

德国水污染治理和饮用水安全保障技术发展现状及最新进展

宋 娥

(中国科学技术交流中心, 北京 100045)

摘 要: 20 世纪 90 年代, 德国就已在政策法规、管理体制、科技支撑方面建立了比较完备的水污染治理和饮用水安全保障体系。联邦政府主管部门始终重视对水科技创新的支持和应用。本文对德国水资源管理基本情况、体制机制和近期联邦政府在水污染治理和饮用水安全保障领域重点推动的研发创新等进行分析研究。

关键词: 德国; 水污染治理; 饮用水安全保障技术

中图分类号: G327.516; X52 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2015.08.001

20 世纪 90 年代, 德国就已在政策法规、管理体制、科技支撑方面建立了比较完备的水污染治理和饮用水安全保障体系。联邦政府主管部门始终重视对水科技创新的支持和应用。本文将对德国水资源管理基本情况、体制机制和近期联邦政府在水污染治理和饮用水安全保障领域重点推动的研发创新等进行综述。

1 德国水资源管理的基本情况

总体上看, 德国的水资源比较丰富, 人均水资源量高, 时空分布比较均匀。德国境内可利用淡水资源总量约为 1 880 亿立方米。2007 年, 德国地下水和地表水开采利用总量约为 320 亿立方米, 不足其可利用水资源总量的 20%^[1]。

在饮用水和污水管网建设方面, 过去十年中, 德国各级政府在供水管网技术改造方面的投入已超过 300 亿欧元, 公共污水管网铺设里程超过了 54 万公里, 管网接通率高达 99.3%, 其中 6.6 万公里为雨水排放系统, 大量最新技术成果得到了推广应用, 新建的饮用水和污水管道安全使用期限为 50

~ 100 年^[2]。

在污水处理技术能力方面, 早在 1998 年, 德国污水处理率已达到 99%。据德国联邦统计局水资源管理调查结果显示, 2011 年德国共有 6 900 多家污水处理企业, 建有污水处理厂近 1 万座, 行业从业人员约 4 万人。目前, 德国约有 95% 的污水由公共污水处理厂进行集中处理, 约 3.8% 的生活污水由分散式污水处理厂实行分散处理, 60% 的污泥经处理被作为农业生产用肥料, 剩余污泥得到了焚烧无害化处理^[3]。

在污水处理技术标准方面, 1991 年前德国采用传统曝气法、表面曝气法、A-B 两段工艺法和氧化沟法等技术工艺的污水处理厂所占比例较高。后来随着对水体环境质量标准要求的不断提高, 1992 年德国制定实施了新的污水处理水质标准。1997 年, 德国颁布实施了《污水条例》对各行业污水排放制定了最低标准要求, 2004 年又对《污水条例》进行了修订。目前,《污水条例》对居民生活、农业、工业、服务业等领域的 52 个具体行业制定了污水排放的最低标准要求^[4]。德国污水排放水质标准的

作者简介: 宋娥 (1984—), 女, 中级翻译, 主要研究方向为德国科技创新体系和技术创新政策国别研究。

收稿日期: 2014-12-18

监测指标包括：化学需氧量（COD）、生物需氧量（BOD）、总氮、总磷、砷和重金属、有机污染物（含氯农药、多氯联苯、多环芳烃碳氢化合物）等。

在技术产业化方面，2011年，德国可持续水技术产品占据世界市场总额的10%，技术产品出口量位居全球首位，特别在水资源高效利用技术产品领域市场份额高达20%，每年投资需求高达80亿欧元；德国在可持续水技术领域注册专利数量仅次于美国，居全球第二；此外德国在供排水、防洪、分散式水处理等技术领域也处于领先地位^[5]。

2 德国水资源管理的体制机制

2.1 法规框架

德国联邦政府负责制定有关水资源管理法律框架的总体设计，联邦环境部是联邦政府负责环境和水资源立法的最高机构。国家层面上，《联邦水法》是德国水资源管理的基本法，对水资源管理和保护规定详尽到具体技术细节，对城镇和企业的取水、水处理、用水和废水排放标准有明确规定。2009年，联邦议会通过了新《联邦水法》，承袭原《联邦水法》的主要内容，并采纳了各联邦州水法的相关内容，对取水量、水质、水资源管理做出了全面规范。这是德国历史上首次在联邦层面拥有完全立法权情况下，制定全国统一、可直接适用的水管理法。

德国政府还相继出台了《污水排放收费法》、《饮用水条例》、《地下水条例》、《污水条例》等法律法规，以及对水中有害物质含量的行政管理规定，使《联邦水法》得以进一步细化；联邦《肥料法》、《循环经济法》对污水处理进行了相应规定；《矿产法》规定了矿区废水的处理技术标准；其他特殊水体保护和污染处理规定被纳入了《洗涤和清洁用品法》、《油污法》、《化学品法》和《原子能法》等法律法规中；联邦《河道法》、《规划法》、《建筑法》、《土壤保护法》、《自然保护和景观维护法》中也有涉及水体保护的相关要求。各联邦州和市政府需要地方立法，将联邦政府制定的法律转化为地方法律，也可自行制定补充性规定，同时负责水资源管理法律条例的实施。按照《废水收费法》，各州和地方政府享有废水处理费用的征收和使用权。2000年，欧盟颁布了《水资源管理框架指导方针》，为各成员国的水资源管理规定了共同

的方法、目标、原则和基本措施，对各国以流域为单位制定管理规划提出了具体要求。

2.2 行政体制

在联邦政府层面上，德国联邦环境、自然保护、建设和核安全部总体负责全国水资源管理事务，负责《联邦水法》、《废水收费法》、《清洁剂和洗衣店法》和《联邦自然保护法》等相关法律法规的起草和实施；其他部门在联邦环境部总体协调下负责相关领域水资源管理工作：其中，联邦农业部负责农村地区的水资源管理、水土保持、雨洪调控等；联邦卫生部负责饮用水安全和饮用水水质监测；联邦教研部负责水资源开发利用和保护技术研发及推广；联邦经济能源部负责供水产业发展监督和管理；联邦经济合作部负责双边和多边国际水利援助与合作项目管理。在地方政府层面上，根据宪法，各联邦州政府在水资源管理方面拥有较大自主权，有权制定地方水资源管理法规，并负责各自管辖领域内供水、污水处理及监督管理工作。市政当局负责供水和污水处理管理机构组建、工程实施，并负责相关投资和运行费用的监管。各州政府必须对连接国家水体（联邦政府管理的水域）的相邻部分水域负责，保证连接国家水体水域的水质达标。

3 德国联邦政府重点推动的研发创新

德国联邦政府将水资源视为可持续发展的关键要素之一，在《高技术战略2020》和《可持续发展框架计划》（FONA）框架下，德国一方面不断寻求关键技术突破点，另一方面则更加强调探索面向未来的系统化、可持续的综合性技术解决方案。

3.1 启动了《可持续水管理研究计划》

2012年，德国联邦教研部最新启动实施了总经费约2亿欧元的《可持续水管理研究计划》（NaWaM）^[6]，该计划首次在水资源综合管理框架内（IWRM）集成了可持续发展理念，突破了研究领域的限制，从水资源与能源、水资源与粮食、水资源与环境、水资源与健康、水资源与城镇化5大重点领域推进水科学研究创新，启动了相应的重大研究计划和具体项目：

——水资源与健康领域：《水循环系统新污染物和病原体风险管理计划》（RiSKWa）（2010—

2015年),已确定资助12个研究项目。

——水资源与城镇化领域:《智能化多功能可持续供水与废水处理系统研究计划》(INIS)(2011—2016年),已确定资助13个研究项目。

——水资源与能源领域:《未来能源与资源节约型水资源管理技术与方案》(ERWAS)(2012—2017年),已确定资助12个研究项目。

——水资源与环境领域:2013年启动《德国区域水资源的可持续保护和管理计划》(ReWaM),第一轮项目征集已结束,正评审。

——通过《集成式水资源管理计划》(IWRM)和《可持续性气候、环保技术与服务国际合作计划》(CLIENT),面向全球、特别是新兴发展中国家寻求合作伙伴开展水资源管理领域的国际合作研究。

3.2 取得了一批突出的研发创新成果

近年来,紧密围绕《可持续水管理研究计划》等国家研究计划,德国在水源地保护(地下水修复、河流修复、湖泊治理、海滨水域保护)、饮用水安全保障与供给(水处理工艺、供水管网、管网渗漏防护、水质安全保障)、污水处理与资源回收(工艺升级改造、节能降耗、污泥处理处置、营养元素回收)、清洁生产与工业水回用(废水回用、清洁工艺、节能降耗、运行管理)领域都取得了一系列研究成果,突出体现在以下四个方面:

(1) 高效的地下水原位修复技术

因局部人口过密、对地下水和土壤资源的消耗过度集中、加之对历史遗留废料未及时处理,德国目前有近30万处危险废料可疑区,主要在未封闭的废弃垃圾填埋场、老工业基地厂房以及战争期间被投放炸药等武器的区域,污染物渗入至饱和层土壤及地下水并遗留了大量有毒物质。近年来,联邦教研部在《可持续发展框架计划》下针对有毒废料问题启动了一系列研发项目,发展了多种原位修复技术,如地下水曝气技术、生物修复技术(添加营养物或微生物促进降解)等,核心理念是在不破坏原土壤结构及生态环境的前提下,通过某些工程手段以强化污染物降解的生物净化作用,使污染物在被污染的河道、海洋、地下水、土壤中就地得到净化处理,如,联邦教研部斥资2000万欧元资助的KORA项目(2002—2008年),针对24个具有行业代表性的污染源执行了74个子项目,通过对地

下水和土壤修复中污染物的自然衰减和降解过程进行监测评估、系统分析、建模和预测,建立了一整套地下水和土壤污染的风险评估、预警、风险控制和实地修复机制,并形成相关的行业指导手册。另一个RUBIN项目(2000—2012年)则开发出新的渗透反应格栅技术(PRB),污染物靠自然水力传输通过预先设计好的介质时,溶解的有机物、金属、核素等污染物被降解、吸附、沉淀或去除。该技术被认为具有市场成熟度,已达世界先进水平。下步研究的重点是:铁活性、气化作用、矿物质沉淀和微生物活性之间的相互影响,不同零价铁的活性以及活性炭去除多环芳烃碳氢化合物技术等。

(2) 综合性的可持续流域管理技术

2000年,欧盟颁布的《水资源管理框架指导方针》提出了“流域管理”概念^[7],即以流域为单元将江河湖泊视作一个完整的生态经济系统进行统筹规划,因地制宜地布设可持续管理措施,以充分发挥各类资源的生态、经济和社会效益。过去几年联邦教研部重点支持的项目包括“易北河生态研究项目”(1996—2005年,政府资助2000万欧元)、“莱茵河和埃姆斯河流域水质管理项目”(2001—2005年)等,对相关河流域的水土及其他自然资源都进行了有效保护以及改良与合理利用;“SEDYMO项目”(2002年启动)以细颗粒泥沙动力学和污染物移动对流动水体水质的影响为研究对象,得出各种洪水滞留沉积物的沉积规律,制定出相应的沉积物污染治理、移置规划和具体实施方案,有利于联邦水路的疏浚和生态修复,极大改善了水文结构和生态平衡;针对1992年后野生欧洲鲟鱼在德灭绝的情况,联邦环境部和联邦教研部自1996年起约投入1800万欧元实施“欧洲鲟鱼种群基因结构研究和人工养殖计划”,并于2006年成功将该物种在北海和波罗的海放归。

(3) 能源与资源节约型的水资源管理技术

随着德国人口减少、人口密度降低、人口结构变化,许多地区供排水系统的负载能力严重过剩。同时,传统的集中式供排水系统存在水的重复输送和高能耗处理、污水和废物难以有效利用、管道建设复杂等局限性。近年来,德国逐渐在居民区等城市的特定生活区域应用了分散式的分质供排水和废物资源化系统,从源头节约资源,采用分流收集和

处理的模式，实现污水中物质（水、有限的矿物资源以及高能耗的氮肥）、能量的回收和资源化利用。典型案例包括降低厕所用水量和对黄水进行资源化利用的“SANIRESCH 项目”（2009—2012 年）^[8]，

将加工工艺、信息技术和陶瓷工艺进行创新性系统结合，以促进生活污水的水循环及物质循环的“KOMPLETT 项目”（2005—2009 年）等。

污水污泥循环利用的重要环节是实现磷元素的

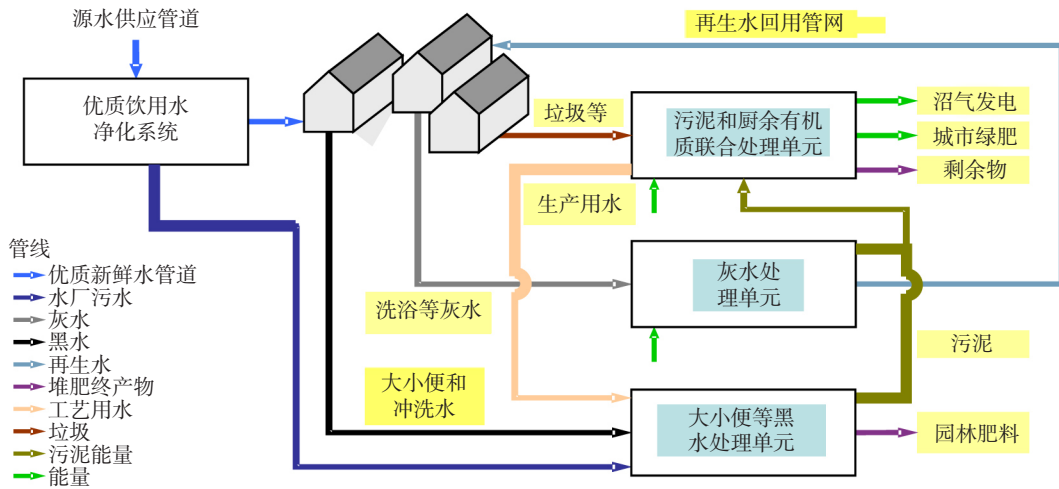


图 1 分质供排水和废物资源化系统示意图

回收利用。德国和欧盟的磷矿石资源完全依赖进口，同时也大量排放富含磷元素的污水。为此，联邦教研部和联邦环境部重点资助了“磷回收”项目（2000—2009 年），以确定磷元素物质流过程，通过研发实用技术更好实现磷的循环利用。目前，采用湿化学技术可通过磷酸铵镁形式将污水污泥中 40% 的磷元素实现回收利用。若采用污泥单一燃烧技术，则可实现 90% 回收。尽管单一燃烧技术比湿化学法更复杂，但因其对有机污染物的分解更彻底而愈加受关注。

（4）优化卫生健康标准的水管理技术

新的研究表明，尽管德国等发达工业化国家具备相对成熟的水处理技术和高效的基础设施，但新型的微物质污染（包括药物、激素、防晒剂、清洁剂、表面活性剂、阻燃剂等）逐渐在水体富集，因其生化稳定性强，降解性弱，常规的饮用水和污水处理工艺都不能排除，故会在自然环境中持续积累；另一方面，气候和人口结构等因素变化导致许多罕见病原体（如隐孢子虫、贾地鞭毛虫、诺如病毒等）也发生变化，近几十年来重新在自然环境和饮用水中被发现，常规的饮用水消毒也无法清除。因此，水循环系统新污染物和病原体的风险管理被提上议程。2005 年，在联邦教研部资助的“高性能

膜净化处理技术”项目^[9]框架下，德国最大、世界领先的超滤膜设备在埃菲尔山建成，可容 7 000 立方米 / 小时的水流经蓄水坝，溶质、细颗粒物和微生物经由渗透膜系统的超细孔析出，该技术经历了广泛的试点测试并完全符合预期效果，即便在暴雨等极端条件下，对寄生虫、病毒的淘汰率几乎为 100%，而其运营和建造成本不足 10 欧分 / 立方米水。“AQUASENS 项目”开发出的半自动分析仪突破了用传统技术检测微生物污染长达一周的时间局限，在一种免疫学测试的帮助下，通常花数小时、采用极少的水样即可同时检测小分子（如激素、抗生素、杀虫剂）和大型细菌，获得关于水污染程度和风险的可靠信息。劣质的密封圈或输水软管是细菌的避风港，“适用于家庭供水设备的生物膜技术”项目（2006—2010 年）经过对 20 000 个家庭热水供应装置的检测得出惊人结论：其中 13% 的设备出现了军团菌群。“游泳、洗浴用水卫生质量优化项目”证实了消毒剂氯产生的消毒副产物（DNP）与人体呼吸道等慢性疾病的关系，推动联邦政府进一步提高了游泳、水上娱乐等于人体直接接触水体的污水处理排放卫生标准。

3.3 政府支持中小企业研发创新

中小企业是德国可持续水资源管理技术发展最

具活力的主体和中坚力量。据联邦环境部数据显示,在可持续水资源管理技术产业领域,近80%的企业是年营业额低于1000万欧元的小型企业,其中约一半从事服务和贸易,25%从事产品生产制造,其他的从事系统工程和系统集成。2008—2010年,随着中小企业规模继续扩张,吸纳的就业人数以16%的速度增长,从事生产制造和系统工程的企业年增长率为18%,这些公司的业务主要涉及节能增效的技术产品和装备研发制造。2007年,德国联邦教研部出台《中小企业创新计划》(KMU-Initiative)^[10],资助中小企业参与可持续水资源管理领域、特别是资源/能源效率方面的研究创新,研发重点包括:节水技术、高效的灌溉技术、节能增效的污水处理工艺及污水的能源回收技术、物质流循环(如,水/能源/垃圾)的新技术/新理念及营养物的回收技术等,取得了一系列研发成果。

在节水灌溉方面,Parga园艺技术公司开发出的智能土壤湿度传感器可独立检测土壤的水力性质(水压曲线),由此确定最佳的灌溉时间和灌溉高度,并通过智能算法学习总结土壤水力性质的时间变化规律,从而相应调整灌溉模式;埃及尼罗河流域的人口持续增长,农业用水量不断增长,但环境破坏严重,灌溉农田的盐碱化问题突出,Dip滴灌设备公司、AER替代电力公司、Energiebau太阳能系统有限公司与科隆高等技术大学热带/亚热带地区技术与资源管理学院合作研发了一套创新滴灌系统,可实时监测供水及水体生物活性,收集气象、土壤特征、耗水量等测量数据,利用太阳能技术确保能源和水供应自给自足。

在地下水资源保护方面,马格德堡市自来水公司与德累斯顿的GFI地下水研究所受联邦教研部资助,联合开发了一整套“饮用水流程管理工具”及相应的创新采样测量技术,其中的“无失真地下水采样系统”可保护含水层不受非流动水化学变化的影响,“环境-流体采样器”携带基于地球物理勘察技术的多参数探头,能实现最深600米的深水等压采样。

4 小结

德国水资源管理和水科技创新位居世界前列,综合来看,除因水资源丰富外,可总结为“一个理念,即综合治理;两个标准,即环境质量和先进技术标准;三个立足点,即设施、水有害物质和特别保护区”。特别自2009年颁布新联邦水法以来,在《高技术战略2020》和《可持续发展框架计划》(FONA)框架下,德国一方面不断寻求关键技术突破点,另一方面强调要研究探索面向未来的系统化、可持续的综合性技术解决方案,取得了一批突出的研发创新成果,特别对中小企业给予支持,对于推动相关领域技术、服务与贸易发展、吸纳就业等发挥重要作用,其成功模式值得我国有关部门认真研究和借鉴。 ■

参考文献:

- [1] BMBF: Ressource Wasser 2012.
- [2] Umweltbundesamt (UBA): Wasserwirtschaft in Deutschland 2010.
- [3] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung: Wasserforschung in Deutschland 2012.
- [4] Statistisches Bundesamt: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, Daten zum Indikatorenbericht 2010.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: GreenTech made in Germany 3.0, Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland 2012.
- [6] BMBF: Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) 2012.
- [7] BMBF: Integriertes Wasserressourcen-Management 2011.
- [8] BMBF: Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf 2013.
- [9] BMBF: Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung 2013.
- [10] BMBF: Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine Energieeffiziente und Ressourcenschonende Wasserwirtschaft 2014.

(下转第16页)

Technology Innovation Centre and Its Role in Addressing the Valley of Death —— Analysis of the Effects of Catapults Program in UK

LI Zhen-xing

(Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038)

Abstract: Catapults program is started and funded by UK government to address the “Valley of Death” of innovation. To date, seven Catapults such as High Value Manufacture Catapult were set up and open to public, another two Catapults named Energy System and Precise Medicine Catapult are under the way to open. The reason of Valley of Death and the unique role of Catapults playing in addressing the Valley of Death were introduced; the economics background of Catapults program and necessity of implementing Catapults program as a public policy tool were analyzed. Cases were given to illustrate how Catapults may help the business development, especially the commercialization of research and development driven by innovation.

Key words: UK; technology innovation centre; valley of death; innovation; policy; evidence-based analysis

(上接第 5 页)

Water Pollution Control and Drinking Water Safety Technology Development——Status and Latest Progress in Germany

SONG Song

(China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045)

Abstract: In the 90's of last century, Germany has established a relatively complete system in the area of water pollution control and drinking water safety with plenty of policies and regulations, management system and science and technology support. The federal government department has always attached importance to the support and application of water science and technology innovation. This report analyzes the basic situation of water resources management in Germany, the institutional mechanisms and the recent focus on the promotion of research and development in the area of water pollution control and drinking water safety by the federal government.

Key words: Germany; water pollution control; drinking water safety technology