

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2014.01.014

世界供水安全现状及其主要经验 对我国供水安全保障的启示

卞戈亚¹, 陈康宁², 戴兆婷³, 黄爱玉⁴

(1. 中国水利水电科学研究院水利研究所, 北京 100048;

2. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

3. 江苏省水利工程建设局, 江苏南京 210029; 4. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054)

摘要:根据世界各地水资源本底条件、20世纪世界供水发展规律、各类用水需求满足度,分析世界供水安全现状。从美国转向需水管理遏制供水无限制增长、新加坡多渠道开源努力提高供水自给比例、以色列建设高效用水体系和置换虚拟水并举、日本设计应急供水体系抵御地震后次生灾害等案例,总结出4条经验:①需水管理是保障水资源支撑可持续发展的根本途径;②多元组合供水是增强水资源系统稳定性的有效方式;③提升供水效率与效益是破除水资源约束的重要手段;④建设应急供水体系是减小极端突发灾害损失的有力措施。这些经验可为我国供水安全保障提供启示。

关键词:供水安全;水资源;需水管理

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2014)01-0068-06

World water supply security, key experiences, and lessons for China's water supply security assurance

BIAN Geya¹, CHEN Kangning², DAI Zhaoting³, HUANG Aiyu⁴

(1. Department of Irrigation and Drainage, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;

2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. Jiangsu Province Water Conservancy Construction Bureau, Nanjing 210029, China;

4. China Irrigation and Drainage Development Center, Beijing 100038, China)

Abstract: We analyze the world's water supply security situation according to the water resources endowment all over the world, the development of the world's water supply in the 20th century, and water demand-meeting levels for various water uses. We study cases including the United State's implementation of a water demand management strategy to restrain unlimited water supply growth, Singapore's four national tap strategies to improve the water supply self-sufficiency ratio, Israel's construction of an efficient water utilization system and replacement of virtual water simultaneously, and Japan's establishment of an emergency water supply system to withstand earthquake disasters. From the experiences of these cases, we conclude that (1) water demand management is a fundamental way of ensuring sustainable utilization of water resources, (2) a diversified portfolio of a water supply system is an effective way to enhance the stability of the water resources system, (3) improving water efficiency and effectiveness is important to relieving water supply constraints, and (4) constructing an emergency water supply system is an effective method of reducing abrupt disaster losses. These experiences provide great inspiration for China's water supply security assurance.

Key words: water supply security; water resources; water demand management

基金项目:水利部2012年水利重大课题(20120902)

作者简介:卞戈亚(1979—),女,工程师,博士,主要从事城乡供水研究。E-mail: biangeya@163.com

通信作者:陈康宁,高级工程师。E-mail: chkn@iwhr.com

供水安全是指当前和未来国民经济与社会发展的合理用水需求在水量、水质、稳定性、价格4方面的满足程度,以及规避和消除威胁和风险的能力^[1]。国外一些发达国家在供水安全保障方面由于发展起步早、水平高,已经步入成熟时期,有不少值得借鉴的经验。我国在供水安全保障方面起步较晚,但可利用后发优势,借助国家经济实力和体制优势,少走弯路,少付代价,实现供水安全保障的跨越式发展^[2-3]。本文试图通过介绍和分析世界供水安全格局及实践经验,为提升我国供水安全度提供借鉴。

1 世界供水安全格局

1.1 世界各地水资源本底条件

根据联合国粮农组织最新统计数据^[4],世界(含199个国家和地区,圣卢西亚、美属萨摩亚群岛、汤加等数据空缺,故采用CIA the World Factbook数据填补)水资源总量大约为424 000亿 m^3 ,其中亚洲最多,约为110 000亿 m^3 ,占25.9%,大洋洲最少,约为19 000亿 m^3 ,占4.5%。从单位面积产水量看,世界平均水平约为31.2万 m^3/km^2 ,南美洲最高,约为75.7万 m^3/km^2 ,非洲最少,约为12.2万 m^3/km^2 。从人均水资源量看,世界平均水平约为6 153.8 $m^3/人$,大洋洲最多,约为47 500.0 $m^3/人$,亚洲最少,约2 644.2 $m^3/人$,见表1。

根据联合国粮农组织(FAO)2013年3月更新的各国水资源量评价结果,水资源总量排名世界前6位的国家分别是:巴西(82 330亿 m^3)、俄罗斯(45 080亿 m^3)、美国(30 690亿 m^3)、加拿大(29 020亿 m^3)、中国(28 400亿 m^3)、哥伦比亚(21 320亿 m^3)。水资源总量排名前20位的国家见表2。

1.2 世界供水总量发展规律

20世纪全球供用水量以1950年为界^[6],分较慢增长和快速增长两阶段。总供水量1900年约为5 790亿 m^3 ,1950年达到13 820亿 m^3 ,2000年增长到38 290亿 m^3 。其中,1950年以前,世界工业及生活用水量变化较慢,工业用水量从1900年的215亿 m^3 上升到1950年的867亿 m^3 ,生活用水量从1900年的

表2 水资源量排名前20位的国家 亿 m^3

排序	国家	水资源量	排序	国家	水资源量
1	巴西	82 330	11	委内瑞拉	12 330
2	俄罗斯	45 080	12	孟加拉	12 270
3	美国	30 690	13	缅甸	11 680
4	加拿大	29 020	14	智利	9 220
5	中国	28 400	15	越南	8 440
6	哥伦比亚	21 320	16	刚果	8 320
7	印度	20 810	17	阿根廷	8 140
8	印度尼西亚	20 190	18	巴布亚新几内亚	8 010
9	秘鲁	19 130	19	玻利维亚	6 230
10	刚果(金)	12 830	20	马来西亚	5 800

437亿 m^3 上升到1950年的2 040亿 m^3 。1950年后,农业用水量从10 800亿 m^3 快速增长到1980年的21 120亿 m^3 ,到1995年达到25 040亿 m^3 ,工业用水量1980年达到了2 190亿 m^3 ,到1995年达到3 440亿 m^3 ,生活用水量从1970年达到5 470亿 m^3 ,到1995年增加到7 520亿 m^3 ,见图1。与同期世界经济增长情况对比,供水量增长与GDP增长有较强相关性。根据相关资料,1900—1950年世界经济年均增长率为2%(GDP为1990年可比价),1950—2000年为4%左右,变动规律与20世纪供水量变化规律基本一致,可见供水增长对世界经济增长的贡献。

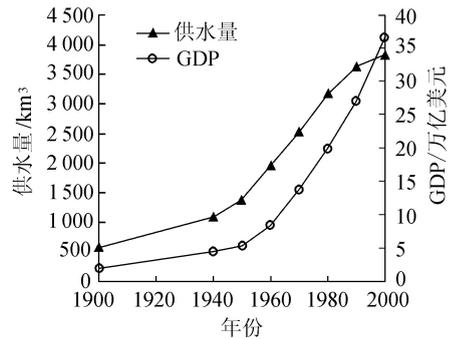


图1 20世纪世界供用水量增长情况

1.3 各类用水需求满足程度

a. 饮用水。联合国千年发展目标提出,到2015年年底,“使无法得到或负担不起安全饮用水的人口比例降低一半”^[7]。尽管各国都在朝着这一目标努力,但撒哈拉以南的非洲进展仍然偏慢。总体

表1 世界不同区域水资源本底条件^①

地区	水资源量/ 亿 m^3	占世界总量 比例/%	陆地面积/ 万 km^2	陆地占总面积 比重/%	人口/ 亿人 ^[5]	占总人口 比例/%	产水量/ (万 $m^3 \cdot km^{-2}$)	人均水资源量/ m^3
亚洲	11 000	26.0	3 070.5	22.6	41.6	60.4	35.8	2 644.2
欧洲	66 000	15.6	2 329.5	17.2	7.4	10.7	28.3	8 918.9
非洲	37 000	8.7	3 037.0	22.4	10.2	14.8	12.2	3 627.5
北美洲	57 000	13.4	2 449.0	18.0	3.4	4.9	23.3	16 764.7
南美洲	135 000	31.8	1 784.0	13.2	5.9	8.6	75.7	22 881.4
大洋洲	19 000	4.5	900.9	6.6	0.4	0.6	21.1	47 500.0
全世界	424 000	100	13 570.9	100	68.9	100	31.2	6 153.8

注:①为与各大洲水资源量及人口统计口径一致,将俄罗斯全境计入欧洲。

上看,差异主要体现在发达国家和发展中国家、城镇与农村之间。到2008年,全世界饮用水安全人口比例为87%,其中城镇为96%,农村为76%^[8]。世界发达国家饮用水安全人口比例将近100%,其中城镇饮用水安全人口比例为100%,农村为98%。世界发展中国家饮用水安全人口比例为87%,其中城镇饮用水安全人口比例为94%,农村为76%。撒哈拉以南的非洲情况不理想,饮用水安全人口比例仅为60%,其中城镇饮用水安全人口比例为83%,农村为47%。

b. 农业用水。农业用水满足程度可通过灌区面积的变化和粮食产量来反映。从1970年到2008年,全球灌溉面积从1.70亿hm²扩大到3.04亿hm²^[9],增长了78%,同期全球粮食总产量从12亿t左右增加到23亿t左右,增加了约91%。但是,仍有很多国家农业灌溉用水面临困难,造成作物产量低而不稳。这些国家主要分布在非洲,其人均灌溉面积只有0.015hm²,粮食作物产量只有1558.5kg/hm²,均为世界最低。世界人均灌溉面积和粮食作物产量现状见表3^[10]。

表3 世界人均灌溉面积和粮食作物产量现状

区域	人均灌溉面积/hm ²	粮食作物产量/(kg·hm ⁻²)
非洲	0.015	1558.5
美洲	0.052	3505.5
亚洲	0.052	3258.0
大洋洲	0.115	4662.0
欧洲	0.032	4518.0
世界	0.045	2493.0

c. 工业用水。目前世界工业用水占供水量的18%。一般来说,工业用水比例与国民人均收入水平呈正相关,根据世界银行统计数据^[11],世界上某些高收入国家往往达到40%以上,中等收入国家约占10%,而低收入国家基本在2%左右,不同区域工业用水比例见表4。工业用水效益差别也较大,万美元工业增加值用水量从100到1000m³不等。

表4 世界各区域工业用水比例现状(2011年)

国家收入类别	地区	工业用水比例/%
中低收入国家	南亚地区国家	2
	撒哈拉以南非洲国家	4
	中东及北非发展中国家	6
	拉美及加勒比地区发展中国家	11
	东亚及太平洋地区发展中国家	16
高收入国家	欧洲及中亚发展中国家	20
	欧洲发达国家	52

注:世界工业用水比例平均为18%。

2 典型案例

2.1 美国——转向需水管理,遏制供水无限制增长

1776—1970年期间,美国通过大规模兴建供水工程,来满足经济社会用水需求。全美规模排名前

10位的水库中有9座是在此期间修筑的。水利工程供水能力的提升进一步刺激了用水需求,1950—1975年间,美国供水量增加了2692亿m³,且没有放缓迹象,根据1968年美国国家水资源委员会组织的第一次全国水资源评价预测,按当时的趋势,到2000年和2020年美国总供水量将分别达到约11116亿m³和18900亿m³,逼近和超出其水资源开发利用极限(美国水资源总量约为30500亿m³,按国际普遍采用的40%开发利用率上限计算,开发上限大约为12200亿m³)。为了保证水资源供需平衡,美国从1978年开始实施需水管理策略,核心是通过工程、技术、法律、经济等多种手段强化节水和循环利用,遏制供水量的增长。以制造业为例,规定平均循环用水率要由1975年的54%提高到2000年的94%。需水管理措施迅速收到了效果,1980年美国供水量达到顶峰后,逐渐回落并基本稳定在5600亿m³上下。在此期间,美国人口增长和经济发展并未受到影响,其中人口由1975年的2.16亿增长到2000年的2.85亿,GDP由1975年的43112亿美元(2000年不变价)增长到2000年的98170亿美元^[12]。美国供水量及GDP变化趋势见图2。



图2 美国1900—2000年供水量及GDP变化趋势

2.2 新加坡——多渠道开源,努力提高水资源自给比例

新加坡国土面积仅710km²,水资源赋存条件差。历史上,新加坡主要依靠从马来西亚进口水资源^[13]。为减少供水对外依存度,提高自给比例,新加坡于2002年制定了四大“水喉”战略,即进口水、收集雨水、新生水和淡化海水。具体做法是:①2061年前继续从马来西亚柔佛州进口水资源。新加坡与马来西亚曾签署两份供水协议,其中一份已于2011年8月底到期,另一份有效期至2061年。②努力建设全覆盖的雨水集蓄体系。通过修筑水库,到2011年新加坡已有2/3国土纳入集水区,目前日均最大收集雨水能力达60万m³,接近新加坡日供水量的

40%。③不断扩大新生水的产能。新生水是再生水的一种,处理工艺及标准极高,甚至可直接饮用,目前新加坡已有5座新生水厂,产能可满足30%的需水量,这些水大部分用于工业。④加快实施海水淡化工程。从1998年开始,新加坡一直努力“向海水要淡水”,2005年启用了亚洲最大的海水淡化厂,产能达到11.4万 m^3/d ,2013年将建成第二座海水淡化厂,产能约为26.5万 m^3/d 。根据2011年新加坡提出的水资源长期战略规划^[14],为“满足未来50年水资源需求”,到2060年要将90%国土纳入集水区,将再生水和海水淡化供水比例分别提高到50%和30%,在2061年协议到期前完全实现供水自给。1965—2060年新加坡水源结构变化趋势见图3。

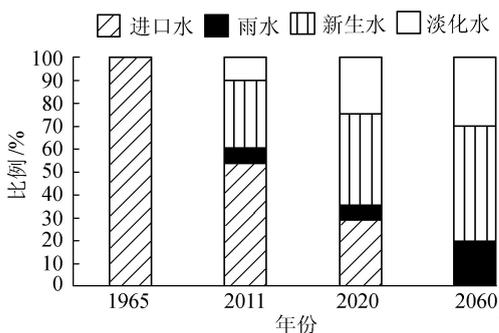


图3 新加坡水源结构变化趋势(1965—2060年)

2.3 以色列——高效用水体系建设和虚拟水置换并举

以色列地处干旱半干旱地区,人均水资源为245 m^3 ,不到世界平均水平的1/25。为最大限度地发挥水资源利用效率,以色列采取了两条腿走路的策略:一方面建设全社会高效用水体系,节约每一滴水;另一方面利用经济作物与粮食作物耗水“剪刀差”,从国际市场置换粮食。具体来说:①大规模推广高效节水技术。以色列农业节水技术研发实力雄厚,80%以上农田采用滴灌,并普遍配套有自动控制系统,能按时按量将水肥送入作物根部。近几十年来,以色列农业用水始终控制在12亿 m^3 左右,但农业产量却翻了5番。②积极尝试污水处理再利用。1972年,以色列颁布了“国家废污水再利用工程”计划,将城镇生活污水、工业废水处理用于灌溉及回补地下水,到2010年供水量达到4.5亿 m^3 ,占总供水量(21.3亿 m^3)的21.1%^[15]。③果断实施置换虚拟水战略。放弃生产耗水量较大的粮食作物,通过出口耗水少、附加值高的水果、花卉、蔬菜、棉花等,在国际市场换取粮食。1985—2008年24年间以色列农产品出口贸易额持续增长,见图4。通过法律、政策、经济等手段鼓励高效用水技术革新,引导供水向高附加值产业流动,以色列相当成功地解

决了人口增加、经济持续发展与水资源匮乏之间的矛盾。

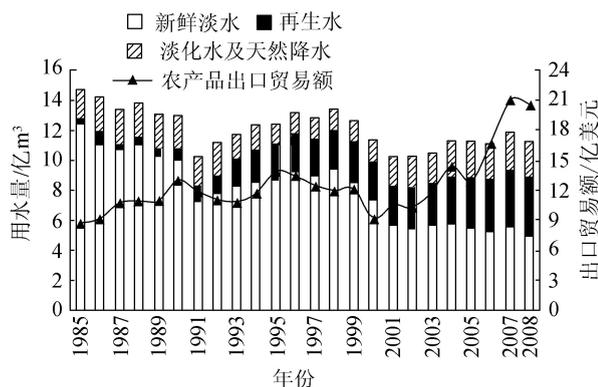


图4 以色列农业用水及农产品出口贸易额变化趋势(1985—2008年)

2.4 日本——设计应急供水体系,抵御地震后次生灾害

日本位于环太平洋地震带,地震灾害十分频繁。由于地震直接破坏供电和供水系统,灾后极易发生供水中断。以1995年的7.3级阪神大地震为例,震后2h内,约123万户居民供水中断,下水道受损316km,而恢复这些设施大约花了2~3年。为减小地震等极端突发灾害对供水系统的破坏,日本在其全国水资源综合规划中提出建设应急供水体系,主要包括灾前主动预防和灾后应急响应^[16]。具体来说,一是建设抗震能力强的供水系统,防患于未然。神户市在阪神大地震后提出水道耐震化建设计划,包括建立应急储水池,减少管网破损带来的漏失,采用高强度结构材料建设大容量送水管,采用橡胶密封可伸缩接口及大强度球墨铸铁管增强柔韧性等。二是规范灾后应急供水体制,确保基本用水得到满足。例如,在“兵库县地区防灾计划”中,将某地断水家庭供水标准设定为从发生灾害至第3日为3L/(人·d),以后逐步增加,第20日以后为100L/(人·d)至受灾前标准(图5)。围绕供水标准,建立以家庭、学校、企业自保为基础,利用供水车等手段为补充的应急供水体制,同时对紧急消防用水、冲洗厕所等卫生用水做出安排,如利用游泳池或

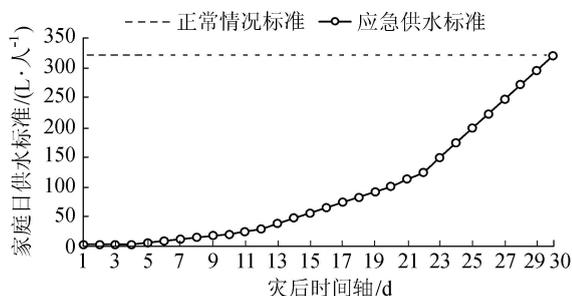


图5 日本“兵库县地区防灾计划”灾后供水标准

能够紧急取水的邻近水体等。

3 国外先进经验与启示

3.1 需水管理是保障水资源支撑可持续发展的根本途径

在水资源相对丰沛地区,通过兴建水源工程、水资源配置工程就可满足经济社会用水需求。这是一种简单直接的方式,类似美国在1975年以前的做法。如果区域供用水量逼近或触及水资源开发利用上限,要继续满足供用水增量需求,需水管理就是解决水资源供需矛盾的“治本”途径。美国水资源总量约30500亿 m^3 ,比我国的28300亿 m^3 略多,2010年美国GDP达146000亿美元,是我国的2.43倍,而2011年供水量仅为4784亿 m^3 ,远少于我国的6107亿 m^3 。这得益于1975年以来实施的需水管理战略。美国的案例充分说明,需水管理不仅能遏制住供水粗放增长,同时也能支撑经济持续发展。实际上,从20世纪70年代前后开始,一批国家,如加拿大、瑞典、荷兰、日本,纷纷意识到水源不足、水资源开发成本上升、水污染加剧、水环境质量恶化的趋势及严重性^[17],先后实施了需水管理措施,从经济结构调整、行业节水减排管理等多种途径遏制水资源无序取用,从而实现供水安全。

3.2 多元组合供水是增强水资源系统稳定性的有效方法

水资源常被视为自然界免费赐予的资源,但新加坡由于特殊自然地理原因,历史上只能依赖进口水,这种水源格局几十年来屡屡因为军事、政治、外交等因素遭受严重威胁,直接影响新加坡社会稳定与国家安全。为摆脱这种威胁,新加坡凭借雄厚经济实力和技术研发,利用雨水、再生水、淡化水改变水源结构,逐步稀释进口水所占比重,证明了非常规水是水资源自给困难地区降低对外依赖程度的有效方式。总体来说,尽管我国水资源本底条件相对较好,但由于水资源空间分配差异大,个别区域(如京津地区)供水对外依赖度正逐渐升高。由于外调水会输入新型风险,如发生调入地和调出地同旱、剧毒污染物泄露、沿线地震损毁等极端突发灾害,如果将外调水作为主力水源,实际上是增加了供水系统的不确定性。以干旱为例,从历史上看,我国多次出现南北方同时干旱,如明崇祯十至十六年(1637—1643年)南北方连续7年大范围干旱,清光绪二至五年(1876—1879年)南北方持续4年大范围干旱。因此,京津等地区应充分借鉴新加坡经验,立足当地水资源,结合雨水积蓄利用、中水回用、海水淡化利用。从实践基础看,北京、天津已经有了比较好的实践基

础,北京目前的35亿 m^3 供水量中包括7亿 m^3 的再生水,占全国再生水利用总量的1/5多;天津的海水淡化产能达21.7万 t/d ,占全国的41.4%。可见,应尽快将本地非常规水纳入水资源配置体系,促进多元化供水格局的形成。

3.3 提升供水效益与效率是破除水资源约束的重要手段

把宝贵的水资源配置到用水效益较高的部门,提高各部门水资源利用效率,是以色列的主要经验。从用水效率看,发达国家工业用水重复利用率在80%以上,灌溉水有效利用系数普遍在0.7~0.8之间,而我国工业用水重复利用率约为60%,灌溉水有效利用系数是0.5。从用水结构看,发达国家工业用水比重通常较高,英国、法国、德国、美国、加拿大分别占75%、74%、68%、54%、69%,我国仅为24%(2010年)。与提升用水效率比,优化我国用水结构相对复杂。2010年我国农业用水高达3689.1亿 m^3 ,占总用水量的61.3%,而农业产值增加值为36933亿元,仅占GDP(397983亿元)的9.3%,用水量与用水效益明显“倒挂”。全国水资源综合规划提出,2020年全国工业用水量比2008年增加208亿 m^3 ,但总用水量要控制在6700亿 m^3 红线内。假设要满足工业用水需求的增长,且生活需水(含城镇公共需水)不减少,据初步测算,农业用水量应减少至3746亿 m^3 (比2008年减少472亿 m^3)。在此情况下,按工业用水边际效益153.8元/ m^3 (万元工业增加值用水量降至65 m^3)估计,若将208亿 m^3 农业用水量置换到工业,工业至少多贡献31000亿元的增加值,占2010年我国GDP的7.7%左右。需要说明的是,压缩农业用水,必须保障粮食安全,且发展节水灌溉是唯一途径。根据近年来不同节水灌溉项目的节水效果,按综合节水量1950 m^3/hm^2 估算,如果我国新增节水灌溉面积0.24亿 hm^2 以上,则有可能实现输送208亿 m^3 的农业用水到工业。

3.4 建设应急供水体系是减小极端突发灾害损失的有力措施

日本、美国均对供水系统防御地震灾害进行了长期深入的研究,出台了城市供水系统抗震设计和运行的技术规范 and 具体技术方法,并在长年累月与地震的抗衡中积累了大量经验,为保证极端灾害下的供水安全、避免因大面积供水破坏造成更大损失提供了较好的范例。我国应急供水体系相对薄弱,随着重特大干旱、冰川积雪消融、生态环境破坏、突发性水污染事故以及恐怖事件、国际水资源争端、核电事故等供水风险或潜在威胁出现,我国供水安全影响因素呈多元化趋势,供水安全不稳定、不确定性

增加,保障国家供水安全任务更加艰巨。由于极端灾害和突发事件往往直接接触人的生活饮用水需求底线,故对社会稳定构成直接威胁。2005 年底的松花江水源污染事件,导致哈尔滨全市停水 4 天,引发民众恐慌情绪;2007 年春夏之际,太湖暴发蓝藻,引发了无锡市有史以来最大规模的供水危机;2008 年 5 月,汶川特大地震导致供水系统大面积瘫痪,直接造成 1 000 多万人饮水困难。尽管在灾难面前,采取了抢修恢复、新建供水设施、临时送水、应急水质监测等措施,但仍显得捉襟见肘。从长远发展看,由于城镇化快速推进,我国正在形成 20 个以上的城市群,这种经济社会体量的高度聚集加剧了区域供水系统的脆弱程度,一旦受极端事件破坏,损失将不堪设想。对此,可借鉴日本等国家的做法,围绕灾害监测预警、增强供水系统抗灾能力等方面开展工作,同时在储备应急水源、提升应急供水服务能力、增强应急物资储备、研究应急供排水关键技术等方面,增强供水系统遭破坏的应对能力。

参考文献:

[1] 陈康宁,王建华,李海红,等. 供水安全概念刍议[J]. 中国水利,2012 (23):40-44. (CHEN Kangning, WANG Jianhua, LI Haihong, et al. Discussion on the concept of water supply security [J]. China Water Resources, 2012 (23):40-44. (in Chinese))

[2] 刘永懋,宿华,刘巍. 中国水资源的现状与未来:21 世纪水资源管理战略[J]. 水资源保护,2001 (4):13-15;71. (LIU Yongmao, SU Hua, LIU Wei. Current situation and future of water resources in China: strategy of water resources management for the 21st century [J]. Water Resources Protection, 2001 (4):13-15;71. (in Chinese))

[3] 成自勇,张芮,魏巍. 中国水资源存在的问题及对策[J]. 水利经济,2007,25 (1):66-68. (CHENG Ziyong, ZHANG Rui, WEI Wei. Problems and countermeasures of water resources in China [J]. Water Resources Economics, 2007, 25 (1):66-68. (in Chinese))

[4] FAO. AQUASTAT. [EB/OL]. [2013-03-20]. <http://www.fao.org/statistics>.

[5] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World population prospects: the 2010 revision [EB/OL]. [2013-05-30]. <http://esa.un.org/wpp/Excel-Data/population.htm>.

[6] SHIKLOMANOV I A, RODDA J C. World water resources at the beginning of the twenty-first century [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

[7] WIKIPEDIA. United Nations millennium declaration [EB/OL]. [2000-09-08]. http://en.wikipedia.org/wiki/United_Nations_Millennium_Declaration.

[8] United Nations Statistics Division. Millennium development goals indicators [EB/OL]. [2008-01-30] <http://unstats.un.org/unsd/mdg/Host.aspx?Content=Indicators%2fOfficialList.htm>.

[9] UNESCO. The 4th edition of the UN world water development report [EB/OL]. [2012-03-11]. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf#page=406>.

[10] International Commission on Irrigation and Drainage. World irrigated area [EB/OL]. [2013-05-21]. http://www.icid.org/imp_data.pdf.

[11] The World Bank. World development indicators [EB/OL]. [2013-05-30]. <http://wdi.worldbank.org/tables>.

[12] U. S. Department of Commerce Bureau of Economic Analysis. National economic accounts [EB/OL]. [2013-05-01]. <http://www.bea.gov/national/index.htm#gdp>.

[13] 廖日红,陈铁,张彤. 新加坡水资源可持续开发利用对策分析与思考[J]. 水利发展研究,2011 (2):88-91. (LIAO Rihong, CHEN Tie, ZHANG Tong. Singapore water resources sustainable development countermeasures and thinking. [J]. Water Resources Development Research, 2011 (2):88-91.)

[14] Singapore's National Water Agency. Singapore water story [EB/OL]. [2013-05-12]. <http://www.pub.gov.sg/water/Pages/singaporewaterstory.aspx>.

[15] Water Authority, State of Israel. Master plan for the national water sector [EB/OL]. [2012-03-20]. <http://www.water.gov.il/Hebrew/ProfessionalInfoAndData/2012/05-Israel-Water-Sector-Master-Plan-2050.pdf>.

[16] 日本国土厅. 日本全国水资源综合规划[M]. 吴浓娣,译. 北京:中国水利水电出版社,2002.

[17] 水科学进展编辑部. 需水管理的定义与内涵[J]. 水科学进展,2009,20 (5):738-754. (Editorial Board of Advances in Water Science. Definition and connotation of water demand management [J]. Advances in Water Science, 2009, 20 (5):738-754. (in Chinese))

(收稿日期:2013-10-30 编辑:彭桃英)

