

交流电动机 节能挖潜修理

赵家礼 编著

.7

机械工业出版社



本书是根据当前电机修理中急待解决的技术问题进行编写的，因此针对性较强。

全书内容是从节能挖潜的角度出发，重点介绍国内外先进的修理技术、现场修理经验、节能挖潜的计算方法以及电机检修后的试验项目、方法及标准。同时还编入了许多修理中常用的图表。

本书可供从事电机修理的工人和技术人员参考。

交流电动机节能挖潜修理

赵家礼 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 9 · 字数 198 千字

1983 年 7 月北京第一版 · 1983 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001—18,900 · 定价 0.95 元

*

统一书号：15033 · 5542

目 录

一、概述	1
二、交流电动机绕组检修工艺	4
(一) 清洗电机绝缘	4
(二) 电机定子绕组局部检修法	8
(三) 高压电机绕组现场抢修	14
(四) 高压电机绕组修理	18
三、提高起重、冶金用电动机的检修质量	25
(一) 解决电动机温升超限的措施	25
(二) 解决空载电流大的措施	35
(三) 解决绕组匝间短路的措施	37
(四) 解决转子并头套“放炮”的措施	38
(五) 扁铜线转子绕组拆除法	41
(六) 用无纬玻璃丝带 (简称无纬带) 代替钢线绑扎的 计算和工艺要点	43
四、改变绕组型式	50
(一) 概述	50
(二) 单层绕组改双层绕组	55
(三) 单相等匝绕组改成正弦绕组	57
(四) 改单双层混合绕组	65
(五) 改 Δ -Y混合绕组	70
五、绕线模和整形模尺寸的计算	79
(一) 单层绕组绕线模尺寸的计算	80
(二) 单双层混合绕组绕线模尺寸的计算	90
(三) 成型线圈绕线模尺寸的计算	94
(四) 整形模尺寸的计算	97

六、圆导线代用的简捷计算	102
(一) 概述	102
(二) 60年代以后生产的电机导线代用的计算	103
(三) 60年代以前生产的电机代用导线的计算	121
(四) 不同材质导线的代用	138
七、三相异步电动机的节能挖潜计算	148
(一) 大马拉小车的危害	148
(二) 解决大马拉小车的简单措施	149
(三) 按电网实际电压改接绕组的节能分析	153
(四) 电动机在任意负荷下的效率和功率因数的计算	154
(五) 三相异步电动机改制高效率时的计算方法	160
(六) 三相异步电动机改极改容的计算	167
(七) 利用原绕组数据改极重绕计算	193
八、电机修理中几种节能节电的检修工艺	202
(一) 改用磁性槽楔的节能措施	202
(二) 胶粘剂在电机修理中的应用	207
(三) 轴瓦衬套补焊修复法	209
(四) 采用无溶剂漆浸渍线圈	212
(五) 采用远红外线加热元件烘烤电机	216
(六) 提高电机绝缘水平	220
九、电机检修试验和分析	227
(一) 电机空转检查	227
(二) 由空载电流和短路电压判断重绕电机的参数, 并 确定重绕方案	235
(三) 电机试验检查和性能分析	241
十、检修后的质量检查和检修试验标准	247
(一) 修理中的质量问题	247
(二) 电机铁心质量检查	250
(三) 检修后的质量检查	254

(四) 电机修理后的试验标准	262
附录	269
附表 I 小型电机中使用的公差配合及表面光洁度 (实例)	269
附表 II 中型电机中使用的公差配合及表面光洁度 (实例)	271
附表 III 大型电机中使用的公差配合及表面光洁度 (实例)	273
附表 IV 常用圆铝、铜线的规格	275
附表 V 早年生产的交流电动机降低损耗提高效率的 修理措施表	278
附表 VI 各种常用绝缘漆温度、粘度对照表	281

一、概 述

节能挖潜是当前我国各工矿企业面临的共同课题，电机修理部门也同样承担着节能挖潜的任务。本书就是针对在电机修理实践中如何完成节能挖潜的任务而进行编写的。

我们知道，交流电动机的合理使用至少应符合以下要求：

- 1) 电动机运行时，要有较高的效率和功率因数；
- 2) 电动机的使用寿命要长，应安全可靠；
- 3) 电动机运行时，应符合节能、节电的原则。

通过修理的电动机，应提高电动机的性能和修理质量，使电机经久耐用，安全可靠地运行。

据调查，目前各工矿企业使用的电动机中，有相当数量处于不合理的运行状态。主要表现是耗电多、浪费大、寿命短和“带病”运行。因此，如何把这些电动机通过节能挖潜和合理改装措施，改制成质量好、寿命长、安全可靠的高效率电动机，是摆在我国电机修理部门的一项重要课题。

我们知道，电动机效率的高低是反映电动机在把输入的电能转换为输出的机械能过程中，能量浪费的程度。电机效率越低，说明电动机在能量转换过程中能量浪费越大，而这些浪费的能量又转变成热能，破坏电机绝缘。所以从节能节电观点来看，高效率电动机是经济的。虽然修理时投资多些，但经过一段时期运行，其节电费用就能偿还。

我国早年生产和进口的老电机，只要通过挖潜改装措施，是可以改装成高效率节电型电动机的。

在修理条件下，电机铁心尺寸业已固定，要通过修理挖潜来提高电动机的效率，有下面几种途径。

1. 降低铜耗

电机的各种损耗中，铜耗所占比例较大，尤其是极数较多的电机。通过改用耐温等级较高而厚度较薄的绝缘材料，来增大槽内铜线填充系数，减少绕组电阻，就能达到降低铜耗的目的。

2. 选用合理的绕组型式

随着电机技术的发展，绕组型式也在不断更新和发展，而早年设计的绕组型式有些已显得不合理，因此在重绕线圈时，就有必要选用合理的绕组型式，以达到节能、省铜而改善电机性能的目的。

3. 正确计算绕线模尺寸

绕线模尺寸偏大，虽然嵌线方便，但会增加铜重和铜耗，降低电机效率，增加电机温升；绕线模尺寸过小，又会使嵌线困难，容易导致槽口绝缘破裂，使该处导线对地击穿。所以，正确计算绕线模尺寸对提高电机效率、降低温升、提高嵌线效率、节约用铜等有直接关系。

4. 采用先进工艺

电机修理工艺本身，也存在节能、节电问题。为达到这个目的，必须采用各种新技术、新材料和新工艺。

1) 电机绝缘的清洗工作，应采用物美价廉的洗涤剂溶液进行清洗；对于不需烘干和局部清洗的电机，可选用混合溶剂进行清洗。

2) 电机绝缘的浸烘，应尽量采用无溶剂滴浸工艺和远红外加热方式。

3) 低压电机的绝缘材料，建议采用 B 级及以上的绝缘

材料，代替目前E级绝缘材料。

4) 高压电机线圈重绕大修时，应采用具有修理特点的先进工艺。

5. 降低铁心饱和程度

铁心因长期处于高温和振动状态，使导磁性能变坏，铁心绝缘老化，从而导致铁心饱和程度增加。另外，又由于风砂长期磨损铁心表面以及修理过程中对铁心的磨损(如锉槽)和破坏(不正当加热铁心)，使铁心有效面积减小，导致铁心饱和程度增加。这些因素都会造成电机铁损值增大和功率因数降低。

6. 变更电磁参数，计算出高效率节电型电动机

通常有三种情况

1) 靠降低电动机的各种损耗，重新计算高效率节电型电动机；

2) 通过调查现场电动机的负荷情况，对过载或欠载的电动机进行重绕计算或改接；

3) 有些生产机械要求调速节能或改容、改压节能，也需通过重绕计算来完成。

7. 降低机械损耗

长期处于低负荷运行的电动机，电机效率不高，功率因数很低，可通过减少风扇直径或改用效率较高的风扇型式来降低通风损耗和调整电机容量。

总之，在电机修理工作中，节能挖潜工作是大有作为的。

二、交流电动机绕组检修工艺

(一) 清洗电机绝缘

电机检修任务之一，就是要通过吹风清扫、清洗绝缘油腻，提高电机绝缘电阻，恢复电机绝缘性能。为了彻底除掉粘结在绕组绝缘表面和缝隙中的粉尘、油腻，以往一直采用汽油、四氯化碳、酒精、三氯乙烷、三氯乙烯及其混合物做为洗涤剂进行电机绝缘清洗工作。它们存在耗能多、不安全、毒性大、成本高、材料来源困难和清洗质量不高等缺点。但是，如果采用中性洗涤剂(如*781洗涤剂)清洗电机绝缘，就可避免上述问题。下面予以介绍：

一) 采用*781洗涤剂清洗电机绝缘的优点

1) 清洗质量高：曾有一台 250kW 电机，用汽油清洗数次，因绝缘缝隙中粉尘影响，致使泄漏电流太大，一直不能出厂，改用洗涤剂清洗，只清洗一次便合格。

2) 成本低廉：用洗涤剂清洗一台 2000kW 电动机，仅用 15.4 元，以往用汽油清洗，需用 288 元。

3) 无毒，对皮肤无过敏反应，无刺激味，无公害。

4) 不燃、不爆，不挥发，好保存，易运输。

5) 材料来源丰富。

二) 配方、清洗工艺、清洗装置

(1) 配方(按重量比)

中性洗涤剂	1.5~2%
自来水	98.5~98%

（2）清洗工艺

根据绝缘上积存油泥程度，选择洗涤剂的百分比，称好重量倒入容器内，然后用开水冲开洗涤剂，再按重量比例倒入自来水，搅拌均匀，使配好的洗涤剂溶液保持在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，备用。

通过水泵将配好的洗涤液抽出，并经喷枪喷出，冲洗电机绝缘。喷射压力为 $2\sim 3\text{ kg/cm}^2$ 。如无水泵，可直接用棕刷刷洗电机绝缘。

当洗涤液变黑色时，就需要更换，重复冲洗，一直到洗涤液呈灰白色为止。一般冲洗 $2\sim 3$ 次即可。然后再用 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 热水冲去绝缘上洗涤剂残迹。要冲洗两次。

最后，将冲洗干净的电机入炉干燥。烘干后，测量绝缘电阻值（通常在 $20\mu\Omega$ 左右，温度 120°C ），合格后再浸漆处理。

（3）清洗装置

被清洗的电机台数少时，可采用手工刷洗，这样只备用两个容器即可，一个盛洗涤液，另一个盛热水。被清洗电机先后放入两个容器内进行清洗。

如果台数较多，经常进行清洗工作，为了提高清洗效率，可做一套清洗装置，如图1所示。

被清洗的电机放在水池槽的平台上，然后用FS型耐腐蚀离心泵将洗涤液由清洗液贮存箱内抽出，冲洗电机绝缘。为了节省清洗液，可采用循环过滤装置，将冲洗后的污水由水池槽下面的节门流回到沉淀箱，经沉淀后，再由上面节门将干净的洗涤剂放入贮存箱内，并经滤网过滤，循环使用。

手持喷枪可用 $\phi 20\text{mm}$ 薄钢管制作，端头压扁，留出 $1\sim 2\text{ mm}$ 缝隙，使喷出的洗涤剂形成 $2\sim 3\text{ kg/cm}^2$ 的压力。

表 1 各种常用洗涤剂性能比较表

编 号	种 类 性 能	汽 油	四 氯 化 碳	三 氯 乙 烷	三 氯 乙 烯	蒸 汽	酒 精	中性洗 涤剂 (*781)
1	毒性	无	强	有	强	无	无	无
2	燃爆性	易	不	不	不	不	易	不
3	挥发性	易	易	有	易	一般	挥发	不
4	味性	有味	有刺激味	有刺激味	有强烈刺激味	无	有	一般
5	电性能 (绝缘电阻)	∞	∞	∞	∞	0	一般	0
6	对绝缘 损害	小	很小	较大	大	小	很小	很小
7	对钢铁 腐蚀性	无	无	有腐蚀 现象	—	小	很小	很小
8	去污 能力	一般	一般	较强	强	低	一般	较强
9	成本	较高	高	高	高	很低	较高	低
10	清 洗 装 备	简单	简单	简单	复杂	简单	简单	简单
11	清 质 洗 量	较好	好	好	好	一般	一般	很好
12	清 效 洗 率	低	低	较高	低	一般	低	高
13	运 输 保 管	较难	较难	难	难	方便	一般	方便
14	清 洗 方 法	擦 拭 或清洗	擦 拭 或清洗	浸泡	蒸洗	冲洗	擦拭	冲洗

实践证明，改用洗涤剂清洗绝缘是有效的，不必担心电机绝缘接触水后会受潮，甚至担心电机绝缘性能受损伤。因为清洗掉脏物后，剩下的水分可经烘干驱除。

采用洗涤剂清洗电机唯一不足之处是经清洗后的电机需烘干。如果干燥炉容积不够或大型电机运输困难，则需要采取不经烘干的清洗方法。下面介绍采用混合溶剂清洗电机绝缘法。混合剂是采用按 3:7 重量比配制的汽油和二氯甲烷混合剂，可以不经烘干。这种混合剂优点是不易燃、无毒性，不需烘干，清洗质量较高。但由于混合溶剂中含有汽油成分，故要防火，同时二氯甲烷易挥发，要注意密封，此外，混合剂成本也较高。修理时应根据具体情况选用上述两种清洗电机的洗涤剂。

目前我国正在研制能够带电清洗电机的洗涤剂。各种常用的洗涤剂性能，见表 1 所示。

(二) 电机定子绕组局部检修法

如果电机绕组某个线圈或一部分线圈烧损，其余线圈质量尚好，这时应考虑采取局部检修法。这样处理与全部更换绕组相比，修复快，使生产少受损失，并能节省许多修理费用。尤其对大型电机采取局部抢修，经济效果更大，是一种很好的节能措施。

1. 局部拆换线圈法

首先查明故障线圈和线圈的故障部位，然后将电机绕组加热至 $100\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，使绕组绝缘软化，趁热拆除槽楔和故障线圈。加热方式可以把电机放入干燥炉内加热，也可在线圈内通电加热，采取后者进行加热时，要考虑故障线圈能否允许通电。

对于低压散嵌式双层绕组，故障点如发生在线圈的下层边，为了拆除下层故障线圈，需将一个节距内好线圈的上层边也拆出，因此要剔出这些线圈上的槽楔。因浸渍质量不断提高，槽楔和线圈已粘成整体，虽采取加热办法降低*1032绝缘漆的热态强度，也不易剔出槽楔，这时必须在这些槽楔和铁心表面涂刷甲苯或二甲苯，并用棉布盖严，闷上10~15分钟后，再退槽楔就比较容易了。在退楔时，退楔工具通常采用尖铲或扁铲，在槽楔上轴向冲削，操作时要轻轻打击铲顶，勿使导线外包漆膜损伤。

将一个节距内线圈的槽楔退出后，再在这部分线圈的铁心槽口和绕组端部涂刷甲苯，仍用棉布盖严，闷10~15分钟后用竹板刀将槽口内折合的槽绝缘撬开，然后由槽顶开始按次序把一根一根导线取出槽外。在操作过程中，注意不要使导线交叉，也不要硬拉出导线，实在取不动线圈时，再涂刷一次甲苯，闷几分钟后再继续取出线圈。

将取出的导线逐根清除导线表面残漆，要清理干净，否则影响嵌线。在操作中要保护好导线本身的绝缘漆膜，否则造成匝间短路故障。

把一个节距的完好线圈上层边导线全部取出后，便着手拆除故障线圈，然后按照原线圈的导线规格和匝数绕制新线圈待用。

新绕线圈嵌入槽之前，应清理槽内绝缘残屑。为加强故障线圈槽内的层间绝缘，应垫入1~2层0.05mm厚的聚酯薄膜。

新线圈的下层边嵌入槽后，再将取出的所有上层边的线圈导线嵌入原槽内。最后打入槽楔，进行浸漆烘干处理。

低压或高压硬线圈通常都是绕成双层绕组。如果故障点

是在线圈的上层边，处理就比较方便，只把故障线圈上层导线取出槽外进行修理即可；如果故障点是在线圈下层边，为了取出故障线圈，仍要把一个节距的完好线圈的上层边全部取出来，所以比较困难。如果操作不当，反而会把完好的线圈弄坏。不论处理哪种故障，都要加热绕组使绝缘软化。硬绕组电机容量都比较大，所以采取绕组通电加热方式比较方便，电流值约为额定值的70~80%即可。

为了处理线圈上层边的故障，只需将这个线圈上层边槽楔剔除，如果剔除困难，还要用甲苯涂刷在楔上，用棉布盖严保持10~15分钟后，再用扁铲剔出槽楔。

对于低压扁铜线绕组，剔出槽楔后用竹板刀将槽内上层绝缘纸分开，把故障线圈的线匝从槽中一根一根取出来，仔细检查每根线匝绝缘，查明故障点。对于露铜的线匝需用电工刀将旧绝缘清理干净，然后用玻璃丝布带半叠包一层代替导线绝缘。如果导线已烧断，则需用同规格导线进行补焊。采用规格为“料303”的银钎焊料进行焊接，要使各匝导线焊接口错开。焊后锉平，补包导线绝缘。在补包时要检查各匝补焊是否接错，如果断头太多，槽内太挤，建议在槽内只焊导线的一端，另一端移到槽口外在端部焊接。全部断线补焊和包扎绝缘后，要测量线圈直流电阻和做匝间绝缘强度试验，合格后再按原线圈在槽内排列的次序将线匝一一嵌入槽中。

对于高压线圈上层边匝间短路故障，应将上层线圈边的整体经加热软化后抬出槽外，然后用电工刀细致地将线圈故障点附近的对地绝缘削出坡口，查出线匝击穿的故障点，再将线匝绝缘削出坡口，除去击穿部分的绝缘，用“三合一”粉云母带半叠包扎一层。

如有数根导线烧断，则需要将烧损导线剪断，用同规格

导线补焊锉平后，包扎线匝绝缘，经匝间短路检查和直流电阻试验合格后，便着手包扎对地绝缘。主绝缘材料可选用富胶粉云母带包扎。最外层用“三合一”粉云母带包扎一层，然后再半叠包一层玻璃丝布带，绝缘总厚度要与原线圈相同。涂 H-4 胶一次，嵌线后打入槽楔。

有的线圈故障是线匝对铁心击穿，这时可将被击穿槽绝缘部分补垫新槽绝缘，将线匝击穿点补包匝间绝缘，使它与铁心隔开，再将线圈嵌入槽内即可。

为了处理线圈下层边的故障，这时就需要取出与故障线圈有关的一个节距的完好线圈的全部槽楔。然后取出这部分线圈的上层边，再将故障线圈取出，检查线圈故障点，按上述办法分别进行处理，最后将线圈嵌入槽内。

2. 穿线修复法

上述局部拆换线圈法虽然比全拆大修省工、省料，但对于双层绕组的下层边有故障时，由于需将完好的线圈也取出一部分，所以工艺上比较复杂，尤其对于浸渍无溶剂漆的线圈，粘结比较牢，如处理不好反而会把好线圈也弄坏了。因此，根据故障情况可考虑采用穿线修复法。这种方法不需拆除完好线圈，仅把故障线圈的导线由槽内抽出来，再把新导线穿入槽内，形成新线圈，所以能避免上述缺陷。

对于低压电机软绕组采取此方法时，需将绕组加热以软化绝缘，然后将故障线圈上层边的槽楔剔出，并将故障线圈两端剪断，然后将下层边导线逐根抽出。故障线圈的上层边比较好拆，在拆除过程中，勿损伤相邻的线圈。

故障线圈拆除后，要清理槽内残余绝缘，用白布带或细长毛刷刷净槽内残余绝缘。用一层聚酯薄膜青壳纸复合绝缘或 DMD 复合绝缘纸，卷成圆筒插入槽内，做为槽绝缘。

穿线前，在绝缘套内插入假导线（用直径与线圈导线相似的铜线作为假导线）。为了便于穿线，新导线宜选取耐温等级高、绝缘厚度较薄的电磁线，其长度应比旧线圈总长稍长些，然后便进行穿线工作。如果穿入的导线是双根并绕，最好选用一根粗的代用，这样便于穿线；如果必须用双根并绕时，可在两根导线端头套入细塑料管，这样容易穿线。每抽出一根假线，随即穿入一根新导线，以防槽内导线发生移动，造成后来导线不易穿入。上层线匝可以直接由槽口嵌入，比较方便。

全部线匝穿入后，整理端部线圈，并打入槽楔，测线圈直流电阻和绝缘电阻，合格后，进行空载试验，全部合格后再进行绝缘处理。

低压硬线圈通常是采用双层绕组，用扁铜线制做，每槽匝数较少。当故障线圈是下层边时，采取此法有一定价值。其操作步骤为：

首先将线圈加热至 $100\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，软化绝缘，然后将故障线圈两端切断，趁热将故障线圈导线从槽内逐根抽出。清理槽内残余绝缘，并将耐温等级高、绝缘厚度较薄的新绝缘垫放在槽内。穿入的扁铜线外涂滑石粉。当穿入槽内线匝为总匝数的一半时，用理线板和压脚工具将插入槽内导线理直压平，不要有交叉和挤伤绝缘现象。为把全部新导线插入槽内，要做假导线，其规格与旧导线相同。抽出一条假导线，立即插入一条新导线，最后使全部线匝穿入槽中，并在槽内排列整齐。

上层边的导线仍由槽口放入，没有什么困难。全部线匝嵌完后，经电气试验检查，合格后打入槽楔，浸漆烘干处理。