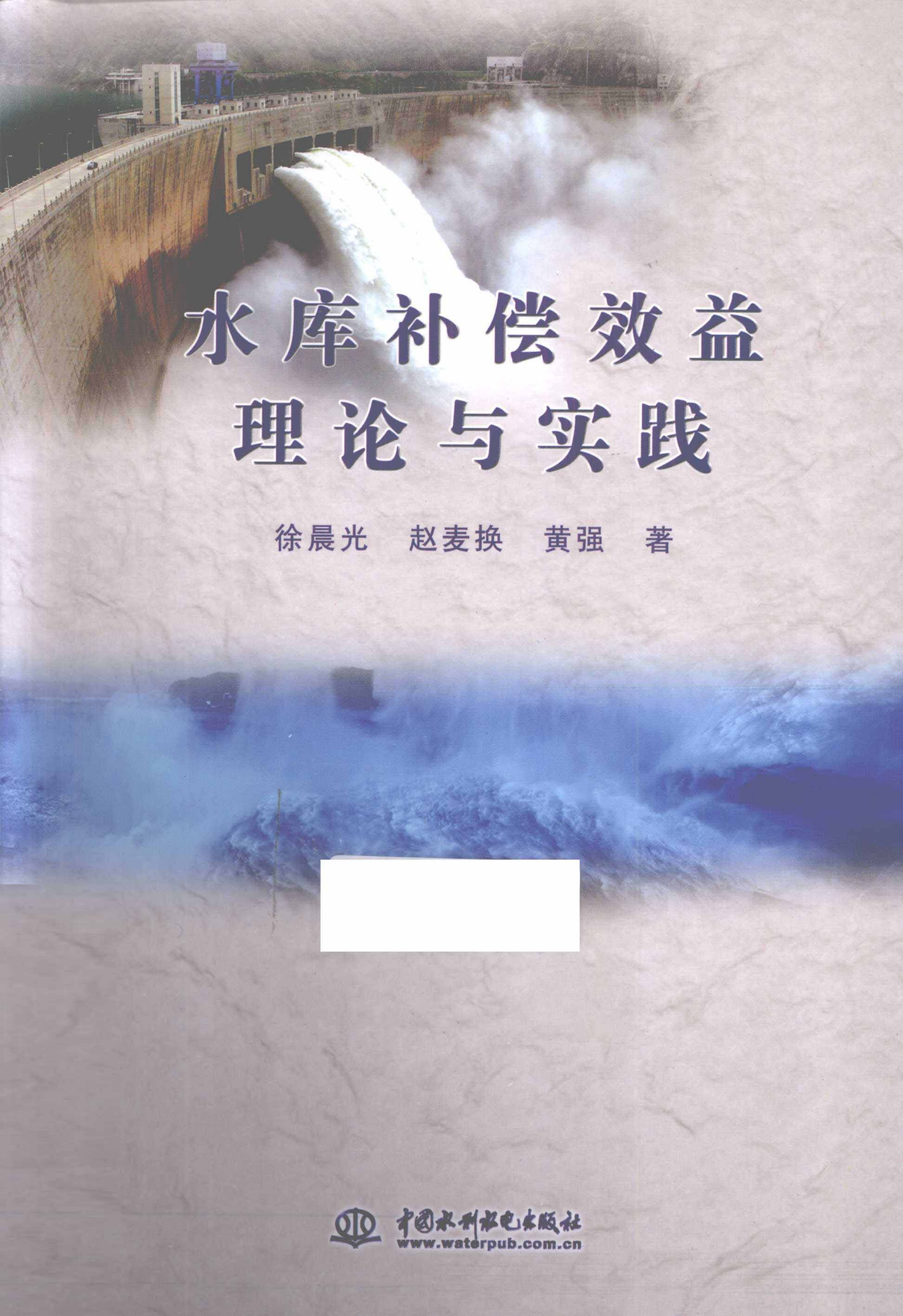


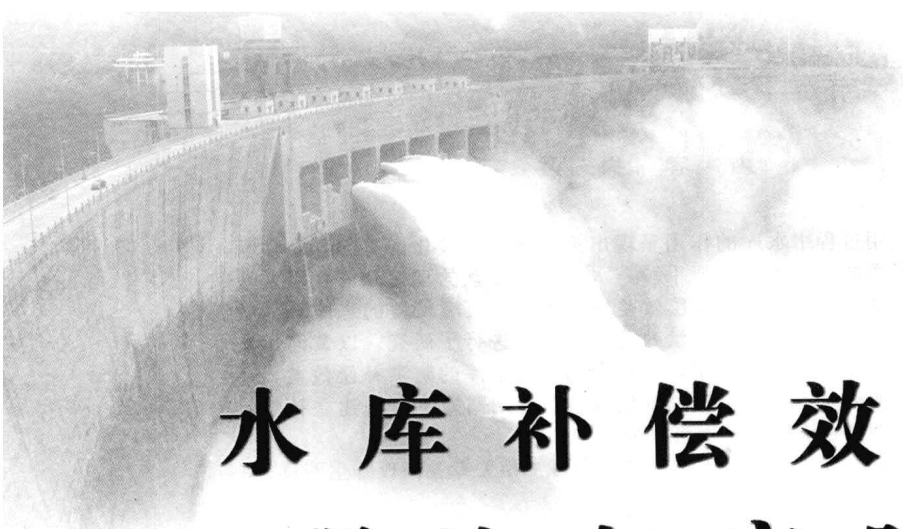


水库补偿效益 理论与实践

徐晨光 赵麦换 黄强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



水库补偿效益 理论与实践

徐晨光 赵麦换 黄强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

在水资源利用过程中水库的作用呈现出流域化、生态化的趋势,水库调度成为流域水资源统一配置的重要手段,水库补偿效益的理论和方法需要更新。本书共有9章,主要对水库补偿效益理论体系、流域尺度的水库补偿效益模型、水库防洪补偿效益以及补偿效益分摊方法进行了研究。以黄河为实例建立黄河干流水库补偿效益模型,计算了龙羊峡水库的防洪补偿效益,还研究了南水北调西线对于黄河干流的补偿效益。运用离差平方法建立补偿效益模型,通过实例分析表明是实用可靠的。

本书可供同行专业工程技术人员参考,也可供相关专业高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

水库补偿效益理论与实践 / 徐晨光, 赵麦换, 黄强
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5170-0409-7

I. ①水… II. ①徐… ②赵… ③黄… III. ①水库调
节—补偿调节—研究 IV. ①TV697.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第304687号

书 名	水库补偿效益理论与实践
作 者	徐晨光 赵麦换 黄强 著
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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	175mm×245mm 16开本 11印张 138千字
版 次	2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	32.00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

前 言

随着水资源利用的深入和矛盾加剧，水库作用呈现出流域化、生态化趋势，水库调度成为流域水资源统一配置的重要手段，水库补偿效益的理论和方法需要更新，这突出地表现在以下三个方面。

(1) 水资源利用程度不断提高。据统计，全国大江大河的水资源利用程度已经很高，其中海河、淮河、黄河等河流的开发利用程序已达 78%、37% 和 72%，已经超过或接近了国际公认的 40% 的开发上限。

(2) 水库梯级开发全面铺开。随着我国能源供需矛盾日益显现和由于环境保护而对化工燃料的限制，以及对于能源安全的长完考虑，作为清洁、低成本、长寿命、综合效益大的水电项目成为我国重要的能源方针，也成为众多企业竞相调研、建设的主要领域。

(3) 水库作用的流域化和生态作用。国内学者采用水资源供需分析得出工程水利、资源水利和环境水利的提法，工程水利是指水资源供给主要受工程能力限制而不受水资源量限制；资源水利指水资源需求大于供给，而导致水资源稀缺，需通过优化调配和节水满足；而环境水利则指水资源消耗威胁流域生态环境健康，造民断流等。

须要指出的是，现有水库补偿效益的基础理论、计算方法和分摊方法都是建立在水库之间发电、防洪等作用的基础上的，而随着河流的全面梯级开发和调水工程的增多，水库的作用明显流域化和生态化，其补偿效益的范围扩大到了整个流域，除其涵盖发电、防洪效益之外，对于区域生态和社会补偿效益更显重要。无疑，这是我们必须加以认真研究的新课题。

本书作者对于水库补偿效益的理论进行了系统的研究，并结合黄河干流的水库调度进行了实践分析。本研究得到了西北电网、西安理工大学的大力支持。本研究和本书的编撰出版是由华北水利水电学院高层次人才引进项目和水利部公益性行业科研专项经费项目（2010001013）资助的。

参加本书编写的有：华北水利水电学院徐晨光，黄河勘测规划设计有限公司赵麦换，西安理工大学黄强。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2012年8月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究的进展	4
1.3 水库补偿效益的发展背景和趋势分析	11
1.4 本书研究的主要内容	16
1.5 本研究的主要创新点	17
1.6 本研究采取的技术路线	19
第 2 章 水库补偿效益理论体系研究	21
2.1 水库补偿效益概念研究	21
2.2 水库补偿效益计算机理分析	26
2.3 水库补偿效益分摊机理分析	28
2.4 水库补偿效益分类	30
2.5 小结	44
第 3 章 流域尺度的水库补偿效益模型研究	46
3.1 建立流域尺度补偿效益模型的必要性	46
3.2 流域尺度水库补偿效益模型的比较分析	51
3.3 建立流域尺度水库补偿效益模型的方法	54
3.4 流域尺度水库补偿效益模型的分类	58
3.5 小结	67

第 4 章 黄河干流水库补偿效益模型	68
4.1 黄河干流水库补偿效益分析	68
4.2 效益型黄河干流水库补偿效益模型	69
4.3 模型资料分析	77
4.4 模型的求解	86
4.5 小结	88
第 5 章 经济补偿效益计算	89
5.1 基于效益型模型的黄河上游水库经济补偿效益 方案拟定	90
5.2 黄河上游水库对中游水库的发电补偿效益	91
5.3 黄河上游水库对沿黄省区的供水补偿效益	98
5.4 基于效益型模型黄河上游水库经济补偿效益	103
5.5 基于成本型模型的黄河上游水库补偿效益分析	104
5.6 效益型和成本型水库补偿模型结果对比分析	108
第 6 章 基于离差平方法的水库补偿效益分摊方法研究	110
6.1 补偿效益分摊方法	111
6.2 离差平方法	117
6.3 梯级水库补偿效益分摊应用实例	119
6.4 离差平方法在综合利用水利工程费用分摊中的应用	120
6.5 小结	122
第 7 章 南水北调西线工程对黄河干流水库的补偿效益 分析	124
7.1 南水北调西线工程	124
7.2 西线调水对黄河干流水电的补偿调节计算	127
7.3 南水北调西线工程对黄河干流水电的补偿效益	132
7.4 “以电调水和以水治黄”的新思路	133
7.5 小结	134

第 8 章 防洪补偿效益计算	136
8.1 龙羊峡水库在黄河上游梯级水库防洪补偿效益中的 作用	136
8.2 龙羊峡水库的防洪补偿效益分析	143
8.3 龙羊峡水库的防洪补偿效益计算	146
8.4 小结	155
第 9 章 总结及建议	156
9.1 本书主要结论和成果.....	156
9.2 存在的不足及对下一步研究的建议	157
参考文献	159

第 1 章 绪 论

1.1 研究的目的是和意义

揭开厚重的人类历史，可以发现人类的发展史就是人类适应自然、改造自然的历史，而水作为生命之源和社会生产力的原动力之一，其作用举足轻重。水利工程是人类适应自然、改造自然、从事水事活动的重要手段，水利工程在人类发展史上具有重要地位，一些影响重大，功绩卓著或是广泛争议的水利工程和其建设者一起载入史册。4000 多年前的禹治水传说广为今人所称颂，战国时期的都江堰工程至今仍在川西平原发挥着巨大的效益^[1]。从规划建设到运行改造始终争议不断的三门峡水库，在 2003 年渭河大水之后又一次成为关注的焦点，不同的是这次是关于“废弃”与“保留”的争论。举世瞩目的长江三峡工程和南水北调工程，一个已经初期运行，一个正在紧锣密鼓的规划建设。正当我们为水利建设的雄宏气势和巨大效益鼓与呼的同时，太平洋对岸的美洲却正在掀起“炸坝风潮”。对于水利工程的争议也许永远不会停止，但人类适应自然、改造自然的步伐也一刻都不会停止。

对于水库补偿效益，在综合利用、抵御水旱灾害的水库作用基础上，内涵和外延都是明确的，即它是指水库之间的调节与反调节，包括发电、供水和防洪等补偿效益。随着水资源需求和供给矛盾加剧，水旱灾害的预期损失加重，水质恶化带来的河流功能丧失





等系列水问题的凸现,水安全^[2-4]、流域可持续发展被推上更高的层次,以流域水资源统一调度的管理模式与维护河流健康生命的科学理念使得作为流域水资源调控重要手段的水库的作用流域化、生态化,也就是说,水库,尤其是大型水库,其作用已经由原来的发电、防洪、供水等,拓展到促进流域可持续发展^[5-6]和维护河流健康生命^[7-8]的层面。由此,水库补偿效益的内涵和外延都得到拓展,其概念体系和方法体系都需要重建。

目前,我国正处于水电大发展的时期,但是水库补偿效益体系不完善影响了水电正常发展^[9-12]。一方面,水电建设时没有充分考虑水库补偿效益,造成水电投资没有合理分摊,尤其是一些调节库容大、补偿效益好的龙头水库由于投资大而影响建设,使得流域水资源不能有效利用。另一方面,水库建成后,其补偿效益没有得到应有的返还,使得水电效益不佳,负担沉重,影响了水库的正常运行和综合效益的发挥。

黄河上游河段水电资源丰富,是国家重点开发的水电基地之一,已建和待建的水电站 25 座。作为基础产业,在目前国家实施西部大开发、西电东送、可持续发展战略以及中国入世的形势下,黄河上游水电开发面临良好的机遇。但是长期以来,影响黄河干流梯级电站可持续发展的关键技术经济问题得不到解决,严重地制约了水电建设发展速度,延缓水电建设战略目标的实现。如黄河上游调节性能好的大型水电站,为了满足下游发电、灌溉、供水、生态等综合利用的要求,牺牲自身的发电效益,使中下游流域获得了显著的社会、经济、生态效益;从黄河全流域总体而言,整体的综合效益增加非常可观,从局部的黄河上游电站而言,发电效益损失较大,但是上游电站自身效益没有得到应有的补偿。这不仅加重了已建电站的运行负担,而且也挫伤了待建电站投资者的积极性,在目前中国加入 WTO 的情况下,这种无补偿机制将阻碍外资的投入,





更不利于梯级水电的滚动开发。要实现黄河上游梯级水电可持续发展,并为梯级滚动开发争取良好的经营环境,有必要研究黄河干流水电站间的梯级补偿效益及分配方案,研究水电站发电和综合用水补偿效益的补偿或综合用水投资分摊等宏观战略和对策问题。

因此,本项目研究具有以下三方面的目的与现实意义。

(1) 补偿效益研究有利于水电梯级滚动开发。目前水电开发实行“流域、梯级、滚动、综合”的开发方针,要做到梯级滚动,必须进行已建电站和待建电站的效益核算。按照《中华人民共和国公司法》运作规范,滚动开发应以电站固定资产、折旧费和全部收益(包括水电和水利)转为流域开发公司的资本金,滚动开发下一个梯级电站。在梯级电站中补偿效益是重要的效益组成部分,但是当前全部收益核算时并没有计入补偿效益,这一状况导致部分补偿电站的收益不高,投资者热情不高。通过本次研究拟解决梯级电站补偿效益(包括经济效益、社会效益、生态效益等)如何定量核算等技术经济问题。

(2) 水电开发已经被确定为我国目前重点发展的基础产业,但是相应的水电优先开发的政策体系尚未形成。实施西部大开发战略,加快西北地区的经济开发,必然为西部水电的发展迎来了机遇。黄河上游地处西部,开发建设大中型水电工程是西部大开发的重要内容,应当享有国家的优惠政策。但是已建的黄河上游电站中,补偿效益没有得到体现,也没有相关政策的支持。参照国内外已有经验,结合黄河流域具体情况,本着科学、合理、公平、公正原则,拟订梯级电站补偿效益分配原则。通过对补偿效益及分配等有关问题的深入研究并进行广泛宣传,以期得到国家宏观政策的强有力支持。

(3) 南水北调西线工程即将启动,调水后,黄河干流梯级电站肯定受益,必然涉及与长江干支流的补偿关系,所以必须进行跨流





域补偿效益的计算、分配等问题的研究,为迎接南水北调做好前期准备工作。

综上所述,理论发展和现实实践都需要深入开展水库补偿效益研究。在理论方面,水库调度成为流域水资源配置和支持区域可持续发展的重要手段,水库作用趋向于流域化和生态化,其理论体系需要重建以适应新形势的需要。在实践方面,水库补偿效益是水电工程投资者、经营者和管理者都非常关注的问题,但这方面研究和可以借鉴的实例不多,使得水库的补偿效益实践处于摸索状态,在西部开发、西电东送和南水北调等水电大发展的有利背景下,水库补偿效益急需要在理论和方法上进行完善。

1.2 国内外研究的进展

总结水库补偿效益研究和实践,可以发现水库补偿效益是随着水资源开发利用程度加深提高而越来越显得其重要性。前期主要是梯级开发作用推动,后期深入到全流域水资源开发利用。可以将其发展归纳为三个阶段,主要结合我国的情况加以说明,即初始期、发展期和全面发展期。

第一阶段:初始期(第二次世界大战后至 20 世纪 80 年代)

第二次世界大战后,西方发达国家进入全面的经济发展期,水库建设规模空前,以美国为代表的西方国家水能资源开发进入全盛时期,梯级开发也逐步展开。

国外成功的补偿效益分配是美国和加拿大合作开发的哥伦比亚河水电资源^[13]。哥伦比亚河是加拿大和美国共有的一条国际河流,水电能源丰富。美国和加拿大在哥伦比亚河干流上共建成 16 座梯级电站,其中加拿大 4 座,美国 12 座。在河流开发规划上,美、加两国在各自内部统一规划的基础上,通过协商、谈判,实行共同





规划、利益分享、各自建设的原则。1964 年美加两国达成协议，在加拿大境内的哥伦比亚河上兴建三座水库，美国除支付 6500 万美元的水库建设费外，还须一次性支付 2.54 亿美元作为每座水电站在 30 年使用期内下游受益分摊的一半。据分析，美国在哥伦比亚河的联合开发上是作了较大让步，不仅承担部分建设费用，还支付毛收入的一半，但美国受益的不仅是稳定的电力，而且从防洪、供水和国际关系等方面都有较大收获，可是这些并未计入补偿效益。

该阶段水库补偿效益显示出局部特点，只在少数国家出现，这与水库梯级开发的程度相关。其次是补偿效益主要体现在发电和防洪上，并不涉及其他方面，同时补偿效益分配是通过谈判协议而确定的，是以下游（美国）支付上游（加拿大）水库的建设费和一定期限内的补偿效益作为分配方式。虽然初始期的水库补偿效益没有更多的特点，但还是能够勾勒出水库补偿效益的轮廓。第一，水库补偿效益随水资源的利用产生，梯级开发促成了上游建水库下游受益、下游向上游补偿。第二，水库补偿效益是通过相关各方面谈判的方式达成的，以货币的形式补偿，要有一定的科学依据，但通过谈判可以更全面、长远地保证各方利益，美加两国对于哥伦比亚河的联合开发就是以谈判达成并实施的。第三，水库补偿效益是有一定期限的，如美加的协议是最后一座水库建成后的 20 年，之后要重新签订协议，也就是说，水库补偿效益可以在一定时限内起作用，随情况的变化是需要改变的。

第二阶段：快速发展期（20 世纪 80 年代至 2000 年）

这一阶段梯级水库建设进入高潮，水库间补偿计算方法层出不穷，以快速准确为目标。这期间我国的梯级水库的补偿调节方法研究成果很多，分摊方法研究处于起步阶段，补偿效益还是以发电补偿效益为主，有部分较为成功的实例。





首先是水库群补偿调节研究有较大的进步。在以发电补偿效益为主的补偿效益研究中,水库群补偿调节是确定各相关水库电站发电补偿效益的重要依据,只有通过水库群补偿调节计算,相关各方的权利与义务才能更合理的反映,因此水库群补偿调节是补偿效益研究的重要基础。

水库群的补偿调节是水库群优化调度发展的一个分支,早期的调度方法均建立在古典的微积分基础上,然而随着问题的复杂化,这些方法大都遇到许多麻烦。早在20世纪40年代,Masse就提出了水库优化调度问题^[14]。自1955年美国学者Little提出了水库随机优化调度模型^[15]并应用成功后,标志着水库调度进入了以系统科学为基础理论的研究开端。数学规划理论的深化、完善和计算机的应用,使优化方法更加丰富。根据水电站水库(群)调度技术的发展状况,其研究大致经历了三个阶段:常规调度、优化调度及智能优化调度。随着系统理论在水库优化调度领域的不断发展,大量的研究成果不断问世,针对不同问题的各种形式的模型也相继出现,尤其是上世纪70~80年代研究成果极为丰富。水库优化调度最基本的模型是线性规划模型LP [Mannos1955年, Louck1968年, Roefs, etc. 1970年]^[16]和动态规划模型DP [Hall etc. 1961年, Young1967年, Collins1977年]^[17-18]。除了这两种基本模型外,较为成熟的补偿调节模型还有诸如非线性规划模型NLP^[19]、聚合分解模型^[20-21]、大系统分解协调技术^[22-26],接着又出现了模糊数学模型^[27-28]、网络规划模型及模拟模型^[29-35]等。其中,具体地有加拿大的CAPRI模型,麻省理工学院的MITSOM模型和苏联电力设计院的MPO₃模型,这些模型考虑了水电规划,但也仅考虑了一条河流上梯级的补偿,没有考虑跨流域补偿调节^[36]。这是因为西方工业发达国家20世纪60年代以来水能资源已大部分开发,水电规划在电力规划中所占比重较小,因而对跨流域水电站群





的补偿调节没有进行深入研究。另一方面,电力规划中水电站群的补偿调节研究还有许多技术问题需要解决,如电站群规模较大时求解算法的维数灾障碍、模型中补偿调节的描述方式与求解精度的矛盾以及由于研究范围大、计算期长、组合方案多等原因带来的计算时间过长,等等。

在我国,水库优化调度研究相对起步较晚,虽然早在20世纪60年代初吴沧浦曾提出了年调节水库最优运行的DP模型^[37],1963年谭维炎提出了以年为周期的马氏规划模型,但比较广泛深入的研究是近20年才开始的。自1980年以来,国内不少科研单位和高等院校开展了这方面模型的研究,取得了一些研究成果。例如1984年以来由水电规划设计院、清华大学和有关设计院协作研究的适合我国国情的电力长期规划模型——多分区电力长期规划(IRELP/I)模型。1987年以后,该模型进行了扩展和完善,已初步形成了第二代模型及软件系统。此模型考虑了在各种约束条件下,进行水电站群梯级和跨流域优化补偿调节,但采取将有关补偿调节的约束方程融入各层模型之中的方式,而没有将水电站群补偿调节作为一个单独的问题专门加以论证。将补偿调节化为约束方程来处理的方法,其优点是径流调节的能量指标可以在模型内自动生成,解决了目前国内外模型应用于我国水能资源丰富地区的电力规划所存在的问题,缺点是对水电站群补偿效益的描述比较粗略,影响了对水电项目评估的准确程度,另外,必须根据径流资料选择系统的枯水年,这对跨流域水电站群系统而言是一个无法克服的困难。

纵观上述研究成果,补偿调节优化调度可大致分为随机型和确定型两大类。补偿调节的模型和方法,国内外的研究也在不断地发展,关于补偿调节的研究,国内外文献较多,并针对以往的模型中存在的许多问题作了一些改进,在早、中期主要是针对模型与算





法,侧重于调度理论研究,后来提出了许多改进模型,这在一定程度上解决了补偿调节计算问题。国内学者近年来在补偿调节计算方法方面做了不少工作,在涉及补偿效益的文献中,受到最多关注的是为争取龙头水库的建设而强调其对下游的补偿效益,如澜沧江上的小湾水电站和红水河上的天生桥水电站。补偿调节计算方面,学者研究了水库群布置的梯级、并联^[38](陈洋波等,隔河岩和葛洲坝,1995年)、混联^[39](徐鼎甲等,东北电网松花江和鸭绿江,2001年)和跨流域^[40](杨振立等,磴口水库与安康、石泉水库,1998年)补偿调节,涵盖了径流补偿、库容补偿和电力补偿。补偿调节目标一般采用系统保证出力最大和发电量最大^[41](刘鑫卿,顾宁昌,华中华南联网水电站群,1999年)。补偿调节计算方法有许多创新,如学者采用神经网络方法^[42](高宏,谈为雄等,1999年)、决策支持系统^[43](解建仓,1998年)、基于知识的模糊优化^[44](谢新民,1998年)、大系统分解协调技术^[45](万俊,1994年)等解决补偿调节问题。期间西安理工大学黄强围绕黄河干流水库调度采用大系统分解协调技术做了卓有成效的工作^[46-51]。随着问题复杂程度的增加,结合与计算机及人工智能技术,并引入新的理论(如人工神经网络^[52]、专家系统^[53-54]、遗传算法^[55]等),成为水库优化调度研究的一个热点和发展趋势。

其次是补偿效益分摊方法研究开始起步。梯级水电站及水库群的补偿效益分摊是目前国内在该领域研究中的技术经济关键问题之一,尤其是补偿效益的分摊问题。各国学者对补偿调节研究的较多^[56-59],但对补偿效益合理分摊计算方法研究的较少。1997年12月14日,四川省人民政府颁布了第95号政府令《四川省流域梯级水电站间水库调节效益偿付管理办法》,这也是我国第一部有关河流水电梯级开发过程中进行水库调节效益偿付的地方性法规,但由于缺乏核定上游水库对下游梯级电站调节效益的规范的计算方法,





实施情况不尽如人意^[60]。北京水利电力经济研究所的董子敖^[61]首先对类似的问题做了初步研究,提出了按贡献系数法分摊总水电站群效益,并应用于红水河梯级,取得理想的结果,但其分摊的是总能量效益而非补偿效益。在梯级补偿效益分摊问题上,部分地方小水电建设已经实现补偿效益分摊,如辉阳河流域梯级开发^[62],某些外资水电开发项目(景洪水电站)也遇到偿还问题^[63]。周云等^[60](2000年)就四川省的管理办法提出了采用主调节效益进行“三七开”(施益电站七成,受益电站三成),以及适当延长返还年限的建议。西安理工大学薛小杰、黄强等^[64](2001年)综合库容、装机、水头、保证出力、发电量、贡献系数等单指标方法,运用模糊综合评判并建模计算,认为综合评判较优。

目前,对梯级水电站群补偿效益分摊方法的研究还处于起步阶段,一些单指标分摊补偿效益法应用较多,例如兴利库容比例分摊法、装机容量比例分摊法、电站水头比例分摊法、年发电量比例分摊法与保证出力比例分摊法、贡献系数分摊法等,但是其中没有一个比较合理的规则和方法。不论应用上述哪一种方法对某一梯级电站进行补偿效益分摊所得的结果差异都很大,因此按单指标来分摊补偿效益不可避免地有其片面性,显然不尽合理。在单指标分摊方法的基础上,逐步发展了多指标分摊方法,现在主要应用的是两种,一种是多目标综合分析法,该方法克服了单指标分摊法的不足,以专家评定的不同权值进行多种综合;另一种是模糊综合评判法,其特点是尽可能多地考虑影响补偿效益分摊的各个因素。

作者在分析各种分摊方法的基础上,指出单指标方法(如按库容、水头、装机等)意义明确但具有片面性。综合方法(综合评判、模糊综合评判等)考虑问题全面但主观性强,引进具有客观性强、计算简便的离差平方法进行梯级水库补偿效益的分摊^[65](赵麦换,黄强,2004年),取得较好的效果。

