

附件 2

《磷矿石智能光电选矿技术规范》 (报批稿)

编制说明

《磷矿石智能光电选矿技术规范》编制组

2025 年 7 月 28 日

目 录

一、工作简况	3
1. 任务来源	3
2. 起草单位、参编单位	4
3. 主要起草人	4
二、制定（修订）标准的必要性和意义	5
三、主要起草过程	5
1. 资料收集	5
2. 起草阶段	7
3. 征求意见阶段	9
四、制定（修订）标准的原则和依据	15
1. 标准编制原则	15
2. 确定标准主要内容	16
五、采用国际标准和国外先进标准情况	17
六、与现行有关法律、法规和标准的关系	17
七、分歧意见的处理过程、依据和结果	18
八、标准属性	18
九、贯彻标准的措施建议	18
十、其他应予说明的事项	18

《磷矿石智能光电选矿技术规范》编制说明

一、工作简况

1. 任务来源

磷矿资源为不可再生资源，也是不可替代的重要战略资源。我国磷资源储量排名世界第二，约占世界总储量的 4.8%。但我国磷矿石平均 P_2O_5 品位不到 17%， P_2O_5 品位高于 30% 的优质磷矿资源仅占我国总磷矿资源的 10% 左右。我国开采的磷矿石已基本无法满足直接利用的品质要求，磷矿石选矿后利用成为必然的选择。目前，我国磷矿石选矿技术主要有洗矿、浮选、重选和焙烧消化等方法，水随着科技的进步，光电选矿技术得以在磷矿石选矿中得到了广泛的应用，可在大粒度下预选抛废、剔除顶底板和夹石的混入，可提高原矿品位或减少进一步选矿加工的入选量。

光电选矿技术常被认为是矿石预选抛废中重要的方法之一，既不像重选、磁选等技术需消耗大量水资源，也不像浮选技术需使用大量化学药剂，其可在矿石细碎或磨矿之前抛弃尾矿，从而提高入选品位，具有显著优势。光电选矿技术的发展可追溯至第二次工业革命以后，特别是在核能物理研究发展至高水平的一段时期内，物料拣选实现了与自然光、高能射线（如激光、X 射线）技术等的结合，这也一定程度地促进了人工智能算法等技术在智能光电选矿领域的应用和发展。基于矿物表面分析、光线透射技术，激光分选、单双面图像色选等智能光电分选技术均得到了快速发展和工业应用。其中 X 射线透射技术（XRT）和图像色选技术已成功应用于有色金

属、非金属和煤炭等矿种预选抛废，智能光电分选机技术成为代替人工拣选的主流解决方案。

综合来看，光电选矿技术的推广和应用在提高选矿效率、降低选厂生产能耗、促进低品位矿产资源综合利用、实现智能化分选、减少环境污染等方面意义重大。为进一步统一技术要求，推动光电选矿技术在磷矿选矿领域的规范化和标准化发展，因此十分有必要根据磷矿石特点和不同选矿阶段的目标，拟定磷矿预选阶段光电选矿技术规范或标准，以规范磷矿智能分选过程。

本标准的提出是在多个磷矿选矿项目成功运行的基础上提出的。

2. 起草单位、参编单位

中国化学矿业协会提出《磷矿石智能光电选矿技术规范》制订任务后，武汉工程大学、中国化学矿业协会等单位成立《磷矿石智能光电选矿技术规范》编制课题组。

本文件参编单位为武汉工程大学、北京霍里思特科技有限公司、云南磷化集团有限公司、中国化学矿业协会、湖北宜化集团矿业有限责任公司、湖北兴发化工股份有限公司、湖北三宁矿业有限公司、中蓝长化工程科技有限公司、中蓝连海设计研究院有限公司、贵州福麟矿业有限公司、湖北尧治河化工股份有限公司、天津美腾科技股份有限公司、赣州好朋友科技股份有限公司、云南云天化股份有限公司研究院。

3. 主要起草人

本文件主要起草人：何东升、郭劲、罗昆义、瞿定军、王孟来、杜家海、胡学超、彭亚利、王光明、夏循峰、景向阳、李子军、罗敏华、梁兴

国、何鹏宇、唐远、童晓蕾、刘润哲、高远、刘鑫、高本铭、郭旺、陈兆荣、吴立波、付东升、刘纯、贺小易、付艳红、周承丞、徐斌、吕海峰、杜令攀、田枫、覃靖飞。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

本标准编制课题组在总结了国内外现行磷矿石选矿相关技术指标的基础上，分析讨论了近年来国内外磷矿资源开发利用相关技术现状，特别是在各类磷矿选矿新方法方面取得了重要突破。截止目前，由瓮福(集团)有限责任公司、贵州省产品质量监督检验院共同起草的《中低品位胶磷矿选矿技术规范》(DB52/T 1177-2017) 地方标准成为国内目前少有的已获批准的磷矿选矿技术标准。该技术规范着重介绍了中低品位胶磷矿的基本生产技术、设计要求、生产原理、主要生产过程、产品品质要求、安全生产注意事项和污染物排放限值，适用于利用中低品位胶磷矿石选矿的新建、改建、扩建的生产企业。新标准文件的提出并没有随着磷矿选矿技术的进步而同步发展，国内外针对磷矿智能光电选矿的标准并未见报道与发布，针对此问题拟提出相应的标准提案。

综合已有公开报道以及我国磷矿资源的战略地位，推动本标准的制定将助力技术创新，引导产业向高端化、智能化、绿色化方向发展。在拥有先进的磷矿选矿技术的同时，进一步完善我国标准体系建设，可以提升国家在国际磷矿石市场的竞争力。因此制定《磷矿石智能光电选矿技术规范》标准对于推动战略性矿产资源的高效利用、保障矿山安全、促进环境保护和实现产业升级具有重要意义。

三、主要起草过程

1 资料收集

目前磷矿石贫化严重，磷矿石开采伴随着大量废石和难分离的脉石矿物。在磷矿选矿前进行光电预选抛废，不仅工艺流程简单、场地要求不高，而且能去除大量的脉石矿物。与其它选矿方法相比，全程无水作业，可大量节省水资源，无需增加污水处理系统。光电分选技术为后续磷矿石选矿工艺降低能耗、提高矿石处理量、减少环境污染等提供了保障。至今，已有大量国内外研究学者采用不同光电分选设备对不同地区磷矿石选矿效果进行了研究，结果表明，光电分选技术在磷矿预选抛废处置中均获得了较好的试验效果，为进一步的工业应用提供了数据支撑。

(1) 国外磷矿光电分选实践举例

美国爱荷达州康达磷矿床属于二叠纪，矿区含有五个矿层，主要开采上部两层，一层磷含量 30%~31%，二层磷含量 24%。选厂每年处理 150 万 t 磷矿石，原矿经锤式破碎机破碎至 50mm 以下后给入到激光选矿机，分选精矿产品经过棒磨、球磨脱泥后可获得 P_2O_5 含量为 33% 的最终精矿产品。

沙特磷矿选矿厂所处理的磷矿石 P_2O_5 含量不足 16%，属低品位磷矿石。在引入光电分选工艺后，选厂生产所用磷矿石原料中 P_2O_5 含量仅为 12.26%、 SiO_2 含量为 6.47%。通过光电分选试生产之后，获得精矿产品中 P_2O_5 含量为 12.94%， P_2O_5 回收率达 95.89%， SiO_2 含量降至 2.62%。结果显示，光电分选处置能有效脱除沙特磷矿中一定比例的脉石矿物。该工艺自试生产以来，总共处理了超 120 万吨矿石，预先脱出的尾矿达 10 万吨以上。

(2) 国内磷矿光电分选实践举例

湖北宜昌杉树垭磷矿主要为粒屑结构，磷组分集中在磷块岩层中，岩

层间结合不紧密，易单体解离。选厂采用 X 射线全自动智能在线分选机，对该磷矿石进行分选处置后，获得的精矿 P_2O_5 回收率平均保持在 88% 以上，远高于先前 72% 的指标。磷精矿中 P_2O_5 品位大于 27%，处理量超过 40t/h，大大提高了磷资源利用效率。

四川雷波县磷矿资源丰富，远景储量达到 44 亿吨。雷波凯瑞磷化工有限责任公司红旗沟磷矿采用两台 X 射线全自动智能在线分选机对磷矿石进行预选抛废处置，其中入选矿石粒度为 20~40mm 时，设备处理能力达 50t/h；入选矿石粒度为 7~20mm 时，设备处理能力为 25t/h，均高于预期。处理 P_2O_5 含量 20% 左右的矿石后，获得的磷精矿产品中 P_2O_5 含量提升至 22.5% 以上，废石抛出率达 30%，也为后续的黄磷生产提供了优质块矿原料。

湖北保康县楚烽化工有限责任公司通过光电分选技术对 P_2O_5 含量为 20% 的磷资源进行回收利用。现场采用两段一闭路破碎-光电选矿工艺，在处理粒度范围为 10~50mm 的磷矿石时，设备处理能力达 50t/h。经光电分选后，磷精矿产品中 P_2O_5 含量高于 26%。从目前来看，已经取得了较明显的效果，但由于投产时间不长，其生产效率还需进一步检验。

2. 起草阶段

本团体标准的形成过程是在研究团队多年从事磷矿石智能光电选矿技术研发的过程中逐渐总结经验、发现问题、解决问题，并形成了标准稿的初稿。在初稿形成过程中，对国外的磷矿光电选矿进展进行了系列的研究，并在国内磷矿预选中进行了方法和装备的创新实践，在实践过程中形成了较完整的磷矿智能光电选矿技术体系。标准编制课题组研究了现行磷矿石选矿相关技术指标，重点分析了《酸法加工用磷矿石》(GB 18599) 中对于

后续使用时所需要的磷精矿产品品质要求，收集讨论了近年来磷矿开发利用现状，特别是各类工艺选矿指标，总结了国内外磷矿光电选矿技术成功经验。

此外，本标准编写参考了中国钢铁工业协会发布的《难选铁矿石 X 射线智能预选技术规范》(T/CISA 423-2024) 团体标准，在此基础上形成了《磷矿石智能光电选矿技术规范（征求意见稿）》初稿。

在标准编制过程中，工作组收集了包括但不限于以下文件资料：

- 1)GB/T1250-89 极限数值的表示方法和判定方法
- 2)GB/T 1868 磷矿石和磷精矿 采样与样品制备方法
- 3)GB/T 6003.1 试验筛 技术要求和检验 第 1 部分：金属丝编织网试验筛
- 4)GB/T 1870-1995 磷矿石和磷精矿中水分含量的测定 重量法
- 5)GB/T 1871.1-1995 磷矿石和磷精矿中五氧化二磷含量的测定 磷钼酸喹啉重量法和容量法
- 6)GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- 7)GB/T 601 化学试剂标准滴定溶液的制备
- 8)GB/T 602 化学试剂杂质测定用标准溶液的制备
- 9)GB 3095 环境空气质量标准
- 10)GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- 11)GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
- 12)GBZ 2.1-2019 工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素
- 13)HG/T 5524-2019 磷矿石采矿和选矿矿渣技术规范
- 14)GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准

15)HG/T 2673 酸法加工用磷矿石

16)DB52/T 1177-2017 中低品位胶磷矿选矿技术规程

3. 征求意见阶段

为进一步准确标准技术内容，编制小组组织召开标准讨论会，经认真讨论与细致修改，形成本标准征求意见修改稿。此外，在广泛征求国内高校、科研院所及生产应用单位的意见，通过线上和线下的多次专题会议，研讨形成了多轮的标准修改意见，编制课题组收集汇总各方意见并对意见进行了仔细修改。

本标准征求意见稿已向湖北宜化集团矿业有限责任公司、湖北三宁化工股份有限公司、河北寰球工程有限公司、中蓝连海设计研究院有限公司、中蓝长化工程科技有限公司、湖北尧治河化工股份有限公司、云南磷化集团有限公司、德阳昊华清平磷矿有限公司、河北省矾山磷矿有限公司、北京霍里思特科技有限公司、贵州磷化(集团)有限责任公司、天津美腾科技股份有限公司等 32 家相关科研机构、高等院校、有关企业发出，采用电子邮件方式征求意见，其中回函单位共 12 家，占征求意见单位总数的 37.5%；未回函单位共 20 家，占征求意见单位总数的 62.5%。12 个回函单位中，无意见的单位 2 家，提出意见的单位 10 家。获得回复的意见数目共 63 条。其中，采纳 39 条，占意见总数的 61.9%；未采纳 3 条，占意见总数的 4.8%。21 条无意见，占意见总数的 33.3%。

3.1 主要反馈意见内容及处理情况

标准编制组多次开会征集的意见进行归类和分析，在分工合作的基础上对征集到的意见归纳和总结，对标准文本及编制说明进行修改，并在

征求了有关专家意见的基础上进一步修改和完善。

经梳理汇总，反馈意见主要集中在以下 7 个方面：

1) 关于本标准的范围

反馈意见 1：中蓝连海设计研究院有限公司专家建议此句话删掉“磷矿石智能光电选矿相关工程的建设，除应符合本规程外，还应符合国家有关工程质量、安全、环保、职业卫生、消防等方面的强制性法规和标准规定”，理由是“本规范是团标，首先应该遵循的就是国标和其他强制性法规或者标准规定”。处理结果：采纳了该意见。

反馈意见 2：中蓝连海设计研究院有限公司专家建议“磷矿山项目”建议改为“磷矿选矿项目”，理由是“本规范是选矿领域的技术规范，应直接强调选矿项目”。处理结果：采纳了该意见。

反馈意见 3：河北省矾山磷矿有限公司专家提出“磷矿石光电智花选矿适用范围是否需要明确矿种，如针对胶磷矿还是火成岩磷矿”，理由是“胶磷矿与火成岩磷矿性质截然不同”。处理结果：采纳了该意见，并在标准文件 6.1 中限制了适用于光电选矿的磷矿性质。

2) 关于本标准的规范性引用文件

反馈意见 1：中蓝连海设计研究院有限公司专家认为“通常情况下此处引用的文件都会在后续章节里有体现，若后续章节中没有用到相关标准，此处可以不用写”。处理结果：采纳了该意见，删除了部分引用文件。

反馈意见 2：中蓝连海设计研究院有限公司专家认为“建议增加标准：《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)”。处理结果：采

纳了该意见。

3) 关于本标准的术语和定义

反馈意见 1: 中蓝连海设计研究院有限公司专家建议将几个选矿产品的定义分别修改为光电选磷精矿、光电选磷尾矿、光电选磷中矿, 理由是“明确磷矿是对术语进行的更准确的定义”。处理结果: 采纳了该意见。

4) 关于本标准的技术原理

反馈意见 1: 天津美腾科技股份有限公司专家建议“进一步细化和完善光电选矿原理或技术原理的表述”, 理由是“明确磷矿从破碎、筛分到分选的全过程, 更易让大家所接受操作的规范”。处理结果: 采纳了该意见, 并对技术原理部分进行了完善和修改。

反馈意见 2: 湖北三宁化工股份有限公司专家建议“补充技术原理的示意图或关键设备原理示意图”, 理由是“大众能更加清晰认识关键设备的主要组成及操作关键环节”。处理结果: 采纳了该意见, 并对技术原理部分补充了原理示意图。

5) 关于本标准的工艺流程

反馈意见 1: 中蓝连海设计研究院有限公司专家认为“主要工艺操作顺序和启动顺序有误”, 理由是“通常情况下, 设备启动顺序和生产流程是逆向的, 设备停止顺序则相反。”处理结果: 采纳了该意见。

6) 关于本标准的技术要求

反馈意见 1: 中蓝连海设计研究院有限公司专家建议“删除粗碎机入料

前筛分设备筛孔尺寸宜控制 $\leq 500\text{mm}$ ”，理由是“预先筛分的筛孔尺寸要根据原矿粒度确定，并不是统一值”。处理结果：采纳了该意见。

反馈意见 2：中蓝连海设计研究院有限公司专家认为“光电分选給料胶带宽度宜控制在 $1.0\sim 3.0\text{m}$ 。建议改为光电分选給料胶带宽度宜控制在 3.0 m 以下”，理由是“矿石输送量不同，带宽则不一样，給料胶带宽度通常不会超过 2.0m 。”处理结果：采纳了该意见。

反馈意见 3：德阳昊华清平磷矿有限公司专家认为“尾矿品位的设限是否应该更加细分”，理由是产品指标不好直接这样约定，应根据不同地区不同品位的价格进行经济效益测算，最后得出适宜的产品指标。”处理结果：采纳了该意见。

反馈意见 4：德阳昊华清平磷矿有限公司专家认为“需要优化技术要求部分的描述”，理由是“文字数据和表格中部分数据存在不一致。”处理结果：采纳了该意见，并对数据部分重新核实和修改。

反馈意见 5：北京霍里思特科技有限公司专家认为“原矿应该不需要要求品位，建议删除”，理由是“不同磷品位的磷矿石均可用于磷矿光电分选，尤其适用于低品位磷矿石”。处理结果：采纳了该意见，并删除了对磷矿品位的限制。

反馈意见 6：中蓝连海设计研究院有限公司专家认为“ P_2O_5 含量应达相应指标要求，建议改为宜达相应指标要求”，处理结果：采纳了该意见。

7) 关于本标准的环保要求

反馈意见 1：湖北宜化集团矿业有限责任公司专家认为“噪声污染的控制

制部分的描述需要优化或删除”，理由是“降噪系统应该属于选配项目，只要符合规定就行”处理结果：采纳了该意见。

反馈意见 2：河北省矾山磷矿有限公司专家提出“经智能光电选矿后尾矿品位还是比较高，应增加设置光电选磷尾矿处理系统”，理由是“现有指标中尾矿品位偏高，这在北方的一些磷矿都是入选品位了，这些尾矿还要进行破碎、筛分、浮选等操作进行处理。”处理结果：采纳了该意见，并在标准文件 7.4 中进行了补充。

2025 年 6 月，在北京召开了本标准送审稿技术审查会。审查委员会专家一致同意通过本标准送审稿的技术审查，同时提出如下修改意见和建议：

专家 1：

- 1)建议本标准《磷矿石智能光电选矿技术规程》修改为《磷矿石智能光电选矿技术规范》；
- 2)建议规范性引用文件补充《选矿安全规程》；
- 3)设计规模、处理能力与磷矿地质勘查规范的描述保持一致；
- 4)删除二级、三级标题中“要求”，本规范整体为提要求，无需再写要求二字；
- 5)术语中关于尾矿定义请充分结合上下文，回收率和品位指标给予准确和清晰定义；
- 6)按照标准编制要求，进一步规范用语，明确“应”、“宜”的表述。

专家 2：

- 1)重新对标准功能进行定位，确定后按照 GB/T20001 对应的标准编写规则进行编写。
- 2)区分规范性引用与参考文献的差别，不重复出现。
- 3)术语与定义中，定义的语言用描述方式表达，解释性语言用注表达。
- 4)在 6 生产原理与 7.3.3 光电选矿工艺，两部分重复内容偏多，解释说明内容偏多，建议删除和精简。
- 5)现在都多规合一了。在 5.1.1 中，建议修改为：“新建磷矿石智能光电选矿厂区厂址的选择应符合国家的工业布局、国土空间规划的要求。特别适合对水资源保护和水污染防治已经有明确要求或限制的地域。”
- 6)要求用词的准确性。如：5.2.1 中“须”用词不规范，修改为“应”；7.6.2d)中，“建议”一词在标准中应该用“宜”来表达。
- 7)与三率行业标准衔接。

专家 3：

- 1)明确什么样的矿石适用于光电分选，建议优先采用光电分选，是否有不适宜光电的矿石？
- 2)破碎、筛分要明确给光电选提供什么样的样品才算合格，至于采用什么设备不一定要写，前后工序总体上是为光电服务。

专家 4：

- 1)范围中适用范围不明确，目前主要适用于中低品位磷块岩（胶磷矿）

性质的原生岩预选抛尾生产。

- 2) 产品品质要求建议修改为“品质要求”，品位单位统一修改为(P_2O_5 、%)，增加光电选矿作业回收率参考指标。

2025 年 7 月-8 月，标准编制组根据上述专家技术审查意见，修改完善，编制完成《磷矿石智能光电选矿技术规范》(报批稿)及编制说明。

四、制定（修订）标准的原则和依据

1. 标准编制原则

依据《中华人民共和国标准化法》第九条、第十条、第十一条“制定标准应当有利于合理利用国家资源，推广科学技术成果，提高经济效益，并符合使用要求；有利于产品的通用互换，做到技术上先进，经济上合理；制定标准应当做到有关标准的协调配套；制定标准应当有利于促进对外经济技术合作和对外贸易”的精神制定本标准。

本标准的制定工作遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着经济社会发展需求原则、技术先进、经济合理和可操作性的原则，按照 GB/T1.1-2009《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准研究采用文献搜集、行业调研和专家咨询等方法，在编制过程中结合了实际生产过程中的相关工艺指标并把相关要求纳入了本标准中，使标准内容及指标更加符合实际运用。

本标准制订的技术路线如图 1 所示。



图 1 标准制订技术路线

2. 确定标准主要内容

1) 标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写（GB/T 1.1-2020）。按照标准化工作导则规范本标准框架结构、要素的起草、要素的表述等。

2) 标准共分七个部分。主要内容包括第一部分：范围，第二部分：规范性引用文件，第三部分：术语和定义，第四部分：技术原理，第五部分：工艺流程，第六部分：技术要求，第七部分：环保要求。具体内容如表 1 所示。

表 1 标准章节内容框架

章节（部分）	节	主要内容
1		范围
2		规范性引用文件
3		术语和定义
	3.1	光电选矿
	3.2	光电选磷精矿
	3.3	光电选磷中矿
	3.4	光电选磷尾矿
4		技术原理
5		工艺流程
	5.1	主要工艺生产过程
	5.2	主要工艺操作顺序
	5.3	产品处理
6		技术要求
	6.1	原料性质
	6.2	破碎工艺控制
	6.3	分级工艺控制
	6.4	光电分选工艺控制
	6.5	产品品质
7		环保要求

五、采用国际标准和国外先进标准情况

经查询，目前还没有与标准相关的国际、国外标准。

六、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准不违背有关的法律、法规、标准，是现有相关法律、法规与标准的延深。

在具体的磷矿石智能光电选矿技术指标、数据采集和处理过程中需要利用的标准或规范包括但不限于：

GB/T 18152-2000 选矿安全规程

GB 3095 环境质量标准

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范

本标准在单独的磷矿石智能光电选矿技术的实施中仅参考现有标准，不对单独低品位磷矿选矿技术规范做修改，主要是针对磷矿石智能光电选矿技术推广目标开展生产技术、技术要求、设计要求等的综合解释。

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

在《磷矿石智能光电选矿技术规范（征求意见稿）》收回的征求意见稿中，有单位建议在标准题目的描述方面进一步限定，在“光选技术”与“智能光电选矿技术”两者进行选择，最后通过多名行业专家建议，将题目修改为“磷矿石智能光电选矿技术规范”。编写组认为修改建议与修改理由充分，予以采纳。

八、标准属性

建议本标准作为推荐性团体标准。

九、贯彻标准的措施建议

组织行业从事人员开展讲座、培训等活动，对标准的内容进行介绍和学习，保障标准的贯彻执行。

十、其他应予说明的事项

无。