

# 基于智能视频分析技术的高压开关柜 隐患预警与故障诊断方法

周华东<sup>1</sup> 李 晶<sup>2</sup> 周电波<sup>2</sup> 白吉昌<sup>3</sup>

(1. 国网内江供电公司, 四川 内江 641000; 2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;  
3. 国网南充供电公司, 四川 南充 637000)

**摘要:** 基于智能视频分析技术, 研究了高压开关智能视频分析系统及配套的新式高压开关柜内部照明系统。该系统的智能视频分析功能, 一方面, 可以对柜内隔离开关和接地开关位置状态进行识别、判断, 在隔离开关和接地开关位置状态异常时进行告警, 可以避免因传动系统异常导致五防闭锁装置失效和设备误操作情况; 另一方面, 结合示温蜡片, 还有助于发现柜内载流故障隐患。同时, 全方位、多角度布置的前端摄像头, 可对高压开关柜内整体情况进行可视化视频监控, 有助于发现开关柜内存在的其他异常情况, 并且, 大量存储的高清晰度影像资料, 在开关柜遭遇故障后, 有助于对故障发生位置和故障发生原因进行分析。

**关键词:** 智能视频分析; 高压开关柜; 隐患; 故障

**Abstract:** Intelligent video analysis system and its matched new type interior lighting system of high-voltage metal-enclosed switchgear are studied based on intelligent video analysis technology. Because of its intelligent video analysis function, the position of disconnector and grounding switch can be identified and judged, and it will have an early-warning when the positions of disconnector and grounding switch are abnormal, which can avoid the misoperation and failures. On the other hand, it is useful to find the hidden danger of interior current-carrying fault if combining with the temperature wax tablet. This system arranges many cameras in the corresponding positions in high-voltage metal-enclosed switchgear, its interior conditions can be monitored which is helpful to find other existing abnormal phenomenon. And many images with high resolution can be stored to analyze the fault position and fault reason if the fault happened.

**Key words:** intelligent video analysis; HV metal-enclosed switchgear; hidden danger; fault

中图分类号: TM866 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)01-0036-04

## 0 引言

高压开关柜在电力系统中被广泛应用且绝大部分直接承担用户负荷, 其运行状况对供电可靠性和电网安全影响极大。然而, 高压开关柜内集成了多个电气设备, 这些设备被金属外壳完全封闭在柜内, 会因各隔室空间狭小和散热不佳, 相比敞开式电气设备, 属于紧凑型的开关柜内部各电气设备和机械部件面临更复杂、更恶劣的运行环境, 从而更容易造成安全隐患滋生故障<sup>[1]</sup>。

相关文献对 6~40.5 kV 高压开关柜故障进行的统计分析显示, 机械故障和载流故障在开关柜故障中占有相当大的比例, 超过 60%<sup>[2,3]</sup>。并且, 上述故障发生后, 极有可能引发恶性误操作和相间、对地

闪络等绝缘故障, 不仅损坏设备, 导致非正常停运, 还有可能危害电网安全运行, 造成电网事故。为此, 各高校、科研院所、设备厂家以及电网生产运行单位积极展开研究, 开发了多种监测手段, 希望借此准确判断开关柜运行状态, 及时、准确地发现开关柜存在的故障隐患, 将其处置在萌芽状态<sup>[1,4]</sup>。

目前对开关柜机械故障隐患尚无可靠的监测手段, 设备运维人员往往通过柜门观察窗直接观察隔离开关、接地开关分合闸位置状况, 以避免传动系统故障、分合闸指示装置指示异常的情况, 但是, 该方法在视线受阻或光线投射不佳的情况下无法确认隔离开关位置状态, 并且, 柜体开窗会影响开关柜体防护等级。而对载流故障隐患的监测, 主要采取在开关柜内高电位处安装在线测温装置的方式<sup>[5,6]</sup>, 但目前的测温装置价格不菲、功能单一且维护不便。

为此,介绍开展的高压开关柜智能视频分析技术研究,运用行为模式识别、目标检测与分析、自动跟踪识别、运动理解等技术,开发完成高压开关柜智能视频分析系统,对开关柜内整体情况进行可视化视频监控,降低开关柜内隔离开关分、合闸状态误判概率,帮助发现开关柜内存在的载流故障隐患,为开关柜故障诊断提供相应视频资料,填补开关柜状态检测和故障诊断的技术盲区。

## 1 高压开关柜智能视频分析技术方案

作为模拟视频监控、数字视频监控之后的第三代视频监控技术,智能视频监控技术一方面可以适应更为复杂和多变的场景,另一方面能识别和分析更多的行为和异常事件,改变了之前“只记录不判断”的视频监控方式。其中,行为模式识别、生物识别、目标检测与分析、自动跟踪识别、运动理解等技术是智能化技术发展的主要内容。

将智能视频监控技术应用于高压开关柜中,即采用视频编解码技术、图像智能分析技术、计算机网络和通信技术等技术方法,研制高压开关柜智能视频分析系统,对开关柜内情况进行可视化视频监控和智能分析,并可将监测、分析结果上传至变电站综合自动化系统。具体而言,高压开关柜智能视频分析系统的多个前端摄像头被安装在开关柜内多个位置,对柜内情况进行实时监测,结合图像智能分析技术和示温蜡片有助于发现隔离开关分、合闸异常和载流故障隐患,并且,通过视频摄录得到的故障发生前的高清晰度影像资料,可以为开关柜故障诊断提供可靠依据。

要实现智能视频分析技术在开关柜中的应用,首先需要研究视频信息的传输和分析技术,即视频编解码技术和图像智能分析技术。

### 1.1 高性能视频编解码技术 H. 264

作为常用的视频压缩算法和标准,在同等级图像质量的条件下,H. 264 系列标准是 MPEG-2 系列标准的 2 倍以上,是 MPEG-4 系列标准的 1.5~2 倍。并且,H. 264 系列标准具有更好的网络适应性,能够在相对较小的带宽条件下提供高画质视频信息传输服务。

H. 264 采用“预测+变换编码+熵编码”的编码模式,研制的系统采用最常用的 DCT 变换编码模

块<sup>[8]</sup>,变换方法如下。

$$F(u, v) = \frac{1}{2}k(u)k(v) \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 f(x, y) \cos\left(\frac{(2y+1)u\pi}{8}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{8}\right) \quad (1)$$

式中  $k(0) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ,当  $u \neq 0$  时  $k(u) = 1$ ,根据余弦函数性质,有

$$|F(u, v)| + \frac{Q_{step}}{3} < Q_{step} \quad (2)$$

在 INTRA 帧量化中,满足式(2)时, $F(u, v)$  量化为 0,即所有变换系数量化为 0。

因此,选用 H. 264 标准作为高压开关柜智能视频分析系统的视频编解码算法,解决多通道大数据量视频流传输和组网的需要。

### 1.2 图像智能分析技术

将拍摄的高压开关柜内部影像通过高性能视频编解码技术传输至变电站综合自动化系统后,要实现智能分析功能,对柜内隔离开关/接地开关位置状态、载流回路所用示温蜡片进行状态监测和异常告警,就必须借助第三代视频监控的重要技术手段——图像智能分析技术。图像智能分析技术需要开发相应的动态图像分析算法,其中,前景检测、行为检测和动态区域设置是关键技术。

前景检测的目的是把监测对象从视频图像背景区域中分割出来。经过多年的研究与发展,基本背景差法、混合高斯算法、帧差法等经典算法被应用到了前景检测中。要使得前景检测符合开关柜内隔离开关/接地开关和示温蜡片状态识别的需求,必须考虑光照、阴影等干扰的影响。这里选取混合高斯算法,能可靠处理长期的光照和场景变化。每个像素点建立一个自适应的混合高斯模型,定义  $K$  个状态,每个像素值是随机变量  $X$  的一个采样, $X$  服从  $K$  个状态的混合高斯分布,第  $k$  个分布的定义为

$$f_{x/k}(X/k, \theta_k) = \frac{1}{(2\pi)^k |\Sigma_k|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(X-\mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (X-\mu_k)} \quad (3)$$

式中  $k \in (1, 2, \dots, K)$ ;  $\mu_k$  是均值向量;  $\Sigma_k$  是协方差矩阵。

行为检测的目的则是正确检测出隔离开关/接地开关和示温蜡片状态变化,并应具有较好的鲁棒性。行为检测需要在前景检测基础上实现目标检测

和跟踪,并进一步完成行为或事件模式识别。

动态区域设置即在需要设置检测区域的场景下,保证在任何时刻对一个检测区域进行编辑修改,生效后可立即按照新的检测区域设置规则进行检测,无需重新进行背景学习。

## 2 高压开关柜智能视频分析系统

如图 1 所示,在高性能视频编解码算法和图像智能分析技术研究的基础上,开发了高压开关柜智能视频分析系统,同时,为提升监测效果,专门研制了新式高压开关柜内部照明系统。

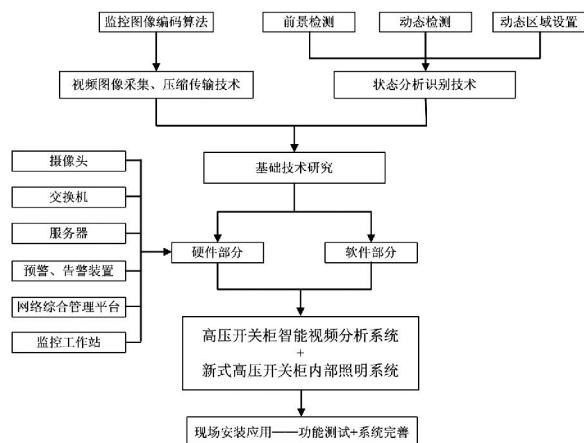


图 1 系统组成及研制路线

高压开关柜智能视频分析系统的硬件部分主要由前端摄像头、光纤以太网交换机、可支持多路智能视频分析功能的单服务器、预警/告警装置、网络综合管理平台以及监控工作站组成。前端摄像头完成模拟视频的拍摄,具有高像素和高分辨率,可确保获得清晰的影像,通过有线和无线两种方式传输至上一级设备,如图 2 所示,120°水平广角有助于一个前端摄像头获得三相的影像资料,便于用户观察和分析。

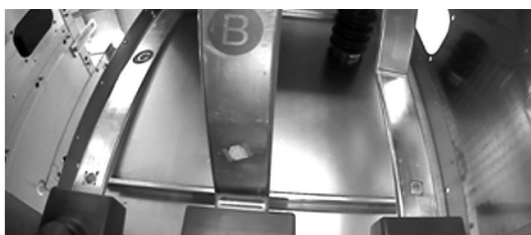


图 2 安装于开关柜内的水平广角摄像头

光纤以太网交换机将前端摄像头摄录的图像进行实时传输(传输损耗小、传输质量可靠)。服务器

完成模拟视频监视信号的数字采集、图像压缩、监控数据记录和检索、硬盘录像、给前端发送控制信息等功能。该系统通过统一界面对系统结构、用户角色、前端摄像头、告警设备、智能分析服务器进行集中配置和全面管理,基于 Client/Service 架构管理,远程实现实时录像、告警录像、集中备份、索引查询、下载回放和存储配置等服务功能。管理平台支持 8 个 SATA 接口和多路告警输出接口。每个 SATA 接口支持最大容量 2TB 的硬盘接入,可满足长达 3 个月以上的高清晰度摄录影像记录,并支持在本地或客户端按时间、关联事件、日志、告警等多种方式检索,查找某时段监控录像。告警输出接口则可通过外接方式发出告警信号,第一时间通知电网运维人员,同时启动告警录像并将事件信息写入到系统数据库中。管理平台还具备二次开发功能,提供外部开发接口,可与变电站综合自动化系统进行信息共享及联合操作。高压开关柜智能视频分析系统的主要技术参数如下。

压缩标准: H. 264——具有很高的数据压缩比率,在同等图像质量的条件下,是 MPEG-2 的 2 倍以上,是 MPEG-4 的 1.5~2 倍;

帧速率:  $\geq 25$  F/s 可调;

图像分辨率: CIF、4CIF、D1 可调;

平均带宽占用: 512 kbps( CIF 全帧); 1280 kbps( 4CIF/D1 全帧);

显示分辨率: 1024 × 768、1280 × 1024、1680 × 1050 可调;

输出信号制式: PAL/NTSC;

输出阻抗: 75  $\Omega$ ;

接口: BNC-75  $\Omega$ , SMB-75  $\Omega$ ;

图像延时: <300 ms;

报警响应时间: <300 ms;

90% 以上实时视频画面调出响应时间:  $\leq 0.5$  s;

系统时间与标准时间的误差: <1 s;

系统从断电后重启至恢复正常运行的黑启动时间: <5 min。

研制了新式高压开关柜内部照明系统,以协助前端摄像头获得更好效果的影像,配合智能视频分析系统工作。由镓、砷、磷的化合物制成的 LED 工作电压低、工作电流小、抗冲击和抗震性能好、可靠性高、寿命长,目前被各行业广泛用于显示、装饰和照明。将 LED 通过串并联方式组装在电路板上,几

个 LED 串联组成一组,再和其他组进行并联,是这里研制的 LED 长效节能条形光源的基础。这种组装方式具有以下优点:(1) 可以最大限度提高对供电电压的使用率,减少无用功损耗;(2) 几个串联 LED 的驱动电流是一致的,有利于恒定 LED 的电流,确保 LED 的使用寿命;(3) 串联后的 LED 灯组再和其他组进行并联,可以保证在一组损坏的情况下,不会影响到其他组的正常使用;(4) 由于每组都有一个限流电阻,因此不会因为其中一组的损坏而影响其他组的使用寿命。

因此,结合新式高压开关柜内部照明系统的高压开关柜智能视频分析系统,能够全方位、多角度实时监测开关柜内情况,实现如下功能:(1) 对柜内隔离开关和接地开关位置状态进行识别、判断,记录隔离开关和接地开关动作情况,在隔离开关和接地开关位置状态异常时进行告警;(2) 结合示温蜡片有助于发现柜内载流故障隐患;(3) 系统的多路告警输出接口,可利用动态视频分析技术,通过系统设置对各种异常情况进行分类告警,例如,具有特色的语音告警功能,可以向电网运维人员语音提示存在的异常情况及其分类;(4) 存储的柜内高清晰度影像资料在开关柜发生故障后可以为故障诊断提供可靠依据。

### 3 实验验证

本项目研制的高压开关柜智能视频分析系统和基于长效节能型光源的新式高压开关柜内部照明系统,在国网四川省电力公司南充供电公司某 XGN2-40.5 kV 型高压开关柜试验平台(如图 3 所示)上进行了安装应用。



图 3 XGN2-40.5kV 型高压开关柜试验平台

应用情况表明,高压开关柜智能视频分析系统的前端摄像头将实时采集的视频信号提供给视频编码器,视频编码器将模拟码流进行标准 H.264 编码压缩,然后传输到监控中心的视频智能分析服务器,采用状态分析算法对视频码流进行实时智能分析,提取状态数据信息,并将开关柜状态数据和视频码流一起实时发送给监控工作站。因此,高压开关柜智能视频分析系统可全方位、多角度对开关柜内情况进行实时可视化视频监控,并在下方列表中实时刷新开关柜内隔离开关的状态数据(如图 4 所示),同时,网络综合管理平台 24 h 对前端视频进行录像,当视频智能分析服务器分析到隔离开关状态发生变化时,一方面以事件方式通知网络综合管理平台记录事件信息并和录像文件进行关联,在出现异常状态的情况下进行告警,同时将事件信息写入到系统数据库中以提供录像查询及回放功能。

在上述工作方式下,高压开关柜智能视频分析系统能够对开关柜内隔离开关和接地开关位置状态、动作情况进行可视化视频监控,并具有隔离开关动作事件记录及录像、隔离开关位置状态异常情况告警及录像等功能,结合示温蜡片则有助于发现柜内载流故障隐患,此外,大量存储的高清晰度录像资料,在开关柜发生故障后可用于分析故障位置和故障原因,为故障诊断提供新的技术手段。



图 4 系统界面

### 4 结论

所研制的高压开关柜智能视频分析系统及其配套软件,通过在开关柜内多个位置安装前端摄像头,可以全方位、多角度对高压开关柜内部情况进行实  
(下转第 94 页)

速率。

### 2.2.7 优化汽机运行操作

按照机组升温、升压曲线,适时投入汽缸倒暖、夹层加热,合理选择抽真空、投轴封时机,保证暖缸、暖机充分,有效保证汽轮机膨胀及胀差在规定范围内,控制机组启动时间,降低锅炉启动油耗。

## 3 结 语

在实施启动点火优化措施后,点火油耗由以前的 40~60 t/次,降为现在的 15~20 t/次,各金属受热面也未有超温现象;每次节约点火油耗 50% 以上,取得了显著的经济效益,同时保证了机组启动的安全,为同类机组提供借鉴。机组启动过程部分参数趋势见图 2。

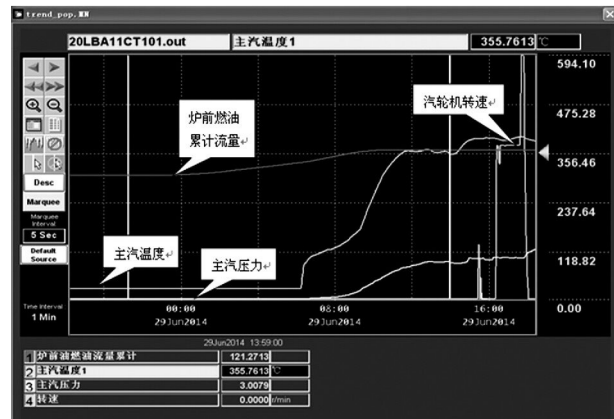


图 2 燃油流量、汽轮机转速、主汽温度、主汽压力点火前及冲转时的趋势图

作者简介:

丁 芸(1968),从事循环流化床机组调试、运行优化及生产技术管理工作。

(收稿日期:2014-11-05)

(上接第 39 页)

时监测并存储影像数据。在此基础上,可实现如下功能。

①全方位、多角度对柜内情况进行可视化视频监控,使得运行期间封闭的开关柜内部情况对于电网运维人员而言不再是“盲点”。

②对开关柜内隔离开关和接地开关进行专门监控,对隔离开关和接地开关的位置状态进行自动识别、判断,在隔离开关和接地开关动作时进行事件记录并录像,在隔离开关和接地开关位置状态出现异常时进行告警并录像。相比现有的利用隔离开关分/合闸状态指示装置指示隔离开关位置状态和在柜体开观察窗直接观察隔离开关位置状态的方法,本项目研究的方法能更安全、更可靠地监测柜内隔离开关位置状态,提示存在的异常情况,若与五防闭锁装置相结合,作为隔离开关位置状态的判据之一,可有效降低因传动系统异常导致五防闭锁装置失效引发设备误操作的概率。

③实时视频监控,再结合相应部位安装的示温蜡片,有助于发现开关柜载流故障隐患。相比现有的开关柜在线测温技术,本项目研究的方法在监测期间不会影响开关柜各项性能,对设备更加安全,避免了因测温装置安装给设备可靠运行带来隐患。

④本项目研制的系统可存储大量高清晰度视频影像资料,因此,过去很长一段时间的开关柜内部影

像被完整保存并可由电网运维人员从本地或客户端按时间、关联事件、日志、告警等多种方式检索,在开关柜遭遇故障后,故障前柜内录像内容可用于分析故障位置和故障原因,为开关柜故障诊断提供新的技术手段。

### 参考文献

- [1] 苑舜. 高压开关设备状态监测与诊断技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 候静. 基于光纤测温的高压开关柜温度故障预警[M]. 济南:山东大学,2009.
- [3] Serghie Vlase, Marian Duta, Sebastian Popescu, et al. Local Monitoring System of the Permissible Temperature for the Medium Voltage Metal - enclosed Switchgear and Control Gear [C]. Proceedings of the 3th International Symposium on Electrical and Engineering (ISEEE), Galati 2010: 311 - 313.
- [4] 邬钢,李进. 光纤在开关柜触头温度监测中的应用[J]. 高压电器,2006,32(2): 122.
- [5] 韩玉兰,芦兴,路灿,等. 高压开关柜隔离触头温度红外检测系统的研制[J]. 高压电器,2008,44(6): 578 - 581.
- [6] 许一声,顾霓鸿. 高压开关柜触头温度在线检测仪[J]. 高压电器,2005,41(2): 139 - 140.
- [7] 李洛,张剑. 基于整数变换的 H. 264 标准量化过程[J]. 计算机应用研究,2006(5): 31 - 33.

(收稿日期:2014-08-06)