

城镇污泥土地利用实施及管控全流程方法浅析

赵水钎

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:目前我国城镇污泥处理技术逐渐成熟,污泥消纳成为了城镇污泥处理处置全过程的短板环节。其中,土地利用是一种资源利用型的污泥处置方式,而该方式的应用关键是在污染可控的基础上为植物生长提供适宜养分。此外,污泥土地利用是跨行业行为,目前国内尚缺乏全流程的技术和管理支撑。因此,着眼于污泥产物准入、施用到监管全流程,系统地梳理了污泥、农林、土壤等领域的标准规范;同时通过对比污泥产物质量标准对于不同控制指标的要求,基于植物养分和污染物控制需求,总结了污泥产物施用量的计算原则和方法;最后结合土壤质量管控相关要求,探索了污泥土地利用后的管控流程及方法。

关键词: 污泥;土地利用;产物质量;施用量;监管

中图分类号: TU992.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)03-0199-05

0 引言

近年来,土地利用作为一种成本低廉、环境友好的污泥资源化终端处置方式,在世界范围内已成为典型的污泥消纳途径之一。城镇污泥中富含植物生长所需的有机质、氮磷钾等重要营养元素和铁、钴、硼等微量元素,能转化为土壤有效养分,同时可改善土壤结构,有利于植物生长^[1]。然而,未妥当处理的污泥含有高盐分、重金属、病原体等,存在污染土壤和地下水的风险^[2]。由于污泥兼具资源属性和污染属性,污泥土地利用尤其是农用引起了广泛争议,其问题聚焦在如何规避不规范施用和长期施用所造成的潜在污染风险。

国外的污泥土地利用技术起步较早,部分国家通过出台相应的政策法规对污泥土地利用进行了操作规范和风险控制。美国的污泥土地利用比例较高,美国联邦环保署(USEPA)颁布的 40 CFR Part 503 法令从法律层面鼓励污泥土地利用,并在施用量、污染物浓度限值、施用后监测等方面作出了具体指导^[3]。欧盟颁布的 86/278/EEC 法令主要对污泥和土壤中部分重金属含量限值作出限定,而欧盟各国对污泥土地利用的态度不同,土地利用比例也有较大差异。英国在 2001 年和 2018 年先后颁布了《污水污泥农用指南》和《农用污泥施用规程》^[4],德国在

2015 年发布《肥料法》规定了污泥用作肥料的限值,2017 年修订了更为严格的《污水污泥条例》^[5]。日本由于地域限制,污泥以焚烧为主,但仍出台了污泥土地利用相关法规,主要有《污泥绿、农地使用手册》、《资源有效利用促进法》、《废弃物处理法》等。

我国出台的相关政策法规鼓励将稳定化、无害化处理后的污泥制成符合相关标准或产品要求的产物或产品,用于园林绿化、苗木抚育、土地改良、荒地造林和农业利用等。然而,现行国家标准主要在污泥性质和土壤环境质量要求上划了红线,缺乏对污泥土地利用全过程的系统指导,污泥施用量、施用年限如何确定,施用后具体如何管控等均缺乏针对性、可操作的方法支撑。污泥土地利用是跨行业行为,国家或地方住建、农业、林业、园林绿化、生态环境等部门颁布的关于绿化土壤性质、施肥养护技术规程、肥力诊断与污染评估等内容的行业标准或地方标准,以及各协会发布的团体标准,归口部门不同、标准制定的出发点和考虑因素各不相同,“源头准入-施用过程-后续管控”链条内存在多个堵点,没有实现跨行业协同。

污泥土地利用施用方法和后续管控过程不但需要与相关行业的现行标准规范相协调,还需要考虑到污泥特有的资源属性和污染属性。本文从污泥产物土地利用“源头准入-施用过程-后续管控”全过程出发,针对施用前的污泥准入、施用时的施用量确定、施用后的土地监管 3 个关键点,对国内相关标准和指南进行梳理和总结,结合污泥资源属性和污染属性分析相关原则、方法的适用性,并给出相应建议,为构建跨

收稿日期: 2023-03-14

基金项目: 重点研发计划固废资源化专项(2020YFC1908700)

作者简介: 赵水钎(1994—),女,硕士,工程师,从事技术研发工作。

行业协同、全链条贯通的城镇污泥土地利用实施和管控方案提供参考。

1 污泥产物准入要求

城镇污泥经稳定化处理形成污泥产物,或产物再加工形成产品才能进行土地利用。污泥稳定处理后与稳定过程的控制指标应执行《城镇污水处理厂污泥处理 稳定标准》(CJ/T 510—2017)的相关规定。

污泥土地利用根据施用场景可分为林地利用、园林利用、土地改良和农业利用。住建部从2009年开始陆续发布城镇污泥处置泥质系列标准,覆盖了上述4种土地利用方式,包括国标《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》(GB/T 24600—2009)、行标《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》(CJ/T 309—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质》(CJ/T 362—2011);在2018年又修订了《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018),与农用泥质行标互为补充。目前污泥产物需满足相应标准的控制指标和规定方可进行土地利用,相关标准下的土地利用污泥产物质量控制指标见表1。各标准对污泥产物的含水率、pH值、有机质、氮磷钾、重金属、粪大肠菌群菌值均有规定,但有机污染物指标种类差异较大。由于2021年农业部修订的《有机肥料》(NY/T 525—2021)明确指出禁止选用污泥作为原料,因此污泥农用受限,目前污泥产物主要用于不进入食物链的林地利用、园林利用、土地改良,后文内容也主要围绕这3种土地利用方式。

2 污泥产物施用量确定

为使污泥稳定化产物施用后的土壤能满足相应施用场景下土壤养分要求和环境质量要求,除了对污泥产物进行准入要求外,还需要确定其施用量。施用量应满足养分提供和污染控制的平衡,既达到植物生长所需最适养分区间,又能将重金属等污染物含量控制在可接受范围内。因此,污泥产物施用量可按以下原则确定:根据污泥中养分含量,按植物所需养分计算污泥需求量,结合土壤质量标准和污泥中重金属含量计算允许施用量,两者取低值,最后根据系列泥质标准中的施用频率、施用量限值或施用年限限值进行校核。基于植物养分需求计算施用量时,可借鉴农业中的测土配方施肥技术;基于污染物控制计算施用量时,可根据土壤质量相关标准规定的

污染物限值进行计算。

2.1 基于养分需求计算施用量

适宜的污泥产物施用量能够起到改善土壤肥力、提供植物良好生长条件的作用,可根据植物各种养分需求确定。测土配方施肥(《测土配方施肥技术规程》(NY/T 2911—2016))在农业中广泛应用,该方法可参考用于污泥产物土地利用施用量的确定,但在不同土地利用场景下,其计算方法略有不同。

在污泥林地利用时,其目的主要是使植物达到预期产量。《测土配方施肥技术规范》(NY/T 1118—2006)、《测土配方施肥技术规范》(2011修订版)^[6]、《测土配方施肥技术规程》给出了肥料用量的3类计算方法,分别为养分平衡法、肥料效应函数法、土壤养分丰缺指标法。后两种方法适用于有充足条件进行田间试验的情况;养分平衡法则较容易实践,即基于植物主要从土壤和肥料两处获取生长所需养分的原理,通过植物目标产量所需养分总量与土壤养分供应量之差来确定污泥需要供应的养分量,其计算公式为:

施肥量 =

$$\frac{\text{目标产量所需养分总量} - \text{土壤养分供应量}}{\text{肥料中养分含量} \times \text{肥料利用率}} \quad (1)$$

式中:目标产量所需养分总量是目标产量和单位产量养分吸收量的乘积,单位产量养分吸收量可参考《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的推荐值^[7];土壤养分供应量根据计算方法不同分为地力差减法和土壤有效养分校正系数法;肥料中养分含量可通过实测污泥养分含量获得;肥料利用率采用施肥区与缺素区的植物吸收养分量差减计算,详细取值过程参考上述3部标准。基于我国国情,氮元素常为限制元素,因此计算时可以氮素为主要依据。当污泥作为基肥施用时,通常按《测土配方施肥技术规程》,以需氮总量的30%~60%计算。

在污泥园林利用时,保证植物的成活率和美观性是主要目的,宜在土壤性质指标的最适范围内进行种植,可参考《绿化种植土壤》(CJ/T 340—2016)、《绿化用有机基质》(GB/T 33891—2017)的养分控制指标要求,包括有机质、总养分(总氮+总磷+总钾)、速效养分(水解性氮、有效磷、速效钾)等。在《城市绿地土壤施肥技术规程》(DB11/T 1184—2015)中,基于养分平衡原理给出了基于土壤标准养分指标与实际土壤供肥量的施肥量估算方法。

在土地改良时,养分提升目标应视改良场景和用途而定。

表 1 相关标准下的土地利用污泥产物质量控制指标

控制指标		农用(GB 4284—2018、 CJ/T 309—2009)		林地利用 (CJ/T 362— 2011)	园林利用 (GB/T 23486—2009)		土地改良 (GB/T 24600—2009)	
		A 级	B 级		酸性土壤 (pH<6.5)	中性和碱性土壤 (pH≥6.5)	酸性土壤 (pH<6.5)	中性和碱性土 壤(pH≥6.5)
外观和嗅觉					比较疏松,无明显臭味		有泥饼型感观,无明显臭味	
稳定化要求					满足《城镇污水处理厂污染物排 放标准》(GB 18918—2002)稳定 化控制指标		满足《城镇污水处理厂污染 物排放标准》(GB 18918— 2002)稳定化控制指标	
理化 指标	含水率 /%	≤60	≤60	<40		<65		
	pH 值	5.5~8.5	5.5~8.5	6.5~8.5	5.5~7.8	5.5~10		
	粒径 /mm	≤10	≤10					
	杂物 /%	≤3	≤5					
	EC 值 /(mS·cm ⁻¹)	<1.0(耐盐植物可放宽至<2.0)						
养分 指标	有机质(以干基计)/%	≥20	≥18	≥25		≥10		
	每 kg 干污泥含氮磷钾 /mg	≥30	≥25	≥30		≥10		
卫生 学指 标	蛔虫卵死亡率 /%	≥95	≥95			>95		
	蠕虫卵死亡率 /%			>95				
	粪大肠菌群菌值	≥0.01	≥0.01	>0.01		>0.01		
	每 kg 干污泥含细菌总数 /MPN					<108		
污染 物指 标(以 每千 克干 污泥 计)	总镉含量 /mg	<3	<15	<20	<5	<20	<5	<20
	总汞含量 /mg	<3	<15	<15	<5	<15	<5	<15
	总铅含量 /mg	<300	<1 000	<1 000	<300	<1 000	<300	<1 000
	总铬含量 /mg	<500	<1 000	<1 000	<600	<1 000	<600	<1 000
	总砷含量 /mg	<30	<75	<75	<75	<75	<75	<75
	总镍含量 /mg	<100	<200	<200	<100	<200	<100	<200
	总锌含量 /mg	<1 200	<3 000	<3 000	<2 000	<4 000	<2 000	<4 000
	总铜含量 /mg	<500	<1 500	<1 500	<800	<1 500	<800	<1 500
	总硼含量 /mg				<150	<150	<100	<150
	矿物油含量 /mg	<500	<3000	<3 000	<3 000	<3 000	<3 000	<3 000
	苯并[a]芘含量 /mg	<2	<3	<3	<3	<3		
	多环芳烃含量 /mg	<5	<6	<6				
	可吸附有机卤化物(AOX) (以 Cl 计)含量 /mg				<500	<500	<500	<500
	多氯联苯含量 /mg						<0.2	<0.2
	挥发酚含量 /mg					/	<40	<40
	总氰化物含量 /mg						<10	<10
	种子发芽指数 /%		>60		>60		>70	
施用频率		≤7.5 t/(hm ² ·a)(干 基),连续施用≤5 a		≤30 t/(hm ² ·a) (干基),连续施 用≤15 a		≤30 t/(hm ² ·a)(干基)		
其他要求				场地坡度大于 9%采取防雨水 冲刷、径流等措 施;场地坡度大 于 18%不应施 用				

2.2 基于污染物控制计算施用量

控制污泥产物的施用量是为了使施用污泥产物后的土壤满足相应场景下土壤环境质量要求,控制土壤污染物浓度和污染风险,保护土壤生态环境,保障

植物正常生长。《城镇污水处理厂污泥产品林地利用工程化施用技术指南》(T/CSES 28—2021)提出了林地用污泥产品的施用量要求(其他土地利用方式可参考执行),污泥产品施用量限定值 S_i 的计算式为:

$$S_i = \frac{W_i - B_i}{C_i} \times T \quad (2)$$

式中: W_i 为土壤中污染物 i 的风险筛选值, mg/kg, 污泥林地利用应当依据种植类型和标准保护目标确定, 可参照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018) 执行; 污泥园林利用可参照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018) 执行, 在此基础上还可参考《绿化种植土壤》、《绿化用有机基质》的环境质量要求; 污泥土地改良的土壤质量要求应视改良场景和用途而定; B_i 为土壤中污染物 i 的背景值, mg/kg; T 为污泥产品施用层的土壤干重, t/(hm²·a), 采用撒施时, 施用层厚度指翻耕厚度, 采用沟施或穴施时, 施用层厚度指挖沟或挖穴厚度; C_i 为污泥干基中污染物 i 的含量, mg/kg。

2.3 施用总量和年限

污泥土地利用系列泥质标准中对污泥产物年施用量也有建议。《农用污泥污染物控制标准》规定, 污泥产物农用时, 累计用量不超过 7.5 t/(hm²·a) (以干基计), 连续施用不超过 5 a; 《城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质》规定, 污泥产物林地利用时, 累计用量不超过 30 t/(hm²·a) (以干基计), 连续施用不超过 15 a; 《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》规定, 污泥土地改良时, 累计用量不超过 30 t/(hm²·a) (以干基计)。

综上, 污泥产物施用量确定方法为: 在基于养分需求计算出的施用量范围内, 且不高于基于污染物控制的施用量限值和相应标准规定年施用量的较低值。

3 施用后土地监管

污泥土地利用是跨行业跨部门行为, 存在全流程管控不到位的问题, 目前关于污泥产物施用后监管的全流程指南仍然空白。污泥施用后, 需要跟踪监测土壤质量变化, 对污染风险进行评估, 以此调整施用方案。因此, 监管流程可分为 3 步: 采样与监测、土壤环境质量评价和污染风险评估、污泥施用方案调整。

3.1 采样与监测

在采样前应首先明确监测对象和范围, 并获取足够基础资料和数据。监测对象主要是施用污泥后的地块或区域。除了获取污泥施用时间、施用量、污泥来源、污泥性质等备案资料外, 《土壤环境监测技

术规范》(HJ/T 166—2004) 提出, 还需收集包括监测区域的地质图、土壤图等图像资料, 以及土类、成土母质等土壤环境本底资料。

获取基础资料后, 需要制定监测方案。《土壤质量 土壤采样技术指南》(GB/T 36197—2018)、《土壤质量 土壤采样程序设计指南》(GB/T 36199—2018)、《土壤质量 自然、近自然及耕作土壤调查程序指南》(GB/T 36393—2018) 提供了土壤采样和布点计划的制定方法, 其中污泥林地利用参考农田土壤采样方法; 污泥园林利用参考城市土壤采样方法。《土壤环境监测技术规范》和《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》对监测项目与频次作出了规定。

3.2 土壤环境质量评价和污染风险评估

获取监测数据后, 需要进行土壤环境质量评价和污染风险评估, 其目的是定性和定量评价污泥产物的施用是否造成施用地土壤污染和破坏、是否对植物生长与人体健康产生危害, 从而采取相应管控措施。目前, 针对污泥土地利用后土壤环境质量评价和污染风险评估全流程的系统性指导文件尚为空白, 最直接的方法是参照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》和《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》, 两者分别给出了农用地和建设用地的污染物浓度限值, 包括风险筛选值和风险管控值。若污染物含量不超过风险筛选值, 可认为对植物生长或土壤环境产生的风险较低, 一般可忽略污染风险; 若污染物含量超过风险筛选值但不超过风险管控值的, 则认为对植物生长或土壤环境可能存在一定风险, 应加强土壤环境和植物生长状况监测, 原则上根据监测情况采取相应措施限制其施用。而建设用地应依据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1—2019)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2—2019) 开展进一步详细调查, 并依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019) 等标准开展风险评估并确定风险水平, 判断是否需要采取管控或修复措施; 若污染物含量超过风险管控值, 则认为存在不可接受风险, 应采取风险管控或修复措施。这种阶梯式风险管控方法背后的原理是: 采用污染指数和方差分析等方法进行污染物超标和累积评价, 根据分级的评价结果对农用地进行分类管理, 对建设用地则分情况决定是否执行土壤污染风险评估。详细方法可参照《土壤环境监测技术规范》、湖南省地标《林地土壤环境治理评价规程》(经济

林)》(DB43/T 1353—2017)等相关标准规范。土壤环境质量评价程序还可以结合内梅罗指数、综合污染指数、地质累计指数和潜在生态危害指数等方法综合制定^[8]。

3.3 污泥施用方案调整

由于目前我国没有关于污泥土地利用施用量控制的强制性要求,通过土壤质量监控和污染风险评估进行施用量的调整是十分必要的。初步的判断方法可参考农用地和建设用地的土壤污染风险管控标准,如果施用后的土壤污染物浓度未超过标准规定的风险筛选值,可以保持原施用量;如果施用后的土壤污染物浓度在风险筛选值和风险管控值之间,应分析污泥施用造成的影响,需要控制施用量;如果施用后的土壤污染物浓度高于风险管控值,原则上应停止污泥施用。实际操作中还需根据评估情况灵活调整施用方案,如采取多地块轮施、按年限间隔施用等措施。

4 结 语

没有充分考虑污泥的资源属性和污染属性是限制污泥土地利用推广应用的重要因素。资源属性决定了污泥施用必须符合农林行业的养分需求和科学施用方法,污染属性决定了污泥施用还必须满足土壤质量控制要求。在此过程中,市政、农林、土壤、环保跨领域协同合作是难点。因此,污泥土地利用亟需政策层面的引领统筹、标准层面的衔接贯通、技术层面的细则指导,制定并完善全过程操作规程,建立并健全全流程监管体系。全过程操作规程应从施用前

准入、施用量控制、施用后监管3个环节出发,以满足植物生长养分需求的同时控制污染物风险为目标,衔接各行业现有标准规范。全流程监管体系应覆盖污泥产物产生、运输、施用、检测、评价等环节,落实污泥转运联单制度,各地根据实际情况建立定时监测、数据上报和问题反馈机制,灵活调整污泥施用方案。技术规范和管理体系双管齐下,系统规划和因地制宜推动落地,才能打通堵点,推进城镇污泥土地利用产业化进程,保障城镇污泥土地利用安全实施和长效发展。

参考文献:

- [1] 余杰,郑国砥,高定,等.城市污泥土地利用的国际发展趋势与展望[J].中国给水排水,2012,28(20): 28-30.
- [2] 戴晓虎.我国城镇污泥处理处置现状及思考[J].给水排水,2012,48(2): 1-5.
- [3] 40 CFR Part 503. Standards for the use or disposal of sewage sludge [S]. USA, 1993.
- [4] Environment Agency G U. Guidance: Sewage sludge in agriculture: Code of practice for England, Wales and Northern Ireland [Z]. UK, 2018.
- [5] Umweltbundesamt. Sewage sludge disposal in Germany[Z]. Germany, 2019.
- [6] 农业部种植业管理司. 农业部关于印发《测土配方施肥技术规范(2011年修订版)》的通知[EB/OL]. https://www.moa.gov.cn/govpub-lic/ZZYGLS/201109/t20110928_2312398.htm. 2011.
- [7] 农业部办公厅. 农业部办公厅关于印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的通知[EB/OL]. https://www.moa.gov.cn/nybg/2018/201802/201805/t20180515_6142139.htm. 2018.
- [8] 赵文廷.土壤环境监测技术规范中的土壤环境质量评价问题[J].中国环境管理,2017,9(4): 29-33.

~~~~~  
(上接第188页)

2 min左右后再往下锤0.5~1.0 m再往上振拔,如此反复进行。离开角桩5根以上作为拔桩起点,可根据沉桩情况确定拔桩起点,必要时可进行跳拔或者采用高压水枪辅助实施。不能拔除时,由潜水员贴河床底进行水下切割。

## 5 结 语

本深基坑工程采用锁口钢管桩+钢支撑支护结构施工,解决了复杂地质条件下造价高、止水差、工期长的难题。利用信息化动态实时监测基坑稳定性,工程平稳顺利结束,节约成本约150万元,比预计工

期提前15 d,为大型建筑深基坑开挖支护施工积累了—定的经验,对后续类似工程具有很好的借鉴作用。

### 参考文献:

- [1] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 赵志缙,应惠清.简明深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] 钟祺,郑春雨,卫康,等.复杂地质深水环境中钢围堰类型比选及设计研究[J].公路,2021(10): 210-215.
- [4] 李大军,刘海熊.锁扣式钢管桩围堰在深水承台施工中的应用[J].国防交通工程与技术,2021(S1): 83-85.
- [5] 程鹏军,余亮,赵雪峰.锁扣式钢管桩围堰在复杂深水基础中的应用[J].四川水力发电,2021(6): 61-65.