

设备诊断现场实用技术丛书

电气设备诊断

现场实用技术



杨 斌
章立军 等编著
郭 云



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



● 经济类新理论实用技术丛书

电气设备诊断

现场实用技术

编 著 王 明 周 明 等
主 审 王 明 周 明 等
副 主 审 王 明 周 明 等

中国电力出版社



设备诊断现场实用技术丛书

电气设备诊断现场实用技术

杨 斌 章立军 郭 云 编著
李洪波 路俏俏



机械工业出版社

本书旨在为从事现场故障诊断的技术人员,提供一种开展电气设备故障诊断工作和进行故障分析判别时使用的实用参考书。

本书共分九章。第1章概论,介绍了电气设备诊断的基础知识和发展趋势;第2章电气设备预防性试验和绝缘诊断技术基础;第3章电机故障诊断技术;第4章变压器诊断技术;第5章电力电缆故障诊断与检测技术;第6章高、低压电器故障诊断技术;第7章其他电气设备故障诊断技术;第8章电子电路故障诊断技术;第9章常用电气设备的检测诊断仪器。

本书内容涵盖全面、原理讲解清晰、案例透彻易懂,可供各行业从事电气设备诊断工作的技术员、工程师及设备维修管理人员参考使用,也可作为现场设备诊断技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备诊断现场实用技术/杨斌,章立军,郭云等编著. —北京:机械工业出版社,2012.2

(设备诊断现场实用技术丛书)

ISBN 978-7-111-37159-5

I. ①电… II. ①杨…②章…③郭… III. ①电气设备-故障诊断
IV. ①TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第009144号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:李万宇 版式设计:刘 岚

责任校对:张玉琴 封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2012年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·22.75印张·467千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37159-5

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

序

随着现代化生产的高速发展，设备不仅是重要的物质基础，而且还在其中起着越来越重要的作用，诸如生产的提高、质量的改善、成本的降低、资源的节约、环境的保护以及效益的增长等，都无一不和它有着密切的关系。因此一旦当这些现代化设备发生了故障，所带来的严重后果也非过去可比，有的还会成为人类历史的悲剧。过去的一个世纪里，曾在世界范围内发生的重大设备事故，是很值得我们予以充分重视的。

在 20 世纪 80 年代初，世界上一些发达国家在总结经验教育的基础上，开发和创立了一种叫作“设备诊断技术”的高新技术，它能在设备运行中或基本不拆卸全部设备的情况下，掌握设备运行状态，判定产生故障的部位和原因，并预测预报未来的技术状态，从而可在早期有效地发现，以及在后期及时地抑制故障保障生产的可持续发展。1983 年 1 月国家经委采纳了各方建议，及时地在国营工业交通企业设备管理试行条例中作了明确规定，强调采用这项技术，发展以状态监测为基础的预防维修体制。

二十八年来，在国家倡导、企业重视以及各级有关管理部门、大专院校、科研单位和群众团体的大力支持、共同努力下，设备诊断技术已经兴旺发达，得到了广泛共识，取得了众多效益，不仅在理论研究、科研试验、产品开发及工程应用上达到了较高水平，而且在保证设备安全、防止突发事件，保障设备精度，提高产品质量、节约维修费用以及防止环境污染上，也都体现出重要的地位与作用。

为了充分肯定这项先进技术成果，并使其与世界接轨，国内的设备工程界人士，特别是在现场从事设备诊断的广大技术人员，长期以来盼望能有一套由我们自己的现场人员、在消化吸收国外经验，并经过充分生产考核认定的基础上编写出来的诊断丛书，它们应当有别于当前一些教科书、专著，具备为现场维修服务的明确观点，能够采用通俗易懂的语言和图表，总结介绍丰富的现场经验与工作案例，以求达到更好地适合企业技术人员学习和使用的目的。

在机械工业出版社的大力支持下，经过了充分蕴酿和多方论证，进行了必要性与可行性研究，终于在 1999 年秋于北京筹组了一个七人的小型编委会，以负责确定丛书的题目，提出编写内容及特点要求，并落实各分册作者的任务，与此同时还多方面地收集了丛书的编写意见，从而为这一工作的美好进展提供了条件。

编委会成立后，首先明确了丛书的名字为《设备诊断现场实用技术丛书》，按照诊断技术及对象设备的综合分类，初步定为十个分册，每册 30 万字左右，分期发行；其次明确了读者对象为在现场从事设备诊断技术应用的初、中级技术人员（包括技术员、技师和工程师），大中专院校有关专业的教师和学生以及有关管理人员；再次明确了编写人员的要求，主要邀请有十年以上现场经验、并具有一定理论基础、善于总结和具有写作能力的工程师们参加，同时也吸收那些理论联系实际较好、并有一定现场体会的教授们，以及仪器公司和生产厂家中从事技术开发及咨询服务的工程师们。

为了统一编写，编委会还制定了“通用写作导则”以及“分类编写参考意见”，其中对写作特点强调了要以现场性、实用性和系列性为主，既不同于学报，也有别于教科书。现在丛书的编写进展顺利，作者们都把此书作为自己一生经验的总结，广泛收集资料，认真比较分析，以此作为对伟大的社会主义建设的积极贡献，对此读者们不难从书中内容有所理解。

这套丛书共分为十个分册，分别为《简易振动诊断现场实用技术》、《精密振动诊断现场实用技术》、《油液监测分析现场实用技术》、《红外诊断现场实用技术》、《无损检测诊断现场实用技术》、《电气设备诊断现场实用技术》、《往复机械诊断现场实用技术》、《大型回转机械诊断现场实用技术》、《滚动轴承诊断现场实用技术》、《齿轮及齿轮箱故障诊断实用技术》。

这套丛书的创式有别过去，尚少经验可供借鉴，更限于作者的时间和水平，不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

《设备诊断现场实用技术丛书》编委会

前言

随着社会和经济的发展,现代工业中的生产设备正朝着大型化、高速化、自动化、复杂化和系统化发展。电力行业、冶金行业、汽车制造业、电子工业、石油化工等产业的生产设备不仅是单台机器高度地自动化,而是整个工厂由被称为生产信息系统的计算机系统像一个有机体似的被控制。在生产设备的自动化和系统化中起核心作用是变压器等供电设备、电力电缆等配电设备、主要动力源的工业用电机类,以及用于控制机械的控制电机、检测控制系统。为了保证国民经济的高效和正常运转,确保国家财产和人民生命的安全,电气设备的监测和故障诊断显得尤为重要。本书是为从事现场故障诊断的技术人员开展电气设备故障诊断工作和进行故障分析判别提供帮助的实用参考书。

本书共分九章。第1章是绪论,介绍了电气设备的分类及其故障特征,电气设备的维修体制及开展设备诊断的重要性,电气设备的预防性试验,电气设备的故障诊断发展现状及趋势。第2章介绍了电气设备预防性试验和绝缘诊断技术基础知识,包括电气设备的预防性试验及检测技术,电气设备绝缘诊断技术基础,电气设备绝缘精密诊断技术以及电气设备的其他故障诊断技术。第3章介绍了电机故障诊断技术,包括电机的类型及其工作原理,电机的故障类型及其机理,电机的状态监测及故障诊断技术,电机的故障排除及整治处理方法,电机故障诊断应用案例。第4章介绍了变压器诊断技术,包括变压器的类型及其工作原理,变压器的故障类型及其故障机理,变压器故障的检测技术,变压器的故障诊断实例分析。第5章介绍了电力电缆故障诊断与检测技术,包括电缆的类型和故障分类及测寻步骤,电力电缆故障的粗测,电力电缆故障的精测,电力电缆故障案例分析。第6章介绍了高、低压电器故障诊断技术,包括高、低压电器的类型及其工作原理,高、低压电器的常见故障诊断与排除方法,高、低压电器的故障诊断及监测技术,高、低压电器故障诊断应用案例。第7章介绍了其他电气设备故障诊断技术,包括电焊机故障诊断技术,可编程序控制器故障诊断技术,变频调速器故障诊断技术,其他电气设备故障诊断应用案例。第8章介绍了电子电路故障诊断技术,包括电子电路故障诊断技术,模拟电路故障诊断技术,数字电路故障诊断技术,电子电路故障诊断应用案

例。第9章介绍了几种常用的电气设备的检测诊断仪器。

本书由杨斌编写第2章、第4章和第5章，章立军编写第1章、第3章、第9章，郭云和路俏俏编写第6章，李洪波编写第7章、第8章。

要感谢所有在编写本书过程中给予我们无私帮助和支持的人们。在此特别感谢黄昭毅先生和沈水福先生，黄先生为本书查阅和提供了大量电气设备故障诊断判别的标准和现场诊断案例，沈先生为本书提供了极具参考价值的指导意见和写作素材。两位先生忘我的工作精神、严谨的科学态度以及他们对科研工作持之以恒的热情时刻感染着我们。同时，感谢宋京伟教授为本书编写提供了丰富的参考资料和有价值的意见；感谢博士生张彬在本书的编写过程中查阅了大量的资料，并做了文字校对工作；感谢甄桓和杨霞两名同志在本书编写过程中查阅了大量的资料，以及对文稿的校对工作。

本书应用了多本参考书和文章的部分相关内容，特别是引用了日本设备诊断技术专家丰田利夫教授在设备故障诊断培训班中的部分资料，在此表示感谢。另外，本书中的部分研究工作获得了国家自然科学基金（编号：51005014和51005015）的资助，特此深表感谢。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

序 前言

第1章 概 论

1.1 电气设备的分类及其故障特征	1	1.3 电气设备的预防性试验	7
1.1.1 电气设备的分类	2	1.3.1 绝缘性能检测与故障诊断	7
1.1.2 电气设备故障的分类	3	1.3.2 电气预防性试验的意义	8
1.1.3 电气设备故障的特征	3	1.3.3 电气设备预防性试验的分类	8
1.2 电气设备的维修体制及开展设备 诊断的重要性	4	1.4 电气设备的故障诊断技术	9
1.2.1 设备维修体制的基本概念	4	1.4.1 电气设备诊断技术的简介	9
1.2.2 电气设备的维修与管理现状	7	1.4.2 现代电气设备诊断的发展 趋势	15

第2章 电气设备预防性试验和绝缘诊断技术基础

2.1 电气设备的预防性试验及检测 技术	16	2.2.2 绝缘诊断技术的种类和实施 步骤	47
2.1.1 绝缘电阻与吸收比试验	16	2.2.3 简易绝缘诊断技术	49
2.1.2 直流漏电试验及直流耐压 试验	20	2.3 电气设备绝缘精密诊断技术	51
2.1.3 介质损耗角正切值试验	24	2.3.1 直流高压法	51
2.1.4 局部放电的检测	28	2.3.2 高压电流法	54
2.1.5 交流耐压试验	35	2.3.3 感应正切 ($\tan\delta$) 法	57
2.1.6 绝缘油的电气性能试验	39	2.3.4 局部放电 (电晕) 法	59
2.1.7 绝缘油中溶解气体的色谱 分析	44	2.3.5 直流量法	61
2.2 电气设备绝缘诊断技术基础	46	2.4 电气设备的其他故障诊断技术	63
2.2.1 电气设备绝缘诊断的重要性	46	2.4.1 磁通密度法诊断法	63
		2.4.2 电气设备的振动噪声诊断法	63

第3章 电机故障诊断技术

3.1 电机的类型及其工作原理	66	3.1.1 电机的基本类型	66
-----------------------	----	---------------------	----

3.1.2 不同类型电机的原理	67	诊断	105
3.2 电机的故障类型及其机理	76	3.4 电机的故障排除及整治处理	
3.2.1 电机运行条件与故障之间的		方法	110
关系	76	3.4.1 三相异步电机的故障及	
3.2.2 电机故障原因的分析	77	处理	110
3.3 电机的状态监测及故障诊断技术	81	3.4.2 直流电机的故障及处理	113
3.3.1 电机故障诊断技术概述	81	3.5 电机故障诊断应用案例	118
3.3.2 电流法对异步电机的诊断	82	3.5.1 应用电机电流分析法对电机	
3.3.3 电流法对直流电机的诊断	91	进行故障诊断	118
3.3.4 根据振动、噪声的感应电机		3.5.2 应用振动分析法对直流电机	
诊断	94	进行故障诊断	119
3.3.5 振动、声音对直流电机的		3.5.3 应用噪声分析方法对电机进行	
诊断	101	故障诊断	121
3.3.6 锤击法对旋转电气机械的			

第4章 变压器诊断技术

4.1 变压器的类型及其工作原理	123	4.3.3 变压器内部故障的检测与	
4.1.1 变压器的用途及分类	123	分析	141
4.1.2 变压器的工作原理及构造	124	4.3.4 绝缘油老化的检测	145
4.2 变压器的故障类型及其故障		4.3.5 油中气体的分析检测	147
机理	125	4.4 变压器的故障诊断实例分析	151
4.2.1 变压器的故障分类	125	4.4.1 变压器内部典型故障油色谱	
4.2.2 变压器的故障类型与机理	125	分析及判断	151
4.3 变压器故障的检测技术	137	4.4.2 变压器铁心多点接地故障实例	
4.3.1 变压器故障的异常特征	137	分析	153
4.3.2 变压器的异常现象、原因与		4.4.3 变压器直流电阻测试实例分析	
对策	138	与故障判断	156

第5章 电力电缆故障诊断与检测技术

5.1 电缆的类型和故障分类及测寻		5.2.4 冲击高压电流脉冲取样法	169
步骤	159	5.3 电力电缆故障的精测	181
5.1.1 电力电缆的用途、结构及		5.3.1 声测定点法	181
分类	159	5.3.2 声磁信号同步接收定点法	183
5.1.2 电力电缆故障的产生原因	160	5.3.3 音频感应法	186
5.1.3 电力电缆故障的测寻步骤	161	5.3.4 裸露电缆故障的特殊定点	
5.2 电力电缆故障的粗测	162	方法	187
5.2.1 电阻电桥法	163	5.4 电力电缆故障案例分析	189
5.2.2 低压脉冲测量法	164	5.4.1 高压电桥法探测电力电缆故障	
5.2.3 冲击高压闪络法	168	实测案例分析	189

5.4.2 低压脉冲法和冲闪法对电缆

故障定位的案例分析 192

第6章 高、低压电器故障诊断技术

6.1 高、低压电器的类型及其工作 原理	195	6.5 断路器	250
6.1.1 高压电器的类型和工作 原理	195	6.5.1 绝缘电阻试验	250
6.1.2 低压电器的类型和工作 原理	198	6.5.2 泄漏电流试验	251
6.2 高、低压电器的常见故障诊断与 排除方法	200	6.5.3 交流耐压试验	253
6.2.1 高压电器常见故障诊断与 排除方法	200	6.6 电容器	254
6.2.2 低压电器常见故障诊断与 排除方法	213	6.6.1 绝缘电阻的检测	254
6.3 高、低压电器的故障诊断及监测 技术	224	6.6.2 $\tan\delta$ 和电容量检测	255
6.3.1 高、低压电器故障的红外 监测及诊断技术	224	6.6.3 交流耐压试验	257
6.3.2 GIS 的故障监测及诊断	236	6.6.4 冲击合闸试验	258
6.3.3 高、低压电器故障的其他监测 及诊断技术	238	6.7 避雷器	258
6.4 互感器	238	6.7.1 避雷器结构特征	258
6.4.1 电压互感器绝缘性能试验	239	6.7.2 避雷器的故障	261
6.4.2 电流互感器绝缘性能试验	245	6.7.3 避雷器的在线检测与诊断 技术	261
6.4.3 互感器特性试验	247	6.8 高、低压电器故障诊断应用 案例	267
		6.8.1 高压断路器烧毁故障案例的 综合分析	267
		6.8.2 某 220kV SF ₆ 电流互感器接地 故障案例分析	269
		6.8.3 某变电站 500kV 增横甲线避雷器 故障案例分析	270

第7章 其他电气设备故障诊断技术

7.1 电焊机故障诊断技术	274	7.3.1 变频器的类型和基本工作 原理	296
7.1.1 电焊机的类型和工作原理	274	7.3.2 变频器的故障诊断技术	297
7.1.2 电焊机的故障诊断技术	274	7.4 其他电气设备故障诊断应用 案例	301
7.2 可编程序控制器故障诊断技术	289	7.4.1 PLC 控制系统故障诊断实例 分析	301
7.2.1 PLC 的基本组成和工作 原理	289	7.4.2 变频器故障诊断实例分析	303
7.2.2 PLC 的故障诊断技术	291		
7.3 变频调速器故障诊断技术	296		

第8章 电子电路故障诊断技术

8.1 电子电路故障诊断概述	306	8.1.1 电子电路故障规律	306
----------------------	-----	----------------------	-----

8.1.2 电子电路故障诊断	308	8.3 数字电路故障诊断技术	318
8.2 模拟电路故障诊断技术	309	8.3.1 数字电路故障的类型	318
8.2.1 模拟电路故障的分类	309	8.3.2 数字电路故障基本检测 技术	321
8.2.2 模拟电路故障及检测特点	310	8.3.3 常用数字电路故障诊断 方法	326
8.2.3 模拟电路故障检测技术	311	8.4 电子电路故障诊断应用案例	328
8.2.4 模拟电路故障诊断基本 方法	315		

第9章 常用电气设备的检测诊断仪器

9.1 概述	332	9.4.2 BZJT—I 电流比组别极性综合 测试仪	341
9.2 通用电气检测仪	332	9.4.3 E07TRSPY 变压器高级匝比 测试仪	342
9.2.1 4200 钳式接地电阻测试仪	332	9.5 电力线路与电缆诊断仪	342
9.2.2 PD999E—2S 系列多功能电力 仪表	333	9.5.1 HZC—Ⅲ型彩色智能电缆故障 测试仪	342
9.2.3 TE3671/TE3672 绝缘电阻 测试仪	334	9.5.2 E02T169 电缆故障定点仪	343
9.2.4 E05A140 接地焊点测试仪	335	9.5.3 DLX—510 电缆故障高压信号 发生器	344
9.2.5 Fluke 1508 绝缘电阻测试仪	336	9.6 高、低压电器故障诊断仪	345
9.2.6 E06EEK6 电气简易点检 六件套	337	9.6.1 YF2670 型智能交流耐压 测试仪	345
9.3 电机诊断仪	338	9.6.2 HIOKI3455—20 高压绝缘数字 兆欧表	345
9.3.1 E01ATPOL 电机在线综合诊断 系统	338	9.6.3 E06PTE100C 继电器检测仪	346
9.3.2 SMHG—6800 系列智能型电机 故障诊断仪	339	9.7 电子电路诊断仪	347
9.3.3 JJF—HJ12 一体化交流异步 电机故障诊断仪	339	9.7.1 PE—27 电路板故障检测仪	347
9.4 变压器诊断仪	340	9.7.2 E05BMA1000 加强型电路板 故障检测仪	348
9.4.1 BYC—B 系列变压器有载调压 开关测试仪	340	参考文献	350

第 1 章

概 论

1.1 电气设备的分类及其故障特征

随着科学技术的进步和生产力的发展，现代化工业呈现出设备大型化、生产高速化、连续化、自动化等特点，并且影响工业设备可靠性、安全性的因素也越来越多。电力、冶金、汽车制造、电子、石油化工等产业的生产设备不只是单台机器高度地自动化，而是有机地构成一个生产系统。在生产设备的自动化和系统化中，起核心作用是变压器等供电设备、电力电缆等配电设备、主要动力源的工业用电机，以及用于控制机械的控制电机、检测控制系统等。在工业现场中，一个微小的电气故障导致整台设备甚至整条生产线停产的例子并不鲜见。因此，如果供配电设备、电动机、电力电缆、控制电机、检测控制系统等电气设备发生故障或状态劣化，那么将对企业生产安全和经济效益造成巨大损失。为将这些重要的电气设备的故障控制在发生之前，做到防患于未然，降低维修成本，采用以设备故障诊断技术为基础的设备检修和维护方式已成为发展方向，并引起工业现场技术人员、管理人员和科研人员等各方面的高度重视。

设备状态监测和故障诊断技术是企业推进设备管理现代化的核心技术。但是，由于设备构成和技术方面的原因，多年来，设备状态监测与故障诊断技术基本上是以设备的机械系统为主，进行如振动、油液、无损检测等；而作为设备组成系统的另一个重要方面，即电气设备的故障检测和诊断的方法和手段，却少之又少。因此，无论在产品技术方面，还是在科研开发方面，作为设备诊断工程重要组成部分的电气设备的故障诊断技术，都远远落后于机械设备的故障诊断技术。

电气设备的故障诊断技术是指通过对电气绝缘的试验和各种特性的测量，来了解及评估它们在运行过程中的状态，从而能早期发现故障的技术。电气设备的诊断大致经历了三个阶段：停电试验阶段、带电测量阶段和在线监测阶段。电气设备的许多故障，如电线的虚接等，往往是很难捕捉、查找的，它不像机械设备具有直观的可视性和故障的确定性，而且有些故障也不像机械零部件的缺陷那样具有持续的渐进性。同时，由于目前电气设备检测手段还比较简单，使我们在面对大量国内外各种先进电气设备和过程控制装置的故障时，往往只能凭经验处理，并经常束手无

策，这是电气故障检测的困难性之一。另一方面，由于绝大多数故障必须在带电运行状态下检测，在获取信号时，在安全方面所做的工作要比机械检测困难得多。此外，电气设备的故障受环境因素干扰比较多，如湿度、温度、周围的电磁场等，都在很大程度上影响着故障的发生、发展或消失。虽然有些机械故障也受外界因素干扰，如气温对转子对中程度的影响等，但这毕竟是少数，而且程度也有限。电气设备难以检测的另一个重要原因，是电气设备缺陷的微小变化就可以导致设备整体性能发生巨大变化，使设备无法正常运行。

1.1.1 电气设备的分类

本书涉及的电气设备主要是指工矿企业自电网受电后至生产车间完成过程工序为止的电气设备，如电动机、厂内变电站、控制设备等，而非供发电及电网设备。这有利于我们将一般工厂企业常用电气设备的检测方法与主要用于电网及高压供、发电设备等大机组故障检测的方法区别开来。工矿企业中的电气设备一般分成以下四类：

- 1) 变电设备。主要指企业受电后，通过自身的变电所将电量转变为满足需要的电压、电流、频率所使用的设备。
- 2) 电缆线。包括动力电缆及控制线路，它们起到传输电量的作用。
- 3) 电动机。设备的原动机，包括直流、交流、同步、异步电动机。
- 4) 控制设备。完成对电动机或其他电力设备的检测、控制的各种装置。

对电气设备故障的检测和诊断，根据不同的对象，有各种不同的方法。如检测、诊断电机的电流法、振动法、倍频法；检测变压器的匝比法、绝缘油分析；检测电缆的脉冲反射法、声强法、时差法等。常用电气设备的范围与设备诊断的有效性见表 1-1。

表 1-1 常用电气设备的范围与设备诊断的有效性

设备分类	设备名称	设备诊断的有效性
送配电设备	电力变压器	极为有效
	电力电缆	一般
	断路器、开关	极为有效
电机	异步电机	极为有效
	同步电机	一般
	直流电机	极为有效
控制系统	电动机控制系统	极为有效
	检测控制系统	一般

与理论方法相比，电气设备诊断的生产现场的可实现性是大家更为关注的问题。因此，本书侧重描述的是企业实际工作中真正可实现的方法，而非理论学术界

尚处于探索、实验、研究阶段的方法。

1.1.2 电气设备故障的分类

电气设备在运行时,由于电压、热、化学、机械振动以及其他因素的影响,其性能会出现劣化,甚至失去应有的功能,造成事故。在电气设备设计和制造过程中可能存在一些质量问题,而且在安装运输过程中也可能出现损坏,由此还将造成一些潜伏性故障。根据电气设备的构成特点,从查找电气设备故障的观点出发,常见的电气故障分类如下:

1. 设备绝缘故障

由于电气设备长期处于高电压和强电场作用下,电气绝缘是一项重大问题,这也是电气设备故障诊断的重中之重,因为一旦绝缘出现隐患,不仅影响正常的供电用电,而且极易引发重大事故。引发绝缘故障的主要因素是设备老化、密封不严。绝缘故障主要分为以下几种:变压器绝缘故障;电压电流互感器绝缘故障;电力电缆绝缘故障。其中又以高压电流互感器绝缘故障最为关键,因为电压电流互感器属于电气设备的核心部位,承受负载最大,老化速度快,而高压电流互感器的绝缘为电容均压结构,高压引出部件,特别是60kV及以上的高压套管的绝缘材料均采用油浸材料和胶纸材料电容型结构,密封效果不是很好,运行时进水受潮这种事故约占事故总数的百分之三十。

2. 设备机械故障

设备机械故障主要有电气设备的振动、磨损、疲劳等,特别是电机的故障。我们知道,电机是由定子、转子和轴承装置构成的,其工作系统中存在相互独立的电路和一个耦合电路的磁场,电机内不同绝缘结构又构成了独立的电机绝缘系统,还有保证各个部位正常运转的基本机械系统和通风散热系统。这类故障的特点是隐蔽性强,对检修技术要求比较高,既需要具备灵活操作设备的技术,还需要具备丰富的电气设备检修经验。

3. 设备发热故障

由于电气设备进行的是能量的转换和传递程序,发热因素对电气设备的破坏性极大,热故障在电气设备故障诊断中也有重要作用。

综上所述,电气设备的故障模式具有多样性,因此在进行电气设备诊断时必须多角度、全方位地综合考虑。

1.1.3 电气设备故障的特征

电气设备故障与其他设备故障相比,具有许多特征。

1) 电的不可见性。一个物体是否带电,虽然可以从电转换成声、光、机械运动等宏观现象看到,但在许多情况下,物体是否带电,肉眼是分辨不清的。这样,电气设备出了故障,其故障具有较大的隐蔽性,这也为查找故障带来了很大的

困难。

2) 电的传播速度极快。众所周知, 电流或电信号在导线中的传播速度接近光速, 即 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。因此, 电气设备发生故障后, 电能释放极快。大多数电气设备故障往往在瞬间发生、发展, 并酿成灾祸。这种突然性为故障的预防带来了困难。

3) 电气设备的故障形式集中, 原因多样。例如, 某电动机出现故障, 不论是什么情况, 最集中的表现是电动机不能工作, 但故障处不一定在电动机, 可能是电源故障, 也可能是电路或控制系统故障等。也就是说, 同一种故障形式, 故障的原因多种多样。这样, 也给查找故障带来困难。

4) 故障区域性广。影响一种电气设备功能实现的元器件的分布区域可能很广。例如, 某水泵电动机的安装地点在水源附近的水泵房, 但供电电源在配电室, 而其控制则在远离水泵房和配电室的控制室。这就决定了水泵电动机的故障区域在一个较广的范围内, 给故障查找带来了困难。

1.2 电气设备的维修体制及开展设备诊断的重要性

1.2.1 设备维修体制的基本概念

设备是人们从事生产活动、工程建设或进行某项工作所必需的成套设施或器械。因此, 维修的广义对象可以指各种产品、设施、系统。我国国家标准《电工术语 可靠性与服务质量》(GB/T 2900.13—2008) 给维修下的定义是: “为保持或恢复产品处于能完成要求的功能的状态而进行的所有技术和管理活动的组合, 包括监督活动。”这个定义明确指出了维修的内涵和外延, 维修的目的和时机, 不但包括了产品在使用过程中发生故障时必须恢复其完成要求的功能的能力, 而且还包括了产品发生故障之前预防故障的发生, 保障其完成要求的功能的能力。因此, 维修工作不但包括了为达上述目的而采取的各项技术措施, 如检测、换件、加注润滑剂等; 而且还包含各种管理措施, 其中既有维修的管理, 又有技术活动之外的设备管理, 如使用 and 储存条件的监测、使用 (运转) 时间及频率的控制等。

所谓维修体制, 指的是以维修对象的技术特性为依据, 对进行维修的时机实施控制的方式。典型的维修体制有事后维修、预防维修、状态维修、可靠性维修等。与其他工业设备一样, 电气设备管理维修体制发展至今基本上已有事后维修体制、预防维修体制和状态维修 (或预知维修) 体制等。现就各种维修体制及其特点介绍如下。

1. 事后维修体制

所谓事后维修体制, 就是在设备发生故障乃至事故之后才进行维修, 包括查找故障部位, 进行修复或更换零部件, 进行调整、验收等一系列技术活动。这种维修

方式由于事先对故障现象没有充分地掌握,而且多数情况下故障是由于一些偶然因素所致,因此故障造成停机、停产的经济损失较大。此外,由于不能事先作好维修的准备工作,因此这种应急性维修往往相对的维修时间长,维修费用高,维修质量也不易得到保证。通常,这种维修体制只适用于造价较低、事故停机带来的直接或间接损失不大的设备,或者在关键部位具有备份装置的贵重设备。如果对于无备份装置的大型设备也采用直到事故发生后才进行维修的体制,则必须借助先进的现代诊断技术,随时准确预报设备“已存在什么隐患?什么时候会发生故障?”等,以便现场管理人员事先做好备件和人力安排,在尽可能短的时间内完成高质量的维修工作。但是,对于任何设备,要想事先准确地预报发生事故的部位和时间都是十分困难的。因此,事后维修体制往往会造成相当大的经济损失。

另一种事后维修称为事后监控维修,是根据设备管理历史资料,在对设备的主要零部件及总体故障进行统计分析的基础上,工作中采取相应的监控措施不断地监控设备的可靠性,直到零部件发生故障之后才进行修复,并对故障进行分析记录,根据分析的结果,进而采取相应的改进设计及修改维修规程。显然这种维修方法是建立在故障分析及故障诊断的理论基础上的,且适于对安全没有直接危害的偶然故障及规律不清楚的故障进行维修。

2. 预防性维修体制

预防性维修体制是针对某些无备份装置的重要设备或因意外停机会造成巨大损失的设备实行的维修体制。它是以时间为依据,根据经验和统计资料,为保障设备完好并处于一定水平而进行的定期维修体制。我国长期以来执行的是这种预防性维修体制,电力系统还制定了相应的部门行业标准(如《电力设备预防性试验规程》等)。不可否认,尽管定期进行预防性试验和维修,对于排除某些事故隐患和降低故障率的确发挥了一定的积极作用,但是,定期进行的预防性试验和维修也具有一系列难以克服的缺点。

1) 预防性维修都是在设备停止运行条件下进行的,不仅减少了设备的可用时间、增加了不可用时间、降低了运行有效度,而且还检测不到设备在运行中的真实状态,有时还会因废弃许多尚可应用的零部件和增加不必要的拆装次数,使得维修费用大大增加。

2) 不同设备的正常运行条件往往不同,有些在尚未到维修周期时已经存在故障,有的还不易发现,尤其因随机因素引起的偶发性故障更难以预防。对电气设备进行预防性试验时,试验条件往往不同于设备的正常运行条件,有些已经存在的故障不易发现,致使有些经预防性试验认为“合格”的设备,投入运行后不久仍发生重大事故。例如,对电气设备进行介质损耗试验,现场预防性试验大多数都是在较低电压下进行的(通常为10kV),而有些设备的介质缺陷或结构上的故障在低压下难以暴露出来,只有在较高电压的实际运行状态下时,局部或整体缺陷才能表现出来。除绝缘故障以外,在预防性试验中,高压电气设备的其他类型故障,也有