

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.03.009

# 粤港澳大湾区水资源空间均衡性分析

黄锋华<sup>1,2,3,4,5</sup>, 黄本胜<sup>1,2,3,4,5</sup>, 洪昌红<sup>1,2,3,4,5</sup>, 邱静<sup>1,2,3,4,5</sup>

- (1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610; 2. 河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广东 广州 510610; 3. 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510610; 4. 广东省流域水环境治理与水生态修复重点实验室, 广东 广州 510610; 5. 广东省水安全科技协同创新中心, 广东 广州 510610)

**摘要:**依据2009—2019年粤港澳大湾区社会经济指标和水资源数据,通过泰尔指数、基尼系数对人口、GDP与水资源空间分布的均衡性进行研究,并构建了水资源负载指数模型,分析了区域水资源开发程度。结果表明:2019年粤港澳大湾区人口与水资源量、GDP与水资源量的匹配程度较低,基尼系数分别为0.520和0.651,属于高度不平均等级,且基尼系数呈上升趋势;通过泰尔指数得到了相同的结论,区域间差异对总体差异贡献率较大,而区域内的人口、GDP与水资源匹配差距不突出;2019年粤港澳大湾区水资源负载指数为4.0,等级为Ⅲ级,开发利用程度为中等水平,各城市水资源负载差距悬殊,且呈逐年增加趋势,表现为经济总量大、人口密集、水资源条件相对不足的地区,开发利用程度高、潜力小;粤港澳大湾区水资源空间分布与生产力布局不协调,且水资源空间不均衡性有进一步加剧的趋势。

**关键词:**水资源分布;水资源负载指数;均衡性;泰尔指数;基尼指数;粤港澳大湾区

**中图分类号:**TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)03-0065-07

**Analysis of water resources spatial equilibrium in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area**//HUANG Fenghua<sup>1,2,3,4,5</sup>, HUANG Bensheng<sup>1,2,3,4,5</sup>, HONG Changhong<sup>1,2,3,4,5</sup>, QIU Jing<sup>1,2,3,4,5</sup> (1. *Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China*; 2. *National and Local Joint Engineering Lab of Estuarine Water Technology, Guangzhou 510610, China*; 3. *Guangdong Key Laboratory of Hydrodynamic Research, Guangzhou 510610, China*; 4. *Guangdong Key Laboratory of Water Environment Treatment and Water Ecological Restoration, Guangzhou 510610, China*; 5. *Guangdong Provincial Science and Technology Collaborative Innovation Center for Water Safety, Guangzhou 510610, China*)

**Abstract:**Based on the economic and social indicators and water resources data of Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2009 to 2019, the spatial equilibrium of population, GDP and water resources was studied through Theil index and Gini coefficient, and the water resources load index model was constructed to analyze the degree of regional water resources development. The results showed that the matching degree between population and water resources, GDP and water resources in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area was low in 2019, and the Gini coefficient was 0.520 and 0.651, respectively, which belonged to a highly uneven level, and the Gini coefficient showed an upward trend. The same conclusion was obtained through the Theil index. Inter-regional differences contribute greatly to the overall difference, while the matching gap between population, GDP and water resources in the region was not prominent. In 2019, the water resources load index of Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area was 4.0, the grade was grade III, and the degree of development and utilization was at the medium level. The water resources load gap among cities was wide, and showed an increasing trend year by year. Areas with large economic aggregate, dense population and relatively insufficient water resources had high degree of development and utilization and low potential. The spatial distribution of water resources in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area is not coordinated with the layout of productivity, and the spatial imbalance of water resources has a trend of further aggravation.

基金项目:国家社会科学基金(19ZDA065,19BJY078);中国工程院重大咨询研究项目(2019-ZD-34-01);粤港水安全保障联合实验室项目(2020B1212030005)

作者简介:黄锋华(1985—),男,高级工程师,硕士,主要从事水文水资源研究。E-mail:hydroh@163.com

水是社会经济发展的基础性、先导性、控制性要素,是国家发展战略的重要支撑。人多地少水缺、水资源时空分布不均、与生产力布局不匹配是我国的基本水情。我国高度重视水资源问题,明确了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路<sup>[1]</sup>,水资源空间均衡是核心要义之一。我国始终坚持“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”<sup>[2]</sup>,把水资源作为最大的刚性约束。水资源分布与生产力布局不匹配,水资源供需矛盾加剧,引起水资源空间不均衡,将严重制约地区社会经济高质量发展。粤港澳大湾区是我国经济最活跃的区域和重要增长极,在国家发展大局中具有重要战略地位,是与美国纽约湾区和旧金山湾区、日本东京湾区并肩的世界四大湾区之一。水资源作为支撑粤港澳大湾区建设的基础性资源,目前对其空间均衡性尚未有系统性研究成果,因此开展粤港澳大湾区水资源空间均衡性研究对于指导地区合理高效配置水资源具有重要意义。关于水资源空间均衡性分析已有专家学者研究,以中文文献居多,定性研究为主<sup>[3]</sup>。如邓伟等<sup>[4]</sup>于2003年对水空间管理与水资源可持续发展的关系进行了研究;夏帆等<sup>[5]</sup>提出基于均衡系数的水资源空间均衡系数计算方法;金菊良等<sup>[6-7]</sup>提出了基于联系数和洛伦兹曲线以及基于联系数和耦合协调度的水资源空间均衡评价方法;金菊良等<sup>[8-11]</sup>从空间均衡研究进展、理论方法、应用规则、对策措施等方面进行理论研究。近年来,一些学者借助泰尔指数、基尼系数开展区域水资源、水生态空间匹配以及用水合理性研究<sup>[12-20]</sup>。本文基于2009—2019年粤港澳大湾区各城市社会经济指标和水资源数据,通过泰尔指数、基尼系数对水资源空间均衡性进行定量研究,分析人口、经济与水资源空间协调性,并构建水资源负载指数模型分析区域水资源开发利用程度,以期对粤港澳大湾区水安全保障提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

粤港澳大湾区地处珠江流域下游,珠江三角洲河口平原地区,滨江临海,河网密布、纵横交错。区域内包括广东省广州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆市和香港、澳门特别行政区,总面积5.6万km<sup>2</sup>,2019年末常住人口达到7264万人,经济总量约11.5万亿元,占全国经济总量的12%。人均GDP约2.5万美元,达到世界银行划分的中高

等收入经济体水平。多年平均年降水量1400~2600mm,其中4—9月的降水量约占全年的80%,降水年内分配不均,且降雨强度大。多年平均本地水资源量583亿m<sup>3</sup>,仅占珠江流域多年平均水资源量的17%。多年平均入境水资源量达到2880亿m<sup>3</sup>,是本地水资源量的5倍。由于地处河流与海洋的交汇地带,潮汐涨落为河口地区带来了丰富的咸淡水资源。香港和澳门地区水资源禀赋条件先天不足,本地淡水资源奇缺,供水主要依赖广东省。据统计,香港70%~80%水源取自广东省东江流域,澳门98%的淡水资源依靠广东省珠海市供应。以珠江为界,珠江东岸(东片区)主要有广州、深圳、东莞、惠州、香港等5座城市,江西西岸(西片区)主要有珠海、佛山、中山、江门、肇庆、澳门等6座城市。

广东省珠江三角洲9市数据主要来源于广东省水资源公报、广东省统计年鉴;香港数据来源香港政府统计处、水务署官网;澳门数据来源于澳门水资源状况报告、澳门统计年鉴、澳门环境状况公报等。

## 2 研究方法

### 2.1 泰尔指数

泰尔指数(Theil index)由荷兰经济学家Theil<sup>[21]</sup>提出,利用信息理论中的熵概念来计算收入不平等性,作为评价区域资源分配均衡性的指标之一,在分析不平等性方面具有广泛的应用。泰尔指数数值越低说明资源分配越均衡,而且具有可分解性,可将全局总体差异分为区域的组内差异和组间差异,可进一步分析导致不公平的原因<sup>[22]</sup>。采用泰尔指数测算粤港澳大湾区人口、GDP与水资源量的差异,将差异分解为区域内差异与区域间差异,计算公式为

$$T = T_a + T_b \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{其中} \quad T_a &= Q_e \ln \frac{Q_e}{X_e} + Q_w \ln \frac{Q_w}{X_w} \\ T_b &= Q_e \sum_{i=1}^{n_e} \frac{Q_i}{Q_e} \ln \frac{Q_i/Q_e}{X_i/X_e} + \\ &Q_w \sum_{i=1}^{n_w} \frac{Q_i}{Q_w} \ln \frac{Q_i/Q_w}{X_i/X_w} \end{aligned}$$

式中: $T$ 为总体差异; $T_a$ 为粤港澳大湾区内2个区域(东片区、西片区)内部差异; $T_b$ 为粤港澳大湾区内2个区域之间的差异; $n_e$ 为东片区的城市数量; $n_w$ 为西片区的城市数量; $Q_i$ 为地区*i*的水资源总量占粤港澳大湾区水资源总量的比例; $Q_e$ 、 $Q_w$ 分别为东

表1 水资源负载指数分级评价

Table 1 Grading evaluation of water resources load index

级别	C	水资源利用程度	水资源开发潜力	水资源开发评价
I	≥10	很高	潜力很小	艰巨,有条件时需外流域调水
II	[5, 10)	高	潜力小	开发条件很困难
III	[2, 5)	中等	潜力较大	开发条件中等
IV	[1, 2)	较低	潜力大	开发条件较容易
V	[0, 1)	低	潜力很大	可兴修中小工程,开发容易

片区和西片区的水资源总量占粤港澳大湾区水资源总量的比例;  $X_i$  为地区  $i$  的指标  $X$  占粤港澳大湾区该指标的比例;  $X_e$ 、 $X_w$  分别为东片区和西片区的指标  $X$  占粤港澳大湾区该指标的比例。组内差异和组间差异对总体差异的贡献率分别为  $T_a / T$  和  $T_b / T$ 。

### 2.2 基尼系数

基尼系数(或称洛伦兹系数)是由意大利经济学家基尼(Gini)于1922年根据洛伦兹曲线提出的,用以评价国民收入分配之间的差异性<sup>[23]</sup>,该方法原理在文献[24]中已进行了详细的说明,在此不再赘述。基尼系数有多种计算方法,本研究基尼系数的求解采用梯形面积法,即把洛伦兹曲线下方的面积近似当作若干梯形进行计算,计算公式为

$$G_i = 1 - \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-1})(Y_i - Y_{i-1}) \quad (2)$$

式中: $G_i$ 为基尼系数; $X_i$ 为人口累计百分比; $Y_i$ 为收入累计百分比; $i$ 为分配对象,且当 $i=1$ 时, ( $X_{i-1}$ ,  $Y_{i-1}$ ) 视为(0,0); $n$ 为组数。按照国际惯例,通常把0.4作为收入分配贫富差距的“警戒线”, $0 < G_i < 0.2$ 表示分配绝对平均, $0.2 \leq G_i < 0.3$ 表示相对平均, $0.3 \leq G_i < 0.4$ 表示比较合理, $0.4 \leq G_i < 0.5$ 表示差距偏大, $G_i \geq 0.5$ 表示高度不平均<sup>[25]</sup>。

### 2.3 水资源负载指数

水资源负载指数最早在干旱和半干旱地区利用降水、人口和农业灌溉面积等3项数据与水资源量的关系,反映水资源的利用程度及开发的难易程度。在经济发展快速地区,如粤港澳大湾区,则采用国内生产总值替代农业灌溉面积,计算水资源负载指数:

$$C = \frac{K\sqrt{HG}}{W} \quad (3)$$

其中

$$K = \begin{cases} 1.0 & P \leq 200 \text{ mm} \\ 1.0 - \frac{0.1(P - 200)}{200} & 200 \text{ mm} < P \leq 400 \text{ mm} \\ 0.9 - \frac{0.2(P - 400)}{400} & 400 \text{ mm} < P \leq 800 \text{ mm} \\ 0.7 - \frac{0.2(P - 800)}{800} & 800 \text{ mm} < P \leq 1600 \text{ mm} \\ 0.5 & P > 1600 \text{ mm} \end{cases}$$

式中: $C$ 为水资源负载指数; $H$ 为人口数量,万人; $G$ 为国内生产总值,亿元; $W$ 为本地水资源总量,亿 $m^3$ ; $K$ 为与降水有关的系数; $P$ 为年降水量,mm。 $C$ 值越大说明开发利用程度越高,开发困难越大、开发潜力越小。为直观反映水资源时空分布及开发利用的状况,将水资源负载指数划分为5个等级<sup>[26]</sup>,如表1所示。

## 3 结果与分析

### 3.1 人口与水资源分布匹配性

选取2009—2019年粤港澳大湾区11个城市人口和水资源量(含过境水),依据基尼系数和泰尔指数分析人口与水资源分布的匹配性。图1为2019年粤港澳大湾区人口与水资源量匹配的洛伦兹曲线,表2为2009—2019年粤港澳大湾区及其东片区、西片区基尼系数。结合图1和表2可以看出,2019年粤港澳大湾区人口与水资源量匹配的基尼系数为0.520,属于高度不平均等级;2019年,香港、澳门、深圳人均水资源量分别为130 $m^3$ 、109 $m^3$ 、213 $m^3$ ,中山、珠海、肇庆等过境水丰富地区的人均水资源量达到5万 $m^3$ ,差距达到300倍以上。说明粤港澳大湾区各城市人口与水资源量匹配差距悬殊,表现为香港、澳门、深圳等人口密集城市水资源条件相对贫乏,人口水资源与分布高度不均衡。从粤港澳大湾区区域内部来看,2019年东片区基尼系数为0.520,西片区基尼系数为0.063;得益于西江上游丰富入境水资源,西片区人口与水资源匹配程度较好,而东片区则属于人口与水资源分布高度不

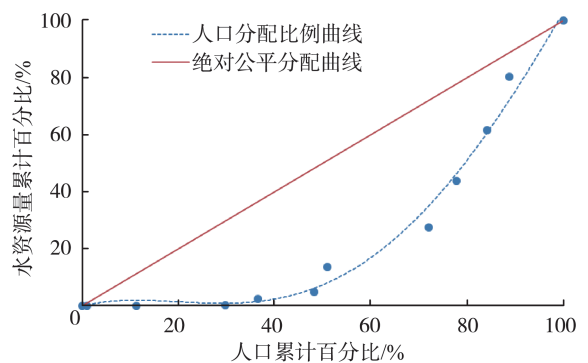


图1 2019年粤港澳大湾区人口与水资源量的洛伦兹曲线

Fig.1 Lorenz curve of population and water resources in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater

Bay Area in 2019

均衡状态。2009—2019年粤港澳大湾区人口与水资源量匹配的基尼系数均值为0.518,总体平稳,呈现先降后升的趋势。表3为2009—2019年粤港澳大湾区人口与水资源匹配的泰尔指数,可见其数值在0.289~0.303之间,总体呈现平稳上升趋势,其中区域间差异对总体差异贡献率较大,达到了73%以上;而区域内的人口与水资源匹配差距相对来说并不突出。可见,人口与水资源匹配程度呈现变差的态势,东西两个片区之间人口与水资源匹配差距较大。

表2 2009—2019年粤港澳大湾区人口与水资源匹配的基尼系数

Table 2 Gini coefficient of population and water resources matching in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2009 to 2019

年份	粤港澳大湾区	东片区	西片区
2009	0.520	0.563	0.021
2010	0.513	0.536	0.066
2011	0.517	0.548	0.063
2012	0.515	0.538	0.064
2013	0.512	0.526	0.063
2014	0.515	0.534	0.061
2015	0.518	0.536	0.061
2016	0.520	0.534	0.060
2017	0.524	0.529	0.060
2018	0.523	0.525	0.062
2019	0.520	0.520	0.063
均值	0.518	0.535	0.059

表3 2009—2019年粤港澳大湾区人口与水资源匹配的泰尔指数

Table 3 Theil index of population and water resources matching in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2009 to 2019

年份	大湾区泰尔指数总体差异	区域间差异		区域内差异	
		泰尔指数	贡献率/%	泰尔指数	贡献率/%
2009	0.289	0.212	73	0.077	27
2010	0.293	0.221	75	0.072	25
2011	0.297	0.224	75	0.074	25
2012	0.295	0.222	75	0.073	25
2013	0.291	0.219	75	0.072	25
2014	0.294	0.220	75	0.073	25
2015	0.298	0.224	75	0.074	25
2016	0.295	0.223	76	0.072	24
2017	0.303	0.230	76	0.073	24
2018	0.303	0.230	76	0.072	24
2019	0.300	0.227	76	0.073	24

### 3.2 GDP与水资源分布匹配性

图2为2019年粤港澳大湾区GDP与水资源量匹配的洛伦兹曲线,表4为2009—2019年粤港澳大湾区及其东片区、西片区基尼系数。结合图2和表4

可以看出,2019年粤港澳大湾区GDP与水资源量匹配的基尼系数为0.651,属于高度不平均等级,说明粤港澳大湾区各城市GDP与水资源量匹配差距悬殊,且相对人口与水资源匹配程度更为悬殊。从粤港澳大湾区内部来看,2019年东片区基尼系数为0.605、西片区基尼系数为0.022;西片区GDP与水资源匹配较好,而东片区属于GDP与水资源高度不均衡状态。2009—2019年粤港澳大湾区GDP与水资源量的基尼系数均值为0.638,总体平稳,呈上升的趋势。表5为粤港澳大湾区GDP与水资源匹配的泰尔指数。2009—2019年粤港澳大湾区GDP与水资源匹配的泰尔指数在0.484~0.513之间,呈现先降后升的趋势。GDP与水资源量匹配的差异主要来源于区域间差异,贡献率达到了63%以上。可见,GDP与水资源匹配程度呈现变差的趋势,且东西两个片区之间差距也逐渐增大。

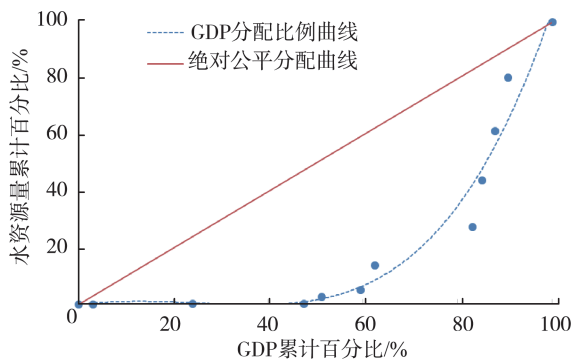


图2 2019年粤港澳大湾区GDP与水资源量的洛伦兹曲线

Fig.2 Lorentz curve of GDP and water resources in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area in 2019

表4 2009—2019年粤港澳大湾区GDP与水资源匹配的基尼系数

Table 4 Gini coefficient of GDP and water resources matching in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2009 to 2019

年份	粤港澳大湾区	东片区	西片区
2009	0.640	0.639	0.094
2010	0.629	0.625	0.076
2011	0.627	0.628	0.054
2012	0.634	0.618	0.028
2013	0.639	0.598	0.004
2014	0.640	0.602	0.007
2015	0.640	0.602	0.031
2016	0.637	0.600	0.041
2017	0.641	0.601	0.036
2018	0.647	0.601	0.022
2019	0.651	0.605	0.022
均值	0.638	0.611	0.038

表 5 2009—2019 年粤港澳大湾区 GDP

与水资源匹配的泰尔指数

Table 5 Theil index of GDP and water resources matching in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2009 to 2019

年份	大湾区泰尔指数总体差异	区域间差异		区域内差异	
		泰尔指数	贡献率/%	泰尔指数	贡献率/%
2009	0.513	0.334	65	0.179	35
2010	0.497	0.317	64	0.181	36
2011	0.489	0.308	63	0.181	37
2012	0.492	0.310	63	0.182	37
2013	0.491	0.309	63	0.182	37
2014	0.492	0.310	63	0.182	37
2015	0.490	0.324	66	0.166	34
2016	0.484	0.321	66	0.163	34
2017	0.493	0.328	66	0.166	34
2018	0.498	0.330	66	0.168	34
2019	0.508	0.332	65	0.176	35

### 3.3 水资源负载指数

表 6 为 2019 年粤港澳大湾区各城市的水资源负载指数。由表 6 可见,粤港澳大湾区总体水资源负载指数为 4.0,等级为Ⅲ级,属于开发利用程度中等。深圳、香港、澳门 3 个城市水资源负载指数分别达到 105.0、218.1 和 331.5,等级为Ⅰ级,属于开发利用程度很高,开发潜力很小的地区;惠州、东莞市水资源负载指数等级为Ⅲ级,属于开发利用程度中等的地区;广州市水资源负载指数等级为Ⅳ级,属于开发利用程度较低的地区,开发潜力大的地区;珠海、佛山、中山、江门、肇庆等市具有丰富过境水资源,负载指数小于 1.0,属于开发利用程度低,开发潜力很大的地区。各城市水资源负载指数差距较为悬殊,表现为经济总量大、人口密集,水资源条件相对不足的地区,水资源开发利用程度高,继续开发利用

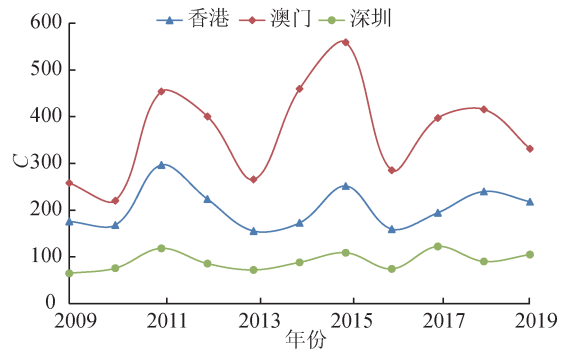
表 6 粤港澳大湾区各城市水资源负载指数

Table 6 Water resources load index of cities in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area

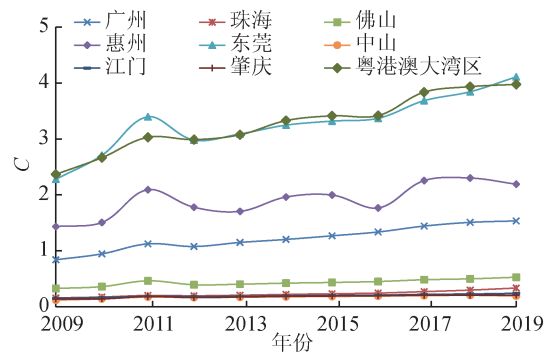
城市	水资源总量/亿 m <sup>3</sup>	人口/万人	GDP/亿元	K	C
广州	1959.6	1531	23629	0.50	1.5
深圳	28.6	1344	26927	0.50	105.0
珠海	1247.7	202	3436	0.50	0.3
佛山	2807.5	816	10751	0.50	0.5
惠州	325.8	488	4177	0.50	2.2
东莞	344.7	846	9483	0.50	4.1
中山	2683.7	338	3101	0.50	0.2
江门	2512.2	463	3147	0.50	0.2
肇庆	2330.3	419	2249	0.50	0.2
香港	9.8	750	24118	0.50	218.1
澳门	0.7	67	3549	0.50	331.5
粤港澳大湾区	3566.5	7264	114566	0.50	4.0

用潜力小;深圳、香港、澳门 3 个城市水资源负载指数均超过Ⅰ级阈值的 10 倍以上,说明了深圳、香港、澳门对境外水资源依赖程度高,迫切需要通过实施境外引调水工程,支撑当地社会经济发展。

图 3 为 2009—2019 年粤港澳大湾区各城市水资源负载指数。由图 3 可知,粤港澳大湾区水资源负载指数呈现逐年增加趋势,区域水资源开发利用强度和g水资源承载压力不断提升;深圳、香港、澳门 3 个城市水资源负载指数波动变化,并呈现缓慢上升趋势;广州、东莞、惠州 3 个城市则呈现平稳上升趋势;珠海、佛山、中山、江门、肇庆等市水资源负载指数维持在 1.0 以下的较低水平。由此可知,粤港澳大湾区现状水资源负载指数较大的城市,负载指数持续提高,水资源开发利用程度不断加大,进一步加剧了水资源空间不均衡。根据黄本胜等<sup>[27]</sup>提出的“脏盆理论”,扣除被污染水资源量,粤港澳大湾区水资源的空间不均衡性将进一步加剧。



(a) 香港、澳门、深圳



(b) 其他城市

图 3 2009—2019 年粤港澳大湾区各城市水资源负载指数  
Fig. 3 Water resource load index of Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2009 to 2019

## 4 结论

a. 2009—2019 年,粤港澳大湾区人口与水资源量匹配的基尼系数均值为 0.518,总体平稳,呈现先

降后升的趋势。通过泰尔指数得到了相同的结论,泰尔指数总体呈平稳上升趋势,区域间差异对总体差异贡献率较大,达到了73%以上,而区域内的人口与水资源匹配差距相对来说并不突出。

b. 2009—2019年GDP与水资源量匹配的基尼系数均值为0.638,总体平稳,呈上升的趋势。通过泰尔指数得到了相同的结论,泰尔指数呈现先降后升的趋势,区域间差异对总体差异贡献率较大,达到了63%以上。

c. 2019年粤港澳大湾区水资源负载指数等级为Ⅲ级,属于水资源开发利用程度中等。深圳、香港、澳门3个城市水资源负载指数等级为Ⅰ级,开发利用程度很高,对境外水资源依赖程度高。位于珠江东岸城市以及澳门的水资源负载指数呈现增加的趋势,进一步加剧了水资源空间不均衡。位于珠江西岸的珠海、佛山、中山、江门、肇庆等市具有丰富过境水资源,负载指数等级为Ⅴ级,开发利用程度低,水资源负载指数变化较稳定。

d. 粤港澳大湾区水资源空间分布与生产力布局不协调,各城市水资源负载差距悬殊。城镇化进展加快,水污染、用水浪费等问题加大水资源承载压力,进一步加剧了水资源空间失衡。

#### 参考文献:

[1] 陈献,张瑞美,郭利君,等.关于落实“节水优先”方针的问题与建议[J].水利经济,2020,38(5):45-49. (CHEN Xian, ZHANG Ruimei, GUO Lijun, et al. Problems and suggestions on implementing policy of “water-saving priority” [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2020, 38(5):45-49. (in Chinese))

[2] 唐克旺. 雄安:如何能够“水城共融”[J]. 水资源保护, 2017, 33(4):9. (TANG Kewang. Xiongan: how to be able to water-city integration [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(4):9. (in Chinese))

[3] 左其亭,韩春辉,马军霞,等.水资源空间均衡理论应用规则和量化方法[J].水利水运工程学报,2019(6):50-58. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia, et al. Application rules and quantification methods of water resources spatial equilibrium theory [J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(6):50-58. (in Chinese))

[4] 邓伟,翟金良,闫敏华.水空间管理与水资源的可持续性[J].地理科学,2003,23(4):385-390. (DENG Wei, ZHAI Jinliang, YAN Minhua. Management of space for water and sustainability of water resources [J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(4):385-390. (in Chinese))

[5] 夏帆,陈莹,窦明,等.水资源空间均衡系数计算方法及其应用[J].水资源保护,2020,36(1):52-57. (XIA

Fan, CHEN Yin, DOU Min, et al. Calculation method and application of spatial equilibrium coefficient of water resources [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1):52-57. (in Chinese))

[6] 金菊良,徐新光,周戎星,等.基于联系数和耦合协调度的水资源空间均衡评价方法[J].水资源保护,2021,37(1):1-6. (JIN Juliang, XU Xinguang, ZHOU Rongxing, et al. Water resources spatial balance evaluation method based on connection number and coupling coordination degree [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1):1-6. (in Chinese))

[7] 金菊良,徐新光,崔毅,等.基于联系数和洛伦兹曲线的水资源空间均衡评价方法[J].水科学进展,2021,32(3):387-395. (JIN Juliang, XU Xinguang, ZHOU Rongxing, et al. Water resources spatial equilibrium evaluation method based on connection number and Lorenz curve [J]. Advances in Water Science, 2021, 32(3):387-395. (in Chinese))

[8] 金菊良,郦建强,吴成国,等.水资源空间均衡研究进展[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2019,40(6):47-60. (JIN Juliang, LI Jianqiang, WU Chenguo, et al. Research progress on spatial equilibrium of water resources [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2019, 40(6):47-60. (in Chinese))

[9] 左其亭,韩春辉,马军霞,等.水资源空间均衡理论方法及应用研究框架[J].人民黄河,2019,41(10):113-118. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia, et al. Theoretical method and applied research framework of water resources spatial equilibrium [J]. Yellow River, 2019, 41(10):113-118. (in Chinese))

[10] 郦建强,王平,何君,等.水资源空间均衡理论方法与对策措施研究[J].中国水利,2019(23):23-25. (LI Jianqiang, WANG Pin, HE Jun, et al. Study on theory methodology and countermeasures about water resources spatial equilibrium [J]. China Water Resources, 2019(23):23-25. (in Chinese))

[11] 郦建强,王平,郭旭宁,等.水资源空间均衡要义及基本特征研究[J].水利规划与设计,2019(10):1-5. (LI Jianqiang, WANG Pin, GUO Xuning, et al. Study on the essentials and basic features of water resources spatial equilibrium [J]. Water Resources Planning and Design, 2019(10):1-5. (in Chinese))

[12] 吴兆丹,梁莎婉,梁希瑶.江苏省水资源配置公平性研究[J].水利经济,2021,39(1):54-57. (WU Zhaodan, LIANG Shawan, LIANG Xiyao. Fairness of allocation of water resources in Jiangsu Province [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2021, 39(1):54-57. (in Chinese))

[13] 李万明,黄程琪.西北干旱区水资源利用与经济要素的匹配研究[J].节水灌溉,2018(7):88-93. (LI

- Wanming, HUANG Chenqi. The study of matching between utilization of water resource and economic factors in the northwest arid area of China [J]. Water Saving Irrigation, 2018(7):88-93. (in Chinese))
- [14] 姜宁,付强. 基于基尼系数的黑龙江省水资源空间匹配分析[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(5):56-60. (JIANG Ning, FU Qiang. Spatial matching analysis of Heilongjiang Province's water resource based on Gini coefficient [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(5):56-60. (in Chinese))
- [15] 蒋艳,曾肇京,张建永. 基于基尼系数的中国水生态分区研究[J]. 生态学报, 2015, 35(7):2177-2183. (JIANG Yan, ZENG Zhaojin, ZHANG Jianyong. Establishment of aquatic ecosystem divisions based on the environmental Gini coefficient in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7):2177-2183. (in Chinese))
- [16] 洪思扬,宋志松,程涛,等. 基于基尼系数的南水北调受水区水资源空间匹配分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2017(2):175-179. (HONG Siyang, SONG Zhisong, CHENG Tao, et al. Spatial matching analysis of water resources in the intake area of South-North Water Transfer Project based on Gini coefficient [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2017(2):175-179. (in Chinese))
- [17] 张吉辉,李健,唐燕. 中国水资源与经济发展要素的时空匹配分析[J]. 资源科学, 2012, 34(8):1546-1555. (ZHANG Jihui, LI Jian, TANG Yan. Analysis of the spatio-temporal matching of water resource and economic development factors in China [J]. Resources Science, 2012, 34(8):1546-1555. (in Chinese))
- [18] 张国兴,徐龙. 基于时空维度的水资源与经济匹配分析[J]. 水电能源科学, 2020, 38(3):54-57. (ZHANG Guoxing, XU Long. Analysis of water resources and economic matching based on spatio-temporal dimensions [J]. Water Resources and Power, 2020, 38(3):54-57. (in Chinese))
- [19] 章恒全,杨雅婷,张陈俊. 基于基尼系数的湖北省用水公平性研究[J]. 水利经济, 2019, 37(1):1-6. (ZHANG Hengquan, YANG Yating, ZHANG Chenjun. Fairness of water utilization in Hubei Province based on Gini coefficient [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(1):1-6. (in Chinese))
- [20] 李倩文,左其亭,李东林,等. 新疆水资源开发利用的空间均衡分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(2):28-33. (LI Qianwen, ZUO Qiting, LI Donglin, et al. Spatial equilibrium analysis of water resources development and utilization in Xinjiang [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(2):28-33. (in Chinese))
- [21] WANG Yi, HU Hui, DAI Wenjing, et al. Evaluation of industrial green development and industrial green competitiveness: evidence from Chinese urban agglomerations [J]. Ecological Indicators, 2021, 124:101-111.
- [22] 付先知,鲁锋,曹云源,等. 重庆市卫生资源配置的公平性研究[J]. 中国卫生资源, 2017, 20(3):209-213. (FU Xianzhi, LU Feng, CAO Yunyuan, et al. Study on the equity of health resource allocation in Chongqing [J]. Chinese Health Resources, 2017, 20(3):209-213. (in Chinese))
- [23] 刘德地,陈晓宏. 一种区域用水量公平性的评估方法[J]. 水科学进展, 2008, 19(2):268-272. (LIU Dedi, CHEN Xiaohong. Method for evaluating the fairness of water use in Guangdong Province [J]. Advances in Water Science, 2008, 19(2):268-272. (in Chinese))
- [24] 张建华. 一种简便易用的基尼系数计算方法[J]. 山西农业大学学报(社会科学版), 2007, 6(3):275-278. (ZHANG Jianhua. An convenient method to calculate Gini coefficient [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Social Science Edition), 2007, 6(3):275-278. (in Chinese))
- [25] 王金南,逯元堂,周劲松,等. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(1):111-115. (WANG Jinnan, LU Yuantang, ZHOU Jinsong, et al. Analysis of China resource-environment Gini coefficient based on GDP [J]. China Environmental Science, 2006, 26(1):111-115. (in Chinese))
- [26] 蒋定生,范兴科,徐学选,等. 略论延安市降水资源的潜力与高效利用模式[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2):58-69. (JIANG Dingsheng, FAN Xingke, XU Xuexuan, et al. The preliminary discussion on the potentiality of rainfall resource in Yan'an City and its efficiency use models [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(2):58-69. (in Chinese))
- [27] 黄本胜,李深林,邱静,等. 脏盆理论:一种基于河湖水质影响的地表水资源评价新方法[J]. 水利学报, 2021, 52(2):150-157. (HUANG Bensheng, LI Shenlin, QIU Jing, et al. Dirty basin theory: a new method of water resources evaluation considering influence of river and lake water quality [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2021, 52(2):150-157. (in Chinese))

(收稿日期:2021-05-18 编辑:王芳)

