

水资源利用国内外比较与发展趋势

马 静¹ , 陈 涛² , 申碧峰³ , 汪党献¹

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所 , 北京 100044 ; 2. 北京嘉德投资有限公司 , 北京 100873 ;
3. 北京市水利规划设计研究院 , 北京 100044)

摘要 : 分析了发达国家用水量变化趋势 , 将我国水资源利用效率与部分国家进行了比较 , 在此基础上对我国未来社会经济用水趋势进行了判断。结果认为 , 近年来我国水资源利用效率显著提高 , 但与发达国家相比 , 差距明显 , 但节水潜力大。发达国家的用水变化以及我国近 20 年来用水变化历程表明 , 通过进行节水与水污染治理 , 社会经济用水“零增长”甚至“负增长”的目标是完全可以实现的。今后我国水资源利用效率将稳步提高 , 但由于我国要实现国民经济持续稳定增长 , 完成工业化任务 , 同时面临人口增长的巨大压力 , 在未来相当长的一段时期内 , 社会经济用水低速稳定增长趋势还将持续 , 预计在 2030 年前后达到用水高峰 , 其后逐步进入用水“零增长”阶段。由于我国存在的区际差异 , 东中西三大地带用水效率的地带性特征也比较明显 , 区域间用水效率的差异还将长期存在。

关键词 : 水资源 ; 用水效率 ; 用水量 ; 中国 ; 美国 ; 日本

中图分类号 : TV213.9 **文献标识码** : A **文章编号** : 1006-764X(2007)01-0006-05

Comparison of water resources utilization and its development at home and abroad//MA Jing¹ , CHEN Tao² , SHEN Bifeng³ , WANG Dang-xian¹ (1. Department of Water Resources , China Institute of Water Resources & Hydropower Research , Beijing 100044 , China ; 2. Beijing Jiade Investment Co. , Ltd. , Beijing 100873 , China ; 3. Beijing Institute of Hydraulic Engineering Planning , Design and Research , Beijing 100044 , China)

Abstract : The trend of water consumption in some advanced countries was analyzed , and a preliminary judgment of the trend of social and economic water consumption in China was made based on a comparison of water resources utilization efficiency between China and some other countries . Some conclusions are drawn as follows : water resources utilization efficiency has been greatly improved in China ; however there are obvious gaps in water resources utilization efficiency between China and other advanced countries , and China is of high potential in water-saving ; the efficiency of water resources utilization will be improved stably in China , and the objectives of “ zero increment ” and “ negative increment ” of social and economic water consumption could be realized through water-saving and water pollution remediation . Owing to the fact that it is necessary to keep the sustainable and steady increment of national economy , to implement industrialization , and to face great pressure induced by population increment in China , the social and economic water consumption will increase stably at a low-rate for a considerable long period of time . It is predicted that a water consumption peak will occur at about 2030 , and then the volume of water consumption will enter a “ zero increment ” period . Moreover , it is pointed out that there are obvious differences in water consumption efficiency between the east , the middle , and the west regions of China , and the regional differences will last for a long period of time .

Key words : water resources ; water utilization efficiency ; water consumption ; China ; the United States of America ; Japan

水资源是人类生存和经济社会发展不可替代的重要战略资源 , 是生态环境的控制性因素。我国人均水资源不足 , 随着人口增长、工业化城市化的进一步发展 , 缺水和水污染问题已成为社会经济发展重要的制约因素。实施水资源节约与保护战略 , 建设节水防污型社会是解决缺水和水污染问题最紧迫最重要的战略措施。提高用水效率是建设节水型社会的核心 , 对我国水资源利用效率进行国际国内比较 ,

对于了解我国水资源利用与国际先进水平的差距 , 促进我国节水工作 , 对我国社会经济用水的发展趋势总体判断等具有实践意义。

1 水资源利用的国际比较

1.1 用水效率

自 1980 年以来 , 我国水资源利用效率有了显著提高 , 但与其他国家相比 , 水资源的有效利用率和节

水技术水平仍然较低。我国总体缺水形势还未得到缓解,水资源质量恶化趋势仍未得到控制。

1.1.1 综合用水效率

以生产单位国内生产总值(GDP)所用水量作为评价综合用水效率的指标。每万美元 GDP 用水量发达国家一般在 500 m³ 以下,其中美国为 491 m³,日本为 186 m³,法国为 305 m³,英国为 66 m³。我国万美元 GDP 用水量为 4 749 m³,是世界平均水平的 4 倍,高于巴西、俄罗斯等国,是美国的 9.8 倍,日本的 25 倍,用水效率的差距较大(见表 1)。

1.1.2 生活用水水平

生活用水量受气候条件、水资源条件、经济发展水平等诸多因素的影响。在进行单因素分析时,可以认为生活用水量在一定范围内与经济发展水平正相关,即经济发展水平越高,生活用水量越大。从表 1 看,2000 年我国人均生活用水量为 48 m³,与发达国家和中等发达国家相比,用水量明显偏低。这些国家的人均生活用水量一般在 100 m³ 以上,即使水资源贫乏的国家,如以色列、南非,其人均生活用水量也高于我国,分别为 100 m³ 和 87 m³,反映了我国城镇化发展仍处于较低水平,城镇基础设施不完善的现状。

1.1.3 工业用水效率

与发达国家相比,我国工业用水效率偏低。如表 1 所示,2000 年我国的万美元工业增加值用水量为 2419 m³,是世界平均水平的 3 倍,美国的 2.6 倍,日本的 23 倍。我国工业用水重复利用率为 60%~65%,仅相当于发达国家 20 世纪 80 年代初的水平,与发达国家已达到 80%左右的现状相比,差距更大。

造成我国工业用水效率与发达国家差距较大的原因是多方面的,发达国家在完成工业化任务后,工业在国内生产总值中的比重下降,工业用水规模缩小,这些国家节水技术水平较高,节水设备、节水工艺应用广泛,工业用水的重复利用率高,而我国只有在部分水资源短缺且经济发达的大型城市,才能接近或达到这一水平;同时发达国家在一些高耗水行业努力开发替代性水源或应用新技术以降低定额,如对于火电工业的冷却水,采用海水冷却技术或风冷技术等,而这些技术因成本较高,在我国还没有得到广泛应用。

1.1.4 农业用水效率

我国农业产业结构中,传统的种植业比重高,耕地中灌溉面积所占比例又达到 40%左右,灌溉方式落后,高效节水的农业生产体系尚未建立,因而决定了我国农业用水规模较大,2000 年我国万美元农业增加值用水量为 22 323 m³,略高于世界平均水平。与一些发达国家和农业经济较为发达的国家相比,用水效率上的差距较大。在与我国人均水资源量相近的发达国家中,如德国,万美元农业增加值的用水量一般在 4 000 m³ 左右,在像南非这样的灌溉农业大国,人均水资源量仅为我国的 50%,其万美元农业增加值的用水量为 19 128 m³,比我国的平均水平低 14%。

农业灌溉水利用系数全国平均为 0.43 左右,先进国家则达到了 0.7~0.8。全国平均每立方米水粮食生产效率为 0.95 kg,仅是以色列的 1/3。以色列 20 世纪 90 年代生产效率已达到 2.0~2.6 kg。

我国用水效率与发达国家和节水技术水平高的

表 1 我国与主要国家用水效率比较

国 家	人均 GDP/ 美元	水资源量		用水量		用水量结构/%			单位用水指标/m ³			
		总量/(10 ⁹ m ³)	人均/m ³	总量/(10 ⁹ m ³)	人均/m ³	农业	生活	工业	人均生活 用水量	万美元 GDP 用水量	万美元工业 增加值用水量	万美元农业 增加值用水量
巴 西	3 538	8 233	48 401	59	349	62	20	18	71	985	632	8 696
加拿大	23 198	2 902	94 314	46	1 494	11	20	69	292	644	1 301	3 790
法 国	22 217	204	3 459	40	679	10	16	74	107	305	910	999
德 国	22 694	154	1 869	47					70	252	554	4 148
印 度	450	1 897	1 867	646	636	87	8	5	51	14 121	2 851	48 834
意大利	18 630	191	3 316	44	769	45	18	37	140	413	523	6 206
以色列	183 14	2	265	2					100	178		
日 本	37 409	430	3 389	88	697	62	20	18	137	186	104	11 637
韩 国	10 890	70	1 483	19	395	48	36	16	141	363	165	4 356
荷 兰	23 283	91	5 716	8	499	34	6	60	31	214	476	2 419
俄罗斯	1 784	4 507	30 966	77	527	18	19	63	99	2 953	4 931	8 753
南 非	2 860	50	1 117	12					87	976	190	19 128
西班牙	13 709	112	2 721	36					117	634	389	11 662
英 国	24 445	147	2 497	10	162	3	22	75	35	66	178	195
美 国	34 599	3 051	10 811	479	1 698	41	13	46	216	491	942	10 126
中 国	939	2 829	2 241	563	446	68	11	21	48	4 749	2 419	22 323
世界平均	5 063	55 176	8 852	3 816	612	70	10	20	61	1 209	834	21 605

注 表中数据根据文献 1-2 整理而成,其中社会经济为 2000 年指标。用水量中国为 2000 年数据,其他国家为 1998~2002 年期间某一年数据。

国家存在较大差距 ,但同时也预示着我国在节水方面蕴含的较大潜力。

1.2 用水量变化

1.2.1 美国用水量变化

美国近 50 年的用水情况 ,反映了一个完成了工业化任务进入后工业化的国家在不同时期的用水变化过程(见表 2)。美国国民经济总用水量 1950 年仅为 2 500 亿 m³ [3] ,其中农业为第一用水大户。此后 ,用水量随美国经济的发展持续增长 ,到 1980 年达到峰值 ,为 6 100 亿 m³ ,1980 年后 ,用水量明显回落 ,并基本稳定在 5 500 亿 m³ 左右 ,至 2000 年 ,工业用水减少 ,用水总量回落至 4 800 亿 m³ 左右。1950 ~ 1980 年的 30 年为美国国民经济用水的快速增长期 ,美国经济高速发展 ,以冶金、化工为主导的重工业发展迅速 ,工业用水随着这些高耗水产业的发展快速增长 ,由 1950 年的 1 063 亿 m³ 增长到 1980 年的 3 500 亿 m³ ,农业用水虽然也在持续增长 ,但增长幅度小于工业 ,工业成为第一用水大户。1980 年以后 ,电子产业为主的新兴工业和服务业成为拉动经济增长的主导产业 ,服务业在 GDP 中的比重不断上升 ,同时技术进步使得用水效率大幅提高 ,工业、农业用水量不断下降 ,使得总用水量进入基本稳定并略有下降的时期。尽管生活用水有所变动 ,但因所占比例较小对需水变化的总体影响不大。

表 2 美国 1950 ~ 2000 年用水量变化 亿 m³

年份	农业	工业	生活	合计	年份	农业	工业	生活	合计
1950	1 230	1 064	243	2 537	1980	2 073	3 523	547	6 143
1955	1 520	1 534	285	3 339	1985	1 893	3 005	612	5 510
1960	1 520	1 907	340	3 767	1990	1 893	3 107	641	5 641
1965	1 658	2 432	387	4 477	1995	1 851	3 027	678	5 556
1970	1 796	2 998	435	5 229	2000	1 980	2 210	610	4 800
1975	1 934	3 385	468	5 787					

1.2.2 日本用水量变化

根据日本通商产业省和国土厅的统计调查资料 [4] ,1965 年以来 ,日本工业与生活用水增长较为迅速 ,其中工业用水量在 1965 ~ 1975 年的 10 年间增长了 1.5 倍 ,生活用水量增长 1.3 倍 ,是日本用水增长最快的时期。随着工业化和城镇化进程的加快 ,日本依靠节水来抑制需求的快速增长。日本工业用水的重复利用率 1965 年为 36% ,1975 年上升至 67% ,1994 年为 77% ,2000 年达到 78%。城镇供水系统通过及时更换老化的自来水管道的防止管道漏水 ,提高节水器具普及率 ,并积极鼓励使用中水、雨水等非传统水源。农业方面 ,鼓励兴建废水处理设施 ,用经过净化处理的废水灌溉农田 ,改变传统灌溉方式 ,推广节水灌溉技术。自 20 世纪 70 年代以来 ,日本用水量基本稳定在 900 亿 m³ 左右(表 3) ,农业

用水趋于稳定 ,工业用水缓慢降低 ,生活用水稳定增长。日本由于资源贫乏 ,用水量较大的能源、原材料工业在国民经济中所占比重较小 ,科技含量高的加工制造业发达 ,工业用水并未像美国那样由于产业结构的调整呈现大起大落的现象。

表 3 日本 1975 ~ 2000 年用水量变化 亿 m³

年份	农业	工业	生活	合计	年份	农业	工业	生活	合计
1975	570	183	123	876	1986	585	154	152	891
1976	570	178	131	879	1987	585	154	155	894
1977	570	174	134	878	1988	585	154	157	896
1978	570	169	137	876	1989	586	154	161	901
1979	570	168	139	877	1990	586	156	166	908
1980	580	165	137	882	1991	586	159	168	913
1981	580	161	141	882	1992	586	158	170	914
1982	580	158	143	881	1993	586	154	169	909
1983	585	158	149	892	1994	587	150	171	908
1984	585	156	150	891	2000	552	158	174	884
1985	585	156	151	892					

1.3 国外用水量变化的特点

发达国家的用水变化历程表明 ,用水量的增长具有一定的阶段性 ,且与社会经济发展水平、产业结构、科学技术水平密切相关。其用水变化的总体规律为生活用水随着生活水平的提高持续增长。工业用水在工业化的早期及中期迅速增加 ,在国民经济总用水中的比重也持续上升 ,此时第一产业增加值在 GDP 中下降 ,第二、第三产业上升 ,工业特别是以能源、原材料工业为重点的重工业高速发展。当进入工业化后期 ,加工型工业、高技术高附加值工业成为工业发展的主导产业 ,这些行业对水的消耗将大幅度降低 ,同时节水技术的普及和应用 ,有效地控制了工业用水的增长。此时经济规模虽不断扩大 ,但工业需水量将进入稳定增长期 ,甚至略有下降。农业用水量因各种节水技术的应用而比较稳定。在完成工业化任务进入到后工业化阶段 ,产业结构已进行了重大调整 ,驱动经济发展的主导行业向第三产业转移 ,此时国民经济用水进入稳定期 ,即进入“ 零增长 ”或“ 负增长 ”阶段。

2 水资源利用的国内比较

2.1 我国用水量变化

我国 1949 年以来 50 多年的用水变化过程 [5-13] (表 4) 与美国较为类似 ,都经历了社会经济用水快速增长、低速稳定增长阶段 ,但也呈现了自身的特点。1949 年到 1980 年 ,是我国灌溉农业大发展时期 ,农田灌溉面积增长了 3 333 万 hm² (5 亿亩) ,农田由于灌溉方式粗放 ,灌溉手段落后 ,这期间我国农业用水增长了 2 倍多。1980 年以后 ,我国用水最为显著的特征是农业用水趋于稳定 ,工业和城镇生活用

水增长较快。在这一时期,我国农田灌溉面积增长了约 667 万 hm^2 (1 亿亩),农业需水量稳定在 3 600 亿 ~ 3 900 亿 m^3 ,而同期我国农产品产量大幅度提高,粮食总产量由 3 亿 t 增长至 5 亿 t^[14],充分显示了我国科技进步和农业节水对我国农业发展的促进作用。与此同时,我国工业化水平和城镇化水平迅速提高,工业和生活用水增长较快。这一阶段,虽然经济高速发展,但用水的增长速度要远小于同期经济增长速度,主要是产业结构调整及节水技术应用使得用水定额降低,用水效率显著提高。我国用水量近几年变化不大,还有一个重要原因是我国北方地区自 20 世纪 90 年代以来进入连续枯水期,水源条件限制对用水影响较大。

表 4 中国 1949 ~ 2004 年用水量变化趋势 亿 m^3

年份	农业	工业	生活	合计	年份	农业	工业	生活	合计
1949	1 000	24	6	1 030	1997	3 920	1 121	525	5 566
1959	1 940	96	14	2 050	2000	3 860	1 160	610	5 630
1965	2 545	181	18	2 744	2002	3 736	1 142	619	5 497
1980	3 699	457	280	4 436	2004	3 667	1 229	651	5 547
1993	3 817	906	475	5 198					

2.2 用水效率的区际比较

近年来,我国水资源利用效率有了显著提高,万元 GDP 用水量由 1998 年的 683 m^3 下降至 399 m^3 ,工业万元增加值用水量由 1998 年的 337 m^3 下降至 196 m^3 。我国地域辽阔,水资源利用效率也呈现地带性特征。东中西部三大地带中,东部地区用水效率最高,2004 年万元 GDP 用水量 225 m^3 ,是全国平均水平(399 m^3)的 56%,其中最低的天津市仅为 74 m^3 ,已接近于美国、西班牙等发达国家的水平。中部地区 2004 年万元 GDP 用水量 395 m^3 ,与全国平均水平大体相当。西部地区万元 GDP 用水量 655 m^3 ,高于全国平均水平近 1 倍(图 1)。工业用水效率与以上情况类似,但也呈现自身的特点。东部地区 2004 年万元工业增加值用水量 135 m^3 ,是全国平均水平(196 m^3)的 69%,最低的天津市仅为 35 m^3 ,超过部分发达国家的水平。中部、西部地区工业用水效率大体相当,万元工业增加值

用水量 240 m^3 ,超过全国平均水平约 20%(图 2)。

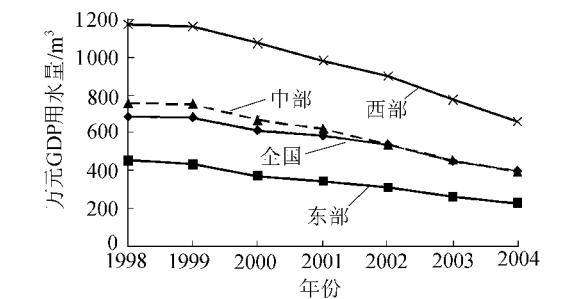


图 1 1998 ~ 2004 年我国万元 GDP 用水量变化情况

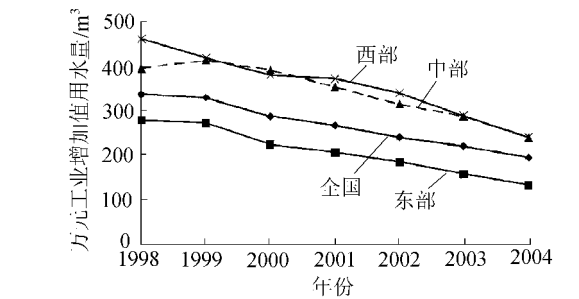


图 2 1998 ~ 2004 年我国万元工业增加值用水量变化情况

我国用水效率的地带性特征与各地区自然条件、社会经济发展水平等诸多因素相关,特别是与国民经济产业结构联系最为密切,在农业、能源工业、原材料工业比重较大的中西部地区,虽然水的产出效率逐年提高,但与东部地区相比,差距较大。

1998 年以来,东中西三大地带人口、GDP、用水总量指标在全国所占的比例变化不大(表 5),表明我国各地区社会经济在发展的同时,用水效率也在同步提高。

3 我国水资源利用效率和社会经济用水趋势的基本判断

3.1 水资源利用效率变化趋势

根据有关规划^[22]提出的目标分析,2030 年我国工业用水重复利用率有望达到 75% 左右,工业用水定额达到发达国家 21 世纪初期的水平。我国现状灌溉水的利用系数约为 0.43,2030 年预计将达到 0.55,自 1980 ~ 2000 年以来我国农业灌溉用水量下

表 5 我国东中西部三大地带用水效率变化

年份	人均用水量/ m^3				万元 GDP 用水量/ m^3				万元工业增加值用水量/ m^3				用水总量比例/%			人口比例/%			GDP 比例/%		
	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部	东部	中部	西部	东部	中部	西部	东部	中部	西部
1998	435	453	393	482	683	452	755	1169	337	281	396	461	38	30	32	37	34	29	56	26	18
1999	440	458	402	497	680	428	747	1160	330	274	415	420	38	30	32	37	34	29	56	26	18
2000	430	419	397	502	610	370	664	1071	288	225	393	381	38	30	32	39	33	28	57	26	17
2001	436	437	397	491	580	341	620	981	268	208	354	372	38	30	32	38	33	29	58	25	17
2002	428	438	373	490	537	309	536	895	241	186	315	340	38	29	33	38	33	29	58	25	17
2003	412	419	352	480	448	257	453	773	222	159	289	291	39	28	33	38	33	29	58	25	17
2004	427	436	371	487	399	225	395	655	196	135	240	241	38	29	33	38	33	29	58	25	17

注 本表数据根据文献 6-13,15-21 整理而成。东部地区包括辽宁、北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

降了 $1\,095\text{ m}^3/\text{hm}^2$,随着农业高效生产体系的建立 ,我国农业灌溉定额下降的空间依然较大。

从区域看 ,由于产业结构调整是一个较为长期的过程 ,经济发展又具有一定的惯性 ,我国东中西部地区经济格局不可能在短时期内有较大改变 ,用水效率的地带性特征还将长期存在。

3.2 社会经济用水变化趋势

中国共产党第十六届五中全会明确提出了“建设资源节约 环境友好型社会” ,水利部将饮水安全和节水防污型社会建设作为首要的工作任务 ,人们水的忧患意识和节水意识都会不断深入和增强。所有这一切都将引起水资源开发利用的一场深刻变革。因此社会经济用水“零增长”甚至“负增长”的目标是完全可以实现的。

我国面临着 2020 年国内生产总值比 2000 年翻两番 ,基本实现工业化的艰巨任务 ,人口增长与国民经济总体规模的扩大 ,以及未来在气候变化、粮食安全方面存在诸多不确定因素 ,我国社会经济用水由低速稳定增长向零增长转变还需要较长时间 ,预计我国需水增长的相对稳定点在 2030 年前后出现。这是因为 :

a. 根据众多权威机构的研究成果^[23-24]认为在 2030 年前后我国人口将达到峰值 ,在此期间人口总数将稳定在 15 亿左右 ,并由此开始缓慢下降。为解决农村富余劳动力出路 ,节约土地 ,解决农村能源、交通及教育问题 ,城镇化率将从现状不到 30% 逐步增加到 2030 年的 60% ,相当于 20 世纪末世界上大多数发达国家的水平 ,并由此进入城市化进程的相对稳定期 ,届时城镇人口和农村人口的比例也将相对稳定 ,生活用水规模相对稳定。

b. 为满足粮食的基本自给 ,从现状起到 2030 年前后 ,我国的人均粮食占有量应长期保持在 400 kg 左右 ,目前全国粮食总产量的 2/3 和主要经济作物产量的 90% 以上是灌溉面积上的产出 ,灌溉总面积将随人口增长而相应增长 ,在 2030 年前后将达到相对稳定 ,从而占我国总需水量 60% 以上的农业灌溉用水量也将停止增长并由此而缓慢下降。

c. 至 2030 年 ,我国将完成工业化发展任务 ,进入到“后工业化”阶段。由于技术进步和产业结构升级的影响 ,尽管工业总产值和增加值在不断上升 ,但工业综合用水定额将有较快下降 ,从而工业需水将进入到目前经济发达国家工业用水的“零增长”时期。

4 结 论

我国水资源利用效率与水资源利用水平较高的国家相比差距明显 ,用水效率提高的潜力较大。受

水源条件限制和水污染等因素影响 ,我国未来水资源供需态势依然十分严峻。大力推进以节水治污为中心任务的节水防污型社会建设 ,符合可持续发展战略方向 ,我国社会经济用水“零增长”甚至“负增长”是完全可以实现的。今后我国水资源利用效率将稳步提高 ,但由于我国工业化任务尚未完成 ,城镇化水平较低 ,在未来相当长的一段时期内 ,社会经济用水低速稳定增长趋势还将持续。预计全国在 2030 年前后达到用水高峰 ,其后逐步进入用水“零增长”阶段。由于我国存在的区际差异 ,东中西三大地带的用水效率的地带性特征也比较明显 ,区域间用水效率的差异还将长期存在。

参考文献 :

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nation. AQUASTAT online database [DB/OL]. [2006-02-15]. <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index.stm>.
- [2] World Bank. Key development database [DB/OL]. [2006-02-15]. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATA-STATISTICS/0,,contentMDK:20535285~menuPK:1192694~pagePK:64133150~piPK:64133175~theSitePK:239419,00.html>.
- [3] 刘昌明,陈志恺. 中国水资源及其供需发展趋势分析 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [4] 中村浩一郎. 日本的水资源(水资源白皮书 [J]. 地下水技术,1997,39(9):1-16.
- [5] 沈福新,耿雷华,曹霞莉,等. 中国水资源长期需求展望 [J]. 水科学进展,2005,16(4):552-555.
- [6] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:1997 [R]. 北京:中华人民共和国水利部,1998.
- [7] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:1998 [R]. 北京:中华人民共和国水利部,1999.
- [8] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:1999 [R]. 北京:中华人民共和国水利部,2000.
- [9] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:2000 [R]. 北京:中华人民共和国水利部,2001.
- [10] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:2001 [R]. 北京:中华人民共和国水利部,2002.
- [11] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:2002 [R]. 北京:中华人民共和国水利部,2003.
- [12] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:2003 [R]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [13] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报:2004 [R]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [14] 刘江. 21 世纪初中国农业发展战略 [M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [15] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴:1999 [M]. 北京:中国统计出版社,1999.

(下转第 13 页)

资源承载能力将不能满足宏观经济社会的可持续发展要求,水资源不能实现可持续利用。这也是与实际情况相符的。为此,文献 3 提出了进一步提高西安市水资源承载能力的主要工程和非工程措施。

文献 4 对黑河流域张掖地区不同水平年的水资源承载能力进行了多目标分析计算。类似地,相应于经济目标和环境目标的相关计算结果列于表 3 的第 2、第 3 列,第 4 列为本文的计算分析结果。

表 3 黑河流域张掖地区水资源承载能力多目标分析结果

年份	GDP/亿元	COD 负荷/(g·人 ⁻¹)	权衡率 r_{12}
2000	64.09	34.64	
2005	94.32	47.15	-2.42
2010	140.84	72.14	-1.86
2015	185.34	95.64	-1.89
2020	234.66	111.24	-3.16

从表 3 中的数据可见,黑河流域张掖地区在 2000~2010 年期间,经济和环境目标间的权衡率随时间推移而增大,即 $dr_{12}/dt > 0$,说明水资源的利用尚处于传统的模式;而在 2010 年以后,经济和环境目标间的权衡率随时间推移而逐步减小,而且这种趋势越来越明显,即 $dr_{12}/dt < 0$,说明水资源的利用逐步走向可持续利用的模式;另外,2010 年前后若干年将是该地区水资源开发利用从传统模式向可持续利用模式过渡的时段。

另外,本文还对文献 1 针对京津唐、文献 2 针对关中地区的水资源开发利用的多目标计算结果进行了相应的分析,从不同侧面验证了不同水资源利用模式下经济与环境目标之间权衡率随时间变化的一般特性。

3 结 语

水资源的开发利用是一个长时间跨度的多目标

决策问题,不仅涉及同时段内目标间的替代权衡,而且这种权衡取舍关系是随时间变化的。水资源开发利用需要同时兼顾经济、环境和社会效益,但在水资源开发利用过程中,即使考虑到社会与环境效益,决策者在权衡它们与经济效益的得失关系时,也可能使环境与社会效益处于很低的水平,本质上,这依然是水资源非可持续利用模式的偏好选择。本文对不同水资源利用模式下权衡率随时间变化规律的理论分析和实例研究所得出的结论,有利于克服常规水资源决策中割裂时间联系的片面性和一般陈述方式在理解水资源可持续利用上的随意性,对水资源的可持续利用决策和判断具有重要的指导意义。

参考文献:

[1] 蔡喜民,翁文斌,史惠斌.基于宏观经济的区域水资源多目标集成系统[J].水科学进展,1995,16(2):139-144.
[2] 薛小杰,于长生,黄强,等.水资源可持续利用模型及其应用研究[J].西安理工大学学报,2000,16(3):301-305.
[3] 薛小杰,惠泱河,黄强,等.城市水资源承载能力及其实证研究[J].西北农业大学学报,2000,28(6):135-139.
[4] 苏志勇,徐中民,张志强,等.黑河流域水资源承载力的生态经济研究[J].冰川冻土,2002,24(4):400-406.
[5] 陈守煜,黄完成,李登峰.大连市水资源利用与宏观经济协调发展规划多目标群决策模型与方法[J].水利学报,2003(3):42-48.
[6] 何士华,邹进,程乖梅.区域水资源可持续利用的多目标决策模型[J].昆明理工大学学报,2005,30(3):56-59.
[7] CHANKONG V,HAIMES Y Y. Multiobjective decision making: theory and methodology [M]. Amsterdam: North-Holland, 1983.
[8] HAIMES Y Y, HALL W A. Multiobjective in water resources system analysis: the surrogate worth trade-off method[J]. Water Resources Research, 1974, 10: 614-624.

(收稿日期 2006-02-27 编辑 熊水斌)

(上接第 10 页)

[16] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2000[M].北京:中国统计出版社,2000.
[17] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2001[M].北京:中国统计出版社,2001.
[18] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2002[M].北京:中国统计出版社,2002.
[19] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2003[M].北京:中国统计出版社,2003.
[20] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2004[M].北京:中国统计出版社,2004.

[21] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2005[M].北京:中国统计出版社,2005.
[22] 全国节约用水办公室.全国节水规划纲要及其研究[M].南京:河海大学出版社,2003.
[23] 蔡昉,郑真真,都阳.人口与劳动力绿皮书——中国人口与劳动问题报告 No.5:人口转变与教育发展[M].北京:社会科学文献出版,2004.
[24] United Nation Population Division. World urbanization prospect: 2001 revision [R]. New York: United Nation Population Division, 2002.

(收稿日期 2006-03-01 编辑 熊水斌)