

深凹露天矿坑回填工艺

宋子岭¹, 贾兰¹, 范军富¹, 杨占军², 高鹏²

1. 辽宁工程技术大学环境科学与工程学院, 辽宁阜新 123000
2. 抚顺矿业集团, 辽宁抚顺 113001

摘要 国内早期开发的露天煤矿多为倾斜煤层深凹露天矿, 不能实现内排, 开采结束后形成一个巨大的矿坑, 露天矿停产后对边坡、地下水等不再进行维护, 随着时间推移将会产生严重的地质环境灾害。回填露天矿坑是解决地质环境灾害的有效措施, 利用正在生产的相邻露天矿的剥离物作为回填物料, 采用溜井或溜槽工艺进行回填, 可充分利用物料重力进行运输, 可极大地降低运输成本。以抚顺西露天矿坑回填工艺为例进行研究, 提出了合理的回填工艺。

关键词 深凹露天矿坑; 回填; 工艺; 溜槽

中图分类号 TD8

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.04.007

Backfill Technology for the Deep and Concave Open-pit

SONG Ziling¹, JIA Lan¹, FAN Junfu¹, YANG Zhanjun², GAO Peng²

1. School of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China
2. Fushun Mine Group, Fushun 113001, Liaoning Province, China

Abstract Many early surface coal mines in China are deep and concave open-pits, and do not fit for dump. They will become an enormous pit when the mine is closed. Because the slope and the groundwater can not be maintained, the open-pit would cause geological and environmental calamities. The backfill open-pit is an effective measure for resolving the problem. The overburden of the neighboring producing surface mine provides the backfill material, and with the launder technology, the material transportation will be carried out by the help of the material weight, with a greatly reduced transportation cost. As an example, the backfill technology of the FUSHUN west open-pit is studied, and the reasonable backfill technology is proposed.

Keywords deep and concave open-pit; backfill; technology; launder

0 引言

国内早期开发的露天煤矿, 诸如阜新海州露天煤矿、新邱露天煤矿、抚顺西露天煤矿、内蒙平庄西露天煤矿、扎赉诺尔灵泉露天煤矿、河南义马露天煤矿等, 均为倾斜煤层深凹露天矿, 不能实现内排, 开采结束后形成一个巨大的矿坑, 这些煤矿部分已经闭坑停产、部分已进入残采期很快将停产。这些露天矿由于对边帮煤进行最大限度回收, 深部采用分段开采, 形成了较高的陡边坡。露天矿停产后对边坡、地下水等不再进行维护, 随着时间推移将会产生严重的地质环境灾害, 诸如滑坡、地表沉陷、地下水污染等。发生地质环境灾害后对其进行治理难度大, 一是治理技术难度大, 二是治理费用高。因此, 对废弃露天矿坑的治理较好的方法是回填, 回填露天矿坑是解决地质环境灾害的有效措施, 利用正在生产的

相邻露天矿的剥离物作为回填物料, 采用溜井或溜槽工艺进行回填, 可充分利用物料重力进行运输, 极大地降低运输成本。以抚顺西露天矿坑回填工艺为例进行研究, 提出了合理的回填工艺^[1]。

抚顺矿业集团有限责任公司西露天矿位于抚顺市望花区古城子街, 矿坑东西最长 6.6km, 南北最宽 2.2km, 矿坑面积 10.8658km²。西露天矿有近百年的开采历史, 最终采深 480m。

西露天矿目前实行分区开采、联合运输、内部排土的整体方案, 采煤方法采用东西拉沟, 水平分层, 南北推进的方法, 剥离和原煤均需穿孔爆破后用 4—10m³ 电铲采装, 剥离及煤炭采用 10—108t 汽车运输。目前, 西区坑底降深标高 -335m, 平均 -290m, 东区坑底最深标高 -200m, 平均为 -185m。截至 2010 年末全矿剩余总剥离量 3209.5 万 m³, 煤炭 1416.3

收稿日期: 2011-07-11; 修回日期: 2011-12-01

作者简介: 宋子岭, 教授, 研究方向为矿山环境工程、露天开采, 电子邮箱: songziling-163@163.com

万 t,煤岩平均剥离比 2.27m³/t,服务年限到 2017 年。

西露天矿坑下内排土场经过多年的建设已形成规模,由于西露天矿汽车与电铁剥离所占的比重发生变化,汽车剥离量逐年增大,电铁剥离量相应逐年减少,电铁内排土线由 10 条减至 4 条。-80 水平以下改为汽车排土场,-80 水平以上现有 172[#]、141[#]、143[#]、132[#] 4 条电铁内排线,排土能力约为 500 万 m³/a。4 条电铁内排土线主要负责东露天矿的剥离物排弃。汽车内排土场主要负责西露天矿的剥离物排弃^[1]。

1 西露天矿坑回填工艺

抚顺西露天矿经过百年的开采,将于 2017 年闭坑,形成一个东西长 6.6km,南北最 2.2km,面积 10.8658km²,最终采深 480m 的巨大矿坑。矿坑位于抚顺市内,如果不对其进行有效治理,对抚顺市的生态地质环境将会产生严重影响。而目前正在生产的抚顺东露天矿与西露天矿比邻,东露天矿也为倾斜煤层,不能实现内排,产生的大量剥离物需要非常大的外排土场,在抚顺市内选择一个排土场是非常困难的。将东露天矿的剥离物作为西露天矿的回填物料,既解决了东露天矿外排土场选址困难问题,也解决了西露天矿坑治理问题。

1.1 西露天矿坑回填的可行性

回填露天矿坑的前提条件是有足够的回填物料,一般人们会想到用露天矿外排土场的剥离物回填,但是,由于露天矿开采年限较长,外排土场经过多年的生态恢复治理已经形成了很好的生态环境,如果对其进行再次开挖将会破坏生态环境,排土场基地经过多年的覆盖也失去了生态功能,而且外排土场物料运至矿坑内的运输费用也会很高,综合分析用外排土场剥离物回填露天矿坑不可行。

利用比邻的东露天矿的剥离物作为西露天矿坑的回填物料是完全可行的,一是运距短,二是根据东露天矿初步开采设计,东露天矿总剥离量达 815.16×10⁶m³,为西露天矿坑提供充足的回填物料。

1.2 回填工艺方案的提出

抚顺西露天矿坑的回填工艺主要是指东露天矿采场剥离物向西露天矿坑排土场的运输工艺及其排土工艺。针对抚顺东露天矿现有开采工艺和实际情况,提出了 5 个可行工艺方案,即:(1)“铁道-电铲”排土方案;(2)“上部铁道-电铲”+“下部汽车-推土机”排土方案;(3)“铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土方案;(4)单斗铲-铁道-地面固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺;(5)单斗铲-工作面移动破碎机-胶带输送机-胶带排土机工艺^[1]。

运输方案不同,运距不同,排土场排弃方案不同。因此,需对 5 个方案进行技术经济比较确定最优方案。5 个排土方案,各有优缺点,需要进行详细地设计、分析、计算与比较,再选择合理的排土方案,通过初步分析:“铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土方案、单斗铲-铁道-地面固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺作为重点研究。通

过方案比较选出优化方案后,确定出最终运输排土方案。

1.3 “铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土方案

本方案是在 2017 年西露天矿停产,其下部的汽车-推土机排土台阶仍保持不变继续排土作业,但是,其排弃物料来自上部铁道向溜槽排放的剥离物,为上述两个方案存在的反向运输及安全问题,在西露天矿坑南帮设置向下溜槽,在最上一个汽车-推土机排土台阶水平上设置剥离物转载平台,通过溜槽溜下来的剥离物,在转载平台上用转载电铲装车运往排土台阶进行排土,溜槽位置根据排土台阶的发展需要及边坡稳定性选择,其原则是下部汽车运距短、溜槽稳定、使用寿命长^[4-6]。

这种排土方案具有能够充分利用西露天矿原有的运输与排土设备,避免反向运输(指运输设备),可充分利用物料的重力完成部分运输以节省能源,不改变东露天矿现有的开采工艺;但是,也存在溜槽选址困难,需要经常维护,设置转载环节从而增加转载费用等缺点。

1.3.1 溜槽位置的选择

依据排土台阶的发展需要及边坡稳定性来选择溜槽位置,确保溜槽稳定、使用寿命长、汽车运距短。

根据现场踏勘与排土工程发展以及排土工程量,在西露天南帮 E1000 与 E1500 位置设置 2 组溜槽,每组溜槽设置 2 个,E1000 位置处溜槽由▽+20 到▽-212。E1500 位置处溜槽由▽+20 到▽-250。溜槽位置见图 1。

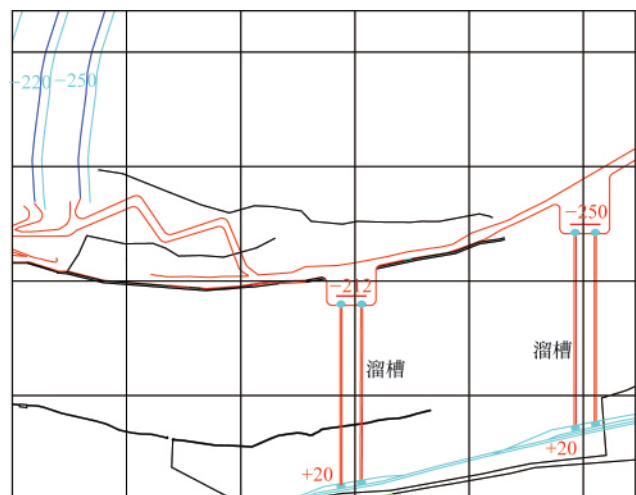


图 1 溜槽设置位置示意(单位:m)

Fig. 1 Laundry location (unit: m)

1.3.2 溜槽设计

(1) 溜槽受料口。由 60t 的电铁自翻车向受料口卸料,自翻车的尺寸长×宽×高=13m×3.3m×2.4m,受料口设计为漏斗形,受料口示意如图 2 所示。

受料口能力为

$$W = \frac{60Fv}{k_s} \quad (1)$$

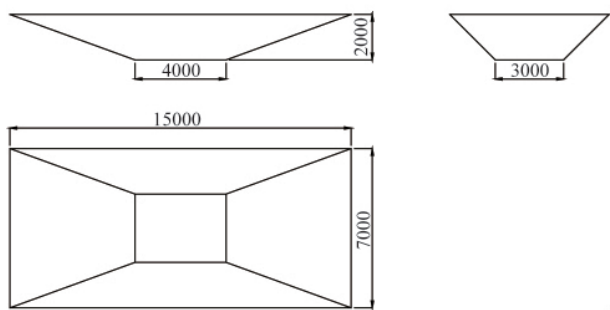


图2 受料口示意(单位:mm)
Fig. 2 Unload mouth (unit: mm)

其中, F 为溜口横断面积, m^2 ; v 为矿口溜放速度, 一般为 $0.2-0.4m/s$; k_s 为松散系数, 一般为 $1.5-1.6$ 。计算得

$$W=144m^3/min$$

满足卸料能力。

(2) 溜槽倾角设计。溜槽倾角应满足物料在溜槽内不堆积, 物料在溜槽上匀速直线运动时, 加速度 $a=0$, 其运动方程满足

$$\tan\alpha=f \quad (2)$$

其中, α 为直溜槽倾角, $^\circ$; f 为物料与底板的动摩擦系数。

摩擦系数与物料种类、粒度、溜槽材料等有关, 采用混凝土建造溜槽, 摩擦系数为 $0.65-0.70$, 同时, 物料由电铁卸入受料口具有一定初速度, 当溜槽倾角 $\alpha=33^\circ$ 满足物料在溜槽内滑移的要求。

(3) 溜槽断面设计。溜槽常用的有矩形、方形以及倒梯形等形状, 矩形多用于倾斜段, 也有采用 U 型和圆形断面的, 这两种断面虽流动阻力小, 但加工困难。为避免矩形溜槽出现死角堵塞的现象, 采用矩形溜槽, 并加以改进, 溜槽断面如图 3 所示。

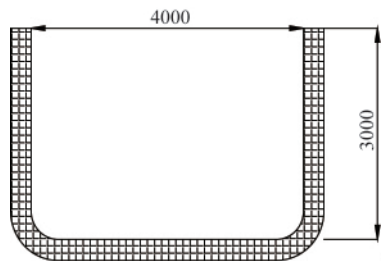


图3 溜槽断面示意(单位:mm)
Fig. 3 Launder section (unit: mm)

溜槽断面尺寸一般按输送物料的块度和运送量决定。断面宽为

$$b \geq d_{max} + 0.1$$

断面高

$$h \geq 1.5d_{max}$$

其中, d_{max} 为物料最大块度, m 。

东露天矿采用 $10m^3$ 挖掘机, 根据挖掘机对剥离物的块度要求计算得 $d_{max}=1.72m$ 。则

$$b \geq 3.54m, h \geq 2.58m$$

设计取

$$b=4m, h=3m$$

溜槽厚度为 $30cm$ 。

(4) 卸料程序。东露天矿年最大排土量为 1980 万 m^3/a 。而西露天矿西端帮 -79 水平以上现有 4 条电铁内排土线, 排土能力为 500 万 m^3/a 。所以, 溜槽设计生产能力为 1500 万 m^3/a 即可满足生产需要。溜槽的理论生产能力决定于上部受料口的吞吐能力, 上部受料口每班的能力 $Q_{班}$ 为

$$Q_{班} = \frac{T_b}{T} \cdot Q_{列} \cdot k_t \quad (3)$$

其中, T_b 为班作业时间, 取 $720min$; T 为列车入换时间, min ; k_t 为时间利用系数, 取 0.8 ; $Q_{列}$ 为列车有效装载体积, m^3 。

因此, $Q_{班}=7654m^3$, 年排土量为 $Q_{年}=535$ 万 m^3/a 。

一条卸料线年能力为 535 万 m^3/a , 4 条卸料线即可满足生产要求。

(5) 溜槽下部转载平台。溜槽溜放露天矿剥离物是露天矿山克服高差最有效、最经济的方法之一。在放岩作业时, 岩石在溜槽底的运动速度、滑动距离和跳跃高度, 是确定溜槽底部安全设施的基础。为保证工人及行车安全, 在溜槽底部装载平台须设安全平台, 并在安全平台范围外修筑挡墙, 挡墙能有效的阻止从溜槽下来的岩石对挡墙外设备和人员的伤害, 溜槽底部装载平台如图 4 所示。

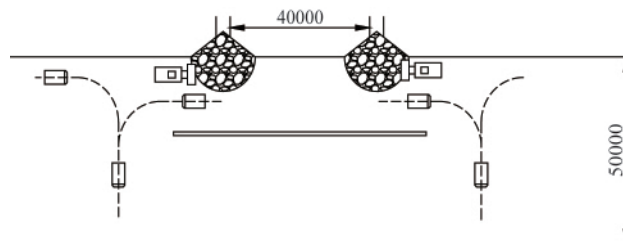


图4 溜槽底部装载平台(单位:mm)
Fig. 4 Load bench under launder (unit: mm)

安全平台宽度可取上述数学模型计算结果中岩石滑动或跳跃距离的最大值, 挡墙高度则取岩石的跳跃高度。根据跃起模型计算跳跃高度 $h_0=1.6m$, 溜槽距挡墙距离 $b=20m$, 挡墙高度取 $2m$ 。

1.4 单斗铲-铁道-固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺

单斗铲-铁道-固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺方案是在保留东露天矿坑内原有开采工艺基础上, 在西露天矿坑上部设置固定破碎转载站, 由胶带输送机运往 -79 水平以下的排土平盘, 胶带排土机排土, 形成半连续开采工艺。 -79 水平以上的排土台阶仍采用铁道-电铲排土, 以尽量减少剥离物的破碎量。使整个露天矿成为综合性开采工艺系统。

该工艺方案可充分发挥胶带输送机坡度大、作业效率高, 胶带排土机线性参数大、可实现高段排土等优点; 但是,

也存在剥离物破碎增加成本的缺点。

1.4.1 运输胶带线路的布置方案

为保证运输胶带的正常运行,防止剥离物下滑滞留,取胶带限制坡度为 15° 。胶带较长,填挖方工程数量多,如果线路选择不当会造成投资的巨大浪费和设备的运行效率低等不良后果。因此,根据具体地形情况和今后西露天内排土场排土程序发展的要求,在运输胶带线路的选择上提出了两套可行方案,进行技术经济分析比较后选择确定最优方案。

(1) 方案1:胶带系统布设在西露天南帮,由两条胶带组成整个胶带运输系统。与排土机相匹配,选用1.6m宽胶带,满足运输能力,相关参数见排土机选择^[2]。

① 1# 胶带系统。

胶带布设由四段组成,第1段自分流站沿东南帮公路至1号站,起点坐标为(E780,S360,-36),记为 k_0+000 点,该段终点坐标为(W40,S256),记为 k_1 点。自 k_0+000 点沿南帮公路向西方向,顺地形到 k_0+203 (E533,S309)点,该段由于顺南帮公路走势,地形满足胶带坡度,不必进行填挖方,胶带路基沿地形建设即可,该段为上坡段;自 k_0+203 点到 k_0+334 (E354,S320)点,该段地形存在一定坡度,需进行挖方,该段为下坡段;自 k_0+334 点到 k_0+668 (E124,S277)为上坡段,地形较复杂,需填挖方,该段为上坡段;自 k_0+668 点到 k_1 (W40,S256)点,该段跨越3号公路到达该段终点,为下坡段。

第2段自 k_1 (W40,S256)点沿1号站运输线到坑下调度位置,至点 k_2 (E577,S5)。自 k_1 (W40,S256)点沿1号站运输线到 k_1+529 (E450,S56)点,该段由于顺1号站原铁路运输线路走势,地形满足胶带铺设要求,无需填方量,该段为下坡段;自 k_1+529 (E450,S56)点沿1号站运输线方向,到坑下调度位置点 k_2 (E577,S5),该段需进行填挖方,为下坡段。

第3段由 k_2 (E577,S5)至点(E300,N45)。该段沿3号公路铺设,无需填挖方,为上坡段。

第4段由点(W300,N45)至 k_4 (W238,N260)点到达工作点,该段需穿越采场台阶,地形复杂,填挖方量相对较大,为下坡段。

② 2# 胶带系统。

胶带布设由4段组成,前3段在走向上与1#胶带线路相同,第4段由点(W300,N45)至 k_4 (W545,N33)点到达工作点,该段基本沿3号公路走向,需填挖方,为上坡段。

(2) 方案2:胶带系统布设在西露天南帮,由两条胶带组成整个胶带运输系统。

① 1# 胶带系统。

胶带布设由4段组成,与方案一1#胶带系统铺设相同。

② 2# 胶带系统。

胶带布设由3段组成,第1段在走向上与1#胶带第1段线路相同。

第2段由点 k_1 (W40,S256)至 k_2 (W519,S160)点,该段基本沿2号公路铺设,胶带系统坡度小,填挖工程量相对较小,为下坡段。

第3段由点 k_2 (W519,S160)至点 k_3 (W545,N34),到达工作点,该段地形复杂,填挖方量较大,为下坡段,坡度较大。

1.4.2 排土方式的选择

排土方式有排土机排土和移动式排土带式输送机两种方案。经综合分析考虑,选用排土机排土方式。

1.5 西露天矿坑回填工艺比选

通过对单斗铲-铁道-固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺方案与“铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土工艺方案比较,采用“铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土工艺方案在资金投入上要低于单斗铲-铁道-固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺方案,技术、管理经验也优于单斗铲-铁道-固定破碎转载站-胶带输送机-胶带排土机工艺方案。同时,西露天矿闭坑后原设备—汽车、推土机等可用于“铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”排土工艺方案,也可采用外包方式进一步节省投资。所以,推荐东露天排土工艺方案采用“铁道-电铲”+“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土工艺方案。

2 结论

(1) 废弃露天矿坑由于不再进行维护,随着时间推移,将会产生滑坡、地表沉陷、污染地下水等地质灾害,必须采取有效措施进行治理。

(2) 回填露天矿坑是治理废弃露天矿坑的有效措施,特别是利用邻近的正在生产的露天矿的外排剥离物作为回填物料是可行的。

(3) 对深大露天矿坑回填,采用“铁道-溜槽-汽车-推土机”联合排土工艺方案,技术上可行经济上合理。

参考文献 (References)

- [1] 高鹏. 抚顺东露天矿排土工艺研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010.
Gao Peng. Research on dumping technology of Fushun east surface mine [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2010.
- [2] 谷德富, 刘悦敏. 胶带机排土带宽度的参数优化[J]. 矿冶工程, 1999(3): 25-27.
Gu Defu, Liu Yuemin. *Metallurgy Engineering*, 1999(3): 25-27.
- [3] 姬长生. 我国露天煤矿开采工艺发展状况综述[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(3): 297-300.
Ji Changsheng. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2008, 25(3): 297-300.
- [4] 王蓉. 煤化工输送溜槽的设计[J]. 西部煤化工, 2010(2): 34-35.
Wang Rong. *West Coal Chemistry Engineering*, 2010(2): 34-35.
- [5] 王瑞利, 熊伟, 孙立军, 等. 水抛石溜槽设计与施工[J]. 水运工程, 2010(7): 137-139.
Wang Ruili, Xiong Wei, Sun Lijun, et al. *Water Conservancy Engineering*, 2010(7): 137-139.
- [6] 王瑞利, 熊伟, 孙立军, 等. 海石湾矿井选煤厂弧形溜槽设计 [J]. 煤炭工程, 2005(1): 18-19.
Wang Ruili, Xiong Wei, Sun Lijun, et al. *Coal Engineering*, 2005(1): 18-19.

(责任编辑 刘志远)