



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司电网设备状态检修丛书

国家电网公司运维检修部 编

电网设备 带电检测技术



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司电网设备状态检修丛书

国家电网公司运维检修部 编

电网设备

带电检测技术



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为深化电网设备带电检测工作，提升电网设备带电检测技术应用水平，国家电网公司运维检修部编制完成《电网设备带电检测技术》一书。

全书共包括6篇，分别介绍了局部放电检测、电气量检测、光学成像检测、化学成分检测、声学检测、新型检测技术等6大类共19种带电检测技术的基本原理、诊断分析方法和典型案例。书中介绍了各案例的案例简介、检测分析方法、经验体会。

本书可供电力系统工程技术人员和管理人员使用，也可供其他相关人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电网设备带电检测技术/国家电网公司运维检修部编. —北京: 中国电力出版社, 2014. 12

(国家电网公司电网设备状态检修丛书)

ISBN 978-7-5123-6812-5

I. ①电… II. ①国… III. ①电网-电气设备-带电测量 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 276469 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年12月第一版 2014年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 24.75印张 601千字

印数 0001—3000册 定价 175.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编写人员名单

彭江程序 刘明 焦飞 牛林 阎春雨
黄金鑫 岳国良 李进扬 段大鹏 马江泓 陶诗洋
颜湘莲 廖天明 任志刚 王建新 何喜梅 魏本刚
张杰 陈君平 王炯耿 孔湧 杨柳 潘柄利
陈志勇 刘思远 钱勇 王文山 冯新岩 贾勇勇
方琼 徐阳 齐伟强 张天辰 雷红才 邓建钢
胡海敏 满玉岩 李明春 王伟 高树国 唐伟杰
李文峰 刘弘景 刘胜军 霍春燕 郭绍伟 李大卫
毕建刚 章岩 王理强 寇晓适 王志慧 康钧
陈大兵 黄锐 徐红 许飞 楼玉民 赵利
赵举 祁炯 张洪波 刘新宇 侯冰 季严松
赵也 杨鼎革 王春水 刘建屏 俞培祥 罗宏建
蔡红生 吴笃贵 胡岳 李睿 付小华 李群
章啸

电网设备带电检测是指在设备运行状态下通过检测装置直接获取设备状态信息，从而对设备健康状况进行科学判断。与传统巡检和停电试验相比，带电检测在发现设备潜伏性运行隐患方面具有显著优势，目前已成为设备状态评价的重要手段之一，带电检测技术应用对于保证国家电网公司各级电网安全可靠运行具有至关重要的意义。近年来，国家电网公司积极研究适合于电力行业的“B超”“核磁”等新型检测技术，大力推广成熟可靠的带电检测装置应用并取得显著成效，在部分带电测试及诊断技术综合应用等方面实现了国际引领。

为切实提高电网设备状态检测人员技术技能水平，确保状态检测工作规范、扎实、有效开展，国家电网公司运维检修部组织专家编制完成了《国家电网公司电网设备状态检修丛书 电网设备带电检测技术》一书。全书共包括6篇，分别介绍了局部放电检测、电气量检测、光学成像检测、化学成分检测、声学检测、新型检测技术6大类共19种带电检测技术的基本原理、诊断分析方法和典型案例，本书是国家电网公司各单位带电检测技术最新研究及应用成果的结晶。

本书可供电力系统工程技术人员和管理人员学习及培训使用，也可供其他相关人员学习参考。由于时间仓促，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2014年12月

前言

绪论	1
 第一篇 局部放电检测	5
第一章 特高频局部放电检测技术	6
第一节 特高频局部放电检测技术概述	6
第二节 特高频局部放电检测技术基本原理	10
第三节 特高频局部放电检测及诊断方法	13
第四节 典型案例分析	21
第二章 高频局部放电检测技术	29
第一节 高频局部放电检测技术概述	29
第二节 高频局部放电检测技术基本原理	30
第三节 高频局部放电检测及诊断方法	33
第四节 典型案例分析	36
第三章 超声波局部放电检测技术	41
第一节 超声波局部放电检测技术概述	41
第二节 超声波局部放电检测技术基本原理	43
第三节 超声波局部放电带电检测及诊断方法	47
第四节 典型案例分析	60
第四章 暂态地电压局部放电检测技术	67
第一节 暂态地电压局部放电检测技术概述	67
第二节 暂态地电压局部放电检测技术基本原理	68
第三节 暂态地电压局部放电检测方法及诊断方法	73
第四节 典型案例分析	79
第五章 振荡波局部放电检测技术	88
第一节 振荡波局部放电检测技术概述	88
第二节 振荡波局部放电检测技术基本原理	89
第三节 振荡波局部放电检测及诊断方法	92
第四节 典型案例分析	98

 第二篇 电气量检测	103
第六章 相对介质损耗因数和电容量比值检测技术	104
第一节 相对介质损耗因数及电容量比值检测技术概述	104
第二节 相对介质损耗因数及电容量比值检测技术基本原理	105
第三节 相对介质损耗因数及电容量比值检测及诊断方法	117
第四节 典型案例分析	120
第七章 泄漏电流检测技术	127
第一节 泄漏电流检测技术概述	127
第二节 泄漏电流检测技术基本原理	129
第三节 泄漏电流检测及诊断方法	133
第四节 典型案例分析	137
第八章 接地电流检测技术	141
第一节 变压器铁芯接地电流检测技术	141
第二节 电缆护层接地电流检测技术	149
第三节 典型案例分析	154
 第三篇 光学成像检测	161
第九章 红外热像检测技术	162
第一节 红外热像检测技术概述	162
第二节 红外热像检测技术基本原理	164
第三节 红外热像检测及诊断方法	169
第四节 典型案例分析	181
第十章 紫外成像检测技术	191
第一节 紫外成像检测技术概述	191
第二节 紫外检测技术基本原理	193
第三节 紫外成像检测及诊断方法	197
第四节 典型案例分析	203
第十一章 X射线检测技术	207
第一节 X射线检测技术概述	207
第二节 X射线检测技术原理	209
第三节 电网设备 X射线检测及诊断	215
第四节 安全防护	224
第五节 典型案例分析	227
第十二章 SF₆ 气体泄漏检测技术	235
第一节 SF ₆ 气体泄漏检测技术概述	235
第二节 SF ₆ 气体泄漏检测技术基本原理	237
第三节 泄漏检测及诊断方法	245
第四节 典型案例分析	247

第十三章	光谱分析技术	253
第一节	光谱分析技术概述	253
第二节	光谱分析技术基本原理	257
第三节	光谱分析及诊断方法	264
第四节	典型案例分析	266
	第四篇 化学成分检测	273
第十四章	油中溶解气体分析技术	274
第一节	油中溶解气体分析技术概述	274
第二节	油中溶解气体分析技术基本原理	274
第三节	油中溶解气体分析检测及诊断方法	277
第四节	典型案例分析	295
第十五章	SF ₆ 气体状态检测技术	300
第一节	SF ₆ 气体状态检测概述	300
第二节	SF ₆ 气体湿度检测技术	310
第三节	SF ₆ 气体纯度检测技术	314
第四节	SF ₆ 气体分解产物检测技术	318
第五节	典型案例分析	332
	第五篇 声学检测	339
第十六章	声学振动检测技术	340
第一节	声学振动检测技术概述	340
第二节	声学振动检测技术基本原理	343
第三节	声学振动检测及诊断方法	349
第四节	典型案例分析	352
第十七章	超声波检测技术	356
第一节	超声波检测技术概述	356
第二节	超声波检测技术原理	357
第三节	超声波检测及诊断方法	359
第四节	典型案例分析	371
	第六篇 新型检测技术	377
第十八章	带电检测新技术	378
第一节	基于脉冲电流法的开关柜局部放电检测技术	378
第二节	配电线路非接触式超声波带电检测技术	379
第三节	典型案例分析	382

一、电网设备检修模式发展历程

电网设备检修是电网企业资产运营的重要工作之一，是电力生产管理工作的的重要组成部分，对提高设备健康水平，保证电网安全、可靠供电发挥了重要作用。20世纪50年代以前，电力设备检修机制主要采用事后检修（breakdown maintenance, BM）方式。当设备发生故障或性能降低到合格水平以下时，所进行的非计划性检修，称为事后检修或故障检修。这种维修方式简单方便，可以充分利用设备零部件或系统部件的寿命，在检修任务量不大的电网发展初期，在维护电网安全运行方面起到了积极作用。随着电网的发展，对供电的可靠性提出了更高要求，检修方式也随之向定期检修过渡。

从20世纪60、70年代沿用至今的检修模式是定期检修（time based maintenance, TBM）方式，这是一种以时间为基准的检修方式。其针对不同设备事先确定检修间隔周期、检修内容、检修工作量，定期在停电状态下对设备进行绝缘性能的检查性试验。定期检修机制在我国已有近60年的使用经验，在防止发生设备事故及保证供电可靠性方面起到重要作用，但也存在“维修频繁、维修不足、维修过剩、盲目维修”的问题。随着电网的快速发展，电网规模迅速扩大，供电的连续性和可靠性要求不断提升，需维护的电力设备不断增多，电网设备检修工作面临严峻挑战，传统的基于周期的定期检修模式已经不能完全适应电网发展的要求，在这种情况下，状态检修机制应运而生。

状态检修（condition based maintenance, CBM）是根据状态监测和诊断技术提供设备状态信息，综合采用先进技术手段对设备状态的健康和故障发展趋势做出评估来判断设备的异常，预测设备近期可能发生的故障，在设备发生故障前进行检修，根据设备的健康状态制定检修和维护策略。其能提高检修的针对性和有效性，提高设备的利用率，降低设备维修成本，提高检修水平，使电网运行更加安全、经济和可靠。

自2007年以来，国家电网公司全面推进和深化电网设备状态检修管理，建立了以状态检修技术标准、管理标准和工作标准为基础，以设备运行状态管理为核心，以专家队伍建设、检测装备和信息化平台开发为保障的状态检修工作体系，基本实现了从“到期必修”到“应修必修、修必修好”的转变。2011年，国家电网公司印发《国家电网公司关于深化电网设备状态检修工作的意见》，要求按照“巩固、完善、提高”的总体思路，强化状态检修组织技术保障，规范状态检修管理，推广先进成熟的设备检测和监测技术，深化状态检修管理辅助决策系统应用，加快高水平状态（检修）管理人才队伍建设。实施状态检修后，公司各单位无效检修数量大幅降低，各类可靠性指标明显提高，并有力促进了生产精益化管理水平的显著提升。

二、带电检测技术的应用及发展

电网设备状态检测是开展状态检修工作的基础。通过持续、规范的设备跟踪管理，对各种离线、在线监测数据进行综合分析，准确把握设备实际运行状态，并制定科学合理的设备检修策略，为进一步做好状态检修工作提供依据。因此，积极开展电网设备状态检测新技术、新方法和新手段的研究和应用，在超前发现设备隐患、降低事故损失、提高工作效率、

降低供电风险等方面具有重要意义。

电网设备状态检测是状态检修的重要技术手段，包括带电检测和在线监测两种技术。二者在技术层面有一定的共通性，但针对性和适用范围不同。带电检测一般采用便携式检测设备，在运行状态下，对设备状态量进行的现场检测，其检测方式为带电短时间内检测，能灵活、及时、准确的掌握设备状态，具有投资小、见效快的特点，可以在全网范围内普遍配置；在线监测是通过在运行设备上加装传感器，长期、连续的采集数据并通过网络上送至主站平台，具有实时和高度自动化等特征，维护和运行成本较高，用于对电网重要设备和关键参数进行在线监测。本书主要介绍带电检测技术。

带电检测技术在欧美等发达国家已经有二十多年的历史，技术成熟，检测手段丰富，设备运行稳定，测量数据较为详实可靠。我国带电检测项目虽起步稍晚，但一直在加大带电检测技术推广力度，争取与世界保持同步。尤其是国家电网公司不断深化电网设备状态检修工作以来，各省公司都加大了带电检测设备的配置力度，仅 2011 年，变电设备的带电检测设备增长幅度达 450%。2010~2011 年变电设备带电检测技术推广情况见表 0-1。带电检测技术可以超前防范事故隐患、降低事故损失、提高工作效率，在 2008 年北京奥运会、2010 年上海世博会、2010 年广州亚运会等大型活动的保电工作中也发挥了重要作用。带电检测技术适合当前我国电力生产管理模式和经营模式，因此在智能电网设备状态检修模式中的重要性日趋显著。

表 0-1 变电设备带电检测技术推广情况 (2010~2011 年)

变电设备	带电检测技术	2011 年配置 (台)	2010 年配置 (台)	增长幅度 (%)
变压器	油中溶解气体组分	990	75	1220
	高频局部放电	564	24	2250
	接地电流	1308	157	730
电容型设备 (含 TV)	绝缘特性	4745	69	6780
	高频局部放电	902	3	29 970
避雷器	泄漏电流	2007	582	240
	高频局部放电	609	2	30 350
GIS (含 SF ₆ 断路器)	特高频局部放电	647	23	2710
	超声波局部放电	668	84	700
	SF ₆ 气体湿度	1005	352	190
	SF ₆ 气体组分	761	115	560
	SF ₆ 气体检漏	875	151	480
开关柜	暂态地电压	838	42	1900
	超声波局部放电	897	46	1850
电缆	高频局部放电	437	10	4270
	特高频局部放电	403	3	13 330
	超声波局部放电	1223	3	40 670
	护层接地电流	598	15	3890
	红外	红外热像检测	3749	2485
总 计		23 226	4241	450

注：2010 年数据来自于《国家电网公司变电设备带电检测仪器应用情况调研报告》。

电气设备在故障发生前或发生时，通常伴有“热、声、光、电、水、气”等多种故障特征信息，针对这些不同的故障信息，状态检测技术衍生出红外热像检测、油中溶解气体分析技术、SF₆气体状态检测、特高频局部放电检测、高频局部放电检测、超声波局部放电检测、相对介质损耗因素和电容量比值检测、暂态地电压局部放电检测、泄漏电流检测技术以及接地电流检测技术等多种带电检测技术。这些检测技术目前发展较为成熟，得到了广泛应用，发现和消除了一大批设备缺陷和隐患，有效避免了设备故障或由此引发的电网故障，成为电力设备安全、电网稳定运行的重要保障。

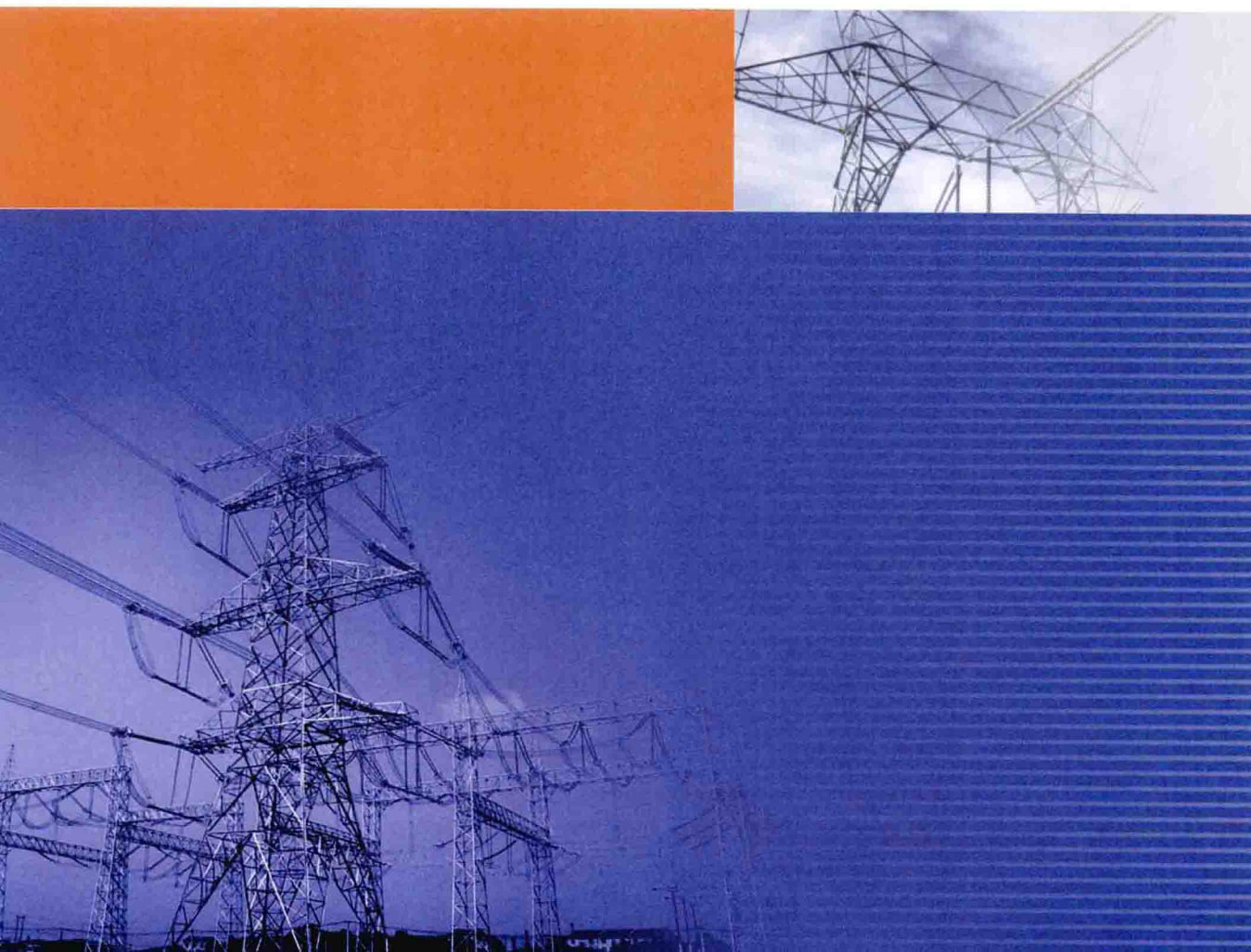
随着科技水平和检测技术的进步，带电检测技术的范围和精度不断提升，新的检测技术也不断得以应用，如紫外成像检测技术、X射线检测技术、超声波检测技术、光谱分析技术、声学振动检测技术、振荡波局部放电检测技术等。这些技术能够从新的角度提前发现电力设备潜伏性隐患，进一步提升电网设备状态检修技术水平；同时，在某一带电检测技术单独分析的基础上，将各相关带电检测项目进行联合检测和关联分析（如声—电联合、声—光联合等），能更全面地反映电网设备状况，实现对设备更加准确地评价与诊断。联合带电检测将成为带电检测发展方向，成为状态检修中不可或缺的重要部分。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

第一篇

局部放电检测



第一节 特高频局部放电检测技术概述

一、发展历程

电力设备内发生局部放电时的电流脉冲（上升沿为纳秒级）能在内部激励频率高达数吉赫兹的电磁波，特高频（ultra high frequency, UHF）局部放电检测技术就是通过检测这种电磁波信号来实现局部放电检测的。特高频法检测频段高（通常为 300~3000MHz），具有抗干扰能力强、检测灵敏度高等优点，可用于电力设备局部放电类缺陷的检测、定位和故障类型识别。特高频局部放电检测技术过去曾被称为超高频法，但是按照中华人民共和国无线电频率划分规定，300~3000MHz 频带划分为特高频，因此该检测方法准确名称现为特高频法。

特高频局部放电检测技术是 20 世纪 80 年代初期由英国中央电力局（central electricity generating board, CEGB）首先提出来的，该方法由苏格拉电力公司（Scottish Power）于 1986 年最先引进并应用于 Tomess 420kV 的气体绝缘金属封闭开关设备（gas insulation switchgear, GIS）上。Tomess 电站的多年运行经验验证了该方法的可行性。随后特高频局部放电检测技术也被用于变压器等其他电力设备的局部放电检测中。

20 世纪 90 年代，由 Judd 和 Hampton 等人对局部放电电磁波的激励特性及其传播特性做了研究，对电磁波的表达式进行了推导分析。此外，还提出采用分析电磁场的有限时域差分方法（finite difference time domain, FDTD）对 GIS 局部放电的激励特性进行仿真分析。德国 Stuttgart 大学的 Kurrer 和 Feser 等研究人员采用脉冲电流法、超声波法和特高频法对 GIS 的局部放电进行检测研究，并对电磁波在 GIS 腔体内传播衰减情况进行了研究。

20 世纪 90 年代中期，由清华大学电机系刘卫东、钱家骊等学者进行了特高频故障诊断技术研究，并于 1995 年开发了 GIS 局部放电监测和诊断应用装置。该装置已在国内外数十家电力企业和电力设备制造企业中应用，多次发现了放电并进行了定位。

20 世纪 90 年代末，西安交通大学、重庆大学、华北电力大学、上海交通大学等高校和一些科技公司也开展了大量的研究和推广工作。在局部放电定位、局部放电脉冲提取、放电类型识别以及放电量估计方面取得了良好的使用效果。

2006 年以来，特高频局部放电检测技术在国家电网公司、南方电网公司等电力企业得到了广泛应用，在 GIS 的绝缘缺陷检测中发挥了重要作用。

特高频局部放电检测技术下一步的研究与应用工作主要围绕以下几个方面展开：

（1）对新型特高频传感器的研究。特高频传感器是特高频局部放电检测技术的核心内容之一，无论是内置还是外置特高频传感器，国内整体水平尚落后于国外。因此，灵敏度高、抗干扰性能好、适用于不同电力设备的特高频传感器还有待深入研究。

（2）对特高频信号在 GIS 内外传播特性的研究。鉴于 GIS 结构及特高频信号传播模式的复杂性，研究 GIS 内部和外部特高频信号的传播特性对于完善特高频监测系统具有重要

意义。

(3) 对局部放电源的识别和定位新方法的研究。应注意选择最优的神经网络结构, 由于局部放电信号的分散性, 分形分析等新技术可用于识别局部放电源; 鉴于常规时间差定位法对传感器及分析仪器的高要求, 研究简捷的定位技术也是当务之急。

(4) 对特高频检测装置的研究与开发。目前国内特高频检测方法的核心关键技术仍然整体落后于国外, 特别是检测仪器制造水平落后于英国、韩国等。这就需要尽快集中国内技术优势, 研究和开发具有国际领先水平的特高频检测装置。

二、技术特点

(一) 技术优势

(1) 检测灵敏度高。局部放电产生的特高频电磁波信号在 GIS 中传播时衰减较小, 如果不计绝缘子等处的影响, 1GHz 的特高频电磁波信号在 GIS 直线筒中衰减仅为 3~5dB/km。而且, 由于电磁波在 GIS 中绝缘子等不连续处反射, 还会在 GIS 腔体中引起谐振, 使局部放电信号振荡时间加长, 便于检测。因此, 特高频法具有很高的灵敏度。另外, 与超声波检测法相比, 其检测有效范围要大得多, 实现在线监测需要的传感器数目较少。

(2) 现场抗低频电晕干扰能力较强。由于电网设备运行现场存在着大量的电磁干扰, 给局部放电检测带来了一定的难度。高压线路与设备在空气中的电晕放电干扰是现场最为常见的干扰, 其放电产生的电磁波频率主要在 200MHz 以下。特高频法的检测频段通常为 300~3000MHz, 有效避开了现场电晕等干扰, 因此具有较强的抗干扰能力。

(3) 可实现局部放电源定位。局部放电产生的电磁波信号在气体中传播近似光速, 其到达各特高频传感器的时间与其传播距离直接相关, 因此, 可根据特高频电磁波信号到达不同传感器时间的先后判断信号源的方向, 或利用电磁波到达气室两侧两个传感器的时间差以及两个传感器之间的距离计算出局部放电源的具体位置, 实现绝缘缺陷定位。为制订 GIS 等设备的维修计划、提高检修工作效率提供了有力的支持。

(4) 便于识别绝缘缺陷类型。不同类型绝缘缺陷局部放电所产生的特高频信号脉冲幅值、数量、相位分布、频谱不同, 具有不同的谱图特征, 可根据这些特点判断绝缘缺陷类型, 进行绝缘缺陷类型诊断。

(二) 技术局限性

(1) 容易受到环境中特高频电磁干扰的影响。由于特高频局部放电检测技术的检测频率范围为 300~3000MHz, 在如此宽的频带范围内可能存在手机信号、雷达信号、电机碳刷火花等电磁干扰信号, 在超高压敞开式变电站内也存在着较强的电磁干扰信号。这些干扰信号可能会影响特高频检测的准确性。

(2) 外置式传感器对全金属封闭的电力设备无法实施检测。对带金属法兰屏蔽环的 GIS、全金属封闭的变压器等电力设备, 内部局部放电激发的电磁波无法传播出来, 也就无法应用外置式特高频检测技术实施检测, 对已经运行的该存量设备尤其如此。

(3) 尚未实现缺陷劣化程度的量化描述。目前, 国内外尚没有该检测技术、检测装置的技术标准, 同时受到电磁波信号传播路径、缺陷放电类型差异等因素的影响, 虽然其检测信号幅值与缺陷劣化程度在趋势上基本具有一致性, 但尚不能实现与脉冲电流法类似的缺陷劣化程度准确量化描述。

(三) 适用范围

特高频法的适用范围主要取决于该技术方法的检测原理, 即只有电网设备内部局部放电

激发的电磁波能够传播出来并被检测到，该方法才可用。特高频法在各种电力设备的检测中，GIS中的局部放电检测效果最好，已是国际上对GIS普遍采用的状态检测技术，可以达到相当于几个皮库的检测灵敏度。当前特高频法现场应用较多的有在线监测和带电检测，检测设备包括GIS、变压器、电缆附件、开关柜等，多数采用外置式传感器检测，而内置式传感器检测主要用于GIS、电力变压器等关键设备。预先设置内置式传感器，可进行带电检测，也可组成在线监测系统，将成为下一步的重要发展趋势。

（四）技术难点

（1）特高频传感器问题。这是特高频局部放电检测技术的关键，按其安装位置可分为内置传感器和外置传感器。外置式传感器使用和维护方便，尺寸和机械性能要求较低，成本低，能用于无法或难以安装内置传感器的存量电力设备。但由于电磁信号的衰减，以及传感器直接暴露在外界空间中受到的电磁干扰，外置式传感器的灵敏度相对较低、抗干扰能力相对较弱。相比较下，内置式传感器灵敏度高、抗干扰能力强，但是制作和安装的成本也更高，一般在设备生产时直接安装在内部。内置式传感器的结构不仅和灵敏度有关，还受到工作环境和安装方式的影响。合适的内置式传感器应该在不影响电力设备结构和内部场强分布的前提下，实现带宽为300~3000MHz的局部放电信号检测，并具有足够的灵敏度和抗干扰能力。

（2）抗干扰和放电源定位问题。干扰信号的排除和放电源的定位一般是同时进行的。实际检测中需要综合应用时差法、幅值比较法、方向性、三维定位法、特征谱图识别等方法进行分析，实现抗干扰和放电源定位的目的。由于干扰的种类是多样的，表现出的特性也不同，找出一种有效的方法来抑制所有的干扰是很难的，因此需要针对不同的干扰源，采取不同的措施并综合运用，达到抗干扰的目的。现场的干扰根据其时域特征的不同，可分为白噪声干扰、窄带周期性干扰和脉冲型干扰三类，而脉冲型干扰又可进一步分为周期型脉冲干扰和随机脉冲干扰。应用特高频方法来采集局部放电信号，对一些频率较低的干扰信号可以直接避免。有可能采集到的干扰信号源有手机干扰（窄带周期性干扰，频率为900MHz或1.8GHz等）、白噪声（如热噪声、地网噪声、配电线路以及继电保护信号线路中由于耦合而进入的各种随机噪声等）。

干扰的抑制通常从干扰源、干扰途径、信号后处理三方面来考虑。直接消除干扰源或切断相应的干扰路径是解决干扰问题最有效、最根本的方法。例如对于因系统设计不当引起的各种噪声，可以通过改进系统结构、合理设计电路、增强屏蔽等加以消除；提供一点接地，保证测试回路各部分良好连接，可以消除接触不良带来的干扰；清除现场的孤立导体，可以消除浮动电位物体带来的干扰；通过电源滤波可以抑制电源带来的干扰；屏蔽测试仪器，可以抑制因空间耦合造成的干扰。但这些要求详细分析干扰源和干扰途径，而现场一般不允许改变原有设备的运行方式，因此在这两方面所能采取的措施总是很有限。而对于经特高频传感器耦合进行检测系统的各种干扰，则需要通过各种信号处理技术加以抑制。

（3）缺陷类型诊断和劣化程度评估问题。不同绝缘缺陷所表现出来的局部放电特征并不相同，对设备的损害程度也不同，要准确了解和掌握缺陷类型性质和特征，最有效的方法是对获得的局部放电信号进行模式识别研究。然而，由于现场存在各种各样的干扰，一方面要对采集的局部放电信号进行降噪，另一方面局部放电信号自身所包含的信息与缺陷类型之间的关系尚未完全清楚，如何从检测到的局部放电信号中判断局部放电类型以及电力设备绝缘

状况是该技术的难点之一。

三、应用情况

(一) 国外应用情况

特高频局部放电检测技术在英国、韩国、新加坡、香港等 30 多个国家和地区广泛应用，积累了 20 多年的现场应用经验。国外一些研究机构和设备厂商开展了基于特高频技术的局部放电检测设备研制，应用于现场检测并取得了一些现场运行经验。如：① 英国 DMS 公司于 1993 年开发出世界上第一套基于特高频检测技术的局部放电在线监测系统，该系统通过计算不同检测点收到的局部放电信号时间差，可以实现对局部放电源的定位；② 荷兰 Delft 大学的 Meijer 和 Smit 等学者开发了一套基于特高频技术的便携式多目标 GIS 局部放电在线检测系统并投入运行；③ 瑞士 Zurich 大学的 Neuhold 开发出一套结合宽带和窄带的多通道、实时响应的 GIS 局部放电测量系统，每个测量通道包括一个低噪声宽带传感器，带有自动高压暂态保护，可以用于实验室试验和现场 GIS 的长期监测，装置能初步实现对故障源的监测、定位和识别；④ 韩国 HYOSUNG Corporation 公司开发了一套基于特高频的智能局部放电监测系统 (intelligent partial discharge monitoring, iPDM)，用于监测 25.8kV GIS。该系统运用时频变换进行信号降噪，利用人工神经网络的诊断系统可以正确诊断局部放电原因，给出 pC-dBm 标定关系以及风险评估结果；⑤ 日本的 AE Power System Corporation 公司开发了基于特高频技术的 GIS 局部放电检测系统，该系统对比不同类型内置传感器的检测效果，采用神经网络对故障缺陷进行模式识别，并给出了系统现场运行经验；⑥ 日本的 Hitachi Engineering & Services 公司开发出一套便携式 GIS 局部放电检测系统，该系统具有较高的检测灵敏度，采用神经网络理论用于缺陷类型识别以及对放电源进行定位；⑦ 德国 Siemens AG 公司的 Huecker 等人开发了一套基于特高频技术的 GIS 局部放电检测系统，每套系统带有 3 个检测单元，每个单元可接 9 路特高频传感器，单元之间采用以太网通信，后台专家系统带有诊断功能，可以判断缺陷类型。

(二) 国内应用情况

2000 年初，国内开始引入特高频局部放电检测技术。2006 年起，通过与新加坡新能源电网公司进行同业对标，以国网北京、上海、天津电力公司为代表的一批国内电网公司率先引进特高频局部放电检测技术，开展现场检测应用，并发现多起 GIS 内部局部放电案例，为该技术的推广应用积累了宝贵经验。

2013 年 8 月~2014 年 10 月国家电网公司组织开展了特高频局部放电检测装置等带电检测仪器的性能检测工作，首次对国内市场上 35 款特高频局部放电带电检测仪器进行了综合性能的检测工作，对规范和引导国内仪器开发和制造技术领域起到了积极推动作用。

经过二十余年的发展，该技术逐渐成熟，相关的技术标准也相继形成。国际电工委员会 (IEC) TC42 下属工作组正在致力于相关标准 IEC 62478 的制订工作，国内相应的标准制订也正在进行中。2010 年，国家电网公司颁布了《电力设备带电检测技术规范（试行）》和《电力设备带电检测仪器配置原则（试行）》，首次在国家电网公司范围内统一了特高频局部放电检测的判据、周期和仪器配置标准，特高频局部放电检测技术在国家电网公司范围全面推广。在国家电网公司 2012 年修订的《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》中，明确规定了新建的 220kV 以上 GIS 应内置特高频传感器。2014 年，为进一步规范仪器选型，指导现场检测应用，国家电网公司颁布了《特高频局部放电检测仪技术规范（试行）》和