

SF₆电流互感器 故障检测与诊断技术

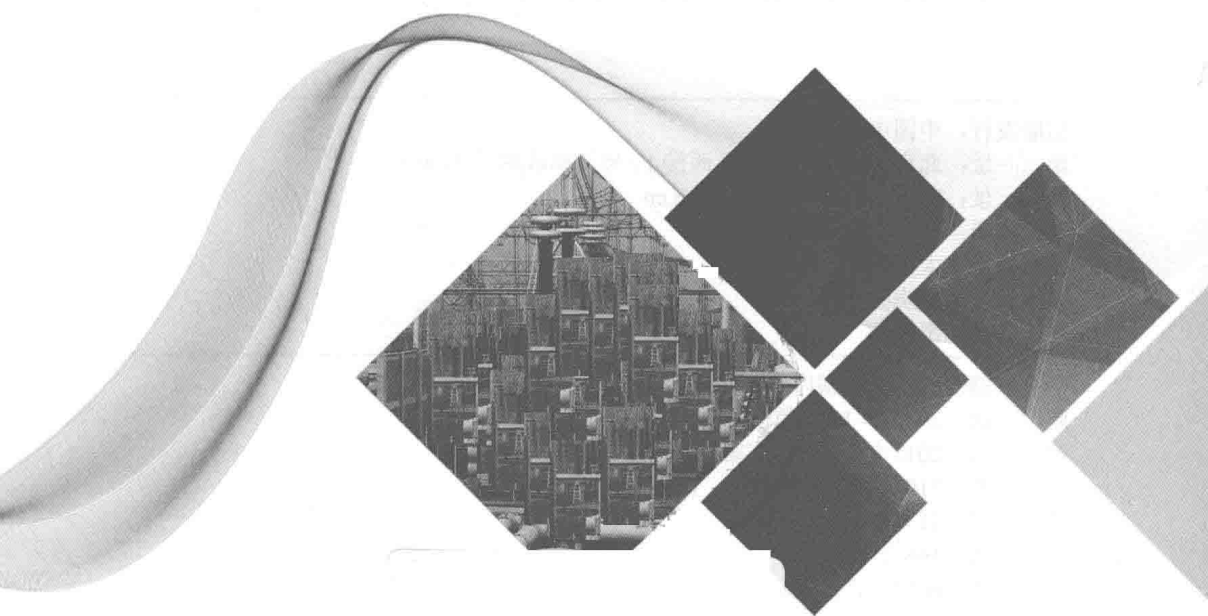
国网宁夏电力公司电力科学研究院 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

SF₆电流互感器 故障检测与诊断技术

国网宁夏电力公司电力科学研究院 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分七章,介绍了 SF₆ 电流互感器的运行现状和故障类型及特点, SF₆ 电流互感器的瓷套断裂机理和事故防范措施;阐述了通过局部放电及气体分解产物检测预防 SF₆ 电流互感器主绝缘故障的机理及方法;提出了针对倒置油浸式电流互感器的“一次差分法”高频局部放电检测方法,并介绍了其实践案例。

本书适用于从事电流互感器运行、检修、试验人员及相关管理人员,也可作为制造部门、电力设计单位相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

SF₆ 电流互感器故障检测与诊断技术/国网宁夏电力公司电力科学研究院组编. —北京:中国电力出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5198-1050-4

I. ①S… II. ①国… III. ①电流互感器—故障检测②电流互感器—故障诊断
IV. ①TM452.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 190514 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:陈 丽(010-63412348)

责任校对:太兴华

装帧设计:郝晓燕 左 铭

责任印制:邹树群

印 刷:三河市百盛印装有限公司

版 次:2017 年 11 月第一版

印 次:2017 年 11 月北京第一次印刷

开 本:710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张:11.5

字 数:166 千字

印 数:0001—1000 册

定 价:48.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 吴旭涛

参编人员 朱洪波 李秀广 汲胜昌

郝金鹏 马 波 张庆平

常 彬 丁 培



前言

倒置式 SF₆ 电流互感器（简称 SF₆ 电流互感器）是近年来出现的一种新型电气设备，因其结构简单、运行维护工作量小而受到运行单位的广泛青睐。但由于 SF₆ 电流互感器及配套套管的生产制造、出厂检验、交接验收及运行维护均缺乏有效的技术标准和检测手段。随着大量 SF₆ 电流互感器的投入运行，暴露出一些问题。

据统计，1998 年 6 月～2005 年 7 月，国家电网公司系统有 44 台 SF₆ 电流互感器在运行中程度不同的发生了故障。其中一些故障造成了变电站全停的严重后果，甚至对变电站运行、检修人员的人身安全构成了极大的威胁。

如 2004 年 12 月 27 日和 2005 年 2 月 21 日，宁夏电力公司石嘴山供电局 220kV 落石滩变电站先后有两台 SF₆ 电流互感器在运行中发生瓷套断裂故障，均导致了变电站全停事故。引起了国家电网公司和宁夏电力公司的高度重视。自此，国网宁夏电科院针对 SF₆ 电流互感器存在的问题，与西安交通大学等单位合作，开展了一系列研究，并取得了一批成果。本书就是对这些成果的归纳和总结。

本书在对 SF₆ 电流互感器运行状况、故障情况进行全面分析的基础上，着重阐述了其瓷套的断裂机理和预防措施，SF₆ 电流互感器局部放电及气体分解产物的检测原理和实践。本书还介绍了倒置油浸式电流互感器的局部放电带电检测原理。为此，国网宁夏电科院提出了在倒置油浸式电流互感器高压端采用“一次差分法”进行高频局放检测的思路，并与西安交通大学合作研究，证明了此方法的可行性与有效性，书中对其进行了介绍。通过本书，期望能够对 SF₆ 电

流互感器的设计制造、出厂检验、选型订货、安装验收、运行维护、缺陷分析、故障防范提供帮助，同时为倒置油浸式电流互感器的状态检测提供一个全新思路。

本书的编写得到了西安交通大学汲胜昌老师的大力支持和帮助，借此表示感谢。

限于作者水平，书中不妥和错误之处在所难免，恳请专家、同行和读者给予批评指正。

编 者

2017 年 7 月



目录

前言

第 一 章	概述	1
第 二 章	国家电网公司系统 SF ₆ 电流互感器运行情况	4
第一节	在运 SF ₆ 电流互感器分布情况	4
第二节	在运 SF ₆ 电流互感器主要生产厂家	8
第三节	在运 SF ₆ 电流互感器套管使用情况	10
第四节	在运 SF ₆ 电流互感器故障概况	13
第 三 章	SF ₆ 电流互感器故障类型	18
第一节	主绝缘击穿故障	19
第二节	内部放电故障	25
第三节	瓷套断裂故障	26
第四节	防爆膜破裂故障	30
第五节	气体泄漏故障	31
第六节	气体受潮故障	32
第七节	其他原因引起的故障	33

第 四 章 SF₆ 电流互感器强度分析与断裂机理 35

第一节	SF ₆ 互感器有限元分析.....	35
第二节	正常工作条件下互感器的应力场	40
第三节	温度变化条件下互感器的应力场	42
第四节	运输与吊装过程互感器的应力场	46
第五节	水压试验中带躯壳与带盖板时应力场的对比研究	47
第六节	瓷套内壁存在裂纹的应力分析	50
第七节	法兰和瓷套之间水泥填充不足情况下的应力分析	53
第八节	沥青缓冲层对于应力场的影响	54
第九节	防爆膜的应力分析	57
第十节	小结.....	59

第 五 章 特高频法在电流互感器诊断中的应用 61

第一节	内置式特高频局部放电信号采集单元	62
第二节	数据显示方式及典型缺陷放电特征	71
第三节	带电检测与故障诊断技术	79
第四节	在线监测技术.....	93

第 六 章 一次绕组法在电流互感器检测中的应用 102

第一节	一次绕组法局放脉冲带电检测系统	102
第二节	典型绝缘缺陷局部放电脉冲特性	115
第三节	一次绕组法局部放电检测系统实用性	127

第 七 章	气体分解法在电流互感器诊断中的应用	134
第一节	分解机理及检测方法	134
第二节	典型缺陷气体分解特性	143
第三节	500kV 实体电流互感器典型缺陷放电分解特性	166

概 述

电流互感器是电力系统输配电工程中不可缺少的重要设备之一，是连接电网一次和二次的桥梁，可以把数值较大的电流通过一定的变比转换为数值较小的二次电流，用来进行保护、测量、计量等。电流互感器采用线圈倒置式结构，结构如图 1-1 所示。内部结构由二次绕组、一次导电杆、金属膨胀器及高压绝缘组成；外部结构由躯壳、法兰、瓷套、支座等组成。一次导电杆从顶部壳体（高电位）直接穿过二次绕组（外包接地的金属屏蔽罩），一次导电杆与二次绕组间、二次绕组与壳体间保持同轴圆柱形电场。二次绕组通过环氧树脂浇注的支柱绝缘子或盆式绝缘子支撑固定在电流互感器的壳体上，其引线从垂直的二次引线管（地电位，与二次绕组的屏蔽罩相连）中引下至底座引出。二次绕组全部用金属筒加以屏蔽，其屏蔽接地引下线接于二次引线板的接地端子上。为了充分利用材料的绝缘特性，在 330kV 及以上电压等级的电流互感器在主绝缘内设有电容屏，对倒置式绝缘结构来讲，主绝缘最外层接高电压，最内层接地形成一个串联的电容屏组，只要保证各屏间电容接近相等，则屏间电压分布均匀，从而达到改善主绝缘电场分布的目的。

按照电流互感器绝缘介质种类的不同，可分为干式、油式、浇注式和 SF_6 式四种。早期互感器多是油浸式互感器。但因为油浸式电流互感器在线圈主绝缘包扎时难免带入大量潮气，如果真空干燥和真空注油时脱气不净，在运行时导致产品主绝缘损坏，互感器内部产生电弧，引起产品爆炸。尤其在高压电网中，由高电压引起油浸式互感器的故障更是容易发生。 SF_6 气体具有优异的绝缘

和灭弧性能，用作电气设备的绝缘介质，有效避免了油浸式互感器的缺点。在电气性能、电磁性能、热性能以及机械性能方面， SF_6 电流互感器比油浸式电流互感器有显著的优点，且运行安全可靠、寿命长、维护简单，在高压电网上逐渐得到广泛应用，已成为使用最为广泛的电流互感器类型。

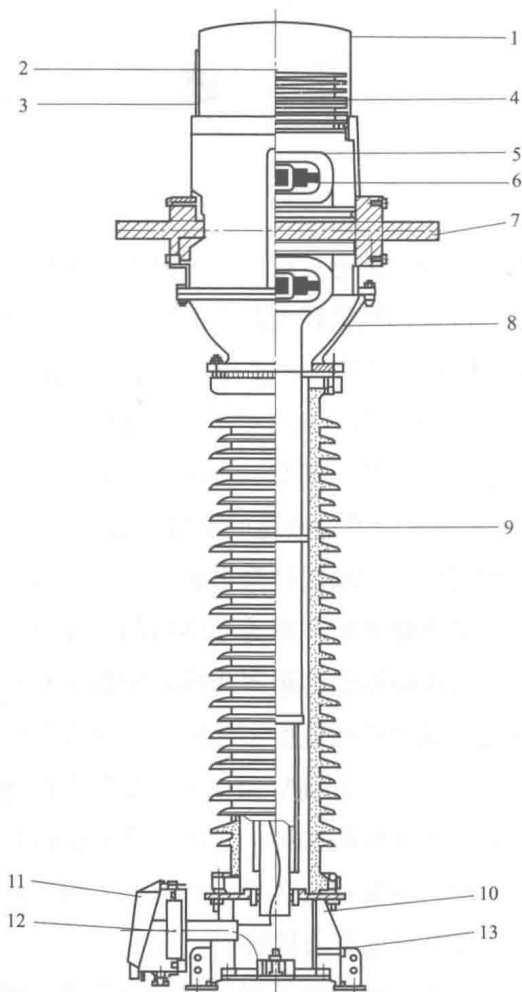


图 1-1 电流互感器结构示意图

1—膨胀器外罩；2—排气塞；3—位置指示器；4—金属膨胀器；5—高压绝缘；6—二次绕组；7—一次导电杆；
8—储油柜；9—瓷套；10—底座；11—二次端子盒；12—二次端子；13—注放油塞

虽然 SF_6 电流互感器具有结构简单、维护工作量小等优点，但一旦发生突发性故障，故障影响范围比较广、修复时间比较长，会造成严重的电网事故。

由于投运时间短、缺乏相应的研究工作， SF_6 电流互感器运行中出现问题的现象屡见不鲜。例如，2005 年 7 月，某省电力公司先后有 4 台 SF_6 电流互感器由于二次绕组屏蔽罩破裂或螺丝松动在投运时发生内部主绝缘击穿；某市电力公司 SAS-550 型电流互感器因二次线圈的绝缘支撑件表面污损导致高压对地闪络导通以及因电容屏设计缺陷在雷雨天气出现主绝缘击穿现象。图 1-2 为某 500kV 电压等级 SF_6 电流互感器发生故障后的解体图片。事故分析报告显示，因结构设计存在问题导致设备在高频或过电压的作用下出现了电容屏层间击穿，最终放电电流增大造成电容屏的扭曲变形和连接件的损毁。由于高电压等级设备中采用 SF_6 绝缘的比例较大，一旦发生故障对电网造成的影响范围更广、经济损失也更大。

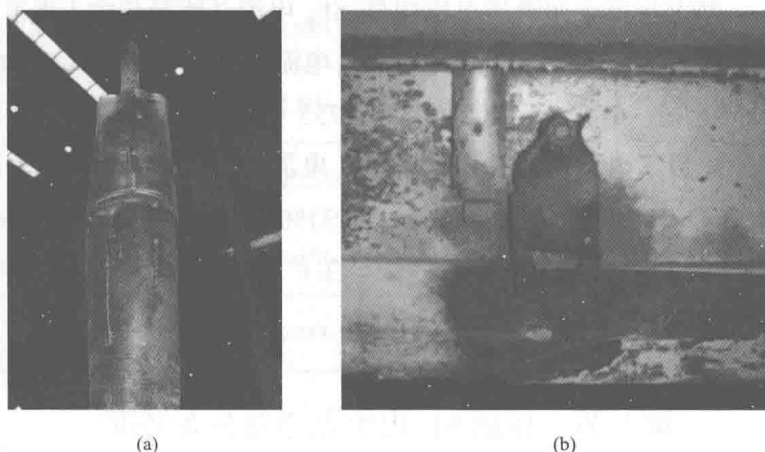


图 1-2 发生故障的 500kV 电压等级 SF_6 电流互感器解体图片
(a) 扭曲变形的电容屏；(b) 过流引起连接件的损毁

国家电网公司系统 SF₆ 电流互感器运行情况

截至 2005 年上半年, 国家电网公司所属的公司中有 22 个省电力公司及东北电网公司、华北电网公司直属单位均有 SF₆ 电流互感器在运。国家电网公司 110 (66) ~500kV 系统共计有 7290 台 SF₆ 电流互感器在运, 其中 66kV 系统 21 台, 110kV 系统 3414 台, 220kV 系统 1755 台, 330kV 系统 105 台, 500kV 系统 1149 台。国家电网公司系统在运 SF₆ 电流互感器产自 23 家生产厂家。这些设备中, 43.91% 使用了瓷质套管, 55.31% 使用了复合绝缘套管。本章将对在运 SF₆ 电流互感器分布、电压等级、生产厂家、套管使用、故障统计等情况进行介绍。

第一节 在运 SF₆ 电流互感器分布情况

表 2-1 统计了 2001~2005 年上半年国家电网公司所属网各省公司 SF₆ 电流互感器的在运情况。表中的百分比为有关网省公司在运 SF₆ 电流互感器占当年国家电网公司在运 SF₆ 电流互感器的比例。

表 2-1 国家电网公司所属有关单位 SF₆ 电流互感器的在运情况

网省公司	2001 年		2002 年		2003 年		2004 年		2005 年上半年	
	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比
陕西省电力公司	909	31.5%	1179	31.82%	1398	29.16%	1509	23.9%	1527	20.95%

续表

网省公司	2001 年		2002 年		2003 年		2004 年		2005 年上半年	
	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比
山东省 电力公司	309	10.71%	585	15.79%	849	17.71%	1170	18.53%	1329	18.23%
上海市 电力公司	792	27.44%	792	21.38%	846	17.65%	924	14.63%	924	12.67%
安徽省 电力公司	48	1.66%	72	1.94%	150	3.13%	504	7.98%	732	10.04%
浙江省 电力公司	144	4.99%	210	5.67%	285	5.94%	447	7.08%	462	6.34%
江苏省 电力公司	222	7.69%	234	6.32%	267	5.57%	375	5.94%	411	5.64%
湖南省 电力公司	36	1.25%	96	2.59%	222	4.63%	285	4.51%	345	4.73%
重庆市 电力公司	204	7.07%	204	5.51%	240	5.01%	240	3.8%	309	4.24%
宁夏 电力公司	0	0	12	0.32%	42	0.88%	108	1.71%	240	3.29%
福建省 电力公司	78	2.7%	99	2.67%	159	3.32%	216	3.42%	219	3%
山西省 电力公司	0	0	3	0.08%	21	0.44%	84	1.33%	165	2.26%
青海省 电力公司	6	0.21%	6	0.16%	6	0.13%	18	0.29%	114	1.56%
东北直属 单位	9	0.31%	15	0.4%	33	0.69%	57	0.9%	108	1.48%
华北直属 单位	42	1.46%	45	1.21%	72	1.5%	99	1.57%	102	1.4%
湖北省 电力公司	6	0.21%	51	1.38%	54	1.13%	69	1.09%	93	1.28%
北京市 电力公司	33	1.14%	42	1.13%	42	0.88%	57	0.9%	57	0.78%
河北省 电力公司	21	0.73%	21	0.57%	45	0.94%	48	0.76%	48	0.66%
辽宁省 电力公司	6	0.21%	6	0.16%	12	0.25%	27	0.43%	27	0.37%

续表

网省公司	2001 年		2002 年		2003 年		2004 年		2005 年上半年	
	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比
四川省电力公司	6	0.21%	6	0.16%	12	0.25%	24	0.38%	24	0.33%
吉林省电力公司	0	0	0	0	0	0	15	0.24%	15	0.21%
天津市电力公司	15	0.52%	15	0.4%	15	0.31%	15	0.24%	15	0.21%
河南省电力公司	0	0	6	0.16%	12	0.25%	12	0.19%	12	0.16%
江西省电力公司	0	0	6	0.16%	12	0.25%	12	0.19%	12	0.16%

从表中可以看出, 国家电网公司范围内, 陕西省电力公司、山东省电力公司、上海市电力公司及安徽省电力公司在运 SF_6 电流互感器的数量最多, 截至 2005 年上半年, 上述四家公司在运 SF_6 电流互感器总数已占国家电网公司在运 SF_6 电流互感器总数的 61.89%。

2001~2005 年上半年, 国家电网公司系统在运 SF_6 电流互感器总数量的变化情况如图 2-1 所示。2001 年以来, 国家电网公司系统在运 SF_6 电流互感器以每年 30% 左右的速度在增长, 增速明显。这说明 SF_6 电流互感器得到了运行单位越来越广泛的关注。

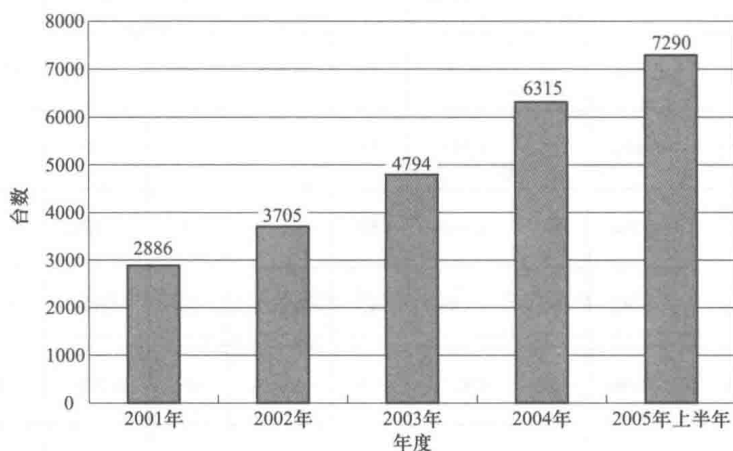


图 2-1 国家电网公司系统在运 SF_6 电流互感器总数量的变化情况

2001~2005 年上半年, 国家电网公司各电压等级 SF₆ 电流互感器在运情况如表 2-2 所示。

表 2-2 国家电网公司系统各电压等级 SF₆ 电流互感器在运情况

电压等级 (kV)		年度	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年上半年
66	不详		0	0	0	0	0
	瓷质套管		0	0	0	0	0
	复合套管		6	6	6	21	21
	合计		6	6	6	21	21
110	不详		0	0	0	0	0
	瓷质套管		1038	1383	1755	2166	2400
	复合套管		390	528	735	936	1014
	合计		1428	1911	2490	3102	3414
220	不详		0	0	18	39	42
	瓷质套管		36	99	225	462	699
	复合套管		390	528	735	936	1014
	合计		426	627	978	1437	1755
330	不详		0	0	0	0	0
	瓷质套管		0	12	15	21	87
	复合套管		0	0	0	0	18
	合计		0	12	15	21	105
500	不详		15	15	15	15	15
	瓷质套管		0	0	0	15	15
	复合套管		390	483	615	918	1119
	合计		405	498	630	948	1149

110kV 系统在运的 SF₆ 电流互感器数量最多, 这些互感器多数使用了瓷质套管, 但复合套管的使用数量存在明显增长的趋势。该电压等级在运的 SF₆ 电流互感器生产厂家达到了 18 家, 无进口产品。

220kV 系统在运的 SF₆ 电流互感器数量居第二位, 且设备多数使用了复合

绝缘套管，但瓷质套管所占比例在逐年增加。220kV 系统中在运的 SF₆ 电流互感器产自 15 个生产厂家，其中国外生产厂家 1 家，截至 2005 年上半年，共有 33 台进口产品在运。

500kV 系统在运的 SF₆ 电流互感器数量居第三位，除了产自法国某公司的设备使用了瓷质套管外，其余设备均使用了复合绝缘套管。500kV 系统中在运的 SF₆ 电流互感器分别产自上海、德国、北京、湖南、法国以及山东的几家公司。其截至 2005 年上半年的在运台数分别为 807 台、125 台、93 台、90 台、30 台、3 台。说明 500kV 系统中在运 SF₆ 电流互感器以合资厂生产为主，进口产品占有相对较大的比例。

2005 年上半年，330kV 系统在运 SF₆ 电流互感器数量表现出了明显的增长，设备多数使用了瓷质套管。330kV 系统中在运的 SF₆ 电流互感器主要产自西安某设备制造公司，截至 2005 年上半年的在运台数为 87 台，此外还有 18 台产自上海某公司。

66kV 系统使用的 SF₆ 电流互感器数量最少，且全部使用了复合绝缘套管。66kV 系统中在运的 SF₆ 电流互感器分别产自上海某公司和山东某公司，其中这家山东产品的额定电压实际为 110kV。

第二节 在运 SF₆ 电流互感器主要生产厂家

国家电网公司系统在运 SF₆ 电流互感器的生产厂家和在运台数如表 2-3 所示。

表 2-3 国家电网公司系统在运 SF₆ 电流互感器生产厂家和在运台数

互感器生产厂家	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年上半年	备注
上海某公司	1638	1881	2208	2742	2949	合资
西安 A 公司	432	621	792	933	1089	国内制造
湖南 A 公司	33	96	243	390	585	国内制造
山东 A 公司	45	144	303	429	510	合资
西安 B 公司	300	345	387	411	429	国内制造