《有色金属矿山废弃地生态修复效果评估技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

《有色金属矿山废弃地生态修复效果评估技术规范》

编制组

2024年4月

目　录

1 项目背景.....1
1.1 任务来源.....1
1.2 工作分工及过程.....1
2 标准编制的必要性分析.....2
3 国内外相关标准概况.....3
4 编制原则.....4
5 主要内容.....5
5.1 适用范围.....5
5.2 工作程序和要点.....5
5.3 评价指标体系说明.....6
5.4 评估指标数据获取.....7
5.5 生态修复效果评估分数计算.....9
6 以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因.....10
7 与有关法律、行政法规及相关标准的关系.....10
8 重大分歧意见的处理经过和依据.....10
9 涉及专利的有关说明.....11

1 项目背景

1.1 任务来源

为深入贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《矿山地质环境保护规定》以及党中央、自然资源部关于加强有色金属矿山环境修复工作的指示，我们必须把有色金属矿山生态修复效果的评估纳入矿山环境管理框架中。随着生态修复技术的日益成熟，其发挥的生态修复效果逐渐显现，为我国有色金属矿山废弃地的可持续发展开辟了新的技术方法，使矿山生态修复研究工作走上科学化、规范化轨道，提高了生态修复质量和成效。这也对有色金属矿山废弃地的生态修复及其效果评估提出了更高的要求。

中山大学联合中国科学院地球化学研究所等 10 家单位承担的国家重点研发计划项目“有色金属采选冶聚集区遗留污染场地生物修复技术（2020YFC1807600，执行期：2020 年 11 月至 2024 年 10 月，项目总经费 4576 万元）”，项目聚焦我国有色金属采选冶聚集区遗留复合污染场地，研发绿色、快速、高效的生态恢复成套技术。

为了进一步将项目研究成果和重要发现进行挖掘、转化，结合项目任务和有色金属矿山废弃地生态环境管理需求，提出编制本技术规范，为有色金属矿山废弃地生态修复效果评估指标和方法提供规范性指导。

1.2 工作分工及过程

1.2.1 工作分工

中山大学环境科学与工程学院主要负责技术研究、文本编写；华南农业大学、中国地质大学（北京）负责前期调研和收集规范编制所需基础资料。桂润环境科技股份有限公司、江苏大地益源环境修复有限公司负责技术支持、指标验证。

1.2.2 工作过程

2023 年 9 月，中山大学联合中国科学院地球化学研究所等 10 家单位承担的国家重点研发计划项目“有色金属采选冶聚集区遗留污染场地生物修复技术（2020YFC1807600）负责人提出《有色金属矿山废弃地生态修复效果评估技术规范》编制工作，由中华环保联合会归口；

2023 年 10 月中山大学、华南农业大学、桂润环境科技股份有限公司、江苏大地益源环境修复有限公司、中国地质大学（北京）等有关单位及人员成立编制组。对国内外相关标准进行调研，分析了美国、加拿大、英国、日本等发达国家污染场地管理和敏感受体保护等方面的研究进展，明确了标准目标定位和主要内容，制定了工作技术路线和体系框架；

2023 年 11 月，编制组制定规范框架，先后经过 10 余次项目组内部讨论和修改，然后通过线上、线下方式邀请多位行业专家和标准编制专家，进行多次专家论证，于 2023 年 11 月形成立项初稿；由中华环保联合会组织召开团体标准立项会，专家组一致同意标准通过立项评审。由中山大学环境科学与工程学院组织开展标准草案编制工作。

2023 年 12 月，召开内部专家会议，对专家意见进行整理完善标准文本。

2024 年 5 月形成征求意见稿并广泛征求意见。

2 标准编制的必要性分析

有色金属采选冶炼过程会产生大量的废弃物和废水，这些废弃物和废水含有有毒有害物质，如重金属、选冶有机物等，对环境造成严重污染。制定生态修复评价技术规范能够确保在有色金属矿山废弃地修复过程中，充分考虑环境保护和生态恢复，减少环境污染，改善生态环境。

有色金属矿山废弃地通常地质、地貌、水文等特征都会发生较大变化，修复过程涉及土壤改良、植被恢复、水体治理等多个方面。技术规范的制定可以提供明确的修复目标、方法和指导，确保修复过程科学、系统、高效进行。生态修复不仅仅是为了环境的短期恢复，更重要的是实现区域的可持续发展。

有色金属矿山废弃地通常位于资源丰富的地区，通过合理的生态修复，可以

实现资源的再利用和经济的可持续发展。制定技术规范可以为相关部门提供科学的评价方法和标准，以便监管部门能够更加准确地评估修复效果，做出科学决策。同时，相关企业也可以根据规范要求，制定合适的修复计划，确保达到环境保护和生态恢复的要求。

3 国内外相关标准概况

国内外相关情况简要说明（包括 1、本标准与现行的国际、国家、行业、地方以及其他团体标准的关系；2、国内外本技术领域技术发展情况；3、本标准对国际标准或国外先进标准的采用情况，本标准的先进性、涉及专利情况）：

通过查阅相关文献以及欧盟、美国等官方网站报道如欧盟环保署（EEA）、美国环保署（EPA）以及美国矿业安全与健康管理局（MSHA）发现，目前国外对矿山生态修复以及修复后效果评估相关的标准与技术规范还较少，现行标准主要关注采矿废弃物的管理。比如，欧盟相继于 2001 年 10 月颁布《采矿、采石和矿石加工废物的管理》（BRGM/RP-50319-FR），于 2006 年 12 月发布了《食品中某些污染物的最高浓度限值》（EC1881/2006），于 2012 年 4 月发布了《检查和修复采矿废物设施的最佳可行技术参考文件准则》，于 2020 年 8 月颁布《全球尾矿管理行业标准》。美国环保署（EPA）相继于 1994 年 8 月发布了《尾矿坝设计与评价》技术报告，于 2000 年 8 月发布了《废弃矿场特征及清理手册》，于 2003 年 4 月出台《矿物和资源提取过程中辐射污染的潜在可能性》指南，于 2017 年 7 月发布《防止突发的流体采矿废物释放的最佳做法》，于 2020 年 8 月发布《实施综合补救措施响应行动时防止废弃矿场蓄水池泄漏的最佳做法》。于 2022 年发布表面《矿山控制和再生法案》。基于我国目前社会经济发展需求，以及矿业有关部门的大力发展，我国矿区生态修复技术与规范也在不断完善中，并且目前已制定了一系列与矿区生态控制工程建设相关的若干标准和技术导则。其中，主要现行标准及制度为《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）、《建设项目竣工环境保护验收技术规范生态影响类》（HJ/T 394-2007）和《环境监理工作制度（试行）》（环监[1996]888 号），地方标准如：《铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和修复效果评估技术规范》（DB 45/T 2426-2021）、江苏省地方标准《矿山生态修复工程技术规程 第 3 部分：施工与监理》（DB 32/T

4077.3-2021）等，团体标准如：《离子型稀土矿区废弃地增值利用与效益评估技术规范》（T/CI 018-2022）、《干旱半干旱煤矿区微生物复垦效益评价方法》（T/GRM 2017-2021）。上述制度或技术规范可以借鉴应用在有色金属矿山废弃地的生态修复效果评价中。

在上述相关技术规范与标准等文件的指引下，本规范制定了基于有色金属矿山废弃地生态修复项目修复效果的评价指标体系、评价方法以及评价标准。本规范旨在为有色金属矿山废弃地生态修复工程质量保证、全过程管控、可持续发展以及改善矿山生态提供依据和指导。与现行标准相比，本标准有如下优点：（1）本标准研究工作基于广东省韶关市翁源县大宝山新山片区民采区的一片采矿废弃地进行实地调查，比选示范验证场地；（2）综合考虑了生态修复技术的安全性评估与适用性评估，通过参考现行标准制定了如重金属淋出消减率、场地植被覆盖度等有效指标，并各自赋予不同权重；（3）重点关注有色金属矿山废弃的土壤环境、生态环境、地质环境，如土壤理化性质、物种多样性、水土保持能力等二级指标；（4）结合生态系统服务评价废弃地生态修复效果，如土壤净化能力、土壤碳固存、侵蚀控制能力。本规范结合有色金属矿山废弃地生态修复工程方案、将生态修复效果评价与修复技术、场地可持续发展等过程有机结合起来。

综上所述，国内外目前并无针对有色金属矿山废弃地生态修复效果的相关评价技术规范与标准，为有效针对有色金属矿山废弃地生态修复进行项目修复效评价工作，保证场地可持续发展，提高矿山生态修复工程建设效果，亟需编制有色金属矿山废弃地生态修复效果评价技术规范。

4 编制原则

《有色金属矿山废弃地生态修复效果评估技术规范》的制订基本原则：

一是符合法律法规。标准应符合国家相关法律、法规、规章和标准的有关规定；

二是与国家和地方规划相衔接。与国家和当地总体发展规划、国土空间规划和生态环境保护专项规划等规划相衔接；

三是问题导向。充分考虑我国在有色金属重点行业企业用地管理、矿山风险管控和修复、人居环境建设等方面的现实问题，提出协同管控的问题解决思路。

四是科学合理。充分利用国家和地方已有的矿业生态修复状况调查成果、自然地理数据、土地利用现状数据等，科学划定协同管控单元，确定管控对象，采取合理生态修复评估技术规范。

5 主要内容

5.1 适用范围

本标准明确了有色金属矿山废弃地生态修复效果评价指标体系的构建、评价方法及评价结果的确定，确立了有色金属矿山废弃地生态修复效果的评估技术规范。

本标准适用于有色金属矿山废弃地的生态修复工程建设与管理。

5.2 工作程序和要点

有色金属矿山废弃地生态修复效果评估规范，生态修复效果评估启动、评估指标体系构建、评估指标数据、生态修复效果评估四个步骤实施。

（1）生态修复效果评估启动

明确地块类型，形成矿山生态修复效果评估工作小组。

（2）评估指标体系构建

首先明确评估工作的目标层、准则层与指标层形成初步指标结构；其次根据矿山评估目标确定量化评估指标；最后根据实际情况应用不同评估方法进行评估

（3）评估指标数据获取

首先通过社会经济数据、自然地理数据等资料获取完成基础数据搜集；接着对场地的污染状况与生态状况进行现场调查；对采样数据以及测量数据进行汇总并分析，部分数据需通过计算最终得出评估结果。

（4）生态修复效果评估

首先对不同分类的指标进行归一化；接着通过已选定得评估方法对指标赋权；最后根据生态修复效果评价指数分级综合打分。

5.3 评价指标体系说明

评价指标体系的构建应以恢复生态学、相关推荐的国标、地方标准、行业标准为依据与基础，结合有色金属矿山废弃地的特点与研究场地的实地情况，构建具有科学性、可操作性的有色金属矿山生态修复效果评价指标体系。

（1）构建原则

有色金属矿山废弃地生态修复效果评估，应对聚集区的土壤、生态环境状况是否达到修复目标、重金属管控是否达到规定要求、生态恢复效果是否达到可接受水平等情况进行科学、系统地评估，提出后续环境监管建议，为有色金属矿山生态环境管理提供依据，所建立的评价指标应依据如下原则：

规范性原则：采用程序化和系统化方式规范有色金属矿山废弃地生态修复效果评估工作，保证生态修复效果评估过程的科学性和客观性。

针对性原则：围绕有色金属矿山废弃地生态修复技术特点和生态修复目标，选取有针对性的生态修复评估指标，开展生态修复效果评估工作。

系统性原则：在评估过程中，需要考虑到环境、生态、社会三方面的综合效益，正确反映影响因素的相互关系，保证各指标间的协调与统一，使评估系统成为一个有机的整体。

（2）指标选取方法

专家调查法（德尔菲法）：根据生态修复的专业需求，确定涵盖必要知识领域的专家人选。专家小组人数应不少于 5 人。向专家小组成员详细阐述修复目标及相关要求，收集专家的书面答复。每位专家需明确说明其意见的选择理由与依据，确保意见具有可追溯性。将首次收集到的专家意见汇总，制作对比图表供全体专家参考。专家据此进行第一次意见修订，在整理他人评论的基础上调整看法。重复此过程，直至每位专家意见稳定，确定评估指标体系。

公众参与法：明确公众参与指标选取的目的，如提升指标的公众认同度、确保指标反映公众需求等；根据项目性质、影响范围和资源条件，确定公众参与的地域范围、人群类型和规模；选择适当的公众参与方式，如问卷调查、公众听证会、在线讨论、社区会议等。设计符合公众理解能力、反映指标选取关键问题的问卷或议题；通过线上线下相结合的方式，广泛征集公众对指标选取的意见和建

议；对公众提交的意见进行收集、整理和归类，形成公众意见数据库。对问卷调查数据进行统计分析，揭示公众对各项指标的支持度、重要性等量化信息；对公众提交的文字意见进行内容分析，提炼公众对指标选取的深层关切和期待；结合定量和定性分析结果，形成公众对指标选取的整体意见和建议。根据公众意见，对候选指标进行筛选，剔除不符合公众需求或得不到公众支持的指标；对保留的指标进行调整，如修改指标定义、计算方法等，使之更好地反映公众需求；根据公众对各项指标的重要性排序和权重建议，确定最终的指标体系。

利益相关者分析法：列出所有可能与指标设定相关的个人、群体或组织，如管理层、员工、客户、供应商、投资者、监管机构、社区等；之后根据他们在指标设定过程中的影响力、依赖度、关注程度等因素，筛选出对指标设定有直接影响的关键利益相关者。通过面对面访谈、问卷调查、文献研究等方式，深入了解关键利益相关者的利益诉求、关注点和期望；根据利益相关者对指标设定的影响程度和其利益诉求的重要性，绘制利益矩阵，识别关键利益诉求。从利益诉求中提取与指标设定直接相关的要素，如数据可获得性、指标可比性、指标公正性等；之后，为每个关键利益诉求设定具体的指标要求，如数据来源需公开透明、指标计算方法需经过第三方验证等。

（3）指标体系构建

评估工作中应选取所有必选指标，依据实际工作情况筛选可选指标。对候选指标进行整合，避免重复或冲突，确保指标体系的简洁性和有效性；邀请利益相关者代表、行业专家等对整合后的指标体系进行评审，提供反馈意见。

5.4 评估指标数据获取

（1）指标来源及测定方法

本规范指标的来源与测定方法基于国家、地方、行业标准，部分生态效益部分核算由于无相关标准，故参考国内外相关研究。

（2）评估指标数据获取

指标数据获取类型可分为，现场采样获得、实验室分析获得、计算后获得。根据标准中要求获取指标数据以进行评估。

（3）生态效益指标计算方法

单位生态修复固碳价值：生态系统固碳是指通过生物和生物地球化学过程，将大气中的二氧化碳（CO_2）转化为有机碳，并将其储存在植被、土壤和水体等生物圈组成部分中的过程。生态系统固碳是地球生态系统对抗气候变化的重要机制之一，对于调节大气中的 CO_2 浓度、减缓全球气候变暖具有重要意义。计算矿区废弃地生态修复固碳价值时，应先测定矿区固碳总量即地上部分植物生物量与地下部分土壤总碳相加，与实时碳市场碳价相乘即为矿区废弃地生态修复固碳价值。

工程回报通过某项工程或项目所获得的经济效益或收益，通常以货币形式来衡量。在矿山环境管理中，工程回报可以通过降低矿山环保税表征。矿山环保税是指矿山在生产过程中排放污染物、处理废水和废气等环境污染物所需的费用。这些费用可能包括污水处理设施的建设和运营成本、废气排放控制设施的建设和维护成本、环境监测和排污许可证的申请和维护费用等。

矿山废弃地生态修复投资回报率是指通过对矿山废弃地进行生态修复所获得的经济回报与投资成本之间的比率。这一指标用于评估矿山废弃地生态修复项目的经济可行性和投资效益。

建设用地价值是指土地在建设、开发或改造中所具有的经济价值，是土地的一种重要经济属性。在矿山废弃地生态修复过程中，通过恢复土地的生态功能和生态服务，可能会增加土地的建设用地价值，从而影响投资回报率。

建设用地价值评估采用市场价格法和影子工程法，基于生态修复土地覆盖时空演化与环境优化分析的各类城市建设用地增值评估，采用直接市场法和基准地价系数修正法计算生态修复后建设用地增长值，建设用地的土地价值需经地价指数平减。

矿山废弃地生态修复的科学研究价值体现在推动生态系统恢复机制的研究、生物多样性的恢复与保护、土壤改良和植被重建、碳储存与固定、水资源保护与管理等方面，为生态修复领域的科学研究和技术创新提供重要支持和推动。

衡量矿山废弃地的科学研究价值如学术论文数量、科研成果转化和应用、技术创新和突破等方面进行综合评估，以年计次。

矿山废弃地生态修复项目具有重要的教育价值，可以通过开展环境教育、生态系统教育、可持续发展教育、社会责任教育和跨学科教育等方式，为学生提供

生动的教学案例和实践机会，培养学生的环境意识、社会责任感和综合能力。

目前有许多高校开展产学研合作，高校依托矿山的野外场地进行实地考察教学，其背后产生许多生态教育意义。进行矿山废弃地生态修复后教育价值评估可以利用矿山年度开展教育工作次数核算。

生物多样性是生态系统稳定性和功能的基础，对于维持地球生态系统的健康和稳定起着至关重要的作用。矿山生物多样性指的是在矿山区域内存在的各种生物种类及其数量的总和。进行矿山生态修复生物多样性评估往往有以下步骤：生物调查和监测，进行生物多样性调查和监测，包括野生动植物、微生物等不同生物群体的种类和数量。记录生物物种的丰富度、数量、分布情况以及不同物种之间的相互关系；物种清单编制，建立矿山废弃地生物多样性的物种清单，包括记录所有已确认的生物物种信息，对已记录的生物物种进行分类和标识，包括野生动植物、微生物等；物种丰富度评估，使用香农指数（生物多样性指数）评估矿山废弃地区域内的物种丰富度，即不同物种的数量和多样性水平。

5.5 生态修复效果评估分数计算

（1）指标归一化

将待归一化指标分为：有限定值指标，即在其他相关标准中有对该指标进行限值规定与分级标准进行归一化；无限定指标，按照数据集中的最大与最小值进行归一化处理；特殊限定值指标如重金属全量依照《GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》、《GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》超过标准中管制值时该指标得分为 0。

（2）赋权方法确定

层次分析法：一种决策分析方法，由美国运筹学家 Thomas L. Saaty 在 20 世纪 70 年代初期提出。这种方法通过将复杂的决策问题分解为更小、更易于分析的部分，然后逐层进行比较后，综合得出决策的优先级。在一些矿山遗留场地、矿山边坡可应用该方法进行生态评价。在矿山废弃地应用层次分析法可以拆解矿山生态这一复杂系统，形成更容易评估的准则层与指标层。

灰色关联度法：该方法基于灰色系统理论，处理包含不确定信息的数据。通过构建灰色关联分析模型，对系统中已知和未知信息进行综合评估，适用于处理

不完全信息的决策问题。然而，当应用于复杂系统时，该方法可能导致评估结果的不精确。在评估指标维度较少时，灰色关联度法较适合。

综合指数法：是一种综合定量比较方法，又可称作多目标决策方法。 它可以将定性比较转化为定量比较，即将不同的计量单位转化为统一的计量单位或无量纲单位，然后将多目标转化为综合的单目标，再据其数值加以综合评价。该法可以将问题简单化，故也应用这一方法对遗留场地进行评价研究。但该法在应用时一些绝对值较小的数据会在计量单位转换时被覆盖，从而导致这部分数据被覆盖。矿山生态修复效果评估工作中指标众多，为保证指标的有效性该法不适用。

模糊评价法：模糊评价法利用模糊数学的原理，将定性评价转化为定量分析，适用于处理评价指标模糊不清的情况。但在矿山生态修复效果评估中，各指标如重金属含量限制，土壤酸碱度限制都有明确标准规定，故在本研究工作中该法并不适用。

（3）生态修复效果评价打分

经上述归一化与赋权确定生态修复效果评估指数，最终根据生态修复效果评估分级标准得出生态修复效果评估结果。

6 以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

未采用国际标准。

7 与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准修订的编制是依据现行的法律、法规和国家强制性标准，与这些文件中的规定不存在矛盾，协调一致。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编制过程中尚未出现重大的意见分歧。

9 涉及专利的有关说明

未涉及相关专利。