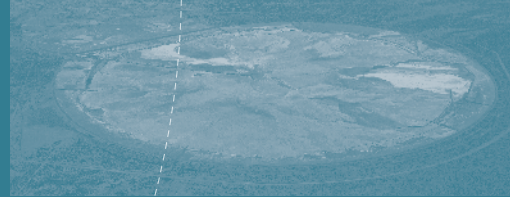




Australian Government  
Department of Industry  
Tourism and Resources

# 尾矿管理

矿产业可持续发展最优方法计划



SOCIAL  
ECONOMIC  
ENVIRONMENTAL



# 尾矿管理

矿产业可持续发展最优方法计划



2007年2月

## 免责声明

### 可持续发展最优方法计划

本出版物由以专家、行业、政府与非政府组织代表组成的工作组编制。感谢工作组各位成员所付出的努力。

本手册中的观点不一定代表联邦政府或工业旅游资源部部长的观点。尽管在编制过程中，努力确保本手册的内容真实无误，但联邦政府并不负责其内容的准确性或完整性，也不对使用或依赖本手册内容而致的任何损失或损害承担任何义务。

本手册的使用者应谨记：本手册仅作为一般性参考资料，在涉及个别用户的一些特殊情况的有关信息时，本手册不能取代专家建议。本手册所涉及的公司或产品不应被视为经联邦政府认可的公司或其产品。

#### 封面图像：

西澳大利亚州基斯山(Mt Keith)镍矿的尾矿贮存设施鸟瞰图

承蒙必和必拓公司允许使用照片

© 澳大利亚联邦2007版权所有

ISBN 0 642 272500 4

本著作受版权保护。除了任何经《1968年版权法》允许的用途之外，未经联邦政府事先书面许可，著作之任何部分不得以任何手段复制，联邦通信、信息技术和艺术部负责提供许可事宜。任何关于复制和权利事宜的要求和询问，请写信至联邦版权管理局、通信信息技术和艺术部知识产权司，地址：GPO Box 2154, Canberra ACT 2601或浏览 <http://www.dcita.gov.au/cca>。

2007年2月

# 目录

鸣谢	vi
前言	ix
1.0 引言	1
1.1 背景	1
1.2 读者	2
1.3 手册结构	2
2.0 可持续发展和尾矿	3
2.1 业务驱动力	4
实例研究：业务方法	4
2.2 社区价值观	6
2.3 法规背景	6
3.0 矿山生命周期基于风险的方法	8
3.1 可接受低风险的概念	8
3.2 设计方法	10
3.3 风险分析方法	10
3.4 对变化的管理	11
3.5 成本效益	12
4.0 尾矿管理体系	13
4.1 尾矿贮存设施的生命周期	14
4.2 规划和设计	14
4.3 施工	22
4.4 运行	23
4.5 关闭规划	26
5.0 最优方法尾矿管理	28
5.1 选址的考虑	29
5.2 尾矿处理方法	29
5.3 尾矿拦集	34
5.4 隔离墙设计和施工	38
5.5 渗流控制	38
5.6 尾矿输送	40
5.7 水管理	40
5.8 粉尘控制	43



5.9 关闭、停产、复垦	43
实例研究：西澳麦克卢尔山(Mt McClure)尾矿贮存设施关闭规划	45
实例研究：昆士兰基兹顿金矿(Kidston Gold Mine)	
尾矿贮存设施的直接植被重建	49
6.0 未来的方向	51
6.1 更好的尾矿处置	51
实例研究：西澳日升大坝(Sunrise Dam)金矿的中央浓缩排放	55
实例研究：北领地格兰尼特斯(Granites)金矿	61
6.2 更好的最终尾矿地貌	62
6.3 尾矿减量、回收、再利用	65
实例研究：西澳奎纳纳的浓缩赤泥残渣处置	66
7.0 结论	68
参考文献和补充读物	69
网址和链接	74
术语表	76

## 鸣谢

可持续发展最优方法计划由澳大利亚政府工业、旅游和资源部下属的一个指导委员会来进行管理。计划中的14个主题是由政府、矿产业、研究机构、学术机构和社区代表所组成的工作组提出。如果没有这些工作组成员的大力合作与积极参与，此最优方法手册是无法完成的。我们在此谨向下列参与了尾矿管理工作组的各位表示衷心的感谢，同时要感谢这些人员的公司领导同意他们参与本计划并提供专业的意见。

---

	<b>David Williams</b> 副教授 组长——尾矿管理工作组 工程学院 昆士兰大学，布里斯班	<a href="http://www.uq.edu.au/geomechanics">www.uq.edu.au/ geomechanics</a>
	<b>Andrew Minns</b> 先生 首席作者——尾矿管理工作组 董事 绩效系统，阿德雷德	<a href="http://www.performancesystems.com.au">www.performancesystems.com.au</a>
	<b>Ramola Yardi</b> 女士 秘书长——工作组 助理经理 工业、旅游和资源部	<a href="http://www.industry.gov.au">www.industry.gov.au</a>
	<b>Gary Bentel</b> 博士 岩土工程经理 项目开发服务 必和必拓，珀斯	<a href="http://www.bhpbilliton.com">www.bhpbilliton.com</a>
	<b>Bruce Brown</b> 博士 首席顾问，尾矿和选矿废弃物管理 力拓，墨尔本	<a href="http://www.riotinto.com">www.riotinto.com</a>
	<b>Mike Gowan</b> 先生 主管 Golder Associates，布里斯班	<a href="http://www.golder.com.au">www.golder.com.au</a>
	<b>Harley Lacy</b> 先生 董事总经理 Outback Ecology，珀斯	<a href="http://www.outbackecology.com">www.outbackecology.com</a>

---





**Gavin Mudd** 博士

可持续水资源学院  
蒙纳士大学，墨尔本

[iswr.eng.monash.edu.au](http://iswr.eng.monash.edu.au)

---



**David Mulligan** 副教授

矿区土地复垦中心主任  
昆士兰大学，布里斯班

[www.cmlr.uq.edu.au](http://www.cmlr.uq.edu.au)

---



**Melanie Stutsel** 女士

主任——环境和社会政策  
澳大利亚矿业协会，堪培拉

[www.minerals.org.au](http://www.minerals.org.au)

---



**Paul Williams** 先生

主管  
MPA Williams and Associates /  
澳大利亚尾矿顾问

[www.mpaw.com.au](http://www.mpaw.com.au)

---





## 前言

澳大利亚采矿业充分顺应了可持续发展这一世界各国所追求的目标。参与可持续发展最优方法，对于矿业公司从社区获取和维持其《采矿社会许可证》是至关重要的。

矿业丛书《可持续发展最优方法手册》包括了从探测、工程建设、开采到关闭矿区的矿业生产所有阶段的环境、经济、社会方面的内容。最优方法的概念，简单来说，是指在特定地点作业的最佳方法。随着新的挑战不断出现，新的解决方案也不断的形成（或者说对现有问题更好的解决方案不断形成），要提出能够满足不同场所特定需要的解决方案，就必须采用灵活、创新的最优方法。建立在一些基本原则基础之上，最优方法除了是一系列固定的操作或者一种特殊的方法，也同样体现着一种方法和态度。最优方法还引入了‘适应性管理’的概念，这是指通过应用最佳科学原理进行不断回顾并从实践中进行总结的过程。

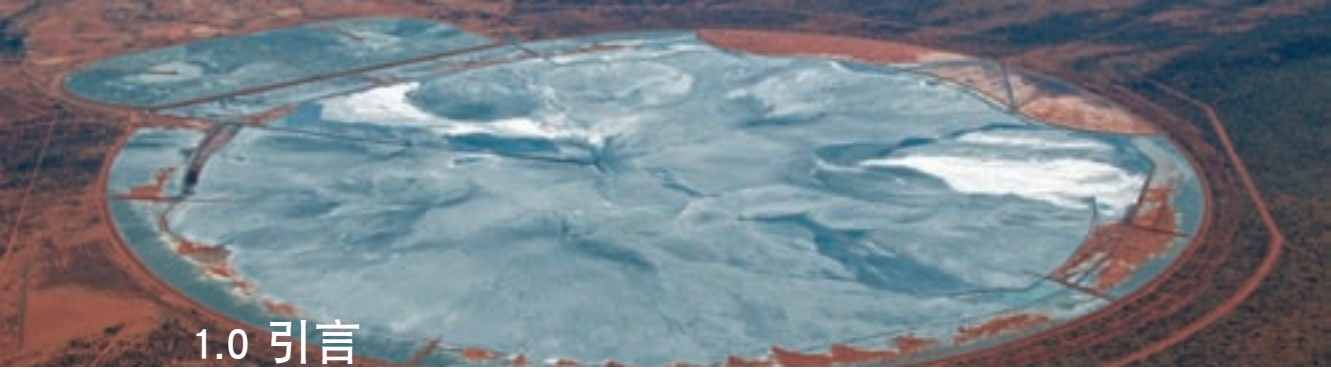
根据国际采矿与金属委员会(ICMM)的定义，矿物和金属开采业的可持续发展是指其投资必须具有技术方面的适当性、环境方面的合理性、经济方面的赢利性，以及社会方面的责任感。《持久价值——澳大利亚的矿业可持续发展框架》为澳大利亚矿产业提供了在运作方面执行ICMM原则及规定的指导。

有很多不同领域的组织已经成为指导委员会和工作组成员，这表明他们对于矿产业最优方法有着各种不同的关注。这些组织中包括国家工业、旅游和资源部、环境遗产部、工业与资源部（西澳大利亚州）、自然资源与矿产部（昆士兰州）、第一产业部（维多利亚州）、澳大利亚矿物委员会、澳大利亚矿业环境研究中心、矿业公司的代表、技术研究机构、矿业、社会和环境顾问，以及非政府组织。这些工作组协同合作，在涉及各类阐释澳大利亚矿产业可持续发展最优方法的课题上，进行有关信息的收集与公布工作。

此项工作成果的结集出版，将使矿产业各个部门通过遵循可持续发展最优方法的原则，减少矿业生产对公众和环境所造成的的不利影响。工作成果的结集出版，将对我们经济生活中重要领域的可持续发展和自然遗产保护做出重大贡献。



伊恩·麦克法兰议员阁下  
工业、旅游和资源部部长



# 1.0 引言

## 1.1 背景

本手册阐述了可持续发展最优方法计划中的尾矿管理主题。这项计划旨在确定影响矿产业可持续发展的关键问题，提供阐明促进矿产业运营可持续发展原则的信息和案例。

澳大利亚有许多历史上遗留下来的矿区(例如，莱伊尔山(Mt Lyell)、摩根山(Mt Morgan)和兰姆森林(Rum Jungle))，这些矿区有着环境和社会方面的负面影响，还存在尾矿贮存设施引起的风险。这些影响涉及不良的处置作法、污染渗漏对地表和地下水的相关影响、尾矿和外坡面的侵蚀等。这些历史遗留矿区并未体现本手册中所概括的目前最优方法尾矿管理。

尾矿由可采金属和矿物从采出矿石中提取后剩余的细粒(一般为尺寸范围0.001到0.6毫米的粉砂)固体材料和所有残留的工艺用水组成。尾矿的物理和化学特性因矿石性质的不同而有差异。尾矿管理涉及选矿废弃物的管理问题。

尾矿可以多种方式贮存，具体方式则取决于其物理和化学性质、矿区地貌、气候条件、矿业运营和选矿厂所处的社会经济环境。尾矿大多贮存在地面设施中，最高可占到矿业运营中干扰面的一半，这些是本手册的论述重点。尾矿贮存设施的基本要求是，提供尾矿安全、稳定、经济的贮存，让运营过程和关闭后几乎不会存在公众健康和安全风险，社会和环境的影响达到可接受的低水平。

本手册讨论的是基于风险的系统性尾矿管理方法。它提供了尾矿拦集、处置、复垦的实例，并指出尾矿管理的未来趋势。手册未对沿河岸、浅海、深海尾矿处置方法作专门讨论。这些方法澳大利亚法规环境或水深测定条件不予支持。

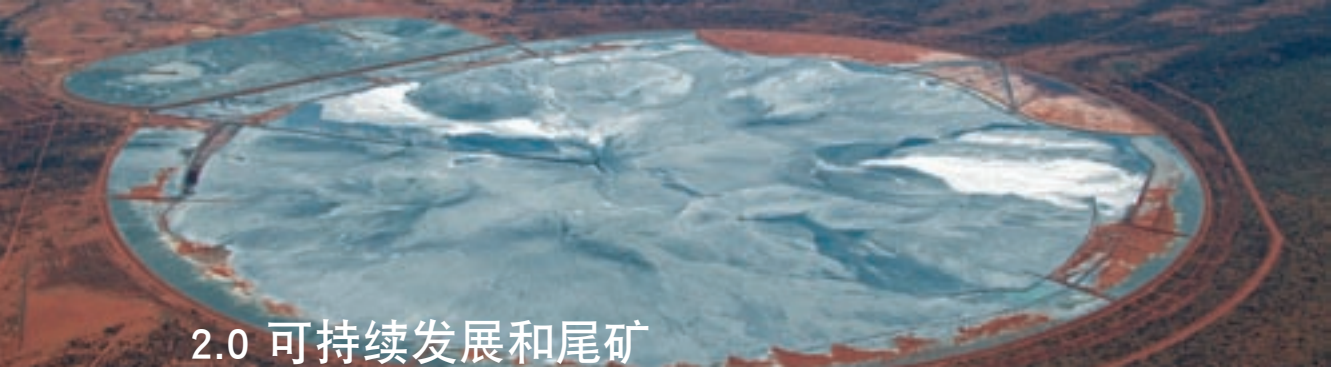
## 1.2 读者

本手册主要供现场矿业管理人员使用，他们是矿业运营中贯彻最优方法的中坚力量。本手册也可供对矿业最优方法感兴趣的有关人员使用，这包括环境管理人员、矿业咨询公司、政府部门、监管机构、非政府组织、矿区社区以及学生。我们鼓励手册的所有读者迎接挑战，通过运用本手册中概述的原则，在尾矿管理领域不断改进矿产业的绩效。

## 1.3 手册结构

本手册论及的范围，涵盖尾矿管理的所有阶段，包括规划、设计、施工、运营、关闭、复垦和复田护理。在本书中涵盖尾矿贮存设施生命周期的所有方面是非常重要的，这是因为运营的矿山管理部门不仅要负责现有尾矿贮存设施的运行工作，而且还要对其扩建、对探明的其他矿石储量所在地新设施的开发负责。

第2节重点说明的是，实行尾矿管理广泛可持续发展框架的重要性。第3节提出了尾矿管理中基于矿山开采生命周期风险方法的必要性，并对这种方法做了简述。第4节综合说明了管理系统的关键要素，这些要素贯穿尾矿贮存设施生命周期的始终，确保运行和关闭的目标能够实现。第5节提出最优方法尾矿管理与尾矿贮存设施各种物理组件的设计、运行和关闭相关的各个方面。第6节讨论最优方法尾矿管理的未来方向，第7节则是一个小结。



## 2.0 可持续发展和尾矿

### 关键信息

- 持久价值、围绕可持续发展的原则，构成了“社会采矿许可”基础。
- 尾矿贮存设施的失效或低效率，对公司的最终效益会产生深远影响。
- 在有报道的尾矿事故中，主要原因是缺乏对水量平衡或施工质量的控制，对控制安全运行的特性普遍缺乏了解。
- 需要在早期并且持续与利益相关方开展咨询、信息分享和对话。
- 遵守政府法规，为矿产业确立了与尾矿管理相关的最低绩效平台。

为了提供阐明和实施矿产业对可持续发展承诺的框架，澳大利亚矿业协会编写了《持久价值——澳大利亚的矿业可持续发展框架》(*Enduring Value — the Australian Minerals Industry Framework for Sustainable Development*) (澳大利亚矿业协会2004年编写)。持久价值有助于政策的领会，可以确保目前矿业领域中的活动不会损害后代满足自身需要的能力。持久价值目的明确，旨在支持公司不仅仅满足于遵纪守法和促进其“社会采矿许可”。持久价值基于风险的持续改进方法，在本手册中得到了反映。

#### 尾矿管理的持久价值原则：

- 贯彻实施强调持续改进的环境管理体系，以此评审、预防、减轻或改善不利的环境影响
- 为残余废弃物和加工残渣提供安全贮存处置
- 依照正确的复垦后的土地利用，恢复受运营干扰或占用的土地
- 与利益相关方和受影响方协商，识别、评价、管理与我们活动相关联的所有重大经济、公众健康、安全、社会、环境风险
- 将采矿、矿物、金属业务运营中的重大风险以及用来有效管理潜在风险的措施通知可能的受影响方。

## 2.1 业务驱动力

尾矿管理中运用最优方法的业务案例引人注目。尾矿贮存设施的失效或低效率，对公司的最终效益会产生深远的影响。在极端情况下，尾矿贮存设施的失效，曾使股值严重下滑，这是因为市场期望会发生清理成本、暂停运营以及可能发生的矿山关停等问题。还要再加上对公司声誉造成的损失以及失去社会采矿许可。最优方法尾矿管理系统的成本不只是通过降低重大事故的风险来抵消的。

常规的经济分析，可导致最大程度减少初始投资支出，延缓复垦成本的投入。净现值分析扣减了关闭、复垦、关闭后管理上未来支出的当前成本。因此，如果采取这种短期的经济视角，不考虑长期社会和环境成本，就不会有什么驱动力，不会依靠开发阶段大量投入来避免或减少关闭阶段的支出。但是，我们有很多理由在开发的初期阶段以及尾矿贮存设施的设计和运行中，采取最优方法来优化关闭时的结果。为关闭而做的设计和运营，可避免出现使用重大土方工程支出来重建稳定地貌和排水系统的现象。运营中要尽可能逐步复垦，让复垦工作可在有运营资金、管理团队和相关资源时实施。逐步复垦还可降低监管机构所要求的财务保障成本。最优方法尾矿管理，还会缩短关闭后监测和维护所需要的时间。

### 实例研究：业务方法

#### 最小努力和最少初期资本成本方法

尾矿贮存设施可能容量过小，不足以处理更高的矿山产能，导致尾矿沉积物固结不实、密度低、强度低。尾矿最终需要更大的贮存量。尾矿在关闭后将继续固结很长一段时间，这样就可能需要地下水回收井，在关闭后的很长时间里，由回收井收集污染的渗流。在尾矿达到足够通行的强度前，就不能进入尾矿表面进行复垦，在继续沉积时，还会推迟对覆盖系统的铺置。控制地表径流，可能需要大的土方工程来完成。因此，监管机构及其他利益相关方，将以怀疑的态度看待采矿公司，而采矿公司的声誉会受到影响。

## 最优方法

对最终地貌的考虑，将决定选址、布局和尾矿沉积等策略。关闭时，尾矿贮存设施应该设计为适应自然的地表排水，其侵蚀速率应与该地区自然的地貌侵蚀速率相似的侵蚀速率。根据情况使用浓缩或膏体尾矿的最优尾矿管理方法、良好的水管理以及适当的地下排水和垫层，就可得到完全固结的尾矿；这样就能以最短的推迟时间，进入尾矿表面实施复垦。对渗流的运行进行充分控制，可消除长期收集地下水的需要。尾矿贮存设施将是负责任的尾矿管理中的一个展示窗口，和利益相关方一起，为矿山业主在利益相关者中建立信誉，赢得可持续采矿经营的声誉，还有助于将来的矿业开发项目。

### 2.1.1 汲取的教训

国际矿业在过去十年汲取了许多教训，这些教训对我们发展澳大利亚的最优尾矿管理方法甚有助益。国际大坝委员会(ICOLD)121号公告(2001)公布了一份这类教训方面的全面报告，这份报告是从很多尾矿贮存设施失效和事故中总结出来的。

该委员会所确认的失效和事故主要原因是：

- 缺乏水量平衡的控制
- 缺乏施工控制
- 对控制安全运行的特性普遍缺乏了解。

尾矿隔离墙失效是(按照普遍性的顺序)：

- 边坡不稳固
- 地震载荷
- 漫顶
- 地基不牢固
- 渗流

与在下游施工相比，上游施工时发生尾矿事故似乎更为常见(见5.3节)。使用下游方法建造的尾矿隔离墙，功能类似于挡水坝。

ICOLD 121号公告(2001)最后总结认为，尾矿贮存设施成功的规划和管理，在以下方面可以受益巨大：（翻译错误）



- 利益相关方的参与
- 深入的研究和风险评估
- 详尽的文件
- 与矿山规划、运营、关闭有机结合的尾矿管理。

本手册中说明的最优尾矿管理方法中就反映了我们所汲取的教训。

## 2.2 社区价值观

采矿公司面临的一个重要挑战是，为了开展采矿活动，就要赢得运营所在社区的信任，获得利益相关方的支持和批准。只有采矿工程的规划、实施、营运与利益相关方有机结合，特别是与运营所在社区有意义的协调相结合，才能赢得和保持“社会采矿许可”。技术设计过程等决策过程，从工程概念化的初期阶段直至矿山整个寿命周期，都应有相关利益团体的参与。

利益相关方协调、信息共享、对话，全部应贯穿尾矿设施的设计运行阶段，这样，规划和执行时，各个方面的观点、关注、期望都可得到考虑。公司与受影响社区之间有意义的定期接触，对发展信任、防止矛盾特别重要。

考虑尾矿贮存设施等矿山运营的影响时，应采取“预防为主的原则”。这项原则指出，如果对人、对环境产生严重的危害或者不可逆的危害清楚得到确认，那么，就不能以缺少充分的科学确定因素，来作为推迟为预防伤害人员或环境退化而采取措施的理由。如果风险的后果或发生风险可能性的不确定性很大，那么就要积极采取行动，减轻风险的发生。

本丛书《社区参与及发展》(*Community Engagement and Development*)以及《与土著社区一起开发》(*Working with Indigenous Communities*)最佳方法手册，阐述了利益相关方参与的原则和最优方法。

## 2.3 法规背景

澳大利亚尾矿和尾矿贮存设施法规的主要责任归州政府和领地政府。虽然各地的法规要求不同，但总的原则是一致的。在各地：

- 尾矿贮存和管理(包括复垦和关闭)法规的责任归矿业部门或环保机构
- 污染控制和尾矿贮存设施水排放法规的责任归环保机构
- 法规的焦点在于确保包括尾矿贮存设施在内的尾矿管理办法，是安全、稳定、无污染的。

在某些州，尾矿贮存设施设计、建造、运行中的管理法规是通过特殊立法涵盖的。例如在新南威尔士州，大坝安全委员会依据《大坝安全法案(1978)》(*Dams Safety Act, 1978*)监督尾矿拦集法规的执行。不同的主管机构也可同时发布各自的尾矿管理规范(见参考文献、网址、链接)。

尾矿管理活动可能对国家环境问题产生重大影响时，尾矿管理活动要依据《联邦环境保护和生物多样性保护法案(1999)》(EPBC法案)(*Commonwealth Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 (EPBC Act)*)，严格执行评估和审批手续。EPBC法案涉及这类的问题包括国家遗产、受胁物种以及国际重要湿地。

遵守政府法规，为矿业确立了与尾矿管理相关的最低绩效平台。



## 3.0 基于风险的矿山生命周期方法

### 关键信息

- 尾矿贮存设施的设计、运行、关闭、复垦，都必须确保其对现场工作人员和公众不会存在健康安全风险，对社区和环境影响要达到可接受的低水平。
- 基于风险的设计方法，为管理与尾矿贮存设施相关的不确定性和变化提供了框架。
- 尾矿管理中所用基于风险的方法，必须具有足够的灵活性，以便能够管理不断变化的情况。
- 尾矿管理、贮存、关闭备选策略的成本一般都能精确估算，可以引入成本效果分析，降低已确定风险。

最优尾矿管理方法的原则，立足点是尾矿贮存设施的规划、设计、施工、运行、关闭、复垦基于风险的方法。采用这种方法时，需要合理规划，以便在尾矿贮存设施的整个生命周期实施有效管理，同时对详细情况充分了解，将潜在风险控制可在可接受限值内。

例如，在干燥、半荒漠气候(年平均降雨量250毫米)条件下填土隔离矮墙(10米)，与高降雨量环境(>3米/年)下100米高的山谷隔离墙，规划详细程度和设计水平都可能不需一样。风险等级较高的尾矿贮存设施，要求在设计阶段做到更严格，在施工过程中做到更细致地控制质量，在运行阶段做到更注重风险管理、应急措施规划体系以及文件编制。

### 3.1 可接受低风险的概念

尾矿贮存设施必须符合操作人员和公众健康、安全、社区、环境保护目标方面的要求。只有尾矿贮存设施的设计、运行、关闭、复垦的风险在设施的整个运营周期和以后时间里，达到利益相关方可接受的水平，这些目标才算得到满足。

因此，我们提倡在尾矿有效管理中采用系统方法。管理策略需要基于风险，并且要代表公司营运所在社区的观点和期望。尾矿方面对人、对环境的主要风险，分为运行阶段和关闭阶段。

### 3.1.1 运行阶段风险

尾矿贮存设施的主要目的是贮存尾矿固体和所有封存水。尾矿贮存设施运行过程中对公众健康、安全、社区、环境产生影响的设施失效及风险包括：

- 尾矿浆输送管道或澄清水回水管道破裂
- 降雨引发的尾矿外工作面侵蚀或管涌(图1)
- 隔离墙的岩土工程破坏或过度变形(图2)
- 尾矿贮存设施的过度充填，导致水在隔离墙漫顶
- 透过隔离墙的渗流，可能导致树木死亡(图3)
- 进入地基对地下水造成影响的受污染渗流
- 颗粒(粉尘)或气态排放(例如，澳大利亚环保署的丛书中(1998)提到的氢、氰化氢，和本丛中拟出版的《氰化物手册》(Cyanide Handbook)，二氧化硫和硫化氢)(图4)
- 鸟、野生动物或家畜接触可能蓄积在尾矿贮存设施表面上的受污染澄清水
- 野生动物或家畜接触到可能会陷在其中的松软尾矿。



### 3.1.2 关闭阶段风险

尾矿贮存设施关闭后的失效模式和风险，除包括尾矿输送或回水管道破坏以外，还可能包括大部分尾矿运行阶段的失效模式和风险。其他关闭后失效模式和风险还有：

- 降雨引发的隔离墙表面侵蚀，这可能使尾矿外露和移动(见图)
- 溢流道破坏(如果有溢流道)
- 雨水径流漫顶，引起隔离墙侵蚀
- 尾矿表面上安置的覆盖系统破坏。



## 3.2 设计方法

传统的设计方法是基于设施的“设计生命周期”以及设计“安全系数”。虽然尾矿贮存设施的设计使用年限可以合理确定，但是，对于关闭后的设计年限会产生更多的争议，也就是说，这种情况会长期存在。使用设计安全系数，隐喻的意思是设定的目标只要能够实现，就可以忽略不确定性因素。由于尾矿贮存设施常常具有高度的不确定性，为了确保破坏的可能性处在可接受的低水平，因此，就需要很高的安全系数。这种方法会导致设计效率的低下。

基于风险的设计方法为管理尾矿贮存设施方面的不确定性和变化提供了一个框架，这种方法有许多好处(Williams 1997)，其中包括：

- 对所接触危险的大小和成本更好地实施量化
- 为选择最优策略提供有说服力的意见
- 发现和消除较低风险的危害
- 突出需要采取适当处理措施才能降低的重大风险
- 推动实现可接受低风险的经济有效解决方案。

## 3.3 风险分析方法

风险有许多定义。《采矿最优环境管理方法(1999)》(*Best Practice Environmental Management in Mining (1999)*)将隐患定义为潜在的危害，认为风险具有二维性——可能性和后果，把风险定义为实际危害的可能性。

风险分析使选择方案以及破坏的可能性、后果、成本得到量化。“风险等级”通过可能性和后果的乘积得到。

《澳新标准4360:2004》(AS/NZS 4360:2004)推荐使用下面的风险评估过程：

- 确立背景——地理背景、社会背景、环境背景，决定设计准则
- 找出危险——会发生什么，在哪里发生，什么时候发生、如何发生、为什么发生
- 分析风险——找出现有的控制方法，确定风险发生的可能性和后果，由此得出的风险水平
- 评价风险——将其与设计规范作比较，作敏感性分析，突出重要和不重要的风险，设置优先次序，判定是否需要风险采取措施
- 解决所选择的危险——找出、评估备选方案，编制、实施处理规划，分析、评价残余风险。

这个过程中起决定作用的，是需要与利益相关方沟通和协商，并且开展监控和评审。

各矿业公司采用的风险分析方法各异，具体取决于采矿开发的规模以及公司所采用的方法。风险分析方法的主要类型有：

- 定性风险图——包括隐患识别、可能性、后果、风险等级、补救措施
- 半定量和定量方法——有助于明确定义和可量化的隐患
- 计算机分析——需要为主要工业设施的设计而收集的大量数据。

定量方法依赖的是为可能性和后果所指定的数值。最常用的定量方法为基于概率的故障/事件树方法，一般以计算表单中设立一系列相连方框的形式完成。采用该方法时，必须首先识别关键事件或结果，例如尾矿贮存设施的破坏。这构成了事件树的顶部。然后再识别可能导致这种关键事件的原因或破坏模式，这构成故障树分枝的顶部。这些原因中的每一个又有很多子原因，其中有一些子原因导致了一个以上的原因。

### 3.4 对变化的管理

尾矿管理中所用基于风险的方法，必须具有足够的灵活性，这样才能管理处于变化中的情况。这些变化可能涉及常规和预期的尾矿贮存设施抬高，未预见到的扩大，或使用全新设施、新处置方法。对这类变化的管理应该成为尾矿贮存设施规划、设计、施工、关闭、复垦中的一项核心考虑事项。

变化的情况和可能的反应包括：

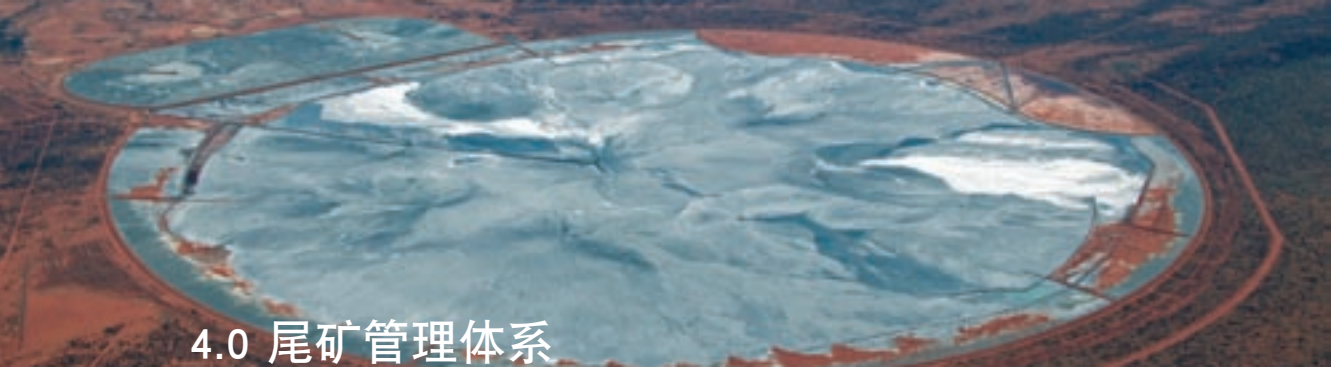
- 选矿厂生产能力的提高、矿山开采期限的增加——需要现有尾矿贮存设施的抬高、扩大、建造新设施。更高的尾矿产出率，需要把新贮存设施的许可和施工提前完成
- 矿石性质的变化、边界品位降低——可能要求磨得更细，这会提高尾矿贮存要求，导致更湿、更软的尾矿沉积物。没有细颗粒选矿流程，效果也会类似
- 水资源枯竭——可能需要尾矿浓缩程度加大后再做处理，这样才能回收更多的水进行重复利用
- 法规要求和社区期望发生变化——这会随着时间发生变化
- 过早关闭导致尾矿设施利用不完全，导致大面积的尾矿区内只有相对较薄的尾矿——将尾矿沉积在较小的占用地上，减少需要管理和复垦的面积。

### 3.5 成本效益

尾矿管理、贮存、关闭备选策略的成本一般都能引入成本效益分析，做出精确估算。通过这样的分析，人们可以对不同策略的成本作比较，并对照其使所选尾矿管理、贮存、关闭策略总体风险(包括地球化学风险)降低的程度进行权衡。

风险分析和设计方面采用的高技术方法，加上美学价值和宜人环境受到破坏等某些因素的不确定性和主观性质，导致这种分析因人而异。与利益相关方的协商，可用来帮助决策者了解不同的观点、期望和关注内容。这些观点可在选择方案的产生、分析、决策的过程中加以考虑。

短期内降低尾矿管理成本的吸引力，必须对照关闭和关闭以后环境和社会成本增加的可能性进行仔细权衡。这需要一个有力并且灵活的风险评估模型，并开展相关的成本效益分析，这样才能在矿山的整个生命周期中始终为决策过程提供帮助。公众健康、安全风险、广泛的社会环境影响也需要考虑，这包括可能长期向环境释放污染物的情况。



## 4.0 尾矿管理体系

### 关键信息

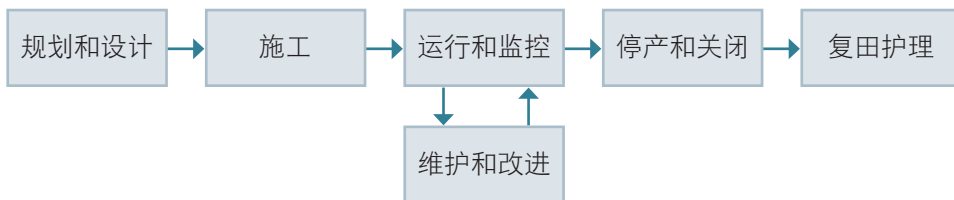
- 尾矿贮存设施的设计、运行、关闭、复垦，应确保性能可以满足或超过与重要利益相关方协商达成的标准。
- 尾矿贮存设施生命周期的每个阶段，从概念设计到复垦和复田护理，都需要作全面的考虑，并在尾矿管理规划中的一系列报告中加以记录，这是一个“有生命”的文件。
- 尾矿管理规划的规模应配合项目的规模。
- 与利益相关方开展的早期协商和持续协商、信息分享、对话，是持续进行的尾矿管理规划编制中的有机组成部分。

最优尾矿管理方法要求，尾矿贮存设施的设计、运行、关闭、复垦，都应确保性能可以满足或超过与关键利益相关方协商达成的标准。有些规范非常好，可以用来描述尾矿管理体系的要素(见参考文献、网址、链接)。这些规范为特定尾矿管理体系的编制打下了牢固的基础。规范包括管理原则、方针的框架、在尾矿贮存设施生命周期中贯彻实施框架的检查表。本节概述了最优方法尾矿管理体系从规划到关闭的关键元素和方法，这部分内容基本上是参考了《必和必拓尾矿管理规范》(必和必拓2006)(*BHP Billiton Tailings Management Guideline (BHP Billiton 2006)*)。这个规范反映了整个采矿业所采用的最优方法尾矿管理体系。

本节描述了尾矿管理体系的关键元素，而第5节描述了在这些体系指导下的最优方法尾矿管理。

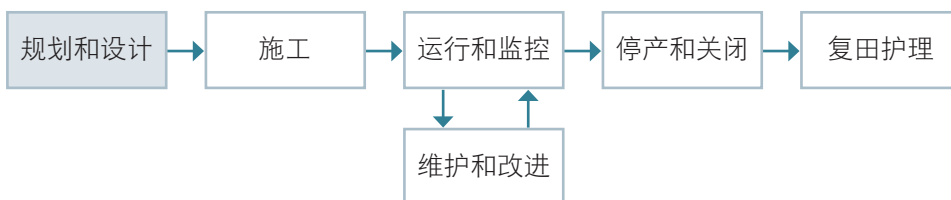


## 4.1 尾矿贮存设施的生命周期



负责和有效的尾矿管理，其基本原则是设计和运行能够实现有效的关闭(参见本丛书中的《矿山关闭和完成手册》(*Mine Closure and Completion Handbook*))。由于涉及到尾矿贮存设施长期的债务责任方面，因此这一目标很重要。如果这些方面在早期没有得到充分的考虑，就可能在已经停止从矿物生产中得收益时，还要一直为项目附加大量清理和维护成本。

## 4.2 规划和设计



最优方法要求在尾矿贮存设施规划和矿山规划之间做出调整。还必须根据矿山规划的更改，对尾矿贮存设施规划开展评审，必要时做出修改。这将确保在任何阶段或此后提高的要求时，都可获得充分的财政支持和计划安排，这也确保了项目的整个生命周期中，运营和管理活动始终都在努力实现关闭目标。

以下方面应予考虑：

- 制订尾矿安置方法时，整合矿山规划和进度安排；例如，利用或堆放表层土和废石，用于隔离墙的抬高、封土和覆盖层的施工。
- 尾矿贮存设施的位置要避免让矿产资源彻底贫化或污染水资源
- 相应的堤防建筑材料和表面封土材料是否易得

- 尾矿的地球化学特性，用以评定运行过程中和关闭后，酸性和金属矿废水排放的可能性(参考本丛书的《酸性和金属矿废水排放管理手册》(*Managing Acidic and Metalliferous Drainage Handbook*))。尾矿安置方法和堤坝施工类型的选择都受地球化学风险等级的影响。表征所用的样品，可从冶金试验工作中得到，这种试验工作一般作为新建采矿工程经济预可研阶段的一部分进行。
- 变化管理——选矿厂生产能力的提高，影响了尾矿和水的贮存要求。尾矿表面的上升速度，对尾矿强度和稳定性也有影响
- 尾矿的再安置——某些尾矿可能含有宝贵的矿物，因此管理方面的一个目标，就是在经济采收工作可行之前，提供临时的贮存场所。但是，这不应作为将尾矿长时间置于地球化学不稳定或反应状态中的正当理由。

### 尾矿管理计划的组成：

- 矿山生命周期的尾矿贮存设施计划——在整个营运期间尾矿将在什么地方贮存、如何贮存、估计预算(和进度表)、施工分几个阶段(阶段进度表，见4.2.1节)
- 设计规范——尾矿贮存设施在矿山开采期限的每个阶段，预期实现的生产、岩土工程、地球化学、运行与关闭期间的公众健康安全、社区以及环境的绩效目标(见4.2.2节)
- 设计报告——为达到规定的设计标准，对尾矿贮存设施每个结构或阶段的详细设计，其中包括图纸。这包括岩土工程研究以及其他为支持设计而作的研究(见4.2.3节)
- 施工报告——有关尾矿贮存设施施工的详细报告，该报告要针对已有的图纸和施工质量计划为标准。这应包括竣工图和照片，这有助于发现即将产生的风险、问题出现后的反演分析(见4.3节)
- 运行手册——运行原则、方法、相关资源和培训(见4.4节)
  - 安全(或风险)管理计划——监督监测计划，包括检查、监测、水量平衡、绩效评审(见4.4.1节)
  - 应急措施和应对计划——紧急状况下需采取的步骤，将公众健康、安全社区环境方面的风险、事故发生时的影响降到最低(见4.4.2节)
- 关闭计划——形成尾矿管理计划最终目标的关闭策略(见4.5节)。

高风险尾矿贮存设施的运行计划、安全管理计划、应急措施、应对计划，内容可能较多、较详细，对简单和风险低的设施，这些内容就很简略(一份文件就包括了所有方面)。

### 4.2.1 矿山生命周期的计划

矿山生命周期的尾矿贮存设施计划，有必要确保在整个运行周期内实现运行、公众健康安全、社区环境方面的目标。这些目标大约每5年进行一次重大更新，每年举行一次评审。这项计划的规范，源自矿山生命周期的计划。

尾矿贮存设施分阶段开发来满足生产需要时，需要编制一份详细的进度表，内容包括：

- 新阶段或改造启动的时间
- 设计、研究、批准所需的进度表
- 年度和每阶段的估算成本。

这样的计划将确保工作有足够的预算，调查和设计能够及时进行，还能确保有足够的时间开展施工(包括出现气候或其他原因的紧急情况下)，以便新阶段或改造能够完成并投入运行。

#### 背景和基线条件

从预可研或环境影响评价阶段开始，在尾矿贮存设施开始施工前，就必须连续测量因尾矿贮存设施的存在，对各种环境特征的性质、质量、水平、数量造成的影响。需要定义的背景条件一般包括：

- 地下水水位和水质
- 基础土壤和岩石的含水量和地球化学性质
- 空气质量
- 动植物种群和密度
- 将要贮存放射性物质场所的天然水平和本底辐射水平。

开始运行前，务必通过公众健康安全、社区环境风险评价，确定所需的背景数据。

此外，基线尾矿参数也需要定义，其中包括：

- 尾矿或矿石的地球化学性质
- 尾液、封存水、浸出液水质。

这些背景和基线条件非常重要——这是背景和尾矿及水质参数之间的差值，该差值可以帮助定义检测影响土壤或者地下水资源的污染物所用的最优指标。这个过程还用来让监管机构能够为设施制定适用的营运许可条件。

如果尾矿参数在尾矿贮存设施的运行生命周期内发生改变，这种变化应在原始数据旁边注明，并注上发生变化的日期。这些变化可能需要对设计和管理计划做出更改。

## 社区价值观

尾矿贮存设施在从规划到关闭的整个决策过程中，必须将健康、美学、环境等社区价值观包括在内。这将涉及到与相关利益团体之间有意义、动态、定期的协调，其中包括与利益相关方开展信息共享和对话(见2.2节)。

## 风险评估

尾矿贮存设施需要正式开展风险评估，来识别和量化需要得到管理的风险。尾矿贮存设施一般按照一整套分级标准，分为高风险、重大风险、低风险设施。风险等级用来确定设计、施工、风险管理、检查、报告等要求。

风险等级越高，设计、施工监督、风险管理、应急措施、应对计划的要求也就越严格。高风险尾矿贮存设施常常由政府监管机构审核。

尾矿贮存设施风险评级的相关方法，包含在澳大利亚大坝国家委员会(ANCOLD)尾矿《矿坝设计施工运行规范》(*Guidelines for Tailings Dam Design, Construction and Operation*)以及各州各领地有关尾矿贮存设施设计的规范中(见参考文献、网址和链接)。

### 备选方案的识别和评价——概念阶段

尾矿管理的备选方案预先确定的情况司空见惯，这是因为有：

- 依靠自己以前经验的工程师——无视新技术和项目的特殊情况
- 来自少数内部和外部专家的建议。

为项目开发概念尾矿管理体系，最重要的一步就是集中一个能够评价矿区尾矿管理中矿山生命周期问题的多学科项目组。这个项目组应遵循以下步骤：

## 1. 定义运行参数

概念研究必须建立在数据的基础上。这些数据应包括矿山生命周期计划、矿区地貌、汇水面积、历史降雨量、蒸发数据、设计尾矿产量产率及其物理、化学、流变特性、水量、水质、水价、可用建筑材料、地基岩土工程参数以及地震数据等。

项目组还需要：

- 整理所有以前尾矿研究资料
- 识别和量化关键的绩效驱动因素。例如，淡水需求、降低酸性、金属矿废水排放、盐度的产生、降低附近社区受到的噪音和视觉影响
- 识别项目管辖权范围内管理尾矿设施设计、运行、关闭方面的所有法规要求和法律
- 识别社区的关注点。

## 2. 识别所有可能的尾矿贮存位置

可能的尾矿贮存位置可包括植被区、现有的尾矿贮存设施、现在和将来的矿山空地、废石贮存区等。评审尾矿贮存备选方案时，项目组应考虑：

- 让水回收和尾矿固结程度最大化的备选方案
- 在多个贮存池之间轮流排放尾矿，降低抬高速度，增加固结密度
- 矿体贫化
- 可能的酸性和金属矿废水排放或盐度、视觉、噪声、粉尘问题
- 尾矿拦集或者管道破坏的影响
- 矿区复垦。

这一步将生成风险评估、评定可能的贮存容量是否充分的贮存容量与时间关系图、最低的尾矿密度标准、建议尾矿贮存位置的候选清单等资料。

## 3. 实现矿区水量平衡

澳大利亚东海岸的矿山目前正遇到蓄水问题，而澳大利亚的其他矿区需要解决水量过多的问题。要评价不同尾矿处理和贮存方案的影响，就需要以各种水源和降雨量情况为自变量，在矿区达到水量平衡。

这一步将推荐一个概念尾矿贮存设施设计，并提供各种尾矿脱水和贮存方案的风险评估。

#### 4. 脱水方案

在特定的尾矿运行中有很多机械和现场尾矿脱水方案可供采用，其中包括常规的高速和膏体浓密机、真空过滤和压滤机、离心机和旋流器。选择适当的尾矿脱水方法并无简单的经验法则可以遵循。在概念阶段，建议项目组评审：

- 当前和未来的尾矿要求。例如，经过几年采矿后，可能有空地可用于尾矿贮存，这会需要与已建尾矿设施所用脱水方法不同的方法。因此，矿山生命周期可能需要一个以上的尾矿脱水方法，其位置可能需要调整
- 类似采矿方案中所采用的技术
- 新技术
- 创新技术。

各种脱水方案可通过以前步骤中确定的矿区水量平衡和尾矿密度目标，做出初步筛选。典型的脱水设备性能数据，可从其他营运矿区、设备卖方的专家意见、试验室规模的试验中收集。

这一步将对各种脱水方案进行风险评估，并产生符合水量和尾矿密度设计规范的建议候选清单。

#### 5. 净现成本和净现值评估

各种尾矿脱水和贮存方案，现在可从财务观点通过计算净现成本和净现值进行分级。在此阶段，可评估与脱水设备、贮存位置、尾矿输送方案(即泵送、拖运、输送)以及消耗品(即试剂和水)价格灵敏度等方面相关的成本。

#### 6. 最终评估

概念项目组可结合上述步骤，将方案分级并推荐最佳的尾矿脱水、运输、贮存方案。概念项目组的建议，还将在选择适当外部卖方和咨询机构方面提供指导，以作进一步研究。

应该记住的是，这项评估活动可能受到非量化因素，如社区关注点的极大影响。因此，概念项目组必须与社区接触，细致记录他们的发现并将其通知矿业公司和社区。

## 4.2.2 设计规范

尾矿贮存设施的关键设计规范由矿山项目组规定，并提供给设施设计人员，这一点很重要。

关键设计规范包括：

- 输送系统运行的最小、最大、平均尾矿产率(米<sup>3</sup>/小时)
- 可能对运行和关闭最佳设计的选择有影响的地球化学特性
- 与产率相适应的固体浓度范围和平均固体浓度(质量百分率)范围
- 尾矿贮存设施必须设计达到的年度和运行生命周期尾矿吨位
- 回水系统的额定最大容量(米<sup>3</sup>/小时)
- 尾矿浆的流变特性范围
- 与利益相关方协商确定的公众健康安全、社区、环境执行目标，其中包括渗流、地下水水质、停产、复垦、关闭要求以及空气质量、放射性合规水平
- 运行和维护要求，例如无人管理、低维护。

## 4.2.3 设计报告

尾矿贮存设施和相关组成部分必须由具备适当资质和有经验的人员设计。

设计报告规定了设计的基础，其中包括所有设计参数和关键的性能规范。确定尾矿贮存设施安全运行所必需的安全控制、运行程序、维护程序至关重要。对运行或设计更改建议做出评价时，设计报告提供了便捷的参考。如果发生紧急状况，它还可提供详细情况。综合设计报告包括：

- 最低设计标准
- 背景和基线条件(见4.2.1节)
- 社区价值观(见2.2和4.2.1节)
- 尾矿贮存设施和相关设计要求的风险评估(见4.2.1节)
- 岩土工程和地球化学研究、渗流分析、隔离墙设计、需要时做出的垫层和地下排水系统设计
- 尾矿贮存设施水量平衡、尾矿泵送、管道系统设计以及澄清水和回水系统设计。

设计报告应全面描述所采用的设计标准、工艺、方法。对于为澳大利亚矿区而设计的尾矿贮存设施，最低设计标准由各州各领地监管机构规定，提出者应从头熟悉这些要求。得到相关ICOLD设计指南和标准支持(见参考文献、网址、链接)的《ANCOLD尾矿坝设计施工运行规范(ANCOLD 1999)》(ANCOLD *Guidelines on Tailings Dam Design, Construction and Operation (ANCOLD 1999)*)也提供了权威性建议，应根据实际情况加以使用。

## 岩土工程和地球化学研究

要为详细设计和项目决策提供信息，就必须开展适合项目复杂性和尾矿贮存设施风险等级的岩土工程及相关研究。设计报告应包含尾矿贮存设施设计过程中所做的所有研究，包括(但不限于)：

- 针对每个设计结构及其关键部位的岩土工程研究
- 矿区的地震评估
- 尾矿的物理、化学特性、工程参数——特别是可能的酸性和金属矿废水排放、盐度及其他尾矿产生的污染物(参考本丛书中的《管理酸性和金属矿废水排放手册》(*Management of Acidic and Metalliferous Drainage Handbook*))
- 水文地质研究——地下水概念模型，包括可能受尾矿贮存设施设计影响区中的本底水质。

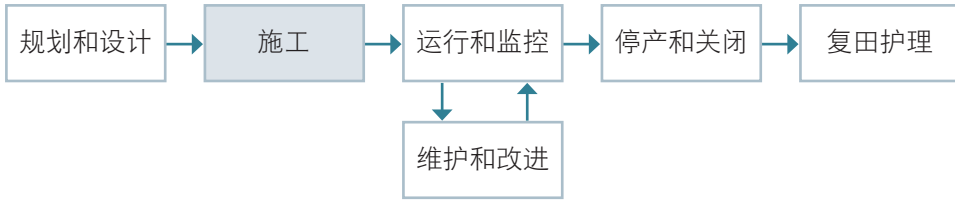
## 水管理规划

水管理是设计考虑事项中的一个关键，对尾矿贮存设施的设计、运行、关闭具有重大影响。设计报告应包括：

- 水文数据——包括矿区汇水面积、所有水源的识别以及设计雨量、洪水事件的推导
- 尾矿水量平衡建模——涉及坝顶超高的选择、损耗估算、缺水、水量过剩的管理
- 尾矿输送系统设计——包括泵和管线的选择和定型
- 回水系统设计，包括澄清、泵送、管线选择定型
- 水质问题的考虑事项，由此制定控制污染物释放的计划。



### 4.3 施工



为了完成以下工作，施工报告中保留施工工作的准确记录非常重要：

- 确保由具备资质的承包商在适当的监督下和对建筑材料的质量控制下，对尾矿贮存设施进行施工，而且其技术要表明能符合设计图纸和规范
- 提供岩土工程方面详细的记录和描述，例如地基的准备、坝基截水墙槽和截水沟中裂缝的处理或泄水工程周围回填土的压实。如果施工后发生问题，这个记录有助于补救工程的设计和施工
- 提供竣工图，该图：
  - 为详细的施工工程提供准确说明
  - 要特别标明施工过程中可能发生设计变更的位置
  - 有助于改进下一阶段的设计
  - 为补救工程提供详图和尺寸，以便这些工程不会对现有结构的整体性造成影响
  - 为反演分析提供详细信息。

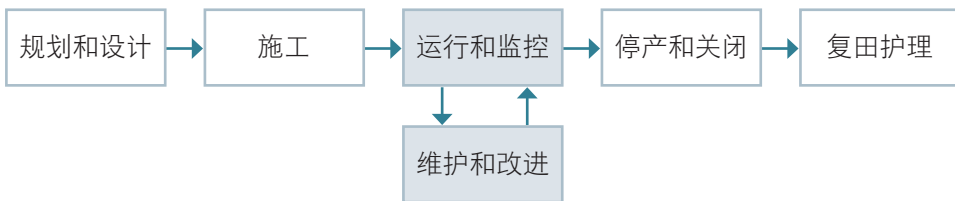


干燥气候背景中的尾矿贮存设施下游隔离墙



潮湿气候背景中的尾矿贮存设施下游隔离墙

## 4.4 运行



最优方法尾矿管理将体现出矿山高级管理层明确的经营责任，同时体现出对设计、运行、关闭目标的透彻理解，必须清楚了解未按照设计目的和设计规范运行而造成的影响。

每座尾矿贮存设施都需要有尾矿作业手册。这本手册必须与设施的设计目标保持一致。拟定手册的目的，是指导和协助尾矿贮存设施操作人员的日常操作，帮助设施运行和维护的前向规划。作业手册应使用合适的参考图纸和草图来说明以下方面的重要操作特点、原则、限制，操作人员应接受如下方面培训：

- 良好尾矿沉积和滩面发展的原则——最大程度干燥的薄层，以得到最大强度和最小渗流
- 澄清池的正确管理和有效的用水回收，以得到最大的稳定性



- 不良尾矿管理方法及其负面影响的实例
- 设施的日常运行以及切换的频次和正确方法
- 要求特别谨慎的运行程序，例如避免尾矿管线阻塞的正确开关阀门次序
- 更换和冲洗尾矿管道的程序
- 用于监测设施有效运行的关键最优指标，每名操作人员支持尾矿管理计划的职责和义务
- 保持关键设备运行的计划表和预防性维护
- 记录和保存监测和性能数据的重要性
- 将观察到的异常、不良现象或意外情况报告给主管，并采取紧急和风险管理活动。

#### 4.4.1 安全管理

许多监管机构要求，高风险或重大风险的尾矿贮存设施要制订安全管理计划(例如，参考《昆士兰坝安全管理规范(2002)》(*Queensland Dam Safety Management Guidelines 2002*))。

尾矿贮存设施安全管理计划涉及：

- 已识别出的该设施的风险
- 公众健康安全、社区、环境风险以及必要的控制，用以确保运行的整体性
- 确保各种结构部件运行中整体性的监督和维护程序。

#### 监测

尾矿贮存设施的监测应包括：

- 测压计的安装，用来监测尾矿贮存设施之下和周围地下水壅高
- 设施上下游的地表水和地下水水质取样
- 关闭策略的试验监测，包括坡面处理和覆盖层。

每年都应编制监测报告，并向利益相关方呈交；报告应让利益相关方容易理解并对利益相关方透明。

#### 定期检查

所有尾矿贮存设施和相关的泵和管线系统，每天应至少检查一次。观察结果应记录在案。凡有不正常的观察结果，或有维护要求，都必须记录下来，并采取相应的行动，其中包括向监管机构 and 社区报告。检查应包括：

- 澄清池位置以及安全超高要求(相对于坝顶高程的水位)相关的观察结果
- 潮湿、渗流、侵蚀等主要迹象的目视检查和运行检查
- 泄漏检测系统的状况
- 次级贮存设施的状态
- 自动流量测量和故障报警系统的状态
- 泵和管道系统的状况
- 对鸟类、野生动物、家畜的影响，尤其是可能饮用尾矿水鸟类的影响。

## 性能评审

具有尾矿管理经验的岩土工程师，每年应对尾矿贮存设施的性能作评审。评审应对照设计对实际性能作严格评价，并对改进和减轻风险的措施提出建议。这样的评审由一些监管机构授权执行。评审应考虑：

- 施工阶段的情况是否符合设计——坝顶和滩面高度、贮存的尾矿吨数、占用的体积
- 设计中所采用假设的确认——正常和地震载荷以及设计气象情况下稳定性、现场尾矿参数(密度、强度和渗透率)、地下水位的评介
- 渗流控制措施的性能，例如(渗流控制的)地下排水或内滤器(控制内部侵蚀或管涌)
- 垫层条件(如果使用垫层)
- 监督和监测系统的性能——监测系统的状态和条件、其检测(环境的、结构的)主要指标变化的性能、对照预测趋势对监测资料的分析 and 评估
- 地下水监测结果——将地下水水位和水质与“基线”数据、设计、关闭标准作比较，考虑：
  - 可能对植被造成压力或使隔离墙不稳定的近地表侧向渗流
  - 可能造成贮存尾矿局部壅高的竖向渗流
- 运行性能——尾矿沉积办法(薄层)和地表水控制(最少的封存水和维持所要求的安全超高)
- 运行事故的评价以及改进或改造的建议，以便纠正错误，将吸取的教训应用到将来的设计和运行中。

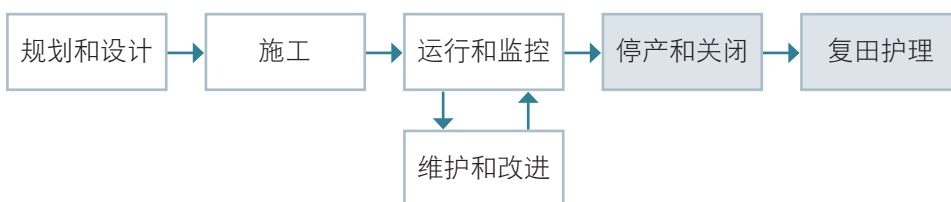
## 4.4.2 应急准备

所有尾矿贮存设施，都应具备应急措施计划，这能确保万一出现故障，可采取适当措施，尽量减少矿区现场和现场以外人员的安全风险，并且有组织、有系统地对事故作出反应，将影响降到最低(UNEP 2001)。

应急措施计划：

- 识别可能导致紧急情况的条件，例如大暴雨
- 说明将人员与危险隔离的程序，包括警告和下游社区的撤离
- 识别减轻影响的应对计划，例如清理计划
- 识别执行应急措施和应对计划所需的资源
- 识别关键人员的紧急应对培训要求
- 记录应急报警器的位置及其维护要求，确保随时都能使用。

## 4.5 关闭规划



为确保能确立设计所需的适当公众健康安全、社区、环境标准(参考本丛书中的《矿山关闭和完成》(*Mine Closure and Completion*)、《矿山复原》(*Mine Rehabilitation*)及《社区参与及发展》(*Community Engagement and Development*)手册)，应把关闭尾矿贮存设施作为矿山关闭计划的一部分，加以认真考虑。

尾矿贮存设施的关闭标准，应在运行阶段与社区协商评审，并对尾矿管理计划作出相应修改(包括设计更改)。

关闭计划的最优方法计划，要在设计阶段尽早清楚确定关闭后的用地和最终关闭时的地貌，然后，通过对照主要指标标准，定期透明公布报告，并与社区协调，表明实现这些目标的承诺。最优方法还将通过远在关闭之前，试验关闭工程概念，以此表明实现稳定可靠地貌的承诺，表明关闭设计可以充满信心地以经济有效好的方式来施工。

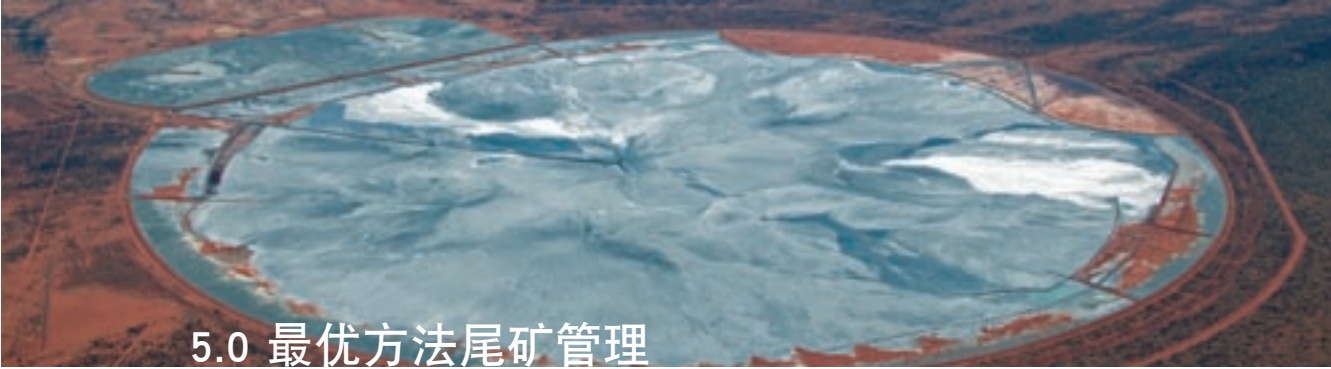
与关闭相关的关键设计，涉及岩土工程和地貌表面稳定性，涉及由设计和建造有效表面覆盖层和处理而实现的污染控制。



### 尾矿贮存设施外侧面的岩石加固和植被

以下方面必须仔细考虑：

- 关闭后用地和最终地貌——必须在设计阶段就开始考虑：在整个生命周期内继续关注，直到在关闭规划过程中与利益相关方协调
- 财务准备——经验表明，除非开发出适当的概率性财务模型，这种模型全面考虑成本、规模(例如覆盖层厚度)、事件(诸如暴雨和地震)、计划进度(设计、施工、关闭后监测和维护)、项目风险(例如比假定更严格的标准)，否则备付金很可能会大大低估
- 关闭后监测和维护计划——列出所有关闭后的标准，测量关闭后的关键主要影响指标和滞后影响指标所需的计划任务和活动。这可能包括溶解物的数量和释放速度、植被再生长(物种、密度、除草管理)等。关闭后的监测期因矿区的不同而有差异，但是将会由确认无可量有害影响发生、完成后不可能发生有害影响等所需的时间长短确定。如果需要，计划还必须详细说明关闭后监测活动、报告、协调、维护的责任、义务、计划进度、财务准备。



## 5.0 最优方法尾矿管理

### 关键信息

- 尾矿贮存设施是矿山运营最明显的遗留物之一。在关闭和复垦后，人们期望尾矿贮存设施稳定，永远不会对环境造成不利影响。
- 设计管理得不当的尾矿贮存设施，会造成关闭成本增加、对环境有持续影响、给公众健康安全带来长期风险。
- 最优方法尾矿管理要考虑的关键问题是，尾矿贮存设施的选址、尾矿的地球化学特性、最佳尾矿处理方法的选择、尾矿的隔离、隔离墙的设计和施工、渗流控制、尾矿输送、水管理、粉尘控制、关闭、停产、复垦等。
- 最优方法尾矿管理要求具备专业资格的人员参与，按照正确的岩土工程和水文工程原则进行。
- 尾矿贮存设施关闭、停产、复垦的主要目标，是让设施安全、稳定、无污染，几乎不需要持续维护。

尾矿贮存设施是矿山运营最明显的遗留物之一，在关闭复垦后，人们期望尾矿贮存设施稳定，永远不会对环境造成不利影响。设计或管理不当的尾矿贮存设施，会造成关闭成本增加、对环境有持续影响、给公众健康安全带来长期风险。

尾矿贮存设施需要按照最高的标准设计、施工、运行，同时将关闭复垦的最终需要考虑在内。关闭复垦计划对尾矿贮存设施的位置和对尾矿处理方法选择的影响越来越大，其目的是将关闭的成本、未来对环境的风险、给后代遗留的问题减至最少。如第4节中所述，贮存设施的设计应与矿区整个生命周期的计划有机结合，以便开发出最具成本效率的关闭方案。

制订尾矿管理的最佳策略，与矿区的具体情况关系密切。因此，本节提出了一整套尾矿管理方法，特别阐述和讨论了选址、处置方法设计、施工和关闭的关键技术内容。

尾矿贮存设施位置、处置方法、水管理方法、长期的关闭目标，都需要加以规定。备选方案的财务和技术分析必须顺应社会和社区对环境、美学、文化问题的关注。此外，最初的选址和处置设计决策、提议的尾矿管理、贮存、关闭策略，也必须与监管机构和社区交流。

## 5.1 选址的考虑

选址研究，目的在于识别与评价安全经济的尾矿贮存地点和处置方法。研究应考虑包括将尾矿用于地下或矿坑回填在内的各种方案、开发将尾矿、废石综合处置设施结合起来的方法，以及更为常规的地表贮存设施。选址研究应考虑：

- 矿区环境——气候、矿区布局、地貌、矿体贫化的可能性、贮存容量要求、公众健康安全风险以及可能的社会环境影响
- 重大缺陷评价——例如，不将尾矿贮存设施直接建在居民区的上坡，避免湿地、喀斯特地区上层的区域、遗产地、溢洪道等具有重大意义区域
- 尾矿种类——粒径分布、流变学、污染可能性
- 待选尾矿相对于选矿厂的位置及高度这些影响尾矿输送方法
- 拟议矿区和尾矿的适当处置方法和贮存类型
- 可用贮存容量和扩大的可能性
- 预期的占用地(干扰面积)
- 可能的地表排水和地下水影响
- 关闭问题——长期尾矿拦集、外坡面与表面稳定性、渗流和水质、公众健康与安全风险以及可能的社会和环境的影响。

## 5.2 尾矿处理方法

尾矿一般以浆体的形式在管线中泵送，在地面排放，送入地表尾矿贮存设施中。浆体的稠度(质量固体百分率)取决于尾矿种类、粒径分布、比重、在选矿厂浓缩的程度。泵送的尾矿浆固体含量一般为25%(低比重煤尾矿)到50%以上(硬岩含金属尾矿)。



尾矿常常在选矿厂浓缩后再泵送到贮存设施中。这样可使工艺水直接反向循环到选矿厂，减少水量损失和选矿厂的需水量。可使用的浓缩技术有很多，最常采用的技术如表1所列(Williams & Williams 2004)：

**表1：通常采用的浓缩技术**

尾矿稠度	浓缩设备需求
浆体	常规或高速浓密机
浓缩	高压缩浓密机
高塌陷度膏体	深床浓密机
低塌陷度膏体或滤饼	过滤器

浓缩尾矿可将输送到尾矿贮存设施的水量减少，反过来，这降低了漫顶的风险，减少了渗流和蒸发损失。

更稠的尾矿排放，还使澄清池和回流水系统得到更好得控制。尾矿排放到地表贮存设施时，因为尾矿以较大的稠度排放，沉积滩面的角度会变陡，水含量的减少反过来又会降低隔离的需要。泵送的尾矿堆放稠度和滩面角度之间的典型关系如表2所示(Williams & Williams 2004)。

**表2：堆放稠度和滩面角度之间的典型关系**

堆放稠度	滩面角度(百分率)
浆体	1到2
浓缩	2到3
高塌陷度膏体	3到6
低塌陷度膏体	6到10



**常规尾矿浆处置**

常规的尾矿处置方法和贮存设施包括：

- 浆体排放到山谷贮存点——向下游排放到保水隔离墙的尾矿(隔离墙设有收集上层清液的澄清池)或从上游设有澄清设施的隔离墙向上游排放
- 浆体排放到相对平坦地面上的环形隔离墙，一般在中心处设一个澄清设施
- 浆体排放到一系列尾矿沉积池，沉积池之间轮换沉积，使尾矿更易固结和干燥
- 相对平坦地形上的中央浓缩排放(CTD)，从环形保水隔离墙后或不透水环形渠道中收集上层清液(Williams, 2000)。
- 浓缩尾矿隔离墙方向的山谷排放(DVD)，隔离墙位于流域源头。
- 浓缩尾矿向沉积池的排放，也可采用与氧化铝工业中赤泥所用的机械增效蒸发式干燥结合
- 以浆体形式、浓缩尾矿或与废石一起的方式在矿坑堆放
- 采空矿场的地下回填，填充方式有水力回填、岩石回填、胶结膏体尾矿回填。



矿坑尾矿处置



复垦的矿坑尾矿

表3中概括了常规尾矿处置和贮存方法的一些优缺点，但这并不能代替适当工程专业人员的参与。

表3：常规尾矿处置和贮存的优缺点

处置	贮存	优点	缺点
浆体—— 向隔离墙 排放	山谷	给定墙高时贮存容量最大  回水系统可固定	会干扰天然山谷水流  需要用保水隔离墙限制渗流  尾矿细粒在隔离墙的沉积会对其稳定性造成影响  水和/或尾矿漫顶的可能性(包括地震下的影响)  需要最终的溢流道
浆体—— 从隔离墙 排放	山谷	可能不需要保水隔离墙  管理正确时不会发生溢出问题，可能不需要最终的溢流道	会干扰天然山谷水流  回水系统必须向上流移动到尾矿滩面之前
浆体	环形	有了中央澄清设施就不需要保水隔离墙  通过不断加高环形隔离墙使占地地尽量减少	会干扰天然排水道  需要中央澄清设施适当关闭，阻止运行中的渗流
浆体	沉积池	有了中央澄清设施就不需要保水隔离墙  沉积池之间的循环使尾矿能够固结和干燥，可减少渗流  通过加高沉积池隔离墙使占地地尽量减少	会干扰天然排水渠  需要中央澄清设施适当关闭，阻止运行中的渗流

处置	贮存	优点	缺点
浓缩尾矿	中央浓缩排放、DVD或沉积池	<p>浓缩可降低水和工艺化学药剂的消失，减少上层清液体积，并减小渗流</p> <p>浓缩可以缩短进入尾矿进行复垦的时间</p> <p>中央浓缩排放形成剖面高度不大的自泄地形，通常与周围的天然地貌保持协调</p>	<p>浓缩和泵送带来浆体处置的额外费用</p> <p>由于浓缩尾矿的滩面角度很小，中央浓缩排放占用的面积会较大，对复垦造成影响</p> <p>中央浓缩排放可能需要环形保水坝或渠道</p> <p>沉积池表面的机械作业需要沉积池一定程度的干燥，干燥是为了能够通行，这样做费用很高</p>
浆体	地下	<p>消除了对表面尾矿贮存设施的需要</p> <p>可在自重作用下输送</p> <p>可提高地下工程的稳定性</p>	<p>上层清液很难回收</p> <p>仅可能实现有效库容的部分回填和部分利用</p> <p>邻近作业的的井下作业可能被淹</p>
浆体	矿坑	<p>消除对其他地面尾矿贮存设施的需要</p> <p>可在自重作用下输送</p> <p>有可能通过泵送回收上层清液</p>	<p>尾矿固结速率减小，减少或消除表面干燥要求(如果在水下)</p> <p>上层清液和工艺化学药剂不能回收，造成很大损失</p> <p>上层清液回收需要保留矿井泵，必须克服泵送压头的限制</p>

处置	贮存	优点	缺点
浓缩	矿坑	消除对其他地面尾矿贮存设施的需要 可在自重作用下输送 上层清液更少，可能不需要回收	浓缩带来额外的成本 尾矿固结速率减小，减少或消除表面干燥(如果在水下)
胶结膏体	地下	可在自重作用下输送 几乎不生成上层清液，这样就能迅速回填 为相邻采场随后的采矿活动提供稳定性	膏体生产和加入水泥带来的成本较高

### 5.3 尾矿拦集

对于地面设施中尾矿浆的贮存来说，隔离墙一般通过下游、中线或上游方法，以一系列加高层或抬高墙体的形式施工。之所以使用这样的方法名称，是因为它们涉及坝顶向下游、垂直向上或向上游的推进，而且隔离墙土方工程量逐渐减少。图1和图2所示为下游和上游加高的示意图，图中清楚表明，下游加高与上游加高相比所需的借土量更大。图中不包括内部排水或隔离墙内粘土心墙的细节，这可能是确保土工稳定性、确保控制渗流所需要的。

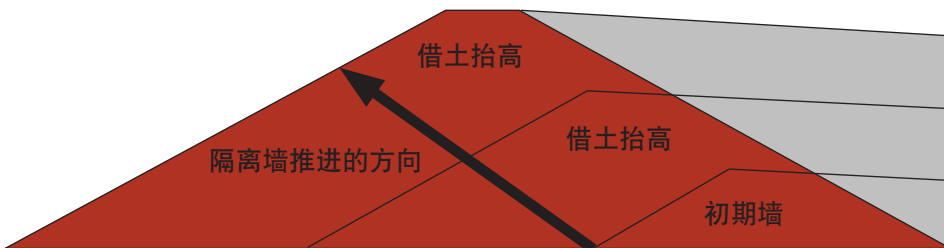


图1：使用借土的下游施工

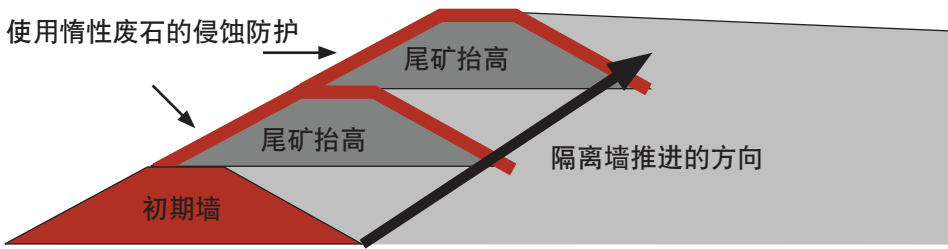


图2：使用干燥尾矿的上游施工

中线加高，介于下游加高和上游加高这两种极端方法之间，在澳大利亚并不常用。在所有情况下，起始的初期隔离墙，通常用借土进行施工，经常使用的是惰性(不生成酸的)废石。下游隔离墙加高也通常使用借土施工，而中线和上游隔离墙加高，通常结合使用尾矿粗粒部分和废石或借土材料施工。

对于使用尾矿的上游加高方法来说，材料从尾矿滩面挖出，用来在沉积尾矿上构建上游加高层。为了防止水或风对尾矿的侵蚀，可能有必要在下游面和坝顶(有时为裸露的上游面)上加惰性废石。如果尾矿地基具有足够的强度，上游加高层也可以通过在沉积的尾矿顶部加废石或借土构建。对于中线加高来说，使用旋流器可将尾矿分离成粗粒和细粒部分，粗粒部分被导向到下游形成隔离墙，细粒部分被导向上游。在这种情况下，运行过程中对下游墙面不采用侵蚀防护措施。下游面可使用推土机推平，以减小边坡角、增加密度、提高隔离墙的岩土稳定性。



下游施工



使用尾矿的上游施工

使用渐进式尾矿隔离墙加高的下游和上游方法，部分优缺点如表4和表5所示。但是，这些不应代替适当的工程专业人员对工作的参与。

表4：下游施工的优缺点

问题	优点	缺点
借土	提供广泛的惰性包覆	需要很大的借土量
施工成本	初期堤坝部分不比上游施工方法需要的大	后续墙体加高成本越来越高
占地	初期堤坝占地不比上游法需要的初期堤坝大	后续墙面加高增加了占地  更大的隔离墙占地减少了尾矿贮存的可用容量
岩土稳定性	很可能通过借土得到提高	使用细粒借土可能造成进一步尾矿沉积时的高地下水水位，这会降低岩土稳定性
渗流	渗流控制措施能很容易地与逐次墙体加高层结合	粗粒废石借土将增加墙体渗流
污染物	包覆层限制了尾矿的曝露，减少了氧化	包覆层保持了尾矿含水量和污染物迁移的可能性
侵蚀稳定性	广泛的包覆层有可能防止尾矿的曝露和侵蚀	表面上的细粒借土或风化岩可能更易被侵蚀
复垦	广泛包覆层应该使外边坡能够得到修整	为了复垦所作的任何额外修整都有可能增加占地

表5：上游施工的优缺点

问题	优点	缺点
借土	初期堤坝施工后，加高层仅需要很少量的借土	在初期堤坝上，尾矿墙加高层仅提供有限的覆盖
施工成本	用尾矿进行后续墙体加高几乎不涉及借土，几乎不需运输尾矿，仅涉及铺面材料的运送	后续墙体加高层若需通行和适合墙体建造，就需要尾矿得到充分干燥
占地	后续墙体加高层不增加占地  起始的初期堤坝需要的占地与下游施工方法相同，但允许更大的贮存占地	挖掘的尾矿曝露氧化更多
岩土稳定性	使用尾矿很可能降低墙体加高层的稳定性	墙体加高层中使用尾矿可能造成进一步尾矿沉积时的高地下水位，这会降低岩土的稳定性
渗流	用于墙面加高的尾矿透水率相对较低，限制渗流	渗流控制措施不能结合进逐次的墙壁加高层中
污染物	尾矿的干燥和墙体加高层中尾矿的高度减少了可以用来输送污染物的水份	尾矿的挖掘以及在墙体中的使用使可能生成酸的尾矿更易氧化
侵蚀稳定性	尾矿墙体加高层上的覆盖层是特别用来提供侵蚀防护的	尾矿墙体加高层上有限的覆盖层时间长了可能容易侵蚀损失
复垦	通过以相同边坡角度另外堆放借土，尾矿墙体加高层相对平坦的外边坡坡度会为复垦提供帮助	尾矿墙体加高层上有限的覆盖层对将来的修整方案产生限制  达到最佳的覆盖层深度、最终的剖面 and 表面处理可能需要另外的借土  为了复垦所作的修整可能增加占地



## 5.4 隔离墙设计和施工

尾矿隔离结构使用第4节说明的系统，其设计、施工，符合正确的岩土工程原则，例如ANCOLD中规定的原则(1998、1999、2000a、2000b、2003)。尾矿隔离结构设计的主要考虑事项如下：

- 地基条件
- 隔离墙分区和建筑材料的岩土工程参数
- 坡面的岩土稳定性
- 渗流和内部排水或粘土心墙以及隔离墙下部地基排水孔的需要
- 分段施工，这可以通过逐步的墙体加高、增加隔离池，或通过一定时间后新设施的施工
- 建筑材料的选择，包括挖掘的尾矿或适当情况下的原矿废石
- 施工技术和设备要求的选择
- 施工过程的质量保证，包括含水量的控制、压实、检验

## 5.5 渗流控制

对于尾矿浆沉积来说，存在出现渗流穿过隔离墙进入地基的高风险。常规尾矿贮存设施的运行过程中，一般会在沉积的尾矿内部形成一个上层滞水面——由尾矿以下不饱和地基的低透水率决定其位置，并由运行中潮湿尾矿沉积和任何进入的降雨维持。水从尾矿缓慢渗入地基，一些渗流会在地基内部蓄积，增加了地基的传导度；还有一些会渗透到地下水，导致其壅高。一些尾矿水也可能从尾矿隔离墙的坝趾渗出。渗流水有可能输送污染物。

如果尾矿渗流造成地下水污染，导致公众健康风险和环境损害或影响，那在设计中就需要考虑以下方面来充分控制渗流：

- 尾矿贮存设施下方地基的水力特性，其中包括是否存在地下水和存在的数量、是否需要垫层等
- 隔离墙的水力特性，包括隔离墙下方地基内是否需要粘土心墙和排水孔
- 来自尾矿的渗流对地表和地下水的影响

- 尾矿滩面上形成低透水率透镜状或层状的预防，这种结构会导致将来的渗流或稳定性问题
- 地下排水，用来排出沉积尾矿的重力排水
- 澄清系统的设计和运行，用来限制上层清液的蓄积和尾矿表面进入的降雨，因此限制了渗流。

尾矿贮存设施下方一般不加垫层。但是，要求加设垫层来降低地下水污染风险的要求日益增多。目前新建采矿工程需要说明不用垫层的理由。这种原因可能是地基的透水率很低，达到可以接受的水平(比如饱和值 $<10^{-9}$ 米/秒)，或地下水没有好的用处(例如，高盐地下水)。

如果没有透水率极低的地基，可能要考虑夯实粘土或土工膜衬里。压实粘土垫层一般预计能达到 $<10^{-8}$ 米/秒的饱和透水率，这里需要使用合适的粘土、合适的压实设备、良好的压实控制。通过良好质量控制铺设的土工膜，预计达到大约 $10^{-10}$ 米/秒的平衡透水率，但是，其寿命可能限于50到100年之间。因此，土工膜一般与压实粘土层一起使用。

如果现有尾矿贮存设施下已形成污染羽，采取的补救措施包括，尾矿贮存设施周界周围或下游(如果设施为山谷充填型)安装截流沟和/或者渗流回收孔。

沉积后，尾矿内夹带的水份可能造成持续的渗流——尾矿内上层滞水面消失时速度通常越来越小。尾矿表面上降雨会注入尾矿，引起一段时间里进一步的渗流。若渗流对公众健康环境造成危险，关键的封闭考虑事项是，限制尾矿表面的渗入和控制来自尾矿贮存设施渗流的流量。

气候条件极其干燥时，例如西澳金矿区的气候，关闭的尾矿贮存设施即使在长时间大量降雨后仍很干燥，这就降低了关闭后渗流的可能性。此外，该地区的地下水大部分为高含盐量水，除了用于选矿，几乎没有经济价值。

选矿时对高含盐地下水的使用以及含盐矿石的选矿，都会造成高含盐尾矿。这些尾矿在表面形成一层硬质外壳，限制了渗透和粉尘形成，抑制了蒸发式干燥。这些设施在运行过程中或关闭后的一段时间内，可能需要周界周围设置截流沟或者回收孔，以此控制高含盐水的排干。地下水壅高回落后，渗流对周围环境的风险和影响通常很低。

## 5.6 尾矿输送

尾矿通常以浆体的形式沿管道泵送，但是在某些情况下，尾矿有可能在重力作用下输送到贮存设施。尾矿浆的可泵送性，是其流变学和所考虑泵送系统能力的函数。尾矿浆固体浓度越高，屈服应力也越高，对于给定的泵型号，尾矿浆也越难泵送。

表6中给出了不同尾矿稠度的典型尾矿泵送设备要求(Williams & Williams 2004)。随着尾矿固体浓度增加，对功率和管道压力的要求也增加，泵送成本也相应显著增加。

表6：不同尾矿稠度的典型尾矿泵送设备要求

尾矿稠度	泵送设备要求
浆体	离心泵(低管道压力)
浓缩	离心或活塞/隔膜泵(高管道压力)
高塌陷度膏体	活塞、隔膜泵(更高的管道压力)
低塌陷度膏体	双活塞容积泵(高管道压力)

尾矿管廊沿途，环境需要加以保护，防止由于可能的管线泄漏、破裂、管道清堵带来的尾矿泄漏。

如果发生上述事故，控制尾矿排放的方法包括：

- 沿管廊修建污水坑的隔离排放口
- 尾矿管线穿越敏感环境(例如跨河)或交通枢纽的情况下，安装更大直径的套管
- 定期检查管道路线是否有泄漏
- 使用压差传感器或流量测量仪表、警报系统，在管道故障情况下向操作人员报警。

## 5.7 水管理

水量和水质的有效管理，是负责任尾矿管理的关键驱动力。尾矿贮存设施的设计、运行、关闭中与水相关的重要考虑事项有：

- 是否有质量合格的水
- 竞争用水的用户和社区对水所认定的价值
- 是否需要回收水和药剂

- 泵送流率和距离
- 减少蒸发损失(水量平衡不足时)或提高蒸发(如果水量过剩)
- 尽量减少酸性废水、含金属废水、盐度
- 控制选矿化学药剂随尾矿的排放
- 管理水处理(如果需要)以及(过量水)向环境的排放
- 减少向地下水的渗流
- 降低尾矿贮存设施上蓄水方面的风险，这可能涉及需要建围栏、减少积水面积、结网或者通过间歇噪声赶走禽鸟。

## 水量

矿山常常与农业、民用、工业供水等其他用户以及环境争夺水资源。把采矿业看作是水的良好受托管理者，确保有限的资源能不断得到利用，这一点十分重要。

在澳大利亚的许多矿区，水资源相当缺乏或水质很差。从尾矿另外回收的水，可增加采矿工程的水资源，减少从天然水资源抽出的水，而且还可回收有价值的药剂(例如，黄金选矿时的氰化物)。

## 水质

含有硫化物的尾矿，因为表面干燥而有可能氧化，而且可能生成酸性和含金属废水径流和渗流。降雨渗入可能浸滤出氧化产物，将污染物释放到地下水中。由于尾矿和所用选矿水的含盐性质，因此尾矿、尾矿水的盐度可能很高。尾矿水会含有氰化物等残留的选矿化学药剂，为了选矿需要，尾矿水也可能呈碱性或酸性。可能的污染物会在尾矿贮存设施中排放的任何径流和渗流中输送。这些针对环境的风险可通过有效的运营、关闭、复垦策略得到控制(参考本丛书中的《管理酸性和含金属性废水》(*Managing Acid and Metalliferous Drainage*)和《矿区关闭》(*Mine Closure*)手册)。

## 水的成本

在水回收备选方案的经济评价中，采用水的真实成本很重要。这包括：

- 开发、运行、维护供水系统的投资和运行成本
- 将接纳天然湿地、河流、湖泊和相关生态系统的价值考虑在内的环境成本
- 排水用户的成本
- 由于供水不足对生产造成干扰的成本问题。

## 水量平衡

尾矿贮存设施的水量平衡是用来量化输入、输出、封存水量的关键工具。清楚了解水量平衡，能使设施的运行达到设计目标，降低与水相关事故的风险。尾矿贮存设施水量平衡的示意图如图3所示。

运行过程中，尾矿水量平衡的输入为：

- 排入的尾矿水
- 降雨和流域径流。

输出为：

- 选矿厂中重复使用的回收水，包括工艺水坝中蓄留的水。
- 进行处理后向环境排放的水
- 沉积尾矿中夹带的水
- 来自积水、最近沉积的湿尾矿、干燥尾矿的蒸发
- 透过隔离墙进入地基的渗流。

尾矿水总量和回收的水量是唯一可以确定已知的水量，而降雨量和积水的蒸发量可从矿区的气候数据估算出来。径流、尾矿内部的夹带水、地表蓄存水以及湿态、干燥中和干燥后尾矿的蒸发量可以测量出来。透过墙体进入地基的渗漏损失很难确定，通常是数值上的估算。

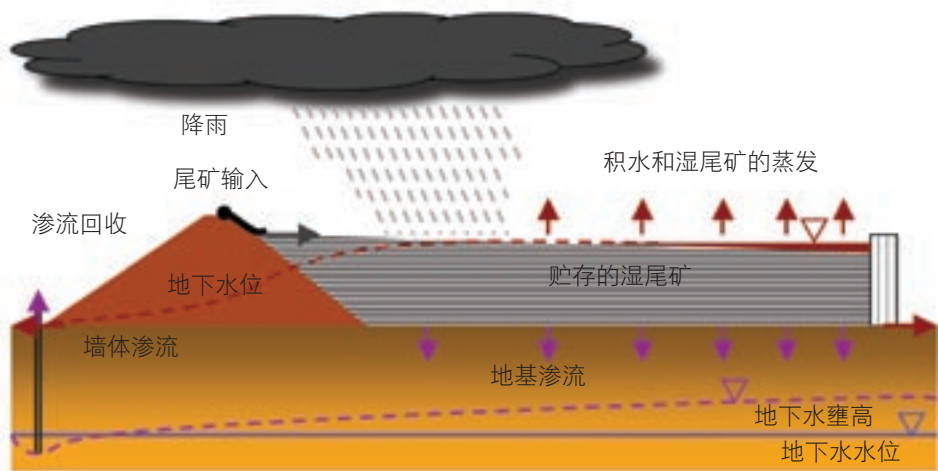


图3：尾矿贮存设施水量平衡示意图

从尾矿贮存设施中对水的回收程度，将取决于尾矿堆放的一致性以及从尾矿贮存设施中损失的程度。表7根据尾矿排放前浓缩的水平，给出了可能回收水总量的指标(Williams & Williams 2004)。

**表7：与尾矿浓缩水平相关的可能回收水总量**

尾矿稠度	可能的水回收问题(百分率)
浆体	50到60
浓缩	60到70
高塌陷度膏体	~ 80
低塌陷度膏体	85到90

关闭后没有进一步的尾矿水输入，但是，降雨量和汇集径流可能需要通过分流到溢流道中来加以控制。

## 5.8 粉尘控制

尾矿贮存设施表面产生的粉尘可能会对公众健康造成风险，空中悬浮颗粒和污染物会造成环境影响。这可能是相邻社区最关心的一个问题，相邻社区可能包括矿工及其家人。

游离的粉质或砂质尾矿在刮大风时很可能带来粉尘问题。

粉尘可通过以下措施加以控制：

- 喷洒化学抑尘剂
- 用碎石薄层覆盖尾矿
- 使用拦砂围栏
- 通过尾矿排放，最大程度地润湿尾矿的表面(但是这增加了水的蒸发损失)。

除非有车辆与行人的干扰，否则由于尾矿含盐量高而造成的尾矿硬土层，可能不会造成粉尘问题。但是，要考虑含盐壳体在长时间后的破坏，可能需要覆盖一层惰性材料。

## 5.9 关闭、停产、复垦

与矿山相关的主要公众健康或环境风险，来自尾矿贮存设施(Envac 2005)。这反映在社区对矿山关闭、停产、复垦、复田护理的高度关心上。污染物可通过很多机制从这些设施转移出来，其中包括大气输运(尾矿粉尘可能包括重金属和有毒化合物)、液态或半液态中尾矿的质量运动、悬浮固体和溶解材料形式的水中输运等(Lacy & Barnes 2005)。

### 5.9.1 目标

尾矿贮存设施关闭、停产、复垦的主要目标，是使设施安全、稳定、无污染，几乎不需要经常的维护。在某些情况下，这有可能提高矿山土地的价值，形成未来具有休闲、商业、自然价值的改良景观。为了达到这样的结果，必须制订嗣后土地使用目标并与监管机构、当地社区和准备接管未来土地责任的利益相关方达成一致。

规划最终尾矿贮存设施地貌时，可通过《尾矿管理战略框架》(*Strategic Framework for Tailings Management*)(MCMPR & MC 2003)考虑以下目标：

- 容纳包覆尾矿，防止泄漏到环境中
- 尽量减小尾矿贮存设施向地表水和地下水的污染水渗流
- 提供稳定的地表覆盖，防止尾矿贮存设施造成的侵蚀
- 设计最终地貌，最大程度减少关闭后的维护。

### 5.9.2 考虑的因素

规划尾矿贮存设施关闭、停产、复垦时，需要考虑的因素是：

- 决定尾矿污染可能性的矿石类型和地球化学性质，要将矿石不稳定的性质考虑在内
- 矿石开采所用的粉碎、研磨、选矿、选矿化学药剂
- 工艺水水质
- 尾矿处置技术
- 运行尾矿贮存设施，为关闭作准备，例如沉积惰性尾矿或中心排放形成泄水面
- 尾矿贮存设施所在地区的环境和气候
- 关闭后的用地
- 关闭成本估算
- 长期地貌稳定性，包括岩土和侵蚀稳定性
- 管理地表径流和积水，并且需要关闭溢流道
- 可能受到污染的尾矿水长期向环境渗流
- 复垦前后产生粉尘的可能性
- 对覆盖系统所需功能和选择的需要
- 尾矿贮存设施顶部的表面处理和植被
- 外坡面斜坡的整形、表面处理和植被。

根据技术研究的结果和与土地所有人、与监管机构达成的协议，每个矿区对尾矿贮存设施的关闭都会做出专门的承诺。这些承诺应在关闭设计最后确定前得到评审。利益相关方主动参与是这个过程的重要部分，这样，采矿公司就可以提交关闭计划，听取关键利益相关方的反馈，并对规划做出改进，达到社区可以接受、政府予以批准的程度。

关闭的技术问题通常涉及岩土工程、地球化学、水文、环境方面，需要多学科团队来解决。遇到的常见问题和可能关闭方案的实例，请见本丛中《矿场关闭和完成手册》(*Mine Closure and Completion Handbook*)的附录A。尾矿贮存设施关闭、停产、复垦需要采用阶段性的方法，其中涉及：

- 利益相关方参与(讨论、矿区考察、文件评审)
- 确定尾矿和复垦材料所需的采样、勘查、研究——这些知识随后将用来解决关闭问题
- 拟定提交监管机构的停产计划草案
- 尾矿贮存设施的停产复垦和最终停产报告的编写
- 监测和结束(Lacy & Campbell 2000)。

### 实例研究：西澳麦克卢尔山(Mt McClure)尾矿贮存设施关闭规划

麦克卢尔山矿山位于气候干燥的北方金矿区，在西澳莱恩斯特(Leinster)东北80公里处。麦克卢尔山金矿的开采始于1991年。矿区开始由4家不同的采矿公司拥有和经营，2002年后由纽蒙特澳大利亚有限公司(Newmont Australia Ltd)管理。纽蒙特完成停产工作后，2005年View Resources公司买下了矿区。

通过炭浸(CIL)方式以每年120万吨的速度选矿。氧化物和新鲜矿体(含一些黄铁矿页岩)来源于多个矿坑，尾矿堆放在两个尾矿贮存设施(尾矿贮存设施1和尾矿贮存设施4)。(仅讨论尾矿贮存设施4。)尾矿贮存设施4外形为圆形，半径大约为325米，表面积33公顷，由70到300米厚的原矿废弃物包围。尾矿排放在1999年3月停止。

尾矿贮存设施4的停产计划为分阶段设计，在矿山生命周期的初期，确认将来关闭的问题和克服这些问题的管理方案。停产前公司对设施的研究和了解给予了大量的关注，由此得到了正确的最终关闭设计，设计中包括工程覆盖和凹形剖面的堤坡。





麦克卢尔山和4号尾矿贮存设施的鸟瞰图

在该矿区实施了前述的5步停产法。有效停产的主要工作内容，是识别现在和可能的长期风险。由此得到的信息提供了下一步工作的基础，用于指导尾矿贮存设施停产方法是以正确关闭策略的方向上执行。这需要采用多学科方法，来确保所有重大的风险领域都得到了研究。确认的主要的技术学科有4个：岩土工程、水文、地球化学、环境。

尾矿的地球化学性质被发现是影响尾矿贮存设施4关闭的关键因素。经发现，尾矿是产酸尾矿，这可能对周围环境和地下水系统带来长期的影响。

为此，制定了以下减轻风险的策略：

- 用0.5米红土护面/块石/表层土，覆盖在2米的氧化物/泥土尾矿上面。现场试验工作和柱试验预测，这层覆盖的保水性将足以限制大部分降雨深层渗透
- 上表面设计成有大量的单独小池，降雨将隔离在每个小池内。渗入覆盖层的大部水份随后通过蒸发和蒸散释放出来
- 静止斜坡的角度倾斜到20°/14°/ 8°的凹坡，这样设计可减少径流，最大程度减小堤坝侵蚀。用0.5米厚的红土覆盖岩石层加固，随后是一薄层表层土，在外形上用碎石交叉并播种。



平面图，其中显示表层小池收集降雨，尽量减少坡面侵蚀



2006年铺设表层土后的凹面坡

土方工程于2004年完成，设施现在处于监测和结束阶段。2006年，View Resources公司向工业和资源部(Department of Industry and Resources)提出申请，减免履约保证金，申请得到了批准。提交申请的基础是植被安置和生长中所显示出的稳定性和持续成功。

### 5.9.3 尾矿覆盖方案

裸露尾矿可能对人体健康、社会、环境影响带来风险，尤其是尾矿易于产生粉尘，降雨径流直接在尾矿上积存或尾矿表面一直很软时。按照技术复杂性与成本增加的大致顺序，可能的尾矿覆盖系统为(Williams 2005和本丛书中的《矿山复原》(Mine Rehabilitation)手册)：

- 直接在尾矿上种植植被
- 尾矿表面上直接铺设用来减轻粉尘的薄层碎石
- 长有植被的单层覆盖，目的在于潮湿气候中排泄降雨径流
- 长有植被、非收集贮存/释放土壤覆盖，目的在于通过这种系统，在旱季通过蒸散释放贮存的雨季雨量来减少渗透
- 毛细作用阻断层，由不排泄水的植被生长介质覆盖，目的在于控制盐类在生长介质中的吸收来维持植被生长，适用于干燥气候
- 上述的组合。

不同覆盖系统的一些优缺点总结在表8中。

表8：各覆盖系统的优缺点

覆盖系统	优点	缺点
直接植被	低成本(如果有成效)	由于缺乏营养、淡水，可能不可持续
薄层碎石	低成本(如果抑尘是关键目标)	不会生长植被 不限制降雨渗透，导致渗流
单层泄水层	在潮湿气候条件下提供生长植被覆盖	由于下层尾矿的固结可能变形，或在干燥气候条件下干燥，导致降雨渗入的渗流
贮存/释放	可能限制向下层尾矿的渗透	要求覆盖层有较大厚度，其中包括地基处封闭层  如果选择不合适、且选择不能持续生长的植被，该方法没有成效
毛细作用阻断	可能限制盐分吸收到容许植被生长的上层覆盖介质中	在蒸发性气候条件下，不正确或太薄的毛细管作用阻断材料将使盐类吸收进生长介质中  生长介质太薄或者颗粒太粗将不能支持植被生长

## 实例研究：昆士兰基兹顿金矿(Kidston Gold Mine)尾矿贮存设施 的直接植被重建

基兹顿金矿位于于昆士兰北部凯恩斯(Cairns)西南260公里处。气候特征为显著的雨季旱季气候。平均来说，年降雨量的80%以上(平均719毫米)发生在十一月与四月之间，其中包括大暴雨和季风活动。冬夏两季的日平均温度分别为18°C和33°C。

基兹顿金矿的一个关闭目标，是建立由本土树木以及外来和本土植被组成、能自然维持的热带草原林地植被。310公顷的尾矿贮存设施(TSF)在1985年到1996年间容纳了大约6800万吨的尾矿。1990年代中期开展的初期植被重建实验表明，尾矿不需要土壤或其他覆盖材料的覆盖层，就具备直接支持植被生长的能力。

尾矿贮存设施在1997年末停产，随着设施表面上越来越多的区域可供通行(从1998年3月直到2001年12月)，公司进行了50种以上的本土树木和灌木、8种外来和本土牧草物种的种植和播种。通过最初几个月的滴灌和初期施肥的支持，证实碱性尾矿是有助于建立植被的基质。

早期研究证实，使用管材有可能是在尾矿上建立早期植物群落的中上层部分的一种成功方法。1998年3月，有人研究了本土物种在尾矿上的撒播实验，并且证明是成功的，这表明通过播种建立木本物种是可能的，尤其是本土的桉树。为了给在尾矿上直接重建植被并用于放牧的策略的可行性方面建立信心，公司做了大量的研究实验和监测活动。

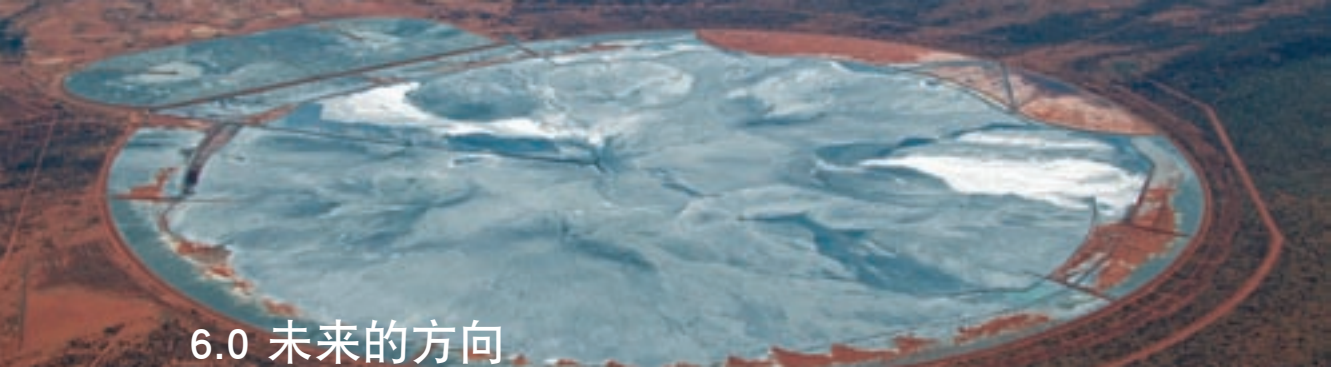


以前的基兹顿尾矿贮存设施(左)，以及直接植被重建项目执行几年后(右)

植被群落将沿着良性的方向继续生长，使深层排水减少，因此有利于尾矿贮存设施乃至矿区的整体渗漏水管理策略。它们将为后续的土地使用提供稳定和安全的环境。这些因素是公司投资支持设施关闭策略研究的推动力。



植被重建的基兹顿尾矿贮存设施较早的部分，种植和播种七年后



## 6.0 未来的方向

### 关键信息

- 最优方法尾矿管理和引人注目的相关业务案例，正推动尾矿贮存设施的设计、运行、关闭、复垦向着可实现浓缩、膏体、增效脱水技术的方向发展。
- 联合处置、粗粒废料与尾矿综合处置、膏体石作为覆盖密封层可能的应用，都在其运用中不断扩展。
- 可能时，地下和矿坑回填需要作为地表尾矿贮存的替代方案加以考虑。这些替代方案能起到减少采矿占用的作用。
- 理想情况下，表面尾矿地貌应在几何形态、地表覆盖层、结构、稳定性方面，模拟周围的天然地貌。

尾矿管理，根据可持续发展的原则和引人注目的业务案例(见第2节)，正在推动尾矿贮存设施的设计、运行、关闭、复垦朝着如下方向发展：

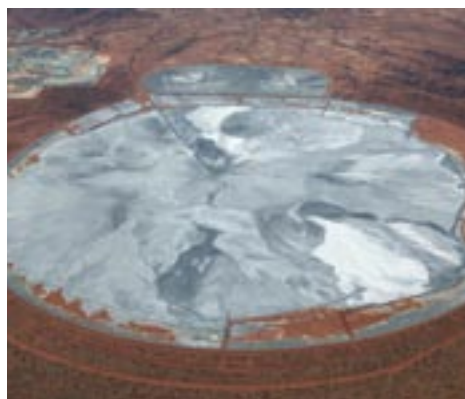
- 尾矿的浓缩和膏体处置，减少用水和渗流，生成更稳定的尾矿沉积物
- 尾矿脱水形成滤饼供湿法和干法堆放，好处明显
- 联合处置、粗粒废料与尾矿综合处置，更好地利用可用的贮存空间，生成更稳定的沉积物
- 膏体石用做覆盖密封层(说明见6.1.4节)
- 地下和矿坑回填的安全尾矿贮存
- 尾矿地貌与天然类似物和社区期望保持一致
- 尾矿减量、回收和再利用。

### 6.1 更好的尾矿处置

先进的尾矿贮存设施是一种安全稳定的地貌，不需要关闭后经常管理，与周围的景观融为一体。这样的设施提供了一个向社会和环境管理展示承诺的窗口——在制订未来发展的规划时，可按照可持续发展的承诺为采矿公司定位。

实现最先进结果，必须克服很多难题。传统的尾矿处置方法带来很多环境问题，原因是这些方法：

- 占用大量的地表面积
- 非常扎眼
- 夹带并可能蓄积大量的水
- 使受污染的水渗入地下
- 将受污染的废水排入地表河流
- 造成粉尘问题。



### 占地面积很大、很扎眼的尾矿贮存设施

要避免这些问题和相关的风险，就需要在矿山整个生命周期严格规划和采用最优方法的承诺。为此还需要预见并预见到：如果没有对最优方法加以注意，尾矿设施可造成长期的环境和社会成本。

澳大利亚的矿区正在引入更有效、更经济的尾矿准备和处置技术。这些技术中，有些通过输送前在选矿厂从尾矿中除去过量水来实现更高的效率和经济性，这样，水和选矿化学药剂的回收再利用达到最大，减少了水和污染物向尾矿贮存设施的排放，从而降低了渗流或释放到地表水体的风险。

#### 6.1.1 浓缩和膏体尾矿

如今有很多矿业运营采用浓缩和膏体尾矿，今后这种情况将会更加广泛。过去，成功处置浓缩尾矿的限制因素或者是因为成本，或者是因为缺乏合适的浓密机技术。今天，浓密机技术已远远超过常规的浓密机，得到的底流浓度很高，接近过滤极限，成本也有了降低。这些浓密机的范围，从深床浓密机(一般用于赤泥)，到为地下应用的胶结膏体尾矿回填生产开发的膏体或深槽浓密机，应有尽有(Potvin等人，2005)。



胶结膏体尾矿地下回填



地表膏体尾矿处置

固体的浓度因尾矿不同而各异，这是因为粒径分布、粘土含量、颗粒形状、矿物学性质、静电力、絮凝剂的用量有相当大的差异。表9给出了各种类型尾矿的一些典型浆体和膏体的固体浓度(Williams & Williams 2004)。

表9：典型浆体和膏体的固体浓度

尾矿类型	浆体固体百分含量	膏体固体百分含量
铝土矿赤泥	25	45
贱金属尾矿	40	75
煤矿尾矿	25-30	-
金矿尾矿	45	72
矿砂泥	15	24
镍矿尾矿	35	45

由于不同来源的尾矿浆、浓缩尾矿、膏体尾矿固体浓度差异很大，尾矿的稠度最好按照其物理性进行测量。最初使用的是评价混凝土坍落度的坍落度法。如 Jewell & Fourie 的文献(2006)中所述，尾矿的物理性质可通过其屈服应力定量表述。





高浓度浆体

10英寸(250毫米)坍落度膏体

7英寸(175毫米)坍落度膏体

尾矿浆在放置后析离、沉积、产生上层清液，伴随的是尾矿滩剖面的显著弯曲(滩面向下变得更平)。坍落度高的膏体尾矿达到不析离、不沉积的稠度，放置后只放出少量水。浓缩尾矿显示出一定的析离、沉积、析水，同时伴随的是尾矿滩剖面的一定弯曲。

使用浓缩或膏体尾矿的优点包括：

- 水和选矿药剂在选矿厂更好地回收
- 减少了贮存量
- 减少了渗流
- 得到更稳定的地形。

这些都是可持续发展和反映社区期望的关键问题。Jewell和Fourie (2006)提供了这些技术方面的全面和权威性参考。

## 实例研究：西澳日升大坝(Sunrise Dam)金矿的中央浓缩排放

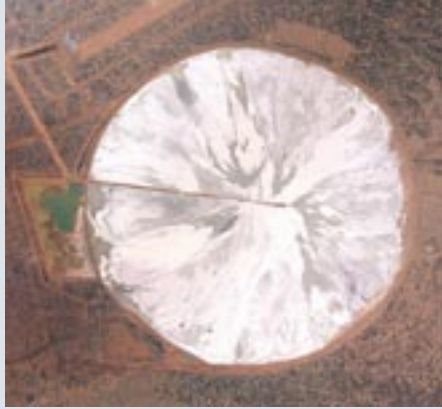
日升大坝金矿位于西澳拉弗顿(Laverton)南55公里处，其运营始于1997年。起用一个常规中等浓度尾矿浆的“农田式”尾矿贮存设施(TSF)，设计产量为每年150万吨(Mtpa)。1998年进行下游抬高，其后在1999年停产。设计产量计划从2000年的每年200万吨提高到2003年的每年300万吨，并决定将尾矿浓缩到更高浓度，并改为在新的地点进行尾矿处置的中央浓缩排放(CTD)法。

矿区位于流域面积60平方公里的区域性排水河道，地下水为一般在地表5米以内的潜水。需要径流分流沟来分流台风时产生的大暴雨径量。矿区地形平缓，坡度大约为0.2%。中央浓缩排放尾矿贮存设施的设计面积在1999年为300公顷，截止2005年提高到330公顷。

中央浓缩排放尾矿贮存设施包含一个尾矿贮存区和雨水调蓄池(SSP)。其他组成部分包括一条从尾矿贮存设施周界(在周界上有多个尾矿排放点)到中央的填土坡道以及位于SSP中用来收集尾矿析水的有衬层小池。水从有衬层的小池泵回选矿厂。

中央浓缩排放尾矿贮存设施的形状是一个浅锥形，顶部高度在2005年为15米左右。目前的尾矿年生成量为360万吨。现有的设计将持续到2009年，但是，中央浓缩排放未来的扩大，将得到直至矿山最终使用寿命的处置能力。(语句不通顺)

选矿厂使用重力选矿和炭浸技术从矿石中提取黄金。尾矿使用两个高速浓密机(直径24米)浓缩到64%左右的固含量，用两套离心泵将尾矿输送3公里的距离。在尾矿贮存设施的南半部周围建有渗滤液收集沟，用于截水和降低设施附近的地下水埋深。



中央浓缩排放尾矿贮存设施的俯视图



沿中央浓缩排放尾矿贮存设施参数周界坡道的视图

尾矿的参数如下：

比重：	2.85	液限：	23%
收缩极限密度：	1.47 吨/米 <sup>3</sup>	析离阈值：	39%固含量
初期沉积密度：	1.2 吨/米 <sup>3</sup>	D <sub>80</sub> ：	0.075 毫米
固体种类：	砂泥	析水盐度：	> 200,000 μS/cm

尾矿以非常薄的层状形式沉积，尽管尾矿水高含盐量的性质对蒸发有一定的抑制作用，但蒸发干燥仍然强烈。因此，地下水位保持在初始的地下水埋深或稍高于初始埋深。中央浓缩排放锥形的周界周围渗流最常见，尾矿析水和雨水径流可能积聚在这里，有必要采取另外的内部排水措施。

尾矿滩坡度接近1.5%的最初设计值。但是，运行中的变化造成了凹形滩面的形成，上面三分之一为2%，中间三分之一为1.5%，下面三分之一为1%。

2005年采取的策略是在中央浓缩排放锥顶周围布置多个排放点。这种策略旨在减少排放流速并因此增加滩面坡度，提高贮存效率。

浓缩的尾矿一般可使用离心泵泵送，但是，膏体尾矿需要功率更高的容积泵和高压管道。重力流动用来输送地下回填的胶结膏体尾矿，也可通过将浓密机安在高位，用重力流动将膏体尾矿输送到地面贮存设施。虽然容量泵的投资成本比相同能力的离心系统要高，但是膏体系统在系统生命周期方面提供的成本效益支持了对容量泵的选择。

### 6.1.2 脱水尾矿

离心机和过滤机广泛用于矿产品(精矿或粉煤)输送前的脱水。澳大利亚很少有使用这些设备进行尾矿处置前脱水的情况；一般来说是在尾矿贮存设施用地很少或运输限制排除了泵送方式的矿山才使用。尾矿脱水到湿滤饼或干滤饼的稠度，使干态输送和处置成为可能，带来相当可观的长期经济、社会、环境效益。

从历史上看，尾矿处置前用离心机和过滤机进行脱水，一度是成本最高的可用方法。由于用水短缺、未来对选矿补给水的限制、酸性渗漏羽流的环境遗留问题，造成矿山停工成本等压力，使脱水成为一种经济有效的方法。

对离心机和过滤机设计操作的改进，特别是在制备尾矿需要的絮凝剂方面的改进，都提高了设备的效率，降低了脱水成本。

脱水尾矿可用卡车、传送带运输或泵送到贮存位置，也可在矿山回填中作为控制充填材料水含量的手段使用。

历史上，以固体形式产生的电厂粉煤灰，一度是从锅炉底部洗出并以固体含量非常低的浆体泵送进行处置的。这种方法消耗水量大，可能造成相当大的环境危害。

很多电厂现在使用卡车或传送带系统收集和运输干态的粉煤灰。这样做减少贮存量要求50%之多，降低了渗流的可能，也让堆存的设计更加灵活。干态处置的一个缺点是，粉尘问题的风险更高。

图4说明了可泵送尾矿浓缩和不可泵送尾矿过滤备选方案的全部范围。将尾矿脱水得到湿滤饼或干滤饼，这一方法经济有效时，尾矿可通过传送带或卡车运到尾矿贮存设施，“堆放”在尾矿贮存设施中或与粗粒废弃物合并处置。

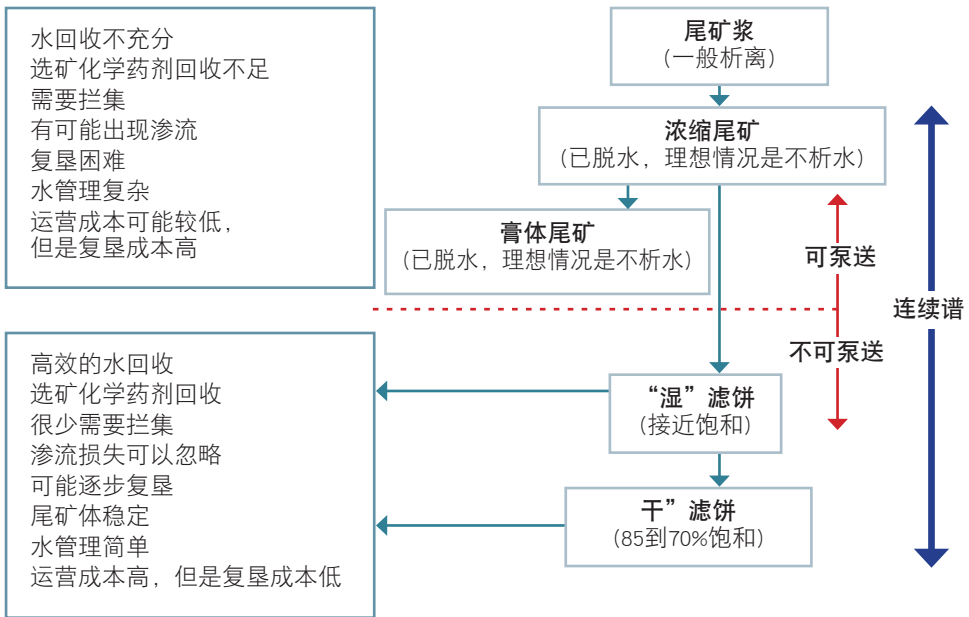


图4：尾矿连续谱 (Conrad尾矿研讨会, AMEC地球和环境, 2004)

### 6.1.3 联合处置

矿山粗粒和细粒废弃物的联合处置，提供了减少分开贮存废弃物流的体积或所需占用的方式，而且得到的沉积物更稳定，有明显的经济、社会、环境效益。联合处置的一个关键难题是找到一种安全方法来经济地混合两种废弃物流。从物流角度来说，将大型矿用汽车倾倒废石与浆体管道排放这两种操作混合在一起可能比较困难，尤其是倾倒面在不断移动时。一种成功的联合处置运行，涉及的是从采空露天的矿坑顶部一端，用惰性废石倾倒充填，从另一端沉积浓缩的惰性尾矿 (Williams 2002)



在采空露天矿坑中联合处置的废石和浓缩尾矿

煤炭开采中，有可能将洗煤粗细矸石合并，泵送和联合处置这种物流。联合处置混合物得到粗粒在上的滩面，滩面上可供通行，并形成细粒析离平衡的稳定外周界隔离墙。虽然泵送联合处置需要大量的输送用水，系统损失的水量并不比浆体尾矿单独处置多。



联合处置洗煤废弃物

#### 6.1.4 膏体石

膏体石的定义是膏体尾矿和废石的完整混合物；膏体石可作为密封材料使用，用来覆盖有可能产生污染的矿山废弃物。对于这种应用来说，选择的尾矿和废石必须是惰性的。一般通过粉碎和过筛将废石的最大尺寸限制在100毫米。这种尺寸限

制便于混合，确保了混合物良好的一致性。废石可与尾矿浆混合，并通过机械方式混入干燥尾，或者与膏体尾矿混合形成膏体石。

膏体石实现了很高的密度和很低的透水性，因此特别适合作为密封材料。这种材料在矿区没有密封用的天然粘土或来源有限时特别有用，实现的透水性成本至少和压实天然粘土相当，而且经常更低。



膏体石

### 6.1.5 空穴回填

采矿产生空穴，对环境最负责的尾矿贮存位置看来就是这些空穴。Povtin等人(2005)在参考文献中提供了在使用膏体尾矿进行地下回填和露天矿坑回填最优方法方面的综述。虽然地下矿山产生的孔穴可以在矿山生命周期中用来贮存尾矿，但很少有露天矿会在矿山生命周期前就填回空穴的，而矿坑内的尾矿处置可能让未来的矿坑储藏贫化。

在西澳和北领地的实际案例表明，清除掉矿区的尾矿贮存设施，将尾矿放在采空的露天矿坑中可能比较经济，尤其是这些尾矿今后对环境造成风险时(例如，来自酸性废水和含金属废水的风险)。见本丛书《管理酸性和含金属废水手册》(*Managing Acidic and Metalliferous Drainage Handbook*)中的伍德卡特矿山(Woodcutters Mine)实例研究。一般来说，在这些案例中，将尾矿开挖出来，调和成膏体稠度，然后泵送或自流到矿坑中。已经过充分脱水和固结的尾矿可使用铲车和卡车再次搬运。

## 实例研究：北领地格兰尼特斯(Granites)金矿

格兰尼特斯金矿由纽蒙特澳大利亚有限公司(Newmont Australia Ltd,)运营，有很多采尽矿坑，这些矿坑逐步用尾矿充填。布拉克奇(Bullakitchie)是充填的第一个矿坑。

传统的土地所有者和中部地区土地委员会(Central Lands Council)要求，只要可能就要回填矿坑。采取的策略是将其复原到自泄的地貌。为了在回填实施前达成关闭策略的一致，主要的利益相关方在现场都作了很多协调。在考虑未来沉积量后，估计形成合适的覆盖层所需的废石量在350 000米<sup>3</sup>左右。为了降低成本和废石需要量，矿坑定期用中心排放的尾矿加满，补偿一直发生的沉积，形成自泄的地貌。从2000年到2002年间断排放尾矿，最终的尾矿表面干燥形成可通行的外壳。来自沉积尾矿的渗流通过周界的监测孔严密监测。矿坑内堆放尾矿的影响在可以测量时，严格限制在紧靠矿坑周围的晕圈内。

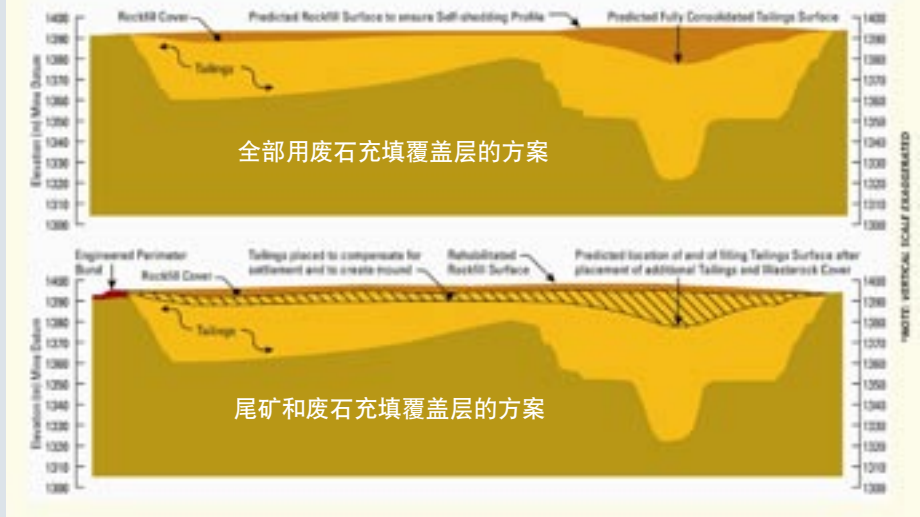


### 在布拉克奇矿坑中通过中央排放浓缩尾矿形成自泄剖面

尾矿以较低的速度从一系列中央立管排放。在较低的位置建造周界低隔离坝，用以减少发生降雨时雨水从矿区溢出的风险。使用尾矿减少了大约 150 000米<sup>3</sup>的废石用量。使用尾矿代替废石节约的成本，大约在350 000美元水平。今后的矿坑将使用相似的原理复垦。复垦后的最终的地貌与周围景观融为一体，仅在矿坑的位置有轻微的隆起。



布拉克奇矿坑复垦后的纵断面



布拉克奇矿坑仅用废石以及使用尾矿和废石方案的纵断面  
(注：纵坐标经过放大)

历史上有过一些尾矿浆在地下巷道的处置的实例，地下采场胶结水力回填中包括粗粒尾矿，让矿体的彻底采掘成为可能。近年来，胶结膏体尾矿在地下采场回填中得到越来越多的应用。

## 6.2 更好的最终尾矿地貌

大多数尾矿贮存设施都在地面施工，因此形成了抬高的地貌，使其十分显眼，也带来侵蚀的可能。因此，尾矿贮存设施在规划、设计、施工、复垦时，应始终清楚意识到美观的要求和侵蚀的可能性。尾矿在矿山和选矿厂运营过程中扩大的可能性，也应认真考虑。最终尾矿地貌应在美学上可以接受，对公众健康和带来的风险应低到忽略不计的水平，未来对环境造成危害的风险低到可以接受的水平。

目前，要求尾矿贮存设施的最终地貌更加不显眼、尽可能逐步复垦、地下或矿坑内处置等的压力越来越大。如果采矿是在一系列矿坑中开展，应优先考虑依次用采矿废弃物充填采尽矿坑。

### 6.2.1 最终地貌的综合设计

通常，矿区倾向于区分相关的不同元素——露天矿坑、地下巷道、废石堆、尾矿贮存设施、选矿厂、办公建筑。

选矿厂和办公建筑有必要单独分出来，不过这一般并不涉及大量的土方工程，且关闭后马上就能恢复。一般来说，也有必要毫无阻碍地通过其他元素运行露天矿坑和地下巷道。矿体的开采和选矿自然会涉及根据其矿物学性质和粒径对材料进行分离，矿物学性质和粒径不同的废弃物流也通常是分别处置。但是可能既没有必要，也不希望将废石堆和尾矿贮存设施完全分开，采空的露天矿坑和地下巷道可用来贮存采矿和选矿废弃物。

废石堆和尾矿贮存设施可以共享的墙体，两种最终地貌可合二为一。倾倒操作过程中可将废石经济有效地推入湿的或干燥的尾矿，在尾矿上形成稳定的平台，在此平台上可构筑出最终的覆盖层。这种结果将确保社区环境利益和关注能够更好地得到满足。



推入干燥尾矿的废石

### 6.2.2 模拟天然类似物

理想情况下，表面尾矿地貌应按照几何形态、地表覆盖层、结构、稳定性，对周围的天然地貌类似物加以模拟。平坦地形(例如地质年代古老的干旱到半干旱澳大利亚内陆)上的尾矿贮存设施相对较浅，覆盖的面积相对较大。但是，即使是在天然的平坦地形中，也会有一些竖直的起伏，这种起伏一般牵涉到绵延较大区域相对较低的隆起，这是长期风化和侵蚀对平坦地貌侵削的结果。

因此，可以设计构筑模拟天然平坦地形的尾矿地貌。



### 较浅占地较大的尾矿和天然抬高的地貌

在干燥气候下，植被受到自然界的限制时，坡面的可持续性和耐侵蚀性依赖于多岩石表面结构,该结构长有至多是稀疏灌木的植被。对于半干旱条件来说，中间凹进的尾矿地貌可直接或者在覆盖合适的覆盖层后种植植被。在干旱条件下，中间凹进的尾矿地貌将会与抬高的盐田相似，类似于被细质土壤覆盖并且只种有稀疏耐盐植物的天然盐田凹地。但是，必须特别考虑粉尘夹带金属从未覆盖或植被生长不良的尾矿表面析出的可能性。



半干旱气候中尾矿上直接种植植被

干旱盐田上的耐盐植被

在干旱气候中，关闭的尾矿贮存设施将出现脱饱和，由于蒸发的驱动，很有可能保持向上的净水通量。大雨后任何向下的水通量，都很可能受到限制(除非出现大量的积水)，这时，透过尾矿的任何显著渗透未发生之前，蒸发作用会驱动反向的向上水通量。

这与自然盐田水通量的情况类似，对地下水的补给非常有限并且很慢。

在雨季，为避免可能受到污染的尾矿水渗透到尾矿贮存设施的坡角或地下，可能有必要提供永久性的溢洪道，用来排出大雨时的径流。只要可能，溢洪道应建立在开挖的天然岩上，或者对溢洪道加衬混凝土。径流将需要在沉淀池中停留足够时间，让所有悬浮固体都收集下来，可能还需要作处理，以便释放前确保合格的水质。

所有地貌都会随时间受到侵蚀。尾矿贮存设施也是如此。因此，应使用厚厚的惰性材料包覆贮存的尾矿，并由限制侵蚀损失的岩石、植被覆盖。另外，来自尾矿地貌顶部的径流不应直接导向外坡面，而要蒸发、通过植散发或者导入专门建造的溢洪道。

### 6.3 尾矿减量、回收、再利用

最有效的处理方法是首先减少尾矿的生成量，然后在有可能时回收和再利用尾矿。目标应该是能够减少尾矿生成量的更清洁和更有针对性的选矿工艺。也应该探索每种回收和再利用的机会。很多情况下，尾矿有着内在的价值，可通过再处理或其他工业用途体现。有鉴于此，人们往往反对让尾矿回收或重新处理不经济或阻碍将来采矿活动的尾矿处置方式。这样的极端例子可能是地下和矿坑回填。

历史上的金矿尾矿就是最好的例子，即新技术的出现，使对尾矿再处理成为可能。各种其他类型矿山尾矿的情况也是这样。

某些尾矿有机会用于工业或环境方面的用途，因此减少了贮存的需要，这些情况包括：

- 粉煤灰的细粒部分在水泥生产中作为火山灰质材料使用
- 电厂炉底渣用作惰性建筑填料
- 氧化铝工业的赤泥用作土壤改良剂以及用来清洁被污染的水流
- 电厂灰渣用于填埋煤矿空穴
- 尾煤用作低级别燃料。

选矿、精炼或熔炼操作都位于工业区中时，如果来自一个行业生产的废弃物可能成为另一个行业生产的有价值输入，就会存在相互促进的机会。这种工业生态措施(也被称为区域协同)正在昆士兰格莱斯通(Gladstone)和西澳奎纳纳(Kwinana)工业区实施(参考[www.csrp.com.au](http://www.csrp.com.au))。

## 实例研究：西澳奎纳纳的浓缩赤泥残渣处置

美铝全球氧化铝澳大利亚公司(Alcoa World Alumina Australia (Alcoa))在西澳有三个氧化铝厂，分别在奎纳纳(Kwinana)、凭佳拉(Pinjarra)和威杰拉(Wagerup)，总产能大约为每年780万吨氧化铝。

在炼铝过程中，烧碱溶液中加入铝土矿，使氧化铝溶解，这样氧化铝(溶液态)和未反应的固体就会分离开。尽管固体洗涤后能够回收烧碱，但最终的残渣中仍含有一定残留量的烧碱(或碱度)，其中夹带溶液的pH值在13.5左右。

1970年代中期以来，美铝公司就开始转向更具可持续性的残渣贮存方法。从这种承诺中可以看到从传统湿态处置向浓缩尾矿处置的转变，直到1980年代末期，这种方法在美铝的三个西澳氧化铝厂得到开发和实施。



### 奎纳纳地区赤泥残渣贮存设施

美铝全球业务现在都采用浓缩尾矿处置方法，这种技术随后也已成为整个行业的最佳方法，因为这种方法提高了能够在给定占用地范围内贮存的残渣体积，并且显著降低了对周围环境造成影响的可能性。

美铝还继续寻求中和残渣、降低沉积物pH值的方法，以进一步降低影响环境的可能性。残渣碳酸化(用废CO<sub>2</sub>处理残渣)的方法经开发实验，随后在奎纳纳的氧化铝厂中试，中试已表明显著降低了残渣的碱度。这又降低了影响环境的可能性，并且为其他工艺中更惰性残渣的再利用提供了可能。

这项工艺已经在奎纳纳氧化铝厂得到采用，将这项技术逐步推广至美铝在西澳的其他氧化铝厂乃至全球的可能性正在评价当中。预计残渣碳酸化将成为全球氧化铝行业残渣处理和贮存新的最佳标准方法。

但是，就残渣管理可持续性乃至铝土矿加工行业可持续性来说，终极目标是不需要贮存残渣。向浓缩尾矿处置迈出的一步是再利用道路上跨出的关键一步，因为这种方法能以相对较低的成本，得到很容易使用的残渣(通过干燥床挖出)。残渣的中和被看成是在相同道路上迈出的相似一步，这是因为与残渣相关的更大危险(残渣的高pH值)已经消除。

美铝一直为大量潜在的残渣资源化利用研究提供支持。



## 7.0 结论

广泛的可持续发展框架必须应用到尾矿贮存设施的最初设计、尾矿管理、尾矿贮存设施关闭当中。要确保达到运行和关闭的目标，就需要实施与基于风险的矿山生命周期方法相结合的管理体系。最优方法有很多现成的例子，都可用来帮助矿业公司实现负责任的结果，这样的例子很多都已记录在本手册中。

尾矿贮存设施应提供安全、稳定、经济的尾矿贮存方式，在运行过程和关闭后几乎不会存在公众健康安全风险，社会环境影响达到可以接受的低水平。我们提倡采用对尾矿实施有效管理的系统性方法，其中包括实施基于风险的管理策略，这种管理策略要顾及公司运营所在社区的观点和愿望。为降低尾矿管理、贮存、封闭成本节省的短期成本，必须根据社会和环境的高风险权衡利弊，还要与出现问题时相关补救措施的高成本联系起来。

## 参考文献和补充读物

ANCOLD 1998, *Guidelines for Design of Dams for Earthquake*, Australian National Committee on Large Dams.

ANCOLD 1998. 《大坝抗震设计规范》，澳大利亚大坝国家委员会。

ANCOLD 1999, *Guidelines on Tailings Dam Design, Construction and Operation*, Australian National Committee on Large Dams.

ANCOLD 1999. 《尾矿坝设计施工运行规范》，澳大利亚大坝国家委员会。

ANCOLD 2000a, *Guidelines and Assessment of Consequences of Dam Failure*, Australian National Committee on Large Dams.

ANCOLD 2000a. 《溃坝后果的指导和评价》，澳大利亚大坝国家委员会。

ANCOLD 2000b, *Guidelines on Selection of Acceptable Flood Capacity for Dams*, Australian National Committee on Large Dams.

ANCOLD 2000b. 《大坝可接受洪水量选择规范》，澳大利亚大坝国家委员会。

ANCOLD 2003, *Guidelines on Dam Safety Management*, Australian National Committee on Large Dams.

ANCOLD 2003. 《大坝安全管理规范》，澳大利亚大坝国家委员会。

AS/NZS 4360 2004, *Risk Management*, Standards Australia.

澳新标准4360 2004. 《风险管理》，澳大利亚标准局。

BHP Billiton 2006, *Tailings Management Guideline*.

必和必拓，2006. 《尾矿管理规范》。

Davies, M 2004 'World experience with tailings stacking', AMEC Earth and Environmental (ed.), *Presented at CONRAD Tailings Seminar*, Alberta Research Council.

Davies M., 2004. 《全世界尾矿堆放方面的经验》，AMEC地球和环境(编辑)，CONRAD尾矿研讨会上宣读，奥尔伯特研究会。

Envec, Environment Security Initiative 2005, *Mining for Closure: Policies and Guidelines for Sustainable Mining Practice and Closure of Mines*, South East Europe, UNEP, UNDP, OSCE and NATO.

Envec. 环境安全倡议，2005. 《采矿要考虑关闭：可持续采矿方法和矿山关闭的方针和规范》，东南欧，UNEP，UNDP，OSCE和NATO。



Environment Australia 1998, *Cyanide Management (A Booklet in the Series on Best Practice Environmental Management in Mining)*, Environment Australia, Canberra.

澳大利亚环境局, 1998, 《氰化物管理》(《采矿最优方法环境管理》丛书中的一本小册子), 澳大利亚环境局, 堪培拉。

Environment Australia 1999, *Environmental risk management, Best Practice Environmental Management in Mining Series*, Environment Australia, Canberra.

澳大利亚环境局, 1999, 《环境风险管理, 采矿系列中的最优方法环境管理》, 澳大利亚环境局, 堪培拉

HB 436 2004, *Risk Management Guidelines, Companion to AS/NZS 4360:2004*, Standards Australia.

HB 436 2004, 《风险管理规范》, 澳新标准4360:2004的参考书, 澳大利亚标准局。

ICOLD 2001, *Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences – Lessons Learnt from Practical Experiences*, Bulletin 121, CIGB ICOLD and UNEP PNUE.

ICOLD 2001, 《尾矿坝危险事件风险——从实际经验中汲取的教训》, 121号公告, CIGB ICOLD和UNEP PNUE。

Jewell, RJ and Fourie, AB (eds.) 2006, *Paste and Thickened Tailings – A Guide*, 2nd edition, Australian Centre for Geomechanics, Perth, Australia.

Jewell R.J.和Fourie A.B.(编辑) 2006, 《膏体和浓缩尾矿——指南》, 第2版, 澳大利亚地质力学中心, 澳大利亚珀斯。

Lacy, H 2005, *Closure and rehabilitation of tailings storage facilities*, M Adams (ed.), Ch. 15, *Developments in Minerals Processing*, Elsevier.

Lacy H., 2005, 《尾矿贮存设施关闭和复垦》, M Adams(编辑), 第15章, 选矿的发展, Elsevier。

Lacy, H. and Barnes, K. 2006 *Tailings Storage Facilities; Decommissioning Planning is vital for successful closure*. In *Mine Closure 2006*. Eds. Fourie and Tibbett. Center for Land Rehabilitation and Australian Centre for Geomechanics. Perth, Australia.

Lacy H.和Barnes K., 2006, 《尾矿贮存设施》; 《停产计划对成功关闭很重要》, 《矿山关闭》, 2006, Fourie和Tibbett编辑。土地复垦中心和澳大利亚地质力学中心, 澳大利亚珀斯。

Lacy, H. and Campbell, G. 2000, 'Decommissioning Tailings-Storage Facilities: The challenges and how they are being met during closure of a Nickel-Sulphide Mine in Western Australia', Minerals Council of Australia, *Proceedings of 4th International and 25th National Environmental Workshop 2000*, Perth Australia.

Lacy H.和Campbell, G., 2000, 《尾矿贮存设施关停：西澳镍硫矿山关闭过程中的难题以及解决的方法》，澳大利亚矿业协会，第4次国际暨第25次国家环境研讨会论文集，2000，澳大利亚珀斯。

Matthewson, D, Norris, R & Dunne, M 2006, 'Tailings dewatering, dry screening and water clarification for reduced water usage', *Proceedings of Water in Mining 2006 Conference*, Brisbane, Australia, AusIMM, pp. 315-322.

Matthewson D., Norris R.和Dunne M., 2006, 《尾矿脱水、干筛和水澄清用于减少用水量》，2006年矿业用水会议论文集，澳大利亚布里斯班，AusIMM, 315-322页。

Mining Association of Canada 1998, *A Guide to the Management of Tailings Facilities*, Ottawa, Canada.

加拿大矿业协会，1998，《尾矿设施管理指南》，加拿大渥太华。

Mining Association of Canada 2003, *Developing an Operation, Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Management Facilities*, Ottawa, Canada.

加拿大矿业协会，2003，《编制尾矿和水管理设施的运行维护监督手册》，加拿大渥太华。

Minerals Council of Australia 1996, Tailings storage facilities at Australian gold mines, *Submission to the Senate Environment, Recreation, Communication and the Arts References Committee*, Canberra, Australia.

澳大利亚矿业协会，1996，《澳大利亚金矿的尾矿贮存设施，提交给参议院环境、休闲、通信和艺术参考委员会的提议》，澳大利亚堪培拉。

Minerals Council of Australia 2004, *Enduring Value: The Australian Minerals Industry Framework for Sustainable Development*, Canberra, Australia.

澳大利亚矿业协会，2004，《持久价值：澳大利亚矿业可持续发展框架》，澳大利亚堪培拉

Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources and Minerals Council of Australia 2003, *Strategic Framework for Tailings Management*, National Capital Printing, Canberra.

矿物及石油资源部长级理事会和澳大利亚矿物矿业协会，2003，《尾矿管理的战略框架》，国家首都出版社，堪培拉。

Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources and Minerals Council of Australia 2006, *Strategic Framework for Water Management*.

矿物和石油资源部长级理事会和澳大利亚矿业协会2006，《水管理战略框架》。

OECD. 2000, *Guidelines for Multinational Enterprises*, DAFFE, IME, p. 20.

OECD 2000，《跨国企业规范》，DAFFE，IME，20页。

Potvin, Y, Thomas, EG & Fourie, AB (eds.) 2005, *Handbook on Mine Fill*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, Australia.

Potvin Y., Thomas E.G.和Fourie A.B. (编辑) 2005，《矿山充填手册》，澳大利亚地质力学中心，澳大利亚珀斯。

United Nations Environment Programme 2001, *APELL for Mining: Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at the Local Level*, Technical Report No. 41.

联合国环境规划署，2001，《采矿的APELL：采矿业提高现场水平紧急情况意识和准备的指南》，41号技术报告。

Victorian Department of Primary Industries 2004, *Environmental Guidelines, Management of Tailings Storage Facilities*, Minerals and Petroleum Division.

维多利亚州初级工业部，2004，《尾矿贮存设施、矿物、石油部门的环境方针、管理》。

Western Australia Department of Minerals and Energy 1999, *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storages*.

西澳矿产能源部，1999，《尾矿贮存安全设计和运行标准规范》。

Western Australia Department of Minerals and Energy 1998, *Guidelines on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage*.

西澳矿产能源部1998，《尾矿贮存运行手册编制规范》。

Williams, DA 1997, The use of risk-based methods to facilitate management of tailings dams. *Proceedings of AIC Tailings Disposal Management Summit, Sydney, Australia*, AIC Conferences, pp. 23.

Williams, DA 1997, 《使用以风险为基础的方法推动对尾矿的管理》。AIC尾矿处置管理峰会论文集, 澳大利亚悉尼, AIC会议论文集, 23页。

Williams, DA & Williams, DJ 2004, 'Trends in tailings storage facility design and alternative disposal methods', *Proceedings of ACMER Workshop on Design and Management of Tailings Storage Facilities to Minimise Environmental Impacts During Operation and Closure, Perth, Australia*, pp. 28. Australian Centre for Minerals Extension and Research, Brisbane, Australia.

Williams, D.A.和Williams D.J., 2004, 《尾矿贮存设施设计和替代处置方法的发展趋势》, 在运行和关闭过程中减小环境影响的尾矿贮存设施设计和管理ACMER研讨会论文集, 澳大利亚珀斯, 28页, 澳大利亚矿物扩展和研究中心, 澳大利亚布里斯班。

Williams, DJ 2005, Placing covers on soft tailings, chap. 17, B. Indraratna and J. Chu (eds.) *Ground Improvement – Case Histories*, Elsevier, pp. 491-512.

Williams D.J., 2005, 《在柔软尾矿上加覆盖层》, 第17章, B. Indraratna和J. Chu (编辑)《土地改良——工程实例》, Elsevier, 491-512页。

Williams, DJ 2002, Engineering closure of an open pit gold operation in a semi-arid climate, *International Journal of Surface Mining and Reclamation, Special Edition on Mining and the Environment*, pp. 35-50.

Williams D.J., 2002, 《半干旱气候中露天金矿运行的工程关闭》, 《露天采矿和土壤改良国际刊物》, 《采矿和环境专刊》, 35-50页

Williams, MPA 2000, 'Evolution of thickened tailings disposal in Australia', *Proceedings of the Paste Technology 2000 Seminar, Perth, Australia*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, Australia, pp.12.

Williams M.P.A., 2000, 《澳大利亚浓缩尾矿处置沿革》, 膏体技术2000研讨会论文集, 澳大利亚珀斯, 澳大利亚地质力学中心, 澳大利亚珀斯, 12页。

World Commission on Dams 2000, *Dams and Development: A New Framework for Decision Making*.

世界大坝委员会, 2000, 《大坝和开发: 决策的新框架》。

## 网址和链接

- 环境遗产部, [www.deh.gov.au](http://www.deh.gov.au)
- 工业、旅游和资源部, [www.industry.gov.au](http://www.industry.gov.au)
- 最优方法可持续发展计划 [www.industry.gov.au/sdmining](http://www.industry.gov.au/sdmining)
- 澳大利亚矿物和石油资源部长级理事会  
[www.industry.gov.au/www.industry.gov.au/mcmpr](http://www.industry.gov.au/www.industry.gov.au/mcmpr)
- 澳大利亚矿业协会, [www.minerals.org.au](http://www.minerals.org.au)
- 持久价值, [www.minerals.org.au/enduringvalue](http://www.minerals.org.au/enduringvalue)
- 澳大利亚地质力学中心, 科廷大学, [www.acg.uwa.edu.au](http://www.acg.uwa.edu.au)
- 新州大坝安全委员会, [www.damsafety.nsw.gov.au](http://www.damsafety.nsw.gov.au)
- 国际大坝委员会(ICOLD)公告, [www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net)
- 尾矿信息, [www.tailings.info](http://www.tailings.info)
- 矿业信息, [www.infomine.com](http://www.infomine.com)
- 加拿大矿业协会, [www.mining.ca/www/Public Policy Issues/Tailings.php](http://www.mining.ca/www/Public Policy Issues/Tailings.php)
- 联合国环境规划署, 采矿 [www.uneptie.org](http://www.uneptie.org) [www.uneptie.org/pc/mining](http://www.uneptie.org/pc/mining)
- 国际矿业和金属委员会, 最优方法图书馆,  
[www.goodpracticemining.com/tailings](http://www.goodpracticemining.com/tailings)

## 规范

- *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage 1999*, Department of Minerals and Energy, [www.natural-resources.org](http://www.natural-resources.org)  
《尾矿贮存安全设计和运行标准规范, 1999》  
矿产能源部, [www.natural-resources.org](http://www.natural-resources.org)
- *Guidelines on the Development of Operating Manual for Tailings Storage 1998*, Department of Minerals and Energy, [www.natural-resources.org](http://www.natural-resources.org)  
《尾矿贮存运行手册编写规范, 1998》,  
矿产能源部, [www.natural-resources.org](http://www.natural-resources.org)
- *Management of Tailings Storage Facilities 2004*, Victorian Department of Primary Industries, [www.dpi.vic.gov.au](http://www.dpi.vic.gov.au)  
《尾矿贮存设施管理, 2004》, 维多利亚初级工业部, [www.dpi.vic.gov.au](http://www.dpi.vic.gov.au)

- *Queensland Dam Safety Management Guidelines 2002*, Queensland Department of Natural Resources, [www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/guidelines\\_refer\\_dams.html](http://www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/guidelines_refer_dams.html)  
《昆士兰坝安全管理规范，2002》，昆士兰自然资源部，[www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/guidelines\\_refer\\_dams.html](http://www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/guidelines_refer_dams.html)
- *Guidelines on Tailings Dam Design, Construction and Operation 1999*, Australian National Committee on Large Dams, [www.ancold.org.au](http://www.ancold.org.au)  
《尾矿坝设计、施工和运行规范，1999》，澳大利亚大坝国家委员会，[www.ancold.org.au](http://www.ancold.org.au)
- *Guidelines on Dam Safety Management 2003*, Australian National Committee on Large Dams, [www.ancold.org.au](http://www.ancold.org.au)  
《大坝安全管理规范，2003》，澳大利亚大坝国家委员会，[www.ancold.org.au](http://www.ancold.org.au)

## 术语表

酸性和金属矿废水	酸性和金属矿废水，传统上是指酸性矿物废水或酸性岩石废水，既包括酸性的金属矿废水，也包括接近中性但含金属的废水。
适应性管理	一种通过学习实际工作的结果，不断改进管理方针和实践的系统性过程。ICMM采矿和生物多样性的良好实践规范是指“执行—监控—评价—修正”的适应性管理。
堤	一种土挡墙。
毛细管断层	一种毛细管上升有限、用来限制污染物吸收的粗粒材料。
胶结膏体尾矿	具有膏体稠度的尾矿，向其中加入水泥来增强地下采场回填的强度。
中线法，建造或加高	在固定的坝顶中线上用废石、借土或尾矿进行的尾矿隔离墙的建造施工。
中央浓缩排放	从设施内一个或一个以上的塔或排口排放的浓缩尾矿，而设施仅有一个回收所有上清液的标称围墙。
离心机	一种通过在排水表面施加离心力使尾矿浆脱水的装置。
粗（煤）矸石	通过洗选从原煤中去除的矿物质中的粗粒部分。
联合处置	粗煤和细粒矿废料的联合处置，例如洗煤废水的同时泵送处置。
社区	定义“社区”的方式有多种。在矿业词汇中，社区通常适用于公司活动所影响的直接或相邻区域内的居民。“当地社区”一般指运营活动所处的社区，其中可包括土著人以及非土著人。
社区影响	对相邻社区造成的损害。
固结	水从沉积尾矿浆中的排出。
咨询	对实际或所拟事件、活动或过程提供资料或建议并寻求响应的行为。
隔离墙	一种为尾矿提供外侧封闭的结构。

澄清液或上层清液	在尾矿贮存设施中从尾矿固体分离出的工艺水（上层清液）水体，外加设施上收集的所有降雨径流。
澄清池	从尾矿固体分离出的上层清液（工艺水）水体，外加尾矿贮存设施上收集的所有降雨径流。
深床浓密机	一种依靠提升作用尽可能降低沼泽化的可能性，使深床尾矿浆能够根据需要浓缩和输送的浓密机。
干燥	通过曝晒蒸发使尾矿表面干燥、收缩和开裂。
脱水	通过浓缩、过滤或离心将水从尾矿浆中脱去。
现场脱水	沉积湿尾矿经过沉降、固结和干燥后向矿坑的排放。
山谷下向排放	浓缩的尾矿沿山谷下向朝着位于截流坝头隔离墙的排放。
下游方法，建造或加高	在下游方向建造尾矿隔离墙，通常利用废石或借土。
下游或外工作面坝	暴露于环境的尾矿贮存设施外部周界。 描述尾矿或水隔离墙的术语。
包覆	用惰性材料将反应性废物包裹起来，使其与氧气和/或水流隔离。
环境影响	对环境的损害。
安全因素	使抑制作用超过干扰作用的因素。
失效模式	使尾矿贮存设施可能失效的机制。
滤饼	在尾矿浆过滤过程中施加压力形成的半固体结构。
压滤机	一种在通过尾矿浆的两个排水面之间施加压力使尾矿浆脱水成为连续滤饼的装置。
细（煤）矸石	通过洗选从原煤中去除的矿物质中的细粒部分。
絮凝剂	促使尾矿颗粒凝聚，帮助和加速其沉降和固结的化学添加剂。



超高	隔离墙坝顶与尾矿表面之间的高度，用来储存雨水的高度。
土工膜	一种人造低透水性薄膜，如高密度聚乙烯（HDPE）。
土工	地面和/或土质结构的工程。
危险	造成损害的潜在可能。
高压浓密机	一种高速浓密机，具有通过耙子布置外加的压缩作用，用来提高可实现的密度。
高速浓密机	一种尾矿浆以高速度和限定停留时间通过浓密机，絮凝剂剂量可以较高。
导水率	或者称为（水）渗透率；是对多孔材料透水能力的量度。
水砂充填料	以流体形式回填的充填料。
工业生态学	工业生产过程之间的协同效应。
渗透	水对多孔材料的渗入。
最优方法	促进可持续发展的现有最佳办法。
衬垫	由压实粘土和/或土工膜或土工合成材料（粘土夹在土工布之间的夹层结构）组成的低渗透性基础。
天然类似物	可能与矿山地貌进行对比的未开采地貌，用来研究出可持续的嗣后地貌。
膏体尾矿	浓缩到膏体稠度的尾矿浆，屈服应力高，塌陷度更低，析水更少。加入水泥得到为地下矿山采场提供的胶结膏体尾矿。
渗透	渗透物向容纳环境的渗入。
测压计	用来监测尾矿贮存设施之下和周围地下水壅高的传感器。
管涌	由于通过土工构筑物的诱导水流形成穿过该土工构筑物的冲蚀通道。
电厂灰渣	燃煤电厂发电的副产品。
公共健康风险	损害公共健康的可能性。
质量保证	确保工艺的质量（例如施工），其中包括文件化和检验工作的报告。
药剂回收	从尾矿物流中收集处理剂。
赤泥残渣	用铝土矿生产氧化铝得到的一种副产品。
复垦	交付长期安全、稳定并且无污染的尾矿贮存设施，同时将矿区和周边土地的资源化利用考虑在内。

回水泵送和管道系统	设计用来使上层工艺水返回矿石处理厂（循环）。
流变学	对尾矿浆在外施应力影响下变形和流动所进行的研究。
风险	现实损害的可能性。
人身安全	保护矿区人员和公众免受矿区伤害风险的安全措施。
沉降	固体从含水浆体中的分离。
防渗系统	可能包括夯实地基或衬垫（压实粘土或土工膜）以及地下排水收集系统。
坡度	指尾矿隔离墙和尾矿滩面的角度。
社会影响	对社会的不利损害。
采矿社会许可	社会许可是对公司为其运营所在社区所做贡献的认可与接受，这种许可不仅仅满足最基本的法定要求，更是发展和维系业务可持续发展所必需的建设性的利益相关方关系。总之，采矿社会许可源自于诚信与相互尊重基础之上不断努力建立和维系的关系。
插口	尾矿输送主管线在尾矿贮存设施的隔离墙排放尾矿的位置分出的支管。
溢流道	在尾矿贮存设施周边建造、设计用来通过过多降雨径流的构造。
利益相关方	可能影响矿山关闭过程或结果或受此影响的人员、团体或机构。
初期墙	尾矿贮存设施最初的隔离墙。
蓄水/释放覆盖层	一种有植被的无排泄土壤覆盖层，旨在通过蒸发蒸腾来释放储蓄的季节性降雨，达到在干季期间尽量降低旱季中渗透的目的。
上层清液	在沉积尾矿浆沉降后尾矿表面形成的水。
尾矿	可采出金属和矿物已经从粉碎和研磨矿石中提取后留下的细粒固体物料和任何留下的工艺水结合在一起的混合物。

尾矿滩	可流动尾矿浆的排放形成的三角洲。
尾矿拦集	通常在初期阶段作为土制初期坝体建造，随着墙体升高使用借土和/或尾矿施工建造。可能在下游使用借土施工，或在中线或上游使用借土或主要使用尾矿施工。
尾矿管理	在整个尾矿生命周期对其的管理，其中包括尾矿的生产、运输、堆放和贮存，以及尾矿贮存设施的关闭和复垦。
尾矿泵送和管道系统	目的是将尾矿浆从矿石处理装置输送到尾矿贮存设施。
尾矿浆	处理装置中以低密度产生出的尾矿含在工艺水中的固体，将其在缓坡上形成滩面，固体在滩面分离出来，产生相当数量的上层清液。
尾矿贮存设施	用来容纳尾矿的区域；其主要功能是在不影响环境的情况下实现固体的沉降、固结和干燥，并促进水的回收或除去。指全部的设施，可能包括一个或一个以上的尾矿库。
浓缩尾矿	浓缩到高密度的尾矿，在更陡的坡上形成滩面并进行分离，产生出少得多的上层清液。
浓密机	一种提高尾矿浆密度的装置。
地下排水	尾矿淀积物下的排水设施，用来促进水向下排放。
上游法，施工或加高	尾矿隔离墙在固结和干燥尾矿顶部上游方向的施工，使用的是废石或尾矿。
水量平衡	尾矿贮存设备中水量输入和输出的加和，输入包括工艺水和降雨径流，输出包括蒸发、回水、尾矿中夹带水分以及渗漏。

# 矿业可持续发展最优方法系列丛书

## 已完成的丛书

- 《生物多样性管理》——2007年2月
- 《社区参与及发展》——2006年10月
- 《酸性和含金属废水治理》——2007年2月
- 《矿区关闭和完成》——2006年10月
- 《矿区复垦》——2006年10月
- 《受托管理》——2006年10月
- 《尾矿管理》——2007年2月

## 未来要出版的丛书

- 《氰化物管理》
- 《有害材料管理》
- 《监测、审计与绩效》
- 《微粒、噪音与爆破管理》
- 《风险评估与管理》
- 《水管理》
- 《与原住民社区协作》

以上这些主题并不限制本丛书的出版计划，该计划将随着最优方法管理的内容的改变而改变。

已出版的丛书的电子版本发布在以下网站：[www.industry.gov.au/sdmining](http://www.industry.gov.au/sdmining)

欲知计划详情或索取这些手册的印刷本，请发送电子邮件至 [sdmining@industry.gov.au](mailto:sdmining@industry.gov.au)



