《磷石膏土壤调理剂》行业标准

编制说明

（送审稿）

标准起草组

2026 年 8 月

目　次

磷石膏土壤调理剂 编制说明..... 3

1.工作简况 3

2 标准修订原则和主要内容..... 4

3 试验验证的分析..... 8

4 与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况..... 19

5 采用国际标准和国外先进标准情况..... 19

6 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性..... 19

7 重大分歧意见的处理经过和依据..... 19

8 涉及专利的有关说明..... 19

9 实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议19

10 其它应予说明的事项..... 20

磷石膏土壤调理剂 编制说明

1.工作简况

1.1 任务来源

2025 年 12 月 12 日，根据工业和信息化部下达的《2025 年第五批行业标准制修订和外文版项目计划》（计划文件号：工信厅科函〔2025〕528 号，计划编号：2025—1225T-HG），由中国磷复肥工业协会负责《磷石膏土壤调理剂》行业标准的修订工作。项目周期为 12 个月。

1.2 标准修订的目的和意义

磷石膏是指在湿法磷酸生产中浓硫酸与磷矿作用萃取磷酸过程中产生的副产物，其主要化学成分为二水硫酸钙，同时，含有少量二氧化硅、五氧化二磷、氟离子、氧化镁、氧化钠、氯离子和有机物等杂质。通常有两种排放形式：一是以干态的磷石膏落入输送皮带输送至堆场；另一种是经过过滤洗涤后的磷石膏进入再浆槽调浆后由泵加压经管道输送至磷石膏渣场，经过堆存、陈化和淋水后，进行消纳利用。我国磷石膏资源和产量数量巨大，其中所含的营养物质对农作物生产和土壤改良具有巨大的价值。磷石膏可以作为农作物种植过程中钙、硫的来源，也能够作为一种改善土壤碱度、酸性结皮和底土的改良剂。

《磷石膏土壤调理剂》（HG/T 4219-2011）行业标准于 2012 年 7 月 1 日开始实施，一定程度上推动了磷石膏在土壤改良领域的应用，但随着土地安全、粮食安全及环保要求的不断提高，标准逐渐无法满足实际应用需要，产品研发和使用的效果也不尽如人意，磷石膏改良土壤的优势没有充分发挥，对促进国内磷石膏制土壤调理剂的发展与引领作用逐步减弱。同时，根据《推进磷资源高效高值利用实施方案》《磷石膏综合利用行动方案》等文件要求，在满足使用功能和安全环保要求的前提下，推动以磷石膏为原料生产水稳基层材料等路基材料、路基填料、路基加固材料、边坡绿化喷筑材料、胶凝型护坡材料、隔音屏障、充填材料、土壤改良和生态修复材料等。开展磷石膏综合利用产品的设计、生产、应用、质量、施工、检验、污染防治等标准制修订工作，完善磷石膏标准体系，加大标准宣贯力度，对于提升社会对磷石膏产品的认可度和接受度，推动磷石膏综合利用产品规模化应用的意义重大。

为此，中国磷复肥工业协会组织国内相关单位，如上海化工院检测有限公司、中国科学院东北地理与农业生态研究所、甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所、云南云天化环保科技有限公司、湖北宜化环保科技有限公司、贵州磷化（集团）有限责任公司、成都云

图控股股份有限公司、云南祥丰环保科技有限公司、湖北祥云（集团）化工股份有限公司、施可丰化工股份有限公司、贵州川恒化工股份有限公司、自然资源部国土整治中心、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、湖北省自然资源厅国土空间生态修复处等，根据各自多年来开展的相关技术研究，并结合示范验证，通过严格控制磷石膏制土壤调理剂的质量指标、生产程序，以满足磷石膏制土壤调理剂在农业上的施用要求，提出了磷石膏土壤调理剂标准修订。修订工作紧密结合磷石膏改良土壤的优势和产品的特点，使其易于指导企业生产和农民应用，对推动磷石膏土壤调理剂的快速应用，促使磷肥工业健康良好发展具有重要意义。

1.3 主要工作过程

2026 年 1 月，中国磷复肥工业协会组织征集《磷石膏土壤调理剂》行业标准的修订工作参编单位，随后成立了标准编制工作组。3 月 18 日，在初步技术准备工作的基础上，《磷石膏土壤调理剂》行业标准修订小组召开线下会议，正式启动了《磷石膏土壤调理剂》行业标准的修订工作，会上中国磷复肥工业协会工作人员向参编单位参会人员介绍了《磷石膏土壤调理剂》行业标准的修订稿初稿，各参会人员就修改内容发表意见与建议，随后就工作任务进行了分工。

2 标准修订原则和主要内容

2.1 标准编制原则

主要遵循科学性与实用性并重的原则，本着充分发挥磷石膏制改良剂的土壤改良效果，紧密结合农业生产、磷肥工业产业发展、环境保护要求等需求，聚焦磷石膏土壤调理剂的原料要求、技术指标、施用规范等核心内容，旨在进一步完善标准内容，提升产品质量管控水平，促进磷复肥行业转型升级与磷石膏资源高效循环利用。基于产品生产和应用的基本要求，编制本标准。

2.2 标准名称

《磷石膏土壤调理剂》。

2.3 标准主要内容

本标准与 HG/T 4219—2011《磷石膏土壤调理剂》相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a）修改了磷石膏定义，增加了磷石膏土壤调理剂定义（见第3章，2011年版的第3章）；
b）修改了磷石膏土壤调理剂分类指标（见4.2，2011年版的4.2）；
c）修改了磷石膏土壤调理剂有毒有害物质限量（见4.3，2011年版的4.3）；
d）增加了水溶性钠含量的要求（见4.5）；

e）增加了取样分析要求（见第5章）；
f）修改了pH的测定方法（见6.5，2011年版的5.4）；
g）修改了水溶性氟的测定（见6.6，2011年版的5.6）；
h）增加了水溶性钠含量的检测方法（见6.7）；
i）修改了附着水测定方法（见6.8，2011年版的5.5）；
j）增加了微量元素含量的测定（见6.10）；
k）增加了有机质含量的测定（见6.11）；
l）增加了磷石膏土壤调理剂的使用规程（见附录A）；
m）增加了磷石膏土壤调理剂的推荐施用量（见附录B）。

2.3.1 适用范围

本文件规定了磷石膏土壤调理剂的术语和定义、要求、取样、试验方法、检验规则、标识和质量证明书、包装、运输和贮存。

本文件适用于以湿法磷酸的副产物为原料加工生产的，主要用于改良碱性土壤，也可用于改良酸性土壤及其他土壤的磷石膏土壤调理剂产品，主要成分为二水硫酸钙（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）。

2.3.2 产品技术指标

针对现行标准的指标进行汇总，结合试验科研项目的验证结果，起草组设定《磷石膏土壤调理剂》标准指标见表 1。表 1 设定了 pH、钙、硫、氟、钠等技术指标。

表 1　磷石膏制调理剂的技术指标

项目	指标[a]		
	I型	II型	III型
钙（以Ca计，干基）/%　≥	17.0	14.0	14.0
硫（以S计，干基）/%　≥	14.0	11.0	11.0
pH	3.0~6.5	6.5~7.5	7.5~9.5
水溶性氟（以F^-计，干基）/%　≤	0.2		
水溶性氧化钠（以Na_2O计，干基）/%　≤	0.2		
附着水[b] /%　≤	25		
粒度[c]（1.00mm～4.75mm或3.35～5.60mm）/%　≥	90		
有机质[d]（干基）/%　≥	5		
单一微量元素[e]（以单质计）/%　≥	0.02		

注:
[a] I型主要用于碱性土壤改良，II型主要用于中性土壤改良，III型主要用于酸性土壤改良。
[b] 可由供需双方根据不同产品形态协议确定。
[c] 粉状除外，特殊形状或更大颗粒产品的粒度可由供需双方协议确定。
[d] 包装容器上标明含有机质时检测本项目。
[e] 包装容器上标明含铜、铁、锰、锌、硼、钼时检测本项目，钼元素的质量分数不高于0.5%。

磷石膏中添加有机肥料等其他原料时，添加原料须满足其现行标准要求。

为满足磷石膏土壤调理剂产品的主要原料为磷石膏，表 1 通过对钙、硫指标双控来实现：

对于 I 型产品，磷石膏（$CaSO_4·2H_2O$）的含量在 75%以上，满足国标 GB/T 23456-2025《磷石膏》的产品质量要求；对于 II 型和 III 型产品，往往需要预处理和复配其他物料，磷石膏（$CaSO_4·2H_2O$）的含量在 60%以上，满足其生产工艺需求。

2.3.3 **试验方法**

2.3.3.1 样品缩分：将采取的样品充分混匀，用缩分器或四分法将样品缩分至 1kg，分装于两个洁净干燥的 500 mL 具有磨口塞的广口瓶、聚乙烯瓶中（生产企业也可用洁净干燥的塑料自封袋盛装样品），密封，贴上标签，注明生产企业名称、产品名称、批号或生产日期、批量、采样日期、采样人姓名，一瓶作产品质量分析，另一瓶保存二个月，以备查用。

试样制备：取一瓶 500g 样品，经多次缩分后取出约 100g 样品，研磨至全部通过 1.00 mm 孔径筛，混合均匀，置于洁净、干燥瓶中，作质量分析用。

2.3.3.2 钙含量：

做两份试料的平行测定。

称取测定附着水后的干基试样约 2g（精确至 0.0002g），置于 250 mL 烧杯中，加入（1+1）盐酸溶液 50 mL，加热煮沸 10min, 再加水稀释至 50mL，煮沸 5min，冷却后移入 250 mL 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀后干过滤。

吸取含 Ca 约 15 mg 的试样溶液，按 GB/T 19203—2003 中 3.4.4.1 进行测定，按 GB/T 19203—2003 中 3.4.5.1 计算，允许差应符合 GB/T 19203—2003 中 3.4.6 的要求。

2.3.3.3 硫含量：吸取含 S 约 60mg 的试样溶液（5.2.1），按 GB/T 19203—2003 中第 3.5 条规定进行。

2.3.3.4 pH：按 GB/T 5484 进行。

2.3.3.5 氟含量：按 JC/T 2073 进行。

2.3.3.6 钠含量：按 GB/T 5484 进行。

2.3.3.7 砷、镉、铬、铅、汞、铊含量：按 GB 38400 的规定进行测定。

2.3.3.8 水分含量：按 GB/T 5484 进行。

2.3.3.9 微量元素含量的测定：

方法一　等离子体发射光谱法（仲裁法）

按 GB/T 8571 的规定进行试样制备后（若样品很难粉碎，可研磨至全部通过 1.00mm 孔径试验筛），按 GB/T 34764 进行。

方法二　原子吸收分光光度法

按 GB/T 14540 进行。

2.3.3.10 有机质含量的测定：取适量试验样品，于（45±3）℃烘干至恒量，经多次缩分后取出约 50 g，研磨至全部通过 0.50 mm 或 1.00 mm 孔径试验筛，按 GB/T 18877—2020（XG1—2023）进行。

2.4 指标设置与检测数据对比分析

为配合《磷石膏土壤调理剂》HG/T 4219-2011 行业标准修订工作，全面掌握当前行业内磷石膏的质量现状，验证磷石膏用于土壤调理剂的可行性，为标准修订提供科学、真实、可靠的实测数据支撑，确保修订后的标准贴合行业生产实际、满足环保及应用要求，标准修订工作组制定了磷石膏样品检测方案，取样范围覆盖湖北、云南、贵州、四川、甘肃等主要磷石膏产生省份的共计 53 个磷石膏样品，进行了第三方送检和企业自检。

下表为检测结果：

指标	钙含量	硫含量	水溶性氟离子	水溶性氧化钠	砷（As）	镉（Cd）	铅（Pb）	铬（Cr）	汞（Hg）	铊（Tl）
样品 01	18.21	14.81	0.11	0.03	6.1	1.8	48.6	59.3	9.4	未检出
样品 02	19.52	15.57	0.09	0.02	13.5	1.8	49.6	83.6	1.2	未检出
样品 03	22.01	16.56	0.11	0.08	9	2.1	58.7	67.9	1	未检出
样品 04	21.5	15.93	0.13	0.08	2.3	2.5	56.1	72.3	0.1	未检出
样品 05	21.46	15.76	0.1	0.04	3.5	1.7	272.9	74.1	0.2	未检出
样品 06	20.1	14.41	0.02	0.08	6.1	2.1	47.9	60.5	0.2	未检出
样品 07	21.52	16.18	0.06	0.07	8.1	3.5	41.2	57.4	0.2	未检出
样品 08	22.02	15.86	0.01	0.08	7.9	2.3	44.7	67.7	0.1	未检出
样品 09	22.32	15.69	0.02	0.05	7.7	3.3	50.6	71.3	1.8	未检出
样品 10	23.33	17.02	0.01	0.03	7.6	2.8	49	80.7	1.8	未检出
样品 11	23.56	16.83	0.01	0.02	7.3	2.9	45.1	73.9	3.2	未检出
样品 12	23.32	16.74	0.01	0.02	6.6	2.7	47.7	65	3.2	未检出
样品 13	23.54	17.23	0.19	0.07	4.6	2.3	44.9	57.9	2.1	未检出
样品 14	22.6	15.92	0.3	0.26	11.2	2.3	39.8	58.2	0.5	未检出
样品 15	23.16	17.15	0.27	0.18	7.7	2.3	41.5	58.4	0.6	未检出
样品 16	19.61	14.74	0.09	0.04	2.9	2.4	118.5	71.9	0.1	未检出
样品 17	20.02	15.25	0.07	0.06	2.3	2.6	155.9	71.3	0.1	0.02
样品 18	21.47	15.54	0.01	0.03	1.6	2.6	225.2	47.9	0.2	未检出
样品 19	21.34	16.05	0.05	0.11	0.9	2.3	138.9	47.9	0.6	未检出
样品 20	23.8	15.41	0.07	0.17	3.4	2.7	42.5	60.3	0	未检出
样品 21	21.98	16.44	0.5	0.26	4.1	1.9	55.8	67.9	0.1	未检出
样品 22	22.31	15.6	0.03	0.1	3	2.2	45.6	67.8	0.1	未检出
样品 23	20.78	16.07	0.3	0.1	2.6	2.2	39.9	74.9	0	未检出
样品 24	25.90	19.10	0.015	0.011	8.12	未检测	28.12	1.03	3.86	0.01
样品 25	26.02	18.86	0.011	0.011	7.83	未检测	27.61	0.69	4.00	0.01
样品 26	24.60	18.09	0.006	0.12	8.74	未检测	35.12	1.01	4.11	0.01
样品 27	24.68	18.29	0.008	0.11	7.81	未检测	35.27	1.36	3.72	0.01
样品 28	21.82	19.82	0.08	0.05	4.49	0.25	13.09	4.24	1.54	未检出
样品 29	21.84	19.68	0.09	0.06	4.68	0.23	13.25	4.20	1.48	未检出
样品 30	20.65	16.66	0.17	0.04	10.71	0.25	13.83	7.10	0.37	未检出
样品 31	20.67	16.78	0.18	0.03	10.90	0.27	13.80	7.06	0.38	未检出
样品 32	22.36	17.30	0.03	0.09	14.12	未检出	18.12	1.15	1.98	0.01

样品 33	22.44	17.42	0.03	0.09	14.73	未检出	17.64	0.89	2.16	0.01
样品 34	22.50	18.30	0.01	0.01	14.80	未检出	17.63	1.23	1.81	0.01
样品 35	22.56	18.46	0.02	0.01	15.30	未检出	18.49	1.11	1.96	0.01
样品 36	20.65	16.77	0.08	0.06	7.24	0.12	11.59	5.24	0.64	未检出
样品 37	20.60	16.59	0.07	0.09	7.26	0.11	11.52	5.20	0.66	未检出
样品 38	20.90	14.90	0.00	0.04	7.40	未检出	8.90	14.90	未检出	未检出
样品 39	20.90	14.70	0.00	0.05	8.30	未检出	9.00	17.00	未检出	未检出
样品 40	20.50	14.90	0.00	0.10	5.60	未检出	25.50	13.60	未检出	未检出
样品 41	20.20	14.60	0.00	0.10	5.60	未检出	29.40	12.90	未检出	未检出
样品 42	20.70	14.60	0.10	0.00	7.70	未检出	7.70	18.60	未检出	未检出
样品 43	20.60	15.20	0.10	0.00	7.60	未检出	6.80	22.90	未检出	未检出
样品 44	20.70	14.60	0.10	0.00	7.70	未检出	7.70	18.60	未检出	未检出
样品 45	20.60	15.20	0.10	0.00	7.60	未检出	6.80	22.90	未检出	未检出
样品 46	22.28	42.33	0.51	/	0.50	0.12	66.53	9.09	未测出	未测出
样品 47	22.15	42.48	0.52	/	0.47	0.16	67.01	9.12	未测出	未测出
样品 48	22.21	42.31	0.50	/	0.41	0.17	84.44	11.44	未测出	未测出
样品 49	22.30	42.42	0.50	/	0.43	0.14	84.82	11.77	未测出	未测出
样品 50	21.23	40.33	0.12	/	0.97	0.05	19.03	7.98	0.76	未测出
样品 51	21.17	40.57	0.12	/	1.01	0.08	19.40	7.96	0.82	未测出
样品 52	21.30	40.41	0.07	/	0.65	0.07	19.41	7.98	0.73	未测出
样品 53	21.18	40.18	0.07	/	0.66	0.06	19.38	8.02	0.70	未测出
指标合格率	100.0%	100.0%	84.9%	96.2%	98.1%	96.2%	75.5%	100.0%	83.0%	100.0%

3 试验验证的分析

标准所提出的磷石膏制土壤调理剂技术规范，是以磷肥企业产品研发、农业科研单位效果试验为依托，根据在甘肃、云南、四川、东北等地开展的磷石膏改良耕地及新垦农田的田间试验结果，并综合集成磷石膏制改良剂使用的已有研究成果提出。磷石膏制土壤调理剂技术规范在甘肃、云南、四川、东北等地进行了多点试验和大面积示范应用。甘肃瓮福公司结合磷石膏特性和西北地区盐碱地面积大，危害程度严重的特点，与甘肃省农科院、甘肃农业大学合作，先后进行磷石膏土壤调理剂室内模拟、温室盆栽试验及大田试验。试验结果表明：施用磷石膏改良剂后，作物增产增收效果明显，土壤的理化性质得到改善。云天化与云南农业大学、云南省化工研究院、云南省土肥站、宣威市土肥站、玉溪市土肥站（峨山彝族自治县土肥站、红塔区土肥站）、砚山县土肥站、临翔区农技中心、文山州农科院油料作物研究所、开远市农技中心、开远市乐白道街道办事处、石林彝族自治县农技中心等单位合作，在磷石膏农用方面开展了大量试验。试验结果表明，磷石膏施用对农作物有一定的增产效果，而且无论是在红壤、紫色土、石灰性土壤，还是对玉米、油菜、大豆、甘蔗、花生、马铃薯等作物均表现出良好的增产效果。磷石膏制土壤调理剂能够改善盐碱土壤物理化学性状，主

要表现在降低土壤酸碱度，降低土壤容重，增加土壤通透性，减少土壤中全盐含量等方面；增加了土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量，减少了施入田间的肥料养分投入，降低了化学氮肥的损失，土壤养分供应协调，提高了土壤肥力。同时，施用磷石膏制改良剂，可以降低生产成本。中国科学院东北地理与农业生态研究所（大安站）梁正伟团队历经 20 余年系统研究，聚焦东北苏打盐碱地治理，创建以酸性磷石膏为核心的低成本长效改良技术体系，形成国际领先的“大安模式”并引领行业标准。该团队明确磷石膏调理剂核心作用机理，通过钙钠置换使土壤钠离子、碱化度、盐分分别下降 61.5%、66.5%、49.1%，辅以酸碱中和可使土壤 pH 下降 1.0－1.5 个单位，同时促进土壤团粒结构形成、补充中微量元素，且经验证无二次污染。首创“良田+良种+良法”三良一体化高效治理与综合利用模式，纳入国家行业标准，及农业农村部主推技术、吉林省农业十大重点主推技术，在吉林大安等地建成万亩级示范区，累计推广超 1500 万亩；应用以酸性磷石膏、耐盐碱水稻品种及密植等为核心的大安模式，重度盐碱地改良当年水稻亩产较对照增产 6 倍，重度盐碱地改良 3-5 年可达高产田水平，既实现磷石膏大宗固废农业消纳，又增加了耕地，支撑粮食增产，形成绿色循环模式。四川龙蟒重点深耕酸性土壤改良，联合科研机构研发钛石膏-羊粪复合土壤调理剂，通过钛石膏与羊粪有机肥科学配比，可将不同酸化程度土壤的 pH 值缓和提升至 6.8-7.5 的作物适宜生长区间，并对 pH 4.5 的较强酸性土壤改良效果尤为显著，最优条件下改良后土壤 pH 可恢复至 6.92，同时能提升作物产量与品质，为酸性土壤改良及钛石膏资源化利用提供技术支撑，其相关技术已申请发明专利并落地应用，还助力德阳等地完成磷石膏堆场整治与土壤修复工作，实现固废资源化与生态治理双赢。

3.1 方法原理介绍

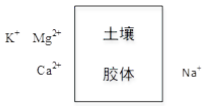
3.1.1 土壤调理剂改良土壤的方法原理

磷石膏中含有部分磷，磷元素能促进细胞分裂，对植物根系发育有很大作用，促进植物根的生长和伸长，还具有开花的作用；禾本科作物需磷量较大，可促进籽粒的饱满。同时，磷石膏中含钙、镁、铁、硅、锰、钾等元素，能补充土壤中矿物质元素以及农作物需要的中微量元素，能降低土壤的黏性，消除土壤表层硬壳，增加土壤的通透性，改良土壤环境，有利于农作物生长，进而实现减肥增效。磷石膏还含有的氟能可与重金属离子形成金属—氟络合物，降低土壤中重金属的有效性；而且磷酸盐、硫化物对重金属离子有钝化作用，降低其活性，从而降低重金属对农产品的污染。而我国三北地区的土壤明显缺磷，应用磷石膏可有效环节土壤缺磷带来的不利影响。

3.1.2 碱性土壤调理剂改良碱性土壤的科学方法原理

盐碱土是盐渍土的俗称，研究盐碱土的性质主要涉及 8 大离子的含量与比例，包括钙、镁、钾、钠 4 种阳离子与碳酸根、重碳酸根、硫酸根、氯离子 4 种阴离子。

3.1.2.1 土壤胶体



土壤胶体吸附的四种阳离子

一般未碱化与盐化的土壤，土壤胶体上 Ca^{2+}+Mg^{2+}占阳离子总量（CEC）的 90%-95%，当 Na^+占比（即碱化度）达到 5%以上即发生碱化，在盐碱地中碱化度大都超过 5%，高者可达 70%～80%。相关研究把碱化度 15%或 20%作为盐土与碱土划分界线，作为必须施用磷石膏的标准。

3.1.2.2 土壤溶液

土壤溶液中的 8 大离子

阳离子				阴离子			
Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}

几乎所有土壤，土壤溶液中都含有除碳酸根外的 7 种离子；但非盐渍土盐分含量很低（0.1%以下）；而在盐碱土中，存在有 7 种或 8 种离子两种情况，而且溶液中含盐量高(超过 0.15%，以至 1%以上）是其最主要的特征。在盐分组成中，当碳酸根出现后土壤 pH 上升快，碱化现象更加明显。当 CO_3^{2-}含量达到 0.005%（即 0.08cmol/kg）、或总碱度（CO_3^{2-}+HCO_3^-）超过 0.02%-0.03% （即 0.33-0.50cmol/kg）时，便对作物产生不良影响。

盐分的危害程度顺序

Na_2CO_3> $NaHCO_3$> NaCl> $CaCl_2$> $MgSO_4$> Na_2SO_4

钠盐危害程度比

Na_2CO_3：$NaHCO_3$：NaCl：Na_2SO_4＝10:3:3:1

土壤变干时，$NaHCO_3$ 易转化为 Na_2CO_3

土壤胶体吸附的阳离子组成与土壤溶液中的盐分组成彼此密切相关，相互影响，保持动态平衡。

盐碱土的两个极端是典型盐土与典型碱土，典型盐土全盐量达 1%以上，主要是中性盐聚集的结果，pH 较低、碱化度很低或达不到碱化程度；典型碱土如西大滩龟裂碱土及东北苏打盐渍土，主要是碱性盐聚集的结果，碱化度和 pH 很高，但盐分不一定高（可在 0.3%

以下）；而大量介于二者之间的盐碱土则同时存在不同程度的盐化与碱化问题。因此，大面积盐碱地改良需要碱、盐同治。

磷石膏中的 Ca^{2+}能与土壤胶体中的 Na^{+}进行交换，降低土壤交换性 Na^{+}的含量，同时钙离子能与土壤中 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 发生反应，生成 Na_2SO_4、$Ca(HCO_3)_2$ 和难溶的 $CaCO_3$，从而降低了土壤的碱性，有效调节土壤的酸碱度，降低土了壤中碳酸盐对农作物的毒害作用。土壤胶体中的主要离子由 Na^{+}变成 Ca^{2+}后，可提高土壤表层的电解质含量，促使土壤颗粒间絮凝，提高土壤通透性，增强土壤团聚力形成团粒结构，降低土壤容重，促进盐分的流失，从而对盐碱地起到改良作用。此外，盐碱地施加磷石膏为作物发芽、生长创造有利条件，农作物的生长反过来又促进土壤的进一步改良，如农作物生长过程中能分泌有机酸，可以降低土壤的 pH 值，疏松土壤，同时农作物生长可以吸收土壤中多余的盐分，进一步降低土壤的含盐量。

3.1.3 酸性土壤调理剂改良酸性土壤的科学原理

酸性土壤包括砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤和燥红土等土类。酸性土壤核心障碍为高活性铝毒、低盐基饱和度、酸碱缓冲弱；磷石膏调理剂通过 Ca^{2+}离子交换降交换铝、SO_4^{2-}/F^{-}络合钝化铝、弱碱缓慢中和游离酸、补充钙硫改良土壤结构四重协同机制，逐步将酸性土壤 pH 调控至 5.5~6.5 的适宜区间，长效缓解土壤酸化、消除铝毒害，同步提升土壤肥力。

3.2 土壤调理剂的施用量及施用频次

3.2.1 适用范围

磷石膏土壤调理剂含有钙、硫、磷等多种植物所需的营养元素。施用磷石膏土壤调理剂，可通过调节土壤 pH、磷石膏中 Ca^{2+}能与土壤胶体中的 Na^{+}交换等方式，增加土壤表层的电解质含量，提高土壤通透性，降低土壤容重，增强保水、保肥能力。pH 在 2～6.5 之间的磷石膏土壤调理剂适用于碱性土壤改良，pH 在 6.5～7.5 之间的磷石膏土壤调理剂适用于中性土壤改良，pH 在 7.5～9.5 之间的磷石膏土壤调理剂适用于酸性土壤改良。该产品适用于粮食作物、各类经济作物（含果蔬）的种植生产。

3.2.2 基本要求

（1）使用者应该按照土壤盐碱或酸化程度，明确土壤调理剂的使用要求。必要时，应按照 NY/T 2271 规定进行效果试验。

（2）使用者应综合考虑本地区土壤类型、土壤养分状况、气候特征、灌溉与排水条件、作物种类及种植管理技术等因素，合理确定磷石膏土壤调理剂的施用量、施用方法与施用时间，以达到改善障碍土壤理化性状及生物性状的目的。

（3）磷石膏土壤调理剂的施用方法及用量应与农艺操作配套进行。

3.2.3 施用量

（1）磷石膏土壤调理剂的推荐施用量应在施用有机肥和化肥的基础上确定。有机肥和化肥的推荐施用量应参照当地土壤条件与作物种植的标准技术规范执行。

（2）按照 NY/T 2271 的规定开展田间试验，田间试验应设置不少于 3 个施用量梯度，并设空白对照，每个处理不少于 3 次重复。试验周期应至少包括一季主要作物。根据试验结果中土壤 pH 提升效果和作物产量响应，确定本地区适宜的施用量。

（3）为更好地指导磷石膏土壤调理剂的使用，文件给出了一般情形下的推荐施用量范围，但仍然建议有条件的地区优先采用田间试验的方式确定磷石膏土壤调理剂的用量。明确为资料性附录，不具强制性，为用户提供安全用量指导，同时保留灵活空间。

本文件给出的推荐用量为估算值。

旋耕层土壤质量计算

1 亩 = 666.67 m^2，旋耕深度 15 cm，土壤容重 1.3 g/cm^3，

$M_{土壤}$ = 666.67 × 0.15 × 1.3 × 1000 = 130,000 kg/亩

纯 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 有效成分

钙（Ca）含量 = 40.08/172.17 = 23.28%

硫（S）含量 = 32.06/172.17 = 18.62%

I 型产品推荐用量推导

a.改良目标与化学计量

以中度碱化土壤为例：

假设土壤 CEC = 20 cmol/kg

初始 ESP = 30%，目标 ESP = 15%

需降低的交换性 Na^+ = 20 × (30−15)/100 = 3.0 cmol/kg

按化学计量，置换 3.0 cmol/kg 的 Na^+需要 Ca^{2+}量 = 3.0/2 = 1.5 cmol/kg = 0.015 mol/kg

b.纯石膏理论用量

纯 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 用量 = 0.015 mol/kg × 172.17 g/mol = 2.58 g/kg

换算到 1 亩（130,000 kg 土壤）：纯石膏用量 = 2.58 × 130,000/1000 = 335 kg/亩

c.产品实际用量

标准规定 I 型产品钙含量≥17%（干基），低于纯石膏的 23.28%。实际产品用量需折算：

产品用量 = 335 × (23.28/17.0) = 459 kg/亩

d.推荐量确定

考虑土壤障碍程度差异：

轻度障碍：用量约为中度的 1/3~1/2 → 150~300 kg/亩

中度障碍：300~750 kg/亩

重度障碍：用量约为中度的 2~3 倍 → 750~1500 kg/亩

III 型产品推荐用量推导

a.改良目标与化学计量

酸性土壤改良的核心机制：Ca^{2+}置换土壤胶体中的交换性 Al^{3+}/H^{+}，同时 SO_4^{2-}与 Al^{3+}形成沉淀降低铝毒。化学计量关系：1 mol Al^{3+}需要 1.5 mol Ca^{2+}（电荷平衡）。

以中度酸化土壤为例：

假设初始交换性酸 = 2.0 cmol/kg

目标交换性酸 = 0.7 cmol/kg

需降低的交换性酸 = 1.3 cmol/kg

按化学计量，降低 1.3 cmol/kg 的交换性酸需要 Ca^{2+}量 = 1.5 × 1.3 = 1.95 cmol/kg = 0.0195 mol/kg

b.纯石膏理论用量

纯 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 用量 = 0.0195 mol/kg × 172.17 g/mol = 3.36 g/kg

换算到 1 亩：纯石膏用量 = 3.36 × 130,000/1000 = 436 kg/亩

此外，III 型产品 pH 为 7.5~9.5，含有一定量的碱性物质，其碱中和效应与 Ca^{2+}离子交换效应有协同作用，实际所需产品用量低于纯离子交换理论值。经修正后，理论用量约为 352 kg/亩。

c.产品实际用量

标准规定 III 型产品钙含量≥14%（干基）：

产品用量 = 350 × (23.28/14.0) = 585 kg/亩

d.推荐量确定

考虑田间实际条件及协同效应，最终确定：

轻度障碍：150~300 kg/亩

中度障碍：300~750 kg/亩

重度障碍：750~1500 kg/亩

II 型产品推荐用量推导

II 型产品主要用于中性土壤的钙、硫营养补充及轻度结构改良，不以克服严重土壤障碍为主要目的。

以一般作物钙需求为例：

作物年需钙量：20~50 kg Ca/ha = 1.3~3.3 kg Ca/亩

土壤供钙缺口：按 50%计，约 0.7~1.7 kg Ca/亩

按标准最低钙含量 14%计算，产品用量约 12~24 kg/亩。考虑轻度结构改良需额外补充钙，用量适当提高，最终确定：

轻度障碍：100~200 kg/亩

中度障碍：200~500 kg/亩

重度障碍：500~1000 kg/亩

磷石膏土壤调理剂推荐施用量

土壤障碍程度	I型产品	II型产品	III型产品
轻度	150 kg/亩～300 kg/亩	100 kg/亩～200 kg/亩	150 kg/亩～300 kg/亩
中度	300 kg/亩～750 kg/亩	200 kg/亩～500 kg/亩	300 kg/亩～750 kg/亩
重度	750 kg/亩～1 500 kg/亩	500 kg/亩～1 000 kg/亩	750 kg/亩～1 500 kg/亩

分级依据：按土壤障碍程度（轻度/中度/重度）分级，与 NY/T 3936、DB15/T 4076 等标准中石膏类改良剂的分级思路一致，便于用户根据土壤检测结果对号入座。

安全上限：除重度盐碱地外，单次 2 000 kg/亩、年累计 3 000 kg/亩的设置，主要考虑标准中水溶性氟≤0.2%的限量要求，防止长期大量施用导致氟在土壤中累积。重度盐碱地改良时，需要根据实际的土壤盐碱情况及目标阈值，结合石膏需求量计算得到，可在推荐基础上增加 50%用量。

3.2.4 施用频次

磷石膏土壤调理剂的施用频次应根据土壤障碍程度、改良目标及土壤自然恢复能力确定。推荐一次性施用，改良达标后进入维持阶段，可不定期施用。

3.2.4.1 动态调整

施用磷石膏土壤调理剂后，应定期（建议每半年或每年）测定土壤 pH 值。当土壤 pH 值恢复到适宜作物生长的范围（酸性土壤改良目标为 pH 5.5～6.5，碱性土壤改良目标为 pH 7.5～8.5）后，可暂停施用，转为监测维护。如土壤 pH 值再次超出适宜范围，应恢复施用。

3.2.4.2 轮作条件下的调整

在同一地块轮作不同作物时，施用频次应优先满足对土壤酸碱度最敏感作物的改良需求。若轮作周期中包含绿肥或耐酸碱作物，可结合轮作周期适当调整施用频次。

3.2.5 施用方法

（1）磷石膏土壤调理剂宜在高温多雨的 7 月至 9 月施用；在秋冬季储水灌溉前、春季增墒灌溉前施用，亦具有较好效果。

（2）磷石膏土壤调理剂的施用方法主要为撒施：将土壤调理剂均匀撒施于平整好的土壤表面，通过旋耕使其与土壤混合均匀。

（3）其他施用方法：穴施、条施，或与基质土混施等。

（4）施用磷石膏土壤调理剂后，应及时采取淋盐、排盐措施。

3.2.6 注意事项

（1）磷石膏土壤调理剂宜与腐熟无害有机肥配合施用。

（2）应根据磷石膏土壤调理剂的酸碱性，选择与之配伍的肥料。酸性调理剂不宜与碱性肥料同时施用；碱性调理剂不宜与酸性肥料同时施用。施用时应避免与对酸/碱敏感的肥料直接混合，以防发生化学反应导致养分损失或固定。

（3）在灌溉农田中施用时，宜一次性施足用量，并在施用后及时灌足、灌透土壤。

（4）在饮用水源保护区，土壤调理剂施用量应酌情减少。

3. 3 磷石膏净化处理工艺技术

3.3.1 （浮选+水洗）净化方法

本净化工艺主要针对性地去除磷石膏中磷、氟、钠、氯、铝、有机质、泥质、重金属及其他有害杂质，磷石膏通过浮选机进行浮选，在浮选过程中，通过添加发泡剂、重金属脱除剂、稳定固化剂等药剂，对磷石膏进行初步除杂，将除杂后的磷石膏通过压滤机进行压滤，进一步除去磷石膏中的杂质。将压滤滤饼用工艺水进行再浆后输送至磷石膏堆场进行晾晒，晾晒后的磷石膏可达到上述产品的品质要求，可作为土壤调理剂的原料。

3.3.2 （中和）净化方法

去除磷石膏的酸性，提高 pH，降低水溶性氟和重金属等有害杂质含量，一般可采用加入碱性物质的方法进行中和。在中和过程中，降低或去除磷石膏酸性的同时，水溶性氟会与磷、铁、铝、镁等形成难溶的复合盐，氟离子会与钙离子形成不溶性的氟化钙，转化为非水溶性氟的形态，均可将水溶性氟固定。同时，部分可溶性重金属也会随之转化为不溶性形态。

3.3.3 （水洗）净化方法

采用类似于磷石膏制建材普遍采用的水洗净化磷石膏的方法，采用多次逆流洗涤，洗涤后再通过过滤机或其它液固分离方式进行液固分离。

3.4 产业化情况、经济效益分析

磷石膏制土壤调理剂技术规范主要针对以磷石膏为主要原料生产的土壤调理剂中普遍存在的产品不规范，指标不科学，生产流程不合理，产品施用不规范等问题制定的。标准主要在磷肥工业生产和农业生产中应用。随着我国磷肥工业的发展，土地生产力的下降，企业和种植户对磷石膏制土壤调理剂技术的需求越来越强烈，通过磷肥企业、农业科研单位及政府相关部门的大力推动，磷石膏制土壤调理剂技术的应用范围必将不断扩大，势必对促进我国磷肥工业健康发展，促进农业增效和农民增收将提供重要支撑，经济、社会和生态效益将十分显著。

3.4.1 国内磷石膏产生及利用情况

3.4.1.1 磷石膏产生情况

我国磷石膏资源和产排数量巨大，湖北、云南、贵州、四川前四大磷石膏产出省占到全国磷石膏产生量的 80%以上，区域分布不均衡，综合利用成本较高，大量磷石膏长期堆存，不仅占用土地，而且存在一定环境安全隐患。特别是长江沿线，磷化工企业较多，磷石膏大量堆存，给长江经济带生态保护带来很大压力。

我国磷石膏产生量在 2015 年达到顶峰 8000 万吨后呈下降趋势，2016 年以后，磷石膏每年的产生量基本维持在 7500-7800 万吨左右，2019 年，受全球经济下行、中美贸易战等不确定因素影响，加之国内磷肥表观消费量连年下降，出口量减少，环保趋严等因素的影响，国内磷复肥产量下降，磷石膏产生量也相应减少，据统计，2019 年全行业磷石膏产生量 7500 万吨，同比下降 3.8%。

近年来，我国磷石膏产生量持续高位增长，已从 2019 年的 7500 万吨增至 2025 年的 9000 万吨，生态环境压力持续加大。在新能源产业快速崛起前，磷石膏主要源自磷肥生产，产量增长相对平缓；2021 年以来，锂电池尤其是磷酸铁锂材料需求爆发，成为拉动磷石膏产量激增的核心增量因素。磷酸铁锂生产高度依赖湿法磷酸及精制磷酸，新能源材料产业链已成为磷石膏产出的关键驱动力。随着精制磷酸、电池级磷酸铁等高端磷化工产品产能快速扩张，湿法磷酸中用于新能源领域的占比已超 35%，显著推高了全国磷石膏的产生强度，且呈现出与磷化工、新能源产业集群高度重合的地域特征，湖北、云南、贵州三省集中了全国约 70% 的磷石膏产量，区域产消矛盾尤为突出。

3.4.1.2 磷石膏利用情况

3.4.1.2.1 磷石膏利用量

受环保压力和行业企业日益增强的绿色发展理念的影响，磷石膏利用量呈逐年上升趋

势。据协会统计，2025 年我国磷石膏资源综合利量约 6000 万 t，较上年增长了约 700 万 t，综合利用率达 66.7%，同比提高了 6 个百分点。但仍有超 8 亿吨磷石膏堆存量，磷石膏综合利用压力依然较大，依然存在较高的环境风险和堆存压力。

3.4.1.2.2 **磷石膏土壤调理剂的施用情况**

磷石膏在农业上的应用研究主要是将它作为土壤改良剂、低品级肥料和在某一特定土壤条件下某种作物的“专效肥”。相关研究显示，磷石膏用作土壤改良剂时既可用于改良盐碱地土壤，又可用于改良酸性土壤，同时还可以起到改善土壤渗水性、降低土壤容重、提供钙硫镁硅营养元素的作用。磷石膏中 Ca^{2+}和盐碱土壤中游离的碳酸氢钠、碳酸钠作用，生成碳酸氢钙、磷酸钙和硫酸钠，以降低土壤碱性，Ca^{2+}也可以代替土壤胶体上的钠离子，使钠黏土变为钙黏土，达到改良盐碱土壤的效果；酸性土壤与硫酸钙反应后，产生一定的碱度，由于钙代换了铝，降低土壤中 Al^{3+}的浓度和活度，而 Ca^{2+}的浓度和活度明显提高，起到一定的酸性土壤改良的效果；磷石膏的微溶性增加了水的电解质含量，使粘粒呈絮凝体形式存在，结壳呈多孔性，很大程度上改善土壤结壳，有较小的容重和较大的导水率；同时，磷石膏中所含的钙、镁、硫、硅等元素是极好的植物营养元素。

我国将磷石膏用于农业始于 20 世纪 60 年代初，80 年代以来，原化工部化肥司直接资助江苏南海地区农科所进行了大量磷石膏农业试验，取得了可喜的成果，1999 年我国已在部分省 45 个县农科所和乡农科站附设了磷石膏农化服务点。长期以来，在各级农业管理部门、肥料监督检验机构大力协助和支持下，不同地区、不同层次的农科院所、土肥所（站）、大专院校等科研机构以及有关企业，对磷石膏用于不同纬度区域的盐碱地、盐渍化土壤、酸性黄壤、红壤旱地、山原红壤的改良调理，以及应用于不同植物方面的研究开发、试验对比、总结改进等方面开展了大量的工作，积累了一定的数据和丰富经验，从不同的角度验证了磷石膏在上述几类土质改良以及提高低产田的农作物产量等方面都有着不同程度的效果。

到目前为止，国内缺乏磷石膏放射性活性的检测标准和限量规定，对磷石膏应用于农业及土壤改良，特别是长期使用后放射性和重金属对土壤健康、土质变化、农作物品质、对人类健康的影响程度等方面缺乏验证、监测、分析和数据佐证。2012 年 7 月 1 日《磷石膏土壤调理剂》HG/T 4219-2011 标准开始实施，但由于标准本身内容指标存在不足，且部分企业存在生产管控不严，产品质量得不到农业部门的认可，加之环保政策的趋紧，农业部门对登记证的管理愈加严格，国内磷石膏制土壤调理剂并未因此得到较大的发展。

近年来，依托磷石膏无害化处理技术持续进步及耕地质量提升、盐碱地改良等政策引导，我国磷石膏基土壤调理剂施用规模持续扩大。磷石膏农业资源化利用由初期小范围试验示

范，逐步转向规模化、标准化推广应用，施用区域不断拓展，主要集中在北方盐碱地、南方酸性土壤及连作障碍耕地治理区域。随着磷石膏综合利用需求不断加大，磷石膏土壤调理剂产品品类持续丰富，无害化、改性化水平显著提升，可有效补充土壤钙、硫等中微量元素，改良土壤理化性状、缓解土壤酸化与次生盐渍化问题。目前，磷石膏已成为我国土壤调理改良的重要原料之一，农业施用消纳量稳步增长，逐步形成稳定的资源化利用渠道，有效缓解了磷石膏大宗固废堆存压力，实现了工业固废资源化与耕地保育的协同发展。

3.4.2 国外磷石膏产生及利用情况

美国作为曾经的世界磷肥生产中心，将磷石膏在农业领域利用进行过很全面的、开拓性的探索。美国在农业领域利用磷石膏目的分为三类：1）作为花生种植过程中钙的来源；2）作为蔬菜作物和牧草的硫源；3）作为一种改善土壤碱度、酸性结皮和底土的改良剂。1994 年美国所有领域磷石膏耗用量 3000 万吨，农业领域各类石膏利用占总量 5%，大约利用 150 万吨磷石膏。美国磷石膏在农业方面的利用主要集中在佐治亚州、阿拉巴马州、南卡罗莱纳州和北卡罗莱纳州等地。

俄罗斯用于农业种植的土壤受钠基和盐渍成分影响严重，2007 年这类土壤面积占了其农业用地面积的 20%。俄罗斯在利用磷石膏改良受钠基成分影响的土壤方面做了大量的研究，试验研究范围分为三类，一是利用磷石膏中的钙来替代吸附在结构不良的洪积土层阳离子交换复合体上的钠，磷石膏土壤改良剂的加入量通常根据置换受影响的土壤吸附 Na 所需的 Ca 量来计算；二是在磷石膏中添加各种矿物质和有机物质（如堆肥）后增强磷石膏土壤调理剂的效果。酸性改良剂对含有高浓度的交换性钠盐渍土壤最为适宜，作为退化土壤中必需的 S 和 P 养分的提供者。磷石膏的硫、钙、磷这些营养元素对谷物和油料作物至关重要，因为它们对作物的品质特性和产量有积极影响；三是用于改善灌溉土壤物理状况的改良剂，磷石膏改善了土壤结构，提高了土壤的保水能力，促进了土壤团聚体的形成，并提高了土壤的透水性。

西班牙在农业领域利用磷石膏已有 70 多年的时间，西班牙国内多所大专院校对磷石膏的利用进行了多项跟踪、调查研究。研究人员对所种植作物对重金属镉的摄入进行了测试，并对数十年来使用磷石膏的土壤成分变化进行了模拟监测，并且进行了相关司法鉴定，认为磷石膏在农业领域应用安全可靠，并对可以在农业领域利用磷石膏作为肥料进行了立法。

在含有过量可交换的活性铝（Al）的土壤中，施用磷石膏有助于 Ca 进入底土并中和可溶性的铝。在这类土壤中施用磷石膏能促进根系生长和作物产量。改良酸性土壤以促进作物生长所需的磷石膏量取决于土壤的黏土含量和底土的化学性质。磷石膏（PG）含有 ^{238}U 和

^{232}Th 衰变系列的放射性核素。由于这些放射性核素的存在，许多国家限制了磷石膏在农业领域的使用，但巴西没有这种限制。

含硫肥料是印度提高粮食和油料产量的主要投入之一。Paradeep（帕拉迪普）磷酸盐有限公司（PPL）在印度各地进行了多种农作物的试验和示范。由当地农业大学和 PPL 公司的农业专家开展的研究结果表明，磷石膏是印度市场上最实惠和最好的硫源。2007 至 2012 年印度境内进行了施用磷石膏对农作物产量、谷物品质以及其对环境影响的跟踪研究，得出结论：磷石膏是一种良好的、农民能够承受的硫源，可以显著提高油菜籽和豆类中油脂和蛋白质的含量，提高粮食作物的品质

4 与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

《磷石膏土壤调理》标准中采用的重金属含量引用《肥料中有毒有害物质的限量要求》（GB 38400）规定值；土壤调理剂产品中的水溶性氟含量引自国家标准《磷石膏》（GB/T 23456—2025），且严于上版本《磷石膏土壤调理剂》（HG/T 4219—2011）50%；土壤调理剂产品中的钠含量引用《土壤调理剂及使用规程 烟气脱硫石膏原料》（NY/T 3936—2021）；以上指标均根据行业企业的实际情况设定，采用的环保指标均符合或严于国内相关标准。

5 采用国际标准和国外先进标准情况

《磷石膏土壤调理》标准未采用国际标准。

6 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

《磷石膏土壤调理剂》标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准协调一致。

7 重大分歧意见的处理经过和依据

对标准起草及修订过程中存在的分歧和意见，重点参考类似的已经发布的地方标准和国家标准进行妥善处理。

8 涉及专利的有关说明

通过资料查询，目前尚未发生有关专利所属权的请求，故本标准不涉及相关专利和知识。

9 实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准为针对产品生产、应用制定的新标准，为了加强标准的贯彻落实，建议由标准制定单位以及标准应用企业组织有关农业技术推广单位和农业技术推广人员，在示范推广该技术过程中，通过媒体报道、组织培训、材料宣传、集中农户学习等多种途径对依据标准生产的产品进行宣传和学习，全面掌握标准的核心实质，保证在农业生产中规范应用，促进磷石

膏制土壤调理剂技术在企业生产中和农业生产中规范应用。

10 其它应予说明的事项

无