

新 / 编 / 全 / 国 / 小 / 水 / 电 / 培 / 训 / 教 / 材

小型水电站设备 运行与操作规程

XINBIAN QUANGUO XIAOSHUIDIAN PEIXUN JIAOCAI

童建栋 / 主审

唐文品 / 主编



联合国国际小水电中心（中国·杭州）



中国计划出版社

新编全国小水电培训教材

小型水电站 设备运行与操作规程

主编 唐文品

中国计划出版社

1999 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

小型水电站设备运行与操作规程/主编唐文品. —北京: 中国计划出版社, 1999. 10

新编全国小水电培训教材

ISBN 7-80058-798-3

I. 小… II. 唐… III. ①水力发电站, 小型-电气设备-运行-规程-中国 ②水力发电站, 小型-电气设备-操作-规程-中国 IV. TV742

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 40458 号

内 容 提 要

本书共七章, 第一章至第六章着重介绍水轮机、发电机、变压器、配电装置、直流系统以及水轮发电机组辅助设备的运行、操作与事故处理; 第七章扼要介绍水电站的运行管理。

该书主要作为小型水电站技术工人培训教材, 亦可作为水电技工学校相关专业的教材使用, 并可供从事小水电设计、施工和运行管理的技术人员参考。

**本书无中国计划出版社防伪标志者, 为非法出版物
版权所有 翻印必究**

小型水电站设备运行与操作规程

主编 唐文品

☆

中国计划出版社出版发行

(地址: 北京西城区月坛北小街 2 号 3 号楼)

(邮政编码: 100837 电话: 68030048)

余杭市人民印刷有限公司印刷

787 × 1092 毫米 1/16 10.625 印张 265 千字
1999 年 10 月第一版 1999 年 10 月第一次印刷
印数 1—10100 册

☆

ISBN 7-80058-798-3/TM·7

定价: 18.00 元

序

我国幅员辽阔、山峦起伏、河流纵横、水力资源十分丰富，可开发利用的水能蕴藏量为3.7亿千瓦，居世界首位。建国50年来，我国农村水电事业取得了举世瞩目的巨大成绩。到1998年底，全国已有小水电站44,273座，总装机2,202万千瓦，年发电量达到713亿千瓦时，全国小水电职工人数已逾百万之众。与此同时，建成了具有相当规模的配套电网，拥有110千伏及以下电压等级的高、低压输电线路217万公里，变电设备容量36,920兆伏安。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，对我国广大农村地区的发展有着十分重要的作用。

全国政协副主席钱正英曾经指出：“发展小水电的关键是培训人才”。除了新建水电站外，如何把已建水电工程和机电设备管好用好，使其充分发挥作用，这是摆在我国农村水电战线上100余万职工面前的一项迫切而艰巨的任务。突出的问题仍然是如何加强对小水电运行管理人员的培训，以便适应小水电技术发展的需要。为此，在联合国国际小水电中心的直接关注下，由本书编委会组织了全国小水电行业的专家，历经3年艰辛，编写和审定了这套全国小水电培训教材共9本，由国家发展计划委员会中国计划出版社出版，这是世纪之交献给广大小水电职工的一份珍贵的礼物。

这套培训教材内容简明扼要、图文并茂、实用性强，并按照我国当前执行的最新规程、规范、标准和名词术语编写，充分反映了我国小水电发展的新技术和新水平，可以作为我国农村小水电职工学习基本知识和进行岗位培训的教材，对提高我国广大小水电职工的技术素质和岗位生产工作能力必将发挥积极的促进作用。同时，广大小水电职工在学习和实践过程中得到的新经验，也将成为新的宝贵资料，促进这套教材在不断地使用和修订中更趋完善。

童建栋

1999.8.12

前 言

建国 50 年来，特别是改革开放以来，我国小水电事业得到了迅速发展，极大地改变了农村和边远山区的落后状况，改善了农村生态环境和流域水土条件，美化了农村，发展了经济，促进了农村精神文明和物质文明建设。

新世纪即将来临，为激励农村和边远山区的进一步发展，国家对小水电事业必将给予更多的关注。飞速发展的社会主义市场经济形势必将使小水电事业面临新的发展机遇和挑战。然而，我们必须清醒地看到，我国许多小水电站工作人员的文化素质和技术水平普遍不高，影响了小水电效益的进一步发挥。除新建电站外，如何管好用好已建小水电站的工程设施和机电设备，使其充分发挥综合效益，是摆在全国 100 余万小水电职工面前的一项艰巨而光荣的任务。“百年大计，教育为本”，发展小水电的关键是培训人才，从速强化小水电职工的技术培训是当务之急。一套高质量、高水平的培训教材，则是做好培训工作的前提，《新编全国小水电培训教材》正是为了满足这一需要而组织编写的。

在联合国国际小水电中心的直接关注下，培训教材编委会从 1996 年开始，以 1991 年由水利部指定的全国小水电职工统一培训教材第一版（一套 6 本）为基础，重新策划编写了这套适用于今后 10 年内全国小水电职工培训的教材，全套 9 本。值得指出的是，1991 年由河海大学出版社出版的小水电培训教材第一版，曾得到全国政协副主席、原水利电力部部长钱正英及原水利部部长杨振怀的充分肯定，并分别为该培训教材题了词。当时，水利部农电司指定该教材为全国小水电职工培训统编教材和考核命题的依据。水利部农电司并专函向全国各省、市、自治区水电部门推荐，并决定由原水利电力出版社为这套培训教材配套摄制了音像教材。第一版教材出版后深受全国小水电职工的欢迎，先后多次重印。但是，由于小水电事业的发展和技术进步，特别是规程、规范和标准的更新，第一版培训教材现已过时，不能再用。为此，本书编委会决定重新编写新的培训教材，组织全国资深的小水电专家和编者一起反复讨论审定编写大纲，反复修改书稿，几次召开全国性的审稿会议，然后定稿。本套新教材由联合国国际小水电中心主任童建栋教授担任主审，邀请国内知名的小水电专家白林、刘自箴、孔昭年、严亚芳、薛培鑫、钱建明、陈大卫等参与审稿。科技

出版界资深的教授级编审陈国华、王万治、陈琦英、孙银等担任该教材特邀编辑。经过3年的艰苦努力，并在中国计划出版社的大力支持下正式出版。

新编培训教材的特点是：按现行最新规程、规范、标准（包括制图标准）和名词术语编写，技术先进，内容新颖，系统全面。教材充分反映了当前小水电发展的新技术和新水平，文字通俗易懂，叙述深入浅出，理论联系实际，图文并茂，具有很强的实用性。该教材适用于全国小水电系统中具有初、高中毕业文化程度的初、中级机电运行、检修工的培训，并兼顾高级工培训需要，定位恰当。全套培训教材共9本：（1）水轮发电机组运行与维修；（2）水轮发电机组辅助设备及自动化；（3）调速器调试与故障处理；（4）电气一次设备维护与检修；（5）电气二次回路运行与维护；（6）小型水电站计算机监控技术；（7）小型水电站设备管理办法；（8）小型水电站设备运行与操作规程；（9）低压水轮发电机组运行与维修。其中第（1）至第（6）本适用高压机组水电站；第（9）本适用低压机组水电站；第（6）至第（8）本则高低压机组通用。

这套培训教材编写过程中，始终得到杭州钱江科技书社、杭州市西湖科技图书公司在各方面的全力支持，同时得到联合国国际小水电中心、中国水利地电企协、水利部农村电气化研究所、中国水利水电出版社、中国水利水电科学研究院、浙江省临安市水电局等单位的大力支持，特在此一并表示衷心感谢。

《新编全国小水电培训教材》由国家发展计划委员会中国计划出版社正式出版发行。为使培训教材迅速、安全地送达全国各地，特别是边远山区的小水电职工手中，该书出版后3年内，中国计划出版社全权委托信誉高、实力强的杭州钱江科技书社独家发行。

这套教材在编写过程中，各位编审人员竭尽心血，付出了艰辛的劳动，使教材具有相当好的质量与较高的水平，在国内具有一定的权威性。但由于工作量大，专业范围广，仍然难免存在一些疏漏与不足之处，热忱欢迎广大读者批评指正。

《新编全国小水电培训教材》编委会

1999年9月

目 录

第一章 水轮机运行	(1)
第一节 总则	(1)
第二节 水轮机运行方式	(1)
第三节 水轮机概况	(6)
第四节 水轮机正常运行	(11)
第五节 水轮机的维护和监视	(13)
第六节 水轮机不正常运行及其事故处理	(16)
复习思考题	(19)
第二章 发电机运行	(21)
第一节 总则	(21)
第二节 发电机正常运行	(22)
第三节 发电机运行的监视和维护	(24)
第四节 发电机不正常运行及其事故处理	(27)
第五节 发电机的备用和试验	(35)
第六节 同步发电机概况	(35)
第七节 发电机的起动、并列、增荷和停机	(39)
第八节 发电机运行中的监视和维护及干燥法	(50)
第九节 发电机不正常运行原因及事故处理原则	(54)
复习思考题	(60)
第三章 变压器运行	(61)
第一节 基本要求	(61)
第二节 变压器运行方式	(63)
第三节 变压器正常运行的监视和维护	(66)
第四节 变压器不正常运行和事故处理	(68)
第五节 变压器空载运行和负载运行	(70)
第六节 变压器的极性及其连接组标号	(73)
第七节 变压器并联运行条件	(76)
第八节 变压器的运行和维护	(77)
第九节 变压器的大、小修和各项试验及干燥方法	(79)
第十节 变压器不正常现象的原因和事故处理方法	(85)
复习思考题	(88)

第四章 配电装置运行	(89)
第一节 总则	(89)
第二节 配电装置正常运行方式	(90)
第三节 配电装置不正常运行和故障处理	(92)
第四节 对配电装置的要求	(95)
第五节 配电装置的作用	(95)
第六节 配电装置的正常运行和维护	(99)
第七节 配电装置不正常现象和处理方法	(104)
第八节 对配电装置的其他要求	(109)
复习思考题	(113)
第五章 直流系统	(114)
第一节 总则	(114)
第二节 蓄电池的运行与维护	(115)
第三节 充电设备	(120)
第四节 蓄电池的故障处理	(120)
第五节 保安技术	(122)
第六节 蓄电池的作用和容量	(123)
第七节 蓄电池的运行特性和注意事项	(125)
复习思考题	(130)
第六章 水轮发电机组的附属设备	(131)
第一节 调速器	(131)
第二节 进水闸门与拦污栅	(133)
第三节 主阀	(135)
第四节 水电站用油	(137)
复习思考题	(138)
第七章 小水电站运行管理	(139)
第一节 概述	(139)
第二节 小水电站的地位和作用	(139)
第三节 组织管理	(140)
第四节 安全管理	(144)
第五节 生产管理	(154)
第六节 技术管理	(156)
第七节 物资管理	(158)
复习思考题	(160)

第一章 水轮机运行

教学要求：通过本章学习，应明确了解水轮机的概况，水轮机若干主要参数以及运行过程中的注意事项、故障的原因、现象和处理方法。应该熟练掌握水轮机的操作步骤。要求初级工初步掌握，中级工基本掌握，高级工完全掌握。

第一节 总 则

第1条 每台水轮机应按厂内规定次序进行编号，并将序号明显地标明在水轮机的外壳上，其号码应与发电机编号相对应。

第2条 水轮机应按水头的不同，装设相应的压力表和真空表。

第3条 水轮机室与发电机主控室应装有联系信号（详见第二章第3条）。

第4条 水轮机室应配有灭火装置。

第5条 每台水轮机应有自己的技术档案，其内容包括：

- (1) 水轮机的安装、维护、使用说明书及随机供给的技术文件和产品图纸；
- (2) 安装、试验、交接和验收记录；
- (3) 历次大、小修的项目及检修后的技术数据（如迷宫间隙、轴承间隙、紧力、空蚀、导叶间隙等）；
- (4) 有关水轮机运行、事故处理记录。

第6条 每台水轮机应有适应的备品、备件，一切备品、备件应存放在仓库内，并进行定期保养，以防生锈、腐烂。

第二节 水轮机运行方式

一、水轮机正常运行要求

第7条 水轮机可按铭牌数据长期连续运行。

第8条 机组不得低转速长期运转，在额定转速的35%以下时，应制动停机。

第9条 机组各轴承（推力轴承、上导轴承、水导轴承）的油温低于5℃时，机组不允许起动，油温低于10℃时应停止供给冷却水，油温控制在5~55℃之间。

第10条 机组各轴承的温度，一般不超过60℃，最高不得超过70℃。当轴温到达60℃时，应发出故障信号；当温度超过70℃时，应发出机组事故跳闸信号，并跳闸。

第11条 轴承冷却水温度，应在5~40℃之间，冷却水的压力一般根据各自水头不同，

而有所不同,但以 0.15 ~ 0.2MPa 为宜。

第 12 条 各轴承油面高度:停机时,应在油位标准线附近。

第 13 条 机组各部摆度及振动值应在容许范围之内(按厂家规定)。

第 14 条 机组的制动装置应正常,其制动气压应为 0.5 ~ 0.7MPa。制动转速应视机组的额定转速高低而异,一般低速机组可在额定转速的 30% 时开始制动;制动开始至停止运转过程,不得超过 5 分钟。

第 15 条 水轮机组一般应在自动调速情况下运行,导叶开度限制应放在相应于最大出力的开度位置,但在特殊情况下:如调速系统工作不稳定、失灵等,可使用开度限制或手动控制。

第 16 条 采用自动调速器控制的机组,应保证调速器工作油压正常。

第 17 条 机组有下列情况时禁止用自动调速,应改为手动调速。

- (1) 调速系统运行失灵;
- (2) 自动调速系统的漏油过多,油压不正常;
- (3) 厂用电一时不能恢复或调速电动机和起动回路有故障;
- (4) 油泵及压力信号装置损坏;
- (5) 压力油罐内油气比例失调。

第 18 条 在下列不能保证机组安全的情况下禁止运行:

- (1) 当上下游水位不能保证机组正常运转时或真空冲击过大;
- (2) 当负荷造成机组不允许的振动时;
- (3) 当负荷造成机组不允许的摆动时。

第 19 条 新检修后的机组或停机时间较长的机组应按各自情况投入试运转。

二、水轮机运行操作

第 20 条 未投入运行的机组应在随时可以起动状态。投入运行的要求:

- (1) 进水闸门、蝶阀(闸阀)在全开位置,并保证全压状态;
- (2) 调速器各部位置正常;
- (3) 调速器油压正常,油泵电源投入;
- (4) 机组各部轴承油位适当,油色合格并无漏油;
- (5) 交直流操作电源投入;
- (6) 电气部分正常,可随时投入运行;
- (7) 未投入机组应与运行机组一样,定时进行巡视检查。并不得进行无关的操作和工作。

第 21 条 机组起动前应检查:新装机组或大修后投入运行前,必须将工作人员全部退出工作现场,确认机组内无人工作,并收回全部工作票,再作如下检查,方可投入运行。

- (1) 清除钢管及风道中的杂物;
- (2) 检查刹车装置位置;
- (3) 检查导水机构、剪断销有无松动或损坏;
- (4) 检查发电机内部、空气间隙有无杂物或遗留工具;

- (5) 检查自动装置是否正常；
- (6) 发电机的集电环整流子炭刷弹簧压力正常，并无卡阻、松动等现象；
- (7) 水轮机各密封装置应良好；
- (8) 水轮机蝶阀（闸阀）的进水闸操作机构及行程开关的工作情况应可靠；
- (9) 检查油、气、水系统各部是否正常，各轴承油位、油色情况，排水泵工作是否良好，空气压缩机能否按整定值自动启动和停止；
- (10) 调速器工作是否正常，开机前应明确用手动操作还是用油压、自动控制；
- (11) 水轮发电机组四周，有否妨碍工作的其他杂物。

第 22 条 开机操作程序：

(1) 开机前的准备工作。正常运行的机组不需全面检查；如停机时间较长，必须认真做好以下工作，方可开机。①蜗壳充水前，必须对调速器作全面检查和动作试验，打开总油阀，用油压操作机组，操作开度限制手轮到 5%，检查调速器有无漏油现象，然后慢慢升到 25%、50%、100%，由全关到全开，再由全开到全关，观察有无异样现象，最后关闭导叶；②对水轮机蜗壳进行充水、放气，使蜗壳内充满水；③将所有电源开关、油、气、水阀门，投入正常运行位置；④立式机组应顶转子。

(2) 用手动、油压或自动操作开起机组，当机组转速达额定转速 70% 时，再对机组各转动部分作一次全面检查；

- (3) 待各部正常，将机组开至额定转速；
- (4) 电气值班员可升压、并车；
- (5) 并入系统后，根据负荷需要，确定开度位置；
- (6) 改变运行接线模拟图，记好运行日记。

第 23 条 如遇下列情况之一者，禁止启动机组：

- (1) 进水闸门、尾水闸门及蝶（闸）阀尚未全开；
- (2) 水轮机或发电机主要保护失灵；
- (3) 轴承油位、油色不合格；
- (4) 冷却水不能正常供给；
- (5) 油压装置或调速器失灵；
- (6) 制动装置故障，不能安全停机。

第 24 条 开机前应具备条件：

- (1) 导叶开度指示在零位，导叶全关。油压装置正常。如用调速器操作时，总油阀应升起，调速器锁定在解除位置；
- (2) 油、气、水系统工作正常；
- (3) 蝶（闸）阀在全开位置；
- (4) 调速器紧急停机电磁阀在落下位置；
- (5) 制动气压保持在 0.5MPa 以上，制动闸在脱开位置；
- (6) 发电机断路器在跳闸位置；
- (7) 灭磁开关在断开位置；
- (8) 开机指示灯亮；

(9) 各转动皮带无断股、过松现象。

第 25 条 正常停机操作：

- (1) 接到停机命令后，配合电气人员关小水轮机导叶开度；
- (2) 当断路器拉开后，把导叶关闭至零；
- (3) 当转速达到额定转速的 30% 左右时，打开制动装置进行刹车；
- (4) 关闭调速器总油阀；
- (5) 关闭轴承冷却水；
- (6) 改变电气模拟图，做好停机运行记录；
- (7) 对机组进行一次全面检查。

三、水轮机组运行中的监视

第 26 条 每隔 1h 对机组各运行参数（如导叶开度、轴温等）作一次认真的记录。

第 27 条 认真检查调速器的工作状态（每班至少检查二次）：

- (1) 调速器运行稳定，指针指示正常，并无异常的摆动和卡阻现象。如发现调速器自动调速失灵或不稳定，应立即改为油压手动操作，并对故障进行检查处理；
- (2) 离心飞摆无晃动，飞摆电动机无异常声响，温度正常；
- (3) 主配压阀和辅助接力器应无异常抖动现象；
- (4) 调速器控制柜内各杠杆、销钉无松动、脱落现象；
- (5) 调速器各油管、接头处无漏油现象；
- (6) 定期清扫调速器滤油器，检查调速器的油位、油色等；
- (7) 调速器油泵运行正常，电气回路良好，能按规定油压范围内启动和停止；
- (8) 安全阀和逆止阀动作可靠。

第 28 条 水轮机运行中的监视：

- (1) 机组运转声正常，无异常振动、摆动和气味；
- (2) 导叶、导叶拐臂、剪断销正常无破损；
- (3) 主轴及导叶套无严重漏水；
- (4) 油、气、水管路无漏油、漏气、漏水及阻塞情况；
- (5) 真空补气阀运行良好；
- (6) 各表计指示正确（如机房压力表、真空表、转速表等）。

第 29 条 各轴承温度及测量装置的监视：

- (1) 各轴承的油位应在标准油位线附近，油质应良好；
- (2) 轴承冷却水畅通无阻，并有一定的流量；
- (3) 轴承各处及油管无渗漏现象；
- (4) 轴承内无杂音；
- (5) 各轴承温度一般不超过 60℃，若高于 70℃ 应立即停机检查；
- (6) 目前一般用圆形温度计来测轴温为多数，其温包应插入测温孔内。

四、水轮机的故障及事故处理方法

第 30 条 运行中如遇下列情况之一者，应立即停机处理：

- (1) 水轮机运转声音异常，并处理无效；
- (2) 水轮机某轴承温度超过 70℃；
- (3) 水轮机重要部件断裂；
- (4) 机组振动，摆度超过允许值，并经处理无效；
- (5) 其他有危及人身、设备安全时。

第 31 条 机组过速处理：

现象：(1) 机组发出超速声；

- (2) 负荷甩掉、频率上升；
- (3) 调速器转速表指示上升；
- (4) “强减”可能动作。

处理：(1) 立即关小导叶开度。使与负荷相适应；

(2) 情况严重者应停机检查：包括油槽有否甩油、阻尼环有无变形、转动部分螺栓有否松动等；

(3) 再次启动后，应检查振动、摆度及轴瓦温度。

第 32 条 轴承温度不正常上升：

现象：(1) 轴承温度不正常上升，温度表读数上升很快；

(2) 手摸上去感觉很烫。

处理：(1) 检查各部有无漏油。油面、油色是否正常合格；

- (2) 轴承冷却水供给是否正常；
- (3) 机组振动、摆度有无增加、过大；
- (4) 轴承内部有无不正常的声响；
- (5) 加强轴承温度的监视；
- (6) 若无法消除，请示领导和调度要求停机。

第 33 条 轴承冷却水中止：

现象：(1) 水压表指示下降或为零。示流器无水；

- (2) 尾水出口无水；
- (3) 轴承温度指示上升。

处理：(1) 检查进水管开关；

- (2) 检查水管水过滤器有无堵塞；
- (3) 若以上两项均正常，而轴承温度继续上升，应请示停机处理。

第 34 条 轴承油面下降：

现象：(1) 油面不合格，低于正常油位规定线；

(2) 轴承温度上升。

处理：(1) 检查有无漏油；

(2) 加油，使轴承油箱油面达到油位规定线。

第 35 条 导叶破断螺栓折断：

现象：(1) 破断螺栓折断，螺母松动；

(2) 折断的导叶开度与众不同；

(3) 振动和摆度增加，轴承温度升高。

处理：(1) 检查现场，根据具体情况处理；

(2) 一时无法消除的，应停机或关主阀进行调换破断螺栓。

第 36 条 轴承冷却器破损漏水：

现象：(1) 油槽油面上升；

(2) 油槽油色浑浊，油里有水；

(3) 轴承温度升高。

处理：立即停机。调换或进行补焊冷却器。

第 37 条 机组振动，摆度超过允许值：

现象：机组振动，摆度增加超过规定值。

处理：(1) 若因负荷不适当而引起，应避开该负荷运行；

(2) 若一时无法处理的，应停机检查原因。

第 38 条 调速器压力油压力下降低于最低极限：

现象：(1) 油压过低光字牌亮、喇叭响；

(2) 油压装置压力表、调速器控制系统压力表指示低于正常值。

处理：(1) 将机组立即改为手动操作；

(2) 检查压力装置有否漏油；

(3) 检查油泵、进油管道有无堵塞；

(4) 是否集油槽油量不足，致使打不上油。

第 39 条 调速器自动失灵：

现象：(1) 调速器不能自动；

(2) 继电器发生异常摆动，使频率和负荷不稳定。

处理：(1) 立即改为油压或手动操作；

(2) 首先检查各压力表的指示情况，再判断故障所在原因；

(3) 值班人员应观察其改为油压及手动操作后的变化情况；

(4) 检查各切换阀是否在自动位置上；

(5) 检查调速器某一部件损坏或失灵；

(6) 检查调速系统油管路是否堵塞，使油路不通；

(7) 如均无异常情况，可切回自动位置进行观察。

第三节 水轮机概况

水轮机和发电机是水电站的主要设备。设备状况好坏将直接影响机组的工作效率和正常运行。为保证发电机的安全、经济、多发电。如何维护好水轮发电机组，使之安全运行，是从事小水电站运行、维护、管理人员的职责和任务。为此应了解小水电站的设备状况。

一、水轮机的型式和特性

水轮机型式按照水流作用和结构特征。可分为冲击式水轮机和反击式水轮机两大类。

冲击式水轮机是利用高速射流来冲击部分转轮作功的。转轮的进口处和出口处的压力等于大气压力，没有反冲击力，也就是说没有压力能。因此，这种水轮机的工作仍利用水流的功能。以动能转变形式通过转轮变为主轴旋转的机械能。根据射流的冲击特性及不同的转轮结构，冲击式水轮机可分为水斗式、斜击式和双击式。

冲击式水轮机适用于较高水头。如水斗式水轮机，在大气压力下工作，不受汽蚀的影响和限制，运行稳定。它的特点是水流量不大，以高速水流喷射转轮使之旋转。其应用水头可为 80~800m。我国湖南省大庸县崇山水电站水头有 614m，为目前国内已使用的最高水头。国外奥地利的雷依塞克水电站应用水头更高，为 1770m。

反击式水轮机是同时利用水流的压能和动能进行工作的。以压能为主，动能为辅。水流流经转轮叶片，流速的方向和大小都发生变化，叶片正反面形成压差，推动转轮旋转，把水流的压力能转换为机械能。根据水流在转轮区域内方向的不同，反击式水轮机可分为：混流式、轴流式、斜流式和贯流式。

反击式水轮机在我国应用较为普遍。混流式水轮机应用水头为 5~700m，中等流量和中等水头的大、中、小型水电站都可采用；轴流式水轮机应用水头为 2~80m；一般用于低水头，大流量的水电站上；贯流式水轮机应用水头为 0.5~16m；根据布置形式的不同，有灯泡式、轴伸式、竖井式，多在平原和沿海地区的潮汐电站使用。

二、水轮机工作参数

在电站运行中，反映水轮机工作过程基本特性的参数，称为水轮机基本工作参数。其主要参数有：净水头 H ，流量 Q ，功率 N ，额定转速 n_n ，飞逸转速 n_H ，标称直径 D_1 。

D_1 是固定不变的定值，参数 N 随电力系统负荷变化而变化， H 值在一定程度上受电站上下游水位的影响。

1. 水轮机流量 Q

流量指单位时间内通过水轮机的水流体积，单位用 m^3/s 。在正常运行中，流量的大小决定水轮机导叶的开启度。

2. 水轮机功率 N

水轮机功率 N 是指水轮机主轴实际输出的功率。其物理概念是指单位时间内水轮机所作的有效功。即 $N = \frac{A}{t}$ 。

输出功 A 与水流在 t 时段内输入的水体势能 mgH 及本身能量转换的性能 η 有关，功率 N 为

$$N = \frac{A}{t} = \frac{mgH\eta}{t} \quad (1-1)$$

式中 mg ——在 t 时段内，通过水轮机的水流质量 G ，可用容量 r 和体积 V 表示：

$$mg = rV$$

把水体积 V 改用流量 Q 与时间 t 的乘积, 则 $mg = rV = rQt$ 将此式代入式 (1-1),

则
$$N = \frac{(rQt) H\eta}{t} = rQH\eta$$

因为 $r = 1000\text{kg/m}^3$, 所以

$$N = 1000QH\eta \text{ (kg}\cdot\text{m/s)}$$

水流的功率习惯上用 kW 或马力作单位, 而不用 $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 作单位, 因此, 要进行换算:
 $1\text{kW} = 102\text{kg}\cdot\text{m/s}$, 所以

$$N = \frac{1000}{102}QH\eta = 9.81QH\eta \quad (1-2)$$

式 (1-2) 是通常使用的水轮机的功率计算公式。

3. 水轮机效率 η

按式 (1-2) 计算得的水轮机功率是理论功率, 实际运行中, 功率 N 不可能全部得到利用, 有少部分能量被各种原因 (传动摩擦, 设备质量等) 无形中消耗掉。所以理论出力要乘一个小于 1 的效率系数, 其效率系数公式为

$$\eta = \frac{N}{9.81QH}$$

水轮机的功率与工作水头、流量有关, 如何利用水头是水电站多发电的关键, 尤其是水库电站, 电站管理人员应该考虑如何利用高水头多发电。

水轮机的运转特性中, 存在着高效率区和低效率区。通常, 导叶开度在 85% 左右时, 水轮机的效率最高。所以电站工作人员应合理地拟订运行方案, 掌握效率段高的区域运行, 这样可以增加企业的经济效益。

4. 水头

电站水头有净水头与毛水头之分, 公式 (1-2) 中的水头 H 采用的是净水头。但管理人员测量得到的是毛水头 H_E 。所以在计算水轮机功率时, 尚需考虑水头损失值。

(1) 水电站毛水头 H_E 。毛水头习惯上称为水电站的总水头。从水能角度来定义: H_E 是作用于整个电站水工建筑物上的水头, 即水流给予电站的比能; 从水位定义上讲, 毛水头就是电站上下游水位差。

(2) 水电站净水头。净水头又称为水轮机的工作水头。从水能角度来定义: 净水头 H 就是水流给予水轮机的比能。由于水流流入蜗壳以前及从尾水管出口排入尾水渠的过程中, 均不能避免能量的损失。因此, 毛水头扣除水流流过水工建筑物的各种损失后, 所给予水轮机的实际工作水头, 就是净水头。

水流流过水工建筑物的损失有沿程水头损失和局部水头损失。

沿程水头损失: 指在平顺的流道中, 液体作均匀或渐变的流动, 由于沿流程的摩擦阻力 (简称沿程阻力) 作功所引起的水头损失, 称为沿程水头损失。

局部水头损失: 指在形状突变的局部流道中, 断面流速分布急剧变化而出现漩涡, 该局部区域阻力所集中损耗的水头称为局部水头损失。如流道突然扩大、缩小、转变及局部障碍 (闸门) 等所造成的水头损失。

三、水轮机空蚀

空蚀已成为当代水电站运行中普遍而又突出的技术难题。早在 19 世纪,有关空蚀对水轮机的快速破坏作用,就表现在海轮螺旋桨叶上。长期以来国内外学者作了大量的试验和研究工作,至今防止空蚀的办法还不很完善。

空蚀发生的具体标志,是液体内部出现激烈的汽化反应。所谓汽化,是液体分子逸出液面,摆脱分子引力,从液态转变为气态的过程。也就是说在液体内部产生气泡。

对气泡的形成,溃裂和弹性膨胀而形成的空蚀,这里不作叙述。

1. 空蚀类型

空蚀类型按空蚀发生的部位可分为四种类型。

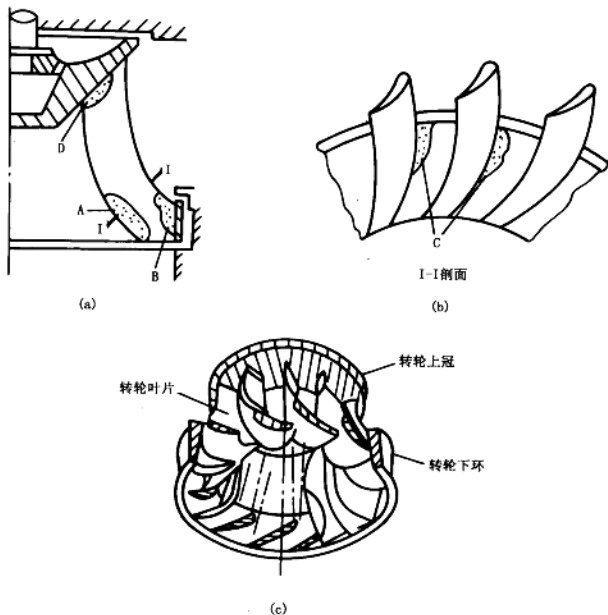


图 1-1 混流式转轮翼型空蚀常见部位

(1) 翼型空蚀。翼型空蚀是指发生在转轮叶片上的空蚀。反击式水轮机在实现能量转换的过程中,叶片浸在压力水流之中。因此每个叶片都承受着水动压力,在叶片的正面常为正