

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.023

±800 kV 柔直换流站全封闭阀厅智能巡检系统研究

张雪焱, 伦振坚, 侯婷, 黄莹, 吴梦凡

- (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 510663;
2. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广州 510663;
3. 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局, 广州 510663)

摘要: [目的]换流站阀厅内电气主设备的运行状态监控和巡检对保证换流站的安全可靠运行具有重要意义。[方法]以±800 kV 柔直阀厅的巡检需求作为研究出发点,并结合了±800 kV 柔直阀厅全封闭设计的特点以及换流站运行的经验。[结果]研究得到适用于±800 kV 柔直全封闭阀厅的智能巡检系统方案。[结论]智能巡检系统设备高度集成化,可大大提高巡检工作的自动化水平,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。

关键词: 柔性直流; 换流站; 阀厅; 智能巡检

中图分类号: TM7; TM721.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)04-0144-08

Research on Intelligent Inspection System in Enclosed Valve Hall of ±800 kV VSC-HVDC Converter Station

ZHANG Xueyan, LUN Zhenjian, HOU Ting, HUANG Ying, WU Mengfan

- (1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510663, China;
3. Guangzhou Bureau of CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] The real-time monitoring and regular inspection for the primary electrical equipment in valve hall is extremely important to safety operation of converter station. [Method] In this study we investigated the demand of regular inspection of ±800 kV VSC-HVDC converter station, combined with the character of valve hall and operational experience in of converter station. [Result] The complete solution of intelligent inspection system in enclosed valve hall of ±800 kV VSC-HVDC converter station is provided. [Conclusion] Therefore, due to highly integrated of the proposed solutions, the automation level of inspection works will be increased dramatically.

Key words: VSC-HVDC; converter station; valve hall; intelligent inspection system

柔直换流站阀厅的主要一次设备包括: 换流阀、管型母线、避雷器、桥臂纯光式电流互感器、电子式电压分压器、隔离开关、接地开关以及设备间的连接导线等诸多设备。阀厅设备是换流站里面最核心的一次主设备,影响整个换流站的安全可靠程度及运行性能,对电力系统的运行也有重要的影

响^[1-2]。具有高可靠性是对阀厅内一次主设备的第一要求,这就需要对一次设备进行实时检测及定期巡检,以便及时发现设备存在的隐患,确保换流站安全运行。因此,对阀厅设备进行实时监控及定期巡检工作是必要的,巡检工作对保证其安全可运行具有重要的意义^[3]。

根据各电网公司反事故措施、红外及紫外诊断相关规程规范及运行经验,换流站的阀厅巡检需涵盖可见光、红外及紫外诊断的巡检内容,及时掌握阀厅内设备的运行状态,保证系统安全稳定运行。对于±800 kV 柔直全封闭阀厅及其换流阀,由于尚

收稿日期: 2019-04-27 修回日期: 2019-06-16

基金项目: 南方电网有限责任公司科技项目“±800 kV 特高压大容量柔性直流阀厅电气设计原则研究”(ZBKJXM20170067)

未有成熟的工程可参考, 阀厅内部电磁环境设备的放电状况尚未有工程数据可以参考, 因此有必要研究并进一步完善阀厅巡检系统。

1 巡检方案对比与选择

1.1 巡检方案对比分析

对于电力设备的巡检设备的监测方案有人工定期巡检、可见光红外双舱巡检、紫外电晕成像巡检^[4-6]。三种方案优缺点比较如表1所示。

表1 巡检方案对比

Tab. 1 Contrast of three inspection method

性能对比	人工定期巡检	可见光热成像巡检	紫外电晕成像巡检
人工投入	高	低	低
发热缺陷	定期监测	实时监测	无
电晕监测	定期监测	无	实时监测
投资成本	低	中	高
适合全封闭阀厅	不适合	适合	适合
监测全面性	不能连续监测	连续监测 发热缺陷	连续电晕 放电缺陷
建筑面积	要求有专门巡检通道, 建筑面积较大	不需专门 巡检通道	不需专门 巡检通道

综合分析三种巡检方式, 每一种巡检方式各有优点和缺点。人工定期巡检投资成本低, 但费时费力, 要求阀厅建筑面积较大且监测数据不完善, 可见光热成像巡检及紫外电晕成像巡检投资成本稍高, 但实现在线监测, 单可见光热成像巡检对设备产生电晕放电缺陷无法实现有效的监测, 紫外电晕成像对设备发热的缺陷无法实现有效的监测。因此要实现阀厅内全面智能巡检需要采用可见光、红外热像仪及与红外互补的紫外电晕成像三种监测设备。

1.2 适用于 ± 800 kV 柔直阀厅的智能巡检方案

目前紫外、红外热成像检测大都停留在便携式操作检测, 对存储的电晕图像、电晕视频、热图像往往停留在后台PC机上的分析诊断, 只能是间断性的分析控制, 不能对电晕、热分布场实时监控和诊断的故障性质等操作。目前, 国内电网企业现行的设备检修策略仍以定期计划检修为主, 并辅以一定程度的状态检修。这样的检修模式已越来越不适应电力企业的发展, 所以需要以设备状态为基础, 以预测设备状态发展趋势为依据而实施检修, 减少无谓的、过度的检修。

近年来, 换流站逐步开始在阀厅内安装可见光红外双舱巡检设备, 逐步将阀厅内人工定期巡检改造为智能巡检系统。同时电晕监测作为状态检修平台中不可或缺的数据, 也是判断一个设备有无缺陷的重要参数。目前设备温度和电晕的监测主要以巡检数据为主, 鲜有工程将电力设备温度的红外和电晕紫外同时在线监测, 做到实时性、准确性和针对性。结合 ± 800 kV 柔直换流站全封闭阀厅的特点, 本文的阀厅智能巡检系统采用一套结合可见光、红外和电晕紫外综合的巡检系统, 并配置智能巡检系统的后台专家分析系统。

2 智能巡检系统设备选型

2.1 巡视设备载体选择

巡视设备的载体有水平轨道移动式、垂直轨道移动式 and 固定式三种设备载体, 三种设备载体均带可预置位置及远程控制的云台结构, 实现巡视设备的转动。

水平轨道移动式载体, 载体有水平轨道加移动平台组成, 设备在一个水平面上移动, 通过云台控制设备的仰视和俯视, 水平移动载体适用于监测设备高度大部分处于同一水平高度的设备。

垂直轨道移动式载体, 载体有垂直轨道加移动平台组成, 设备在一个垂直面上移动, 通过云台控制设备的左视和右视, 垂直移动载体适用于监测设备高度较高的设备, 实现设备本体由底部到顶部高度的监测。

固定式载体是将云台直接固定在支架上, 通过控制云台实现设备的转动、仰视、俯视图等。

根据 ± 800 kV 柔直阀厅的设备布置, 巡视设备的载体只能选择固定式, 通过承载巡视设备的云台固定在阀厅顶部, 通过优化的布置方案实现对阀厅所有设备的巡视。该方案简单、维护工作量少, 安装方便, 监测效果良好。

2.2 巡视设备选择

2.2.1 可见光摄像头

可见光采用 20 倍光学变焦, 最大分辨率可达 $1\ 920 \times 1\ 080$ 像素的可见光摄像头, 有效监视的距离达到 100 m, 经过布点的优化能全覆盖阀厅监视。

2.2.2 红外热像仪

决定一个红外热像仪热成像的效果的主要参数为: 像素数及像元尺寸、镜头焦距、空间分辨率、

视场角及识别距离。

1) 像素数及像元尺寸

目前应用在变电站、换流站的红外测温系统的红外热像仪的像素数有两种,一种是 384×288 pixels,一种为 640×480 pixels。考虑到阀厅内有IGBT等精密的器件,为了达到更好的热成像的效果,选择像素数为 640×480 pixels,像元尺寸为 $17 \mu\text{m}$ 的红外热像仪。

2) 镜头焦距及空间分辨率

红外热成像因为温度与辐射的算法中需要对镜头的红外透过率和距离进行计算和补偿,所以红外热像仪都采用定焦镜头。镜头焦距是决定热像仪的探测距离的最重要的因素。镜头焦距直接决定了目标所成的像的大小,也就是在焦平面上占几个像素。通常这是用空间分辨率(IFOV)来表示,空间分辨率(IFOV) = 像元尺寸(d)/镜头焦距(f),单位为毫弧度 mrad。镜头的焦距及空间分辨率的选择需根据实际工程的识别距离要求进行选择。

3) 视场角

视场角也称为总视场角或扫描视场角,表示热像仪位置固定时,所能观察到最大空间角度范围。

视场角分为水平视场角和垂直视场角:

水平视场角 = 空间分辨率 \times 水平像素数 / 17.45

垂直视场角 = 空间分辨率 \times 垂直像素数 / 17.45

4) 测温距离

一般来说,测温热像仪能够准确测量目标温度一般需要9个像素,而识别只需要4个像素,所以可根据此计算出热成像仪一定距离下有效测温的最小尺寸。

识别最小尺寸 = 目标距离 \times 空间分辨率 \times 4(识别需要像素的个数);

有效测温最小尺寸 = 目标距离 \times 空间分辨率 \times 9(有效测温需要像素的个数)。

根据工程经验,阀厅内设以能准确测量有效高度为10 cm的设备的准确温度为标准,目标测温距离根据阀厅内设备的发热点与红外热像仪的安装位置确定。

2.2.3 紫外成像仪

决定一个紫外成像仪的效果的主要参数与红外热像仪基本一致,区别于红外热像仪采集的是发热点,紫外监测是采集紫外光子数。

阀厅紫外热像仪的作用主要用于检测穿墙套管

和绝缘子等重要由于设备表面的微裂纹等原因导致放电的现场,而穿墙套管及绝缘子几乎在整个阀厅从地面到顶部均有布置。可根据阀厅的尺寸和阀塔的布置考虑一定的裕度确定阀厅紫外成像仪的监测距离。

3 智能巡检系统组成及功能

3.1 系统构架及设备组成

± 800 kV 柔直阀厅智能巡检系统主要包括后台监控系统、通信系统、云台、红外热像仪、可见光摄像机、紫外成像仪、拾音器等设备。现场监测设备由红外视频单元、紫外视频单元、可见光高清摄像头、视频处理及传输单元、室外一体化云台、防护罩、控制箱组成。设备安装方便,有利于现场单元的扩展。各视频单元可对现场的多个目标进行实时检测,也能进行定期巡航检测。可将其中两种或三种进行组合成一个多功能的巡检设备,双舱巡检设备集成红外监测和可见光监视的功能,三舱巡检设备集成紫外监测、红外监测和可见光监视的功能。巡检系统构架如图1所示。

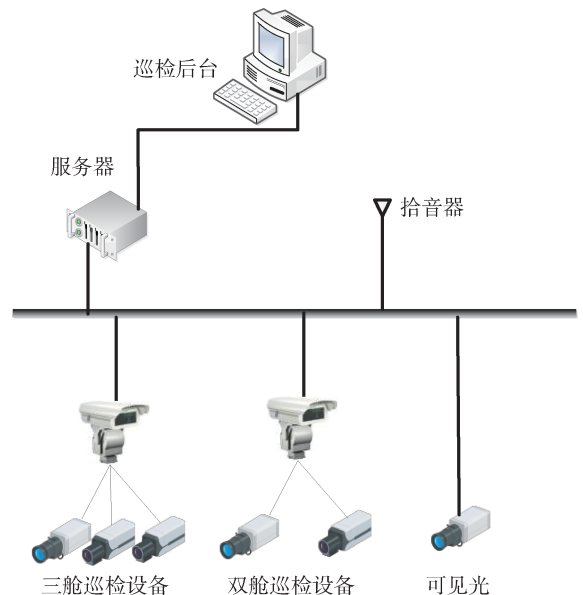


图1 ± 800 kV 柔直阀厅智能巡检系统构架图

Fig. 1 System diagram of intelligent inspection system for ± 800 kV VSC-HVDC valve hall

智能巡检系统中每个摄像头自成体系,独立运行,互不干扰,自身故障时可快速查找定位,并且具有良好的扩展性。

系统前端的双舱、三舱巡检设备固定在云台

上,采用吊装的形式固定在阀厅顶部的钢结构上。通过对云台装置的控制,双舱和三舱巡检设备可以多角度对设备进行实时监测,监测的视频画面、发热数据及设备电晕局部放电等信息可以传送到后方的操作台,可以实现24 h远程监控作业。

可见光高清摄像机可根据需巡视的一次设备高度灵活安装,以满足SF6密度继电器压力读数等巡视的要求。

拾音器可根据阀厅尺寸及设备布置选取一些噪声比较严重的区域进行布置,满足可以监测阀厅内设备运行噪声分贝的效果。

后台主控中心设备包括主控服务器、监控后台工作站、网络交换机、光纤收发器。主控服务器控制现场前端监测设备对现场被监测设备进行监控、巡检。在监测过程中,主控服务器接收可见光、红外、紫外视频单元的实时视频,分析设备的高压放电光子数据;同时接收红外视频单元的实时视频,分析设备区域中的温度数据。通过拾音器采集现场的噪声对现场运行音频进行分析处理。主控服务器当发现数据高于预设的阈值出现异常时,主控服务器对各通道的视频进行存储,监控工作站上报异常并显示事件。

3.2 智能巡检分析处理系统

3.2.1 红外缺陷诊断

由于采用非接触式原理,红外检测技术在电力设备故障检测中得到了广泛应用。红外检测中测量到的是物体某一部分的平均温度。从工程应用的角度出发,电气设备的红外检测技术中需要引入温升、温差、相对温差等概念。

1) 温升

即被测物表面温度和环境温度参照体表面温度之差。

$$T_s = t_{k1} - t_{k2} \quad (1)$$

式中: T_s 为温升, K; t_{k1} 为被测物表面温度, $^{\circ}\text{C}$; t_{k2} 为环境温度参照体温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

2) 温差

即不同被测物或同一被测物的不同部位之间的温度差。

$$T_c = t_1 - t_2 \quad (2)$$

式中: T_c 为温差, K; t_1 为高温点, $^{\circ}\text{C}$; t_2 为低温点, $^{\circ}\text{C}$ 。

3) 相对温差

即两个测点的温差与其中较热点的温升之比。

$$\delta_t = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100\% = \frac{(T_1 - T_0) - (T_2 - T_0)}{T_1 - T_0} \times 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中: τ_1 和 T_1 为发热点的温升和温度; τ_2 和 T_2 为正常对应点的温升和温度; T_0 为环境参照体的温度; δ_t 为相对温差。

相对温差很大程度上只反映泄漏电流、回路电阻和介质损耗等设备参数的内在关系,而不受负荷电流、风速、相对湿度、环境温度、测量距离和发射率选择等因素的影响。在电流大小相同的情况下,相对温差值的变化能明显反映被测物体电阻值的变化,据此可对设备发热状态进行较准确地判断。

3.2.2 紫外缺陷诊断

电力设备随着绝缘性能的降低、表面污秽的增加或者结构缺陷的出现,其表面的电晕将增大或者出现表面局部放电。电晕和表面局放过程将大量辐射紫外线。因此可以利用电晕和表面局放的产生和增强来评估运行设备的绝缘状况,及时发现绝缘设备的缺陷。如图2所示,紫外判定分级及处理方法紫外成像仪检测到的光子数进行判定分级,为检测判定提供了参考。

表2 紫外成像仪检测到的光子数判定分级表

Tab. 2 Classification of number of photon inspected by ultra-violet imager

程度	每 min 光子数	问题说明	处理方案
高度集中	大于 8 000	可以快速形成腐蚀或部件已严重损毁	尽快安排停电检修或更换处理
中度集中	1 000 ~ 8 000	有可能形成腐蚀或部件已有一定损毁	计划的停电期间进行检修维护
轻度集中	小于 1 000	有可能缩短部件寿命或部件可能有轻微损毁	继续留意电晕发展,定期检测

3.2.3 智能巡检系统功能

智能巡检系统主要的功能如下。

1) 自动巡航

采用预置位云台,可以设多个需要定时检测的位置,提供多种方式的自动巡航方案,实现完全自动化运行,实现全天多次自动巡检及自动预警等功能。

2) 自动预警

在系统巡航过程中,如发现目标设备温度异常自动报警,报警信息有文字信息和声音信息,提示运行人员具体的报警位置状况信息,以便跟踪故障点,确认告警情况并排除故障。

3) 详细设备工作状态管理

建立所有设备以及设备部件的管理体系,在自动巡检的同时对本红外热像仪、紫外成像仪巡视范围内的所有设备部件进行温度及光子数采集分析记录。在系统出现报警后,存储设备工作状态紫外、红外图像,提示人员具体位置状况信息,相关操作人员及时得到报警信息,自动写入日志。根据报警信号位置切换指定画面,实现报警联动。能自动捕捉并记录启动报警的发热和光子数异常信号,报警包括声、光等形式。

4) 数据具有可对比性及防误报识别

所有的温度测量及光子数采集都基于有效的目标识别,可以根据巡查策略只测量已标记的设备,自动剔除外界的干扰热源,有效防止误报警。系统能自动根据预先设定的巡视策略,定时控制红外/紫外摄像机的各个预置位,检测该预置位所对应设备的工作状态,采集当前设备的工作状态热图及光子数图,记录当时设备的工作温度及光子数,同时比较当前设备的工作温度与光子数是否高于预先设置的报警阈值。通过这样的工作序列以后,系统可以给出所有设备在一段时间内每天同一时间上的温度及光子数的变化趋势,极大的方便对设备工作状态进行准确的判断。

5) 自动生成报表

系统可以自动生成单幅红外图像的测点温度分析报表及光子数报表或综合报表,以反应该测点在某时间段内的温度及光子数变化趋势。

6) 远程控制

远程控制双舱及三舱监控设备(包括云台、镜头等);远程设置红外紫外报警参数,远程设置自动巡回检查时间,检查策略等。

7) 仪表读数及噪音拾取

通过配置固定的可见光摄像机一对一对应 SF6 电子式电压互感器拾取读数,通过拾音器采集阀厅内噪声的分贝。

8) 视频录像与备份

支持三种录制模式,定时录制、手动录制、报警录制。

4 ±800 kV 柔直阀厅智能巡检系统设计方案

4.1 智能巡检设备配置

以某 ±800 kV 换流站全封闭阀厅为例,高端阀厅内部尺寸为 86.5 m × 83 m × 38 m(长 × 宽 × 高),低端阀厅内部尺寸为 78 m × 70 m × 24 m。红外热像仪采用吊装在阀厅顶部的形式,高端阀厅内设备的发热点最低的为 7 m,低端阀厅内设备的发热点最低的为 4 m。根据阀厅的布置方案及 ±800 kV 柔直阀厅设备及连接处的安装高度,要实现一次设备巡视、测温及紫外电晕监测等巡视功能采用以下配置方案。

1) 三舱巡检设备配置

需在阀厅两侧套管及绝缘子集中的附近各安装一套,根据全封闭阀厅布置的形式每个阀厅配置由 2 套带云台的三舱巡检装置组成,采用顶部下装固定的方式。完成阀厅内穿墙套管、绝缘子、隔离开关、管母、导线及金具等设备在有微小裂纹或损伤的电晕放电监测,高端阀厅选择的红外测温的测温距离为 35 m,低端阀厅的采用 30 m。高端阀厅紫外成像仪的监测距离取 45 m,低端阀厅紫外成像距离为 40 m。

2) 双舱巡检设备配置

需在纵向两个阀塔之间及过道两侧各安装一套,根据全封闭阀厅布置的形式每个阀厅配置由 14 套带云台的双舱巡检装置组成。为了消除两个阀塔之间监视的死角,在六个阀塔之间安装 2 套双舱巡检设备。由于三舱巡检设备集成了双舱巡检设备的功能,因此仅需配置 14 套双舱巡检设备。14 套双舱巡检设备采用阀厅顶部下装固定的方式、完成刀闸动静触头、设备进出线/连接线、拐臂软连接、基座连接线、软连接、地刀动触头/静触头、管母线接头/连接线等重要点的测温。高端阀厅选择的红外测温的测温距离为 35 m,低端阀厅的采用 30 m。

3) 固定式可见光高清摄像头

配置一对一的固定式可见光高清摄像头监视 SF6 密度继电器压力表计读数,每个阀厅配置 3 套。

配置一对一的固定式可见光高清摄像头监视阀桥间 M 避雷器及极母线 CBH 避雷器的放电计数器,每个高端阀厅配置 2 套,每个低端阀厅配置 3 套。

4) 拾音器

在阀厅四周各配置一套拾音器, 共 4 套, 采集阀厅设备运行产生的噪音。

综上所述, 每个阀厅前端的巡检设备配置 2 套三舱巡检设备, 14 套双舱巡检设备, 5~6 套固定式可见光高清摄像头, 4 套拾音器。在工程中可通过技术经济比较考虑对部分关键监视点配置冗余设备, 避免巡检设备自身故障影响阀厅运行。

4.2 智能巡检设备布置

4.2.1 布置原则

红外检测区域全覆盖阀厅内所有设备; 紫外检测区域全覆盖穿墙套管、绝缘子、隔离开关、管母、导线及金具等设备, 同时兼顾阀塔区域; 可见光正对表计, 方便读数; 拾音器布置在阀厅周围。

设备布置同时考虑电气一次设备和安装检修的要求; 电气安全距离需要满足特高压阀厅要求; 电磁干扰强度不影响设备正常工作; 设备安装要求不影响一次设备的维护和检修; 设备安装要求便于后期维护保养。

4.2.2 阀厅双舱、三舱设备布置

阀厅巡检设备的布置及监测断面图如图 2、图 3 所示(图中为高端阀厅)。双舱及三舱巡检设备布

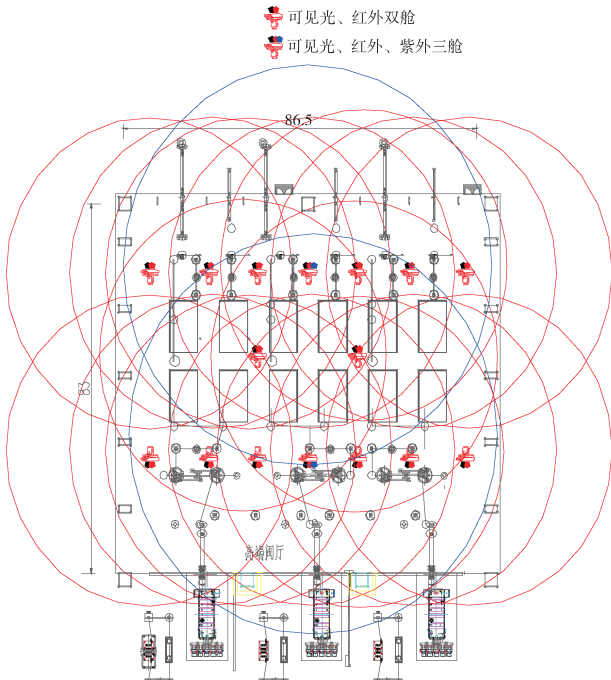


图 2 阀厅双舱、三舱设备布置

Fig. 2 Arrangement of double cabin & triple cabin equipment in valve hall

置在阀厅顶部, 由于每个阀塔是支撑式安装, 因此需在每个桥臂的阀塔过道两侧均布置一套双舱或者三舱巡检设备。设备通过云台进行水平和上下转动, 达到巡检整个阀厅所有设备的要求。图中红色线指红外监测, 蓝色线指的是紫外监测。由红外和紫外的监测距离可以得到该布置方案可以实现对阀厅所有设备的监测覆盖。

4.2.3 固定式高清及拾音器巡视设备布置

作为双舱和三舱巡检设备的补充, 高清固定摄像机分别对应每个 SF_6 电压分压器 SF_6 压力计, 每个点配置 1 套, 分别对应桥臂的 A、B、C 三相的 SF_6 电压互感器。电压互感器 SF_6 压力表高端阀厅安装的高度为 4 m, 低端阀厅为 2.5 m(可根据设备 SF_6 表计的安装高度调整), 高清固定摄像机安装于附近的钢结构墙体上, 正对 SF_6 压力表。高清固定摄像机按住于对应的设备附近, 达到一对一的监视效果。配置 4 台拾音器用于噪音监测。高清摄像机及拾音器平面布置图如图 4 所示。

4.2.4 巡检设备布置优缺点分析

1) 采用高集成度的双舱和三舱巡检设备, 通过优化设备的布置结合融合图像技术, 将可将光、红外及紫外覆盖整个阀厅内的所有设备。

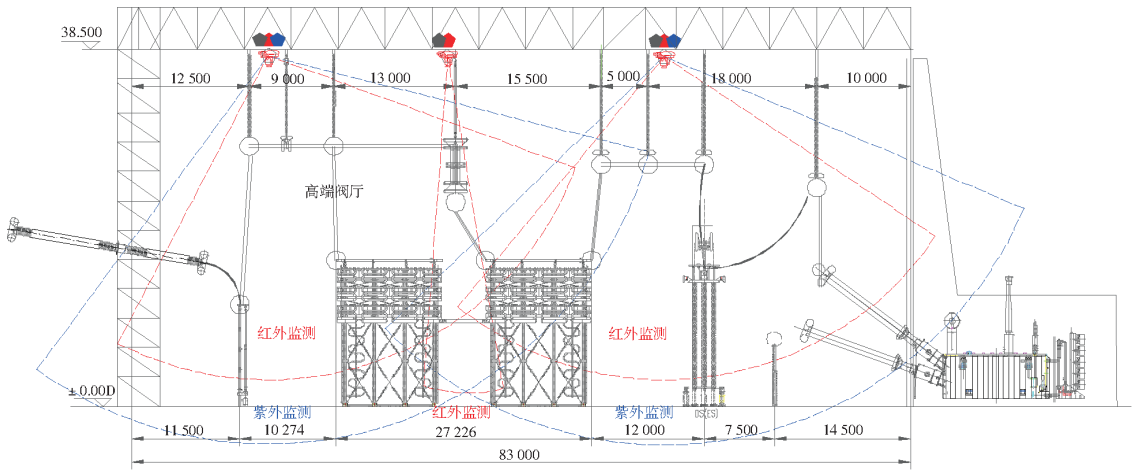
2) 智能巡检设备采用阀厅顶部吊装固定的安装方式, 不影响主设备的空气净距的计算, 避免空气净距核带来增加建筑面积的缺点。

3) 采用固定带云台的安装方式故障率较轨道移动式的低, 检修维护工作量小。

4) 优化设备的布置能达到核心设备换流阀红外监测冗余配置的效果, 有效避免了单套巡视设备故障导致无法正常巡视的问题。

5) 固定式(带云台)顶部安装红外智能巡检系统存在局部的监控死角, 有小部分的不完善的智能分析判断功能。例如阀塔进出水口的开关监视, 阀塔进出水口微漏水等监视因为阀塔的遮挡导致无法监视。

为解决监控死角问题, 可通过增加巡检机器人^[7-10]等方法消除固定式安装巡视带来的盲区。目前比较先进的地面轮式巡检机器人具备无导轨巡视能力, 通过搭载高清可见光摄像头、红外热像仪、紫外成像仪信息采集终端, 可对阀厅内地面 10 m 以下的设备及运行环境进行全面监控。由于该技术尚不够成熟, 存在机器人失控冲撞阀厅设备的风险。



注：图中标高单位为 m，其余尺寸单位为 mm。

图3 阀厅双舱、三舱设备监测断面图

Fig. 3 Section of double cabin & triple cabin equipment in valve hall

险，在实际工程中宜谨慎采用。

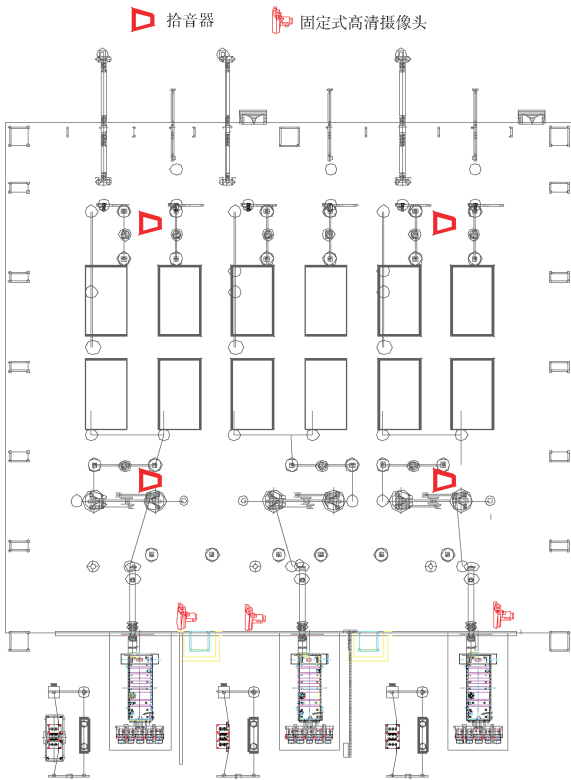


图4 高清固定摄像机及拾音器布置示意图

Fig. 4 Arrangement of High definition fixed camera and pickup

4.3 智能巡检系统的工程实施

±800 kV 柔直阀厅由极1 高端、低端阀厅，极2 高端、低端阀厅共4 个阀厅组成。极1 和极2 阀厅成一字形布置，每个阀厅的智能巡检设备配置的数量一致，仅巡检设备的参数稍有区别。每个阀厅

的前端采集设备通过光纤汇控箱将采集的数据采集，通过电源汇控箱为前端采集设备提供电源，智能巡检系统数据通过配置在辅空楼的屏柜进行集中然后上送主控楼的智能巡检系统主机柜，数据与分析处理功能集成在智能巡检系统工作后台。

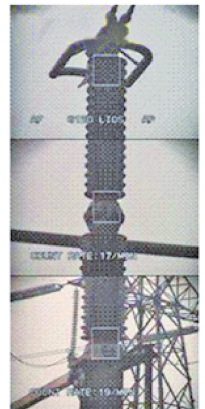
智能巡检系统的工程实际效果图如图5~图6 所示。



(a) 套管微裂纹



(b) 清扫前



(c) 清扫后

图5 套管电晕放电图

Fig. 5 Corona discharge of busing

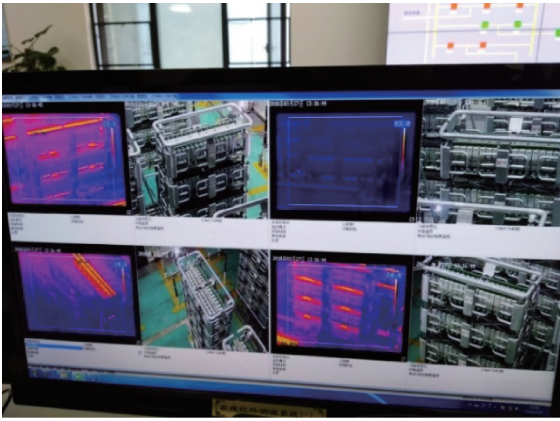


图6 柔直阀厅红外监视实物图

Fig. 6 Photos of infrared surveillance for VSC-HVDC valve hall

5 结论

本文结合 ± 800 kV 柔直阀厅全封闭设计的特点以及换流站运行的经验, 通过对比研究得到适用于 ± 800 kV 柔直全封闭阀厅的智能巡检系统方案, 并提出 ± 800 kV 柔直全封闭阀厅采用一套集成红外测温、紫外电晕成像、可见光摄像机、灵敏的拾音器等设备的智能巡检系统。所提方案实现了智能巡检系统设备高度集成化, 集成红外测温、紫外电晕成像、可见光摄像机、灵敏的拾音器等设备; 系统能实现对设备的电晕放电紫外缺陷、热缺陷、故障状态、合分状态、外观异常判别、噪音监测、表计读数等监测功能; 系统设备自动化、智能化, 监控后台实时显示运行数据, 大大提高了巡检工作的自动化水平; 系统能满足电网资产全生命周期管理要求, 在提高设备可靠性和安全性、提升输电能力、降低成本等方面都有着明显的优势。

参考文献:

- [1] 彭冠炎, 穆峰磊, 官澜, 等. ± 1 MV 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.
PENG G Y, MU F L, GUAN L, et al. Intelligent inspection system design of DC indoor switch yard in ± 1 MV converter substation [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(4): 118-123.
- [2] 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.
- [3] 钟杰峰, 陈丽萍, 袁康龙, 等. 多端柔性直流输电技术的现

状及应用前景分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊1): 38-45.

ZHONG J F, CHEN L P, YUAN K L, et al. Analysis on present situation and application prospect of VSC-MTDC technology [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2 (Supp. 1): 38-45.

- [4] 赵东瑾. 500 kV 变电站智能巡检系统设计 [D]. 保定: 华北电力大学, 2017.
ZHAO D J. Intelligent inspection system design of 500 kV substation [D]. Baoding: NCEPU Press, 2017.
- [5] 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 engineering technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [6] 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 equipment in flexible DC converter station [J]. Electric Power Construction, 2013, 34(6): 92-94.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
FAN X W. Design and realize of intelligent inspection system for power system equipment [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.

作者简介:



ZHANG X Y

张雪焱(通信作者)

1975-, 男, 辽宁铁岭人, 高级工程师, 博士, 主要从事变电站、换流站电气二次设计及研究工作 (e-mail) zhangxueyan@gedi.com.cn.

(责任编辑 郑文棠)