

基于取淡与流量控制的压咸调度方案研究

刘 斌,刘丽诗,吴 炜,闻 平,黄宇铭

(珠江水资源保护科学研究所, 广东 广州 510635)

摘 要:珠江三角洲素有“三江汇流、八门出海”之称,河网、河口系统之复杂在世界上首屈一指,咸潮活动也因复杂的水动力系统表现出异于世界其他河口的特点。同时,珠江三角洲人口众多、经济活动活跃,受咸潮影响人口超过 1 000 万人、取水规模超过 $1\,000\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。为此,珠江防总从 2005 年起已连续 8 次实施了水量调度,提出了梧州压咸流量不低于 $1\,800\text{m}^3/\text{s}$ 的单一控制指标,保障了供水安全。在 8 次水量调度的基础上,根据咸潮与径流、潮汐的响应关系,分 3 个流量级提出了基于平岗泵站和联石湾水闸取淡目标的西江+北江压咸补淡调度方案。

关键词:咸潮入侵;压咸补淡;珠江三角洲

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)04-0084-03

1 引言

珠江三角洲咸潮入侵主要受径流及潮汐动力作用影响,同时还受河口形状、河道水深、风力风向、海平面变化等因素影响^[1]。丰水期强大的径流动力压制了潮汐动力,咸水很难进入河口内,珠江三角洲主要被淡水控制;枯季随着径流动力的减弱,咸水上溯强度加大,影响了水资源的正常利用。潮汐动力具有一定周期性,受太阳及月球引力的影响,周期性表现在日周期及半月周期等。珠江三角洲为不规则半日潮,每日均有两次潮涨潮落过程,在每月的朔、望两日,涨潮过程中潮水位将达最大值,与此对应咸潮也呈现日周期及半月周期变化^[2]。

采用 2009~2010 年枯水期磨刀门水道平岗泵站咸潮强度、西江+北江当前径流流量(西江梧州水文站+北江石角水文站)、西江+北江前期径流流量、河口潮汐指标进行主成份分析可知:径流流量是咸潮强度

的主要影响因子,其中当前压咸流量(西江+北江当前径流流量)的影响大于前期底水情况(西江+北江前期径流流量);潮汐是咸潮强度的次要影响因子,但同样影响较大,在半月潮州期内不能被忽略^[3]。通过逐日咸潮强度与径流强度相关关系分析可知:除最大潮周期前第 3 日外,潮周期内各日咸潮强度与径流强度均呈低度以上相关关系,其余绝大部分呈显著相关关系,其中最大潮差前 2 日至最小潮差间时段咸潮强度与径流强度的相关关系明显强于最小潮差至最大潮差前 3 日时段。潮周期各日咸潮强度与径流强度的响应关系同样差异很大,以磨刀门水道平均咸界降至平岗泵站以下所需梧州+石角最小流量为例(见表 1),各日压咸流量与咸潮强度的呈现一致的周期变化过程,其中第 13 日(咸潮响度最强)所需压咸最大,为 $>3\,000\text{m}^3/\text{s}$,第 4、5 日最小,仅为 $1\,400\text{m}^3/\text{s}$ ^[4]。根据以上分析,基于取淡目标与流量过程控制从理论上可以节省压咸水量或提高取淡几率^[5]。

表 1 潮周期内各日咸界降至平岗泵站以下所需梧州+石角流量表

Table 1 The flow in the Wuzhou + Shijiao making the salt tide boundary retreated to the upstream of the Pinggang pump station

第 i 日	第 1 日	第 2 日	第 3 日	第 4 日	第 5 日	第 6 日	第 7 日
流量 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	2 250	1 900	1 500	1 400	1 400	1 600	2 000
第 8 日	第 9 日	第 10 日	第 11 日	第 12 日	第 13 日	第 14 日	第 15 日
2 200	2 500	2 700	2 900	3 000	>3 000	2 700	2 400

收稿日期:2012-10-30

作者简介:刘斌(1980-),男,河北唐山人,工程师,硕士,主要从事水文水资源研究。E-mail:zsuliubin@qq.com

2 取淡目标

在竹洲头泵站投入运营以前,平岗泵站和联石湾水闸是咸潮活动期珠海澳门供水的主要原水取水口,其中平岗泵站位于联石湾水闸上游,直接在磨刀门水道取水,因此延长其取淡几率可增加淡水取水量;联石湾水闸为坦洲联围内裕洲泵站的主要淡水来源,水闸调度利用大潮至中潮阶段的大潮差使坦洲涌内水体得到置换,达到蓄淡的目的,通常要求连续3天以上有取淡机会(即潮周期取淡几率大于20%)为宜。

3 过程控制

针对平岗泵站和联石湾水闸的取淡需求,经实践摸索和验证,采用压咸调度主要有三种:一是不做压咸调度,流量一般比较平稳,故又称“平均流量”型。指整个潮周期流量保持一致,西江+北江日均流量在潮周期中保持不变;二是“打头压尾”压咸^[6]。指选择咸潮由强转弱和由弱转强时对流量最为敏感的两个时段,加大西江+北江流量压制咸潮,其余时段减小流量,使西江+北江流量过程形成马鞍形,从而延长平岗泵站的取淡时间;三是“避涨压落”压咸,即避开咸潮强度最强的时段,在咸潮准备消落时集中加大流量,其余时段相应减小流量,使西江+北江潮流量过程形成阶梯形,有利于平岗泵站在咸潮强度较弱的时段形成稳定的取淡期,联石湾水闸能够有连续3天以上的机会洗涌蓄淡。调度中需要根据具体情况,经过多方案取淡效果的对比分析,选择最佳压咸时机和最小压咸流量。

针对平岗泵站,一般最佳压咸时机与最小压咸流量推荐如下(见表2):

(1)西江+北江流量高于 $2\,500\text{m}^3/\text{s}$ 时,不同方法取淡时间相差不大,可简化调度方式,以天然来水过程或其他调度方式作为压咸流量,不做压咸调度;流量短期(小于一个潮周期)低于 $2\,500\text{m}^3/\text{s}$ 时,亦可不做压咸调度。

(2)西江+北江流量低于 $2\,500\text{m}^3/\text{s}$,高于 $2\,200\text{m}^3/\text{s}$ 时,推荐马鞍型调度(打头压尾)方式。根据磨刀门水道咸潮运动规律,由于大潮期平岗泵站日取淡几率不仅与当前流量有关,与前期流量也呈显著相关关系,因此打头开始日期应较取淡期适当前移,一般选为最大潮差前第2天,持续3~4日;压尾开始日期为最小潮差前第2天,此时平岗泵站日取淡几率主要与当前流量有关,持续2~3日,压咸期流量需大于 $2\,500\text{m}^3/\text{s}$;此两

段时间外,西江+北江流量应高于 $2\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。如通过调度流量可在3日以上时间达到 $2\,800\text{m}^3/\text{s}$ 以上,联石湾水闸有取淡几率,亦可采用阶梯形调度(避涨压落)方式,首先在最大潮差前第2天增加流量至 $2\,400\text{m}^3/\text{s}$ 以上,持续2日,从最大潮差日开始连续3日增加流量至 $2\,800\text{m}^3/\text{s}$ 以上,之后减小流量。

(3)西江+北江流量低于 $2\,200\text{m}^3/\text{s}$ 时,推荐马鞍型调度(打头压尾)方式,视来水情况,打头时段适当后移,压尾时段不变,压咸期流量应大于 $2\,200\text{m}^3/\text{s}$,此两段时间外,西江+北江流量应高于 $1\,800\text{m}^3/\text{s}$ 。

以平岗泵站达到50%以上取淡几率为例,采用“平均流量”压咸,潮周期的日均流量应在 $2\,240\text{m}^3/\text{s}$ 以上;采用“打头压尾”压咸,潮周期平均流量约为 $2\,100\text{m}^3/\text{s}$,因此推荐“打头压尾”压咸方式。在保障平岗泵站取淡几率的基础上,为扩大取淡效果,可针对联石湾水闸,适当延长“打头”时间,以便联石湾水闸在中潮阶段连续3天出现取淡几率,将淡水蓄至坦洲涌内,在平岗泵站不能取淡时,由裕州泵站取淡补库。

表2 不同压咸方式下平岗泵站取淡时间

Table 2 The percentage of the fresh water supply time at the Pinggang pump station in different regulation pattern

西江+北江潮平均流量	取淡几率	
	“平均流量”	“打头压尾”
1 800	37%	44%
2 200	46%	50%
2 500	61%	62%
2 800	82%	82%

4 取淡效果

以2010~2011年枯季为例,平岗泵站推荐压咸起始时间见表3,各潮周期天然、实测取淡几率统计见表4和图1,磨刀门水道平岗泵站枯季平均取淡时间为79%,较天然条件下提高了17%。其中,在天然条件下,平岗泵站在2011年2月的取淡时间不到40%,经过科学调度后,平岗泵站的取淡时间提高到60%以上,较天然状态提高了20%,有效地保障了澳门、珠海供水安全。

2009~2010年枯季磨刀门水道平岗泵站枯季平均取淡时间为56%,较天然条件下提高了21%,从2008~2011年枯季看(见表4),天然取淡时间越少,采用最佳压咸时机、最小压咸流量的调度方式取淡时间

提高幅度越大。

表3 2010~2011年各潮周期压咸起始时间表及调度方式
Table 3 The starting date and regulation pattern in the various tidal cycles from 2010 to 2011

序号	公历	农历	调度方式
1	2010年10月7日	八月三十	平均流量
2	2010年10月24日	九月十七	平均流量
3	2010年11月6日	十月初一	平均流量
4	2010年11月22日	十月十七	平均流量
5	2010年12月5日	十月三十	打头压尾
6	2010年12月21日	十一月十六	打头压尾
7	2011年1月2日	十一月二十八	打头压尾
8	2011年1月18日	腊月十五	打头压尾
9	2011年1月31日	腊月二十八	打头压尾
10	2011年2月16日	正月十四	打头压尾

注:压咸起始时间列表(水量到达思贤滘时间)

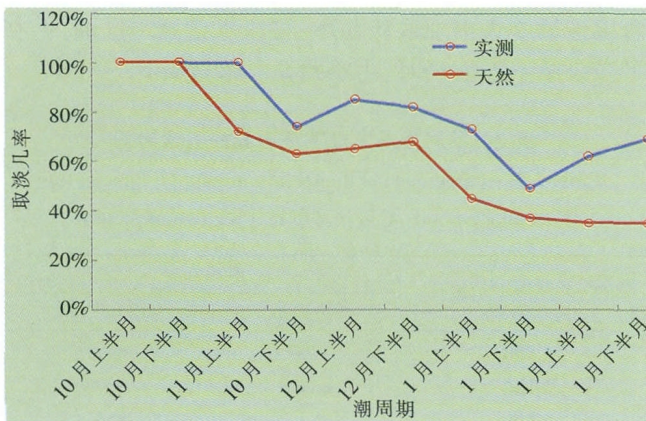


图1 平岗泵站各潮周期天然、实测取淡时间过程线图

Fig.1 The theoretical percentage and measured fresh water supply time at the Pinggang pump station in the various tidal cycles from 2008 to 2011

表4 2008~2011年枯季平岗泵站各潮周期天然、实测取淡几率统计表

Table 4 The theoretical percentage and measured fresh water supply time at the Pinggang pump station in the various tidal cycles from 2008 to 2011

枯季	2010~2011年	2009~2010年	2008~2009年
天然取淡几率	62%	35%	94%
实际取淡几率	79%	56%	94%
取淡几率差值	17%	21%	0%

5 结论

近年来,珠江三角洲枯水期咸潮活动强度增强,严重影响珠海澳门等地的供水安全。平岗泵站和联石

湾水闸是咸潮活动期珠海澳门供水的关键原水取水口。基于上述两个取水口的取淡目标,分西江+北江流量高于 $2500\text{m}^3/\text{s}$,介于 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 和 $2200\text{m}^3/\text{s}$ 之间和低于 $2200\text{m}^3/\text{s}$ 三种情况,分别推荐平均流量型、马鞍形或阶梯形和马鞍形调度方式。流量介于 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 和 $2200\text{m}^3/\text{s}$ 之间时马鞍形调度“打头”时间一般为最大潮差前第2天,“压尾”开始日期为最小潮差前第2天。如通过调度流量可在3日以上时间达到 $2800\text{m}^3/\text{s}$ 以上,亦可采用阶梯形调度(避涨压落)方式,首先在最大潮差前第2天增加流量至 $2400\text{m}^3/\text{s}$ 以上,持续2日,从最大潮差日开始连续3日增加流量至 $2800\text{m}^3/\text{s}$ 以上,之后减小流量;当流量低于 $2200\text{m}^3/\text{s}$ ，“打头”时间应后移,“压尾”时间不变。该调度方式经实践证明取得了良好的效果,有效保障了珠海澳门的供水安全。

参考文献:

- [1] 胥加仕, 罗承平. 近年来珠江三角洲咸潮活动特点及重点研究领域探讨[J]. 人民珠江, 2005, (2): 21-23. (XU Jiashi, LUO Chengping. Characteristics of saline water activities in the Pearl River delta in recent years and major studied basin [J]. Pearl River, 2005,(2):21-23. (in Chinese))
- [2] 闻平,陈晓宏,刘斌,等. 磨刀门水道咸潮入侵及其变异分析[J]. 水文, 2007,27 (3): 65-67. (WEN Ping, CHEN Xiaohong, LIU Bin, et al. Analysis of saltwater intrusion and its variation in Modaomen channel [J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27 (3) : 65-67.(in Chinese))
- [3] 刘斌,孔兰,刘丽诗. 基于主成份分析的磨刀门水道咸潮影响因素研究[J]. 人民珠江, 2012,(6): 24-26. (LIU Bin, KONG Lan, LIU Lishi. Research on impact factor of the salt tide intrusion in Modaomen waterway based on principal component analysis [J]. Pearl River, 2012,(6): 24-26. (in Chinese))
- [4] 珠江流域水资源保护局. 2010~2011年枯水期珠江水量调度——咸潮分析评价与预测预报技术总结报告 [R]. 2011. (Buear of Pearl River Water Resources Protection. Pearl River water resources regulation in the dry seasons from 2010 to 2011: the salt tide analysis and forecasting summary report [R]. 2011. (in Chinese))
- [5] 陈斌, 杨聿. 珠江骨干水库调度对遏制磨刀门水道咸潮上溯的效果分析 [J]. 广东水利水电, 2009,(4):10-14. (CHEN Bin, YANG Yu. The analysis on the efficiency of retreating salt tide in Modaomen waterway by the Pearl River major reservoir regulation [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2009,(4): 10-14. (in Chinese))
- [6] 水利部珠江水利委员会. 珠江压咸补淡调度关键技术与实践[R]. 2012. (Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources. Key technology and practice of the Pearl River water transfer project for repelling saltwater intrusion and supplementing freshwater [R]. 2012. (in Chinese)) (下转第74页)

- 1987, 3(1):133-144.(in Chinese))
- [6] Seidl I, Tisdell CA. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity [J]. *Ecological Economics*, 1999,31:395-408.
- [7] Population Information Network, United Nations Population Division, Department for Economic and Social Information and Policy Analysis. Population and environment in developing countries: a literature survey and bibliography [Z]. United Nations Population Division, 1994.
- [8] 童玉芬. 北京市水资源人口承载力再辨析[J]. *北京社会科学*, 2011, (5):22-28. (TONG Yufen. Re-discussion on population carry-capacity of water resources in Beijing[J]. *Social Sciences in Beijing*, 2011, (5):22-28. (in Chinese))
- [9] 覃成林,周立云,覃成菊. 北京城市人口增长调控研究[J]. *中国人口、资源与环境*, 2002,12 (6):141-143. (QIN Chenglin, ZHOU Liyun, QIN Chengju. Research on the control of urban population growth in Beijing [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2002, 12(6):141-143. (in Chinese))
- [10] 高玉山,桑琰云,徐刚,等. 楼兰的兴衰与环境变迁、灾变[J]. *阜阳师范学院学报(自然科学版)*, 2004,21 (3):59-61. (GAO Yushan, SANG Yanyun, XU Gang, et al. The rise and decline of Loulan and the environmental changes[J]. *Journal of Fuyang Teachers College (Natural Science)*, 2004,21(3):59-61. (in Chinese))
- [11] 王传武. 对水资源承载力几个基本问题的新认识 [J]. *水文*, 2009,29 (2):24-27. (WANG Chuanwu. New understandings about several basic concepts such as water resources carrying capacity [J]. *Journal of China Hydrology*, 2009,29(2):24-27.(in Chinese)),
- [12] 柯礼丹. 人均综合用水量方法预测需水量—观察未来社会用水的有效途径[J]. *地下水*, 2004,26(1):1-10. (KE Lidan. Forecast water demand by the method of comprehensive water use per capita—effective way for observing water use in future society [J]. *Ground Water*, 2004,26(1):1-10. (in Chinese))

Study on Urban Size Based on Water Resources Carrying Capacity

WANG Chuanwu

(*Culture & Communication Department, Jining University, Qufu 273155, China*)

Abstract: As for research on relationship between water resources and urban size, scholars made a lot of applied research on city water resources carrying capacity, while theoretical research is less. The deficiency of basic theory must lead to the problems of applied research. Some people will be in doubt about the existence of water resources carrying capacity objectively. From the connotation of carrying capacity, the existence objectivity of urban water resources carrying capacity was argued in this paper. Based on the definition of water resources carrying capacity, the two limits of water resources carrying capacity were brought forward: natural limit and social limit. This paper explained the difference of urban water resources carrying capacity because of the different scholars and structured an urban size model on city water resources carrying capacity. Taking Beijing City as an example, this paper calculated the concerned water resources carrying capacity.

Key words: water resources carrying capacity; urban size; natural limit; social limit; social and cultural standard

(上接第 86 页)

Pearl River Water Diversion Research Based on Drinking Water Supply Target and Flow Control

LIU Bin, LIU Lishi, WU Wei, WEN Ping, HUANG Yuming

(*Institute of Pearl River Water Resources Protection, Guangzhou 510611, China*)

Abstract: Pearl River Delta is characterized by the staggered distribution of rivers network and estuarine system, which is different from the other estuaries of the world. The salty water intrusion in this area is also different as the complex hydrodynamic system. At the same time, Pearl River Delta has a large population and active economic activities, the population affected by salty water intrusion is over 10 million, and the affected daily water supply is over 10million m³. Thus, Pearl River Water Resources Commission of MWR has implemented water diversion for 8 years since 2005, the flow for repelling salty water intrusion can not be less than 1 800m³/s at the Wuzhou station. Based on the relationship between the salty tide and runoff, this paper made an analysis and put forward a new water diversion scheme based on the drinking water supply target and flow controlling.

Key words: salty water intrusion; recharge fresh water for repelling saltwater intrusion; Pearl River delta