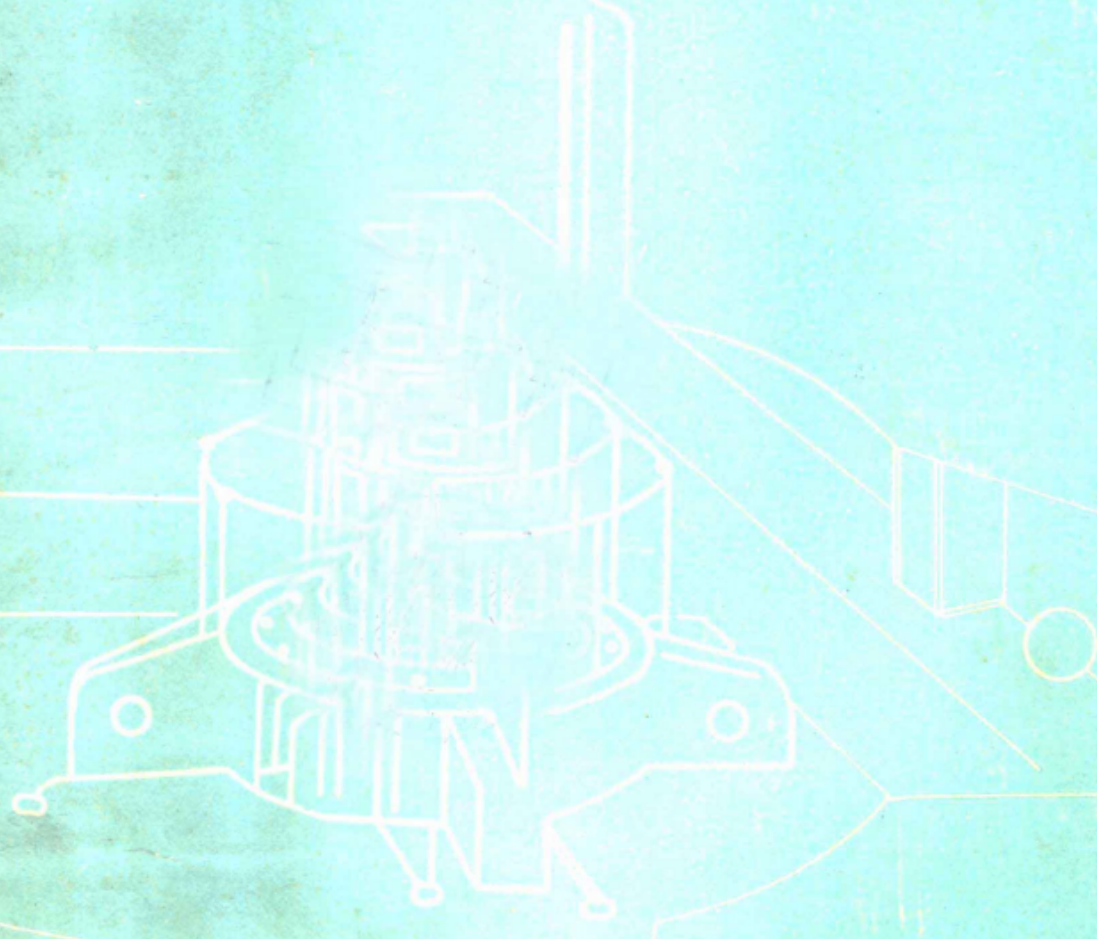


891178

大型电机制造工艺

第二册

水轮发电机



机械工业部哈尔滨大电机研究所译

一九八五年七月

30
2

第 二 册

水 轮 发 电 机

编 者 M. И. 钟德列维奇

C. A. 蒲鲁特柯夫斯基

翻 译 刘君堂、左俊业、徐思进、
万绍凡、李朝东、董洪元、
陈珍姐、王继伯

校 对 邱建甫

校 订 励允鸿

编 者 的 话

近些年来，汽轮发电机、水轮发电机和大电机（大型交、直流电机）的单机功率不断增大，对电机质量和运行可靠性要求越来越高，而对制造中的劳动量则要求减少。这三者在很大程度上取决于下列因素：产品结构的工艺性、工艺流程的正确制定以及先进工艺装备的应用。因此，不断地完善产品结构及改进制造工艺，就成为一项迫切的任务。最近十年，就大电机而言，采用了电枢铁芯固定的新结构及其工艺，大大地提高了该部件的可靠性；编制和采用了定子铁芯装配的新工艺，因而几乎全部取消了它们的机械加工。大型直流电机已改用F级玻璃云母绝缘，电枢与磁极用聚酯环氧漆浸渍；聚酰亚胺材料为基的绝缘开始了工业应用；交流电机定子绕组广泛地采用了热固性绝缘。

为了满足四化建设的需要，考虑到国内电机制造业不断发展和生产技术的日益提高，有必要出版一本大型电机的工艺专著。从浩如烟海的工艺文献和图书中，我们选用了苏联《动力》出版社列宁格勒分社1981年版的《大型电机制造工艺》一书，认为它比较适合我国国情。现将全书译出，编辑成册，出版问世。该书可供电机制造厂、设计与科研单位、电力系统和钢厂检修部门工程技术人员在工作中查阅和借鉴，有助于电机工人提高专业水平，也可供有关高等院校与中等专业学校师生参考。

该书一套三册，是由苏联最大的电机制造企业——列宁格勒《电力》电机制造联合公司的有关技术人员编写的。它主要反映了该公司的技术水平和生产经验。

全书分三册出版：第一册为《汽轮发电机》；第二册为《水轮发电机》；第三册为《大电机》。第一册叙述了6~120万千瓦汽轮发电机的制造工艺。书中阐述了汽轮发电机各部件的制造工艺过程与结构、工艺装备的特征。第二册叙述了大型水轮发电机主要零、部件的制造工艺，同时举出了许多实例，来说明如何使繁重体力劳动实现机械化和为采用先进工艺方法而完善零、部件结构。本书反映了苏联《电力》电机制造联合公司和其他制造厂生产水轮发电机的经验。第三册叙述了大电机（400千瓦以上的所有交、直流电机）主要零、部件的制造工艺，介绍了大电机制造时所需工夹具与非标准设备的结构。

《大型电机制造工艺》一书在译、校、审、编过程中得到哈尔滨电机厂和我所有关同志的大力支持，在此表示感谢。

全书由邱建甫、刘君堂、左俊业、徐思进、万绍凡、李朝东、董洪元、陈珍姐、王继伯、李连贵、李桂春、李哲光、王泽仁、刘彦清、姜云芬、裴崇东和梁由贵同志翻译，邵光楣、邱建甫和刘君堂同志校对，傅吉临、邵光楣和励允鸿同志校订，邱建甫同志编辑。

囿于水平，译文中错误恐难避免，望批评指正。

1985年7月

第二册《水轮发电机》目录

引 言	(1)
第一章 定子	(6)
1-1 一般特征	(6)
1-2 定子零、部件制造工艺	(9)
1-3 铁芯扇形片的结构与制造工艺	(28)
1-4 铁芯边段扇形片的粘接与烘焙工艺	(33)
1-5 水冷绕组线棒的制造工艺	(34)
第二章 定子铁芯的装配与绕组的嵌放	(42)
2-1 对叠片定子的技术要求	(42)
2-2 扇形瓣装配成整圆以及中心柱与内径千分尺的安装	(42)
2-3 定位筋的配置	(45)
2-4 定位筋配置的检查	(55)
2-5 铁芯叠装	(57)
2-6 铁芯加压	(65)
2-7 某些结构定子铁芯的加压特点	(73)
2-8 在定子铁芯用可移式油压机加压过程中产生的力的计算	(74)
2-9 可移式油压机的优点	(77)
2-10 水冷绕组定子的装配	(78)
2-11 水冷绕组线棒在定子扇形瓣槽中的嵌放	(80)
第三章 分瓣定子铁芯分扇形瓣装配工艺	(88)
3-1 半分扇形瓣装配	(88)
3-2 全分扇形瓣装配	(89)
3-3 全分扇形瓣装配定子用的夹具	(91)
3-4 全分扇形瓣装压铁芯的工艺	(95)
3-5 制造定子的生产周期图解比较	(100)
第四章 转子	(103)
4-1 一般特征	(103)
4-2 转子支架种类	(104)
4-3 鼓型支架与盘型支架	(105)
4-4 支臂型支架	(109)
4-5 支臂型转子支架及其零件的制造工艺	(112)
4-6 液压传动回转-升降装置	(121)
4-7 整锻轴和锻焊轴	(125)

4 - 8	制动环扇形件	(133)
4 - 9	转子磁轭扇形片	(136)
第五章 转子磁极		(143)
5 - 1	磁极铁芯制造工艺	(143)
5 - 2	磁极铁芯生产线	(157)
5 - 3	磁极线圈制造工艺	(158)
5 - 4	磁极装配工艺	(174)
第六章 机架、导轴承和推力轴承		(176)
6 - 1	概述	(176)
6 - 2	机架制造工艺	(178)
6 - 3	导轴承扇形瓦制造工艺	(182)
6 - 4	推力轴承的一般特性	(184)
6 - 5	推力轴承零件	(188)
6 - 6	油箱的零、部件	(210)
第七章 水轮发电机在电站的装配与安装工作		(214)
7 - 1	概述	(214)
7 - 2	安装工作的组织	(215)
7 - 3	分瓣定子的装配	(215)
7 - 4	不分瓣定子的装配	(220)
7 - 5	转子的装配	(221)
7 - 6	带有推力轴承的上机架(承载机架)的装配	(225)
7 - 7	发电机在安装工地的装配	(226)
7 - 8	发电机的一些调整工作和试起动	(229)
参考文献		(230)

封面设计: 崔恩林

(18)	.....	
(19)	.....	
(20)	.....	
(21)	.....	
(22)	.....	
(23)	.....	
(24)	.....	
(25)	.....	
(26)	.....	
(27)	.....	
(28)	.....	
(29)	.....	
(30)	.....	
(31)	.....	
(32)	.....	
(33)	.....	
(34)	.....	
(35)	.....	
(36)	.....	
(37)	.....	
(38)	.....	
(39)	.....	
(40)	.....	
(41)	.....	
(42)	.....	
(43)	.....	
(44)	.....	
(45)	.....	
(46)	.....	
(47)	.....	
(48)	.....	
(49)	.....	
(50)	.....	
(51)	.....	
(52)	.....	
(53)	.....	
(54)	.....	
(55)	.....	
(56)	.....	
(57)	.....	
(58)	.....	
(59)	.....	
(60)	.....	
(61)	.....	
(62)	.....	
(63)	.....	
(64)	.....	
(65)	.....	
(66)	.....	
(67)	.....	
(68)	.....	
(69)	.....	
(70)	.....	
(71)	.....	
(72)	.....	
(73)	.....	
(74)	.....	
(75)	.....	
(76)	.....	
(77)	.....	
(78)	.....	
(79)	.....	
(80)	.....	
(81)	.....	
(82)	.....	
(83)	.....	
(84)	.....	
(85)	.....	
(86)	.....	
(87)	.....	
(88)	.....	
(89)	.....	
(90)	.....	
(91)	.....	
(92)	.....	
(93)	.....	
(94)	.....	
(95)	.....	
(96)	.....	
(97)	.....	
(98)	.....	
(99)	.....	
(100)	.....	

引 言

就水力动力学和水力动力机械制造方面所要解决的问题的复杂性和规模来说，苏联都稳固地处于世界领先地位。在水电站和水电机组的单机容量方面，苏联也居头几位。

水电站在现代动力系统中起着很大的作用，它不仅是极廉价的能源，而且能调节负荷、维持频率和保证系统稳定运行。因此，水轮发电机制造业的作用将随动力系统容量的提高而增大。

苏联水轮发电机的产量正在不断增加，正在向世界各国出口水轮发电机。

《电力》厂是苏联电机制造业的先驱者。该厂最先掌握了大型电机的生产，其中包括水轮发电机。

苏联水轮发电机制造业已有五十多年历史。最早的是1926年《电力》厂为伏尔加水电站制造的当时最大的水轮发电机，其容量为7850千伏安。

1932年投运的德涅泊尔水电站，单机容量为6.2万千瓦，即超过了整个伏尔加水电站八台机组的容量。

战后期间，在伏尔加河开始了梯级电站的建设，在这些电站安装了一些大型水轮发电机。如：1958年，当时较大的列宁伏尔加水电站已投入运行，总容量为230万千瓦，有二十台机组，单机容量为11.5万千瓦。1961年，苏共22大伏尔加电站投运，总容量为253万千瓦。1965年，现在的布拉茨克水电站开始发电，装机容量为450万千瓦，单机容量为22.5万千瓦。1970年，当时世界上最大的克拉斯诺雅尔斯克水电站开始发电。该电站装有十二台单机容量为50万千瓦的水电机组。目前，正在叶尼塞河上建设世界上较大的萨彦-舒申斯克水电站。该电站第一台64万千瓦水轮发电机是由列宁格勒《电力》电机制造联合公司于1977年制造的，1978年开始发电。最后第十台机组起动以后，该电站的装机容量将达640万千瓦。

在《电力》厂的基础上，利用它的经验，又发展了一些生产水轮发电机的其他工厂，如：斯维得罗夫斯克的《乌拉尔重型电机》厂，新西伯利亚的《西北利亚重型电机》厂和哈尔科夫的《重型电机》厂。

水轮发电机的质量和可靠性及其制造的劳动量，在很大程度上取决于结构的工艺性、正确编制的工艺流程和专用设备与工艺装备的采用。在这方面，起决定作用的将是工厂的工艺服务部门、工艺员和工艺设计人员。

由水轮机拖动的三相同步发电机叫作水轮发电机。大型水轮发电机的直径可达20米。这样大尺寸的发电机通常制成可拆卸式的，而且，各个部分的重量和尺寸均应满足运输条件的要求。

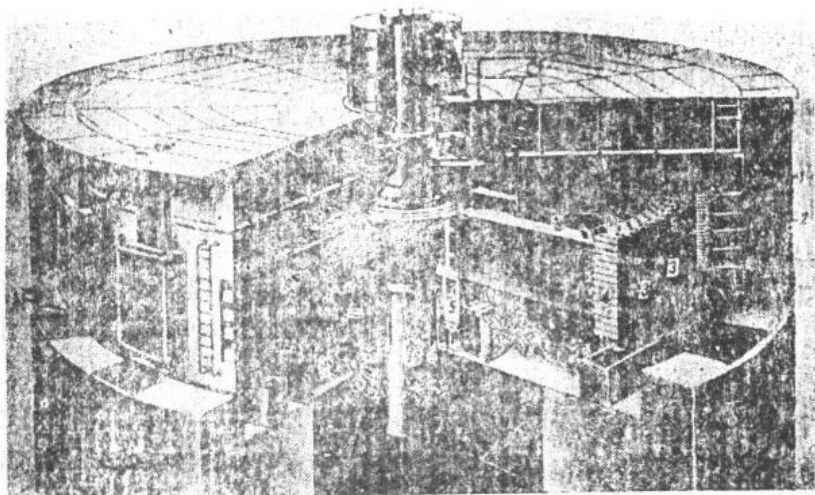
可拆卸性、需要配合的零、部件数和固定部位很多，使水轮发电机的结构变得很复杂。

由于工厂不能进行发电机的总装以及某些部件的分装，所以使水轮发电机的制造更为复杂。

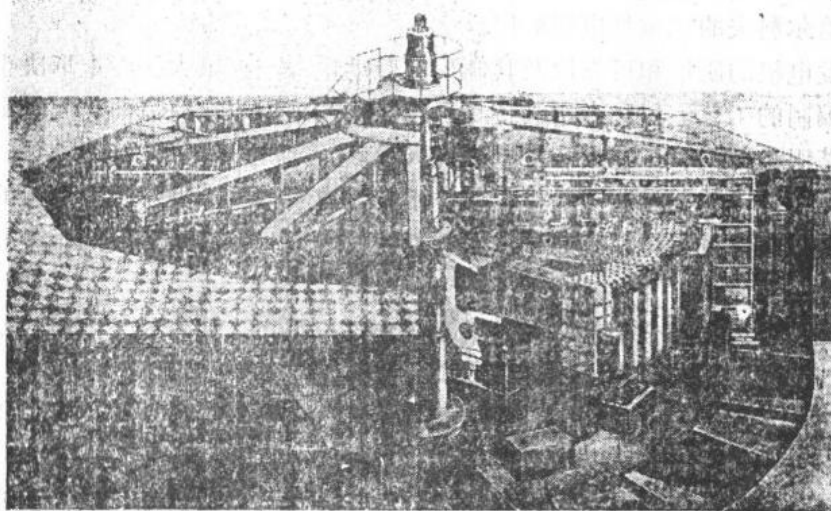
当水轮发电机的转速较低时，单机容量较大，尺寸势必就要增大。通常，大型低速

水轮发电机制成立式的，因为将大尺寸的水轮发电机制成卧式是不可能的。的确，随着尺寸加大，要保证卧式定子和转子的刚度就会加重结构，因而使卧式结构失去意义。水轮机的运行条件也会导致立式布置。轴的立式布置在水轮发电机中会出现一些在卧式电机中没有的(只有立式电机才有的)零、部件，如：推力轴承(支承轴承)——承受那些作用在机组轴上的垂直力；导轴承——阻止轴径向位移；机架——里面装有推力轴承和导轴承。

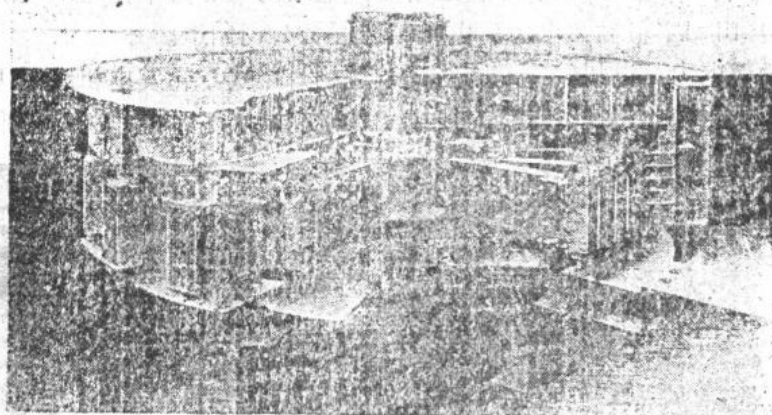
立式水轮发电机常见的有两种型式：悬式(图B-1)和伞式(图B-2)。悬式的特点是：推力轴承安在转子之上的上机架上面。这种发电机有一个或两个导轴承。采用一个导轴承时，将它放在上机架内；两个导轴承时，将一个放在上机架内，另一个放在下机架内。中、高转速和推力轴承的负荷不大的水轮发电机常制成悬式。在伞式水轮发电



图B-1 布拉茨克水电站22.5万千瓦、125转/分的悬式水轮发电机
1—定子； 2—冷却器； 3—转子磁极； 4—转子磁轭；
5—推力轴承； 6—轴



图B-2 伏尔加水电站11.5万千瓦、68.2转/分的伞式水轮发电机



图B-3 克拉斯诺雅尔斯克水电站50万千瓦、93.8转/分的伞式水轮发电机

机中，将推力轴承装在转子下面，其负荷由下机架或装在水轮机顶盖上的专用支架承受。在现代的巨型伞式水轮发电机（图B-2和B-3）中，没有下机架，它被水轮机顶盖上的支架所代替，这样，结构更合理、更经济。导轴承位于上机架内。

转子采用“无轴”结构的发电机是伞式水轮发电机的一种改型结构（图B-3）：水轮机的转轴法兰直接与转子支架中心部的下部端面连接，而带有导轴承滑转子的发电机副轴以自身的法兰固定在转子支架中心部分的上部端面上。这种结构型式对发电机在工厂里制造和水电站装配—安装都有许多优点。

布拉茨克水电站的水轮发电机标志着苏联水轮发电机制造业的发展已完成一个历史阶段。在普通的冷却系统下，依靠提高电磁负荷来进一步提高水轮发电机的容量是不恰当的。在水轮发电机采用空气冷却的情况下，压头是靠转子的旋转来建立的，低速电机定子绕组的温度一般都超过转子绕组的温度。因此，首先必须加强定子绕组的冷却。

大容量水轮发电机的最合理的强制冷却系统是定子绕组采用蒸馏水直接内冷。蒸馏水经定子绕组空心导体和水冷却器在封闭式回路中循环。

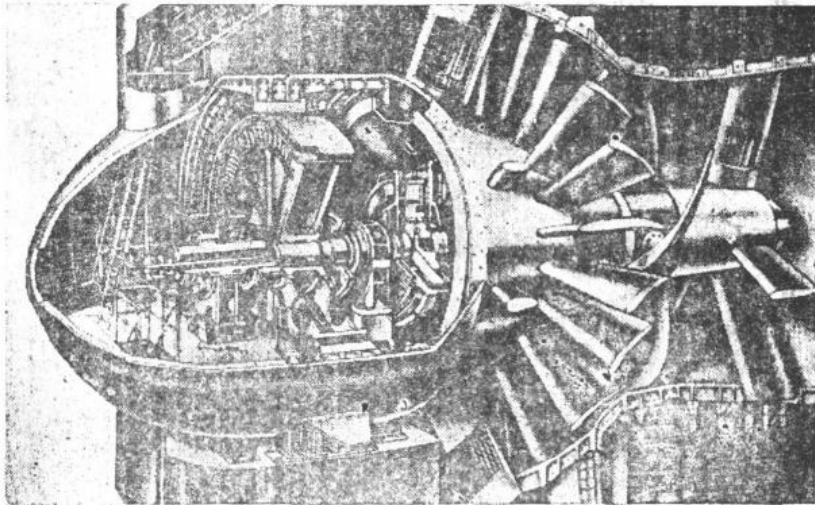
强迫空冷的转子绕组结构应该不同于普通的结构。如果在普通的结构中，空气来自转子通风沟，并沿外周边吹拂磁极线圈和铁芯，那末，在强制空冷的磁极中，空气还要沿线圈各匝之间的横向沟流动，并冷却铜线。

就技术经济指标来说，绕组采用水冷，不但是现代电机制造业中的最大成就，而且从根本上改变了水电站继续发展的前景。例如，在装机容量为600万千瓦的克拉斯诺雅尔斯克水电站安装了十二台单机容量50万千瓦的定子绕组水冷和转子绕组强制冷却的发电机（图B-3）。这种发电机就容量来说，大大超过了伏尔加水电站发电机的三倍，而重量相同。

在生产大型立式水轮发电机的同时，苏联各工厂在制造卧式密闭水轮发电机方面也取得了较大的成就。构成一体的灯泡式机组（贯流式水轮机和发电机装在一泡体内）就属于这类机组。这些机组用于低水头电站、河床式电站、潮汐电站和落差式电站，并能大大节省水工建筑的基本投资。

基辅和卡涅夫斯克电站的灯泡式水轮发电机（1.6万千瓦）由哈尔科夫《重型电机》厂制造，而彻列波维茨电站和印古里落差式电站的（2万千瓦）以及萨拉托夫电站的（4.5万千瓦）由列宁格勒《电力》电机制造联合公司制造。

在列宁格勒《电力》电机制造联合公司制造的灯泡式水轮发电机（图 B-4）中，定、转子绕组均为水内冷，这就保证了所需的容量和减小了水电机组的外形尺寸。



图B-4 萨拉托夫电站4.5万千瓦灯泡式机组

水轮发电机单机容量提高到50万千瓦和以上，会使零、部件的外形尺寸加大。工艺员的任务就是要尽可能地用现有的设备、同样的面积和在不延长生产周期的情况下保证零部件的装配。

水轮发电机生产的技术准备，像其他电机一样，可分两个阶段，即：结构设计阶段和工艺阶段。对新设计的电机不仅要求高的运行特性，而且还要求结构的工艺性好。因此，设计员和工艺员的工作不应该是循序渐进地、一个接着一个地进行，而应是平行地进行，特别像水轮发电机这样大的工作项目，有的工作在技术设计阶段就已开始。

主要零、部件的尺寸确定以后，工艺员应解决在工厂的现有设备和装配场地上是否能制造的问题，同时还要弄清楚所采用的大型通用夹具是否适用。如果所制订的零件或部件结构方案实现时有许多制造上的困难，那末，设计员应和工艺员共同寻求另一种工艺性较好的方案。如果需要新的设备或专用的大型工艺装备，那末，工艺员应针对这些工作项目制订一些初步的技术条件。

在技术设计时，对零、部件工艺性的改进；通用零件的应用，按分装配件设计和出图就会导致如下结果：在设计其他部件时，可以设计和制造原先已出图的部件用的工艺装备。

上述因素以及制造通用夹具的趋势，都会大大地缩短工艺准备周期，必要时，在水轮发电机最后一个部件出图后的三、四个月內，就能用工艺装备使生产得到充分的保证。

本书所研究的机械加工和装配工艺过程，是按照加工方法和所采用的通用工夹具的特性制定的各种水轮发电机同名大型零、部件的典型工艺过程。对列宁格勒《电力》电机制造联合公司所采用的、旨在减轻劳动，提高质量和降低劳动量的特有工艺方案在本书中作了阐述。

书中还反映了水轮发电机定子绕组采用玻璃粉云母板和浸渍热固性粘合剂绝缘的经验。这种绝缘具有较高的热稳定性和机械强度以及导热性。这就能提高利用率，从而能在外形尺寸相同的情况下使发电机单机容量提高15~20%。

还阐明了有关采用云母带绝缘和热固性绝缘的空心导体（水冷）制作的定子绕组，以及强制空冷和水冷转子绕组的制造和下线工艺方案。

最后，我们认为列举出一些现代巨型立式水轮发电机成本要素、劳动量和不同加工方式之间的数据是有意义的。

按照现行价格中，直接支付给主要生产工人的工资在大型水轮发电机制造成本中只占6.5~7.5%，材料约为60~70%（其中电工钢为6~8%，铜材约为8~11%，绝缘材料平均为13~17%）。

因此，绝缘材料的费用约等于有效材料（铜和电工钢）的费用。材料费用约有一半是结构材料（主要是黑色金属轧材）的费用。

水轮发电机各种结构型式的劳动量取决于外协工作量的大小。锻件、铸件、绝缘和其它材料、半成品可以在发电机制造厂制造，或者向外购买。

水轮发电机劳动量最大的部件是定子和转子；这从大型伞式水轮发电机主要部件制造劳动量分布的示例中就可看出：

部件名称	劳动量 (%)
定 子	50
转 子	21~25
推力轴承	8~10
其他部件与辅助设备	18~21

伞式水轮发电机生产中各种工作量的比例如下：

工作名称	劳动量 (%)
机械加工	16~22
备料焊接工作	10~13
冲剪工作	8~10
铁芯装配	6~8
绕组制造	22~30
配件—磁极工作	6.5~8.5
绕组下线	8~11
装配工作	3.5~4.5
其他工作：锻造工作	5~8
水管工作	
板金工作	

第一章

定子

1-1 一般特征

水轮发电机的定子由机座 1、铁芯 2 和绕组 3 组成（图 1-1）。机座 1 为环形结构，由钢板焊成，由外皮板和起加强板作用并向基础传递转矩的水平环板组成。主筋

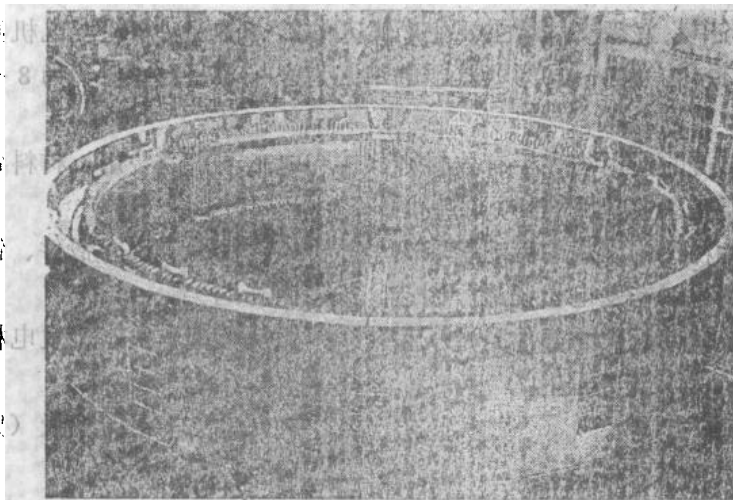


图 1-1 克拉斯诺雅尔斯克水电站50万千瓦水轮发电机的定子

——带鸽尾的定子定位筋 9 用撑块 10 从里面焊到定子机座环板 1 上。定位筋上叠装铁芯的扇形硅钢片 4，铁芯在径向和切向用定位筋鸽尾起固定作用（图 1-2）。

为了提高铁芯的装压质量，定位筋应平直，各面应光滑，使扇形冲片能自由地沿定位筋下滑，不致卡住和将定位筋各面划伤。

在轴向，铁芯用穿入轭部和机座间隙里的螺杆 8 拉紧，螺杆将上面和下面的齿压板 6 拉紧，齿压板的一面靠在铁芯上，而另一面用顶起螺钉靠在定子机座上。铁芯拉紧螺杆由优质热轧钢（如直径为 35~50 毫米的 35 号钢）制成。为保证铁芯对定子机座 3 有稳定的位置，在许多水轮发电机结构中，拉紧螺杆 2 用加强撑板 1（图 1-3）焊在定子机座 3 上。

齿压板 5 由厚钢板和焊在其上的能将轴向力传给铁芯齿部的压指 6 组成。在巨型水轮发电机中，为了降低温度，压指由非磁性钢制造。带有顶起螺钉 4 的齿压板结构能保证铁芯很好的压紧。因为不管上环板的波浪度如何，这种结构都能顶到定子机座上，并且在长期运行中铁芯齿区松动时还能对其再压紧。

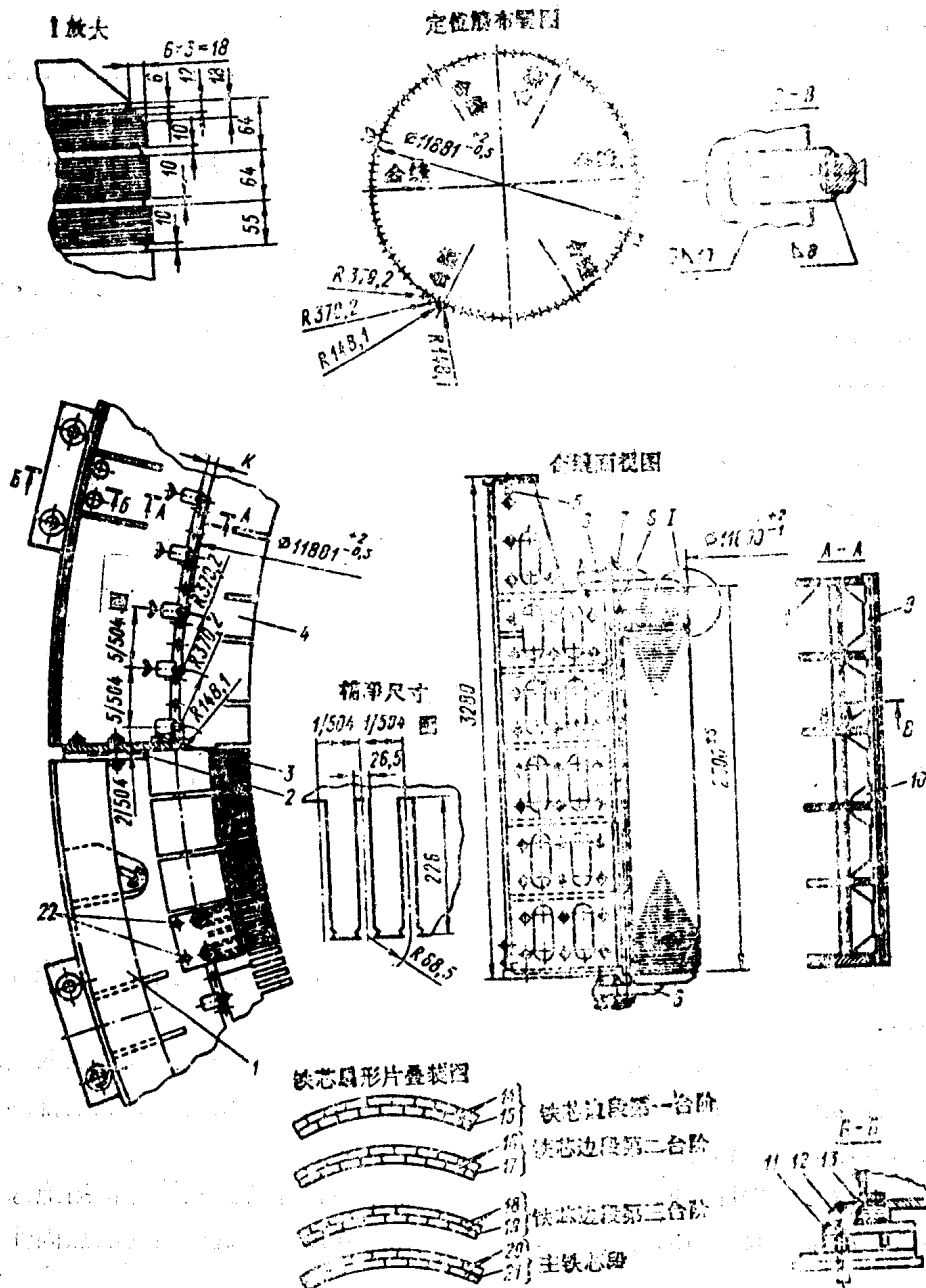


图 1-2 布拉茨克水电站水轮发电机未下线的定子

大型水轮发电机的定子机座外径可达20米，而高度达3~4米。为了便于铁路运输，如果定子直径超过5米，可将定子分成二、三、四和六个扇形瓣。

用焊到定子机座上的合缝板2（图1-2）来连接定子各瓣，合缝板用拉紧螺栓3把紧。机座装配时，定子各瓣相互位置的固定用装在各合缝板合缝面上的销钉5来实现。定子用基础板11靠在基础上，基础板用螺栓12固定在机座的下环板上，并用销钉13在切向定位，此销钉也装在合缝面上。铁芯由单张扇形片14~21叠装成，扇形片由单

位损耗很小的0.5或0.35毫米厚的电工钢片冲剪而成。

目前,广泛采用机械性能(翘曲性和厚度不均都很小的)良好的冷轧结晶定向钢来制造扇形片。

为了形成铁芯通风沟,采用由低合金钢冲制的扇形片,这就能将通风槽钢很好地焊到扇形片上。槽钢由高为10毫米、宽为8毫米的工字钢制成。

为了减少由端部磁场引起的损耗和发热,上、下两个边段铁芯均为阶梯形。这种形状能缩短压板的压指,从而能提高其刚度和整个铁芯的压紧质量。此外,为使定子铁芯8具有良好的整体性(图1-3),两个边段铁芯由事先经过烘焙过的单个铁芯板7叠装而成,每个铁芯段由7~10张用特殊绝缘漆粘接的扇形片组成。

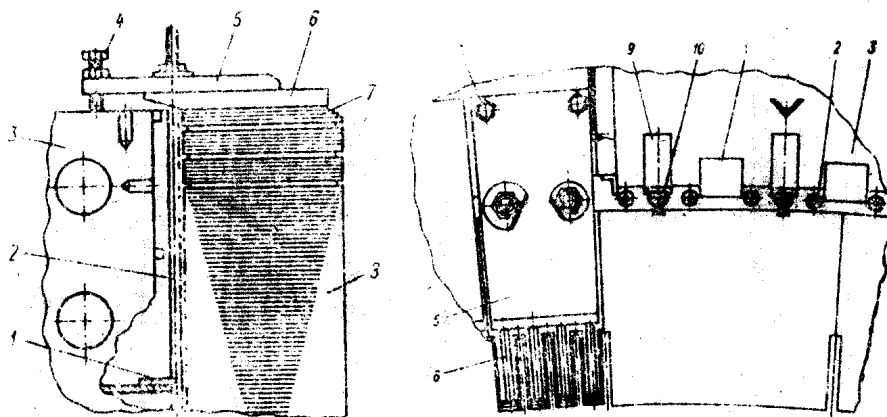


图1-3 铁芯紧固件

为了减少端区的损耗和改善铁芯的冷却,特别是大齿的冷却,大齿开了一些5~8毫米宽的切口。

现代水轮发电机的定子采用由单个线棒组成的单层或双层波绕组。线棒嵌入铁芯槽内后,彼此用钎焊连接。为了将绕组的各导线联结起来,常采用实心汇流铜排的连接片,其截面与线棒的截面相等。

用钎焊将线棒与连接片和汇流排连接起来,通常采用银焊料。线棒鼻部用绝缘盒绝缘,随后包玻璃漆布。最通用的鼻部绝缘方法是:在高强度绝缘盒里面浇灌热固性复合胶。

现代巨型水轮发电机的绕组在槽部和端部都用玻璃粉云母带绝缘,并浸以聚酯和环氧树脂为基的热固性复合胶,随后进行烘焙。这种绝缘具有较高的介电强度和机械强度(后者特别重要)。这种绝缘的耐热性接近F级绝缘。

水内冷的水轮发电机绕组由复合铜线制成,即在一个线棒中,部分导线为矩形截面的空心管子。线棒的端头装有铜接头,它同时可用于线棒的电接触,又可向线棒内供水。此时,连接片和汇流排也由矩形截面的铜管制成。定子绕组线棒槽部,用高强度绝缘材料(如玻璃胶布板,或用环氧粘接的玻璃胶布板)压制的槽楔固定。这种槽楔的极限强度超过200兆帕。定子绕组端部用绑环固定。绑环通常用钢制成,而在线负荷较高的

水轮发电机中则用非磁性钢制造。绑环用支架固定到定子压板上。为了在切向固定绕组端部，常采用由胶压层板、玻璃胶布板或其他绝缘材料压制成的间隔块。

在水轮发电机的所有部件中，定子的生产周期最长，这是因为定子制造的主要工序——机座焊接、铁芯装配和绕组线棒下线都是相继完成的。

定子的全部零件分为结构零件和有效零件。

结构零件（图 1 - 2）是：定子机座 1、合缝板 2、基础板 11、固定铁芯的定位筋 9，撑块 10（用它将定位筋焊到机座的环板上）、支承绕组的绑环弓形件（图中未示出）、压板 6、拉紧螺杆 8 和螺帽 7。

有效零件：电工钢冲片和绕组线棒。

1 - 2 定子零、部件制造工艺

定子机座

定子机座 1（图 1 - 2）是水轮发电机最大的一个部件，供固定铁芯和绕组用，同时机座还能保证冷却气流的合理分配。

在高度方向，定子机座可分为三段，即固定铁芯的中间段和上、下两个边段。机座上部边段突出于绕组端部之上，其水平环板上支承着上机架的支臂和盖板。机座的下部边段制成与上部边段相同，并用以盖住绕组端部和防止其损坏。

从外面用钢板外皮将机座密封住。外皮板的圆周上开有窗孔，供排放热风用；这些地方还装有空气冷却器。

在某些水轮发电机的定子中（如布拉茨克水电站的电机，图 1 - 2 所示），取消了机座的下部边段，而中段的水平环板通过基础板 11 放在基础上。取消下部边段是由于：根据运输条件，或在某些情况下，根据水电站厂房的布置条件，有必要缩短定子高度。

在平台面积很小的条件下，为了缩短定子制造的生产周期，列宁格勒《电力》电机制造联合公司对一些定子结构作了如下重大修改：用合缝条板代替了定子合缝板 2，同时每瓣机座的弧长每侧都减少了 20 毫米，因而形成了 40 毫米的间隙。拉紧螺杆将合缝条板拉紧，直至铁芯合缝处消除间隙为止（图 3 - 3）。

机座拼焊成环

焊接机座由单个毛坯装配而成，毛坯由标准厚度的轧制厚钢板切割成，无需机械加工，用焊接方式连接起来。

焊接用的毛坯借助于沿轨道（装在平台上）移动的半自动切割机或气割机切割。用仿形气割机切割能得到很高的精度和劳动生产率。

毛坯按其厚度、长度和曲率半径可采用不同功率的弯板机进行弯曲。

有几种分瓣式机座的焊前装配方法是大家所熟知的。第一种方法简称**拼焊成环**。采用这种方法是将定子机座的内、外环板摆成环，逐瓣焊接每个环板，并由这些瓣对机座

进行焊前装配。在事先准备好的平台（平台上的毛坯、焊渣和熔渣均已清理干净）上划一条与定子下部支承环板的内径 D 相对应的圆线（图 1-4a）。在平台上还要划出各瓣的分瓣位置，各瓣弦长近似相等。然后，根据划线把事先用乙炔氧焰开好坡口的下部支承环板 1 的各扇形板 κ 摆成环；只是与机座分瓣处相接的边端扇形板 e 那一侧没有开坡口。

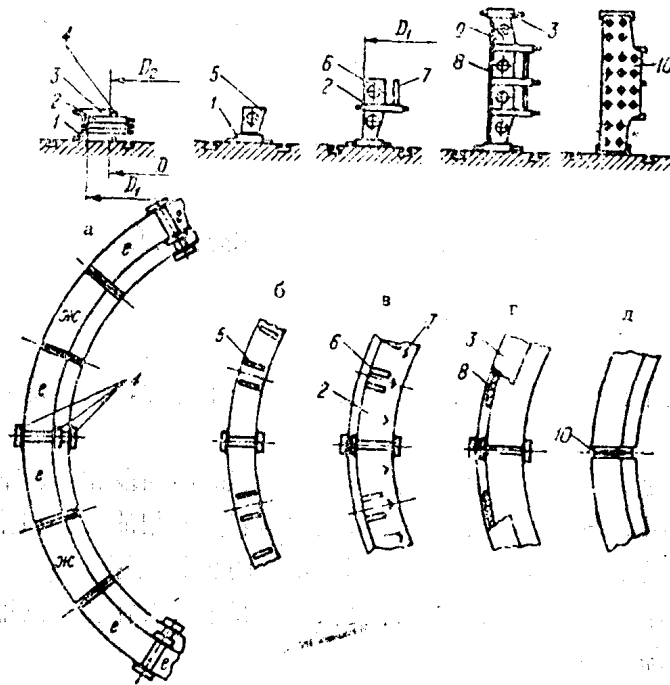


图 1-4 定子机座装配与焊成环的示意图

下部环板摆好之后，将扇形板沿坡口彼此进行搭焊，而分瓣处用焊接的临时工艺板 4（每个合缝两块）连接，临时工艺板应放在扇形板的内外圆柱面上，使搭焊焊缝不突出扇形板的端面之外。

在装配和搭焊好的下部环板上划一条与机座中间环板 2 的外径 D_1 相对应的圆线。根据这条线，把第一个中间环板的扇形板放在下环板的环上，并将它们像下环板的扇形板那样彼此搭焊好。如上所述，分瓣处进行搭焊也要借助于板条。

用同样的方法将所有的中间环板彼此叠放起来，在边端的一个中间环板上划上支承环板 3 的扇形板内径 D_2 的圆，最后再把环板 3 装在上面，同样将其扇形板彼此搭焊好。

下道工序便是按坡口焊接各扇形板，从上环板开始焊。根据各瓣的坡口焊接来切割合缝处的临时连接板，将各个焊好的扇形板从叠中取下来，并翻身放在一旁，以便从反面焊接坡口，只有第一个安放的机座下环板不取下来和不翻身。在找平变形的各瓣之前，在此位置不应把坡口全部焊满；在焊接装配好的机座时，应该最后焊满。

在焊接下环板之前，用专门的 U 形铁和楔铁将其与平台牢固地把紧。U 形铁和楔

铁在内、外周应这样放置，使得以后装配时不妨碍把零件装到下环板上。在固定和焊接坡口以后，用样板在下环板1上划出装筋板5（图1-46）的位置并将其搭焊好。用直角尺装筋板，使筋板不伸出在扇形板外径以外，并在以后不会顶到定子外皮上。

在将中间环板装到筋板上之前，必须检查筋板距平台的高度。按划线装好第一个环板的对缝以后，用仰焊缝将其与筋板搭焊起来，而后将中间环板2放到筋板5上，并把该环板装到直径 D_1 上，同时与筋板5（图1-46）搭焊好。然后，在环板上按样板划出装筋6和支承角钢7的位置，将它们装上，并与环板2搭焊起来。按同样的方法装配所有的中间环板，其次序与拆叠的次序相反。这样做是必要的，使一瓣的每个环板在翻身处于应有的位置。为使机座有刚度和减少焊接变形，每个对缝都搭焊两块垫板到扇形板的平面上。

按铅垂线检查中间环板的外径和消除可能的位移之后，按以前在机座下环板上划的线装上下皮板8，并将其与中间环板2和下环板1进行搭焊（图1-47）。

应该注意，为了避免焊接时变形大，必须以最小间隙将外皮配装到中间环板上。

将外皮板装好并把所有的筋板9都放到最后一块中间环板上之后，装配上部支承环板3，同时按铅垂线找正外径，使其与下部支承环板的外径相一致，然后与各筋板和外皮用仰焊方式搭焊好。

机座焊接前的最后一道装配工序是装吊柱，这些吊柱穿过所有的环板。这道工序借助于能保证吊柱处于垂直位置的夹具来完成。

在开焊之前（焊接工作通常是在宽敞的场地进行），必须保证所有零件的刚度，以减少变形。为此，应沿筋板、对缝之间用杆件和角钢增加一些主定位点。应特别注意仰焊点，将这项工作交给技术最熟练的焊工完成。

为使变形最小，焊接按下列次序进行：平焊撑板与环板之间的筋板，焊撑件的周围再将筋板立焊到外皮板上，然后，将外皮焊到环板上。最好采用MII-5型半自动焊机在熔剂层下焊或用二氧化碳气体保护焊，或者采用能在狭空间内灵活自如工作的、尺寸小的类似半自动焊机进行焊接。对环板与外皮的纵向（环形）焊缝，建议用反向分段焊方式先从机座每瓣的中部开始，而后由此向左和向右进行焊接。

所有的平焊缝完成之后，拆卸各瓣，将其从环中取出来，并翻转 180° 按上述次序进行平焊。平焊缝焊完之后，将各瓣再翻转 90° ，外皮朝上，在此位置将外皮板焊到上部环板和下部支承环板上，并焊外皮各板间的坡口。

最后一道工序是装合缝板10（图1-48）。为此，要把焊好的机座各瓣按装配平台上的划线放到原来的位置，在合缝处划切口线，并装上合缝板，同时把它们保持在垂直位置。合缝板应事先加工好，用螺栓成对把好，并在合缝面（图1-2项5）打入定位销。合缝板装好后便立即平焊合缝板。

在将焊好的机座拆成各瓣之前，每对合缝板（合缝条板）都要打上标号1+1、2+2、3+3等。用这种方法打号是必要的，因为各瓣是不能互换的。在将各瓣翻转 180° 以后，从另一面对合缝板也进行平焊。

在制造中等容量（亦即中等外形尺寸）的发电机时和单件生产这些发电机时，上述机座整圆装配和焊接的方法也是适用的。

可拆式灯泡型水轮发电机的机座也是采用上述相同的方法焊接成的。由于对这种发电机的机座形状提出了较高的精度要求，需要将焊好的（不带合缝板）各瓣在电炉内进行退火，以减少以后机械加工时的变形。然后，再将合缝板焊到一瓣的两端。

由于有必要在第一阶段不扩大制造厂装配面积的条件下，大量生产一种型号的大型水轮发电机供伏尔加和布拉茨克水电站用，所以就导致了这样的方法：用夹具或不用夹具装配和局部焊机座瓣，而后进行整圆装配，以便安装和搭焊合缝板。

为焊接伏尔加水电站的水轮发电机定子，列宁格勒《电力》电机制造联合公司制造了第一个这样的焊接夹具。该夹具具有以下优点：1、安装夹具不需要装配面积，并可在基础上进行安装，用水准仪找正夹具；2、提高焊接各瓣的质量，改进了它们的几何形状和缩短了焊接工作的周期。

工艺装备的进一步完善，导致了适于焊接不同外形尺寸机座各瓣的通用夹具的制造。

机座各瓣在通用夹具内的焊接

通用夹具（图1-5）由三个大型焊接架1、2、和3组成。每个焊接架均装在移动式底座10上，底座上焊有一个主筋12，而两侧焊有两个辅助筋11。可拆模板13装在主筋12的前部，并用螺栓16固定。模板支架根据机座各瓣所有环板的实际尺寸和相互位置制造。模板13上焊有使机座每个环板的侧面位置固定的挡铁8。装在滚轮9上的底座10用来作小车，并允许焊接架沿轨道6作径向移动。轨道焊在平台上，平台5用压板4固定到试验站平台上。

用螺栓和压板7将焊接架固定在平台的任一径向位置。在焊接架上，平板15焊到底座10上，平板上面有一条线，根据此线用铅锤划机座环板切边（供合缝板用）的径向线。

焊接架1、2和3可沿轨道6径向移动2.5米，这样就能焊接定子内孔直径为5米的机座瓣。在焊接大直径或小直径的机座瓣时，将焊接架1、2和3与平板5一起径向移动至所需距离，并予固定。为了从焊接60°机座瓣转换到焊接90°机座瓣，即从六瓣转到四瓣，可将焊接架1和3对焊接架2转动一个相应的角度 α 。

在调整焊接架来装焊该水轮发电机定子瓣之前，要完成一系列准备工作：首先将模板13用螺栓固定到主筋12上，检查垂直度和从平板到每个模板下部支架的距离是否相等，以此来保证机座环板的水平度。然后，把按外圆筒和端面划线与切边的环板14放到任一排支架上，并根据下列位置按环板（像按样板一样）进行调整：焊接架1、2和3正确装好以后，其支架应位于标准环板的外曲率半径上；为此，应将每个焊接架小车10一起沿轨道移动，直至样板的相应表面与环板的外表面紧紧接触为止。在此位置将每个小车10用压板7固定到平板5上，而平板5也固定到试验站平台上。最后，把标准环板的端面移到边缘焊接架3的模板13的挡铁8上，然后向另一个边缘焊接架1的压板15上引一条线，以便以后按此线在搭焊合缝板处划机座环板端面线并切边。

这些环板应事先焊在平板1（图1-6）上。机座瓣的每个环板由三个用自动气割机依靠模样板切割的扇形板3组成。从图中可看出，将这些扇形板安放在平板1上，并将