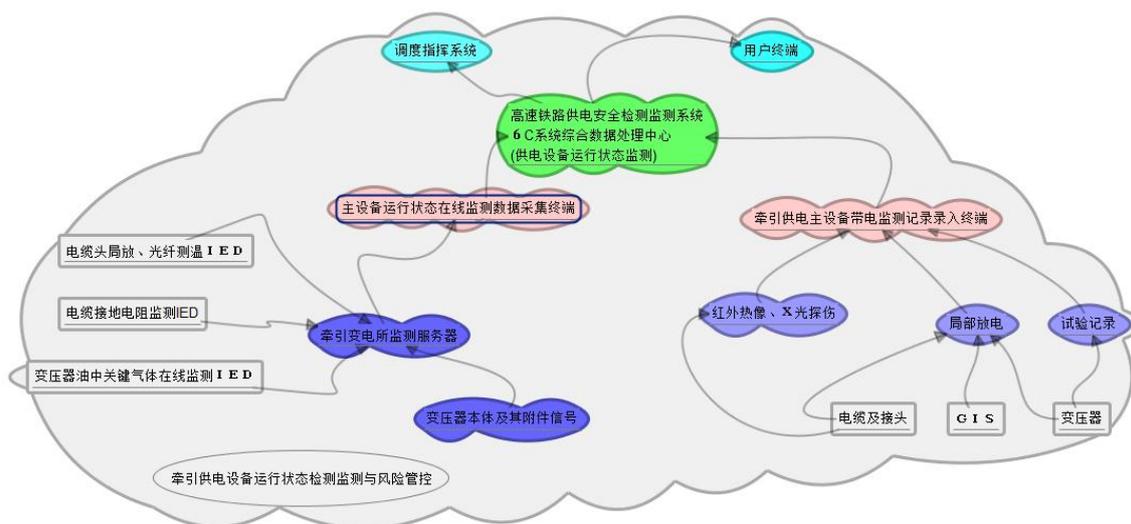


牵引供电设备运行状态检测监测与风险评估系统

(供电设备运行状态检测监测系统技术方案)



牵引供电设备运行状态检测监测与风险评估系统

(供电设备运行状态检测监测系统技术方案)

1 概述

随着国家高速铁路网的建设与运营，尤其是“高速铁路供电安全检测监测系统(6C系统)”的成功投运，铁路牵引供电设备的安全管理措施、技术和设备也提高前所未有的水平。

由于系统建设投资巨大，6C系统建设目前仅在高速铁路的6C综合数据处理中心和C1(高速弓网综合检测)、C2(接触网安全巡检)、C3(车载接触网运行状态检测)、C4(接触网悬挂状态检测监测)、C5(受电弓滑板监测)等得到了实施，C6(接触网及供电设备地面监测)由于设备类型、检测监测技术、手段、方法的不同和标准尚未统一，相关设备的监测技术、设备虽有所使用，但在检测监测数据的管理、应用方面尚未起步和提高。

本方案以牵引供电变压器管理运行维护为核心，主要针对牵引供电设备运行状态检测和方面，提供了一套6C系统的建设、实施和数据管理和利用方面的建议，内容主要涉及：

- 1) 变压器及其附件运行状态在线监测；
- 2) 电缆及电缆头局部放电检测监测；
- 3) 电缆头光纤测温；
- 4) GIS气室SF₆和局部放电检测监测；
- 5) 开关柜局部放电检测监测。

1.1 目的

从状态检修的角度，充分利用状态监测的设备和技術，构建一套可用于电气化铁路牵引供电主设备运行状态安全检测监测和风险管控系统。即以牵引变压器及其附件的在线监测为主，构建一套可用于牵引供电设备安全管理和风险管控系统；给出供电设备运行状态评价；为牵引供电安全管理与维护提供有价值的参考，避免和减少因牵引变压器等主设备导致的供电系统故障的发生；以较低的投入，在保证行车安全的前提下，尽可能地延长牵引供电设备的使用寿命，充分保障和发挥电气化铁路资产投入的收益。

1.2 意义

依托“高速铁路供电设备安全检测监测系统”，以铁路局为单位，开展管内牵引供电主设备的状态监测，对确保电气化铁路供电系统安全，尤其是牵引变电所内主设备的安全，对牵引供电设备的检修和维护有十分重要的意义。

1) 及时获取牵引变电系统核心设备的运行状态及演变趋势,通过趋势分析，及时找到牵引供电网络可能存在的潜在风险,及时预防和防止供电系统可能发生的突发性事件；

2) 有利于发现变电所内主要电气设备，包括牵引变压器、电缆及其附件可能存在和正在发、发展的潜在故障与缺陷；

3) 通过对日常检测的记录和分析，有助于找出影响牵引变压器及其附件绝缘性能劣化的因素；

4) 通过动态负荷计算模型，即时计算出变压器的变压器动态负荷和剩余寿命；

5) 收集、整理和录入主设备所有出厂试验报告、型式试验报告和历次巡检、点检，以及离线试验数据，便于建立牵引电气设备的标准化管理和维护，为状态检修提供依据，安排有针对性的检测维护，防止检修不足和避免过度维护，节约维护成本；

6) 结合日常巡检、点检，充分利用在线监测记录，运用大数据处理分析技术，提供牵引变电所内主要电气设备状态评价和牵引供电系统风险评估。

7) 与6C系统综合数据管理中心实现对接,建立电气化铁路牵引供电设备运行状态远程集中在线监测与故障诊断中心，落实铁路局、供电段和牵引配电所分级管理和维护，为行车调度指挥中心提供必要的配套和数据保障，确保行车安全和减少系统风险。

2 项目简介

电气化铁路牵引供电系统，点多线长，供电设备种类繁多，工况复杂，尤其是

供电的间歇性、周期性，致使影响牵引供电安全的因素非常多。出于安全运营的考虑，目前我国电气化铁路所使用的主设备(包括牵引变压器)为一主一备，双回路设计，资产基数十分庞大，是铁路资产的重要组成。

目前牵引变电所、牵引变压器、接触网等主设备，均按修程进行。需要值班人员每隔一段时间对设备日常的巡视、检查、测量和试验。尽管日常点检能及时发现设备潜在的问题和正在发生的故障，故障和事故的发生往往存在一定的偶发性，不能完全避免设备事故的发生而影响到牵引供电。

随着电子技术和信息技术的发展，出现大量的在线监测设备和装置，设备管理维护模式正由传统的设备计划检修转为状态检修。状态检修根据设备运行的状态安排检修和维护计划，可以防止检修不足和过度维护，减少故障和事故的发生。

2.1 变压器运行状态在线监测技术现状

1) 电力设备在线监测技术方兴未艾

随着电子信息与自动控制技术的发展，传统的计划检修正在逐步被以设备运行状态监测为基础的状态检修模式所替代，以变压器运行状态监测为主的电网输变电电力设备的状态监测技术和监测设备大量涌现出来。有变压器绝缘油中气体组分及微水含量在线监测设备、绕组光纤热点温度在线监测装置、套管健康状况等容性设备在线监测装置、断路器运行在线监测、电缆光纤测温、各种局部放电在线监测设备和带电监测技术等。

提供这些装置和技术，不仅有专门设计制造仪器仪表的第三方厂商，也有输变电设备制造厂家和负责设备运行维护的业主单位，存在广泛的市场基础。

2) 现有的各类在线监测技术和设备均存在明显的局限性

虽然可供变压器运行状态的在线监测设备和技术层出不穷，但由于设备所处的电磁场环境和受负荷的影响，均存在不同程度的局限性。

序号	检测对象	监测技术和设备	监测指标及特点	局限性
----	------	---------	---------	-----

1	绝缘油中气体组分	光声光谱法	9种组分、准确	成本高，需要校准 难于大规模推广应用
		在线色谱	7种组分、准确	需要载气、定期校准 难于大规模推广应用
		电化学分离膜	单组分	不能提供多种气体组分的监测
2	绕组温度	光纤测温	热点温度、须预埋	成本高
3	容性设备在线监测	套管、避雷器	介质损耗、泄露电流	有效捕捉不多
4	局部放电	所有部位	直接、成本高	定位难、易干扰

3) 变压器运行状态评价与评估需要进行综合监测

目前，输变电可供变压器及其附件的状态监测所用的传感器和仪器仪表、技术和检测手段方法有很多，但都仅仅局限于提供监测数据的展示，真正提供监测数据用于状态分析、评估和评价的却很少。

其主要原因在于，输变电设备的绝缘状况不仅与设备本身的内部结构及老化程度有关，还与电压等级、电磁场和电网的实际负载有直接的关系，仅凭单一的监测指标不能充分地反映真实的状况。

只有将状态监测数据与被监测设备的绝缘状况、所处的电磁场特性和实际负载结合起来，通过多参量的状态分析与评价模型和大量占有监测数据的情况下，才能给出相应的综合分析报告，所采用的在线监测技术和设备才能充分有效地发挥作用。

2.2 牵引电压器运行状态在线监测现状

牵引供电与国民生产、生活供电有着截然不同的特点：供电线路长，电压等级相对低、容量相对偏小、负载受运行图的影响，正常供电时欠负荷，高密度运营时过负荷，供电和受电带有明显的周期性，工况条件复杂、谐波谐振现象严重，容易

影响供电方电能质量和引发牵引供电系统震荡而导致电气设备绝缘性能受损和老化加速，对保护设备有更高的要求。

由于牵引供电变压器电压等级低、工况复杂、投入少，牵引供电设备的耐压设计小，运行过程中因耐压等级和保护覆盖等不足而经常发生设备故障和事故。

尤其是近年来随着机车交路的不断延长，运行速度的不断提高及牵引重量的不断加大，机车在运用现场的安全事故也时有发生，直接和间接损失巨大，严重影响了机车运用安全和运营秩序。

为了防止供电设备故障和及时发现牵引供电的问题，在供电系统中部署了一些在线监测装置，但由于所采用的监测设备本身存在缺陷，未能得到充分的利用，也无法发挥出在线监测的优势。

1、油中溶解气体多组分在线监测。此监测项目在高铁线路上设计有，但因采用的在线色谱，需要消耗和更换载气，不稳定，经常误报警，均被供电段停用；

2、电缆头光纤测温系统。该系统能够实时监测到电缆的温度变化。但因牵引供电的间歇性，无法分别出导致温度上升是负载变化，还是电气设备状态异常；

3、电缆接地电阻在线监测。该装置可以实时监测到电缆因老化或人为等因素导致的对地绝缘劣化的现象。但无法捕捉到早期引发电缆劣化的局部放电现象；

4、避雷器泄露电流和变压器铁芯接地等；

5、6C 监测系统虽然规划了供电设备的检测监测，但未明确检测监测的标准、项目、方式，目前尚在探索阶段。

2.3 关键技术和难点

1) 设计一套以牵引变压器运行状态为主的牵引主设备状态在线监测、故障诊断和缺陷分析的系统，为牵引变电所内牵引主设备及其系统提供状态评价、风险评估服务，状态报告；

2) 配备专用采集器，提供多通道、通道复用，配置式接入来自于被监测设备的状态信号，第三方专用在线监测设备及其应用软件与算法；

3) 建立以反映牵引变压器运行状态的关键气体组分含量变化趋势为主、结合变压器本体及其附件的专项监测，提供一套适合牵引变压器使用的牵引供电系统运

行状态评价和风险评估的综合监测装置，确保电气化铁路行车安全；

4) 根据状态评价模型，收集并输入以牵引变压器为主的主设备出厂试验报告数据、形势试验报告数据和日常巡检记录数据；

5) 借助于 TMIS、GSM 网络和移动通信网络提供的点到点通讯技术，为牵引供电设备管理和维护服务提供方提供一套不受时间、地点限制的牵引供电系统及其附件状态监测的现代化管理运行与维护模式；

6) 采用定期带电监测和在线监测相结合的方法，对所有牵引供电主设备的运行状态的安全检测和监测。优势是性能稳定的干式变压器，数量庞大的电缆头、开光柜开展局部放电检测，避免设备安全管理出现死角。

3 研究内容、技术路线与实施方案

3.1 研究内容

1) 选用安装简便、使用寿命长、免维护的变压器油中关键气体组分和微水含量在线监测装置；

2) 选用可配置式接入变压器本体及其附件的状态信息的装置，集成第三方监测系统，开展以牵引变压器为主的牵引变电所内主电气设备运行状态的评价；

3) 选用和引进合适有效的带电检测技术，减少变压器及其附件的高压试验次数，开展对难以实施在线检测的设备和项目的周期性带电检测，消除设备运行状态监测的死角；

4) 设计在线监测和带电监测两种数据采集和管理服务器，实现与 6C 综合数据管理中心的无缝链接；

5) 引入变压器运行状态、动态负荷、寿命评估相关导则，提供牵引变压器运行状态、动态负荷、剩余寿命和风险评估服务；

6) 采用 GSM 通讯网络、物联网信息技术、加密传输模式，提供完全的无线传输、报告和远程在线监测服务，为特殊条件下被检测设备监测数据提供接入服务；

7) 设计可运行在手持式移动终端上提供远程在线监测服务的程序，实现对牵引变压器运行状态评价和风险评估的点到点远程监控。

3.2 关键技术

1) 规划和设计适合牵引供电主设备运行状态现场在线监测的系统和远程诊断中心，开展状态评价、动态负荷、寿命评估服务与风险评估；

2) 以牵引变压器为中心，配置智能 IED，通过专用状态信息采集器，通过配置式接入来自于牵引变压器本体及其附件的状态信号和第三方电气设备状态在线监测数据和出厂、型式试验与历次巡检、点检和离线试验数据；

3) 探索适合牵引变压器特殊工况的动态负荷、剩余寿命评估模型，给出合适的参量及其配置方案，确保系统分析和评价评估结果的完整性、科学性和有效性；

4) 在线监测与带电检测相结合，配置专门的牵引供电安全监测与检测服务器，收录所有检测监测数据，并与 6C 系统数据处理中心实现无缝链接、数据共享。

3.3 技术详述

3.3.1 设置供电设备运行状态检测监测数据服务器和采集终端

1) 根据铁路局牵引供电 6C 数据管理中心要求，配置管内牵引供电主设备监测服务器，配置专用监测数据库和应用服务器；

2) 所有部署在牵引供电所内的监测(用户)终端，通过 TMIS 网络(或 GSM、移动通讯网)与检测服务器(或 6C 综合数据处理中心)连接，将监测记录数据实时写入监测数据库中；

3) 根据 6C 管理权限，供电处、供电段设备管理维护人员和监测值班点可以访问监测终端；

4) 所有用户，均需凭身份认证才能登录和使用监测系统，对授权设备监测数据进行浏览、分析和使用。

3.3.2 选用合适监测技术和装置设备，确保监测数据真实可靠

1) 针对牵引供电主设备状态评价模型，选用使用寿命长、免维护，可靠性高、能真实准确反映其运行状态的监测技术和装置，获取稳定可靠的监测数据；

2) 针对牵引变压器，监测油中溶解气体关键组分和微水含量；可集成监测牵引变压器绕

组热点温度、负载、铁芯接地泄露电流和等特定在线监测装置；

- 3) 支持供电电缆监测系统和装置的集成；
- 4) 支持 GIS、避雷器等其它供电设备的状态监测集成；
- 5) 对于无法安装在线监测装置的设备，采取带电检测方式，使用可靠的检测设备，及时对设备进行现场检测，并将检测数据及时传送到监测服务器中。

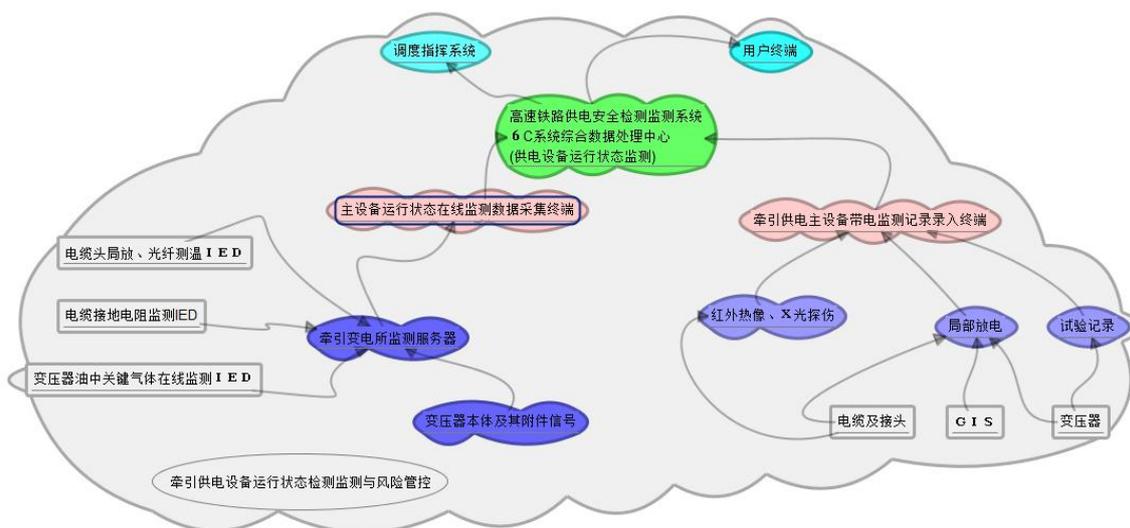
3.3.4 选配合适的模型和算法

- 1) 在监测系统中部署必要而有效的状态评价、动态负荷和风险评估模型；
- 2) 充分利用在线监测、出厂试验、巡检、点检数据；

3.3.4 开展状态评价、动态负荷、剩余寿命和风险评估

- 1) 利用 IEEE 发布的反应变压器绝缘性能的指标体系和模型，以动态铭牌形式为被监测设备提供状态评价结果及其动态负荷、剩余寿命；
- 2) 提供本地声光报警信号和继电器信号输出；
- 3) 根据设备在线监测记录、巡检和点检、评估报告对系统进行风险评估。

3.4 监测系统组成



整个系统由 6C 综合数据处理中心、监测应用服务器、监测数据库、用户终端 (包括供电所监测终端、手持终端) 和智能 IED 组成。

3.4.1 智能 IED

1) 智能 IED 根据使用方式有两种类型，一类是在线监测装置，一类为便携式检测设备。

2) 在线监测装置部署在特定的监测现场，对监测指标实行连续监测，并将监测数据直接传送到数据中心。

目前，可用于牵引供电设备在线监测的智能 IED 有：

序号	设备类型	监测指标
1	变压器油中溶解气体在线监测装置	氢气、乙炔和水分
2	变压器铁芯接地电流	泄露电流
3	通用采集器	变压器及其附件信号
4	光纤测温在线监测装置	介质损耗、泄露电流
5	电缆接地电阻在线监测装置	电缆接地电阻
6	套管介损在线监测装置	泄露电流、介损
7	避雷器泄露电流在线监测装置	泄露电路
8	压互、流互	电流、电压
9	局部放电在线监测装置	高频泄露电流、超声波、电磁波

3) 便携式检测设备，可根据作业要求，随时对所检测的设备进行不断电条件下检测。检测数据不连续，检测周期也不固定，是在线检测方式的一种补充方式。

可用牵引供电系统带电检测的便携式设备有：

序号	设备类型	监测指标	备注
1	便携式油中溶解气体组分检测装置	氢气、乙炔和水分	变压器
2	红外热像仪	介质损耗、泄露电流	电缆头
3	接地电阻测量仪	电缆接地电阻	电缆
4	局部放电检测设备	高频泄露电流、超声波、电磁波	变压器、电缆

4) 在线监测智能 IED，由传感器、变送器、采集器组成，完成现场数据的采集；

3.4.2 牵引供电所监测终端

1) 部署在牵引供电所内，完成本所智能 IED 数据的采集，并将监测数据保存到监测数据库中；

- 2) 为供电所工作人员提供现场监测数据浏览、报警和确认信息处理;
- 3) 接受来自于手持便携式设备的现场监测数据的导入。
- 4) 转发来自于监测服务器的远程遥测、遥信服务。

3.4.3 远程监测中心(监测数据库)

- 1) 部署在牵引供电设备远程监测中心;
- 2) 为牵引供电所监测终端提供监测数据、评价评估模型储存服务;
- 3) 可以与 6C 综合数据处理中心合并。

3.4.4 监测服务器

- 1) 部署在牵引供电设备远程监测中心(或 6C 综合数据处理中心);
- 2) 为牵引供电主设备集中管理、运行状态评价、牵引变压器动态负荷、剩余寿命和风险评估提供运算服务;
- 3) 为所有用户、用户终端实施管理、权限控制和统一登录服务;
- 4) 为所有牵引供电所监测终端、用户终端、手持式设备提供数据浏览、分析和报告;
- 5) 为所有设备用、管、维用户提供异常报警和日报服务;
- 6) 为行车调度指挥系统提供设备维护、更新改造和状态报告;
- 7) 积累牵引供电设备用管维制度、经典案例。

3.4.5 用户(移动)终端

- 1) 部署在用户计算机和手持式移动终端;
- 2) 接收来自于监测服务器发布的设备异常和监测日报;
- 3) 访问监测服务器, 获取设备档案、用管维记录, 阅读设备运行状态和风险评估报告;
- 4) 个人学习和培训;
- 5) 手持设备录入巡检、点检输入到监测系统中。

4 主要监测项目、技术指标

4.1 监测项目及指标

序号	检测对象	监测方式	监测指标	说明
1	油浸式变压器绝缘油中溶解气体组分	在线监测	氢气 H ₂	低温过热
			乙炔 C ₂ H ₂	需要载气、定期校准 难于大规模推广应用
			单组分	不能提供多种气体组分的监测
		DGA 检测	7、9、11 组分、糠醛	实验室色谱验证确认
2	干式变压器	带电检测	局部放电	便携式局部放电检测装置
3	变压器本体	在线监测	油温	通用采集器
			绕组温度	
			本体重瓦斯	
			压力释放器	
			油温高	
			绕组温度	
			有载开关重瓦斯	
3	变压器绕组温度	模拟计算	绕组温度	光纤测试系统
4	套管、避雷器	在线监测	介损	
			泄漏电流	
			局部放电	
5	GIS	带电检测	SF ₆ 泄露	数量少、气室小
			局部放电	

6	电缆及电缆头	在线监测	温度	光纤测温、热像仪、分布式测温
		带电检测	局部放电	数量大
7	开关柜	带电检测	局部放电	数量大
8	压互、流互	在线监测		