

浙北引水对钱塘江河口段主要水环境的影响分析

尤爱菊¹ 韩曾萃² 史英标² 朱元铎¹

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020)

摘要 基于实测资料相关分析以及一维咸水入侵模型, 分析了浙北引水对钱塘江河口段江道淤积和咸水入侵的影响. 结果表明, 浙北引水将减少进入河口的径流量, 造成钱塘江河口淤积的增加和盐水上溯距离加长, 且对不同位置取水口的取水条件有着不同程度的影响.

关键词 钱塘江河口 浙北引水 江道淤积 咸水入侵

中图分类号: X820.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2006)02-0152-05

钱塘江流域面积 55 558 km², 水资源总量 442.5 亿 m³, 其中闻家堰断面多年平均径流量约 347.6 亿 m³. 钱塘江河口从富春江水电站至上海市南汇县芦潮港闸与宁波市镇海区外游山的湾口断面, 长 282 km(图 1), 其中闻家堰以下至海盐县澉浦的长山闸与余姚市西山闸的连线断面为河口段, 长 122 km^[1].

钱塘江河口区土地面积占浙江省土地总面积的 20%, 人口占浙江省的 35%, 但国民生产总值却占浙江省的 55%, 在浙江省占有重要的经济地位. 随着经济的发展和人民生活水平的提高, 加上钱塘江河口区水资源开发利用程度较高, 以及河网水质污染, 该地区的供需水缺口逐渐增大, 钱塘江逐渐成为未来缺水量的补充点. 近年来, 相继规划了解决杭州市、嘉兴地区生活用水的新安江水库直接引水(简称浙北引水), 为解决宁波地区环境用水的富春江引水(简称浙东引水) 等工程. 这些引水工程一旦实施, 势必会减少河口径流, 不同程度地影响钱塘江河口的生态环境, 给河口区社会、经济的发展带来负面影响.

钱塘江河口为强潮河口, 潮差大, 潮波变形剧烈, 海域来沙丰富, 盐水入侵和泥沙淤积是水资源开发中最突出的两个限制因素. 本文采用不同的计算方法, 就浙北引水对钱塘江河口段冲淤和咸水入侵的可能影响进行分析.

1 浙北引水对河口段冲淤的影响

从 1953 年开始, 钱塘江河口每年 3 ~ 4 月(洪汛前), 7 月(洪汛后), 11 月(大潮汛后) 对水下地形进行 1/50 000 定期测量, 为分析河口冲淤变化规律提供了资料. 对历次实测地形进行分析表明, 河口段容积、冲淤变幅与径流的丰枯变化相适应. 闸口—盐官河段 1980 ~ 2002 年吴淞 7 m 高程以下容积变幅为 3.04 亿 ~ 6.25 亿 m³, 而年内河槽冲淤可达 1 亿 ~ 2 亿 m³. 枯水期, 涨潮流速大于落潮流速, 因此涨潮时的含沙量大于落潮时的含沙量, 结果表现为“上淤下冲”; 丰水期上游河段落潮流速增加, 形成“上冲下淤”, 如此全年保持动态平衡. 若引走部分径流, 必然打破上述平衡, 造成河道淤积, 加大河口段两岸的防洪压力, 特别是危及杭州

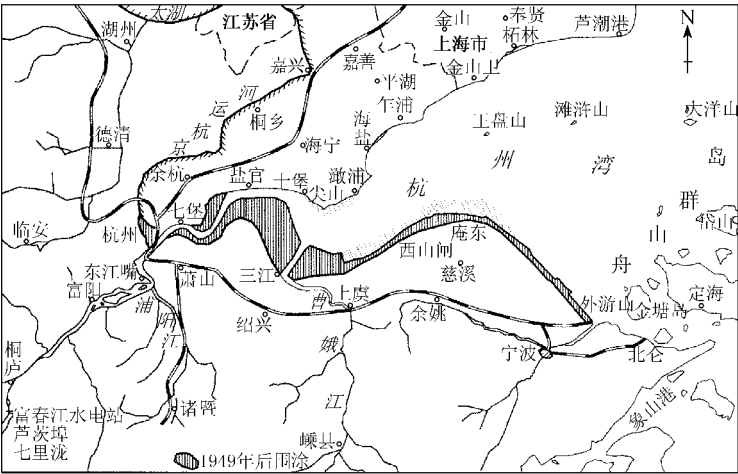


图 1 钱塘江河口概貌
Fig. 1 Plan of Qiantang Estuary

市的防洪安全.因此,有必要对引水后河道的冲淤变化进行预测.

1.1 河口冲淤变化的多元相关分析

钱塘江河口每年 4 月、7 月、11 月的江道地形是梅雨期洪水 3 个月的冲刷、大潮平水期 4 个月和枯季 5 个月淤积的结果.从闸口至澉浦江段中,大体上以盐官为界,盐官以上洪冲潮淤,以下洪淤潮冲^[2].根据历年观测的洪汛前江道地形计算不同河段容积的大小,并分析其与杭州段洪水位的相关性,结果表明,闸口至盐官 45 km 河段容积的大小基本控制了杭州市洪水位的高低.1980 年以后该河段已治理到位,采用此后资料可反映目前江道的冲淤特性,但缺乏 1980~2002 年特枯年份的资料.为此,史英标等^[3]采用数学模型模拟方法插补了偏枯流量的点据.根据实测和计算结果可以得到相应 3 个月或 4~5 个月的河床冲淤量 $\Delta V_{T-t,T}$ (淤为正,冲为负),平均流量 $\bar{Q}_t$ 及初始容积 V_{T-t} (闸口至盐官吴淞 7 m 以下的河床容积)的相关关系:

$$\Delta V_{T-t,T} = 5.213 - 1.192\ln\bar{Q}_t + 0.647V_{T-t}$$

(1)

式中: T ——某次测图的测量时间点; t ——2 次测图的时间间隔.

式(1)反映了影响河床冲淤的关键性因子,复相关系数达 0.94 (图 2),可以预测径流改变后河床冲淤情况.

1.2 河口段冲淤影响计算结果

预测至 2010 和 2020 水平年,浙北地区需要的总引水量分别为 11.03 亿 m^3 和 16.81 亿 m^3 .

充分考虑上游水资源的耗、用、排情况,将闻家堰断面 1961~2000 年逐日径流量以 2010、2020 规划水平年的用水水平进行一致性修正,作为河口断面的原始径流系列,则浙北引水后 2010、2020 水平年每月径流量减少 0.92 亿 m^3 、1.40 亿 m^3 .采用式(2)计算引水前、后闸口—盐官 40 a 每年 4 月、7 月、11 月的河道容积:

$$V_T = V_{T-1} - \Delta \bar{V}_T = V_{T-1} - (5.213 - 1.192\ln\bar{Q}_T + 0.647V_{T-1})$$

(2)

统计 40 a 容积系列中最大、最小、平均河道容积及小于 3.0 亿 m^3 容积发生的次数,见表 1.

表 1 不同条件下河床容积特征量

计算条件	2010 年				2020 年			
	多年平均 容积/亿 m^3	容积最大 值/亿 m^3	容积最小 值/亿 m^3	河床容积 <3.0 亿 m^3 次数/次	多年平均 容积/亿 m^3	容积最大 值/亿 m^3	容积最小 值/亿 m^3	河床容积 <3.0 亿 m^3 次数/次
闻家堰原始径流	4.57	6.48	2.71	2	4.55	6.46	2.67	4
浙北引水后	4.51	6.44	2.59	4	4.43	6.40	2.44	5
特征量变化值	+0.06	+0.04	+0.12	2	+0.12	+0.06	+0.23	1

注:“+”为淤积;“-”为冲刷.

由表 1 可见:

- a. 引水造成钱塘江河口段一定程度的淤积.由于引水量占枯季径流比重大,占汛期径流比重小,因此对汛期容积的影响较枯季小.至 2020 水平年,浙北引水后最大容积减少 0.06 亿 m^3 ,平均容积减少 0.12 亿 m^3 ,抬高洪水位约 0.10 m,最小容积减少 0.23 亿 m^3 ,抬高洪水位约 18 cm.
- b. 小容积发生的次数增多.2010、2020 水平年河床容积小于 3 亿 m^3 的次数分别增加 2 次和 1 次.相应地,较高洪水位发生的几率也会增加.

2 浙北引水对盐水入侵影响

现状杭州城区以钱塘江为主要水源,取水口布置在闻家堰—闸口沿岸.钱塘江河口是典型的强潮河口,澉浦实测最大潮差达 9.0 m,平均潮差 5.62 m,因此一旦遇枯水年或枯水季节,杭州市即受盐水入侵影响而造成引水困难.为此,几十年来杭州市政府采取了多项抗咸措施,如修建避咸蓄淡的珊瑚沙水库,与新安江水电站协商加大枯季发电下泄流量等.尽管如此,随着河口区需水量的不断增长,杭州市取水受咸潮影响的问题仍未得到根本的解决,因此提出了抗咸二期工程的方案,即将生活用水取水口上移,其中直接从新安江水库引水是变更生活取水口位置的方案之一.

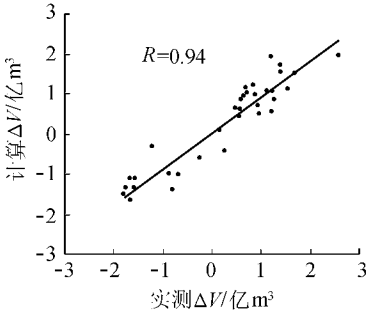


图 2 预报和实测冲淤量相关关系
Fig.2 Correlation chart of observed and predicted volumes of silting

直接从新安江水库引水减少了进入河口的径流量,将使盐水入侵加剧,盐水上溯距离更远。尽管生活取水口已经上移,但对河口段的水质、一般工业和农业非生活取水口都会产生一定影响。

2.1 咸水入侵的一维数学模型

钱塘江河口山水与潮水比值(年平均径流与口门平均涨潮量之比)为0.02,属强混合型河口。咸水在全断面上掺混均匀(差别在30%内),可以用一维数学模型来描述,其控制方程为^[4]

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + Ag \frac{\partial Z}{\partial x} = u^2 \frac{\partial A}{\partial x} - \frac{1}{C^2 AH} \frac{Q}{\partial x} - \frac{AgH}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AE \frac{\partial S}{\partial x} \right) \\ \rho = 1.35S + 1000 \end{cases} \quad (3)$$

式中: B ——河道宽度; C ——谢才系数; g ——重力加速度; Z, Q, A, S ——断面水位、流量、断面面积、氯的质量浓度; ρ, E ——咸水密度和弥散系数。

钱塘江河口沿程传播过程中有涌潮,故盐分掺混强度比一般河流、河口大2个数量级。经实测资料率定,盐分掺混强度按式(4)计算。

$$E = \left\{ \left[1 - \exp \left(- \frac{u^2}{gH} \frac{\bar{W}_f}{Q_o T} \right) \right] \frac{S_i}{S} + 10 \right\} uH \quad (4)$$

式中: $\frac{u^2}{gH}$ ——Froude数; u, H ——流速、水深; $\frac{\bar{W}_f}{Q_o T}$ ——潮水与山水比值; $\frac{S_i}{S}$ ——当地氯的质量浓度与淡水氯的质量浓度的比值。

模型上边界取在不受咸水入侵影响的富春江电站坝下断面,下边界取在径流影响微弱的澉浦断面。河道初始氯含量根据上下边界及监测断面实测氯含量进行内插。为消除初始氯含量取值对计算结果的影响,模型计算3个潮汛(45d),取第2个潮汛的计算结果。图3为1995年9月19日~10月3日连续15d南星桥、珊瑚沙氯的质量浓度验证结果。从图3可见,模型能较好地模拟各取水口最高氯含量的变化过程。

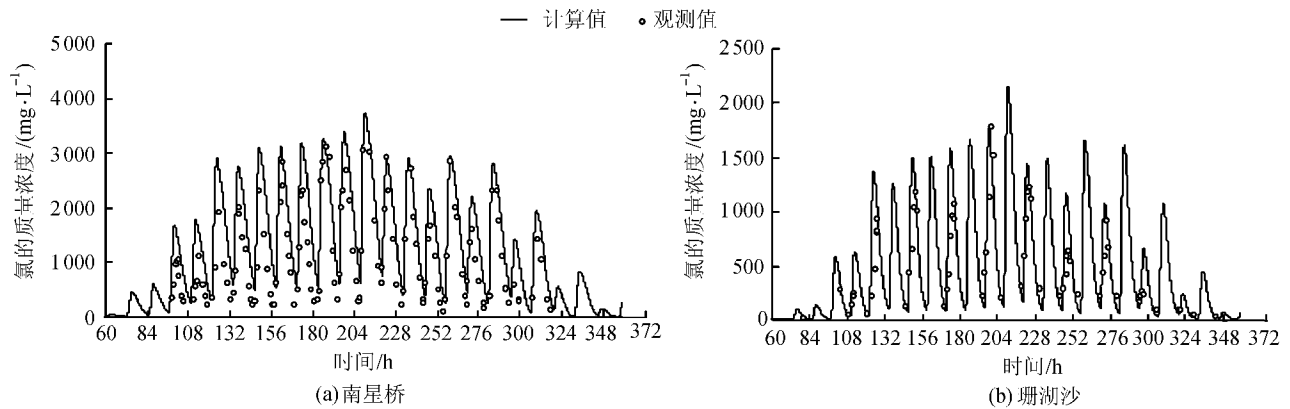


图3 南星桥、珊瑚沙氯含量验证结果

Fig.3 Verified result of chlorine content at Nanxingqiao and Shanhusa stations

2.2 浙北引水对盐水入侵距离的影响

不同潮汐条件、不同径流大小,引水对咸水入侵的影响程度不同。为此,计算七堡潮差为1.7m、3.4m,引水前河道径流为200~600m³/s条件下,七堡—富阳31个断面氯含量变化过程。比较浙北引水前后氯的最大质量浓度为250mg/L(生活用水引水控制值)的入侵点,分析引水后该入侵点距离增加值随径流的变化情况,见图4。

由图4可知:

a. 不同潮差、流量条件下,浙北引水后盐水入侵的距离增加2.0~4.5km。当潮差较大时,盐水上溯较远,浙北引水对盐水入侵距离的影响也大;反之,潮差较小时,盐水入侵较弱,引水对其影响相对较小。但两者差异在0.5km以内,并随径流的增大而趋于接近。

b. 径流量较大时,因引水所占比重相对较小,对盐水入侵距离的影响也小;反之,当径流量较小时,引水对入侵距离的影响也大。

由于径流量大小对盐水入侵距离影响较为明显,应特别注意浙北引水对枯季盐水入侵加剧的影响。

2.3 对非生活取水口的影响

以闻家堰、小砾山、珊瑚沙 3 个主要的一般工业用水和灌溉用水取水口位置的盐度变化为分析对象,分别取七堡潮差为 1.7 m、2.7 m 和 3.4 m,来水为 350 m³/s (相当于一般工业用水和农业灌溉用水设计保证率为 90% 的半月平均径流量),计算 1 个潮汛(15 d)内,3 个取水口浙北引水前后氯的质量浓度连续超标时间、总超标时间以及氯的平均质量浓度和氯的最大质量浓度,结果见表 2。

表 2 来水 350 m³/s 时不同潮差条件下取水口氯的质量浓度指标

项 目		潮差 1.7 m				潮差 2.7 m				潮差 3.4 m			
		连续超标天数/d	总超标天数/d	氯的平均质量浓度/(mg·L ⁻¹)	氯的最大质量浓度/(mg·L ⁻¹)	连续超标天数/d	总超标天数/d	氯的平均质量浓度/(mg·L ⁻¹)	氯的最大质量浓度/(mg·L ⁻¹)	连续超标天数/d	总超标天数/d	氯的平均质量浓度/(mg·L ⁻¹)	氯的最大质量浓度/(mg·L ⁻¹)
珊瑚沙	引水前	0	0	17.3	152.9	0.5	4.5	140.7	1 272.5	5.5	7.9	359.3	2 364.4
	引水后	0.2	0.4	37.9	335.4	2.0	6.6	224.5	1 715.0	6.1	9.0	508.3	2 826.3
小砾山	引水前	0	0	6.8	13.0	0.1	0.3	24.7	354.9	0.2	1.5	56.4	685.4
	引水后	0	0	7.2	22.5	0.2	0.9	44.0	579.7	0.4	3.5	108.1	1 128.8
闻家堰	引水前	0	0	6.7	11.3	0	0	19.6	258.1	0.1	0.6	38.2	402.4
	引水后	0	0	7.0	16.1	0.2	0.5	34.6	439.8	0.3	2.4	77.8	727.0

由表 2 可知：

a. 不同位置的取水口、不同潮汐条件受浙北引水的影响程度不同,位于较下游的珊瑚沙取水口受引水的影响程度明显大于较上游的小砾山、闻家堰处,各取水口取水条件所受的影响与盐水入侵距离相似,潮差较大时影响也较大。

b. 各种潮差条件下,浙北引水对小砾山、闻家堰的取水条件没有实质性的影响,连续超标时间在 0.5 d 之内,1 个潮汛中(15 d)总超标时间最长为 3.5 d。当潮差较小时(1.7 m),浙北引水前后珊瑚沙取水条件尚可,但随着潮差的增大,浙北引水前珊瑚沙取水口取水条件已较差,引水后则进一步下降。

3 结论和建议

3.1 结论

钱塘江上游淡水资源的开发利用以及河口治理工程对河口水环境的影响已引起广泛的关注^[5-7]。本文根据钱塘江河口历年水下地形观测资料,建立了闸口—盐官江段冲淤量、时段平均流量和江段初始容积的多元相关关系,计算了浙北引水对河口段江道容积的影响。采用适用于强潮河口的一维咸水入侵数学模型,分析不同潮汐条件下,引水对咸水入侵距离和不同位置非生活用水取水口的影响。主要结论如下。

a. 浙北引水将引起钱塘江河口段一定程度的淤积。至 2020 水平年,由浙北引水引起的平均容积减少 0.12 亿 m³,洪水位约抬高 0.10 m,最小容积减少 0.23 亿 m³,洪水位约抬高 18 cm。河床淤积的另一影响是河段容积小于 3 亿 m³ 的次数引水后增加 1~2 次,高洪水位出现的频次可能增加。

b. 不同潮差、流量条件下,浙北引水对盐水入侵距离的影响达 2.0~4.5 km。潮差越大,引水前流量越小,对盐水入侵距离的影响越大。

浙北引水后河口径流量减少,但各种潮差条件下,小砾山和闻堰的引水条件均受较小的影响。当潮差为 1.7 m 时,珊瑚沙的取水条件较好,连续超标时间在 0.5 d 之内;潮差为 2.7 m 时,连续超标时间引水后增加为 2 d,降低了取水条件;潮差为 3.4 m 时,在浙北引水前,其引水条件已较差,引水后则进一步下降。此时需采取

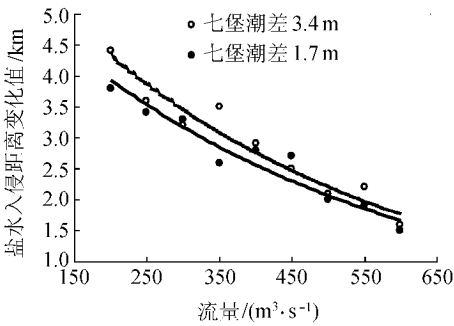


图 4 浙北引水后盐水入侵距离增加值
Fig.4 Distance increment of saltwater intrusion after water diversion from Xinanjiang Reservoir to north Zhejiang Province

一定的应对措施,如不同区域、不同类型的用水实行错峰引水,或将珊瑚沙处的取水口上移。

3.2 建议

a. 浙北引水减少了河口段多年平均径流量,必然会打破河口现状的冲淤平衡而造成多年平衡断面的减少,这种影响是无法弥补的。但引水对其他方面的影响,如枯季淤积的加剧、盐水上溯更远、非生活取水口取水条件下降等,均可通过一定措施来减少。最直接的方法是调整上游新安江、富春江水库的运行方式,弥补因新安江水库直接引水造成的枯季径流量减少。

b. 2020 水平年浙北引水量占多年平均径流量的 4.8%,因此对河口段生态环境的影响有限,但若综合其他各项引水工程,则影响程度较大。因此,应本着谨慎的态度开展科学论证并尽量缩减引水规模。

参考文献:

[1] 韩曾萃,戴泽衡,李光炳,等. 钱塘江河口治理开发[M]. 北京:水利电力出版社,2003:61-62.
[2] 韩曾萃,符宁平,史英标,等. 多年调节水库对河口河床冲淤的影响——以新安江水库对钱塘江河口影响为例[J]. 泥沙研究,2002(3):29-34.
[3] 史英标,林炳尧,徐有成. 钱塘江河口洪水特性及动床数值预报模型[J]. 泥沙研究,2005(1):7-13.
[4] 韩曾萃,潘存鸿,史英标,等. 人类活动对河口咸水入侵的影响[J]. 水科学进展,2002(3):333-339.
[5] 陈吉余,陈沈亮. 南水北调工程对长江河口生态环境影响[J]. 水资源保护,2002,18(3):10-13.
[6] 李有利,傅建利,杨春景,等. 黄河水量明显减少对下游河流地貌的影响[J]. 水土保持研究,2001,8(2):7-12.
[7] 姜海萍,汪德. 珠江河口治理工程对水环境容量的影响研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2001,29(1):93-95.

Impact of water diversion from Xinanjiang Reservoir to north Zhejiang Province on water environment at Qiantang Estuary

YOU Ai-ju¹, HAN Ceng-cui², SHI Ying-biao², ZHU Yuan-shen¹

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China)

Abstract :Based on the correlative analysis of field data and one-dimensional numerical model for saltwater intrusion, the impact of water diversion from Xinanjiang Reservoir on river course silting and saltwater intrusion at Qiantang Estuary was discussed. The result demonstrates that water diversion reduces the runoff volume toward the estuary and makes silting and saltwater intrusion at the river estuary more serious. Besides, it also causes different negative influences on water intake condition at different water intakes.

Key words :Qiantang Estuary; water diversion from Xinanjiang Reservoir to north Zhejiang Province; river course silting; saltwater intrusion