

# 直流系统微机绝缘监测装置的应用与接地故障点检测探讨

周二保

(大唐公司陈村水电站,安徽 泾县 242500)

**摘要:**介绍了 WZ - 1 型直流系统微机绝缘监测装置的特点和在现场调试应用的情况,通过对直流系统 5 年来发生的接地故障点查找实例和分析判别的运行经验总结,提出了运用综合分析判别快速对故障点进行定位隔离的方法,并对微机监测装置的实用性进行了探讨,以提高水电站直流系统的运行可靠性。

**关键词:**直流系统; 绝缘监测; 接地; 微机

中图分类号: TM774 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)05-0052-04

## 0 引言

水电站因厂房环境潮湿导致直流系统对地绝缘情况不太好,直流回路电缆分布广,元器件多,故障点很难查找。当直流系统绝缘下降后,将影响机组控制系统的安全运行。对此我们进行了直流系统微机绝缘监测装置的应用研究,目的在于快速查出故障点,及时消除隐患,提高直流系统的运行可靠性。

陈村水电站是目前安徽省最大的水电站,其中陈村站有 3 × 50 MW 机组,纪村站有 2 × 17 MW 机组。1998 年和 1999 年分别在纪村站和陈村站各安装了一台 WZ - 1 型微机直流绝缘监测装置,两台装置经人工模拟接地试验和各项技术参数实测正确后投入运行。装置在发生直流绝缘故障时能正确反应和检测故障点,在生产现场发挥了重要的作用。

造成直流系统发生接地的主要原因是:电缆或设备元器件的绝缘老化、受潮、破损以及装置电源板发生损坏。直流系统多点接地可能造成继电保护和自动装置误动、拒动、烧坏继电器接点和熔断保险。

传统查找直流接地采用拉路寻找分段处理的方法,人工解线找出故障点。在短时拉回路电源时可能因直流失电引起保护装置或自动装置由于抗干扰性能或故障判据的问题造成误动跳闸,采用拉合直流支路法检测故障点所带来的危害是严重的。因此国电公司发输电综函[2001]238 号《水电厂无人值班的若干规定》7.6.1 条中指出:严禁在设备运行中采取切直流负荷的方法,查找和处理直流接地故障。在用 500 V 摇表测试绝缘时,要将弱电回路全部退出,以防损坏。但这种方法不能对故障点进行精确定位,使现场人员在查找直流接地时感到无从下手,困难重重。另外老式绝缘监测装置采用电桥平衡原理的缺点是不能真正反映直流母线的绝缘,只能反

映正、负母线绝缘电阻的不平衡情况,在接地检测回路中的接地监测继电器使母线的绝缘电阻限制在 30 k 的水平。而采用 WZ - 1 装置可克服以上不足。

通过调研发现,目前国内的微机直流绝缘监测装置各有利弊,检测原理和精度受直流系统本身特点的影响只能采用间接的方法测量,要提高检测精度会带来装置的结构复杂化,对直流系统带来不利的影响及安装维护困难(如加装大量的支路电流传感器及二次接线)等,因此微机直流绝缘监测装置在满足现场检测精度要求的实用化和对故障点的综合分析判断处理就显得尤其重要。本文就这方面的问题作出一些分析和探讨。

## 1 装置特点与现场应用

### 1.1 装置原理简介及特点

WZ - 1 装置主机实现在线检测直流系统电压及正、负母线绝缘电阻和故障判断;当直流系统发生一点接地时投入低频小信号振荡器,利用便携式直流接地点探测卡钳表,在不拉开直流电源的情况下进行接地故障点具体位置的查找。

装置利用单片机分别向直流系统正、负极自动投入一个检测电阻,实时计算直流系统对地的绝缘电阻并显示,异常时报警,可提高检测灵敏度,克服绝缘监测装置的检测死区。为避免直流系统电缆对地分布电容较大对检测接地电阻测量精度的影响,在原理上采用了综合判据对分布电容的影响进行修正,使判断接地故障准确率达 100%,解决了误判接地的问題。采用信号注入法(经电容耦合)可以准确查出故障点位置。装置实时显示便于及时了解直流系统的绝缘状况,给现场运行人员提供了很大方便。

WZ - 1 装置主要技术指标:装置内阻大于 200 k,接地电阻检测灵敏度可达 20 k,装置不影响直

流系统的可靠运行。

### 1.2 装置现场应用技术参数实例

在 110 kV 旁母 # 410 保护屏后模拟直流负极经 4 k 电阻接地, WZJ - 1 装置显示:  $R_+ = 72 \text{ k}$  (正常时  $R_+ = 100 \text{ k}$ );  $R_- = 3 \text{ k}$  (正常时  $R_- = 98 \text{ k}$ )。此时装置上接地信号灯亮, 并发出直流绝缘下降 GP 信号, 将装置上低频小信号开关投入, 正极灯亮, 负极灯不亮, 表示直流负极有接地故障。用便携式探测接受器上的卡钳表准确查出了接地支路和故障点。通过人工模拟直流系统接地故障, 装置

反应正确, 用卡钳表可准确找出故障点位置。

在实际运行中若发生直流一点接地 (20 k) 时, 合上低频小信号开关, 检查正极、负极自检灯, 灯灭为故障母线, 由现场人员用卡钳表即可查找接地支路的故障点位置。

## 2 直流接地故障点的检测查找实例和分析判别

### 2.1 WZJ - 1 装置在现场检测故障情况统计

统计情况如表 1 所示:

表 1 WZJ - 1 装置现场投运 5 年故障检测情况统计

Tab. 1 Statistics of failure detection on spot operation of WZJ-1 device in five years

序号	直流感地发生日期	装置显示	故障原因	评价
1	1998 年 12 月 7 日纪村站	$R_- = 8 \text{ k}$	事故照明回路线头破损引起	正确
2	1999 年 8 月 20 日陈村站	$R_- = 2 \text{ k}$	# 4 开关的跳闸线圈引线线头破损引起	正确
3	2000 年 3 月 19 日陈村站	$R_+ = 2 \text{ k}, R_- = 0 \text{ k}$	# 1 机计算机监控 PLC 的电源板故障引起	正确
4	2000 年 6 月 5 日纪村站	$R_- = 5 \text{ k}$	# 402 开关跳闸回路常开辅助接点上并联电容引出头绝缘破损引起	正确
5	2000 年 12 月 1 日陈村站	$R_+ = 2 \text{ k}$	# 3 发变组停机出口开关跳闸线圈烧焦	正确
6	2001 年 3 月 21 日纪村站	$R_+ = 0 \text{ k}, R_- = 0 \text{ k}$	# 2 机新型出口开关测控装置电源板上 DC220V 限压保护回路设计错误	正确
7	2001 年 4 月 12 日纪村站	$R_+ = 1 \text{ k}, R_- = 0 \text{ k}$	# 1 机微机调速器开关电源故障引起	正确
8	2002 年 3 月 13 日陈村站	$R_- = 14 \text{ k}$	事故照明交直流切换回路 1 km 烧坏	正确
9	2002 年 4 月 5 日陈村站	$R_+ = 24 \text{ k}$	110 kV # 487 线路开关密度计进水引起	正确
10	2002 年 4 月 10 日纪村站	$R_- = 0 \text{ k}$	# 2 机励磁改调试时合 DW10 开关时发生	正确
11	2002 年 4 月 17 日陈村站	$R_+ = 23 \text{ k}$	110 kV # 410 旁母开关密度计进水引起	正确
12	2002 年 11 月 20 日陈村站	$R_- = 0 \text{ k}$	# 3 机接力器锁锭电磁阀线头破损引起	正确
13	2002 年 12 月 9 日纪村站	$R_- = 9 \text{ k}$	水轮机层事故照明故障引起	正确
14	2002 年 12 月 19 日纪村站	$R_- = 0 \text{ k}$	# 2 机出口开关控制回路接地造成	正确

### 2.2 WZJ - 1 装置在现场检测故障实例

2000 年 6 月 5 日纪村站 110 kV # 402 开关控制回路绝缘下降检测示意图如图 1 所示, 开关处于分闸状态, 用卡钳表实现了对接地故障点的精确定位, 发现电容 C 的一端引出头绝缘破损, 更换 C 后正常。可见装置对故障点查找比较方便快捷。

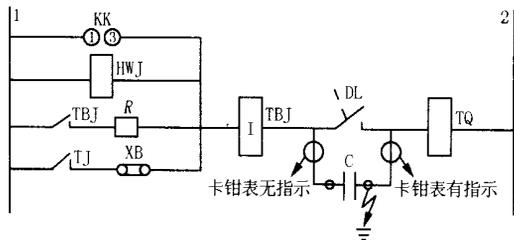


图 1 # 402 开关控制回路绝缘下降检测示意图

Fig. 1 Insulation decline detection of control circuit of # 402 breaker

### 2.3 WZJ - 1 装置提供实时信息及时发现重大设备隐患

2002 年 4 月 5 日陈村站运行人员监盘发现“110 kV # 487 线路开关异常”光字牌 GP 微亮, WZJ - 1 显示  $R_+ = 24 \text{ k}$ 。经检查发现系 # 487 线路 SF6 开关的密度计因渗进雨水引起接点间的绝缘下降和直流系统绝缘下降。根据故障现象进行综合分析快速查出了故障点, GP 微亮说明密度计的接点绝缘已被水短路, 若及时发现危害很大。2002 年 4 月 16 日暴雨时, WZJ - 1 显示  $R_+ = 25 \text{ k}$ ;  $R_- = 100 \text{ k}$ , 雨停几小时后,  $R_+ = 50 \text{ k}$ 。综合分析为天气下雨使设备受潮引起, WZJ - 1 装置能更清楚地观察和反映设备的运行状态, 可以及时采取防范措施, 杜绝隐患的扩大。

随后检查发现陈村站 9 台 110 kV SF6 开关(型号 FXT - 11 型)密度计均存在接点引出电缆连接部分易受雨水侵入的隐患。SF6 气压降低有两对阈值接点, 第一阈值报警, 第二阈值禁止开关跳合闸。由于该密度计与电缆连接的接插件正上方防雨罩有缝隙, 导致两对接点易进水, 引起绝缘下降, 第一阈值

使中控室误发报警信号,第二阈值将闭锁开关操作回路,在雷雨天气线路发生故障时,会造成开关拒动,扩大事故。可对此重大设备隐患及时采取室外设备防雨水侵入的改进措施。

#### 2.4 运用综合分析方法快速对故障点检测定位和隔离

统计表明目前直流系统绝缘下降的故障率比以前减少,而以往仅水轮机层的电缆回路、主令控制器、端子箱等绝缘受潮薄弱的地方绝缘下降故障频繁,处理故障点很困难。通过以前现场故障的处理情况来看有以下问题:接线工艺质量问题和电缆、设备老化问题较多,以前的电缆绝缘材料是橡胶,长期运行后老化严重,绝缘性能下降,特别是水电站的事故照明回路电缆老化严重。老厂要加快技术改造步伐,以提高直流系统的整体绝缘水平。

目前机组设备技改后采用的自动化元器件质量较好,元器件的可靠性有很大提高,密封性好,受潮及绝缘下降的情况较少发生,而以前这是最薄弱环节。新型开关设备重视了户外端子箱的防潮设计(如ABB开关、ALSTHOM开关机构箱的防潮性能都很好)使室外电气设备绝缘受潮情况大为减少。同时将户外端子箱的胶木端子更换为新型材料的端子后,提高了户外环境下的电气绝缘性能。特别是控制电缆更换后,直流系统绝缘水平有了很大提高。

从目前现场运行情况看:机组励磁回路、调速回路的设备故障;开关操作回路跳、合闸线圈烧坏;装置开关电源板故障等易引发直流接地故障。近几年发生的直流接地故障主要是户外高压开关的控制回路、事故照明回路、新设备投运时因设计问题或接线问题造成的直流接地故障。为此必须有重点地做好现场技术管理工作,对薄弱环节采取防范措施。

通过陈村水电站近5~6年的技术改造实践分析,新技术新材料的应用使直流系统本身的绝缘水平有了很大提高,全厂控制电缆更换为抗干扰性能好的屏蔽电缆并在二端接地后,直流系统的分布电容量也大大下降,因此直流系统的绝缘下降故障特征与以前有很大不同,主要表现为突发性的绝缘下降故障,而以前经常发生的直流系统绝缘多处不好或下降的情况现在很少发生。因此采用WZ-1装置的监测技术原理在新形势下仍有较高的精度和实用价值,并且不至于使检测回路过于复杂化,查找故障简单快捷,物理概念清晰,便于现场人员掌握。通过WZ-1装置的实时显示可看出现场设备绝缘电阻的一些变化规律,若引入到上位机进行综合分析,

有利于掌握现场设备的绝缘状况。

### 3 装置应用中有关问题探讨

陈村站、纪村站在2000年和2003年分别对直流系统及蓄电池进行了全部更新的技术改造,但在直流绝缘监测装置这一块仍保留了WZ-1装置,满足了现场运行要求,节省了设备投资,但在设备接口处理上需注意以下问题。

陈村站因新电池屏上直流绝缘监测回路与WZ-1的监测回路相并联后,导致WZ-1显示对地绝缘电阻为5k,并发报警信号。改进办法是将新电池屏上的直流绝缘监测装置的对地电阻回路解除,仅使WZ-1装置的监测回路投入运行。纪村站新GZDW智能直流柜自带平衡电桥继电器式绝缘监测报警装置,解除其监测回路不用,仅用WZ-1装置。

装置有待改进的方面:装置采用了AC220V电源,在倒换厂用电后须对装置进行手动复位恢复运行,在现场采用DC220V供电比较好。建议采用高可靠性的电子开关代替进口微型继电器切换电阻的方案来实测直流系统的对地绝缘电阻。将LED显示器采用有源液晶显示,可显示更多的信息。对整定值的输入采用EEPROM存储,增加装置故障诊断功能,具有故障报告存储功能和与上位机通讯的功能。按规程要求:在直流系统绝缘下降到15~20k时,装置应能动作并报警,因此将整定值由5k提高到15~20k较为合适。因采用切换电阻的方案来实测直流系统的对地绝缘电阻, $R_+$ 、 $R_-$ 并联100k后,当实际的绝缘电阻大于100k时也只能显示到100k。

由于在正常情况下低频振荡器不投入运行,而每年发生接地故障的次数一般不超过5次,每次的检测时间按1h统计,可见信号幅值较小的低频振荡器对直流系统的影响实际上是微不足道的。

陈村水电站在现场大量采用了南瑞保护公司的LFP-900型和RCS-9000型微机保护装置,其在硬件结构上的抗干扰电容量很小。根据1994年10月IEEE文献介绍:微机保护抗干扰电容采用0.05 $\mu$ F已足够,既达到了抗干扰的目的,又不会使直流系统对地电容过大。同时控制电缆屏蔽层的二端接地也减小了直流系统的对地电容。这对现场运行的微机直流绝缘监测装置来说可减少检测误差。

自从微机保护推广应用后,现场人员对二次回路的绝缘检测担心试验中高压串入保护装置损坏电子元器件,因而研究试行二次回路的绝缘在线监测,

也是势在必行。长期运行表明 WZJ - 1 的实时检测功能在现场比较实用。

现场运行表明:WZJ - 1 装置在检测精度、抗干扰能力、和对直流系统影响等方面可以满足中型水电站直流系统的运行要求。

#### 4 应用体会

WZJ - 1 型微机直流绝缘监测装置在陈村水电站投运两台,连续运行 5 年未发生故障,运行稳定,在直流系统发生接地故障时反应正确,可准确找出故障点位置。装置安装在中控室的控制屏上,可便于运行人员随时了解直流系统对地的绝缘情况,自投运以来受到了现场人员的欢迎。

对老电站直流系统绝缘监测的改进不宜采用对每个支路增加辅助磁环的检测方式,采用 WZJ - 1 装置检测较为合适。现场对所取得的效果比较满意。在直流系统对地电容不是很大的电厂,此方案的检测精度较高,可以满足现场的需要。

有必要提出的是:由于直流系统本身的特殊性,要求绝缘监测装置的功能首先要能正确检测到系统绝缘下降故障,但对故障点或支路的自动并准确定点判别报警功能的技术实现远未达到交流系统中继电保护正确动作切除故障的技术性能,在技术原理和技术实现方法上仍有待于进一步突破。在现场为保证直流系统安全运行的行之有效的的方法是:对机组控制回路绝缘老化的电缆、老旧元器件、密封性能不好的端子箱及 SF6 密度计、事故照明回路等进行技术更新改造;同时在设备检修时要加强绝缘检查工作,特别是开关机构箱内的跳、合闸线圈及其回路的绝缘检查,由于是可动部件,其故障率相对较高。通过技改使直流系统绝缘水平提高后,在发生绝缘下降的故障时故障点好查了,采用信号注入和卡钳表检测的灵敏度也会有较大提高。以前全厂绝缘水平很低,查绝缘下降故障无从下手,采用信号注入和卡钳表检测的灵敏度也较低。通过总结现场的运行

经验和采用技术先进的微机监测装置二者相结合将会进一步提高直流系统的安全运行水平。

WZJ - 1 在现场对故障点的检测结果全部正确,从没有发生误报警的现象。但据了解磁环支路型存在误报警的问题,在原理判据上可能仍存在不足之处,有待于进一步完善改进。对于公用 - XM 的音响小母线信号回路,若发生信号回路绝缘下降,必须每个支路、回路逐一检查,即使采用磁环支路报警也不能解决。因此微机直流绝缘监测装置配合便携式探测卡钳表是目前在现场查找直流系统接地故障点的最有效的检测设备。

#### 参考文献:

- [1] 贾秀芳,等(JIA Xiufang, et al). 直流系统绝缘监测综合判据(Synthesized Criteria of DC System Insulation Monitoring and Detecting) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),1999,23(16):47-49.
- [2] 李晓明,等(LI Xiaoming, et al). 直流系统接地点探测新原理(A New Method of Detecting Grounding Point in DC System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),2000,24(13):55-56.
- [3] 费万民,等(FEI Wanmin, et al). 电力系统中直接地电阻检测的新原理(A New Method for Measuring Insulating Resistance Between Ground and DC Power Supply in Power System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),2001,25(6):54-56.
- [4] 杨伟,等(YANG Wei, et al). 微机选线式直流系统绝缘监察装置的研究(Research on Direct Current System Insulation Supervisory Device with Microcomputer Line Detection) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment),2000,20(4):19-21.

收稿日期: 2003-06-30; 修回日期: 2003-08-23

作者简介:

周二保(1963 - ),男,高级工程师,长期从事水电站继电保护及自动化技术设计和运行管理工作。

#### Application of microprocessor-based insulation monitoring device in DC system and study of detection on earthed fault point

ZHOU Er-bao

(Chencun Hydropower Station of Datang Corporation, Jingxian 242500, China)

**Abstract:** This paper presents characteristics, debugging and application on site of WZJ-1 microprocessor-based device for insulation monitoring and detecting in DC system. Based on five-year operation experience like positioning and analysis of earthed fault points in DC system, a synthetical detection method to position and isolate fault points is put forward. What's more, the practicality of the microprocessor-based monitoring device is discussed in detail. This paper lays a foundation for the advanced operation reliability of DC system in hydropower station.

**Key words:** DC system; insulation monitoring and detecting; grounding; microprocessor