



高等学校精品规划配套辅导教材

水利水电工程专业 毕业设计指南 (第二版)

主 编 胡 明 沈长松



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校精品规划配套辅导教材

水利水电工程专业 毕业设计指南 (第二版)

主 编 胡 明 沈长松



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是专门为水利水电工程专业应届毕业生进行毕业设计而编写的,同时兼顾了在职的工程技术人员实际需要。本书在第一版的基础上按照新的规范和准则进行了修订,同时增加了部分典型范例。全书共三章,主要介绍了水工建筑物设计的基本理论和发展趋势、水工毕业设计方法和典型毕业设计,并附录了毕业设计中的常用工具性资料。通过本书的学习,力图引导学生把在课堂上学到的专业知识很好地应用到工程实践中去。

本书主要供水利水电工程专业应届毕业生、已工作的水工设计师、大专生使用,也可供水利水电工程设计和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程专业毕业设计指南 / 胡明, 沈长松主
编. — 2版. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.1
21世纪高等学校精品规划配套辅导教材
ISBN 978-7-5084-7211-9

I. ①水… II. ①胡… ②沈… III. ①水利工程—毕
业设计—高等学校—教学参考资料②水力发电工程—毕
业设计—高等学校—教学参考资料 IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第023317号

书 名	21 世纪高等学校精品规划配套辅导教材 水利水电工程专业毕业设计指南 (第二版)
作 者	主编 胡明 沈长松
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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 68383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 20 印张 474 千字
版 次	2001 年 1 月第 1 版 2010 年 2 月第 2 版 2010 年 2 月第 3 次印刷
印 数	6701—9700 册
定 价	36.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第二版前言



《水利水电工程专业毕业设计指南》(第一版)自2001年问世以来,为全国许多相关高校水利水电工程专业所采用,对于促进专业发展、指导毕业设计的教学工作起了积极的推进作用。但近10年来,我国水利水电事业发生了翻天覆地的变化,无论是工程规模,还是技术水平都居于世界前列,很多设计规范和准则都进行了重新修订,迫切需要对原有的《水利水电工程专业毕业设计指南》进行相应的修订。《水利水电工程专业毕业设计指南》(第二版)一方面采用了目前已修订的新规范和准则进行设计和改编,使之更适应于工程发展的需要;另一方面也增加了“混凝土面板堆石坝设计”和“抽水蓄能电站设计”等毕业设计典型范例,使其内容更加丰富、全面。第二版也对第一版中存在的一些错误和不足之处进行了更正和补充。

《水利水电工程专业毕业设计指南》(第二版)由河海大学水利水电学院胡明、沈长松担任主编。其中第一章第一、三、七节,第二章第一、二、四节由沈长松、任旭华编写;第一章第二节由顾圣平、任旭华编写;第一章第四节、第二章第五节、第三章第六节由胡明编写;第一章第五节、第三章第八节由赵坚编写;第一章第六节、第二章第三节、第三章第七节由蔡付林编写;第一章第八节由胡明、任旭华、沈长松合作编写;第三章第一节由顾圣平编写;第三章第二、三节由沈长松编写;第二章第四节由任旭华、王玲玲编写;第三章第五节由沈振中、沈长松编写。此外,叶翔也参与了部分内容的编写工作。

全书由胡明统稿,河海大学林益才教授审阅了全稿,在此表示衷心感谢。

本书如有错误和不足之处,请读者予以指正,可通过电子邮件 mhu2@hhu.edu.cn 或 hhuscs@126.com 与编者联系。

编者

2009年12月

第一版前言



毕业设计是高等工科学校教学中一个不可缺少的实践性环节。由中国水利水电出版社组织编写出版的《大学生毕业设计指南丛书》之《水利水电工程专业毕业设计指南》，是为高等学校水利水电工程专业毕业设计所编写的一本指导书。它既可作为该专业本、专科学生毕业设计的参考书，也可供从事该专业教学工作的高校教师以及新近从事该专业设计工作的技术人员参考。

本书共分三章。第一章为水工建筑物设计的基本理论和发展趋势，简要地介绍了规划设计、枢纽布置、水工建筑物的设计理论、施工组织设计以及水工设计理论及技术的发展。第二章为毕业设计方法，分别介绍了毕业设计的目的、作用和要求，毕业设计的选题、准备和实施，毕业设计文件，毕业设计的评阅和答辩以及计算机在毕业设计中的应用。第三章为典型毕业设计，介绍了水利水电规划、混凝土拱坝设计、混凝土宽缝重力坝设计、土石坝和坝外泄洪建筑物设计、水电站建筑物设计、渠系建筑物设计等六个专题的毕业设计实例。

本书由河海大学水电系索丽生、任旭华、胡明编著。第一章第七节由索丽生、任旭华编写；第二章第五节由索丽生、胡明编写；第一章第一、三、六节、第二章第一、二、四节、第三章第四节由任旭华编写；第一章第四节、第三章第五节由胡明编写；第一章第二节由顾圣平和任旭华编写；第三章第一节由顾圣平编写；第一章第五节、第三章第六节由赵坚编写；第三章第二、三节由沈长松和任旭华编写；第二章第三节由蔡付林编写。全书由索丽生修改定稿，河海大学林益才教授审阅了全稿，并提出了建设性的修改意见，在此表示衷心的感谢。

本书大量引用了有关专业文献和资料，未在书中一一注明出处，在此一并感谢。

本书如有错误和不妥之处，请读者予以指正。意见请寄南京河海大学水电系（邮政编码 210098）。

编者

2000年12月

目 录



第二版前言

第一版前言

第一章 水工建筑物设计基本理论及发展趋势	1
第一节 水工设计的程序、设计依据和设计标准	1
第二节 工程规划及枢纽布置	5
第三节 挡水建筑物及泄水建筑物	17
第四节 水电站建筑物	36
第五节 抽水蓄能电站建筑物	46
第六节 渠道、渠系建筑物	53
第七节 施工组织设计	62
第八节 水工设计理论及技术的发展	67
第二章 水工毕业设计方法	77
第一节 毕业设计的目的、作用和要求	77
第二节 毕业设计的选题、准备和实施	79
第三节 计算机在毕业设计中的应用	88
第四节 毕业设计文件	98
第五节 毕业设计的评阅和答辩	101
第三章 典型毕业设计	104
第一节 水利水电规划	104
第二节 混凝土拱坝设计	122
第三节 混凝土宽缝重力坝设计	144
第四节 土石坝和坝外泄洪建筑物设计	169
第五节 混凝土面板堆石坝设计	194
第六节 水电站建筑物设计	209
第七节 抽水蓄能电站建筑物设计	249
第八节 渠系建筑物设计	274
附录	295
附录一 分块积分法求拱坝梁的变位系数 a_{ij}	295
附录二 毕业设计中的常用参考文献及资料	309

第一章 水工建筑物设计基本理论 及发展趋势

第一节 水工设计的程序、设计依据和设计标准

一、水利工程基本建设程序

水利工程修建在河流、湖泊、海岸等水域中，既控制水又承受水的作用。与一般的土木工程相比，具有工作条件复杂、效益显著、施工建造艰难、失后果严重等特点。相对于其他工程而言规模都较大，牵涉因素较多，因此工程建设须严格遵守基本建设程序和程规范。根据国家基本建设管理规定，水利工程建设大体可分为前后两个阶段，即工程开工建设前的规划、勘测、设计为主的前期阶段；工程开工建设以后至竣工投产的施工阶段。具体来说，首先是对一条河流或地区的自然和社会状况进行勘查和调查研究，获取必要的资料，编制流域规划或地区水利工程的总体布局，确定合理的开发程序以及每一项工程的任务和技术经济指标。其次，对确定兴建的某一水利工程，按规范要求分阶段进行勘测、规划、设计和施工。在工程施工过程中，设计单位根据工作需要派驻工地设计代表，配合施工，负责说明设计意图，解释设计文件，并监督工程质量。工程建成后要组织竣工验收，验收合格后移交管理部门即投入运行。运行时要对各种水工建筑物进行经常的定期的和临时的检查和观测，及时进行养护、维护和加固，保证工程安全，同时须做好水库的调度工作，合理利用水资源。

世界各国水利工程建设的基本程序与我国大体相似，具体的建设过程大都经过工程招标、工程施工、竣工验收和正式投产等阶段。

二、设计阶段及其任务

（一）设计阶段的划分

工程设计是水利工程建设过程中的一项非常重要的工作，设计工作应遵循分阶段循序渐进、逐步深入的原则进行。我国以往大中型水利枢纽工程常按4个阶段进行，即可行性研究、初步设计、技术设计和施工详图设计。20世纪80年代后，我国水利水电建设体制开始发生变化，为与国际接轨，适应招标投标合同管理体制的需要，并与国家基本建设项目审批程序相协调，缩短设计周期，加快水利水电事业发展，对水电工程设计阶段的划分调整为：预可行性研究、可行性研究、招标设计、施工详图设计（水利工程为项目建议书、可行性研究、初步设计、施工详图设计）。

世界各国都非常重视可行性研究，美国规定先进行预可行性研究和可行性研究，然后



进行方案设计和详细设计；前苏联规定在技术经济调查报告中选定的工程，分期进行初步设计、技术设计和施工图设计；日本则分为初步调查、编制计划、可行性和施工图设计等几个阶段。

（二）设计阶段的深度和任务

1. 预可行性研究

预可行性研究是在江河流域综合利用规划或河流（河段）水电规划以及电网电源规划基础上进行的设计阶段。其任务是论证拟建工程在国民经济发展中的必要性、技术可行性和经济合理性。本阶段的主要内容包括：河流概况及水文气象等基本资料的分析；工程地质与建筑材料的评价；工程规模、综合利用及环境影响的论证；初拟坝址、厂址和引水系统线路；初步选择坝型、电站、泄洪、通航等主要建筑物的基本形式与枢纽布置方案；初拟主体工程的施工方法，进行施工总体布置、估算工程总投资，工程效益的分析和经济评价等。具体内容和深度可参阅《水电工程预可行性研究报告编制暂行规定》。预可行性研究阶段的成果，为国家和有关部门作出投资决策及筹措资金提供基本依据。

2. 可行性研究

可行性研究阶段的设计任务在于进一步论证拟建工程在技术上的可行性和经济上的合理性，并要解决工程建设中重要的技术经济问题。主要设计内容包括：对水文、气象、工程地质以及天然建筑材料等基本资料作进一步分析与评价；论证本工程及主要建筑物的等级；进行水文水利计算，确定水库的各种特征水位及流量，选择电站的装机容量、机组机型和电气主结线以及主要机电设备；论证并选定坝址、坝轴线、坝型、枢纽总体布置及其他主要建筑物的型式和控制性尺寸；选择施工导流方案，进行施工方法、施工进度和总体布置的设计，提出主要建筑材料、施工机械设备、劳动力、供水、供电的数量和供应计划；提出水库移民安置规划及环境评价；提出工程总概算，进行技术经济分析，阐明工程效益。最后提交可行性研究报告文件，包括文字说明和设计图纸及有关附件。

3. 招标设计

招标设计是在批准的可行性研究报告的基础上，将确定的工程设计方案进一步具体化，详细定出总体布置和各建筑物的轮廓尺寸、材料类型、工艺要求和技术要求等。其设计深度要求做到可以根据招标设计图较准确地计算出各种建筑材料的规格、品种和数量，混凝土浇筑、土石方填筑和各类开挖、回填的工程量，各类机械电气和永久设备的安装工程量等。根据招标设计图所确定的各类工程量和技术要求，以及施工进度计划，可以进行施工规划并编制出工程概算，作为编制标底的依据。编标单位则可以据此编制招标文件，包括合同的一般条款、特殊条款、技术规程和各项工程的工程量表，满足以固定单位合同形式进行招标的需要。施工投标单位，也可据此进行投标报价和编制施工方案及技术保证措施。

4. 施工详图设计

施工详图设计是在招标设计的基础上，对各建筑物（含机电、金属结构）进行结构和细部构造设计；最后确定地基处理方案，进行处理措施设计；确定施工总体布置及施工方法，编制施工进度计划和施工预算等；提出整个工程分项分部的施工、制造、安装详图。施工详图是工程施工的依据，也是工程承包或工程结算的依据。



(三) 设计基本资料

在进行上述各阶段的设计中，必须有与设计精度相适应的勘测调查资料。主要有以下资料。

1. 社会、经济、环境资料

枢纽建成后对环境生态的影响、库区的淹没范围及移民、房屋拆迁等；枢纽上下游的工业、农业、交通运输等方面的社会经济情况；供电对象的分布及用电要求；灌区分布及用水要求；通航、过水、过鱼等方面的要求；施工过程中的交通运输、劳动力、施工机械、动力等方面的供应情况。

2. 勘测资料

水库和坝区地形图、水库范围内的河道纵断面图、拟建建筑物地段的横断面图等；河道的水位、流量、洪水、泥沙等水文资料；库区及坝区的气温、降雨、蒸发、风向、风速等气象资料；岩层分布、地质构造、岩石及土壤性质、地震、天然建筑材料等的工程地质资料；地基透水层与不透水层的分布情况、地下水情况、地基的渗透系数等水文地质资料。

(四) 科学研究

科学研究往往是大中型水利枢纽设计的重要组成部分。枢纽中有许多重大技术问题常需通过现场或室内试验以及数值模拟和分析提出论证，如对枢纽布置方案、坝下消能方式以及施工导流方法等往往要进行水工水力学模型试验；多沙河流上的库区淤积和河床演变也要借助试验分析研究；建筑物地基的岩体或土壤的物理力学性质如抗剪强度、渗透特性、弹性模量、岩体弹性抗力、地应力、岸坡稳定性等要由现场勘探和室内试验配合提供设计数据；大坝、水电站厂房、地下洞室等主要建筑物的结构强度和稳定性有时也要由静、动态的结构模型试验和数值计算来加以分析论证。

三、设计依据和设计标准

(一) 设计依据

我国规定，大中型水利工程项目必须纳入国家经济计划，遵守先勘测，再设计，后施工的 necessary 程序。工程设计需要有以下资料或设计依据：

(1) 工程建设单位的设计委托书及工程勘察设计合同，说明工程设计的范围、标准和要求。

(2) 经国家或行业主管部门批准的设计任务书。

(3) 规划部门、国土部门划准的建设用地红线图。

(4) 地质部门提供的地质勘察资料，对工程建设地区的地质构造、岩土介质的物理力学特性等加以描述与说明。

(5) 其他自然条件资料，如工程所在地的水文、气象条件和地理条件等。

(6) 工程建设单位提供的有关使用要求和生产工艺等资料。

(7) 国家或行业的有关设计规范和标准。

根据国民经济发展计划要求，参照流域或区域水利规划可建设的水利工程项目及其开发程序，按照建设项目的隶属关系，由主管部门提出某一水利工程的基本建设项目建议书，经审查批准后，委托设计单位进行预可行性研究、可行性研究，编制可行性研究报告



告。按照批准的可行性研究报告，编制设计任务书，确定建设项目和建设方案（包括建设依据、规模、布置、主要技术经济要求）。设计任务书的内容一般包括：建设的目的和依据；建设规模；水文、气象和工程地质条件；水资源开发利用的规划、水资源配置和环境保护；工程总体布置；水库淹没、建设用地及移民；建设周期；投资总额；劳动安全；经济效益等。任务书是设计依据的基本文件，可按建设项目的隶属关系，由主管部门或省、直辖市、自治区审查批准；大型水利工程或重要的技术复杂的水利工程，则由国家计划部门或国务院批准。有些不编制设计任务书，而在投资前、可行性研究后，有一个项目评价和决策阶段，对拟建工程提出评价报告，作为决策，以此作为设计依据。

(二) 设计标准

为使工程的安全可靠性与其造价的经济合理性有机地统一起来，水利枢纽及其组成建筑物要分等分级，即按工程的规模、效益及其在国民经济中的重要性，将水利枢纽分等，而后将枢纽中的建筑物按其作用和重要性进行分级。设计水工建筑物均需根据规范规定，按建筑物的重要性、级别、结构类型、运用条件等，采用一定的洪水标准，保证遇设计标准以内的洪水时建筑物的安全。水工建筑物的运用条件一般分为正常和非常两种，正常运用采用设计洪水标准，非常运用情况采用校核洪水标准。

我国 GB 50201—94《国家防洪标准》和 SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》等规范将水利枢纽工程分成 5 等，水工建筑物分为 5 级，详见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 水利水电枢纽工程的等别

工程 等别	水 库		防 洪		治 涝	灌 溉	供 水	水电站
	工程规模	水库总库容 (亿 m³)	城镇及工矿 企业的重要性	保护农田 面积 (万亩)	治涝面积 (万亩)	灌溉面积 (万亩)	城镇及工矿 企业重要性	装机容量 (万 kW)
I	大 (1) 型	≥10	特别重要	≥500	≥200	≥150	特别重要	≥120
II	大 (2) 型	10~1.0	重要	500~100	200~60	150~50	重要	120~30
III	中型	1.0~0.1	中等	100~30	60~15	50~5	中等	30~5
IV	小 (1) 型	0.1~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	一般	5~1
V	小 (2) 型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

表 1-2 水工建筑物级别的划分

工程 等别	永久性建筑物级别		临时性建筑物级别
	主要建筑物	次要建筑物	
I	1	3	4
II	2	3	4
III	3	4	5
IV	4	5	5
V	5	5	

对于综合利用的工程，如按表 1-1 中指标分属几个等别时，整个枢纽的等别应以其中的最高等别为准。按表 1-2 确定水工建筑物级别时，如该建筑物同时具有几种用途，



应按最高级别考虑,仅有一种用途时则按该项用途所属级别考虑。

对于Ⅱ~Ⅴ等工程,在下述情况下经过论证可考虑提高其主要建筑物级别:一是水库大坝高度较高时提高一级;二是建筑物的工程地质条件特别复杂,或采用缺少实践经验的新坝型、新结构时提高一级;三是综合利用工程如按库容和不同用途的分等指标有两项接近同一等别的上限时,其共用的主要建筑物提高一级。对于临时性水工建筑物,如其失事后果将使下游城镇、工矿区或其他国民经济部门造成严重灾害或严重影响工程施工时,视其重要性或影响程度,应提高一级或两级。对于低水头工程或失事损失不大的工程,其水工建筑物级别经论证可适当降低。

不同级别水工建筑物的不同要求主要体现在以下方面:

- (1) 抗御洪水能力。如洪水标准,坝顶安全超高等。
- (2) 强度和稳定性。如建筑物的强度、稳定安全系数,抗裂要求及限制变形要求等。
- (3) 建筑材料。如选用材料的品种、质量、标号及耐久性等。
- (4) 运行可靠性。如建筑物各部分尺寸裕度和是否设置专门设备等。

第二节 工程规划及枢纽布置

一、水文、水利计算

(一) 水文分析与计算

进行水工设计时,必须通过对工程所在河流水文资料的分析,掌握该河流的暴雨、洪水、径流、泥沙等水文要素的特性,并计算符合设计要求的各水文特征参数及水文过程,为工程的规划设计提供水文依据。

1. 设计年径流的分析与计算

年径流分析计算的主要任务是分析研究年径流量的年际变化和年内分配规律,提供符合工程规划设计要求的来水资料,包括反映年径流变化特性的统计参数、设计年径流量以及设计年径流的年内分配过程。

首先,对实测径流资料进行审查,确认其满足可靠性、一致性、代表性要求。然后,划分水文年度,计算各年平均流量。再按适线法对年平均流量系列进行频率分析,确定年平均流量的频率曲线及相应的均值、离散系数、偏态系数等统计参数。经对频率分析成果的综合分析并确认其合理性后,即可根据给定的设计枯水年、平水年、丰水年等设计频率,从年平均流量频率曲线上查算相应的设计年径流量。

设计年径流的年内分配过程,可采用典型年法推求,即先按年径流量接近、年内分配对工程不利等原则,从实测年份中选出设计枯、平、丰水年的典型年,并计算典型年各月径流量占全年径流量的百分数;再将已求得的设计年径流量乘以典型年各月的百分数,即得设计年各月径流量的分配过程。

2. 设计洪水的分析计算

设计洪水是水利工程防洪设计的依据。设计洪水的推求分两大部分,即先推求设计洪峰、洪量,再推求设计洪水过程线。



首先,对实测洪水资料进行可靠性、一致性、代表性的审查,使其满足分析计算的要求。再按年最大值法进行“选样”,即从同类型洪水资料中,每年分别选取最大洪峰流量值和不同时段(1天、3天、5天、……)的最大洪量值,组成频率计算的样本系列。然后,对洪峰流量系列及不同时段洪量系列分别用适线法绘制洪峰流量及不同时段洪量的频率曲线。最后,根据设计洪水的设计频率,由这些频率曲线查得相应的设计洪峰流量和不同时段的设计洪量。若洪水资料中包含特大洪水,初估统计参数时,可采用矩法、三点法、绘线读点法等进行计算,但最后仍应根据配线成果选定统计参数。

工程上一般采用同倍比放大法或同频率放大法推求设计洪水过程线。先根据设计要求,选择峰高量大,在发生季节、地区组成、洪峰次数、历时长短、峰量关系等方面能代表大洪水的一般特性,且峰形较集中、主洪峰靠后,对工程不利的洪水过程线作为典型洪水过程线。同倍比放大法是用同一个放大系数(“以峰控制”时取设计洪峰流量与典型洪水洪峰流量之比,“以量控制”时取设计时段洪水总量与典型洪水的时段洪水总量之比),将典型洪水过程线放大成设计洪水过程线;同频率放大法是指对典型洪水过程线的洪峰流量和不同时段内的流量采用不同的放大系数进行放大,使放大后洪水过程线的洪峰流量及各计算时段的洪量同时符合设计频率的要求。

有关设计暴雨及设计泥沙的资料,一般也采用频率分析的方法进行分析计算。

(二) 水利计算

1. 兴利调节计算

兴利调节计算的主要任务是确定水库兴利库容、保证率及水库的供水水平(调节流量)之间的关系,以及相应的水库运用过程,从而为规划设计工程规模及进行工程效益分析提供依据。兴利调节计算依据的基本原理是水库水量平衡原理,计算方法通常采用时历法。

依据水量平衡原理,水库供水期调节流量(各用水部门平均综合用水量)计算公式

$$Q_d = (W_d - W_{dl} + V_v) / T_d \quad (1-1)$$

式中: W_d 为供水期来水总量, m^3 ; W_{dl} 为供水期水库蒸发、渗漏等损失水量, m^3 ; V_v 为水库兴利库容, m^3 ; T_d 为供水期总历时, s ; Q_d 为供水期调节流量, m^3/s 。

在 V_v 给定的前提下,可采用试算法或图解法确定水库调节流量,并可通过逐时段的水量平衡计算,得到相应的水库运用过程。

工程规划设计时,如果具有长期径流资料,可逐年对供水期进行调节计算求得调节流量;再通过频率计算,绘制调节流量与相应频率之间的关系曲线。利用该曲线,即可查得符合设计保证率的调节流量。简化计算时,可只对设计枯水年供水期进行调节计算,求得 Q_d 。

水库非供水期调节计算的基本原理与供水期相同。在理想情况下,蓄水期及不蓄不供期的调节流量 Q_w 及 Q_m 计算公式分别为

$$Q_w = (W_w - W_{wl} - V_v) / T_w \quad (1-2)$$

$$Q_m = (W_m - W_{ml}) / T_m \quad (1-3)$$

式中: W_w 、 W_m 分别为蓄水期及不蓄不供期来水总量, m^3 ; W_{wl} 、 W_{ml} 分别为蓄水期及不蓄不供期损失水量, m^3 ; T_w 、 T_m 分别为蓄水期及不蓄不供期总历时, s 。



2. 水电站水能计算

水电站水能计算的主要内容是要计算水电站的出力 and 发电量。水电站出力及发电量计算公式如下

$$N = AQH \quad (1-4)$$

$$E = NT \quad (1-5)$$

式中: N 为水电站的时段平均出力, kW; A 为水电站出力系数, 大型水电站取 8.5, 中型水电站取 8~8.5, 小型水电站取 6~8.0; Q 为水电站引用流量, m^3/s ; H 为水电站时段平均水头, m; E 为水电站发电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$; T 为计算时段的小时数, h。

水电站水能计算可以在兴利调节计算的基础上进行, 即根据调节计算确定的各时段水电站发电流量 (调节流量) 及时段末水库蓄水量, 进一步计算确定时段平均水库水位、水电站下游水位及平均水头, 并将水电站发电流量及时段平均水头代入水电站出力方程, 即可求得时段平均发电出力。

(1) 水电站保证出力计算。水电站保证出力是指水电站在长期工作中, 符合水电站设计保证率要求的枯水期 (供水期) 内的平均出力。以年调节水电站为例, 其保证出力计算方法如下:

在给定水库正常蓄水位和死水位的条件下, 根据长期径流资料, 逐年进行兴利调节和水能计算, 求出水电站每年供水期各时段平均出力及各供水期的平均出力, 在此基础上, 绘制供水期平均出力的保证率曲线, 该曲线上相应于设计保证率的供水期平均出力值, 即作为年调节水电站的保证出力。

在规划设计阶段进行大量方案比较时, 为节省计算工作量, 可仅对水电站设计枯水年的供水期进行水能计算, 并以该供水期的平均出力作为水电站保证出力。

对无调节及日调节水电站, 须根据逐日平均流量值及其相应水头, 计算日平均出力, 并绘制其保证率曲线。曲线上与设计保证率对应的日平均出力, 即为水电站保证出力。

对多年调节水电站, 应在对长系列中各枯水系列进行兴利调节和水能计算的基础上, 确定枯水系列平均出力与保证率的关系, 再根据设计保证率确定其保证出力。简化计算时, 可采用设计枯水系列的平均出力作为保证出力。

(2) 水电站多年平均年发电量计算。水电站多年平均年发电量计算是指水电站在多年工作时期内, 平均每年所能生产的电能。由此定义, 可根据水电站长系列径流资料, 按照水库调度图, 逐时段进行水能计算, 求出每年的出力变化过程及年发电量, 再取全部年发电量数据的平均值, 作为水电站多年平均年发电量。

在规划设计阶段, 当比较方案较多时, 只要不影响方案比较的结果, 可采用较为简化的方法进行计算, 如设计中水年法、三个代表年 (设计丰水年、平水年、枯水年) 法、设计平水系列法 (适用于多年调节水电站) 等, 即对设计代表期逐时段进行水能计算, 求出水电站在这些年份的年发电量, 并取其平均值作为水电站多年平均年发电量。计算过程中, 若时段平均出力值大于水电站装机容量, 则以装机容量值作为该时段平均出力值。

3. 水库洪水调节计算

水库洪水调节计算是水库防洪设计的重要工作内容。调洪计算时, 入库洪水的大小需根据防洪标准及水工建筑物的设计标准来选定。水库调洪计算的基本原理是描述明渠非恒



定流运动规律的圣维南方程组。实际工作中,常采用简化了的近似解法,如瞬态法等。瞬态法用于水库调洪计算的实用公式为

$$\left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} - \frac{q_1 + q_2}{2}\right)\Delta t = \Delta V = V_2 - V_1 \quad (1-6)$$

$$q = f(V) \quad (1-7)$$

式中: Q_1 、 Q_2 分别为时段初、末的入库洪水流量, m^3/s ; q_1 、 q_2 分别为水库下泄流量, m^3/s ; Δt 为计算时段长度, s ; V_1 、 V_2 分别为时段初、末水库蓄水量, m^3 。

根据调洪计算的初始条件,从第一时段起,逐时段联立求解上述两式,即可由各时段的 V_1 、 q_1 求出 V_2 、 q_2 两个未知数。具体计算可采用试算法或半图解法。

二、工程参数选择

工程主要参数的选择是水利水电工程规划设计的重要任务。这些参数包括水电站的装机容量以及水库的特征水位。

(一) 水电站装机容量的选择

水电站装机容量 $N_{\text{总}}$ 由其最大工作容量 N''_{hw} 、备用容量 N_{hs} 及重复容量 N_{sc} 等部分组成。

1. 水电站最大工作容量的确定

水电站最大工作容量是指设计水平年电力系统负荷最高时,水电站所能担负的最大发电容量。水电站最大工作容量的大小,与设计水平年电力系统的负荷图、系统内已建成电站在系统负荷图上的工作位置以及拟建水电站的天然来水情况、水库调节性能、经济指标等有关,一般须通过系统电力电量平衡的方法来确定。

对年调节水电站,一般按在枯水年供水期担任系统峰荷的运行方式,进行设计枯水年供水期的电力电量平衡计算,并根据水电站供水期保证电能值,确定其最大工作容量。对多年调节水电站,则按在枯水年全年担任系统峰荷的运行方式,进行枯水年全年的电力电量平衡,并根据多年调节水电站的年保证电能值,确定其最大工作容量。日调节水电站在枯水期一般承担电力系统峰荷,据此可根据其保证出力及相应的日保证电能,直接通过电力系统设计水平年冬季典型日的电力电量平衡确定其最大工作容量。无调节水电站由于没有径流调节能力,一般只能担任电力系统的基荷,因此,无调节水电站最大工作容量即等于按历时保证率所求出的保证出力。

2. 水电站备用容量的确定

为保证电力系统的供电质量和供电可靠性,系统中各电站除最大工作容量以外,还须设置一定的备用容量,包括负荷备用容量、事故备用容量和检修备用容量。水电站备用容量是整个电力系统备用容量的一部分。通常,水电站备用容量的确定方法是,先定出电力系统所需的备用容量,再按一定的原则在各电站之间进行合理分配,从而定出水电站承担的备用容量值。通常,无调节水电站不承担系统备用容量。

(1) 负荷备用容量。负荷备用容量是指用来维持电力系统标准频率和负担计划以外的短时负荷或超过正常最大负荷以外的脉动负荷所需要的容量。根据 DL/T 5015—1996《水利水电工程动能设计规范》的规定,调整周波所需要的系统负荷备用容量,可采用系



统最大负荷的 2%~5% 左右, 大系统用较小比例值, 小系统用较大比例值。

担任电力系统负荷备用容量的电站, 通常被称为调频电站。调频电站的选择, 应以保证电力系统周波稳定、运行性能经济为原则。所以靠近负荷中心、具有大水库、大机组的坝后式水电站, 应优先选作调频电站。对于引水式水电站, 应选择引水道较短的水电站作为调频电站。对于电站下游有通航等综合利用要求的水电站, 在选作调频电站时, 应考虑由于下游流量和水位发生剧烈变化对航运等引起的不利影响。当系统负荷波动的变幅不大时, 可由某一电站担任调频任务, 而当负荷波动的变幅较大时, 尤其电力系统范围较广、输电距离较远时, 应由分布在不同地区的若干电站分别担任该地区的调频任务。此外, 若需安排日调节或无压引水式水电站承担负荷备用时, 则水库应具有相应备用容量可连续工作 2h 的备用容积。当系统内缺乏水电站担任调频任务时, 亦可由火电站担任, 只是由于火电机组技术特性的限制, 担任系统的调频任务往往比较困难, 且单位电能的煤耗率增加, 因而常常是不经济的。

基于以上分析, 经对有关因素的综合考虑, 即可分析选定水电站所应承担的负荷备用容量 N_{he} 。

需要指出, 实际运行中, 在年内不同时期负荷备用可在不同电站间互相转移, 但必须由正在运转的机组承担。例如在丰水期, 蓄水式水电站以全部装机容量在负荷图的基荷工作, 这时可由正在运转的火电站担任负荷备用。当蓄水式水电站承担系统峰荷时, 亦只能由正在运转的机组担任周波调整任务; 在非峰荷时间内, 尤其当水电站不运行时, 应由正在运转的火电站调整周波。

(2) 事故备用容量。事故备用容量是指系统内某些机组发生事故时或电站预想出力突然下降时, 为避免停电而设置的容量。根据 DL/T 5015—1996《水利水电工程动能设计规范》规定, 电力系统事故备用容量采用系统最大负荷的 10% 左右, 且不得小于系统中最大一台机组的容量。

电力系统的事事故备用容量, 应分布在各主要电站上, 并尽可能安排在正在运转的机组上。事故备用容量在水、火电站之间的分配, 应根据各电站容量的比重、电站机组的可利用情况、系统负荷在各地区的分布等因素确定。对于调节性能良好和靠近负荷中心的大型水电站, 可多设置一些事故备用容量。初步计算时, 一般可按水电站、火电站工作容量的比例分配。

考虑到事故备用容量的使用时间较长, 承担系统事故备用的各类电源, 均应具有相应的能量或燃料储备。根据规范规定, 承担事故备用的水电站, 应在水库内预留所承担事故备用容量 N_{he} 在基荷连续运行 3~10 天 ($T=72\sim240h$) 的备用容积 (水量) V_e , 即

$$V_e = \frac{TN_{he}}{0.00272\eta H_{\min}} \quad (\text{m}^3) \quad (1-8)$$

当算出的 V_e 小于水库兴利库容的 5% 时, 则可不专设事故备用库容。

(3) 检修备用容量。检修备用容量是指电力系统中为保证机组进行计划检修而专门设置的容量。系统检修备用容量的设置及其大小, 应按系统电力、电量平衡和容量平衡的要求来确定。当系统年内负荷低落时期不能满足全部机组的年计划检修需要时, 即需设置检修备用容量。在规划设计阶段, 编制系统电力、电量平衡和容量平衡时, 常按各类电站机



组的大修周期及每台机组检修所需要的平均时间进行安排。DL/T 5015—1996《水利水电工程动能设计规范》规定,常规水电站和抽水蓄能电站机组大修周期 2~3 年,每台机组检修时间 30 天,但对多沙河流上的水电机组,可适当增加;火电机组大修周期 1~1.5 年,检修时间为 45 天;核电站每台机组为 60 天。

系统检修备用容量的设置,应根据电站的实际情况通过技术经济论证确定,一般以设置在火电站上为宜。

3. 水电站重复容量的选定

水电站重复容量是在必需容量(最大工作容量与备用容量之和)的基础上额外设置的,其目的是为了利用丰水期的多余水量,增发季节性电能,从而替代系统内火电站发电量,达到节省系统煤耗的目的。但是,在水电站上设置重复容量,就要额外增加水电站的投资和年运行费。因此,必须通过动能经济分析,合理选定经济上有利的水电站重复容量值。一般认为,当所增设的单位重复容量年利用时间大于其经济利用小时数 h_e 时,在经济上才是有利的。

$$h_e \geq \frac{k_h[(A/P, i, n) + p_h]}{\alpha f} \quad (1-9)$$

式中: k_h 为水电站补充千瓦造价,元/kW; $(A/P, i, n)$ 为年资金回收因子; i 为额定资金年收益率; n 为重复容量设备的经济寿命, $n=25$ 年; p_h 为水电站补充千瓦容量的年运行费率, $p_h=2\% \sim 3\%$; α 为系数, $\alpha=1.05$, 表示水电站发 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 电量可替代火电站 $1.05\text{kW} \cdot \text{h}$; f 为火电站发 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 电量所需的燃料费,元/(kW·h)。

据此,应先通过调节计算,求出水电站在必需容量得到充分利用前提下各年的弃水流量及弃水出力过程,再统计各种弃水出力多年平均的年持续时间,并绘制弃水出力持续曲线,进而根据 h_e 的数值,确定水电站的重复容量。

4. 水电站装机容量的选择

先计算 $N_{hi} = N''_{hw} + N_{hs} + N_{sc}$, 以此作为装机容量的初选值;再参考机组制造厂家的机组系列,根据水电站的水头与出力变化范围,通过方案比较,定出机组的型式、台数、单位容量和电站的装机容量值;然后进行电力系统的容量平衡,以检查装机容量及其机组能否满足设计水平年系统对电站容量及其他方面的要求,以及电站水库下游的灌溉、航运等综合利用要求是否能得到满足。规划阶段一般至少研究设计枯水年和设计平水年两个典型年度的容量平衡,编制相应的容量平衡图或平衡表。当系统各方面的要求都得到较好满足时,才可最后定出水电站的装机容量。

(二) 以发电为主的水库特征水位的选择

1. 水库正常蓄水位的选择

水库正常蓄水位是指水库在正常运用情况下,为满足设计兴利要求,在开始供水前应蓄到的最高水位。进行水电站水库工程规划设计时,必须通过全面的技术经济比较和综合的分析评价,选出合理的正常蓄水位方案。大致步骤如下:

(1) 根据设计任务书的要求,在河流规划的基础上,综合分析水库库区的淹没、浸没损失,坝址及库区的地形、地质条件,河流梯级开发规划方案,水库的蒸发、渗漏损失,工程建设所需的人力、物力、财力方面的具体条件,以及各水利部门的最低兴利要求等因



素, 确定正常蓄水位的上下限, 并在此范围内拟定几个比较方案。

(2) 对所拟定的每个比较方案, 拟定水库的消落深度, 进行径流调节计算和水能计算, 求出各方案的水电站保证出力、多年平均年发电量、装机容量以及其他水利动能指标(如灌溉面积、城镇供水量等)。

(3) 计算各个方案之间水利动能指标的差值, 并选择合适的替代方案来补充。

(4) 计算各个方案水利枢纽各部分的工程量、建筑材料消耗量以及所需机电设备情况。

(5) 计算各方案的淹没、浸没的实物指标和移民人数, 并逐项估算所需费用。

(6) 进行水利动能经济计算。计算各方案相应的工程投资和年运行费用, 并在各水利部门之间进行投资费用的分摊。根据各水利部门的效益指标及其应分摊的投资费用, 计算水电站的造价及其在施工期内各年的分配。相应地, 计算各替代方案的造价、年运行费和燃料费。在此基础上, 计算各个方案的水电站年费用、相应替代方案的补充年费用和电力系统的年费用。

(7) 根据各方案系统年费用的大小, 选出经济上最有利的正常蓄水位。最后, 从政治、经济、技术、社会、环境等方面进行综合评价, 保证所选出的水库规模符合地区经济发展的要求, 而且是技术上正确的、经济上合理的、财务上可行的方案。

2. 死水位的选择

死水位是指水库在正常运行情况下允许消落的最低水位。一般情况下, 水库水位将在正常蓄水位与死水位之间变动, 其变幅即为水库消落深度。在正常蓄水位与死水位之间的库容即为水库的兴利调节库容。在正常蓄水位一定的前提下, 死水位的选择, 除应考虑各有关经济部门的综合效益外, 还要考虑泥沙淤积的影响、水轮机运行情况、闸门制造及启闭机能力等因素, 经综合比较后确定。对以发电为主的水库, 死水位选择的大致步骤如下:

(1) 在已定的正常蓄水位条件下, 根据水库库容特性、综合利用要求、地形地质条件、水工、施工、机电设备等要求, 确定死水位的上、下限, 并在上下限之间拟定几个死水位方案进行比较。

(2) 对各个死水位方案, 求出相应的兴利库容和水库消落深度, 并对每个方案用设计枯水年或枯水年系列进行径流调节, 得出各方案的调节流量及平均水头。

(3) 计算各方案的保证出力、多年平均年发电量, 并通过系统电力电量平衡, 求出各方案水电站的最大工作容量、必需容量和装机容量。

(4) 计算各个方案的水工建筑物和机电设备的投资、年运行费以及各方案的年费用。

(5) 为使各个死水位方案同等程度地满足系统对电力、电量的要求, 计算各方案替代电站补充的必需容量及补充的年电量, 从而求出不同死水位方案替代电站的补充年费用。

(6) 根据年费用最小准则, 并考虑综合利用要求以及其他因素, 最终选出合理的死水位方案。

3. 水库防洪特征水位的选择

水库防洪特征水位包括防洪限制水位、防洪高水位、设计洪水位及校核洪水位。

(1) 防洪限制水位的选择。防洪限制水位是指水库在汛期允许兴利蓄水的上限水位,