

水库类型与发电调度方式关联分析

李书飞

(河海大学水资源环境学院 江苏 南京 210098)

摘要 在发电任务的调度设计中 ,河道型水库在高水位运行时其多年平均发电量高于按调度图运行 ,而湖泊型水库则相反 ,因此判别水库的类型(河道型或湖泊型)对于确定水库的发电调度方式有很好的指导作用。利用模糊数学方法——模糊聚类 and 模糊识别 ,选用典型的水库样本进行聚类分析 ,并用隔河岩水库作为实例以检验这一方法的合理性。结果表明 ,利用模糊数学理论识别水库的类型以确定水库较优的发电调度方式是比较有效的。

关键词 水库调度 河道型水库 湖泊型水库 高水位运行 模糊聚类

中图分类号 :TV737 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2006)S1-0040-03

1 问题的提出

日调节性能以上的大型水库 ,一般都承担多项开发任务 ,在发电任务的调度设计中 ,通常有两种调度方式可供选择 :一是将水库水位正常变动范围划分为防洪区(无防洪任务时 ,没有此运行区域)、加大出力区、保证出力区和降低出力区等 4 个运行区 ,简称为按调度图运行 ;二是将水库水位正常变动范围只划分为防洪区(无防洪任务时 ,没有此运行区域)、保证出力区两个运行区 ,简称为按高水位运行。不难看出 ,两者的差别在于前者尽可能提高水量利用率 ,而后者尽可能提高水电站的发电水头 ,是一种极端情况。

对于湖泊型和河道型水库用以上两种调度方式操作 ,其多年平均发电量有较大的差别。例如对典型的湖泊型水库丹江口水库和典型的河道型水库隔河岩水库 ,按上述两种调度方式运行 ,多年平均发电量如表 1 所示。

表 1 两类典型水库不同调度方式结果比较^{①②}

水库名称	水库类型	运行方式	保证出力/MW	装机容量/MW	年均发电量/亿 kW·h	加权平均水头/m	水量利用率/%
丹江口	湖泊型	调度图	147.45	900	33.8	69.1	95.33
		高水位	147.45	900	31.3	74.5	89.13
隔河岩	河道型	调度图	180	1200	29.8	106.6	94.9
		高水位	180	1200	30.8	114	91.5

根据表 1 的结果知 ,对隔河岩水库 ,按调度图运行方式 ,水量利用率较充分 ,一般年份水库消落较深 ,平均发电水头较小 ,发电量较少 ;按高水位运行方式 ,水量利用率虽然有所减少 ,但库水位较高 ,发电水头较大 ,发电量仍然有所提高。对丹江口水库则反之。

从上面的分析可以发现 ,河道型水库提高发电水头可以增加多年平均发电量 ,而湖泊型水库多利用水量可以获得较多的发电效益。因此 ,识别水库的类型在确定水库调度方式方面有较强的指导性。

2 模糊聚类和模糊识别简介^[1-4]

目前使用的模糊聚类方法 ,从理论上讲可以分为两类 :一类是基于模糊等价关系的动态聚类方法 ;另一类是基于模糊划分方法 ,主要是模糊 ISODATA (FC-均值方法) ,即迭代自组织数据分析技术。后一种方法预先确定分成类别的数目 ,从粗略给出的初始划分矩阵出发 ,用迭代的方法修正划分矩阵 ,直至合理为止。

2.1 模糊划分

设 n 个事物(样本集)构成论域 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,每个对象由 m 个指标表示其特性 : $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\} (i = 1, 2, \dots, n)$

试将论域 X 中的元素划分为 c 类 ,设它的模糊划分矩阵 $U = [u_{ij}]_{c \times n}$,其元素应满足 ① $0 \leq u_{ij} \leq$

$\{i = 1, 2, \dots, c; j = 1, 2, \dots, n\}$ ② $\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 (j = 1, 2, \dots, n)$ ③ $0 < \sum_{j=1}^n u_{ij} < n (i = 1, 2, \dots, c)$ 这样的划分有无穷多个,其全体记为 M_{fc} (连续空间),即:

$$M_{fc} = \left\{ U_{c \times n} \mid u_{ij} \in [0, 1], \forall i, j; \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, \forall j; 0 < \sum_{j=1}^n u_{ij} < n, \forall i \right\} \quad (1)$$

2.2 聚类中心的确定

为了寻求最佳的划分矩阵 U^* , 对应的聚类中心 $V^* = (v_{ij})_{c \times m}$ 必须使如下的目标函数值达到最小:

$$J_h(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^h \|x_j - V_i\|^2 \quad (h \geq 1) \quad (2)$$

在 $h > 1, V_i \neq x_k$ 的条件下, 一定可以算出最佳的模糊划分矩阵, 公式如下:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - V_i\|}{\|x_j - V_k\|} \right)^{\frac{2}{h-1}}} \quad (i = 1, 2, \dots, c; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

其中: $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im})$, 可由式 (4) 求得

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^h x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^h} \quad (i = 1, 2, \dots, c) \quad (4)$$

计算过程中, 一般取 $h = 2$ 。

2.3 模糊模式识别

a. 模糊集的接近程度。用严格贴近度的概念来描述两个模糊集之间的接近程度, 设 $\tilde{A}, \tilde{B}$ 为模糊集合, 称如下的函数为严格贴近度函数:

$$\tau(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_{\tilde{A}}(x_i) - u_{\tilde{B}}(x_i)| \quad (5)$$

b. 使用接近原则来识别对象。设 $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_c$ 为已划分好的聚类中心, $\tilde{B}$ 为待识别的对象,

$\begin{bmatrix} 0.546 & 0.0024 & 0.619 & 0.998 & 0.975 & 0.0203 & 0.04894 & 0.9774 & 0.9976 & 0.9992 & 0.010043 & 0.011144 & 0.020195 & 0.031616 \\ 0.4536 & 0.9975 & 0.3806 & 0.0014 & 0.0249 & 0.9797 & 0.9511 & 0.02263 & 0.00234 & 0.000778 & 0.990 & 0.989 & 0.97981 & 0.96838 \end{bmatrix}$	(8)
---	-----

依据聚类中心, 对 14 个代表性的水库样本按上述原理进行分类, 结果如下: ① I 型 (湖泊型): $x_1, x_3, x_4, x_5, x_8, x_9, x_{10}$; ② II 型 (河道型): $x_2, x_6, x_7, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$ 。

对于样本中的这两类水库, 分别采用高水位调度方式和常规调度图调度方式来指导水库发电, 使用长系列时历法计算这两种方式的多年平均发电量。对前一类中同一水库按调度图运行的多年平均发电量比按高水位运行大, 后一类水库则反之。这

若存在 $j \in N = \{1, 2, \dots, c\}$, 使 $\tau(\tilde{A}_j, \tilde{B}) = \max_{1 \leq i \leq c} [\tau(\tilde{A}_i, \tilde{B})]$, 认为 $\tilde{B}$ 归属于第 j 类。

3 判别依据及实例分析

选取 14 个典型的水库 ($x_1, x_2, \dots, x_{14}$) 作为样本, 该样本中不包括隔河岩水库, 后面用它作为需要识别类型的水库。以二次曲线拟合每一水库的库容曲线 (库容曲线上的点经过归一化处理), 得到拟合函数的参数, 将其作为样本的特性值, 对这个具有代表性的样本进行模糊聚类分析, 得到聚类中心:

$$\begin{bmatrix} -1.1856 & 1.9538 & 0.1629 \\ -0.41484 & 1.3945 & 0.016843 \end{bmatrix} \quad (6)$$

确定水库调度方式的依据在于分析水库特性参数与 2 个聚类中心的接近程度。与第一类接近的可以将水库确定为湖泊型水库, 与第二类接近的可以确定为河道型水库。

聚类中心的求解过程及水库识别的实例如下。

3.1 拟合水库的库容曲线

a. 由于样本中水库的尺度不一, 即水库的库容、高程不在同一个数量级上, 故需要归一化处理, 以便做统一的比较, 这里选择的归一化函数如下:

$$x'_{ik} = \frac{x_{ik} - \min_{1 \leq k \leq m} \{x_{ik}\}}{\max_{1 \leq k \leq m} \{x_{ik}\} - \min_{1 \leq k \leq m} \{x_{ik}\}} \quad (k = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中: m 为库容曲线的点数; n 为样本中的水库个数, 显然有 $0 \leq x'_{ik} \leq 1$ 。

b. 将上述处理的数据用二次曲线拟合, 并取其系数作为该水库的特性数据。

3.2 典型水库聚类分析

用 MATLAB 编程求样本聚类中心及划分矩阵^[5], 这里经过 9 次迭代后得到划分矩阵和聚类中心, 划分矩阵如下:

说明了依据聚类中心对水库进行分类, 准确的区分了两类水库, 同时反映了水库类型与水库调度方式的内在联系。

3.3 水库类型的识别

隔河岩水库库容曲线经过前述的归一化函数处理后, 其结果见表 2。

表 2 隔河岩水库库容曲线归一化处理结果													
水位/m	0	0.111	0.222	0.333	0.444	0.556	0.667	0.778	0.889	1			
库容/亿 m ³	0	0.076	0.158	0.249	0.350	0.459	0.579	0.708	0.848	1			

将表 2 中的数据拟合得

$$z = -0.3818V^2 + 1.3657V + 0.0094 \quad (9)$$

拟合的库容曲线见图 1。可知隔河岩水库的样本参数为 $\alpha = (-0.3818, 1.3657, 0.0094)$ ，它与第一类聚类中心的贴近度为

$$\tau_1 = 1 - \frac{1}{3}(|-1.1856 + 0.3818| + |1.9538 - 1.3657| + |0.1629 - 0.0094|) = 0.4832 \quad (10)$$

与第二类聚类中心的贴近度为

$$\tau_2 = 1 - \frac{1}{3}(|-0.41484 + 0.3818| + |1.3945 - 1.3657| + |0.016845 - 0.0094|) = 0.9736 \quad (11)$$

按接近原则它与第二类聚类中心的贴近度比第一类聚类中心的大，可以初步判断它属于河道型水库。根据它所在类型水库的发电特性，推测按高水位运行方式获得的多年平均发电量比按调度图运行大。

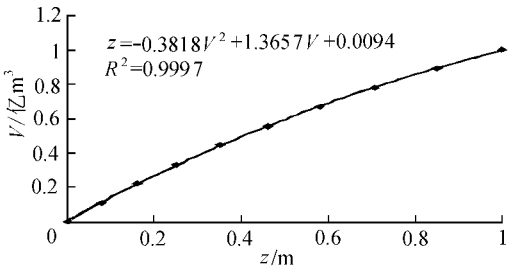


图 1 隔河岩水库库容曲线拟合

对隔河岩水库按长系列时历法进行的发电量计

算表明，按高水位运行方式比按调度图运行的多年平均发电量多，可见上面所做出的推测是正确的。

4 结 语

不同的水库调度方式，对应着不同的运行效益，因此确定水库的发电调度方式以取得较高的经济效益是生产单位的主要目标之一，在生产实践中十分重要。本文通过模糊聚类 and 模糊识别的方法，对水库进行了分类和识别，并选用了隔河岩水库作为检验识别的成果。结果表明：湖泊型水库的发电调度宜采用常规调度图方式，尽可能提高利用水量率；河道型水库的发电调度宜采用高水位方式，尽量利用水头。通过识别水库的类型，就可以根据水库所属的类别很好地确定其较优的发电调度方式。

参考文献：

[1] 黄建元. 模糊集及其应用[M]. 银川: 宁夏人民教育出版社, 1999: 125-143.
[2] 李希灿. 模糊聚类与模糊识别理论模型研究[J]. 模糊系统与数学, 2000(2): 75-81.
[3] ZADEH L A. Fuzzy sets and applications[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1987: 81-94.
[4] 杨伦标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1998: 94-122.
[5] 楼顺天, 胡昌华, 张伟. 基于 MATLAB 的系统分析与设计 模糊系统[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001: 103-109. (收稿日期 2005-10-20 编辑 熊水斌)

(上接第 26 页)一定的难度，需要统筹兼顾、合理配置、科学调度。此外，在构建全国“四横三纵”水资源配置总体格局中，还应进一步加快南水北调西线工程的步伐，早日实现向黄河调水；同时，应抓紧开展南水北调中、东线工程向黄河补水方案的研究，为“维持黄河健康生命”做出积极贡献。

参考文献：

[1] 北京市人民政府, 中华人民共和国水利部. 21 世纪初期(2001—2005 年)首都水资源可持续利用规划[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2001.
[2] 北京市人民政府, 中华人民共和国水利部. 北京市城市应急供水方案[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2003.
[3] 水利部河北水利水电勘测设计研究院. 南水北调中线京石段应急供水工程(石家庄至北拒马河段)初步设计报告[R]. 天津: 水利部河北水利水电勘测设计研究院, 2004.
[4] 北京市水利规划设计研究院. 南水北调中线京石段应急

供水工程(北京段)可行性研究报告[R]. 北京: 北京市水利规划设计研究院, 2003.
[5] 林秀山. 小浪底水利枢纽设计若干问题的研究与实践[C]//林秀山. 黄河小浪底水利枢纽文集(二). 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
[6] 水利部黄委会勘测规划设计研究院. 黄河小浪底水利枢纽配套工程——西霞院反调节水库初步设计报告[R]. 郑州: 黄河勘测规划设计有限公司, 2002.
[7] 孙广生, 乔西现, 孙寿松. 黄河水资源管理[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
[8] 席家治. 黄河水资源[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996.
[9] 国家发展计划委员会, 中华人民共和国水利部. 南水北调工程总体规划[R]. 郑州: 黄河勘测规划设计有限公司, 2002.
[10] 南水北调城市水资源规划编写组. 各省市南水北调城市水资源规划要点[R]. 郑州: 黄河勘测规划设计有限公司, 2001.
[11] 王浩, 秦大庸, 王建华, 等. 黄淮海流域水资源合理配置[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

(收稿日期 2006-02-27 编辑 高建群)