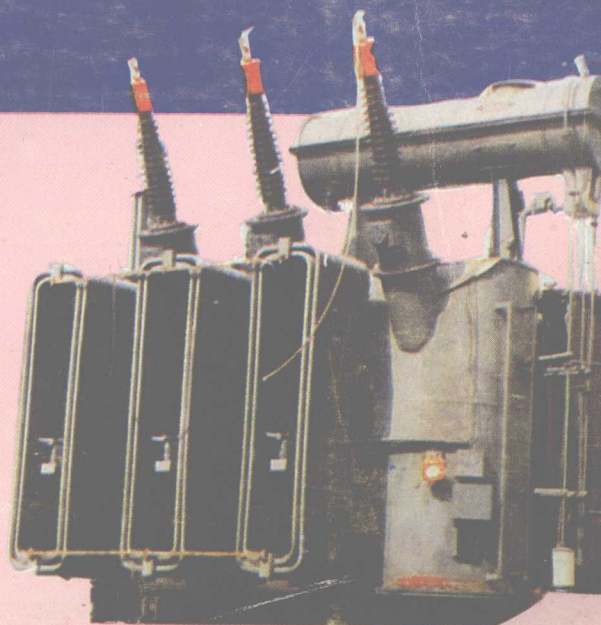
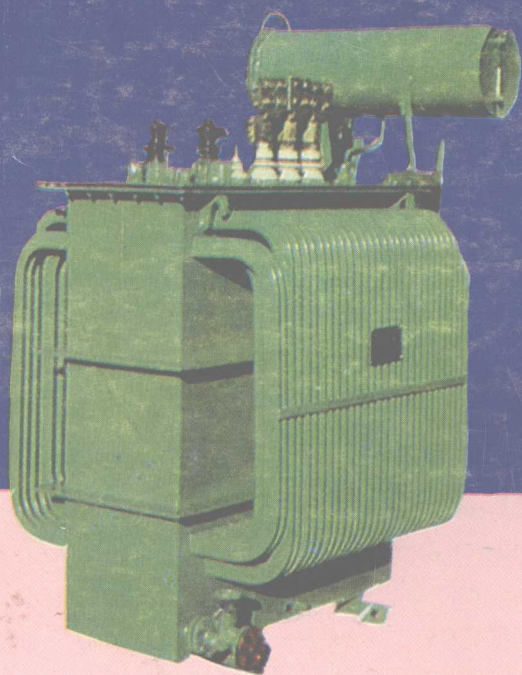


秦有才 编著

变压器实用 改造

与 修理技术



HENAN
KEXUEJISHU
CHUBANSHE

河南科学技术出版社

变压器实用改造与修理技术

秦有才 编著

河南科学技术出版社

(豫)新登字02号

内 容 提 要

本书共18章,全面介绍了各种类型变压器改造与修理技术,对高能耗变压器降容保容增容的原理、设计计算、工艺过程都做了详尽的介绍,并且介绍了变压器日常运行中的故障检修及预防性试验。

本书特点是资料全、实例多,着重于经验性的技术改造,提供了大量的数据和实例,便于参照,非常实用。可供电业部门、变压器修造厂、工矿企业、农村等在变压器改造与修理中实用及学习,可供电气工程技术人员及工人和有关专业在校师生实用和参考,还可作为培训教材。

变压器实用改造与修理技术

秦有才 编著

责任编辑 吴润燕

河南科学技术出版社出版

河南省新华书店发行

河南第一新华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 29.25印张 668千字

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数1— 3000册

ISBN7-5349-1015-3/T·206

定价 19.50元

前 言

变压器是重要的电力设备，目前各国都很重视降低变压器损耗，一方面研制和发展新型节能变压器，一方面改造高能耗变压器，这对于节约能源具有重要的现实意义。

为此，我国有关部门先后发出了很多文件和通知，如国务院第二号节能指令、水电部(83)水电物字第16号文件《关于停止装用高能耗配电变压器的通知》、(85)水电物字第24号《关于更换高能耗配电变压器的通知》、(88)技标字第23号和(88)物分字第34号《关于改造高能耗变压器的若干规定》(以下简称“规定”)，目的是为了加快高能耗变压器的更新改造步伐，降低变压器的自身损耗，节约能源。

笔者从事变压器修造工作40余年，在实践中积累了很多经验，并且收集了国内外上百种大、中、小型变压器改造和修理的有关资料，经过总结分析整理，成为一套完整的修改方法，以供同行们选用和参考。

本书在十余年的编写过程中曾得到了如下单位的支持和帮助，有：沈阳、上海、保定、西安、郑州、福州等地的变压器厂；广州、郑州、福州、海口、大连、黄石等供电局；广东省电力设备厂、广西南宁变压器修造厂、柳州电机总厂、良乡水电部电气设备修造厂、广州科技开发总公司、南方科技开发总公司、广州技术开发公司、郑州工学院、西安交大、郑州电力学校等单位的关心和支持。

全书在整理和选编过程中还得到了杜海滨、张金儒、闭祖矿、王传文、方兰绪、李宏永、张伟、余恒畔、王学球、赵子生、芮振国、孙良臣、王森林、杨宝猷、闪富殿、张方端、张发云、冯定一、黄家骏、陈霁宇、黄世杰、曾耀池、唐杰、杜腾芳、卓名、吴传镛、邵蓓莉、张桂整、刘根堂、翁源、陈镇亚、黄将、徐有升等同志的大力支持和帮助。

因本书涉及的范围较广，但编著者水平有限，书中错误在所难免，恳求读者批评指正。

编著者 秦有才

一九九一年八月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 变压器使用现状及节能途径	(1)
第二节 变压器节能改造的评价	(4)
第二章 中小型变压器完善化降容改造	(6)
第一节 改造原理	(6)
第二节 改造前检查	(6)
第三节 改造前试验	(7)
第四节 匝数达到空损合格值的简便算法	(7)
第五节 降容改制设计计算	(8)
第三章 中小型变压器的保容和增容改造	(14)
第一节 同时换铁心和线圈	(14)
第二节 铝导线换铜导线	(16)
第三节 换铁心	(17)
第四章 高能耗变压器改造及计算	(21)
第一节 改造方法比较	(22)
第二节 SJ ₁ 型、SJ型及SJL型变压器改造	(26)
第三节 DT型、TM型及无型号变压器改造	(29)
第四节 SJL和SL 系列变压器的改造	(33)
第五节 老旧大型变压器增容改造	(34)
第六节 低损耗变压器改造计算实例	(38)
第七节 高能耗变压器节能改造计算实例	(43)
第五章 变压器升压改造	(56)
第一节 线圈主绝缘结构改造	(56)
第二节 变压器绕组匝数简便算法	(56)
第三节 降低变压器空载损耗的简便方法	(57)
第四节 中小型3~6kV变压器改为10kV级	(59)
第六章 变压器检修注意问题及质量要求	(68)
第一节 升压改造应注意的问题	(68)
第二节 变压器检修工艺及质量要求	(70)
第七章 中小型变压器改造计算	(89)
第一节 基本参数的确定	(89)
第二节 铁心选择	(91)

第三节	线圈计算	(92)
第四节	铁心计算	(98)
第五节	油箱及热计算	(100)
第六节	变压器重量计算	(106)
第八章	国内部分厂家高能耗变压器改造介绍	(120)
第一节	上海变压器厂	(121)
第二节	哈尔滨变压器厂	(124)
第三节	连云港变压器厂	(126)
第四节	成都供电局	(128)
第五节	通化电业局修配厂	(130)
第六节	沧州变压器电炉厂	(131)
第七节	齐齐哈尔变压器厂	(135)
第九章	国外变压器降损措施	(138)
第一节	概 况	(138)
第二节	日本九家电力公司变压器更新和降损措施	(144)
第十章	220kV大容量变压器的绝缘改造	(152)
第一节	变压器线圈及绝缘的构造	(152)
第二节	常用的纠结式线圈	(156)
第三节	薄绝缘变压器的缺陷	(160)
第四节	绝缘改造的方法及要求	(164)
第十一章	变压器现场大修施工安全组织措施	(168)
第一节	主变吊心检查施工措施	(168)
第二节	主变及辅助设备大修施工措施	(170)
第三节	变压器大修施工程序和要求	(174)
第四节	220kV90000kVA变压器更换铝导线薄绝缘的施工方 案	(179)
第十二章	变压器现场大修方法	(182)
第一节	变压器的干燥	(183)
第二节	油及附件处理	(187)
第三节	主变在现场起吊和更换线圈	(188)
第四节	现场更换局部线段	(190)
第十三章	变压器试验	(192)
第一节	试验目的及种类	(192)
第二节	试验程序和试验项目	(194)
第三节	试验标准	(197)
第十四章	变压器干燥方法及选择	(203)
第一节	绝缘的评定与是否需要干燥的标准	(204)
第二节	器身干燥方法	(205)
第三节	器身干燥注意事项	(208)

第四节	变压器零序短路干燥法	(210)
第五节	变压器带负荷真空喷雾干燥	(217)
第六节	大型变压器涡流真空热风干燥	(221)
第七节	变压器涡流加热及热风真空干燥	(224)
第八节	电力变压器绝缘内加热真空干燥	(227)
第九节	远红外烘窑干燥	(229)
第十五章	变压器零部件的改进和渗漏油处理	(234)
第一节	零部件的改进	(234)
第二节	变压器渗漏油及其处理	(238)
第三节	变压器油箱的密封试验	(244)
第十六章	变压器油的处理	(248)
第一节	变压器油的理化性质	(248)
第二节	运行中变压器油的质量标准	(252)
第三节	变压器中溶解气体的分析和判断	(254)
第四节	绝缘油的老化及油试验标准	(258)
第五节	变压器油的处理和试验	(263)
第十七章	高压互感器的检修和改造	(272)
第一节	高压互感器检修的一般要求	(272)
第二节	高压互感器的密封措施及改进	(274)
第三节	高压互感器的防爆措施	(283)
第四节	高压互感器缺陷的处理	(288)
第五节	高压互感器的干燥	(292)
第六节	互感器储油柜的改造	(299)
第十八章	变压器大修和改造工时材料定额的核算	(307)
第一节	概 述	(307)
第二节	变压器修理工时及材料定额	(307)

附录

附录一	关于停止装用高能耗配电变压器的通知	(324)
附录二	关于改造高能耗配电变压器的若干规定	(338)
附录三	全国统一中小型电力变压器主要产品系列介绍	(344)
附录四	SL ₇ 变压器与有关标准性能指标比较	(346)
附录五	上级电力部门对110~330千伏变压器质量问题及改进措施的意见	(349)
附录六	关于发送预防大型变压器事故的技术措施等文件的通知	(352)
附录七	关于防止变压器高压套管管端部漏水造成事故的通知	(362)
附录八	关于薄绝缘大型变压器返修处理的意见	(363)
附录九	防止大型变压器损坏和互感器爆炸事故	(365)

附录十	电压换算和三相变压器额定容量及额定电流对照表	(366)
附录十一	电力变压器产品的一般规定和数据	(372)
附录十二	关于高能耗配电变压器更换问题的通知	(441)
附录十三	电力变压器性能标准	(442)
附录十四	S9-30~1600/10中小型变压器与同类产品比较	(456)
参考资料		(458)

第一章 概 述

第一节 变压器使用现状及节能途径

变压器是输变电系统中的主要设备之一, 尽管它的效率很高(大型变压器效率高于99.5%, 小的也在98%以上), 但由于它总容量大(一般情况下总容量为发电容量的5~7倍, 500千伏的输电线路的变压器容量也达发电容量的3倍), 加上在输配电系统中变换级次多, 其损耗还是很大的, 能占到线路总损耗的17~20%, 相当于系统总容量的4%。我国配电变压器的电能损耗约占发电量的1.7%。中小型配电变压器虽然单台容量小, 但数量多, 如1989年末统计, 我国农村电网有配变180万台, 其中74万台是高能损耗变压器, 占总容量的60%。因而其质量好坏, 损耗的大小都是不可忽视的。

又据天津市配电管理所近年的统计, 该所共有配电变压器2900多台, 47万千伏安, 其中50年代以前的占20.1%, 60年代的占56.16%, 70年代的仅占23.74%。2900多台变压器中, 有1366台是非专业变压器厂生产的, 损耗指标过大。其余变压器虽属专业厂生产的, 但大部分是六、七十年代的产品, 材质差, 结构落后, 损耗大。据日本估计, 若全年总发电量为5000亿千瓦小时, 变压器损耗按1%计算, 则升压变压器的年损耗为50亿千瓦小时, 降压变压器的年损耗为49.5亿千瓦小时, 总计99.5亿千瓦小时, 约占系统容量的2%。假若把变压器效率仅仅提0.1%, 一年净节省的电力就几乎为10亿千瓦小时。所以, 各国变压器制造业都对降低损耗给予了充分的重视。因此, 在较短的时间内, 推广使用低损耗变压器, 改造高能损耗变压器, 使产品更新换代具有十分重要的意义。通过有关资料综合分析, 各国都在寻找变压器降低损耗的途径, 以下作简要介绍。

一、降低空载损耗, 改进铁心结构

空载损耗虽然仅占变压器总损耗的20~30%, 但它不随负荷而变化。对于年负荷小时较低的中小型变压器降低空载损耗的意义就更为显著。变压器空载损耗 P_0 为:

$$P_0 = K_{P0} \times P_i \times G_{Fe} (W)$$

由上式可见, 要降低空载损耗必须要降低铁心重量 G_{Fe} , 单位损耗 P_i 和工艺系数 K_{P0} 。这就需要:

1. 采用性能优良的硅钢片。硅钢片性能越好, 单位损耗 P_i 越小, 从而空载损耗和铁心重量均可降低。

2. 改进铁心结构和工艺, 降低工艺系数 K_{P0} 。当硅钢片一定时, 单位损耗一定, 而降低铁心重量时, 磁密增大, 单位损耗成平方的($P_i \propto B_m^2$)增大, 空载损耗反而上升。所以只能降低工艺系数 K_{P0} 。

因此, 要降低变压器的空载损耗, 首先是采用单位损耗小的优质冷轧晶粒取向硅钢

片，其次就是降低工艺系数，有效的利用硅钢片材料所具有的特性，尽量使磁通在通过铁心所有接缝时都易于沿着硅钢片轧制方向通过。

所以全国统一设计的SL₇、SLZ₇系列低损耗中小型变压器采用了Q₁₀(Z₁₀)的优质冷轧硅钢片，45°全斜接缝无冲孔粘带绑扎结构，使工艺系数下降至1.2~1.3。从而使10千伏级变压器的空载损耗降低41.5%，35千伏级的降低38.33%。

另外，由于对硅钢片不进行涂漆处理，改进剪切技术，将剪切毛刺控制在0.03mm以下，使叠片系数达到了0.95。铁心在带有精确定位的叠装台上叠装，使铁心接缝质量好，又不致歪曲。所有这些也使空载损耗大为降低。

二、降低负载损耗，改进绝缘结构

负载损耗占总损耗的70~80%，数值很大。大家知道，变压器负载损耗近似为线圈电阻损耗，所以负载损耗 P_K 为：

$$P_K = K_f \delta^2 G_m$$

由上式可见，要降低负载损耗可以降低导线重量 G_m 、电流密度 δ 和与导电率有关的系数 K_f 。下面对这几个因素作一分析：

1. 由于铜、铝的导电率并没有多大的改善余地，所以 G_m 基本上是个常数，从而不能降低负载损耗。

2. 降低导线重量，电流密度成平方的增大，负载损耗反而上升；降低电流密度，可以降低负载损耗，但导线重量增大，浪费了材料。

3. 从减少匝数出发，可以降低负载损耗，但又增大了铁心尺寸。

因此，通过直接改变变压器导电体数据来降低负载损耗是有困难的。除了适当降低电流密度外，只有从改变绝缘结构，缩小绝缘的体积，提高线圈填充系数着手，来减少线圈的尺寸，以减少负载损耗。低损耗中小型变压器中主要是在圆筒式线圈层间及高、低压间采用瓦楞纸板做油隙，代替了撑条，缩小了绝缘尺寸，且随着铁心尺寸的减小，负载损耗也降了下来，从而使10千伏级变压器的负载损耗降低了13.97%，35千伏的降低16.22%。

三、降低其他损耗，改进其他结构

在低损耗中小型变压器的设计中，将线圈安匝调整得很平衡，控制了线圈的漏磁通。这就降低了油箱等结构件的杂散损耗。

在变压器油箱上还采用片式散热器代替管式散热器，从而提高了散热效率。

铁轭绝缘采用整块绝缘，线圈出头和外表面加强绑扎，对线圈绕制尺寸加以严格控制，这些都有助于提高线圈的机械强度。

对于中小型变压器的设计，应在确保运行安全的前提下，较大幅度地降低变压器的损耗。由于10千伏级的中小型变压器年平均负载小时仅为2500小时，35千伏级的仅为4000小时，因此以大幅度地降低空载损耗为主。

我们知道变压器的损耗有两种：一种是空载损耗，它与负荷的大小无关。变压器投入网路就有了一定的损耗，也称之为固定损耗（不考虑激磁电流的影响）。另一种是负载损耗（过去称短路损耗、铜耗或铝耗），此损耗与负荷大小有关，与负载率的平方成正比增减。变压器总损耗在不同负载时的计算如下式：

$$P_{Ka} = P_0 + \left(\frac{a}{100}\right)^2 P_{KL}$$

式中 P_{Ka} ——负载率为 a 时的总损耗 (W) ;
 P_0 ——空载损耗 (W) ;
 P_{KL} ——负载率为百分之百时负载损耗 (W) ;
 a ——变压器负载率 (%) 。

变压器额定负载时的两个损耗 P_0 、 P_{KL} ，通常在设计时 P_0 小于 P_{KL} 。我国用热轧硅钢片生产的 200kVA 变压器，部颁标准 JB1300—73 组 I 的空载损耗为 1000W，负载损耗 3900W。如平均负载率按 50% 计算，负载损耗为 975W。空载损耗占了 50% 以上。从节能的观点出发降低 P_0 ，效果是显著的，因 P_0 的增加是随着变压器运行时间正比递增的。为此，变压器在额定负荷时要降低损耗，而且，在变压器各种负荷时，都要把变压器设计制造成低损耗高效率的设备。低损耗型与普通损耗老产品变压器的效率比较如图 1-1 所示。

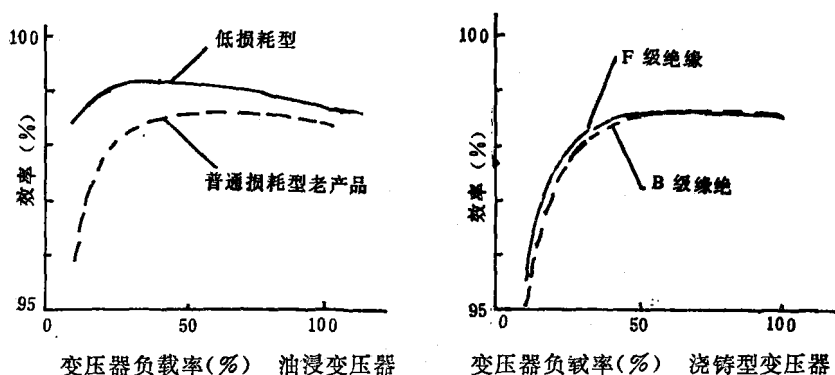


图 1-1 变压器效率比较

四、变压器降低损耗的一般措施

1. 原高压线圈为纱包或纸包圆铜线，将其改为高强度漆包线，可增加导线截面，降低铜耗。
2. 高压线圈相间距离，高压线圈与铁轭距离，或高压线圈与低压线圈的距离较大，按新要求可将其减小，则可增大导线截面减少铜损或增加高低压线圈匝数降低磁密及铁耗。
3. 原为铝线线圈，由于某种原因如缺乏规格的铝线或原匝间薄绝缘而要改为标准绝缘时窗口已不够用，需改为铜线时可增大导线截面减少铜损。
4. 升压改造，如高压由 6kV 升为 10kV，由于低压线圈、绝缘不需要动，则可加大高压导线截面积，减少其铜损。
5. 在降压改造时，如原为 66kV、44kV 改降为 35kV 时，由于电压等级降低，各部分绝缘距离不需要原来那么大，这时就有空间可利用，则可加大导线截面积，使其增容。
6. 高压三相线圈烧坏，或虽一相烧坏，由于其他原因（如绝缘老化）高压三相必须

重绕, 低压线圈不动, 则加大高压线圈导线截面减少其铜损。

在以后各章将详细介绍各种实施方法, 此处不再多述。

第二节 变压器节能改造的评价

一、变压器节能改造的具体办法

积30年改制实践, 参照国内外数十家改修经验, 进行完善化改造方法上综合起来分降容、保容、增容、调容四种形式, 共计如下二十种具体改法:

1. 绕组改制法:

(1) 改高、低压绕组降容法; (2) 改高、低压绕组调容法; (3) 改高、低压绕组降、调容法; (4) 改高、低压绕组保容法; (5) 改高、低压绕组质量法; (6) 改高、低压绕组增容法。

2. 铁心改制法:

调换全部铁心法; 调换部分铁心法; 调换全部心柱法; 调换部分心柱法; 调换全部轭铁法; 调换部分轭铁法; 增减心柱级数法; 增减心柱直径法; 单片重叠铁心法; 铁心硅钢片重剪法; 铁心硅钢片重新绝缘法。

3. 绕组、铁心全改法:

全改绕组、铁心增容法; 全改绕组、铁心保容法; 全改绕组、铁心降容法。

二、变压器改制后的技术指标

1. 空载损耗比改前降低45~55%, 优于JB1300-73 标准组 I (冷轧硅钢片) 数据, 达到 S_7 或 SL_7 低损耗变压器数值。

2. 空载电流比改制前降低70%左右。

3. 空载短路损耗符合国标或“规定”。

4. 阻抗电压控制在3.6~5.5% (3~10kV, 30~1600kVA)、6~7.7% (35kV; 50~1600kVA)。

三、变压器节能降耗的评价

1. 降低变压器损耗一般说来变压器容量愈大降损愈多, 纯益愈大。

2. 能降耗的变压器尽可能进行降损改造, 积少成多, 多节电, 可向供电户多供电量。

3. 变压器损耗降低后, 其温升也降低, 可延长变压器寿命。

4. 在降低铁损的同时, 空载电流及无功损耗也同时降低, 这样系统需要无功补偿就减少。在降低变压器有功及无功损耗后, 就可以减少这部分的电流在导线中的阻抗损失。

5. 选用截面较大的导线, 虽然投资增大, 但数不多, 由于损耗减少而节电, 一般1~2年即可收回多投资金。

6. 降损要结合具体情况进行, 例如只改高压线圈, 低压线圈可不动, 在可能情况下增大高压线圈导线截面来降低铜耗; 如果为了同时降低高低压线圈铜损, 而重绕高低压线圈, 则材料、人工大增, 同时总铜损降低量不会增加或增加很少, 是不合算的。若低压线圈没有问题, 为了降低铁损而要重绕高低压线圈, 同样是不合算的, 如变压器高低

压线圈都烧坏或由于其他原因（如绝缘老化等）需要重绕高低压线圈降低铜损或铁损，这样作是合算的。前者还有这样的作用，即保持铜损与原来的一样，而提高变压器的容量。

7.降低铜损或铁损对节电效果的大小要看具体情况。若负荷率低，降低铜损则节电不多，降低铁损节电较多；若负荷率大，降低铜损节电较多。到底怎样才能节电较多，要根据具体情况，进行计算比较来确定。

8.由于采用截面较大的导线，线圈匝向尺寸增大，电抗电压百分数增加，但是由于铜损减少，电阻压降百分数却减小（这部分在小型变压器不能忽略），故结果阻抗电压降百分数不增加或增加很少。

第二章 中小型变压器完善化降容改造

第一节 改造原理

降容改造一般是除了重新绕制高低压线圈外，仍可利用原变压器的铁芯、外壳、油枕等部件。由空载损耗公式 $P_0 = K_{Fe} \cdot P_i \cdot G_{Fe}$ (W)可知，铁芯一定的情况下，铁芯制造系数 K_{Fe} 和铁芯重量 G_{Fe} 是不变的，要降低空载损耗 P_0 ，只有降低单位损耗 P_i ，亦即降低磁通密度 B_m 。而

$$B_m = e_i \times \frac{10^8}{2.22 A_i}$$

在电压、频率不变，铁芯有效面积一定的情况下，只有减少每匝电压 e_i 才能使 B_m 降低，从而达到降低空载损耗的目的。

为了降低铜损和铁损，可用增加有效材料来实现。例如增加铁芯材料可减少磁密，而铁损和磁通密度的平方成正比，故可减少铁损。还可增加导线材料减少电流密度。因铜损与电流密度的平方成正比，故可减少铜损。

第二节 改造前检查

改造前必须查清原设备参数，作为计算依据，我国统一设计的中小型电力变压器主要产品系列有12种，其铁心参数等各有不同，实算时，为弄清各系列铁心硅钢片的性能和数据，观察铁心材质，首先弄清是冷轧片还是热轧片。冷轧片特点是：剪切可使用斜接缝结构，表面光滑有绝缘漆膜或另涂漆；热轧片特点是：剪切使用直接缝结构，表面波浪性大，涂漆较厚。热轧片厚度为0.35和0.5mm两种，前者比后者单位损耗要低12%左右，冷轧片旧变压器只有0.35mm厚一种，在国产D₄₁—D₄₄热轧片（D表示“电工”钢片，第一数字表示含硅量4%，第二数字表示电磁性能编号）的四个牌号中，多采用D₄₁、D₄₂两种，D₄₃少用，D₄₄基本无采用。这类硅钢片磁密最高取1.45T，少数制造厂取1.3—1.35T，但都不超过1.48T。国产冷轧片有第三个数字“0”表示晶粒取向冷轧片，有D₃₁₀、D₃₂₀、D₃₃₀、D₃₄₀四种，磁密最高取1.7T，一般出厂的带有灰色涂漆。国产Q₁₀（日产Z₁₀）冷轧片的表面涂层，作底的是灰白色的复合硅镁化合物，表层是磷酸盐无机涂层，即武钢的T₁或T₂编号涂层（日本标准为S₁或S₂涂层），两面涂层厚度为4—8微米。

第三节 改造前试验

一、空载试验

主要是测量空损和空载电流。当变压器正常情况下，测出的损耗值和空载电流可以判断变压器所采用的材料优劣和制造工艺好坏。

空损确定后，应和标准进行比较，如符合JB500—64标准，改制效果一般比较理想，如超出标准值时，可将该变压器心体吊出箱外，用增加低压线圈匝数的办法（见本章第四节），求得合格值，若测出的空损和空载电流较大，其原因可分如下几个方面：

1. 硅钢片间绝缘不良或部分短路；
2. 穿心螺杆或压板绝缘损坏；
3. 线匝间、线圈并联支路短路及各并联支路匝数不同；
4. 铁心叠装磁缝过大（剪切工艺太差）；
5. 绕组绝缘严重老化（甚至碳化）。

测试中如遇异常情况，采用单相空载试验，进行各心柱损耗测试，以利对比，找出故障原因。故障排除后测得值，为真正的性能参数。如故障排除后，测出之值仍超出JB500—64标准值30%以上时，该变压器就要综合考虑是否还有改造价值。

二、短路试验

是对额定负载损耗和阻抗压降进行测定。改前进行短路试验主要是为了取得原始数据，以便改制前后进行比较分析，至于阻抗压降在改制设计时，从线圈结构上应尽量把阻抗压降减少，以求达到新的标准规定。

第四节 匝数达到空损合格值的简便算法

变压器经过空载损耗、短路试验后，将求出的空载损耗、短路损耗、阻抗压降与标准对照，将其超出之值记下，用增加线圈匝数的方法进行试验，使其空载损耗值达到标准要求值（标准值正裕度包括在内），此时的线圈匝数即为空损达到合格值时的匝数。

增加线圈匝数的方法是：将变压器心体吊起移出油箱外，对于高低压绕组完好的变压器从低压侧施加三相额定电压（400伏），试出改前的空载损耗和电流等。尔后在每个高压线圈外部用1mm厚绝缘纸板紧绕三层，将原低压引线从低压套管上拆下，用相当于该变压器高压线圈所使用的导线线规，按原低压线圈绕向试验着绕临时线匝，并抽出若干头（一般2~3个头），此临时线圈和原低压线圈按匝数相加串接起来，然后再从临时线圈抽头上（三相抽头匝数应一致）施加三相额定电压（仍为400伏），通过调整抽头匝直至从功率表上读得空损合格为止。此时，设法弄清原低压匝数，再加上临时增加的匝数即为改造后的低压匝数，然后根据计算公式推算高压匝数。

高压线圈中如有短路损坏的线匝，应先拆除后再按上述方法进行试验。

对于低压线圈中如有短路损坏的线匝，应将低压线圈全部除去，在心柱上用0.5~1mm厚绝缘纸板紧绕一层后，用该变压器高压导线相近的线规绕临时匝数，并抽出适当

的调节线匝，联接成所需的临时接法。用上述试验方法进行试验求得空损合格值时的匝数。

因心体装入油箱后，由于杂散等损耗的影响，会使空载损耗增加，所以再加空损值的3~5%作裕度，上述方法简单易行，免去了复杂的计算。

第五节 降容改制设计计算

变压器铁心直径、线规和线圈排布，均与变压器阻抗电压、空载、短路损耗、空载电流有关。同时也与用铁、用铜（铝）量的多少有直接关系。这些参数中除阻抗电压外，其它均易调整。故一般应先满足短路电压要求后再考虑其它。计算时可选多方案比较，从中优选出最佳方案。

为了利用已废止的64标准变压器等，可将原容量适当降低，一般降低15~25%为宜，这由试验决定。即在正常情况下，当铁损符合JB500—64标准值的变压器，改制时初选磁密可选1.05T。当铁损达到标准正限值或稍高于正限值时，初选磁密可取1.0T；当铁损达到标准的负限值或稍低于负限值时，初选磁密可取1.1T。因电磁线选用等原因，一般可降一个容量等级（改制时的容量仍按R8系列容量等级选取。特殊情况也可采取R10系列的容量等级），要力争少降容。

为进一步降损节能，对适宜调容的变压器用户，可按调容变压器改制，使其达到节能变压器要求。改制成本虽大点，但改后效果更显著。

一、电流及电压计算

1. 根据所给定的容量，计算出额定电流，然后按照不同的线圈连接方式求得相电流。

$$(1) \text{ 额定电流: 高压侧 } I_1 = \frac{10^3 S_N}{\sqrt{3} U_1} (\text{A}) \quad \text{低压侧 } I_2 = \frac{10^3 S_N}{\sqrt{3} U_2} (\text{A})$$

式中： S_N ——额定容量(kVA)

U_1 、 U_2 ——分别为高、低压侧额定电压(V)

(2) 相电流：高压侧：星形联接 $I_{\phi 1} = I_1 (\text{A})$

$$\text{三角形联接 } I_{\phi 1} = \frac{I_1}{\sqrt{3}} (\text{A})$$

低压侧：星形联接 $I_{\phi 2} = I_2 (\text{A})$

$$\text{三角形联接 } I_{\phi 2} = \frac{I_2}{\sqrt{3}} (\text{A})$$

2. 变压器的额定电压均为线电压，而确定线圈匝数和进行电磁计算需要的是相电压，所以要根据线圈接线方式算出相电压，对于三相变压器：

$$\text{高压侧：星形联接 } U_{\phi 1} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} (\text{V}) \quad \text{三角形联接 } U_{\phi 1} = U_1 (\text{V})$$

低压侧：星形联接 $U_{\phi 2} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} (\text{V})$ 三角形联接 $U_{\phi 2} = U_2 (\text{V})$

二、导线选择

1. 小型变压器一次线径大都在 2.02mm 以下，二次线可选用扁线，其宽厚比，一般可取 1.5~3。

2. 导线截面计算：

$$\text{圆导线 } S_a = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad \text{扁线时 } S_a = K_o (a \times b)$$

式中：D——圆导线直径(mm)； K_o ——经验系数（取 0.97）；

a, b ——分别为扁线窄边和宽边尺寸(mm)；导线截面(mm^2)。

3. 校验电流密度：

线圈电流密度与短路损耗、温升以及变压器二次侧突发性短路时动、热稳定有关，其极限值是根据动、热稳定要求来确定的。通常要求铝导线电密不超过 2.3 安/毫米²，铜导线 4.5 A/mm²。在降容改造时，为降低损耗、提高效率，因此，电密取值应适当降低，其电密计算公式为：

$$J = \frac{I_{\phi}}{S_a} (\text{A/mm}^2)$$

三、铁心计算

为确定线圈匝数，计算空载损耗和空载电流，应分别计算出铁心截面积和重量。

1. 心柱（阶梯形）的总截面积 A'_o 及有效截面积 A_o

$$A'_o = 2(a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 \cdots + a_n b_n) (\text{cm}^2)$$

$$A_o = K_{Fe} A'_o (\text{cm}^2)$$

K_{Fe} ——压装系数，即心柱有效截面积对阶梯形面积的比值，可取 0.91~0.92。

为了简化计算，亦可采用下式计算心柱有效截面积 A_o ：

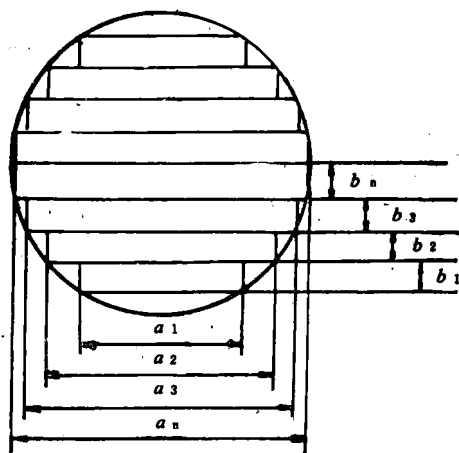
$$A_o = \frac{1}{4} \pi D^2 K_o (\text{cm}^2)$$

式中： K_o ——圆面积的总填充系数， $K_o = K_{RP} K_{Fe}$ 。

K_{RP} ——圆面积填充系数（阶梯形面积对圆面积的比值）见表 2—1。

2. 铁轭总截面、 $A_j = K_j A_o (\text{cm}^2)$

K_j ——铁轭放大系数，当铁轭截面为矩形时， $K_j = 1.05 - 1.15$ 。



$a_1 - a_n, b_1 - b_n$ 为每阶梯硅钢片的长和宽(cm)

图 2-1 阶梯形铁心截面图