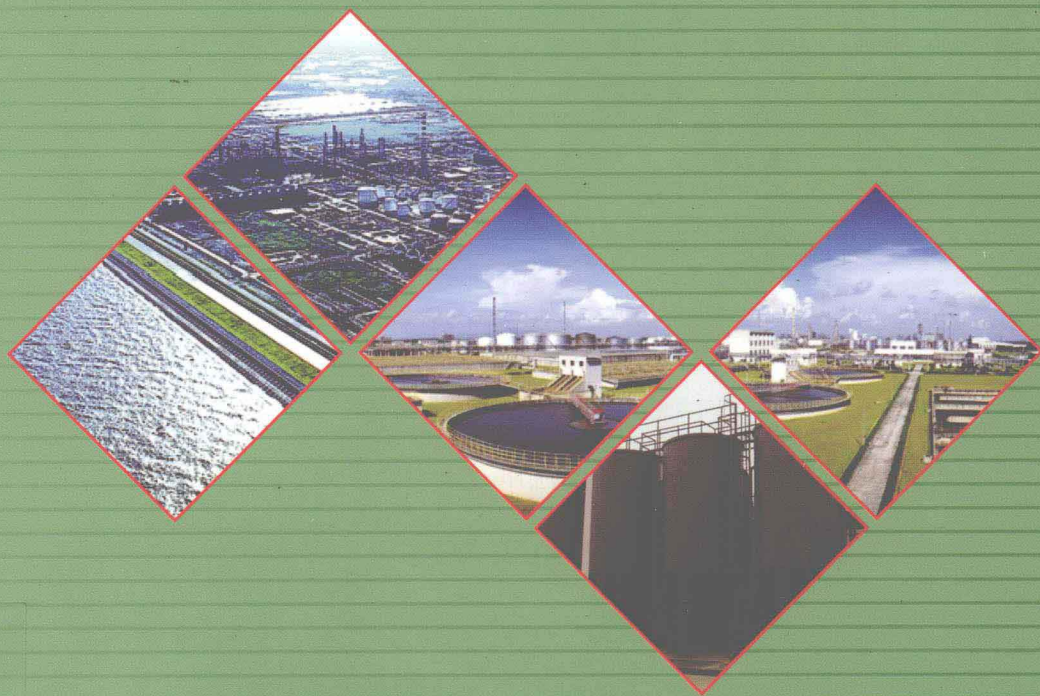


# 石油石化工业用水节水 实用技术

祁鲁梁 李永存 李本高 钟英竹 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 石油石化工业用水节水实用技术

祁鲁梁 李永存 李本高 钟英竹 编著

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍石油石化工业用水节水实用技术,涵盖了我国水资源与工业用水节水概况以及中国石油化工集团公司用水节水概况,主要包括油气田开发生产、炼油工业、石化工业、自备电站系统、循环冷却水系统、软化水与除盐水系统等用水节水技术,以及非常规水资源利用、污水处理回用和节水生产工艺。

本书实用性较强,具有重要参考价值,可供工业水处理技术人员和管理人员参考使用,也可供有关院校师生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

石油石化工业用水节水实用技术 / 祁鲁梁等编著. —北京: 中国石化出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 5114 - 0271 - 4

I. ①石… II. ①祁… III. ①石油工业 - 工业用水 - 节约用水  
②石油化学工业 - 工业用水 - 节约用水 IV. ① TE685.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 015761 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 15 印张 374 千字

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

定价: 40.00 元

# 前 言

人们常说水是工业的血液，工业生产中水作为载体和原料，说明工业生产离不开水。石油石化是高用水工业，面对石油石化工业快速发展用水需求和我国水资源紧缺的矛盾，如何管好水、用好水和节约用水是摆在我们面前的重要课题。我们应中国石化出版社之约编写《石油石化工业用水节水实用技术》一书，在认真学习国家有关节水的方针政策的基础上，根据我们自己多年的实践并归纳同行们许许多多力作，编写了本书。

近年来国家颁布了一系列政策、法规、规范和标准，本书在第一章作了较全面的介绍，这是我们工作的依据和指针。在第一章还概述了我国水资源与工业用水节水概况以及石油石化用水节水概况，我们了解了现状，才能更好地开拓未来。

在本书的后七章，从实用的角度针对石油石化用水的特点，分别从油气田开发生产用水节水技术；炼油工业用水节水技术；乙烯、化纤、化肥和橡胶等石化工业用水节水技术；石油石化企业自备电站系统用水节水技术；循环冷却水系统用水节水技术；软化水及除盐水系统用水节水技术；非常规水资源利用、污水处理回用及节水生产技术等七个方面论述了用水节水的管理和技术。

此外，在附录中列出了国家标准中的 117 条工业用水节水术语，供读者参考。

限于水平和经验，书中疏漏和不妥之处，敬请批评指正。

# 目 录

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 第1章 我国水资源与工业用水节水技术概况 .....      | ( 1 )   |
| 1.1 我国水资源与工业用水节水 .....          | ( 1 )   |
| 1.2 中国石油化工集团公司用水节水 .....        | ( 19 )  |
| 第2章 油气田开发生产用水节水 .....           | ( 26 )  |
| 2.1 油气田用水 .....                 | ( 26 )  |
| 2.2 油气田污水 .....                 | ( 28 )  |
| 2.3 油田水处理技术 .....               | ( 32 )  |
| 2.4 油气田污水处理技术 .....             | ( 38 )  |
| 2.5 海上(水上)溢油浮油及海洋油田污水处理方法 ..... | ( 49 )  |
| 2.6 含油污水处理技术 .....              | ( 51 )  |
| 2.7 油气田节水途径 .....               | ( 61 )  |
| 第3章 炼油工业用水节水 .....              | ( 65 )  |
| 3.1 概述 .....                    | ( 65 )  |
| 3.2 用水指标 .....                  | ( 66 )  |
| 3.3 冷却用水 .....                  | ( 69 )  |
| 3.4 炼化厂污水处理回用与节水技术 .....        | ( 76 )  |
| 3.5 石化工业特殊废水处理回用技术 .....        | ( 82 )  |
| 3.6 炼油厂污水处理方法及主要构筑物 .....       | ( 84 )  |
| 第4章 石化工业用水节水 .....              | ( 89 )  |
| 4.1 乙烯工业用水节水 .....              | ( 89 )  |
| 4.2 化肥工业用水节水 .....              | ( 104 ) |
| 4.3 化纤工业用水节水 .....              | ( 122 ) |
| 4.4 合成橡胶工业用水节水 .....            | ( 135 ) |
| 第5章 石油石化工业自备电站用水节水 .....        | ( 142 ) |
| 5.1 概述 .....                    | ( 142 ) |
| 5.2 国家有关发展热电联产的政策 .....         | ( 142 ) |
| 5.3 热电站用水概况 .....               | ( 144 ) |
| 5.4 用水指标 .....                  | ( 146 ) |
| 5.5 水汽循环系统用水 .....              | ( 147 ) |
| 5.6 冷却用水 .....                  | ( 148 ) |
| 5.7 火电工业节水技术案例 .....            | ( 148 ) |
| 第6章 循环冷却水系统用水节水 .....           | ( 152 ) |
| 6.1 用水概况 .....                  | ( 152 ) |
| 6.2 冷却塔 .....                   | ( 153 ) |
| 6.3 保有水量 .....                  | ( 154 ) |

|             |                               |              |
|-------------|-------------------------------|--------------|
| 6.4         | 冷却塔温差 .....                   | (154)        |
| 6.5         | 旁滤处理 .....                    | (155)        |
| 6.6         | 处理技术和工艺运行技术 .....             | (156)        |
| 6.7         | 运行中的浓缩管理 .....                | (161)        |
| 6.8         | 水冷却器的管理 .....                 | (163)        |
| 6.9         | 处理效果监测评价指标 .....              | (164)        |
| 6.10        | 处理药剂 .....                    | (165)        |
| 6.11        | 空气冷却 .....                    | (172)        |
| 6.12        | 发展趋势 .....                    | (172)        |
| <b>第7章</b>  | <b>软化水与除盐水系统用水节水 .....</b>    | <b>(175)</b> |
| 7.1         | 锅炉用软化水、除盐水制造与锅炉水处理技术 .....    | (175)        |
| 7.2         | 水软化技术 .....                   | (177)        |
| 7.3         | 水除盐技术 .....                   | (178)        |
| 7.4         | 膜分离法生产化学水 .....               | (181)        |
| 7.5         | 凝结水回收利用技术 .....               | (192)        |
| 7.6         | 蒸汽冷凝水回用率与化学水制取系数及其取水量 .....   | (194)        |
| <b>第8章</b>  | <b>污水处理回用、再生循环与节水工艺 .....</b> | <b>(195)</b> |
| 8.1         | 重复用水 .....                    | (195)        |
| 8.2         | 非常规水资源利用 .....                | (211)        |
| 8.3         | 节水生产工艺 .....                  | (219)        |
| <b>附录</b>   | <b>工业用水节水术语 .....</b>         | <b>(222)</b> |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>                  | <b>(230)</b> |

# 第 1 章 我国水资源与工业用水 节水技术概况

## 1.1 我国水资源与工业用水节水

### 1.1.1 前言

工业用水是工、矿企业在工业生产过程(期间)中,主要生产、辅助生产和附属(生活)生产用水的总称。包括主要生产用水、辅助生产用水和附属生产用水三大部分。直接用于工业生产的水,叫做主要生产用水,按用途可以分为工艺用水、间接冷却水、锅炉用水。按水的类型分为原水、重复用水、冷却水、除盐水、软化水、蒸汽、废(污)水等。为主要生产装置服务的辅助生产装置所用的自用水为辅助生产用水,包括机修用水、锅炉水处理站自用水,空压站用水,污水处理场自用水,贮运用水、鼓风机站、氧气站、电修、检验化验等用水。锅炉和水处理站供给主要生产装置的蒸汽、除盐水、软化水等水的产品不属于辅助生产用水,应属于主要生产用水。附属生产用水是指在厂区内,为生产服务的各种生活用水和杂用水的总称。

水是石油化工工业的血液,供水、用水系统是重要的公用工程。石油化工工业的发展离不开水。我国是一个水资源短缺的国家,水资源供需矛盾突出,发展石油化工工业必须节约用水。工业节水是指通过加强管理,采取技术上可行、经济上合理的节水措施,减少工业用水量和取水量,提高用水效率,合理利用水资源的过程和方法。

### 1.1.2 我国水资源概况

“水资源量”是指评价区内当地降水形成的地表水和地下水总量,它不包括区外来水量和利用与补充困难的深层地下水。我国水资源量就是指在我国降水形成的地表水和地下水的总量。

《第一次中国水资源及其开发利用调查评价》(1956~1979年)指出我国“人均水资源量约为 $2200\text{m}^3$ ,约为世界平均水平的四分之一”。根据《中国水资源公报》,全国水资源总量2006年为25330.1亿 $\text{m}^3$ ,2007年为25255.2亿 $\text{m}^3$ 。

图1-1为2007年《中国水资源公报》公布的1997~2006年全国水资源总量变化图。近10年全国年平均水资源总量为27786.4亿 $\text{m}^3$ ,比常年值仅偏少0.4%,2004和2006年分别比常年值偏少12.9%和8.6%。

我国不仅水资源短缺,而且水资源分布不均,黄河、淮河、海河、辽河等流域的人口、GDP和耕地面积分别占全国的38%、37%和41%,而其水资源量仅占全国的9%,人均占有水资源量仅 $516\text{m}^3$ ,其中海河流域不足 $300\text{m}^3$ 。近20年来,受气候和人类活动的影响,北方地区水资源呈减少趋势,其中黄、淮、海、辽地区年径流量减少幅度超过了10%,更加剧了供需矛盾,水资源短缺已成为经济社会可持续发展的重要制约因素。

全国现在国民经济需水量约为6180亿 $\text{m}^3$ ,而可供水量仅5830亿 $\text{m}^3$ ,缺水达350亿 $\text{m}^3$ 。随着经济社会的快速发展,用水需求将不断增加,若不采取强有力的节水措施,按照目前外延式发展模式的用水增长速度,2010年国民经济需水量将增加到7340亿 $\text{m}^3$ ,而

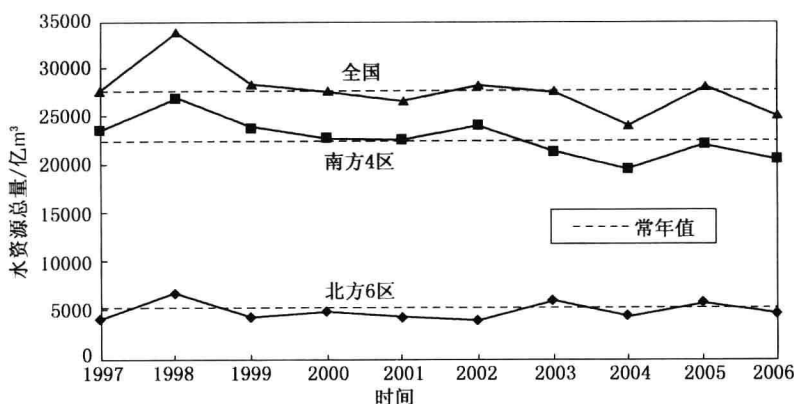


图 1-1 1997~2006 年全国水资源总量变化

可供水量仅能增加到 6430 亿  $\text{m}^3$ ，届时，缺水将扩大到 910 亿  $\text{m}^3$ 。要从根本上解决水资源短缺的问题，必须节约用水、加快节水型社会建设。

### 1.1.3 我国地下水资源概况

地下水资源(补充困难的深层地下水)是我国水资源的重要组成部分，也是生态与环境的重要因素。国土资源部 2000~2002 年新一轮地下水资源评价指出，我国多年平均地下水资源量为 9235 亿  $\text{m}^3$ ，淡水资源为 8837  $\text{m}^3$ ，可采淡水资源量 3527 亿  $\text{m}^3$ 。地下水资源对我国可持续发展具有不可替代的重要支撑作用。

每年地下水开采量超过 1000 亿  $\text{m}^3$ ，全国总供水量的 20% 取自地下水。全国 400 多个城市开采地下水，部分城市地下水几乎是惟一的供水水源。它又是广大分散地区饮用水水源，荒漠地区生态用水就近水源等，有较大的开发利用潜力。目前开采量还不及可开采量的 30%。地下水一般是优质水(有的是矿泉水、地热水)，目前没有做到优质优用，更没有做到优质优价。

目前地下水开发存在的问题主要是开采布局不合理、有的地方超采严重、地下水污染加剧、地下水环境恶化等。

### 1.1.4 我国用水概况

表 1-1 为我国历年的用水状况表。

表 1-1 我国用水状况

| 年 份  | 总用(取)水量/亿 $\text{m}^3$ | 人均用(取)水量/ $\text{m}^3$ | 万元 GDP 用(取)水量/ $\text{m}^3$ |
|------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1949 | 1031                   | 190                    |                             |
| 1957 | 2048                   | 317                    |                             |
| 1965 | 2744                   | 378                    |                             |
| 1980 | 4436                   | 452                    | 9820                        |
| 1985 | 4984                   | 471                    | 5560                        |
| 1990 | 5411                   | 473                    | 2911                        |
| 1993 | 5198                   | 443                    | 1501                        |
| 1997 | 5566                   | 458                    | 747                         |
| 1999 | 5591                   | 440                    | 683                         |
| 2000 | 5498                   | 430                    | 615                         |

续表

| 年 份  | 总用(取)水量/亿 m <sup>3</sup> | 人均用(取)水量/m <sup>3</sup> | 万元 GDP 用(取)水量/m <sup>3</sup> |
|------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 2001 | 5567                     | 436                     | 580                          |
| 2002 | 5497                     | 428                     | 537                          |
| 2003 | 5320                     | 412                     | 448                          |
| 2004 | 5548                     | 427                     | 399                          |
| 2005 | 5633                     | 432                     | 304                          |
| 2006 | 5795.0                   | 442                     | 270                          |
| 2007 | 5818.7                   | 442                     | 229                          |

从表 1-1 可见,我国从 1949 年以来用水增长经历了几个阶段。1957 年以前是年均增长 8.9% 的快速生长期,1957 年至 1990 年年为增速缓慢下降区,1957 年至 1965 年为 3.7%,1965 年至 1980 年为 3.3%,至 1990 年为 2.0%。1990 年进入为缓慢波动期。

1998~2003 年,国民经济每年以高于 7% 的速度增长,而全国年用水量(不含工业的重复用水量,即工业用水量等于工业取水量,下同)并未出现大的变化,稳定在 5500 亿 m<sup>3</sup> 左右。用水效益有所提高,万元 GDP 用(取)水量为:1980 年是 9820m<sup>3</sup>,2000 年降到 610m<sup>3</sup>,2003 年降至 448m<sup>3</sup>。2000、2001、2002 年全国共节约用水约 1529 亿 m<sup>3</sup>,2006 年与 2005 年相比,按可比价计算,万元 GDP 用(取)水量和万元工业增加值取水量均减少 7%。

1.1.5 我国工业用水概况

我国工业取水量(不含工业的重复用水量,工业取水量等于工业用水量,下同)由逐年快速增长过渡到近年的缓慢增长。1949 年为 24 亿 m<sup>3</sup>,仅占总用水量的 2.3%。随着国民经济的发展,需水量迅速增加,工业取水量也迅速增加。由于加大了节水力度,工业用水量从 1993 年至 1999 年均增长 4.2%,1999 年至 2002 年的年均零增长。2004 年与 2003 年比较,工业取水量增加 51.7 亿 m<sup>3</sup>(其中火电增加 48.2 亿 m<sup>3</sup>),2006 年与 2005 年比较增加 58.6 亿 m<sup>3</sup>(其中火电增加 58.6 亿 21.0m<sup>3</sup>)。表 1-2 是我国历年工业用水状况。

表 1-2 我国工业用水状况

| 年 份  | 工业取水量/亿 m <sup>3</sup> | 万元工业增加值取水量/m <sup>3</sup> | 年 份  | 工业取水量/亿 m <sup>3</sup> | 万元工业增加值取水量/m <sup>3</sup> |
|------|------------------------|---------------------------|------|------------------------|---------------------------|
| 1949 | 24                     |                           | 2000 | 1139                   |                           |
| 1957 | 96                     |                           | 2001 | 1142                   | 268                       |
| 1965 | 181                    |                           | 2002 | 1142                   | 241                       |
| 1980 | 457                    | 933                       | 2003 | 1177.2                 | 222                       |
| 1985 | 597                    |                           | 2004 | 1228.9                 | 196                       |
| 1990 | 663                    |                           | 2005 | 1285.2                 | 169                       |
| 1993 | 906                    |                           | 2006 | 1343.8                 | 147                       |
| 1997 | 1121                   |                           | 2007 | 1404.1                 | 131                       |
| 1999 | 1159                   |                           |      |                        |                           |

图 1-2 为 2007 年《中国水资源公报》公布的 2007 年全国用(取)水量组成图。按居民生活、生产、生态用水划分,2007 年全国城镇和农村居民生活用水占 8.2%,生产用水占

90.0%，生态与环境补水占 1.8%。在生产用水中，第一产业用水（包括农田灌溉用水、林牧渔用水和牲畜用水）占 70.6%，第二产业用水（包括工业用水和建筑业用水）占 27.4%，第三产业用水（包括商品贸易、餐饮住宿、交通运输、机关团体等各种服务行业用水量）占 2.0%。

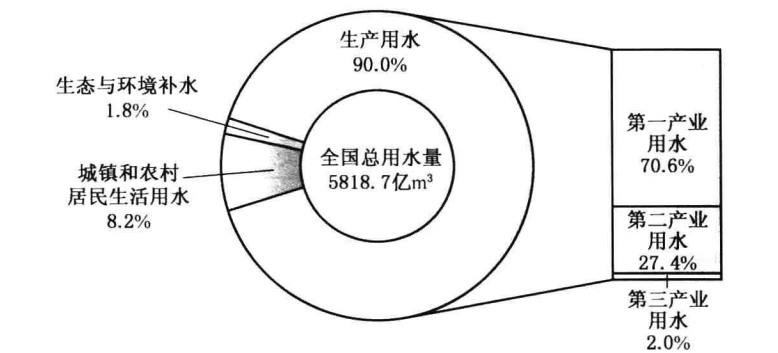


图 1-2 2007 年全国用(取)水量组成

图 1-3 为 2007 年《中国水资源公报》公布的 1997~2007 年全国用(取)水量变化图。1997 年以来，全国总用(取)水量总体呈缓慢上升趋势，其中生活和工业用(取)水呈持续增加趋势，而农业用(取)水则受气候影响上下波动，总体呈下降趋势。生活和工业用(取)水占总用(取)水量的比例逐渐增加，农业用(取)水占总用(取)水量的比例则明显减小。

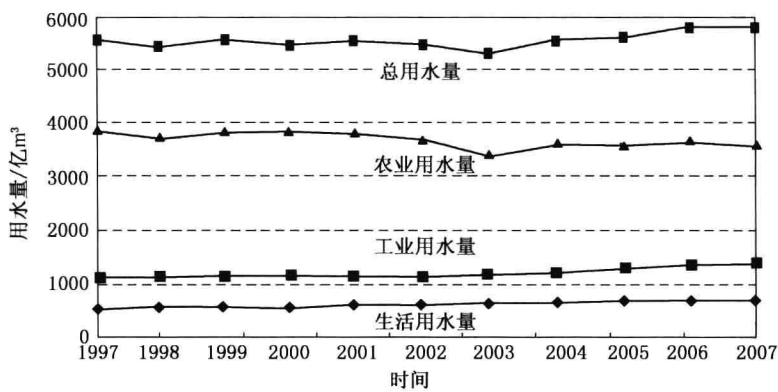


图 1-3 1997~2007 年全国用水量变化

工业用水实现“增产不增水”，是由于用水效率的提高。万元工业增加值取水量从 1999 年的 330m<sup>3</sup>，降至 2002 年的 241m<sup>3</sup>，年均递减 9%。2000 年、2001 年、2002 年全国工业节约用水约 291 亿 m<sup>3</sup>，占全国节水量的 19%。

从 1999 年开始，万元工业增加值占全国 GDP 的比值虽然变化不大，但万元工业增加值取水量占全国万元 GDP 取水量的比值却呈逐年下降趋势，特别是 2000 年以采。2000 年、2001 年、2002 年万元工业增加值取水量占全国同年万元 GDP 取水量的比值分别为 46.8%、46.2%、44.9%，2006 年与 2005 年相比，按可比价计算，减少 7%（见表 1-3）。

图 1-4 为 2007 年《中国水资源公报》公布的 1997~2007 年全国主要用(取)水指标变化图。自 1997 年以来，全国人均用(取)水量基本维持在 430m<sup>3</sup> 上下，万元国内生产总值用

(取)水量和万元工业增加值用(取)水量均呈显著下降趋势,农田实灌亩均用(取)水量总体上呈缓慢下降趋势。2007 年与 1997 年比较,用水效率明显提高,农田实灌亩均用(取)水量由  $492\text{m}^3$  下降到  $434\text{m}^3$ ;按 2000 年可比价计算,万元国内生产总值用(取)水量由 1997 年的  $705\text{m}^3$  下降到 2007 年的  $292\text{m}^3$ ,期间下降了 59%;万元工业增加值用(取)水量由 1997 年的  $363\text{m}^3$  下降到 2007 年的  $163\text{m}^3$ ,期间下降了 55%。

表 1-3 万元工业增加值取水水量占总 GDP 取水水量变化

| 年 份  | 万元工业增加值取水水量<br>占总 GDP 取水水量/% | 年 份  | 万元工业增加值取水水量<br>占总 GDP 取水水量/% |
|------|------------------------------|------|------------------------------|
| 1997 | 46.3                         | 2003 | 49.6                         |
| 1999 | 48.5                         | 2004 | 49.1                         |
| 2000 | 46.8                         | 2005 | 55.6                         |
| 2001 | 46.2                         | 2006 | 54.4                         |
| 2002 | 44.9                         | 2007 | 57.2                         |

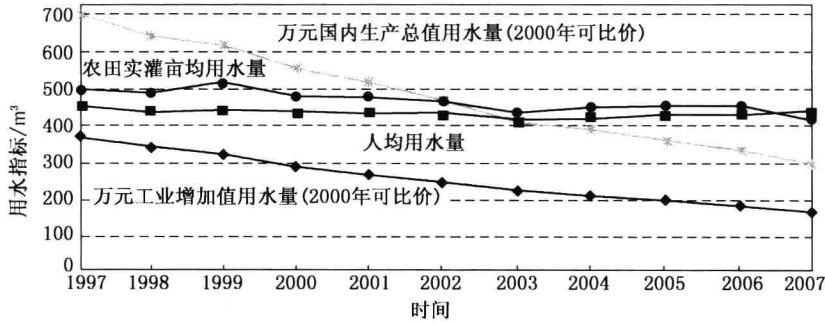


图 1-4 1997 ~ 2007 年全国主要用水指标变化

### 1.1.6 我国石化工业用水概况

炼油和化工工业是用水量大的工业。取水量中的约 40% 是用于循环冷却水的补充水,约 40% 制成软化水和脱盐水作为工艺用水或作锅炉给水,锅炉发生蒸汽后供生产装置使用。取水量中的 10% ~ 20% 用于辅助生产用水和其他用水。

据中国石油、中国石化两大集团统计:2002 年取水量为 24.87 亿  $\text{m}^3$ ,在高用水行业中列第四位。

近年来在大力推行清洁生产工艺、采取多种节水措施,使 2002 年的取水量与 2000 年相比,下降了 5.02 亿  $\text{m}^3$ ,递减率为 16.8%。重复利用率 2002 年与 2000 年相比提高了 4.61%,达到了 89.44%。

2002 年利用海水 3.45 亿  $\text{m}^3$ ,西北地区企业利用苦咸水,污水处理后回用等,使 2002 年非常规水资源开发利用量合计达 5.71 亿  $\text{m}^3$ ,占总取水量的 18.67%。

2002 年加工吨原油取水量达到了  $1.58\text{m}^3$ ,比 2000 年的平均  $1.97\text{m}^3$ ,下降了约 19.8%,石油石化万元工业增加值取水量下降了 45.1%。

### 1.1.7 我国用水与发达国家的差距

我国用水与国际先进水平相比,节水技术还比较落后,用水效率和效益还很低,主要用水效率指标与发达国家尚有较大差距。

### (1) 单位 GDP 取水量差距

以 2002 年为例，单位 GDP 取水量为  $537\text{m}^3$ ，是世界平均水平的 4 倍。表 1-4 是有关国家年取用水资源量和 GDP 统计表。

表 1-4 有关国家年取用水资源量和 GDP 统计表

| 内 容 | 1998 年 GDP/亿美元 | 年取水量/亿 $\text{m}^3$ | 单位取水量产生<br>GDP/(美元/ $\text{m}^3$ ) | 单位取水量<br>产生 GDP 比较 |
|-----|----------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|
| 美 国 | 79213          | 4673                | 16.95                              | 7.53               |
| 日 本 | 40899          | 908                 | 45.04                              | 20.00              |
| 德 国 | 21227          | 463                 | 45.85                              | 20.35              |
| 法 国 | 14662          | 377                 | 38.89                              | 17.27              |
| 英 国 | 12638          | 118                 | 107.10                             | 47.55              |
| 意大利 | 11662          | 562                 | 20.75                              | 9.21               |
| 巴 西 | 7580           | 365                 | 20.77                              | 9.22               |
| 加拿大 | 6211           | 451                 | 13.77                              | 6.11               |
| 西班牙 | 5537           | 308                 | 17.98                              | 7.98               |
| 中 国 | 12382          | 5497                | 2.25                               | 1.00               |

表 1-4 表明，列入表中的发达国家单位取水量产生的 GDP 多在  $13 \sim 45$  美元/ $\text{m}^3$ ，而我国 2002 年统计数字为  $2.25$  美元/ $\text{m}^3$ ，仅为发达国家的  $1/6 \sim 1/20$ ，也就是说，美国、意大利和加拿大等国每单位取水量产生的 GDP 则为我国的  $6 \sim 10$  倍；日本和德国为我国的 20 倍。

### (2) 农业用水效率差距

我国耕地自然降水利用率只有 45% 左右，灌溉水的利用率仅有 43%，远低于发达国家 70% ~ 80% 的水平；粮食作物的平均水分生产率仅  $1\text{kg}/\text{m}^3$  左右，是发达国家的 50%；在 8 亿亩农田有效灌溉面积中，按低标准进行节水改造的面积近 3 亿亩，只占 36%。

### (3) 工业用水效率差距

万元工业增加值(人民币)取水量：1980 年美国为  $1958\text{m}^3$ 、日本为  $269\text{m}^3$ ；1990 年美国为  $341\text{m}^3$ 、日本为  $33\text{m}^3$ ；1995 年美国为  $164\text{m}^3$ 、日本为  $12\text{m}^3$ 、韩国为  $60\text{m}^3$ 、德国为  $43\text{m}^3$ 、法国为  $77\text{m}^3$ 。我国 2002 年为  $241\text{m}^3$ ，是发达国家的  $5 \sim 10$  倍；1998 年我国工业用水重复利用率为 53%，2002 年为 66% (含火力发电直流用水)。而发达国家目前先进水平已达 75% ~ 80%，其中美国制造业已达 94.5%；我国火力发电单机容量 200MW 及以上机组，采用循环冷却供水系统的凝汽式发电厂，每百万千瓦机组容量取水量约为  $0.7 \sim 1\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ ，平均为  $1.32\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ ；采用空气冷却系统的电厂，国外取水量约为  $0.06 \sim 0.1\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ ，我国空冷机组仅有 160 万 kW；采用直流冷却系统的电厂，国外取水量约为  $0.05 \sim 0.1\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ ，我国平均近  $0.5\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ 。

### (4) 城市用水差距

全国城市供水管网和用水器具的漏损率高达 20% 以上，仅城市便器水箱漏水一项每年就损失上亿立方米。

#### (5) 其他

我国在污水处理回用、海水、矿井水、雨水利用及空中水资源开发等方面也处于较低水平。

#### 1.1.8 我国的节水措施

我国全面开展节水工作已有 20 年的历史，节约用水工作的力度不断加大，措施如下。

##### (1) 健全节水政策法规，加强节水法制管理

为了加强水资源和用水节水管理，国家制定了一系列相关法规：主要有《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国清洁生产促进法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《取水许可制度实施办法》、《建设项目水资源论证管理办法》、《城市节约用水管理办法》等，对节约用水都作了法律规定。

相继制定了全国节约用水规划和工业、农业、城市节约用水规划：主要有《全国节水规划纲要》、《工业节水十五规划》、《中国城市节水 2010 年技术进步发展规划》、《“十一五”节水型社会建设规划》等。

发布了一系列水资源管理和节约用水的相关文件：《关于全面加强节约用水工作的通知》(水资文[1999]245 号)、《关于城市规划区地下水取水许可管理有关问题的通知》(水政资[1998]334 号)、《关于加强城市供水、节水和水污染防治工作的通知》(国发[2000]36 号)、《关于加强工业节水工作的意见的通知》(国经贸资源[2000]101 号)等，明确提出了有利于节水工作和节水产业发展的制度和政策，加强了节约用水的法制管理。

##### (2) 建立节水型用水标准体系

加大了制定有关节水的国家标准的工作力度，制定的标准包括用水节水基础标准、用水节水考核标准、节水设施与产品标准、节水技术规范等。使用水节水管理纳入了标准化轨道。

##### (3) 运用示范手段，创建节水型农业、节水型工业、节水型城市和节水型社会

“十五”期间，农业节水重点示范项目有华北平原地下水超采区井灌节水工程、“菜篮子”工程、农业现代化、大田粮食作物为主的四类示范项目，总示范面积 2400 万亩。

在火力发电等高用水工业行业组织实施了一批重大节水示范工程。

2001 年发布了《关于进一步开展创建节水型城市活动的通知》，并提出了“节水型城市目标考核标准”，推动了城市的节水工作。至 2003 年已有北京、上海、深圳等 10 座城市被评为节水型城市。

2002 年 12 月印发了《开展节水型社会建设试点工作指导意见》，在甘肃张掖市和四川绵阳市启动了节水型社会建设试点工作。

2007 年国家发展和改革委员会、水利部、建设部发布《“十一五”节水型社会建设规划》。

##### (4) 运用经济手段促进节水

为了利用价格杠杆促进节水，适时、适地、适度调整了水价。国家和有关部委颁布了相关法规和文件：《城市供水价格管理办法》(1998 年)、《关于改革水价促进节约用水的指导意见》(计价格[2000]1702 号)、《关于进一步推进城市供水价格改革工作的通知》(计价格[2002]515 号)、《关于征收水资源费有关问题的通知》(国办发[1995]27 号)、《关于印发改革水价促进节约用水的指导意见的通知》(计价格[2000]1702 号)、《关于贯彻城市供水价格管理办法有关问题的通知》(计格[1999]61 号)、《关于征收污水排污费的通知》(计物价

[1993]1366 号)、《关于征收城市排水设施使用费的通知》(价费字[1993]181 号)等文件。合理调整了供水价格、开征了污水处理费,对超定额用水实行累进加价等,并出台了有利于节约用水的优惠经济政策。

#### (5) 发展节水产品、加强节水产品认证

2001、2002 年分别公告了两批《当前国家鼓励发展的节水设备(产品)目录》。并提出了对当前国家鼓励发展的节水设备(产品)的鼓励和扶持政策。

《城市房屋便器水箱应用监督管理办法》(建设部令 1992 年第 17 号),明令淘汰上导向直落式便器水箱配件;《关于在住宅建设中淘汰落后产品的通知》(建住房[1999]295 号)要求在大中城市新建住宅中禁止使用螺旋升降式铸铁水嘴,积极采用符合《陶瓷片密封水嘴》和《水嘴通用技术条件》标准的陶瓷片密封水嘴。要求在大中城市新建住宅中禁止使用冲洗水量在 9 升以上(不含 9 升)的便器。推广使用一次冲洗水量为 6 升的坐便器。

授权由中国节能产品认证中心等进行节水产品认证,并授予节水产品认证标志。

#### (6) 依靠科技进步,示范引导

颁布了《中国节水技术政策大纲》(2005 年 4 月),对加快节水技术进步,促进节水产业发展将起到积极推动作用。

自污水资源化相继列入“七五”、“八五”及“九五”国家重点科技攻关项目起,先后有 40 多个单位、几千人的攻关队伍研究污水资源化技术。城市污水再生利用工艺的五个核心技术列入了“十五”国家科技攻关项目中。海水淡化利用也是依靠科技,解决了工艺、设备和成本问题,为海水淡化处理提供了技术支撑。

节约用水的关键技术都列入了国家重点科技攻关项目和高新技术推广项目。干法水泥生产工艺、空气冷却技术、干排渣技术、干熄焦等一批无水和节水生产工艺已取得了明显的成果,一批节水型设备和器具得到了推广使用。

### 1.1.9 我国节水的发展趋势和目标

#### 1. 指导思想

国家发展和改革委员会、水利部、建设部发布的《“十一五”节水型社会建设规划》提出的指导思想:以党的十六大和十六届五中全会精神为指导,全面贯彻科学发展观,落实节约资源基本国策,以提高水资源利用效率和效益为核心,以水资源统一管理体制为保障,以制度创新为动力,以转变经济增长方式、调整经济结构、加快技术进步为根本,转变用水观念、创新发展模式,充分发挥市场对资源配置的基础性作用,建立政府调控、市场引导、公众参与的节水型社会体系,综合采取法律、经济和行政等手段,促进经济社会发展与水资源相协调,为全面建设小康社会提供水资源保障。

#### 2. 基本原则

国家发展和改革委员会、水利部、建设部发布的《“十一五”节水型社会建设规划》提出的基本原则如下。

##### (1) 坚持以人为本,促进协调发展

合理配置水资源,协调生活、生产、生态用水,优先保障居民基本生活用水;创新发展模式,转变增长方式,改变用水观念,提高用水效率,实现人与自然和谐,促进经济、资源、环境协调发展。

##### (2) 坚持制度创新,规范用水行为

通过改革体制、健全法制、完善机制,建立完善的促进水资源高效利用的制度,规范用

水行为，实现水资源的有序开发、有限开发、有偿开发和高效利用。

(3) 坚持政府主导，全民共同参与

发挥政府的宏观调控和主导作用，将节水型社会建设纳入国民经济和社会发展规划，落实目标责任并建立绩效考核制度；充分发挥市场在资源配置中的基础性作用，逐步形成市场引导的节水机制；鼓励社会公众广泛参与节水型社会建设，形成自觉节水的良好风尚。

(4) 坚持节水减污，促进循环使用

源头控制与末端控制相结合，以节水促减污，以限排促节水；按照减量化、再利用、资源化的要求，建立全社会的水资源循环利用体系，抑制用水过快增长，减少废污水排放量，提高水资源利用效率，改善水环境和生态恶化的状况。

(5) 坚持科技创新，促进高效利用

充分发挥科技的先导作用，用先进的节水技术改造现有的水资源利用工程设施；大力研发推广节水新技术、新设备、新产品和新材料，淘汰落后、低效的用水设备和技术，促进水资源高效利用。

(6) 坚持统筹规划，加强分类指导

以流域为单元，在统筹规划的基础上，明晰各级行政区域的初始水权，实施用水总量控制和定额管理；加强分类指导，根据区域水资源条件和经济社会发展状况，因地制宜地采取合理的节水措施，推进节水型社会建设。

3. 总体目标

国家发展和改革委员会、水利部、建设部发布的《“十一五”节水型社会建设规划》提出的总体目标：按照科学发展观的要求，贯彻落实节约资源的基本国策，逐步建成制度完备、设施完善、用水高效、生态良好、发展科学的节水型社会。到 2010 年，节水型社会建设要迈出实质性的步伐、取得明显成效，水资源利用效率和效益明显提高，单位 GDP 取水量比 2005 年降低 20%。“十一五”期间，节水型社会建设主要指标见表 1-5。

表 1-5 “十一五”期间节水型社会建设主要指标

| 节水指标                                    | 2005 年 | 2010 年 | 属 性   |
|-----------------------------------------|--------|--------|-------|
| 单位 GDP 取水量/( $\text{m}^3$ /万元)          | 306    | 240    | 预期性指标 |
| 农田灌溉水有效利用系数/( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) | 0.45   | 0.50   | 预期性指标 |
| 单位工业增加值取水量/( $\text{m}^3$ /万元)          | 168    | 115    | 约束性指标 |
| 城镇供水管网漏损率/%                             | 20     | 15     | 预期性指标 |

注：指标属性分为预期性和约束性两类。

4. 工业节水目标

国家发展和改革委员会、水利部、建设部发布的《“十一五”节水型社会建设规划》提出的工业节水目标为：到 2010 年，单位工业增加值取水量降低到  $115\text{m}^3$ /万元以下，比 2005 年降低 30% 以上，“十一五”期间工业用水增长率控制在 1.3% 以内，高用水行业主要产品单位用水量指标总体达到或接近 20 世纪 90 年代初期国际先进水平，其中大型企业达到本世纪初国际先进水平(见表 1-6)。

5. 城镇生活节水目标

到 2010 年，全国城镇供水管网平均漏损率不超过 15%，城市人均生活日综合用水量控制在 230L 以内，节水器具普及率达到 80% 以上，服务业用水效率接近同期国际先进水平。

表 1-6 高用水工业行业主要节水指标

| 工业行业         | 单位产品(增加值)取水量               |                          | 重复利用率/% |        |
|--------------|----------------------------|--------------------------|---------|--------|
|              | 2005 年                     | 2010 年                   | 2005 年  | 2010 年 |
| 火力发电(不计直流冷却) | 31.5m <sup>3</sup> /万 kW·h | 28m <sup>3</sup> /万 kW·h | 92      | 95     |
| 石油石化         | 1.25m <sup>3</sup> /加工吨原油  | 1.0m <sup>3</sup> /加工吨原油 | 91.5    | 93     |
| 钢 铁          | 11m <sup>3</sup> /t 钢      | 8.0m <sup>3</sup> /t 钢   | 93      | 97     |
| 纺 织          | 191m <sup>3</sup> /万元      | 153m <sup>3</sup> /万元    | 35      | 42     |
| 造 纸          | 115m <sup>3</sup> /t 纸     | 85m <sup>3</sup> /t 纸    | 45      | 59     |
| 化 工          | 159m <sup>3</sup> /万元      | 105m <sup>3</sup> /万元    | 87.5    | 90     |
| 食 品          | 178m <sup>3</sup> /万元      | 130m <sup>3</sup> /万元    | —       | —      |

### 1.1.10 国家倡导发展的工业主要节水技术

依靠科技进步节约用水是措施节水的根本途径。科学技术是第一生产力,大力发展工业节水技术,才能从根本上提高用水效率,建立节水型工业。

#### 1. 工业节水技术的诠释

工业节水技术是指可提高工业用水效率和效益、减少水损失、能替代常规水资源等技术。它包括直接节水技术和间接节水技术。

直接节水技术是指直接节约用水,减少水资源消耗的技术。间接节水技术是指本身不消耗水资源或者说不用水,但能促使降低水资源的消耗的技术。

技术往往是相关联的,大多数节水技术也是节能技术、清洁生产技术、环保技术、循环经济技术。发展节水技术对促进节能、清洁生产、减少污水排放保护水源和发展循环经济有重大作用。

“节水技术”是广义的,应该包括节水工艺、节水设备和节水产品等。

#### 2. 发展重复利用技术是工业节水的首要途径

工业用水重复利用率是反映工业用水效率的重要指标。2002 年工业用水重复利用率为 66%(根据对 9 个重点用水行业统计后估算的全国数据),发达国家目前已达 75%~80%。发展工业用水重复利用技术,提高工业用水重复利用率是当前工业节水的主要途径。

##### (1) 发展重复用水系统,淘汰直流用水系统

工业用水系统分为重复用水系统(又可分为循环用水系统、串联用水系统和回用水系统)和直流用水系统。根据用水要求,发展循环用水系统、串联用水系统和回用水系统。节约用水必须发展重复用水技术,淘汰直流用水技术。

发展重复用水技术的关键是水的处理技术和回用技术。发展水闭路循环工艺,分工序或区域,按不同工艺对水质的要求,采取不同的水处理技术,分系统形成用水逐级闭路循环。对于工艺过程产生的杂质较单纯且易去除的废水,应采用分布式废水再生技术,再生后循环使用。对于工艺过程产生的一类杂质类似的废水,应单独收集处理后循环使用,再生浓度应采用水网络集成技术确定,再生后其浓度应通过经济评价确定。对各种过程产生的不宜采用分布式再生或半集中式再生的废水,应采用集中式废水处理,并应考虑其循环再利用。

水网络集成技术是 20 世纪 90 年代中期开发的,是进行工业水回用、废水量最小化的新方法。推广这项技术将会使节水减排技术水平有较大提高。水网络集成技术目前国外已大量采用,国内也开始了应用。

## (2) 发展冷凝水的回收再利用技术

冷凝水包括锅炉蒸汽冷凝水、各种工艺冷凝液、透平凝结水等。冷凝水的回收再利用不但节水而且节能，冷凝水回收率是工业用水重复利用率的组成部分，2002 年冷凝水回收率只有 60% 左右，发展此项技术十分必要。

动力设备和间接用蒸汽加热约占蒸汽用量的 50% 以上，用汽点较集中，冷凝水可采用液面控制器集中回收、处理和利用。工艺冷凝液回收、处理和利用较为复杂，应根据工艺采用特殊的技术。

疏水器是蒸汽冷凝水回收的关键设备。疏水器性能和回收系统的优劣直接影响节水效果。

## (3) 发展工业外排废(污)水回收再利用技术

根据《水资源公报》2006 年工业外排废(污)水为 453 亿吨(不含火力发电直流冷却排水)，占工业取水量的 38.5%。应该发展回用技术，充分利用这部分水资源。目前最切实可行的是对外排污水进行适当深度处理，使其水质达到回用冷却水标准，并针对其水质特点开发水质稳定技术和相应的处理技术，使其用作敞开式循环冷却水系统的补充水。

## (4) 发展“零排放”技术

“零排放”是指工业废水达到微排放，因此在这里采用的是带有引号的“零排放”。要实现废水真正的零排放，需采用各种技术的组合。目前制约实现废水零排放的关键因素之一就是盐水浓缩技术，由于其高昂的价格，现阶段还不易得到用户的认可，将来随着技术引进和设备国产化的提高，设备价格将会有所下降，其应用也将得到普及和推广。采用盐水浓缩器技术可以提高水回收率。常见的反渗透系统的回收率为 75% 左右，即约有 1/4 的浓水需排放，再加上系统本身的自用水，排水将近 30%，而采用盐水浓缩器，排水量仅为 5% 左右。由于“零排放”技术的处理费用和设备费用较高，推广难度较大，因此《中国节水技术政策大纲》提出“开发低成本、实用的设备和技术，在缺水以及生态环境要求高的地区，鼓励企业应用”。

实现“零排放”是一个渐进的过程，企业首先应做到外排废水量最小化。

## 3. 大力发展节水冷却技术

工业冷却水用量占工业取水量的 80%，取新水量占工业取水量的 30% ~ 40%。发展高效节水冷却技术，提高冷却水利用效率，减少冷却水用量是工业节水的重点之一。

### (1) 发展高效换热技术和设备，减少冷却水用量

为了减少间接冷却水用量，应该充分换热，回收热介质的热量，物料换热技术是其中一项重要节水技术。在生产过程中温度较低的进料与温度较高的出料进行热交换，达到加热进料与冷却出料的双重目的，这种方式或类似热交换方式称为物料换热节水技术。采用这种技术，可以完全或部分解决进、出料之间的加热、冷却问题，相应地减少了加热的能耗、锅炉补给水量和冷却水量。

换热器(热交换装置)是冷却对象与冷却水之间进行热交换的关键设备。换热器的形式、构造及其组合方式影响节水效果。为此须优化换热器组合、发展新型高效换热器，例如盘管式敞开冷却器应采用密封式水冷却器替代。

### (2) 发展高效冷却设施

在敞开式循环冷却水系统，循环水的冷却是通过冷却构筑物(冷却设备)实现的，因此冷却构筑物的性能直接影响节水效果，冷却塔是目前最主要的冷却构筑物。应该鼓励发展高