

城市规划中的水资源承载力计算——以惠州市为例

刘树锋¹ ,陈俊合²

(1. 广东省水利水电科学研究院 ,广东 广州 510610 2. 中山大学地理科学与规划学院 ,广东 广州 510275)

摘要 探讨水资源承载力综合评估和多目标计算理论在城市规划中的应用。运用灰色多层次综合评估模型对惠州市水资源承载力进行定性的综合评价 ,应用多目标规划理论对城市经济发展规划不同方案下的惠州市水资源承载力作了定量计算。

关键词 水资源承载力 城市规划 综合评估 多目标计算 惠州市

中图分类号 S274 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2006)03-0047-04

Application of water resources carrying capacity theory in urban planning : A case study in Huizhou City

LIU Shu-feng¹ , CHEN Jun-he²

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower , Guangzhou 510610 , China ; 2. College of Geography Science and Planning , Sun Yet-Sen University , Guangzhou 510275 , China)

Abstract The application of water resources carrying capacity and multi-objective calculation in urban planning were discussed. Taking water resources carrying capacity in Huizhou City as a case , a qualitative evaluation was conducted using grey multi-hierarchy comprehensive assessment model , while a quantitative evaluation under different economic development planning was implemented using multi-objective calculation method.

Key words :water resources carrying capacity ; city planning ; comprehensive evaluation ; multi-objective calculation ; Huizhou City

1 水资源承载力综合评估理论的应用

1.1 原理与方法

水资源承载力综合评估法是通过围绕城市社会经济发展与水资源开发利用的协调程度、城市水资源条件对未来发展的支撑可能性等有关因素建立水资源承载力指标体系 ,然后对各指标赋以权重 ,再进行水资源承载力综合评价计算。

通过确定指标的标准值 ,可以用特定规划方案下的实际值与之对比 ,得到该方案与理想发展状况的接近程度 ,或者采用不同地区或不同发展方案的实际值与预测值进行对比 ,就可以得到不同城市或不同发展方案在水资源承载力上的相对优劣度 ,从

而量化地对城市进行比较和对规划方案进行决策。通过这种定量化评价方法 ,将可能实现的城市规划空间布局和社会经济发展方案与水资源承载力相匹配 ,大大提高城市规划决策的科学性。

以惠州市为例 ,通过惠州市不同县区水资源承载规划指标值与确定的标准值对比并进行综合计算 ,得到惠州市不同县区水资源承载力的相对优劣度 ,评价惠州市现有社会经济发展规划方案与水资源承载力匹配情况 ,以此说明水资源承载力综合评估理论在城市规划中的应用。

1.2 应用

1.2.1 指标体系建立与指标标定

根据水资源承载力主要影响因素和惠州市实际

作者简介 :刘树锋(1978—) ,男 ,广东韶关人 ,硕士 ,从事水文水资源研究。E-mail :yangfeng_liu@sohu.com

情况 ,考虑到可操作性 ,选择了水资源数量、水资源质量、供水能力、用水水平和社会经济水平 5 方面共 20 个评价指标 ,建立评价指标体系 ,各指标标定直接按惠州市有关规划指标统计计算(以 2020 年为 例 ,以下类同) ,见表 1。

1.2.2 指标的极性、灰类界限和权重的确定

通过定性分析与判断 ,人均水资源量、污水处理率、人均供水量等指标对评估指标的作用呈正极性 ,为正极性指标 ;人均污水排放量、用水增长率等指标为负极性指标。指标体系中目标层(水资源承载力)、准则层和指标层 3 部分的综合评分标准按高类下限、中类中限和低类上限设定。

目标层水资源承载力的 3 个类别中 :综合评分值低于 60 的属于低类别、状况较差 ,为水资源承载力低值区 ,表示水资源承载力已接近饱和值 ,进一步开发利用潜力较小 ,发展下去将发生水资源短缺 ;综合评分值在 60 ~ 80 的属于中类别、状况一般 ,为水资源承载力中值区 ,表明水资源开发利用已有相当规模 ,但仍有一定的开发利用潜力 ,区内国民经济发展对水资源供给需求有一定保证 ;综合评分值高于 80 的属于高类别、情况较好 ,为水资源承载力高值区 ,表示水资源仍有较大的承载潜力 ,本区水资源利用程度、发展规模都较小 ,经济发展对水资源的需求是有保障的 ,水资源供给情况较为乐观 ,见表 2。

表 1 惠州市(区县)水资源承载力综合评估指标

评估 指标	水资源数量			水资源质量			供水能力			用水水平				社会经济水平						
	人均 水资源 量/ m ³ (万 m ³ · km ⁻²)	单位面 积水质 平均干 旱指数	多年 平均干 旱指数	人均 污水 排放量 (m ³ · a ⁻¹)	单位面 积污水 排放量/ (万 m ³ · km ⁻²)	废水 排放 达标率 /%	市政 污水 处理率 /%	人均 供水量/ (m ³ · a ⁻¹)	单位 面积 供水量/ (万 m ³ · km ⁻²)	水资源 开发 利用 率/%	耗水 率/%	用水量 增长率 /%	单元用 水负荷 人数/ (人· m ⁻³)	单元 用水 灌溉 面积/ (hm ² · m ⁻³)	单元 用水量 工业产 值/ (万元· m ⁻³)	人口 密度/ (人· km ⁻²)	工业 产值 模数/ (万元· km ⁻²)	人口 增长 率/%	工农业 总产值 增长 率/%	耕地 灌溉 率/%
惠城区	1313.70	105.80	0.73	321.40	25.89	94.25	69.00	528.04	42.53	40.00	37.71	35.66	94.14	1.03	1196.09	805.40	27190.07	1.10	135.44	78.00
惠阳区	1845.00	107.60	0.62	300.94	17.55	93.46	29.00	816.50	47.61	44.00	42.95	16.32	62.78	0.98	539.63	583.10	6198.20	1.10	132.98	76.00
博罗县	2875.70	110.30	0.60	203.95	7.82	92.00	26.00	975.25	37.41	34.00	46.88	7.78	69.81	1.03	1035.14	383.60	3724.31	1.10	130.09	81.00
惠东县	3624.90	107.20	0.61	200.25	5.92	100.00	17.00	1287.43	38.08	36.00	46.27	15.41	72.84	0.94	700.67	295.80	1986.94	1.10	126.92	73.00
龙门县	7069.50	136.00	0.43	164.77	3.17	72.42	17.00	1662.08	31.98	24.00	50.48	8.17	72.04	0.84	399.31	192.40	382.57	1.10	116.95	83.00

数据来源 :2003 年《惠州市城镇体系规划》,2000 年《惠州市水资源公报》。

表 2 惠州市水资源 3 类承载力综合评估指标

评估 指标	水资源数量			水资源质量			供水能力			用水水平				社会经济水平						
	人均 水资源 量/ m^3	单位面 积水资源/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	多年 平均干 旱指数	人均 污水 排放量 ($\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	单位面 积污水 排放量/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	废水 排放 达标率 /%	市政 污水 处理率 /%	人均 供水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	单位 面积 供水量/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	水资源 开发 利用 率/%	耗水 率/%	用水量 增长率 /%	单元用 水负荷 人数/ ($\text{人} \cdot \text{m}^{-3}$)	单元 用水 灌溉 面积/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)	单元 用水量 工业产 值/ ($\text{万元} \cdot \text{m}^{-3}$)	人口 密度/ ($\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$)	工业 产值 模数/ ($\text{万元} \cdot \text{km}^{-2}$)	人口 增长 率/%	工农业 总产值 增长 率/%	耕地 灌溉 率/%
高类 下限	5054.00	142.15	0.51	83.50	0.34	85.87	48.00	1459.40	49.90	46.00	32.60	0.00	94.05	0.88	1080.20	90.80	16933.00	0.90	159.91	69.00
中类 中限	2788.00	94.50	0.61	198.00	22.50	75.40	26.00	878.00	32.90	30.00	37.40	30.30	61.90	0.80	645.00	377.00	6580.00	0.90	107.00	65.00
低类 上限	522.00	46.80	0.71	314.00	49.50	64.80	5.00	297.00	16.00	13.00	42.20	65.20	29.80	0.73	210.00	663.00	500.00	0.90	54.20	61.00

指标层各指标的评分分级标准的设定 ,参考了 全国水资源评价标准和其已有的水资源承载力研究 成果以及研究区域的实际情况确定。评价准则与指 标权重的确定 ,采用专家打分与灰色关联分析法定 性、定量结合分析后确定。首先用“ 5 级打分法 ”确 定各准则对目标的权重和各指标对各准则的权重 , 然后用灰色关联分析的方法对各权重进行关联分 析 ,最后在适当调整的基础上(同一层权重和为 1) 以关联度作为各准则和指标的权重 ,结果见表 3。

1.2.3 运用灰色多层次综合评估程序

对惠州市水资源承载力进行综合评估 ,具体分 两步进行。首先分别按评估指标体系对 5 项评估分 目标独立进行评估 ,然后进行归纳 ,作更高层次的综 合分析与研究。整个评估计算都是运用灰色多层次 综合评估的数学模型原理 ,通过研制的灰色评估 (ZHPG) 软件在计算机上完成的 ,结果见表 4、表 5。

1.2.4 综合评价

表 4 得到 2020 年各县区之间水资源承载力相 对优劣方案 ,龙门县第一 ,其余依次为惠东县、博罗 县、惠城区和惠阳区。从表 5 可知 ,到 2020 年在 水资源数量方面惠城区处于低类型区 ,出现水资源短 缺现象 ,表明惠州市有关社会经济规划指标偏高 ,应 适当降低 ;其他方面惠州市各县区均处于中、高类型 区 ,表明有关社会经济规划指标与水资源承载力匹

配较好 ,标定比较合理 ,规划期内如能按规划的措施实施 ,惠州市水资源对社会经济发展是有保障的。

表 3 惠州市水资源承载力综合评估指标极性与权重

评 价 指 标		权 重		指标 极性
		指标	准则	
水资源数量	人均水资源量	0.36		正
	单位面积水资源量	0.36	0.23	正
	多年平均干旱指数	0.28		负
水资源质量	人均污水排放量	0.31		负
	单位面积污水排放量	0.29	0.23	负
	废水排放达标率	0.22		正
	市政污水处理率	0.18		正
供水能力	人均供水量	0.34		正
	单位面积供水量	0.34	0.18	正
	水资源开发利用率	0.32		正
用水水平	耗水率	0.11		负
	用水量增长率	0.14		负
	单元用水负荷人数	0.28	0.18	正
	单元用水灌溉面积	0.21		正
	单元用水量工业产值	0.26		正
社会经济水平	人口密度	0.15		负
	工业产值模数	0.25		正
	人口增长率	0.23	0.18	负
	工农业总产值增长率	0.22		正
	耕地灌溉率	0.15		正

表 4 惠州市水资源承载力综合评估排序

排序	水资源数量	水资源质量	供水能力	用水水平	社会经济水平	综合评估
1	龙门县 (98.14)	博罗县 (81.17)	惠阳区 (82.25)	惠城区 (87.06)	惠城区 (81.73)	龙门县 (85.66)
2	惠东县 (79.16)	惠东县 (75.81)	惠东县 (78.54)	博罗县 (82.66)	惠阳区 (67.85)	惠东县 (72.53)
3	博罗县 (76.45)	龙门县 (70.93)	惠城区 (71.61)	惠东县 (71.95)	博罗县 (67.42)	博罗县 (72.25)
4	惠阳区 (70.40)	惠城区 (69.07)	龙门县 (70.97)	龙门县 (66.81)	惠东县 (67.23)	惠城区 (70.66)
5	惠城区 (53.13)	惠阳区 (66.87)	博罗县 (69.08)	惠阳区 (65.42)	龙门县 (66.52)	惠阳区 (68.07)

注 括号内数值为综合评估值。

表 5 惠州市水资源承载力类型分布

评估指标	高类型	中类型
水资源数量	龙门县	惠阳区、博罗县、惠东县
水资源质量	博罗县	惠城区、惠东县、龙门县、惠阳区
供水能力	惠阳区	惠城区、博罗县、惠东县、龙门县
用水水平	惠城区、博罗县	惠阳区、惠东县、龙门县
社会经济水平	惠城区	博罗县、惠东县、龙门县、惠阳区
综合评估	龙门县	惠东县、博罗县、惠阳区、惠城区

注 水资源数量指标中惠城区为低类型。

2 水资源承载力多目标计算理论的应用

2.1 原理与方法

水资源承载力多目标规划法是以维护生态环境

及可持续发展为前提 ,将水资源在生态系统和社会经济系统之间进行平衡分析和配置 ,然后以资源、国民经济、环境等为约束条件 ,通过多目标分析模型在水资源合理配置的基础上用系统分析和动态分析方法研究不同水平年、不同策略方案下水资源所能承载的生态、经济、人口规模。

2.2 应用

2.2.1 目标选择

水资源承载力涉及到社会经济、水资源、水环境等系统 ,选取的目标要考虑当地的社会经济发展状况 ,不仅要反映当地水资源对经济、人口、水环境的承载力 ,还要反映各个系统相互之间的联系和制约。选取工业总产值、农业灌溉面积、人口和 COD 这 4 个目标代表惠州市水资源对社会经济系统、人口规模和水环境的承载目标。

多目标模型的目标函数是 $\max \{f_1(s,t), f_2(s,t), f_3(s,t), f_4(s,t)\}$, $f_1(s,t)$ 为水资源承载的工业产值以最大为目标 , $f_2(s,t)$ 为水资源承载的人口最多 , $f_3(s,t)$ 为水资源承载的农灌面积最大 , $f_4(s,t)$ 为污水排放的负荷量最小。

2.2.2 约束条件

约束条件包括水资源、国民经济、人口、水环境。

a. 水资源约束模块。水资源供需平衡约束：

$$\sum_{i=1}^n W_{nt}(i) \leq \sum_{j=1}^m W_{st}(j)$$

式中 : $W_{nt}(i)$ 为第 t 年第 i 部门需水量 ; $W_{st}(j)$ 为第 t 年第 j 类水源供水量。

部门用水量约束：

$$W_{stmin}(i) \leq W_{nt}(i) \leq W_{stmax}(i)$$

式中 : $W_{stmin}(i)$ 、 $W_{stmax}(i)$ 分别为第 t 年供给第 i 部门的最小、最大水量。

b. 国民经济约束模块。工业总产值约束：

$$D_{tmin} \leq D_t \leq D_{tmax}$$

式中 : D_t 为第 t 年水资源承载的工业总产值 , D_{tmin} 、 D_{tmax} 分别为第 t 年工业总产值下、上限。

农业灌溉面积约束：

$$R_{tmin} \leq R_t \leq R_{tmax}$$

式中 : R_t 为第 t 年水资源承载的农灌面积 ; R_{tmin} 、 R_{tmax} 分别为第 t 年农业灌溉面积的下、上限。

c. 人口约束模块。

$$X_{tmin} \leq X_t \leq X_{tmax}$$

式中 : X_t 为第 t 年水资源承载的人口 ; X_{tmin} 、 X_{tmax} 分别为第 t 年人口下、上限。

表 6 惠州市水资源承载力多目标计算参数

人均 GDP/ (万元·人 ⁻¹)		工业用水/ (m ³ ·万元 ⁻¹)		生活用水/ (L·(人·d) ⁻¹)				农业灌溉定额/ (m ³ ·hm ⁻²)				生态与其他 需水量/%		污水处理 率/%			
上限	下限	上限	下限	城镇		农村		水田		旱地		上限	下限	工业		生活	
				上限	下限	上限	下限	上限	下限	上限	下限			上限	下限	上限	下限
12	13	10	14	400	450	280	300	12687	14179	2836	3134	25	30	90	98	70	90

d. 水环境约束模块。污水排放量约束：

$$W_{pt} = \sum_{i=1}^n W_n(i) \alpha(i)$$

式中： W_{pt} 为第 t 年污水排放总量； $\alpha(i)$ 为第 i 个用水部门污水产生系数。

COD 排放总量控制约束：

$$\sum_{i=1}^n W_n(i) \alpha(i) c(i) \leq W_{CODt}$$

式中： $c(i)$ 为第 i 个用水部门 COD 排放浓度； W_{CODt} 为水体最大纳污量（COD）。

2.2.3 主要参数

主要参数根据 2020 年城市规划指标和预测值确定，结果见表 6。

2.2.4 水资源承载力确定

通过水资源承载力多目标模型计算惠州市 2020 年水资源承载力，按不同决策意向分别计算了经济发展型（以经济发展为第一目标，以下同）、人口增长型、环境保护型和综合发展型 4 种方案结果，并与惠州市城镇体系规划目标作比较，结果见表 7。

表 7 惠州市水资源承载力多目标计算结果

方 案	GDP		工业 产值/ 亿元	人口		COD 排放 量/ 万 t
	计算值/ 亿元	增长率/ %		计算值/ 万人	增长率/%	
经济发展型	5 174	11.34	13 729.2	377.2	1.10	4.46
人口增长型	4 989	11.44	13 245.7	391.6	1.31	4.43
环境保护型	4 805	11.49	10 952.7	362.9	0.97	2.65
综合发展型	5 139	11.44	13 427.9	388.5	1.39	4.39
规划目标	5 686	13.00	14 098.0	407.6	1.46	

注：4 种方案可供水量均按 36.36 亿 m³ 计算。GDP 和人口的增长率计算是以 2010 年计算结果为基准的，各方案类型 2010 年的值不相同，所以可能出现增长率与相应值不对应情况。

由表 7 可看出，惠州市 2020 年城市规划目标 GDP、GDP 增长率、工业产值、人口等均高于水资源承载力各方案相应目标，说明从水资源承载力角度看，惠州市有关社会经济发展目标规划值偏高，应适当下调，以保证水资源与社会经济协调发展。

参考文献：

[1] 牟海省,刘昌明.我国城市设置与区域水资源承载力协调研究[J].地理学报,1994,49(4):338-344.
[2] 张磊.珠江三角洲经济区城市生态环境承载力研究[J].环境科学与技术,1997,7(2):11-12.
[3] 姜文超,龙腾锐.水资源承载力理论在城市规划中的应用[J].城市规划,2003,27(7):78-82.
[4] 谭少华.我国水资源与城市规划协调研究[J].地域研究与开发,2001,20(2):47-51.
[5] 申金升,徐一飞.城市规划与城市可持续发展初探[J].规划师,1999,15(2):12-16.
[6] 黄光宇.中国生态城市规划与建设进展[J].城市环境与城市生态,2001,14(3):6-8.
[7] 段进.关于我国城市规划体系结构的思考[J].规划师,1999,15(4):13-18.

（收稿日期：2004-08-15 编辑：舒建）

（上接第 32 页）

要求承包商以达标承诺进行施工这只能是下策。应全面认识环保疏浚对太湖治理的重要性，以人为本，制订出既经济合理又满足环保要求的疏浚施工预案是当前环境疏浚治理、科学治水的要求。

参考文献：

[1] 徐祖信.河流污染治理技术与实践[M].北京：中国水利

水电出版社，2003。

[2] 洪毓康.土质学与土力学[M].北京：人民交通出版社，1987。
[3] 公害防止技术和法规编委会.公害防止技术：水质篇[M].卢贤昭,译.北京：化学工业出版社，1993。

（收稿日期：2004-11-18 编辑：舒建）