

基于决策者风险态度的导流方案多目标决策研究

范锡峨¹, 柴焕城^{2,3}, 胡志根¹

(1. 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; 2. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266003;
3. 山东水利职业学院, 山东 日照 276800)

摘要:以导流方案优选为核心,在效用理论的基础上考虑决策者的风险态度,建立导流系统标准的效用损失函数,在导流系统标准期望效用损失均衡原则的指导下,合理分配施工导流系统风险,制定导流方案,运用多目标决策理论,建立基于决策者风险态度的导流方案多目标决策模型。实例分析表明,该决策模型是有效的,可以较好地解决导流方案的多目标决策问题。

关键词:风险态度;导流方案;效用损失;多目标决策

中图分类号:TV551.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2006)05-0522-04

在水电工程建设中,人们都希望节省工程投资,加快工程进度,使水电工程枢纽早日投入运行。但对于导流建筑物而言,一方面,风险率越小,导流系统标准愈高,导流建筑物的规模就愈大,相应的工程投资费用就愈大,建设工期也就愈长;另一方面,要缩短工期,就要增大施工强度和投资费用。风险率、投资费用和工期不可能同时达到最小值,要处理好他们三者之间的关系,必须对导流方案进行多目标决策优选^[1-2]。在进行导流方案多目标决策分析时,决策指标无论是选择确定性费用、工期和不确定性费用,还是选择费用、工期和风险率,费用都是由确定性和不确定性两部分组成。无论哪种指标体系,将不确定性费用和确定性费用直接相加或等同处理都是不合理的,必须在导流方案多目标决策模型中考虑决策者的风险态度。

本文引入效用理论的有关概念,建立导流系统标准的效用损失函数,将水电工程中的不确定性费用转化为不确定性效用损失费用,在期望效用损失均衡原则的指导下,合理调整各导流时段的导流系统标准,制定导流方案,以确定性费用、不确定性效用损失费用以及围堰填筑强度为3个评价指标,采用多目标决策方法,基于决策者的风险态度对导流方案进行多目标决策研究。

1 导流系统标准效用损失函数的确定

水电工程的不确定性费用主要由基坑损失、主体工程损失及发电损失等组成。对于水电工程而言,失事造成的损失有时不仅是经济上的,而且还会给社会造成深远的负面影响。因此在确定导流系统标准时,决策者的风险态度都非常谨慎,是风险厌恶的,并且面对同样的导流风险时,决策者表现的风险态度是由较弱的风险厌恶向较强的风险厌恶转变,效用理论中称之为递增风险厌恶。递增风险厌恶效用损失函数^[3]为

$$u(x) = -ax^2 + bx + c \quad \left(x < \frac{b}{2a}\right) \quad (1)$$

导流系统标准的效用损失函数中含有3个待定系数,一般可使用 $n-m$ 效用点测定的结果联立求解。设决策者采用确定当量法,已经测定了集合 X 中 m 个点的效用:

$$[y_i, R_i, z_i] \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

m 个点通过无差异关系

$$x_i \sim [y_i, R_i, z_i] \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

对 m 个无差异点进行评定,即对每个评定点有

$$u(x_i) = (1 - R_i)u(y_i) + R_i u(z_i) \quad (4)$$

效用损失函数在理论上应该满足本文 m 次评定的定量约束.对 m 个评定点有:

$$\begin{cases} u(x_1, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = (1 - R_1)u(y_1, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) + R_1u(z_1, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) \\ u(x_2, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = (1 - R_2)u(y_2, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) + R_2u(z_2, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) \\ \vdots \\ u(x_m, \lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_m) = (1 - R_m)u(y_m, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) + R_mu(z_m, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) \end{cases} \quad (5)$$

由 m 个无差异点的效用相等原则可知,其理想状态边界条件为

$$u(x_i) = \lambda \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

在水电工程中,假定理想状态边界条件 $\lambda = -1$,确定其效用损失函数 $u(x)$ 的系数,从而唯一确定导流系统标准的效用损失函数的系数.

2 基于期望效用损失均衡原则制定导流方案

水电工程的导流系统标准是按照导流建筑物的级别、服务对象的重要性来选择的.随着工程建设的进行,导流系统标准逐渐提高,这是因为永久建筑物逐渐具备挡水能力,上游水位逐渐升高,工程失事造成的损失同步增长,因此要求其设计风险率和期望效用损失随着工程建设的进展逐渐降低,并且保持期望效用损失与施工进度要求均衡^[4].

在确定不确定性费用 C_p 的基础上得到效用损失 $u(C_p)$,则期望效用损失为

$$E(C_p) = u(C_p)R \quad (7)$$

式中 R 为施工导流系统风险^[5-6].

导流系统标准的选择一方面影响施工导流系统风险 R ,另一方面影响各个导流时段的不确定性费用.而期望效用损失 $E(C_0)$ 是在给定的时间内,考虑决策者风险厌恶态度的情况下,不确定性费用的期望平均效用损失,是综合考虑施工导流系统风险 R 和决策者风险态度的效用损失函数,因此可以用来衡量导流系统风险合理配置的均衡关系.按照导流系统标准期望效用损失均衡原则制定导流方案,合理分配施工导流系统风险,在此基础上,将不确定性费用转化为不确定性效用损失费用,对制定的导流方案进行多目标决策研究^[7-8].

3 实例分析及其计算结果

3.1 设计资料

某水电站装机 3000 MW,水库正常蓄水位 1136 m,相应库容 21.75 亿 m^3 .综合分析水文系列资料,导流建筑物的工程量,施工工期以及水文、水力等不确定性因素,初步拟定初期导流系统设计方案为第 1 年 20 年一遇,第 2 年 20 年一遇,第 3 年 30 年一遇,第 4 年 30 年一遇,第 5 年 100 年一遇.

3.2 基于期望效用损失均衡原则制定导流方案

施工导流系统标准效用损失函数的确定采用以下定解条件.

a. 一般费用为 0 时效用损失也为 0:

$$u(0) = 0 \quad (8)$$

b. 各导流系统标准设计效用测定点:

$$u(x_i) = (1 - a_i)u(0) + a_iu(C_i) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

式中 C_i ——各导流系统标准的不确定性费用; x_i ——各导流系统标准的均衡效用点的位置.各导流时段导流系统标准的属性参数见表 1,得到均衡方程为

$$\begin{cases} u(x_1) = (1 - 4.62\%)u(0) + 4.62\%u(-13.85) \\ u(x_2) = (1 - 4.62\%)u(0) + 4.62\%u(-11.75) \\ u(x_3) = (1 - 3.64\%)u(0) + 3.64\%u(-15.7) \\ u(x_4) = (1 - 3.64\%)u(0) + 3.64\%u(-17.2) \\ u(x_5) = (1 - 1.05\%)u(0) + 1.05\%u(-24.58) \end{cases} \quad (10)$$

由效用相等原则可知其理想状态的边界条件为

$$u(x_i) = -1 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

联立式(8)(10)和(11),求得待定系数 $a = 0.0819$, $b = 0.0695$, $c = -6.9323$,则该施工导流系统的效用损失函数为

$$u(C) = -0.0819C^2 + 0.0695C - 6.9323 \tag{12}$$

式中 C 为导流时段的不确定性费用。

设计方案各导流时段的不确定性费用、效用损失、期望效用损失(负值表示损失值)见表1。
基于导流系统标准的期望效用损失均衡原则对表1设计方案中各导流时段的期望效用损失进行分析:初期导流第2年度汛期期望效用损失为-0.88,比理论值-1偏小(绝对值比较),将此时段的导流系统标准由20年一遇提高到30年一遇,期望效用损失提高到-0.96;第3年导流系统标准由30年一遇提高到50年一遇,期望效用损失由-1.03降低为-0.95;第4年度汛期期望效用损失为-1.18,比理论值-1大,将此时段的导流系统标准由30年一遇提高到50年一遇,期望效用损失由-1.18降低为-1.06。表2为备选方案各导流时段的不确定性费用、效用损失、期望效用损失。

表1 设计方案的效用损失、期望效用损失

Table 1 Utility loss and expected utility loss of design scheme

导流时段	导流系统标准/%	风险率/%	不确定性费用/亿元	效用损失	期望效用损失
第1年	5.0	4.62	-13.85	-23.59	-1.09
第2年	5.0	4.62	-11.75	-19.05	-0.88
第3年	3.3	3.64	-15.7	-28.30	-1.03
第4年	3.3	3.64	-17.2	-32.42	-1.18
第5年	1.0	1.05	-24.58	-58.10	-0.61

表2 备选方案的效用损失、期望效用损失

Table 2 Utility loss and expected utility loss of alternate diversion scheme

导流时段	导流系统标准/%	风险率/%	不确定性费用/亿元	效用损失	期望效用损失
第1年	5.0	4.62	-13.85	-23.59	-1.09
第2年	3.3	3.61	-15.07	-26.59	-0.96
第3年	2.0	2.04	-21.3	-45.57	-0.95
第4年	2.0	2.04	-23.03	-51.96	-1.06
第5年	1.0	1.05	-24.58	-58.10	-0.61

由上述分析制定的该水电站备选导流方案:第1年20年一遇,第2年30年一遇,第3年50年一遇,第4年50年一遇、第5年100年一遇,再对初步拟定的设计方案和该备选方案进行基于决策者风险态度的导流方案多目标决策分析。

3.3 导流方案的多目标决策分析计算

考虑到决策者在水电工程不同施工阶段对风险的态度,将决策者的风险态度引入决策模型中,将不确定性费用转化为不确定性效用损失费用,选定确定性费用、不确定性效用损失费用以及围堰填筑强度3个评价指标,通过多目标决策模型确定导流方案优选排序。对于目标权重可进行敏感度分析,分析优选结果的稳定性见表3~5。

表3 各导流方案条件下的决策分析结果(绝对值)

Table 3 Indexes of decision-making for each diversion scheme

方案	确定性费用/万元	不确定性效用损失费用	围堰填筑强度/(万m³·月 ⁻¹)
设计	5 003.25	58 295.8	23.0
备选	5 133.01	39 609.1	23.5

表4 各导流方案条件下理想度计算结果(相对值)

Table 4 Results of decision-making analysis for each diversion scheme

方案	确定性费用			不确定性效用损失费用			围堰填筑强度		
	相对值	$L^{(1)}(R_i, \Phi)$	$L^{(2)}(R_i, \Psi)$	相对值	$L^{(1)}(R_i, \Phi)$	$L^{(2)}(R_i, \Psi)$	相对值	$L^{(1)}(R_i, \Phi)$	$L^{(2)}(R_i, \Psi)$
设计	0.50643	0	6.555×10^{-5}	0.40457	3.643×10^{-3}	0	0.505376	0	6.590×10^{-5}
备选	0.49357	6.555×10^{-5}	0	0.59543	0	3.643×10^{-3}	0.494624	5.781×10^{-5}	0

注: $L^{(1)}(R_i, \Phi)$ 、 $L^{(2)}(R_i, \Phi)$ 分别为导流方案的正负理想距离。

表5 不同权重条件下的导流方案正隶属度对比关系

Table 5 Membership degree of diversion schemes under different weights

确定性费用	目标权重 w		从属于正理想隶属特征向量的隶属度 μ		方案优劣排序
	不确定性效用损失费用	围堰填筑强度	设计方案	备选方案	
0.4	0.1	0.5	0.033	0.967	方案 F_2 优于 F_1
0.3	0.2	0.5	0.015	0.985	方案 F_2 优于 F_1
0.3	0.1	0.6	0.032	0.968	方案 F_2 优于 F_1
0.3	0.3	0.4	0.009	0.991	方案 F_2 优于 F_1
0.4	0.2	0.4	0.015	0.985	方案 F_2 优于 F_1
0.35	0.3	0.35	0.009	0.991	方案 F_2 优于 F_1

注: F_1 表示设计方案; F_2 表示备选方案。

4 结 论

导流系统施工方案的选择直接关系导流工程的规划与导流建筑物规模的确定 ,决定着主体工程建设投资、工期的实现 .科学地选择水电工程的导流方案 ,必须对导流方案进行多目标决策 ,基于决策者的风险态度综合分析导流系统的确定性费用、不确定性效用损失费用、施工强度 .从本文的实例可以看出 ,导流方案排序备选方案始终优于设计方案 .备选方案与设计方案的差别在于适当提高了第 2 年、第 3 年、第 4 年的导流系统标准 ,分别由设计方案的 20 年一遇、30 年一遇、30 年一遇提高到备选方案的 30 年一遇、50 年一遇、50 年一遇 ,围堰仅在原设计基础上加高 1 m ,工程量没有显著增加 ,工程风险显著下降 ,期望效用损失同样明显变小 .

参考文献 :

[1] 肖焕雄 ,韩采燕 ,唐晓阳 .施工导流标准与方案优选[M].武汉 :湖北科学技术出版社 ,1996 :202-216 .
[2] AFSHA A ,BARKHORDARY A ,MARINO M A . Optimizing river diversion under hydraulic and hydrologic uncertainties[J]. Journal of Water Resources Planning and Management ,1994 ,120(1) :36-47 .
[3] 姜树元 ,姜青舫 .基于现代效用的产品功能评估模型与方法[J].系统工程 ,2001 ,19(6) :83-88 .
[4] 刘全 .施工导流风险分析与施工过程仿真的可视化研究[D].武汉 :武汉大学 ,2003 .
[5] 胡志根 ,刘全 ,贺昌海 ,等 .基于 Monte-Carlo 方法的土石围堰挡水导流风险分析[J].水科学进展 ,2002 ,13(5) :634-638 .
[6] 王栋 ,朱元生 .风险分析在水系统中的应用研究进展及其展望[J].河海大学学报 :自然科学版 ,2002 ,30(2) :71-77 .
[7] 胡志根 ,肖焕雄 .水电工程施工布置方案多目标模糊优选决策研究[J].水电站设计 ,1997 ,13(2) :19-23 .
[8] 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 .

Multi-objective decision-making method for diversion schemes based on risk attitudes of decision makers

FAN Xi-e¹ , CHAI Huan-cheng^{2 3} , HU Zhi-gen¹

(1. State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Engineering Science ,
Wuhan University , Wuhan 430072 , China ;

2. School of Engineering , Ocean University of China , Qingdao 266003 , China ;

3. Shandong Water Polytechnic , Rizhao 276800 , China)

Abstract :For optimal selection of a diversion scheme , a utility loss function is developed based on the utility theory with the attitudes of decision makers taken into account . Under the guidance of expected standard utility loss equilibrium principle , the risks of construction of diversion system are distributed reasonably , and the diversion schemes are worked out . By means of multi-objective decision-making theory , a multi-objective decision-making model for diversion schemes based on risk attitudes of decision makers is established . A case study shows that the decision-making model is effective for multi-objective decision-making in optimal selection of diversion schemes .

Key words :risk attitude ; diversion scheme ; utility loss ; multi-objective decision-making