

3/10  
2007

对策水中国·用水节水



## 发达国家可持续用水发展经验

□ 中国·城市建设研究院 宋序彤

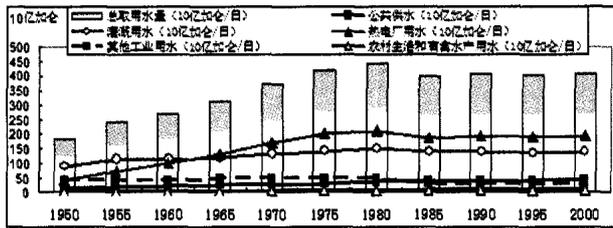
不断调整用水结构,即增加市政公共用水,包括生活用水比例提高的同时,新增的工业生产用水和农业用水由过去主要靠开发新水源的方式转变为主要靠提高用水效率和增加重复用水的方式来解决。这已成为世界发达国家解决社会经济发展用水需求增长问题的基本模式。

### 美国用水发展

美国近50年来人口持续增长,由1950年的1.51亿人增加到2000年的2.85亿人,平均每年增加269.2万人。近30余年美国经济持续平稳增长,2000年前的3个10年,GDP年均增长速度分别为2.8%、2.6%和3.7%。全国日平均取用水总量自1950年的 $180 \times 10^9$ 加仑/日持续增加,到1980年达到了历史上的峰值 $440 \times 10^9$ 加仑/日,此后的20余年,该数值始终在 $399-408 \times 10^9$ 加仑/日左右平稳发展。美国地质勘察局主任在看到该局发布的研究报告后惊呼:“我们已有能力使我们的用水在过去15年间保持了相当的稳定。这是一个极好的信息。这表明我们可以用更少的水去做更多事情”。

50年来美国用水结构也发生了明显变化。热电厂用水和其他工业用水自1950年至1980年分别由 $40 \times 10^9$ 加仑/日和 $37 \times 10^9$ 加仑/日增加到 $210 \times 10^9$ 加仑/日和 $45-47 \times 10^9$ 加仑/日的峰值,到2000年分别降低到 $195 \times 10^9$ 加仑/日和 $23.2 \times 10^9$ 加仑/日,即1980年之后工业用水有了明显的下降;农业灌溉用水也在1980年达到了其峰值 $150 \times 10^9$ 加仑/日后又回落到2000年的 $137 \times 10^9$ 加仑/日;由于人口的增加,城市化的发展和生活水平的提高,市政公共供水始终处于持续增长的趋势,由1980年的 $34 \times 10^9$ 加仑/日增加到2000年的 $43.3 \times 10^9$ 加仑/日,20年间增长了27.4%。农村生活和畜禽水产用水也始终处于缓慢增长

的趋势，由1980年的  $5.6 \times 10^9$  加仑/日增加到2000年的  $9.05 \times 10^9$  加仑/日。详见下图。市政公共供水和农村生活用水的增长低于工业和农业灌溉用水的减少，使得美国总取用水量自1980年以后出现了下降和平稳发展的局面。值得关注的是，这种情况已经持续了20余年。



美国用水结构变化统计图

### 日本用水发展

日本国土交通省、土地水资源局水资源部每年编辑出版的“日本的水资源”详细记录并分析了日本水资源开发利用发展的演变。日本将用水分为农业用水和都市用水2大类，都市用水又分成生活用水和工业用水。日本的农业用水（灌溉用水、畜禽用水和果菜用水）由1975年以来始终保持平稳发展，由1975年的570亿立方米缓慢增加到1991年的峰值596亿立方米，到2003年又回落到低于1975年的557亿立方米。工业用水则从1975年的最高值166亿立方米持续下降到2003年的121亿立方米；生活用水则在平稳持续上升，于1997年达到其峰值165亿立方米后，又降回到2003年的161亿立方米。日本由于工业和农业用水近年的下降趋势，导致全国总用水量于1991和1992年达到其峰值894亿立方米后连续11年下降，到2003年降为839亿立方米。

日本的工业用淡水补给量，也可称工业取用水量于1973年达到其峰值153亿立方米后，30余年持续下降，到2004年为111亿立方米，仅为期峰值的72.5%。工业用水总量的大幅度增长，主要靠再生水回收量的增长来满足。回收再生水量由1962年的65亿立方米大幅度地增加到2004年的422亿立方米；工业用水重复利用率也由36.3%增加到79.2%。

日本统计的生活用水量包括家庭用水和城市公共服务用水，也即城市生活用水量在经历了30年的持续增长后，于1995年出现了平缓变化的趋势，1995—2003年期间始终在141~144亿立方米间波动。人均生活用水量在1995年达到峰值322升/人日后下降到2003年的313升/人日。

### 经济合作与发展组织(OECD)国家的用水

表1列出了OECD 30个国家近20余年来取用水发展情况。其中有20个国家1980年—2002年取用水量有所下降或基本维持不变；另有10个国家不同程度地有所上升。表中数字表明，包括美国、日本、德国、法国和英国等经济大国在内的30个国家24年间，年总取用水量由9933亿立方米发展到1002.4亿立方米，增长幅度仅为0.9%。这一数字揭示了当代发达国家用水水平平稳发展这一带有普遍性的规律。

表1 OECD 国家取用水量统计 (百万立方米)

国家	1980	1985	1990	1995	2004	国家	1980	1985	1990	1995	2004
澳大利亚	10900	14600		15055	18767	韩国	12800		21300	23700	26193
奥地利	3342	3363	3734	3368	3816	卢森堡		67	59	57	60
比利时				8149	6749	墨西哥	56003			73672	75431
加拿大	37594	42383	45096		42214	荷兰	9198	9349	7984	7919	8937
捷克	3622	3679	3623	2743	2028	新西兰	1200	1900		2000	5410
丹麦	1205		974	933	668	挪威		2025		2420	3391
芬兰	3700	4000	2347	2586	2319	波兰	15131	16409	15164	12924	11548
法国	30972	34887	37687	40671	32164	葡萄牙	10500		8600	10849	8808
德国	42206	41216	47873	43374	35557	斯洛伐克	2232	2061	2116	1386	1064
希腊	5404	5496	7030		8695	西班牙	39920	46250	36900	33288	36992
匈牙利	4805	6267	6293	5976	5591	瑞典	4106	2970	2968	2725	2676
冰岛	108	112	167	164	165	瑞士	2589	2646	2865	2571	2519
爱尔兰	1070			1176	1176	土耳其	16200	19400	28073	30112	39780
意大利				41982		英国	13514	11533	12050	9547	13649
日本	86000	86357	88009	88202	86210	美国	517720	467335	468620	470514	476800
OECD 合计	1980	993300	1985	974200	1990	987700	1995	995200	2002	1002400	

自1980年后的22年中OECD 30个国家，尽管总人口增加了18.5%，灌溉面积增加了6%，公共用水增加了28%，但是取用的总水量却持续平稳发展，没有明显增长。然而，OECD 30个国家的人均取用水量差异却很大。为进一步分析这些差异与其国家水资源量的相关关系，在表2中列出了近10年或20余年取用水量已呈明显平稳或下降趋势OECD国家的人均年取用水量和该国人均年可取用水资源量(多年平均)的统计数字。数字表明，尽管这些国家在水资源开发利用上大都出现了平稳的发展态势，但是，各国人均水资源取用量稳定在哪一个水平上，却有很大的差异，可以相差几倍或十几倍。表中数字还表明，这些国家人均年取用水量与本国的水资源量或人均水资源量并没有明显相关性。如瑞典人均水资源量分别为德国、法国、日本和美国的10.5倍、7.9倍、5.6倍和1.9倍，但是，人均年取用水量却分别仅为其65%、57%、44%和17%。这些数字可以说明，各国人均取用水量稳定在某一水平上，并非主要取决于其国家的水资源条件，而主要是与其社会经济发展、产业结构性质、经济增长方式和社会用水模式转变等有关。

表2 各国人均取用水量和人均水资源量统计表

国家	2005 年人均年取用水量 <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> )	多年平均人均年可取用水量 <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )
丹麦	130	1116
英国	230	2474
瑞典	300	19581
中国	423	2206
德国	460	1866
法国	530	2474
日本	680	3365
美国	1730	10333

### 发达国家的可持续用水发展

诸多发达国家近20余年取水量的平稳发展也决非偶然。1972年在斯德哥尔摩召开的人类环境会议，1992年在里约热内卢召开的世界环境与发展会议和2002年在约翰内斯堡召开的可持续发展峰会，在相当程度上反映了人类对未来发展模式在认识上的飞跃过程。先后提出了一系列有关保护环境，节约资源，和谐与自然生态系统的关系，发展清洁生产，建设循环经济等可持续发展的战略和政策。这些不仅深刻地影响着世界各国经济和社会的发展，同时也促使水

# 改造净化工艺 提高饮水标准

□ 清华大学环境科学与工程系 王占生



## 生活饮用水水质标准是纲

我国原有的国家水质标准还是1985年前定的，当时就规定了35项水质项目。我国卫生部于2001年以《生活饮用水卫生规范》名义颁布了水质检验项目，其中常规检验项目34项，非常规检验项目62项。虽然这96项水质项目中规定了大量的有机污染物限制浓度，可以与发达国家接轨，但在“水质监测”中规定“对水源水、出厂水和部分有代表性的管网末梢水至少每半年进行一次常规检验项目

资源的保护和开发利用模式发生了重要变化，其最基本的特征就是在不断调整用水结构，即增加市政公共用水，包括生活用水的比例的同时，新增的工业生产用水和农业用水由过去主要靠开发新水源的方式转变为主要靠提高用水效率和增加重复用水的方式来解决。这已成为世界发达国家解决社会经济发展对用水需求增长问题的基本模式。

诸多国家采取了相类似的立法手段、行政手段、经济的和技术的手段促进用水方式的转变。

——通过立法引导和控制用水量的增加是各国最基本和普遍的做法。美国1972年和1977年颁布、修订了《联邦污染控制法》，1976年和1980年颁布、修订了《资源保护和回收法》，1990年颁布了《污染防治法》；日本1991年制定了《再生资源利用促进法》，经4次修订，2000年更名为《资源有效利用促进法》，2000年还颁布了《建立循环型社会基本法》；德国1994年颁布了《物质循环和废弃物管理法》，1998年修订更名为《循环经济和废物处置法》等。这些相关的基本法规从根本上促进资源的循环利用。世界各国还在加强用

的全分析。对于非常规检验项目，可根据当地水质情况和存在问题，在必要时具体确定检验项目和频率”。虽然这符合我国国情，很多检验项目需要高精度的仪器才能分析测定，大多数地区、城市还不具备这些条件，但实际上放弃了非常规项目（众多有机污染物）的检验。好在常规检验中规定了耗氧量这一有机物综合性指标，控制有机物的摄入总量，要比1985年的目标前进了一大步。

我国建设部于2005年6月颁布了《城市供水水质标准》(CJ/T206-2005)，遵循不低于卫生部的规范并尽量与之协调的原则，该标准中对浊度“特殊情况下不超过5度”改成不超过3度，对耗氧量“特殊情况下不超过5mg/L”注明为“当原水耗氧量>6mg/L时，不超过5mg/L”，这就明确规定凡水源水<6mg/L时必须达到3mg/L，较之卫生部规范更严了。建设部规定常规检验42余项，非常规检验61余项。以前，建设部作为管网水达标的的水质项目只有4项：浊度、余氯、细菌总数与总大肠杆菌，而回避了用户最敏感也最有争议的嗅味、颜色与最担心的耗氧量。《城镇供水水质标准》规定作为管网水达标的的水质项目7项，将色、嗅味、耗氧量等都列入，这就更完善、更全面衡量饮用水水质是否达到要求，对各供水单位提出更严格要求，也更好体现了“以人为本”的原则。

我国新的《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)于2007年7月实施。新的强制性国家《生活饮用水卫生标准》加强了对有机物、微生物和消毒等方面的要求。新标准中的饮用水水质指

水管管理，利用经济杠杆促进节约用水，推进污水再生利用，提高用水效率等方面制定了大量相关规定和管理办法。

——适度提高水的价格和其他相关经济手段是各国促进节约用水普遍采用的有效方法。1972年经济合作与发展组织率先提出的“污染者付费”原则，并使其逐步成为有关资源和环境的基本经济原则。《可持续发展论》的作者将发达国家实施的经济手段概括为建立相关市场，税收手段，收费制度，财政手段，和债券与押金一退款制度等。2002年欧洲环境署在“欧洲可持续用水”的报告中称，“经验证明，提高水价可降低用水量”。丹麦、芬兰和法国等在接入供水系统时还须交纳接管费。欧洲一些国家水表不仅用来计量应缴纳的水费，同时还用来确定应缴纳的污水处理费。

——农业用水一般占总用水的比例较大，推广节水型灌溉系统能产生重大节水效益。美国1950年灌溉面积2500万英亩，到1980年迅速增加到5800英亩，灌溉用水也由 $89 \times 10^9$ 加仑/日迅速增加到 $150 \times 10^9$ 加仑/日。1985年前后美国开始大量采用

标由原标准的35项增至106项,增加了71项。其中,微生物指标由2项增至6项;消毒剂指标由1项增至4项;毒理学指标中无机化合物由10项增至21项,有机化合物由5项增至53项;感官性状和一般理化指标由15项增至20项;放射性指标仍为2项。新标准统一了城镇和农村饮用水卫生标准,并与国际标准接轨。新标准在水质监测中明确规定:“城市集中式供水单位水质检测的采样点选择、检验项目和频率、合格率计算按照CJ/T 206执行”。这就肯定了建设部城市供水水质标准所订的管网水的7项检验。其中以臭味与耗氧量较难达标。水质项目耗氧量是针对我国原水有机物污染较普遍、较严重的现状进行总量控制所必须的,因为检测众多的单个有机物目前还较为困难,但有机污染量微,却对健康有着潜在的威胁,随着时间的推移,在人体中积累到一定程度就会得病,况且人们对有机污染物的危害还有漫长的认识过程,今后有机污染物的水质项目还会增多,因此少摄入总比多摄入好。传统地表水处理工艺对有机污染去除有限,为了保证饮用水 $COD_{Mn} < 3mg/L$ 的要求,必将逐步采用深度处理。水质项目中的臭味是可挥发性有机物质造成的。水体中的致臭物质是自然界中浮游生物、放线菌和蓝藻的分泌物以及存在于工业废水和市政污水中的人工合成的易挥发有机物。优良的水应该无异臭异味,当人们感觉水中有臭味时就认为水未被净化好。

我国目前工业废水与城市污水处理还不尽人意,水源水质遭受各种污染,另一方面水质标准要求饮用水水质越来越高,这两者之间的矛盾必须通过提高净化技术来达到。

## 强化常规处理与深度处理

已历时100年的常规处理工艺是针对当时的水源水质的,处理的对象是浊度与微生物。而对有机污染物的去除率不高,因此耗氧量与臭味的水质指标就可能保证不了,此外对氨氮的去除率也不高。要去除有机物应有化学氧化和物理吸附,因此强化常规处理就需要

投加氧化剂( $KMnO_4$ 、 $ClO_2$ 、 $H_2O_2$ 或臭氧);投加吸附剂(粉末活性炭);或增加混凝剂投量,加入絮凝剂,或调节pH值(pH5~6),增加氢离子浓度以中和有机物的负电荷;还可将砂滤料改成炭-砂滤料。这些措施不需要增加构筑物,可操作性强,增加的成本低,应作为首选的措施。对氨氮的去除主要靠微生物降解。如果氨氮不超过 $3mg/L$ ,可以靠强化砂滤、炭滤中微生物作用去除氨氮。但当氨氮超过 $3mg/L$ 时,则需要专设生物预处理装置,通过不断充氧,由填料上的亚硝酸盐菌与硝酸盐菌使氨氮降解至硝酸盐。生物预处理能去除80%以上的氨氮,工程投资约 $100\sim 150元/m^3/d$ ,增加运行费 $< 0.05元/m^3$ 。

如果需要进一步去除有机物(包括致臭的挥发性有机物),则需要增加活性炭吸附。活性炭由于其微孔结构具有巨大的比表面积,能够吸附水中的微量有机物,但是当其吸附能力饱和时,则需要再生或更换新炭。由于我国水源中有机物含量较高,当 $COD_{Mn} > 5mg/L$ 时,活性炭的使用是必要的,否则出厂水保证不了 $COD_{Mn} < 3mg/L$ 。由于水源中有机物较高,活性炭将比较快地达到饱和,有的几个月,有的几周,因此要采用臭氧氧化-活性炭吸附降解的工艺,可以较持久地维持50%左右 $COD_{Mn}$ 的去除率(整个工艺)。臭氧的应用有以下功能:氧化水中的小分子有机物;开环、断链,使大分子有机物变成较小分子,易被活性炭吸附或被炭上生物膜降解;为生物炭充氧,便于微生物生长去除有机物,去除氨氮。臭氧-生物炭工艺工程约增加投资 $250\sim 300元/m^3/d$ ,增加运行费 $0.2\sim 0.3元/m^3$ 。

新标准的颁布执行,视水源水质污染的情况,势必要将原有的净化工艺进行改造,或增加生物预处理,或增加深度处理,因此不可避免地要投入资金。面对这种状况,希望国家要有新的政策(主要是水价政策),应该鼓励企业为改善水质进行投资,价格应优质优价,允许调整水价。只要有合理的政策,通过给水工作者的努力,就一定能够将生活饮用水水质满足新标准的规定。 CST

喷灌和微灌系统,到2000年尽管灌溉面积增加到6190万英亩,灌溉用水量确下降到 $137 \times 10^6$ 加仑/日;单位面积灌溉用水也下降了39%。到2000年采用节水型灌溉系统的面积已占总灌溉面积的52%。欧洲一些国家积极鼓励灌溉系统的改造,在建设压力节水型灌溉系统时,国家常给予财政上的优惠或补贴。OECD国家在20世纪90年代中期灌溉用水也出现了下降趋势。

——工业用水降低取水量的基本方法是提高用水效率,增加重复利用率。日本的工业节水取得了相当的成功。2000年工业重复用水量已增加到为工业取水量的3.8倍;为市政公共用水的2.7倍。即工业总用水量的 $4/5$ 左右靠使用重复用水来解决。日本工业大量使用重复用水是促使全国工业取用水量大幅度下降和全国取用水量持续平稳发展的重要因素。

——推广污水再生技术,扩大使用再生水是缓解用水短缺,降低取水量的重要方法。日本制定了相关规定,对于提高用水效率的设施改建或建设,对于雨水、污水再生利用等设施建设实施优惠的税制和低利息融资办法。到2002年日本已使用的再生水系统,包

括独立用户、小区规模、城市区域等规模的系统2789套,日用再生水42余万立方米。

——发达国家用水发展另一特征是,尽管国家取用水量出现持续的平稳态势,但是城市用水或市政公共用水却还在持续缓慢增长。使用公共供水系统的人口还在不断增加,一些优质地下水或地表水资源优先保证市政公共用水的发展。日本使用公共供水系统的用水人口自1975年的0.98亿人持续增加到2004年的1.24亿人,其用水普及率也由87.6%持续增加到97.1%。美国1950年至1985年公共用水增长了1.6倍,1985年至2000年增长了18.6%。OECD 30个国家的统计也表明,公共供水也在随着人口的增长而持续增加。

——尽管发达国家近20余年总的取水量的平稳发展,但是由于各国和不同地区的水资源条件有所差异,OECD国家认为“某些干旱、半干旱地区还会遇到季节性,地区性用水短缺问题,仍是影响这些地区可持续发展的主要制约因素”,还必须建设了一些蓄水,调水等工程设施或采取一些临时应急供水措施。 CST