

基于“三条红线”约束的滨海区多水源联合调度模型

王 偲¹, 窦 明¹, 张润庆², 汤 勇², 张远东³

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 烟台市水利局, 山东 烟台 264000;
3. 水利部水资源管理中心, 北京 100053)

摘要:为实现多水源联合调度,在最严格水资源管理思想的指导下,研究探讨“三条红线”控制指标,即用水总量控制指标、用水效率控制指标和水功能区限制纳污控制指标的确定方法,并在充分考虑地表水、地下水、外调水、雨水等不同水源供水潜力和未来需水情况的基础上,构建基于“三条红线”约束的滨海区多水源联合调控模型。将该模型应用于莱州市,确定了莱州市不同规划水平年的“三条红线”控制指标,提出了多水源联合调度方案,该方案各项供水指标满足“三条红线”要求。

关键词:水资源管理;“三条红线”;多水源联合调度;莱州市

中图分类号:TV212.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)06-0006-05

Multiple-water source dispatching under constraints of “Three Red Lines”//WANG Cai¹, DOU Ming¹, ZHANG Runqing², TANG Yong², ZHANG Yuandong³(1. *College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China*; 2. *Yantai Water Conservancy Bureau, Yantai 264000, China*; 3. *Minstry of Water Resources, Center of Water Resources Management, Beijing 100053, China*)

Abstract: In order to realize multiple-water source dispatching, the methods for determining the “Three Red Lines” are discussed under the guideline of the strictest water resources management, that is, control of development and utilization of water resources, control of water use efficiency and restriction of pollutants in water function areas. A multiple-water source dispatching model under the constraints of the “Three Red Lines” is established by fully considering the supply potential of various water sources such as surface water, groundwater, transferred water and rainwater and the future water demand. This model is applied to Laizhou City, and the relevant control indices of the “Three Red Lines” under different planning years are determined. A scheme for multiple-water source dispatching is proposed. Every supply index of this scheme can meet the requirements of the “Three Red Lines”.

Key words: water resources management; “Three Red Lines”; multiple-water source dispatching; Laizhou City

随着 2011 年中央一号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》的提出,正式确立了将最严格水资源管理机制作为加快转变经济发展方式的战略举措,如何在水利工作中落实最严格水资源管理制度成为目前面临的最紧迫问题。近年来,研究者针对最严格水资源管理和“三条红线”进行解读和分析,在水资源管理理论体系和实践研究方面取得了一定的成果,涉及最严格水资源管理制度、水资源优化配置及节约用水和水资源保护等多个方面。但以上研究主要以定性分析为主,定量分析较少,尤其是“三条红线”与水资源配置相结合的研究成果较少。当前,有关水资源配置模型的研究经验趋于成熟,模型多以多层次、多工程、多用户、多水源为核心,如何将水资源配置模型应用于海水入侵地区,使之既能满足区域供需水的要求,又能推动海水入侵地区的地下水保护工作是目前的研究重点^[1]。本文结合滨海地区地下水保护工作的需要,科学划定“三条红线”管理指标,构建了基于“三条红线”约束的滨海区多水源联合调度模型,并以莱州市为例开展模型的应用研究。

1 “三条红线”控制指标的确定方法

“三条红线”控制指标(用水总量控制指标、用水效率控制指标和水功能区限制纳污控制指标)的确定是构建最严格水资源管理制度的前提。然而,目前许多地区在划定“三条红线”指标时,多带有一定的行政色彩和主观意识,缺乏科学严谨的论证态度。为此,首先探讨“三条红线”控制指标的确定方法,为实现多水源联合调度提供支撑。

1.1 用水总量控制指标的确定

用水总量控制指标是对取用水总量进行宏观、量化管理的控制指标。从区域供水结构特点出发,选取相应的用水总量控制指标,主要包括地表水用水量控制指标、地下水用水量控制指标和外调水用水量控制指标。在划定用水总量控制指标时,首先充分考虑区域的地表水、地下水资源条件和供水结构,以地表水可利用量和地下水可开采量作为用水量控制指标划定的上限值;其次考虑当前的水资源开发利用水平和替代水源工程的供水潜力,并遵照“优先考虑地表水、充分利用外调水、加大利用再生水、压缩开采地下水”的水源建设理念,给出地表水、地下水、外调水等不同水源在考虑水源置换前提下的最大供水能力;最后结合当地社会经济发展水平及需水情况,并充分考虑未来各指标的可实现性,对各水源的用水量指标进行合理调整,制定满足不同发展水平要求的用水总量控制指标。

1.2 用水效率控制指标的确定

用水效率控制指标是对区域用水行为进行精细化管理的控制指标。在选取用水效率控制指标时,可从工业、农业、居民生活等不同用水行业来选取相应的指标,如万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量、工业用水重复利用率、亩均灌溉用水量、农业灌溉水有效利用系数及人均综合生活用水量、农业节水灌溉率等。用水效率控制指标的确定方法为:首先,分析研究区当前各行业的用水定额大小,并将其与全国节水先进地区相同或相近行业的用水定额进行对比;其次,综合考虑研究区水资源条件、节水水平、替代水源建设情况、城镇居民收入等多方面因素,分析当地各行业的用水效率和节水潜力,确定在最大节水水平下的农业节水灌溉率、灌溉水有效利用系数、工业用水重复利用率和城市污水回用率等效率指标;最后,结合当地社会经济发展水平和水资源管理工作水平,并充分考虑未来各指标的可实现性,对指标进行适当调整,分析指标的合理性。

1.3 水功能区限制纳污控制指标的确定

水功能区限制纳污控制指标是对区域排污总量

进行定量化管理的控制指标。从水功能区管理的角度,可选取水功能区达标率、主要污染物入河总量、工业废水达标排放率、城市生活污水处理率等指标作为限制纳污指标。相应的确定方法为:首先,科学核定水功能区的水体纳污能力,针对划定的水功能区,在满足水域功能要求的前提下,明确水功能区的水质管理目标;选取合适的数学方法,并综合考虑水功能区的水文特性、自然净化能力、排污状况科学计算水体纳污能力。其次,结合水功能区达标现状、水体纳污能力、污水处理水平、污染源布局等多方面因素,确定污染负荷削减目标。最后,分析未来的排污水平和水质管理目标,分析水功能区限制纳污指标的可实现性,对指标进行适当调整,设定比较适合的控制指标值。

2 滨海区多水源联合调度模型的构建

在确定“三条红线”控制指标的基础上,还要通过实施多水源联合调度来实现对水资源的合理分配。针对滨海地区特点,建立多水源联合调度模型的主要设计理念如下:在最严格水资源管理思想指导下,结合滨海地区特点,以防止海水入侵为调控目标,提出相应的地下水开采量阈值和地下水位阈值^[2-3],进而结合以上指标确定方法提出适合滨海地区水资源管理工作的“三条红线”控制指标;以保障供水安全为目标,以“三条红线”控制指标为约束,在充分考虑地表水、地下水、外调水、雨水等不同水源供水潜力和未来需水情况的基础上,构建基于“三条红线”约束的多水源联合调度模型,优选出能满足所有约束条件的多水源联合调度方案。

2.1 目标函数

大部分沿海地区所面临的生态环境问题以海水入侵最为突出。该问题的解决可归结为如何协调处理好社会经济发展与生态环境保护、水资源开发利用之间的关系和矛盾,关键手段在于如何合理地配置水资源。因此在水资源配置时,应突出对地下水资源的调控,通过合理利用其他水源、有效压缩地下水开采来维持地下水系统的良性循环,防治海水入侵^[3-4]。

在防治海水入侵、合理开发利用地下水资源的前提下,以地下水开采量最小作为水资源调控的总体目标,由此构建目标函数:

$$\min W_g(x) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{j,i} Q_{j,i} \tag{1}$$

式中: m 为开采井的数量; n 为开采总时段; $C_{j,i}$ 为各开采井在各开采时段的开采天数; $Q_{j,i}$ 为各开采井在各开采时段的开采量。

2.2 约束条件

a. 地下水开采量和水位约束。依据地区多年地下水开采量及相应站点地下水位与监测井氯离子相关关系划定地下水开采量阈值、地下水位(或地下水埋深)阈值。为避免海水入侵,地下水系统的开采量和水位降深应低于相应的阈值。对于整个区域来说,水位降深阈值只是一个参考值,可以不考虑该约束;而当研究区域位于地下水降落漏斗区附近时,则必须要考虑该约束,即

$$W_g(x) \leq W_{GT} \tag{2}$$

$$H_{Gmin} \leq H_g(x) \leq H_{Gmax} \tag{3}$$

其中 $W_{GT} = \min(W_{GL}, W_{GA})$
式中: $W_g(x)$ 为地下水开采量; W_{GT} 为地下水开采量阈值; H_{Gmin} 为防止盐碱化水位调控阈值; $H_g(x)$ 为地下水位; H_{Gmax} 为防止海水入侵水位调控阈值; W_{GL} 为引起海水入侵的地下水开采量临界值; W_{GA} 为地下水可开采量。

b. 开采能力限制。考虑地下水开采量不应超过其可开采量,各开采井抽水设备能力不能超过其限定抽水量,即

$$Q_{j,i} \leq q_j \tag{4}$$

式中: q_j 为第 j 个开采井抽水设备的限定抽水量。

c. 可供水量约束。考虑到社会、经济和环境的可持续发展,水源供水量应大于用户需水量,但不超过其可利用的水资源总量,即

$$\sum (W_{sur} + W_g + W_r + W_w + W_{sea} + W_b) \geq \sum (D_{ind} + D_{dom} + D_{agr} + D_{env}) \tag{5}$$

$$\sum W_c \leq \sum D_{CA} \tag{6}$$

式中: $W_{sur}, W_g, W_r, W_w, W_{sea}, W_b$ 分别为地表水供水量、地下水供水量、雨水利用量、污水回用量、海水利用量和微咸水利用量; $D_{ind}, D_{dom}, D_{agr}, D_{env}$ 分别为工业需水量、生活需水量、农业需水量和生态需水量; W_c, D_{CA} 分别为某一水源的供水量和可供水量。

d. 用水效率约束。在规划水平年,工业需水定额、农业需水定额以及国民经济整体需水定额都应小于设计用水效率控制指标。为尽可能满足人民生活水平不断提高的物质需求,故未对生活需水定额作出限制,则用水效率控制指标如下:

$$D_I \leq D_{ID} \tag{7}$$

$$D_A \leq D_{AD} \tag{8}$$

$$D_E \leq D_{ED} \tag{9}$$

式中: D_I, D_A, D_E 分别为规划水平年的工业、农业以及国民经济整体需水定额; D_{ID}, D_{AD}, D_{ED} 分别为按照最严格水资源管理指导思想设计的工业、农业以及国民经济用水效率约束。

e. 水功能区限制纳污约束。研究区的污染物入河总量不得超过该区域内所有水功能区的纳污能力,即

$$S_I + S_D + S_P \leq S_{RN} \tag{10}$$

式中: S_I, S_D, S_P 分别为研究区的工业污染物入河量、生活污染物入河量及面源污染入河量; S_{RN} 为所有水功能区的纳污能力。

f. 非负约束。模型要满足决策变量非负约束:

$$x_{ij} \geq 0 \tag{11}$$

3 调度方案的优选

以上构建的模型是一个极其复杂的非线性优化模型,直接求解该模型比较困难,故采取计算机模拟技术,在多种方案中优选最佳方案。其思路为:按照预测规划水平年不同保证率条件下的需水量及供水量,进行水资源供需平衡分析;继而依据供需平衡分析结果进行水资源配置及依据地下水开采水平的调控指标来编制多水源调度方案;最后比对分析各方案,优选满足所有约束条件并能带来最大社会效益的方案作为最终调度方案。为了更好地缓解沿海地区海水入侵地下水的状况,将区域按照海水入侵区及非海水入侵区进行分区,分区标准以氯离子浓度等级划分为主要依据,考虑行政及地质情况划分计算单元。海水入侵地区严格控制地下水开采,地下水开采严重的地区实行地下水禁采,同非海水入侵区水资源进行联合调度,以满足供需要求^[5]。

4 算例分析

以莱州市为算例进行滨海区多水源联合调度模型的应用分析。莱州市位于胶东半岛西北部、莱州湾东岸,濒临渤海,全市总面积为1 878 km²,海岸线长108.7 km,属北温带季风区大陆性气候,2010年全市总人口达85.9万人。根据《烟台市水资源综合规划》1956—2000年水文系列资料成果,莱州市多年平均水资源总量为32 711万m³。2010年莱州市的总供水量为15 344万m³,其中地下水供水量占总供水量的54.5%,是主要的供水水源。农业用水量占总用水量的76.6%,是最大的用水行业^[6-7]。在水资源利用方面,莱州市用水还存在地表水和地下水用水比例失调、行业用水结构不合理、工业和农业节水水平不高、非常规水资源利用量偏少等问题。为了更好地解决莱州市用水问题,缓解海水入侵对地下水造成的危害,通过构建基于“三条红线”约束的多水源联合调度模型,研究提出多水源联合调度方案,进而实现对水资源的合理开发利用和科学配置^[8-9]。

4.1 确定“三条红线”控制指标

4.1.1 用水总量控制指标

结合莱州市水资源可利用量、社会经济发展水平及需水情况,并协调当地地下水采补平衡现状及水资源涵养恢复目标等要求,确定莱州市 2011 年用水控制指标为 1.89 亿 m³,其中地表水 0.86 亿 m³,地下水 0.86 亿 m³,引黄水量 0.17 亿 m³。

依据莱州市经济发展水平及用水需求,按照节水阈值的要求及用水总量控制指标的构建原则,设定用水总量控制红线初值,拟定 2015 年、2020 年、2030 年用水控制指标见表 1。

4.1.2 用水效率控制指标

结合莱州市实际用水水平,按照用水效率控制指标构建原则,设定用水效率控制红线初值,拟定莱州市 2015 年、2020 年、2030 年用水效率控制指标见表 2。

表 1 莱州市规划水平年用水总量控制指标 万 m ³					
规划水平年	地表水	地下水	区域外调水		用水总量
			引江水	引黄水	
2015 年	9 100	8 600	1 300	1 700	20 700
2020 年	10 000	6 500	1 300	1 700	19 500
2030 年	11 000	5 100	1 400	1 800	19 300

表 2 莱州市规划水平年用水效率控制指标			
规划水平年	万元 GDP 用水量/m ³	万元工业增加值 取水量/m ³	农业节水 灌溉率/%
2015 年	25	15.8	66.8
2020 年	20	14.0	68.0
2030 年	15	10.0	70.5

4.1.3 水功能区限制纳污控制指标

统筹莱州市未来污水处理水平、水资源保护要求和水环境建设目标,按照限制纳污控制指标构建原则,设定水功能区限制纳污控制红线初值,2015 年、2020 年和 2030 年莱州市水功能区限制纳污控制指标如表 3 所示。

4.2 调度方案

在莱州市水资源供需分析的基础上,计算出不同保证率条件下莱州市规划水平年的余缺水量,进而参照前面确定的“三条红线”控制指标和莱州市供用水实际情况编制多水源联合调度方案。不同保

表 3 莱州市规划水平年水功能区限制纳污控制指标

规划水平年	水功能一级区	水质目标	限制纳污指标/(t·a ⁻¹)	
			COD	NH ₃ -N
2015 年	王河莱州开发利用区	Ⅳ	178.40	10.85
	南阳河莱州开发利用区	V	404.49	17.47
	沙河莱州开发利用区	V	234.86	12.28
2020 年	王河莱州开发利用区	Ⅲ	178.40	10.85
	南阳河莱州开发利用区	V	350.34	15.16
	沙河莱州开发利用区	Ⅳ	234.86	12.28
2030 年	王河莱州开发利用区	Ⅲ	178.40	10.85
	南阳河莱州开发利用区	Ⅳ	296.19	12.85
	沙河莱州开发利用区	Ⅳ	234.86	12.28

证率条件下莱州市规划水平年的调控目标为:平水年(保证率 $P=50\%$)满足城乡生产、生活、生态用水需求,实现供需水平衡;枯水年($P=75\%$)基本满足城乡生产、生活、生态用水需求,允许少量缺水,缺水率控制在 5% 左右;特枯年($P=95\%$)基本满足城乡生活及工业供水和农业高效作物用水,缺水率控制在 20% 左右,通过丰、平水年间余水调节补充特枯年份缺水,实现供需基本平衡。调控方案编制原则为:若规划水平年有盈余水量,则在满足需水总量前提下,在供水方面通过减小地下水开采量,使地下水系统得到有效恢复;若规划水平年缺水,则在不进一步扩大需水总量的前提下,在供水方面通过挖掘地表水和其他水源的供水潜力以提高可供水量,同时适当限制地下水开采量,使地下水开采量尽量维持在开采量阈值附近。

根据莱州市多年地下水开采量、地下水水位与氯离子浓度的相关关系,将莱州市按海水入侵区与非海水入侵区进行分区,在此基础上得出根据不同区域取水要求与目标等条件计算的海水入侵区分区水源调控方案,综合研究区域各项节水目标及节水力度,控制海水入侵区地下水取水量,提高用水效率和节水水平,大力使用调配水水源,在“三条红线”约束下,得到了莱州市海水入侵区分区多水源联合调度方案^[10-11]。规划水平年 50% 保证率下莱州市分区多水源联合调度方案见表 4,对各规划水平年多水源联合调度方案下“三条红线”的考核评估见表 5。

表 4 50% 保证率下莱州市分区多水源联合调度方案																万 m ³
规划 水平年	分区	需水量						供水量								余缺 水量
		生活	第二 产业	第三 产业	农业	生态 环境	合计	地表水		地下水	外调水	雨水	海水	污水	合计	
								本地水	区内调水							
2015 年	一区	289	272	82	1494	16	2153	759	1063	0	177	3	33	118	2153	0
	二区	1833	1722	522	9461	104	13642	5873	-1063	6737	1123	22	207	743	13642	
2020 年	一区	346	333	110	1373	27	2189	880	873	0	177	12	82	165	2189	0
	二区	2193	2113	698	8694	173	13871	6451	-873	5528	1123	78	518	1046	13871	
2030 年	一区	422	484	126	1273	49	2354	1024	681	0	191	27	218	213	2354	0
	二区	2676	3071	799	8063	309	14918	7169	-681	4319	1209	168	1382	1352	14918	

注:一区为海水入侵区,二区为非海水入侵区。

表 5 莱州市多水源联合调度方案下“三条红线”考核评估

规划 水平年	用水总量/万 m ³						用水效率/ (m ³ ·万元 ⁻¹)		水功能区限制纳污/(t·a ⁻¹)			
	地下水用水量		地表水用水量		外调水用水量		万元 GDP 用水量		COD 入河量		NH ₃ -N 入河量	
	计算值	控制指标	计算值	控制指标	计算值	控制指标	计算值	控制指标	计算值	控制指标	计算值	控制指标
2015 年	6 737	8 600	6 632	9 100	1 300	1 300	22. 52	25	810. 60	817. 75	35. 43	40. 60
2020 年	5 528	6 500	7 331	10 000	1 300	1 300	14. 82	20	575. 80	763. 60	27. 31	38. 29
2030 年	4 319	5 100	8 193	11 000	1 400	1 400	9. 84	15	577. 65	709. 46	32. 61	35. 98

根据表 4、表 5 可知,该方案以分区规划供需水为主线,地下水压缩开采效果明显,各项供水指标满足“三条红线”要求。将海水入侵区与非海水入侵区供需水分别计算调配,可对地下水保护工作的进一步开展起到重要作用。

5 结 语

本文在最严格水资源管理思想的指导下,提出了基于区域水资源条件、开发利用现状、未来发展要求及区域地下水开采量和地下水位控制指标约束的“三条红线”控制指标的确定方法,并在充分考虑地表水、地下水、外调水、雨水等不同水源供水潜力和未來需水情况的基础上,构建基于“三条红线”约束的多水源联合调控模型,优选多水源联合调度方案。采用本文方法确定了莱州市不同规划水平年“三条红线”控制指标,并优选得出莱州市各规划水平年多水源联合调度方案,保证各项取水满足“三条红线”控制指标要求^[12]。模型应用结果表明,“三条红线”约束的多水源联合调度模型不仅满足当前水资源保护的要求,也能为将来滨海地区地下水保护、海水入侵防治提供支持,可为推动滨海地区水资源可持续利用和区域经济发展打下良好的基础。

参考文献:

[1] 李砚阁,雷志栋. 地下水系统保护研究[M]. 北京:中国

环境科学出版社,2008.

[2] 张华侨,窦明,张海林,等. 城市水资源“双线”配置模型研究[J]. 水电能源科学,2011,29(3):20-23.
[3] 尹明万,谢新民,王浩,等. 基于生活、生产和生态环境用水的水资源配置模型[J]. 水利水电科技进展,2004,24(2):5-8.
[4] 柳长顺,陈献,刘昌明,等. 国外流域水资源配置模型研究进展[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(5):522-524.
[5] 窦明,李重荣,马军霞,等. 大武水源地水资源优化配置模型研究[J]. 人民黄河,2006,28(8):28-30.
[6] 王秋贤,任志远,孙根牛. 莱州湾东南沿岸地区海水入侵灾害研究[J]. 海洋环境科学,2002(8):10-13.
[7] 姚普,姜振泉,田梅青. 烟台市海水入侵程度及影响因素探讨[J]. 江苏地质,2006,30(2):120-125.
[8] 吉孟瑞. 烟台市地下水人工调蓄可行性分析[J]. 山东地质情报,1992(4):10-15.
[9] 烟台市水利局. 烟台北部沿海经济产业带供水水源规划[R]. 烟台:烟台市水利局,2004.
[10] 荆艳东. 大连市海水入侵区地下水系统保护标准及确定方法[D]. 南京:河海大学,2005.
[11] 刘桂仪. 莱州湾南海咸水入侵的原因分析及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2000(11):1-4.
[12] 马凤山,蔡祖煌. 海水入侵灾害与区域农业持续发展对策[J]. 科学对社会的影响,1998(4):32-37.

(收稿日期:2012-03-05 编辑:骆超)

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号:28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊,A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,RCCSE 核心期刊,全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号:28-244,2013 年每期定价 12 元,全年 6 期共计 72 元。可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 河海大学《水利水电科技进展》编辑部
邮政编码:210098 电话/传真:025-83786335

E-mail:jz@hhu.edu.cn http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexjz.asp? d_id=5