

The Discussion about Water Cooling System of Static Synchronous Compensator (STATCOM)

Zhaoting Lee

Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou Guangdong
Email: 285919913@qq.com

Received: Dec. 6th, 2017; accepted: Dec. 21st, 2017; published: Dec. 28th, 2017

Abstract

The closed circulating water cooling system is an important part of Static Synchronous Compensator (STATCOM), and it is new equipment for maintenance workers. The cooling method is discussed in this paper. In addition, the composition, structure and characteristics of closed water cooling system and the structure of cooling water way are introduced. Besides, the main fault performance, treatment method and specific processing steps of water cooling system are analyzed. Furthermore, the annual inspection strategy of water cooling system maintenance specialty is discussed. These are to avoid the STATCOM equipment failure or outage due to less experience in the maintenance of new equipment, and improve operational reliability.

Keywords

STATCOM, Water Cooling System, Maintenance Strategy, Time Based Maintenance

静止无功补偿器(STATCOM)水冷系统一次检修的探讨

李昭廷

广州供电局有限公司, 广东 广州
Email: 285919913@qq.com

收稿日期: 2017年12月6日; 录用日期: 2017年12月21日; 发布日期: 2017年12月28日

摘要

密闭式循环水冷系统是静止同步补偿器(STATCOM)设备重要组成部分, 对于检修工种来说是一种新设备。

本文对此冷却方式进行了探讨,介绍了密闭水冷系统的组成结构、特征和冷却水路结构方式;分析了水冷系统的主要故障表现、处理方法和具体处理步骤;探讨了水冷系统的检修专业年度检查策略,力求防止由于对新设备检修经验较少,而造成STATCOM设备故障或停运,提高运行可靠性。

关键词

静止同步补偿器, 水冷系统, 检修策略, 定期检修

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

STATCOM 装置并联于电网中,是目前较为先进的无功补偿设备,其本质相当于一个可控无功电流源,其无功电流可快速跟随负荷的无功电流而改变,从而实现对电网无功功率的动态补偿。相比于传统静止无功补偿器,STATCOM 具有谐波特性较好、响应速度较快、补偿电流不受系统电压影响和无功连续可调等优点。

2. STATCOM 的原理和组成

2.1. STATCOM 的原理

STATCOM 的原理是利用 IGBT 等电力电子元件组成自换相电路,然后经过电抗器并联于大电网,通过调节交流侧电压或电流,从而动态地补偿无功功率。其工作原理可用图 1 所示的单相等效电路图表示,详细工作模式及补偿特性如表 1 所示[1]。

2.2. STATCOM 的组成

STATCOM 一般由阀组单元、控制系统和水冷系统等构成,对于一次检修来讲,需要关注的主要是阀组单元和水冷系统。阀组单元与水冷系统分别如图 2 和图 3 所示。

阀组是由 81 个阀组单元(H 桥功率模块)组成,每相由 27 个单元串联而成。每个单元主要由相模块(2 只)、电容器(4 只)、放电电阻(2 只)、撬杠电路和旁路接触器组成。主要结构如图 4 所示。

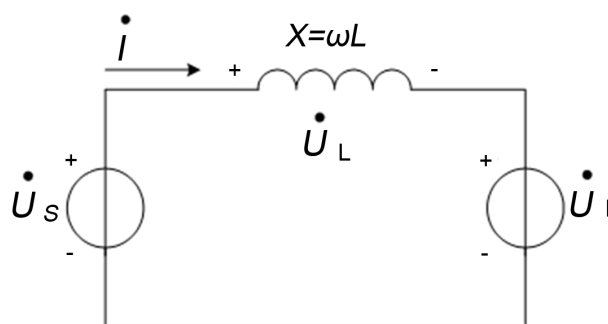


Figure 1. The equivalent circuit and working principle of STATCOM

图 1. STATCOM 等效电路及工作原理

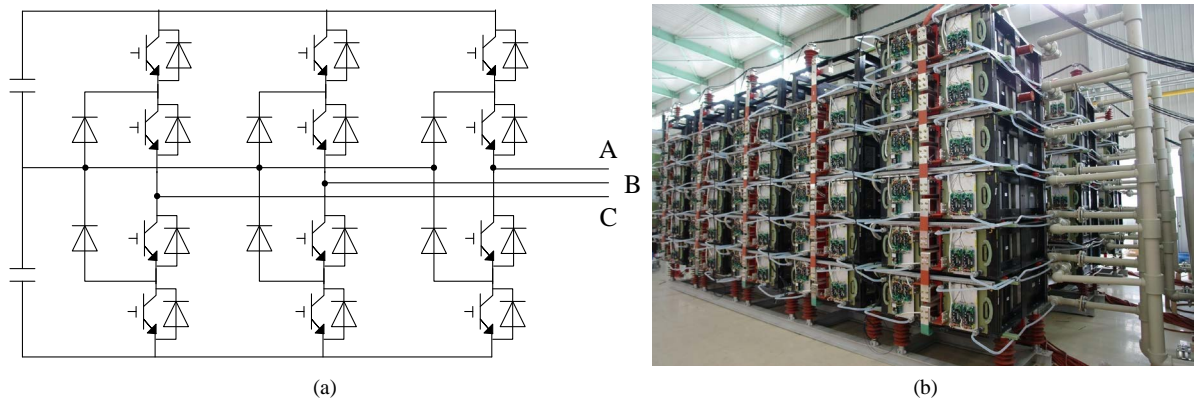


Figure 2. The system of the converter valves
图 2. 阀组系统



Figure 3. The main engine of the water cooling system
图 3. 水冷系统主机

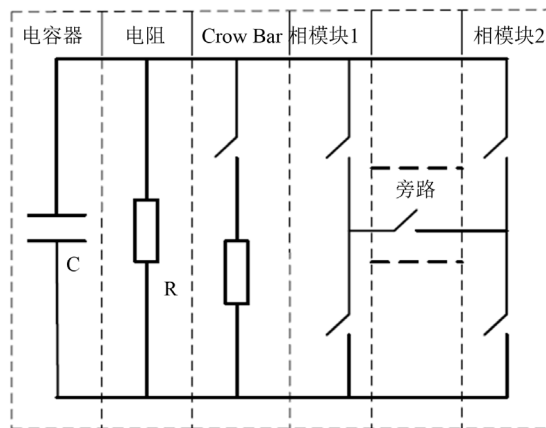
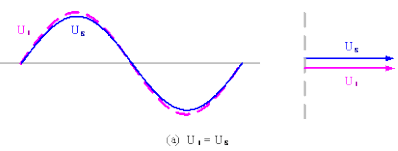
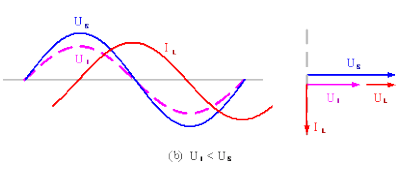
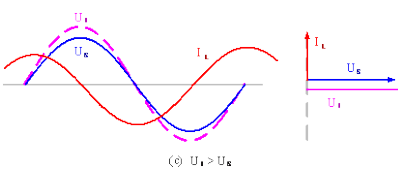


Figure 4. The diagram of the converter valves
图 4. 阀组单元组成简图

Table 1. The operation mode and its compensation characteristics of STATCOM
表 1. STATCOM 的运行模式及其补偿特性说明

运行模式	波形	说明
空 载	 <p>(a) $U_1 = U_2$</p>	如果 $U_1 = U_2$, SVG 不起任何补偿作用。
感 性	 <p>(b) $U_1 < U_2$</p>	如果 $U_1 < U_2$, SVG 输出的无功电流滞后电网电压, SVG 发出感性无功, 且其无功可连续调节。
容 性	 <p>(c) $U_1 > U_2$</p>	如果 $U_1 > U_2$, SVG 输出的无功电流超前电网电压, SVG 发出容性无功, 且其无功可连续调节。

配合链式 STATCOM 主要包含的一次设备有: 换流链(阀组)、水冷系统、连接电抗器、穿墙套管、连接变压器、断路器、隔离开关、电压互感器、电流互感器、母线、防雷装置等。除了换流链和水冷系统外, 其余设备的维护、检修按照电网相应的规定执行。

3. 密闭水冷系统的发展和结构

空气、热管和液体冷却是目前主流的大功率阀组的冷却方式[2]。其中, 强迫空气冷却和冷媒热管主要适用于发热量相对较小的设备, 耗电较高且容易过温跳闸而影响可靠性。液体冷却比空气冷却更为高效, 导热系数较气体冷却提高 2 个数量级。在功率密度很高时, 液体冷却是限制温升的更为实用的方法。纯水在环保方面优于绝缘油等介质, 在液态冷却方式中越来越得到普遍应用[3] [4] [5]。

随着电力电子技术在电力系统中得到广泛使用, 水冷系统单元呈现出集成在电力电子控制系统中的趋势, 使得设备进一步集成, 设计越发紧凑。在冷却系统中, 纯水流动结构方式主要是并流和串流两种, 如图 5 所示[6]。

并流因流阻较低, 有利于增大流量, 提高散热器冷却效率, 但是支路数量多且复杂, 管内流速低, 不利于排气。串流管路简单有利于排气, 但是流阻较大, 系统需要承受较大水压且散热器内流量较小, 相对冷却效率较低。每套 STATCOM 阀组是由 81 个阀组单元, 更适用采用并流方式。

4. STATCOM 密闭水冷系统的组成

STATCOM 密闭水冷系统主要由主循环冷却回路、去离子水处理、补水回路、氮气稳压系统和控制系统等 5 个部分组成, 如图 6 所示。去离子水处理、补水回路和氮气稳压系统合称副循环回路[7]。

主循环回路主要包括一用一备的两台主循环泵、电动三通阀、风冷换热器等。控制器根据各类变流器输入的循环水参数自动控制主循环泵的启动、停止、切换, 同时根据实际情况输出预警及跳闸信号。风冷换热器根据目标温度设定值及当前供水温度, 通过控制 12 台风冷换热器的起/停、切换, 及电动三通阀的开度, 自动调整进入风冷换热器的水流比例, 使水温符合要求。

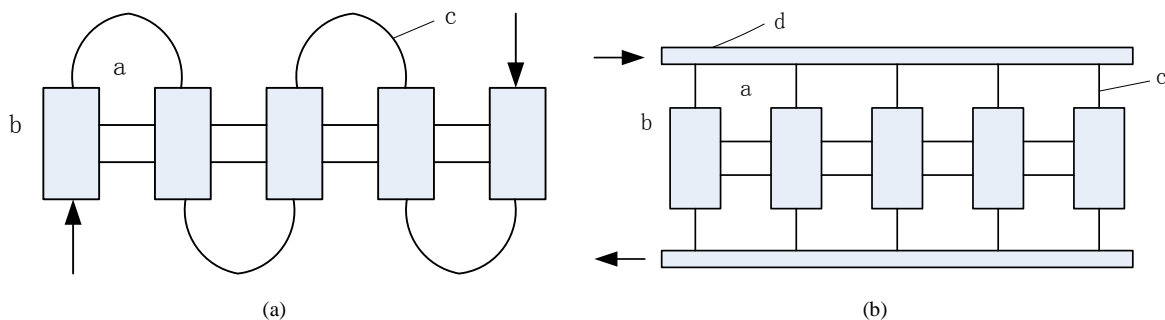


Figure 5. The basic structure of the water cooling system (a) The structure of the series flow in pure water; (b) The structure of the parallel flow in pure water. a—converter valves; b—radiator c—connecting duc d—water main

图 5. 水冷系统基本结构。(a) 纯水串流结构; (b) 纯水并流结构。a—阀组; b—散热器; c—连接导管; d—主水管

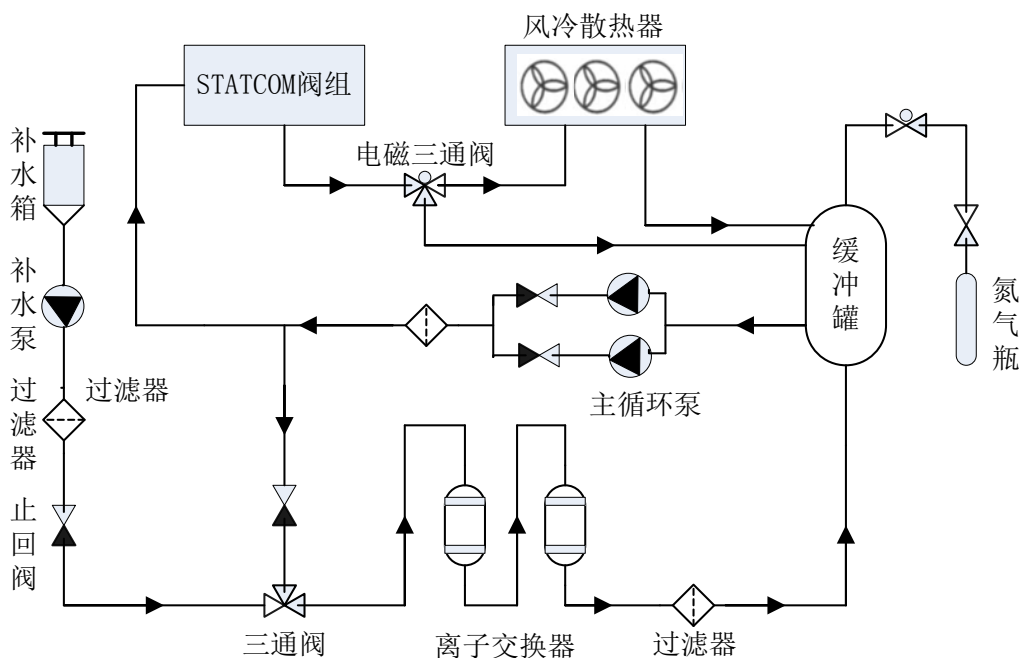


Figure 6. The working diagram of the closed pure water cooling system

图 6. 密闭式纯水冷却系统工作原理图

去离子水处理、补水回路包括离子交换器、三通球阀、补水泵等。离子交换器不断净化副循环回路中的离子，保证冷却介质具备极高的电阻率。进入去离子水处理回路的水流量大小可以通过三通球阀调节。

氮气稳压系统包括缓冲罐、气路电磁阀、氮气瓶等。与缓冲罐连接的氮气恒压系统保持管路中冷却介质的充满及隔绝空气。气路电磁阀由控制器控制，根据缓冲罐压力高低限值而自动开关，从而使缓冲罐的压力稳定在一定范围内，并保证整个水冷系统维持一定的静压。

5. STATCOM 水冷系统故障表现和检修方法

对于变电检修专业而言，STATCOM 水冷系统是一种全新设备。对水冷系统原理和结构进行分析，并结合运行过程中消缺的经验，可以按故障部位将水冷系统故障分为四大类故障，分别为冷却水故障、进出阀故障、主泵故障和缓冲罐故障。他们的缺陷现象、判断方法和处理方法形式如表 2 所示。

Table 2. Four major faults in water cooling system
表 2. 水冷系统四大类故障

类型	缺陷现象	缺陷部位	判断方法	处理方法
冷却水故障	冷却水流量低	水冷系统水流变送器	检查水冷系统水流量变送器是否故障	更换水冷系统水流量变送器
		水冷系统阀门	检查水冷系统阀门位置是否正确	调节水冷系统阀门
		水冷系统主泵	检查水冷系统主泵运转是否正常	更换主泵
	水冷系统渗漏	检查系统管路沿程阀门、法兰连接处，特别是不同材质管道连接处以及阀体配水软管接头	紧固连接处	
冷却水电导率高	水冷系统电导率变送器	检查电导率变送器是否故障	更换电导率变送器	
	水冷系统去离子水流量	检查去离子水流量是否正常	水冷系统可能有特殊污染源，及时排除；加大去离子水流量	
进出阀故障	进阀压力低	水冷系统进阀压力变送器	检查水冷系统进阀压力变送器是否故障	更换水冷系统进阀压力变送器
		水冷系统阀门	检查水冷系统阀门位置是否正确	调节水冷系统阀门
	进阀压力高	水冷系统渗漏	检查系统管路沿程阀门、法兰连接处，特别是不同材质管道连接处以及阀体配水软管接头	紧固连接处
		水冷系统进阀压力变送器	检查水冷系统进阀压力变送器是否故障	更换水冷系统进阀压力变送器
缓冲罐故障	进阀温度高	水冷系统阀门	检查水冷系统阀门位置是否正确	调节水冷系统阀门
		水冷系统主泵	检查水冷系统主泵运转是否正常	更换主泵
	出阀温度高	水冷系统进阀温度变送器	检查水冷系统进阀温度变送器是否故障	更换水冷系统进阀温度变送器是否故障
		水冷系统主泵	检查水冷系统主泵流量是否正确	调节水冷系统主泵流量至设定值
缓冲罐液位低	缓冲罐液位低	水冷系统液位传感器	检查液位传感器是否损坏	更换液位传感器
		水冷系统补水泵	检查补水泵是否故障，阀门阀位是否正确	维修补水泵，调节阀门位置，补液
	缓冲罐压力低	水冷系统补气磁阀	检查补气磁阀是否损坏	更换补气磁阀
		水冷系统氮气	检查氮气瓶压力是否正确	更换氮气瓶或调节氮气瓶阀门
缓冲罐压力高	水冷系统氮气	检查是否正确排气，氮气瓶压力是否正确	调节排气阀门、氮气瓶阀门或更换氮气瓶	

5.1. 一些较为复杂的处理方法步骤

表 2 中列举了四大类缺陷的处理方法，现给出一些较为复杂的缺陷处理方法步骤。需要说明的是，由于 STATCOM 水冷系统缺陷对于变电检修专业而言属于新设备，这些处理方法还需要再实践中不断完善。

5.1.1. 水冷系统主循环管道滤芯清洗及更换

- 1) 停运水冷系统，触摸屏按键调至停止位置，关闭过滤器前后阀门，将手动三通阀调至补液位置；
- 2) 打开主过滤器泄空阀，将介质回收；
- 3) 等介质排完后，松开活动管段，将此段管道拆除，取出过滤器滤芯；

- 4) 用自来水冲洗滤芯, 冲洗水压力至少达到 3 bar, 直到冲洗干净为止;
- 5) 清洗完毕后, 用纯水漂洗 1~2 次, 再将滤芯装回过滤器;
- 6) 恢复相关阀门阀位, 补液至正常液位, 手动启动主循环泵, 观察 30 分钟, 密封处应无渗漏, 主过滤器进出水口压力表显示压差应满足设计要求, 更换完成。

5.1.2. 水冷系统精密过滤器滤芯更换

- 1) 记录去离子水流量计流量, 关闭离子交换器出水球阀, 然后关闭精密过滤器出水截止阀;
- 2) 旋开精密过滤器螺纹, 取下精密过滤器;
- 3) 将滤芯取出, 用纯水冲洗过滤器内壁, 倒置排空后放入新滤芯;
- 4) 按相反方向旋紧精密过滤器;
- 5) 将前后阀门恢复, 检查去离子水流量是否在设计范围内。

5.1.3. 水冷系统电磁阀检修

- 1) 断开控制柜内电磁阀电源, 用万用表测试线圈是否烧毁; 如已烧毁, 按以下步骤更换线圈;
- 2) 利用小螺丝刀拧开电磁阀线圈侧边接头上的螺丝, 拆下电缆接头;
- 3) 利用扳手拧开电磁阀线圈顶端的螺母及垫片, 轻轻向上拔出线圈, 露出底座阀杆; 将新线圈装入底座阀杆
- 4) 将垫片及螺母拧入阀杆螺纹, 用扳手拧紧
- 5) 电缆接头插入线圈的接线柱, 用小螺丝刀拧紧
- 6) 正常, 则可以判定电磁阀阀座孔已堵塞, 更换新电磁阀阀座
- 7) 恢复控制柜电源

5.1.4. 水冷系统清洗维护

- 1) 检查水冷系统动力电源是否正常, 水冷系统所有阀门是否处于正常开启状态, 泄空阀处于关闭状态, 关闭阀门 V102、V104、V103、V105 将去离子回路断开;
- 2) 检查主循环泵控制回路, 确定主循环泵控制回路、动力回路无问题后。手动启动主循环泵;
- 3) 通过释放氮气或排介质方式, 将水冷系统压力调节至额定静压;
- 4) 点动启动主循环泵; 观察系统压力; 调节主循环泵出口阀门, 将水冷系统出口压力调节在额定压力范围内; 如系统运行压力稳定, 保持系统运行;
- 5) 观察主过滤器进出口压力表 PI02、PI03 (当数值出现较大变化, 说明主过滤器堵塞需清洗); 检查主过滤器和临时有无堵塞; 首次运行 30 分钟后需清洗临时过滤器, 没有杂质可将临时过滤器拆除, 如有需再次进行清洗检查, 直至无杂质; 需做好过程记录;
- 6) 系统运行 6 小时后需清洗主过滤器; 检查有无杂质, 如无杂质, 清洗完成; 如有杂质, 需清洗过滤网; 重新安装好过滤器后, 需再次运行 3 小时进行清洗; 再检查; 直至过滤网无杂质, 系统清洗完成; 需做好过程记录;
- 7) 打开水冷系统主机和管路上的泄空阀将水冷系统管路内的冷却介质排空; 待水冷系统冷却介质泄空后, 将打开的泄空阀关闭);
- 8) 完善过程记录;

5.1.5. 水冷系统变送器类更换

- 1) 确认水准系统停运;
- 2) 关闭变送器下检修球阀;

- 3) 拆下控制柜内变送器端子接线;
- 4) 旋松变送器上的插座紧固螺钉, 拔出插座;
- 5) 用扳手固定变送器卡位处, 逆时针方向旋出变送器; 为防止变送器下球阀跟随转动, 应用另一把扳手固定球阀;
- 6) 清除遗留于球阀内密封胶带等杂物残屑(可将球阀略开启, 用水冲出, 注意水流方向不能对着操作人员);
- 7) 在新变送器螺纹处缠绕密封胶带, 注意缠绕密封胶带方向应与螺纹旋进方向一致;
- 8) 按相反顺序安装新变送器。

6. STATCOM 水冷系统检修专业年度检查策略和建议

6.1. 检修专业年度例检策略

水冷系统的缺陷, 是导致 STATCOM 设备退出运行的最大因素。不同于运行专业日常巡视, 检修专业年度例策略得当, 有利于预防水冷系统故障的发生, 提高设备运行的可靠性。

水冷系统每年应进行例检, 对以下项目重点检查并作好记录。

1) 螺栓紧固程度检查

每年对水冷的紧固螺栓进行一次检查, 使用力矩扳手打上规定力矩, 防止由于泵在运行中的震动造成螺栓松脱。

2) 水冷主循环泵检查维护

每年对水冷的电机轴承进行一次保养, 用润滑油进行润滑; 水冷主循环泵按厂家要求每 6 个月加 1 次油。

3) 清洗主过滤器滤芯

每年应用去离子水例行清洗主过滤器滤芯, 防止滤芯发生堵塞。

4) 离子交换器树脂

检查一年内电导率变化情况, 如果有增大的趋势, 则需要更换。

5) 表计检查

每年检查水冷系统进阀温度、出阀温度、供水压力、水位、电导率以及流量表计标示正确。

6.2. 对今后水冷系统应用的建议

密闭式循环水冷却系统是目前高压大功率电力电子冷却方式中优势最明显、应用前景最好的一种。目前在 500 kV 北郊站和 500 kV 木棉站实践表明, 如果在水冷技术上谨慎注意, 合理细致施工, 便可提高水冷运行的可靠性, 从而避免因水冷问题导致的设备故障。以下从一次技术角度提出相关建议, 以期提供借鉴和帮助。

1) 纯水管路尽可能用熔接工艺, 尽可能少用垫片和紧固螺丝, 防止水流振动导致纯水渗漏。注意管道安装工艺, 管道走线要用附有弹性垫片的支架紧固, 增加缓冲, 避免纯水流动振动导致管道衔接处紧固螺丝松动或防水垫片微小移位导致的衔接渗漏。管道设计要有缓冲管路, 以减缓纯水流向的改变或主备水泵工作切换时的振动幅度。

2) 连接主冷却水管的导水管尽可能与阀组单元隔离浮空, 防止导水管在水流振动时不断被触碰, 日积月累导致分支导管出现沙眼, 引起纯水渗漏。

3) 水冷系统水管的安放和熔接在现场完成, 水冷系统温度、流量等传感器要安装在最能有效表示纯水运行状态的位置, 避免采集死区或不具代表性区域。

7. 结束语

随着电网自动化水平的提高,越来越多设备引入到电网中。这些设备往往具有较大的发热量,常常使用密闭水冷系统进行冷却。本文提出了密闭水冷系统主要缺陷的表现和处理方法,给出了主要缺陷处理的具体步骤,探讨了检修专业年度例行检查的策略,给出了一些建议,希望能有以后的密闭水冷系统一次检修带来帮助,提高变电检修应对水冷系统缺陷的处理能力,从而保障系统的安全稳定运行。

参考文献 (References)

- [1] Wang, C., Gao, P., Guo, F., *et al.* (2008) Statistical Analysis of Stability Data of Power System of China. CIGRE, Paris, C4-125.
- [2] 李爱生, 朱韬析. 直流输电工程中阀水冷监控系统的改进建议[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(16): 153-156.
- [3] 高鹏. SVC 水冷却系统技术浅析[J]. 东北电力技术, 2013(12): 20-23.
- [4] 陈建业, 沈英奎. 密闭式循环纯水冷却系统及其在工业中的应用[J]. 电工技术杂志, 2001(9): 31-32.
- [5] 杨茂生, 姜周曙, 王剑. SVC 纯水冷却控制系统研制[J]. 机电工程, 2011, 28(2): 220-223.
- [6] 邓启亮. 变电站 TCR 型 SVC 冷却系统改进方案[J]. 华东电力, 2014, 42(4): 798-801.
- [7] 张丽荣. 氮气压缩机水冷系统进水设备改造[J]. 机械制造, 2010, 48(555): 89-90.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2327-0853, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ojcs@hanspub.org