



Australian Government
Department of Industry
Tourism and Resources

矿区复原

矿业可持续发展最优方法计划



SOCIAL
ECONOMIC
ENVIRONMENTAL

矿区复原

可持续发展最优方法计划



Translated by eTranslate (本文由 eTranslate 公司翻译)
Translator (译员) - Wallace Gu
Reviewer (校对) - Vivienne Lee & Guan-Hua Gao

2006 年 10 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：位于新南威尔士纽卡斯特煤田的斯特拉塔煤矿公司新沃尔森德煤矿的复原工程

© 澳大利亚联邦 2006 版权所有

ISBN 0 642 72481 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。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、司法部、Robert Garran 办公室、National Circuit、堪培拉 ACT 2600 或者发送至 <http://www.ag.gov.au/cca>

目录

鸣谢	iv
前言	vii
1.0 绪论	1
2.0 可持续性发与矿区复原	3
2.1 可持续发展：环境方面	4
2.2 可持续发展：社会方面	5
实例研究：把社区纳入矿区生存周期计划	6
2.3 可持续发展：商业案例	9
3.0 规划	10
3.1 在矿区规划初期进行磋商	10
3.2 法定要求	10
3.3 物质性能签定	10
3.4 地点评估	16
3.5 制定复原计划	19
实例研究：西澳大利亚穆林穆林镍矿公司	22
实例研究：新南威尔士亨特谷的欧文山煤矿	25
4.0 运营	28
4.1 矿区经营期的磋商	28
4.2 物质性能签定	28
4.3 物质处理	28
4.4 矿区废料中的水平衡	31
4.5 地形重建	33
4.6 覆盖层	33
实例研究：昆士兰州基兹顿金矿的存储/排放覆盖系统	36
4.7 废矿石堆的外坡	37
4.8 表层土的管理	38
实例研究：美铝世界澳大利亚铝业公司	40
4.9 建立植被群落	42
实例研究：北领地格鲁特埃兰茨锰矿	47
4.10 建立动物群落	50
4.11 非开采区的植被恢复	51
4.12 建立牧场和商业林场	52
4.13 监控与维护	52
5.0 关闭	53
5.1 矿区关闭期间的磋商	53
5.2 制定成功复原标准	53
5.3 制定复原监控计划	53
5.4 制定监控手册	58
5.5 归还租赁权	59
6.0 结束语	60
参考文献	62
术语表	64

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矿区复原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。



Assoc. David Mulligan 副教授

组长——工作组
主管——开采区土壤复原中心
可持续发展矿业研究所
昆士兰大学

www.cmir.uq.edu.au



Jenny Scougall 女士和 Katie Lawrence 女士

秘书长——工作组
工业、旅游和资源部
工业、旅游和资源部

www.industry.gov.au



John Allan 先生

组长——环境组
纽卡斯特矿业公司

www.newcrest.com.au



Rachelle Benbow 女士

环境管理经理
新南威尔士矿物委员会

www.nswmin.com.au



Cormac Farrell 先生

政策官员——环境部
澳大利亚矿物委员会

www.minerals.org.au



Wojtek Grun 先生

矿业工程师
塔斯马尼亚州矿物资源部

www.mrt.tas.gov.au



Keith Lindbeck 先生

主管

Keith Lindbeck 和 Associates 公司

keith@keithlinbeck.com.au



Rob Loch 博士

首席顾问

Landloch 有限公司

www.landloch.com.au



Owen Nichols 博士

研究规划经理

澳大利亚矿业环境

研究中心

www.acmer.com.au



Mark Tibbett 博士

主管

土壤复原中心

地球与地理科学学院

西澳大利亚大学

www.clr.uwa.edu.au



David J Williams 副教授


主管——采矿与建筑地质力学研究中心

工程学院

昆士兰大学

www.uq.edu.au/geomechanics





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的社会许可是至关重要的

矿业系列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、经济和社会方面的内容。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度。持久价值——澳大利亚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（澳大利亚西部）、自然资源与矿产部（昆士兰）、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、大学院校和矿业公司的代表、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。



尊敬的伊恩·麦克法兰先生
工业、旅游和资源部部长



1.0 绪论

本手册阐述了矿区复原工作，这是可持续发展最优化计划中的主题之一。该计划旨在确定影响矿产业可持续发展的关键问题，提供信息和案例，阐明促进该产业可持续发展的原则。此系列还包括其他主题手册，是对本手册的有效补充。所有矿产从业者之间的信息交流将对促进最优方法发挥重要的作用，本计划的目的是要促进信息的交流。

最优化计划手册涉及采矿期的所有阶段——勘测、可行性分析、设计、施工建设、运营和关闭——同时涉及运营过程中的各个方面。尽管指导最优方法的原则多属常规性原则，但仍可用来指导具体矿区的可持续发展计划。

本手册主要供基层管理人员使用，他们是矿业运营中贯彻最优方法的中坚力量。此外，本手册也可供对矿产业最优方法感兴趣的有关人员使用，如环境管理人员、矿业顾问、政府和协调机构、非政府组织、矿区社区、学生等。编写本手册是为了激励这些读者在不断提高矿产业可持续发展的过程中发挥决定性的作用。

本手册概述了矿区复原的原则和最优化方法，重点强调地形设计和植被恢复。手册向读者说明了如何更为有效地使用现有及新开发的技术与方法。本手册中涉及的原则应当用于受采矿干扰的任何土地。按照采矿经营中的这些操作顺序，如咨询、规划、运营和完成等，各章重点讲述与矿区存续期内有关的程序与问题。重点强调了恢复自然生态系统，尤其是重新恢复本地植物群。

本手册中涉及的主题包括复原目标、土壤管理、土方工程、植被恢复、土壤养分、动物群恢复、维护、成功标准和监控。在规划复原策略时，复原管理人员应当能够把这些信息应用到相关工作中去。

复原是用来修复采矿对环境造成影响的过程。复原的长期目标是各不相同的，既可能是仅仅把一个地区转化为安全、稳定的状态，又可能是把一个地区恢复到与采矿前尽可能接近的状态，以便于有利于此区域的可持续发展。

复原工作通常包括以下内容：

- 为矿区设计合适的地形方案
- 根据已确立的设计原则，构建可按预定方式运行与发展的地形
- 建立适当的、可持续发展的生态系统。

复原地形设计要求对矿区经营做到全盘考虑，每一运营阶段和矿区每一要素都是规划的一部分，规划要考虑到矿区的整个周期，如运营阶段和矿区最终关闭期。这一计划要灵活机动，以适应方法和技术方面的变革。


要通过规划最大限度地减少给矿区带来的干扰，并确保废矿石等类的材料已密封于其最终存放点。重点是尽量多地获取并分析矿区的有关信息。这一研究有两项主要用途——首先它为矿区规划提供基线数据；另外，在把矿区恢复到议定采矿后用途的过程中，它又为恢复和关闭阶段提供了必要信息。

采矿前研究需要考虑的关键要素包括：法定要求、气候、地形、土壤和社区意见。由于社区最有可能成为矿区土地的使用者，因此，在决定土地最终用途时，他们的意见显然是最为重要的。同时，社区所掌握的知识和专业意见了解矿区各方面可能有着难以估量的价值。

确定一个地区采矿结束后的土地用途，应当与有关的利益集团进行磋商，这些利益集团包括政府部门、地方政府委员会、非政府组织、传统权利所有人和私有土地所有人。

在设计和安排矿区作业的各部分时，需要对矿区有所了解（包括其排水特点）。把这些信息输入采矿专用软件，矿区规划者就可得到矿区原貌及其排水模式的详细计算机模拟模型，这样就能决定其最终设计的复原或改造方案。

同所有计算机技术一样，新开发的内容很快就会过时。因此，指导数字化和分析这些数据的原则就比具体使用的软件程序更为重要。采矿操作所致空穴的最终用途同样需要进行考虑与规划。有时，回填措施未必是经济的作法，但在其他情况下，做好规划就可减少空穴的形成。安全也很重要，需要有创意的设计，并辅以障碍物和警示标志。



2.0 可持续性发与矿区复原

复原工作不利的矿区会给政府、社区和矿业公司带来棘手的遗留问题，并最终败坏整个矿产业的声誉。由于取得矿藏资源越来越变得与矿产业的声誉密不可分，因此有效的关闭程序与令人满意的矿区复原工作，就成为矿业公司开发新项目能力的决定性因素。规划不周往往使复原和矿区关闭成本增加、总收入减少。复原采用更综合的方式同时逐步推进可有效使矿区复原。矿产业和其他组织制定出台了一系列可持续发展政策框架，这些政策框架有力地促进了操作革新。

为给矿产业贯彻、履行可持续发展义务提供操作框架，澳大利亚矿物委员会出台了《持久价值》——《澳大利亚的矿业可持续发展框架》。《持久价值》的制定目的主要在于支持矿业公司不仅遵守各项规定，更要保持、巩固其“采矿社会许可”。

表 1：持久价值的原则/条款/指南

ICMM 原则/指南/条款	说明
原则 6:	探索持续改进环境条件的方法
6.3 款	根据采矿结束后土地的适当用途，使受采矿活动干扰的或占用的土地复原。
指南	与有关利益相关人进行磋商，制定关闭计划，明确确定关闭后的土地用途。
	如条件允许的话，在矿区整个经营周期内逐步复原。根据与有关利益相关人商定的成功标准进行监督。报告执行情况。
	进行并支持对土地和水源复原方法的研究。
	利用适当的技术，以减少对环境造成的负面影响，改进矿区复原技术。
	管理、复原（如条件允许）历史上受过干扰的地区，使其达到相应标准（参见 4.1、6.3、6.4、7.1、7.3、9.1、10.3 款）。

2.1 可持续发展环境方面

全部复原的目标不能被认为就是在一定程度上使自然生态系统接近于采矿前的状态。在澳大利亚的一些偏远地区，把矿区恢复到稳定的自然生态系统往往是更好得选择。如果这一目标能够达到，最终土地用途将仅需少量维护，只需控制来自原矿点的可能污染排放。

在澳大利亚人口密度较大的地区（如农业区或靠近居民点的地区），土地利用的备选方案就更加广泛。尽管矿区的各区域可能用于农业或进行一些社区活动，但仍需进行管理。重要的是，要在早期确立当地社区、社区委员会和社区团体从事复原活动的长期能力。没有长期的义务和充足的人力财务资源，管理的复原计划就可能以失败告终。

2.1.1 管理要求

管理规定对复原的备选方案做出了强制性要求。这些要求可能以区域土地利用规划的形式出现，该规划限制了可能的最终土地用途的种类范围。如果一个区域被设计为集水区，则要求把这一地点恢复为符合这一目标的状态。这样就不准在这里进行密集种植，因为种植可能使杀虫剂或化肥进入并污染局部水路。如果该区周围是自然生态系统，那么过多地引入鱼类养殖，会对周围水流中的本地鱼种造成威胁。

有关复垦的政府监管条件亦可以是采矿许可证中具体许可条件的形式出现。有时，会有一系列标准条件应用于复原项目，但是公众参与制定这些条件的情况在日趋增加。这就使社区早期参与其中，以便使计划给管理者和社区带来共同的利益。

2.1.2 自然条件的局限

一个地区的自然状况，从根本上决定了复垦计划可以取得什么样的成果。在有些情况下，要恢复一些植被种类几乎是不可能的，比如，如果该地区缺乏一些必要的条件（如降水和温度），就无法恢复雨林和湿硬叶常绿林。这可能是该地区正常气候规律、气候变化过程、或采矿活动的直接结果所致。为应对利益相关人的期望值，在讨论过程中，尽早确定自然条件的局限性是必须的。

表 2 概括了讨论过程中要考虑的一些重要的自然条件限制。

表 2：重要的自然条件局限

气候制定矿区复原备选方案时，气候规律是需考虑的唯一最重要因素。如果最终的目标是要获得稳定的地形景观，则这一目标必须与主要气候条件相符，同时考虑到可能的气候变化。降水和气温是影响矿区复原成效的两大因素。

规模矿点的规模会影响适用的备选方案。矿点的地形形状也是一个影响因素，尤其当考虑到地区环境强烈的边缘影响问题时，诸如本地动植物物种的殖民化以及杂草入侵等问题。

土壤/岩石的类型：土地类型（粘土、壤土、沙土）、物理/化学特性（pH，分散性/非分散性粘土）以及养分的有效性是重要因素，这些因素决定这一地区可生长哪类植物。管理方法（如土壤改良与肥料的应用技术）和为日后复原留存地表土的做法可能会减少一些局限，但重建基本的养分循环系统需数十年的时间。

2.2 可持续发展社会方面

澳大利亚的矿业公司已经做出了在其采矿区域承担起社区的社会和经济发展义务的承诺。矿产业承担起消除对邻近社区造成负面影响的义务，同时提出了如何来保持或改善受影响社区的生存状况并实现社会可持续发展的问题。

2.2.1 社区参与

最后确定矿区复原土地的最终用途要认真平衡好管理部门、当地居民和更大范围内社区不断提出的要求。这一问题的详细建议可见本系列的《矿区关闭与完成》手册。就最终土地用途进行社区参与和磋商的目的就是制定一套各方认可的目标，使矿业公司归还矿区租赁权时既符合于法规要求，同时又满足社区的期望值。逐步复原贯穿采矿生存的整个过程，最后达到议定的土地最终用途规划目标。

本系列的《社区参与和发展》最优化操作手册为有效实施社区参与和社区发展计划，提供了更为详尽的信息和案例研究。

为矿区选择的复原备选方案需要与周边土地用途一致，并最好与周边土地用途互为补充。。要尽可能使剩余植被覆盖地之间的栖息地连为一体同时还可以制定更大范围的地区性复原计划，把周边土地的利用活动纳入考虑范畴。通过专家通过知识共享和协调参加相关的活动，可能会给社区带来更多利益。

有几个管辖区参与了景观尺度上的生物多样性计划的编制，如正在新南威尔士实施的地区性生物多样性计划。此类计划的编制在评估和批准过程中，可有效管理一些问题，诸如野生动物迁移通道、环境水资源的分配以及濒危物种和生态区的管理问题等。

实例研究：把社区纳入矿区生存周期计划

澳大利亚昆士兰州格雷戈里克瑞努姆煤矿

格雷戈里克瑞努姆煤矿位于埃默拉尔德乡村中心所在地东北60公里、昆士兰州格拉斯通西北375公里处，包括两个矿区。格雷戈里露天矿井的经营始于1979年，而附近的克瑞努姆地下矿区则始于1995年。这两个矿区都由必和必拓三菱联合公司（BMA）经营。露天和地下开采的煤炭都送到同一家加工厂并由铁路运出。这两个矿区所在的牧场和耕地几乎已经被彻底砍伐过，但还有一些其他植被残存区，其中一些长有稀有植物的区域具保护价值。现行的新型经营最优方案就是在项目最早阶段与社区进行磋商。BMA 为制定矿区规划所使用的社区磋商的方法，是一个正在运行的矿区如何通过改进工作以及使利益相关人就土地的长期利用问题的作重要决策的很好的例子。

这一过程始于2002年9月召开的一个公众会议，会上，由当地利益相关人成立了一个社区工作组。工作小组来自土地管护机构、环保组织、地区计划编制及农业组织、当地政府、昆士兰环保署的代表、以及格雷戈里矿区的管理层、环保和社区关系的有关人员组成。一个独立协调机构来协助管理这一过程。

工作组提供的信息，可帮助决定整个采矿租赁区内不同土地单元（或域）未来的最佳用途备选方案，这样矿区就可进行必要的土方工程，确定适当的树木、灌木和草——付诸实施计划的方方面面。



矿区废地上的草场与防护林

工作组还帮助制定复垦指标，以用来判断格雷戈里克瑞努姆的未来的复垦工作是否成功地朝着既定土地利用的目标。

同时，制定了一个复审程序，来保证计划随时间的发展而发



未开采的黄木灌木丛区

根据采矿结束后土地的不同用途，制定了具体的衡量成功与否的标准。标准的种类分为植被建设（密度、组成、物种的数量和持续性）；灰尘、火灾、杂草和野生动物的管理；生态系统功能；连接性，如具有环境价值的区域连接；采矿结束后的土地管理，以及采矿后土地提议用途的持续性。把保护残存的镰叶相思树视为与保护濒危生态系统同样重要，这一生态系统是髯甲尾袋鼠的栖息地。



髯甲尾袋鼠

BMA 现正采用类似方法，为公司的其他煤矿制定矿区复原和关闭计划。

BMA 的格雷戈里克瑞努姆矿区提供本实例研究信息。社区讨论过程的更多内容可通过 www.bmacoal.com 与 BMA 联系取得。

展，随时反应出社区价值观的变化和科学知识的进步。

在八个多月的时间里，社区工作组召开了 16 次会议。成员们一致同意在不同的域可有多种土地用途。包括当地植被保护区、牧场、农业林区、娱乐场所、修剪区和工业区等。

现行的复审程序将涉及格雷戈里克瑞努姆的信息交流，这些信息可能影响矿区计划的制定。接着，社区工作组现有成员和被邀社区成员与组织每年召开一次会议，对矿区生存周期计划进行评审，对照成功标准，衡量当前复原工作的进展，如必要，还对计划做出变更。

2.2.2 土著遗产的管理

约百分之六十的采矿经营邻近土著社区。对多数公司而言，土地遗产管理问题日益突出。通常，矿业公司在管理土著文化遗产方面，会寻求外界的帮助，公司认识到在成功处理这些问题方面，专家经验不可或缺。成功管理体系与标准的制定需要与有关土著人员早期的磋商与评估，以确定拟进行的活动是否会影响文化遗产的价值；并在土著人员协助下，确定如何最佳规划和开展这些活动以避免或最大程度上减少这些影响。

关键的问题是对世袭权利所有人和其他在该矿区的权益相关土著居民进行确认。对矿区的认识受文化局限。土著居民可能用平常的词汇描述一个重要遗址，或许出于文化敏感性，避免讨论遗址和价值。

监督与管理采矿经营对当地环境和地区复原的影响，对于土著社区和其他利益相关人来说是很重要的问题。很多情况下，土著居民可接受的唯一方案可能是对一些地点进行全面保护。土著社区对复原过程的期望可能包括恢复采矿过程中被迁移或改动的的重要地点。土著遗产的管理要求可能包括如下问题，如挽救、搬迁和/或存储受采矿活动影响的文化遗产以及恢复从某地移走进行分析的遗产。

除文化遗产地点管理的重要性，土著知识可在一些方面提供有益的帮助，如了解矿前矿区环境和单个物种之间和生态系统之间的生态互动等方面，这在复原计划中成功建立本地生态系统至关重要。

2.2.3 非土著遗产的管理

除需把土著遗产纳入具体考虑范畴以外，矿点还可能包括一些非土著的、具有历史意义的遗迹，尤其是在历史悠久的居住地和采矿区。

可能已有部分地区已经纳入了管理部门的正式维护清单，但矿业公司决不应仅依赖管理部门来鉴定矿区全部有关遗产的价值。

社区参与的重点就在于甄别出具有社区价值的区域。尤其在遗产具有视觉和其他美化价值的情况下，这时，不同辖区对这些价值的认识与保护措施会有很大不同。

2.3 可持续发展商业案例

这里是一个在可持续发展框架内，以计划、组织和系统的方法进行矿区复原的商业案例，这一方法在整个项目过程中逐步实施，其内容包括：

改进了矿业管理

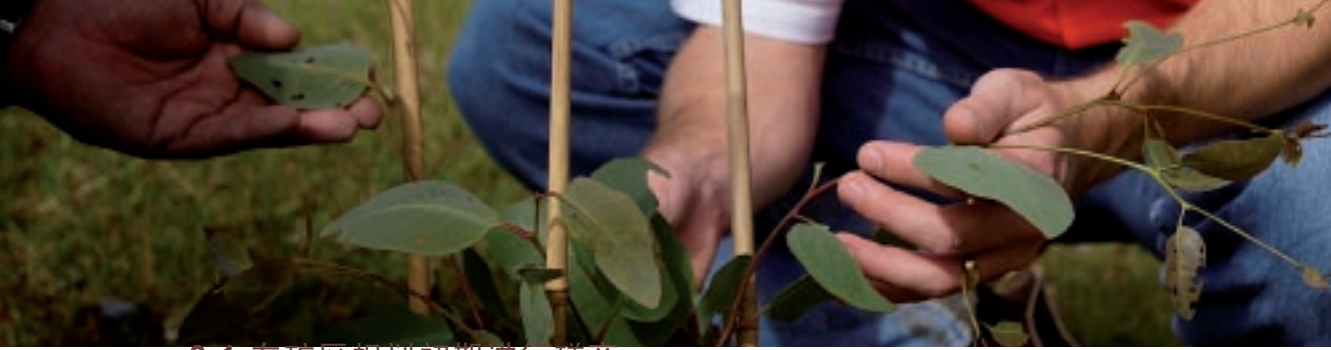
- 提供了优化高效开采矿产资源和采矿后土地利用规划和运营方案的可能性（如减少对废物和地表土的双重处理、减少了受干扰土地的面积）
- 有确认高风险区域，以便优先进行研究和补救
- 逐步复原提供了检验和改进所采用方法的机会
- 降低违反政策与规定的风险。

促进利益相关人参与计划和决策

- 更完善地制定消除影响的策略和计划，最好在采矿活动初期就将其作为社区发展方法的组成部分
- 促进社区对未来采矿提议的认可度
- 更好的公众形象和声誉。

减少风险和责任

- 通过更精确的矿区复原成本估算，确定矿区复原所需财力和物力
- 减轻可能发生的、与公共安全和环境危险与风险有关的责任。



3.1 在矿区规划初期进行磋商

在对矿区复原进行初步规划的阶段，重点是确定社区内现有的、已参与过类似活动的集团与机构。诸如土地养护集团、绿化澳大利亚团体、农业组织和传统土地耕种保管人等团体都拥有重要的当地知识，可有助于减少采矿影响，增加成功复原机率。

编制矿区复原计划的初始阶段，主要是明确认识上的不足出现在什么地方，确定研究计划或实验地点，以提供重要信息。在本阶段，与关键利益相关人团体进行磋商，可更好的达到研究和试验计划目标，并使有关知识潜移默化地应用到社区项目中去。在已经进行广泛清理的区域，如农业区，复原计划可能和更大范围的区域土地利用管理项目结合起来。

3.2 法定要求

对于处理、管理矿区废弃物，澳大利亚每一州和地区都有其自己的法定要求。矿业公司就任何需要考虑的相关法定要求和现行政策，应与有关法定部门进行讨论。

3.3 物质性能鉴定

开采出的废弃物和矿石对复原既有机遇也有风险。对表层土和冲积层的性能评估应当早在勘探阶段就开始，并持续至预可行性或可行性研究阶段，作为采矿计划的基础。对物质进行早期性能鉴定，可使计划避免潜在风险，最大程度上利用适用于矿区基础设施建设或者土地复原之用的物质。

应对这些物质的性能进行鉴定，以保证物质不会造成负面影响，或不会妨碍采矿或矿区关闭期间植被复原工作的顺利进行。在采矿经营阶段要求继续进行性能评估，尤其在矿石等级和采矿计划为顺应市场情况而发生变化时。

仅可使用“良性”物质来构建矿区建筑，如原矿（ROM）台垫、运输道路或承包商驻地等。如有可能，这些建筑应置于已清除过的区域，以减少复原工作量。

为了地貌的稳固和复原，现在进行的物质性能鉴定将帮助地貌恢复建设阶段选

择物质放置地，从而尽可能的减少侵蚀风险或造成植被复原失败的可能性。同时，物质鉴定还可使补救工作、规划或调查研究更为及时、节约。

物质性能鉴定常涉及矿物学、物理、化学和生物学分析。矿区物质性能的实验室的价值在很大程度上取决于有效的抽样方案的设计。Dollhopf (2000)、De Gruijter (2002)、Yates 与 Warrick (2002)为试验、鉴定提供了实用指南。

在确定稳定性或植物生长的局限性方面，实验室试验极为有用。对于一些特定的植被类型，可能需进行温室 (Asher et al., 2002) 和矿点实地试验，以便对不同植物物种在采矿后土壤中可能的性能变化做出更为精确的评估。

矿物学分析

矿物学分析可鉴定可能产生酸性物质的硫化物，因此，这一分析方法是鉴定冲积层、废矿石、报废堆浸物质和矿渣的有益辅助工具，硫化物通过直接降低 PH 值，或间接生成多余可溶解金属聚集体，严重影响植物生长。

关于分析评估矿区物质中影响植物生长因素的综合讨论可参阅 Dixon 和 Schulze 著作 (2002)。关于分析评估矿区土壤和矿区废料作为生长介质在地质化学方面的不利因素的测试内容参见 Williams 与 Schuman (1987)、Hossner (1988) 和 Sparks et al 的著作 (1996)。MEND 手册第二卷 (Tremblay et al, 2002) 讲述了加拿大制定的矿区物质抽样与地质化学分析方法。

物理分析

物理测试可对下述特性进行评估，这些特性对于植物生产很重要：

- 蓄水能力强，使植物在缺水期继续生存
- 内部排水系统良好，不会妨碍根系在透气性差的情况下继续生长
- 根系延伸没有力学阻抗限制。

此外，通过物理测试，预测出土壤和废矿石抵侵蚀能力。这一能力对构建稳固的采矿后地形至关重要。

土壤物理性能的具体衡量标准包括：

- 颗粒大小分布
- 细粒矿渣和土壤的塑性
- 密度或孔隙度
- 强度和压缩率

- 饱和条件和非饱和条件下的持水能力和水力传导度。

通常土壤截面储水量定义为植物最大可利用水储量 (PAWC)，这种能力不仅是某一特定物质的储水能力，也是让植物深度扎根的能力。通过地表层向深层进行排水，也是 的另一个功能，在植物最大可利用水储量减少的情况下，这一功能更为显著。

降水和降水方式影响有利于植物生长的。但是，仍有可能出现这样的情况，如果地表层的水传导性较差，就会限制水的进入，从根本上减少植物可用水量。任何水量平衡模型都应考虑到土壤特性对水源渗入的影响和植物生长对土壤特性的影响。植物生长会大大增加土壤的渗透性，这一情况已被多次报导 (Silburn et al., 1992, Scanlan et al, 1996, Carroll et al, 2000)。

矿区物质的物理性能主要以实验室测试为基础，同时由野外测试作为补充，以更确切地说明土壤条件和等级。野外测试包括粗糙废矿石筛选测试；通过计算机分析高分辨率数码图片，评估粗糙废矿石的颗粒大小分布；野外土壤密度测试（包括对粗废矿石进行大规模水置换测试）；野外废矿石、矿渣和覆盖物质的土壤渗透性测试等。

矿区物质影响植物生长的相关因素测试和评估在 Williams 与 Schuman (1987)、Hossner (1988)、Sobeketal.(2000)、Dane 和 Topp(2002) 的著作中作出说明。

侵蚀度

广义上说，侵蚀度即指某一特定物质的侵蚀能力。由于采矿期间挖掘出的物质侵蚀性大不相同，因此使用通用的斜面设计不一定都能奏效。

可以物质特性为基础，对侵蚀度进行预测（精确度有限），或利用实验室或现场土壤测试对其进行更为精确的测试 (Loch, 2000a)。重要的是，这些测量要考虑使用待测物质的典型样品，要保证物质（测试用）的状况与长期土壤的可能状况是一致的。侵蚀度的测试可包括利用表面漫流和模拟降雨进行实验室或现场土壤研究、或在自然降雨条件下利用装有仪器的田间野外进行测试。

可直接影响侵蚀度的土壤性能包括：

- 渗透能力，这一能力受土地结构和结构的稳定性、植被和土壤动物区系的影响
- 土壤结合力，它可影响沉积物的分离率
- 沉积特性（规模与密度），这可影响泥沙输移率。

由于岩石类物质尺寸和表面暴露的岩石颗粒密度较大，因此岩石类物质通常具有防侵蚀性能。可考虑将岩石作为物质内部填充物或用作覆盖层。

化学分析

关于矿区废弃物的化学性能，要重点考虑的就是由于硫化物氧化作用可能产生酸性物质，这一问题相关细节在有关手册中论述。

其他重要的土壤和废弃物化学测试还包括对影响植物生长的指标（pH、盐分、养分）、物质稳定性的特性测试，以及对可能造成水质问题的因素进行的测试。

即使为协助编制矿区经营和关闭计划，对相关物质进行了正确分析，但是使用严格的抽样方案才是成功鉴定物质性能的保障，才能确保精确评估物质的变化性。

pH 极限值

为使复原成功，应当对废弃物或覆盖物质的生长介质进行测试，以确保物质的 pH 值介于 5.5 至 8.5 之间，这一数值区间常被公认为是适于植物生长的；或 pH 值接近于当地地表土壤 pH 值水平。这就说明存在一些特定区域，当地植被适应了超出“正常”值范围的 pH 值。

测量可能生长介质最为简便的化学方面就是 pH 值和盐分的测试。尽管有快捷和相对低廉的土壤分析方法，但是 pH 极限值和盐分仍是影响已复原区域植物生产的最常见原因。

盐份

开采含盐物质并且将其置于地面的地方，就可能引起盐毛细管上升进入覆盖（表层土）层和盐分渗出的情况。盐分升高会阻碍种子发芽、延缓植物生长并降低生态系统多样性。可通过以下方法降低盐毛细管升高：

- 使用沙质表层土，因为沙质表层土的不饱和水传导性能低于粘土
- 岩石与表层土混合，以增加过滤能力
- 使表层土的深度大于 500 毫米。

钠质物质与对隧道的潜在影响

通常，钠质物质的定义为由钠决定的土壤阳离子交换量大于百分之六的物质。由于钠质物质取决于潮湿环境下粘土的离散度，因此应对钠提起注意。这样就会造成渗透性和排水能力过低、干燥时硬度加大，以及极有可以使隧道遭受侵蚀。在黏土含量高的物质中，黏土离散力的影响大于黏土含量低于 10% 的物质。离散力也受盐分

的影响，因为盐分会抑制离散。

在隧道挖掘过程中，当积水析出盐份，引起黏土离散，同时积水作为隧道挖掘的动力之源时，在一个地貌的某些地点，隧道挖掘的进展情况是普遍值得注意的。在非离散、细粒、粉质粘土物质中的工作隧道也会发生侵蚀现象，测试方案需全面考虑各种可能发生侵蚀机理。

通常可使用石膏来改变钠质物质的性质（除非土壤中石膏含量已很高）。如果进行改质的物质是酸性的，则石灰则是有效方法。

通常通过对阳离子交换和阳离子交换量 (CEC) 的分析来评估钠质物质。对于含盐物质，需仔细区别可溶解阳离子与可交换阳离子。

植物养分

为了全面了解土壤养分状态，可对植物常量营养元素（氮、磷、钾以及钙、镁、硫）和微量营养素进行分析。但是，在详细了解具体的复原状况后，才能做到有效施肥。

本地植物“适合低营养条件，因此无需添加肥料”，这种说法未免过于简单化了。情况并非总是如此。如果被去除和替换的土壤处于退化状态，则本地植被则会对添加养分反应强烈。对特定养分的反应也会各不相同，有时，反应还可能给优选物种带来战胜竞争者的良好机遇。同样地，养分含量高、或某一特定养分含量高也会助长某些草类的繁殖。

施肥方法也很重要。例如，由于植物根系极少在地面起作用，因而在复原区表面播撒固态养份就收效甚微。

由于常常仅在播种时施肥，因此所施用肥料的数量需要既能在初期立竿见影，同时又能满足社区植被远期可持续发展的要求。

生物学分析

作为可持续生态系统的组成部分，采矿后地上持续性植被要求地上和地上养分保持在一定参数范围内。取得植被恢复可持续发展的第一步是要对采矿后物质（包括地表土）的生物起始点进行评估。

应当考虑的因素有：

- 微生物数量或物质活性——这会表明物质中剩余生物活性水平，它可与矿点周围或其他情况类似地区的地表土进行比较。

- 生态系统复原之前和复原期间，有机物含量是生物活性的基础。有机物在保水和供应养分方面也起作用。
- 在地表土中储存活性种子——如果准备恢复本地植物种系或者控制杂草，这是必要的要求。
- 温室试验可确定测试物种对矿区物质的适应性；对比仅进行实验室测试，温室实验能更为准确地估计出所缺乏养分和潜在毒性。
- 固氮菌（共生的和自生的）对于生态系统发展的早期阶段往往十分关键。这些固定物质可能是寄主专化性物质，适当的有机物是成功种植一些植物物种的基本条件。
- 多数澳大利亚本地植物物种中，菌根真菌提供最基本的养料摄取途径这一共生状态不象许多固氮菌那样具有寄生专化性，但是在支持稳定的地下养分摄取、提高耐旱性和抑制病菌等方面发挥着重要作用。
- 对具体情况需进行专业评估，如在特定条件下会需要硫磺代谢细菌的参与。

这些因素构成物质的主要生物特性，尤其是那些用作表层土和植物生根带中的物质。

许多其他生物因素，如“生态系统工程师”（主要是分解有机物和透气土壤的无脊椎动物，如跳虫、弹尾目、蚂蚁、白蚁和蚯蚓等）和授粉介质，都可能在采矿物质的地面生态系统重建过程中发挥重要作用，因此应对这些因素予以考虑。

3.3.1 物质分离与选择性放置

土壤、冲积层和废弃物的综合性能评估为严格分离和选择物质的放置位置提供了基础，这样就能形成具有持续性的植被覆盖层，并防止对地表及地下水造成污染。

除极少数情况外，采矿结束后，建立良好的生态系统通常要求对采矿区域之上的土壤进行养护和更换。需要系统解决的问题包括：

- 选取拟进行保护的土层：
- 移除和替换土壤程序：
- 存放点对土壤性能的影响；以及
- 替换土壤的最佳深度。

对冲积层进行分离和选择放置位置有两个原因，分别是：

- 1) 掩埋妨碍植物生长或可能污染地表水或地下水物质；和
- 2) 抢救有助于复原计划实施的物质。某些冲积层由于含有盐分、钠或通过硫化物氧化作用可能致酸的物质，这些冲积层可能需要去除。

在矿区发展的早期，对钻芯岩和钻片样品进行矿物学、物理和化学分析，分析结果可以帮助使用与处理矿石相同的方式对矿体周围的废矿石进行块体模式处理。按照酸生成能力、耐侵蚀性和对植物生长的影响，对冲积层分类，这样就为在废矿石堆建造过程中有效分离物质奠定了基础。

尽管开采前的冲积层含有可产生酸排放物的硫化物质，但是表面风化（氧化）区仍是有价值的资源，因此要注意，在开采活动结束后，确保这些埋在硫化岩石下的物质不会就此撂荒。

重要的是，要由经验丰富的人员参与废石分类，并在废石堆施工过程中监督废石的搬运与放置。在采矿运营的这一阶段，不能坚持质量控制可能会危及运营期间和接下来关闭期间的环境保护。

对尾矿进行可持续的植被恢复，可能需要在上面覆盖土壤或者其他良性废石料。根据颗粒大小和/或冶炼厂的矿物学特性对矿渣进行分离，分离物质可以在处理过程的后一阶段，生产出适于植物生长的无害物质。

3.3.2 物质预算和时间进度

编制矿区规划，计算出不同复原目标所需的物质量，如用于构建表层土壤侧面“B”型结构的物质（表面生长介质就在“B”型结构之上）、以及封闭硫化废物的物质等。

然后将物质预算和物质位置纳入矿区计划中，减少重复处理和重复存放（特别是长期）这些有用物质。编制物质预算和进度表，可确保在复原过程中，需要放置这些物质时，就能方便取得。

3.4 地点评估

过去，复原工作的设计方案相对固定，采用专门地形设计和建设方法，完全不顾及位置或物质性能。目前，人们越来越注意为适当处理和放置物质专门制定复原计划，采用常用环境，同时考虑所要求的土地最终用途。

3.4.1 保护措施

稀有和濒危物种

稀有和濒危动植物物种受到澳大利亚及各州和地区立法的保护。澳大利亚联邦制定的相关管理法律为《1999年环境保护与生物多样性保存法案》。

在批准进行采矿之前，要由法律部门对任何采矿意向所带来的影响进行评估。需控制任何可能带给稀有和濒危物种的不利影响，并将影响降低到法律部门允许的程度。

遗址

澳大利亚有诸多方法，来鉴别、保护重要遗址。各级政府都出台了遗产管理规定。各州和地区对保护文化遗产负主要责任。所有州和地区都有法律规定，为全面保护土著古文化遗址做出了规定。目前，州和地区立法对土著文化遗产的定义差异甚大。有些法律中，包括联邦法律，对土著传统认为意义重大的地区和地点予以保护。而其他地区法律的规定都集中在“遗迹”或古文化遗址的保护方面，对土著文化价值未予重视。

《1999年环境保护与生物多样性保存法案》（EPBC法案）为澳大利亚政府重要的国家遗产立法。这一法案强化了对澳大利亚遗址的管理与保护工作。任何可能对“世界遗产”或国家级遗址造成重大影响的行为必须提请联邦环境部长予以深入考虑。

《1984年土著和托雷斯海峡岛民遗产保护法案》（ATSHP法案）是联邦法律为保存、保护澳大利亚和澳大利亚水域内根据土著传统对于土著具有非同寻常意义的地区和对象提供法律依据，使之免遭破坏或亵渎。这一联邦法案适用于如下情形，即州或地区法律未给予有效保护的、并受到威胁的区域或对象。凡州或地区法律对保护做出有效规定的，将不再由《1984年土著和托雷斯海峡岛民遗产保护法案》提供保护。

当一个项目开发会对土著价值、地方或地点造成影响时，开发者必须取得州/地区法律的许可，有时还须取联邦法律的许可。早期就与土著居民进行文化上的适当沟通，这是对土著遗产方面进行评估和管理的关键方面。

3.4.2 气候

气候对地形稳定性和矿区复原有很大影响。对气候进行评估十分重要，这样可以保证：

- 复原目标和最终土地用途是现实的
- 所采用的植物物种是适当的
- 开发的土壤剖面适于植物生长
- 在一般条件下，所设计地形是稳固的
- 覆盖系统设计合理。

气候数据多为极端天气条件的平均值。因此，计划不仅应考虑到长期平均条件，还应考虑到短期的极端天气，如干旱、风和降水量。

季节性降水会对地形和植被生长造成很大影响。在存在明显干湿季节的地区，复原时机是关乎其成功与否的重要因素。

3.4.3 生长介质

生长介质是指置于复原地区表面预计适宜植物生长的物质。这些物质通常为采矿前肥沃的地表土，但并非必定如此。时机、土壤条件和操作技术都会影响保持土壤结构和缓解土壤板结的能力。在筹划复原工作之前，重要的是要充分了解特定地区影响植物生长因素。

在一些情况下，地表土中含有大量杂草或非需要物种的种子。为避免此类种子的蔓延，有必要在地表土收集之前对植被进行处理，或者使用从更深处挖掘的土壤物质。但很多情况下，地表土中所含的生物成分是很重要的。它里面包含着不易得到或不易培育的种子库，以及大量可促进植物生长和稳定土壤的微生物。在这种情况下，对土壤进行适当管理、减少对微生物的破坏就十分重要。

3.4.4 盐量平衡

对于许多矿区，部分或全部可用水含有盐分，尤其在循环用水的情况下。用水的后果就是使盐在矿区里循环，可能使盐在不同地点积聚在一起。例如，如果用含盐水来控制道路上的灰尘，则盐就会在道路上积聚起来，从而影响道路的最终复原。其他可能积聚盐分的地点为蒸发池和沉淀井。

矿区用水计划应当与盐分计划紧密相关。这样就确保确定盐分积聚区，制定出管理计划，以尽可能减少长期问题。

3.5 制定复原计划

如果初步矿区评估（3.3 节中论及）揭示出复原工作中的重要风险或问题，那么就需进行研究来制定和确定管理这些风险和监督所用技术能否成功的方法（控制措施）。这样做并不会延迟矿区综合复原计划的制定。在矿区生存周期的整个过程中，研究及实地复原试验的所得结果被用来对计划进行修改，使计划不断改进。

3.5.1 地形设计

设计地形，以尽可能减少施工成本和长期维护成本，这一点至关重要。通常做法是，先倾倒入废弃物，使之形成达到设计高度的地形，日后再对外坡进行修整。对外坡倾斜角度进行再塑的修整，会带来大量重复处理物质的工作，还会压碎、蚀变另有用途的岩石。如可能，应对倾倒入进行规划，既满足选择物质放置地的要求又减少最终塑型成本。

根据最终土地用途、稳定性、社区期望和长期管理的要求，对特殊地形的目标要达成一致意见是很重要的。所有这些目标都已经明确之后，才可进行详细地形设计。

地形布局

设计好的地形需进行定点布局，这样地形才不会干扰将来可能进行的挖掘工作（包括矿井扩建）或通向新矿体的通道，这一设计还需经常调整，以不断确认所提议的地点。

要考虑到矿区现有地面水道，确保地形不会改变或阻塞任何主要水道。地形布局过于接近租赁区边界会产生沉积物管理和灰尘控制方面的问题，也会给将来管理备选方案造成限制。应避免对动物活动和通向供水点的道路造成影响。有时，构建地形与景观建设可能结合在一起，从而尽可能减少外观影响和解决社区可能的关注。

高度/痕迹

应尽量缩小受地形建设干扰（痕迹）区的土面积。但是，尽可能减少痕迹的做法会建出陡峭、高耸的地形，这样的地形很可能不稳固。此外，这种地形与周边的自然地形不协调。因此，确定可成功建成的地形高度很重要——即把易发生反应废弃物密封起来，使其日后不会发生侵蚀作用——这样，就避免或尽可能减少了长期维护工作。

可能的稳定高度将取决于：

- 气候可能造成的侵蚀（侵蚀度）
- 地表物质的侵蚀度，包括废矿石、废石和生长介质
- 所建斜坡的高度和倾斜度
- 可能植被覆盖
- 采用外坡面（直线度、凹面、凸面）及其构建方法。

如果已确定的稳定高度低于经济方面考虑的高度或实际希望的高度，则更为保险的地形稳定面，如在外坡放置乱石，是可以考虑的备选方案。

排水

如果地形中包括应提起注意的物质（出现酸性排出物或输送污染物的可能性），建议最好从地形顶部排放溢流，而不要让这些水留存在地形中，从而可能会更多地被排放到地层深处。同样，如果表面生长介质层有足够深度，可考虑种植扎根较深的树种，以此阻止水向深处渗入。尽管密封措施很重要，废矿石堆的设计仍需既要考虑控制向深处排水（有可能发生意外渗出），还要考虑减少侵蚀的发生（会使密封物质最终暴露出来）。

从废矿石堆顶部排放溢流本身具有很大风险。很多情况下，地形顶部溢流被集中到一起，这样需要有一些固定流向的设施，把水输送到地面，地面需有一个控制排放点。常用的有岩石排水渠或水槽，但这类设施的故障率非常高。在植被覆盖率——尤其是草地——较高的地区，水流从地形顶部均匀缓慢地流到过外部斜坡和地面，而不造成破坏。这种情况下，高质量的表面接触覆层很重要。但是，释放溢流会减少植被所需的用水量，尤其在干旱、季节性气候条件下。

如果溢流保持在废矿石堆的顶部或矿渣存放处，一定要考虑到这可能造成长期阻水和对植物造成损害。水滞留于地形顶部，有可能在松散堆砌在一起的物质里面形成沉淀，形成下沉洞。由于上述原因，地形表面任何地方积水处的深度和持续时间都应降至最小和最短。要做到这一点，可通过保持地形顶部水平、加大表面粗糙度、设置堤岸等方法，建造一个一至三公顷的相对较小的水槽。种植植被，以增加用水量，这也是可行的方法。

施工模式

地形施工的形式各种各样，很大程度上是由挖掘方法决定的。例如，挖掘机废料堆就无法选择放置地点，然而货车/铲车操作就可选择放置需密闭处理的物质，或保证把更稳定的物质放置于地形表面。

有许多可用软件，通过保证最佳运输与倾倒进度，来帮助矿业公司优化降低废矿石堆建设成本。但是，大多数此类软件内置许多假定条件，假定条件将会影响最后结果，因此要清楚地了解这些软件，才可取得设计成效。

侧面

建造好的外斜坡通常与挡水坡呈直线，挡水坡是按固定间隔、垂直于溢流截断而建造的。挡水坡可用来挡水或可设计为输送水流的岩石排水沟。

通常，可由集水沟来控制矿区已建造好地形的侵蚀问题——挡水坡汇集水流，并在挡水坡失效时将汇集水流排放至斜坡，这就直接形成了集水沟。挡水护坡失效的原因有施工不到位、洞穴侵蚀和泥沙沉降造成的漫溢等。在侵蚀率居高不下的地区（常处于表面植被太少从而无法有效控制侵蚀的干旱地区），在侵蚀发生期间，要定期对包括挡水坡在内的外斜坡侧面会进行维护（去淤积），否则，侧面就会填满沉积物和漫溢，从而形成冲刷沟。

因此，一些矿点在复原的早期，建设挡水坡或横跨斜坡的堤坝，等植被生长出来并起到固定斜坡的作用时，再将挡水坡拆除。

其他地区采用岩石嵌入外斜坡表层的方案，以降低侵蚀发生的可能性，从而建设相对较长、较高的斜坡，同时无须建设挡水坡。另外一种待选方案是建造凹坡侧面，以减少发生侵蚀的可能性，通常斜面和高的比率是一比二或一比三。

表面粗糙度是矿区地形复原中要考虑的重要因素。粗糙的表面易截存水和种子，通常认为粗糙表面会比光滑表面更适合植被生长。但是，尽管通过裂流线或糙化处理的形式来创建大面积粗糙表面在短期内会带来益处，但长期来看，这样做会导致侵蚀增多，地形不稳。有关此问题的更多详情可见 [Landloch \(2003\)](#)。表面粗糙度与表面持续时间密切相关，在很大程度上由粗糙面物质颗粒的大小分布决定。

实例研究：西澳大利亚穆林穆林镍矿公司

穆林穆林镍钴项目（穆林穆林）位于西澳大利亚金矿区的东北部。由米纳罗资源有限公司（60%）和嘉能可（40%）国际公司拥有的穆林穆林公司，开采红土矿石，利用高压酸浸技术，从矿石中提取镍和钴。根据标准指导准则建造的早期废矿石堆，斜坡高度 10 米，斜坡坡度为 15 至 20 度，斜坡由五米宽的挡水坡分开。

经确认，通过改进废矿石堆结可减少在斜坡上形成冲刷沟，冲刷沟的形成是由于：

- 从废矿石堆顶部排水
- 挡水坡的漫溢和导水
- 偶尔由横跨斜坡的导水槽引发的水流汇集造成，导水槽是复原工程的一部分。

该地区缺乏可用来稳固斜坡的诸如强岩层或粗糙废矿石之类的物质。

为探索构建废矿石堆的新方法，穆林穆林利用试验室和野外测试两种方法，对不同废矿石和表层土的侵蚀度进行了评估。利用实验数据和该地区长期的降水和气候资料，对径流和侵蚀状况进行计算机模拟实验，与外斜坡各种建造备选方案进行比较。坡剖面的设计相对可降低侵蚀风险，尽管推荐使用树木残片和红砾土作为斜坡坡面，但计算机模拟表明这很有可能引起侵蚀。

在可能完成废矿石堆复原工作的情况下，复原设计包括：

- 筑坝挡住废矿石堆顶部的径流
- 矿石堆顶部修建交叉型堤坝和导水槽，减少水流在任何地点大量积聚的可能性
- 不带有挡水坡的凹型外斜坡，以汇集水流或把水流引向集水沟
- 树木残片和红砾土的放置办法，为最可能受侵蚀的地点提供额外防蚀保护
- 进行物质性能鉴定，以便制定施肥和改良措施。

尽管废弃物并不很易受到地下侵蚀，但在废矿石堆顶部仍有可能产生通道或下沉洞。通过尽可能减少水流在矿石堆顶部汇集，并保持任何可能积水区远离斜坡顶，产生通向外斜坡下沉洞的可能性将大大降低。

凹坡侧面更接近于自然地形，直线坡平均坡度相同，倾斜比为一比二或一比三，这种设计可减少侵蚀的发生。应在矿区气候和该区物质特性的基础上，进行凹坡设计。

在这一阶段（建成后一至两年），依据技术要求建成的废矿石堆斜坡，在经历了一次日降水量为十年一遇的降雨后，仍未发生溢流或侵蚀现象。这就证实，相对保守的设计方法过高地估计了溢流和侵蚀的发生可能性（有意为之）。据预计，随时间发展，斜坡会受到一些侵蚀，但长期侵蚀率将会很低。

这一方法废除了使废矿石堆构建失败的旧方法，并以建立在一种普遍接受的科学程序之上的明晰的规划方法取而代之。



图为穆林穆林镍矿公司凹坡施工完工时的情况

3.5.2 复原过程

逐步复原

在矿区生存周期内逐步进行复原，可有助于减少复原工作的总负担，尤其是矿区关闭后，这时已经没有直接收入来弥补成本支出。同时，逐步复原还提供了检验、逐步创新和改进复原方法的可能性。也可进一步美化外观。

对于单个地形设计，植被覆盖可明显加固外斜坡，这是逐步复原带来的优越性。通过对同期建造的坡长较短的斜坡进行复原，可逐步建起较长稳固同时无侵蚀损害的斜坡。但是如果整个斜坡在同期建造并复原，则易受到侵蚀。

成功实施复原工作，可提高矿区经营者的信誉，使其赢得法定管理部门在评估复原保证金时对它的信任。

植被种类/种群/种子/胚芽

在全澳大利亚，在矿区复原中，采用本地原产的植物物种是常规做法。如果可行，依据规划在复原土地上建立的植被种类和种群往往与采矿开始前存在的种类和种群类似。

尽可能保留含有本地种子和胚芽的土壤以备日后复原之用是非常必要的。

空穴与改道

为地下开采而设置的通风口、或由于斜坡下沉塌陷而形成的表面空穴都需进行安全改造——通过设置护栏、封闭或填实等方法。

全部露天矿井也需进行安全改造。应考虑在矿井四周建造大型堤坝（以及在围墙可能倒塌区域外建造堤坝）或是护栏。法定管理部门可能会强行规定此项工作的最低标准。

在一些露天矿井区，矿区规划允许利用后来采矿活动中开采出的矿井资源填补相邻矿井。

在露天开采中（地面煤炭开采业中使用），使用新开采出的物质回填原先产生的空穴。

地表水改道的常规做法是只要时间和地点允许，在采矿结束时，把水道恢复到原位置。

实例研究：新南威尔士猎人谷的欧文山煤矿

欧文山矿区为一露天煤矿，位于新南威尔士的亨特谷。该矿属 Xstrata 欧文山 (XMO) 公司所有，由其子公司 Xstrata 煤矿公司全资所有。Thiess 有限公司根据其于 XMO 的合作协议对该矿进行经营，该矿的批准生产能力为年产 1000 万吨原煤，用于出口，经营至 2025 年 12 月。

欧文山的开采活动在西雷文斯沃思国家森林 (RSF) 的一个区域内进行。在当地和地区范围内，西雷文斯沃思国家森林被视为具有重要意义 的遗址，是亨特谷底中心最大的林地遗迹保留区之一。自 1995 年以来，在西雷文斯沃思国家森林或邻近地区一共发现 145 种鸟类、24 种非飞行动物、18 种蝙蝠、20 种爬行动物和 15 种两栖动物。1995 年，被列入新南威尔士《濒危物种保护法案》中的 19 种受到威胁的动物物种，被载入西雷文斯沃思国家森林或邻近地区的记录中，其中包括绿金铃蛙、飞鼠、斑尾鼬、和大量蛀虫和林栖鸟类。欧文山矿就面临一个独一无二的挑战，即如何尽可能消除采矿活动对当地植物和动物群落和影响，并将开采过的矿区复原为本地森林和林地种群。

认识到项目区内动植物群落的重要意义之后，欧文矿改革运作模式，尽可能消除采矿对当地动植物的影响，为项目区域的中长期生态价值提供实质性改进措施。

欧文山的动植物群管理计划与矿区复原、矿区缓冲区内相邻的本地植被种群结合在一起。这一计划以由顾问小组制定的综合动植物管理计划为指导，顾问小组由来自新南威尔士政府部门、亨特环境游说组织和欧文山矿区的代表组成。该计划的主要目的是为动植物群管理、欧文山矿区复原和植被恢复工作提供指导。顾问小组监督计划的实施。

欧文山动植物群落管理计划的主要内容有：

- 建立并管理生物多样性保护区，以此尽可能消除采矿影响
- 逐步复原受干扰地区，使之恢复为本地林地
- 采用动植物群管理的专业技术
- 动植物群综合监控计划
- 目前与纽卡斯尔大学可持续生态系统复原中心合作进行的本地森林恢复研究计划。

欧文山矿区采用了专门管理措施，这些措施将尽可能减少清场过程中对本地动物造成的影响，提供在指定复原和保护区内巩固本土植被再生的资源。这些措施包括：

- 分阶段进行清场，根据实际情况尽可能靠近矿区开采区。
- 定制清场时间表，尽可能避开相关受威胁动物物种的繁殖期。
- 在清场许可签发前进行动物群调查。
- 清场前确定栖息树，并做好标记。周围植被迁移之后、并经富于经验的动物学顾问检查确定有无本地动物出现之后，才可将确定的栖息树清除。
- 为了增加动物巢穴和日常栖息所的清理面积，可为目标物种设计鸟巢/栖息箱，放置在适于目标物种栖息的复原和保护区内的高地、表面和建筑上。
- 尽可能把大量地上残留物和直立的枯树收集起来，用在复原区和周边保护区的复原工程中。把任何残留物质都覆盖起来，留作复原之用。
- 为最大程度地利用现有本地的草、草药、灌木和树木的种子和繁殖，在清场前，把可继续存活的种子收集起来，用于欧文山的植被恢复计划中。
- 在植被移走之后，移去表层土，将其与覆盖起来用于日后复原和种植计划的植被混合在一起。
- 如有可能，森林表层土移去的时间进度应与露天矿井操作一致，以确保占用最少的处理和存储工作量。森林地表土中含有重要的本地植物种子和土壤微生物群，他们可帮助保存当地的遗传物质、重建与复原区内原植被相类似的物种规模和物种组合。
- 采用当地物种对受干扰区进行复原。
- 家养动物不得进入复原和保护区内。

欧文山矿区正通过现有的监控和研究计划，研制独特的复原技术。采矿区周围的有植被残留的地区可用作控制区，来与复原地区进行比较。通过监控所得的信息指导和不断改进矿区的复原工作。

对邻近缓冲区也在进行监控和研究，以辅助西雷文斯沃思国家森林和其他生物多样性保护区的复原工作。这些保护区毗邻复原区，可为当地植物和动物提供补充资源。

为减少欧文山矿区开采造成的地区性重要植被群的损失，所建议的最重要战略就是“生物多样性弥补战略”（BOS），以便正式保护林地群落。“生物多样性弥补战略”包括复原和草场修复及毗邻目前生长区的零散林地残余，这样可加强西雷文斯沃思国家森林及其周边的长期发展能力。与欧文山矿区现有的保护区及矿区周期复原计划相结合，“生物多样性弥补战略”将把本地林地面积扩大至开采前原林地面积的五倍。

欧文山的植物和动物管理计划为在复原区和矿区所属的毗邻缓冲区建立林地群落提供了保护。通过积极干预和恢复零散的林地残余及草场，与矿区复原区毗邻的保护区业正在日益扩大和巩固，以便提供相似的植被群落和动植物群进入恢复区的可能。短期目标是通过有效的管理手段，保护保护区内现有的动植物，与此同时，建立可提供长期自给自足系统的新保护区。长期目标提供足够规模的自给自足的动植物保护区，以保证必要的多样性，同时提供与更大范围的亨特谷整体环境相连接的通道。这一保护区可建立一个核心区，借助通道，该核心区与谷底和相邻麓坡上的其他残余植被相连。



在复原区和矿区周边缓冲区，对动植物群进行监控。

资料来源：斯特拉塔煤矿



4.0 运营

4.1 矿区经营期的磋商

在经营阶段，参与的重点是让社区和管理者参与恢复计划的制定和复核，参与的重点还在于培养本地社区在可能的情况下参与恢复工作的能力。特别是，诸如收集、储存种子、育苗和控制动植物物种侵入之类的活动既可成为社区的参与点又可成为本地经济的增长点。

许多澳大利亚植物物种很难繁育，保证幼芽萌发的方法各不相同。由当地小组和个人进行的小规模试验有助于探索一些顽固物种的萌发方法。

4.2 物质性能鉴定

矿区物质包括矿石、良性与活性废矿石、矿渣、覆盖料和土壤。如 3.3.1 节中所述，矿区物质的性能鉴定应该早在项目的勘测阶段就进行，并延续至运营阶段，以此作为长期矿区计划的基础。

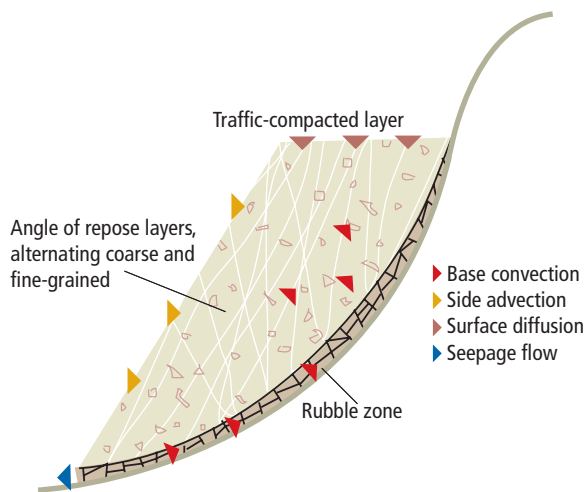
控制采矿和矿物加工对环境的影响以及成功完成矿区植被恢复这两个方面都取决于表层重建物质支持植物生长的能力，即其保水能力、矿物学和生物化学性能、微生物特性等。

4.3 物质处理

通常情况下地下水位以上的底层一直暴露于大气氧气中，已经被氧化；然而地下水位下面一层接触氧气的通道已被堵塞、易于在暴露于空气时被氧化。矿体周围矿化晕轮的地下水位以下常含有硫化物，在暴露于空气时，硫化物经氧化成为硫酸盐，从而导致 pH 值降低，并在 pH 值降低的情况下使金属分解。

常用卡车建造废矿石堆，采用围场堆放或远离顶部的后倾式堆放结构。后倾式堆放结构会形成一个“氧化反应堆”（图 1），其基础碎石区由散乱堆放在前坡面坡角的巨石构成，间隔堆放，粗粒与细粒废矿石休止角（与地平面约呈 37°）层交替堆放在碎石区。碎石基础区提供固定的氧气通道，氧气可在粗粒休止角层间流通，从这里扩散到细粒休止角层，这里提供了每单位量更大的反应表面积。

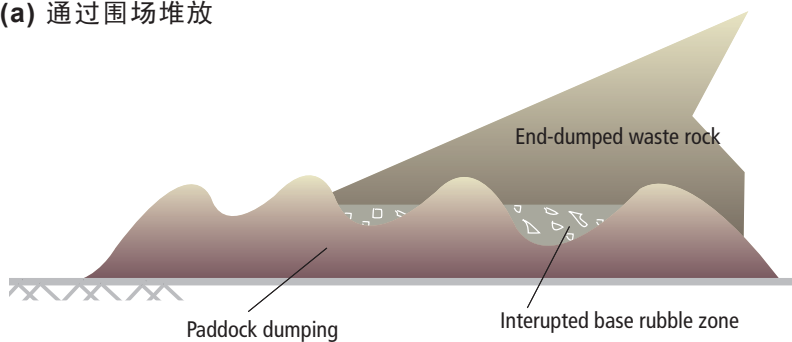
图 1：后倾式废矿石“氧化反应堆”



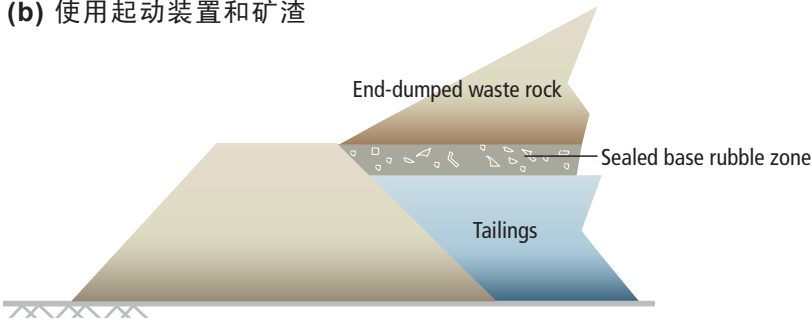
为限制氧气进入矿石堆内部，在后倾堆放矿渣之前，粗石基础区的底部可使用围场堆放结构进行阻断，或通过工程方案（分别如图 2(a)、(b)、(c)）进行隔断。

图 2：粗石基础区后倾式废矿石堆的隔断方法

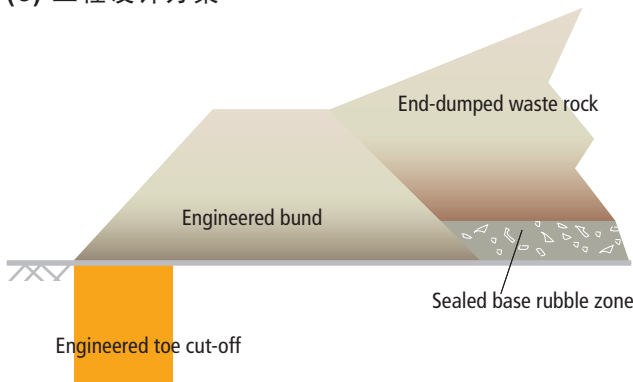
(a) 通过围场堆放



(b) 使用起动装置和矿渣



(c) 工程设计方案



露天开采矿井中（水位线以上较浅处）首先采到的良性已氧化物物质应当用来密封后开采出来的典型硫化物质（水位线以下较深处）。已氧化废矿石应当首先用来建造密封体的基础与侧面，以便封好易发生反应的废矿石。

图 3：用良性物质密封易发生反应的废矿石



要求掌握废矿石的确切特性与预计数量，这样可才保证为后来的易反应废矿石准备足量的密封用良性废矿石。与易反应废矿石有关的良性、已氧化废矿石的预算和次序安排可作为露天煤矿开发缩减工程开支系列计划的组成部分，而不要作为遮盖最终矿井痕迹的单项工程来进行。

同样地，从水位线以上部分开采出的氧化矿物会产生氧化、生成良性矿渣，而在水位线以下部分开采出的硫化矿物，则会产生可能生成酸的矿渣。如果的露

天矿井开发纳入缩减开支系列计划中，那么不可避免地把易反应废矿石覆盖在良性矿渣之上。必须特别注意的是，要保证有足够可用于覆盖易反应矿渣的良性物质。

废矿石堆和矿渣存放的设计和建造应当顾及最终地形设计，也就是应当尽可能接近自然地形、地表结构和植被格局。

更多矿渣管理方面的资料，请参见本系列的《矿渣管理》手册。

4.4 矿区的污水平衡

4.4.1 废矿石

使用中的废矿石堆可隔离来自自然地面的蒸发（在干旱和半干旱地区，蒸发量是降水量的数倍），同时允许雨水渗透 (Williams, 2006)。开始时，雨水可能主要是通过优先路径渗透的，但随着矿石堆湿度的加大，连续流将开始发挥主导作用。渗入雨水的一部分将流入矿石堆内空穴里的存储处，多余雨水会渗入矿石堆的深处，最终在坡脚渗出，进入矿石堆地基。

由于水力传导性较低，原本干燥的废矿石会把少量降雨的渗入水存储下来。相对干燥材料建造的高大废矿石堆可存储几年降雨的渗入水。超过废矿石孔隙的储水能力时，湿润界面会顺着矿石堆推进，在恰好低于完全饱和状态时（新鲜、粗粒废矿石的饱和度约为 25%，风化、良级废矿石的饱和度可至 60%），才会发生这一情况。随着废矿石孔隙饱和度的上升，其水力传导性和输送水的能力也会提高。废矿石堆未被覆盖的时间越长，就越湿润。矿石堆越低、降水量越多，则湿润情况就发生得越快。最后，矿石堆潮湿到一定程度，就会产生连续水流通道，使渗流“突破”坡脚而进入地基。

最初，透到地基的渗流受到地基内未饱和区极低的水力传导性的限制。在优先渗流通道的辅助下，湿润界面会向下推进，提高未饱和区的水力传导性，引起地下水位升高，渗流携带杂质进入地下水。

使运输工具夯实的顶部表面倾斜，可以避免形成积水同时增加溢水量，最终限制进入矿石堆内部的渗透量。应当用良性废矿石建造废矿石堆的松散外坡，但要有足够的厚度，以产生洁净的溢流和渗流。

矿石堆使用期间和被覆盖之前，存储其间的水分可持续渗透若干年 (Williams et al., 2006) ——也许未被覆盖之前会一直渗透——尽管堆顶部的覆盖层会使渗透到矿石堆内部的水量减少。已经表明，“存储/排水”覆盖系统可将渗透量减少到年平均降水量的百分之一。在降水总量高于常年时，限制渗透量甚至可

达百分之五。由于废石堆内部水分的渗出和水传导性的降低，一段时间之后，坡脚的渗水和进入地基的渗水量（携带杂质）将逐渐减少。渗漏最终会停止，剩余的湿气留在矿石堆内，存在吸水孔隙中。升高至矿石堆底部的地下水位一段时间后下降，最终恢复至初始高度。

对于矿石堆边坡，还没有开发出持续性地渗透的覆盖系统，尽管在热带地区，已经使用地质处理膜覆盖易反应废矿石堆；且在宾夕法尼亚煤田，易反应洗煤废物使用水力传导性较低、含有粉煤灰或水泥的材料进行覆盖。在强降雨或连续降雨其间，多数矿石堆的边坡还是易于渗透，因此，使用足够宽的良性废矿石建造边坡很重要，这样可保证溢流和渗流的洁净。

4.4.2 矿渣

使用中的表面矿渣存放处允许矿渣水和降水的渗透，浸湿地基和保护墙(Williams, 2006)。一般把矿渣作为料浆进行处理，需要对尾矿表面进行连续溢流处理。一些水分会被保存在矿渣中，而其余水分将会从澄清池和湿矿渣中蒸发，或者渗入地基透过保护墙流出。

通过尽可能放置干燥矿渣、及时除去表面水分等方法，可限制渗出量。

矿渣处理可在水槽之间循环进行，保持矿渣下面地基垫的非饱和状态，并保证地基不发生饱和溢流。

最初，通过地基内非饱和区的低水力传导性控制进入地基的溢流。在任何优先渗流通道的作用下，湿润界面会向下推进，不饱和区水力传导性将逐渐提高，最终引起地下水位升高。渗流携带杂质就会进入地下水。通常用废矿石砌成的外保护墙建筑材料应当为良性材料，同时具有足够的厚度，以遍产生洁净的渗流和溢流。

在存放设施使用期间，存储于矿渣中的水分将继续渗出，持续至关闭之后若干年。一段时间后，由于尾矿内部的水分流尽和水力传导性降低，进入地基的渗流（携带杂质）将逐渐减弱。如果降雨溢流未在局部矿渣表面汇集，而是分散在表面迅速蒸发，在干旱和半干旱气候条件下，渗透最终会停止，剩余湿气将留在矿渣内，存于吸水孔隙中。在干旱气候条件下矿渣存放处底部的地下水位将逐渐下降，一段时间之后，最终恢复至初始高度。

只要不是因为长期积水造成尾矿堆重新处于饱和状态，就没有必要使用覆盖措施限制渗流，因为当尾矿堆处于不饱和状态时，它的水力传导性相对较低尽管在降雨过后，短期内会定期出现反潮现象，尾矿内部的水分主要还是以蒸发形

式而散失，但是，出于植被恢复目的，建造覆盖层是有必要的。应避免矿渣围墙外坡的漫溢，以免发生侵蚀。

更多矿渣管理方面的资料，请参见本系列的《矿渣管理》手册。

4.5 地形重建

采矿过后的地形重建的目标是以低成本达到采矿后土地持续性使用的目的，同时做到环境影响风险控制和减少进行维护的需要。采矿后地形恢复应尽可能模仿自然地形而进行。

在许多重要方面，天然山坡与建造的废矿石堆斜坡都有所不同。通常，建造和改造整形过的采矿废石堆都为线形侧面，而天然山坡常为凹形，这样就容易在坡上存留侵蚀沉淀物，天然山坡还有不同的角度、长度和表面结构。岩石层、硬质冠岩和植被可保护天然山坡，使之免受侵蚀。采矿废物土方的复原工作应力求重建成与采矿前原地相同的地形，如在倾角、坡长、植被类型等方面。

相对于线性工程设计原则，应当优先使用沼生地貌矿区废料复原设计方案，后种方案曾在新墨西哥巴德兰地区的拉普拉塔和圣胡安煤矿的复原工程中得到使用（比何必拓公司 2001）。

4.6 覆盖层

在干燥气候条件下（如澳大利亚），矿渣存放堆平顶表面覆盖层的设计主要是为了限制降水渗入矿渣堆底部，从而限制采矿废物中污染物的渗入。如果废矿石堆具有不饱和性质，则尽管潮湿覆层设置了一重氧气侵入的障碍，但阻止氧气侵入采矿废物内部依然是相当困难的。

4.6.1 模拟天然状态

在澳大利亚干旱和半干旱地区，分布着诸多矿区，这里地下水位很低，水位上方透气性差、处于不饱和状态。河流多为季节性河流，下面是掩藏于沙子或砂砾河床的地下滞水河，地下滞水河本身处在不饱和区之下、地下水位之上。地下河流的河床由细泥沙完好“密封”，把极为有限的水输送到下面的不饱和区，保持自身的不饱和状态和低渗透性。若非这种情况，全部地表水都会很快渗入地下水中，地下水里有足量的孔隙存储水分。

采矿废物的覆盖层应参照季节性河流的功能，上部存储层的下面应当设置一个密封层，限制水分渗透到废物底部。这样就可确保废物堆保持不饱和状态以及较低的水力传导性。

4.6.2 覆盖系统的组成

覆盖系统的可能组成部分从表面起依次包括：

表层土这通常是一重要部分，要求具有较高储水能力和植物扎根所需足够深度（大于0.5米）。这一部分往往松散易碎，集中了生物活性物质，具有供应合理养分的能力。

防水槽如需防止根系扎入下部密封层，就要求空气进入量（小于其厚度）较少、储水能力较低。

密封层这是关键的一部分，要求具有较低水力传导性（每秒小于 10⁻⁸ 米）、较高的透气性（保持饱和状态）。

防水槽如果采矿废物含有盐分或可能生成酸性物，这一层可防止污染物上升进入密封层。

4.6.3 可用覆盖层材料

矿区往往地处偏远，可用的覆盖材料仅限于矿区底部的一些材料，包括：

- 含有可作生长介质物质的表层土或被氧化的废矿石
- 压实的（自复）粉质粘土、砂粘土、压实的粘质氧化废矿石、压实的良性细粒矿渣、用作密封层的压实或泥浆质矿渣/废石矿混合物
- 极细颗粒新鲜废矿石，或用于防水槽的极细颗粒毛岩石。

4.6.4 覆盖层类型

覆盖层由废渣填埋衬层技术发展而来，矿产业早期采用的堤坝型覆盖层，不像衬层型覆盖层，这一覆盖层用在“活动层”内（由潮湿气候条件下的数百毫米至干旱或冰冻/解冻气候条件下的几米）。早期建造的覆盖层可加速降水溢流，减少渗透，往往形成压实粘质土壤密封层，约为 0.5 米厚，位于 0.3 米厚的生长介质之下，这一密封层可适于草类生长，但不太适于多数陆生植被种类生长。堤坝覆盖层最适宜于终年潮湿的气候。在季节性气候条件下，利用覆盖层可能收效甚微，在半干旱和干旱气候条件下，则可能完全无效。在干旱气候下，植被恢复难以进行，密封层则可能开裂，根系穿透。此外，由于固结作用，软矿渣或特定种类废矿石之上的实密粘土密封层也会失效。尽管实密粘土层最初提供的水力传导性小于每秒 10⁻⁸ 米或小于每年 300 毫米，开裂会致使这一数字增加约 100 倍，从而使密封层失去作用。其他问题还包括侵蚀（分水岭上）和根系穿透（发生于较薄生长介质中）。优质密封材料和较厚生长介质是理想物质。

在季节性、干旱或半干旱气候条件下，最为有效、可持续的采矿废物覆盖层系统是存储/排放覆盖层（Williams et al., 2006, 图 4(a) 和 (b)），这一覆盖层仿照天然河床。存储/排放覆盖系统被设计为把雨季降水存储起来，同时不会泄出，因为这会使覆盖层受到侵蚀，干季时通过蒸发蒸腾作用把存储的水排放出去，这样年复一年，覆盖层既不会被完全浸透，也不会完全干透。

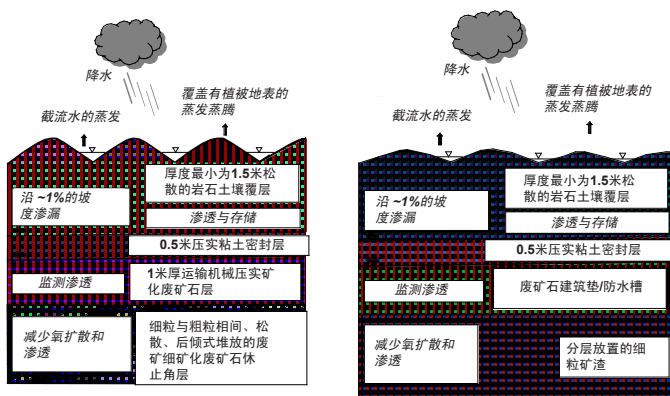
存储/排放覆盖层可阻止年平均降水量百分之一的水量渗透（Williams et al., 2006），有效地阻止了向采矿废物堆下部的浸透，阻止了渗流进入地基。

存储/排放覆盖层的主要特点是：

- 避免活性废料堆表面形成低洼区域，随之造成低洼区域积水透过覆盖层携带杂质渗出
- 在覆盖层底部设密封层，额定厚度为 0.5 米的压实粘土层（潮湿状态），在上层存储/排放覆盖层达到饱和时，密封层可防止渗流透过整个覆盖层
- 岩石类土壤层，由围场堆放法建成，最小厚度为1.5米（厚度取决于降水模式和材料的物理特性），通过蒸发蒸腾作用来存储和排放多余的降水。
- 使用低压推土机推平围场倾倒结构废石堆表面，去除可能的优先流通道，同时保留围石堆之间的低洼区域，以便分流表面水分
- 首先整理表层土、施肥、并播种本地原生灌木和树木，12 个月之后，再次施肥和播种草籽，以建立起可持续的多样化植被覆盖层，以协助排放水分，增强美化效果。

通常要求进行监督下的试验，以为特定矿区研发最适宜的覆盖系统，选择最适当的植被物种。存储/排放覆盖层为一个动态系统，很大程度上取决于植物覆盖层。

图 4：存储/排放覆盖体系



(a) 废矿石堆上

(b) 矿渣上

实例研究：昆士兰州基兹顿金矿的存储/排放覆盖系统

基兹顿金矿于 1985 年到 2001 年在昆士兰州进行经营。在此其间，该矿共从两个露天矿井中出产 350 万盎司黄金。

基兹顿的气候特点是：三个月雨季，九个月旱季。年平均降水量为 700 毫米，在 500 毫米到 1500 毫米之间变动，年平均总蒸发量约为 2800 毫米。如果在基兹顿的废矿石堆上使用降水溢流堤坝型覆盖层，那么漫长的干旱季节会造成覆盖层变干、植被死亡。接着的夏季暴雨就会造成侵蚀并使水流透过覆盖层。存储/排放覆盖系统不进行降水溢流，它在雨季存储降水，在漫长的旱季通过蒸发蒸腾作用排放水分。

依据图4中原理图，1996年在基兹顿23公顷大的南矿石堆进行了存储/排放覆盖系统试验。试验用覆盖层上安装了测渗计，用来监测渗透过覆盖层的水分，并安装了潮湿和吸收传感器，以监测覆盖层本身的潮湿状况。经过10年监测，渗透量小于年平均降水量的百分之一（这十年的降水常少于多年平均降雨量，年平均约为550毫米）。



建设岩石覆盖层



以草为主、生长两年的植被

在基兹顿，在全部废矿石堆上都建起了经改进的存储/排放覆盖层。用低压力推土机把围场结构的岩石类土壤覆盖层的顶部推平，除去矿石堆侧面的可能的优先渗流通道，以利于植被恢复（提供更均匀的表面结构），同时更加美观。此处，为保证树木和灌木覆层充分生长，应首先和肥料混合在一起播下树木和灌木种子。12 个月后，再加入草籽和更多肥料。



生长 12 个月的树木和灌木（无草）

生长 18 个月的树木和灌木以及生长 6 个月的草

生长三年的植被

4.7 废矿石堆的外坡

传统的废矿石堆和矿渣存放堆外坡的复垦方法可以使得最终斜坡在地质方面很稳定，但抗侵蚀的稳定性却不足。构建稳定最终斜坡的另一种替代方法，参照周围的自然状态，建造出具有高地质技术和侵蚀稳定性的可靠坡度，造型美观。

在许多重要方面，天然山坡与建造的废矿石堆外坡都有所不同：

- 通常，建造和改造的采矿废石堆为线形侧面，而天然山坡常为凹形
- 岩石、硬质冠岩和植被构成的覆盖层可长期保护天然斜坡
- 废矿石坡常由易受侵蚀的细粒土和包括正在发展的植被覆盖层覆盖，这种覆盖层防侵蚀能力较差。

4.7.1 防止外坡遭受侵蚀

季节性、干旱和半干旱气候条件不能支持足够的植被覆盖来控制侵蚀状况的发生，废矿石堆的外坡需另行采取防侵蚀保护措施。这些措施包括粗粒良性废矿石的表面覆层，有时可能还要混入一些细粒矿石，以增加保水能力，改善一些植被的生长条件。

应当建造较宽集水沟处理任何降水溢流，集水沟覆盖以岩石覆盖层；集中水流同时加剧侵蚀现象的等高排水方式应当避免。如果外坡休止角能够被有机融合凹形斜坡侧面的三维斜坡侧面掩盖，那么在斜坡上端可以修建能够控制斜坡建设成本的休止角最终斜坡。模仿天然斜坡的凹坡侧面可防止斜坡上面沉淀物的流失。通常要求进行监督下的试验，以为特定矿区开发最适宜的斜坡建设方案。

4.8 表层土的管理

根据所含的不同成份，表层土有许多重要作用，如供应种子和其他胚芽、供给有益微生物、供应养分、促进地表植被快速生长、改良采矿废物下部多种成份等。

与采矿废料相比，多数表层土壤对植物生长的负面影响要小的多，因此，建立植被层的较高成功率一般足以弥补处理表层土的额外成本。一般应把表层土保存起来，在风化层物质或尾矿不能提供预期的采矿后土地用途时，可在复原计划中使用表层土。

4.8.1 表层土处理

表层土处理计划规定了表层土的来源、收集深度、需使用设备的数量与操作方法、再次铺敷的深度和后续处理（如播种前翻松土壤、深掘等）。一些土壤的亚表层含有许多不良特性物质，如盐分和钠含量较高、过酸以及有关铝毒、或许多植物所需要的钙质。通常，最好把这一层分别剥除并替换（再次剥除），保证把含有养分、微生物和种子（有时含有）的土壤层放回至表层。

废料、废矿石或矿渣上放置的表层土的总深度应由下述要素决定的，比如：打算种植的植被、现有可用的表层土和下层土的数量与质量、下层物质的性质等。一般原则为构建的扎根区应有旱季满足拟种植物生长所需的水分。要做到这一点，可以通过增加所替换植物生长介质的深度的方法，或者采用可利用水保持能力较好的其他物质。

如果化学和物理学测试表明，下层物质对根系生长没有多大的负面影响，则 50 毫米厚的地表土层可为种子萌发创造适宜环境、允许水分渗透并可提供养分与微生物，从而有助于建立起植被。此外，在复原目标为恢复当地生态系统时，表层土是重要的种子来源。

在下层土壤物质的特性对根系生长不利的地方，内含不良物质的特性和不良程度将影响表层土壤的深度。在含盐或钠的废料上面敷一层 100 毫米至 200 毫米的表层土，常可成功地种植当地物种或改善草场的生长状况。但是，在植物根系不能扎根于废料层的地方，旱季缺水就会使植被寿命缩短。此外，如果下层材料的水力传导性较差，盐分就会向上漫延，进入复原表层土，复原表层土的有益功效将大大折扣。如果下层材料的水力传导性适中，则向上移动的盐分将减少。当出现硫化废矿石时，应将其深埋在矿石堆内，远离植物扎根层。

但剥离和再次铺敷表层土时应特别仔细。所用设备的性质和土壤含水量都会影响在这一过程中发生的土壤致密度和分解度。联合使用前端装料机、堵车和推土机对表层土进行移动、运输和铺敷，这是减轻致密度的最佳方法。对于很多表层土，在潮湿状态下，满载铲土机可将土壤密度提高到根系生长临界值之上。通过必要的土壤试验和研究，可对一些参量进行微调，如收集和再铺敷表层土的最佳深度，因为这一深度会随着种子和土壤类型不同而有所变化。

4.8.2 保存土壤肥料和生物群

如果目标是重新建立本地物种，在剥除更深处土壤之前，应先移去一薄层表层土壤。这是由于多数本地种子都集中在土壤层顶部 50 毫米的土壤层中。由于这些物种萌芽的最大深度介于 30 毫米至 100 毫米之间，剥除和再次铺敷厚于 100 毫米的表层土壤将会由于种子的分散而造成种子流失，从而大大减少种子萌发的机会。

在复原工作其间，处理表层土壤时关键要做到保留表层土壤种子库的植物多样性，同时在铺敷之后最大程度上做到植被恢复。具体要考虑的事项有：

- 在一年中土壤种子库最丰富的时候，收集表层土
- 如果采矿前焚烧植被会影响种子继续存活或发芽能力，则应考虑这一影响
- 如有可能，直接在准备复原的地面上重新铺敷表层土
- 如果可用表层土的数量有限，最好铺敷层较薄或成带状
- 任何土方工程，比如翻动表层土壤的关键部分以便降低由于侵蚀造成土壤流失的可能性——此时应特别注意不要让废料稀释表层土，要横向翻动而不是向下翻动
- 如遵循这几项，则最终表层土表面应为新翻土壤，适于直接播种。

经过认真处理的表层土还可供应有益的有机质，这些有机质一旦流失，将很难替代。表层土中还含有大量养分和微量元素，这些物质对植物生长极为重要，通常是等量的更深土壤层物质所无法提供的（特别是未风化物质中）。

最好不要将表层土堆放起来。但是，这常不可能做到，因为采矿常需把表层土储存在邻近采矿操作带的地方。建造储存堆应当尽量不对种子、养分和土壤生物群造成负面影响；避免在降水后饱和状态（这会造成堆肥化）中收集表层土以及建造较低的储存堆（一至三米）等方法。应尽量缩短表层土的储存期间，

因为时间长于6至12个月就会引起种子和微生物的结构退化和死亡，尤其在土壤潮湿湿度大的情况下。表层土和底层材料应分别储存。在储存堆上播种草类/豆类混合物或本地氮固定物种，可帮助控制侵蚀，并可减少有益土壤微生物的损失。

4.8.3 表层土处理

对于可能分散或产生酸的土壤，可进行一些改良，如使用石膏或石灰。有时，有必要与微生物进行嫁接，如氮素固定物质和菌根真菌。为促进根系穿透致密的废料层，并减少种子的损失，一般要求沿等高线进行纵挖。

同时，在多数情况下要进行施肥，以便重建植被移走和采矿期间损失的养分存贮。在具体土壤性能研究和复原目标的基础上，认真筹划施用普通营养素和微量营养素的种类和方法，这一点很重要。无机肥最为常用，但是，诸如污水污泥或植被覆盖层类的有机肥也是费用低廉的可选肥料，但要注意不要引入杂草和高浓度金属。有关负面影响植物生长的化学因素（如缺乏养分和有毒）的说明详见 Bell 的著作 (2002)。

实例研究：美铝世界澳大利亚铝业公司

如果表层土中含有可存活的本地种子源，应将其保存起来留作采矿后再次利用。这不仅提供了便宜的植物源，而且有助于保证恢复植被中植物品种丰富，反映出采矿前的植被状况；同时也促进那些种子难以获得或培育的植物植被的恢复。



剥离表层土

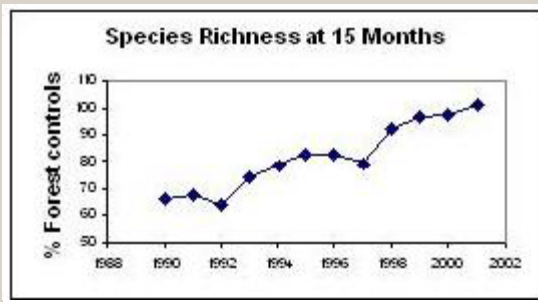


再次铺敷的表层土

美铝世界澳大利亚铝业公司在澳大利亚西南部桉树林实施的矾土矿复原计划就是一个很好的范例，它向我们表明了保存的土壤种子库怎样有效地促

进了采矿后植物群落的多样性。在清除植被后，采矿开始前，含有绝大部分土壤种子库和养分的150毫米上层土壤被剥离开，然后直接放回拟进行复原的矿井中。研究表明，复原区上绝大多数本地植物物种（72%）都源自保存在表层土里的种子。将刚剥离的表土直接放到待复垦处与将表层土堆存的试验证明了前者的重要性。实验表明，直接退还表层土所带来的干扰可使采矿前森林树种存储库中所含种子损失近50%，与此相反，贮存方法所致的种子损失则高达80%到90%。在其他方面也很重要，如再次铺敷的深度、处理土壤的季节和播种时机等。如果埋得太深，则种子无法存活，在旱季时移走土壤，则种子会保持得更完好。同时，当种子播种于新翻土壤表面时，由种子生出植物的根更为强壮。退还新鲜表层土、播种和种植“顽固”植物等方法结合使用，使得植被生长15个月在物种数量上与未开采林中同样大小地块上植被的物种数量不相上下。

更多详情，请参见 www.alcoa.com.au。



复原两年的矾土矿

4.9 建立植被群落

植被确定所采用技术的目标在于完成植被恢复的远期目标，达到由利益相关人协助制定的、作为矿区关闭计划组成部分的标准。目标确定为使土地具备议定的特定用途，如种植本地较常见的植物/保护物种、保护水质、放牧、木材生产、娱乐等。总的目标是要协调、多元化地利用土地。

4.9.1 植被对侵蚀的影响

通常，人们希望在斜坡地区建立起植被以便减少溢流和沉积层的剥离，从而达到降低侵蚀的目的。但是，植被达到预期目标的程度，则取决于由多重因素的作用，包括气候、植被类型和土壤性能等。

植被可以通过采取相应措施增加渗透量，这些措施其中包括：减轻雨点下落对地表影响的措施（影响表面密封结构）、减少土壤水含量、改善土壤结构和结构稳定性、在土壤中形成稳定的大孔隙。（Loch 和 Orange, 1997; Loch, 2000a, 2000b）。随着树冠（土壤表面之上）增高、保护效果的减弱，表面保护与接触覆盖层（与土壤表面接触的覆盖层）的关系就会越来越紧密。土壤结构变化和稳定大孔隙的形成，受重新放回土壤中有机物含量比率和根系活性的影响。

一些植被群落——通常为那些以草类为主的群落——会产生优质接触覆盖层。相较而言，树木或灌木为主的植被群落所具有的接触覆盖层等级则会差得多，在刚种植时，特别易受侵蚀。

规划复原时，重要的是确定植被是否为侵蚀控制的主要因素，若是，就要确定植被的哪些方面以及在复原过程的哪个阶段对斜坡的稳定性最为重要。如果复原是靠植被来控制侵蚀，则常会出现应尽快消除的“风险苗头”（Carroll et al, 2000）。这种情况下，能快速生长为初级覆盖层的一些物种（如草类）非常重要，对于受到诸如火灾类干扰之后的矿区稳定也有重要作用。长势茂盛的草类会妨碍树木生长，但林业机构可通过结合使用根除型除草剂和萌发前除草剂，通常可控制其长势。还可以选择通过影响草类或树木生长的材料放置位置，来达到预期双方的平衡状态。

通常，平衡的生态系统会包括可提供大量生态系统服务的全部必要物种。树木和灌木是多数本地生态系统的重要组成部分，但其对控制侵蚀的作用——尤其在复原过程的一些阶段——则极为微不足道。

4.9.2 控制杂草

杂草会与本地植物竞争。如果采矿前调查确定存在问题杂草，则必须制定杂草控制计划。这可通过大面积施用或定点喷洒方法施用“根除”型和/或萌发前除草剂予以解决。

如果杂草有可能发展为问题，则有必要制定杂草或植物管理计划。州或地区政府的农业部门可提供杂草控制的有关信息。

4.9.3 功能型生态系统的定义

通俗地说，人们认为“功能型”生态系统为：

- 稳定（低侵蚀率）
- 有效保水和保持养分的功能
- 自给自足。

应慎用这一定义。有时，杂草大量滋生的地区也会达到上述标准。

通常，为矿区复原设定的目标应明确规定需要的生态系统类型，以及希望它具有的一些生态服务。例如，服务需求中就可能包括出色的防侵蚀保护、或为一些特种鸟类或动物提供食物/蔽护所。对于不同于周围环境生态体系的系统来说，这些服务需求的条件可能是不同的。

重要问题是所需的生态系统服务应是可行合理的。要特别注意避免把生态系统服务的要求界定得过窄，因为这样可能会使目标植物群落出现功能障碍。应避免过分强调“神化”物种，因为这些物种对于生态系统的作用也许并不如其他更多的不起眼物种。

如果复原目标规定了某一特定植物群落，则上述三个标准提供了判定目标群落是否可持续（长期作用）的基础。但是，植物群落常随时间和空间发生变化，对其功能的评估需考虑到这些变化。

4.9.4 建立植被

建立多样的植被群落，需要结合多种方法。这些方法包括利用直接返还表层土、播种、水力播种、植树、组织培养、移植及改变栖息地、天然的再构新物种生长地。尽管在复原过程中，有必要通过反复实验对这些方法进一步细化，但在复原计划中应先行制定选用的方法组合。

有必要把复原工作划分为几个阶段。如，为了控制侵蚀，就需要种植草类植物，而填充种植树苗则可迟些进行。但是，草类会与本地植物竞争，尤其是直接播种的植物。如果此种草类植物不是最终土地用途的组成部分时，可种植不繁育草类。需仔细确定所采用的是最佳方法组合，确保达到复原目标。

播种

澳大利亚采矿业广泛采用播种方式，以建立本地植被群落和牧场。这通常是大面积种植各类植物、成本最为低廉的方法；但是，如果未认真规划与执行，或播种后出现预料外的天气条件，则在一定程度上会受到影响，达不到目的。诸多重要方面应予以考虑，提高成功播种率。

种子供给可收集或购买种子，过程中各阶段的质量控制很重要。在种子实际使用之前至少一至两年，制定本地种子收集计划，这样就可确定需用数量和种子来源。如有可能，应在本地采集种子，因为本地种子最为适应当地条件，保持了种源地的基因完整性。收集之后，清洁、贮存种子，贮存条件使种子最大程度地保持长期生存能力、并尽可能减少害虫和菌类的侵害。

种子处理播种前，许多物种的种子都需进行处理，以利萌发。处理的方法包括热处理、种子破皮处理、烟薰或烟水浸泡。有关方法信息来源包括种子供应商、研究人员和重要参考文献（如植被数据，2001）等。

在降水无法预计的地区，不处理全部种子也许更为稳妥一些，这样就可以保留一些有生存能力的种子以备来年之需。其他种子可能需接种根瘤菌或施用石灰。

生态系统连续性如果目标是建立一个多样、可持续的本地生态系统，则必须考虑到生态系统连续性方面。混合种子库中应包括易在受干扰区生长的先锋物种，但是，如果经验表明可行，那么应在早期确立后续阶段的物种特点。随着早期繁育物种死亡，长龄物种或较晚繁育的物种所占比例渐大，物种的数量对比将发生变化，通过淘汰其他物种，早期繁育物种的高播种率会降低整体多样性。

播种率确定播种率所需信息往往不易取得，因此需进行温室测试和田间试验。种子的存活与萌发能力测试，可协助确定为了满足目标种植密度，应当达到什么样的播种率，但同时也要考虑幼苗死亡率。死亡率可能会很高，这要取决于播种后的降水条件。防侵蚀方面要求高的地区，地面覆盖物种有必种植播种率较高的植物物种，比如，草类植物。

播种可用劳动力与设备在一定程度上决定了具体的播种方法。这其中包括手工播种、直升机播种、农用播种机或用来翻土的推土机（这可保证把种子播撒于新翻土壤表面，而不是已形成硬壳的表面）。保证每一物种按选定的播种率进行播种很重要。有些机械方法不宜用来播种某些种类种子。

播种时机播种时机很重要，并根据当地气候条件而有所不同。通常，播种的最佳时机为是降雨前，但在澳大利亚多数地区，很难预报降水。美铝公司（Ward et al., 1996）最近的研究证明即使预计近几个月没有降水在新铺的表层土上进行播种依然是很重要。

播种植被一些植物群落中，如欧石楠丛生地，许多植物物种不容易释放种子。通过从采矿清场区收集这些物种，直接返还到新复原区，可重新把这些物种引进复原区，释放出种子，提供防侵蚀保护。

考虑到播种许多方面带来的不稳定性，对复原工作进行监控是必要的。监督可提供必要的信息，以不断促进多样化植物群落的生长。

水力播种

虽然水力播种的费用高于传统播种法，但是陡坡、斜坡和矿井壁处播种有时还是采用水力播种。一般由商业承包人进行，操作过程采用可泵出种子、覆盖层（如纸质覆盖层）、接合剂和水的混合液的水力播种机械。成功进行水力播种要求选择适当的物种和播种率、最佳混合与施用比例。

种植秧苗

手工种植秧苗比直接播种既有优点亦有缺点。优点是减少种子浪费、种植密度更精确、成活率高（有时，并非总如此）以及在杂草竞争激烈区秧苗存活率更高。由于生长快速很重要（如在森林化是长期复原目标之一时），种植秧苗比直接播种更为适宜。

这一方法的缺点就是育苗（或从育苗商处购秧苗）带来的高成本，同时手工种植也需要支出劳动力成本。很多公司根据所种植的物种，结合使用播种与种植两种方法。

当地植物的种源、种植时秧苗的生长时间和大小、现场准备、种植方法、与气候有关的种植时机等，都是使用秧苗进行成功复原的重要因素。有效的现场准备一非常重要的，包括进行杂草控制。

要考虑的事项有：

- 使用种植工具还是机械
- 植物可利用水（如把秧苗植于挖掘沟底部，稀有的雨水从这里流过）
- 通过物理浇水方式为植物提供水源，还是建立滴灌网系统（受过高成本和时常缺水限制，大型复原项目中极少进行浇水；但是，在不浇水植物就无法生长的小面积区域，浇水方法仍可发挥作用。）
- 在易发生水涝的地方，秧苗植于高处
- 使植物免受杂草侵害，如定点喷洒除草剂或利用防草垫
- 提供适当数量与种类的肥料
- 防止家畜、野生食草动物和本地哺乳动物的破坏
- 接种共生菌类。

利用可增加植物多样性的种植方法，为社区组织参与提供了大好时机，如学校、当地土著居民或资源保护小组等。但是，这一方法也带来两个问题——参与人员的安全及其工作质量。在允许非采矿人员进入矿区之前，必须确定与解决与秧苗运输、行走于不平坦地面、高温、光照有关的风险以及其他危险。应谨慎处理这些问题，以保证该项工作达到矿区质量标准。

实例研究：北领地格鲁特埃兰茨锰矿

许多位于格鲁特埃兰茨西海岸平面的租赁矿区中，格鲁特埃兰茨矿业公司 (GEMCO) 是一家锰矿矿业公司。该岛面积为 2260 平方公里，全部归 Anindilyakwa 土著居民所有。矿区处地区对植物物种了解极为有限，成功



复原难度较大。因此，公司求助世袭权利所有人参与土地复原工作。1997年，格鲁特埃兰茨矿业公司为 Anidilyakwan 民制定了一项就业与培训计划。

《格鲁特埃兰茨矿业公司土著就业计划》由28个当地居民进行矿区的大部分复原工作，包括种子收集的全部工作。这一工作机会赋予这些人在该公司、或其他大型采矿公司，或当地社区

从事更有意义职业所需要的技能。

露天矿井的复原从重塑地形开始，接着进行二次剥离、返还下层土和新鲜的表层土地、挖至 1.4 米深，进行松土。植被建立包括利用种子和设计好的种植程序，以与邻近同类森林相近的密度，恢复大多数植物物种。矿区位于一个岛屿之上，这样利用当地搜集来的种子进行全部复原工作就很重要，因为这些种源地种子繁育的植物更适应当地条件。

从租赁矿区搜集了约 25 种当地树种与灌木，以便在雨季植物期间进行了



直接播种或秧苗栽种。根据事先研究与相关地点，算出每季所需种子的数量，格鲁特埃兰茨矿业公司依靠其土著员工的当地知识来确定种子搜集地点和了解在特定区域采集种子的最佳时机。

这些员工现在正把这些信息输入 GIS，保证将来可以利用这些知识。在一年中的大部时间里，人们利用长柄采集工具、手工或通

过高处的工作平台从较高树木上采集种子。清洁所有种子，除去空壳、杂物、瓢或妨碍种子萌发的其他不需要杂质。

清洁并晾干种子后，把采集地点、重量和日期数据记录下来，用二氧化碳对种子进行处理，防止虫害，然后真空密封起来。新采摘的种子要放进空调储存室中，保持其长期存活能力。对所有这些活动都进行了培训，保证以有效、专业的方式来进行。经过清洁的种子质量与任何市场上供应的种子别无二致，体现了土著员工们对自己所从事工作非常自豪。

格鲁特埃兰茨矿业公司的复垦部门也负责所有直接播种、部分土方准备、复原期内的秧苗种植、还有区内所有杂草控制等工作。该部门的几位员工已经投身到主要采矿活动中，现正从事表层土处理工作。

作为土地的传统所有人，见到自己的土地在自己努力下，恢复为原有面貌，这是他们最感兴趣和最为自豪的事情。

对当地植物和北澳大利亚影响种子采集的季节变化，员工具有传统的认识，正是利用了这一方面，格鲁特埃兰茨矿业公司才能够达到每年的种子需求量，也才能够理解从事森林复原工作的人们在自己的工作中发现了更多意义，而不仅仅是别无二制的另一份工作。

在过去五年中，格鲁特埃兰茨矿业公司的复原部门在复原工作中取得了卓越的成绩，因其复原工作最优方法，荣获了几个大奖，赢得了人们的认同。格鲁特埃兰茨矿业公司保留了越来越多的当地土著员工，这极大地促进了当地世袭权利所有人和公司之间的沟通，这是保持良好关系的重要因素。

资料来源：格鲁特埃兰茨矿业公司

种植顽固物种

以建立多样化植物群落为目标的矿业公司往往发现，一些植物物种很难或不可能由种子进行繁育，而且即使在新鲜表层土中萌发也很困难。为了达到复原目标，如果种植这些物种极为重要，就有必要使用组织培养、插条法或其他方法。

使用插条法相对更为简便、费用低廉，对一些物种是可行的方法（如在雨林环境下）。相反，组织培养需要昂贵的实验室设备，常仅适合于高优先级物种——如那些稀有或在实践中具有关键作用的物种——或者在未开采参照区优先种植所有物种的情况下。

2003年，美铝公司澳大利亚铝业公司采用组织培养和插条方法种植顽固性植物。公司用这些方法种植了 23 种、184000 株植物，地上每株植物的平均成本约为 2.80 美元。

移植

移植整株植物或树丛是在某些环境下种植特定物种的有效方法。例如，联合金红石有限公司公司在澳大利亚昆士兰州北岛其矿砂矿区复原区，利用这一方法种植了禾木 (*Xanthorrhoea johnsonii*)。禾木为采矿前生态系统中一重要组成部分，是珍贵动物的栖息地。尽管种子混合库中包括了这一植物，但其生长缓慢，需用数十年方可成熟。通过使用挖掘机和卡车移植整株，公司解决了这一问题，成活率达 90%。

同时，对于种植湿地灯心草和莎草，移植也是费用低廉的方法。从这些物种本身取得种子是很难的，另外时有波动的水平面使秧苗种植的成功率极低。沿吃水线间隔进行整株移植不失为更为可靠的方法，可快速建立边缘植物植被。

转移栖息地

尽管转移栖息地是费用较高且仅用于特定情况下，但在其他办法无效时，这仍是建立植物多样性的另一种选择。这一方法包括收集和转移整块丛生植物，可采用的方法如前端装载机。在优先种植某些特殊顽固物种或者物种组合植被的地方，这一方法证明是行之有效的。

自然繁育

经过一段时间，通过风力、流水或动物（如鸟粪中的种子）带到矿区的种子，自然繁育可建立许多当地植物物种。矿业公司需了解哪些物种会很快再次繁育

到适当数量，而哪些需要更长时间。购买和播种在可接受时间内可自然繁育的种子就没有什么意义。但是，如果自然繁育需很长时间，就需要播种或种植一些重要物种，从而达到复原目标和利益相关人的期望。采矿期间，保护与矿区相邻的当地植被群落很重要，以便确保种子源，从而促进自然繁育。

4.10 建立动物群落

在复原目标为建立可持续的当地生态系统的地方，应当把动物栖息地要求纳入考虑范畴。提供适宜的栖息地，可促进复原区内动物物种的重新繁殖。建立与采矿前相类似的植物群落过程中，应当保证多数物种可很快进行重新繁殖。通常，动物自然繁殖是实际重新引进动物的更好办法，因为这无需成本，当栖息地达到要求时，动物会自动返回。

4.10.1 控制问题动物

动物也会对进行复原制造一些严重问题。在复原期和可能更长的时间内，利用护栏阻挡牧畜。当地动物（如袋鼠和小袋鼠）的放牧，也会成为问题，需使用防护林带（保护幼苗的林带）或其他对野生动物本身无害的方法。引进的食草动物（如野兔和山羊）可能会给新种植物带来灭顶之灾。

野生食肉动物（如狐狸和猫科动物）会给功能型生态系统的建立带来另外一个问题。这些动物会使当地动物大量减少，从而减少复原物种源的数量。

要解决这些问题，需制定一个动物管理计划。州和地区政府的农业部门可提供控制野生动物的有关信息。

4.10.2 建造动物栖息地

经验表明，在复原过程中可能多年都难以达到一些重要动物物种“栖息地”的要求。一些矿业公司解决栖息地不足的实际做法有：

- 移植禾苗
- 保留植被、对植被进行切片或重新铺敷作为覆盖层，利用树枝为小型无脊椎和爬行动物提供蔽护所、防侵蚀、提供营养
- 建造栖息箱，为众多的鸟类和哺乳动物提供庇护所和繁殖场所。
- 返还清除的木材，建造原木和原木堆式庇护所，使地面栖息类物种栖息在里面或下面

- 限制使用地表巨石，为爬行动物建造栖息地
- 为猛禽和其他鸟类（传播种子的鸟类）建造栖息处
- 栽种一些可提供空洞、裂缝、表皮剥落的旧枯树木（无法繁育），为诸多小型爬行动物和无脊椎动物提供庇护所。

澳大利亚矿业环境研究中心 (ACMER) 题为《建立采矿后动物栖息地的创新技术》的项目，为矿业公司正在采用的建立这类和其他动物栖息地的方法提供了实用性建议。(www.acmer.com.au)

4.11 非开采区的植被恢复

复原目标应建立在整个租赁区的基础上，兼顾社区和其他利益相关人的意见、地区性土地利用规划、流域管理规划、土地养护集团计划和其他建议。许多矿区都毗邻退化的河道、植被贫瘠或过度放牧的土地以及孤立于其他残余灌木丛地的退化灌木。

把对未开采区的复原纳入矿区复原计划可建立起有价值的群落链，有效增强整个环境管理的成效。有些矿区建立起生物多样性补偿系统。这一系统为把矿区复原计划与地区性保护规划战略结合为一体提供了绝佳机会。对退化区域（林地、湿地）进行保护与复原、建立连通剩余植被的通道、为促进水生生物多样性在河边地带恢复植被，这些都是实施生物多样性的典型做法，可提高当地保护的价值。其他复原目标可能集中于尽可能减少采矿经营造成的次要影响，如控制侵蚀，侵蚀会造成下游沉积负荷加重，影响水质和水生生物群。

除了常规复原技术，复原退化区需包括：

- 减少放牧
- 控制野生动物
- 火灾管理
- 根除杂草
- 设置栖息箱
- 用于保护水质、提高保护价值、长期提供植物和动物补充源等的其他技术。

当地的保护集团和土地养护集团是极好的信息源，他们可就设计费用最为低廉的方案提供有益的信息。

4.12 建立牧场和商业林场

尽管建立本地生态系统现在成为澳大利亚许多矿区恢复的目标，但是普遍作法仍是建设适于放牧的牧场，尤其在新南威尔士州和昆士兰州的煤矿业中。**Hannan (1995)** 及 **Hannan 与 Bell (1993)** 的著述中总结了成功运用多年的技术。这些技术中包括确定肥料需求比例的土壤测试，以及必要时进行的土壤改良（如添加石灰）。建立牧场通常采用标准的农业播种设备。近期研究的重点是确定长期管理方针（放牧密度、施肥要求），以保证拟定土地用途具有可持续性 (**Grigg et. al., 2002**)。


有些矿区选择将木材生产作为采矿后土地的主要用途之一。有关草场与林场方面的技术信息可方便地从相关州和地区的政府部门、顾问和私营林业组织处取得。

草场与林场成功建设的要素包括物种选择、场地处理（包括深挖、杂草控制、施肥）、种植间距、建成后的维护、监控、森林作业、收获、木材加工和销售。位于新南威尔士亨特谷的瑞克斯克里克煤矿，实施了一项商业林场运作模式，其余矿区也欲仿效。

4.13 监控与维护

监控与维护是复原计划取得成功的基本要素。在进行复原过程中，应认真记载复原运作的详细资料。记录这些资料有两个用途：这些资料将成为以后分析工作的基础，这些分析工作在帮助解释初期建立成果和未来发展趋势方面起着关键作用。这些资料还可用作审核信息参照来源，以向管理部门和利益相关人证明已完成了议定义务。

在复原工作完成时，要进行监控，以对早期复原成果进行评估，了解是否需进行补救，判定复原是否达到了长期目标和矿区关闭标准（尽可能在早期进行）。



5.0 关闭

在项目开发早期进行复原规划，参照整个矿区关闭计划目标制定复原计划。采矿期间，研究和现场试验可对计划进行修订，使其能够反映出矿区的具体参量。关闭阶段，构建最终地形，逐步复原计划扩展到其余受扰动地区。关闭后复原计划最重要的要素是完善成功标准，并制定长期监控计划。监控的目的是要证明已复原地区正在建立稳定、可持续的并且符合既定完成标准的生态系统。

5.1 矿区关闭期间的磋商

在矿区关闭前夕，需用关闭标准来衡量复原是否成功。在设立这些标准和选择评估实施情况监控办法方面，管理部门和当地社区都可起到重要作用。如果关闭后矿区各部分要由当地社区来使用，这一点就更为重要。

当地社区还可在长期监控复原方面发挥重要作用。重建一些生态系统可能会历时数十年，对潜在问题进行早期预警，就可避免耗资巨大的维护工作。

5.2 制定成功复原标准

矿产业、管理部门和社区已经达成广泛共识，需要一定的标准来确定复原何时成功或结束。复原成功标准需以生态原则为基础。总的说来，以范围局限的植被指标或单一的化学参量为基础建立的成功标准是不完整的。而将景观特点和更加专门的生态系统的指标结合起来作为评判标准看来是必要的。通过利用土地调查数据和通过遥感图像制成的地图，必须直接把这些标准贯彻到具有可操作性的监控计划中去。这一问题的更多内容可见本系列的《矿区关闭与完成》手册。

5.3 制定复原监控计划

矿产业已经支持进行了多项研究项目，这些项目提供了一系列有价值的技术，用来评估矿区稳定性与持续性、复垦土地上的植被和生态系统的动态与功能。经证实，多个新的创新方法在评估侵蚀和生态系统发展方面发挥着作用。从景观范围内的大量生态学指标到确定物种数量和生理反应的各种方法都被应用于生态系统发展中。因为生态系统的参量在不同程度上得到了有效地研究，因此

综合利用各项指标将是人们更加常用的方法。

本节叙述了设计与实施复原监控计划的后续步骤。这些步骤应在规划阶段早期制定，并在矿区运营的各个阶段逐步实施，但此节是为了进一步强调和补充。

5.3.1 设定复原目标

这一起步阶段最好在重要利益相关人的协助下进行，就复原的成功标准进行讨论并达成一致意见。成功的标准必须考虑到复原区性质、采矿后土地的用途以及达到拟定用途所受的限制或潜在限制。如本手册以上部分所述，这些限制可包括重构地形和底层的化学、地质化学、物理、生物学或水文学等方面的特性。

矿区内不同的域或部分，会有不同的成功标准，如废矿石堆、矿渣存放处、空穴、河道与支流、以及基础设施区。

如果复原区被恢复为可持续的、含本地物种的当地生物群落，则在周围环境中就应有适当的群落，可作为参照区或“示范区”（见5.3.2节）。但是，由于采矿过程和新境观的性质、以及重构的生长环境已经确定，矿区的选择余地就很小了。在比较重建生物群落与相应参照区时，了解生长介质、植物、气候之间的互动关系很重要。对于澳大利亚的很多地区，植被很大程度地反映了湿度和可用养分的变化，对其他变量的反应则略差，如海拔高度或太阳辐射。因此，应优先对大量要素的组合与互动情况进行调研，如景观位置（连续区或分开区域）、斜坡、土壤（或扎根区）的深度与结构、地表性质和土壤的化学特性等。

如果正考虑把低密度放牧作为采矿后土地用途的一种选择，那么需进行风险评估，以确定关键的成功标准。例如，需进行定制目标的研究/试验，解决可持续放牧能力问题或潜在的金属污染问题。

5.3.2 示范区的作用

为采矿区域地形进行复原规划需要详细了解未扰动状况。为了提供关于物种构成的有关信息，需要建立基线生态清册，同时，清册最好考虑到植被发展的连续阶段。生态系统表现了自然变化情况，由于自然环境的多样性，每处的生态系统也会不同。因此，单一参照系统往往不能提供足够信息。应采用多个参照区，以解决斑块动态和地区异质性。确定基准需确认和说明初步复原区和成熟

生态参照区之间在不同发展阶段所存在的差异。

重要的是不能选择示范区将其列为复原参照目标。这是因为已复原群落面临着水文和养分方面的巨大变化，其环境与具有同类物种的周围环境迥然不同。示范区就是生态系统的最佳状态想法强化了示范区的作用。考虑到人类放牧、火灾和其他矿前活动等方面，这在很多情况下是不成立的。

虽然对照标准会存在明显缺陷，但是在未开采系统设立一些基准区域或参照区还是很有价值的，因为这样就可对影响复原进展的气候和季节变化方面的影响做出判断。除去物种组成的不同外，参照区还会提供区内覆盖层等级和类型方面的指导，进而说明该类覆盖层对溢流水数量与质量的影响。

对从自然大景观到微观景观的各种环境的观察结果表明，水是造成植物群落空间分布的重要因素。观察还表明，水在景观区的流动会影响养分的积聚与可用性。这一原理为了解重建区的潜力奠定了基础，同时为选择可行的（和预防的）参照或示范群落提供了支持。

5.3.3 选择监测参数

对什么参量、以怎样的频率来进行监控要取决于参数所提供的是哪种信息、参量反应的灵敏度如何、参数与已知生态系统过程和可预测性之间的相关性、测量参量的简便程度（及成本）、以及可重复性或客观性。可选择的监控参量很多，但必须包括那些已知的、或预期可对成功复原矿区的稳定性和植被的建立、发展与可持续性起到最佳限制作用的参量。

通常，对复原的监控包括：

- 对地表（及斜坡）稳定性的评估
- 已建覆盖层的表现（建于矿区废料或矿物加工废料之上的覆层）
- 土壤或根区介质的特性（如化学性能、肥力和水分）
- 植物群落的结构特性（如覆盖层、林木物种的密度与高度）
- 植物群落的组成（如期望出现的物种、杂草）
- 选定生态系统功能指标（如土壤单位面积的微生物数量）。

监控还可扩展到对选定的动物种群进行调查，以评估其恢复情况（包括哺乳动

物和鸟类)，或扩展到作为更大范围内生态系统发展趋势的生物指标。

支持制定特定地区标准的典型可测量参量包括：

一类参数

- 侵蚀
- 土壤有机碳
- 地面覆盖层（生物、枯枝落叶层、岩石）
- 植被物种数量

二类参数

- 土壤微生物群
- 叶中的氮和磷
- 出现杂草
- 小共生体活动
- 动物（无脊椎）的活动。

在上述监控范围内，按主要与次要的顺序进行了区别。在这一特例中，首要次序的参量属强制性和判定性，而次要参量则更具说明性和咨询性。在首要参量的测量结果表明未达到成功标准或可能达不到成功标准时，有必要使用次要参量。扩展监控程序经过一段时间后，次要参量的测量频率可低于主要参量的测量频率。

即使一些植物和土壤特性不受季节的影响，还是有必要对收集其他特性数据的时机做到标准化。例如，在澳大利亚的北部地区，建议在雨季末期进行集中调研，以使调研和最佳植物生长期和其他有关生物活动同步。

有许多方法可用来测量侵蚀：

- 在溢流中寻找和测量受侵蚀沉积物
- 从溢流中取样，测量溢流的沉积负荷
- 评估受侵蚀地区的高度变化，以估算出损失总量。

在特定的装有检测仪器的小区内进行检测可提供有关径流、河床和悬浮泥沙量的精确结果，在需要考虑土水平衡和有流动泥沙的地方，这些结果是非常有价值的。这一方法提供的数据质量高，但所耗劳动相对较多，且需谨慎选择地块，以提供有价值的数据库。

在溢流中抽取沉积物样品，仅与悬浮负荷有关（由于难以取得有代表性的河床载沉积物样品），同时，还需在矿区大量取样。

为了测量相关区域的侵蚀总量，使用了不同的方法。多数方法很大程度上依赖于侵蚀量值的变化，但以激光扫描或数字摄影测绘学为基础的方法，往往可相对精确地测量出数量变化。在一些情况下，对侵蚀沟和小沟体积进行直接测量是行之有效的方法，而采用侵蚀测针的方法所得结果是不精确和不令人满意的。

5.3.4 选择监控方法

无数评估工具与技术摆在矿区环境研究人员面前。他们需要决定如何综合利用这些由不同技术得来的资料、复垦功能的评估和现实之间是否存在差距、以及哪种技术最适合于特定地区与情形。现有的长期数据收集工作中应结合利用新技术，对植物等级的测量也需与对群落等级和景观等级的测量结合为一体。

样带法

一般认为，以样带法为基础的方法适用于多种景观类型与不同年龄段的植被的资料搜集工作。这一方法可对不同大小与形状的复原土地单元进行准确地评估，还可对每一单元内可能存在的侧面、坡度和底层成分的内在变化进行评估。使用样方法所做的取样记录可与横断面法相结合，以获得对稳定性和功能方面有重要意义的地面覆盖物种和其他地表特性更多的详细情况。

生态系统功能分析法

过去的几年中，一种用于监测矿区复原的新方法，即生态功能分析法 (EFA) 被许多矿区采纳。生态功能分析法由（澳大利亚）联邦科学与工业研究组织创造，最初应用于牧场生态系统，后来应用于矿区环境，它提供了一种检测方法。Tongway 的著述 (2001) 记述了这一方法，方法包括了景观功能分析的基本要素，景观功能分析采用观察到的地表特性来评估（并随后计算）土壤的稳定性、渗透性和营养循环的各项指标。有关植被动态和栖息地复杂性的附加模块使这一方法更为完善。

对比生态功能分析法的信息能力与其他定量方法，大量证据表明在复原区底层相对较为均匀处、复原技术长期保持相对稳定的情况下，这一技术最为有效。

遥感

遥感或以成像为基础的监测措施在评估矿区复原中起到越来越重要的作用。为探测野外各种关系，开发出了遥感技术，这一技术提供了整个矿区范围内野外研究的方法。利用遥感技术搜集到的野外资料和与之相关的图像资料，可把小块范围的测量结果外推到全矿区。

多年前，高品质航空传感器的面世，使得利用遥感，费用低廉、精确地对复垦区进行规划、评估和监测有了可能。机载超光谱数据对比诸如航摄照片和普通类卫星图片(Landsat)等宽频数据，它拥有诸多无可比拟的优势。Landsat的优势(Landsat)。来自当前卫星的最新高分辨率图像和光谱(Quickbird和SPOT 5)，为更准确地判定和监控复原成功提供了更大的可能。

5.3.5 复审监测结果

尽管只有长期积累的监测数据才有真正的价值，但法律上可能只要求按年度或其他时间段报告监测结果。与参照区比较，可确定复原区的发展趋势，根据最初处理措施或建立状况，可确定复原生物群落的发展轨迹。这一技术的应用，不仅使矿业公司，同时也使管理部门和其他利益相关人对这些技术有了的信心。定期对监测信息进行复审，可明确信息断层，明确了解需进行深入调查与纠正的问题。

5.4 制定监控手册

当把从监控计划获得的信息应用于特定复原区时，监控计划的价值才体现出来。把复原区的历史记载与当前实施的复原方法联系起来，这样才可找出最佳方法并且对问题进行补救。在完成反馈循环过程中，这两套信息（历史的与当前的）都很重要，这样才能取得不断进步。

应记载下每一复原区的基本信息，包括土地准备、表层土的使用（如有）、表层土的来源和处理办法、肥料种类、肥料比率和历史、建立植被中所用的播种配比、各项活动进行的时间或发生侵害事件的时间（如火灾）。还应记录下进行过相同处理的复垦区界线。应定期收集矿区的其他信息，如降水、相对湿度、温度和风速等，这些信息对于了解某特定复原结果的成因具有很大价值。

为了对复原矿区土壤和植被性能进行严格科学地检测，监控手册需要说明相关方法和方案。监控手册需简便易行、灵活机动，以便对一些可重复实施的程序与措施的效果进行修改与完善。

除了记录复垦区的历史状况和使得播种和种植成功的所有因素外，手册应说明建立植被后的监控计划，内容包括：

- 样带的详情位置、数量、选择该样带的原因
- 沿横断面进行方样定位，以便对抽样点之外的某些参量进行更细致的评估
- 哪些需沿横断面进行测量——测量位置和方法
- 对原本进行分析前，已采集样品的保存与处理要求。

5.5 归还租赁权

矿业公司根据州和地区环境管理的规定对受干扰土地所进行复原，对已经复原地区进行监测，以评估复原工作的实施情况。此举目的是为了证明已形成稳定的无污染地形，从而使矿业公司尽快归还租赁权，解除当前义务。然而，政府管理部门不会轻易批准解约，使自己承担未来义务的风险。

有两个主要方面具有不确定性。一个不确定方面是复垦在矿区关闭后的某个时间失败（即复垦是不可持续的），可通过有目的的研究、长期监测数据和发展趋势的可靠分析来最大限度地减少这一风险。另一不确定情况是由采矿或矿物加工方法所致的生长介质不均匀性，使得复原质量在空间分布上不一致，这一情况尚未引起足够重视。在一个地区达到或超过既定标准的复原，在距此不远的另一处却可能是很失败的。由于复原的监测或取样通常是以点基方式进行的，这就使数据分析存在未确定因素。

复原计划中，应确认并解决下层废矿石质量的差异性问题，品质不同会给植被恢复成效带来潜在影响。这就使得限制性表层土或扎根区材料的常规深度要根据其下层采矿废料特性的不同而有所变化。这一方法就使复原成效在质量上更为一致，尽可能减少补救工作的耗费。

精心制定、认真落实的监控计划可以证明，复原区能适应预计的不断变化。这使利益相关人更有信心，在将来，预计的复原成果必将能够实现。



6.0 结束语

复原是缓解采矿对环境造成长期影响的主要方法。复原的目标是不同的，或者仅仅使一个地区恢复到安全和稳定的状态，或者尽可能的恢复到采矿前状态，以便保证此区域未来的可持续发展。

矿区复原是按照可持续发展最优方法的原则开发矿物资源的重要组成部分。不应仅把复原视为矿区关闭过程中或关闭前的一个过程。相反，应当把复原当作矿区发展和运营过程中有效规划和管理的整个计划中的有机组成部分。

本手册把复原贯穿于矿区开发的整个过程，包括规划、运营和关闭。手册概述了矿区复原的原则与方法，重点强调了地形设计与植被恢复。特别强调了恢复自然生态系统，尤其是重新恢复本地植物群落。

重要内容

以下要点总结了本手册中的重要内容：

规划

- 在规划阶段制定复原计划，在取得研究和实地试验结果后，改进这一计划
- 尽早了解拟进行复原物质的性质，以确定亟需解决的潜在相关问题
- 了解可能会妨碍复原工作取得成功的外部环境因素
- 设定实际可行的复原目标。

运营

- 管理矿区水流，尽可能减少侵蚀，减少矿区污染向矿区扩散的可能性
- 设计安全、稳定、并与周围环境协调的地形
- 铺设可以提高稳定性和保护含有潜在危险物质的地形的覆盖层
- 管理表层土，以保存有价值的养分，提高本地种子和微生物的生存能力
- 尽力建立动态的、具有抗扰动能力的植物与动物群落

关闭

- 制定与矿区总体关闭目标一致的成功复原标准
- 制定复原监测计划，测量不断变化的生态系统重要功能性参量
- 通过长期监测，来证明复原区的发展方向与完成标准相一致。

在采矿经营过程的各个阶段，关键利益相关人始终参与复原工作，这一点很重要。除了考虑社区建议，复原计划还应当融入矿前调查的相关内容，矿前调查包括法律要求、气候、地形以及有关于水源和大气质量的基线调查、植物与动物群调查和土壤及其他因素调研。复原过程的其他重要方面还包括复原目标、土壤管理、土方工程、植被恢复、土壤养分、动物回归、维护、成功标准和监测。

公众对采矿业的评判往往以其中最差的表现为基础，实际上对任何一个产业集团的评判都是如此。本手册列举了矿产业和矿物部门在运用最优操作矿区复原的过程中取得的一些杰出工作成果。本手册中的有关内容和实例研究说明采矿可以在可持续发展的基础上进行。

在管理部门和利益相关人的期望值越来越高的情形之下，要做到成功复原，就需要通过与关键利益相关人进行磋商，争取取得更好的成效。矿区复原工作的实施，不仅可带来更令人满意的社会和环境效益，还可减轻财政负担。本手册中的内容可帮助管理人员和矿区规划人员制定、实施具体的矿区复原计划，这一计划融入了方法和技术上的各种变化，灵活顺应情况的不断发展，从而使采矿后的土地得到最佳的利用。

参考文献

- Asher, C, Grundon, N 和 Menzies, N, 2002 年, 《土壤肥料难题解析》, 澳大利亚国际农业研究中心专题论文第 83 号, 澳大利亚国际农业研究中心, 堪培拉。
- Bell, LC 2002 年, 《化学局限性补救方案》, 发表于《撂荒土地的恢复与管理——现代方法》, MH Wong 和 AD Bradshaw (eds.) 112-127 页, 世界科技出版公司, 新加坡。
- Carroll C, Merton L 和 Burger P 2000年, 《昆士兰中部煤矿植被覆盖及斜坡对溢流的影响和不同地块的侵蚀作用及水质对各类土壤与废料的影响》, 发表于《澳大利亚土壤研究期刊 38 (2)》, (澳大利亚) 联邦科学与工业研究组织出版物, 维多利亚州考林伍德。
- Dane, JH 和 Topp, GC (编辑) 《土壤分析方法第 4 部分, 物理方法, 2002 年》, 美国土壤学会, 威斯康星州麦迪逊市。
- Darmody 与 WL Daniels (编辑) 等著, 《农学专论》第 41 期, 77-104 页, 美国农学会, 威斯康星州麦迪逊市。
- Dixon, JB 和 Schulze, DG (编辑) 2002 年, 《土壤矿物学的环境应用》, 美国土壤学会, 威斯康星州麦迪逊市。
- Floradata, 2001 年《澳大利亚本地种子采集、储存和繁育指南》, 2001 年 2 月, ISBN 0957796617。有关些指南的更多内容可在下述网站找到:
<http://www.acmer.com.au/publications/floradata.htm>。
- Grigg, A, Mullen, B, Hwat Bing So, Shelton, HM, Bisrat, S, Horn, P 和 Yatapange, K, 2002 年《鲍文盆地已复原土地上的可持续性放牧》澳大利亚煤炭协会研究计划项目 C9038。
- Hannan JC, 1995 年, 《矿区复原》: 《煤矿业手册》, 第二版, 悉尼新南威尔士煤炭协会。
- Hannan, JC 和 Bell, LC, 1993 年, 《地表复原》, 发表于《澳大利亚采煤实践》, AJ Hargraves 和 CH Martin (编辑), 260-280 页。260-280 澳大利亚采矿和冶金学会, 派克威尔。
- Hossner, LR (编辑), 1988 年, 《采矿区表层土地的改造》, 第 1、第 2 卷, CRC 出版公司, 佛罗里达州波卡雷顿市。
- Landloch 2003 年, 《复原后斜坡表面的粗糙度》, Landloch 技术文章, <http://www.landloch.com.au/technotes>。
- Loch, RJ, 2000 年, 采用模拟雨林来指导复原区的规划与管理: 北帕克斯矿的某项研究的试验方法和结果, 《土壤退化与发展 11》, 221-240 页。
- Loch, RJ 2000 年, 《塔容米恩杜矿复原区内模拟降雨和地表水流状况下植被覆盖层对溢流和侵蚀的影响》, 发表于《澳大利亚土壤研究期刊》38 期。299-312 页, 墨尔本。

Loch, RJ 和 Orange, DN, 1997 年, 《塔容矿区表层土特性的变化——复原后的米恩杜煤矿》, 发表于《澳大利亚土壤研究期刊》35 期, 777-784 页, 墨尔本。

澳大利亚矿物委员会, 2004 年, 《持久价值——澳大利亚矿产业可持续发展框架》, 澳大利亚矿物委员会, 堪培拉。

澳大利亚矿物委员会, 2004 年, 《持久价值——澳大利亚矿产业可持续发展框架实施指南》, 澳大利亚矿物委员会, 堪培拉。

Scanlan JC, Pressland AJ 和 Myles DJ 1996 年, 《东北昆士兰州放牧林地的半坡溢流与土壤移动》, 发表于《牧场杂志》18 (1) 期, (澳大利亚) 联邦科学与工业研究组织出版物, 维多利亚州考林伍德。

Silburn DM, Carroll C, Ciesiolka CAA, Hairsine P, 1992 年, 《对昆士兰中部本地牧场溢流和土壤流失的控制效果》, 发表于《澳大利亚第七届两年一度牧场会议会刊》294-295 页, 新南威尔士州科巴市, 1992 年 10 月 5-8 日。294-295。

Sobek, AA, Skousen, JG & Fisher, Jr, SE 2000 年, 《冲积层与矿区土壤的化学与物理特性》, 发表于《受强烈干扰土壤的改造》, RI Barnhisel, RG Darmody 和 WL Daniels (编辑), 《农学专论》41 期, 77-104 页, 美国农学会, 威斯康星州麦迪逊市。

Sparks, DL, Page, AL, Helmke, PA, Loeppert, RH, Soltanpour, PN, Tabatabai, MA, Johnston, CT 和 Sumner, ME (编辑)。《土壤分析方法第 3 部分, 化学方法, 1996 年》, 美国土壤学会, 威斯康星州麦迪逊市。

Tremblay, GA 和 Hogan, CM (编辑), 2001 年, *MEND* 手册第二卷, 《取样与分析》, 加拿大矿产和能源技术中心自然资源, 渥太华。

Ward, SC, Koch, JM 和 Ainsworth, GL, 1996 年, 《矾土矿开采后种植桉树林复原程序时间安排的影响》, 发表于《复原生态学》第 4 期, 19-24 页, 墨尔本。

Williams, DJ, 2006 年, 《矿区废物处理与复原变革的个案分析》, 发表于第二届国际采矿战略与战术研讨会会刊, 第 19 页, 澳大利亚珀斯, 2006 年 3 月 8-10 日。

Williams, DJ, Stolberg, DJ 和 Currey, NA, 2006 年, 《基兹顿可能致酸废矿石堆“存储/排放”覆盖系统之远期性能》, 发表于第七届酸性岩石排出物国际会议会刊, 美国密苏里州圣路易斯市, 2006 年 3 月 26-30 日, 2385-2396 页。

Williams, RD 和 Schuman, ED (编辑), 1987 年, 《美国西部矿区土壤与冲积层的复原》, 发表于《分析参量与程序》, 美国土壤保护学会, 爱荷华州阿克尼市。

网址

- 环境遗产部，www.deh.gov.au
- 工业旅游资源部，www.industry.gov.au
- 可持续发展计划最优方法，www.industry.gov.au/sdmining
- 矿物及石油资源政府委员会，www.industry.gov.au/resources/mcmp
- 澳大利亚矿物委员会，www.minerals.org.au
- 持久价值，www.minerals.org.au/enduringvalue

术语表

废弃矿区

原来用作采矿或矿物加工的区域，这里的关闭不完全，但某个人或者公司仍然拥有该地的采矿权。

矿区酸性排出物

由于硫化物氧化（如黄铁矿），矿区废物中排出的酸性物质。

适应性管理

通过学习实际工作中所取得的成果，不断改进管理政策与实践的系统过程。ICMM 的《采矿和生物多样性最佳操作指南》中，将适应性管理归纳为“实践——监测——评估——改进”。

参照物

用来与采矿后特征进行对比的未开采区。

休止角

将材料放置于一表面而又不使材料在平面上滑动或滚动的该表面与水平面之间的最大角度。

回填

掘洞或空穴的再填充。

斜坡

使坡壁后面逐渐凹进或倾斜。

边坡

为了加固斜坡和增加斜坡的稳定性，挡住沿斜坡脱落物质或者控制溢出水流和侵蚀物，建造于堤坝或坡壁上用来阻断长斜坡的水平陆架或者突出平台。

堤坝

土制阻挡墙。

防水槽

置于细密结构材料之间的粗糙材料层，用来防止表面张力造成的从低层细密结构物质向上层细密结构物质的水流垂直流动（及伴生盐分）。

神化物种

引人的、不同凡响的物种，但对保持生态系统的持续性无特殊功用。

完成标准

证明矿区成功关闭的议定标准或性能水平。

同类物种

不显眼或不易被注意到的物种。

分散性土壤

结构上不稳定的土壤，在水中分散为基本颗粒（如沙土、粉沙土和粘土）。分散性土壤极易受到侵蚀，给成功管理土方工程带来问题。

生态系统

成员通过共生关系（积极的合数关系）进行参与，并从参与中获得益处的系统。这一术语起源于生物学，指的是自给自足的系统。

密封

用某种材料将废物材料完全包裹，使其与外界（通常是氧气和水）隔离。

后倾式堆放

从翻斗车后部倾倒材料的方法。翻斗车在冲积堆顶部向后移动至边缘，然后越过废物堆侧面倾倒废石，通过这种方式构建冲积层堆。

侵蚀测针

楔入土壤提供基准点，用来估算该点表层受侵蚀而下降数量的金属测针，。由于山坡处的侵蚀情况空间上变化很大，因此如要取得精确侵蚀估算数字，则需使用大量侵蚀桩。（所用侵蚀桩一般都远远不够。）这一方法更适用于估算侵蚀沟或较大水沟的增大量，这里往往局部侵蚀严重。

最终空穴

矿区关闭后残余的露天矿井。

痕迹

矿区及相关基础设施所在的地表面。

功能型生态系统

稳定（低侵蚀率）、有效保水和保持养分、自给自足的系统。

水力播种

将含有种子、肥料和接合剂的纸质或稻草覆盖层混合液喷撒于过陡或用传统播种技术难以进行的斜坡上。

关键性填充

为减少渗透或提高土坝的稳定性修建回填式沟的工作。

动力测试

对酸生成，包括反应时间影响而进行动力测试。

最优方法

促进可持续发展的、目前可行的最佳方法。

种源

本地起源地与拟被种植地相近的植物（如在同样的当地区域）。

大孔隙

粗大颗粒之间的大空隙。

糙化处理方案

用推土机刮片塑成扇形的技术，可防止侵蚀。

漫溢

水或矿渣泥浆从堤坝结构的顶部决口。

围场堆放

在平坦表面进行卡车堆放。

先锋物种

受干扰区首先繁育的物种。

胚芽

通过有性或无性（植物）繁育，具有长出新生植物能力的任何结构体。可包括种子、孢子、以及从母体分离后可独立生长的植物体任何部分。

散乱堆放

休止角斜坡后倾堆上的粗粒废矿石的流动与分离。

反应废矿石

暴露于氧气时发生反应的废矿石。

顽固物种

不易重新生长的物种。

复原

在考虑充分利用矿点及其周边土地的前提下，把受采矿干扰的土地恢复为稳定、具有生产能力并可自给自足的状态。

归还租赁权

有关管理部门正式的批准程序，表明已达到管理部门规定的矿区完成标准。

残余植被

在进行大范围清场后剩余的本地植被。

乱石

一些破损岩石松散地放置在一起，保护土壤免受严重侵蚀或静水压力过高时的移动。

原矿台垫

准备送往研磨厂和加工厂的新开采的放在一起的矿石堆。

破皮处理

划破种衣助其萌发的加工方法。

浆液

由沉降槽进行沉淀的被仔细分离的液体。

采矿的社会许可

社会许可是社会对公司为社区所做贡献的认可与接纳，公司活动超出了法律对公司义务的基本法定要求，以便维持与利益相关人的建设性关系，这一关系是继续从事采矿业务所必需的。总之，采矿的社会许可源自建立在诚信与相互尊重基础之上的、对各种关系的不断努力维护。

纳质土壤

可交换阳离子中钠所占比例较大（一般超过百分之六）的土壤。由于土壤结构较差，钠质土壤排水能力较差。

静态酸基计算

酸与碱完全反应的平衡状态。

回采工作面

地下矿井的作业面或空穴。

存储/排放覆盖层

适用于季节性、水分不足的气候，在雨季时存储降水渗透，随后在旱季通过蒸发蒸腾作用排放水分。

边际效应

一栖息地沿边界线对相邻另一栖息地的影响。由于增加透光性和透风性，清理栖息地可能沿其边缘对未清理栖息地发生影响。

上层清水

从沉淀矿渣泥浆上部流出的水。

矿渣存放处

限制矿渣乱放的区域，主要作用是实现固体废物放置，改善水质。这一术语指的是整个存放区，可能包括一个或多个矿渣坝。

组织培养

用来大量克隆某一种特定植物无性繁育方法。

复原生物群落的发展轨迹

随时间发展，复原的发展趋势。

废矿石

采矿期间，为开采矿石而从地下开挖的无经济价值的岩石。

浸透

降水渗透到采矿废料中，进一步向下渗透。

