

內 容 提 要

本書主要說明发电机和調相机的構造和运行方面的知識。書中內容有：发电机和調相机的構造；发电机的并列运行和特殊运行；調相机的启动方法和設備；电机的一般故障和消除方法等。

本書可供电机运行和檢修工人閱讀。

发电机和調相机

李 鍾 吳編著

*

1752B375

水利电力出版社出版（北京西郊科聯路三里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本*2 $\frac{1}{2}$ 印張*53千字

1958年12月北京第1版

1958年12月北京第1次印刷(0001—30,100册)

統一書号：15143·1367 定价(第2类)0.30元

出版者的話

随着工农业的大跃进，各省、市、专区、县和有条件的农业生产合作社，都在迅速地建設着中小型的火力发电厂和水电站。因之电气工人必將大量增加。为了适应电气工人的技术学习和工作的需要，我們决定出版一套“发电厂和变电所电气工人叢書”。这套叢書共二十三册，内容包括：发电厂和变电所的电气设备概論，发电机和調相机，发电机的故障和修理，交直流电动机和励磁机，发电厂和变电所的自用电，电力变压器和調压裝置，开关設備，配电裝置，電纜，电力整流裝置，蓄電池，繼电保护和二次回路，电气信表，发电厂和变电所的过电压保护，发电厂和变电所的安全設備和用具，发电厂和变电所的自动控制和信号設備，发电厂和变电所的远測量，发电厂和变电所的通訊設備，发电机和发动机的安裝，电力变压器的安裝，开关安裝和母綫的安裝等。文字通俗易懂，沒有高深的理論，并适当地附了些插图来帮助理解文字叙述；它能使具有高小至初中文化程度的电气工人比較系統地从書中得到发电厂和变电所电气設備的結構、性能、安裝、运行和維護等各方面的知識。

因为担任这套叢書編写工作的各位作者写作进度不一，所以这套叢書不能按序出版，而是根据作者脫稿的先后陸續出版，在編排上，我們考虑了叢書的系統性，也考虑了每册的独立性，所以出版，对讀者的影响不会太大。我們希望讀者提出宝贵意見。

目 录

第一章 发电机和調相机的原理、类型和構造	4
第一节 发电机和調相机的原理及应用上的区别	4
第二节 发电机和調相机的类型和構造	13
第二章 发电机和調相机設備的基本要求	45
第一节 表計方面	45
第二节 励磁回路	47
第三节 繼电保护及自动裝置	48
第四节 軸承及灭火裝置	50
第三章 发电机和調相机的正常运行方式	51
第一节 发电机和調相机的运行标准	51
第二节 发电机的起动	58
第三节 調相机的起动	63
第四节 发电机和調相机接帶負荷	66
第五节 发电机稳定运行的概念	69
第六节 发电机的拉閘、停机	72
第四章 发电机的特殊运行方式	72
第一节 发电机过負荷运行	72
第二节 三相負荷不平衡运行	73
第三节 发电机的非同期运行	75
第五章 发电机几种常見故障的現象及其处理方法	78
第一节 电網和发电机故障时表計的变动	78
第二节 綫卷和鉄心的故障	84
第三节 运行中电机的振动和窜軸	87
第四节 冷却系統的故障	89

第一章 发电机和調相机的 原理、类型和构造

当三相交流感应电动机出現后，不論从使用方便上或者从經濟上来看，采用恆定周波的三相交流电系統是有很大优点。因此近代发电設備都是采用三相交流的同步发电机。同步发电机的定义是发电机的轉速、周波数和极数必須保持下面的关系

$$f = n \times P / 60.$$

式中 f ——发电机的周波数(周/秒);

n ——发电机的轉速(轉/分);

P ——磁极对数。

例如：2 极交流发电机轉速为 3000 轉/分时，电机发出的交流电周波数即为 50 周/秒。

由上面的关系可以看出要是发电机的磁极对数在运行中不变，发电机的轉速也保証在規定的数值不变，則发电机发出的交流电的周波数就可維持在恆定的数值。多数的工业負荷要求周波恆定，这是采用同步发电机的原因。我們以后所談的发电机就是指这种发电机。

第一节 发电机和調相机的原理及应用上的区别

一、发电机和調相机工作原理簡述

(1)发电机的原理 工业动力上所用的交流发电机，都是采用旋轉磁場式。图 1-1 是这种电机的原理說明图。固定的鉄心上設有 12 根导綫，按順序 1、2、3……12，

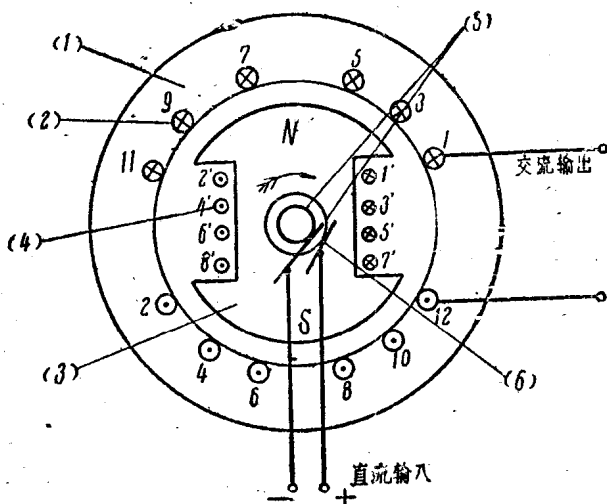


图 1-1 发电机工作原理图

(1)——固定铁心；(2)——定子导线；(3)——转动铁心；(4)——转子导线；

(5)——转子滑环；(6)——电刷。

⊗离开读者的方向；⊙指向读者的方向。

串联成 6 个线卷。1 和 12 为两引出线头。转动的铁心上设有 8 根导线，按顺序 1'、2'、……8'，串联成 4 个线卷。1' 和 8' 是两引出线头，接到两个滑环上，通过两个电刷和直流电源的正负极相连。假定我们在转子导线中通以直流电流，它的方向如图 1-1 所示，则在转动铁心中产生的磁场方向见图 1-1。当由原动机 ① 拖动转动铁心顺时针向旋转到图 1-1 位置时，定子导线中会产生图 1-1 所示方向的电势。要是在 1 和 12 间接一个电阻，定子线卷通过电阻成一闭合电路而在导线中流过和电势同方向的电流。通有电流的定子线卷就要产生

① 原动机即带动发电机转子转动的机器，例如汽轮发电机组中的汽轮机等等。

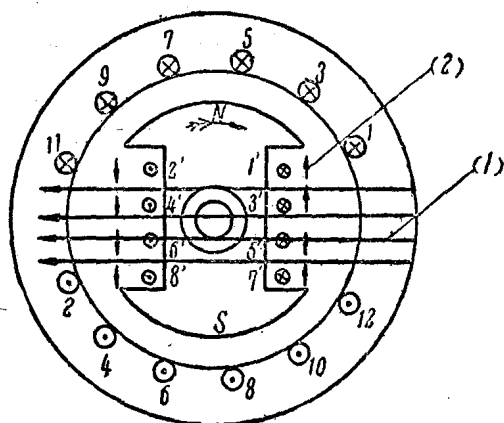


图 1-2 发电机工作原理图

1—定子线卷产生的磁场方向；2—转子导线受力的方向。

磁场，它的方向见图 1-2 所示。定子线卷产生的磁场通过有电流的转子导线时，根据左手定则，转子导线上就受到电力。1'，3'，5'，7'各导线受到向上的力；2'，4'，6'，8'各导线受到向下的力。这两组力要使转子逆时针方向转动，即和原动机相反的转向。当铁心继续旋转到 180° 时，定子线卷中的电势方向变换成图 1-3 所示，因转子磁场方向已反，此时定子线卷中的电流随之变换，定子磁场方向也变换成图 1-3 所示，转子导线上的受力方向也见图 1-3。2'，4'，6'，8'各导线受到向上的力，1'，3'，5'，7'各导线受到向下的力，这两组力仍要使转子逆时针方向转动，即和原动机的转向相反。由此可见在运行中的发电机，不论何时要在转子导线上产生和原动机旋转方向相反的电力，阻止电机转动。这个电力，我们就称它为反抗力。很明显，要想保持发电机的转速恒定，则当反抗力增大时，原动机的拖动力也要相应增加，当反抗力减少时，原动机的拖动力相应降低。在汽轮发电机

中，改变汽輪机的蒸汽流量就能变化原动机的拖动力。在水輪发电机中，改变水輪机的进水流量就能变化原动机的拖动力，因此反抗力的增减表示着蒸汽或水的消耗量的增减。

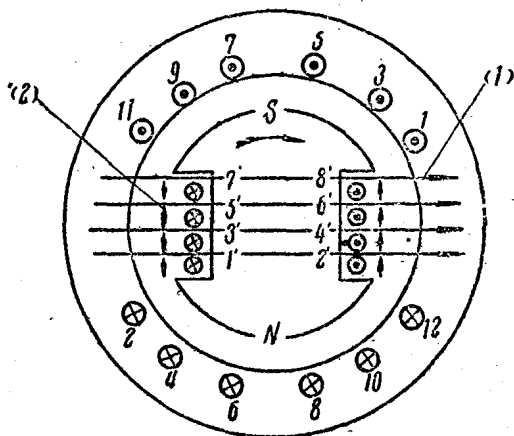


图 1-3 发电机工作原理图

1—定子繞卷产生的磁場方向；2—轉子導線受力的方向。

我們知道，可由实验中得出：一个帶有电流的导体，在磁場中受到电动力的大小和它电流数值及磁場中磁通密度数值的乘积成比例。发电机中，定子磁場的磁通密度和定子繞卷中的电流有关，而轉子繞卷中的电流大小表示着轉子磁場大小也即表示定子導線中的电压大小，所以发电机轉子导体上受到的反抗力，也可說是决定于定子繞卷中电压和电流的乘积。当定子繞卷中电压和电流乘积增大时，轉子导体上的反抗力也增大。定子繞卷中电压和电流乘积减少时，轉子导体上的反抗力也减小。

在交流发电机中，定子繞卷的电压、电流每时每刻都由于轉子磁場位置的变动而按正弦規律不断在变化。因此轉子

导体上受到的反抗力也按正弦规律不断地变化，在一个周波的时间内，转子导体上受到的反抗力的总和，就决定于一个周波时间内定子绕组中每时每刻的电压和电流乘积的总和。

在交流电路中，负荷有电阻、电感和电容之分，多数负荷为混合性负荷。例如：交流感应电动机的绕组，既有电阻又有电感。在电阻负荷中，电压和电流同相。在电感负荷中电流比电压滞后 90° 相角。在电容负荷中电流比电压超前 90° 相角。而在电阻电感混合负荷中，电流比电压滞后一个小于 90° 的相角，随着电阻和电感的比值不同，其滞后的相角也不同。相角的差别，实际就表示电压、电流大小的变化在时间上的参差。我们举三个电压、电流数值相同但电压和电流间相角差不同的三个负荷来看。第一个负荷是电压和电流同相的电阻性负荷，它的数值变化见图 1-4 甲。第二个负荷是电流比电压滞后 90° 的电感性负荷，它的数值变化见图 1-4 乙。第三个是电流比电压滞后一个任意数值相角差的混合负荷，它的电压、电流数值变化见图 1-4 丙。假如我们分别将这三种情况的每时每刻电压和电流的乘积也用图形来表示，就可得到图 1-4 甲、乙和丙的下半部图形。从图形中清楚看出，由于电压和电流的相位不同即大小变化的时间不同，使在一个周波的时间内的电压和电流的乘积总和也不相同。在电感负荷中，一个周波内的正负值恰相等，故总和为零。在电阻负荷中一个周内全为正值，而在电阻电感的混合负荷中有一部分是负值故其总和就比电阻负荷情况小。因此虽在相同的定子电流和电压下，转子导体上的反抗力恰随着定子电流的负荷性质而变，在电阻负荷中反抗力最大，在电阻电感负荷中较小而在电感负荷中就没有反抗力了。

当发电机供给电阻电感混合负荷时，我们可以把发电机

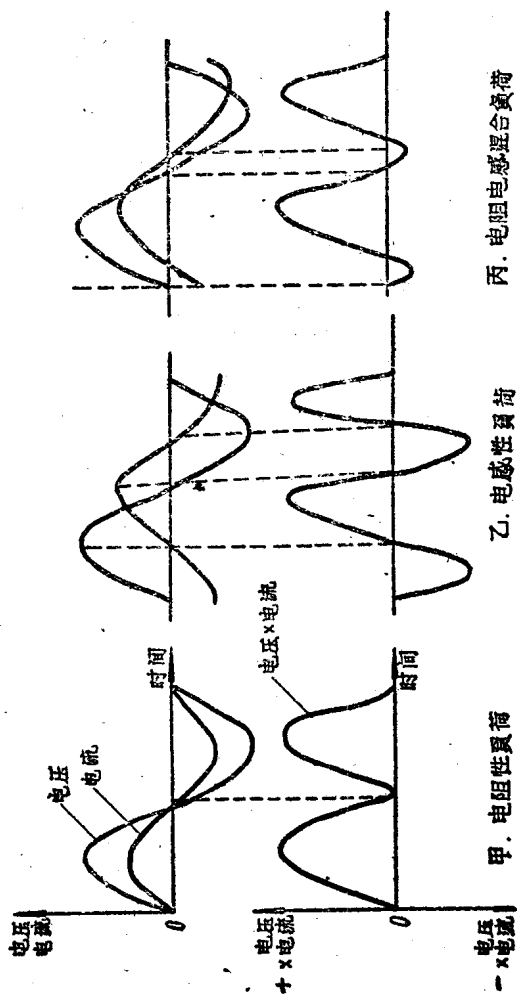


图 1-4 电压电流变化图形

送出的电流，假想地分成电阻性和电感性两个部分。电阻性部分在轉子导体上产生反抗力，需要原动机的拖动力来克服，电感性部分不在轉子导体上产生反抗力，不需原动机的拖动力。对于需要原动机拖动力的一部分，我們称它为有功电流或有功負荷，因为它要消耗燃料或水力，而对于不需原动机拖动力的一部分，就称它为无功电流或无功負荷，因为它不要消耗燃料或水力。

在定子綫卷中，电感性电流所产生磁場会削弱轉子磁場、降低发电机定子綫卷的电压，要想保持原有的电压需要增加轉子电流来維持原来的轉子磁場。因此发电机供給有功电流的能力，决定于原动机的拖动能力，而供給无功电流的能力，决定于轉子电流大小。

(2) 調相机工作原理 发电机也可以完全供給无功負荷，此时发电机的原动机只需要克服机組的风阻、摩擦、銅損、鉄損及其他杂散損耗。这些損失和机組容量相比极为微小。我們可以进一步設想，把发电机当作电动机一样接到电网上运行。要是在定子綫卷中产生一个磁場，在空間旋轉，而轉子上也有一个磁場，这样定子磁場和轉子磁場相吸引拖着轉子一起等速旋轉。当三相定子綫卷中通过三相交流电流时，就会在定子綫卷中产生一个空間等速旋轉的磁場^①。轉子磁場只要在轉子綫卷中仍通以直流电流即可取得。此时若发电机轉子电流足够大时，就能供給电网足够的无功电流，而电机仅向电网吸取少量的有功电流来克服損失，維持恆定的轉速。对于这种运行状态的发电机，我們就称它为調相机。所以发电机和調相机在原理上是一致的，只是应用上的区

① 詳細理由可參閱“初級电工原理”第四册，陆鶴寿著，科技出版社。

別。发电机同时向电网供給有功負荷和无功負荷，調相机向电网只供給无功負荷，还要向电网吸取少量的有功負荷。发电机必須有原动机拖动，調相机不需要原动机但必須和电网中其他发电机并列运行而不能单独运行。

发电机和調相机这两种运行状态可以互相轉換。例如在汽輪发电机运行中，將汽輪机的主汽門关闭后发电机失去原动力，若发电机轉子电流繼續供給，則发电机可由电网来維持轉速而由轉子电流的增加来供給电网的无功电流，成为調相机的运行状态。

二、調相机的作用

发电机是电网中有功負荷和无功負荷的主要电源，而調相机是作为电网中供給无功負荷的一个輔助电源，以滿足电网經濟运行的要求。

假定有一个簡單的电力系统如图 1-5 那样。用戶所需的有功电流和无功电流都要經過輸电綫才能送到用戶处。当輸电綫很長、綫路电阻电感都很大，而用戶的电流又大；则电流在輸电綫上产生的銅損和电压降落相当可觀，甚至会使用

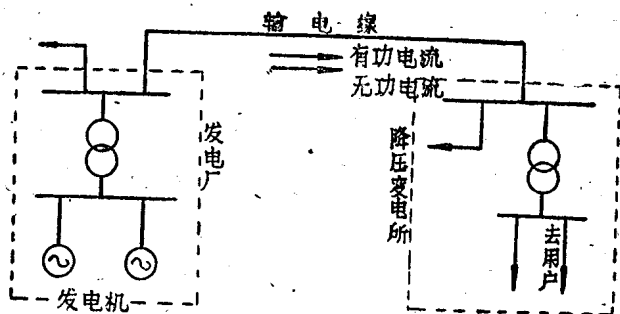


图 1-5 簡單的电力系统

戶側的电压降低到不能允許的程度。要是我們在用戶側的低壓母綫上，并列一个調相机（見圖1-6）。那么用戶所需的一

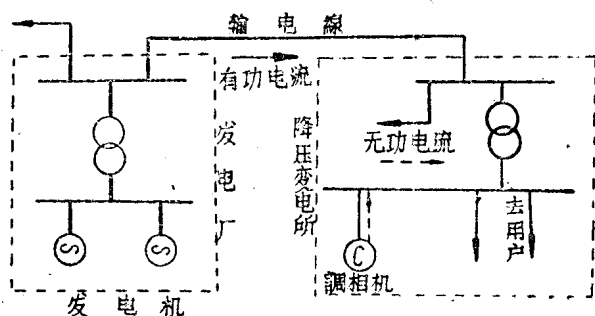


圖 1-6 電力系統和調相機

部分或者絕大部分的无功电流，可由調相机直接供給不經過輸電綫。这样輸電綫的电流可以减少，綫路上的銅損和电压降落就可以减少。所以調相机的作用可以归納成兩点：

1. 降低輸電綫路的銅損；
2. 降低輸電綫路中的电压損失，以保証負荷側的定額电压。

采用調相机虽有上述好处，但在电网中裝置一个調相机就是多增加一个設備，因此电网的設備投資也增大了，这个費用可能会大于从經濟运行上所取得的利益，所以并不是在任何情况下裝置調相机都是有利的，需要詳細比較后确定。調相机裝置位置，从上面分析看来，也就必須靠近負荷了，否則就失去了原有的經濟价值。

除了上述專門作为調相机的情况外，在某些特殊情况下，也可能將发电机在某段时期中，作为調相机运行。譬如有这样一个电网（見圖1-7），火力发电厂靠近負荷，水力发电厂远

离负荷，当在夏季多水季节为充分利用水力资源节约燃煤，希望水力发电厂多送有功负荷，而火力发电厂供给无功负荷。



图 1-7 电力系统

此外也可能在汽轮发电机运行中因锅炉故障，停止供给蒸汽迫使发电机作调相机继续运行的情况。

第二节 发电机和调相机的类型和构造

一、发电机和调相机的类型

近代工业动力上所用的发电机可以用很多种原动机来拖动，为了和原动机配合，在发电机的结构上也有些不同，因此就产生了几种不同类型的发电机。我们可以按照原动机的不同来分类说明，目前最普遍的有三种形式，即汽轮发电机，水轮发电机和内燃机发电机。

(1) 汽轮发电机 汽轮发电机是指用汽轮机来拖动的一种发电机。汽轮机是利用高压高温的蒸汽来冲动的，汽轮机的转速很高，因此汽轮机和发电机都水平放置(又称为卧式)。在这种发电机中的转子绕组在运行中会产生很大离心力沿半径方向往外飞出去，所以将发电机的转子导线都放在密闭线圈槽内，发电机转子外貌很光滑、圆整(见图1-8)通常就称它为隐极式转子。这种发电机的转子直径不能太大(目前世界上3000转/分的电机转子直径最大不超过1100公厘)，因为直径愈大转子铁心中产生的离心力也就愈大，在这样高的转速

中大直径的离心力可以使目前世界上最坚强的材料破裂，所以这种发电机总是细而长。

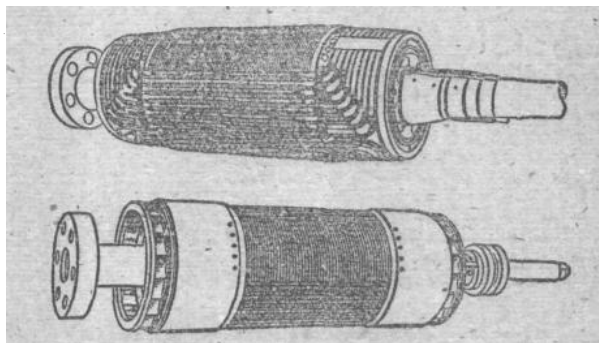


图 1-8 汽轮发电机转子外貌

(2) 水轮发电机 水轮发电机是利用水轮机来拖动的一种发电机。水轮机是利用水力来冲动水轮机转动，水轮机的转速很低约在 $60 \sim 750$ 转/分范围内。由于转速较低，这种发电机的转子直径可以大些，使转子的飞轮力矩增大，限制发电机因突然失去负荷而转速上升的数值。同时水轮机多为立式，发电机也相应为立式的。当发电机的直径放大时它的长度就可以缩小，也就是整个水轮机组的高度可以降低，因此发电厂的厂房高度也可降低，减少了建厂投资费用，这是有很大经济价值的，所以水轮发电机都为直径大，长度短。这种发电机的转速低，转子线卷的离心力也比较小，没有必要做成隐极式的转子。同时因转速低风扇的风压也比较小通风散热能力较差，而且直径巨大要做成隐极式会使结构复杂材料消耗增加，所以这种电机的转子就不能采用隐极式，通常采用凸极式的转子（见图1-9）。

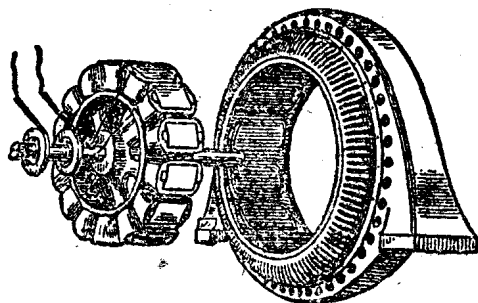


图 1-9 水輪发电机凸极式轉子外形

(3) 內燃机发电机 內燃机发电机是指利用內燃机来拖动发电机。內燃机的活塞在汽缸內作直綫运动，通过曲軸变成旋轉运动再拖动发电机，故內燃机的轉速通常不超过1000轉/分，同时活塞的推动力很不均匀，为了保持轉速稳定，需要发电机轉动部分有比較大的飞輪力矩，所以內燃机发电机的轉子也大多是直徑大長度短的凸极式轉子。內燃机发电机虽从經濟上說来并非理想，要消耗极为稀少珍貴的油料，但在某些特殊場合中还是有它独特的优点。例如它移裝方便、启动迅速、灵活，环境要求簡單不象火力发电厂需要大量水源等等。因此，在工地上、农村中作为小型动力或照明之用十分方便。因此至今还有它的使用价值。在內燃机发电机中以柴油机作为原动机的容量比較大，我国某电厂尙有机組單位容量达五千多匹馬力之柴油发电机。

調相机和发电机不仅在原理上是一致的，而且在結構上也无显著不同。調相机常采用凸极式的轉子，所以我們不必專談調相机的类型和構造，只要参考凸极式的电机結構就可以了。

二、发电机的構造

发电机的具体構造，形式极多。各个制造厂，根据本身的設備、技术条件和技术观点有許多不同的制造方法。我們只能把比較普遍的、比較基本的部分談一談。图1-10是汽輪发电机的总裝配图；图1-11是水輪发电机的总裝配图；图

1-12是調相机的总裝配图。这三張是比較典型的电机总裝配图，我們可以从这三張图中对于上述这三种电机的構造取得輪廓概念。

根据上面三張图，我們可以将电机所有各部件划分为兩类：一类是鉄心、綫卷組成的作为导电导磁用的，这类我們称它为有效部分；另一类是由軸承、托架、机座等組成的作为支撑之用，这部分我們可称为結構部分。这样划分有助于我們从繁复的許多部件中，了解其关系和結構意

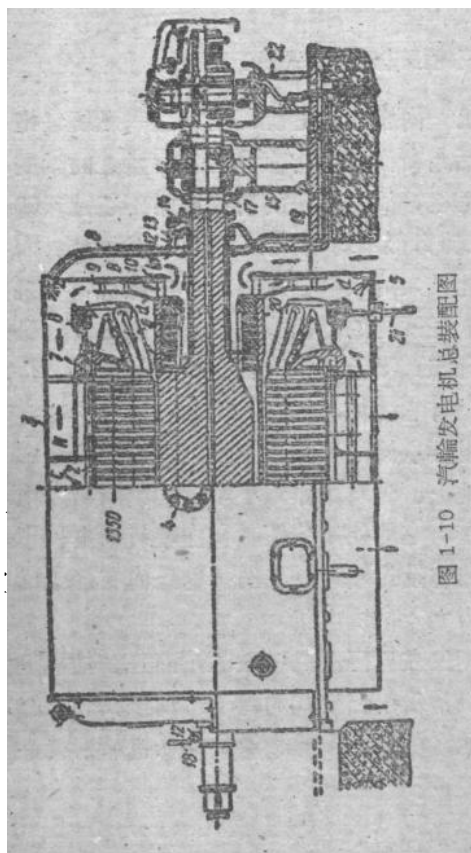


图 1-10 汽輪发电机总裝配图

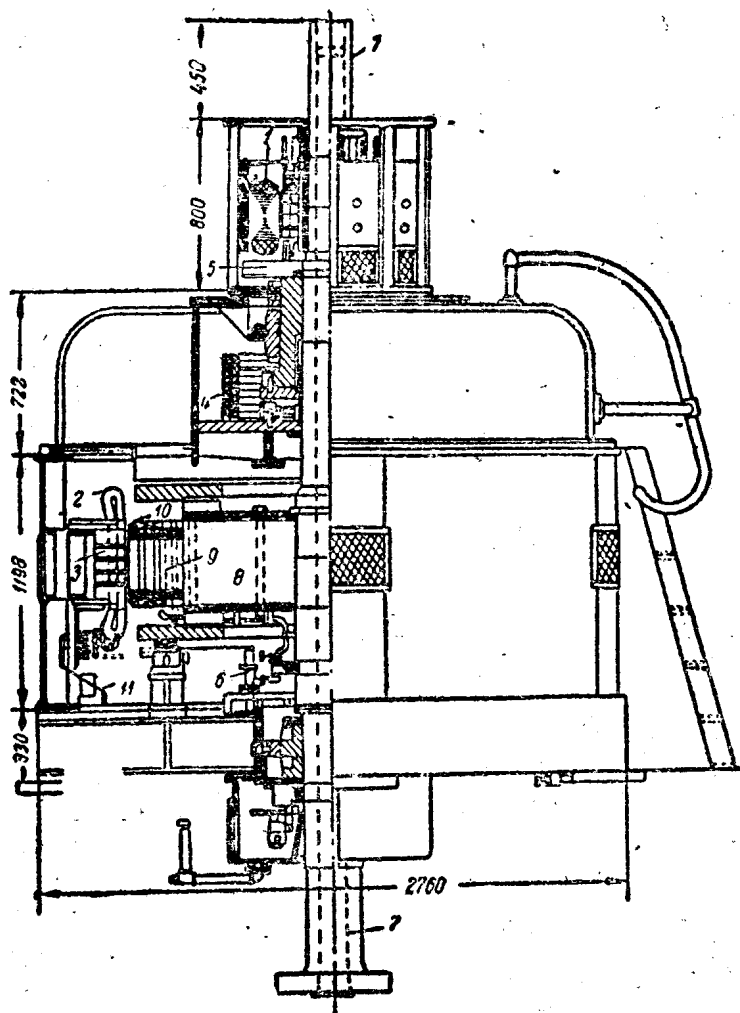


图 1-11 水輪发电机总装配图