



煤矿井下电工丛书

矿用变压器

开滦煤矿编



煤炭工业出版社

煤矿井下电工丛书

矿用变压器

开滦煤矿编



煤炭工业出版社

A 111580

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展。煤炭工业战线欣欣向荣，形势一派大好。

毛主席教导我们：“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。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

为了适应煤炭工业的迅速发展，满足煤矿电工为革命学习技术的迫切要求，我们组织了以工人为主体的“三结合”编写小组，结合总结煤矿电工的实践经验，并收集了有关技术资料，编写了《煤矿井下电工丛书》。

参加“三结合”编写小组的有：河北矿冶学院、开滦煤矿唐山矿、赵各庄矿、范各庄矿、林西矿、开滦煤矿机修厂、开滦大学附属技工学校的工人、技术人员和教师。在编写过程中，进行了调查研究、征求意见和修改补充。内容由浅入深，文字力求通俗易懂。结合煤矿生产实际选编了一些例题，便于读者掌握和运用电的技术知识。

在编写过程中，我们得到许多厂矿、科研与设计单位以及院校的大力支持，谨此表示感谢。

由于我们的政治思想水平和技术水平所限，加之时间仓促，书中定有不少缺点和错误，热诚地希望同志们提出批评、指正。

开 滦 煤 矿

一九七四年九月

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

目 录

第一章 变压器的构造与工作原理	1
第一节 变压器的分类	1
第二节 矿用变压器的构造	2
第三节 变压器的工作原理	8
第四节 变压器的铭牌	11
第五节 变压器的绝缘距离	14
空气中瓷套间的最小距离	14
油中裸带电零件到接地部分的最小距离	14
变压器的主绝缘距离	15
引线绝缘的最小距离	16
引线的选择	16
第六节 矿用变压器的主要技术数据	18
第二章 变压器的并联运行	32
第一节 变压器的极性	32
单相变压器的极性	32
三相变压器的极性	33
变压器极性的实验测定法	34
第二节 三相变压器联接组的组别	36
三相变压器的联接	36
三相联接组的组别, 原副边线电势的相位移	37
标准联接组	39
联接组的实验测定	39
第三节 变压器的并联运行	44
变压器正常并联运行的条件	45
变压器并联运行的步骤	46

短路电压不同的变压器并联运行的负载分配	47
变比不等的变压器并联运行	50
第三章 矿用变压器的维护与修理	53
第一节 矿用变压器的维护	53
对变电硐室的要求	53
矿用变压器在井下运输、安装时的注意事项	54
矿用变压器的日常维护及检查	56
第二节 矿用变压器的故障与分析	58
变压器漏油	58
接线处松脱、线柱烧毁	59
变压器铁芯故障	59
变压器线圈故障	60
瓷套管故障	61
分接开关故障	61
第三节 矿用变压器检修的一般要求	61
第四节 矿用变压器的一般修理	62
变压器内油泥的清洗	62
变压器漏油的修理	63
套管的修理	65
分接开关的修理	68
油枕的修理	68
第五节 器身的拆卸与检查	69
器身的检查	69
器身的拆卸	70
第六节 铁芯的修理	72
穿心螺杆绝缘的修理	72
硅钢片残废绝缘膜的清除	74
硅钢片的涂漆处理	74
铁芯的拆卸和叠装	76

第七节 线圈的修理	78
旧导线的重新绝缘	78
线圈的绕制	79
绕线模	89
导线的焊接	92
线圈的干燥、浸漆和烘干	93
变压器的改统计算	94
第八节 绝缘零件的制作	96
撑条的制作	96
电木胶纸筒的制作	97
第九节 变压器器身的组装	99
安装主绝缘及套装线圈	99
上铁轭的插装和接地片的安装	100
引线装配	100
第十节 变压器器身的干燥处理	101
干燥处理的一般要求	101
热风干燥法	101
烘箱干燥法	102
感应加热法	102
“零序”电流干燥法	103
第十一节 变压器的试验	106
试验项目和标准	106
穿心螺杆的绝缘试验	108
线圈绝缘电阻的测量	109
工频高压试验(耐压试验)	110
空载试验	112
短路试验	113
线圈直流电阻的试验	115
第十二节 绝缘油的净化处理和试验	116

绝缘油的净化处理	116
绝缘油的混合	118
绝缘油的试验	118
绝缘油的采样方法	122
第四章 小功率变压器的计算	124
第一节 单相小功率变压器的计算	124
制造小变压器的材料	124
小功率变压器的计算	125
第二节 三相小功率变压器的简略计算	131

第一章 变压器的构造与工作原理

第一节 变压器的分类

变压器是一种用来降低或升高电压的电气设备。它是矿山供配电的主要设备，用来改变电源电压，以适应矿山各种用电设备的需要。

根据煤矿生产的特点，可分为矿山地面用变压器与矿用变压器两大类。矿山地面用变压器就是一般电力变压器。在井下则采用矿用变压器。

根据变压器的用途，主要可分为下列各类：

1. 电力变压器和矿用变压器——这种变压器主要用在矿山供配电系统里；
2. 供给特殊电源用的变压器——例如整流用变压器，各种电焊变压器等；
3. 量测变压器——如电流互感器，电压互感器；
4. 调压变压器——用来调节供电的电压，小容量的调压变压器也应用在实验室中；
5. 试验用高压变压器——产生高电压作高压试验用；
6. 控制用变压器——用于自动控制系统里的小功率变压器等。

根据变压器本身的结构，可以分为：

1. 双绕组变压器；
2. 自耦变压器；

3. 三绕组变压器；

4. 多绕组变压器。

应用最广泛的是双绕组变压器。

如果按相数来分，则有：

1. 单相变压器；

2. 三相变压器；

3. 多相变压器（例如整流用六相变压器）。

根据变压器冷却条件来看，煤矿用变压器主要有：

1. 油浸变压器——现在生产的绝大多数电力变压器都属于这一类，变压器的铁芯与线圈完全浸在变压器油里。这种变压器又分为：

1) 油浸自冷变压器；

2) 油浸吹冷变压器——这种变压器在散热器上装鼓风机吹冷。

2. 干式变压器——这种变压器没有变压器油，铁芯及线圈用空气直接冷却。

第二节 矿用变压器的构造

矿用变压器分为矿用动力变压器和矿用干式变压器两种。矿用动力变压器是充油不隔爆的，矿用干式变压器是隔爆的，但不充油。矿用变压器为了适应井下的工作条件，其结构上的特点主要反映在油箱结构及进出线装置与地面用变压器不同，其内部结构与普通变压器一样。图 1-1 为矿用动力变压器的外形尺寸，图 1-2 为矿用干式变压器的外形，图 1-3 和下表为矿用干式变压器的结构尺寸。

矿用变压器的构造可分为下列几个主要组成部分：

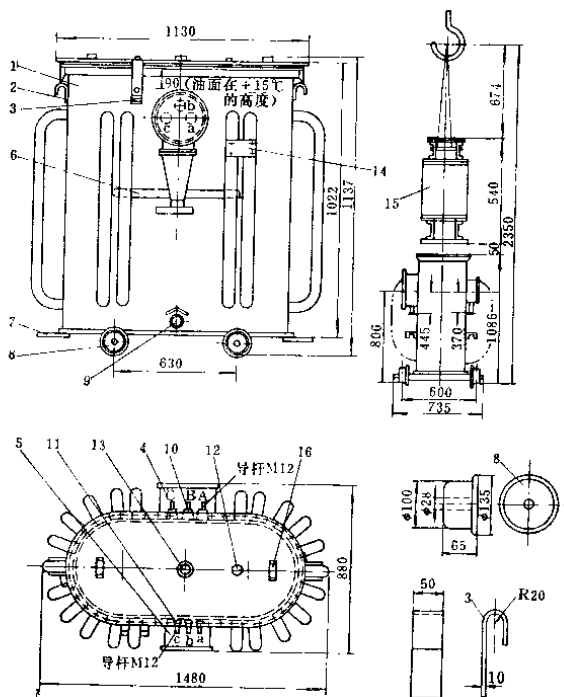


图 1-1 KSJ_J型变压器外形尺寸

- 1—油箱；2—吊攀；3—油表；4—高压接线盒；5—低压接线盒；6—地线螺丝；7—拉板；8—滚轮；9—放油塞；10—高压瓷套管；11—低压瓷套管；12—温度计座；13—注油塞；14—铭牌；15—器身；16—吊铁

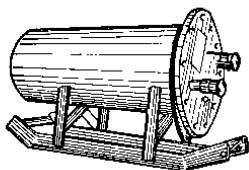


图 1-2 矿用隔爆干式变压器

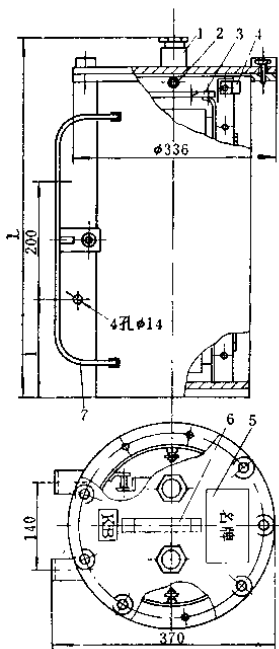


图 1-3 矿用隔爆干式
变压器结构尺寸

1—出线盒；2—接地螺丝；
3—接线板；4—定位件；5—
铭牌；6—吊攀；7—拖架

型 号	L	Z	总重(公斤)
KSG-2.5/0.5	605	160	70
KSG-4/0.5	635	170	90

1. 油箱

油箱是用钢板焊成的变压器的外壳。油箱的上部用盖板加垫圈密封起来。油箱里面除装置铁芯、线圈外，还装有变压器油。变压器油是一种很好的绝缘油，它不仅冷却线圈和铁芯，同时还增强了各线圈之间以及线圈与铁芯之间的绝缘性能。在使用中一定要保持变压器油的洁净，因为少量的杂质和水分存在，都会使变压器油的绝缘强度大为降低。矿用动力变压器的油箱上不装油枕。因为油枕不仅增加了变压器的高度，同时当连接油枕与油箱的管子一旦被堵塞，而变压器内部又发生故障时，油箱内部将产生大量气体，有可能造成油箱爆炸。

由于没有油枕，所以变压器油箱内就不能充满油，而必须留一定的空间，以备绝缘油受热膨胀之用。

箱盖内面涂防潮冷凝漆，防止潮气冷凝水滴入芯体，箱盖上装有注油塞及温度计座，注油塞上有通气孔，在变压器发热时，保证空气逸出，也作注油用。

矿用干式变压器为隔爆型变压器，其箱壳可经受 8 个大气压力的水压试验，箱盖与箱沿之接触面符合隔爆要求，为了适应工作而的推进而经常移动，在外壳的下面还装有拖架。

2. 散热器

在油箱壁的垂直方向焊上油管或装上散热器。散热器不

仅增加了散热表面，而且促进了油箱内油的对流作用，可以更快地把热量带出来。

3. 接线盒

矿用变压器的进出线装置采用接线盒，为了加强绝缘，在接线盒中一般均灌注绝缘胶。

4. 铁芯

矿用变压器的铁芯与电力变压器一样，是变压器的磁路系统。原绕组和副绕组都套在铁芯上。

为了降低铁芯损耗，变压器的铁芯是由 0.35 或 0.5 毫米厚的硅钢片叠装起来的。在叠装之前，钢片的两面应涂以绝缘漆并烘干，使片与片之间绝缘起来。

铁芯用裁成长条的硅钢片叠装而成，在叠钢片时，每层将接缝错开，如图 1-4 中所示的上面一种排法和下面一种排法交替着叠起来。叠到一定尺寸后，用螺杆或夹件夹紧后就成为一坚固的铁芯整体，在装绕组时，先把上面铁轭的钢片

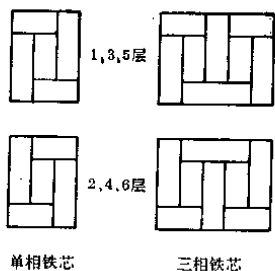


图 1-4 铁芯各层钢片的安放位置

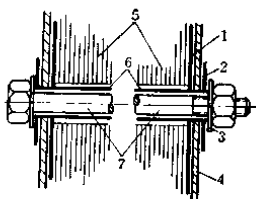


图 1-5 铁芯穿心螺杆的绝缘

1—压板绝缘；2—绝缘垫圈；
3—金属垫圈；4—压板；5—硅
钢片；6—穿钉绝缘；7—穿钉

抽出，套上线圈后再插回去重新夹紧。

硅钢片与夹紧螺杆之间要加绝缘，螺栓要用绝缘纸管或薄纤维板包裹起来，螺帽和压板下面要用绝缘垫隔开，见图1-5。

铁芯柱的截面在小型变压器里是方形或长方形的，而在大型变压器里，为了充分利用空间，铁芯柱的截面是阶梯形的，见图1-6。随着铁芯柱直径的增加，阶梯的级数也增多，相应地，铁轭也采取了长方形或阶梯形的截面，如图1-7。

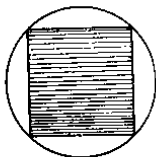


图 1-6 铁芯柱的截面

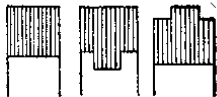


图 1-7 铁轭截面

5. 线圈

线圈又称为绕组，在一个变压器内有两种电压的线圈——高压线圈和低压线圈。绕组是由棉纱绝缘或电缆纸绝缘的圆形或长方形截面的导线绕成的。小型变压器也用纱包铜线。绕组一般都做成圆筒形，套在铁芯外面，按照高压绕组与低压绕组相互之间的布置和绕组在铁芯柱上的安排方法，常用的绕组有同心圆筒形和交叠式盘形两种。

圆筒形线圈的特点是将高、低压线圈以同心圆套在铁芯上，一般低压线圈在里面，靠近铁芯，高压线圈在外面，见图1-8。高压与低压线圈之间和低压线圈和铁芯柱之间都必须有一定的绝缘间隙，并以绝缘纸筒隔开。

交叠式盘形绕组的高压和低压线圈按交替的次序安放在

铁芯柱上，最上及最下层靠铁芯的放低压线圈，见图 1-9。这种绕组高低压线圈之间的间隙较多，绝缘比较复杂。这种绕组主要用在大型电力变压器中。

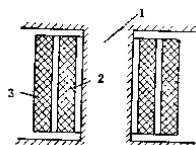


图 1-8 圆筒形绕组
1—铁芯；2—低压绕组；
3—高压绕组

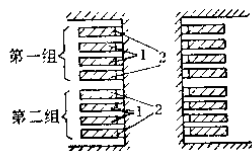


图 1-9 交叠式绕组
1—高压绕组；2—低压绕组

第三节 变压器的工作原理

图 1-10 是一台单相双绕组变压器的示意图。在同一铁芯上套有两个绕组。一般我们把接到交流电源的绕组称为原绕组，或称为原边、一次边。而把接到负荷（也叫负载）的绕组称为副绕组，或称为副边、二次边。原、副绕组之间通过铁芯这一共同的磁路链在一起，通过电磁感应，在两个电路之间实现能量传递。

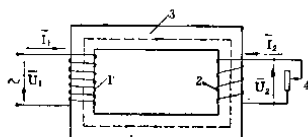


图 1-10 单相双绕组变压器的示意图
1—原绕组；2—副绕组；3—铁芯；4—负载

当原绕组接通交流电源，而副绕组开路时，变压器原边有一较小的电流输入，称为变压器的无载电流（或空载电流）。这时在变压器的铁芯中将产生交变磁通，根据电磁感应原理，铁芯中的交变磁通将在原、副绕组中产生感应电势。根据电磁感应定律，感应电势 E 与磁通量 ϕ 之间的关系应如下式所示

$$E_1 = 4.44fN_1\phi \quad (1-1)$$

式中 E_1 ——原绕组感应电势；

4.44——常数；

f ——铁芯中交变磁通的频率；

N_1 ——原绕组的串联匝数；

ϕ ——铁芯中的磁通。

同理，副绕组中感应电势

$$E_2 = 4.44fN_2\phi \quad (1-2)$$

式中 N_2 ——副绕组的串联匝数。

将式(1-1)被式(1-2)除，则得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-3)$$

上式说明变压器的原、副绕组感应电势之比与原、副绕组的匝数之比相等。这个比值叫做变压比（或叫变比），用字母“ K ”表示。

在正常运行条件下，电力变压器的原边电压 U_1 与原边电势 E_1 是近似相等的，副边电压 U_2 也近似等于副边电势 E_2 ，所以

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-4)$$

这表明变压器的原、副边电压之比等于原、副绕组匝数