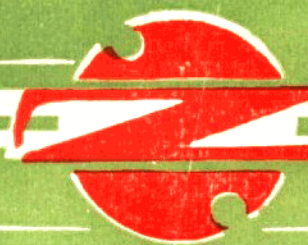


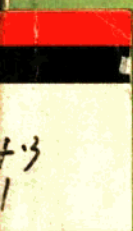
電力機車技術

(韶山型系列資料)

主變壓器、平波電抗器、高壓互感器分冊



1989 增刊



目 录

第一章 主变压器	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 机车主变压器的特点和SS型机车主变压器的技术参数	(2)
第三节 主变压器铁芯	(9)
第四节 主变压器绕组	(14)
第五节 器身绝缘结构及引线组装、焊接	(30)
第六节 油箱、箱盖和储油柜	(38)
第七节 冷却系统	(39)
第八节 保护装置	(40)
第九节 变压器油的主要物理性能	(42)
第十节 主变压器例行试验	(44)
第十一节 使用维护与故障	(50)
第二章 平波电抗器	(53)
第一节 概述	(53)
第二节 平波电抗器的主要技术参数	(53)
第三节 平波电抗器的结构	(55)
第四节 平波电抗器的例行试验	(62)
第五节 使用注意事项及常见故障	(63)
第三章 高压互感器	(63)
第一节 互感器的工作原理	(63)
第二节 高压电流互感器	(66)
第三节 高压电压互感器	(69)

本分册撰稿: 任德澄
林 泓

U2643
001

第一章 主 变 压 器

第一节 概 述

变压器的用途十分广泛、种类繁多，在社会的生产和生活中，每种用电设备、器具需要各种不同等级的电源电压，从几伏到数百千伏，都可通过变压器得到。

变压器是利用电磁感应原理进行工作的。闭合的铁芯上套着两个绕组就构成了简单的变压器。接向交流电网的绕组为一次绕组，匝数 W_1 ，二次绕组匝数 W_2 ，在频率为 f 的电网电压 U_1 作用下，铁芯中产生交变磁通（最大值 ϕ_m ），两个绕组因交变磁通分别感应起电势：

$$E_1 = 4.44fW_1\phi_m$$

$$E_2 = 4.44fW_2\phi_m$$

变压器空载时，空载电流 I_0 很小，另外，绕组电阻压降、漏磁等也很小，可以忽略不计。于是感应电势等于端电压，则：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

即适当选择一、二次绕组的匝数比，就可以把一次侧电压改变为所需要的二次侧电压，这就是变压器能变压的道理。

空载电流可以说就是激磁电流，在铁芯中建立主磁通。当一次侧电压不变时，可以认为激磁电流不变，主磁通不变。当二次侧加负载流过电流后，该电流产生的磁势有改变主磁通的趋势，一次侧要保持主磁通不变，必将输入电流来抵消二次侧产生的磁势。这就是说，一次绕组电流分为两部分，一部分用来激磁，这部分电流很小，TBQ系列主变

压器空载电流只占网侧绕组额定电流的百分之一左右；大部分电流用来平衡二次绕组电流产生的磁势，而且这一部分电流随二次绕组电流的增减而增减。变压器就是通过这种平衡作用，实现从一次侧到二次侧的能量传输，而且传输效率很高。

为了正确使用，评价变压器，还要规定一些参数，这些参数一般都标注在变压器铭牌上。主要的参数有：

额定容量：绕组额定电压和额定电流的乘积，并用千伏安（kVA）表示。通常主变压器有几个二次绕组，则应指明每个绕组的额定容量。网侧绕组和各个二次绕组额定容量的算术和的一半，即为变压器的型式容量。

额定电压：变压器空载时，绕组端电压的保证值，单位伏或千伏。（V或kV）

额定电流：绕组的额定电流是指该绕组能长期承受不超过规定温升限值的电流有效值，而其它经常带负载的绕组也通以它们的额定电流。

牵引绕组额定电流：是对应于额定分接。

空载损耗：当以额定频率的额定电压施加于一个绕组的端子上，其余绕组开路时，所吸取的有功功率，单位瓦（W）。

空载电流：当以额定频率的额定电压施加于一个绕组的端子上，其余绕组开路时，流经此线路端子的电流，通常以额定电流的百分比表示。

负载损耗：当额定电流流经一个绕组的线路端子，而另外一个绕组端子短接时，在额定频率下吸取的有功功率，单位瓦或千瓦

(W或kW)。

阻抗电压：当一侧绕组的端子短路，以额定频率的电压施加于另一侧绕组的端子上，并使其中流过额定电流时所施加的电压。一般以额定电压的百分数来表示。

第二节 机车主变压器的特点和SS型机车主变压器的技术参数

机车变压器的工作原理同其它变压器一样，但机车主变压器装在运行的机车上，其工作环境条件与一般民用变压器不同，特点是：

1、耐振动和冲击。机车运行中所受到的振动和冲击，同样传递给变压器。因此主变压器应具有足够的强度和刚度，所有连接紧固件应有防松装置和措施。

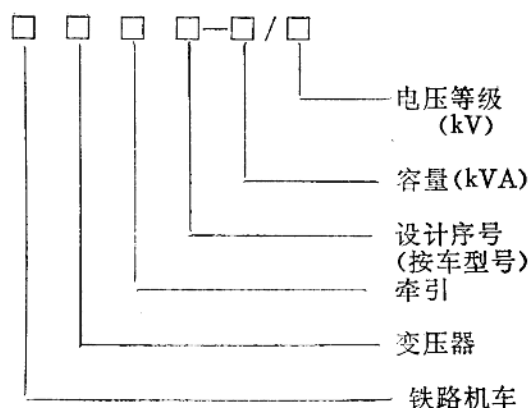
2、电压波动范围大。我国干线电气化铁道接触网的额定电压为 $25 \pm 1\%$ 千伏，即从19kv至29kv，主变压器铁芯和绕组绝缘的设计留有足够的裕度，以满足高压网下工作的要求。

3、要求重量轻、体积小。机车的重量和空间有限，主变压器在设计上采用铜导线、高导磁率的硅钢片、强迫油循环冷却；工艺上采用真空干燥，真空注油等措施，来减轻重量和缩小体积。

4、阻抗电压要求高。因二次侧有较高的短路电流，故二次绕组的任一抽头间的阻抗电压不能太小，且要求各级阻抗电压尽可能一致，以满足机车调压和短路保护的需要。

5、绕组多。为满足机车各电压电路的需要，机车主变压器一般有网侧绕组，牵引绕组、辅助绕组、励磁绕组等。有的绕组有多个抽头，绕组布置交叉。给线圈绕制带来难度。

主变压器是交流电力机车上的一个重要部件，它将接触网的电压变换为机车各电路所需要的电压。主变压器的型号规定如下：



例如：SS3型电力机车主变压器的型号为：TBQ3—7000/25即电压等级为25kV，容量为7000kVA。3表示用于SS₃型机车。

机车上主变压器与其它部件比较，体积大，重量重，一般都安装在机车中部，一部份在车体内，一部分在车体底架下部。通常都从车顶吊入，通过枕座或固定板安装在车体底架的梁上。

主变压器主要由器身（包括铁芯、绕组、引线等）、油箱和箱盖、冷却系统、保护装置、出线装置及变压器油等组成。图1—1、图1—2、图1—3分别为TBQ1—6300/25、TBQ3—7000/25、TBQ4—4760/25型主变压器外型结构图。它们的主要技术数据分别见表1—1、表1—2、表1—3、线路原理见图1—4、图1—5、图1—6。

TBQ1—6300/25型主变压器用于SS₁型电力机车。

TBQ1型主变压器有网侧绕组、牵引绕组、辅助绕组和励磁绕组。其中牵引绕组分基本绕组与调压绕组，两个调压绕组各有9个抽头，与基本绕组配合，经调压开关转换和反、正接串联，构成机车主电路33个调压级，经整流供电给牵引电动机。

变压器器身悬挂在油箱盖下面。SS₁型130号车以前是通过4根吊螺杆将器身紧固在箱盖下，一起吊入油箱。铁心底脚上的4个定位孔套在油箱底上的4个对应

表1—1

TBQ1-6300/25型变压器技术数据

绕组名称	网侧绕组	牵引绕组	辅助绕组		励磁绕组
额定容量 (kVA)	5770	2×3900	270	11	93.6
额定电压(V)	25000	2×2040	396	230	167
额定电流(A)	231	1910	685	50	560
出线端子	A X	$a_1, x_1, 1 \sim 8, 0_1$ $a_2, x_2, 9 \sim 16, 0_2$	a_3, x_3	a_4, x_4	b_1, b_2

整流电路：单相工频单拍

调压方式：低压侧有载调压

各调压级输出空载电压： $40 + (n - 1) \times 125 / 2$ V (n从1~33)

空载电流：1.15%

空载损耗：5400W

负载损耗：111.145kW

阻抗电压：网侧绕组—牵引（33级）10.3%

网侧绕组—辅助 3.35%

网侧绕组—励磁 2.56%

外施耐压试验：50Hz 1 min

网侧绕组对地及其它绕组 5 kV

牵引绕组对地及其它绕组 15kV

辅助绕组对地及其它绕组 5 kV

励磁绕组对地及其绕组 5 kV

感应耐压试验： $240\% U_N$, 200Hz 30 S

此时网侧绕组（X端接地）电压：60kV

冷却方式：强迫油循环风冷，风量18000m³/h 环温40℃

重量：器身重——5580kg

油箱及附件——3000kg

油重——2660kg

总重——11240kg

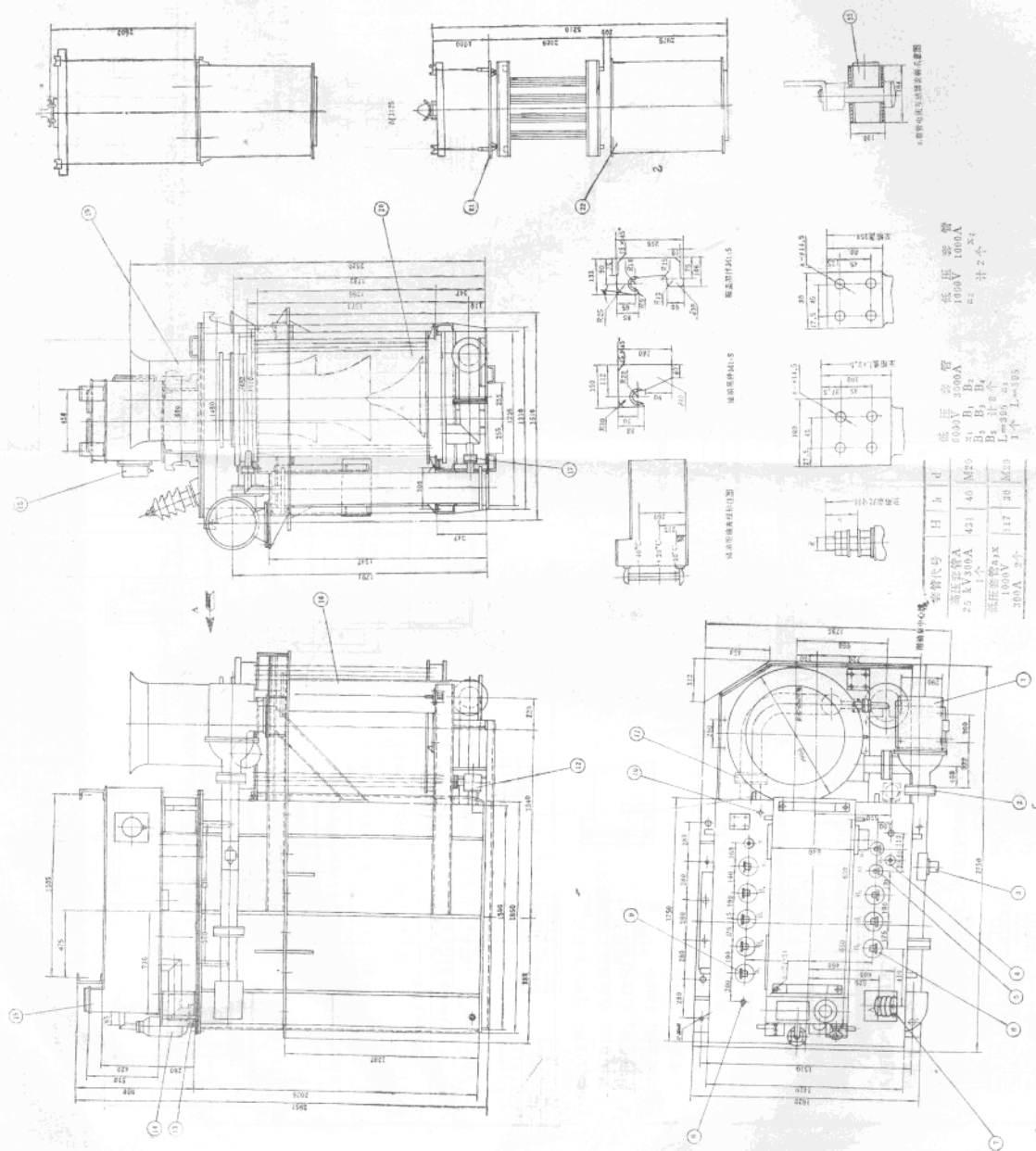


图 1—2 TH03—7000/25 型主变压器

1. 潜油泵 QP—80/20 12kW 2. 油路门 3. 油路门 4. 套管 BF—1/500 5. 套管 BF—1/1000 6. 套管 BF—6/3000 7. A 型套管 BF—25/3000 8. 温度计 9. 套管 BF—25/3000 10. 绝缘门 11. 绝缘门 12. 绝缘门 13. 绝缘门 14. 绝缘门 15. 绝缘门 16. 绝缘门 17. 绝缘门 18. 绝缘门 19. 绝缘门 20. 绝缘门 21. 绝缘门 22. 绝缘门 23. 绝缘门

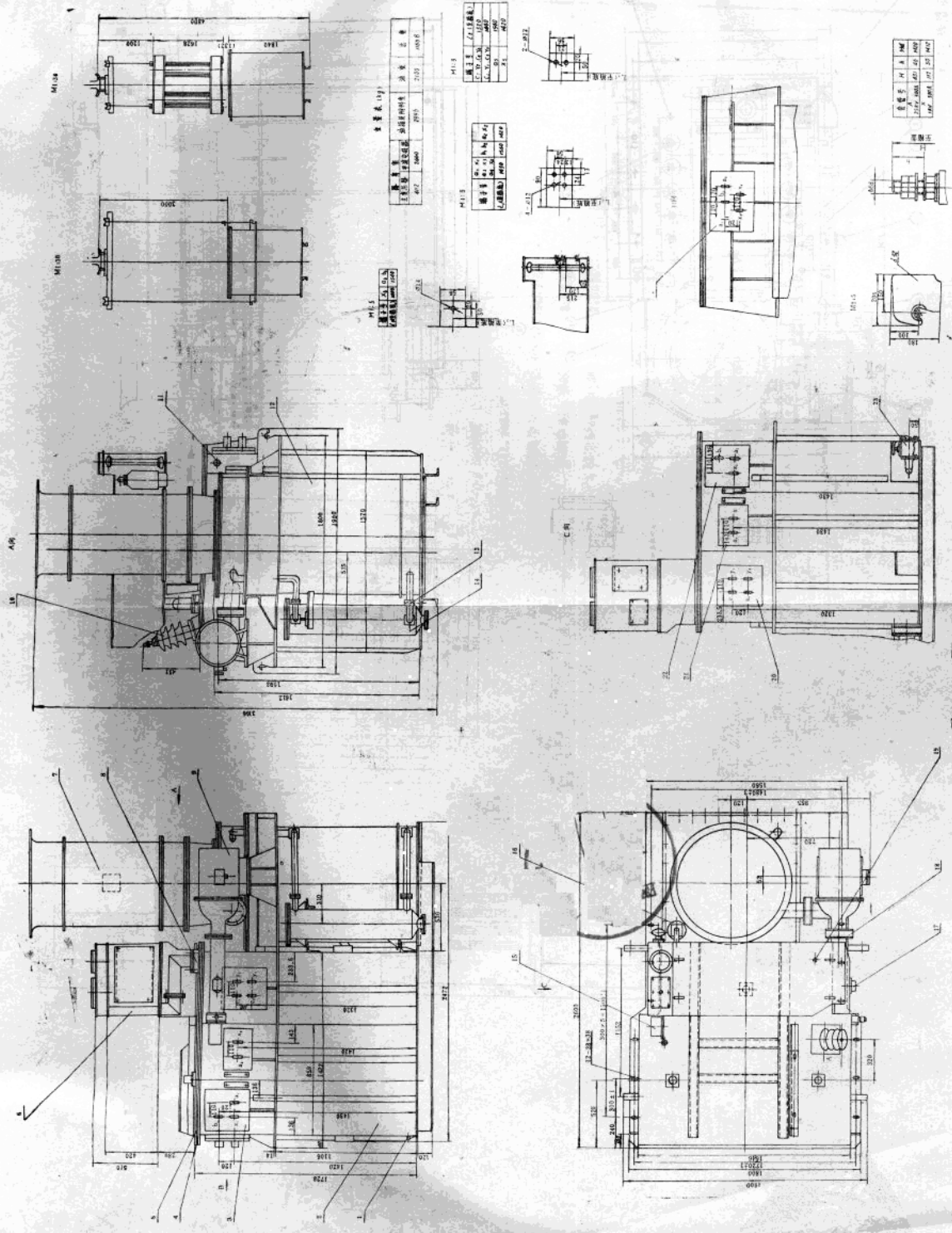


图 1—3 TEO4—4760/25型主变压器及平流电抗器
 1. 油箱 2. 油位计 3. 油泵 4. 散热器 5. 冷却风扇 6. 油枕 7. 油流继电器 8. 油流继电器 9. 油流继电器
 10. 油流继电器 11. 油流继电器 12. 油流继电器 13. 油流继电器 14. 油流继电器 15. 油流继电器 16. 油流继电器
 17. 油流继电器 18. 油流继电器 19. 油流继电器 20. 油流继电器 21. 油流继电器 22. 油流继电器 23. 油流继电器
 24. 油流继电器

表1—2

TBQ3—7000/25型主变压器技术数据

级 位	网侧绕组A·X			牵 引 绕 组			辅助绕组 a_2x_2/a_2a_3			
	容 量 (kVA)	电 压 (kV)	电 流 (A)	出 头 标 志	容 量 (kVA)	电 压 (V)	电 流 (A)	容 量 (kVA)	电 压 (V)	电 流 (A)
8	6925	25	277	$a_1x_1 + b_1b_2$	6599	2222	2970	319/436	396.8 /218	805/20
7	6100		244	$a_1x_1 + b_1b_2$	5776	1945				
6	5275		211	$a_1x_1 + b_1b_2$	4950	1667				
5	4450		178	$a_1x_1 + b_1b_2$	4125	1389				
4	3625		146	a_1x_1	3300	1111				
3	2800		112	$a_1x_1 - b_1b_2$	2475	833.4				
2	1975		79	$a_1x_1 - b_1b_2$	1650	555.6				
1	1150		46	$a_1x_1 - b_1b_2$	825	277.8				

整流电路：单相工频桥式

调压方式：级间调压，正反接共8级

空载电流：0.70%

空载损耗：5400W

负载损耗：133.83 kW

阻抗电压：网侧绕组——牵引（8级） $13.58 \pm 10\%$

网侧绕组——辅助 2.12

外施耐压试验：50Hz 1 min

网侧绕组对地及其它绕组 5 kV

牵引绕组对地及其它绕组 7 kV

辅助绕组对地及其它绕组 5 kV

感应耐压试验：240% U_N ，200Hz，30S

此时网侧绕组(X端接地)，电压60kV

内绝缘冲击试验电压(全波)：130kV

外绝缘冲击试验电压(A瓷瓶处)：150kV

外绝缘工频试验电压 1min 70kV

冷却方式：强迫油循环风冷，风量18000m³/h，环温40℃

重量：器身——5600kg

油箱及附件——3998kg

油重——2944kg

总重——12500kg

表1—3 TBQ4—4760/25型主变压器技术数据

电压 位 级	网侧绕组 A X		牵 引 绕 组				辅助绕组 a_6x_6/b_6x_6			励磁绕组 a_5x_5			
	容 量 (kVA)	电 压 (V)	电 流 (A)	出 头 标 志	容 量 (kVA)	电 压 (V)	电 流 (A)	容 量 (kVA)	电 压 (V)	电 流 (A)	容 量 (kVA)	电 压 (V)	电 流 (A)
4 4 电 压	4760	25	190.4	$a_1x_1 + a_2x_2$ $a_3x_3 + a_4x_4$	4510	2×1342.3	1680	250 22.4	391.5 223.7	638.6 100	94	111.9	840
3 4 电 压	3632.5		145.3	$a_1b_1 + a_2x_2$ $a_3b_3 + a_4x_4$	3382.5	2×1006.7							
2 4 电 压	2505		100.2	$a_1x_1(a_2x_2)$ $a_3x_3(a_4x_4)$	2255	2×671.1							
1 4 电 压	1377.5		55.1	$a_1 \quad b_1$ $a_3 \quad b_3$	1127.5	2×335.6							

整流电路：单相工频二段桥式

调压方式：可控硅相控调压

空载电流：1.4%

空载损耗：6400W

负载损耗：62.654kW

阻抗电压：网侧绕组——牵引11.30%

网侧绕组——辅助1.96%

网侧绕组——励磁1.60%

外施耐压试验：50Hz 1min

网侧绕组X端对地及其它绕组 5kV

牵引绕组对地及其它绕组 5.1kV

一组牵引绕组对地及其它绕组（包括
另一牵引绕组） 5.1kV

辅助绕组对地及其它绕组 5kV

励磁绕组对地及其它绕组 5kV

感应耐压试验：240% U_H ，200Hz30S

网侧绕组(X端接地)电压60kV

内绝缘冲击试验电压(全波) 130kV

外绝缘(A瓷瓶处)冲击试验电压(全波) 150kV

外绝缘(A瓷瓶处)工频试验电压 1min 70kV

冷却方式：强迫油循环风冷，风量

18500m³/h 环温40℃

重量：器身——4220kg

油箱及附件——3263kg

变压器油——2125kg

总重(包括平波电抗器)——12168kg

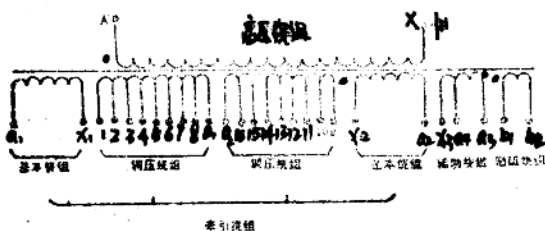


图1—4 TBQ1—6300/25型
主变压器线路原理图

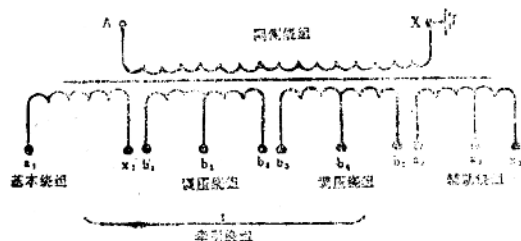


图1—5 TBQ3—7000/25型
主变压器线路原理图

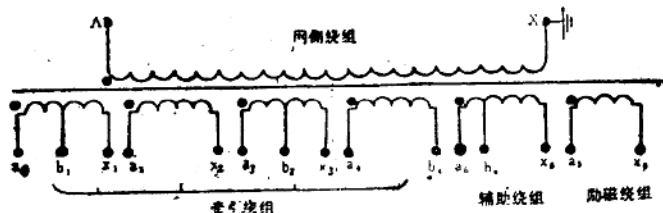


图1—6 TBQ4—4760/25型
主变压器线路原理图

的定位钉上。器身底脚至箱盖的高度略大于油箱的深度，箱盖与油箱用螺栓紧固，以箱盖压住器身。这样，器身在油箱中“顶天立地”，不易上下、左右、前后窜动。这种结构调节裕度大，安装方便，但在机车长期运行中受到振动和在冲击力作用下，存在螺杆螺母松动现象，使引线片折损。SS₁型从131号车开始，主变压器器身和箱盖的连接改为角钢结构。此结构虽调节裕度小些，但稳定性好，克服了引线折损的缺点。

绕组出线端子通过固定在箱盖上的瓷套管引出。

TBQ3—7000/25型主变压器用于SS₃型电力机车。

TBQ3型主变压器有网侧绕组、牵引绕

组、辅助绕组。其中牵引线组分基本绕组和调压绕组，两个调压绕组各有3个抽头，与基本绕组配合，经调压开关切换和反、正接串联，构成8个调压级，级间通过晶闸管平滑调压整流后，经牵引电动机的端电压获得从0—8级平滑调节。

器身与箱盖的连接，油箱中的固定方式以及绕组出线端子的引出方法，同TBQ1型主变压器相同。

TBQ4—4760/25型主变压器用于SS₄型电力机车。SS₄型电力机车由完全相同的两节车组成，每节车各装一台主变压器。

主变压器有网侧绕组、牵引绕组、辅助绕组和励磁绕组。牵引绕组有四个，其中两个中间带有抽头。两个牵引绕组（其中一个带中间抽头）为一组与晶闸管、二级管一起组成半控桥相控调压整流电路给两台牵引电动机（一个转向架）供电。

TBQ4型主变压器器身和平波电抗器共油箱。器身和平波电抗器下部，分别将铁心主垫脚和下压梁焊装上的4个定位孔套在油箱底上相对应的定位钉上，上部通过联接板、弯板将铁心上夹件与油箱壁固定，变压器器身与平波电抗器之间通过拉板用螺栓螺母紧固联成一体，以确保器身和平波电抗器在油箱中的位置。箱盖与油箱箱沿紧固后，再用箱盖上的压紧装置把主变压器和平波电抗器压紧，使它们完全固定在油箱中，不能移动。

绕组出线端子，除网侧绕组A端子通过安装于箱盖升高座上的瓷套管引出外，网侧绕组X端子和其它绕组的出线端子，平波电抗器的出线端子都从油箱侧壁的引线装置引出。

第三节 主变压器铁芯

一、铁芯的作用

铁芯构成磁路，同时还起着支撑绕组和

引线的作用。绕组套装在铁芯上，通过铁芯夹件、压板和压紧装置将绕组紧固在铁芯上，以确保在变压器运行中的稳定性。

二、铁芯的种类

铁芯有芯式和壳式之分。壳式铁芯的截面通常为矩形，并旁轭，使铁芯包围绕组，如图1—7所示。SS4型机车上用的高压电

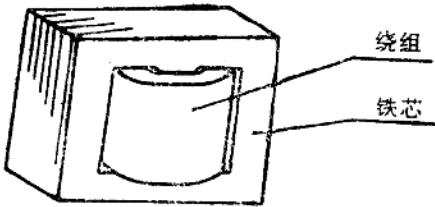


图1—7 壳式变压器

压互感器就是这种壳式的典型结构。这种铁芯结构，漏磁通有闭合回路，附加损耗小；芯柱截面大而长度短；铁芯片规格少。芯式铁芯通常是垂直放置，铁芯截面多为分级圆柱形，绕组包围芯柱，这种铁芯芯片规格较多，绑扎、夹紧要求高。但绕组是圆形的，制造方便，短路时稳定性好。

三、铁芯材料

制造变压器铁芯的材料主要是硅钢片。硅钢片主要分热轧和冷轧两种。冷轧硅钢片

又分晶格无取向和有取向两种。冷轧取向硅钢片无论在导磁率、铁损方面，还是在叠片系数和塑性方面，均有明显的优越性。TBQ系列主变压器的铁芯材料多采用DQ151—35硅钢片。这种硅钢片厚度0.35mm，具有双面耐热绝缘层，绝缘层不剥落，并能耐油浸蚀，能经受消除应力退火。表1—4为冷轧取向电工钢带的典型磁性表，表1—5为冷轧取向电工钢带的典型机械性能和叠装系数表，表1—6为电工钢带(片)表面绝缘涂层特性表。应该指出，冷轧取向硅钢片的磁性是各向异性的，当磁化方向与轧制方向成不同角度时，磁感应强度及铁损是变化的。剪切下料必须考虑使主磁通方向与硅钢片轧制方向一致。

四、铁芯的结构

TBQ1、TBQ3、TBQ4型主变压器铁芯

表1—4 冷轧取向电工钢带的典型磁性表

公称厚度 (mm)	牌 号		铁损 (W/kg)		磁 感 T	
	GB2521—81	武钢	P15/50	P17/50	B10	B25
0.35	DQ137G—35	Q09G	0.96	1.28	1.92	1.96
	DQ151—35	Q10	0.98	1.42	1.84	1.91
	DQ166—35	D11	1.05	1.52	1.83	1.90

都是芯式结构，采用单相二柱式叠铁芯。铁芯由芯柱和铁轭组成。芯柱为多级圆形截面，如图1—8所示，由多级矩形组成，近似

表1—5 冷轧取向电工钢带的典型机械性能和迭装系数表

公称 厚度 mm	牌 号		抗拉强度 σ_b				屈服极限 σ_s				伸长率 $\delta_{50\%}$		硬度 HV	反复弯曲		迭装 系数
			N/mm ²		kg/mm ²		N/mm ²		kg/mm ²					次数		
	GB3521—81	武 钢	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C		L	C	
0.35	DQ137G—35	Q9G	314	363	32	37	304	314	31	32	17	54	165	10	10	98.1
	DQ151—35	Q10	353	402	36	41	333	363	34	37	16	60	170	18	14	98.3
	DQ166—35	Q11	353	402	36	41	333	363	34	37	16	60	170	18	14	98.2

表1—6

电工钢带(片)表面绝缘涂层特性表

涂层种类	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
用 途	一般取向电工钢带(片)	高磁取向电工钢带(片)及一般取向电工钢带(片)	无取向电工钢带(片)	无取向电工钢带(片)	无取向电工钢带(片)
成 份	无机质	无机质	无机质	半有机	半有机
颜 色	灰 色	灰 色	透 明	淡褐色	淡褐色
涂层厚度 μ	3	3	1.5	2	3
层间电阻	高	极 高	较 高	较 高	高
附着性	C—E级	C—F级	B—C级	A—B级	A—B级
耐热性	在无氧化气氛中,能经受800℃的消除应力退火。		在无氧化气氛中,能经受750℃的消除应力退火。	在无氧化气氛中,能经受700℃—750℃的消除应力退火。	不宜进行消除应力退火。
耐蚀性	对绝缘油漆、机器油、制冷气均有较高的抗蚀性能。				
相当美国钢铁协会标准	C—5	C—5	C—4	C—3 C—4	C—3 C—4
相当日本新日铁标准	S	S ₂	R	L	L ₁

注:附着性按照国家标准GB2522—81规定方法进行测定。

外接圆形。铁轭截面最好与芯柱截面相同,这样可使磁通在铁轭中分布均匀,减少铁芯的空载损耗和空载电流,有利于硅钢片套裁,简化制造工艺,充分利用原材料。TBQ1型和近期的TBQ3型主变压器铁芯的铁轭就是多级圆形截面,和芯柱等截面。早期的TBQ3型主变压器铁芯之铁轭为倒分级梯形、TBQ4型主变压器铁芯之铁轭为矩形。为使梯形或矩形截面的铁轭与多级圆形芯柱截面相配合,以减小空载损耗和空载电流,通常铁轭的截面积比芯柱截面积增大2—5%,甚至更大一些。TBQ1型主变压器的铁芯图如图1—8所示。TBQ1、TBQ3、TBQ4型主变压器铁芯技术参数见表1—7。

表1—7 TBQ1、TBQ3、TBQ4型主变压器铁芯技术参数

型号	TBQ1	TBQ3	TBQ4
技术参数			
硅钢片牌号	D320*	Q10~12*	Q151—35

硅钢片厚度(mm)		0.35	0.35	0.35
两心柱中心距(mm)		740	755	695
窗 高(mm)		1250	1310	1065
芯 柱	芯柱直径(mm)	300	290	340
	级 数	11	11	11
	有效截面积(cm ²)	611	580	787.87
铁 轭	形 状	多级圆形	倒分级梯形	矩 形
	级 数	11	3	
	有效截面积(cm ²)	611	653	808.86
磁通密度T		1.53	1.555	1.597
硅钢片重量(kg)		2160	2620	2482
空载损耗(W)		5400	5400	6400
空载电控(%)		1.15	0.70	1.40

*表中为设计用硅钢片牌号,现使用DQ151—35,也有用日本硅钢片Q10—12的。

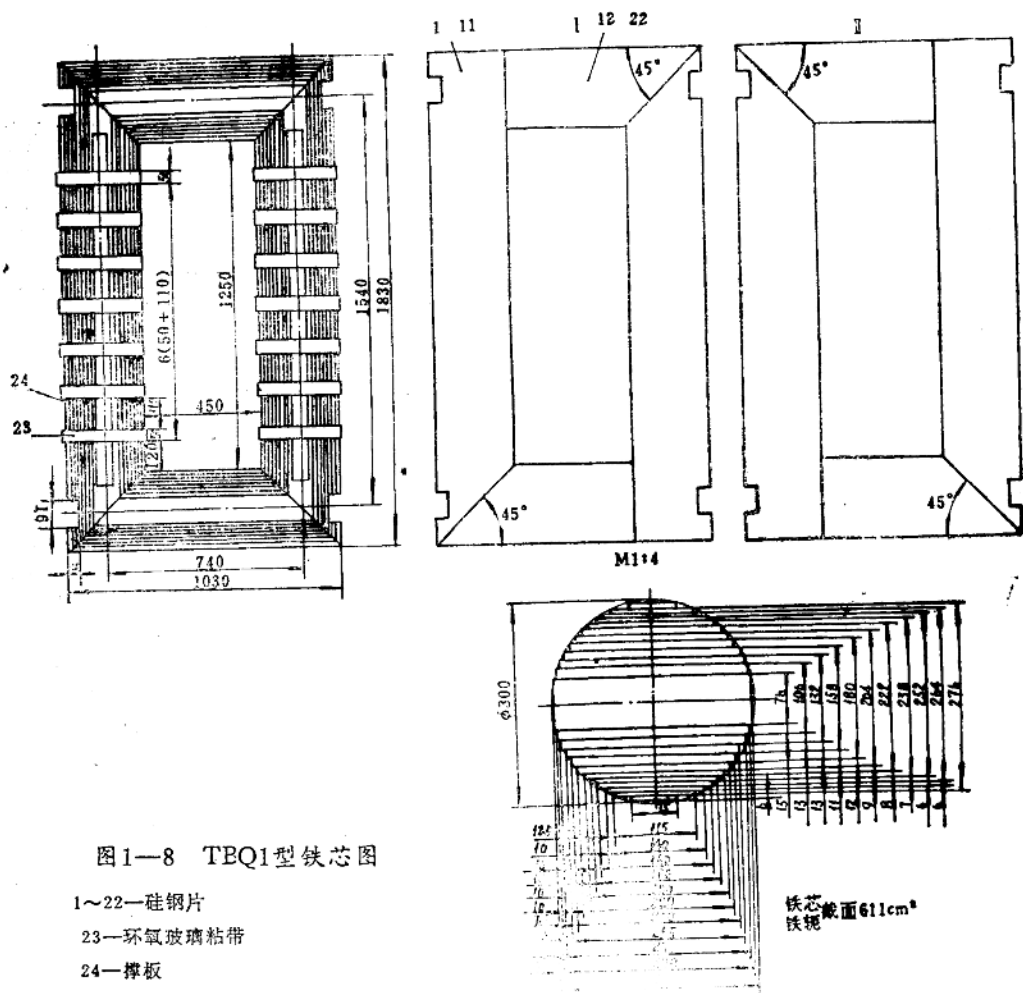


图1—8 TBQ1型铁芯图

- 1~22—硅钢片
23—环氧玻璃粘带
24—撑板

铁芯的接缝形式对各向异性的冷轧取向硅钢片制成的铁芯性能有很大影响。TBQ系列主变压器铁芯的芯柱与铁轭之间采用一层一层互相交错叠积的搭接叠铁芯。图1—9列出了四种典型的单相变压器铁芯的接缝形式。图1—9 (a) 所示, 每叠铁芯片均为直接缝, 搭接面积占角部面积的100%, 电磁性能不好, 但铁芯片的剪切简单, 叠积方便。88年以前生产的TBQ系列主变压器铁芯均采用直接缝叠积, 这是由于生产设备所决定的; 图1—9 (b) 所示为半直半斜接缝, 即斜、直接缝在各叠中交替出现, 芯柱与铁轭片宽一致时, 斜角为45°, 搭接面积占角部面积的50%, 空载性能比直缝有明显改善, 结构强度可靠, 剪切叠积方便。

且硅钢片利用率高, 89年起TBQ3型主变压器铁芯已全部改用这种结构; 图1—9 (c) 和 (d) 为标准斜接缝和台阶斜接缝,

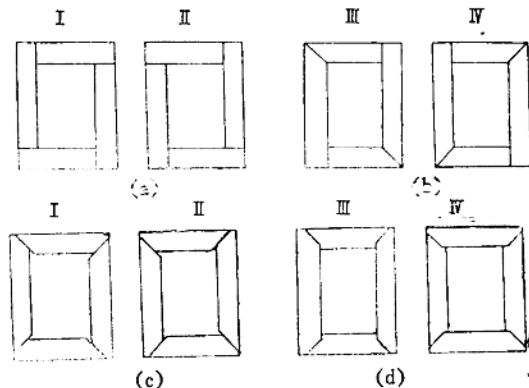


图1—9单相变压器的几种接缝形式

(a)直接缝 (b)半直半斜 (c)全斜接缝 (d)带台全斜接
铁芯片全为45°, 铁芯磁通与硅钢片轧制方

向一致，磁通分布均匀，空载性能好。不管是采用哪一种接缝形式叠积铁芯，在铁芯的叠装过程中，均按图1—9中Ⅰ、Ⅱ两种排列交错叠积，为了提高工作效率，减轻工人的劳动强度，对0.35毫米厚硅钢片，多采用三片一叠。

五、铁芯的紧固结构

铁芯的紧固结构可以使铁芯层间紧密，保证铁芯横截面的填充系数、形状和尺寸，减小反复磁化时的横向振动，降低变压器的噪音，同时也为了使变压器器身在运输和运行中保持机械稳定。紧固结构分芯柱的夹紧结构和铁轭的夹紧结构。

1 芯柱夹紧结构

心柱的夹紧一般有三种方法：

(a)用衬板楔紧，一般用于小型变压器铁芯。它是在绕组内的绝缘纸筒和芯柱间用木质衬板楔紧铁芯，如TBY1型电压互感器就是用这种方法紧固芯柱的，如图1—10(a)所示；壳式变压器的芯柱一般也采用楔紧的结构。

(b)用夹紧螺杆夹紧。它是通过铁芯片预先冲成的孔，穿以螺杆来进行芯柱夹紧的。如图1—10(b)所示，这种夹紧方法要特别进行绝缘，否则会产生片间短路，而且冲孔减小铁芯的有效截面积，局部增大磁通密度，增加损耗。在变压器的铁芯上已很少采用，TXP系列平波电抗器的铁芯柱仍使用这种紧固方法。

(c)用玻璃纤维粘带绑扎。这种方法取消了夹紧螺杆，减少了铁芯损耗，空间利用好，是现在变压器铁芯常用的方法，如图1—10(c)。TBQ1、TBQ3、TBQ4型主变压器铁芯紧固均采用这种方法。

2 铁轭夹紧结构和绝缘

铁轭的夹紧结构远比芯柱紧固重要，夹件应有足够的刚度和紧度。在铁芯翻转、起吊和运输时，不应有明显的变形。TBQ1、TBQ3、TBQ4型主变压器铁芯的铁轭夹紧方

法均采用两边方铁夹紧。上、下夹件由胶

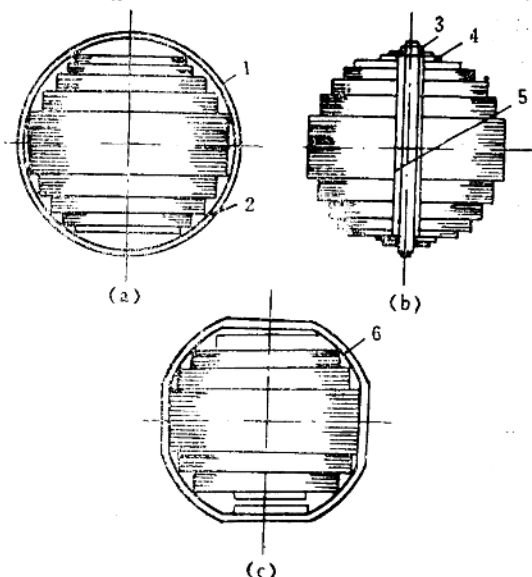


图1—10芯柱的夹紧结构

(a)用绝缘纸筒和衬板夹紧(b)用夹紧螺杆夹紧

(c)玻璃粘带绑扎

1—绝缘纸筒 2—衬板 3—螺杆 4—绝缘垫圈

5—绝缘管 6—玻璃绑扎带

板、腹板、筋板和加强板组成的槽形焊接结构，它除具有夹紧铁轭的足够刚度外，还应有压紧绕组的足够紧度。通过两头的方铁来夹紧铁轭，因而铁芯片在方铁的相应位置必须预冲方缺口，这增加了芯片剪冲工作量，且使磁路分布畸变。

为了减少夹件和铁轭叠片中的涡流损耗必须在夹件和铁轭、铁轭和方铁之间进行绝缘。铁芯之铁轭和夹件间放置夹件油道（绝缘纸板制成）。

六、铁芯的接地

为防止变压器运行或试验时，铁芯和金属附件在交流磁场感应作用下产生悬浮电位，造成对地放电，铁芯及其它金属物件除穿心螺杆外须可靠接地。由于铁芯叠片间，绝缘电阻较小，一片叠片接地即可认为所有叠片均已接地。

铁芯叠片只允许有一点接地。如果有两点或两点以上接地，则接地点间形成闭合回

路，当磁通穿过此闭合回路时，就会产生很大涡流，使铁芯局部过热，邻近的绝缘件碳化，油被分解，这是不允许的。

TBQ系列主变压器铁芯的接地是在上铁轭与上夹件间用导电片连接,然后通过油箱盖或拉板等经油箱接地。

七、铁芯的温升

变压器运行时,铁芯是主要的热源之一,热量的散出应该使其温升不超过规定的温升限值。TB1680—85规定铁芯的温升“最大不应达在损坏这些部位或邻近这些部位的数值”。GB1094.2—85规定油浸变压器铁芯本体的温升限值“应是使相邻绝缘材料不致损伤的温度”。这就是说铁芯温升对铁芯本身无多大危害,而对其周围的变压器油、与之相邻的绝缘材料有危害作用,特别是变压器油,温度在95℃以上时容易老化。TBQ系列主变压器的铁芯的温升问题并不突出,这是因为设计中考虑到高网压下工作,

额定电压时的磁密取得较低,铁芯损耗小,在铁芯结构上,散热条件较好,铁轭与夹件间放置夹件油道,可以使铁芯的热量不断地由变压器油带走。

TBQ3、TBQ4型主变压器的铁芯装配图见图1—11(a)，图1—11(b)。

第四节 主变压器绕组

一、绕组的一般要求

绕组是变压器的核心，由导线和绝缘零件组成。绝缘零件构成绕组的主绝缘和纵绝缘，并形成冷却油道或气道。为了保证变压器安全可靠地运行，变压器绕组必须满足电气强度、耐热强度、机械强度等要求，使变压器在额定工作条件下长期使用，又能经受住过渡过程（如短路、雷击、操作等）中产生的过电压、过电流以及相应的电磁力的作用，不致发生绝缘击穿、过热、变形或损坏。

1. 电气强度

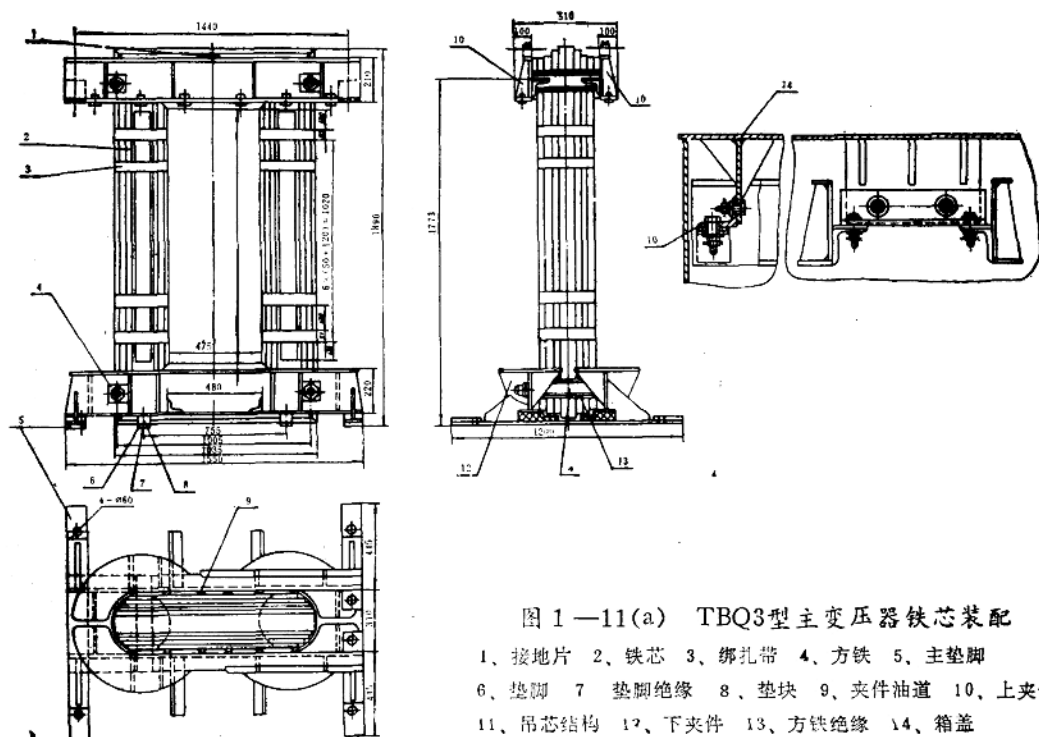


图 1—11(a) TBQ3型主变压器铁芯装配

- 1、接地片 2、铁芯 3、绑扎带 4、方铁 5、主垫脚
6、垫脚 7 垫脚绝缘 8、垫块 9、夹件油道 10、上夹件
11、吊芯结构 12、下夹件 13、方铁绝缘 14、箱盖

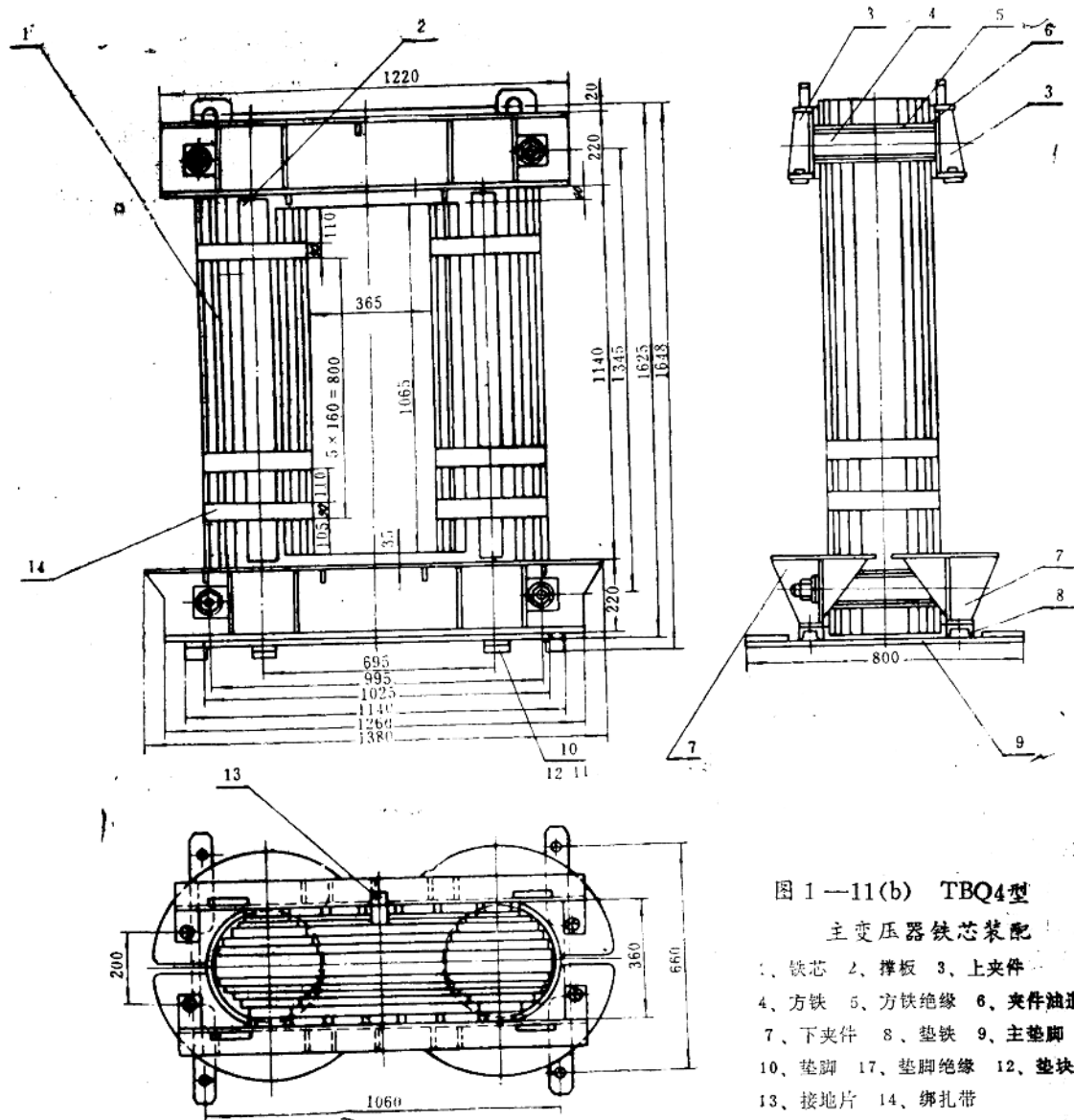


图 1—11(b) TBQ4型

主变压器铁芯装配

- 1、铁芯 2、撑板 3、上夹件
4、方铁 5、方铁绝缘 6、夹件油道
7、下夹件 8、垫铁 9、主垫脚
10、垫脚 11、垫脚绝缘 12、垫块
13、接地片 14、绑扎带

电气强度指绕组能可靠地承受大气过电压、内部过电压和长期工作电压的作用。

(1) 大气过电压(冲击过电压)

自然界的雷电一闪即逝，作用时间很短，仅几微秒至几十微秒，但电压峰值很高，电流也相当大。如果雷电直接袭击变压器，就会立即毁坏变压器。为此在变电所四周装设避雷针，接触网装设接地避雷线。电力机车车顶上装设了放电间隙。这样就使雷击电压作用于变压器的可能性大大减少。

(2) 内部过电压

操作过电压和暂态过电压，统称内部过电压，操作过电压是指在正常操作过程（如变压器的空载投入）中出现的过电压。这种过电压是一种衰减振荡波，持续时间短。暂态过电压是指系统突然失去负载或故障接地、电弧接地等情况时突然出现的过电压，通常其数值可达额定电压的1.3~1.5倍。

内部过电压在工程上用“相”的最高工作电压的倍数表示。标准中规定的变压器一分钟工频试验电压就是按内部过电压或大气过电压折合过来的。