

全国水利水电类高职高专统编教材

SHUIDIANZHAN JIDIAN YUNXING

水电站机电运行

周统中 郑晓丹 主编



黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

水电站机电运行

主编 周统中 郑晓丹

主审 甘齐顺

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《水电站机电运行》课程教学大纲编写完成的。本书共分 11 章,主要包括水电站简介及运行概述;运行值班及调度管理;水轮发电机组及辅助油、气、水系统运行;变压器、电气设备、电动机运行;继电保护及监控系统运行;线路事故继电保护动作后的处理;水电站机电运行典型事故。

本教材除适用于高职院校、普通高等专科学校和成人高校电力类专业及水动类专业教学使用外,还可作为水电站或一般电力变电站(所)现场运行值班人员培训教材之用。

图书在版编目(CIP)数据

水电站机电运行/周统中,郑晓丹主编. —郑州:黄河水利出版社,2007.8

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 978-7-80734-239-7

I. 水… II. ①周… ②郑… III. 水力发电站-机电设备-运行-高等学校:技术学校-教材 IV. TV734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 120280 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:16

字数:370 千字

印数:1—3 100

版次:2007 年 8 月第 1 版

印次:2007 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-80734-239-7/TV·517

定价:28.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

这本教材是水电类职业技术学院电力类专业学生,在职业学院学完水轮机及辅助设备、电机学、发电厂电气部分、继电保护和自动装置等主干专业课后,对学生进行专门的值班运行岗位职业教育而设立的一门职业技能课。这门课的任务是把主干专业课分散的专业知识综合化、系统化、职业化。组织成水力发电生产和运行应用生产技能,达到使学生“零距离”就业的目的。值班运行人员担负着全部机电设备正常运转守护神的角色,这个职业岗位的工作是连续电力生产中最重要、首要的、大量的生产工作。

本教材可供高等职业技术学院、普通高等专科学校和成人高校电力类专业和水动类专业教学使用,也可以作为现场电站或变电所(站)值班运行岗位培训之用。

参加本书编写的有:湖南水利水电职业学院高级工程师周统中(第一、四、五、九、十、十一章),浙江水利水电高级专科学校副教授郑晓丹(第六、七、八章),湖南水利水电职业学院副教授陈芳(第二章、附录),湖南水利水电职业学院讲师阮湘梅(第三章)。本书由主编周统中对全书进行修改和补充。湖北水利水电职业学院副教授甘齐顺担任主审。湖南水利水电职业学院老师马威对全部教材图和文字进行了校对修订。许昌继电器厂湛志成工程师和湖南欧阳海水电站负责人李建成同志提供了部分技术资料,特此致谢!在编写过程中参阅了有关著作和文献,特对著作和文献的编著者致谢!

最后,我们恳请读者对本书存在的缺点和错误予以批评指正,以便今后修正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

前言

第一章 水力发电概述	(1)
第一节 水电站简介.....	(1)
第二节 水力机械的几大系统.....	(9)
第三节 电气部分八大系统	(14)
第四节 电站电气主接线的运行方式	(17)
第五节 水电站监控系统概述	(19)
第六节 值班运行简述	(23)
复习思考题	(24)
第二章 电站运行值班工作	(26)
第一节 水电站的生产组织	(26)
第二节 运行值班工作制度	(26)
第三节 值班运行规程	(36)
第四节 运行值班的日常工作	(37)
复习思考题	(48)
第三章 电力系统的生产调度	(49)
第一节 电力系统的调度组织	(49)
第二节 调度管理	(50)
第三节 调度制度和调度术语	(67)
复习思考题	(76)
第四章 水轮发电机组的运行	(77)
第一节 概 述	(77)
第二节 水轮发电机组的试运行	(78)
第三节 水轮发电机组的正常运行	(88)
第四节 水轮发电机组运行故障与事故处理	(96)
复习思考题	(104)
第五章 水力机械油、气、水系统运行	(106)
第一节 概 述.....	(106)
第二节 调速器压力油系统的运行.....	(106)
第三节 低压气和高压气系统运行.....	(108)
第四节 供水系统的运行.....	(111)
第五节 排水系统的运行.....	(114)
复习思考题	(116)

第六章 变压器的运行	(117)
第一节 概 述.....	(117)
第二节 新变压器投运前的检查和试验.....	(125)
第三节 变压器的投运和退出.....	(126)
第四节 变压器运行中的巡视和检查.....	(130)
第五节 变压器的故障和事故处理.....	(131)
复习思考题	(135)
第七章 电气设备的运行	(136)
第一节 概 述.....	(136)
第二节 新电气设备投运前的检查和试验.....	(136)
第三节 电气设备的投运和退出.....	(144)
第四节 电气设备运行中的巡视和检查.....	(148)
第五节 直流系统及设备的巡视和检查.....	(154)
第六节 防雷和接地系统的巡视和检查.....	(158)
第七节 电气设备故障和事故处理.....	(163)
复习思考题	(168)
第八章 电动机的运行	(170)
第一节 概 述.....	(170)
第二节 电动机投运前的检查和试验.....	(170)
第三节 电动机的投运和退出.....	(175)
第四节 电动机运行中的巡视和检查.....	(178)
第五节 电动机运行故障和事故处理.....	(182)
复习思考题	(189)
第九章 水电站继电保护和监控系统的运行	(190)
第一节 二次网络对电力安全生产运行的重大意义.....	(190)
第二节 常规继电保护及监控系统的运行.....	(192)
第三节 微机继电保护和计算机监控系统的运行.....	(194)
复习思考题	(219)
第十章 线路事故继电保护动作后的处理原则	(221)
第一节 概 述.....	(221)
第二节 线路继电保护装置.....	(221)
复习思考题	(223)
第十一章 机电运行典型事故实例分析	(224)
第一节 概 述.....	(224)
第二节 事故实例分析.....	(224)
复习思考题	(234)
附录:电气试验项目	(235)
参考文献	(244)

第一章 水力发电概述

第一节 水电站简介

我国地域广大,河流纵横,水力资源十分丰富,可开发利用的水力资源蕴藏量为 3.7 亿 kW。我国小型水电站在全国已星罗棋布,有 44 273 座,总装机为 2 202 万 kW;大型水电站已建成的有武强溪水电站、新安江水电站、葛洲坝水电站等;特别是世界上最大的水电站长江三峡水电站的建成,意义重大,它发出的电能几乎输送到半个中国,三峡水电站单机容量 70 万 kW,装机 26 台,总容量达 1 820 万 kW。我国南方某些省的电网中,水电装机容量已经接近 40%。水力发电在我国有广阔的发展前景。因为水力发电不但符合我国的能源政策,符合环保要求,有利于减少环境污染,又能提供清洁廉价的能源;而且水力资源是取之不尽、用之不竭的循环能源,只要天上下雨,就有水力资源可以利用。所以,从能源战略考虑,开发水电是一项重大的长期的能源战略。

水电站是一个把水力能源转换为电能的发电工厂。它生产的最大特点是全厂设备必须连续不间断地运转,并且为了安全稳定可靠供电,又能保证电能的周波和电压的质量,一般都接入一个电网运行,不单独一个电站孤立运行。电力网是由发电厂、变电站和不同电压等级的输电线路及电力用户组成的不间断发电、供电、用电的庞大网络。对电能质量的要求:电压一般在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内,频率在 $(50 \pm 0.5)\text{Hz}$ 范围内。

水电站厂房,一般采用地面式厂房,按地面式厂房与大坝的相对位置来划分,可以分为河床式水电站、坝后式水电站、引水式水电站 3 种:

(1)河床式水电站厂房是大坝的一部分。图 1-1 为某河床式水电站平面布置图。

(2)坝后式水电站,电站在大坝下游大坝后面。图 1-2 为某坝后式水电站平面布置图。

(3)引水式水电站,水库的水通过引水管送到电站机房,电站与大坝不连在一起。图 1-3 为某引水式水电站平面布置图。

地下式厂房、溢流式厂房和坝内式厂房 3 种特殊厂房,采用较少,本教材全部采用地面引水式厂房来进行讲授和教学。

水电站厂房有生产主厂房和生产副厂房。生产主厂房一般分为 5 层,即发电机层、水轮机层、蜗壳层、水泵层、尾水管层。图 1-4 为某水电站厂房剖面图。

主厂房内除布置水轮发电机组本体外,旁边还布置有蝴蝶阀、调速器、励磁装置及油压装置和管道等设备。在主厂房外面,一般布置升压变压器场和开关站。生产副厂房内布置有电站的中央控制室、继电保护屏室、高压配电室、厂用配电室、蓄电池室、空压机室、水泵室、油泵室等。中央控制室是全电站值班运行连续生产的指挥中心所在地,是监控的二次设备屏的集中场所。在计算机监控的水电站里,上位机的工控机、显示屏和键盘等都布置在控制室的专用值班桌上。

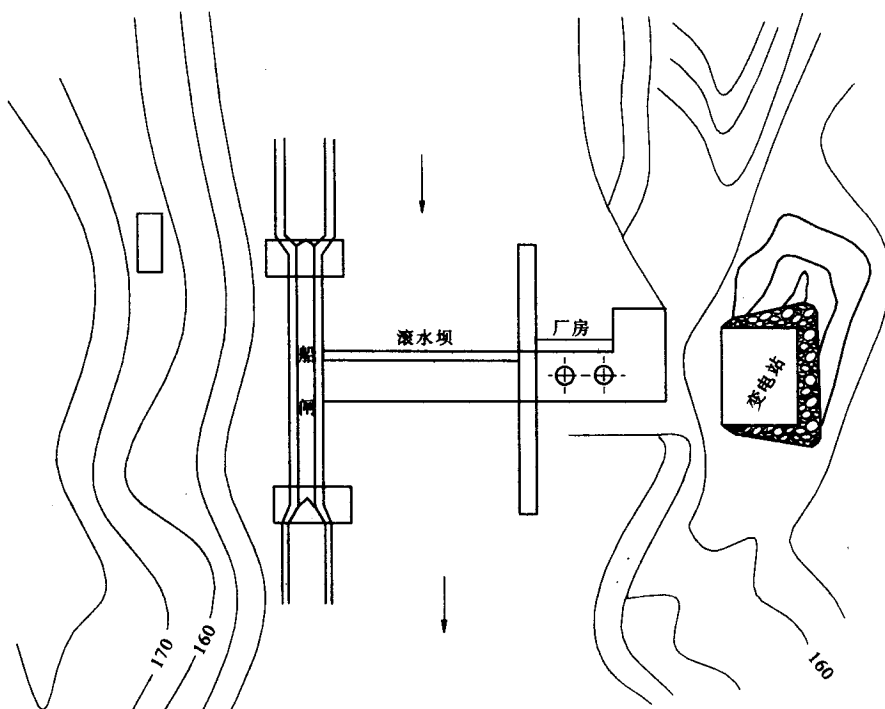


图 1-1 某河床式水电站平面布置

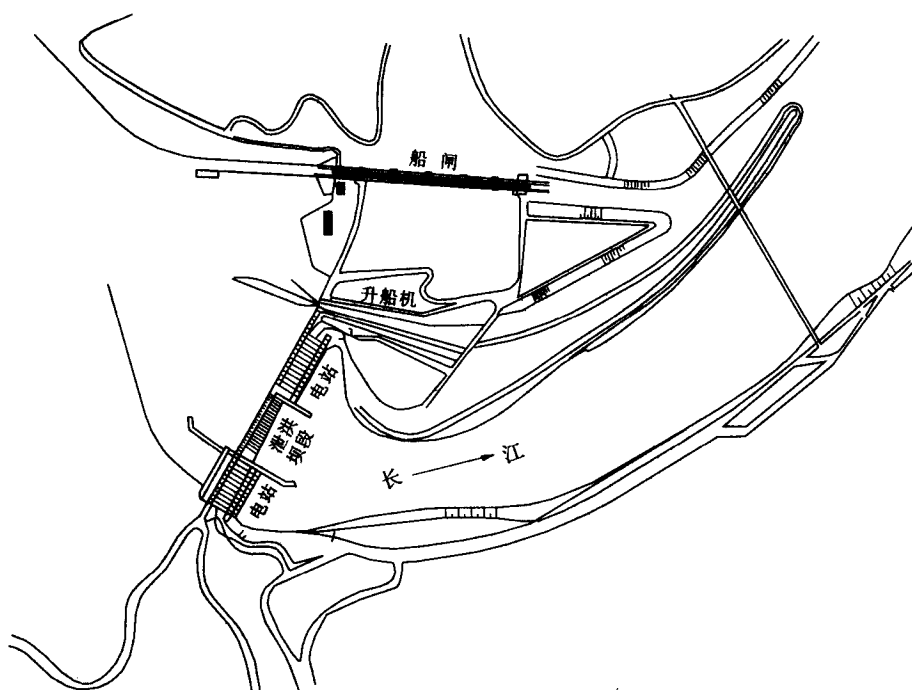


图 1-2 坝后式水电站平面布置

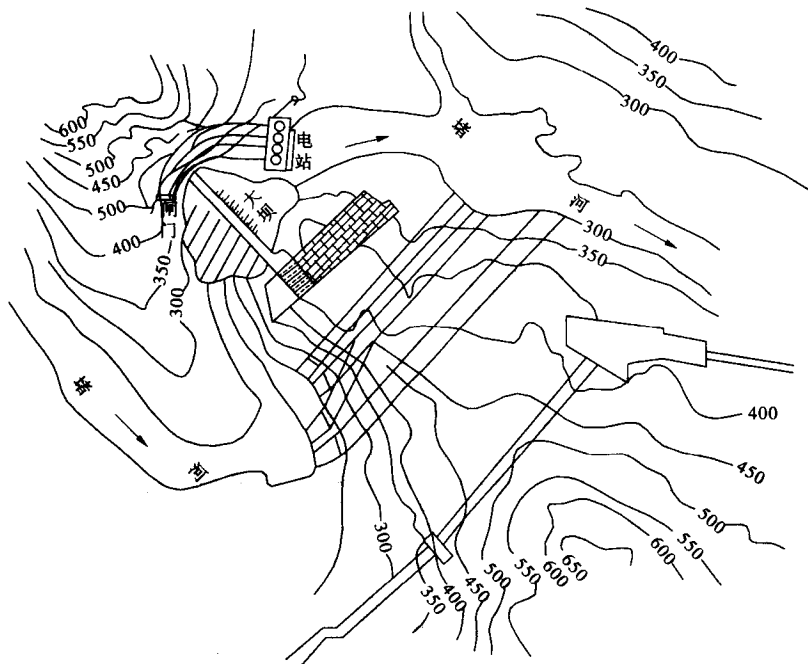


图 1-3 某引水式水电站平面布置

在附图电气主接线图里,发电机 6kV 母线系统的开关设备布置在高压配电室里,厂用变压器及厂用电设备一般布置在厂用配电室里,而两台主变压器及升压后的高压设备一般布置在主厂房外的变压器场和开关站里。

主厂房发电机层的布置,参见图 1-5 某电站厂房发电机层平面布置图。

布置在主厂房内的水轮发电机组,本教材全部采用广泛应用的反击式立轴混流式水轮机为参照机型进行教学和讲授,通过典型达到举一反三的目的。对于与立式混流式水轮发电机组同轴的本体部分,一般从下到上由四个部分组成。图 1-6 为某电站立式水轮发电机组水力机械系统图。

图 1-7 为某电站立式机组系统关系图。其系统包括水轮机、发电机、励磁机、永磁机。机组从下至上有水导轴承、下导轴承、上导轴承、推力轴承。推力轴承上面有镜板,镜板承受机组全部重量。运行中要注意监视这些轴承中的油位油温和冷却水的情况。如图 1-6 所示,水轮机导水叶与接力器相连,调速器控制压力油路去推动接力器动作,使导叶打开或关闭,达到开机或停机或调整有功负荷的目的。水轮机的作用是将水能转换成为机械能。发电机的作用是把机械能转换为电能,再经过升压变压器和开关设备将电能送入电网和用户。励磁机的作用是发出直流电供给发电机转子磁极产生转子磁场之用,现代发电机大多用静止可控硅励磁装置代替转动的励磁机,由励磁机及其自动调节励磁装置组成发电机的励磁调节系统,它可以自动调整电压或由运行人员手动调整电压大小及增减无功功率。永磁机是一台交流测速发电机,它的作用是做机组本体测速讯号用。一个绕组将转速讯号送到调速器作自动调速用,另外一个绕组转速讯号送到转速讯号装置作自动控制用和过速保护用。永磁机也可用发电机出口的电压互感器代用。

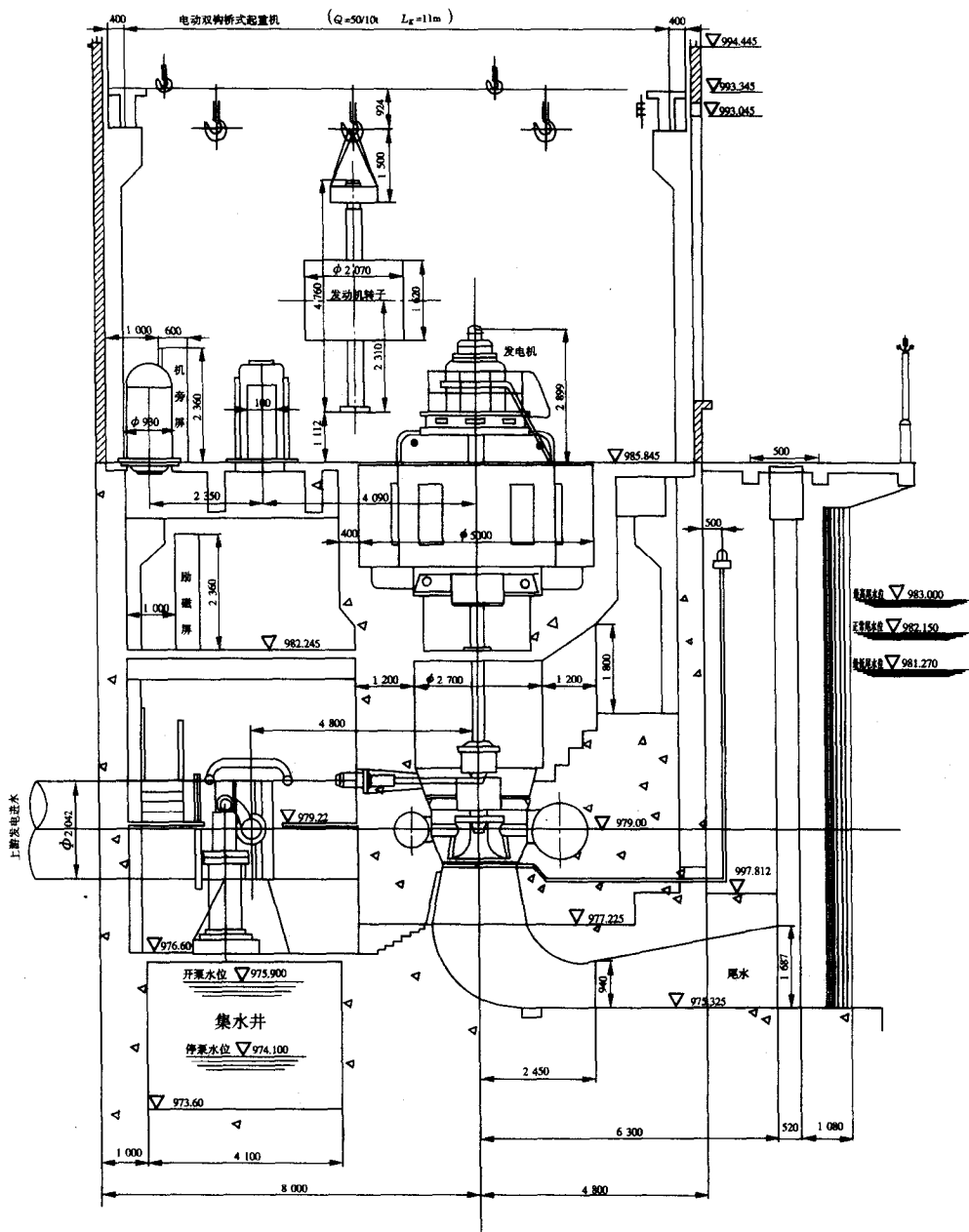


图 1-4 某水电站厂房剖面图(单位:mm)

一个水电站在水力发电过程中,过水建筑物及设备一般主要有水库、大坝、进水总闸门、引水管道;水流进入每台水轮机前还需由蝴蝶阀或闸阀,再进入水轮机蜗壳经导水叶(相当于水轮机的进水门)到转轮室冲动转轮转动做功后,流向下尾水管和尾水闸门进

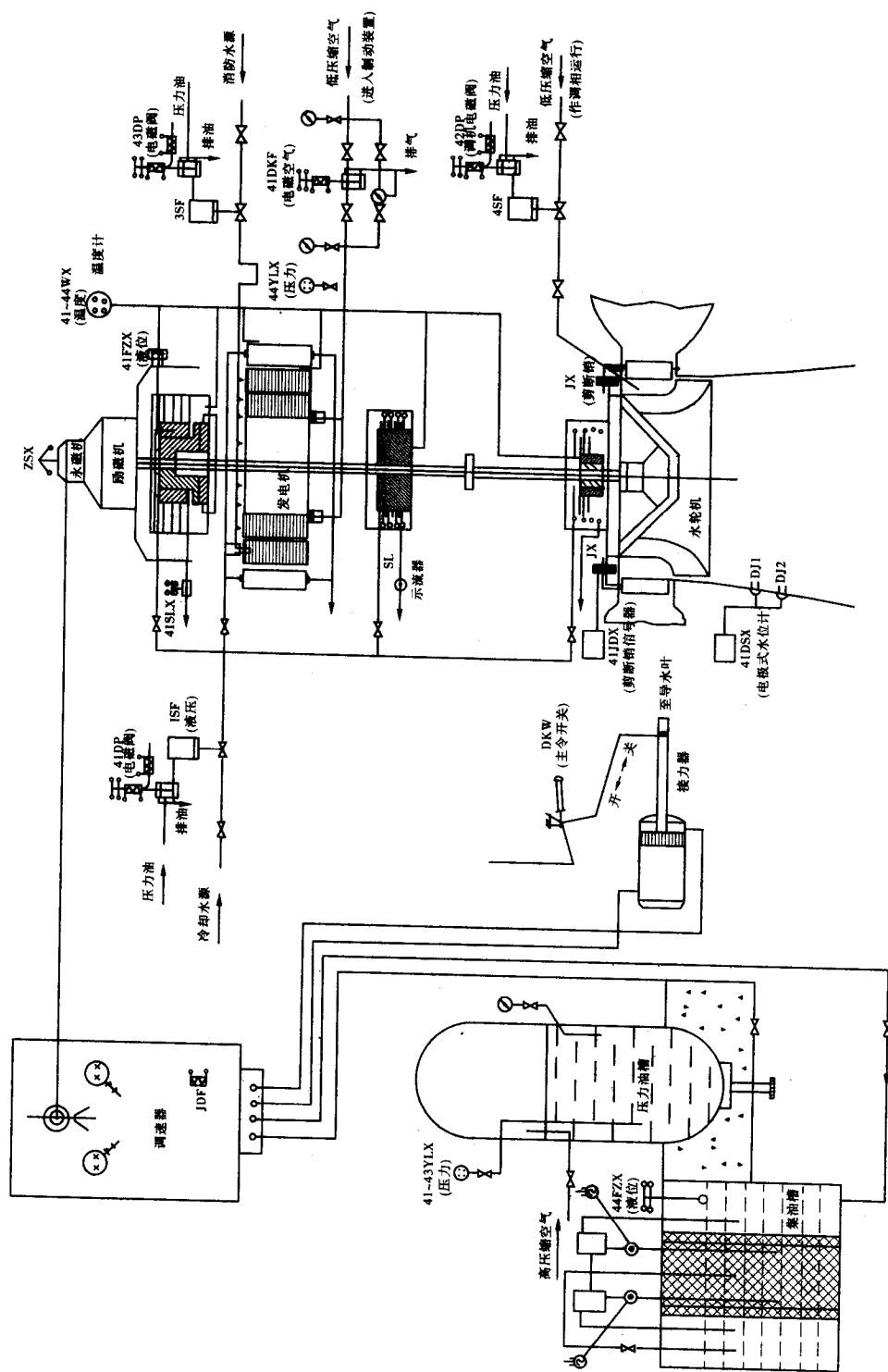


图 1-6 某电站立式水轮发电机组水力机械系统

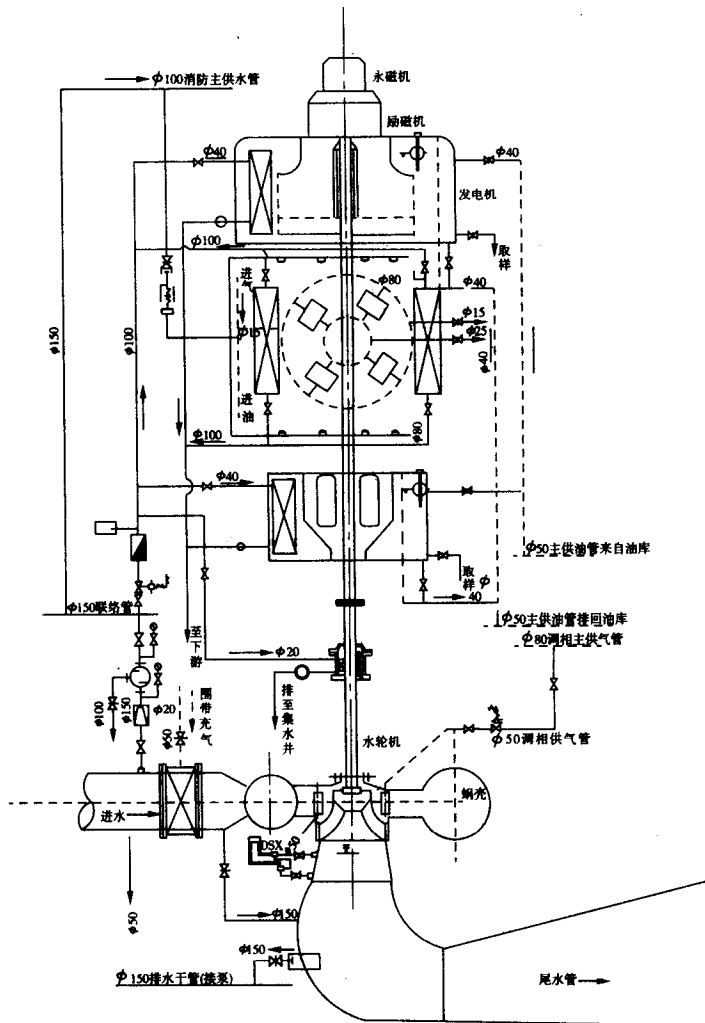


图 1-7 某电站立式机组系统关系

入天然下游河道。图 1-8 为水力发电水流过程图。

天然水能转换成电能的过程可以用图 1-9 水能转换成电能方框图表示。

水轮机轴的出力公式为

$$N_{\text{机}} = 9.81QH\eta_{\text{机}} \quad (1-1)$$

发电机出力公式为

$$N_{\text{电}} = 9.81QH\eta_{\text{机}}\eta_{\text{电}} \quad (1-2)$$

式中 $N_{\text{机}}$ ——水轮机轴出力, kW;

Q ——水流量, m^3/s ;

H ——上下游落差产生的水头, m;

$\eta_{\text{机}}$ ——水轮机效率;

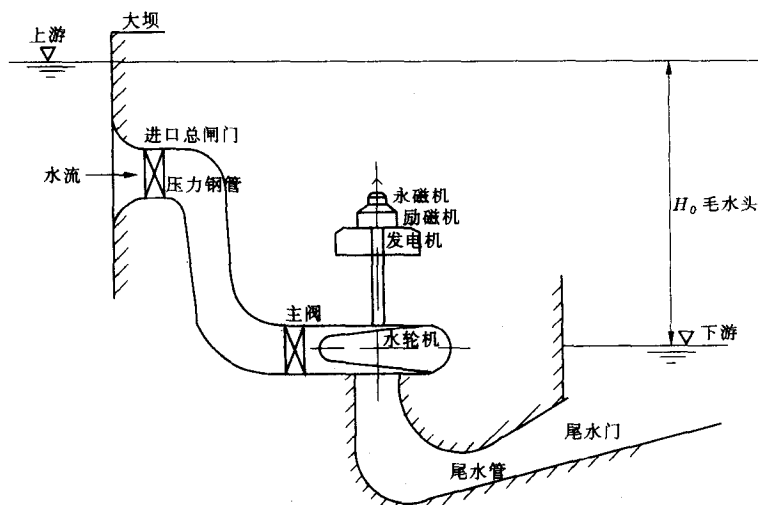


图 1-8 水力发电水流过程图

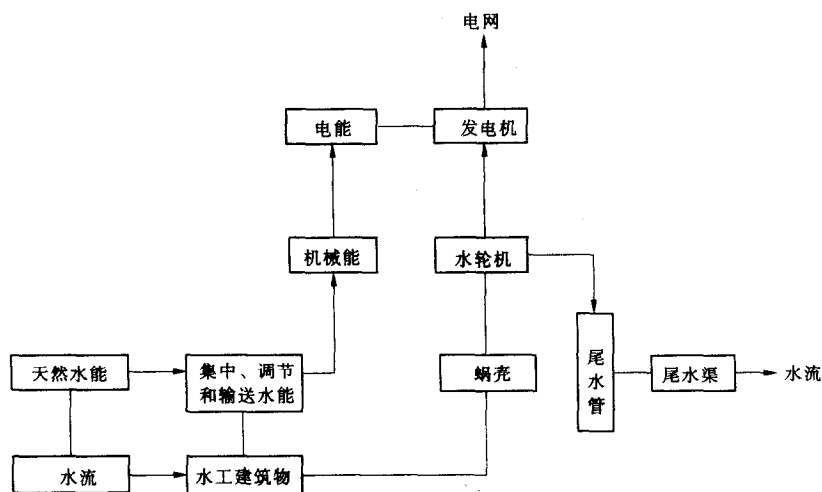


图 1-9 水能转换成电能方框图

$\eta_{\text{电}}$ ——发电机效率。

水流发电过程如图 1-8 所示。

在水力发电的过程中,作为运行值班人员,要维持一个水电站全部机电设备的连续稳定正常运转,保证安全发(供)电,必须有系统工程的概念,并树立对电站整体的、系统的认识,且必须熟悉电气部分和水力机械部分的多个系统,形成强烈的系统工程观念。任何一个系统的局部故障都会影响全电站的安全发电生产的正常运行。全部机电设备连续稳定正常运转本身就是一个复杂庞大的系统工程。除熟悉核心机组本体部分的水轮机、发电机、励磁机、永磁机四个机外,还应熟悉本机组及附属的调速器、主阀、励磁装置设备等,熟悉油、水、气等相关系统和设备,以及它们与系统之间互相影响和联系及对机组运行的影

响。在此基础上,作为运行值班人员,应强化运行制度和规程的法规意识,照章办事,严格遵守现场运行工作制度规程,按规程制度维持机电设备正常运转。

电气部分包括一次部分和二次部分系统,各系统紧密联系在一起,形成一个电的或磁的相联系的复杂网络。水力机械部分除机组本体系统外,还有油、水、气系统。这些网络系统就像人体一样,动一发而牵动全身。作为值班运行人员,不但必须熟悉水轮发电机本体四个主体机及其附属设备和油、气、水系统,并背记各系统及设备的名称、性能、作用、技术参数、现场位置和运行操作要求,而且要熟悉电气部分的一次部分和二次部分各系统及其设备的名称、作用、性能、技术参数、它们在现场的位置和运行操作要求。

在现场将这些设备全部按规定进行了编号,例如:阀门 205 就代表供水 205 号阀门,断路器 204 就代表 6kV 电压级的 204 号断路器;就管路而言,还有颜色区分,进油管为红色、回油管为黄色、供气管为白色、水管为绿色;电气回路也有颜色区分,U(A)相为黄色、V(B)相为绿色、W(C)相为红色,地线为黑色,不接地中性线为紫色、直流系统正极为红色、负极为蓝色。这些编号及颜色都是运行生产特点所要求的,在现场很直观,便于正常连续运转的生产管理和操作。

第二节 水力机械的几大系统

水电站的水力机械部分除水轮机、发电机、励磁机、永磁机四个同轴主体机外,还有附属的调速器、主阀等,还包括下面几个辅助系统,这几个系统与机组本体的关系见图1-6和图 1-7。

一、调速器油压系统

调速器油压系统包括调速器油压装置的压油泵、压力油槽、集油箱、补气设备等,这个系统的作用是开机、停机及机组调速。图 1-10 为水轮发电机组用油系统图,图 1-11 为调速器压力油路示意图。

二、蝴蝶阀油压系统

图 1-12 为蝴蝶阀油压系统。它包括蝴蝶阀油压装置的油泵、压力油槽、集油箱、补气设备、管道等。小型蝴蝶阀也有不用油压操作,而用电动操作的。这个系统的作用是维持蝴蝶阀的正常开启和关闭,机组检修时关闭蝴蝶阀并落锁。

三、低压气系统

图 1-13 为低压气系统图。它包括低压气机、储气罐、管路等。作用是刹车、调相压尾水及清扫。

四、高压气系统

图 1-14 为高压气系统图。它包括高压气机、管道等。其作用是作为油压装置补气。

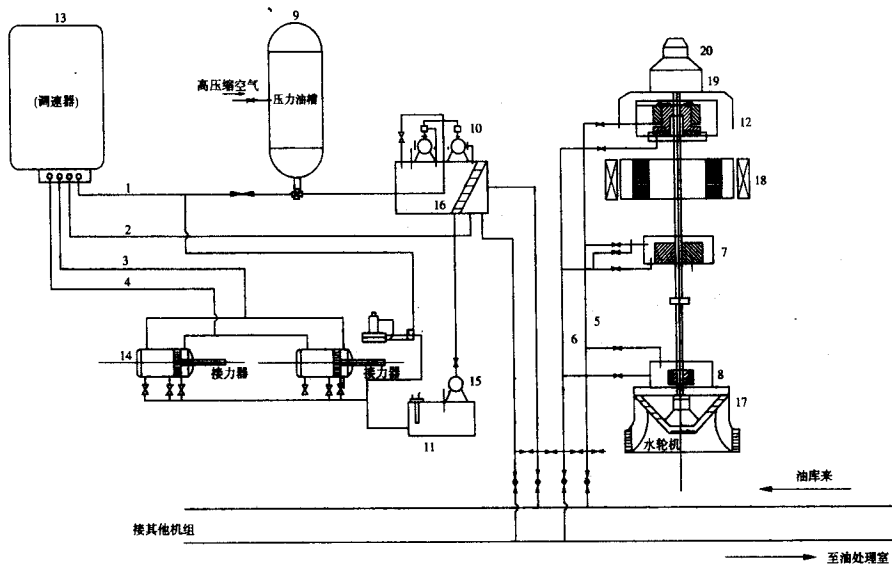


图 1-10 混流式水轮发电机组用油系统

1. 压力油管; 2. 6 排油管; 3. 闭侧油管; 4. 开侧油管; 5. 给油管;
7. 下导轴承; 8. 水导轴承; 9. 压油槽; 10. 压油泵; 11. 漏油槽; 12. 推力轴承; 13. 调速器;
14. 接力器(连水机导水叶); 15. 漏油泵; 16. 集油槽; 17. 水轮机; 18. 发电机;
19. 励磁机; 20. 永磁机

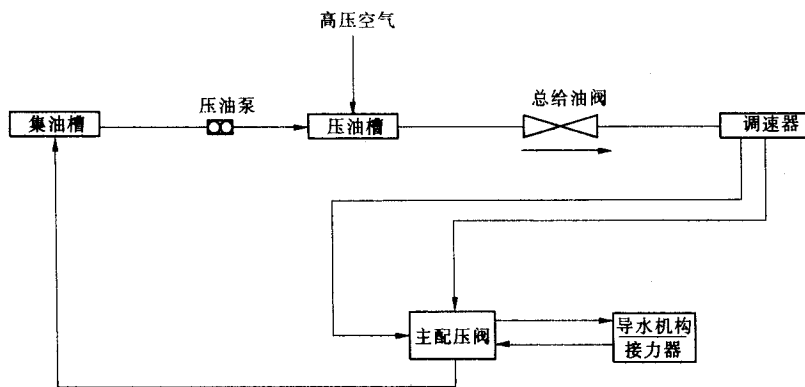


图 1-11 调速器压力油路示意图

五、技术供水系统

图 1-15 为供水系统图。这个系统包括供水泵(自流供水的不用水泵)、电磁阀、水压表、示流器及管道等。其作用是机组等冷却技术用水和润滑水。

六、机房渗漏排水系统

它一般由主用和备用两台水泵将水从集水井抽出来排至电站下游,供厂房内排除渗

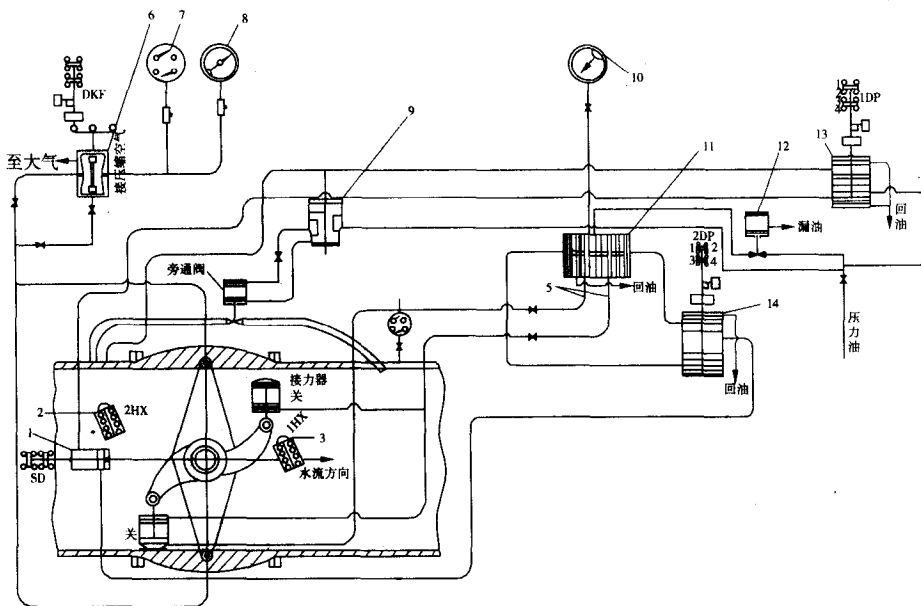


图 1-12 蝴蝶阀油压系统

1. 锁锭; 2, 3. 行程开关; 4, 7. 压力信号器; 5. 节流阀; 6. 电磁空气阀;
8, 10. 压力表; 9. 液动配压阀; 11. 滑阀; 12. 油阀; 13, 14. 电磁配压阀

漏水之用。图 1-16 为排水系统。

七、检修排水系统

它由排水泵及管道等组成。其作用是在机组大修时, 排出蜗壳和尾水管内余水之用。图 1-16 为排水系统。

八、水力测量系统

水电站中装有各种水力测量仪表, 包括压力表、真空表、流量计等测量元件, 用于监视机组运行时的水力参数, 进行测量记录, 及时发现问题。虽然设备不多, 但是为提高经济效益提供可靠的、科学的原始数据, 以保证机组安全、经济运行, 可根据测量结果, 制定电站最有利的运行方案, 使电站经济运行, 发挥最大效益。水电站水力测量一般有下列内容:

- (1) 上下游水位测量。
- (2) 水头测量。
- (3) 水轮机流量测量。
- (4) 水轮机压力和真空值测量。

水力测量部位在蜗壳入口、主阀前、输水管弯头、水轮机顶盖、尾水管入口与出口处。

此外, 水力测量系统还包括冷却水测量、渗漏水测量以及水库水温测量、水库冰凌测量等。