

500 kV 输电线路引流板过热研究

杜毅¹, 敬兴东², 包健康², 王利华¹, 吴广宁², 曹晓斌², 沈金锁²

(1. 国网四川省电力公司检修公司 四川 成都 610041; 2. 西南交通大学电气工程学院 四川 成都 610031)

摘要: 随着用电需求的日益增长, 线路负荷大幅增加, 在高负荷的夏季容易出现耐张杆塔的耐张线夹特别是引流板部分出现过热问题, 对电力输送运行造成安全隐患。通过对输电线路耐张线夹部分进行加载大电流实验, 观测并记录在不同电流负载与接触压力下耐张线夹及对应引流板发热状况, 研究耐张线夹因电流过大或引流板接触不良可能造成的引流板过热现象。利用数据采集与图形分析总结在实际工程操作中需要改进的操作步骤, 并对不同条件下出现的引流板过热问题给出对应的解决措施。

关键词: 大电流; 电接触; 引流板

Abstract: With the growing demand of electricity, line load increases significantly, the strain clamp of strain tower, especially the current plate, becomes easy to occur overheating problems which leads to security issues for power transmission during the summer with high load. Through the test of loading large current to strain clamp in transmission line, the heat condition of strain clamp and the corresponding current plate under different load current and contact pressure is observed and recorded, and the overheating of current plate caused by the large current or the poor contact of current plate is studied. The operation steps which need to be improved in the actual project are summarized by using data acquisition and graphical analysis, and the corresponding solutions are given to deal with the overheating of current plate under different conditions.

Key words: heavy current; electrical contact; current plate

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)01-0019-03

0 引言

随着中国电力事业的飞速发展, 电网运行的电压等级与供电可靠性要求逐渐提高。对于输电线路而言, 外界工作环境复杂多变, 容易使线路产生锈蚀和过热等缺陷, 特别是在夏季负荷高峰期, 因耐张线夹的引流板区域过热所造成的热损毁已成为对电网安全运行越来越突出的问题隐患, 如在成都地区某线路上曾监测到耐张线夹的引流板温度超过 200 °C, 远远高于线路温度, 严重影响到安全运行。

耐张线夹主要由耐张管、引流板和引流管 3 部分组成, 是用于连接、转免和固定导线承受张力, 并将导线挂在杆塔上的线路连接金具。按照其连接方式分为爆压式、液压式、螺栓式、楔式等几种类型, 近年来由于液压工艺的发展, 所使用的耐张线夹多为液压式。为了减少自身的电阻, 耐张线夹通常采用纯铝制造, 其纯度在 98% 以上。目前中国耐张线夹生产企业较少, 产品质量参差不齐。中国电力行业

标准《110 ~ 500 kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092-1999) 规定, 导线在连续运行时, 它们的温度必须不超过 70 °C。电力行业标准《架空送电线路运行规程》(DL/T 741-2001) 规定, 耐张线夹运行温度不得高于导线温度 10 °C, 且导线与引流设备相对温差值超过 35% 为一般缺陷, 超过 80% 则为重大缺陷。从这个角度讲, 耐张线夹运行时超过 80 °C 就会对线路的安全运行带来隐患^[1, 2]。下面通过对耐张线夹进行大电流实验观测在长时间工作条件下耐张线夹区域的温度分布, 研究并总结引流板在不同电流值及螺栓紧固力情况下的发热及温度分布规律, 探索引起输电线路中耐张线夹过热的主要因素, 并提出有效措施减小安全隐患, 提高电力输送可靠性。

1 电接触与接触电阻

电接触是研究固态导体与固态导体、固态导体与液态导体、固、液态导体与等离子体接触过渡区中

的机械现象。电接触形式有3种:点接触、线接触和面接触,接触形式对接触电阻的影响主要表现在接触点的数目上。一般而言,面接触的接触点数 n 最多,接触电阻最小。点接触的接触点数 n 最少,收缩电阻应最大。线接触介于二者之间。引流板接触区域表现为平面之间的面接触,其接触表面总是凹凸不平的,即使有很大的压力作用于接触面时,也只有少数的点实际发生了接触,这些点承受了全部的压力,形成的接触面是电流唯一的导通通道。为了区分在实际接触点中是否导电,通常将实际发生机械接触的斑点面称为接触斑点,而实际传导电流的更小的面称为导电斑点。

对于引流板而言,其体电阻相对接触电阻较小,而接触电阻随接触表面的材质、接触压力、接触面积等影响较大。图1显示了电流线收缩与接触斑点情况,其中接触面绝大部分是空隙,没有参与到实际接触,只有部分的轮廓峰点真正发生了接触形成导电斑点。当电流线通过导电斑点附近时发生收缩,使电流流过的路径增长,有效导电面积减少,从而产生收缩电阻。

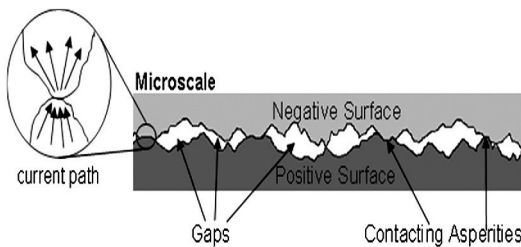


图1 接触面的微观形式图

20世纪50年代德国学者 R. Holm^[3]提出,总接触电阻是所有实际接触点电阻的并联值(即自身电阻 R_s)与因相互影响而造成的电阻值(即相互电阻 R_i)相串联。

$$R_j = R_s + R_i = \frac{\rho}{2 \sum_{i=1}^n a_i} + \frac{\rho}{2\alpha} = \frac{\rho}{2na} + \frac{\rho}{2\alpha}$$

式中 R_j 为总接触电阻; a 是圆形斑点的平均半径; α 称为斑点群的半径或Holm半径。

在工程计算中,由于计算导电斑点数目 n 和平均半径非常困难,通常使用下面经验公式代替计算。

$$R_j = \frac{k_j}{(0.102F)^m}$$

式中 R_j 为接触电阻, $m\Omega$; F 为接触压力, N ; m 为与接触点数目、压力范围等因素相关的指数,在面接触

形式下通常取 $m = 1$; k_j 为与接触材料、表面氧化程度等因素相关的系数,其值由实验决定。但此公式的局限性很大,不能概括各种因素对接触电阻的影响。在工厂中常使用测量接触电压的方法来实测接触电阻值,其中接触电压降是指通过一定电流时电接触连接处的电压降,即: $U_j = RI_j$ 。

近年来通过对热损毁线路的停电检修发现,大部分过热现象均由于户外环境造成引流板螺栓松动,导致引流板接触电阻增大并使周围温度不均匀升高,当设备产热量高于散热量时会产生恶性循环直至热损毁^[4,5]。使引流板接触电阻变化的因素主要有以下几方面:连接设备材料性质、接触面处理、螺栓紧固压力、环境温度、外界腐蚀等。

2 大电流实验下耐张线夹受热分析

2.1 实验设计方案

利用大电流发生器模拟在500 kV输电线路中耐张线夹的工作状况,拟通过变化电流载荷与引流板螺栓紧固力研究耐张线夹引流板处的发热变化,利用红外热像仪分析对应热流分布与温升,并利用万用表测量相关部分电势差,分析对应电阻的变化情况。由于耐张线夹电阻的大小影响着线路发热情况,其电阻变化规律成为实验中研究重点。实验中将要使用到以下设备。

(1) 大电流发生器



图2 大电流发生器产品图

大电流发生器又称升流器,型号HYDDL-3000A,具有实时显示输出、改变电流的能力。使用时按照调试要求,将大电流发生器与被试品接好,按所需实验电流值设定输出电流。

(2) 耐张线夹

将用螺栓连接好的耐张线夹通过软连接装置与导电铜线进行连接,并将耐张线夹进行分段标注作

为电压测点 标示如图3所示。

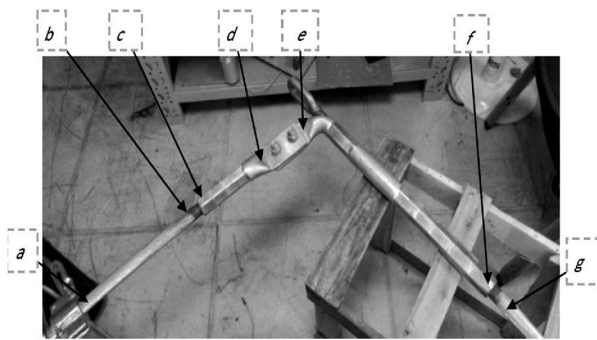


图3 耐张线夹实验示意图

此外,实验还需要红外热像仪对耐张线夹温度分布进行拍摄,并用导电铜线作为载流体将耐张线夹设备与大电流发生器连接形成回路。

2.2 实验数据与现象

将实验设备连接后,使用大电流发生器对耐张线夹分别通以100 A、200 A、300 A、400 A、500 A、600 A电流值,利用红外热像仪对实验线路进行拍摄,记录并研究主要发热点与温度值;调节引流板处螺栓扭力大小,分别以不同螺栓力矩模拟不同接触状态下引流板发热现象,在实验中使用万用表对耐张线夹标注点测量电压值,利用对应电流载荷得出电阻值,并通过电压值变化趋势研究耐张线夹发热情况。红外成像仪测量的引流板处在不同工作条件下温度值如表1所示。

表1 不同条件下引流板处温度值(°C)

电流 /A	螺栓紧固力 /N·m				
	10	20	30	40	50
100	29.9	26.4	23.3	21.7	20.7
200	31.1	29.5	27.6	25.9	22.3
300	34.6	31.1	29.7	26.7	23.1
400	38.8	35.3	32.8	28.6	26.7
500	41.1	38.9	35.4	32.3	31.2
600	44.1	40.3	37.2	34.4	33.3

在不同接触条件下,万用表所测各标记点电压值如表2、表3所示。

综合以上的温度分布图与各表格可以得出以下结论。

1) 在相同电流不同螺栓扭力的情况下,引流板处的温度不同。这是由于随着接触压力的增大,引流板接触面轮廓发生压缩形变,导电斑点的数量开始增加。宏观上表现为接触电阻开始减小,引流板

处的工作温度降低;

表2 螺栓拧紧情况下电压数据表(力矩 50 N·m)

电流 /A	U_{ab} /mV	U_{cd} /mV	U_{de} /mV	U_{ef} /mV	U_{gh} /mV
100	3.6	3.0	2.0	8.9	3.0
200	10.0	7.0	3.8	18.1	8.7
300	14.5	9.7	7.5	27.1	9.3
400	20.3	12.6	8.9	37.0	14.5
500	23.7	15.1	10.1	45.1	16.8
600	29.1	18.2	12.2	53.8	26.2

表3 螺栓松动情况下电压数据表(力矩 10 N·m)

电流 /A	U_{ab} /mV	U_{cd} /mV	U_{de} /mV	U_{ef} /mV	U_{gh} /mV
100	6.0	2.4	134.2	9.4	7.2
200	9.5	6.7	209.1	24.6	15.3
300	13.1	7.8	235.5	27.0	21.6
400	22.6	14.2	271.2	43.6	31.3
500	28.4	18.4	298.8	54.3	36.3
600	37.3	23.8	321.2	63.9	53.8

2) 在相同扭力不同电流值的情况下,引流板处的温度随所加电流值递增。验证了电阻是引流板发热的主要因素,在用电高峰期需格外注意线路发热,防止出现输电线路热损毁;

3) 在红外图片中还发现引流管及耐张线夹与输电线路连接处也出现明显发热现象,这是因为在耐张线夹与线路压接过程中由于工艺问题产生较大的接触电阻,严重情况下也会产生过热损毁,在装配与更换过程中需要注意此类情况。

3 结 论

(1) 通过理论与实验分析得出,要解决引流板处的发热问题,就要减少发热功率。通过减小电流强度或降低接触电阻均可达到要求,但在实际工作中降低线路电流是比较困难的,常用的措施是降低接触电阻。一般采用在接触面涂抹导电膏以增大实际接触面积,防止表面氧化生成氧化膜,并对耐张线夹定期检修更换,始终保证螺栓处的良好接触以提高输电线路安全运行^[6]。

(2) 改进耐张线夹结构,增加引流板有效接触面积并提高产品制作时引流板表面平整度均能减小发热现象。也可改进耐张线夹材料,研究表明在铝中添加锆(Zr)、镍(Ni)、钛(Ti)和钒(V)等金属做

(下转第76页)

4 结 论

建立了风-蓄-火的联合调度模型,应用改进的细菌群体趋药性算法对模型进行优化求解,制定了日前调度计划和时前调度计划,为风-蓄-火联合运行系统的调度提供了有效的参考信息。具体内容如下。

1) 针对日前调度阶段,建立以经济效益最大为目标的模型,最后提供了提前一天每小时机组的计划出力,时前调度阶段,建立了以火电机组运行成本最低为目标的模型,提供了提前几小时机组的计划出力。

2) 仿真结果表明,时前对风电功率的预测精度更加精确,可对机组进行比较准确的调度。

参考文献

[1] 卢锦玲,苗雨阳,张成相,等. 基于改进多目标粒子群算法的含风电场电力系统优化调度[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(17): 25-31.

[2] 杨媛媛,杨京燕,夏天,等. 基于改进差分进化算法的风电并网系统多目标动态经济调度[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(23): 24-29.

[3] 张鹏,刘继春,吕林,等. 基于风蓄协调的节能调度方法[J]. 电力系统保护与控制[J], 2011, 39(2): 29-24.

[4] 胡国伟,别朝红,王锡凡. 考虑运行可靠性的含风电电力系统优化调度[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 58-65.

[5] Lou Suhua, Wang Zhilei, Wu Yaowu, et al. Coordinated Economic Dispatch for Power System with Significant Wind Power Generation Based on Chance-constrained Programming[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(10): 337-345.

(上接第21页)

成相应的铝合金时,可以大大提升金属铝的发、耐热性能^[7],以满足更高的负荷电流并提升材料的耐热性能。

(3) 经对发热检修处理的经验,对故障引流部件电流进行分流或加装辅助引流线,也能有效解决发热缺陷,达到降低引流板温度的目的。

参考文献

[1] 北京电力工业局. 电力设备过电压保护设计技术规程 SDJ7-76: 试行修订说明[M]. 北京: 水利电力出版社, 1977.

[2] DL/T 71-2001 架空送电线路运行规程[S].

[6] 郑晓,张静,马韬韬,等. 基于改进决策方法的电力系统多目标优化调度[J]. 电工技术学报, 2010(9): 151-156.

[7] 胡泽春,丁华杰,孔涛. 风电-抽水蓄能联合日运行优化调度模型[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(2): 36-41.

[8] Abreu L V L, Khodayar M E, Shahidehpour M, et al. Risk-constrained coordination of Cascaded Hydro Units With Variable Wind Power Generation[J]. Sustainable Energy, IEEE Transactions on, 2012, 3(3): 359-368.

[9] 王洪涛,何成明,房光华,等. 计及风电预测误差带的调度计划渐进优化模型[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 131-135.

[10] 刘静,罗先觉. 处理梯级水电站复杂约束的短期水火电系统环境经济优化调度[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(014): 27-35.

[11] 陈继明,王元元,高艳亮. 基于改进细菌群体趋药性算法的配电网无功优化[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(14): 98-102.

[12] 黄伟,张建华,张聪,等. 基于细菌群体趋药性算法的电力系统无功优化[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 29-33.

[13] 李秀卿,孙守鑫,张超,等. 基于改进细菌群体趋药性算法的无功优化[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(8): 56-59.

[14] Dicorato M, Forte G, Pisani M, et al. Planning and Operating Combined Wind-storage System in Electricity Market[J]. Sustainable Energy, IEEE Transactions on, 2012, 3(2): 209-217.

[15] 孙元章,吴俊,李国杰,等. 基于风速预测和随机规划的含风电场电力系统动态经济调度[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(4): 41-47.

作者简介:

付伟(1981),工程师,研究方向为电网规划。

(收稿日期:2014-10-14)

[3] Holm R. Electrical Contacts[M]. New York: Springer, 1979.

[4] 葛猛,姜大宇,梁之林. 架空地线耐张线夹过热原因分析[J]. 电力安全技术, 2005, 7(4): 17-22.

[5] 郭晓飞,李拥春,赵元林. 耐张引流发热的分析与处理[J]. 电气技术, 2010(8): 136-139.

[6] 孟波. 电气静态接触发热的原因及处理方法[J]. 电气开关, 2008, 46(4): 58-59.

[7] 李雪. 耐热导线耐张线夹发热问题解决方案研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2010.

作者简介:

敬兴东(1989),硕士,研究方向为电气工程。

(收稿时间:2014-09-22)