

海岛型城市水资源利用及其承载力对比研究

赵颖辉^{1,2}, 郭雪莽¹, 高永胜¹, 沈 燕¹, 安 如²

(1. 浙江同济科技职业学院, 浙江 杭州 311231; 2. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:以新加坡、香港、厦门、舟山为例,根据国民经济和社会发展指标、用水总量及用水量构成、产业用水量、人口经济规模与水资源承载力等相关数据和指标,对水资源利用管理进行分析和对比,对远期水资源利用及其对经济发展的承载力进行预测;分析了海岛型城市与内陆型城市水资源利用的差异,对舟山群岛新区的水资源利用及承载力所面临的挑战提出了相应的对策和建议。

关键词:海岛型城市;水资源;承载力

中图分类号:TV211

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)06-0072-10

1 引言

海岛型城市由于天然地理位置特殊性以及独特的气候和地质特性,一般无过境客水,旱季雨季降雨量不平衡,源短流急,河流径流量受气候影响较大。因此,海岛型城市一般淡水资源匮乏,仅仅依靠大气降雨难以满足居民生活、工农业生产、服务业等对淡水资源的需求。同时,由于海岛型城市的人口聚集、产业发展特点,使之对淡水资源的需求存在持续性和平稳性,加剧了海岛水资源供需的不平衡。

一般来说,海岛型城市的水资源管理主要从“开源”和“节流”两个方面着手。“开源”主要靠海水淡化和外部引水调水,而“节流”主要从节约用水和废水资源化来提高有限水资源的使用率。修建水库、开采地下水、雨水收集和外部引水虽然可以向海岛补充淡水,但由于受气候、经济等因素的影响,只有具有相应条件的海岛才能采用。“节流”方面,不同的国家和城市往往根据自身水资源供求特点,实行多种多样的节约用水和废水资源化措施。

目前对于内陆及滨海城市水资源配置模型和水资源承载力^[1-4],海岛地区的水资源配置^[5-8],单个海岛型城市的水资源利用现状^[9-17]有相关研究。但针对典型

海岛型城市的特点进行水资源配置利用的对比分析未见报道。由于不同的海岛型城市的自然地理条件不同,各城市的水资源在数量上有其独特的时空分布规律,在质量上也有所差异,如地下水的矿化度、埋深条件等,水资源的开发利用程度及方式也会影响可以用来进行社会生产的可利用水资源的数量,进而决定该地区的水资源承载力^[18]。本文根据水资源状况、人口、国民经济和社会发展等相关数据,对新加坡、香港、厦门和舟山(以下简称四城市)的水资源利用管理数据进行对比分析,同时给出了当前一些新的技术措施,针对舟山市的水资源利用及承载力所面临的挑战提出了相应的对策和建议。

2 四城市水资源利用现状

2.1 新加坡

新加坡地处赤道,国土面积 710 km²,人口 540 万,年降雨量 2 400 mm,国内水资源总量约 6×10⁸m³,人均水资源占有量约 113m³,居世界倒数第二位。2011 年新加坡日平均用水量为 160×10⁴m³^[19-20]。新加坡的水资源主要靠雨水收集、淡水进口、海水淡化和污水再利用。

(1)雨水收集。针对本国降雨历时短、区域小、流

收稿日期:2014-07-25

基金项目:浙江省科技计划软科学研究项目:舟山群岛新区水资源供求趋势及安全保障体系研究(2014C35077);浙江省自然科学基金项目:基于遥感的滩涂围垦区水环境状况调查与补偿机制研究(LY12E09009);浙江省水利专项课题:舟山群岛新区产业模式与水资源承载力评价(201263);浙江省哲学社会科学规划课题:“五水共治”背景下水资源管理体系建构研究(14SWH21YB)

作者简介:赵颖辉(1982-),女,河南洛阳人,副教授,博士生,研究方向为水文水资源遥感应用。E-mail: zhaoyinghuihust@163.com

量大的特征,新加坡建立了总长超过7000km的雨水收集管道系统和15个蓄水池(库),集水区面积占全国总面积的2/3,集水区库容约 $1.5\times 10^8\text{m}^3$,可满足当地居民20%的用水需求。

(2)淡水进口。2009年新加坡每天从马来西亚进口约 $110\times 10^4\text{m}^3$ 原水,淡水进口占当时新加坡总用水量的40%左右。

(3)海水淡化。2013年新加坡每天可生产 $45.5\times 10^4\text{m}^3$ 左右的淡化水,占总需水量的25%。

(4)污水再利用,即“新生水(Newater)”。 “新生水”是从各种生活污水中通过废水回收、过滤、再生等净化措施提取出来的。2012年新生水的用水量为 $1.11\times 10^8\text{m}^3$,其中绝大部分的新生水用于新加坡的芯片工业,其余的新生水注入了水库。

在节水方面,新加坡十分重视节水器具的推广使用,从1983年开始强制实行延迟自动关闭水龙头,2009年开始强制使用WELS标签,洗衣机、水龙头、混水阀、双档低容量冲水箱等都必须贴上WELS标签,分0/1/2/3档标识产品的用水效率。家庭用水占到新加坡总用水量的50%左右,其中29%为淋浴用水,22%为厨房用水,19%为洗衣用水,16%为马桶用水,10%为盥洗用水,其它4%^[20]。新加坡的日人均用水量,已经从1995年的172L,下降到了2012年的153L,并预计在2030年下降至140L^[20]。

在用水管理方面,新加坡从2000年开始实施了更加严厉的水资源税,对于居民每月第一档 40m^3 的饮用水在1.17新元/ m^3 的基准上征收30%的水资源税(合计1.52新元/ m^3),超过 40m^3 的在1.40新元/ m^3 的基准上征收45%的水资源税(合计2.03新元/ m^3)。而在使

用循环水方面,住宅和非住宅的基准分别为0.3和0.6新元/ m^3 ,外加3新元的净化处理费^[20]。

2.2 香港

香港总面积 1104km^2 ,人口718万。受季风气候影响,香港年降雨量约2200mm,但年内分布极不均匀,雨季雨量占全年的80%左右。香港水资源总量约 $13\times 10^8\text{m}^3$,人均水资源量约 181m^3 ^[21-22]。香港境内多山少平地,自然湖泊和河流较少,缺乏建造大型水库的条件。同时,由于香港地质上多火山岩和花岗岩,地下水贫乏,如只靠本地水资源供水,难于满足经济社会发展。表1给出了2012年的香港水资源状况^[22]。

香港多年用水量比较稳定,住宅、服务业用水每年略有增加,而工业用水每年略有减少。表2给出了2007年和2011年的分类用水量数据^[22]。

2.3 厦门

厦门市总面积 1573.16km^2 ,其中厦门岛 141.09km^2 (含鼓浪屿),海域约 390km^2 ,2012年底常住人口367万。厦门属亚热带气候,多年平均降雨量1530mm(1956~2010年)。厦门市的控制目标是:用水总量到2015年、2020年和2030年,分别控制在 $8.15\times 10^8\text{m}^3$ 、 $9.34\times 10^8\text{m}^3$ 和 $11.34\times 10^8\text{m}^3$ 以内。表3给出了2011年和2012年厦门的用水数据,表4给出了2012年厦门人均用水量数据^[23-25]。

2.4 舟山

舟山地处杭州湾外缘的东海洋面上,有1390个岛屿,陆地面积 1440.12km^2 (包括滩涂面积 183.19km^2),2012年底常住人口114万,人均水资源拥有量 700m^3 左右,是一个资源型缺水地区。舟山降雨集中,岛屿众多,河流短且分散,洪水径流量大,河流源短流

表1 2012年香港水资源状况
Table1 Situation of the water resources in Hong Kong (2012)

	海湾供水 水库/个	淡水湖 /个	滤水厂 /个	抽水站 /个	配水库 /座	供水管道 /km	饮水渠道 隧道/km	水塘水库 蓄水量/ 10^6m^3	本地水塘 水库供水/%	东深 供水/%	海水冲刷 / 10^6m^3
数量	1	1	18	139	163	4600	300	5.86	25	70	2.4

表2 2007年和2011年香港用水量分类百分比
Table2 Percentage contribution of water consumptions in Hong Kong (2007 and 2011)

	住宅用水	服务业及 商业用水	公厕	工业用水	免费供水	建筑及 船舶用水	合计	总用水量/ 10^8m^3
2007	53.5%	25.4%	8.5%	6.7%	4.6%	1.3%	100%	9.51
2011	54.1%	25.6%	8%	6.3%	4.5%	1.5%	100%	9.23

急,控制拦蓄能力不足,60%左右的降水以洪水形式流入大海^[26]。据舟山水资源公报数据,2000~2012年舟山多年平均水资源总量 $7.168\times 10^8\text{m}^3$,但年际变化较大,最丰年水资源量是最枯年的7倍以上^[26-27]。表5给出了2012年舟山的水资源利用状况^[26-27]。

从舟山市的实际情况看,虽然用水总量呈不断上升的态势,但是这些年随着产业结构的优化、节水技术的推广、节水政策的完善,用水效率呈现着逐渐提高的趋势,万元生产总值实际用水量逐渐下降。从水资源供求平衡分析来看,考虑大陆引水及海水淡化工程供水能力的补充,目前基本能够保证水资源供应^[26]。但是,从横向对比来看,舟山的水资源利用效率,尤其是节水方面,同新加坡、香港等地还存在较大差距。

3 四城市水资源利用对比分析

3.1 数据及约定

(1)地理、经济、社会指标及用水量。根据新加坡统计署、新加坡公用事业局、香港统计署、香港水务署、厦门市政府、厦门市水利局、福建省水利厅、舟山市政府、舟山市水利局发布的年度统计数据和报告,提取经济社会发展指标和水资源利用数据进行比较研究。

新加坡公用事业局公布的用水数据分为住宅和非

住宅两部分,因此,将此两部分数据之和作为当年总的用水量。人口数据若未说明,新加坡为总法定人口数,厦门、舟山为常住人口数,香港为特区政府年中发布的居港人口数(常住居民与流动居民之和)。

(2)货币及汇率。根据中国银行发布的历年当时人民币汇率进行美元、新加坡元、港元和人民币之间的换算。如未特别说明,货币币种为人民币。

(3)单位。用水量/供水量为 m^3 或L。

(4)历时。各数据一般为2001~2013年四城市的相关数据,部分城市的部分数据超出该时间段或在该时间段中的部分或全部时段无数据或在本文发表时尚无法公开获取。

(5)GDP。历年国内(或地区)生产总值数据中未剔除通货膨胀因素,且均为当时币值计算。

(6)其它。计算香港的住宅人均用水量时,不包含海水冲厕。另外,厦门由于2008~2010年行政区划调整,导致统计数据变动较大。

3.2 经济发展指标

根据四城市2001~2013年间的人口数据、国内生产总值(GDP)和人均GDP数据可以得到各地的经济发展指标。从人均GDP数据(见图1)可以看出,厦门和舟山比较接近,且基本处于线性增加趋势。虽然香

表3 2011年和2012年厦门用水量(10^8m^3)
Table3 Water consumptions of Xiamen in 2011 and 2012 (10^8m^3)

	地表 水资源量	地下 水资源量	水资源 总量	年供 用水量	地表水 供水量	第一产业 用水	第二产业 用水	第三产业 用水	城镇居民 用水量	农村居民 用水量	生态环境 用水量
2011年	9.185	1.928	9.379	5.9764	5.4346	1.759	1.5731	1.0553	1.5484	0.2407	0.075
2012年			12.254	6.0182		1.5256					

表4 2012年厦门人均用水量
Table4 Water consumptions per capita of Xiamen (2012)

	人均综合年用水量/ m^3	城镇人均生活日用水量/L	农村人均生活日用水量/L
以户籍人口计算	315	275	181
以常住人口计算	164	134	133

表5 2012年舟山水资源量及其分类用水量百分比
Table5 The amount of water resources and percentage contribution of water consumption of Zhoushan in 2012

水资源总量 $/10^8\text{m}^3$	总供水量 $/10^8\text{m}^3$	地表水 供水量 $/10^8\text{m}^3$	地下水源 供水量 $/10^8\text{m}^3$	其他水源 供水量 $/10^8\text{m}^3$	工业 用水 /%	居民生活 用水 /%	城镇公共 用水 /%	农田灌溉 用水量 /%	生态 用水量 /%	林牧渔畜 用水量 /%
13.046	1.4396	1.2968	0.0052	0.1376	39	27	14	11	5	4

港人均 GDP 增长较缓慢,新加坡的人均 GDP 波动最大,但新加坡和香港的人均 GDP 均远远大于厦门和舟山。

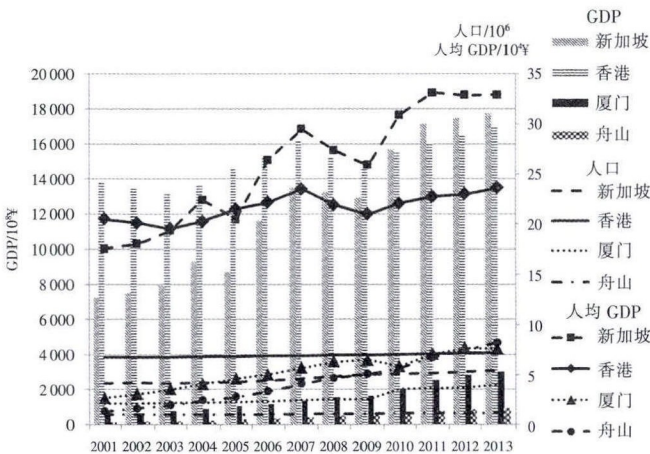


图1 四城市 2001~2013 年人口及 GDP 和人均 GDP
Fig.1 The Population, GDP, and Per capita GDP of the four cities (2001~2013)

3.3 用水量

图 2、图 3 分别给出了四城市 2001~2012 年间的总用水量及万元 GDP 用水量、人均年用水量和家庭日均用水量。从总用水量上看,香港由于人口最多,因而总量最大,舟山由于人口最少,而总用水量最少。然而,虽然厦门的人口数小于新加坡,但由于产业结构原因,总用水量仍大于新加坡。且厦门的波动最大,香港、新加坡和舟山的用水量较平稳,波动不大。

从万元 GDP 用水量上可以看出,厦门和舟山的万元 GDP 用水量远远大于新加坡和香港,但一直处于下降阶段,且下降趋势越来越缓慢。而新加坡和香港由于

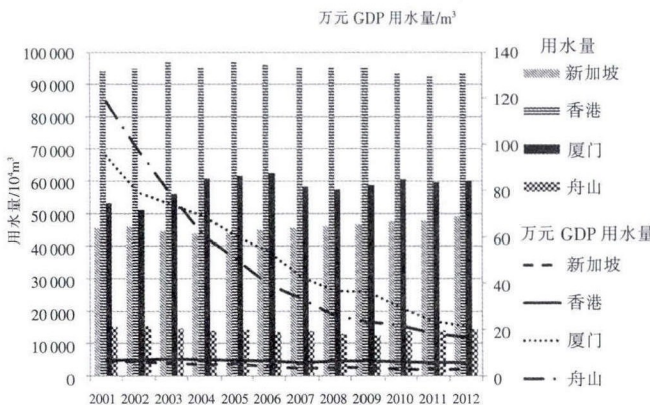


图2 四城市 2001~2012 年间的总用水量和万元 GDP 用水量
Fig.2 The total and per ten thousand Yuan GDP water consumption of the four cities (2001~2012)

是高度发达的经济体,万元 GDP 用水量十分稳定。这主要是由于新加坡和香港都是以服务业为主,而厦门和舟山则是以工农业为主,服务业所占比重不大。

例如,香港经济高度发达,为全球最自由的经济体,亚洲最具竞争力的经济体,同时也是全球服务业主导程度最高的经济体,服务业占 GDP 90%以上,而服务业的万元 GDP 用水量远低于工业和农业。2011 年四大支柱产业及其 GDP 占比分别为:贸易及物流业 (25.5%)、金融业 (16.1%)、专业服务及其他生产性服务 (12.4%)、旅游业 (4.5%)^[21]。因此,可以看出,在水资源总体缺乏地区,大力发展服务业,可以有效降低万元 GDP 用水量。

从图 3 可以看出,四城市人均用水量均呈现总体下降趋势,但厦门受行政区划调整的影响下降趋势最为明显,香港、新加坡和舟山的人均用水量则下降较缓慢。这主要是由于香港、新加坡和舟山的年人均用水量已经处于较低的水平,节水空间有限。从图 3 的居民家庭日人均用水量可以看出,香港的家庭日人均用水量比较稳定,约 200L,新加坡其次,约 150~165L,低于世界平均水平的 170L。厦门和舟山的居民家庭日人均用水量波动较大。需要指出的是,由于厦门和舟山均有大量的农村人口,城市化水平较低,使得其数值小于新加坡和香港。厦门在 2009 年及以前的家庭日人均用水量高于新加坡,之后开始大幅下降(行政区划调整导致部分数据统计口径不同),目前处于 134L 的水平。

3.4 用水量构成

图 4、图 5、图 6 分别给出了香港 2001~2011 年、舟山 2002~2012 年和厦门 2005~2013 年的用水量构

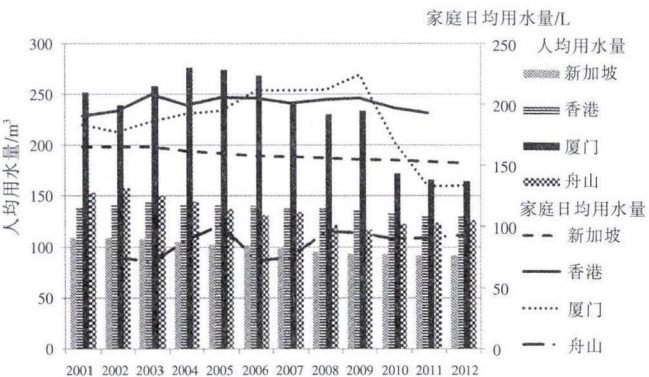


图3 四城市 2001~2012 年人均用水量及家庭日人均用水量
Fig.3 The per capita and daily family average water consumption of the four cities (2001~2012)

成(注:此处缺少新加坡的相关分类统计数据)。由于厦门不同年份统计数据分类存在差异,为方便比较,此处将 2005~2010 年的城镇生活和农村生活用水合并,将 2011 年的城镇公共和农村生活用水量合并,对应于 2012~2013 年的城镇公共和居民生活用水量之和,计为城镇公共及城乡用水。将 2012~2013 年的林牧副渔和生态环境用水合并,计为其它用水,以便对应于 2005~2011 年的其它用水。

从图 4 可以看出,香港的居民住宅用水和服务业商业用水始终占据用水量的第一二位,且各种用水量比较稳定,居民住宅用水缓慢增长,而工业用水逐年缓慢下降。香港的居民住宅用水超过总用水量的 50% (多年平均值为 53%),其次是服务业商业用水,占总用水量的第二位(多年平均值为 25%),其它多年平均值为:工业 7%,海水临时冲厕 8%,免费供水 5%,建筑船舶 2%。

从图 5 可以看出,舟山的工业、农业和居民住宅用水波动较大。其中农业用水逐年大幅度下降,工业和居民住宅用水总体不断上升,服务业商业用水总体基本呈线性增加趋势。由于产业结构的差异,舟山的各种用水量百分比(多年平均值)如下:工业 33%,农业 32%,居民住宅用水 24%,服务业 8%,建筑业 1%,免费用水 2%。工业和农业用水占总用水的 65%,加上居民住宅用水,占总用水量的 89%。

从图 6 可以看出,厦门的城镇公共及城乡用水多年平均值为 $2.36 \times 10^8 \text{m}^3$,占比最大,且逐年上升;其次是工业用水,多年平均值为 $1.792 \times 10^8 \text{m}^3$,2008 年之前处于逐年上升趋势,之后呈整体下降趋势;农业灌溉用水处于持续下降趋势;其它用水量较少,处于缓慢下降趋势。厦门城镇公共及城乡居民用水多年占比为 37.86%;工业用水在 2008 年之前基本处于总用水量的 32%左右,此后逐年缓慢下降至 2013 年的 25.32%;农田灌溉用水占比持续下降,从 2005 年的 36.22%下降到 2013 年的 20.81%。

从图 4、图 5 的对比可以看出,虽然同为典型的海岛型城市,但由于香港和舟山的产业构成差异较大,造成其用水构成也呈现较大差异,且变化趋势也不相同。厦门和舟山的居民用水、农业用水在总用水量的构成和多年变化趋势上均比较接近,居民用水都处于增加趋势,农业用水都处于下降趋势,但舟山的农业用水下降速度较大,厦门则较缓慢。不同的是,舟山由于最近大力发展工业,其工业用水处于较快增长趋势,而厦门

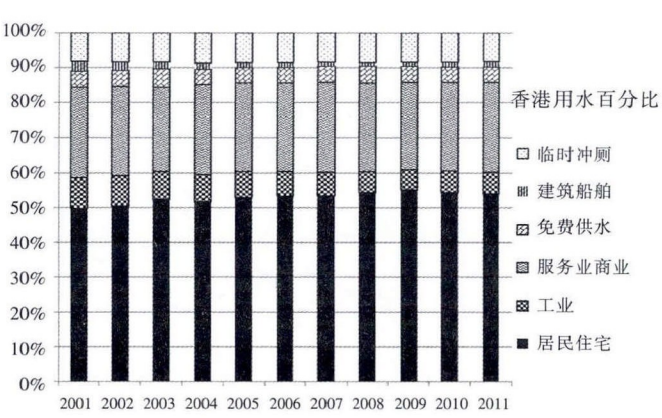


图 4 图 4 香港 2001~2011 年行业用水量百分比构成

Fig.4 The percentage contribution of the water consumption of different industries in Hong Kong (2001~2011)

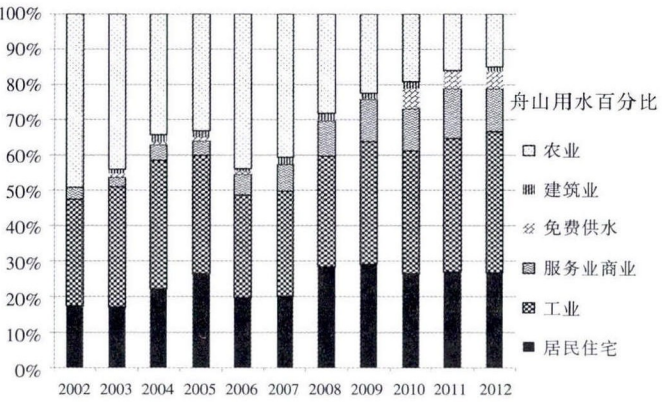


图 5 舟山 2002~2012 年行业用水量百分比

Fig.5 The percentage contribution of the water consumption of different industries in Zhoushan (2002~2012)

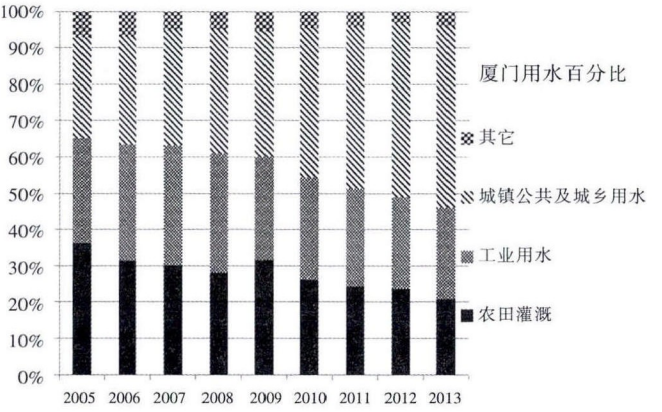


图 6 厦门 2005~2013 年行业用水量百分比

Fig.6 The percentage contribution of the annual water consumption of different industries in Xiamen(2005~2013)

的工业用水在 2008 年后虽有所波动和反弹,但总体处于下降趋势。

3.5 产业用水量差异

根据香港 2001~2011 年、舟山 2001~2012 年、新加坡 1999~2013 年和厦门 2000~2013 年的 GDP 中主要产业构成数据可知:香港的服务业产值占总 GDP 的比重超过 90%(多年平均值为 91%),工业占 GDP 比重多年平均值为 6%,且逐年下降。建筑业占 GDP 比重为 4%,农业渔业占 GDP 比重不足 0.1%。舟山的服务业产值占总 GDP 的比重约 45%(多年平均值),工业占 GDP 比重多年平均值为 41%,且比重比较稳定。农业渔业占 GDP 比重多年平均值为 14%,但处于持续下降趋势,目前已不足 10%。

新加坡服务业(零售业、商业服务业、金融保险业、交通业、其它服务业之和)占总 GDP 的比重超过 70%(多年平均值为 71.61%),生产工业(制造业和建筑业之和,未包含公用事业)占 GDP 的比重从 2000 年的 33% 持续下降到 2013 年的 23.7%(多年平均值为 28.39%)。虽然新加坡的服务业占 GDP 的比重小于香港,而制造业占 GDP 的比重大于香港,但由于新加坡执行严格的水资源管理制度,使得新加坡近几年虽然 GDP 总量已经超过香港,但其总用水量和万元 GDP 用水量仍小于香港,厦门的第一、二、三产业的 GDP 构成较稳定,故其用水量也较稳定(用水量见图 2)。

图 7、图 8 分别给出了香港 2001~2011 年和舟山 2001~2012 年的各产业万元 GDP 用水量(缺少厦门与新加坡的相关数据。)从图 7 可以看出,香港的服务业万元 GDP 的用水量约 2 m^3 (多年平均值为 1.8 m^3),且逐年缓慢下降。工业万元 GDP 多年平均用水量为 8.7 m^3 。建筑业万元 GDP 用水量已从 5 m^3 持续下降到 2 m^3 左右。从图 8 可以看出,舟山的工业、农业、服务业的万元 GDP 用水量虽然连年持续下降,但其绝对值仍远远高于香港的对应产业。如目前舟山服务业万元 GDP 用水量为 6 m^3 ,工业万元 GDP 用水量目前约为 17 m^3 ,农业万元 GDP 用水量目前约为 29 m^3 。舟山目前的工业、农业、服务业的万元 GDP 用水量都有较大的下降空间。同时,通过调整产业结构,加大服务业比重,可以进一步降低城市总用水量及万元 GDP 用水量。

3.6 人口经济规模与水资源承载力

图 9 给出了香港 2014~2030 年间的预测 GDP、人口及用水量,其中 GDP 根据历史数据做简单线性预测(以多年平均增长率 3% 计,未扣除通货膨胀率),人口预测来源于香港政府统计署,用水量数据来自于香港水务署的预测。根据该预测值,2030 年香港人口为 812

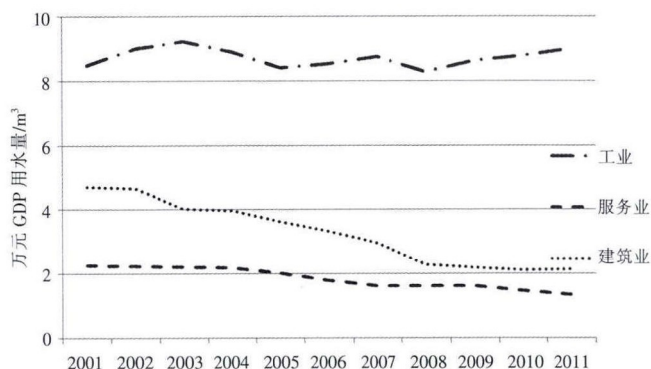


图 7 香港 2001~2011 年各产业万元 GDP 用水量

Fig.7 The per ten thousand Yuan GDP water consumption of different industries in Hong Kong (2001~2011)

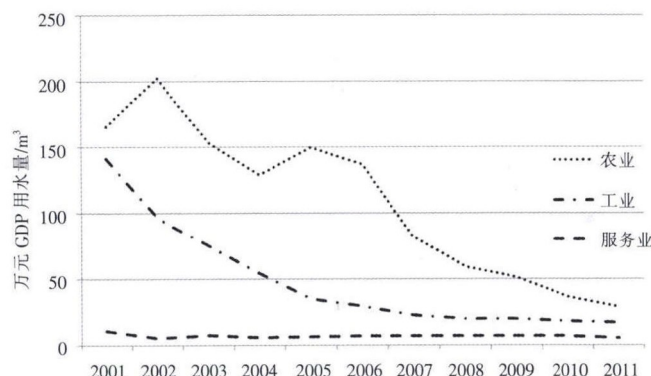


图 8 舟山 2001~2012 年各产业万元 GDP 用水量

Fig.8 The per ten thousand Yuan GDP water consumption of different industries in Zhoushan (2001~2012)

万, GDP 为 3.6 万亿港元,用水量为 $12.2 \times 10^8\text{ m}^3$,万元 GDP 用水量为 3.4 m^3 。根据东深供水工程三期的设计容量($11 \times 10^8\text{ m}^3$ 原水供港),加上香港本地水塘,在正常年份完全可以保证香港 2030 年的供水平衡,确保香港的经济水平。

图 10 给出了新加坡 2014~2030 年间的预测 GDP、人口及用水量,其中 GDP 根据历史数据做简单线性预测(以多年平均增长率 3% 计,未扣除通货膨胀率),人口预测来源于新加坡统计署,用水量数据来自于新加坡公用事业局的预测。根据该预测值,2030 年新加坡人口为 690 万, GDP 为 4 700 亿美元,用水量为 $5.4 \times 10^8\text{ m}^3$ 。根据目前的新加坡马来西亚之间的输水管道容量和“新生水”的产能,可以满足未来的用水量。

图 11 给出了舟山 2014~2030 年间的预测 GDP、人口及用水量,其中 GDP 值根据舟山市经济发展规划

(年增长率 15%,即 2020 年达到 2 500 亿元,2030 年达到 1 万亿元;年增长率 10%,2020 年达到 1 800 亿元,2030 年达到 5 000 亿元;年增长率 8%,即 2020 年达到 1 600 亿元,2030 年达到 3 500 亿元),人口预测来源于舟山市规划 (2020 年人口 130 万,2030 年 145 万),用水量数据来自于工业、农业、服务业当前的发展速度。根据该预测,2030 年舟山人口为 145 万,用水量为 $4.4\times 10^8\text{m}^3$ (含已规划建设的六横煤电、石油炼化、冶金、临港重型装备等用水量较大的产业项目,年需水量 $0.4\times 10^8\text{m}^3$)。考虑到目前舟山市的供水能力,保证较高的用水保证率有一定难度。随着舟山市在港口航运、船舶工业、海洋渔业、海洋旅游等领域的经济发展和人口增长,工业、农业、旅游业、生活用水不断增加,淡水资源缺乏可能限制产业和人口的大规模集聚。

3.7 海岛型城市与内陆城市水资源利用的差异

海岛型城市的水资源开发利用受岛上社会经济发展水平、地质地貌特征、水资源条件、科技水平等多方面因素制约,必须因地制宜,创新性的进行水资源开发利用,提高海岛型城市的供水能力,以支撑城市的经济和社会的发展。和内陆城市相比,海岛型城市在水资源利用方面具有以下特点:

(1) 海岛型城市自然生态环境一般优于内陆城市,土地、森林、草地等自然条件及地下水与地表涵蓄水量能力较好,较易满足生态环境用水需求。而部分内陆城市由于干旱导致水资源短缺和生态环境极其脆弱,水资源利用需要兼顾在某一整体承载水平下的生态状况及最终的人口密度指标,限制了当地的经济的发展、城市人口规模和城市化进程^[28-29]。

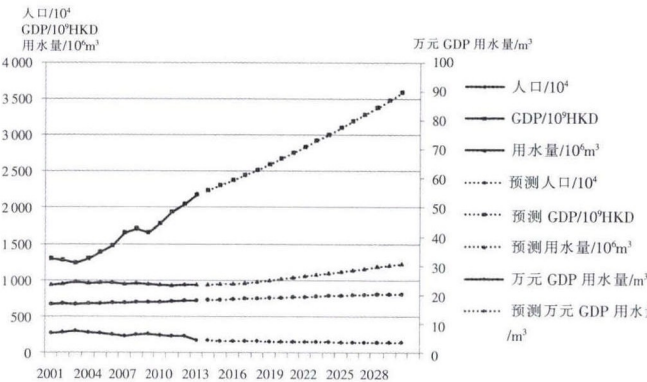


图9 香港 2014~2030 预测 GDP、人口及用水量
Fig.9 Prediction of GDP, population and water consumption in Hong Kong (2014~2030)

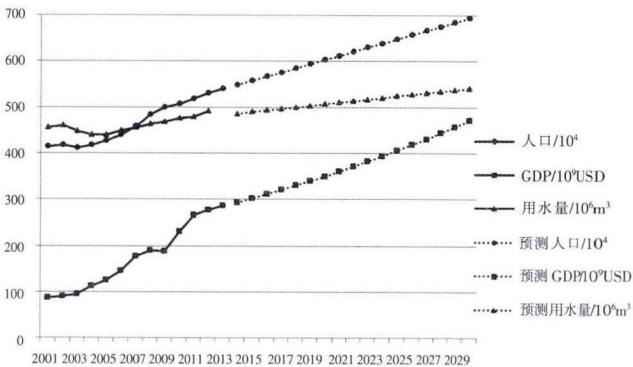


图10 新加坡 2014~2030 预测 GDP、人口及用水量
Fig.10 Prediction of GDP, population and water consumption in Singapore (2014~2030)

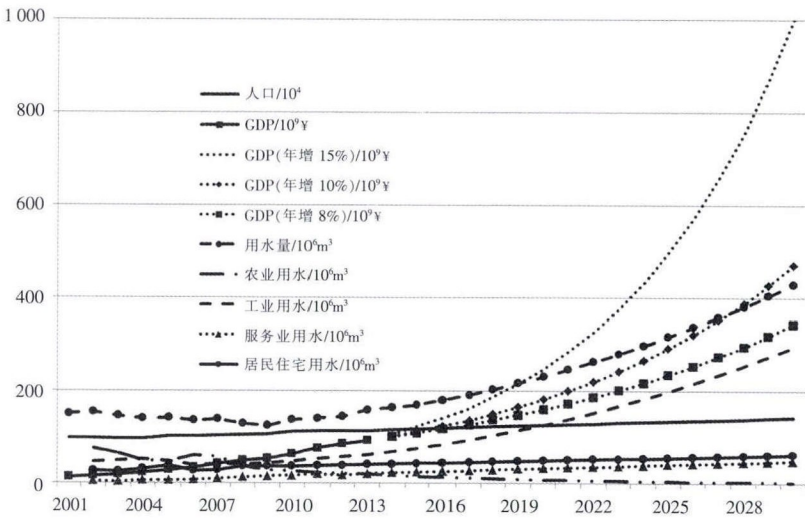


图 11 舟山 2014~2030 预测 GDP、人口及用水量
Fig.11 Prediction of GDP, population and water consumption in Zhoushan (2014~2030)

(2)海岛型城市降雨量较丰富,利于建设雨水收集系统。海岛地区降水量大且汇流速度快,如建立完备的雨水收集系统,可蓄积相当数量的淡水。例如目前舟山60%左右的降水以洪水形式直接流入大海,利用率不高。

(3)海岛型城市地形较复杂,不利于建设大型水资源利用工程(如水库、调水、引水工程等),不宜发展高耗水性工业。例如,舟山市规划建设六横煤电、石油炼化、冶金、临港重型装备等项目用水量巨大,可能影响未来的水资源保证率;或由于水资源缺乏,可能影响其建设后的工业规模和产值。魏斌^[30]等人研究发现,通过增加工业产值增长速度对提高水资源承载力作用相对较小,但降低万元产值用水量可提高水资源承载力。

(4)海岛型城市由于地理位置靠近海洋(或本身处于海洋中),水上交通成本低,易于发展服务贸易、旅游业、信息与通信技术等低耗水、高附加值的环境友好型产业。

(5)适宜发展海水淡化工业。据国外测算,当调水距离大于40 km时,调水成本将超过海水淡化。因此,在海岛型城市适当发展海水淡化,就近生产就近使用,是一种解决水资源短缺的较好方式。同时,随着技术进步,海水淡化的成本会进一步降低。例如,从1972~2012年,海水淡化的成本降低了约4倍^[31]。新加坡在海水淡化方面的成功经验,可供国内海岛型城市借鉴。以舟山为例,按照2001年《舟山市海水淡化和综合利用发展规划》的规划目标,2010年舟山全市海水淡化项目建设规模达到 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,按照开工率80%计算,预计可新增淡水资源 $4\,380 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;到2020年,全市海水淡化项目建设规模达到 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,按开工率80%计算,可新增淡水资源 $5\,840 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。实际上,截止到2011年海水淡化实际供水能力只有 $1\,268 \times 10^4 \text{ t/a}$,与规划目标有较大差距。因此,舟山市在海水淡化方面仍有较大潜力可挖。

(6)适宜普及海水冲厕。从前文可以看出,家庭生活用水占城市总用水量的比例很大,其中香港超过50%。因此,借鉴香港成熟的海水冲厕经验,逐步普及海水冲厕,可减少海岛型城市的总淡水需求量。

(7)由于海岛型城市天然的“滨海”、“孤岛”或“半岛”特点,非常适合发展港口自由贸易区或保税区(或金融自贸区、国际旅游岛免税区),以进一步缓解水资源紧缺的矛盾。新加坡、香港在国际金融贸易方面的发

展经验,值得国内的海岛型城市借鉴。

4 存在的挑战与启示

本文以新加坡、香港、厦门、舟山四个海岛型城市为例,根据当地的经济和社会发展指标、用水总量及用水量构成、分产业用水量分析、人口经济规模与水资源承载力等相关数据和指标,对四个城市的水资源利用管理模式进行了分析和对比,同时对其远期水资源利用及其对经济发展的承载力进行了预测。

海岛型城市由于地理位置特殊性和独特的气候、地质特性,仅依靠降雨难以满足淡水资源需求。因此,水资源利用必须考虑到社会经济发展、水环境污染、水资源需求、水价、水资源开发利用方式、水利工程布局、供水效益、生态环境、供需平衡等问题。在需求方面通过调整产业结构、发展节水型经济,抑制需水增长势头,以适应较为不利的水资源条件;在供给方面则需要协调各项竞争性用水,加强管理,并通过工程措施改变水资源的天然时空分布来适应产业布局。

同时,学习新加坡、香港等地的水资源利用与管理的先进理念、技术和制度,不仅可以作为国内海岛型城市水资源管理利用的参考,对一般城市来说,也具有一定的借鉴意义。例如,新加坡在水资源利用与节水公共教育、WELS节水设备强制认证、政府机构及学校对节水的践行、立体蔬菜种植、倡导节水生活方式等,都对国内城市具有普遍的参考价值。

舟山作为我国首个群岛新区,也是第一个以海洋经济为主题的国家级新区,地理区位、资源和产业等综合优势明显,但是淡水资源缺乏极可能成为制约当地经济社会发展的瓶颈。根据文献^[32]的研究,舟山市2020年在75%的保证率下可供水量为 $15\,420 \times 10^4 \text{ m}^3$,在90%的保证率下可供水量为 $12\,583 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。其中可供水量主要指常规供水量,部分计入引水工程供水量,未计入海水淡化供水量。目前,舟山市已建成的大陆引水一期工程年平均引水总量 $2\,160 \times 10^4 \text{ m}^3$,二期工程平均年引水量为 $6\,633 \times 10^4 \text{ m}^3$,规划中的大陆引水三期工程预计多年平均引水量为 $3\,200 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[33]。此外,规划的上海南汇-崂山引水工程预计可新增供水能力 $946 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。因此现状工况下大陆年平均调水能力 $8\,793 \times 10^4 \text{ m}^3$,规划工况下年平均供水能力 $12\,939 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。考虑舟山水资源开发利用规划及相关水利工程规模,给出舟山2020年供水能力预测:按

90%保证率计算, 现状工况下可供水量 $1.66 \times 10^8 \text{ m}^3$, 规划工况下可供水量 $2.47 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中本地水 $1.046 \times 10^8 \text{ m}^3$, 再生水 $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, 海水淡化 $0.32 \times 10^8 \text{ m}^3$, 大陆引水 $0.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据本文的预测, 2020 年舟山的年需水量约为 $2.31 \times 10^8 \text{ m}^3$, 因此, 规划工况下可满足 2020 年的供水需求。

目前, 舟山水资源供求主要存在以下问题: 首先, 近期和中长期供水需要依靠引水工程和海水淡化工程才能保障供应; 其次, 舟山市岛屿众多分散, 水资源地区之间不平衡, 用水结构不尽合理; 第三, 原水水质受到不同程度的污染, 水质安全问题凸现。针对舟山群岛新区近期和远期国民经济和社会发展目标, 为保障本地区社会经济可持续发展, 实现水资源承载力的最优化, 应开源节流并重, 建立和营造以资源紧缺意识为核心的水文化; 同时, 施行灵活务实的水政治, 大力调整产业结构和用水结构, 强化水资源管理和综合利用, 提高水资源利用效率; 加强科技节水, 通过增加雨水收集、污水回用和海水淡化, 促进人口、经济、资源和环境的协调发展, 逐步建成节水型社会, 增强对海洋经济发展的支撑保障作用。

参考文献:

- [1] 李庆航, 董增川, 付湘, 等. 城市水资源承载力评价研究[J]. 水力发电, 2008, 34(2): 1-4. (LI Qinghang, DONG Zengchuan, FU Xiang, et al. Comprehensive evaluation of the urban water resources carrying capacity [J]. Water Power, 2008, 34(2): 1-4. (in Chinese))
- [2] 薛小杰, 惠泱河, 黄强, 等. 城市水资源承载力及其实证研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 135-139. (XUE Xiaojie, HUI Yanghe, HUANG Qiang, et al. Research on city water resources capacity and its practical example [J]. Journal of Northwest Agricultural University, 2000, 28(6): 135-139. (in Chinese))
- [3] 王浩, 陈敏建, 何希吾, 等. 西北地区水资源合理配置与承载能力研究[J]. 中国水利, 2004, 22: 43-45. (WANG Hao, CHEN Minjian, HE Xiwu, et al. Water resources reasonable allocation and its carry capacity research in north-west China [J]. China Water Resources, 2004, 22: 43-45. (in Chinese))
- [4] 夏军, 唐青蔚. 西北地区水资源合理配置和承载能力分析[J]. 中国科学院院刊, 2005, 20(4): 288-292. (XIA Jun, TANG Qingwei. Water resources reasonable allocation and its carry capacity analysis in north-west China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2005, 20(4): 288-292. (in Chinese))
- [5] 严正. 海岛地区水资源合理配置及承载能力研究 [D]. 南京: 河海大学, 2008. (YAN Zheng. Water Resources Allocation and Carrying Capacity Research of Island Area [D]. Nanjing: Hohai University, 2008. (in Chinese))
- [6] 严正. 海南省水资源配置研究 [J]. 中国农村水利水电, 2008, (3): 32-35. (YAN Zheng. Water resources allocation of Hainan island [J]. China Rural Water and Hydropower, 2008, (3): 32-35. (in Chinese))
- [7] 楼东, 谷树忠, 朱兵见, 等. 海岛地区产业演替及资源基础分析—以舟山群岛为例[J]. 经济地理, 2005, 25(4): 483-487. (LOU Dong, GU Shuzhong, ZHU Bingjian, et al. Analysis on industrial succession and resource bases of islands area—Zhoushan archipelago as the case study [J]. Economic Geography, 2005, 25(4): 483-487. (in Chinese))
- [8] 陈松华. 海岛地区提高水资源保障能力对策探析—以舟山市为例[J]. 浙江水利科技, 2010, (1): 16-18. (CHEN Songhua. Countermeasures of improving water resource security in island area—Zhoushan as the case study [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2010, (1): 16-18. (in Chinese))
- [9] Cecilia Tortajada. Water management in Singapore [J]. Water Resources Development, 2006, 22(2): 227-240.
- [10] 刘立军, 赵红弟, 楼越平. 舟山岛水资源可持续利用方案分析[J]. 中国农村水利水电, 2007, 5: 11-13. (LIU Lijun, ZHAO Hongdi, LOU Yueping. Analysis of sustainable utilization of water resources of Zhoushan island [J]. China Rural Water and Hydropower, 2007, 5: 11-13. (in Chinese))
- [11] 陈新加. 厦门市水资源开发利用与对策[J]. 水文, 2001, 21(z1): 52-54. (CHEN Xinjia. Water resources utilization and countermeasures in Xiamen [J]. Hydrology, 2001, 21(z1): 52-54. (in Chinese))
- [12] 刘启明, 张晨岚, 林锦美, 等. 厦门城市水环境承载力综合指标体系评价 [J]. 华侨大学学报 (自然科学版), 2008, 29 (1): 94-96. (LIU Qiming, ZHANG Chenlan, LIN Jinmei, et al. The study of bearing capacity of water environment in Xiamen [J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science), 2008, 29 (1): 94-96. (in Chinese))
- [13] 龙应斌. 香港水资源开发调度策略及启示[J]. 中国农村水利水电, 2004, 6: 52-53. (LONG Yingbin. Scheduling strategies and its enlightenment of water resources development in Hongkong [J]. China Rural Water and Hydropower, 2004, 6: 52-53. (in Chinese))
- [14] 沈灿, 季冰. 香港水资源特征和供需水量平衡研究 [J]. 地理研究, 1997, 16(2): 11-20. (SHEN Can, JI Bing. The study of water resources features and the water demand and water supply [J]. Geographical Research, 1997, 16(2): 11-20. (in Chinese))
- [15] 张润润. 香港地区降水趋势及其演变过程分析[J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2010, 38(5): 505-510. (ZHANG Runrun. Trend and evolution of precipitation in Hong Kong [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2010, 38(5): 505-510. (in Chinese))
- [16] 屈强, 张雨山, 王静, 等. 新加坡水资源开发与海水利用技术[J]. 海洋开发与管理, 2008, 8: 41-45. (QU Qiang, ZHANG Yushan, WANG Jing, et al. Water resources development and seawater utilization technology in Singapore [J]. Ocean Development and Management, 2008, 8: 41-45. (in Chinese))
- [17] 陈安生. 对新加坡水资源管理的几点思考 [J]. 人民长江, 2009, 40 (14): 90-91. (CHEN Ansheng. Several thoughts on the water resources management in Singapore [J]. Yangtze River, 2009, 40 (14): 90-91. (in Chinese))

- [18] 李令跃,甘泓.试论水资源合理配置和承载能力概念与可持续发展之间的关系[J].水科学进展, 2000,11(3):307-313. (LI Lingyue, GAN Hong. Remark on the relationship between water resources rational allocation, carrying capacity and sustainable development [J]. Advances in Water Science, 2000,11(3):307-313. (in Chinese))
- [19] Yearbook of Statistics, Department of Statistics, Singapore (2005-2014) [EB/OL]. <http://www.singstat.gov.sg/Publications/reference.html>
- [20] Annual Report, Public Utility Bureau, Singapore (2007-2014) [EB/OL]. <http://www.pub.gov.sg/mpublications/Pages/AnnualReport.aspx>
- [21] Hong Kong Annual Digest of Statistics, Census and Statistics Department (1978-2013) [EB/OL]. <http://www.censtatd.gov.hk/hkstat/sub/sp140.jsp?productCode=B1010003>
- [22] Annual Report, Water Supplies Department, Hong Kong (1998-2012) [EB/OL]. http://www.wsd.gov.hk/en/publications_and_statistics/publications/list_of_wsd_publications/annual_report_archive/index.html
- [23] 厦门市水利局.厦门市水资源公报(1999-2013) [EB/OL]. http://sl.xm.gov.cn/slj_zfxxgk/slj_xgkml/slj_tjxx1/slj_szygb/. (Water Resources Department of Xiamen. Xiamen water resources bulletin(1999-2013) [EB/OL]. http://sl.xm.gov.cn/slj_zfxxgk/slj_xgkml/slj_tjxx1/slj_szygb/. (in Chinese))
- [24] 福建省水利厅.福建省水资源公报 (2004-2013) [EB/OL]. http://www.fjwater.gov.cn/templates/default_model.jspcolid=849. (Water Resources Department of Fujian Province. Fujian water resources bulletin(2004-2013) [R]. http://www.fjwater.gov.cn/templates/default_model.jspcolid=849. (in Chinese))
- [25] 厦门市统计局.厦门市国民经济和社会发展统计公报(2000-2013) [EB/OL]. <http://www.stats-xm.gov.cn/zfxxgk/zfxxgkml/tjsjzl/tjgb/index.htm>. (Xiamen Municipal Bureau of Statistics. Bulletin on national economy and social development of Xiamen (2000-2013) [EB/OL]. <http://www.stats-xm.gov.cn/zfxxgk/zfxxgkml/tjsjzl/tjgb/index.htm>. (in Chinese))
- [26] 舟山市发改委.舟山海洋综合开发试验区水资源开发利用研究[R]. 2010. (Zhoushan Development and Reform Commission. Study on the development and utilization of water resources of Zhoushan marine development experimental zone [R]. 2010. (in Chinese))
- [27] 浙江省水利厅.浙江省水资源公报 (2007-2012) [R]. (Water Resources Department of Zhejiang Province. Zhejiang water resources bulletin (2007-2012) [R]. (in Chinese))
- [28] 王浩,秦大庸,王建华,等.西北内陆干旱区水资源承载能力研究[J].自然资源学报, 2004,19(2):151-159. (WANG Hao, QIN Dayong, WANG Jianhua, et al. Study on carrying capacity of water resources in inland arid zone of northwest China [J]. Journal of Natural Resources, 2004,19(2):151-159. (in Chinese))
- [29] 王建华,江东,顾定法,等.基于SD模型的干旱区城市水资源承载力预测研究[J].地理学与国土研究, 1999,15(2):18-22. (WANG Jianhua, JIANG Dong, GU Dingfa, et al. SD Model based urban water resource carrying capacity prediction in arid areas [J]. Geography and Territorial Research, 1999,15(2):18-22. (in Chinese))
- [30] 魏斌,张霞.城市水资源合理利用分析与水资源承载力研究-以本溪市为例[J].城市环境与城市生态, 1995,8(4):19-24. (WEI Bin, ZHANG Xia. Study on rational use of urban water resources and water resources carrying capacity-Benxi city as an example [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 1995,8(4):19-24. (in Chinese))
- [31] Seawater Desalination Costs[EB/OL]. https://www.watereuse.org/sites/default/files/u8/WateReuse_Desal_Cost_White_Paper.pdf.
- [32] 舟山市水利围垦局.舟山市干旱灾害及减灾对策研究 [R]. 1995. (Zhoushan Municipal Bureau of Water Resources and Land Cultivation and Reclamation. Study on countermeasures against drought disasters in Zhoushan [R]. 1995. (in Chinese))
- [33] 舟山市水利水务围垦局.浙江舟山群岛新区水资源保护与开发利用总体规划. 2012 [EB/OL]. <http://www.zssl.gov.cn>. (Zhoushan Municipal Bureau of Water Conservancy Land Cultivation and Reclamation. Overall planning of water resources conservancies and development of the new Zhoushan islands, 2012[EB/OL]. <http://www.zssl.gov.cn>. (in Chinese))

Water Resources Management and Its Carrying Capacity: A Comparative Analysis of Four Island Cities

ZHAO Yinghui^{1,2}, GUO Xuemang¹, GAO Yongsheng¹, SHEN Yan¹, AN Ru²

(1. Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou 311231, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A comparative analysis of the water resources management and carrying capacity in Singapore, Hong Kong, Xiamen, and Zhoushan was conducted. The analysis consists of the respective regional characteristics, including population, economic and social development indicators, analysis of water consumption, water usage component and water resources carrying capacities. The long term utilization of water resources and carrying capacity were predicted and the corresponding countermeasures to the challenges of water resources utilization and management facing on Zhoushan Island Region were proposed.

Key words: island city; water resources; carrying capacity