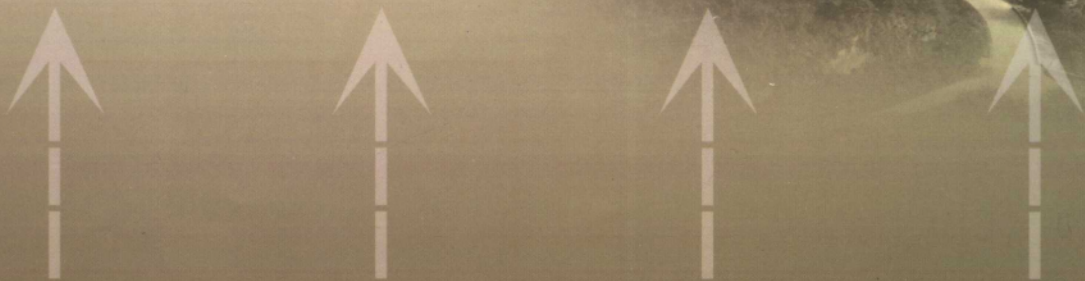


中小型水电站运行与管理 技术丛书

中小型水电站

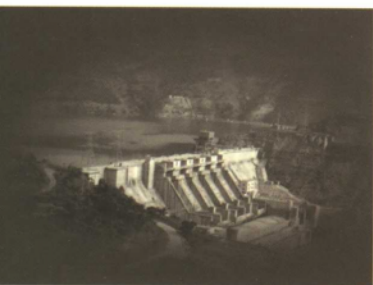
运行维护与管理

程远楚 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

中小型水电站运行与管理技术丛书



中小型水轮机调速的原理调试与故障分析处理

中小型水轮机发电机组运行与检修

中小型水电站计算机监测与控制

中小型水电站辅助设备及自动化

中小型水电站电气设备

中小型发电机组励磁装置

中小型水电站运行维护与管理

ISBN 7-5083-4197-X



9 787508 341972 >

定价：18.00 元

销售分类建议：电力工程

中小型水电站运行与管理技术丛书

中小型水电站 运行维护与管理

程远楚 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书讨论了中小型水电站主要机电设备的运行维护及管理的内容。全书共分八章,依次介绍了水轮发电机组、主变压器、水轮机调速系统、发电机励磁系统、配电装置、厂用直流系统的正常工作参数、运行监视、运行操作和运行维护,阐述了水轮发电机组的正常运行方式、不正常运行与事故分析处理,电力系统的有功平衡与频率调整、无功平衡与电压调整,以及并列运行机组间有功和无功的分配;介绍了倒闸操作注意事项和水电站直流系统的运行特点和维护要求,讨论了中小型水电站的经济运行与实现,以及与水电站运行相关的技术管理方面的知识。

本书可供有关从事中小型水电站运行维护和管理的技术人员参考,也可作为相关人员的培训教材及有关专业院校师生的参考书。



图书在版编目(CIP)数据

中小型水电站运行维护与管理/程远楚主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

(中小型水电站运行与管理技术丛书)

ISBN 7-5083-4197-X

I. 中... II. 程... III. ①水力发电站-电力系统运行②水力发电站-维护③水力发电站-管理 IV. TV73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 026838 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 5 月第一版 2006 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 11 印张 264 千字

印数 0001—3000 册 定价 18.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

中小型水电站运行与管理技术丛书

编 委 会

主 任：余卫国

副主任：谭少华 蔡维由 王贞伟 刘克兴

委 员：(以姓氏笔划为序)

王贞伟 毛慧和 付国锋 江小兵 刘克兴

刘金生 刘国刚 刘柄文 陈启卷 陈 涛

李学超 肖志怀 肖惠民 余卫国 张天明

张成平 罗仁彩 姬巧玲 职小前 程远楚

谭少华 蔡天富 蔡维由

前 言

我国幅员辽阔，山峦起伏，河流纵横，水力资源丰富。据统计，我国的水能总蕴藏量达 6.8 亿 kW，其中可供开发利用的水能蕴藏量达 3.8 亿 kW，居世界首位。建国以来，特别是改革开放以来，我国的水电建设得到了迅猛发展。随着农村电气化县的建设，中小型水电站的建设更是迈入了快车道，根据水利部农电局统计，至 2002 年底，全国仅小水电站就超过 50000 座，总装机容量 2848.9 万 kW，年发电量达到 947 亿 kW·h，为我国广大农村，特别是老、少、边地区提供了清洁、廉价的能源，有力地促进了这些地区的经济发展和两个文明建设。

近年来，随着国家能源政策的调整、电力体制的改革和电力投资的多元化，以及全国性的电力短缺，水电建设，特别是中小型水电站的建设已经在全国兴起了一股热潮。近年来，全国每年增加和新开工建设的中小型水电站星罗棋布，数不胜数。我国的中小水电建设迎来了一个前所未有的发展机遇。

水能是自然界众多能源中的一种，水电能源是一种可再生的清洁能源，根据我国优先发展水电，积极发展其他可再生能源的能源发展战略，可以预见，中小型水电发展的高潮将持续相当的一段时间。

然而，这种飞速的发展也给我们带来了新的挑战。我们应该清醒地看到，由于这些中小型水电站大多建设在比较偏远的地区，这些中小型水电站的工作人员的文化素质和技术水平相对比较低下，其管理水平更是普遍不高，影响了已建的中小型水电站效益的发挥。而那些即将建成的中小型水电站更是需要大批具有一定文化素质和较高技术水平的员工去进行运行维护和设备管理。

做好已建水电站的管理，提高其安全生产水平和综合利用率，对中小型水电站与地区电力系统的安全稳定运行、工农业生产和生活可靠供电具有重要意义。

我们知道，到目前为止电能还是不可大量储存的，发供电是同时完成的，因此水电站的安全运行尤为重要，水电站及其供电部门是否安全将直接影响广大居民的生活和生命财产是否安全以及国民经济中各行各业的生产。电力生产的安全是最大的技术经济，是水电站的根本任务。要搞好水电站的安全生产，必须制定严格的规章制度和管理条例，做好设备的技术管理、检修管理、运行管理。

本书主要讨论中小型水电站主要机电设备的运行维护及运行管理有关的内容，全书共分

八章，第一章讨论水轮发电机组的运行方式与运行监视，第二章介绍水轮发电机组的运行操作、运行维护及故障与事故分析与处理，第三章讨论调速系统和励磁系统的运行与维护，第四章介绍变压器的正常运行方式、运行监视、运行维护与事故处理，第五章介绍配电设备的倒闸操作、运行维护和故障处理，第六章介绍电站直流系统的运行特点和维护要求，第七章讨论中小型水电站的经济运行与实现，第八章介绍与水电站运行相关的技术管理方面的知识。

为适应中小型水电站工作人员的阅读，本书的编写重视实际应用，尽量减少纯理论知识的介绍和推导，力求通俗易懂，实用性强。但由于本书涉及的知识面广，且需要较强的实际工作经验，加之编写时间仓促，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2005年8月



目 录

前言

第一章 水轮发电机组正常运行	1
第一节 水轮发电机组的基本工作参数	2
第二节 水轮发电机组的正常运行方式	9
第三节 水轮发电机组的正常运行监视	13
第二章 水轮发电机组的运行操作与维护	20
第一节 水轮发电机组的正常运行操作	20
第二节 水轮发电机组的不正常运行与事故处理	35
第三节 水轮发电机组的运行维护与检修	46
第三章 调速系统与励磁系统的运行与维护	53
第一节 水轮机调速系统的基本参数	53
第二节 电力系统的有功平衡与频率调整	54
第三节 并列运行机组间的有功功率分配	59
第四节 调速系统的运行与监视	60
第五节 发电机励磁系统的工作参数	61
第六节 电力系统的无功平衡与电压调整	62
第七节 并列运行发电机间的无功功率分配	64
第八节 励磁系统的运行与维护	66
第四章 变压器的运行维护	68
第一节 变压器的结构和基本工作参数	68
第二节 变压器的运行方式	71
第三节 变压器正常运行与监视	78
第四节 变压器的不正常运行与事故处理	80
第五节 变压器的运行维护与检修	83
第五章 配电装置的运行维护	85
第一节 配电装置的作用与要求	85
第二节 配电装置的正常运行与维护	88

第三节	配电装置的倒闸操作.....	92
第四节	配电装置的不正常运行及事故处理.....	97
第六章	直流控制电源系统的运行维护	102
第一节	直流控制电源系统的作用与要求	102
第二节	直流控制电源系统接线	103
第三节	直流控制电源系统负荷	107
第四节	蓄电池特性与充放电方式分析	109
第五节	直流系统充放电控制装置	120
第六节	直流系统的运行维护	125
第七节	直流系统的接地检测	128
第七章	中小型水电站经济运行	133
第一节	中小型水电站经济运行的意义与特点	133
第二节	水电站的动力特性	135
第三节	机组间有功负荷的最优分配	142
第四节	运行机组的优化组合	145
第五节	机组间无功负荷的最优分配	147
第六节	水电站水库优化调度	148
第七节	中小型水电站经济运行的实现	149
第八章	中小型水电站的生产运行管理	153
第一节	生产运行管理在中小型水电站安全生产中的作用	153
第二节	生产运行管理的组织机构	153
第三节	生产运行管理的各种制度	155
第四节	中小型水电站的安全管理	159
第五节	中小型水电站的生产管理	161
第六节	中小型水电站的技术管理	165
参考文献	167

第一章

中小型水电站运行与管理技术丛书
中小型水电站运行维护与管理

水轮发电机组正常运行

水能是自然界众多能源中的一种，水电能源是一种可再生的清洁能源，水力发电具有如下优点：

- (1) 水电是一种再生能源，具有取之不尽、用之不竭的特点，运行成本低。
- (2) 水电机组启停迅速，作为事故备用，可快速投入系统，能根据用户需要快速调整负荷，从而可提高供电的安全性。
- (3) 水力发电无污染，并能同时发挥防洪、灌溉等综合效益。
- (4) 与火电、核电相比，水电站装置简单，设备元件少，便于实现计算机控制和综合自动化。

水电站是生产电能的工厂，其任务是将水能转换为电能，经变电、输电、配电后供工农业生产和人民群众生活需要。为完成将水能转换为电能的任务，水电站的组成部分有：

(1) 挡水建筑物。由堰、坝、闸等构成，用以拦截水流，抬高水位，是水电站的主要水工建筑物。

(2) 引水系统。由压力引水管道、无压引水管道（渠）、调压井或前池等构成，其任务是用来向机组输水，并将发电厂用过的水流排走及用来集中落差。

(3) 水电站厂房及厂房建筑物。它是固定和保护机电设备正常运行的主要建筑物。其任务是通过一系统的工程措施，将水流平稳地引入及引出水轮机，将各种必须的机电设备安装 在恰当的位置，并创造良好的安装、运行及检修条件，以利于最大限度地提高工效和提高运行质量。

(4) 发电系统。是指水电站内生产电能的设备，它完成能量转换和传输的任务。按照这些设备在水电站生产传输电能过程中的作用划分，可分为下述四大系统：

- 1) 主机设备系统。由水轮机及相应的进出水设备组成。
- 2) 辅助设备系统。包括水电站的油、水、气系统，水轮机调速设备，主阀或快速闸门及其操作设备等。
- 3) 电气一次系统。由发电机、发电机引出线、发电机电压配电装置、主变压器、厂用变压器、高低压电气设备及相应的各种母线、电力电缆等组成。
- 4) 电气二次系统。包括发电机同期装置、励磁系统、机旁盘、各种互感器、表计、继电器、控制电缆、自动及远动装置等。

做好已建电站的管理，提高其安全生产水平，提高其综合利用率，必须制定严格的规章

制度和管理条例,做好设备的技术管理、检修管理和运行维护。为满足中小型水电站对具有一定文化素质和较高技术水平的运行管理人员的需要,本书主要讨论与机组的运行维护等运行管理有关的内容,而设备的运行管理主要有以下几方面的内容:

- (1) 设备的运行与监视:监视内容、参数。
- (2) 设备的运行与操作:操作项目、操作程序、操作方法。
- (3) 设备的运行与维护:维护内容、维护方法。
- (4) 故障分析及处理:故障现象、故障原因、处理方法。
- (5) 运行管理:组织管理、安全管理、生产管理、技术管理、物资管理。

依据上述基本思想,本章首先介绍水轮发电机组的基本工作参数和正常运行方式,然后在以下各章中分别介绍水轮发电机组的运行操作与维护,调速系统和励磁系统的运行与维护,变压器的运行与维护,配电装置的运行与维护,直流系统的运行维护,以及中小型水电站的经济运行与运行管理。

第一节 水轮发电机组的基本工作参数

水轮发电机组是水电站中最重要的动力设备。水轮发电机组由水轮机和发电机组成。有关水轮机和发电机方面的知识,请参阅有关《水轮机》和《电机学》方面的书籍。在这里,仅对有关内容作一些回顾,并重点介绍涉及机组运行的有关参数。

一、水轮机的型式

水轮机是将水能转化为机械能的设备。根据水轮机转轮转换水流能量方式的不同,水轮机可分为冲击式和反击式两大类。

冲击式水轮机是利用高速流动的水流来冲击水轮机的转轮作功的。对于冲击式水轮机,其转轮处于大气压力下,也就是说,水流在进入转轮时的压力和流出转轮时的压力都等于大气压力,没有压力能(即没有反冲击力)。显见,这种水轮机只利用了水流的动能,将水流的动能通过转轮转变为主轴的旋转机械能。根据射流的冲击特性和转轮结构的不同,冲击式水轮机又可具体分为水斗式、斜击式和双击式。

与冲击式水轮机不同,反击式水轮机是同时利用水流的压力能和动能进行工作的,以压力能为主,动能为辅。在这种形式的水轮机中,转轮内部充满了水流。当水流流经转轮的叶片时,水流的流动方向和流速大小均会发生改变,从而在转轮叶片的正反两面形成压力差,推动转轮旋转,将水流的压力能转变为主轴的旋转机械能。根据水流在水轮机转轮区域内流动的方向不同,反击式水轮机又可分为混流式、轴流式、斜流式和贯流式等几种型式。

表 1-1 给出了水轮机的几种基本型式。

我国常采用的有轴流式(定浆、转浆)、混流式、贯流式、水斗式。水斗式适用于较高

表 1-1 水轮机的基本型式

反击式	混流式(HL)	
	斜流式(XL)	斜流定浆式(XD)
		斜流转浆式(XZ)
	轴流式(ZL)	轴流定浆式(ZD)
		轴流转浆式(ZZ)
	贯流式(GL)	贯流定浆式(GD)
贯流转浆式(GZ)		
冲击式	冲击式(水斗式)(CJ)	
	斜击式(XJ)	
	双击式(SJ)	

水头，其应用水头可为 80~800m，主要在小型机组或高水头电站使用；混流式水轮机适用于水头为 5~700m，中等流量和中等水头的大、中、小型水电站都可采用；轴流式水轮机适用于水头为 2~80m，一般在低水头，大流量的水电站使用；贯流式水轮机适用于水头为 0.5~16m，多在平原和沿海的潮汐电站使用，近年来，随着一批低水头电站的开发，在中小型水电站中开始得到了较多的应用。

反击式水轮机的本体设备可分为三部分：

(1) 埋入部分。它包括蜗壳、座环、转轮室、基础环、水轮机机坑里衬和尾水管里衬。

(2) 工作机构。它包括导水机构和接力器、水轮机转轮、主轴、导轴承、转浆式水轮机的受油器、管路等。

(3) 辅助设备。它包括水轮机真空破坏阀、补气阀、排水泵、漏油装置、事故配压阀、蜗壳排水阀、尾水管排水阀、接力器的锁锭装置、转浆式水轮机的协联机构等。

与水轮机相关的控制设备有：

(1) 导轴承和主轴封的冷却和润滑系统。

(2) 水轮机调速系统。

(3) 水车控制盘。

二、水轮机的基本工作参数

反映水轮机工作过程中基本特性的参数，称为水轮机的基本工作参数。其主要参数有：水头 H 、流量 Q 、功率 P_i 、转速 n 、水轮机效率 η 、水轮机空蚀系数 σ 、转轮标称直径 D_1 等。

1. 水头 H

水电站水头有净水头和毛水头之分。一般所说的水头是指水轮机的工作水头，即净水头，其定义为单位质量的水流在水轮机蜗壳进口断面和尾水管出口断面处的能量差，单位为 m。

但在实际工作中，水电站人员测到的水头往往为毛水头 H_r ，即水电站的总水头。毛水头定义为水电站上、下游的水位差，即作用于整个水工建筑物上的水头。

由于水流流过水工建筑物时会产生水头损失 ΔH ，水轮机的工作水头总小于水电站的总水头。水流流过水工建筑物时总的水头损失 ΔH 由沿程水头损失和局部水头损失两部分构成。局部水头损失是指在形状突变的局部流道中，断面流速分布的急剧变化而出现漩涡等水流紊乱，在该局部区域内产生的阻力所集中损耗的水头；而沿程水头损失则为：在平滑的流道中，流体作均匀或渐变的流动，由于沿程的摩擦阻力做功所产生的水头损失。

即 $H = H_r - \Delta H$ 。水轮机的工作水头等于毛水头（上、下游水位差）减去引水建筑物的水流损失。

2. 流量 Q

单位时间内通过水轮机的水体积称为水轮机的流量，基本单位为 m^3/s 。在运行过程中，水轮机的流量与水轮机导叶开度、水轮机转速和当前水头有关。在一定的运行条件下，水轮机的流量由水轮机的导叶开度所确定。

3. 功率 P_i

水轮机功率 P_i 是指水轮机轴输出的机械功率，基本单位为 kW，又称为水轮机的出力，其物理概念为单位时间内水轮机所做的有效功。水轮机功率与在单位时间内水流注入水轮机

的水体能量及水轮机本身的能量转换效率有关。

水流在单位时间的流入水轮机的能量（即水流的功率）可按式（1-1）计算

$$E_t = 9.81QH \quad (1-1)$$

4. 效率 η

经过水轮机的水流能量不可能全部转换为机械功率，在实际运行过程中，当水流在水轮机内部流动时，总有一部分能量会因脱流、碰撞和摩擦等原因被损耗，因此，水轮机轴输出的功率总是小于输入水轮机的功率。水轮机的功率与输入水轮机的水流能量之比称为水轮机效率。

$$\eta = \frac{P_t}{9.81QH} \quad (1-2)$$

水轮机的效率与水轮机的运行工况紧密相关，当在水轮机的设计工况运行时，水轮机的效率最高。而当水头变化或开度变化时，水轮机的运行效率会发生变化。因此，水电站运行人员应根据水轮机的运转特性曲线，制订合理的运行方案，尽量保证水轮机在较高效率区运行，以提高水电站的经济效益。

从式（1-2）可得

$$P_t = 9.81QH\eta \quad (1-3)$$

水轮机的功率是流量、水头、效率的乘积，当水轮机的工作水头偏离设计水头时，其效率下降。若水头增加值大于效率的下降值时，在同样的流量下，水轮机的功率会增大。如何合理地利用水头多发电是提高水电站经济效益的一条很重要途径，有关这方面的内容，将在第七章中讨论。

5. 转速 n

转速是指当水轮机运行时，其转动部分在单位时间内的旋转转数，单位为 r/min 。水轮机的额定转速与发电机的额定转速相对应，对于同轴的水轮发电机组，水轮机的额定转速等于发电机的额定转速。除了启停机过程，水轮机在正常运行过程中，其转速总是保持在额定转速附近。

6. 转轮标称直径 D_1

水轮机转轮标称直径是反映水轮机基本结构尺寸的一个主要参量，根据水轮机的型式不同，其定义也有所差异。

混流式水轮机： D_1 为转轮叶片进水边上的最大直径。

轴流式和斜流式水轮机： D_1 为与轮叶轴心线相交处的转轮室最大内径。

冲击式水轮机： D_1 为转轮与射流中心线相切的节圆直径。

已设计好的水电站， D_1 为一固定不变的值。

7. 空蚀系数 σ

空蚀是流体动力学的一种现象，在水流运动过程中，当因某种原因使局部压力降低到汽化压力附近时，由于水中残存的极微小空气泡使水的抗断裂强度大为降低，便在汽核形成处开始汽化。液体在汽化时产生蒸汽泡。此外，在自然界中的水中还溶解有5%的气体，当水汽化时这些气体也会从水中析出形成气泡。这些气泡和气泡的混合物称为汽穴。汽穴的形成、发展、溃裂以及对过流表面所产生的物理和化学作用称为空蚀。

早在19世纪，空蚀就开始被发现并成为水力机械设计及运行中必须考虑的重要因素之

一。尽管长期以来，国内外学者和工程技术人员作了大量的试验和研究工作，至今防止空蚀的办法还不是很完善和有效。

在水轮机中，空蚀一般可分为三类：

(1) 翼型空蚀。翼型空蚀是发生在转轮叶片上的空蚀，是反击式水轮机的主要空蚀形态，其侵蚀破坏区位于叶片不同部位。根据反击水轮机的工作原理，在转轮叶片的正面通常为正压，背面为负压，且靠近出力边的压力最低。因此，在大多数情况下，侵蚀破坏区位于叶片背面下部偏向出水边（图 1-1 中的 A 区），此外，在叶片背面与下环交接处（图 1-1 中的 B 区）和下环立面内侧（图 1-1 中的 C 区）以及叶片背面与下冠交接处也有不同程度的空蚀发生。其中 A 区最为常见和严重，B 区次之，C 区最少。此外，在叶片背面与上冠交接处（图 1-1 中的 D 区）也可能发生空蚀。

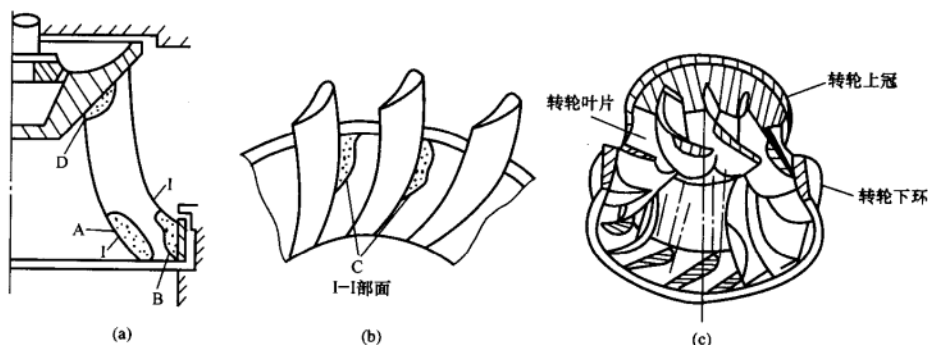


图 1-1 混流式水轮机翼型空蚀易发部位

(a) 混流式转轮立体剖面图；(b) I-I 剖面图；(c) 混流式转轮立体示意图

(2) 空腔空蚀。空腔空蚀是指发生在尾水管管壁上，由真空度大的涡带产生的空蚀现象。

当反击式水轮机偏离设计工况运行时，转轮出口的水流速度具有一定的圆周分量，旋转的水流在转轮后形成涡带，而涡带的中心形成很大的真空，出现较大尺寸的空蚀空腔。该涡带以一定的频率在尾水管中旋转，并随着运行工况的不同和水流的脉动而改变其形态或偏离尾水管中心轴线，当其中中心真空带周期性地冲击在尾水管管壁上时，就产生空蚀破坏。

(3) 间隙空蚀。间隙空蚀是指由于水流通过狭窄间隙时，使局部流速升高和压力降低所引起的空蚀破坏。

间隙空蚀的多发部位常见于轴流转浆式水轮机的叶片外缘和轮毂处，冲击式水轮机的喷嘴与喷针之间，水轮机转轮的上下迷宫环，以及导叶上下端面附近和垂直面的后方。

为衡量水轮机转轮的空蚀性能，引入了一个无量纲的参数——空蚀系数 σ ， σ 是反映水轮机空蚀性能的一个综合系数。对于 σ 不同的水轮机，在相同的水头条件下， σ 越大则动态真空度越大，越易于产生空蚀，即 σ 越大，水轮机的空蚀性能越好。

空蚀会破坏水轮机的过流部件，降低水轮机的效率，产生振动和负荷波动，引起机组运行不稳定。此外，空蚀还缩短了水轮机的检修周期，增加了检修工作量和检修的复杂性。为此，应根据水轮机运转特性，合理地制定机组的运行方式，以避免空蚀区运行。

三、水轮发电机

水轮发电机是水电站的主要设备之一，它由水轮机传动，将机械能转化为电能。水轮发电机是一台同步交流发电机，它是利用电磁感应原理将机械能转换为电能的旋转机械。其基本结构由定子（铁芯和绕组）、转子和机座等组成。转子绕组中通入直流电建立直流磁场并在原动机的带动下旋转；转子磁场的磁力线被定子三相绕组切割，使定子绕组产生感应电动势。当定子三相绕组与外电路接通时，则有三相电流产生，从而产生一与转子转动方向相同的旋转磁场。显然，在正常情况下，定子磁场和转子磁场以相同的转动方向和相同的速度旋转，这就是所谓的同步。带有电流的转子绕组在定子电枢旋转磁场的作用下，将产生与转子旋转方向相反的力矩，以与原动机输入的力矩平衡，即原动机中的机械能通过发电机中的电磁相互作用而转变成了定子绕组中的电能。

按轴线布置型式的不同，水轮发电机分为立式布置和卧式布置两类，卧式水轮发电机适用于中小型机组及贯流式机组，而大中型机组一般均采用立式布置。

立式布置的水轮发电机又根据推力轴承位置的不同，分为悬式和伞式两种。悬式发电机的推力轴承位于发电机转子上部的上机架上或上机架中。伞式发电机的推力轴承位于转子下部的下机架中，或用支架支承在水轮机顶盖上。伞式发电机又可分为：

- (1) 普通伞式。上、下导轴承分别位于上、下机架中。
- (2) 半伞式。只有上导轴承，无下导轴承。
- (3) 全伞式。只有下导轴承，无上导轴承。

水轮发电机主要由以下三部分组成：

(1) 转子。它包括主轴、转子支架、磁轭、磁极（磁极铁芯、励磁线圈、阻尼条）和制动环等。

(2) 定子。它包括定子机座、定子铁芯、定子绕组和空气冷却器等。

(3) 轴承。它包括推力轴承、上导轴承、下导轴承。

与水轮发电机相关的控制设备有：

- (1) 同期装置。
- (2) 励磁系统。
- (3) 轴承冷却和润滑系统。
- (4) 发电机冷却控制系统。
- (5) 发电机制动控制系统。

四、水轮发电机的基本工作参数

反映水轮发电机工作过程中基本特性的参数，称为水轮发电机的基本工作参数。其主要参数有：发电机的视在功率 S 、有功功率 P 、功率因数 $\cos\varphi$ 、转速 n 、发电机效率 η 、飞轮转矩 GD^2 、发电机同步电抗 x_d 、短路比、定子电压 U 、定子电流 I 、励磁（转子）电流 I_f 等。

1. 定子电压 U 和定子电流 I

定子电压 U 是指发电机出口母线的线电压，定子电流 I 是指发电机输出的三相的相电流。同步发电机正常运行时，其定子电压一般维持在额定电压 U_N 附近，定子电流不超过额定值 I_N 。所谓额定电压是指在正常运行时，按照制造厂的规定，定子三相绕组上的线电压，单位为 V 或 kV；而额定定子电流是指在正常运行时，按照制造厂的规定，流过定子绕组上

的线电流（相电流），单位用 A 或 kA 表示。

2. 发电机的视在功率和功率因数

对同步发电机，一般用视在功率 S 表示其容量，视在功率 S 是指发电机输出电流 I 与电压 U 的乘积。对三相同步发电机，视在功率式（1-4）计算

$$S = \sqrt{3}UI \quad (1-4)$$

当发电机定子电流为 I_N ，定子电压为 U_N 时发电机视在功率为发电机的额定容量 S_N 。

即

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

而发电机输出的有功功率 P ，即发电机单位时间内做功的能力

$$P = S \cos \varphi \quad (1-5)$$

式中， $\cos \varphi$ 为发电机的功率因数，显然，它是发电机有功功率 P 与视在功率 S 的比值，该值的大小反映了发电机有功功率占视在功率的比例。对应的 φ 称为功率因数角，它为定子电流和电压之间的相位关系。当 $\varphi = 0^\circ$ 时，即定子电流与定子电压同相， $\cos \varphi = 1$ ，这时发电机发出的全是有功功率。

实际上，在电力系统中，还有一部分电感性负载，如电动机，它们需要消耗一定的无功功率以建立磁场，还有一部分电容性负载会产生一部分无功功率；此外，变压器和线路均需消耗一定的无功功率。为了保证无功功率的平衡和系统电压的稳定，同步发电机在正常运行时除发出一定的有功功率外，还发出或吸收一部分无功功率 Q 。

根据功率三角形，有

$$S^2 = Q^2 + P^2 \quad (1-6)$$

或

$$Q = S \sin \varphi \quad (1-7)$$

当 $\varphi > 0^\circ$ ，即定子电流滞后于定子电压时，发电机在发出有功功率的同时，发出感性无功功率；当 $\varphi < 0^\circ$ ，即定子电流超前于定子电压时，发电机在发出有功功率的同时，发出容性无功功率，即吸收系统的感性无功功率。

当发电机定子电流为 I_N ，定子电压为 U_N ，且为额定功率因数时，对应的发电机有功功率称为发电机的额定功率 P_N ，对应的无功功率称为发电机的额定无功功率 Q_N 。

3. 发电机效率 η

由于发电机内部存在铁损和铜损及旋转摩擦损失，水轮机输入给发电机的机械功率不可能全部转换为电能，发电机输出有功功率与输入到发电机的水轮机轴功率的比值称为发电机的效率。

水轮发电机组的效率 $\eta = \eta_t \eta_G$ (η_t 为水轮机效率； η_G 为发电机效率)。

4. 转速 n

转速是指发电机运行时，其转子在单位时间内的旋转转数，单位为 r/min。在正常运行时，发电机的转速总是在额定值附近运行。对同步发电机，转子转速是与定子旋转磁场保持同步的，而定子旋转磁场和发电机发出的交流电的频率保持着严格的关系，即

$$n = \frac{60f}{p} \quad (1-8)$$

式中 f ——交流电的频率，在我国，电网频率为 50Hz；

p ——发电机转子的磁极对数。

从式(1-8)可知,发电机的额定转速总是与50Hz有严格的对应关系,当发电机转子的磁极越少,其额定转速越高;反之,当发电机转子的磁极越多,则额定转速越低。

当水轮机与水轮发电机同轴时,水轮发电机转速与水轮机转速相同,称为机组转速。

5. 飞轮转矩 GD^2 和机组惯性时间常数 T_a

机组惯性时间常数是指在额定转速下机组的动量转矩与额定转矩之比,单位为s。其表达式为

$$\left. \begin{aligned} T_a &= \frac{J\omega_N}{M_N} = \frac{GD^2 n_N^2}{3580 P_N} \\ J &= \frac{GD^2}{4} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

式中 J ——转动惯量;

ω_N ——额定角速度;

GD ——机组的飞轮转矩, $\text{kN}\cdot\text{m}^2$;

P_N ——发电机额定功率, kW;

n_N ——机组额定转速。

GD^2 和机组惯性时间常数 T_a 是影响电力系统暂态过程和动态稳定的重要参数,它直接影响发电机在甩负荷时的速率上升率和系统负荷突变时发电机的运行稳定性。 T_a 越小,机组甩负荷时的转速上升率越大; T_a 越大,越有利调节过程的稳定。对于小型水轮发电机组,若 T_a 太小,机组的稳定性就可能变差,这时可在轴端增加一个飞轮以增加 GD^2 。

6. 发电机电抗

发电机的主要电抗参数有:

(1) 纵轴同步电抗 x_d 。取决于电枢反应磁通和漏磁通,通常为0.7~1.6。

(2) 纵轴暂态电抗 x'_d 。取决于转子和定子的漏磁通,空冷发电机一般为0.24~0.38。

(3) 纵轴次暂态电抗 x''_d 。取决于转子和定子的漏磁通及阻尼绕组的漏磁通。

电抗的增加有利于减少系统的短路电流,但将降低静稳定极限功率,同时使暂态过程中的电磁转矩降低,降低暂态稳定性。

7. 短路比

短路比定义为发电机在空载额定电压时磁动势与三相稳定短路电流时磁动势之比。短路比的大小直接关系到同步发电机的造价和运行稳定性。一般同步发电机的短路比为0.9~1.3,标准值为1.1。

8. 励磁电流 U_f 和励磁电流 I_f

同步发电机在正常运行时,必须在发电机的转子绕组通入直流电流,以建立磁场。发电机在运行过程中,加在转子绕组两端的电压称为励磁电压,而通过转子绕组的电流称为励磁电流。当发电机与系统解列,机端定子电压为额定时,对应的转子电压称为空载励磁电压,相应的转子电流称为空载励磁电流。

当发电机带负荷,其输出为视在功率 S_N ,且功率因数为额定时,对应的转子电压称为额定励磁电压 U_{fN} ,相应的转子电流称为额定励磁电流 I_{fN} 。

水轮发电机组的上述工作参数与水轮发电机组的运行状态紧密相关,水轮发电机组可按铭牌数据长期连续运行,有关水轮发电机组正常运行状态下的运行要求,将结合机组的运行