



国家示范性高职院校精品教材

DIANJI YUNXING YU GUZHANG CHULI

# 电机运行 与故障处理

四川电力职业技术学院 组 编  
龚在礼 主 编  
张丽娟 狄藤藤 副主编  
叶水音 主 审



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家示范性高职院校精品教材

DIANJI YUNXING YU GUZHANG CHULI

# 电机运行 与故障处理

四川电力职业技术学院 组 编

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
|     | 龚在礼 | 主 编 |
| 张丽娟 | 狄藤藤 | 副主编 |
|     | 熊 宇 | 编 写 |
|     | 叶水音 | 主 审 |



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为四川电力职业技术学院国家示范性高职院校重点建设项目水电站动力设备与管理专业建设成果之一。

本书在整合电机技术和电气运行两门课程基本内容的基础上,以工作任务为载体,以工作过程为导向重构课程,其内容主要包括水轮发电机、变压器、三相异步电动机和其他电动机的基本知识、基本结构及运行维护、故障处理的实习实训项目,内容的编排方式有利于理论实践一体化教学。

本书可作为高职高专院校水电站动力设备与管理、机电设备运行与维护等相关专业的教学用书,也可作为水电厂职工在岗培训教材和职业技能鉴定培训教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

电机运行与故障处理/四川电力职业技术学院组编;龚在礼主编. —北京:中国电力出版社,2011.7

国家示范性高职院校精品教材

ISBN 978-7-5123-1930-1

I. ①电… II. ①四…②龚… III. ①电机—运行—高等职业教育—教材②电机—故障修复—高等职业教育—教材 IV. ①TM30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 141011 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2011 年 7 月第一版 2011 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 346 千字

定价 24.50 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

四川电力职业技术学院

专业人才培养方案及教材  
编审委员会

主任委员 王 旭 严光升

副主任委员 李开勤

|   |   |     |     |     |     |
|---|---|-----|-----|-----|-----|
| 委 | 员 | 刘 勇 | 周庆霞 | 林文静 | 景 敏 |
|   |   | 李 刚 | 李 俭 | 方 鉴 | 熊名扣 |
|   |   | 蒙昌嘉 | 何 勇 | 赵大林 | 蔡燕生 |
|   |   | 汤晓青 |     |     |     |

# 前 言

本书是国家示范性高职院校四川电力职业技术学院重点建设项目水电站动力设备与管理专业的教材。在本书编写过程中,认真总结了该院多年职业教育的实践经验,并注意吸收我国职教专家和企业实践专家的意见,力求突出高职教育的特点。本书具有以下特色。

(1) 本书在整合传统电机技术和电气运行教材的基础上,以工作任务为载体,以工作过程为导向,遵循理论实践一体化的原则编写。

(2) 在内容选择上,满足水电厂机电运行职业岗位对知识、能力的要求,并注重与运行值班员职业技能鉴定标准相衔接,吸收水电行业的新知识、新技术和新设备等内容。

(3) 在内容编排上,遵循学生的认知学习规律,按照行动导向的教学模式序化教学内容,注重理论知识与工作任务的相关性。每个工作任务构成一个模块,每个模块按如下顺序展开:

学习目标 → 工作任务 → 相关知识 → 拓展知识 → 任务实训 → 思考问题 → 任务评价

本书任务 1.1~1.4、任务 4.1 由四川电力职业技术学院龚在礼老师编写;任务 2.1~2.3 由四川电力职业技术学院狄藤藤老师编写;任务 3.1~3.4 由四川电力职业技术学院张丽娟老师编写;任务 4.2 由四川川投田湾河开发有限责任公司熊宇高级工程师编写。全书由龚在礼老师主编并统稿,由福建电力职业技术学院叶水音老师担任主审。

由于受编者水平、经历和编者对职业教育认识的限制,书中难免存在不足、疏漏和偏颇,欢迎使用本书的读者提出宝贵意见,编者不胜感激。

编 者

2011 年 5 月

# 目 录

## 前言

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 项目 1 水轮发电机运行及故障处理 .....        | 1   |
| 任务 1.1 水轮发电机认知及运行 .....        | 1   |
| 任务 1.2 水轮发电机单独运行分析与调整 .....    | 22  |
| 任务 1.3 水轮发电机在大电网上运行分析与调整 ..... | 42  |
| 任务 1.4 水轮发电机非常态运行与故障处理 .....   | 58  |
| 项目 2 变压器运行及故障处理 .....          | 85  |
| 任务 2.1 变压器认知及运行 .....          | 85  |
| 任务 2.2 单相变压器的工作状态分析 .....      | 99  |
| 任务 2.3 三相变压器运行分析与故障处理 .....    | 114 |
| 项目 3 三相异步电动机运行及故障处理 .....      | 140 |
| 任务 3.1 三相异步电动机认知及运行 .....      | 140 |
| 任务 3.2 三相异步电动机工作状态分析 .....     | 157 |
| 任务 3.3 三相异步电动机正常运行及控制 .....    | 168 |
| 任务 3.4 三相异步电动机常见故障分析与处理 .....  | 185 |
| 项目 4 认识其他电动机 .....             | 193 |
| 任务 4.1 认识直流电动机 .....           | 193 |
| 任务 4.2 认识微特电机 .....            | 208 |
| 参考文献 .....                     | 220 |

## 项目 1 水轮发电机运行及故障处理

### 工作任务

- (1) 在水电厂或仿真机上, 正确地对水轮发电机进行监视、巡视检查与维护。
- (2) 在监护人员的监护下对水轮发电机进行电压调整、频率调整, 并将水轮发电机并入大电网, 再进行有功调整和无功调整。
- (3) 分析和调整水轮发电机的非常态运行, 参与分析和处理水轮发电机的常见事故。

### 学习任务

- (1) 熟悉水轮发电机的铭牌、发电原理、组成及运行参数。
- (2) 熟悉水轮发电机的电动势、磁动势与电枢反应理论, 水轮发电机单独运行参数及其运行特性。
- (3) 掌握水轮发电机与大电网并列条件、并列方法, 并列在大电网上的水轮发电机有功功率和无功功率的调节规律。
- (4) 掌握水轮发电机的几种非常态运行方式、特点及其运行中的注意事项; 水轮发电机常见故障的分析与处理方法。

### 任务 1.1 水轮发电机认知及运行

#### 学习目标

##### 一、知识目标

熟知水轮发电机铭牌、额定值和发电过程, 本体结构及励磁系统、润滑系统、冷却系统、制动系统与灭火系统的构成; 了解水轮发电机的额定运行方式和允许运行方式; 了解水轮发电机运行中的监视、巡视检查及维护的项目与注意事项; 了解水轮发电机双层叠绕组的构成。

##### 二、能力目标

###### 1. 专业能力

- (1) 能叙述水轮发电机的发电过程。
- (2) 能叙述水轮发电机的基本结构和运行参数。
- (3) 能监视水轮发电机的运行状态。
- (4) 能对水轮发电机组设备进行巡回检查与日常维护。
- (5) 能正确填写运行日志、值班记录及其他相关运行记录。

###### 2. 方法能力

- (1) 能收集与工作学习相关的信息。



- (2) 能使用各种信息资源完成学习与工作任务。
- (3) 工作结束后能对工作过程和成果进行反思及评价。

### 3. 社会能力

- (1) 能与团队成员进行有效的沟通和协作共事。
- (2) 能严格遵守安全规章制度并担负责任。
- (3) 能遵守纪律、吃苦耐劳，一丝不苟地工作。

## 工作任务

- (1) 在水电厂上位机上监视水轮发电机运行。
- (2) 在水电厂对水轮发电机进行巡视检查。
- (3) 在水电厂对水轮发电机进行维护。

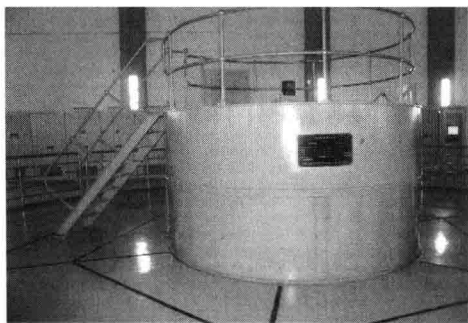


## 相关知识

### 1.1.1 水轮发电机的铭牌

水轮发电机是同步电机的一种，可以发出三相交流电。同步调相机和同步电动机也是同步电机，前者专门向电力系统发出感性无功功率，改善电力系统的功率因数；后者常用来拖动有恒速要求的生产机械。

水轮发电机通常立式安装在水电站主厂房中，其外形如图 1-1 (a) 所示。在水轮机座上部外壳上，装有一块金属制成的铭牌，铭牌上标注有与运行管理有关的型号和额定值，如图 1-1 (b) 所示。



(a)



(b)

图 1-1 水轮发电机外形图及其铭牌

(a) 外形图；(b) 铭牌

### 一、型号

型号表示同步发电机的类型和特点。

#### 1. 空冷水轮发电机

TS 系列，如 TS-900/135-56，其意义依次为：T—同步，S—水轮发电机，900—定子铁芯外径 (cm)，135—定子铁芯长度 (cm)，56—极数。

#### 2. 氢冷汽轮发电机

QFQ 系列，如 QFQ-50-2，其意义依次为：Q—汽轮机，F—发电机，Q—氢冷；数字



部分：50—额定功率 (MW)，2—磁极数 (个)。

同步发电机型号的意义，读者可自行查阅相关书籍资讯。

## 二、额定值

### 1. 额定功率 $P_N$ (kW)

额定功率  $P_N$  是指发电机长期安全运行的最大允许输出功率。

### 2. 额定电压 $U_N$ (kV)

额定电压  $U_N$  是指发电机长期安全工作的定子三相绕组最高工作线电压。

### 3. 额定电流 $I_N$ (A 或 kA)

额定电流  $I_N$  是指发电机正常连续运行的定子绕组的最大工作线电流。

### 4. 额定功率因数 $\cos\varphi_N$

额定功率因数  $\cos\varphi_N$  是指额定有功功率和额定视在功率的比值。国内水轮发电机常用的功率因数为 0.8、0.85、0.875 和 0.9，汽轮发电机常用的功率因数为 0.8 和 0.85。随着高压输电距离的增加和输送有功功率的增大，同步发电机的额定功率因数有进一步提高的趋势。

同步发电机额定功率、电压、电流和功率因数之间的关系为

$$P_N = \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi_N \quad (1-1)$$

$$\sqrt{3}U_N I_N = S_N$$

### 5. 额定效率 $\eta_N$

额定效率  $\eta_N$  是指发电机额定输出有功功率与输入的机械功率之比，即

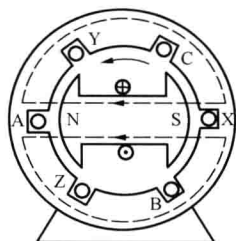
$$\eta_N = \frac{P_N}{P_1}$$

此外，同步发电机的额定值还有额定转速  $n_N$  (r/min)、额定频率  $f_N$  (Hz) 和额定温升等。

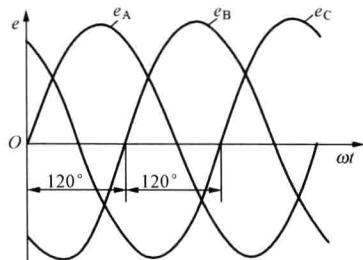
## 1.1.2 同步发电机的发电原理

### 一、三相交流电动势的产生和相序

图 1-2 (a) 所示为同步发电机的基本原理图。同步发电机主要由定子和转子两部分组成，定子和转子之间有气隙。定子上有槽，槽内放有 AX、BY、CZ 三相定子绕组，它们在空间彼此互差  $120^\circ$  电角度，每相绕组的形状、匝数和线圈个数完全相同；转子上具有  $p$  对磁极（图中  $p=1$ ），磁极上装有转子绕组（励磁绕组），当直流电流通过电刷与滑环（集电环）流入转子绕组后，产生的主磁通由 N 极出来经过气隙、定子铁芯、气隙，进入 S 极构成主磁路，如图 1-2 (a) 中虚线所示。



(a)



(b)

图 1-2 同步发电机基本原理图和定子三相电动势波形图

(a) 同步发电机基本原理图；(b) 定子三相电动势波形图

当发电机转子由原动机拖

动，以转速  $n$  作恒速旋转时，定子中三相绕组的导体依次切割磁力线，三相绕组便依次感应出大小相等、相位互差  $120^\circ$  的交流电动势。若气隙磁通密度按正弦规律分布，则三相绕组感

应电动势的波形也是正弦波。若定子三相绕组的首端排列顺序为逆时针  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，转子转向也为逆时针方向，转子磁场依次扫过定子绕组的顺序为  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，则感应电动势出现最大值的顺序即相序为  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，如图 1-2 (b) 所示。若定子三相绕组的首端排列顺序改变，或转子转向改变，则转子磁场依次扫过定子绕组的顺序变为  $A \rightarrow C \rightarrow B$ ，故感应电动势出现最大值的顺序即相序也改变为  $A \rightarrow C \rightarrow B$ 。由此可知，三相电动势的相序与三相定子绕组首端排列顺序和转子转向有关，但与转子磁场的极性无关。

## 二、同步发电机转速与电动势频率的关系

交流电动势的频率  $f$  可以这样确定：当转子为一对极时，转子转一周，定子绕组中感应电动势变化一个周期；当转子为  $p$  对极时，转子转一周，定子绕组感应电动势就变化  $p$  个周期。当转子的转速规定为每秒  $n$  转时，则感应电动势每秒就变化  $pn$  个周期，即感应电动势的交变频率为

$$f = pn$$

当转子的转速规定为每分钟  $n$  转时，则电动势的交变频率为

$$f = \frac{pn}{60} \quad (1-2)$$

式中： $n$  为转子转速，r/min； $f$  为感应电动势频率，Hz。

由式 (1-2) 可知，同步发电机定子绕组感应电动势的频率取决于转子的极对数  $p$  和转子的转速  $n$ 。若同步发电机极对数  $p$  一定时，转速  $n$  与定子电动势频率  $f$  之间具有严格不变的关系，即当电力系统频率  $f$  为一定时，电机的转速  $n = 60f/p$  也为恒值，这就是同步电机的特征。我国标准工频为 50Hz，故有  $n = 3000/p$ ，即同步发电机转速与极对数成反比。汽轮发电机极对数  $p=1$ ，则转速  $n = 3000$  r/min；水轮发电机一般极对数较多，若  $p=2$ ，则  $n = 1500$  r/min，其余依此类推。

### 1.1.3 同步发电机的分类与结构

#### 一、同步发电机的分类

根据结构型式不同，同步发电机可分为旋转磁极式和旋转电枢式两种。旋转磁极式广泛用于大、中容量的同步发电机；旋转电枢式用在某些有特殊要求的发电机中，如交流励磁机等。

根据冷却方式的不同，同步发电机可分为空气冷却发电机、氢气冷却发电机和水内冷却发电机。空气冷却的主要优点是价廉、简易和安全；缺点是冷却效果较差，摩擦损耗大。空气冷却常用水轮发电机中。氢气冷却的主要优点是氢气的导热性好，冷却效果好，氢气的相对密度小，可减少摩擦损耗；缺点是氢气与空气混合后有发生爆炸的危险，必须有一套较复杂的设备来保证氢气的纯度和压力。氢气冷却常用在汽轮发电机中。水内冷却的主要优点是水的导热性能好，化学性能稳定；缺点是需要一套进、出水装置和供水设备。水内冷却常用在大型汽轮发电机和水轮发电机中。

根据原动机类型的不同，同步发电机可分为水轮发电机和汽轮发电机。水轮发电机由转速较低的水轮机拖动，转子圆周速度较低，多采用易于制造的凸极式结构，如图 1-3 (a) 所示。因其转子的极对数较多、直径大、轴向尺寸比径向尺寸小得多，通常为立式安装。汽轮发电机由转速较高的汽轮机拖动，转子圆周速度较高，需考虑转子的机械强度和励磁绕组的固定，多采用结构紧凑的隐极式结构，如图 1-3 (b) 所示。因其转子的直径小、轴向尺寸比径向尺寸大得多，通常为卧式安装。



## 二、立式水轮发电机结构

水轮发电机广泛采用立式结构,只有部分小容量水轮发电机采用卧式安装。下面以立式水轮发电机为例介绍其基本结构。

由于水轮机的转速低,为了获得额定频率,发电机的极数就很多,发电机的转子直径则需加大。在发电机容量一定的情况下,发电机的长度便可缩短,故整个水轮发电机呈扁盘形。如东方电

机厂生产的 SF125 - 96/15600 型水轮发电机,其长度  $L = 1650\text{mm}$ ,转子直径  $D = 15\,600\text{mm}$ ,  $L/D = 0.106$ 。立式水轮发电机的结构又可分为悬式和伞式两种,如图 1-4 所示。悬式的推力轴承装在转子的上部,整个转子悬吊在上机架上,这种结构的运行稳定性好,通常用于转速较高的发电机(150r/min 以上)。伞式结构的推力轴承装在转子的下部,整个转子形同被撑起的伞,这种结构的运行稳定性差,但其布置紧凑、整个机组高度小,通常用于转速较低(125r/min)的发电机。

立式水轮发电机主要由定子、转子、机架、轴承等部件组成。

### 1. 定子

定子主要由定子机座、定子铁芯、定子绕组组成,其纵剖面如图 1-5 所示。

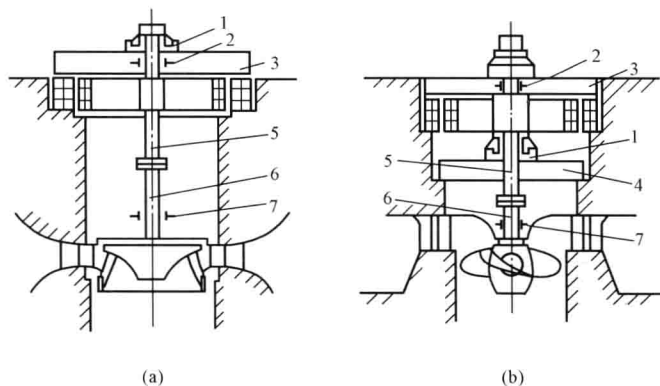


图 1-4 立式水轮发电机结构图

(a) 悬式; (b) 伞式

1—推力轴承; 2—上导轴承; 3—上机架; 4—下机架;

5—发电机转轴; 6—水轮机转轴; 7—水轮机下导轴承

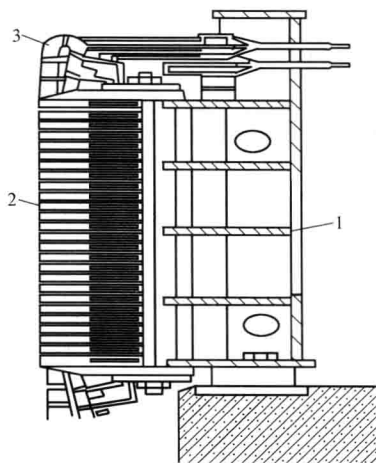


图 1-5 定子纵剖面图

1—定子机座; 2—定子铁芯;

3—定子绕组

(1) 定子机座。机座用来固定定子铁芯,在悬式机组中它又是支撑整个机组转动部分的重要部件,此外,它还构成冷却风路的一部分。小容量机组采用整个圆形机座,大、中容量机组当机座直径大于 4m 时分成若干瓣,安装时再拼接成一体。



(2) 定子铁芯。定子铁芯用来嵌放定子线圈,并构成电机磁路的一部分。定子铁芯一般由  $0.35\sim 0.5\text{mm}$  厚的扇形硅钢片叠压而成。扇形硅钢片内圆周有嵌放线圈的槽,外圆周有固定用的鸽尾槽,以便将扇形硅钢片固定在机座的鸽尾筋上,如图 1-6 所示。在叠装扇形硅钢片时,每隔  $30\sim 80\text{mm}$  就留有  $10\text{mm}$  左右的通风沟,铁芯两端放置压板,用双头螺杆拉紧而成为一个整体。整个铁芯固定在机座内圆周的定位筋上。

为了测量定子铁芯的温度,定子铁芯内埋有测温元件,如图 1-7 所示。它是将一个电阻元件(铜或铂)埋入一片扇形酚醛层压板的凹槽里构成的,利用电阻值随温度的变化关系,测其电阻就可知道该处温度。测温元件可以根据需要埋设,一般沿铁芯轴向放在中心处和接近两端处。如需测沿轴向温度分布,可多埋几处。电阻元件埋入后,用环氧树脂固定好,引出线须用屏蔽线。

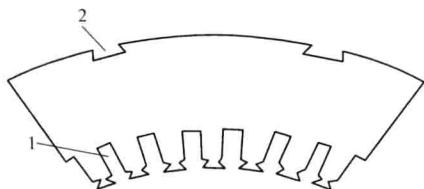


图 1-6 扇形硅钢片  
1—嵌线槽;2—鸽尾槽

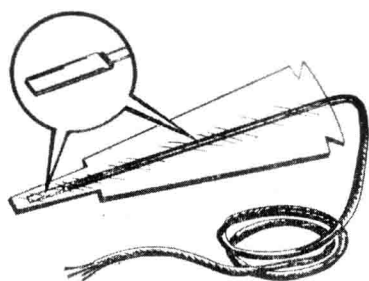


图 1-7 测温元件

(3) 定子绕组。定子绕组的作用是感应电动势,通过电流实现机电能量的转换。定子绕组由若干线圈按照一定的规律连接而成,定子绕组放在定子铁芯内圆周的槽内,并用槽楔压紧,绕组端部用绑绳固定在端箍上。同步发电机定子绕组一般采用双层叠绕组或双层波绕组,并多采用分数槽绕组,以便改善电动势的波形。

## 2. 转子

转子主要由转轴、转子支架、转子磁轭和转子磁极等组成。凸极式发电机转子结构示意图如图 1-8 所示。

(1) 转轴。转轴的作用是传递扭矩,并承受机组转动部分的重量和轴向水推力。转轴一般采用高强度钢锻造而成。小容量水轮发电机采用整锻实心轴,大、中容量水轮发电机多采用整锻空心轴。

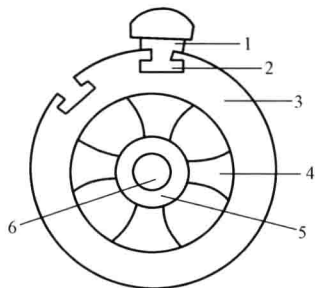


图 1-8 凸极式发电机转子结构示意图  
1—磁极;2—T 尾;3—磁轭;4—轮辐;  
5—轮毂;6—转轴

(2) 转子支架。转子支架的作用是将磁轭与转轴连接起来,通常由轮毂和轮辐组成。圆盘式转子支架如图 1-9 所示。轮毂固定在转轴上,磁轭固定在轮辐上。由于要传递转轴的力矩,转子支架必须有足够的强度。

(3) 转子磁轭。转子磁轭用来固定磁极,同时也是电机磁路的一部分。大、中型发电机转子磁轭用  $2\sim 5\text{mm}$  厚钢板冲成扇形片交错叠成整圆,每叠  $4\sim 5\text{cm}$  留一道通风沟,最后用拉紧螺杆固定成一个整体,磁轭外圆周开有 T 尾槽,以便与磁极铁芯的 T 尾相挂



接,如图1-10所示。

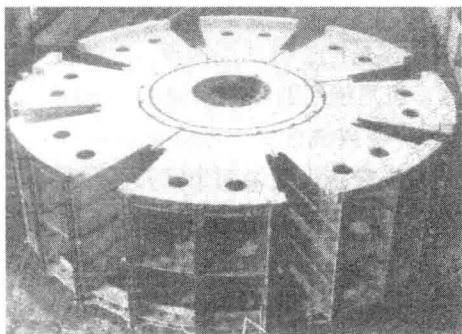


图1-9 圆盘式转子支架

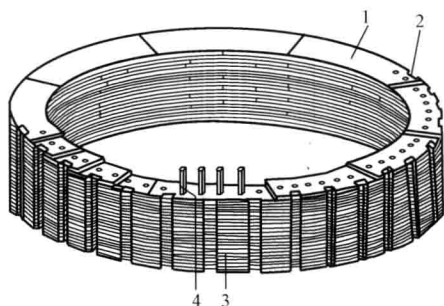


图1-10 扇形磁轭冲片叠装

1—磁轭冲片; 2—T尾槽;  
3—叠片接缝; 4—拉紧螺杆

(4) 转子磁极。转子磁极一般用1~1.5cm厚的钢板冲片叠成,在磁极的两端加上磁极连接片,用拉紧螺杆紧固成整体,并用T尾与磁轭的T尾槽连接。磁极分为极身和极靴两部分。极身较窄,用来套装励磁绕组并形成磁路;极靴两边伸出极身之外的部分称为极尖,极靴的曲面称为极弧,极弧与电枢内圆周之间的间隙即为气隙。极靴既能固定励磁绕组、阻尼绕组,又能改善气隙主磁场的分布。凸极发电机的磁极如图1-11所示。磁极都是成对出现的,并沿着圆周按N、S的极性交错排列。

(5) 励磁绕组。励磁绕组多采用绝缘扁铜线在线模上绕制而成,后经浸渍热压处理,套在磁极的极身上,如图1-11所示。励磁绕组中通过直流电流,产生极性和大小都不变的恒定磁场,在原动机的拖动下旋转,使极性和大小都不变的恒定磁场变为旋转的磁场,该旋转的磁场切割定子绕组而使定子绕组感应电动势。

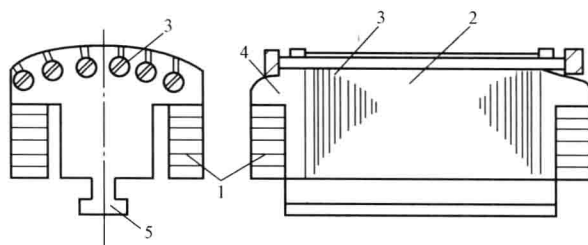


图1-11 凸极发电机的磁极

1—励磁绕组; 2—磁极铁芯; 3—阻尼绕组; 4—磁极压板; 5—T尾

(6) 阻尼绕组。阻尼绕组是将裸铜条插入极靴的孔内,再用端部铜环将全部铜条端部焊接起来,形成一个鼠笼型的绕组,如图1-11所示。阻尼绕组可以起到抑制并列运行的发电机转子振动的作用。

### 3. 轴承

水轮发电机的轴承分为导轴承和推力轴承两种。

(1) 导轴承的作用是约束机组轴线沿径向位移,主要承受径向力。导轴承主要由轴领、导轴瓦、支柱螺钉和托板等组成,如图1-12所示。

(2) 推力轴承承受立式水轮发电机组转动部分的全部重量及水轮机转轮上的轴向水推力。大容量机组的轴向水推力负荷可达数千吨,所以推力轴承是水轮发电机制造上最困难的关键部件,也是运行中经常出故障的部件。推力轴承由推力头、镜板、推力瓦和轴承座等构



成,其结构如图 1-13 所示。

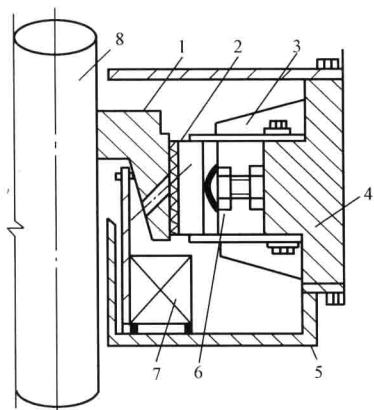


图 1-12 导轴承结构示意图

1—轴领; 2—导轴瓦; 3—托板; 4—支架; 5—油槽;  
6—支柱螺钉; 7—冷却器; 8—主轴

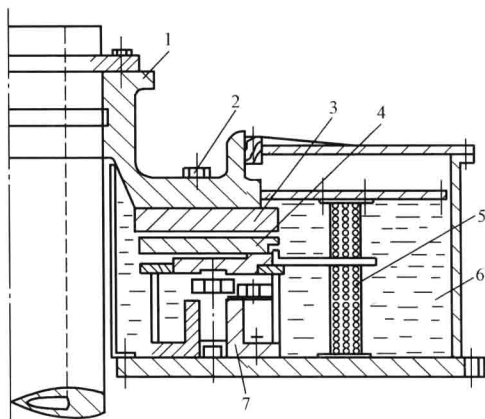


图 1-13 推力轴承结构示意图

1—推力头; 2—定位销; 3—镜板; 4—推力瓦;  
5—冷却器; 6—油槽; 7—轴承座

推力头用热套的方法固定在转轴上,镜板用定位销固定在推力头的下面,镜板和推力头与转轴一起旋转。推力瓦为推力轴承的静止部分,一般做成扇形,整个圆周一般均匀分布有 8~12 块推力瓦。钢坯推力瓦浇有 3~5mm 厚的巴氏合金,该合金硬度低、耐磨性好。镜板与推力瓦的接触面光洁度极高,加之在机组转动时镜板与推力瓦接触面之间有一层薄薄的油膜,极大地降低了转动时的摩擦阻力。每个推力瓦下面有托盘将推力瓦托住。整个推力轴承装在一个盛有润滑油的密封油槽内,油不仅起润滑作用,也起冷却作用。对于中小容量机组,油的冷却是靠装在油槽内的冷却器来散热的,称为内循环冷却方式。

对于大型水轮发电机组,仅靠装在油槽内的冷却器散热,其冷却效果达不到要求,因此可采用镜板泵外循环冷却方式,即在镜板(或推力头)上开径向孔构成简易离心泵,在镜板的外

缘装集油槽用以汇集热油,并将热油送入管路,经外置冷却器,再回到推力瓦。热负荷较高、冷却条件较差的轴承,在镜板的内缘还须加装导流圈,迫使油从轴承底座流向泵孔,使瓦间部分冷油不致被抽走,以改善轴瓦的润滑冷却。镜板泵外循环冷却系统如图 1-14 所示。

#### 4. 集电装置

集电装置由集电环和电刷装置组成。它将在静止的励磁装置中的直流电流送到旋转的励磁绕组中。

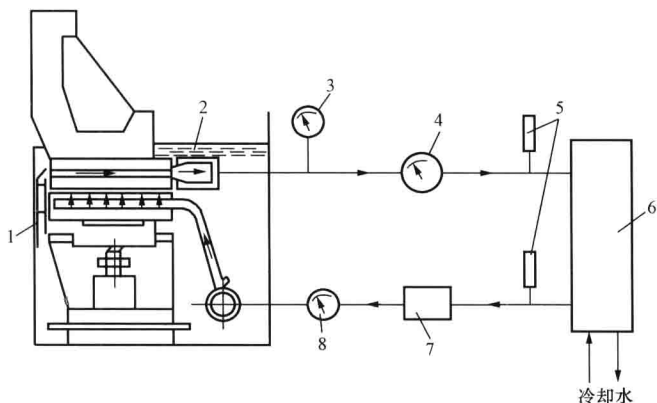


图 1-14 镜板泵外循环冷却系统

1—导流圈; 2—集油槽; 3—压力表; 4—流量表; 5—温度计;  
6—冷却器; 7—滤油器; 8—示流继电器



集电环固定在转轴上，经电缆或铜排与励磁绕组连接，直流电经电刷正极、集电环正极、励磁绕组、集电环负极、电刷负极形成回路。

集电装置应设在便于观察和维护以及无油雾和灰尘污染的位置。大容量悬式水轮发电机的集电环一般布置在上机架中心体内，伞式水轮发电机的集电环大多布置在上导轴承和上机架的上面（半伞式）或机组顶端（全伞式）。

（1）集电环。水轮发电机的集电环用钢板制成，直径较小的集电环做成套筒式，直接热套在套筒上。直径较大的集电环做成支架式，支架式集电环又分为整圆和分瓣两种，用绝缘螺杆将集电环固定在支架上。分瓣支架式集电环如图1-15所示。

（2）电刷装置。电刷装置主要由导电环和电刷等组成。导电环一般通过绝缘螺杆固定在上机架中心体内。根据电刷的数量和尺寸，导电环可做成半圆形或扇形。正、负导电环沿圆周交错布置，以防碳粉引起短路。电刷的材料为电化石墨，为减少运行中电刷的维护工作量，常采用恒压弹簧式刷握。每个导电环上的电刷数和电缆接头数应在两个以上，不允许采用单刷和单接头，这样可防止因电刷接触不良或接头松脱而导致机组失磁。

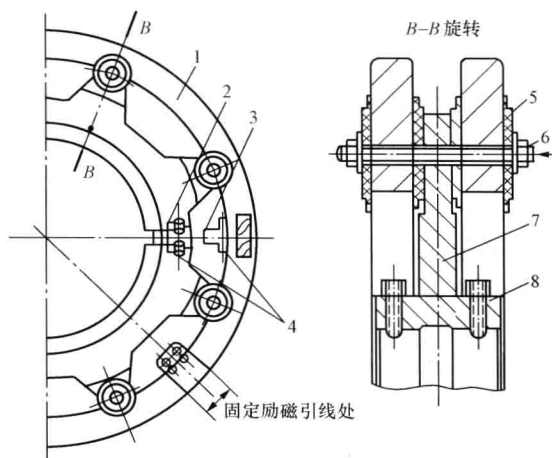


图1-15 分瓣支架式集电环

1—集电环；2—轴向销；3—切向销；4—合缝螺丝杆；  
5—绝缘垫圈；6—绝缘螺栓；7—支架；8—顶丝

#### 1.1.4 水轮发电机的励磁系统

水轮发电机运行时必须给转子绕组中通入直流电流建立磁场，这个电流就是励磁电流。提供励磁电流的系统就是励磁系统。它主要由两部分组成：一是励磁功率

单元，它是向同步发电机励磁绕组提供直流电流的励磁电源部分；二是励磁调节器，它根据发电机电压及运行工况，自动调节励磁功率单元输出的励磁电流大小。励磁系统是由励磁调节器、励磁功率单元和发电机励磁绕组构成的一个闭环反馈系统。

##### 一、励磁系统的主要作用

（1）正常运行时，根据负荷的变化自动调节发电机的励磁电流，维持发电机的端电压为额定值。

（2）当电力系统发生短路故障使发电机电压严重下降时，励磁系统应能强行励磁，即迅速提高励磁电流到顶值。

（3）当发电机组因故障甩负荷而使电压过分升高时，励磁系统能快速地灭磁，以限制发电机端电压的过度升高。

（4）能调节各并联运行的同步发电机，使之能合理地分配无功功率。

（5）励磁装置本身应结构简单、运行可靠、操作维护方便。

##### 二、励磁系统的类型

###### 1. 自并励静止整流器励磁系统

现代水轮发电机常用自并励静止整流器励磁系统，该系统的励磁电流取自发电机本身，



由并联在发电机端的励磁变压器提供交流电流，经静止整流器整流成直流后，通过电刷与集电环送入水轮发电机的励磁绕组。向发电机励磁绕组提供的励磁电流大小的调节由励磁调节器完成。自并励静止整流器励磁系统工作原理如图 1-16 所示。

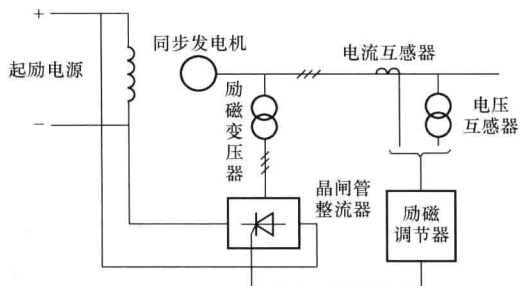


图 1-16 自并励静止整流器励磁系统工作原理图

自并励静止整流器励磁系统的特点是：

- (1) 机组长度降低，励磁系统结构简单，造价低。
- (2) 调节容易，维护方便，励磁可靠性高。
- (3) 整流器设在发电机励磁绕组回路内，励磁响应快，调压性能好，并可实现逆变快速灭磁。

(4) 整流装置的电源电压在电力系统发生故障时将随发电机端电压下降而下降，影响暂态过程的强励能力。但随着快速继电保护装置和其他相应技术的发展和完善，自并励静止整流器励磁系统的许多性能都优于交流励磁机励磁系统。

自并励静止整流器励磁系统目前已成为国内生产的水轮发电机的主要励磁系统，汽轮发电机采用自并励静止整流器励磁系统已成为发展趋势。

## 2. 交流励磁机静止整流器励磁系统

交流励磁机静止整流器励磁系统又称三机励磁系统。交流副励磁机转子、交流主励磁机转子、主发电机转子在同一轴上旋转，整流器和励磁调节器静止。交流主励磁机是旋转磁极式三相同步发电机，频率通常为 100Hz。主励磁机输出的交流电流经静止的不可控整流器整流成直流后，通过电刷和集电环接入主发电机的励磁绕组为主发电机励磁。交流副励磁机是中频三相同步发电机或永磁机，频率一般为 400~500Hz。交流副励磁机发出的交流电流经静止的可控整流器整流成直流后，送入主励磁机的励磁绕组为主励磁机励磁。副励磁机自身的励磁开始是由外部直流电源提供，副励磁机建压后再再转为自励。交流励磁机静止整流器励磁系统工作原理如图 1-17 所示。

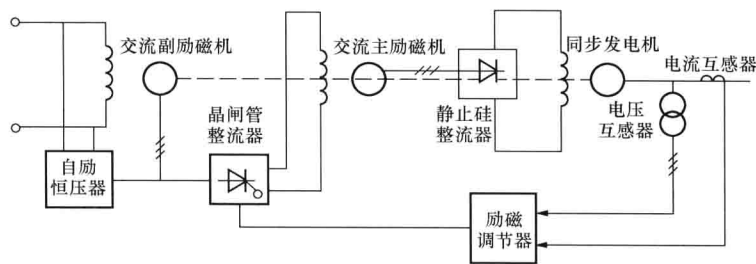


图 1-17 交流励磁机静止整流器励磁系统工作原理图

交流励磁机静止整流器励磁系统的特点是：

- (1) 励磁功率不受电力系统的影响，可靠性高；
- (2) 整流元件静止，易检测和维护，可在发电机励磁回路中装灭磁装置，灭磁较快；



- (3) 交流励磁机没有换向器，不会有直流励磁机的换向火花问题；
- (4) 集电环和电刷的存在，导致绝缘污染；
- (5) 旋转部件多，外接线多，励磁回路发生故障的概率高。

### 3. 交流励磁机旋转整流器励磁系统

交流励磁机旋转整流器励磁方式通常称为无刷励磁系统。与交流励磁机静止整流器励磁系统不同的是：交流副励磁机转子、交流主励磁机电枢、整流器、主发电机转子在同一轴上旋转，励磁调节器静止。与同步发电机同轴的交流主励磁机输出的交流电流，直接送至整流器，经整流器整流后的直流励磁电流直接送入同步发电机的转子励磁绕组。这样发电机的励磁绕组、整流器、交流励磁机电枢都在同一轴上旋转，彼此处于相对静止状态，因此，可以直接固定连接，不需要电刷、滑环等部件。其工作原理如图 1-18 所示。

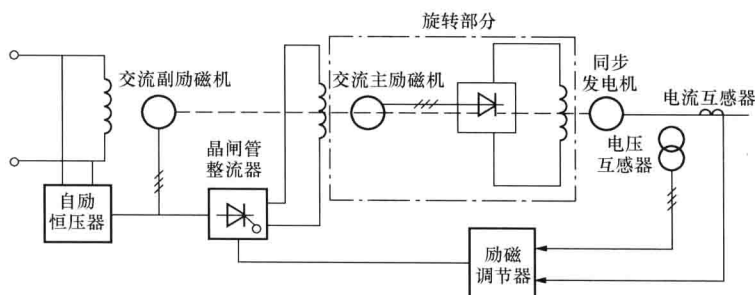


图 1-18 交流励磁机旋转整流器励磁系统工作原理图

交流励磁机旋转整流器励磁系统的特点是：

- (1) 励磁电流可以很大，不受集电环极限容量限制；
- (2) 无需考虑电刷电流的分配和腐蚀问题；
- (3) 主励磁机与发电机励磁绕组通过主轴上的孔道连接，无外露部分，励磁系统结构紧凑、可靠性高、维护工作量减少；
- (4) 无法用常规方法检测同步发电机励磁回路的工作状况；
- (5) 同步发电机励磁回路中无法装灭磁装置，而只能在主励磁机的励磁回路中装灭磁装置，灭磁时间相对较长。

此外，传统的直流励磁机励磁系统目前仍在一些小型同步发电机中使用，在此不再赘述，读者可查阅有关励磁系统的书籍。

### 1.1.5 水轮发电机的润滑、冷却、制动、灭火系统

#### 一、润滑系统

润滑系统是保证水轮发电机各个摩擦面之间形成有效润滑所需要的各种辅助设备的总称。立式水轮发电机需要润滑的部分包括推力轴承、上导轴承、下导轴承三个部分，其润滑介质通常是油或者水。

#### 二、冷却系统

同步发电机的额定容量主要由电机的机械强度和温升等因素决定。大型同步发电机中损耗的功率高达数千千瓦，如不采取各种冷却措施把因损耗功率转换来的热量带走，发电机的温升就容易超过绝缘材料的极限允许值，影响发电机的安全运行和寿命。因此，同样一台发