

标准制修订编制说明

(初稿)

标准名称：金属矿山充填体真三轴力学性能测定方法

标准编号：

标准级别：团体标准

制定或修订：制定

计划号：GRMP-2025-46

起止时间：

负责起草单位：山东黄金矿业科技有限公司

《金属矿山充填体真三轴力学性能测定方法》团体标准

编制说明

一、工作简况

1.任务来源

本标准由中关村绿色矿山产业联盟于 2025 年 7 月正式列入团体标准制修订工作计划（项目编号：GRMP-2025-46），计划于 2025 年 12 月完成。旨在填补金属矿山充填体力学性能测试领域，特别是复杂应力状态（真三轴）下测试方法标准的空白。

2.起草单位、参编单位

起草单位：山东黄金矿业科技有限公司。

参编单位：东北大学、北京科技大学、中南大学、山东黄金矿业（莱州）有限公司焦家金矿、山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿。

3.主要起草人

本标准主要起草人为李广波（山东黄金矿业科技有限公司，项目牵头人，负责标准框架设计、核心技术指标确定及统稿）、寇云鹏（山东黄金矿业科技有限公司，负责真三轴试验原理验证与数据分析方法）、李正伟（东北大学，负责试验设备技术要求与操作规范）、沈自军、孙铭骏（焦家金矿、三山岛金矿，负责矿山现场需求对接与工业验证方案）。其他起草人（朱庚杰、梁伟章、吴再海、杨纪光、盛宇航、王鹏涛、杨柳）分别承担了资料调研、实验方案设计、关键技术参数验证、标准条文起草、意见汇总处理等具体工作。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

充填采矿法是保障金属矿山安全高效开采、实现固废资源化利用和绿色矿山建设的关键技术。充填体作为采场重要的承载结构，其力学性能（强度、变形特性）直接关系到采场稳定性、矿柱回采安全及地表沉降控制。传统的单轴或常规三轴（假三轴）压缩试验难以真实反映充填体在地下复杂三维应力状态下的力学响应，导致强度参数取值偏差，影响工程设计的安全性和经济性。目前国内外尚无统一的金属矿山充填体真三轴力学性能测定方法标准，不同研究机构或矿山企业的测试结果因设备、方法、参数定义不统一而缺乏可比性，严重制约了精准设计、安全评估与技术交流。本标准的制定，旨在规范真三轴力学性能测试的设备、试样制备、加载程序、数据采集与分析全过程，为矿山设计、安全评价、科学研究提供准确可靠的技术依据，推动充填采矿技术进步和行业规范化发展。

三、主要起草过程

1. 立项筹备与资料收集（2025 年 7 月）

组建标准编制组，系统调研国内外充填体力学测试标准、学术文献及矿山企业实践经验，重点分析真三轴测试技术现状与难点。

2. 草案拟定与实验论证（2025 年 8 月）

基于调研成果和编制组前期研究基础，起草标准初稿。依托起草单位实验室，针对典型金属矿山尾砂胶结充填体（如焦家金矿、三山岛金矿、玉龙矿业等），开展多因素（灰砂比 1:4, 1:8, 1:10；浓度 66%, 70%, 74%；养护龄期 3d, 7d, 28d）的真三轴力学试验，验

证测试方法的可行性与关键参数（如试样尺寸效应、加载速率、边界条件）的合理性，积累原始数据支撑指标设定。

3.征求意见稿形成与意见征集（2025 年 9 月）

汇总实验数据和专家意见，修改完善标准文本，形成《金属矿山充填体真三轴力学性能测定方法（征求意见稿）》及其编制说明。预计向 30 家单位发出征求意见函，涵盖大型矿业集团（如中金、紫金、马钢等）、设计研究院所、高等院校及设备供应商。收到 XX 家单位反馈，共收集意见 XX 条（技术类 XX 条，文字表述类 XX 条）。

4.意见处理与送审稿形成（2025 年 10 月）

编制组逐条分析反馈意见，采纳或部分采纳合理意见 XX 条，未采纳意见均进行详细说明并与提出单位沟通达成共识。据此修改完善标准文本及编制说明，形成《金属矿山充填体真三轴力学性能测定方法（送审稿）》。

5.技术审查（2025 年 11 月）

中关村绿色矿山产业联盟组织 XX 位专家组成审查委员会对送审稿进行会议审查。审查认为标准技术内容科学合理、可操作性强，填补了行业空白，一致同意通过审查。

6.报批稿形成与批准发布（2025 年 12 月）

根据审查意见进行最终修改完善，形成《金属矿山充填体真三轴力学性能测定方法（报批稿）》，并于 2025 年 12 月经中关村绿色矿山产业联盟批准发布（标准号：T/GRM 00X—2025）。

四、制定（修订）标准的原则和依据

按照 GB/T 1.1—2020 规定，本标准制定过程遵循以下基本原则：

1.科学性原则

以岩石力学、土力学基础理论为指导，紧密结合充填体材料特性（粘弹塑性、非均质性），确保测试方法能真实反映其在三维应力状态下的力学行为。

2.实用性原则

充分考虑实验室条件和矿山工程应用需求，在保证数据准确可靠的前提下，力求方法步骤清晰、操作可行、设备要求合理。

3.先进性原则

吸收国内外真三轴测试技术的最新研究成果和经验，技术指标对标或优于国际先进水平。

4.一致性原则

与现行国家、行业相关基础标准保持一致（如 GB/T 50266《工程岩体试验方法标准》、GB/T 50123《土工试验方法标准》中关于试样制备、数据记录等通用要求）。

5.依据

主要依据编制组长期科研积累、大规模验证试验数据、国内外相关标准文献（ISO 23469，ASTM D7012 等）、广泛征集的行业意见及专家审查结论。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准符合《中华人民共和国矿产资源法》、《中华人民共和国安全生产法》等法律法规中关于矿山安全生产、资源综合利用和环境保护的要求。

本标准与 GB/T 50266《工程岩体试验方法标准》、GB/T 50123《土工试验方法标准》等基础试验方法标准在通用技术要求（如仪器校验、数据处理原则）上协调一致。本标准是这些通用要求在金属矿山胶结充填体真三轴力学性能测试这一特定领域的细化和补充，具有专业性和针对性。

本标准与充填材料配比设计、充填体质量检测等相关标准配套使用，共同构成金属矿山充填技术标准体系的重要组成部分。

本标准是新制定的标准，不替代或废止任何现行有效标准。

六、标准主要内容说明

1. 核心技术指标与参数说明

试样制备：规定标准试样为 50mm×50mm×100mm 标准长方体（依据设备能力选择），原料（尾砂、胶凝材料、水）性质、配比（灰砂比、浓度）及养护条件（温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\geq 90\%$ ，龄期）需严格记录。该尺寸基于代表性体积单元分析及对比实验，能较好反映材料宏观力学特性，同时兼顾设备加载能力与试样均匀性需求。养护条件依据水泥水化反应动力学及矿山常用标准确定。

试验设备：明确真三轴试验机基本要求（三向独立加载，最大荷载能力满足预期强度，刚性承压板，高精度力与位移传感器）。围压

控制系统误差 $\leq \pm 0.5\text{MPa}$ ，静态测试精度 $\leq \pm 1\%\text{FS}$ 。参数依据典型充填体强度范围（单轴抗压强度 $0.5\text{-}10\text{MPa}$ ）及应力路径控制精度需求设定。

加载方案：规定常用应力路径（常量侧压加载、比例加载）及加载速率。该速率范围基于材料应变率敏感性试验，确保准静态破坏过程，避免动态效应干扰。

性能参数定义与计算：明确定义峰值强度、残余强度、弹性模量（割线模量、切线模量）、泊松比、强度准则参数（如 **Drucker-Prager** 准则、**Hoek-Brown** 准则参数）的计算方法。峰值强度和变形模量依据应力-应变曲线特征点确定，强度准则参数通过多组不同侧压试验数据拟合获得。验证试验表明，该方法获得的参数用于数值模拟能更准确预测采场稳定性（对比现场监测数据拟合度提升约 10% ）。

2.主要试验验证分析

通过对山东黄金集团有限公司下属的 20 余个矿山的充填料进行现场取料，在山东黄金集团有限公司、东北大学等多个地点按本标准方法制备不同配比试块进行真三轴试验，为矿山充填系统设计施工提供了理论依据和技术支撑。结果表明，真三轴强度显著高于单轴强度且与侧压呈非线性增长（如某灰砂比 1:8 试块，单轴强度 1.8MPa ，双侧压 1.0MPa 时峰值强度达 4.2MPa ）。相同配比下，强度随浓度提高（ $65\%\rightarrow 72\%$ ）平均提升约 25% ，随灰砂比增大（ $1:10\rightarrow 1:4$ ）提升约 150% 。试验数据离散性（变异系数）控制在 15% 以内，满足工程精度要求。

技术经济论证与预期效果：采用本标准提供的真三轴强度参数进行充填体强度设计，相比沿用单轴强度参数或经验系数法，可更精确匹配实际应力状态，保守估计可使充填体设计强度优化约 5%，在保障同等安全系数前提下，有望降低胶凝材料耗量 5-10%。按大型地下矿山年充填量百万立方米计，年节约成本可达数百万元。同时，准确的强度参数有助于提升采场稳定性和回采效率，减少支护成本和贫化损失，综合经济效益显著。

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

暂无。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

本标准在制定过程中参考了国际岩石力学学会（ISRM）关于岩石力学试验的建议方法、ISO 23469：2005《岩土工程设计与验证的地下结构用胶结材料》中有关强度测试的理念，以及美国材料与试验协会标准 ASTM D7012《岩石抗压强度及弹性模量的标准试验方法》中关于刚性试验机和数据采集的要求。

鉴于国际上尚无专门针对金属矿山充填体真三轴力学试验的完整标准，本标准在试样制备（结合矿山固废特性）、加载路径选择（侧重工程实用应力状态）、强度参数定义（考虑充填体峰后特性）等方面具有创新性。核心技术水平（如测试精度、参数体系完备性）与参考的国际先进标准相当，在适用对象专一性方面更具优势。

九、贯彻标准的措施建议

1.组织措施

建议中关村绿色矿山产业联盟牵头组织标准宣贯培训会，面向矿山企业、设计院、科研院所技术人员详细解读标准条文和操作要点。

鼓励大型矿业集团率先在其内部实验室或质检中心配置或升级真三轴试验设备，建立标准化的测试流程。

支持行业协会将本标准纳入相关技术培训、职业技能鉴定考核内容。

2.技术措施

编制并发布与本标准配套的《操作指南》或《实施细则》，提供详细的图文操作步骤、数据处理模板和常见问题解答。

推动相关试验设备制造商开发、优化符合本标准要求的真三轴试验系统，提升用户体验和兼容性。

建议在有条件的矿山或科研机构建立标准验证实验室，提供测试服务和结果比对。

将基于本标准的真三轴力学参数纳入矿山充填体设计规范、安全规程的修订内容。

十、其他应予说明的事项

本标准主要针对胶结尾砂充填体（浆体或膏体），对于其他类型充填体（如块石胶结充填、骨料变化大者），应用本标准时需特别注意其适用性，并在试验报告中明确说明材料特性差异。

本标准实施初期，鼓励各应用单位在严格执行标准的同时，积累不同矿种、不同配比、不同养护条件的真三轴试验数据库，为未来标准的修订完善及建立更精细化的强度预测模型奠定基础。

暂无废止现行有关团体标准的建议。本标准将与现有充填材料制备、单轴/常规三轴测试等标准并行，共同服务于矿山充填工程全链条质量控制。未来可视技术发展和行业需求，考虑整合形成更系统的充填体力学性能测试标准体系。