

## 以系统思维科学防治水污染

吴季松 瑞典皇家工程院外籍院士 北京航空航天大学“蓝天清水智库”主任 原  
全国节水办公室常务副主任 水利部水资源司司长 原联合国教科文组织科技部门  
高技术与环境顾问

4月16日,国务院正式发布《水污染防治行动计划》(简称“水十条”),将实施最严格的源头保护和生态修复制度,节约保护水资源,全力保障水生态安全。“水十条”提出,到2020年,长江、黄河等七大重点流域水质优良比例总体达到70%以上,地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在10%以内。到2030年,全国七大重点流域水质优良比例总体达到75%以上,城市建成区黑臭水体得到消除,城市集中式饮用水水源水质达到或优于Ⅲ类比例总体为95%左右。到本世纪中叶,生态环境质量全面改善、生态系统实现良性循环。这是令人欣慰的目标,也是一项十分艰巨的任务。

水污染防治是我国新时期发展中一件刻不容缓的大事。改革开放以来,我国水污染现象日益凸显,从1995年至今突发水环境事件1.1万起,平均每天1.5起。我国地表水已有近1/10失去使用功能;1/4的重点湖库呈高营养状态;地下水水质监测点中,较差的逾6成,极差的近1/6;全国9个重要海湾中,6个水质为差或极差。

我国水资源总量也在连年下降。1950—1999年,我国水资源总量的年统计平均值为27950亿 $m^3$ 。但近15年,年均水资源总量已下降为26800亿 $m^3$ 。人均水资源量下降趋势更为明显,2000年至2014年的平均值已达1990 $m^3$ /人,进入中等缺水国家行列。

这种状况严重影响了人民生活和经济发展,给子孙后代留下了隐患,亟须采取坚决有力的措施科学治理、严格保护。

制定科学的水情考量标准

要掌握真实的水情,需要有科学的考量标准。

1992年,笔者在联合国教科文组织科技部门任高技术与环境顾问,主持制定了水资源与环境标准,被美、法和越南等多国引用。

以前联合国教科文组织只有以人均1700 $m^3$ 为缺水线的粗标准。为制定水资源与环境标准,我们组织力量遍查联合国110国、302个地区的水资料,经整理分析,取统计平均值得出了具体标准:人均水资源量在3000 $m^3$ 以上为丰水;2000 $m^3$ —3000 $m^3$ 为轻度缺水;1000 $m^3$ —2000 $m^3$ 为中度缺水;500 $m^3$ —1000 $m^3$ 为重度缺水;低于500 $m^3$ 为极度缺水;人均水资源量300 $m^3$ 左右为维系可持续发展的最低标准。

事实证明,这一标准符合世界大部分国家和地区的实际状况。从目前看来,除6个丰水国家外,到2050年其他国家人均水资源量将低于3000 $m^3$ ,即世界大部分地区将由丰水进入缺水状态。

针对世界严重缺水地区不断增加,我们定出了300 $m^3$ /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。

考虑到上述标准只是生活与生产的需水标准,如沙漠绿洲地旷人稀,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,我们同时确立了“生态水”的概念,建立了地表径流深的水生态标准(见附表)。

附表:

状况分区	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	>1600			热带雨林
湿润带	1600—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

水资源、水环境和水生态是水的三大子系统，是一个统一体，不可分割。没有水资源就无所谓水环境，没有好的水生态系统就不可能有好的水资源（量）和好的水环境（质），过去的认识误区就在于分割了这一共同体，形成了“九龙治水”的不利局面。

有了对实际情况的科学认识，还必须有理论指导。笔者自 1985 年起持续进行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模型。

该模型的主旨是在流域内对水资源实行总量控制，达到量与质供需平衡状态，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，有模型如下：

水资源总需求  $WD$  = 水资源总供给  $WS$

其中水资源总需求  $WD$  包括：生活用水  $Dl$ 、生产用水  $Dp$  和生态用水  $De$ ， $WD = Dl + Dp + De$ 。

水资源总供给  $WS$  包括：地表水  $Wg$ 、地下水  $Wu$  和再生水  $Wr$ ， $WS = Wg + Wu + Wr$ 。

$Dl + Dp + De = Wg + Wu + Wr$

这一模型将传统的“以需定供”工程思维方式改为“以供定需”，通过工程建设与运行管理在流域范围内实施双向调节，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，也包含质量的平衡。这样才能科学、全面地分析，达到人与自然和谐，才能保证经济发展、各种用水与水生态系统安全。

依据水文学和生态学，水资源的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，也是水污染治理的依据。

守好三条“控制红线”是节水关键

节水是水污染防治的关键所在。节水可从两个方面防治水污染：净水增多可增加水的自净能力，增加水环境容量；少用水便可减少污染物排放。因此，水环境防治的前提是控制用水。不认识“节水优先”，只强调大建污水处理厂是理论与措施的误区。

要切实节水，关键是要守好三条“控制红线”。

水资源开发利用控制红线

确立我国水资源开发利用控制红线，其基本指导思想是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  $550\text{m}^3/\text{人}$ 。我国目前人均水资源使用量为  $440\text{m}^3/\text{人}$ ，水利部提出到 2020 年将水资源使用总量控制在 6700 亿  $\text{m}^3$ ，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。

从水资源总量来看，我国 60 年平均水资源量为 27700 万亿  $m^3$ ，据联合国教科文组织研究，取用水量应在水资源总量的 25% 以下，才不会对生态系统有较大影响。预计我国 2020 年取用水量相当于总量的 24.2%，已经达到水的可取用极限。所以，水利部提出的 2020 年水资源开发利用控制红线是科学且符合我国实际的，必须牢牢守住。

#### 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，在资源利用方面实现人水和谐。这对处于依赖自然资源快速发展阶段的中国十分重要。

2013 年，世界每立方米水的平均产出水平是 20.4 美元，而我国 2014 年的平均水平是 14.4 美元，仅及世界平均水平的 70%，目前仍在降低。如果 2020 年能把我国用水效率提高到世界平均水平，那么我国就完全能以 6700 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 2015 年起到 2020 年单位 GDP 水耗每年降低 5% 以上。要在循环经济概念的指引下，充分发挥市场配置水资源的作用，在各行各业都树立万元 GDP 用水递减的概念，推动经济结构转型升级。

#### 水功能区限制纳污红线

水功能区限制纳污红线的确立，基本指导思想是“人类活动与自然资源和谐”。

2011 年，我国完成了水功能区的划定工作。水功能区限制纳污的依据是水域纳污总量，即某年某一水域通过地表收纳、地下水交换和水体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。要达到我国水域纳污限制，以 2009 年为基准，还要减少 220 亿吨/年的废污水排放，或对 440 亿吨废污水进行一级处理（经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。

#### 贯彻“水十条”应特别注意的突出问题

##### 科学应对当前水生态系统退化的严峻形势

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。目前，我国水域水功能区达标率仅为 47.4%，问题严重。一方面，大量用水产生了大量的工业废水、生活污水，污染了水环境；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，使河流断流、湖泊萎缩、湿地干涸、地下水水位下降，造成水生态系统严重退化。因此，必须采取措施遏制水生态系统退化态势。

##### 调整水资源利用的宏观战略思路

实现用水总量控制除以供定需、严格管理、节水和再生水回用等政策以外，还应考虑如下方面：

依据水资源整体布局调整粮食产地。由于我国水资源总量的 80% 以上在南方，中国历史上多是“南粮北运”，充分利用了南方的水资源。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% 的农业用水集中在仅占全国水资源总量 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，这些都大大削弱了北方水资源的自净能力。这种逆动只是近百年来事，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。

调整产业结构，在保证食物产量的前提下，以用水效率为标准改变农业的产业结构和种植业的种植结构；对采煤等工业用水大户进行煤层气等技术改造，实现大量节水；依据当地水资源状况调整产业结构。

大力保护水源地，尤其是大江大河源头和饮用水水源地。具体措施为退耕还林、封山育林，造林要造混交林，保证土壤的蓄水能力，最大限度减少水土流失。

##### 在明晰水权的基础上实施水资源总量控制

对水资源进行总量控制首先要明确水权（包括排污权），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原则，借鉴国外经验确定初始水权，并面向国际明确宣告中国原则。依水权—水价—水市场的思路建立和完善取水、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，依法“治水”。

#### 科学制定水污染治理规划

切实做好水资源管理、水环境治理和水生态修复规划。在制定规划之前，要进行深入的、长期的实地调查，针对国家急需，因地制宜地制定规划，并建立具有可操作性的核查机制。绝不能搞“规划、规划，墙上挂挂”这种不接地气、百姓反感的形式主义。

#### 建立规划制定责任制促进规划实施

实际上，我国当前已出台一套水环境治理与水生态修复的相关规划，基本覆盖了地市一级。但因为科学的理论基础、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，相当多规划被实际执行者弃之高阁，起不到指导实际工作的作用。必须下大气力改变。其中，最重要的是依法“明确和落实各方责任”并“强化公众参与和社会监督”，尤其是要明确规划制定者的责任。各级规划制定者负有重要责任，必须建立规划制定责任制。应当参照国际惯例，建立专家（1/2来自非同行的相关学科）、具体实施的各级干部（1/3为基层，1/3为退休）和当地公众代表（1/2为水污染受害者）各占1/3的规划评审委员会。委员会拥有否决权，并与媒体合作，全程监督规划实施，要依据各地定期公布的水质数据建立跟踪记录，随时查找问题，直至最终对规划实施效果作出评定。规划本身存在问题的，应依规、依法追究制定者的责任。

#### 强化水环境治理的科学技术支撑

我国污水治理中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。环境科学作为一门新兴的交叉学科，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。这种大系统分析与实证性极强的学科，对研究者提出了很高的要求。例如，需要有很强的英文阅读能力了解世界情况；同时，在世界范围内几乎没有持续80年以上的系列生态记录资料，所以研究者本人必须尽可能多地实地考察世界各类水环境与生态系统，才能对我国治水有所借鉴，不能闭门造车，也不能只靠参加国际会议来获取资讯。同时，环境工程科学与环境工程技术有脱节现象，以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。

#### 建设一支高素质水利人才队伍

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、水污染治理技术专家，又要有学贯古今、熟悉水情、通晓治水历史与现状，并且对国外治水实践与经验有所了解的专家；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。同时，要有优秀的水利管理人才，要懂水科学，了解水实际，对水利工作的具体事项进行严格合理的科学管理。

总之，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”。只要明确各方责任，依法行政，“水十条”的宏伟目标一定能实现，中国的水污染治理也有望达到国际先进水平。

#### 【智库名片】

蓝天清水智库，前身为成立于2004年的北京航空航天大学中国循环经济研究中心，是多学科综合研究的创新平台，在知识经济、循环经济、水资源管理、水污染防治和水生态修复方面有一系列国际先进的创新研究。出版了《中国可以不缺水》《百国考察甘省实践生态修复》《中国经济发展模式》《新型城镇化的顶层设计、路线和时间表》等著作。现为国际生态安全合作组织（IESCO）首席科学家单位。