

出线套管段 GIB 回路电阻测量方法应用研究

柯 林,王 能,李永强

(天生桥水力发电总厂,贵州 兴义 562400)

摘 要:GIS(gas insulated switchgear, 气体绝缘金属封闭开关)设备的回路电阻测量是交接试验和预防性试验项目之一,通过回路电阻测量,可以检查回路的完整性,发现接触不良等缺陷,是保证设备安全运行的重要手段。GIS 线路间隔回路电阻测量时,难点是出线套管段 GIB(gas insulated bus, 气体绝缘母线)回路电阻测量,出线套管段 GIB 距离一般都比较长,采用常规测量方法存在电流线展放及收线工作量大,时间长等缺点。现场结合线路停电检修时需要在出线套管引流线上挂一组三相短路接地线的特点,提出了一种利用线路三相短路接地线作为相间短接线测量出线套管段 GIB 回路电阻的方法,文章详细阐述了该方法的测量原理、现场试验接线,并结合现场应用实例对测量数据进行对比分析,证明了该方法测量数据与常规测量方法测量数据具有较好的等效性,可以代替常规测量方法开展出线套管段 GIB 回路电阻测量,并提出应用该方法的注意事项。

关键词:GIS; 出线套管; 回路电阻; 测量方法

文章编号:2096-4633(2018)04-0064-05 **中图分类号:**TM85 **文献标志码:**B

在电力系统实际运行中,由于 GIS 设备制造不良或安装工艺不到位,都会导致 GIS 设备导电回路电阻增大,严重威胁设备的安全运行^[1],所以 GIS 设备在安装后充 SF₆之前、交接试验^[2]、预防性试验^[3]时均要进行回路电阻测量。目前测量 GIS 线路间隔出线套管段 GIB 回路电阻的方法有常规测量方法和出线套管三相短接法,两种方法互有优缺点,本文在总结了两种测量方法的基础上,针对线路间隔停电检修时需要在出线套管引流线上挂一组三相短路接地线的特点,提出了一种利用线路三相短路接地线作为相间短接线,借助另一相出线套管作为电流回路测量出线套管段 GIB 回路电阻的方法(简称“三相短路接地法”),并对常规测量法、三相短路接地法现场测量数据进行了对比分析,总结了三相短路接地法的特点、适用范围及使用过程中的注意事项。

1 回路电阻测量方法及原理

回路电阻测量采用直流压降法,在导体两端加直流电流,测量出导体两端的电压降,根据欧姆定律 $R = U/I$ 即可算出该段导体的回路电阻值^[4],测量方法及原理如图 1 所示。

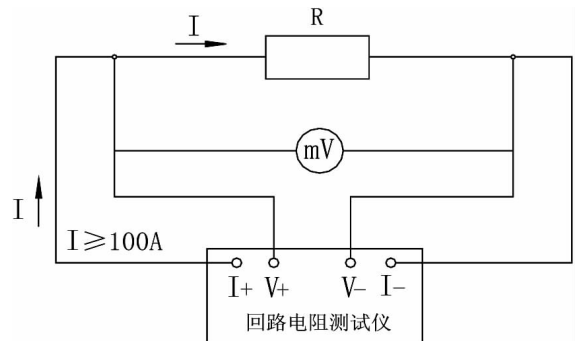


图 1 回路电阻测量方法及原理图

Fig. 1 Measurement method and schematic diagram of loop resistance

2 出线套管段 GIB 回路电阻测量方法

2.1 常规测量方法

常规测量方法是直接在出线套管段 GIB 导体两端加不小于 100 A 的直流电流,测量出导体两端的电压降,根据欧姆定律 $R = U/I$ 即可计算出回路电阻值,测量方法如图 2 所示,以测量 A - A1 段 GIB 回路电阻进行说明,从 A - A1 之间通直流电流,测量出 A - A1 段导体两端的电压降,根据欧姆定律 $R = U/I$,即可计算出 A - A1 段 GIB 的回路电阻^[5],该方法需要从 GIS 开关站引

一根电流线和一根电压线到出线平台套管顶部,由于出线套管段 GIB 从开关站到出线平台,距离较长,最长距离可能超过 100 m,随着测试电流线长度的增加,电阻增大,损耗增加,规程要求电流不小于 100 A,若需满足电流不小于 100 A 的要求,就要使用横截面积更大的电流线,所以采用常规测量方法存在电流线展放及收线工作量大,耗费时间长等缺点^[6]。

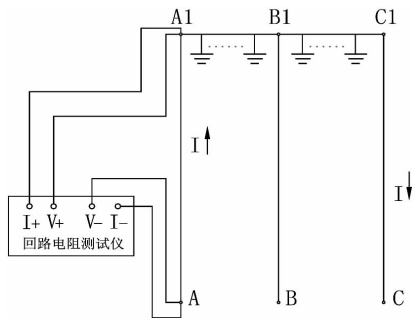


图2 常规测量方法测量原理

Fig. 2 Measurement principle of conventional measurement method

2.2 出线套管短接法

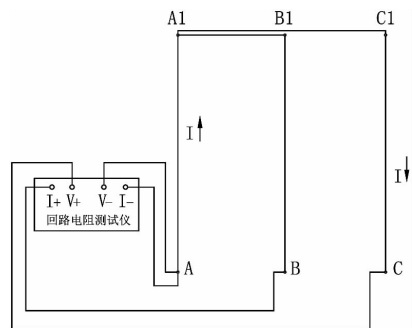


图3 出线套管短接法测量原理

Fig. 3 Measurement principle of short connection of out line casing

出线套管短接法是在拆除套管引流线后,将一相套管与其他两相分别进行短接。如图3所示,以测量 A - A1 段 GIB 回路电阻进行说明,将出线套管 A 相与 B 相短接、A 相与 C 相短接,从 A - B 之间通直流电流,借助 B 相作为电流线,借助 C 相作为电压线,测量出 A - A1 段导体两端的电压降,根据欧姆定律 $R = U/I$,即可计算出 A - A1 段 GIB 的回路电阻,该方法的优点是利用了 GIB 本身的另外相作为电流线和电压线,无须另外引电流线和电压线,但是该方法需要拆除套管引流线,增加了拆装引流线工作量^[7],特别是对于 500 kV 设备,出线套管顶部距离地面超过 10 m,且引流线截面积超过

400 mm²,引流线拆除、回装工作量大,风险高,耗时长,且引流线回装时可能由于工艺控制不到位等因素,造成出线线夹接触不良发热等情况^[8],影响设备安全运行,所以出线套管段回路电阻测量不推荐使用该方法。

3.3 三相短路接地法

GIS 线路间隔停电检修的基本情况是:线路侧隔离刀闸拉开,线路侧接地刀闸合闸,出线套管引流线上挂一组三相短路接地线,线路对侧接地,线路有检修工作时线路上挂有多组临时三相短路接地线,线路多点接地^[9]。

三相短路接地法是利用线路停电时需要在线路引流线上挂三相短路接地线^[10]的特点,利用线路三相短路接地线作为相间短接线。如图4所示,以测量 A - A1 段 GIB 回路电阻进行说明,回路电阻测量采用直流压降法,从 A - C 之间通直流电流 I,电流在经过出线套管顶端 A1 点后会分成 I1 和 I2 两路电流(I1 和 I2 电流根据线路接地点的多少分成多路电流),但是最终电流都会汇集到 C 点,流过 A - A1 段导体的电流等于总电流 I^[11],测量出 A - A1 段导体两端的电压降,根据欧姆定律 $R = U/I$,即可计算出 A - A1 段 GIB 的回路电阻,该方法利用线路三相短路接地线作为相间短接线,借助另一相 GIB 作为电流回路,不需要引电流线,只需要从 GIS 开关站引一根 1.5 mm²的测量线到出线平台套管顶部,与常规测量方法比较,减少了电流线展放及收线工作,可大大减少工作量,节约测量时间,提高工作效率。

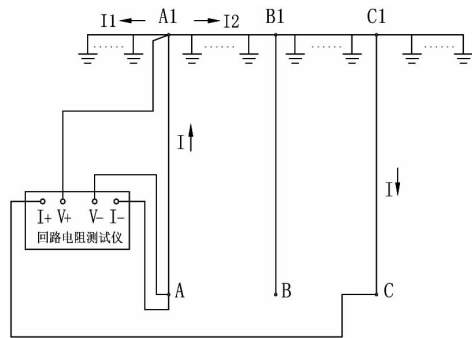


图4 三相短路接地法测量原理

Fig. 4 Measurement principle of three phase short circuit grounding method

3 现场试验接线

以测量某站 500 kV 线路出线套管段(A - A1、B

- B1、C - C1) GIB 回路电阻为例进行说明,500 kV 线路停电检修时,出线套管引流线上挂一组三相短路接地线,线路对侧接地,线路有检修工作时线路上挂有临时三相短路接地线,线路多点接地,试验接线如图 5 所示。

回路电阻测量方法及步骤:首先从 500 kV GIS 开关站线路间隔引一根 2.5 mm²的测量线至出线平台 500 kV 线路出线套管顶部(测量 A 相时接在 A1 点,测量 B 相时接在 B1 点,测量 C 相时接在 C1 点),合上 DS 刀闸、ES1 地刀、ES2 地刀,断开 CB 开关,拆除 ES1 地刀、ES2 地刀接地连接板,回路电阻测量部位及试验接线见表 1。

表 1 回路电阻测量部位及试验接线

Tab. 1 Circuit resistance measurement location and test connection

测量部位	电流线(+)	电流线(-)	测量线(V +)	测量线(V -)
A 相出线套管段 GIB(A - A1)	ES2 - A	ES2 - B	ES1 - A	A1
B 相出线套管段 GIB(B - B1)	ES2 - B	ES2 - C	ES1 - B	B1
C 相出线套管段 GIB(C - C1)	ES2 - C	ES2 - A	ES1 - C	C1

4 测量数据分析

2017 年 1 月 17 日 500 kV 线路年度检修期间,对 500 kV 线路出线套管段 GIB 回路电阻分别进行

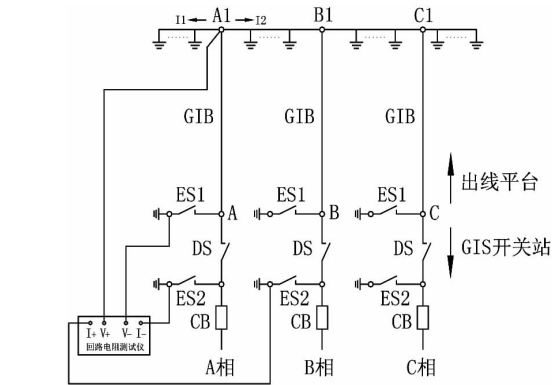


图 5 出线套管段 GIB 回路电阻测量试验接线

Fig. 5 Test wiring of the GIB circuit resistance measurement in the lead-out bushing

了常规测量方法和三相短路接地法两种情况下的数据测量,并对测量数据进行了对比分析,测量数据及数据对比分析情况见表 2。

表 2 常规测量方法与三相短路接地法测量数据对比分析情况

Tab. 2 Comparison and analysis of measured data between conventional measurement method and three-phase short-circuit grounding method

测量区间	常规测量方法/uΩ	三相短路接地法/uΩ	两种方法测量数据比较/%
A 相出线套管段 GIB(A - A1)	296. 5	297. 1	- 0. 20
B 相出线套管段 GIB(B - B1)	249. 4	250. 2	- 0. 32
C 相出线套管段 GIB(C - C1)	307. 5	307. 7	- 0. 06

2018 年 1 月 25 日 500 kV 线路年度检修期间,对出线套管段 GIB 回路电阻采用三相短路接地法进行测量,测量数据与 2008 年、2015 年常规测量方

法测量数据进行了对比分析,测量数据及对比分析情况见表 3。

表 3 采用三相短路接地法测量数据与 2008 年、2015 年常规测量方法测量数据对比分析情况

Tab. 3 The measured data of three-phase short-circuit grounding method are compared with the measured data of conventional measurement methods in 2008 and 2015

测量区间	2018 年 测量数据	2008 年 测量数据/uΩ	2015 年 测量数据/uΩ	与 2008 数据比较/uΩ	与 2015 数据比较/%
A 相出线套管段 GIB(A - A1)	297. 5	296. 9	297. 3	0. 20%	0. 07
B 相出线套管段 GIB(B - B1)	249. 7	248. 1	248. 6	0. 56%	0. 36
C 相出线套管段 GIB(C - C1)	307. 8	307. 6	308. 2	0. 07%	- 0. 13

注:回路电阻值换算至相同温度下

通过 2017 年年度检修期间对 500 kV 线路出线套管段 GIB 回路电阻分别采用了常规测量方法和三相短路接地法两种情况下测量数据的对比分析,数据偏差最大为 -0.32% ;通过 2018 年年度检修期间对 500 kV 线路出线套管段 GIB 回路电阻采用三相短路接地法测量数据与 2008 年、2015 年常规测量方法测量数据的对比分析,数据偏差最大为 0.56% 。

规程对回路电阻测量的要求:试验结果应符合制造厂规定,每个元件或每个单元主回路电阻的控制值 R_n 和出厂实测值由制造厂提供,同时制造厂还应提供测试区间的测试点示意图以及电阻值^[12],对于制造厂没有提供管理值的,现场可以按照相同测量条件下不大于出厂值的 120% 来进行管控,但要求测量点的选择应与出厂试验一致,保证数据的可比性^[13]。

采用三相短路接地法实测数据与常规测量方法测量数据比较,数据偏差最大为 0.56% ,测量数据准确、可靠,具有较好的试验等效性,可以替代常规测量方法进行出线套管段 GIB 回路电阻测量。

5 注意事项

使用三相短路接地法测量线路间隔出线套管段 GIB 回路电阻注意事项:

(1)该方法适用于接地刀闸引出导体与 GIS 外壳绝缘的 GIS 设备,接地刀闸引出导体与 GIS 外壳不绝缘的 GIS 设备不适用,测量时需要解开接地刀闸接地连接片^[14];

(2)三相短路接地线横截面积不小于 50 mm^2 ,三相短路点连接可靠;

(3)三相短路接地线横截面积不满足要求时,可在出线套管顶部相间用不小于 50 mm^2 多股软铜线短接,保证试验时能满足不小于 100 A 的通流能力。

(4)出线套管顶部电压线接线时应与金属裸露部分接触良好,不应夹在有油漆或脏污的位置。

(5)规程要求测量电流不小于 100 A,电流达不到要求,对测量数据的影响主要是考虑测量过程氧化膜对测量结果的影响,小电流难以消除氧化膜的影响,使测出的电阻示值偏大,影响数据测量的准确性^[15]。

6 结语

采用三相短路接地法开展 GIS 线路间隔出线套管段 GIB 回路电阻测量方法现场使用方便,测量过程不需要拆除套管引流线,测量数据准确,可靠,完全能满足预防性试验的要求,解决了 GIS 线路间隔出线套管段 GIB 回路电阻测量难度大的问题,采用该方法可以减少工作量,节约测量时间,提高工作效率。

参考文献:

- [1] 周仿荣,程志万,刘红文,等.超高压 GIS 设备主回路电阻测量比较分析[J].云南电力技术,2016,44(02):58-60,63.
ZHOU Fangrong, CHENG Zhiwan, LIU Hongwen, et al. Comparative Analysis and Research of Main Loop Resistance Measurement for Ultra High Voltage GIS Equipment[J]. Yunnan Electric Power, 2016, 44(02):58-60,63.
- [2] 电气装置安装工程电气设备交接试验标准:GB 50150-2016[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [3] 中国南方电网有限责任公司企业标准.电力设备检修试验规程:Q/CSG1206007-2017[S].广东:中国南方电网有限责任公司,2017.
- [4] 李建明,朱康.高压电气设备试验方法[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [5] 张明,周惠安,刘文革.800 kV GIS 主回路电阻测试技术[J].中国电机(技术版),2011(04):10-12.
ZHANG Jianming, ZHOU Huian, LIU Wenge. Testing Technology of Main Loop Resistance of 800 kV GIS[J]. China Electric Power (Technology Edition), 2011(04):10-12.
- [6] 刘佳鑫,鲁旭臣,韦德福,等.GIS 长母线回路电阻测试方法研究[J].东北电力技术,2015,36(05):16-19.
LIU Jiaxin, LU Xuchen, WEI Defu, et al. Research on Test Method of Loop Resistance of GIS Long Bus[J]. NorthEast Electric Power Technology, 2015, 36(05):16-19.
- [7] 杜鑫.GIS 设备回路电阻测试方法探索与实践[J].贵州电力技术,2017,20(06):89-92.
DU Xin. Exploration and practice for loop resistance test method of GIS equipment[J]. Guizhou Electric Power Technology, 2017, 20(06):89-92.
- [8] 李洪斌.一起线路线夹发热的分析处理[J].沿海企业与科技,2009(10):155-157.
LI Hongbin. Analysis and treatment of a line clamp heating[J]. Coastal Enterprises and Science & Technology, 2009(10):155-157.
- [9] 电力安全工作规程(发电厂和变电站电气部分):GB26860-2011[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2011.
- [10] 武汉高压研究所、辽宁省电力公司.携带型短路接地线技术标准:DL/T 879-2004[S].北京:中华人民共和国国家发展

- 和改革委员会,2004.
- [11] 邱关源,罗先觉,电路[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 气体绝缘金属封闭开关设备现场交接试验规程:DL/T618 – 2011[S]. 北京:国家能源局,2011.
- [13] 刘源清. 浅谈 GIS 回路电阻在测量中存在的问题[J]. 沿海企业与科技,2012(07):89 – 92.
- LIU Yuanqing. Discussion on the problems in the measurement of GIS loop resistance [J]. Coastal Enterprises and Science & Technology,2012(07):89 – 92.
- [14] 沈从数. ± 800 kV 奉贤换流站 500 kV GIS 超长母线导电电阻测试方法的探讨[J]. 河南电力,2010,38(02):19 – 21.
- SHEN Congshu. The Probe of Conduction Resistance Test Method of 500 kV GIS Overlength Bus in Fengxian ± 800 kV UHVDC Converter Station[J]. Henan Electric Power Technology ,2010,38(02):19 – 21.
- [15] 侯志刚,苏俊,曾生健,等. 断路器回路电阻测试影响因素分析[J]. 电气技术,2015,16(03):136 – 138
- HOU Zhigang, SU Jun, ZENG Shengjian, et al. Analysis of influence factors on loop resistance test of circuit breaker [J]. Electrical Engineering,2015,16(03):136 – 138.

收稿日期:2017 – 12 – 19

作者简介:



柯 林(1977),男,本科,工程师,从事水电厂电气检修、试验工作。

(本文责任编辑:龙海丽)

Application Research of GIB loop resistance measurement method for outlet casing section

KE Lin, WANG Neng, LI Yongqiang

(Tianshengqiao Hydropower station, Xingyi 562400 Guizhou, China)

Abstract: The loop resistance measurement of GIS (gas insulated switchgear) equipment is one of the items of hand-over test and preventive test. Through loop resistance measurement, we can check the integrity of the loop and identify the defects such as poor contact, which is an important means to ensure the safe operation of the equipment. When measuring the loop resistance of GIS line, the difficulty is to measure the loop resistance in lead-out bushing Section GIB. Because of the long distance of the lead-out bushing section GIB (gas insulated bus), shortcomings like large workload in current cable layout and take-up, long time duration and so on exist in measuring loop resistance using conventional measurement method. Considering the fact that a three-phase short circuit ground wire is required for line outage maintenance at the site, we put forward a method of measuring the loop resistance of the lead-out bushing section GIB using the three-phase short circuit ground wire as the inter-phase shorting stub. This article elaborates on the measurement principle of this method and the wire connection for the field test and takes comparative analysis on the measured data by combining the practical application example. It is proved that the measured data of the method is quite equivalent to the measured data of conventional measurement methods. It can replace conventional measurement method to carry out loop resistance measurement in lead-out bushing Section GIB. Points for attention to the application of this method.

Key words: GIB (gas insulated bus), lead-out bushing, loop resistance, measuring method