

二十一世纪初期天津市水资源供需分析及对策探讨

王兰化,张士金,王亚斌
(天津市地质调查研究院,天津 300191)

摘 要:受自然环境的限制,天津市是水资源严重短缺的北方城市之一。通过对二十一世纪初期供需水的趋势分析,在加大节水力度、充分发掘本地水资源和从外流域调水(含南水北调)、污水资源化和海水淡化等措施下,一般平水年的缺水状况可得以缓解,但在枯水年份(75 % 保证率)依然缺水。文中在探讨了天津市水资源的开发利用及保护措施后,认为合理地开发地下水资源,是天津市经济发展的关键。

关键词:水资源;供需分析;预测;南水北调;对策

中图分类号:P641.8

文献标识码:A

文章编号:1672-4135(2005)01-0056-09

1 前言

由于自然环境的限制,天津市的水资源严重短缺,人均水资源占有量仅为 $153 \text{ m}^3/\text{人}$,占全国均值的 6.9 %,居全国排位的末席。天津地下水环境也比较脆弱,不合理的开发诱发了区域性水位持续下降、地面沉降、水质污染及劣化等一系列的环境地质问题,地质环境质量不断下降。此外由于华北地区近几年的持续干旱,作为天津市生命线的滦河水源也几度断流,致使天津市滨海地区地下水开采量近两年增大,深层地下水降落漏斗已连成一片,地面沉降速度加快。这些情况,随着天津国民经济的发展和城市规模的扩大,水资源供需矛盾越来越突出,已成为制约天津市 21 世纪可持续发展的焦点问题,引起了各级政府及有关部门的关注。

2 水资源分布状况

2.1 地表水资源量

采用 1956-1998 年当地地表径流量系列分析^①,天津市多年平均地表径流量为 $10.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中:蓟运河山区多年平均值 $1.90 \times 10^8 \text{ m}^3$,海河北系平原多年平均值 $4.68 \times 10^8 \text{ m}^3$,海河南系平原多年平均值 $3.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

地表水资源分区及资源量见表 1。

表 1 天津市地表水资源量 (单位: 10^8 m^3)
Table 1 Resources of the native surface water in Tianjin
(unit: 10^8 m^3)

水资源分区	多年平均	50 %	75 %	95 %
蓟运河山区	1.90	1.77	1.17	0.64
海河北系平原	4.68	4.09	2.54	1.11
海河南系平原	3.97	3.29	1.84	0.65
合计	10.55	9.15	5.55	2.40

2.2 地下水资源量

地下水资源量以地下水可开采量表示,采用水量均衡法计算的结果进行统计^②,详见表 2。

从表 2 中可以看出,山前平原基岩浅埋区覆盖型岩溶水五个贮水构造地下水可开采量 $9155.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ^[1]。山区地下水可开采量 $11007.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,包括山丘陵区裸露型岩溶裂隙水可开采量 $2218.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 和山间盆地孔隙水和覆盖型岩溶水可开采量 $8789.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。前者可开采量 $6603.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,覆盖型岩溶水 $2185.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,在开采条件下,二者还可相互转化^[1]。

收稿日期:2004-07-08

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(200112400003)

作者简介:王兰化(1963-),男,高级工程师,从事水文地质、工程地质和环境地质调查与研究工作,电话:022-23670182。

①天津市可持续发展规划编制组.天津市二十一世纪初期水资源支持天津市可持续发展规划,2002.

②王兰化、张士金,等.环渤海地区(天津部分)地下水资源与环境地质调查评价报告,2003.

表 2 天津市地下水开采资源量计算成果表

Table 2 Calculating results of the exploitable groundwater reserves in Tianjin

地下水资源分区	地下水类型	开采资源量(10 ⁴ m ³ /a)				备注
		<1 g/l	1-2 g/l	2-3 g/l	合计	
山区	山丘区岩溶裂隙水	2 218.10			2 218.10	
	山间盆地孔隙水及隐伏岩溶水	8 789.10			8 789.10	
山前平原全淡水区	第四系孔隙水	21 126.39	6 146.15		27 272.54	第四系第Ⅰ、Ⅱ含水组合并按浅层孔隙水计算
	隐伏岩溶水	9 155.40			9 155.40	包括山前平原五个隐伏岩溶贮水构造
有咸水分布区	浅层孔隙水	4 947	23 573.95	13 985.92	42 506.87	
	深层孔隙水	18 973.32	2 106.10		21 079.42	
合 计		65 209.31	31 826.20	13 985.92	111 021.43	

平原区浅层地下水可开采量 $69\,779.41 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,其中山前平原全淡水 $27\,272.54 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,开采资源模数 $17.66 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$;有咸水区浅层地下水可开采量 $42\,506.87 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,开采资源模数 $10.77 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ 。从不同水质看,小于 2 g/l 的淡水 $55\,793.49 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,占总可开采量的 79.96%,其中有咸水区浅层淡水可开采量 $28\,520.95 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,2 ~ 3 g/l 的微咸水 $13\,985.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

有咸水区深层水资源计算面积 9 218.14 km²,第四系深层水可开采量 $21\,079.42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ^①,平均开采资源模数为 $2.29 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ 。

全市地下水的可开采量为 $111\,021.43 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,其中浅层孔隙水为 $69\,779.41 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,深层孔隙水为 $21\,079.42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;第四系深层水和浅层水总计可开采量 $90\,858.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,岩溶水和山间盆地孔隙水 $20\,162.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。浅层水可开采量中,淡水 $55\,793.49 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,微咸水为 $13\,985.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

2.3 天津市水资源总量

按天津市地表径流量和地下水资源量分析计算,天津市地表水资源多年平均值为 $10.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源量为 $11.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,全市水

资源总量为 $21.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.4 天津市水资源特性

2.4.1 地表水资源年内分配不均

主要受降水年内分配及产汇流条件影响,多集中在汛期(6 ~ 9月),约占全年的 70% ~ 80%,非汛期只有少量基流。

2.4.2 地表水年际变化大

全市地表径流量最大发生年在 1978 年,为 $23.76 \times 10^8 \text{ m}^3$;最小发生年在 1997 年,仅 $2.79 \times 10^8 \text{ m}^3$;前者是后者的 8.5 倍。除蓟运河山区年际变化相对较小外,海河北系平原和南系平原的当地地表径流量最大年份与最小年份的比值分别达到 52.6 倍和 55.7 倍。

2.4.3 不同地区水资源分布不均

北部较多,南部较少。北部蓟运河山区、海河北系平原面积占全市总面积的 56.9%,地表水资源量占全市水资源量的 62.4%;海河南系平原面积占全市总面积的 43.1%。相反,水资源量只占全市水资源量的 37.6%。此外,分布不均的地下水与水资源的需求也极不一致,北部山区和山前平原全淡水区面积仅占天津市面积的 19.2%。相反,地下水资源量达 $4.74 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全市地下水资源量的 42.7%。相反,水资源需求最大的中心城区和滨海新区所在的南部

① 王兰化、张士金,等.环渤海地区(天津部分)地下水资源与环境地质调查评价报告,2003.

平原区,不仅咸水、微咸水分布广泛,而且地下淡水资源严重不足,不能满足当地水资源的需求。

2.4.4 丰枯交替、连续干旱经常出现

干旱年经常连续发生,据 1956 年以后的统计,曾出现过 1957 ~ 1958 年、1960 ~ 1963 年、1965 ~ 1968 年、1971 ~ 1972 年、1974 ~ 1976 年、1980 ~ 1984 年、1992 ~ 1993 年、1997 ~ 2002 年共八个连续干旱时段,最长的一次干旱持续达 6 年之久。

2.4.5 入境水量变化趋势

根据 1960 ~ 1998 年实测入境水量统计分析,1960 ~ 1969 年天津市年平均入境水量为 $80.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,1970 ~ 1979 年平均为 $35.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,1980 ~ 1989 年平均为 $7.35 \times 10^8 \text{ m}^3$,1990 ~ 1998 年平均为 $19.75 \times 10^8 \text{ m}^3$,尤其是南系变化更大,一般年份已无入境水量。

全市地表迳流量包括境内自产水量与各水系入境水量。根据 1956 ~ 1984 年系列,多年平均迳流量 $28.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,保证率 50 %、75 %、95 % 的迳流量分别为 23.30×10^8 、 12.78×10^8 、 $4.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中自产水量 $9.86 \times 10^8 \text{ m}^3$,入境水量 $18.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。地表迳流受降水和下垫面的影响,地带性分布明显。多年平均迳流深等值线与降水等值线分布基本一致,由北向南减少。蓟北山区最大可达 250 mm 以上,向南至宝坻以南减为 75 mm;在武清北部至宁河西部一带为 50 ~ 70 mm 的低值区,市区南部在 75 ~ 100 mm。

天津市历史上水资源十分丰富,20 世纪 50 年代下泄入海水量平均为 $144 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。但自 1958 年以来,由于上游兴建水利工程,来水日渐减少,枯水年部分河道断流,致使多次出现水资源危机,不得不数次临时引黄济津。直至 80 年代兴建引滦入津工程后,年引水 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,除去沿途渗漏蒸发,实际进入市区水量 $7.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,天津市的城市用水紧缺状况才得以缓解。

3 水资源开发利用现状及问题

3.1 供用水现状

3.1.1 供水工程与供水量

以 2000 年^[2]作为现状水平年进行分析。
地表引水工程:全市已建成大型水库 3

座,中型水库 11 座,大中型蓄水闸 74 座及若干小型蓄水工程,总蓄水能力 $17.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。按现状 50 %、75 %、95 % 保证率供水量分别为 10.92×10^8 、 7.66×10^8 、 $2.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

机井:全市现有机井 2.85×10^4 眼,其中农业用机井 2.36×10^4 眼,工业用机井 0.49×10^4 眼。现状开采量 $8.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

引滦入津工程:1983 年建成通水,主要向城市供水。当 75 % 保证率时,潘家口水库调节水量 $19.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,向天津市分水量 $10.0 \times 10^8 \text{ m}^3$;当 95 % 保证率时,潘家口水库调节水量 $11.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,向天津市分水量 $6.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。入市区净水量则分别为 7.50×10^8 、 $4.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2000 年全市总供水量 $22.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ (不包括农灌引用污水量),其中当地地表水水源工程供水 $7.23 \times 10^8 \text{ m}^3$,引滦及引黄供水 $6.94 \times 10^8 \text{ m}^3$,开采地下水 $8.32 \times 10^8 \text{ m}^3$,海水替代淡水 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.1.2 现状用水量

2000 年全市总用水量 $29.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ (含农业灌溉直接引用城市污水 $7.13 \times 10^8 \text{ m}^3$),其中工业用水 $7.11 \times 10^8 \text{ m}^3$,城市生活用水 $4.40 \times 10^8 \text{ m}^3$,城市河湖补水 $0.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,以上三项城市用水为 $12.01 \times 10^8 \text{ m}^3$;农田灌溉用水 $13.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,农村生活用水 $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$,林牧渔业用水 $3.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,以上三项农村用水为 $17.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.1.3 供水趋势

天津市历年供水情况见表 3。

地表水的供水量年际变化不大,平均年供水量(包括引滦) $16.62 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总供水量的 69.50 %。地下水平均年开采量 $6.98 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总开采量的 29.2 %,地下水超采区主要位于中南部平原。工业利用海水替代淡水每年 $0.30 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总开采量的 1.3 %。

引滦是天津市城市供水的重要水源,自建成通水以来,配套工程不断完善,1991 ~ 2000 年平均从潘家口水库引水 $6.29 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大年引水量 $9.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1992 年)。

表中“引用污水量”为农业引用城市污水灌溉量,1991 ~ 2000 年年平均引用量 $6.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 3 天津市 1991 ~ 2000 年供水情况(单位:10⁸ m³)

Table 3 Water supply of Tianjin in 1991 ~ 2000 (unit: 10⁸ m³)

供水水源	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	历年平均
地表水	17.65	18.41	16.25	16.64	16.50	17.23	15.78	16.67	16.94	14.17	16.62
其中:引滦水	5.14	9.22	8.12	4.29	3.38	3.62	8.50	6.12	7.59	6.94	6.29
地下水	7	7.31	7.03	6.03	7.04	5.98	7.27	6.78	7.07	8.32	6.98
海水替代淡水	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
引用污水	5.16	4.61	5.41	5.49	7.35	7.39	6.87	6.91	7.01	7.13	6.33
总供水量	24.95	26.02	23.58	22.97	23.84	23.51	23.35	23.75	24.31	22.79	23.91

注:总供水量中不包括农灌引用污水量

1991 ~ 2000 年天津市历年平均供水量 23.91×10⁸ m³。其中,地表水 16.62×10⁸ m³ (含引滦水 6.29×10⁸ m³),地下水 6.98×10⁸ m³,海水 0.3×10⁸ m³。

3.1.4 用水趋势

总体上看全市用水与供水基本一致,但城市生活用水量呈快速增长趋势,仅 2000 年因外调水源紧张,用水量有所减少;工业、农业用水保持平稳。

随着城市规模扩大和人民生活水平的提高,城市生活用水快速增长,用水量从 1991 年的 2.97×10⁸ m³,增加到 2000 年的 4.25×10⁸ m³,年均增长 4.3 %。

工业用水保持平稳,略有上升,城市单位产品和工业万元产值用水不断下降。农村生活、农田灌溉、林牧渔业等项用水,基本保持稳定。

3.2 水资源开发利用现状评价

1991 ~ 2000 年,全市地表水年平均供水量(包括引滦、引黄)16.62×10⁸ m³,其中当地地表水源工程年平均供水 10.33×10⁸ m³。全市地表水资源均值为 10.55×10⁸ m³,入境水量可开发利用的部分为 11.94×10⁸ m³,扣除重复计算量和损失量,地表水开发利用率达 76 %。在地表水开发利用方面,南部地区较北部地区高。南部地区地表水资源少,大清河一般年份已无入境水量,已建工程蓄水能力已超过可利用的水资源量,因此该区地表水资源已无进一步开发的潜力。北部地区地表水资源相对丰富,北运河、潮白河、蓟运河入境水量较多,已建工程

蓄水能力相对较小,地表水资源尚有一定的开发潜力。

1991 ~ 2000 年^①,全市地下水年平均开采量 6.98×10⁸ m³,全淡水区开发利用量 3.06×10⁸ m³。南部地区深层地下水可开采量仅 2.11×10⁸ m³,实际开采量达 3.92×10⁸ m³,超采 85.8 %。北部全淡水区由于地下水赋存条件好,地下水资源丰富,尚有较大的开发潜力,而南部地区的浅层地下淡水因浮托于咸水体之上,厚度薄,只可进行小规模分散开采。深层地下水已超量开采,尤其在中心城区及周围地区,滨海地区和静海县超采尤为严重,必须加以控制和限制开采。

3.3 水资源开发利用中存在的问题

天津的水资源严重短缺,而且地区分布不均,城市集中供水水源单一,不能满足城市安全用水要求,目前仅于桥水库通过引滦工程可提供城市用水,其它供水工程因水源无保证并且水质差,只能作为农业水源。此外,由于工农业和生活污水的排放,全市境内的 19 条河流水体污染严重,绝大部分为Ⅴ类或劣Ⅴ类水,只有北部地区局部河段可达到Ⅳ类水质标准。现状水资源利用效率偏低,还存在着不同程度的水资源浪费现象,如大水漫灌目前仍是农业的主要灌溉方式,节水力度仍需进一步加大。

与此同时,天津的水资源开发布局也不合理,表现在浅层地下水和岩溶地下水补给条件较好,但开发利用不充分;深层水补给条件差却大范围超采,有些地区超采严重,因此出现了水

① 万方数据 天津市水利局.天津市地下水水利年鉴,1991 ~ 2000.

位大幅度下降和地面沉降等环境地质问题。地下水资源开发布局的不合理性还表现在地下水位动态上,北部山前平原全淡水区,浅层水和第Ⅱ含水组水位较接近,在多年气象水文周期中处于均衡状态,水位无明显下降,而南部平原浅层水也基本处于自然状态,这都表明浅层水资源开发明显不足。深层水在杨村至汉沽以南普遍超采,水位大幅度下降,与地面沉降关系最大的第Ⅱ含水组地下水水位虽然在市区和塘沽区

近年有所回升,漏斗有减缓趋势,但外围新四区和汉沽、静海漏斗不断扩大,也波及到市区和塘沽区的水位下降,抵消控沉效果,加剧了地面沉降的发展。

4 水资源供需分析

4.1 未来需水趋势分析

天津市 2000 年(现状年)、2010 年、2020 年、2030 年需水形势分析预测如下(表 4)。

表 4 天津市需水量规划预测表 (单位:10⁸ m³)

Table 4 Program and prediction for the demand of the water resources in Tianjin (unit: 10⁸ m³)

年 份		现 状 年		2010 年		2020 年		2030 年	
		保证率 50%	保证率 75%	保证率 50%	保证率 75%	保证率 50%	保证率 75%	保证率 50%	保证率 75%
城镇需水量	工业	7.97	7.97	9.81	9.81	11.27	11.27	12.95	12.95
	河湖环境	0.50	0.50	2.10	2.10	2.80	2.80	3.00	3.00
	商品菜田	2.10	2.10	2.10	2.10	2.45	2.45	2.45	2.45
	城镇生活	6.96	6.96	9.87	9.87	11.84	11.84	12.41	12.41
	合计	17.53	17.53	23.88	23.88	28.36	28.36	30.81	30.81
农村需水量	农田灌溉	18.34	21.00	18.34	21.00	18.34	21.00	18.34	21.00
	林牧渔副	4.07	4.07	4.15	4.15	4.66	4.66	5.00	5.00
	农村生活	1.07	1.07	1.23	1.23	1.63	1.63	2.04	2.04
	农村工业	0.60	0.60	0.86	0.86	1.22	1.22	1.58	1.58
	合计	24.08	26.74	24.58	27.24	25.85	28.51	26.96	29.62
总 计		41.61	44.27	48.46	51.12	54.21	56.87	57.77	60.43

(1) 农业需水按不同作物的灌溉定额与其相应的耕地面积进行预测。天津市农村渠系利用系数经过分析计算得出:水浇地在 50 %、75 % 保证率时灌溉用水分别为 229 m³/亩和 279 m³/亩;水田灌溉用水为 700 m³/亩,果林为 200 m³/亩,商品菜田为 875 m³/亩,农村菜田 555 m³/亩,鱼塘补水 670 m³/亩。预测现状及各规划水平年 50 %、75 % 保证率下农业需水量分别为 24.51×10⁸、24.59×10⁸、25.45×10⁸、25.79×10⁸ m³ 和 27.17×10⁸、27.25×10⁸、28.11×10⁸、28.45×10⁸ m³。

(2) 工业需水预测采用弹性系数法,因为工业的快速发展必然导致用水量的增加。2000 ~ 2010 年全市工业用水年增长率为 1.6 %,2011 年以后为 1.5 %。根据现状及各规划水平年工业需

水量分别为 8.57×10⁸ m³、10.67×10⁸ m³、12.49×10⁸ m³、14.53×10⁸ m³。

(3) 居民生活需水预测采用定额法。天津市城镇分为中心市区及滨海新区、新四区和武清区、宝坻区及三县城镇,城镇居民生活用水人均定额 2000 年为 235 L/d,2010 年为 275 L/d,2020 年为 305 L/d,2030 年为 335 L/d;农村居民生活用水定额 2000 年为 100 L/d,2010 年为 130 L/d,2020 年为 165 L/d,2030 年为 200 L/d,现状及各规划水平年居民生活需水分别为 8.03×10⁸ m³、11.10×10⁸ m³、13.47×10⁸ m³、14.45×10⁸ m³。

(4) 河湖生态环境 2000 年现状需水仅为 0.5×10⁸ m³,考虑到市郊区河道补水及市区湖面用水,2010 年规划需水 2.10×10⁸ m³,2010 年后

除市郊区河道及坑塘环境用水外,为维持典型湿地有效的景观水面,也需向团泊洼水库、七里海湿地自然保护区等地补水,2020 年河湖环境需水约 $2.80 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030 年为 $3.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

4.2 未来供水量趋势分析

现可供水量是按 2000 年实际供水量提出,各规划水平年城市供水水源仍以于桥水库供水、地下水 and 外调水为主;农村供水水源则主要是当地地表水、地下水和污水处理厂处理合格后的再生水。

当地地表水可供水量包括大型水库、中小型蓄水工程及二级河道以下河渠的蓄水,其供水能力按照不同频率的产水量和各种蓄水工程及河渠的有效蓄水能力综合分析给出;各规划水平年 50 %、75 % 保证率下当地地表水可供水量分别为 $10.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $9.53 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $7.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $6.80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $6.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

根据最新的地下水资源评价结果,天津市地下水可开采资源量为 $9.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ (不含 2 ~ 3 g/L 的微咸水),而主要的开采潜力区在北部平原区,按照地下水资源的可持续开发利用和保护生态环境的原则,结合天津市开采地下水的实际情况,应调整开采布局。地下水可供水量主要考虑浅层淡水和岩溶裂隙水,适当开采静海县东部和大港区微咸水资源,并逐渐减少深层地下水的开采量,特别是天津市中南部超采区深层地下水的开采量;各规划水平年地下水可供水量均维持在 $(8.25 \sim 8.32) \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

外调水可供水量:1983 年引滦入津输水工程竣工通水 50 %、75 % 保证率,进入市区的净水量为 $8.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $7.50 \times 10^8 \text{ m}^3$;2008 年南水北调中线工程通水进入市区的净水量为 $8.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,南水北调东线工程初步估计 2020 年进入市区净水量为 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$,引江东线工程第三期工程完成后,2030 年可供水量可达 $8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

再生水回用—污水资源化可供水量:天津市目前有三座污水处理厂日处理能力 $76 \times 10^4 \text{ m}^3$,根据“海河流域天津市水污染防治规划”和

“天津市碧海行动计划实施方案”的安排意见,在规划年内全市要建成 35 座污水处理厂,污水处理能力将达到 $431.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理合格的再生水大部分用于农业灌溉,部分用于工业,如循环冷却水系统的补充水、锅炉补充水、生产工艺用水和区域性绿化、冲洗车辆等。2010 年再生水利用量为 $9.75 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020 年为 $10.71 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030 年再生水资源回用量将达 $14.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

海水淡化:着眼于开发利用海水资源量是解决天津市淡水资源紧缺和改善滨海新区脆弱生态环境的一条重要途径。2000 年现状海水替代淡水量为 $0.30 \times 10^8 \text{ m}^3$,规划 2010 年为 $0.57 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020 和 2030 年分别达到 $0.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.93 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

上述各水平年可供水量还不能满足天津市经济发展对水资源的需求,故在开源的同时还必须积极推广节约用水的新技术、新工艺,发展节水型工业、节水型农业和节水型服务业,以提高水资源综合利用率。节约用水即等于增加了可供水资源量。工业节水应以提高水的重复利用率为核心,深化工业节水管理,促进工业增长与水资源的协调发展。农业节水一要提高灌溉渠系利用系数,二要推广喷灌、滴灌和管道灌溉技术,三要在北部山区发展微型集雨节水灌溉工程。生活节水以普及、推广节水型器具为手段,增强全社会节水意识为基础,促进我市节水工作不断深化。预计 50 %、75 % 保证率下 2010 年节水量 $3.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $3.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020 年节水 $4.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $4.72 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030 年达到节水 $5.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 5)。

4.3 水资源供需平衡分析

从水资源供需平衡表看出,天津市现状缺水量极大。在采取加大节水力度,充分发掘本地水资源和采取外流域调水(含南水北调),污水资源化和海水淡化等措施下,各规划水平年在一般年份(50 %保证率)的缺水状况可基本得到解决;但在枯水年份(75 %保证率)依然缺水:2010 年缺水 $5.48 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020 年缺水 $5.54 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030 年缺水 $0.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 6)。

表 5 天津市可供水资源统计表 (单位:10⁸ m³)

Table 5 Statistic of the supportable water supply in Tianjin (unit: 10⁸ m³)

年 份	保 证 率	地表水	地 下 水						外调 水源	污水资 源化	海水替 代淡水	节水	合计
			浅层水	深层水	岩溶裂 隙水	基岩裂 隙水	新增水 源地	小计					
现状年		7.23	2.11	5.69	0.41	0.11		8.32	6.94	7.13	0.30		29.92
2010	50 %	10.63	2.15	4.81	0.41	0.11	0.84	8.32	17.41	9.75	0.57	3.55	50.23
	75 %	7.08	2.15	4.81	0.41	0.11	0.84	8.32	16.10	9.75	0.57	3.82	45.64
2020	50 %	9.53	2.88	4.01	0.41	0.11	0.84	8.25	21.41	10.71	0.75	4.45	55.1
	75 %	6.80	2.88	4.01	0.41	0.11	0.84	8.25	20.10	10.71	0.75	4.72	51.33
2030	50 %	8.43	4.78	2.11	0.41	0.11	0.84	8.25	25.41	14.24	0.93	5.35	62.61
	75 %	6.52	4.78	2.11	0.41	0.11	0.84	8.25	24.10	14.24	0.93	5.62	59.66

表 6 天津市水资源供需分析成果表 (单位:10⁸ m³)

Table 6 Water resources analysis of the supply and the demand in Tianjin (unit: 10⁸ m³)

年份	保证率	需水量	可供水量	供需平衡	供需比 %
现状	50 %	41.94	29.92	—12.02	71.30
	75 %	41.94	29.92	—12.02	71.30
2010	50 %	48.46	50.23	1.77	104.00
	75 %	51.12	45.64	—5.48	89.30
2020	50 %	54.21	55.10	0.89	102.00
	75 %	56.87	51.33	—5.54	90.30
2030	50 %	57.77	62.61	4.84	108.00
	75 %	60.43	59.66	—0.77	98.70

5 解决天津市水资源紧缺的对策探讨

天津市水资源分布不平衡,为资源性缺水地区,特别是南部平原有咸水地区由于淡水资源匮乏造成深层水超采,虽引滦入津、入塘、入汉,解决了城市生活用水,但用水量较大的工业用水一直依靠开采深层水,造成水位大幅度持续下降,恶化了地质环境和生态环境,加剧了地面沉降的发展,诱发一系列环境地质问题,对城乡经济建设和环境带来危害^①。为此,保证天津市水资源可持续的开发利用,是天津市经济发展的关键。

(1)由于自然环境的限制,天津市属于水资源严重短缺的城市,地下水环境比较脆弱,加之不合理的开发已诱发了一系列的环境地质问题,使环境质量不断下降,随着国民经济的发展和城市规模的扩大,预测 2010 年全市总需水量 51.12×10⁸ m³,水资源供需矛盾将越来越突出,即使外调水源后,水资源占有量仍维持在较低水平,因此,必须贯彻全面节流的方针,大力发展节水型工业和节水型农业,建设节水型城市,通过采取各种节水措施,预计至 2010 年可节水 3.55×10⁸ m³。

(2)实现污水资源化,目前天津市污水利用量为 7.13×10⁸ m³,至 2010 年,通过加强和完善城市工业及生活污水处理系统,建设城市中水道供水系统,加强城市污水的处理利用,提高污水处理率、达标率及回用率等措施,预计 2010 年污水利用量可达到 9.75×10⁸ m³,从而增加了可利用的水资源。

(3)调整水资源开发利用布局,合理配置水资源,在北部全淡水区和中部平原应以开采地下水和利用当地地表水为主;在天津市中南部平原应压缩深层地下水开采量,至 2030 年深层地下水开采量不超过 2.11×10⁸ m³,不能再依赖深层地下水作为主要供水水源,应作为后备水源或应急水源,这些地区的城市用水应以外流域调水为主,同时采取降低水价等措施鼓励农业区大力开发有咸水区的浅层淡水和微咸水

①天津市水利局,天津市地矿局,天津市公用局.天津市地下水资源开发利用规划,1997.

进行灌溉,至2030年浅层地下水开采量可由目前的 $2.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $4.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ (包括全淡水区第Ⅱ含水组地下水)。

(4)多方面扩大综合利用水资源途径^[3],包括:增加地表水拦蓄量,在洼地修建平原水库,完善渠网建设,拦蓄地表水,增加汛期蓄水能力,减少地表水外泄量,实施以库代井工程。充分开发浅层水。浅层水分布广,补给条件好,开发潜力大,应研究解决浅层水开发井型和提水泵型,以增大出水量,并在水利投资政策上,对开发浅层水给以倾斜,以促进浅层水的开发利用。

(5)进一步加强海水、咸水淡化利用,增加可利用的淡水资源。

开发利用海水资源是解决天津市淡水资源紧缺和改善滨海新区脆弱生态环境的一条重要途径。从目前的技术水平,海水淡化吨成本有望控制在5元以下。如大港发电厂投资540万美元建设的大型海水淡化厂,每天可生产7200 m^3 海水淡化水,一年可节约淡水资源近300多万 m^3 。天津市2000年现状海水替代淡水量为 $0.30 \times 10^8 \text{ m}^3$,规划2010年为 $0.57 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020和2030年分别达到 $0.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.93 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

天津市境内微咸水和咸水天然资源量为 $7.86 \times 10^8 \text{ m}^3$,若利用率达到30%,每年就可增加淡水 $2.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经过天津市科技人员的努力,使咸水脱盐、过滤后可成为直接饮用的纯净水,天津市静海县中旺镇高庄村的村民们率先喝到了这种水。此外,天津境内矿化度2~3 g/L的微咸水资源量达 $1.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,而实际开采量仅为 $496.97 \times 10^4 \text{ m}^3$,开采潜力为 $18387.98 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

利用浅层咸水制成纯净水或直接利用微咸水灌溉乃是缓解北方水资源短缺的重要途径。今后,这种技术将在本市及周边地区得到推广,届时不仅会有更多的人告别高氟的深层地下水喝到纯净水,同时还可增加大气降水的入渗补给,促进地下水循环,使浅层地下水逐

渐淡化,也可减少土壤的盐分,改善土壤质量,对农作物生产大有益处。

(6)境内北水南调,天津市的水资源存在着需求与分布不致的问题,北部全淡水区地下

水资源丰富,可增采第四系地下水 $5735.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,山前平原基岩浅埋区覆盖型岩溶水五个贮水构造可增加地下水开采量 $5041.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,共可增加地下水开采量 $10777.05 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。而南部平原区处于包括中心城区和滨海新区在内的有咸水分布区,该区水资源需求量大,深层地下水普遍超采,目前超采 $1.19 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。因此,引调北部地区地表水资源和地下水资源,适当增加北部山前平原区地下水开采量,利用引水渠系或管道,作为南部平原区的调节水源或应急水源。

(7)要从根本上解决天津市水资源紧缺与环境恶化的矛盾,有赖于外流域调水,实施南水北调工程。根据水资源供需分析,天津市2010年需水量为 $51.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,而天津市通过各种节水措施后(包括引滦水)可供水量仅为 $37.01 \times 10^8 \text{ m}^3$,缺水 $14.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。如南水北调中线工程2010年前通水后,向天津供水 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,实际收水 $8.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,则调水后可供水量为 $45.64 \times 10^8 \text{ m}^3$,将大大缓解水资源供需矛盾;如2010年能建成东线二期工程,向天津供水 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$,实际收水按 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 计,可供水量为 $49.64 \times 10^8 \text{ m}^3$,水资源短缺的问题将基本得到解决。

(8)建立应急(或后备)水源地:水资源是二十一世纪关系国计民生的焦点问题,从维护国家和地区安全的战略角度出发,必须建立应急(或后备)水源,以保证在遇到突发事件外调水源不能供水或城市可供水量严重不足,城市生活和重要的工业厂矿、重大工程设施受到严重威胁的情况下短期紧急启用,地下水应急供水水源的供水目的地主要针对天津市区和滨海新区两个重点地区。

根据天津市水文地质条件和开采现状分析,经综合考证,可选择山前平原几个隐伏岩溶贮水构造和北部全淡水区松散岩类地下水建立地下水应急水源地,经勘查或重新评价有望扩采和增采地下水资源 $1.64 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。南部地区(主要包括滨海三区、市区及四郊、静海县)的深层地下水已严重超采,地下水水位较深,不具备建立大型供水水源地的条件,应急条件下可利用现有的取水设施超量开采(目前该地区深

层地下水开采量约 $4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)。

[2]天津市统计局编. 天津统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2001.

参考文献:

[3]河北省地质矿产勘查开发局(陈望和,等). 河北地下水[M]. 北京:地震出版社,2002.

[1]天津市地质矿产局编. 天津市地质环境图集[M]. 北京:地质出版社,2004.

Analysis and Countermeasures on the Supply of Water Resource at the Beginning of the 21st Century in Tianjin

WANG Lan-hua, ZHANG Shi-jin, WANG Ya-bin

(*Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191*)

Abstract: Tianjin city is the economic center of the circum-Bohai-Sea region for its natural environment in North China. But it belongs to the city of severe shortage of water resources. Based on the analysis of water supply and demand of Tianjin at the beginning of the 21st century, it is proposed in this paper that the water resource in the present condition can meet the basic need of the city in the general years (50 % guarantee rate) by means of putting more efforts into economizing on water, discovering more native water resource, transferring water from other rivers to Tianjin (including the South-to-North water diversion), purifying the waste water, desalination of sea water and so on, except for the low water years (75 % guarantees rate) in which the shortage of water will still exist in the city. Therefore, the key to the sustainable development for economy of Tianjin is rational use and exploitation of the water resources.

Key words: Tianjin City; prediction and countermeasures of the water resources; analysis between supply and demand of water; South-to-North water diversion