片选择结果，本文选择 50 片 XWP₂-120 型悬式瓷绝缘子（单片爬电比距 450mm），导线选型为 2×JLHN58K-1600。在三种工况下，出线梁下相间距离应不小于表 4 的计算值。

表 4 相间距离计算结果表 (mm)

计算值	大气过电压、风偏 (工况一)	内部过电压、风偏 (工况二)	最大工作电压、风偏 (工况三)
D	6028	8526	7038

4.2 相地距离校验

出线梁下跳线相地距离校验如图 10 所示。

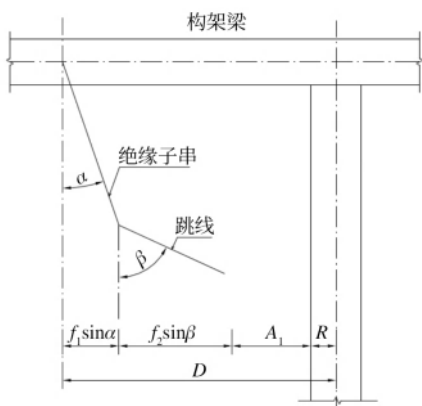


图 10 出线梁相地距离校验示意图

在三种工况下，相地距离 D 应满足：

$$D \geq A_1 + f_1 \sin \alpha + f_2 \sin \beta + d \cos \beta + 2r + R \quad (2)$$

式中， R 为构架柱半径。

根据本工程土建设计文件，格构式构架法兰最大半径 2000mm，人字柱半径 300mm，针对两种不同型式的构架柱分别计算在三种工况下，出线梁下跳线相地距离应不小于表 5 的计算值。

表 5 相地距离计算结果表 (mm)

计算值	大气过电压、风偏 (工况一)	内部过电压、风偏 (工况二)	最大工作电压、风偏 (工况三)
D (人字柱)	5511	6280	4258
D' (格构式)	7211	7980	5958

4.3 出线梁宽的校验

根据上面两节针对三种工况下相间、相地距离的计算可以看出，工况二为最严苛的工况。基于最严苛的工况二对三种构架型式的出线间隔宽度进行校验，同时根据上文中确定的出线间隔宽度推荐值进行校验，校验结果如表 6 所示，三种构架型式间隔宽度均满足要求。

表 6 出线间隔宽度校验表

构架型式	计算值	推荐间隔宽度	校验结果
构架型式 I	33012	37000	满足要求
构架型式 II	29612	35000	满足要求
构架型式 III	31312	36000	满足要求

5 结束语

本文分析了 750kV 构架型式，基于设备均压环尺寸对三种构架型式的出线间隔宽度进行计算，同时对梁下跳线风偏进行校验，推荐构架型式 I 出线间隔宽度可按 37m 设计，构架型式 II 可按 35m 设计，构架型式 III 可按 36m 设计。

需要特别说明的是，本文是以海拔不超过 1000m 为输入条件，实际工程应用中需要结合站址海拔对空气间隙进行修正，按修正后的空气间隙重新计算间隔宽度，并进行校验。

参考文献

- [1] 韩先才，孙昕，陈海波，等. 中国特高压交流输电工程技术发展综述 [J]. 中国电机工程学报，2020，40 (14)：4371-4385，4719.
- [2] 李鹏，李金忠，崔博源，等. 特高压交流输电变电装备最新技术发展 [J]. 高电压技术，2016，42(4)：1068-1078.
- [3] 韩志萍. 一种新型 750kV 敞开式配电装置布置方案研究 [J]. 电力勘测设计，2022 (8)：27-34.
- [4] 史京楠，胡君慧，黄宝莹，等. 新一代智能变电站平面布置优化设计 [J]. 电力建设，2014，35(4)：31-37.
- [5] 国家电网公司. 输变电工程通用设计 [M]. 北京：中国电力出版社，2015.
- [6] 喻新强，孙强，朱岸明，等. 复合绝缘材料在 750kV 变电站工程中的应用 [J]. 电力建设，2013，34 (10)：86-91.

(收稿日期：2024-09-26)