

基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究 ——以河北省唐山市为例

严登华^{1,2}, 罗翔宇¹, 王 浩¹, 秦大庸¹, 余 骏³

(1.中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044; 2.水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044; 3.安徽省铜陵市第十三中学, 安徽 铜陵 244161)

摘要: 河道的最小控制流量和最大纳污控制量(简称“双总量”)是维系河流健康的决定性因子。论文初步建立了基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究技术框架,并对唐山市月尺度的“双总量”控制指标进行核算。通过水资源合理配置,除个别枯水年份和连续枯水年份外,唐山市河道的最小控制流量均可得到满足。在基准年、2010年和2020年3个规划水平年,唐山市规划河流COD的最大纳污控制量分别为16 357.57、12 659.19和11 572.50t/a;NH₃-N的最大纳污控制量分别为907.80、660.27和580.09t/a。在统一水资源配置平台上制定的“双总量”控制指标,从根本上保障了竞争用水条件下河流生态需水,客观确立了规划水平年河道纳污能力的年内分配,并整体上提高了河流的最大纳污能力。

关键词: 水资源合理配置; 最小控制流量; 最大纳污控制量; 唐山市

中图分类号: TV213 文献标识码: A 文章编号: 1000-3037(2007)03-0321-09

为维持河流的健康生命,人类需要科学调节其水资源开发活动,确保河流生态系统整体安全的水文与水质需求^[1-4]。为满足上述实践需求,在水资源管理中,人类需要客观确立河流最小径流需求(即河道的最小控制流量)及最大纳污控制量这两大总量控制指标(简称“双总量”),并通过水资源的优化配置和排污控制,确立科学的保障方案^[4-7]。就河流最小控制流量的相关研究而言,当前主要是将生态学与水文学基本原理相结合,求算河流断面在不同时空尺度上的生态需水量,尚未形成统一方法体系^[8]。就最大入河排污总量核算而言,通常是在确立控制断面设计流量、综合降解系数(K)等关键参数的基础上,借助于基于物料平衡的一维或二维水质演化模型进行求算,只有少部分大型河流采用三维水质模拟模型进行核算^[9]。然而在水资源管理实践中,更为重要的是通过水资源的合理配置,保障河流的最小径流需求^[5]。需要指出的是,通过水资源配置后,区域/流域人工侧支水循环过程将发生明显变化,从而对控制断面的过流量产生显著影响;若仅在历史序列的基础上确立设计流量这一关键因子,将与水资源管理的客观实践不符,也割裂了河流水质水量统一管理的内在联系。

本文将建立基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究的技术框架;并以此为基础,确立唐山市河流的“双总量”控制指标。本项研究不仅为唐山市的水资源管理提供理论依据,同时还为其它相关水资源与水环境规划管理提供技术支撑。

收稿日期: 2006-10-08; 修订日期: 2007-01-05。

基金项目: 国家 973 项目课题(G1999043602)“水分驱动下的海河流域生态演变机制与修复机理”。

第一作者简介: 严登华(1976-),男,安徽太湖人,博士,高级工程师,主要从事生态水文学、水资源与水环境综合调控及地理信息技术应用研究。

1 研究区概况

唐山市位于河北省东部,地理坐标为 117°31' -119°19' E, 38°55' -40°28' N,总面积为 13 472km²。区内发育了 70 多条河流,总体上划分为滦河水系、冀东沿海诸河水系和北三河水系(图 1, 见图版)。唐山市属于暖温带滨海半湿润气候区,多年平均降雨量 625mm,年蒸发量为 1 022mm;多年平均气温 10.6℃,无霜期 181d。区内自然植被属温带落叶阔叶林、冀东低山丘陵植被区;由于长期垦殖,典型的原始植被已被次生植被所取代。全市现辖 2 市、6 县、6 区、5 个开发区和 1 个管理区。截至 2003 年末,全市总人口达到 699.8 ×10⁴ 人;耕地面积 54.5 ×10⁴ hm²,主要种植小麦、水稻、玉米、花生等农作物。作为全国重要的工业城市,目前全市拥有 113 个工业门类,1 340 多种工业产品,已形成钢铁、能源、水泥、机械、化工、陶瓷、纺织、造纸等十大支柱产业。

2003 年唐山市共有排污口 2 762 个,年废水排放总量为 28 660.62 ×10⁴ t,处理率为 70.21%,达标排放率为 84.46%;主要污染物为化学需氧量、动植物油、六价铬、氨氮、氰化物、石油类、挥发酚等。唐山市河流水质污染较为严重,在 745km 监测河长中,II 类水质河长占 10.9%,III 类水质河长占 23.6%,IV 类水质河长占 7.4%,V 类水质河长占 9.0%,劣 V 类水质河长占 49.1%。

2 材料与方法

2.1 总体技术框架

基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究总体技术框架主要包括“两个层次,三个环节”。两个层次分别指水量调控层和水质调控层;其中水量调控层包括两个关键环节:最小控制流量核算及配置,推荐配置方案及重要控制断面的过水系列获取;在水质调控层主要含有河道最大纳污控制量核算这一关键环节(图 2)。

水量调控层的核心是水资源合理配置平台,包括水资源供需平衡模拟模型及配置方案评价及模拟模型。在本层中,首先以不同规划水平年河流生态修复目标为基础,遵循河道“水分-生态”耦合作用机制,对重要控制断面的最小控制流量进行核算;其次就是在水资源合理配置平台上,进行长

系列的需求平衡模拟与评价,对河流的最小控制流量进行统一配置;通过多方案比选,得到推荐方案情境下河流控制断面的过水系列。在本文中,模拟系列选用 1956—2000 年的逐月过程系列。

水质调控层次的核心是河流污染物迁移转化模型。在推荐方案过水系列的基础上,获取重要控制断面的设计流量,在本文中,选用上述系列中 95% 保证率下的过水量;结合不同断面的动态水质目标值,选取控制性污染指标,并分析其综合降解系数;进而

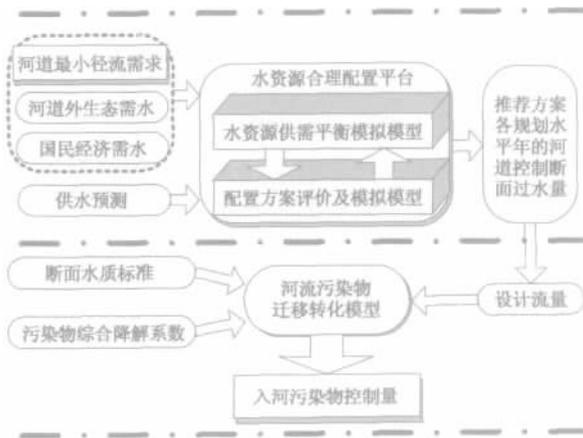


图 2 总体技术框架

Fig.2 General technical scheme

求算河道最大纳污控制量。

2.2 数据来源及控制断面选取

基础水文数据主要有 3 个来源, 分别是唐秦水文局《水文数据库》、第二次《唐山市水资源综合评价》成果数据库、《海河流域水资源综合规划》成果数据库; 数据年限为 1956—2000 年, 时间尺度为月; 本研究中所使用的其它需水与供水预测数据采用《唐山市水资源综合规划》的研究成果。

在充分考虑唐山市水系分布、水功能分区、水文/水质站网的空间布置、监测年限等因素的前提下, 确立 12 个断面作为本次研究的控制断面(图 1)。

2.3 河道最小控制流量

在各主要控制断面 1956—2000 年逐月实测径流的基础上, 参照《全国水资源综合规划技术导则》核算河道最小控制流量:

$$MEQ_i = \max(QT_{ij}, QS_j) \tag{1}$$

$$QS_j = \max(EW_{ij}, S_j, B_j) \tag{2}$$

$$EW_{ij} = \max(Q10_{ij}, QM_{ij}, Q95_{ij}) \tag{3}$$

$$S_j = S_{ij} / SCW \tag{4}$$

$$B_j = 20\% \cdot \bar{Q}_j \tag{5}$$

式中, MEQ 为控制断面最小控制流量, QT 与 QS 分别为采用 Tennant 法和分项计算法计算的最小河道径流; EW、S、B 分别为河道生态基流、输沙需水量和水生生物需水量; Q10、QM 和 Q95 分别为采用 10 年最小月平均流量法、典型年最小月流量法、Q95 法计算的河道生态基流; S_i 为平均输沙量, SCW 为水流输沙能力; \bar{Q} 为多年平均月径流量; i、j 分别为控制断面代码和月份; max 为求算最大值。

2.4 水资源合理配置平台

在对区域水资源系统进行深入分析的基础上, 构建区域水资源系统网络图, 建立水源与用水户之间的逻辑关系, 作为水资源合理配置的关键基础。在确立区域水资源配置准则与配置规则的基础上, 构建水资源合理配置平台, 对于各配置方案进行长系列的水资源供需平衡模拟(图 3)。通过方案的比选, 确立水资源合理配置的推荐方案。鉴于篇幅, 对此不做详细描述。

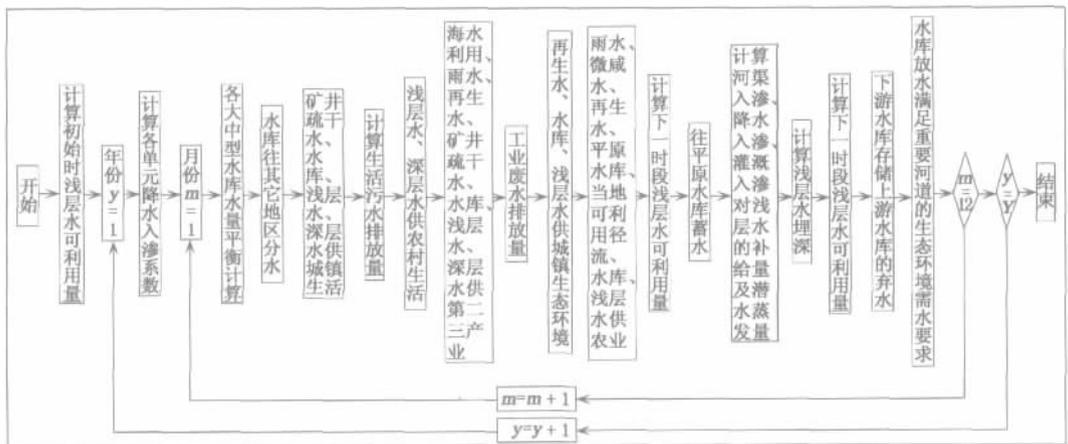


图 3 水资源合理配置模拟流程图

Fig.3 The modeling scheme of the rational water resources allocation

为对规划水平年河道最小控制流量配置效果进行分析, 以及区域入河污染物排放控制量计算, 在本次规划模型中, 还进一步输出推荐方案中各主要控制断面的逐月过水量。

2.5 河道最大纳污控制量核算

2.5.1 计算模型

根据不同水质模型适应范围, 结合唐山市的实际情况, 采用一维模型进行唐山市最大纳污控制量核算^[10]。

2.5.2 控制因子选取与参数率定

(1) 控制因子

在对河流水质污染评价的基础上, 选取对水质污染贡献最大的污染因子作为控制因子, 在本研究中, 选取 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为控制因子。

(2) 污染物衰减系数 K

综合降解系数主要体现污染物在水体中降解速度的快慢, 是进行水体纳污能力核算的决定性因子。在本次规划中, 采用实测资料反推与类比分析相结合的方法确定。

(3) 设计流量与平均流速

采用推荐方案中, 1956—2000 年系列 90% 保证率情况下重要断面的过水量作为设计流量。统计规划河道实测流量、流速资料, 建立流量-流速关系曲线, 根据该计算单元的设计流量, 由关系曲线确定相应的流速。流量-流速关系式为:

$$u=aQ^b \quad (7)$$

式中, u 为断面平均流速 (m/s); Q 为流量值 (m^3/s); a 、 b 为待定系数。

(4) 断面水质控制目标

根据地表水功能区划, 确立主要控制断面的水质标准; 结合各目标河段水质现状和区域水质质量保护目标, 确立不同规划水平年各主要控制断面的水质目标值 (表 1)。

表 1 不同规划水平年 COD 和氨氮水控制目标 (单位: mg/L)

Table 1 The controlling concentration levels of COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ in different plan level years

控制因子	等级	GB3838-2002	基准年	2010年	2020年
COD	II	15	14	13	11
	III	20	18	17	16
	VI	30	26	25	22
氨氮	II	0.5	0.4	0.35	0.25
	III	1.0	0.8	0.7	0.6
	VI	1.5	1.4	1.3	1.2

3 结果与讨论

3.1 河道最小控制流量核算与配置

3.1.1 河道最小控制流量需求特征

总体上看, 唐山市各河流控制断面的最小控制流量的最大值出现在 8 月, 其中 6—10 月的最小控制流量较大。但唐山市河流最小控制流量呈现出显著的空间分异态势 (图 4, 见图版)。

相比之下, 位于唐山中部冀东沿海诸河的河流生态与环境状况受到人类活动的集中影响更为强烈, 最小控制流量的年内变化较为复杂, 各控制断面在 1—7 月间的最小控制流量

变化迥异,但进入 8 月份后,其变化规律较为类似。位于东部的滦河水系和西北部的北三河流水系,各测站最小控制流量的月变化过程较为同步。就 6—10 月间滦河水系最小控制流量的变化而言,在 6—7 月间呈现出快速的增加趋势,但 7—8 月的增加幅度较之 6—7 月平缓,8 月以后,最小径流需求呈现出快速下降趋势;北三河水系径流最小控制流量的变化趋势与滦河水系相似,但在 6—8 月间,北三河水系的河道最小控制流量呈现出直线上升趋势。

3.1.2 基于水资源合理配置的河道最小控制流量保障程度分析

通过水资源合理配置,除在个别枯水年份或连续枯水年河道内的最小控制流量得不到满足以外,整体上仍可得到满足。根据配置结果,唐山市主要河道的季节性断流的态势可得到根本性的转变,河流生态系统可逐渐得到恢复。根据“生态系统优先配水”的原则,在 2010 年和 2020 年,唐山市河道内生态缺水状况将得到进一步改善,即使在枯水年或连续枯水年,其河道最小控制流量也可得到最大限度的满足(表 2)。

表 2 基准年 1956—2000 系列年主要控制断面最小控制流量配置结果
 Tables 2 The allocation results of minimum controlling flux of main gauges in the norm year

断面	指标	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
邱庄 水库	概率/%	12.96	12.96	5.56	11.11	16.67	9.26	11.11	12.96	11.11	5.56	7.41	11.11
	年数/年	7	7	3	6	9	5	6	7	6	3	4	6
陡河 水库	概率/%	3.70	3.70	3.70	3.70	1.85	1.85	3.70	3.70	1.85	5.56	3.70	3.70
	年数/年	2	2	2	2	1	1	2	2	1	3	2	2
唐山	概率/%	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	年数/年	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
大黑汀 水库	概率/%	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	年数/年	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
石佛口	概率/%	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	年数/年	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
滦县	概率/%	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	3.70	1.85	1.85	1.85	3.70	3.70
	年数/年	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2
桃林口 水库	概率/%	1.85	3.70	1.85	1.85	3.70	7.41	3.70	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
	年数/年	1	2	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1

注: 邱庄水库、陡河水库、大黑汀水库以及桃林口水库断面是指水库坝下的河道过水断面,不包括人工渠道; 缺水概率=断面过水流量低于最小控制流量的年数/系列年长度×100%。

3.2 入河排污总量控制方案

3.2.1 设计流量

现状基准年,桃林口水库、大黑汀水库、滦县、石佛口、陡河水库、胜利桥(唐山)和邱庄水库等重要控制站的年设计流量分别为 $30\ 482.7 \times 10^4$ 、 $67\ 381.2 \times 10^4$ 、 $83\ 521.8 \times 10^4$ 、 $4\ 506.6 \times 10^4$ 、 $1\ 942.9 \times 10^4$ 、 $11\ 736.4 \times 10^4$ 和 $754.4 \times 10^4 \text{m}^3$; 在 2010 规划水平年,受到区域水资源整体配置格局的影响,各控制断面的过水量也发生了变化,从而导致了设计流量的变化;桃林口水

库、陡河水库和邱庄水库三个断面的设计流量分别较之现状基准年增加了 $1\ 172.4 \times 10^4$ 、 394.7×10^4 和 $21.3 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其它各站的设计流量则有不同程度的降低，大黑汀水库、滦县、石佛口和胜利桥(唐山)等控制断面的设计流量分别较之现状年减少了 11.82%、1.64%、21.36%和 39.02%。在 2020 规划水平年，随着区域水资源配置格局的进一步调整，唐山市各控制断面的设计流量也进一步变化，但变化幅度较小；除邱庄水库断面设计流量较之 2010 规划水平年增加 1.04%外，其它各站均有所下降，下降幅度范围为 0.6%~14.8%。

总体上看，各测站设计流量在不同规划水平年情景下年内的变化情势相似。需要指出的是，区域污染物排放量的年内变化与区域用水量呈现出正相关关系，通过水资源配置后，河道过流量充分体现了区域用水过程的变化，从而在一定程度上保障了河道纳污能力的年内分配，克服了在历史水文系列中，因河道断流而导致污染物排放量为“零”的情势。

3.2.2 河流 COD 最大纳污控制量

基准年唐山市规划河流 COD 的最大纳污控制量为 16 357.57t/a，主要集中在滦河和陡河，分别占总纳污量的 42.86%和 44.56%。从年内季节变化来看，主要集中在 6 月、7 月和 8 月，分别占全年总量的 10.27%、15.27%、19.90%(图 5)。

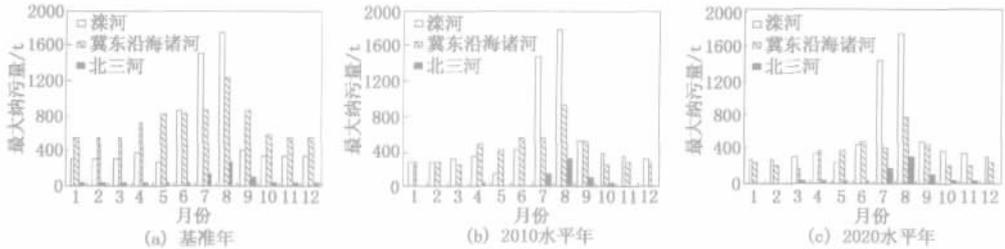


图 5 唐山市河流最大纳污控制量的年内变化

Fig.5 The intra-annual variation of the maximum controlling pollutants loads of rivers in Tangshan in the norm year

在 2010 年和 2020 年两个规划水平年内，水资源保护的浓度标准更为严格，使得在这两个规划水平年内 COD 的最大纳污控制量有一定程度的减少。2010 规划水平年唐山市河流 COD 的最大纳污控制量为 12 659.19t/a，比基准年减少了 22%；2020 规划水平年唐山市河流 COD 的最大纳污控制量为 11 572.50t/a，比基准年减少了 29.25%。同时，纳污量的空间分配比率也较之基准年发生了明显变化。2010 规划水平年滦河 COD 最大纳污控制量所占比率达到 52.86%，陡河 COD 最大纳污控制量所占比率有所下降；2020 规划水平年滦河 COD 最大纳污控制量所占比率达到 52.86%，而陡河所占比率仅为 29.23%(表 3)。从年内构成来看，

表 3 不同规划水平年唐山市主要河流最大纳污控制量(COD)

Table 3 The maximum controlling COD loads in different plan level years in Tangshan

		滦河		冀东沿海诸河		北三河		总允许量
		滦河	小青龙河	沙河(1)	陡河	还乡河	沙河(2)	
基准年	总允许量/t	7 010.99	0.12	1 376.28	7 288.70	433.29	248.19	16 357.57
	百分比/%	42.86	0.00	8.41	44.56	2.65	1.52	100.00
2010年	总允许量/t	6 691.94	0.00	1 040.64	4 135.23	505.02	286.36	12 659.19
	百分比/%	52.86	0.00	8.22	32.67	3.99	2.26	100.00
2020年	总允许量/t	6 598.47	0.00	823.22	3 382.37	491.25	277.19	11 572.50
	百分比/%	57.02	0.00	7.11	29.23	4.24	2.40	100.00

2010 年和 2020 年两个规划水平年也主要集中在 6 月、7 月和 8 月。

3.2.3 河流氨氮最大纳污控制量

基准年唐山市主要规划河流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的最大纳污控制量为 907.80t/a, 其空间分布与时间分布与 COD 类似 (表 4)。

表 4 不同规划水平年唐山市主要河流最大纳污控制量 ($\text{NH}_3\text{-N}$)
Table 4 The maximum controlling $\text{NH}_3\text{-N}$ loads in different plan level years in Tangshan

		滦河		冀东沿海诸河			北三河		总允许量
		滦河	小青龙河	沙河(1)	陡河	还乡河	沙河(2)		
基准年	总允许量/t	385.46	0.00	74.97	407.63	25.36	14.38	907.80	
	百分比/%	42.46	0.00	8.26	44.90	2.79	1.58	100.00	
2010 年	总允许量/t	336.47	0.00	54.73	224.63	28.42	16.02	660.27	
	百分比/%	50.96	0.00	8.29	34.02	4.30	2.43	100.00	
2020 年	总允许量/t	296.88	0.00	45.43	192.56	28.94	16.28	580.09	
	百分比/%	51.18	0.00	7.83	33.19	4.99	2.81	100.00	

4 结论

(1) 在统一水资源配置平台上制定的“双总量”控制指标, 从根本上保障了竞争用水条件下河流生态需水, 可客观确立规划水平年河道纳污能力的年内分配, 并从整体提高河流的最大纳污能力。

(2) 唐山市的最小河道控制流量具有显著的地域分异, 通过水资源的合理配置, 除个别枯水年份或连续枯水年份外, 河道的最小控制流量均可得到保障。

(3) 基准年唐山市规划河流 COD 的最大纳污控制量为 16 357.57t/a, 2010 年和 2020 年分别比基准年减少了 22%和 29.25%; 基准年唐山市主要规划河流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的最大纳污控制量为 907.80t/a, 2010 年和 2020 年两个规划水平年分别减少了 27.26%和 36.09%。

参考文献 (References):

- [1] UNESCO. Water Interactions: Systems at Risk and Social Challenges Issues and Strategies—6th Phase of the International Hydrological Programme 2002- 2007[M]. UNESCO, 2002.
- [2] Zalewski M. Integrated Watershed Management-Ecohydrology-Phytotechnology-Manual[C]. UNEP, 2004.
- [3] Michael J C, Christine H J, Gerardo C M. A preliminary water balance for the Colorado River delta, 1992- 1998[J]. Journal of Arid Environments, 2001, (49): 35- 48.
- [4] Chunmiao Zheng, Gordon D Bennett. Applied contaminant transport modeling (second edition)[M]. New York: A John Wiley & Sons, Inc., 2002. 4- 25.
- [5] 游进军. 水资源系统模拟理论与实践[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005. [YOU Jin-jun. Theory and Application on Water Resources System Model. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005.]
- [6] 赵勇. 广义水资源合理配置研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2006. [ZHAO Yong. Study on Generalized Water Resources Rational Allocation. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2006.]
- [7] 严登华. 黑河流域生态水文过程及其综合调控[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005. [YAN Deng-hua. A Study on Eco-hydrological Process and Integrated Regulations on It in the Heihe Basin. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005.]
- [8] 史晓新, 朱党生, 张建永. 现代水资源保护规划[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. [SHI Xiao-xin, ZHU Dang-sheng, ZHANG Jian-yong. Modern Water Resources Protection Planning. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.]

The Dual Gross Control of Rivers Based on the Rational Water Resources Allocation — A Case Study on Tangshan

YAN Deng-hua^{1,2}, LUO Xiang-yu¹, WANG Hao¹, QIN Da-yong¹, SHE Jun³

(1.China Institute of Water Resources and Hydro-power Research, Beijing 10044, China; 2.Research Center on

Water Resources and Ecology of the Ministry of Water Resources, Beijing 100044, China;

3.The 13rd Middle School of Tongling City in Anhui, Tongling 244161, China)

Abstract: Minimum controlling flux(MCF) and Maximum controlling pollutant load(MCP) (for short as “dual gross”) are the key indexes for integrated regional water quality and quantity management and to sustain the ecological health of the rivers. The technical scheme for the dual gross control research has been erected primarily in this manuscript, and with such a scheme, the monthly dual gross control indexes have been derived. With the rational water resources allocation, the MCF in Tangshan can be complied except the low water year and continuous low water years. The maximum controlling COD load of rivers in Tangshan in the basic planning year, 2010 and 2020 are 16 357.57t/a, 12 659.19t/a and 11 572.50t/a, respectively, and the maximum controlling NH₃-N are 907.80t/a, 660.27t/a and 580.09t/a accordingly. With dual gross control indexes sustained by the unified water resources allocation platform, the eco-water requirement of rivers can be guaranteed under the condition of the water users competition; and the distribution of the pollutant carrying ability in a year can be derived subjectively; at the same time, the MCP can be improved.

Key words: rational water resources allocation; minimum controlling flux; maximum controlling pollutant load; Tangshan

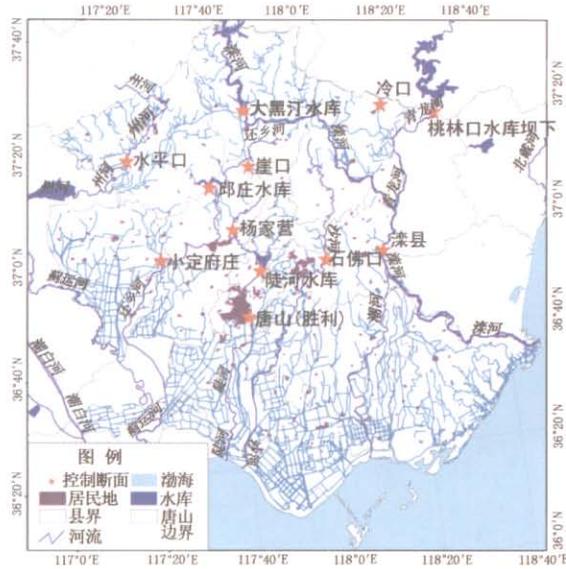


图 1 唐山市水系图

Fig.1 Water systems of Tangshan

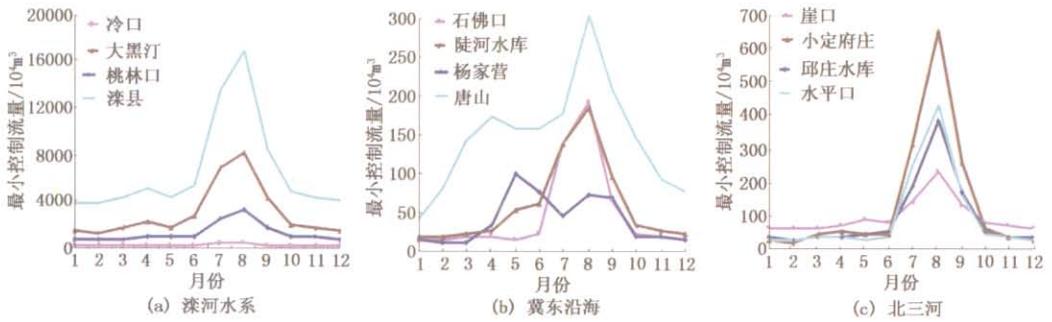


图 4 唐山市主要河流最小控制流量

Fig.4 The minimum controlling flux of main river in Tangshan