

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.02.004

# 基于改进 TOPSIS 法的水资源配置方案评价

熊雪珍,何新玥,陈 星,管仪庆,王繁玮,王 丽

( 淮海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098 )

**摘要:**以综合效益最优为目标层,水资源利用、经济效益、社会效益、生态效益为准则层,建立临海市水资源配置方案评价指标体系,采用改进 TOPSIS 法对“五水共治”理念下的 4 个区域水资源配置方案展开评价。结果表明,高节水、加强水资源开发、保障生态需水的方案 4 为最优方案。研究旨在为临海市经济、社会、资源、环境的全面发展提供理论支撑。

**关键词:**五水共治;水资源配置;方案评价;改进 TOPSIS 法

**中图分类号:**TV213.4      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-6933(2016)02-0014-07

## Evaluation on water resources allocation schemes based on improved TOPSIS

XIONG Xuezen, HE Xinyue, CHEN Xing, GUAN Yiqing, WANG Yiwei, WANG Li  
( College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China )

**Abstract:** Taking comprehensive benefits as the target layer, and water resources utilization, economic, social and ecological benefits as the criterion layer, an evaluation index system of for Linhai City water resources allocation scheme was established, and four regional water resources allocation schemes under the idea of co-governance on five water categories were evaluated based on the improved TOPSIS. The results show that the scheme 4 is the best, which is to promote water-saving, to strengthen the development of water resources, and to ensure the ecological water demand. The aim of this study is to provide the theoretical support for the all-round development of Linhai City's economy, society, resources, and environment.

**Key words:** co-governance on five water categories; water resources allocation; scheme evaluation; improved TOPSIS

我国水资源总量丰富,但人均水资源量始终处于较低水平,且水灾害频发,水环境问题严峻。水资源问题已成为制约我国经济和社会可持续发展的关键因素<sup>[1]</sup>。水资源治理是一个复杂系统,是对区域内自然水和社会水的共同管理,其内涵是在治水的过程中实现人水和谐,是依托水资源配置机制,对涉水工程及主体进行协调和约束,形成一套水资源治理理念和完整的实施方案,达到水资源可持续发展的目的<sup>[2]</sup>。对配置方案进行评价,是水资源治理的第一步,一方面从水资源供需、利用结构、开发利用程度等方面进行总体把握和评价,找到区域水资源配置过程中影响较大的关键因素,另一方面,根据评价发现配置机制的问题,从而制定各种工程措施和

非工程措施<sup>[3]</sup>。

水资源配置研究从最初的水量分配,转变到目前的综合考虑社会、经济、环境可持续性的协调配置;从单一的水量调控,发展为水量水质的联合调控<sup>[4]</sup>,更注重与水循环要素之间的效应,与经济、社会系统的结合<sup>[5]</sup>。国外对水资源配置的研究侧重于水资源系统模拟。较成熟的流域模拟及水资源管理模拟模型软件有丹麦的 MIKEBASIN,美国的 RiverWare 等<sup>[6-8]</sup>。国内对流域水资源配置的理论研究主要从配置目标、配置的水源用户关系上进行分析。贾仰文等<sup>[9]</sup>在国家“十五”科技攻关计划研究中,对黄河流域构建了分布式水循环模拟模型和集总式水资源调配模型耦合而成的二元水循环系统

基金项目:国家自然科学基金(51579148);苏州市水利科技计划(2014-07-06)

作者简介:熊雪珍(1993—),女,硕士研究生,研究方向为水文及水资源。E-mail:xiong\_xz@ hhu. edu. cn

通信作者:陈星,讲师。E-mail:chenxing@ hhu. edu. cn

模拟模型,提出了“天然-人工”二元水循环基本结构与模式。阙添进等<sup>[10]</sup>研究城市多水源给排水配置系统建设,提出了城市中水的合理布局和水质转换。海绵城市概念的提出,亦有利于推动我国城市雨洪管理模式的转变和发展<sup>[11]</sup>。对水资源配置的评价也由定性评价发展到定量评价,常进等<sup>[12]</sup>引入基于实数编码的加速遗传算法的投影寻踪分类模型,对塔里木河源区水资源利用可持续性进行定量评价分析。近年来,层次分析法、模糊综合评判法、逼近理想解法(TOPSIS)先后被应用到水资源合理配置评价中<sup>[13]</sup>。

浙江省2014年提出的“五水共治”(治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水)的战略决策,从治水的综合性与系统性上考虑了水环境、防洪排涝、供水保障等一系列问题的相互关系。不同于传统就水论水的治理模式,强调“五水”作为一个系统,统筹兼顾,互相牵制:水系连通,治污先行;在河道综合治理基础上,保障防洪排涝安全,将洪涝水安全化、资源化;强调节水,保障供水,提高水资源配置能力;优化区域水环境,促进水资源可持续发展。

本文以浙江省临海市为例,结合区域社会、经济、水资源状况及“五水共治”规划,设置4个水资源配置方案,采用改进的TOPSIS法评价优选出最佳水资源配置方案,旨在为临海市“五水共治”下的经济社会、资源环境的全面发展提供理论支撑。

## 1 改进的 TOPSIS 模型简介

TOPSIS法的基本原理是一种逼近理想解的排序法,适用于多目标复杂系统的决策分析<sup>[14]</sup>。确定理想解和负理想解,定义各评价目标与理想解和负理想解的距离,计算获得各方案与理想解的贴近度,并按贴近度大小进行排序,以此作为评价目标优劣的依据。

传统 TOPSIS 方法具体计算步骤<sup>[15]</sup>如下:

步骤1:构造决策矩阵 $X$ 。设有 $M$ 个评价方案,每个方案有 $N$ 个评价指标, $x_{ij}$ 表示第 $i$ 个方案中第 $j$ 个指标值。采集各方案指标值,构造决策矩阵 $X$ 。

步骤2:对指标进行规范化处理,得到规范化矩阵 $D$ 。按指标属性分越大越优型指标、越小越优型指标及适中型指标,规范化公式为

越大越优型:

$$d_{ij} = x_{ij} / (\max x_{ij} + \min x_{ij})$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

越小越优型:

$$d_{ij} = 1 - x_{ij} / (\max x_{ij} + \min x_{ij})$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

适中型:

$$d_{ij} = 1 - |x_{ij} - x^*| / \{ \max(x_{ij} - x^*) + \min(x_{ij} - x^*) \}$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, $x^*$ 为最优值。

步骤3:计算各指标对总目标的权重值 $w_j$ ,得到加权判断矩阵:

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = (w_j d_{ij})_{m \times n} \quad (4)$$

步骤4:按照规范处理公式,确定理想解 $a_j^+$ 和负理想解 $a_j^-$ :

$$a_j^+ = \max(a_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$a_j^- = \min(a_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

其中,适中型指标的理想解与负理想解按与最优值差值确定。

步骤5:定义各方案到理想解的距离,并进行计算排序,以判断方案优劣。

### 1.1 改进的权重计算方法

对传统的TOPSIS进行改进,通常是从权重计算方法及距离公式定义两方面着手<sup>[16]</sup>。常用的权重计算方式,如客观计算法、变异系数法,是利用客观数据的差异程度,并非从指标含义方面来表征重要程度。当某些指标数据间差异较大时,所求权重偏大,可能与实际不符。主观权重计算的关键步骤判断矩阵则很难排除个人主观影响。因此,选用组合权重方法可以兼顾两方面,利用下列公式:

$$w_j = \frac{\alpha_j \varphi_j}{\sum_{j=1}^n (\alpha_j \cdot \varphi_j)} \quad (7)$$

式中: $\alpha_j$ 为变异系数法确定的权重; $\varphi_j$ 为层次分析法确定的指标权重; $w_j$ 为通过组合计算公式得到的组合权重。

本文采取变异系数法和层次分析法组合计算权重。

步骤1:运用变异系数法确定权重。计算各指标不同方案取值的平均值 $E_j$ 和标准差 $\delta_j$ ,变异系数为 $\delta_j/E_j$ ,对其进行归一处理即得变异系数法权重 $\alpha_i$ 。

步骤2:运用AHP法计算权重。设准则层有 $s$ 个准则, $t$ 个指标。每个准则分别对应 $t_1, t_2, \dots, t_s$ 个指标。运用AHP分层计算权重。准则层权重 $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_s\}$ ,各指标相对目标层的权重 $\phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_t\}$ 。

步骤3:将指标权重 $\varphi_j$ 与变异系数法确定的权重 $\alpha_j$ 利用上述组合公式组合,求得指标组合权重 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$

### 1.2 改进的距离计算公式

传统的TOPSIS法的距离公式通常采用的是欧

式距离公式,但是这种计算方法所选出的最优解,在贴近理想解的同时可能也贴近负理想解。针对这种情况,本文选用基于垂面距离的正交投影法来定义距离公式<sup>[17]</sup>。两点间  $X$ 、 $Y$  的垂面距离是指以理想解、负理想解连线方向  $\overrightarrow{AB}$  为法向量,在法线方向上分别过这两点作两个平行平面,点  $X$ 、 $Y$  投影在法线上  $E$ 、 $F$  两点之间的距离,如下图所示。 $X$  和  $Y$  的垂面距离  $D_{XY}$  计算公式为如下:

$$D_{XY} = \frac{|\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{XY}|}{\|\overrightarrow{AB}\|} \tag{8}$$

其中  $\|\overrightarrow{AB}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{iA} - x_{iB})^2}$

式中:  $|\overrightarrow{AB}|$  为  $A$ 、 $B$  两点间欧式距离;  $|\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{XY}|$  为  $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{XY}$  内积的绝对值。

由于这种方式将距离化为同一直线上距离,因此贴近理想解必远离负理想解。

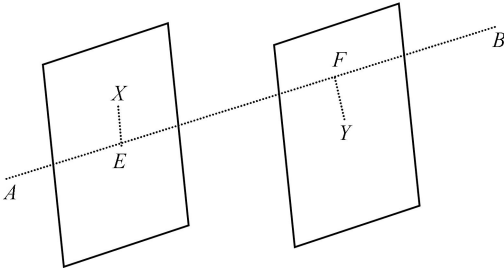


图1 垂面距离

计算步骤<sup>[17-18]</sup>如下:

步骤1:将坐标原点平移到理想解点,则理想解点坐标标示为  $(0,0,\cdots,0)$ 。并得到平移后的加权矩阵  $T=(t_{ij})_{m \times n}$ ,  $t_{ij}=a_{ij}-a_j^+$ 。

步骤2:计算各方案与理想解的垂面距离  $d_i$ 。

由于公式(8)为两点垂面间距离,但是  $\|\overrightarrow{AB}\|$  是理想解与负理想解间的距离,为定值,则为了简化计算,将各方案与理想解的垂面距离定义为  $|\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{XY}|$  形式,即  $d_i = \sum_{j=1}^n a_j^- t_{ij}$ ,与理想解的距离  $d_i$  越小,方案越优,据此对各方案进行排序。

## 2 实例研究

浙江省临海市水资源量相对丰富,但水资源时空分布不均,水资源量分布和社会经济发展布局相矛盾,可调配水量不足,以及水质污染,造成工程型、资源型和水质型缺水并重。临海市“五水共治”的推进,是对水资源进行系统性管理与调配。对“五水共治”理念下的水资源配置进行评价,可为临海市水资源利用决策提供一定理论依据。

临海市多年平均降雨量 1 685.5 mm,多年平均

水资源总量 20.96 亿  $\text{m}^3$ 。临海市现状水资源开发利用的可供水量为 4.2 亿  $\text{m}^3$ ,仅占本市水资源总量 20%。临海市具有丰富的客水资源,灵江最枯年份过境客水达到 20 亿  $\text{m}^3$ 。临海市年总供水能力 42 181 万  $\text{m}^3$ ,地表水源供水占比 97%。目前已建水库、山塘 324 座,合计总库容 4.0322 亿  $\text{m}^3$ 。供水覆盖主要是中部分区、东部分区、西部分区和城南分区 4 大区块,其中中部分区、东部分区用水占全市的 72%,而中东部城区由于着重工业发展,其用水需求将快速增长。临海市各分区供水情况见表 1。

表1 临海市分区供水情况

| 分区   | 水厂    | 供水规模/<br>(万 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) |
|------|-------|------------------------------------------------|
| 西部分区 | 西北水厂  | 0.2                                            |
|      | 方溪水厂  | 2                                              |
| 中部分区 | 汇民水厂  | 0.2                                            |
|      | 大田水厂  | 0.7                                            |
|      | 戎旗水厂  | 0.3                                            |
|      | 小芝水厂  | 0.3                                            |
|      | 康谷水厂  | 0.24                                           |
|      | 东城水厂  | 10                                             |
|      | 塘里水厂  | 0.5                                            |
|      | 花街水厂  | 5                                              |
|      | 狮子山水厂 | 0.7                                            |
|      | 汛桥水厂  | 1                                              |
|      | 花联供水站 | 0.3                                            |
| 城南分区 | 涌泉水厂  | 1.5                                            |
|      | 沿江水厂  | 0.5                                            |
| 东部分区 | 为民水厂  | 2                                              |
|      | 西湖水厂  | 10                                             |

### 2.1 现状水资源供需分析

临海市需水总量包括生活需水量、生产需水量和生态需水量。以 2013 年为现状水平年、2016 年为近期规划年、2020 年为中期规划年,在 90% 来水保证率情况下分析《临海市五水共治规划》中需水预测的结果,可以发现临海市用水结构发生的变化。在现有工况下,统计得出现状供水情况下,不同水平年各分区的供需水情况(图 2 和表 2)。

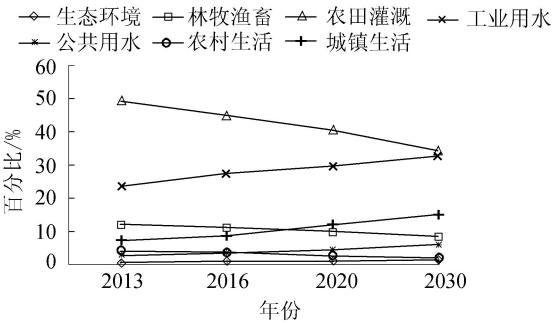


图2 不同水平年临海市各类需水量占比

分析数据可知临海市生活需水、公共需水、工业需水将成为用水主要构成。工业用水增长迅速,需水总量整体有增大趋势。而这几种用水对水质要求

| 水平年  | 分区      | 需水     |        | 供水     |        | 余缺水    |         | 合计      |
|------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|      |         | 优质水    | 一般水    | 优质水    | 一般水    | 优质水    | 一般水     |         |
| 2013 | 中部分区(Ⅰ) | 5 744  | 11 822 | 16 816 | 5 687  | 11 072 | -6 135  | 4 937   |
|      | 东部分区(Ⅱ) | 3 935  | 9 276  | 5 810  | 4 144  | 1 875  | -5 132  | -3 257  |
|      | 西部分区(Ⅲ) | 1 301  | 6 534  | 1 991  | 5 204  | 690    | -1 330  | -640    |
|      | 城南分区(Ⅳ) | 782    | 2 810  | 1 319  | 1 210  | 537    | -1 600  | -1 063  |
|      | 小计      | 11 762 | 30 442 | 25 936 | 16 245 | 14 173 | -14 197 | -23     |
| 2016 | 中部分区(Ⅰ) | 66 69  | 11 974 | 16 816 | 5 687  | 10 147 | -6 287  | 3 860   |
|      | 东部分区(Ⅱ) | 4 903  | 9 603  | 5 810  | 4 144  | 907    | -5 459  | -4 552  |
|      | 西部分区(Ⅲ) | 1 168  | 6 209  | 1 991  | 5 204  | 823    | -1 005  | -182    |
|      | 城南分区(Ⅳ) | 775    | 2 770  | 1 319  | 1 210  | 544    | -1 560  | -1 016  |
|      | 小计      | 13 515 | 30 556 | 25 936 | 16 245 | 12 421 | -14 311 | -1 890  |
| 2020 | 中部分区(Ⅰ) | 8 063  | 12 135 | 16 816 | 5 687  | 8 752  | -6 447  | 2 305   |
|      | 东部分区(Ⅱ) | 6 463  | 10 230 | 5 810  | 4 144  | -653   | -6 086  | -6 739  |
|      | 西部分区(Ⅲ) | 982    | 5 962  | 1 991  | 5 204  | 1 009  | -758    | 250     |
|      | 城南分区(Ⅳ) | 734    | 2 728  | 1 319  | 1 210  | 585    | -1 518  | -933    |
|      | 小计      | 16 243 | 31 055 | 25 936 | 16 245 | 9 692  | -14 809 | -5 117  |
| 2030 | 中部分区(Ⅰ) | 9 449  | 11 713 | 16 816 | 5 687  | 7 367  | -6 026  | 1 341   |
|      | 东部分区(Ⅱ) | 8 876  | 11 452 | 5 810  | 4 144  | -3 066 | -7 308  | -10 374 |
|      | 西部分区(Ⅲ) | 1 066  | 5 426  | 1 991  | 5 204  | 924    | -222    | 703     |
|      | 城南分区(Ⅳ) | 734    | 2 523  | 1 319  | 1 210  | 585    | -1 313  | -728    |
|      | 小计      | 20 125 | 31 114 | 25 936 | 16 245 | 5 811  | -14 869 | -9 058  |

较高,要满足未来城市发展需水要求,必须在水资源配置过程中更加重视水环境治理,保证一定优质水供水比例。临海市东部分区作为临海市副城,将重点发展工业,用水趋势向中部分区和东部分区集中,现状工况下规划年东部区缺水量逐年增大,但东部分区已无可开发水资源利用量。因此,在对临海市水资源配置进行评价时,必须将地区中水回用、优质水供水比例及水资源开发利用等指标考虑进去。

### 2.2 水资源配置方案设置

基于“五水共治”治水理念,临海市以河道综合治理为基础,保障防洪排涝安全,提高水资源配置能力,完善供水安全保障体系,优化区域水环境,维护水资源的可持续发展。综合临海市“五水共治”报告及节水规划,按照“五水共治”治水理念,笔者拟定了 4 套合理配置方案,分别进行分析比较。

方案 1:采用传统的水资源治理方案,保证一定水资源量补给河道内生态需水。加强农田节水措施,灌溉水利用系数提高 10%,城市生活用水定额下降 10%。同时强化供水措施,修建小田岙山塘,满足临海城中心区需水,并将牛头山水库调水供给城东区。

方案 2:加强节水,改善工业、农业节水工艺,推进生活用水节水器具,使之达到国家领先水平。灌溉水利用系数提高 15%,城市生活用水定额下降 15%。强化供水措施,修建方溪水库,保证一定水资源量补给河道内生态需水。

方案 3:加强节水,灌溉水利用系数提高 10%,城市生活用水定额下降 10%。加强蓄水工程建设,

将洪水资源化,保障供水。开发非常规水资源,推进中水回用工程,以补充河道内生态需水。

方案 4:加强节水,灌溉水利用系数提高 15%,城市生活用水定额下降 15%。加强供水保障,修建方溪水库,保障供水需求。加强污水治理,增加水资源可利用量,提高非常规水源地的利用,并保证一定水资源量补给河道内生态需水。

构建以综合效益最优为目标层,水资源开发利用、经济效益、社会效益、生态效益为准则层,根据地区水资源利用特点,遴选出准则层对应的指标,建立临海市水资源配置方案评价指标体系。各方案评价指标值见表 3。

| 表 3 临海市各水资源配置方案指标值 |                                                        |         |         |         |         |
|--------------------|--------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 准则                 | 指标                                                     | 方案      |         |         |         |
|                    |                                                        | M1      | M2      | M3      | M4      |
| 社会效益<br>$B_1$      | 生活供水保证率(%) $B_{11}$                                    | 95      | 90      | 95      | 90      |
|                    | 节水器具普及率(%) $B_{12}$                                    | 85      | 90      | 85      | 90      |
|                    | 人均综合用水量(m <sup>3</sup> ) $B_{13}$                      | 297. 19 | 286. 27 | 316. 66 | 286. 27 |
| 经济效益<br>$B_2$      | 每年单位面积灌溉用水量(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) $B_{21}$ | 6 330   | 6 330   | 6 330   | 5 835   |
|                    | 万元产值用水量(m <sup>3</sup> /万元) $B_{22}$                   | 73      | 59      | 73      | 59      |
|                    | 工业重复用水率(%) $B_{23}$                                    | 65      | 75      | 65      | 75      |
| 生态效益<br>$B_3$      | 河道外生态需水量(万 m <sup>3</sup> ) $B_{31}$                   | 400     | 560     | 560     | 400     |
|                    | 农村生活污水处理率(%) $B_{32}$                                  | 95      | 90      | 90      | 95      |
|                    | 中水回用规模(万 m <sup>3</sup> /d) $B_{33}$                   | 7. 00   | 7. 00   | 12. 00  | 12. 00  |
|                    | 优质水占供水比例(%) $B_{34}$                                   | 61. 5   | 61. 5   | 66. 4   | 66. 4   |
| 水资源开发利用<br>$B_4$   | 灌溉水利用系数 $B_{41}$                                       | 0. 58   | 0. 6    | 0. 58   | 0. 6    |
|                    | 地表水资源开发利用率(%) $B_{42}$                                 | 22. 98  | 27. 37  | 27. 37  | 27. 37  |
|                    | 城市管网漏损率(%) $B_{43}$                                    | 10      | 8       | 10      | 8       |

2.3 规范决策矩阵

其中  $B_{13}$ 、 $B_{21}$ 、 $B_{22}$ 、 $B_{43}$  为越小越优型指标,  $B_{42}$  为适中型指标, 其余为越大越优型指标, 利用前文所述公式, 求得规范矩阵  $D$ :

$$D = \begin{pmatrix} 0.514 & 0.486 & 0.507 & 0.480 & 0.447 & 0.464 & 0.417 & 0.514 & 0.368 & 0.481 & 0.492 & 0.442 & 0.444 \\ 0.486 & 0.514 & 0.525 & 0.480 & 0.553 & 0.536 & 0.583 & 0.486 & 0.368 & 0.481 & 0.508 & 0.558 & 0.556 \\ 0.514 & 0.486 & 0.475 & 0.480 & 0.447 & 0.464 & 0.583 & 0.486 & 0.632 & 0.519 & 0.492 & 0.558 & 0.444 \\ 0.486 & 0.514 & 0.525 & 0.520 & 0.553 & 0.536 & 0.417 & 0.514 & 0.632 & 0.519 & 0.508 & 0.674 & 0.556 \end{pmatrix}$$

通过变异系数法求得各指标权重:  $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\} = \{0.027, 0.028, 0.041, 0.034, 0.105, 0.071, 0.165, 0.027, 0.260, 0.038, 0.017, 0.077, 0.110\}$ , 通过 AHP 法求得各指标权重, 见表 4。

表 4 AHP 法各指标权重

| 准则层         |       | 指标层         |       | AHP 法<br>权重 |
|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| 指标          | 权重    | 指标          | 权重    |             |
| 社会<br>效率    | 0.167 | 生活供水保证率     | 0.297 | 0.050       |
|             |       | 节水器具普及率     | 0.163 | 0.027       |
|             |       | 人均综合用水量     | 0.54  | 0.090       |
| 经济<br>效率    | 0.333 | 每年单位面积灌溉用水量 | 0.311 | 0.104       |
|             |       | 万元产值用水量     | 0.493 | 0.164       |
|             |       | 工业重复用水率     | 0.196 | 0.065       |
| 生态<br>效率    | 0.333 | 河道外生态需水量    | 0.165 | 0.055       |
|             |       | 农村生活污水处理率   | 0.378 | 0.126       |
|             |       | 中水回用规模      | 0.079 | 0.026       |
|             |       | 优质水占供水资源比例  | 0.378 | 0.126       |
| 水资源开<br>发利用 | 0.167 | 灌溉水利用系数     | 0.163 | 0.027       |
|             |       | 地表水资源开发利用   | 0.54  | 0.090       |
|             |       | 城市管网漏损率     | 0.297 | 0.050       |

$$A = \begin{pmatrix} 0.0101 & 0.0055 & 0.0278 & 0.0251 & 0.1131 & 0.0314 & 0.0556 & 0.0254 & 0.0367 & 0.0338 & 0.0033 & 0.0449 & 0.0359 \\ 0.0096 & 0.0058 & 0.0288 & 0.0251 & 0.1399 & 0.0362 & 0.0778 & 0.0241 & 0.0367 & 0.0338 & 0.0034 & 0.0567 & 0.0449 \\ 0.0101 & 0.0055 & 0.0260 & 0.0251 & 0.1131 & 0.0314 & 0.0778 & 0.0241 & 0.0629 & 0.0365 & 0.0033 & 0.0567 & 0.0359 \\ 0.0096 & 0.0058 & 0.0288 & 0.0272 & 0.1399 & 0.0362 & 0.0556 & 0.0254 & 0.0629 & 0.0365 & 0.0034 & 0.0685 & 0.0449 \end{pmatrix}$$

2.4 各方案到理想解距离

从得到的加权决策矩阵  $A$  中, 按照公式 (5)、(6) 确定理想解和负理想解:

理想解:  $a_j^+ = (0.0101, 0.0058, 0.0288, 0.0272, 0.1399, 0.0362, 0.0778, 0.0254, 0.0629, 0.0365, 0.0034, 0.0685, 0.0449)$ 。

对 AHP 法所求的权重进行一致性检验, 结果见表 5。

表 5 一致性检验结果

|          | $\lambda_{\max}$ | $n$ | $CI$   | $RI$ | $CR$   | 判断   |
|----------|------------------|-----|--------|------|--------|------|
| 准则层      | 4.0000           | 4   | 0      | 0.9  | 0      | <0.1 |
| 社会效益     | 3.0092           | 3   | 0.0046 | 0.58 | 0.0079 | <0.1 |
| 经济效益     | 3.0536           | 3   | 0.0268 | 0.58 | 0.0463 | <0.1 |
| 生态效益     | 4.0104           | 4   | 0.0035 | 0.9  | 0.0039 | <0.1 |
| 水资源开发利用率 | 3.0055           | 3   | 0.0028 | 0.58 | 0.0047 | <0.1 |

$CR$  均小于 0.1, 则所求权重通过一致性检验。

利用组合公式  $w_i = \theta_i \alpha_i / (\sum_{i=1}^n \theta_i \alpha_i)$ , 计算得到综合权重:

$$w_i = (0.020, 0.011, 0.055, 0.052, 0.253, 0.068, 0.133, 0.050, 0.100, 0.070, 0.007, 0.102, 0.081)$$

进而求得加权决策矩阵  $A$ :

负理想解:  $a_j^- = (0.0956, 0.0055, 0.0260, 0.0251, 0.1131, 0.0314, 0.0556, 0.0241, 0.0367, 0.0338, 0.0033, 0.0449, 0.0359)$ 。将理想解平移至坐标原点  $(0, 0, 0, \dots, 0)$ , 按照该平移规则, 各指标、理想解及负理想解值见表 6。

表 6 平移后各指标及理想解、负理想解

| 指标       | 指标值       |           |           |           | 理想解      | 负理想解      |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|          | 方案 1      | 方案 2      | 方案 3      | 方案 4      |          |           |
| $B_{11}$ | 0.000003  | -0.000528 | 0.000003  | -0.000528 | 0.000000 | 0.085510  |
| $B_{12}$ | -0.000320 | 0.000000  | -0.000320 | 0.000000  | 0.000000 | -0.000320 |
| $B_{13}$ | -0.000994 | -0.000002 | -0.002763 | -0.000002 | 0.000000 | -0.002760 |
| $B_{21}$ | -0.002123 | -0.002123 | -0.002123 | 0.000003  | 0.000000 | -0.002120 |
| $B_{22}$ | -0.026835 | -0.000003 | -0.026835 | -0.000003 | 0.000000 | -0.026830 |
| $B_{23}$ | -0.004830 | -0.000005 | -0.004828 | -0.000005 | 0.000000 | -0.004830 |
| $B_{31}$ | -0.022219 | 0.000001  | 0.000001  | -0.022219 | 0.000000 | -0.022220 |
| $B_{32}$ | 0.000004  | -0.001335 | -0.001335 | 0.000004  | 0.000000 | -0.001330 |
| $B_{33}$ | -0.026187 | -0.026187 | 0.000001  | 0.000001  | 0.000000 | -0.026187 |
| $B_{34}$ | -0.002691 | -0.002691 | -0.000001 | -0.000001 | 0.000000 | -0.002690 |
| $B_{41}$ | -0.000108 | 0.000004  | -0.000108 | 0.000004  | 0.000000 | -0.000110 |
| $B_{42}$ | -0.023595 | -0.011795 | -0.011795 | 0.000005  | 0.000000 | -0.023590 |
| $B_{43}$ | -0.008978 | 0.000000  | -0.008978 | 0.000000  | 0.000000 | -0.008980 |

计算得各方案与理想解距离  $d_i = (0.002\ 575, 0.000\ 932, 0.0011\ 16, 0.000\ 448)$ , 由于距离越小越优, 可确定方案 4 最优。

浙江临海市属大田平原区, 地表水资源量较少, 人均水资源量低于全国平均水平。水利工程的开发利用程度偏低, 地表水工程规模较小, 丰富的客水资源没有得到充分利用。提高水资源开发利用效率是水资源优化配置的关键一步。同时临海市主要产业为工业和农业, 而两者在节水方面还有很大提升空间, 因此需推进节水工艺、改进灌溉方式。临海市中部与东部水资源分配不均匀, 中部余水较多, 东部工业发展快, 而东部地区水资源可利用量少, 水资源缺口有增大趋势。要满足未来城市发展需求, 必须考虑全市范围的水资源调配, 加大水资源开发利用程度。小田岙山塘、方溪水库完工并投入使用, 可向中部区供水, 并向东部供水 7 645 万  $\text{m}^3$ , 剩余水量补给生态需水量。在此基础上, 加强污水治理, 增加可供水资源量, 提高优质水所占比例, 重视非常规水资源的开发利用, 减轻废污水对水环境的压力及用水负担, 从综合的角度对“五水”进行统一治理与利用。方案 4 最大限度满足了要求, 是高节水、加强水资源开发利用, 保障供水, 保障生态的组合方案, 体现了“五水共治”思想下的水资源配置的合理性, 与临海市的水资源现状符合, 可作为最优配置方案。

### 3 结 语

进行水资源配置方案评价时, 需充分考虑当地水资源现状, 结合当地发展规划, 把握用水结构变化趋势, 从社会效益、经济效益、生态、水资源开发利用等方面, 全面考虑水资源配置的科学性。笔者采用改进的 TOPSIS 法进行水资源配置方案评价。在诸多的评价方法中, TOPSIS 法对原始数据的信息利用最为充分, 对数据分布、样本含量、指标多少没有严格的限制, 数据计算简单可行。不仅适用于小样本资料, 也适用于多评价对象、多指标的大样本资料。利用 TOPSIS 进行综合评价, 可以得出良好的可比性评价排序结果。相较于层次分析法和模糊综合评价法, TOPSIS 法以定义距离的方式筛选出优选结果, 更为直观。权重方法与距离计算公式可以灵活选用, 因此很大程度上会影响评价结果。本文在这两方面对 TOPSIS 进行了改进, 综合考虑主客观两方面, 采取 AHP 和变异系数的组合权重。距离定义采用基于垂面距离的正交投影法, 避免了优选结果, 同时贴近理想解、负理想解的情况, 使 TOPSIS 的评价结果更加科学合理。

本文采用改进的 TOPSIS 对临海市水资源配置

方案进行评价, 确定了最佳水资源配置方案, 并从评价角度阐明“五水共治”理念在实践应用中的科学性, 为“五水共治”规划在临海市的推进与实施提供理论支撑。

### 参考文献:

[ 1 ] 左一鸣, 崔广柏, 王振龙, 等. 我国水资源可持续利用探索[J]. 人民黄河, 2005, 27(9): 41-42. ( ZUO Yiming, CUI Guangbo, WANG Zhenlong, et al. Exploration on sustainable utilization of water resources in China [ J ]. Yellow River, 2005, 27(9): 41-42. ( in Chinese ) )

[ 2 ] 邓晓玲. 水资源治理与传统水利管理的区别[J]. 绿色科技, 2014 ( 1 ): 189-190. ( DENG Xiaoling. The distinction between water resources management and traditional water conservancy management [ J ]. Green Technology, 2014(1): 189-190. ( in Chinese ) )

[ 3 ] 沈兴兴, 马忠玉, 曾贤刚, 等. 水资源管理手段创新研究进展[J]. 水资源保护, 2015, 31(5): 87-95. ( SHEN Xingxing, MA Zhongyu, ZENG Xiangang, et al. Water resource management innovation research progress [ J ]. Water Resources Protection, 2015, 31(5): 87-95. ( in Chinese ) )

[ 4 ] 魏婧, 梅亚东, 杨娜, 等. 现代水资源配置研究现状及发展趋势[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(4): 73-77. ( WEI Qing, MEI Yadong, YANG Na, et al. Research status and development trend of the modern water resources allocation [ J ]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(4): 73-77. ( in Chinese ) )

[ 5 ] 王浩, 游进军. 水资源合理配置研究历程与进展[J]. 水利学报, 2008, 39(10): 1168-1175. ( WANG Hao, YOU Jinjun. Advancements and development course of research on water resources development [ J ]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(10): 1168-1175. ( in Chinese ) )

[ 6 ] JHA M K, DASGUPTA A. Application of Mike Basin for water management strategies in a watershed [ J ]. Water International, 2003, 28(1): 27-35.

[ 7 ] ZAGONA E A, TERRANCE J F, RICHARD S, et al. Riverware: a generalized tool for complex reservoir systems modeling [ J ]. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37(4): 913-929.

[ 8 ] GITAU M W, CHIANG L C, SAYEED M, et al. Watershed modeling using large-scale distributed computing in condor and the soil and water assessment tool model [ J ]. Simulation Transactions of the Society for Modeling & Simulation International, 2011, 88(3): 365-380.

[ 9 ] 贾仰文, 王浩. “黄河流域水资源演变规律与二元演化模型”研究成果简介[J]. 水利水电技术, 2006, 37(2): 45-52. ( JIA Yangwen, WANG Hao. " The Yellow River river basin water resources evolution law and two yuan evolution model" research results [ J ]. Water Resources

and Hydropower Engineering, 2006, 37 (2): 45-52. (in Chinese))

[10] 阚添进, 李宁, 王志清. 城市多水源配置系统中水布局及水质转换综述[J]. 科技信息, 2012, 25 (25): 304-306. (QUE Tianjin, LI Ning, WANG Zhiqing. Urban multi water resources allocation system water distribution and quality conversion: a review [J]. Science and Technology Information, 2012, 25 (25): 304-306. (in Chinese))

[11] 王岚, 张其成, 陈星. 住宅小区雨水收集利用方案及其效益分析[J]. 水资源保护, 2013, 29 (2): 67-70. (WANG Lan, ZHANG Qicheng, CHEN Xing. Scheme design and profit analysis of rainwater collection and recycling in a residential district [J]. Water Resources Protection, 2013, 29 (2): 67-70. (in Chinese))

[12] 常进, 王卫平, 陈星, 等. K-L PPC 模型在水资源可持续利用评价中的应用[J]. 水资源保护, 2013, 29 (4): 50-53. (CHANG Jin, WANG Weiping, CHEN Xing, et al. Application of K-L PPC model to evaluation of sustainable utilization of water resources [J]. Water Resources Protection, 2013, 29 (4): 50-53. (in Chinese))

[13] 项琼. 基于组合权重 TOPSIS 模型的区域水资源承载力综合评价[J]. 西北水电, 2015 (4): 6-10. (XIANG Qiong. The general assessment on bearing capacity of regional water resources based on TOPSIS model of combined weight [J]. Northwest Hydropower, 2015 (4): 6-10. (in Chinese))

[14] 林铨云. 多目标优化的方法与理论[M]. 长春: 吉林教育出版社, 1992.

[15] 周亚. 多属性决策中的 TOPSIS 法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.

[16] 张峰, 谢振华, 程江涛, 等. 基于广义马氏距离的混合型多属性决策的 TOPSIS 方法[J]. 海军航空工程学院学报, 2013 (6): 674-678. (ZHANG Feng, XIE Zhenhua, CHEN Jiangtao, et al. The TOPSIS method for hybrid multi-attribute decision based on generalized Mahalanobis distance [J]. Naval Aeronautical Engineering Institute, 2013 (6): 674-678. (in Chinese))

[17] 华小义, 谭景信. 基于“垂面”距离的 TOPSIS 法——正交投影法[J]. 系统工程理论与实践, 2004 (1): 114-119. (HUA Xiaoyi, TAN Jinxin. TOPSIS Method based on the "vertical plane" distance-orthogonal projection method [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2004 (1): 114-119. (in Chinese))

[18] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进[J]. 数学的实践与认识, 2002 (4): 572-575. (HU Yonghong. Improved TOPSIS method for comprehensive evaluation [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2002 (4): 572-575. (in Chinese))

(收稿日期: 2015-12-28 编辑: 彭桃英)

+++++

(上接第 8 页)

# 参考文献:

[1] 张建云, 宋晓猛, 王国庆. 变化环境下城市水文学的发展与挑战: I: 城市水文效应[J]. 水科学进展, 2014, 25 (4): 594-605. (ZHANG Jianyun, SONG Xiaomeng, WANG Guoqing. Development and challenges of urban hydrology in a changing environment: I: hydrological response to urbanization [J]. Advances in Water Science, 2014, 25 (4): 594-605. (in Chinese))

[2] 王文亮, 李俊奇, 车伍, 等. 海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J]. 中国给水排水, 2015, 31 (8): 18-23. (WANG Wenliang, LI Junqi, CHE Wu, et al. Explanation of sponge city development technical guide: planning index for urban total runoff volume capture [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (8): 18-23. (in Chinese))

[3] 车伍, 武彦杰, 杨正, 等. 海绵城市建设指南解读之城市雨洪调蓄系统的合理构建[J]. 中国给水排水, 2015, 31 (8): 13-18. (CHE Wu, WU Yanjie, YANG Zheng, et al. Explanation of sponge city development technical guide: rational building of urban stormwater detention and retention system [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (8): 13-18. (in Chinese))

[4] 任心欣, 汤伟真. 海绵城市年径流总量控制率等指标应用初探[J]. 中国给水排水, 2015, 31 (13): 105-109. (REN Xinxin, TANG Weizhen. Application of capture ratio of total annual runoff volume in sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (13): 105-109. (in Chinese))

[5] 车伍, 吕放放, 李俊奇, 等. 发达国家典型雨洪管理体系及启示[J]. 中国给水排水, 2009, 25 (20): 13-17. (CHE Wu, LV Fangfang, LI Junqi, et al. Typical stormwater and flood management systems in developed countries and their inspiration [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25 (20): 13-17. (in Chinese))

[6] 胡爱兵, 任心欣, 俞绍武, 等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水, 2010, 26 (20): 69-72. (HU Aibing, REN Xinxin, YU Shaowu, et al. Exploration for creating low impact development stormwater management demonstration area in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26 (20): 69-72. (in Chinese))

[7] 王琼珊, 刘晓梅, 赵冬泉, 等. 低影响开发措施比选及适建区域分析[J]. 中国给水排水, 2014 (3): 96-100. (WANG Qionshan, LIU Xiaomei, ZHAO Dongquan, et al. Selection of low impact development techniques and analysis of suitable construction area [J]. China Water & Wastewater, 2014 (3): 96-100. (in Chinese))

[8] 住房城乡建设部. 海绵城市建设技术指南: 低影响开发雨水系统构建 (试行) [EB/OL]. [2015-10-08]. <http://vdisk.weibo.com/s/uoGPP11OEymNP>

(收稿日期: 2015-12-28 编辑: 徐 娟)