

铝土矿赤泥管理： 最佳方案

2015年8月



国际铝业协会 (IAI)

目前，全球60%以上的铝土矿、氧化铝和电解铝产量，来源于国际铝业协会成员。IAI组建于1972年，当时名为国际原铝协会。IAI的成员单位，或涉足铝土矿、氧化铝、电解铝和再生铝的生产，或从事铝材加工，或为上述相关的合资企业的伙伴方。与此同时，IAI还与其它拥有众多会员的国家和区域性铝业协会开展紧密合作，尽管这些协会本身并非为IAI成员单位。

IAI的主要目标：

- 在全球范围内，提升对铝的独有价值特性的认知，以拓展铝市场。
- 就共同关注的议题，为铝业公司提供全球性合作平台，同时，与国家和地区性铝业协会联合发起一些合作项目，目标是提高行业效率和改善效益。
- 确定与铝生产、应用和再生有关的具体项目与事务，并开展与之相关的研究和举措。
- 鼓励和支持与铝生产有关的健康、安全和环保方面的持续性改善。
- 收集统计数据及其他相关的信息，传递给铝业生产者及其投资者。
- 与其他国际组织及相关单位沟通。

借助IAI这一平台，铝工业界希望能增进社会和公众对铝业生产活动和其对可持续性贡献的广泛认知和理解，这不仅包括铝金属在生产过程所体现的责任性，也包括铝在可持续应用及回收方面的潜在贡献。

www.world-aluminium.org

声明：IAI尽其所能提交本报告中的信息，不过，对提交信息不作担保。在本报告中，涉及的与铝土矿赤泥有关的应用方式、体系及管理模式，均不属于IAI可控与责任范畴。信息的使用过程，需遵守当地与国家政府的要求。

目录

I.	导论	4
II.	铝土矿赤泥特性	5 - 7
	a. 背景	5
	b. 赤泥生产	5 - 6
	c. 组成	6 - 7
	d. 特征	7
III.	远期计划和设计	8 - 10
	a. 贮存设施设计标准	8 - 9
	b. 建设	9
	c. 渗流控制	9
	d. 赤泥运输	9
IV.	治理	11 - 12
	a. 紧急行动计划	11
V.	业绩跟踪	13 - 14
VI.	赤泥处置和贮存	15 - 18
	a. 处置和贮存之前的工艺过程	15
	b. 运输	15
	c. 处置和贮存方法	15 - 17
	d. 中和	17
VII.	赤泥利用	19 - 24
	a. 潜在利用	19 - 23
	b. 潜在的商业应用	24
VIII.	恢复和复垦	25 - 28
	案例研究：10年间红土变绿洲	25 - 28
IX.	赤泥研究近况	29
	a. 淋滤评估方法	29
X.	参考文献	30
XI.	书目	30
XII.	赤泥自愿性目标	31

I. 导论

在19世纪末期，随着氧化铝/电解铝工业的发展，导致了铝土矿赤泥的产生。在当今社会，铝土矿赤泥是规模最大的工业副产品之一，在2010年年底，全球范围内铝土矿赤泥的存量估计为30亿吨 (Power et al, 2009)。目前，赤泥贮存数量以每年1.2亿吨的规模增长，研发和实施有效的贮存和补救方案，仍然是一个重要的议题。

铝土矿赤泥（以下简称为“赤泥”）的化学和物理特性，受铝土矿特性和拜耳法工艺的影响。每一个氧化铝厂的技术和工艺，影响排出物料的水份含量和pH值---这二者是铝土矿赤泥管理的二个主要因素。

确保赤泥管理，是业内目的所在。本文阐述的内容，以全球最佳方案为基础，针对操作和赤泥坝封闭后的管理，提出安全的贮放方式，以及可接受的对社会和环境影响较小的方案。

最佳方案，是在给定的时间和场合下从事的最佳途径。最佳方案的原则和方法，是随着发展过程提出的创新性方法。

“最佳方案”并非单一的针对赤泥管理的“一体通用”描述：它涉及针对每一个风险的管理，并提出与此相应的最佳实用技术。最佳方案受到诸多因素的影响，包括气候、地理和环境条件，以及政府政策和法规条文。重要的是，最佳方案也受社区因素的影响。

赤泥处理技术的发展，可以是改变排出物料（譬如使用过滤技术），以利于采用不同的长期贮存、补救和再利用的方法。对现有的赤泥补救方案，目前正在进行大量的研究。贮放物料的高碱性是需要解决的重要内容。

推荐的最佳方案，来源于一系列的专题讨论，包括2012年在珀斯与氧化铝质量工作组 (Alumina Quality Workshop , AQW) 的合作。来自全球氧化铝行业的运行和技术专家，确定了相关的设计和管理标准，相关标准推动最佳方案的实施，以便对铝土矿赤泥设施进行可持续性管理。

ETCL 的Ken Evans、欧洲铝业协会的Eirik Nordheim、IAI铝土矿与氧化铝委员会以及欧洲铝业协会氧化铝组的成员撰写了本报告的其它章节，IAI对他们表示感谢。

II. 铝土矿赤泥的特性

a. 背景

2011年，全球铝产量为4500万吨，2013年产量预计为5000万吨。在地壳中，铝的元素含量丰富，位居氧和硅之后，不过，金属铝并不是自然存在的。铝是很多岩石、矿物和矿石的成份，它们经过化学与电解工艺的提炼转化为金属。铝的原料形态一般为铝的氧化物（氧化铝）。也可以从氯化铝中提取铝，但生产规模很小。全球95%以上的氧化铝来源于铝土矿，是用拜耳法工艺生产的。有些生产企业采用其它工艺生产氧化铝，但数量有限，其中包括俄罗斯VAMI和中国的烧结法。铝土矿和霞石正长岩为氧化铝的主要原材料，业内也正采用其它原料进行试验，包括高岭土和氧化铝含量高的粘土。在利用这类工艺生产氧化铝的过程中，会产生残余料：采用拜耳法工艺处理铝土矿过程中，产生所谓的“赤泥”；采用其它工艺时，会产生所谓的“白泥”。



铝土矿易于获取，它含有铝的氧化物和氢氧化物，按氧化物计含量为30-65%。目前，全球铝土矿探明储量约为300亿吨，未探明储量更高。开采铝土矿的国家很多，包括澳大利亚、巴西、中国、加纳、希腊、几内亚、圭亚那、匈牙利、印度、印度尼西亚、牙买加、塞拉利昂、苏里南、委内瑞拉和越南。在拜耳法工艺中，铝土矿在高温和高压条件下加热，加入苛性钠形成铝酸钠溶液，产生不溶性的赤泥。随后，过滤铝酸钠，氢氧化铝结晶体沉淀。有时，氢氧化铝直接销售，或者经煅烧得到氧化铝。



在全球范围内，90%以上的氧化铝用于生产金属铝，这种氧化铝名为冶金级氧化铝（SGA）；其他氧化铝称为非冶金级氧化铝（NMGA）。大量的氢氧化铝用于生产水处理化学品（明矾、聚合氯化铝和铝酸钠）、沸石和活性氧化铝，特种氧化铝的应用范围很广，包括耐火材料、陶瓷原料、研磨材料、瓷砖和玻璃。

b. 赤泥生产

氧化铝厂产出的赤泥的数量主要取决于铝土矿的来源，其次取决于生产厂的提取工艺。每生产1吨氧化铝，赤泥的数量可为0.3吨，甚至可以高达2.5吨，一般情况下，赤泥数量介于0.7-2吨之间。最重要的影响因素包括铝土矿中铝含量、氧化铝/氢氧化铝类型（三水铝矿、一水软铝石和一水硬铝石），以及提炼采用的温度和压力值。后二个因素（温度和压力）取决于氧化铝的存在形式和性质、当地的能源成本，以及铝土矿的运输成本和距离。一水软铝石含量高的铝土矿，需要较高的处理温度，而一水硬铝石型铝土矿则需要更苛刻的温度和碱浓度。一般情况下，三水铝石铝土矿的处理温度为 140 - 150℃；一水软铝石型处理温度为220 - 270℃，而一水硬铝石型为250 - 280℃。

拜耳法工艺于1893年问世，目前，除中国以外，全球有大约60家拜耳法生产厂。在中国，氧化铝厂的数量发展迅猛，由2001年的7家发展到2011年的49家。因此，全部生产企业已经超过100家。随着铝需求量的不断增长，新建和扩建企业数量增加，从长远看，预计年均增长率将超过6%。估计每年所有企业生产的赤泥数量为1.2亿吨。

目前，大约有30家采用拜耳法工艺的氧化铝厂关闭，同时遗留下相应的赤泥堆场。据预计，在运行和关闭的赤泥堆场贮放的赤泥数量为30亿吨。

c. 组成

赤泥主要含有铁氧化物、钛氧化物、氧化硅和未溶出的氧化铝，同时还含有很多其它氧化物，其含量随着铝土矿产出国不同而有差异。在铝土矿中含有的大量铁化合物使得产生的副产物呈红色，故称之为“赤泥”。赤泥的典型化学和矿物组成如表1和表2所示。

表 1 - 赤泥的主要化学组成 (%)

组成	含量 (%)
Fe_2O_3	20 - 45
Al_2O_3	10 - 22
TiO_2	4 - 20
CaO	0 - 14
SiO_2	5 - 30
Na_2O	2 - 8

表 2 - 赤泥的主要矿物组成 (%)

组成	含量 (%)
Sodalite ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$)	4 - 40
Goethite (FeOOH)	10 - 30
Hematite (Fe_2O_3)	10 - 30
Magnetite (Fe_3O_4)	0 - 8
Silica (SiO_2) crystalline and amorphous	3 - 20
Calcium aluminate ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	2 - 20
Boehmite (AlOOH)	0 - 20
Titanium Dioxide (TiO_2) anatase and rutile	2 - 15
Muscovite ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0 - 15
Calcite (CaCO_3)	2 - 20
Kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0 - 5
Gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$)	0 - 5
Perovskite (CaTiO_3)	0 - 12
Cancrinite ($\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}] \cdot 2\text{CaCO}_3$)	0 - 50
Diaspore (AlOOH)	0 - 5

另外，赤泥中有时还含有其它矿物，含量不等，包括石榴石、羟基钙霞石和钛酸钠等。

在铝土矿中，含有很多其它微量元素，尤其是金属氧化物，包括砷、钡、镉、铬、铜、镓、铅、锰、汞、镍、钾、钽、铀、矾、锌的氧化物，以及多种稀土元素（随后论述）。

其中的一些不溶性元素与赤泥一并去除，而另一些在拜耳法工艺中可溶性元素，或在拜耳法工艺的液体相中积累，或与氢氧化铝一起析出。在赤泥中，有些元素浓度相比增加，而有些元素浓度则降低，这取决于提取温度。

在赤泥中，非金属元素可以是磷和硫。

过程中还会含有各种有机物，它们来源于铝土矿中的植物和有机物，包括碳水化合物、醇、苯酚，以及多碱钠盐和多酸，如腐殖质、黄腐酸、丁二酸、醋酸或酢浆草酸。另外，来源于提取工艺中加入的氢氧化钠的少量的钠化合物将会残留，含量取决于脱水和洗涤工序。

在拜耳法生产氧化铝过程的主要加入物是苛性钠。氧化铝厂关注的焦点，是最大限度从赤泥中回收有价值的苛性钠，以便在溶出工艺重复利用。除了经过回收尚剩的残留苛性钠之外，赤泥中还含有少量的添加剂，如絮凝剂。残留的可溶性钠成份（主要为铝酸钠和碳酸钠的混合物），增加铝土矿赤泥浆的pH值。随着时间的推移，残留的钠成份被空气中的二氧化碳中和，形成碳酸钠和其他金属的碳酸盐，从而降低赤泥的pH值，同时也降低了赤泥危害。

放射性

铝土矿中含有少量自然存在放射性物质(NORM)，包括铀（238U）系列和 钍（232Th）系列，大多数矿物原料中都有上述放射性物质。一般情况下，铝土矿中 238U 和 232Th 的含量单位为 mg/kg的范围，因此，产生的放射性水准极低，甚至等同或低于全球很多国家的天然花岗岩产生的放射值。

在拜耳法工艺中，多数铀和钍分布在未溶解的赤泥中，因此，铝土矿赤泥中的放射性物质浓度会呈比例地高于原矿石，这种情况往往被称之为工艺强化的自然存在放射性物质(TENORM)。典型的铝土矿放射性物质238U和232Th的代表性浓度分别为0.03-0.6 Bq/g和0.03-0.76 Bq/g；而在铝土矿赤泥中，238U 和232Th的代表性浓度分别为0.08- 0.66 Bq/g和 0.07 -1.8 Bq/g；与此相比，土壤中 238U和 232Th的平均浓度分别为 0.033Bq/g和0.045 Bq/g（UNSCEAR）。有些赤泥的潜在应用方面，需要考虑上述浓度的放射性物质的影响，相关内容在铝土矿赤泥利用章节进行讨论。在澳大利亚西部的铝土矿矿山和氧化铝厂中，上述放射环境的放射量每年不会超过1mSv，这是诸多公众团体圈定的上限值。

d. 特性

在很大程度上，赤泥的特征、粒径分布及状态受到铝土矿的影响，粗粒部分（粒径大于100 μm）富含石英，可以与细泥（80%粒径低于10 μm）分离。有时，将粗粒组份称为包括“氧化物红砂”或“砂尾矿”，将细粒部分称为“赤泥”。工厂对粗粒与细粒的处理方式是很不相同的。一般情况下，粗砂用于建设尾矿区的道路，用作为泥浆下面的排水层，或者作为尾矿场的覆盖料。粗砂易于清洗，有较好的排水性能，因此粗砂中碱性物质的含量较低。但若不经过分离工序，赤泥的排水性能会得到明显改善。一些地区的铝土矿（尤其是来源于澳大利亚西部的铝土矿），粗砂含量较高，可占铝土矿的50%。

III. 远期计划和设计

在设计赤泥贮存区（BRSA）时，遵守的基础要考虑到诸多因素特征，包括赤泥的化学与物理组成，以及拟选址附近及周边的地质、环境和社会状况。设计过程中要有管理部门、当地社区和股东的参与。

要搞清楚所有潜在的与环境、社会、经济、健康与安全有关的风险。与环境管理、监控、封闭与复垦相关的计划，必须带来可接受的最佳环境结果，同时，最佳方案必须是能减缓整个运营和后续管理期间的风险。

在计划新建BRSA的初期阶段，应当按照AS/NZS 4360:2004⁽¹⁾推荐的评估方法建立风险评估程序。

- 建立背景资料 – 依据地质、社会和环境情况，确定设计标准
- 辨别风险 – 什么样的风险、会在何地何时发生，相应方式与缘由
- 分析风险 – 确定现有控制措施，决定风险可能性、后果及等级
- 风险评估 – 将风险与设计标准比对，实施敏感性分析，突出主要风险与次要风险，划分要优先考虑的风险，决定哪些风险应该明示
- 阐明选出的风险项目 – 确定和评估减缓风险的方法，准备并实施风险处置计划，分析和评估遗留的风险

特别要考虑地震、海啸、飓风及暴风雨的可能性，这些因素会影响系统的整体性。

在建设BRSA之前，需要测定和记录本地环境资料：

- 地下水位及质量
- 基础土壤与岩石的含水量及地球化学性
- 空气质量
- 植物群与动物群
- 源自铝土矿的放射性自然等级和基础放射等级
- 基础地质学与水文地质学
- 极端气象事件

要持续地确定、监控和提交赤泥的化学与物理特性，需要周密评估物理化学特性的变化，确定这些变化对赤泥堆场现有方案及未来管理带来的潜在影响。

运行方必须对于运行能满足政府制定的标准负起责任，并不断对运营方案做出改进。

采用可行的措施，避免对土地、水源、空气和生态带来负面影响，任何对环境值带来影响的结果，须得到认可。

不应损害公民健康与安全。应当采取严格的监控及公开报导程序，说明项目进展以及达成的环境结果。如果结果不达标，可能需要采用修复和强化措施。

尾矿管理实施方，要有能力履行适当的管理体系（包括应急计划），并通过适度的培训和资源配置，确保现场最佳方案的实施。

a. 贮存设施设计标准⁽²⁾

赤泥贮存主要设计标准包括：

- 赤泥输送系统的最大、最小与平均流量 (m^3/h)
- 可能影响赤泥堆场运行及关闭的最佳设计方案的地质化学特征
- 各固体组分浓度、平均固体浓度 (质量百分数)
- 每年及运行期尾矿吨位
- 回水系统最大量 (m^3/h)
- 极端气候事件历史情况
- 临近居民区与水源
- 地震活动与海啸几率
- 与投资方磋商之后确定的公民健康与安全目标、社区与环境保护目标：包括渗流液，地表水质量，停运、复垦/关闭需求，空气质量与放射性
- 运行与维护需求

b. 建设 ⁽²⁾

赤泥贮存设施的设计与建设，需要有资质和经验的承包方/人员来完成，并按照满足国内外标准的设计参数及反映当地条件的标准，对建筑材料进行必要监督和质量控制。

在设计赤泥堆场时，需要考虑的主要问题包括：

- 基础条件
- 建筑材料的地质技术参数
- 地质技术斜坡稳定性
- 渗流、内部排水、坝体下部基础的粘土芯及隔离层
- 分期建设：逐级加高坝体，增加新的赤泥池或以后建设新设施
- 建设技术和设备选择
- 保障建设过程质量

c. 渗流控制 ⁽²⁾

为了有效控制渗流，在设计方面需要考虑如下因素：

- 赤泥堆场下面基础层的水力特征，包括是否存在地下水，其数量如何，是否需要垫层
- 坝体的水力特征，是否需要坝体下部基础有粘土芯及隔离层
- 赤泥堆渗流对地表水和地下水的影响
- 防止在赤泥堆里形成低渗透性的断面，以避免由此导致的渗流和稳定性问题
- 下部排水系统，以消除来自沉积赤泥的重力排水
- 设计和运营排水系统，以限制赤泥堆表面积存的浮水和雨水，进而限制渗流

d. 赤泥输送 ⁽²⁾

本文只涉及赤泥管道输送。

赤泥一般是用泵通过管道输送到堆场。赤泥管线的通道设计，要能够避免管道泄漏和损坏、管道堵塞疏通清洗等导致赤泥洒落时，保护好环境。要定期对管路进行检查。

防止在上述事故发生时赤泥洒落的控制方法包括：

- 沿管线通道建设安全排放污水池
- 在管路经敏感环境区（譬如河流）或穿过交通线路时，采用较大直径的管子包裹赤泥输送管道
- 采用不同压力感应器或流量测量仪器和报警系统，在管路出现故障时向操作人员发出报警

最佳方案推荐

整体设计

- * 赤泥计划设计方、设施管理及关闭后的管理组织，必须通力合作，互相沟通，来实现主要工况指数 (KPIs)。
- * 责任与指定的重要协同人员。

贮存设计

- * 设计能力以工况为基础，同时进行风险评估

水平衡

- * 做全使用周期的计划
- * 建立地面表水和地下水的管理标准

空间

- * 贮存空间应当与氧化铝厂的寿命和产量期望值相匹配。赤泥贮存计划（包括干燥时间及所需要的面积）需要与运行计划相配（例如：产能增长）



位于爱尔兰俄铝 Aughinish氧化铝厂的赤泥堆场

IV. 治理

赤泥治理，应该有高层次的清晰框架，对设计、运行和关闭后的目标有彻底的了解。

每一个赤泥堆场应该有与设计目标相关联的运行手册，以便指导操作人员制定日常工作安排，并针对设施的运行和维修制定计划。

运行手册应描述如下内容，操作人员应接受相应的培训：

- 设施的日常运行
- 赤泥堆存 — 层面干燥，达到最大强度和最小渗透率
- 水 - 对排水池进行管理，有效利用水源，最大限度地提升稳定性
- 粉尘控制
- 安排专门的防范措施，如正确的开启和关闭阀门的次序，以避免赤泥输送管线阻塞
- 改变和冲洗赤泥管道的顺序
- 监控设施正常运行的关键显示装置
- 在保障赤泥堆场管理计划中操作人员的作用和责任
- 计划及防范性维修，以保持关键设备的运转
- 记录和存贮监控运行数据
- 向监管人报告发生的意外或突发情况，并采取紧急和风险管理举措

赤泥设施的监控，应当包括如下内容：

- 在设施下方及周边安置地下水监控设备
- 在设施的上下游采集地表水和地下水质量样品

要每天检查赤泥堆场及相应的泵和管路系统，并做出记录。对于观察到的异常情况和需要进行的维修，应作出记录，并采取适当的措施，还要报告管理人员及社区：

观察项目包括：

- 排水池的液位；观察坝顶与赤泥池液面的安全距离
- 目测、运行核查主要事件，如潮湿度、渗流和腐蚀状态
- 自动流量测量和故障报警装置的状态
- 坝和堤岸完整度
- 泵与管路系统的状态
- 对鸟、其他野生动物和家畜的影响评估

a. 应急行动计划 ⁽²⁾

所有的赤泥堆场应该有应急行动计划。面对未必出现的故障事件，该计划能确保有适当的措施，最大限度地降低对现场及周边人员的安全风险；通过有组织和系统的应对举措，最大限度地减少事件对环境带来的影响。在欧盟，赤泥堆场列为危险区域，因此，欧盟法规要求运行部门必须向决策机构提交应急计划信息。

应急行动计划包括：

- 确定引发紧急事件的条件，诸如暴风雨、海啸和蓄意破坏行为
- 描述使人群离开危险源的顺序，包括警告和疏散下游社区
- 确定减少影响的应急计划，这包括清洁计划，以及应急行动和反应对策所需的资源
- 确定紧急应对措施对关键人员的培训要求，编制紧急警告设备位置及所需维修

最佳案例推荐

管理应始终覆盖所有设施的生命周期，涉及：

- * 运行设计，
- * 建设，
- * 运行，
- * 关闭及关闭后期事项

管理应围绕如下高层次顺序：

- * 知道做什么 - 责任评估模型(RACI)，知道所有操作范畴
- * 知道如何去做 - 标准工作方法及程度，工况指示清晰
- * 按照清晰的目标进行全方位审计

更改管理体系

- * 对更改的管理过程进行清晰的界定，特别要注意细微之处的更改
- * 更改管理过程要简单明了

应急计划

- * 应急计划以风险评估为基础，需要落实到位，并进行演习

高级管理责任

- * 高级管理方面确保全面关注危险事件
- * 针对设施的管理，明确界定管理机构和责任

综合生产与赤泥管理

- * 氧化铝厂与赤泥工序密切关联
- * 在组织上制定正确的决策
- * 情景分析和培训
- * 清晰界定因何引发对策

记录管理

- * 保管历史记录

V. 业绩跟踪

在任何运行中，为了获取赤泥管理的最佳方案，需要进行业绩跟踪，以此使运行过程与计划和设计意图相一致。

要有警戒体系，保证当赤泥管理计划出现偏差时能尽早掌握，以提供适当的机会去检查并在必要时及时提出应急计划。

它包括：

1. 赤泥管理计划实施程度的量化
2. 经过适当培训的人员不断进行现场观察，同时有恰当调试好的设备自动提供的数据相配合。现场观察的频度由风险评估确定

其目的在于为操作人员提供有用的反馈信息，以便实施短期的管理计划。关于业绩跟踪和关键的赤泥管理标准，各级管理人员应意识到并充分理解自身的角色和责任。

主要的业绩跟踪数据，需要传递给设施管理层并让他们认知，以确保制定实际可行的长期计划和预测。获取数据、提交报告、管理以及由关键数据指示所需的措施，均需要清晰地记载，并为各层级理解和认可。

一个概述各级管理所需的核心能力和责任的文件，对维系业绩跟踪和报告至关重要。需要完全理解和认可质量业绩持续跟踪责任的重要性。需要定期对信息流是否适当进行评估，以确保与体系意图一致。强烈推荐KPI型体系，它是一款先进的便捷跟踪工具。

数据管理包括：

- 透明性 - 数据未经过删节，所有电子表格可基于原始数据源审计
- 可获取性 - 组织系统内任何有资格的成员均可获取，并不孤立存在于某一个部门或单一的计算机中。在所有运行环节均需要实时数据跟踪，以便确定可能的应对措施，并及时警示预期风险；
- 代表性 - 所有收集到的数据要能够提供实际的真实工况及业绩指标，而不是使用理论模型推算或反推算，除非现场数据与模型数据已被验证是有效吻合的；
- 完整性 - 所有数据是实际的，是自身完整的。相关数据不依赖模型计算，也毋须为了让局外方理解和应用数据、或者控制或关闭流程而做诠释。

对业绩跟踪的预算，应当以风险规避、NPV和亏损局面为基础，同时不限于短期理念。虽然在这方面有很多简单、快捷和相对廉价的人工数据跟踪方法，但是自动数据获取系统为优选，它能在各种条件下很好地确保数据持续跟踪。因此，应当选择最适用和最可靠的数据获取手段，而不应该选择最简单和最容易的获取方式。

应当包含内部的和独立的第三方审计。审计内容应涵盖业绩跟踪数据获取的方法，以保证：

- 数据充裕，并与有效准则要求的内容一致；
- 与风险减缓和评估相关；
- 全面的业绩与设计的比较

与计划和管理原则相关的假定，应充分有效，并易于获取。当运行方式改变，或赤泥质量、数量变化时，应对假定内容做出再评估。

考虑内容⁽²⁾:

- 业绩与设计的比较— 坝顶与基面水平, 贮存赤泥的吨位与占用体积
- 在正常条件、地震载荷与气候事件下的稳定性评估, 现场赤泥参数 (密度、强度与渗透性), 地下水表面位置
- 渗透控制的测量, 例如用于渗透控制的下层排水测量, 或控制内部侵蚀或管路的内部过滤
- 所用衬垫层的状况
- 极端气候事件历史
- 监控系统的状态, 在监测主要参数 (环境、结构) 变化方面的性能, 以及基于预测趋势的监测数据的分析和评估
- 地下水监控结果 — 将地下水的水位及质量与基准数据、设计和闭场标准做比较, 需要考虑:
 - » 近表面的侧渗透, 它可能抑制植被或影响围堰的稳定性
 - » 垂直渗透, 它可能引起尾矿赤泥堆场下部局部隆起
- 操作性能 — 赤泥沉积实际情况 (薄层) 以及表面水控制 (贮存的最低水量及对所需坝高的维护)
- 操作事故评估, 推荐改进或修正方法, 以改进不足。

最佳方案推荐

政策与计划

- 确保组织结构与可用资源关联, 并做出补充, 以保证长期计划

培训和责任

- 清晰定位, 以确保机构各层级及适当资历的人员能够履行业绩跟踪责任; 收集和整理有意义的信息, 以确保满足业绩跟踪活动的意图, 支撑短期和长期目标, 同时与已有的长期计划一致

数据管理

- 采用适当的方式收集数据, 数据完整并有代表性; 并对数据进行管理, 确保各层级间的有效沟通, 即数据要透明且易于获取。

预算

- 确保通过开支预算, 保障有业绩跟踪工具和设备

业绩审计

- 由独立的第三方在适当的时间间隔, 完成审计, 以确保操作工序与长期计划一致, 同时也持续地确保关键性的假设有效
- 在实施外部审计的过程中, 还要不断进行内部审计, 内容涵盖赤泥管理工序的各个方面。审计工作每年至少进行一次, 由具备资历且不属于赤泥运行机构的第三方实施, 以避免可能的利益冲突

未来计划

- 需要提出最佳方案目标, 以便不断做出改进。在企业内部, 应采用认可的和标准的手段实施标杆标准 (诸如现行处置区域内每年的堆存强度), 以确保类似的处置技术与先进的运行能力保持一致。

VI. 赤泥处理和贮存

a. 贮存前的工艺过程

在氧化铝提取工艺中，苛性钠为主要的原料，也是主要的成本项。拜耳法生产中生产企业始终尽可能地回收苛性钠，进行循环利用。而生产苛性钠含量更低的赤泥的愿望，进一步促进了苛性钠的循环利用。经过不断的改进，目前苛性钠的回收率一般可达96%以上。

目前，超级沉降槽、深锥形洗涤槽、真空盘式过滤机、真空转鼓过滤机和板框式压滤机已经取代旧有的Kelly叶滤机和多层洗涤槽。赤泥的固体含量已经从20%提高到77%左右。

b. 运输

装卸特性和脱水方法，是影响运输赤泥输送方法的主要因素。当固体含量约高于75%以上时，可显饼状，用卡车或皮带运输；如果赤泥含水超过28%，则会有触变特性，即受到震动或机械搅拌时粘度会下降。

c. 处置和贮存方法

目前只有很少的一部分赤泥得到利用。有关赤泥利用问题将在后面讨论。处置和贮存赤泥的方式受诸多因素影响，包括企业生产年限、土地供应、是否临近海域、诸如老矿山一类的地区特点、气候、物流、赤泥性质、法规等。

以往氧化铝厂或是在本企业内、或是在附近地区建设赤泥堆场。可以用赤泥充填洼地、山谷或采矿工作面。若没有此类适合的场地，可以建设赤泥池。过去往往没有衬垫层，从而导致高碱性溶液的渗透。随着时间的推移，在管理、控制和尾矿监控方面做出的大量改进，最大限度地降低了对周边地区的污染，并使停用后的复垦工作更便捷和高效。

海洋排放

有少数氧化铝厂通过伸向海岸的管路，将赤泥倾入海洋或深海床。尽管在地中海和太平洋进行的研究表明，该方法对海洋环境的负面影响极为有限，向海洋排放的方式已经陆续淘汰。Gramercy和Newport氧化铝厂曾一度将赤泥排入密西西比河和Severn 河口，在上世纪70年代中期，它们中止了这种处理方法。

赤泥池排放

在赤泥池放中，用泵将相对稀释的赤泥（固体含量15-30%，多数情况下含量为18-22%）排放到洼地、废弃的矿山开采面，用坝堤围成的区域或筑坝的山谷。早期的所有氧化铝厂几乎均采用这种传统的方法。

采用这种处理方法时一般需要在场地下面设立衬垫层，以避免渗流液进入地下水系，但大多数早期的氧化铝厂没有这样做。经过一段时间，固体物沉淀下来，液态物返回氧化铝厂再利用或被蒸发。长期运行后，固体物料充填池塘，经固化后可以复垦。复垦的方式可以是采用覆盖层，或者用石膏处理以便种植。表面设计的安排要使雨能够从复垦区流走，避免被污染。多数情况下，需要收集来自填埋区的碱性沥液并安全储存几十年。这一处理过程包括收集、中和以及过滤，以除去沉淀的固体物，或者将沥液返回氧化铝厂，或直接进入公共污水系统进行处理。

上述处置方式存在很高的风险，因为充填区可能含有未固化的赤泥以及大量高碱性的溶液。如果赤泥坝因为地震、暴雨、海啸、建筑质量低下或维修等因素受损，那么，赤泥所含物质会液化，

赤泥和工艺产生的溶液会穿过受损面流出。在液态条件下，赤泥可以流动到很远的距离。这种处理方法的另一个明显弊端是，土地堆满赤泥后变成荒芜的土地，以及在收集、处理、监控沥液、监控堆场及周围区域持续付出的成本费用。

赤泥干堆

由于空间限制不能采用赤泥池排放时，干堆成为处置赤泥的方法。例如，早期的干堆法于1941年在英国铝业公司的 Burntisland 厂投入使用。用板框压滤机压滤之后的赤泥经道路运往附近一个废弃的页岩采矿区堆存。在上世纪60年代中期，Giulini 公司在其德国 Ludswighafen 厂采用干堆工艺，在干堆之前，赤泥采用回转真空过滤机过滤。

尾矿干堆更为通用的概念可追溯至上世纪60年代中期，当时，E I Robinsky 博士开发了增稠尾矿处理系统，在后续的数年里，该工艺得到了进一步的发展。在上世纪70年中期，该工艺最早用于加拿大安大略省的Kidd Creek 矿山。在该工艺中，首先将尾矿中的水份减少到某一个临界值以下，提高尾矿的含固体量，将更多的溶液送回工厂。尾矿释放后仍可以流动，但不会结团。在一个平缓的坡面上尾矿停止流动，目标是形成2-6%的坡度角，坡面倾斜角度取决于气候条件。在非常干燥气候条件下，可以形成较陡的斜坡。在给定的填埋区面积上，可以堆存多许多的固态尾矿，尾矿坝的建设成本则低得多。干堆的另一个优点是，尾矿浓缩到足够的程度后是不易成浆的，因此雨水能快速从其表面流走，经收集和排水，使尾矿自然干燥和固化。在Robinsky工艺中，尾矿浆连续地从一个单一位置进入堆存区，形成“湿堆”‘Robinsky工艺应用于湿气候及低温气候中。

对堆存尾矿的要求是浓缩到其强度可使它堆放时相对于水平面有一个正的角度。目标固体含量取决于尾矿的特性，尤其是尾矿的粒度分布。前面讨论过，在某些氧化铝厂粗砂已经从赤泥中分离出去，而在其它氧化铝厂则不做分离处理。在氧化铝厂赤泥中的细粒组份可以采用先进的沉降槽及絮凝技术浓缩成高密度的赤泥（固体含量48-55%或更高）。

赤泥形成可堆存料沉积之后，雨水可从表面快速流过，因此，最大限度地减少了赤泥堆场内溶液的积存量。从表面回收的液体，用泵送回氧化铝厂回收可溶性的钠盐。堆存赤泥的区域，一般在底部有排水，以改善赤泥的固化率，同时将水返回氧化铝厂再利用。如果尾矿场区的排水性好，可形成特别稳定的赤泥堆积层。

通过“耕耘”赤泥，可大大地减少所含水份。这个方法有一种是，沿赤泥堆场每隔一定距离（譬如25m）挖掘沟渠，使水可以排入沟渠并流走。开始时赤泥的湿度很高，需要使用水陆两用车辆。车辆带有大型水陆两用的轮子，它来回穿过填埋场区，将赤表层泥中含的水份挤压出来。随排水量增加，要相应地挖深沟渠。固化的赤泥可运送到另一个地方存放。在固化赤泥的固含为60-65%。赤泥耕耘的另一个好处是可以促进碳酸化，由此降低赤泥的pH值。作为一个典型的程序，要在一段时期内每天对赤泥进行犁耙，以增加赤泥与空气的接触。

在炎热气候中，蒸发可以起到较大的作用，这时可采用“层堆”工艺。在上世纪80年代中期，牙买加和澳大利亚西部的氧化铝厂采用了这种方法；在1992年和2007年Gove和QAL也分别采用了该工艺。在气候条件许可时，层堆是处理赤泥的首选方式，很多新建的氧化铝厂采用了这一方法。在该工艺中，赤泥层铺设相对较薄（譬如0.5m），铺设范围大，当赤泥达到目标干燥值（70%）时，在其上覆盖新鲜赤泥。

“超级沉降槽”技术由美铝（Alcoa）开发，它采用较大直径的重力沉降槽，可使泥浆脱水成为固含大于50%的赤泥。这种赤泥仍然可以泵输送，不过，一般情况下，需要加入表面活性剂。



位于爱尔兰俄铝 Aughinish氧化铝厂的赤泥“耕耘”

干处理

赤泥经真空或高压过滤之后，可形成半干滤饼（固含大于65%）；必要时，在运输、贮存或利用赤泥之前，可用水或蒸汽减少赤泥的碱性值。板框压滤机自1930年投入使用，而回转式真空过滤机的应用自上世纪60年代开始的。随着设备的改进，尤其是压滤设备的改进，可得到易于处理的高固含赤泥，在法国Gardanne和希腊 Distomon厂，赤泥固含可达70%以上。Hyperbaric (Hi-Bar) 蒸汽过滤的试验。所用设备为立盘式过滤机原理的增强型，用高达6bar的压力差。这种工艺已经成功用于细粒煤浆，据称，可生产固含达77%的产物。

d. 中和

有时需要对赤泥局部或全部中和。中和过程可以采用酸（一般为硫酸或盐酸）、二氧化碳、二氧化硫、海水或浓缩盐水(Virotec工艺)。局部中和可降低与赤泥堆相关的风险，可帮助堆场关闭后的土地复垦。对于有些氧化铝厂，中和法很有吸引力，但是这种方法取决于氧化铝厂的位置是否毗邻海域，或是否临近二氧化碳或烟气的来源。在 Virotec工艺中，使赤泥与浓缩盐水发生反应，形成无害的名为“Bauxsol”的产物。

在某些沿海地区（譬如位于澳大利亚昆士兰州Gladstone的昆士兰氧化铝有限公司和力拓加铝的 Yarwun 厂），利用海水降低碱性沥液的pH值。在多数情况下，沥液经处理后可排入海洋或河口。在赤泥中残留的可溶性钠组份，经过一定时间与空气中的二氧化碳反应，形成碳酸钠或碳酸氢钠，从而降低赤泥的pH值。从气候变化角度看，该工艺有捕获二氧化碳的好处。若停留时间足够长，该过程可使干涸的赤泥池表面的pH值降低至10以下。

加快上述方法应用的途径已经考虑了多年。西澳美铝公司对该工艺做了优化，并在公司所属的Kwinana厂投入商业化运营。在该工艺中，所用二氧化碳废气来源于附近的一家氨生产厂（参见前述案例研究）。自上世纪70年代中期，某些氧化铝厂采用烟气中的二氧化硫降低赤泥pH值，其中包括意大利撒丁岛上的Eurallumina厂，并取得了较好的成绩。

利用海水对赤泥进行局部中和，可有效降低赤泥的pH值到8-8.5之间，同时降低羟基和铝酸盐离子的浓度，形成钙镁的化合物，如方解石、霞石、氢氧化镁石、水滑石、明矾及碳酸镁铁矿等等。有时需要雨水使上述赤泥进一步降低钠含量，而由于钙、镁和钾的加入和 pH 值降低，使植被复垦更容易。另外，采用矿物酸可进一步降低赤泥的pH值，当采用盐酸时，赤泥的pH值可低至7.5。

最佳方案推荐

尽管技术方面有所改进，但也必须承认，对一个氧化铝厂要更改其赤泥处置的方法往往是相当困难的。诸多因素都会对处理方式带来影响，其中包括是否临近海域、是否可获得充裕的土地、赤泥的特性、年降雨量以及与氧化铝厂所在地域气候相关的阳光和风力蒸发特性。另外，是否能获取能够降低pH值的经济的资源也对处理方式带来影响，其中包括二氧化碳、二氧化硫、海水以及酸等。某些因素不可能改变，而另外一些因素对氧化铝厂会是不经济的。

对每一个氧化铝厂来说，重要的是要进行风险评估。在评估中要考虑诸多因素，其中包括赤泥的固态与液态特性、堆存量、赤泥的危害特性（尤其是pH值）、赤泥坝的高度，以及可能存在的地区风险，如地震、暴雨、海啸、气旋、飓风及人为破坏行为。

业内普遍认为，至2016年赤泥倾入海洋或河口的处理方式将不复存在。

赤泥的性质

- 总体目标：降低和稳定赤泥中残余钠成份（和存贮液）的含量
- 在可能的场地实施赤泥中和，避免将赤泥归类为危险材料或危险废物

赤泥运输

- 场地选择有可能时，将运输道路和生产中的赤泥管路分离开
- 利用爆破隔膜、岸堤对赤泥管路进行控制或分离，或让管路偏离交通区域
- 建立赤泥运输体系监控的基准
- 筹备和测试管路泄露故障和事故的应对方案
- 排放控制与堆存管理
- 针对每一个生产厂，制订最优的堆存控制措施
- 编制并验证BRSA所需的任务文件



法国Gardanne氧化铝厂的压滤机

VII. 赤泥利用

纵观氧化铝生产的历史，业内一直希望能够利用拜耳法工艺产出的赤泥。利用方式包括从中回收其它产品，或直接利用。在拜耳于1887年最初提出的用铝土矿生产氢氧化铝的专利中，已谈及用赤泥生产铁。拜耳最早的专利中，提出将焙烧铝土矿作为第一道工序；拜耳在1892年申报的专利中提出用苛性钠作为提取剂。随着堆存、复垦与监控成本的上扬，土地空间越来越珍贵；加之海洋倾注方式陆续淘汰，业内对于尽可能利用赤泥的推动力在强化。

有关赤泥的应用方式，业内已经提出几百项专利，做了几千次试验，其中有些应用已经商业化；但是与每年都在增长的赤泥产量相比，业内仍然并始终面临着挑战。在很多情况下，可能的应用渠道涉及用赤泥替代另一种低成本的原材料，这只是在技术概念上可行，无法落实使用赤泥会带来的成本和风险。在研究某些特定应用的可行性时，至关重要的是要考虑所有成本方面，即赤泥堆场维护、安全、HSE条款、堆存风险，以及封闭尾矿场复垦与监控。

2012年1月5日，中国工信部发布大宗工业废物综合利用“十二五”计划。工信部提出，大宗工业固体废物的利用率为50%，铝土矿赤泥列入了上述计划内容。按要求，至2015年赤泥的利用率要达到15%，2020年目标为20%。中国2012年赤泥的利用率估计为4%，而赤泥产量为4000万吨，有一些氧化铝厂达到了高得多的赤泥利用率。中国有目前多家氧化铝厂正在实施从赤泥中大量回收铁的计划。

利用

推荐的应用渠道涉及多个领域：提取某些组份，譬如铁或稀土元素；用作为特定组份的来源，譬如用于水泥中的铁和氧化铝；应用赤泥的特性，譬如它的颜色；建筑材料，譬如制砖、瓷砖和集料块、替代木材；或作为场地覆盖的不透水材料。目前大量申报的赤泥应用专利涉及建筑结构或农业领域。

在开拓赤泥利用方面，目前已经做了大量的工作，但很多关键性的因素仍然影响其可行性和经济性。赤泥分类为危险物还是非危险物这一点，对于决定经济性是很重要的，同时也决定了赤泥不能用于某些领域。除了化学组成以外，其它影响赤泥的不同应用领域的指标包括赤泥中残留的钠成份、粒径和湿度。

a. 潜在利用

下面概要评估和总结了赤泥的主要应用领域，并对开展的工作范畴进行了描述。

生产水泥

过去的75年中，在波兰特水泥中利用赤泥的工作一直在进行。铝和铁为有益组份，能够提高水泥的强度，改善水泥的硬化特性，但赤泥中存在的钠离子对水泥不利。当赤泥的用量很高时，其中的铬（即使含量很低）也会影响水泥的特性。

在印度用Renukoot氧化铝厂的赤泥生产富铁的养护水泥。该水泥强度高于波兰特水泥。赤泥的加入量可高达50%，另外还加入铝土矿和石膏。

在希腊的Distomon，AdG氧化铝厂生产的大量赤泥用于水泥工业，而以前这部分赤泥都是海洋倾注。

道路建设

在过去的许多年里，赤泥经脱水、压实并与适当的粘合剂混合，制成理想的路面建筑材料，用于铺设赤泥堆场区的运输道路。在法国南部，Gardanne氧化铝厂的赤泥（称为Bauxaline®）用于建设多条道路和数个站台。

在2009年，Perth至Bunbury的铁路通入运行，该铁路使用了大约25000立方米的来自美铝的赤泥，品牌为Red Sand®。目前，牙买加国家工会正在对Ewarton氧化铝厂的赤泥进行试验工作。

岸堤/坝建设

赤泥经脱水和压实之后，具有很好的防渗特性。基于这一优势，赤泥可用于建设岸堤和水坝，并用于建设赤泥坝。赤泥有时与其它废料（譬如粉煤灰）混合，以粘土覆盖，可以降低水分侵入，促进植物生长。目前，该种处理方式已经在全球得到应用。

生产砖

有很多工作团队提出将赤泥与粘土、页岩、沙粒和粉煤灰混合生产建筑砖。曾使用过牙买加、撒丁岛、匈牙利和韩国的赤泥。当赤泥中钠离子含量较高时，会降低砖制品的长期抗风化能力及耐久性，为此，用钙离子替代钠离子，能够显著地改善其性能。当赤泥砖焙烧温度为10000C左右时，赤泥加入量可为90%以上。在配料中加入无机和有机粘合剂已获得成功；无机粘合剂包括生石灰、石灰石、水泥和石膏；有机粘合剂包括PVA 和 PMMA。

也可以在赤泥中混入发泡材料（一般为粉煤灰），生产轻质集料。另外，在土耳其，用Seydisehir氧化铝厂的赤泥生产屋顶瓦。

在上世纪90年代中期，牙买加铝土矿研究院（Jamaica Bauxite Institute）和牙买加建筑材料研究院（Jamaican Building Research Institute）用来自Ewarton的赤泥生产的砖建造了一座体育馆，添加硅酸盐结合材料及赤泥火山灰水泥的砖具有良好的性能。目前该体育馆仍在使用。赤泥中含有少量放射性物质，为此曾一度引起牙买加人担心。但研究表明，当全部采用赤泥时产生的放射性剂量仅高于 2 mSv/年，处于可接受的范围。，一些研究建议，建筑砖中匈牙利赤泥的加入量最高为15%，以避免放射性剂量超过0.3 mSv/年。

土壤改良

在酸性和沙质土壤中加入赤泥会带来很多益处。在澳大利亚西部，美铝正在这方面进行大量的工作。在沙质土壤中可加入250 t/公顷以上的赤泥，同时添加5%的石膏。添加物进入土壤，提升水保有量，改善了营养利用率。研究发现，土壤中氮和磷的保有量可大幅增加，这表明赤泥的加入可减少肥料的用量。

赤泥局部中和至pH值8以下后能驻留磷元素，其优势已经由美铝在澳大利亚西部的Peel-Harvey河口得到了很好的验证。该赤泥处理项目于1993年投入商业化生产，名为Alkaloam®，是利用二氧化碳碳酸化细粒赤泥生产的。产品对磷元素有较强的吸附效果，而且还可以减少磷的溶解性，因此，减少了排入Peel水湾和Harvey河口的磷元素数量，进而保护藻花和鱼类。Alkaloam® 也以相同的方式作用于农用石灰。经清洗之后，碳酸化的粗颗粒赤泥形成所谓的Red Sand®，一般用于建筑充填料和路基建设。

赤泥中的重金属及放射性物质的可溶解性问题收到关注，在这方面已经做了大量的工作，以决定这是不是一个问题。所有的研究成果表明，赤泥中重金属及放射性的可溶解性不会构成问题。有一个研究项目是确定农作物中 40K、226Ra、228Ra、228Th和 228U 的含量。这类农作物生长于含有赤泥的土壤，即使赤泥添加量达到480 t/公顷，农作物中也未检测到上述元素。

盐化的赤泥用于处理Gladstone港务局带来的酸性硫酸盐土壤，而QAL赤泥坝本身被认为是一种处理建筑来源酸性硫酸盐土壤的可以接受的途径。

沼泽地复原

在路易斯安那，部分区域每年因沉积物浸蚀而裸露，导致土地流失。来自Gramercy氧化铝厂的赤泥，可以替代沉积物。

填埋场覆盖料

赤泥经脱水后所具有的防渗性能，可以被用于覆盖填埋场，尤其是市政垃圾填埋场。在法国马赛地区广泛利用Gardanne氧化铝厂生产的Bauxaline® 做覆盖层。在Gardanne地区，废甲烷气在Bauxaline® 覆盖层下面得以收集。相同的案例见于路易斯安那，赤泥pH值降低之后与粘土混合。

生产铁

在赤泥中含有较高的铁氧化物，可达60%，与此相关的研究试验工作很多，业内提出了很多的方法。下面列举的仅仅是其中一小部分。

- 用氢气、一氧化碳或市政燃气还原赤泥，生产铁粉，还原温度为300 - 400℃；
- 采用电弧炉，在1600 -1700℃条件下加热赤泥与焦炭的混合物，可回收赤泥中90%的铁组份；
- 在牙买加的赤泥中加入碳酸钠，经焙烧工艺提取铁、铝和钛，之后用水溶解铝酸钠，再用还原工艺将铁转化为磁铁矿，后用磁选工艺分离；
- 从竖炉的顶部加入赤泥，随后从底部加入氢、氨和燃气；
- 将赤泥氯化，之后进入下一道工序，可以很好地去除钛和铝的氯化物；
- 在低于350℃ 的条件下，用一氧化钛和氢气处理，之后加入氯化钙，加热至530 - 600℃，再经水处理分离铁、钛和硅。

当无法获取质量较好的铁矿石原料时，可以用赤泥中的粗粒组份（即红色氧化物砂）作为铁矿石的来源。这在战争期间曾发生过。

酸性矿山排水和重金属吸附

在世界范围内有数家机构研究了赤泥与重金属之间反应的能力，尤其是来源于矿山和矿物加工的重金属。在意大利，研究人员将Eurallumina厂的赤泥用海水中和，从中可发现赤泥对重金属有很好的吸附能力。 在一定的方式下，赤泥与粉煤灰混合，可提高对砷的吸附力。

澳大利亚的 Virotec公司进行了大量的工作，研究人员用盐水而不是海水生产出一种局部中和的物料，获得名为Bauxsol®的产品，它对重金属具有很好的吸附特性。

在韩国，研究人员将赤泥、聚丙烯、硅酸钠、氯化镁与粉煤灰混合，在 600℃条件下加热处理混合物，制成球珠，所得产品对重金属有很好的吸附能力，特别是铅、铜和镉。

研究表明，将西班牙San Ciprian氧化铝厂的赤泥与石膏混合，可以很好地去除废液中的铜、锌、镍和镉。

去除磷酸盐

Bauxsol® 及酸处理后赤泥，可以有效地去除磷酸盐。有研究表明，在中国采用盐酸局部中和赤泥，随之热处理，可去除水中99%以上的磷。在英国，污水试验表明，采用Bauxsol® 球珠作为磷酸盐吸附剂，则最终水中磷的含量可以很低(<0.06 mg/L)，这种方法可使终水

质量满足欧共体居住指南（EU Habitats Directive）对磷含量的要求，而用传统处理方式是很难实现的。

炼钢业用耐火材料

在罗马尼亚，来自Tulcea氧化铝厂的6-7万吨/年赤泥就地消费，作为钛铁原料用于钢铁生产，减少了钛铁矿的消耗。钛铁矿用作炉膛的耐火材料，避免炉膛侵蚀。

生产颜料

赤泥中含有很高分散状态良好的铁，故赤泥可以用于生产颜料，并在诸多相关材料中得到应用。

在砖中加入2-5%的高铁氧化物赤泥，可降低砖的原料成本，而且砖的红颜色均匀分布。早年在生产红色瓷砖时加入少量的赤泥，所得产品曾经广泛用于窗台和地面。目前对该类产品的需求量已明显减少。

在塑料行业可用赤泥作为颜料，尤其用于生产污水管用的PVC。

在北爱尔兰的Larne有一座运营多年的企业，利用一座炉窑生产瓷砖、涂料和塑料工业的颜料，所用赤泥来自附近的拜耳法氧化铝厂。

生产催化剂

赤泥可作为一种低成本、高表面积的可处理的铁氧化物和二氧化钛催化剂。研究工作确认，赤泥有能力作为一种催化剂，用于炼油业中抑制重水-碳物料在处理过程中产生的焦炭。

其它研究工作，涉及脱氯、氢化作用及清洁尾气。

替代木材

位于印度Bhopal的先进材料与工艺研究院（Advanced Materials and Processes Research Institute），采用Nalco厂的赤泥（加入量为50%），与天然纤维、聚酯纤维树脂混合，生产建筑业用的木材替代品。所得产品强度高、耐水性好，同时也具有适应不同气候以及防火性能。

地质聚合物

与传统的波特兰水泥相比，建筑聚合物拥有很多优点，特别是可以减少生产过程中二氧化碳的排放量。建筑聚合物的生产过程，包括在碱性液中溶解氧化硅和氧化铝，实现 $\text{a} - (\text{-Si-O-Al-O-})_n -$ 链聚合反应。在高碱性液中的硅和赤泥中的铝和硅，是生产建材的好材料。

提取稀土和其它金属

近年来某些稀土元素市场发展迅猛，价值明显走高，重新激起了从赤泥中提取稀土元素的兴趣。稀土元素（REEs）包括轻稀土元素，诸如镧、铈、钕、钐、铕、铈和镱，及重稀土元素（诸如钆、铽、铈、铕、铈、铈、铈和铈。另外还有不属于镧系元素的二种稀土元素钪和钇。各处的铝土矿赤泥中上述元素的组成不相同。典型的牙买加赤泥组成如下（单位mg/kg）：钪 135、镧 500、铈 650、钕 250、钐 65、铕 15、铈 10、铈 30、铈 5，还有 钇 10。

在上世纪80年代，从牙买加赤泥中提取稀土元素的兴趣特别浓郁，后来由于价格下跌，主流计划放弃。典型的提取工艺以酸萃取为基础，在去除了大部分的铁和钛元素之后，用选

择性溶剂从所产生的溶液相中提取。上世纪80年代，俄国VAMI与Uralsk氧化铝厂联合，采用磁—湿法化学工艺，从赤泥中提取钪。近期，俄国Bogoslovsk 氧化铝厂成功开发出酸提取工艺。目前，在中国国内有为数众多的从赤泥中提取稀土元素的小规模项目。2013年初，牙买加铝土矿研究院（Jamaica Bauxite Institute）与日本轻金属（Nippon Light Metals）宣布成立合资企业，从牙买加赤泥中提取稀土元素。在牙买加铝土矿研究院试验室内建立的试验工厂于2013年中期完工。2012年年底，加拿大Orbite Aluminae申报了专利，提出采用盐酸提取赤泥和粘土中的稀土元素，2013年年初，公司宣布与Veolia Environmental Services组建合资企业，建设一座工厂，从赤泥中提取和回收稀土元素以及其它组份。

每一种稀土元素都有特殊的应用领域，因此，稀土市场的发展并不是均衡的。钕和镨市场份额很大，它们用于手机等设备的强力磁极。镓和镉与氧化铝清洗层融合，构成汽车尾气催化剂。钪铝合金在飞机的使用呈快速增长。铈和铈广泛用于制造等离子屏幕的磷光体。钇合金用于电动汽车电池。电动汽车的新一轮大规模需求，将大大提升钇的消费增长。2010年，稀土消费量为13.4万吨，2015年预计需求量为16.5万吨，有些估计则更多，其中，从赤泥中回收的稀土金属量，将占重要的份额。在酸回收工艺中，会产生副产品，种类因与目前处理的赤泥性质不同而有差异。业内提出鼓励措施，以回收赤泥中的其它组份，包括用作充填料的硅以及有价值的钛与铁。



牙买加铝土矿研究院内建筑（墙砖由赤泥制成）

b. 潜在的商业应用

在前面提及的很多应用中，有些在技术上很有兴趣并且确实可行，但是上述应用并不能大规模地利用赤泥。其它像回收稀土和钪的一些应用，在经济上很有吸引力，但是并不能减少氧化铝行业每年产生的大宗赤泥，除非在工艺上增加铁、钛和二氧化硅回收流程。对每一个氧化铝生产企业而言，这并不是说它们没有降低处置成本的机会，而是面对需要处理的赤泥数量，它们的努力显得有些杯水车薪。

在有些情况下赤泥的组份或性质具有独一无二的优势，因此，有可能在某些领域实现大规模消耗赤泥。企业须采用与其它废料或原料相比划算的方式提供原材料，或利用材料特性组合，同时，企业还要考虑与利用赤泥相关的风险与担忧。风险呈现在赤泥的碱性、结晶硅石、金属组份和低放射性。碱性可通过局部中和或经改进的处理清洗解决。只要采取与传统材料处理相同的安全防护措施，即便成分属于对人体有害的水平，在典型的利用赤泥的商业应用中员工不会受到结晶硅石、金属组分和低辐射水平的影响。含有低辐射水平的赤泥不适合制造民用建筑材料。值得一提的是，即使专家指出赤泥的风险不大，担忧的呼声还是很高。

目前，尚未有赤泥年利用量的数据，IAI计划在将来通过其成员单位进行正规调查。据估算，目前每年赤泥的利用量为200万吨左右，随着新项目、尤其是中国的新项目的展开，赤泥利用量会迅猛增长。

最大量利用赤泥的领域包括：生产水泥，在希腊、乌克兰、格鲁吉亚、摩尔多瓦和白俄罗斯，估计共消耗赤泥约40万吨；以及回收铁，尤其在中国。在法国，利用赤泥充当填埋场覆盖料，但是用量有所变化，并局限于氧化铝厂周边一个较小的范围内，年用量可达10万吨。在罗马尼亚，利用Tulcea生产的赤泥生产耐火材料，年用量5万吨。赤泥一般与粉煤灰混合，用于道路建设，这方面的用量很大。在法国用于高速公路建设。不过，更多的赤泥则是企业内部消耗，用于建设赤泥堆场的堤坝。酸性和沙质土壤的改良，为灰泥的应用带来很多机会。同样的机会也存在于从赤泥中回收某些元素，譬如铁和钛，由此获得的赤泥形成一种良性废料，可作为土壤改良剂使用。

在未来，巨大的潜在应用行业包括：

- 土壤改良；
- 水泥；
- 回收铁；
- 填埋场；
- 复原；
- 道路建设；
- 建筑材料。在多数情况下不作为主材，而是作为一个恰当的组份，以确保降低令人担忧的放射性问题。

其它规模较大的消费渠道包括耐火材料内衬、污染填埋场或原有矿山工作面修复。

氧化铝行业认为，需要与其它企业或研究机构展开合作，在政府的支持下，推进这些利用方式的发展。在几乎所有情况下，生产企业不会彼此竞争，因为利用途径仅仅限制于每个氧化铝厂周围数百公里的地域内。增加赤泥利用的最大好处，是可以大大促进电解铝/氧化铝工业的可持续发展。

VIII. 恢复和复垦

在恢复、再利用和赤泥的长期可持续管理方面，最大的障碍是赤泥的高碱度。IAI与IAI铝土矿和氧化铝委员会（BAC）以及氧化铝技术协会（ATP）一起，不断划拨资金，支持降低赤泥pH方面的研究工作。

恢复区的研究工作一直在进行中，有联合开展的，也有各自的研究努力。近期完成的AMIRA 国际项目P1038是一个文献评论项目，其目的在于，以公开发表的文献为基础，确定可能的赤泥现场恢复方式，尤其是确定最具前途研究项目目的所在。文献评论结果表明，在现场操作的最具前途的复垦方式，是基于盐-钠质土壤开发策略以及关注加强表面复垦技术为基础的生物处理。

继AMIRA项目P1038之后，IAI委员会接受BAC/ATP的建议，进一步资助由西澳大利亚大学（University of Western Australia）地球与环境学院（School of Earth and Environment）实施的赤泥现场恢复项目。地球与环境学院已着手进行这方面的研究工作，在专业研究方面，同时得到Alcoa和BHP Billiton的资助。项目总体上的目的，是阐明开发改进现有堆存赤泥方法的需要，将赤泥中和与固化相结合，在不对赤泥堆做明显的扰动的前提下，从长远改进赤泥的物理和化学稳定性。关于这一点，如果对于堆存赤泥的化学和地质力学特性已经十分清楚，则可以通过将表面复垦工作或固化反应延伸到加速浸出及自然生态改良措施来实现。

第2阶段---赤泥现场恢复项目预计于2014完成。



第2阶段---赤泥现场恢复项目
预计于2014完成。

圭亚那Linden赤泥堆场部分植被区图片（a）在原来的赤泥堆场内，草丛和非禾本草本植物与光秃的赤泥之间有明显界限（注意：草丛附近的浓绿树木，是赤泥堆场边界以外的原始植被区的一部分）；（b）植被区详图，生长的大叶番石榴（*Psidium guajava*）与 小球茎状爬山虎（右下）；（c）粉红色粘土质赤泥上部的褐色、沙质与富含腐殖质的表土；（d）在植被区以外生长的孤立的草丛。

案例研究：10年中红土变绿洲——牙买加赤泥复垦⁽³⁾

加铝(现为力拓加铝Rio Tinto Alcan)在牙买加有很长的历史。1952年在Kirkvine建成首座氧化铝厂；1959年第二座氧化铝厂在Ewarton建成。2001年，加铝出售出在牙买加拥有的铝土矿矿山和氧化铝厂，但仍然对许多赤泥处理场负有责任。加铝按照认可的标准，对赤泥堆场做安全复垦，并将其所有权交付给牙买加政府。所谓的认可目标，并不是建设房屋或农业利用，而是最大限度地实现生物多样性。

Kirkvine

大约要关闭13个赤泥池塘：其中6个为“开放”池塘，不考虑复垦，其中1个已经局部复垦；剩余7个为“封闭”池塘，前期已经明显复垦或有天然植被。另外，还有一个石棉堆放点和用于贮放草酸盐的混凝土坑需要复垦。

在Kirkvine，赤泥（典型组成：47% Fe_2O_3 ，16% Al_2O_3 ，7% CaO ，6% TiO_2 ，4% SiO_2 ，3% Na_2O ，2% P_2O_5 ，14% LOI）堆放在开采铝土矿之后遗留的洼地中。堆放之后，赤泥中固体含量大约为20%，不过，大多数情况下排放的赤泥填池历经时日，已经没有残留水分了。因此，池表面相对干燥，pH值大约为11。

Kirkvine6号池试验

1996年，在面积4公顷的6号池停止堆存赤泥，随之开始了试验工作。4个30mX18 m的大宗地块和16个2mX2m的小地块采用不同浓度的石膏和化肥处理。二次耕犁至深度大约15cm的干燥赤泥，表面层破碎，之后，用D-6履带机横穿表面，破碎大的土块，最终目标是形成体积2-5cm的颗粒与细颗粒的混合体，这样有助于发芽。据称，粗颗粒物料能确保渗透性，最大限度地避免钠释出。所用石膏的成份为：硫酸钙 46%、硬石膏 47%、硅石 3.7%、氧化镁 0.8%，pH值为 7.8。

4个大宗地块用石膏处理，石膏加入量为10、20、40和60 t/公顷；小地块中石膏的加入量为40、60、80 和100 t/公顷。

土壤电导率结果表明，当石膏加入量从10t/公顷增加至20t/公顷时，pH值会显著降低；当石膏加入量增加至40t/公顷时，仅有适中的土壤的改进；当加入量进一步增加到60t/公顷时，几乎不会对土壤有任何改进。

在大宗地块中，加入石膏一年之后，在其中一半的地块中加入家禽粪便，施加量为4t/公顷，另一半地块的加入量为2 t/公顷；硫酸氨的加入量为0.062 t/公顷。3个月之后，人工种植如下的植物种：

狗牙草 (Cynodon dactylon) 21 kg/公顷

巴拉草 (Brachiaria decumbens) 31 kg/公顷

银合欢或铅树 (Leucaena leucocephala/Lead Tree) 10 kg/公顷

蓖麻子 (Ricinus communis) 4 kg/公顷

洋苏木 (Haematoxylum campechianum) 1 kg/公顷

狗牙草选为主要物种，选择的基础为pH值、导电率，同时结合早期在Al jam获取的经验。前期采用伏生植物巴拉草 (Brachiaria decumbens) 复垦开采完毕的铝土矿矿区，同时，也用于不同物种的比较。在处理区周围，已经有洋苏木，一些随风吹散的植物种子已经发芽。大的狗牙草迅速发芽，比巴拉草发芽快。尽管在开始的3个月内巴拉草发芽较

慢，但生长高度却达0.6m，根系深入地下0.1m。狗芽草产量高，高度大约0.2m，根系入地0.1m。在同期内，洋苏木、蓖麻子和银合欢的高度全部为0.12m左右，而银合欢树叶萎黄。

2004年，West Indies大学对植物生长做出研究。在1998年播种的5个物种中，只看到洋苏木（*Haematoxylum campechianum*）和铅树（*Leucaena leucocephala*）。令人惊奇的是，在1998年播种之后的2年后，狗芽草速度生长，成为播种区最茂密的物种。另外，在上述时间内，铅树的发芽和生长速度较慢，树叶萎黄。2004年开展的研究表明，在属于28个植物群的至少53个物种中，主要物种为铅树和大黍（*Panicum maximum*）。铅树成功生长，归因于它对氮的固定能力。另外，铅树利用种子释放机制，当土壤中缺乏氮以及植被区盖层稀少时，这一点具有明显的优势。植被的生长方式、纤细树木和草丛，以及带有根茎和葡萄枝的物种，代表着早期拓荒者的不断努力，也体现了物种群的发展。

在植被区内，根际（rhizosphere）根系的最大深度为1.4m，地表分布面积在半径0.93m的区域内，但总体上看，根际分布范围有限。令人遗憾的是，早期的研究并没有涵盖池塘内播种的用于比较的5个物种，也没有包括池塘洼地斜坡上的物种。因此，当物种数量从5种增加至53种时，只能将这种增长按其中的12种物种去修正。看见的多数植被，可以认为是石灰石风化而成的红土土壤的特征，这种土壤分布在Manchester和St. Ann 铝土矿的平原区。



基于这一评估，原本植被贫瘠的部分6号池，于2005年重新焕发生机。期间在该区域施加了40t/公顷的石膏，0.6 kg/m² 的鸡粪便，同时播种巴拉草、博纳维塔豆（Bonavista Bean）和几内亚草（Guinea Grass）种子。至2011年，该区域的植被增长得到明显

Kirkvine6号池（2005）

Kirkvine号6池（2011）

改善，改善范围涉及整个区域。在6号池，针对2011年观察到的56种物种做了进一步的分析。它成为可与牙买加“干石灰石林”相媲美的组成部分。

无表土层处理方式的结果，鼓励力拓加铝采取类似的方式去处理仍然是仅存有赤泥的剩余6个赤泥池。采用这一处理方式的主要原因是，这一地区极度缺乏表土层；从可持续发展的角度看，采用稀少的优质表土层去复垦受污染的土地是不符合逻辑的。在上述6个赤泥池中，3个赤泥池的部分地带在水面以下，在处理工作重启之前，需要抽干其中的水，还好水面的最大深度不超过2m。处理过程是依次进行的，从前面一个池中获取的经验教训，可用于其后的池。



最佳方案推荐

在计划关停和复垦赤泥堆场时，需要考虑的因素：

- * 赤泥堆场所处的环境与气候
- * 关闭后的土地利用
- * 远期地形稳定性，包括地质技术和侵蚀稳定性
- * 地表流失和泥塘管理，以及封闭后溢洪道的需求
- * 造成潜在污染水环境的远期渗透
- * 复垦前后可能产生的粉尘
- * 赤泥区最上层的表面处理和植被
- * 外围边坡的表面处理及植被
- * 闭场后的土地利用，即复原原有植物、最大限度地实现生态多样化、种植庄稼及休闲
- * 在必要时，收集和处理滤液（即中和与建造湿地）
- * 不间断检测与监控地表水与地下水指标，以满足法规要求
- * 氧化铝厂关闭之后，不间断对赤泥堆场进行管理与安全控制

计划

- * 与当地社区一道，确定闭场计划
- * 确定和划分闭场成本
- * 明确闭场计划的所有方
- * 确定社区参与流程

成本

- * 需要把赤泥作为一种潜在的资源去考虑：包括土壤改良与土地覆盖有关的直接利用，以及闭场后的赤泥堆场的利用
- * 明确记录闭场所需的资源，以便实施最佳的低成本可持续方案

教育

- * 与立法者沟通（一般情况下，立法者并不具备与赤泥有关的经验，因此，有必要“教育”他们）
- * 向公众传播化学和环境方面的知识
- * 强调赤泥闭场后的成功案例

赤泥组成

- * 尽量回收钠
- * 列举全部组份，尽可能地将其转化为无害及稳定的形式

IX. 赤泥研究近况

a. 淋滤评估方法

2010年, H. A. Van Der Sloot 和 D. S. Kosson提交一份报告, 涉及赤泥处置和利用的淋滤评估方法。该报告为IAI咨询项目的一部分, 目的在于进一步加深和了解铝工业中铝土矿与氧化铝部分的可持续发展问题。

环境方面主要关注项包括水排放, 后续输送, 以及与淋滤导致的潜在影响。本报告的目的, 是对现状、认知和淋滤评估方法进行综述, 以改进赤泥利用和处置方式, 并强调在欧盟和美国出现的新的评估技术。

以下为来自该报告向铝工业推荐的内容:

- 建立不同氧化铝厂的赤泥淋滤特性基准项目。该项目便于对比和了解不同生产者产出赤泥的相似性和差异性, 成为改进处理、利用和处置实践、质量控制的基础。基准淋滤特性涉及pH值的影响、渗透和物料传送试验。附加测试包括帮助了解赤泥地质技术和液力性能的物理特征。
- 建立赤泥淋滤和相关特性的共同数据库, 内容涉及各赤泥产出过程、来源与管理方式的相似性和差异性。数据库还应包括有代表性的赤泥管理项目的孔隙水和滤液的现场观察结果。对于这样的数据库, LeachXS数据库是很适合的。
- 如果可以获取渗水计研究的情况, 以及与填埋或积极利用有关的场地数据, 需要结合更多的实验室测试数据进行评估分析。如果无法获取上述数据, 或获取数据量不足, 建议采用场地测试数据, 以此来验证估计远期性能的基础。
- 从其他领域(土壤、废料和建设)获得的经验, 有利于对赤泥处置和有效利用的远期状况 进行预测, 其中涉及碳酸化、氧化、优先流(preferential flow)和混合物中物料之间的相互作用等各因素的影响。
- 为赤泥质量监测控制确定指南, 包括简化的淋滤评估工序, 以满足可能的利用和处置的需求。
- 在某种程度上, 开发有效的赤泥地质化学演变模型, 这有助于对不同利用和处置方式(包括将赤泥与其它物料混合的方式)做出模拟评估, 在验证试验之前, 确定赤泥的诸多利用途径, 并减少测试成本。

X. 参考文献

- (1) Australia/New Zealand Standard® Risk Management - AS/NZS 4360:2004
- (2) Australian Government: Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry – Tailings Management (2007)
- (3) Produced from a paper for ICSOBA International Seminar on Bauxite Residue 2011 by the following authors: P.A. Lyew-Ayee – Executive Director, Jamaica Bauxite Institute, S.D. Persaud – Senior Environment Officer, Jamaica Bauxite Institute, K.A. Evans – Technology Director, Specialty Aluminas, Rio Tinto Alcan, R.G. Tapp – Project Manager, HSEC, Rio Tinto
- (4) H.A. Van Der Sloot (Hans van der Sloot Consultancy, Langedijk, Netherlands) and D.S. Kosson (Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, USA): Leaching Assessment Methodologies for Disposal and Use of Bauxite Residues (April 2010), research report for the International Aluminium Institute (IAI), London UK

XI. 书目

- Aluminum Association (2000), “Technology Roadmap for Bauxite Residue Treatment and Utilization”.
- Banvolgyi, G., Huan, T. M., “De-watering, disposal and utilization of red mud: state of the art and emerging technologies”.
- Cooling, D.J., “Improving the Sustainability of Residue Management Practice”, from Paste 2007, Proceedings of the Tenth International Seminar on Paste and Thickened Tailings, edited by Fourie, A. B., and Jewell, R. J.
- Gray, “Engineering Properties and Dewatering Characteristics of Red Mud Tailings”, (1974) University of Michigan, DRDA project 340364.
- Jamaican Bauxite Institute and the University of the West Indies, “Bauxite Tailings “Red Mud”, Proceedings of International Workshop Kingston, Jamaica, October 1986.
- Jones, B.E. H., and Haynes, R.J., “Bauxite Processing Residue: A Critical Review of Its Formation, Properties, Storage, and Revegetation”, (2011) Critical Review Environ. Sci. and Tech., (41) 271-315.
- Klauber, C., Grafe, M., and Power, G, “Review of Bauxite Residue “Re-use” Options”, CSIRO Document DMR-3609 (2009).
- Pinnock, W.R.: “Measurement of Radioactivity in Jamaican Building Materials and Gamma Dose Equivalents in a Prototype Red Mud House”, J. Health Physics, (1991), 61 (5), 647-651.
- Power, G., Grafe, M., and Klauber, C., “Review of Current Bauxite Residue Management, Disposal and Storage: Practices, Engineering and Science.” CSIRO Document DMR-3609 (2009).
- Purnell, B.G., “Mud disposal at the Burntisland alumina plant”, Light Metals (1986), 157-159.
- Saxena, M., Asokan, A., “Utilisation of Bauxite Red mud in Wood Substitute Composites”, ICSOBA Newsletter June 2010.
- See, J., Feret, F., and Dube, P. “A Comparative Study of Analytical Methods of Trace Elements in Bauxites and Red Mud” (2010) ICSOBA.

铝土矿赤泥志愿性目标

国际铝业协会（IAI）

2011年5月17日

在铝土矿赤泥管理方面，IAI董事会基于IAI铝土矿与氧化铝委员会的推荐结果，提出如下的5个志愿性目标。

目标1：确保现有赤泥项目的完善：

对现有的赤泥堆场（包括封闭与遗留的堆场），重新评估其完善程度，确保存在适当的监控、管理与控制措施，避免后期事故；

目标2：提供行业支持：

不断物色并推荐众多的行业专家，辅助相关机构对遗留堆场进行管理，根据需要，为业内参与者提供运营支持；

目标3：最佳案例管理：

利用业内最佳案例管理赤泥（其中包括高密度堆存，低碱性堆存和可行地的中和）同时反映当地气候、地理、立法、赤泥特性及其他条件；

目标4：中止赤泥向海洋和水环境处置的方式：

业内付诸努力，在2016年之前中止剩余为数不多的向海洋和水环境处置赤泥的方式；

目标5：改进技术

通过联合和单独项目，不断研究和开发与赤泥恢复、复垦、再利用及良性堆存有关的创新性工业化途径，并在全球范围内推广研究成果。

志愿性目标已经列入IAI铝未来可持续发展项目（AFFG）。AFFG发起于2003年，联合了诸多地区及国家的铝业协会，涉及的志愿目标涵盖铝生命周期的所有主要领域，包括社会、经济和环境方面。目前，IAI董事会认可的志愿目标有19项。在每年，都要采用定量或可持续发展指标，对业内表现进行测定。目前正在进行的工作，将进一步加强全球范围内铝土矿赤泥的管理，包括赤泥利用或再应用方式，以及堆存场地的恢复和复垦。