



Australian Government
Department of Industry
Tourism and Resources



SOCIAL
ECONOMIC
ENVIRONMENTAL



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：

塔斯马尼亚州西部地下巷道排出的酸性和含金属废水
昆士兰州摩根山(Mt Morgan)矿山受到酸性和含金属废水影响的坑水
南澳大利亚州布鲁昆加(Brukunga)矿鸟瞰图

所有照片承蒙澳思公司(Earth Systems)允许使用

© 澳大利亚联邦2007版权所有

ISBN 0 642 72512 8

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

披蜚

鸣谢	vi
前言	ix
1.0 引言	1
1.1 可持续发展	3
2.0 了解酸性和含金属废水	5
2.1 酸性和含金属废水类型	5
2.2 酸性和酸度	9
2.3 酸度负荷	9
2.4 影响酸性和含金属废水产生的因素	10
2.5 酸性和含金属废水的来源	11
3.0 酸性和含金属废水的最优方法决策	14
3.1 采矿前	14
3.2 运营	19
3.3 关闭	19
实例研究(关闭和完成)——北领地的伍德卡特矿山(Woodcutters Mine)	20
4.0 法规框架	23
4.1 州/领地政府	23
4.2 联邦政府	24
4.3 《澳大利亚和新西兰淡水和海水水质规范》	25
5.0 酸性和含金属废水的识别和预测	28
5.1 引言	28
5.2 取样	29
5.3 地球化学静态实验	30
实例研究(表征/预测): 伊朗Sari Gunay	33
5.4 动态地球化学实验/污染物的产生速度	36
5.5 模拟氧化、污染物产生和释放	38
5.6 实验结果的解释	39
5.7 材料成份和调度的模拟	40
实例研究(表征/预测)——西澳克罗弗戴尔(Cloverdale)矿山	41
6.0 评价酸性和含金属废水的风险	43
实例研究——西澳汤姆·普拉斯(TOM PRICE)矿山	44
6.1 风险和债务——从公司评审得出的经验教训	46
6.2 对环境价值风险的评价	48
6.3 生态风险评价	49
7.0 酸性和含金属废水的减量、控制和处理	50
7.1 减量和控制	50
实例研究(水覆盖层)——维多利亚贝纳姆布拉(Benambra)尾矿坝	58
7.2 处理	59
实例研究 主动处理: 昆士兰摩根山(Mt Morgan)矿	61

8.0	监测和效果评价	69
8.1	监测目的	69
8.2	效果评价	79
9.0	向社区和利益相关方报告	80
10.0	酸性和含金属废水管理中的持续改进	82
10.1	新出现的技术和未来的研究	82
11.0	结论要点	84
	参考文献和重要链接	85
	网址	95
	术语表	96



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。计划中的十四个主题是由政府、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、如果没有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，此最优方法手册是无法完成的。我们在此谨向下列参与了本手册编制的各位人士和各个机构表示衷心的感谢：



Ian Rae教授

— —

www.raci.org.au



Jeff Taylor博士

— —

www.earthsystems.com.au



Sophie Pape女士

— —

www.earthsystems.com.au



Ramola Yardi女士

秘书长——工作组

助理经理，

工业、旅游和资源部可持续矿业科

www.industry.gov.au






John Bennett博士

www.ansto.gov.au



Paul Brown博士

www.riotinto.com

	Nick Currey 先生	
	Klohn Crippen Berger	www.klohn.com.au
	David Jones 博士	
	ERISS	www.deh.gov.au
	Stuart Miller 博士	
	董事总经理 环境地球化学国际公司	www.geochemistry.com.au
	Gavin Mudd 博士	
		www.iswr.monash.edu.au
	Stuart Simmonds 先生	
	Iluka	www.iluka.com
	Steve Slater 博士	
		www.riotinto.com
	David Williams 副教授	
		www.uq.edu.au/geomechanics



澳大利亚采矿产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、环境和社会顾问，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。

工业、旅游和资源部部长



- 任何使常见硫化物矿物与空气接触的活动都可能产生长期水污染问题。
- 采矿前应全面评价酸性废水风险。工作重点应放在预防和减少上，而不是放在控制或处理上。
- 这个领域的最优方法尚在发展中——酸性废水问题没有放之四海皆准的解决方案，人们经常需要专家的经验。

本手册阐述了酸性和含金属废水(AMD)的主题，这是最优方法可持续发展计划中的一个主题，该计划的目的是找出影响采矿产业可持续发展的关键问题，并为这个行业找到更加可持续方法的资料和实例研究。

管理酸性和含金属废水，减少对人类和环境健康的风险，代表了矿产业面临的重大挑战之一。酸性和含金属废水影响矿产业的诸多方面，包括煤矿、贵金属、贱金属、铀矿和工业矿物。任何形式影响黄铁矿等常见硫化物矿物的采矿、采石或挖掘作业，都有可能产生长期的水污染问题。在最近的30到40年里，随着矿产业运营从小吨位的地下开采发展到大吨位的露天开采，有可能产生酸性和含金属废水的硫化物材料数量呈指数增长。

酸性和含金属废水进入水道时，可能含有硫酸的混合物、高浓度的有毒金属、低氧浓度会对下游数公里水生生物、水滨植物和水资源使用带来重大的风险。当地社区的生活依赖于水道。清洁水对饮用、农作物灌溉和家畜用水是不可缺少的，也是维持水生生物所必需的。过去，人们基本上没有追究破坏生态系统和对社区造成严重影响的采矿活动。今天，如果采矿要可持续，人们将不能再容忍不良的做法。酸性和含金属废水的成功管理，对确保采矿活动符合日益严格的环境法规和社区期望、对于维持行业声誉，都是极为重要的。

矿产业运营停止后，酸性和含金属废水形式的不良水质可能继续影响环境、人类健康和生活长达几十甚至几百年。例如，西班牙伊比利亚黄铁矿带中的一个有名矿区，2000多年来一直在产生酸性和含金属废水。

酸性和含金属废水的最优方法管理中的关键步骤就是尽早评价风险。“风险”包括环境的、人类健康的、商业的、声誉的风险。酸性和含金属废水风险的渐进评价在勘探阶段过程中开始，并且在矿区规划期间继续进行，在硫化物材料产生显著干扰之前就提供潜在影响和管理成本量化所必需的数据。最近已经有一些这样的例子：规范的矿产业公司在规划阶段得出结论说，酸性和含金属废水的风险和相关的管理成本使项目搁浅。工程在存有酸性和含金属废水潜在危险的矿区进行时，工作重点应放在预防或减量，而不是控制或处理。

在一些酸性和含金属废水的鉴定和管理不太好的已停产和老矿区，补救和处理的高成本一直影响着矿产业公司的盈利。术语“永久处理”已经成为矿产业行话，这是因为，不管矿产业运营是否已经关闭，由于棘手的酸性和含金属废水问题，矿山租期还是不能结束。这种情况与可持续采矿相互矛盾，所以必须避免。

酸性和含金属废水的最优方法管理一直在发展——这个问题没有万能或“放之四海皆准”的解决方案。本手册从风险管理的角度概括了当前酸性和含金属废水的最优方法，给出了许多实例研究，这些实例研究强调了行业中目前正在实施的策略。这些策略的成功将取决于长期的评价和监测，因为在很多情况下还没有足够的时间充分评价其成效。

本手册涵盖采矿项目的所有阶段，从勘探到可行性研究，一直到运营和关闭。手册适用于勘探、运营和停产矿山以及遗留矿区。本手册是矿山规划者和矿山管理者的资源，但对于环境工作人员、顾问、政府部门和监管机构、非政府组织、相关利益的社区团体和学生来说也有关系。

值得注意的是，酸性和含金属废水还可能由酸性硫酸盐土壤的扰动引起，这种情况在地质年代较近的河口和红树林湿地环境，或甚至在一些施工区/隧道区也会自然发生。这些环境中酸性和含金属废水的产生和管理与矿区相似。进一步的指导见 Dobos (2006)。

实施本手册的某些方面可能需要专业人员的经验。在识别和预测(第5节)过程中,在选择长期的减量和控制策略(第7节)前,征求专家意见尤其重要。

1.1

根据广为接受的Brundtland委员会定义,可持续发展就是“在符合当前需要的同时又不损害后代满足其自身需要的能力的发展”。近年来,这个定义已被政府、社区和非政府组织用在了矿业部门,矿业自身也采用了这个定义。

为了给矿业可持续发展承诺的阐明和贯彻提供一个框架,澳大利亚矿物委员会编写了《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)。《持久价值》目的明确,旨在支持公司不仅仅满足于遵纪守法,而是要促进其“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。

1.1.1

利益相关方和社区对可持续性的社会、环境和经济各方面的侧重点各不相同。例如,原住民社区可能强调文化和社会问题。某些社区会评价几十年内复垦的工程措施在酸性和含金属废水方面的效果,而其他社区可能需要“永久”解决方案。因此,这些矿业项目债券或财务担保的规模大小可能非常重要。

考虑酸性和含金属废水的环境影响和其他与矿山相关的影响时,社区和非政府组织使用的通用原则是“预防性原则”。这些原则规定,科学证据不确定时,决策者应采取措施限制持续的环境损害,在评价对环境可能有严重或不可逆影响的建议时宁可过于谨慎。考虑到酸性和含金属废水管理中遇到的挑战和科学上的不确定性,运用预防性原则非常重要。

社区希望的是,与酸性和含金属废水管理相关的所有决策根据的不仅仅是经济成本。同时,这些决定需要以深入的技术研究和对问题透彻的了解为基础,所采用的策略必须包括当地社区愿望和价值观,将“矿山整个生命周期”规划结合到每日的运营当中。因此,酸性和含金属废水管理相关的所有决定必须与社会、经济、环境等各方面有机结合,达到有关各方满意的高度可持续发展的结果。

本手册第9节规定了向社区和利益相关方报告方面更多的细节。请读者参考本丛中《社区参与及发展手册》(Community Engagement and Development)以及《与原住民社区一起开发》(Working with Indigenous Communities)。

1.1.2

目前，尽管整个行业中都有很多优秀的实例，最优方法酸性和含金属废水风险管理仍未得到广泛的理解或实践。

《持久价值》(Enduring Value)框架为矿产业公司提供了可持续发展的景象以及实际贯彻方面的指导。采用最优方法的公司目标明确，还有对管理层、员工和承包商都有约束力的酸性和含金属废水管理方针和程序。额外的承诺，如对环境认证、对活动的参与，例如参与国际酸污染预防网(INAP)、矿山环境中性废水(MEND)计划、酸性废水技术计划(ADTI)，以及酸性和含金属废水专家在运营决策中的定期参与，所有这些都带来可能比法规要求更好的经营绩效。

不论是某一家公司的运营，还是采矿产业这个整体，在酸性和含金属废水预测和管理方面有很多前车之鉴。不能正确预测和管理的后果可能包括补救措施上的重大计划外开支、声誉上的损害、更加严格法规要求的引入。在关闭阶段不得不实施酸性和含金属废水管理策略运营时，计划外的成本增加常常介于5000万到1亿澳元之间。

纽蒙特公司估算的全球关闭的负债高达数亿澳元(Dowd, 2005)。其中大部分与尾矿贮存设施、废石堆、外露矿坑壁和其他干扰造成的酸性和含金属废水的防治有关。纽蒙特澳大利亚公司估计，该公司维持财务赢利的矿区，其关闭成本大约为1.5亿美元左右，其中65%以上用于废弃物管理(Dowd, 2005)。有关管理酸性和含金属废水短期和长期影响的成本的更多实例见矿山环境中和废水(1995)、USEPA (1997)、Wilson等人(2003)。虽然运营过程中的酸性和含金属废水管理成本可能非常大，但是和一旦问题发生所产生的长期成本相比，通常是微不足道的。

不合理的酸性和含金属废水管理所带来的风险可能很大。出问题时，除了补救和清除的规模大、成本高外，管理不善给人的印象是，这个行业是消极被动的，不能通过设计避免有害的影响。这两种态度都与行业的目标不符——为可持续发展做出有力的贡献、赢得和保持其社会采矿许可。



- 缩写“AMD”在这里是指酸性和含金属废水。
- 酸性和含金属废水可目测鉴别，可用化学方法表征。
- 酸性和含金属废水来源包括废石堆、矿石堆、尾矿贮存设施、尾矿坝、露天矿、地下矿山、矸石堆和堆浸堆。
- 酸度负荷是矿区潜在酸性和含金属废水影响的主要量度。它取决于酸性(pH)、矿物酸度(金属浓度)、流量。

2.1

酸性和含金属废水(AMD)传统上被称为“酸性矿山废水”或“酸性岩石废水”。本手册中，术语酸性和含金属废水认为，所有与硫化物的氧化有关出问题的废水并不都是酸性的(见下文)。在某些矿区，接近中性但含金属的废水可能和酸性水一样很难管理。有些矿区中，所产生的酸已被天然矿物组合充分中和，这样水中的有毒金属就被有效去除，但是留下的是含盐量很高的浸出液。

酸性和含金属废水能显示下列化学特性的一种或几种：

- pH值低(典型值在1.5到4的范围)
- 可溶金属浓度高(例如铁、铝、锰、镉、铜、铅、锌、砷和汞)
- 酸度值很高(例如50-15000 毫克/升 CaCO_3 当量)
- 盐度(硫酸盐)高(典型的硫酸盐浓度在500-10000 毫克/升的范围；典型的盐度在1000-20 000 μS /厘米的范围)
- 溶解氧浓度低(例如低于6 毫克/升)
- 浊度或总悬浮固体低(与上面一种或多种情况组合)。

存在酸性和含金属废水的关键指征包括(见图1)：

- 颜色发红或透明得不自然的水
- 废水管线中橙色-棕色氧化铁沉淀物
- 鱼类或者其他水生生物死亡
- 酸性和含金属废水和本底(接纳)水混合或水流汇合处生成沉淀物

- 植被恢复区(例如废石堆覆盖层)生长不好
- 植被枯萎或土壤灼伤(例如裸露区)
- 混凝土或钢结构的腐蚀。



1

()

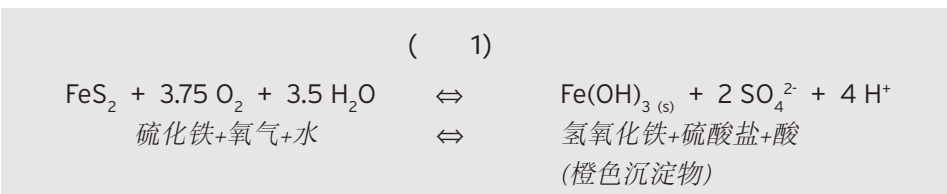
()

酸性和含金属废水风险的关键指标是与空气和水接触的大量硫化物矿物。最常见的产酸硫化物矿物包括黄铁矿(FeS_2)、磁黄铁矿(FeS)、白铁矿(FeS_2)、黄铜矿(CuFeS_2)和砷黄铁矿(FeAsS)。这些矿物以及其他硫化物矿物的酸性和对酸度的贡献可使用被称为ABATES的软件计算，这是一种基于电子数据表的工具(见术语表中的链接)。并不是所有的硫化物矿物在氧化过程中都产生酸，但它们中的大部分与酸性水接触后能够释放金属。

反应性硫化物一般情况下能与空气和水接触的位置包括废石堆、矿石堆、尾矿贮存设施、矿坑、地下矿山、矸石堆和堆浸堆(参见第2.5节)。最优方法酸性和含金属废水管理涉及降低反应性硫化物与空气、水(或两者都有)之间相互作用的策略。

2.1.1

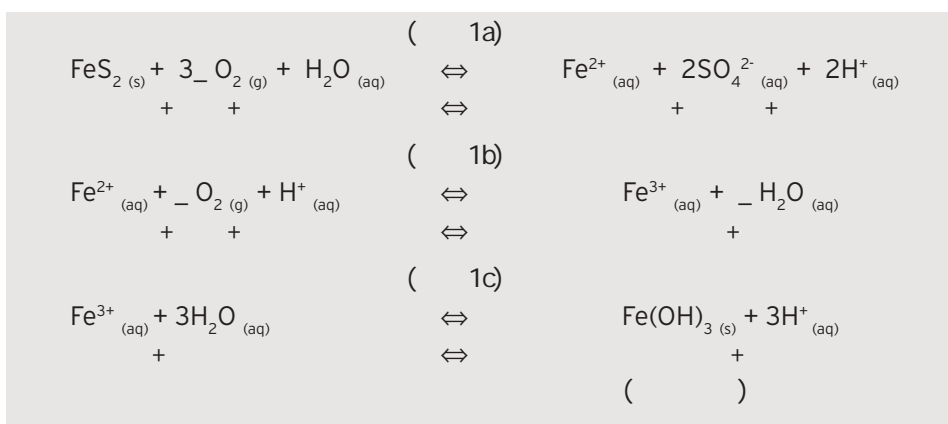
酸(H^+)的产生一般在硫化铁矿物同时与氧气(空气中)和水都接触时发生。这个过程可受到细菌活动的强烈催化。如反应1中所示，硫化物氧化产生硫酸和一种橙色沉淀物，也就是氢氧化铁($\text{Fe}(\text{OH})_3$)。



硫化铁产生酸(H⁺)涉及两个关键过程。

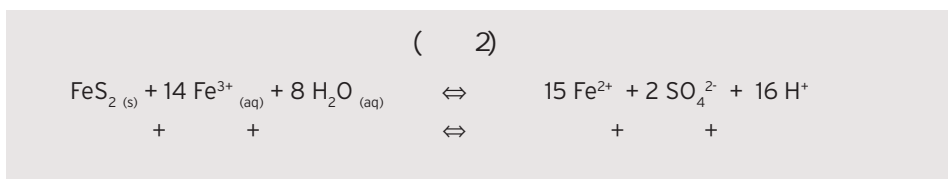
- 硫化物(S₂²⁻)氧化成硫酸盐(SO₄²⁻)
- 二价铁(Fe²⁺)氧化成三价铁(Fe³⁺)，然后生成氢氧化铁沉淀。

这些过程都可以用下面三个反应表示¹。



硫化物氧化成硫酸盐后，就很难避免水中二价铁氧化成三价铁和其后产生氢氧化铁沉淀。这个沉淀步骤是产酸步骤(反应1c)。

溶解的三价铁(Fe³⁺)和新鲜的硫化铁矿物之间的相互作用还会导致产酸过程的显著加速，如下面的反应所示。



酸性水穿过矿区迁移时(例如，穿过废石堆、矿石堆、矿坑围岩或地下水)，会与周围土壤或岩石材料中的其他矿物进一步反应，可能溶解各种各样的金属和盐类。在某种程度上来说，酸被其溶解的矿物中和，这样产生了使pH值升高的效果。

¹ 这些反应合并在一起相当于反应1。

但是，这种酸的中和一般是以得到的废水中有毒金属浓度(酸度)增大为代价的。酸性水遭到任何常见的铝硅酸盐或硫化物矿物时，会产生部分溶解和中和。虽然pH值增大是希望达到的结果，与此同时的有毒金属浓度升高却不是。在许多矿区，地质材料内没有足够的天然中和容量将废水的pH值提高到接近中性的水平。因此，有低pH值和高浓度有毒金属特征的酸性废水是矿区最常见的酸性和含金属废水形式。

2.1.1

有时，通过方解石、白云石、铁白云石、菱镁矿等常见碳酸盐矿物的溶解将产生的酸完全中和。因为许多有毒金属的溶解度由pH值决定，中和过程可能使铝、铜、铅等金属沉淀，从而将它们从废水中去除。但是接近中性的pH值，锌、砷、镍、镉等有毒成分浓度仍旧很高。同酸性废水一样，含金属废水通常也会含有高(硫酸盐)盐度。

与酸性废水相比，非酸性含金属废水并不常见，这是因为需要特殊的硫化物矿物(例如闪锌矿和砷黄铁矿)以及本地的过量碳酸盐中和。

2.1.2

如果酸性废水由本地碳酸盐资源完全中和，得到的废水不含有毒金属残留物，在这样的情况下，废水中可能仍存在硫酸盐盐度的问题。中和废水的硫酸盐盐度主要取决于进行中和使用的碳酸盐材料中钙和镁的相对比例。例如，如果镁是中和材料的主要成分，因为硫酸镁溶解度较高，高盐度很可能是一个问题。相反，如果钙是主要成分，则生成的石膏沉淀物将得到较低的盐度水平。

与酸性、与含金属废水相比，仅由于硫化物氧化产生的含盐废水相对来说非常少见。尽管如此，硫酸盐盐度可能是矿区酸性和含金属废水问题的一项重要指标，可能需要类似的管理策略(即控制硫化物氧化)。

2.2

酸性是氢离子(H⁺)浓度的量度，一般用pH值表示，而酸度是氢离子浓度和矿物(或潜在)酸度的量度。矿物或潜在酸度考虑的是通过氧化、稀释或中和造成各种金属氢氧化物沉淀而可能产生的潜在氢离子浓度。

一般说来，酸度随着pH降低而增加，但是酸度和pH之间不一定有直接的关系。根据前面含金属废水的描述，有可能使酸性和含金属废水的酸度较高，但pH值呈中性。因此，非常重要是对氢离子浓度(酸性)和矿物(潜在酸度)的贡献都进行定量，以便确定水流或水体的总酸度(酸+潜在酸度)。酸度一般用每单位体积等效碳酸钙(CaCO₃)质量表示(例如，毫克 CaCO₃/升)。

酸性可使用经过校准的pH计非常容易地在现场测量。酸度的估计值可在实验室中测量，也可使用式1等公式根据水质数据估算，式1广泛适用于煤矿废水²。如果输入更详细的水质数据，可使用AMDTreat或ABATES等共享软件来获得准确的酸度估算值(见术语表)。

$$(1) \quad \left(\text{mg} / \text{CaCO}_3 \right) = 50 \times \left\{ 3 \times [\text{Fe}] / 56 \right. \\ \left. + 3 \times [\text{Al}^{3+}] / 27 \right. \\ \left. + 2 \times [\text{Mn}^{2+}] / 55 \right. \\ \left. + 1000 \times 10^{-(\text{pH})} \right\}$$

注：[]表示浓度，毫克/升

2.3

酸度负荷指总酸度(酸性+潜在酸度)和流量(或体积)的乘积，用“每时间单位等效CaCO₃质量”(或给定体积水等效CaCO₃质量)表示。如果有流量或体积数据，则测得或估算的酸度值可按式2所示或者使用ABATES共享软件换算为酸度负荷。

² 公式1适用于铁、铝和锰是酸度主要成份的矿区，比如煤矿等。

$$\left(\frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} \right) = 10^{-9} \times 86400 \left(\frac{\text{L}}{\text{d}} \right) \times \left(\frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{\text{m}^3}{\text{CaCO}_3} \right) \quad (2a)$$

$$\left(\frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} \right) = 10^{-9} \left(\frac{\text{L}}{\text{d}} \right) \times \left(\frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{\text{m}^3}{\text{CaCO}_3} \right) \quad (2b)$$

酸度负荷是矿区酸性和含金属废水潜在影响的主要量度。因此，酸性和含金属废水管理规划或成本需要把重点放在矿区有可能释放最大的酸度负荷的区域。

2.4

许多因素都会影响酸性和含金属废水的产生和输送，并因此对源头下游某点的污染物浓度和负荷造成影响。影响酸性和含金属废水产生主要因素是硫化物矿物的氧化。酸性和含金属废水的化学性质，会随着溶液通过系统的运动以及与其他地质材料的相互作用而发生改变。

影响硫化物氧化的因素包括：

- 金属硫化物的浓度、分布、矿物学性质和物理形态
- 通过对流和/或扩散从大气向反应区域提供氧气的速度
- 与反应区域接触的孔隙水的化学成分，包括pH值和二价铁/三价铁比
- 反应区域的温度
- 反应区域的含水量
- 矿物表面的微生物生态学性质。

影响二次互相作用的因素包括：

- 中和剂和其他矿物的浓度、分布、矿物学性质、物理形态
- 水的流量和流道
- 孔隙水的化学成分。

在第6节讨论中，将这些因素纳入酸性和含金属废水风险评价的方法。在第5节中说明了它们在酸性和含金属废水预测和模拟中的使用，第7节中概括了改变某些因素来控制酸性和含金属废水产生和释放的方法。

2.5

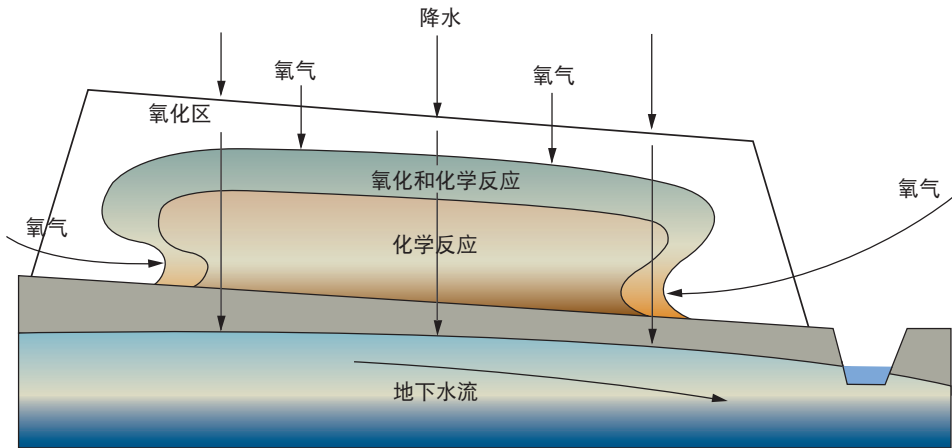
在评价矿区的酸度负荷平衡方面，至关重要的是很好地了解当地的地质情况、矿物学性质和地球化学性质——也就是表征矿产业运营过程中接触、处理或被选的材料。未固结材料(例如废石和尾矿)或岩床(例如矿坑壁或地下巷道)与空气和水的接触有可能产生酸性和含金属废水。在中和酸度和降低金属浓度方面，碳酸盐是唯一被认为有效的大量天然存在的碱性矿物。硅酸盐和铝硅酸盐矿物(例如黑云母和绿泥石)具有很大的中和容量，但是因为反应动力学方面的原因，它们在大部分情况下基本上不起作用。但是，并非所有硫化物矿物产生酸性废水，也并不是所有碳酸盐矿物都能中和酸度。水质差的废水可能由于金属浓度较高保持在接近中性pH值(参考第2.1.1节)。

岩性和工业生产液流的评价对制订采矿废料处置的管理策略来说是必不可少的。例如，在评价的基础上可能实施隔离、选择性堆放、联合处置或混合和/或密封等策略。这些策略在第7节中详细讨论。但是，管理策略的总体目标应该是减少或尽可能消除潜在产酸材料带来的影响。只有矿区规划者和管理者对由于采矿而受到干扰(或与空气接触)的材料的地球化学性质有了深入的了解，对这些材料所形成的酸度负荷的总体平衡有所认识，这种策略才可能实现。

2.5.1

一般说来，废石堆都堆放在地面上，保持含水5%到10%左右的不饱和状态。另外还可将废石回填到部分地下水淹没的矿坑。在这两种情况下，任何硫化物废石的不饱和区都很容易产生酸性和含金属废水。酸性和含金属废水可能从废石堆的趾部渗出，或在废石堆下方迁移到地下水中。在运营过程中和关闭后，这种情况都可能对水质产生不良影响。

图2中示意说明了废石堆产生酸性和含金属废水的整个过程。给定系统的行为始终与时间有关，将会取决于材料的孔隙度、粒径(表面积)、扩散系数、透气性、透水性和导热性等物理性质。地理位置将决定空气密度、降水、温度、盛行风、植被、季节变化等因素。



2

(Ritchie 1994)

2.5.2

矿石堆性质通常与废石的性质相类似，但硫化物浓度常常更高。它们的寿命相对较短，这是因为它们最终是要进行选矿。尽管如此，低品位矿石堆可能存在几十年，成为潜在的长期的酸性和含金属废水来源。除水质问题外，酸性和含金属废水的产生可能导致堆放矿石的品位显著降低。

2.5.3

选矿过程中产生的尾矿一般以浆体形式排放到尾矿贮存设施。由于硫化物尾矿的粒径较细，可能成为酸性和含金属废水的重要来源。尾矿在坝等挡水构筑物的水下处置可能是有效酸性和含金属废水控制策略。但是，因为大部分现有尾矿贮存设施并未设计成挡水构筑物的形式，尾矿可能向着不饱和和状态的方向发展(例如在关闭后)，因此成为潜在的长期酸性和含金属废水源。

尾矿贮存设施的渗流通常进入地下水，而地表水往往在现场回用(运营过程中)，可经过溢流道结构排放(关闭后)。因此，尾矿贮存设施中产生的酸性和含金属废水对矿区内外地表和地下水水质都会产生不利影响。污染物经地下水向矿区外输送是含硫化物材料的不饱和尾矿贮存设施不可避免的结果，但是，通过适当的复垦策略，可以尽量减少这种后果。

2.5.4

矿坑或露天矿的围岩³可能含有潜在产生酸性和含金属废水的硫化物矿物。在采矿过程中，矿坑周围地下水下降的程度影响了接触空气的硫化物材料的量，也由此产生的酸度负荷造成影响。来自围岩的酸性和含金属废水可能渗入矿坑或当地的地下水系统。这会影影响运营过程中从矿坑集水池或地下水钻孔中泵出水的水质。酸性和含金属废水对矿山关闭的矿坑水质也有重大的长期影响。

2.5.5

与地下巷道中围岩相关的问题与矿坑相似。由于脱水造成与空气接触的任何硫化物都是酸性和含金属废水的潜在来源。这会影影响运营过程中在地下收集回用、处理或排放的水的水质。在采矿完成时，地下巷道的淹没防止了酸性和含金属废水的进一步产生。但是，由于硫化物在淹没之前和淹没过程中的氧化，矿山空穴可能含有较差水质的水。

2.5.6

随着技术上的成熟和运营规模的增大，贱金属硫化物的生物浸析日益受到青睐。在停产时，矸石堆或废料堆中残留的硫化物成为酸性和含金属废水潜在的长期来源。堆浸堆下方加衬垫层，可使停产过程中和关闭后所有的废水都得到收集，方便了酸性和含金属废水的管理。但是，在矸石堆生物堆浸运行的情况下，如果没有有效的衬垫层，矸石堆材料中酸性和含金属废水的产生和向环境的输送可能与硫化物废石堆产生的酸性和含金属废水不相上下。

3 矿场通常称为矿坑或露天矿。为统一起见，本手册全书中采用术语“矿坑”。



3.0

- 酸性和含金属废水风险的表征应在勘探期间开始，并在前期可行性研究、可行性研究与运营阶段继续进行。
- 矿区运营和关闭的酸性和含金属废水管理计划应在可行性研究期间制订。
- 只有可行性研究阶段进行的关闭规划从技术和经济角度都证实了酸性和含金属废水可以得到管理时，采矿才能够进行。

矿山的开发包括许多阶段，通常被称为勘探、前期可行性研究、可行性研究、运营、关闭。酸性和含金属废水的风险可能阻碍采矿工程可行性研究以后阶段的进展，酸性和含金属废水如果真的发生，将对工程效果影响重大。

在工程的生命周期中，评价和管理潜在酸性和含金属废水所需的关键参数确立得越早越好。

酸性和含金属废水的最优方法决策首先从对矿区地质学条件的了解开始。了解矿物或煤藏形成的地质环境是管理矿山材料酸性和含金属废水的关键。识别和预测酸性和含金属废水的方法在第5部分详细阐述。

3.1

矿物资源几乎没有均匀分布的，在采矿前阶段，对矿物资源及其赋矿岩石的了解都相对较少。但是，在采矿前的阶段的重要一点是，包括地质学家、矿山规划者、环境科学家和酸性和含金属废水专家在内的工程小组，确保编制出能满足需要的地质和地球化学数据库，用来明确酸性和含金属废水的基线条件和风险。表1概括了一个典型的分阶段实验工作计划。对可能产生的废料和外露材料(5.3节)的了解，以及对矿产业运营的限制了解，都非常重要(Scott等人，2000)。

如表1所示，需要在可行性研究阶段为矿区制订详细的关闭计划并核定其成本。计划必须始终是一种“动态文件”，随着矿山的运营进度，根据新技术、利益相关方输入、变化的矿山条件、社区期望进行定期评审和更新。

	/	(/ * 5 8)	
勘探：勘测	目测	酸性和含金属废水可能性的证据(例如硫化物矿物、染污渗流、铁沉淀物)。	如果在这一阶段没有酸性和含金属废水可能性的指示，在勘探实验过程中仍然有必要进一步的酸性和含金属废水表征，而且应扩大表征范围(见下文)。
水质		地表水样酸度、金属、硫酸盐、盐度的分析。	
勘探：勘探实验	目测	酸性和含金属废水可能性的证据。	如果这一阶段没有酸性和含金属废水可能性的指示，不需要进一步表征，除非勘探了新的资源区并发现具有不同地质构造。
水质	地球化学(初步静态实验工作)	地表水样酸度、金属、硫酸盐、盐度的分析、净产酸潜力/净产酸或过氧化物氧化合并酸度和硫酸盐实验工作，包括钴屑(如果有)和露头岩层中硫和碳的分析。 每个关键的岩性/蚀变类型应检测至少3-5份代表性样品。	如果有酸性和含金属废水可能性的指示，在资源确定过程中需要更加详细的表征(见下文)。
勘探：资源确定	目测	同上。	如果这一阶段没有酸性和含金属废水可能性的指示，不需要进一步表征，除非勘探了新的资源区并发现具有不同地质构造。
水质	地质学/矿物学	使用传统方法(岩石学)对含矿石和废石分类中地质/岩石类型以及矿物相的识别。初步分块模型的开发(见5.7节)。	如果有酸性和含金属废水可能性的指示，在项目开发的下个阶段需要进行进一步勘查。

	/	/ (* 5 8)	
前期可行性研究	地球化学(详细的初步静态实验工作)	净产酸潜力/净产酸或过氧化物氧化合并酸度和硫酸盐实验工作, 包括不同地质类型和矿物相的钻屑中的硫(如硫化物)和碳(碳酸盐)。每个关键的岩性/蚀变类型应检测至少5-10份代表性样品。	截止到资源确定阶段结束时, 应该有足够的资料来相当准确地表征矿体(高品位和低品位矿石)的酸性和含金属废水可能性, 但是废石和尾矿表征可能需要更详细的资料。
	地球物理	激发极化/自极化(IP/SP)探测浸染状硫化物)、磁和电导(EM)探测块状硫化物)等方法, 用来更好地确定酸性和含金属废水可能性的程度。	
可行性研究	目测	同上	各种采矿、选矿、关闭方案都应评价潜在酸性和含金属废水影响和相关的管理成本。
	水质	确立基线水质(酸度、金属、硫酸盐、盐度等)和工程可能影响的地表和地下水资源的环境价值。这项资料构成环境审批过程的重要组成部分。 开发初步的矿区水量平衡模型。	
			管理和含金属废水的初始投资成本和后续运营和关闭成本必须纳入工程财务分析, 用来帮助区分方案, 确保前瞻性的酸性和含金属废水管理。这样在可行性研究阶段就可以选择首选的工程方案。首选方案将是申请批准实施工程的基础。

	/	(5 8)	
前期可行性研究	地质学/矿物学	继续改进分块模型(见5.7节)。	只要可行,在经济上可以接受,就可以优化采矿和选矿方法,减少废料或尾矿产生的酸性和含金属废水,即引入“浓缩”工艺。
	地球化学(详细静态实验;初步动态实验)	地球化学实验应收集数百份代表性高品位和低品位矿石、废石、尾矿样品。 充足的样品充实了分块模型,提供了净产酸潜力数据在矿石、废料、围岩中可靠的分布。 每个关键的岩性/蚀变类型至少应该有1-2份代表性样品进行动力学实验。 初步实验可能相对简单,如果酸性和含金属废水确定有问题,则提高复杂性。	在可行性研究前期,可与监管机构和社区进行协商,这可能提供有价值的反馈,有助于在工程方案中做出选择。
可行性研究	目测	同上,	应评审所有酸性和含金属废水数据,制订与采矿计划有机结合的初步酸性和含金属废水管理计划。计划应作为工程净现值(NPV)输入核定成本。应大力强调制订能够使运营方案成本更加现实的酸性和含金属废水减量策略。
	水质	修订基线水质和矿区水量平衡模型。 继续改进分块模型(见5.7节)。使用模型制订生命周期矿山废物开采计划表,最优化矿山规划和设施布局。	

	/	/ (* 5 8)	
可行性研究	地球化学(详细静态和动态实验)	<p>评审高品位和低品位矿石、废石、尾矿以前的地球化学资料。</p> <p>如有必要，改进分块模型的净产酸潜力数据密度，进行充分的净产酸实验工作，以便交叉校验关键岩性的净产酸潜力数据。</p> <p>继续废石和尾矿样品的动力学实验。可使用各种材料混合物(例如产酸性和耗酸材料)确立动力学实验，用来研究酸性和含金属废水管理方案。</p> <p>如果有气候和地质条件类似的矿山的酸性和含金属废水经验可供参考，应对此进行详细评审。</p> <p>如果仍然没有足够的数据来评价酸性和含金属废水可能性，提供令人信服的供批准的管埋计划，则需要进行附加的取样、实验、分块模型的改进。</p>	<p>管理酸性和含金属废水的规划和运营方法需要很详细，有正确的技术理论支持。酸性和含金属废水管理效果的过程监测程序需要非常详细。</p> <p>必须制订关闭计划，计划要切实可行并令人信服。需要将关闭成本转化为工程财务的一部分，根据改进的详细设计概念模型，关闭成本的概算需要精确到$\pm 20\%$。</p> <p>尽管关闭计划为了批准而必须显示出切实可行，在采矿运营过程中还需要进行实验和其他研究。</p> <p>在加快批准和顺利进入运营阶段方面，周密的科学方法和透明度是关键的因素。降低影响并在关闭后提供安全、稳定地貌的工程概念与可持续发展的目标一致。</p> <p>环境影响评价(EIA) 制订通常在可行性研究阶段刚结束后完成，审批过程一般也在这个时候开始。此时已经选定了一个首选的工程方案，但在最终设计工作期间仍然需要根据利益相关方(社区和监管机构)在审批过程中的反馈进行修订。</p>

3.2

在运营过程中，产酸材料的管理可能是一个复杂的过程，根据矿石和废料的特点、当地气候、地貌，会涉及到许多不同的策略(参考第7节)。至关重要的是要在可行性研究阶段制订酸性和含金属废水管理计划，并根据矿业运营过程中碰到的变化条件做出相应修订。

日常的酸性和含金属废水管理可能包括硫化物和含碳酸盐材料的识别、表征、调度、运输、隔离、选择性堆放、联合处置(有时是混合)等，还涉及广泛的监测。这种复杂的过程消耗大量的时间和人工，成本经常很高，而且无利可图，因此要求矿山管理层和全体员工做出的严肃承诺。定期的企业内部效果评价(参考第8节)非常重要。

效果评价过程应该为关闭计划的定期更新提供反馈(参考《矿山关闭和完成手册》(*Mine Closure and Completion Handbook*))。如果发现初期管理策略成效不大，则应进行替代策略的研究，同时适当的设备和有经验的人员仍留在现场待命，这样，新方法能以最低的成本实施。应该将酸性和含金属废水管理技术的新进展作为开展酸性和含金属废水管理和关闭规划过程的一部分，在评价和实验中加以考虑。在规划过程中还需要与监管机构和社区团体协商，以便满足其不断变化的要求。

3.3

在矿山关闭时应该假定，保护环境需要的大部分准备工作，已经在整个运营阶段作为经过深思熟虑的关闭计划的一部分得以进行。如果情况不是这样，就有可能存在不利影响的重大风险，其中包括在这样的后期阶段改造方案所需的高昂成本。Dowd (2005)讨论了北领地的伍德卡特矿山(Woodcutters Mine)关闭计划的不足(见实例研究)。

理想情况下，关闭阶段大致由停产的最后几个阶段组成，包括基础设施的拆除、最终土地整治、植被恢复和关闭后监测程序的开始。

因为酸性和含金属废水问题可能要经过一段很长的滞后时间才能显现出来，有必要对植被恢复的成功、覆盖系统的效果、对水资源的任何影响进行很多年的监控，直到获得稳定性的良好证据，由监管机构批准结束。

应该记住，许多酸性和含金属废水管理技术仍然相对较新(不到30年)，所以在实现环境安全和稳定的地貌方面，长期的成功基准很少。关闭措施的长期效果需要模拟等技术的初步证实，但是总是需要得到现场效果的验证。在判定酸性和含金

属废水风险及其潜在后续影响可能性很高的矿区，公司应准备好进行长期的关闭后监测。这种负责任的方法将会提升行业的声誉，有助于保持社会采矿许可。在最优方法可持续发展《矿山关闭和完成手册》中全面地研究了关闭问题。

()—— (Woodcutters Mine)

澳大利亚北领地达尔文(Darwin)附近的前伍德卡特矿山(Woodcutters Mine)在1985年和1999年间从事大储量铅-锌矿藏的地下开采和露天矿开采。关闭时，残留的矿山废弃物被贮存在两个大型尾矿坝中，其中含有高硫化物净产酸材料和废石堆。废石堆含有大量来自最初露天矿坑的硫化物材料，已暴露于热带季风气候很多年。

对5种备选关闭方案进行了详细的成本效益评价，其中涉及现场复垦或尾矿和废石重新安置的各种组合。根据这个评价，初期的关闭计划是：

- 将硫化物尾矿材料转移堆放在露天矿坑中，注水淹没矿坑余下的库容，以防止水下的尾矿在将来产生酸性和含金属废水
- 使用干燥覆盖系统进行废石贮存设施的现场复垦。

2000年，纽蒙特澳大利亚公司(Newmont Australia Ltd)(前诺曼底(Normandy))开始了一项最优方法的多学科研究，以最后确定矿区关闭计划，其中包括回填露天矿坑的最终复垦计划以及废石堆的覆盖层设计。

进行了整个矿区地下水流和溶质输送的模拟，旨在评价废石、矿坑尾矿和先前尾矿坝占用区产生的酸性和含金属废水对地下水质的影响。然后，将模拟实验结果与流量分析联系在一起，用来评价几种关闭方案对接纳水生环境带来的长期风险。根据模拟结果和暴露风险评价，研究发现：

- 废石堆需要双层覆盖层，这两层是
 - 一层低透水性的覆土层，用来减少迁移到废石材料中的水分，降低废石堆中硫化物氧化的速度
 - 上覆“贮存/释放”层，用来为植被提供生长介质，保护低透水性的覆土层
- 露天矿坑需要用干净的材料回填到接近地表(在尾矿重新安置后)，而不是象最初预想的那样留下一个矿坑湖。

包括最终废石堆覆盖层和回填露天矿坑的土方修整/封顶在内，所有与关闭有关的重大土方工程于2004年完成。

覆盖层设计和地下水影响方面的技术研究，连同河流生物群和沉积物中金属含量的长期评价，被用于制定关闭后效果以及最终归还采矿租赁权的定量的成功条件。

编制了详细的监测计划，用来评价关闭后的效果。在整个设计过程中，纽蒙特公司与监管机构和当地的利益相关方(传统土地所有者)进行协商，他们非常支持伍德卡特矿山采用最终关闭设计的综合方法。

矿区关闭和复垦活动的最终实施示范了当前最优方法可持续矿产业运营原则的应用，同时，从这项实例研究还得到很多重要的经验教训。这些经验教训概括如下(Dowd 2005):

- 在初期对废弃材料进行最佳堆放，并结合矿产业运营过程中的逐步复垦，会使关闭成本显著降低
- 如果在矿山的运营周期当中就能制订矿区关闭条件，并与监管机构和主要利益相关方协商并达成一致，那么关闭过程将会更快完成。
- 如果复垦活动在矿山设备和员工/承包商退出前就开始，就可能省下很多费用。



3 1998



4 2005

()



- 联邦和州政府法规的目的是保护环境，其中包括保护土地资源和水资源使用、生物多样性、文化遗产。
- 与酸性和含金属废水有关的关键联邦法规是《环境保护和生物多样性保护法》(Environment Protection and Biodiversity Conservation Act)、《国家环境保护措施(NEPM)》(National Environment Protection Measures)、《澳新环保/农业资源管理标准——水质规范》(ANZECC/ARMCANZ Water Quality Guidelines)。
- 《澳新环保/农业资源管理标准——水质规范》(ANZECC/ARMCANZ Water Quality Guidelines)规定了基于风险的矿区排放标准编制方法。

联邦、州、地方政府都有对应与矿区酸性和含金属废水管理相关的法规和规范。这些法规和规范的目的是保护环境，例如保护生物多样性、水资源(数量和质量)、地貌、现有和未来潜在的用地、文化和环境遗产。

州和领地政府对矿产业运营的监督和立法负有重要责任。这项工作经常通过矿产业资源机构、自然资源管理机构、法定环境管理机构进行管理。联邦主要在已确定是具有全国环境意义问题，或已达成管理特定环境问题的全国性框架时进行参与。

在海外经营的澳大利亚矿产业公司必须遵守所在国的法规。国内法规未规定矿产业运营具体的水质规范时，还有必要考虑国际规范，例如世界银行/国际金融组织(例如IFC, 2004) 和世界卫生组织规范(例如WHO, 2004)。最优方法可以通过对最严格的适用规范的合规得以展现。

4.1 /

州和领地政府监管酸性和含金属废水的主要手段是通常的行政授权，包括采矿租约、环境影响评价、水资源，这些是矿产业项目所需要的。适用于酸性和含金属废水的法规和监管制度的结构在各管辖权之间有所不同，一般说来，它们都通过污染物释放的减量来寻求在运营过程中尽量降低环境影响，在复垦后实现可持续地貌。

根据州和领地法规，关键的考虑事项包括：

- 环境和社会影响评价中酸性和含金属废水风险的识别和评价
- 根据关闭后酸性和含金属废水问题的适当管理，确定财务保证金
- 对国家水质规范合规性的管理
- 当地和地区水资源的来源、水质、用水

4.2

联邦政府提供的主要相关法规文件是环境保护和遗产委员会制定的《环境保护和生物多样性保护法2000(EPBC法)》(Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 2000(EPBC Act))、《国家环境保护措施》(National Environment Protection Measures)、澳大利亚和新西兰环境保护委员会制订《澳大利亚和新西兰淡水 and 海水水质规范(ANZECC/ARMCANZ水质规范)》(Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality(ANZECC/ARMCANZ Water Quality Guidelines))。这些规范在第4.3节中进行详细讨论。

根据EPBC法，采矿项目可能影响到以下所包括之某方面的“国家级环境重要性”时，联邦可能要求进行环境影响评价：

- 世界遗产地
- 国家遗产地
- 国际重要湿地
- 濒危物种和生态群落
- 迁徙物种
- 联邦海域
- 核活动(包括铀矿开采)。

《国家环境保护措施》(National Environment Protection Measures)(NEPM)的目的在于减少废气废水和废物现有和潜在的影响，为空气、土壤、水排放等方面大量资料的收集提供一个框架。《国家排放名录(NEPM)》(National Emissions Inventory NEPM)是国际互联网数据库，专门用于报告排放到空气、土壤、水中的特定化学物的种类和数量，公众可以访问该名录。该名录通过州和领地政府管理。矿业运营者应确定其是否被要求登记。更多资料见www.npi.gov.au。

4.3

酸性和含金属废水的最优方法管理要求细致了解和遵守《澳大利亚和新西兰淡水和海水水质规范》(ANZECC/ARMCANZ Water Quality Guidelines)。在www.deh.gov.au/water/quality/nwqms/volume1.html可下载一个表格，其中概括了淡水生态系统、海洋生态系统、灌溉和一般用途、牲畜饮用水、水产养殖、休闲用途、景观等的规范。国家健康和医学研究委员会(National Health and Medical Research Council)编制的《饮用水规范》(Guidelines for drinking water)可从www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/eh19syn.htm获取。本节简要说明了评价物质对水质的影响时如何运用这些规范。

这些规范提供了一种基于风险的创新方法，这种方法使用的判定框架可针对当地的环境条件专门设计。对于水生生态系统来说，规范阈值等于长期接触时低生态风险水平的理化指标。三种不同保护水平是水质规范的重要内容。一般认为，对于某些环境值来说，所有水资源的保护都达到相同水平可能是做不到的。对于水生生态系统来说，规范阈值设定在4种不同保护水平：99%、95%、90%、80%，其中保护水平表示预期要保护的物种的百分率。保护等级为：

- 高保护/生态价值(99%)
- 轻度-中度干扰(95%)
- 受高度干扰的生态系统(90%-80%)。

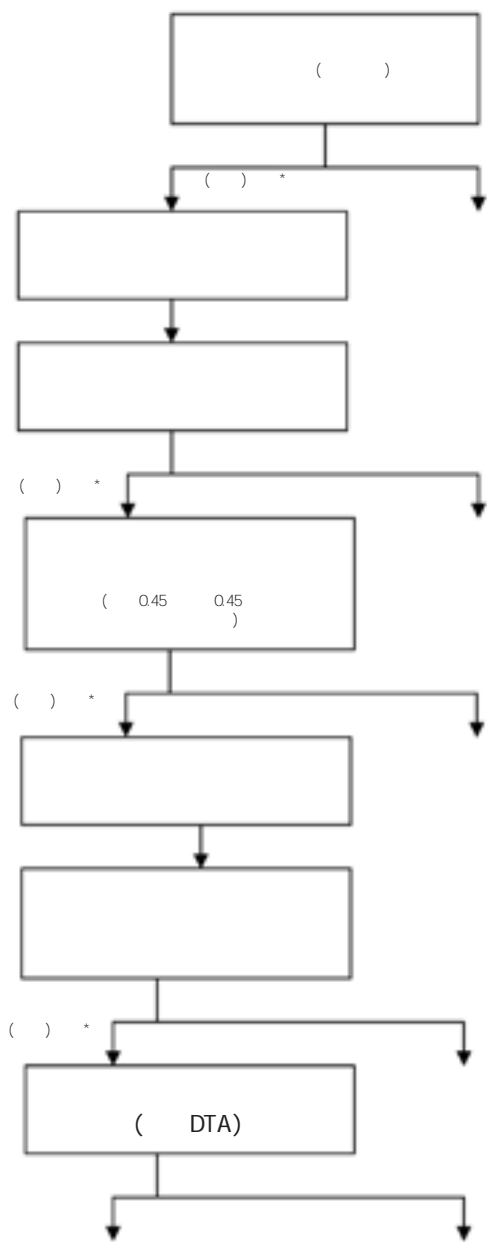
对于大多数矿区来说，规范阈值很可能指定在95%的水平，因为生态系统可能受到轻度到中度的干扰。此外，矿化区的天然矿物学性质可能造成地区水体中化学物质浓度较高。

规范阈值源于生物剂量—响应数据，表示化学指标中生物可利用的部分。对于金属来说，以游离金属离子或者能够在细胞或鳃盖膜离解的弱络合物形式存在的部份浓度，生物可利用性可能比强络合物或吸附在胶体和/或颗粒物形式的金属更高。

基于总金属浓度的规范可能保护得过于严格，但规划也承认生物可利用的金属浓度测量不是一件容易的事情。因此，从法规的立场来说，首先根据总金属浓度检验规范合规性的做法是合理的。这些测量即简单成本又低，试样污染的机会较小。如果超过总金属浓度的规范阈值，合理的做法是规定一种复杂性依次增加的测量体系，这个体系将提供精确性逐步提高的方法来识别出产生有毒影响的具体金属物种。图5用图解的方法概述了这种测量体系以及体系运用实例。

通过对特殊生态系统或环境的变化性、土壤类型、降雨或暴露等级等因素的考虑，可将规定的规范阈值修改成针对地区、当地或矿区的规范阈值。阈值就是这

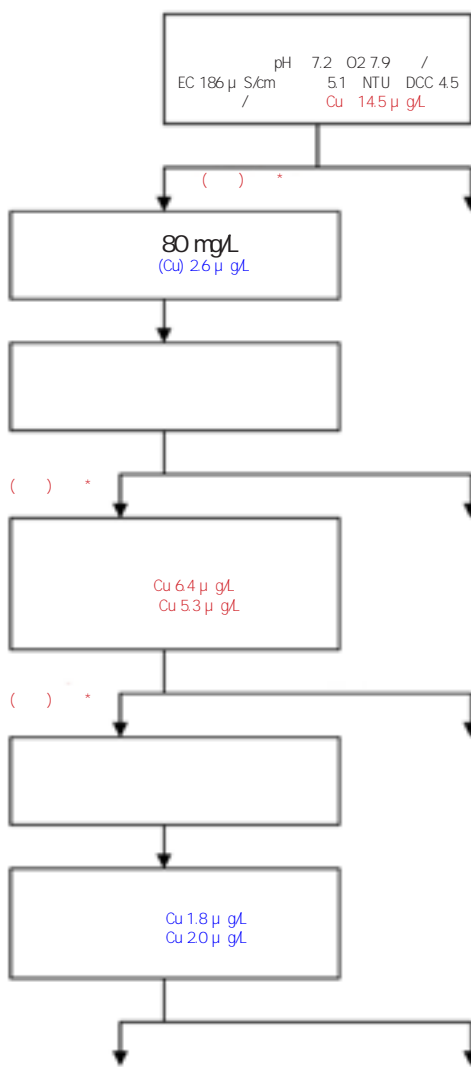
样一个浓度：如果超过了这个浓度，就表示有潜在环境问题。阈值“触发”进一步的调查以及根据当地情况可能对规范进行的细化。这些规范提倡并不仅仅是单纯的数值规范，而是根据当地的环境条件分别确定的规范值。尽管并不考虑强制使用基于决策的方法，但是得到公认的一点是，其应用减少了必须结合规范阈值的保守做法，因此得到更适合于特定水源的数值。该决策框架为水管理者提供更大的灵活性和范围。



()

*

5
(ANZECC/ARMCANZ (2000))



/

() ()



5.0

- 随着工程从勘探进入到采矿阶段，表征地质材料需要越来越详细的取样和分析方案。
- 酸碱度估算和净产酸实验为酸性和含金属废水的可能性提供初步筛查，确定是否需要更详细的勘查。
- 静态实验进行一种矿物储量及其造成或缓解酸性和含金属废水可能性“盘点”。动态实验可用于评价酸性和含金属废水如何随时间发展。
- 基于静态实验数据的地质分块模型可被用来推动废弃物管理。

5.1

矿山材料地球化学评价的主要目的是指导管理决策。至关重要是执行分阶段的评价方案，确保在工程周期的所有阶段都可得到充分的数据。只有通过酸性和含金属废水可能性的前期发现，才能实现最优方法。

地球化学评价的目的在于，找出关键地球化学参数(例如含硫量、酸中和能力和元素组成)的分布和变化和产酸和元素浸出特性。基本筛查水平的勘查十分重要，应在尽可能早的阶段开始。是否需要详细勘察及详细勘察的范围将取决于初始筛查的结果。因为浸出实验或硫化物氧化速度测量等一些研究需要很长的时限来提供必要的的数据，所以在工程的关键工序开始之前很早就开始这项工作十分重要。

参考地区中其他的矿产业运营，尤其是位于相同地层或地质单元的矿产业运营，可能提供相似矿石种类和赋矿岩石及围岩可能地球化学性质方面的经验性资料。如第3节中所述，通过勘探钻芯也可能提供早期提示。最优方法包括记录硫化物和碳酸盐类型、丰度和赋存形态等关键指标。所有样品都至少应分析总硫含量，在所有钻芯分析中将关键环境要素包括在内。矿物学勘查应考查硫化物和碳酸盐矿物的类型和赋存形态。

人们已经编制了许多程序，用来评价矿物材料的产酸性质和金属浸出行为。运用最广泛的筛查方法依据的是酸碱度估算(ABA)，后者是样品产酸和中和酸潜力之间的理论平衡。ABA最简单的形式被称为净产酸潜力(NAPP)。

某些硫矿不生成酸(但是可能对含金属废水有贡献)，生成酸性和含金属废水的矿物和中和酸性和含金属废水的矿物有不同的形态和反应性。因此，仅仅根据理论ABA的预测一定程度上存在固有的不确定性。矿物学勘查、元素分析、硫和碳酸盐形态、酸中和能力、反应性、净产酸(NAG)实验(一种快速直接氧化程序)被用来解决这种不确定性。通过采用这些实验的组合，尤其是独立的净产酸潜力和净产酸等实验，可大大提高酸性和含金属废水预测精度。

5.2

样品选择是一个关键的工作，在工程的所有阶段都必须给予细致考虑。当前和规划出的矿山计划中，样品应代表每种将被开采或外露的地质材料以及每种类型的废弃物。取样设计通常利用穿过矿藏的钻孔横截面。

样品的数目和种类将根据矿区的具体情况而定，取决于项目进展的阶段(参考表1)，但必须足以充分代表每个地质单元和废弃物种类中的变化性/不均匀性。因此，样品选择中必须考虑粒径、结构缺陷、蚀变、角砾岩化、脉化等因素。从勘探阶段一直到最终可行性研究，所有钻取样品至少需要分析总硫。

尽管勘探和前期可行性研究阶段钻孔和取样的重点在矿石带，赋矿岩石和围岩的样品也应随着工程的进展越来越应该有代表性。这将确保有充分数据供分块模型和生产调度采用(参考5.7节)。

关键取样规范如下所列(Scott等人，2000)：

- 钻芯和撞击碎片样品应代表不超过10米的间隔，包含每个地质类型和矿石类型
- 每种混合样品不应从一个以上钻孔取得
- 每个样品应在1-2 kg左右。样品应粉碎到4毫米的标称尺寸，然后分选得到200-300克用来粉碎到75微米以下。应保留小于4毫米和粉碎的分选产物供实验使用。

5.3

5.3.1

酸碱度估算(ABA)评价产生酸的过程(硫化物矿物的氧化)和酸中和过程(碱性碳酸盐的溶解、交换性盐基的置换、硅酸盐的风化),包括测定最大潜在酸度(MPA)和固有酸中和能力(ANC)。

总硫含量通常用作黄铁矿硫的估算值,用来计算最大潜在酸度($MPA = \%S \times 30.6$)。但是,如果硫化物矿物形态已知,就可以扣除不产酸和产酸较少的硫的形式,得到更好的最大潜在酸度估计值。使用总硫是一种保守的方法,因为一些硫可能以黄铁矿以外的形式存在。例如,硫酸盐-含硫矿物(石膏、硬石膏、明矾石)和天然硫是硫的不产酸形式。此外,一些硫可能以其他金属硫化物的形式存在(例如铜蓝、辉铜矿、闪锌矿和方铅矿),它们产生的酸度比黄铁矿少,有些情况不生成酸。

酸中和能力的测定方法一般是在样品中添加盐酸,然后用氢氧化钠反滴测定耗酸量。酸中和能力测量的是样品酸中和能力。和最大潜在酸度相似,酸中和能力的测定不精确,容易受到潜在的干扰,可能不能代表中和酸性和含金属废水的实际可利用酸中和能力。菱铁矿、铁白云石、富铁白云石等含铁碳酸盐是潜在的问题。

计算两种ABA的量度——净产酸潜力(NAPP)和酸中和能力/最大潜在酸度比。净产酸潜力是样品生成酸的能力(最大潜在酸度)和酸中和能力(ANC)之间差异的定性量度⁴。净产酸潜力、最大潜在酸度、酸中和能力的单位是千克 H_2SO_4/t ,净产酸潜力按照下式计算⁵:

$$= -$$

如果最大潜在酸度低于酸中和能力,则净产酸潜力是负的,表明样品可能有足够酸中和能力来预防酸的生成。反之,如果最大潜在酸度超过酸中和能力,则净产酸潜力为正,表明材料可能生成酸。

酸中和能力/最大潜在酸度比提供了材料中的相对安全裕度(或其不足)的指示。可在文献中查到指示防止酸生成安全值的各种酸中和能力/最大潜在酸度值。这些值一般在1.5到3的范围。照例来说,2或2以上的酸中和能力/最大潜在酸度比表示,材料的pH值保持在中性附近的可能性很高,在酸性和含金属废水方面应该没有问题。

4 文献中的静态实验参数的术语有一些差异。例如,净中和潜力(NNP)是指中和潜力(NP)和产酸潜力(AP)之间的差。NNP一般用千克 $CaCO_3$ /吨表示。

5 净产酸潜力也可使用ABATES共享软件估算(见词汇表)。

虽然净产酸潜力值(和酸中和能力/最大潜在酸度比)提供了样品产酸潜力的指示,预测含金属或含盐废水潜力还需要作其他的实验(见下文)。

5.3.2 (NAG)

净产酸实验与净产酸潜力结合使用,用来为样品的产酸潜力分级。

净产酸实验包括样品与过氧化氢的反应,用来快速氧化任何硫化物矿物。酸生成和酸中和反应都同时发生,净结果表示产生的酸生成量的直接量度。反应后的pH值(净产酸pH)如果小于4.5,则表明样品是净产酸的。酸的量通过滴定测定,表示单位与净产酸潜力相同(千克 H_2SO_4/t)。

为适应矿山材料广泛的地球化学分异,解决潜在的干扰,人们已开发出几种不同的净产酸实验。目前使用的主要两种静态净产酸实验程序是单次添加净产酸实验和序贯式净产酸实验。测量硫化物含量高的硫磺样品的总产酸容量可能需要采用序贯式净产酸实验,总硫高和酸中和能力高的样品也可能需要采用序贯式净产酸实验。

评价洗煤厂废弃物等有机碳含量高的材料也需要特定的方法。

5.3.3

净产酸潜力和净产酸实验都有各自的局限性,但两者结合在一起时,可使酸性和含金属废水预测的可靠性有很大的提高。净产酸潜力和净产酸这两种实验同时进行,显著降低了错将非产酸(NAF)材料划为潜在产酸(PAF)、错将潜在产酸材料划为非产酸的风险。净产酸潜力的计算可与净产酸实验结果相比较,以便为样品分类,找出需要密切注意的不确定因素。根据净产酸潜力和净产酸实验数据的主要地球化学材料类型的一般分类标准如表2所示。

可以根据具体矿区的需要,采用更细一级的分类用来区分具有不同产酸容量、酸中和能力或金属浸出潜力的样品(见下节)。

	($\text{H}_2\text{SO}_4/$)	pH
潜在产酸(PAF)	> 10*	< 4.5
潜在生酸-低容量(PAF-LC)	0 到 10*	< 4.5
非产酸(NAF)	负值	≥ 4.5
耗酸(ACM)	小于 -100	≥ 4.5
不确定#	正值	≥ 4.5
	负值	< 4.5
	正值	< 4.5

^ 还应检查州/领地的地球化学分类规范。

* 视矿区具体情况而定，但一般在5到20 千克 H_2SO_4 /吨的范围。

需要进一步实验来确认材料类别。

5.3.4

每种岩性、土壤/岩石类型、废弃物类型的代表性样品的元素组成，应该与背景土壤和岩石富集或贫化的程度对比进行测定和评价。评价方案包括元素富集因子(EEF)和地球化学丰度指数(GAI)。EEF仅仅将样品中的浓度与本底比较，而GAI则使用基于对数坐标的地质统计学方法，将浓度与土壤的中位丰度数据比较。这些比较被用来识别浓度远高于正常本底值的任何元素(尤其金属和非金属)，可能需要动态实验(见第5.4节)等进一步勘察来评价其环境意义。

某些元素(例如砷)在浓度并未显著高于本底浓度时可能仍有问题。因此，在这些评价中考虑这些元素存在的形式非常重要。

5.3.5

因为酸性和含金属废水的中和剂和次生矿物，都能延缓和加速酸从矿山设施的释放以及有毒金属从矿山设施的迁移，因此矿物学对了解驱动酸性和含金属废水生成的矿物和风化过程十分必要。

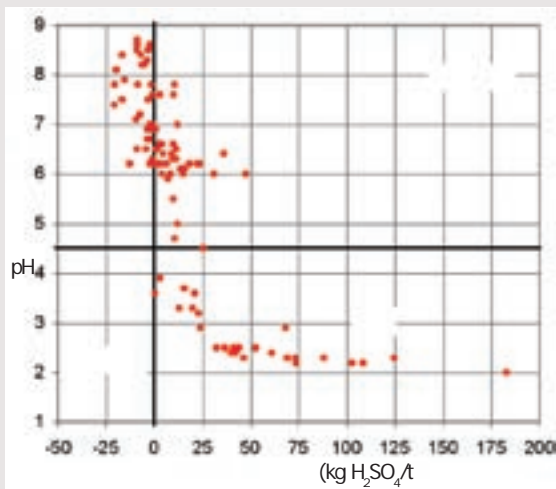
重点应该是确定硫和碳酸盐的矿物学性质、丰度和存在形式。硅酸盐矿物学目的应在于定性和定量确定具有潜在长期酸性和含金属废水中和性质的任何矿物(例如钙长石、橄榄石、绿泥石)。常见硫化物和碳酸盐矿物的酸性和含金属废水产酸容量和酸性和含金属废水中和容量可使用ABATES共享软件由矿物学数据计算(请见术语表)。

(/) Sari Gunay

Zar Kuh矿产业公司(力拓占70%)为伊朗境内Sari Gunay金矿进行的一项确定性的可行性研究，证明了在工程发展的早期阶段中从钻芯采集庞大的硫和多元素数据库的好处和重要性。

在勘探、可行性研究前和可行性研究期间，他们整理了含有超过15000个的硫和多元素数据组成的资源模型数据库，这些数据是以钻芯一米的间隔采集的，这样，在进行矿山规划中时，就有可供使用的资料。这些数据确定，由于有生成酸性和含金属废水和发生水资源污染的潜在可能，废石和矿石内存在的硫是该项目中的一个问题。

为了减少将来由酸性和含金属废水造成的问题，他们起用一个检验程序来校准资源模型数据库，这样，矿山规划就可以优化废石和矿石生产，进行酸性和含金属废水控制。他们对钻芯间隔进行了细致的选择，来代表每种地质岩石内可能的变化性，这样就得到了101份硫、酸中和能力、净产酸的分析样品(实验的说明见第5节)。



6 pH Sari Gunay

所选择的样品平均硫含量为0.76%S，平均酸中和能力为7千克 H_2SO_4 /吨。大约60%的样品净产酸潜力为正值，表明这种材料可能是酸的来源。大约40%的样品净产酸潜力为负值，不太可能产酸，其中大部分的酸中和能力/最大潜在酸度比大于2，表明安全系数较高

图6所示为101份废石样品净产酸pH和净产酸潜力值关系的地球化学分类图。图中标明了潜在产酸(PAF)、非产酸(NAF)、不确定(UC)分类的区域，这些区域在5.3.3节中定义。

尽管许多样品在图中位于潜在产酸或非产酸区域，但还有许多样品位于右上方的不确定区。对不确定样品又作了包括矿物学、硫的形式、序贯式净产酸实验等补充实验，最后确认大多数是非产酸。在这些样品上进行的工作表明，净产酸实验是比净产酸潜力更可靠的产酸容量测量

根据净产酸潜力和净产酸实验结果可确定出三个酸性和含金属废水类型，分别定义如下：

- *NAF*：非产酸
- *PAF*：潜在产酸，产酸容量小于或等于10 千克 H₂SO₄/吨
- 高*PAF*：潜在产酸，产酸容量大于10 千克 H₂SO₄/吨。

这些废石类别中每一种的硫值分布表明，归为潜在产酸和高潜在产酸的所有样品的总硫基本上都超过0.25%S，所有高潜在产酸都大于1%S。尽管0.25%S的分界会将某些归为非产酸的样品包括进来，但出于规划目的要采用这个数值，因为它提供了潜在产酸废石数量的保守估计。

高潜在产酸	> 1.0% 总硫(以S计)
潜在产酸	0.25到1.0% S
非产酸	<0.25%S

将这些条件代入资源模型数据库，通过矿山的优化研究，每一类地球化学废弃物得到以下数量和年产量计划：

	× 10 ³	× 10 ³	× 10 ³
1	1200	0	0
2	1527	0	0
3	0	1500	0
4	819	1681	0
5	2207	2696	0
6	2701	2399	0
7	2925	2038	0
8	0	5094	0
9	0	4163	0
10	0	1736	0
11	0	1154	55
	11380	22462	55

结果表明，大约三分之一的废石将会是非产酸，三分之二是潜在产酸；只有很少量的高潜在产酸采出，而且全部会集中在运营的最后一年。一直到第7年都有非产酸岩石产生，从第8年起到矿山生命周期终点的第11年，所有废石将会都是潜在产酸。这个一览表确定了重新处理非产酸材料来包覆所有潜在产酸废弃物的需要。

所选择的设计方案是将所有废石存放到尾矿坝和尾矿库中，便于材料堆放的严密控制。所有高潜在产酸材料将被堆放在尾矿贮存设施中，所有潜在产酸废料将在尾矿库中堆放、压实、包覆。

这项实例研究表明，在工程开发中酸性和含金属废水问题的尽早预测和量化，可以使控制策略与矿山规划和工程设计有机结合，以便减少长期酸性和含金属废水债务。



Sari Gunay

5.4

动态实验程序包括许多不同时间的测量，被人们用来评价各种各样的酸性和含金属废水问题，其中包括硫化物反应性、氧化反应动力学、金属溶解度、材料浸出行为。动态实验一般涉及某种形式的浸出，并在最佳氧化条件下执行，通过该实验提供可能的滞后时间和氧化速度方面的数据，确定可能与水质有关的元素。这些实验的目的是测定所管理的每种材料的基本地球化学性质，为放大预测提供帮助。放大可能包括和现场相同的实验堆，可能由机理和经验模型提供帮助。但是，由于矿区的具体因素，模型可能得不出定论，所以模型的设计需要采用谨慎的方法，并结合运营实验，来改进和更新预测，引导管理决策。

5.4.1

实验室动态实验一般包括使粉碎的矿岩样品或尾矿经过润湿、干燥、冲洗循环。在润湿和干燥循环中，重要的一点是孔隙空间是不饱和的，这样氧气就很容易到达整个样品。通常使用柱浸实验和湿度舱实验。通常选择浸出状态来优化氧化反应，确保有足够的样品供分析使用，但也可以进行调整，用来模拟现场条件。与湿度舱实验相比，柱浸实验适应更大的粒径和样品量范围。柱一般填装2.5千克粒径在4毫米以下的材料，最多填装35千克粒径在40毫米以下的材料。如果需要，可采用更大尺寸的浸柱，用来进一步检验放大系数。动态浸出实验结果可用来评价：

- 氧化速度(直接通过耗氧量，间接通过硫酸盐释放速度的计算)
- 元素溶解度和浸出行为
- 酸性和含金属废水开始的滞后时间和酸性和含金属废水特性的演进
- 混合和处理。

动态浸出实验需要运行至少6个月，一般为12到24个月，然后才能得到有效解释材料酸性和含金属废水特性的充足数据。评估特殊处理或土壤/岩石型混合物的效果时，可能需要更长的时限。

一种定性指示样品开始产生酸性和含金属废水的滞后时间的动态净产酸(KNAG)实验已经开发出。这种实验可在24小时内完成。

5.4.2

现场实验的主要目的是将实验室实验放大，以便更好地反映矿区气候条件和粒径分布。现场实验还可用来评价缓解方案，尤其混合物和覆盖层的方案。

典型的现场实验包括以下设计和规模：

- 桶和支垛规模的浸出实验(100到500 千克)
- 实验衬垫(10米×10米×3 米，一般为500吨)
- 实验堆(堆高一般15到20米；装有监测温度、氧化、水文和渗流化学性质的仪表)。实例包括印度尼西亚格拉斯堡矿山(Grasberg Mine)的巴都贝斯(Batu Bersih)矿堆(Andrina等人，2003)和加拿大戴尔维克(Diavik Diamond)钻石矿(Blowes等人，2006)。

5.4.3

设计完善的仪表和监测程序为观测实际尺寸浸堆的行为提供了机会。这些观测使酸性和含金属废水控制措施的效果得以确定，任何其他控制的需要得以量化，法规要求的符合性得以验证。此外，实际条件的测量可被用来检验和改进从小规模实验中取得参数的模型，从而对在预测未来行为方面有更高的置信度。

进行现场测量时，非常重要的一点就是要时刻意识到与实际条件下发生过程相关的时间尺度。例如，废石堆对供氧速度变化的响应时间可能是数小时到数天。另一方面，地下水监测井的样品中要探测的浸堆污染物生成速度变化的时间可能是数年到数十年。Ritchie(1994)讨论了与实际条件浸堆中不同酸性和含金属废水过程相关的时间尺度。

表3设定出实际条件现场实验中进行的最常使用的测量，并简要地说明了它们的值。这种仪表的运用和所得数据使用方面的实例可在Andrina等人(2003)、Blowes等人(2006)、Patterson等人(2006)、Ritchie & Bennett (2003)的文献中找到。

虽然仪表和测量规程相对直接，但是对现场数据的解释，通常需要对一整套物理和化学过程的复杂相互关系有专门的了解。

孔隙气体 氧气浓度 分布	取样管和便携式气体分析仪或在线氧探头；安装在钻孔中或在浸堆施工过程中安装	氧化材料的位置；氧化速度；主要的气体运输机理	提供良好的定性和定量资料；对浸堆内条件改变响应迅速。
温度分布	热敏电阻绳；安装在钻孔中或在浸堆施工过程中安装	氧化材料的位置；氧化速度	提供很好的定性资料，但是难以量化；对浸堆内条件改变响应很慢。
渗水率	测渗仪	污染物透过浸堆的输送速度；覆盖系统的有效性	在设计和数据解释上一直有争议；收集有价值的资料可能需要数年。
废水的化学组成	地表水取样和地下水测压计	浸堆中释放的污染物的浓度和负荷	数据量大；对料堆内条件改变响应很慢。

5.5

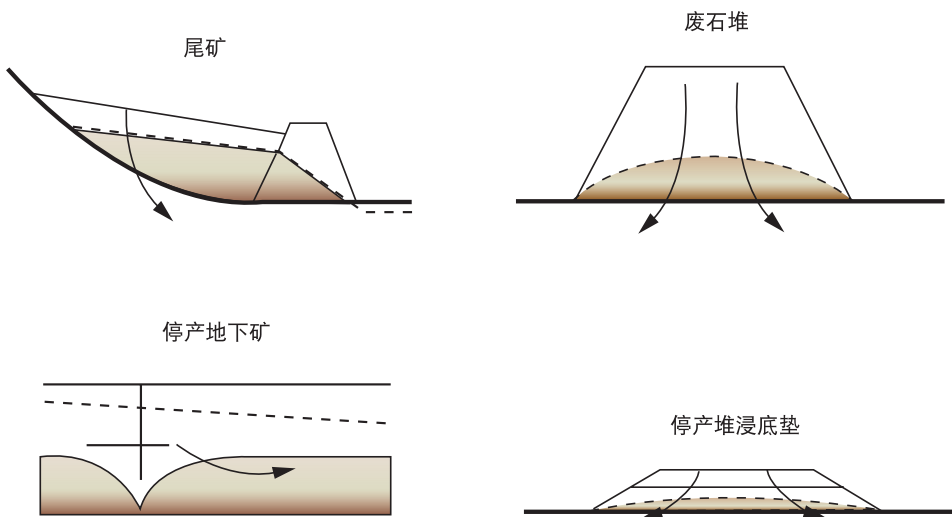
与大气条件接触时，矿山材料中发生复杂的风化和矿物溶液地球化学反应过程。在不同位置(例如料堆内)、不同的时间，这个过程的速度可能各不相同。许多过程之间存在反馈机制，造成了非直观的系统行为。任何置信度的酸性和含金属废水行为预测都需要复杂的模拟技术。

反应性运输模型为矿区酸性和含金属废水产生、迁移、发展的潜在复杂行为提供了一种说明的手段。它们需要将硫化物矿物的氧化、气体输送、热传递、水和溶质运动、涉及碳酸盐和铝硅酸盐溶解的中和过程考虑在内。它们需要的是针对矿区的输入数据，这些输入数据在空间和时间上都不可避免是稀疏的。模型作为以下方面的工具最为有用：

- 检验假设和“如果-怎样”场景(例如，评价不同酸性和含金属废水控制策略短期-长期的有效性)
- 帮助解释现场监测数据
- 确定系统对特定输入和设计参数的敏感性
- 为生态学风险评估程序提供依赖于时间的输入(见第6节)。

人们已经开发出许多功能和复杂度各不相同的反应性输送模型。一些模型采取序贯式的方法，其中迁移和反应过程分别求解，在各步之间有的有迭代，有的没有迭代。其他模型则采取一步法，其中物理输送和地球化学反应同时求解。SULFIDOX就是后面一种类型模型的实例，这个模型由ANSTO公司作为专业工具开发，能够使非饱和废石堆和矸石堆浸堆得到模拟。它包括氧气的输送和热量的传递、料堆氧化过程与动力学控制的矿物反应和非饱和水流之间的耦合。Linklater等人(2005、2006)对模型使用的实例作了说明。

Mayer等人 (2003)对矿山材料反应性输送模拟的应用和发展作了全面的综述(图7)。



7 (Mayer 2003)

5.6

静态和动态实验结果主要提供单独样品酸性和含金属废水特性的资料，使主要几种地球化学材料类型得到确定和量化。如第5.3.3节所述，可以确定5种主要的酸性和含金属废水地球化学材料类型，再根据金属含量和浸出可能性、酸性和含金属废水开始时的滞后时间，可以确定更细的类型。根据每种类型特定的地球化学特性，可为酸性和含金属废水管理制订出材料隔离和堆放的规范。

解释的第二个层次关注于从整体上对矿区行为的预测，评价与硫化物氧化相关的开发问题风险。这需要：

- 对矿藏中不同类型地球化学材料数量、储存、分布的认识
- 这些地球化学类型的岩石的废弃物生产计划的详细情况
- 对材料的物理特性和可能的料堆氧化机理的认识
- 按照废弃物类型区分的倾倒顺序
- 气候条件
- 影响酸性和含金属废水生成的水量平衡和其他参数(参考2.4节)。

在工程开发的早期阶段应征求专家的意见，在结果解释、地球化学材料类型确定方面为矿区员工提供帮助，以加深对运营、材料管理和关闭意义的了解。

5.7

最优方法只能通过酸性和含金属废水的采矿前识别来实现。每种岩性产生酸性和含金属废水的潜力，可根据上面概述的静态和动态实验程序评价。但是，矿区发生酸性和含金属废水问题的可能性以及对管理方案的判断，则取决于每种受干扰(或者接触空气)材料的数量和生产进度。

建议采用地质分块模拟(用于金属矿藏)或格/层模拟(用于煤藏)，这些模拟通常用来按地球化学废弃物类型制定生产进度。分块或格/层模型的开发让人们能够了解潜在产酸材料的暴露时间]。这可能对矿山规划(例如废石堆的设计)以及每天、每周、每月和每年的矿区运营管理都具有重大的意义。

分块或格/层模型与设计取样程序所用的地质模型截然不同。废弃物的分块模拟与矿石资源模拟类似，用来计算材料的体积和相应的吨位。相对于采集矿量数据来说，确定废弃物的数据通常较难得到。因为酸性和含金属废水表征实验是使用选择的样品进行的，可能有必要确定地质数据库中 with 矿区具体地球化学废弃物类型相关的参数。为协助这项工作，专家的意见可能是必不可少的。分块或格/层模型中通常使用的参数包括：

- 总硫
- 碳(总碳量或碳酸盐碳)
- 碳/硫比
- 地质岩石、岩性、蚀变类型
- 具体元素含量。

这些模型中使用的分块尺寸必须可靠和实用，便于矿山管理者实施。如果分块太小或太大，在采矿过程中就可能不能正确隔离。

除废弃物产生进度外，还有必要确定最终坑壁上外露的、地下矿中暴露、回填、岩洞区的地球化学材料类型。这将有助于采矿过程中对最终矿山空地(矿坑湖)和地下巷道的水质预测。

(/)—— (Cloverdale)

克罗弗戴尔矿山是Iluka Resources(Iluka)公司在西澳的西南经营的几座矿砂矿之一。矿体位于150-230万年前海侵和海退事件所形成的砂质土壤深处。在这些矿区，酸性和含金属废水是潜在的危险，一般与坑壁、矿石和上覆材料中草莓状黄铁矿材料相关。

克罗弗戴尔矿山规划的初期进行了一次详细的堪测，测绘矿体和相邻区域内产酸材料的范围。按照州法规和规范文件，产酸材料被归为实际酸性硫酸盐土壤(AASS)或潜在酸性硫酸盐土壤(PASS)。

勘测的第一个阶段有一个钻井计划，这个计划包括在整个资源区域(224公顷)上，每公顷大约0.5个钻孔。钻孔延伸到拟选坑底盘以下2米的深度，在垂直方向间距1米处取样。在这一阶段中，共钻112个孔，收集了2232份供分析的样品。结果用来大致确定含酸性硫酸盐土壤的有效面积。

在勘测的第2个阶段，钻井密度增加到每公顷1.5个钻孔，以便更准确地反映上覆层、矿石和坑底材料中AASS和PASS的水平和垂直分布。在非产酸地带以1米的垂直间隔、已知含酸性硫酸盐土壤的区域以0.5米的垂直间隔取样，最后总共收集了2778份样品。

总共钻了239个孔，分析了5010份样品。所有样品都进行了现场pH和现场过氧化物pH值(pHFox)分析。pHFox与现场净产酸实验相当，只是在测量pH值之前用过氧化物氧化样品后再测定。这种方法提供了长期酸性和含金属废水问题更实际的指标，可作为现场pH测量的补充。所选样品的硫化物分析采用铬还原硫(SCr)法进行，SCr法不受有机硫或者硫酸盐的干扰。此外，被归为AASS的土壤(现场pH<4.5)进行了实际总酸度(TAA)的分析。



8

—— (Yoganup West)

SCr结果用来导出黄铁矿含量和pH_{Fox}之间的关系，以便使用所有5010个样品得出的数据，开发出矿区PASS的3D模型(SCr>0.03%)。3D模型为酸性硫酸盐土壤在矿坑和周围材料中的分布和数量提供了一个准确的说明。

产酸材料的勘测数据和3D模型协助矿山管理层更好地了解克罗弗戴尔矿山酸性和含金属废水问题可能的程度。矿山规划者在采矿进度的制订过程中利用这方面的资料，将与矿坑排水、采矿、产酸材料处理相关的酸性和含金属废水影响降至最低。这方面资料还被用于估算运营过程中的酸性和含金属废水管理成本(例如处理成本)，以及酸性和含金属废水对工程的总体经济影响。同时，制定了矿区的酸性和含金属废水管理计划，为整个矿山生命周期提供产酸材料日常管理的基础。



- 风险可能是环境的风险、财务的风险或声誉的风险。
- 一种有用的风险管理策略是将潜在的酸性和含金属废水危害分出等级，然后编制出规程来管理这些危害。
- 保护环境价值(如饮用水或畜牧用水)是水管理原则的关键。

全球矿产业的历史和经验已经表明，酸性和含金属废水可能是一个重中之重的风险。

在澳大利亚，与其他国家一样，公司管理法要求公司识别、评价和管理所有其面对的重大风险。慎重的做法是制订出涵盖酸性和含金属废水问题的重点明确的风险评审程序，程序需要阐明：

公司范围内酸性和含金属废水造成的危害是什么，是否正在采取措施以适当地管理这些危害，以尽可能减少环境、财务和声誉风险？

Richards等人(2006)在对力拓的酸性和含金属废水风险评审的描述中，指出的重要一点就是，仅仅符合相关政府法规和许可条件，未必就能保证酸性和含金属废水的管理方法是最优、最健全和最经济。对酸性和含金属废水风险的风险评审强调了通常不被重视的几类问题，正是这些问题会造成更高的风险。下面列出的这些问题，很可能需要整个采矿产业在管理上给予额外关注：

- 材料的地球化学特性
- 潜在地下水影响的监测
- 地下水影响的管理
- 废石隔离
- 覆盖层设计
- 巷道淹没。

因为酸性和含金属废水风险评价中需要说明问题的范围很宽，公司可能需要聘请专家到现场实施评审。

按照第6节和汤姆·普拉斯(Tom Price)实例研究中的描述，风险评价方法可为新工程的设计提供输入，确保下一代矿山有最好的机会有效地管理酸性和含金属废水，并增进可持续发展。

(Tom Price)

已经确认在西澳哈默斯利(Hamersley)省的酸性和含金属废水以及自燃(自热)问题，与铁矿矿藏有关，矿山将未氧化的麦克雷山页岩(Mount McRae Shale, MCS)作为废弃物的开采。未氧化时，麦克雷山页岩是含硫化物的黑色碳质页岩(自热黑色页岩)，同时具有酸性和含金属废水和自热的风险。

汤姆·普拉斯以及哈默斯利省其他力拓铁矿的自热黑色页岩管理均按照黑色页岩管理计划进行。计划的管理策略大致根据以下原则：

- 确认黑色页岩的分布和特性
- 减少自热黑色页岩的外露和采出
- 确定出必须开采的自热黑色页岩并进行特殊处理
- 将自热黑色页岩包覆在惰性废石堆中，限制与水的接触，并对料堆进行植被恢复
- 将自热黑色页岩堆放在回填露天矿坑的地下水位以下。

规划的评价表明，在防止自燃方面已经取得了成功。但是，至于酸性和含金属废水方面，得出的结论是自热氧化仍然可能在整个料堆中发生，并且可能产生潜在导致酸性和含金属废水的污染物。

采矿活动不应导致地面或地表水质的降低，否则水的现有环境价值就会受到损失(见第6.2节)。因此，力拓铁矿启动了一个详细的减轻和管理酸性和含金属废水的策略，旨在保持地区水资源的环境价值(见第6.2节)。该策略包括以下方面：

- 本底地表和地下水水质的量化，和污染物从每个废弃物设施释放到地下水中的可能性
- 地下水的监测和地下水水流模式和溶质运移的监测
- 自热黑色页岩和其他采出岩石的地球化学特性
- 从矿区内和矿区外特性对废石堆和坑壁的源项评价
- 借助实验覆土系统的模拟和监测对覆盖层设计和将来废石倾倒策略的优化，以降低酸性和含金属废水的总体风险(例如，将自热黑色页岩堆放在回填露天矿坑的地下水位以下)。

环境价值的保护需要水资源天然本底变化的知识，还需要知道它们如何在汤姆·普拉斯地区使用。矿区监测地下水和地表水的水质。酸性和含金属废水管理计划的目的在于量化污染物释放到地下水或地表水的可能性，并实施缓解策略(如有必要)，以便降低环境价值所面临的风险。

含硫量大于0.02% S的黑色页岩被判定为“热”的或“冷”的，然后将其堆放在废石堆中所选择的位置。在汤姆·普拉斯矿业运营中，中间部分的麦克雷山页岩(距底板岩带和上部麦克雷页岩界面大约14-24米)是反应性最高的，被分到“热”的一类，管理方法与麦克雷山页岩中其它地方的“冷”黑色页岩不同。这样选择性的堆放排除了材料发生自燃的可能性。根据固有氧化速度的测量、酸碱度估算、动态柱研究，评价了材料酸性和含金属废水可能性。此外，在废石堆中进行了大量的现场测量。这些测量用来量化污染物从每个废弃物设施中产生和释放的可能性。执行了定期的监测计划，以用来确认控制策略的持续效果。



9
() ()

随着汤姆·普拉斯矿山运营取得进展，地下水模型也在不断升级。模型用来评价最终矿坑空穴对地区含水层地下水运动的影响，以及是否矿区有可能影响到地区的接纳水体(例如永久地表水体和家畜使用的抽水孔)。

汤姆·普拉斯运营中的矿物废弃物管理用到了一种综合的方法。管理计划中清楚地说明了和黑色页岩打交道的所有团体的责任和行为。酸性和含金属废水管理小组每月组织一次会议，以确保共同的关注点和方向，解决误会，理顺工程的优先次序，对计划的修改达成一致。实施管理计划的范围包括从初始表征和模拟到工程开发、矿山规划、生产、关闭。规划的目标不仅是量化环境价值所面临的风险，还有降低风险发生的可能性。

6.1

力拓于2003年在其全球业务全面开展了酸性和含金属废水风险评审项目，并在2006年报告了头两年内的工作方法以及主要发现(Richards等人，2006)。使用方法和从该项目中得到的经验教训可应用到任何规模的矿产业公司，用来得到积极的可持续发展结果。

力拓采取了一种两步走的方法。第一步包括，根据每个矿区固有的物理和化学条件，制订出危害筛查方案，为采矿可能带来的酸性和含金属废水风险分出等级。作为评价一部分检查的主要问题都被赋值(权重)，这个值被合并到最终的危害分数中。如表4所示，主要问题包括：地质学(45%)，初期酸性和含金属废水风险(5%)，干扰程度(25%)，输送路径(10%)和受纳环境的敏感性(15%)。

第二步包括一个风险评审方案，其重点放在运营如何管理由矿业运营带来的固有酸性和含金属废水风险，并且如何减少总体风险(财务、环境、健康、声誉)。为了尽量减少将来的债务的增加，方案旨在识别潜在的和当前的问题，把注意力特别放在管理策略和方法的长期意义上。

风险评审方案被分成涉及成功酸性和含金属废水管理所有方面的11项主要绩效区(表5)。对每个关键绩效区有贡献的单独要素也列在其中。与使用筛查程序一样，单独的要素组成酸性和含金属废水表征和管理的全局方法。应强调的是，所有矿区和矿区材料都需要进行评价，包括上覆层、尾矿、甚至可能有某些建筑材料。

4 (Richards 2006)

地质学	矿藏类型	30%
	主岩和围岩中和潜力	10%
	矿区已知的酸性和含金属废水问题	5%
初期的酸性和含金属废水风险	从最近一次重大运营改变到目前的时间	5%
干扰的规模	现场贮存的全部废弃物	15%
	干扰区域的占地	10%
输送路径	水的可用量	7%
	释放到环境中的金属*	3%
受纳环境	地表水体的接近性	5%
	水体或者地下水的碱度	5%
	保护区或者居民区距离	5%

* 指通过批准的允许排放点、按批准的操作方法排放到环境中的金属溶解通量。

矿区基线表征	现有矿山废弃物的表征 气候 水文和水文地质学 地表和地下水化学 生态系统表征
废料和围岩表征	地质环境 盘上物质和选矿废弃物的地球化学表征 矿坑壁和巷道酸性和含金属废水的地球化学性质 废料的物理性质
材料管理	酸性和含金属废水特性与矿山规划的整合 废弃物处置设施的设计 废弃材料管理
酸性和含金属废水生成过程	硫化物氧化 氧气的输送 氧化产物和现场化学反应 渗透和水在内部的运动
酸性和含金属废水迁移路径和通量	地表水排放和污染物负荷 地下水流量和污染物通量
潜在的接纳环境	接纳环境的同化能力 接收环境的生态学敏感性
整合的概念了解	概念模型 数值模型 效果和关闭条件的制订
酸性和含金属废水缓解程序	缓解策略 缓解策略的执行
监测及其评价	监测策略 数据管理和评价 反馈机理
管理技能和资源	清晰的责任和职责 制度化的程序和资料管理 充足的资源
利益相关方关系	利益相关方关系

6.2

环境价值是环境的特殊价值或用途，这些价值或用途对健康的生态系统或公众利益、福利、安全或健康非常重要，需要受到保护以免受到污染、废水排放和沉积物的影响。它们在水质文献中常常被称为“资源化用途”，但是由于其中有开采的含义，这个术语已经不太常用(ANZECC/ARMCANZ 2000)。与澳大利亚矿区水质标准选择相关的指导原则应该是保护环境价值。这项原则与现有的政府要求、非政府组织期望以及许多矿产业公司的原则是一致的。它允许选择的过程有一定的灵活性，可以根据可能与特定矿区相关的不同地球化学和环境条件作出选择。

对于水的管理来说，许多环境价值已经得到公认(ANZECC/ARMCANZ 2000)。它们包括：水生生态系统、初级工业(灌溉和一般用途、牲畜饮用水、水产养殖、人类对水产食品的消费等)、休闲用途、景观、饮用水、工业用水、文化和精神价值。水生生态系统、初级工业、休闲和景观方面的水质标准规范已经由ANZECC/ARMCANZ规定(2000)。饮用水标准由NHMRC规定(2004)。现在还没有规定工业用水或文化和精神价值的水质规范。一般来说，保护水生生态系统的规范比饮用水更严格，后者又比为初级工业和休闲采用的规范更严格。

本底水质应该是确定环境价值的基础。矿产业活动不应导致水质下降到为水体定义的最保守环境价值规范也达不到的程度。这并不是指一点测得出的影响都不能有，而是要尽量降低影响，使水质不会差到对现有任何环境价值造成损失的程度。

矿产业公司为证明其保护环境价值而应采取的策略包括：

- 确保没有超出接纳水体中不同水环境价值(或用途)的相关最大浓度或阈值规范
- 确保废水不会造成关键水质参数有统计学显著性的变化(没有发生季节相关的本底浓度加(或减)两倍标准偏差以外的变化)
- 根据针对矿区实际情况的生态毒理学研究，证明废水不会造成生态影响。

为每种相关参数规定的标准应该是这三种策略得出的值中最小的一个。对三种情况中的每种情况，可将水质标准应用于接纳水体(保守性较低——容许有混合区)，或者应用于实际排放点(更保守——不允许有混合区)。

6.3

在对整体酸性和含金属废水风险(6.1节)和对考虑到环境价值的风险(6.2节)进行评审后，下一个符合逻辑的步骤就是评价对于特定生态系统的风险。

概率生态风险评价(ERA)提供了一个评价任何环境危害对受纳环境中生活的生物体带来环境风险的手段。采用定量和概率方法的生态学风险评价使用任何针对矿区具体情况的模型或监测提供的数据，用来评价污染物浓度和/或负荷超过任何法规条件的可能性或超出受纳环境中不可接受影响的任何阈值的可能性。根据测量或模拟的浓度，确定特定矿区陆上、水中或者大气接触污染物的概率。例如，不同时间从废石堆释放到河流的污染物负荷和浓度可通过SULFIDOX预测(Linklater等人，2005)，沿河流的化学形态可通过PHREEQC预测(Parkhurst & Appelo, 1999)。

由ANSTO开发的AQUARISK(见术语表)是目前仅有的一款可以对受到酸性和含金属废水影响的淡水生态系统做出概率生态风险评价(ERAs)的软件(Twining, 2002; Brown & Ferris, 2004)。AQUARISK为矿区具体环境工程方案与受纳环境中可能的酸性和含金属废水生态影响之间的联系提供了一种手段，为利益相关方讨论提供了定量的基础。

另一种越来越多地用于生态分析和决策的方法是贝叶斯决策网络(Bayesian Decision Network)的运用。贝叶斯决策网络(BDN)是概率的图形表示，由代表相关性的弧线(箭头)连接的节点(代表变量)组成。上述网络模型的强大在于其有可能把握复杂系统中内部的连接及其相互作用的形式，并为环境管理决策提供可靠知识库的能力。随着更多的数据可以使用，模型的准确度可得到改善，使管理过程更加灵活。使用更多的经验数据，而不是过多地依靠定性判断，将提高生态决策的稳健性和科学上的可信度(Pollino & Hart, 2006)。



7.0

- 酸性和含金属废水减量或控制策略比处理优先得多。
- 最佳酸性和含金属废水减量和控制策略的选择依赖于气候、地形、开采方法、材料类型、矿物学性质、可供使用的中和资源。
- 主动识别和分离产生酸性和含金属废水的废弃物可以是一个有效的减量策略。
- 长期容纳产生酸性和含金属废水的废弃物一般需要专门设计的覆盖系统，覆盖系统各种各样，从土层和有植被的覆盖层到水的覆盖层。
- 根据矿区酸度负荷和存在的金属选择正确的被动或主动处理技术将确保满足水质目标。

管理酸性和含金属废水的策略一般分为三大类：

- 减少氧化和氧化物输送
- 进行控制，减少污染物负荷
- 主动或被动处理，使水可以再用或排放。

从可持续发展的角度来看，首选是减量，其次是控制，再次才是处理。

7.1

特定矿区的最佳酸性和含金属废水减量和控制策略的选择可能依赖于气候、地形、开采方法、材料类型(如废石、尾矿、围岩、堆浸堆)、土壤/岩石类型、矿物学性质、可供使用的中和资源，另外还有这些因素间的相互联系。

7.1.1

废弃材料的选择性堆放是矿产业运营期间首选的酸性和含金属废水管理方法。废弃物的表征有助于找出适当的处置选择方案。这个过程涉及的关键步骤包括在前面几节中。

将废弃材料挖掘，运送到指定的废弃物贮存设施。应该记录每日送往废石堆的不同材料的吨数和类型，以便将来进行材料堆放的评审。如果硫化物的氧化速度很慢，或者有滞后时间的延迟，酸性和含金属废水在开采后很多年才释放到环境中，进行记录就特别重要。

反应性废弃材料的选择性堆放及其用惰性废弃材料的包覆是矿区运营期间首选的酸性和含金属废水管理方法。一般是将潜在产酸材料隔离堆放在专门设计的设施中安全的位置。废弃物贮存区将不可避免地要包括地表排水沟，还可能包括可以向地下水渗流的透水地面。在陡峭地形中，一般选择天然谷地进行废弃物贮存，这样用给定大小的隔离墙能得到最大的贮存量。

应该尽一切努力分流废弃物贮存设施周围的上游清水。但是，排水沟和谷底将仍然容纳来自废弃物贮存设施上游的干净地表水，因此需要垫上易于排水的惰性材料，使这些水流在反应性废弃物下方流过。这些地下排水道可能需要粘土封闭层或土工膜覆盖，用来限制其上堆放的反应性废弃物的污染渗流迁移。另外，可以在天然排水沟上方的整个贮存设施高度上堆放易于排水的惰性材料。

7.1.2

废石、粗粒选矿废弃物和矸石堆一般用运输车或索斗铲铲斗倾卸松散构筑。这样散落的最粗粒石块就形成一个地基毛石区，还在废石堆中形成了粗细粒材料相间的不连续静止角层(图10)。如果使用卡车，废石堆的上表面还会因为行车而被压实。废石堆是一个“氧化反应器”，氧气很容易通过地基毛石区和粗粒静止角层进入。



10

()



()

对于废石堆来说，反应性废石(潜在产酸)一般应该堆放在惰性废石(非产酸)的地基层上，嵌入有垫层的天然排水沟，并使用惰性废石包覆(图11)。在废石堆的施工过程中，限制氧气和降水侵入将很困难。应该在完工的废石堆顶部加覆盖层，主要是为了限制降水侵入，同时也为了减少氧气的侵入。为了限制废石中降水的聚集，以及随后从矿石堆的渗出，可将反应性废石构筑到最高高度后再逐次用覆盖层覆盖。



11

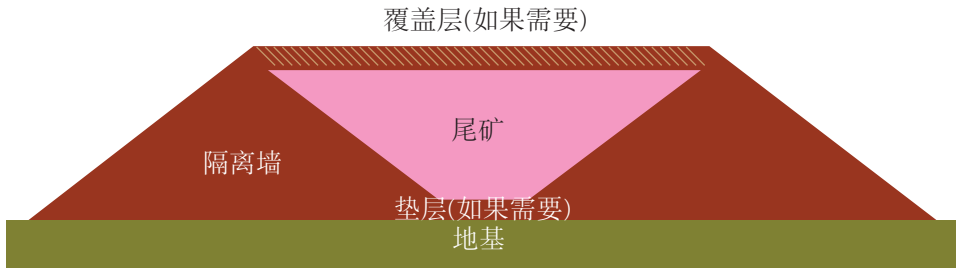
7.1.3

反应性尾矿的潜在氧化反应主要由氧气通过尾矿干燥表面的扩散驱动。其后，氧化产物可能通过尾矿表面的尾矿水和/或降水径流或透过尾矿的渗流输送。

因为尾矿常规上是以浆体形式(固含量各异)沉积的，其在地面的贮存就需要某些形式的隔离或包覆(图12)，但是包覆的形式各种各样。可能需要地基垫层，也可能不需要，具体取决于地面条件和尾矿水带来的风险。在矿山生命周期的早期，隔离墙一般由借土材料或原矿风化岩组成。其后的阶段可能涉及重新处理的干燥尾矿的使用，同时有惰性废石和/或土壤的外护层。

在某些情况下，如果能有过剩的惰性废石可供使用，并且尾矿贮存设施紧邻矿坑，尾矿贮存设施周围就可能堆设很厚的废石包覆层。这样做还有另外一个好处，就是为侵蚀在将来可能造成的包覆层损失提供了缓冲。

尾矿应该沉积到尽可能干燥的程度。应利用通过将尾矿沉积物在小池间循环进行的蒸发干燥，来限制运营中的渗流。拦蓄墙限制了尾矿和氧气的接触，但是其主要目的是拦蓄尾矿和减少侧向渗流。加入新的尾矿沉积物和/或降水后，可能需要除去过剩的水，如果这些水适合回用，则可送至选矿厂循环使用，否则可能被蒸发掉。在尾矿贮存设施关闭后，需要对日常的径流影响加以考虑——可能需要低透水性的覆盖层和/或溢流道。



12

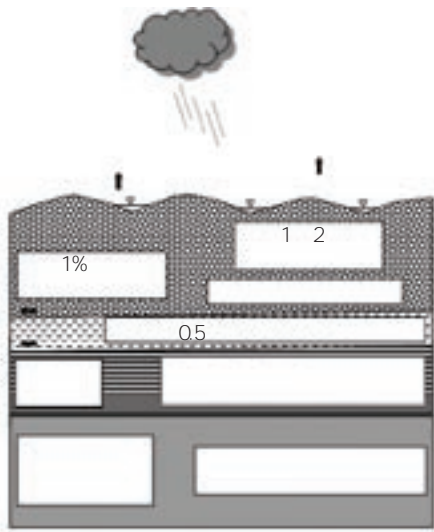
大多数矿山废弃物贮存设施位于地表，这样就形成抬高的地形。因此贮存设施平顶表面和坡面需要的处理就有明显的不同。

7.1.4

覆土层由一层或一层以上类似土质的材料组成，这些材料被用来限制径流渗透和/或氧气侵入贮存的反应性废弃物。覆土层必须在很长的时间内把危害社会和环境的风险保持在人们可以接受的较低水平。覆土层还要能承受侵蚀、植物扎根或掘穴动物造成的穿透。覆土层可能的组成部分包括(按照从上到下的顺序)：

- 表土——一般是关键的组成部分，需要较高的蓄水能力、适度的养分循环能力、足够植物根部的深度(>> 0.5米)
- 毛细作用阻断层——耐久、惰性新鲜岩石，细粒很少，需要时用来限制根穿透进下面的封闭层，需要有较低的进气值(<<其厚度)和较低的蓄水能力
- 封闭层——由压实粘土(如果可供使用)或压实矿山废弃物组成的关键组成部分，需要较低的透水率(< 10^{-8} 米/秒)来阻挡降水渗透，还需要较高的进气值(为了保持饱和度)
- 毛细作用阻断层——如果矿山废弃物含盐并且/或可能生成酸，则用来限制污染物被吸收到覆盖层中。

在干旱气候下，很难使覆土层保持在饱和态，覆土层的主要功能是限制降水渗透到废弃物中。遮雨结构或阻隔覆盖层在季节性气候中很可能效果较差；在干旱和半干旱气候条件下也不起作用，因为这样条件下的植被可能很少，封闭层则容易开裂、被植物的根穿透、被侵蚀。低硬度尾矿上的压实粘土层一定会因为尾矿一直进行的固结而失效。虽然压实粘土在初期得到的水力传导度可能低于 10^{-8} 米/秒或300毫米/年，裂纹将会使其提高一百倍左右，粘土层也不再如设计要求一样提供封闭功能(图13)。



13 / (Williams 1997)

发现了干旱气候地区的矿区排泄或阻隔覆盖层的潜在缺点后，上世纪90年代中期为覆盖北昆士兰的基兹顿(Kidston)金矿废石开发了“贮存/释放”覆盖系统(Williams等人，2006)。“贮存/释放”覆盖系统的设计目的是存蓄雨季降水而不将其排出(因为这会造成覆盖层的侵蚀)，在旱季通过蒸发蒸腾将所存蓄的水释放出来，覆盖层每年既没有净的水流失，也没有净的干燥失水。贮存/释放覆盖层统可以显著限制平均降水年的降水渗透(Williams等人，2006)，因此降低了日常的下方矿山废弃物内的润湿和渗流。

贮存/释放覆盖层成功的关键因素是：

- 堆积/卡车卸料形成的顶面，防止径流
- 足够厚度的松散石质土，用来贮存过长的暴雨事件
- 透水性足够低的封闭层，用来拦蓄松散石质土层中贮存的大部分渗透降水
- 可持续的植被，用来蒸腾没有蒸发的存蓄降水。

在湿润地区，很难阻止降水的渗透，因而饱和覆土层的主要功能是限制氧气的侵入，由此限制贮存的反应性废弃物的氧化和酸性和含金属废水的产生。排泄或阻隔覆盖层一般由0.5米左右的压实粘性土封闭层组成，其上覆以0.3米薄的生长介质，这层介质可支持草的生长，但是远不足以支持大部分灌木和树木。级配良好的封闭材料和更厚的生长介质比较理想。在很多湿润地区的矿区，包括塔斯马尼亚西北的萨维奇河铁矿(Savage River Iron Ore Mine)，还有国外的湿润气候地区，排泄或阻隔覆盖层在水平表面和陡坡上都得到了使用，并取得了相当的成功。茂盛的植被覆盖层可以处理大量的降水，同时抑制了过度的侵蚀。

数值模拟在覆盖层设计中得到普遍应用，很多合适的计算机程序可用于这种用途。这些软件一般都基于有限元方法，并将饱和土壤的力学参数结合在其中。现在的大部分分析都是二维的，并由矿区的历史气候数据驱动。在使用模型设计覆盖层时，有必要了解用来覆盖的材料的地球化学和地球物理性质，还需要知道构筑覆盖层所能用到的材料的地球化学和地球物理性质。每种土壤和岩石的行为各不相同，有必要进行实验室实验，为模型提供输入参数。

根据土壤材料的来源及其差异性，土壤的充分表征可能需要很多实验。验证覆盖层设计，为特定矿区选择最合适的植物物种，一般都需要监测实验。要“证明”覆盖层的效果，根据实际的效果监测数据“重新校准”模型，就会需要检测设备的安装以及对所采集数据的解释。因为覆盖层是极度依赖于植被及其适应所有气候变化能力的动态系统，所以长期监测非常必要。

Taylor等人(2003)、O’Kane咨询公司(2003)、Williams等人(2006)讨论了对覆盖层长期监测的结果。Wilson等人(2003)尝试了各种覆盖系统完整的长短期的预测，这些系统从简单的植被覆盖层到填埋用的复合覆盖层都有，成本从每公顷10 000澳元到400 000澳元不等。在矿区通常使用的中等成本范围的覆盖层当中，已知道成本在每公顷35000澳元左右的压实粘土、阻隔型覆盖层效果不佳，而成本在每公顷50 000澳元左右的贮存/释放覆盖层的效果则好得多。

7.1.5

矿山废弃物贮存设施的外坡面必须陡峭，它存在的问题与下面的作业有关：

- 用推土机修整(推平)坡面——这样，通过将粗粒材料压碎和掩埋，使表面的“粗糙度”降低，导致径流增加，耐侵蚀性降低
- 通过推平给定高度的边坡增加了坡长——这增加了流域面积和给定表面上的潜在的侵蚀
- 等高线上和坡道排水道中降水径流的汇聚——这增加了掏空和沟蚀的可能性
- 由于下伏沉降，排水建筑物的功能经常不畅，在等高台面和连通处尤其如此
- 覆在陡坡上的细粒和/或分散的生长介质，这种介质特别容易受到侵蚀。

废石堆和尾矿贮存设施外边坡一般有足够岩土工程和侵蚀稳定性。但是，在这种坡上的常规复垦可能使边坡有足够的岩土工程稳定性，但是侵蚀稳定性不足。可以替代的形成稳定最终边坡方法是模拟周边天然类似物，这样有可能形成岩土工程和侵蚀稳定性很高、并且更加美观的可持续边坡。天然边坡一般是凹形的，并且受到岩石、胶结盖层和植被的保护。

用于稳定矿山废弃物贮存设施外边坡的各种方法的差异很大，具体取决于气候和表面材料。在一些地区，茂密植被在减少侵蚀方面可能非常成功，但是季节性、干旱、半干旱气候可能不能维持足够控制侵蚀的植被。这种地区需要其他的侵蚀防护策略，其中包括限制边坡汇水或铺设粗粒惰性废石的表面覆盖层。岩石可与潜在材料，即某些可加入混合物的细粒混合，用来提高保水性和某些植被恢复的潜力。

虽然等高或下坡排水道在历史上效果不佳，但可构筑坚固的填石集水沟来处理过剩的降水径流。静止角最终边坡可以节省边坡施工的成本，如果进行了边坡的某种调整（即结合了凹坡型剖面），这种边坡还可以用在边坡的上半部分。模仿天然边坡的凹形坡，减少了边坡泥沙沉积的损失。为特定矿区开发最适合的边坡处理，一般都需要监测实验。

7.1.6

限制反应性废弃物与氧气接触的最有效方法是将它们永久地沉在水下，这种技术之所以成功，是因为水中溶解氧有限以及氧气在水中扩散率很低。但是，水覆盖层只有在水的来源或储蓄有保证时才可行。

对于地表的反应性废弃物贮存设施来说，需要在足够大的汇水区内进行河谷拦蓄，并配套建造水坝和溢洪道，以维持废弃物上方的水覆盖层，（见本节贝纳姆布拉(Benambla)尾矿坝的实例研究）。这种方法一般适用于水量平衡出超的气候地区，在澳大利亚，一般将这种方法的应用限制在维多利亚和塔斯马尼亚，在湿润的热带地区(wet tropics)也有可能使用。已经有很多反应性尾矿上方的水覆盖层在加拿大得到应用(Ludgate等人，2003)。

在淹水的矿坑中，将反应性废弃物沉放在矿坑中，也有可能形成一个永久性的水覆盖层。但同样地，该方法在澳大利亚一般还是仅应用在塔斯马尼亚和湿润的热带地区。另一个选择方案是矿坑回填，其中硫化物材料保持在回收水位以下，空穴剩下的部分用惰性材料充填。充水地下巷道也可能成为反应性废弃物在水下的永久贮存地。反应性废弃物的矿坑内和地下贮存都可能使将来的矿体贫化，限制了废弃物再选的可能性。

水覆盖层要想有效，就需要与之适应的地形和降水，以提供1.5到2米的最低水深，水越深越好，具体深度取决于细粒反应性废弃物由于表面波浪作用和水流引起再悬浮的可能性(Catalan和Yanful, 2002)。淹没得越多，水覆盖层就越好。金属释放的机理和矿区具体情况有很大的关系，取决于废弃物在水覆盖层放入前的废弃物管理、废弃物的矿物学性质、生物因素及水覆盖层的深度。

7.1.7

澳大利亚矿产业尚未在常规程序中采取材料的混合，这主要是因为与大量矿山废弃物的调度、输送、混合相关的物流问题和成本。

混合和联合处置确实出现在了地下矿山中，洗煤废弃物的泵送联合处置在煤炭行业相当常见。潜在产酸材料有时与水泥或水泥和尾矿的混合物混合，并作为回填材料注入空穴。水泥本身就有中和能力。

潜在产酸废石材料与碳酸盐岩的混合或与含碳酸盐废石材料的联合处置已在几个矿区有过尝试，得到的成效不大。碳酸盐颗粒用中和沉淀物加固，显著抑制了碳酸盐矿物的溶解。

()—— (Benambra)

维多利亚东吉普斯兰的贝纳姆布拉矿是由Denehurst有限公司1992年到1996年间运营的一座地下贱金属矿山。运营期间，矿区共选矿石927 000吨，将近700 000吨的硫化物尾矿被泵送到附近的尾矿坝。维多利亚初级工业—矿物和石油部(DPIMP)从1998年开始负责这个矿区，最近管理了一个成功的复垦计划。

澳思(Earth Systems)协助DPIMP编制详细的复垦策略，使矿区尽可能恢复到采矿前的情况。关键的环境风险是尾矿坝产生酸性和含金属废水的可能性。

贝纳姆布拉尾矿坝是按照安全的挡水构筑物设计的，在复垦前容纳了一亿六千万升左右的上层清水，pH值接近中性，锌、砷、铜、铅、锰的含量较高。尾矿通过中央插口沉积，使尾矿表面的水深不规则。因此，水深在0-8米的范围内变化，在一些区域尾矿暴露在空气中。

矿区复垦的主要目标是通过在尾矿上方完成永久性的水覆盖层来管理尾矿坝中的酸性和含金属废水，并利用被动处理系统进行长期的水质控制。这个目标通过下列措施实现：

- 取消了尾矿坝周围的分流道，上游流域的原来的河道得到恢复，将水引回尾矿坝中。这样便于保持最低2米深的永久水覆盖层，并稀释尾矿坝水。
- 建造了溢洪道，这样就能进行水的受控排放，确保坝壁长期的岩土工程稳定性。进行长期的气候和水量平衡模拟，来确定所需的溢洪道高程，始终保持最低2米的水覆盖层。
- 将尾矿整平，覆以石灰石砂来减少尾矿在水体中的再悬浮，并由此降低硫化物在水面附近氧化的可能性。
- 在石灰石上方铺设一层有机物质，提供防止尾矿再悬浮的附加屏障，抑制溶解氧从水体迁移到尾矿中，这样就进一步降低了硫化物的氧化。
- 尾矿坝周边种植植被，通过天然的分解过程向尾矿坝提供恒定的有机物输入来源(凋落叶)。这促进了还原条件，减少了尾矿和水体中溶解氧之间的相互作用，消耗了氧气。

- 建造了被动碱添加系统，用来在河水进入尾矿坝前将其自然酸性的pH值提高到接近中性。这样做保持了尾矿坝水体中较低的金属浓度。
- 通过建造4:1 (H:V)的下游边坡坡度加强坝壁，保持发生“最大可信地震”时的岩土工程稳定性。
- 建造厌氧垂直上行流湿地对来自坝壁地基的渗流进行被动处理。

2006年实施了为期5个月的尾矿坝的复垦工作。现在尾矿上方有了一层永久性的水覆盖层，自动水质监测系统正在运行当中。坝周边的植被生长和坝内的可持续生物修复系统将通过天然生物过程使长期的被动水处理得以保证。



14

7.2

7.2.1 ——

酸性和含金属废水处理可能是矿产业运营中成本很高的一部分，如果从矿产业运营一开始没有认识到硫化物材料产生酸性和含金属废水的倾向，没有正确地开展管理，酸性和含金属废水处理的关闭后债务甚至可能更高。因此，避免和减少酸性和含金属废水(使用7.1节中所述的方法)都是良好运营和最优方法，只有在不能采用其他方法时才将处理酸性和含金属废水作为退而求其次的方法(7.2部分)。

考虑酸性和含金属废水处理时不仅要顾及水道环境价值的保护，还要关心下列的情况：

- 水源供应有限的地区需要重复利用采矿或选矿水；
- 需要对选矿或其他关键设备防护以免腐蚀或结垢；
- 矿坑中或地下巷道中的水必须抽出后才能重新采到矿石资源(在资源贫化的情况下这是一个特别重要的因素)；
- 地下水受到酸性和含金属废水羽流的污染，这种羽流需要得到治理。

对关闭后酸性和含金属废水管理的潜在要求在运营过程中经常不很明确，这是因为很长的滞后时间可能掩盖了问题的程度。另外，运营过程中可能以相对低的成本管理所产生的酸性和含金属废水，例如将酸性和含金属废水贮存在选矿或积水环路中，或与尾矿同时处理(隐藏的一部分生产成本)，而在关闭时，这些管理方案都不再适用了。

因为所有系统都需要一定程度的长期监测和维护，所以任何单一的处理方法都不能提供一种可以完全“撒手不管”的解决方案。选择适当的酸性和含金属废水处理方案(或几种方案)永远取决于矿区的实际情况，包括水的成分和处理目标。在能够找出最经济有效的选择方案之前，需要系统评价整个处理过程(包括泥浆处置)。这个过程有可能需要水处理专业人员的专门知识。更详细的资料和指导由www.acmer.uq.edu.au/publications/attachments/TEAMNTToolkit.pdf中的Team NT工具包和Taylor等人(2005)提供。

在澳大利亚，矿产业运营对地下水的污染在历史上得到的关注比地表水要少得多。这在很大程度上归咎于很多矿山离竞争用户的地下水源很远。但是，在一些地方，尤其在欧盟和美国，地下水污染所需的补救措施代价非常昂贵。

通过拦集和回收来预防溶质的进一步扩散可能是一个既困难、成本又高、周期又很长的命题。一个通用的“经验估计方法”是，一年的地下水污染需要10年的泵送和处理才能治理污染羽。因此，新矿区的废石堆、矿石堆、尾矿贮存设施的设计和位置的重点应该放在将来对地下水影响的预防和降低。

在这一部分中的酸性和含金属废水处理技术一般对地表水和抽取的地下水都适用。

7.2.2

水的成分——金属和pH值是酸性和含金属废水处理最通常的目标，但是可能还需要去除镁和硫酸根等主要离子。

水量(或流量)——水处理的成本是待处理的流量和水的成分两者的函数。在很多情况下，不管是主动系统还是被动系统，流量都是确定处理系统规模的主要驱动因素。在运行过程中和关闭后，都应努力做到对所需处理的水量/流量进行限制。

处理目标——被处理水质的目标需要视矿区具体情况而定，取决于多种因素，这些因素包括与保护装置和设备免受腐蚀，还包括保护接纳水体环境价值的问题。

处理目标的导出需要考虑ANZECC/ARMCANZ (2000)中详细说明了的风险评价框架，如4.3节中所述的。本节中摩根山(Mt Morgan)的实例研究示范了这种方法的应用。Team NT工具包文件和Taylor等人的文章(2005)中说明了帮助选择酸性和含金属废水处理方法和成本估算的计算机软件。

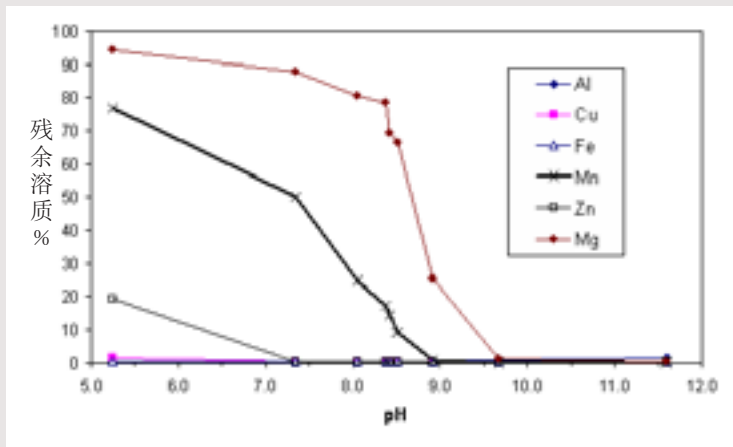
(Mt Morgan)

昆士兰靠近罗克汉普顿(Rockhampton)的摩根山矿有一个水体酸性物质和金属含量很高的露天矿坑，目前预计有50%的概率会溢流进入邻近的迪河(Dee River)。难题是将矿坑水位保持在最高的运行水位(MOL)，在随后5到10年进行复垦工作时将这种概率降低到5%，充分减少流入矿坑的水量。

酸性和含金属废水将通过化学中和的方法得到处理，并排放到邻近的河流，以达到并保持矿坑中的最高运行水位(Jones等人2003)。处理装置的设计规格需要酸性和含金属废水中和剂需求量的计算，还需要对多种可能用到的中和剂进行的筛选工作。

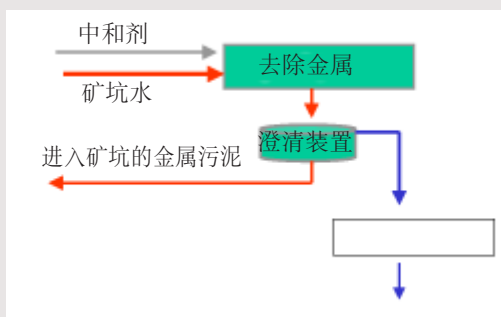
向摩根山矿坑水中逐步添加中和剂(石灰浆乳)，可通过与pH值的函数关系测定金属的去除率。溶液中残余的关键目标金属百分含量与pH值的函数关系如图15所示。

在pH从2.8升高到5.2时，铁(Fe)、铝(Al)和大部分铜(Cu)从溶液中去除。pH值为5.2的溶液中还留有大约20%的锌(Zn)。pH值到了7.3，所有的锌都沉淀出来。但是，只有pH值达到9，才能有效地将锰(Mn)从溶液中去除。pH值超过9.5时溶液中铝的含量开始增加，这是因为 Al^{3+} 离子的两性造成的。在pH值在9以上时，生成可溶的阴离子 $Al(OH)_4^-$ ，这样开始时沉淀下来的 $Al(OH)_3$ 又开始溶解。



15 pH (Jones 2003)

实验工作识别出进行最终处理时的三种可能的目标pH值(7.5、8.5、9.0)。如果不需要显著去除Mn，7.5的pH值就足够了。在这种pH值下，Al、Cu、Zn (毒性较大的金属)的浓度将被降低到非常低的水平。完全去除Mn将需要把pH值提高到9，这样石灰的需要量将翻倍，因为溶液中的Mg会因为Mg(OH)₂的沉淀同时消耗碱。因为Mn对下游水生生物不太可能带来重大毒性风险，不认为有必要完全除去Mn。



16

中和实验工作配合供应成本估算表明，使用石灰药剂的单级处理装置(图16)是最经济有效的处理方法。二级石灰石和石灰系统由于合并了两个药剂输送系统的投资和运行成本，在成本上没有竞争力。

处理装置(图17)在2006年初建造，目前正处于试运行阶段，它包含高密度泥浆循环系统。

如果需要去除Mg和SO₄来降低盐度负荷，那么用石灰将pH值调节到10.8可能是一种选择方案。石灰是适合这种用途的唯一药剂(方解石或菱镁矿不能得到足够高的pH值)。这种方法在技术上是可行的，但是，如果Mg²⁺的浓度高，就会大大提高石灰的消耗量(和成本)。反渗透可能更适合促进石灰处理后主要离子盐的去除，这同样是一种去除溶液中残留Mn的方法。



17

(2006 3)

7.2.3 ——— ?

酸性和含金属废水处理系统可被分为主动系统和被动系统两种。被动处理系统的一般特点是不需要或很少需要主动(电动或柴油机驱动)泵送，并且不需要远程通过动力添加化学药剂。

要判断主动或被动方法是否适合某个的酸性和含金属废水的处理，可通过评价流入酸性和含金属废水的酸度负荷来确定。被动处理方法在适合的环境中可能在经济上很具吸引力，但是有一些重大的限制。被动系统最适合处理流量稳定的低酸度(<800毫克CaCO₃/升)和低酸度负荷(每天100-150千克CaCO₃)的水。在被动处理系统的设计和实施的没有遵守这项法则的例子有很多，不可避免的后果就是超负荷以及不能满足处理目标。

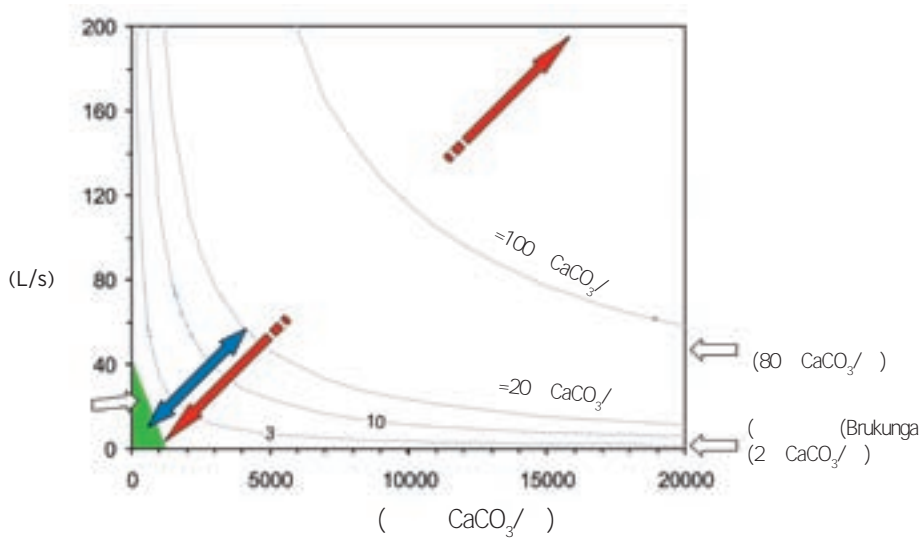
图18所示为不成功的一个被动湿地处理系统。湿地最初是为处理pH值为5的水设计的，成功运行了3年，在邻近的覆盖废石堆开始排放大量预想之外的强酸性渗流时，湿地就不堪重负了。尽管在湿地上游建造了设计的露天石灰石排水沟，还是没有能力中和增加的酸度负荷。现在，主动处理系统现在开始投入运行，对水进行处理。



18

如果是轻度酸性到近中性矿山废水的情况，如pH值为5-8，非常大的流量(在所需停留时间和可用面积的限度内)可直接通过湿地系统直接处理，这样做成本比主动处理低，得到的输出水质也比主动处理更好。

图19可被用来根据流入酸性和含金属废水的酸度负荷确定不同酸性和含金属废水处理系统的适用性。



19

CaCO₃

150

7.2.4

主动处理系统的优点是可以通过设计来满足很大酸度负荷范围的需要(见图19)。但是, 要选择合适的主动处理技术, 或者将几种能够得到的办法可靠并且在经济上可行的处理技术结合在一起, 很大程度上取决于水源水的成分和需要的处理目标。主动处理技术有四种基本类型:

- 通过加入中和剂提高pH值使得金属氢氧化物沉淀, 或金属硫化物沉淀
- 离子交换——使用树脂床以带正离子或负离子的形式将金属提取出来
- 膜分离(反渗透、电渗析)——这种方法将会将主要离子盐和金属都去除到很低的水平。这是一种次级处理步骤, 第一个步骤是通过pH调节剂将酸中和。需要严格的预处理来除去能够迅速和不可逆地污损高成本分离膜的溶质(尤其是铁、锰、钙的硫酸盐和碳酸盐)
- 生物反应器系统, 用来除去金属和硫酸盐。

目前, 主动处理最常用、价格最低的形式是使用固定装置或移动式系统进行化学中和的现场处理。在将酸性和含金属废水收集和泵送到固定装置的成本超过建造一个更小的移动式装置时, 现场处理可能就变成了一个可行的备选方案(Taylor等人, 2005)。将pH值提高到需要的水平, 人们关心的大部分金属都可能被除去。但是, 仅通过pH值控制, 汞(Hg)、钼(Mo)、六价铬(铬酸盐)和三价砷(亚砷酸盐)不

能得到管理。处理酸性和含金属废水装置的设计需要计算水对中和剂的需要量，还需要在很多种可以用到的中和剂中进行的筛选工作，确定使用其中哪种将会最经济有效地满足所需的处理目标。

酸度有两部分需要考虑——酸根(H^+)和矿物(潜在)酸度，如2.2节中的定义。总酸度值可使用ABATES等工具从可溶性金属浓度和pH值测定(见术语表)。

为给定的应用场合选择最适合的中和剂，需要考虑：

- 满足水质目标的pH值
- 成本(供货成本加实际使用的成本)
- pH值升高的速度和程度
- 职业健康和安全(OH&S)问题
- 投加率(即每立方米水需要的中和剂质量)
- 准备工作(例如研磨)的程度、所需的输送系统
- 沉淀的难易程度、所产生的泥浆量、泥浆的化学性质(要注意，泥浆的处置可能和初期处理成本相当)。

大规模酸性和含金属废水处理最常使用的中和剂是石灰(生石灰、熟石灰)、菱镁矿、氧化镁、石灰石。这是因为这些原料在市场上很容易得到，本身没有专利权的问题，其使用的是早已经过证明的技术，经济实用，大规模应用的职业健康和安全性质可以控制。

中和剂选择中最重要的因素是满足水质排放目标的目标pH值。虽然石灰石是成本最低的药剂，但是能达到的最高pH值在7左右。要将锰、镍、锌、钴、镉等金属去除到可以接受的水平，这个pH值还不够高。

百泰(Bioteq, www.bioteq.ca (BioSulphide®))和帕克环保(Paques, www.paques.nl (THIOPAQ®))已开发出还原硫酸盐的工程细菌系统。高速生物反应器中还原硫酸盐的细菌将硫酸盐还原成硫化物和单质硫。这个工艺可得到含硫酸盐<300毫克/升的水，同时还将金属以难溶硫化物的形式去除(铜、镉、镍、铅以及砷、硒、钼)。这项技术在上世纪90年代中期开始就已大规模运行，已有几座装置建成。这种技术最适合可提供高水平控制以及有可能实现工业化金属回收的情况。

7.2.5

被动处理系统有四种基本的类型：

- 中和低pH值水使用的好氧和厌氧石灰石排水沟或浅滩河道
- 辅助化学中和——使用太阳能或水力驱动自动配料系统
- 湿地(表面流和潜流，加或不加石灰石)
- 新一类的高强度硫酸盐还原系统。

历史上，使用被动系统处理酸性和含金属废水成败参半，失败主要是由于不合实际地应用在高酸度负荷的情况中。但是，如果被动处理系统在其化学和物理负荷的限值以内设计和运行，就可以提供非常有效的低成本处理方案。然而，不能将它们看作是可以撒手不管的解决方案，正确的实施将会减少维护，使预期的寿命延长。

只使用化学中和剂的单级主动或被动处理系统，要满足严格的目标水生生态系统保护可能会遇到困难，具体情况取决于金属的范围和水源水中所含的其他溶质。这就是二级被动生物(例如湿地)深度处理系统能够得到的明显优势所在，不需要很大的投资，也不需要与二级和三级主动处理技术相关联的运行成本，就能达到需要的水质。

然而，湿地不能迅速适应水质的突然恶化或短期内的流量提高。湿地在pH值大于5的稳态条件下停留时间为10-15天时效果最佳。它们需要以相对稳定的进水流量，从一个水池中引出已经拦蓄了的矿坑水（如果必要，还要对其进行预中和），还必须使用分流堰导流系统，以防止其受到暴雨事件的影响。

被动系统的设计寿命是一个关键的问题。在一些情况下，只有在运行阶段、来源材料(如废石堆)复垦以前或脱水操作停止时才可能有大量需要处理的矿坑水产生。很明显，在这些情况下的长期(嗣后)可持续性不太重要。但矿区停产后，对自我维持系统的需要才变得更加重要。被动处理系统使有毒金属积累，考虑这种类型的系统时，应解决好由此而造成对关闭规划的长期影响。

7.2.6

不管出现什么样的技术，使用经济有效的中和剂进行的pH值控制，在一段时间内仍将是被动和主动酸性和含金属废水处理都最广泛使用和成本最低的第一手段。使用钙基药剂的主动处理可能继续成为高强度(低pH值)酸性和含金属废水中和介质的首要选择，在处理的系统中酸性废水流量变动很大时这种方法也是首选。被动处理系统被限制在低酸度负荷的情况下，这时被处理水的流量在不同时间相对稳定。湿地系统为预中和水的最终处理和流入酸性和含金属废水的pH值在4.5以上的情况提供了一个非常有吸引力的选择。



8.0

- 有效的监测计划巩固了矿区酸性和含金属废水管理规划的实施。
- 典型的监测计划将把与废石和矿堆、尾矿贮存设施、尾矿坝、矿坑/露天矿、地下矿山、矿石堆浸和废石堆浸堆相关的酸性和含金属废水问题包括在内。

8.1

酸性和含金属废水监测计划的主要目的是提供相关的资料，这些资料可被矿区规划者和治管理者作为指引决策的基础使用。有效的监测计划将会促进矿区酸性和含金属废水管理规划的实施，减少或消除酸性和含金属废水对环境、社区、采矿运营的影响。

不管是在项目的哪个阶段(从勘探一直到运营)，在编制监测计划时都有很多问题需要考虑。表6中概述了勘探/可行性研究阶段中酸性和含金属废水监测计划的典型元素。但是，监测计划需要视矿区的具体情况而定，还要将工程开发的阶段和周围环境和社区的敏感程度考虑在内。其他需要考虑的关键点是：

- 被处理材料的性质，包括数量和反应性
- 材料所产生浸滤产物可能的成分
- 下游可能的受纳水体和重要分析物基线浓度
- 材料的开采量，包括速度和人员接近该材料的能力
- 取样技术、制备、保存要求
- 样品完整性的保持和保管链
- 适当规范限值的基准
- 材料开采和分析的周期。如果材料开采的周期相对较短，则需要采用能够迅速得出数据的分析技术
- 代表性样品量
- 政府法规和许可要求。

监测计划应提供便于长期和短期内进行最优方法酸性和含金属废水管理的资料。监测数据的可利用性，以及环境监测人员和矿区规划者和管理者之间充分的沟通都非常关键。对于进行当中的酸性和含金属废水管理规划的开发和实施来说，对监测结果的细致分析(参见5.6节)同样非常重要。

如果管理实践没有达到效果，这时，就需要在长期影响产生之前采取措施纠正这种情况。迅速作出决定经常会抢在局面不可收拾或需要付出惨重代价之前防止过度的酸化。职工的教育和参与对酸性和含金属废水问题的成功管理至关重要。

	*					
	/	1				
通用	气象学	降水、蒸发量、温度等	基线；每日	每日	不适用	
	水文学——矿区上下游	流量	基线；每日	每日	不适用	
	地表水水质——矿区上下游	常规水质参数 (现场)	基线；每季度	每日/每周；基于事件	环境地表水的州/国家水质规范(例如澳大利亚环保/农业资源管理标准(ANZECC/ARMCANZ), 2000。基线和上游。	
			基线；每季度	每周/每月；基于事件		
	地下水水位		基线；每月/每季度	每周/每月	不适用	
			基线；每月/每季度	每周/每月	地下水的州/国家水质规范。基线和上坡数据。	
			基线；每季度/每年	每月/每季度		
	水文地质学——矿区上坡和下坡	常规水质参数 (现场)	基线；每季度/每年	每季度/每年	下游用水的基线数据。	
			基线；每季度/每年	每季度/每年		
	社会文化(例如下游用水)	下游用水(例如饮用、钓鱼/水产养殖、灌溉/耕作、牲畜、洗涤、洗浴、小规模采矿、水电、休闲、文化胜地等)	基线；每年	每季度/每年		

		*			
		/		1	
	植被(例如植被废石堆覆盖层、其他复垦区域、与矿区相邻的天然植被)	植被覆盖的范围、斑块状枯梢病或裸地(如果有)、植物和鸟类的多样性	基线; 每季度/每年	每月/每季度	天然植被或复垦区的基线数据。
	水生动物——矿区内下游	藻类、大型无脊椎动物、鱼类、大型脊椎动物等	基线; 每半年(季节)/每年	每季度/半年(季节)/每年; 基于事件	下游水生动物群的基线数据。
	矿区水量平衡和酸度平衡	流量/泵速、酸度负荷 贮存设施中的水位和水量 流量	基线 不适用 不适用	每日 每日 每日; 基于事件	矿区水量充足但又不能过量。 不适用
	排放点	一般水质参数(现场)	不适用	每日; 基于事件	废水的州/国家/国际水质规范(例如IFC, 2004)。混合区重要。
	产品的地球化学性质	总固体悬浮物, 酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室) 土壤/岩石的地球化学分类(静态实验) 加工厂尾矿的地球化学性质(静态实验)	不适用 不适用	每月/每季度; 基于事件 根据运营控制的要求(例如, 炮孔、炮采工作面样品)。 根据要求	模拟预测。 模拟预测。

		*			
		/		1	
废石和 矿石堆	废石和矿石材料	废石和矿石生产率、废石堆和矿石堆的质量/体积	模拟预测	每日	模拟数据。
		岩性的地球化学性质 (静态和动态实验)	基线；根据要求	根据要求	不适用
		硫化物氧化速度/孔隙氧浓度(现场)	基线；根据要求	根据要求	不适用
	水文学(地表水径流和表面渗流)	流量(地表水径流、表面渗流)	不适用	每周	不适用
		常规水质参数(现场)	不适用	每周	基线和上游数据。
	水质(地表水径流和表面渗流)	总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	不适用	每月	预测的水质。
		废石堆中的渗透率(孔隙压力/水压/渗透仪实测数据)	不适用	每季度	目标/设计渗透率。
	水文地质学(废石堆中的水；废石堆上坡、下方和下坡的地下水)	水位；废石堆中孔隙水体积；接触氧气的废石质量/体积	不适用	每月	不适用

		*			
		/		1	
尾矿贮存设施, 尾矿坝	尾矿材料	地球物理勘查(例如电磁、电阻率), 用来测绘地下电阻率和渗透通路	根据要求	根据要求	不适用
		常规水质参数(现场)	不适用	每月	地下水的州/国家水质规范。基线和上坡。
		总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	不适用	每季度	模拟数据。
		采矿和尾矿生产率、输送到尾矿贮存设施的质量/体积	模拟预测	每周	不适用
	水文学(上层清水)	地球化学表征(静态和动态实验)	基线; 根据要求	根据要求	不适用
		体积、水位、尾矿流入设施的流量、澄清泵流量、溢流道流量	不适用	每日	不适用
		流量	不适用	每周/每月	不适用
	水文学(表面渗流)	常规水质参数(现场)	不适用	每周	针对矿区的水质标准(如IFC, 2004)。
		总固体悬浮物, 酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	不适用	每月	

		*			
		/		1	
		水位；接触氧气的尾矿质量/体积	基线	每月	不适用
	水文地质学(尾矿中的孔隙水；尾矿贮存设施上坡、下方和下坡的地下水)	地球物理勘查(例如电磁、电阻率)，用来测绘地下电阻率和渗流通路	根据要求	根据要求	不适用
		常规水质参数(现场)	基线	每月	地下水的州/国家水质规范。基线和上坡数据。
		总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	基线	每季度	模拟数据。
		接触氧气的材料质量/体积	模拟预测	根据要求	
	坑壁材料(地下水降落漏斗)	岩性的地球化学性质(静态和动态实验)	基线；根据要求	根据要求	不适用
	矿坑水文学/雨水	脱水泵流量	不适用	每日	不适用
		常规水质参数(现场)	不适用	每周	水质标准(现场使用)或废水水质规范(如IFC, 2004)。
矿坑/露天矿	矿坑水质	总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	不适用	每月	

		*				
		/		1		
地下矿	水文地质学(地下水降落漏斗)	地下水水位、流量(例如脱水孔)	模拟预测	每周	模拟数据。	
		常规水质参数(现场)	基线	每周	水质标准(现场使用)或废水水质规范(如IFC, 2004)。	
	脱水材料(降落漏斗)	总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	基线	基线	每月	模拟数据。
		接触氧气的材料质量/体积	模拟预测	模拟预测	每月	模拟数据。
	水文地质学(地下水降落漏斗)	岩性的地球化学性质(净产酸、净产酸潜力)	基线; 根据要求	基线; 根据要求	根据要求	不适用
		地下水水位和流量(脱水孔)	基线	基线	每周	不适用
		常规水质参数(现场)	基线	基线	每周	水质标准(现场使用)或废水水质规范(如IFC, 2004)。
		总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	基线	基线	每月	水质标准(现场使用)或废水水质规范(如IFC, 2004)。

		*			
		/		1	
矽石堆 和堆浸 堆	矽石材料	矽石产率、堆浸底座中矽石的质 量/体积	模拟预测	每日	模拟数据。
		岩性的地球化学性质(净产酸、 净产酸潜力)	基线；根据 要求	根据要求	不适用
	水文地质学(地表水径 流和表面渗流)	流量	不适用	每日	不适用
		常规水质参数(现场)	不适用	每周	水质标准(现场使 用)。
	水文地质学(地表水径流和表 面渗流)	总固体悬浮物、酸度/碱度、主要 离子和配体、金属(实验室)	不适用	每月	预测的水质。
		地下水位	基线	每周	不适用
		地球物理勘查(例如电磁、电阻 率)，用来测绘地下水 流	根据要求	根据要求	不适用
		常规水质参数(现场)	基线	每周	地下水的州/国家水质 规范。
	水文地质学(堆浸底 垫/堆浸上坡、下方 和下坡的地下水)	总固体悬浮物、酸度/碱度、主要 离子和配体、金属(实验室)	基线	每月	基线 和上坡。

		*			
		/		1	
其他设施	水文地质学(蓄水区、沉积盆地等)	流量	不适用	基于事件; 根据要求	不适用
	水质(蓄水区、沉积盆地等)	常规水质参数(现场)	不适用	基于事件; 根据要求	水质标准(现场使用)或废水水质规范(如IFC, 2004)。
		总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	不适用	基于事件; 根据要求	
	路面径流/表面渗流水质(例如运输道、勘探道)	常规水质参数(现场)	不适用	基于事件; 根据要求	
		总固体悬浮物、酸度/碱度、主要离子和配体、金属(实验室)	不适用	基于事件; 根据要求	

* 某些地区在雨季(和丰水期)需要的监测频度可能更高, 在旱季(和枯水期)可能更低。向矿区外排放之前或在此期间也将需要更高的频度(例如, 在下游地表水监测的情况下)。

1 勘探/可行性研究阶段中的监测频度将取决于运营开始前的预计时间。

8.2

监测计划的设计应监测运营阶段中酸性和含金属废水的影响以及是否符合相关的法规。也需要监测检验管理方法降低酸性和含金属废水影响的效果。针对矿区实际情况为效果评价设定出具体的目标可能也非常有价值，比如现场回用水质条件，如选矿、渗透和浸出速率，以便为监测计划提供更多的指导。表6中概述了酸性和含金属废水监测计划典型的效果评价条件。

在内部和外部的交流监测结果(见第9节)对酸性和含金属废水管理策略的总体成功来说都是至关重要的。只有在有充分沟通的情况下才能在运营阶段做出适当的改变，预防矿山关闭时面临的很多长期问题和困难。

通过与利益相关方协商，在勘探/可行性研究和运营阶段中采集的数据应该为矿区关闭规划的形成和以后的更新(见第9节)提供了基础。如果在这些初始阶段得到足够的细节，使运营过程中的有效减量或控制得以实现，那么关闭过程和关闭后的监测在范围和频率上都很可能大大减少。



9.0

- 在矿业项目的整个生命周期中向社区和其他利益相关方定期和透明的报告是赢得和保持运营社会许可关键的一个方面。
- 酸性和含金属废水管理的某些方面目前尚没有满意的技术解决方案，但是研究和开发正在继续。

清晰和透明的报告是赢得和保持运营社会许可的一个根本方面。年度的数据收集和分析、定期的数据公布、社区协商和参与是负责的酸性和含金属废水管理的有机组成部分。数据的收集和公布一般是法定的要求，但是，对于任何渴求可持续发展的公司来说，这还是至关重要的最优方法。酸性和含金属废水报告的载体应包括：

- 年度公司可持续性报告——矿业运营(或公司作为一个整体)的社会、经济和环境方面的资料
- 国家排放名录(NEI)——向土地、空气和水的排放一般作为年度可持续性报告的一部分报告(在4.2节中讨论)
- 社区和利益相关方协商/参与——报告、情况说明书、全套资料、演讲、会议、专门的网址(参考本丛书中的《社区参与及发展手册》(*Community Engagement and Development Handbook*))
- 全球报告活动(GRI)——企业可持续性发展报告的全球框架，网址为 www.globalreporting.org。

在勘探和可行性研究阶段对潜在酸性和含金属废水问题的识别非常重要，因为这些阶段经常与社区协商、环境影响评价和监管批准相联系。在可持续性的承诺方面，应该涵盖透明和负责的运营。

在矿山的整个生命周期和复垦阶段，需要收集和分析硫化物材料和酸性和含金属废水方面的全面数据。目前矿业公司只有有限的系统性酸性和含金属废水数据报告。在公开报告中并没有区分出每年开采硫化物材料的多少——一般只提及问题及其管理。矿业公司作出的废石量报告非常之少 (Mudd 2005)。

要证明最优方法，可以将废石(以及尾矿和其他潜在的酸性和含金属废水源)以及其中硫化物所占比例的清楚报告加入报告要求中。

如果问题矿区很重要，则经过证明的对酸性和含金属废水有效的管理以及对其后果的公开负责任的态度是很关键的。可将资料综合在正式的公司可持续发展报告中，或者利用国家排放名录和全球报告活动框架并在这个框架上进一步展开，或者将其作为特定项目的具体研究发布。

很多社区在法规方面关心的是隔离硫化物材料和酸性和含金属废水并实施复垦的工程建筑物的长期性能。外推到未来是非常困难的技术问题。通过协商可有助于识别出适合于当地的酸性和含金属废水问题的具体策略，并确保经济的、技术的、法规的限制都能得到考虑。

酸性和含金属废水管理的某些方面仍亟待开发出满意的技术解决方案。在预计存在酸性和含金属废水问题的矿区，如果没有管理酸性和含金属废水的适当技术时，就有必要采用“预防性原则”。



10.0

为了解酸性和含金属废水的特性，制定出管理其产生和释放的实用方案，人们在过去的二十多年里作了大量的研究。酸性岩石废水的国际会议每三年举行一次，这个会议的论文集记录了1988年来得到的进展 (Barnhisel 2006)。

在国际酸污染预防网(INAP)的网址www.inap.com.au上可以看到研究报告和酸性和含金属废水网络链接的汇总。国际酸污染预防网是一家行业组织，其创立是为了帮助迎接处理酸性和含金属废水的全球挑战。这家组织集合了酸性和含金属废水的资料和经验，推动酸性和含金属废水的研究和创新。

目前很多研究集中在控制废石堆和尾矿贮存设施总污染物产生速度的技术方面。废石的选择性堆放以及(土或水)覆盖层的使用等控制措施目前被公认为最优方法(见第7节)。同时，很多广泛采用的酸性和含金属废水管理方法实际效果的量化以及这些方法长期可持续性的确立仍需研究，通过研究和开发解决采矿过程所有阶段问题的新方法，可能实现重大的效益。

可持续性的背景下，酸性和含金属废水研究的成果可能有机会显著减少采矿活动的环境足迹。人们可能会发现突破性的技术，用来增加金属回收率、减少含硫化物废水的容量、减少废弃物的反应性、减少酸性和含金属废水向环境的释放。

1.1

当前研究工作中新出现的技术包括：

- 国际酸污染预防网活动——这是一个世界性的指导网站(GARD)，它收集和总结了最科学的和基于风险的酸性岩石废水管理方法
- IMPI®提供的高硫酸盐和金属脱除率的被动技术，这项技术是过去十年间在南非开发的(Pulles等人，2003)
- 用于现场地下水被动处理的渗透反应墙(PRB)(Blowes等人，2000；Vidic，2001)
- 测量地质材料数小时到数天之内固有氧化率(IOR)的实用方法 (Bennett & Mackenzie，2005)
- 单独硫化物颗粒化学微包覆，用来延缓氧化

- 通过覆盖产生碱的覆盖层降低来自矿堆的废水中的酸度负荷 (Miller等人, 2003, 2006; Taylor等人, 2006)
- 置换废弃地下矿山中的氧(Taylor & Waring, 2001)
- ABA参数的井下测量, 开发在线氧探头, 进一步改进测量净产酸潜力和净产酸值的技术。

以下研究领域在未来可能取得成果:

- 更好地将硫化物材料特性结合在地质分块模拟、矿山优化和调度软件中, 以提高对废弃物管理的信心
- 改进磨矿回路和选矿流程图, 减少废弃物流中的硫化物含量, 使生产更清洁
- 提高从尾矿中回收的水量和水质, 降低耗水量, 降低排水量
- 开发测量和监视含硫化物的废弃物的新技术, 增加对酸性和含金属废水控制效率的了解, 减少与其相关的风险。

酸性和含金属废水管理的重大进展可能来自几个经过精心选择的澳大利亚示范矿区, 这几个矿区是根据瑞典的经验建设的(Höglund & Herbert 2003)。在这些矿区, 可以采用、开发和实验一整套现有的创新技术。



历史上矿业活动造成的重大、长期、显而易见的酸性和含金属废水影响一直会破坏矿产业在环境问题上的信誉。遗留矿区向社会敲响警钟，告诉了人们不良管理实践的危險，社区期望和环境绩效目标也因此日益提高。对于新的矿业项目来说，不再容许有遗留矿区的问题。可持续发展需要从勘探阶段就开始的前瞻性的酸性和含金属废水管理，还需要完整的关闭规划和成本核算，在采矿开始之前对废弃物管理的各个方面作全面考虑。本手册为酸性和含金属废水问题的了解和管理都提供了很好的起点。

Andrina, J, Miller, S & Neale, A, 2003, 'The design, construction, instrumentation and performance of a full-scale overburden stockpile trial for mitigation of acid rock drainage, Grasberg Mine, Papua Province, Indonesia,' T Farrell & G Taylor (eds.) *Proceedings of the Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, AusIMM, Cairns, Australia, pp. 123-132. Free download: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Andrina J., Miller S., Neale A., 2003, 用于印度尼西亚巴布亚省格拉斯堡矿山酸性岩石废水缓解的全尺寸上覆存堆的设计、施工、监测设施、效果, T. Farrell, G. Taylor (编辑), 《第六届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, AusIMM Publication Series No 3/2003, 澳大利亚凯恩斯, 123-132。免费下载: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

ANZECC/ARMCANZ, 2000, *Australian Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters*, Australia and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra. Free download: www.deh.gov.au/water/quality/nwqms/volume1.html

澳新环保/农业资源管理标准, 2000, 《澳大利亚淡水和海水的水质规范》。澳大利亚与新西兰环境保护委员会, 澳大利亚与新西兰农业和资源管理委员会, 堪培拉。免费下载: www.deh.gov.au/water/quality/nwqms/volume1.html

Barnhisel, RI (ed.), 2006, *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR), Lexington, KY. www.ces.ca.uky.edu/asmr/ASMR%20Proceedings/ICARD%20Abstracts.pdf

Barnhisel, RI(编辑), 2006, 《第七届国际酸性岩石废石会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR), 肯塔基州列克星敦, 免费下载: www.ces.ca.uky.edu/asmr/ASMR%20Proceedings/ICARD%20Abstracts.pdf

Bennett, JW & Mackenzie, P, 2005, 'The use of a new instrument to measure oxidation rates rapidly,' *Proceedings of Securing the Future International Conference on Mining and the Environment, Metals and Energy Recovery*, Skelleftea, pp. 94-104. www.mining.se/indexeng.html

Bennett J. W., Mackenzie P., 2005, 快速测量氧化速度的新仪器的使用, 《矿业和环境, 金属和能源回收保护未来国际会议论文集》, 谢莱夫特奥, 94-104。 www.mining.se/indexeng.html

Blowes, D, Moncur, M, Smith, L, Segó, D, Bennett, J, Garvie, A, Linklater, C, Gould, D & Reinson, J, 2006, 'Construction of two large-scale waste rock piles in a continuous permafrost region,' Rl Barnhisel (ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR), pp. 187-199. Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Blowes D., Moncur M., Smith L., Segó D., Bennett J., Garvie A., Linklater C., Gould D., Reinson J., 2006, 多年永久冻土区两个大型废石堆的施工, R. I. Barnhisel(编辑), 《第七届国际酸性岩石废石会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR), 187-199。免费下载:
www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Blowes, DW, Ptacek, CJ, Benner, SG, McRae, CWT, Bennet, TA & Puls, RW, 2000, 'Treatment of Inorganic Contaminants Using Permeable Reactive Barriers,' *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 45, pp. 123-137. www.sciencedirect.com
Blowes D. W., Ptacek C. J., Benner S. G., McRae C. W. T., Bennet T. A., Puls R. W., 2000, 使用透水性反应阻挡层处理无机污染物, 《污染物水文学杂志》, 45卷, 123-137。 www.sciencedirect.com

Brown, PL & Ferris, JM, 2004, 'Risk-based assessment of the impact of aluminium on a riverine ecosystem,' *Australian Journal of Chemistry*, Vol. 57, pp. 951-955. www.publish.csiro.au/nid/52/issue/786.htm

Brown P. L., Ferris J. M., 2004, 铝对河流生态系统影响的基于风险的评价, 《澳大利亚化学杂志》, 57卷, 951-955。
www.publish.csiro.au/nid/52/issue/786.htm

Catalan, LJJ & Yanful, EK, 2002, 'Sediment-trap measurement of suspended mine tailings in shallow water cover,' *Journal of Environmental Engineering*, 128:1, pp. 19-30. www.scitation.aip.org/eoo

Catalan L. J. J., Yanful E. K., 2002, 浅水覆盖层中悬浮尾矿的沉积物捕获器测量, 《环境工程杂志》, 128卷, 第1期, 19-30。 www.scitation.aip.org/eoo

Dobos, SK, 2005, 'Acid Sulfate Soils (ASS) and Acid Mine Drainage (AMD): Framboids and the Common Link,' C Bell (ed.) *Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Acid Drainage*, Fremantle, Western Australia. 29-31, (Australian Centre for Minerals Extension and Research: Brisbane), pp. 71-84. Free download www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Dobos S. K., 2005, 酸性硫酸盐土壤(ASS)和酸性矿山废水(AMD): 草莓状和常见连接, C. Bell(编辑), 《第五届澳大利亚酸性废水研讨会论文集》, 西澳弗里曼特尔, 29-31(澳大利亚矿业推广研究中心: 布里斯班), 71-84。免费下载:
www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Dowd, PJ, 2005, 'The Business Case for Prevention of Acid Drainage,' C Bell (ed.) *Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Acid Drainage*, Fremantle, Western Australia. (Australian Centre for Minerals Extension and Research: Brisbane). Free download: www.inap.com.au/public_downloads/Whats_New/PD_Keynote_Speech_23_August_2005.doc.

Dowd P. J. 2005. 酸性废水预防的业务实例, C. Bell(编辑), 《第五届澳大利亚酸性废水研讨会论文集》, 西澳弗里曼特尔, (澳大利亚矿业环境研究中心: 布里斯班)。免费下载: www.inap.com.au/public_downloads/Whats_New/PD_Keynote_Speech_23_August_2005.doc.

Höglund, LO & Herbert, R (eds.), 2003, 'MiMi Performance Assessment Main Report,' MiMi, ISBN 91-89350-27-8. www.mistra.org/

Höglund, L. O. Herbert R.(编辑), 2003. MiMi性能评价主报告, MiMi, ISBN 91-89350-27-8. www.mistra.org/

IFC, 2004, (Draft) *Environmental Health and Safety Guidelines for Precious Metal Mining*, International Finance Corporation. www.ifc.org/

IFC, 2004, 《贵金属开采环境健康和安全规范(草案)》, 国际金融公司。
www.ifc.org/

Jones, DR, Laurencont, T & Unger, C, 2003, 'Towards achieving sustainable water management for an acidic open cut pit at Mt Morgan, Queensland,' T Farrell & G Taylor (eds.) *Proceedings of the Sixth International Conference Acid Rock Drainage* (ICARD), AusIMM Publication Series No 3/2003, Cairns, Australia, pp. 513-519. Free download: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Jones, D. R., Laurencont T., Unger C., 2003, 实现昆士兰摩根山酸性露天矿坑的可持续水管理, T Farrell, G. Taylor(编辑), 《第六届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, AusIMM Publication Series No 3/2003, 澳大利亚凯恩斯, 513-519。免费下载: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Linklater, CM, Bennett, JW & Edwards, N, 2006, 'Modelling an innovative waste rock dump design for the control of acid rock drainage at the Svartliden Gold Mine, northern Sweden,' RI Barnhisel (ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage* (ICARD), St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR), pp. 1079-1105. Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Linklater C. M., Bennett J. W, Edwards N., 2006, 为瑞典北部Svartliden金矿酸性岩石废水控制设计的新型废石堆的模拟, R. I. Barnhisel(编辑), 《第七届国际酸性岩石废石会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR), 1079-1105。免费下载: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Linklater, CM, Sinclair, DJ & Brown, PL, 2005, 'Coupled chemistry and transport modelling of sulfidic waste rock dumps at the Aitik mine site,' *Applied Geochemistry*, Sweden, Vol. 20, pp. 275-293. www.sciencedirect.com

Linklater C. M., Sinclair D. J., Brown P. L., 2005, 埃蒂克矿区硫化物废石堆的耦合化学和输送模拟, 《应用地球化学》, 瑞典, 第20卷, 275-293。
www.sciencedirect.com

Ludgate, I, Coggan, A & Davé, NK, 2003, 'Performance of shallow water covers on pyritic uranium tailings,' T Farrell & G Taylor (eds.) *Proceedings of the Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, AusIMM Publication Series No 3/2003, Cairns, Australia, pp. 287-296. Free download:
www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Ludgate I., Coggan A., Davé N. K., 2003, 浅水覆盖层对自热铀矿尾矿的效果, T Farrell, G. Taylor(编辑), 《第六届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, AusIMM 出版系列丛书 No 3/2003, 澳大利亚凯恩斯, 287-296。免费下载:
www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Mayer, KU, Blowes, DW & Frind, EO, 2003, 'Advances in reactive-transport modelling of contaminant release and attenuation from mine-waste deposits,' JL Jambor, DW Blowes & AIM Ritchie (eds.) *Environmental Aspects of Mine Wastes*, Mineralogical Association of Canada Short Course Series, Vol. 31, ISBN 0-921294-31-x, pp. 283-302. www.mineralogicalassociation.ca

Mayer K. U., Blowes D. W., Frind E. O., 2003, 矿山废弃物沉积的污染物释放和稀释反应性输送模拟的进展, J. L. Jambor, D. W. Blowes, A. I. M. Ritchie(编辑), 《矿山废弃物的环境问题》, 加拿大矿物学会短期课程系列丛书, 第31卷, ISBN 0-921294-31-x, 283-302。 www.mineralogicalassociation.ca

MEND, 1995, 'Economic Evaluation of Acid Mine Drainage Technologies,' *Mine Environment Neutral Drainage (MEND) Program*, MEND Report 5.8.1
www.nrcan.gc.ca/ms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/mend/mendpubs-e.htm

矿山环境中中和废水, 1995, 酸性矿山废水技术的经济学评价, 《矿山环境中中和(矿山环境中中和废水)计划》, 矿山环境中中和废水报告5.8.1。
www.nrcan.gc.ca/ms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/mend/mendpubs-e.htm

Miller, S, Rusdinar, J, Smart, R, Andrina, J & Richards, D, 2006, 'Design and Construction of Limestone Blended Waste Rock Dumps—Lessons Learned From a 10-Year Study at Grasberg,' R I Barnhisel (ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR). Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Miller S., Rusdinar J., Smart R., Andrina J., Richards D., 2006, 石灰石混合废石堆的设计和施工——格拉斯堡10年研究取得的经验教训。R. I. Barnhisel(编辑), 《第七届国际酸性岩石废石会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR)。免费下载:
www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Miller, S, Smart, R, Andrina, J, Neale, A & Richards, D, 2003, 'Evaluation of limestone covers and blends for long-term acid rock drainage control at the Grasberg Mine, Papua Province, Indonesia,' T Farrell & G Taylor (eds.) *Proceedings of the Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, AusIMM Publication Series No 3/2003, Cairns, Australia, pp. 133-141. Free download: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Miller S., Smart R., Andrina J., Neale A., Richards D., 2003, 印度尼西亚巴布亚省格拉斯堡矿山用石灰石覆盖层和混合物进行长期酸性岩石废水控制的评价, T Farrell, G. Taylor(编辑), 《第六届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, AusIMM 出版系列丛书 No 3/2003, 澳大利亚凯恩斯, 133-141。免费下载: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

MMSD, 2002, 'Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development,' *Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project*, Earthscan Publications Ltd. for the International Institute for Environment and Development (IIED) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), London and Sterling, VA. Free download: www.iied.org/mmsd/finalreport/index.html

MMSD, 2002, 《开辟新天地: 矿业、矿物、可持续发展(MMSD)计划》, Earthscan 出版有限公司为国际环境与发展学会(IIED)和世界可持续发展工商理事会(WBCSD)(伦敦和弗吉尼亚州斯特灵)出版。免费下载:
www.iied.org/mmsd/finalreport/index.html

Mudd, GM, 2005, 'An Assessment of the Sustainability of the Mining Industry in Australia,' *Proceedings Environmental Engineering & Sustainability 2005 National Conference*, Society for Sustainability and Environmental Engineering (Engineers Australia), Sydney, Australia, p. 6.

Mudd G. M., 2005, 澳大利亚矿业可持续性评价, 《2005年环境工程和可持续发展全国大会》, 可持续发展和环境工程协会(澳大利亚工程师), 澳大利亚悉尼, 第6页。

NHMRC, 2004, *National Water Quality Management Strategy: Australian Drinking water guidelines*, National Health and Medical Research Council, Australian Capital Territory. Free download: www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/eh19syn.htm

NHMRC, 2004, 《国家环境水质管理策略: 澳大利亚饮用水规范》, 国家健康和医疗研究理事会, 澳大利亚首都领地。免费下载:
www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/eh19syn.htm

O'Kane Consultants Inc., 2003, 'Evaluation of the long-term performance for dry cover systems,' *Final Report to International Network for Acid Prevention*. Free download: www.inap.com.au/public-downloads/Research_Projects/Evaluation_of_the_Long-term_Performance_of_Dry_Cover_Systems.pdf

O'Kane咨询公司, 2003, 干式覆盖系统长期效果的评价, 《国际酸污染防治网报告定稿》, 免费下载: www.inap.com.au/public-downloads/Research_Projects/Evaluation_of_the_Long-term_Performance_of_Dry_Cover_Systems.pdf

Parkhurst, DL & Appelo, CAJ, 1999, *User's guide to PHREEQC (Version 2)-a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*, US Geol. Surv., Water Resour. Invest. Rep. 99-4259. Free download: www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/html/final.html

Parkhurst D. L., Appelo C. A. J., 1999, 《PHREEQC用户手册(第2版)——形态、间歇反应、一维输送、反向地球化学计算的计算机程序》, 美国地质勘察和水资源调查报告, 99-4259。免费下载: www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/html/final.html

Patterson, BM, Robertson, BS, Woodbury, RJ, Talbot, B & Davis, GB, 2006, 'Long-term evaluation of a composite cover overlaying a sulfidic tailings facility,' *Mine Water and the Environment*, 25, pp. 137-145.

Patterson B. M., Robertson B. S., Woodbury R. J., Talbot B., Davis G. B., 2006, 硫化物尾矿设施复合上覆盖层的长期评价, 《矿山水和环境》, 25卷, 137-145。

Pollino, CA & Hart, BT, 2006, 'Bayesian decision networks—going beyond expert elicitation for parameterisation and evaluation of ecological endpoints,' A Voinov, A Jakeman & A Rizzoli (eds.) *Proceedings of the iEMSS Third Biennial Meeting: "Summit on Environmental Modelling and Software"*, International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, CD ROM, www.iemss.org/iemss2006/sessions/all.html

Pollino, C. A., Hart B. T., 2006, 贝叶斯决策网络——超越生态终点的参数化和评价的专家启发, A. Voinov, A. Jakeman, A. Rizzoli(编辑), 《第三届iEMSS年会论文集: 环境仿真和软件的峰会》, 国际环境仿真和软件协会, 美国伯灵顿, 光盘www.iemss.org/iemss2006/sessions/all.html

Pulles, W, Rose, P, Coester, L, Heath, R, 2003, 'Development of integrated passive water treatment systems for the treatment of mine waters,' T Farrell & G Taylor (eds.) *Proceedings of the Sixth International Conference Acid Rock Drainage (ICARD)*, AusIMM Publication Series No 3/2003, Cairns, Australia, pp. 801-807. Free download: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Pulles W., Rose P., Coester L., Heath R., 2003, 矿山水处理的被动水处理综合系统的开发, T Farrell, G. Taylor(编辑), 《第六届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, AusIMM 出版系列丛书 No 3/2003, 澳大利亚凯恩斯, 801-807。免费下载: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Richards, DG, Borden, RK, Bennett, JW, Blowes, DW, Logsdon, MJ, Miller, SD, Slater, S, Smith L & Wilson, GW, 2006, 'Design and implementation of a strategic review of AMD risk in Rio Tinto,' RI Barnhisel (ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR), pp. 1657-1672. Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Richards D.G., Borden R.K., Bennett J.W., Blowes D. W., Logsdon M. J., Miller S. D., Slater S., Smith L., Wilson G. W., 2006, 力拓的酸性和含金属废水风险策略评审的设计和执, R. I. Barnhisel(编辑), 《第七届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR), 1657-1672。免费下载: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Ritchie, AIM, 1994, 'Sulfide oxidation mechanisms: controls and rates of oxygen transport,' JL Jambor & DW Blowes (eds.) *Short course handbook on environmental geochemistry of sulfide mine-wastes*, Vol 22, Mineralogical Association of Canada. www.mineralogicalassociation.ca

Ritchie A. I. M., 1994, 硫化物氧化机理: 氧气输送的控制和速度, J. L. Jambor, D. W. Blowes(编辑), 《硫化物矿山废弃物的环境地球化学性质短期课程手册》, 第22卷, 加拿大矿物学会。 www.mineralogicalassociation.ca

Ritchie, AIM & Bennett, JW, 2003, 'The Rum Jungle mine—a case study,' JL Jambor, DW Blowes & AIM Ritchie (eds.) *Environmental Aspects of Mine Wastes*, Mineralogical Association of Canada Short Course Series, Vol. 31, pp. 385-406. www.mineralogicalassociation.ca

Ritchie A. I. M., Bennett J. W., 2003, 兰姆丛林矿——实例研究, J. L. Jambor, D. W. Blowes, A. I. M. Ritchie(编辑), 《矿山废弃物的环境问题》, 加拿大矿物学会短期课程系列丛书, 第31卷, 385-406。 www.mineralogicalassociation.ca

Scott, PA, Eastwood, G, Johnston, G & Carville, D, 2000, 'Early Exploration and Pre-feasibility Drilling Data for the Prediction of Acid Mine Drainage for Waste Rock,' C Bell (ed.) *Proceedings of the Third Australian Acid Mine Drainage Workshop*, Townsville, (Australian Centre for Minerals Extension and Research: Brisbane). Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Scott P. A., Eastwood G., Johnston G., Carville D., 2000, 早期勘探和可行性研究前钻探数据用于预测废石的酸性矿山废水, C. Bell(编辑), 《第三届澳大利亚酸性废水研讨会论文集》, 敦斯维尔(澳大利亚矿业环境研究中心: 布里斯班)。免费下载: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Taylor, G, Spain, A, Nefiodovas, A, Timms, G, Kuznetsov, V & Bennett, J, 2003, 'Determination of the reasons for deterioration of the Rum Jungle waste rock cover,' *Report to International Network for Acid Prevention*. Free download: www.inap.com.au/public_downloads/Research_Projects/Rum_Jungle_Report.pdf

Taylor G., Spain A., Nefiodovas A., Timms G., Kuznetsov V., Bennett J., 2003, 兰姆丛林矿废石覆盖层破坏原因的确定, 《国际酸污染预防网报告》。免费下载: www.inap.com.au/public_downloads/Research_Projects/Rum_Jungle_Report.pdf

Taylor, J, Guthrie, B, Murphy, N & Waters, J, 2006, 'Alkalinity Producing Cover Materials for Providing Sustained Improvement in Water Quality from Waste Rock Piles,' RI Barnhisel (ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR). Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Taylor J., Guthrie B., Murphy N., Waters J., 2006, 提供废石堆水质可持续改进的生碱覆盖材料, R. I. Barnhisel(编辑), 《第七届国际酸性岩石废石会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR)。免费下载: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Taylor, J, Pape, S & Murphy, N, 2005, 'A Summary of Passive and Active Treatment Technologies for Acid and Metalliferous Drainage,' C Bell (ed.) *Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Acid Drainage*, Fremantle, Western Australia, (Australian Centre for Minerals Extension and Research: Brisbane). Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Taylor J., Pape S., Murphy N., 2005, 酸性和含金属废水的被动和主动处理技术综述, C. Bell(编辑), 《第五届澳大利亚酸性废水研讨会论文集》, 西澳弗里曼特尔(澳大利亚矿业推广和研究中心: 布里斯班)。免费下载: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Taylor, J & Waring, C, 2001, 'The Passive Prevention of ARD in Underground Mines by Displacement of Air with a Reducing Gas Mixture: GaRDS,' *Mine Water and the Environment*, © IMWA Springer-Verlag, Vol 20, pp. 2-7. www.springerlink.com

Taylor J., Waring C., 2001, 地下矿山通过用还原气体混合物GaRDS置换空气对ARD的被动预防, 《矿山水和环境》, © IMWA Springer-Verlag, 第20卷, 2-7. www.springerlink.com

Twining, J, 2002, 'Ecological risk assessment of the East Branch, Finniss River,' SJ Markich and RA Jeffree (eds.) *The Finniss River, a natural laboratory of mining impacts - past, present and future*, ANSTO Report E-748 pp. 70-73.

Twining J. 2002, 芬尼斯河东岸生态风险评价, S. J. Markich, R. A. Jeffree(编辑), 《芬尼斯河——矿产业活动影响的天然实验室——现在和未来》, ANSTO报告E-748, 70-73。

USEPA, 1997, *Costs of Remediation at Mine Sites*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste. Free download: www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/ldr/mine/costs.pdf

USEPA, 1997, 《矿区修复的成本》, 美国环保署固体废弃物办公室。免费下载: www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/ldr/mine/costs.pdf

Vidic, RD, 2001, *Permeable Reactive Barriers: Case Study Review*, Groundwater Remediation Technologies Analysis Centre Technology Evaluation Report TE-01-01, University of Pittsburgh, www.gwrtac.org/pdf/PRBtmp.pdf

Vidic R. D., 2001, 《透水性反应性阻挡层: 实例研究综述》, 地下水管理技术分析中心技术评价报告TE-01-01, 匹兹堡大学, www.gwrtac.org/pdf/PRBtmp.pdf

WHO, 2004, *Guidelines for Drinking Water Quality*, 3rd edition, Geneva. Free download: www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/

WHO, 2004, 《饮用水水质规范》, 第三版, 日内瓦。免费下载: www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/

Williams, DJ, Stolberg, DJ & Currey, NA, 2006, 'Long-term performance of Kidston's "store/release" cover system over potentially acid forming waste rock dumps,' RI Barnhisel (ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, St. Louis MO, American Society of Mining and Reclamation (ASMR), pp. 2385-2396. Free download: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Williams D.J., Stolberg D. J., Currey N. A., 2006, 基兹顿潜在产酸废石堆的“贮存/释放”覆盖系统的长期效果, Barnhisel R. I.(编辑), 《第七届国际酸性岩石废石会议(ICARD)论文集》, 蒙大拿州圣路易斯, 美国矿业和复垦学会(ASMR), 2385-2396。免费下载: www.acmer.uq.edu.au/publications/adpapers.html

Williams, DJ, Wilson, GW & Currey, NA, 1997, 'A cover system for a potentially acid forming waste rock dump in a dry climate,' *Proceedings of the Fourth International Conference on Tailings and Mine Waste '97*, Fort Collins, Colorado, pp. 231-235.

Williams D.J., Wilson G.W., Currey N. A., 1997, 干旱气候下潜在产酸废石堆的覆盖系统, 《1997年第四届国际尾矿和矿山废弃物会议》, 科罗拉多州科林斯堡, 231-235。

Wilson, GW, Williams, DJ & Rykaart, EM, 2003, 'The integrity of cover systems—an update,' T Farrell & G Taylor (eds.) *Proceedings of the Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, AusIMM Publication Series No 3/2003, Cairns, Australia, pp. 445-451. Free download: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

Wilson G.W., Williams D.J., Rykaart E.M., 2003, 覆盖系统的完整性——更新版, T. Farrell, G. Taylor(编辑), 《第六届国际酸性岩石废水会议(ICARD)论文集》, AusIMM 出版丛书 No 3/2003, 澳大利亚凯恩斯, 445-451。免费下载: www.ausimm.com/publications/ditr.asp

- www.deh.gov.au
- www.industry.gov.au
- www.industry.gov.au/sdmining
- www.inap.com.au
- www.industry.gov.au/www.industry.gov.au/mcmpr
- www.minerals.org.au
- www.minerals.org.au/enduringvalue
- www.ephc.gov.au/nepms/nepms.html
- www.worldbank.org/mining
- www.acmer.uq.edu.au/

AASS	实际酸性硫酸盐土壤。
ABATES	一款协助矿区水质管理的工具软件。开发用来在酸碱度估算和水质评价方面为矿产业公司提供帮助。 可在 www.earthsystems.com.au/tools.htm 免费下载。
	氢离子(H ⁺)浓度的量度。一般用pH值表示。酸性并不等价于酸度(见下面的定义)。
	酸碱度估算(ABA)评价酸产生过程(硫化矿物的氧化)和酸中和过程之间的平衡, 可能涉及最大潜在酸度(APP)和固有酸中和能力(ANC)的测定, APP和酸中和能力在下面定义。
酸性废水	酸性和含金属废水(酸性和含金属废水)的一种形式, 具有pH低、有毒金属浓度高、硫酸盐浓度高和盐度高的特点。
酸度	氢离子(H ⁺)浓度和矿物(潜在)酸度的量度; 单位一般为毫克/升CaCO ₃ 当量, 通过试验室滴定测量或从pH和水质数据估计。
酸度负荷	酸度和流量的乘积, 单位一般为每时间单位 CaCO ₃ 质量。
酸度负荷平衡	矿区的酸度负荷平衡考虑水量、流量以及酸度(见上面的定义), 并将可能是酸性和含金属废水来源的所有矿区设施包括在内, 例如废石堆、矿石堆、尾矿贮存设施、矿坑、地下巷道、堆滤废石堆和矿山施工材料等。
ACMER	澳大利亚矿物发展和研究中心, 昆士兰大学可持续矿业学院中的一个机构, www.acmer.uq.edu.au
主动处理	在酸性和含金属废水中加入化学或天然材料来改进水质的工艺。操作控制方法多种多样, 有相对简单的批量处理, 也有使用复合添加剂和详细工艺监控的计算机化先进处理装置, www.inap.com.au 。 与只需要不定期维护的被动处理(见下)相比, 主动处理常牵涉到连续运行所需的定期药剂和人力投入。主动处理可被设计用来处理任何酸度、流量和酸度负荷。
ADTI	酸性废水技术计划, www.unr.edu/mines/adi/
碱性覆盖层	一种覆土层, 如泄水层或蓄水一释放覆盖层(在下面定义)。覆盖层上方、覆盖层中或在地基中使用一种“生碱”成份。目的在于尽量减少渗透并确保透过覆盖层的水都含有较大的碱度(在下面定义)。
碱度	溶液中和酸的能力的一种量度。

AMD	酸性和含金属废水(见第2.1节中详细定义)。
AMDTreat	可用来预测和模拟酸性和含金属废水处理成本的软件。软件为被动和主动处理系统都提供很多不同的处理方案。可在 www.amdtreat.osmre.gov 免费下载。
AMIRA	AMIRA国际有限公司, www.amira.com.au
ANC	酸中和能力, 单位为每吨 H ₂ SO ₄ 当量 (公斤)
ANSTO	澳大利亚核科学和技术组织。
APP	生酸潜力, 单位为每吨H ₂ SO ₄ 当量 (公斤)。
AQUARISK	澳大利亚核科学和技术组织 (ANSTO) 开发的软件, 通过这种软件可使概率生态风险评价在受酸性和含金属废水影响的淡水生态系统中得到采用。 www.hearne.com.au/aquarisk/
ASS	酸性硫酸盐土壤。
混合	可能产生酸的矿山废弃物与碱性材料的混合, 得到一种其中生成的酸至少被周围的碱性材料部分中和的复合材料。
分块模型	一种显示不同地质化学性质矿石和废弃材料(金属矿)分布的三维模型。另见“格/层模型”。
联合处置	粗粒(废弃物/矸石)和细粒(尾矿)废料的联合处置, 该方法在澳大利亚煤矿行业广泛采用。
EIA	环境影响评价。在本手册中, 术语EIA还指环境影响说明(EIS), 环境效应说明(EES)。
GRI	全球报告活动, www.globalreporting.org/home 。
格/层模型	一种显示不同地质化学性质矿石和废弃材料(煤矿)分布的二维模型。另见“分块模型”。
堆浸废矿石	通过矿石堆浸和洗堆进行金属和某些可溶性成分回收后留下的材料。
INAP	国际酸污染预防网, www.inap.com.au/
动态试验	用来测量动态过程的程度大小和/或影响的程序, 包括反应速率(如硫化物氧化和酸生成), 材料变化以及风化造成的废水化学性质和负荷。与静态试验不同, 动态试验测量样品的经时行为。 www.inap.com.au
滞后时间	干扰或接触到生成酸的材料与酸性废水排放之间的时间延迟。
岩性	通过一套明确的物理和矿物学特性定义的土壤或岩石类型。
低品位矿堆	已被开采和堆放的材料, 与较高品位岩石混合时或高品位矿石已采尽后, 其价值足够保证进行选矿, 但是常被作为“废物”遗弃。

MEND	矿山环境中中和废水， www.nrcan.gc.ca/ms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/mend/default_e.htm
含金属废水	酸性和含金属废水(AMD)的一种形式，特点是pH值接近中性、重金属浓度高，硫酸盐盐度高。
微包覆	防止或尽量减少来自坑壁酸性和含金属废水的技术。这种方法还称为硫化物钝化，设计用来通过化学包覆防止空气和水与单独的硫化物晶体反应。
NAG	净产酸实验，也被称为“单添加净产酸实验”。用过氧化物氧化样品中的所有硫化物，然后，通过中和样品中的成分，可能部分或全部耗去氧化过程中产生的全部的酸。任何残留的酸度都用每吨 H_2SO_4 公斤表示。“连续净产酸实验”包括在一个样品上进行的一系列净产酸实验，如果样品不能使用常规的净产酸实验完全氧化，就可能需要这种实验。
NAPP	净产酸潜力，单位为每吨 H_2SO_4 公斤。用生酸潜力减去酸中和能力(ANC)计算。 国家排放名录
NEI	国家排放名录(代替国家污染物名录，NPI)。
PADRE	欧洲酸性废水补救合作关系， www.padre.imwa.info/
PASS	潜在酸性硫酸盐土壤。
被动处理	被动处理系统最适合于酸度低(<800 mg $CaCO_3/L$)、流量低(<50 L/s)，因而酸度负荷低(<100-150 kg $CaCO_3/天$)的酸性和含金属废水。另见“主动处理”。
PHREEQC	模拟天然或污染水体中化学反应和运移过程的软件， www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/
POCAS	过氧化物氧化合并酸度和硫酸盐分析实验工作程序。
预防性原则	这种原则指出，在科学证据不确定时，决策制定者应采取措 施来限制对环境的持续损害，在评价可能对环境造成严重或不可逆影响的提议时应选择最稳妥的做法。
含盐废水	酸性和含金属废水(酸性和含金属废水)的产物，特点是硫酸盐盐度高，但是pH值接近中性，重金属浓度低。
覆土层	一层或一层以上类似土壤的材料，用来限制降水渗入或氧气侵入产生酸性和含金属废水的材料(或对两种情况都进行限制)。

静态实验	表征地质样品在某个时间点上的物理或化学状态的程序。静态实验包括矿物和化学成分的测量及酸碱度估算所需的分析。
贮存/释放覆盖层	设计用来通过采用高贮水能力的材料和高蒸散率的植物，以尽量减少水向底层材料渗透的覆盖系统。
TAA	总实际酸度。TAA指未经过事先过氧化物氧化的1:20土壤溶液提取物产生的酸度。
尾矿	磨细材料，其需要的有价值矿物已被基本提取。开采出来供选矿使用的材料大约98%作为尾矿排放。在煤矿中，尾矿代表洗煤得到的粗细矸石(MMSD, 2002)。
尾矿坝	设计用来贮存选矿过程中产生的饱和尾矿材料和上层清液的设施。尾矿坝与尾矿贮存设施不同，是作为保水结构设计的。
尾矿贮存设施	设计用来贮存选矿过程中产生的不饱和尾矿材料的设施。这些设施与尾矿坝不同，并不适合上层清液的贮存。
废石	包围矿物或煤炭矿体、开采矿石时必须去除的土壤、品位很低或没有经济价值的矿化岩石这样的材料。在金属矿中一般称为废石，在煤矿中一般称为上覆岩层、夹层、中间层或矸石(MMSD, 2002)。
水覆盖层	地表水层(如尾矿贮存设施或矿坑中)或地下水层(如回填矿坑中)，用来限制氧气侵入产生酸性和含金属废水的材料。

- 《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

- 《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

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

