

文章编号: 1000-0585(1999)04-0373-09

# 区域调水规模的指标体系与 PRED 综合论证

陈建耀, 于静洁

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

摘要: 初步提出了论证区域调水规模的指标体系及基于此的人口 ( $P$ )、资源 ( $R$ )、环境 ( $E$ ) 与发展 ( $D$ ) 的 PRED 综合论证的思路。以北京市水资源开发利用为案例, 由传统的供需分析和以人为中心的 PRED 综合协调分析分别对北京市的用水及趋势作了论证, 二者相互印证, 分析结果较为可靠。通过分析得到, 北京市水资源可维持现状下的开发利用。

关键词: 区域调水规模; 指标体系; PRED 论证

中图分类号: TV213 文献标识码: A

## 1 引言

众所周知, 我国水土资源分布很不均衡, 南方水多地少, 北方水少地多, 水资源短缺已成为制约我国北方地区工农业生产和人民生活水平提高的主要制约因素之一, 而南水北调工程则是实现水资源区域调配、解决我国北方地区水资源紧缺的重大战略措施。然而, 区域调水在缓解沿线城市、工业以及农业用水紧张, 促进经济发展的同时, 对调出区、输水区 and 调入区也存在着不可忽视的产生生态环境负效应的潜在威胁。区域调水所产生的正负效应直接与调水规模密切相关。因此, 对区域调水规模的论证, 意义极为重要。

区域调水规模的论证, 从系统的角度来看, 分为三个层次: ① 宏观层, 主要考虑区域的水热平衡, 以降水、蒸发、太阳辐射等自然因子为主要指标, 适当考虑人口与经济分布的区域分布。宏观层次可以判别某区域缺水的性质, 资源缺水、工程缺水抑或污染缺水, 从而界定水资源的调出、调入区。② 微观层, 指具体的工程规划与实施方案。根据具体地形、地质、地貌与水系等自然条件选择调水路线; 根据调水量进行渠道设计及跨江跨河 (平交或立交) 工程方案。③ 中观层, 介于宏观与微观之间的一个重要环节, 其目标是通过调出与调入区的自然、社会、经济发展的深入分析, 确定合理的调水规模。同时, 在工程未实施前, 根据形势的最新发展, 尽可能地修正规划实施方案, 以期达到调水规模数量上的最小; 或经济产值上的最优; 或生态环境上的最佳; 或社会保障与持续发展的最稳; 或兼取上述多种目标的理想调水规模。中观层次主要通过人口 ( $P$ )、资源 ( $R$ )、环境 ( $E$ ) 与

收稿日期: 1998-12-01; 修订日期: 1999-09-02

基金项目: 中国科学院 “九五” 重大 A 资助项目 (KZ951-A1-203)

作者简介: 陈建耀 (1966-), 男, 福建仙游人, 博士, 副研究员, 主要从事水文、水资源方面的研究, 发表论文 20 余篇。

发展 ( $D$ ) (简称为 PRED) 四大指标及其耦合配置来论证调水规模。以上三个层次紧密相连, 关系如金字塔, 宏观层在上, 中观层居中, 微观层在下。本文主要针对中观层次的指标体系, 以中线工程调入区为例, 对调水规模作一初步论证。

## 2 指标体系

区域调水规模必须建立在区域水资源供需分析的基础上。供水能力不仅受天然来水量、工程蓄引能力及调度方式影响, 也受规划需水量的影响。所以, 需水量的合理预估是区域调水规模的核心。需水量一般可通过与之相关的指标或定额给出, 如可视需水量为人口  $P$ 、资源  $R$ 、环境  $E$  与发展  $D$  的函数, 即需水量  $= f(P, R, E, D)$ 。PRED 不仅容纳了需水量的四个分项: 工业、农业、生活及环境需水, 还包涵了时间动态的概念, 即以发展的眼光来考虑指标体系及需水变化。人口需水方面包括农业与非农业人口的饮水需求, 分为城市生活与农村生活需水。前者包括居民需水、公用与公共设施需水, 市内环境绿化需水 (为统计方便, 从环境用水中分离出), 后者包括农村的人与牲畜需水。资源需水方面, 含水能、矿产、土地、航运等项资源的开发利用需水, 在华北地区, 主要指矿产开发与土地利用需水, 以保证工业发展与粮食供应。环境需水方面, 主要是针对区域大环境而言, 其内涵多, 难于完全定义, 具体可包括: 河道冲淤、岸边林地及防护林的生长、污染物稀释、鱼类与水生生物的维持、一定范围内地下水位的维持 (防止漏斗与地面沉降)、维持一定范围的保护区、休闲地或水面等等。发展用水方面, 是指为维持一定经济发展水平和保证新增人口用水, 需要增加一定的用水需求。经济发展一般都经历从量的扩张到质的提高, 用水需求随经济发展增加的弹性逐渐减弱。发达国家已基本完成这个过渡阶段, 实现了需水零增长<sup>[1]</sup>。我国人口增长约至 2030 年为最高峰, 预计那时工业结构也比较稳定, 从而可达到需水零增长。

本文从 PRED 需水出发, 来论证调水规模的指标体系, 这在现有可查的文献中尚未见到。与调水规模相关的 PRED 指标体系试列在表 1 中。表中对角线为单一指标, 其余为复合指标, 右上三角与左下三角指标相近, 互为倒置关系, 不再给出。从系统的观点来看, 尽管单项指标可给出某一用水分量, 但无法给出 PRED 需水配置与结构, 因而复合指标对调水规模的论证更有意义。

## 3 南水北调中线北京供水区 PRED 指标值的综合论证

尽管不同国家和地区的不同发展阶段的 PRED 指标值可以相互参照, 但确定某一具体区域指标值时, 不能生搬硬套, 须因地、因时制宜。这是因为各地区的资源、环境、社会、经济、文化、技术水平各异, 涉及用水的商品生产、流通、消费的理念与过程也不一样。一般来讲, 用水水平提高有三个驱动力: 缺水胁迫、节水投资、科技进步, 而这三个驱动力与地域、时间有关, 不同地区不同时段其作用有别。

南水北调中线供水区面积  $1.13 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 耕地  $6.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 涉及沿线 16 个大中城市, 1991 年人口  $5.9 \times 10^7$  人<sup>[1]</sup>。本文主要就北京市的用水进行 PRED 综合论证 (数据来源除特别标注外, 主要来自《6 北京经济年鉴》, 中国统计出版社)。

表 1 调水规模论证中的人口、资源、环境与发展指标体系

Tab. 1 Index system of PRED (population, resources, environment and development) for water transfer scale analysis

指标系	人口	资源	环境	发展
人口	人口数量、密度、迁入迁出、增长率、分布、就业结构、居住状况、城市绿地、农村牲畜头数			
资源	人均耕地、人均水资源、人均粮食、资源与人口的配置协调（如移民）	矿产品种、数量、分布、土地面积、耕作制度、作物品种、灌溉面积、粮食产量、水资源量		
环境	人均污染负荷、人均排污量、饮水保证程度、人均水体面积	水/土、水/矿、降雨径流的时空分配、污染物模数、产沙模数、地下水超采量、渠系利用系数、缺水率、水资源利用率	污径比、水质、地下水位、含沙量、输沙量、蒸发与渗漏	
发展	人均产值及增长、人口政策与经济增长、人均水利投资、人均节水投资	单位水的工农业产值、弹性、水资源的经济容量、水价、万元产值取水、用水重复利用率、用水结构、农田水分利用率	单方污水的工业产值、环境的经济容量、治污投资及比率	工农业产值、增长率、中长期规划目标、政策与投资

3.1 农业用水

1990 年以来，随着经济的发展，北京的耕地面积逐年下降，下降幅度约 3.7‰~8.3‰，平均为 6.5‰（图 1）。因此，可利用耕地面积大致估算出农业需水量。贺伟程的研究<sup>[2]</sup>显示，1978 年北京市有效灌溉面积  $3.42 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，农业毛用水量 26.2 亿  $\text{m}^3$ ，其中实际耗水量 18.4 亿  $\text{m}^3$ ，其余的水量通过渠系渗漏和田间回归补给了地下水。即平均毛用水定额为  $7\,650 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，实际耗水定额为  $5\,385 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。“六五”国家科技攻关研究<sup>①</sup> 成果显示，按种植业和菜田面积大平均计算，1982~1984 年北京市平均灌溉定额  $5\,085 \sim 5\,745 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，1984 年北京市农业用水总量为 19.43 亿  $\text{m}^3$ （若扣除人畜与工副业用水，则为 18.01 亿  $\text{m}^3$ ），以此灌溉定额估计，北京市 1990~1995 年平均耕地面积  $4.07 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，有效灌溉面积  $3.19 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，农业用水为 16.2~18.3 亿  $\text{m}^3$ 。若假定土地利用结构不变，则伴随着节水技术、器具的推广应用，未来农业需水每年可减少一个百分点是现实可行的。

尽管由耕地面积可大致估算出农业需水量，但耕地面积的减少往往伴随着农业土地利用结构的调整，尤其是在市场经济条件下，这种情况更为明显，即土地利用变化紧密地与市场及人的需求相连。例如，随着北京城市发展与人口的增加，1978~1995 年间，菜地面积增加了 5%，相应地由于受水资源供给影响，水稻面积减少了 5%。1990 年粮食作物有效灌溉面积（扣除水田） $2.64 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，1978~1990 年内此面积变化不大。1990 年后，此有效灌溉面积迅速下降，五年内竟减少了  $2.83 \times 10^4 \text{hm}^2$ （表 2）。

① 水利电力部 38-1-20 课题组. 北京市水资源系统分析及其数学模型的研究. 1987.

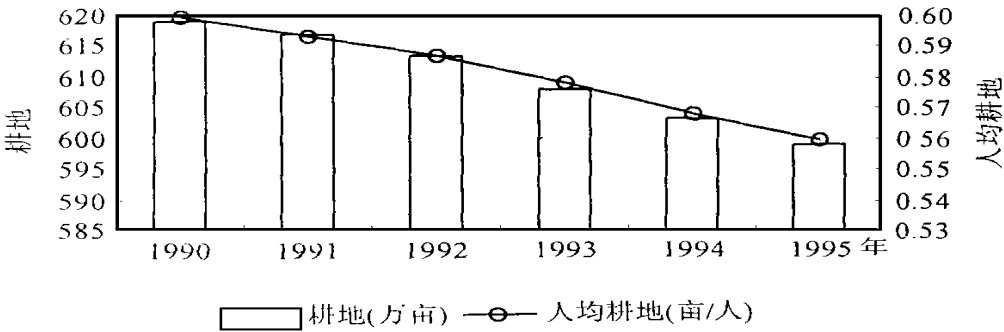


图 1 北京市耕地及人均耕地变化

Fig.1 Change of the total and per capita arable land in Beijing city

表 2 北京市农业用地面积变化 (单位: hm<sup>2</sup>)

Tab.2 Change of agricultural land area in Beijing city (10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>)

年份	水稻田	菜田	粮食作物 (扣除水稻田后有效灌溉)	经济作物	其他
1978	4. 87	2. 93	26. 4		
1984	4. 4	2. 47	26. 67		
1990	3. 26	3. 46	26. 38	1. 54	6. 62
1995	2. 36	4. 48	23. 54	1. 79	7. 76

北京市 1984 年的平均灌溉定额是: 菜田 14 445~14 955 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、水稻田 10 440~13 020 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、其他粮食作物 3 330~3 810 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。考虑到近十多年来喷灌、滴灌及其它节水技术与设施的推广与应用, 节水型农田从不足 2 667 hm<sup>2</sup>发展到 2 053. 33 hm<sup>2</sup>, 农业水分利用率由 4. 95 kg/mm·hm<sup>2</sup>增至 19. 95 kg/mm·hm<sup>2</sup><sup>①</sup>。1995 现状年的灌溉定额不妨定为 1984 年的 90%, 即分别是: 菜田 13 005~13 445 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、水稻田 9 390~11 715 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、粮食作物 3 000~3 435 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。以此定额及表 2 数据, 可推算出现状年粮食作物、水稻田及菜田的农业用水约 15. 1~16. 9 亿 m<sup>3</sup>。经济作物及其他由于没有具体资料, 难以估算。其他用水中, 1984 年果渔业用水为 0. 95 亿 m<sup>3</sup>。经济作物定额不妨取粮食作物与水稻田用水之间, 如取 7 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。据此估计, 北京市现状农业生产用水大致介于 17. 4~19. 2 亿 m<sup>3</sup>。此值比不考虑农业结构调整时多出 0. 8~0. 9 亿 m<sup>3</sup>。尽管如此, 此估算值仍与 1978、1984 年的农业生产用水 18 亿 m<sup>3</sup> 相当, 且与实际报道数值相符。

故此, 可大致推断, 自 1978 年以来近 20 年, 尽管耕地面积有所下降, 但由于种植业结构发生了以市场为导向的变化, 蔬菜用地明显增加, 水稻田面积减少, 此外, 农业用水水平有所提高, 所有这些使得农业生产用水量大致维持同一水平。据此类似理由可推断, 未来十数年内农业生产用水也将维持在这一水平上。从农业用水保证率程度来看, 一般农业用水保证率为 50%~75%, 即若北京市农业用水的保证率为 75%, 则只要在四年内有三年

① 北京日报. 本市优化调度持续利用水资源. 1998-9-10.

能保证农业生产用水达 18 亿 m<sup>3</sup>，即为正常现象，而非缺水问题。

3.2 工业用水

北京市工业总产值增长迅速，从 1979 年的 189.61 亿元增长至 1995 年的 1665.427 亿元。如不考虑通货膨胀因素，增长了近 8 倍。万元产值取水量却由原来的 357m<sup>3</sup>/万元下降至 67m<sup>3</sup>/万元，重复利用率由 1978 年的 48.7% 上升到 1995 年的 84.7%<sup>①</sup>，从而使工业生产取水量不升反降，由 11.94 亿 m<sup>3</sup> 降至 10.48 亿 m<sup>3</sup> (图 2)。节水政策和节水工艺、技术的进步与应用在此发挥了巨大的作用，而这种作用在以往的需水预测中得不到足够的重视，致使需水预测值与实际状况存在较大的背离，如“六五”科技攻关项目报告中，对北京市 2000 年节水前提下的万元产值取水量预测为 131 m<sup>3</sup>/万元，由此预测 2000 年工业需水 11 亿 m<sup>3</sup>。

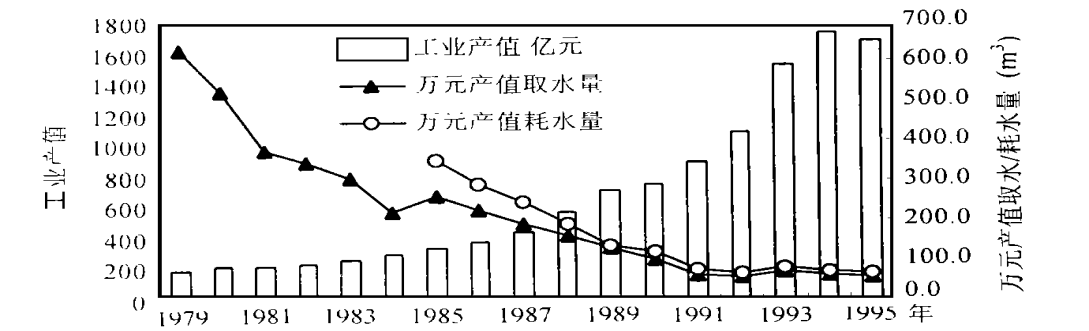


图 2 北京市工业产值及工业用水变化  
Fig.2 Change of production value and water use of Beijing's industry

通过近几年的实际资料分析，北京市工业生产所需的新鲜水补给量基本上比较稳定，已接近需水零增长，即工业总产值增长无须依靠补充新的新鲜水，而主要依靠用水企业进一步挖潜、改造。此外，北京市的定位作为全国的政治、文化中心，而非经济中心，决定了不宜在北京再搞大型的工业项目，从而进一步为北京市在下世纪初实现工业需水零增长提供了可能。

为深入考虑北京市工业需水零增长问题，宜分析工业内部的用水结构及变化。在工业用水中，电力工业用水占有相当的比重，1978 年 13.5 亿 m<sup>3</sup> 工业用水中，电力工业为 5.5 亿 m<sup>3</sup>，约占 41%。发电厂建成闭路循环用水后，这部分水几乎可以全部利用，重复利用率可超过 90%。北京市的工业用水结构及变化见表 3。

北京市现状(1995 年)主要行业用水比例由大至小排序依次是：化工、冶金、机械、电力、食品、纺织、造纸。从变化来看，电力工业原为第一耗水大户，随着用水重复利用率的提高，新鲜用水量迅速下降。同时，随着行业结构的调整，机械工业用水比例快速增加，造纸工业用水逐步减少，而化工、冶金、食品用水则比较稳定。因为用水重复利用率的提高一般有一个增长极限，因而下世纪的节水工作重点应从电力工业转向取水量大、重复利用率低的其他工业。北京市不同工业行业水的重复利用率和万元产值耗水及其变化见图 3 和表 4。

① 北京市水资源公报，1995。

表 3 北京市主要工业行业新鲜用水构成表 (%)

Tab. 3 Fresh water use structure of main industries in Beijing city (%)

年份	食品	冶金	纺织	造纸	化工	机械	电力
1990	7. 21	14. 38	4. 91	4. 40	23. 57	3. 95	
1991	9. 74	20. 66	6. 54	6. 36	31. 46	5. 17	
1992	9. 44	20. 68	6. 01	6. 07	31. 49	5. 44	
1993	6. 17	15. 35	4. 43	3. 38	21. 67	7. 52	33. 83
1994	5. 14	16. 11	4. 36	3. 60	23. 51	8. 29	29. 40
1995	6. 98	17. 07	4. 27	3. 81	22. 17	16. 96	12. 73

数据来源: 1996 年北京市经济年鉴. 中国统计出版社. 行业内部作了权重综合.

表 4 北京市不同工业行业万元产值耗水量 (m<sup>3</sup>/万元)

Tab. 4 The water consumption water use quota of different industries in Beijing city (m<sup>3</sup>/10<sup>4</sup> yuan)

行业	1990	1991	1992	1993	1994	1995
食品	201. 33	103. 01	99. 57	94. 59	89. 60	84. 62
冶金	284. 53	139. 05	125. 01	104. 02	71. 69	69. 96
纺织	130. 62	75. 30	67. 51	62. 22	55. 17	68. 86
造纸	422. 90	238. 52	224. 19	153. 35	155. 14	240. 18
化工	203. 46	126. 68	126. 70	116. 27	111. 75	102. 90
机械	33. 91	18. 52	15. 60	29. 34	17. 38	124. 19
电力				1 315. 30	1 268. 17	514. 10

图 3 给出了北京市 1990~1995 年平均和 1984 年的各主要行业的重复利用率, 同时给出了城乡建设部市政公用局 1983 年 9 月在《国外利用水资源和节约用水的情况》中综合分析提出的各行业比较合理的重复利用率<sup>①</sup>, 以便于与北京市进行比较分析. 由图 3 可以看出, 北京市机械、冶金、食品等行业节水尚有相当潜力. 这也从另一方面论证了下世纪初北京市工业需水零增长的可能性.

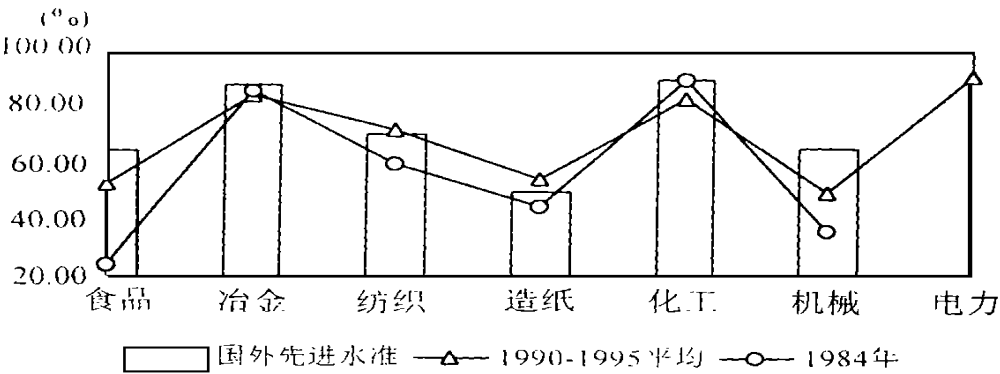


图 3 北京市不同工业行业重复利用率变化

Fig. 3 Change of water reusable rate of different industries in Beijing city

① 水利电力部 38-1-20 课题组. 北京市水资源系统分析及其数学模型的研究. 1987.

3.3 生活用水

与上述工农业用水量相对稳定不同，北京市生活用水增长十分迅速：1949~1979 年平均每年增长近 15%，在 1979 年前的几年间平均每年增加 0.3 亿 m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>；1979~1984 年平均增长率为 7.6%，每年增加 0.24 亿 m<sup>3</sup>；1984~1995 年平均增长率为 3.52%，每年增加约 0.17 亿 m<sup>3</sup>。1995 年全市年生活用水总量为 10.26 亿 m<sup>3</sup>，其中城镇生活用水 8.58 亿 m<sup>3</sup>，农村人畜用水 1.86 亿 m<sup>3</sup><sup>①</sup>。从全市人均日生活用水量来看，1994 年为 212.5 l/d，其中城近郊区为 227.20 l/d；1995 年为 219.2 l/d，其中城近郊区为 233.6 l/d。此指标增长较快且远大于一般中、小城市，这与北京市的规模、性质等自然、社会、经济条件是一致的<sup>[3]</sup>。“六五”时曾对北京市 2000 年节水措施下市区人均日生活用水作过预测，预测值高达 343 l/d，与目前的实际相差很大。因而，对此指标的预测须十分谨慎。考虑到北京市每年有几百万平方米的新增建筑面积，全市 2.15‰（1995 年）的人口自然增长率以及逐年增加的流动人口，北京市的生活用水量在相当长一段时间内仍会有较大增长。尽管在生活用水节水方面作了不少工作，节水成效仍不尽如人意。从需水零增长的角度来看，北京市下世纪水资源可持续开发利用的关键是控制生活用水的增长，近期内其增长率应控制在 1%~2% 内。如此估算，2005 年北京市生活需水量为 11.3~12.5 亿 m<sup>3</sup>。

据分析<sup>①</sup>，北京市可供水资源量 41.33 亿 m<sup>3</sup>，通过各种挖潜措施，2005 年 P=50%、P=75%、P=95% 年份的可供水量分别为 51.33 亿 m<sup>3</sup>、47.10 亿 m<sup>3</sup>、43.38 亿 m<sup>3</sup>；2010 年 P=50%、P=75%、P=95% 年份的可供水量分别为 54.73 亿 m<sup>3</sup>、50.68 亿 m<sup>3</sup>、47.01 亿 m<sup>3</sup>。从以上用水需求分析来看，北京市可供水资源量能够满足目前工业、农业、生活用水的需求。近中期，95% 频率下的水资源能够满足工业和城市生活的需求。但这并不说明北京市用水状况良好，因为北京的地下水已严重超采，地表水体污染还相当严重，同时还难以排除出现连续几年干旱的气候事件。因此，长远看来，北京市的用水还不甚乐观。因为前述的供需分析是在充分挖潜、严格控制北京的发展规模和大工程项目的上马的前提下进行的，现解决的关键是充分利用雨水，尽可能地回补地下水，以此作为水资源的战略储备。同时，综合考虑人口、资源、环境与发展，在内部合理分配水资源、进一步节水挖潜。

3.4 北京市水资源开发利用的 PRED 综合分析

用水紧张从根本上来讲是人与水关系的不协调。早在二百年前，马尔萨斯在《人口学原理》一书中提到了人的增长与生活资料增长之间的不同步，并由此导致诸多矛盾<sup>[4]</sup>。今天的社会已不仅仅是人口与生活资料的不协调体，而是人、自然、环境、发展、资源等多层次互为关联的矛盾体。人与水的关系只是上述矛盾体中的一个层次。因而，分析水的问题必须从人入手。从最终意义上讲，只有实现了人口的自然零增长及结构的相对稳定，需水零增长才有可能真正实现。西方国家的经历充分证明了这一点。以人为中心的 PRED 系统分析框图详见图 4。

一个人究竟需要多少水才能满足其正常的生活、生产、休闲、环境等多种生存目标。这个问题对于某一发展阶段、某一具体空间位置的人才有意义。对水资源充足地区或社会发展仍处于刀耕火种时代，该问题几乎没有意义，取而代之的是一个人需要多少耕地养活的问题更有意义。水土资源互为依存，当水资源成为限制因素时，人均水资源这个指标才较

① 二十一世纪初期水资源可持续利用规划总报告（讨论稿），1999。

有意义;反之,当土地资源成为限制因素时,则人均土地资源更有意义。我国的现状是水、土资源均为限制因素。陆亚洲等曾以人均 0.087 hm<sup>2</sup> 灌溉面积,即约合平均每人占有粮食 550 ~ 650 kg 来分析华北平原水资源供需状况<sup>[6]</sup>。

从北京市目前的用水情况来看,人年均口粮 400 kg 需水 200 m<sup>3</sup>,综合城乡生活用水,含饮用、公共与公用设施、环境绿化、卫生等,约需水 60 ~ 80 m<sup>3</sup>,其它如将牲畜、果林、蔬菜用水等摊至个人,人年均约需 20 ~ 40 m<sup>3</sup>。这样,从人口、粮食、其它基本生活资料直至水资源这一角度来分析,300 m<sup>3</sup> 的水资源能够满足北京市民基本生存的需要。从工业总产值来看,北京市现状人均工业总产值 11 867 元。1995 年工业生产上万元产值取水量为 56.7 m<sup>3</sup>,从工业生产发展需水上看,人均工业需水负荷为 67 m<sup>3</sup>。因而,在现状条件下,人口、环境与经济发展对水资源的需求为每年 367 m<sup>3</sup> 左右,即约每人每天 1 m<sup>3</sup> 水。

从以上 PRED 分析可知,若北京市为一个完全封闭的水资源开发利用系统,即与外界没有任何物质、能量和信息的交流,则维持该系统的持续发展,现状年 1995 年为 1 077 万人<sup>[7]</sup>约需耗水 39 亿 m<sup>3</sup>,并在近期以 2‰左右的速度逐年递增。实际情况并非完全如此。首先,北京市目前人均耕地仅 0.037 hm<sup>2</sup>,而人均粮食作物耕地则更少,仅有 0.024 hm<sup>2</sup>。虽然北京市的农业生产水平及集约化程度较高,可是以此微薄的耕地面积来满足粮食自给既困难也无必要,完全可以通过从外部调进适量的粮食,进行调剂,从而减轻口粮的需水压力;其次,从水资源供给状况来看,北京市近期现状人口不同频率下的人均可供水资源量分别是:50% 频率为 476 m<sup>3</sup>/人,75% 为 437 m<sup>3</sup>/人,95% 为 403 m<sup>3</sup>/人。因而,从 PRED 综合分析来看,北京市水资源能够维持持续开发利用。目前的紧张局面主要是由于近 20 年来经济的快速发展,消耗了大量的水资源储备,导致地下水位大幅度下降,平原地区出现了 2 660 km<sup>2</sup> 的漏斗区<sup>①</sup>。此外,水质污染严重,几乎是无河不污,可以说是以牺牲环境为代价换取经济发展的。

尽快解决经济快速发展遗留下的环境问题不仅必要而且是可行的。首先是中国今后经济的增长速度将稳中有降,不会超过 8%;其次,近几年地下水回补已取得一定的实际成效,1980 年至 1990 年全市地下水位年平均下降 38 cm,而 1991 年至 1998 年仅下降 18 cm,相当于每年少开采地下水 2 亿 m<sup>3</sup> 左右。因此,如果政府能针对北京水资源情势,下决心调控用水需求,环境问题有望在不懈的努力下得到改善。

4 结 语

通过以上分析可知,水资源开发利用涉及到的是以人为中心的 PRED 综合系统,其评价须采用基于此的综合指标体系。指标值本身并不是孤立的,而是与一定区域的自然、社

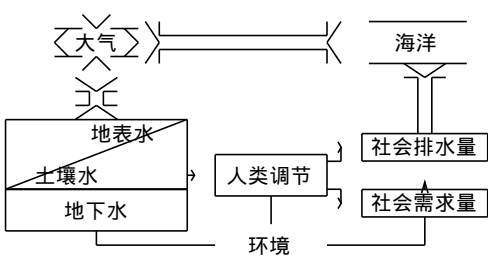


图4 水资源供需与PRED系统框图(改编自文献[5])  
Fig. 4 Frame map of water resources supply - demand PRED analysis system

① 北京日报。本市优化调度持续利用水资源, 1988-09-10。



会、经济水平及发展阶段紧密相关，且随着科技进步与政策、法令调整呈动态变化。以往的研究、预测结果与实际偏差较大的一个主要原因显然是对此动态性考虑的不够充分。在分析北京市水资源开发利用的具体案例中，首先逐项分析工业、农业与生活用水及其内部结构和演化，再从人的需求出发，分析 PRED 综合系统中的水资源需求与可能，两者可以相互比较与验证，最后得到一个比较合理的结果。因而，从根本上讲，PRED 综合分析是一种基于综合指标体系的分析思路或方法，强调的是以人为中心的综合协调，以此来进行调水规模论证，更科学合理，符合持续发展的要求。

参考文献:

[1] 刘昌明, 何希吾 编著. 中国 21 世纪水问题方略[ M ]. 北京: 科学出版社, 1996.

[2] 贺伟程. 北京市水资源初步评价[ J ]. 自然资源, 1982( 3 ): 12 ~ 21.

[3] 陈建耀, 刘昌明. 城市节水潜力估算与用水管理水平评定[ J ]. 地理学报, 1998, 53( 2 ): 141 ~ 148.

[4] 姜涛. 马尔萨斯: 重要的是提出问题——为马尔萨斯《人口学原理》发表 200 周年而作[ J ]. 人口研究, 1998, 22 ( 4 ): 20 ~ 25.

[5] 王增银, 李世忠, 辛选民 等. 概率统计分析法在运城市城区地下水资源计算中的应用[ J ]. 水文水资源, 1998, 19 ( 1 ): 8 ~ 12.

[6] 陆亚洲, 顾定法, 唐青蔚 等. 华北平原水资源供需分析[ J ]. 自然资源, 1982, 3: 77 ~ 81.

[7] 国家统计局人口与就业统计司编. 中国人口统计年鉴, 1998 年[ M ]. 中国统计出版社, 1998. 350.

# The index system of regional water transfer scale and its PRED synthetic analysis

CHEN Jian-yao, YU Jing-jie  
(Institute of Geography, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** This paper put forward an index system based on the harmonious development among population, resources, environment and development to analyze the regional water transfer scale. A case study on water resources exploitation and use of Beijing was carried out. The present and future water demand of Beijing city was analyzed by conventional supply – demand method and human – dominant PRED synthetic analysis method, and a relatively reliable result was got by mutually verifying the two method. The result shows that the water resources of Beijing city can support the status quo development.

**Key words:** Regional water transfer scale; index system; PRED synthetic analysis