

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.09.026

特高压大组件换流阀用晶闸管控制单元板卡防火装置的研制

娄彦涛, 刘宁, 刘琦

(西安西电电力系统有限公司, 西安 710075)

摘要: 作为换流阀设计中的关键环节,防火设计的优劣关系到系统运行的安全和稳定。针对特高压大组件换流阀,文中介绍了一种晶闸管控制单元用板卡防火装置的研制过程。基于交流耐压和局放试验、振动试验、温度循环试验,以及防火性能试验,验证了该防火装置的可靠性和防火性能。通过在哈密站和金华站中的成功应用,实现了对已投运工程换流阀防火设计的整改,提高了现有设备的防火性能,同时也为后续换流阀设计提供了可供借鉴的思路。

关键词: 特高压直流; 晶闸管换流阀; 晶闸管控制单元; 防火装置

Developing of a Fire Prevention Device for Thyristor Control Units of UHVDC Converter Valve

LOU Yantao, LIU Ning, LIU Qi

(Xi'an XD Power Systems Co., Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract: As an indispensable part of the valve development, an appropriate fire prevention design is important for safe and stable operation of converter valves. This paper introduces a kind of fire prevention device for thyristor control units in UHVDC converter valve. Based on a series of tests, such as the AC withstand voltage and partial discharge test, the vibration test, the temperature cycling test, and the fire resistance test for this device, the reliability and the fire prevention performance of the fire protection device are verified. Using this device, the converter valves in Hami and Jinhua stations are upgraded to improve their fire prevention performance. In addition, the design and application of the device would be useful for the subsequent design of converter valves.

Key words: UHVDC; thyristor valve; thyristor control unit; fire prevention device

0 引言

特高压直流输电以其电压高、容量大、损耗小、输送距离远、线路造价低,适用于非同步系统联网等特点,逐步发展成为我国电力远距离输送和异步联网的主要方式之一^[1-2]。目前,作为世界上投运直流工程最多的国家,中国已全面掌握最前沿和领先的直流输电技术^[3]。

换流阀是高压直流输电系统中的关键设备,其价格昂贵,工作可靠性和安全性要求极高^[4-5]。其中,换流阀防火性能是衡量设备安全可靠性的主要指标^[6]。近年来,围绕换流阀起火原因分析,火灾预防措施的提出,火灾检测和报警系统配置,以

及阀厅消防系统设计,国内外学者和专家开展了一些分析和研究工作^[7-11]。然而,目前研究极少涉及换流阀中触发电路板的防火问题。

针对这一情况,文中介绍了特高压大组件换流阀用晶闸管控制单元板卡防火装置的研制过程,同时通过系列试验,验证了该防火装置的防火性能以及可靠性。

1 特高压换流阀防火设计

为了保证换流阀的工作可靠性,其防火设计需遵循“首先防止起火,即使起火也能有效防止蔓延”的总体原则。同时,根据该项原则,提出了设计中的具体要求和措施,主要包括:

1)所有非金属材料必须符合阻燃性及自熄灭性要求。即当火源去除后,火会在短时间内熄灭,且燃烧跌落物不会引起次生火灾;

2)器件型号及参数的选择,必须在考虑电气性能的同时,兼顾其发热特性和散热性能;

3)设计中应充分考虑绝缘配合的要求,避免元部件间出现起弧或闪络;

4)若发生火灾,设计中应具备防止火灾蔓延的措施。

基于以上设计原则,垂直件的阀塔材料须符合UL94 V-0阻燃等级要求,水平件的材料则至少应该达到UL94 HB阻燃标准。所有的塑料材料中,均应添加足够分量的阻燃剂,如三氧化铝(ATH),同时应保证材料的其它物理性能不下降,如机械强度和电气绝缘性能。

换流阀采用无油化设计,阻尼电路中的电容为干式结构,使用低燃烧值的绝缘气体。晶闸管电子设备设计合理,内部无高压器件,不存在发生过热和电弧的隐患。使用安全可靠的、难燃的元部件,且留有充分的耐热裕度。在载流回路设计中,元器件和母排间的连接,也考虑了足够的安全系数,可有效避免过热和火灾的发生。

同时,在相邻的材料间和光纤通道的节间设置有防火材料,可阻止火势在相邻塑料材料间,以及光纤通道的节间横向或纵向蔓延。

此外,冷却系统的工作安全可靠,可避免由于漏水、冷却水中含杂质,以及冷却系统腐蚀等原因而导致的电弧和火灾^[12-14]。

2 防火装置的研制

截止到2014年底,国家电网公司已投运的 ± 800 kV特高压直流输电工程共4条,分别为向家坝—上海4 000 A、锦屏—苏南4 500 A、哈密—郑州5 000 A以及溪洛渡—浙西5 000 A特高压直流输电工程^[15-18]。其中,西安西电电力系统有限公司分别负责了以上4个工程中,复龙站、锦屏站、哈密站以及金华站全部或部分换流阀的设计和供货。除金华站极2采用小组件结构外,其余换流站则全部采用大组件结构换流阀。

在大组件换流阀中,阀段为其最小电气单元。每个阀段由15级晶闸管压接成的硅堆、两台串联的饱和电抗器,以及阀段两端并联的均压电容器组成。换流阀阀塔图及组件图见图1、2。图1、2中两个阀段串联组成一个组件,4个组件自上而下串联组成一个换流阀塔。

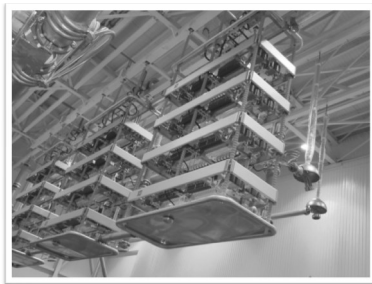


图1 换流阀塔图

Fig. 1 Thyristor valve tower

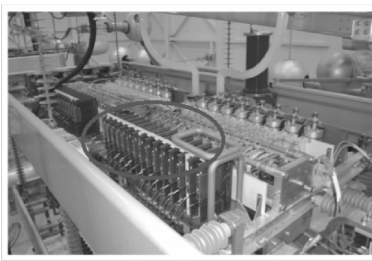


图2 换流阀组件图

Fig. 2 Module in thyristor valve tower

如图1、2所示,晶闸管组件中的晶闸管控制监测单元TFM板(圆圈标记部分)紧邻硅堆。当硅堆和水冷电阻出现漏水时,冷却水易喷射或溅射到相邻及下层组件TFM板上,又由于TFM有不同电位器件,因而可能会引起TFM器件损坏,进而导致火灾发生。此外,由组件的布置可以看出,各TFM板间未能有效隔离,个别板卡燃烧有扩大到相邻TFM板上的安全隐患。

为提高大组件换流阀防火性能,以不影响总体电气和散热性能为前提,为触发控制板TFM增加防火阻隔板。在发生起弧、起燃时,能够有效隔离和保护邻近和上下板卡,并防止火势蔓延。为此,对原有设计进行如下整改:

1)在原有TFM板导槽的基础上,将上下边框加宽,防止上部滴落物;

2)在原TFM板卡背部增加防火隔板,防止火灾蔓延;

3)所有增加设计均不改变电气和散热等性能。

模型示意图见图3。图3中,防火隔板采用阻燃增强尼龙PA66材质,阻燃等级为UL94 V-0,具有高强度、高刚性、抗翘曲等特点。

3 防火装置的试验验证

在原有设计基础上,加装防火隔板会带来一定的工程风险。防火隔板可能会对换流阀散热、局部放电造成影响,因此需要通过一系列试验加以排

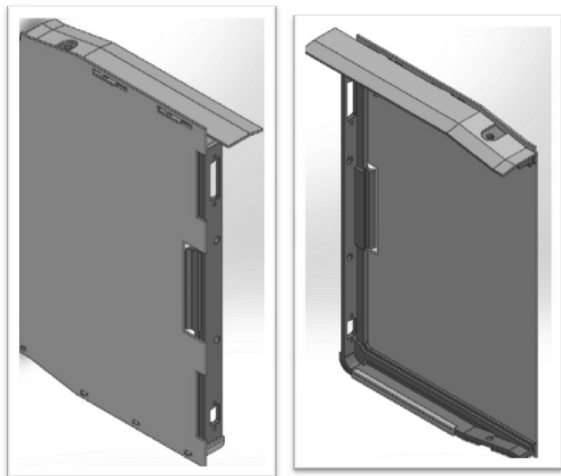


图3 TFM防火隔板示意图

Fig. 3 Schematic diagram of fire protection barrier for TFM

除。为此,对整改后的换流阀组件,以及加装防火隔板后的TFM板卡,按照表1所列试验项目加以验证。

表1 加装防火装置后的TFM板验证试验项目

Table 1 Verification tests for TFM with fire prevention device

试验项目	试验目的
交流耐压和局部放电试验	验证组件电气绝缘性能不受整改方案的影响。
振动试验 ^[9]	验证增加防火隔板后TFM的机械稳定性
温度循环试验	验证防火隔板可以可靠承受阀运行的温度范围(人工气候室, -40~70℃, 85%相对湿度 ^[20])。
防火性能试验	验证防火隔板阻挡火势蔓延到隔壁板卡的功能。

3.1 组件交流耐压和局部放电试验

采用哈密工程换流阀组件,在其中每块TFM板框架上安装防火装置,为试品组件通入去离子水,进行交流耐压与局部放电试验^[21-22]。交流耐受电压施加至72.8~75.8 kV(rms),保持20 s,期间观察试品有无击穿、闪络及放电现象,而后将交流电压降至65.6~68.3 kV(rms),保持5 min,期间测量试品的最大局放值,判断局放是否 ≤ 50 pC。

经试验,对哈密换流阀组件施加交流耐受电压,试品组件无击穿、闪络及放电现象;施加局部放电电压,试品局放测量值均小于50 pC。该项试验可验证在TFM板框架上安装防火装置,对组件交流耐压与局部放电测量无影响。

3.2 振动试验

试验在振动试验台上进行,试品为1个安装了TFM板、电缆、防火装置的TFM框架。试品通过

TFM框架的4个安装孔,水平安装在振动台上。TFM板正面向上,防火板下表面距离振动台上表面72 mm。试品分别于X、Y、Z三轴向进行,试验期间观察所有零件是否有开裂变形现象,同时查看整个装配体是否有零件脱落或松动现象,见图4。

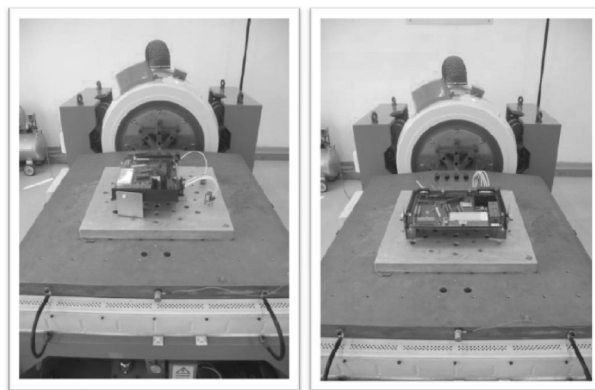


图4 X/Y轴振动试品试验状态

Fig. 4 Vibration tests in X and Y axis

经试验验证,试品在X、Y和Z轴方向,不同频率及振幅条件下的振动试验后,未发现安装防火板及锁紧装置的TFM板框架有开裂、变形及零件脱落松动现象。

3.3 温度循环试验

试验在恒温恒湿箱内进行,试品为1个安装了TFM板、防火装置的TFM框架。将安装了防火装置的TFM板,通过细线悬挂在空中,试验共28个循环,相对湿度85%,温度范围-40~70℃,温度变化速率1℃/min,极限温度耐受时间1 h。试验后观察所有零件是否有开裂变形现象,同时查看整个装配体是否有零件脱落松动现象,见图5。

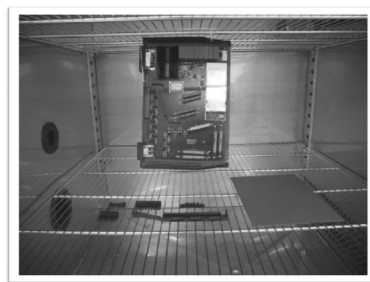


图5 温度循环试验照片

Fig. 5 Temperature cycling test

经试验验证,试品通过温度循环试验后,经检查未发现试品有开裂变形及零件脱落松动现象。

3.4 防火性能试验

试品为3块安装了TFM板和防火装置的TFM框架。试验中所用柴油喷灯,经测量火焰温度为830℃。火焰喷射位置为第1块TFM板元件侧V55处,火焰喷射时间 ≥ 11.5 min,期间观察试品各零部

件燃烧状态, 试验后观察另外两块 TFM 板是否有燃烧痕迹, 防火性能试验见图 6-10。



图6 试验前状态

Fig. 6 Samples before the test



图7 试验中状态

Fig. 7 Samples in the test



图8 试验后状态

Fig. 8 Samples after the test



图9 第一块板与第二块板对比

Fig. 9 Comparison of the first and the second TFM

经试验验证, 对第 1 块 TFM 板进行燃烧试验, 燃烧火焰温度为 830°C , 燃烧火焰时间持续为 11 分 40 秒, 试验后观察另外两块 TFM 板未发现有燃烧痕迹, 可知防火板的防火性能可满足设计要求。

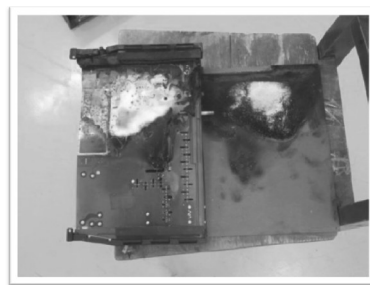


图10 试验后第一块 TFM 板与防火板对比

Fig. 10 TFM and fire barrier after the test

4 工程应用

防火装置通过试验验证后, 目前已被应用在哈密南站极 2 换流阀和金华站极 1 换流阀。加装防火装置后的组件见图 11, 增加防火装置后的换流阀, 在防火性能上较以往工程有较大程度提高。



图11 加装防火装置后的组件效果图

Fig. 11 Valve module with fire prevention devices

5 结语

防火设计是特高压换流阀设计的关键环节, 关系到直流输电系统的安全运行。为提升换流阀设备防火水平, 设计了一种适用于大组件换流阀的 TFM 防火装置。经过试验验证, 可知该装置能够有效隔离 TFM 板起火, 保护换流阀设备, 且装置的安装对组件电气特性无影响。此外, 通过在哈密站和金华站中的应用, 实现了对已投运工程特高压大组件换流阀的防火整改, 提升了换流阀的防火性能。

参考文献:

- [1] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 中国电力出版社, 2004, 340-343.
ZHAO Wanjun. High voltage direct current engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2011.
- [2] 舒印彪. 中国直流输电的现状 & 展望[J]. 高电压技术, 2004, 30(11): 1-2.
SHU Yinbiao. Present status and prospect of HVDC transmission in China[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30

- (11):1-2.
- [3] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2005, 29(14):1-3.
YUAN Qingyun. Present state and application prospect of ultra HVDC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(14):1-3.
 - [4] 詹奕, 尹项根. 高压直流输电与特高压交流输电的比较研究[J]. 高电压技术, 2001, 27(4):44-46.
ZHAN Yi, YIN Xianggen. Comparative research on HVDC and UHV power transmission[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(4):44-46.
 - [5] 曾南超. 高压直流输电在我国电网发展中的作用[J]. 高电压技术, 2004, 30(11):11-12.
ZENG Nanchao. Role of HVDC transmission in the power system development in China[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(11):11-12.
 - [6] 宁辉辉, 赵中原, 邱毓昌. 三峡至常州±500 kV 高压直流输电用晶闸管阀技术特点[J]. 高压电器, 2003, 39(4):62-63.
NING Fenghui, ZHAO Zhongyuan, QIU Yuchang. Technique features of thyristor valve used for ±500 kV HVDC transmission from the Three Gorges to Changzhou[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(4):62-63.
 - [7] 娄殿强, 袁青云. 葛洲坝换流站阀厅火灾事故原因分析[J]. 华中电力, 1996(1):18-22.
LOU Dianqiang, YUAN Qingyun. Analysis of causes of the fire accident in valve hall of the Gezhouba converter station[J]. Central China Electric Power, 1996(1):18-22.
 - [8] 袁青云, 娄殿强, 丁大学. HVDC换流站阀厅防火及消防系统[J]. 华中电力, 1993(6):42-45.
YUAN Qingyun, LOU Dianqiang, DING Daxue. Fire prevention and protection system of valve halls in HVDC converter station[J]. Central China Electric Power, 1993(6):42-45.
 - [9] 孙哲, 李彦斌, 张民. 直流换流站换流阀火灾监视系统及自动灭火方案[J]. 电网技术, 2015, 39(10):2836-2841.
SUN Zhe, LI Yanbin, ZHANG Min. Scheme of fire system and automatic fire extinguishing solution for converter valve of HVDC converter station[J]. Power System Technology, 2015, 39(10):2836-2841.
 - [10] CUSTER R L P, DEMAREST D M, DOBSON P H, et al. Detecting and minimizing potential impacts from valve hall fires[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7(1):281-286.
 - [11] SANTOS R P P, DE AQUINO CARLOS A S, NETO E C, et al. Furnas HVDC system performance and experience[C]//IEEE Proceedings on Transmission and Distribution Conference. [S.l.]:IEEE, 2002:164-169.
 - [12] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ±800 kV 6 400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1):1-8.
SHU Yinbiao, LIU Zehong, GAO Liying, et al. A preliminary exploration for design of ±800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6 400 MW[J]. Power System Technology, 2006, 30(1):1-8.
 - [13] 刘振亚. 特高压直流输电技术成果专辑[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
LIU Zhenya. Research production of UHVDC transmission technique[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
 - [14] 刘振亚. 特高压直流电气设备[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
LIU Zhenya. UHVDC equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
 - [15] 聂定珍, 马为民, 李明. 锦屏—苏南特高压直流输电工程换流站绝缘配合[J]. 高电压技术, 2010, 36(1):92-97.
NIE Dingzhen, MA Weimin, LI Ming. Insulation coordination for converter stations of UHVDC project from Jinping to Sunnan[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(1):92-97.
 - [16] 刘宝宏, 殷威扬, 杨志栋, 等. ±800 kV 特高压直流输电系统主回路参数研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(1):17-21.
LIU Baohong, YIN Weiyang, YANG Zhidong, et al. Study on main circuit parameters for ±800 kV UHVDC transmission[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(1):17-21.
 - [17] 王东举, 邓旭, 周浩, 等. ±800 kV 溪洛渡—浙西直流输电工程换流站直流暂态过电压[J]. 南方电网技术, 2012, 6(2):6-13.
WANG Dongju, DENG Xu, ZHOU Hao, et al. On the DC transient overvoltage in the converter stations of ±800 kV Xiluodu - Zhexi HVDC project[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(2):6-13.
 - [18] 聂定珍, 袁智勇. ±800 kV 向家坝—上海直流工程换流站绝缘配合[J]. 电网技术, 2007, 31(14):1-5.
NIE Dingzhen, YUAN Zhiyong. Research on insulation coordination for converter stations of ±800 kV UHVDC project from Xiangjiaba to Shanghai[J]. Power System Technology, 2007, 31(14):1-5.
 - [19] 刘爱国, 陆道纲, 温家良, 等. 直流换流阀抗震分析技术的研究[J]. 振动与冲击, 2011, 30(2):226-232.
LIU Aiguo, LU Daogang, WEN Jialiang, et al. Seismic Analysis technique of HVDC valves[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(2):226-232.
 - [20] 电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验Z/AD: 温度/湿度组合循环试验: GB/T 2423. 34—2005[S]. 2005.
Environmental testing for electric products-Part 2: Test methods - test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test: GB/T 2423. 34—2005[S]. 2005.
 - [21] 王慧艳, 李侠, 冯松奎. 4 500 A 晶闸管换流阀局部放电问题的分析与处理[J]. 高压电器, 2010, 46(9):86-87.
WANG Huiyan, LI Xia, FENG Songkui. Analysis and treatment of partial discharge excess in 4 500 A thyristor valve[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(9):86-87.
 - [22] 李强, 周敏刚, 陈楠, 等. 特高压直流换流阀单阀交流试验方法研究[J]. 高压电器, 2011, 47(8):1-4.
LI Qiang, ZHOU Mingang, CHEN Nan, et al. Study on AC voltage test method of UHVDC valve[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(9):1-4.

娄彦涛(1982—), 男, 高级工程师, 长期从事高压直流输电系统研究与成套设计、晶闸管阀设计工作。