

废弃矿山排险修复工程技术

孙廷仁^{1,2}

(1.山东省鲁南地质工程勘察院,山东 济宁 272100; 2.山东省华鲁工程总公司,山东 济宁 272100)

摘要:土地资源禀赋有限、土地供给紧张严重制约了经济发展,引发了多种社会问题;废弃地生态系统结构被破坏,存在地质灾害隐患,亟待治理;废弃地分布零散、资源配置不合理,在利用过程中存在过多不必要的损耗,需要集约规划。因此,本文主要通过废弃石灰岩矿破山体排险修复工程设计及建设光伏电站场地改造方式进行探讨,意在提出合理、实用的解决方案,为类似废弃地潜在利用价值开发提供思路。

关键词:土地问题;废弃地;地质灾害治理;工程技术;光伏电站

中图分类号:P642.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)10-0109-06

RSP and Rehabilitation of Abandoned Mines/SUN Ting-ren^{1,2} (1. Shandong Provincial Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Jining Shandong 272100, China; 2. Shandong Provincial Hualu Engineering Corporation, Jining Shandong 272100, China)

Abstract: The limited land resource endowment and the shortage of land supply restrict economic development seriously and have caused many social problems; The wasteland ecosystem structure is destroyed, resulting in geological hazards and needs to be managed. The scattered distribution of waste land and unreasonable allocation of resources have caused too many unnecessary losses in the process of utilization, which requires intensive planning. With analysis of the RSP and rehabilitation design of a damaged mountain zone at an abandoned limestone mine for conversion into a photovoltaic power station site, this article intends to put forward a reasonable and practical solution, providing insights for development of the potential value of similar waste lands.

Key words: land issues; abandoned land; geological disaster management; engineering technology; PV power station

0 引言

人类对自然的过度索取和改造造成环境恶化,诸如森林锐减、土地荒漠化、生物多样性减少等,日益严重的环境问题已经危及人类生存。我国人口基数大,人口数量增长较快,对土地需求量急剧增加,人口分布不均,东密西疏,造成土地资源过度开发与浪费并存的格局,引发了可利用土地储量不足和土地供需关系紧张两大土地问题。一方面土地资源禀赋有限,坚守 18 亿亩耕地红线,维持生态平衡的林地不能被破坏;另一方面土地资源需求较大,土地利用并不集约,我城市土地供应引发的矛盾已完全激化,相伴的还有土地申请困难的问题,影响了企业投资,限制了经济发展,虽然尝试了“土地置换”^[1]、“城市更新”^[2]、“退二进三”^[3]等提高土地利用率的办法,但是土地规划编制思路仍然具有明显的计划导向下分配控制指标的特征,土地整治管理制度尚需

优化,所以仍需探索适宜我国现今经济发展状况的土地规划之路。“谁开发,谁保护,谁污染,谁治理”的政策并不能得到有效执行,且仍存在较多非法开发、开采的情况,遗弃场地存在多种隐患,例如放射性污染、地质灾害等,亟待治理。这类土地的地理条件、权属关系、投资利用等方面存在较大问题,难以实施改造,只能暂时搁置。

近年来,崩塌地质灾害频发,一般的治理方式难以达到好的效果,必须采用更加安全可靠但成本较高的工艺方法^[4],甚至只能采用避让措施^[5]。城郊废弃地多存在崩塌隐患,目前其治理主要通过生态修复、景观改造,建成地质公园、湿地景区等游憩场所^[6-7],美化环境的同时带来经济、环境和社会效益,但投入巨大。本文通过对山东省济宁市嘉祥县废弃石灰岩矿区的光伏电站建设场地改造项目进行探讨,提出合理、实用的废弃地开发利用方案,为类

收稿日期:2018-06-21

作者简介:孙廷仁,男,汉族,1966年生,总工程师,高级工程师,水文地质与工程地质专业,从事基坑工程、破损山体治理设计及施工工作,山东省济宁市兖州区建设东路 272 号,suntingren@163.com。

似废弃地潜在利用价值开发提供思路。

1 项目概况

项目占地面积约 435779 m², 原为石灰岩矿露天采区, 现石灰岩矿已停止开采。

场区内主要出露地层为寒武系九龙群崮山组和张夏组, 地层总体倾向 320°, 倾角 5°~8°。区内海拔 30~125 m, 需治理采石坑内崖壁众多、陡峭, 坡角在 60°以上, 最大近乎垂直, 且顶底落差大, 多数在 35 m 左右, 最大处可达 90 m 以上, 部分治理山体情况见图 1。工区内主要地质灾害类型为崩塌, 主要因采石过程中放炮等人为因素造成, 加之后期风化作用影响导致岩石局部碎裂、松动。

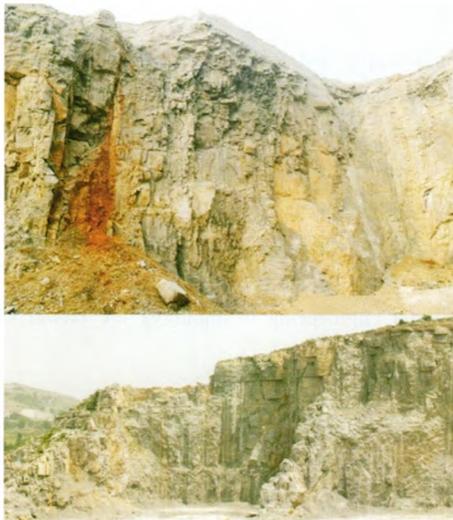


图1 项目区部分需治理山体状况

2 现状分析

(1) 地灾隐患严重。落差大、坡度大、面积大, 是该区边坡的三大特征。项目区周边有多个村落, 数百户村民, 借地而作、借道而过, 人类活动较多。危石危崖, 险坡险地, 若不及时整治, 一旦崩塌灾害发生, 后果不堪设想。

(2) 生态破坏严重。矿山开采导致项目区生态结构被破坏, 动物迁移、覆土扰动、植被消亡, 成为了一座“石山”。

(3) 环境污染严重。覆土匮乏、植被缺失、多风少雨, 导致工区粉尘污染严重, 影响了周边的环境和当地村民的健康。

(4) 开发前景优越。原山体部分经过开采已被采平且面积较大、底部平坦, 该区阳光充沛、日照时

间长, 年平均太阳辐射量 5105.02 MJ/m², 年平均日照小时数 2150.4 h, 适宜建设并网光伏电站。

3 修复工程技术

通过充分的现场勘查和研究实验, 本着有效防灾减灾、降低投入资金、增加土地利用等原则, 笔者认为在该场区较为适宜的设计治理方案为削坡排险→危石撬除→局部混凝土喷面或勾缝注浆→主动防护网→被动防护网→挡石墙→复绿等工艺相结合的方法, 以边坡排险加固为主, 非建设用地进行景观复绿, 覆土种植^[8]。本项目设计工作量与传统工作量相比见表 1。(1) 在渣土平整上工作量较多, 主要是为光伏板设施平整场地而产生的;(2) 主、被动网工作量较大是出于提高安全系数考虑, 需要保证跌落的石块能完全被阻挡;(3) 客土、营养土、植株、草种量小, 是因为场地多作建设用, 复绿面积小;(4) 水井和蓄水池少, 是因为对水需求少, 而光伏板配套设施带有蓄水池。

表1 本项目设计工作量与传统治理方式比较

内 容	传统工作量	本项目工作量
渣土平整/m ³	56127	140959
削坡排险/m ³	2700	2700
危岩体卸载/m ²	72480	72480
勾缝注浆/m ²	1344	1344
锚喷加固/m ²	10283	10283
主动防护网铺设/m ²	9745	17408
被动防护网架设/m ²	0	7931
挡石墙修建/m ³	1236	1236
防护栏杆安装/m	3267	3267
客土回填/m ³	300000	70000
营养土购置/m ³	12000	3000
道路修整/m	2000	2000
截排水沟/m ³	150	150
绿化水井及配套/口	2	1
蓄水池/个	5	0
植株购买/株	800	200
草种/kg	200	30
后期养护/年	3	3

注: 本项目工作量取自设计方案, 传统工作量由笔者单位根据矿山复绿设计相关要求设计后统计。

3.1 削坡排险

场区崖顶地层为张夏组页岩, 受风化严重, 机械可通行区域采用挖掘机挖除, 其他位置采用人工风镐撬除。搭建光伏板可利用区域整体挖除整平, 不可利用区域削坡坡率为 60°。排险后的弃土、弃石

弃于坡下,由土方队伍统一清运(图 2)。



图 2 坡顶削坡排险施工

3.2 危石撬除

场区崖面较高,不宜搭设脚手架,设置机械升降台耗时耗力耗钱。根据本工程实际情况,为更好的节省时间和方便施工,设计采用建筑施工用吊篮进行人工撬除。较大岩石采用千斤顶、撬棍相结合的方式清理,主要针对坡面上较大的对挂网及坡面安全存在一定影响及安全隐患的块石、碎石土(图 3)。



图 3 坡面危石撬除

施工中需注意如下事项。

(1)人员的安全防护工作。持证上岗,上岗前统一进行安全培训和技术交底。安全绳和安全带双重保护。

(2)危岩撬除施工。按“化整为零”为原则,按自上而下进行破碎清理。用铁锹(或风镐等)尽可能将危岩体清理成较小的碎石,同时避免破坏原性状良好的岩体而产生新的危岩。

3.3 勾缝注浆

局部存在裂隙,但整体性较好没法整块撬除或是撬除后可能产生更大裂隙和破坏的危岩,设计采用勾缝注浆加固(图 4)。

施工中需注意如下事项。

(1)勾缝前需清理缝内杂物。清理完危岩体及周边松动碎石后,将需要治理的岩体缝隙内杂物用毛刷等工具清理干净,气候干燥时用净水湿润工作面。



图 4 裂隙勾缝注浆

(2)配制水泥砂浆。按设计要求配制 M10 的普通硅酸盐水泥砂浆,配制的水泥砂浆充分搅拌成浓稠状。

(3)勾缝。将配置好的 M10 水泥砂浆用吊篮运输至需勾缝的岩体附近,用瓦刀等工具涂抹于裂隙内。裂缝较宽位置,表面用碎石砌筑,勾缝饱满无缝隙。较大的缝隙分段进行勾缝。

(4)勾缝后隔日用喷水枪喷水养护。

(5)待勾缝后水泥砂浆强度达到设计的 75% 或 5 日后,使用 M10 水泥砂浆进行注浆。人工将注浆管插入需要注浆的缝隙内底部。将配置好的水泥砂浆通过高压泵打入裂隙内,直至缝口顶部流出为止。

(6)补浆。隔日后,检查注浆后的缝隙,发现浆液不满要及时进行补浆。

3.4 混凝土喷面

崖面或是斜坡的危石经撬除后,裂隙依然发育的位置需要进行混凝土喷面处理(图 5)。施工顺序为:修整坡面→顶部土体和崖面连接处锚杆施工→布击入式土钉、挂钢板网→混凝土喷射→养护。



图 5 坡面喷面

施工方案如下。

(1)修整坡面。采用人工清理坡面并修正平整,平整度偏差 $\geq \pm 20$ mm。

(2)锚杆钻孔和安装。放线测量确定锚杆孔位,间距 2.5 m,按设计深度 0.5~1.0 m 钻凿,确保达到稳定性岩层。清理锚杆孔,孔深比设计锚杆长度

长5 cm以上,孔径为50 mm。对直接成孔的锚杆位置,下入锚杆后采用注纯水泥浆方式进行注浆。在进行下一道工序前注浆体养护 ≤ 3 d。

(3)钢板网布设。钢板网最上部与第一排锚杆绑扎连接,其他网片之间进行绑扎连接,并与击入式土钉进行有效连接。

(4)混凝土喷射。本工程喷射混凝土厚度80 mm,强度为C20。细骨料选用中粗砂,含泥量 $< 3\%$,粗骨料选用粒径 ≥ 20 mm的级配砾石。水泥与砂石的质量比取 $1:4\sim 1:4.5$,砂率取 $45\%\sim 55\%$,水灰比取 $0.40\sim 0.45$ 。喷射施工前,将所使用的原材料按规范要求取样复试以及做配合比试验,待材料检验合格及配合比报告出具后进行施工。喷射作业时,空压机风量 ≤ 9 m³/min,气压 $0.3\sim 0.5$ MPa,喷头水压 ≤ 0.15 MPa。喷射作业分段依次进行,同一分段内喷射顺序自上而下均匀喷射,喷射距离控制在 $0.6\sim 1.0$ m,喷射角度尽可能接近 90° ,以便获得较大的压实力和最小的回弹,喷嘴以环形(500 mm $\times 150$ mm)范围做曲线连续移动,以保证喷射均匀连续。

(5)养护。喷射混凝土终凝2 h后,进行喷水养护,养护时间 ≤ 7 d。

3.5 主动防护网

采用GPS2型SNS防护系统对危岩予以加固(图6)。纵横交错的 $\varnothing 16$ mm横向支撑绳(抗拉强度为155 MPa)和 $\varnothing 12$ mm纵向支撑绳(抗拉强度为155 MPa)与 4.5 m $\times 4.5$ m正方形模式布置的钢丝绳锚杆相连接并进行预张拉,支撑绳构成的每个挂网单元内铺设一张DO/08/300/4.0 $\times 4.0$ m型钢丝绳网,每张钢丝绳网与四周支撑绳间用缝合绳缝合连接并拉紧,该预张拉工艺能使系统对坡面施以一定的法向预紧压力,从而提高表层岩土体的稳定性,尽可能地阻止崩塌落石的发生并将小部分落石限制



图6 主动防护网施工

在一定的空间内运动,同时,在钢绳网下铺设小网孔的SO/2.2/50型格栅网,以阻止小尺寸岩块的崩落或限制局部岩土体的破坏。

施工顺序及工法如下。

(1)放线。放线测量确定锚杆孔位,孔间距 4.5 m $\times 4.5$ m(根据地形条件,孔间距可有 0.3 m的调整量),并在每一孔位处凿一定深度(不小于锚杆外露环套长度)的凹坑,一般口径 20 cm,深 20 cm。

(2)锚杆钻孔。按设计深度 $1.5\sim 3.0$ m钻凿锚杆孔并清孔,孔深比设计锚杆长度长 5 cm以上,孔径为 50 mm。当受凿岩设备限制时,构成每根锚杆的两股钢绳分别锚入两个孔径 ≤ 35 mm的锚孔内,形成人字形锚杆,两股钢绳间夹角为 $15^\circ\sim 30^\circ$,以达到同样的锚固效果。

(3)锚杆安装。注浆并插入锚杆(锚杆型号为 $2\times\varnothing 16$ mm钢丝绳锚杆,出露 20 cm,锚杆外露环套顶端不能高出地表,且环套段不能注浆,以确保支撑绳张拉后尽可能紧贴地表),采用M20水泥砂浆,孔内确保浆液饱满,在进行下一道工序前注浆体养护 ≤ 3 d。

(4)支撑绳安装与调试。安装纵横向支撑绳,张拉紧后两端各用 $2\sim 4$ 个(支撑绳长度 < 15 m时为 2 个,大于 30 m时为 4 个,其间为 3 个)绳卡与锚杆外露环套固定连接。

(5)格栅的铺挂。从上向下铺挂SO/2.2/50型格栅网,格栅网间重叠宽度 ≤ 5 cm,两张格栅网间的缝合以及格栅网与支撑绳间用 $\varnothing 1.5$ mm铁丝按 1 m间距进行扎结。

(6)钢绳网铺挂与缝合。从上向下铺设DO/08/300/4.0 m $\times 4.0$ m钢绳网并缝合,缝合绳为 $\varnothing 8$ mm钢绳,每张钢绳网均用一根长约 31 m(或 27 m)的缝合绳与四周支撑绳进行缝合并预张拉,缝合绳两端用两个绳卡与网绳进行固定联结。

(7)完善性工序。所有钢丝绳、钢丝绳在安装前,用沥青涂刷一遍用以防腐(锚杆锚入岩土体部分除外)。系统安装完毕后,用土或小石块将平铺在地面上的格栅压住,避免落石将格栅向上掀起。

3.6 被动防护网

本次采用被动防护网与传统设计有所区别,针对现场状况做了一定改进(图7)。

其施工工艺如下。

(1)施工前清除坡面防护区域内威胁施工安全



图 7 被动防护网施工

的浮土及浮石,对不利于施工安装和影响系统安装后正常功能发挥的局部地形(局部堆积体和凸起体等)进行适当修整。

(2)按现场实际地形在距离崖底部 8 m 位置对锚杆孔进行测量定位,平行间距 8.0 m (根据地形条件,孔间距可有 0.5 m 的调整量),在孔间距允许的调整量范围内,尽可能选择在岩石完整、坚固位置作为锚杆孔位。

(3)钻凿锚杆孔。相邻孔间距 8.0 m,锚杆孔钻凿孔径为 50 mm,锚杆与水平面的夹角为 15° ,依据设计锚杆孔位的岩石情况确定孔深,岩石若松散破碎,需加大深度,确保达到稳定性岩层,设计为 1.5 ~ 3.0 m。

(4)锚杆安装。将 $2 \times \text{Ø}16$ mm 钢丝绳锚杆放入孔内对中,锚杆埋深略小于孔深 5 ~ 10 cm,用 M20 水泥砂浆进行灌浆,孔内确保浆液饱满。

(5)选用 $\text{Ø}108$ mm \times 3.5 mm 无缝钢管,长 6 m,距钢管上、下两端 10 cm 处各打 $\text{Ø}20$ mm 的小孔两个。在靠近钢管位置悬挂减压环,接口用 $\text{Ø}19$ mm 轻型绳卡固定。

(6)上支撑绳选用 $\text{Ø}18$ mm 钢丝绳,将第一根支撑绳的挂环端暂时固定于钢管(分段安装时为每一段的起始钢管)的底部锚杆,然后沿平行于系统走向的方向上调直支撑绳并放置,并将减压环调节就位(紧邻钢管的减压环边距钢管约 50 cm);将该支撑绳的挂环挂于钢管的顶部;在第二根钢管处,用绳卡将支撑绳固定悬挂于钢管的外侧;在第三根钢管处,将支撑绳置于钢管内侧;如此相间安装支撑绳在钢管的外侧和内侧,直到本段最后一根钢管向下绕至该钢管锚杆上,再用绳卡暂时固定;再次调整减压环位置,当确信减压环全部正确就位后拉紧支撑绳并用绳卡固定。

(7)钢丝绳网的起吊就位方法根据现场施工场

地、机具(起吊滑轮组、钢丝绳、粗麻绳、葫芦、梯子等)、人力条件以及经验和习惯而定,一般采用以下方法:用一根起吊绳(钢丝绳或专门准备的粗麻绳)穿过钢丝绳网上缘第三排左右网孔,一端固定在临近钢管的顶端,另一端穿过悬挂固定于上支撑绳上的起吊滑轮组并使尾端垂落到地面附近;拉动起吊绳尾端,直到钢丝绳网上缘上升到上支撑绳水平为止,再用绳卡将网与上支撑绳暂时进行松动联结,同时也可将网与下支撑绳暂时联结以确保缝合时更为安全,此后起吊绳可以松开抽出;重复上述步骤直到全部钢丝绳网暂时挂到上支撑绳上为止,并侧向移动钢丝绳网使其位于正确位置;将缝合绳按单张网周边长的 1.3 倍截短,并在其中间点作上标志。

钢丝绳网的缝合:从系统的一端开始,先将缝合绳中点固定在每一张网的上缘中点处支撑绳上。从中点开始各用一半缝合绳向两侧逐步将网与支撑绳缠绕在一起,直到用绳卡将支撑绳并结在一起的地方之后,当到达钢管顶时,将缝合绳从钢管的前侧穿过,转向下继续将网与相邻网边缘或支撑绳缝合绳缠绕在一起直到锚杆。缝合绳的另一半从网上缘中点开始向右缝合,直到与另一张网交界的地方转向下将两张网缝合在一起,最后使左右侧的缝合绳端头重叠 1.0 m。当支撑绳分段设置而使一段拦石网的部分中部钢管有与其平行的单支撑绳时,由于钢柱间距的非完全均匀布置,钢丝绳网边缘可能不刚好在该钢柱处,此时在缝合完毕后用绳卡将钢丝绳网与该单支撑绳段松动联结,联结点间距 1 m 左右。

(8)格栅安装。格栅铺挂在钢丝绳网的内侧(迎坡面侧),并叠盖钢丝绳网的上缘并折到网的外侧 15 cm,用扎丝固定到网上;格栅底部沿斜坡向上敷设 0.5 m 左右,并为使下支撑绳与地面间不留缝隙,用一些石块将格栅底部压住;每张格栅间叠盖约 10 cm;用扎丝将格栅固定到网上,每平方米固定约 4 处。

3.7 挡石墙

挡石墙主要功能是限制落石的移动范围,限制行人车辆靠近崖底。其施工工艺及要求与传统方法类似(图 8),不再赘述。

4 效益分析

与传统以生态修复、景观复绿为主的治理方式



图8 挡石墙砌筑

相比,这种开发利用模式在达到治理效果的同时减少了资金方面的投入(主要由于复绿面积减少所引起的植种、覆土需求的减少),通过市场综合单价估算,本项目投资成本与传统治理方式相比,可以节约直接治理资金约500万元,若是在“本地治理,它地开发”的条件下考虑,能节约资金至少翻番。并且由政府出资转向企业出资,减轻了政府财政负担;将废弃矿山开发成为光伏电站,发掘了废弃地的潜在经济价值,既解决了企业申请建设用地难的问题,减缓了土地供给矛盾,实现了废弃地和建设用地“两地合一”的共赢,同时治理了粉尘污染,美化区域环境,还能提供清洁、环保的可再生能源,并由此带动了周边村镇的经济发展。项目全景见图9。



图9 项目全景

5 启示

废弃地问题是经济发展的后遗症,还需认真对待。开展废弃地“资源—资产—资本”的转变是可行的,也势在必行^[9]。

废弃地的开发利用可以尝试新的途径,对废弃地的适宜性评价^[10]和再利用分析^[11]有助于找到其新的开发利用方向,例如市区和近郊的废弃地可开发为景观公园或旅游度假村,废弃工厂、仓库可改造为娱乐竞技中心,风能、太阳能、地热能等能源充足废弃地可建设新能源设施,偏远的废弃地可建设危

险物资仓库,不适合建设的废弃地可开展土地复垦种植农作物或效仿国外种植生物燃料作物以取代传统燃料等。

笔者认为将废弃地开发利用与高尖新领域相结合前景优越,例如利用互联网和大数据思维,建立废弃地综合评估与信息共享平台,实现废弃地信息上传、查询、统计和公布,让企业可以从中获取需要信息,为其投资提供充足参考资料;利用航拍和三维建模技术,建立废弃地实景模型,实现三维可视化,企业通过平台就可以浏览废弃地全貌。

同时,政府应积极制定相关优惠政策,例如资金补助、周期性贷款基金、协同合作等模式,鼓励和吸引企业对废弃地进行治理和改造。

废弃地的“废”是因为人类没有找到它适宜的利用途径,对废弃地开展适宜性研究,尝试产业融合和跨界发展,锻炼超前规划眼光,制定合理的法律法规,才能变废为宝,让废弃之地浴火重生,变为黄金之地。

参考文献:

- [1] 赵沁娜,杨凯.发达国家污染土地置换开发管理实践及其对我国的启示[J].环境污染与防治,2006,(7):540-544.
- [2] 翟斌庆,伍美琴.城市更新理念与中国城市现实[J].城市规划学刊,2009,(2):75-82.
- [3] 周杨,张军连.基于“退二进三”政策背景下的城市内部区位定量化方法[J].济南大学学报(自然科学版),2014,(6):421-424.
- [4] 刘伍,樊金桂,郑小体,等.北京飞云瀑景点崩塌地质灾害分析及防治方法研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):9-15.
- [5] 袁鹏,赵大军,李佐春,等.宝兴县两河口山体崩塌应急治理方案设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):20-26.
- [6] 李晓君.从工业废弃地到游憩场所的景观改造与更新[D].天津:天津大学,2007.
- [7] 张毅川,乔丽芳,陈亮明,等.废弃地的景观与生态恢复研究[J].环境科学研究,2005,(1):17-20,85.
- [8] 孙延仁,张闻璟.破损山体治理新思路[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(3):53-57.
- [9] 蒋正举,刘金平.“资源—资产—资本”视角下矿山废弃地价值实现路径研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(11):159-165.
- [10] 王欢,王平,谢立祥,等.土地复垦适宜性评价方法[J].中南林业科技大学学报,2010,(4):154-158.
- [11] 程琳琳,姜尚,刘峦峰,等.矿业废弃地再利用空间结构优化的技术体系与方法[J].农业工程学报,2013,29(7):207-218,297.