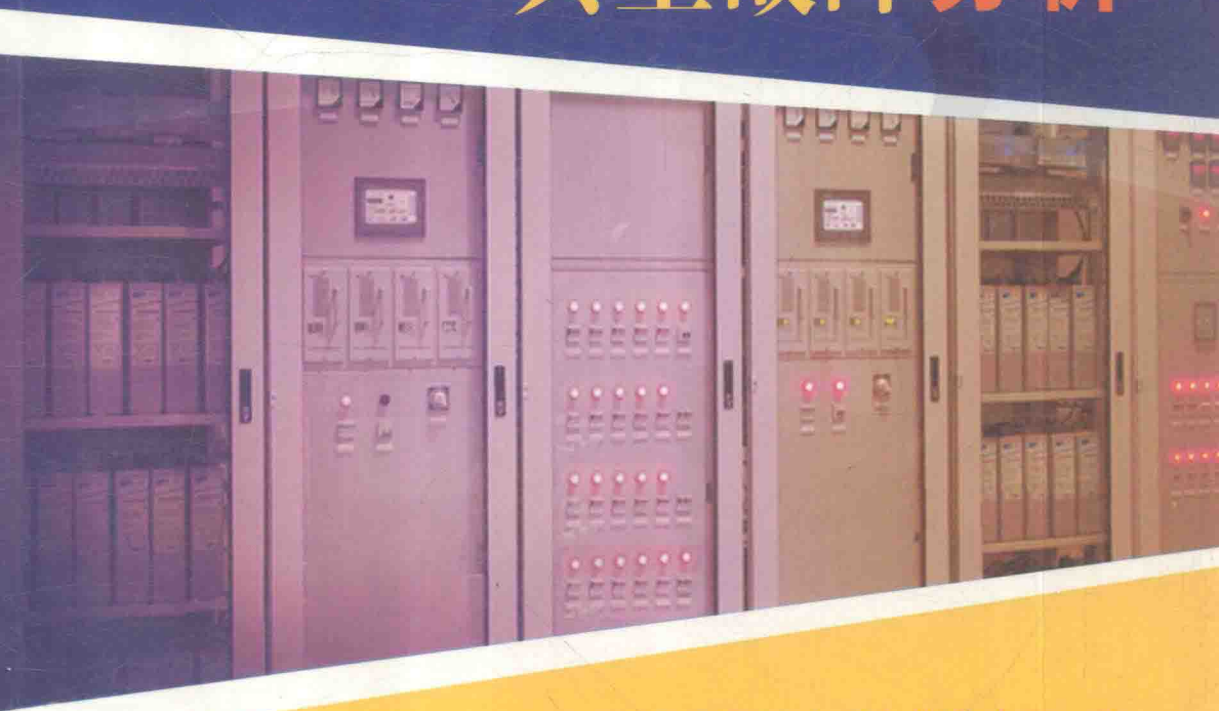


变电站直流系统

典型故障分析



广东电网公司东莞供电局 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

广东电网公司东莞供电局 编

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书收集了大量变电站直流系统的典型故障案例,总结了典型直流系统故障、缺陷处理的经验。书中详细描述了故障、缺陷现象及过程,深入分析了其发生的原因,并给出处理方法及防范措施。

全书共分五章,主要内容包括蓄电池故障、充电机故障、综合性故障、直流系统接地故障案例和直流系统环网故障案例。

本书主要作为变电站直流系统现运维人员进行故障、事故和缺陷处理的指导用书,也可作为直流系统设计、管理、现场调试、运行维护人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

· 变电站直流系统典型故障分析/广东电网公司东莞供电局编. —北京:中国电力出版社,2014.3

ISBN 978-7-5123-5374-9

I. ①变… II. ①广… III. ①变电所-直流系统-故障诊断
IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 309983 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 3 月第一版 2014 年 3 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 5.25 印张 80 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 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

主 编 王文洪

编写人员 张言权 周锡球 周 林 赖日晶

张渥先 叶福洪 关志强 郭世海

植晓斌 周 颖 姚红英 熊良璞

王 琪 邱育义 杜乾刚 徐玉凤



前言

变电站直流系统主要由蓄电池组、充电装置、直流配电屏柜、直流电源监测装置、直流供电馈线屏等部分组成，并由此形成一个庞大、遍布变电站的直流电源供电网络，为继电保护装置、断路器操作机构、自动化系统、UPS 电源、通信等各个子系统提供安全、可靠的工作电源。直流系统是一个独立的电源系统，不受电网运行方式影响，并在站用交流电停用的情况下，以蓄电池作为后备电源继续为重要设备提供直流电源。直流系统可靠与否对发电厂和变电站的安全运行起着至关重要的作用，是一、二次设备安全运行的保证。

变电站直流系统经历了几十年的发展，完成了从相控整流充电机到高频整流充电机，从防酸隔爆式蓄电池到免维护阀控铅酸蓄电池的巨大进步。技术的进步给变电站直流系统带来大规模的更新换代，在大大提升整体技术水平的同时对运维人员提出了更高的要求。由于近年来运行维护和管理跟不上技术发展的步伐，变电站直流系统在运行中存在种种问题，导致电网发生各种各样的重大事故，给电力系统的安全生产带来难以估量的损失。

针对变电站直流系统运行维护人员认知和管理上的差异，本书选取近年来电力系统中变电站一些典型的直流系统故障和案例，对其发生的过程和造成故障的原因进行了系统分析，并总结出经验教训，帮助读者了解其来龙去脉，提示警醒，以防止同类型的人为故障再次发生。为了方便读者阅读查找，本书按照故障的类型分为蓄电池故障、充电机故障、综合性故障、直流系统接地故障案例、直流系统环网故障案例共五个章节，故障分析流程一般为（事故）故障简述—故障分析—经验总结。鉴于高频整流充电机和阀控式密封铅酸蓄电池已经成为国内主流设备，本书内容中所指充电机和蓄电池均为以上两者。

限于作者的水平和条件，书中的缺点和疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

作者



目 录

前言

第 1 章 蓄电池故障	1
1.1 蓄电池极柱螺丝松动	1
1.2 蓄电池老化	2
1.3 过放电导致蓄电池内部反极性	4
1.4 蓄电池熔断器熔断	5
1.5 蓄电池巡检装置故障	7
1.6 蓄电池巡检采样保险管或巡检线故障	8
第 2 章 充电机故障	11
2.1 充电模块故障	11
2.2 监控模块故障	15
2.3 降压硅链故障	18
2.4 交流配电单元故障（或交流进线故障）	21
2.5 表计故障	24
2.6 操作开关故障	25
2.7 绝缘监测装置故障	27
2.8 其他元件故障	31
第 3 章 综合性故障	34
3.1 操作不当造成直流母线失压	34
3.2 充电机定值出错	36
3.3 充电机告警信号不完整	39
3.4 电磁操作型断路器分合闸引起的直流系统故障	43
3.5 弹簧储能机构储能电源取自合闸母线造成故障	46
第 4 章 直流系统接地故障案例	47
4.1 平衡桥故障	47

4.2	元件接地故障	51
4.3	二次电缆接地	55
4.4	绝缘降低	58
4.5	多点高阻接地	60
4.6	交流窜入直流接地	61
4.7	人为因素引起的接地	62
4.8	直流接地查找步骤与原则	64
4.9	便携式接地查找测试仪工作原理	65
4.10	使用便携式接地查找测试仪查找直流接地的方法	67
第 5 章	直流系统环网故障案例	69
5.1	两极环网故障	70
5.2	异极环网故障	71
5.3	同极性单极环网故障	72
5.4	通过二极管的环网供电	73
5.5	告警信号电源环网	74
5.6	便携式环网查找测试仪的工作原理	75

蓄 电 池 故 障

1.1 蓄电池极柱螺丝松动

1 故障简述

- (1) 某 110kV 基建变电站的蓄电池组验收过程中，在进行内阻测试时，发现某电池内阻值偏大，电压正常；
- (2) 再次用内阻测试仪测试该电池内阻，发现阻值与前一次测试值一致；
- (3) 经检查发现该电池螺丝弹簧压片存在间隙，没有紧固；
- (4) 经过力矩扳手进行重新紧固，再次用测试仪测试，内阻测试结果与其他电池基本一致，隐患排除。

2 故障分析

- (1) 蓄电池在安装过程中，施工人员未按照顺序对全部极柱螺丝紧固，出现安装工艺不达标的情况；
- (2) 蓄电池在安装后未经第二人用力矩扳手再次检查；
- (3) 蓄电池铭牌没有清晰标注极柱螺丝的标准紧固力矩，无法引起施工人员的注意。

3 防范措施

- (1) 蓄电池在安装前应确保极柱与连接片之间的接触面光洁平整，极柱螺丝孔内不允许存在异物；
- (2) 直流运维人员对蓄电池进行严格验收，采用内阻测试仪进行内阻多次测量，以便更好发现连片松动等问题，对蓄电池内阻测试值进行严格比较；
- (3) 用测温仪严格测量正负极柱温度，以便排除因连片接触不良导致温度

升高现象；

(4) 蓄电池经螺丝紧固检查后需标注其标准紧固力矩。

1.2 蓄 电 池 老 化

1.2.1 由于蓄电池室温度高，引起蓄电池爆裂。

1 故障简述

2012年10月，220kV某变电站#1蓄电池组核容试验时，#1充电机和#1蓄电池组退出运行。#1蓄电池组以50A放电1h38min后整组开路，放电电流为0A，放电仪自动停机。故障单体电池如图1-1所示。

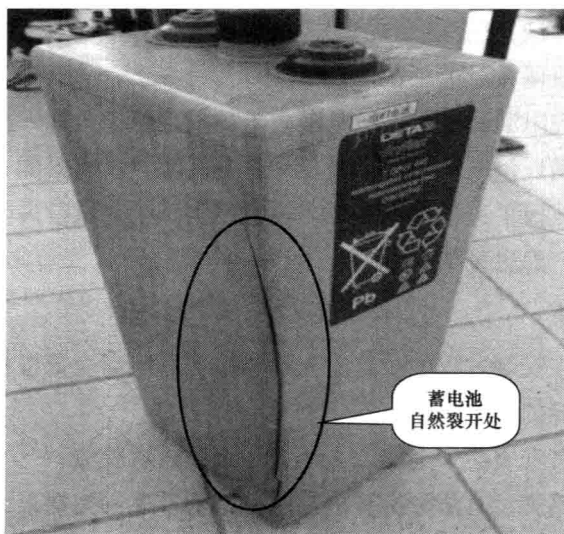


图 1-1 蓄电池故障图

2 故障分析

经维护人员检查，#1蓄电池组#7电池单体外壳有明显破裂现象（见图1-1），裂纹长约30cm，宽约0.5cm，破裂处外壳有鼓胀的现象，可以认为蓄电池从内向外鼓胀，外壳形变破裂。#35、#37电池单体极柱电压为1.032、1.280V，低于1.8V，这三节蓄电池做报废处理。#1蓄电池组于2005年12月投运，设计运行寿命10年，运行7年即严重劣化。

维护人员进行蓄电池核容试验前会对每个电池单体详细进行外观检查，并紧固极柱螺丝，可以判断该故障电池单体是在 50A 电流核容放电的过程中鼓胀开裂。由于现场不具备对蓄电池解体的条件，无法分析蓄电池内部情况。经值班员反映，该站 #1 蓄电池室的空调不是自启动空调，且经常自行故障停机。所以判断 #1 蓄电池室环境温度高是导致蓄电池严重劣化的原因。分析如下：

(1) 电流引起的焦耳热 Q_1 。蓄电池在平常运行时处于浮充状态，浮充电压为 121V，浮充电流为 0.7A。#1 蓄电池的平均测量内阻为 $6\text{m}\Omega$ 左右，浮充电流通过内阻产生的热量可用以下公式计算： $Q_1 = I^2 R t$ （ I 为浮充电流， R 为蓄电池内阻， t 为电流通过时间）。

(2) 电化学反应产生的焦耳热 Q_2 。充电过程的电化学反应会放出热量，常温状态下蓄电池释放的热量为 292J/Ah 。

$Q_1 + Q_2$ 对蓄电池电解液加热，如果环境温度过高，则热量无法释放。根据化学热力学原理，内部高温会降低电解液黏度，蓄电池放电深度增大，电解液浓度增大，极板腐蚀增大。伴随极板腐蚀增大而产生变形和拉伸，其结果使极板抗张强度变小，活性物质脱落。当腐蚀产物变得很厚或极板变得很薄时，极板电阻增大，使电池容量下降，直至电池失效。根据相关资料，阀控铅酸蓄电池容量与环境温度关系如表 1-1 所示。

表 1-1 阀控铅酸蓄电池容量与环境温度关系

温度 (°C)	45	35	25	20	15	10	5	0
容量 (%)	25	50	100	95	90	84	76	71

阀控铅酸蓄电池最佳运行温度为 25°C ，温度过高或过低会造成蓄电池容量减少，寿命缩短。#1 蓄电池室空调停运时，室内温度达到 30°C 以上，因此恶劣的运行环境最有可能导致本次故障的发生。

3 防范措施

(1) 由于蓄电池寿命与环境温度有直接关系，运行人员应确保蓄电池室温控设备的运行正常。

(2) 对于没有自启动功能的空调在巡视时应检查其运行情况，站用变压器瞬时停电后要及时手动启动，防止蓄电池长时间在无空调的情况下运行。

(3) 建议将蓄电池室环境温度引入后台进行监视，防止因蓄电池室温度过

高,减少蓄电池的寿命。

1.2.2 蓄电池侧面有裂纹,底部有漏液。

1 故障简述

2008年1月,110kV某变电站#1蓄电池组#12蓄电池运行时蓄电池底部有漏液,经过检查发现蓄电池侧面有轻微裂纹造成蓄电池渗液的现象。现场维护人员开展了如下工作:

(1)将#1蓄电池组退出运行,用万用表确认#12蓄电池电压正常,并记录数据。

(2)将#12蓄电池的单体拆下来检查发现蓄电池侧面有轻微裂纹,且必须用手指按压才比较明显地有少量的液体渗出。

(3)检查#12蓄电池的底部有漏液现象发生。

2 故障分析

(1)电池外壳材料不达标;

(2)充电机输出电流和电压设定不正确;

(3)电池运输或卸装过程中碰撞可能产生裂缝。

3 防范措施

(1)加强相应材料参数选型,做好出厂监造工作;

(2)安装时要检查外壳无异常变形、裂纹及污迹,上盖及端子无损伤,无酸雾逸出;

(3)对充电模块监控器进行定值检查、核对,尤其要核对蓄电池控制系统中参数设定与实际蓄电池节数相同。

1.3 过放电导致蓄电池内部反极性

1 故障简述

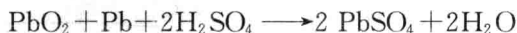
2006年11月,现场维护人员对220kV某变电站#2蓄电池组进行80%容量核容放电试验,额定容量为500Ah。核容试验以50A放电8h,每节蓄电池单体电压都在1.80V以上为试验合格。7h测量时最低电压为#103电池单体的1.838V,其他电池单体电压都在1.90V以上。7h30min时再次测量#103

电池单体电压为 0.226V，处于严重过放电阶段。工作人员立即停止放电试验，再次测量该节电池单体电压为-0.15V，即正负极的电压极性反转。半小时后测量电压值为 0.113V，该节电池单体由于过度放电受到不可逆转的损坏，电压无法恢复，只能报废。

2 故障分析

阀控铅酸蓄电池的工作原理（见图 1-2）可以简单解释为：中间隔开的两块铅制极板浸在稀硫酸中，二氧化铅和铅作为活性物质分别存在于正负极板上，反应后生成硫酸铅和带电动势的电荷。充电则是以上过程的逆反。

反应方程式为：



当蓄电池被过度放电至其电压过低甚至为零时，会导致电池内部有大量的硫酸铅被吸附到蓄电池的负极表面，在电池的负极造成“硫酸盐化”。

因硫酸铅是一种绝缘体，它的形成必将对蓄电池的充、放电性能产生很大的负面影响，因此在负极上形成的硫酸盐越多，蓄电池的内阻越大，电池的充、放电性能就越差，蓄电池的使用寿命就越短。

在极端情况下，过度放电的蓄电池的电压无法恢复，说明蓄电池内部已经严重损坏，且不具备活化修复的意义。所以，阀控铅酸蓄电池都需要规定一个保护电压，通常情况下，额定电压为 2V 的蓄电池保护电压定为 1.70~1.80V。当放电电压达到或低于保护电压时，放电必须终止，否则就会造成过放电。

3 防范措施

进行核容试验必须每小时测量一次单体电压，如果某节蓄电池单体电压接近保护电压，就要密切关注，缩短测量周期，在达到保护电压前终止放电。

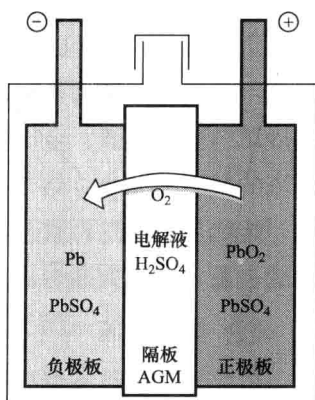


图 1-2 阀控铅酸蓄电池
工作原理图

1.4 蓄电池熔断器熔断

1 故障简述

某 110kV 变电站蓄电池熔断器熔断，直流系统处于脱离蓄电池组运行的

状态。该变电站在电力系统故障时保护和断路器失去直流电源，无法切除一次故障，造成一台主变压器烧毁、高压室炸毁的严重事故。

2 故障分析

运行中的直流母线任何时候都不能脱离蓄电池运行，如果没有蓄电池作为备用电源，一旦遇到系统故障，交流失电，充电机停机、直流母线失压，继电保护装置和高压断路器将失去工作电源，断路器无法切除一次故障电流，导致一次设备损坏，甚至发生事故扩大的严重后果。

熔断器是一种短路保护器，在直流系统中主要起短路保护或严重过载保护的作用。其主要结构是金属熔体和安装熔体的绝缘管（绝缘座），内部填充石英砂填料进行灭弧。金属熔体在长时间大电流产生的焦耳热作用下缓慢挥发，通流的截面积减小，熔体电阻值增加。而电阻值增加则导致通流的焦耳热增加，熔体加速挥发，直至熔断。这是熔断器缓慢劣化的过程，由于难以观察劣化的表象，无法判断熔断器何时发生故障。

3 防范措施

(1) 蓄电池熔断器要配置双发信撞击器（见图 1-3）。

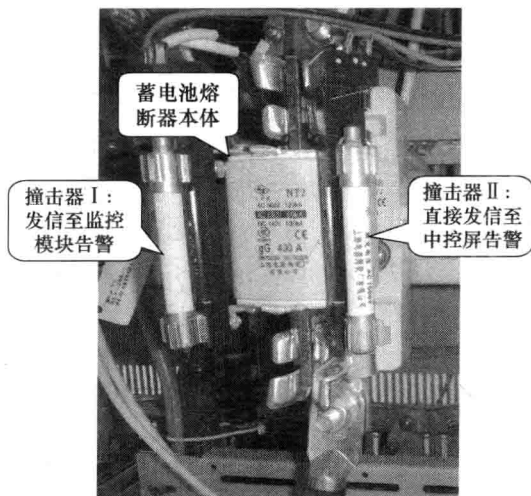


图 1-3 蓄电池熔断器熔断告警回路

双撞击器提供两对“蓄电池熔断器熔断”的发信节点：一对按照习惯方式接入充电机监控模块，由监控模块告警至后台；另一对接入中央信号屏（或测控屏）直接发信。双告警节点的优势是当监控模块故障或死机不能告警发信时，还有另一对告警节点直接发信至中央信号屏。确保了蓄电池熔断器熔断的告警信号能准确送至后台机，通知运行值班人员。

(2) 操作时要注意避免人为因素造成蓄电池退出运行。

(3) 大电流通流元件及功率元件应考虑其使用寿命，对老化元件及时更

换。如蓄电池熔断器或充电机输出熔断器在使用 8~10 年后应考虑更换，切勿使用至其极限寿命。

1.5 蓄电池巡检装置故障

1 故障简述

2007 年 4 月，巡检维护人员发现 110kV 某变电站 #1 充电机报“蓄电池电压告警”，查看 #1 充电机监控模块为 #19~#36 电池单体电压告警。实测 #19~#36 电池单体电压均为 2.2V 左右，电压正常。

2 故障分析

在蓄电池电压正常的情况下，维护人员在现场先后开展了如下检查工作：

(1) 查看监控模块的定值设置是否正确。进入系统“参数设置—蓄电池参数设置”，检查电池电压告警参数设置为 2.6V，设置无误。

(2) 观察蓄电池巡检盒，全部巡检盒运行灯闪烁，工作正常，只有 #2 巡检盒运行灯下方的通信灯熄灭，初步判断为 #2 巡检盒与监控模块通信中断。

(3) 维护人员发现 #2 巡检盒的通信接口 RS485-1 螺丝有松动情况，通信线虚接入该接口，造成 #2 巡检盒与监控模块通信中断。蓄电池巡检模块见图 1-4。

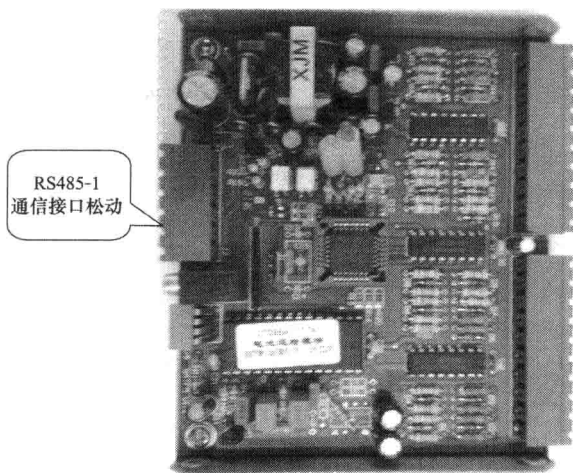


图 1-4 蓄电池巡检模块图

(4) 把该端子螺丝紧固后通信正常，监控模块能查看各节电池电压且采样值正确，告警复归。所以通信中断是造成本次故障的主要原因。蓄电池巡检装置的通信原理图见图 1-5。

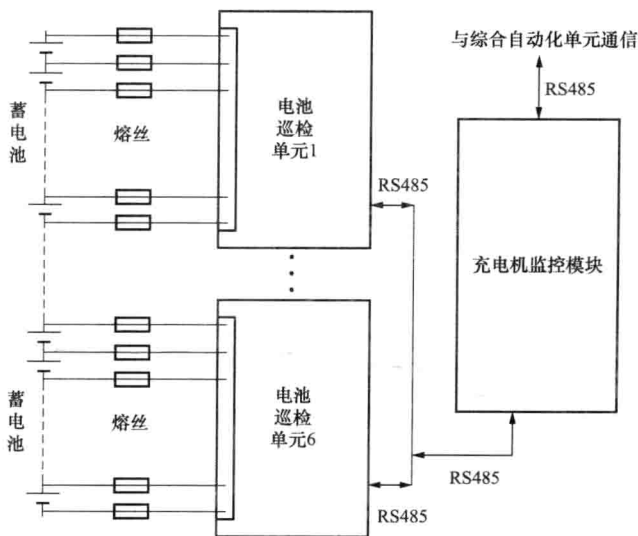


图 1-5 蓄电池巡检装置通信原理图

3 防范措施

由于部分运行人员对蓄电池巡检装置认识与重视程度不足，认为蓄电池巡检装置只是辅助设备，其故障不会立即产生恶劣影响，因此多次发生蓄电池巡检装置测量值严重偏离实际值（蓄电池电压为 2.265V，装置测量值为 1.945V），甚至蓄电池长时间告警均无人理会的情况。近年来，蓄电池在线监测技术逐渐成熟，相对传统的蓄电池巡检装置，增加了内阻测量与网络化管理的功能。安装了蓄电池在线监测装置的变电站，蓄电池实时状态通过网络上送至维护班组的计算机，维护班组可以实现精细化管理，通信中断也可以被及时发现并处理。

1.6 蓄电池巡检采样保险管或巡检线故障

1 故障简述

近年来，直流维护人员发现，多个 110kV 变电站的直流系统长期报“蓄

“电池电压告警”信号，大大增加了维护人员的工作量。

2 故障分析

经多角度分析，蓄电池发异常信号的主要原因是蓄电池电压采样保险管的外壳破裂，内部玻璃保险管松脱，蓄电池巡检仪无法正确对单个电池电压采样。保险管外壳破裂的原因有两个：

- (1) 塑料外壳长时间运行后老化破裂。
- (2) 内部弹簧弹力过强，撑破外壳（见图 1-6、图 1-7）。

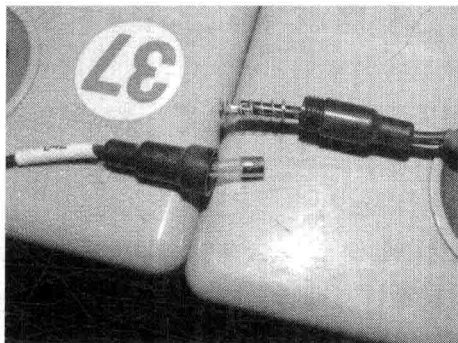


图 1-6 破裂的保险管外壳

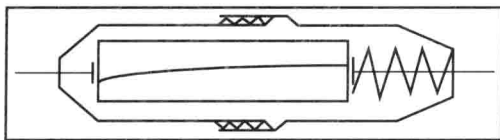


图 1-7 保险管内部结构图

3 防范措施

(1) 鉴于旧式保险管有一些固有缺陷，近年来已逐渐被淘汰，现多改用微型电子熔断器（见图 1-8），内部熔丝直接焊接在电路板上，不需要弹簧支撑，可避免弹簧的弹力把外壳挤破。

(2) 新型的电子熔断器通过近两年的使用，效果比较明显，换装该熔断器的变电站没有发生一起因保险管外壳破裂误告警故障，有效解决了蓄电池保险管易破裂问题。

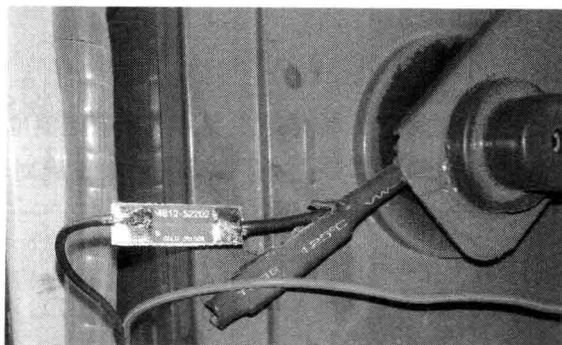


图 1-8 微型电子熔断器