

水资源评价指标体系研究^{*}

左东启 戴树声 袁汝华 李鸿业¹ 芮孝芳

(河海大学 南京 210098)

(江苏省水利厅 南京 210005)¹

摘 要 在近20年来不同流域和地区水资源评价工作的基础上,指出若干具有普遍意义、待研究改进的新问题,提出了包括自然、人文、经济、管理等方面的简要评价指标体系,应用两种计算方法,并选取国内7个县市为代表进行了试评价分析。

关键词 水资源评价 指标体系 灰关联

分类号 TV 213.4

1 研究的目标任务和指导思想

中国的水资源研究和水资源评价工作经过整个80年代的大发展时期进入了90年代进一步深化和提高的新阶段,将为跨世纪的经济建设、环境治理和加强综合国力服务,也为水资源科学开辟了更广阔的前景。

1981年出版了《中国水资源初步评价》,1987年出版了《中国水资源评价》,1989年出版了《中国水资源利用》;同时各大流域和各省(市、自治区)都出版了各自的水资源评价和水资源利用,为国民经济建设提供了重要依据。如何在这个基础上进一步分析研究是当前的重点任务。

笔者就迄今水资源评价中具有普遍性的亟待研究改进的方面提出了8个问题,并提出建立新的水资源评价体系的建议。

首先,对“水资源评价”有着不同的定义和理解,而最简单又有实用指导意义的解释可表达为:“水资源评价是要定量地弄清某一特定地区水的可利用程度和社会生产、生活所需水资源的可满足程度。”

本文以尽可能简要的定量指标组成一个尽可能综合全面因素的系统,从自然和社会经济两方面条件来描述一个地区的水资源可利用程度和可满足程度,以最简省的文字和数据既客观全面地,又集中凸现地表述这个地区水资源的特点、优势和缺陷,明确该地区水资源合理开发利用和管理上改进提高的方向。

这种实际的、综合的、动态的水资源评价方法很复杂、困难。例如,几乎所有地区水资源评价中都强调其时空分布的不均匀性,而且都视为水资源管理中的主要困难。但时空的不

^{*} 本文于1995年12月29日收到,1996年3月6日收到修改稿。

^{*} 水利水电科学基金资助项目,编号为91032450。

均匀分布是客观的自然现实, 时空的均匀分布也并非是利用所追求的目标。对水资源的需求也是时空分布不均匀的, 问题在于这两方面的时空分布相符或相背的情况和程度如何, 是研究的实质和关键, 这恰是目前评价中所缺少的部分, 所能检寻到的大多是总量和平均数的简单比较。又如, 影响资源量和需求量的因素很多, 对这类因素的组合和遭遇的综合分析也极少; 即使是单个因素也是和其他因素互相依存变化的: 如愈是枯水年份和季节, 往往愈是耗水率大; 降水愈多时需水量愈少, 对此只是从固定的数据上加减比较。又如, 国民经济建设和社会发展规划主要以行政区域为单元制订, 而行政区划和自然水资源的计算分片明显地不一致。迄今各区域的水资源量一律是当地降水所产生的径流总量, 而连接沟通、输运各地区的大江大河水量不计入本地资源。

上述问题, 如果分割地研究, 难以分析清楚。适当考虑这方面因素, 建立一简要的评价指标体系, 不仅有实用价值, 对整个水资源研究内容也能起到导向和推动的作用。

2 主要指标的选定

2.1 水资源评价指标设计原则

地区水资源, 需要及时作出较全面、正确的评价, 不仅模糊定性, 还可定量比较, 且可明确地区水资源的可利用程度和存在问题的症结。这就需建立一个简要的包括最必要的、具有代表性、关键性的指标体系, 及其简单操作办法。

水资源指标体系是一个复杂的大系统, 需建立一个各有侧重又相互关连的综合反映水资源的指标体系。选定指标的指导思想和主要原则为:

(1) 以区域为评价主体进行综合评价。主要用于行政区域, 也可用于流域, 兼顾自然和人文因素、现状和发展前景、水量和水质、客观条件和利用、管理水平。

(2) 指标包括独立参数, 同一参数的相对比值以及不同参数组合成的指标, 并尽可能突出指标的综合功能。

(3) 列出必要的水文资料外, 着重加入能反映水资源可利用程度的指标和供需情况以及满足程度的指标。

(4) 对水资源分配的不均匀性, 一般统计中的常用不均匀系数都难以表达“可利用程度”, 因此指标中分出不同保证率的丰、平、枯典型年情况。

(5) 从宏观管理的要求出发, 把观测、评价、考核同宏观导向结合, 以保证宏观导向的作用正确发挥。

(6) 在选定指标时, 尽可能采用便于查、引和检索现有的资料。

2.2 评价指标体系的特点

(1) 评价指标具有简明、方便、易行和可操作性。

(2) 指标体系具有层次分明、反映全面, 既考虑了水资源利用现状和开发利用前景; 同时考虑了不同来水丰枯代表年型变化对水资源不同的供需要求, 以及水量和水质之间关系。对水资源的条件、利用现状和开发利用程度, 不仅反映可利用水量的客观和现状条件, 而且反映当地经济发展水平与水资源开发利用的关系, 同时也反映土地资源和气象干旱等条件之间的相对关系。

(3) 既考虑技术条件又考虑了管理、经济方面对水资源利用和开发的影响及相互关系。

(4) 所列指标, 不仅给出了其定义和内容, 也给出了计算公式。如在具体评价指标中列入了水资源不均匀性的评价指标和将过境水列入水资源量的分析, 计算中并提出了计算过境水的要求和公式; 将河道内用水这一重要指标也列入水资源评价指标中。

2.3 建立评价指标体系

根据指标选订原则和指标的功能, 首先选订 114 项指标, 在此基础上, 为简化计算和提高可操作性, 进一步进行筛选, 提出了 47 项评价指标 (表 1), 其中无因次相对比值指标 24 项。

在水资源评价主要指标选订后, 根据各指标的隶属关系及每个指标的类型, 将各个指标划分为不同的层次, 建立层次的递阶结构与指标的从属关系 (图 1)。

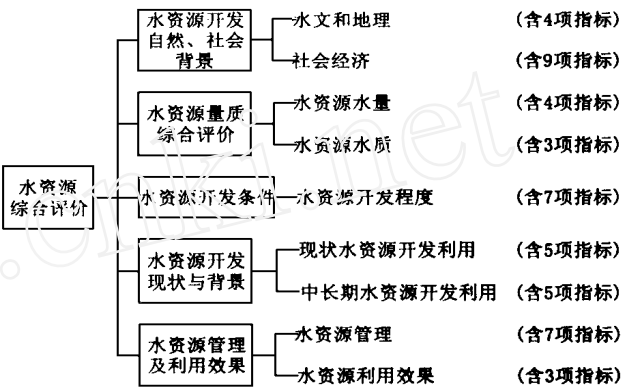


图 1 水资源综合评价指标层次递阶结构图

Fig. 1. Hierarchical structure of the water resources comprehensive assessment indexes

表 1 水资源综合评价指标

Table 1. Water resources comprehensive assessment indexes

水 文 和 地 理
人均水面 人口密度 人均耕地 干旱指数
社会经济
人均用水量 城市人均生活用水量 非农业用水模数 单位面积产值 农村人均纯收入 国民生产总值增长率
人均国民收入 城镇人均收支余额 年末人均储蓄余额
水资源数量
人均当地降水资源量 人均过境水资源量 地表水年径流模数 降水需水同时率
水资源质量
污染水面率 未解决饮水程度 污径比
水资源开发程度
灌溉率 单位面积可调容量 单位面积动力设备 渠系利用系数 工业用水重复利用率 供水工程投资占水利投资比例 水利投资强度比重
水资源开发利用现状
可利用水量模数 总用水模数 丰水年供需平衡率 平水年供需平衡率 枯水年供需平衡率
中长期水资源开发利用
可利用水量模数 总用水模数 丰水年供需平衡率 平水年供需平衡率 枯水年供需平衡率
水资源管理
供水率 供水设施完好率 水资源工程达标率 水费收取率 投入产出比折旧大修提取率 经费自给率
水资源利用效果
单方水国民收入 工业供水单方产值 农业供水单方产值

3 评价指标体系的应用及操作

3.1 评价方法的选用

由于水资源评价既可以针对单一地区单一时段,也可以是单一地区不同时段或多个地区联合进行,其相应的评价方法亦就不同。本研究选用灰关联分析法和专家系统法两种方法对水资源进行评价,这两种方法既能相互补充、检验,又各有其特点。

假设最低层指标序列为

$$X_{ij} = \{x_{ij}(1), x_{ij}(2), \dots, x_{ij}(k)\} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

共有 k 个指标, i 可表示为某一地区, j 可表示成某个时段, 则 X_{ij} 可表示成 i 地区 j 时段的水资源评价指标统计值序列。

构造指标权重值。指标体系共有 L 层 (本文中 L 为 4), 由于下一层次各指标对上一层目标的重要程度不同, 在具体评价操作时必须通过对客观实际的分析和比较加以判断, 并借助于数学运算检验手段, 推求 l 层指标对 $l+1$ 层相应指标的权重值 $W^{(l)}$ 。

3.2 灰关联法

3.2.1 分析思路

在多层次分析结构模型的基础上, 对最低层各个定量指标序列依据空间理论的数学基础, 按照规范性、对称性、整体性和接近性四原则, 确定参考序列和若干比较序列之间的关联系数; 其次, 结合相对重要性权重, 逐层计算各序列与母序列的关联度, 如果比较序列与母序列的关联度大, 则认为两者相对变化基本一致, 反之, 两者变化差异较大, 最后, 做出比较序列之间的相对优劣排序。

3.2.2 分析模型

(1) 选择母序列 在建立的不同地区或不同时段的不同序列中, 根据设定的原则构成一个母序列 X_0 。

无因次化处理 对第 i 地区第 j 时段的特定指标值序列 $x_{ij}(k)$, 做

$$\begin{cases} T_{\max} = \max_j x_{ij}(k) \\ T_{\min} = \min_j x_{ij}(k) \end{cases} \quad \text{或者} \quad \begin{cases} T_{\max_i} = \max x_{ij}(k) \\ T_{\min_i} = \min x_{ij}(k) \end{cases} \quad (2)$$

则无因次化变换关系为

$$y_{ij}(k) = \frac{x_{ij}(k) - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (3)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, m, \quad \text{或者} \quad j = 0, 1, 2, \dots, n$$

(2) 指标关联系数 各子序列 X_{ij} 的每一指标相对母序列 X_0 对应指标的关联系数可表示为

$$G_{oij}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{oij}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (4)$$

式中 $\Delta_{oij}(k) = |x_0(k) - x_{ij}(k)|$ 表示在母、子两序列中指标 k 之绝对差值; $\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x_0(k) - x_{ij}(k)|$ 表示在母序列与所有子序列每个指标绝对差值中的最小值; Δ_{\max}

$= \max_i \max_j \max_k |x_0(k) - x_{ij}(k)|$ 表示在母序列与所有子序列每个指标绝对差值中的最大值;
 ρ 称分辨系数, 其作用为提高关联系数之间的差异显著性, $\rho \in [0, 1]$, 一般情况取 $\rho = 0.1 \sim 0.5$ 。

(3) 关联度及关联矩阵 考虑指标序列中各个指标对第 $l+1$ 层指标的第 l 层重要性权重值 $W^{(l)}(k)$ 的差异, 需进行加权的逐层关联度计算, 则母序列对所有子序列的加权关联度为

$$r_{0ij} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L W^{(l)}(k) G_{0ij}(k) \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

形成关联矩阵 R

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

以此为基础, 可以进行不同地区、不同时段的水资源开发、利用和管理的动态综合对比分析。如第 i 地区, 随着时间的推移 (即 j 的递增), 关联度越来越大, 则表明变化越来越接近母序列; 同样道理, 在同一时段, 如 $r_{ij} < r_{i+1,j}$, 则说明第 $i+1$ 地区较 i 地区更接近于母序列情况, 从而找出不同结果的具体原因, 为科学决策提供依据。

3.3 专家系统评价法

(1) 分析思路 依据层次结构图, 针对最低层指标, 在专业技术人员中广泛收集信息, 建立专家系统信息库; 确定判断原则和标准, 构造专家系统的判断机制; 对具体的定量指标值依判断机制给定评分值; 最后结合相对重要性权重, 逐层计算评价值, 判断某一地区处于某一时段的水资源开发、利用和管理水平的高低。

(2) 分析模型 根据广泛收集的信息资料, 设最低层第 k 个指标的判断原则为

$$p_{ij}(k) = C[x_{ij}(k)] \quad (7)$$

由此可推求各指标的评分值为 $p_{ij}(k)$ 。考虑到指标序列中各个指标对总目标的逐层重要性权重值 $W^{(l)}(k)$ 的差异, 需逐层计算评价值

$$E_{ij} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L W^{(l)}(k) p_{ij}(k) \quad (8)$$

这是一包括多种指标评分及权重乘积的多项代数式的普遍形式, 针对不同评价要求和重点, 根据具体资料可设计出综合经验公式, 计算评价值 E_{ij} 说明第 i 地区在 j 时段的水资源的状况、开发利用的程度或管理水平。

3.4 评价方法的运用及结果比较

为了验证水资源管理评价指标体系的完整性和适用性, 以及评价方法的可靠性和实用性, 本研究中, 考虑地理位置、地区经济发展的不平衡对水资源开发利用的影响, 在全国东西南北中共挑选了 7 个县、市: JT、JW、HL、SY、NS、CZ、YQ 等作为水资源管理评价指标体系的综合对比地区。它们分布于珠江、长江、淮河、黑龙江等几大流域, 既有处于东部沿海的经济发达地区, 又有处于西部内地的经济欠发达地区, 包含了诸多的不同特点。

每个评价地区对照水资源管理评价指标体系进行评价。由于资料不足, 具体计算中对缺

少统计数据的少部分指标未列入, 仅采用了 39 项指标。

采用灰关联分析法, 根据其所属指标的性质, 选定最优序列作为其母序列。

$X_0 = \{0.517, 93, 13.57, 0.66, 720.3, 94.1, 14.44, 167.3, 1103.57, 19.07, 5025, 950.8, 1406, 1885, 34730, 366.9, 0.0508, 14.0, 0.05, 92.3, 17.33, 69.1, 0.75, 50.9, 8.02, 2.11, 630, 607, 332.9, 304.7, 262.7, 713, 818, 338.3, 220.4, 159.2, 14.38, 73.02, 19.16\}$

进行无因次化处理, 推算各地区指标序列与母序列的关联系数及相应加权关联度, 计算得到的第二层和最高目标层关联度分别见表 2、表 3。

表 2 第二层各指标关联度统计

Table 2. Relation value of second indexes sequence

项 目	地 区						
	JT	JW	HL	SY	NS	CZ	YQ
人口、地理	0.50	0.53	0.67	0.53	0.54	0.53	0.72
社会经济	0.67	0.85	0.48	0.36	0.45	0.37	0.45
水资源水量	0.43	0.60	0.88	0.34	0.38	0.41	0.52
水资源水质	0.84	0.60	0.70	0.55	0.87	0.87	0.58
开发程度	0.57	0.67	0.36	0.57	0.49	0.57	0.61
现状平衡	0.61	0.79	0.48	0.33	0.35	0.36	0.36
中长期平衡	0.62	0.70	0.38	0.36	0.70	0.35	0.42
开发利用效果	0.56	0.55	0.39	0.35	0.37	0.79	0.39

表 3 各地区水资源管理指标序列关联度

Table 3. Relation value of water resources management indexes for the regions

地 区	JT	JW	HL	SY	NS	CZ	YQ
关联度	0.59	0.66	0.53	0.44	0.50	0.52	0.54
优劣排序	2	1	4	7	6	5	3

根据各地指标关联度, 可对各个地区进行排序得到相对优劣情况。总体排序第一的 JW 地区自然地理环境、社会和远景水资源供需基本保持平衡, 但需提高水资源使用效果。而排序最后的 SY 地区自然地理环境很好, 但社会经济发展水平低, 水量少, 水质较好, 水资源开发程度较高, 现状及中长期水资源供不应求, 水资源利用效果偏低, 属水量性缺水。

采用专家系统评价法, 指标的评分取值区间为 $[0, 100]$ 。评价得出的最高层评价计算结果见表 4。

表 4 水资源开发利用和管理评价总表

Table 4. Assessment of the water resources development, utilization and management

地 区	JT	JW	HL	SY	NS	CZ	YQ
评价值	55.44	65.69	51.22	43.27	49.73	48.34	54.78
高低排序	2	1	4	7	5	6	3

从专家系统评价可以得出与灰关联分析几乎一致的评价结论。

专家系统法和灰关联分析法结合使用, 既能说明水资源利用管理水平的高低程度, 又能进行各地区横向和不同时段纵向比较, 作为水资源管理改进提高的定量分析。

3.5 两种方法比较

灰关联分析法和专家系统法在水资源开发利用管理评价中已得到广泛应用。灰关联分析法是一种相对的排序评价, 它需要有两组以上的序列才能应用; 专家系统法是一种绝对的数



值评价, 其可以适用于单一地区单一时段的水资源评价, 也可以用于多个地区各个时段的水资源评价, 应用灵活性大。在统计数据的处理上, 灰关联分析法必须对统计值的因次进行无因次化处理, 以便形成可比较的序列; 而专家系统法只要求统计值因次与判断准则一致。在评判准则方面, 灰关联分析法在确定参照序列(即母序列), 仅能根据有限个比较序列, 以关联度作为评判的结果; 专家系统法由于占有信息量大, 评判结果具有全面性, 但受人为主观因素的影响大于灰关联分析法。

4 结 语

建立水资源评价指标体系, 有利于简要全面地概括一地区水资源的总况和特点、优势和不足, 有利于水资源开发利用管理上存在问题的解决, 有利于水资源科学研究提高及其课题的导向。

建立评价指标体系, 同时需提出相应的应用操作方法。本文采用了灰关联方法和专家系统法, 只是举例性质。专家系统法在有些质量评价体系中提出一综合公式, 供直接打分计算。本文为保持普遍性的表达形式, 暂不列出公式, 有待今后结合不同地区的特定条件各自研究制订。灰关联方法对多地区的相对评比排序, 具有一定优越性。

本文是上述工作的初步尝试, 也进一步认识了这一工作的意义和复杂性, 有的提出了初步处理方法, 有的还未解决。对多种复杂因素的相互依存关系和动态影响如何表现在指标上, 做了探索, 亦待深入和提高。如各地区除当地降水径流作为该地水资源外, 对过境河流水量及河(湖)内用水的估算和表达问题未能寻得比较恰当和值得推广的解决方案。

通过这一探索阶段的成果, 论证了水资源综合评价的必要性和可行性, 同时也希望引起读者的重视, 进一步共同研究改进。

参 考 文 献

- 1 左东启 初论建立水资源评价指标体系 中国水资源研究论文集, 北京: 中国科学技术出版社, 1992 176~ 182
- 2 袁汝华 综合对比分析法及其应用 管理科学与系统科学进展 上海: 上海交通大学出版社, 1995 529~ 532

Study on the Water Resources Assessment Indexes System

Zuo Dongqi, Dai Shusheng Yuan Ruhua

(Hohai University, Nanjing 210098)

Li Hongye¹, Rui Xiaofang

(Water Conservancy Department of Jiangsu Provincial, Nanjing 210005)¹

Abstract On the basis of reviewing the water resources assessment research in the last two decades, the paper remarks several important problems to be further investigated and puts forward a proposal of building up a system of appraisal indices. This paper introduces the initial results of a group's research. A fairly simple system, including relatively all-round natural geographical and engineering-economical characteristics, features and their regimes, is provided to evaluate the level of utilization availability and sufficientness to meet the human demand of water resources for a definite district. Two operating methods were applied and recommended to judge the water resources of 7 representative counties selected from different corners of China as illustrating examples.

Key words: water resources assessment; indexes system; grey relation analysis