



中国五环工程有限公司
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



Sinoma 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

磷石膏制硫酸联产钙基材料技术分析及应用

中国五环工程有限公司
天津水泥工业设计研究院有限公司

中国五环 邢学想
2026年7月 武汉

1	技术背景
2	装置概述
3	磷石膏预处理技术介绍
4	磷石膏分解技术介绍
5	湖北省及五环优势

PART 1

技术背景

- | | |
|-----|---------|
| 1.1 | 磷化工爆发增长 |
| 1.2 | 磷石膏处理困难 |
| 1.3 | 国家政策扶持 |
| 1.4 | 硫磺价格飙升 |



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

1.1 磷化工快速发展，磷石膏产量激增

产业高速发展，磷肥产能高位运行

受肥料及能源产业爆发影响，近年来我国磷化工产业迅速扩张，2025年湿法磷酸产量约1900万吨/年，处于历史峰值。每生产1吨 P_2O_5 约产生4.5~5吨磷石膏，产量同步激增。

产量惊人，存量巨大

2025年年产量

8700万吨

累计堆存量

8.7亿吨

环境风险严峻，制约行业发展

大量磷石膏露天堆存不仅占用宝贵土地资源，更存在渗滤液污染土壤和地下水的风险，已成为行业可持续发展的关键瓶颈。



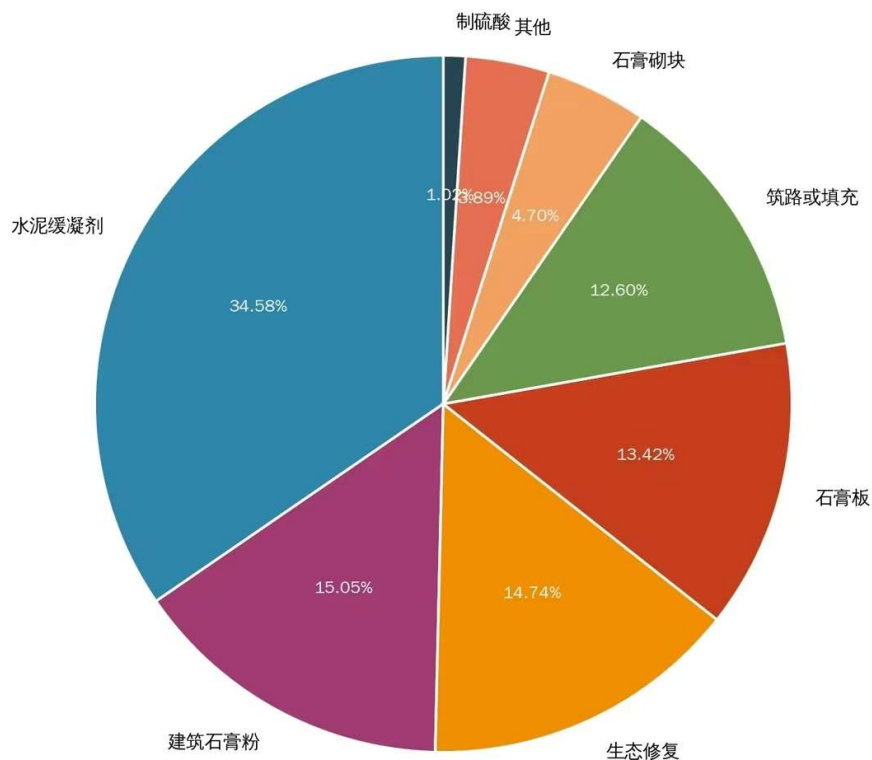
数据洞察：

磷石膏年增量约8000万吨，若不妥善处理，存量将持续攀升。造成环境污染、土地浪费，资源化利用是解决该问题的唯一出路。



1.2磷石膏综合利用现状：制酸联产水泥最具前景

工业副产石膏应用领域占比



最具前景：制酸联产水泥技术

- 资源循环：**固废变高价值硫酸和水泥，实现“变废为宝”
- 节能减排：**显著减少水泥生产碳排放，助力“双碳”目标
- 经济效益：**产品为市场刚需，具备良好盈利潜力（如鲁北集团）

传统利用途径及局限

- 建材领域：**附加值低，消纳量有限，受市场波动影响大。
- 农业与回填：**应用范围窄，纯度要求高，经济效益差。
- 整体利用率低：**2024年全国平均仅60.7%，供需失衡。



1.3磷石膏制硫酸：国家政策大力支持

政策约束：倒逼产业转型



2020年《固废法》修订

违规堆放高额罚款（最低10万元）并按日计罚，纳入排污许可，严控污染风险。



2020年 贮存填埋污染控制标准

将特定磷石膏列为第II类固废，严格环保要求，提升处置门槛，倒逼设施升级。

政策支持：鼓励技术创新



2019年 增值税即征即退

原料占比40%以上可享70%退税，大幅降低项目税负，直接提升技术经济性。



2024年《磷石膏综合利用行动方案》

明确分解制酸联产水泥为重点支持技术，鼓励构建“磷-硫-钙”循环产业链。



绿色金融与碳交易政策

提供低息绿色贷款，碳排放减量核算为碳资产，通过市场激励弥补成本缺口。



《产业结构调整指导目录》（2024年本）

磷石膏制硫酸项目可同时符合两大鼓励类目录：

“磷石膏综合利用技术开发与应用” / “工业副产石膏...等工业废弃物循环利用”

总结：政策环境呈现“倒逼”与“激励”并存态势，为磷石膏制硫酸技术发展提供了强力驱动。



中国五环工程有限公司
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



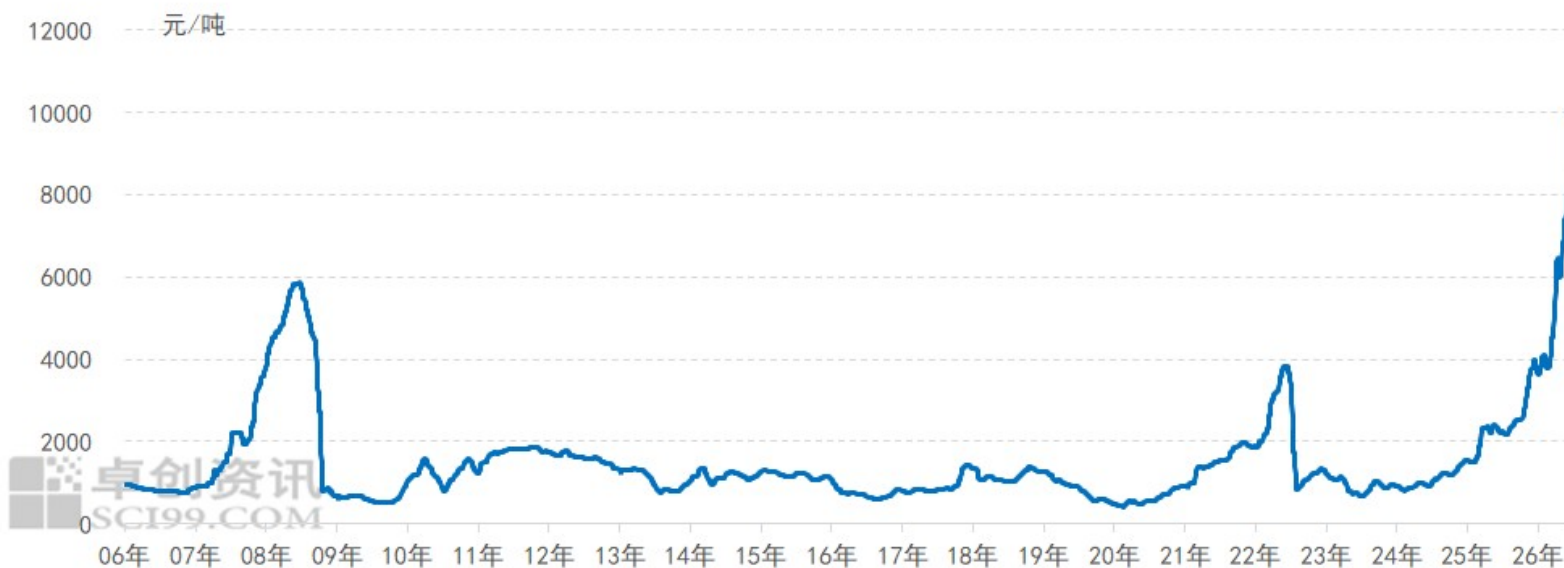
Sinoma 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

1.4 硫磺价格飙升影响磷化工产业成本

硫磺价格涨破10000元/
下游肥料控价情况下
磷肥企业出现大额亏损

硫磺暴涨原因：

1. 肥料产业坚挺
2. 印尼镍湿法冶炼 (MHP)
3. 中东/俄乌战争
4. 锂电产业需求爆发



PART 2

装置概述

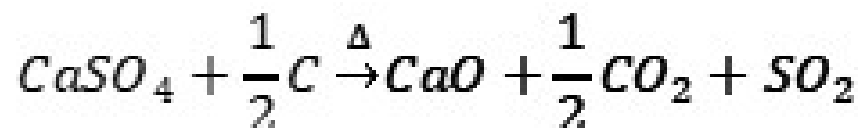
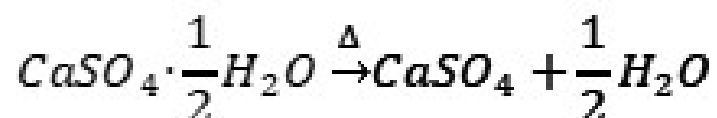
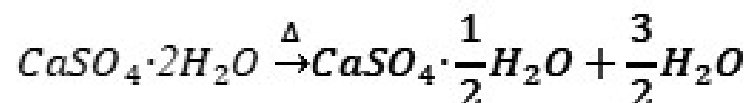
2.1 基本原理

2.2 工艺流程

2.1基本原理

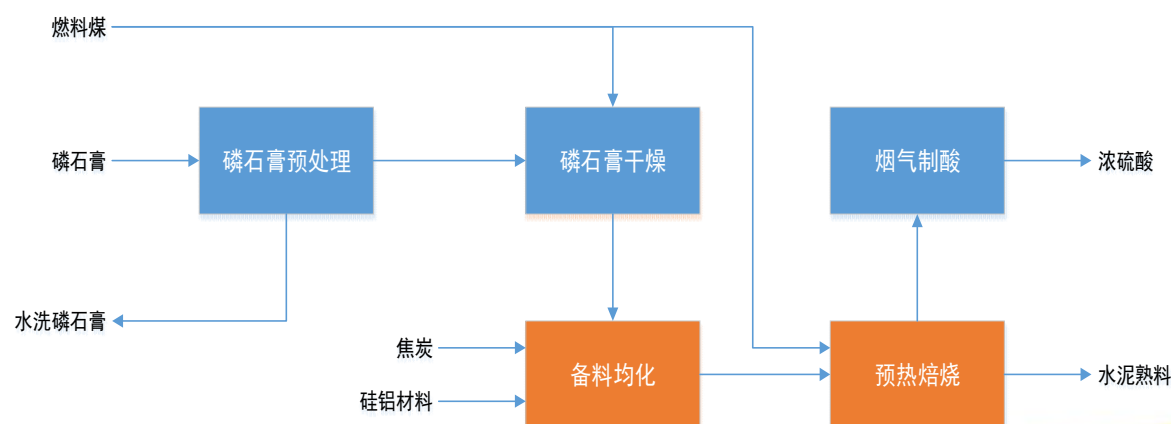
1. 磷石膏正常分解反应： $\text{CaSO}_4 \xrightarrow{1350 \sim 1400^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{SO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$

2. 磷石膏在焦炭末的分解反应： $2\text{CaSO}_4 + \text{C} \xrightarrow{900 \sim 1200^\circ\text{C}} 2\text{CaO} + 2\text{SO}_2\uparrow + \text{CO}_2\uparrow$



特点：

- 1、资源循环利用、变废为宝
- 2、处理量大：1t硫酸消耗2.5t磷石膏
- 3、流程长、系统复杂、投资高
- 4、能耗高



磷石膏制硫酸联产水泥熟料装置总工艺流程图



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



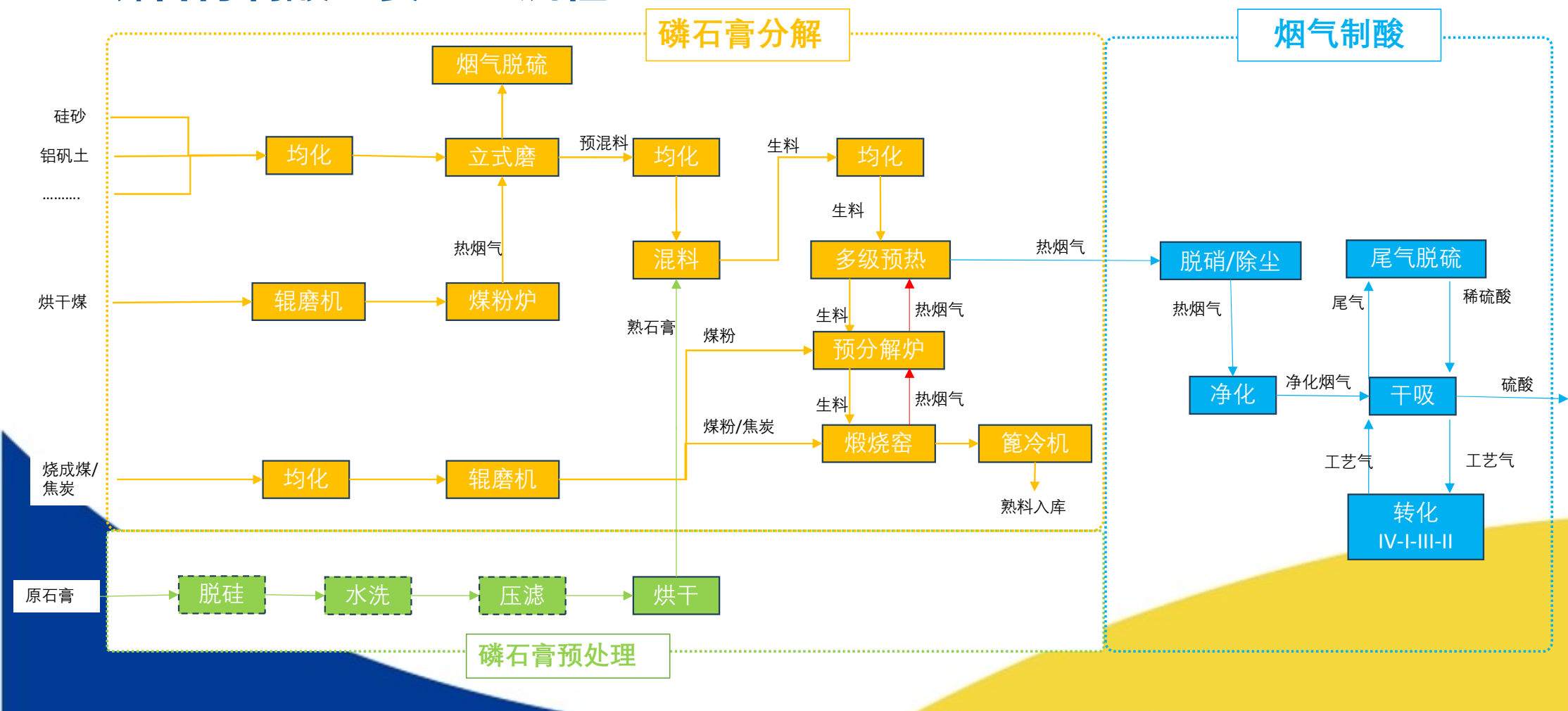
中国建材

SINOIMA

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

2.2磷石膏制酸主要工艺流程



PART 3

磷石膏预处理技术介绍

3.1	五环磷石膏预处理技术介绍	3.4	半水-二水磷酸石膏优势
3.2	磷石膏的性质及杂质赋存方式	3.5	磷石膏预处理方案及优势
3.3	全杂质对装置影响及五环控制方案	3.6	磷石膏预处理方案及优势



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CO., LTD.

3.1 五环磷石膏预处理技术介绍

开始磷石膏的预处理小试研究
2000年前后

组织编制磷石膏水洗改性处理工艺包
2019年

进行磷石膏无害化技术的多工序组合集成研究
2020年

承担磷石膏无害化处理及综合利用示范研发项目

2022年

宜化楚星100万吨/年磷石膏净化无害化项目开车成功

2024年

五环磷石膏无害化技术应用项目处置规模达到约2000万吨/年

2011年
印尼PKG项目磷石膏无害化及综合利用装置
EPC

2020年
磷石膏水洗改性工艺包内部评审及升级版

2021年
磷石膏无害化工艺包应用于湖北祥云500万吨/年无害化项目一期工程

2023年
磷石膏无害化工艺包工业示范装置验证测试及工艺优化调整

2025年
1.邦普宜化400万吨/年磷石膏无害化项目投产一次开车成功；
2.宜化楚星175万吨/年磷石膏无害化项目一次投料试车成功
3.祥云200万吨磷石膏无害化试生产

3.1 五环磷石膏预处理技术介绍



中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

中国化学



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

技术概述

在系统总结现有技术基础上，经整合集成与大量试验自主研发而成。它以**均质、净化、提纯、脱水**为四大核心目标，通过有机组合多种工序，构建一体化解决方案，以精准满足下游建材、化工等不同领域的原料品质需求。



集成技术

融合多种成熟工艺，打造高效协同的预处理体系。



开放性

工艺模块可灵活组合，适应不同磷石膏原料特性。



定制化

根据项目需求，提供独有的系统工艺包和技术服务。



浓密



浮选



水洗



中和



改性



煅烧



转晶



脱水

2,075 万吨/年 | 年预处理总量

该技术已成功应用于多个**国家级及省级磷石膏综合利用示范项目**。通过技术集成与定制化设计，解决了磷石膏成分波动大、难处理的痛点，为下游产业提供了高质量原料保障。

3.2 磷石膏的性质及杂质赋存方式



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

杂质种类	溶解性	杂质	含量
磷酸及其盐 (P_2O_5)	可溶 共晶 难溶	H_3PO_4 、 $H_2PO_4^-$ 和 HPO_4^{2-} $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ 磷酸盐络合物（与Fe、Al、碱金属等），未分解的磷灰石	0.5-0.8% 0.3-0.5%
氟化物（F）	可溶 难溶	$(SiF_6)^{2-}$ 、 F^- CaF_2 、 $CaSiF_6$ 、 Na_3AlF_6	0.1-0.8%
有机物	难溶	磷矿石夹杂的植物根茎、生产过程中加入的消泡剂、阻垢剂、晶形改良剂等	与粒径有关，80 μm 以下的为0.05%左右，160 μm 磷石膏含量0.3-0.5%
其他杂质	可溶 难溶	Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 石英 SiO_2 、Fe、Sr、Mg氧化物或与磷酸盐、硫酸盐生成的络合物	

3.2 磷石膏的性质及杂质赋存方式



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

项目	影响
晶体形貌	板状晶体具有沿水平层相互堆积和叠合的倾向，不利于间隙液体的流动，阻碍了可溶性杂质的快速排出，同时晶体形貌决定了力学指标
可溶磷	主要为 H_3PO_4 、 H_2PO_4^- 和 HPO_4^{2-} 三种形态。水化时，可溶磷与溶液中 Ca^{2+} 反应生成难溶性的 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 附着于石膏表面阻碍石膏的进一步溶出和水化，使磷石膏凝结时间延长、结构疏松、强度降低
可溶氟	同可溶磷类似，水化时先反应生成氟化钙沉淀，阻碍石膏或水泥水化，导致石膏作为水泥缓凝剂利用时，水泥的凝结时间变长，影响水泥品质。
共晶磷	由 HPO_4^{2-} 同晶取代部分 SO_4^{2-} 进入硫酸钙晶格而形成，物理方法难以去除，煅烧时会释放出来，降低pH。碱性条件下也能析出，影响水泥性质
碱金属	钠、钾盐，当磷石膏制品受潮时，碱金属离子沿着硬化体孔隙迁移至表面，水分蒸发后在表面析晶，产生粉化、泛霜
有机物	显著增磷石膏胶凝材料的需水量，同时也会削弱二水石膏晶体间的接合，使硬化体结构疏松，强度降低
放射性	镭-226、钍-232、钾-40等放射性元素会释放出 γ 射线



中国五环工程有限公司

中国化学

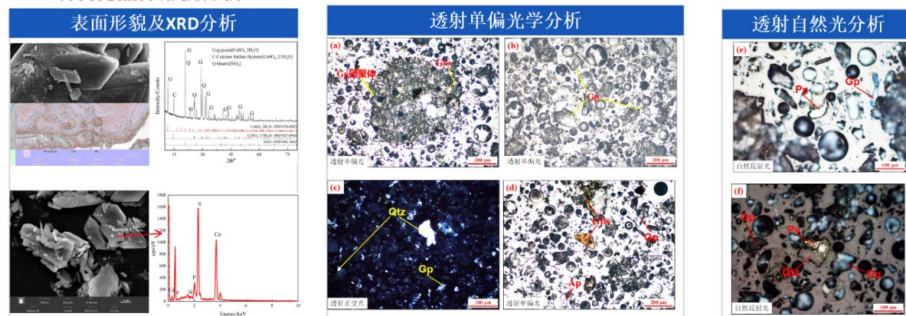
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



Sinoma 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

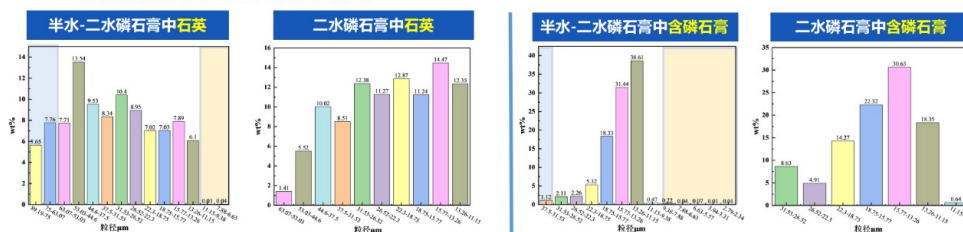
3.2 磷石膏的性质及杂质赋存方式

1.1 磷石膏晶体形貌分析



- 磷石膏中硫酸钙晶体主要呈**菱形结晶**、**球状聚集体**结构；
- 主要矿物相为**石膏**和**石英**。
- 磷石膏粒径 < 50 μm 的结晶体上存在显著的**有机物附着**现象，为短链烷基醇类物质。

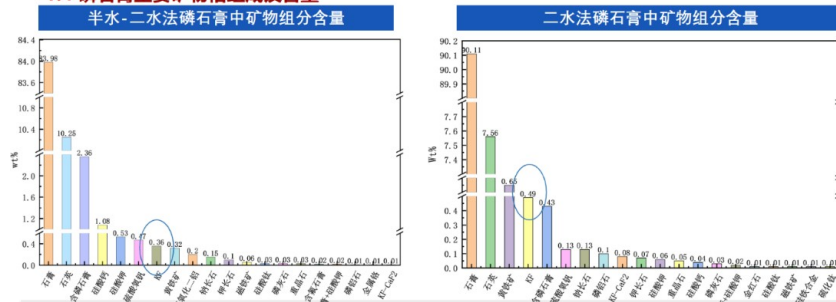
1.2 磷石膏颗粒及主要矿物粒径分布



- 二水磷石膏中石英主要分布在11.15-53.03 μm ，无63.07 μm 以上大粒径石英，分布更为集中；
- 半水-二水磷石膏中有13.41%的石英分布在63.07-89.19 μm 大粒径级中；

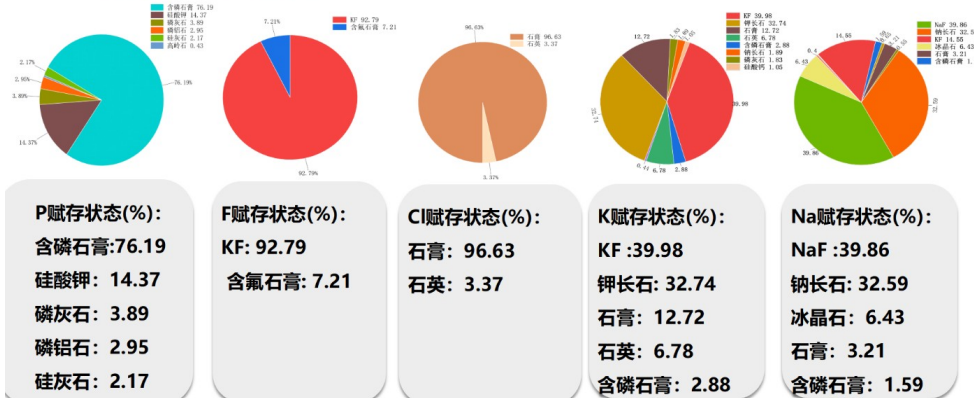
- 半水-二水磷石膏中的含磷石膏比二水磷石膏中的含磷石膏**分布更集中**；
- **80%含磷石膏**分布在11.15-18.75 μm 之间；

1.4 磷石膏主要矿物相组成及含量



- 二水法磷石膏中石膏含量高于半水-二水法磷石膏；
- 磷石膏中**石英**为主要杂质，半水-二水法和二水法磷石膏中石英占比分别为**10.25%、7.56%**；
- 磷石膏中杂质矿物种类较多，**可溶氟主要以KF形式存在**；

1.6 磷石膏主要杂质赋存状态



系统开展了**磷石膏工艺矿物学特征研究**，重点揭示了不同粒径分布范围内杂质离子的赋存规律，阐明了P、F等关键杂质离子在半水石膏、二水石膏等物相中的赋存状态与释放机理，为后续预处理工艺的针对性设计奠定了理论基础。

3.3 全杂质对装置影响及五环控制方案



中国化学



中国建材

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

◆ 脱磷、氟杂质



影响

- $\text{C}_2\text{S}+\text{C}_3\text{P}$ 固溶体形成的温度低，造成烧成液相量增加，对未分解的石膏形成包裹，**使窑内结圈**，运行周期短
- 降低烧成温度，**降低熟料前期强度**，水泥熟料不合格

去除方式

- **水洗**只能去除水溶磷，对于磷石膏中 P_2O_5 很高的情况，根据磷在不同粒径下的分布规律，需考虑**水力旋流**或者粉磨+水洗工艺



影响

- 氟在烧成中起到矿化作用，含量高烧成液相量增大，**使窑内结圈**，**降低早期强度**，影响熟料质量

去除方式

- 水溶性氟离子则采用**水洗**方法去除
- 难溶性氟化物(氟硅酸钠、氟化钙、氟磷酸钙（未分解的磷灰石）)集于 $>250\mu\text{m}$ 粗颗粒中，可通过超细物料湿法分级如**水力旋流**机去除。

3.3 全杂质对装置影响及五环控制方案



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

◆ 脱磷、氟杂质

检测指标	三级逆流淋洗去除率	三级清水淋洗去除率
水溶性磷	79.4%	81.5%
水溶性氟	75.6%	84.7%

液体类型	水溶性磷 (mg/L)	水溶性氟 (mg/L)	水溶性钾 (mg/L)	水溶性钠 (mg/L)	水溶性氯离子 (mg/L)
浆料过滤液 (300ml)	2716	1539	4780	1578	107
一洗过滤液 (290ml)	1837	1329	4150	1077	82
二洗过滤液 (280ml)	106	808	322	196	24
三洗过滤液 (270ml)	24	678	312	101	21

- ✓ 磷去除规律：两种工艺磷去除曲线均呈“快速下降 - 缓慢平稳”趋势，最终残留量均低于 20mg/kg。
- ✓ 氟去除规律：清水淋洗氟去除率始终高于逆流淋洗，且三级淋洗后氟残留量（29.05mg/kg）显著低于逆流淋洗（40.26mg/kg）。

3.3 全杂质对装置影响及五环控制方案

◆ 镁、钾、钠及氯离子处理

MgO

- 生料中有少部分MgO对烧成有利，但含量过高时，水泥安定性不良
- 磷石膏中含量一般满足要求，不需单独处理。

R₂O

- 熔点较低，能在烧成系统中循环富集，与Cl⁻、SO₃等形成氯化碱(RCl)、硫酸碱(R₂SO₄)等化合物，将粘附在预热器旋风筒的锥体和筒壁上形成结皮，严重时会造成堵塞
- 可通过水洗+配料调整解决。

Cl⁻

- Cl⁻在烧成系统中能生成CaCl₂和RCl，具有极高的挥发性，在回转窑内几乎全部挥发形成氯碱，循环富集，最终导致预热器中的生料的氯化物提高近百倍，使其危害性大幅度放大。
- KCl的存在，强烈的促进了硅方解石矿物的形成，在预热器内逐层粘挂形成结皮。而且这种矿物在900-950℃之间具有很高的强度，又使得这种结皮很难清理，最终导致通风不良和预热器堵塞。
- 氯离子可通过水洗去除。

碱化合物的熔点如下表：

物质	KOH	KCl	K ₂ CO ₃	K ₂ SO ₄	NaOH	NaCl	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	KF	NaF	CaS
熔点(℃)	361	768	894	1 074	319	801	850	884	857	990	620



中国化学



中国建材

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.



中国化学



中国建材

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

3.3 全杂质对装置影响及五环控制方案

◆ 脱硅处理

理论无需控制，实为控稳

- **理论无需脱硅：**磷石膏中硅含量与生料配比要求（20-22%）相符，理论上无需进行预脱除处理
- **脱硅主因：**生产中要求脱硅，多因原料硅含量波动大，直接影响生料配比的精准度

浮选脱硅

- **适用场景：**其他物料硅含量不可控且必须保证成品石膏硅含量稳定时采用。
- **核心作用：**同步去除有机质与硅酸盐；过滤阶段附带脱除部分可溶磷、氟。
- **关键药剂：**非极性烃类油(煤油/柴油)捕收有机质；脂肪胺/醚胺进行反浮选脱硅。

源头控制，降本增效

当配料计算发现总硅含量超标时，应优先通过更换低硅辅料（如选用低灰分的优质煤及低硅粘土）来平衡硅含量，从而避免引入额外的磷石膏湿法脱硅工序，有效控制生产成本

浮选综合效益



提升品位

降低硅杂质，减少
后续设备磨损风险



提高白度

高效去除表面有机
质，优化产品外观



协同除杂

同步降低可溶磷
、氟含量，提升
洁净度。

3.3 全杂质对装置影响及五环控制方案



中国化学



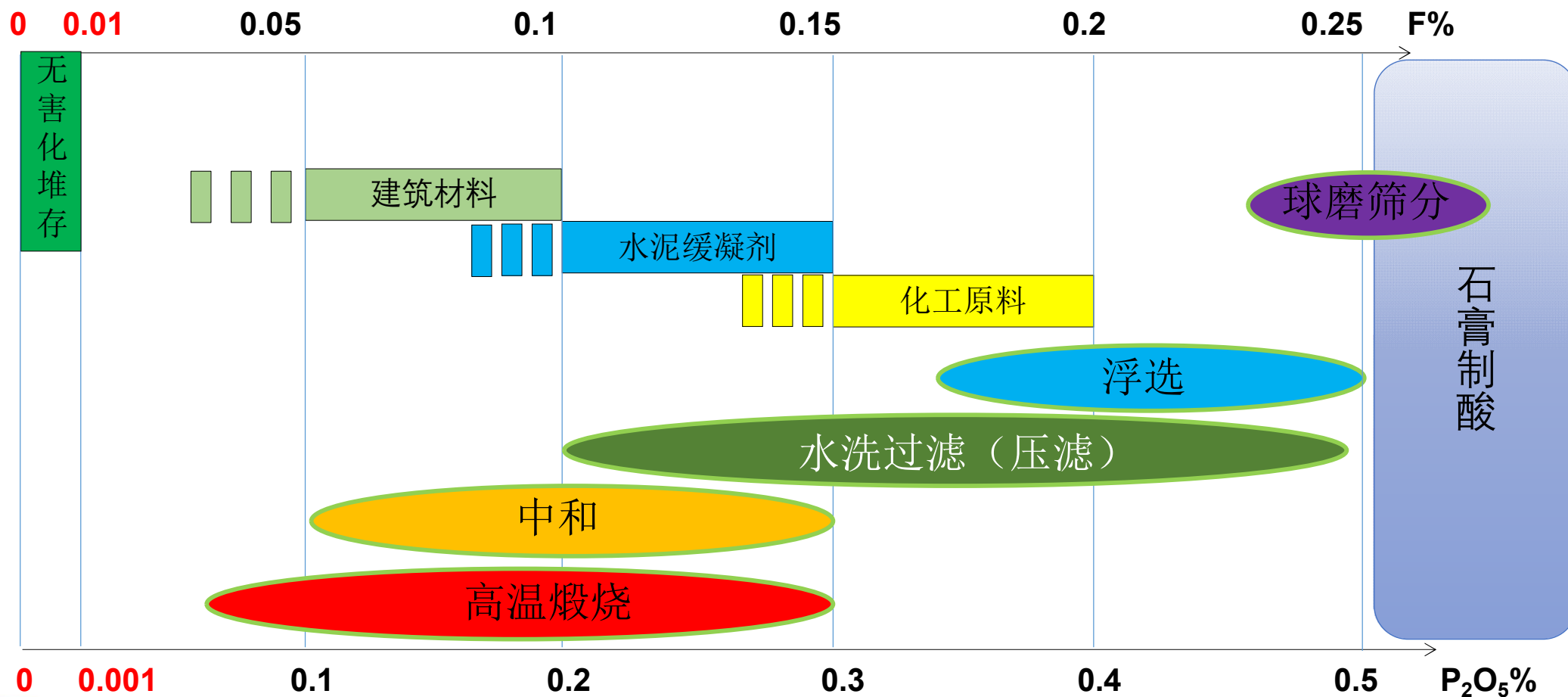
中国建材

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.



3.4 五环半水-二水磷酸石膏在制酸方面的优势



中国化学



中国建材

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

序号	磷石膏质量	二水法	半水法	半水-二水法
		(DH)	(HH)	(HDH)
1	总磷收率%	≥94	≥95	≥98
2	萃取率	≥96	≥94	≥99
3	洗涤率%	≥99	≥97	≥99
4	总磷	1.29	2.3	<0.5
5	水溶磷	0.17	0.45	<0.3

➤石膏中残存的总磷低，对熟料指标有利，减少了预处理成本

3.5 磷石膏预处理方案及优势-针对性设计



中国五环工程有限公司

中国化学

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

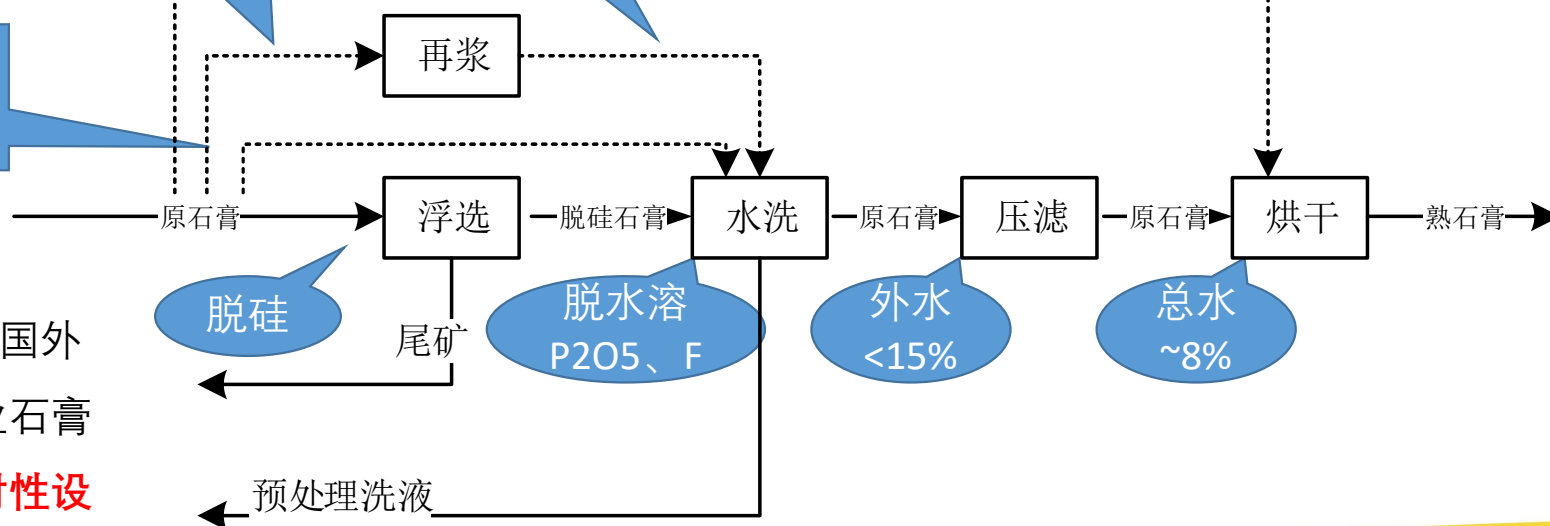
指标	CaO	SO ₃	总P ₂ O ₅	总F	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
磷石膏	30	38	0.8	0.35	8	2	1	1	0.8	

适用条件：
现有磷酸装置干排、
含水/杂质不达标

适用条件：
水溶P₂O₅、F
不达标

适用条件：
现有磷酸装置干排、
含水、杂质都达标

适用条件：
现有磷酸装置湿排



五环对湖北省内/国内/国外
主要其他主要磷肥企业石膏
进行调研分析，并**针对性设计**
预处理流程

3.5 磷石膏预处理优势-浮选、水洗试验平台验证



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

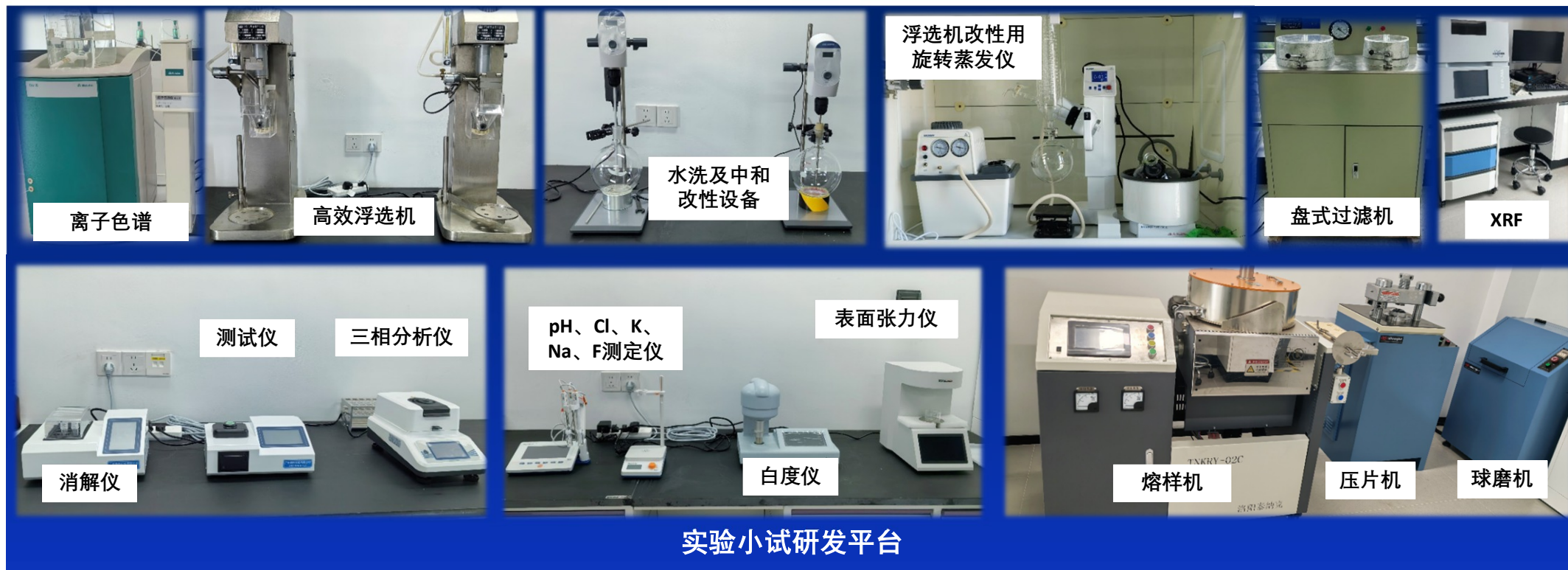


中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.



3.5 磷石膏预处理方案及优势-经验丰富



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

Sinoma

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

序号	业主/项目名称	承担主要工作（产品及规模）	合同模式	投产时间	备注
1	宜昌邦普宜化环保科技有限公司 4×100万吨/年磷石膏净化无害化处理项目	400万吨/年磷石膏净化无害化处理	E	2025年3月	五环
2	松滋史丹利宜化新材料科技有限公司新能源材料前驱体 磷酸铁项目及配套工程--总体院工程	180万吨/年磷石膏无害化处理	E	2024年5月	五环
3	湖北楚星化工股份有限公司100万吨/年磷石膏水洗净化 及无害化项目EPC工程总承包	100万吨/年磷石膏水洗净化无害化， 包括浮选、净化无害化、膜处理及配 套工程	EPC	2024年12月	五环
4	湖北新祥云新材料有限公司新祥云磷系新材料项目200 万吨/年磷石膏无害化处理装置及配套工程	200万吨/年磷石膏无害化处理	EPC	2025年8月	五环
5	宜化楚星生态科技175万吨/年磷石膏水洗净化无害化项 目	175万吨/年磷石膏水洗净化无害化	EPC	2025年6月	天元
6	宜都兴发300万吨/年磷石膏无害化处理项目	300万吨/年磷石膏无害化处理	E	2025年8月	天元
7	营口建发盛海有色科化有限公司225万吨年磷石膏无害 化处理及综合利用项目可研报告编制	225万吨/年磷石膏无害化处理及回填	咨询	建设中	五环
8	承德科丰新材料有限公司钒钛磁铁矿伴生资源综合利用 一体化项目150万吨年磷石膏无害化处理装置及磷石膏 暂存场工程咨询	150万吨年磷石膏无害化处理装置及 磷石膏暂存场	咨询	建设中	五环
9	湖北祥云（集团）化工股份有限公司含磷废水及磷石膏 综合治理项目	120万吨/年磷铵低浓度含磷废水深度 处理工程，600万吨/年磷石膏改性工 程	E	2022年12月	五环

PART 4

磷石膏分解技术介绍

- | | |
|-----|------------|
| 4.1 | 天津院介绍 |
| 4.2 | 基本原理 |
| 4.3 | 悬浮态预分解技术介绍 |



中国化学

中国五环工程有限公司
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

4.1天津院介绍

天津水泥院装备的技术水平和性能指标均已达到或超过国际水平，工程设计业务约占国内市场60%的份额，在国际水泥工程市场占有近20%的市场份额。

亚洲唯一的预热预分解热模实验平台，具备分解炉燃烧/窑炉联合煅烧两种运行模式配合完善的数字仿真中心，形成了从数字模拟到热态中试的完整研发验证体系。

在前期方案设计阶段即可开展石膏组分/反应活性/易烧性分析

序号	检测项目	原料种类
1	原料的化学成分全分析	石膏，碳粉灰、碳粉烧失量
2	热分析	石膏
3	衍射	石膏
4	工业分析	碳粉
5	石膏分解煅烧试验	石膏
6	生料制备、熟料煅烧	生料
7	熟料性能检测（强度、凝结时间及标准稠度需水量）	熟料



中国建材

Sinoma 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.



中试试验平台



中国五环工程有限公司
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

4.1天津院介绍



Sinoma 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.



可控气氛马弗炉



可控气氛回转式管式炉



中国五环工程有限公司
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.

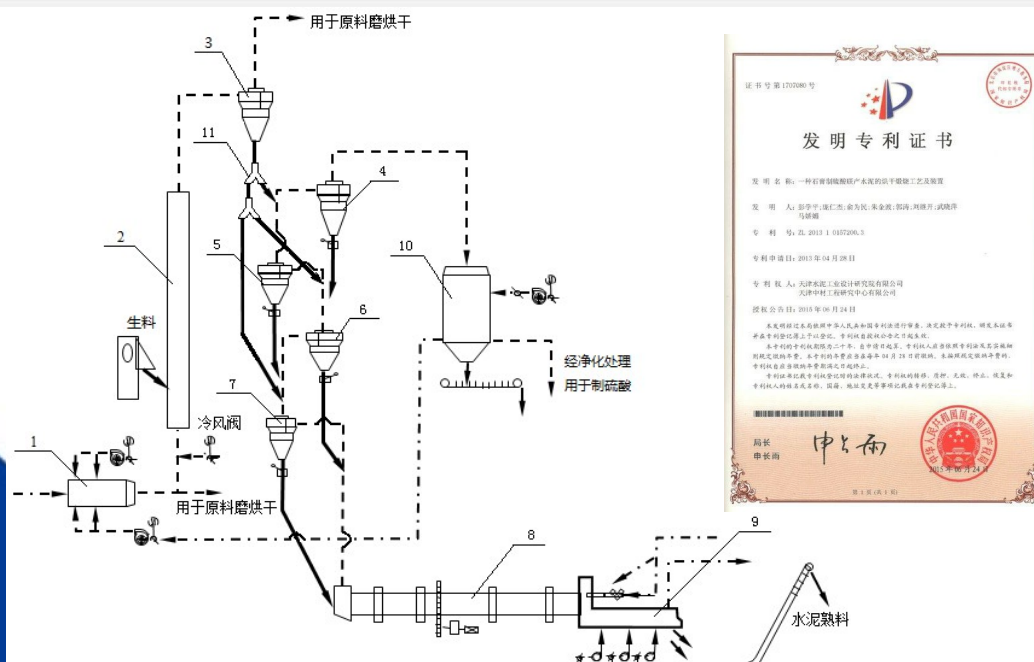
4.1天津院介绍



SINOIMA 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

工业副产石膏制硫酸联产水泥的规模化应用示范线设计与建设

- 2012年，公司签订了宁夏天元锰业单线规模30万t/a硫酸联产水泥熟料生产线的设计建设合同，回转窑规格为Φ5.2/5.6×100m。



发明专利 (ZL201510480985)

- **技术现状：**公司有相关技术储备，完成技术开发和图纸设计；近年有投产案例，社会效应良好；
- **专有技术：**石膏脱水独立完成，降低了废气中湿含量，提升了废气中SO₂含量，提高了后续制酸效率；
- **预期前景：**是大规模处置磷石膏等大宗固废的主要核心技术之一，有一定市场前景！



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

SINOIMA

天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

4.2基本原理

1. 磷石膏正常分解反应: $\text{CaSO}_4 \xrightarrow{1350 \sim 1400^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{SO}_2 \uparrow + 0.5\text{O}_2 \uparrow$

2. 磷石膏在焦炭末的分解反应: $\text{CaSO}_4 + 0.5\text{C} \xrightarrow{1200^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{SO}_2 \uparrow + 0.5\text{CO}_2 \uparrow$

C/S理论消耗0.5

过低: 反应不完全

过高: CaS生成量过多

2.1 磷石膏干燥: $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{300^\circ\text{C}} \text{CaSO}_4 (\text{III型}\beta\text{无水石膏}) + 0.5\text{H}_2\text{O}$

2.2 磷石膏预热(预分解): $\text{CaSO}_4 + 2\text{C} \xrightarrow{700 \sim 900^\circ\text{C}} \text{CaS} + 2\text{CO}_2 \uparrow$ (弱还原气氛)

2.3 磷石膏分解: $2\text{CaS} + 3\text{O}_2 \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} 2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 \uparrow$ (弱氧化气氛)

$3\text{CaSO}_4 + \text{CaS} \xrightarrow{900 \sim 1200^\circ\text{C}} 4\text{CaO} + 4\text{SO}_2 \uparrow$ (弱氧化气氛)

$\text{CaS} + 2\text{O}_2 \xrightarrow{700^\circ\text{C}} \text{CaSO}_4$ (副反应, 氧化气氛)

2步分解

3. 磷石膏/CO气固还原分解反应:

$\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{1000 \sim 1450^\circ\text{C}} \text{C} \rightarrow \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$

3.1 主反应:

$\text{CaSO}_4 + 4\text{CO} \xrightarrow{900 \sim 1100^\circ\text{C}} \text{CaS} + 4\text{CO}_2 \uparrow$ (还原气氛)

$\text{CaSO}_4 + \text{CO} \xrightarrow{900 \sim 1150^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{SO}_2 \uparrow + \text{CO}_2 \uparrow$ (还原气氛)

3.2 副反应: $2\text{CaS} + 3\text{O}_2 \xrightarrow{900 \sim 1000^\circ\text{C}} 2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 \uparrow$ (弱氧化气氛)

$3\text{CaSO}_4 + 2\text{CaS} \xrightarrow{900 \sim 1200^\circ\text{C}} 4\text{CaO} + 4\text{SO}_2 \uparrow$ (弱氧化气氛)

窑外分解原理依据
为堆积态反应转移为
悬浮态反应创造了条件



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



中国建材

SINOIMA

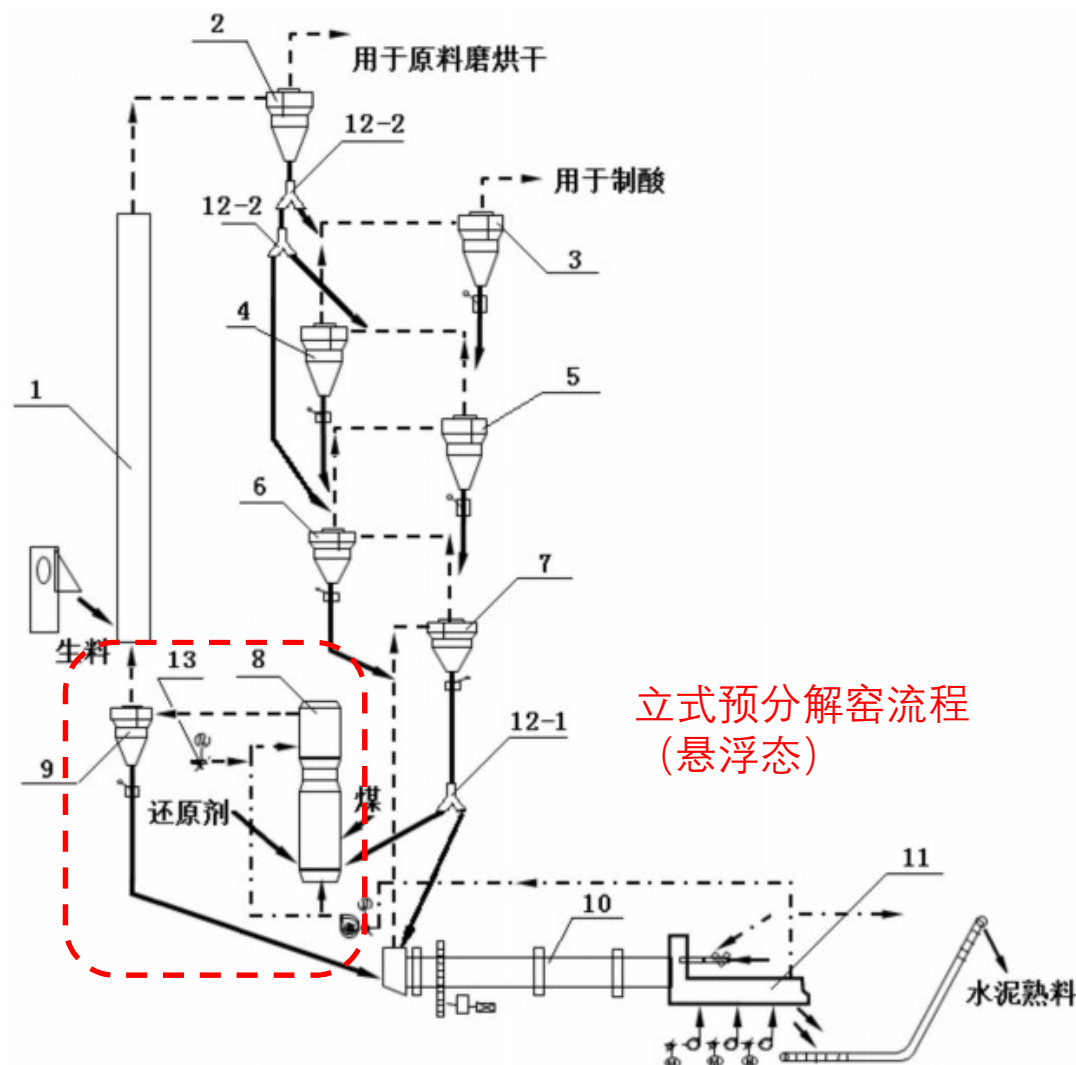
天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

4.3悬浮态预分解技术-技术介绍

技术方案：预热预分解系统+回转窑+第四代冷却机

1. 替代燃料燃烧供热进行磷石膏烘干，烘干尾气/预分解尾气与分解尾气分离，显著**提高SO₂气浓**；
2. 采用烟煤产生的**CO作为还原剂**，从而替代焦炭，降低装置投资及运行成本，气固接触效率远高于固固；
3. 提高硫酸钙分解率>99%，保证熟料早期强度
4. 流化床传质/传热效率高，可显著**降低回转窑长度**（L/D=12~18），而节省占地；
5. SO₂的生成及熟料烧成均需要**氧化性氛围**，在回转窑中便于控制，从而熟料产品质量更稳定；
6. 可**切换生产路线**至传统预热器+回转窑路线。



4.3悬浮态预分解技术-实施实例

中国五环-天津院-湖北A业主100万吨/年
(二水, 干基) 磷石膏制酸项目:
定员: 160人
投资: 8.5亿元
用地: 170亩

硫磺价格**2200元/t**成本达到平衡

	项目	规格	单位	消耗定额	单价	吨酸成本	备注	年用量
原料	磷石膏		t	1.98	-10	-19.8	以CaSO ₄ 计	79.2
辅助物料	铝矾土	合格品	t	0.005	450	2.25		0.20
	硅砂	合格品	t	0.111	60	6.66		4.44
	焦炭		t	0.102	2000	204		4.08
	烧成煤		t	0.305	1000	305		12.2
其他费用	电	380/10V	Kwh	200	0.6	120		9200
	一次水	0.4MPa	t	0.75	3.6	2.7		30
	催化剂	V2O5	m ³	0.7	15000	1.1		29
	环保				3	3		
	折旧				142	142		
	人工				30	30		
吨酸总成本						796		
副产品	低压蒸汽	0.8MPag	t	0.5	160	80		20
	钙基材料		t	1.01	100	101	按成品计	41
吨酸净成本						615		

注: 以每吨100%H₂SO₄计

4.3悬浮态预分解技术-各种窑型技术对比

工艺型式	SO ₂ 气浓	水泥指标	煤耗 Kg/t酸	电耗 KWh/t酸	稳定性
中空长窑	~7%	≤32.5	660	270	难控制，易结圈
预热器+回转窑	~9%	32.5~52.5	600	220	易结圈
循环流化床+回转窑	~11%	42.5~52.5 熟料强度更好	420	200	稳定

注：1.气浓均考虑富氧烧成；

PART 5

湖北省及五环公司优势

5.1 湖北省优势

5.2 五环优势



中国五环工程有限公司
CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



Sinoma 天津水泥工业设计研究院有限公司
TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

5.1湖北省建设磷石膏制酸优势



01 产业集群

磷化工产值占全国近40%，省内硫酸年需求达千万吨级；同时替代90%进口硫磺，构建省内硫资源循环体系，保障产业链安全与成本优势



02 省政府力推

审批绿色通道：
不计入“两高”范畴
协调750万吨水泥产能用于磷石膏产能置换



03 区位物流

企业多沿江、汉江布局并配套专用码头，原料与产品依托长江黄金水道运输，物流成本远低于公路、铁路，大幅降低全产业链的综合运营成本。



04 国家级差异化政策

水泥产能1:1等量置换，成本直降20%

作为磷石膏治理重点省份，项目享1:1置换，优于普通项目1.25:1减量置换要求，大幅降低产能指标购置成本。



05 本土产业深度协同

龙头企业强强联合，资源互补

“化工+建材”联合开发模式，与华新、葛洲坝等水泥龙头深度合作，不仅获取充足闲置产能指标，更直接借鉴其成熟的窑炉工程技术与销售渠道资源。



CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



天津水泥工业设计研究院有限公司

TIANJIN CEMENT INDUSTRY DESIGN & RESEARCH INSTITUTE CO., LTD

湖北宜化松滋肥业有限公司 100 万吨/年磷石膏制酸联产 40 万吨/年水泥熟料项目产能置换方案									
所属情形：新建企业产能置换或置换磷石膏，且替代石灰石原料 70%以上									
拟建项目情况									
企业名称	湖北宜化松滋肥业有限公司	股东名称(同一法人企业填写)	地址	统一社会信用代码	备案或核准文件	生产许可证号(有效期)(水泥填写)			
主体设备规格型号及数量	100 万吨/年磷石膏制酸联产 40 万吨/年水泥熟料项目	能耗和排放总量	设计产能 (t/d)	置换产能 (t/d)	置换比例	计划开工 建设时间	计划点火 投产时间		
主体设备规格	回转窑Φ5.5×110m，一条	能耗：139027 吨标煤/年 排放：颗粒物 152 吨/年； 二氧化硫 142 吨/年； 氮氧化物 285 吨/年； 二氧化碳 38 万吨/年	1333	1333	1:1	2026 年 9 月	2028 年 1 月		
转出产能情况									
企业名称	湖北宜化楚星科技有限公司	股东名称(同一法人企业填写)	地址	统一社会信用代码	备案或核准文件	生产许可证号(有效期)(水泥填写)			
主体设备规格	回转窑Φ5.5×110	湖北宜化楚星科技有限公司(70%) 松滋市乐乡街松滋工业园区	房县化龙堰镇高川村	914203256676529983	鄂发改工业【2007】10 号	(鄂)KK08-001-03471			
主体设备规格	回转窑Φ5.5×110	主体设备规格型号及数量	备案或核准文件设计产能 (t/d)			用于本项目置换产能 (t/d)			
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年 12 月	2027 年 12 月		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	是否享受奖补资金	产能是否重复使用	排污许可证号(有效期)	能效水平	计划关停时间	计划拆除退出时间(新线点火投产前)		
主体设备规格	回转窑Φ4.3×64	否	否	914203256676529983001P (2029 年 4 月 24 日)	基准水平	2027 年			



5.2五环优势

- 与天津院强强联合，发挥硫酸及水泥行业经验优势，保证项目稳定推进，装置先进可靠；

强强
联合

窑外预
分解技
术

- 应用窑外预分解炉为核心的技术创新点，降低系统能耗，提高系统运行稳定性

节能
降耗

熟料
稳定

- 采用天津院弱涡流低阻旋风筒在线设备状态监测与智能诊断系统等多种软硬件措施，降低系统能耗

经多级均化/悬浮烘干等过程充分混合，配料实时检测反馈控制，悬浮预分解等多重措施，回转窑运行稳定，熟料产品指标
≥PO42.5



中国化学

中国五环工程有限公司

CHINA WUHUAN ENGINEERING CORPORATION LTD.



THANKS!

中国五环工程有限公司

邢学想

13545010804