

组合转子发电机

山东省地方国营青島市生建机械厂

水利电力出版社

內 容 提 要

本书除介绍山东省地方国营青島市生建机械厂关于试制 6,000 瓩汽轮发电机的一般制造工艺外,并重点介绍組合轉子及鋁鉄鎳青铜合金护环的设计、制作經驗。同时,还介绍了該厂在设备不足的情况下,贯彻了党提出的“洋土結合”的方针,大搞土设备,因而解决了加工中困难問題的經驗。

本书可供中小型机械制造厂制造 6,000 瓩汽轮发电机时参考,对电机制造及运行检修工作者也有参考价值。

組合轉子发电机

山东省地方国营青島市生建机械厂

*

2219 D 627

水利电力出版社出版 (北京西郊科学路二里内)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 105 号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本 * 3 $\frac{1}{2}$ 印張 * 97千字 * 定价(第 9 类)0.52元

1959年11月北京第 1 版

1959年11月北京第 1 次印刷(0001—3,600册)

前 言

我厂在1958年第四季度，光荣地接受了竟交給的 6,000 瓩汽輪发电机的試制任务。过去，我厂不但沒有生产过汽輪发电机，就連小容量的发电机也沒有作过。在刚开始时，有人認為，要完成这项任务是非常困难的，一方面，感到无法着手；另一方面，感到厂內設備簡陋，以及汽輪发电机所需要的一些特殊材料不容易解决。于是便有人把这一項光荣的試制任务看成了重大的負担，有畏难情緒，認為难以完成。但是，在党的正确领导下，羣众破除了迷信，解放了思想，發揚了敢想敢說敢干的共产主义的风格，大鬧技术革命，大搞土設備；在青島第一发电厂、四方機車車輛制造厂、紡織机械厂和海軍某厂等单位的协作下，終於突破了重重难关，大胆采用了組合式結構的轉子和汽輪发电机制造史上从来沒有用过的鋁鉄鎳青銅合金护环，从而解决了原料和技术加工上的許多困难問題。仅以两个月的時間，完成了 6,000 瓩汽輪发电机的試制任务。

根据我厂試制 TQC 5466/2, 6,000 伏, 3,000 轉/分, 6,000 瓩汽輪发电机的过程，初步总结成这本小冊子，以供从事电机制造工作的同志参考，并愿以此拋磚引玉。由于我們水平不高，時間短促，不恰当的地方在所难免，因此恳切要求同志們提出宝贵的意見，不吝指教。

山东省地方国营青島市生建机械厂

1959年8月

目 录

第一章 TQC 5466/2型6,000瓩汽輪发电机的結構与	
技术条件	4
第一节 汽輪发电机的結構介紹	4
第二节 汽輪发电机的技术条件	6
第二章 汽輪发电机的机座、端盖、軸承的結構与制作	10
第一节 机座的結構与制作	10
第二节 端盖結構	12
第三节 軸承座結構	13
第四节 用土設備加工机座	14
第三章 汽輪发电机的定子結構与制作	18
第一节 发电机定子結構	18
第二节 定子鉄心的冲制	19
第三节 定子冲片的涂漆与烘干处理	23
第四节 定子鉄心的土法压装	25
第五节 測溫装置	26
第四章 汽輪发电机的定子綫卷与制作	31
第一节 发电机的定子綫卷	31
第二节 定子綫卷的絕緣包扎	31
第三节 定子綫卷的烘焙与成形	32
第四节 定子嵌綫	33
第五节 定子的烘焙	34
第五章 汽輪发电机的組合轉子	36
第一节 轉子結構	36
第二节 組合轉子的計算数据	39
第三节 組合轉子机械强度計算	40

第四节	組合轉子本体的組裝鎖緊力的測得	46
第五节	組合轉子材料和鍛坯	48
第六节	組合轉子的組裝	49
第七节	利用土設備进行轉子机械加工	51
第六章	汽輪发电机护环的功能和制造	56
第一节	护环的功用	56
第二节	护环的試制	57
第三节	护环机械强度計算	59
第四节	护环的制造工艺过程	65
第五节	鋁鉄鎳青铜合金的熔炼	66
第六节	护环的澆鑄工艺	70
第七节	护环的鍛造	74
第八节	护环的热处理	81
第九节	护环与組合轉子配套	82
第十节	組合轉子和护环的探伤試驗	84
第七章	汽輪发电机轉子綫卷的制作	88
第一节	发电机的轉子綫卷	88
第二节	轉子綫卷的制作	88
第三节	轉子嵌綫	91
第四节	轉子綫卷的热压	94
第八章	励磁机	96
第一节	励磁机的結構	96
第二节	励磁机的制造	98
第三节	励磁机的試驗	100
第九章	汽輪发电机的轉子动平衡和超速試驗	103
第一节	轉子的动平衡試驗	103
第二节	組合轉子的超速試驗	107
第十章	汽輪发电机的試驗及运行情况	111
附录	自制和代用的材料	115

第一章 TQC 5466/2 型 6,000 瓩汽輪发电机的結構与技术条件

第一节 汽輪发电机的結構介紹

TQC 系列的三相交流汽輪发电机是仿照捷克 4H 系列汽輪发电机制造的。TQC 三个字母是代表汽輪发电机的系列。TQC 后面的前两个数字是代表鉄心直徑号数，后面的两个字是代表鉄心长度的号数；斜綫后面的数字表示发电机的极数。例如：我厂仿捷 6,000 瓩汽輪发电机的型号为 TQC 5466/2 是表示具有 54 号鉄心直徑、66 号鉄心长度和两个磁极的 TQC 系列的汽輪发电机。

TQC 系列汽輪发电机采用封閉空气循环冷却。每分鐘 3,000 轉，电压 6,300 伏，旋轉方向由励磁机端看是順时針旋轉的。

汽輪发电机有以下几个組成部分：

- (1) 汽輪发电机本体；
- (2) 励磁机；
- (3) 冷却器。

在汽輪发电机本体部分又可分为定子、鉄心、轉子、軸承和端盖等。TQC 系列汽輪发电机的机座与端盖都用鋼板焊接而成。定子鉄心为构成定子的有效部分，作为导磁的回路。定子冲片是用扇形冲片迭成压装在机座內。其压装結構是用机座外壁一端的鋼板割成一圓环，将定子鉄心的扇形片压装好后，就用此鋼环压紧，并与外壁焊在一起。

定子繞組是用双玻璃纖維按 B 級絕緣包扎的銅綫，外面用連續云母帶包扎，再經浸漆处理。定子綫卷的端部采用漸伸綫形的結構。綫卷端部用胶木压板及反磁的鋁青銅螺釘固定。綫卷为半組式的。

在定子鉄心扇形冲片的齿部、軛部及两层綫卷之間，装有 12 个电阻測溫元件。用来了解运行中的汽輪发电机定子各部分的溫

度，監督汽輪發電機在允許的溫升限度內安全運行。

因為TQC系列汽輪發電機是采用封閉空氣循環冷卻和軸向分段多流式徑向通風系統，所以在鐵心沿軸方向分成許多扇形沖片的迭片段，其中留有進風道和出風道。進風道和出風道的排列是互相間隔的。冷空氣由轉子兩端風扇進入後，經過機座的通風道及轉子中心環下的通風道兩路進入發電機的內部，經由定子鐵心的進風風道至氣隙，然後再經定子鐵心的出風風道經機座的下部送至空氣冷卻器。從轉子中心環進入的冷空氣，經過轉子中心環，再經過轉子繞卷端部，從護環的通風孔及轉子的軸向通風槽楔的孔進入氣隙，由氣隙進入定子鐵心的出風風道，再經機座下部進入空氣冷卻器。經冷卻後，再由轉子兩端的風扇吸入，這樣往復循環。

TQC系列汽輪發電機的轉子原設計是用優質鋼整體鍛制的，我廠制造的是采用組合式結構的轉子。在轉子圓周上共有散熱用的通風機4個。通風槽的槽楔上并有通風孔，以利于熱量的散發。

轉子繞卷的槽楔是用鋁青銅鍛制的。在轉子上由轉子繞組的槽楔及護環形成封閉的阻尼籠，以作為阻尼裝置。

轉子繞組的匝間絕緣用雲母帶連續包紮。絕緣銅綫與裸銅綫是相互間隔的。在轉子繞卷兩端的端部用膠木板作的墊塊墊緊，以防止繞卷在運轉時變形。同時在兩端套有防止繞卷在運行時飛出的護環。由於轉子在運行時，繞卷端部將產生相當大的離心力，同時護環本身也會產生離心力，因此護環在運行時將受到相當大的應力，所以，對護環材料的機械性能必須要有嚴格的要求。另一方面，為了減少漏磁損耗，不使端部繞卷與護環產生過熱現象，捷克的原設計採用鎳鉻合金的反磁性鋼，我廠採用與反磁性鋼機械性能相同的反磁鋁鐵鎳青銅合金制作護環。

轉子出綫的集電環分裝在轉子的兩端。出綫經由出綫槽接至集電環。

TQC系列6,000瓩汽輪發電機的軸承，是采用能調整的球面

軸承。軸衬潤滑采用压力油循环系統。軸承与底架之間裝有胶木板絕緣，以防止軸电流对軸衬合金的侵蝕。

TQC 系列汽輪发电机的空气冷却器是用冲孔的方形冷却片与穿过冷却片的冷却黄銅管組成。每 4 根冷却水管穿过一串方形冷却片，构成一个組。再由 12 个組組成一个单独具有水循环系統的空气冷却段。每一台空气冷却器由 3 个这样的空气冷却器段組成。

TQC 系列 6,000 瓩汽輪发电机励磁机的电樞是直接裝在发电机轉子的軸端，沒有其他的軸承支持。励磁机的定子則与发电机軸承座同裝在一个底座上。为了达到励磁机在运行时的稳定使用范围，故在主极鉄心冲片上冲有缺口以提高励磁电压的稳定。励磁机的通风系統不与发电机相連接，而单独裝有輻向和軸向的独立通风系統。

第二节 汽輪发电机的技术条件

1. TQC 系列 6,000 瓩汽輪发电机的正常工作条件如下：

- (1) 汽輪发电机須裝置在海拔 1,000 米以下；
- (2) 冷却空气須保持在 40°C 以下，最高不超过 40°C ；
- (3) 在一般情况下，汽輪发电机是安裝在室內的。

2. 基本数据：

容量	7,500 千伏安
电压	6,300 伏
轉速	3,000 轉/分
周波	50 周/秒
功率因数	0.8
效率	96.2%

3. TQC 系列汽輪发电机在正常的工作条件下，允許滿載連續运行。其主要部分的最大允許溫升数值如下：

(1) 定子綫卷的最高允許溫升为 75°C 。由埋置在定子鉄心內兩綫卷之間的电阻測溫元件量得。

(2) 轉子繞卷的最高允許溫升為 90°C 。用電阻法測量。

(3) 定子鐵心的最高允許溫升為 65°C 。由埋置在定子鐵心中的電阻測溫元件量得。

4. TQC 系列 6,000 瓩汽輪發電機在冷卻空氣分別為 40°C , 30°C , 20°C 時, 其容量、功率因數及溫升的關係見表 1-1。

表 1-1

冷卻空氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	容 量 (千伏安)	溫 升 ($^{\circ}\text{C}$)			功率因數
		定子繞卷	轉子繞卷	定子鐵心	
40	7500	75	90	65	0.8
30 以下	7900	85	100	75	0.76
20 以下	8100	95	110	85	0.74

5. TQC 系列汽輪發電機在額定功率因數下, 其電壓在額定值的 $\pm 5\%$ 範圍內變化。其周波在額定值的 $\pm 1\%$ 範圍內變化時, 發電機的額定容量不變。

6. TQC 系列汽輪發電機其電壓提高至 110% 時, 可以連續地長期運行。但其容量千伏安及其勵磁電流不允許超過額定值。

7. TQC 系列汽輪發電機的外型尺寸(見圖 1-1) 及重量如下:

總長	4,850 毫米
總高	1,950 毫米
總寬	1,950 毫米
總重	16,870 公斤

最大運輸重量 11,570 公斤。

8. TQC 系列汽輪發電機, 為防止軸電流侵蝕軸襯而裝用的絕緣墊板, 其對底架的絕緣電阻用 1,000 伏高阻計測量時不得低於 1 兆歐。軸承的出油溫度應不大於 65°C , 軸襯溫度應不大於 80°C 。

9. 發電機經烘干後, 定子繞卷與轉子繞卷的絕緣電阻, 在近於工作溫度時(標準工作溫度為 75°C) 應不低於由下式所求得的數

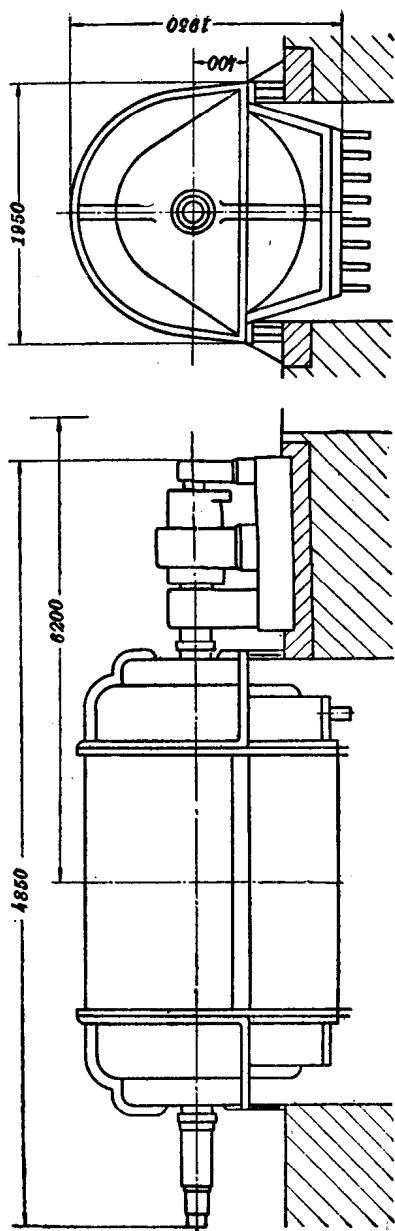


图 1-1 外型尺寸

值。

$$\text{絕緣电阻} = \frac{\text{綫卷額定綫电压(伏)}}{1000 + \frac{\text{发电机額定容量(千伏安)}}{100}} \text{兆欧。}$$

10. 发电机在額定轉速下运行时，其軸承由 3 个方面測得的振动值应不大于 0.05 毫米。

11. TQC 系列 6,000 瓩汽輪发电机，在不同的負載下其功率因数与效率的关系見表 1-2，短时过载能力見表 1-3。

表 1-2 不同負載时功率因数与效率的关系

效率(%) 功率因数	負載 P_H (千伏安)	$\frac{3}{4}P_H$ (千伏安)	$\frac{1}{2}P_H$ (千伏安)	$\frac{1}{4}P_H$ (千伏安)
1.0	97.1	97	96.2	93.8
0.8	96.2	96	95.2	92

表 1-3 过载能力和允許持續時間

过载电流倍数	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	2.5
允許持續時間 (分)	30	3	2	1.5	1	0.5	0.25

上列短时过载温升，不应大于該发电机在正常条件下滿載运行时的最大允許温升限度。

12. TQC 系列 6,000 瓩汽輪发电机試驗数据：

試驗項目	設計值
定子綫卷直流电阻	0.0245 欧/相(20°C)
轉子綫卷直流电阻	0.7 欧(20°C)
定子綫卷銅耗	42.4 瓩(75°C)
磁极綫卷銅耗	22.4 瓩(75°C)
励磁机損耗	2.2 瓩
定子鉄耗	29 瓩
杂耗	37.6 瓩

風扇及摩擦損耗	56瓩
總損耗	189.6瓩
滿載效率	96.93%
軸承溫升限度	45°C
空載勵磁電流	54安
空載勵磁電壓	38伏
滿載勵磁電流	162安
滿載勵磁電壓	168伏
漏磁電抗 X_s	10.2%相對單位值
直軸同步電抗 X_d	238%相對單位值
直軸瞬時電抗 X'_d	23.5%相對單位值
直軸次瞬時電抗 X''_d	12.2%相對單位值
定子繞卷高壓試驗	13,600伏 1分鐘
轉子繞卷高壓試驗	1,680伏 1分鐘
定子繞卷匝間絕緣試驗	130%額定電壓 5分鐘

第二章 汽輪發電機的機座、端蓋、 軸承的結構與製作

第一節 機座的結構與製作

1. 機座結構 TQC 系列6,000瓩汽輪發電機的機座用鋼板焊接而成。機座部分主要由外壁、中壁、上下縱隔板、支持筋撐條、風罩底板和外罩板等構成。

上下縱隔板的作用是連接外壁和中壁，以使其相互連接為一體。

通風罩是冷卻空氣循環經由的部分，也是通風系統的組成部分之一。通風罩將機座分成進風部分和出風部分。冷空氣由兩端端蓋進入通風罩後，再由通風罩進至鐵心的進風風道，這時冷空氣將移走鐵心和定子繞卷所散發的熱量，而變為熱空氣流，再由氣隙回至定子鐵心的出風風道，經機座通風罩外邊的空間逸

出，由机座下部送至空气冷却器。如此往复循环。

支持筋撑条是固定鉄心冲片的，鉄心扇形片上的鳩尾槽即装在支持筋条上，以防止定子扇形冲片的徑向移动。

底座是供汽輪发电机安装时用的。整个机座与底板焊接为一个整体，用螺釘与发电机底架和基础相連接固定。

外罩板就是汽輪发电机的外壳，用它来防止灰尘侵入定子鉄心内部，保护鉄心冲片的絕緣和定子綫卷的絕緣；另外，外罩板还起到密閉机座的作用，以使冷却空气循环而不至外逸。

发电机机座起吊用的吊环装在机座的内部，焊接在縱隔板上。在外罩板上留有两个方孔，孔的周圍衬以毡垫，作密封用。上面复以盖板，用螺釘紧固。当发电机需要起吊时，須将頂部盖板打开。由于汽輪发电机机座需要起吊的时间并不多，所以吊环的结构比較简单，它不用加强板等。在机座外罩板的下部亦留有5个方孔，4个方孔是为紧固发电机与底架之間的螺釘的。其结构与吊环的盖板相同。在安装汽輪发电机时，底架螺釘紧固完毕后，孔外用螺釘将盖板上紧。另一个方孔是安装定子鉄心內埋置的測溫元件出綫板的。定子鉄心及綫卷內的測溫元件的出綫均由此处經机座下部的弯管接至远方的偶衡指溫計的指示仪表上，以便遙測发电机在运行时的溫升。

位于机座的下端，装有用鋼板焊接呈方框形状的出风斗，它是热空气由机座送至空气冷却器經過的地方。出风斗直接用螺釘紧固在机座的下面。

2. 机座的制作 制作机座时，先在35毫米厚的鋼板上涂上白粉，照圖紙尺寸划下料綫，然后用汽焊割下机座的外座和中壁。因用气焊枪下料时，鋼板将会弯曲变形，故在下料后需用手錘进行平整。然后再割下通风孔及內圓孔。割后需再行平整鋼板。平整后，根据划綫位置将間隔垫块焊接在外壁上。我厂制作机座的车間因无行車，故采用平置迭接的办法来进行焊接的，見图2-1。先将外壁置于平板上，下面用4个小千斤頂校成水平。然后焊接通风罩、中壁和外壁等。中壁与外壁之間的距离是采用特

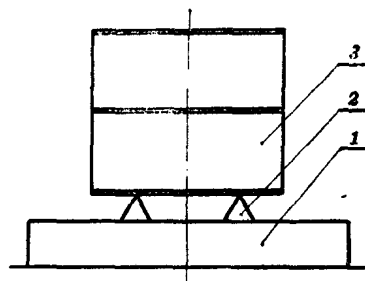


图 2-1 机座焊接图

1—平台；2—千斤顶；3—机座。

制的标准鋼輥来控制。外壁与中壁之間的距离的調整用拉紧螺杆等简单工具进行。在調整时，必須保持三壁同在一个中心。外壁与底壁脚柄处必須保持直角，外壁与中壁亦必須保持平行。在装配撑条与支持筋靠板焊接时，假使过长，可以气割修配，但必須注意，支持筋靠板的等份必須正

确。否則在安装支持筋条时将有困难。

在焊接时，机座的总长度、內圓、壁的厚度、中心高和外形等均需要同时照顧到。若只管內圓而忽略外形尺寸时，在装配端盖时就会发生不齐的現象。在机座焊接时也会发生变形，以致使在焊接后总长度縮短等。

机座部分焊好以后，即可放平进行装配外罩板。外罩板需預先划好中心綫、吊环方孔、紧螺帽方孔、测温装置接綫盒方孔以及溫度計連接管位置的割孔綫。用气焊枪割孔后，再用銼修光。根据上海电机厂的規定，机座的尺寸公差为：軸向长度 ± 3 毫米；同心圓偏心率 ± 3 毫米；机座两端的凸緣长度，最短的地方不得少于 4 毫米；外壁焊后呈波浪形，高低公差应在 ± 2 毫米范围内。

第二节 端盖结构

本型汽輪发电机的端盖部分，为便于拆装和檢修，采用拼接端盖，用鋼板焊接制成(见图 2-2)。每端端盖上装有視察窗两个，以便在汽輪发电机运行时由此監視电机內部的运行情况。視察窗的玻璃最好采用鋼化玻璃，因鋼化玻璃在被打碎后即成粉粒状，不致飞入机座內部造成故障。在每端的端盖上，均装有两个吊环，以便在起吊端盖时使用。在轉子軸伸与端盖相連接部分装有圓形的毛毡垫与圓形鋼刀片(见图 2-3)，鋼刀片紧密地装在

轉子軸伸部分，主要為使端蓋與軸的間隙減到最小限度，以防止冷卻空氣外逸和髒空氣的侵入；同時也防止由集電環炭刷上磨下來的炭粉末吸入機座內。在銅刀片裏面襯有毛氈墊，它起吸附灰塵和密閉的作用。此處的銅刀片，不能用其他材料代替，因為，如用鋼、鋁、膠木和層壓板等，容易將軸割成槽口，軸將有可能由此處斷裂。此外，在端蓋上尚焊有水銀溫度計管座，供安裝測量進風風溫水銀溫度計用。緊固炭刷架之炭刷杆的鉗孔座，亦焊裝在端蓋上。在靠勵磁機端的下端蓋上裝有一塊膠木板。發電機的6根引出綫即由此處引出。

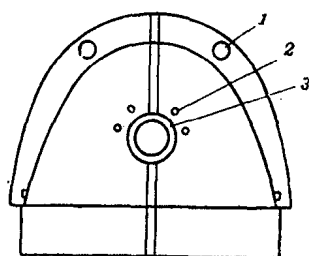


圖 2-2 端蓋

1—觀察窗；2—鉗孔座；3—軸封。

此外，在端蓋上尚焊有水銀溫度計管座，供安裝測量進風風溫水銀溫度計用。緊固炭刷架之炭刷杆的鉗孔座，亦焊裝在端蓋上。在靠勵磁機端的下端蓋上裝有一塊膠木板。發電機的6根引出綫即由此處引出。

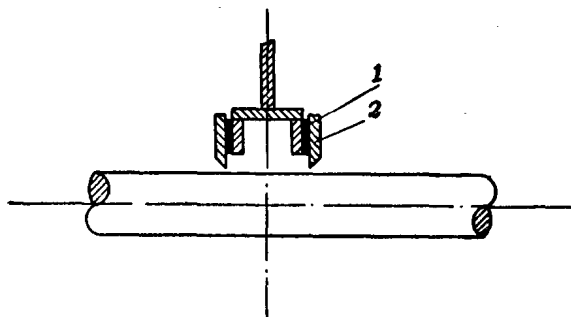


圖 2-3 軸封裝置

1—氈墊；2—銅刀片。

TQC 系列 6,000 瓩汽輪發電機的两端端蓋內裝有滅火管，其位置與定子鐵心及繞組相對。管上鉗有許多小孔。滅火管的閥門裝在機座外面，一旦機座內部起火時，即可開啟水閥，使機座內形成水幕，隔絕氧氣，从而使火熄滅。

第三節 軸承座結構

本型汽輪發電機的軸承座只設在勵磁機端一個。汽輪機端的

軸承裝在汽輪機內。勵磁機端的滑動軸承，採用了球面軸承座。軸承座是用鑄鐵製成。軸承座與底架之間墊有絕緣板，螺釘均墊有絕緣墊圈及絕緣套管等，使軸承座與底架絕緣，以防止發電機軸電流侵蝕軸襯。軸襯採用壓力油循環潤滑，潤滑油由下面壓入。故此型軸承的潤滑系統不受轉動方向的限制。因此種球面軸承只有四個位置與軸承座相接觸，故在加工時比較簡單——只需加工刮研四個位置即可，同時在安裝時也不易壓壞軸襯，即使轉子軸略有撓度，在運行時也不至於壓壞軸襯。軸承座上裝有水銀溫度計，以備在運行時測量潤滑油的溫度和軸襯的溫度。軸瓦是採用鳩尾狀，將合金澆固在軸瓦上。在轉子軸與軸承座相連接處裝有軸封裝置及擋油板。軸封部分是採用黃銅刀片緊靠地裝在轉軸與軸承座處，使油室與軸之間的間隙減少，以防止潤滑油外溢。

第四節 用土設備加工機座

1. 發電機機座的刨削加工 在加工機座底平面時，需要有大

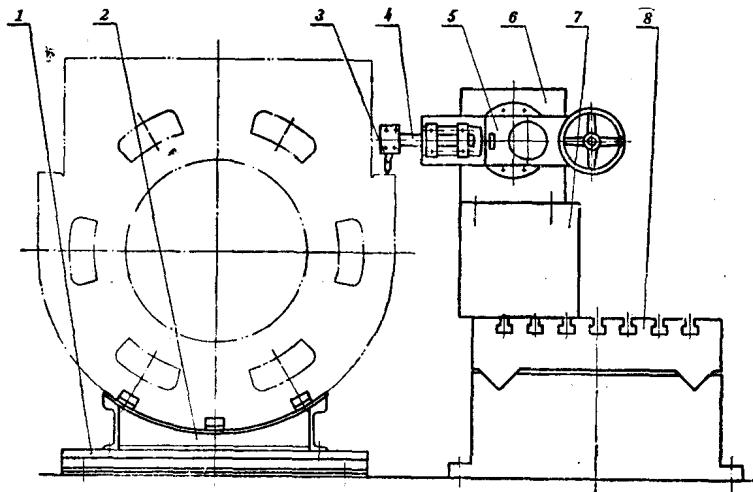


圖 2-4 機座刨削圖

1—底座；2—發電機機架夾座；3—刨刀；4—刨刀杆；5—龍門刨刀架；
6—彎板；7—鉗鐵；8—龍門刨床床面。

型的鑽床或刨床。我厂无此

大工作高

度仅为1,250毫米。根据以上情况,我們采用了将工件固定在刨床一旁,用刨台进行刨削的方法(见图2-4)。先根据发电机机座頂部尺寸,作一用角鋼焊制的托架。然后根据要求,将托架用混凝土固定在刨床的一边。加工前,須将机座倒置在托架上,根据加工綫調整水平后再紧固在托架上;另外,将龙门刨上垂直刀架拆

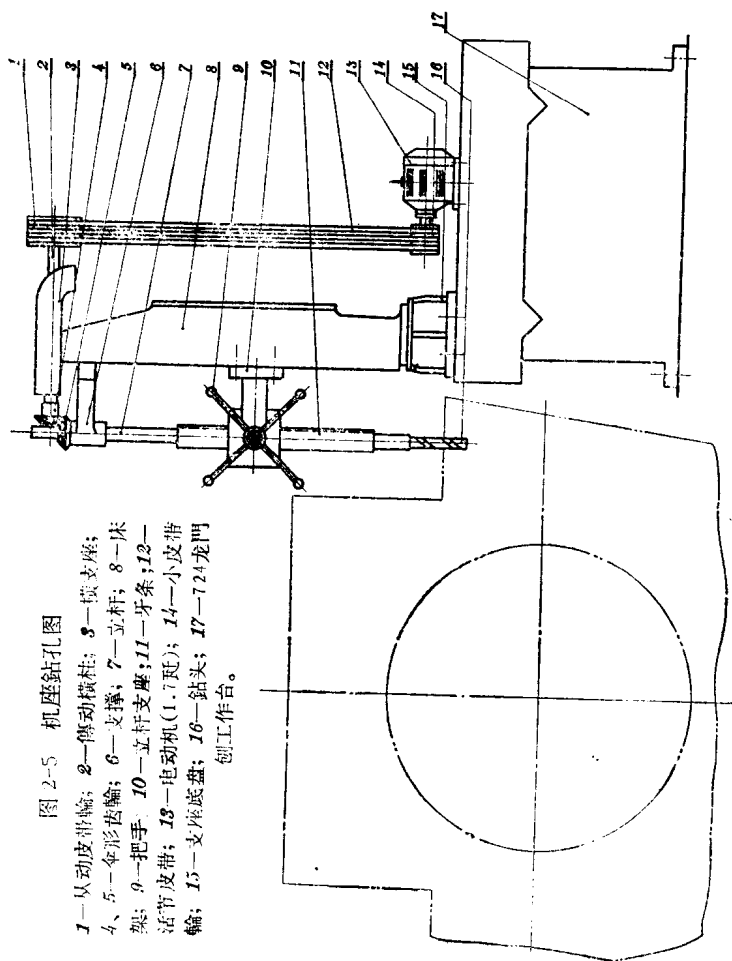


图 2-5 机座鉗孔图

1—从动皮带輪; 2—傳动橫樑; 3—機座;
4、5—傘形齒輪; 6—支撐; 7—立杆; 8—床
架; 9—把手; 10—立杆支撐座; 11—牙條; 12—
活節皮帶; 13—电动机(1.7 瓩); 14—小皮帶
輪; 15—底座底盤; 16—鉗頭; 17—724 龍門
刨工作台。