



Views & Comments

水资源的可持续管理

钱易

School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

1. 引言

水是生命之源、生产之本、生态之基。因此，应该特别注意水资源管理。由于天然和人为的原因，中国正面临着严重的水资源危机，包括：水资源短缺、洪涝灾害以及水体污染。水资源危机已经威胁到了人类的健康和经济的发展。

中国天然水资源主要有两个特点。一是水资源不足：水资源可利用量约为人均 1780 m^3 ，仅为全球水资源可利用量的四分之一，与国际上公认的用水紧张国家(水资源可利用量小于人均 1700 m^3)非常接近。二是水资源地域分布不均：呈现出南多北少的局面。北部地区居住了全国47%的人口，拥有全国65%的耕地面积，但水资源拥有量却只有全国水资源量的17%。此外，中国的降水还具有四季分布不均的特点。

水体污染主要由人为原因造成。工业、农业和人们的日常生活都会排放含有各种污染物的污水、废水，造成水体污染。中国的七大水系都已经被不同程度污染，包括有机污染、富营养污染、重金属污染和持久性有机物污染等。估计中国至少有1亿城市人口、3.2亿农村人口缺乏安全的饮用水。近几年发生了许多与水体污染有关的事故，严重威胁着人们的健康和生命。

洪涝灾害一般都是突发事件。然而，问题产生的大部分原因在于未对排水系统进行精心设计、建造以及运行维护。例如，由于城市排水系统的问题，我国北方的一些城市会遭受洪灾。

为防止水资源危机的有害影响，中国应密切重视可持续水资源管理。可持续水资源管理的目标应该包括：为经济发展及人们的日常生活提供充足的水资源，保护清洁的水环境，保障安全的饮用水，防止洪涝灾害。

为确保上述目标的实现，中国的可持续水资源管理应采取以下策略[1,2]：

- (1) 节约用水，控制需求；
- (2) 源头削减，治污为本；
- (3) 努力实现废水的资源化、资源化；
- (4) 变洪水为资源，防止洪涝灾害。

2. 节约用水，控制需求

长期以来，人们认为水是一种廉价资源，取之不尽，用之不竭。因此，许多人用水时漫不经心，任意浪费。这种观点和行为方式极有问题，必须改变：人们应该控制对水的需求，并且谨慎用水。

表1显示了曾经调查过的中国某城市不同用户的人均每日生活用水量。

表1 人均每日生活用水量

User	Water usage ($\text{L}\cdot(\text{capita}\cdot\text{d})^{-1}$)
Household	150-250
Office building	200-400
University	300-700
Hospital	900-2500
Hotel	750-2600

由表中数据可见，不同用户的人均生活用水量差别很大。产生该现象的原因有很多，比如：大学的教室、图书馆和实验室都需要用水；医院需要更多的水用于清洁和治疗等。但也可以看出，公共场所和个人家庭具有节约用水的巨大潜力。与德国每日人均用水量128 L相比，中国某些城市的人均用水量还有减少的余地。

工业用水量因工业的特点、生产过程中采用的技术手段的不同会有很大的差别。每个工业部门都应开发和使用清洁的生产工艺，减少生产过程中的用水量以及废水的排放量。

最近十余年来，中国钢铁企业在节约用水方面取得了显著的成绩。中国钢铁协会的统计数据表明，2000年我国吨钢生产的平均用水量为25.24 m³，而2013年这一数值降低到3.5 m³。河北省唐山钢铁公司吨钢生产只需用水1.8 m³，而且该公司用的不是自来水、地表水或地下水，而是经城市污水处理厂处理过的水，即中水，或称再生水。因此，如果所有的钢铁企业都可达到如此高的节水水平，那么钢铁工业部门将具有很大的节水潜力。图1显示了2000—2013年中国钢铁企业吨钢生产的平均耗水量变化。结果显示，2013年吨钢生产的平均耗水量较2000年下降86.1%。在其他工业领域也有许多很好的例子。工业节水技术应该被尽快发展和实施。节约用水的另一好处是可以减少废水排放量，这样就可以在节约水资源的同时减少水体污染，这是一个可以获得双赢的策略。

农业需要大量用水。中国用于耕地的灌溉用水占用水总量的60%，但用水效率仅为53%。因此，中国亟需提高农田灌溉效率，开发利用高效的灌溉技术和系统。

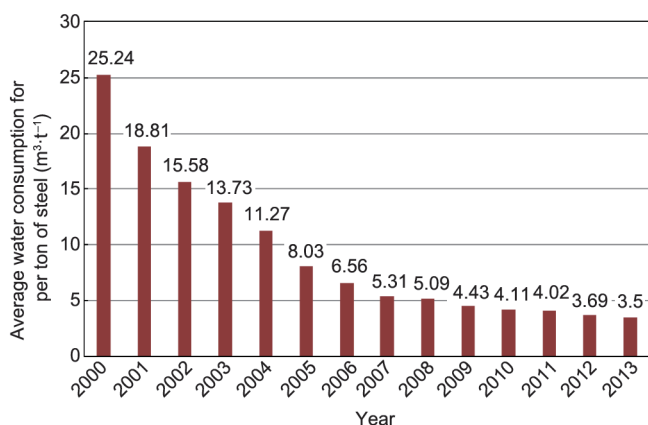


图1. 2000—2013年中国钢铁企业吨钢生产的平均耗水量变化。

3. 源头削减，治污为本

长期以来，人们密切关注废水处理，并将其作为控制污染的一种手段。然而，实践经验告诉人们，控制污染的重点应该是在源头削减排放[3]。

就工业而言，清洁生产的发展和应用是减少污染产生的最佳途径。“十二五”期间，中国工信部在13个不同的工业领域主持进行了清洁生产技术及工艺的筛选项目。超过1000项可降低能源消耗和污染产生的清洁生产技术及工艺被选择。可以预料，该项目成果必然能够带来显著的经济和环境效益。

中国有很多工业园区。将现有工业园区生态化或建立新的生态工业园区是控制污染的好办法。生态工业园区内的产业与其他产业建立共生关系，将某个产业的废渣、废水、废气作为其他产业的原料。这种方式可降低成本，减少污染物，是双赢策略的另一个很好的例子。

从农田和农民日常生活排出的废水是非点源污染的主要来源，在考虑水污染防治问题时不容忽视。目前，最好的策略就是实施生态农业，建设生态村。生态农业的主要特点是：更少地使用化学肥料、化学杀虫剂和水。此外，生态农业和生态村产生的生物废料可被用作能源或其他类型的资源。

近20年来，欧洲国家还开发了生活废水源头分离的工艺和设备。对原有的厕所进行改造，实现了灰水(污染程度较低的清洗用水)、黄水(冲洗小便池的废水)和黑水(冲洗大便池的废水)的源头分离。这些系统和设备显著减少了水资源的消耗，使废水被再利用为资源。

4. 努力实现废水的资源化、能源化

减少污染物的源头排放非常重要；然而，对日常生活废水的处理也十分必要[3,4]。

在相当长的一段时间内，废水处理的目标是防止废水对环境 and 人类健康产生有害影响。近30年来，将废水转化为能源或其他资源的问题已经被讨论，这是一个新概念，并且是废水处理的新方向。工程师们已经为废水再利用开发了许多新的工艺和技术。如今，废水的资源化、能源化、无害化已经成为水资源可持续管理的重大战略[2,3]。

废水是宝贵的资源。再生水可被用作农业、工业

和城市水资源；废水中的有机污染物可被转化为资源；废水中通常含有氮、磷、钾、镁，可被回收用作肥料或化学品。

再生水的利用目标应被谨慎选择。在中国，农业的用水量最大，因此，应密切关注用于灌溉的再生水的再利用。如果再生水被用于灌溉，在废水处理过程的设计中就不应包括氮和磷的去除，因为氮和磷可以作为农作物所需的肥料。因此，利用再生水灌溉农田既能同时回收、利用农作物所需的水和肥料，又能降低为防止水体富营养污染而进行的脱氮除磷处理的能耗和成本，这又是一项双赢策略。再生水还可被用于工业冷却、市政清洁、绿地灌溉等其他目的。新加坡作为一个十分缺水的国家，已经成功地将再生水用作水资源。

开发和利用高效、低耗、合适的废水处理技术十分重要[3,4]。例如，厌氧生物处理技术不耗能，而是将废水中的有机污染物转化为资源，即甲烷气体。与此相反，耗氧处理过程消耗氧气，并通过将废水中有机污染物的稳定化产生二氧化碳。因此，未来应改进和应用厌氧处理技术。此外，对可作为未来废水处理手段的自然生态系统(如氧化塘)和土地处理系统(如湿地)应给予更多的关注，特别是在农村和地广人稀的地区。

图2是荷兰瓦赫宁根大学提出的城市废水处理新系统。所有废水经过该系统的处理都可被转化为资源而被再利用。该系统的处理核心是厌氧生物处理。如图所示，污泥的利用和处理是污水处理过程的重要组成部分，必须对其加以考虑。

目前世界上很多国家都成功利用了再生水。以色列水资源十分有限，但仍可向其他国家出口食品，其主要原因是该国的再生水利用率高达90%。目前，有效的水资源管理策略已经解决了水资源短缺问题。中国还需向以色列多加学习。

5. 变洪水为资源，防止洪涝灾害

如前所述，由于中国不完善的城市排水系统，在某些干旱地区的城市甚至发生洪涝灾害。完善城市雨水收集系统是必要的、有效的，但这是传统的做法。目前新的理念是将雨水转化为资源。为达到这一目的，需因地制宜地建设多种雨水收集设施以收集雨水并对其进行利用。例如，雨水收集系统建筑物顶部的

集水池和居民区的雨水采集系统和集水池。被收集的雨水可在旱季时用于冲洗厕所、灌溉绿地和道路清洁等。因此，可将多余的雨水转化为资源。

美国加利福尼亚州科恩县是一个很干旱的城市。该城市发明了“水银行”的概念。概念大致为：在汛期将雨水储存在地下；在旱季利用这些地下水。为实现这一概念，人们付出了大量的努力。“水银行”的主要特点是：道路、池塘和运河等表面都要具有渗透性，以保证雨水很快渗入地下。在这一概念中，地下水的功能就如银行的功能：多余的水在雨季被储存，在需要的时候可被取出使用。“水银行”的运行也遵循银行运行的规则：根据水的消耗标准，当用户用水没有超过规定的指标时，“水银行”可将剩余水量储存起来以供其未来使用。“水银行”的应用显著缓解了科恩县的用水紧张形势，并提高了地下水位(如图3)。

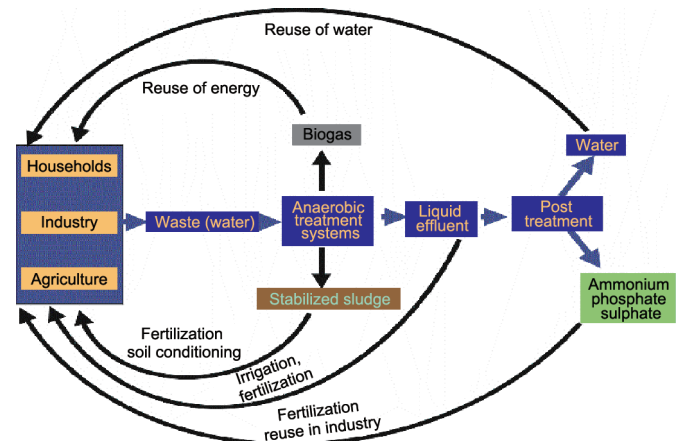


图2. 城市废水处理新系统(荷兰瓦赫宁根模式)。

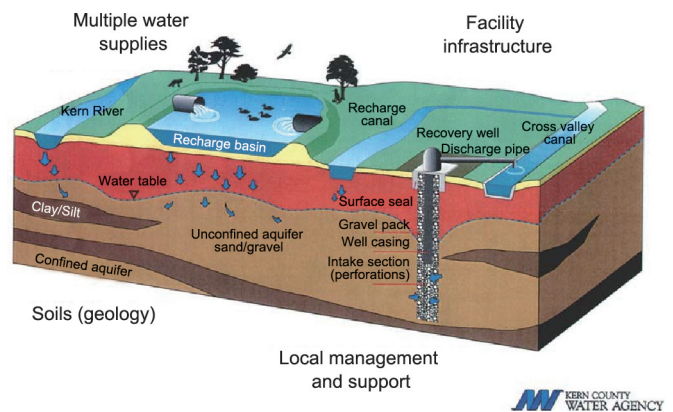


图3. 美国加利福尼亚州科恩县“水银行”示意图。

有效的政策、主管部门的精心管理以及合适的技术对上述策略的成功实施非常重要。例如，废水处理的工艺和技术应该被运行和提升，供水和排污系统的计划和设计应该被改进[5]。

中国的许多城市已经着手将自身改造为有助于对雨水进行管理和利用的“海绵城市”。

水资源的可持续管理是可持续发展的必要保障。实施水资源可持续管理战略，促进中国和世界的可持续发展。

References

- [1] Qian ZY, Zhang GD, editors. Study on sustainable development of water resources strategy in China. Beijing: China Water & Power Press; 2001. Chinese.
- [2] Engelman R, LeRoy P. Sustaining water: pollution and the future of renewable water supplies. Washington, DC: Population and Environment Program, Population Action International, 1993.
- [3] Zhang ZX, Qian Y. Urban sustainable development and water pollution prevention countermeasure. Beijing: China Architecture & Building Press; 1998. Chinese.
- [4] Zhang ZJ, Qian Y, Zhang FJ, editors. Environmental engineering handbook: water pollution control. Beijing: Higher Education Press; 1998. Chinese.
- [5] Water Resource Field Strategy Research Group of Chinese Academy of Sciences. Water science and technology in China: a roadmap to 2050. Beijing: Science Press; 2009.