

# 对潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究的认识

刘宁

(水利部, 北京 100053)

**摘要:** 三门峡水库调度运用方式决策影响因素众多, 有关科研单位和大专院校对此开展了大量的数学模型、实体模型、原型试验等研究工作, 取得了丰富的研究成果和试验数据。本文在分析已经取得的试验数据和研究成果的基础上, 归纳了涉及三门峡水库调度运用方式决策的基本要素, 并进而归结为7项主要影响指标, 运用多目标决策方法, 探讨三门峡水库优良度较高的运行方式, 分析结果认为: 近期三门峡水库非汛期最高控制运用水位不超过318m、平均水位不超过315m, 汛期敞泄, 是课题研究的可获得结论。

**关键词:** 潼关高程控制; 三门峡水库运用方式; 多目标决策分析; 优良度

**中图分类号:** TV697      **文献标识码:** A

## 1 有关情况概述<sup>[1]</sup>

三门峡水库1960年9月投入运用, 初期库区淤积严重, 潼关高程快速抬升(图1), 导致渭河下游及黄河小北干流的淤积, 如图2所示。为了解决水库泥沙严重淤积的问题, 三门峡水库大坝经历了两次改建, 水库经历了蓄水拦沙、滞洪排沙、蓄清排浑三种运用方式的调整。其中, 蓄水拦沙期(1960年9月~1962年3月), 水库最高运用水位332.6m; 滞洪排沙期(1962年3月~1973年10月), 限制防凌最高运用水位326m, 春灌最高运用水位324m, 实际最高运用水位327.9m; 蓄清排浑期(1973年11月至今), 防凌和春灌的限制仍按原指标, 汛期平水时控制水位不超过305m, 洪水时敞泄排沙。2002年11月以来, 水库开展了非汛期水库最高运用水位控制不超过318m的原型试验。此外, 为控制和降低潼关高程, 水利部黄河水利委员会1996年开始在潼关河段进行了射流清淤工程, 2003年在进行原型试验的同时, 采取了东垆湾裁弯工程、渭河入黄口疏浚、小北干流滩区放淤、小浪底等水库调水调沙等措施。

## 2 有关研究工作

围绕三门峡水库运用、潼关高程控制等问题, 许多单位和学者进行了大量的研究工作。20世纪90年代黄委会组织有关专家对三门峡水库运用等进行了系统总结<sup>[2, 3]</sup>, 国家“九五”科技攻关也将三门峡水库运用方式、潼关河段清淤等列为子专题。中国工程院“西北水资源”咨询项目对“降低三门峡水库潼关高程的可能性”进行了专题研究<sup>[4]</sup>。此外, 有关专家和学者潜心探索的研究文章、文献、观点就更是浩如烟海<sup>[5]</sup>, 凡此种研究结果, 在此不能一一尽言。2002年9月, 水利部成立了“潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究”项目领导小组和工作组, 展开专题研究。潼关高程的影响因素与潼关高程的合理确定、降低潼关高程实施方案、三门峡水库调度运用方式及其影响的研究是该项目研究的三大目标。在研究过程中,

收稿日期: 2005-08-29

作者简介: 刘宁(1962-), 男, 辽宁丹东人, 工学博士, 教授级高级工程师, 主要从事水利水电工程的规划、设计和技术管理工作。E-mail: liuning@mwr.gov.cn

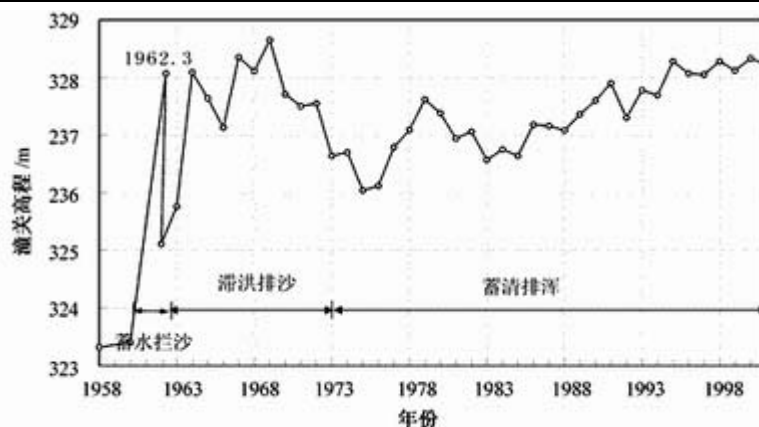


图1 潼关高程变化过程



图2 潼关高程变化与渭河下游淤积的关系

进行了开放式、多途径的系统研究和实践。在手段上，采用了数学模型计算、实体模型试验、原型试验观测、并开展了生态及经济社会影响调查评价；在组织上，数学模型成果是通过中国水利水电科学研究院、黄委会黄河水利科学研究院、清华大学、西安理工大学等4家单位分别根据各自建立的数学模型独立计算取得的成果；在范围上，把潼关高程控制、渭河冲淤、三门峡水库调度运用方式等作为一个整体加以考虑；在水沙系列的选取上，各家单位统一了计算条件，选择了有代表性的平水系列和枯水系列分别进行计算。此外，还多次听取、吸纳了针对项目研究的关键条件、问题和结论的专家咨询意见。应该说，本次项目研究的考虑和安排是全面的。

**表1 三门峡水库不同运用方案**

方案	水库运用方式
方案1	现状运用(非汛期最高水位321m, 汛期 $Q>2500\text{m}^3/\text{s}$ 时敞泄, 否则按305m控制)
方案2	全年敞泄运用
方案3-1	非汛期最高运用水位318m; 汛期敞泄
方案3-2	非汛期最高运用水位318m; 汛期 $Q>1500\text{m}^3/\text{s}$ 时敞泄, 否则按305m控制
方案4-1	非汛期最高运用水位315m; 汛期敞泄
方案4-2	非汛期最高运用水位315m; 汛期 $Q>1500\text{m}^3/\text{s}$ 时敞泄, 否则按305m控制

方案5-1	非汛期最高运用水位310m; 汛期敞泄
方案5-2	非汛期最高运用水位310m; 汛期 $Q>1500\text{m}^3/\text{s}$ 时敞泄, 否则按305m控制

**2.1 数学模型计算<sup>[1]</sup>** 中国水利水电科学研究院、黄委会黄河水利科学研究院、清华大学、西安理工大学等单位, 进行了不同水库运用方案(表1)对潼关高程影响的数学模型计算和分析。计算结果表明: (1)三门峡水库如继续采用现状运用方式(方案1), 当遇到平水系列时, 14年后潼关高程可以基本维持现状, 甚至略有下降, 若遇到枯水系列时则有所上升。(2)三门峡水库采用全年敞泄运用(方案2)潼关高程下降最多, 平水系列时, 14年后平均可使潼关高程下降1.69m; 枯水系列时, 平均可使潼关高程下降1.19m。(3)对非汛期控制运用(318m、315m、310m)汛期敞泄方案(方案3、4、5), 平水系列时, 14年后潼关高程平均可以下降1.11~1.47m; 枯水系列时, 下降0.55~0.86m。(4)在反映汛期敞泄与洪水期敞泄降低潼关高程作用上, 汛期敞泄比洪水期敞泄多降低潼关高程的平均值为0.20m。(5)在反映非汛期不同控制水位降低潼关高程作用的差异程度上, 水库由现状运用调整为非汛期318m控制运用时, 降低潼关高程最为明显, 平水系列时, 非汛期318m控制汛期洪水敞泄方案可使潼关高程降低0.96m; 枯水系列时, 可使潼关高程下降0.41m。非汛期315m控制与318m控制降低潼关高程的差别, 平水系列与枯水系列之间有一定的差异, 但差异不大, 315m控制比318m控制平均多降低潼关高程0.15m; 310m控制比315m控制平均多降低潼关高程0.15m。(6)在相同的水库运用条件下, 计算结果表明来水越丰潼关高程下降越多, 来水条件对潼关高程影响比较明显。平水系列I可比枯水系列II潼关高程平均多下降0.54m。

图3和图4为4家单位计算的14年后潼关高程升降值。表2是4家单位计算的潼关高程升降范围和平均升降值。

**2.2 实体模型试验<sup>[1]</sup>** 黄委会黄河水利科学研究院承担了三门峡水库运用方式对潼关高程升降影响的实体模型试验。试验采用两组水沙系列, 均为3年, 系列I为平水(1987~1989年), 潼关站年均来水量为292.9亿 $\text{m}^3$ , 沙量为8.45亿t; 系列II为枯水(1997~1999年), 潼关站年均来水量为190亿 $\text{m}^3$ , 沙量为5.7亿t。总共进行了7个组次试验, 详见表3。

各试验组次潼关高程各年结果见表3、表4和图5。三门峡水库全年敞泄运用时, 3年后平水系列潼关高程可下降1.57m; 枯水系列可下降0.97m。非汛期控制(318m、315m)汛期洪水敞泄运用时, 平水系列3年后潼关高程可下降0.83~0.92m; 枯水系列潼关高程可下降0.37~0.43m。试验结果中全年敞泄运用对潼关高程降低的效果较数学模型计算值大。根据实体模型试验结果, 全年敞泄与非汛期控制运用对潼关高程的降低是倍数关系, 平水系列全年敞泄可降低1.57m, 非汛期控制运用后只降低0.83~0.92m; 枯水系列全年敞泄可降低0.97m, 非汛期控制运用降低0.37~0.43m。试验结果还表明, 汛期敞泄比洪水期敞泄使潼关高程多下降0.08m, 这个数值比数学模型计算结果要小。非汛期315m控制运用比318m控制运用使潼关高程平均多下降0.08m。平水系列比枯水系列使潼关高程平均多下降0.52m。

表2 4家单位计算各方案潼关高程升降值 (单位: m)

系列	潼关高程	方案1 (现状)	方案2 (全年敞泄)	方案3-1 (318+汛期敞)	方案3-2 (318+305)	方案4-1 (315+汛期敞)	方案4-2 (318+305)	方案5-1 (310+汛期敞)	方案5-2 (310+305)
	下降范围	0.11~0.26	1.47~2.11	0.81~1.37	0.63~1.27	1.01~1.48	0.79~1.38	1.34~1.60	0.94~1.49
I	平均下降	0.17	1.69	1.11	0.96	1.29	1.09	1.47	1.23

	下降范	-0.16~	0.89~	0.26~	0.18~	0.44~	0.31~	0.64~	0.52~
系列	围	-0.10	1.69	0.79	0.70	0.90	0.78	1.09	0.88
II	平均下	-0.14	1.19	0.55	0.41	0.71	0.50	0.86	0.65
	降								

注：-为上升值，其余为下降值。

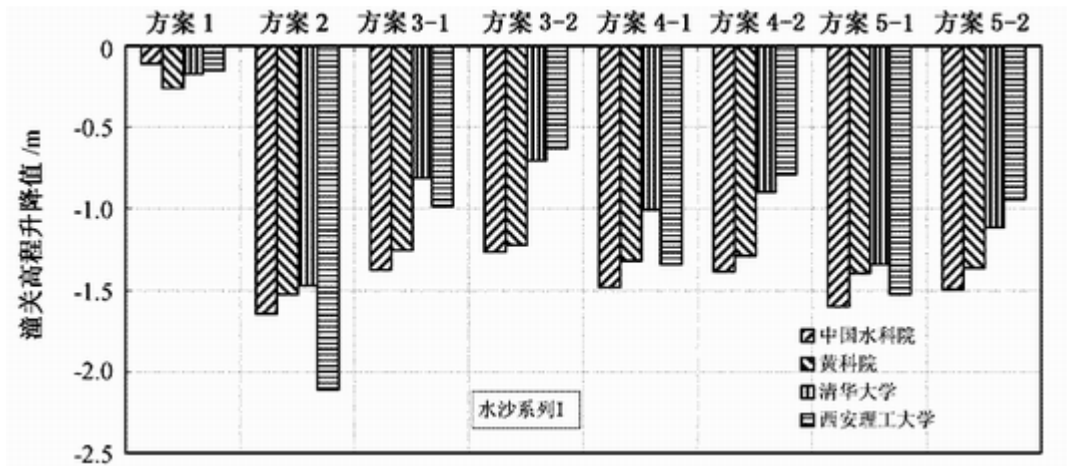


图3 水沙系列I(平水)4家单位计算潼关高程升降值

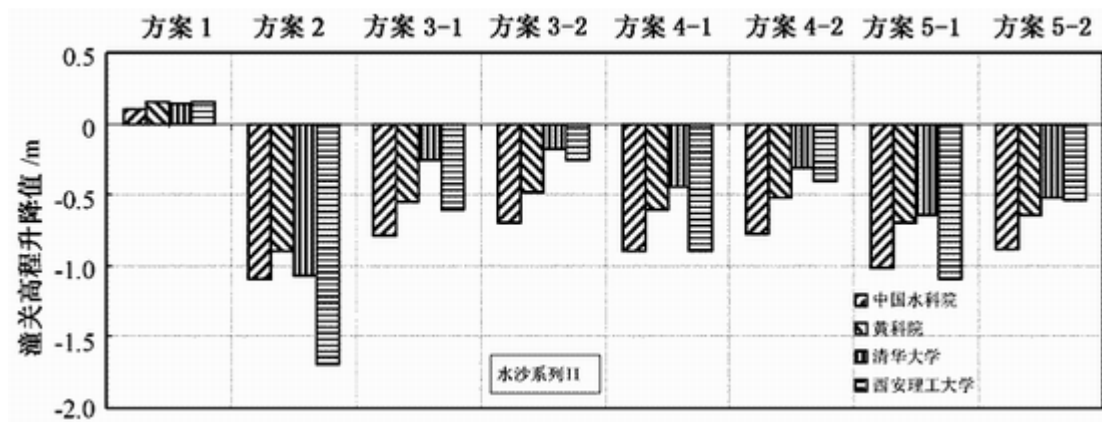


图4 水沙系列II(枯水)4家单位计算潼关高程升降值

表3 三门峡水库实体模型试验组次

试验组次	水沙系列	水库运用方式
1	1997~1999 (枯水系列)	全年敞泄
2	1997~1999 (枯水系列)	非汛期318m, 汛期敞泄
3	1997~1999 (枯水系列)	非汛期318m, 洪水大于1500m <sup>3</sup> /s敞泄, 否则305m控制
4	1997~1999 (枯水系列)	非汛期315m, 洪水大于1500m <sup>3</sup> /s敞泄, 否则305m控制
5	1987~1989 (平水系列)	全年敞泄
6	1987~1989 (平水系列)	非汛期318m, 洪水大于1500m <sup>3</sup> /s敞泄, 否则305m控制 非汛期315m, 洪

表4 各试验组次潼关高程各年变化 (单位: m)

组次	试验条件	2001汛后	2002汛前	2002汛后	2003汛前	2003汛后	2004汛前	2004汛后	总变化
1	枯水全敞	328.23	328.28	327.98	327.95	327.58	327.65	327.26	-0.97
2	枯水(318汛敞)	328.23	328.30	328.03	328.17	327.98	328.09	327.78	-0.45
3	枯水(318洪敞)	328.23	328.31	328.05	328.17	328.05	328.13	327.86	-0.37
4	枯水(315洪敞)	328.23	328.30	328.06	328.15	328.04	328.11	327.80	-0.43
5	平水全敞	328.23	328.26	327.91	327.84	327.23	327.13	326.66	-1.57
6	平水(318洪敞)	328.23	328.30	328.10	328.24	327.85	327.95	327.40	-0.83
7	平水(315洪敞)	328.23	328.32	328.11	328.21	327.76	327.87	327.31	-0.92

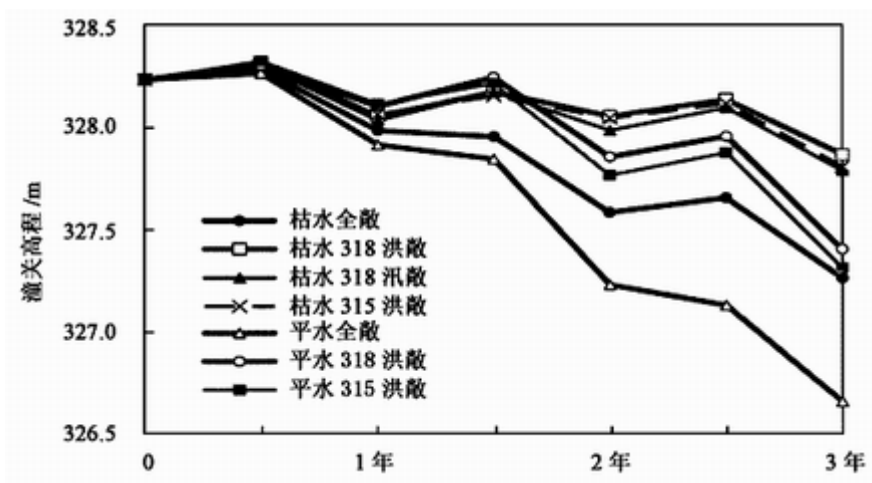


图5 各组次试验潼关高程各年变化

**2.3 原型试验观测[1]** 2002年11月开始, 三门峡水库进行了非汛期最高控制水位318m的原型试验。2003年非汛期三门峡水库最高蓄水位为317.92m, 平均蓄水位为315.59m, 分别比2002年降低了2.33m和1.12m; 回水最远至黄淤34断面, 距潼关30km, 比2002年下移了10~15km; 淤积重心前移; 潼关不受三门峡水库蓄水位影响, 处于自然河道状态; 非汛期潼关高程上升0.04m。

2003年汛期潼关发生5次洪水, 水沙条件较好, 洪水期水库敞泄, 历时30d左右, 库区共冲刷泥沙2.2亿m<sup>3</sup>, 潼关高程下降0.88m, 是蓄清排浑运用以来下降较大的一次。

2004年非汛期坝前最高水位为317.97m, 平均水位为317.01m, 淤积分布与2003年相似, 潼关高程上升了0.30m。汛期潼关只发生了一次大于1500m<sup>3</sup>/s的洪水, 潼关高程约下降0.26m, 汛末潼关高程约为327.98m。

近两年的原型试验结果表明, 三门峡水库最高运用水位由前几年的321~322m下降到318m后, 配合其他措施, 2004年汛后潼关高程较2002年汛后下降0.8m, 三门峡发电及供水、生态、经济社会影响等方面基本平稳, 未发生突变; 对大禹渡、马崖提灌站、圣天湖等取、用水工程产生了一定影响, 引水成本有所增

加; 库区水质变化不明显。

**2.4 生态与经济社会影响调查<sup>[6]</sup>** 据研究工作需要, 2003年以来项目组还组织进行了三门峡水库调度方式对生态影响、经济社会发展影响的调查评价, 包括对渭河下游的影响、对潼关以下三门峡库区经济社会的影响、对生态环境的影响、对小浪底水库及下游的影响、对黄河水沙调控体系的影响等几个方面, 可以概括为13项主要影响因素指标, 包括渭河及南山支流防洪安全、生态环境、社会经济发展、移民返迁、农业灌溉、生活及工业用水、库区防洪、发电、水质、湿地及生物、地下水、对小浪底水库影响、对黄河水沙调控体系影响等。这些影响因素和指标相互作用、相互影响, 有的相互排斥, 虽然一些指标难以量化或用经济指标来衡量, 但其调查结果仍然可以作为研究的参考和依据(表5)。

表5 三门峡水库运用水位调整直接经济损失部分统计

水位/m		318	315	310	敞泄
农业灌溉/万元	改建投资	12559	15453	18564	34047
	年增加运行费	503	618	743	1362
工业及居民用水/万元	改建投资	4732	5969	7392	14250
	年增加运行费	54	81	135	270
防洪工程/万元	改建投资	2395	6258	10203	15424
发电/万元	年经济损失	2407	3171	5876	22261
合计/亿元	改建投资	1.97	2.77	3.62	.37
	年增运行费及损失	0.30	0.39	0.68	2.39

**2.5 项目研究成果的一般性认识** 从上述所取得的研究成果分析, 有4个方面的研究成果认识趋同: 一是现状运用方案(专指2002年11月以前)是不可取的, 因为若维持现状调度运用方式, 潼关高程在枯水系列时将继续抬高, 而控制潼关高程不抬高是控制性因素; 二是全年敞泄方案不是满意方案, 若采用全年敞泄运用将会对三门峡水库及周边地区业已形成的生态系统和经济社会发展带来制约影响, 但汛期敞泄将比洪水期敞泄更有利于潼关高程降低; 三是非汛期水库的平均运用水位不宜超过315~316m, 图6给出的实测资料分析表明, 在平均水位315~316m附近潼关高程升降值与非汛期运用水位关系曲线的点子较为密集, 存在一个转折区间(314~318m), 超过这一区间内的某一平均水位运用时, 潼关高程随水库运行水位升高的上升幅度将非常显著; 四是采取综合措施, 使潼关高程降低1~2m的目标是可以实现的。基于这四个方面的认识, 并考虑到上述转折区间的存在, 对三门峡水库调度运用方式的决策, 实际上已成为在314~318m范围内选择非汛期控制水位的决策问题。鉴于多年运用后, 新的渭河下游生态系统和三门峡库区生态系统已经形成, 决策还应考虑对生态与经济社会发展的影响。根据已开展的研究工作, 针对上述各个典型运用方案, 可采用多目标决策方法进行再评价, 选优决策。

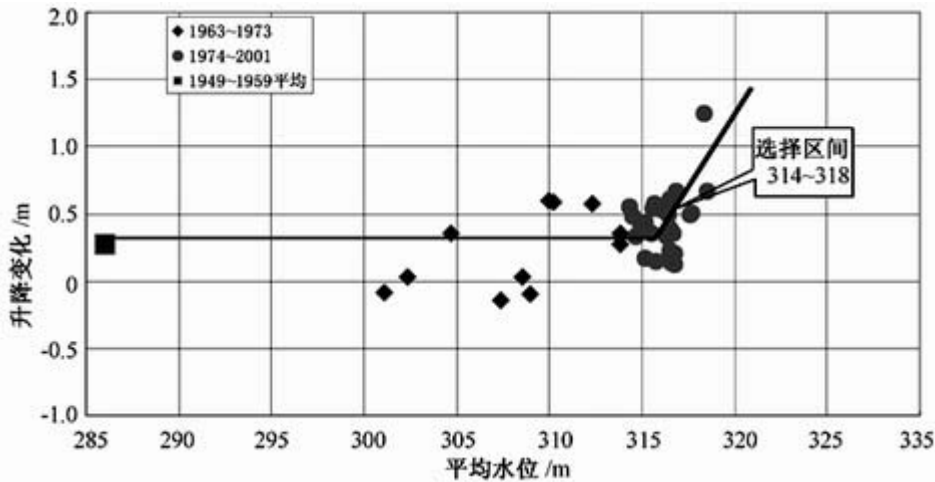


图6 非汛期潼关高程升降值与坝前平均水位关系

### 3 多目标决策方法<sup>[7]</sup>

多目标决策自19世纪70年代以来已发展成为一门具有完整的理论体系和实践基础的学科，并已广泛应用于研究如何在多个存在着矛盾和冲突的决策目标下进行有效的、科学的决策问题。

**3.1 多目标决策问题的特点** (1)目标冲突性。多目标决策问题往往存在着目标冲突，即一个目标的实现会抑制另一个目标的实现，或一个目标的加强会削弱另一个目标。(2)目标量纲的非一致性。多目标决策问题，不同目标的量纲一般不同。对一个多目标决策问题，如果拟定了若干个不同的决策方案，那么不同方案在同一目标下容易进行比较；然而由于不同目标量纲的差异，对方案进行综合比较是很困难的。为了消除这一弊端，常用适当的方法将各目标化为无量纲，从而对方案进行综合比较，选取“满意方案”。(3)寻求满意解。由于目标之间的冲突，多目标决策问题一般不存在使各个目标均达到最优的“绝对最优解”，而是以有效解、非劣解、支配解、妥协解、满意解等概念来表述所谓“最优解”。多目标决策问题“最优解”的涵义，应理解为对特定的决策者所能实现的最满意的程度，实质上是“满意解”。

**3.2 优异度决策方法** 目标决策方法有很多，包括决策者不给出偏好信息的权方法(参数法)、 $\epsilon$ 约束法、多目标规划法、多目标动态规划法；决策者在决策前给出偏好信息的效用函数法、分层序列法、目标规划法、有界目标法、理想点法等；决策者在决策过程中交互式地给出偏好信息的Geoffrion法、Zionts-Wallenius法、交互式多目标规划方法、序列多目标问题求解技术(SEMOPS法)、转移理想点法、参考点法等。决策方法的选择，需要根据实际情况，针对不同的决策问题进行。根据潼关高程控制和三门峡水库调度运用方式这一决策问题的特点，采用优异度法进行方案的优选。

优异度法的主要原理是对多目标(设有n个目标)决策问题，拟定m种决策方案，通过构成的指标函数矩阵A，对各种方案综合比较选出较优的“满意方案”，其中指标函数A表示形式为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \Lambda & a_{1n} \\ M & O & M \\ a_{m1} & \Lambda & a_{mn} \end{bmatrix} = (a_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

通常，多目标的决策问题存在“正向目标”和“负向目标”，而且不同的目标量纲一般不同，因此，

需要将指标矩阵转化为考虑正负向影响的“规范化指标矩阵”R, R是无量纲矩阵, 其表示形式为

$$A = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \Lambda & \gamma_{1n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \gamma_{m1} & \Lambda & \gamma_{mn} \end{bmatrix} = (\lambda_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

其中:  $\gamma_{ij} = b_{ij} / (\sum_{k=1}^m b_{ik}^2)^{1/2}$   $\begin{cases} i=1, 2, \Lambda, m \\ j=1, 2, \end{cases}$ ,  $b_{ij} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{当目标正向时,} \\ -a_{ij}, & \text{当目标负向时.} \end{cases}$

将矩阵R中每一列最大值和最小值分别组成 $1 \times n$ 最优点矩阵 $S^+$ 和最劣点矩阵 $S^-$ 。对于每一个方案, 考虑到各决策点的权重系数, 可由下式计算各决策点与最优点和最劣点的距离 $d_i^+$ 和 $d_i^-$ 。

$$d_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 (\gamma_{ij} - \gamma_j^+)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$d_i^- = \left[ \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 (\gamma_{ij} - \gamma_j^-)^2 \right]^{1/2} \quad (1, 2, \Lambda, m) \quad (4)$$

根据计算各决策点与最优点和最劣点的距离 $d_i^+$ 和 $d_i^-$ , 由下式计算各决策方案优异度 $\alpha^i$ 。

$$\alpha_i = \frac{1}{1 + (d_i^+ / d_i^-)} \quad (5)$$

最后根据优异度大小依次排序, 确定优异度大者为“满意方案”。

#### 4 三门峡水库调度运用方式多目标决策与分析

**4.1 三门峡水库调度运用方式决策是典型的多目标决策问题** 三门峡水库控制运用水位调度决策具有以下四个特点: (1) 影响指标众多。生态与经济社会调查所提的13项指标对控制运用水位的决策都有不同程度的影响, 并将这些指标的影响与数学模型计算、实体模型试验、原型试验观测成果等统筹考虑, 而不同的成果和指标都是在特定条件下计算、试验和调查得来的, 在不存在决定性因素、或决定性因素难以辨识、或决定性因素较多且冲突的情况下进行决策必须考虑各个主要影响因素或指标的综合作用和整体影响。(2) 目标冲突。非汛期310~318m控制水位运用方案在目标上存在冲突性, 对潼关高程降低、渭河下游淤积、三门峡水库发电、供水以及生态等具有不同的影响。三门峡水库运用水位降低对潼关高程的降低、对渭河下游防洪等是有益的, 但是对于三门峡水库本身及周边的负面影响也是显而易见的。(3) 量纲不统一。调度决策已知的影响因素或说指标主要有潼关高程控制、农业灌溉、工业供水、湿地生态、泥沙淤积、河床抬高、移民返迁、调水调沙体系、防洪安全、发电等等。对于这些指标来说, 没有统一的量纲。(4) 没有最优解, 只有满意解。从当前所取得的数学模型计算、实体模型试验、原型试验观测成果以及各方面研究的观点、立场和结果来看, 课题组归纳提出的潼关高程控制和三门峡水库调度运用方式的几个方案各具优缺点、各有利弊, 对于不同的目标、不同的决策者侧重考虑的主要影响因素不同, 因此也一定有不同满意方案, 难以找到完全一致的最优方案。



上述特征表明,进行三门峡水库调度运用方式的决策是典型的多目标决策问题。

**4.2 多目标决策算法** 通过影响各决策方案的主要指标值建立指标函数矩阵,然后经数学变换,将函数矩阵转化为考虑正负向影响的“规范化指标矩阵”,将方案中指标矩阵转化为无量纲的规范矩阵,对于正负目标分别进行数学处理,克服量纲不一致的影响。同时,确定目标函数和约束条件,并进行方案主要影响因素或指标的权重向量赋值,最好借助期望值、效用函数计算等方法对多目标问题进行求解,获得满意解。

**4.2.1 主要影响指标的确定** 综合考虑数学模型计算、实体模型试验和原型试验观测成果以及渭河下游、三门峡库区生态系统和经济社会发展调查评价成果,采取指标敏感性分析、因子分析等方法,确定采用潼关高程控制、库区冲沙、影响人群、供水影响、生态与环境的影响、河道淤积、防洪及经济社会影响7项主要指标作为影响指标,分别进行权重赋值,运用多目标方法进行层次分析和演算,得出各个方案的优异度。这样确定主要影响指标,是基于下述两个方面的考虑:一是对有关各项影响决策的因素或说指标进行因子主成分分析,显现的主要指标向这7项指标归近;二是这7项指标下的代表标量可相对固定在考虑了实体模型试验和原型试验观测成果参照的某一组数模计算值上,或某一影响因素指标调查值上,而这些数值在该7项主要影响指标下的表征意义也就更广。

**4.2.2 权重赋值** 对三门峡水库的各个不同运用水位方案,在优异度计算中各指标权重对于优异度有重要影响,本文通过两种办法进行了权重赋值,一种是基于离差权法分析赋值,即根据掌握的资料和数据进行离差权法分析赋值权重,进行优异度计算;另一种是基于客观分析研究成果,并分别考虑三门峡库区和渭河下游生态系统及经济社会发展赋值权重,进行优异度计算。

**4.2.3 计算分析**

(1) 基于离差权法分析赋值权重计算优异度。离差权法的基本方法如下:根据式(2),每一个目标  $G_j(j=1, 2, \dots, n)$  下,标准化指标矩阵  $R=(\gamma_{ij})_{m \times n}$  的标准差  $\sigma_j$  为

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\gamma_{ij} - \bar{\gamma}_j)^2} \quad (6)$$

其中,  $\bar{\gamma}_j$  为标准化矩阵  $R=(\gamma_{ij})_{m \times n}$  在每一个目标  $G_j(j=1, 2, \dots, n)$  下的平均值,可表达为

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (7)$$

于是可以得到每一指标的权重系数  $\omega_j(j=1, 2, \dots, n)$ , 其中

$$\omega_j = \sigma_j / \sum_{j=1}^n \sigma_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

根据“潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究”课题组的研究成果<sup>[3]</sup>,并基于对该成果的一般性认识,为选择三门峡非汛期控制运用水位,多目标决策分析将三门峡水库不同运用方案中的方案3-1(即318m

汛敞)、方案4-1(即315m汛敞)、方案5-1(即310m汛敞)作为3个比选方案评价的背景方案,把方案1(即维持现状方案)和方案2(即全年敞泄方案)作为2个参选方案评价的背景方案,从中选取平水系列条件下的特征值作为各方案评价所需7个指标中某些指标的评价标量;同时根据三门峡水库不同运用水位对库区生态环境及社会经济影响调研报告<sup>[6]</sup>,获得各方案评价所需其余指标评价标量,然后进行优异度分析计算。比选方案(1)~(3)和参选方案(4)~(5)的指标标量,如表6所示。

表6 比选和参选方案指标标量矩阵

方案	库区冲沙影响 /亿t(+)	影响人群 万人(-)	供水影响 /万m <sup>3</sup> /年(+)	生态影响 /km <sup>2</sup> (+)	潼关高程控 制的影响 /m(+)	河道淤积影 响/亿t(-)	防洪及经济 社会影响 (+)
(1) (318m)	1.12	7	3760	184.5	1.11	1.19	0.5
(2) (315m)	1.19	14	3760	92.3	1.29	1.17	0.8
(3) (310m)	1.24	16	3290	38.0	1.47	1.15	0.5
(4) (现状)	0.43	2	6410	274.7	0.17	1.43	0.1
(5) (敞泄)	1.65	18	850	0.0	1.69	1.07	0.3

考虑到指标矩阵中存在的正负目标以及量纲的不统一,将指标矩阵转化为规范化矩阵,规范化矩阵如表7所示。

表7 指标规范化矩阵

方案	库区冲沙 影响(+)	影响人群 (-)	供水影 响(+)	生态影响(+)	潼关高程控 制影响(+)	河道淤积 影响(-)	防洪及经济 社会影响(+)
(1) (318m)	0.420	-0.243	0.418	0.534	0.394	-0.441	0.449
(2) (315m)	0.446	-0.486	0.418	0.267	0.458	-0.433	0.718
(3) (310m)	0.465	-0.556	0.366	0.110	0.522	-0.426	0.449
(4) (现状)	0.161	-0.069	0.713	0.795	0.060	-0.529	0.090
(5) (敞泄)	0.619	-0.625	0.094	0.000	0.600	-0.396	0.269

根据离差权法,得出各指标权重,如表8所示。

表8 离差权法指标权重

方案	库区冲沙 影响(+)	影响人群(-)	供水影响(+)	生态影响(+)	潼关高程控 制影响(+)	河道淤积 影响(-)	防洪及经济 社会影响(+)
权重	0.115	0.162	0.153	0.226	0.145	0.035	0.163

从表8可以看出,生态影响的权重最大,其次是防洪及经济社会影响、影响人群,再次是供水影响,潼关高程控制。这种赋权法只与指标数据间的相互关系有关,没有考虑各指标的现实重要性。

根据离差权法分析赋值权重计算,可以得出各方案优异度,如表9所示。从表9中可以看出,方案(1)

即水位318m运用方案为最优方案。

表9 各方案优异度值

方案	(1) (318m)	(2) (315m)	(3) (310m)	(4) (现状)	(5) (敞泄)
优异度	0.740	0.498	0.247	0.718	0.152

(2) 基于客观分析研究成果赋值权重计算优异度。这种赋权法是分别权衡各指标在所有指标中的重要性和影响度来赋值权重。对三门峡水库的各个不同运用方案选优, 根据主要影响指标的重要性, 将其分为不同的权重赋值位级, 7个主要影响指标中, 潼关高程控制是本次研究重中之重的论题, 排在第一, 列第一位级; 生态影响和供水影响列第二级; 影响人群、河道淤积、防洪及经济社会影响以及库区冲沙影响列第三位级; 考虑到三门峡水库运用方式的调整将影响到三门峡库区和渭河下游两个大的生态系统及经济社会发展区域, 因此, 为统筹兼顾、合理分析、科学比选, 分别以权重分配比6:4、5:5、4:6来考虑这两大生态系统及经济社会发展相对重要性的不同对整个问题分析的影响, 在此基础上, 再考虑各指标的重要性位级, 进行权重赋值, 见表10。

根据表10中给出的指标, 12组权重进行计算, 便可得到各方案优异度值, 见表11。

从表11可以看出, 若偏重考虑三门峡库区生态系统和经济社会发展, 以水位318m运用方案为最优; 若偏重考虑渭河下游生态系统和经济社会发展, 则以315m运用方案为最优; 若并重亦以318m运用方案为最优, 315m运用方案次之。

表10 权重赋值组案

权重赋值组案	库区冲沙影响 (+)	影响人群 (-)	供水影响 (+)	生态影响 (+)	潼关高程控制影响 (+)	河道淤积影响 (-)	防洪及经济社会影响 (+)
权重分配比	0.6						
1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.10	0.10
2	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.15	0.05
3	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20	0.10	0.10
权重分配比	0.5						
4	0.05	0.15	0.15	0.15	0.25	0.15	0.10
5	0.05	0.15	0.20	0.10	0.25	0.15	0.10
6	0.05	0.15	0.20	0.10	0.20	0.15	0.15
7	0.05	0.10	0.15	0.20	0.20	0.15	0.15
8	0.05	0.10	0.15	0.20	0.15	0.15	0.20
9	0.05	0.15	0.10	0.20	0.15	0.15	0.20
权重分配比	0.4						
10	0.05	0.15	0.10	0.10	0.20	0.20	0.20
11	0.05	0.10	0.15	0.10	0.3	0.10	0.20
12	0.05	0.10	0.10	0.15	0.3	0.10	0.20

表11 各方案优异度值

权重	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(1) (318m)	0.721	0.771	0.742	0.729	0.694	0.685	0.731	0.721	0.742	0.712	0.693	0.718
(2) (315m)	0.5429	0.393	0.481	0.580	0.629	0.654	0.572	0.621	0.594	0.746	0.800	0.755
(3) (310m)	0.411	0.275	0.318	0.464	0.533	0.473	0.353	0.319	0.293	0.514	0.666	0.593
(4) (现状)	0.592	0.733	0.696	0.563	0.553	0.571	0.633	0.614	0.608	0.373	0.297	0.331
(5) (敞泄)	0.346	0.253	0.249	0.379	0.389	0.286	0.243	0.163	0.166	0.360	0.519	0.491

**4.4 多目标分析的基本认识** (1)维持现状运用方案、全年敞泄运用方案均为不可取方案。维持现状运用,将会对渭河下游生态系统和经济社会发展带来制约性影响;全年敞泄运用,将会对三门峡库区及周边地区业已形成的生态系统和经济社会发展带来制约性影响。这与项目组研究成果的一般性认识一致。(2)三门峡水库非汛期控制运用最高水位采用318m和315m的运用方案均为可接受方案,318m略优于315m。通过客观分析研究成果赋值权重,进行优异度计算,318m和315m两个方案相差较小,优异度均较高;通过离差权重法分析赋值权重,进行优异度计算,虽然318m方案和维持现状运用方案的优异度均较高,但是对比两类赋值权重法分析计算结果,并考虑到基本认识(1),维持现状运用方案实际上是不可取方案。(3)多目标分析潼关高程控制和三门峡水库调度运用方案,并重三门峡库区和渭河下游生态系统以及经济社会发展,虽然非汛期控制运用水位最高不超过318m运用方案略优于315m方案,但若采用318m方案时,还需要增加非汛期平均水位的限制条件,且平均水位宜选择为315m。如项目组研究成果的一般性认识所述,实测资料分析表明,非汛期平均水位趋近315~316m,且由于点子密集,在314~318m之间存在一个转折区间,超过这一区间的某一平均水位时,潼关高程随水库运行水位升高的上升幅度将非常显著;多目标决策分析也认为,若更注重渭河下游生态系统及经济社会发展,以非汛期控制运用水位最高不超过315m为优。(4)非汛期控制运用水位最高不超过310m运用方案为优异度较低的方案。

## 5 探讨与展望

多目标、复杂问题的决策,有许多经典理论和成熟算法,本文将优异度决策理论和算法用于潼关高程控制和三门峡水库运用方式研究的分析,是初步尝试,未免以偏概全,旨在寻求对解决此类社会争论颇多、科研观点和结论不尽一致、矛盾论证交织甚至冲突、不确定性因素和困难较多的问题的一种思路。涉及潼关高程控制和三门峡水库调度运用的问题非常复杂,虽然相关的许多问题本文未能一一探讨,但是作者通过运用优异度算法对其中一些问题进行初步分析后,可以认为,其中很多问题都会触及诸多目标的决策,因此建议对这样的问题研究能考虑使用类似优异度的一些方法加以分析,以利决策。比如,根据黄河中、下游防洪形势和防洪系统现状,多目标的决策分析和选优支持这样的认识,即在相当长时期内,三门峡水库的防洪作用尚难以替代,但是其春灌和一般性防凌任务可以由小浪底水库承担。“潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究”课题组,借鉴以往大量的研究成果,全面考虑了三门峡水库建设与运用的历史,黄河及渭河水沙情况,渭河侵蚀基准面潼关高程变化以及社会与经济、生态与环境状况和影响,采取开放式的研究方式,多种论证方法并用,代表了当今这方面的研究方向和水平,其成果具有科学性、客观性和实用性,为将来这一问题的决策提供了坚实而有力的依据。基于对“潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究”的一般性认识,通过对比选及参选方案的多目标决策分析,即优异度计算,三门峡水库调度运用方式采用“非汛期最高控制水位不超过318m、平均水位不超过315m,汛期敞泄”是课题研究的可获得结论。但是,鉴于这一问题的复杂性、重要性和敏感性,以及研究中使用资料的时间性、研究方法和研究成果的可讨论性,该课题的研究工作必然是长期的,研究成果也必须在一定条件下深化。因此,课题研究的可获得

结论也必定是贴近期(3~5年或更长),并需要再得到近期实际运用资料继续加以论证的。

### 参考文献:

- [1] 关高程控制及三门峡水库运用方式研究项目课题组. 潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究总报告[R]. 2005.
- [2] 黄河水利委员会科技外事局, 三门峡水利枢纽局. 三门峡水利枢纽运用四十年[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [3] 杨庆安, 龙毓骞, 缪凤举. 黄河三门峡水利枢纽运用与研究[M]. 郑州: 河南人民出版社, 1995.
- [4] 潘家铮. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究(重大工程卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 陕西省三门峡库区管理局, 等. 陕西省三门峡库区防洪暨治理学术研讨会论文选编[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.
- [6] 中国水利水电科学研究院, 黄委会黄河水利科学研究院, 等. 三门峡水库不同运用水位对库区生态环境及社会经济影响调研报告[R]. 2004.
- [7] 刘宁, 王登瀛, 等. 实用多目标分析与优选[M]. 武汉: 武汉出版社, 1998.

## On the control of Tongguan elevation and operation mode of Sanmenxia Reservoir

LIU Ning

(Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

**Abstract:** Based on the large amount of model test, prototype observation and numerical simulation results for the control of Tongguan elevation and operation mode of the Sanmenxia Reservoir, the factors influencing the operation mode of the reservoir are concluded as 7 aspects and corresponding indexes for describing the substance of each aspect are given. Multi-objective decision making method is applied to search the optimal operation mode of the reservoir. It is concluded that the operation schemes with the highest water level of the reservoir lower than 318m and average water level not higher than 315m in dry season and all sluice installations being opened during flood season are suitable.

**Key words:** Tongguan elevation; Sanmenxia Reservoir; operation mode; highest water level; dry season; multi-objective decision making

(责任编辑: 王成丽)