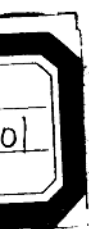


电机原理同步电机部分

(上 册)



清华大学电力系电机教研组

1973. 1.

目 录

第一章 同步电机概述

§ 1—1	概述	1— 1
§ 1—2	汽轮发电机结构	1— 3
§ 1—3	水轮发电机的结构	1—10

第二章 同步电机的磁路、电枢绕组及电势

§ 2—1	同步电机的磁路	2— 1
§ 2—2	对电枢绕组的要求	2— 9
§ 2—3	三相单层集中整距绕组	2—11
§ 2—4	三相单层分布绕组	2—22
§ 2—5	三相双层绕组	2—37
§ 2—6	三相绕组的其它安排形式	2—47
§ 2—7	齿谐波电势分数槽绕组	2—52

第三章 电枢绕组的磁势

§ 3—1	为什么要研究电枢绕组的磁势	3— 1
§ 3—2	单相整距集中单层绕组的磁势	3— 2
§ 3—3	三相绕组的磁势	3—13
§ 3—4	绕组的分布和短距对磁势的影响	3—43
§ 3—5	分数槽三相绕组磁势的概念	3—53

第四章 同步发电机的基本电磁关系

第一节	同步发电机的无载特性及负载电流 对端电压的影响	4-1
第二节	隐极同步发电机的负载运行 —— 磁 势电势向量图	4-3
第三节	隐极同步发电机的负载运行 —— 电 势向量图	4-24
第四节	凸极同步发电机的负载运行 —— 双 反应理论	4-35
第五节	凸极同步发电机的负载运行 —— 考 虑纵轴饱和的双反应理论	4-51
第六节	同步发电机的无载特性曲线、短路 特性曲线和同步电抗的测定	4-55
第七节	同步发电机的零功率因数负载特性 曲线及普梯尔电抗的测定	4-66
第八节	取出转子法试验	4-72
第九节	对同步电机电枢电阻的讨论	4-73

第五章 同步发电机的并联运行

第一节	概述	5-1
第二节	同步发电机的并联合闸	5-4
第三节	同步发电机并联运行的理论基础	5-12
第四节	同步发电机的功角特性和静态稳定	5-23
第五节	同步发电机的振荡和动态稳定	5-41

第六节	并联运行时无功功率的调节 — U 形曲线	5-49
第七节	同步发电机的励磁方式简介	5-54

第六章 同步电动机

第一节	概述	6- 1
第二节	同步电动机的运行原理	6- 2
第三节	同步电动机的启动	6-12
第四节	反应式同步电动机与同步补偿器	6-15
第五节	异步电动机的同步化	8-16

第七章 同步电机的非正常运行

第一节	同步电机非正常运行的发生	7- 1
第二节	双称分量法	7- 2
第三节	同步发电机的单相负载运行	7- 5
第四节	负序阻抗与另序阻抗	7-12
第五节	不对称运行与电机的关系	7-16
第六节	同步发电机的突然短路超导体磁链 守恒概念	7-19
第七节	同步发电机三相突然短路分析	7-22

第一章 同步电机概述

§ 1-1 概述:

同步电机主要用做发电机。现在工农业所用的交流电能，几乎全由同步发电机发出。

此外同步电机也可以做成电动机运行。也可以做同步补偿机运行以提高电网功率因数。

当我们走进同步机制造厂，看到各种各样形式的同步机，结构千差万别，那么它们有些什么共同的特点呢？

为此我们先介绍一下同步机的工作原理，在物理中我们学过“右手定则”。导线在磁场中垂直磁力线运动在导线内就有感应电势，如右掌心向北极（磁通箭头方向）大母指表示导线运动的方向，则四个指头的指向就是感应电势的方向。同步发电机能发出电来其原理仍然是电磁感应定律。磁通方向、相

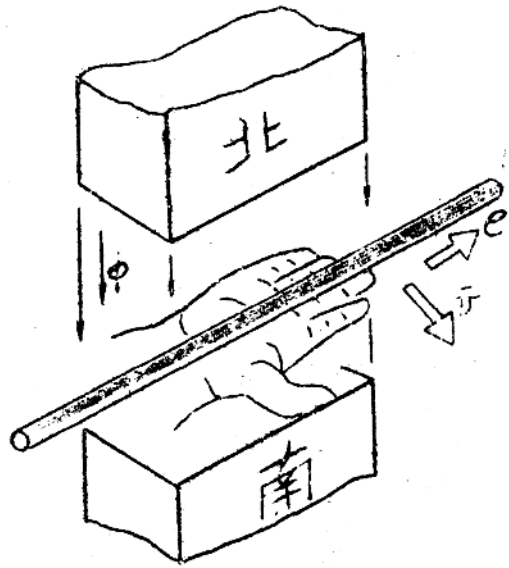


图 1-1 右手定则

对运动的方向和感应出电势的方向之间的定性关系也是符合“右手定则”的。不过在实用的同步发电机中不是导线在运动，而是“磁铁”在运动如图 1-2 所示。转子由四块“电磁铁”组成，当在激磁绕组通直流电之后就会产生磁场，极性如图所标。定子由开有槽的硅钢片

叠成，槽内安放有导线，每个槽的导线按一定规律联结起来构成定子绕组。当转子激磁并由原动机带动旋转起来之后在绕组中便产生了交流电。

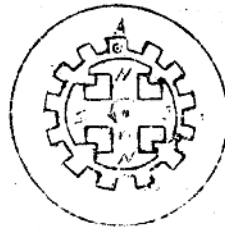


图 1-2 同步发电机原理图

我们来看一下 A 槽导线电势的情况。

1) 当如图 1-2 所示的瞬间位置导线 A 电势为 ⊙

2) 当转子转过 $\frac{1}{2}$ 圆周 (一个磁极) 后 A 的电势为 ⊙

3) 当转子转过 $\frac{2}{2}$ 圆周 (两个磁极) 后 A 的电势为 ⊙

4) 当转子转过 $\frac{3}{2}$ 圆周 (三个磁极) 后 A 的电势为 ⊙

5) 当转子转过一周导线 A 的电势与初始一样 ⊙

由以上可知：如果转子是两对极，每转一周导线频率变化为两个周期。

用数学式子表达如下：

$$f = p \cdot \frac{n}{60} \quad \dots\dots\dots 1-1$$

式中：f—发电机交流电的频率 (每秒变化的周波数)

p—发电机的极对数

n—转子转速。单位是 (转/分。) 上式中 $n/60$ 表示每秒的转速。

我们国家规定工农业交流供电的频率为 50 周，在国际上也有许多国家规定为 50 周的，但也有部分国家规定为 60 周的。

$$f = 50 \text{ 周}$$

当 $p = 1, n = 3000 \text{ 转/分}$

当 $p = 2, n = 1500 \text{ 转/分}$

当 $p = 3, n = 1000 \text{ 转/分}$

其他依次类推。公式 1-1 描写了所有同步机（不论是发电机还是电动机）的共同特性。即：当极对数 p 已定时，电机的转速与电网的频率有着严格的关系。用电机专业的“行话”说就是“同步”。同步机的词意也由此而来。

从运行原理可知各种同步机必须由定子、转子、两个基本的部件构成。

转子—它上面有铁心、激磁绕组、滑环和轴等主要另部件构成。

定子—它起着磁回路的作用。为了减少涡流带来的损失。定子铁心用硅钢片叠成。在定子槽中有导线。每个槽的导线按一定规律联接为定子绕组。有时叫电枢绕组。它被称为电机的心脏。发电机运转之后强大的电力就是由电枢绕组送出的。

由于用途与动力来源之不同，同步机的种类与结构是多种多样的。大到直径十几米，重量为几百吨以至上千吨的大型水轮发电机，小到只有几十克重的仪表用同步机。

下面我们仅介绍一下工农业生产中应用最多的汽轮发电机与水轮发电机的结构与概貌。

§ 1-2 汽轮发电机结构。

汽轮发电机的原动机是“汽轮机”。由于汽轮机的性能要求高速度。所以汽轮发电机一般作成一对极，每分钟转 3000 转。从它的高转速决

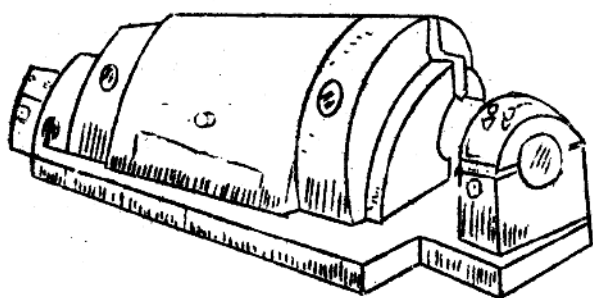


图 1-3 汽轮发电机外貌

定了它必定是细而长的结构形式。图 1-3 表示了汽轮发电机的外貌。

(一) 转子—现代汽轮发电机的转子由以下几个主要部件构成。

(1) 转子铁心(与大轴作成一件)—汽轮发电机由于转速高转子由整块的合金钢经水压机锻压而成毛坯,热处理后经“探伤”检查合格才可进行机械加工。车加工后在转子圆柱体表面铣出一些槽,以放激磁线圈。从一个转子表面看去有“大齿”和“小齿”,大齿的中心线就是磁极中心。这种结构形式的转子称为“隐极”转子。

图 1-4 上是加工好的隐极汽轮发电机转子铁心。

(2) 转子绕组—也叫激磁绕组。根据冷却方式的不同它由扁铜线(空冷)或空心铜线(氢内冷或水内冷)绕成同心式线圈。匝间和对铁心都有绝缘。图 1-5 表示了不同冷却形式时转子槽截面的结构形式。

图 1-4 双水内冷汽轮发电机转子铁心。转速 3000 转/分,功率:55 瓦。

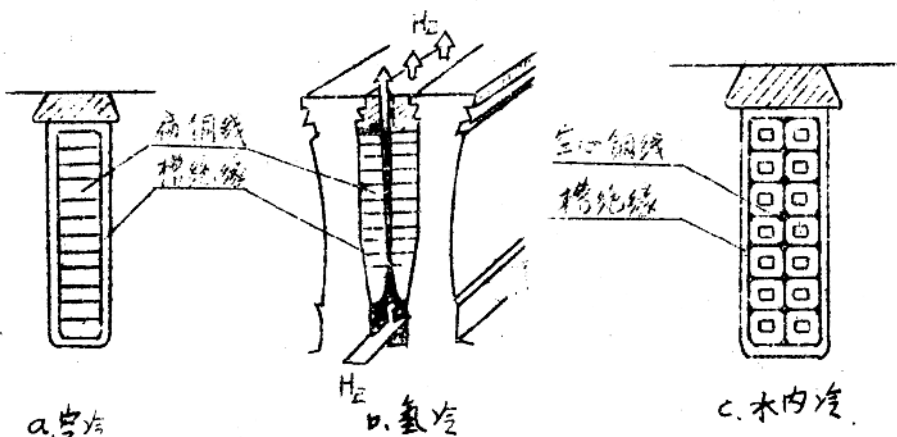


图 1-5 不同冷却形式的转子槽截面结构

图 1-6 表示了汽轮发电机转子绕组端部的情况。

3) 护环和槽楔—由于汽轮发电机转速高离心力很大。为了保护绕组端接部分。一般用护环和中心环来固

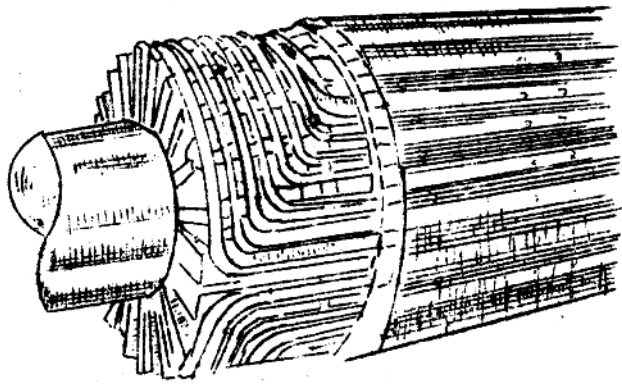


图 1-6 汽轮发电机转子端接部分

定如图 1-7 所示。护环是由合金钢锻压经机械加工制成。

槽楔要求非导磁材料，并有很高的机械强度，一般由青铜或铝合金制成。

4) 风扇—转子两头在靠护环的外端装有风扇作为冷却之用。即是双水内冷电机也装有风扇用以

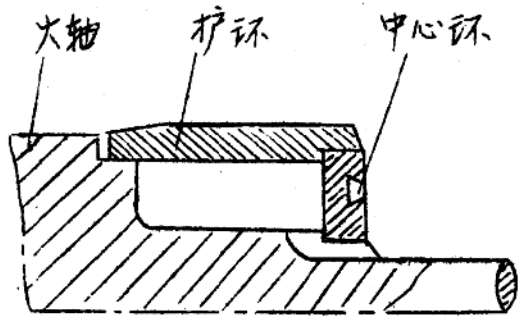


图 1-7 护环的结构

冷却定子铁心。汽轮发电机风扇有两种基本形式。离心式风扇它的压头比较高而流量较小一些，另一种是转浆式（也叫轴流式）它的压头较小而流量较大。离心式风

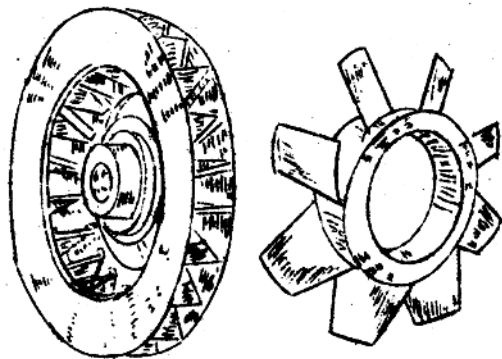


图 1-8 风扇

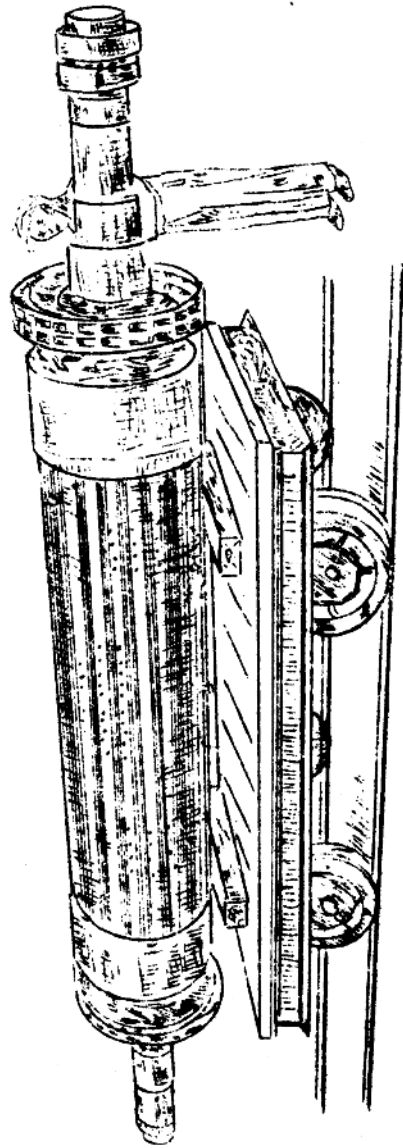


图 1-9 汽轮发电机装配好的转子

扇一般由铸钢铸成，轴流式风扇的叶片一般由合金钢或铝合金制成。

图 1-9 是一个装配好的汽轮发电机转子外貌。它两端装的是瓦

心式风扇。

(二) 定子—汽轮发电机的定子由导磁的定子铁心、定子绕组，以及一些结构件如定子机座、铁心压板（压卷）、绕组支架、槽楔等主要另部件组成。

1) 定子铁心

它由扇形的硅钢片交叠而成。硅钢片两面涂有绝缘漆。扇形片内圆冲有定子槽。

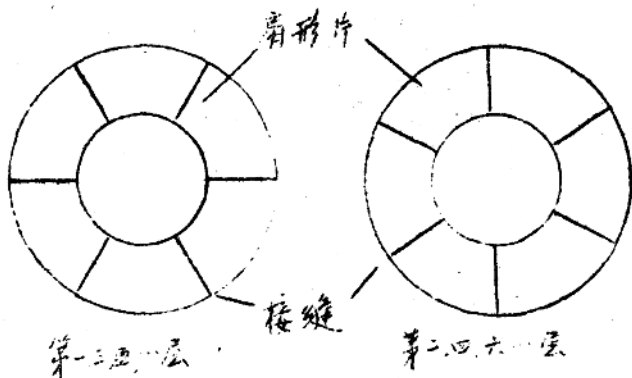


图 1-10 定子叠片示意图

2) 定子机座

汽轮发电机的机座一般由钢片焊接而成。经“时效处理”才能进行机加工使用。图 1-12 表示一台汽轮发电机定子铁心（还没有下线）。

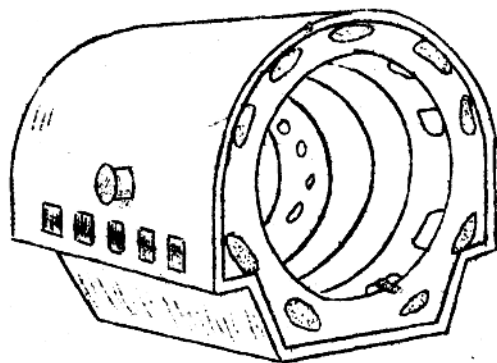


图 1-11 钢板焊接机座

3) 定子绕组—许多单

个的定子线卷按一定的规律连结起来构成了定子绕组。大型汽轮发电机的线卷由两个半匝的“元件”组成。如图 1-18 所示。为了减少“集肤效应”带来的附加损失以提高发电机的效率每个半匝元件是由多根彼此绝缘的扁铜线并联而成。这些扁铜线的断面图如图 1-14 所示。扁铜线在元件直线部分要进行“换位”如图 1-15 所示。

由于汽轮发电机在突然短路情况下绕组端接部分要承受比较大的电动力，故绕组端部要紧固在支架上。图 1-16 是绕组端部支架。

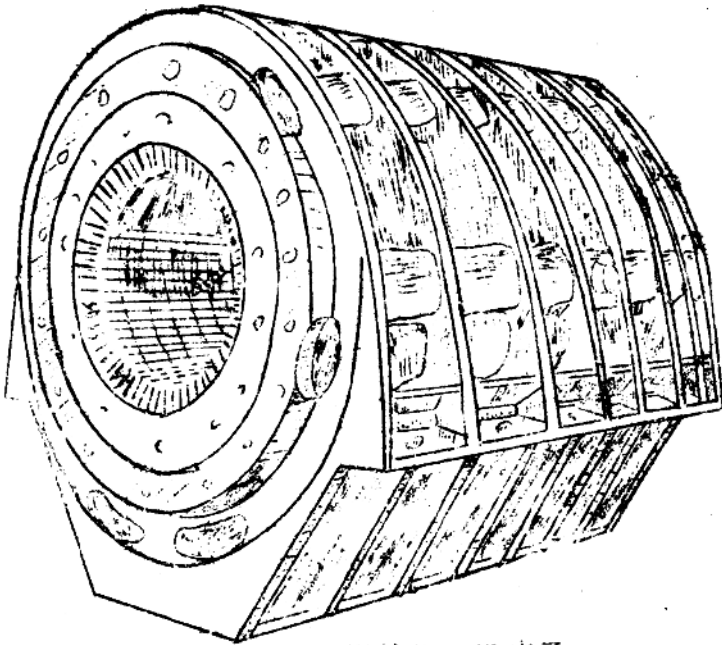


图 1-12 汽轮发电机定子铁心

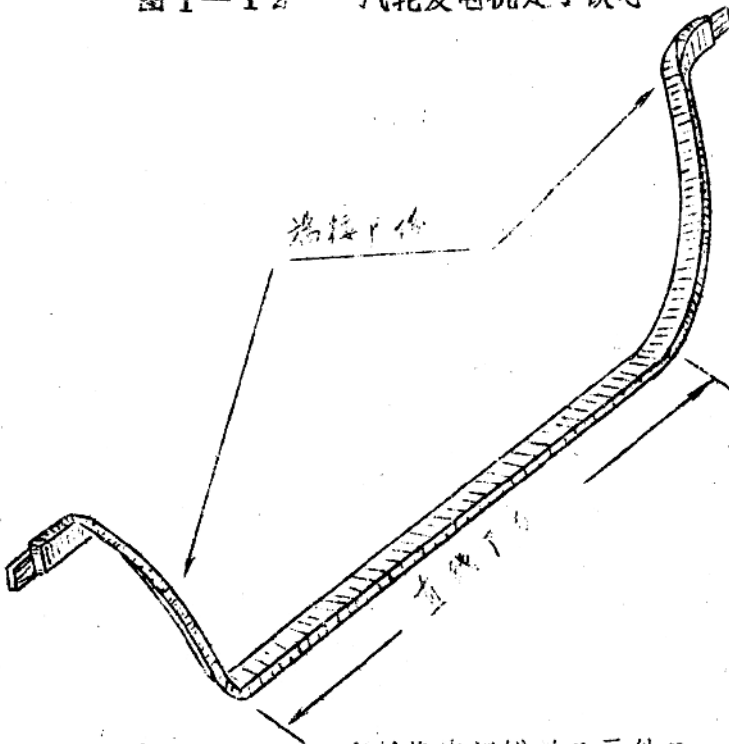


图 1-13 汽轮发电机线卷“元件”

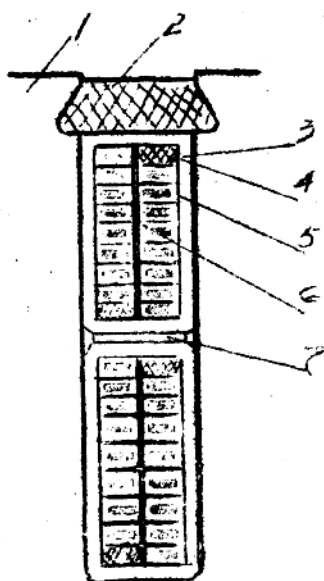


图 1-14 定子槽断面图

- ① 定子冲片(齿)
- ② 定子槽楔
- ③ 线卷主绝缘
- ④ 换位填料
- ⑤ 扁铜线(纱包线)
- ⑥ ⑦ 绝缘板

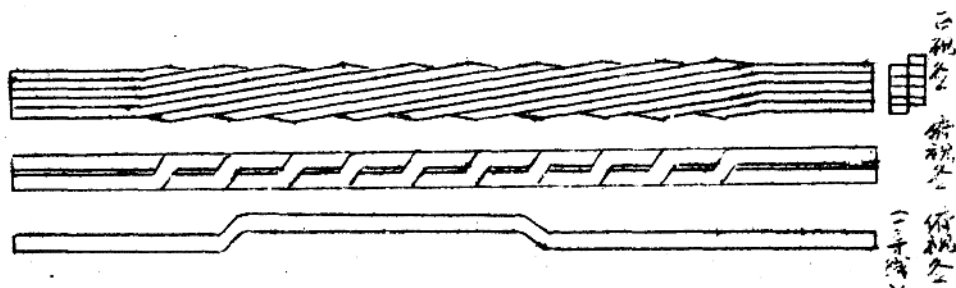


图 1-15 线卷元件直线部分换位图

这些玻璃钢的“梯形板”用非磁性角铁和铜螺钉螺固定在定子压卷上。

除基本部件定子、转子外，汽轮发电机还有滑动轴承、端盖、底板、励磁机、冷却器等

图 1-16 5万瓩双水内冷汽轮发电机绕组支架

另件、部件在这里我们不多介绍了。

§ 1-8 水轮发电机的结构:

水轮发电机由水轮机带动。水轮机多为立式的，因此水轮发电机也多为立式的。由于水轮机的转速低，每分钟几十转到几百转。因此同轴联接的发电机的转速也很低，结果使发电机的极数增多，直径加大，而轴向长度与直径的比值比较小，这就使整个转子形成“扁盘形”这点与汽轮发电机有很大的不同。

由于水轮发电机为立式的，转动部分必须支撑在一个推力轴承上。推力轴承不但要承担发电机转子的重量，而且要承担水轮机转子的重量和水压力。这些向下的作用力达几百吨，甚至上千吨。因此造出大容量的水轮发电机，必须很好地解决推力轴承的结构与工艺问题。

水轮发电机因推力轴承在转子上的位置不同分为两种主要的结构形式:

(一) 悬吊式—推力轴承在转子的上面。转子的下面有一个或两个导轴承。这种结构形式稳定性比较好。高转速的水轮发电机常用这种结构形式。

(二) 伞式—推力轴承在轴子下面，在推力轴承下面还有导轴承。这种结构形式在减小电机轴向高度和缩短轴承支架（或叫下机架）跨距方面是有利的。这些意味着可以降低厂房高度，伞式结构用在低转速水轮发电机中较为合适。

这两种结构型式的水轮发电机如图 1-17、图 1-18 所示。

下面我们分转子、定子两个主要部分谈谈水轮发电机的主要结构。

(一) 转子—水轮发电机转子全做成凸极式。主要是由于工艺上的方便。转子由转子磁极、磁轭、磁极线卷、转子支架、转子轮毂、轴

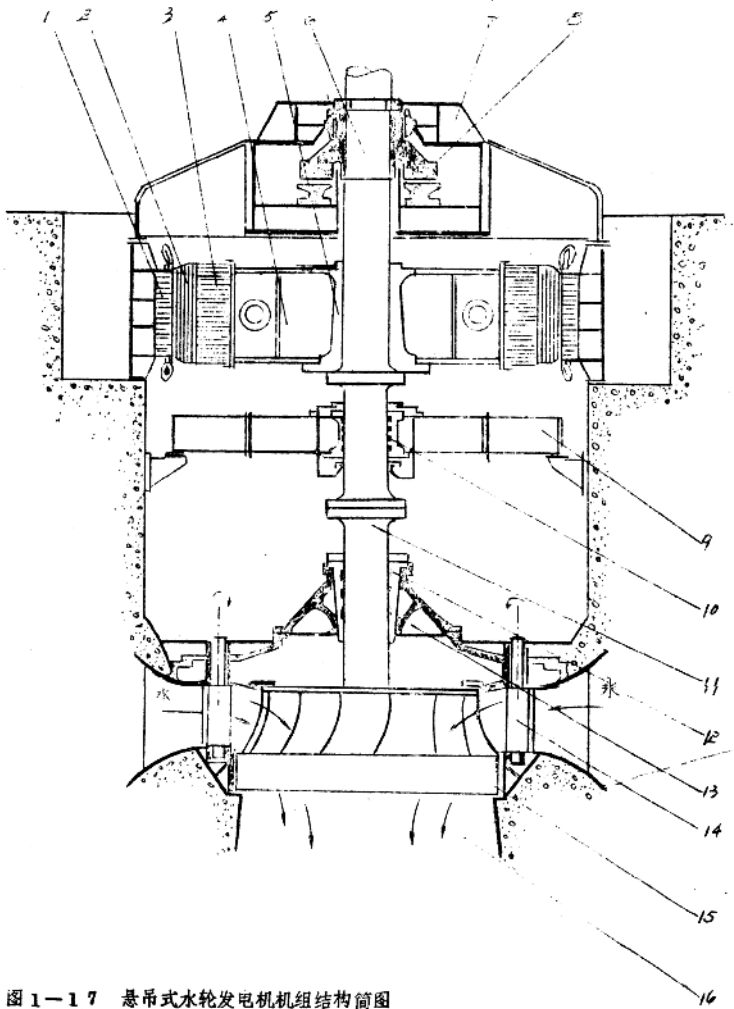


图 1-17 悬吊式水轮发电机组结构简图

- 1、定子 2、转子磁极 3、转子磁扼 4、转子支架 5、转子轮毂
 6、发电机轴 7、上支架 8、推力轴承 9、下支架 10、导轴承
 11、水轮机轴 12、水轮机轴承 13、水轮机支架 14、导水瓣
 15、水轮机转子头(混流式) 16、尾水管。

I-I

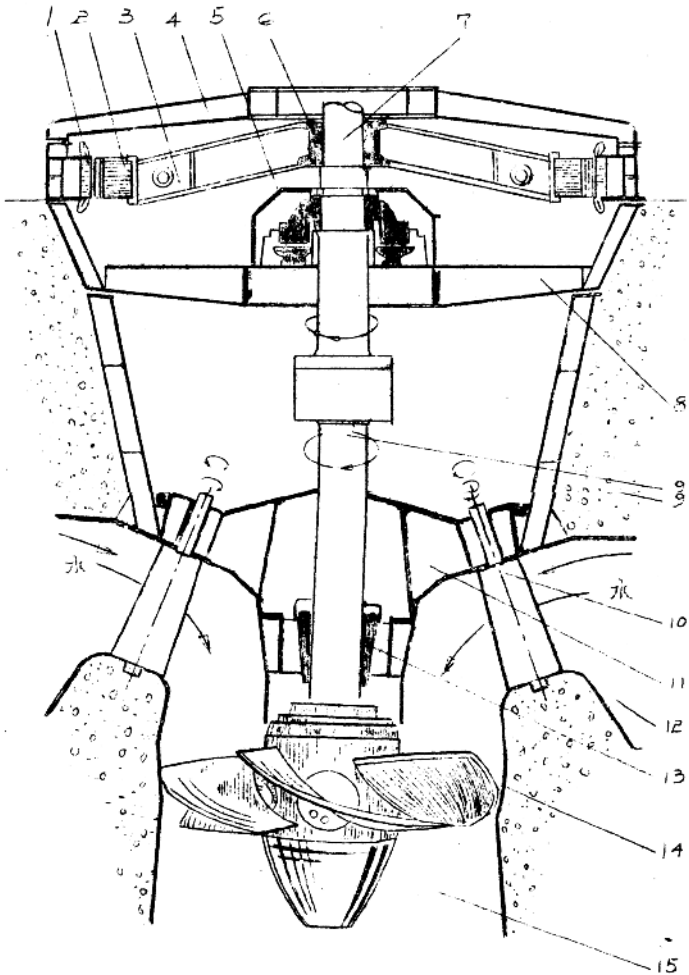


图 1-18 伞式水轮发电机结构简图

- 1、定子 2、转子磁极、磁轭 3、转子支架 4、上支架 5、推力轴承 6、转子轮毂
 7、发电机轴 8、下支架 9、水轮机转轴 10、导水瓣 11、水轮机文架 12、蜗壳
 13、水轮机转承 14、水轮机转子头 15、尾水管。

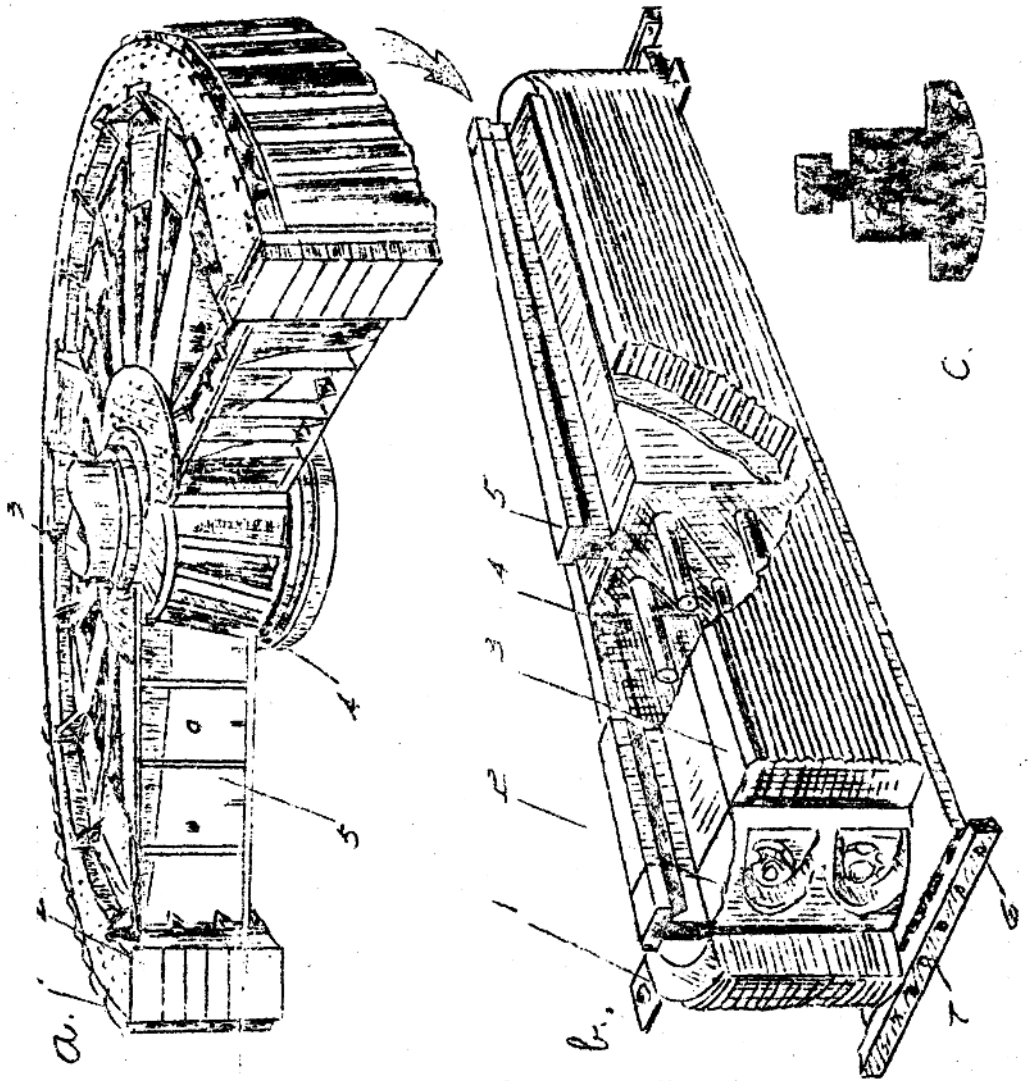


图 1-19 大型水轮发电机转子结构

- a. 转子结构图：1.磁极 2.磁轭 3.轴 4.轮毂 5.转子支架。
 b. 磁极结构图：1.引线头 2.磁极压板 3.激磁线圈 4.磁极螺杆
 5.磁极冲片 6.阻尼绕组端环 7.阻尼条。
 c. 磁极冲片。

等主要另、零件组成。如图 1-19 所示。