

WO 2022/226952 A1



(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

model, and the feasible solution range is reduced. A random sampling algorithm is used to solve the model. Acceptability and reliability parameters are introduced. According to the dispatching results of many years, the weight of water level subsection sampling is given, and random sampling is evolved into probability sampling. The optimal water level and output process of a super-large-scale hydropower system are obtained by means of iterative optimization calculation. The present invention can fully reduce an inferior decision-making range, and greatly reduce the unnecessary calculation of the water level state during the operation of a reservoir. Compared to discrete differential dynamic planning and a step-by-step optimization method, the present invention reduces the calculation time by 98.73% and 96.86% respectively, under similar solution quality conditions, and the dimensional disaster recovery problem of hydropower optimal dispatching is significantly alleviated.

(57) 摘要: 一种耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法, 以发电量最大为目标建立确定性来水情况下超大规模水电系统调度模型, 利用可行域识别方法对水位、流量、出力各种限制约束进行等效转换处理, 获取模型可行解范围, 并对可行解范围进行缩减; 采用随机抽样算法求解模型, 引入可接受性和可靠性参数, 依据多年的调度结果赋予水位分段抽样权重, 将随机抽样进化为概率抽样, 通过迭代优化计算得到超大规模水电系统最优水位与出力过程。本发明能充分削减较劣决策范围、大幅减少不必要水库运行水位状态计算, 与离散微分动态规划和逐步优化方法相比, 在解质量相近的条件下, 分别减少计算时间98.73%和96.86%, 显著缓解了水电优化调度的维数灾难题。

耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法

技术领域

本发明属于水力发电调度领域，特别涉及一种耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法。

背景技术

近二十年来，我国水电实现了跨越式的发展，截止 2020 年底全国水电总装机达到 3.7 亿 kW，单一区域电网水电超过 1 亿 kW、单一省级电网超过 7500 万 kW，单一流域梯级达到 2000 万 kW，区域和省级电网统调水电站数量超过 100 甚至 200 座，如此庞大的水电系统，传统以动态规划、解析式规划为主的优化调度方法的计算和存储规模需求成指数级增长，“维数灾”问题尤为突出，是我国系统高比重水电电网、特大流域梯级水电站群发电调度面临的首要难题，亟需高效实用的求解方法。

随着参与计算的水电站数目增加，单时段的状态组合与决策组合都呈指数增长，导致系统的计算量大幅增长，所以减少单时段的状态组合与决策组合能够有助于解决维数灾问题。离散微分动态规划与逐步优化算法相对于经典动态规划，都减少了每个阶段的状态组合，实际应用中证明了这些方法能有效地提升计算效率。然而，它们依旧存在计算量和存储量随水电站数目增加而呈指数增长的维数问题，所以针对超大规模水电站群优化调度问题亟需探索新的求解方法与技术。一方面，减小搜索范围对于降维是重要的，可行域识别在不改变优化算法寻优机制的前提下有效地减少决策搜索范围的大小，利用约束条件来确定可行域能重新定义决策范围的边界，减少计算的决策组合；另一方面，如何规避无效计算也是重要的降维思路，随机抽样不仅能减少计算的决策组合，也能减少状态组合。前述两种思路都可以有效减少水电系统优化调度的计算和存储量。

为此，本发明以西南地区水电系统为背景，依托国家自然科学基金（52079014），针对大规模水电系统调度的维数灾问题开展研究，利用可行域识别和随机抽样技术，提出了具有较强实用价值和推广应用价值的大规模水电站群优化调度降维方法。

发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法，利用可行域减少结果搜索范围，采用随机抽样优化方法在保证结果可靠度的前提下避免遍历搜索范围内的所有解，极大地提高了计算效率，在一定程度上解决了大规模水电站群优化调度中的维数灾问题。

本发明的技术方案为：本发明揭示了一种耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法，按照下述步骤 1-12 完成水电站群确定性优化调度降维：

步骤 1. 以水能高效利用为准则，建立水电站群优化调度模型，具体如下：

$$\begin{cases} \max E = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T N_{i,t} \times \Delta t' \\ N_{i,t} = K_i \times q_{i,t} \times h_{i,t} \end{cases} \quad (1)$$

式中：该式中 E 代表水电系统的发电量； $\Delta t'$ 代表时段 t 内的小时数； i 代表水电站序号； K_i 代表水电站 i 的出力系数； $N_{i,t}$ 代表水电站在时段 t 的出力； $q_{i,t}$ 代表水电站在时段 t 的下泄流量； $h_{i,t}$ 代表水电站在时段 t 的平均出力净水头； $q_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的发电流量； $N_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的出力； I 代表水电站的个数。

步骤 2. 初始化计算参数，包括水电站运行参数、水位控制约束、下泄流量约束、电站出力约束、水量平衡约束；

$$\begin{cases} Z_{i,0} = Z_i^0 \\ Z_{i,T} = Z_i^T \\ Z_{i,S} \leq Z_{i,t} \leq Z_{i,Z} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_{i,\min} \leq R_{i,t} \leq R_{i,\max} \\ q_{i,\min} \leq q_{i,t} \leq q_{i,\max} \\ R_{i,t} = q_{i,t} + d_{i,t} \end{cases} \quad (3)$$

$$N_{i,\min} \leq N_{i,t} \leq N_{i,\max} \quad (4)$$

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} + 3600(Q_{i,t} - R_{i,t}) * \Delta t' \quad (5)$$

$$\begin{cases} Q_{i,t} = Q_{i,t}' \\ Q_{i,t} = Q_{i,t}' + \sum R_t \end{cases} \quad (6)$$

式中： $Z_{i,0}$ 代表水电站 i 的初始水位， $Z_{i,T}$ 代表水电站 i 的末水位。 $Z_{i,S}$ 与 $Z_{i,Z}$ 分别代表水电站 i 的水位最小值与最大值； $Z_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的水位； $R_{i,\min}$ 与 $R_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的出库流量下限与上限； $R_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的下泄流量； $q_{i,\min}$ 与 $q_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的发电流量上下限； $q_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的发电流量； $d_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的弃水流量； $N_{i,\min}$ 与 $N_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的出力下限与上限； $N_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的出力； $V_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的初始库容； $Q_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的入库径流； $Q_{i,t}'$ 为水电站 i 在时段 t 的区间流量； $\sum R_t$ 代表上游水电站在时段 t 的下泄流量之和；当水电

站 $i=1$ 时, 入库径流为区间径流, 当水电站 $i>1$ 时, 入库径流为区间径流与上游水电站下泄流量之和。

步骤 3. 设置可靠度指标 a 、 b , 以及抽样方法最优解和第五优解的精度 ε_1 与 ε_5 ;

步骤 4. 确定参数序列 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$, 与抽样数目序列 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$; 其中 M 是数组 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ 和 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 的元素个数;

步骤 5. 设置 $n=1, k=1, t=1$, 取 $S=S_k$; 其中 n 是抽样样本的序号, k 是数组 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ 和 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 序列里的序号, S 是抽样的数目, S_k 代表 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 序列里第 k 个元素;

步骤 6. 确定水电站在时段 t 末的可行域范围, 耦合上述多种水电站调度运行约束, 确定可行域范围, 包含以下几步:

(1) 约束条件转换:

对于出力约束, 利用耗水率 μ_i 将其转化为下泄流量约束, 如下所示:

$$\begin{cases} q_{i,pmax} = \frac{N_{i,max}}{\mu_i} \\ q_{i,pmin} = \frac{N_{i,min}}{\mu_i} \end{cases} \quad (7)$$

对于下泄流量约束, 使用 $q_{i,min}$ 与 $q_{i,max}$ 寻求可行域, 比较两组下泄流量约束, 并将它们的交集作为定义可行区域的一组下泄流量约束如下:

$$\begin{cases} \bar{q}_{i,t} = \min(q_{i,max}, q_{i,pmax}) \\ \underline{q}_{i,t} = \max(q_{i,min}, q_{i,pmin}) \end{cases} \quad (8)$$

式中 $\bar{q}_{i,t}$, $\underline{q}_{i,t}$ 分别表示下泄流量的上限与下限; $q_{i,pmax}$, $q_{i,pmin}$ 分别代表出力上限与下限对应的等效下泄流量。

(3) 可行域范围确定

据水量平衡方程可知, 在其他变量确定的前提下, 出库径流与时段末库容呈反比, 即可以使用最小下泄流量求取时段末库容上限值, 使用最大下泄流量求取时段末库容下限值。如下式所示, 利用水量平衡, 在已知的入库流量与时段初库容的条件下, 将下泄流量约束先转变为库容约束。在转变后与原有的库容约束进行比较, 取交集作为可行范围的上下限。

$$\bar{V}_{i,t+1} = \begin{cases} V_{i,t} + (Q_{i,t} - q_{i,min}) \times \Delta t & i=1 \\ V_{i,t} + (Q_{i,t} + q_{i-1,t} - q_{i,min}) \times \Delta t & i \neq 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\underline{V}_{i,t+1} = \begin{cases} V_{i,t} + (Q_{i,t} - q_{i,max}) \times \Delta t & i=1 \\ V_{i,t} + (Q_{i,t} + q_{i-1,t} - q_{i,max}) \times \Delta t & i \neq 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中 $\bar{V}_{i,t+1}$, $\underline{V}_{i,t+1}$ 分别表示库容可行域的上限与下限。

根据上式得到的库容范围, 通过水位~库容关系曲线将其转变为等效的水位范围。

(4) 采用下式进一步缩减可行域范围

$$\begin{cases} \bar{Z}_{i,t} = \min(H_{i,normal}, A) \\ \underline{Z}_{i,t} = \max(H_{i,dead}, A) \end{cases} \quad (11)$$

式中 $\bar{Z}_{i,t}$, $\underline{Z}_{i,t}$ 分别表示库水位可行域的上限与下限; $H_{i,normal}$, $H_{i,dead}$ 分别表示水电站 i 的正常高水位和死水位; A 表示第 i 个水电站在时段 t 内各种径流情况下的水位数组。

步骤 7. 在水电站的水位可行域范围内进行概率抽样, 以计算面临时段的出力: 在计算中, 每个库水位位于满意解区间的概率为 $a\%$ 。则每随机抽出一个解, 它不处于满意解区间的概率为 $(1-a\%)$, 在上一步骤确定的可行域内连续抽出 s 个候选水位, 这些水位都不是处于前 $a\%$ 的概率为 $(1-a\%)^s$, 当:

$$(1 - a\%)^s \leq b\% \quad (12)$$

则抽出 S 个库水位, 为了保证含有满意解, 则:

$$S_{min} = \text{int} \left[\frac{\lg(b\%)}{\lg(1 - a\%)} + 1 \right] \quad (13)$$

当抽出的样本数目大于 S_{min} 时, 则有 $(1-b\%)$ 的概率抽取到满意的水位。

步骤 8. 令 $t=t+1$; 判断 $t=T$ 是否成立, 若成立, 则取全年末水位为时段末水位进行出力计算, 并求出各时段出力之和为样本 $n-s$ 的抽样结果, 设置 $t=1$, 进入步骤 9; 若不成立, 则返回步骤 6 继续计算;

步骤 9. 判断 $n=S$ 是否成立, 若成立, 求取 S 个库水位样本中的最优解与第五优解, 设置 $n=1$, 进入步骤 10, 若不成立, $n=n+1$, 返回步骤 6 继续计算;

步骤 10. 判断 $k=M$ 是否成立, 若成立, 进入步骤 11, 若不成立, $k=k+1$, 返回步骤 6 继续计算;

步骤 11. 获得水电站调度最优解序列 $\{f1\}$ 与第五优解 $\{f5\}$, 获得每个抽样组合的最优解与第五优解序列 $\{f_{1,1}, f_{1,2}, f_{1,3}, \dots\}$, $\{f_{5,1}, f_{5,2}, f_{5,3}, \dots\}$, 求解序列的变化率 $d1$ 与 $d5$, 具体公式如下:

$$d1 = \frac{\partial f1}{\partial a} = \frac{f_{1,k+1} - f_{1,k}}{a_{k+1} - a_k} \quad (14)$$

$$d5 = \frac{\partial f5}{\partial a} = \frac{f_{5,k+1} - f_{5,k}}{a_{k+1} - a_k} \quad (15)$$

$$d1 < \varepsilon 1 \quad (16)$$

$$d5 < \varepsilon 5 \quad (17)$$

步骤 12. 进行精度判断, 如果满足精度判断则输出最优解, 若不满足则计算增加抽样数目, 设置 $S=\Delta S$, $k=M+1$, 返回步骤 6 继续计算。

对比现有技术, 实施本发明的技术方案, 可实现如下有益效果: 本发明提出的方法可利用大规模水电系统调度模型可行域缩减范围, 采用随机抽样优化方法在保证结果可靠度的前提下避免遍历搜索范围内的所有解, 极大地提高了计算效率, 在一定程度上解决了水电站群优化调度中的维数灾问题。本发明能够显著缩减较劣决策范围、减少不必要计算和存储成本, 在一定程度上解决维数灾问题, 实现大规模水电系统优化调度的高效处理。

附图说明

图 1 是水电站水位上下限示意图;

图 2 是可行域识别方法示意图;

图 3 是优化调度结果分布概率示意图。

具体实施方式

本发明涉及一种耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法, 以下结合附图和实例对本发明作进一步的描述。

超大规模的水电站群调度是极具挑战的系统优化问题, 为了实现系统的高效求解, 本发明主要解决两个方面的问题: 一是如何根据调度需求确定调度模型的可行解范围并进行缩减; 二是在可行解范围内进行随机抽样, 以规避大量无效或低效计算。以下分别阐述两方面问题的解决方案。

(a) 水电站群优化调度模型可行解范围缩减

本发明以确定性来水情况下超大规模水电系统水能高效利用为目标, 构建发电量最大模型, 具体如下:

$$\begin{cases} \max E = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T N_{i,t} \times \Delta t' \\ N_{i,t} = K_i \times q_{i,t} \times h_{i,t} \end{cases} \quad (18)$$

模型约束如下:

① 水位控制约束

$$\begin{cases} Z_{i,0} = Z_i^0 \\ Z_{i,T} = Z_i^T \\ Z_{i,S} \leq Z_{i,t} \leq Z_{i,Z} \end{cases} \quad (19)$$

②下泄流量约束

$$\begin{cases} R_{i,\min} \leq R_{i,t} \leq R_{i,\max} \\ q_{i,\min} \leq q_{i,t} \leq q_{i,\max} \\ R_{i,t} = q_{i,t} + d_{i,t} \end{cases} \quad (20)$$

② 出力约束

$$N_{i,\min} \leq N_{i,t} \leq N_{i,\max} \quad (21)$$

③ 水量平衡约束

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} + 3600(Q_{i,t} - R_{i,t}) * \Delta t' \quad (22)$$

$$\begin{cases} Q_{i,t} = Q_{i,t}' \\ Q_{i,t} = Q_{i,t}' + \sum R_t \end{cases} \quad (23)$$

式中： $Z_{i,0}$ 代表水电站 i 的初始水位， $Z_{i,T}$ 代表水电站 i 的末水位。 $Z_{i,S}$ 与 $Z_{i,Z}$ 分别代表水电站 i 的水位最小值与最大值； $Z_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的水位； $R_{i,\min}$ 与 $R_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的出库流量下限与上限； $R_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的下泄流量； $q_{i,\min}$ 与 $q_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的发电流量上下限； $q_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的发电流量； $d_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的弃水流量； $N_{i,\min}$ 与 $N_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的出力下限与上限； $N_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的出力； $V_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的初始库容； $Q_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的入库径流； $Q_{i,t}'$ 为水电站 i 在时段 t 的区间流量； $\sum R_t$ 代表上游水电站在时段 t 的下泄流量之和；当水电站 $i=1$ 时，入库径流为区间径流，当水电站 $i>1$ 时，入库径流为区间径流与上游水电站下泄流量之和。

满足数学模型所有约束的解决方案称为可行解决方案。由所有可行解组成的集合称为可行区域，即可行域只与问题的约束有关，与问题的目标函数以及求解方式等并无直接关系。因此，对于本发明所构建的发电量最大模型的可行区域即为满足上述所有约束的一组解决方案。

(1) 模型约束转换

在进行模型可行解范围缩减之前，需要先找出各约束所对应的决策范围，即对约束进行等价转换。对于出力约束，利用耗水率 μ_i 转化为总排水约束，如下所示：

$$\begin{cases} q_{i,pmax} = \frac{N_{i,max}}{\mu_i} \\ q_{i,pmin} = \frac{N_{i,min}}{\mu_i} \end{cases} \quad (24)$$

对于下泄流量约束, 已知 $R > q$, 所以使用 $q_{i,min}$ 与 $q_{i,max}$ 寻求可行域, 比较两组下泄流量约束, 并将它们的交集作为定义可行区域的一组下泄流量约束如下:

$$\begin{cases} \bar{q}_{i,t} = \min(q_{i,max}, q_{i,pmax}) \\ \underline{q}_{i,t} = \max(q_{i,min}, q_{i,pmin}) \end{cases} \quad (25)$$

(2) 可行集范围确定

据水量平衡方程可知, 在其他变量确定的前提下, 出库径流与时段末库容呈反比, 即可以使用最小下泄流量求取时段末库容上限值, 使用最大下泄流量求取时段末库容下限值。如下式所示, 利用水量平衡, 在已知的入库流量与时段初库容的条件下, 将下泄流量约束先转变为库容约束。在转变后与原有的库容约束进行比较, 取交集作为可行范围的上下限。

$$\bar{V}_{i,t+1} = \begin{cases} V_{i,t} + (Q_{i,t} - q_{i,min}) \times \Delta t & i = 1 \\ V_{i,t} + (Q_{i,t} + q_{i-1,t} - q_{i,min}) \times \Delta t & i \neq 1 \end{cases} \quad (26)$$

$$\underline{V}_{i,t+1} = \begin{cases} V_{i,t} + (Q_{i,t} - q_{i,max}) \times \Delta t & i = 1 \\ V_{i,t} + (Q_{i,t} + q_{i-1,t} - q_{i,max}) \times \Delta t & i \neq 1 \end{cases} \quad (27)$$

本发明中以时段末水位作为决策变量, 故将获得的水位库容范围通过水位-库容关系转变为水位范围。

此外, 利用已知的多年径流过程以及人工模拟的方式获得足够长的径流过程, 人工模拟径流符合每月经流的理论频率曲线。可以认为所给出的径流过程包含了所有可能出现的径流过程。在确定性径流来水的前提下, 对水库进行单库 DP 调度获得水库多年的水位变化过程并取水位的上下限。通过多年调度水位过程可知, 在全年的初水位与末水位固定的条件下, 无论径流条件如何变化, 一部分的水位永远不会达到。如图 1 所示: 水位上限与正常高水位之间的水位, 水位下限与死水位之间的水位不会在调度过程中遇到, 故可以在调度计算之前将这些范围排除, 进一步缩减可行区域范围。

(3) 可行集范围缩减

将所有水电站的月末水位过程集合形成三维矩阵 A 。三个维度分别是: 径流、月份与水电站, 然后根据 A 为每个时段中的每个水库设置了水位的上限和下限。将满足约束条件的水位范围与这些水位限制进行比较, 并将重叠区域作为期间 i 的可行区域, 删除不满足约束条件的任何水位范围以及矩阵 A 中的水位范围未覆盖的任何范围, 具体计算公式如下:

$$\begin{cases} \bar{Z}_{i,t} = \min(H_{i,normal}, A) \\ \underline{Z}_{i,t} = \max(H_{i,dead}, A) \end{cases} \quad (28)$$

式中 $\bar{Z}_{i,t}$, $\underline{Z}_{i,t}$ 分别表示库水位可行域的上限与下限; $H_{i,normal}$, $H_{i,dead}$ 分别表示水电站 i 的正常高水位和死水位; A 表示第 i 个水电站在时段 t 内各种径流情况下的水位数组。

在计算过程中,按照时段大小从小到大依次确定可行区域。在时期 1 中,根据初始水位并结合第一时期的约束条件和入水量来获得时段末的可行域。结合 RS 优化方法,该方法从可行区域采样水位,以获得下一个时期的初始条件。这样可以实现确定可行域与抽样依次进行,动态确定可行域范围。相较于利用前一阶段的可行域边界来确定该阶段的可行域,能更好的删除不满足约束的水位范围,可行域范围被大大缩小了。因此,可知通过以这种方式依次计算每个时期中每个时段的可行区,可以大大提高 HDRS 的计算效率。FRI 方法原理如图 2 所示。

(b) 水电站群确定性调度模型求解

对于大规模水电系统调度问题,难以将所有可能结果都计算出来进行比较。本发明在随机抽样的基础上使用 RS 优化并增加了结果评定,根据搜索结果动态调整采样数目。为确保从所有候选解决方案中选择的样本具有合理的可靠性水平,将可接受性和可靠性参数引入到 RS 优化中。迭代评估选定的水位状态,以评估目标值的提高,该目标值将用作整个搜索过程的收敛标准。为了进一步提升样本的可靠度,依据多年的调度结果,赋予水位分段抽样权重,将随机抽样进化为概率抽样。

(1) 满意解序列与可靠度指标

为了了解水库调度的解分布并辅助解释随机抽样优化方法的可靠度指标 $a\%$, $b\%$, 选择动态规划计算的小湾某时段决策与状态组合得到的所有解进行分析,具体分布概率如下:

$$a(N) = n_N / n_{all} \quad (29)$$

$$A(N1) = \int_{-\infty}^{N1} a(N) \quad (30)$$

式中: n_N 代表出力 N 出现的个数; n_{all} 代表所有出力结果的个数; $a(N)$ 代表出力为 N 的结果出现的概率。 $A(N1)$ 代表小于 $N1$ 的结果出现的概率。

根据附图 3 可知,结果的数目与结果优劣呈正相关关系,越接近最优解的区间内包含的结果数目越多。在随机抽样的情况下各个决策出现的概率相同,抽取得到最优解的可能性太小,但是抽取得到最优解附近范围的近似最优解的概率则明显提升很多。

对于大规模的水库调度问题，决策搜索范围过大无法直接进行求解，相对于找出最优解，找出近似解更为简单。设置参数 a ，认为当解按照优劣排序时，处于前 $a\%$ 区间的解都是满意的解。在随机抽样过程中，每个区间的样本都有一定的概率被抽到，当完全随机时，每个样本被抽到的概率为：

$$a'\% = 1/n_{all} \quad (31)$$

对应的，位于满意解被抽到的概率为：

$$a\% = n_{满意解}/n_{all} \quad (32)$$

式中， $n_{满意解}$ 代表满意解区间的解数目。

随机抽样概率只与样本数目有关，当通过客观原因赋予不同样本不同的概率，依据样本概率抽样时，随机抽样就变化成了概率抽样，在抽样次数足够多的情况下，随机抽样结果分布较为平均，与总体结果分布近似。概率抽样的结果分布与结果的概率值相关，当表现较优的结果拥有更大的概率时，抽样结果的分布则表现为较优结果数目增加，较劣结果数目减少。所以当赋予给较优结果的样本更大的概率值时，使用概率抽样能提升抽样的可靠性。

(2) 随机抽样

在计算中，目标是获得满意解区间的结果，每个解位于满意解区间的概率为 $a\%$ 。则每随机抽出一个解，它不处于满意解区间的概率为 $(1-a\%)$ ，连续抽出 s 个候选解，它们都不是处于前 $a\%$ 的概率为 $(1-a\%)^s$ ，由于抽样目标是抽出一个位于满意解区间的解，那么当：

$$(1 - a\%)^s \leq b\% \quad (33)$$

则抽出 S 个样本，为了保证含有满意解，则：

$$S_{min} = \text{int} \left[\frac{\lg(b\%)}{\lg(1 - a\%)} + 1 \right] \quad (34)$$

即，只要抽出的样本数目大于 S_{min} ，则就有 $(1-b\%)$ 的概率抽取到满意解。

由于实际计算中，参数的选取需要根据经验决定，所以为了保证能抽取到满意解，还需要对得到的解进行评估。评估时，我们认为，如果继续增大抽样数目对于改进优化的效果不够明显，则认为已经找到了抽样的最优解，若继续增大抽样数目能够明显改善优化结果，则认为还需继续增加抽样数目，则进入迭代，直到找到满意解为止。

为了完成评估，改变 a 值，形成一个序列 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ ，对应的抽样数目序列为 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 。按照这些样本数目进行抽样，获得每个抽样组合的最优解与第五优解序列 $\{f1,1, f1,2, f1,3, \dots\}$ ， $\{f5,1, f5,2, f5,3, \dots\}$ 。对解序列进行求导：

$$d1 = \frac{\partial f1}{\partial a} = \frac{f_{1,k+1} - f_{1,k}}{a_{k+1} - a_k} \quad (35)$$

$$d5 = \frac{\partial f5}{\partial a} = \frac{f_{5,k+1} - f_{5,k}}{a_{k+1} - a_k} \quad (36)$$

$$d1 < \varepsilon 1 \quad (37)$$

$$d5 < \varepsilon 5 \quad (38)$$

由 $f1$ 与 $f5$ 随 a 的变化情况评估所得到的解是否令人满意, 设置精度 $\varepsilon 1$ 与 $\varepsilon 5$ 。当精度公式可以满足, 且 $f1$ 与 $f5$ 较为接近时, 表明获得的满意解密度较大, 且阶段健壮性较强, $f1$ 为满意解。当两个精度公式不能满足时, 不能判定此时获得的最优解为满意解, 需要继续扩大抽样数目。

$$\Delta S = \text{int} \left[\frac{\lg(b\%)}{\lg(1 - a_{M+1}\%)} - \frac{\lg(b\%)}{\lg(1 - a_M\%)} + 1 \right] \quad (39)$$

将增加的样本解加入以有的解集合中, 判断新的解集合是否都满足精度要求。

(3) 计算步骤

Step 1: 设置参数。包括参数 $a, b, \varepsilon 1$ 与 $\varepsilon 5$ 。

Step 2: 确定参数序列 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ 与 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$;

Step 3: 依据序列 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 第 $M-1$ 至 M 个元素进行抽样, 并计算获得最优解序列 $\{f1\}$ 与第五优解 $\{f5\}$ 。 m 通常取 20-50;

Step 4: 求解解序列的变化率 $d1$ 与 $d5$, 并进行精度判断, 如果满足精度判断则输出最优解, 若不满足则进入 Step 5。

Step 5: 增加抽样数目, 并将解加入已有的解集中, 返回 Step 4。

(c) 总体求解方法步骤

结合上述关键问题的解决思路, 一次完整的水电站群确定性优化调度降维过程可通过如下步骤表述:

步骤 1. 建立超大规模水电系统确定性优化调度模型, 该模型以发电量最大为目标;

步骤 2. 读取基础数据, 初始化计算参数, 包括水电站运行参数、水位控制约束、下泄流量约束、电站出力约束、水量平衡约束;

步骤 3. 设置参数 $a, b, m, l, \varepsilon 1$ 与 $\varepsilon 5$, 水位矩阵 A , 各区间权重分布 w ;

步骤 4. 确定参数序列 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ 与 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$;

步骤 5. 设置 $n=1, k=1, t=1$, 取 $S=S_k$; 其中 n 是抽样样本的序号, k 是数组 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$

和 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 序列里的序号, S 是抽样的数目, S_k 代表 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 序列里第 k 个元素;

步骤 6. 根据可行域识别原理对时段 t 进行计算, 确定时段末的可行域范围;

步骤 7. 在可行域范围内进行概率抽样, 抽出一个末水位进行该时段的出力计算;

步骤 8. 令 $t=t+1$; 判断 $t=T$ 是否成立, 若成立, 则取全年末水位为时段末水位进行出力计算, 并求出各时段出力之和为样本 n 的抽样结果, 设置 $t=1$, 进入步骤 9; 若不成立, 则返回步骤 6 继续计算;

步骤 9. 判断 $n=S$ 是否成立, 若成立, 求取 S 个样本中的最优解与第五优解, 设置 $n=1$, 进入步骤 10, 若不成立, $n = n+1$, 返回步骤 6 继续计算;

步骤 10. 判断 $k=M$ 是否成立, 若成立, 进入步骤 11, 若不成立, $k=k+1$, 返回步骤 6 继续计算;

步骤 11. 获得最优解序列 $\{f1\}$ 与第五优解 $\{f5\}$, 求解序列的变化率 $d1$ 与 $d5$;

步骤 12. 进行精度判断, 如果满足精度判断则输出最优解, 若不满足则计算增加抽样数目, 设置 $S=\Delta S$, $k=M+1$, 返回步骤 6 继续计算。

现以澜沧江干流 12 个水电站、金沙江 8 个水电站和南盘江 1 个水电站, 共 21 个水电站为研究对象, 选择该系统 53 年的实际径流过程, 即 1954-1959、1961-1999 和 2008-2015, 进行计算, 以验证本发明方法的效率。表 1 中列出了详细的发电量和计算时间数据, 表 2 列出了各水电站发电量计算结果, 表 3 列出了所有年份的最佳结果和最差结果。

根据表 1、表 2, 与离散微分动态规划 (DDDP) 和逐步优化算法 (POA) 相比, 本发明提出的方法计算的年发电量分别提高了 4.37% 和 8.74%, 计算时间分别减少了 98.73% 和 96.86%。而且, 在多次计算中发现, 发电量的变化很小, 说明解的质量具有较好的稳定性。平均计算耗时明显小于 DDDP 和 POA 的计算时间。结果说明, 本发明提出的方法能在更短的时间内获得更好的水电站优化调度结果。

表 1 21 个水电站多年计算结果对比

方法	步长水位	单时段水位离散数目	计算次数	发电量/ 10^8 kWh	计算时间/s
DDDP	1			3279	50376
POA		7		3129	20478
FRS			6	3429	642

表 2 各水电站发电量对比

流域	水电站	发电量/ 10^8 kWh			流域	水电站	Energy production / 10^8 kWh		
		DDDP	POA	本发明方法			DDDP	POA	本发明方法
澜沧江	古水	98	116	113	澜沧江	景洪	81	89	81
	乌弄龙	42	44	45		梨园	177	156	186
	里底	19	20	20		阿海	153	138	164
	黄登	86	100	87	金沙江	金安桥	192	172	201
	大华桥	44	47	44		龙开口	134	121	145
	苗尾	65	70	66		鲁地拉	161	146	174
	功果桥	42	42	42		观音岩	216	199	235
	小湾	215	218	207		溪洛渡	736	647	795
	漫湾	79	76	78		向家坝	365	367	397
	大朝山	75	68	70	南盘江	卢布革	35	35	34
	糯扎渡	265	255	245		总计	3279	3129	3429

权利要求书

1.一种耦合可行域识别和随机抽样的大规模水电站群优化调度降维方法，其特征在于包括以下步骤：

步骤 1. 以水能高效利用为准则，建立水电站群优化调度模型，具体如下：

$$\begin{cases} \max E = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T N_{i,t} \times \Delta t' \\ N_{i,t} = K_i \times q_{i,t} \times h_{i,t} \end{cases} \quad (1)$$

式中： E 代表所有水电站的发电量之和； $\Delta t'$ 代表时段 t 内的小时数； i 代表水电站序号； K_i 代表水电站 i 的出力系数； $h_{i,t}$ 代表水电站在时段 t 的平均出力净水头； $q_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的发电流量； $N_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的出力； I 代表水电站的个数；

步骤 2. 初始化计算参数，包括水电站运行参数、水位控制约束、下泄流量约束、电站出力约束、水量平衡约束；

$$\begin{cases} Z_{i,0} = Z_i^0 \\ Z_{i,T} = Z_i^T \\ Z_{i,S} \leq Z_{i,t} \leq Z_{i,Z} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_{i,\min} \leq R_{i,t} \leq R_{i,\max} \\ q_{i,\min} \leq q_{i,t} \leq q_{i,\max} \\ R_{i,t} = q_{i,t} + d_{i,t} \end{cases} \quad (3)$$

$$N_{i,\min} \leq N_{i,t} \leq N_{i,\max} \quad (4)$$

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} + 3600(Q_{i,t} - R_{i,t}) \times \Delta t' \quad (5)$$

$$\begin{cases} Q_{i,t} = Q_{i,t}' \\ Q_{i,t} = Q_{i,t}' + \sum R_t \end{cases} \quad (6)$$

式中： $Z_{i,0}$ 代表水电站 i 的初始水位， $Z_{i,T}$ 代表水电站 i 的末水位； $Z_{i,S}$ 与 $Z_{i,Z}$ 分别代表水电站 i 的水位最小值与最大值； $Z_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的水位； $R_{i,\min}$ 与 $R_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的出库流量下限与上限； $R_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的下泄流量； $q_{i,\min}$ 与 $q_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的发电流量上下限； $q_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的发电流量； $d_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的弃水流量； $N_{i,\min}$ 与 $N_{i,\max}$ 分别为水电站 i 的出力下限与上限； $N_{i,t}$ 代表水电站 i 在时段 t 的出力； $V_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的初始库容； $Q_{i,t}$ 为水电站 i 在时段 t 的入库径流； $Q_{i,t}'$ 为水电站 i 在时段 t 的区间流量； $\sum R_t$ 代表上游水电站在时段 t 的下泄流量之和；当水电站 $i=1$ 时，入库径

流为区间径流，当水电站 $i > 1$ 时，入库径流为区间径流与上游水电站下泄流量之和；

步骤 3. 设置可靠度指标 a 、 b ，以及抽样方法最优解和第五优解的精度 εI 与 εS ；

步骤 4. 确定参数序列 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ ，与抽样数目序列 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ ；其中 M 是数组 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ 和 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 的元素个数；

步骤 5. 设置 $n=1, k=1, t=1$ ，取 $S=S_k$ ；其中 n 是抽样样本的序号， k 是数组 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_M\}$ 和 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 序列里的序号， S 是抽样的数目， S_k 代表 $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$ 序列里第 k 个元素；

步骤 6. 确定水电站在时段 t 末的可行域范围，耦合上述多种水电站调度运行约束，确定可行域范围，包含以下几步：

(1) 约束条件转换：

对于出力约束，利用耗水率 μ_i 将其转化为下泄流量约束，如下所示：

$$\begin{cases} q_{i,pmax} = \frac{N_{i,max}}{\mu_i} \\ q_{i,pmin} = \frac{N_{i,min}}{\mu_i} \end{cases} \quad (7)$$

对于下泄流量约束，使用 $q_{i,min}$ 与 $q_{i,max}$ 寻求可行域，比较两组下泄流量约束，并将它们的交集作为定义可行区域的一组下泄流量约束如下：

$$\begin{cases} \bar{q}_{i,t} = \min(q_{i,max}, q_{i,pmax}) \\ \underline{q}_{i,t} = \max(q_{i,min}, q_{i,pmin}) \end{cases} \quad (8)$$

式中， $\bar{q}_{i,t}$ ， $\underline{q}_{i,t}$ 分别表示下泄流量的上限与下限； $q_{i,pmax}$ ， $q_{i,pmin}$ 分别代表出力上限与下限对应的等效下泄流量；

(2) 可行域范围确定

据水量平衡方程知，在其他变量确定的前提下，出库径流与时段末库容呈反比，即使用最小下泄流量求取时段末库容上限值，使用最大下泄流量求取时段末库容下限值；如下式所示，利用水量平衡，在已知的入库流量与时段初库容的条件下，将下泄流量约束先转变为库容约束；在转变后与原有的库容约束进行比较，取交集作为可行范围的上下限；

$$\bar{V}_{i,t+1} = \begin{cases} V_{i,t} + (Q_{i,t} - q_{i,min}) \times \Delta t & i=1 \\ V_{i,t} + (Q_{i,t} + q_{i-1,t} - q_{i,min}) \times \Delta t & i \neq 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\underline{V}_{i,t+1} = \begin{cases} V_{i,t} + (Q_{i,t} - q_{i,max}) \times \Delta t & i=1 \\ V_{i,t} + (Q_{i,t} + q_{i-1,t} - q_{i,max}) \times \Delta t & i \neq 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中， $\bar{V}_{i,t+1}$ ， $\underline{V}_{i,t+1}$ 分别表示库容可行域的上限与下限；

根据上式得到的库容范围，通过水位~库容关系曲线将其转变为等效的水位范围；

(4) 采用下式进一步缩减可行域范围

$$\begin{cases} \bar{Z}_{i,t} = \min(H_{i,normal}, A) \\ \underline{Z}_{i,t} = \max(H_{i,dead}, A) \end{cases} \quad (11)$$

式中, $\bar{Z}_{i,t}$, $\underline{Z}_{i,t}$ 分别表示库水位可行域的上限与下限; $H_{i,normal}$, $H_{i,dead}$ 分别表示水电站 i 的正常高水位和死水位; A 表示第 i 个水电站在时段 t 内各种径流情况下的水位数组;

步骤 7. 在水电站的水位可行域范围内进行概率抽样, 以计算面临时段的出力: 在计算中, 每个库水位位于满意解区间的概率为 $a\%$; 则每随机抽出一个解, 它不处于满意解区间的概率为 $(1-a\%)$, 在上一步骤确定的可行域内连续抽出 s 个候选水位, 这些水位都不是处于前 $a\%$ 的概率为 $(1-a\%)^s$, 当:

$$(1 - a\%)^s \leq b\% \quad (12)$$

则抽出 S 个库水位, 为了保证含有满意解, 则:

$$S_{min} = \text{int} \left[\frac{\lg(b\%)}{\lg(1 - a\%)} + 1 \right] \quad (13)$$

当抽出的样本数目大于 S_{min} 时, 则有 $(1-b\%)$ 的概率抽取到满意的水位;

步骤 8. 令 $t=t+1$; 判断 $t=T$ 是否成立, 若成立, 则取全年末水位为时段末水位进行出力计算, 并求出各时段出力之和为样本 n 的抽样结果, 设置 $t=1$, 进入步骤 9; 若不成立, 则返回步骤 6 继续计算;

步骤 9. 判断 $n=S$ 是否成立, 若成立, 求取 S 个库水位样本中的最优解与第五优解, 设置 $n=1$, 进入步骤 10, 若不成立, $n=n+1$, 返回步骤 6 继续计算;

步骤 10. 判断 $k=M$ 是否成立, 若成立, 进入步骤 11, 若不成立, $k=k+1$, 返回步骤 6 继续计算;

步骤 11. 获得水电站调度最优解序列 $\{f1\}$ 与第五优解 $\{f5\}$, 获得每个抽样组合的最优解与第五优解序列 $\{f_{1,1}, f_{1,2}, f_{1,3}, \dots\}$, $\{f_{5,1}, f_{5,2}, f_{5,3}, \dots\}$, 求解序列的变化率 $d1$ 与 $d5$, 具体公式如下:

$$d1 = \frac{\partial f1}{\partial a} = \frac{f_{1,k+1} - f_{1,k}}{a_{k+1} - a_k} \quad (14)$$

$$d5 = \frac{\partial f5}{\partial a} = \frac{f_{5,k+1} - f_{5,k}}{a_{k+1} - a_k} \quad (15)$$

$$d1 < \varepsilon 1 \quad (16)$$

$$d5 < \varepsilon5 \quad (17)$$

步骤 12. 进行精度判断, 如果满足精度判断则输出最优解, 若不满足则计算增加抽样数目, 设置 $S=\Delta S$, $k=M+1$, 返回步骤 6 继续计算。

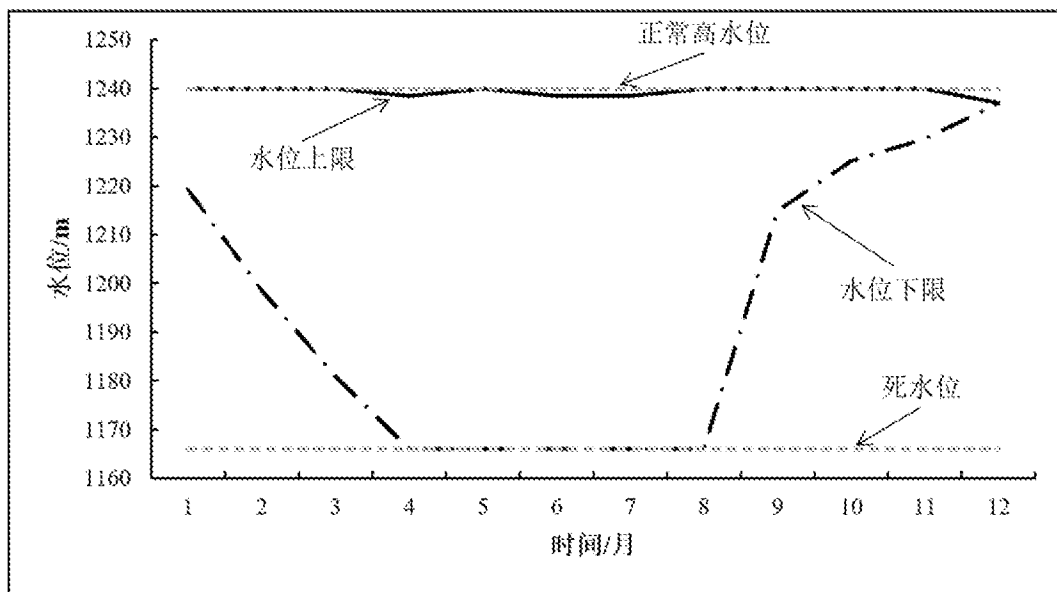


图 1

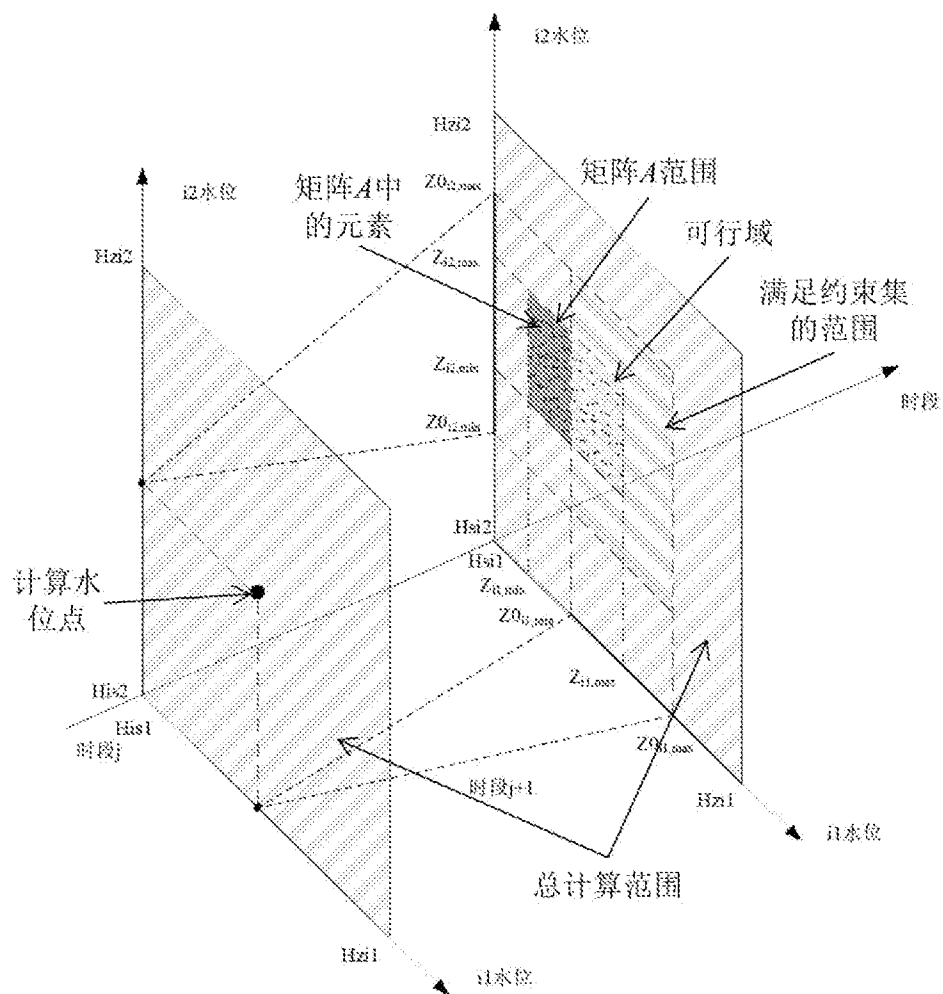


图 2

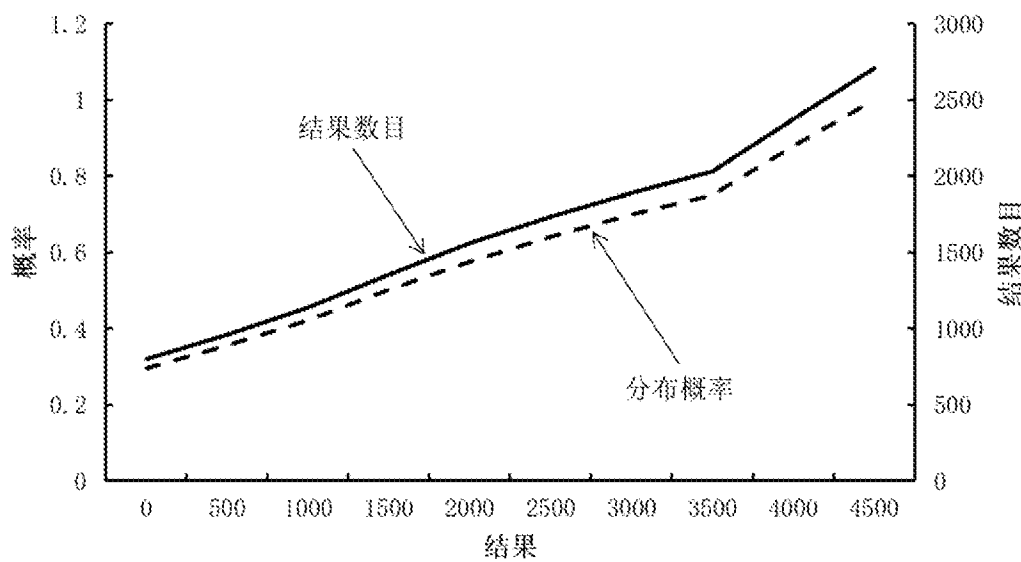


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/091245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q 10/04(2012.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q; G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CPEA; CNMED; PLABS; AUABS; DWPI; TWABS; FRABS; TWMED; HKABS; CNABS; SGABS; LEXIS; MOABS; ILABS; SIPOABS: 水电站, 调度, 耦合, 优化, 水电系统, 抽样, 迭代, iterati+, hydroelectric station, coupl+, hydropower station, dispatch, control, optimiz+, sampl+, manage

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112633578 A (GD POWER DEV CO LTD HEYU HYDROPOWER DEV COMPANY; CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES) 09 April 2021 (2021-04-09) entire description	1
A	CN 111353649 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 30 June 2020 (2020-06-30) entire description	1
A	CN 103745023 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY; CHINA THREE GORGES CORP.) 23 April 2014 (2014-04-23) entire description	1
A	CN 108520317 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 11 September 2018 (2018-09-11) entire description	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 July 2021

Date of mailing of the international search report

10 January 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/091245

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	112633578	A	09 April 2021	None		
CN	111353649	A	30 June 2020	None		
CN	103745023	A	23 April 2014	CN	103745023	B 12 August 2015
CN	108520317	A	11 September 2018	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/091245

A. 主题的分类 G06Q 10/04 (2012.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06Q; G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CPEA; CNMED; PLABS; AUABS; DWPI; TWABS; FRABS; TWMED; HKABS; CNABS; SGABS; LEXIS; MOABS; ILABS; SIPOABS: 水电站, 调度, 耦合, 优化, 水电系统, 抽样, 迭代, iterati+, hydroelectric station, coupl+, hydropower station, dispatch, control, optimiz+, sampl+, manage		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 112633578 A (国电电力发展股份有限公司和禹水电开发公司、中国水利水电科学研究院) 2021年4月9日 (2021 - 04 - 09) 说明书全文	1
A	CN 111353649 A (大连理工大学) 2020年6月30日 (2020 - 06 - 30) 说明书全文	1
A	CN 103745023 A (华中科技大学、中国长江三峡集团公司) 2014年4月23日 (2014 - 04 - 23) 说明书全文	1
A	CN 108520317 A (华中科技大学) 2018年9月11日 (2018 - 09 - 11) 说明书全文	1
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。 * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2021年7月5日		国际检索报告邮寄日期 2022年1月10日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 黄渊 电话号码 86-010-62411769

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/091245

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	112633578	A	2021年4月9日	无	
CN	111353649	A	2020年6月30日	无	
CN	103745023	A	2014年4月23日	CN 103745023 B	2015年8月12日
CN	108520317	A	2018年9月11日	无	