

文章编号: 0375-5444 (2000) 03-0302-07

# 水资源调配中 PRED 综合论证的初步研究

陈建耀<sup>1</sup>, 于静洁<sup>2</sup>, 刘昌明<sup>2</sup>

(1. 日本千叶大学自然科学研究科, 263- 8522; 2. 中国科学院地理研究所, 北京 100101)

**摘要:** 水资源调配是解决水资源利用问题的一项开源措施, 必须考虑人口、资源、环境、发展的综合协调 (简称 PRED), 分析水资源利用中的调配问题与 PRED 之间的关系, 指出 PRED 综合分析是水资源调配与利用的一个重要基础。提出 PRED 论证的基本思想、指标体系、论证模式、论证流程, 并对南水北调河南省境内地级市进行水资源利用的 PRED 综合论证, 给出诊断结果与利用方略。

**关键词:** 水资源利用与调配; PRED; 综合论证

**中图分类号:** P967      **文献标识码:** A

## 1 引言

水资源利用中的调配问题与人口、资源、环境、发展 (PRED) 是一种矛盾统一体。首先, 水资源调配是资源范畴内的一个子集, 而这个子集并不是独立存在, 而是贯穿于 PRED 各系统。其次, 水资源受控于全球水、热循环与平衡 (图 1)。第三, 水资源调配、利用与 PRED 在不同阶段, 不同地域其着重点不一: 在 20 世纪 40 年代的战后人口恢复与经济复兴, 供水项目评估标准往往仅仅考虑技术、社会、经济 3 种适宜性 (Appropriateness), 而没有考虑环境适宜性<sup>[1]</sup>; 在 20 世纪 90 年代开始的信息技术时代, 环境用水日益受到重视, 开始强调实现水资源利用的可持续发展。因此, 只有通过 PRED 用水需求综合论证, 才能够提出水资源合理利用的方式, 充分发掘水资源利用潜力。

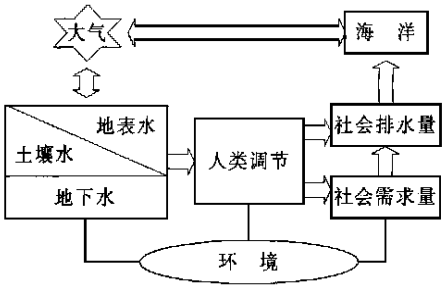


图 1 PRED 与水资源利用的关系

Fig. 1 Flowchart for PRED and water resources development

## 2 PRED 系统浅析

据 80 年代中期的统计, 全世界粮食总产量每年达 18 亿多吨, 按人口分配已可达 400 kg

收稿日期: 2000-03-30; 修订日期: 2000-04-08

基金项目: 中国科学院“九五”重大 A 类项目 (KZ951-A1-203-04) [Foundation Item: The Key Project of CAS Ninth Five Year Plan, No. KZ951-A1-203-04]

作者简介: 陈建耀 (1966-), 男, 福建仙游人, 博士, 副研究员。主要从事水资源、水环境方面的研究, 已发表论  
文 30 多篇。E-mail: chjian@earth2.s.chiba-u.ac.jp

左右。我国人均粮食产量比世界平均数低 10% ~ 20%，人均耕地面积仅 0.093 hm<sup>2</sup>，大大低于世界人均 0.266 ~ 0.333 hm<sup>2</sup> 的水平，人均水资源量仅约为世界平均水平的 1/4。目前，我国人均年用水量约 500 m<sup>3</sup>，而美国是 2 400 m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>，发展中国家是 900 m<sup>3</sup><sup>[3]</sup>。中国农耕历史悠久，从汉朝至明朝，人均耕地一般维持在 0.533 ~ 0.8 hm<sup>2</sup> 之间，人均占有原粮超过 450 kg。清朝时，人口迅速膨胀，人均耕地和人均占有粮食急剧下降。至今，中国的人均粮食占有量未突破 400 kg。由于人口增长过快，人均耕地、水资源均呈下降趋势。农业生产率的提高，完全被人口增长抵销，限制了生活水平的进一步提高与改善。我国 1949 年以来人均耕地、水资源、粮食的变化曲线见图 2。

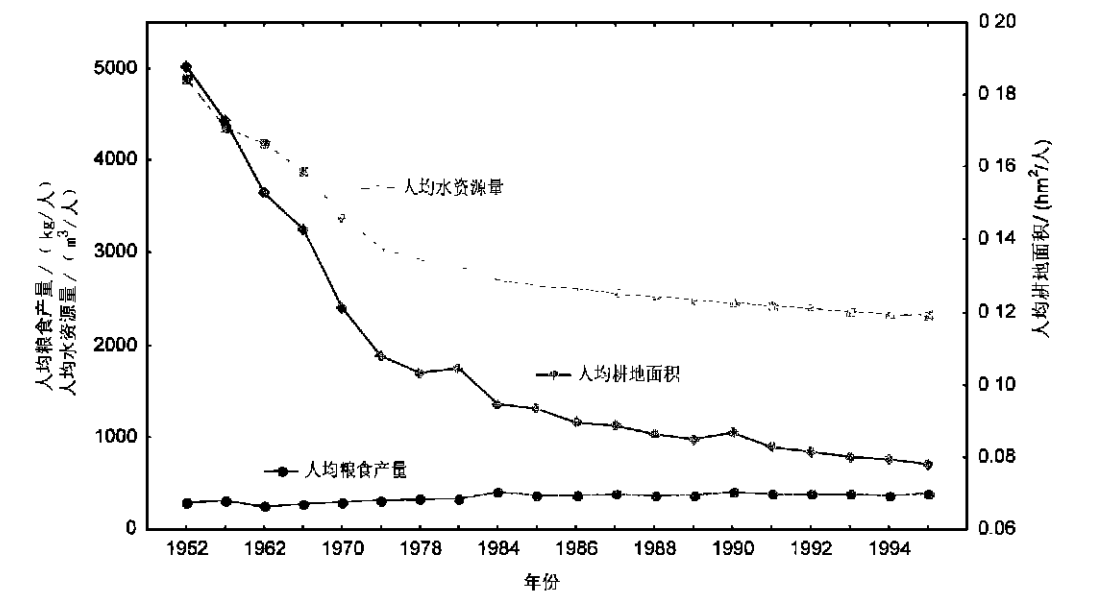


图 2 我国 1949 ~ 1995 年人均耕地、水资源、粮食变化过程

Fig.2 Arable land, water resource and food per capita of China from 1949 to 1995  
(1987 年以前资料来源于文献 [3]; 1987 年后资料来源于文献 [8]; 人均水资源  
系根据人口与水资源数据推算得到)

我国水、土资源的宏观配置不理想，长江流域及其以南地区，水量占全国 80% 以上，耕地面积只占 36%，长江流域以北地区，水量只占全国的 18%，耕地面积占全国 64%；特别是黄淮海地区，耕地占全国的 40%，水量只占全国总量的 6.6%。

在资源利用上，各种自然资源一般相互匹配才能发挥作用。如生产粮食，就需水、肥、热、气等多种资源配套。另如火力发电，煤耗和水耗的重量比一般为 1 : 25<sup>[4]</sup>。

据估算，我国每年由于水体污染造成的经济损失 400 亿元左右，大气污染造成的经济损失 300 亿元左右，固体废弃物和农药等的污染经济损失 250 亿元左右，三项合计约占国民生产总值 6.75%，而美国、日本等发达国家的环境污染经济损失占国民经济生产总值的 3% ~ 5%<sup>[5]</sup>。

我国经济发展速率与水资源利用的增加和其它资源消耗增长并不同步。后两者与产业结构、类型及布局密切相关。如 1953 ~ 1990 年间，中国人口增长近 1 倍，国民收入增长 9.4 倍，能源消费量却增长 17.4 倍<sup>[6]</sup>。相应地，水资源利用量在 1949 年仅有 1.031 × 10<sup>11</sup> m<sup>3</sup>，

1990 年已超过  $5.0 \times 10^{11} \text{ m}^3$ <sup>[7]</sup>。我国各地区水资源与经济的匹配见图 3。

世界各国经济发展一般都经历过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的过程。发达国家已基本完成这个过渡阶段，实现了需水零增长。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，从而达到需水零增长。

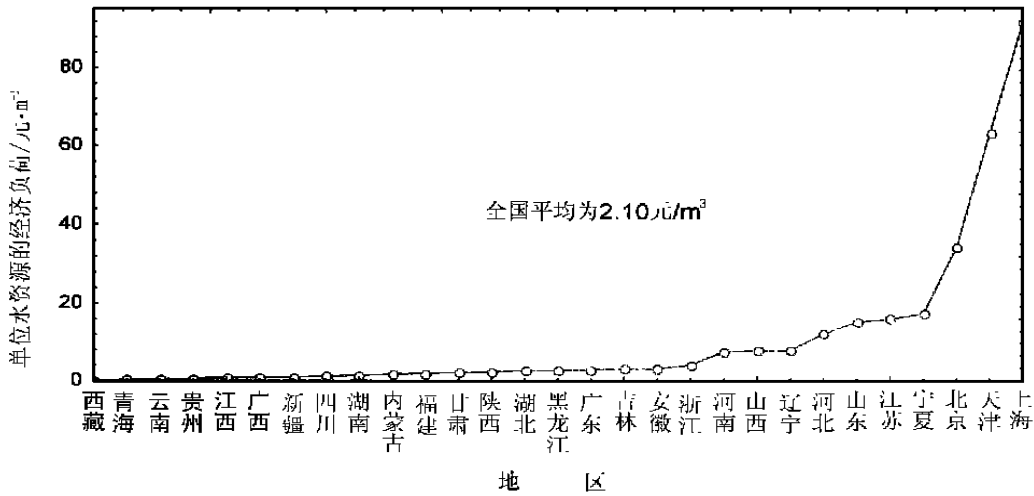


图 3 各省市水资源的经济负荷

Fig. 3 GDP per m<sup>3</sup> of water resource for each province of China  
(国内生产总值采用 1995 年数据, 资料来源: 《中国统计年鉴 1996》, p 43;  
水资源量来自 《中国水利年鉴 1990》, p620; 海南与广东合并计算。)

3 PRED 综合论证模式

PRED 综合分析强调的是以人为中心的综合协调, 其论证模式是指以人的生存、生产与发展对水资源需求为基础, 兼顾及人类生存环境需水, 对人口、资源、环境与发展各项用水需求进行全面、系统的诊断, 判别其中可能存在的问题, 并提出解决问题的方案和策略。

综合论证中, 有 2 个关键之处, 一是建立诊断或论证的流程, 即在 PRED 各项用水中确定水资源供应的优先级, 有限的水资源应首先满足哪些用水需求, 再满足其他用水需求; 二是选择恰当的指标值。指标值直接影响到论证的结果, 因而指标值的选择必须十分慎重。指标值本身并不是孤立的, 而是与一定区域的自然、社会、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。首先须考虑指标值的因地制宜, 即论证对象的区域不宜过大, 过大则该区域内部无法用统一的指标值进行论证, 这不利于区域内部子区域的对比分析; 其次, 指标值可以分几个档次, 如不妨将其分为高、中、低档三个档次分别进行论证。下面结合南水北调中线供水区内河南省的有关市、县进行水资源开发利用的 PRED 综合论证。

3.1 论证流程

与传统的水资源供需分析不同, PRED 综合论证需水是从人的基本需求出发, 即首先必

须满足人的饮用水, 其次是满足人的口粮供应而需要的粮食生产耗水, 再其次是满足工业生产与经济发展的需水, 最后是生态环境用水。这种论证流程是考虑到我国的经济水平及粮食对于国家安全、稳定的影响后确定的。在此基础上, 以一定的指标体系即可对论证对象逐个进行分析计算, 最终得到某个对象或区域的诊断结果及解决问题的对策。概括而言, 联系 PRED 诸方面, 诊断结果是饮用水、粮食生产用水、工业发展用水、环境用水是否满足要求? 哪些项满足、哪些项不满足? 水土资源匹配如何? 由此而提出可能的对策为: 调水、调粮、移民、适当增加耕地、控制工业规模与调整工业布局、节水与环境整治、维持一定的水资源战略储备等等。

3.2 指标值体系

考虑到不同的水资源利用目的及利用水平, 应给出不同档次的论证指标值。另外, 即便在某一档次内, 由于技术进步、节水投入的增加或节水管理政策与措施的引入, 某些局部的指标值也可能发生一定变化, 这种变化的原动力在于水资源短缺与环境污染加重的压力, 此种现象在工业用水方面特别明显。

在水资源利用中, 影响指标值体系的元素多种多样, 如某一区域中城市的规模、性质、农业与非农业人口的比例, 当地气候特征, 当地人的用水习惯等等。论证指标与指标值无法完全反映这些因素, 而只能从人的基本需求出发, 对诸多影响因素进行抽象与最大限度的概化, 并据此提出 PRED 诸方面的需水与论证指标值。

在 PRED 综合时, 首先要遇到人均水资源量的问题。一般地, 根据频率计算, 可以得到不同保证率下的水资源量。不同保证率的水资源与其他指标不同档次的指标值的耦合, 使得指标值体系愈加复杂。为方便起见, 不妨考虑以多年平均状态下的 PRED 用水最低需求为基础, 再根据实际论证需要与经验, 确定各种状态下的多档次指标值体系。

3.3 论证实例

针对南水北调中线供水区内河南省各县、市的实际, 确定了如下表的多年平均状态下的低档次指标值体系 (表 1)。

表 1 多年平均水资源状态下的低档次用水指标值  
Tab.1 Index of low water use under annual average status

人均年 饮用水 $/\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	人均粮食 $/\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$	人均粮 食需水 $/\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	人均耕地 $/(\text{hm}^2/\text{人})$	环境用水 占人均水 资源量/ $\%$	不同人均工业总产值下 ( $10^4$ 元) 的万元产值 取水量/ $(\text{m}^3/10^4 \text{ 元})$			
					1.0	0.75 ~ 1.0	0.5 ~ 0.75	< 0.5
22	360	320	0.053	5	120	180	240	360

对于上表, 需作以下几点说明: (1) 人均日饮用水按  $0.061 \text{ m}^3$  计, 是采用 1998 年水资源公报中河南省的人均日生活耗水量数据。(2) 水分利用效率按  $11.25 \text{ kg}/\text{mm} \cdot \text{hm}^2$ , 即每方水产粮食  $1.125 \text{ kg}$ 。(3) 粮食产量按  $6750 \text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$  计, 1994 年我国主要粮食作物单产分别是<sup>[8]</sup>: 水稻  $5830.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 小麦  $3426 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 玉米  $4693.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 大豆  $1735.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。(4) 万元产值取水量按不同人均工业总产值分 4 个层次确定, 若因水资源短缺而促进了工业节水, 则令万元产值取水量上升一个档次, 即由原先的 120、180、240、

360 m<sup>3</sup>/万元相应变为 80、120、180、240 m<sup>3</sup>/万元。(5) 河南省的一些指标的实际变化详见表 2。

表 2 河南省与 PRED 论证有关的部分指标值的变化\*

Tab. 2 Change of some indices related to PRED in Henan Province

年份	1972	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995
人均粮食/(kg/人)	299	297	348	385	346	353	409	362	382
人均工业总产值/(元/人)	244	289	515	1 210	1 404	1 848	2 734	3 824	5 203
小麦单产/kg·hm <sup>-2</sup>	2 250	2 265	3 345	3 435	3 240	3 495	3 975	3 735	3 645
玉米单产/kg·hm <sup>-2</sup>	2 790	3 180	3 225	4 410	4 065	4 110	4 845	4 035	4 890
大豆单产/kg·hm <sup>-2</sup>	795	1 005	1 170	1 350	1 290	1 245	1 695	1 665	1 890

\* 资料来源:《河南统计年鉴 96》,中国统计出版社,工业总产值指标按当年价格计。  
主要农作物单产按实际播种面积计算得到。

依据上述论证流程与指标值体系,建立 PRED 综合论证模式(图 4)。据此,对河南省境内南水北调沿线市县进行水资源利用的 PRED 综合论证。作为例子,以地级市为基本单元,综合相关数据,通过 PRED 综合模式运算,得到的诊断结果与方略见表 3。

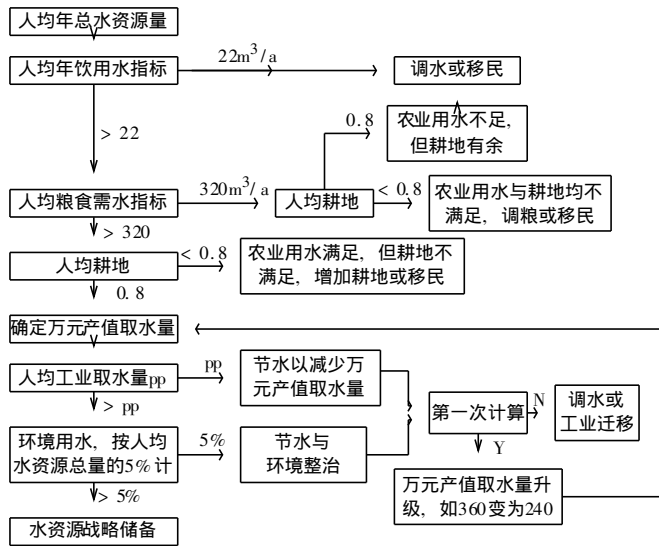


图 4 PRED 综合论证框图

Fig. 4 Flow chart for comprehensive evaluating PRED

4 结果讨论

本文的实例论证结果是基于一连串的抽象概化和假定而推得的。指标值选取的不同将直接影响到综合论证的结果。指标值的确定服从于具体的论证目标,本文以调水为目标,采用低档次的用水指标值来进行论证是适宜的,因为在一般情况下,调水的一个最基本前提

表 3 南水北调中线河南省境内地级市 PRED 综合论证的结果  
Tab. 3 Results of PRED evaluation for 8 cities of Henan Province

地级市	人均耕地 / (hm <sup>2</sup> /人)	人均工业总产值 / (10 <sup>4</sup> 元/人)	人均水资源 / (m <sup>3</sup> /人)	诊断结果与方略
安阳	0.062	0.75	310	农业用水不足, 但人均实有耕地高出指标值: 调水。
焦作	0.074	0.63	343	工业用水不足: 控制工业布局与规模, 节水以减少万元产值取水量, 调水或工业迁移。
鹤壁	0.089	0.68	353	工业用水不足: 控制工业布局与规模, 节水以减少万元产值取水量, 调水或工业迁移。
新乡	0.058	1.11	401	工业用水不足: 控制工业布局与规模, 节水以减少万元产值取水量, 调水或工业迁移。
郑州	0.032	1.18	249	农业用水不满足, 且耕地不足: 调入粮食或移民。
许昌	0.067	0.65	224	农业用水不足, 但人均实有耕地高出指标值: 调水。
南阳	0.091	0.35	780	水资源能够满足 PRED 需求。
平顶山	0.057	0.51	483	环境用水不足: 通过节水与环境整治之后, 可满足 PRED 需求。

是当地的水资源首先必须得到最大限度充分且合理的开发利用。此外, 以一个统一的指标值体系对某一地域的水资源利用进行 PRED 的综合论证, 至少从相对的意义上来看, 可以给出比较合理的论证与诊断结果。尽管如此, 此 PRED 论证模式也存在一些缺陷: (1) 由于过于概化, 地域上的差异性, 包括经济、自然、社会与环境等诸方面, 无法得到较好的反映。对此, 在论证与诊断结果的基础上, 可对具体区域作进一步的分析。(2) 论证区域不好确定。尽管从统计资料收集的角度来看, 行政区域比较方便, 但行政区域一般与水资源上的分区不一致, 即行政区域往往要涉及到区外来水, 这使得由 PRED 论证提出的方略可能与实际有差距。不管怎样, 由以上分析可知, 从人口、资源、环境与经济发展综合的角度来分析论证水资源开发利用的问题是现在及未来水文水资源学的一个重要发展方向。

参考文献 (References)

[1] McDonald A, Kay D. Water Resources: Issues & Strategies[M]. Longman Scientific & Technical, UK, 1988. 1~7, 56~110.

[2] Hu Huanyong, Yan Zhengyuan (ed.). Population Development and Survival Environment[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1992. (In Chinese) [胡焕庸, 严正元 著. 人口发展和生存环境[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1992.]

[3] Zhou Ping, Hu Angang (ed.). Human, development, future, choice[M]. Academy Book Press, 1990. 194. (In Chinese) [邹平, 胡鞍钢 著. 人类·发展·前景·抉择[M]. 学术书刊出版社, 1990. 194.]

[4] Huang Rangtang. Water shortage problem of Hai- Luan Plain[J]. Nature resources, 1982(4): 76~82. (In Chinese) [黄让堂. 关于海滦河平原的缺水问题[J]. 自然资源, 1982(4): 76~82.]

[5] Qu Geping (ed.). Environment and development of China[M]. Beijing: Chinese Environment and Sciences Press, 1992. 147, 209~225. (In Chinese) [曲格平 著. 中国的环境与发展[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 147, 209~225.]

[6] Zhang Shanyu (ed.). Chinese population geography[M]. Beijing: Business Press, 1997. 11~28. (In Chinese) [张善余 著. 中国人口地理[M]. 商务印书馆, 1997. 11~28.]

[7] Liu Changming, He Xiwu (ed.). The strategy of water problem for the 21st century in China. Beijing: Science Press, 1996. (In Chinese) [刘昌明, 何希吾 著. 中国 21 世纪水问题方略[M]. 北京: 科学出版社, 1996.]

[8] Institute of Land Development and Regional Economy, Land Department of National Planning Committee (ed.). Report of Chinese Population Resources and Environment in 1996[M]. Beijing: Chinese Environment and Science Press, 1996. 44. (In Chinese) [国

家计委国土开发与地区经济研究所, 国家计委国土地区司编. 1996 中国人口资源环境报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 44.]

## A PRED Synthetic Analysis Approach to Regional Water Resources Use and Transfer

CHEN Jianyao<sup>1</sup>, YU Jingjie<sup>2</sup>, LIU Changming<sup>2</sup>

(1. *Dept. of Earth Sciences Faculty of Sciences, Chiba University, Chiba 263-8522, Japan;*

*2. Institute of Geography, CAS, Beijing 100101*)

**Abstract:** Water transfer is a measure to solve water shortage problem, which must be based on efficient utilization of local water resources. Also, water use and water transfer has much to do with population, resources, environment and development (PRED). Only if all these four aspects and their coupled effects have been considered, would the water transfer scale for different goals such as the basic survival need, the highest economic output, the best eco-environmental effect, the most stable social security and sustainable development, and a relatively satisfactory result considering all the above aspects be given. So, PRED synthetic analysis is a very important approach to discuss how the water resources are used and how much water needs to be transferred for a region.

PRED synthetic analysis is human-oriented. According to the economic development level and the importance of food security in China, the analysis flow of water demand in a region is firstly to consider water requirement for human survival, production and development which is fundamental, then to consider water demand in the human survival environment. By thoroughly diagnosing water demand in every aspects related to population, resources, environment, and development, problems can be found out and the strategies and countermeasures for solving the problems can be given so that water resources management can be best served.

The index value for PRED synthetic analysis with different levels such as high, medium and low should be carefully chosen based on local social and natural conditions and be varied with scientific improvement and readjustment of rules and regulations. The analyzing unit should not be too big, in case when a uniform index within an area is used to do comparative analysis.

This paper takes water resources use in Henan province as a case study and presents the result and use strategy.

**Key words:** water resource use and transfer; PRED; synthetic analysis