

水电厂生产人员岗位技能培训教材

# 水轮机检修

全国电力生产人员培训委员会水力发电委员会 组编  
五强溪水电厂 袁蕊 田子勤 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

水电厂生产人员岗位技能培训教材

# 水轮机检修

---

全国电力生产人员培训委员会水力发电委员会 组编  
五强溪水电厂袁蕊田子勤 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



## 内 容 提 要

本书是水电厂生产人员岗位技能培训教材中的一本，系统讲述水轮机检修工作的方方面面。全书共分十四章，主要内容包括水轮机的类型、工作原理、结构和检修工艺，水轮机导水机构、导轴承、主轴密封装置主阀、附属部件和埋设部件的检修，混流式水轮机、轴流式水轮机和灯泡贯流式水轮机的检修，水轮机特殊检修工作，以及水轮机的增容改造等。

本书强调实用性，融基础知识、专业知识和技能操作于一体，克服了以前教材存在的偏多、偏深、偏难及重理论轻技能的问题，具有重点突出、内容全面、针对性强、深入浅出、图文并茂的特点。

本书主要作为水电厂水轮机及辅助设备检修人员的培训教材，同时亦可供水电相关专业人员阅读和参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

水轮机检修/袁蕊，田子勤主编. - 北京：中国电力出版社，2003

(水电厂生产人员岗位技能培训教材)

ISBN 7-5083-1765-3

I. 水… II. ①袁…②田… III. 水轮机 - 检修 - 技术培训 - 教材 IV. TK730.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 086121 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>)

航远印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2004 年 1 月第一版 2004 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 9.125 印张 238 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 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)

# 水电厂生产人员岗位技能培训教材

## 编委会名单

(按姓氏笔划为序)

- |     |                 |
|-----|-----------------|
| 于震  | 云峰水电厂培训专责       |
| 尤建  | 白山水电厂培训专责       |
| 文家来 | 辽宁恒仁水电厂总工       |
| 王洪祥 | 新安江水电厂教育科长      |
| 王育康 | 陕西安康水电厂培训专责     |
| 白青平 | 李家峡水电厂人资部主任     |
| 兰福军 | 龙羊峡水电厂副厂长       |
| 师桂霞 | 隔河岩水电厂培训专责      |
| 刘军  | 刘家峡水电厂厂长        |
| 刘庆芝 | 牡丹江水电总厂教育科长     |
| 刘晓萍 | 丰满水电厂培训专责       |
| 杨军  | 西藏满拉水电厂厂长       |
| 杨勇  | 佛子岭水电厂教育科长      |
| 李利华 | 三峡水电厂安全主管       |
| 吴兆旗 | 海南大广坝水电开发公司副总经理 |
| 吴洪林 | 江西柘林水电厂培训专责     |
| 汪国良 | 葛洲坝水电厂培训主任      |
| 张元领 | 甘肃小三峡水电开发公司总经理  |
| 张鹏骞 | 黄龙滩水电厂培训主任      |
| 陈绍群 | 广东新丰江水电厂副厂长、总工  |

陈建勋 东江水电厂教育科长  
赵眼川 以礼河水电厂人事部主任  
贺兴云 丹江口水电厂培训专责  
项洪高 乌溪江水电厂培训主任  
侯 伟 贵州乌江渡水电厂总工  
郭占祥 青铜峡水电厂教育科长  
姚志明 柘溪水电厂教育科长  
涂复礼 五强溪水电厂副总工  
郭凤英 盐锅峡水电厂培训专责  
梁超英 柘溪水电厂总工（“总前言”执笔者）  
黄忠生 广西岩滩水电厂人资部主任  
黄治均 丹江口水电厂安教科科长  
谢 成 天生桥一级水电厂培训专责  
谭诗念 天生桥水电总厂人事部主任  
谭建中 凤滩水电厂培训主任

## 总 前 言

在市场经济条件下，企业无法回避竞争。为了今后的生存和发展，企业必须参与竞争。

我国加入 WTO 后，各行各业的竞争已日趋激烈，企业在竞争中发展，人才是关键。培训是提高员工素质的主要途径，通过培训一方面使员工学会使用新技术、更新旧技术，另一方面使员工接受了一些时代的新信息、新观念。

水力发电委员会为了提高水电厂企业员工的人员素质和技术素质，以求在改革中求生存、求发展、永立于不败之地，特组织一批曾长期在水电生产一线从事技术工作的同志编写了一套水电厂主要专业九个工种的培训教材，即由柘溪水电厂主编的《水库调度》、刘家峡水电厂主编的《水轮发电机组值班》、新安江水电厂主编的《水电自动装置检修》、丹江口水电厂主编的《水轮发电机机械检修》、葛洲坝水电厂主编的《水轮机调速机械检修》和《水工机械检修》、龙羊峡水电厂主编的《水工建筑物维护》、五强溪水电厂主编的《水轮机检修》。

本教材的策划、编写、审查直至出版发行，首先要感谢中国电力企业联合会教培中心、中国电力出版社水电室的领导和同志们的悉心关怀、热情指导；其次感谢水力发电委员会各会员厂许多人倾注的大量心血，尤其是第一任主任委员厂葛洲坝水电厂、第二任主任委员厂丹江口水电厂、第三任主任委员厂柘溪水电厂的领导和同志们，他们本着高度负责的态度，做了大量的组织工作和事务工作；各教材的主编、主审、参审人员的辛勤劳动，更是功不可没；各会员厂给予了大力的支持，才使本套教材顺利问世。

由于时间仓促，水平有限，本套教材中的错误和遗漏之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

全国电力工人技术教育  
水力发电委员会

二〇〇二年十二月

## 前 言

为了加强职工的岗位培训工作，提高水电厂生产人员的技术业务素质，以适应电业发展的需要，同时受全国电力生产人员培训委员会水力发电委员会的委托，编写了本书，作为水电厂水轮机及辅助设备检修的培训教材。

本教材是根据《电力工人技术等级标准》和《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》，从水轮机检修工作的特点和实际情况出发，结合全国各大、中型水电厂的客观实际，同时兼顾劳动和社会保障部推行的职业技能鉴定考核的需要而编写的。

本书共十四章，由袁蕊、田子勤主编，并由田子勤（长江勘测规划设计研究院高级工程师）负责全书的统稿工作。此外，长江勘测规划设计研究院杨家胜同志承担了第十四章内容的编写，五强溪水电厂熊立新同志承担了全书插图的绘制，五强溪水电厂吴劲松、杜海堂、李贤明等同志也给予了多方面的大力支持。

全书由湖南柘溪水电厂刘松茂高级工程师和雷文胜高级工程师主审，丹江口水电厂石小平高级工程师、三峡水电厂王光信工程师及柘溪水电厂姚志明工程师也参加了审稿工作。

在全书的编写过程中，还得到了五强溪水电厂、柘溪水电厂及长江勘测规划设计研究院机电处等单位领导的大力支持和协助，在此一并表示诚挚的谢意。

由于我们的水平和经验有限，书中难免存在错误与不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2003年7月



# 目 录

总前言

前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 水轮发电机组检修的特点及检修周期的确定 .....	1
第二节 水轮机状态检修 .....	7
第三节 水轮机检修的主要内容及施工的组织与管理 .....	14
复习题 .....	29
<b>第二章 水轮机类型及基本工作原理</b> .....	30
第一节 概述 .....	30
第二节 水轮机类型及特点 .....	32
第三节 水轮机基本工作原理 .....	35
复习题 .....	49
<b>第三章 水轮机结构及其作用</b> .....	50
第一节 混流式水轮机 .....	50
第二节 轴流式水轮机 .....	54
第三节 贯流式水轮机 .....	56
第四节 斜流式水轮机 .....	60
第五节 冲击式水轮机 .....	62
复习题 .....	62
<b>第四章 水轮机的检修工艺及要求</b> .....	64
第一节 一般检修工艺 .....	64
第二节 螺栓连接 .....	70

第三节	校正调整工作和基本测量 .....	73
第四节	水轮机检修安装中的起重工作 .....	82
第五节	安全技术的基本要求 .....	86
	复习题 .....	87
<b>第五章</b>	<b>混流式水轮机转轮及主轴的检修 .....</b>	<b>88</b>
第一节	止漏环测圆及圆度处理 .....	89
第二节	叶片裂纹检查及处理 .....	91
第三节	水轮机转轮泥沙磨损和空蚀破坏的修理 .....	99
第四节	叶片开度测量和整形处理 .....	108
第五节	大轴拆装及轴颈处理 .....	110
第六节	转轮(含主轴)装复 .....	116
	复习题 .....	118
<b>第六章</b>	<b>导水机构的检修 .....</b>	<b>119</b>
第一节	概述 .....	119
第二节	导水机构在检修前后的测量 .....	120
第三节	导水机构的拆装 .....	128
第四节	导水机构主要部件的检修 .....	133
	复习题 .....	146
<b>第七章</b>	<b>水轮机导轴承的检修 .....</b>	<b>147</b>
第一节	概述 .....	147
第二节	分块瓦油润滑导轴承的检修 .....	148
第三节	筒式瓦油润滑导轴承的检修 .....	152
第四节	橡胶瓦水润滑导轴承的检修 .....	157
	复习题 .....	161
<b>第八章</b>	<b>主轴密封装置的检修 .....</b>	<b>162</b>
第一节	盘根密封装置的检修 .....	162
第二节	分块瓦轴承水封装置的检修 .....	164
第三节	筒式瓦轴承水封装置的检修 .....	167

复习题 .....	171
<b>第九章 水轮机附属部件和埋设部件的检修 .....</b>	<b>172</b>
第一节 滤水器的清洗 .....	172
第二节 补气阀的检修 .....	173
第三节 真空破坏阀的检修 .....	176
第四节 电磁配压阀与液压阀的检修 .....	178
第五节 蜗壳与钢管的检修 .....	180
第六节 尾水管的检修 .....	183
复习题 .....	186
<b>第十章 主阀的检修 .....</b>	<b>187</b>
第一节 蝶阀的检修 .....	187
第二节 旁通阀和空气阀的检修 .....	196
第三节 球阀的检修 .....	197
复习题 .....	200
<b>第十一章 轴流式水轮机的检修 .....</b>	<b>201</b>
第一节 转轮的吊出和吊入 .....	204
第二节 叶片止推轴承的更换 .....	206
第三节 叶片整形及叶片开度的调整 .....	210
第四节 叶片密封装置的处理 .....	213
第五节 受油器的检修 .....	218
复习题 .....	222
<b>第十二章 灯泡贯流式水轮机的检修 .....</b>	<b>223</b>
第一节 受油器的检修 .....	224
第二节 转轮的吊出与检修 .....	226
第三节 转轮桨叶的修补 .....	229
第四节 水轮机导轴承与主轴密封的检修 .....	231
复习题 .....	232
<b>第十三章 水轮机特殊检修工作 .....</b>	<b>233</b>
第一节 水轮机转轮的静平衡 .....	233

第二节	水轮机叶片的测绘 .....	242
复习题	.....	247
<b>第十四章</b>	<b>水轮机的增容改造</b> .....	<b>249</b>
第一节	水轮机增容改造的必要性 .....	249
第二节	我国运行年久的水轮机存在的主要问题 .....	252
第三节	水轮机改造增容的原则和目标 .....	260
第四节	水轮机增容改造的主要途径和措施 .....	263
第五节	增容改造投资与决策 .....	272
第六节	增容改造与新技术的发展 .....	274
复习题	.....	279
<b>参考文献</b>	.....	<b>280</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 水轮发电机组检修的特点及 检修周期的确定

### 一、水轮发电机组检修工程的分类

水轮发电机组是水电厂最关键的重大设备，它的运行状态如何直接关系到水电厂能否安全、经济运行，为国家各经济部门和人民的日常生活提供可靠的电力，也直接关系到水电厂的安全。

为了使参与水电厂电能生产过程的所有动力设备均具有很高的运行可靠性，保证经常处于良好的工作状态，检修、维护成为水电厂最重要的工作内容之一。随着电力工业体制的改革，水电厂正由“产值上交、开支申请”的政府管理企业转变为“独立核算、自主经营”的股份制企业，水电厂的运行管理、检修方法正发生着深刻的变化，“安全、可靠、高效”已成为水电企业奋斗的目标，旨在挖掘管理与设备潜力的状态检修等技术、改造措施在水电厂不断推广应用。

根据机组大小、水电厂管理和维护水平等情况，水轮发电机组的检修工程大致有以下三种方式：

#### 1. 事后维修 (Breakdown Maintenance)

当对设备故障缺乏认识、或缺乏应有的监测手段、或技术人员不足、或发生临时的事故或故障时，在设备坏了以后再行修理的方式，称为事后维修。这种维修是为了恢复机组的运行，是最原始的检修方法，设备基本上处于失修状态。

#### 2. 定期预防维修 (Preventive Maintenance)

从众多水电厂的统计规律或本水电厂长期的经验出发，事先拟定机组的检修周期和基本内容，例如预定每4年左右进行一次

大修，不管机组具体的损坏和状况如何，只要到时间就进行大修，这种维修方式称为定期预防维修。这种维修方式的策略是以预防为目的的，定期进行，只要周期确定合理，在事故发生之前就进行检修或更换零部件，从而就可以避免重大事故发生和产生严重损害。采用这种维修方式，克服了设备失修问题，比起事后维修是一大进步；但由于对机械设备的故障发展规律缺乏认识，也没有监测故障的科学手段，因此定期预防维修的周期是根据人的经验和某些统计资料来制定的，它很难预防各种随机因素引起的事故。所以，这种检修制度也有一定的盲目性，即一是出现不该修也修，造成人力、物力和财力的极大浪费；二是出现该修没修，只有用事后检修来弥补。

由于这种检修制度最简单、最方便，目前我国水电厂仍然主要采取这种维修制度。

### 3. 状态维修 (Condition Maintenance or Predictive Maintenance)

所谓状态维修或预知维修，是指按照在线监测和诊断装置所预报的设备故障状态，来确定机械设备维修工作的时间和内容。这种方法强调以设备状态为维修依据，该修才修也必修，使维修制度真正步入了科学发展的轨道，减少了不必要的大修，降低了维修费用，可取得良好的经济效果。

状态维修针对性很强，但必须进行大量参数的日常监测。因此，在线监测是实现状态检修的第一步，其基本任务是为状态诊断提供需要的各种数据。它对仪器、仪表和监测技术的要求也很高，目前主要为一些大型水电厂所采用。

目前，国内中、小型水电厂，绝大多数实行的是定期预防维修制度，辅之以事故后的及时处理，但正在逐步走向状态维修，或者正在加强机组的日常检测，在定期预防维修制度中力图减少盲目性。

## 二、定期预防维修的分类和周期

有计划地进行检修，可以及时发现问题，消除隐患，防止事故发生。这样既可以保证最好地利用水能，又可以保证水电厂不

间断地向系统和用户提供电能，这是每个水电厂最为主要的任务。

水电厂水轮发电机组的检修工作，大体上可分为两类，即临时性检修和计划性检修。

临时性检修的主要内容是消除某些机构和转动件的异常工作状态，完善自动控制系统和设备的运行可靠性，以防止由于这些设备的缺陷引起机组停机事故的发生，以及发生事故后的检修处理。水电厂应根据运行中发现的问题，制定临时性检修的具体计划和规程，并遵此进行检修。

计划性检修主要是周密细致地检查机组各部件的工作状态，校核设备的性能参数和技术经济指标，对异常情况进行调整处理，以及进行重大的技术改造工作。

根据检修规程的要求，机组定期检修分为维护检查、小修、大修和扩大性大修四种，其一般的周期和占用时间如表 1-1 所示。

**表 1-1 定期检修类别及周期**

检修类别	维护检查	小修	大修	扩大性大修
周期	每周 1~2 次	每年 1~2 次	3~5 年一次	8~10 年一次
工期(天)	0.5	5~7	20~30	45~75

(1) 维护检查。在不停机状态下进行，其主要内容是检查运行情况，测量、记录某些参数，以及进行必要的清洗、切换、润滑等工作。其目的在于维护机组，掌握机组的日常运行情况。维护检查的周期一般为每周 1 次，在汛期、高温季节，其周期可以增加至每周 2 次。

(2) 小修。大部分是发生了设备故障或事故需立即处理时的项目，或有目的地检查和修理机组的某一重要部件。通过小修能掌握被修部件的使用情况，为编排大修项目提供依据。小修要在停机状态下进行。小修的一般周期为半年，近来部分新建水电厂已改为 1 年。

(3) 大修。全面地检查机组各组成部分的结构及其技术参数，并按照规定数值进行调整工作。这些工作往往在不吊出水轮机转轮的情况下进行。大修的一般周期为 3~5 年。

(4) 扩大性大修。全面、彻底地检查机组每一部件（包括埋设部件）的结构及其技术参数，并按规定数值进行调整处理。它是一种为消除运行过程中由于零部件的严重磨蚀、损坏导致整个机组性能和技术经济指标严重下降的机组修复工作。机组扩大性大修时，通常要将机组全部分解、拆卸、转子吊出，检修所有被损坏的零部件，协调机组各部件和各机构间的相互联系，有时还要进行较大的技术改造工作。扩大性大修的一般周期为 8~10 年。

机组的损坏有两种，一是事故损坏，二是经常性损坏。前者的发生概率很小，它不决定检修的周期；后者是指设备在持续运行过程中，由于各种因素所导致的损坏过程，诸如相对运行构件间的摩擦、水流的作用（空蚀、含沙水流的磨损）、由各种干扰引起的振动、交变应力的作用和腐蚀等，这一过程是持续的、渐变的，也是可以预测的。

在通常规定的大修周期内，如果运行情况表明机组并未产生明显的异常现象，同时又预示在以后相当长的时间内机组仍将可靠运行时，则可延长大修的周期。如果对机组的正常运行并无任何怀疑，而一味地按规定的大修周期来拆卸机组的部件或机构，实践表明，这将恶化机组的运行状态。低水头水电厂的运行实践表明，水轮发电机组，特别是自动化水平较高、主设备选型可靠的水轮发电机组，在正常运行和妥善监视、保养的条件下，机组可以不经扩大性大修而连续运行十七八年之久。

但是，对于工作在高水头且水流中含有大量泥沙的水电厂水轮机设备，在很短的运行时间内，转轮及其过流部件有可能遭到严重的泥沙磨损，导致机组运行的技术经济指标明显下降，因而运行 1~2 年便必须进行类似扩大性大修的检修工作。此时，尽管发电机虽未损坏，但为了检修导水机构和水轮机转轮，也不得



不将其解体，并将转动部分全部吊出。

从上述情况可以看出，应当根据机组的工作条件、特点及各水电厂机组的具体损坏情况，来确定检修的周期和规模。一般来说，为充分利用水能及便于检修，机组的大修应尽量安排在水电厂水库的枯水期。在枯水季节有计划地轮流检修机组，不会因弃水的发生而造成电能的损失。经验表明，绝大多数的水轮发电机组均能在一年时间内持续稳定地安全运行，这就给水轮发电机组大修的时间能够安排在枯水期提供了先决条件。

延长检修周期，缩短检修期，降低检修规模，均具有重大的实际意义。特别应提出的是，水轮发电机组检修周期和检修工作量主要取决于水轮机的空蚀破坏、泥沙磨损，以及机组运行的稳定性，甚至转轮裂纹的严重性，这是当前我国已建成水电厂的水轮机运行中最为突出的问题，由此带来的损失是巨大的、多方面的，检修期间的电能损失和检修费用的消耗只是这种损失的一部分。因此，必须加强对空蚀破坏、泥沙磨损、提高机组运行稳定性及防止转轮产生裂纹的研究工作，以延长机组的检修周期和减少检修工作量。

在确定检修周期和检修工作量时，还必须注意下列问题：

(1) 如没有特殊需要，应尽量避免拆卸工作性能良好的部件和机构，因为任何这样的拆卸和随之进行的装配，都有损于它们的工作状态。

(2) 尽量延长检修周期，要考虑零部件的磨损情况和类似设备的实际运行经验，以及该设备在运行中某些性能指标下降情况等因素。

(3) 应避免分解、拆卸机组的所有部件和机构，特别是推力轴承、油压装置、自动化元件及转桨式水轮机的转轮等。

应注意的是，机组的检修工作应由专门从事水轮发电机组安装与检修的专业队伍来完成；有条件的水电厂，可由专门的检修班组与运行人员相结合来进行检修。个别的零部件由于损坏严重，或由于水电厂条件所限而不能在现场修复时，则需运至原供