

舟山市水资源分析评价

许红燕, 黄志珍

(浙江省水文局, 浙江 杭州 310009)

摘 要:在收集大量社会经济指标、水文气象、河流、水库、水质等资料的基础上,对舟山市的降水量、蒸发量、地表和地下水水量、可利用量及水质进行了分析与评价,为评估群岛新区海洋经济发展的水资源保障能力提供了科学依据。

关键词:水资源;分析评价;舟山市;群岛新区

中图分类号:TV211.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)03-0087-05

舟山市是我国首个以群岛建市的地区,2011年6月经国务院批准设立群岛新区。在未来以海洋经济为主题的全方位发展中,水资源无疑成为最重要的支撑要素之一。但该市地处海岛,河流短小、蓄水工程不足,水资源时空分布不均,人均拥有量仅占浙江省的1/3左右,淡水资源供需矛盾突出。科学分析评价舟山市淡水资源是实施水资源集约利用与最严格管理的首要前提,对分析评估新区的水资源保障能力、实现可持续发展具有重要意义。

1 自然概况

舟山市位于我国东南沿海,长江、钱塘江、甬江三江入海口,是中国东部沿海和长江流域走向世界的主要海上门户,介于东经121°30′~123°25′,北纬29°32′~31°04′之间,区域总面积22 216 km²,其中岛屿陆域面积1 256.93 km²,滩涂面积183.19 km²。拥有1 390个岛屿和270 km深水岸线,是中国第一大群岛和重要港口城市。下辖定海、普陀两区和岱山、嵊泗两县,截止2012年底常住人口共114万人^[1]。气候为北亚热带南缘季风海洋性气候,春季多海雾,夏秋多台风,易干旱内涝。年平均太阳总辐射4 660.7~4 924.0 MJ/m²,年均日照时数居浙江省首位,在2 101.3~2 302.8 h之间,年平均气温15.4~17.6℃,年平均风速3.3~7.8 m/s,多年平均降水量1 275.2 mm。市内诸岛水系多为季节性间歇河流,兼农田灌系之功用。全市已建成水库、山塘1 195座,总蓄水库容14 565×10⁴ m³,其中水库13 022×10⁴ m³^[2]。

另有已建成的大陆引水一期工程、12个重要岛屿的岛际引水工程及海水淡化工程也较大程度缓解了该市水资源紧缺的矛盾。为准确评估群岛新区未来发展的本岛水资源供给能力,本文仅对该市市域内淡水资源的量与质进行分析评价。

2 水资源分析计算

2.1 资料的选用与分析

考虑系列代表性的要求,采用1956~2000年(45年)同步期日历年水文要素系列作为水资源评价的基本依据^[3]。

2.1.1 降水量

结合舟山市雨量资料的实际情况,并考虑地区分布代表性和面上分布均匀性的要求,选用市域内定海等9站作为评价的依据站,平均站网密度160 km²/站,小龟山站作为辅助站。因勾绘多年平均降水量和多年平均降水量变差系数等值线图的需要,选用与舟山市相毗邻的宁波和嘉兴市的丹城等9站作为勾图的边界站,选用站点共19个。

选用的9个雨量站中,定海站具有完整的45年系列资料,衢山、岱山、沈家门、六横4站均接近45年资料,为保持资料的一致性,对需插补延长的站年,先插补延长年降水量值,再参照临近站同年的完整月、年降水量资料按月年比例法插补各月降水量。其余站点缺少资料的年份,年降水量的插补采用与临近站建立年降水量相关关系的方法进行插补。

收稿日期:2013-12-15

作者简介:许红燕(1963-),女,浙江临海人,高级工程师,主要从事水文水资源领域研究。E-mail:xhyghe@sina.com

选取系列最长的定海站(1952~2004年)作分析。分别计算定海站1980~2000年(21年)、1956~2000年(45年)降水量均值 P 和变差系数及长短系列均值比($K_p=P/P_{\text{长}}$)和变差系数比($K_{Cv}=Cv/Cv_{\text{长}}$),得出45年系列代表性较好,优于21年系列。

2.1.2 蒸发量与干旱指数

蒸发能力是指充分供水条件下的陆面蒸发量,可近似用E601型蒸发器观测的水面蒸发量代替。选用水文部门仅有的长春岭站和气象系统的定海、普陀、嵊泗站及临近内陆地区蒸发站水面蒸发量资料,对不同型号蒸发器的观测资料统一换算为E601型蒸发器观测资料。取年蒸发能力与年降水量比值得气象干旱指数,可反映各地气候干湿程度,指数越大越干旱,反之,越湿润。

2.1.3 径流量

实测径流取舟山市仅有的长春岭站资料,宁波市域内的山丘区径流资料、姚北鄞奉平原的径流计算成果作为补充。长春岭、黄土岭、奉化溪口、南溪口、洪家塔站为山丘区径流选用站,对这些站停测或缺测资料的年份利用已有观测年的降水、径流关系插补延长。对姚北鄞奉平原区内的水面、水田、旱地(包括非耕地)、城镇等类型区面积进行调查,并以降水量减水面蒸发量的方法估算产流量。在计算旱地产流量时,若某日水面蒸发量大于降水量时,则该日作为不产流处理。

2.2 地表水资源量分析计算

本文的研究区域为《浙江省水资源综合规划分区手册》中划分的“舟山本岛”和“舟山外岛”2个水资源五级区,以便计算对其中的“舟山本岛”加设“舟山岛”和“其他岛”2个六级区。水资源分析计算以六级分区套县(区)级行政区作为计算单元,并由此累加得四、五级水资源分区或县、市各级行政分区的水资源量^[4]。

(1)分区面雨量计算。求出45年和21年年降水量系列均值,以1:62万电子地图为底图,分别绘制两系

列多年平均降水量等值线。用泰森多边形法计算各分区(计算分区、水资源分区、行政分区)45年平均降水量系列,取算术平均得各分区多年平均降水量,再按分区面积加权得全市多年平均降水量;并用多年平均降水量等值线图加方格法求得的分区或全市平均降水量进行比较、修正,得各分区多年平均降水量。各县(区)多年平均降水量、径流量见表1。

(2)水面蒸发量等值线。计算各站21年系列多年平均水面蒸发量,绘制全市21年同步期多年平均水面蒸发量等值线。同时,查读21年同步期年水面蒸发量均值等值线与年降水量均值等值线图可得干旱指数,并绘制21年多年平均干旱指数等值线得全市干旱指数。指数越大越干旱,反之,越湿润。

(3)径流资料的还原计算及一致性分析。大量的蓄、引、提等水利工程截流、引水,改变了天然径流的规律。为保持资料的一致性,必须将受调蓄和耗用影响后的径流还原为未经调蓄和耗用的“天然情况”的径流量。因20世纪80年代以来近期下垫面条件的变化也影响到径流的形成,评价时需将实测径流系列还原为近期下垫面条件下的天然系列。1980~2000年实测径流较好地反映了近期下垫面条件产汇流关系,故在各水文站21年系列实测径流还原为天然径流基础上,根据其降水径流关系修正原有的1956~1979年(24年)天然径流系列。还原计算采用产流差值法。

(4)分区年径流量计算。在单站天然逐年径流深计算和一致性修正后,分别计算各站径流均值。因径流点据少,直接勾绘径流深等值线的准确性难以掌握,利用陆面蒸散发量在空间上变化较径流小的特点,借助水文、气象部门所观测的多年平均水面蒸发量的空间变化对陆面蒸发量等值线进行合理分析和修正的方法,将各流域多年平均面雨深减天然径流深得到相应的多年平均陆面蒸发量,绘制等值线,再与多年平均降水量等值线叠置,求得雨量站址处的多年

表1 舟山市各县(区)多年平均降水量、径流量
Table1 The mean annual precipitation and runoff in Zhoushan City

县级行政区	计算面积/km ²	多年平均				产流模数 /10 ⁴ m ³ /km ²	径流系数
		降水量/10 ⁴ m ³	降水深/mm	径流量/10 ⁴ m ³	径流深/mm		
定海区	531.06	72 225	1 360.0	33 551	631.8	63.18	0.46
普陀区	388.82	49 724	1 278.8	21 805	560.8	56.08	0.44
岱山县	269.10	31 285	1 162.6	11 825	439.4	43.94	0.38
嵊泗县	67.95	7 054	1 038.1	1 985	292.1	29.21	0.28
舟山市	1 256.93	160 288	1 275.2	69 165	550.3	55.03	0.43

平均径流深,并绘45年同步期年径流深均值等值线。与同期年降水深均值等值线图比较,两图总体走向基本一致,高、低值区位置对应。根据多年平均径流深等值线图,利用网格法求取各计算分区平均径流深,乘以相应计算区面积可得各分区多年平均径流量,即各分区的多年平均地表水资源量。

(5)天然径流量成果的合理性检查。选用长春岭站1980~2004年间有资料年份,共22年降水和径流深资料,建立降水径流关系为:

$$Y=0.7926X-460.6$$

式中:Y为流域径流深(mm);X为流域降水深(mm)。

采用该站降水径流关系推求各水资源分区径流量的方法(方法2)与前述方法(方法1)的成果进行比较,分析天然径流量成果的合理性,不同计算方法各水资源分区径流量成果比较见表2。

从表2中看出,两种不同方法所得天然径流量成果基本一致,误差在-1.62%~2.94%之间,全市平均误差为0.93%。

表2 不同计算方法各水资源分区径流量成果比较

Table2 Comparison of the calculated runoff using different methods for the water resources divisions in Zhoushan City

五级区、 六级区	计算 面积 /km ²	方法1		方法2		差值 /‰
		径流量 /10 ⁴ m ³	/mm	径流量 /10 ⁴ m ³	/mm	
舟山岛	476.17	30 007	630.2	29 522.8	620.0	-1.62
其他岛	230.45	12 964	562.6	12 894.0	559.5	0.55
舟山外岛	550.31	26 194	476.0	32 671.3	490.0	2.94
舟山市	1 256.93	69 165	550.3	69 804.3	555.4	0.93

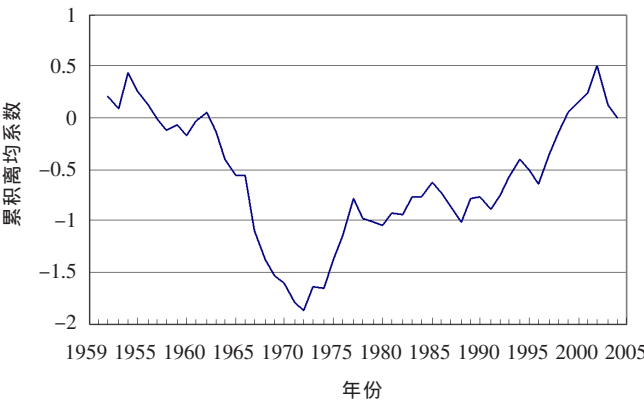


图1 定海站年降水量累积离均系数K_i过程线图

Fig.1 Hydrograph of the accumulation coefficients of deviation from mean K_i of the annual precipitation at the Dinghai station

2.3 时空分布评价方法

(1)空间分布。采用多年平均降水量(蒸发量、径流量)等值线和各分区多年平均值分析。

(2)年内分配。使用多年平均值年内分配过程线分析一年内逐月各水文要素的分配状况,或使用多年平均的连续4个月最大水量占全年水量的百分数来反映降水、径流年内分配的集中程度。年际变化:年降水(径流)的极值比和变差系数反映年际间变化;降水量累积离均系数过程线和水资源总量年际变化图反映丰枯变化,见图1和图2。如年降水量累积离均系数

K_i 过程线 $K_i=\frac{X_i-\bar{X}_n}{\bar{X}_n}=\frac{X_i}{\bar{X}_n}-1$,X_i、 \bar{X}_n 分别表示逐年和多年平均降水量(mm)。

2.4 地下水资源量分析计算

地下水资源量是指地下饱和含水层逐年更新的动态水量。该市地下水以河谷潜水为主,地下水资源量按一般山丘区进行计算。采用排泄量法,把山丘区年均河川基流量近似作为年均地下水资源量。

选取长春岭站1980~1990年(11年)实测逐年日平均流量过程线,按直线斜割法计算河川基流量,由于本站集水面积仅3.8km²,流域调蓄能力低,分割计算河川基流量的基径比代表性不够,本文采取与加里宁法^[5]计算成果进行同步对比,并参考邻近地区水文站基径比系列,对长春岭站11年基径比进行调整,并按调整后的基径比和天然径流量计算天然地下径流量;然后建立天然地下与天然径流关系,推求出45年地下径流系列。全市大部分无径流系列资料的岛屿,水文地质条件与长春岭站类似,可直接移用该站的河川基径比。

对由单一山丘区构成的计算分区,采用该区计算面积和河川基流量模数相乘,求出该计算分区45年

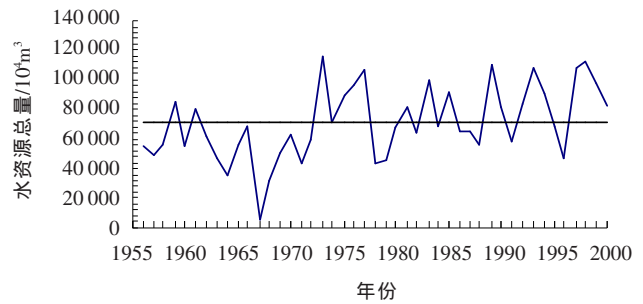


图2 舟山市水资源总量年际变化图

Fig.2 The interannual variation of the total quantity of the water resources in Zhoushan City

逐年河川基流量系列;以 21 年河川基流量的均值作为该计算分区的近期下垫面条件下多年平均地下水资源量。

2.5 水资源总量和可利用量

水资源总量即地表径流量与降水入渗补给量之和,即河川径流量与地下水资源量之和再减去重复计算量。地表水资源可利用量,即河川径流量扣除生态、环境用水量和目前难以控制利用的洪水期弃水量。生态环境需水量按多年平均径流量的 20% 估算;难以控制利用的洪水期弃水量按照汛期河川径流量扣除水库兴利库容的 65% 估算。经计算,全市地表水资源可利用量为 $34\,516\times10^4\text{ m}^3$ 。地下水资源可开采量,根据《浙江省地下水资源调查评价与开发利用规划》,为 $174\times10^4\text{ m}^3$ 。两者间的重复计算量,主要包括浅层地下水的渠系渗漏和地表水灌溉田间入渗补给量的开采利用部分。计算得全市水资源可利用总量为 $35\,771.13\times10^4\text{ m}^3$ 。各县(区)多年平均水资源量及可利用量见表 3。

2.6 水质评价

地表水水质评价采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)及单因子评价法。水库营养状态评价按照《地表水资源质量评价技术规程》(SL395-2007)中有关方法。水功能区水质达标状况,按功能区水质类别管理目标要求评价。地下水水质评价采用《地下水质量标准》(GB14848-93)。

3 水资源综合评价

全市多年平均地表水资源量、地下水资源量和水资源总量分别为 $6.9165\times10^8\text{ m}^3$ 、 $1.6152\times10^8\text{ m}^3$ 和 $6.9165\times10^8\text{ m}^3$,产水系数 0.43,产水模数 $55.0\times10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

3.1 舟山市淡水资源总量缺乏,蓄水能力弱,为资源型和工程型缺水地区

全市多年(45 年)平均降水量 1 275.2mm,低于全

省多年平均的 1 604.4mm,多年平均水面蒸发量在 800~850mm 之间,多年平均径流深 550.3mm,多年平均地表水资源量为 $6.9165\times10^8\text{ m}^3$,仅占全省的 0.7%。全市单位面积水资源量和人均拥有水资源量为全省最少,单位面积水资源量 $55.03\times10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$,为全省的 60%,空间分布上自西南向东北递减,定海最丰,嵊泗最缺。人均拥有水资源量仅 707 m^3 (按研究期人口计算),远低于全省和全国平均值,只有全省人均的 33.4%,低于人均 $1\,000\text{ m}^3$ 的世界缺水警戒线,为资源型缺水。

舟山市水资源可利用总量虽为 $35\,771.1\times10^4\text{ m}^3$,但本地的淡水资源现有开发利用率已达 37.3%,高于全省 35.4% 的平均水平,已达到国际通行的 35%~40% 的高开发率标准;但在目前的开发利用率下,水环境已经显得十分脆弱,可见进一步开发地表水的潜力不大。且从“河流伦理学”的角度,现在国际上通常认为一条河调水不要超过 20%,用水不要超过 40%,否则对生态就会有严重影响。而且该市降雨集中在梅雨季和台风雨季,众多岛屿分散,各岛内呈一丘一壑地形,集水面积小、蓄水能力十分有限,遇到干旱年份会出现无水可蓄的情况;遇到集中降雨,则因河流源短流急,洪水径流量大,60% 左右的水以洪水形式流入大海。而所建水库以中、小型为主,径流调节能力小,表现为雨洪等蓄水工程多样性不足的工程型缺水。

3.2 水资源时空分布不均,削弱了有限淡水资源的保障能力

降水与径流的空间分布类似,由西向东、自南向北递减。水面蒸发量的空间分布,全市相近,在 800~850mm 之间。而年蒸发量与年降水量在空间分布上的相关关系可由干旱指数看出,全市两者比值在 0.5~0.7 之间,总的分布自西南向东北渐增。

时间分布上,受梅雨和台风影响,降水与径流的年内分配均呈双峰型,主要集中在梅雨和台风雨季,

表3 舟山市各县(区)水资源量汇总 单位:10⁴m³
Table3 The water resources in Zhoushan City (10⁴m³)

县级行政区	水资源量				水资源可利用量			
	地表水	地下水	重复量	总量	地表水	地下水	重复量	总量
定海区	33 551	7 717	7 717	33 551	18 691	768.1	275.45	19 183.3
普陀区	21 805	5 015	5 015	21 805	9 564	562.4	123.43	10 002.5
岱山县	11 825	2 720	2 720	11 825	5 502	351.1	85.78	5 767.08
嵊泗县	1 985	700	700	1 985	761	65.4	7.71	818.22
舟山市	69 165	16 152	16 152	69 165	34 516	1 747	499.16	35 771.1

两个雨季的多年平均降水量分别占全年的 30.8%~35.0% 和 20.2%~26.1%、径流量分别占年径流量的 21.6%和 24.5%;连续最大 4 个月降水量占全年降水量的 43.8%~46.7%、径流量占全年径流量的 44.66%,出现时间在 6~9 月;11 月至翌年 2 月是一年中的主要枯水期。受季节变化和温湿条件不同的影响,蒸发 7、8 月最大,占全年的 27.0%;1、2 月仅占全年的 9.2%。年际间,各水文要素的变化均较大,极值比降水为 1.9~3.3、蒸发 1.44,径流 20.5;变差系数 C_v 降水为 0.18~0.21,径流为 0.37~0.44,径流的年际变化比降水更为剧烈。通过图 1 年降水量累积离均系数过程线和图 2 水资源总量年际变化分析可知,常出现连续丰枯年,即过程线的上升期和下降期,且枯水年份多于丰水年份。受降水和下垫面空间分布不均的共同影响,径流的年际变化更甚于降水,增加了河流对生产生活用水供给保证的不稳定性,削弱了有限淡水资源的保障能力。

3.3 水污染进一步加剧了淡水资源的供需矛盾,舟山市也表现为水质型缺水

以 2012 年为评价期,对虹桥、岑港两个代表水库分别按照总氮参与和不参与进行评价,全年期、汛期、非汛期水质分别为 ~ 类和 类,营养化程度均为中营养。全年地表水功能区达标率 0.0%,评价总河长 10.2km,其中 类为 6.2km, 类为 4km,地表水污染状况不容乐观^[6]。地下水水质相对较好,现状水质和目标管理水质均为 类,矿化度 1.6g/L,水化学类型以 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{--Na}\cdot\text{Ca}$ 为主,地下水水功能区属海岛自然生态保护一级区和地质灾害易发二级区^[7]。

水资源的以上特点决定了该市水资源的开发利用

必须开源节流并重,防污控污并举,以使舟山市有限的水资源在新区未来建设中最大限度的发挥效益,最大程度的发挥可持续支撑作用。

参考文献:

- [1] 舟山市统计局. 舟山市统计年鉴 [R]. 2012. (Statistics Bureau of Zhoushan City. Statistical yearbook of Zhoushan City [R]. 2012. (in Chinese))
- [2] 舟山市水利水务围垦局. 舟山市水利发展“十二五”规划 [EB/OL]. http://www.zhoushan.gov.cn/web/xq/lt/xqgh/zxgh/201301/t20130131_224271.shtml, 2011. (Zhoushan Water Conservancy and Reclamation Bureau. The 12th Five-year Plan of Water Conservancy Development of Zhoushan City [EB/OL]. http://www.zhoushan.gov.cn/web/xq/lt/xqgh/zxgh/201301/t20130131_224271.shtml, 2011. (in Chinese))
- [3] 浙江省水文局. 舟山市水资源调查评价[R]. 2007. (Hydrology Bureau of Zhejiang Province. Water resources investigation and assessment for Zhoushan City [R]. 2007. (in Chinese))
- [4] 吴季松,李原园,贺伟程,等. 全国水资源综合规划编制技术[R]. 中日合作 JICA 中国水利人才培训项目, 2002. (WU Jisong, LI Yuanyuan, HE Weicheng, et al. Technology guide of national integrated planning of water resources [R]. The Sino Japanese JICA China Water Conservancy Training Project, 2002. (in Chinese))
- [5] 浙江省水文局. 浙江省水资源 [R]. 2007. (Hydrology Bureau of Zhejiang Province. Zhejiang water resources [R]. 2007. (in Chinese))
- [6] 浙江省水利厅. 浙江省水资源公报 [R]. 2012. (Water Resources Department of Zhejiang Province. Zhejiang water resources bulletin [R]. 2012. (in Chinese))
- [7] 浙江省水利厅. 浙江省地下水利用与保护规划 [R]. 2009. (Water Resources Department of Zhejiang Province. Zhejiang utilization and protection plan of groundwater resources [R]. 2009. (in Chinese))

Analysis and Assessment of Water Resources in Zhoushan City

XU Hongyan, HUANG Zhizhen

(Hydrology Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: Based on the data of social and economic indicators, hydrology and meteorology, rivers, reservoirs and water quality, we analyzed and assessed the precipitation, evaporation, quantity and quality of surface and underground water, and available water resources, which will provide a scientific basis for assessing the water resources guarantee capacity to the marine economic development in Zhoushan Archipelago New Area.

Key words: water resources; analysis and assessment; Zhoushan City; Archipelago New Area