

DB21

辽 宁 省 地 方 标 准

DB21/T 2649—2016

菱镁矿区粉尘污染土壤生态修复技术方案 编制导则

Technology guideline for ecological restoration of contaminated soil in Magnesite
area

2016 - 06 - 13 发布

2016 - 08 - 13 实施

辽宁省质量技术监督局 发 布

目 次

前 言.....	I
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
3.1 菱镁矿区 (Magnesite mining area)	2
3.2 镁粉尘 (Magnesium dust)	2
3.3 镁粉尘污染场地 (Magnesium dust contaminated site)	2
3.4 生物修复 (Bioremediation)	2
3.5 污染土壤修复 (Contaminated soil restoration)	2
3.6 污染土壤修复标准 (Contaminated soil restoration criterion)	2
4 基本原则和工作程序.....	2
4.1 基本原则.....	2
4.1.1 科学性原则.....	2
4.1.2 可行性原则.....	3
4.1.3 安全性原则.....	3
4.2 工作程序.....	3
5 调查与分析.....	4
5.1 资料收集.....	4
5.2 现场调查.....	5
5.2.1 自然条件调查.....	5
5.2.2 土壤污染状况调查.....	5
5.2.3 植被受损情况调查.....	5
5.2.4 监管能力调查.....	5
5.3 采样分析.....	5
5.3.1 采样	5
5.3.2 分析	5
5.3.3 土壤质量评价.....	5
6 确定修复目标.....	6
6.1 确认修复范围和要求.....	6
6.2 提出修复目标.....	6
6.3 确定修复模式.....	6
7 筛选修复技术.....	6
7.1 污染土壤修复技术分类.....	6
7.1.1 物理化学技术.....	6
7.1.2 生物技术.....	6

7.2 分析比较修复技术.....	7
7.3 修复技术可行性评估.....	7
7.4 选择适宜修复技术.....	7
8 制定修复技术方案.....	7
8.1 确定修复范围.....	7
8.2 集成修复技术.....	8
8.3 确定修复技术的工艺参数.....	8
8.4 预期修复效果.....	8
8.5 修复过程的生态保护.....	8
8.6 进度安排.....	8
8.7 经费预算.....	8
9 编制修复方案报告.....	8
附录 A.....	9
（规范性附录）菱镁矿区自然条件调查记录表.....	9
附录 B.....	10
（规范性附录）菱镁矿区植被受损情况调查记录表.....	10
附录 C.....	11
（规范性附录）菱镁矿区土壤质量参数表.....	11
附录 D.....	12
（规范性附录）菱镁矿区的土壤污染程度划分等级.....	12
附录 E.....	13
（资料性附录）菱镁矿区土壤修复参考改良剂.....	13
附录 F.....	14
（资料性附录）菱镁矿区污染土壤植物修复参考物种.....	14
附录 G.....	16
（资料性附录）菱镁矿区污染土壤微生物修复参考菌种.....	16
附录 H.....	17
（规范性附录）菱镁矿区污染土壤生态修复方案报告编制大纲.....	17

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准的附录 E、F、G 为资料性附录，附录 A、B、C、D、H 为规范性附录。

本标准由辽宁省林业厅提出并归口。

本标准起草单位：中国科学院沈阳应用生态研究所。

本标准主要起草人：贾春云、台培东、李晓军、许名特、代淑娟、刘宛、巩宗强

菱镁矿区粉尘污染土壤生态修复技术方案编制导则

1 适用范围

本标准规定了菱镁矿区粉尘污染土壤生态修复技术方案编制的术语和定义、一般性原则、程序和技术要求。

本标准适用于辽宁省范围内菱镁矿采矿区和矿物加工区粉尘污染土壤生态修复技术方案的编制。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB15168	土壤环境质量标准
GB/T 6001-1985	育苗技术规程
HJ/T 166-2004	土壤环境监测技术规范
HJ 25.1-2014	场地环境调查技术导则
HJ 25.2-2014	场地环境监测技术导则
HJ 25.3-2014	污染场地风险评估技术导则
HJ 25.4-2014	污染场地土壤修复技术导则
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
HJ/T 415-2008	环保用微生物菌剂环境安全评价导则
HJ 624-2011	外来物种环境风险评估技术导则
HJ/T 651-2013	矿山生态环境保护与恢复治理技术规范
DZ/T 0223-2011	矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范
DB21/T 892-2011	菱镁矿区植被恢复技术规程
DB21/T 2273-2014	污染土壤生态修复方案编制规范
DB21/T 2523-2015	矿山地质环境恢复治理规程
DB13/T 1350-2010	矿区土地生态复垦技术规范
DB11/T 476-2007	林木育苗技术规程
DB13/T 1040-2009	刺槐育苗及造林技术规程
DB13/T 1143-2009	紫穗槐育苗及栽培技术规程
DB11/T 683-2009	大油芒容器育苗技术规程
LY/T 1892-2010	落叶松扦插育苗技术规程
DB11/T 1244-2015	国槐育苗技术规程
DB12/T 420-2010	杨树育苗技术规程
DB21/T 927-2015	杨树人工林栽培技术
DB21/T 2109-2013	园林绿化养护管理技术规程
DB21/T 2019-2012	矿山及其他工程破损山体植被恢复技术

DB21/T 1944-2012 多功能林经营技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 菱镁矿区 (Magnesite mining area)

曾经开采、正在开采的含菱镁矿石地段和矿石加工厂周边地区。

3.2 镁粉尘 (Magnesium dust)

菱镁矿开采、煅烧及镁制品生产过程中产生的以氧化镁、碳酸镁、硫酸镁等为主要成分白色颗粒或尘埃。

3.3 镁粉尘污染场地 (Magnesium dust contaminated site)

菱镁矿粉尘中的碱金属镁，在土壤中过量积累和迁移，导致土壤发生碱化、板结，使土壤生态环境遭到破坏并超过人体健康或生态环境可接受风险水平的场地。

3.4 生物修复 (Bioremediation)

利用生物的生命代谢活动减少土壤环境中有毒有害物的浓度或使其完全无害化，使污染的土壤环境部分或完全恢复到原初状态的过程。

3.5 污染土壤修复 (Contaminated soil restoration)

应用生物修复方法，固定、转移、吸收、降解和转化土壤中的污染物，使土壤的物理、化学和生物学特性保持稳定，恢复土壤生态功能。

3.6 污染土壤修复标准 (Contaminated soil restoration criterion)

为恢复土壤的特定用途，对土壤中相关污染物或者化学品含量设立的上限值。

4 基本原则和工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 科学性原则

采用科学方法，综合考虑菱镁矿区污染土壤修复目标、土壤修复技术的处理效果、修复时间、修复成本、修复工程的环境影响等因素，制定修复方案。

4.1.2 可行性原则

制定的菱镁矿区污染土壤修复方案要合理可行,要在前期工作的基础上,针对污染土壤的污染性质、程度、范围以及对人体健康或生态环境造成的危害,合理选择土壤修复技术,因地制宜修复方案,使修复目标可达、修复实施可操作、修复工程切实可行。

4.1.3 安全性原则

制定菱镁矿区污染土壤修复方案要确保污染场地修复工程实施安全,防止对施工人员、周边人群健康、人居环境以及周边生态环境产生危害和二次污染。

4.2 工作程序

菱镁矿区污染土壤修复方案编制的工作程序如图 1 所示。

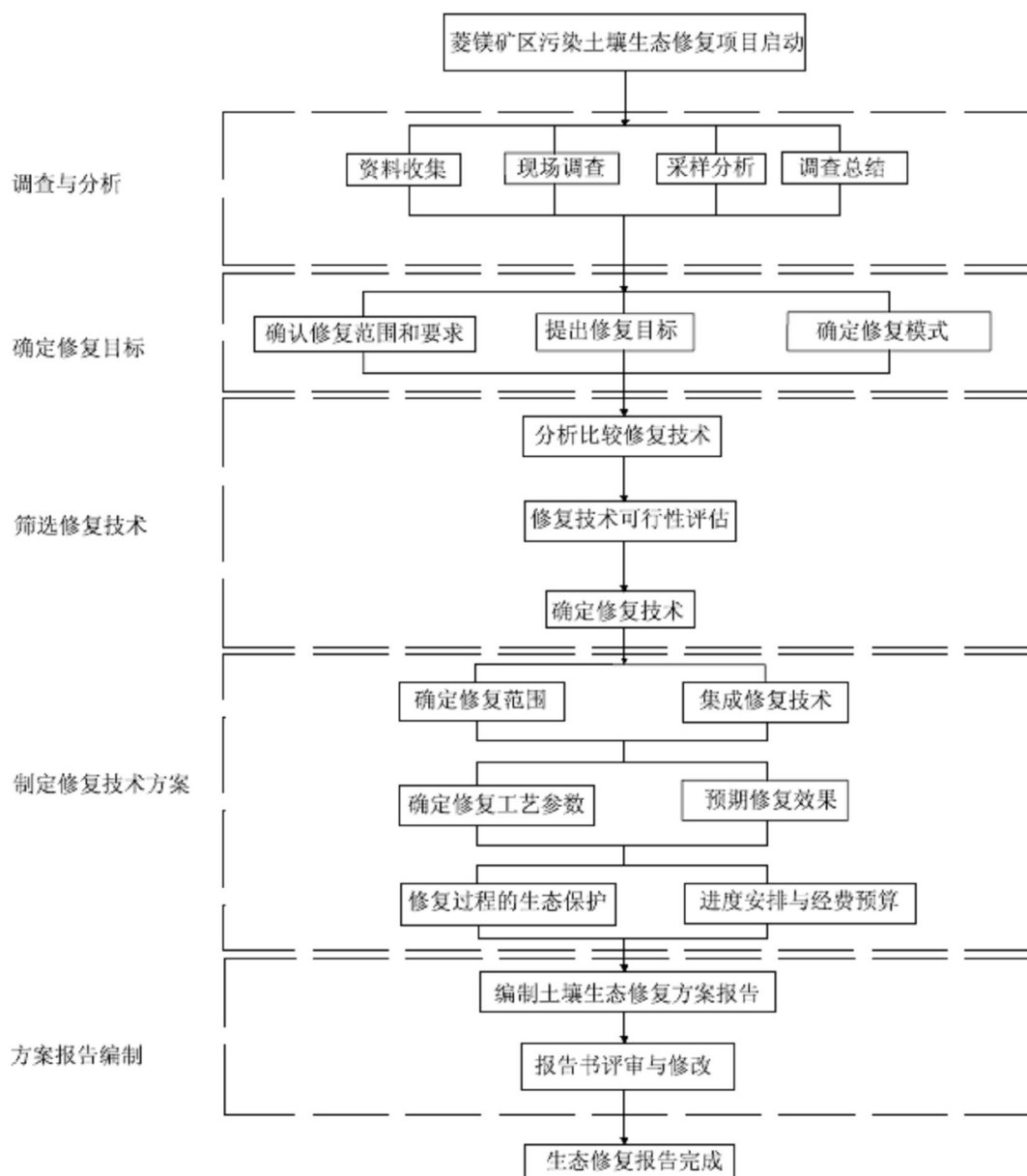


图1 菱镁矿区污染土壤修复方案编制的工作程序

5 调查与分析

5.1 资料收集

收集菱镁矿区污染土壤的相关信息资料，包括土地利用变迁、有关政府文件、污染区域的社会信息。核实相关资料的真实性和有效性，并结合相关部门的调查和监测结果，初步判断菱镁矿区土壤污染情况及其管理制度、监测能力等。

5.2 现场调查

5.2.1 自然条件调查

调查矿区内自然条件，包括气候条件、地形条件、土壤条件、水文地质状况等，矿区自然条件调查记录表见附录A。

5.2.2 土壤污染状况调查

调查矿区污染土壤的类型，以文字、图表等描述土壤污染物来源、暴露途径及受体，确定关注污染物及浓度水平和影响的介质，根据土地使用类型和暴露情景确定风险可接受水平。

5.2.3 植被受损情况调查

选择不同生长时期的原生植被，以矿区周边无污染土壤生长的同类植物为对照，调查菱镁矿污染区植被生长特征，检测目标包括植物种类、生物量、株高、冠径、生长期、根茎等，对比分析矿区植被的受损情况。菱镁矿区植被受损情况调查记录表见附录B。

5.2.4 监管能力调查

调查矿区生态管理制度、监测能力以及发生过的重要环境和生态事故。

调查时询问的问题要与影响土壤生态环境质量的活动和事件有关。

5.3 采样分析

5.3.1 采样

设计采样方案，确定样点筛选方法和分析位点；主要采集菱镁矿区尾矿地、废弃地、受污染农田以及矿区3000 m以外未受粉尘影响的农田土壤样品。采样方法具体按HJ/T 166执行。

5.3.2 分析

分析土壤物理化学性质，确定土壤中镁赋存状态、含量和迁移方式，了解土壤镁污染对地下水污染的信息。测定的土壤理化性质指标见附录C。

5.3.3 土壤质量评价

结合现场调查和结果分析，对土壤质量进行评价，确定菱镁矿区的土壤污染程度，分析影响植物生长的限制因子。土壤污染程度划分等级见附录D。

6 确定修复目标

6.1 确认修复范围和要求

根据土壤质量评价确认土壤修复范围，包括修复面积、四周边界、表面结皮厚度、污染土层深度、修复范围内的种植耕作情况等。

6.2 提出修复目标

根据土壤污染程度等级，按照污染土壤土地使用类型及修复用途和国家有关标准，结合当地的自然社会经济情况以及污染地的理化性质、风险可接受水平等，提出合理土壤生态修复目标。

6.3 确定修复模式

根据土壤污染程度、修复目标及要求，选择确定修复总体思路。确认污染地区适合短时或长期处理修复，做到因地制宜，选择适合的修复技术。

7 筛选修复技术

7.1 污染土壤修复技术分类

使用的修复技术具体按 HJ/T 651-2013、HJ/T 415-2008 和 HJ 624-2011 执行。

7.1.1 物理化学技术

采用物理和化学的方法将污染物含量降低甚至彻底去除，主要包括固化技术、电修复技术及化学提取修复技术等。菱镁矿区因镁粉尘污染引起土壤板结，主要运用的物理方法是机械破除；化学修复技术手段为施加改良剂，破除土壤结壳，改良土壤。

针对菱镁矿粉尘污染土壤的特点，选择的土壤改良剂要满足以下条件：（1）酸性物质，能抑制结皮形成且能中和强碱性的土壤pH值，能活化土壤钙，增加土壤溶液中的 Ca^{2+} ；（2）富含有机质，能补充土壤养分含量；（3）富含水溶性钙质，能有效调节水溶性镁钙离子比例；（4）修复土壤要保证土壤理化性质稳定，尤其是pH；（5）经济；（6）易获得。改良剂见附录E。

适用于菱镁矿污染土壤表层水泥样结壳破除及亚表层土壤改良。

7.1.2 生物技术

利用植物或微生物的生长代谢活动，削减土壤环境中的镁含量，避免土壤碱化。

7.1.2.1 植物修复

植物修复技术是通过利用特定的植物吸收、降解、固定、富集，降低土壤中的镁浓度，从而修复镁粉尘污染土壤的技术。植物修复作用主要包括植物吸收、植物代谢、植物积累三种类型。植物修复能发挥植被的生态补偿功能，阻挡粉尘进入土壤，控制板结层形成。

植物品种选择耐高镁、耐碱，同时能吸收转化土壤中水溶性镁离子浓度，抗逆性、适应性强的植物种类。要乔灌草相结合，辅助增施Ca肥，调节土壤 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比例。选择的植物品种见附录F。

适用于大面积轻度、中度和重度菱镁矿区污染的土壤。

7.1.2.2 微生物修复

微生物修复技术是指利用土著或外源功能微生物通过转化作用和固定作用改变土壤镁形态,降低镁毒性、移动性和生物可利用性,从而达到治理镁粉尘污染土壤的目的。微生物对重金属的转化作用包括氧化还原作用和甲基化与去甲基化作用。微生物固定作用可将重金属离子转化为有机结合态、残渣态或积累在微生物体内,包括胞外吸附作用、胞外沉淀作用和胞内积累作用 3 种形式。

尽量筛选土著耐镁微生物,运用富集植物与对金属吸收能力强的菌根真菌等微生物联合修复方法。粉尘结皮层较厚的区域,须与物理化学修复技术联合作用,以恢复适应微生物生存的环境为目的。选择的微生物种类见附录 G。

适用于轻度和中度菱镁矿区污染的土壤。

7.1.2.3 动物修复

动物修复技术是利用土壤动物(如蚯蚓)通过食物链等作用吸收、降解或转移镁元素,以降低土壤中的镁浓度。

镁污染土壤的动物修复研究起步较晚,尚处于探索阶段,目前未见应用。

7.1.2.4 联合修复技术

植物-微生物联合修复技术是利用植物与微生物之间相互作用以提高土壤镁污染修复效率的技术,植物-动物-微生物联合修复技术则是植物、动物与微生物三者共同作用的结果。

7.2 分析比较修复技术

根据菱镁矿区污染土壤的调查和分析结果,根据其区域特征选择多种适宜修复技术,对各种修复技术进行比较分析,包括技术适用范围、长期和短期效果、技术成熟度、成本和工程影响等方面,初步定性筛选修复技术,提出 1 种或多种备选修复技术进行下一步可行性评估。

7.3 修复技术可行性评估

在工程建设开展前进行实验室小试及现场中试工程,并确保结果具有推广性,在此基础上提出预期效果以确定修复工程具备可行性。

7.4 选择适宜修复技术

综合比较后,从效果、时间、成本、工程影响等多方面确定最佳修复技术,具体要求按照 HJ 25.4-2014 标准执行。可以是一种修复技术,也可是多种修复技术的联合应用。

8 制定修复技术方案

8.1 确定修复范围

根据污染土壤的复杂性和污染程度水平划定分区修复范围。对于面积较大、结皮厚度差异大的区域可分区进行修复。

8.2 集成修复技术

土壤污染状况及社会因素复杂的情况下，单一技术无法解决问题，应根据污染土壤的复杂性和污染程度水平，通过技术评估及技术分析后，进行修复技术集成，制定分区修复方案。使用的技术应符合 HJ 25.4-2014、DB21/T 2273-2014、HJ/T 415-2008、HJ 624-2011，涉及矿山土壤生态修复的应符合 HJ/T 651-2013、DB13/T 1350-2010、DB21/T 892-2011、HJ/T 651-2013、DB21/T 2019-2012。技术集成应经过专家审定，不得随意更改。

8.3 确定修复技术的工艺参数

在生态修复工程建设前进行工程设计和中试实验，验证修复技术的实际效果，进一步调整和完善修复技术或集成技术，确定工艺参数，优化分区污染土壤生态修复方案。

8.4 预期修复效果

为确保污染土壤生态修复工程可行性及效果，在污染土壤生态修复方案报告编制中应对小试和中试工程效果进行阐释，确保上述结果具有推广性，并在此基础上提出预期效果。

8.5 修复过程的生态保护

污染土壤生态修复过程应该具有如下属性：维持土壤原有生态功能，适合规划土地利用类型，一般不影响植物的生长；不明显改变土壤性质，土壤污染物生态风险明显降低；修复过程不影响周围环境，不影响其他环境介质，不破坏生物栖息条件；修复过程经济实用，社会环境效益明显。

8.6 进度安排

制定方案、工程建设施工图设计、生态修复建设工程等时间安排表。

8.7 经费预算

根据污染土壤生态修复工程部署、工程量及工程技术手段，参照相关标准进行投资概算，费用包括基本建设投资、设备费、材料费、监测费、人力资源费用、维护费等，有分区修复的应分别阐述各分区的经费使用情况。

9 编制修复方案报告

菱镁矿区污染土壤生态修复方案报告书内容结构见附录 H，可以根据实际适当增减有关内容。方案报告编制完成后，进行报告书评审与修改。

附录 A

(规范性附录) 菱镁矿区自然条件调查记录表

表 A.1 菱镁矿区自然条件调查记录表

类别	因素	描述	备注
气候条件	积温		
	降雨量		
	干燥度		
地形条件	地貌类型		
	海拔		
	坡度		
	坡向		
	侵蚀程度		
土壤条件	有效土层厚度		
	土壤障碍层次		
	土壤质地		

附录 B

(规范性附录) 菱镁矿区植被受损情况调查记录表

表 B.1 乔木层调查记录表

样地名称: _____ 样地编码: _____ 样方号: _____

调查人员: _____ 调查日期: _____

序号	植物名称	胸径 (cm)	高度 (m)	冠幅 X (m)	冠幅 Y (m)	枝下高 (m)	备注

表 B.2 灌木层调查记录表

样地名称: _____ 样地编码: _____ 样方号: _____

调查人员: _____ 调查日期: _____

序号	植物名称	株 (丛) 数	平均高度 (cm)	平均基径 (cm)	盖度 (%)	备注

表 B.3 草本植物调查记录表

样地名称: _____ 样地编码: _____ 样方号: _____

调查人员: _____ 调查日期: _____

序号	植物名称	株 (丛) 数	高度 (m)	聚生度	盖度	丛径 (cm)	备注

附录 C

(规范性附录) 菱镁矿区土壤理化性质检测指标

表 C.1 菱镁矿区土壤理化性质检测指标

序号	参数	单位	数值
1	pH		
2	总镁含量	g kg^{-1}	
3	等量碳酸盐	%	
4	水溶态镁	g kg^{-1}	
5	水溶态钙	g kg^{-1}	
6	交换态镁	g kg^{-1}	
7	交换态钙	g kg^{-1}	
8	土壤容重	g cm^{-3}	
9	总孔隙度	%	
10	毛管孔隙度	%	
11	粘粒分散系数	%	
12	总磷	g kg^{-1}	
13	有效磷	mg kg^{-1}	
14	有机质	mg kg^{-1}	

附录 D

(规范性附录) 菱镁矿区的土壤污染程度划分等级

表 D.1 菱镁矿区的土壤污染程度划分等级

序号	污染等级	特征描述
1	轻度	离菱镁矿开采、冶炼较远,受镁粉尘污染干扰少;板结层厚度小于 1 mm;植株齐度较好,茎秆较正常略细,无矮秆现象,极少叶片有黄;耕层土壤 pH 7.0-8.0,全镁含量 20-35 g kg ⁻¹ ,可溶性镁含量为 72-100 mg kg ⁻¹ ;作物减幅度为 20%以下。
2	中度	镁粉尘排放强度稍低区域;板结层厚度 1-3 mm;植株齐度较差,茎秆较细弱、叶片较薄且色泽较淡,根系发育较差,果穗秃尖现象明显,颗粒不饱满;耕层土壤 pH 8.0-9.0,全镁含量 35-60 g kg ⁻¹ ,可溶性镁含量为 100-200 mg kg ⁻¹ ;作物减产幅度为 40%-60%;改良治理较难。
3	重度	大型菱镁矿开采、冶炼、运输途中及其尾矿堆积地;板结层厚度> 3 mm;植株齐度很差、茎秆矮而细弱、叶上叶尖发黄、向下卷曲、叶边不整、在叶脉近处出现棕色锈斑,根系发育不良,果穗秃尖较大,颗粒不饱满,有作物枯死现象;耕层土壤 pH > 9,全镁含量> 60 g kg ⁻¹ ,可溶性镁含量为 200 mg kg ⁻¹ 以上;农作物减产幅度为 60%以上;改良治理极难。

参考文献

- (1) 姜国斌. 镁粉尘对土壤污染程度的等级划分. 北方环境, 2005, 30(1): 28-30, 33.
- (2) 朱京海, 巩宗强, 李锐, 王治江, 高奇星, 李培军. 辽宁省菱镁矿区生态修复研究. 环境保护与循环经济, 2013, 33(7): 47-51.

附录 E

(资料性附录) 菱镁矿区土壤修复参考改良剂

表 E.1 主要改良剂与作用

类别	序号	名称	主要作用	备注
破壳剂	1	腐植酸	促进结皮溶解	适用于轻、中度污染土壤表面板结层破除
	2	石膏	增加水溶性钙	适用于轻、中度污染土壤表面板结层破除, 单独作用对结皮破除作用不大
	3	磷酸二氢钙	促进结皮溶解, 增加水溶性钙	适用于轻、中度污染土壤表面板结层破除
	4	聚丙烯酰胺	抑制结皮形成, 增加土壤渗透能力	适用于轻、中、重度污染土壤表面板结层破除
	5	柠檬酸	促进结皮溶解	适用于轻、中、重度污染土壤表面板结层破除
改良剂	1	糠醛渣	降低 pH 值, 增加有机质	适用于轻、中、重度污染土壤改良
	2	磷石膏	大量增加水溶性钙	适用于轻、中、重度污染土壤改良

参考文献

- (1) Wang HQ, Zhao Q, Zeng DH, Hu YL, Yu ZY. Remediation of a Magnesium-contaminated soil by chemical amendments and leaching. Land degradation & development, 2015, 26: 613-619.
- (2) Wang L, Tai PD, Jia CY, Li XJ, Li PJ, Xiong XZ. Magnesium contamination in soil at a Magnesite mining region of Liaoning Province, China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2015, 95(1): 90-96.
- (3) 王泓泉, 赵琼, 赵欣然, 王巍巍, 王克林, 曾德慧. 菱镁矿区镁粉尘污染土壤的植物修复效果评价. 生态学杂志, 2014, 33(10): 2782-2788.
- (4) 张心昱, 王秋兵, 岳振平, 王振营, 杜鹃, 侯乐. 猪粪与磷石膏配合施用对菱镁矿粉尘污染土壤化学形状的影响. 农业环境科学学报, 2006, 5(1): 124 - 127.

附录 F

(资料性附录) 菱镁矿区污染土壤植物修复参考物种

表 F.1 植物修复主要参考物种与生态习性

种类	序号	植物名称	主要生态习性	备注
乔木	1	紫穗槐(<i>Amorpha fruticosa</i> L.)	阳性、耐寒、耐干旱、较耐盐碱、抗风沙及烟尘	适用于轻、中、重度污染土壤
	2	酸枣(<i>Ziziphus jujuba</i> Mill. var. <i>spinosa</i> (Bunge) Hu ex H. F. Chow)	阳性、耐寒、耐干旱、耐盐碱、抗烟尘	适用于轻、中、重度污染土壤
	3	火炬树(<i>Rhus typhina</i>)	阳性、耐寒、耐干旱、耐盐碱、抗烟尘	适用于轻、中、重度污染土壤
	4	野生沙果(<i>Malus asiatica</i> Nakai)	常生长在生山坡、平地 and 山谷梯田边	适用于轻、中、重度污染土壤
	5	山荆子(<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.)	喜光, 耐寒, 耐旱, 深根性, 寿命长; 山区随处可见, 常成片分布	适用于轻、中度污染土壤
	6	杨树(<i>Populus</i> L.)	阳性、耐寒、耐干旱、较耐盐碱	适用于轻、中、重度污染土壤
	7	刺槐(<i>Black Locust</i>)	阳性、耐冷、耐干旱、耐瘠薄、耐盐碱、抗粉尘	适用于轻、中、重度污染土壤
	8	构树(<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold)	阳性、耐贫瘠、耐干旱、耐盐碱、抗烟尘	外源植物, 适用于轻、中度污染土壤
	9	榆树(<i>Ulmus pumila</i> L.)	阳性、耐寒、耐干旱、耐盐碱	适用于轻、中、重度污染土壤
草本	10	芒 颖 大 麦 草 (<i>Hordeum jubatum</i> L.)	阳性、耐干旱、耐盐碱、生长较快	适用于轻、中、重度污染土壤
	11	地肤(<i>Kochia scoparia</i>)	阳性、耐干旱、耐贫瘠、耐盐碱、生长较快	适用于轻、中、重度污染土壤
	12	拂 子 茅 (<i>Calamagrostis epigeios</i>)	生于山坡路旁潮湿处及河岸沟渠旁	适用于轻度污染土壤
	13	羊草(<i>guinea grass</i>)	抗寒、抗旱、耐盐碱、耐瘠薄	适用于轻度污染土壤
	14	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)	耐寒、耐干旱、耐碱、耐风沙	适用于轻度污染土壤
	15	剪股颖(<i>Bentgrass</i>)	耐盐碱、耐瘠薄	适用于轻度污染土壤
	16	碱茅(<i>Puccinellia distans</i>)	耐盐碱	适用于轻度污染土壤
	17	马 蔺 (<i>Iris lactea</i> Pall. var. <i>chinensis</i> (Fisch.) Koidz)	耐盐碱、耐践踏, 根系发达, 多年生密丛草本	适用于轻、中、重度污染土壤
	18	大 油 芒 (<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.)	阳性、耐干旱、耐贫瘠、耐盐碱性差、生长迅速	适用于轻、中度污染土壤
	19	芦苇(<i>Phragmites Adans.</i>)	生命力强、对水分的适应幅度很宽	适用于轻、中度污染土壤
灌	20	豆茶决明(<i>Cassia nomame</i>	阳性、耐寒、耐干旱、耐贫瘠、生长较快	适用于轻、中度污染土壤

木		(Siebold) Kitag.)		
	21	胡枝子 (<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.)	中性、耐寒、耐干旱、耐瘠薄	适用于轻、中、重度污染土壤
藤本	22	爬山虎 (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>)	耐寒、耐旱、耐贫瘠、气候适应性广泛、生长快、绿化覆盖面积大	适用于轻、中、重度污染土壤
	23	山葡萄 (<i>Vitis amurensis</i>)	耐寒、耐碱、在土温 5-7℃时开始萌芽	适用于轻、中、重度污染土壤

参考文献

- (1) Yang D, Zhao Q, Mao R, Li LJ, Zeng DH. Accumulative characteristics of some plant species to magnesium around a magnesite mine area in Northeast China. *Soil and Sediment Contamination: An international Journal*, 2014, 23(5): 497-503.
- (2) 方英, 赵琼, 台培东, 吴海燕, 李培军, 秦秦, 邓鑫. 芒颖大麦草对菱镁矿粉尘污染的生态适应性. *应用生态学报*, 2012, 23(12): 3474-3478.
- (3) 焦阳, 贾春云, 范文玉, 姜春阳, 台培东. 构树对菱镁矿区破损土地的生态适应性. *安徽农业科学*, 2014, 42(16) : 5063 - 5065, 5138.
- (4) 王泓泉, 赵琼, 赵欣然, 王巍巍, 王克林, 曾德慧. 菱镁矿区镁粉尘污染土壤的植物修复效果评价. *生态学杂志*, 2014, 33(10):2782-2788
- (5) 朱京海, 巩宗强, 李锐, 王治江, 高奇星, 李培军. 辽宁省菱镁矿区生态修复研究. *环境保护与循环经济*, 2013,33(7): 47-51.

附录 G

(资料性附录) 菱镁矿区污染土壤微生物修复参考菌种

表 G.1 微生物修复主要参考菌种与特征

种类	序号	菌种名称	主要特征
耐镁菌种	1	蜜环菌(<i>Armillaria mellea</i>)	耐受镁离子浓度高达 19 g/L
	2	束球囊霉 (<i>Glomus fasciculatum</i>)	普遍存在于菱镁矿山废弃地
	3	巨大巨孢囊霉(<i>Gigaspora Gigantea</i>)	普遍存在于菱镁矿山废弃地
	4	氧化亚铁硫杆菌 (<i>Acidithiobacillus Ferrooxidans</i>)	耐受镁离子浓度高达 15 g/L
	5	氧化硫硫杆菌 (<i>Acidithiobacillus Thiooxidans</i>)	耐受镁离子浓度高达 15 g/L
耐碱菌种	7	链霉菌(<i>Streptomyces Sindenensis</i>)	耐受 pH 值高达 9.0
	8	假强芽孢杆菌(<i>Bacillus pseudofirmus</i>)	最佳 pH 为 9.0-11.0,
	9	嗜碱放线菌(<i>Streptomyces</i> sp.)	最适生长的 pH 值为 9.0-9.5, 并产生碱性蛋白酶。

参考文献

- (1) 朱林, 程显好, 冯志彬, 屈慧鸽, 图力古尔. 蜜环菌对镁的耐性和富集特性. 微生物学通报, 2010, 37(3): 362-368.
- (2) Raman N, Nagarajan N, Gopinathan S, Sambandan K. Mycorrhizal status of plant species colonizing amangites mine spoil in India. Biology and Fertility of Soils, 1993, 16: 76-78.
- (3) 甄世杰, 覃文庆, 张雁生, 等. 嗜酸氧化亚铁硫杆菌的耐 Mg^{2+} 驯化试验研究. 湿法冶金, 2008, 27(3): 139-141
- (4) 甄世杰. 金川高镁型低品位硫化镍矿生物浸出的应用基础与技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- (5) 廖庆云, 王智颖, 李文均, 朱伟明. 耐碱放线菌 *Streptomyces sindenensis* OUCMDZ-1368 的次生代谢产物研究. 中国抗生素杂志, 2015 40(1): 19-28.
- (6) 郝建国, 薛燕芬, 马延和. 一株产蛋白酶嗜碱菌株的分离、鉴定及酶学特性. 微生物学报, 2010, 50(1): 54-59.
- (7) 田新玉. 嗜碱微生物多样性及其应用. 生物多样性, 1994, 2(1): 49-53.

附录 H

（规范性附录）菱镁矿区污染土壤生态修复方案报告编制大纲

菱镁矿区污染土壤生态修复方案报告应根据污染土壤所在地的区域环境特征和污染土壤生态修复工程的特点选择下列全部或部分内容进行编制。

C.1 总论

包括项目概要、生态修复方案研究的结论、存在问题及建议等内容。

C.2 项目背景

C.2.1 任务由来

说明方案编制任务的由来、相关背景资料等。

C.2.2 必要性和意义

阐述方案编制的政策符合性，论述方案的实施对修复污染土壤生态环境，改善土壤环境治疗，保障生态安全和促进地方可持续发展的作用与意义。

C.2.3 编制依据

国家、地方、部门、行业懂相关法律法规、标准、规范、政策性文件等。

C.2.5 方案范围及实施年限

阐述方案所涉及的污染土地，与整体污染区的关系，计划实现年限，实现年限与土地利用规划应一致。

C.3 调查与分析

C.3.1 污染土地特征

主要包括污染土地位置、面积、地形、周边生态环境状况、植被覆盖特征、土地边界条件和土地利用规划等。

C.3.1 污染土壤特征

主要包括土壤类型、质地、酸碱度、有机质含量、土壤层深度和异质性等。

C.3.2 污染物特征

包括污染物种类、浓度水平、空间分布、存在形态及在土壤胶体、孔隙水、气相中的分布、理化性质，以及影响污染物迁移转化的土壤特征信息。

C.4 污染生态风险

描述污染物来源、暴露途径及受体，根据土地使用类型和暴露情景确定风险可接受水平。

C.5 生态修复目标

依据现行法律、法规及有关技术政策，结合污染土壤特点，明确规定污染土壤生态修复应达到的总体目标与指标；结合修复技术特点，明确生态修复不同阶段目标，建立污染土壤生态修复综合评价体系。

C.6 修复技术

C.6.1 修复分区

根据土壤污染程度、土地利用类型、生态风险和技术要求等对目标污染区进行分区划分，分别设计修复方案。

C.6.2 技术集成

综合分区修复方案，进行多种技术组合，发挥生态修复的最大潜力，实现效果与经济性的统一。

C.6.3 工艺参数

根据集成技术特点，提出工艺参数，完善修复方案。

C.7 进度安排

提出污染土壤生态修复可行性研究、工程设计、监测、实施、验收等阶段的时间安排。

C.8 经费估算

根据生态修复工程部署、工程量及技术手段，参照相关标准，进行经费估算。

C.9 预期修复效果

阐述生态修复完成后预计土壤污染物浓度或风险的降低程度。

C.10 监测与维护方案

应确定修复工程实施节点，制定修复过程监测计划。生态修复方案中还应包括污染土壤生态修复工程结束后的维护方案及长期效果监测方案。

C.11 保障措施与效益分析

提出组织保障、技术保障和资金保障措施，对生态修复工程实施后所产生的社会效益、环境效益和经济效益进行客观的分析评价。