

小型发电机定子受损绕组线圈的现场修理

燕 力

(湖北省巴东县水利电力局)

一、基本情况

很多小水电站常因雷击、过载、外部短路及保护不当等造成发电机定子绕组线圈烧毁。当定子线圈为高强度聚酯漆包线时,由于线径较细,修复受损发电机比较容易。而定子线圈为双玻璃丝包扁铜线时,因导线截面较大,加上绕组、嵌线等工艺质量的要求,就地修复受损发电机很难实现。为此,我们最近在修复我县高坪河水电站一同步发电机时,尝试用高强度聚酯漆包线代替双玻璃丝包扁铜线作为定子线圈绕组,副绕组的参数、嵌线、接线等均不变。同步发电机型号为TS/35-6,功率160kW。卸掉发电机端盖、联轴器,抽出转子后,查取定子铁心和绕组的有关数据:定子铁心长度 L_{Fe} 为360mm;定子槽数 z_1 为72;磁极对数 p 为3;主绕组节距 Y_{\pm} 为1-11;副绕组(励磁绕组)节距 $Y_{副}$ 为1-11,1-12;主绕组并联支路数 a_{\pm} 为3;副绕组并联支路数 $a_{副}$ 为2;主绕组采用2根SBECB(2.63mm×3.8mm)双玻璃丝包扁铜线并绕4圈;副绕组采用3根QZ-2 \varnothing 1.45mm高强度聚酯漆包圆铜线并绕一圈。

二、所需数据计算

1. 主绕组导线截面的选择

原定子线圈主绕组每根双玻璃丝包扁铜线在减去绝缘厚度后,实有截面积 S' 为 9.51mm^2 。因主绕组为两根并绕,则整个导线截面积 S 为 19.02mm^2 ($S=2S'$)。选择线型为QZ-1 \varnothing 1.56mm,系高强度聚酯漆包圆铜线,每根截面积 S'' 为 1.91mm^2 。新换主绕组线圈应以 $S/S''\approx 10$ 根并绕4圈。

2. 主绕组并联支路数的选择

当主绕组并联支路数 a_{\pm} 为3时,每极每相槽数 q 为:

$$q = \frac{z_1}{2ps} = \frac{72}{2 \times 3 \times 3} = 4(\text{槽})$$

式中, m 为相数,其余意义上。

每相每路串联线圈匝数 w_1 为:

$$w_1 = \frac{8q \times 2p}{2a} = \frac{8 \times 4 \times 6}{2 \times 3} = 32(\text{匝})$$

考虑到新换定子线圈主绕组并绕根数太多,绕线困难,且质量难以保证的实际,在改变支路数的线圈中,根据每根导线的截面积与并联支路数成反比,每个线圈的匝数与并联支路数成正比的关系,并联支路数由原来的3路改为6路。主绕组线圈采用QZ- \varnothing 1.56mm高强度聚酯漆包圆铜线5根并绕8圈,则每相每路串联线圈匝数 w'_1 为:

$$w'_1 = \frac{16q \times 2p}{2a} = \frac{16 \times 4 \times 6}{2 \times 6} = 32(\text{匝})$$

由此可见,当并联支路数由3路改为6路后,每根每路串联线圈匝数与原并联支路数相同。因此,发电机端电压等参数均没变。

主绕组并联支路数为6路时,线圈展开图如图1所示,副绕组线圈展开如图2所示。

3. 主绕组线圈尺寸选择

原主绕组线圈直线部分伸出铁心达45mm。新换的主绕组线圈为高强度聚酯漆包圆铜线,较原双玻璃丝包扁铜线软,且成形容易。故将主绕组线圈尺寸适当缩小,这样做既可节约铜线,减少漏磁损耗,又利于发电机通风,降低温升。线圈尺寸如图3。

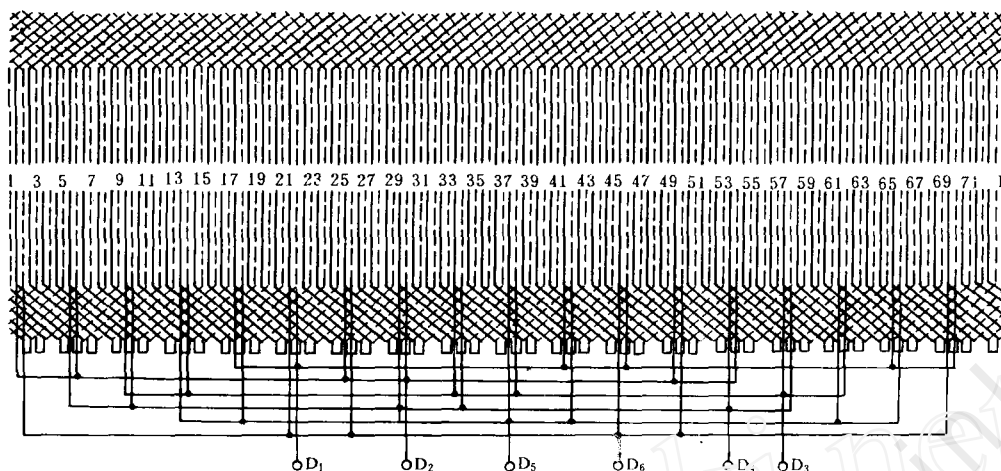


图1 主绕组线圈展开图($q_{\pm}=6$)

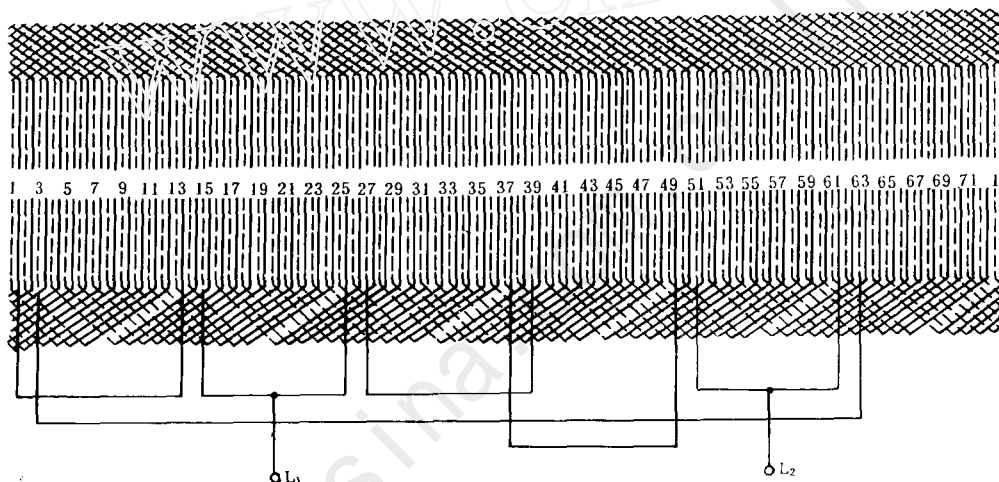


图2 副绕组线圈展开图

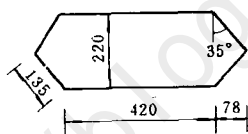


图3 线圈尺寸图 单位:mm

4. 电流密度及槽满率比较

发电机主绕组线圈采用 QZ-1 \varnothing 1.56 mm 高强度聚酯漆包圆铜线, 线圈电流密度为:

$$j_{a2} = \frac{I}{5a_s n} = \frac{289}{5 \times 6 \times 1.911} = 5.04 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

I 为发电机额定电流。

发电机主绕组线圈采用双玻璃丝包扁铜线时的电流密度为:

$$j_{a1} = \frac{I}{2a_s n} = \frac{289}{2 \times 3 \times 9.51} = 5.065 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

因 $j_{a2} < j_{a1}$, 所以不会引起发电机过热。

SBEGB(2.63mm \times 3.8mm) 双玻璃丝包扁铜线带绝缘后截面积为 12.555 2 mm²。QZ-1 \varnothing 1.56mm 高强度聚酯漆包圆铜线带绝缘后的直径为 1.62mm。它们在每槽中所占截面积分别为:

$$S_{原} = 8 \times 2 \times 12.555 2 = 200.880 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$S_{现} = 16 \times 5 \times 1.62^2 = 209.952 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$S_{现} / S_{原} = 209.952 / 200.880 \approx 1 + 4.5\%$$

由此可见, 采用 QZ-1 \varnothing 1.56mm 高强度聚酯漆包圆铜线后, 槽满率较原主绕组线圈增加 4.5%, 不会发生嵌线困难。

三、修理工序

清理现场,准备工具,做好标记。

用套筒扳手取出发电机引出线接线板,并将连接配电柜上的三相母线及励磁线作上标记。

取掉发电机励磁滑环卡簧、充磁线、转子引出线和碳刷等。

卸掉发电机与水轮机联接的靠背轮螺杆(靠背轮不卸)。卸掉发电机地脚螺母,并用起重 2.5t 的手葫芦将发电机吊起,旋转 90°后放下,注意保护发电机地脚螺栓。

卸掉靠滑环端的轴承盖和端盖。同时将另一端的端盖螺杆松掉,使之脱离止口。

从靠背轮端将发电机转子抽出。注意不伤转子和线圈,并落到适宜位置。

取出定子槽楔,拆出主、副绕组线圈和引出线,并将引出线清理干净,破损的要视轻重更换或处理。之后,清除定子槽中的杂物。

绕制线圈。按线圈尺寸图做好相同 4 个绕线模,一次绕制 4 个线圈(即一个极相组),共绕 18 组。极相组之间的连线(俗称过桥线)应留足,且一般为一个线圈的周长。绕线时注意防止伤破导线漆膜。

裁绝缘材料。发电机各部位绝缘材料按原样配置。槽绝缘采用两层 0.27mm 聚酯薄膜复合绝缘纸加一层聚酯薄膜。槽底垫 0.5mm 胶木绝缘板 U 形条。端部绝缘和层间绝缘各采用两层和一层 0.27mm 聚酯薄膜复合绝缘纸。引出线分别用 $\varnothing 5$ 、 $\varnothing 8$ 、 $\varnothing 18$ mm 玻璃漆管作绝缘。各部位绝缘材料规格数量如附表:

附表

绝缘名称	材 料	规格(mm)	数量(张)
槽绝缘	聚酯薄膜复合绝缘纸	440×180	144
	聚酯薄膜	480×180	72
层间绝缘	聚酯薄膜复合绝缘纸	460×35	144
端部绝缘	聚酯薄膜复合绝缘纸	240×120	72

用皮风箱吹净定子槽,并垫好槽绝缘。槽绝缘两头应留一样长,端部应圆滑。

嵌主绕组线圈。主绕组线圈节距 Y_{\pm} 为

1—11。在开始嵌线时有 10 个线圈上层边不嵌。从第 11 个线圈起,在嵌完下层边后即按 Y_{\pm} 嵌上层边。在嵌上层边之前,应先放入层间绝缘。每嵌完一个极相组,要垫好端部绝缘,并将层间绝缘头部压住。最后将 10 个起把线圈的上层边嵌入槽中。

嵌副绕组线圈。按 $Y_{\text{副}} = 1-11, 1-12$ 将副绕组线圈直接嵌入。一个极相组嵌完后再嵌下一个极相组。主、副绕组间应垫绝缘,并注意 L_1 与 D_1 之间的位置关系。

打入槽楔。将多余的槽绝缘用剪刀剪去,用划线板或压线板将槽绝缘的上、下包住,并缓缓打入槽楔。

测绝缘电阻。在主、副绕组全部嵌完后,应用 2 500V 兆欧表检测主绕组之间,副绕组之间,主绕组对副绕组以及主、副绕组对地之间的绝缘电阻。

接线。按主绕组线圈展开图和副绕组线圈展开图,分别将各极相组连接上,并用引出线引接到接线板上。引出线在发电机端部应力求布置均匀、合理、整齐、圆滑。

端部绑扎。首先将端部整成喇叭形,高度应低于定子铁心,并用剪刀修整端部绝缘,去掉多余,之后用 $\varnothing 2$ mm 玻璃套管进行绑扎。

烘热浸漆。第一步,用电炉预烘。预烘主要是除潮汽,预烘温度一般以 85~100℃ 为宜。之后取走电炉,对发电机定子绕组进行滴浸。第一次滴浸应力求比较好地填充到绕组内部,因此漆的渗透性应好一些,粘度应低一些。将浸漆后的发电机定子放在空气中约 30~40min,待不再有余漆滴出后进行第二次烘焙,其温度以 90~100℃ 为宜。然后进行第二次滴浸,其目的主要是形成漆膜,故漆的粘度应高一些。第三步,烘干。待未有余漆滴出后,进行烘干。烘干时间不低于 48h,直到定子绕组端部均不粘手,且主绕组对副绕组,主、副绕组对地之间的绝缘电阻均大于 20M Ω 时为止。

最后进行装配,试车发电。 □