

## 政策驱动欧洲磷回收与再利用

郝晓地, 宋鑫, Mark van Loosdrecht, 江瀚

(北京建筑大学城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室 中—荷  
未来污水处理技术研发中心, 北京 100044)

**摘要:** 从污水及动物粪尿中回收磷是 20 世纪的欧洲概念,传入中国业已十年之久。磷回收技术时至今日已经成熟,并无太大工程应用难度。然而,在我国沸沸扬扬 10 多年后,磷回收并没有真正步入市场轨道,一直停留在学术研究层面。究其原因,国家层面认识以及宏观政策缺乏成为阻碍我国磷回收产业化的主要瓶颈。有鉴于此,介绍欧洲国家有关磷回收计划实施的政策、法律、法规、指南等软性环境概况,从欧盟指南到各国政策,再到行动计划,全方位介绍欧洲国家有关磷回收与再利用的政策、法律等文件形成和发展过程,特别提及荷兰、瑞士、英国、法国、德国以及北欧诸国的具体行动计划,以期成为我国制定磷回收政策和法律的参考蓝本。

**关键词:** 磷回收; 污水/动物粪尿; 政策/法律; 欧盟指南; 行动计划; 信息平台  
**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0035-08

## Phosphorus Recovery and Reuse Driven by Policies in Europe

HAO Xiao-di, SONG Xin, Mark van Loosdrecht, JIANG Han

(Sino-Dutch R & D Centre for Future Wastewater Treatment Technologies, Key Laboratory of  
Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University  
of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Recovering phosphorus from wastewater and animal manure came from Europe concept in the last century, and has been introduced into China for more than a decade. Technology of phosphorus recovery has become matured today, and it is not very difficult for application in engineering. However, phosphorus recovery has not been applied in reality in China after animated discussion for more than a decade. It is only an academic subject without practical significance in China. The reason is considered as the lack of national awareness and the lack of macropolicies, which has become the main bottleneck hindering the industrialization of phosphorus recovery in China. Due to this reason, the state-of-the-art software environments about the policies, laws, regulations, guidelines of phosphorus recovery in Europe were introduced in this article. Over all, the article introduces the proposed and developed processes of phosphorus recovery/reuse and policies/laws in Europe from EU guidelines, members' policies to action plans. Especially the action plans of the Netherlands, Switzerland, United Kingdom, France, Germany and the Nordic countries were strongly mentioned. The article can be used as a reference of China for developing its state policies and legislations on phosphorus recovery.

**Key words:** phosphorus recovery; wastewater/animal wastes; policy/law; EU directives;

project planning; information platform

磷元素(P)是地球上非常重要且难以再生的非金属矿产资源之一,目前,地球上经济可开采的无杂质磷矿仅够人类使用不足50年,磷危机迫在眉睫,已成为当今人类社会必须面对的重大危机之一<sup>[1]</sup>。为了有效解决磷危机,从污水以及动物粪便中回收磷并再利用无疑是最为有效的手段。时至今日,国内外科研机构已经研究开发了数十种磷回收工艺,并已取得较好的磷回收效果,磷回收率均可达到90%<sup>[2]</sup>。从技术层面来看,磷回收已经不再是什么限制应用的难题。目前,磷回收与再利用的阻力其实是很多国家和地区缺乏有效的政策支持和法律规定,使得诸多磷回收研发工艺成熟后往往被束之高阁,并没有太多实际应用。在此方面,欧盟及其成员国做得较好,率先颁布了各种法规、政策以及项目计划,有效推动了磷回收与再利用的付诸实施<sup>[3]</sup>。欧盟出台的磷回收政策中既有欧盟层面的指南,也有国家层面的法律和计划。欧洲许多国家在政策、法规引导下已开始实施各类磷回收项目,并建立了磷回收协作信息平台。欧盟及其成员国为磷回收所制定的政策、法规以及成立的专业组织正对磷回收产业起着积极的推动作用。为此介绍欧盟及其主要欧洲国家颁布的磷回收与再利用政策、法规及其相关计划、专业组织,以供国内有关管理部门参考。

## 1 欧盟磷回收指南

早在1991年,欧盟就出台了《硝酸盐指南》,重点控制硝酸盐水污染现象。2000年,欧盟又出台了着重于流域综合治理的《水框架指南》,开始着手控制因磷污染引起的水体富营养化现象。2003年,欧盟出台了《化肥管理条例》,开始统一和规范无机化肥制造与销售标准,但仍未涉及磷回收产物的再利用问题。2016年,新版《化肥管理条例》草案出台,正式把污水处理厂回收的鸟粪石等磷酸盐产物作为化肥生产的原料,并对此类磷肥制定标准规范。欧盟指南从开始不重视磷,到将磷作为重点污染因子实施防治,再到把磷作为营养物予以回收并利用,其实反映的是政府部门认识上的转变,即“官智”已开。

### 1.1 《硝酸盐指南》与《水框架指南》

1991年出台的《硝酸盐指南》主要目的是控制欧盟范围内地下水污染,主要涉及三项内容:①对硝

酸盐污染区域予以确认;②欧盟成员国需针对硝酸盐污染区制定可行的控制计划;③农业施肥方式的选择。欧盟成员国需要制定相关准则和政策,以此来推动农民在农业生产中对资源、环境进行保护并建立一定的机制;同时,全力支持农民在生产过程中加以应用。

2000年出台的《水框架指南》注重“地表水—地下水—湿地—近海水体”一体化管理和“水量—水质—水生态系统”一体化管理,这成为欧盟水管理与水立法的一个重要里程碑。该指南将氮、磷等营养物质列为主要污染物,给予了严格控制。

### 1.2 旧版《化肥管理条例》

2003年,欧盟出台了《化肥管理条例》(以下简称旧版条例),该条例要求每个成员国必须对化肥中氮、磷等营养物的组分及化肥通用名称甚至是化肥包装都施以强制性规定。对化肥中的有毒物质含量也必须限定固定标准,特别是对镉等重金属含量标准的制定非常严格。化肥制造商如果违反以上规定,最高将被处以10倍于化肥价格的罚款。该版条例对化肥中的磷等营养元素含量有了明文规定,但主要针对以磷矿石为原料的无机化肥,并未涉及回收磷制取磷肥。

### 1.3 新版《化肥管理条例》

《硝酸盐指南》未涉及磷,《水框架指南》则将磷视为污染物加以严格控制,旧版条例将磷作为重要营养元素规定了其在化肥中的含量。将污染物控制与营养元素再利用有机结合便催生了新版《化肥管理条例》。

2016年上半年,欧盟提出了新版《化肥管理条例》草案,并计划于2017年—2018年间正式实施。新版《化肥管理条例》正式提出了以回收磷制取磷肥的标准。满足管理条例标准的回收产物将被视为“产品”,且这些回收产品将允许其在欧盟各国流通和贸易。不能满足条例标准的回收产物将被视为“废品”,禁止流通。目前,欧盟只有约5%的污水/污泥或动物粪尿实现了磷回收。新版《化肥管理条例》实施后,将替代30%的传统磷肥原料(磷矿石),欧盟每年因此对磷矿石进口量可以减少 $600 \times 10^4 \text{ t PO}_4^{3-}/\text{a}$ 。与此同时,欧盟还将磷酸盐列为20种关键原料之一,并将其应用范围从单一化工行业延伸

到水处理、食品和农业领域,对其进行全方位循环利用。新版《化肥管理条例》开启了从污水处理厂乃至餐桌上磷的人工循环,其作用与我国先人创造的粪尿返田之原生生态文明殊途同归<sup>[4]</sup>。

先后出台的这 4 条指南、条例的管理作用与顺序及关系如图 1 所示。

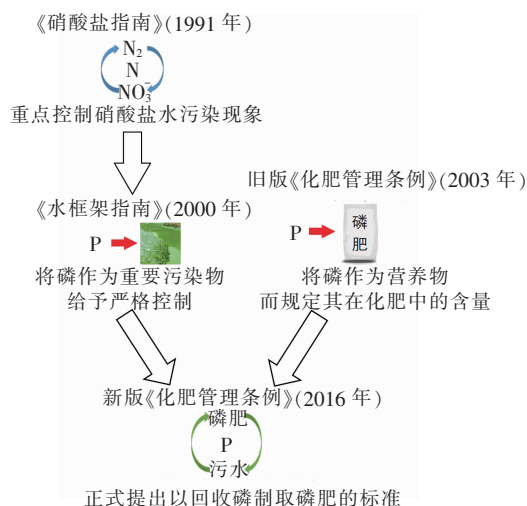


图 1 欧盟营养物控制四大指南、条例之间的相互关系

Fig. 1 Relationship between the four main directives or regulations in EU

## 2 各国政策

在欧盟指南出台的同时,欧盟各成员国及欧盟外国家(如瑞士)也不忘制定各国磷的具体回收计划和相关政策,并付诸实施。其中,既有一直引领世界水处理潮流的荷兰、瑞士等国,又有紧随其后的英、法、德三驾马车,更有齐心协力的北欧诸国。欧洲各国磷回收政策和计划虽不尽相同,但大都围绕着磷回收和再利用这一中心内容展开。

### 2.1 引领潮流的荷兰、瑞士

荷兰作为污水处理行业的全球领跑者,在磷回收理念与技术研发方面一直遥遥领先,其国家层面推动技术应用的政策、计划值得借鉴。瑞士作为世界上最发达和生态保护最好的国家,其磷回收计划已全面开始实施,令各欧盟成员国都望尘莫及。

#### 2.1.1 荷兰——国内行动,国际借鉴

2008 年,荷兰政府研究组织 STOWA(荷兰水研究基金)已勾勒出未来污水处理厂 NEWs 框架,即未来污水处理厂将是营养物(Nutrient)、能源(Energy)与再生水(Water)的制造工厂(factories)<sup>[5]</sup>。在这个框架中,营养物回收列在首位,重视程度空前。许多荷兰污水处理厂着手开始大规模应用磷回收工

艺的同时,在荷兰政府主导下,依托荷兰营养物平台,荷兰又提出了“2018 营养物计划”(Ambitie Nutriënten 2018)和“2050 荷兰循环计划”(Nederland circulair in 2050)。“2018 营养物计划”会在两年内将其现有的营养物回收技术应用提升到一个新的水平,并可向其他国家提供技术支持和经验借鉴<sup>[6]</sup>。而“2050 荷兰循环计划”目标则更为宏伟,计划 2050 年在荷兰全境实现“循环经济”<sup>[7]</sup>。

“2018 营养物计划”将在未来两年内具体实施 7 项行动:①充分挖掘国内外市场,为市场提供最适宜的营养物回收产品;②制定法律、法规,促进营养物回收、利用,利用水务局等非政府组织普及相关知识和政策,说服民众愿意接受营养物回收产品;③成立相关基金,支持各类试点项目;④继续研发新的营养物回收技术;⑤调研回收产物生产化肥的社会公认度,并制定对策提高回收产物的市场竞争力;⑥建立回收产物的认证系统,设计相关肥料的绿色标识;⑦向国际推荐荷兰营养物回收技术和管理经验<sup>[8]</sup>。

“2050 荷兰循环计划”(以下简称“计划”)着眼于生物质、塑料、制造业、建筑业和消费者五大领域的优化改革。该计划旨在提高废物的再利用率,改变传统原料制造产品再到废物的“线性经济”,实施提高原料成分再利用率的“再利用经济”,最终实现零废物产生的“循环经济”。其中,生物质再利用又是列在首位,“计划”明确指出要充分利用生物质中的营养物和能源。“计划”规划将在 2030 年前减少荷兰 50% 的矿物原料、化石燃料和金属原料的使用,并在 2050 年实现“循环经济”。为了保证“计划”有效实施,荷兰政府提出以下 5 点具体措施:①立法保障,包括定义废物,以更好地回收各类副产品,并确立生产者担责、政府执法调查等制度;②市场激励,包括制定有针对性的价格激励计划,开拓新的循环经济模式等;③融资补助,分为政府和民间融资,为各类循环经济项目提供资金来源;④技术共享,促进循环经济网络中各部门和机构之间的技术、信息开放交流与共享;⑤国际合作,打造适宜的国际合作环境,包括法律环境和市场环境<sup>[7]</sup>。

#### 2.1.2 瑞士——建立磷元素封闭循环系统

近年,磷回收在瑞士变得越来越受国家重视。瑞士是欧洲第一个强制从污水/污泥、动物粪尿、动物骨粉中回收磷的国家,并于 2016 年 1 月 1 日起开始实施。其目的是在瑞士建立一个磷元素封闭循环



系统,即,从农业中以作物形式收获的磷,最终在使用后(形成污水/污泥、动物粪尿、动物骨粉等)均要进行磷回收,并以此作为磷肥的生产原料,使之再次进入土地。计算表明,瑞士全面实施磷回收后,完全可以取代其所依赖的磷矿石进口<sup>[9]</sup>。

苏黎世州先于瑞士国家而制定出自己的磷回收目标和方案。早在2007年,苏黎世州就通过了一项决议,认为磷回收是可行的。因此,该州制定了磷肥产业的转型计划,旨在最大化实现磷回收,并要达到以下目标:①保护现有矿产资源;②注重生态和资源使用效率;③污水和污泥的安全处置;④保护环境和生态多样性。

为此,苏黎世州对各类磷回收方法进行了一系列可行性研究,认为从污泥焚烧灰烬中回收磷是该州最适宜的磷回收方法。因此,该州建立了以污泥焚烧灰烬为主要原料的磷回收系统,磷回收率可达到75%以上<sup>[10]</sup>。苏黎世州政府已经于2015年开始行动,预计在8年内将合并其境内的小型污水处理设施,以便实施污泥处置和磷回收计划。该计划在实施初期将污泥焚烧灰烬分两部分进行处理,一部分直接用于磷肥生产,另一部分则暂时储存,待磷肥生产系统改进后再行利用,以省去中间储存环节,降低生产成本。

## 2.2 英、法、德三驾马车

英、法、德三国作为欧洲三巨头,在磷回收方面自然不甘落后,也纷纷推出各自磷回收政策和计划,并付诸实施,其阵势一点也不输于上述荷、瑞两国。

### 2.2.1 英国——政策扶持与法律监管并行

磷是英国水环境污染的关键因子。同时,英国磷肥生产原料基本依赖磷矿石进口。为此,英国环保局与各利益相关者协作,计划采取一系列措施(污水中回收磷、以堆肥等有机肥料替代矿物生产化肥等),以最大化减少化肥的使用量。早在2012年,英国环境部就开始着手制定条例控制肥料使用和管理氮、磷等营养物,并根据英国国情对肥料的生产使用提出了3点原则:①避免污染水源;②保护环境和节约资源;③改进或提出新的肥料标准<sup>[11]</sup>。依此3点原则,英国提出了许多磷回收与再利用计划。

在英国诸多磷回收和再利用计划中,以“零废物苏格兰”计划(Zero Waste Scotland)最具代表性。“零废物苏格兰”计划由苏格兰当地政府主导,并与企业合作,旨在推动废物循环利用;在已确定的12

种关键循环物中,磷排列首位。磷循环利用是该计划的重点,苏格兰政府与高地和岛屿企业(HIE)、创新英国(Innovate UK)等组织合作推出创新基金,并组织了奖金额高达80万英镑的技术大奖赛,旨在鼓励中小企业进军循环经济领域。

在积极扶持废物循环利用的同时,苏格兰政府还推出了强有力措施,以保证“零废物苏格兰”计划有序进行。自2016年1月1日起,苏格兰当地已全面禁止餐厨垃圾随意排放,任何非农业组织和企业将餐厨垃圾直排下水道将被视为违法行为。苏格兰目前约有130万家庭餐厨垃圾被收集后用于厌氧消化(产甲烷并回收污泥中的磷)或堆肥(有机质及营养物同时利用),让农民放心使用堆肥等回收肥料,最终实现“零废物苏格兰”计划<sup>[12]</sup>。

### 2.2.2 法国——建立磷回收网络系统

2014年,在布里塔尼亚首府——雷恩召开的法国“磷大会”上提出,要在法国建立一个磷的网络系统,以促进磷的可持续利用。首先要评估磷回收给法国带来的直接利益,再借鉴欧洲可持续磷平台和肥料与环境管理系统等组织,最后在法国建立有关磷的信息网络系统。该网络系统的建立借鉴了荷兰、英国等国相关经验,其不仅仅提供资源共享,还以促成国内外合作项目为目标。法国磷回收网络系统除借鉴荷兰等国经验外,也参照了本国已有肥料与环境管理系统,活学活用,可有效促进法国磷回收有序进行。与此同时,法国工业联合会表示,法国工业领域有兴趣将生物质废料(污泥、污泥焚烧灰烬以及鸟粪石等)作为工业生产的原材料,并且将尽快在法国提出可回收利用的生物质废料清单。法国工业联合会的表态为法国磷回收项目打消了销路顾虑,将进一步促进法国的磷回收产业发展。

### 2.2.3 德国——磷回收法律框架

德国在磷回收研究领域亦处于国际先进地位,尤其近年来在大规模工业化工程项目实施过程中累积了许多实践经验。德国磷回收不但考虑了生态环保及经济因素,而且还制定了相应的法律框架和技术规范。

在目前的法律框架下,估计今后10年内德国将会建设大量工业化规模的磷回收装置。随着德国新版市政污泥规范的出台,德国环保部明确要求从含有营养物的市政污泥中进行磷回收。在这一管理框架下,德国循环经济法自2012年已开始生效,德国

资源利用项目也于2012年2月12日开始实施。

德国资源利用项目的目的是促进更加可持续地开采和利用自然资源,同时尽可能降低环境污染的风险。在这一背景下,德国政府将开始执行以下计划:①对不存在污染问题的剩余污泥应加强农用和土壤利用的力度,使污泥中磷元素重新返回人与土地之间的循环利用圈;②促进从污泥中进行磷回收的研究和工业开发利用项目;③提高回收磷在传统磷肥生产中的应用比例;④将市政污水处理厂除磷工艺升级改造成为能够为磷肥工业提供磷源的生产工艺;⑤在污泥热处理、处置情况下,尽可能对污泥采用单独焚烧工艺<sup>[13]</sup>,以充分利用污泥中的磷;⑥对单独污泥焚烧后的灰烬亦尽可能单独填埋,以便于今后将其重新取出后进行磷回收、利用;⑦相对于进口磷矿石来说,德国将在2020年之前将磷回收量提高至磷矿石进口总量的50%<sup>[14]</sup>。

2016年9月26日,德国环境部又出台了《污泥条例改革修正案》(草案),并计划提交德国内阁裁定。该修正案的首要目标是回收污泥中磷等有再利用价值的成分,同时,也限制了污泥传统土地直接利用方式的继续使用,以减少土壤重金属等污染现象。

## 2.3 齐心协力的北欧诸国

北欧国家经济水平居世界前列,环境保护也名列前茅,磷回收更是其环保事业的重要环节。北欧各国的磷回收计划不仅各具特色,还不忘资源共享和互相帮助。2016年10月,在丹麦召开了北欧部长级会议,旨在使北欧国家更有效地共享磷回收相关技术及经验;同时,从循环经济视角来促进北欧乃至整个欧盟磷回收产业发展。

### 2.3.1 丹麦——磷回收行业延伸

与其他欧洲国家不同,丹麦污泥处置方式以堆肥为主,经过巴氏消毒法处理后的堆肥在丹麦可以直接被作为肥料使用。但丹麦对堆肥质量和使用限度有严格要求,政府规定堆肥中的病原体数量应小于100个/g,使用上限为7 t/(hm<sup>2</sup>·a)。目前,丹麦市政污泥约有50%直接用于农业生产,另外50%以焚烧处理为主,焚烧灰烬大多也被用于磷回收。因此,丹麦有效控制了85%以上的磷污染<sup>[15]</sup>。相对于其他国家,丹麦磷回收目标似乎已经完成。但是,丹麦并不满足于此成就;作为欧洲最大的渔业国,丹麦已开始着手实现其水产养殖业的磷循环。

为实现可持续水产养殖,丹麦已开发了被认为

是最具可持续性的完全再循环养殖系统(FREA);这是一个基于水资源和营养物再利用及水体污染控制的封闭系统,主要由鱼苗池、成鱼池、水循环系统、生物过滤系统、沉淀池、排水系统、曝气系统和进料系统组成。由于封闭系统可以实现水资源和磷的内部“小循环”,该系统与传统做法相比不但减小了约100倍的用水量,还可以回收90%以上的磷;除系统渗漏部分外,系统内的磷基本可以完全回收<sup>[15]</sup>。

### 2.3.2 芬兰——部门协作与信息共享

芬兰正致力于成为营养物循环利用的典范国家。通过营养物有效回收以改善水质,加强粮食安全生产并创造新的商机。目前,芬兰政府已经启动了一个循环经济的重点项目,目标是在2025年之前减少50%以上的粪尿及市政污水排放量。为了达到目标,政府部门采取了以下措施:①为相关营养物回收项目提供资金支持;②促进磷和营养物回收信息的网络资源共享;③向基层操作人员提供技术支持;④收集最新科研成果;⑤确定磷和营养物回收过程中的瓶颈问题。投资1200万欧元,为期3年的试点工作已于2016年6月16日在芬兰南博滕区正式启动,将为随后全国性营养物回收计划提供实践经验。

### 2.3.3 瑞典——与时俱进并完善政策

早在2002年,瑞典环保局(SEPA)就发布了一个磷回收目标建议,目标是在2015年将来自污水中的磷回收与再利用率提高到60%,这使得瑞典成为最早制定磷回收目标的国家之一。这项建议指出,至少30%的回收磷需被作为肥料用于耕地施肥,剩余的将用于其他生产性用地<sup>[16]</sup>。但由于之后没有相关的法规监督约束,以及对“其他生产性用地”的定义模糊不清,使得这个目标建议很难有效执行。

于是,2012年瑞典政府委托瑞典环保局发布一个新版磷回收目标建议,2013年9月瑞典环保局公布了这份新的目标建议。该目标建议计划在2018年前,至少回收废物中40%的磷,并将其回归于耕地。与此同时,还提出了针对污泥的较为严格的指标,主要是限制重金属和有毒物质的含量,以鼓励污泥农用。污泥农用分为两个阶段实施,污泥初期指标将于2023年完成,远期指标将于2030年完成<sup>[16]</sup>。相比于2002年的磷回收目标建议,新版磷回收目标更加具体,并且有了明确的指标,更具可操作性。

### 2.3.4 挪威——挖掘磷源并制定计划

挪威目前有关磷回收的正式政策虽然还未出台,但是,挪威环境部拟建立一个全国性计划,以提高磷的利用效率,并实施兼顾磷污染和水质控制的磷回收策略。与此同时,制定新的化肥贸易条例,将回收磷制取的磷肥纳入管理范围,促进对污水、动物粪尿等有机废弃物的分类管理。并将与农业部门联合,建立一个跨部门的委员会,以发掘更多磷回收来源,更好地控制污染;分析磷回收的经济效益,开发磷回收项目,最终实现磷元素自给自足;建立良好的法律框架,创建挪威磷平台或类似论坛;激发科研团体和企业采用新技术,以提高资源利用率,推动相关产业的发展。对此,2015年挪威环保部发出了一份磷回收报告,指出挪威最大的回收磷来源包括:动物粪尿为11 600 t/a,水产业为9 000 t/a,污水处理厂为3 000 t/a。报告还认为,挪威目前还缺乏足够的信息来制定具体磷回收目标。因此,挪威环保部计划从2016年6月开始调查从农业、水产业、污水处理剩余污泥和其他来源回收磷的成本及效益。最后,将在2016年底为相关各行业制定一个磷回收战略。

## 3 磷回收计划项目与信息平台

在欧盟指南指引下,欧洲国家政府层面开始转变观念,相继出台各自计划与政策,已开始具体实施各类磷回收计划。其中,在磷回收的计划中,信息沟通与交流尤为重要,旨在唤起全社会共同努力,及时应对可能出现的磷危机困境。

### 3.1 磷回收相关计划

欧盟在颁布新的《化肥管理条例》之前,还与成员国一道推出了许多有关磷回收的计划与项目<sup>[17~22]</sup>,具体如下。

① P-REX:欧盟的第一个全方位磷回收与再利用技术评估计划。评估将考虑技术可操作性、经济效益和生态效益,并补充市场分析。分析结果将会在国际研讨会上予以分享,以促进各地区磷回收项目的发展;实施年限为2012年—2016年。

② FERTIPLUS:认定哪些城市和农场有机废物可以用来回收营养成分,或者用于生物炭和堆肥的生产。旨在开发创新型策略和技术,以减少矿物肥料的使用,并推动堆肥和生物炭肥料的生产与应用;实施年限为2011年—2015年。

③ REFERTIL:改善堆肥与生物炭处理系统,

实现营养物高效利用,并实现营养物“零排放”;实施年限为2011年—2015年。

④ BIOECOSIM:改变不科学的农业生产方式和化肥使用方法,回收动物粪便中的营养物和能源;实施年限为2011年—2015年。

⑤ VALUEFROMURINE:开发从尿液中回收氮、磷等营养物或者利用尿液燃料电池回收能源,并用于工农业生产;实施年限为2012年—2016年。

⑥ EFFICIENTHEAT:旨在开发一个综合并具有良好成本效益的方案,以减少猪粪尿排放量并回收营养物,以控制污染并节约能源;实施年限为2011年—2013年。

上述计划中绝大多数项目资金由欧盟提供,欧盟投资占比约为70%。同时,民间资本也有融入,而且还专门成立了诸如欧洲农村投资支持基金(RISE)等专项基金,以支持可持续发展并保护环境<sup>[23]</sup>。

### 3.2 磷回收信息交流与共享平台

欧盟在出台磷回收相关法案和制定磷回收项目计划的同时,也十分注重磷回收相关信息的交流和共享,已建立了欧洲可持续磷平台、德国磷平台、荷兰营养物平台等诸多平台,以共享信息;其中,一些磷回收平台还设有专门的平台网站。表1列举了一些磷回收平台网站及其基本信息<sup>[24~27]</sup>。

表1 欧洲磷回收平台与基本信息

Tab. 1 European phosphorus platform and basic information

平台及网站	基本信息
欧盟可持续磷平台 ( <a href="http://phosphorusplatform.eu/">http://phosphorusplatform.eu/</a> )	该平台旨在促进欧洲磷的可持续利用。网站可以进行知识共享与传输,以分享磷回收与管理相关经验,并促进市场、使用者和管理者之间的沟通与交流
荷兰营养物平台 ( <a href="http://www.nutrientplatform.org/">http://www.nutrientplatform.org/</a> )	该平台是一个管理营养物的跨部门网络组织。汇总水处理、农业、垃圾处理和化工等行业的养分循环计划。平台联合政府与非政府机构,旨在创建一个可持续营养物管理系统和营养物回收市场的平台。尤其是致力于将可能浪费的部分“磷流失”转化为具有市场价值的新产品,以实现环境保护和磷回收并举
德国磷平台 ( <a href="http://www.deutsche-phosphor-plattform.de/">http://www.deutsche-phosphor-plattform.de/</a> )	该平台汇集了利益相关者与各管理部门业已取得的技术、信息和经验,以促进磷的可持续利用
英国营养物平台 (暂无网站)	该平台目的是建立一个跨部门的营养物平台,将所有利益相关者联系起来,以实现营养物的可持续利用和维护环境安全



磷回收项目计划受益于欧盟指南以及政府层面的政策引领,也是指南和政策的直接表达方式。同时,欧盟以及各国信息平台则为各类磷回收项目提供信息及指引方向。欧盟指南、成员国政策、项目计划与信息平台之间的关系总结于图2。



图2 欧盟指南、成员国政策、项目计划与信息平台间关系

Fig. 2 Relationships between EU directives, member's national policies, phosphate projects and information platforms

#### 4 结语

欧洲国家经验表明,磷回收与再利用首先是认识和观念上的转变,其次是政府、组织相应政策引导和法律规范(如《化肥管理条例》),最后方能在共享信息指引下应用技术予以实施。

从各种渠道(污水/污泥、动物粪尿、动物骨粉、渔业、水产养殖业等)挖掘可再生磷源已成为欧洲各国共识,欧盟及各成员国和瑞士并为此出台了一系列相关鼓励和扶持政策,甚至用法律形式加以固化,目的是推动磷回收技术的研发和应用。

荷兰和瑞士在磷回收行动方面走在了欧洲各国的前列,荷兰不仅早已启动磷回收研发技术储备,而且政府相关组织亦规划污水处理厂今后作为营养物回收工厂的蓝图(NEWs)。在农业生产方面,荷兰早已规定每年磷的投入量不得高于当年作物收成总含磷量,以此限制磷肥使用量。“2018 营养物计划”和“2050 荷兰循环计划”将会把荷兰营养物回收技术与应用提升到一个更高的水平。瑞士于2016年1月1日起开始实施的从污水/污泥、动物粪尿、动物骨粉中强制回收磷并建立磷元素封闭循环系统之举必将成为其他国家今后效仿的典范。

英、法、德作为欧洲三驾马车,在磷回收方面纷

纷推出各自磷回收政策和计划,并已开始付诸实施,且取得了一定实际效果。其中,苏格兰的“零废物”计划、法国“磷回收网络系统”、德国“污泥条例改革修正案”等将助推各自磷回收技术实施。

作为小国,北欧各国在磷回收行动方面并不甘示弱,齐心协力、资源共享,各种政策、法律相继出台,已将磷回收场合拓展至渔业及水产养殖业。

实施磷回收行动计划离不开各国建立的磷回收信息平台,通过平台不仅可及时了解政策、法律方面的文件,更重要的是还能及时捕捉市场信息以及技术体系。这就为磷回收顺利实施奠定了政策/法律、技术和市场方面的信息保障,使磷回收得以无瓶颈进行,直至完成建立磷元素封闭循环系统的最高目标。

#### 参考文献:

- [1] 郝晓地,王崇臣,金文标. 磷危机概观与磷回收技术[M]. 北京:高等教育出版社,2011.
- [2] Desmidt E, Ghyselbrecht K, Zhang Y, et al. Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: A review[J]. Crit Rev Environ Sci Technol, 2015, 45(4): 336-384.
- [3] Hukari S, Hermann L, Nattorp A. From wastewater to fertilisers—Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling[J]. Sci Total Environ, 2015, 542: 1127-1135.
- [4] 郝晓地,张健. 污水处理的未来:回归原生文明[J]. 中国给水排水, 2015, 31(20): 1-8.
- [5] 郝晓地,金铭,胡沅胜. 荷兰未来污水处理新框架—NEWs 及其实践[J]. 中国给水排水, 2014, 30(20): 7-15.
- [6] Jksma D. Afttrap Ambitie Nutrienten 2018[EB/OL]. <https://www.nutrientplatform.org/afttrap-ambitie-nutrienten-2018-door-staatssecretaris-dijksma/>, 2016-10-05.
- [7] Nutrient Platform NL. Nederland circulair in 2050[EB/OL]. <https://www.nutrientplatform.org/wp-content/uploads/2016/09/bijlage-1-nederland-circulair-in-2050.pdf>, 2016-09-01.
- [8] Nutrient Platform NL. Ambitie Nutrienten 2018[EB/OL]. <https://www.nutrientplatform.org/wp-content/uploads/2016/10/Ambitie-Nutri%20C3%ABnten-2018.pdf>, 2016-10-05.
- [9] Schenk K. Revidierte technische verordnung über Abfälle:

- Schritt zur ressourcenschonung [ EB/OL ]. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-59785.html>, 2016-08-31.
- [ 10 ] Egle L, Rechberger H, Krampe J, *et al.* Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies [ J ]. *Sci Total Environ*, 2016, 571: 522-542.
- [ 11 ] Environment Agency - GOV. UK. Nutrients, fertilisers and manures [ EB/OL ]. <https://www.gov.uk/guidance/managing-nutrients-and-fertilisers#nutrient-management-and-cross-compliance>, 2013-06-13.
- [ 12 ] Rogers M. Farmers' use of renewable fertilisers to be revolutionised by new research [ EB/OL ]. <http://www.zerowastescotland.org.uk/content/farmers%E2%80%99-use-renewable-fertilisers-be-revolutionised-new-research>, 2016-02-09.
- [ 13 ] 卢志, 张毅, Hanssen H. 德国汉堡污水处理厂污泥循环处理模式探讨 [ J ]. *中国给水排水*, 2007, 23 ( 10 ): 105-108.
- [ 14 ] 高颖. 德国实施磷回收的经济、法律等框架条件 [ EB/OL ]. <http://www.water8848.com/news/201502/02/24014.html>, 2015-02-02.
- [ 15 ] Rein A, Wu Y, Yemelyanova M. Phosphorus project: sea breeze IV [ EB/OL ]. <http://phosphorusplatform.eu/images/download/Report%20PhosphorusProject%20Denmark%20for%20ESPP.pdf>, 2015-12-01.
- [ 16 ] Haile H D. Sustainable Phosphorus Management in Sweden [ D ]. Sweden: Linköping University, 2015.
- [ 17 ] European Commission. Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency [ EB/OL ]. [http://cordis.europa.eu/project/rcn/105528\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/105528_en.html), 2015-08-31.
- [ 18 ] European Commission. FERTIPLUS - Reducing mineral fertilisers and agro-chemicals by recycling treated organic waste as compost and bio-char products [ EB/OL ]. [http://cordis.europa.eu/result/rcn/181447\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/181447_en.html), 2016-04-05.
- [ 19 ] European Commission. Improvement of comprehensive bio-waste transformation and nutrient recovery treatment processes for production of combined natural products [ EB/OL ]. [http://cordis.europa.eu/project/rcn/101165\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/101165_en.html), 2015-09-30.
- [ 20 ] European Commission. BIOECOSIM ( An innovative bio-economy solution to valorise livestock manure into a range of stabilised soil improving materials for environmental sustainability and economic benefit for European agriculture ) [ EB/OL ]. [http://cordis.europa.eu/result/rcn/143708\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/143708_en.html), 2013-09-27.
- [ 21 ] European Commission. VALUEFROMURINE ( Bio-electrochemically-assisted recovery of valuable resources from urine ) [ EB/OL ]. [http://cordis.europa.eu/result/rcn/150218\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/150218_en.html), 2014-11-21.
- [ 22 ] European Commission. Integrated and cost-effective solution to reduce the volume of pig slurry, minimize pollutant emissions and process energy consumption [ EB/OL ]. [http://cordis.europa.eu/result/rcn/145876\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/145876_en.html), 2014-08-07.
- [ 23 ] RISE Foundation. What is RISE [ EB/OL ]. <http://www.risefoundation.eu/>, 2016-08-16.
- [ 24 ] European Sustainable Phosphorus Platform. ESPP regulatory activities [ EB/OL ]. <http://phosphorusplatform.eu/platform/2015-09-09-10-54-12/regulatory-activities>, 2016-03-29.
- [ 25 ] de Buck W. Over nutrient platform [ EB/OL ]. <https://www.nutrientplatform.org/over-nutrient-platform/>, 2013-07-18.
- [ 26 ] European Sustainable Phosphorus Platform. National phosphorus platform founded [ EB/OL ]. [http://www.phosphorusplatform.eu/images/DPP\\_Launch\\_press\\_release\\_12-2-2015.pdf](http://www.phosphorusplatform.eu/images/DPP_Launch_press_release_12-2-2015.pdf), 2015-02-12.
- [ 27 ] Link2energy Ltd. UK nutrient platform [ EB/OL ]. <http://link2energy.co.uk/uk-nutrient-platform-september-2015>, 2015-10-01.



作者简介: 郝晓地 (1960 - ), 男, 山西柳林人, 教授, 从事市政与环境工程专业教学与科研工作, 主要研究方向为污水生物脱氮除磷技术、污水处理数学模拟技术、可持续环境生物技术。现为国际水协期刊《Water Research》区域主编 (Editor)。

E-mail: haoxiaodi@bucea.edu.cn

收稿日期: 2016-12-05