



最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南

低压水轮发电机组 运行与维修

(第二版)

主编 桂家章



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南

低压水轮发电机组 运行与维修

(第二版)

主 编 桂家章



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》中的《低压水轮发电机组运行与维修（第二版）》分册，主要针对小型机组和微型机组，参考水利和电力系统工人职业技能鉴定的内容，从培训和学习角度出发，精心编写而成。

本书总共十四章，内容包括：水力学基础知识、电工与电子基础知识、金属材料与机械基础知识、机械识图基础知识、水轮机、水轮发电机组、低压水轮发电机组辅助设备、水轮机调速器、电气一次设备、电气二次设备、水轮发电机组机械部分的运行与维护、水轮发电机组电气部分的运行与维护、水轮发电机组的检修、水电站的安全运行。本书在编写过程中，密切结合当前我国小水电发展技术水平的实际，力求图文并茂、语言精练、通俗易懂，着重说明概念和应用，对理论公式不作深入推导，重点揭示公式、参数和概念的物理意义及其应用中需要解决的问题。

本书可作为小型水电站在职职工和新上岗职工的岗位技术培训、等级考试教材及日常工作的必备工具书，并且可作为中专及高职高专水电类相关专业的参考教材，也可供初中以上文化水平的技术工人学习、阅读，还可供有关技术人员查阅、参考。

图书在版编目（C I P）数据

低压水轮发电机组运行与维修 / 桂家章主编. -- 2
版. -- 北京：中国水利水电出版社，2014.4
最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南
ISBN 978-7-5170-1900-8

I. ①低… II. ①桂… III. ①低电压—水轮发电机—
机组—运行—技术培训—教材②低电压—水轮发电机—机
组—维修—技术培训—教材 IV. ①TM312

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第075560号

书 名	最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南 低压水轮发电机组运行与维修（第二版）
作 者	主编 桂家章
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 27.75印张 658千字 1插页
版 次	2006年7月第1版第1次印刷 2014年4月第2版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	69.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》 编写组成员名单

水轮发电机组及辅助设备运行与维修（第二版）

主 编 刘孟桦 李志红 唐利剑
副主编 郭 磊
参 编 单欣安 王 兵 艾水平 罗雪斌 王善书 孙玉民

水电站电气设备运行与维修（第二版）

主 编 陈化钢
参 编 汪永华 储成流 彭 伟

水电站运行规程与设备管理（第二版）

主 编 刘洪林 肖海平
参 编 邓俊锋 秦 云 章香保 蔡华平 黎晓莉

水电站计算机监控技术（第二版）

主 编 谢云敏 宋海辉
参 编 吴永辉 晏贡全

低压水轮发电机组运行与维修（第二版）

主 编 桂家章
参 编 尹学勇 李 燕 龙 洋

第 二 版 序

我国水能资源丰富，技术可开发量达 5.42 亿千瓦，居世界首位。我国开发水电的历史已有 100 多年。新中国成立以来，党中央、国务院高度重视水能资源的开发利用，尤其是改革开放以来，我国坚持节约资源、保护环境的基本国策，在合理规划的基础上结合江河治理兴建了一大批水电站。目前我国水电总装机容量居世界第一位。水电的发展在增加我国能源供应、改善能源结构、保护生态环境、减少温室气体排放方面做出了重要贡献。

农村水电是我国农村经济社会发展的重要基础设施，是山区生态建设和环境保护的重要手段。我国单站装机 5 万千瓦及以下的农村水能资源技术可开发量达 1.28 亿千瓦，分布在 1700 多个县，与广大贫困山区、少数民族地区、革命老区的人口分布一致。加快农村水能资源开发，将资源优势转化为经济优势，对于改善当地生产生活条件、促进农民群众增收致富、保障和改善民生具有十分重要的作用。截至 2013 年年底，全国已建成小水电站 45000 多座，总装机容量 6800 多万千瓦，年发电量 2000 多亿千瓦时，接近全国水电装机和年发电量的 30%。通过开发小水电，累计使全国 1/2 的地域、1/3 的县市、3 亿多农村人口用上了电。小水电的发展对提高农村电气化水平、带动农村经济社会发展、改善农民生产生活条件、减排温室气体以及电力系统灾害应急等方面发挥了重要作用。

我国能源资源相对紧缺，结构不合理，主要依赖化石能源，生态环境压力大。煤炭年消耗量和二氧化碳年排放量均居世界首位。我国政府承诺到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年降低 40%~45%，非化石能源占一次能源消费比重要达到 15% 左右，其中 2015 年要达到 11.4% 已经作为约束性指标列入国家“十二五”规划纲要。实现这一目标，保障能源安全，必须大力发展绿色经济、循环经济、低碳经济。水电是低碳、清洁、可再生的绿色能源，大力开发包括农村水电在内的水能资源是我国可持续发展的现实选择。

目前，我国农村水能资源开发率约为 50%，潜力还很大。2011 年中央一

号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》和中央水利工作会议强调，要加快水能资源开发，大力发展农村水电。我们要认真落实“一号文件”精神，坚持科学发展主题和加快转变经济发展方式主线，治水与办电结合，开发与保护统一，新建与改造统筹，建设与管理并重，积极开展水电新农村电气化县建设，大力实施小水电代燃料生态保护工程建设，切实搞好农村水电站增效扩容改造，实现到 2020 年全国农村水电总装机超过 7500 万千瓦的既定目标。为改善能源结构、发展低碳经济、保护生态环境、建设美丽中国做出新的贡献。

实现农村水电的科学健康发展，科技是支撑，人才是保证。当前农村水电面临新的发展机遇，需要专业技术人才和管理人才的积极培养和知识更新。为了适应新时期农村水电发展对人才培养的需求，满足农村水电企业职工岗位培训的需要，中国水利水电出版社于 2006 年组织全国小水电领域的专家学者编写出版了《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（一套五本），深受广大读者喜爱，面向全国发行近 20000 套。七年多过去了，随着科学技术的迅猛发展，新技术、新材料、新工艺不断涌现，教材中有些内容已显过时，有些标准已经更新。为此，出版社组织专家对教材进行了全面修订，推出了《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（第二版）。我希望这套新版教材能够为小水电人才培养和各专业、各层次职工的岗位培训发挥更大作用，从而推动农村水电更好更快地发展。

中华人民共和国水利部副部长



2014 年 3 月

第一版序

党中央、国务院十分重视农村水电及电气化事业。20 世纪 80 年代初，在邓小平同志亲自倡导下，国务院决定在农村水电资源丰富的地区，开发农村水电，推动具有中国特色的农村电气化建设。“七五”至“九五”期间全国共建成了 653 个农村水电初级电气化县，有力地促进了农村经济发展和社会进步。2001 年国务院批准在农村初级电气化县建设的基础上，建设更高标准的水电农村电气化县。“十五”期间，全国共建成 410 个水电农村电气化县，累计完成投资 1151 亿元，新增农村水电装机容量 1060 万千瓦，占同期全国农村水电新增装机的 2/3。在电气化建设的带动下，农村水电快速发展，截至 2005 年底，全国农村水电装机容量达到 4309 万千瓦，占全国水电装机的 37%，年发电量 1357 亿千瓦时，占全国水电发电量的 34%。四川、云南、湖南、广西等省区，农村水电发电装机和年发电量均占所在省区电力总量的 1/4 以上。全国共建成了近 800 个县级电网和 40 多个区域性电网，近 1/2 的地域、1/3 的县、1/4 的人口主要靠农村水电供电。农村水电累计解决了 3 亿多无电人口的用电问题。

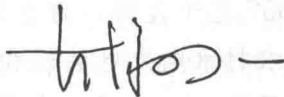
通过电气化建设，开发农村水电资源，形成了广大山区农村的发电和供电生产力，带动了其他资源的开发以及农村产品加工业、山区特色产业的发展，把山区的资源优势变成了经济优势；引导了农村劳动力的转移，增加了农民收入，促进了农村产业结构优化调整；带动了乡村公路、防洪灌溉设施、人畜用水设施以及广播、电视设施的建设，改善了农村基础设施、公共设施和生产生活条件，提高了农民的生活质量，促进了农村经济与人口、资源、环境协调发展。因此，水电农村电气化建设在水能资源丰富的广大山区、贫困地区的社会主义新农村建设中具有不可替代的作用。

在全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化建设新的历史时期，党中央、国务院将农村水电列为覆盖千家万户、促进农民增收效果更显著的农村中小型基础设施和公共设施，并要求放在更加重要的位置，增加投资规模，充实建设内容，扩大建设范围。根据全国“十一五”水利发展规划和农村水

电“十一五”及2020年发展规划，“十一五”期间将继续建设400个水电农村电气化县，扩大小水电代燃料生态工程建设的规模和范围，实施农村水电扶贫解困工程等，到2010年全国农村水电装机容量将达到5900万千瓦左右，再经过10年的努力，全国农村水电装机容量将达到1亿千瓦左右。

发展农村水电人才是关键。要保证农村水电事业的快速、健康发展，离不开成千上万的各类专业技术人才和管理人才。随着科学技术的迅猛发展，农村水电技术进步进一步加快，单机容量、变压器容量的不断增大，新技术、新产品的大量采用，特别是计算机自动化技术和网络技术的广泛应用，都给广大水电职工提出了新的更高的要求。为适应新时期加速培养水电专业人才，满足农村水电各专业、各层次职工的岗位培训需要，中国水利水电出版社组织全国小水电领域的专家学者，编写、出版了这套《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（一套五本）。我希望全国农村水电行业以科学发展观为指导，认真贯彻落实中央关于建设社会主义新农村的战略部署，下大力气抓好职工的岗位培训工作，不断提高职工队伍的整体素质，保障农村水电及电气化事业的健康发展，为建设社会主义新农村作出新贡献。

水利部副部长



2006年7月

第二版前言

小水电是水电建设的重要组成部分,过去的五年,我国小水电取得了极大发展,小水电经济生态效益凸显,小水电综合实力跃居世界第一。“十二五”期间,中国水电建设前景广阔,水电生产能力将大幅增长,水电产业总体发展势头良好。通过小水电开发,实施水电农村电气化和“以电代柴”等工程,极大地改善农村生产生活条件,为全面推进社会主义新农村建设做出了积极贡献。

由水利部副部长胡四一作序的《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》(第一版)系列丛书于2006年7月出版,本丛书已经重印两次,销量良好,影响并培养了一大批小水电从业人员,为小水电事业的发展做出了巨大的贡献,取得了良好的社会效益。然而,科技的变化是日新月异,近几年,小水电也在不断发展,读者对此系列丛书也有了更高的要求。在上述背景下,中国水利水电出版社决定修订再版《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》系列丛书,以满足当前读者的需求。

本书为《低压水轮发电机组的运行与维修》分册,主要针对小型机组和微型机组,依照电力行业工人技术等级培训和职业技能鉴定的要求,从培训、学习的角度出发进行编写,便于系统学习和培训。考虑到读者大部分为初中文化起点的技术工人,在编写过程中,力求语言精练,通俗易懂,着重说明概念和应用,对理论公式不作深入推导,重点揭示公式、参数和概念的物理意义和应用中需解决的问题。对设备的结构和组成,在编写中尽量地多配置插图,便于读者阅读,建立实物的空间概念。此次修订思路是补充职业技能鉴定缺少的基础部分,增加了新设备、新技术、新工艺,以满足小水电行业技术发展的需要。

本书的第三章、第八章的第四节由李燕编写,第九章的第三节、第四节,第十章的第四节、第九节由龙洋编写,第二章、第十章和第十二章的其他部分由尹学勇编写,全书的其余部分即第一章、第四章、第五章、第六章、第七章、第十一章、第十三章、第十四章由桂家章编写。桂家章担任本书主编和统稿工作。

在编写过程中参考了国内外许多有关水力发电方面的书籍和参考资料，编者借此向有关作者表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免会有疏忽和不当之处，敬请读者给予批评指正。

作者

2014年2月

第一版前言

随着改革开放以来,我国的小水电事业得到了迅速发展,为我国广大农村,特别是边远山区提供了清洁、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,极大地改变了当地的经济和社会生活的落后状况。尤其是20世纪90年代末期以来,我国小水电投资的体制发生了根本变化,实现了多元化,进一步促进了小水电事业的蓬勃发展,可以说是新中国成立50多年来第二个建设高峰时期,对促进我国水力资源的开发和充分利用,缓解电力能源的紧张局面,改善农村生态环境和流域水土条件,发展当地经济等,都起到了积极的推动作用。

全国政协原副主席钱正英同志曾指出:“发展小水电的关键是培训人才”。如何把已建和在建的水电站管理好、用好,使其充分发挥作用,提高利用率和保证安全经济运行,是我国小水电事业的一项艰巨而长期的任务。由于小水电事业的迅速发展和水电技术水平的不断提高,对职工技能的要求也越来越高,因此急需对大批在职职工和新上岗职工进行技术培训。

为适应我国小水电发展新形势的需要,大力加强对小水电运行维护和管理人员的培训,中国水利水电出版社组织编写了这套《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》。本套教材内容简明扼要、图文并茂、实用性强,并采用了我国当前执行的最新规程、规范、标准与名词、术语,力争反映我国21世纪初小水电行业的新技术和新水平。

这本《低压水轮发电机组运行与维修》主要针对小型机组和微型机组,参考水利和电力系统工人职业技能鉴定的内容,从培训、学习的角度出发进行编写,便于系统学习和培训。

本书在编写过程中,力求语言精练、通俗易懂,着重说明概念和应用,对理论公式不作深入推导,重点揭示公式、参数和概念的物理意义及其应用中需要解决的问题。对设备的结构和组成,在编写中尽量多配置插图,便于读者阅读,建立实物的空间概念。

本书可作为小型水电站在职职工和新上岗职工的岗位技术培训、等级考试教材及日常工作的必备工具书,并且可作为中专及高职高专水电类相关专

业的参考教材，也可供初中以上文化水平的技术工人学习、阅读、还可供有关技术人员查阅、参考。

本书由桂家章和尹学勇等共同编写。电气部分即第二章、第九章、第十章和第十二章由尹学勇编写。此外，文红民和洪余和提供了大量资料，并参加了部分章节的编写和修订工作。其余部分由桂家章编写。桂家章担任主编并统稿。

本书在编写过程中，查阅了大量的文献、资料，参考和引用了有关书籍的部分内容，并且得到了各级水电管理部门和一些科研、设计、设备及运行单位的指导和大力支持，在此一并表示衷心地感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

2006 年 5 月

目 录

第二版序

第一版序

第二版前言

第一版前言

第一章 水力学基础知识	1
第一节 静水力学	1
第二节 水流运动的基本原理	5
第三节 水流形态和水头损失	11
第四节 压力管道中的水锤简介	16
复习思考题	20
第二章 电工与电子基础知识	23
第一节 电路常用物理量	23
第二节 正弦交流电的参数	26
第三节 单一参数和多种参数交流电路	28
第四节 三相交流电路	34
第五节 电子技术基础知识	36
第六节 晶闸管可控整流电路及其门极触发电路	41
第七节 滤波电路	44
复习思考题	46
第三章 金属材料与机械基础知识	47
第一节 金属材料的主要性能	47
第二节 常用金属材料	50
第三节 有色金属及合金和非金属	53
第四节 热处理基础知识	56
第五节 常用机构和常用机械传动装置	58
第六节 机械零件	81
第七节 焊接	91
第八节 管道防腐	103
第九节 起重机基础知识	106
复习思考题	111

第四章 机械识图基础知识	113
第一节 制图的基本知识.....	113
第二节 三视图.....	115
第三节 基本要素的投影.....	118
第四节 基本形体的投影.....	121
第五节 组合体视图的分析和阅读.....	124
第六节 其他视图和剖视图.....	126
第七节 装配图.....	128
复习思考题.....	130
第五章 水轮机	133
第一节 水轮机的基本工作参数.....	133
第二节 水轮机的类型和型号.....	135
第三节 反击型水轮机的结构与组成.....	139
第四节 冲击型水轮机的结构.....	161
第五节 水轮机工作原理.....	167
第六节 水轮机的气蚀.....	171
第七节 水轮机特性.....	179
第八节 水轮机选型.....	184
复习思考题.....	190
第六章 水轮发电机组	192
第一节 水轮发电机组的组成与布置方式.....	192
第二节 小型立式机组的结构.....	200
第三节 卧式机组的结构.....	205
复习思考题.....	208
第七章 低压水轮发电机组辅助设备	209
第一节 油系统.....	209
第二节 压缩空气系统.....	213
第三节 水系统.....	215
第四节 水轮机主阀.....	219
复习思考题.....	226
第八章 水轮机调速器	227
第一节 水轮机调节的任务和途径.....	227
第二节 水轮机调节系统的组成.....	228
第三节 调速器的结构组成和动作原理.....	231
第四节 微机调速器.....	240
复习思考题.....	261
第九章 电气一次设备	262
第一节 低压水轮发电机.....	262

第二节	电力变压器	268
第三节	高低压开关设备	272
第四节	其他常用电气设备和成套配电装置	293
第五节	小型水电站电气主接线	307
第六节	水电站的防雷保护和接地装置	309
	复习思考题	314
第十章	电气二次设备	316
第一节	概述	316
第二节	常用电工仪表与测量	316
第三节	常用继电器	329
第四节	其他二次设备及控制电路	332
第五节	低压机组继电保护装置	339
第六节	同期装置	343
第七节	低压水轮发电机励磁系统	347
第八节	电气二次图编制与阅读方法	349
第九节	水电站微机型保护系统	364
	复习思考题	372
第十一章	水轮发电机组机械部分的运行与维护	373
第一节	低压水轮发电机组的运行参数及许可范围	373
第二节	机组投入运行前的准备工作	374
第三节	水轮发电机组正常运行的操作与维护 and 监视	376
第四节	调速器的运行与维护	379
第五节	机组机械部分的异常运行与事故处理	381
	复习思考题	384
第十二章	水轮发电机组电气部分的运行与维护	385
第一节	水轮发电机的正常运行与操作	385
第二节	机组电气部分的异常运行与事故处理	389
第三节	水轮发电机组的事故停机	395
第四节	机组设备消防	396
	复习思考题	397
第十三章	水轮发电机组的检修	398
第一节	机组检修概述	398
第二节	混流式水轮机的检修	401
第三节	水轮发电机的检修	403
第四节	卧式机组发电机转子串芯	406
第五节	卧式机组轴线找正	409
	复习思考题	415

第十四章 水电站的安全运行..... 416

第一节 概述..... 416

第二节 安全技术与管理..... 417

第三节 安全作业..... 420

第四节 触电和火灾的防范及急救..... 423

复习思考题..... 427

参考文献 428

第一章 水力学基础知识

教学要求 掌握液体的性质和静水压强的基本规律以及压强的单位和工程上压强的各种表达方式；掌握水流运动的基本原理包括流线的概念、水流运动的连续性原理、恒定流的能量原理和动量定理；掌握水流的型态和水头损失以及水击现象。

本章教学内容初级工和中级工必须掌握，高级工在了解的基础上，不作具体教学要求。

第一节 静 水 力 学

水力学的任务是研究液体运动的规律，并应用这些规律解决实际问题。液体的运动规律，一方面与液体外部的作用条件有关，更主要的是决定于液体本身的内在性质。

一、液体的性质

(一) 基本性质

自然界的物质有固体、液体和气体三种存在形式。液体和气体统称流体。流体没有固定的形状，很容易流动，它的形状随容器而定。液体与气体的区别为：液体具有不可压缩性，能保持一定的体积，还可能有自由表面。

液体是由运动着的分子组成的。液体的质点是由液体分子组成的实体。液体是质量均匀、各向同性的连续介质。

(二) 物理力学性质

1. 密度

液体单位体积中所具有的质量称为液体的密度 ρ 。如有一质量为 m 的均质流体，其体积为 V ，则其密度 ρ 可表示为： $\rho = \frac{m}{V}$ 。在国际单位制中，质量的单位为千克（kg），长度单位为米（m），则密度的单位为千克/米³（kg/m³）。在一个标准大气压（1atm $\approx$ 0.1MPa）下，温度为4℃时，水的密度为1000 kg/m³。液体的密度随温度和压强的变化很小，一般可视为水的密度为常数。

2. 容重

液体单位体积中所具有的重量 G 称为容重 γ 。对于某一重量为 G ，体积为 V 的均质液体，其容重 γ 可表示为： $\gamma = \frac{G}{V}$ 。因 $G = mg$ ，所以， $\gamma = \rho g$ 或 $\rho = \gamma/g$ 。容重的单位为牛顿/米³（N/m³）。水的容重在一个大气压下和4℃时为