

T/CSTE 0056-2022《脱硫石膏改良盐碱土壤技术规程》 团体标准解读

刘 静¹ 王淑娟² 王秀腾^{1*} 赵永敢² 方 菲¹ 霍晓东¹ 王远航¹

(1.中国标准化研究院; 2.清华大学)

摘 要: 本文介绍了制定T/CSTE 0056-2022《脱硫石膏改良盐碱土壤技术规程》的背景和意义,以及标准研制的总体思路 and 原则、标准施用技术要求、适用土壤和作物、施用时间和施用方法、检测方法等。该团体标准的研制与实施,填补了我国在脱硫石膏改良盐碱土壤标准方面的空白,对于推进脱硫石膏等大宗工业固体废弃物资源化利用具有重要意义。

关键词: 脱硫石膏, 盐碱土壤, 土壤改良, 施用技术规程

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.11.017

Research on Association Standard for Desulfurized Gypsum for Improving Saline-alkali Soil

LIU Jing¹ WANG Shu-juan² WANG Xiu-teng^{1*} ZHAO Yong-gan²
FANG Fei¹ HUO Xiao-dong¹ WANG Yuan-hang¹

(1. China National Institute of Standardization; 2. Tsinghua University)

Abstract: This paper introduces the background and significance of developing the Technical Specification for Improvement of Saline-alkali Soil with Desulphurized Gypsum (T/CSTE 0056-2022), and the general idea and principle of the standard development, the technical requirements of the standard application, the applicable soil and crops, the application time and application method, and the testing method. The development and implementation of the association standard will fill the gap in China's standard for improving saline-alkali soil with desulphurized gypsum, and is of great significance for promoting the resource utilization of bulk industrial solid waste with desulphurized gypsum.

Keywords: desulfurized gypsum, saline-alkali soil, soil improvement, technical regulations of use

基金项目: 本文受国家重点研发计划“固废资源化”重点专项课题“典型产业间固废协同处理技术规范与园区化协同处理模式研究”(课题编号: 2019YFC1908504)资助。

作者简介: 刘静, 工程师, 研究方向为资源环境标准化研究。

王淑娟, 教授, 研究方向为盐碱地区生态修复与固碳。

王秀腾, 通信作者, 副研究员, 研究方向为固体废物处理和综合利用以及环境保护标准化。

赵永敢, 副研究员, 研究方向为盐碱地改良与利用。

方菲, 助理工程师, 研究方向为资源环境标准化研究。

霍晓东, 助理工程师, 研究方向为资源环境标准化研究。

王远航, 助理工程师, 研究方向为资源环境标准化研究。

0 引言

当前,我国已有多家企业利用烟气脱硫石膏改良盐碱土壤,取得了较好的经济、社会和环境效益。为了规范烟气脱硫石膏改良盐碱土壤技术,推动固体废物资源化利用,根据2022年中央一号文件《关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》《循环发展引领行动》以及《土壤污染防治行动计划》等有关文件要求,2022年8月T/CSTE 0056-2022《脱硫石膏改良盐碱土壤技术规程》团体标准由中国技术经济学会发布并实施。

1 标准制定的必要性

脱硫石膏是燃煤发电过程中,采用石灰-石灰石回收燃煤或油烟气中二氧化硫技术过程的副产品。据统计,目前我国燃煤电厂每年产生约7000万吨烟气脱硫石膏^[1-2],综合利用率仅为75%,远低于发达国家,尤其是在西部经济欠发达地区,其存贮和资源化利用问题日益困扰燃煤电厂。如何有效、低成本地利用脱硫石膏一直是政府部门和企业关心的问题,同时也是众多科研工作者悉心研究的课题。

我国约有1亿亩盐碱地具有农业发展潜力,经过20余年的研究与实践,利用脱硫石膏改良盐碱化土壤的作用效果已被广大科技工作者认可,并且在典型盐碱地分布区得以广泛推广应用^[3]。然而,由于土壤盐分组成与程度及土地利用情况等不同,以及脱硫石膏中主要成分的差异,目前脱硫石膏改良盐碱化土壤施用技术较为粗放,缺乏一套合理的施用技术体系来保证其作用效果最大化和施用规范化。

1.1 国内外脱硫石膏改良盐碱土壤现状

欧美日等发达国家和地区非常重视脱硫石膏的综合利用,其脱硫石膏的利用研究始于20世纪70年代末,80年代初,现已形成较为完备的研究、开发、应用体系。2016年,美国农业部将脱硫石膏改良土壤作为一项新的国家最佳实践。国际上将脱硫石膏主要应用于酸性土壤改良,并取得了成功。

一些发达国家非常重视工业副产品石膏的综合利用,目前已形成较为完整的脱硫石膏改良酸性土壤研发-应用体系。其改良的主要机理是脱硫石膏中的 CaSO_4 与土壤中胶体的可交换 Na^+ 发生反应,将可交换 Na^+ 从土壤胶体中代换下来,从而改善土壤的物理化学性质。

1.2 已有研究和产业应用基础

20世纪90年代,我国首次开始探索脱硫石膏应用于盐碱地改良的研究。清华大学通过试验研究首先提出了利用烟气脱硫石膏成本低、见效快、改良效果显著等显著优点改良碱化土壤,并于1996年与日本东京大学合作,在我国沈阳开展了脱硫石膏改良盐碱土的相关试验,证实了该技术的可行性与有效性。随后,国内许多研究机构,如:内蒙古农业大学、宁夏大学等开始了脱硫石膏改良盐碱土壤的研究与地方实践,并取得了很好的改良效果。

1995年,清华大学率先在国内开展脱硫石膏改良盐碱地技术研究,该技术打破了长久以来盐碱地改良难、改良成本高的壁垒。与此同时,各大高校、研究机构也深入开展脱硫石膏改良盐碱土壤技术研究,通过20多年的技术研究与实践应用,该技术在盐碱地改良领域获得发明专利20余项,同时也获得了多项国家级、省部级奖励。2018年,通过专家论证和评审,我国利用燃煤电厂脱硫石膏改良盐碱地关键技术已处于国际领先水平^[4]。

2010年,以企业为产业化主体,以燃煤脱硫石膏改良盐碱地技术为技术核心,通过开展盐碱地及各类边际土地改良和综合利用工作,真正实现了科技成果由实验室走向农田的应用。在我国北方的10多个省区开展盐碱地改良及种植工作,累计进行了120余万亩盐碱地的改良和示范种植,效果显著^[5]。

1.3 标准制定的意义

土壤盐碱化是制约农业生产和经济发展的一大难题,也是致贫的原因之一。虽然脱硫石膏改良盐碱地已得到广泛应用与推广,但目前我国依然没有统一的烟气脱硫石膏施用技术标准,导致其适用土壤条件、施用技术等都还未规范化。

目前,我国已发布了GB/T 37785-2019《烟气

脱硫石膏》、GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》、HG/T 4219-2011《磷石膏土壤调理剂》等有关脱硫石膏及土壤质量标准。脱硫石膏改良盐碱土壤标准的制定进一步明确了脱硫石膏改良盐碱土的关键技术与配套措施,规范不同类型区利用脱硫石膏进行盐碱土改良的技术,提高盐碱化耕地的农作物产量、品质和效益。其次,标准的制定对推动脱硫石膏资源化利用的规范化,对推进脱硫石膏等大宗工业固体废弃物资源化利用具有重要意义。与此同时,通过标准的制定有效控制了脱硫石膏中富集的危害微量元素再次释放到环境中从而造成二次污染的问题。

2 脱硫石膏改良盐碱土壤标准研制总体原则和思路

2.1 确保资源化利用与土壤生态安全性

脱硫石膏为烟气脱硫副产物,其主要成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,另外还会含有一些杂质成分,包括部分重金属元素。因此,需要对作为土壤调理剂的脱硫石膏的成分进行规定,保证土壤生态安全。

2.2 与相关标准法规协调一致

在确定标准原料技术指标时,广泛参考了已有的烟气脱硫石膏、土壤质量相关国标、行标中所设定的指标,与已颁布实施的国内相关技术标准进行协调,尽量与国际相关标准、法规接轨,保证标准的统一性和协调性。最新的石膏领域产品标准GB/T 37785《烟气脱硫石膏》、HG/T 4219《磷石膏土壤调理剂》规定了脱硫石膏原料中含水量、pH值、S、Cl、Na、F含量^{[5][7]}。脱硫石膏作为一种土壤调理剂,参考了NY/T 1978-2010《肥料 汞、砷、镉、铅、铬含量的测定》标准中的测定方法,确保与现有行业标准保持一致^[8]。

2.3 实现技术创新、行业发展和突破

脱硫石膏改良盐碱土壤适用于我国范围内的盐碱土壤,通过建立统一的脱硫石膏改良盐碱土壤施用技术标准,实现脱硫石膏在不同土壤类型、盐碱化程度、土地利用方式下进行土壤改良操作的规

范化,可有效提高脱硫石膏改良旱地、水田等不同类型、不同程度盐碱地过程中的效率,实现技术创新、行业发展和突破。

3 标准主要内容解读

标准规定了烟气脱硫石膏改良盐碱土壤适用的土壤条件、施用技术以及配套土壤改良技术措施。

标准适用于利用中华人民共和国境内生产和(或)销售的,燃煤电厂以采用石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺产生的烟气脱硫石膏改良盐碱土壤。

3.1 原料要求

脱硫石膏改良盐碱土壤标准中对脱硫石膏含水量和pH要求参考了国家标准GB/T 37785《烟气脱硫石膏》中对一级脱硫石膏的技术要求(含水量 $\leq 10\%$, pH为5.0~9.0)^[5]。同时考虑到由于改良土壤为盐碱土,土壤pH较高,所用脱硫石膏不宜有过高的pH,因此将脱硫石膏pH限量调整到5.5~8.5。

盐碱土中应减少 Na^+ 和 Cl^- 等有害离子的加入,因此对脱硫石膏中的 Na^+ 和 Cl^- 提出限量要求。结合标准编制组测定的脱硫石膏中各类物质含量(见表1),同时参考国家标准GB/T 37785《烟气脱硫石膏》中的技术要求,确定了标准中CaO含量 $\geq 25\%$, S含量 $\geq 15\%$, Cl含量 $\leq 0.2\%$, Na含量 $\leq 0.2\%$ 。

土壤F含量参考HG/T 4219-2011《磷石膏土壤调理剂》($\leq 0.3\%$)^[6],因盐碱土中含有较高的氟离子,为减少盐碱土中外源氟离子增加,因此标准将脱硫石膏中氟离子含量限量调低(F含量 $\leq 0.2\%$)。

表1 脱硫石膏样品元素含量

样品	CaO含量%	S含量%	Cl含量%	Na含量%
样品1	41.9	15	0.0387	0.123
样品2	43.1	15.6	0.0337	0.103
本标准	≥ 25	≥ 15	≤ 0.2	≤ 0.2

对标准中使用的脱硫石膏重金属含量进行要求。通过对国内116个燃煤电厂脱硫石膏重金属含量进行检测,结果如图1所示。铅元素含量范围

为0.01~14.87mg/kg, 置信区间为0.737~11.35mg/kg; 铬元素含量范围为0~17.25mg/kg, 置信区间为0.83~12.15mg/kg; 砷元素含量范围为0~12.15mg/kg, 置信区间为0.83~6.62mg/kg; 镉含量范围为0~0.45mg/kg, 置信区间为0.03~0.2mg/kg。其中少部分样品汞元素含量超过GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(试行)中水田汞含量要求, 但低于其他农田汞含量要求, 其含量范围介于0~1.4mg/kg, 置信区间为0.01~0.84mg/kg。

同时结合GB/T 23349-2020《肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标》和日本土壤污染环境标准中对重金属含量的限制要求, 在保证农田生态安全的基础上, 标准最终确定了应用于盐碱土改良的脱硫石膏重金属含量限值(见表2)。

3.2 使用规程

标准使用规程对施用的盐碱化土壤提出了具体要求、适合作物, 并给出脱硫石膏的推荐施用量。

标准可适用于土壤pH>8.5、碱化度>15%的

盐碱土壤。改良后的土壤适宜种植旱地作物, 例如: 向日葵、高粱、玉米、棉花、牧草等; 水田作物, 例如: 水稻。对脱硫石膏的推荐施用数量见表3。

表3 脱硫石膏改良盐碱土壤的推荐施用量

土壤碱化度(%)	脱硫石膏施用量(t/公顷)
15.0 ~ 20.0	6.3 ~ 7.9
20.0 ~ 25.0	7.9 ~ 9.5
25.0 ~ 30.0	9.5 ~ 11.1
30.0 ~ 35.0	11.1 ~ 12.7
35.0 ~ 40.0	12.7 ~ 14.3
40.0 ~ 45.0	14.3 ~ 15.8
45.0 ~ 50.0	15.8 ~ 17.4
50.0 ~ 55.0	17.4 ~ 19.0
55.0 ~ 60.0	19.0 ~ 20.6
60.0 ~ 65.0	20.6 ~ 22.2
65.0 ~ 70.0	22.2 ~ 23.7
70.0 ~ 75.0	23.7 ~ 25.3
75.0 ~ 80.0	25.3 ~ 26.9

脱硫石膏改良盐碱土壤标准对脱硫石膏的施用量提出了要求及计算方法。改良盐碱土壤的施用量应根据土壤碱化度、土壤改良深度、土壤容重和脱硫石膏中石膏的质量分数等因素确定。

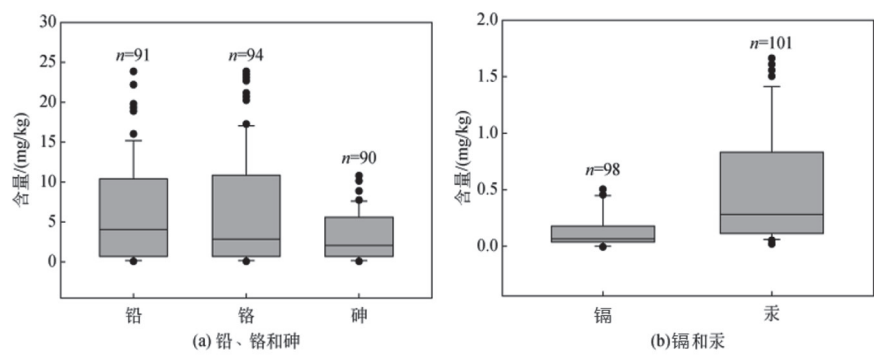


图1 国内燃煤电厂脱硫石膏重金属含量

表2 相关标准及本标准中重金属限量值

标准	类别	农田	重金属 (mg/kg)				
			镉	汞	砷	铅	铬
GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》	pH>7.5	水田	0.8	1.0	20	240	350
		其他	0.6	3.4	25	170	250
GB 8173-87《农用粉煤灰中污染物控制标准》	pH>6.5	—	10	—	75	500	500
GB/T 23349-2020《肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标》	—	—	10	5	50	200	500
日本土壤污染环境标准(平成3年8月23日环境省厅告示第46号)(陈平等, 2004)	—	—	1	15	15	15	15
本标准	pH>8.5	—	2	2	20	25	25

$$\omega = (8.728 \times \text{ESP} + 0.4412) \times H \times \frac{D}{\eta \times 100}$$

$$\omega = (8.728 \times \text{ESP} + 0.4412) \times H \times D / (\eta \times 100)$$

ω ——脱硫石膏施用量 (t/hm^2);

ESP——土壤碱化度 (%);

H——土壤改良深度 (m);

D——土壤容重 (kg/m^3);

η ——脱硫石膏中二水硫酸钙的质量分数。

3.3 施用方法

脱硫石膏改良盐碱土壤标准针对水田和旱地提出了相应的施用方法和配套灌溉措施。

水田施用方式为将脱硫石膏均匀撒施在平整好的土地表面,用旋耕机进行旋耕,使其与0~20cm土壤混合均匀。采用渠道灌溉,首次灌水应在脱硫石膏与土壤混合均匀以后进行,以溶解脱硫石膏促进土壤化学改良和土体脱盐过程。后续灌水时期与灌水量结合作物播种与生长需求科学进行灌溉,即转入正常农田水分管理。轻度盐碱地灌水量为80~120 m^3 /亩,中度盐碱地灌水量为120~150 m^3 /亩,重度盐碱地灌水量为150~180 m^3 /亩。

旱地施用方式以撒施为主,将脱硫石膏均匀撒施在平整好的土地表面,用旋耕机进行旋耕,使其与0~20cm土壤混合均匀;也可采用穴施、条施,或与基质土混施等方式。首次灌水应在脱硫石膏与土壤混合均匀以后进行,以溶解脱硫石膏促进土壤化学改良和土体脱盐过程。后续灌水时期与灌水量

结合作物播种与生长需求科学进行灌溉,即转入正常农田水分管理。田间具有排水设施时,优先采用渠道灌溉方式,田间没有排水设施时,适宜采用喷灌或滴灌方式。

为促进溶解脱硫石膏、脱盐效果与防止抬高地下水位,灌溉水量分2次完成,首次用量为上述2/3,间隔5~7天完成第二次灌溉,用量为上述1/3,并与排水措施相结合,淋洗排除土壤中的可溶性盐基离子。

3.4 试验方法

脱硫石膏改良盐碱土壤列出了对脱硫石膏外观、pH、水分以及钙、硫、氟、钠、汞、砷、镉、铅、铬含量的测定方法。脱硫石膏作为一种土壤调理剂,参考了NY/T 1978-2010《肥料 汞、砷、镉、铅、铬含量的测定》标准中的测定方法,确保与现有行业标准保持一致。

4 结语

脱硫石膏改良盐碱土壤标准填补了大宗工业固废应用在土壤改良方面标准的空白,通过标准的实施能够降低改良土壤成本的同时,提升土壤改良效果,对工业固废资源化以及环境污染防治起到一定的推动作用。希望有更多的生产者、管理者和使用者在应用过程中参考、采纳,同时也期待在今后的实际工作中逐步完善该标准。

参考文献

- [1] 国家发展改革委,科技部,工业和信息化部,等.关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见 [EB/OL]. (2021-03-18) [2023-06-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/25/content_5595566.htm.
- [2] 工业和信息化部.工业和信息化部关于工业副产石膏综合利用的指导意见[EB/OL]. (2011-02-21) [2023-06-09]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2011/content_1933711.htm.
- [3] 王淑娟,等.利用燃煤电厂脱硫石膏改良盐碱地关键技术研究与应用[EB/OL]. 中国知网, 2019-05-16.2023-06-09. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbname=SNAD&filename=SNAD000001787012>.
- [4] 赵永敢,王淑娟,李彦,等.脱硫石膏改良盐碱土技术发展历程与展望[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(04):735-745.DOI:10.16511/j.cnki.qhdxxb.2022.25.012.
- [5] 姜同轩,陈虹,张玉龙,等.脱硫石膏不同施用量对盐碱地改良安全性评价[J].新疆农业科学,2019,56(03):438-445.
- [6] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 37785-2019, 烟气脱硫石膏[S/OL](2019-08-30). [2020-07-01] <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=DA9E988C9AF2DAE32227EC562C11816C>.
- [7] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. GB 15618-2018, 土

- 壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S/OL].(2018-07-13)[2018-08-01] <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=DF1D0CD8002B4CC1F7BF1C6767B259CE>.
- [8] 工业和信息化部.HG/T 4219-2011, 磷石膏土壤调理剂[S/OL].(2011-12-20)[2012-07-01] <https://std.sacinfo.org.cn/home/query?stdCode=HG/T%204219-2011>.
- [9] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.NY/T 1978-2022,肥料中汞、砷、镉、铅、铬含量的测定[S/OL].(2022-07-11)[2022-10-01]. <https://std.sacinfo.org.cn/home/query?stdCode=NY/T%201978>.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.GB/T 23349-2020,肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标[S/OL].(2020-11-19)[2021-06-01] <https://std.sacinfo.org.cn/home/query?stdCode=23349>.
- [11] 黄进,林翎,李俊华,等.烟气脱硝催化剂性能测试方法国家标准研究[J].中国标准化,2014(04):70-74.

(上接第99页)

本标准,是对我国现有环境管理标准体系(GB/T 24000系列标准)的补充和完善,也将有助于组织依据本标准所提供的方法有效开展环境尽职调查工作,从而实现更加高效和精准的环境管理决

策;同时,制定并实施本标准也是以标准化手段对当前我国环境治理体系和能力现代化建设,乃至为我国当前的ESG(环境、社会、治理)工作的开展提供有力支撑。

参考文献

- [1] GB/T 24001-2016,环境管理体系 要求及使用指南[S].
- [2] GB/T 24015-2003,环境管理 现场和组织的环境评价(EASO)[S].
- [3] ISO 14015: 2022,环境管理 环境尽职调查评估指南(Environmental management—Guidelines for environmental due diligence assessment)[S].
- [4] GB/T 36000-2015,社会责任指南[S].
- [5] GB/T 19011-2021,管理体系审核指南[S].
- [6] GB/T 23694-2013,风险管理 术语[S].
- [7] GB/T 24031-2021,环境管理 环境绩效评价 指南[S].
- [8] GB/T 27029-2022,合格评定 审定与核查机构通用原则和要求[S].
- [9] ISO 14033: 2019,环境管理 定量环境信息 指南和示例(Environmental management — Quantitative environmental information — Guidelines and examples)[S].
- [10] ISO 14050:2020,环境管理 术语(Environmental management — Vocabulary)[S].