

丹麦水环境管理经验与启示

Experience and enlightenment of water environment management in Denmark

■文 / 郭昕 陈新颖 杨玉川 葛天祺

丹麦在水环境方面具有鲜明特色,人均用水量世界最低,而人均拥有水技术专利数位列世界第一,在地下水保护、污水处理、水质模型应用等水环境管理与保护方面技术先进、经验丰富,通过综合运用法治、行政、市场、科技等多种手段有效提升治理能力,治水效果显著,并且持续推动创新,水环境技术输出居世界前列,值得关注与借鉴。

一、丹麦水环境概况

1. 丹麦水环境基本情况

丹麦位于欧洲大陆西北端,三面环海,面积为43096平方千米,人口约580万(2019年3月)。丹麦全境地势平缓,平均海拔为30米,海岸线长达7314千米。全国年平均降水量约为860毫米,地表径流较少,地表水资源总量约37亿立方米,地下水资源量约43亿立方米。水资源总量约60亿立方米,人均水资源量约1034立方米。

由于特殊的地理位置、水文地质条件和相对短缺的地表水资源,丹麦饮用水几乎完全使用地下水。地下水年开采量为8亿立方米,可开采的地下水资源量大于取水量。采自深层含水层的地下水水质良好,只需曝气、pH值调整、过滤等简单处理便能饮用,避免了复杂昂贵的处理过程。

2. 丹麦经历的水环境问题

丹麦人口密度相对较高,农业面积约占国土面积的三分之二,畜禽养殖业发达,水体污染主要来自集中农业营养物与农药残留物及生活污水。

丹麦自20世纪80年代工农业快速发展,越来越多的污水排入江河湖海,导致氮磷污染严重。丹麦境内河流径流较短、河道狭小,许多水域几乎封闭,湖泊面积较小且水深较浅,与海洋只有少量水体交换,各水体污染物稀释效应相当有限。巨大的污染压力

导致大多数湖泊出现富营养化,蓝藻大量繁殖。另外近90%的水道被改造用于农业灌溉,生态环境破坏严重。历史上丹麦在农业生产中使用大量化肥和农药,残留物逐步下渗,导致浅层地下水污染。目前每年仍有接近100个供水井因含农药而被关闭。

随着人口增长和农业灌溉发展,丹麦还曾出现地下水过度开采、水位急剧下降的问题。为控制地下水开采、保持地下水平衡,丹麦过去20多年通过节水措施促使开采量减少超过三分之一。但目前地下水平衡依旧没有完全恢复,地下水利用与保护面临持续压力。

随着气候变化和极端天气频发,丹麦首都哥本哈根市仅2010-2011年就遭受3次暴雨袭击,城市排水系统承担过大压力,造成污水泛滥,主要公路及城市基础设施被淹。据统计,2011-2013年哥本哈根市因暴雨造成的损失达到60亿-90亿丹麦克朗。为此,应对气候变化带来的雨洪处理问题成为近期丹麦水环境管理关注的重点之一。

二、丹麦水环境管理成效与经验

丹麦非常重视水环境保护。在40多年的水环境治理过程中,综合运用法治、行政、市场、科技等多种手段有效提升了治理能力。欧盟委员会2019年公布的环境评估报告显示,由于丹麦高标准地执行水环境政策,之前受富营养化污染影响的物种与栖息地状态得到很大提升。其水环境治理主要成效与经验总结如下:

1. 实行严格的水环境管理制度推进污染物减排

丹麦环境部及下设的丹麦环保局具体负责境内所有的水环境管理工作,由顶层设定水环境目标,指导地方政府在法律法规框架下开展区域水环境管理。自1973年颁布《环境法》以来,丹麦国家及地区行政

表 1 1990–2012 年丹麦各行业污染物减排表

污染物来源	磷	氮	有机物
污水处理厂	93%	82%	96%
工业	98%	93%	98%
渔场	65%	60%	60%
农业（面源）	不显著	40%（根部）	无关
空气污染（来自丹麦和其他地区）	无关	20%–25%（沉降）	无关

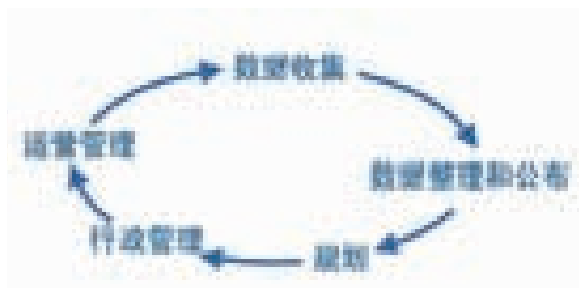


图1

部门建立起一整套完善的综合性法律制度,并制定区域水质管理规划作为各级政府实施严格的水环境管理的基础。作为欧盟成员国,欧盟水框架指令颁布实施后,丹麦自2009年依据欧盟水框架指令要求编制水环境管理规划以指导地方政府开展水环境管理工作。

1987年丹麦启动《水环境行动计划》,对废水中有机质、氮和磷等主要污染物提出严格的处理要求。《水环境行动计划》包括三期发展历程。

第一期于1987年开始实施。目标在3–6年内减少水环境中50%的氮排放和80%的磷排放,并设定各具体目标。通过大规模的公共投资和污水处理厂改造,城市污水处理厂于20世纪90年代中期使用生物处理法实现排放氮降至8mg/L、磷降至1.5mg/L。工业废水排放处理目标也于20世纪90年代中期实现,但农业措施不足以达到氮减排目标。第二期于1998–2003年执行,维持原有氮减排目标,并在计划中增加地区针对型和营养物针对型两类措施,最有效的措施与肥料施用有关,包括降低作物的氮标准、提高粪肥和间作物的氮利用。2003年评估表明该期行动计划整体目标已达成,但河口和沿海区的生态影响还没有达到满意效果。第三期于2004年起执行,为进一步提升氮减排积极效果并支持欧盟水框架指令,农业2015年前减排氮13%,磷排放较2001年和2002年减半,同时建成5万公顷河岸带以减少农业面源的磷排放。具体

减排情况见表1。

1986年起丹麦开始推行减少和限制使用农药的行动计划,农药的销售和使用都必须经过政府部门许可。为进一步降低农药对水质的威胁,丹麦在2012年11月通过行动计划,包括对农药实行更严格的控制和检查,加强地下水保护技术的研发和推广等52项具体措施。近年来,丹麦已禁用200多种农药,新型农药必须经过严格审批才能投入市场。

经过多年治理,丹麦境内几乎没有高污染工业,废水、雨水得到很好处理,在降低人为因素对水体影响、减少营养物和有机物排放方面成效显著,河道、湖泊、港口等水质显著改善。

2. 基于数据与知识科学制定政策和计划

丹麦很早以前开始采用图1所示的环状管理方法开展水环境管理。这种管理方法起点通常是收集关于状态、负载、来源等信息和数据,并将这些信息整理用于制定必要措施的规划和决策。在通过管理减少污染后,循环再次关闭,并收集新的数据对水环境状态进行评估,以确定是否达到目标或需要采取进一步措施。

丹麦所有水环境管理决策都是建立在模型基础上。经过数十年开发、改进、完善、创新,在水环境模型领域发展突飞猛进。目前丹麦建立了区域气候模型、国家水资源模型(DK-Model)、水文与地下水模型(MIKE SHE)、流域管理模型(MIKE BASIN)、城市给排水管网模型(MIKE URBAN)、城市雨洪控制模型(MIKE FLOOD)等,在水环境管理中综合运用多种模型多尺度耦合,涵盖国家、流域和城市等多个级别,动态模拟地表、地下水以及城市地区排水、雨洪控制等,为政策制定、预测趋势提供解决方案。

丹麦重视基础数据的收集与管理,并依据欧盟水框架指令要求建立了包括生物监测在内的水环境监

测方式与评价方法。丹麦建立了密集的监测网络,对每一个步骤的环境影响进行密切跟踪,并将影响进行量化,建立起国家数据库、丹麦和格陵兰岛地质调查数据与钻井数据库、地下水监测等系列数据库。这些数据均有质量保证,并实时进行网上发布,公众可免费访问。丹麦在日常水环境管理中不断积累完善数据,提高模型应用的精确度和规划预测的科学性。

丹麦监测人员与科研人员之间紧密联系,既保证监测方案的科学性,又达到将监测方案产生的数据应用于开发管理模型等研究的目的。基于收集到的数据与模型分析以及环状管理方法,丹麦制定并执行上述三期《水环境行动计划》,并将减少营养物排放、处理雨水排放、改善农村污水管理确定为优先治水领域。

3. 许可制与市场手段结合有效治水

为有效保护饮用水安全,丹麦采取特别的地下水保护措施,由地方政府划出饮用地下水区域,强化特殊区域地下水的质量、容量保护措施。所有地下水开采必须得到政府许可,由属地政府审批。取水许可规定取水地点、总量等,饮用水最长许可年限为30年,灌溉许可为15年,每年开采量需向有关部门报备。1988年丹麦环境部通过《监管水质和自来水厂法令》,引入开采地下水监督机制。地下水开采过程中所有重要参数都经过监测分析,以统筹地下水水质和水量。

丹麦用水收费原则为供水、排污和污水处理成本都由消费者承担,谁污染谁付费,充分利用水价等经济手段调节用水消费、控制污染物排放。政府通过征收用水税和增值税,促使用户节约用水和保护水资源。政府组织成立非营利性的水务公司,为居民提供用水及污水处理服务,水务公司为满足自身运营和发展需要,收取饮用水及污水处理费。政府与水务公司之间保持良好对话,确保水环境管理目标的实现。

2016年丹麦平均水价为68丹麦克朗/立方米,其中污水处理费35克朗、地下水抽取费13克朗、地下水税6克朗、增值税14克朗,消费者为取水和污水处理支付全价。1990年以来,丹麦物价上涨20%,而水价上涨40%,水价上涨幅度明显高于物价涨幅,水费占家庭收入约1.6%。水价快速上升,与所包含的地下水抽取成本、饮用水处理和输送成本、增值税、污水处理成本等各项费用上升有关。丹麦人均用水量达到每天104L,15年内降低20%,居民用水量明显降低。

欧盟污水处理厂出水COD排放要求为125mg/

L,丹麦该指标定为75mg/L,政府还按照BOD、总磷、总氮排放量征收相应税费。因此丹麦污水处理厂日常运行达标排放的同时,最大限度自觉降低污染物排放量。另外哥本哈根市中心地区存在大量雨污合流系统,为减缓降雨时地表径流汇集及雨水处理压力,居民获得批准可在自家地面建立雨水渗透带,污水处理公司将退回该居民部分污水处理费用(约23000克朗/年),通过该经济手段促进城市雨洪控制,降低污染物浓度。

4. 技术创新推进绿色发展

严格的环保标准与积极的经济促进手段,使得丹麦企业具有强烈意愿支持发展新技术,提高用水效率并减少污染排放。丹麦经济在过去40年增长80%,而能源消耗基本平衡。在水处理行业,丹麦也找到资源能源相协调的模式,通过技术创新减少污水处理设施的能源消耗。通过将废水中有机质转化为沼气向处理设施供电等措施降低处理成本,通过智能水表及水泵等技术创新将自来水厂供水漏水减少40%,实现能源和资源的双节约。丹麦2015年水处理行业的社会用电比例仅为1.9%,低于全球4%的水平,并计划在2040年前实现水处理“零能源消耗”。

为应对气候变化,与中国海绵城市相似,丹麦大力推动智慧城市建设,推广实施可持续城市排水系统。采取地下渗滤床、绿色屋顶与透水路面等大量雨水处理、生活用水再利用创新技术,充分利用城市地下渗透与调蓄功能,确保短时强降雨能够被延缓分散,提高城市雨洪管理效率,同时可有效解决城市初期雨水的污染问题。

整个丹麦水产业蓬勃发展。丹麦高校、研究机构与环境咨询公司、非政府组织、设备制造企业合作搭建产业联盟,不但能够提供先进的环保产品和咨询服务,还能保证丹麦在国际水治理市场占有优势地位,不断输出绿色发展的技术与理念并创造价值。2015年,丹麦绿色能源技术出口额约409亿丹麦克朗,占丹麦总出口额的6.4%,丹麦水处理技术占据全球领先地位。

三、对中国水环境综合管理的经验启示

1. 通过经济手段调节用水与污水处理

丹麦将征收水污染税作为治理水污染、调节企业和家庭污染行为的重要手段。在税收手段下,居民和



工业部门自觉调整生活和用水习惯,可有效降低用水消耗,水务公司供水与污水处理意愿和能力得到提升,各部门之间用水得到合理分配,提高了维护效率和效益,促进水的可持续使用。依靠经济手段调节市场行为,尤其是对基础资源的消费进行调节,并促进从源头减少污染物排放,在中国未来相关政策制定过程中值得借鉴。

2. 推动监测数据的积累与应用,提升模型的决策参考作用


丹麦结合新的监测研究成果,模型预测的尺度、精度和准确性不断细化,并将理论与科学决策统筹。在水环境监测领域,中国与丹麦等发达国家在常规监测设备及能力方面基本相当,生物监测等新的技术与方法的试点应用、大数据等手段在水环境管理领域的深度融合和应用势在必行。中国在环境质量预报预测方面已开展大量实践,可借鉴丹麦经验,结合中国在大数据、人工智能等方面的特有优势,逐步建立以模型为参考的决策体系,支持水环境质量精细化管理。

3. 建立各要素统筹的水环境综合管理理念

丹麦环境部负责丹麦境内所有的水环境与水资源

管理,在实施过程中包括从水源到龙头再到排水的全过程管理,系统统筹水量和水质。中国新一轮机构改革实施后,生态环境保护和水利部门职责进一步明晰,统筹水资源、水环境各领域各要素,成为未来水生态环境管理的趋势及必备理念。地下水是中国重要的饮用水源,借鉴丹麦地下水环境管理体系经验,统筹地上与地下水系之间的关系,可为未来中国地下水环境保护精细化管理提供重要的依据和参考。

4. 加强与丹麦深入开展国际水环境治理经验交流

丹麦治水理念与知识通过援助项目及商业拓展已在其他国家大量应用。中国与丹麦在水环境管理领域开展了多年的交流与合作,丹麦对中国水环境治理市场具有较强兴趣,中丹双方决策者、执行者和智库等应继续多层面的交流与合作,加强学习和借鉴丹麦水环境治理体系、技术与实践,为中国城市黑臭水体治理、农业农村污染治理等污染防治攻坚战提供国际经验。同时,充分利用丹麦水环境领域国际影响力,对外宣传中国生态文明建设取得的成果,为中国参与的国际水环境治理工作提供参考。

作者单位:生态环境部对外合作与交流中心