

采矿地的生态重建和恢复生态学

Ecological Reconstruction at Mines and Restoration Ecology

徐嵩龄

(中国环境科学研究院 北京 100012)

矿山开采造成的大规模土地破坏,在中国以及世界,都是一个十分严重且日益受到高度重视的问题。采矿地的土地问题主要为:耗费过量的土地资源;开采后破坏的土地,既丧失原有的自然生态系统,又难以直接成为进一步服务于某种社会—经济目的的用地;矿山废弃物堆置场是周围环境的严重污染源;当矿山位于城市、河流或交通干线附近时,采矿地的破坏性发展将成为干扰城市和区域规划实施的主要障碍之一;每年必须为矿山废弃物引发的各类事故支付高额的经济赔偿。所以,采矿地的治理已成为我国持续发展政策应优先关注的关键问题之一。

关于采矿地治理的性质,大体有三种提法。我国曾广泛使用“复垦”一词,其出发点是赋予采矿地以农业使用价值。国外过去大多采用“Reclamation”这一术语,虽然其涵义既包括“复垦”又可含其它的社会经济目的,但它也是单纯以人类利益为出发点的。从真正持续发展的观点看,即从维护生态持续能力的观点看,采矿地的治理,应服务于包括人类在内的整个自然界。这样,上面提到的仅侧重于人类直接利益的两种提法——“复垦”和“Reclamation”——都失之片面。因此,采矿地的治理应当有两类目标选择:在条件许可的情况下建设一个与当地自然界相和谐的人类生态系统(如农业生态系统、城市生态系统等);或建立一个自然生态系统(它可以是被破坏的生态系统的恢复,也可以是一个新的自然生态系统的创造),以弥补、充实和丰富这一地区原有的自然界。不论是哪一类选择,整个治理本质上都是生态学的,而且都应在生态系统水平上进行。鉴于此,本文将采矿地的治理概括为“生态重建”(Ecological Reconstruction),并以此取代“复垦”和“Reclamation”的提法。

一、采矿地生态破坏的过程和特征

矿山,按其产品性质分类,有冶金矿山(黑色金

属、有色金属、稀土元素、放射性元素等)和非金属矿山(煤矿、石料、陶土等);按其开采方式分类,有露天开采矿山和地下开采矿山。不同性质的矿山和不同的开采方式,其对生态破坏的过程和特征有很大差异。

矿山开采引起的生态破坏,包括下述三个过程:

过程Ⅰ,开采活动对土地的直接破坏,如露天开采会直接摧毁地表土层和植被,地下开采会导致地层塌陷,从而引起土地和植被的破坏。

过程Ⅱ,矿山开采过程中的废弃物(如尾矿、矸石等)需要大面积的堆置场地,从而导致对土地的过量占用和对堆置场原有生态系统的破坏。

过程Ⅲ,矿山废弃物中的酸性、碱性、毒性或重金属成分,通过径流和大气飘尘,会破坏周围的土地、水域和大气,其污染影响面将远远超过废弃物堆置场的地域和空间。

根据上述三个过程,我们可以在生态系统层次上概括采矿地生态破坏的三个特征:景观型破坏,它主要表现为过程Ⅰ和过程Ⅱ对采矿地地貌的影响;环境质量型破坏,它主要表现为过程Ⅱ和过程Ⅲ对所在地区土质、水质,甚至大气质量的影响;生物型破坏,它主要表现为过程Ⅰ和过程Ⅱ对原有生物群落的摧毁,以及过程Ⅲ对当地生物群落的严重破坏,甚至摧毁。实际上情况往往是每一过程会同时兼有这三个特征,只是彼此间程度有所不同。

另外,一般可以认为,冶金矿山引起的环境质量型破坏以及由此导致的生物型破坏要比非金属矿山更严重;露天开采的矿山引起的景观型破坏和生物型破坏,要比地下开采的矿山更严重。

二、采矿地治理的总体对策原则

治理矿山开采引起的生态破坏,首先需要一套总体性对策。这套对策应当能做到:在工程开始前,正确地估量问题的性质和范围;在工程进行中,力

求使产生的破坏量为最小;在破坏产生后,力求得到迅速、妥善和经济上允许的治理。具体来讲,必须遵守以下六条原则。

1. 立法原则。以法律的形式确定矿山开采者对造成的各类生态破坏及其治理所承担的法律責任,并以法规的形式确定治理工作必须达到的景观、环境和生物群落方面的质量标准。在发达国家,已经建立了这方面的法律。

2. 生态风险评价原则。在实施矿山开采活动前,应当根据有关法律、矿区各类资源赋存情况、开采活动可能引起的生态破坏类型和程度,以及开采者本身从事开采和生态重建的技术经济能力等,进行生态风险评价。在发达国家,这一原则已普遍得到实施。

3. 最少量化原则。尽可能使开采所占用的土地最少,使开采过程造成的景观破坏、环境质量破坏和生物群落破坏最少,使矿山废弃物的生成量最少。

4. 资源化原则。它有两层意思:其一是使受到破坏的土地、水域等,经过治理,能作为合格的自然资源再度具有生态经济价值;其二是使开采活动产生的矿山废弃物在其它的工业活动中得到使用。

5. 无害化原则。它是指对矿山废弃物进行无害化处理。一般来说,矿山废弃物的利用率远小于它的生成率(一般小于 0.01);即使经过再利用,仍会有相当数量的废弃物产生。对矿山废弃物的无害化处置,通常有两种方法:一种是去毒法,以化学方法(如中和、化合、分解等)消除废弃物中的有害成分,有时人们也采用有特定耐性的植物去吸收废弃物中的有害成分;另一种是隔离法,以物理方法阻止废弃物中的有害成分向周围环境渗漏。对于一些具有潜在资源价值,但在技术经济上一时难于开发的废弃物,隔离法是一种比较恰当而又经济的选择。

6. 生态系统的恢复和重建原则。这一原则是采矿地治理总体对策中最重要和最基本的内容,包括采矿地环境质量的恢复以及生物群落(野生物种或人工驯化物种)的恢复和重建。在任何情况下,采矿活动都会造成土地、环境质量以及生物群落的破坏,而且这些破坏往往是数量极大的。最少量化原则、资源化原则和无害化原则只能在一定程序上减缓这些破坏,但远不能取代生态系统的恢复和重建原则。

在以上六条原则中,立法原则和风险评价原则,在发达国家已实施多年,用以确定一个具体的矿山开采项目的可行性;最少量化原则和资源化原则是在考虑资源环境问题时为限制污染生成量而提出的,现已成为国际社会普遍接受的通则,本文加以移植,目的是确保矿山开采活动对生态资源和环境的破坏为最少;无害化原则和生态系统恢复和

重建原则,则早已为致力于环境保护的应用生态学家们所倡导。“无害化”和“生态系统的恢复和重建”两项原则可以视为采矿地生态重建概念构架的两根支柱,我们将据此探讨生态重建的若干方法学问题。

三、采矿地生态重建的方法学

一个采矿地的生态重建工作必须针对其具体的生态破坏类型进行。任何一个采矿地的生态重建都包括下列内容:如何处理因开采活动而出现的坑洼和塌陷等景观变化?如何处理矿山废弃物的堆置?如何处理矿山废弃物堆置场对周围环境的污染?如何在植被摧毁的裸地和受污染破坏的土地上重建植被?如何为采矿地选择具有恰当功能的生态系统并完成具体生态系统的设计?如何建立一套工作程序以确保整个生态重建工作以一种有效而又经济的方式进行?对这六个问题的回答,可以概括为四类方法学问题,稳定化工艺,植被重建,生态系统的功能设计,生态重建的操作程序。

1. 稳定化工艺。

稳定化有两层含义:地表景观的稳定和矿山废弃物的稳定。由采矿形成的坑洼、由回填形成的平地 and 由矿石废弃物堆放形成的坡面,在进行生态重建活动时,必须采取有效措施以确保它们各自景观特征的稳定,即坑洼和回填的平地不会出现进一步塌陷和大规模渗漏,坑边和废弃物堆置场的边坡不会出现滑坡。其中,废弃物堆置场的边坡稳定性尤其重要,因为它的破坏将不只是景观破坏,还会进一步导致环境污染和生物群落破坏。

通常,人们最为关注的、技术难度最大的、在生态重建中最为重要的基础工作是废弃物的稳定化工艺。废弃物的稳定化与废弃物的无害化,其含义相似但略有区别。无害化通常有物理方法、化学方法和生物方法。稳定化隶属无害化,其目的是阻止废弃物向周围环境的污染释放,而不是改变废弃物的化学性质,所以它主要依赖物理方法和部分生物方法。之所以作这样的选择,是由于矿山废弃物的数量甚巨,如用化学改性的方法,耗时耗资极大,且往往是不成功的。一个成功的矿山废弃物稳定化工艺,一般包含三个步骤:物理处理,即填埋+覆盖,其覆盖材料的选择取决于废弃物的数量、毒性以及污染物迁移特征,可以是土壤、沙浆、水玻璃、沥青或其它各类材料;生物处理,即在废弃物堆置场的表层恢复植被,以保持堆置场的边坡稳定性和隔水性;化学处理,即对于废弃物堆置场上产生的少量含有污染物的渗漏液,在其进入周围环境前进行处理,以确保其无害。

2. 植被恢复。

植被恢复是重建任何生物群落的第一步,它是
以人工手段促进植被在短时期内得以恢复。只要不是极端的自然条件(如干旱等),植被可以在一个较长的时期内自然形成。其过程通常是:适应性物种的进入——土壤肥力的缓慢积累,结构的缓慢改善,毒性的缓慢下降——新的适应性物种的进入——新的环境条件变化——群落的进入。因此,人们可以从这种自然恢复中得到启示,把植被恢复归结为解决四个问题:物理条件、营养条件、土壤的毒性及合适的物种。通常,一个地方,只要有适合植物扎根的土壤,有一定的水分供应,有适宜的营养成分,没有过量的毒性,总是能容易地恢复植被的。

问题是采矿地,特别是矿山废弃物堆置场,往往不具备上述条件,而需要以人工的手段去创造。这种创造主要围绕着土壤条件的改善和植物物种的选用进行。

在创造土壤条件方面,对于开采后的矿山裸壁,在一定条件下,可采用喷浆工艺;对于采石场和部分矸石场,可以采用土壤局域充填工艺;对于有严重毒性的矿山废弃物的堆置场,可以采用大面积的土壤覆盖工艺。

植物物种的选用应强调对土壤的适应性和对土壤的良性改造。这种适应性是指对土壤毒性的耐性,作为植被恢复的先锋物种,更有必要考虑这一点。植物物种对土壤的良性改造能力,除表现为改善土壤的物理结构外,更主要的是增强土壤的肥力。研究表明,在植被恢复中起决定作用的营养元素是氮。因此,具有固氮能力的豆种植物往往是优先选择的对象。由于被恢复的植被将是一个群落,所以其物种构成亦应考虑物种间相互作用的生态学机制。

3. 生态系统的功能设计。

今天,采矿地的生态重建已被视为一项有着高度经济社会效益和生态环境效益的事业。一切需要恢复的采矿地,最终将成为建设用地(用于工业或居住目的)、农业用地、娱乐用地(公园或体育运动场地)和野生生物保护用地。据此为采矿地设计具有相应功能和结构的生态系统。

在采矿地重建哪一类生态系统,不仅取决于需要,而且取决于可能。首先,取决于采矿地废弃物的化学特性,那些产生有毒有害废弃物的采矿地,是不宜成为建设用地和农业用地的。其次,取决于开采后的采矿地的景观特征,人们应顺势利用采矿活动形成的新的景观(如坑穴、回填的平地、废弃物堆置场的坡面),创造相应的水生和陆生生态系统,而不宜对这些景观进行再改造。第三,取决于当地的生物资源状况(生物多样性和稀缺性等),如果在一个邻近保护区的地点(或保护区的经营区)采矿,其后的生态重建应着眼于自然保护的目的。

在发达国家,采矿地生态重建的主流是兼顾娱乐和野生生物保护的目,大多采用高尔夫球场和自然公园的形式。这样既给人类一个休憩的场所,也给野生生物一个良好的栖居场所,从而创造了一个让人们通过与自然交往来领悟自然保护教育的机会。

4. 生态重建的操作程序。

采矿地的生态重建是一项费时、费力、费钱的工作。为了尽可能减少上述花费并尽可能提高生态重建的质量,生态重建都不是在采矿活动结束后开始的,而是把与生态重建有关的各项事务安排在采矿活动的过程中。因此有必要研究采矿地生态重建的操作程序。这种操作程序包括:

(1)根据开采方式和废弃物堆放方式,进行采矿地生态重建的景观初步设计,并力求使矿山开采活动和废弃物堆放能够按照这一景观设计进行。

(2)根据矿山废弃物的物理化学性质,建立废弃物稳定化的处置工艺,并力求在开采活动中使废弃物堆放和稳定化处置能够同步进行。

(3)在那些开采完毕的地点和那些经过稳定化处置并达到景观设计要求的废弃物堆置点,顺势进行植被恢复工作。

(4)在经过上述治理的面积达到一定数量的情况下(这一数值依据重建的生态系统的功能而定),开展功能明确的生态系统重建。

采矿地的生态重建在一些非金属矿山,如煤矿(特别是露天煤矿),已发展成一种常规的以农、牧、林业利用为目标的操作程序。由于金属矿山的问题较为复杂,所以生态重建的操作程序尚不统一,但对每个具体矿山,这种操作程序都是必需的。

四、采矿地生态重建的理论基础 ——恢复生态学

恢复生态学(Restoration Ecology)是一门在80年代得到有发展的现代生态学分支。它的出现,有着强烈的应用生态学背景,因为其研究对象是那些在自然灾变和人类活动压力下受到破坏的自然生态系统的恢复和重建问题。恢复生态学这一名称,是以这一学科的功能命名的,还有不少人以这一学科的技术特点命名,称之为“合成生态学”(Synthetic Ecology)。这是因为,其恢复过程是由人工设计和进行的,并且这个过程既是相当综合又是在生态系统层次上进行的。

采矿地的生态重建应以恢复生态学作为它的理论基础。恢复生态学在一定意义上是一门生态工程学(Ecological Engineering),或是一门在生态系统水平上的生物技术学(Biotechnology)。恢复生态

(下转第16页)

蓬勃的发展势头

此次国际会议显示了一股蓬勃发展的势头,日本的 Matsui 宣布,日本将在东京建立新氢能研究和开发中心,在北海道建立新氢能实验室,计划在四年内投资 3000 万美元(到 1997 年 3 月)。ENECO 公司宣布与犹他大学达成协议接收由庞斯和弗莱施曼发起的冷聚变技术权利。“Cold Fusion”期刊宣布从 1994 年 3 月起创刊发行。

ENECO 还出资支持了二个在原苏联的实验室和 5 个在美国的大学和实验室。美国电力研究所(EPRI)则仍保持每年投资 200 万美元的势头,继续支持冷聚变研究

(1990 年为 100 万美元)。

展 望

在此次会议中还召开了国际咨询委员会的会议,商定 1995 年春在法国召开第五届冷聚变国际会议。会议主席麦库布还提议,1996 年的会议在中国召开,得到了全体咨询委员的积极赞同。

为了在 1996 年使我国的冷聚变研究工作取得更大的进展,建议国家科委和自然科学基金委从政策和经费上对冷聚变研究给予更多的资助。

(责任编辑 刘先曙)

科研动态

日本研究人员证实了冷聚变

据《日本科学与技术》杂志报道,最近,日本电报电话公司的研究人员宣布,通过采用一种独特的真空技术,他们在实验中观察到氦 4 的产生,这是发生了冷聚变的决定性证据。更为重要的是,他们的实验结果具有极高的精确度,且复现率高达 100%。这一成就使他们确信,外国研究人员在重复此项实验时将会得出完全相同的结果。

日本电报电话公司的研究人员从 1989 年 5 月起开始对冷聚变进行研究。他们利用了研究固体性质的过程中积累起来的知识,设计出一种独特的真空实验系统来检测实验中产生的额外热量、带电粒子和原子。在这一真空系统中,影响冷聚变的精确性的各种因素(例如很容易污染实验装置的空气和水份等)都被清除干净,因此实验中形成的粒子(除中子外)可以精确地实时检测出来。

该实验使用了一块尺寸为 $30 \times 30 \times 1$ 毫米的钯板,钯板的一面涂了一层氧化物薄膜。将钯板置于反应室中,然后把反应室抽成真空,注入氘后再加热。接着,缓慢地使钯板冷却,在这一过程中钯板可吸收相当于其本身体积 760 倍的氘。再把反应室抽成真空,并通过蒸汽沉

积法在钯板的未复有氧化物薄膜的一面上镀一层金。最后将反应室第三次抽成真空,并用电加热器对试样加热,便可以观察到氦 4 的产生。研究人员在精确测定了反应室中生成的气体的质量后,确认其中有氦 4 原子。根据测得的氦 4 的质量,研究人员计算出试样内的核聚变速率最大可达每秒 10^{15} 次。此外,当氦 4 产生时,试样的温度也上各项了 100°C 。

在两个氘原子的聚变反应中,反应途径可能有 3 条。第一是反应后生成氦和氢,第二是生成氦 3 和中子,第三就是生成氦 4。日本研究人员在他们的实验中除了观察到氦 4 外,也检测了氦和氢,但量很小。这说明在三种反应途径中,生成氦 4 的反应途径占了优势,而这一反应途径恰好也是最安全的反应方式,因为它不产生中子辐射。

日本研究人员通过独特的真空方法以及通过试样预热把试样内的气体完全抽干净的方法,使他们的实验结果具有高度的复现性。在他们进行的 5 次实验中,每一次都证实了氦 4 和额外热量的产生。如果这一结果能被其它国家的研究人员普遍证实的话,那将是核聚变研究史上具有划时代意义的重大飞跃。

(上接第 51 页)

学,不仅在生态学内与其它分支——从传统的遗传生态学、生理生态学、种群生态学和群落生态学,到现代的生态系统生态学、景观生态学、保护生态学等——有密切联系,而且与生态学外的近邻学科——如地理学、土壤学、生物气象学、环境化学、工程学,甚至经济学等——保持着广泛的学科交叉。正因为如此,恢复生态学在重建自然灾变(地震、火山、泥石流等)破坏的陆地和淡水生态系统方面,在重建人类工业活动(采矿、冶炼、化工、建筑等)破坏的土地及其生态系统方面,取得了引人注目的成功。

恢复生态学也应以采矿地的生态重建作为自己的一个重要的实验室。今天,人类对地球生物圈

的影响几乎是无所不在的,因此,真正的生态学研究不应当回避这种影响,而应当把这种影响当作生物圈发展的基本前提来认识。采矿地的生态重建为研究人类影响下的生态学创造了机会。由于它是在一个大尺度的时间和空间中进行的,所以克服了传统实验室框架引起的失真;由于它进行着一系列的生态工程作业,所以更有可能克服传统生态学中野外观察对生态学机理认识的不足。采矿地的生态重建,将把恢复生态学锻炼成为大尺度生态环境治理的主要手段。这将使生态学家在环境领域中有可能摆脱那种纯粹“咨询、顾问”者的角色,而成为具有高度实践能力的、具有“工程师”和“技术员”素养的专家。

(责任编辑 蔡 今)