



中华人民共和国国家标准

GB/T 32124—20XX
代替 GB/T 32124-2015

磷石膏的处理处置规范

Treatment and disposal specification for phosphogypsum

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 32124—2015《磷石膏的处理处置规范》，与GB/T 32124—2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了范围（见第1章，2015年版的第1章）；
- b) 增加了总体要求章节（见第4章）；
- c) 增加了无害化处理、磷石膏制水泥缓凝剂、磷石膏制石膏基建材、井下填充、露天填充、制备土壤调理剂（见5.1、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国废弃化学品处置标准化技术委员会（SAC/TC 294）归口。

本标准起草单位：。

本标准主要起草人：。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2015年首次发布为 GB/T 32124-2015，本次为第一次修订。

磷石膏的处理处置规范

1 范围

本文件规定了磷石膏的处理处置的总体要求、处理处置方法、安全以及环境保护。
本文件适用于磷石膏的处理处置。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 211—2017 煤中全水分的测定方法
GB/T 212—2008 煤的工业分析方法
GB/T 213—2008 煤的发热量测定方法
GB/T 534 工业硫酸
GB/T 2001—2013 焦炭工业分析方法
GB 3838 地表水环境质量标准
GB 4915 水泥工业大气污染物排放标准
GB/T 5484—2012 石膏化学分析方法
GB 6566 建筑材料放射性核素限量
GB 8978 污水综合排放标准
GB/T 9776 建筑石膏
GB 15580 磷肥工业水污染物排放标准
GB15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准
GB/T 17669.2 建筑石膏 结晶水含量的测定
GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB/T 19077 粒度分析 激光衍射法
GB/T 19281 碳酸钙分析方法
GB/T 21371-2019 用于水泥中的工业副产石膏
GB/T 23456—2018 磷石膏
GB 26132 硫酸工业污染物排放标准
GB/T 30732-2014 煤的工业分析方法 仪器法
HG/T 4219 磷石膏土壤调理剂

JC/T 2073-2011 磷石膏中磷、氟的测定方法

NY/T 1060—2006 水泥生产用磷石膏

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 总体要求

4.1 产生磷石膏的企业应当制定磷石膏综合利用专项规划和相应措施，并在规划中对磷石膏综合利用提出明确要求。

4.2 产生磷石膏的企业应当配套建设磷石膏无害化处理设施，对所产生的磷石膏应进行无害化处理，加强磷石膏污染防治，推进磷石膏综合利用。

4.3 产生磷石膏的企业和其他相关生产经营者应当建立磷石膏管理台账。

4.4 产生磷石膏的企业和其他相关生产经营者应当充分综合利用磷石膏，开发和生产磷石膏综合利用产品。

5 处理处置方法

5.1 无害化处理

5.1.1 无害化处置堆场要求

5.1.1.1 堆场建设前期须依法、依规进行项目选址、立项、可行性研究及环境影响评价；建设过程应遵守国家有关建设项目管理的规定。

5.1.1.2 场地应满足 GB 18599 的规定。无害化处理后的磷石膏进入处置场贮存，其浸出液特征污染物控制应符合 GB 8978 一级指标要求。

5.1.1.3 磷石膏处置堆场运营过程应当采取防扬散、防流失、防渗漏或者其他防止污染环境的措施，加强对相关设施、设备和场所的管理和维护，保证其正常运行和使用。

5.1.2 磷石膏无害化处置方法

5.1.2.1 水洗方法：经调浆、固液分离和洗涤，降低磷石膏的酸性和水溶性磷、氟等杂质含量。水洗过程可同时针对磷石膏中所需脱除的杂质成分，根据其物理特性差异或采用相应药剂改变目标产物与杂质成分的疏水、亲水性，实现杂质和固液分离。

5.1.2.2 中和方法：在磷石膏中加入石灰、电石渣等适宜的碱性物质，与磷石膏中的游离酸和水溶性磷、氟等杂质反应形成不溶或难溶物质，去除其酸性和水溶性杂质的方法。

5.1.2.3 煅烧方法：在合适温度下通过焙烧使磷石膏变为半水、无水或混合性石膏，转变其化学和物理力学性能。同时，可去除磷石膏中的挥发性组分，分解有机质，并将部分磷、氟等杂质转化为不溶或难溶性物质而被固定。

5.1.2.4 其他方法：在无害化处理过程中，添加固化剂、絮凝剂、激发剂或采用生物菌种，去除和固定

磷石膏中的有害性杂质的方法；也可选择合适的无机、有机或混合型溶剂溶解磷石膏，通过液固分离不溶性杂质后液相重结晶得到净化硫酸钙的方法。

5.1.3 磷石膏无害处置工艺流程

5.1.3.1 磷石膏的预处理：将磷石膏进行调浆、泵送至浓密机，经过再浆、中和处理后，由过滤机进行洗涤，固液分离等处理后送至处置场地。

5.1.3.2 磷酸盐回收利用：对水洗、中和后的废液，采用化学方法将磷酸盐从磷石膏中提取出来，再通过结晶、沉淀等方法进行回收；

5.1.3.3 废水达标排放：将处理后的清液作为工艺水循环使用，多余部分废水需处置符合 GB 8978 一级指标要求后排放。

5.1.4 原辅材料要求

磷石膏原料应符合表 1 指标控制要求。

表 1 磷石膏原料基本要求

项目	指标
附着水（H ₂ O）（湿基）w/%	≤ 25.0
硫酸钙（CaSO ₄ ）（干基）w/%	≥ 65.0
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）（干基）w/%	≤ 0.50
水溶性氟离子（F）（干基）w/%	≤ 0.30

5.1.5 主要设备

磷石膏进入堆场前无害化处置方法所需的主要设备包括调浆槽、混合器、浓密机、过滤机、添加剂加料器、输送设备和控制系统等。磷石膏无害化工艺、装备与生产线应不断提高技术水平，降低能耗和去除粉尘污染，满足磷石膏贮存的指标要求，确保环境质量。

5.1.6 操作步骤

5.1.6.1 开启调浆槽混合器电机，并调节至正常转速后，将磷石膏原料送入调浆槽进行调浆。

5.1.6.2 通过料浆泵将磷石膏浆泵至浓密机，沉淀、再浆后输送至过滤机进行 PH 值中和、有害物质分离或固化、脱水等。

5.1.6.3 将脱水后的磷石膏输送至堆场或直接作为化工原料、水泥缓凝剂、建材、生态修复材料或土壤调理剂等后期产品原料利用。

5.1.6.4 对系统处理后的清液泵送至调浆槽或浓密机作为工艺水循环使用，多余部分处置达标后排放。

5.1.7 控制要求

磷石膏无害化处置后应符合表 2 指标控制要求。

表 2 磷石膏无害化处理后指标控制

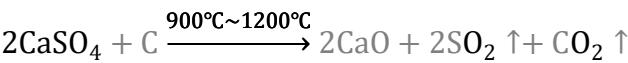
项 目	指 标
附着水（H ₂ O）（湿基）w/%	≤ 25.0
硫酸钙（CaSO ₄ ）（干基）w/%	≥ 70.0
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）（干基）w/%	≤ 0.15
水溶性氟离子（F ⁻ ）（干基）w/%	≤ 0.15
有机质（干基）w/%	≤ 5.0
其他无机盐（干基）w/%	≤ 2.0
pH	6.0~9.0

5.2 磷石膏制硫酸

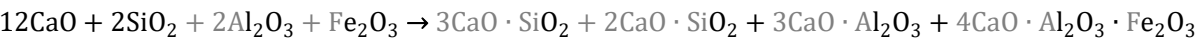
5.2.1 方法原理

磷石膏在高温条件下分解产生氧化钙和二氧化硫，焦炭作为还原剂发挥重要作用；产生的二氧化硫在钒触媒作用下催化氧化为三氧化硫，三氧化硫吸收制得工业硫酸；产生的氧化钙在高温条件下与辅料中的SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃等结合生成硅酸盐熟料，主要成分为硅酸二钙、硅酸三钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙等。

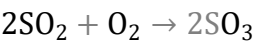
磷石膏（主要成分 CaSO₄）与焦炭末（C）发生的化学反应式：



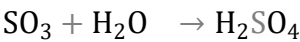
生成的CaO与物料中的SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃等发生的矿化反应：



二氧化硫经氧化转化成三氧化硫的化学反应式：



三氧化硫与98%硫酸中的水化合制成硫酸的化学反应式：



5.2.2 生产工艺流程

辅料烘干机烘干后的黏土、焦炭末等辅助材料按配比计量后，由原料预粉磨机研磨后，与经石膏烘干机烘干后的磷石膏在混化机内混合均化生产水泥生料，水泥生料经旋风预热器预热后，在化工副产分解煅烧窑内发生化学反应，生成含二氧化硫的窑气并副产水泥熟料。出窑水泥熟料经冷却机冷却后，与按配比加入的炉渣、粉煤灰、缓凝剂、增强剂等由水泥磨研磨成水泥成品。含二氧化硫的窑气经除尘、酸洗净化、干燥后，在转化器内钒触媒的催化作用下，二氧化硫转化成三氧化硫，三氧化硫被浓度为98%硫酸吸收后制成硫酸成品。工艺流程见图1。

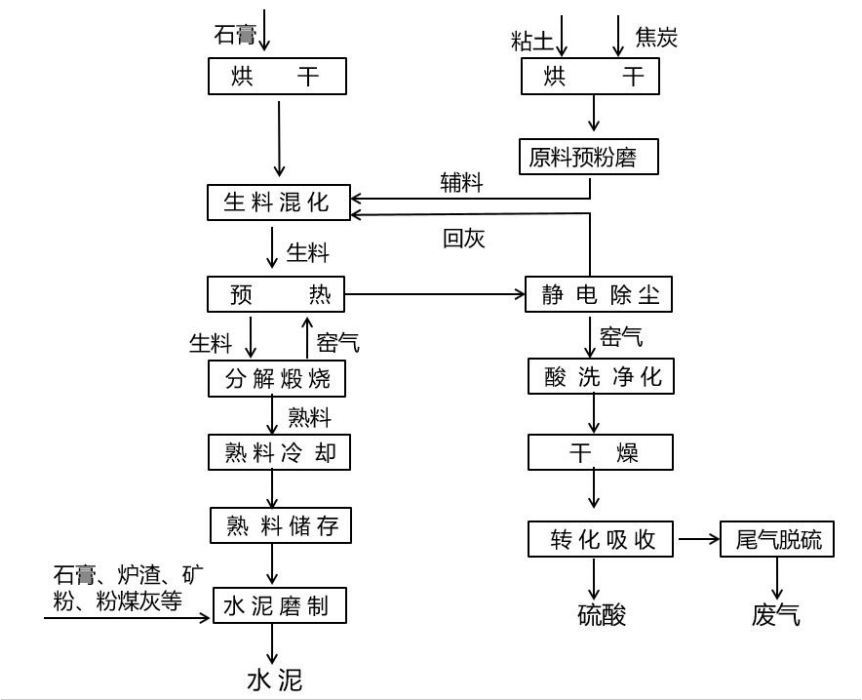


图 1 磷石膏制硫酸流程

5.2.3 原辅材料要求
5.2.3.1 磷石膏质量要求

制硫酸的磷石膏质量应符合表3要求。

表 3 磷石膏质量要求

项 目	指 标	分析方法
三氧化硫（SO ₃ ） w/%	≥ 40	GB/T 5484—2012
二氧化硅（SiO ₂ ） w/%	≤ 8.0	
五氧化二磷（P ₂ O ₅ ） w/%	≤ 1.5	GB/T 23456—2018
氟（F） w/%	≤ 0.35	

5.2.3.2 焦炭末质量要求

制硫酸的焦炭末质量应符合表4要求。

表 4 焦炭末质量要求

项 目	指 标	分析方法
固定碳含量w/%	≥ 75	GB/T 2001—2013
挥发份 w/%	≤ 5	

5.2.3.3 烧成用煤质量要求

制硫酸的烧成用煤质量应符合表5要求。

表 5 烧成用煤质量要求

项 目		指 标	分析方法
低位发热量/(kJ/kg)	≥	23000	GB/T 213—2008
灰分w/%	≤	10	GB/T 212—2008
挥发份w/%	≤	35	

5.2.3.4 辅料的质量要求

粘土、铝矾土、焦炭末等成分符合表 6 生料配置要求。

表 6 生料配置要求

指标名称	示性式	指标
石灰饱和比 (KH)	$(\text{CaO}-1.65\text{Al}_2\text{O}_3-0.35\text{Fe}_2\text{O}_3-1.18\text{P}_2\text{O}_5)/2.8\text{SiO}_2$	1.05 ± 0.1
硅酸率 (SM)	$\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$	3.2 ± 0.2
铝氧率 (IM)	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.5 ± 0.2
碳硫比	C/SO_3	0.75 ± 0.05

5.2.4 主要设备

磷石膏制硫酸主要设备包括：磷石膏烘干机、辅料烘干机、原料预粉磨机、混化机、旋风预热器、分解煅烧窑、熟料冷却机、水泥磨、水泥包装机、电除尘器、洗涤塔、电除雾器、干燥塔、转化器、吸收塔、脱硫塔。

5.2.5 操作步骤

5.2.5.1 原料处理

磷石膏由石膏烘干机烘干后存入磷石膏料库，黏土、焦炭末等辅助材料经辅料烘干机烘干后存入各自料库。

5.2.5.2 生料制备

辅料烘干机烘干后的黏土、焦炭末等辅助材料按配比计量后，由原料预粉磨机研磨后，与经石膏烘干机烘干后的磷石膏在混化机内混合均化生产水泥生料，并存入水泥生料库，水泥生料在生料库中进行均化。

5.2.5.3 分解煅烧

均化后的水泥生料经多级旋风预热器预热后，进入分解煅烧窑内煅烧，产生含二氧化硫窑气并副产水泥熟料。水泥熟料由熟料冷却机冷却后存入水泥熟料库，窑气经电除尘器除尘后进入硫酸制取装置。

5.2.5.4 水泥粉磨

水泥熟料按比例加入炉渣、粉煤灰、缓凝剂石膏等混合材料，经水泥磨研磨制得成品水泥，并存入水泥成品库。水泥部分散装出厂，部分由包装机包装后出厂。

5.2.5.5 硫酸制取

经电除尘器除尘后的窑气进入两级洗涤塔、电除雾器进行净化，再进入干燥塔内，用 98%浓硫酸去除窑气中所含水分。

净化干燥后的窑气经换热器加热后进入转化器，在钒触媒的作用下，窑气中的二氧化硫转化成三氧化硫。

转化成三氧化硫的窑气经换热器降温后分两次分别进入第一吸收塔和第二吸收塔，用 98%浓硫酸吸收气体中的三氧化硫，三氧化硫与其中的水化合制得硫酸。从第二吸收塔出来的气体经尾

气脱硫塔处理后达标排放。

吸收塔内浓硫酸吸收三氧化硫后浓度提高，吸收酸需要加水稀释并与干燥塔内吸水后浓度降低的硫酸进行串酸，从而维持浓度平衡，串酸多出的 93%或 98%的硫酸作为成品硫酸，送入产品储罐。

5.2.6 产品质量要求

5.2.6.1 水泥产品质量符合 GB/T 175 的要求。

5.2.6.2 硫酸产品质量符合 GB/T 534 的要求。

5.3 磷石膏制水泥缓凝剂

5.3.1 方法原理

选用磷酸生产装置所产磷石膏料浆或符合 GB/T 23456 要求的磷石膏，经无害化处理或改性处理，再经过熟化或造粒成球，得到粉状或颗粒状产品。

5.3.2 生产工艺流程

磷石膏制水泥缓凝剂可采用但不限于以下生产工艺：

a) 工艺 1

从磷酸装置送来的磷石膏料浆（含固量约 25%~30%），通过管道进入磷石膏料浆缓冲槽，搅拌均匀后，送至一级带式过滤机过滤机，回收磷石膏料浆中的 P_2O_5 。一级过滤后的磷石膏送至中和槽，与改性剂混合均匀，反应完全后送至二级过滤机和板框压滤机。二级过滤机滤布洗涤水送至一级过滤机作为滤饼洗水，板框压滤滤液作为滤饼洗水。经二级带式过滤机过滤和板框压滤机压滤的磷石膏经过带式输送机输送、混合打散机打散后（或造粒造粒后）至成品堆场堆存陈化。工艺流程图见图 2。

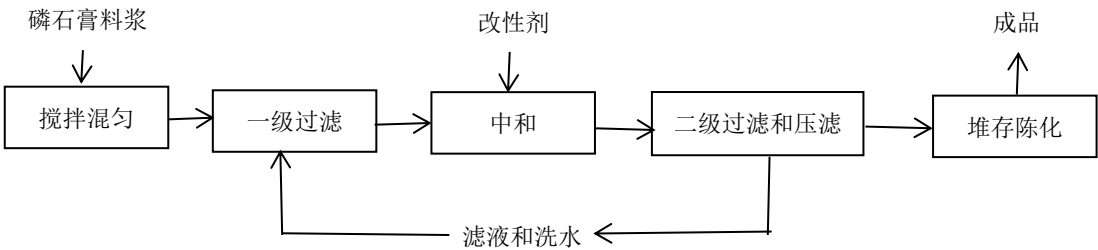


图 2 磷石膏制水泥缓凝剂工艺 1 流程

b) 工艺 2

将符合 GB/T 23456 要求的磷石膏用筛分机进行一级筛分、研磨，筛分、研磨后采用水洗方式进行二级筛分，分离磷石膏中的水溶性杂质以及磷石膏中细小的不溶性杂质（如游离的磷酸、水溶性磷酸盐、泥土、有机物以及磷石膏微结晶等废液）。二级筛分后的料浆用石灰乳进行中和，采用旋流分级脱除磷和氟后（磷酸钙、氟化钙废渣），将料浆脱水后的磷石膏经过带式输送机输送、混合打散机打散后（或造粒造粒后）至成品堆场堆存陈化，工艺流程图见图 3。

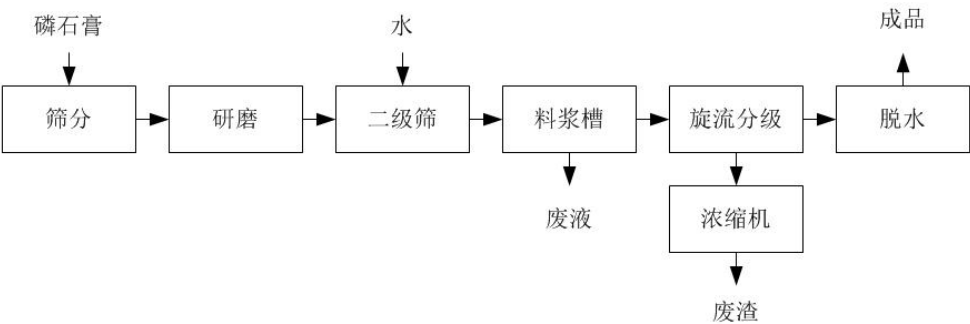


图 3 磷石膏制水泥缓凝剂工艺 2 流程

5.3.3 原辅材料要求

磷石膏料浆（含固量约 25%~30%）或符合 GB/T 23456 要求的磷石膏。

5.3.4 主要设备

磷石膏制水泥缓凝剂主要设备包括：料浆缓冲槽、筛分机、研磨机、带式过滤机、板框压滤机、旋流分离器、浓缩蒸发器。

5.3.5 产品质量要求

符合 GB/T 21371—2019、NY/T 1060—2006 的规定。

5.4 磷石膏制石膏基建材

5.4.1 α 型高强石膏

5.4.1.1 方法原理

磷石膏（主要成分CaSO₄·2H₂O）经脱水处理制得的，以α型半水硫酸钙(α-CaSO₄·1/2 H₂O)为主要成分，不预加任何外加剂或添加物的粉状胶凝材料，其化学反应式如下：



5.4.1.2 生产工艺流程

磷石膏经水洗预处理后进入转晶器，在一定温度和压力条件下，失去3/2结晶水，并在转晶剂的作用下，晶体形态发生变化，转变成为α型半水硫酸钙(α-CaSO₄ · 1/2 H₂O)。随即进入干燥系统，烘干游离水，再经粉磨即成为α型高强石膏。工艺流程图见图4。

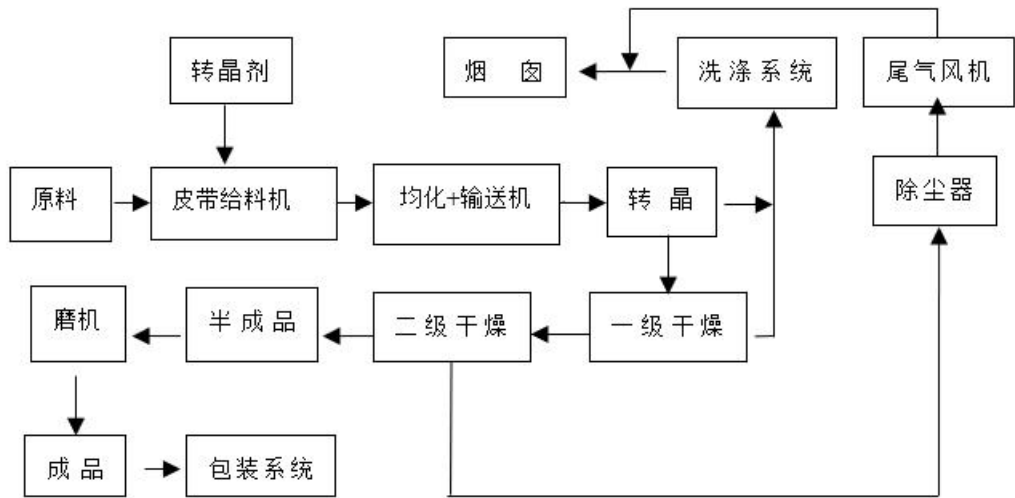


图 4 α 型高强石膏生产工艺流程

5.4.1.3 原辅材料要求

生产α型高强石膏所用的磷石膏应符合GB/T 23456—2018中二级品及以上的要求，应符合表7要求。

表 7 磷石膏质量要求

项 目	指 标	分析方法
二水硫酸钙（CaSO ₄ ·2H ₂ O）w/%	≥ 90	GB/T 5484
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）（干基）w/%	≤ 0.1	GB/T 5484
水溶性氟离子（F）w/%	≤ 0.1	GB/T 5484

5.4.1.4 主要设备

磷石膏生产α型高强石膏的主要设备包括：皮带输送机、石膏均化机、转晶器、干燥系统、磨机。

5.4.1.5 操作步骤

5.4.1.5.1 原料给料

由皮带给料机按设定的石膏质量，给料进入均化机经皮带输送机进入转晶器。

5.4.1.5.2 转晶

按设定的温度、压力和转晶剂配比，在一定时间内发生转晶。

5.4.1.5.3 干燥、排湿和除尘系统

转晶完毕，泄压出釜，进入干燥系统；经一级干燥，湿气进入排湿系统；经二级干燥后，粗物料进入半成品仓储系统。

5.4.1.5.4 粉磨

通过粉磨改变 α 型半水硫酸钙比表面积，粉体粒度符合下游市场需求，最后成为 α 型高强石膏成品，进入成品仓储系统。

5.4.1.5.5 成品仓储和包装

根据市场需求，产品包装形式分为散装、吨袋包装和小袋包装。

5.4.1.6 技术要求

α 型高强技术要求，参照 JC/T2038-2010 执行，主要指标有细度、凝结时间和强度：

- a) 细度: α 型高强石膏的细度以 0.125 mm 方孔筛筛余量百分数计，筛余量不大于 5 %；
- b) 凝结时间: α 型高强石膏的凝结时间在初凝时间 $\geq 3\text{min}$ ，终凝时间 $\leq 30\text{min}$ ；
- c) 强度: α 型高强石膏分为 $\alpha 25$ 、 $\alpha 30$ 、 $\alpha 40$ 、 $\alpha 50$ 四个强度等级，且均不小于表 8 规定的数值。

表 8 α 型高强石膏强度

等 级	2 h 抗折强度 (MPa)	烘干抗压强度 (MPa)
$\alpha 25$	3.5	25.0
$\alpha 30$	4.0	30.0
$\alpha 40$	5.0	40.0
$\alpha 50$	6.0	50.0

- d) 浇筑时间、硬度、结晶水、膨胀率、白度由供需双方商定。

5.4.2 II型无水石膏

5.4.2.1 方法原理

磷石膏（主要成分 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）在高温下脱出结晶水生成II型无水石膏。

5.4.2.2 生产工艺流程

经破碎筛分后的磷石膏，由箱式恒料给料机计量后进入带式输送机，输送至锤式烘干系统破碎后进入粗颗粒沉降装置，经一、二级预热装置干燥脱水后进入煅烧炉，高温煅烧后进入三级预热装置继续煅烧，煅烧后的粉料进入缓冲仓，再经过一、二、三级冷却后由气粉混合机输送至气箱脉冲袋式除尘器，气粉分离后由空气输送斜槽输送至改性磨机，研磨后，合格成品经斗式提升机输送至成品仓。工艺流程图见图5。

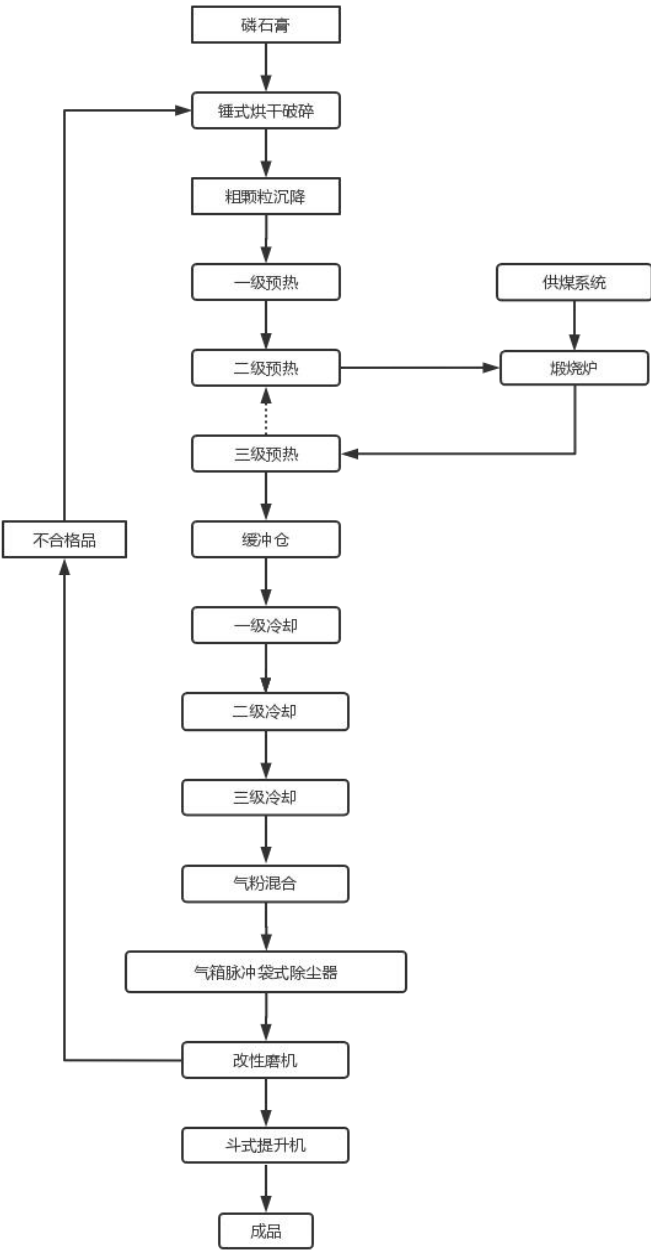


图 5 II型无水石膏生产工艺流程

5.4.2.3 原辅材料要求

5.4.2.3.1 磷石膏质量要求

生产 II 型无水石膏的磷石膏质量应符合表9要求。

表 9 磷石膏质量要求

项 目	指 标	分析方法
二水硫酸钙（CaSO ₄ ·2H ₂ O）w/% ≥	90	GB/T 5484—2012
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）（干基）w/% ≤	0.3	JC/T 2073—2011
水溶性氟离子（F）w/% ≤	0.2	JC/T 2073—2011

水溶性氧化钠 (Na ₂ O) w/%	≤	0.1	GB/T 5484—2012
氯离子 (Cl) (干基) w/%	≤	0.04	GB/T 5484—2012

5.4.2.3.2 煤质量要求

生产Ⅱ型无水石膏的煤质量应符合表10要求。

表 10 煤质量要求

项 目	指 标	分析方法
发热量 Kcal/kg	≥ 6000	GB/T 213-2008
硫 /%	≤ 1	GB/T 214-2007
水分/%	≤ 10	GB/T 211-2017
挥发分/%	30~50	GB/T 30732-2014
灰分/%	15~30	GB/T 30732-2014

5.4.2.4 主要设备

磷石膏生产Ⅱ型无水石膏的主要设备包括：箱式恒料给料机、风扫式钢球磨、快速粉碎干燥机、煅烧装置、一级预热装置、二级预热装置、三级预热装置、一级冷却装置、二级冷却装置、三级冷却装置、专用改性粉磨。

5.4.2.5 操作步骤

5.4.2.5.1 原料给料

由箱式恒料给料机（含湿原料破碎）、除铁器和皮带输送机共同组成给料系统，保证稳定给料。

5.4.2.5.2 煤粉制备系统

煤粉制备采用风扫式钢球磨，选用风扫式煤磨配套煤磨高效选粉机, 要求原煤水份：≤ 10%，成品细度80 μ m孔筛筛余 3%~5%。

5.4.2.5.3 烘干、预热、煅烧、冷却和除尘系统

使用快速烘干粉碎机烘干附着水及部分结晶水,烘干后物料送至预热器预热进一步脱除结晶水及升温。

通过二级预热，物料从120℃升至550℃左右进入煅烧装置。

通过三级冷却，物料从800℃冷却至200℃左右。

冷却后的热空气用于煅烧系统，进行余热利用后的烟气进入除尘脱硫系统。

5.4.2.5.4 改性粉磨

通过改性粉磨改变高温石膏不合理的颗粒物理外表结构和颗粒级配，改善比稠，根据业主要求，激发剂等物质按比例在磨头加入混合粉磨。

5.4.2.5.5 成品冷却和输送

冷却温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 后输送入改性粉磨，经磨机筒体冷却后输送入库，成品入库温度低于 60°C 。

5.4.2.6 产品质量要求

Ⅱ型无水石膏产品应符合表11的规定。

表 11 Ⅱ型无水石膏的质量要求

项目	等级及要求			检测方法
	200	800	1200	
细度（D90 ^a ）	75μm	18μm	12μm	GB/T 19077
氧化钙（CaO）含量/% <div>≥</div>	37.0			GB/T 5484
三氧化硫（SO ₃ ）含量/% <div>≥</div>	52.0			GB/T 5484
结晶水含量/% <div>≤</div>	0.5			GB/T 17669.2
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）/% <div>≤</div>	0.2			JC/T 2073
水溶性氟离子（F）/% <div>≤</div>	0.1			JC/T 2073
氯离子（Cl）/% <div>≤</div>	0.05			GB/T 5484
水溶性氧化钠（Na ₂ O）/% <div>≤</div>	0.05			GB/T 5484
吸油值 ^b /（g/100g） <div>≤</div>	40			GB/T 19281
注： ^a D90 表示 90%以上粉体粒径小于该型粒径要求。 <div>^b吸油值仅在将Ⅱ型无水石膏用作高分子材料填料时要求。</div>				

5.4.3 β 半水石膏

5.4.3.1 方法原理

磷石膏（主要成分CaSO₄·2H₂O）经脱水处理制得的，以 β 型半水硫酸钙。

5.4.3.2 生产工艺流程

磷石膏经过水洗、中和等净化处理，借鉴水泥生产成熟的预热器工艺，送入多级旋风预热，干燥，然后到焙烧炉进行流态化焙烧，在控制不同煅烧温度等条件下，可分别实现 β 半水石膏（或无水Ⅱ型石膏）两种产品的生产，出炉产品经改性磨粉磨，气力冷却，计量、包装出厂。

5.4.3.3 磷石膏质量要求

生产 β 型半水石膏的磷石膏质量应符合表12的规定。

表 12 原料磷石膏质量要求

项目	指标	参考标准
二水硫酸钙（CaSO ₄ ·2H ₂ O）（干基）w/% \geq	80	GB/T 23456
附着水（H ₂ O）（湿基）w/% \leq	20	
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）（干基）w/% \leq	0.30	
水溶性氟离子（F）（干基）w/% \leq	0.20	

水溶性氧化镁(MgO) (干基) w/%		≤	0.30	
氯离子(Cl) (干基) w/%		≤	0.04	
水溶性氧化钠(Na ₂ O) (干基) w/%		≤	0.10	
放射性核素限量	内照射指数	≤	1.0	GB 6566
	外照射指数	≤	1.0	

5.4.3.4 主要设备

主要设备有：旋风预热器、焙烧炉、改性磨等。

5.4.3.5 产品质量要求

β 半水石膏（建筑石膏）产品应符合表13的规定。

表 13 β 半水石膏（建筑石膏）的质量要求

项目		指标	参考标准	
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）（干基）w/%		≤	0.20	GB/T 9776
水溶性氟离子（F ⁻ ）（干基）w/%		≤	0.10	
水溶性氯离子（Cl ⁻ ）（干基）w/%		≤	0.05	
水溶性氧化镁（MgO）w/%		≤	0.10	
水溶性氧化钠(Na ₂ O）w/%		≤	0.05	
pH		≥	5	
放射性核素限量	内照射指数	≤	1.0	GB 6566
	外照射指数	≤	1.0	

5.5 井下填充

5.5.1 方法原理

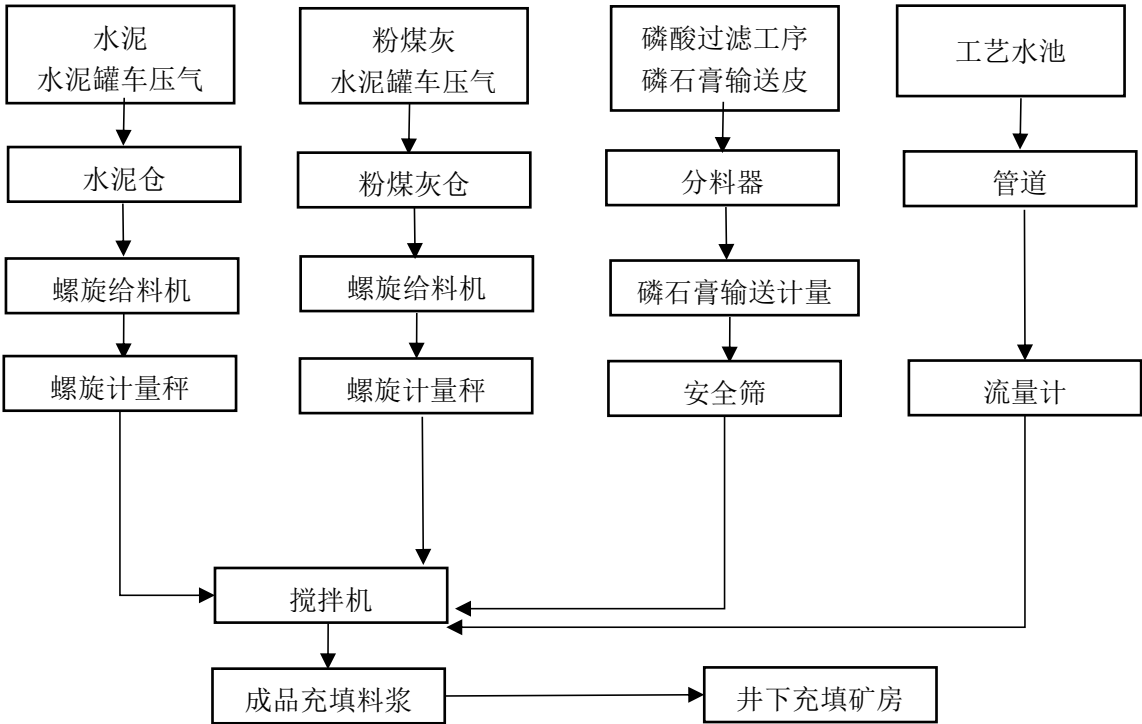
充填材料是利用胶凝材料和磷石膏按照一定配比在溶浆状态下充分混合搅拌而成的充填混凝土。胶凝材料含有大量 SiO₂ 与 Al₂O₃，具有潜在胶凝活性，pH 为 9~12。应用最广泛的充填胶凝材料为硅酸盐水泥。胶凝材料对磷石膏中酸度和可溶的硫酸盐、氟化物、磷等杂质，通过中和处理及复合反应过程，实现充填材料和浸出水的 pH 达到 6~9 之间，可溶性杂质和有害物质变成了难溶盐，并固化在充填体中，避免充填材料对井下水的污染；充填料浆经管道输送到井下后，在凝固过程中实现了充填材料的胶凝固化，充填体达到了充填采矿对围岩支撑的强度技术要求。

5.5.2 生产工艺流程

5.5.2.1 料浆制备工艺

磷石膏充填料浆制备流程如图10所示，来自磷酸过滤工序的磷石膏通过分料器分料进入计量胶带，通过计量胶带将磷石膏输送至安全筛，与来自工艺水池通过管道输送和流量计计量的水，按照一定的比例混合调制成原浆。原浆与通过螺旋计量秤计量的水泥及粉煤灰按照一定的配比混合，调制成成品充填

料浆，成品充填料浆通过搅拌储槽搅拌、缓存后通过渣浆泵及管道输送至矿山井下充填矿房进行充填。



工艺流程见图6。

图 6 充填料浆制备工艺流程

5.5.2.2 采场充填工艺

充填料浆制备完成后，采用管道泵送或管道重力输送方式，将制备好料浆输送至井下采场进行充填。
充填前，需做好采场充填准备工作。充填准备工作包括：架设充填管、预设充填滤水管和构筑充填隔离墙。

采场充填时，先输水对管道进行试压检查，待采场充填管见水后，确认管道无泄漏、无堵塞即通知地表进行输送介质切换（将水切换为充填料浆输送）。对于采场充填浓度与配比，依各矿山充填实际要求另行调整并作具体规定。当充填料浆浓度低于50 %或充填配比达不到规定要求或充填作业完成后，即通知地表充填站中止充填，用清水清洗充填管道，清洗到充填矿房处的管道出料口见清水停泵，充填结束。

5.5.3 原辅材料要求

5.5.3.1 胶凝材料

严禁使用受潮、结块、过期的胶凝材料；28天单轴抗压强度大于48MPa，pH大于13。

5.5.3.2 磷石膏

使用库存或新鲜磷石膏，其平均粒径为0.043 mm，密度为2.42 t/m³，松散容重为1.39 t/m³~0.65 t/m³，平均松散容重为1.02 t/m³。pH大于2。

5.5.3.3 水

不含油脂、酸、强碱、重金属及有机物的水。氨氮小于50 mg/L，氟化物小于30 mg/L，可溶磷小于1000 g/L。

5.5.4 主要设备

5.5.4.1 输送设备：磷石膏处理处置规范主要设备有除尘器、振动放料机、磷石膏胶带输送机，双管螺旋喂料机、埋刮板输送机，螺旋计量秤、水泥仓、隔膜泵、渣浆泵和充填管道。

5.5.4.2 供水设备：变频给水设备、水泵。

5.5.4.3 搅拌设备：双轴搅拌机，单轴搅拌机，立式搅拌机。

5.5.5 操作步骤

5.5.5.1 充填料浆制备

来自磷酸过滤工序的磷石膏通过分料器分料进入计量胶带，通过计量胶带将磷石膏输送至安全筛，与来自工艺水池通过管道输送和流量计计量的水，按照一定的比例混合调制成原浆。原浆与通过螺旋计量秤计量的水泥及粉煤灰按照一定的配比混合，调制成成品充填料浆，成品充填料浆通过搅拌储槽搅拌、缓存后通过渣浆泵及管道输送至矿山井下充填矿房进行充填。

5.5.5.2 充填料浆输送

采用泵送或重力输送方式，将充填料浆输送至井下充填采场，矿山充填管路，不仅要满足输送压力的需要，还要施工、安装和拆卸方便。充填管连接件的强度不能低于所连接管材的强度，磷石膏充填料浆输送管道可以采用法兰盘连接和螺纹连接。磷石膏计量由皮带秤计量。粉煤灰与水泥添加由螺旋给料机完成，但给料机的转速必须与磷石膏的输送能力协调，从而控制磷石膏与胶凝材料的配比。充填料浆浓度通过水量控制实现。充填水量大小通过流量计或转子流量计等进行控制调节。料浆浓度测定主要采用浓度壶测量，其次也可通过烘箱烘干检测。料浆流量采用电磁流量计计量，也可采用定容定时流速检测进行换算。

5.5.5.3 充填准备

充填前，需做好采场充填准备工作。充填准备工作包括：架设充填管、预设充填滤水管和构筑充填隔离墙。

5.5.5.4 采场充填

充填准备工作完成后，即开始采场充填。采场充填时，先用水检查管道，待采场充填管见水且充填管道无泄漏后，即通知地表充填站下料充填。对于采场充填浓度与配比，依各矿山充填实际要求另行调整并作具体规定。

5.5.5.5 结束充填

接到井下停止充填的指令后，先关闭充填设备。清理、冲洗所有管路、场地，抽干积水。填写记录，作好交接班准备或再次充填准备。

5.5.5.6 采场充填强度实验

采场充填时，可从采场充填管出料口位置直接取样，浇灌至置于现场的充填强度试模中，初凝后脱模并井下养护，待相应龄期后拿至地表实验室进行充填体强度试验。

5.5.6 充填要求

5.5.6.1 充填料浆配比

磷矿山磷石膏胶结充填可选充填料浆配比为特种水泥：粉煤灰：磷石膏=1:1:2~1:1:10，常用配比范围为1:1:6~1:1:8。磷矿山可依据磷石膏充填要求，从降低充填成本、简化制备工艺出发，选择合适的充填料浆配比。

5.5.6.2 充填料浆质量浓度

磷石膏充填料浆质量浓度不仅要满足充填工艺要求，还要保证管道输送安全。磷石膏充填料浆合适浓度范围为53 %~60 %。

5.5.6.3 充填体强度

在上述充填配比与料浆浓度下磷石膏充填体室内养护 28 天后，单轴抗压强度范围为 0.5 MPa~5 MPa。针对不同矿山特点，依据充填体作用与生产工艺要求，充填体强度要求也不同，矿山可根据实际情况进行充填配比及料浆浓度设计充填。

5.5.6.4 充填浸出水和渗滤水的要求

充填浸出水和渗滤水的pH、总磷、氟化物等指标需按国家相关标准进行监控。根据不同受纳水体应符合GB 15580、GB 8978、GB 3838的规定执行。

5.6 露天填充

5.6.1 二水硫酸钙的露天填充

5.6.1.1 方法原理

经无害化处理后的磷石膏，制备露天矿坑充填和生态修复材料。

5.6.1.2 工艺步骤

5.6.1.2.1 磷石膏的处理：从渣库将多年自然净化、陈化的磷石膏取、运到需要充填现场，添加固氟剂与重金属固化剂混合，再加入适量激发剂溶液和添加无机高分子添加剂，制备得到矿坑充填材料，进行熟化，再添加有机质等有益成分，制备得到种植土。

5.6.1.2.2 填充现场的处置：对矿坑滑坡区进行截洪沟修筑、清基、拦挡坝修建，然后进行坑底及坑壁防渗层铺设，渗滤液收集和回水系统建设，再按照工程实施规范要求，将制备好、经过熟化的充填材料充填到矿坑中。充填完成后，进行种植土铺设，完成优选植物的种植，逐步实现植被恢复。

5.6.1.2.3 二水硫酸钙露天填充工艺流程见图 7。

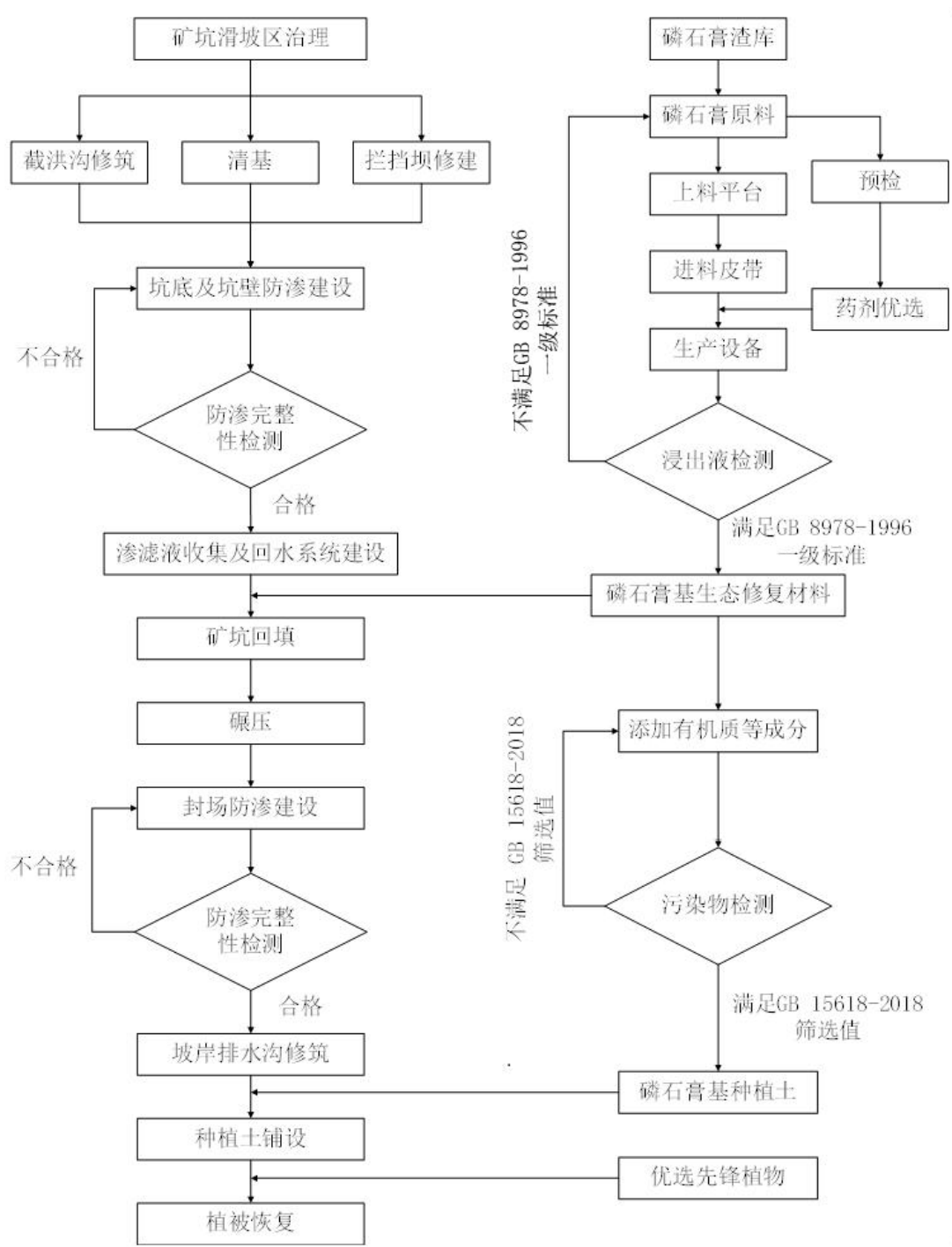


图 7 二水硫酸钙露天填充工艺流程

5.6.1.3 原辅材料要求

用于制备露天填充二水硫酸钙的磷石膏的浸出液应符合表14的规定。

表 14 磷石膏制备充填和生态修复材料浸出液的特征污染物控制指标

项目	指标
磷酸盐（以 P 计）mg/L	≤ 0.5
氟化物（以 F 计）mg/L	≤ 10
总汞 mg/L	≤ 0.05
总镉 mg/L	≤ 0.1
总铬 mg/L	≤ 1.5
总砷 mg/L	≤ 0.5
总铅 mg/L	≤ 1.0
pH	6~9

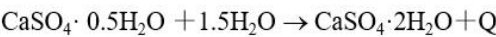
5.6.1.4 主要设备

计量、添加、输送设备、搅拌混合设备、熟化场所，以及实施充填工程所需的各类、各种工程机械、机、车等。

5.6.2 半水硫酸钙的露天填充

5.6.2.1 方法原理

半水磷石膏（CaSO₄·0.5H₂O）是半水湿法磷酸工艺副产物，为亚稳态，在一定温度、湿度条件下，半水石膏逐渐向二水石膏转化，表现出很好的胶凝活性。制备成膏体可以形成一定强度，满足井下空区及露天坑充填要求。其形成强度反应过程如下：



5.6.2.2 生产工艺流程

半水磷石膏基胶凝材料、充填集料、碱性激发剂等充填原料经精确计量后，由上料皮带输送至膏体搅拌装置，水由高位水池通过抽水泵供给，适当比例的充填物料及水在搅拌机搅拌均匀后，通过自流/泵送方式输送到充填空区，工艺流程见图 8。

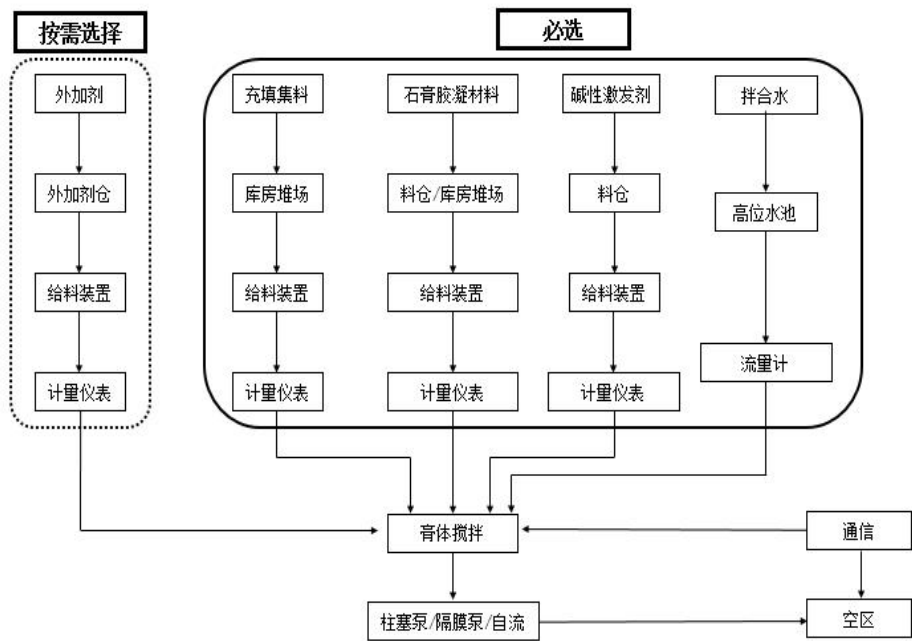


图 8 半水硫酸钙露天充填工艺流程

5.6.2.3 原辅材料要求

充填胶凝材料的性质需保持稳定，相关技术指标应当满足表 15 所列条件。

表 15 半水硫酸钙质量要求

项 目	指 标
总磷（以 P ₂ O ₅ 计）w/%	≤ 1.20
水溶（以 P ₂ O ₅ 计）w/%	≤ 0.50
总氟（F）w/%	≤ 0.80
水溶氟（F）w/%	≤ 0.30
游离水 w/%	≤ 25.0
结晶水 w/%	≤ 8.50
细度（通过一定孔径的实验筛）粒径 5mm w/%	≤ 95.0
3d 抗压强度/MPa ^{a)}	≥ 2.00

^{a)} 半水磷石膏按照 JGJ /T70—2009 浇筑 70.7*70.7*70.7mm 尺寸膏体，测定 3d 强度

5.6.2.4 主要设备

计量给料机、储水槽、流量计、配料斗、搅拌机、充填泵、编程逻辑控制器（PLC）。

5.7 制备土壤调理剂

5.7.1 方法原理

磷石膏中含有丰富的钙、硫、镁等元素，可以提高土壤的酸碱度，调节土壤结构，增加土壤肥力。无害化处置后的磷石膏生产制备粉状土壤调理剂或添加其它组分造粒后制备缓释型土壤调理剂产品。

5.7.2 控制要求

以无害化处理后的磷石膏为原料所制备的土壤调理剂应符合 GB15618、HG/T 4219 中的相关规定，

pH 可根据实际项目和用途调整，其它特性控制指标应按照农业部门相关要求执行。

生产过程过程中控制产品质量应符合表 16 中规定。

表 16 土壤调理剂的控制指标要求

项目	指标
pH	6.0~9.0
钙（Ca）w/% ≥	10.0
硫（以 S 计）w/% ≥	8.0
水溶性氟（以 F 计）w/% ≤	0.15
钠（Na）w/% ≤	0.2
砷（As）mg/kg ≤	40
镉（Cd）mg/kg ≤	8
铬（Cr）mg/kg ≤	150
铅（Pb）mg/kg ≤	200
汞（Hg）mg/kg ≤	4
游离水分由供需双方合同约定	

6 环境保护

6.1 粉尘及固废处理

加强对扬尘点的控制；生产过程中产生的粉尘，采用收尘器回收利用；生产过程中产生的炉渣，综合利用作水泥混合材料。

6.2 废气处理

生产过程中的废气，经处理后应符合 GB 4915 排放标准。硫酸吸收塔的废气经处理后应符合 GB 26132 排放标准。

6.3 废水处理

生产过程中的废水循环利用。污水经处理后应符合 GB 8978、GB 26132 排放标准。