

黄河中游干流骨干工程开发次序初步研究

李景宗,王海政

(水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院,河南 郑州 450003)

摘要:采用技术经济比较、多目标决策评价等方法,对待建的黄河中游干流控制性骨干工程碛口、古贤两水利枢纽的开发次序进行了初步分析比较,得出了先期开发古贤工程的结论。

关键词:梯级开发;多目标决策评价;黄河

中图分类号:TV882.1;C934

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)05-0024-04

1 问题的提出

根据黄河干流梯级工程开发规划,在龙羊峡以下的干流河段上布置了36座梯级枢纽工程,并形成以龙羊峡、刘家峡、大柳树、碛口、古贤、三门峡和小浪底等7大控制性骨干工程为主体的比较完整的综合利用工程体系。

黄河中游待建的碛口、古贤水利枢纽,工程规模巨大,静态投资都在100亿元以上,均位于黄河北干流河段。为适应流域国民经济的发展要求,考虑中央和沿黄各省(区)的财政承受能力,应分期安排碛口、古贤水利枢纽的建设。因此,碛口、古贤水利枢纽在客观上存在着开发次序问题。黄河干流骨干工程开发次序研究,既涉及工程本身的技术经济条件,又涉及国民经济发展对黄河中下游的防洪减淤和供水灌溉、水力发电等要求,是复杂的多目标决策问题。本文拟结合黄河干流骨干工程的特点,采用常规的技术经济比较和多目标决策评价相结合的方法,综合研究干流骨干工程的开发次序。

2 开发次序经济比较

2.1 工程概况

碛口水利枢纽位于黄河中游北干流中段,上距河口镇422 km,下距古贤坝址和禹门口分别为235 km和310 km,坝址控制流域面积431 090 km²,占全河的57.3%。水库总库容125.7亿m³,装机容量1 800 MW,最大坝高143.5 m。古贤水利枢纽位于黄河北干流下段,上距碛口坝址235.4 km,下距壶口瀑布和禹门口分别为10.1 km和75 km,坝址控制流域面积489 948 km²,占全河的65.1%。水库总库容153

亿m³,装机容量2 560 MW,最大坝高186 m。作为控制黄河中游洪水泥沙的骨干工程,碛口和古贤水利枢纽都具有防洪减淤、发电、供水灌溉等综合效益。

2.2 工程作用和效益比较

a. 防洪作用和效益比较。碛口、古贤水利枢纽的防洪保护范围主要为黄河禹门口至潼关河段(简称小北干流)及渭河、北洛河下游的三门峡库区。古贤水库防洪库容较大,可控制黄河北干流的洪水,对龙门断面的洪峰流量削峰作用较大,大部分洪水都能控制在6 000 m³/s以下,使小北干流滩区及沿河村庄群众的安全得到保证,减少黄河洪水对渭河顶托倒灌的影响,并有利于小北干流和渭河下游的河道治理。根据实测资料统计,黄河龙门站的洪峰和洪量主要来自碛口以上。碛口水库防洪运用,可将其入库洪峰流量削减28%~66%,从而削减了龙门断面的洪峰流量。但对于碛口以下发生的洪水,碛口水库对小北干流的洪水削峰作用小于古贤水库。因此古贤水库的防洪效益大于碛口水库。此外,若碛口水库先于其下游的古贤或甘泽坡水库修建,在可削减下游枢纽工程的施工洪水、节约施工导流投资方面优于古贤水库。经分析,计算期内古贤、碛口水库的防洪经济效益现值分别为22 611万元和5 233万元。

b. 减淤作用和效益比较。碛口、古贤水库的拦沙量分别为144亿t和139亿t,对黄河下游的减淤作用差别不大。碛口、古贤水库分别与三门峡和小浪底水库联合运用,可分别减少黄河下游河道淤积量150亿t和153亿t,分别相当不淤年数40.4 a和41.1 a。古贤水库可以很好地控制黄河小北干流的洪水和泥沙,对黄河小北干流及三门峡库区的减淤作用大于碛口水库。古贤水库减淤运用,对于降低潼关河床高

程、稳定渭河下游河势、减少渭河下游河道淤积、提高渭河下游防洪能力,优于磻口水库。经分析,计算期内古贤、磻口水库的减淤经济效益现值分别为 107 140 万元和 104 602 万元。

c. 供水灌溉作用和效益比较。磻口、古贤水库都有一定的调节库容,对径流都有一定的调节作用,无论先建哪座水库,都能满足龙门灌区近期及远期的用水量要求,因此两座枢纽对龙门灌区的径流调节作用是相同的。但古贤水库距禹门口 75 km,在初期拦沙运用期间,对龙门灌区的引水引沙量起到较好的控制作用,对改善灌区引水引沙条件,减少泵站机械及水工建筑物磨损方面,优于磻口水库。经分析,计算期内古贤、磻口水库的灌溉供水经济效益现值分别为 60 803 万元和 53 390 万元。

d. 发电作用和效益比较。古贤水电站装机容量 2 560 MW,保证出力 415 ~ 466 MW,50 年平均发电量 71.6 亿 kW·h。磻口水电站装机容量 1 800 MW,保证出力 289 ~ 328 MW,50 年平均发电量 45.3 亿 kW·h。两水电站在西北、华北电网中均可承担调峰发电任务。从长远看,古贤水电站发电作用大于磻口水电站。因受近期西北、华北电力系统负荷增长速度减缓的影响,先建古贤水利枢纽,在 2020 年前 2 560 MW 的装机容量可能部分空闲,不能充分发挥调峰作用。磻口水电站装机容量比较适中,若在 2015 年前后投入电力系统,即可充分发挥调峰发电作用。因此,在 2020 年前,两电站在电网中的调峰作用基本相当。经分析,计算期内古贤、磻口水库的发电经济效益现值分别为 733 176 万元和 720 993 万元。

2.3 技术经济比较

a. 国民经济评价指标。磻口、古贤两水利枢纽的投资按照相同的方法,同一价格水平年(1998 年)估算,磻口的静态投资为 126.13 亿元,古贤静态投资为 166.47 亿元;扣除税金、计划利润等内部转移支付,调整为国民经济评价投资分别为 109.29 亿元和 151.63 亿元。根据估算的经济效益和费用,编制磻口、古贤水利枢纽国民经济效益费用流量表,计算经济内部收益率,分别为 15.9% 和 13.6%。

b. 开发次序经济比较。古贤水利枢纽投资较大,磻口较小,故认为古贤项目为磻口项目增加投资后的方案,采用差额投资经济内部收益率法,分析磻口项目的增量投资获得的收益是否达到社会折现率的要求,对两项目的开发次序进行比较。

经济比较主要分析两种情况:①假设古贤和磻口项目的最早开工时间相同,经计算,两方案的差额投资内部收益率为 9.6%;②考虑目前磻口、古贤水利枢纽前期工作的进展情况,古贤项目与磻口项目

的最早开工时间不同(估计古贤比磻口晚 5 年开工),两方案的差额投资内部收益率为 8.1%。上述两种情况的差额投资内部收益率均小于 12% 的社会折现率,说明从经济比较来看,先期开发磻口项目较开发古贤项目为优。

3 开发次序多目标决策评价

磻口、古贤水利枢纽开发次序优选,不仅有经济目标,尚有社会发展和生态环境等目标,这些往往为难以定量的非经济目标。因此,在技术经济比较的基础上,采用多目标决策评价方法,优选磻口、古贤两座骨干工程的开发次序。

3.1 开发次序优选的递阶层次结构

针对影响开发次序选择的各种因素,结合研究问题的特点和要求,通过调查分析,拟定社会、经济、生态环境三个评价目标。按照决策准则或因素之间的相互关联影响及隶属关系,将评价目标按不同层次递阶分解为 6 个评价子目标、24 个评价指标,递阶层次结构见图 1。

3.2 定性评价指标隶属度确定

由于磻口、古贤工程的开发次序研究涉及经济、社会、生态、环境等诸多方面,一些指标很难定量,需对其做模糊统计。

3.2.1 评语集(V)及标准隶属度集(U)

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$$

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$$

参考有关文献和研究成果,结合研究问题特点确定 U, V 分别为

$$V = \{V_1(\text{很好}), V_2(\text{较好}), V_3(\text{一般}), V_4(\text{较差}), V_5(\text{很差})\}$$

$$U = \{1.0(\text{很好}), 0.8(\text{较好}), 0.5(\text{一般}), 0.2(\text{较差}), 0.0(\text{很差})\}$$

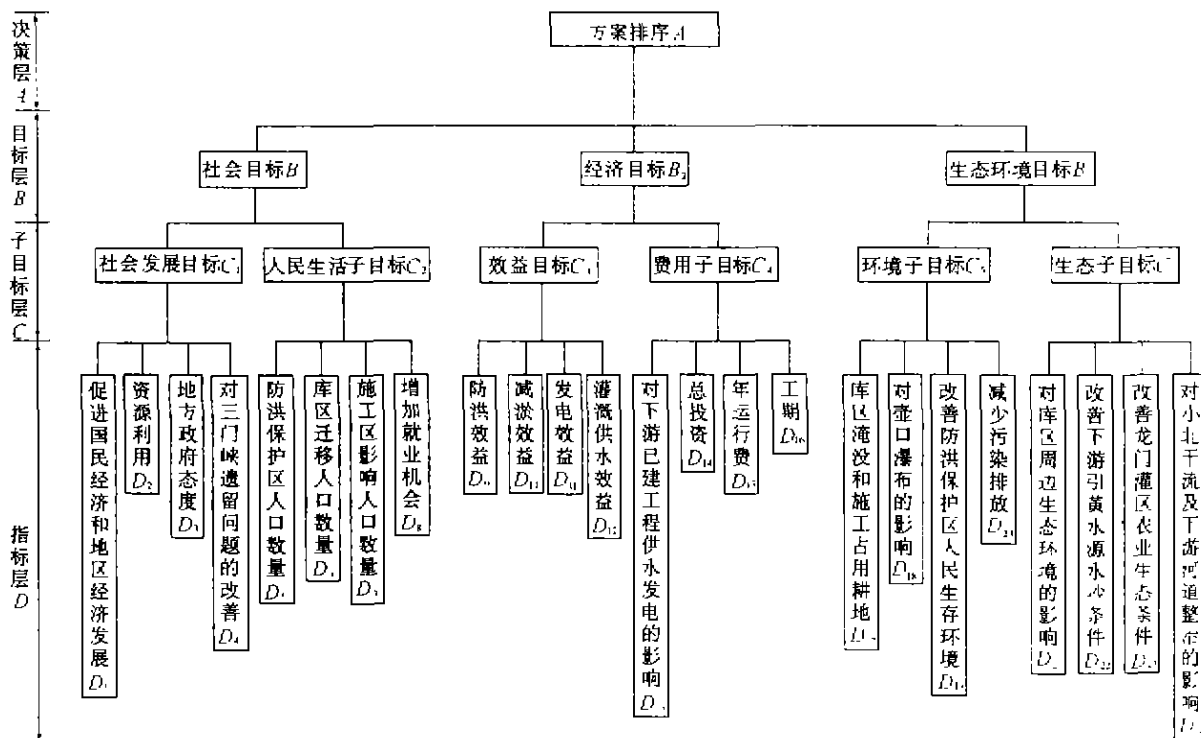
3.2.2 定性指标隶属度计算

根据拟定评语集,向有关专家发放定性指标专家评语,要求每位专家参阅相关资料,在评语集内选择认为最合适的评语。依据专家的评语,进行统计分析,计算定性指标($D_1, D_2, D_3, D_8, D_{18}, D_{19}, D_{21}, D_{22}, D_{23}, D_{24}$ 共 10 个)的隶属度。

3.3 评价目标权重分析与确定

3.3.1 发放专家征询意见表

确定权重是进行多目标综合评价的关键,为减少人为因素的影响,本研究采用德尔非法与层次分析法相结合,即聘请有经验专家打分,要求每位专家按 1~9 比率标度值含义(1,3,5,7,9 分别表示同样重要、稍微重要、明显重要、强烈重要、极端重要;2,



4,6,8 为介于 1,3,5,7,9 的中间情况;各整数的倒数表示后者比前者重要,程度同前)中规定,分别对各评价指标层进行两两比较,给出标度,并依此构造判断矩阵,确定权重。

3.3.2 权向量计算及一致性检验

层次分析法主要是计算判断矩阵最大特征根、特征向量,其步骤为:① 计算判断矩阵每一行元素乘积 $M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n$; ② 计算 M_i 的 n 次方根 $\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$; ③ 向量 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 归一化 $W'_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j}$, 则 $W' = [W'_1, W'_2, \dots, W'_n]^T$ 即为所求特征向量——权重。

一致性检验主要是检验各指标两两间打分是否有矛盾。其步骤为:① 计算判断矩阵最大特征根; $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A \cdot W)_i}{n \cdot W_i}$, 式中, A 为判断矩阵; W 为权向量; $(A \cdot W)_i$ 表示 $A \cdot W$ 矩阵相乘后的合成矩阵 $(A \cdot W)$ 的第 i 个因素; n 为判断矩阵阶数; W_i 为权向量第 i 个元素。② 计算判断矩阵偏离一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 。③ 由已知矩阵阶数,确定平均随机一致性指标 RI 。④ 随机一致性比率 CR 计算。若判断矩阵中两两指标间满足一致性要求 ($CR \leq 0.10$ 具有满意的一致性), 权向量计算结果有效。

3.3.3 层次排序

构造判断矩阵后,对于上一层某因素而言,本层次与之相联系因素有重要性次序权值,这就是层次单排序,利用层次单排序,计算针对上一层而言本层次所有因素权重,即为层次总排序,经对 14 位有经验的专家咨询表统计计算,社会、经济、生态环境目标的权重分别为 0.352、0.312、0.336。

3.3.4 逼近于理想解的规划排序模型

3.3.4.1 决策矩阵规范化

各方案指标值构造为如下决策矩阵:

$$[x_{ij}]_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{方案 1} & \text{方案 2} & \cdots & \text{方案 } n \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{指标 1} \\ \text{指标 2} \\ \vdots \\ \text{指标 } m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

决策矩阵使用原指标值,不便于比较,故此,将其规范化,采用的变换是区间相对值化或线性变化,即

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \quad (2)$$

$$z_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - \max_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \quad (3)$$

式中: x_{ij} 为第 j 方案第 i 行指标值; $\max_j$ 为所有方案第 i 行最大指标值。

式(2)适用于效益型指标,如防洪减淤、供水灌溉、发电效益等;式(3)适用于成本型指标,如投资

淹没损失等。

3.3.4.2 建立排序模型

逼近于理想解的排序方法是借助于多目标决策问题的“理想解”和“负理想解”去排序。虽然,原有方案集中一般并没有这种理想解和负理想解,但若将实际解与理想解和负理想解作比较,如其中有一个解最靠近理想解,同时又远离负理想解,这个解即是方案集中最好解,用这种方法可将所有方案排序。

推广到一般情况,设研究 n 个方案和 m 个属性的决策问题,采用欧几里得范数作为距离测度,解 x^i 到理想解 x^* 的距离。

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中: x_{ij} 是解 x^i 的第 j 个分量,即第 j 个属性的规范化加权值; x_j^* 是理想解 x^* 第 j 个分量。类似,可定义解 x^i 对负理想解 x^- 的距离。

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

此外,还定义某一解 x_i 对理想解相对接近度为

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad 0 \leq C_i^+ \leq 1$$
$$i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

因此,如 x^i 为理想解 x^* ,则 $C_i^+ = 1$;如 x^i 为负理想解 x^- ,则 $C_i^+ = 0$ 。一般解(方案) C_i^+ 值为 $0 \sim 1$, C_i^+ 值愈接近 1,则相应方案愈应排前。

3.3.5 多目标决策评价结果

根据碛口、古贤水库的定性指标隶属度值、定量指标值,按照上述模型分别计算两工程相应的无量纲化指标值、权重值、理想解、负理想解等。经计算,先期开发碛口、先期开发古贤对理想解相对接近度分别为 0.4758 和 0.5242。由此可见,先期开发两工程的任一个,对理想解的接近程度均在 0.5 左右,相对而言,先期开发建设古贤水利枢纽略有优势。

4 结 论

a. 在小浪底水利枢纽建成之后,需要继续建设黄河干流控制性骨干工程,无论先建碛口或先建古贤工程,对实现黄河下游的长治久安、进一步开发黄河的水利水电资源、发展国民经济都是有利的。

b. 为了以较少的投入产生较大的效益,在小浪底工程建成之后,先期开发建设碛口水利枢纽较有利;但综合考虑社会、经济、生态环境因素,先期开发古贤水利枢纽较有利。考虑到黄河干流骨干工程的开发建设应以社会、生态环境效益为主,本研究推荐先期开发古贤水利枢纽。

参考文献:

- [1] 陈珏. 决策分析[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [2] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- (收稿日期:2000-03-06 编辑:张志琴)
- (上接第8页)
- [16] 王芝银、李云鹏. 岩土力学数值分析进展与思考[A]. 岩石力学理论与实践[C]. 郑州:黄河水利出版社,1997(6):7~13.
- [17] Ledesma A, Alonso E E. Probabilistic back analysis using a maximum likelihood approach [A]. Proceedings 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering[C]. Brazil, 1989(2):849~852.
- [18] Ledesma A, Gens A, Alonso E E. Estimation of parameters in geotechnical back analysis — I: Maximum Likelihood Approach [J] Computers & Geotechnique, 1996, 18(1):1~27.
- [19] 袁勇. 围岩弹塑性参数反算的极大似然法[J]. 工程勘察, 1991(5):5~7.
- [20] Hoshiya M, Yoshida I. Identification of conditional stochastic Gaussian field[J]. J of Engineering Mechanics ASCE, 1996, 122(2):101~108.
- [21] Asaoka A, Matsuo M. Bayesian approach to inverse problem in consolidation and its application to settlement predication[A]. Proceedings 3rd International Conference on Numerical Method in Geomechanics[C]. Archen, 1979.
- [22] Cividini A, Maier G, Nappi A. Parameter estimation of a static geotechnical model using a Bayes' approach[J]. Int J Rock Mechanics Mining Science & Geotechnical Abstract, 1983, 20(5):215~226.
- [23] Gioda G, Sakurai S. Back analysis procedures for the interpretation of field measurements in geomechanics[J]. Int J for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1987(11):555~583.
- [24] Honjo Y, Liu W T, Soumitra G. Inverse analysis of an embankment on soft clay by extended Bayesian method[J]. Int J for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1994(18):709~734.
- [25] Hoshiya M, Saito E. Structural identification by extended Kalman filter[J]. J of Engineering Mechanics, ASCE, 1984, 110(12):1757~1770.
- [26] Murakami A, Hasegawa T. Observational prediction of settlement using Kalman filtering theory[A]. Proceedings 5th International Conference on Numerical Method in Geomechanics[C]. Nagoya, 1985.
- [27] 刘维宁. 岩土工程反分析方法的信息论研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1993, 12(3):193~205.
- [28] 蒋树屏. 扩张卡尔曼滤波器有限元耦合算法及其隧道工程应用[J]. 岩土工程学报, 1996(2):11~19.
- (收稿日期:2000-04-17 编辑:张志琴)