

文章编号:0559-9350(2009)12-1409-07

基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划研究Ⅲ:应用

桑学锋,秦大庸,周祖昊,葛怀凤

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所,北京 100038)

摘要:将基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划理论与方法应用于天津市,按照“制定目标 ET—方案设置—情景模拟—方案评价—方案推荐”的规划方法,提出天津市基于广义 ET 的水资源和水环境综合规划方案。依据构建的区域水资源与水环境综合模拟模型、量化准则及方案优选方法,以天津市为例进行了应用。针对 2020 水平年南水北调东线不通水的情况,提出针对天津市水资源与水环境规划的七大总量控制:ET 消耗控制量为 74.7 亿 m³、地表水取水控制量为 32.3 亿 m³、地下水取水控制量为 1.2 亿 m³、国民经济用水控制量为 28.8 亿 m³、生态修复用水控制量为 3.2 亿 m³、污染物排放氨氮控制量为 1.02 亿 t、COD 控制量为 7.5 亿 t、入海水控制量为 16.4 亿 m³。分析结果表明,基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划理论与方法有利于合理解决天津市水资源紧缺、地下水超采、环境污染等问题,支撑天津市社会经济和生态环境的可持续发展。

关键词:ET 控制;水资源;水环境;综合规划;天津

中图分类号:TV213

文献标识码:A

人类活动的强烈干扰使得水循环的迁移转化变得错综复杂,在很多地区,人工水循环通量已经超过天然水循环通量,表现出典型的区域“自然—人工”二元水循环特征^[1]。传统的水资源与水环境规划多从以供定需、控制取水的角度来进行规划管理,会导致耗水加大、下游断流的情况,现已不能满足区域的水资源、社会经济及生态环境的综合规划及其持续发展。基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划,以区域水资源为基础,以自然—人工复杂系统为调控对象,以区域耗水、地下水开采、污染物排放量及人饮安全等为总控,通过调整产业结构、定额管理、节水措施,降低 ET 消耗,提高耗水效益,从耗水角度进行水资源综合管理,有利于解决缺水地区的水资源危机,实现社会经济可持续发展及生态环境良性循环的有效途径。本文在文献[2—3]的理论分析及模型建立的基础上,按照“制定目标 ET—方案设置—情景模拟—方案评价—方案推荐”的过程,以天津市为例进行应用与分析。

1 研究区概况

天津市位于华北平原东北部,海河流域下游,北依燕山,东临渤海,素有“九河下梢”之称,全市总面积 11 919.7 km²,2004 年人口 932.55 万人。境内有一级河道 19 条,二级河道 79 条。随着工、农业发展,20 世纪 50 年代以后,海河流域进行了大规模的水利建设,天津市开挖了青龙湾、永定新河、独流减河、马厂减河、子牙新河等人工河道,同时兴建了一大批水闸、水库和扬水泵站。截至 2004 年,天津市共有大型水库 3 座、中型水库 12 座、小型水库 126 座、大中型水闸 50 多座,改善了排涝条件,形成了人工河道和天然河道纵横交错、水系散乱、水利工程密布的格局。同期天津市地下水开采井总计 32 076 眼,其中深井为 12 953 眼、浅井 19 223 眼。入境水量受上游地区水利工程和水资源开发的影响而日趋减少。

收稿日期:2008-12-21

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2006CB403401);国家自然科学基金创新研究群体基金项目(50721006);世界银行全球环境基金(GEF)资助项目(TF053183)

作者简介:桑学锋(1978—),男,山东邹城人,博士,主要从事水文与水资源、水环境综合调控研究。E-mail: xuefengsang@gmail.com

天津市人均水资源占有量大约只有 160m^3 ^[4],为全国人均水资源占有量的 P15,仅为世界平均水平的 P60,水资源极度匮乏,是全国人均水资源占用最少量的城市。根据 2004 年监测,天津市地表水环境质量状况依然不容乐观,除饮用水输水河道保持 III 类水质外,其他河流的水质基本都是 V 类或劣 V 类水平。水资源短缺及水污染引起的生态环境恶化成为天津市水资源面临的突出特点,如果没有重大的改变,水资源危机将成为城市增长和农业发展的瓶颈。

2 基于广义 ET 的天津市水资源与水环境综合规划的方案研究

2.1 方案设置依据 水资源与水环境综合规划的目的是通过协调生态环境和社会经济两大系统之间及社会经济系统内部用水关系,实现社会经济持续发展和生态环境良性运转^[5]。区域水资源与水环境综合调控问题主要为:(1)区域水资源调控的基本准则,包括研究区与邻近地区的水量分配方案、水资源系统在调度运行中遵循的基本准则等;(2)用水模式,主要包括部门用水比例、用水结构、用水效率和节水水平等;(3)供水潜力的挖掘,包括水利工程的建设、非常规水源的开发利用等^[6]。

在设置方案时,首先是以现状为基础,包括现状的用水结构和用水水平、供水结构和工程布局、现状生态格局等;其次参照各种规划,包括区域社会经济发展、生态环境保护、产业结构调整、水利工程及节水治污等方面的规划;最后充分考虑外调水因子、地下水因子、非常规供水因子、节水因子、生态因子和环境因子。

2.2 水平年及水文系列 天津市基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划采用长水文系列进行年月调节计算方法,考虑到天津市下垫面及水文变化情况,选择更能代表现状水资源供需特点的 1980—2004 年进行调节计算,确定现状年为 2004 年,规划水平年为 2020 年。

2.3 方案设置 根据天津市水资源现状,结合区域水资源及水利工程的相关规划,将供水方案集、节水方案集、水生态方案集、水环境污染控制方案集两两组合形成初始方案集,进一步考虑合理方案的非劣特性,采用人机交互及专家评审的方式排除初始方案集中代表性不够和明显较差的方案,得到天津市 2020 规划水平年水资源与水环境综合规划 8 套方案集。各方案的设置情况见表 1。

表 1 水平年方案设置

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
外调水因子	引滦引黄水	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	南水北调中线	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	南水北调东线	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
地下水因子	地下水超采控制	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
非常规水因子	再生水回用	高	高	高	低	高	高	低	低
	海水利用	高	高	高	低	高	高	低	低
	微咸水利用	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	雨水利用	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
节水因子	种植结构调整	✓	×	✓	×	✓	×	✓	×
	农业节水措施	中	中	低	高	中	中	高	高
	二三产与生活节水	低	低	低	高	低	低	高	高
生态因子	河道内最小蓄水量	✓	✓	✓	✓	✓	4	4	✓
	河道外生态用水	高	高	高	高	低	低	低	低
	入海水量控制	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
环境因子	污染控制	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

注:“✓”表示生效的因子,“×”表示未生效的因子;对于中线和非常规水供水方案,高、中、低分别指高供水水平、中供水水平和低供水水平;对于节水方案,高、中、低分别指高节水水平、中节水水平和低节水水平;对于河道外生态用水方案,高、低分别指高用水水平和低用水水平。

2.4 方案设置说明 (1)外调水因子:现状年和规划水平年引滦水 1980—2004 年平均年供水 $7.25\text{亿}\text{m}^3$;在特枯年份引滦得不到保障的时候,引黄作为特殊情况时的应急供水或相机补水水源。考虑工程进度、配套设施、水质因素,2020 年南水北调中线水为 100%供水,对东线供水设定 100%供水和不供水

两个水平。(2)地下水因子:2020年地下水超采完全控制,实现地下水采补平衡。(3)非常规水因子:考虑工程配套措施、工程成本、用水户落实情况等因素,对规划水平年的非常规水利用设定高、低两个水平。2020年高水平再生水、海水、微咸水和雨水年供水能力分别为14.69亿、2.44亿、0.48亿和0.15亿 m^3 ,低水平再生水、海水、微咸水和雨水年供水能力分别为8.79亿、1.54亿、0.48亿和0.15亿 m^3 。(4)节水因子:①种植结构调整,考虑天津市的水资源条件和农业发展规划等因素影响,初步设定种植结构调整与不调整两个水平。其中种植结构调整方案是将P4的小麦和玉米复种面积改种棉花。②农业节水,考虑先进农业技术发展、灌溉制度改革、田间配套设施完善等因素影响,2020年对应的种植结构不调整的高中低节水水平多年平均农业灌溉毛定额为328.6、356.4、395.7mm,种植结构调整的高、中、低节水水平多年平均农业灌溉毛定额为330.6、358、397.2mm。(5)二三产和生活节水:考虑二三产和生活节水改造、管网改造、工艺水平发展等因素影响,设置二三产、生活为高节水和低节水水平,2020年二产、三产、城市生活、农村生活的高节水定额分别为6.1 m^3 万元、4.5 m^3 万元、134 E (人·d)、95 E (人·d);其低节水定额分别为6.8 m^3 万元、4.1 m^3 万元、137 E (人·d)、98 E (人·d)。(6)生态因子:①根据河道生态基流计算方法,河道内最小用水量设定为3.2亿 m^3 ;②河道外生态用水考虑生态修复目标及可恢复性、生物对水分的适宜性以及供水状况等因素的影响,设定了高、低两个水平,分别为5.67亿和3.68亿 m^3 。(7)入海水量控制:根据入海口盐度要求,入海水量控制为16.4亿 m^3 。(8)环境因子:2020年污染物减排达到水功能区要求。

3 基于广义 ET 的天津市水资源与水环境规划方案计算及分析

3.1 ET 控制目标 区域目标 ET 是指在一个特定发展阶段的流域或区域内,以其水资源条件为基础,以生态环境良性循环为约束,满足经济持续向好发展与和谐社会建设要求的可消耗水量^[7],参考文献^[7]的区域目标 ET 的理论与计算方法,规划 2020 水平年天津市的 ET 控制总量见表 2。

表 2 规划水平年天津市目标 ET

2020 水平年	南水北调东线通水情况	南水北调东线不通水情况
目标 ET mm	650	635

3.2 方案计算 基于天津市水资源与水环境综合模拟模型^[3],对筛选得到的方案集进行模拟计算,采用天津市水资源与水环境综合规划五大指标体系对模拟的结果进行评价^[2],并对方案结果进行对比分析,优选出水资源与水环境综合规划的推荐方案。表 3 是对方案的模拟计算的多年平均结果,分别从资源、环境、生态、社会、经济等五大指标体系^[2]进行评价。

3.3 方案分析及优选 本次规划涉及到的评价指标众多,由于各评价指标相互联系、相互制约而又不易公度,因此采用多目标、群决策模型方法对各个方案评价指标进行量纲的归一化操作,见式(1),并对各个量化指标采取求最大化处理方法得到修正后的指标归一化值,见式(2),最后得到各方案的综合评价得分。

$$V_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n X_{ij}^2}} \quad (1)$$

$$SC_{ij} = V_{ij}(\text{如果 } V_{ij} \text{ 求最大}); SC_{ij} = M - V_{ij}(\text{如果 } V_{ij} \text{ 求最小}) \quad (2)$$

式中: V_{ij} 为*i*指标*j*方案指标归一化的值; X_{ij} 为*i*指标*j*方案的值; SC_{ij} 为修正后的指标归一化值; M 为一比较大的数值。

以生活用水、区域总 ET 控制、地下水开采控制、河道水质达标作为区域水资源与水环境规划研究的目标,作为强约束指标,如果方案达不到上述某一指标,则反映该方案失效,不能支撑区域的水资源与水环境协调发展,该方案则被淘汰。由于多目标模型性质决定了可能会出现多个非劣解,因此最后根据各方案的评价结果,结合专家经验法及当地实际情况对方案进行评价筛选寻优,从而确定推荐方案。各

方案所得的评价结果如表 4 所示。

表 3 方案计算结果

方案		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
资源	二三产 EP 万 m ³	29 117	29 115	29 128	27 367	28 804	28 799	26 919	26 919	
	生活 EP 万 m ³	16 232	16 232	16 232	15 760	162 32	16 232	15 760	15 760	
	农业 EP 万 m ³	268 268	272 985	27 7134	266 116	270 976	276 236	262 845	268 869	
	生态 EP 万 m ³	443 230	434 413	432 159	444 876	434 255	431 660	438 472	435 354	
	综合 EP 万 m ³	756 847	752 745	754 653	754 119	750 267	752 927	743 996	746 902	
	综合 EP mm	633	630	632	631	628	630	623	625	
	目标 EP mm	650	650	650	650	635	635	635	635	
	是否满足	是	是	是	是	是	是	是	是	
	地下水开采	浅层开采 万 m ³	17 717	18 540	18 968	17 934	19 424	20 345	19 007	19 760
		浅层开采目标	41 600	41 600	41 600	41 600	41 600	41 600	41 600	41 600
开采达标		达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	
深层开采 万 m ³		5 327	5 566	5 757	5 234	5 392	5 585	5 544	5 604	
深层开采目标		6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	
开采达标		达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标	
生态	城镇生态	需水 万 m ³	17 468	17 468	17 468	17 468	17 468	17 468	17 468	
		供给 万 m ³	17 468	17 468	17 468	17 468	17 468	17 468	17 468	
		缺水率 %	0	0	0	0	0	0	0	
	农村生态	需水 万 m ³	56 718	56 718	56 718	56 718	36 824	36 824	36 824	
		供给 万 m ³	39 356	38 595	38 457	39 737	28 141	27 776	28 966	
		缺水率 %	31	32	32	30	24	25	21	
	总入海量	入海水量 万 m ³	16.5	16.4	16.6	16.8	16.5	16.5	16.8	
		目标 万 m ³	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	
		是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	
	4—6 月入海量	入海水量 万 m ³	3.5	3.3	3.4	3.7	3.9	4	3.9	
		目标 万 m ³	2	2	2	2	2	2	2	
		是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	
环境	氨氮	河道水庖 (mg/L)	1.27	1.26	1.28	1.21	1.25	1.26	1.13	
		是否达标	是	是	是	是	是	是	是	
社会	城市生活	缺水率 %	0	0	0	0	0	0	0	
	农村生活	缺水率 %	0	0	0	0	0	0	0	
	二三产	缺水率 %	0	0	0	0	1.3	1.3	1.3	
	农业	缺水率 %	24.2	25.7	26.2	24.1	24	25.5	22.4	
	城镇生态	缺水率 %	0	0	0	0	0	0	0	
	农村生态	缺水率 %	31	32	32	30	24	25	21	
经济	二三产	效益 亿元	17 626	17 624	17 632	16 123	15 858	15 858	17 436	
	一产	效益 亿元	86	89	93	84	84	87	89	
	总计	效益 亿元	17 712	17 713	17 725	16 207	15 942	15 945	17 525	

8 个方案的综合 ET 在 623~638mm 间。由于外调水的边界条件发生了变化,根据目标 ET^[7]的计算方法 2020 年方案 S1—S4 天津目标 ET 为 650mm,方案 S5—S8 天津目标 ET 为 635mm,各方案的 ET 均得到了满足。方案的入海水量在 16.6 亿~17.5 亿 m³ 间,目标入海水量为 16.4 亿 m³,各方案也均满足。地下深层水开采量在 5234 万~5604 万 m³ 间,2020 年深层水的开采目标为 6 000 万 m³,各方案均达到了控制目标。城镇生态用水为 1.6 亿~1.7 亿 m³,均得到满足;河道外生态用水在 2.4 亿~3.5 亿 m³ 间,缺水率在 21%~32% 之间;一二三产总效益在 15 942 亿~17 725 亿元之间。各方案最后评分见表 4,南水北调东线通水和不通水边界条件下的方案优先顺序分别为 S4>S1>S2>S3 和 S7>S8>S5>S6。结合表 3 可以看出,对区域 ET 产生影响的主要指标依次为生态 ET>农业 ET>二三产业 ET>生活 ET,但从可控 ET 分析来看,影响区域总 ET 变化的主要为农业 ET 和二三产业 ET。在南水北调东线通水的前 4 种方案 S1—S4 中推选方案 S4;在南水北调东线不通水的后 4 个方案 S5—S8 中,考虑方案 S7 与方案 S8 的差别仅为农业结构调整和不调整,方案 S7 的农业结构调整是将玉米和小麦的 P4 改为棉花,整体评分来看,方案 S7 与方案 S8 各分项指标相差不大,尤其综合 ET 相差仅为 2mm,考虑到粮食安全问

综合考虑推选方案 S8。

表 4 2020 水平年方案综合评选

优先次序	指标细项	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	生活用水指标	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	区域总耗水量	1.006	1.002	1.005	1.003	0.998	1.002	0.990	0.994
3	地下水超采量	1.032	0.988	0.953	1.049	1.020	0.985	0.992	0.981
4	氨氮满足程度	0.967	0.976	0.959	1.016	0.984	0.976	1.081	1.041
5	各产业缺水率	1.012	0.951	0.931	1.016	1.020	0.959	1.086	1.024
6	城市生态用水	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	鱼苗期入海量	0.949	0.895	0.922	1.003	1.058	1.085	1.058	1.031
8	河道内用水量	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	多年入海量	0.995	0.989	1.001	1.013	0.995	0.995	1.013	1.001
10	林草湿地用水	1.167	1.145	1.141	1.178	0.835	0.824	0.859	0.852
11	经济效益	1.040	1.040	1.040	0.951	0.936	0.936	1.029	1.029
总得分		11.168	10.984	10.952	11.230	10.845	10.760	11.108	10.952

3.4 优选方案分析 根据方案的情景模拟及优选结果,考虑到 2020 年方案 S4 比方案 S8 在供水方面多了南水北调东线来水,其水资源条件、生态环境恢复情况都会比 2020 年方案 S8 优越,故下面以现状年为对比,讨论 2020 年推荐方案 S8 的实施对天津市水资源可持续利用、社会经济发展、生态环境修复的变化影响(见表 5)。

表 5 优选方案分析表

	总 EP mm		可控 EP mm		深层水 开采 亿 m ³	生态环境 亿 m ³			城市生活		农村生活		经济效益	
	目标 ET	实际 ET	总量	外调水 产生		城市 生态	农村 生态	主要河 道水质	用水 ? 亿 m ³	定额 (E(d·人))	用水 ? 亿 m ³	定额 (E(d·人))	总效益 ? 亿元	一产人 均元
现状年	605	608	286	0	4.14	0.76	0	≥V 类	2.8	113	0.93	74	3 006	2 983
推荐方案 S8	635	625	301	33	0.56	1.75	2.9	≤III 类	5.7	134	0.48	93	15 945	6 105

(1)水资源。从各水平年与目标 ET 分析来看,根据天津市规划方案现状年、2020 水平年达到的 ET 与相应的目标 ET 比较为 608:605、625:635,其比值分别为 1.01、0.98,规划水平年 ET 控制朝着向好方向发展。从各水平年的可控 ET 分析来看,现状年和 2020 水平年的可控 ET 分别为 286 和 301mm,去除南水北调中线水在 2020 水平年对天津市 ET 的贡献 33mm,天津市现状年和 2020 水平年的可控 ET 分别为 286:268,天津市的可控 ET 总量呈减小趋势,体现了“真实节水”的目标。地下水深层开采量现状年、2020 水平年分别为 4.14、0.56 亿 m³,地下水开采量达到天津市地下水开采量的控制,到 2020 水平年可以满足实现地下水的采补平衡目标。

(2)生态环境。天津市城市生态用水量现状年、2020 水平年分别为 0.76、1.75 亿 m³,农村生态分别为 0、2.9 亿 m³,城市生态和农村生态得到了一定程度的恢复。现状年各河道断面的水质为 V 类或劣 V 类,到 2020 水平年,经过污染物排放入河削减控制措施,模型模拟主要河道断面水质达到 III 类水标准,可实现环境修复目标。

(3)社会经济。天津市城市生活用水量现状年、2020 水平年分别为 2.8、5.7 亿 m³,定额变化为 113、134E(d·人),农村生活用水量 0.93、0.48 亿 m³,定额变化为 74、93E(d·人),可以看出,随着城镇化发展,城市人口增加,农村人口减少,他们生活的定额都得到了提高;各区县生活、工业、农业的缺水程度随着水平年的发展逐渐变小,公平性也越来越好,体现了以人为本的思想。同时天津市现状年、2020 水平年经济效益逐步增大,分别为 3 006 和 15 945 亿元,而一产人均经济效益分别为 2 983 和 6 105 元。

综上所述,基于广义 ET 的水资源水环境综合规划理论与方法得到的推荐方案,相对来说降低了区域的水资源消耗量,使得水资源供需矛盾得到有效缓解,有利于改善天津水资源与水环境质量,满足了深层地下水超采控制要求,可实现天津市水资源的可持续利用与社会经济及生态环境的协调发展。

4 基于广义 ET 的天津市水资源与水环境综合规划七大总量控制指标

规划是否合理还要从规划方案的实用性及可执行性来判断,根据优选方案本研究对水资源与水环境进行分区量化控制以更好地支撑规划实施,具体可体现在本研究提出的区域七大总量控制上^[3],即按照 ET 的总量控制、地表水取水总量控制、地下水取水总量控制、国民经济用水总量控制、生态用水总量控制和污染排放总量控制来对天津市各区县的分行业及水源进行规划控制,按照各定量控制数据,可以达到天津市水资源高效利用,支撑社会经济的可持续发展及生态环境的和谐健康。表 6 即为 2020 水平年南水北调东线不通水情景下,建议的天津市水资源水环境综合规划七大总量及其细项的量化控制。

表 6 天津市水资源与水环境综合规划定量控制

细项	蓟县	宝坻	宁河	汉沽	武清	北辰	西青	城区	津南	东丽	塘沽	大港	静海	全市
城市生活	879	864	443	533	953	620	588	6 955	591	559	2 910	854	698	17 447
农村生活	812	679	370	73	873	474	474	0	415	421	176	99	502	5 368
ET 总量	865	412	456	487	1 196	2 109	2 565	6 404	1 012	1 714	10 898	3 353	1 299	32 800
控制														
农业	36 372	54 858	27 374	3 491	67 154	14 805	20 137	0	10 996	10 071	4 116	10 760	36 037	296 171
城镇生态	8 734	3 307	1 748	1 010	2 765	3 479	1 350	9 274	4 008	7 558	3 170	9 573	1 021	56 997
农村生态	17 433	26 435	15 666	7 109	18 451	18 202	16 439	12	3 778	3 409	2 980	5 097	14 393	149 404
一产	9 670	17 906	8 480	1 129	26 000	6 602	9 351	0	4 884	3 990	1 689	4 109	8 664	102 474
二三产	1 348	841	908	2 107	1 416	7 679	9 620	26 547	3 467	6 379	39 468	10 210	4 458	114 448
地表水														
取水控制														
城市生活	2 209	2 715	1 391	1 675	2 483	2 172	2 115	24 647	2 095	1 980	9 114	1 991	2 434	57 021
农村生活	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
城镇生态	106	717	548	90	614	780	251	9 052	999	2 246	799	966	300	17 468
农村生态	2 609	4 191	6 575	748	4 155	339	1 247	0	794	838	2 903	1 916	4 925	31240
取水总量	15 942	26 370	17 902	5 749	34 668	17 572	22 58	4 60 246	12 239	15 433	53 973	19 192	20 781	322 651
地下水														
取水控制														
浅层	1 421	4 503	5 010	1 959	0	4 400	87	0	120	0	0	0	0	18 974
深层	0	0	358	475	271	292	350	399	665	147	624	655	304	5 783
城市生活	2 931	2 881	1 476	1 778	3 175	2 066	1 960	23 184	1 971	1 863	9 699	2 846	2 327	58 157
国民经济	902	754	411	81	970	526	526	0	461	468	195	110	558	5 964
农村生活														
用水控制														
二三产业	2 884	1 474	1 518	1 622	3 987	7 031	8 548	21 347	3 374	5 714	36 326	11 177	4 331	109 332
农业	13 635	22 171	9 501	1 135	28 755	5 953	8 406	0	4 183	3 616	1 614	4 299	10 862	114 129
生态														
城镇生态	0	273	149	20	150	167	91	4 819	340	759	334	1 920	74	9 096
农村生态	238	1 247	4 681	730	3 821	340	1 250	0	797	849	2 910	1 918	4 257	23 038
点源氨氮	2 600	775	148	512	1 213	276	123	645	321	224	207	154	167	7 364
非点源氨氮	685	262	56	146	105	79	89	121	422	296	143	274	236	2 913
点源 COD	18 748	8 004	1 386	4 931	4 920	1 354	885	3 407	3 113	1 898	2 029	1 383	1 661	53 719
非点源 COD	6 561	2 209	390	950	816	517	688	799	2 529	1 680	1 091	1 529	1 651	21 409
入海水量控制	16 4000													

注:污染排放控制单位为 t,其余各项单位均为万 m³

5 结论

(1)根据基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划理念、调控机制、目标、原则及研究框架,运用水资源与水环境综合模拟模型对天津 ET 效率及水量水质的分析,同时依据天津市规划供水工程及污水处理工程等,规划从供水、用水、生态、环境等方面制定了 8 套方案。从资源、环境、生态、社会、经济五大方面对每个方案进行定量评价,优选出基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划推荐方案。(2)针对 2020 水平年南水北调中线通水、东线水不通水的情况,提出天津市的 ET 消耗控制量为 74.7 亿 m³、地

表水取水控制量为 32.3 亿 m³、地下水取水控制量为 1.2 亿 m³、国民经济用水控制量为 28.8 亿 m³、生态修复用水控制量为 3.2 亿 m³、污染物排放氨氮控制量为 1.02 亿 t、COD 控制量为 7.5 亿 t、入海水控制量为 16.4 亿 m³，通过对七大过程总量控制，可实现天津市水资源的节约、高效利用及保护，支撑社会经济可持续发展和生态环境的健康稳定。(3)将基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划体系应用于天津市，体现了从资源、生态、环境、社会与经济各个方面对区域水资源与水环境进行量化管理的思想，同时符合现代高强度人类活动区域水循环的特点和规律。分析结果表明，其理论及方法适用于人类活动强烈的水资源紧缺地区，可推广应用于同类型流域级水资源与水环境综合规划。

致谢:对天津环保局张淑英处长,天津水利局闫学军处长、何云雅女士,天津市龙脉水资源咨询中心张晔女士的大力支持表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] 王浩,王成明,王建华,等.二元年径流演化模式及其在无定河流域的应用[J].中国科学 E 辑,2004,34(增刊):42—48.
- [2] 周祖昊,王浩,秦大庸,等.基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划研究 I:理论[J].水利学报,2009,40(9):1025—1032.
- [3] 桑学锋,周祖昊,秦大庸,等.基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划研究 II:模型[J].水利学报,2009,40(10):1153—1161.
- [4] 张玉玲,邓敏,郑北鹰,等.直面城市缺水[N].光明日报,2006,6,23.
- [5] 王浩,秦大庸,王建华,等.区域缺水状态下的识别及其多维调控[J].资源科学,2003,25(6):2—6.
- [6] 赵勇,陆垂裕,秦长海,等.广义水资源合理配置研究(III)—应用实例[J].水利学报,2007,38(3):274—281.
- [7] 秦大庸,吕金燕,王明娜,等.区域目标 ET 的理论与计算方法[J].科学通报,2008,53(19):2384—2390.

Comprehensive water resources and environment planning based on generalized evaporation/transpiration water consumption control III: Application

SANG Xue-feng, QIN Da-yong, ZHOU Zu-hao, GE Huai-feng
(China Institute of Water Resources and hydropower Research, Beijing 100038)

Abstract: The study focused on the application of the theory and methods of integrated water resources and environment planning based on ET control to the Tianjin city. Seven water amount control schemes with the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project taken into account were recommended as follows: 7.47 billion m³ of total ET control, 3.23 billion m³ of surface water consumption control, 0.12 billion m³ of groundwater consumption control, 0.32 billion m³ of ecology consumption control, 2.88 billion m³ of living/industry/agriculture consumptive control, 0.102 billion t of ammonia N discharge, 0.75 billion t of COD discharge and 1.64 billion m³ of outflow to sea. The results revealed that the theory and methods of integrated water resources and environment planning will play an important role in solving water resources scarcity, ground exploration, water environment pollution, and greatly promote the sustainable development in society, economy, ecology and environment.

Key words: ET control; water resources; water environment; integrated planning; Tianjin City

(责任编辑:韩 昆)