

# Discussion on Lean Inspection of Ultra High Voltage Substation Switchgear

Dongcai Li, Hunao Li, Yufeng Ban, Dawei Wang, Liyang Lan

Pinggao Group Co., Ltd., Pingdingshan Henan  
Email: 15937510903@163.com

Received: May 16<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jun. 1<sup>st</sup>, 2018; published: Jun. 8<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The safe operation of the first switch equipment in the substation plays an important role in the safe operation of the whole power grid system. The lean inspection solves the problem that the traditional operation and maintenance mode cannot optimize the allocation of resources, and the allocation of resources is more random, which improves the efficiency of inspection. This paper analyzes the current situation of the switch equipment inspection, gives full play to the advantages of the equipment manufacturer, and actively carries out the research work on the lean transportation inspection, such as charge professional inspection, professional inspection, state assessment, standing watch, hidden inspection, professional training and technical support for the ultra high voltage equipment, providing the basis for equipment condition maintenance and avoiding determination. The blindness of the overhaul is to improve the comprehensive analysis ability and fine management level of the equipment.

## Keywords

Lean Inspection, State Assessment, Professional Tour, Live Detection

---

# 超特高压变电站开关设备精益运检工作探析

李栋材, 李虎舜, 班玉峰, 王大伟, 兰黎阳

平高集团有限公司, 河南 平顶山  
Email: 15937510903@163.com

收稿日期: 2018年5月16日; 录用日期: 2018年6月1日; 发布日期: 2018年6月8日

---

## 摘要

变电站一次开关设备的安全运行对整个电网系统的安全运行起着至关重要的作用, 精益运检解决了传统

的运维检修模式无法实现资源的优化配置,运检资源分配随意性较大的问题,提高了运检效率。本文分析了开关设备运检的现状,充分发挥设备制造厂家优势,积极开展超特高压设备带电专业检测、专业巡视、状态评估、驻站值守、隐患排查、专业培训和技术支持等精益运检探析工作,为设备状态检修提供依据,降低定期检修的盲目性,提高设备的综合分析能力和精细化管理水平。

## 关键词

精益运检, 状态评估, 专业巡视, 带电检测

Copyright © 2018 by authors 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. 引言

截至目前,国家电网公司“八交十直”特高压工程已建成,“一交一直”工程正在建设,“三交”工程获得核准,合计特高压线路超过 3.3 万千米、变电(换流)容量达到 3.3 亿千伏安(千瓦)。超特高压具有输送容量大、送电距离长、线路损耗低、占用土地少的优点,输送电能力强决定了它一旦发生故障,影响范围巨大。设备制造厂家秉承国家电网公司“提升可靠性,保障大电网安全”工作主线,突出问题导向、创新导向驱动力,充分利用制造企业人员、技术、装备资源,联合提升特高压电网本质安全和优质服务水平,实现特高压开关类设备精益运检目标。

变电站一次开关设备的安全运行对整个电网系统的安全运行起着至关重要的作用。本文积极探索超特高压开关设备精益运检工作,通过探析发现,对设备开展带电检测、带电专业巡视、定期维护等,可以充分掌握设备的运行情况,及时发现并处理设备的异常、缺陷及隐患,有效克服设备定期检修的盲目性,提高设备的综合分析能力和精细化管理水平,使电网运行更安全。

## 2. 开关设备运检现状及必要性

### 2.1. 传统运检现状

在我国电力行业,目前高压开关设备的维护[1][2]主要以定期检修(又称预防性维修,计划检修)为主,主要是按照设备的运行周期准备检修计划,实施预防措施,做到“到修必修,修必修好”。该模式下一旦设备运行到预定的时间,无论是否出现故障,停电检修,以避免未来出现问题。这一方式始于 1932 年的苏联,相对于被动维护而言,实施“预防为主”的大修战略,已经取得了很大进步,也在很多程度上减轻了事故的不良影响。

但定期维修也暴露出其缺点一大修的盲目性。以断路器[3][4]为例,大修每 3~10 年一次。在如此长的维护期内,如果设备发生事故,预防性维修不能捕捉住,预防措施将会丢失,造成维修不足。此外,设备的拆卸和组装将造成很大的问题,往往会造成过度的维修,使设备有损坏,而且在负责断路器事故分类调查时也发现,不当维护占了较大的比重,这仍然是一个争议的问题。事实上,在目前相对保守的规划检修中,许多零件在更新后已运行多年,由于缺乏及时的检测,造成电网事故。

总之,传统运检模式存在设备状态信息获取方式传统(仍以停电检修、离线试验为主)、来源单一,而在线监测、带电检测、机器人、无人机等先进手段利用率不高。因此,要充分了解开关设备的状态[5],减少过早或不必要的设备测试和维护,对电力系统的可靠性和经济性有很大的帮助。

## 2.2. 精益运检的必要性

“十三五”期间，电网规模将迎来爆发式增长，电网运行安全性要求也越来越高，依靠人力为主要的传统运维检修模式导致运检能力提升有限，已经无法满足“十三五”期间迅猛增长的电网运检工作需求[6]；同时传统的运维检修模式无法实现资源的优化配置，运检资源分配随意性较大，制约了运检效率的进一步提高。

生产一线人员严重不足，且一线生产人员年龄老化严重。部分运维检修人员习惯了传统的运检方式，特别是考虑到电网运行维护的安全性要求，实际工作中对传统运检方式依赖程度高，造成了新技术在运检领域的实际应用趋于保守的局面。随着近几年大规模的电网建设，输变配电运行设备大幅增加，增长率5%。新设备的投入运行大大提高了安全运行的可靠性，但运维人员未同步增加，负责新设备定期检修的专业技术人员严重匮乏。

随着经济社会发展，人民生活水平提高，全社会对供电可靠性的要求越来越高，对停电事件的容忍度越来越低，政府部门、电力监管机构、媒体网络对安全生产高度关注，计划停电愈发困难，抢修时间愈发紧迫，与保证检修试验质量，保障作业安全矛盾突出，电网安全压力进一步加大。

目前地区带电检测人员现场测试水平良莠不齐，整体技术水平不高，现场测试判断经验匮乏，缺少设备局放故障测试案例和解体验证案例支撑。有电网运检工作中缺乏对设备及运检状态的高级诊断和分析手段，设备状态评价诊断缺乏科学的数据模型和可量化的依据，主要靠人员经验。除此之外，设备安全管控能力亟待提升。

精益运检工作是通过探析设备运行状态，开展故障诊断及预评估，能够解决目前电网规模增长与运检人员配置的矛盾，降低停电事件发生的概率，提高运检人员的技术水平，为设备的状态检修奠定基础。与传统运检相比，精益运检主要技术优势体现在：

- 降低预防性检修的检修成本：更加日常巡检的数据，通过延长预防性检修的时间间隔，降低周期性的预防性试验投入；
- 缩短预防性试验的停电时间，增加供电企业的营业收入；
- 减少预防性试验的数量，降低电气设备的陪检率和过度检修问题，延长电气设备的设计使用寿命；
- 优化预防性检修的周期设置，避免非计划停电事故的发生，减少用电企业因停电事故导致的原材料浪费和产能降低，提高供电企业的社会效益。

## 3. 开关设备制造厂家优势

根据特高压开关类设备投运初期运行特点，开关设备制造厂家积极探索运检新方式、新手段，建设精益运检联合体，定期巡检，联合开展运维、检测、评价、消缺、维护等合作。发挥设备厂家开关制造技术、专业人员优势，提高设备运行监控、巡视检测质量。发现问题“抓早抓小”，实现安全保障从“被动防御”到“主动预防”转变。具有如下运检优势。

### 1) 具备开关设备全寿命周期专业化管理能力

厂家在开关研发、制造、安装、运行、维护、更新、改造、报废全周期管理等方面拥有丰富的超特高压产品技术、生产、质量、项目管理经验，能通过深化资产设备全寿命周期管理(LCC) [7]夯实精益运检基础。

### 2) 具有专业化开关运检人才优势

数十年专注高压开关领域，尤其经过特高压建设的实践锻炼，厂家培养了一大批专业技术、研发、装配、检修人才，为协助用户开展检修业务储备了大量运检力量。能够对产品的运行机理及动作原理有

充分认识，了解产品的各个元器件的工作情况，为精益运检[8]做好有力的产品技术知识铺垫

### 3) 拥有智能运检技术的研发能力

能够积极探索、跟进国网公司智能运检的发展方向，开展开关在线监测系统、带电检测、开关状态参量算法及模型建立、远程诊断技术研发，为精准实现状态检修奠定了理论和应用基础，有效预防重大故障发生。

## 4. 超特高压开关设备精益运检工作

### 4.1. 专业巡视及定期维护

依托厂家，组建专业团队对超特高压开关设备进行带电专业检测、带电专业巡视和定期维护。目的是通过定期对设备的专业巡检及定期维护，掌握设备的运行情况，及时发现并处理设备的异常及缺陷，避免设备运行事故，保证电网安全运行。实施过程中与用户建立项目实施沟通机制，确保信息及时传递。

#### 1) 带电专业检测

依托设备制造厂家，组建涵盖红外测温、局部放电检测、红外检漏、紫外成像等检测人员的专业检测队伍，通过特殊的试验仪器，仪表装置，对被测的电气设备进行特殊的检测，用于发现运行的电气设备所存在的潜在性的故障。可以得知电气设备在所测状态点下最真实的使用状态，判断其是否对用户整体的电气设备长期、正常使用存在隐患，以便电力用户决定是否对其检修，更换或者采取其它的一些相关处理措施，从而排除故障隐患，有效避免电力事故和非计划停电。

#### 2) 带电专业巡视

依托设备制造厂家，组建涵盖安全、质量、技术人员的专业巡视队伍，基于国网公司五通一措及设备厂家标准(详见图1)，制定分类产品的专业巡视方案及点检卡，开展设备外观、SF6气体压力值、机构、汇控柜等检查项目。

#### 3) 定期维护

依托设备制造厂家，组建涵盖安全、质量、技术人员的定期维护队伍，基于公司五通一措及设备厂家标准(详见图2)，制定分类产品的定期维护方案，开展设备外观检查、预防性试验、机构检查、汇控柜检查、零部件更换等检修项目[9]，并依据检修计划组织实施。

作业名		敞开式隔离开关检查卡				负责人	运行单位	负责人		组合电器(断路器)检查卡				负责人	运行单位		
						平高								平高			
						记录日期								记录日期			
电站名称		产品型号		制造厂家		出厂日期		电站名称		产品型号		制造厂家		出厂日期			
出厂编号		运行编号		间隔编号		投运日期		出厂编号		运行编号		间隔编号		投运日期			
检查方式	目视检查	天气		湿度		温度		检查方式	目视检查	天气		湿度		温度			
执行的标准	国家电网公司变电检修管理规定(试行)第4分册 隔离开关检修细则																
序号	检查项目	检查内容				检查结果	确认人	日期	执行标准								
		1.隔离开关外观清洁无异物，五防装置完好无缺失；				良□ 否□			1.国家电网公司变电检修管理规定第3分册 组合电器检修细则 2.DLT 306.3-2010 1000kV 变电站运行规程 第3部分: 设备巡检 3.1100kV 变电设备检修导则, 第2部分气体绝缘金属封闭开关 检修导则 4.能源部—高压断路器运行规程—2.28条								
		2.触头接触良好无过热、无变形,合、分闸位置正确,符合相关技术规范要求;				良□ 否□			序号	检查项目	检查内容				检查结果	确认人	日期
		3.引弧触头完好,无缺损、移位;				良□ 否□			1	外观检查	检查标志牌、铭牌是否完好、观察窗密封良好				良□ 否□		
		4.导电臂及导电带无变形、开裂,无断片、断股,连接螺栓紧固;				良□ 否□					设备外观完整无缺陷,有无异常声响或异味				良□ 否□		
		5.接线端子或导电底座无过热、变形、连接螺栓紧固;				良□ 否□					分合闸指示牌应与实际运行状态符合				良□ 否□		
		6.均压环无变形、倾斜、锈蚀,连接螺栓紧固;				良□ 否□					★SF6压力表或者密度表在正常范围内,并记录压力值				良□ 否□		
		7.绝缘子外观及辅助伞裙无破损、开裂,无严重变形,外绝缘放电不超过第二伞裙,中部伞裙无放电现象;				良□ 否□					各类配管及阀门应无损伤、变形、锈蚀,阀门开闭正确				良□ 否□		
		8.本体无异响及放电、闪络等异常现象;				良□ 否□					检查接地是否良好,接地线、接地排、接地端子、接地螺栓表面无锈蚀、无破损,压接牢固。				良□ 否□		
											测量基础大板有无不均匀沉降				良□ 否□		
											检查预埋铁与大板基础之间有无裂缝				良□ 否□		
											检查支撑与预埋铁焊接是否良好、有无开焊现象				良□ 否□		

Figure 1. Professional inspection card

图 1. 专业巡视点检卡

## 定期维护实施标准

设备类型	维护部位	维护方式	维护项目（重点）	维护周期
组合 电器	断路器	停电试验 检查	SF6 气体试验；	定期维护期
			断路器操动机构试验；	定期维护期
			断路器特性试验。	定期维护期
		目视检查 （外观检 查）	1. 检查标志牌、铭牌是否完好； 2. 设备外观完整无缺陷； 3. SF6 压力表或者密度表在正常范围内，并记录压力值； 4. 各类配管及阀门应无损伤、变形、锈蚀，阀门开闭正确。	定期维护期
目视检查 （内部检 查）	1. 机构箱门平整、开启灵活、关闭紧密、门接地线完整； 2. 机构箱内无异味； 3. 机构箱内有无凝露； 4. 加热器正常、完好； 5. 检查油箱油位正常、机构内部无渗油； 6. 高压油的油压在规定范围内； 7. 记录油泵启动次数；（汇控柜侧读数） 8. 操作次数记录； 9. 防慢分装置固定是否可靠、状态是否正常； 10. 机构二次部分接线及各电器元件完好、名称标志齐全； 11. 断路器的辅助转换开关接线、外观良好； 12. 分合闸线圈外观有无变色； 13. 防火泥封堵良好； 14. 各连杆、传动机构无弯曲变形、锈蚀，轴销齐全； 15. 传动部位无磨损、机构内部无异物；	定期维护期		

Figure 2. Regular maintenance of implementation standards

图 2. 定期维护实施标准

### 4.2. 状态评估

设备制造厂家主导，选派优秀专家及技术人员开展设备状态检测、分析评价和故障诊断工作。厂家出具设备评估报告，并经用户确认将评估报告作为设备年度维护检修的技术支撑依据，预防重大事故发生，确保电网安全运行。专家团参与用户重大事故分析研讨及验收评估，并提供设备专业技术支持。

根据状态评价报告、反措排查报告、国网公司估值通报等提出开关类设备检查、维修策略，逐项梳理开关本体、重要附件等检查、维修项目，提炼形成检修策略[10]，供用户决策，实现检修策略从“传统经验”向“精准智能”转变。

### 4.3. 驻站值守

在迎峰度夏、度冬及特殊政治保电期间，依据用户需求，厂家选派专业技术人员，并提供相应工器具在超特高压变电站内驻站服务，配合运行人员对变电站内产品开展专业巡视，并将发现的问题及时反馈至运维人员。组织专家对发现的问题及时制定有效的处置建议和方案，确保驻站值守期间设备零故障、客户零闪动。

### 4.4. 深度隐患排查

#### 1) 隐患排查

厂家主导，汇总梳理本地区超特高压产品运行、巡检过程中发现的典型问题，有计划、有针对性地



对该地区超特高压 GIS 进行深度隐患排查；根据目前统计的典型问题及以往超特高压故障问题汇总，并建议由厂家专业人员协同检修公司对 CT 气室、灭弧室、液压机构、波纹管及滑动支撑等部位(详见图 3 和图 4)进行定期重点排查。

## 2) 升级改造

厂家主动分享同类型超特高压产品在生产制造过程中或运行过程中发现的隐患，并及时对该地区在运超特高压产品进行升级改造。如母线增加电压互感器、自主化液压机构增加低油位报警、断路器静态

### CT 深度隐患排查表

CT 隐患排查表						
电站名称	运行编号	型号				
额定电流	额定电压	电流比				
制造厂/出厂编号	投运日期	安装位置				
序号	检查内容	检查结果	整改措施及建议	整改完成时间	排查周期	
1	分析 CT 两侧相邻的局放传感器数据有无异常				6月1次	
2	测量 CT 相邻沉降波纹管有无超出沉降范围 ( $\leq \pm 5\text{mm}$ )				6月1次	
3	检测 CT 气室气体成分是否符合标准或有明显变化趋势				6月1次	
4	使用红外成像仪检测 CT 气室内部温度变化不超过 $10^{\circ}\text{C}$				6月1次	
5	检查设备外观完好；外绝缘表面清洁、无裂纹及放电现象				6月1次	
6	检查金属部位无锈蚀，底座、构架牢固，无倾斜变形				6月1次	
7	检查设备外涂漆层清洁、无大面积掉漆				6月1次	
8	检查二次引线接触良好，接头无过热，各连接引线无发热迹象，本体温度无异常				6月1次	
9	检查密度继电器（压力表）指示在正常规定范围，无漏气现象				6月1次	
10	检查本体二次接线盒密封良好，无锈蚀；无异常声响、异常振动和异常气味				6月1次	
11	检查无异常声响、异常振动和异常气味				6月1次	

Figure 3. CT deep hidden trouble survey table

图 3. CT 深度隐患排查表

### GIS 断路器灭弧室及液压机构隐患排查表

GIS 断路器灭弧室及液压机构隐患排查表						
电站名称	运行编号	型号				
额定电流	额定电压	安装位置				
制造厂/出厂编号	投运日期	开/断次数				
序号	检查内容	检查结果	整改措施及建议	整改完成时间	排查周期	
1	分析断路器两侧相邻的局放传感器数据有无异常				6月1次	
2	检测断路器气室气体成分是否符合标准或有明显变化趋势				6月1次	
3	使用红外成像仪检测灭弧室内部温度变化不超过 $10^{\circ}\text{C}$				6月1次	
4	测量断路器静态接触电阻应在规定范围内				6月1次	
5	检查油箱油位正常、机构内部无渗油				6月1次	
6	记录油泵启动次数；（汇控柜侧读数）				6月1次	
7	检查防慢分装置固定是否可靠、状态是否正常				6月1次	
8	检查机构二次部分接线及各电器元件完好、名称标志齐全				6月1次	
9	检查断路器的辅助转换开关接线、外观良好				6月1次	
10	检查分合闸线圈外观有无变色				6月1次	
11	检查防火泥封堵良好				6月1次	
12	检查各连杆、传动机构无弯曲变形、锈蚀，轴销齐全				6月1次	
13	检查传动部位无磨损、机构内部无异物				6月1次	
14	检查油泵电动机有无过热、异味、声音是否异常（启动时）				6月1次	

Figure 4. Hidden trouble checking table for GIS circuit breaker arc extinguishing chamber and hydraulic mechanism

图 4. GIS 断路器灭弧室及液压机构隐患排查表

接触电阻测量等项目。

### 3) 专项排查

依据国网公司十八项反措、直流换流站二十一项反措及国网五通一措要求,由厂家专业人员协同用户开展专项排查。

### 4) 全方位分析

依据超特高压设备历史运行、维护、检修和缺陷信息、带电专业检测及专业巡视结果,对在运特高压设备运行状况进行全方位分析,形成该地区在运特高压产品专业化运维检修策略。

## 4.5. 备品储备

为确保最短时间解决超特高压设备出现的问题,厂家综合分析超特高压设备主要单元及布置结构特点,从中选取具有代表性的单元,制定单元在放电、漏气状况下的应急抢修预案。依据应急预案,投制相应的备品备件,确保在最短时间提供相应对策,快速完成抢修工作。针对超特高压现场试验、系统调试过程中的易损元件进行储备,确保不影响工作进度的情况下直接替换,满足应急需求。

## 4.6. 专业培训

随着“大检修”体系建设的推动,“大检修”将为电网企业带来广泛而深刻的变革,“变电一次设备运维检修”是“大检修”体系建设中一重要部分,其运检工作量很大,对电网生产运行管理人员的知识、技术、技能等方面提出了全新的要求,将给电网企业的生产运行管理和人才培养带来了巨大的挑战。因此,变电运检的培训就工作就显得尤为重要。

为使变电运检人员能全面了解开关设备结构、组成部分及工作原理,提高认识和认知,锻炼针对性的维护、检测和检修设备的技能,掌握设备维护保养的正确方法,提高设备故障的诊断、定位和排除能力,完全胜任所承担的工作,确保开关设备安全可靠运行。可以依托厂家开展组合电器、断路器、隔离开关、开关柜结构分析、故障排查、日常维护及例行试验等方面多形式、多层次培训和技术交流。

## 4.7. 专业技术支持

厂家依据掌握的超特高压开关类设备运行特点和现场发生的异常问题,协助用户共同制定超特高压开关类设备检修规程、标准化作业指导卡、工艺要求和规范化文件,协助清点备品备件。必要时,选派技术专家协助编制开关类设备检修标准化作业指导书,开关类设备整体更换、大件更换方案,现场疑难问题技术咨询,消缺/整改方案等,研究超特高压开关类设备运维检修策略。

## 5. 结论

超特高压电网承载着全球能源互联网战略落地的重要支撑,超特高压变电站运检构成“大检修”体系的重要组成部分。本文立足于开关设备制造厂家,积极探索超特高压开关产品精益运检工作内容,充分发挥设备制造厂家的优势,开展超特高压设备带电专业检测、专业巡视、状态评估、驻站值守、隐患排查、专业培训和技术支持等探析工作,掌握设备的运行情况,及时发现并处理设备的异常、缺陷及隐患,克服设备定期检修的盲目性,提高设备的综合分析能力和精细化管理水平,避免设备运行事故,保证电网安全运行。

## 参考文献

- [1] 曲培斌. 高压开关设备的维护和检修[J]. 电世界, 2002(11): 1-3.
- [2] 王光辉. 高压开关设备检修维护技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

- [3] 穆存正, 何利平. 高压断路器的运行维护及设备检修分析[J]. 华东科技: 学术版, 2014(12): 155.
- [4] 刘祥吉. 探讨高压断路器的运行维护和设备检修[J]. 大科技, 2015(25): 56-57.
- [5] 郝建成, 田勇, 陈瑞国. 浅谈高压开关设备的状态检修[C]//全国输变电设备状态检修技术交流研讨会. 2009.
- [6] 杨磊. 关于高压开关设备与状态检修分析[J]. 电工技术: 理论与实践, 2015(12): 17.
- [7] 刘晓燕. 基于全寿命周期管理的电力设备状态检修成本研究[J]. 电力工程技术, 2016, 35(5): 74-76.
- [8] 张秀斌, 彭鹏, 温定筠, 等. 基于联合巡检的超高压变电站设备精益化管理模式探索[J]. 电气技术, 2017, 18(2): 135-139.
- [9] 国网山西省电力公司, 原敏宏, 李坚, 等. 特高压交流变电运维检修技能培训教材[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [10] 国家电网公司运行分公司. 特高压换流站运维作业标准(套装共 9 册) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

#### 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: 2161-8763, 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: [sg@hanspub.org](mailto:sg@hanspub.org)