

基于超高压变电设备缺陷特征的状态检修提升策略

汪鑫¹ 王紫鉴¹ 魏阳²

(1. 国网四川省电力公司检修公司, 四川 成都 610031;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 在提倡清洁能源、水电消纳的背景下, 结合四川电网的独特性, 阐述了四川状态检修开展情况、带电检测发展现状, 指出状态评价中存在的问题。基于近3年带电检测结果, 通过分析缺陷与地形、负荷、雷击分布、设备运行年限、设备类型的特征关系, 提出变电设备状态检修策略提升的建议, 分别从数据应用、检修检测、设计采购、设备运维几方面进行了阐述。

关键词: 超高压; 缺陷; 状态检修; 策略

中图分类号: TM63 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)05-0086-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.05.017

Promotion Strategy of Condition Based Maintenance Based on Flaw Characterization of Extra-high Voltage Substation Equipment

Wang Xin¹, Wang Zijian¹, Wei Yang²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Maintenance Company, Chengdu 610031, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: In the context of promoting clean energy and hydropower consumption, the development status of condition based maintenance and charged detection in Sichuan is described combined with the uniqueness of Sichuan power grid. The problems in equipment condition evaluation are also pointed out. According to the achievements of charged detection in last three years, the suggestions of promotion strategy are proposed for condition based maintenance through the analysis of the defects characteristic relation between defects and terrain, load, lightning stroke, operation life and equipment type. These suggestions include data application, maintenance, inspection, design purchase and equipment maintenance operation.

Key words: extra-high voltage; defects; condition based maintenance; strategy

0 引言

随着四川电网规模的扩展和藏电外送工程的建设, 相当大比例的输电线路和变电站建在了地质条件恶劣的地区。长期的重载运行、频发的地质灾害、恶劣的气候环境以及相对分散的站址给输变电设备的运维和检修工作带来巨大压力。受电网运行方式、生产效益、人员结构、气候环境和设备工况等多因素制约, 四川电网状态检修发展不充分, 停电相对难、运行时间增长、气候环境影响、不良工况使故障频发。

状态评价体系在实践中仍存在几方面问题: 一

是部分基础数据更新不及时、不齐全, 导致生产管理系统台账和业务数据录入与实际有偏差; 二是评价仍依赖于人工处理, 但人员素质结构性差异明显; 三是对运行状态下状态量采集不足, 会出现“事后评价”, 状态评价准确性有待提高; 四是带电检测数据未能有效对接评价体系, 设备缺陷数据尚未有效利用^[3-8]。

为寻求新策略从源头提升状态检修质效, 在一定程度上降低设备故障率, 基于四川500 kV变电站的带电检测工作成果, 总结带电检测发现的缺陷与海拔高度、负荷分布、雷击分布、运行年限、设备类型等变量因素的特征关系, 提出状态检修质效提升策略。从系统数据的应用、变电站设计环节、设备运行

维护、设备检测检修方面提出建议^[1-2]。

1 缺陷的区域影响规律

四川 500 kV 及以上变电站地域分布广泛, 面临环境各异, 因此变电站在设计类型、负荷分布、运行环境方面存在较大差异。下面将从地形、地貌、负荷分布、雷击分布、海拔、气候等特点进行缺陷的区域性规律阐述。

1.1 地形分布特性的影响

将带电检测发现的缺陷与所处海拔建立联系, 缺陷的分布有以下特征, 如表 1 所示。

表 1 缺陷与变电站海拔关系

类别	缺陷数量			
	>3000 m	>2000 ~ 3000 m	>1000 ~ 2000 m	≤1000 m
局部放电	5	8	20	27
红外检零	0	14	31	44
紫外电晕	6	19	84	421

缺陷数量随海拔升高而递减, 但因变电站数量也有锐减趋势, 仅从数量上不能完全说明二者关系, 因此通过站均缺陷数量来分析二者关系, 如图 1。

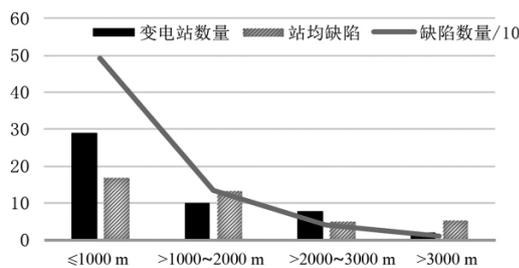


图 1 缺陷与海拔趋势关系

缺陷发生的数量随着海拔上升而呈现递减趋势。分析认为在站均缺陷数量随着海拔上升而递减的趋势背后, 高海拔变电站站均缺陷率低与设备类型有一定关系。变电站在规划设计阶段由于充分考虑了地形因素, AIS 变电站主要应用于四川中部和东部地区, HGIS 和 GIS 应用于川西等高原地区。因此高海拔变电站主要采用的是 GIS 和 HGIS 设备, 避免了其他复杂因素的影响, 一定程度降低了缺陷数量。

1.2 负荷分布特性的影响

四川水电资源集中在四川西部和南部地区, 而负荷集中在盆地中部的成都平原地区, 如图 2 所示。

缺陷统计显示, 负荷集中区域缺陷占比 65%, 水电集中区域缺陷占比 35%。对于以水电送出为主的变电站, 负荷率较重的时间区段集中在丰水期; 对于以负荷供电为主的变电站, 则负荷率较重的时间段集中在夏季高温和冬季低温时。因此在制定带电检测计划时, 需在丰水期前对西部变电站实施带电检测, 在高峰负荷来临前进行中东部变电站带电检测工作。

1.3 雷击分布特性的影响

线路遭受雷击时会产生雷击过电压, 可能导致开关动作。这将对站内设备造成冲击, 当设备状态不好时, 会造成设备击穿。因此须考虑雷击对设备造成的影响, 针对雷击跳闸频繁的变电站, 尽量保证在雷雨季节到来之前开展带电检测工作。

四川电网雷害严重程度在电力系统中排名前三, 凉山州、乐山、宜宾、雅安等地是输电线路雷击灾害高发区域, 山区复杂地形及高电阻率土壤给防雷工作造成了很大困难。为避免雷击造成设备损坏, 应在雷电季节到来之前, 对雷击跳闸高发的变电站进行带电检测, 确保设备运行状态良好。

统计四川省超高压线路近 4 年雷击跳闸次数, 如图 3 所示, 雷击跳闸从 3 月持续到 10 月, 6—8 月份最为集中, 雷击的地域分布特性如图 4 所示。因此在制定带电检测策略时, 攀西、甘孜等地区变电站的带电检测工作尽量在雷雨季节之前开展, 以保证设备的健康状态。

2 设备运行状态的影响规律

2.1 设备的运行年限影响

电力设备长期运行中, 缺陷会随着服役时间而增多, 这与设备的运行年限有密切联系, 各站运行年限统计如表 2 所示。

表 2 500 kV 及以上变电站运行年限统计

运行年限	变电站数/座
1 年内	2
1 ~ 5 年	10
6 ~ 10 年	20
11 ~ 15 年	12
15 年以上	6

输变电设备的故障分布与设备的运行年限符合

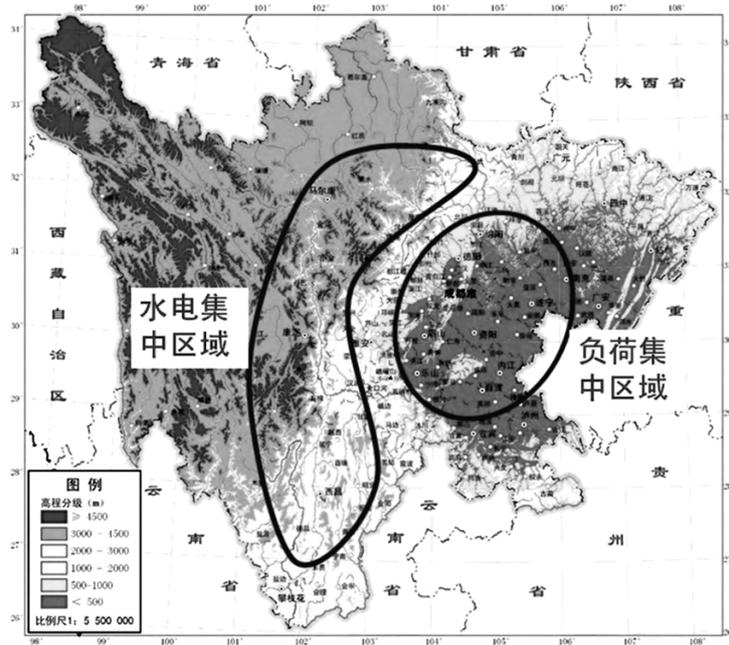


图2 四川地形差异及负荷分布

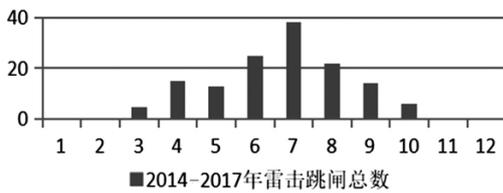


图3 每月累计雷击跳闸次数

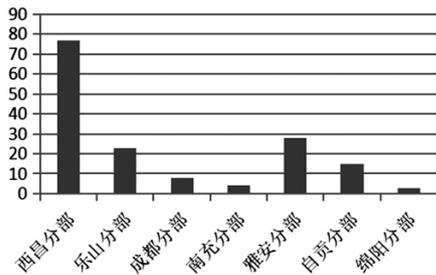


图4 近4年雷击跳闸总数

“浴盆曲线”规律,如图5,曲线分3个阶段:早期失效期、偶然失效期以及损耗失效期。

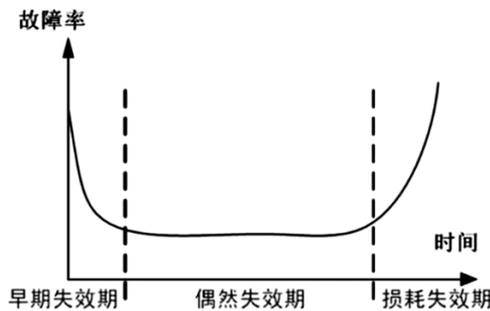


图5 浴盆曲线

新投设备由于设计、材料、部件磨合及安装工艺等原因,运行不稳定、故障的概率相对较高,这一阶段称作为早期失效;设备运行趋于稳定、故障率基本恒定,该阶段为设备的偶然失效期;设备长时间运行带来的老化使其故障率上升,进入损耗失效期。

统计西昌分部、雅安分部17座变电站近3年的所有缺陷数据,其与运行年限的特征如图6所示。整体上变电设备的缺陷率随着变电站运行年限的增长呈上升趋势,运行时间在3年以内的变电站处于早期失效期,缺陷率反而存在较高情况;运行在5—10年间的变电站设备相对稳定,存在缺陷率相对较低的情况;运行在15年以上的变电站,处于设备老化的损耗失效期,此时缺陷率整体较高,潜在故障风险大。

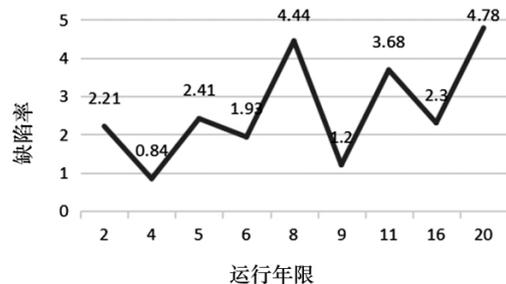


图6 设备运行年限与缺陷率关系

可根据运行年限和缺陷的特征关系,针对性地开展维护和检修工作。状态检修含A、B、C、D4种类别,其中C类检修是设备的常规性检查、维护和试验;D类检修是不停电状态下的带电测试、外观检

查和维修。应加大 C、D 类检修力度,同时根据变电站年限规律深化 D 类检修工作。

2.2 设备的类型影响

从对各缺陷的处理及原因分析角度观察,以 GIS 类局部放电缺陷为例,涉及内部结构设计合理性的缺陷仅有 4.4%,剩余缺陷多为生产及安装工艺不良所致。设备厂家的工艺工序成为评价设备质量和性能的重要因素。因此,设备选型上更应结合生产厂家,重点考虑设备质量和性能,尽量选择设备综合性能好、抵御环境风险能力强且适宜于四川地域环境的生产厂家和设备型号。

3 状态检修提升策略

从两个方面提升状态检修策略:一是将主要变电设备带电检测项目补充至现有评价系统,缺陷以视图方式参与到状态评价过程;二是基于分析结果从缺陷管理、检修检测、设计采购、设备运维方面提出状态检修提升建议。

3.1 缺陷数据库的视图化

放电类型、放电幅值、放电图谱是缺陷的诊断依据,发展趋势图谱更是故障诊断的重要参考,因此局部放电类状态量选取要进一步细化。建议将带电检测按试验数据和缺陷视图引入评价系统,其流程如图 7 所示。

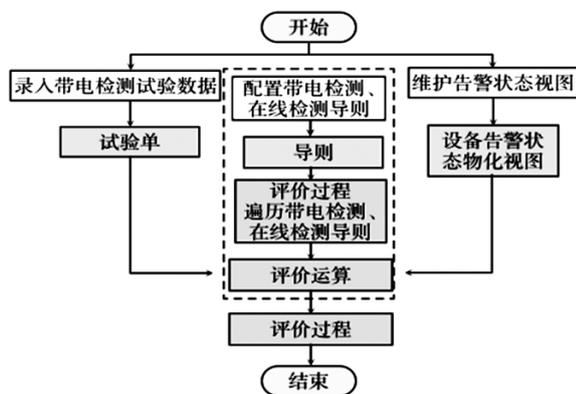


图 7 带电检测的评价流程

缺陷数据库的视图化:一是将缺陷的状态量特征图谱与设备准确关联;二是将时间和状态量结合形成趋势图谱数据库,在评价过程中对数据和图谱同时调用。带电检测模块的评价流程更大程度实现了设备台账信息、缺陷记录、检修记录等评价数据的深度整合,更有利于对设备状态做出准确判断及合

理安排检修时间,为识别投运设备故障的识别参数提供数据支撑。

3.2 检修检测方面提升策略

基于设备运行年限与缺陷特征间的关系,对不同变电站检测周期可以做相应调整,如表 3 所示。

带电检测计划编制时考虑以下几点:

1) 在周期内按运行年限分批次地对变电站绝缘子进行检测、划分,结合“保电”“迎峰度夏”“迎峰度冬”合理安排检测的变电站顺序、区分检测项目周期。

2) 优先平原地区,将变电站检测安排在对对应的高负荷期间。

3) 加大红外精确测温力度、GIS 局部放电检测频次。重点关注 GIS 局部放电检测、红外精确测温及紫外检测;高频局部放电检测可适当减少或不做,高频受外界干扰影响大效果不好。变压器电抗器以油色谱在线监测及红外测温为主,高频局部放电为辅;周期内按运行年限分批次对绝缘子进行检测。

检修方面,要重点关注运行时间在 2 年以下和 15 年以上的变电站,加强 GIS 专业巡视,在对一次设备进行检修时,可重点对表 4 中项目进行排查和检修。

3.3 设计及采购方面的选择

变电站设计环节包括水文、地质、测量、土建、电力等多方面内容。抛开其他因素,地区的电力输送需求是建站的初衷。在选址设计环节,建议考虑海拔、雷击分布性、负荷分布、设备类型的影响。变电站本身是为了解决电力输送问题,负荷的问题就无法规避,并不能够通过降低负荷来减少设备缺陷数量,且负荷也是动态过程。因此在可选址的片区范围,尽量选择海拔较高位置,避开雷击高发区域,优先采用室内 GIS 设备,采购成套生产且在运行中故障率、缺陷率较低的产品。

3.4 设备运维方面提升策略

根据变电站运行年限进行层级划分,分别按 5 年以下、5—15 年、15 年以上划分 3 个级别。缺陷率随时间而递增,中间存在相对稳定的运行期,因此要重点巡视 5 年以下、15 年以上变电站设备,加强跟踪缺陷情况及消缺力度。

除按正常巡视规程要求外,应增加或细化充气类设备气体压力、泄漏,瓷瓶类设备外观、充油类设备渗漏、金属接触类设备的发热、变压器类设备的声

表 3 变电站检测周期调整

变电站年限	缺陷严重程度	检修策略
5 年以内 (早期失效期)	正常	按负荷、工况、气候等增加检测频次
	一般	增加跟踪次数,利用带电检测或在线监测掌握动态
	严重	跟踪复测,尽快处理
	危急	立即处理
5—10 年 (偶然失效期)	正常	调整周期不小于 1 年,不大于基准周期 2 倍
	一般	跟踪检测把握趋势,确认稳定后检测时间间隔延长
	严重	跟踪复测,确认后尽快停电处理
	危急	立即安排处理
15 年以上 (损耗失效期)	正常	检修检测不大于基准周期
	一般	密切跟踪关注,及时处理
	严重	立即处理
	危急	立即处理

表 4 重点关注的几种设备及缺陷位置

设备	缺陷	位置	原因
GIS	自由颗粒放电 异常震动	母线气室 PT 气室	安装过程中掉落 磁致伸缩引起
隔离开关	异常发热	断口处、金属连接部位	接触电阻过大
套管	异常发热	金属连接板	接触电阻过大
线夹	异常发热	金属与金属连接	接触电阻过大
绝缘子	低/零值绝缘子	前 5 片	老化使绝缘下降
均压环	电晕放电	均压环表面	毛刺、脏污或松动引起放电

级和震动的巡视;加入红外精确测温、紫外电晕检测、声级检测、震动检测等先进手段,及时掌握设备的状态情况,获得更多评价状态量;利用好油色谱、局部放电的在线监测,竭尽所能覆盖设备各项指标。

将运行维护与试验有效对接,使运行维护过程中带电检测、在线监测的数据与试验数据互通,及时更新设备状态。试验专业做好数据收集、分析、诊断工作,及时将异常反馈给运行维护专业;加强线上带电检测缺陷的闭环管理,包括常规一二次缺陷、带电检测发现缺陷及状态检测案例编制等。从运行维护方面获取更多状态评价参考量,增加带电检测评分权重,将图谱、数据均纳入缺陷管理环节。

4 结 语

1) 带电检测发现的缺陷数量随海拔上升而下

降,负荷集中区缺陷比例较大,缺陷率随着变电站运行时间增长而升高,但存在中间的稳定运行期,选择厂家设备时技术上应有考虑。

2) 将带电检测按试验数据和缺陷视图引入状态评价系统,形成带电检测数据评价流程。

3) 检修检测周期根据变电站运行年限调整。针对缺陷位置制定高效的解体处理方案,缩小处理范围。

4) 变电站的选址在可选范围内尽量选择海拔较高位置,避开雷击高发区域,优先采用室内 GIS 设备,采购成套生产且在运行中故障率、缺陷率较低的产品。

5) 变电运维方面,将变电站按年限划分为 3 类,有针对性提出巡视重点,运行维护中引入先进带电巡检手段,增加设备评价状态量及评分权重,将运行维护与试验专业深入结合,使设备状态评价更准确。

参考文献

[1] 陈汉雄. 四川电力发展对新能源建设规模影响分析[J]. 四川电力技术 2018 41(2): 50-54.

[2] 吕伟业, 吴云, 曾德文. 中通道“西电东送”规划研究概论[J]. 电力建设 2002 23(11): 37-50.

[3] 杨荷娟. 输变电设备状态评价及可靠性研究[D]. 杭州: 浙江大学 2012.

[4] 邹嘉嘉. 电网设备状态检修策略的研究[D]. 广州: 华南理工大学 2012.

[5] 盛鹏飞. 变电设备状态检修系统设计[D]. 北京: 华北电力大学 2016.

[6] 张永祥. 电力设备综合评价指标分析[J]. 青海电力, 2013 32(1): 1-3.

[7] 杨贤, 饶章权, 柯春俊, 等. 广东电网输变电设备带电检测技术应用现状及提升策略[J]. 南方电网技术, 2015 9(3): 68-74.

[8] 付兆远, 孙英涛, 王宁, 等. 基于带电检测和在线监测的变电设备状态评价管理[J]. 山东电力技术, 2015, 42(7): 6-9.

作者简介:

汪鑫(1987), 硕士, 工程师, 中级工, 研究方向为高压与技术监督。

(收稿日期: 2019-06-09)

(上接第 71 页)

2) 探讨了水平 + 受压组合荷载的桩顶荷载 - 沉降的总体规律。与单独竖向(受压)荷载类似, 呈现出桩顶竖向位移随荷载增加而增加的特征, 水平荷载的存在会使桩顶沉降有所增加。但其增加值总体不大, 并且随荷载量级增大(达到极限承载力)时, 这一附加沉降量可能由正变负。

3) 探讨了水平荷载对支盘桩竖向受压承载力的影响。水平荷载的存在会使竖向承载力略有增加, 但总体上影响不太大。

参考文献

[1] 王东坡, 钱德玲. 挤扩支盘桩的荷载传递规律及研究现状[J]. 岩石力学与工程学报 2004, 23(s1): 4645-4648.

[2] 巨玉文, 梁仁旺, 赵明伟. 挤扩支盘桩的荷载传递法及数值模拟[J]. 建筑技术 2004, 35(3): 204-205.

[3] 肖琦, 王德宏, 徐晶. 输电线路挤扩支盘桩受力特性的试验研究[J]. 实验力学 2015, 30(1): 124-130.

[4] 王有凯, 丰晓灿, 张敏霞. 挤扩支盘灌注桩承载性状的试验研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2014, 33(6): 799-803.

[5] 钱德玲. 挤扩支盘桩的荷载传递规律及 FEM 模拟研究[J]. 岩土工程学报 2002, 24(3): 371-375.

[6] 王伊丽, 徐良英, 李碧青, 等. 挤扩支盘桩竖向承载力特性和影响因素的数值研究[J]. 实验力学 2015, 30(s2): 159-162.

[7] 高笑娟, 朱向荣. 支盘桩理论研究及工程应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 2010.

[8] 巨玉文, 梁仁旺, 赵明伟, 等. 竖向荷载作用下挤扩支

盘桩的试验研究及设计分析[J]. 岩土力学 2004, 25(2): 308-311.

[9] 卢成原, 王志军, 孟凡丽. 不同土质中模型支盘桩在重复荷载作用下的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报 2007, 26(s1): 3141-3147.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基桩检测技术规范: JGJ 106-2014[S]. 北京: 中国标准出版社 2014.

[11] 苏晴晴, 夏红兵. 新型扩挤支盘桩竖向承载特征 FLAC^{3D} 数值分析[J]. 水利与建筑工程学报(自然科学版) 2017 37(6): 71-75.

[12] 王成武, 龚成中. 支盘桩竖向承载性状模型试验研究及数值模拟[J]. 建筑科学 2015 31(7): 80-83.

[13] 王成武, 龚成中. 支盘桩桩周土位移场试验研究[J]. 建筑科学 2015 46(6): 511-513.

[14] 苏晴晴, 夏红兵. 支盘间距、数量、直径对新型支盘桩承载力的影响[J]. 安徽建筑大学学报 2018 26(4): 18-21.

[15] 蔡雨阳, 于东波. 挤扩支盘桩单桩竖向极限承载力分析方法研究[J]. 山西建筑 2017 43(24): 75-76.

[16] Zhang M X, Xu P, Cui W J, et al. Bearing Behavior and Failure Mechanism of Squeezed Branch Piles[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, 10(5): 935-946.

[17] Shi D, Xiao J, Yang C, et al. Research on the Plate Cavity Geometry of the Squeezed Branch Pile[J]. Procedia Engineering, 2014(73): 29-34.

作者简介:

王红(1993) 硕士研究生 研究方向为岩土工程。

(收稿日期: 2019-04-08)