

# 水库生命周期管理理念及对我国水库泥沙淤积管理的启示

谢金明<sup>1</sup> 吴保生<sup>1</sup> 刘孝盈<sup>2</sup>

(1. 清华大学水利科学与水利工程国家重点实验室 北京 100084 ; 2. 国际泥沙研究培训中心 北京 100048 )

**摘要** 分析当前我国水库泥沙淤积管理的实践 , 总结传统水库泥沙淤积管理理念中的不足 , 介绍一种基于可持续观点、具有动态循环管理特点的“ 生命周期 ” 管理理念。通过比较传统的“ 设计寿命 ” 理念与基于可持续观点的“ 生命周期 ” 理念 , 分析水库泥沙淤积管理理念转变的必要性 , 探讨水库泥沙淤积管理的发展趋势。

**关键词** 水库泥沙淤积管理 ; 可持续利用 ; “ 设计寿命 ” 管理 ; “ 生命周期 ” 管理

**中图分类号** : TV697.3      **文献标识码** : A      **文章编号** : 1006-764X(2011)S1-0020-06

随着社会经济的不断发展和人口的不断增多 , 人类对于淡水资源的需求量也不断增大 , 作为调配水资源时空分布的重要水利工程——水库 , 越来越多地受到各国政府和有关国际组织的高度重视。截止 2007 年底 , 我国建成水库 8.5 万座 , 水库总库容 6345 亿 m<sup>3</sup>。水库各项功能的发挥 , 为解决我国洪涝灾害、干旱缺水等水问题 , 并维持经济和社会的快速发展 , 提供了重要保障<sup>[1]</sup>。但由于水库泥沙淤积造成的库容损失 , 使水库不断受到功能性、安全性和综合效益下降的影响。如何对水库泥沙淤积进行综合管理 , 保持和恢复已建水库的功能 , 成为解决水资源短缺和洪涝灾害的重要手段 , 也是世界当前关注的热点问题<sup>[2]</sup>。

传统的水库规划、设计和运行都基于一个基本假设 , 即水库有一个有限的“ 设计寿命 ( design life ) ” , 由于泥沙淤积 , 这个“ 设计寿命 ” 通常只有 100 a 左右<sup>[3]</sup>。当库容因泥沙淤积而减少时 , 很少考虑水库的修复以保持水库的功能。随着移民和环境问题的日益突出 , 新建水库等工程受到越来越多的限制 , 通过新建水库来维持库容总量将是一条不可持续的道路。传统的管理理念将不适应新的形势 , 需要对水库设计与运行方式进行根本性改变 , 把“ 设计寿命 ” 受制于泥沙淤积的水库转变成可持续利用的资源<sup>[2]</sup>。

鉴于传统水库泥沙淤积管理中存在的问题 , 世界银行提出了水库可持续管理的“ 生命周期 ( life cycle ) ” 理念<sup>[4]</sup> , 用来替换泥沙淤积决定水库“ 设计寿命 ” 的管理理念 , 从而实现水库库容的长期保持及代

际公平。本文的目的是在对当前我国水库泥沙淤积管理实践进行分析的基础上 , 通过对比“ 设计寿命 ” 理念与“ 生命周期 ” 理念的区别 , 探讨水库泥沙淤积管理理念转变的必要性 , 为实现水库泥沙淤积的可持续管理提供参考。

## 1 “ 设计寿命 ” 管理理念

传统的“ 设计寿命 ” 管理理念是指在工程的寿命周期内 , 实现工程的规划、设计、建设、运行和维护 , 完成工程既定的各项任务 , 是一个有限的线性寿命管理过程。工程的寿命一旦被确定 ( 50 年、75 年或是 100 年 ) , 工程的规划、设计、建设、运行和维护就仅限于这个时段内进行<sup>[4]</sup>。“ 设计寿命 ” 管理理念的主要特征见图 1。

这种管理理念在水库设计与运行管理中已经得到了广泛的应用 , 它有如下特点 : ① 工程的寿命期是确定的 , 工程的管理是一个有限的线性寿命过程 ; ② 水库建设、运行与维护的约束条件基本上是规划或设计时所考虑的外部因素 ; ③ 随着工程的老化、水库的不断淤积 , 工程逐步丧失各项功能 ; ④ 工程寿命末期 , 报废或降等处理造成的环境和社会影响由后代承担。在这种管理方法下 , 对工程的经济评估、环境影响评估以及社会影响评估都局限在工程的寿命期内。

在这种管理理念指导下 , 为了实现水库的各项功能 , 需要根据外部因素和建设目的 , 确定水库设计与运行管理的几个关键要素 , 包括水库寿命、水库运

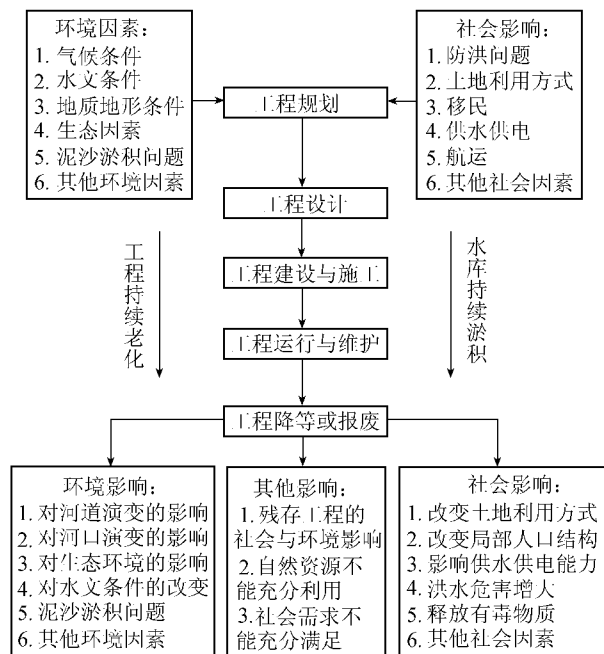


图1 “设计寿命”管理理念

行调度方式,并对水库进行经济评价与环境影响评价。同时,由于水库运行与维护的原因,需要对水库进行安全管理。

### 1.1 水库寿命

水库寿命的确定因素有很多,这里主要从水库安全管理和水库泥沙设计的角度来考虑水库寿命。从水库安全管理角度而言,按照GB50199—1994《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》的规定<sup>[5]</sup>,水利水电工程主要挡水建筑物设计基准期为50~100年。

水库泥沙设计的主要任务是预测库区及枢纽影响河段泥沙冲淤演变过程,提出工程泥沙问题及拟定解决的措施,以保证工程安全运行,发挥工程效益。涂启华等<sup>[6]</sup>指出,泥沙淤积水平是进行水库泥沙设计时的设计标准,即针对泥沙淤积各个方面的影响,参照各种计算标准,确定水库的淤积计算年限。如DL/T5064—1996《水电工程水库淹没处理规划设计规范》<sup>[7]</sup>规定按工程投入运行后10~30年的淤积情况考虑;DL/T5105—1999《水电工程水利计算规范》<sup>[8]</sup>规定防洪与兴利库容淤积计算年限为30~50年。根据上述年限所相应的水库淤积状况,计算水库的兴利效益、枢纽的防洪能力、库区的淹没、移民范围以及对其他方面的影响。

一般而言,在泥沙设计或水工结构可靠度设计确定的基准期内,水库可以正常运行。在一些特殊情况下,水库可能要面临降等或报废,如新中国成立初期新建的水库,由于当时社会、经济条件限制,建设标准低、工程质量差的问题较为普遍,形成了大量的病险水库。根据《水库大坝安全鉴定办法》<sup>[9]</sup>和《水库降等与报废管理办法(试行)》<sup>[10]</sup>等相关规定,

水库需要降等或报废。

### 1.2 水库运行调度方式

通过蓄水、泄水作用,水库能控制径流和重新分配径流<sup>[11]</sup>。由于规划时不同水库侧重的功能不同,而且所处的外部环境(工程环境、经济环境、社会环境和生态环境等)存在差异,不同的水库会有不同的运行调度方式。通过各种方式的调节,水库才能实现其防洪、发电、供水、灌溉、通航等功能。一般而言,水库调节可概括为兴利调节和防洪调节。

对于多沙河流上的水库,泥沙淤积问题会严重影响水库的正常运行,这类水库的运行调度比清水河上的水库运行调度更加复杂。黄河干流上的三门峡水库从1960年建成蓄水以来,水库运行调度方式先后经历了2次调整,从最初的“蓄水拦沙”,到“滞洪排沙”,最后到“蓄清排浑”,水库的泥沙淤积问题才得到有效地控制。“蓄清排浑”为国内外其他多沙河流上水库建设提供了宝贵的经验,目前,已被黄河小浪底、万家寨、长江葛洲坝、渭河宝鸡峡等多沙河流水利工程成功借鉴。

尽管如此,水库泥沙淤积问题仍然突出。据截至1992年的调查资料,长江上游地区水库年淤积量约为1.4亿m<sup>3</sup>,年淤积率约0.68%。其中,大型水库年淤积率为0.65%,中型为0.39%,小型为0.90%。至1989年黄河流域已淤损库容109.0亿m<sup>3</sup>,占总库容的21%;干流水库淤积79.9亿m<sup>3</sup>,占其总库容的19%;支流水库淤积29.1亿m<sup>3</sup>,占其总库容的26%<sup>[12]</sup>。

### 1.3 水库环境影响的经济评价

《水利水电工程动能设计规范》<sup>[13]</sup>中提到,要研究水库和电站运行方式,阐明工程效益,进行项目经济评价。同时也指出,经济评价应按国家计委颁发的《建设项目经济评价方法与参数》以及《水电建设项目经济评价实施细则》、《水利经济计算规范》及其他有关规范的要求进行。

对于环境影响的经济评价,《建设项目经济评价方法与参数》<sup>[14]</sup>认为应该从经济费用效益分析角度出发,在可行的情况下赋予经济价值,从社会整体角度对建设项目环境影响的经济费用和效益进行识别和计算。如果不能直接估算拟建项目对相关产出量的影响,可以通过有关成本费用信息来间接估算环境影响的费用或效益,包括:替代成本法、预防性支出法、置换成本法、机会成本法、意愿调查评估法。如果环境价值无法通过产出物市场价格或成本变化测算,应采用各种间接评估的方法进行量化,如:隐含价值分析法、产品替代法、成果参照法。

尽管相关规范规定要对水利工程进行环境影响

的经济评价,但是一直以来,无论是我国水库建设和运行的技术标准,还是国家有关法律法规,均缺乏约束期对生态影响的刚性指标,标准不完善,要求不具体,控制不严格。而且更多地专注于水库发电、供水带来的经济效益,防洪带来的社会效益。由于受认识水平的局限,人们对水库的生态与环境影响功能缺乏足够的认识,导致在其运行过程中生态功能和效益往往被忽视,一些江河断流、湿地面积减少、地下水位下降、海水倒灌等一系列的危害接踵而至。李国英<sup>[15]</sup>建议:应该修订完善关于水库建设与运行方式的国家标准,设立明确、具体、操作性强的刚性约束指标,同时对水库运行方式的转变进行积极的探索和实践,统筹考虑经济、社会和生态效益。在国家法律层面上,也应该设置“底线”,防止出现水库运行过程中对生态与环境造成的不利影响。

### 1.4 水库安全管理

根据 SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》<sup>[16]</sup>,水利水电工程划分为 5 个等级。对于水库大坝的安全状况,《水库大坝安全鉴定办法》<sup>[9]</sup>将大坝安全状况分为 3 类,并给出了相应的评价指标。对部分或全部失去按原设计标准运用意义、经技术和经济论证采取除险加固和清淤扩容等措施技术上不可行或经济上不合理的水库,必须实行降等或报废,以消除水库的安全隐患、发挥水库的效益。据不完全统计,截至 2002 年底全国降等与报废的小型水库累计达 4 846 座,其中小(1)型水库降等 366 座,报废 224 座;小(2)型水库降等 2 836 座,报废 1 420 座。为进一步规范此项工作,2003 年中华人民共和国水利部建立了水库降等运用与报废制度,制定了《水库降等与报废管理办法(试行)》。

刘宁<sup>[17]</sup>指出,据 1954—2001 年的资料统计,因遭遇超标准洪水等原因,我国已经有一些水库大坝发生了溃坝事件。统计资料也表明,中型水库在正常运用期的溃决事件不多,而且各类水库在 20 世纪 80 年代后发生溃决的概率都大幅度下降,数量维持在很低的水平。大坝安全出现这种变化,主要是因为在水库大坝的安全管理上逐步建立了相对完善的管理体系,加强了法规建设,病险水库除险加固力度逐渐加大。

## 2 水库生命周期管理理念及对我国的启示

2003 年,世界银行提出的水库可持续管理的“生命周期”理念<sup>[4]</sup>,是一种与“设计寿命”管理理念相对的管理理念。整个理念包含的元素与“设计寿命”管理方法中的基本一致,但以循环的形式进行组织,水库泥沙淤积管理是循环得以实现的一个关键,

其特征如图 2 所示。由于水库的运行和维护中不断地进行泥沙淤积管理,水库库容能长期维持,工程能够长久发挥作用。若工程老化需要拆除,工程的拆除管理应包含在工程的管理目标中。

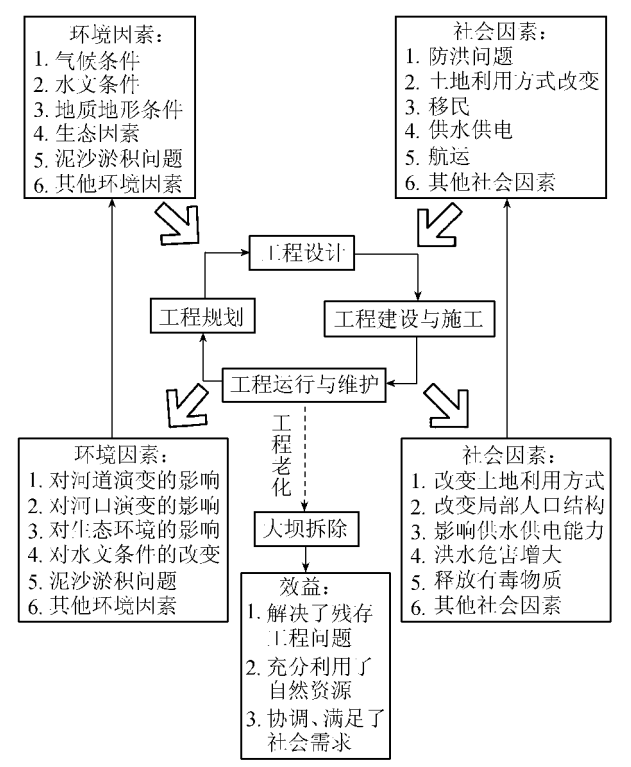


图 2 生命周期管理理念

该理念的根本目标是通过积极的管理和维护,实现大坝主要功能的长久维持。当工程老化不能避免时,允许大坝报废,同时每年定期拿出工程的部分收益成立报废基金,以此来提供报废所需的经费。在此方法的指导下,从大坝获益的任何一代人都将为报废做出应有的贡献,代际公平得以维持。可持续性是该理念的核心思想,泥沙淤积管理及其效益-成本评价是其关键。

### 2.1 泥沙淤积管理的效益-成本评价

“设计寿命”管理理念中提到的水库经济评价与环境影响评价所面临的问题与不足在生命周期管理理念下仍然存在,需要开展进一步的研究以探讨如何避免和改进。此外,由于生命周期管理理念要求水库管理者积极地采取泥沙淤积管理措施以维持水库功能的可持续泥沙淤积管理。因此,不仅需要对各种管理措施进行经济分析,更需要对其环境影响和社会影响进行评估,以寻求最优的管理方案,实现工程可持续利用。泥沙淤积管理效益和成本的识别与计算,影响决策者对方案的选择,全面、正确地识别与计算效益和成本,做到不重不漏,将成为水库可持续利用,实现代际公平的关键。当前只对经济净效益进行分析,对环境、生态和社会影响的分析很

少,这样不利于充分认识工程的成本以便采取成本最小措施,同时也不能在接受工程产生的危害还是对其进行预防之间进行权衡。

Palmieri 等<sup>[4]</sup>提出采用安全保护政策法来评估与水库清淤造成的社会与环境问题。1992 年都柏林水与环境国际会议上提出了“生态水文学”的概念,定义其为“在各种时空尺度上将水文过程与生物动力学结合的科学”。生态学与水文学的结合加速了生态学与环境学从描述阶段向分析、函数表达、操作阶段的过渡。这种过渡一旦完成,协同考虑人类与环境利益,进而顺利地开展水资源管理,将可能成为现实。

如何处理清除出库的泥沙也是必须要重点考虑的问题,最自然的解决方法是让泥沙回归河道<sup>[18]</sup>。如果需要向下游下泄含沙水流,下泄时间非常重要,例如,小流量下的高含沙水流可能会破坏鱼类栖息地,对下游供水造成危害,而大流量下的低含沙水流虽然能够避免下游淤积,却会侵蚀下游河道,给下游造成洪灾。并且,一旦河流功率减小,将会在下游造成淤积,只能再次清淤。为此,需要开展研究以确定是否可以下泄含沙水流。对于大型水库,为了减少泥沙输移距离,可考虑将泥沙转移到死库容中;对于小水库,可将挖出的泥沙放置在水库周围合适的地方,以便在建筑材料或农业中使用。日本 Sakuma 水库挖除的泥沙是质地很好的石英砂,非常适合用做水泥的细颗粒骨料<sup>[19]</sup>。

对于那些最终由于老化需要报废的工程而言,在生命周期管理理念下,要求建立工程的报废基金,该基金的经费来自于每年定期从工程收益中拿出的一部分固定收益,具体数目根据工程报废成本以及工程的寿命进行确定。该基金应在工程投入运行之时设立,同时需要进行定期审查和调整以确保基金充足。在这种方式下,从大坝建设获益的任何一代人都将为报废做出应有的贡献,使得代际公平得以维持。

## 2.2 水库生命周期管理理念与“设计寿命”管理理念的比较分析

尽管 2 种管理理念设计的基本元素大体相同,但是,在 2 种理念管理下的结果却大相径庭。在“设计寿命”管理理念下,伴随着大坝的报废或降等,水库对环境、社会产生的很多影响无法得到解决,包括:下游河道的演变、河口的演变、生态环境的破坏、水文条件的改变、泥沙淤积问题、土地利用方式的改变、局部人口结构的改变、供水供电能力的削弱、洪水危害程度的增大、有毒物质的下泄等,甚至还会造成残存工程对社会与环境的影响无法消除、自然资源不能充分利用、社会需求不能充分满足等严重后果。而在“生命周期”管理理念下,由于持续地根据

外部因素的变化调整工程的运行方式和局部结构,工程的效益能够长久维持,并且还利用收益建立了相应的报废基金,上述问题能够得到很好的控制和解决。对于这 2 种管理理念,主要的区别有以下 3 个方面。

a. “设计寿命”管理理念的被动管理与“生命周期”管理理念的主动管理。“设计寿命”管理是一种被动管理,在工程的寿命期内,规划、设计、建设、运行和维护等工作逐步进行,并在生命末期完成当初设计的使命。该方法并没有重点关注寿命末期大坝报废造成的影响,因此也就忽视了代际公平的问题。“生命周期”管理理念是一种主动管理,不仅能够实现“设计寿命”管理所有的功能,还会重点关注工程所造成的环境和社会影响,并将这些影响协同水库的泥沙问题进行反馈,促使管理者进而对工程的设计、运行调度进行调整,从而实现循环管理。

b. “设计寿命”管理理念的非持续性管理与“生命周期”管理理念的代际公平管理。采用“设计寿命”管理理念时,只在有限的工程寿命内进行经济评估,并且假定运行阶段水利工程通过其经济效益回收投资成本。该法没有考虑寿命期内外界因素(来水来沙、环境、社会、经济和安全等)的变化,给后代的环境、社会、经济和安全等方面造成了持久的影响,没有考虑工程设计寿命末期的情况,也没有考虑将报废成本纳入经济评估的范围,还默认水库泥沙淤积问题及最后的报废问题均由后人解决。相反,“生命周期”管理理念从可持续利用的角度进行水利基础设施的设计和管理,对水库持续地进行泥沙淤积管理,因此如果正确地运行和维护,工程可以永久使用。“生命周期”管理理念的另一个重要因素就是考虑了代际公平,在对非可持续工程进行经济评估时,通过报废基金将报废成本纳入考虑,而该基金来源于大坝的收益,从而保证当代人和后代人都能享受工程带来的利益,分担工程的运行和维护成本。

c. “设计寿命”管理理念的静态管理与“生命周期”管理理念的动态管理。2 种理念对外部环境和社会因素的调整各有特点。“设计寿命”管理理念在规划阶段考虑了这些因素,但在工程的设计寿命期内,基础设施老化、环境变化、社会需求和社会舆论、政策调整等因素会发生显著的变化,而该理念不能将工程设计寿命期内再对这些因素的任何变化进行考虑。相反,“生命周期”管理理念是一种动态管理的方法,不仅能在设计之初考虑外部环境和社会因素,还能在工程建设、运行维护过程中将这些影响协同水库的泥沙问题进行反馈,从而对工程设计、运行调度进行调整,以实现工程的可持续利用。

## 2.3 水库泥沙淤积可持续管理及应对措施

在“生命周期”管理理念中,要求对水库进行泥沙淤积管理,以保持水库的库容,从而保证水库各项效益的实现,因此在图2中水库不会出现持续淤积的问题。需要考虑的泥沙淤积管理方法包括:①对流域实行综合管理、建立上游拦沙建筑物、设置水库旁通渠、进行渠道外蓄水以减少入库的泥沙量;②通过水库的运行调度减少库区泥沙淤积;③通过“蓄清排浑”、机械清淤、异重流排沙等方法对库区已经淤积的泥沙进行清除;④增加大坝高度或建设新的工程替代已经损失的库容。

执行水库泥沙淤积管理不仅仅是出于对大坝安全和防洪任务的考虑,更是从经济、环境和社会的角度进行考虑。三门峡水利枢纽从1960年9月建成蓄水以来,随着泥沙淤积问题的暴露以及来水来沙条件的变化,水库经历了2次改建,而其运行方式也进行了2次调整。由于对黄河泥沙问题认识有限,对水土保持的速度和效益估计过于乐观,水库投入使用后1年半时间里采用清水河流水库的运行调度方式蓄水拦沙,将入库水沙全部拦截到水库中,导致库区发生严重淤积,库容损失严重。从1962—1973年,大坝进行了2次改建,水库运行方式调整为滞洪排沙,枢纽的泄流排沙能力逐渐增加,潼关至三门峡库区的淤积有所减缓。1973年11月至2002年11月,水库非汛期蓄水运用,汛期降低水位泄洪排沙,即蓄清排浑。通过一系列的调整,水库的泥沙淤积问题得到有效的控制,基本实现冲淤平衡。这种积极调整泥沙淤积管理方式的做法,与“生命周期”管理理念中要求始终持续实施水库泥沙淤积管理不谋而合。

三峡水库按照满足防洪、发电、航运和排沙的综合要求进行水库调度,采用蓄清排浑运行方式,汛期库水位维持在防洪限制水位145 m(初期蓄水相应为135 m),非汛期蓄水至175 m(初期为156 m)运行。由于泥沙淤积问题的重要性,为了优化水库调度,减少淤积、增加防洪能力,周建军等<sup>[20]</sup>提出采用“双汛限方案”进行水库运行调度。目前采用的运行调度方式是一种积极的泥沙淤积管理措施,随着来水来沙条件的变化、下游生态环境改变、社会经济发展需要,水库的运行调度方式也会有所调整,以适应外部因素的改变,实现水库的可持续利用,这也是“生命周期”管理理念的体现。

多年来,我国在水库淤积管理方面开展了大量的研究和实践,采取了诸多水库减淤措施,包括上游水土保持、蓄清排浑、敞泄冲沙、异重流排沙、高水位排沙输沙、调水调沙、挖泥船挖沙等,取得了可喜的成果,积累了丰富的工程经验。但是,人们对减淤措

施的生态与环境影响缺乏足够的认识,对某个具体水库采用何种减淤措施最经济、造成的环境和社会影响最小也很少涉及,对代际公平的研究也不多见。这与水库“生命周期”管理理念相悖,与世界上一些国家和组织积极开展研究以评估减淤措施的经济、环境和社会影响的趋势不相适应,更与我国提出的科学发展观不相符。

未来我国水库泥沙淤积管理不仅需要在技术上继续创新,更急需研究各种措施的生态环境影响和社会影响,以及代际公平的实现。在此基础上,还需要进一步开展水库泥沙淤积管理经济、环境和社会评价方面的研究,在“生命周期”管理理念的指导下,建立全面的、系统的评价体系,开发通用的评价模型。

## 3 结论与建议

通过本文的研究可以看出,“设计寿命”管理理念已经不能满足可持续发展的要求,管理者与学者对水库运行调度方式的不断摸索与调整正是对这一传统理念的挑战,这些摸索和调整,为水库的可持续利用奠定了良好的基础。当前的摸索与调整主要集中在新技术的应用,而对经济分析、环境和社会影响评价的研究以及代际公平的实现仍需投入更多。

随着水库运行年数的增加,上游来水来沙条件的改变,水库泥沙淤积管理工作日益紧迫,如何有效地开展水库淤积管理,使水库的功能保持下去,必须以“生命周期”管理理念为指导,结合各种泥沙淤积管理措施,开展水库泥沙淤积管理评价研究,建立全面的、系统的评价体系,开发通用的评价模型,以求技术可行、经济最优、环境影响和社会影响最小的方案,从而保持水库功能的长久维持。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 2007年全国水利发展统计公报[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [2] WANG G Q, WU B S, WANG Z Y. Sedimentation problems and management strategies of Sanmenxia Reservoir, Yellow River, China[J]. Water Resources Research, 2005, 41(9): W09417.
- [3] MORRIS G L, FAN J H. Reservoir sedimentation handbook[M]. New York: McGraw-Hill, 1997.
- [4] PALMIERI A, SHAH F, ANNANDALE G W, et al. Reservoir conservation: the RESCON approach[M]. Washington, D. C.: The World Bank, 2003.
- [5] GB 50199—1994 水利水电工程结构可靠度设计统一标准[S].
- [6] 涂启华, 杨赓斐. 泥沙设计手册[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
- [7] DL/T 5064—1996 水电工程水库淹没处理规划设计规范[S].

[ 8 ] DL/T5105—1999 水电工程水利计算规范[ S ].

[ 9 ] 中华人民共和国水利部. 水库大坝安全鉴定办法[ R ]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2003.

[ 10 ] 中华人民共和国水利部. 水库降等与报废管理办法( 试行 ) [ R ]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2003.

[ 11 ] 周之豪, 沈曾源, 施熙灿, 等. 水利水能规划[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

[ 12 ] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报( 长江、黄河 ) [ R ]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2001.

[ 13 ] DL/T5015—1996 水利水电工程动能设计规范[ S ].

[ 14 ] 中华人民共和国发展改革委员会, 中华人民共和国建设部. 建设项目经济评价方法与参数[ M ]. 3 版. 北京: 中国计划出版社, 2006.

[ 15 ] 李国英. 应研究和转变水库运行方式[ J ]. 治黄信息与科技, 2006( 2 ): 12-13.

[ 16 ] SL252—2000 水利水电工程等级划分及洪水标准[ S ].

[ 17 ] 刘宁. 21 世纪中国水坝安全管理、退役与建设的若干问题[ J ]. 中国水利, 2004, 23: 27-31.

[ 18 ] EMBI A F. Control of sedimentation in small reservoirs[ D ]. Southampton: University of Southampton, 1986.

[ 19 ] OKADA T, BABA K. Sediment releasase plan at sakuma reservoir[ C ]//14<sup>th</sup> Congress on Large Dams, Rio de Janeiro: ICOLD, 1982.

[ 20 ] 周建军, 林秉南, 张仁. 三峡水库减淤增容调度方式研究——双汛限水位调度方案[ J ]. 水利学报, 2000( 10 ): 1-11. ( 收稿日期: 2010-12-30 编辑: 方宇彤 )

( 上接第 10 页 )

COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 质量浓度的时空分布情况, 并选择杭长桥等 9 个水质监测断面的实测资料对模型计算结果进行验证。从计算的 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 质量浓度变化曲线与实测值的比较情况来看, 在大多数情况下, 模型计算值与实测值吻合较好, 各水质监测断面的计算值与实测值相对误差小于 30%, 在水质模型允许的误差范围内( 图 3~5 )。少数断面的个别时段计算值与实测值相对误差较大, 主要由 3 方面的原因造成: ①污染源排放位置难以完全准确定位, 在计算时将排污口沿河平均分布; ②水质监测值的取得存在一些随机因素的影响, 如杭长桥水质监测断面 2005 年 5 月 10 日的 NH<sub>3</sub>-N 质量浓度为 2.75 mg/L( 见图 4 ), 明显高于其余月份的监测值; ③河网概化和水流模拟与实际存在一定偏差, 对水质计算结果也会造成一定影响。总体来看, 在水流运动和水质变化相对较为复杂的杭嘉湖地区, 本模型的计算结果精度能够满足工程设计要求。

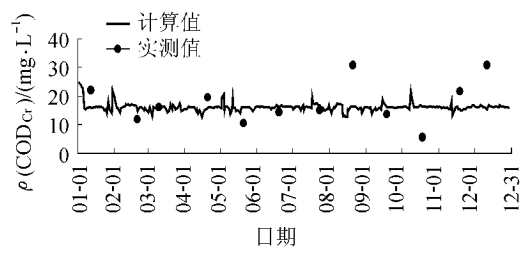


图 3 杭长桥 COD<sub>Cr</sub> 质量浓度验证结果

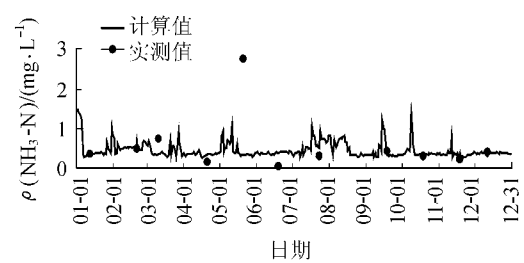


图 4 杭长桥 NH<sub>3</sub>-N 质量浓度验证结果

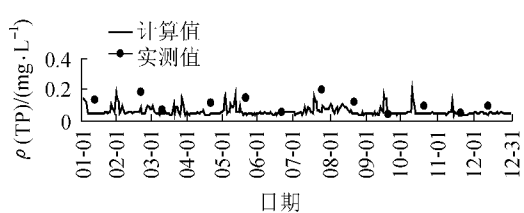


图 5 杭长桥 TP 质量浓度验证结果

## 4 结 语

从选择的 2005 年长兴( 二 ) 站等 11 个水位站点、杨家埠等 5 个流量站点和杭长桥等 9 个水质站点的实测值和模型计算值的比较情况来看, 所建立的杭嘉湖一维河网水环境数学模型较好地反映了杭嘉湖地区的水流运动状况和水质变化情况, 表明本模型所选择的参数基本合理, 该模型系统可以用于对各工程方案实施后河网水质变化的预测分析。

## 参考文献:

[ 1 ] 傅国伟. 河流水质数学模型及其模拟计算[ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.

[ 2 ] 周雪漪. 计算水力学[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 1994.

[ 3 ] CHUNG T J. 流体力学的有限元分析[ M ]. 张二骏, 龚崇准, 王木兰, 译. 北京: 电力工业出版社, 1980.

[ 4 ] BAKER A J. Finite element computational fluid mechanics[ M ]. Washington, D. C.: Hemisphere Publishing Corporation, 1983.

[ 5 ] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 太湖流域水环境综合治理总体方案[ R ]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2008.

[ 6 ] 浙江省发展和改革委员会. 浙江省太湖流域水环境综合治理实施方案[ R ]. 杭州: 浙江省发展和改革委员会, 2008.

( 收稿日期: 2011-02-11 编辑: 高建群 )