

文章编号: 1007-6301 (2002) 06-0625-07

北京市水资源安全与工业用水 管理方法探讨

张士锋, 贾绍凤

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 北京市水资源问题十分严重, 水资源的开发利用率达到了惊人的 135%。工业用水是一个十分重要的组成部分, 工业有效用水和用水管理是北京市水安全的关键问题之一。工业用水的定额管理是工业用水管理的核心。本文首先对工业用水定额进行研究的基础上, 阐述了用水定额制定和管理的一些基本方法, 取得了以下结论: (1) 工业用水定额可以分为主定额和辅助定额。主定额指单位产品生产所需要的取用水量, 包括生产和辅助生产用水两个部分。辅助定额包括附属生活用水定额和企业的万元产值取水量。(2) 产品生产的工艺过程是决定工业用水定额的主要影响因素。在某一种产品的生产工艺过程确定的条件下, 其单位产品的取水定额是一个固定值。对于同一种产品的生产, 如果生产过程所取用的原料不同、工艺方式不同, 可以有不同的用水定额。(3) 对定额管理方法进行了探讨。认为实现用水定额管理的核心, 就是要把所制定的用水定额转换成一个可以操作执行的行业 and 企业的用水指标。该用水指标的确定是以产品的用水定额为核心, 综合考虑以下因素: 附属生活用水、企业规模、企业的开工率、企业的节水管理水平和季节的波动性。

关键词: 工业用水; 管理; 北京; 水安全

中图分类号: F323.213 **文献标识码:** A

1 北京市水资源安全问题

华北地区重点城市的水资源问题十分严重。北京市多年平均水资源总量为 $42.3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表水 $23 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地下水 $19.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。人均水资源量仅 300 m^3 。进入 20 世纪末期, 由于气候变化和人类活动等方面的原因, 不仅天然降水量减少, 而且在相同降水条件下的产水量也有显著下降, 因此北京市的来水量剧烈减少, 而用水需求却不断增长, 因此水资源的紧缺越来越成为北京市社会经济发展的重要制约因素。

根据水资源公报结果, 1994~2000 年北京市的平均来水量为 $30.21 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平均利用量为 $40.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见表 1), 水资源开发利用率达到了惊人的 135%, 与公认的 40% 的水资源合理的开发利用率相差 3.4 倍。因此为了维持北京市水资源生产与消耗的平衡, 只能

收稿日期: 2002-09; 修订日期: 2002-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 “华北地区水循环及水资源安全研究” 支持项目 (KXCX-SW-317)

作者简介: 张士锋 (1965-), 男, 湖北江陵人, 副研究员, 从事水文水资源研究。

过度地开采地下水和使用外来水源，导致地下水位下降，生态环境恶化，有河皆干的局面成为北京市水资源安全的重要问题。

表 1 北京市近年来水资源和各行业的用水情况
Tab. 1 Water Resource and Water Use in Beijing

年份	水资源总量	工业用水	农田灌溉用水	城镇生活用水	农村生活用水	林牧副渔用水	用水合计	其 中 地下水
1994	45. 5	10. 54	19. 47	8. 25	1. 11	1. 05	40. 42	27. 21
1995	30. 4	10. 41	16. 39	9. 82	2. 64	0. 52	39. 78	26. 87
1996	43. 3	12. 64	19. 16	8. 68	2. 21	0. 52	43. 21	27. 39
1997	22. 3	11	18. 12*	11. 14*			40. 26	25. 85
1998	38. 9	10. 84	15. 6	9. 95	2. 29	1. 79	40. 47	25. 52
1999	14. 22	10. 56	15. 31	9. 86	2. 84	3. 14	41. 71	26. 76
2000	16. 86	10. 52	13. 8	10. 19	3. 2	2. 69	40. 4	27. 15
平均	30. 21	10. 93	16. 84*	9. 7*	2. 38	1. 62	40. 89	26. 68

* 1997 年农业灌溉用水包括林牧副渔，城镇生活用水包括农村生活用水量，因此平均用水量有误差。

2 工业用水管理方法

社会经济的发展对水资源提出了愈来愈多的要求。工业用水对于北京市水资源的供需平衡起到至关重要的作用。从 1980 年到 2000 年北京市的工业产值和工业增加值分别增加了 11.7 倍和 7.6 倍（见图 1），而北京的工业用水总量从 20 世纪 80 年代开始就一直稳定在 $10 \sim 11 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占北京市每年总用水量的 25% 以上（表 1）。在过去的 20 年中，中国的经济发展迅速，工业用水总体增长迅速^[1, 2]，但是北京、天津等北方水资源短缺地区，工业用水几乎没有增长^{①[3]}，其原因是工业用水的管理起到了决定性的作用。

工业用水的管理方法，目前主要采用的仍然是计划指标的管理模式。在用水的计划管理模式下，单位工业用水的产值率和重复利用率都大为提高。所以，在今后相当长的时期内，计划管理仍将是用水管理的一种方式发挥重要作用。然而，这里的矛盾表现在企业规模、产品类型、工艺过程等千差万别的情况下^[4~8]，要保证计划指标的公平合理和用水定额的简便可行是十分困难的事情。近几年来，在北京等城市，已经逐步开始了由过去的用水指标考核向用水指标和用水定额双考核方向的转变。实现用水定额管理，本质上就是要对

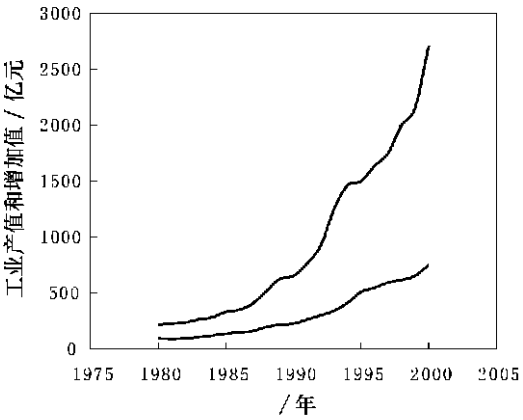


图 1 北京市历年工业产值和增加值
Fig. 1 Industrial production value in Beijing from 1980~2000

① 21 世纪初期首都水资源可持续发展利用规划专题报告汇编。21 世纪初期北京水资源可持续发展领导小组，1999 年 7 月。

工业用水有效需求进行科学管理。目前，国内对用水定额理论的探讨还不十分活跃，对有关用水定额的定义等基本概念也还存在不同解释。在此前提下，如何制定一个科学合理的用水定额，以及如何对工业用水定额进行合理应用，是一个具有重要现实意义的研究课题。

3 工业用水定额管理研究

为了对工业用水进行科学、有效的管理，有必要对定额管理在概念上、方法上和应用上几个方面进行研究。

3.1 用水定额的影响因素

目前对于工业用水定额的认识还没有统一。按照现有的用水定额制定方法，就会发现定额的管理问题多，变化快，使用不方便^①。有的认为用水与企业的规模有关，有的认为与企业的开工率、管理水平和生产季节有关。但是这里有一个模糊的问题是把产品的用水定额和企业的用水指标混为一谈。我们认为用水定额的定义就是指在一定生产规模和技术水平（工艺过程）下生产单位产品所需要取用的新水量。

工业用水定额都与那些因素有关系呢？通过分析我们认为产品用水定额的影响因素有两个，第一是与产品的生产工艺有关的一些因素。这是用水定额的一个主要影响因素。对于同一种工业产品，只要产品所使用的原料不同、采取的工艺过程不同，其用水定额是大不一样的。例如纸制品的生产，同样生产的纸版，如果以草浆和废纸为原料，其用水定额就有所不同。对于火力发电^[9]，工艺过程采取的是开式循环、闭式循环或半闭式循环，其用水定额都各有不同。因为以上这些原料或工艺过程的不同决定了产品的工艺模式的不同，其用水定额发生变化是理所应当的。第二个影响因素是由于企业设计规模的不同，用水定额也有所不同。例如生产能力为 15 万吨和 60 万吨的乙烯，其用水定额是不一样的，但是为了管理上的方便，我们可以设计一个一定规模上的标准定额，对于不同的生产规模则利用指标调整的方式进行修正。至于人们习惯性的认为有关时间演变、开工率和管理水平等都只是定额管理上要考虑的因素，也就是企业用水指标的影响因素，而不对定额值的本身有影响。

3.2 用水定额的制订

工业用水定额的制订是一个系统的过程。首先要对工业用水按照用途分类^[10, 11]，可以分为以下几类：生产用水、辅助生产用水和附属生活用水。其中生产用水是用水定额管理的基本环节。在制订一种产品的用水定额时，核心是对生产用水定额的测算。

产品用水定额的计算包括两个方面，即主定额和辅助定额。通过水平衡测试，可以获得一个生产周期内某一种或几种产品的总用水量 and 产品产量。如果只有一种产品，则取用水量除以产品产量就可以得到用水定额，而对于有多种产品和工艺的企业，则必须对总的取用水量进行合理分摊。对于有使用外购水或者外购汽的工艺过程，要加上外购水的使用量，而对于外购汽的计算，要根据具体情况，既可以单独计算定额，也可以把外购汽折算

① 供节水法规手册，青岛市供水管理处等，1999 年 1 月。青岛市部分工业企业产品用水定额（第一册），青岛市节水办，1995 年 12 月。上海市各类取水单耗，上海市计划用水办公室，1998 年 11 月。上海市用水定额，上海市经济委员会，上海市水务局，2001 年 3 月。北京市城市部分行业用水定额，北京市城市节水办，2001 年 10 月。大连市工业用水定额，2000 年 6 月。

到一定的水量，计算一个综合的取水定额。

$$V_{\text{产品}} = Q_{\text{生产}} / N$$

$$Q_{\text{生产}} = Q_{\text{冷却}} + Q_{\text{工艺}} + Q_{\text{锅炉}} + Q_{\text{辅助}}$$

式中 $V_{\text{产品}}$ 是产品的工业用水定额, $Q_{\text{生产}}$ 是包括辅助生产用水在内的生产取水量, 但是不包括企业的附属生活用水取水量, N 是产品产量。 $Q_{\text{冷却}}$ 是冷却用水取水量, $Q_{\text{工艺}}$ 是工艺用水取水量, $Q_{\text{锅炉}}$ 是锅炉用水取水量, $Q_{\text{辅助}}$ 是辅助生产取水量。

辅助定额在用水中也有十分重要的作用。辅助定额主要有两个, 一个是附属生活用水定额, 另一个是万元产值取水量 (现在逐渐过度到采用万元工业增加值取水量)。在水平衡测试的同时, 也掌握了一些附属生活用水的水量, 这个水量包括办公室用水、工厂绿化用水、食堂和集体宿舍用水等。根据这个时间段的生活用水量 and 实际的上岗人数, 可以求得附属生活用水的定额。万元工业产值取水量就是用企业当年的总产值除以工业生产和附属生活用水量之和。对于有些有外供水的企业, 要注意不能计算在这以上的用水定额的计算内。而对于有外购水的企业, 则必须加以考虑。

$$V_{\text{生活}} = Q_{\text{生活}} / m$$

式中 $V_{\text{生活}}$ 为某一个工业行业的附属生活用水的定额, $Q_{\text{生活}}$ 是生活取水量, m 是企业的职工人数。

$$W = Q / F$$

式中 W 是万元产值取水量, Q 是企业一年总的取水量, F 是企业的年工业总产值。

在通过以上过程获得一个产品的用水定额和企业的附属用水定额后, 就可以把这些定额用于对用水户的考核。但是, 在实际的操作过程中, 用水定额的制定是一个反复重复和不断深化的过程, 第一次有了一种产品的定额之后应用于考核时, 要注意到不同的用水户之间的差异, 并根据实际情况进行调整, 最终形成一种产品的较为固定的用水定额。

3.3 用水定额在企业用水指标制定上的应用

用水指标的制定就是以用水定额为基础, 考虑企业的生产中取用水的各个因素, 最终获得一个企业的用水指标。实现用水定额管理的核心, 就是要将所制定的用水定额转换成一个可以操作执行的行业和企业的用水指标。

在已经制定了产品的用水定额后, 根据用水定额计算一个企业的用水指标可以由以下方法获得。

首先根据以上的定义, 对于企业生产过程中, 如果只生产一种单一工业产品, 其生产用水量为:

$$Q_{\text{生产}} = V_{\text{产品}} N$$

式中 $V_{\text{产品}}$ 是产品用水定额, $Q_{\text{生产}}$ 是包括辅助生产用水在内的生产取水量, 但是不包括企业的附属生活用水取水量, N 是产品产量。

从理论上分析, 在企业生产只有一种产品时, 用水指标计算如下:

$$Q_{\text{理论}} = Q_{\text{生产}} + Q_{\text{生活}}$$

式中 $Q_{\text{理论}}$ 是理论用水指标, $Q_{\text{生活}}$ 是附属生活用水取水量, 生活用水指标可以用生产用水指标乘以一个系数来近似, 也可以根据行业的特点制定一个辅助的生活用水定额, 因此,

$$Q_{\text{生活}} = k_{\text{生活}} Q_{\text{生产}}$$

式中 $k_{\text{生活}}$ 是附属生活用水占生产用水的比例系数, 由工业行业的性质、企业规模等因素决

定。

关于生活用水的计算，也可以以附属生活用水定额为基础求得：

$$Q_{\text{生活}} = m V_{\text{生活}}$$

式中 m 是企业的职工人数； $V_{\text{生活}}$ 某一个工业行业的附属生活用水的定额。

因此，在企业只有一种产品时，理论用水指标与产品用水定额的理论关系如下：

$$Q_{\text{理论}} = V_{\text{产品}} N + Q_{\text{生活}}$$

在企业生产多种产品时：

$$Q_{\text{理论}} = V_{\text{产品}1} N_1 + V_{\text{产品}2} N_2 + \dots + V_{\text{产品}n} N_n + Q_{\text{生活}}$$

上述这种关系是一种理想的对应关系，当企业有外供水和外购水时，要对这一部分水量进行还原，即扣除或者增加这一部分水量。 $Q_{\text{矫正}}$ 为矫正以后的取水指标：

$$Q_{\text{矫正}} = Q_{\text{理论}} + Q_{\text{外供}} - Q_{\text{外购}}$$

$Q_{\text{矫正}}$ 是不是最后可以直接使用的用水指标呢？显然也不是。在产品的工业用水定额确定以后，计划用水部门最为关心的是如何按照用水定额下达一个企业的用水指标，实际上，对于相同的产品生产企业，只要其工艺过程大致相同，应该有相同的用水定额， $Q_{\text{矫正}}$ 也因此而确定。但是用水指标可能会有这样那样的变化和区别，对于用水指标的影响因素有：

- (1) 季节波动性：定额的计算是以某一年或者几年为基准计算得到的，所以没有考虑用水随时间的变化规律。由于某些企业在一年中的不同季节取水量和生产产值都有较大的波动，所以制定一个考虑月份或者季节的用水指标的计算方法是有意义的。
- (2) 对于开工率不足的考虑。当取水定额用于中小企业，还要考虑企业的开工率，生产能力和实际产量等因素。
- (3) 对于企业节水管理水平的考虑。节水管理水平的高低，直接反映在水的重复利用率，减少跑冒滴漏，加强责任制管理，都对企业的实际用水情况有重要的影响。
- (4) 企业规模对用水指标有很大的影响。对于一定规模或较大规模的企业，根据用水定额、产量可以计算出用水指标，而对于中小企业，即使工艺过程相似、产品相同、用水定额也相同，但是由于规模效益差，所以用水的总体水平可能上不去，用水指标也会因此受到影响。

最后实际要执行的指标，与矫正后的指标仍有不同之处。对于一种产品而言，其定额是一个固定值，但一个企业的实际可以采用的用水指标，应该结合企业的情况予以制定。

$$Q_{\text{综合}} = k_{\text{综合}} Q_{\text{矫正}}$$

式中 $Q_{\text{综合}}$ 是以产品的用水定额为基础而得到的一个企业的最后的综合用水指标， $K_{\text{综合}}$ 是综合考虑企业的开工率、企业规模、企业管理水平、生产季节等因素后的一个综合系数，实际上

$$K_{\text{综合}} = k(s_1, s_2, s_3, s_4)$$

式中 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 分别代表以上所提到的对企业生产用水有影响的四种因素。这些因素各个企业的影响程度不同。 s_1 所代表的开工率主要是为了反映企业在没有充分运行条件下的取水量对理论上完全开工、企业设计规模充分运转时对取水量的一个影响因素。 s_2 所代表的企业规模是为了反映不同设计规模的企业即使生产同一种产品，使用同一种定额，但是其规模对最终的生产取水量除了产量的倍数关系外，应该还有一个规模修正。 s_3 代表的企业管理水平，主要指大致相近的工艺流程条件下不同的管理水平的差异对工业用水的影响，例如对于相同工艺流程的两个企业，由于用水管理方法的差异，导致循环冷却水的使用量会有一定的差别。即使由于计量等方面的原因，工艺过程、锅炉用水也会有很大的不

同。所以对于管理水平的影响而论,可以用水的重复利用率等参数来修正。 S_4 所代表的季节用水调节系数是为了考虑生产、生活在不同的生产季节对水量需求的周期性波动。

通过以上把用水定额应用于企业用水指标的过程发现,工业企业的产品的取水定额是固定的,而用水指标是可以根据一些影响因素发生变化,是有一定弹性的。

4 工业用水管理中的问题

由于目前的考核机制只限于对主要用水定额的考核,而忽视了辅助定额,导致了一些值得关注的现象。

其一是工业用水中的附属生活用水增多,在总用水量中的比重有增加的趋势。由于工业企业的节水措施的实施,工业用水指标有了大幅度的提高,但是有的工业企业的附属生活用水量很大,最多的可达到用水总量的30%以上。因此,对于工业用水的管理不仅要为主定额进行考核,还要对用水的总量进行考核,对附属生活用水进行关注,尤其是对于一些体力强度较大的劳动密集性企业。

其二是对于企业的排水量及水质要有一定的考虑。供水、用水、耗水和排水是整个用水过程中的不可分割的重要环节,对企业排水情况的监测要进一步的改善。现在的方法是实现国家规定的达标排放,但是实际上这个标准非常低,只有pH值、COD和固体悬浮物三项,而且监测不是很严格。排放水的其他指标如气味、颜色等没有在考核的范围内。此外,同样的工业用水,如果排出的水量不同,则需要污水处理的费用也不同。由于不同的工艺方式,甚至有可能会对废气的排放产生直接影响。

5 结论与探讨

通过研究,可以得到以下结论:

(1) 北京市的水资源安全问题十分严峻,水资源利用率已经达到135%。工业用水管理对近20年来工业用水量保持稳定起到了十分重要的作用。工业用水管理正在从计划管理向用水指标和用水定额双管理过渡。

(2) 定额的主要划分。主定额和辅助定额。主定额指单位产品生产所需要的取用水量,包括生产和辅助生产用水两个部分。辅助定额包括附属生活用水定额和企业的万元产值取用水量。

(3) 产品生产的工艺过程是决定工业用水定额的主要影响因素。在某一种产品的生产工艺过程确定的条件下,其单位产品的取水定额是一个固定值。对于同一种产品的生产,如果生产过程所取用的原料不同、工艺方式不同,可以有不同的用水定额。企业的设计规模对于用水定额也有一定程度的影响,但是在定额管理中,为了使用水管理更为简便和易于操作,建议在确定一个一定规模的标准定额的基础上,可以用指标修正的方法进行调整。

(4) 定额管理方法探讨。实现用水的定额管理的核心,就是要把所制定的用水定额转换成一个可以操作执行的行业和企业的用水指标。这个用水指标的确定是以产品的用水定额为核心,综合考虑以下因素,即:附属生活用水、企业规模、企业的开工率、企业的节水管理水平和季节的波动性。

参考文献:

[1] 金凤君. 华北平原城市用水问题研究[J]. 地理科学进展, 2000, 19(1).
[2] 刘昌明, 陈志恺 主编. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析. [M] 水利电力出版社, 2001.
[3] 贾绍凤. 工业用水零增长的条件分析——发达国家的经验[J]. 地理科学进展, 2001, 20(1).
[4] 曹型荣, 贾泽民, 汤真木 等. 城乡工业节水措施[M]. 山西人民出版社, 1989.
[5] 胡楠, 戎文佐. 中国轻工业跨世纪发展战略[M]. 中国轻工业出版社, 1998.
[6] 徐寿昌. 工业冷却水处理技术[M]. 化学工业出版社, 1984.
[7] 张统主 编. 污水处理工艺及工程设计方案[M]. 中国建筑工业出版社, 2000.
[8] 董辅祥, 董欣东. 城市与工业节约用水理论[M]. 中国建筑工业出版社, 2000.
[9] 刘希波. 火电厂水务管理[M]. 中国电力出版社, 1998.
[10] 中国城市节水 2010 年技术进步发展规划[M]. 文汇出版社, 1999.
[11] 任光照, 杨继孚, 黄永基 等. 城市用水[M]. 水利电力出版社, 1989.

Water Resource Security and Method Research on Enactment
and Management of Industrial Water Use in Beijing

ZHANG Shi-feng, JIA Shao-feng

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101 China)

Abstract: Water security problems are very serious. The water resource use rate is now 135% in Beijing. Water use management in industry plays a key role in addressing Beijing water security challenge. Enactment and management on industrial water quota is of great importance for scientific research and application. The paper defines the quota of industrial water at first, then expounds some fundamental methods and draws some conclusions as follows: (1) industrial water quota includes primary quota and assistant quota. Primary quota is the water quantity which is used to yield unit product, and it includes two parts: the water for product process and that for assistant production process. Assistant quota includes affiliated life water quota and enterprise’s water consumption per unit production value; (2) the technical process of production is the main factor to define industrial water quota. Once the technical process of production is determined, the unit production’s water consumption quota is a fixed value. While the same production is manufactured, different water quota can be used if different material and techniques are used in the course of manufacture; (3) the method on management of quota is discussed. It is considered that the kernel of the management of water quota is to convert water quota into water withdrawal criterion which can be of easy operation in respective industries and enterprises. The water withdrawal criterion is decided on the basis of water quota and also such factors as affiliated life water, the scale of enterprise, the rate of working time of enterprise, the management level of water saving of enterprise and seasonal fluctuation.

Key words: industrial water use; management; Beijing; Water security