

基于前景理论的梯级水电站开发时序决策

董刚松, 李 雄, 陆继钊, 蔡沛霖

(国网河南省电力公司信息通信公司, 郑州 450000)

摘 要: 为合理决策梯级水电站开发时序, 综合运用优化调度模型与前景理论, 建立了基于心理偏好下梯级水电站开发时序决策模型。首先, 根据水电效益开发特征, 分析发电量、最小出力对开发效益的影响, 阐明决策者的心理改变机理; 其次, 提出考虑时间贴现效应的双目标调度收益偏好函数, 引入变权理论, 修正概率决策权重; 最后, 运用优化遗传算法求解调度方案并计算综合前景值, 分析不同参照点偏好对决策的作用效果。案例分析验证了决策者偏好对开发时序的影响, 表明梯级水电开发时序决策模型具有合理性。

关键词: 梯级水电站; 多目标优化; 前景理论; 开发时序; 遗传算法

中图分类号: TV697.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4969(2019)02-0129-08

引言

水电能源是我国可再生能源的主要组成部分^[1-3], 其开发有助于实现能源的可持续发展。梯级水电开发具有运营成本低、水能利用率高、发电效益大等特点, 是实现流域水电开发的主要模式。其开发投资决策是一个不确定的多阶段动态过程, 开发时序的不同会对各水电站的整体运营效益产生影响^[4]。因此, 研究梯级水电站开发时序对于提高水能资源开发率、增大发电效益具有重要意义。

梯级水电开发是保证发电效益的重要基础, 国内外学者对此开展了系列研究。张超然^[5]等针对特大型水电工程建设和运行中面临的主要问题提出了梯级联合调度的研究方法, 并对水资源开发的有效利用提出建议; Zhang^[6]等以梯级水电站发电总能量最大化为目标, 建立了长期优化运行模型, 为梯级水电站调度开发决

策提供了依据, 但其只考虑单目标最优, 难同时兼顾梯级发电效益与保证出力要求; 牛文静^[7]等为保证梯级水电开发发电效益最大化、提升水电系统的可靠性, 构建了耦合总发电量最大和最小出力的梯级水电站群多目标优化调度模型, 为水电开发调度提供了决策指导; 夏忠^[8]等对影响梯级水电站开发顺序的因素进行了探讨, 建立了可适应多种决策分析的层次结构模型, 用电力平衡方法论证了开发方案的适应性, 综合分析了不同电力需求下梯级水电开发决策顺序; 蔡治国^[9]等提出优化挖掘潜在目标为目的的新考核评估思路, 表征了基于“理论最大发电量”的概念, 采用精细模拟与优化调度耦合模型建立了评估方法, 为梯级水电站的经济运行决策评估提供了依据。

上述研究多集中在梯级水电站调度目标下发发电效益的经济性表达, 为梯级水电开发决策

收稿日期: 2019-01-27; 修回日期: 2019-03-01

作者简介: 董刚松(1971-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统自动化管理研究。E-mail: 569797198@qq.com

李 雄(1976-), 男, 本科, 教授级高工, 主要从事电力系统信息管理研究。E-mail: 2249346060@qq.com

陆继钊(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统通信研究管理研究。E-mail: 504141325@qq.com

蔡沛霖(1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统信息研究管理研究。E-mail: 2936565465@qq.com

提供理论借鉴。然而, 决策者偏好不同可能导致梯级水电开发效益指标不同。鉴于此, 笔者在考虑梯级水电站群开发特征的基础上, 分析了水电开发效益指标与决策者的偏好^[10-11]机理; 并基于第三代前景理论, 选择不同方案作为动态参考点, 提出考虑时间贴现效应的双目标收益偏好函数; 同时引入变权理论^[12]修正概率决策权重, 计算不同决策下的综合前景值; 并与传统经济决策对比, 研究决策者不同偏好对水电开发决策的影响, 以期对梯级水电站开发时序决策提供理论依据。

1 水电开发效益指标及偏好分析

梯级水电站在开发过程中由于自然条件恶劣、地质条件复杂、施工难度大等因素会导致投入开发成本过高^[13]。为实现水电开发效益最大化, 应适当增加水电开发经济效益。而水库优化调度^[14-15]在水电开发过程中发挥着重要作用, 现行梯级水电站群联合优化运行注重发挥水电站的社会经济功能, 力求发电效益的最大化, 其主要考虑发电量和最小出力两个动能指标, 兼顾发电效益与水电丰枯补偿调节作用。

在水电开发过程中, 经济人^[16]往往偏向于经济效益最大化, 而忽视枯水期调峰压力及电网汛期弃水压力。他们是追求物质财富最大化的主体, 在决策时总是倾向于给自己更多的经济利益。而理性人决策时会追求公平偏好, 在给定的约束条件下最大化自己的偏好。梯级水电开发过程中由于系统的经济性与均衡性都是决策者的主要考虑因素, 因此决策者一般偏向于折中方案。若决策者偏好最大化系统出力均衡性, 则会导致牺牲部分发电效益, 增加最小出力。

决策者在权衡发电效益与保证出力时, 会出现三种偏好。1)能最大限度地利用水能资源, 以实现发电量最大, 保证发电企业效益最大化; 2)最小出力最大以提升水电系统最小出力, 增强水电丰枯补偿调节; 3)兼顾发电量最大与最小出

力, 提升水电系统的经济可靠性。以上情形均会使决策者在决策时出现偏好反转。

2 开发时序决策模型

在前景理论中, 决策者一般根据参考点权衡不同方案的收益和损失情况。然而传统参考点的选取一般根据风险偏好和心理状态决定, 没有明确指定参考点。因此, 为合理决策梯级水电站的梯级开发时序, 本文引入第三代前景理论, 以发电期内不同年份的水能发挥效益为基准, 分别以每年总发电量和总出力为动态参考点, 计算不同方案综合前景值, 确定方案优劣。

2.1 双目标优化收益偏好函数

2.1.1 优化调度模型

梯级水电站采用不同的开发时序, 发挥的水能效益不同。考虑到不同电站之间的合理分配, 为保证梯级水电站各时段内出力尽可能大以及年发电量最大, 建立了梯级水电最优补偿调节双目标函数, 分别计算不同情景下的发电效益。构建目标函数及约束条件如下:

目标一: 最小出力最大

$$NP_t = \text{MaxMin} \sum_{i=1}^N (A_i \cdot Q_{i,t} \cdot H_{i,t}) \quad \forall t \in T \quad (1)$$

$$NP = \sum_{t=1}^{12} NP_t \quad (2)$$

式中, NP_t 为最大化梯级的最小出力, MW ; A_i 为第 i 个水电站的综合出力系数; $Q_{i,t}$ 为第 i 电站在第 t 时段发电流量, m^3/s ; $H_{i,t}$ 为第 i 水电站在第 t 时段平均发电净水头, m ; T 为年内总计算时段数(为 12 个月); N 为梯级水电站总数; NP 为年总最小出力。

目标二: 年发电量最大

$$E = \text{Max} F = \text{Max} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (A_i \cdot Q_{i,t} \cdot H_{i,t} \cdot M_t) \quad (3)$$

式中, E 为梯级水电站最大的年发电量。

约束条件:

1) 水量平衡约束

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} + (q_{i,t} - Q_{i,t} - S_{i,t})\Delta t \quad t \in T \quad (4)$$

式中, $V_{i,t+1}$ 为第 i 电站在第 t 时段水库初蓄水量, m^3 ; $q_{i,t}$ 为第 i 电站在第 t 时段入库流量, m^3/s ; $S_{i,t}$ 为第 i 电站在第 t 时段的弃水流量, m^3/s ; Δt 为计算时段长, s 。

2) 水库蓄水量约束

$$V_{it,\min} \leq V_{i,t} \leq V_{it,\max} \quad t \in T \quad (5)$$

式中, $V_{i,t}$ 为 i 电站水库在第 t 时段的蓄水量, m^3 ; $V_{it,\min}, V_{it,\max}$ 分别为允许的水库蓄水量上下限。

3) 水库下泄流量约束

$$Q_{it,\min} \leq Q_{i,t} \leq Q_{it,\max} \quad t \in T \quad (6)$$

式中, $Q_{i,t}$ 为第 i 电站在第 t 时段的保证下泄流量, m^3/s ; $Q_{it,\min}, Q_{it,\max}$ 分别为保证下泄流量上下限。

4) 电站出力约束

$$N_{i,\min} \leq A_i \cdot Q_{i,t} \cdot H_{i,t} \leq N_{i,\max} \quad t \in T \quad (7)$$

式中, $N_{i,\min}$ 为第 i 个电站的最小出力, MW ; $N_{i,\max}$ 为第 i 个电站的装机容量出力, MW 。

5) 非负条件约束

即上述所有变量均 ≥ 0 。

2.1.2 偏好收益函数

通常, 决策者对收益风险规避, 而对损失风险偏好。在给出的价值函数 $v(\Delta x)$ 为幂函数^[17]的基础上考虑时间效应的影响, 并用双曲线贴现函数进行修正, 即:

$$v(\Delta x) = \begin{cases} (\Delta x \cdot D(k))^\alpha & \Delta x \geq 0 \\ -\theta(\Delta x \cdot D(k))^\beta & \Delta x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中: x 为 x 偏离某一参考点 x_0 的大小, 本文中以不同方案的年发电量(E)和最小总出力(NP)为动态参照点计算收益损失大小; 双曲线贴现函数为 $D(k) = (1+0.1k)^{-1}$; α, β 表示决策者对收益和风险的变异程度。

2.2 决策偏好权重表达

2.2.1 损失判断概率修正

本文基于决策者的心理偏好, 引入了变权理论; 依据偏好损失计算判断概率, 以加强每年实际效益与损失之间的联系, 为研究偏好反转提供条件。

1) 偏好总发电量最大: 取每年所有方案发电量总量中的最小值与均值的差值作为损失, 计算损失判断概率, 即:

$$P(k) = \frac{\exp[\alpha(E_{b,\min} - \bar{E}_b)]}{\sum_{t=1}^k \exp[\alpha(E_{b,\min} - \bar{E}_b)]} \quad (9)$$

2) 兼顾最大发电量与最小出力, 选取各年损失判断概率相等, 其中 k 为建设期发电总年数, 即:

$$P(k) = 1/k \quad (10)$$

3) 偏好最大最小出力: 取每年所有发电最小出力中的最小与均值的差值作为损失, 计算损失判断概率。

$$P(k) = \frac{\exp[\alpha(NP_{b,\min} - \overline{NP}_b)]}{\sum_{t=1}^k \exp[\alpha(NP_{b,\min} - \overline{NP}_b)]} \quad (11)$$

2.2.2 概率偏好权重度量

在解决不确定参考点条件下构建决策权重模型问题时, 采用序依赖方法, 由盈利状态和亏损状态构成。

$$w^+(b_k) = \frac{p_k^\tau}{(p_k^\tau + (1-p_k)^\tau)^{1/\tau}} \quad (12)$$

$$w^-(b_k) = \frac{p_k^\delta}{(p_k^\delta + (1-p_k)^\delta)^{1/\delta}} \quad (13)$$

$$w(k) = \begin{cases} w^+(p_k) & l = m^+ \\ w^+(\sum_{k \geq l} p_k) - w^+(\sum_{k > l} p_k) & 1 \leq l \leq m^+ - 1 \\ w^-(\sum_{k \leq l} p_k) - w^-(\sum_{k < l} p_k) & -m^+ + 1 \leq l \leq -1 \\ w^-(p_k) & l = -m^- \end{cases} \quad (14)$$

式中, p_k 为损失判断概率, δ 为风险收益系数, τ 为风险损失系数。 m^+ 、 m^- 分别为收益和损失状态数。

2.3 开发时序决策综合前景值表征

决策最终前景值应由包含发电量和最小出力两部分组成。

$$V_b = \sum_{k=1}^n w_k v_{bk} = \eta \sum_{k=1}^n w_{1k} v_{1bk} + (1-\eta) \sum_{k=1}^n w_{2k} v_{2bk} \quad (15)$$

式中, w_{1k} 为偏好发电量时在第 k 年的概率决策权重; v_{1bk} 为偏好发电量时第 b 方案在第 k 年的前景值; η 为对年最大发电量的偏好程度, 介于 0 到 1 之间, 通过偏好方案数决定。

3 基于遗传算法的双目标优化调度求解

水电站优化调度是典型的多维非线性优化问题。目前来说, NSGA-II 算法^[18]是较流行的多目标遗传算法之一, 它降低了非劣排序遗传算法的复杂性, 具有运行速度快, 收敛性较好等特点。本文在求解双目标非劣解集时, 采用了 MATLAB 多目标优化函数 gamultiobj。它在 NSGA-II 算法基础上添加了最优端个体系数这一条件, 限制了最优前端个体数, 有助于在整个帕累托前沿中选择符合决策者偏好的解。其遗传算法流程如图 1 所示。

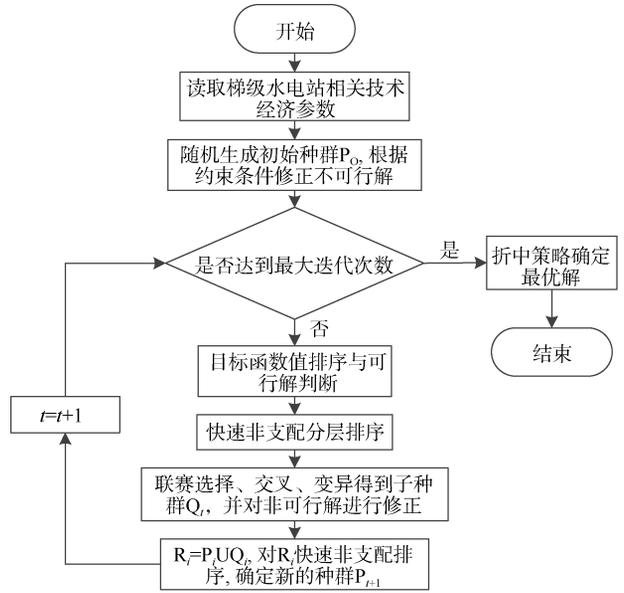


图 1 遗传算法流程

4 案例分析

4.1 某流域水能资源概况

某流域为我国能源发展规划的重点水电基地之一, 下游总装机容量约为 2600 万 kW。根据其开发战略^[19], 要在 2025 年以前完成全流域开发, 其中包括已经具备开工条件的卡拉、孟底沟、楞古、牙根 4 座水电站。现综合考虑流域中下游各梯级电站的开发条件、地理位置、电力需求、资金筹措、开发周期和淹没移民等因素, 制定了 3 个梯级开发时序方案, 相关重要技术参数见表 1。

表 1 雅砻江梯级电站主要指标

电 站	控制面积 (km ²)	多年平均流量 (m ³ /s)	正常蓄水位 (m)	尾水位 (m)	总库容 (亿 m ³)	调节库容 (亿 m ³)	调节性能	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)
卡 拉	81874	907	1986	1900	3.58	0.2	日	108	52
孟底沟	79564	874	2254	2102	8.68	0.3	日	184	91
楞 古	77543	843	2479	2254	2.19	0.12	日	271.8	127
牙 根	71004	743	2602	2479	0.38	0.38	日	140	64

方案 A :根据各电站的勘察设计情况以及淹没移民的影响, 综合考虑工程投资造价和建设周期, 按最快发挥梯级水电站发电效益原则, 于 2019 年同时建立卡拉、孟底沟两座水电站;

楞古、牙根两座水电站分别于 2020—2021 年期间开工。整个梯级计划在 2023 年开始发电, 2028 年建成。

方案 B :考虑资金压力以及电力需求, 卡拉、孟

底沟、牙根、楞古四座水电站分别于 2019—2022 年开工。整个梯级于 2023 年发电, 2029 年完工。

方案 C: 据地理位置和开发条件等因素影响, 先于 2019 年开工建设孟底沟水电站, 之后于 2020 年开工建设卡拉水电站, 后续情况与方案二相同。

4.2 模型求解

4.2.1 双目标优化求解

基于遗传算法, 以第一阶段卡拉水电站开工为例, 运用 matlab 工具箱 gamultiobj 函数计算第一年总发电量与总出力的 Pareto 最优解为:

由图 2 可知, 共有 17 组非劣解。为研究偏好对梯级发开时序决策影响, 本文选择第 1 组、第 9 组、第 17 组三种典型方案进行比较分析, 其中第 1 组主要考虑发电效益, 第 17 组主要提升系统最小出力, 第 9 组为协调方案, 兼顾系统的发电效益与最小出力。偏好发电量、最小出力及无偏好结果如表 2 所示。

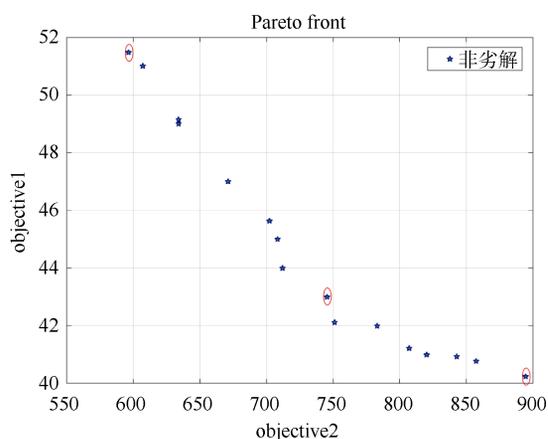


图 2 年总发电量与出力非劣解图

表 2 年发电量与出力

方案	1	9	17
最小出力(万 kW)	596.48	745.60	894.72
最大发电(亿 kW·h)	51.48	43.00	40.23

第 9 组的发电和处理效率在第 1 组和第 17 组之间。该方案比第 1 组少产生电量 16.47%, 并且系统出力增加 20%; 与第 17 组相比, 虽牺牲了 16.67% 的出力输出, 但总发电量却增加了 6.89%。由此可知, 双目标协调方案能有效提升系统的经济可靠性, 在增加水电站发电量的同时, 能够保证枯水期内水电供电能力。因此, 在实际应用中, 应根据需要选择合适的调度方案。若强调发电效率, 应选第 1~5 组; 若注重出力可靠性, 应选第 13~17 组; 若要考虑系统的经济性和平衡性, 应选第 6~12 组。总之, 该模型可为决策者在梯级水电开发方面提供合理可行、实用而有效的决策指导。

以决策者同时兼顾发电量与保证出力为例, 计算发电期内各方案年总发电量和出力大小, 结果如表 3 所示。

其增长变化趋势如图 3 所示。

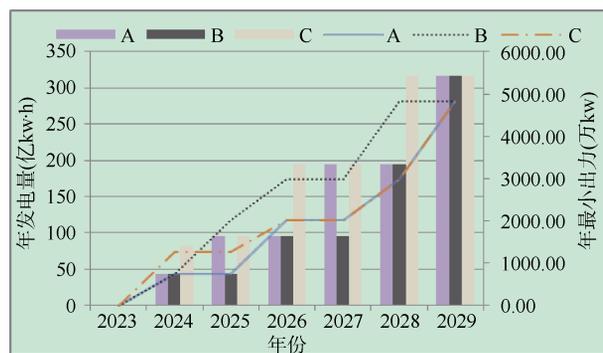


图 3 雅砻江梯级电站开发方案逐年发电量及出力

表 3 雅砻江梯级电站开发方案逐年发电量及出力

发电量,出力	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A	43,746	95,2015	95,2015	194,2015	194,2970	316,4832
B	43,746	43,2015	95,2970	95,2970	194,4832	316,4832
C	82,1252	95,1252	194,2015	194,2015	316,2970	316,4832

从每个开发方案的发电量指标看, 2023—2029 年三个方案的总发电量分别为 936.85 亿 kW·h、785.95 亿 kW·h、1196.71 亿 kW·h。方案 C 较 A 与 B 分别多发电 259.86 亿 kW·h 和 410.76 亿 kW·h, 方案 A 较 B 多发电 150.9 亿 kW·h。从出力指标看, 总出力分别为 13326.49 万 kW、18365.78 万 kW、14336.16 万 kW, 其中方案 B 较 A 与 C 多出力 37.8% 和 28.1%。由此可见, 方案 C 的总发电量最大, 方案 B 总出力最大。

4.2.2 偏好收益及权重计算

由相关文献 [20] 可知, 取 $\alpha = \beta = 0.88$ 、 $\theta = 2.25$ 、 $\tau = 0.61$ 、 $\delta = 0.69$, 据式(1)及式(12-14) 计算不同决策方案下发电量和最小出力效益值及对应的偏好概率如表 4 所示。由于公平偏好, 取损失概率为 $1/k(k=7)$ 。

4.2.3 综合前景值计算

由表4和公式(15)计算综合前景值大小并归一化, 结果如表5所示。

表 4 效益及概率值

	2024	2025	2026	2027	2028
A-B	0,0	28,459,0.10	45,333,0.09	42,312,0.10	48,528,0.24
A-C	-52,-496,0.11	0,0	45,333,0.10	0,0	48,528,0.24
B-C	-52,-496,0.11	-62,-1032,0.12	0,0	-95,-702,0.23	0,0

表 5 归一前景值

(E,NP)	2024	2025	2026	2027	2028	V
A-B	0,0	0.12,0.27	0.18,0.18	0.19,0.19	0.52,0.78	1.204
A-C	-0.25,-0.32	0,0	0.20,0.20	0,0	0.52,0.78	0.562
B-C	-0.25,-0.32	-0.34,-0.76	0,0	-1.00,-1.00	0,0	-1.833

因为同时兼顾发电量与出力, 取 $\eta = 0.5$, 可得 $V_{A-B} = 1.204$, $V_{A-C} = 0.562$, $V_{B-C} = -1.833$, 从而得出方案 $A > C > B$ 。因此, 应选择 A 方案进行梯级水电开发。

4.2.4 偏好分析

计算不同偏好下综合前景值的大小如表 6 所示。

表 6 偏好与传统对比

	中性	偏好发电	偏好出力	传统
A-B	1.204	1.529	1.506	3.165
A-C	0.562	-0.256	0.570	1.361
B-C	-1.833	-2.042	-1.876	-1.804

由不同偏好下的决策结果可知: 当决策者考虑均衡性时, 决策方案 $A > C > B$; 当决策者偏好最大发电量时, 决策方案 $C > A > B$; 当决策者偏好最大最小出力时, 决策方案 $B > A > C$; 与传统决策相比较, 考虑系统经济性和均衡性无偏好时,

决策规律与其保持一致, 为决策方案; $A > C > B$ 。

根据决策者对发电量与出力偏好不同, 计算 A、B、C 方案比选后的综合前景值, 演变规律如图 4 所示。随着决策者对年发电量偏好不断增加, η 随之增大; 当增加到一定程度时, 偏好发电量大的前景值将大于 0, 明显优于其他方案; 如 E 点所示, 偏好发电量最大时 A 方案优于其他方案, 相反 F 点偏好出力时 B 方案明显优于 A、C 方案。截取 O 段第二个比选方案如图 5 所示, 在保证发电系统均衡性的基础上, 决策者更倾向于选取发电量大的方案, 以发挥水电开发的经济效益。

5 结论

本文考虑心理偏好对梯级水电站开发效益的影响, 引入第三代前景理论, 推导具有时间贴现效应的调度收益函数, 建立了基于心理偏好的梯级水电站开发时序决策模型。通过实例验证, 当

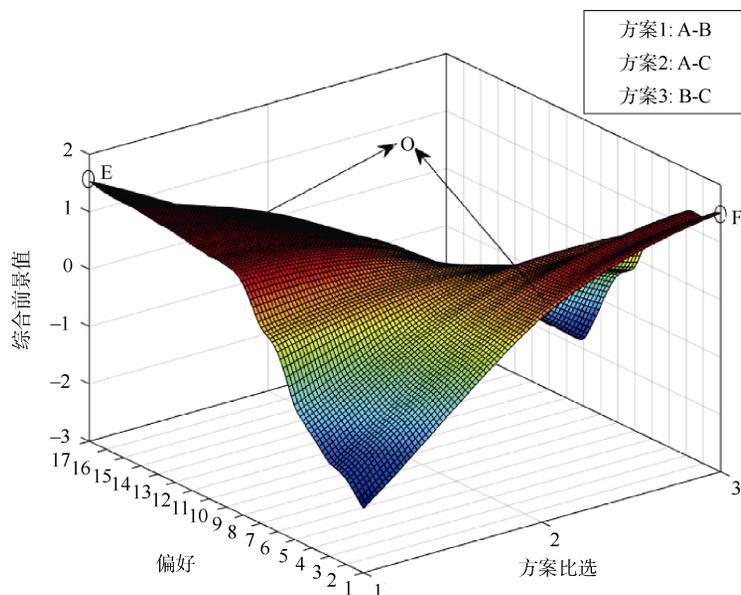


图4 偏好变化规律

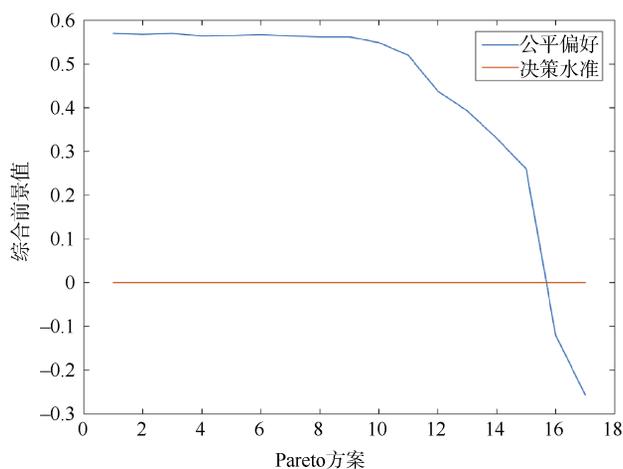


图5 公平偏好趋势

决策者偏好发电量最大或最大出力时, 决策偏好会发生反转, 进一步验证了心理偏好对决策者的影响。为了讨论的方便, 本文仅考虑发电量与出力对开发时序的影响, 未定量考虑投资、交通条件、建设环境、生态影响以及淹没移民等因素, 如何度量其对开发时序方案决策的影响, 是笔者下一步的研究方向。

参考文献

[1] Huang Hailun, Yan Zheng. Present situation and future prospect of hydropower in china [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(6): 1652-1656.

[2] 陈芳森, 曹晓红, 温静雅, 等. 我国水电开发特征分析与 发展建议[J]. *环境保护*, 2016, 44(7): 47-51.

[3] Bertsiou M, Feloni E, Karpouzou D, et al. Water management and electricity output of a hybrid renewable energy system (hres) in fournoi island in aegean sea [J]. *Renewable Energy*, 2018, 118(8): 790-798.

[4] Chang Xiao Lin, Liu Xinghong, Wei Zhou. Hydropower in china at present and its further development [J]. *Energy*, 2010, 35(11): 4400-4406.

[5] 张超然, 戴会超, 高季章, 等. 特大型水电工程建设和运行面临的主要科技问题[J]. *水利学报*, 2007, 76(S1): 7-14.

[6] Zhang Rui, Zhou Jianzhong, Zhang Huifeng, et al. Optimal operation of large-scale cascaded hydropower systems in the upper reaches of the Yangtse river, China[J]. *Journal of Water Resources Planning & Management*, 2014, 140(4): 480-495.

[7] 牛文静, 冯仲恺, 程春田, 等. 梯级水电站群并行多目标优化调度方法[J]. *水利学报*, 2017, 48(1): 104-112.

[8] 夏忠, 黄强, 赵雪花. 黄河上游梯级水电站滚动开发顺序决策分析[J]. *水力发电学报*, 2005, 24(6): 1-5.

[9] 蔡治国, 曹广晶, 郑瑛. 梯级水电站经济运行评估新方法研究与应用[J]. *水力发电学报*, 2011, 30(2): 15-19.

[10] Fischer Anke, Hanley Nick. Analysing decision behaviour in stated preference surveys: A Consumer Psychological Approach [J]. *Ecological Economics*, 2007, 61(2): 303-314.

[11] 罗彪, 朱晓梅. 考虑心理偏好的经营者激励机制研究[J]. *工业工程与管理*, 2013, 18(2): 111-116.

[12] 王丰效. 线性时变参数 DGM(1,1)变权组合预测模型[J]. *统计与决策*, 2017, 23(13): 79-81.

- [13] 陈云华, 吴世勇, 马光文. 中国水电发展形势与展望[J]. 水力发电学报, 2013, 32(6): 1-4+10.
- [14] Chen Jionghong, Guo Shenglian, Li Yu, et al. Joint operation and dynamic control of flood limiting water levels for cascade reservoirs[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 27(3): 749-763.
- [15] Wang Chao, Zhou Jianzhong, Peng Lu, et al. Long-term scheduling of large cascade hydropower stations in Jinsha River, China [J]. Energy Conversion & Management, 2015, 90(1): 476-487.
- [16] 王印红, 吴金鹏. 对理性人假设批判的批判[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2015, 21(6): 193-199.
- [17] Attema A E, Brouwer W B, L'Haridon O, et al. An elicitation of utility for quality of life under prospect theory [J]. Journal of Health Economics, 2016, 48(7): 121-134.
- [18] Zhou Yanlai, Guo Shenglian, Chang Fi John, et al. Methodology that improves water utilization and hydropower generation without increasing flood risk in mega cascade reservoirs[J]. Energy, 2018, 143(6): 785-796.
- [19] 吴世勇, 申满斌. 雅砻江流域水电开发中的关键技术问题及研究进展[J]. 水利学报, 2007, 79(S1): 15-19.
- [20] Tversky Amos, Kahneman Daniel. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty [J]. Journal of Risk & Uncertainty, 1992, 5(4): 297-323.

Time Series Decision-making of Cascade Hydropower Station Development Based on Prospect Theory

Dong Gangsong, Li Xiong, Lu Jizhao, Cai Peilin

(State Grid Henan Electric Power Company Information and Communication Company, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: To make a reasonable decision on the development timing of cascade hydropower stations, the optimal dispatching model and prospect theory are synthetically applied to establish a development timing decision model based on psychological preference. First, according to the characteristics of hydropower benefit development, the influence of generation capacity and minimum output on development benefit is analyzed, and the mechanism of the decision maker's psychological change is clarified. Second, the double-objective dispatching benefit preference function is proposed and the variable weight theory is introduced to modify the probability decision weight. Finally, the optimal genetic algorithm used to solve the dispatching scheme and calculate the pre-synthesis weights. Scene value is used to analyze the effect of preference of different reference points on decision-making. The case study indicated that the A scheme should be selected when considering the overall balance and economy of the system, the C scheme should be chosen when the decision maker prefers maximum power generation, and the B scheme should be chosen when the decision maker prefers the output. Compared to the traditional decision-making evaluation, the influence of the decision maker's preference on the development sequence is further verified, which provides a theoretical basis for the study of cascade hydropower development decision-making under different preferences.

Key Words: cascade hydropower; multi-objective optimization; prospect theory; development time series; genetic algorithm