



我国水利的基本战略及其 实施研究*

文/吴季松

北京航空航天大学中国循环经济研究中心 北京 100191

【摘要】 2011年7月份的全国水利工作会议把治水提升到治国的高度,提出了我国水利基本战略的指导方针,要求加快确立水资源开发利用总量控制的3条红线。笔者根据26年来对水资源的研究,提出了我国水利发展的基本战略并具体确立了以下3条红线:在2020年以前,把水资源开发利用总量控制在6 700亿 m^3 /年;以单位GDP用水的世界平均水平为总考量,使我国的用水效率达到2010年的世界平均水平;到2020年使我国按水功能区划分的纳污总量不超过580亿吨废污水(经处理的按系数折算)。

【关键词】 治水战略,总量控制,动平衡态模型,三条红线

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2012.04.011

随着人口增长、经济社会发展与全球气候变化,在21世纪上半叶我国正进入中度缺水国家行列,只有实施用水总量控制战略,才能保障我国可持续发展。

胡锦涛总书记在全国水利工作会议上明确提出了我国水利基本战略的指导思想,并要求:加快确立水资源开发利用控制、用水效率控制、水功能区限制纳污3条红线。本文提出我国水利的基本战略是:通过严格管理,用3条红线控制水资源的开发利用、总量控制、以供定需、双向调节,从质和量上维系水资源供需双方的动态平衡。

* 收稿日期:2012年2月13日

1 世界与中国的水情及其指标体系

确立水利战略有3项基本要求:一是准确分析水态势,二是以科学发展的观念指导研究,三是有正确的考量指标体系。

1.1 世界水情

近年世界水资源总量的年平均值稳定在43万亿 m^3 ,基本上未受气候变化影响,但由于人口增加(现70亿),人均均为6 143 m^3 /人,较上个世纪末约有15%的降幅(超过统计规律的阈值)。

但是,近1/2的水资源分布在以下6个国家(单位:万亿 m^3):巴西(5.42)、俄罗斯(4.31)、加拿大(2.85)、印度尼西亚(2.84)、美国(2.80)、哥伦比亚

(2.11)。其他各国水资源总量仅为 23 万亿 m^3 , 人均水资源量仅为 $3\,750\text{m}^3/\text{人}$ 。

根据后面陈述的标准, 世界目前总体是不缺水的, 但由于水资源分布不均, 缺水的国家与地区已占 1/3。随着人口的增长和全球气候变化, 人均水资源量会持续以较大幅度下降。国际水资源专家对于世界将进入缺水状态已达成共识, 仅对缺水程度认识不同而已。

1.2 中国水情

从我国来看, 1950—1999 年水资源总量的年统计平均值为 27 950 亿 m^3 , 2000—2010 年有所下降, 年均均为 26 500 亿 m^3 , 下降 5.2%, 在统计波动的正常范围内, 我国 61 年年均水资源总量为 27 700 亿 m^3 。

由于我国人口增长较快, 人均水资源量呈明显下降趋势, 2000—2009 年的平均值已经下降为 $2\,020\text{m}^3/\text{人}$, 即将进入中等缺水国家行列。如以 2010 年第三次人口普查结果全国人口 13.7 亿计算, 则已低于 $2\,000\text{m}^3/\text{人}$ 。

1.3 水情的考量标准

1992 年笔者在联合国教科文组织 (Unesco) 科技部门任高技术与环境顾问时, 组织力量查遍联合国已有的 110 个国家、302 个地区的水资料, 并补充收集了 66 个地区, 整理分析, 取统计平均值制定出以下具体标准:

人均水资源量 $> 3\,000\text{m}^3/\text{人}$ 为丰水;

人均水资源量 $2\,000\sim 3\,000\text{m}^3/\text{人}$ 为轻度缺水;

人均水资源量 $1\,000\sim 2\,000\text{m}^3/\text{人}$ 为中度缺水;

人均水资源量 $500\sim 1\,000\text{m}^3/\text{人}$ 为重度缺水;

人均水资源量 $< 500\text{m}^3/\text{人}$ 为极度缺水;

人均水资源量 $300\text{m}^3/\text{人}$ 左右为维系可持续发展的最低标准。

20 年来的实际证明, 这一标准符合笔者到过的世界 86 个国家和我国 34 个省市自治区与特区的实际情况, 对当时世界水趋势的预见也是正确的, 目前看来除 6 个丰水国家外到 2050 年其他国家人均水资源量将低于 $3\,000\text{m}^3/\text{人}$, 即世界大部分地区将由丰水进入缺水状态。

此前国际上还有一个人均水资源的标准, 即瑞典水文学家弗肯马克 (Malin Falkenmark) 于 1989 年提出的弗肯马克指标, 主要针对非洲情况, 即:

人均水资源量 $> 1\,700\text{m}^3/\text{人}$ 为用水不紧张;

人均水资源量 $1\,000\sim 1\,700\text{m}^3/\text{人}$ 为用水紧张;

人均水资源量 $500\sim 1\,000\text{m}^3/\text{人}$ 为缺水;

人均水资源量 $< 500\text{m}^3/\text{人}$ 为极度缺水。

笔者 1992 年组织制定指标时, 联合国教科文组织仅有 $1\,700\text{m}^3/\text{人}$ 为缺水线的粗标准。两个指标相比, 笔者的多了丰水指标, 并预见 20 年后世界人均水资源的趋势, 轻度用水紧张线划在 $2\,000\text{m}^3/\text{人}$, 则是针对水环境恶化与水生态破坏, 更多地考虑了生态用水, 21 世纪以来世界生活与生产人均水资源用量为 550m^3 , 70% 以上为生态用水也更为合理; 此外, 针对世界严重缺水地区不断增加, 制定了 $300\text{m}^3/\text{人}$ 的维系可持续发展最低标准, 对跨流域调水与缺水移民有十分重要的参考价值。因此笔者主持制定的标准更为科学适用。

当然, 笔者的上述标准也只是生活与生产需水标准, 是不全面的, 如沙漠中的绿洲, 地旷人稀, 人均水资源量可能很大, 但水生态系统恶劣而脆弱, 同样难以保障可持续发展, 于是同时确立了“生态水”的概念, 建立了地表径流深的水生态标准 (见表 1)。



中国科学院

表1 地表径流深的水生态标准

分区 \ 状况	降雨量(mm)	水资源总量折合地表径流深(mm)	产流系数	植被状况
十分湿润带	>1 600			热带雨林
湿润带	1 600 ~ 800	>400	>0.6	温带阔叶林
较湿润带	800 ~ 600	>270	>0.5	森林为主
半湿润带	600 ~ 400	>150	>0.4	乔灌木结合
半干旱带	400 ~ 200	>70	>0.3	草原为主
干旱带	200 ~ 100	>30	>0.17	稀疏植被
极干旱带	<100			荒原

生活、生产与生态这两个子系统的标准就构成了人类对水资源的生活、生产和生态3种基本需求的、至今最科学的标准。

2 水资源供需平衡模型的建立

笔者自1985年起进行了26年的实地调查和理论研究,创立和完善了水资源总量控制工程管理动态平衡态模型。

该模型的主旨是在流域(大水文系统)尺度内对水资源实行总量控制,达到供需平衡状态,从而以水资源的可持续利用保障可持续发展。根据水资源循环的规律,总量控制以年为时间单元有如下模型:

水资源总需求 WD = 水资源总供给 WS (数学推导略)

其中水资源总需求 WD 包括:生活用水 DI 、生产用水 Dp 和生态用水 De ,

$$WD = DI + Dp + De$$

水资源总供给 WS 包括:地表水 Wg 、地下水

Wu 和再生水 Wr ,

$$WS = Wg + Wu + Wr$$

即 $DI + Dp + De = Wg + Wu + Wr$, 如图1。

通过工程建设与运行的管理在流域范围内双向调节,维系生活用水、生产用水和生态用水三生需求与地表水、地下水和再生水三源供应之间的动态平衡。这一模型将传统的以需定供工程思维方式转换为以供定需。这一平衡不是静止的平衡,而是动态的平衡;不是算术的平衡,而是函数的平衡;不仅是数量的平衡,也包含质量的动态平衡。这样才能科学、全面地分析,达到人与自然的和谐,才能保证经济发展、饮用水与国家安全。

依据水文学和生态学,水资源分布及其所支撑的生态系统是以流域为单元的,因此人与自然的和谐的水资源利用系统应与流域相吻合,即以流域为模型系统分析的边界。这一模型不仅是水资源供需平衡的保障,也是水环境治理与水生态修复的保证,还是解决资源短缺型水环境问题的直接手段。

3 水资源供需平衡模型的边界条件

三条控制红线的确立

水资源供需平衡模型的系统范围是流域,边界条件是3条控制红线。

3.1 水资源开发利用控制红线

水资源开发利用控制红线确立的基本指导思

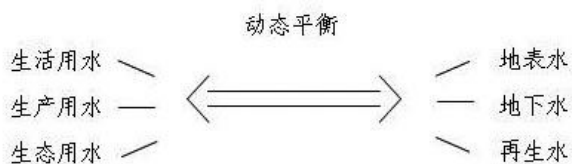


图1 水资源供需平衡模型示意图

想是实现 可持续发展 要求 以人为本 并且 充分考虑水资源的承载能力。

进入 21 世纪以来世界人均水资源使用量约为 $550 \text{ m}^3/\text{人}$ 。我国现在人均水资源使用量为 $440 \text{ m}^3/\text{人}$,水利部提出到 2020 年水资源使用总量控制在 6 700 亿 m^3 ,即约 $465 \text{ m}^3/\text{人}$,比目前世界平均水平低 15%。鉴于我国届时已成为中度缺水国家 ,低于世界平均水平是必要的 ,略高于 15% 的统计规律属于正常波动范围 ,应不影响可持续发展。

同时 ,要看我国水资源总量能否支撑这一需求。我国 60 年平均水资源量为 27 700 万亿 m^3 ,据联合国教科文组织的多国统计平均研究 ,取用水量应在总水资源量的 25% 以下 ,才不会对生态系统产生较大影响。预计 2020 年我国取用水量相当于总量的 24.2% ,已接近可取用的极限。所以水利部提出的 2020 年水资源开发利用控制红线是科学的。

3.2 用水效率控制红线

确定用水效率控制红线的指导思想是转变经济发展方式 ,实现资源利用的科学发展。我国经济正处于依赖自然资源的快速发展阶段 ,所以必须要实施用水效率控制。

2010 年我国每立方米水的产出是 10.0 美元 ,而 2007 年世界平均水平是 17.2 美元 ,也就是说我国的用水效率仅及世界平均水平的 58% ,如果 2020 年能把我国的用水效率提高到世界平均水平 ,那么就完全能以 6 700 亿 m^3 的用水使 GDP 再翻一番 ,此后用水将进入不与 GDP 线性相关阶段。

这就要求我国自 2011 年起到 2020 年每年把单位 GDP 水耗降低 7%。这也正是 十二五 规划纲要的要求。

3.3 水功能区限制纳污红线

水功能区即把全国江河湖库水域根据生活、生产和生态的需求划成其功能满足上述需求的区域 ,纳污红线即在不同功能区域

定量地确定纳污的最大值 ,这一水功能区限制纳污红线确立的基本指导思想是 人与自然和谐 ,充分考虑水环境的承载能力。

笔者在水利部任职期间曾全力进行了水功能区划定工作 ,到 2011 年才全部完成。水功能区限制纳污的依据是水域纳污总量的概念 ,即在某一水域全年从地表收纳、地下水交换和内源产生的废污水总量。如 2009 年我国废污水排放总量为 768 亿吨 ,为我国水资源总量的 2.9% ,其自降解污净比为 $1/34.7$,一般水域地表水自降解能力约为 $1/40$,即每年多排废污水 220 亿吨。

因此要达到我国水域纳污限制 ,以 2009 年为基准要减少 220 亿吨/年的废污水排放 ;或者对 440 亿吨废污水进行一级处理(处理后降解污净比可达 $1/20$)后达标排放 ,即全国废污水一级以上的总处理率应达到 60% 以上。

4 当前水环境恶化与水生态系统退化问题突出

当前我国的水问题仍然是水利界提了 20 年的 水多、水少和水脏 3 大问题 ,但是 ,无论是客观情况还是主观认识都有所变化。

对于 水多 ,自 1998 年大洪水以来 ,总体而言 ,洪涝灾害没有加剧 ,但却不可掉以轻心。人们认识的变化是从 以堵为主 变成 以疏为主 ,堤防建设似以 百年一遇 洪水为主 ,所谓 百年一遇 即在过去历史上有记载的每百年内出现最大洪水的平均值。大于百年一遇的考虑 ,如以 千年一遇 为标准存在如下问题 :一是依据的水文记录序列仅 60 年 ,外推的科学性似嫌不足 ;二是从概率论讲 ,千年一遇的洪水既可能发生在堤防尚未建成的第二年 ,又可能发生在一切均不可预测的第 999 年。同时 ,应尽可能保护原生河道(可以绿化) ,不宜为提高房价而侵占



中国科学院

城市河道,临水建城。

对于水少,目前全国总缺水约530亿 m^3 /年,从客观上讲,加剧的趋势已成为国际共识。新的主观认识就是对水资源的开发利用要实行总量控制。

对水脏而言,水的质与量是不可分的,水资源的过度开发利用是水脏的主要成因,一方面大量用水产生了大量的废(工业排出)污(生活排出)水,污染了水环境,主要指对江、河、湖、库的水污染;另一方面过度用水又从水量上大大减弱了水生态系统的自净能力,使之退化,主要指河流断流、湖泊萎缩、湿地干涸、地下水位下降。目前全国水域水功能区达标率仅为47.4%,问题严重。

目前在主管部门的严格监督下、在所属科研部门(其任务主要是应用研究)的有力支持下水污染治理和水生态修复均取得了一定成绩,如1999年在水利部党组和北京市委领导下笔者主持制定的《21世纪首都水资源可持续利用规划》和《黑河治理规划》、《塔里木河治理规划》3个第一批国家级生态修复规划及黄河重新分水方案,朱镕基总理批示为“一曲绿色的颂歌”,温家宝总理批示为“提供了宝贵的经验”,且至今经得起检验。

笔者基本同意国内外有代表性的、有重大影响的这种观点:当前最大的危机是不少地方水环境恶化。我们决不可陶醉于已有的成绩,而应十分重视工作中的薄弱环节和危机。中国未来面临的最大威胁可能是无法获得足够的洁净水。

4.1 一个薄弱环节是现在偏重环境工程技术研究,而环境工程科学研究与形势要求有差距

环境科学在国际上是一门新兴的交叉学科,不是公共卫生与化学的简单结合,它是生态学、系统论、化学、生物学、水工学、水文学与经济学的融合。鉴于它是大系统分析与实证性极强的学科,需要研究者有很强的英文浏览能力来了解世界的情况,但目前的问题是甚至连有些重要标准的翻译中还存在还有错误;同时,在世界范围内都几乎没有80年以上的系列生态记录资料,所以科学家本人只有尽可能多地实地考察世界各类水环境与生态

系统的典型,才能对我国的研究起到真正的借鉴作用,既不能闭门造车,也不能只靠参加国际会议道听途说须有保住我国河湖健康的责任感。

4.2 另一个薄弱环节是环境工程科学与环境工程技术有脱节现象

目前,对于我国适宜环境技术为主的研究方向不够明确,使环境工程科学与环境规划缺少支撑,不少突出问题难以解决。科技人员要准确把握科技发展的新形势。

4.3 一个危机是大量水生态修复规划起不到实际作用

目前花巨额资金制定了大量的水环境治理与水生态修复规划,基本上已覆盖了地市一级,重复规划也屡见不鲜。但是由于科学的理论基础、具体的实践经验、深入的实地考察和认真的工作作风均不足,相当多的规划被实际执行者束之高阁,起不到指导实际工作的作用。

4.4 另一个危机是如何解决水环境问题

在科学上,需要学科交叉,不能各立学派;在管理上,应该部门协调,不能九龙治水;在思路,应多维考虑,不能单打一,如节水就是防污是重要的新思路,农业的面源污染已经成为重要的组分;不解决水环境问题,就不可能有真正的“绿色食品”;无害农药与可降解化肥的研究已成为当务之急;居民对饮用水信任度日益降低,只能采用瓶装水、罐装水和净水器等既不科学、又不经济的办法自行解决;突发重大水污染事件缺少有效解决技术等一系列问题将直接影响民生,必须加以解决。

5 几个值得进一步研究的问题

5.1 用水宏观战略思路的调整

实现用水总量控制除以供定需、严格管理、节水和再生水回收利用等政策以外,还应加强基础与前沿研究,主要方面如下:

(1)大规模调水可能不如调整粮食产地。由于我国水资源量80%以上分布在南方,中国历史上一直是“南粮北运”,充分利用了南方的水资源。当

年秦始皇建长城,基本与400mm降水线重合,对农牧区已有较科学的认识。目前我国60%的粮食由北方生产,南、北方吨粮产量用水大体相当,而54%的农业用水在仅占全国水资源量20%的北方。在半干旱地区种粮,造成缺水;把牧业向北压至贫瘠草原,又造成过度放牧。这种逆动只是近百年来的事,目前粮田北移的历史原因已基本不存在,应该以单位粮产取水为标准,提高农业用水效率,促进粮田逐步南归。

(2)大规模调水可能不如控制城市人口数量。目前在城市化进程中人口向大城市过度集中,造成城市水资源严重短缺和交通拥堵等一系列问题,应以水(本流域)控人,用人均水资源量为标准,借鉴国际经验,把大城市人口控制到合理规模。

(3)建立“大粮食”的概念。在保证食物(包括谷物、肉类、油类、鱼类、蔬菜与水果产量)的前提下,以用水效率为标准通过改变农业的产业结构和种植业的种植结构节水;同时,对采煤等工业用水大户进行煤层气等技术改造,大量节水。

5.2 水资源总量控制的基础是明晰水权

对水资源利用进行总量控制第一要素是明晰水权(包括取水权和排污权),其分配要有法可依。要多学科综合研究水权理论,结合我国实际确立水权配置的原则,借鉴国外经验确定初始水权。以我们的原则影响国际,防患日益严重的国际河流问题于未然。应立《水资源管理法》,依水权、水价、水市场的思路建立和完善取、退水许可制度、水资源税制、合理水价机制、水市场准入制度和交易(包括排污权交易)规则等一系列法规,做到依法行政。

5.3 以科学态度做好实用的水规划

切实做好水资源管理、水环境治理和水生态修复的规划,建立核查机制。在有法可

依、执法能力强化的条件下,规划的制定显得尤为重要。科技界存在的浮躁在规划制定上也有所沾染,应予整顿。选题要急国家之所急,如2001年中央领导同志就提出南水北调(东线)是否会影响环境与生态,应专门研究。但是,至今仍未开展相关工作。

应建立跨部门(包括学术部门)的第三方评估机制。水规划和研究项目审查委员会(成员不承担重大项目)对项目进行认真评价,并建立长效机制追究责任。

5.4 强化水管理的科学技术支撑

目前,存在重视水资源、水环境与水生态工程技术研究,而忽视其工程科学研究的倾向,因此也造成水工程技术对我国适宜技术研究不足。

首先水资源、水环境与水生态是新的交叉学科,没有一批具有多学科综合知识的专家,只凭传统学科的延伸,照搬国外成果,甚至当标签来用,就难以对工程技术的研究做科学指导。

其次水资源、水环境与水生态工程技术的研究方向,第一位的不是达到国际最高水平,而是选择最适宜我国的技术,这样才能推广。

因此,建议改组、扩大各级相关专家委员会,建立良好的学风与科学的氛围,选好题目,做好成果应用效益的评价,使得水管理有强大的科技支撑。

5.5 加强涉水各系统干部培训,并在大学设新专业

由于新治水战略源于创新学科,因此要在综合研究和广泛深入借鉴国内外实践的基础上编写好培训和教学材料,改变过去各写一章、加以拼凑的做法,编写理论浅显易懂、密切结合实际的新型教材,一定会引起广大干部和师生兴趣。笔者已做过尝试,受到欢迎,可以采用国外在电视上公开讲演的



中国科学院

办法,进行评价统计,让听众自择优劣。

5.6 建设一支高素质的水利人才队伍

要建立一支门类齐全、层次分明的水利人才队伍。既要有水工、水污染治理技术的专家,又要有学贯古今熟悉水情和治水历史与现状,学贯中西熟悉国内外治水的实践和经验的专家,还要有兼通系统论、生态学、管理学、水文学和经济学的复合型专家。

各级研究人员都应当不断学习,而不是排斥新学科知识,缺什么,补什么。在此基础上正确认识权威,在科学面前人人平等,不能自我陶醉而固步自封,要在科技领域,大力营造敢为人先、敢于创造、敢冒风险、敢于怀疑批判和宽容失败的环

境,鼓励自由探索,发扬学术民主,提倡学术争鸣。出新思路,出新人,出新型研究机构和新机制,这是我国把治水提升到治国高度的基础。

我国能在短短30年发展为世界经济第二大国,有了这样一支队伍,我们也一定能在20年内把水资源治理到国际最高水平。

主要参考文献

- 1 吴季松. 中国可以不缺水. 北京: 北京出版社, 2004.
- 2 (瑞典)弗肯马克 诺克斯托姆. 人与自然和谐的水需求——生态水文学新途径. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- 3 中国统计年鉴2011. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- 4 国际统计年鉴2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.

Research on the Basic Strategy of China Water Conservancy and Its Implementation

Wu Jisong

(Center for Studies on China's Circular Economy, Beijing University of Aeronautics and Astronautics

100191 Beijing)

Abstract The national water conservancy conference raised the water management to the height of nation management in July 2011. It put forward the guidelines for the Basic Strategy of China Water Conservancy and proposed to speed up the establishment of the three red lines that control the total water resources' consumption for exploitation and utilization. Based on the author's twenty six years' research on water resources, This paper proposed the basic water strategy and established the following specific three red lines: to keep the total water consumption for development and utilization at 670 billion per year before 2020; In terms of GDP per unit of water use, to raise the water use efficiency to the world average at 2010; To make the total amount of waste water and sewage that divided by water function zone no more than fifty eight billion tons (The treated water should be calculated according to the weight.) by 2020.

Keywords water management strategy, total control, dynamic equilibrium model, three red lines

吴季松 中国技术经济学会副理事长,北京航空航天大学中国循环经济研究中心主任,博士生导师。1944年出生,工学博士。全国优秀科技工作者,瑞典皇家工程科学院外籍院士。曾任全国节水办公室常务副主任,水利部水资源司司长。E-mail: js_wub@buaa.edu.cn