

57
56441;9.2

393654

成都工学院图书馆
基本馆藏

机 修 手 册

(试用本修订第二版)

变 压 器 的 修 理

第一机械工业部变压器研究所编



机械工业出版社

57
41;9.2

变 压 器 的 修 理

(试 用 本)

第一机械工业部变压器研究所编



机 械 工 业 出 版 社

本手册共分五篇。第一篇：修理技术准备，第二篇：修理工艺，第三篇：设备的安装与保养；第四篇：动力设备的修理；第五篇：电气设备的修理。

第五篇共分9章，分别阐述电机、变压器、高压电器、配电线路、低压电器、机床电气设备、桥式起重机电气设备、感应加热和电弧炼钢炉电气设备、电焊机等修理，分成9个分册出版。

本分册是第五篇第二章，内容包括变压器修理，互感器修理，绝缘油的维护、试验与净化处理等三部分，但着重介绍变压器的修理。书中总结了我国部分厂矿的维修经验，可供现场维修的工人和技术人员参考。

变 压 器 的 修 理

(试用本修订第二版)

第一机械工业部变压器研究所编

*

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许可出字第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·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $3 \frac{3}{16}$ · 字数 104 千字

1967年12月北京第一版

1970年7月北京第二版·1972年9月北京第四次印刷

*

统一书号：15033·4051·定价0.35元

毛主席語录

社会主义革命和社会主义建設，
必須坚持群众路綫，放手发动群众，
大搞群众运动。

我們能够学会我們原来不懂的东西。
我們不但善于破坏一个旧世界，
我們还将善于建設一个新世界。

修 订 版 说 明

“机修手册”中“变压器的修理”一书，是我所在无产阶级文化大革命以前编写的，第一版于1967年12月出版。出版以后，收到广大读者的许多宝贵意见。在这一基础上，我们对该书的内容作了部分的修改和补充，增加了与维修有关的一些设计数据和资料，其他内容也有所修改。

我们希望，该书的再版能对维修变压器的兄弟单位起一点参考作用。但由于时间仓促，水平有限，无论从收集的资料和介绍的技术内容上来看，恐怕还不能满足广大维修工作者的需要。毛主席教导我们说：“**在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。**”我们希望广大从事变压器维修的工人同志和技术人员创造出更多的经验，对于书中的不足之处和错误提出更多的建议和批评意见，至为感谢。

第一机械工业部变压器研究所

1970年5月

目 次

变压器的修理

一、变压器设计计算的参数及说明	2
(一) 鉄心	2
1 鉄心直径的选择	2
2 叠片片数的选取	2
3 磁通密度要求	3
4 拆换不同牌号硅鋼片的要求	3
5 綫圈匝数与鉄心有效截面积的关系	4
(二) 变压比校核	5
(三) 电流密度的选择	5
(四) 温升	6
(五) 絕緣距离	7
1 空气中瓷套間的最小距离	7
2 油中裸带电零件到接地部分的最小距离	7
3 变压器的主絕緣距离	7
4 引綫絕緣的最小距离	8
5 引綫的选择	9
二、电力变压器的主要技术数据	10
(一) SJL 系列电力变压器的主要技术数据	10
(二) SJL ₁ 系列电力变压器的主要技术数据	16
(三) SJ ₁ 系列电力变压器的主要技术数据	26
(四) SJ ₈ 系列电力变压器的主要技术数据	36
三、变压器的日常维护与故障检查	40
(一) 变压器的日常维护	40
(二) 变压器的故障检查与分析	40
1 故障的检查方法	40
2 故障的分析	43
四、变压器的修理	45
(一) 修理的一般規定	45
1 停电检修的项目	45
2 修理的一般要求	45
(二) 一般修理	46
1 变压器内油泥的清洗	46

2 变压器漏油的修理	46
3 套管的修理	47
4 分接开关的检修	48
(三) 铁心的修理	49
1 硅钢片残废绝缘膜的清除	49
2 硅钢片的涂漆处理	49
3 铁心叠装的技术要求	50
4 铁心螺杆与铁轭螺杆的绝缘	51
5 铁心的接地	51
6 铁心柱的绑扎	52
(四) 线圈的绕制	53
1 线圈的绕向	53
2 线圈的换位	54
3 双层圆筒式线圈的换位法	54
4 螺旋式线圈的换位法	55
5 连续式线圈的换位法	57
6 线圈的出头绝缘	58
7 线圈的绕制方法	61
8 铝-铝导线的焊接	63
9 线圈的干燥、浸漆和烘干	64
(五) 变压器器身的干燥处理	65
1 干燥处理的一般要求	65
2 感应加热法	66
3 热风干燥法	67
4 烘箱干燥法	68
五、变压器的试验	68
(一) 试验项目和标准	68
(二) 铁心螺杆的绝缘试验	70
(三) 线圈绝缘电阻的测量	70
(四) 外施工频高压试验(耐压试验)	71
(五) 线圈连接组试验	72
(六) 变压比试验	75
(七) 空载试验	77
(八) 短路试验	79
(九) 线圈直流电阻的试验	80
(十) 油箱密封的试验	81
六、互感器的修理	81
(一) 电压互感器	81
1 电压互感器的型号	81

2 电压互感器的維修	82
3 电压互感器的試驗	82
(二) 电流互感器	84
1 电流互感器的型号	84
2 电流互感器的維修	85
3 电流互感器的試驗	86
七、绝缘油的维护、试验与净化处理	88
(一) 絕緣油的維護	88
1 絕緣油取試样試驗的周期	88
2 空气过滤器的使用	88
3 抗氧化剂的使用	89
4 絕緣油的混合	90
(二) 絕緣油的試驗	91
1 絕緣油的試驗类别和标准	91
2 油色的檢查	91
3 电气击穿强度試驗法	92
4 絕緣油的采样方法	94
(三) 絕緣油的净化处理	95
1 沉淀法	95
2 过滤法	95

毛主席語录

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己創造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条馬克思列宁主义的路綫，不是回避問題，而是用积极的态度去解决問題，任何人間的困难总是可以解决的。

变 压 器 的 修 理

本分册所介绍的变压器，是电压为 35 千伏及以下、容量为 6300 千伏安及以下的三相油浸自冷式电力变压器。按变压器产品系列而论，包括以下各系列产品。

1. 全国变压器产品统一设计系列：

(1) SJL 系列，容量 20~5600 千伏安，采用铝导线线圈和 0.35 毫米 D43 热轧硅钢片；

(2) SJL₁ 系列，容量 20~6300 千伏安，采用铝导线线圈和 0.35 毫米 D330 冷轧硅钢片。

2. 沈阳变压器厂产品设计系列：

(1) SJ 或 TM 系列，容量 10~5600 千伏安，采用铜导线线圈和 0.5 毫米热轧硅钢片，温升标准较现行标准均高 5°C，现已停止生产；

(2) SJ₁ 系列，容量 10~5600 千伏安，采用铜导线线圈和 D42 热轧硅钢片；

(3) SJ₂ 系列，容量 20~5600 千伏安，采用铜导线线圈和 D41 热轧硅钢片，体积较大，现已停止生产；

(4) SJ₀ 系列, 容量 180~5600 千伏安, 采用铜导线线圈和 0.35 毫米 Z11 (日本产) 冷轧硅钢片。

全国各变压器制造厂所生产的变压器均可参考本分册进行修理。

一、变压器设计计算的参数及说明

(一) 铁 心

1. 铁心直径的选择

铁心直径的大小, 直接关系到有效材料的使用量和变压器的技术指标。为了生产方便, 制造厂都有一系列标准铁心直径, 每个直径的有效截面积、级数及每级片宽等尺寸都是不变的。计算时先按经验公式算得一直径, 然后取大小差不多的标准直径进行计算, 经验公式如下:

$$D = K \cdot \sqrt[3]{P_z} \text{ (厘米)}$$

变压器铁心每柱容量 P_z (千伏安) 与变压器的额定容量 P (千伏安) 的关系见表 1。

系数 K 值随变压器容量、导线材料 (铜、铝导线)、铁心材料 (冷轧、热轧硅钢片) 的不同而有所差异, 可参照表 1 选取。

表 1 P_z 与 P 的关系及系数 K 的数值

变 压 器 类 别		三相双圈	三相三圈	单相双圈	单相三圈
P_z 与 P 的关系		$P_z = \frac{P}{3}$	$P_z = \frac{P}{2}$	$P_z = \frac{P}{2}$	$P_z = \frac{3}{4} P$
冷轧硅钢片的 K	铜 线	5.5	5.5	5.5	5.5
	铝 线	5.2	5.2	5.2	5.2
热轧硅钢片的 K	铜 线	6.3	6.3	6.3	6.3
	铝 线	6	6	6	6

2. 叠片片数的选取

铁心柱叠片的级数可参照表 2 选取。

表 2 铁心柱叠片级数的选取

心 柱 直 径 (毫米)	级 数
80~90	5
95~120	6
125~195	7
200~225	8
230~240	9
245~265	10
270~390	11

注 “级数”系指铁心截面半圆内的级数。

相邻的各级叠片宽度一般相差 5 毫米。有了级数和片宽，每级硅钢片的厚度就可以算出。

铁心的有效截面积为多级铁心柱的截面积乘以叠片系数。叠片系数与硅钢片表面的绝缘漆膜厚度、硅钢片的波浪性以及压紧程度有关。叠片系数越大，一定厚度的叠片数越多。叠片系数和 100 毫米厚硅钢片的片数列于表 3。

表 3 硅钢片的叠片系数和 100 毫米厚的片数

硅 钢 片 种 类	热 轧 (涂 漆 两 次)		冷 轧 (絕緣膜 再涂一次漆)
硅鋼片厚度(毫米)	0.35	0.5	0.35
叠片系数	0.9	0.93	0.95
叠片 100 毫米厚的片数	290	200	310

注 1. 冷轧硅钢片波浪性较差者应适当降低叠片系数；

2. 容量在 560 千伏安及以下者，有絕緣膜的冷轧硅鋼片就不再涂漆，无絕緣膜的冷轧或热轧硅鋼片均涂一次漆。

3. 磁通密度要求

铁心磁通密度是由硅钢片材质和变压器特性来决定的。国产 0.35 毫米及 0.5 毫米厚的 D41、D42 热轧硅钢片，最高磁通密度为 14500 高斯；0.35 毫米厚的 D310 或 D330 冷轧硅钢片最高磁通密度为 17000 高斯。磁通密度的要求，应使变压器空载损耗和空载电流不超过国家标准，否则应适当降低磁通密度或更换铁心直径。

4. 拆换不同牌号硅钢片的要求

检修时可能遇到有些铁心片损坏需要拆换，这时先要弄清原铁心片是冷

轧硅钢片或热轧硅钢片。冷轧硅钢片的特点是：斜接缝，表面光滑，有绝缘漆膜或另涂漆；热轧硅钢片的特点是：直接缝，表面波浪性大，涂漆较厚。原则上冷轧硅钢片铁心不用热轧硅钢片拆换，因设计时冷轧硅钢片采用磁通密度为 17000 高斯，比热轧硅钢片采用 14500 高斯高 17%。反之，原来铁心片是热轧硅钢片者，用热轧硅钢片或冷轧硅钢片拆换均可，只要能保持每级厚度和铁心一致即可。

5. 线圈匝数与铁心有效截面积的关系

变压器设计时或高、低压线圈因烧坏而无法查清其匝数时，可通过计算求出线圈匝数。通常，变压器高、低压线圈是套在同一铁心上的，铁心内总磁通为高、低压线圈所共有，因而高、低压线圈每匝感应电压相等，高、低压线圈的感应电压正比于线圈匝数，其关系式如下：

$$E = 4.44 B A_c N f 10^{-8} \text{ (伏)}$$

式中 E ——线圈电压 (伏)；

B ——最大磁通密度 (高斯)，热轧硅钢片 14500 高斯，冷轧硅钢片 17000 高斯；

A_c ——铁心有效截面积 (厘米²)；

N ——线圈匝数；

f ——频率 (赫芝)。

当 $f = 50$ 赫芝，取 $B = 14500$ 高斯时，线圈匝数为

$$N = \frac{450 E}{B A_c} \cdot 10^3 = 31.0345 \frac{E}{A_c}$$

当 $f = 50$ 赫芝，取 $B = 17000$ 高斯时，线圈匝数为

$$N = \frac{450 E}{B A_c} \cdot 10^3 = 26.4706 \frac{E}{A_c}$$

上述计算中所用电压均为线圈电压 (即相电压)。在计算时需要先算出线圈电压。线圈电压 E 和线端电压 E_n (即线电压) 的关系如下：

单相变压器串联接法时

$$E = \frac{E_n}{2} \text{ (伏)}$$

单相变压器并联接法时

$$E = E_n \text{ (伏)}$$

三相变压器丫形接法时

$$E = \frac{E_n}{\sqrt{3}} \text{ (伏)}$$

三相变压器△形接法时

$$E = E_n (\text{伏})$$

(二) 变压比校核

1) 计算低压线圈匝数 N_2 (取整数匝)

$$N_2 = \frac{450 E_2}{B A_c} \cdot 10^3$$

式中 E_2 ——低压线圈电压 (伏)。

2) 计算每匝电压 e_t (准确到小数点后第 3 位)

$$e_t = \frac{E_2}{N_2} (\text{伏})$$

3) 计算高压匝数 N_1 (取整数匝)

$$N_1 = \frac{E_1}{e_t}$$

式中 E_1 ——高压线圈额定电压 (伏)。

4) 校核变压比

高压线圈实际电压为:

$$E'_1 = N_1 \cdot e_t (\text{伏})$$

校核每分接电压的变压比误差值, 应合乎以下要求:

$$\frac{E_1 - E'_1}{E_1} \leq \pm 0.25\%$$

最后试验时, 允许变压比误差值为:

变比 $\frac{E_1}{E_2} > 3$ 时, 误差不超过 0.5%;

变比 $\frac{E_1}{E_2} \leq 3$ 时, 误差不超过 1%。

(三) 电流密度的选择

每单位截面积 (毫米²) 所通过的电流 (安培) 数为电流密度。电流密度 δ 可由下式计算:

$$\delta = \frac{I_a}{S} \text{ (安培/毫米}^2\text{)}$$

式中 I_a ——相电流 (安培);

S ——导线截面积 (毫米²), 并绕时为并绕导线截面积之和。

对于铜线圈, 要求 $\delta \leq 4.5$ 安培/毫米²; 对于铝线圈, 要求 $\delta \leq 2.3$ 安培/毫米²。

在修理工作中, 对于需要更换线圈和改压的变压器, 选用线圈导线截面 (线号) 的大小, 对变压器的损耗和温升有直接的影响。如线号过小, 电流密度就过大, 损耗就要增加, 温升就会增高。所以选用线号时, 必须考虑这一点。需要更换线圈的导线的选取应尽量与原规格导线相同, 如因条件和材料的限制, 必须改变导线规格时, 新选的导线线号与原线号上、下可相差一级, 否则可降低容量使用。

(四) 温 升

1) 变压器各部位的温升限值

变压器的指定部位 (如线圈、油顶层等) 的温度和冷却介质 (空气) 的温差 (°C) 称为温升。线圈的温升限值为 65°C; 油顶层温升限值为 55°C。

2) 电流密度和散热面积对温升的影响

在变压器修理时经常会遇到因线圈烧坏、改压或利用废旧铁心而需要重新绕制线圈。在此工作中除根据所需的电压等级考虑绝缘结构外, 还必须注意线圈的温升问题。如果选用的导线线号太小 (电流密度太大), 散热面积又小, 势必会导致温升过高, 特别是在满负荷运行时, 线圈温升会超出允许值, 使变压器使用寿命缩短, 甚至会烧毁变压器。因此, 必须选择合理的电流密度 (合理的导线规格) 和足够的散热面积。

在变压器修理中, 如需要更换油箱时, 应使新油箱的有效散热面积不小于原油箱的有效散热面积。如需要将圆管更换为以同一直径压成的扁管时, 在油箱有效散热面积相等的情况下, 应适当增加油管的散热面积, 其数值如下:

油管排数	所需增加的散热面积
1	9%
2	7%
3	5%

(五) 绝缘距离

1. 空气中瓷套间的最小距离 (表 4)

表 4 空气中瓷套间的最小距离 (毫米)

电 压 等 级 (千伏)	对称电极間距离	不对称电极間距离
6	80	80
10	110	110
35	300	315

- 注 1. 表中数据使用条件在海拔高度 1000 米以下;
 2. “对称电极間距离”系指高压侧或低压侧瓷套之间的距离;
 3. “不对称电极間距离”系指高、低压瓷套間的距离和高、低压瓷套到储油柜或接地部分的距离。

2. 油中裸带电零件到接地部分的最小距离 (表 5)

表 5 油中裸带电零件到接地部分的最小距离

电 压 等 级 (千伏)	試 驗 电 压 (千伏)	淨油絕緣距离 (毫米)
3~6	18~25	25
10	35	36
35	85	90

3. 变压器的主绝缘距离 (图 1、表 6、表 7)

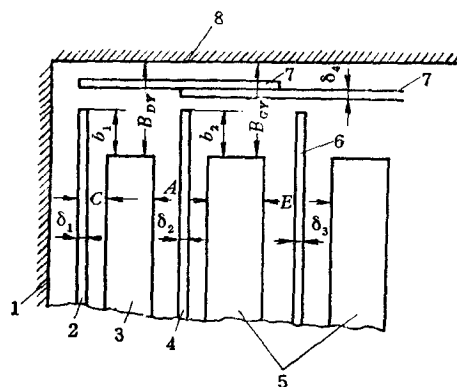


图 1 变压器的主绝缘尺寸:

1—心柱; 2—低压线圈绝缘筒; 3—低压线圈; 4—高压线圈绝缘筒; 5—高压线圈; 6—相间隔板; 7—铁轭护板; 8—铁轭。

表 6 变压器低压线圈的主绝缘距离 (毫米)

电压等级 (千伏)	线圈形式	c	δ_1	B_{Dv}	b_1
0.4	圆筒式	1	1	15	—
	饼式	10	4	20	—
3~6	饼式	10	4	25	15
10	饼式	10	4	30	20
35	饼式	25	4	65	45

表 7 变压器高压线圈的主绝缘距离 (毫米)

电压等级 (千伏)	试验电压 (千伏)	线圈形式	A	B_{GV}	E	b_2	δ_2	δ_3	δ_4
3~6	25	多层圆筒式	8	20	10	8	2.5	—	—
10	35	饼式	17	40	20	25	4	—	—
		圆筒式	10	25	12	10	2.5	—	—
20	55	圆筒式	18	45	20	30	4	3	—
35	85	圆筒饼式	27	65	25	45	4	3	3
40	95	圆筒饼式	30	70	30	50	4	3	3

4. 引线绝缘的最小距离 (图 2、表 8)

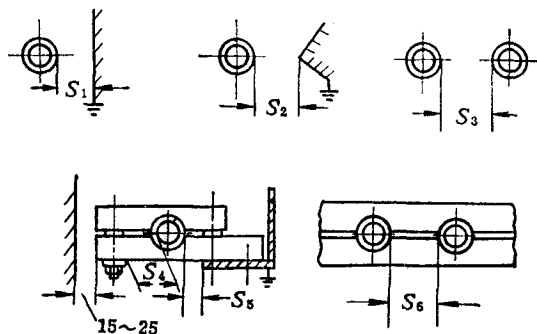


图 2 引线绝缘的距离:

S_1 —引线至平面的距离; S_2 —引线至尖角的距离;
 S_3 —引线至引线的距离; S_4 、 S_5 、 S_6 —引线沿木
 件或纸板的爬电距离。

表 8 引线绝缘的最小距离 (毫米)

絕緣級次 (千伏)	試驗电压 (千伏)	引綫最小直径	引綫絕緣厚度	S_1	S_2	S_3	S_4		S_5		S_6	
				引綫至平面	引綫至尖角	引綫至引綫	沿木件爬电	沿紙板爬电	沿木件爬电	沿紙板爬电	沿木件爬电	沿紙板爬电
0.4	5	2.44	0	10	10	10	25	20	25	20	25	20
3~6	18~25	2.44	0	15	15	15	40	25	35	25	35	25
			2	10	10	10	30	20	25	20	25	20
			3	7	7	0	25	20	25	20	0	0
10	35	2.44	0	20	18	18	50	30	45	30	50	30
			2	10	12	10	30	20	25	20	25	20
			3	1	1	0	—	—	—	—	20	15
35	85	4.1	0	50	60	50	175	110	175	110	175	110
			3	25	40	20	80	60	80	60	70	40
			6	20	30	10	60	40	60	40	50	30
			8	—	—	0	—	—	—	—	0	0

5. 引线的选择

选用引线时, 其电流密度可较线圈的电流密度稍大些, 但由于温升的限制也不易过大。考虑到引线的散热情况, 可根据引线每边的绝缘厚度不同而选取电流密度值。

当裸导线时取电流密度 $\delta \leq 4.8$ 安/毫米²;

当引线包绝缘厚 2 毫米时取 $\delta \leq 4.5$ 安/毫米²;

当引线包绝缘厚 3 毫米时取 $\delta \leq 4.5$ 安/毫米²;

当引线包绝缘厚 6 毫米时取 $\delta \leq 4$ 安/毫米²。

另外, 还应考虑到引线的机械强度及在高压时引线周围电场比较集中等因素, 虽然电流密度合适 (即符合温升要求), 但也要适当放大引线的直径, 如 35 千伏级引线的最小直径为 4.1 毫米。