**团体标准《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》**

编制说明

（预审稿）

**清华大学**

**2022年7月**

**一、工作简况**

**1、任务来源**

【编制依据】：认真贯彻落实国务院《深化标准化工作改革方案》，进一步解决现阶段行业中标准缺失的问题，提升标准技术水平，实现标准的指导作用。根据中色协科字[2021]88号文件，《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》团体标准列入标准计划项目。

【项目概况】：计划项目名称：多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范；计划项目号：计划号2021-013-T/CNIA；主要起草单位：清华大学。

**2、标准制定的必要性**

尾矿是工业固废的主要来源之一。2018年全国重点发表调查工业企业尾矿综合利用量为2.4亿t，综合利用率为27.1%。2018年其他工业固废综合利用率粉煤灰为74.9%、煤矸石为53.7%、冶炼废渣为88.7%，可见尾矿距我国其他工业固体废物平均综合利用率仍有较大差距。正是由于缺乏合适的综合利用技术或处理处置成本过高，导致尾矿综合利用率低。另外多金属尾矿危险固废处置不当，不仅占用土地浪费资源、存在安全隐患、浪费矿产资源，而且其自然侵蚀活化作用对周边环境造成严重污染，影响流域水质安全，严重危害国民健康。《重金属污染综合防治“十二五”规划》明确将采矿、冶炼列为重金属污染防治的重点行业，尾矿固废的综合利用与安全处置已成为我国环保领域特别是有色金属行业的重要任务。

目前国内已有的涉及尾矿固废的国家标准包括《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB 18599-2001）、《磷尾矿处理处置技术规范》（GB/T 38104-2019），前者只对一般工业固废的贮存提出相关要求，未对具体的尾矿固废做出要求；后者适用于化工领域，阐述了磷尾矿的相关处理处置方法，未涉及多金属矿区尾矿的钨/萤石回收等。另外国内涉及尾矿固废的行业标准有《固体废物处理处置工程技术导则》（HJ 2035－2013）、《危险废物处置工程技术导则》（HJ2042-2014），以上标准分别针对固废、危废的安全处置技术进行规范，未针对多金属矿区尾矿的钨/萤石回收及建材化进行规范，实际上尾矿中包含大量的金属和非金属物质，回收利用能够降低成本，提高资源综合利用率。本标准解决该领域缺失。

综上，建立多金属矿区钨尾矿分离回收及建材化工程技术规范可以降低处置不当所带来的隐患，提高资源利用率，节约经济成本；为多金属矿区钨尾矿的综合利用提供技术方案，并为有色金属采选冶行业固废资源化利用协同水污染控制提供重要的技术支撑。因此，制定尾矿固废综合利用工程技术规范是非常必要的，同时综合利用技术也是其处理处置的一种最优方法，符合国家及有关部门的重大科技需求、体现尾矿综合利用的发展趋势、预期能够取得重大效益。

**3、承担单位情况及主要工作过程**

3.1 承担单位情况

清华大学是国内领先、国际一流的综合性高等学府，具有多学科综合研究优势，拥有环境模拟与污染控制国家重点联合实验室、联合国环境规划署巴塞尔公约亚太地区协调中心等多个国家/省部级科研平台。拥有国内先进的固体废物/危险废物处理实验分析仪器设备，已建成城市排水系统运行管理决策支持系统等多个信息化平台。清华大学环境学院长期从事固废/危废无害化处理处置和资源能源转化技术研发，在跨介质物质代谢系统集成模拟、固废资源化技术评估筛选及环境管理系统构建等领域有着丰富的项目经验，承担并完成了多项重大研究课题，例如 “张家港市固废园区化协同处置技术开发与集成示范”（ 国家重点研发计划），“50万吨/年跨行业废弃物水泥窑协同利用技术及示范”（ 国家科技支撑计划），“城市循环经济发展共性技术开发与应用研究”（国家科技二等奖）等。另外，清华大学作为主要技术支撑单位，参与了《循环发展引领行动》、《关于推进资源循环利用基地建设的指导意见》等文件的编制。研发了面向行业政策和管理的跨介质代谢模型、数据库和管理工具，已建立市政固废的气-水-土跨介质代谢分析模型（SOTE, 2018, 618: 810-818），分析了关键元素在固废产生及上游、下游处置过程的元素物质流代谢特征，优化了行业技术路径（SOTE, 2019, 674: 512-523)；建立了关键金属资源代谢的部门数据库与核算分析平台(2016SR086282)、工业园区能源在线监测及管理分析平台（2016SR331345）。为钨尾矿分离回收技术提供了科学依据与技术方法。

湖南柿竹园有色金属有限责任公司是一家集采矿、选矿、综合回收为一体的大型国有矿山企业，为全国五大矿产资源综合利用基地之一，是世界五百强企业——中国五矿集团公司旗下的重点矿山企业。公司拥有土地权面积15平方公里，采矿权面积30.669平方公里。区域内矿产资源丰富，其中柿竹园钨钼铋多金属矿床目前保有资源储量钨59万吨、钼11万吨、铋21万吨、萤石6600万吨，其中铋资源储量为世界第一，也是国内最大钨精矿和铋金属矿山生产基地之一。柿竹园公司是全国首批矿产资源综合利用示范基地，基于柿竹园矿石复杂难选的特性及其资源在国民经济发展中所处的重要战略地位，国家科技部特别关注和支持柿竹园大型金属资源基地的资源综合利用情况。自“八五”以来，“柿竹园多金属资源的开发和综合利用”课题多次被列入国家科技支撑计划，累计获得6000多万元科技部专项资金支持。通过科技创新、加快推进科技成果转化，公司的科技攻关也取得了多项世界领先的科技创新成果，先后取得国家级科技成果5项、省部级以上科技成果42项。2011年被评为“‘十二五’国家科技计划执行优秀团队奖”。

中南大学拥有全球最长链的有色金属采选冶及加工的国家重点学科群，冶金工程和矿业工程是国家“双一流”重点建设A+学科。研究团队依托国家重金属污染防治工程技术研究中心、国家环境保护有色金属工业污染控制工程技术中心等科技创新平台。开发了“重金属固废硫化-浮选回收硫化物系统”、“含砷固废微晶化解毒与胶凝固砷系统”等11套移动式中试装备系统，可为本项目开展相关研究提供硬件保证。中南大学在有色金属采选冶全流程控制及固废资源化方面具有深厚研究基础。近年来，承担了国家863计划重点项目“湘江流域冶炼重金属固体废物减排与利用关键技术及工程示范”、“十二五”国家科技支撑计划项目“稀有及贵金属复杂共伴生矿产资源高效提取关键技术研究”等多项国家级科研项目，并顺利通过验收。目前正在承担国家自然科学基金“硫化砷渣水热稳定化机制”及“重金属危险固废安全处置关键技术与应用”等国家和省部级科研项目。编制完成了《砷渣稳定化处置工程技术规范》（HJ 1090-2020）、《排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业 铜/钴/镍冶炼》（HJ863.3-2017、HJ937-2017、HJ934-2017）等国家标准规范，出版《铅锌冶炼固体废物高效硫化处理技术》。获得国家科技进步二等奖（2014年、2018年）、国家技术发明二等奖（2018年）、湖南省首届科技创新奖（2017年）、湖南省自然科学一等奖（2017年）等科技奖励。

广东省科学院资源综合利用研究所是广东省科学院下属公益二类事业单位、独立法人单位，是我国最早从事资源开发和综合利用的研究机构。2016年4月广东省资源综合利用研究所注册为独立法人，是以原广州有色金属研究院选矿工程研究所为基础，合并原精细化工技术中心金属加工助剂研究组组建而成。2020年7月，根据《中共广东省委机构编制委员会办公室关于对省科学院所属单位统一更名有关事宜备案的函》文件精神，更名为广东省科学院资源综合利用研究所。广东省科学院资源综合利用研究所是稀有金属分离与综合利用国家重点实验室、广东省矿产资源开发及综合利用重点实验室的依托单位。围绕“立足广东、面向全国、走向世界”的战略目标，开展资源高效利用与综合回收等基础性和关键共性技术研究，为矿产资源和二次资源综合利用提供技术支撑；开展工业固体废弃物与废水资源化利用研究，为企业提供资源综合利用领域各类科技服务；开展稀有金属及有色金属产品、选矿设备、选矿药剂、矿物材料、材料加工用助剂产品的研究与开发。近5年承担国家、省部级重点项目76项。承担企业委托项目272项，其中国外企业委托项目43项；发表学术论文285篇，其中SCI/EI收录30篇；申请专利147件，其中发明专利133件；获授权专利41件，其中发明专利31件；科研经费总收入近2亿元；科技产品产值近4亿元。

中冶长天国际工程有限责任公司是中国五矿成员企业、中国中冶(MCC)控股子公司，是集工程咨询、工程设计、技术研发、装备制造、工程总承包、项目管理和投融资建设等为一体的综合性、科技型国际工程公司。中冶长天服务中国钢铁工业60余年，用独占鳌头的核心技术为国内宝钢等几乎所有大中型钢铁企业以及海外20多个国家的客户建设了一大批精品工程，是中国冶金工程建设领域具有全产业链、全生命周期服务能力和具有领先优势的工程建设总承包商、技术装备集成制造供应商和工程运营管理服务商，是中国冶金铁前工程领域的“国家队”。中冶长天国际工程有限责任公司是湖南省乃至全国在金属采选冶及其固废处理领域的大型企业，具有地理优势和工程示范基础，拥有丰富的技术研发、工程实施、技术推广的经验与能力。针对萤石尾矿、铁尾矿、有色尾矿、锰尾矿，已开展或完成选矿尾矿技术开发或建设工程10余项，包括尾矿提取萤石、富集铜铅锌、制备砂石骨料、制备陶粒、生产蒸压加气混凝土砌块、生产水泥混合材、制备胶凝材料、应用于高标准农田开垦工程等多个方面，为钨尾矿分离回收技术提供了工程技术基础。

3.2 主要工作过程

**（1）编制组成立与立项报告起草**

《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》编制任务下达后，2021年2月，主编单位成立了多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范编制组，制定了工作进度安排，进行了任务分工，并开始开展调研、编制等工作。

2021年2月至2021年3月，编制组调研了大量国内外相关标准和文献资料，搜集多金属矿区采选工艺、尾矿特性、尾矿处置现状、尾矿污染治理和综合利用的相关资料，并对相关文献资料进行归纳和分析，进行多次讨论后，初步确定了《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》的技术路线和主要技术指标，完成了立项建议书、立项报告和标准草案。

**（2）立项讨论与前期调研**

2021年4月21日在贵阳召开了标准立项论证会。专家组详细审阅了编制单位提交的立项建议书、立项报告和标准草案，听取了编制组的汇报。经质询和讨论，提出了专家组意见，确定了标准编制的技术路线和工作方案，通过了标准立项。

2021年4月至2021年5月，编制组走访、调研了大量有色金属采选企业，收集相关企业需求，对各企业的选矿工艺、尾矿产生环节、尾矿产量、尾矿处置方式、尾矿库剩余容量、尾矿资源化等进行了详细的了解，并对调研数据进行了分类整理和综合分析。同时，向相关专家咨询、学习，比对调研数据的准确性。编制组根据立项讨论会的精神，结合现场调研，形成了《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》（征求意见稿初稿）。

2021年8月2日，根据中色协科字[2021]88号文件，《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》团体标准列入标准计划项目。

**（3）征求意见稿完善**

2021年5月26日，编制组在长沙组织召开了《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》（征求意见稿初稿）的技术咨询会，邀请了相关行业专家对标准草案进行审阅，并提出修改意见，编制组根据专家意见对初稿进行了修改、完善。

2021年6月至10月，编制组根据技术咨询会专家意见，补充了钨尾矿分离回收的工程应用情景、完善了工程技术指标等，结合专家咨询及国内外的相关资料，初步完善了《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》（征求意见稿初稿）和《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》（编制说明）。

2021年12月15-18日，编制组在海南省海口市召开了标准讨论会，根据会上专家意见，编制组对标准文本整体结构、术语和定义、萤石回收工艺进行了修改完善。

**二、标准的编制原则**

1 编制《多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范》团体标准要以满足市场需求为指导，应有利于尾矿的综合利用，同时也可以起到规范和引导钨尾矿的资源回收和安全处置工程建设和运维。

2 标准的编制应根据我国国情，以利于保护我国矿产资源综合利用和生态环境的保护。

3 标准的编制应充分考虑生产企业的产品质量和相关单位的意见，同时要确保用户的需求，为选矿和资源化利用企业提供满意的工艺。

4 新编制的标准应更加科学合理、切实可行、具有可操作性，同时促进钨矿采选企业综合利用水平的提高，满足相关法律法规要求。

**三、标准主要内容依据**

**1、钨尾矿现状**

**1.1钨尾矿**

根据我国国土资源部《中国矿产资源报告（2021）》，2020年中国钨矿储量222.49 WO3万吨，钨储量世界第一（图1）。从我国钨储量分布来看，江西、湖南、河南是我国钨储量前三地区（图2），我国主要钨矿矿石类型为白钨矿、黑钨矿、混合钨矿，分别占资源储量45.12%、37.75%、17.13%。

图1 2021年全球钨储量（左）、钨产量（右）分布情况



图2 2020年我国钨矿资源储量分布情况（万吨）

由于钨矿石的品位通常较低，因此在钨矿石的选矿过程中，会产生大量钨尾矿，其总量约占钨矿原矿的九成，造成了较大的资源浪费。在中国，钨尾矿被视为固体废弃物的一种，主要集中存放在占用土地资源的尾矿库或重新回填至矿井中，目前其库存已超过了 1000 万t。因此，根据钨尾矿资源的实际情况，开展其相关的综合利用研究，不仅能解决土地资源浪费、环境污染、人类健康受到危害等弊端，而且对提高钨尾矿资源的利用率具有重要意义，随之带来的经济效益和环境效益也十分可观。因此，如何实现钨尾矿高值化、大宗量整体利用是目前急需解决的问题。

**1.2钨尾矿综合利用现状**

钨尾矿的综合利用主要包含有价成分的回收和整体利用两个方面。

钨尾矿中有价成分除了利用价值较高的钨、钼等有价金属之外，石榴子石和萤石等非金属矿也具有回收利用的价值。工业上主要通过选矿工艺来回收这些有价成分，周菁等通过浮选工艺用粗精矿再磨达到矿物单体解离的目的于钨尾矿原料中回收萤石，其回收率为 57.23%。艾光华等采用先磁选后萤石浮选工艺流程，分别以碳酸钠、Na2SiO3、BK410为调整剂、抑制剂和捕收剂进行１粗6精2扫的闭路试验研究，获得品位为97.15%，回收率为69.89%的精矿产品，对萤石进行了较好的回收。

钨尾矿含有与传统建筑材料的主要成分相近的以 CAMS 体系为主的化学成分，同时具有粒度细小和性能稳定的特点，这给其作为原料整体利用于建材领域创造了天然的优势。钨尾矿作为原材料的整体利用主要用于生产水泥、混凝土、聚合物、陶瓷颗粒等建材领域。因此，钨尾矿的整体利用可以将钨尾矿中的重金属和有毒有害元素固定在产品中，降低对人体和环境的危害。Choi等制备了以钨尾矿和高炉渣为主要原料的能够替代水泥的高性能凝胶材料；Fernando等人选取钨尾矿作为主要原料，制备了具有修复硅酸盐水泥混凝土功能的矿物凝胶材料。

**1.3钨尾矿的工艺矿物学分析**

以柿竹园钨尾矿为研究对象，开展了工艺矿物学分析，为后续尾矿综合利用提供基础数据和依据。

（1）钨尾矿工艺矿物学

表1 样品的X荧光光谱半定量分析结果/%

表2 样品的主要化学成分/%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组分 | WO3 | Sn | CaF2 | CaO | TFe | FeO | Fe2O3 | SiO2 |
| 含量 | 0.082 | 0.085 | 21.74 | 31.3 | 4.93 | 3.12 | 3.58 | 31.04 |
| 组分 | Al2O3 | MgO | MnO | Na2O | K2O | S | C | 烧失 |
| 含量 | 7.50 | 1.14 | 0.81 | 0.57 | 1.51 | 0.11 | 1.51 | 9.07 |

表3 样品中主要矿物的含量/%

表4 样品中钨的化学物相分析结果/%

工艺矿物学分析结果表明，钨矿物主要为白钨矿，少量黑钨矿，偶见辉钨矿。锡矿物主要为锡石，偶见黄锡矿和尼日利亚石；其他金属矿物含量相对较低，包括磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿和自然铋等；非金属矿物以钙铁榴石、钙铝榴石、铁铝榴石、萤石、石英和方解石为主，次为白云母、黑云母、钙长石、钾长石、钠长石，少量辉石、角闪石、黄玉、绿泥石和硅灰石；其他微量矿物尚见褐帘石、榍石、磷灰石、滑石、白云石、高岭石、刚玉和锆石等。

样品中可供选矿回收的元素主要是WO3、Sn 和CaF2，品位分别为0.082%、0.085%和21.74%。脉石组分主要是SiO2 和CaO，次为Al2O3。矿石中钨的赋存矿物以白钨矿为主，其次是黑钨矿，二者合计分布率为95.12%。矿石中锡主要集中分布在锡石中，分布率占87.06%。

**2、同类工程现状调研**

我国尾矿开发利用的理论研究和实际应用相较于国外有很大差距，但近些年由于政府和有关部门的重视，情况已经有了很大改观，一大批高校和科研院所都开始与矿山企业紧密合作，在尾矿的综合利用，即实现尾矿的资源化、减量化和无害化方面已取得了显著的成果。目前从钨尾矿的再次选别（萤石回收）、尾矿用作建材原料和尾矿回填利用三个方面进行叙述。

**2.1 萤石回收技术**

尾矿的再次选别可以将尾矿中的有价组份尽可能分选出来，实现尾矿的资源化利用；同时，尾矿二次选别可以大量消纳尾矿，实现变废为宝。

萤石是一种重要的含氟工业矿物，是制取氟化氢的主要原料，又因其低熔点被广泛应用于化工、冶金、陶瓷等行业中。因此，加强对尾矿中萤石组份的回收利用意义重大。周菁等先采用一粗二扫浮选萤石，得到粗精矿，粗精矿再磨后精选，精选中矿１和２再选，其余中矿顺序返回继续精选，最终精矿通过强磁获得萤石精矿的方法对黄沙坪低品位钨钼铋钨尾矿的萤石进行回收试验，得到品位为97.36%、回收率为57.23%的萤石精矿。艾光华等采用先磁选后萤石浮选工艺流程，分别以碳酸钠、Na2SiO3、BK410为调整剂、抑制剂和捕收剂进行1粗6精2扫的闭路试验研究，获得品位为97.15%、回收率为69.89%的精矿产品，对萤石进行了较好的回收。房朝军等以酸化的Na2SiO3+HF为抑制剂，HY为捕收剂，采用1粗7精的工艺流程对某尾矿中综合回收低品位的萤石进行浮选试验研究，结果表明，赋存尾矿中萤石品位为8.12%的情况下，闭路试验得到了品位是95.36%、回收率为61.39%的良好指标，实现了资源的高效回收。

**2.2 建材化技术**

尾矿中含有的Si、Al等元素是生产建材必不可少的成分，因此尾矿是可以用作建材生产的原材料。目前，国家提倡装备式建筑，禁止开山采石，建议对固废进行资源化利用，促进固废的高效利用。将尾矿用作建材原料既可以实现尾矿的大宗消纳，同时也可以固化／稳定化尾矿中的有害物质，阻止有害物质的迁移。目前，钨尾矿可被用作如水泥材料、陶瓷、微晶玻璃、矿物聚合材料等建材的原料。周坤利用钨尾矿作为主要原料制备水泥砌块，在尾矿与水泥比为4：1时，得到的水泥砌块综合性能最好，尾矿的利用率达到80%，在秸杆、膨胀珍珠岩和激发剂Ca(OH)2最佳投料量分别为总物料的0.66%、0.6%、0.6%的条件下可以制备出符合蒸压砖标准的砌块。朱刚雄等以湖南某钨尾矿为研究对象，采用机械和化学法对尾矿活化，同时考察不同掺合量对水泥胶砂强度的影响，试验结果表明：机械活化对水泥胶砂活性指数影响不明显，以CaO做激发剂效果不错，活性指数达到67.65%，经活化后尾矿的掺合量为20%时制得的水泥可用于混凝土浇灌。焦向科等预先采用“摇床重选-机械球磨-碱熔融”的方法对钨尾矿进行逐级处理，将获得各级处理后的钨尾矿分别与偏高岭土相混合，在碱激发作用下制备矿物聚合材料。结果表明：钨尾矿的反应活性随着预处理级数的增加而增加，三级预处理之后所制备的矿物聚合材料试样7d龄期可达到48.45MPa的抗压强度。李保庆等以韶关钨尾矿为主要原料，采用熔融法制备CaO-Al2O3-SiO2建筑用的微晶玻璃，结果表明：在钨尾矿添加量为60%、830℃核化1h，950℃晶化2h，此时，制得的玻璃性能优良，密度为2.82 g/cm3，抗弯强度为97.53MPa。

综上，尾矿因其所含成分可以满足建材制造的要求，只需经过一些工艺处理，如烧结、养护等，就可以获得符合国家相关标准的建筑材料，所以用尾矿生产制备高附加值建筑材料是实现尾矿综合利用的一个极好的途径。使用尾矿制备建筑材料可以消纳大量尾矿，实现尾矿的高值化利用。

**2.3 尾矿回填技术**

尾矿回填可以大量消纳尾矿，是一种极为有效的尾矿减量化利用技术。尾矿回填的技术种类很多，其中目前最为常用的就是胶结充填技术，此种技术是将细砂等惰性材料和适量凝胶材料，加水混合制成充填材料，能提高地采回采率。尾矿回填中尾矿常与其他固体废物一起制备填充材料，回填到矿山采空区或其他由于工程建设产生的地下空区。如Chu等利用铁尾矿、河道底泥和电石渣等大宗固废制备采空区回填材料，降低了施工成本；Liu等制备了超细尾矿-高炉矿渣填充材料，用于填充矿山采空区；Wan等以铁尾矿回填地源热泵的地下空区，结果表明此种方法是可行的；Yin等使用水泥和硫化矿尾矿制备尾砂填充体，对地下采场充填设计有重要的参考价值；Zheng等用MgO活化磨细矿渣作为硫化矿尾矿的胶结料，研究结果表明养护28d的胶砂符合相关强度要求。

由上述可知，以尾矿回填采空区，可以代替原本的水泥胶结填充体，此种方法不仅可以消纳大量尾矿，还可以降低回填成本。当前，尾矿常与具有一定活性的工业废物如冶炼渣一起混合制备回填胶砂，可以实现全尾胶结填充，既满足了回填的技术要求，还综合利用了工业废弃物，具有发展前景。目前利用尾矿作胶结材料填充采空区已经取得了一些成功。

**2.4工程实例**

**3.4.1 湖南某企业萤石回收工程实例**

湖南某企业多金属矿是以钨、钼、铋为主，伴生有锡石、萤石、石榴石等复杂多金属矿床，其选厂规模为3500 t/d，1条生产线。

本工程的钨尾矿分离回收技术为萤石回收技术，处理的钨尾矿为该选厂选钨产生的尾矿，钨尾矿年产量约为100多万吨，每年将回收15万吨以上的萤石精矿，高品位萤石精矿90%以上、低品位萤石精矿70%以上，萤石综合精矿品位87%，萤石总回收率约为68%。

（1）钨尾矿性质

本工程处理的钨尾矿是湖南某企业选厂粗选钨尾矿，主要指标如表1所示。

表1 钨尾矿主要指标

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 目数（粒径） | WO3 | CaF2 | Pb | Zn | Cd | Cu |
| 含量 | -200目70% | 0.11% | 18-22% | 0.047-0.056% | 0.014-0.017% | 未检出 | 未检出 |

（2）处理工艺

钨尾矿主要采用浮选工艺：经过一次粗选、八次精选，得到高品位萤石精矿；精选尾矿三次精选后得到低品位萤石精矿。

（3）工艺流程

原矿磨矿后的物料细度为-200目占69%左右，浓度只有30%左右，需先进入直径53米浓密机进行浓缩，浓缩后的浮选给矿浓度达50%左右，经过硫化矿浮选作业和钨浮选作业后钨尾矿浓度仍有40%以上进入萤石浮选作业。萤石浮选采用一粗一扫八精的流程，得到高品位萤石精矿，精选尾矿再经过三次精选得到低品位萤石精矿。萤石回收后产生的二次尾矿输送到尾矿库中堆存。

钨尾矿

粗选

扫选

精一

精二

高度精三

低度粗选

精一

精二

精三

精四

精五

精六

精七

精八

高品位萤石精矿

低品位萤石精矿

总尾矿

**图1 湖南某企业钨尾矿萤石再选工艺流程图**

（4）工艺参数控制及运行效果

本单元工艺关键参数如下：

表 关键工艺参数控制及处理效果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **工段** | **物料变化** | **参数控制** | **处理前** | **处理后** |
| 浮选 | 钨尾矿→萤石精矿 | 脉石抑制剂3kg/t；pH调整剂1：1kg/t；pH调整剂2：3kg/t；萤石捕收剂：200-500g/t；浮选的粗选PH值9-11精选PH值6-8 | 萤石品位 |
| 18-22% | 高品位：90%以上低品位：70%以上尾矿品位：5-10% |

**3.4.2 湖南某企业建材化工程实例**

本工程的钨尾矿分离回收技术为建材化技术，本工程处理的钨尾矿是湖南某选矿企业选钨后产生的尾矿。建材化产品为微粉，出售水泥厂和搅拌站，设计产能为60万吨/年，实际生产为40万吨/年。

（1）钨尾矿性质

本工程处理的钨尾矿由湖南某选矿公司钨粗选、精选和扫选产生的钨尾矿组成，主要指标如表2所示。

表2 钨尾矿主要指标

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 目数（粒径） | WO3 | CaF2 | As | Zn | Cr | Cu | 浸出毒性 |
| 含量 | -200  | 0.29% | 2.35% | 0.014% | 0.0293% | 0.014% | 0.008% | 符合GB5085.3标准 |

（2）处理工艺

尾矿建材化工艺。

（3）工艺流程

尾砂经过输送泵打入厂区，尾砂进入厂区后经过旋流器分级后进入高频振动筛，大颗粒（>100目）作为基质沙的配料和干粉砂浆的主料。细颗粒进行浓缩脱水（含水率17%）、烘干（700℃~800℃）后每吨原料投加0.15吨外加剂后得到产品。

（4）工艺参数控制及运行效果

本工程工艺关键参数如下：

表3 关键工艺参数控制及处理效果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **工段** | **物料变化** | **参数控制** | **处理前** | **处理后** |
| 分级 | 钨尾矿→分级尾矿 | 溢流管直径>100mm | 钨尾矿粒度 |
| -200目占55% | +100目和-100目产品 |
| 浓缩 | 分级尾矿→浓缩尾矿 | 压力>1.0MPa,过滤面积3×800m2 | 钨尾矿浓度 |
| 50% | 82% |
| 烘干 | 浓缩尾矿→微粉 | 外加剂比例0.5~0.8%，烘干温度700℃~800℃ | 含水率 |
| 18% | <1.0% |

**3.4.3 湖南某企业尾矿回填工程实例**

本工程的钨尾矿分离回收技术为尾矿回填技术，本工程处理的钨尾矿是湖南某企业选钨后所产生的尾矿，尾矿年产约为30万吨，其中约三分之一进行尾矿充填。

（1）钨尾矿性质

本工程处理的钨尾矿由湖南某企业钨粗选、精选和扫选产生的钨尾矿组成，主要指标如表4所示。

表4 钨尾矿主要指标

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 目数 | WO3 | CaF2 | As | Zn | Cr | Cu |
| 含量 | -200 | 0.29% | 2.35% | 0.014% | 0.0293% | 0.014% | 0.008% |

（2）处理工艺

尾矿充填工艺

（3）工艺流程

尾矿充填工艺依据全尾砂膏体充填技术规范GB/T 39489-2020，并结合矿山实际情况进行。该企业钨尾矿因含水率较大，需先经浓密机浓缩至含固率65%左右，保证液体低度流动性，按1:12的灰料比添加胶固粉，最后通过输送泵填充进采空区。

**四、标准主要技术内容及说明**

**4.1适用范围**

本标准规定了多金属矿区钨尾矿综合利用技术的总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、运行与维护的要求。

本标准适用于钨多金属矿选矿过程产生的钨尾矿的萤石回收、尾矿建材化、尾矿充填工艺技术。

**4.2规范性应用文件**

本章节列出了规范条文中出现的标准。

**4.3术语和定义**

本标准规定了多金属矿区钨尾矿综合利用技术规范所涉及到的有关术语及定义。根据本标准的技术内容，给出了钨尾矿、钨尾矿综合利用2个术语，并进行了定义或解释。本术语和定义仅适用于本标准。

**4.4总体要求**

4.4.1本标准在总体要求中，提出了4项基本规定

（1）多金属矿区钨尾矿综合利用技术的设计应符合国家现行的法律、法规、标准、规范的有关规定。

（2）多金属矿区钨尾矿产生企业应推行清洁生产，减少钨尾矿固废的产生量。

（3）多金属矿区钨尾矿综合利用技术应以市场需求为导向，结合企业生产条件、工艺特点，兼顾成本和效益等多方面综合因素，采用效率高、安全可靠、绿色环保的工艺。

（4）多金属矿区钨尾矿经分离回收之后的尾矿应进行安全堆存、采矿充填等合理处置，同时应满足GB 18599、GB 39496中的有关规定。

4.4.2工艺构成

钨尾矿综合利用工艺主要包括萤石回收、建材化和充填工艺。

**4.5工艺设计**

钨尾矿中萤石含量、重金属含量及放射性是工艺技术选择的重要依据，设计前应现场调研、采样分析，以实测结果作为工程设计依据，没有实测数据的可根据相似工程经验确定，也可根据物料平衡或工艺分配系数进行估算。

本标准将钨尾矿按照尾矿中萤石含量、浸出毒性、放射性等相关性质进行分类，将相关的处理技术从一般规定、工艺路线选择、基本工艺流程、控制的主要条件与参数、二次污染的控制等方面分别提出了相应的技术要求。

4.6.1在工艺路线选择上，本标准遵循了以下原则：

（1）根据钨尾矿的特性给出了基本工艺流程及工艺技术路线的基本要求。

（2）本标准依据钨尾矿分类推荐了三种处理技术：

① 萤石回收工艺：适宜处理萤石含量较高，有提取价值的钨尾矿；

② 建材化工艺：适宜处理无提取价值，且重金属含量较低，无重金属污染隐患且满足建材化放射性要求的钨尾矿；

③ 充填工艺：适宜不能采取上述两种处置方式处理的所有钨尾矿。

（3）除尾矿充填工艺已有相应国家标准，不进行说明外，对每种处理工艺依次进行了说明，并对每一个工艺单元都提出了技术要求，包括设计参数和运行参数的具体规定。

（4）本标准确定的工艺参数，以连续生产运行、处理结果稳定达标为基本原则，一般是通过综合调查国内典型工艺案例及全面分析评价确定的。

4.6.2本标准对钨尾矿分离回收处置前的收集、储存和运输进行了规范。

4.6.3萤石回收工艺

本技术规范针对各单元主要设备组成、工艺布局、设备特殊要求、关键配置进行了规定。对规范中对应的萤石回收工艺说明如下：

**（1）预处理作业**

①本单元对钨尾矿的浓度提出了要求，适宜萤石选矿工艺的尾矿浓度为30-50%，通常原矿经钨粗选后的尾矿浓度均较低，需进行浓缩处理；

②本单元对钨尾矿的粒径进行了规定，粒径应70%以上小于-200目。

**（2）加药作业**

①规定了固体药剂储罐附件设备设计要求，包括料位计和反冲气设施，监测药剂余量、保证下料通畅；

②规定了液体药剂储罐和存放区设计要求，避免液体药剂在使用过程发生爆炸，引发火灾；

③推荐了适宜选择的活化剂和抑制剂，列出了多种可选择的捕收剂，对药剂投加比例进行了建议。

**（3）选矿作业**

①本单元进一步将萤石选矿分为四个分单元，分别为：粗选、高品位精选、扫选和低品位精选。

②规定了各选矿分单元的选矿工艺、设备组成和级别设定；

粗选作业：粗选作业包括搅拌设备、浮选设备和自动控制设备组成。案例工程：搅拌设备为加药调浆搅拌桶，依次添加选矿药剂pH调整剂1# 1kg/t、脉石抑制剂2600g/t，萤石捕收剂200～500g/t，pH值控制在9～11。再将矿浆泵送至萤石粗选浮选柱进行一次粗选，得到萤石粗精矿和粗选尾矿；

扫选作业：将粗选尾矿添加适量萤石捕收剂进入萤石扫选浮选柱，进行一次扫选，得到萤石扫选精矿和尾矿；萤石扫选精矿返回粗选作业。

高品位精选作业：规定了精选级数及高品位萤石精矿产品要求。案例工程：该单元由高度萤石精选一～精选八的八次精选作业组成，精选1、精选三～精选八采用充气式浮选机，精选二采用浮选柱。药剂添加：精一、精二添加脉石抑制剂200g/t、精三～精八添加pH调整剂2# 3kg/t，脉石抑制剂200g/t，精三还添加适量萤石捕收剂，pH值控制在6～8。精选一尾矿返回粗选作业，精选二尾矿返回精选一作业，精选三尾矿进入低度萤石粗选作业，精选四～精选八中矿顺序返回。

低品位精选作业：规定了精选级数及低品位萤石精矿产品要求。案例工程：该单元由低品位萤石粗选、精选一～精选三四次作业组成，均采用充气式浮选机。低品位粗选添加适量pH调整剂、脉石抑制剂和萤石捕收剂。低品位萤石粗选尾矿直接丢尾，精选一～精选三中矿顺序返回。

③规定了最终萤石精品矿的品位和回收率要求。

高品位萤石精矿品位为90.7-95.7，杂质要求碳酸钙＜5%、硫＜0.1%、磷＜0.1%。低品位萤石精矿品位为80.7，杂质要求碳酸钙＜5%、硫＜0.1%、磷＜0.1%。

4.6.4尾矿建材化工艺

本技术规范针对各单元主要设备组成、工艺布局、设备特殊要求、关键配置进行了规定。对规范中对应的尾矿建材化工艺说明如下：

1. 本标准建材化工艺主要由分级-筛分、球磨-搅拌、浓缩-干燥作业组成；
2. 本标准钨尾矿建材化产品包括机制砂、胶凝材料、微粉；
3. 本标准规定了机制砂的产品要求，符合JC/T 2299有关规定；
4. 本标准推荐了胶凝材料掺合料的种类及需满足的要求，选用的石膏应符合GB/T 21371的有关规定，粉煤灰应符合GB/T 1596的有关规定，高炉矿渣应符合GB/T 203的有关规定；
5. 本标准规定了胶凝材料的产品要求，符合 T/CECS 689有关规定；
6. 本标准规定了制作微粉的浓缩脱水含水率及烘干烟气温度，规定了微粉的产品要求，符合JG/T 573有关规定。

**4.6主要工艺设备和材料**

本技术规范对多金属矿区钨尾矿综合利用工艺中常用设备和材料的选型，以及设备选用应遵循的标准规范提出了具体要求。选用的设备和材料需首先满足国家现行的产品标准，其次对本工艺系统具有良好的适用性、可靠性、经济性和环保性。

针对钨尾矿综合利用工艺特点，对于常用设备选型、材料选择技术要求进行说明。

（1）钨尾矿带式输送设备，充分考虑避免渣料掉落造成二次污染，其材质宜选用橡胶、硅胶、PVC、PU 等材质。

（2）钨尾矿球磨设备，应满足以下条件：

① 球磨设备的处理量应满足系统物料量变化要求，且能满足后续工艺对粒度的要求；

② 有效避免球磨后渣料粘附在设备上；

③ 球磨设备关键部件应耐酸碱盐或喷涂耐酸碱盐材料。

（3）混合搅拌器选择，应满足以下条件：

① 搅拌机、混合机应符合 HG/T 20569 的规定；

② 应配有变频装置、调速电机以及过扭矩保护装置；

③ 应采用 SUS304 不锈钢、合金钢等材质。

**4.7检测与过程控制**

为确定钨尾矿处理工艺、保证处置效果、防止处理过程产生二次污染，同时对选用的工艺技术进行及时调整和控制，本标准规定了钨尾矿分离回收处置前、处置过程中、处置后检测内容及标准、同时还规定了处置场所和设施及主要生产工序检测内容和检测要求。

**4.8 运行与维护**

本标准在运行与维护一章中对多金属矿区钨尾矿分离回收处置工艺的运行、维护和安全管理、规章制度、操作规程、运行记录、人员基本要求及应急措施等做出了具体的规定。

**五、明确标准中涉及专利的情况**

本文件不涉及专利问题。

**六、采用国际标准和国外先进标准的情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况**

本文件没有采用国际标准。

本文件在制定过程中未检测到同类国际标准。

本文件在制订过程中，以选矿、尾矿资源化企业实际需求为依据，标准客观反应了目前尾矿产生及资源化利用的现状，对尾矿资源利用的工艺技术具有实际意义，具有适用性、准确性、指导性和先进性。

本文件填补了国内外相关标准的空白。

**七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

本文件不存在与相关法律、法规、规章相抵触之处，也不与其它标准相冲突。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

无

**九、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议**

建议团体标准《多金属矿区钨尾矿综合利用技术规范》作为推荐性标准颁布实施。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

本标准为首次制定，建议本文件在批准发布3个月后实施，建议在实施过程先试行，然后广泛听取和收集各方面的意见与建议，根据反馈的问题和技术进步情况进一步对本标准进行修订与完善，最终形成实用的、先进的行业污染治理规范性技术管理文件。

**十一、废止现行有关标准的建议**

无。

**十二、其他应予说明的事项**

 无。

会审意见汇总处理表

标准项目名称：多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范

承办人： 共 页 标准项目负责起草单位：清华大学

电话： 2020年 10 月 3 日填写

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准章条编号 | 意见内容 | 处理意见 |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |
| 4 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |
| 6 |  |  |  |
| 7 |  |  |  |
| 8 |  |  |  |
| 9 |  |  |  |
| 10 |  |  |  |
| 11 |  |  |  |
| 12 |  |  |  |
| 13 |  |  |  |
| 14 |  |  |  |
| 15 |  |  |  |
| 16 |  |  |  |
| 17 |  |  |  |
| 18 |  |  |  |
| 19 |  |  |  |
| 20 |  |  |  |
| 21 |  |  |  |
| 22 |  |  |  |
| 23 |  |  |  |
| 24 |  |  |  |
| 25 |  |  |  |
| 26 |  |  |  |
| 27 |  |  |  |
| 28 |  |  |  |

说明：① 提出意见数量：28个；

② 标准起草单位或工作组对意见处理结果：采纳27个，部分采纳/未采纳1个；

标准征求意见稿意见汇总处理表

标准项目名称：多金属矿区钨尾矿分离回收技术规范

承办人： 共 页 标准项目负责起草单位：清华大学

电话： 2020年 8 月 24 日填写

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准章条编号 | 意见内容 | 提出单位 | 处理意见 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |
| 12 |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |
| 17 |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |
| 19 |  |  |  |  |
| 20 |  |  |  |  |
| 21 |  |  |  |  |
| 22 |  |  |  |  |
| 23 |  |  |  |  |
| 24 |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |
| 26 |  |  |  |  |
| 27 |  |  |  |  |
| 28 |  |  |  |  |
| 29 |  |  |  |  |
| 30 |  |  |  |  |
| 31 |  |  |  |  |
| 32 |  |  |  |  |
| 33 |  |  |  |  |
| 34 |  |  |  |  |
| 35 |  |  |  |  |
| 36 |  |  |  |  |
| 37 |  |  |  |  |
| 38 |  |  |  |  |
| 39 |  |  |  |  |
| 40 |  |  |  |  |
| 41 |  |  |  |  |

说明：① 提出意见数量：41个；

② 标准起草单位或工作组对意见处理结果：采纳28个，部分采纳/未采纳13个；