|  |
| --- |
| 中国核学会团体标准 |
| 含铀多金属矿压热浸出实验规范  Specification for hot-pressure leaching test of uranium-containing polymetallic ores  （征求意见稿） |
| 编制说明 |
| 核工业北京化工冶金研究院  辽宁首钢硼铁有限责任公司  中南大学  2024年10月 |

含铀多金属矿压热浸出实验规范工作简况

1. 任务来源

本标准制修订任务由中国核学会文件《关于下达中国核学会2024年度第二批团体标准制（修）订计划的通知》（中核学发〔2024〕91号）下达，计划编号为HTB2024019，标准计划名称为《含铀多金属伴生矿压热浸出试验规范》，由核工业北京化工冶金研究院、辽宁首钢硼铁有限责任公司、中南大学起草，要求于2024年11月完成本项目。

1. 起草单位情况

本标准核工业北京化工冶金研究院负责起草，辽宁首钢硼铁有限责任公司，中南大学协助编制。

1）核工业北京化工冶金研究院

我国唯一从事铀矿采冶和铀化学化工研究的多专业综合性开发型研究院，拥有铀提取冶金重点实验室和一批结构合理、专业齐全、长期从事铀矿采冶技术研究的科研队伍，其中50%以上是具有中、高级技术职称的专业技术人员。能从事铀矿开采、提取、制备及材料开发、辐射防护等各种条件、多种规模的试验研究，具备承接铀矿冶、制备领域各种试验研究任务的能力。化冶院已经建立了从铀矿山设计、开采、提取、制备到材料开发、辐射防护全体系的科研结构，拥有一批结构合理、专业齐全、长期从事铀矿采冶技术研究的科研队伍，具有扎实的理论基础和丰富的实践经验，并与相关科研单位及生产企业建立了良好的合作关系，为标准的顺利编制提供了保障。

40多年来化冶院（包括原六所）完成重大科研项目一百多项，完成各类科研技术报告5960篇，编制了大部分铀矿采冶标准，荣获国家发明奖13项，国家科学技术进步奖12项，国防科工委重大技术进步奖142项，核工业部科技进步奖312项，国际博览会金奖2项、银奖2项。为我国核工业的创建和发展做出了重大贡献。

2）辽宁首钢硼铁有限责任公司

辽宁首钢硼铁有限责任公司是由北京首钢矿业投入资金有限公司、中核集团金原铀业有限责任公司、丹东东方测控技术有限公司和辽宁凤城市黄金（集团）公司四方共同出资组建由首钢控股的采、选、铀水冶、硼化工联合企业。2006年被列为辽宁省要点建设项目。辽宁省凤城翁泉沟硼铁矿已探明地质储量为2.83亿吨，占我国探明固体硼总储量的58%，是亚洲非常大的硼铁矿。该矿为共伴生矿，含硼、镁、铁、铀等多种有用矿物成分，是综合利用价值较高的矿产资源。公司坚持“以硼为主，综合利用”的原则，总投入资金金额21个亿，对该项目进行了开发。其中一期建设投入资金15个亿，生产规模为年采选硼铁矿200万吨；含硼铁精矿80万吨；硼精矿50万吨；五水硼砂4万吨；十水硼砂2万吨；硼酸1万吨；硼酐0.5万吨；无水硫酸钠1.3万吨。

3）中南大学

中南大学（Central South University），位于湖南省长沙市，是中华人民共和国教育部直属的全国重点大学，中央直管副部级建制，位列国家“双一流”、“985工程”、“211工程”，入选国家“2011计划”牵头高校、“111计划”、“强基计划”、卓越工程师教育培养计划、卓越医生教育培养计划、卓越法律人才教育培养计划、国家创新人才培养示范基地、国家级大学生创新创业训练计划、国家建设高水平大学公派研究生项目、新工科研究与实践项目、中国政府奖学金来华留学生接收院校、学位授权自主审核单位、自主划线高校、医学“双一流”建设联盟、国家知识产权示范高校、基础学科拔尖学生培养计划2.0基地、中国-中亚国家大学联盟、中俄交通大学联盟，高水平公共卫生学院建设高校，是全国首批试点开展八年制医学教育（本博连读）的五所大学之一。

学校学科门类齐全，拥有完备的有色金属、医学、轨道交通等学科体系，涵盖工、理、医、文、法、经、管、哲、教、史、艺等11大学科门类，辐射军事学。

截至2019年1月，中南大学拥有4个世界一流学科建设学科，一级学科国家重点学科6个，二级学科国家重点学科33个（含一级学科覆盖），国家重点（培育）学科1个，国家临床重点专科61个；博士学位授权一级学科35个，硕士学位授权一级学科46个，博士后科研流动站32个。

截至2019年1月，材料科学、工程学、临床医学、化学、药理学与毒理学、生物学与生物化学、神经科学与行为学、数学、计算机科学、分子生物学与遗传学、社会科学总论、免疫学、精神病学与心理学、地球科学、环境科学与生态学、农业科学等16个学科ESI（基本科学指标）排名居全球前1%，其中材料科学排名居全球前1‰，中南大学ESI排名并列“双一流”建设高校第10位。

1. 起草工作组组成及任务分工

核工业北京化工冶金研究院李建华负责标准立项和组织编制；程威负责草案编制，王高山负责方案制定，原渊负责组织协调，逄海骋，邹玉涵，王亮负责实验验证。

辽宁首钢硼铁有限责任公司，中南大学参与技术讨论并对初稿提出修改意见；

1. 主要工作过程

本标准的起草过程主要分为前期准备、征求意见稿编制以及后面的送审稿编制、报批稿编制。

4.1 前期准备（2024年6月）

2024年6月25日，中国核学会在北京组织召开了团体标准立项技术把关会。与会专家听取了各标准申报单位的汇报后，经过质询和讨论，《铀矿压热浸出试验规范》编制的目的和理由充分，标准适用范围总体合理，建议立项名称确定为《含铀多金属伴生矿压热浸出试验规范》。

4.2 征求意见稿编制（2024年7月）

标准立项评审会计划下达后，2024年7月，标准起草单位核工业北京化工冶金研究院成立标准起草工作小组，并组织专家对立项草案进行初评，按照技术规范进行编制。起草工作小组查找了国内外相关技术资料、结合专家意见和技术研制、应用资料，讨论修改后形成标准征求意见稿。起草工作组根据会议意见对标准进行了修改和完善，在此基础上形成征求意见稿，于2024年8月将征求意见材料提交至核工业标准化研究所。

1. 标准编制原则和确定标准主要内容的依据
2. 标准编制原则

1）体现国家政策与法规；

2）执行国家和核行业相关标准的规定；

3）全面系统地反映含铀多金属矿石压热浸出试验工艺技术现状；

4）认真吸取含铀多金属矿石压热浸出试验工艺的重大事故和经验教训；

5）参照国内外含铀多金属矿石压热浸出试验有关规定及技术发展，确保标准的适用性和可操作性。

1. 确定标准主要内容的依据

本标准是按照GB/T 1.1—2000 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》及GB/T 1.2—2002《标准化工作导则 第2部分：标准中规范性技术要素内容的确定方法》的要求进行编写，结合最新含铀多金属矿石压热浸出试验新工艺、新发展、新成果编制而成。

1. 标准主要内容的确定

**1.标题**

原标准计划名称为《含铀多金属伴生矿压热浸出试验规范》，由于该技术适用于伴生多金属的铀矿石及其选矿后得到的铀精矿矿石，为保证适用范围准确和用词规范，故更名为《含铀多金属矿压热浸出实验规范》。

**2.主要技术内容**

本规范适用于铀矿石及含铀多金属矿压热浸出实验。

主要技术内容包括：

1）铀矿石压热浸出的术语和定义；

2）铀矿石压热浸出技术原理；

3）铀矿石压热浸出试验采用的仪器设备；

4）铀矿石压热浸出的试验内容；

5）铀矿石压热浸出试验的操作条件；

6）铀矿石压热浸出试验的试验步骤；

7）铀矿石压热浸出试验的技术要求；

8）铀矿石压热浸出试验报告编制。

9）参考文件（规范性）、运行过程记录表格（资料性）及其他参考文献等附录。

**3. 技术内容依据**

本草案是按照GB/T 1.1—2000 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》及GB/T 1.2—2002《标准化工作导则 第2部分：标准中规范性技术要素内容的确定方法》的要求进行编写。

该草案主要技术内容的确定依据包括：

1）难浸铀矿石浸出及铁的影响

目前，企业运行过程中铀矿石加工工艺流程是酸法常温常压浸出-带式过滤固液分离-离子交换富集铀-氢氧化钠沉淀铀，铀的回收率可达到90%。对于富含铁元素的难浸铀矿，残余的铀主要集中在三部分：（1）铀矿石中难溶的铀矿物。晶质铀矿呈浸染状分布于磁铁矿矿石、含磁铁矿蛇纹石岩和含磁铁矿硅镁石岩中，有穿插于伴生矿物中、有包裹状态，与含铁矿矿物紧密共生，增加铀的浸出难度，部分铀无法转移到溶液中，留存于浸出渣的铀是放射性固废重要组成部分。（2）离子交换工序中，浸出液中铁与铀竞争。硼铁铀矿浸出过程中，铁矿物也大量溶出，在离子交换工序中，从吸附动力学角度，阴离子交换树脂优先吸附铁的阴离子配合物，但是硫酸铁阴离子配合物与树脂的亲和力小于硫酸铀酰离子的，进而离子交换树脂吸附的铁逐渐被铀取代，直至达到一定程度的平衡，这也是减慢铀的吸附速度的一个重要原因。尽管如此，依据质量作用定律表明饱和树脂上仍有少量的铁不可完全取代，树脂解吸后铀溶液含铁，影响铀的提纯。（3）除铁夹带铀。直接沉淀铀得到的铀产品杂质含量高，为后续铀使用过程带来再次分离提纯的问题，利用溶液中不同金属离子水解形成氢氧化物沉淀的pH值不同，通常采用两步沉淀法分离溶液中的金属离子，即先除铁后沉铀，铁沉淀过程形成氢氧化铁-石膏，其晶型为多孔结构、不规则棱刺，极容易夹带铀，这是放射性固废的重要组成之一。

实验室研究阶段，某难处理铀矿石中主要独立铀矿物是晶质铀矿（UO2），占总铀质量分数94.82%，矿样粒度分布与铀品位分布见表1。晶质铀矿主要是高温条件下从溶液中结晶的产物，形成温度越高，其成分中UO2与UO3的比值越大，还原程度越高，浸出难度越大。晶质铀矿的晶体结构完整，以细小单体填隙、包裹、穿插于其他金属矿物中，增大浸出的复杂性。铀矿石中-210目占总体矿样的比例为5.87%，63.18%的铀存在于该粒度范围内，仍有近40%的铀集中在中粗粒级中，若要降低浸出渣的铀含量，需要进一步破磨减小粒级，把矿石磨细可以破坏分散铀矿矿物的次生致密结构，使铀矿物充分暴露，增加铀矿物的表面积，缩短内控散路程，加速浸出速度。

**表** **1 试验矿样粒度分布与铀品位分布**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 矿石粒度/目 | 矿石产率/% | 铀品位/% | 铀分布率/% | U（Ⅳ）质量分数/％ |
| +65 | 28.03 | 0.022 | 2.95 | 90.91 |
| -65～+140 | 45.02 | 0.04 | 8.61 | 95.00 |
| -140～+180 | 15.73 | 0.159 | 11.96 | 98.11 |
| -180～+210 | 5.35 | 0.52 | 13.30 | 99.04 |
| -210～+250 | 2.30 | 1.15 | 12.67 | 99.48 |
| -250～+300 | 2.33 | 2.11 | 23.54 | 99.48 |
| -300 | 1.23 | 4.57 | 26.97 | 99.37 |
| 合计 | 100 | 0.209 | 100 | 94.82 |

通过开展机械活化-低酸浸出试验，该铀矿石进一步细磨，利用矿物粒度减小，对矿物进行“机械活化”，充分解离铀矿物，矿物在较弱的浸出环境达到较高的浸出效果。与企业运行同等浸出条件下，铀的浸出率可提高约9%，渣品位由原来的170ppm降低至40ppm。该铀矿石中的铀几乎达到完全浸出，但工艺引发新的问题，因矿石细磨，-200目以下的矿石增加，固液分离速度急剧下降，同时，充分解离铀矿物的过程，其它耗酸矿物无差别也得到结构完全破坏，尤其是铁矿物的溶蚀更彻底，浸出液中铁离子溶度由3.96g/L升高到10.90g/L，势必进一增大铀提纯成本和水冶尾渣处置的复杂程度。

综上分析，该铀矿石成分多、赋存状态复杂，若要把放射性核素“彻底”去除，需要采用强化浸出工艺，实现铀最大限度的回收。因为该铀矿石浸出过程废物是放射性固废产生的重要源头，铀铁高效分离又是该铀矿石浸出的关键步骤。因此，提高该铀矿石的铀铁高效分离，是降低放射性核素进一步迁移和扩散的关键步骤，也是保障非铀常规矿产资源开发过程中兼顾环境保护的重要技术支撑。

2）初始硫酸用量

在氧压浸出过程中，酸浓度是非常重要的，浓度大或小都达不到理想的浸出效果，影响整个系统的酸平衡，因为铀铁分离的核心就是温度和酸度的控制。初始加入硫酸的作用分为两方面：一是耗酸矿物的溶解，打通硫酸渗流路径，将共伴生、包裹型的晶质铀矿充分暴露；二是提供晶质铀矿氧化反应的催化驱动介质Fe2+，并非氧气直接作用于晶质铀矿，而是Fe3+将晶质铀矿氧化成六价铀，使不溶的铀矿物转化成可溶性硫酸铀酰离子。酸平衡系统中除初始加入的硫酸，在压热浸出反应也会新生硫酸，铁离子水解释放硫酸和硫化矿转化成硫酸。因此，初始硫酸用量是整个链式反应的关键，适宜的加入量有助于浸铀抑铁。

在反应温度150℃，反应时间5h，氧分压0.45Mpa，液固比1：1，搅拌速度600r/min，初始硫酸浓度分别0（2组）、22.5g/L（2组）、45g/L（4组）、67.5 g/L（2组）、90 g/L（5组）的条件下，研究了不同初始硫酸浓度对反应过程铀浸出率、铁沉淀的影响规律。初始硫酸用量对铀浸出的影响，见图1，初始硫酸浓度抑制铁浸出的影响，见图2。

图 1 初始硫酸量对铀浸出的影响

图 2 初始硫酸量对铁浸出的影响

由上图可知，随着初始硫酸量的递增，反应过程浸出液铀浓度呈递增趋势，不加硫酸时，铀浓度约为2g/L，加入90g/L硫酸，铀浓度升至2.5g/L，总铁浓度基本都在300mg/L以下。与常温常压浸出相比，铀浓度约2g/L，铁浓度3~8g/L，铀浸出率有一定增幅，铁沉淀率达到90%以上。

由以上数据说明，初始硫酸加入量对提高铀浸出率有重要的影响。该铀矿石铀矿物主要晶质铀矿UO2，但在稀硫酸环境难以溶解，但在氧化环境下，得到铀酰离子，进而与硫酸根形成稳定的硫酸铀酰络合物。氧气直接作用过程，依据扩散理论气固反应缓慢，需要提高氧化效率。此时，稀硫酸溶解铁矿物释放出Fe2+离子或Fe3+离子，加速了铀的氧化效率，通过氧气把Fe2+离子氧化成Fe3+离子，溶液中Fe3+离子能迅速氧化UO2。因此，在铁作用为媒介可实现UO2快速反应溶出，该铀矿石还有黄铁矿，在浸出中后期产生的硫酸同样达到初始加入硫酸溶铁的效果。

与此同时，矿石溶出的铁是依据体系酸的不足，而发生水解形成沉淀物，使铁留在浸出渣中，达到浸铀沉铁的目的。初始硫酸量有利于铀的浸出，但硫酸用量过大会影响整个系统的酸平衡，主要是浸出过程中黄铁矿转化后会补充部分硫酸。上述结果看，90g/L以下硫酸是适合浸铀沉铁。

3）反应温度

提高反应温度能有效加快反应速度，缩短反应时间，改良反应动力学环境，可提高矿物浸出率；但温度太高，将增加能耗，同时增加蒸汽压力，加大釜的制做难度。浸出温度升高要受到溶液沸腾温度的限制，尤其是关注溶液的沸点与氧分压之间的关系。在浸出过程中化学反应与温度和压强的关系密切，提高温度和压强则会增大反应速率。在热压条件下温度升高到一定程度，高压釜里的水汽化会影响其填充度的变化，从而影响温度和压力的关系。在实验过程中，高压釜里水的温度和压强的关系曲线如图3所示，通过数据测试水和90g/L H2SO4水溶液的蒸汽压曲线数值相近，试验过程以水蒸气为参考。

图 3 高压釜内水的温度和压强关系

图 4 不同温度对压热浸出的影响（初始硫酸浓度90g/L）

图 5 不同温度对压热浸出的影响（初始硫酸浓度45g/L）

在初始硫酸浓度和45g/L两种浓度对比试验，其他试验条件为反应时间5h，氧分压0.45Mpa，液固比1：1，搅拌速度600r/min，研究了不同温度对反应过程铀浸出率、铁沉淀的影响规律。不同温度对压热浸出的影响（初始硫酸浓度90g/L），见图4，不同温度对压热浸出的影响（初始硫酸浓度45g/L），见图5。

在初始硫酸浓度90g/L条件下，铀浓度和硫酸根浓度随温度的升高而不断增大，当反应温度从105℃上升到165℃时，铀浓度从2.21g/L提升到2.56g/L，硫酸根浓度从101g/L增大到164g/L。硫酸根新增主要是黄铁矿氧化转化而来，因此，铀和硫酸根浓度升高控制步骤都在氧化系统，反应温度的升高，釜内蒸汽压相应增高且是先慢后快的特点，压力升高可提高氧气溶解度，最终可提高浸出过程所需氧化剂浓度。同时，氧化在低浓度的氧化剂反应体系内，热压氧化过程受氧化剂的扩散限制，致使其化学难以完成，降低铀浸出率；相应的增加氧化浓度有利于其扩散的进行，从而使体系内的化学反应完全，达到提高浸出率的目标。反应温度对沉铁有着非常明显的影响，随着反应温度升高，铁浓度呈现下降趋势，由347mg/L下降到21mg/L，正是因为铁形成针铁矿、赤铁矿或铁矾沉淀的反应是吸热反应，温度升高有利于反应进行，使铁沉淀下来。当温度升至165℃时，铁沉淀物出现返溶现象，因为温度升高过程中，黄铁矿的硫在高温浸出过程中易转化为硫酸，打破体系酸度平衡，沉淀的铁部分溶解。因此，矿石中黄铁矿的含量多少严重影响酸、铁控制难度大小。

为确定反应温度对铁沉淀物（针铁矿、赤铁矿、铁矾）的形成类型的影响，进行不同温度铁沉淀试验，低于100℃温度下，尽管溶液中的三价铁离子浓度高、酸度低、经长时间搅拌，自溶液中沉淀的铁量很少，在150℃硫酸铁水溶液中的铁却在短时间内大量沉淀。沉渣的化学成分与草黄铁矾十分接近，由此表明温度升高，增大了草黄矾沉淀动力学速度，有利于铁沉淀形成草黄铁矾。反应温度165℃时，沉淀物类型中赤铁矿占比超过草黄铁矾。由于不同铁沉淀物类型的物理特性也不尽相同，其中铁沉淀物为草黄铁矾具有光滑物理表面，不仅沉淀过程减少吸附夹带，有价金属离子铀损失较少，而且固液分离过程可有效降低浆体的黏度，加快固液分离效率。

综上所述，反应温度对提高铀的浸出具有明显作用，无论是加速氧化反应，还是提高难浸铀矿物，温度升高有助于最大程度浸出铀。反应温度对沉铁过程起到了至关重要的影响，一方面温度的升高提升了沉铁反应效率，使得反应沉铁率上升且使得除铁更为彻底；另一方面，由于不同铁物相热力学稳定区间存在差异，较高反应温度下赤铁矿较易形成且存在更为稳定，而反应温度较低时，草黄铁矾、碱式硫酸铁等亚稳态铁物相优先析出。

4) 氧分压

氧压浸出过程中，氧气是先溶解在溶液中然后才与固体反应物作用的，提高氧压可增加氧气在溶液中的溶解度，同时可以增大氧电极电位，扩大反应之间的电位差，使硫化矿物的氧压浸出更容易进行。

图 6 不同氧分压对压热浸出的影响（初始硫酸浓度90g/L）

图 7 不同氧分压对压热浸出的影响（初始硫酸浓度45g/L）

在初始硫酸浓度和45g/L两种浓度对比试验，其他试验条件为反应时间5h，反应温度150℃，液固比1：1，搅拌速度600r/min，研究了不同氧分压对反应过程铀浸出率、铁沉淀的影响规律。不同氧分压对压热浸出的影响（初始硫酸浓度90g/L），见图6，不同氧分压对压热浸出的影响（初始硫酸浓度45g/L），见图7。

从图6和图7可知，溶液中铁离子浓度充足的情况下，氧分压对铀浸出有一定积极作用，但铁离子浓度不足的情况下，氧分压对铀的浸出有显著，如图所示，初始硫酸浓度为45g/L时，氧分压0.25Mpa上升到0.45Mpa，铀浓度提升65%，而初始硫酸浓度为90g/L时，铀浓度提升仅3%。因此，铀的浸出过程，是由铁浓度和氧分压协同作用。氧分压对沉铁起负面作用，氧分压的增大促使矿石中黄铁矿的转化效率增大，体系中产酸量升高，破坏原有酸平衡系统，不仅不利于铁离子的水解，可能造成已形成的铁沉淀返溶。同时，黄铁矿的溶解释放更多的铁离子进入溶液中。上述数据表明也印证分析过程，随着氧分压的升高，无论哪种初始酸浓度下，硫酸根的浓度和浸出液铁浓度都有不同幅度的升高。因此，根据矿石中黄铁矿选择合适的氧分压大小。此外，如果从固废综合处理考虑，以氧气代替软锰矿作为氧化剂，可避免体系内新引入其他离子，对改善生态环境保护具有重要意义。

5) 反应时间

反应时间主要体现在氧化过程，反应时间越长，氧化越充分，反应进行的越彻底。该铀矿石中主要参与氧化反应是晶质铀矿和黄铁矿。晶质铀矿是目标产物，氧化越充分，铀的浸出率越高。黄铁矿氧化分解成硫酸和铁离子，实时补充硫酸和铀氧化催化媒介铁离子，黄铁矿氧化程度过高，破坏原有酸平衡和也新入更多的铁离子。

图 8 不同反应时间对压热浸出的影响（初始硫酸浓度90g/L）

上图表明，随着时间延长，铀和硫酸根的增长速度都是先快后慢，后期延长浸出时间铀的浸出率变化不大，说明已经达到浸出平衡，而起副作用的硫酸根继续升高。因为浸出工艺之后，通过阴离子交换树脂再次富集铀，此时的硫酸根阴离子会与硫酸铀酰阴离子形成竞争吸附，降低树脂对铀的选择性富集，因此，在硫酸铀酰不水解的前提下，浸出液中硫酸根过多不利于铀的回收。反应时间对沉铁影响不大，溶液中铁浓度基本维持在145mg/L~329mmg/L之间。

**4. 主要试验验证情况**

常温常压浸出工艺：硫酸用量9%（矿重质量比）、软锰矿3%、浸出时间2h、浸出温度30℃、液固比1、酸性洗水浓度5g/L、洗涤两次。

压热氧浸工艺：硫酸用量9%（矿重质量比）、氧分压0.25Mpa、浸出时间5h、浸出温度150℃、液固比1、酸性洗水浓度5g/L、洗涤两次。新工艺与传统工艺的对比试验结果，见表3。

**表****3 验证试验结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 浸出液,g/L | | |  | 制浆洗涤,g/L | |  | 浸出渣 | | |
|  | ρ(U) | ρ(Fe) | ρ(SO42-) |  | 洗水1  ρ(U) | 洗水2  ρ(U) |  | 渣品位  % | | 浸出率% |
| 1 |  | 1.96 | 6.39 | 98.2 |  | 0.519 | 0.060 |  | 0.016 | 90.46 | |
| 2 |  | 2.32 | 0.02 | 128 |  | 0.103 | 0.031 |  | 0.004 | 98.09 | |

1. 标准水平分析

含铀多金属矿压热浸出技术属于铀矿浸出技术范畴，用于处理难浸含铀多金属矿石。通过增加浸出体系压力、采用氧气或空气作为氧化剂、在高于含铀溶液沸点的温度下进行铀的浸出的手段，可以同时在实现铀的有效溶出时并抑制铁等元素溶出，减少浸出液处理和放射性固废处置难度。因此，压热浸出技术对难处理含铀多金属矿开发利用具有极大价值。

目前尚无相应标准对含铀多金属矿石压热浸出试验进行规范，由于含铀的矿产资源开发利用进入高速发展期，对开发过程亟需技术及其试验手段进行规范和推广，特申请制定含铀多金属矿石压热浸出试验规范。国内外目前还没见到有关含铀多金属矿石压热浸出试验规范的相关报道，本标准的制定将弥补这一领域的空白。

1. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与我国的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

1. 重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

1. 涉及专利的有关说明

[1] 王亮，李建华，王立民等，国家知识产权局，一种分离铀铁的浸出方法，ZL202211579827.3；

[2] 王亮，李建华，王立民等，国家知识产权局，一种含铁硼铀混合精矿高效提纯铀的方法，ZL202211579813.1。

以上专利均为标准草案编制主要完成人的职务成果，知识产权归属标准起草单位核工业北京化工冶金研究院，不存在知识产权问题。

1. 贯彻标准的要求和措施建议

压热浸出工艺是一种新的浸出方法，固-液-气三相反应，通常采用较高的温度、压力、氧气浓度等，从难浸的铀矿物中有效地把铀从矿石中反应-转移到液相中。与铀矿冶行业通常的酸法搅拌浸出工艺相比，压热浸出试验的操作条件、试验步骤和技术要求有较大差距，编制本规范目的为规范压热浸出试验的方法、程序，保证试验工作质量。

虽然在编写过程中力求简练、客观、规范、准确地表述标准要求，但仍然难免有不妥甚至错误之处，在反映国内外最新技术方面也可能存在不足，恳请提出宝贵意见，以便修改完善。

1. 废止现有有关标准的建议

本标准不涉及。

1. 预期效果

我国放射性矿产资源种类多，多种有价金属以共（伴）生的形式存在，需要综合回收利用。国务院第二次全国污染源普查，2020年公布了放射性矿开发利用企业名录，涉及15类矿产资源，包括稀土、铌-钽、硼-铁、钼、石煤等。这些放射性矿，大多矿物种类多、结构复杂等，由此导致分离提取难度大，大量有价组分无法回收，严重影响了资源综合利用效率，造成环境污染。

以辽宁凤城硼铁矿为例，该矿床是我国最大的硼、铁、铀共生的多金属矿床，其中铁的经济价值最高，硼和铀是重要的战略性矿产资源。铀的回收率低，由此导致铁精矿等产品存在放射性超标的风险，固废因为含放射性而需要特殊的处置措施。为此，通过技术攻关，采用重-磁联合选矿得到铀精矿，一方面回收了铀，另一方面保证了铁精矿、硼精矿达到相应的产品质量标准。针对选矿得到的铀精矿，需要采用压热浸出工艺才能达到较高的铀回收率。压热浸出工艺，对类似的放射性矿，比如铀钼矿、含铀稀土也具有较好的浸出效果。

根据《关于国家重点研发计划“固废资源化”重点专项2020年度指南项目立项的通知》（国科议程办字〔2020〕21号）文，作为国家重点研发计划“硼镁铁矿资源清洁高效利用与固废源头减量关键技术及示范”项目成果之一，压热浸出技术成功实现抑铁浸铀，降低后续离子交换分离难度，提高铀产品质量。

近年来，中核铀业、中核矿业科技集团公司均把综合矿业作为产业发展方向之一，无论是开发利用国内还是国外的放射性矿产资源，压热浸出工艺都是可供选择的技术方法。

该规范的公布和实施，可规范压热浸出工艺试验，推广应用压热浸出工艺技术，进而推动综合矿业开发。

1. 参考资料清单

[1]GB/T 11848.15 铀矿石浓缩物中铁、钙、镁、钼、钛、钒的测定 原子吸收光谱法

[2]EJ/T 983 铀矿取样规范

[3]EJ/T 1121 [铀矿样品加工和管理技术规范](https://hbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/d3f216b741ab3b31759ff97c470162d6)

[4]EJ/T 1031 [铀矿石密度和湿度测量规程](https://hbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/f86cb2c75f1424f779067e84c40cb78f)

[5]EJ/T956 水的放射性组分检测取样规程

[6]EJ 267.1 铀矿石中铀的测定

[7]EJ/T 20154 铀矿石中硫、总碳、有机碳及无机碳的测定 红外吸收法

[8]Q/CNNC JB 15 地浸采铀岩矿实验室浸出试验规范

十一、其他应予说明的事项

无。