

doi: 10.12029/gc20210503

吴盼, 赵信文, 顾涛, 江拓, 王旭升, 冯雨晴. 2021. 粤港澳大湾区水资源现状及其与社会经济协同演化趋势——与国际湾区对比研究[J]. 中国地质, 48(5): 1357–1367.

Wu Pan, Zhao Xinwen, Gu Tao, Jiang Tuo, Wang Xusheng, Feng Yuqing. 2021. Water resources in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area and its co–evolution trend with social economy: A comparative study with the international bay area [J]. *Geology in China*, 48(5): 1357–1367 (in Chinese with English abstract).

## 粤港澳大湾区水资源现状及其与社会经济协同演化趋势——与国际湾区对比研究

吴盼<sup>1</sup>, 赵信文<sup>1</sup>, 顾涛<sup>1</sup>, 江拓<sup>1</sup>, 王旭升<sup>2</sup>, 冯雨晴<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 3. 南方科技大学 环境科学与工程学院, 广东 深圳 518055)

**摘要:** 粤港澳大湾区(以下简称大湾区)水资源现状及其演化规律关系到该区社会经济的高质量发展。本文对大湾区“9市+2区”近10年的社会经济与水资源现状及其协同演化规律进行分析研究。结果显示:目前大湾区供水主要依赖地表水,水资源的分布与区域经济发展不协调,作为区域发展核心引擎的香港、澳门、深圳(极度缺水)以及广州(重度缺水)人均水资源量过低。广州、佛山、中山、东莞(>80%)以及深圳(>40%)水资源开发利用程度高,水资源供需压力大。通过归因分析得到大湾区的水资源利用现状与社会经济的协同规律:产业结构影响用水结构以及水资源开发利用程度,控制用水效率。区域内产业结构与发展趋势,及其与世界湾区的对比分析验证了产业结构理论中的“配第-克拉克定理”。随着大湾区经济持续的发展与产业结构优化,大湾区用水效率将提高,人均用水量会逐步降低。同时城市公共用水、生活用水需求量将持续上升,需确保大湾区供水设施,供水量及供水安全满足未来社会经济发展需求。

**关键词:** 水资源现状;用水结构;社会经济特征;水文地质工程;粤港澳大湾区

中图分类号:TV213.1 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2021)05-1357-11

## Water resources in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area and its co–evolution trend with social economy: A comparative study with the international bay area

WU Pan<sup>1</sup>, ZHAO Xinwen<sup>1</sup>, GU Tao<sup>1</sup>, JIANG Tuo<sup>1</sup>, WANG Xusheng<sup>2</sup>, FENG Yuqing<sup>3</sup>

(1. Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205 Hubei, China; 2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083; 3. School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, Guangdong, China)

**Abstract:** The current situation and evolution of water resources in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area is crucial

收稿日期:2021-03-06; 改回日期:2021-05-27

基金项目:中国地质调查局项目“广州多要素城市地质调查”(DD20190291)资助。

作者简介:吴盼,男,1992年,博士,工程师,主要从事水工环地质调查研究; E-mail: wupan@mail.cgs.gov.cn。

通讯作者:赵信文,男,1980年,硕士,高级工程师,主要从事水工环地质调查研究; E-mail: zhaoxinwen@mail.cgs.gov.cn。

to the high-quality development of the region's social economy. The study focuses on the current situation of water resources in the "9 Cities +2 Municipalities" of the Greater Bay Area in recent ten years and its co-evolution trend with social economy. The results show that the present water supply in the Greater Bay Area mainly relies on surface water, and the distribution of water resources is not equilibrated with regional economic development. As the core engine of regional development, Hong Kong, Macao, Shenzhen (extremely short of water) and Guangzhou (severely short of water) have a low per capita water resources. Guangzhou, Foshan, Zhongshan, Dongguan (>80%) and Shenzhen (>40%) have a high degree of water resources development and utilization, and the pressure of water resources supply and demand is large. The synergetic law between the current situation of water resources utilization and social economy in the Greater Bay area, resulted from attribution analysis, indicates that industrial structure influences the water consumption structure and controls the water consumption efficiency. The industrial structure and development trend in the region and the comparative analysis with the bay area in the world verify the "Petty Clark theorem" in the theory of industrial structure. With the continuous economic development of the Greater Bay Area, the industrial structure will be optimized forward, water consumption efficiency will increase, and per capita water consumption will gradually decrease. Meanwhile, the demand for urban public water and domestic water will continue to rise, and the water supply facilities, water quality and water supply security in the Greater Bay Area need to be ensured to meet the future social and economic development demands.

**Key words:** current situation of water resources; water consumption structure; social economy; hydrogeological survey engineering; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

**About the first author:** WU Pan, male, born in 1992, doctor, engineer, engaged in hydrogeological, engineering geological and environmental geology; E-mail: wupan@mail.cgs.gov.cn.

**The corresponding author:** ZHAO Xinwen, male, born in 1980, master, senior engineer, engaged in hydrogeological, engineering geological and environmental geology; E-mail: zhaoxinwen@mail.cgs.gov.cn.

**Fund support:** Supported by the project of China Geological Survey "Guangzhou multi-element urban geological survey" (No. DD20190219).

## 1 引 言

水是人类生活、生产以及生态环境维系不可或缺的最基本资源(冯尚友,2000;王浩等,2002;卢耀如,2014)。气候变化,人口增长以及经济发展将改变未来全球水资源的形势(Vorosmarty et al., 2000;)。气候变化与社会经济发展双重因素的影响下,使得可利用水资源量成为经济稳定持续发展的主要制约因素,并使水资源除基本自然资源属性之外,进一步上升成为一种战略经济资源(Ren et al., 2016)。随着中国国民经济和社会的不断发展,城市淡水需求量不断增加,1952—2005年中国城市淡水消耗增加量是全国淡水资源量的20%(Zhu et al.,2009);中国人均水资源占有量较低,实际人均水资源量约为1700 m<sup>3</sup>,即将步入水资源紧张国家行列(吴爱民等,2016)。水资源供需矛盾凸显,区域水资源问题严峻,水资源成为严重制约中国可持续发展的重要瓶颈(Varis and Vakkilainen, 2001; Yang et al.,2004; Zhang et al.,2008;文琦等,2008;夏军等,2011,2015;Guo et al.,2015;吴斌等,2019)。

中国区域经济发展至今,取得了巨大的成就,通过“中心城市—城市群—区域发展板块”的现实,开创了区域经济的“中国模式”(陈建军和黄洁,2020)。2017年7月1日,《深化粤港澳合作推进大湾区建设框架协议》签署,协议决定将粤港澳大湾区(以下简称大湾区)建设成为更具活力的经济区、宜居宜业宜游的优质生活圈,打造国际一流湾区和世界级城市群。大湾区是中国开放程度最高、经济活力最强的区域之一,在国家发展大局中具有重要战略地位(粤港澳大湾区发展规划纲要;覃成林等,2017)。大湾区、东京湾区、纽约湾区以及旧金山湾区并称为世界四大湾区。改革开放以来,大湾区社会经济高速发展,2018年末,总人口已达7000万,GDP总量超过10万亿元,占全国经济总量的12%。在经济高速发展的同时,长期的高强度开发带来的资源环境隐患日益凸显,如环境污染问题(张捷旋和李明,2016)、土地资源紧缺问题(曹靖和张文忠,2020);水资源问题包括:水体污染,部分城市水资源紧缺,城市内涝,河口咸潮上溯等问题(刘畅等,2019;李俊飞等,2019;高真等,2020)。

针对水资源问题,2019年2月18日,中共中央、国务院印发的《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确指出要强化水资源安全保障。以往有针对大湾区中相关城市的水资源报道及相关研究,但由于“大湾区”概念新近提出,针对大湾区区域水资源量的分析研究较少。同时以往水资源的研究仅对现状研究以及仅限于水资源范畴探讨水资源问题,并未结合社会经济特征对水资源及其发展趋势进行研究。综上,为满足大湾区建设宜居宜业宜游的优质生活圈的发展理念,达到打造国际一流湾区和世界级城市群的发展目标以及完成强化水资源安全保障的发展规划,有必要对大湾区水资源基本情况,近年来的发展趋势以及与国际湾区的对比情况进行系统梳理与分析研究。

本文收集近10年(2010—2019年)大湾区水资源统计以及社会经济数据,旨在分析区域水资源基本特征及发展趋势同时,结合社会经济特征,对水资源现状进行归因分析并得出社会经济与水资源的协同演化规律。在此基础上选取了东京湾区的东京都会区,纽约湾区的纽约州,以及旧金山湾区的社会经济及水资源相关数据与大湾区进行对比研究。最后对大湾区未来用水结构,用水需求进行

讨论分析。

## 2 研究区概况

粤港澳大湾区位于广东省的腹地,面积约为5.6万km<sup>2</sup>,由广东省的广州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆9个地级市(珠三角9市)以及香港、澳门两个特别行政区组成(图1)。

大湾区西部及东北部海拔较高,中部西南部海拔较低,年降水量在1800~2500 mm,位于珠江流域的下游,主要过境河流为西江、北江以及东江,其次为韩江、粤东诸河、粤西桂南沿海诸河。

## 3 研究内容与数据来源

本次研究主要从社会经济特征及水资源现状两个方面分析大湾区“9市+2区”的综合情况,并与国际湾区进行横向对比。社会经济特征分析主要分析各地区人口规模、人民富裕程度以及产业结构。水资源现状分析主要包括水资源分布特征以及水资源开发利用现状两方面。

本次研究数据时间跨度为2010—2019年,10个自然年。数据类型主要包括两个部分:水资源统计数据以及社会经济统计数据。其中大湾区中9市水

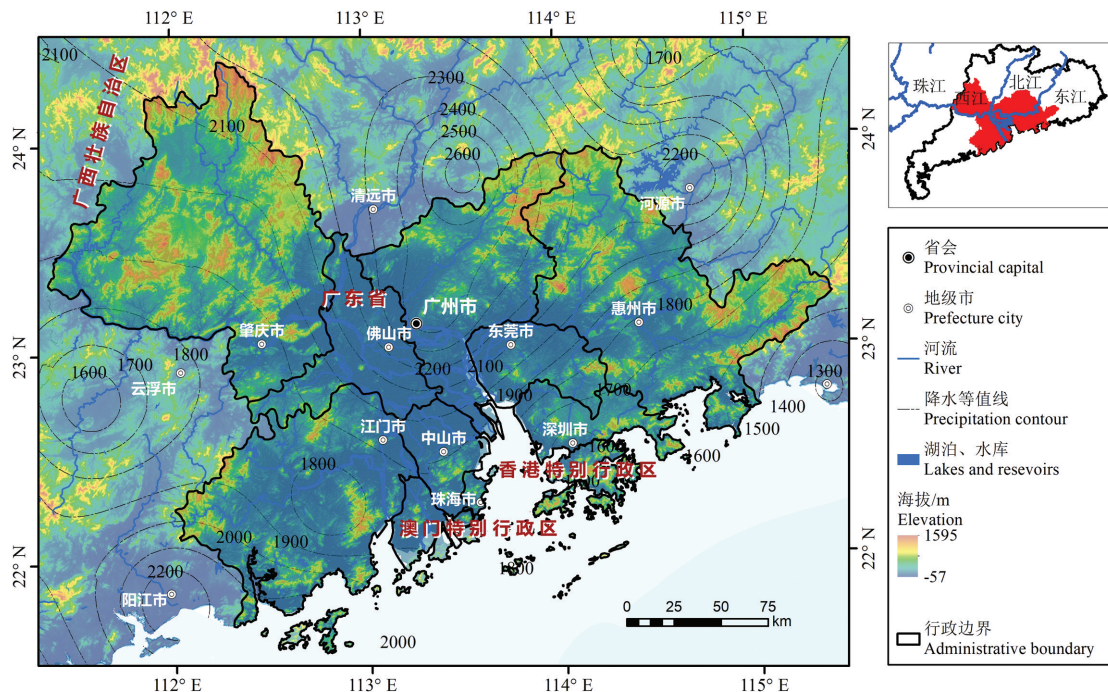


图1 大湾区区域概况图

Fig.1 The overview of the Greater Bay Area

资源数据来源于广东省水利厅的《广东省水资源公报》(<http://slt.gd.gov.cn/szygb/>);澳门水资源数据来源于澳门海事及水务局《水资源状况报告》,部分数据来自澳门统计普查局;香港水资源数据来源于香港特别行政区水务署《水务署年报》,部分数据来源于香港政府统计处。社会经济数据分别来自:广东统计信息网(<http://stats.gd.gov.cn/>),香港政府统计处(<https://www.censtatd.gov.hk/hkstat/>)澳门统计普查局(<https://www.dsec.gov.mo/zh-MO/>)。

本次研究定义了城市水资源开发利用程度来分析城市水资源供需紧张程度,根据城市供水量,考虑跨城市调水(包括对港澳供水)(即调出水量计入城市的供水量,调入水量以及深层地下水开采量不计入城市供水量),以供水总量占水资源总量的百分比体现城市水资源开发利用程度。由于内地与港澳用水类型分类不一样,对用水类型进行了简单的归并。澳门海事及水务局将用水类型分类为公共用水、工业用水、商业用水以及生活用水(澳门水资源状况报告2010/2011);而香港水务署水务年报中将用水类型分为住宅用水、工业用水、服务业及商业用水、政府用水、建筑及船舶用水以及临时淡水冲厕7类(香港水务年报2010/11)。本次统计将住宅用水作为生活用水,服务业及商业用水作为商业用水,将工业用水与建筑及船舶用水合并作为工业用水,将政府用水与临时淡水冲厕合并作为城镇公共用水。

## 4 结果分析

### 4.1 社会经济特征

大湾区近10年(2010—2019年)各区平均人口、人均GDP如图2所示。其中人口呈现“中部多,周边少”的现象,中部的香港、深圳、广州、东莞、佛山人口较多,而周边其他地区人口较少。人均GDP呈现“中部高,周边低”的分布特征。从表1产业GDP贡献率可看出,香港、澳门第三产业GDP贡献率高于90%,广州、深圳、东莞第三产业GDP贡献率超过50%(表1)。

综合人口规模,居民收入水平和第三产业的比重来看,大湾区中香港、澳门、广州以及深圳是经济发达程度较高的四大中心城市,同时也是《粤港澳大湾区发展规划纲要》指出的区域发展核心引擎。

### 4.2 水资源现状

#### 4.2.1 水资源分布特征

大湾区水资源总量以及人均水资源量分布特征可以概括为“周边高,中部低”(图3),而这与大湾区人口分布特征呈现相反的分趋势(图2a)

按照国际标准,人均水资源量低于3000 m<sup>3</sup>为轻度缺水,低于2000 m<sup>3</sup>为中度缺水,低于1000 m<sup>3</sup>为重度缺水,低于500 m<sup>3</sup>为极度缺水。大湾区中部地区基本处于重度缺水以及极度缺水状态,区域发展核心引擎的四大中心城市中,澳门、香港以及深圳处于极度缺水状态而广州属于重度缺水状态。

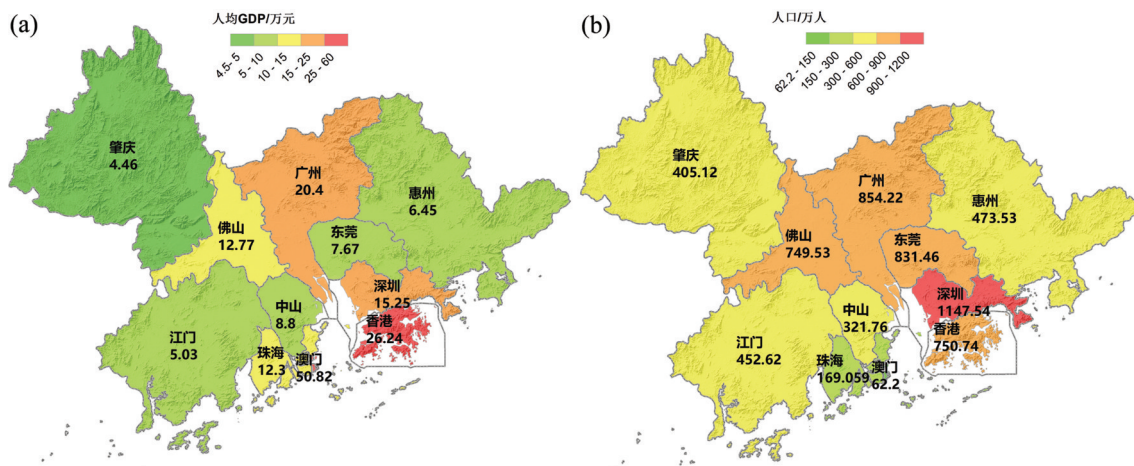


图2 大湾区人口(a)及人均GDP(b)分布情况

Fig.2 Distribution of population(a) and GDP per capita (b) in the Greater Bay Area

表1 大湾区各产业GDP贡献率(%)

Table 1 Contribution of industries to GDP in the Greater Bay Area(%)

GDP贡献率	广州	深圳	珠海	佛山	惠州	东莞	中山	江门	肇庆	香港	澳门
第一产业	1.29	0.06	2.16	1.68	4.93	0.34	2.26	7.65	15.79	0.10	0.00
第二产业	31.24	41.91	49.75	59.38	55.29	48.88	53.04	49.26	45.00	7.11	5.29
第三产业	67.47	58.03	48.09	38.93	39.78	50.79	44.71	43.09	39.21	92.85	94.71

4.2.2 水资源开发利用现状

大湾区供水主要依赖于地表水,地表水供水率超过98%,中部三角洲及沿海地区的广州,佛山,东莞,深圳,中山、江门以及珠海地表水供水率更是超过99%(表2)。香港供水主要来自两个部分:本地集水以及东江供水,其中东江供水占70%~80%,本地集水为从集水区收集的雨水占20%~30%(水务年报2010/11,香港水务署)。澳门淡水资源主要来自西江,约有96%的原水来自珠海(澳门水资源状况报告2010/2011,澳门海事及水务局)。因此,澳门以及香港也基本依靠地表水供水。

在现有水资源分布及供水条件下,大湾区人均用水量情况呈现“中部低,四周高”的现象(图4a)。大湾区大部分地区水资源开发利用程度较高(图4b),其中佛山(100.25%)、中山(89.27%)、东莞(81.53%)、江门、广州(81.53%)以及深圳(43.45%)均超出国际公认的河流开发利用警戒线(40%)(安新代,2007)。

香港、澳门及深圳的生活用水比重较高,广州、佛山、东莞及中山的工业用水比例较高,而肇庆、江

表2 珠三角九市供水量及供水结构

Table 2 Water supply and water supply structure of nine cities in Pearl River Delta

行政区	总供水量 /亿 m <sup>3</sup>	供水量/亿 m <sup>3</sup>		供水率/%	
		地表水	地下水	地表水	地下水
广州	68.74	68.2	0.54	99.21	0.79
深圳	19.50	19.42	0.08	99.59	0.41
珠海	4.99	4.99	0.01	99.86	0.14
佛山	33.64	33.57	0.07	99.79	0.21
惠州	21.13	20.64	0.48	97.71	2.29
东莞	19.67	19.3	0.02	99.91	0.09
中山	17.06	17.05	0	99.98	0.02
江门	28.73	28.31	0.38	98.68	1.32
肇庆	19.73	19.46	0.24	98.76	1.24

门及惠州以农业用水为主(图5a)。

同时,广州、佛山、惠州以及江门农业亩均灌溉用水量较高;在工业用水比重较高的中山、佛山以及广州,万元工业增加值用水较高(表3)。

大湾区综合用水效率以万元GDP用水量来衡量,以生活用水为主的澳门、香港以及深圳用水效率高;以农业用水为主的江门、肇庆以及惠州综合用水效率较低(图5b)。

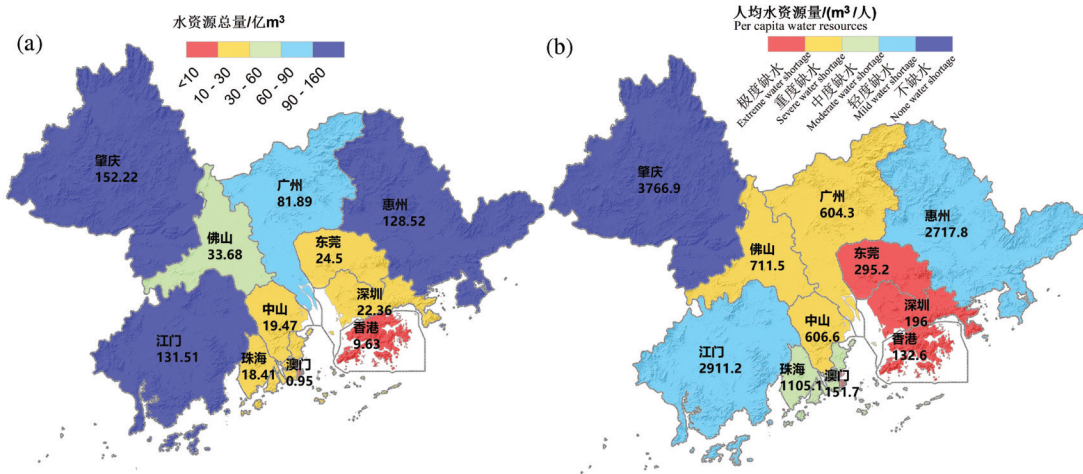


图3 大湾区水资源总量(a)人均水资源量(b)

Fig.3 Total water resources (a) and per capita water resources (b) in the Greater Bay Area

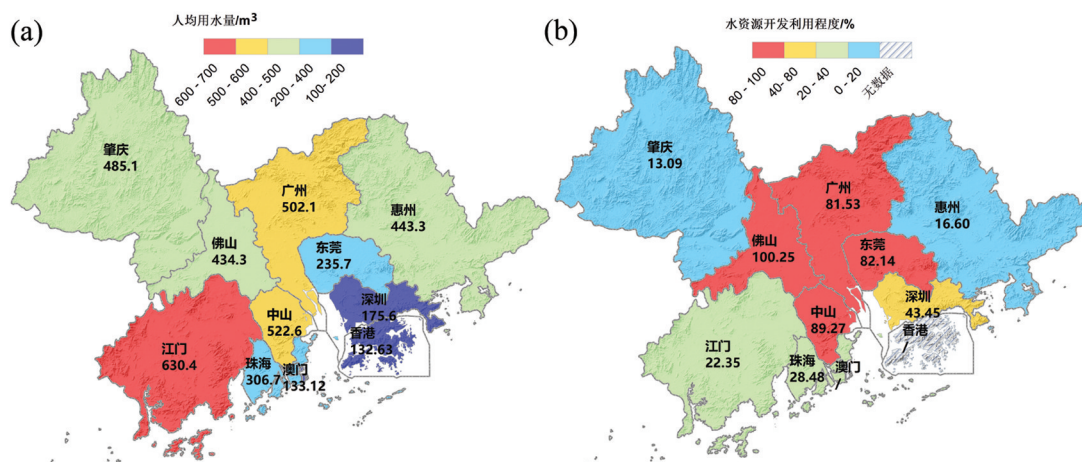


图4 大湾区人均用水量(a)及水资源开发利用程度(b)

Fig.4 Per capita water consumption (a) and degree of water resources development and utilization (b) in the Greater Bay Area

4.2.3 水资源紧缺与供需矛盾

本次研究按照国际标准将大湾区各区缺水情况进行划分,并利用城市水资源开发利用程度来指示各区的供需紧张程度。

如图 6a 所示,人均用水量随人均水资源量的增

加而增加,当水资源量低于 1000 m<sup>3</sup>,人均用水量随人均水资源量的增长率接近 1:1;随着人均水资源量的增加人均用水量增加趋势变缓,当人均水资源量高于 1000 m<sup>3</sup> 时,变缓的趋势明显。如图 6b 所示,水资源开发利用程度整体上随人均水资源量的增

表 3 珠三角 9 市农业亩均灌溉用水量及万元工业增加值用水量 (m<sup>3</sup>)

Table 3 The irrigation water consumption per Mu of agriculture and the water consumption per ten thousand yuan of added industrial value in the nine cities in the Pearl River Delta (m<sup>3</sup>)

用水量	广州	深圳	珠海	佛山	惠州	东莞	中山	江门	肇庆
农业亩均灌溉	708.6	597.0	557.4	713.8	741.6	424.5	683.8	801.6	644.5
万元工业增加值	80.8	8.4	16.6	60.3	33.8	29.9	55.0	44.7	43.9

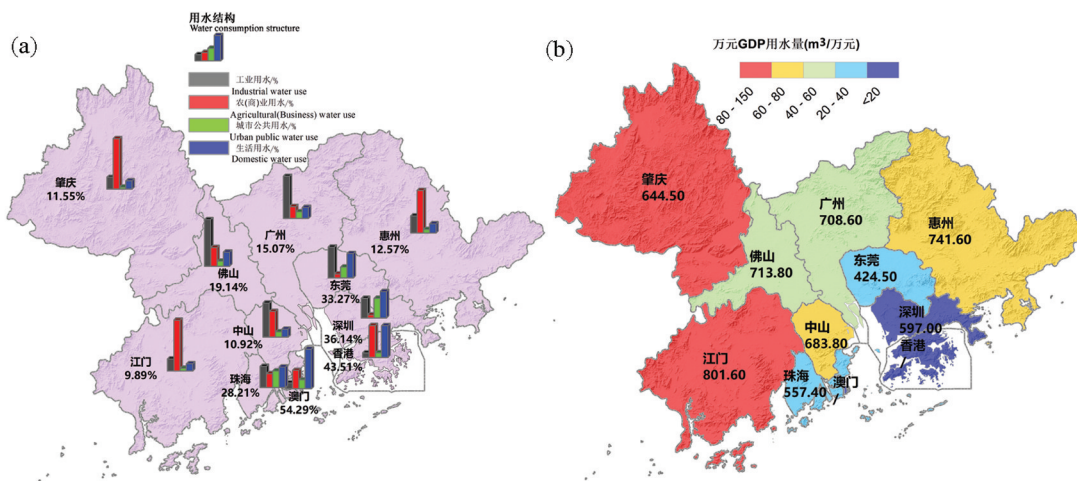


图 5 大湾区用水结构(a)万元GDP用水量(b)

Fig.5 Water consumption structure (a) and water consumption per ten thousand yuan of GDP (b) in the Greater Bay Area

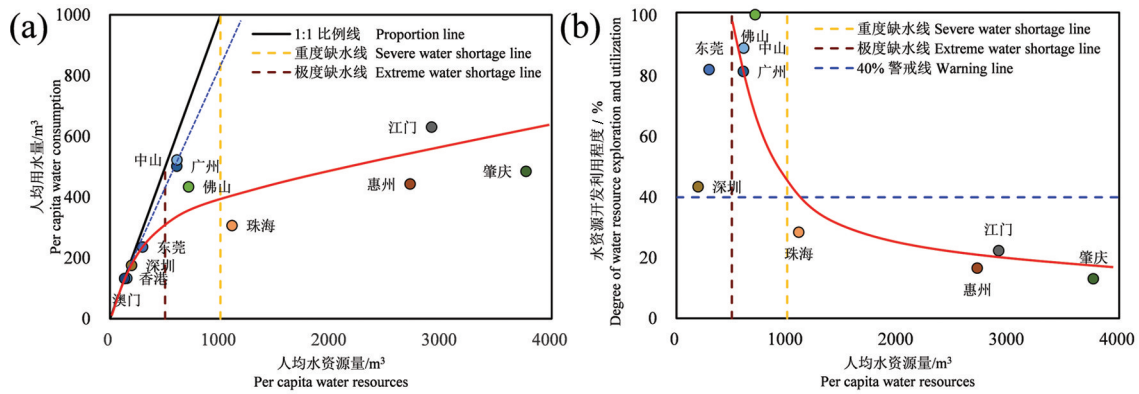


图6 人均用水量(a)以及水资源开发利用程度(b)与人均水资源量的关系

Fig. 6 The relationship between per capita water resources and per capita water consumption (a) and degree of water resource exploration and utilization (b)

加而降低,也就是人均水资源量的增加能缓解水资源的开发利用程度,减轻水资源的供需压力。但是这种规律在人均水资源量低于1000 m<sup>3</sup>时并不明显,同时这些地区水资源开发利用程度均高于40%。也就是说在大湾区人均水资源量低于1000 m<sup>3</sup>的地区,也即香港、澳门、深圳、广州、中山、佛山、东莞都存在水资源紧缺以及供需矛盾突出的情况。

### 4.3 归因分析

协相关分析所选因子及结果如表4所示,人均水资源量的现有分布情况主要受到自然因素水资源总量的控制( $r^2 = 0.84$ ),其次是社会因素人口的控

制( $r^2 = 0.27$ )。水资源开发利用现状的分析综合考虑人口数量,用水结构以及用水效率。其中农业用水效率和工业用水效率分别用万元工业增值用水以及农业灌溉亩均用水来指示。结果显示工业用水比重高( $r^2 = 0.88$ )、工业用水效率低( $r^2 = 0.26$ )以及人口聚集( $r^2 = 0.15$ )是水资源开发利用程度高的控制因子。

用水效率主要受到第一产业控制( $r^2 = 0.71$ ),第一产业比重越高,用水效率越低。其次是第三产业( $r^2 = 0.45$ ),第三产业比重越高,用水效率越高。第二产业比重也对用水效率有影响( $r^2 = 0.28$ ),总体来

表4 水资源现状归因分析  
Table 4 Attribution analysis of current water resources situation

分析指标	因素	指标	潜在控制因子	相关系数( $r^2$ )	分析结果
人均水资源量	自然因素	资源量	降水量	0.05 (+)	-
			水资源总量	0.84* (+)	√
	社会因素	人口规模	人口数量	0.27* (-)	√
人口规模			人口数量	0.15* (+)	√
水资源开发利用程度	社会因素	用水结构	城市公共用水	0.00 (+)	-
			工业用水	0.88* (+)	√
			农业用水	0.37* (-)	√
		用水效率	生活用水	0.02 (+)	-
			工业用水效率	0.26* (+)	√
			农业用水效率	0.03 (-)	-
			人口规模	人口数量	0.04 (+)
用水效率 (万元GDP用水量)	社会因素	产业结构	第一产业	0.71* (+)	√
			第二产业	0.28* (+)	√
			第三产业	0.45* (-)	√

注释:“\*”表示相关程度显著性达到95%( $p < 5\%$ ),“(-)”表示负相关,“(+)”表示正相关,“√”表示控制因子,“-”表示非控制因子。

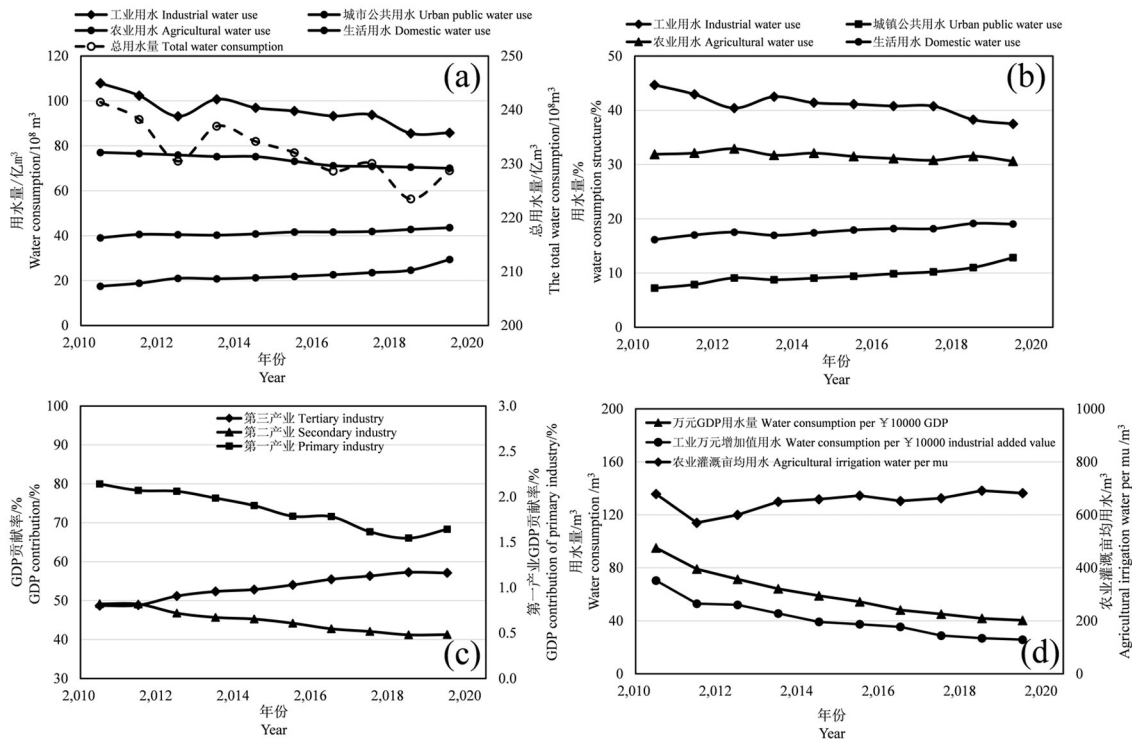


图7 珠三角九市产业结构(a)、用水结构(b)、用水效率(c)以及用水量(d)

Fig. 7 Industrial structure (a), water consumption structure (b), water consumption efficiency (c) and water consumption (d) of nine cities in the Pearl River Delta

说产业结构控制着用水效率。

#### 4.4 整体情况与发展趋势

香港和澳门产业结构整体平稳,近10年相对变化较小,本节主要分析珠三角9市的产业结构,用水结构以及用水效率的近10年(2010—2019年)发展趋势(图7)。在产业结构方面,珠三角9市第一产业与第二产业比重呈下降趋势,而第三产业呈上升趋势。同时,综合用水效率提高,万元GDP用水量,呈单调递减趋势,10年间下降 $50\text{ m}^3$ ;工业用水效率提高,工业万元增加值用水量10年间下降近 $60\text{ m}^3$ 。而农业亩均灌溉用水量除2010—2011年降低之外,2011—2019年呈上升趋势,上升将近 $100\text{ m}^3$ (图7c)。在产业结构方面,用水结构以及用水效率变化下,珠三角9市用水量变化如图7d所示。

总体上,珠三角9市近10年产业结构优化明显,用水效率整体提升,总用水量逐步下降,但城市公共用水以及生活用水量持续攀升。而相对于珠三角9市,香港和澳门产业结构和万元GDP用水量变幅较小,但在产业结构,用水效率整体上优于珠三角9市。

## 5 讨论

### 5.1 与国际湾区对比

大湾区(粤港澳大湾区)与世界其他三大湾区(东京湾区,纽约湾区,旧金山湾区)经济、人口以及产业的横向对比如表5所示。

大湾区(粤港澳大湾区)在四大湾区中面积最大( $5.6\text{万 km}^2$ ),人口最多(6671万),但目前人均GDP不高,第三产业占比较低(62.2%),距离其他三大湾区80%以上的第三产业占比,还有较大发展空间。同时大湾区在四大湾区中,供水总量最大,人均用水( $330.64\text{ m}^3/\text{年}/\text{人}$ )最高(表6)。

### 5.2 未来发展趋势

改革开放以来,粤港澳大湾区多数城市都经历了以劳动密集型产业、高能耗产业为主要动力推进的快速发展,并逐渐进入向绿色发展转型的阶段(曹靖和张文忠,2020)。大湾区目前农业用水以及工业用水比重较高,第三产业比重低于其他三大湾区的平均水平,人均用水量较高。产业结构理论中的“配第-克拉克定理”指出:随着经济的发展,人均



表 5 国际湾区经济、人口以及产业对比

Table 5 Comparison of economy, population and industry of international bay area

湾区	面积/万 km <sup>2</sup>	人口/万	GDP/万亿美元	人均GDP/万美元	第三产业占比/%	GDP 全国比重/%
东京湾区	3.68	4347	1.8	4.1	82.3	41
纽约湾区	1.74	2340	1.4	6.9	89.4	7.7
旧金山湾区	1.79	715	0.76	9.9	82.8	4.4
粤港澳大湾区	5.6	6671	1.36	2	62.2	10.8

注:据粤港澳大湾区水资源研究报告(2020)/水利水资源蓝皮书。

表 6 国际湾区水资源情况综合对比

Table 6 Comprehensive comparison of water resources in the international bay area

湾区	年降水量/mm	面积/km <sup>2</sup>	人口/万	供水量/亿 m <sup>3</sup>	人均用水量/m <sup>3</sup>	统计年份
粤港澳大湾区	2057.65	56448	7028.99	232.41	330.64	2018
旧金山湾区	412.11	17900	733.17	18.20	215.09	2015
东京湾区(东京都部分)	1638.00	1239	1340.13	15.41	114.99	2018
纽约湾区(纽约州)	—	141300	1937.81	35.27	181.99	2018

国民收入水平的提高,第一产业国民收入和劳动力的相对比重逐渐下降;第二产业国民收入和劳动力的相对比重上升,经济进一步发展,第三产业国民收入和劳动力的相对比重也开始上升(魏作磊, 2004)。

在 2.1 节社会经济特征分析以及表 5 世界各大湾区横向对比中可以发现,“配第-克拉克定理”不仅可以从一个国家或地区经济发展的时间序列分析中得到印证,而且还可以从处于不同发展水平国家和地区在同一时点上的横向对比中得到类似的验证。据美国地质调查局报告,1957 年旧金山人口为 256 万,年需水量 8.76 亿 m<sup>3</sup>,人均年需水量为 342.19 m<sup>3</sup>,其中农业灌溉占总用水量的 40% (Howard et al.,1957);而至 2015 年,人口上涨至 733.17 万,年需水量 18.2 亿 m<sup>3</sup>,人均需水量为 215.09 m<sup>3</sup>,农业灌溉占总用水量的 10% (ANNUAL SURVEY 2018-2019)。旧金山湾区人均用水量的下降与产业结构优化,用水效率提升有关。同时,从 4.4 节的趋势分析中可以看出,大湾区的珠三角 9 市国民经济水平在提高,第三产业比重持续增长向更高的经济水平发展。未来大湾区将发展为经济水平更高,第三产业比重更高,产业结构更优良的世界级湾区。随着产业结构的优化及工业用水效率的下降,人均用水量会逐步下降;同时城市公共用水以及生活用水需求量及比重将持续攀升,城市淡水需求量的持续攀升,将导致大湾区对供水设施、供水水质、供水量以及供水安全的要求上升。

## 6 结 论

综上,本次研究得出以下几点结论:

(1) 目前大湾区水资源区域分布不均且供水结构单一,与区域经济发展不协调。澳门、香港、深圳、东莞、广州、中山以及佛山,水资源供需紧张。国民经济较为发达的佛山、中山、广州(>80%)以及深圳(>40%)水资源开发程度高。

(2) 大湾区的社会经济特征与水资源开发利用现状有协同关系:产业结构影响大湾区的用水结构以及水资源开发利用程度,控制用水效率。其中工业用水量比重越大,水资源开发利用程度越高。第三产业的比重越高,万元 GDP 用水量越小,用水效率越高。

(3) 大湾区人均用水量在世界四大湾区最高,这与其目前产业结构中第一产业与第二产业占比较高,而第三产业占比(60%)较低有关。

(4) 近 10 年珠三角九市产业结构优化明显,农业用水量与工业用水量呈下降趋势,但城市公共用水量以及生活用水量持续攀升,需要确保供水设施、供水水质以及供水安全满足大湾区未来社会发展需求。

## References

- An Xindai. 2007. Current status of management and regulation of the Yellow River water resources and future prospect[J]. China Water Resources,13:16-19. (in Chinese with English abstract).  
Annual Survey FY 2018-2019. Bay Area Water Supply and

- Conservation Agency.
- Cao Jing, Zhang Wenzhong. 2020. Evolution and synergy of urban construction land and economic growth patterns in Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area [J]. *Economic Geography*, 40(2): 52–60 (in Chinese with English abstract).
- Cao Jing, Zhang Wenzhong. 2020. The influence of urban innovation input on green economy efficiency in different periods: A case study of the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area[J]. *Geographical Research*, 39(9): 1987–1999 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jianjun, Huang Jie. 2020. A research on the high– quality development of regional economy in the past 70 years since the founding of the P.R.C.[J]. *Journal of Anhui University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 4: 144–156(in Chinese with English abstract).
- Feng Shangyou. 2000. *Introduction to Sustainable Use and Management of Water Resources* [M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Gao Zhen, Huang Bensheng, Qiu Jing, Tan Chao, Liu Da, Ji Hongxiang, Zhang Zhilin. 2020. Research on the water security issues and suggestions in Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area[J]. *China Water Resources*, 893(11): 22–25.
- Guo Haipeng, Zhang Zuoqin, Cheng Guoming, Li Wenpeng, Li Tiefeng & Jiao Jiu Jimmy. 2015. Groundwater– derived land subsidence in the North China Plain[J]. *Environmental Earth Sciences*, 74(2): 1415–1427.
- Howard Frederick Matthai, William Back R P. Orth. 1957. *Water Resources of the San Francisco Bay area, California*.
- Li Junfei, Yang Leisan, Meng Fansong. 2019. Discussion on water problems of Guangdong– Hong Kong– Macao Greater Bay Area [J]. *China Water & Wastewater*, 494(18): 21–25(in Chinese with English abstract).
- Liu Chang, Lin Shenhui, Jiao Xueyao, Shen Xiaoxue, Li Ruili. 2019. Problems and treatment countermeasures of water environment in Guangdong– Hong Kong– Macao Greater Bay Area[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 55(6): 1085–1096.
- Lu Yaoru. 2014. Build ecological civilization and protect groundwater resources to promote sustainable development and utilization [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 35(2): 129–130(in Chinese with English abstract).
- Qin Chenglin, Liu Liling, Qin Wenhao. 2017. On the development strategy of the urban agglomeration in the Guangdong– Hong Kong–Macao Greater Bay Area[J]. *Regional Economic Review*, 5: 113–118(in Chinese with English abstract).
- Ren Chongfeng, Guo Ping, Li Mo, Li Ruihuan. 2016. An innovative method for water resources carrying capacity – metabolic theory of regional water resources[J]. *J. Environ. Manag.*, 167: 139–146.
- Varis Olli, Vakkilainen Pertti. 2001. China's 8 challenges to water resources management in the first quarter of the 21st century[J]. *Geomorphology*, 41(2/3): 93–104.
- Vorosmarty Charles J, Green Pamela, Salisbury, Lammers B Richard. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth[J]. *Science*, 289: 284–288.
- Wang Hao, Wang Jianhua, Qin Dayong, Chen Chuanyou, Jiang Dong, Yao Zhijun. 2002. The study on water resources assessment and subject system of water resources study on modern times [J]. *Advance in Earth Sciences*, (1): 13–18(in Chinese with English abstract).
- Wen Qi, Liu Yansui, Ding Jinmei, Chen Feng. 2008. Water resources pressure and ecosystem health in Yinchuan City [J]. *Resources Science*, (2): 89–95(in Chinese with English abstract).
- Wei Zuolei. 2004. Empirical analysis of the tertiary industry development driving employment in China[J]. *Finance & Trade Economics*,(3): 80–85 (in Chinese).
- Wu Aimin, Jin Jihong, Song Bo. 2016. Water safety issues of China and ensuring roles of groundwater [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 90(10): 2939–2947 (in Chinese with English abstract).
- Wu Bin, Wang Sai, Wang Wenxiang, An Yonghui. 2019. Impact of future climate change on water resources in the arid regions of Northwest China based on surface water– groundwater coupling model: A case study of the middle reaches of the Heihe River [J]. *Geology in China*, 46(2): 157–168(in Chinese with English abstract).
- Xia Jun, Shi Wei, Luo Xiping, Hong Si, Ning Like, Christopher J Gippel. 2015. Revisions on water resources vulnerability and adaption measures under climate change[J]. *Advances in Water Science*, 26(2): 279–286 (in Chinese with English abstract).
- Yang Dawen, Li Chong, Hu Heping, Lei Zhidong, Yang Shixiu, Kusuda Tetsuya, Koike Toshio, Musiaki Katumi. 2004. Analysis of water resources variability in the Yellow River of China during the last half century using historical data[J]. *Water Resources Research*, 40(6): 308–322.
- Zhang Jiexuan, Li ming. 2016. Study on environmental pollution control in Guangdong Province[J]. *Resources Economization & Environmental Protection*, (7): 147–147(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qiliang. 2014. High income country (region) measurement standard and related concept[J]. *China Statistics*, (12): 28–30(in Chinese).
- Zhu Peng, Lu Chunxia, Zhang Lei, Cheng Xiaoling. 2008. Variability of water resource in the Yellow River Basin of past 50 years, China[J]. *Water Resources Management*, 23(6): 1157–1170.
- Zhu P, Lu C, Cheng Z X. 2009. Urban fresh water resources consumption of China[J]. *Chinese Geographical Science*, 19(3): 219–224.

## 附中文参考文献

安新代. 2007. 黄河水资源管理调度现状与展望[J]. *中国水利*, 13:

- 16-19.
- 曹靖,张文忠. 2020. 不同时期城市创新投入对绿色经济效率的影响——以粤港澳大湾区为例[J]. 地理研究,39(09):1987-1999.
- 曹靖,张文忠. 2020. 粤港澳大湾区城市建设用地和经济规模增长格局演变及协同关系[J]. 经济地理,40(2):52-60.
- 陈建军,黄洁. 2020. 新中国区域经济发展70年:走向高质量发展之路[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版),4:144-156.
- 冯尚友. 2000. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京:科学出版社.
- 高真,黄本胜,邱静,谭超,刘达,吉红香,张之琳. 2020. 粤港澳大湾区水安全保障存在的问题及对策研究[J]. 中国水利,893(11):22-25.
- 李骏飞,杨磊三,孟凡松. 2019. 粤港澳大湾区面临的水问题探析[J]. 中国给水排水,494(18):21-25.
- 刘畅,林绅辉,焦学尧,沈小雪,李瑞利. 2019. 粤港澳大湾区水环境状况分析及治理对策初探[J]. 北京大学学报(自然科学版),55(6):1085-1096.
- 卢耀如. 2014. 建设生态文明保护地下水资源促进可持续开发利用(代序)[J]. 地球学报,35(2):129-130.
- 覃成林,刘丽玲,覃文昊. 2017. 粤港澳大湾区城市群发展战略思考[J]. 区域经济评论,(5):113-118.
- 王浩,王建华,秦大庸,陈传友,江东,姚洽君. 2002. 现代水资源评价及水资源学学科体系研究[J]. 地球科学进展,17(1):12-17.
- 魏作磊. 2004. 对第三产业发展带动我国就业的实证分析[J]. 财贸经济,(3):80-85.
- 文琦,刘彦随,丁金梅,陈锋. 2008. 银川市水资源胁迫与生态系统健康状况研究[J]. 资源科学,30(2):247-252.
- 吴爱民,荆继红,宋博. 2016. 略论中国水安全问题与地下水的保障作用[J]. 地质学报,90(10):2939-2947.
- 吴斌,王赛,王文祥,安永会. 2019. 基于地表水-地下水耦合模型的未来气候变化对西北干旱区水资源影响研究——以黑河中游为例[J]. 中国地质,46(2):157-168.
- 夏军,石卫,雒新萍,洪思,宁理科,Christopher J Gippel. 2015. 气候变化下水资源脆弱性的适应性管理新认识[J]. 水科学进展,26(2):279-286.
- 夏军,翟金良,占车生. 2011. 我国水资源研究与发展的若干思考[J]. 地球科学进展,26(9):905-915.
- 张捷旋,李明. 2016. 广东省环境污染治理问题研究[J]. 资源节约与环保,(7):147-147.
- 张启良. 2014. 高收入国家(地区)的衡量标准及其相关概念[J]. 中国统计,(12):28-30.

## 废弃矿坑修复利用的典范——上海市松江区佘山世茂深坑酒店简介

该深坑酒店位于上海市佘山脚下。深坑是人工采石遗迹,经过几十年的采石,将原来地面上的小山采完后,一直向地面以下挖至近70余米,深坑面积近36800 m<sup>2</sup>,围岩由侏罗纪安山岩组成。深坑是一个历史遗留的“伤疤”,1999年上海市矿产局停止核发采矿许可证之后,该采石场随之关闭,后由世茂集团取得土地开发权。酒店于2008年动工,2018年完成施工并营业,是世界首个建造在废石坑内的自然生态酒店,也是世界上海拔最低的五星级酒店,被誉为“地质坑五星酒店”。酒店建筑共18层400间客房,顶部两层为空中花园,底部两层为水下世界,所有酒店客房都设置有退台的走廊和阳台作为“空中花园”,可以近距离观赏对面百米飞瀑和横山景致。

(中国地质调查局南京地质调查中心 姜月华 供稿)