

电气设备故障试验诊断 **攻略**

互感器

丛书主编 包玉树
本册主编 周源



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为加强对电气设备的检查维护和故障诊断力度,确保电气设备安全稳定运行,特编写了《电气设备故障试验诊断攻略》丛书。本书是从书的《互感器》分册。

本书共分五章,分别为概述、互感器常见故障及缺陷、电流互感器典型故障分析、电压互感器典型故障分析、互感器新技术面临的机遇和挑战,从其基本结构原理和试验情况入手,阐述了互感器故障分析的理论基础,在此基础上,分析各类不同结构互感器故障起因及预防措施。之后,从大量故障案例出发,详细介绍不同的故障分析、处理方法及注意事项,并介绍了目前最新型的故障监测技术,为在实际工作熟练运用现有的技术手段,全面监测互感器类设备运行状态以及及时发现缺陷和故障隐患提供参考。

本套丛书可供电力系统从事电气设备试验的工程技术人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备故障试验诊断攻略. 互感器 / 周源主编; 包玉树丛书主编. —北京: 中国电力出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5198-2756-4

I. ①电… II. ①周…②包… III. ①电气设备—故障诊断②互感器—故障诊断 IV. ①TM07②TM45

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第294353号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王 南(010-63412876)

责任校对: 黄 蓓 太兴华

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 石 雷

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2019年7月第一版

印 次: 2019年7月北京第一次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 7.25

字 数: 150千字

印 数: 0001—1500册

定 价: 31.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

《电气设备故障试验诊断攻略》丛书编委会 审定委员会

主 任 黄志高
副 主 任 陈 晟 卞康麟
委 员 (按姓氏笔画排序)
马生坤 王丽峰 水为涟 吉 宏 许焕清 杜 森
李 杰 李瑶红 吴 俊 张红光 祝和明 徐建军
翟学锋

编写委员会

丛书主编 包玉树
丛书参编 (按姓氏笔画排序)
马生坤 马君鹏 王成亮 王伟津 王庆胜 王如山
王丽峰 王泽仁 王建刚 卞康麟 邓嘉欣 甘 强
叶加星 付 慧 司增彦 朱孟周 刘 洋 孙和泰
孙景奕 孙 熊 杜 森 杨小平 杨世海 杨景刚
李夕强 李 军 李 勇 李瑶红 吴 俊 吴 剑
张兴沛 陈华桂 陈志勇 陈 杰 陈明光 范 忠
周 源 孟 嘉 赵 胤 胡永建 钟子娟 钟永和
祝和明 秦嘉喜 贾勇勇 徐敏锐 殷 峰 高 山
高 嵩 黄亚龙 黄 芬 黄 磊 隋东礪 衡思坤

本册编写人员

主 编 周 源
参 编 张春燕 秦 伟 陈志勇 尹 愈 陆云才

前 言



目前，国家电网公司立足自主创新，大力发展特高压和智能电网并取得了重大突破，实现了“中国创造”和“中国引领”，电力事业日新月异，蓬勃向前。国网江苏省电力有限公司的广大员工随潮而动，逐梦而飞。在此背景下，经过近四年的筹划、组织、立项、编撰、审核、修改，《电气设备故障试验诊断攻略》丛书与读者见面了。

本套丛书按照一次设备的种类分别成册，内容涵盖设备结构、针对性试验、典型故障、诊断攻略等方面，重点放在具有可操作性的故障诊断上。丛书中所列故障案例，既有作者的亲身经历，也有收集借鉴的他山之石，经过筛选、加工一一呈现在读者面前，期望这套丛书能给读者带去不一样的收获。本套丛书各分册内容安排主要以故障描述、缺陷排查、综合分析、诊断攻略的形式呈现，另外对专业领域的试验与诊断新技术做了前瞻性叙述。

本分册共分五章，分别为概述、互感器常见故障及缺陷、电流互感器典型故障分析、电压互感器典型故障分析、互感器新技术面临的机遇和挑战。从互感器基本结构原理和试验情况入手，阐述了互感器故障分析的理论基础，在此基础上，分析各类不同结构互感器故障起因及预防措施。之后，从大量故障案例出发，详细介绍不同的故障分析、处理方法及注意事项，并介绍了目前最新型的故障监测技术，为在实际工作熟练运用现有的技术手段，全面监测互感器类设备运行状态以及及时发现缺陷和故障隐患提供参考。

在本套丛书的编写过程中，得到了国网江苏省电力有限公司领导的大力支持，书中参考了国网公司近十年互感器类设备缺陷大数据分析成果、江苏省内和其他省市电力公司的典型事故案例，引用了一些研究成果及试验数据，在此对相关单位的领导和专家表示衷心感谢。

本套丛书可供电力系统从事电气设备试验的工程技术人员使用，也可作为高等院校相关专业师生的学习参考资料。由于各分册作者均为在职电力系统专家，利用工作之余的时间编写，时间仓促，书中仍有疏漏与不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2018年8月

目 录



前言

第一章 概述	1
第一节 电流互感器	1
第二节 电压互感器	2
第二章 互感器常见故障及缺陷	4
第一节 互感器的故障类型及原因分析	4
第二节 互感器常见缺陷及故障分布	6
第三节 互感器的试验	21
第四节 预防互感器事故措施	27
第三章 电流互感器典型故障分析	31
第一节 油浸正立式电流互感器典型故障案例	31
第二节 油浸倒置式电流互感器典型故障案例	37
第三节 充气式电流互感器典型故障及防范措施	58
第四章 电压互感器典型故障分析	67
第一节 电磁式电压互感器典型故障及防范措施	67
第二节 电容式电压互感器典型故障及防范措施	71
第五章 互感器新技术面临的机遇和挑战	92
第一节 高压互感器技术的进步与发展	92
第二节 高电压测试技术的进步与发展	93
参考文献	105

概 述

互感器 (instrument transformer) 又称为仪用变压器, 是按比例变换电压或电流的设备及电流互感器和电压互感器的统称。电力系统为了传输电能, 往往采用交流电压、大电流回路把电力送往用户, 无法用仪表进行直接测量。互感器的作用就是将交流电压和大电流按比例降到可以用仪表直接测量的数值, 便于仪表直接测量, 同时为继电保护和自动装置提供电源。电力系统用互感器是将电网高电压、大电流的信息传递到低电压、小电流二次侧的计量、测量仪表及继电保护、自动装置的一种特殊变压器, 是一次系统和二次系统的联络元件, 互感器的一次绕组接入电网; 二次绕组分别与测量仪表、保护等装置互相连接。互感器与测量仪表和计量装置配合, 可以测量一次系统的电压、电流和电能; 与继电保护和自动装置配合, 可以构成对电网各种故障的电气保护和自动控制。互感器性能的好坏, 直接影响到电力系统测量、计量的准确性和继电器保护装置动作的可靠性。同时互感器还可用来隔开高电压系统, 以保证人身和设备的安全。互感器主要分为电压互感器和电流互感器两种, 是电力系统中主要设备之一。

第一节 电 流 互 感 器

电流互感器又称变流器, 作用是将高压系统中的电流或低压系统中的大电流转换成一定量标准的小电流 (5A 或 1A, 均指额定值), 供给测量仪表和继电保护用电流, 以便实现测量仪表、保护设备及自动控制设备的标准化、小型化。电流互感器根据其绝缘材质的不同, 分为油浸式电流互感器、SF₆ 电流互感器、干式互感器等。

一、油浸式电流互感器

油浸式电流互感器分为正立式和倒置式两大类。正立式电流互感器主要由油箱、器身、瓷套、金属膨胀器组成。主绝缘一般采用电容式结构, 绝缘材料是油浸纸, 主绝缘直接绕制在一次绕组上, 二次绕组浸在油中, 套管位于电容式绝缘的底部, 固定在托架上组成器身。绝缘大多采用瓷套管, 也有采用环氧管加硅橡胶的; 倒置式电流互感器的一次绕组贯穿于二次绕组组成的绕组, 置于互感器顶部油箱中, 油箱上部装有不锈钢的金属膨胀器作为油补偿器。二次绕组外部有厚度 6~8mm 的铝屏蔽罩壳, 以控制电场分布, 二次引线穿过铝管引至下部小底座的出线盒, 绝大多数采用瓷套管作为外绝缘材

料。油浸式电流互感器在电力系统中已经使用了很长时间，虽然状态稳定、性能优良，但缺点也很明显，如绝缘油容易发生渗漏、造成环境污染，并且当内部绝缘出现问题时，容易发生爆炸，造成人员伤亡、设备及财产损失，同时也比较笨重、现场维护量较大。

二、SF₆ 电流互感器

SF₆ 电流互感器外绝缘大多采用瓷套管，也有采用环氧管加硅橡胶的，结构大多采用倒置式，即二次绕组放置于顶部，主绝缘采用 SF₆ 气体，一般不采用特殊的绝缘处理方式，通过加均压件的方式改善电场分布。倒置式 SF₆ 电流互感器结构由壳体、瓷套、一次绕组、二次绕组及底座等组成。一次绕组从二次绕组中心穿过，二次绕组组件通过盘式绝缘子支撑在壳体内，二次绕组引线通过屏蔽管从底座上的二次接线板引出，瓷套由高强度瓷烧成，能承受很高的压力，产品顶部装有压力释放装置，底座设置有 SF₆ 气体压力表、SF₆ 阀门、密度继电器和二次接线板等。近年来，SF₆ 电流互感器在系统中已经大量使用，其优异的绝缘性能得到了广泛认可。

三、干式电流互感器

干式高压电流互感器是继油浸电流互感器、SF₆ 电流互感器后投入市场的一种新型高压电流互感器。主要由一次绕组、联接器、二次绕组和外壳部分构成。一次绕组骨架是由不导磁的刚性管状材料制成，弯成 U 形，主绝缘为电容式结构，绝缘介质为聚四氟乙烯，外套为硅橡胶伞裙，二次绕组固定在一次绕组的地屏部分内，并与底座及一次绕组牢固固定。采用这种主绝缘材料电流互感器具有无油、无瓷、无气等特性，基本可实现免维护工作。

第二节 电压互感器

电压互感器是一种专门用于变换电压的特种变压器，在正常工作条件下，通过电压互感器一、二次绕组匝数的适当配置，可以将不同的一次电压变换成较低的标准电压，具有测量、保护、绝缘等作用。电压互感器因绝缘介质的不同，可分为干式电压互感器、油浸式电压互感器及气体绝缘电压互感器。干式电压互感器以环氧树脂或其他树脂混合材料浇注成型，多用在 35kV 及以下电压等级；油浸式电压互感器以绝缘纸和绝缘油作为绝缘，是中国最常见的结构型式，常用于 500kV 及以下电压等级；气体绝缘电压互感器由 SF₆ 气体作主绝缘，多用在较高电压等级，是一种较新型电压互感器结构形式，后面章节将详细介绍。现阶段我国电力系统普遍采用的油浸式电压互感器主要有两种结构：电容式电压互感器和电磁式电压互感器。

一、电磁式电压互感器

电磁式电压互感器又称电磁感应式电压互感器。其工作原理与变压器相同，基本结

构也是铁芯和原、副边绕组。特点是容量很小且比较固定，通常只有几十到几百伏安。正常运行时二次侧所接的负荷是测量仪表和继电器的电压线圈，它们的阻抗很大，因此电压互感器的正常工作方式接近于空载状态，其二次侧不允许短路，若出现短路故障，其短路电流很大，会烧坏电压互感器。具有稳定性好、精确度高、事故响应迅速和绝缘不易受潮且造价低廉等优点，在 35 kV 及以下电力系统中得到普遍使用。但是由于电磁式电压互感器存在与系统的铁磁谐振现象，以及随电压等级的提高而生产的制造上的困难、成本上的增加等缺点，在高电压等级的系统中已逐步被电容式电压互感器所取代。

二、电容式电压互感器

电容式电压互感器主要由电容分压器和中压变压器组成。电容分压器由瓷套和装在其中的若干串联电容器组成。所以电容式电压互感器对于系统呈现容性特征，可以有效避免系统铁磁谐振的发生。电容式电压互感器由于通过电容分压，分压比较低；对于电压等级较高的互感器，绝缘问题容易解决，制造成本较低；还具有外形轻巧、体积小、重量轻，维护量少等优点。

互感器常见故障及缺陷

因功能、结构、材质、绝缘介质等不同，电力系统中的电流互感器和电压互感器分为多种形式，其缺陷类型有一定特性，也有许多共性，本章介绍其共性缺陷，特性缺陷将结合具体案例在其他章节详细说明。

第一节 互感器的故障类型及原因分析

一、互感器故障部位分类

此类型可分为铁芯故障、绕组故障、套管故障以及回路故障等。

1. 铁芯故障

(1) 铁芯片间绝缘损坏、老化。

当运行中温度升高、空载损耗增大、误差加大时，产生故障的原因可能是铁芯片间绝缘不良，使用环境条件恶劣或长期在高温下运行，促使铁芯片间绝缘老化。

(2) 接地片与铁芯接触不良。

当运行中铁芯与油箱有放电声时，产生的原因是接地片没有插紧、安装螺栓没有拧紧。

(3) 互感器铁芯松动等。

当运行中有不正常的振动或噪声时，产生故障的原因是铁芯夹件未夹紧。

2. 绕组故障

(1) 绕组匝间短路。

当运行中温度升高、有放电声响、高压熔丝熔断、二次电压表指示不稳（忽高或忽低）、三相直流电阻不平衡、耐压试验不稳定时，产生故障的原因是制造工艺不良，系统过电压、长期过载，绝缘老化等。

(2) 绕组断线。

断线处有可能产生电弧，有放电声响，断线相的电压表指示降低或为零，用万用表电阻档测量线圈不通。产生故障的原因是出厂时导线焊接工艺不良，或机械强度不够及引出线接线不合理，造成引线断线。

(3) 绕组对地绝缘击穿。

运行中高压熔丝连续熔断，并可能伴有放电声响；绝缘试验电阻不合格，交流耐压

试验不合格。产生故障的原因是绝缘老化或有裂纹缺陷，绝缘油受潮，绕组内有导电杂物，系统过电压击穿，严重缺油等。

(4) 绕组相间短路。

运行中高压熔丝熔断，油温剧增；三相直流电阻降低和不平衡。产生故障的原因是绝缘老化，绝缘油受潮，严重缺油，绕组制造工艺有缺陷，又常常是对地弧光击穿转化为相间短路。

(5) 主绝缘击穿。

产生故障的原因主要是厂家生产工艺控制不严、密封不良、绝缘严重受潮。内部主绝缘包扎不紧不密贴，致使主绝缘闪络击穿。

(6) 匝间绝缘击穿。

(7) 二次绕组烧坏，一般单匝母线型电流互感器该类故障较多。

3. 套管故障

故障产生的原因是套管受外力机械损伤，套管间有异物或小动物进入，套管严重污染，绝缘不良以及套管外爬距不能满足运行环境要求等。

4. 回路故障

故障产生的原因是设备遭受雷击、系统短路、接地等不良工况产生的过电压、过电流侵入引起的接地以及二次回路的短路，断路等。

二、互感器缺陷性质分类

此类型可分为绝缘热击穿、局部放电损坏、受潮、绝缘干燥和脱气处理不彻底、人为过失等。

1. 绝缘热击穿

高压电流互感器既承受高电压又通过大电流，绝缘介质在高电压作用下的介质损耗以及电流热效应使绝缘温度升高。如有缺陷，将出现热损耗增加，绝缘温度升高，在超过绝缘材料的工作温度下长期运行，就会造成绝缘热击穿。

2. 局部放电损坏

电流互感器主电容在正常状态下电压均匀分布，如果生产制造过程中工艺不合格，就会造成电容极板不光滑，绝缘包绕松紧不均、外紧内松、纸有皱洛。电容屏错位、断裂，“并腿”时损伤绝缘等缺陷。因下部 U 形卡子卡得过紧使绝缘变形，还会因端屏铝箔没有孔眼而在非真空注油时，电容屏间存积气泡，出现严重电晕或较强的局部放电，如果没有被发现或处理不及时，将导致整个电容芯棒绝缘裂解击穿事故。

3. 受潮

由于端部密封不严而进水受潮，引起互感器内部游离放电加剧，内部沿面放电，是电流互感器绝缘劣化的主要原因之一。电流互感器的 U 形电容芯棒的底部离箱底部很近，进入互感器内的水沉积于电容芯棒底部，芯棒打弯处绝缘受潮严重，是绝缘最薄弱的部位，在工作场强的长期作用下，使一对或几对主电容屏击穿，甚至导致整个电容芯

棒的击穿，从而造成爆炸事故。

4. 绝缘干燥和脱气处理不彻底

电流互感器若不进行真空注油，致使内部气体无法排出，或者虽然进行了真空注油，但不能保持高真空度，或者脱气处理时间不够、干燥不彻底，在运行电压和温度的作用下，就会发生热击穿或电老化击穿。

5. 人为过失

常见的过失有一次引线接头松动、注油工艺不良、二次绕组开路、电容末屏接地不良等。由于这些过失常导致局部过热或放电，使油中溶解气体色谱分析结果异常。

第二节 互感器常见缺陷及故障分布^①

一、电流互感器常见缺陷分布情况

根据国家电网公司统计，整理出具有代表性的北京、河北、江苏、浙江、湖南、重庆、辽宁、甘肃等8家单位，在2005~2014年，66~500kV电流互感器发生的缺陷情况，按照缺陷类型、缺陷发现方式、电压等级、运行时间四个维度进行分析，找出缺陷总体分布规律。

(1) 按照缺陷类型分析。

2005~2014年，电流互感器缺陷按照设备部件分析，缺陷分布情况见表2-1和图2-1。

表 2-1 缺陷类型分布情况

缺陷类型	数量(个)	占比(%)
渗漏油	400	32.89
异常发热	278	22.86
受潮	149	12.25
SF ₆ 压力异常	115	9.46
内部放电	110	9.05
末屏断裂	31	2.55
膨胀器损坏	28	2.30
锈蚀	22	1.81
一次接线排开裂	21	1.73
二次异常	18	1.48
异常声响	16	1.32
外绝缘爬电	15	1.23
其他	13	1.07
合计	1216	100.00

^① 本书第二章第二节统计数据，节选自《基于不停电检测的电压互感器状态检修技术研究》《基于不停电检测的电流互感器状态检修技术研究》报告。2015年1月，国家电网有限公司运检部组织开展了十二类电网设备基于不停电检测的变电设备状态检修技术研究工作。本报告是针对公司系统变电站内在运的66~500kV互感器开展的专题研究，报告中的数据由公司系统范围内具有代表性的北京、河北、江苏、浙江、湖南、重庆、辽宁、甘肃等8家电力单位提供。统计分析了2005年至2014年期间设备的严重、危急缺陷和故障分布情况以及检测手段的检出效率，具有一定代表意义和前瞻性。

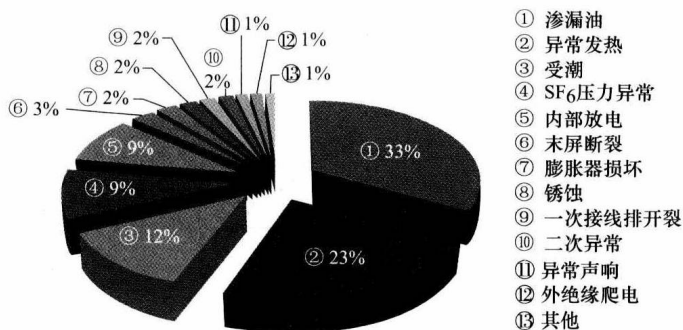


图 2-1 缺陷类型分布情况

(2) 按照发现方式分析。

2005~2014 年，电流互感器缺陷按照发现方式分析，缺陷分布情况见表 2-2 和图 2-2。

表 2-2 缺陷发现方式分布情况

发现方式	数量 (个)	占比 (%)
巡视发现	746	61.35
停电试验	174	14.31
带电检测	276	22.70
在线监测	20	1.64
合计	1216	100.00

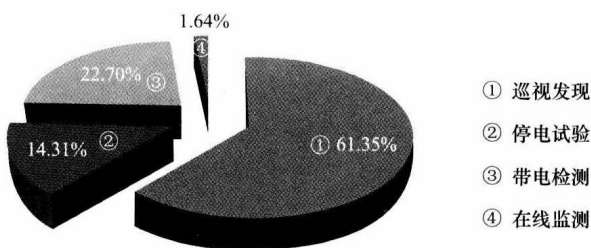


图 2-2 缺陷发现方式分布情况

(3) 按照设备电压等级分析。

2005~2014 年，电流互感器缺陷按照电压等级分析，缺陷分布情况见表 2-3 和图 2-3。

表 2-3 缺陷设备电压等级分布情况

电压等级 (kV)	数量 (个)	占比 (%)
500	47	3.87
330	22	1.81
220	416	34.21
110	701	57.65
66	30	2.47
合计	1216	100.00

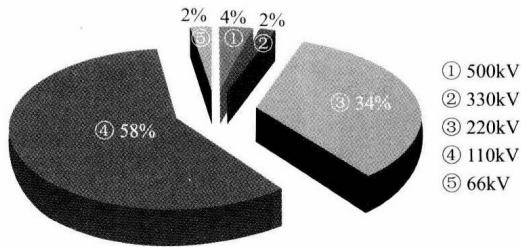


图 2-3 缺陷设备电压等级分布情况

(4) 按照设备运行时间分析。

2005~2014 年，电流互感器缺陷按照设备运行时间分析，缺陷分布情况见表 2-4 和图 2-4。

表 2-4 缺陷设备运行时间分布情况

运行年限 (年)	数量 (个)	占比 (%)
1 年内	47	3.87
0~5	338	27.80
6~10	355	29.19
11~15	201	16.53
16~20	157	12.91
大于 20	165	13.57
合计	1216	100.00

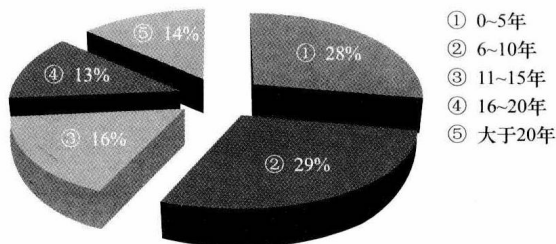


图 2-4 缺陷设备运行时间分布情况

从数据上看，运行 10 年以内缺陷相对占比较大，统计新投一年内设备发生缺陷 47 起，占比 3.87%；一年到两年内设备发生缺陷 50 起，占比 4.11%；未表现出明显规律。根据在线监测发现缺陷多为 SF₆ 漏气，均为设备制造缺陷，建议新投设备开展红外测漏带电检测及早发现此类缺陷。

二、电流互感器常见故障分布规律

统计整理 2005~2014 年 66~500kV 电流互感器发生故障的基本情况，按照设备故障类型、故障原因、电压等级、运行时间四个维度进行分析，得到故障总体分布

规律。

(1) 按照故障类型分析。

2005~2014 年，电流互感器故障按照设备部件分析，分布情况见表 2-5 和图 2-5。

表 2-5 故障类型分布情况

故障类型	数量 (个)	占比 (%)
外部绝缘闪络	7	20.59
主绝缘击穿	7	20.59
膨胀器冲顶	5	14.71
炸裂起火	5	14.71
SF ₆ 绝缘击穿	3	8.82
二次端子放电	2	5.88
内部绝缘放电	2	5.88
一次接线端故障	2	5.88
二次线圈烧毁	1	2.94
合计	34	100.00

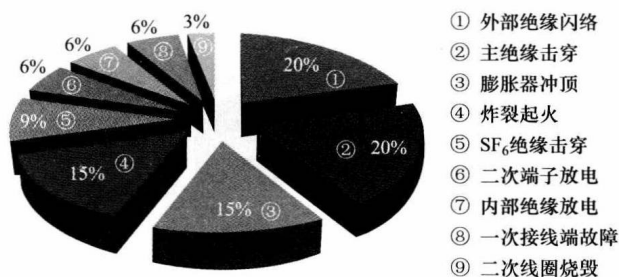


图 2-5 故障类型分布情况

(2) 按照故障原因分析。

2005~2014 年，电流互感器故障按照故障原因分析，分布情况见表 2-6 和图 2-6。

表 2-6 故障原因分布情况

故障原因	数量 (个)	占比 (%)
设计制造质量	16	47.06
恶劣天气 (大风、雷雨、雾、冰雪)	11	32.35
设备老化	3	8.82
安装调试	2	5.88
系统过电压	1	2.94
运行维护问题	1	2.94
合计	34	100.00

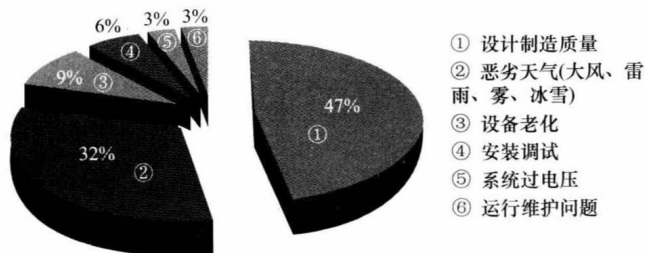


图 2-6 故障原因分布情况

(3) 按照设备电压等级分析。

2005~2014 年，电流互感器故障按照电压等级分析，故障分布情况见表 2-7 和图 2-7。

表 2-7 故障设备电压等级分布情况

电压等级 (kV)	数量 (个)	占比 (%)
500	11	32.35
330	0	0.00
220	9	26.47
110	10	29.41
66	4	11.76
合计	34	100.00

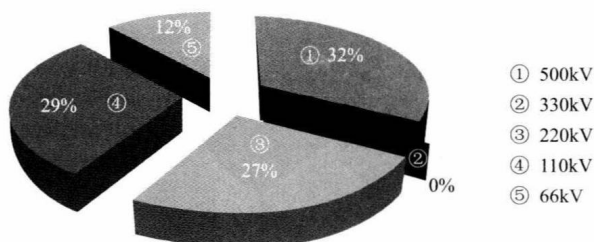


图 2-7 故障设备电压等级分布情况

(4) 按照设备运行时间分析。

2005~2014 年，电流互感器故障按照设备运行时间分析，故障分布情况见表 2-8 和图 2-8。

表 2-8 故障设备运行时间分布情况

运行年限 (年)	数量 (个)	占比 (%)
1 年内	2	5.88
0~5	13	38.24
6~10	12	35.29
11~15	2	5.88
16~20	2	5.88
大于 20	5	14.71
总计	34	100.00

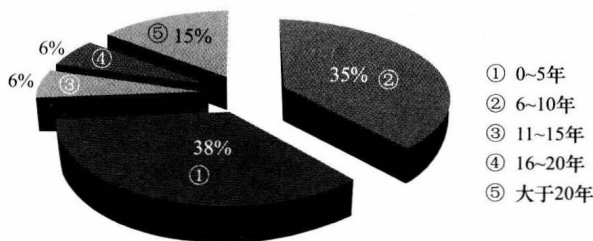


图 2-8 故障设备运行时间分布情况

根据以上图表数据，总结如下：

(1) 从缺陷角度分析。密封问题 (37.42%) 和发热缺陷 (23.93%) 为主要缺陷；运行巡视发现缺陷数量占比为 61.35%，主要为外观类缺陷，一般能够带电进行处理，而停电试验、带电检测发现的缺陷主要为桩头发热等；从电压等级发现 110kV 和 220kV 设备缺陷较多，分别占比 57.65% 和 34.21%；从运行时间发现 10 年内设备缺陷数量多，超过 50%。

(2) 从故障角度分析。外部绝缘闪络、主绝缘击穿、膨胀器冲顶、炸裂起火为主要故障类型，分别占 20.59%、20.59%、14.71%、14.71%。故障原因主要为设计制造质量和恶劣天气，分别占 47.06% 和 32.35%；运行 10 年内的故障占比为 73.53%，其中 1 年内新投设备故障占 5.88%。

三、电容式电压互感器常见故障及缺陷分布情况

1. 缺陷情况

统计整理 2005~2014 年 66~500kV 电容式电压互感器发生的缺陷情况，按照缺陷类型、缺陷发现方式、电压等级、运行时间四个维度进行分析，得到缺陷总体分布规律。

(1) 按照缺陷类型分析。

2005~2014 年，电容式电压互感器缺陷按照设备部件分析，缺陷分布情况见表 2-9 和图 2-9。

表 2-9 缺陷类型分布情况

缺陷类型	数量 (个)	占比 (%)
二次电压异常	138	29.05
介损及电容量异常	92	19.37
渗漏油	82	17.26
异常发热	65	13.68
一次接线异常	20	4.21
外观破损锈蚀	18	3.79
绝缘电阻异常	17	3.58
内部放电	10	2.11
SF ₆ 压力异常	8	1.68

续表

缺陷类型	数量 (个)	占比 (%)
油色谱异常	7	1.47
电压比不合格	5	1.05
其他	13	2.74
合计	475	100.00

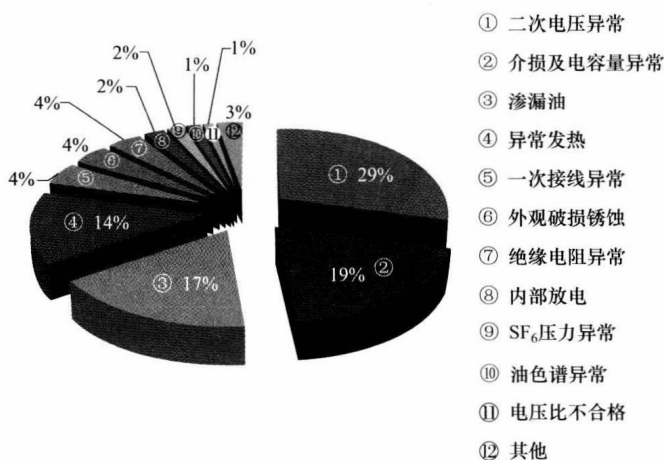


图 2-9 缺陷类型分布情况

(2) 按照发现方式分析。

2005~2014 年，电容式电压互感器缺陷按照发现方式分析，缺陷分布情况见表 2-10 和图 2-10。

表 2-10 缺陷发现方式分布情况

发现方式	数量 (个)	占比 (%)
巡视发现	310	65.26
停电试验	109	22.95
带电检测	55	11.58
在线监测	1	0.21
合计	475	100.00

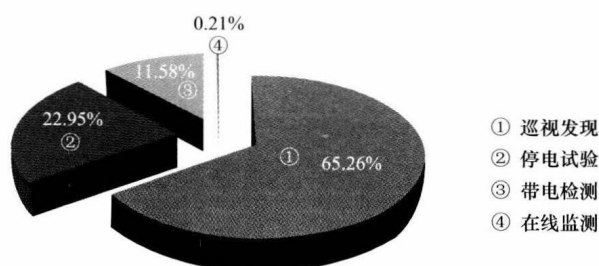


图 2-10 缺陷发现方式分布情况