

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.022

±1 100 kV 换流站户内直流场智能巡检系统设计

彭冠炎¹, 穆峰磊², 官澜³, 刘继权¹, 李天姣⁴

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 5106331; 2. 国网新疆电力公司, 乌鲁木齐 830002;
3. 国网北京经济技术研究院, 北京 102209; 4. 国家电网公司直流建设分公司, 北京 102209)

摘要: 提出±1 100 kV换流站户内直流场智能巡检系统设计方案, 满足±1 100 kV特高压换流站户内直流场设备正常运行而产生的恶劣电磁环境下不进入设计的巡检要求。运行人员不需进入直流场内即可完成直流场主设备日常巡检, 配置双重化的智能巡检设备和巡检设备人工回收的设计方案, 既提高巡检的可靠性, 又能保证在单套巡检设备出现故障时及时进行维修。设计方案提高了巡检工作的自动化程度, 系统既能满足资产全寿命周期管理要求, 又提高设备可靠性和电网安全性。

关键词: 智能巡检系统; 户内直流场; ±1 100 kV换流站; 设计方案

中图分类号: TM721.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8676(2017)04-0118-06

Intelligence Inspection System Design of DC Indoor Switch Yard in ±1 100 kV Converter Substation

PENG Guanyan¹, MU Fenglei², GUAN Lan³, LIU Jiquan¹, LI Tianjiao⁴

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. State Grid Electric Power Company of Xinjiang, Urumqi 830002, China; 3. State Power Economic Research Institute, Beijing 102209, China; 4. State Grid DC Construction Company, Beijing 100052, China)

Abstract: A design scheme for intelligence inspection system of DC indoor switch yard has been present in ±1 100 kV Converter Substation, when the equipment of DC indoor switch yard in ±1 100 kV Converter Substation are working, the design scheme can satisfy inspection requirement under the complex electromagnetic environment so operators don't need to go into the DC indoor switch yard. With the intelligence inspection system operators can complete the daily inspection to main equipment who don't need to enter into DC indoor switch yard. Configuration of dual intelligent inspection equipment and manual recovery of inspection equipment not only improve the reliability of inspection but also maintain it in time when single set of inspection equipment is not working. The design scheme improve the automation degree of inspection, the system can meet the requirements of asset life cycle management requirements and improve the reliability of equipment and power grid security.

Key words: intelligence inspection system; DC indoor switch yard; ±1 100 kV Converter Substation; design scheme

±1 100 kV换流站户内直流场的主要一次设备包括: 旁路断路器、管型母线、直流电流测量装置、直流电压分压器、隔离/接地开关、直流滤波器、电抗器等诸多设备。作为换流站里面一次主设

备, 换流站及整个直流输电系统的运行性能和安全可靠程度与直流场的设备安全运行程度密切相关, 对整个电力系统的运行也有重要的影响。一方面直流场一次主设备需要足够的可靠性, 另一方面需要实时对一次设备进行检测, 以便发现并检修存在的隐患设备, 确保换流站系统安全运行^[1]。因此, 对直流场的设备进行实时监控和定期巡检工作必不可少, 巡检工作对保证其安全可运行具有重要的意义, 目前换流站直流场普遍采用人工定期巡检对设备进行监视, 人工定期巡检存在以下问题。

收稿日期: 2017-10-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“特高压阀厅、户内直流场智能巡检系统”(EX03601W)

作者简介: 彭冠炎(1982), 男, 广东化州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事换流站设计工作(e-mail) pengguanyan@gedi.com.cn。

1) 人工定期巡检方式需要耗费大量的人力、物力及财力, 而且巡检人员的经验技能、身心状态可能决定设备运行的可靠性。

2) 国内换流站针对设备按照 2 个标准偏差计算空气净距, 如人无防护状态下直接进入户内直流场, 需按照 5 个标准偏差计算空气净距, 即使根据国外成套设计方按照 4.26 个标准偏差计算空气净距本工程空气净距也达到了 28 m, 要满足 28 m 的空气净距使得户内直流场建筑面积大大增加, 提高投资。

3) 若设置法拉第笼巡视走道, 则一方面法拉第笼走道需按双层屏蔽设计, 较为复杂, 且在巡视过程中如发生火灾, 不利于逃生。另一方面, 在设备检修吊装时, 需要拆卸屏蔽笼。由于不利于逃生和影响检修, 只能少量设置法拉第笼巡视走道, 达不到巡视的效果。

随着智能设备及技术的发展, 可采用智能巡检系统代替人工巡检方式, 可使得户内直流场带电间隙按不进入设计, 大幅减小空气净距, 从而减少建筑面积和投资^[2-3]。同时能达到 24 h 不间断的掌握直流场设备运行状态, 并实现对直流场设备运行状态的辅助评价, 达到“故障预知、故障预防、故障预维”的效果。

目前国内 ± 500 kV、 ± 800 kV 电压等级换流站阀厅都安装了垂直轨道式阀厅红外测温系统, 并且设置了检修平台。正常运行过程中运行人员可以在检修平台中通过手持红外测温仪器实现阀厅的辅助巡视。文章提到的 ± 1100 kV 换流站的户内直流场正常运行情况下运行人员不允许进行直流场, 因此 ± 1100 kV 电压等级的户内直流场的智能巡检系统的配置及功能与换流站阀厅的红外测温系统有所不同。

1 智能巡检系统工作原理

1.1 系统构架

户内直流场智能巡检系统主要包括后台监控系统、通信系统、轨道式巡检系统、辅助固定点监控系统, 系统构架如图 1 所示。

户内直流场智能巡检系统包括垂直/水平轨道式巡检机器人、高清摄像机、地面巡检机器人及后台监控系统等。

巡检设备本体作为整个系统的核心, 集成红外热像仪、可见光摄像机、高灵敏度拾音器等多种传感器; 运动控制系统通过精确的导航和设备定位控

制巡检设备, 完成预先设定任务, 对直流场进行巡检。每个监控头自成独立体系, 独立运行, 互不干扰, 如遇到故障可快速查找定位及排除, 同时还具有良好的扩展性。

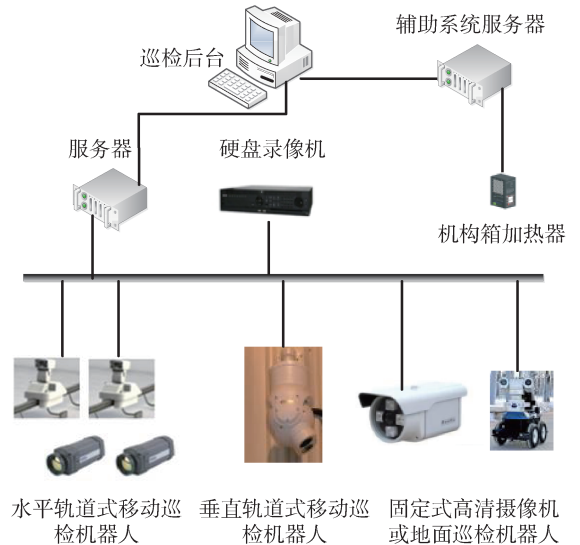


图 1 直流场智能巡检系统构架图

Fig. 1 The system framework of intelligence inspection system

可见光图像、红外图像通过视频服务器的视频流数据和移动体控制系统信息等数据汇集至系统屏柜, 经工业交换机传至后台监控系统, 根据访问权限实时浏览直流场内的音频、可见光和红外视频图像、巡检设备本身的运行情况等相关信息, 并可控制巡检设备移动体的运动等^[4]。

1.2 通信系统

考虑到直流场现场电磁环境复杂, 为了降低干扰, 提高系统稳定性, 在换流站站现场通过光缆传递视频信号和数字信号^[5-6]。每个监控点只需一根光纤连接即可, 取代传统大量的模拟信号电缆、以太网电缆、控制信号电缆等, 通信结构如图 2 所示。

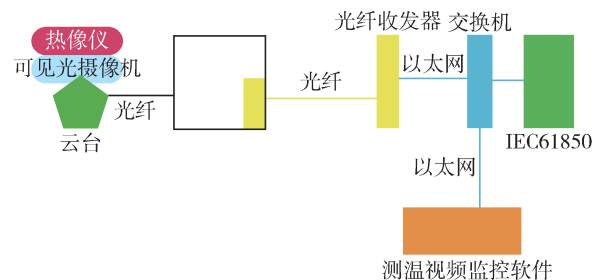


图 2 直流场智能巡检通信结构图

Fig. 2 The communication framework of intelligence inspection system

1.3 现场数据采集系统

现场数据采集系统主要由传感器系统和智能云台控制系统组成^[7]。传感器包括可见光数据采集、红外测温等,其中可见光数据采集主要是直流场内设备外形是否异常,开关/刀闸的合分状态,电容器渗漏油;红外测温主要是采集直流场设备的发热温度。智能云台控制系统,主要搭载云台的滑动系统和控制传感器动作的直流伺服系统,通过控制可自由旋转的探测传感器来跟踪目标,其系统框架如图3所示。

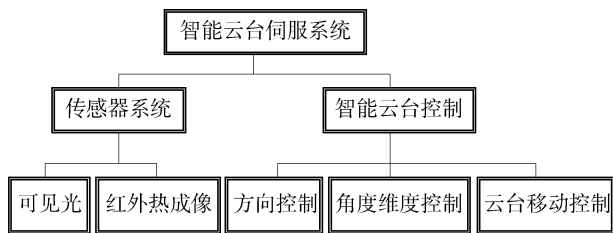


图3 现场数据采集系统构架

Fig. 3 The framework of data collection system

1.4 红外热像仪设备选型

智能巡检设备中核心设备为红外热像仪,其空间分辨率 = 像间距/镜头焦距,空间分辨率决定着热像仪的清晰度,是热像仪所能测量的最小尺寸。它与光学像质,光学会聚系统焦距和红外传感器的线性尺寸相关^[8-9]。在视场角 $25^{\circ} \times 19^{\circ}$ 的情况下 $640 \text{ 像素} \times 480 \text{ 像素}$ 和 $384 \text{ 像素} \times 288 \text{ 像素}$ 的红外测温仪所测的点计算如下。

$640 \text{ 像素} \times 480 \text{ 像素}$ 的红外测温监测设备的像间距为 $17 \mu\text{m}$,焦距为 25 mm ,其空间分辨率为 0.68 mrad 。 $\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站户内直流场红外热成像到一次设备最远距离按照 30 m 计算,空间分辨率为 0.68 mrad 的红外热像仪的在距离为 30 m 的情况下长度为 20 cm 物体的热成像点数 = 长度/距离/空间分辨率 = 10 个点。

$384 \text{ 像素} \times 288 \text{ 像素}$ 的红外测温监测设备的像间距为 $17 \mu\text{m}$,焦距为 15 mm ,其空间分辨率为 1.13 mrad 。相同条件下长度为 20 cm 物体热成像点数为 6 个点。

常规换流站的换流阀属于精密的电子设备,一般情况下长度为 10 cm 需显示 10 个热成像点,换流站的直流场设备是高压电力一次设备,可考虑最远距离情况下长度为 20 cm 显示 6 个热成像点已经可以满足要求。另外 $384 \text{ 像素} \times 288 \text{ 像素}$ 的红外测温监测设备相对 $640 \text{ 像素} \times 480 \text{ 像素}$ 造价低很多,

因此从安装的效果和经济性进行比较换流站户内直流场可采用采用 $384 \text{ 像素} \times 288 \text{ 像素}$ 的红外测温监测设备^[10]。

2 智能巡检系统应用在户内直流场的特点

智能巡检系统应用在 $\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站户内直流场有以下优点^[11]。

1)节能环保:智能巡检系统不需独立的检修通道,充分利用直流场土建结构柱的空间使得户内直流场带电间隙按对设备距离计算,大幅减小空气净距,从而减少建筑面积和投资,使得 $\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站户内直流场布置紧凑,节省占地面积。

2)智能高效:智能巡检系统可以全天候对户内直流场的重要设备的故障温升及运行状态进行 24 h 的监控。采集到的温度数据可按要求逐级发送到计算分析监控中心或监控室,由服务器或计算机进行温度数据的自动处理和分析,早期定位关键设备的潜在故障,以报警方式提供检修信息。实时监控信息能第一时间反馈 $\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站户内直流场开关设备、电容器设备的状态,使得运行人员及时掌握换流站户内直流场设备的运行状态。

3)安全可靠:智能巡检系统属于非接触测量的方式,无需停电维护,不会影响运行设备正常运行,大大减轻运行维护人员的劳动强度,提高巡检效率。系统实时在线监测,在设备出现问题的初期,即可及时发现设备异常避免事故的发生。为户内直流场关键设备的“故障预知、故障预防、故障预维”提供了有效的解决方案。

$\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站属于世界首创,其直流场电磁环境较复杂,直流场正常运行时运行人员在没有保护措施的情况下是不允许进入直流场,因此想掌握直流场设备的运行状况必须通过智能巡检系统来实现。因此智能巡检系统固有的优点结合 $\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站户内直流场不进人的设计背景使得智能巡检系统是 $\pm 1100 \text{ kV}$ 换流站户内直流场巡检的唯一可行方案。

3 智能巡检系统的工程设计方案

3.1 双水平滑轨双巡检设备布置

需巡检的点如设备进出线,设备连接线,刀闸动静触头、基座连接线、软连接、拐臂软连接,地刀动静触头,所有管母线接头、连接线等高度大多

为距离地面 19 m 左右。

1100 kV 户内直流场一次设备布置方案如图 4 所示, 直流场的一次设备近似为“L”布置, 直流场横向有一次设备布置的区域约为 70 m, 纵向有一次设备布置的区域约为 50 m, 由于横向的两边钢结构约为 78 m, 智能巡检系统的可视范围为 50 m, 因此需要在横向的钢结构两边都安装巡检轨道及巡检设备, 直流电容器区域单独布置垂直式的巡检设备, 因此单极户内直流场水平布置 70 m、50 m 及 35 m 水平滑轨及其巡检设备各配置 2 套, 共 6 套, 直流场双水平滑轨双巡检设备布置图如图 4 所示。

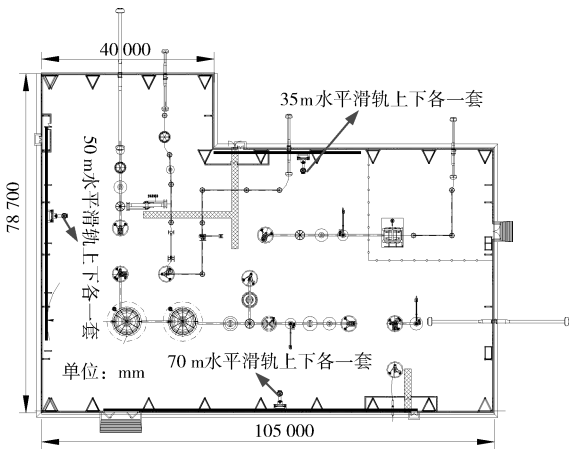


图 4 直流场水平滑轨智能巡检平面布置示意图

Fig. 4 The layout of horizontal guide rail to intelligence inspection system

每两套在直流场内分层布置, 水平滑轨机器人的分层布置高度离地面为第一层 21 m, 第二层 23 m, 巡检设备分层布置如图 5 所示。基于三维仿真软件建立的智能巡检设备的仿真模型如图 6 所示。

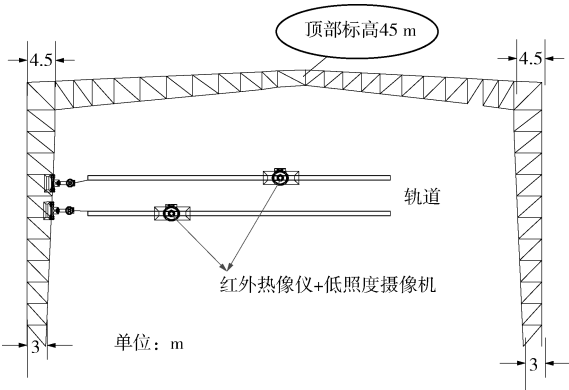


图 5 直流场水平滑轨智能巡检设备分层布置示意图

Fig. 5 The delamination layout of horizontal guide rail to intelligence inspection system

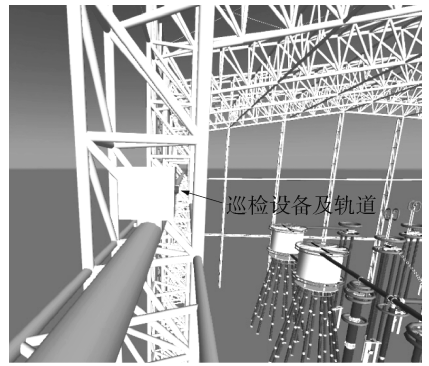


图 6 单套直流场水平滑轨智能巡检设备三维示意图

Fig. 6 The 3-D graphical representation to horizontal intelligence inspection system

每 2 套带水平滑轨的巡检设备分层布置, 可手动控制, 也可智能控制。完成设备进出线, 设备连接线, 刀闸动静触头、基座连接线、软连接、拐臂软连接, 地刀动静触头, 所有管母线接头、连接线等重要点测温及开关/刀闸的合分闸指示及设备运行状态的巡检内容。

3.2 双垂直滑轨双巡检设备布置

直流滤波器的电容器布置如图 7 内椭圆形框所示, 考虑到直流滤波器的电容器安装高度由 4 ~ 24 m 均有分布, 故电容器附近区域安装双垂直滑轨双巡检设备的巡检系统, 巡检设备布置图如图 7 和图 8 所示。基于三维仿真软件建立的智能巡检设备的仿真模型如图 9 所示。双垂直滑轨双巡检设备针对电容接头发热、漏油检查及其附近进出线进行巡检。

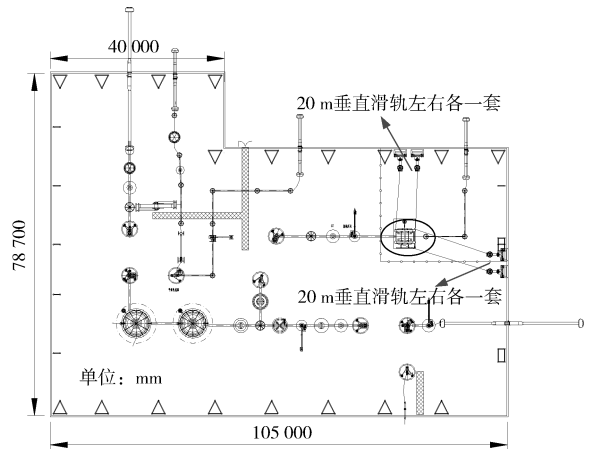


图 7 直流场垂直滑轨智能巡检平面布置示意图

Fig. 7 The layout of vertical guide rail to intelligence inspection system

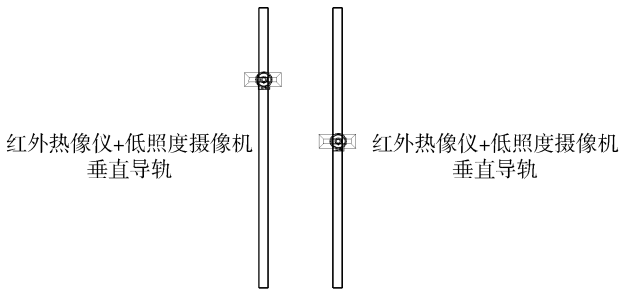


图8 直流场垂直滑轨智能巡检水平分布示意图

Fig. 8 The distribution layout of vertical guide rail to intelligence inspection system

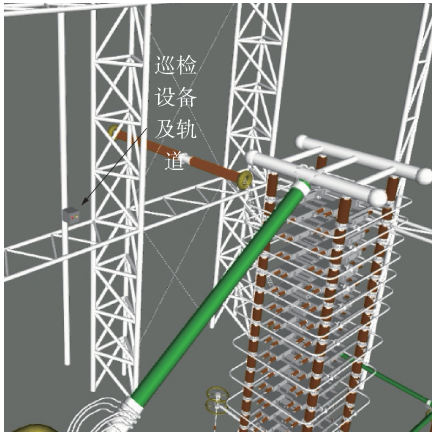


图9 单套直流场垂直滑轨智能巡检三维示意图

Fig. 9 The 3-D graphical representation to vertical intelligence inspection system

3.3 设备布置方案特点

1) 充分利用结构柱的空间, 滑轨安装于结构柱或者两个结构柱之间的空间内, 不因为带电距离而增加户内直流场的尺寸, 可以满足直流场不进人设计而达到巡视的效果, 大大节省了直流场的面积。

2) 主巡视设备双轨互为备用的设计有效避免了单套巡视设备故障导致无法正常巡视的问题, 大大提高运行可靠性。

4 智能巡检系统的检修方案

不在停电计划检修期间出现双套直流场巡检设备故障导致直流场不能正常巡检, 此时需在直流场带电的情况下进行巡检设备检修, 因此要在直流场的指定位置安装相应的屏蔽笼。采用人工手动收回方式将出现故障的巡检设备返回到屏蔽笼附近, 屏蔽笼顶部采用可开窗口设计, 可实现在屏蔽笼内对设备进行检修或更换, 轨道机器人手动收回配置相应固定端和收回终端, 检修工作示意图见图 10

所示。

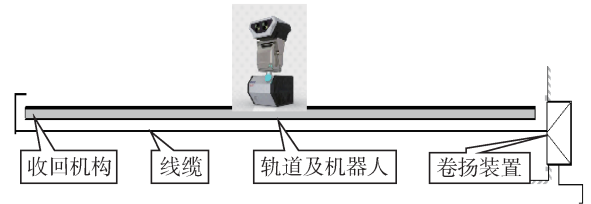


图10 巡检设备回收装置示意图

Fig. 10 Recovery device of intelligence inspection system

固定端安装在机器人收回专用开口处, 而收回终端则安装在机器人轨道运行的最末端位置。固定端与收回终端通过柔性线缆或者钢丝绳连接; 线缆沿机器人的轨道敷设, 与轨道保持固定距离。在固定端有手摇式线缆卷扬装置, 而在收回终端则有一收回机构。机器人一旦在任意位置发生故障而无法运行, 通过手摇固定端的卷扬装置, 使得线缆带动收回机构沿轨道往固定端运行, 收回装置一旦碰到抛锚在轨道任意位置的机器人, 则推动机器人一起往固定端运行, 直至回到收回开口位置, 完成机器人的收回。机器人维修完毕后, 可通过机器人自主运行, 将收回机构带回轨道机器人运行位置的末端, 完成回收装置的复位, 以备下次使用。

5 结论

本文提出的智能巡检系统方案设计能实现对设备的热缺陷、合分状态、外观异常的判别; 系统设备智能自动化, 实时数据及时反映到监控后台, 大大提高巡检工作的自动化; 系统能满足资产全寿命周期管理要求, 在提高设备可靠性和电网安全性、提升输电能力、降低寿命周期内的成本等方面都有着较好的优势, 主要解决以下问题。

1) 解决了以往人工定期巡检方式带来的耗时、耗力及因为带电间隙需增加户内直流场建筑物尺寸的问题。

2) 解决了户内直流场不进人设计以及高电磁场的存在导致运行人员无法定期巡视现场的问题。

3) 双套巡视设备互为备用的设计有效避免了单套巡视设备故障导致无法正常巡视的问题。

4) 解决了突发故障无法得到有效分析判断控制预防的难题, 真正实现了直流场内重要设备的运行温度超过设定温度值时, 实时报警, 提醒设备监护人员及时采取适当的措施。

参考文献:

- [1] 李国尧,刘盛,徐峰,等. 柔性直流换流站阀厅设备温度监测[J]. 电力建设, 2013, 34(6): 92-94.
LI G Y, LIU S, XU F, et al. Temperature monitoring of valve hall in flexible DC converter station [J]. Electric Power Construction, 2013, 34(6): 92-94.
- [2] 周立辉,张永生,孙勇,等. 智能变电站巡检机器人研制及应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 85-88+96.
ZHOU L H, ZHANG Y S, SUN Y, et al. Development and application of equipment inspection robot for smart substations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 85-88+96.
- [3] 朱静,孙德利,孙艳鹤. 阀厅智能巡检机器人系统的红外成像设备定位[J]. 电子设计工程, 2016, 24(19): 152-154+158.
ZHU J, SUN D L, SUN Y H. Infrared imaging equipment positioning in the intelligent inspection robot of valve hall [J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(19): 152-154+158.
- [4] 王超,丁志林. ±500 kV换流站阀厅智能巡检监控系统研究与设计[J]. 工业控制计算机, 2015, 28(3): 61-63.
WANG C, DING Z L. Intelligent inspecting and monitoring system in valve hall of ±500 kV convert-station [J]. Industrial Control Computer, 2015, 28(3): 61-63.
- [5] 王元友,王惠芳,崔鹏伟. 智能巡检机器人系统设计与实现[J]. 青海电力, 2015, 34(4): 1-3+7.
WANG Y Y, WANG H F, CUI P W. Design and realization of intelligent inspector robot system [J]. Qinghai Electric Power, 2015, 34(4): 1-3+7.
- [6] 张志飞. 变电站机器人智能巡检系统应用研究[D]. 保定:华北电力大学, 2015.
- [7] 毛琛琳,张功望,刘毅. 智能机器人巡检系统在变电站中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(9): 30-32+36.
MAO C L, ZHANG G W, LIU Y. Application of intelligent robot iterative inspection system in substation [J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(9): 30-32+36.
- [8] 范希文. 电力设备智能巡检系统的设计与实现[D]. 大连:大连理工大学, 2016.
- [9] 麦洪,何胜红,霍丹,等. 基于红外测温技术的变电站测温系统的设计与实现[J]. 广东技术师范学院学报(自然科学版), 2015, 36(2): 31-35.
MAI H, HE S H, HUO D, et al. Design and realization of substation temperature measuring system based on infrared temperature measurement technology [J]. Journal of Guangdong Polytechnic Normal University (Natural Science Edition), 2015, 36(2): 31-35.
- [10] 田俊梅,刘民凯,付文华. 变电站实时全景红外智能测温系统研究[J]. 电学学报, 2014, 29(4): 309-312.
TIAN J M, LIU M K, FU W H. Real-time panoramic infrared intelligent temperature measuring system research of the substation [J]. Journal of Electric Power, 2014, 29(4): 309-312.
- [11] 岳增坤,杨帆. 基于换流站的智能辅助控制系统研究[J]. 南方能源建设, 2015, 2(3): 118-121.
YUE Z K, YANG F. Research on intelligent auxiliary control system based on convertor station [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3): 118-121.

(责任编辑 高春萌)

(上接第75页 Continued from Page 75)

- HAN G B. Effect and maintenance of serial reactor of 500 kV Zongjiang-Baoan transmission line [J]. Science & Technology Information, 2014(34): 96-97.
- [5] 尹元明,谢天喜,周志成,等. 500 kV线路安装串联电抗器后断路器 TRV 分析[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(6): 45-47.
YIN Y M, XIE T X, ZHOU Z C, et al. TRV analysis on circuit breaker after installation of 500 kV serial reactor [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(6): 45-47.
- [6] 贾磊,蔡汉生,胡上茂,等. 500 kV 串联电抗器对线路断路器开断能力的影响研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8(6): 7-11.
JIA L, CAI H S, HU S M, et al. Analysis of impact of 500 kV serial reactor on breaking capacity of circuit breaker [J]. Southern Power System Technology, 2014, 8(6): 7-11.
- [7] 王向平. 带串联电抗的线路保护配置方案[J]. 电力建设, 2009, 30(11): 17-20.
WANG X P. Configuration scheme of transmission line protection on transmission line with serial reactor [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(11): 17-20.
- [8] 徐宁,王莹,许文超,等. 高压串联电抗器在南京 220 kV 电网中的应用分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(5): 34-36.
Xu N, Wang Y, Xu W, Application analysis of serial reactor in 220 kV power grid in Nanjing [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(5): 34-36.
- [9] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 高压配电装置设计技术规程: DL/T 5352—2006 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
People's Republic of China national development and Reform Commission. The design regulation of high voltage power distribution device: DL/T 5352—2006 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [10] 国家能源局. 220 kV~750 kV 变电站设计技术规程: DL/T 5218—2012 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
National Energy Administration. The design regulation of 220 kV~750 kV substations: DL/T 5218—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [11] 国家能源局. 500 kV 干式空心限流电抗器使用导则: DL/T 1284—2013 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
National Energy Administration. The using guide of 500 kV dry-type air core current-limiting reactor: DL/T 1284—2013 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2014.
- [12] 项祖涛. 500 kV 纵宝线路串联电抗关键电气技术条件及电磁暂态研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2013.

(责任编辑 郑文棠)