

# 基于指标体系的福建省水资源供需趋势评价

黄初龙 (泉州师范学院资源与环境科学学院, 福建泉州 362000)

**摘要** [目的]评价福建省水资源的供需趋势。[方法]根据水资源供需平衡(Water Resources Supply and Demand Balance, WRSDB)内涵,构建了福建省 WRSDB 评价指标体系。依据 1997~2007 年福建省各类统计资料建立指标数据库。采用情景分析法和回归分析法对各指标变量进行预测,采用加权求和法评价丰、平、枯水年福建省 WRSDB 趋势。[结果]同方案同水平年的 WRSDB 指数均为基准年 2006 年 > 短期预测年 2010 年 > 中期预测年 2015 年。各方案中 WRSDB 均呈略降趋势,下降程度表现为枯水年 > 平水年 > 丰水年。同水平年的各预测年 WRSDB 指数均表现为:高方案 > 低方案。[结论]福建省水资源对社会经济发展的制约作用加强,近期福建省 WRSDB 增强的关键在于控制人口和 GDP 的增速。

**关键词** 水资源;水资源供需平衡;趋势;评价

中图分类号 TU211 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)22-10588-05

## Evaluation on Supply-demand Balance Trend of Water Resource in Fujian Province Based on Index System

HUANG Chu-long (College of Resources and Environmental Sciences, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000)

**Abstract** [Objective] The study is to evaluate the supply-demand balance trend of water resource in Fujian Province. [Method] According to the connotation of WRSDB, the evaluation index system of WRSDB (Water Resources Supply and Demand Balance, WRSDB) in Fujian Province was established. The index database is set up according to all kinds of statistical data in Fujian Province from 1997 to 2007. The index variables is predicted with scenario analysis and regression analysis method. The WRSDB trend of Fujian in wet, normal and dry years is evaluated with weight sum method. [Result] The WRSDB index in the same scheme and the same level year all showed base year 2006 > short-term prediction year 2010 > medium-term prediction year 2015. The WRSDB in schemes all showed decreasing trend, and showed as dry year > normal year > wet year. The predicted WRSDB indexes in the same level year in observed years in high scheme are bigger than those in low scheme. [Conclusion] The restricting effects of water resource on social and economic development are strengthening, the key of strengthening WRSDB of Fujian Province is to control the increasing speed of population and GDP.

**Key words** Water resource; Water Resources Supply and Demand; Trend; Evaluation

区域水资源供需平衡(WRSDB)发展趋势预测对区域社会经济发展模式(即结构、规模、速度等)的确定至关重要。WRSDB 系统是由社会经济用水系统和自然环境供水系统组成的复合系统,也是由水资源的开采、供给、使用、排放、净化等环节构成的具有整体性和循环性的系统。目前,有关水量平衡的研究较多<sup>[1-2]</sup>,但这些研究不能说明社会经济需水是否得到满足,即水资源利用是否推动了社会经济的发展,从而不能表征区域 WRSDB 系统的良性循环程度。影响 WRSDB 的因素不仅有降水及影响降水形成水资源的地形地貌等供水方面的自然环境因素,还包括开采后水资源进入人工侧支水循环系统而受到的社会经济因素。指标体系可较全面的表征影响 WRSDB 的各方面因素,预测 WRSDB 的整体发展趋势。目前,利用指标体系评价复杂系统的多属性功能或目标已被国内外学者认可<sup>[3]</sup>,但利用指标体系预测某系统属性的发展趋势研究较少。基于指标体系,对水资源供给影响因素与人口增长、GDP 增长等水资源需求影响因素指标分别进行预测,应用评价模型和赋权结果得出预测期 WRSDB 水平,有利于评判水资源复合系统各组成要素、各供需环节之间是否存在整体平衡。

## 1 WRSDB 评价指标体系的构建

WRSDB 是指可利用淡水资源的供需平衡。福建省水资源以降水补给为主,降水可利用量即为该省的可利用淡水资源量,主要受自然地理因素影响;而水资源需求量则主要取决于生活、生产、生态所需,其中,生活、生产需水主要取决于

社会经济因素。WRSDB 各主要环节的影响因素可分为:地理位置、区域面积、气候因素、地形地貌因素、植被因素等自然地理因素和人口、GDP、水资源利用效率、废污水处理能力等社会经济因素。根据这些影响因素可确定 WRSDB 的评价指标。

根据 WRSDB 内涵的界定,参考文献[4-6],制定科学性、协调性、可操作性、整体性较好的福建省 WRSDB 评价指标体系的指标选取原则,按照供、用、需 3 个环节,将所选指标分为水资源丰度、供水能力、用水效率和需水趋势 4 个方面,其中,用水效率指标从生活、生态、生产 3 方面用水考虑。因生态用水方面的指标数据难以获取,故不予考虑,选用“人均综合用水量和万元 GDP 用水量”2 个指标表征生活、生产用水。根据福建省水资源公报,1997~2006 年生活用水量的增长幅度(74.5%)远高于总用水量的增长幅度(19.3%),因而需增列“人均生活日用水量”,从而构建由目标层、领域层、指标层组成的福建省 WRSDB 评价指标体系(表 1)。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 指标数据来源与处理

**2.1.1 预测基准年指标数据。**依据 1997~2007 年福建省统计年鉴、福建省水资源公报、福建省水利统计公报、福建省环境状况公报、福建年鉴等资料,按表 1 所示的指标体系建立 1997~2006 年时间序列的指标数据库(表 2)。

### 2.1.2 预测年指标数据。

**2.1.2.1 预测年指标值的确定。**采用情景分析法和回归分析法,对构成指标的各变量进行预测,再根据指标公式,计算出指标预测值。

从指标体系的指标层(表 1)中析出 11 个变量进行情景分析:①福建省地处亚热带季风气候区,降水总量、水资源总量均存在明显的年际变化,但丰、平、枯水年多年平均降水总

**基金项目** 泉州师范学院自选科技项目(2007KJ003);福建省青年科技人才创新基金(2006F3115)。

**作者简介** 黄初龙(1971-),男,福建三明人,博士,从事水资源环境研究。

**收稿日期** 2009-04-10

量和水资源总量相对稳定。为此,该研究采用《2006 年福建省水资源公报》数据,核算平水年多年平均降水量与多年平

表 1 福建省 WRSDB 评价指标体系

Table 1 The index system for WRSDB assessment in Fujian Province

目标 Objective	领域 Field	指标 Index	指标计算方法 Calculation method of index	指标信息 Index information
水资源供需 平衡度 A	水资源丰度 B <sub>1</sub>	人均水资源量 C <sub>1</sub> //m <sup>3</sup> /人	水资源总量/总人口	人是社会经济系统水资源利用的主体,社会经济系统 WRSDB 平衡与否主要体现在人均需水是否得到满足
		地均水资源量 C <sub>2</sub> //m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	水资源总量/土地面积	土地是社会经济系统和生态系统用水的载体,可反映整个社会-经济-生态复合水资源系统 WRSDB 的可供利用水资源的丰度
		人均降水量 C <sub>3</sub> //m <sup>3</sup> /人	降水总量/总人口	降水是地表各种赋存形式水资源的源头,可反映评价区潜在的可供开发的最大水量,人均降水量反映了社会经济系统 WRSDB 的天然基础,即潜在水源基础
供水能力 B <sub>2</sub>		地均降水量 C <sub>4</sub> //m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	降水总量/土地面积	反映整个复合水资源系统 WRSDB 的天然基础
		水资源利用率 C <sub>5</sub> //%	实际供水总量/水资源总量	反映人工侧支水系统的供水能力
		森林覆盖率 C <sub>6</sub> //%	森林面积/土地面积	反映涵养水源、保持水土、稳定水量供给、改善水质的能力,进而反映天然水系统的供水能力
		工业废水排放达标率 C <sub>7</sub> //%	工业废水排放达标量/工业废水排放总量	反映人工侧支水系统维护水系统供水的能力
用水效率 B <sub>3</sub>		人均综合用水量 C <sub>8</sub> //m <sup>3</sup> /人	总用水量/总人口	反映社会经济系统的综合用水效率
		人均生活日用水量 C <sub>9</sub> //1(人·d)	生活用水总量/(总人口×365 d)	反映生活用水效率
		万元 GPD 用水量 C <sub>10</sub> //m <sup>3</sup> /万元	总用水量/GDP	反映生产用水效率
		人口增长率 C <sub>11</sub> //%	(当年人口数-上年人口数)/上年人口数	反映生活需水增长速率,进而反映生活需水对水资源供给的压力
需水趋势 B <sub>4</sub>		GDP 增长率 C <sub>12</sub> //%	(当年 GDP-上年 GDP)/上年 GDP	一定社会经济用水水平下,GDP 越大,生产需水越多。GDP 增长率可反映生产需水增长速率,进而反映生产需水对水资源供给的压力

注:表中指标计算所用人口数均为 2006 年末研究区户籍统计人口数。

Note: Population in index calculation are all adopted from household register statistical population in studied area at the end of 2006.

表 2 福建省 WRSDB 趋势评价指标值

Table 2 The index values of WRSDB trend assessment in Fujian Province

年份 Year	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>
1997	462.0	122	793.3	210	8.98	57.3	52.8	478	107	547	0.64	15.56
1998	477.0	127	706.2	188	10.75	57.3	55.8	498	135	520	0.52	10.07
1999	366.7	98	626.4	168	13.76	57.3	67.1	529	165	514	0.52	8.05
2000	383.2	105	684.2	188	13.64	60.5	85.8	514	144	466	2.83	10.26
2001	382.6	106	626.2	174	13.40	60.5	91.7	496	151	419	0.88	8.19
2002	349.0	98	561.0	157	15.12	60.5	95.7	516	156	400	0.76	9.69
2003	231.3	65	409.1	115	22.66	60.5	97.2	524	170	367	0.63	11.55
2004	202.9	57	485.0	137	25.96	60.5	97.2	527	166	321	0.66	15.64
2005	396.4	113	669.7	191	13.34	63.0	97.7	529	169	284	0.68	13.98
2006	456.3	131	741.9	213	11.53	63.0	98.0	526	172	247	0.65	15.46

均年水资源总量,作为预测年平水年的年降水量与年水资源总量。同时,根据福建省降水的年际变化特征,以平水年多年平均核算值为基础,上下浮动 20% 作为预测年丰、枯水年的年降水量与年水资源总量。丰、平、枯水年预测年 2010 和 2015 年的各水量指标均取相同数值。当预测年为丰水年时,年降水量与年水资源总量分别为 2 492.92 亿、1 532.79 亿 m<sup>3</sup>;当预测年为平水年时,年降水量与年水资源总量分别为

2 077.43 亿、1 277.33 亿 m<sup>3</sup>,当预测年为枯水年时,年降水量与年水资源总量分别为 1 661.95 亿、1 021.86 亿 m<sup>3</sup>;②土地面积不随时间而变,工业废水达标排放量和排放总量按工业废水排放达标率进行预测;③实际供水总量、总用水量、生活用水总量、工业废水排放达标率等既受降水总量、水资源总量的影响,也受人口数、社会经济技术发展水平(如节水能力、污水处理能力、供水能力、用水效率等)的影响,这些变量呈非线性变化,人口数、GDP、森林面积的影响因素复杂多变,也呈非线性变化;④预测年的人口数和 GDP 均按高、低方案分别确定,高方案最有利于 WRSDB,低方案最不利于 WRSDB。以 2006 年为基准年,预测年人口数的高、低方案分别按人口自然增长率每年下降 0.25‰、每年增加 30 万人的增长速率计算,预测年 GDP 的高、低方案分别按 8%、年增长速率 15.46% 计算。

2.1.2.2 指标预测方法。非线性变量采用非线性回归(即曲线估计法和自动回归法)预测法,计算软件为 SPSS 11.5。操作步骤如下:

(1)建立数据文件,选择回归分析→曲线估计,以时间为自变量,待预测变量为因变量(Dependent),选取曲线估计法对话框中的所有拟合模型。

(2)根据 1997~2006 年各因变量的散点图和  $F$  值选取最佳拟合模型。各拟合模型的拟合方程如下:Linear:  $Y = b_0 + b_1 \cdot t$ ; Quadratic:  $Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2$ ; Compound:  $Y = b_0 \cdot b_1 t$ ; Growth:  $Y = e^{(b_0 + b_1 \cdot t)}$ ; Logarithmic:  $Y = b_0 + b_1 \cdot \ln(t)$ ; Cubic:  $Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$ ; S:  $Y = e^{(b_0 + b_1/t)}$ ; Exponential:  $Y = b_0 \cdot e^{(b_1 \cdot t)}$ ; Inverse:  $Y = b_0 + b_1/t$ ; Power:  $Y = b_0 \cdot t^b$ ; Logistic:  $Y = 1 / ((1/u) + b_0 \cdot (b_1^t))$  (其中,  $u$  为函数的上限)。

(3)选中显示方差分析表及 Save 对话框中的 Predicted Values 和 Residuals, 得出不同拟合方法的拟合结果和残差, 将其作为列插入原始数据表进行对比, 选择具有最佳拟合效果的拟合方程, 即通过  $F$  检验, 选取  $F$  值最大,  $F$  值的显著性检验值最小的拟合方程。得总供水量、总用水量、生活总用水量、工业废水排放达标率的非线性回归模拟方程分别为:  $Y = 7\ 962.104 - 15\ 583\ 475.176/t$ ;  $Y = 6\ 337.28 - 10^7/t$ ;  $Y =$

$1\ 587.12 - 3 \times 10^6/t$ ;  $Y = 10\ 865.4 - 2 \times 10^7/t$ , 方程的  $F$  值分别为 0.007 8、0.000 0、0.000 0、0.000 0; 森林面积按地市分别预测后求和, 得福州、莆田、泉州、厦门、三明、南平、宁德森林面积的拟合方程分别为:  $Y = -38\ 251 + 22.406t$ ;  $Y = 33\ 463.7 - 6 \times 10^7/t$ ;  $Y = e^{(-2.133 + 21.892 \cdot 737/t)}$ ;  $Y = 26\ 520.024 - 12.885t$ ;  $Y = -188\ 535.024 + 102.885t$ ;  $Y = 348\ 708.685 - 164.097t$ ;  $Y = e^{(12.684 - 7.210 \cdot 366/t)}$ , 方程的  $F$  值分别为 0.000 0、0.005 0、0.003 6、0.000 1、0.000 7、0.000 1、0.009 2, 漳州、龙岩森林面积曲线估计结果的  $F$  值大于 0.05, 拟合效果不佳, 因此, 采用时间系列预测法中的自动回归法进行预测。

2.1.2.3 非线性变量预测结果。根据拟合方程, 可得预测年(2010、2015年)各因变量的预测值(表 3), 根据表 1 中的指标计算公式, 可得预测年各指标值。

表 3 预测年福建省 WRSDB 评价指标变量

Table 3 The index variables of WRSDB assessment in Fujian Province in forecasting years

预测年 Forecasting years	总人口//万人 Total population		GDP//亿元		工业废水排放达标率//% Reaching standard rate of industry wastewater emission	总供水量 $\times 10^8 m^3$ Total water supply quantity	总用水量 $\times 10^8 m^3$ Total water consumption	生活总用水量 $\times 10^8 m^3$ Total water consumption for living	森林面积 hm <sup>2</sup> Forest area
	低	高	低	高					
	Low	High	Low	High					
2010	3 678	3 639	13 479	10 318	130	209.13	202.40	26.08	79 986
2 015	3 828	3 721	27 657	15 161	156	228.37	217.62	29.95	83 679

注:总人口和 GDP 数据均来源于 2008 年福建统计年鉴。

Note: The data of total population and GDP are from Fujian Statistical Yearbook in 2008.

2.1.3 指标数据处理方法。由于各评价指标的量纲及其与评价目标的函数关系不同, 指标值一般不能直接应用于评价模型, 必须对其进行标准化处理。标准化处理方法较多, 但一般必须按指标与评价目标的关系进行分类。将有利于 WRSDB 的指标作为数值越大越优型指标, 即  $C_1 \sim C_7$ , 反之, 为越小越优型指标, 即  $C_8 \sim C_{12}$  (表 1)。采用极差变换法进行指标处理, 即每个指标的实际值  $C_i$  去量纲均按某评价单元时间系列数据  $U_k$  中的最大值 ( $U_k \max$ ) 与最小值 ( $U_k \min$ ) 之差为分母进行标准化处理, 即, 越大越优型指标的标准化值  $S_i = (U_k - U_k \min) / (U_k \max - U_k \min)$ , 越小越优型指标的标准化值  $S_i = (U_k \max - U_k) / (U_k \max - U_k \min)$ 。

对 1997~2006 年各指标和 2 个预测年指标构成的数据系列进行标准化处理, 结果表明(表 4), 每个指标的标准化值总有最优值 1 和最劣值 0, 但不出现负值, 各组指标关联系数的差异较一致, 且处理结果的区分度较好。

2.2 指标体系赋权 采用层次分析法(AHP)<sup>[7]</sup> 确定各指标的权重(表 5)。通过两两比较, 采取 1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9 等标度对判断矩阵中的元素赋权。采用文献[8]的检验方法, 赋权过程中目标层 A 和领域层  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$  各判断矩阵的随机性指标 CR 值分别为 0.068、0.033、0.048、0.004、0.000, 均小于 0.1, 层次单排序的一致性均可接受; 层次总排序 CR = 0.025 5, 一致性也可接受。

2.3 WRSDB 评价模型 为避免个别指标对指标体系整体功能造成影响, 综合评价采用加权求和法, 评价模型为:

$$A_j = \sum_{i=1}^4 W_i B_{ij} \quad (1)$$

$$B_{mj} = \sum_{i=1}^n w_i C_{ij} \quad (2)$$

式(1)、(2)中,  $j$  为年份;  $m$  为领域层序号;  $n$  为各领域层指标个数;  $W_i$  为各领域权重;  $w_i$  为各指标权重;  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的含义见表 1,  $A$  值越大, 表示 WRSDB 程度越高;  $C_{ij}$  为指标标准化值。

表 4 福建省 WRSDB 趋势评价指标标准化值

Table 4 The index standardization values of WRSDB trend assessment in Fujian Province

年份 Year	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$
1997	0.95	0.88	1.00	0.97	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.90	0.01
1998	1.00	0.95	0.77	0.74	0.10	0.00	0.03	0.81	0.76	0.07	0.95	0.49
1999	0.60	0.55	0.57	0.54	0.28	0.00	0.14	0.53	0.49	0.08	0.95	0.67
2000	0.66	0.65	0.72	0.75	0.27	0.31	0.32	0.66	0.67	0.20	0.00	0.47
2001	0.66	0.66	0.57	0.60	0.26	0.31	0.38	0.83	0.62	0.32	0.80	0.65
2002	0.53	0.55	0.40	0.43	0.36	0.31	0.42	0.65	0.57	0.36	0.85	0.52
2003	0.10	0.10	0.00	0.00	0.81	0.31	0.43	0.57	0.44	0.45	0.90	0.36
2004	0.00	0.00	0.20	0.23	1.00	0.31	0.43	0.55	0.48	0.56	0.89	0.00
2005	0.71	0.76	0.68	0.78	0.26	0.55	0.43	0.53	0.45	0.65	0.88	0.15
2006	0.92	1.00	0.87	1.00	0.15	0.55	0.44	0.55	0.42	0.74	0.89	0.02
2010	0.54	0.62	0.42	0.54	0.44	0.71	0.75	0.27	0.21	0.87	0.94	0.90
2015	0.51	0.62	0.39	0.54	0.52	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

注:表中数据为高方案平水年各指标各年份标准化值。

Note: Data in the table are standardization values of the indexes of normal years in high scheme.

### 3 结果与分析

将各指标的标准化值及其权重代入式(1)、(2)评价模型, 可得 WRSDB 指数(图 1)。

由图 1 可知, 同方案同水平年的 WRSDB 指数均为基准年 2006 年 > 短期预测年 2010 年 > 中期预测年 2015 年。即无论预测年为丰水年, 还是平、枯水年, 根据目前用水水平和社会经

济发展速度,福建省近期 WRSDB 水平均下降。

同方案各预测年 WRSDB 指数均表现为:丰水年 > 平水

表 5 指标体系权重

Table 5 Index system weight

项目	权重	项目	权重	项目	权重	项目	权重			
Item	Weight	Item	Weight	Item	Weight	Item	Weight			
领域层 Field layer	B <sub>1</sub>	0.216	指标层	C <sub>1</sub>	0.645	指标层 2	C <sub>5</sub>	0.605		
	B <sub>2</sub>	0.243		C <sub>2</sub>	0.152		指标层 3	C <sub>9</sub>	0.121	
	B <sub>3</sub>	0.378		C <sub>3</sub>	0.151	Index layer 2		C <sub>6</sub>	0.291	
	B <sub>4</sub>	0.162		C <sub>4</sub>	0.052	C <sub>7</sub>	0.103	Index layer 3	C <sub>10</sub>	0.238
						C <sub>8</sub>	0.641	指标层 4	C <sub>11</sub>	0.667
								Index layer 4	C <sub>12</sub>	0.333

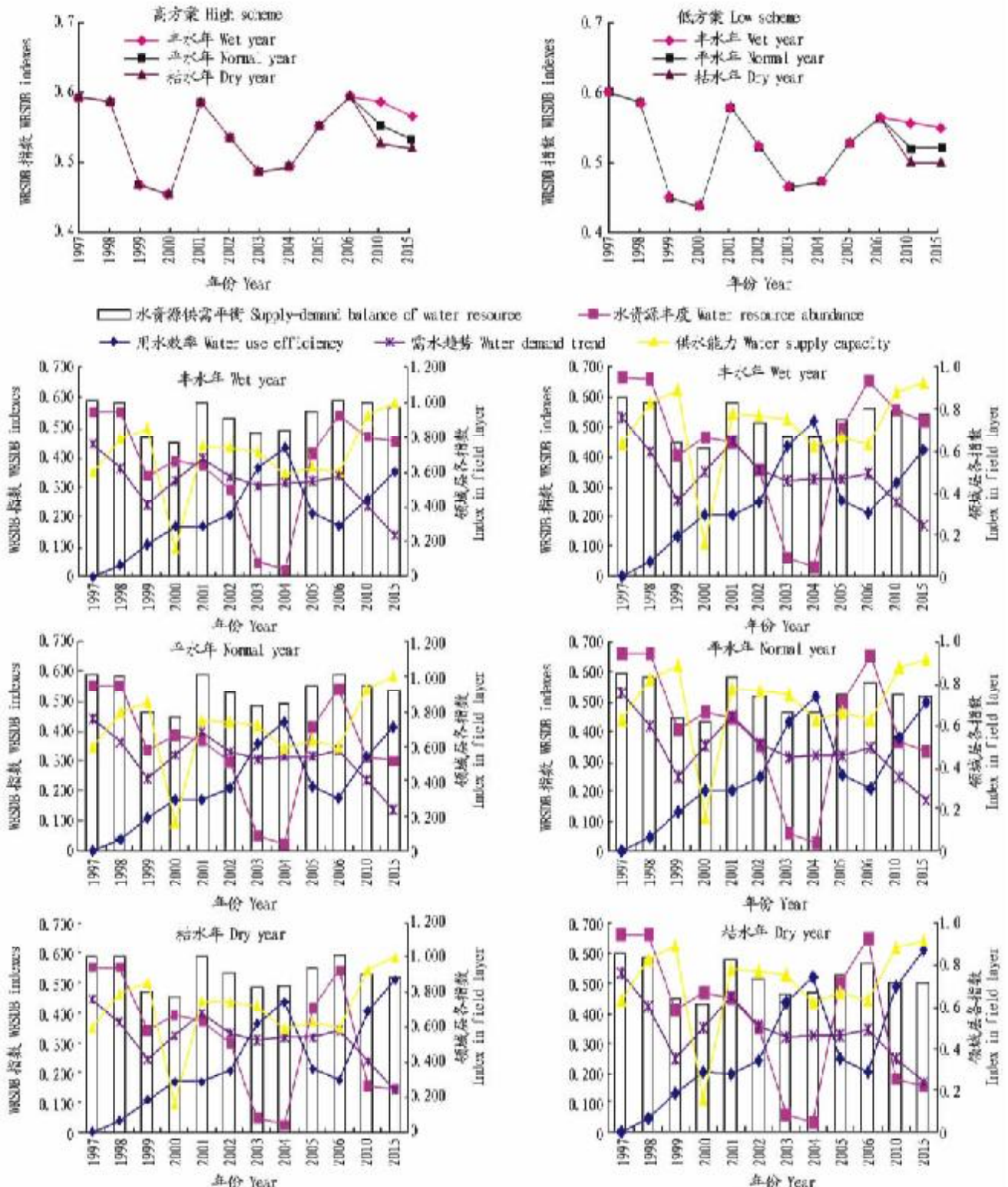


图 1 福建省 WRSDB 趋势分析

Fig.1 The analysis on WRSDB trend in Fujian Province

年>枯水年,即枯水年 WRSDB 能力下降趋势最明显。说明在用水效率和需水趋势不变的情况下,可利用水资源越少,WRSDB 能力越弱。

1997~2006年间,高、低方案各水平年 WRSDB 指数的变化趋势一致,均呈波浪式起伏,均以降水较多的 1997、2001、2006 年为峰,以降水较少的 2000、2003 年为谷,受水资源丰度影响较大。同水平年各预测年 WRSDB 指数均表现为:高方案>低方案。高方案 WRSDB 指数大体在同一水平线上起伏,而低方案 WRSDB 指数则呈波浪式下降。说明高方案维持现有 WRSDB 的能力较强,而低方案维持现有 WRSDB 的能力明显较弱。

高、低方案不同水平年的 WRSDB 指数与各领域层指数的关系表明,丰、平、枯水年供水能力和需水趋势对 WRSDB 的贡献均逐渐增强,而水资源丰度和用水效率对 WRSDB 指数的贡献则大体表现为逐渐减弱,但与预测年 WRSDB 指数的变化趋势一致。

表 6 不同方案 1997~2015 年丰、平、枯水年各类指数的 pearson 相关分析  
Table 6 Pearson analysis on indices in wet years, normal years and dry years in different schemes from 1997 to 2015

相关系数 Correlation coefficient	高方案 High scheme			低方案 Low scheme		
	丰水年	平水年	枯水年	丰水年	平水年	枯水年
	Wet	Normal	Dry	Wet	Normal	Dry
	years	years	years	years	years	years
$B_1 : B_2$	-0.72	-0.82	-0.89	-0.74	-0.83	-0.89
$B_1 : B_3$	0.12	0.38	0.58	0.23	0.46	0.62
$B_1 : B_4$	0.09	-0.11	-0.29	0.04	-0.11	-0.23
$B_2 : B_3$	-0.56	-0.65	-0.73	-0.62	-0.68	-0.74
$B_2 : B_4$	0.15	0.24	0.33	0.09	0.16	0.23
$B_3 : B_4$	-0.49	-0.49	-0.49	-0.33	-0.33	-0.33
$A : B_1$	0.67	0.63	0.62	0.68	0.66	0.65
$A : B_2$	-0.32	-0.38	-0.42	-0.42	-0.47	-0.50
$A : B_3$	0.22	0.42	0.53	0.42	0.57	0.66
$A : B_4$	0.44	0.32	0.23	0.40	0.32	0.25

采用 Pearson 法分析目标层 WRSDB 指数与领域层各类指数的相关关系,其中,领域层各指数数据均为赋指标权重  $w_i$  之后,赋领域权重  $W_i$  之前的评价值。结果表明(表 6),WRSDB 指数的变化和与水资源丰度具有较强的正相关,而受其他 3 个领域的影响较小,但水资源丰度与供水能力的负相关性较强,供水能力与用水效率的负相关性也较强。另外,枯水年 WRSDB 指数与供水能力、用水效率的正相关性较强,其中,低方案 WRSDB 指数比高方案枯水年 WRSDB 指数受影响大。构成水资源丰度各指标的 4 个变量中,由于降水及其所形成的水资源总量不可调控,土地面积的稳定性,水资源丰度的调控主要取决于人口数。供水能力的 3 个指标中,森林覆盖率、工业废水排放达标率较难提高,在水资源相对紧张的闽东南区水资源利用率的提升空间也不大,特别是枯水年(如 2003、2004 年),莆田、泉州、厦门人均水资源量均低于 1 000  $m^3$ ,属缺水期<sup>[9]</sup>,水资源利用率均高达 40% 以上,超过国际公认的可利用水资源上限。在节水、循环用水技术未取得突破的前提下,用水效率

取决于人口和 GDP。需水趋势和 WRSDB 的相关性较低,且需水趋势 2 个指标属于越小越优型指标,高、低方案预测年 GDP 增长率 $\leq$ 基准年,人口增长预测也相当保守,高、低方案人口增长速度都小于福建省委、省政府文件中预估的每年 30 万人的增速<sup>[10]</sup>。因此,预测年实际 WRSDB 指数极有可能低于预测值。尽管如此,与发达国家相比,高方案的人口和 GDP 的增速仍有较大的压缩空间。综上所述,对 WRSDB 影响最大的因素为人口和 GDP,提高 WRSDB 能力的关键在于控制人口和 GDP 总量,提高人口素质和经济发展水平,优化区域需水结构,降低人均和万元 GDP 需水量。

#### 4 结论

各方案各水平年的 WRSDB 水平均下降,说明相对于社会经济发展需求而言,未来水资源供给必将趋于紧张,水资源对社会经济的制约作用将加大。同方案 2010、2015 年 WRSDB 指数均表现为:丰水年>平水年>枯水年,高、低方案各水平年 WRSDB 指数的变化趋势高度一致,且预测年 WRSDB 趋势与水资源丰度的趋势一致,说明近期 WRSDB 能力受水资源丰度影响为主。相关分析也表明,水资源丰度与 WRSDB 的相关性最强。同水平年各预测年高方案 WRSDB 指数均大于低方案,表明需水趋势也是影响 WRSDB 的重要因素。WRSDB 增强的关键在于水资源丰度和需水趋势的调控,而水资源丰度和需水趋势调控的关键在于降低人口增长速率,优化需水结构,控制需水总量,增强 WRSDB 能力,保障海西经济区建设的全面展开。

研究表明,虽然采用指标体系评价 WRSDB 不能表明水资源供需的某一具体环节是否实现了平衡,但可表征各环节的总体平衡程度,适用于不同年份区域 WRSDB 程度的比较。通过 WRSDB 趋势评价,可发现影响 WRSDB 的关键因素,也能归纳出系统性因素,从而使重点治理和系统治理同时进行,有利于推行采水、供水、配水、用水、排水、污水净化与回用全过程的统一管理,为 WRSDB 规划提供科学依据。

#### 参考文献

- [1] 王智勇,郑昭佩,韩美,等. 水资源承载力分析预测——以莒南县为例[J]. 水土保持研究,2006,13(5):114-116.
- [2] 夏军,朱一中. 水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报,2002,17(3):262-269.
- [3] HAJKOWICZ S A. Multi-attributed environmental index construction[J]. Ecological Economics, 2006,57(1):122-139.
- [4] 黄初龙,章光新,杨建峰. 中国水资源可持续利用评价指标体系研究进展[J]. 资源科学,2006,28(2):33-40.
- [5] 王兆礼,陈晓宏. 广东省发达社会水资源持续利用情景指标体系研究[J]. 灌溉排水学报,2006,25(6):19-22.
- [6] 李春晖,杨志峰. 黄河流域地表水资源可再生性模糊综合评价[J]. 水土保持研究,2005,12(1):182-185.
- [7] 尹云松,孟令杰. 基于 AHP 的流域初始水权分配方法及其应用实例[J]. 自然资源学报,2006,21(4):645-652.
- [8] 宋新山,邓伟. 环境数学模型[M]. 北京:科学出版社,2004:257-262.
- [9] ENGELMAN ROBERT, LEROY PAMELA. Sustaining water: population and the future of renewable water supplies[EB/OL]. <http://www.cnie.org/pop/pai/h2o~toc.html>.
- [10] 中共福建省委福建省人民政府贯彻落实《中共中央、国务院关于全面加强人口和计划生育工作统筹解决人口问题的决定》的实施意见[EB/OL]. (2007-06-13) [http://www.fjsw.gov.cn:8080/html/2/249/1882\\_2008218312.html](http://www.fjsw.gov.cn:8080/html/2/249/1882_2008218312.html).