

文章编号:1009-3087(2014)01-0068-07

# 基于上-下游水电站协商定权的施工导流方案决策模型

张超<sup>1,2</sup>, 胡志根<sup>2\*</sup>

(1. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川成都 610072; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北武汉 430072)

**摘要:**基于上游水电站控泄的施工导流方案决策具有多目标性和双边冲突性特点,提出了将上游水电站汛限水位和下游水电工程施工导流标准的组合作为施工导流方案可行集,在建立方案综合评价指标体系的基础上,考虑水文、水力不确定性,利用 Monte-Carlo 方法估算各风险效益指标值。基于协商定权理论,将指标权重的分配作为决策过程中上-下游水电站之间冲突和争议的焦点,构筑冲突双方的协商定权局势,并将熵权引入到损失函数计算模型的构建中。工程实例分析表明,模型和方法是可行的、有效的,协商后的指标权重分配更加均衡与全面,反映了双方冲突的协调与解决,决策结果可靠,为上游水电站控泄条件下施工导流方案优选与风险调控提供了新的思路和方法。

**关键词:**施工导流方案;协商定权;控泄;汛限水位;冲突;熵权

**中图分类号:**TV551.1

**文献标志码:**A

## Decision Model of Construction Diversion Scheme Based on Bargaining Weigh Between Upstream and Downstream Hydropower Station

ZHANG Chao<sup>1,2</sup>, HU Zhi-gen<sup>2\*</sup>

(1. Hydrochina Chengdu Eng. Co., Chengdu 610072, China;

2. State Key Lab. of Water Resources and Hydropower Eng. Sci., Wuhan Univ., Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Scheme decision-making on the construction diversion based on discharge control of the upstream hydropower station is characterized by multi-objective and bilateral conflictive. The combination of the upstream reservoir limited water level and the downstream hydropower station construction diversion standard were used as diversion scheme set. Based on the establishment of comprehensive evaluation index system and with the consideration of the randomness of the hydrological and hydraulic, Monte-Carlo method was used to estimate every risk-performance evaluation index. Based on bargaining weight theory, the weight distribution was regarded as focus of conflict and dispute between upstream and downstream hydropower station in the decision process, a bargaining weigh situation was set up, and the improved entropy weight was introduced to establish loss function calculating model. Engineering case analysis showed that this model and method are practical and effective, the weight distribution after negotiation is more balanced and overall, reflects the coordination and solving of conflict, and decision results are reliable.

**Key words:** construction diversion scheme; bargaining weight; discharge control; limited water level; conflict; entropy weight

中国正积极推动西南地区流域梯级水电站的整体有序开发,包括雅砻江、大渡河、金沙江等西部流域水电基地。施工导流方案决策是水电工程施工管理的关键内容,直接影响水利水电工程投资、进度、安全、效益,以及全局部署。目前,大多数水电工程施工汛期面临上游已建水电站的控泄影响,上-下

游水电站之间联系紧密,且决策过程牵扯不同的利益主体。因此,迫切需要对上游水电站控泄条件下的施工导流方案多主体决策理论和方法展开系统研究。

针对水电工程导流风险决策问题,胡志根等<sup>[1]</sup>建立了施工导流方案多目标风险决策模型。张超等<sup>[2]</sup>建立了施工导流随机模糊风险模型,并引入最大熵原理进行求解。刘澍等<sup>[3]</sup>建立了施工导流的风险补偿机制,但未考虑各指标间的相对重要性。水库汛限水位是影响水库防洪与发电等综合效益的关键指标,冯平等<sup>[4]</sup>基于风险分析理论,探讨了汛限水位抬高的可能性。王本德等<sup>[5]</sup>构建了水库汛

收稿日期:2013-04-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51279137;10902078)

作者简介:张超(1985—),男,工程师,博士。研究方向:施工导截流风险分析与决策。

\* 通信联系人 E-mail: zhigenhu@163.com

限水位的综合评价指标体系,并给出汛限水位的模糊优选方法。水电站的梯级建设可以在汛期利用上游水电站在洪水来临前提前预泄降低汛限水位的方法减小下游导流流量,达到减少导流工程投资的目的<sup>[6]</sup>。但该途径同时改变了上游水电站系统与下游导流系统的多项风险效益指标和功能属性,有必要将二者耦合起来构建导流系统综合评价指标体系,以期在整体上进行优化和协调。

另外,通过此方式来优化下游施工导流方案涉及到上-下游不同的管理部门和单位,而上游水电站管理部与下游工程建设部风险偏好不同,价值取向存在差异性,在导流方案决策过程中往往会出现冲突和争议,而决策指标信息是客观存在的,那么冲突和争议的焦点应该落在双方对各决策指标所赋予的主观权重上。例如:上游水电站管理部会较看重水库本身的防洪发电效益,对水库指标赋予较大权重;下游工程建设单位则更看重导流工程的投资及安全,对导流系统指标赋予较大的权重。因此,如果上-下游水电站能够对指标权重的分配达成一致,就能互相妥协而形成相对一致的意见和决策结果。协商理论为科学有效地协调和解决决策过程中各主体之间冲突和争议提供了一定的原理和准则。Sgobbi 等<sup>[7]</sup>将协商理论应用到意大利东北部皮亚韦河水资源的分配问题中。童中翔等<sup>[8]</sup>将协商定权方法应用于飞机生存力的评价中,有效协调了各专家意见上的冲突和分歧。但是,损失函数模型的构建中仅考虑了决策者主观不一致性,而忽略了指标本身所提供的客观信息量对权重的贡献。

鉴于此,作者将基于上游水电站控泄的施工导流系统视为整体,探讨通过上游水电站汛限水位和下游水电站施工导流标准的共同调整来优选施工导流方案,建立系统整体综合评价指标体系。进而针对上-下游水电站决策过程中在指标权重分配上存在的冲突和分歧,基于协商定权理论,构筑上-下游水电站的协商定权局势,并引入熵权来建立损失函数计算模型。通过案例分析,详细阐述指标的估算与协商决策过程,为上游水电站控泄条件下施工导流方案设计及多主体决策提供新的途径。

## 1 基于上游水电站控泄的施工导流方案评价指标体系

梯级水电开发条件下,若上游已建水电站库容较大,且调蓄能力较强时,可以考虑利用上游水电站对洪水的控制能力来调节下游施工导流流量。设区

间汇流较小,汛期洪水以上游来水为主,系统示意图如图 1 所示, $Q_A(t)$  为上游水电站 A 的入库天然洪水过程, $q_A(t)$  为上游水电站 A 控泄洪水过程, $Q_B(t)$  为下游水电站 B 经河道调蓄后的洪水过程, $q_B(t)$  为下游水电站 B 的导流建筑物泄流洪水过程。

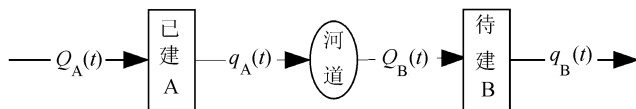


图 1 系统整体示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the whole system

将上游已建梯级水库系统与下游施工导流系统耦合起来进行研究。由于上游 A 的控泄调度规则一般由防汛指挥部门制定而较难改变,而主汛期洪水过程影响下上游 A 汛限水位的调整一方面改变了水库本身的风险效益指标值,另一方面改变了上游下泄洪水过程,从而影响下游 B 施工导流风险决策。同时,下游水电站 B 的导流标准与导流风险相对应,影响导流工程投资、施工强度、溃堰风险损失等指标。因此,选择上游水电站 A 的汛限水位  $H_{AS}$  和下游水电站 B 导流标准  $\beta_B$  2 个可控制要素的组合  $(H_{AS}, \beta_B)$  作为导流方案集,考虑主要风险效益指标,建立系统整体综合评价指标体系见图 2。

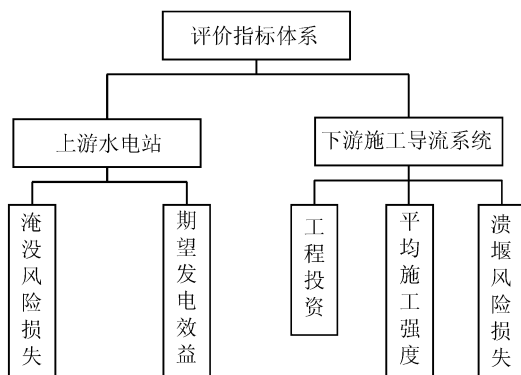


图 2 系统评价指标体系

Fig. 2 System evaluating indicator system

### 1.1 上游水库风险效益指标

上游已建水电站库容大且调蓄能力较强的情况一般为大型工程,甚至超大型工程,其工程等别远远高于下游待建水电站的围堰工程,但上游水电站 A 发生溃坝失事事件概率一般情况下极小,且汛限水位控制域和水库调度规则也是在首先保坝的前提下确定的,因此,暂不考虑溃坝风险。则上游水电站 A 防洪风险<sup>[5]</sup>定义为,给定汛限水位控制域范围内某一汛限水位  $H_{AS}$ ,在汛期洪水过程影响下,洪水经过水库调度规则的动态控制后,坝前所能达到的最高水位为  $Z_{Am}(t)$ ,其超过大坝允许最高洪水水位  $Z_{HA}$  的

风险  $R_A$  表达为:

$$R_A = P(\max(Z_{Am}(t)) > Z_{HA}) \quad (1)$$

大坝允许最高洪水  $Z_{HA}$  可选择设计洪水位、校核洪水位、坝顶高程、库区淹没允许高程等风险控制指标。实际上,上游水电站坝前水位超过设计水位可能性极小,只要不超过设计水位就可以按照自身调度运行,但由于中国特殊的国情及地形地貌,库区内的村庄、房屋、农田、铁路等均存在被淹没的可能。考虑到各种淹没损失、补偿标准等难以统一,为简化模型,仅考虑耕地被淹没的情况,则定义  $Z_{HA}$  为上游库区淹没允许高程,则水库库区第  $n$  年一次淹没损失估算模型:

$$L_A(n) = \alpha_A S_A (1 + \eta) \quad (2)$$

式中,  $L_A$  为一次水库库区耕地淹没损失,  $\alpha_A$  为亩均损失费用,  $S_A$  为淹没面积,  $\eta$  为间接损失系数。

因此,若下游 B 导流围堰运行期为  $k$  年,则上游 A 水库淹没风险总损失  $SL_A$  表达为:

$$SL_A = \sum_{n=0}^k L_A(n) (1 + i)^{-n} \quad (3)$$

式中,  $i$  为淹没损失费用折算到工程投资概算基准年的折现率。显然  $k$  年内上游 A 水库淹没风险损失  $SL_A$  是风险  $R_A$  的函数。

仅考虑水库汛期发电量。水库迎接汛期洪水时,水库库水位调节到汛限水位,按规划设计的调洪方式及规则进行调洪,不同汛限水位对应汛期的发电效益设为  $F_A$ ,可利用水库控泄调度过程中各时段的水位和泄流量求取,表达为:

$$F_A = \int_0^T 9.8 p \eta h_A(t) q_A(t) dt \quad (4)$$

式中,  $T$  为汛期上游水电站 A 洪水过程总时长,  $p$  为水电站所在地区上网电价,  $\eta$  为水轮机发电效率,  $h_A(t)$  为水库各时段净水头,  $q_A(t)$  为各时段经过水轮机的流量。

## 1.2 下游水电站围堰设计及风险

上游水电站控泄影响下,导流标准  $\beta_B$  对应的围堰设计高程拟定方法为,在上游水电站遭遇某一频率  $\beta_B$  的洪水过程下,控泄洪水演进到下游 B,再由围堰调蓄后的堰前最高水位加上一定安全超高得到围堰设计高程,记为  $Z_{HB\beta}$ 。那么下游 B 施工导流风险表达为:

$$R_B = P(\max(Z_B(t)) > Z_{HB\beta}) \quad (5)$$

式中,  $Z_B(t)$  为下游 B 堰前水位变化过程。

## 1.3 系统评价指标估算

根据系统特点,上游 A 对洪水的调控作用是动

态的,并且系统运行受到各种不确定性因素影响。作者考虑的主要随机因素为:服从 P-III 型分布的上游水电站断面洪水洪峰值、服从三角形分布的上游水电站泄洪流量系数和下游水电站导流泄流量系数。因此,基于 Monte-Carlo 方法,各指标值具体计算步骤如下:

Step1:采用 Monte-Carlo 方法随机生成上游 A 洪水洪峰系列、上游 A 泄洪曲线系列、下游 B 导流泄流能力曲线系列,按峰放大典型洪水过程生成上游洪水过程系列。

Step2:对系列的每次洪水过程经过上游水电站控泄调度和河道洪水演算,以及下游导流围堰调蓄计算后,按式(1)和(5)统计分析便可求得  $R_A$  和  $R_B$ 。

Step3:通过式(3)易得上游 A 淹没风险损失  $SL_A$ 。同时,依据式(4)可利用该系列的每次洪水过程求得发电量  $F_A$  组成系列的期望值  $\overline{F_A}$  作为上游期望发电量。

Step4:求得  $R_B$  和  $Z_{HB\beta}$ ,参考文献[1]建立的导流标准风险决策模型估算下游水电站 B 的施工强度  $D_B$ 、导流工程投资  $C_B$ 、溃堰风险损失  $C_{BR}$  指标值。

## 2 双边协商定权决策模型

### 2.1 决策模型

中国大多数流域是由单一主体投资建设,按照梯级滚动综合开发的模式进行规划、建设、运行、管理,如雅砻江、大渡河、澜沧江流域等。当需要上游水电站配合调整汛限水位来优化下游水电工程施工导流方案时,虽然上游水库管理部和下游工程建设部利益倾向不同,难免在决策过程中出现冲突与争议,但双方理应有形成一致决策结果的意愿,从而形成上-下游水电站双边协商定权的局势,在所提出的可行方案中进行权重的协调和分配优选双方均能满意的施工导流方案。

任何科学的决策都应遵循一定的原理和准则,协商定权理论方法<sup>[8]</sup>是以双方评价最小损失为准则,将指标权重调整到冲突双方均能接受的最佳状态。设上-下游水电站共同挑选  $n$  个可行备选施工导流方案,各方案  $(H_{AS}, \beta_B)$  都对应  $m$  个指标,指标评价矩阵为  $Y_n = (y_{ij})_{n \times m}$ ,其中,  $y_{ij}$  为第  $i$  个导流方案的第  $j$  个目标值,其中,  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;  $j \in M = \{1, 2, \dots, m\}$ 。

首先,需要对导流方案决策指标评价矩阵规范化处理,则对于效益型目标,其无量纲指标值:

$$r_{ij} = (y_{ij} - \min_j y_{ij}) / (\max_j y_{ij} - \min_j y_{ij}), i \in N.$$

成本型:

$$r_{ij} = (\max_j y_{ij} - y_{ij}) / (\max_j y_{ij} - \min_j y_{ij}), i \in N。$$

指标评价矩阵规范化后转换为  $R_n = (r_{ij})_{n \times m}$ , 由于上游管理部 U 和下游工程建设部 D 出于自身利益及安全考虑, 对各指标的偏好和重视程度不同, 必然产生一定的冲突和分歧。考虑到 AHP 方法是通过决策者对各指标进行主观比对确定权重, 能够反映 U 和 D 对各指标的不同偏好, 采用 AHP 方法确定各指标主观权重, 设 U 赋予决策指标  $y_j$  的主观权重记为  $u_j$ , 且  $u_j \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^m u_j = 1$ , 而 D 赋予指标  $y_j$  的主观权重记为  $d_j$ , 且  $d_j \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^m d_j = 1$ 。基于协商定权理论, 构筑 U 和 D 的协商定权局势数学模型为:

$$W = f_{xs}(W_u, W_d, R_n) \quad (6)$$

式中,  $W = [w_1, w_2, \dots, w_m]$  为双方协商后的最终指标权重,  $f_{xs}(\cdot)$  为协商定权规则函数,  $W_u = [u_1, u_2, \dots, u_m]$  为 U 提供的主观权重向量,  $W_d = [d_1, d_2, \dots, d_m]$  为 D 提供的主观权重向量。

## 2.2 协商定权方法的改进

以往协商定权方法利用最小损失法来确定双方都可接受的协商系数, 但是损失函数计算模型中忽略了指标客观权重对决策方案评价值的贡献, 确定的权重实际上为双方通过协商后获得的主观权重。因此, 应将主观权重与客观权重相结合, 达到主观与客观的统一。依据客观赋权的熵权法原理, 为反映指标本身提供的客观信息量, 利用能够反映不同指标间数据变异程度的熵权来确定指标客观权重。

考虑到传统熵权具有一定局限性, 即当指标熵值接近于 1 时, 各指标间微小的差别都能引起计算所得熵权成倍变化。周惠成等<sup>[9]</sup>为克服该缺点, 定义了改进后的熵权计算表达式为:

$$\beta_i = \frac{\sum_{k=1}^m E_k + 1 - 2E_i}{\sum_{i=1}^m (\sum_{k=1}^m E_k + 1 - 2E_i)} \quad (7)$$

式中,  $E_i$  为评价指标  $y_i$  的熵值。

因此, 将改进后的熵权与上-下游水电站根据 AHP 方法原理给出的主观权重相结合, 则上游水库管理部 U 得到各指标的综合权重为  $p_j = u_j \beta_j / \sum_{j=1}^m u_j \beta_j$ , 而下游工程建设部 D 得到各指标的综合权重为  $q_j = d_j \beta_j / \sum_{j=1}^m d_j \beta_j$ , 从而将传统协商定权方法对双方给出的主观权重的协调变成对双方给出的

综合权重的协调。

基于协商定权理论, 易得 U 和 D 对指标的协商区间  $H_j = [\min\{p_j, q_j\}, \max\{p_j, q_j\}]$ , 其中,  $j = 1, 2, \dots, m$ ; 协商区间  $H_j$  的宽度为  $l(H_j) = \max\{p_j, q_j\} - \min\{p_j, q_j\}$ , 区间中点为  $mid(H_j) = (p_j + q_j)/2$ , 则双方关于指标  $y_j$  的协商权重可表达为:

$$w_j(\varepsilon) = mid(H_j) + \varepsilon_j \cdot l(H_j), j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

式中,  $\varepsilon_j$  为对于指标  $y_j$  的协商系数, 满足  $|\varepsilon_j| \leq 1/2$ , 反映了双方在协商过程中的地位、权利等级或妥协程度。

为使得最终确定的权重能被双方所接受, 首先定义方案评价损失函数为:

$$S(\varepsilon) = \sum_{i=1}^n [(z_i - z_{ui})^2 + (z_i - z_{di})^2] \quad (9)$$

式中, 协商系数矩阵  $\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n]^T$ , 双方协商后对方案  $i$  的综合评价价值  $z_i = \sum_{j=1}^m w_j(\varepsilon) \cdot r_{ij}$ , U 对方案  $i$  的综合评价价值  $z_{ui} = \sum_{j=1}^m p_j \cdot r_{ij}$ , D 对方案  $i$  的综合

评价价值  $z_{di} = \sum_{j=1}^m q_j \cdot r_{ij}$ 。

显然, 评价损失函数模型考虑了客观权重的贡献。为求得最终的协商系数  $\varepsilon$ , 使双方综合评价损失同时达到最小, 将协商定权问题转换为求解下列非线性优化问题:

$$\begin{aligned} \min S(\varepsilon) &= \min \left\{ \sum_{i=1}^n [(z_i - z_{ui})^2 + (z_i - z_{di})^2] \right\}, \\ \text{s. t. } |\varepsilon_j| &< 1/2, \varepsilon_j \neq 0, j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (10)$$

上述优化问题为多维非线性最优化问题, 采用 PSO 粒子群优化算法求解得到协商系数  $\varepsilon$ , 从而求得各指标最终协商综合权重  $W$ 。

最后, 由  $z_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot r_{ij}$  求出各方案最终综合评价价值  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_N\}$ , 以最高评价价值  $l_{opt} = \max(l_1, l_2, \dots, l_N)$  为双方协商后均可接受的施工导流方案。

## 3 工程案例分折

### 3.1 工程概况

某流域已建水电站 A, 是一座以发电和防洪为主的综合应用水电工程。目前, 正规划建设位于水电站 A 下游的梯级水电工程 B, 其初期导流方式拟采用不过水土石围堰全年挡水标准和隧洞泄流的方式, 根据文献<sup>[10]</sup>的规定, 导流建筑物为 3 级临时建筑物, 经

综合分析,设计洪水标准对应重现期 20 ~ 50 a。根据流域地理和水文特点,主汛期主要以上游水电站 A 遭遇洪水为主,水库库区有耕地,允许淹没高程为 332 m。初期导流考虑利用上游水库汛限水位的调整来优化下游水电站的施工导流方案。

3.2 指标估算

1) 随机因素参数

上游水电站遭遇洪水洪峰参数服从 P - III 型分

布,分布均值  $\mu_Q = 16\,500.0\text{ m}^3/\text{s}$ ,离差系数  $C_v = 0.43$ ,离势系数  $C_s = 2.0 \times C_v$ ;上游水电站泄洪设施泄流能力流量系数取 0.96 ~ 1.04;下游水电站导流隧洞泄流能力流量系数取 0.98 ~ 1.03。

2) 导流方案拟定

根据工程实际情况,上游水库防洪允许最高淹没水位为 332 m,在汛限水位控制域范围内,推荐 6 个初期导流方案及风险如表 1 所示。

表 1 施工导流方案及风险

Tab. 1 Construction diversion schemes and their risk values

| 方案 | 上游水库<br>汛限水位/m | 下游工程<br>导流标准/% | 下游工程围堰<br>设计水位/m | 下游工程围堰<br>设计高程/m | 上游水库库区<br>淹没风险 | 下游工程<br>导流风险 |
|----|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 1  | 328            | 2.00           | 249.823 1        | 251.0            | 0.015          | 0.011        |
| 2  | 328            | 3.33           | 246.930 6        | 248.0            | 0.015          | 0.025        |
| 3  | 328            | 5.00           | 245.337 3        | 246.5            | 0.015          | 0.035        |
| 4  | 327            | 2.00           | 249.508 3        | 250.5            | 0.012          | 0.013        |
| 5  | 327            | 3.33           | 246.475 1        | 247.5            | 0.012          | 0.027        |
| 6  | 327            | 5.00           | 244.037 3        | 245.0            | 0.012          | 0.041        |

3) 指标估算

下游水电工程围堰使用年限为 3 a。由于导流隧洞设计需结合枢纽整体布置、地质条件、运行期的各种工况,经反复研究已经确定,则各方案的导流隧洞投资费用相同,未计入工程确定性投资指标中,各方案指标值见表 2,表中,  $SL_A$  为淹没风险损失,  $F_A$  为发电效益,  $D_B$  为施工强度,  $C_B$  为工程投资,  $C_{BR}$  为溃堰风险损失。

表 2 指标估算成果

Tab. 2 Index estimation results

| 方案 | 上游水电站         |              | 下游水电站                                         |              |                 |
|----|---------------|--------------|-----------------------------------------------|--------------|-----------------|
|    | $SL_A / 10^4$ | $F_A / 10^4$ | $D_B / (10^4\text{ m}^3 \cdot \text{月}^{-1})$ | $C_B / 10^4$ | $C_{BR} / 10^4$ |
| 1  | 382.12        | 4 826.35     | 26.60                                         | 11 382.29    | 4 754.03        |
| 2  | 382.12        | 4 826.35     | 24.30                                         | 10 356.95    | 11 218.12       |
| 3  | 382.12        | 4 826.35     | 22.80                                         | 9 894.53     | 16 117.25       |
| 4  | 305.70        | 4 519.07     | 25.69                                         | 11 080.20    | 5 649.18        |
| 5  | 305.70        | 4 519.07     | 23.45                                         | 10 106.72    | 12 179.20       |
| 6  | 305.70        | 45 19.07     | 22.02                                         | 9 464.41     | 19 168.93       |

3.3 协商定权过程

首先,对评价指标进行规范化。然后,基于 AHP 原理,U 和 D 根据各自掌握的信息和偏好赋予的各指标的主观权重、各指标熵权以及由熵权调整的 U 和 D 的综合权重值见表 3。

表 3 协商前后权重信息表

Tab. 3 Information table of negotiation weights

| 权重信息               | $SL_A$   | $F_A$    | $D_B$    | $C_B$    | $C_{BR}$ |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| U 主观权重             | 0.262 5  | 0.416 0  | 0.056 5  | 0.105 3  | 0.159 7  |
| D 主观权重             | 0.072 4  | 0.119 1  | 0.207 3  | 0.400 8  | 0.200 4  |
| 熵权 $\beta$         | 0.243 0  | 0.243 0  | 0.169 9  | 0.172 3  | 0.171 8  |
| U 综合权重             | 0.289 9  | 0.459 4  | 0.043 6  | 0.082 4  | 0.124 7  |
| D 综合权重             | 0.095 0  | 0.156 2  | 0.190 2  | 0.372 8  | 0.185 8  |
| 协商中点 $mid$         | 0.192 4  | 0.307 8  | 0.116 9  | 0.227 6  | 0.155 3  |
| 协商区间 $H$           | 0.194 9  | 0.303 1  | 0.146 5  | 0.290 3  | 0.061 2  |
| 协商系数 $\varepsilon$ | -0.043 3 | -0.048 0 | -0.084 7 | -0.020 0 | -0.145 0 |
| 协商综合权重 $W$         | 0.193 7  | 0.308 7  | 0.110 0  | 0.233 5  | 0.154 1  |

由表 3 中协商前的 U 和 D 的综合权重得到, U 对各方案综合评价值为  $L_U = \{0.584\,1, 0.594\,1, 0.585\,9, 0.428\,5, 0.435\,2, 0.415\,9\}$ ,则 U 倾向于选择方案 2; D 对各方案综合评价值为  $L_D = \{0.342\,1, 0.553\,5, 0.642\,5, 0.365\,8, 0.563\,8, 0.657\,9\}$ ,则 D 倾向于选择方案 6。

接着,利用 PSO 非线性优化方法使双方评价值损失函数最小,得协商系数和协商最终权重见表 3,此时的协商定权的损失值为 0.071 2。最后,得到各方案协商后的评价值为  $L = \{0.462\,8, 0.573\,8, 0.613\,7, 0.396\,9, 0.499\,4, 0.537\,2\}$ ,因此,经协商后,双方最终选取施工导流组合方案 3,上游 A 水库汛限水位取 328 m,下游 B 施工导流设计标准

取5%。

### 3.4 成果分析

1)通过分析表1可得,相同导流设计洪水标准条件下,上游A水库汛限水位越大,则导流围堰设计高程亦越高,说明汛限水位的调整影响下游围堰的投资规模的拟定;由表2可知,对于上游A水库,随着汛限水位的抬高,其防洪风险与发电量均有增大的趋势。综合分析各表看出,各方案对应指标间存在此消彼长的现象;整体系统各项风险效益指标随上游A汛限水位和下游B导流标准的共同调整而变化,表明选择二者组合作为导流方案集的可行性与必要性。

2)决策分析。由表3可知,协商前U和D双方对各评价指标所赋予的主观权重分配可以明显看出各自的偏好和价值取向不同,U对上游A考虑较多,D对下游B施工导流考虑较多,符合现实决策情景,充分反映了导流方案决策所具有的多目标性和双边冲突性的特点;按照U和D各自的权重分配,U倾向于方案2,而D倾向于方案6。经协商之后,以评价价值损失最小为准则,U和D双方意见达成一致,选取方案3为最优导流方案,而最终权重的分配可以看出,各指标权重分配较协商前更加均衡和协调,能从整体上兼顾各指标的重要性,说明最终优选方案更能体现全局性。

3)通过引入熵权计算决策指标客观权重,兼顾了指标本身所提供的客观信息,利用最小损失法使得最终权重调整到一个双方均能接受的状态,为协调和解决二者的冲突和分歧提供了一定的行为准则,协商后的最终权重落在双方的协商空间范围内,证明了决策结果的可靠性。最终方案在满足较小导流工程投资的情况下,尽量增加上游水电站发电效益。

## 4 结 论

将上游已建水电站与下游水电工程施工导流系统耦合起来进行施工导流方案多主体风险决策的系统研究,得到以下结论:

1)针对方案的多目标性特点,提出了通过上游水库汛限水位和下游水电站施工导流标准的共同调整来设计与优选施工导流方案是可行的、合理的;建立方案综合评价指标体系,基于系统不确定性,给出了风险效益指标估算的Monte-Carlo方法。

2)针对决策过程中上-下游水电站之间因信息不对称、利益倾向不同而导致的冲突性难题,以指

标权重分配作为双方冲突协调和解决的切入点,构筑了冲突双方的协商定权的局势,并将改进后熵权引入到损失函数模型构建中,将评价价值损失最小作为双方达成一致的准则。然后,通过在工程实例中的应用详细阐述了双方协商定权的过程,表明利用协商定权方法能够有效协调和解决决策过程中上-下游水电站之间的冲突和争议,计算思路清晰,协商最终权重分配更具全局性,决策结果可靠,从而为上游水电站控泄条件下施工导流方案优选与风险分配提供新的途径。

值得提出的是,由于上游水库汛限水位的调整还牵扯到中国水库管理体制、运行机制、补偿机制等方面,决策模型尚需在后续研究中进一步完善。

### 参考文献:

- [1] Hu Zhigen, Liu Quan, He Changhai. Multiobjective risk model of optimal river diversion standards during initial stage construction for hydroelectric project [J]. Engineering Science, 2001, 3(8): 58-63. [胡志根, 刘全, 贺昌海, 等. 水利水电工程施工初期导流标准多目标风险决策研究[J]. 中国工程科学, 2001, 3(8): 58-63.]
- [2] Zhang Chao, Hu Zhigen, Liu Quan. Random fuzzy risk analysis of construction diversion based on maximum entropy principle [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2012, 44(2): 60-63. [张超, 胡志根, 刘全. 基于最大熵原理的施工导流随机模糊风险分析[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2012, 44(2): 60-63.]
- [3] Liu Lian, Hu Zhigen, Cui Jintie, et al. Risk compensation of construction diversion based on upstream flow control [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(2): 243-249. [刘激, 胡志根, 崔金铁, 等. 上游水电站控泄条件下的施工导流风险补偿研究[J]. 水利学报, 2013, 44(2): 243-249.]
- [4] Feng Ping, Han Song. Flood risk analysis of heightening limited water level of reservoir in flood season [J]. Journal of Tianjin University, 2007, 40(5): 525-529. [冯平, 韩松. 提高水库汛限水位的防洪风险分析[J]. 天津大学学报, 2007, 40(5): 525-529.]
- [5] Wang Bende, Zheng Defeng, Zhou Huicheng, et al. Study of index system and fuzzy optimum model on schemes of dynamic flood control limited water level of a reservoir [J].

- Journal of Dalian University of Technology, 2007, 47(1): 113 - 118. [王本德, 郑德凤, 周惠成, 等. 汛限水位动态控制方案优选方法及指标体系研究[J]. 大连理工大学学报, 2007, 47(1): 113 - 118. ]
- [6] Liu Zhao, Huang Qiang, Wang Yimin. Diversion flood risk control of Shuhe hydropower project construction with considering the discharge control of upstream Ankang reservoir [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(2): 30 - 35. [刘招, 黄强, 王义民, 等. 基于安康控泄的蜀河水电站施工期洪水风险控制[J]. 水力发电学报, 2008, 27(2): 30 - 35. ]
- [7] Sgobbi A, Carraro C. A stochastic multiple players multi-issues bargaining model for the Piave River basin [J]. FEEM Working Paper, 2007(101): 18 - 41.
- [8] Tong Zhongxiang, Li Shouan, Ye Guangqiang, et al. Evaluation system of aircraft survivability based on bargaining weight [J]. Acta Armamentarii, 2007, 28(4): 508 - 512. [童中翔, 李寿安, 叶广强, 等. 基于协商定权的飞机生存力评价体系研究[J]. 兵工学报, 2007, 28(4): 508 - 512. ]
- [9] Zhou Huicheng, Zhang Gaihong, Wang Guoli. Multi-objective decision making approach based on entropy weights for reservoir flood control operation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(1): 100 - 106. [周惠成, 张改红, 王国利. 基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法及应用[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 100 - 106. ]
- [10] 中国水电工程顾问集团公司. DL/T5397—2007 水电工程施工组织设计规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

(编辑 张 琼)

### 第七届中国可信计算与信息安全学术会议(CTCIS 2013)在秦皇岛举行

2013年9月14~16日,第七届中国可信计算与信息安全学术会议(CTCIS 2013)在秦皇岛成功举行。此次会议由中国计算机学会主办,教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会指导,北京交通大学、燕山大学、中国计算机学会容错计算专业委员会共同承办。

9月14日上午举行会议开幕式,大会主席中国工程院沈昌祥院士、大会副主席武汉大学张焕国教授、指导单位代表、赞助单位代表以及来自54所高校和科研院所的170余名参会代表参加了开幕式。开幕式由大会程序委员会主席、北京交通大学计算机学院副院长韩臻教授主持。

本次大会共收到投稿332篇,录用100篇,录用的论文全部在《中国通信(China Communications)》、《武汉大学学报(英文版)》、《四川大学学报(工程科学版)》、《北京工业大学学报》、《武汉大学学报(理学版)》、《山东大学学报(理学版)》及《北京交通大学学报(自然科学版)》等SCI/EI检索或中文核心期刊上发表。

大会特别邀请中国工程院沈昌祥院士、武汉大学张焕国教授、西安交通大学管晓宏教授、中科院信息工程研究所邹维研究员、微软公司资深安全技术经理陈恺博士、Intel公司资深安全技术经理王绍斌博士、李彦经理出席,并就可信计算的发展战略、可信计算与银行的关系、电网的物理与信息融合、系统安全的新趋势以及可信计算规范与技术进展等方面作大会报告,受到了参会人员的热烈欢迎。参会代表还在6个分会场就可信计算与信息安全问题展开了深入的探讨,其中可信云计算专题汇聚了多所高校和企业在该领域的最新进展,还进行了现场系统演示,吸引了大量的听众,现场气氛非常热烈。良好的会务组织、精彩的主题报告和开放的学术交流氛围得到了与会代表的一致好评。

可信计算与信息安全学术会议是相关领域中规模最大、最有影响力的全国性学术会议。会议的目的是加强我国可信计算与信息安全领域的学术交流,为政府主管部门、科研机构、高校、厂商和用户搭建交流平台,促进我国可信计算与信息安全领域的学术繁荣、技术进步和产业发展。