

附件 5

《赤泥利用污染控制技术规范
(征求意见稿)》
编制说明

《赤泥利用污染控制技术规范》编制组

2024 年 11 月

目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 标准制订必要性分析.....	3
3 标准制订的原则和技术路线.....	3
3.1 标准制订的基本原则.....	3
3.2 标准制定的技术路线.....	4
4 国内外相关标准情况.....	5
4.1 国外标准情况.....	5
4.2 国内标准情况.....	6
5 标准主要技术内容.....	7
5.1 标准内容框架.....	7
5.2 适用范围.....	7
5.3 规范性引用文件.....	8
5.4 关于术语和定义.....	8
5.5 总体要求.....	8
5.6 赤泥利用的污染控制要求.....	10
5.7 污染物监测要求.....	12
5.8 环境管理要求.....	12
6 制订标准后的经济和环境效益分析.....	13
6.1 经济效益分析.....	13
6.2 环境效益分析.....	13

1 项目背景

1.1 任务来源

随着我国生态文明建设和环境保护事业推进,大宗工业固体废物的资源化利用引起高度重视,赤泥是资源化利用较为困难的大宗工业固体废物之一。赤泥是以铝土矿为原料生产氧化铝过程中产生的强碱性固体废物。2023年,我国赤泥新增产量超过1亿吨,综合利用率占9.8%,为历年最高利用水平。赤泥具有碱性强、颗粒细、含铁高,含水量多、水稳性差等特点,资源化利用困难,是全球铝行业公认的环境难题之一。

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称《固废法》)等法律法规,防治环境污染,改善生态环境质量,适应国家生态环境保护管理工作需要,进一步完善国家环境技术管理体系,规范赤泥利用过程中的污染控制以及监测和生态环境管理,根据《国家生态环境标准制修订工作规则》(国环法规〔2020〕4号)有关规定,生态环境部固体废物与化学品司(以下简称“固体司”)于2021年将《赤泥利用污染控制技术规范》编制研究列入工作计划,委托中国环境科学研究院固体废物污染控制技术研究所(以下简称“固体所”)负责开展标准编制的研究工作。

1.2 工作过程

在接到技术规范编制研究任务后,固体所认真总结已有工作基础,围绕赤泥污染特性与利用技术评估,先后开展了大量实地调研和文献资料查阅、实验室模拟研究与赤泥利用示范工程的环境风险评估等工作。在上述工作基础上,成立标准编制组,讨论标准制订技术路线,起草标准文本,经多次讨论咨询与修改完善,形成标准征求意见稿与编制说明。主要工作过程如下:

(1) 2021年1-6月前期基础工作梳理:固体所已开展的赤泥产生特性与污染特性自监测数据、文献数据、赤泥道路利用工程案例的环境风险评估报告、其他固体废物特定场景利用的风险评价报告;调研了国际铝协会开展的赤泥污染特性研究报告、赤泥水泥生产利用示范等相关数据等。山东海逸生态环境保护有限公司提供了拜耳法赤泥、烧结法赤泥、联合法赤泥不同理化特点与利用实践,赤泥道路利用示范工程实地监测数据。

(2) 2021年7月-2023年12月赤泥产生与利用情况调研:先后多次到我国氧化铝生产大省山东、广西、贵州等地调研赤泥产生、堆存与资源化利用情况,调研企业包括中国铝业股份有限公司山东分公司、茌平信发华宇氧化铝有限公司、滨州北海魏桥氧化铝、山东东海龙口氧化铝有限公司、河北文丰新材料有限公司、中国铝业股份有限公司广西分公司、靖西天桂铝业有限公司、广西华银铝业有限公司、广西华晟新材料有限公司等赤泥产生企业的资源化利用实践,还有山东海逸生态环境保护有限公司、山东淄博天之润生态科技有限公司、广西华众建材有限公司、广西东懋再生资源有限公司、贵州元动力生物科技有限公司、北京

科技大学等在道路材料、回填材料、充填材料、制砖、水泥、选铁、土壤化等领域的利用实践；中铝环保节能集团有限公司协助在中铝集团内部开展问卷调查，收集赤泥利用技术与推广不利原因分析。

(3) 2022年1-12月国内外相关标准制修订情况调研。总结国内与赤泥相关的环境管理要求，梳理现有环境管理标准体系中相关要求对于赤泥的元素回收、水泥窑协同处置、道路利用、地基利用、回填利用、充填利用、工业固体废物利用环境风险评价等的适用性与差距分析；对欧盟、美国、澳大利亚、印度等的赤泥利用现状、环境管理要求、利用相关标准、可借鉴固体废物环境管理要求等进行归纳与对比分析。

(4) 2023年1-8月补充开展赤泥及其制备产物污染特性和利用过程的环境风险评估。对赤泥及其利用物料的特征污染物识别与污染特性分析，对比分析赤泥为原料制备的利用物料用于铺筑道路、货场垫层、地基材料、回填材料等不同利用情景下的环境风险评估资料。

(5) 2023年9-12月标准起草与意见征询。在前期工作基础上，确定了《赤泥利用污染控制技术规范》制订的原则、技术路线、工作内容和进度安排，开展制订工作。编写了技术规范文本及编制说明的初稿，并经多次与相关行业单位和专家进行研讨与座谈交流，对编制思路、编制原则和文本进行讨论，形成建议稿及编制说明。

(6) 2024年1-6月完善形成标准征求意见稿及编制说明，并提请技术审查。

(7) 2024年7月16日，标准通过开题论证暨征求意见稿技术审查会。

(8) 2024年9月24日，进一步修改完善，完成标准征求意见稿及编制说明，提请向社会公开征求意见。

2 标准制订必要性分析

制订本标准是规范赤泥利用过程中的污染控制要求的需要。随着我国生态文明建设和环境保护事业推进，大宗工业固体废物的资源化利用和去存量等问题引起高度关注。我国赤泥年产量超亿吨，综合利用率低，主要以堆场堆存或填埋为主，累积堆存量已超过 13 亿吨。我国氧化铝生产行业发展迅猛，未来赤泥年产生量仍呈亿吨增长。近年来国家有关部委高度重视赤泥产生与利用情况，并针对赤泥等大宗工业固体废物资源化利用多次做出重要部署，鼓励探索各种不同利用途径，在各方共同努力下，2023 年我国赤泥资源利用率接近 10%。由于缺乏相关技术规范，赤泥道路利用、回填利用和充填利用等很多工程实践很难推进，同时目前的综合利用实践多重视材料的工程性能，而对环境风险的重视度不够，亟需相应标准规范利用过程中的环境风险。

制订本标准是落实固体法的需求。新修订的《固体法》第三十二条明确了“生态环境主管部门应当会同国务院发展改革、工业和信息化等主管部门对工业固体废物对公众健康、生态环境的危害和影响程度等作出界定等”的职责。为落实新修订的《固体法》，推动铝行业绿色健康发展，进一步推动赤泥资源化利用，强化利用过程的污染防治，亟需相应利用技术规范，来指导赤泥综合利用。

3 标准制订的原则和技术路线

3.1 标准制订的基本原则

本标准制订过程中本着“抓大放小”、科学可行、风险可控的总体原则，旨在通过标准制定和实施，促进赤泥资源化利用的环境、经济和社会效益的统一。

(1) 聚焦重点原则。赤泥利用途径多、利用技术与利用场景多样化，难以对赤泥所有利用途径、所有利用环节和所有具体场景给出细致全面的要求。本标准本着技术可达、规模利用和风险可控的原则重点选择技术成熟、利用量高、经济效益好的利用技术，重点围绕已经形成产业化的、成熟的技术，赤泥利用过程的突出环境问题，提出利用技术要求。

(2) 科学性原则。基于对赤泥及其利用产物的污染特性分析，结合典型利用场景下不同赤泥基材料利用示范项目的环境风险评估，识别需要重点管控的特征污染物，基于特定场景的环境风险结论，科学推及类似场景，提出相应的风险控制要求。

(3) 可行性原则。基于鼓励赤泥利用最大化、污染风险最小化的原则筛选需要管控的特征污染物，从赤泥污染特性、赤泥预处理物料中污染物释放与迁移转化规律、环境风险水平、利用技术共性特点出发，基于部分污染物易于协同控制和尽可能减少需管控污染指标的检测任务角度，分类提出切实可行的污染控制技术要求和污染物控制限值。

3.2 标准制定的技术路线

本技术规范在国家生态环境标准体系中定位为过程控制,重点提出保护生态环境的污染控制技术要求。根据该定位和要求,本技术规范通过调查分析、检测分析、模拟研究、风险评估等手段,提出本标准制订的技术路线(图1)。

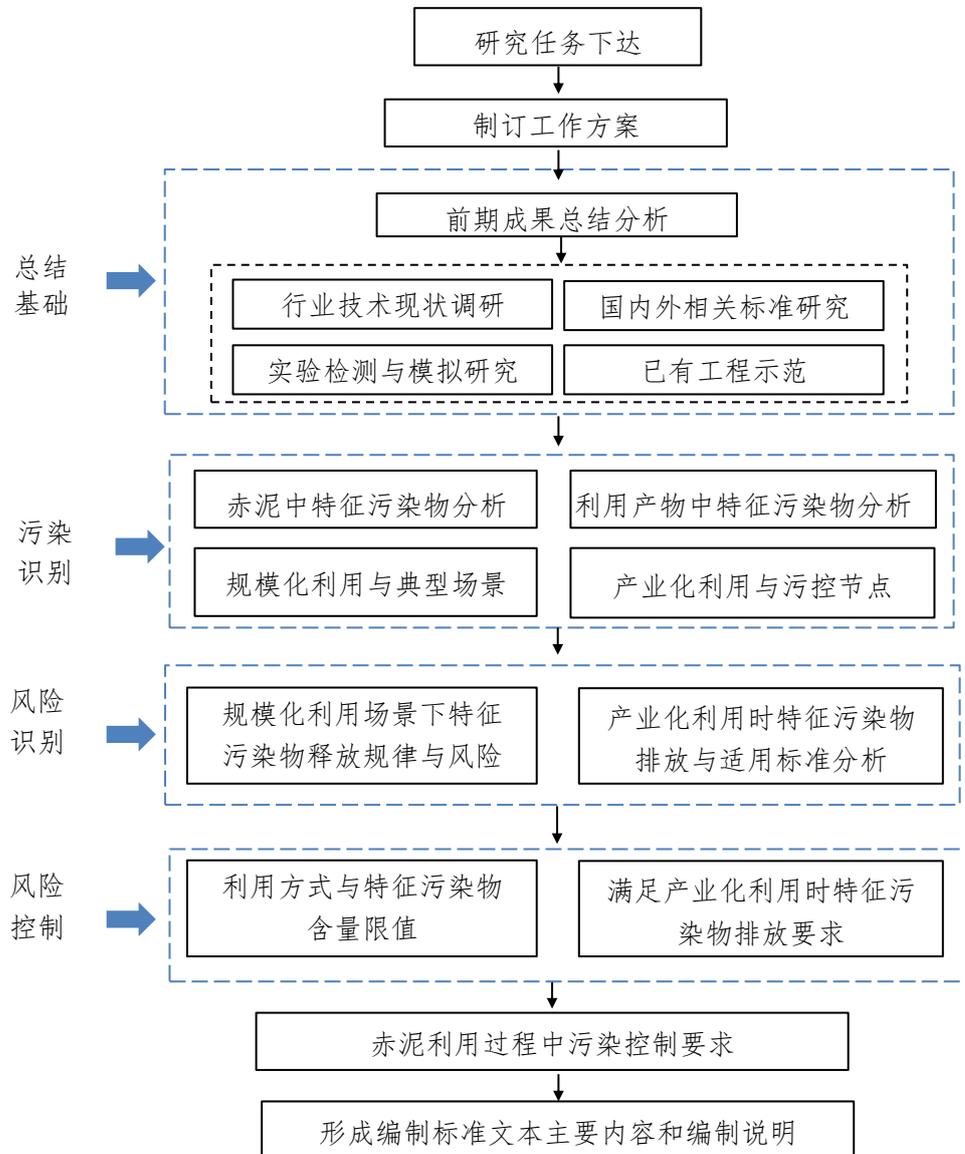


图1 本标准编制技术路线

4 国内外相关标准情况

4.1 国外标准情况

目前国外没有赤泥资源化利用相关的标准，但有相关联的方法、政策和指南性文件等。

欧洲和美国虽然没有针对性的赤泥利用相关技术规范，但对于工业固体废物利用的环境风险评价都提出了非常实用的评估方法，这些方法同样适用于赤泥。例如通过连续块状浸出方法获得利用了赤泥的建材产品、筑路物料、回填物料和充填物料在实际应用过程中污染物的迁移转化规律，利用美国环境署建立的工业固体废物管理评价系统预测特定利用场景的暴露浓度，在标准制订过程中相关实际应用场景的风险评价均借鉴了这些方法。欧盟建立了工业固体废物资源化利用的一系列评估方法，美国环境署将这些方法转化为美国固废资源化利用时的推荐评估方法，如污染物随 pH 变化的释放行为、柱淋溶实验、模拟块状材料中污染物释放与迁移规律的长期浸出实验方法等，并纳入 SW-846 中。

欧盟有的成员国将赤泥用于建筑材料生产，考虑到赤泥的放射性，欧盟制订了不同建筑材料中天然放射性物质允许含量指标。赤泥列入了《欧盟废物名录》，如果单纯用铝土矿生产氧化铝，则氧化铝生产过程中产生的赤泥，未掺杂其他任何有毒有害物质，此时废物编号为 01 03 09，可以视为一般固体废物管理；但一旦混有/含有有毒有害物质的赤泥，则视为危险废物管理并给出不同编号（01 03 10*）。

美国关于赤泥相关管理要求如下：将铝土矿开采与氧化铝生产过程产生的废物视为技术增强型放射性物质源。目前美国环境署将赤泥从危险废物中排除，视为特殊废物（special waste），虽然明确不作为危险废物管理，但也明确不支持赤泥的资源化利用，主要原因在于：赤泥的强碱性、高盐分、高 pH 值、痕量重金属等会带来一定环境风险。目前没有关于赤泥资源化利用相关标准与要求。但在美国，任何一般工业固体废物的资源化利用要向州政府或州环境保护管理部门提交利用建议与申请，被批准后才能正式利用。2016 年美国土地和应急管理处制定了《再利用材料的资源化利用评价方法》，用来确定可再利用材料在所建议的资源化利用途径中的环境影响，与同类的常规产品相比较结果，或者给基于风险评估的管控标准的比较结果。此外明尼苏达州围绕不同特定固体废物确定了 16 种有效利用途径，属于这 16 种利用情形的，如粉煤灰用于混凝土骨料，利用时遵守相关规定即可，不需要向污染控制部门申请批准；不属于这 16 种利用途径的，则仍需要按相关要求进行审核。

澳大利亚的赤泥主要以堆存为主。虽有查阅到关于赤泥筑路、农业利用等方面的实践，但没有针对赤泥利用的法规政策。南澳大利亚州（简称南澳洲）没有专门针对赤泥资源化利用的相关标准和技术规范，但南澳洲针对包括工业固体废物在内的适宜废物作为充填或回填材料制定了专门标准，即《废物源填充料的生产与使用标准》（Standard for the production and use of Waste Derived Fill）。该标准指南文件主要内容包括引言（包括适用范围等）、环境署

相关法律法规要求、废物充填料生产与使用时的重要考量、废物制作充填料类适宜性与禁忌、批准与许可、向环保局提交有关再利用意向的资料、其他参考资料。同时给出了可用于充填或回填材料的废物中污染物限值，低于该限值可直接使用，高于该限值但不超过最高允许限值或最高允许浸出水平也可作为充填材料，明确了危险废物、石棉废物、生活垃圾、含有危害成分较多的工业固体废物等禁止作为充填材料。此外源自废物的充填料还要满足一定的物理性能，例如含有粘土、骨料、石、砂、土或其他惰性物质等，保证充填材料是与自然土壤组分类似的物料；虽然未强调废物充填料的粒度分布，但在考虑废物充填利用的岩土工程适用性时应考虑粒度分布和均一性等。

此外，国际铝协会于 2020 年 11 月发布了《赤泥最大限度水泥利用的技术路线图》，认为赤泥可用于生产硅酸盐水泥和水泥胶凝材料，并根据不同水泥厂生产实践提出了相关技术要求。还编写《赤泥无害化管理实践》等鼓励与指导赤泥利用的技术文件。

4.2 国内标准情况

4.2.1 国家标准相关的情况

目前国内尚未有针对赤泥利用处置的专门的标准规范等指南类文件。生态环境部发布的两个标准文件与赤泥资源化利用息息相关，《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2001）和《固体废物再生利用污染防治技术导则》（HJ1091-2020），相关条款适用于赤泥利用。

近年来国家相关部委高度重视并针对赤泥在内的大宗工业固体废物的资源化利用先后做出过重要部署，发布了一系列关于赤泥的政策文件。具体见图 2。

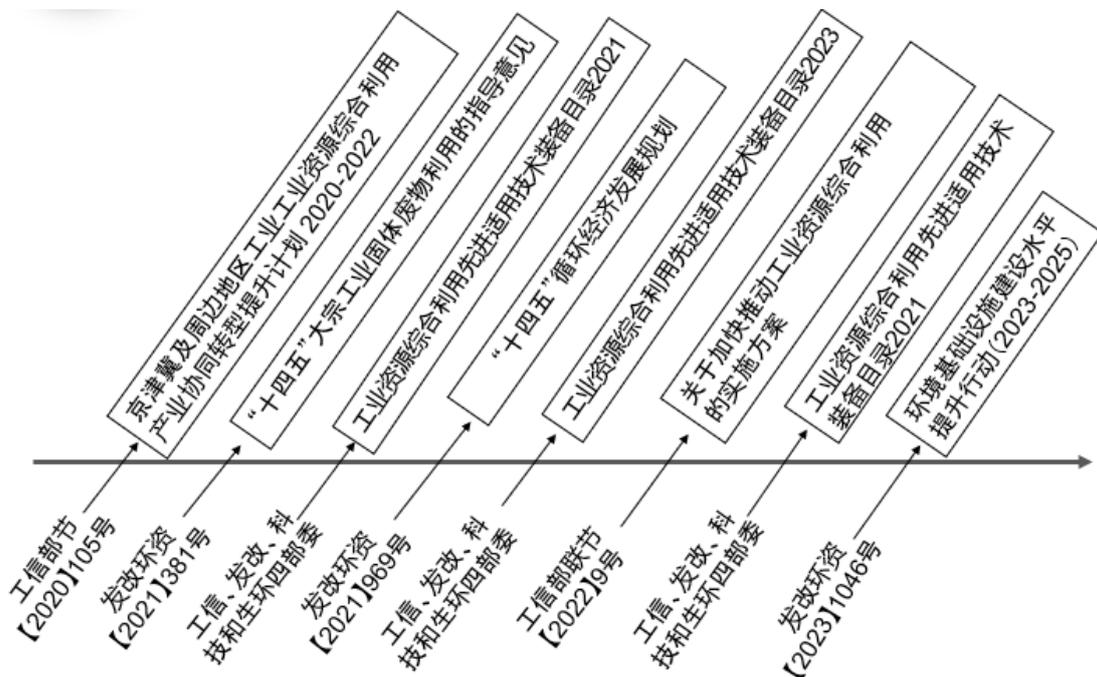


图 2 近年各部委发布的工业固体废物相关的政策文件

4.2.2 地方标准相关的情况

目前全国仅有山东省发布了一项地方标准《公路工程赤泥(拜耳法)路基应用技术规程》(DB37/T3559-2019),该标准主要适用于路基工程的设计与施工,也有部分与环境管理密切相关的要求,包括:选址如明确赤泥改性后路用的禁用生态敏感区区域、不得用于浸水地段以及洪水浸淹部位、赤泥基底部距地下水位或地表长期积水要求等;其中第八章单列环境保护基本要求,包括赤泥利用前应符合的要求,如经鉴别不是危险废物和监测项目要求;改性赤泥利用应满足要求等。虽然实现了赤泥路用标准可依的关键一步,但该标准中环境管理相关的提法不严谨。此外,山东省生态环境厅和广西壮族自治区生态环境厅在组织编制赤泥利用相关的地方标准。

4.2.3 行业相关的标准制修订情况

赤泥综合利用相关行业标准共4项,分别为:《赤泥硫酸盐水泥标准》(建标36-1961)、《赤泥粉煤灰耐火隔热砖》(YS/T786-2012)、《赤泥中精选高铁砂技术规范》(YS/T787-2012)、《赤泥堆场原位生态修复工程技术标准》(YS/T5038-2023);团体标准3项:《拜耳法赤泥路基工程技术标准》(T/CNIA0068-2020)、《公路拜耳法赤泥路基技术规程》(T/CECS G:D22-01-2022)、《炼钢用赤泥基化渣剂》(T/CISA 030—2020)。

正在组织编制的标准有:《氧化铝赤泥基胶凝材料》、《建材用赤泥硅铝粉》、《水泥用赤泥硅铁粉》、《赤泥基工程填筑材料应用技术标准》。这些标准制修订一定程度上完善了赤泥资源化利用相关标准体系,但在环境污染控制方面的要求略显不足。

5 标准主要技术内容

5.1 标准内容框架

本标准包括适用范围,规范性引用文件,术语和定义,总体要求,赤泥道路利用,赤泥回填利用,赤泥充填利用,赤泥其他利用的污染控制要求,环境和污染物监测要求,环境管理要求共10个部分内容。

5.2 适用范围

本部分是本标准适用范围的界定。

本标准规定了利用铝土矿生产氧化铝或氢氧化铝过程中产生的赤泥在利用过程中的污染控制要求,以及监测和环境管理要求。本标准适用于氧化铝生产以及赤泥无害化利用相关项目等的环境影响评价、环境保护设施设计与施工、竣工环境保护验收、排污许可管理、清洁生产审核等环境监督管理的技术依据。

目前国内部分生产企业仅拥有将铝土矿生产出氢氧化铝而未进一步加工成氧化铝的情况,因此明确本标准适用于利用铝土矿生产氧化铝或氢氧化铝过程中产生的赤泥。标准制定过程中发现有企业利用烧结炉窑协同处理铝灰等危险废物过程中也产生赤泥,由于对于这类

赤泥污染特征尚缺乏研究基础,对其污染特性与利用过程的环境风险研究还不足以支撑提出相应的污染控制技术要求,故提出本标准不适用于这一情况下产生的赤泥,该规定可将利用烧结法窑炉处置铝灰产生的赤泥排除在外。

5.3 规范性引用文件

本部分提出了为控制赤泥利用过程中的环境污染与环境风险所需要遵循的相关环境保护标准和文件。本部分共列举了本标准引用的全部 29 个规范性文件和标准,其中包括 12 个国家标准,15 个行业标准,2 个部门规章文件。这些标准和文件的有关条文通过引用成为本标准的组成部分。

5.4 关于术语和定义

本部分为执行本标准制定的专门术语,为了表述清晰和避免引起歧义,对赤泥和回填进行了定义。具体如下:

“赤泥”定义为以铝土矿为原料生产氧化铝或氢氧化铝过程中,将矿石中氧化铝形成的可溶性铝酸钠与其他杂质形成的不溶物进行固液分离而排出的残渣。

“回填”定义为在复垦、景观恢复、建设用地平整、农业用地平整以及防止地表塌陷的地貌保护等工程中,以土地复垦为目的,利用赤泥基回填材料替代土、砂、石等生产材料填充露天开采地表挖掘区、取土场以及天然坑洼区的活动。

“充填”定义为为满足采矿工艺需要,以支撑围岩、防止岩石移动、控制地压为目的,利用无害化处理后的磷石膏为充填材料填充采空区的活动。该条款引自 GB 18599。

5.5 总体要求

本部分主要针对赤泥利用过程中的污染控制提出原则性和总体性要求。

原则性要求主要包括:赤泥利用应结合当地需求,因地制宜,合理利用,鼓励赤泥与粉煤灰等其他固体废物协同利用。结合近期国家相关部委关于工业固体废物的重大部署均是围绕推进赤泥资源化利用,探索不同利用渠道而提出,多固体废物协同利用更是未来鼓励的方向。针对赤泥的强碱、多金属污染物、颗粒细等赤泥的污染特性,提出赤泥利用过程中的转移应采取防遗撒、防扬尘等措施;赤泥利用工程应避免饮用水水源保护区、水环境容量较小、其他特殊水体保护区和生态环境敏感区等。考虑到运输成本与运距,利用作业现场会有临时贮存的需求,则临时贮存应符合 GB 18599 的要求。

总体性要求主要是围绕赤泥或赤泥基利用材料的共性特征污染物而筛选,并依据风险可控的原则提出污染控制限值,属于共性情况的,在总体性要求中提出,与具体利用场景相关的则在具体利用途径中提出相关污染控制限值与措施。

1) 特征污染物筛选。特征污染物确定是根据文献调研和实验室实测数据得出的结论。分析氧化铝生产工艺过程与所用原辅料种类,确定赤泥主要是无机污染物,再通过假定堆存被降雨淋溶而释放出来的浸出浓度,结合文献和自测数据共计 42 个赤泥、3 个粉煤灰、3

个脱硫石膏、3个水泥样品、10个赤泥基充填材料中污染物浸出数据，确定赤泥基材料和其他建材利用过程中的特征污染物为 V、Mo、Se、Cr⁶⁺、As、F、Hg。

2) 环境风险评价。分析赤泥预处理后的物料利用过程的污染物暴露场景，识别污染物的去向，不同利用过程的暴露场景见表 1。评价最不利场景下的环境风险。基于环境风险可接受水平，反推得到赤泥经预处理后的物料中每种特征污染物的限值。

3) 基于最不利情况下，赤泥经预处理后的物料中每种特征污染物总体风险可接受情况下获得的控制限值，从而推出保证所有的污染物含量不会超过环境风险评价得到的环境保护限值。关于浸出液制备，因为赤泥分布较广的广西、贵州、云南、四川个别地方、重庆个别地方均还存在酸性降雨，随着污染管控设施加强，酸性降雨的频次越来越少，浸出液制备选择 HJ/T299 出现高估利用过程中环境风险的概率较高，故考虑选择 HJ557 制备浸出液。

在所开展的不同场景赤泥经预处理后的物料利用过程的环境风险中，最不利的情况为，赤泥预处理后的物料利用时表层裸漏，底层距离地下水位只有 0.4 米，管控点位距离使用场地约 1 公里时，综合考虑垂直方向和水平方向 1km 处的稀释衰减倍数约为 10；以浸出液中特征污染物浓度到达管控点位时的暴露浓度不超过地下水三级限值为管控标准，则赤泥预处理后的物料利用过程特征污染物的浸出浓度不超过地下水三级标准的 10 倍。该管控限值相当于我国《污水综合排放标准》一级标准或《地下水质量标准》的四级标准，故本技术规范中结合实际利用场景，提出了赤泥经预处理后的物料用于道路、回填、充填等不同场景下特征污染物的管控限值。道路利用和回填利用场景类似，其暴露途径包括地表水和地下水，有的地方甚至会考虑海水；但充填利用时的暴露途径为地下水，估其暴露途径只有地下水。

针对赤泥和赤泥预处理后的物料中钒的浸出含量普遍较高的问题。根据对赤泥预处理后的物料在道路工程利用、回填利用、充填利用和其他建筑材料利用等的具体场景和暴露途径分析，上述利用过程中除道路利用和回填利用材料暴露途径会有地表水和地下水外，其余场景如充填利用主要暴露场景是地下水。由于我国《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) 中没有钒的限值，但《地表水质量标准》中针对集中式生活饮用水地表水源地给出特定项目标准限值和《生活饮用水卫生标准》(GB5749) 中钒的限值为 0.05mg/L。故在赤泥预处理物料利用时其浸出液中钒的含量限值不超过 0.05 mg/l 的 10 倍，即 0.5mg/l。

针对碱含量要求。考虑钠的地下水三级标准的 10 倍则为 2000mg/l；同时，借鉴公路工程、民用机场飞行区土石方与道面基（垫）层施工技术规范（MH/T5014-2022）中无机结合料稳定类基层（水泥稳定碎石层是其中一种）拌和与养生用水的规定。其中符合《生活饮用水卫生标准》(GB5749) 的饮用水可直接作为基（垫）层材料拌和与养生用水；拌和使用非饮用水时，应进行水质检验，并符合《混凝土用水标准》(JGJ 63) 相关技术要求，其中对于碱含量（Na₂O 和 K₂O）要求≤1500 mg/L。故技术规范中引用了 JGJ 63 中相关要求。

针对盐含量要求，主要结合赤泥预处理后的物料在道路工程利用、回填利用、充填利用和其他建筑材料利用等的实际应用场景，同时《农田灌溉水质质量标准》(GB5084) 是为保

障耕地、地下水和农产品安全而规范的农田灌溉水质，其中规定了盐碱地区和非盐碱地去掉全盐量要求，说明符合该要求的水质灌溉对土壤和地下水和食品安全均没有健康风险。综合考虑特征污染物的环境风险与保护土地免受盐碱化的角度考虑，赤泥预处理后的物料用于农业用地地表平整，或其他复垦后用于农业或林业用途的地表回填时，浸出液中盐分含量应符合《农田灌溉水质质量标准》则不会对土壤、地下水质和食品安全造成不良影响，更不会因引入了特征污染物而带来环境风险，故提出该管控限值。

针对特征污染物，根据上述筛选确定，提出了“赤泥及其赤泥预处理后的物料，按照相关要求有必要开展相关环境监测和环境风险评价时应至少考虑 pH 和特征污染物钠、钒、钼、硒、总铬、六价铬、氟、砷、汞；若掺加副产石膏比例大于 5% 时，特征污染物还应该考虑硫酸根。”。

5.6 赤泥利用的污染控制要求

根据调研，赤泥直接利用实现工业化并具有一定经济效益的利用途径有选铁和水泥生产原料。2023 年全国赤泥综合利用量中 55% 是选铁，利用赤泥用于水泥生产的实践越来越多，赤泥经过预处理后用在道路（混凝土路面、路基填筑和路堤填料）工程、回填工程、充填工程和其他建筑材料生产示范也比较多，也比较成熟，囿于污染控制技术规范的缺失，推广不利。故本技术规范就从技术成熟度高、规模化和工业化利用角度选择赤泥利用途径如下：道路、回填、充填、直接选铁、水泥掺加料和其他建筑材料生产等。不同利用场景、暴露途径与管控要求见表 1。

结合 5.5 总体要求中特征污染物筛选、环境风险评价与管控限值的制订方法，本技术规范中第 5 条、第 6 条、第 7 条和第 8.3 条均是基于特定利用场景的暴露途径分析和风险评估考虑，所提出的污染控制要求，具体见表 1。

由表 1 赤泥经过预处理后在道路利用、回填利用、充填利用和其他建筑材料利用等不同技术的利用场景分析可知，利用过程的主要暴露途径还有地表水、土壤和海水。其中，由于在总体要求中，已明确“赤泥利用工程应避免饮用水水源保护区、水环境容量较小、其他特殊水体保护区和生态环境敏感区等”，故其对地表水的影响可以忽略；其次，编制组曾测量赤泥预处理后的物料中特征污染物总量，发现远低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》风险管控值，故忽略其散落到土壤中造成的土壤环境风险；最后，赤泥预处理物料中污染物浸出浓度为地下水四类限值或 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行），如前所述考虑 10 倍的稀释衰减，达到管控点位的暴露浓度基本为地下水三类限值，这些污染物进入海水后，对于海水的影响也可以忽略。因此，在考虑赤泥经预处理后在不同场景利用的污染物管控要求时，重点考虑其对地下水的影响。

表 1 不同技术的利用场景、暴露途径与管控要求

利用途径与场景		主要暴露途径	主要污染物	本技术规范中的管控要求
道路利用	水泥混凝土	混凝土路面	地表水、地下水、必要海水（港口或滨海区域）	pH、钠、钒、钼、硒、总铬、六价铬、总砷、氟化物、总汞浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）
	水稳材料	路基-水稳层		
	填筑料	路堤		
回填利用	地基材料	建设用地平整	地表水、地下水、必要海水（港口或滨海区域）	pH、钠、钒、钼、硒、总铬、六价铬、总砷、氟化物、总汞浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）
	回填材料	地表回填利用		
充填利用	充填材料	地下矿井充填	地下水	浸出液中的钒≤0.5mg/l；pH、钠、钼、钨、总铬、六价铬、总砷、氟化物、总汞浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）
其他建材利用	烧砖、免烧砖、陶粒、陶瓷、混凝土预制块等	道路、护坡、景观、厂房建筑等	地表水、地下水	浸出液中的钒≤0.5mg/l；pH、钠、钼、钨、总铬、六价铬、总砷、氟化物、总汞浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）

注：此表中浸出液是按照 HJ557 制备的

此外为降低赤泥回填利用过程对生态环境和人体健康造成的风险，在第 6.4 条中针对赤泥经预处理物料的地表回填利用区域进行了补充规定：即赤泥回填利用时，还应满足如下要求：a) 应避开活动断层、溶洞区、湿地，江河、湖泊、运河、渠道、最高水位线以下的滩地和岸坡，以及国家和地方长远规划中的水库等人工蓄水设施的淹没和保护区；b) 地基材料底部高程应该高于地下水年最高水位；c) 回填场地的天然基础层饱和渗透系数应不大于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ，且厚度不小于 0.75 m；当天然基础层局部不能满足上述要求时，可采用防渗系数不低于该要求的改性粘土层、压实的赤泥基回填材料或其他同等效力的材料。因已有试验表明，赤泥及其赤泥基回填材料能满足饱和渗透系数小于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

对于充填，还提出了充填作业应符合 GB/T 51450，泌出液应收集，泌出液排放时的污染控制等通用要求。

关于其他利用的污染控制要求条款，主要围绕选铁、水泥利用和其他建材利用提出相应的环境管理要求：

(1) 关于 8.1 选铁

赤泥中铁含量较高，尤其是我国广西地区的本地铝土矿中含量尤其高，目前赤泥选铁是行业较为成熟也是主流的利用方式之一。因此本节中规定了赤泥选铁时应满足的污染控制等相关技术和环境管理要求。分析赤泥理化特点与赤泥选铁工艺流程节点，结合选铁行业已有的污染控制标准，提出了赤泥选铁过程中废水和颗粒物的污染控制技术要求。

(2) 关于 8.2 水泥熟料生产

根据不同水泥厂的生产实践可知，拜耳法赤泥可用于水泥熟料生产，不可以直接掺加到熟料中生产水泥产品，国际铝协会总结欧洲与印度等水泥企业实践认为生料中拜耳法赤泥的掺加比为 1~3%，最高为 3.5%，我国有水泥企业可以掺加到 9.8%。赤泥用于水泥生产时，其中碱含量、水分含量、重金属等元素都会对水泥生产过程产生一定影响。故在本技术规范中提出了赤泥可用于熟料生产，利用赤泥生产水泥时应与其他原料充分混合不影响生料系统进料；规定了入窑物料应满足重金属最大投加量要求、污染控制等相关技术和环境管理要求。

(3) 关于 8.3 其他建材产品生产

赤泥作为替代原料用于生产免烧砖、陶粒、混凝土砌块、混凝土掺合料等建筑材料时，生产过程要满足相应行业的污染控制标准；鉴于部分赤泥中有放射性，故提出赤泥基建材产品应满足 GB 6566 关于建筑材料放射性核素的相关要求；对于赤泥基建材产品的应用时的限值要求，参见表 1 和总体要求。

5.7 污染物监测要求

本部分规定了赤泥利用前后和利用过程中对环境和污染物的监测要求，包括监测内容、监测项目、监测方法和监测频率。为保证赤泥利用产物的环境安全性，本标准还提出了赤泥预处理物料道路利用、回填利用时的监测要求与监测记录保存要求。

其中，9.1 条为一般性要求，规定企业应按照 HJ 819 和有关法律、法规规定，建立监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并按照信息公开管理办法公布监测结果。

9.2~9.4 条提出了赤泥利用前、中、后的环境检测要求、检测方法与检测项目。9.5 和 9.6 条则明确了赤泥预处理后道路、回填和充填利用物料和利用赤泥制备的建筑材料中污染控制指标和 pH 的测定方法。

5.8 环境管理要求

该部分结合现有固体废物相关管理规定及政策，规定了赤泥利用的环境管理相关要求。主要包括赤泥利用的专人负责制、应急预案制度、赤泥利用完整档案；重要档案与资料保存要求等。

6 制订标准后的经济和环境效益分析

6.1 经济效益分析

该标准实施后,可为赤泥利用有关建设项目的环评、环保设施设计与施工、竣工环保验收、排污许可管理、清洁生产审核等提供参考,将有力推动赤泥在路基、回填、充填领域规模化综合利用,进一步促进赤泥选铁、水泥熟料生产以及其他建材利用,实现与粉煤灰等的多源工业固体废物协同利用,不仅节约天然原材料,减少堆放处置所占土地资源,具有良好的经济效益。

6.2 环境效益分析

本标准明确了赤泥经预处理后进行道路利用、回填利用、充填利用,以及赤泥用于选铁、生产水泥和生产其他建筑材料等过程的排污节点和关键污染环节,并提出了相应的污染控制技术要求和监测和环境管理要求。该标准的实施将有利于赤泥利用单位根据实际情况采取相应的污染防治措施,确保环境风险可控,还避免赤泥和粉煤灰等大宗工业固体废物因长期堆存而导致的环境污染,环境效益显著。