

高压直流换流站阀厅双层屏蔽巡视走道应用研究

谭威[✉], 汤曼丽, 孔志达

(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)

摘要: [目的] 为了减小高压直流换流站阀厅占地面积并降低投资成本, 提出了一种适用于高压直流换流站阀厅的双层屏蔽巡视走道方案。[方法] 在借鉴 1100kV 昌吉—古泉特高压直流输电工程首次应用双层屏蔽巡视走道的成功经验, 以及国内科研单位开展的试验结果基础上, 针对阀厅内不同巡视走道方案开展经济性对比, 验证本方案的经济性。[结果] 结果证明文章提出的双层屏蔽巡视走道方案具备一定的优势。[结论] 文章提出的一种高压直流换流站阀厅采用双层屏蔽巡视走道的具体实施方案, 并在某工程的阀厅中得以成功应用, 具备推广价值。

关键词: ±800kV; 特高压直流换流站; 双层屏蔽走道; 阀厅; 接地

中图分类号: TM7; TM721.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S2-0079-05

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Application of Double-Layer Shielding Cage for Valve Hall in HVDC Converter Station

TAN Wei[✉], TANG Manli, KONG Zhida

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] In order to reduce the land acquisition and cost of valve hall for HVDC converter station, a double-layer shielding cage scheme for valve hall of UHVDC converter station is presented in this paper. [Method] With the base of successful application of double-layer shielding cage in the ±1100 kV UHVDC Changji-Guquan transmission projects, and relative experiment conducted by China power research institute, the economic comparison of various kinds of shielding cages in valve hall was carried out to verify the economy of this scheme. [Result] The result shows that the double-layer shielding cage scheme has certain advantages. [Conclusion] The detailed implementing scheme of the double-layer shielding cage for valve hall in HVDC converter station presented in this paper is successfully applied in one project with popularization value.

Key words: ±800 kV; UHVDC converter station; double-layer shielding cage; valve hall; grounding

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

1 引言

现有高压直流输电工程, 阀厅内巡视走道均采用单层屏蔽网设计^[1-3]。由于直流换流站阀厅电压水平很高且其内部空气间隙结构非常复杂, 为了确保在阀厅内进行维护和操作的人员安全, 一般均要求巡视走道与阀厅内换流阀及其他带电设备之间具备足够的安全距离, 从而导致阀厅高度和宽度方向均

较大, 增加了阀厅的投资费用^[4-7]。

文章借鉴 1100 kV 昌吉—古泉特高压直流输电工程首次应用双层屏蔽巡视走道的成功经验^[8-13], 并在国内科研单位开展的试验结果基础上, 开展了阀厅内不同巡视走道方案的经济性对比, 并提出了一种高压直流换流站阀厅采用双层屏蔽巡视走道的方案, 并在某工程的阀厅中得以应用, 确保了工程安全的同时减少了造价。

2 双层屏蔽巡视走道在高压直流换流站中的应用

在常规高压直流换流站中, 阀厅内巡视走道一般采用单层屏蔽, 为了保证巡视人员的绝对安全, 在计算带电部分对巡视走道的空气净距时一般取 5σ ^[14-15]。在 $\pm 1100\text{ kV}$ 昌吉—古泉特高压直流输电工程中, 所有 $\pm 1100\text{ kV}$ 直流设备均布置于户内直流场建筑内, 室内空间紧凑, 电极型式复杂, 且空气净距要求大, 为确保运维人员带电进入户内直流场检修作业的安全, 首次引入了双层巡视走道设计方案^[9,12]。当采用双层屏蔽巡视走道时, 在计算带电部分对巡视走道的空气净距时取 2σ (该取值和对地的空气净距一致), 可有效降低巡视走道对带电部分的距离, 并确保安全。

在 1100 kV 昌吉—古泉特高压直流输电工程中, 结合户内直流场设备布置情况, 对户内直流场内部 1100 kV 隔离开关 (含接地开关)、 550 kV 隔离开关机构箱可能需要带电时进行巡检维护的区域设置双层巡视走道, 如下图 1 所示。

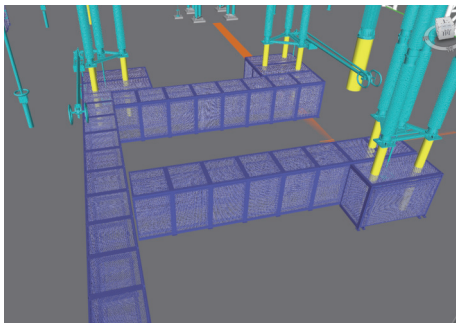


图 1 户内直流场双层屏蔽笼布置示意图

Fig. 1 Layout arrangement of double-layer shielding cage in indoor HVDC switchyard

3 双层巡视走道性能测试

为了确认双层巡视走道的安全性, 验证其性能, 确认内外层巡视走道的放电路径, 中国电科院针对双层巡视走道开展了一系列的操作冲击放电特性试验。

图 2 所示为设计的试验方案。空间中的四面连接良好的金属网构成了第一层屏蔽笼, 其屏蔽网格大小为 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$, 棒电极处于屏蔽金属网的正上方; 在屏蔽金属网内部, 放置一个模拟横担, 用来模

拟第二层屏蔽笼。实现对双层屏蔽笼的模拟。两层模拟屏蔽笼之间的距离为 20 cm 。

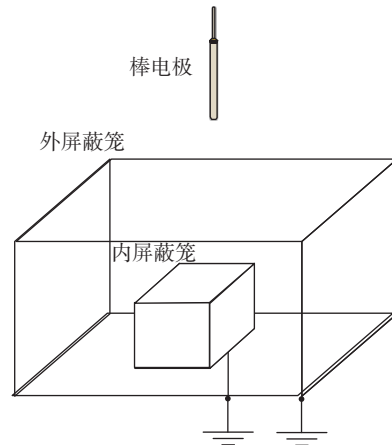


图 2 双层屏蔽笼模拟试验布置图

Fig. 2 Test layout arrangement of double-layer shielding cage

试验中使用冲击电压发生器, 通过棒电极对试验装置放电, 记录放电电压和放电路径; 改变不同的放电电压记录放电路径的变化; 改变试验装置的接地方法, 记录相应的放电情况。

针对内外屏蔽笼不同接地方式, 开展了一系列模拟试验, 双层屏蔽笼泄流通道如图 3 所示, 结果如下:

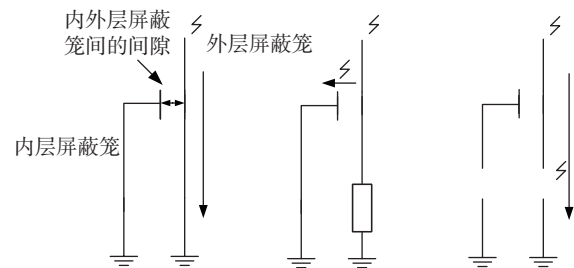


图 3 不同接地方式下双层屏蔽笼泄流通道

Fig. 3 Discharge path of double-layer shielding cage under different grounding patterns

1) 两层屏蔽笼均接地

由于外层屏蔽金属网接地良好, 形成了一个等势体, 电流经过外层屏蔽网流向大地。电弧并不会穿过外层屏蔽网打到金属横担, 从而可以认为在接地良好的情况下, 外层屏蔽网能够有效的保护网内人员和设备的安全。

2) 外层屏蔽笼不接地, 内层屏蔽笼接地

由于外层屏蔽金属层不接地, 会感应出一个电压, 该电压将会击穿内外层屏蔽金属网的 20 cm 间隙并放电。

3) 内外层屏蔽笼均不接地

由于内外层屏蔽金属网都不接地, 感应电压直接击穿了外层屏蔽金属网对地放电, 内层屏蔽网不会被电击。

通过对中国电科院开展的双层屏蔽笼的模拟试验, 可以得到以下结论:

1) 如果外层屏蔽笼接地良好, 电流将会被引入大地, 并不会影响到内层屏蔽笼;

2) 若外层屏蔽笼非良好接地或不接地, 感应电压可能会击穿内外层屏蔽笼的间隙进行放电, 是否击穿在于内外层屏蔽笼间的间距和接地情况;

3) 若内外层屏蔽笼都不接地, 电弧只会击穿“最短”的路径, 对地放电;

4) 如果外层金属屏蔽网接地良好, 直接能够起到屏蔽作用, 并不会影响到内层屏蔽网; 如果外层金属屏蔽网接地较差, 内外层屏蔽网间隙可能击穿。

4 不同巡视走道方案技术经济性对比研究

以某±800 kV 特高压直流换流站为例, 对高端阀厅巡视走道开展不同技术方案的对比研究。如下图 4 所示为典型的“一字型”±800 kV 高端阀厅布置图。阀厅内巡视走道最外廓一般按 2 000(宽) mm×2 500(高) mm 考虑, 悬吊在阀厅下弦或设置在上弦屋架处。

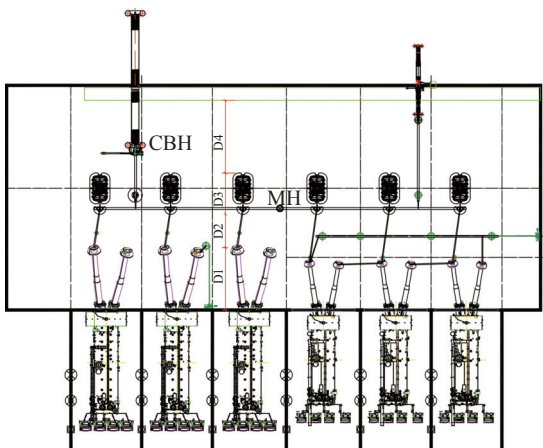


图 4 典型的±800 kV 高端阀厅平面布置图

Fig. 4 Typical layout of valve hall in ±800 kV HVDC converter station

1) 方案一: 单层屏蔽巡视走道方案, 设置在屋架下弦采用单层屏蔽巡视走道, 为了保证巡视人员的绝对安全, 在计算带电部分对巡视走道的空气净距

时一般取 5σ , 阀厅高度主要由 D10、D13 决定; 阀厅宽度主要由 D5、D6 决定, 其中 D5 为巡视通道与直流穿墙套管的距离, D6 为巡视通道与六脉动阀中点的距离。D5、D6 均按 14.1 m 考虑, 阀厅宽度为 36.0 m, 高度为 30.5 m。

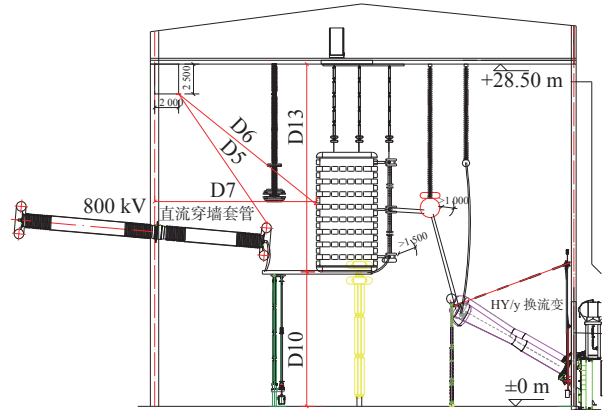


图 5 方案一: 单层巡视走道示意图

Fig. 5 Proposal 1: Schematic layout of single-layer shielding cage

2) 方案二: 单层屏蔽巡视走道方案, 设置在屋架上弦, 穿屋架设置阀厅高度和宽度的计算原则、决定因素同方案一。由于巡视走道在屋架内部, 有效节省空间, 但巡视便利性较差。阀厅宽度为 35.0 m, 高度为 28.5 m。

将巡视走道置于屋架内部, 需增高屋架高度, 并调整屋架腹杆布置, 采用人字形腹杆。屋架高度增加后, 高度将远大于屋架的经济高度, 用钢量将增加。

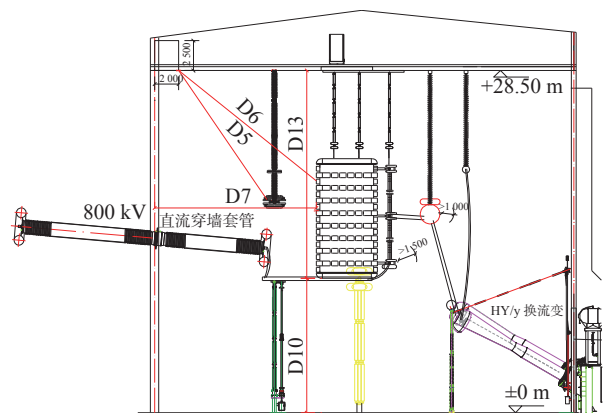


图 6 方案二: 单层巡视走道示意图

Fig. 6 Proposal 2: Schematic layout of single-layer shielding cage

3) 方案三: 双层屏蔽巡视走道方案, 设置在屋架下弦采用双层屏蔽巡视走道, 在计算带电部分对巡视走道的空气净距时取 2σ , 阀厅高度主要由 D10、

D13 决定, 阀厅宽度由 D7 决定。D7 按 9.8 m 考虑, 阀厅宽度为 35.0 m, 高度为 28.5 m。

以宽度为 35.0 m, 高度为 28.5 m 的单个阀厅为基准, 对采用上述三个不同的屏蔽巡视走道方案导致增加的投资费用进行对比, 如表 1 所示:

方案一和方案二为传统的单层屏蔽巡视走道方案, 目前已在国内常规直流工程中广泛应用。可以看出, 文章中提出的方案三, 采用设置在屋架下弦的双层屏蔽巡视走道方案, 相比较于方案一和方案二具备一定的经济优势。

表 1 三个方案投资费用对比

Tab. 1 Cost comparison for three proposals

方案	项目	工程量	材料单价	费用
方案一	结构用钢	18 t	7500 元/t	—
	压型钢板	318 m ²	410 元/m ²	28.23 万元
	地坪	89 m ²	95 元/m ²	—
方案二	结构用钢	42 t	7500 元/t	31.50 万元
方案三	屏蔽网	880 m ²	10 元/m ²	0.88 万元

5 阀厅双层巡视走道在直流工程中的应用

结合中国电科院的模拟试验结论, 以及不同巡视走道方案的经济对比, 在某直流工程中推荐应用的阀厅双层巡视走道设计方案如下:

室内巡视走道侧面及顶部采用方钢管或圆钢管作支撑柱、底板采用 H 型钢和花纹钢板、屏蔽网采用 4@30×30 钢丝网。

内外层底部用 6 kV 支柱绝缘子隔离, 支柱绝缘子结构高度 ≥ 150 mm, 弯曲破坏荷载 ≥ 7.5 kN, 扭转破坏荷载 ≥ 7.5 kN。内外层侧面及顶部空气隔离, 净空距离 200 mm。

巡视走道接地干线考虑采用铜排, 屏蔽网与钢柱采用铜绞线连接, 钢柱与巡视走道接地干线采用铜绞线连接, 接地干线两端与阀厅内环房接地干线相连。

6 结论

文章借鉴 1 100 kV 昌吉—古泉特高压直流输电工程首次应用双层屏蔽巡视走道的成功经验, 并在国内科研单位开展的试验结果基础上, 开展了阀厅内不同巡视走道方案的经济性对比, 并提出了一种

采用双层屏蔽巡视走道的方案, 并在某工程的阀厅中得以应用。主要结论如下:

1) 相对于传统的单层屏蔽巡视走道方案, 采用设置在屋架下弦的双层屏蔽巡视走道方案可以节省钢材用量, 具备一定的经济优势。

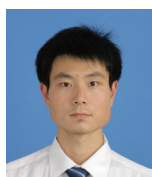
2) 结合相关单位开展的模拟试验结论, 提出了可适用于高压直流换流站阀厅双层屏蔽巡视走道的工程实施方案。

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.
ZHAO W J. HVDC transmission engineering technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] 郭贤珊, 郗鑫, 曾静. ± 800 kV 换流站通用设计研究与应用 [J]. 电力建设, 2014, 35(10): 36-42. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2014.10.008.
GUO X S, QIE X, ZENG J. Research and application of general design for ± 800 kV converter station [J]. Electric Power Construction, 2014, 35(10): 36-42. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2014.10.008.
- [3] 黄阳, 王建武, 鲁翔, 等. 集约式绿色换流站设备选型及优化布置研究 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(1): 107-112. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.017.
HUANG Y, WANG J W, LU X, et al. Research on equipment selection and optimal layout of intensive green converter station [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(1): 107-112. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.017.
- [4] 邢毅, 孙帮新, 骆玲, 等. 高地震烈度地区特高压换流站阀厅电气布置及联接设计 [J]. 南方电网技术, 2019, 13(1): 7-13. DOI: 10.13648/j.cnki.issn1674-0629.2019.01.002.
XING Y, SUN B X, LUO L, et al. Electric layout and connection design in valve hall of UHVDC converter station in high earthquake intensity area [J]. Southern Power System Technology, 2019, 13(1): 7-13. DOI: 10.13648/j.cnki.issn1674-0629.2019.01.002.
- [5] 曹效义, 杜建建. ± 800 kV 特高压换流站电气总平面布置设计优化 [J]. 内蒙古电力技术, 2015, 33(4): 5-10. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6218.2015.04.011.
CAO X Y, DU J J. Optimization of general electric arrangement design for ± 800 kV extra-high tension convertor station [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2015, 33(4): 5-10. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6218.2015.04.011.
- [6] 张凌, 杨金根, 曾静. 特高压阀厅电气设计研究 [J]. 电力建设, 2007, 28(5): 12-16. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2007.05.003.
ZHANG L, YANG J G, ZENG J. Study on electric design of UHV valve hall [J]. Electric Power Construction, 2007, 28(5): 12-16. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2007.05.003.

- [7] 王丽杰, 杨金根, 张凌. 背靠背换流站阀厅电气设计 [J]. *电力建设*, 2008, 29(4): 43-45,59. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2008.04.014.
WANG L J, YANG J G, ZHANG L. Electric design of back-to-back converter station valve hall [J]. *Electric Power Construction*, 2008, 29(4): 43-45,59. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2008.04.014.
- [8] 刘泽洪. ± 1100 kV特高压直流输电工程创新实践 [J]. *中国电机工程学报*, 2020, 40(23): 7782-7791. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.201451.
LIU Z H. Findings in development of ± 1100 kV UHVDC transmission [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2020, 40(23): 7782-7791. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.201451.
- [9] 谭威, 简翔浩, 施世鸿, 等. ± 1100 kV特高压直流换流站直流场设计选型 [J]. *南方能源建设*, 2017, 4(4): 23-28. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.005.
TAN W, JIAN X H, SHI S H, et al. Selection of ± 1100 kV UHVDC converter station DC field [J]. *Southern Energy Construction*, 2017, 4(4): 23-28. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.005.
- [10] 彭冠炎, 穆峰磊, 官澜, 等. ± 1100 kV换流站户内直流场智能巡检系统设计 [J]. *南方能源建设*, 2017, 4(4): 118-123. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.022.
PENG G Y, MU F L, GUAN L, et al. Intelligence inspection system design of DC indoor switch yard in ± 1100 kV converter substation [J]. *Southern Energy Construction*, 2017, 4(4): 118-123. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.022.
- [11] 姚斌, 施世鸿, 陈荔. ± 1100 kV特高压直流换流站直流场导体的电磁计算与设计选型 [J]. *南方能源建设*, 2016, 3(4): 37-41. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.04.008.
YAO B, SHI S H, CHEN L. Electromagnetic environment calculation and design of ± 1100 kV DC conductor in UHVDC converter station [J]. *Southern Energy Construction*, 2016, 3(4): 37-41. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.04.008.
- [12] 包维瀚, 郭贤珊, 丁晓飞, 等. ± 1100 kV换流站户内直流场巡检方案研究 [J]. *四川电力技术*, 2017, 40(3): 26-30. DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.03.006.
- [13] 岳云峰, 简翔浩, 孔志达, 等. ± 1100 kV直流户内开关场设计研究 [J]. *南方能源建设*, 2018, 5(1): 92-97,58. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.015.
YUE Y F, JIAN X H, KONG Z D, et al. Research on indoor design of DC switch yard for 1100 kV converter substation [J]. *Southern Energy Construction*, 2018, 5(1): 92-97,58. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.015.
- [14] 杨金根, 张凌, 钟伟华. 特高压户内直流场设计研究 [J]. *电力建设*, 2007, 28(5): 1-7. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2007.05.001.
YANG J G, ZHANG L, ZHONG W H. Design study on UHV indoor DC field [J]. *Electric Power Construction*, 2007, 28(5): 1-7. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2007.05.001.
- [15] 陈锡磊, 周浩, 王东举, 等. g 参数修正法用于浙西 ± 800 kV换流站阀厅空气净距设计 [J]. *高电压技术*, 2011, 37(9): 2185-2189. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.2011.09.007.
CHEN X L, ZHOU H, WANG D J, et al. Air clearance design for valve hall of Zhexi ± 800 kV UHVDC converter station using parameter g [J]. *High Voltage Engineering*, 2011, 37(9): 2185-2189. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.2011.09.007.

作者简介:



谭威

谭威 (第一作者, 通信作者)

1987-, 男, 汉族, 湖北黄冈人, 高级工程师, 重庆大学高电压与绝缘技术专业硕士, 主要从事特高压直流换流站及接地极的设计工作 (e-mail)tanwei@gedi.com.cn。

(编辑 孙舒)