

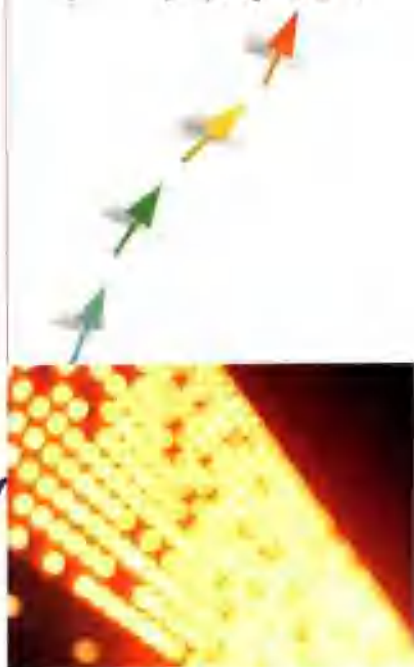
第2分册

电气设备及其 运行安全与监察 (一次部分)

本教材编委会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



第2次

电力安全与监察培训教材

电气设备及其运行安全与监察

(一次部分)

本教材编委会 编

内 容 提 要

全套教材共有4个分册。本分册共有12章,分别讲述了水轮发电机组增容及过渡过程,机组轴承引起的故障及处理,水轮发电机组振动,水轮机的气蚀与磨损,水轮发电机组常见故障,调速器的运行与故障分析,汽轮机的运行及事故处理,同步发电机的运行及事故处理,氢冷及双水内冷发电机的运行,电力变压器的运行及事故处理,以及其他电气设备的运行及事故处理等内容。

本教材适用于电力行业、水电行业从事安全与监察工作的管理干部、安全监察员、安全员,以及电气工程的设计、施工人员和电气运行值班员、工矿企业、乡镇电业等。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备及其运行安全与监察 第2分册:一次部分/《电力安全与监察培训教材》编委会编. - 北京:中国水利水电出版社,1998
电力安全与监察培训教材
ISBN 7-80124-873-2

I. 电… II. 电… III. ①电气设备-运行-安全技术 技术培训-教材 ②电气设备-运行-安全监察-技术培训-教材 IV. TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第33825号

书 名	电力安全与监察培训教材(第2分册) 电气设备及其运行安全与监察(一次部分)
作 者	本教材编委会 编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社电子音像部
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 32开本 20.875印张 462千字
版 次	1998年12月第一版 1998年12月北京第一次印刷
印 数	0001 5100册
定 价	40.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

电力安全与监察培训教材

编 委 会

主 任 李德明

副主任 朱阳生 武汉卿 王金山 盛旭初

委 员 （按姓氏笔画顺序排列）

王金山 王婵嫣 方 平 尹 刚

邓长君 回士光 华田生 刘晓田

刘晓海 孙水林 杜秀娥 李红梅

李贵秀 何本善 张玉隆 陈 清

陈慈萱 金 虹 周全仁 郭 健

黄长征 韩谷勇 潘玉婵 魏 东

主 编 王金山

前 言

近年来，我国电力工业的发展步伐迅速加快，国家、集体、个人多渠道投资办电的热潮已在全国兴起。但是，我们也应该看到，由于生产技术、生产人员跟不上，各种电业生产事故频繁发生，严重地影响了电力供应的质量，给人民的生产、生活带来许多损失和不便。为了提高电力工业的安全生产水平，我们必须做到：

第一，坚定不移地坚持“安全第一，预防为主”的方针。

第二，坚持全面落实以行政正职为安全第一责任者的各级安全生产责任制。

第三，健全和完善各级电力生产安全监察的体系。

第四，搞好电力生产建设全过程的安全监察的管理工作。

第五，搞好电力安全监察的宣传教育和安全监察人员的培训工作。

第六，严格执行电业生产的各项安全规程制度。

第七，贯彻落实安全技术和反事故技术的措施。

国家电力公司为了进一步强化电力行业的安全

生产工作，于1997年5月24日颁布了《电力安全生产奖惩规定（试行）》（以下简称《规定》）。《规定》指出，安全生产奖惩贯彻“以责论处”的原则，对认真履行安全生产职责并在安全生产中取得成绩的企业、集体和有关人员予以表彰和奖励；对失职、渎职或严重违反规章制度虽没有造成严重后果的企业和有关责任人员，也要给予批评和处罚。《规定》适用于国家电力公司从事电力设计、修造、基建、调试、发供电生产和多种经营的各子公司、分公司。

“电力安全与监察培训教材”就是为了加强电力行业安全监察队伍的自身建设，提高安全监察人员的素质而编写的培训教材。这套书的出版，必将对电力行业的安全生产起到积极的促进作用。

在编写过程中，我们查阅和参考了许多技术资料，翻阅了大量的事故案例，并请教了电业生产安全监察部门经验丰富的技术管理人员。鉴于目前国内还很难找到系统的安全监察理论书籍，因此，本书采用了“继承、移植、再充实、再积累”的编写方式。为了满足安全监察各种岗位、各层次技术管理人员的实际工作需要，本套教材既有一定的专业基础理论，又有一定深度的专业知识。希望各单位、各部门能结合实际工作的需要，对本单位、本部门的安全监察人员、企业车间（班组）的安全员以及在生产第一线的人员，

进行安全知识和操作技能培训。

要实现电业生产过程中人身伤亡为零的目标，需要电力行业全体员工坚持不懈、持之以恒的共同努力。

本教材共分四个分册，其中第一分册的第一章至第五章、第八章至第十一章由王金山、金虹编写，第六章、第七章由朱阳生、郭健、黄长征编写，第十二章、第十三章由尹刚、李贵秀编写；第二分册的第一篇、第三篇由王金山、金虹、朱阳生编写，第二篇由陈慈莹、周全仁、杜秀娥、方平、陈清、韩谷勇分别编写；第三分册的第一章至第五章、第八章、第九章由王金山、金虹编写，第六章、第七章由潘玉婵、回士光编写，第十章至第十二章由魏东、何本善、李红梅和华田生编写；第四分册的第一章、第五章至第八章、第十三章由王金山、金虹编写，第二章至第四章由朱阳生、王婵嫣、孙水林编写，第九章至第十二章由刘晓海、刘晓田、邓长君和张玉隆编写。

由于编者的水平有限，对书中存在的不足或差错，敬请读者给予批评指正。

编 者

1998.8

目 录

前言

第一篇 水轮发电机组及其运行安全与监察

第一章 水轮发电机组增容及过渡过程.....	1
第一节 水轮机出力不足及解决途径	1
第二节 水电站的增容和改造	11
第三节 水轮机的抬机问题	15
第二章 机组轴承引起的故障及处理.....	23
第一节 概述	23
第二节 推力轴承的主要故障及处理	41
第三节 导轴承的主要故障及处理	64
第三章 水轮发电机组振动.....	75
第一节 概述	75
第二节 振动原因及分类	84
第三节 振动判别与试验	112
第四章 水轮机的气蚀与磨损.....	122
第一节 气蚀	122
第二节 泥沙磨损	132
第三节 泥沙磨损与气蚀破坏的分析方法	147
第四节 泥沙磨损与气蚀的防治方法	152
第五节 泥沙磨损与气蚀破坏的修复	157
第五章 水轮发电机组常见故障.....	162
第一节 发电机定子的故障	162

第二节	发电机转子的故障	169
第三节	水轮发电机组的故障预防与监测	172
第四节	水轮发电机组常见故障的判断	174
第六章	调速器的运行与故障分析	185
第一节	调速器的布置方式	185
第二节	调速器的运行与维修	192
第三节	调速器的调整与静态特性试验	196
第四节	水轮机调节系统的动态特性试验	205
第五节	调速器的故障分析与处理	214

第二篇 汽轮发电机组及其运行安全与监察

第七章	汽轮机的运行及事故处理	230
第一节	汽轮机的启动	230
第二节	汽轮机的停机	236
第三节	汽轮机的正常运行	242
第四节	汽轮机的变压运行	243
第五节	汽轮机停机时的维护及寿命管理	246
第六节	汽轮机的试验	247
第七节	汽轮机的典型事故及处理	254
第八章	同步发电机的运行	262
第一节	同步发电机的原理	262
第二节	发电机的允许温度和温升	265
第三节	发电机在冷却气体温度变动时的运行	266
第四节	发电机在电压和周波变动时的运行	270
第五节	发电机在功率因素变动时的运行	274
第六节	发电机的不对称运行	276
第七节	发电机的负荷增长速度和短时过负荷	281

第八节	发电机绕组绝缘电阻的测量及允许值	288
第九节	发电机轴和轴承中的电流	290
第十节	发电机启动前的准备工作	299
第十一节	发电机的启动及转子预热	300
第十二节	发电机的升压与并列	303
第十三节	发电机接带负荷与调整负荷	311
第十四节	发电机运行中的监视	314
第十五节	发电机的解列和停机	320
第九章	同步发电机的事故处理	321
第一节	概述	321
第二节	发电机的非同期并列	322
第三节	发电机的断路器自动跳闸	323
第四节	发电机的振荡与失步	326
第五节	同步发电机变为电动机运行	333
第六节	同步发电机的无励磁异步运行	336
第七节	同步发电机的励磁方式及励磁系统的故障	345
第八节	发电机着火	356
第十章	氢冷及双水内冷发电机的运行	358
第一节	氢冷发电机的运行	358
第二节	双水内冷发电机的运行	379

第三篇 通用电气设备及其运行安全与监察

第十一章	电力变压器的运行及事故处理	395
第一节	变压器的作用和基本原理	395
第二节	变压器的允许运行方式	398
第三节	变压器的负荷能力	409
第四节	变压器的冷却方式	412

第五节	变压器的操作和并列运行	421
第六节	变压器运行中的维护及检查	429
第七节	变压器油的运行	431
第八节	变压器的事故处理	450
第十二章	其他电气设备的运行及事故处理	463
第一节	电动机的运行及事故处理	463
第二节	断路器的运行及事故处理	506
第三节	隔离开关的运行及事故处理	548
第四节	电抗器的运行及事故处理	558
第五节	互感器的运行及事故处理	566
第六节	消弧线圈的运行及事故处理	582
第七节	绝缘子的运行及事故处理	596
第八节	补偿设备的运行及事故处理	603
附录	电力安全生产奖罚规定 (试行)	648

第一篇 水轮发电机组及其 运行安全与监察

第一章 水轮发电机组增容及过渡过程

第一节 水轮机出力不足及解决途径

水轮机出力，即水轮机轴功率，是水轮机能够传给发电机的功率。水轮发电机组发不出额定出力或出力下降的现象在刚建成投产或已运行多年的水电站均时有发生。

一、机组出力不足或下降的主要特征

水轮发电机组出现出力不足或下降，主要可从以下几个方面来检查：

(1) 水轮机设计水头不变，导叶开度指针已到达空载开度，而机组转速未达到额定转速。

(2) 在机组发出同一出力时，导叶开度指针已超过机组刚投产时的开度值。导叶开度的表盘读数与导叶实际开度相符，并无错位现象。

(3) 水轮机设计水头不变，当水轮机导叶相对开度 $\bar{a}_0$ 已在全开位置时，机组仍达不到额定出力。

若机组有上述情况之一，均可视为该机组出力不足或出力下降。

二、影响水轮发电机组出力不足或下降的主要原因

1. 水轮机工作水头下降

引起水轮机工作水头下降的原因主要有以下几个方面：

(1) 水库漏水，使水库水位下降，达不到设计要求。这

一情形在地质情况复杂的喀斯特地区或地质资料不全的中小型水电站均发生过。

(2) 进水口拦污栅设计间隔过小或上游河段水中杂物太多, 拦污栅被堵面积太大, 使进水口的水力损失增加, 过流量减小, 使水轮机工作水头和过流量均下降。

(3) 引水管渠周壁经一段时间运行后, 生长了杂草、吸附了较多的水中贝壳类微生物或严重结垢, 使引水管渠的水力损失增加, 过水断面减小, 过流量减小。

(4) 电站下游尾水渠或河床在施工中忽视清理, 造成下游河床抬高, 或电站经一段时间运行后, 泥沙淤积, 使下游水位上升, 水轮机工作水头下降。

如我国某水电站, 该电站装有 HL160--WJ--71 水轮机和 TSW173/70—6 发电机的水轮发电机组两台, 电站设计水头为 110 m, 水轮机过流量为 $3.35 \text{ m}^3/\text{s}$, 发电机额定出力为 3.2 MW。该电站自建成投产后, 机组一直达不到额定出力。经调查分析计算, 认为该电站机组出力不足的原因之一, 就是因为尾水渠施工堆渣未清理开挖至设计高程, 使水轮机工作水头下降。后来将尾水渠开挖疏通, 降低尾水河床高程, 使水轮机工作水头提高近 1 m, 机组增加出力约 0.04 MW。

(5) 水轮机过流部件经一段时间运行后, 因遭受磨蚀破坏, 水中坚硬杂物碰撞变形、表面严重结垢或吸附贝壳类微生物, 使水轮机中的水力损失增加, 水轮机工作水头减小, 水轮机过流量减小, 导致水轮机出力下降。

2. 水轮机过流量减少或水轮机容积损失增加

使水轮机工作流量减少或水轮机容积损失增加的原因, 除上面 (2)、(3)、(5) 中已述外, 还有以下几个方面:

(1) 引水管渠漏水或被分流, 使水轮机过流量减少。

(2) 水轮机运行一段时间后, 由于泥沙磨损和气蚀等原因, 使止漏环处的间隙增大, 水轮机的容积损失增加, 从而使通过水轮机转轮叶片的有效工作流量减少。

(3) 水轮机导叶开度的整定值不够或导叶被水中杂物堵塞(前者多发生在新投产机组), 这样, 必然影响水轮机的过流量。

如云南陆良县大跌水电站, 该电站安装有 HL160—LJ—110 水轮机和 SF8000—8/2600 发电机的水轮发电机组三台, 机组额定出力为 8 MW, 电站建成投产后, 机组均发不出额定出力(机组最大出力在 7.6~7.8 MW)。经测试, 发现机组原整定的导叶开度值不够, 将接力器行程增加 10 mm 后, 机组出力即达到额定值。

3. 其他原因

引起水轮机出力不足或下降的原因还有:

(1) 尾水管出口淹没深度不够。对反击式水轮机, 均采用具有扩散形的直锥形尾水管、变形尾水管和弯肘形尾水管。这些尾水管的作用是多利用了水轮机的静态真空值 H_s (又称水轮机吸出高度, 即转轮内压力最低点至下游水面的垂直距离) 和动态真空值 H_d (转轮出口断面至尾水管出口断面的动能之差) 这两部分水流能量, 并在 H_s 和 H_d 作用下, 在转轮出口产生对转轮内水流的吸出作用, 从而增加水轮机的过流能力。若尾水管出口的淹没深度不够, 则减弱了上述转轮出口对转轮内水流的吸出作用, 使转轮过流能力下降, 造成水轮机出力下降。因此, 尾水管出口的淹没深度一般要求不少于 300 mm。

(2) 转轮制造、加工质量差, 使原型水轮机的转轮效率明显下降, 甚至低于模型转轮的效率, 从而使水轮机出力

下降。

(3) 对冲击式水轮机, 若水斗数目选择不当, 尤其水斗数目选择过少时, 使部分射流经过斗叶之间但不落在水斗上, 且未作任何有用功而离去。有时射流的某些部分虽然已经落在转轮斗叶上, 但它随即经过切水刃离去, 实际上没有来得及将其能量转交给转轮。上述两种情况, 造成容积损失和隐性容积损失, 降低容积效率, 使水轮机出力下降。当然, 水斗数过多, 对水斗的出水情况不利, 增加飞沫损失, 也会造成水轮机出力下降。

(4) 冲击式水轮机转轮的安装高度不够, 使转轮与下游尾水位之间没有足够的通气高度, 造成机组出力下降。

如云南以礼河三级电站, 该电站装有 $2\text{CJ}20-\text{W}-\frac{140}{2 \times 10}$ 型水斗式水轮机 4 台, 电站装机额定容量为 $4 \times 36 \text{ MW}$ 。自电站投入运行后, 机组出力一直达不到设计容量。1978 年, 电站组织了一次试验: 先让 4 号机载上额定功率 36 MW, 然后让其他机组逐渐增加负荷, 电站尾水位随之上升, 当尾水位上升到一定高度后, 4 号机组的出力突然从 36 MW 下降至 30 MW, 而此时水轮机针阀开度仍保持不变。另一次试验: 先将 3 台机组载上额定负荷, 然后再增加其余 1 台机组的负荷, 当负荷增加到 31 MW 时, 再继续打开针阀开度, 不但不增加机组出力, 反而造成机组功率摆动, 并伴随产生机组异常振动, 这时, 发现电站尾水位已超过设计水位 22 cm。经长期观察和多次分析研究认为: 水轮机排水高度和通气高度不够, 是该电站机组达不到设计容量的主要原因。

冲击式水轮机转轮的排水高度 H_w 和通气高度 H_v 不够 (图 1-1), 为什么会降低水轮机的效率和出力呢? 这是因为:

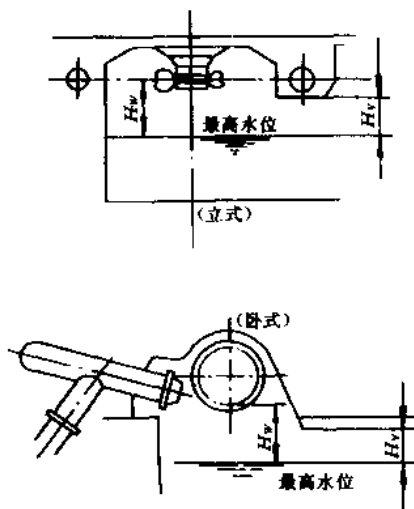


图 1-1 排水高度和通气高度

当尾水坑下游水位离射流和转轮太近时，转轮排水溅起的水珠，使转轮室内的雾状水滴密度增加。这样，一方面，降低射流效率，影响水斗排水；另一方面，增加转轮风损，使水轮机效率下降。图 1-2 给出了冲击式水轮机转轮排水高度与效率的关系曲线。

此外，转轮通气高度直接影响水轮机运行时所需要的通气量。瑞士埃舍维斯工厂曾进行过试验研究，认为机组所需通气量约为水轮机过流量的 30%~70%，若小于此下限，则通气量每减小 1%，水轮机效率下降 0.7%。可见，通气量对机组效率的影响是很显著的。

(5) 机组其他缺陷。如机组轴承温升过高，机组振动偏大，也迫使机组不能发出额定出力。

(6) 机组主要零部件的自然老化，使其承载能力下降，机

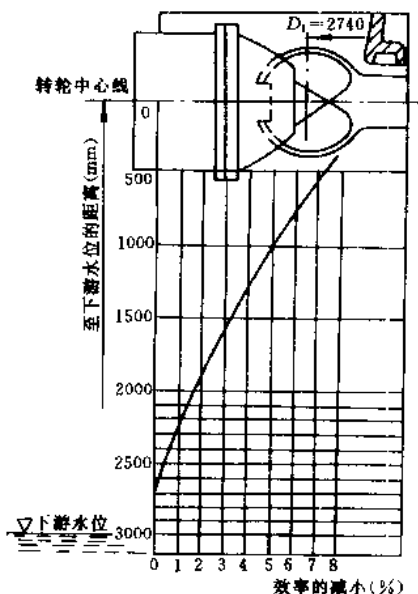


图 1-2 排水高度与效率的关系

化,承载能力下降。该电站机组推力轴承于 1991 年 6~8 月曾连续发生 3 次烧瓦事故,原因均为推力瓦经长期运行后,产生了不同程度的机械变形和热变形,使瓦的承载能力下降。经几次检修处理后,机组只能稳定在 11 MW 以下运行。

三、解决水轮机出力不足及机组增容的主要途径

综上所述,引起水轮机出力不足或出力下降的原因很多。有水力方面的原因,也有机械方面的原因;有设计制造方面的缺陷,也有安装及运行管理上的问题。因此,在具体分析某一机组出力不足或出力下降的原因时,要进行综合分析,寻找所有可能因素,再作深入调查研究(包括必要的测试),逐步缩小范围,直至最后找到原因所在。只要将原因找对,问

组发不出额定出力。据国外资料报道,水轮机主要零部件的自然老化,一般要降低 2%~3% 的效率。

如云南六郎洞电站,电站装有 HL160—LJ—140 水轮机和 SF12.5—12/286 发电机的水轮发电机组两台,装机容量为 2×12.5 MW,于 1969 年建成投产。该电站机组均为 50 年代产品。机组经 20 多年运行,一些主要零部件日趋老