

国家自然科学基金项目(50474069)

露天煤矿半连续开采工艺 及应用技术研究

车兆学 才庆祥 刘 勇 著

中国矿业大学出版社

前 言

露天采矿的发展是与开采工艺及设备的不断更新密切相关的。在世界范围内,随着新设备、新技术的不断涌现,形成了多样化的露天开采工艺。大型汽车载重量已经达到 363 t,移动式破碎站的生产能力达到 10 000 t/h,带式输送机带宽达 3.2 m,运行速度达 7.5 m/s,单机长达 15 km,并可平面弯曲。露天煤矿的年生产能力达到 50 Mt,工效达 120 t/工以上。针对矿床赋存条件,优化选择开采工艺,可以大幅度提高经济效益。

半连续工艺具有连续工艺和间断工艺的综合优点。近些年来半连续工艺在国内外得到了快速发展。用半连续工艺对深大露天矿进行技术改造已成为主要的发展趋势。

书中系统论述了破碎机选型、破碎站系统及作业方式。提出了半连续工艺初始设置及破碎站移设步距的新理论;表土松软剥离物采用半连续工艺的关键设备——轮式软岩破碎机(专利);黄土剥离采用半连续工艺(与轮斗连续工艺相比)可使带式输送机系统输送能力提高两倍以上;露天煤矿条区开采扇形过渡条件下半连续工艺由外排转内排的条件及时间;带式输送机断面参数的优化;汽车运输合理运距的确定;采场下部水平汽车运输迈步式搭桥内排等理论。

近年来,我国露天煤矿得到了较快发展,先后建成了平朔露天矿区、霍林河露天矿区、准格尔露天矿区等,希望本书的出版能为我国露天煤矿的发展起到积极作用。

本书的出版得到了中国矿业大学露天开采与边坡工程研究所各位老师的帮助,得到了平朔煤炭工业公司及其安太堡露天煤矿和安家岭露天煤矿、小龙潭矿务局及其布沼坝露天煤矿和小龙潭露天煤矿、元宝山露天煤矿、准格尔能源有限公司及其黑岱沟露天煤矿、霍林河煤业集团有限责任公司及其一号露天煤矿长期以来在现场资料及科研项目上的支持,作者在此一并致以诚挚的谢意!

由于作者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2006 年 3 月

(若引用本书提出的采矿理论,请明确注明。)

目 录

1	概述	1
1.1	工艺选择的一般原则	2
1.2	半连续开采工艺的分类	4
2	露天矿半连续工艺类型	9
2.1	露天矿半连续工艺的设置类型	9
2.2	应用半连续工艺露天矿的成功实例	11
3	破碎机选型	18
3.1	传统破碎机介绍	18
3.2	轮式软岩破碎机介绍	20
3.3	粘性物料破碎机选型	23
3.4	破碎机生产能力及驱动功率	23
4	破碎站系统及作业方式	30
4.1	破碎站系统布置	30
4.2	破碎站作业方式	37
5	半连续工艺初始设置及破碎站移设步距	47
5.1	半连续工艺初始设置	47
5.2	露天煤矿破碎站移设步距	48
6	带式输送机	55
6.1	钢绳芯带式输送机	55
6.2	带式输送机断面参数优化	61
6.3	端帮带式输送机与工作面带式输送机的关系	66
6.4	带式输送机转载点过载问题	67
6.5	移置式带式输送机的移设	69
6.6	分流站	77
7	带式排土机	81
7.1	排土工艺过程和排土参数	83
7.2	排土机能力和设备数量确定	87
7.3	排弃方法	88

7.4	排土线推进方式·····	90
7.5	辅助设备·····	92
8	采煤半连续工艺系统·····	94
8.1	采煤半连续工艺条件下开拓运输系统设置类型·····	94
8.2	采煤半连续工艺系统研究实例·····	95
9	表土剥离半连续工艺系统·····	107
9.1	表土剥离半连续工艺概述·····	107
9.2	表土剥离半连续工艺系统研究实例·····	107
9.3	工程问题处理·····	126
10	硬岩剥离半连续工艺系统·····	128
10.1	硬岩剥离半连续工艺概述·····	128
10.2	硬岩剥离半连续工艺系统研究实例·····	128
10.3	半连续工艺由外排转内排的条件及时间·····	150
11	内排时期下部水平汽车运输开拓系统优化·····	151
11.1	迈步式搭桥贯通内排运输通路·····	151
11.2	内排时期下部水平汽车运输开拓系统优化实例·····	153
11.3	端帮边坡暴露时间·····	168
	参考文献·····	170

1 概述

露天开采的经济效果很大程度上取决于所采用的开采工艺系统。常用的露天采矿工艺系统有:单斗挖掘机—汽车工艺(间断工艺);轮斗挖掘机—带式输送机工艺(连续工艺);单斗挖掘机—(汽车)破碎站—带式输送机工艺(半连续工艺)。

从工艺环节看,单斗挖掘机具有设备价格低、性能可靠、适应性强、作业成本低等特点,年平均工作时间可达 6 500 h 左右。轮斗挖掘机价格昂贵,要求的作业条件苛刻,年平均工作时间仅为 4 000 h 左右,但由于其挖掘的物料块度适中,可直接配合带式输送机作业。

汽车运输具有机动灵活、适应性强等特点。但其自重能耗高,柴油消耗量大,轮胎消耗量大,维修费用高,单位运输成本大。

带式输送机运输具有输送能力大,单位运输成本低,可靠性高,维修费用低等特点。但系统投资大,机动灵活性差。剥离系统采用带式输送机运输时,需额外增加破碎站和排土机。用带式输送机取代汽车运输,可节约大量生产成本。带式输送机吨公里运费仅是汽车的 1/2~1/3。

汽车与带式输送机有效载荷能量利用对比分析见表 1-1 所示。

表 1-1 汽车与带式输送机有效载荷能量利用对比

项 目	108 t 汽车	172 t 汽车	带式输送机 ($L=1\text{ km}, v=5\text{ m/s}, Q=12\ 000\text{ t/h}$)
载重/t	108	172	605
自重/t	80	139	140
往返总重量/t	$80\times 2+108=268$	$139\times 2+172=450$	$605+140=745$
载重与总重量之比	1 : 2.5	1 : 2.6	1 : 1.2
载荷能量利用率	40%	38%	81%

通过表 1-1 可以看出,汽车运输能量消耗大约有 60%用于自重,只有约 40%用于运载物料。而带式输送机运输能量消耗的 80%是用于运载物料,只有约 20%用于自重。由此可见,在条件适宜的情况下,用带式输送机取代汽车运输可以节约大量能量消耗和生产成本。特别是在长距离运输情况下优势更加明显。

由于半连续工艺兼顾了单斗挖掘机、汽车和带式输送机的综合优点,因此近年来半连续工艺在国内外得到了迅速发展。在国内外的深大露天矿中,用半连续工艺对矿山进行技术改造已经成为主要的发展趋势。

1.1 工艺选择的一般原则

1.1.1 露天开采工艺系统选择的重要性

露天开采工艺系统是由不同作业环节的设备组成。露天开采实质上是大量土石方的移运,大型露天矿的年物料移运量可达亿吨以上。如此规模的物料移运量必须由大型设备组成的工艺系统完成。因此,工艺系统选择是露天开采设计的主要环节,其重要性表现在以下几方面:

(1) 对露天矿的投资有重大影响。一般设备投资占露天矿总投资的 50% 左右,故工艺系统选择将很大程度上影响到露天矿的投资额。

(2) 所选工艺系统有效与否将显著影响露天开采成本。

(3) 工艺系统一经形成,再变较困难,从而将长期影响到露天矿的建设和生产。

我国的几个大型露天煤矿床,在工艺选择上大都具“临界”特点。因而,合理选择开采工艺对矿区的开发效益有重要意义。

霍林河、伊敏河、黑岱沟、元宝山等露天矿开采工艺的选择,都历经了长时和多次的反复工作才基本确定下来。然而,就目前的认识水平看,所选择的开采工艺均存在着不同程度的不足,从而反映了工艺选择的困难性。

1.1.2 露天开采工艺系统选择的研究方式

由于工艺系统选择所涉及的因素繁多,其优化工作十分复杂,故历来都是露天采矿科学中的重要课题。在长期实践的基础上,开采工艺的选择理论和方法已有了相当进展,并正循着以下途径发展:

(1) 将复杂的工艺选择问题分解为不同层次的内容,对各个重要问题进行研究。例如:

① 不同开采工艺临界应用条件的研究。如矿岩硬度是连续与间断工艺的主要应用分界线,从而发展了各种岩石强度指标及其测定方法;间断工艺与半连续工艺的分界在于矿床的开采深度和矿岩的运输距离;间断工艺中各种采掘、运输设备的适用范围等。

② 不同开采工艺系统重要参数及其相互联系的研究。如车铲比、勺容比、破碎站移设步距及其设置位置、系统利用率、连续输送系统的可靠性等。

(2) 针对赋存条件较为简单的矿床建立计算机模型,以进行工艺选择及工艺参数的研究。如德国据北美矿山条件建立的用以分析半连续工艺系统应用有效性的计算模型;美工程设计公司所建立的水平矿床倒堆工艺参数计算模型;德国、美国建立的近水平褐煤矿床开采工艺选择模型等。

系统或设备的选择必须考虑众多的因素,如矿区地理位置及矿床赋存条件、资金,可供选择的设备及其特点、产量规模、作业成本等。上述诸因素所包括的内容很广泛,其中尤以矿床赋存条件所含内容最多,影响露天采矿工艺系统选择的因素有:地形及海拔高程,水文地质条件,表土层的厚度及性质,覆盖层的厚度及性质,矿床赋存特征(厚度、倾角、矿层数量等)及矿石性质,夹矸厚度、赋存特征及性质,采掘物料特性(腐蚀性、粘性、容重、松散系数、化学特性等),矿层底板弱层赋存情况,边坡及排土场稳定性,配矿需要,煤或矿石储量,土岩储存或排弃条件等。

为了方便设计工作,国内外的设计单位在实践经验基础上制定出规范和各种图表资料,为选择工艺系统提供指南。

表 1-2 为几种采掘设备指标对比。

表 1-3 为采掘设备应用指南。

表 1-4 为运输设备应用指南。

表 1-2 几种采掘设备指标对比

	每 m ³ 斗容的 设备重量/kg	每 m ³ 斗容的 总功率/kW	每 kW 的设备 重量/kg	每 m ³ 斗容 设备价格/美元	服务寿命/h
推土机(履带式)	—	—	143	—	12 000
铲运机(标准)	1 720	13.7	122	12 426	12 000
前装机	7 120	50.7	143	47 088	12 000
液压挖掘机	17 800	70.2	258	111 180	30 000
电铲	32 022	40	790	143 880	75 000
拉斗铲(迈步)	67 636	99.5	669	274 680	100 000

表 1-3 采掘设备应用指南

	前装机	液压挖掘机	电铲	拉斗铲
斗容(物料松散容重为 1.78 t/m ³ 时的立方米数)	2.3~18.4	2.3~22.9	11.5~38.2	7.6~13.8
平均产量(物料松散容重为 1.78 t/m ³ 时的 m ³ /h 数)	最大 1 530	最大 1 376(反铲) 最大 1 835(单斗)	最大 4 205	最大 5 734
挖硬岩能力	中	良	优	良
挖掘轨迹	半固定	变化	半固定	变化
工作面最大高度	低	高	高	高
卸载高度	有限	良	良	优
卸载难度	易	易	可能难	可能难
分采能力	良	优	中	中
灵活性	优	良	差	差
要求的底板条件	良	不严格	不严格	良(平)
天气影响	大	小	小	小
可靠性	中等	中等	高	高
机组人员	1	1	1~2	1~3
辅助设备	无	无	推土机	推土机
运营成本	高	中等	低	低
交货时间	短	中等	中等	长

表 1-4

运输设备应用指南

	前装机	铲运机	汽车	带式输送机
平均能力/ $t \cdot h^{-1}$	15~315	152~1 520	≥ 315	$\geq 1 830$
单机运距/m	达 800	达 1 200	达 2 500	达 5 000
坡度/%	达 12	达 12	5~10	达 27
重载平均速度/ $km \cdot h^{-1}$	8~16	24~40	32~55	10~22
运输大块物料	好	差	好	差
运输道路要求	用装载机准备	用铲运机准备	平道机	无(专用道路)
运距变化的灵活性	好	好	好	中等
改变路线的灵活性	好	好	好	差
改变生产能力的灵活性	好(调整机队 或作业时间)	好(调整机队 或作业时间)	好(调整机队 或作业时间)	中等(限于调整 作业时间)
雨天限制	降低生产 能力或停工	降低生产 能力或停工	降低生产 能力或停工	最小
可靠性	中等	中等	中等	高
无效时间(除去维护和修理时间)	道路维修	道路维修	—	移设输送机
辅助设备	无	有些情况下 用推土机推进	道路维护设备	用于周期 移设的设备
投资	中等	中等	中等	中等/高
生产费用	高	高	高	低

(3) 当汽车运距大于 3 km 或运输高差超过 80 m 时,应研究采用半连续工艺的可能性和经济合理性。

(4) 对水文地质和工程地质条件简单的水平煤层或缓倾斜煤层,底部煤层及上覆岩层厚度适宜时,应首先考虑使用拉斗铲倒堆剥离的可能性。

对于半固定式破碎站,移设步距是对运营费用影响甚巨的重要参数,应进行优化选择。

1.1.3 半连续工艺条件下的开拓运输系统

在倾斜矿层中,带式运输机系统可直接以倾斜或伪倾斜方式设置于矿层底板上。在水平及缓倾斜矿层中,当采用内部排土方式时,由于矿层底板被废石所占用,带式运输机的设置较为困难。一般可采用如下方式:明堑沟方式;井巷方式;置于矿层底板的人工构筑坑道(掩埋式坑道)方式;地表可移式明胶带;端帮高倾角胶带机等。

半连续工艺条件下的开拓运输系统合理设置与矿床赋存状态、剥采工艺、采区划分及开采程序、排土场设置等密切相关,其因地制宜性是很强的。

1.2 半连续开采工艺的分类

在露天矿山中采用带式运输机运输最早是出现在轮斗连续生产工艺系统中,主要是运送块度适宜的松软物料。20 世纪 50 年代末,在德国的诺德水泥公司石灰石矿采用了破碎站——带式运输机生产工艺系统,这样就使得带式运输机的应用范围更加扩大。60 年代开始,这种运输工艺逐步在金属露天矿得到应用。70 年代初,随着燃油价格的大幅度上涨,汽车

运输费用的不断增加,更加促进了破碎站——带式运输机生产工艺系统在铜矿、煤矿、铁矿等的应用。目前破碎站的生产能力也由早期的每小时几百吨增加到几千吨,最大的破碎站生产能力已达到一万吨以上。

1.2.1 破碎(筛分)站的形式

破碎(筛分)站一般有三种形式:移动式、半固定式和固定式。

1.2.1.1 移动式

移动式破碎(筛分)站自身具有行走装置,可随着工作面的开采而移动,由挖掘机或前装机直接向破碎站给料。按行走装置的不同,分为履带式、轮胎走行式、液压迈步式和轨道走行式。

移动式破碎站系统取消了汽车运输环节,挖掘机或前装机效率高,运输费用低。

1985年,南斯拉夫的奥玛尔斯卡露天铁矿使用了一台由克虏伯公司制造的履带移动式破碎站,用来破碎矿石,破碎站受料仓容积 45 m^3 ,行走速度 5.6 m/min ,生产能力为 $1\,000\text{ t/h}$ 。在澳大利亚和南非露天煤矿中应用的移动式破碎站生产能力分别达 $2\,300\text{ t/h}$ 及 $3\,000\text{ t/h}$ 。

格鲁舍夫锰矿采用了一种移动式筛分设备。该设备与 4 m^3 挖掘机配合,用来采掘硬度为 $f=5\sim 6$,厚度为 $5\text{ m}\sim 12\text{ m}$ 的石灰石岩层。该设备为一钢结构,由悬臂筛、料仓、给料机和滑撬组成。条筛由10根长 2.8 m 的P-50型钢轨组成,轨面朝下,间距 300 mm 。悬臂筛倾角可以调整。试验表明,筛子和水平面成 30° 角时效果最好。筛分率达 89.4% ,筛下物中 $0\sim 400\text{ mm}$ 块度的岩石量占 99.4% 。筛分装置重 13 t ,可用挖掘机或推土机移设。工作时,挖掘机将岩石装在条筛上面,筛下物由给料胶带向悬臂卸载胶带装载,后者把物料装入工作面带式输送机。筛上物约占 10.6% ,经倾斜条筛滑落在台阶底盘上,以后装入汽车。

在筛分设备中,一般采用棒条筛或滚轴筛。棒条筛结构简单,筛分效率约为 $50\%\sim 60\%$,根据矿岩性质不同,条筛一般设置成 $30^\circ\sim 50^\circ$ 的倾角,以便使大块矿岩能自动下滑。滚轴筛由一系列自动转动的滚轴组成,筛面倾角比较缓,一般设置成 $12^\circ\sim 15^\circ$ 。其特点是占用高度小,工作可靠,不易堵塞。

1.2.1.2 半固定式

半固定式破碎(筛分)站系统一般需要构筑少量的混凝土基础,随着采场的推进和延深进行定期移设。

破碎站系统移设方式有两种:一种是整体移设。移设时需要为其配备专门的移设设备——履带运输车。运输车可行驶到破碎站支架下,将破碎站顶起,移至新的工作位置。另一种是拆部件移设,到达指定位置后再重新组装。

1983年,美国的西雅里塔露天铜矿安装了一台组合式结构的半固定式破碎站,用来破碎深部的矿石。该破碎站主要有三部分组成:一台板式给矿机,一台生产能力为 $3\,630\text{ t/h}$ 的 60×89 型旋回破碎机,一台自行式排料输送机。辅助设备有:一台起吊能力为 360 t 的检修吊车和一台载重能力为 $1\,090\text{ t}$ 的履带运输车。移设距离为 300 m 时,从设备停机到新位置重新工作的全部移设过程的时间为 48 h ,履带式运输车在承载时的最大工作坡度为 12% ,一般可利用汽车运输道路进行移设工作,不需要为破碎设备移设另行修建道路。

1987年12月,智利丘基卡马塔露天铜矿安装了一台组合式结构的破碎站,用来破碎废石。工艺设备系统由日本三菱公司和德国克虏伯公司组成的联合体承包制造和安装。该系统包括一个破碎站、 7 km 长的带式输送机、一台卸料小车和一台排土机。此系统的平均小时生产能力为 $9\,000\text{ t/h}$,最大能力为 $9\,600\text{ t/h}$,废石的容重为 2.0 t/m^3 。破碎站由三部分组成:两台板式给料机、一台破碎机和一台排料输送机。移设时,每个组件部分由履带运输车单独运

输。破碎站设有两个给料仓,可同时允许6台汽车卸载,每个给料仓深11.5 m,有效容积约为270 m³。破碎机为60×109型旋回破碎机,机重1 090 t,它可将块度不大于1 800 mm的大块岩石破碎至300 mm以下的碎块。该系统的投资为8 500万美元(1987年价格)。

1988年,美国的宾厄姆露天铜矿安装了一套破碎站—胶带运输工艺系统。破碎机是由德国的PWH公司制造的60×109型旋回破碎机。破碎机小时能力为9 000 t/h,破碎站布置在台阶的凹进处,高36 m。破碎站安装在混凝土基础上。随着露天采场的推进,破碎站每隔7~10年移设一次。

1.2.1.3 固定式

固定式破碎(筛分)站系统是金属露天矿在20世纪80年代以前采用的型式。破碎站设置在混凝土基础上,生产能力大,作业可靠。但由于其需要开凿井下破碎硐室及构筑混凝土基础,基建时间长,费用高。并且随着采场的延深,汽车运距又不断加大,导致汽车运输费用增加。

国内采用半连续生产工艺的部分矿山主要有:

(1) 东鞍山露天铁矿(运岩):工作面采用机车和汽车运输,固定式破碎站,类型为 ϕ 1 200旋回式,生产能力1 160 t/h,系统全高21 m。胶带机带宽1 200 mm,长2 951 m,带速2.5 m/s。排土机排弃。系统生产能力600万t/a。

(2) 大孤山露天铁矿(运矿、岩):工作面运输岩石采用32~60 t汽车,矿石采用准轨机车。岩石采用9×1400旋回式固定破碎站,矿石采用9×1200旋回式固定破碎站。胶带机带宽1 400 mm,带速2.0 m/s,排土机排弃。系统生产能力矿石600万t/a,岩石850万t/a。

(3) 昆阳磷矿(运矿):工作面采用22 t汽车运输,采用900 mm旋回式固定破碎站,排矿块度150 mm,生产能力500~600 t/h。胶带机带宽800 mm,带速2~2.5 m/s。系统生产能力206万t/a。

(4) 石人沟露天铁矿(运岩):工作面采用20 t汽车运输,采用2100×1500颚式破碎机,2400×12000重板给矿机,生产能力500 t/h。胶带机带宽1 000 mm,带速2.5 m/s。排土机排弃。系统生产能力300万t/a。

(5) 霍林河露天煤矿(运煤):工作面采用68~108 t汽车运输,半固定式破碎站为D2000喂给式,生产能力2 000 t/h。胶带机带宽1 200 mm,带速3.15 m/s。系统生产能力1 000万t/a。

(6) 抚顺西露天煤矿(运煤):工作面采用68 t汽车运输,固定式破碎站为2台选择性破碎机,生产能力1 200 t/h。胶带机带宽1 200 mm,带速2.97 m/s。系统生产能力500万t/a。

(7) 元宝山露天煤矿(运煤、岩):工作面采用68 t汽车运输,煤岩共用3台半固定式破碎站,单机生产能力1 400 m³/h。胶带机带宽1 200 mm,带速3.15 m/s。系统生产能力(煤)500万t/a,岩1200万m³/a。

1.2.2 半连续工艺系统及其环节组成

针对不同的被开采土岩的性质,系统中间断作业式设备与连续作业式设备可有多多种搭配方式,形成多种多样的半连续工艺系统。例如:

单斗挖掘机——粗破碎(筛分)——带式运输机(带式排土机)工艺系统;

单斗挖掘机——汽车运输——粗破碎(筛分)——带式运输机(带式排土机)工艺系统;

多斗挖掘机——汽车运输(铁道运输)工艺系统;

露天采矿机——汽车运输(胶带运输排土)工艺系统等。

以上多种半连续工艺系统,基本上可分为两大类,即采掘设备为间断作业式的间断—连续工艺系统,采掘设备为连续作业式的连续—间断系统。后者主要用于松软或较松软土岩的开采,前者可用于坚硬岩石或松软土岩的多种组合方式。

在半连续工艺系统的环节组成上,需因地制宜地作出灵活选择,并有以下特点:

(1) 在各个生产环节上,如采掘、运输、排卸等环节,都有多种设备可供选择,较之单一的连续工艺系统或间断工艺系统有更多的选择余地。

(2) 间断作业式设备与连续作业式设备之间的过渡环节,往往成为半连续工艺系统中的关键环节。

(3) 通过合理设置缓冲矿仓,以形成柔性生产系统,是保证半连续工艺系统可靠运转的重要环节。

(4) 矿岩块度组成及其优化控制是影响半连续工艺系统效率的一个重要因素。

1.2.3 转载站型式及其布置

根据采装机械与转载装置间的关系,转载方式可分为两种:一种是由单斗铲直接向胶带机转载,即通过自行式转载装置转载;另一种是工作面采用汽车进行短距离运输,然后向破碎(筛分)站进行转载。

转载站一般有如下几种形式:

(1) 料仓式转载站。在矿石块度不需破碎可直接由胶带机运送的情况下,物料由自卸汽车卸入料仓,经溜口和闸门或由给矿机有控制地给料。

(2) 筛分转载站。此时筛上大块一般用辅助机械进行破碎或由汽车运出,筛下的物料经料仓和溜口闸门转载到胶带机上运出。

(3) 筛分破碎转载站。物料需首先经筛分,筛下物料直接进入料仓和胶带机,筛上大块落入破碎站进行破碎,经给料机装入胶带机运出。

(4) 破碎转载站。此种转载方式是将所运送的物料全部卸入破碎站进行破碎,然后装入胶带机运出。

破碎转载站型式的合理选择与优化设置,与矿床埋藏条件、矿岩特性、工艺系统、开拓运输系统等因素密切相关。

1.2.4 半连续开采工艺的优缺点及应用条件

1.2.4.1 优点

(1) 可提高挖掘机效率 30% 以上。

(2) 由于采用大型单斗挖掘机匹配高速宽带式输送机,可扩大开采规模,目前此类型露天矿年矿岩开采量可达亿立方米。深凹露天矿年下降速度可达 20~30 m。

(3) 深露天矿应用胶带陡沟开拓可克服大坡度,缩短运距,减少汽车需要量及燃油消耗。在相同规模条件下,若汽车只限于工作面运输,则半连续工艺需要的汽车数量较全汽车运输间断工艺可减少 25%~40%。

(4) 在露天矿边帮铺设带式输送机可减少开拓工程量。

(5) 生产费用较间断式(汽车)运输为低,可降低运输成本 15%~40%。

1.2.4.2 缺点

(1) 由于胶带运送矿岩对块度有较严格的限制,一般情况下不得大于 350 mm~400 mm,因此对穿爆工作要求高。

(2) 为保证块度均匀,须设破碎或筛分装置,增加生产环节使生产系统复杂化。

(3) 采场内如采用半固定破碎站时,破碎站需将随着采掘工作面变化进行移设,使生产与基建易形成干扰。

(4) 若采用边帮上铺设明胶带运输,受气候影响大。

(5) 生产管理要求严格,带式输送机出现故障停运,对生产影响大。

(6) 采用地下硐室设置带式输送机时,井巷开凿工程量大。

根据上述情况,对适于应用半连续工艺的露天矿要注意因地制宜,扬长避短,充分发挥其优越性,故要求做到以下几点:

由于半连续工艺的初期投资往往大于汽车运输工艺方案的投资,故生产露天矿改造时,一定要注意破碎站设置深度,使较长时期内有较好的经济效益。一般运矿(煤)系统可有较可靠的效益,对剥离系统采用半连续工艺应进行慎重分析比较。

采用移动破碎站时,铺设工作面带式输送机要注意工作线平面形状是否平直,以减少输送机的交接点,加大系统工作的可靠性。

合理地确定带式输送机的坡度。一般胶带输送坡度较铁道、公路运输大,下坡重载可达20%~25%,上坡重载为25%~30%。且在采矿场与选矿厂高差较大重载下运时,带式输送机下坡运输可以反馈发电。如印度的巴苏铁矿下行高度为390 m(坡度为8°)可发出600 kW电能。

2 露天矿半连续工艺类型

2.1 露天矿半连续工艺的设置类型

2.1.1 单斗挖掘机—(汽车)—破碎站—胶带运输类型

此种类型是坚硬矿岩露天矿半连续工艺的主要应用方式,主要特点是按矿山工程发展的不同方式选择破碎或筛分机械,设置胶带运输在坑内和地表的运输环节,以这两部分环节组成不同工艺系统。

(1) 破碎站位置可设在工作面、露天矿坑内边帮、境界外地表或坑底

① 在工作面的破碎站直接接受挖掘机装车,随挖掘机移动而移动,一般为移动式破碎站。

② 破碎站在露天矿坑内边帮某一位置,为几个开采水平服务,但破碎站需随开采水平延深而向下移设,称为半固定式破碎站。半固定式破碎站一般无走行装置。

③ 设在露天矿地表境界外或最终开采深度下坑底硐室内,属于固定式的破碎站,一般不再移设。

(2) 坑内运输主要是指工作面运输及坑内干线运输两种

① 工作面运输是指从采装机械到破碎转载站之间的矿岩运输,一般在深露天矿需要经过几个水平运到破碎站,较多情况下是采用汽车运输。但也有深部水平采用铁路运输,将矿岩运到转载站。俄罗斯南方采选公司是年产 30 Mt 矿石的特大型露天铁矿,坑底工作线长度为 1 800 m,利用 3.0 kV 的 ПЭ—2M 牵引机组将铁路运输的大量矿石从坑底运到离地表 100 m 的破碎站,破碎后运到地表。

② 坑内干线运输是指从破碎站将经过破碎后的矿石运到地表的运输路径。主要方式有两种:第一,胶带设在边帮上,若边帮为非工作帮,则带式输送机为固定的;若边帮为工作帮则要定期移设;若为过渡的非工作帮(分期境界)则需较长时间才移设带式输送机。第二,将带式输送机设在地下巷道及硐室内,地下巷道有平巷、斜井。

(3) 地表运输

矿岩地表运输主要服从于矿岩物料的终点类型,如矿石则用带式输送机、汽车或铁路运往选矿厂(或储矿仓)。如剥离土岩运往排土场可采取下列方式:① 地表带式输送机—排土机排土;② 汽车—推土机排土;③ 铁路运输—排土犁排土。

(4) 根据破碎站及坑内运输方式组成了各种应用半连续工艺的深部开拓方式

一般深露天矿开采时采用半连续开采工艺。利用汽车—带式输送机对开采深部水平具有较大的灵活性和优越性。这是由于带式输送机的提升坡度可达 $16^{\circ}\sim 18^{\circ}$,汽车在坑内呈最短运输距离。铁路运输则用于走向长度较大的露天矿坑内运输,以降低成本。

2.2.2 连续挖掘机—汽车(铁道运输)形式的半连续工艺类型

(1) 轮斗挖掘机或链斗挖掘机进行采掘松软物料,然后以跨门式卸载斗将物料装入汽车

或铁道车辆。美国 Bucyrus—Erie 公司于 1984 年制造的重 815 短吨、理论能力为 6 900 m³/h 的轮斗挖掘机,用于加利福尼亚州圣路易斯水坝工地上,它将土装入柴油驱动的 100 t 汽车。

(2) 露天采煤机—汽车运输。采煤机对有夹矸层的水平煤层进行选择开采,工作面应用汽车运输,对煤及矸石分别装车,下一环节干线运输既可胶带运输也可汽车继续作爬坡运输。

(3) 在连续开采工艺中,有时以间断开采工艺作为采掘硬岩夹层的辅助工艺,实际是连续和间断两种工艺配合应用。

图 2-1 为 W. Vogt 教授对连续开采工艺中开采坚硬夹层应用间断工艺的设备组合方式。图中的各种设备组合展示了实际工作中,各种条件下采用各种设备组合及开采工艺的广泛而机动的路径和方法,只要在技术上、经济上合理,各种工艺的综合应用是现代深露天矿开采工艺的发展方向。

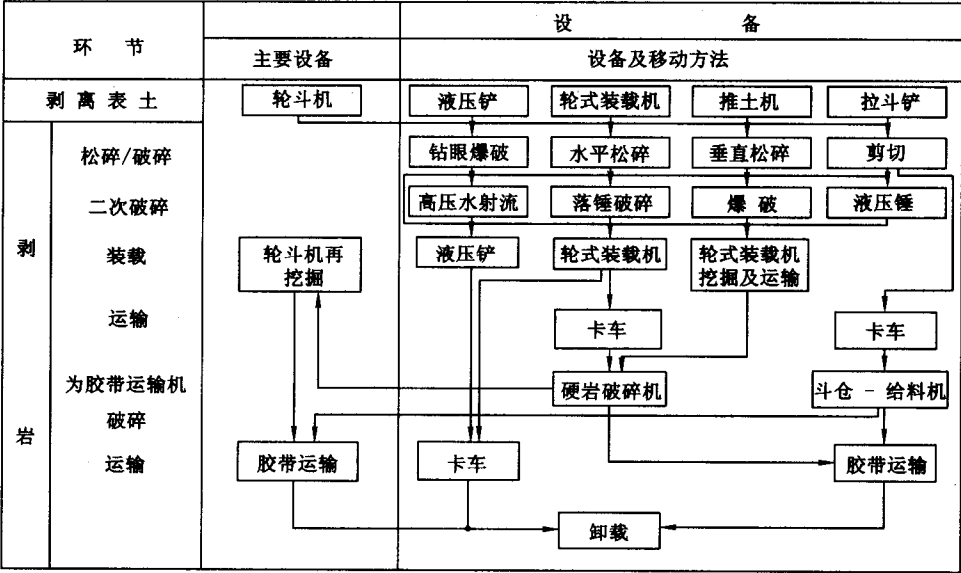


图 2-1 半连续工艺流程及设备图

2.2.3 推土机(拉斗铲、铲运机)—破碎或筛分装置—带式输送机类型

该工艺方式适用于松软土层的剥离或采矿,一般不需要穿孔爆破,必要时辅以松土机将土岩犁松,然后经过筛分(破碎)、装上工作面带式输送机。美国双峰露天铜矿和西班牙马克萨多露天铁矿即应用此方式进行表土剥离。马克萨多露天铁矿自 1976 年起每年剥离冲积层 17 Mt,表土冲积层厚 40~80 m,按 18 m 高台阶用铲运机进行拖拉作业,然后用 D—9 型推土机将土下推,通过溜槽及 250 mm 筛子进入移动式带式输送机,并随开采而不断移设。

美国双峰露天铜矿在采场东北部表土部分利用台阶开溜槽,推土机将冲积物推入溜槽滑入板式给料机,经过固定筛分机送入带式输送机,然后送入采场东部排土场。高 30~90 m 的台阶上开有溜槽,台阶底部装有上述装置,并铺设 5 台短胶带,每小时运量为 2 000 t,筛上大块用汽车运输。

其采场南部用 40 m³ 铲运机(双推土机)装运冲积覆盖层。该矿在 1965~1969 年利用推土机、铲运机和胶带运输系统完成 270 Mt 基建剥离量。到目前为止,在表土剥离中仍继续使用这种推土机(前装机)—筛分装置—胶带运输系统。

本方式若岩石松软块度不大,也可不采用筛分装置,直接装至带式输送机。如巴西的萨马尔科露天铁矿。

半连续开采工艺的工艺流程及设备型式如图 2-2 所示。

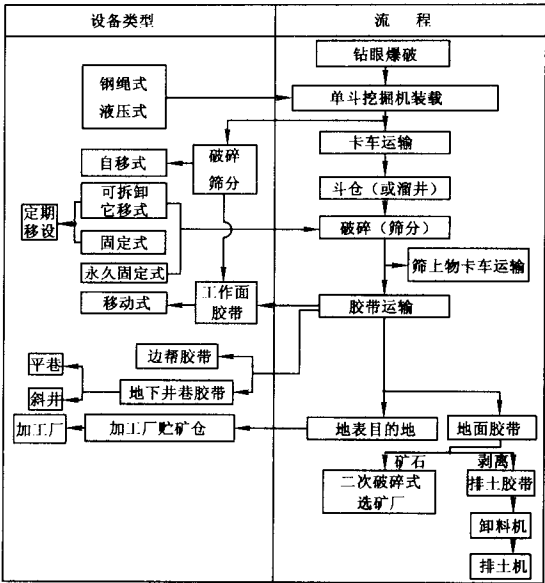


图 2-2 半连续开采工艺的工艺流程及设备型式

2.2 应用半连续工艺露天矿的成功实例

目前,国外常用的半连续工艺可归纳为三种主要方式:① 单斗挖掘机—汽车—半固定式破碎站—边帮胶带运输;② 单斗挖掘机—移动式破碎站—工作面胶带机;③ 单斗挖掘机—汽车—半固定式地下井巷输送机。

本节实例围绕上述方式介绍。

2.2.1 美国西雅里塔露天铜钼矿

该矿采用单斗挖掘机—汽车—半固定式破碎站—带式输送机方式。

本方式是国内外大型露天矿使用较多的一种半连续开采工艺方式。其工艺系统为单斗挖掘机将矿岩装入自卸汽车,汽车自工作面沿平盘运行至端帮或须上下经几个台阶至端帮,卸入端帮的破碎站,将矿岩破碎至胶带运输要求的块度,经给料机装到边坡提升带式输送机运至地表卸矿厂或排土场。

西雅里塔露天铜钼矿位于美国亚利桑那州图克森西南 48 km。原来岩石采用汽车运输,矿石是汽车—固定破碎站—地面带式输送机系统,改造设计始于 1974 年到 1976 年 11 月,工程施工于 1975 年 8 月开始至 1977 年 5 月。矿石、岩石分别改造成汽车—破碎站—带式输送机系统。

1977 年时,该矿采场尺寸 1 500 m×1 800 m,开采深度为 225 m,1978 年为 240 m,台阶高度为 15 m,最终边坡角为 45°,改建后的西雅里塔露天矿生产能力已由 60 kt/d 增至 92 kt/d,采剥总量则达 266 kt/d。废石破碎站将原两台矿石破碎机内腔扩大到 2 500 mm,每台处理能力为 4 000 t/h,整个废石破碎站能力为 8 000 t/h,该破碎站——带式输送机系统平面图如图 2-3 所示。

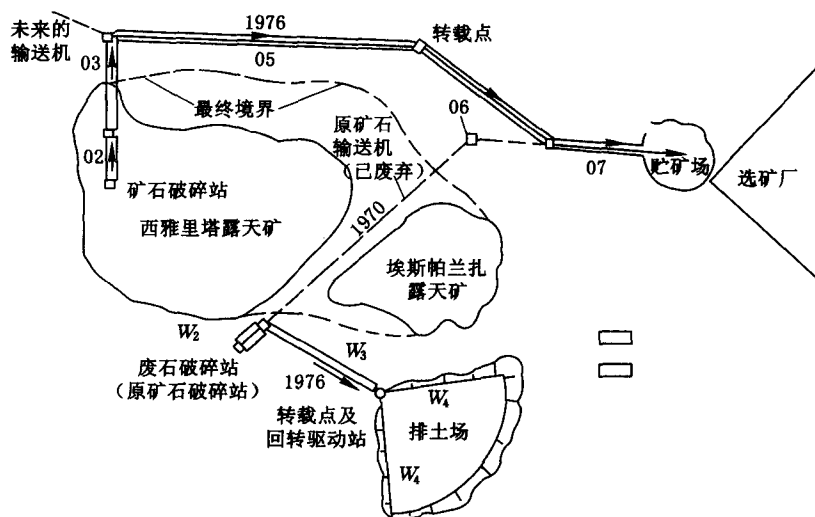


图 2-3 西雅里塔露天矿的破碎站一带式输送机系统平面图

矿石破碎站安设两台阿里斯-查尔默斯公司制造 $1\,524\text{ mm} \times 2\,260\text{ mm}$ 的 6089 型旋回破碎机,排矿口为 162 mm ,处理能力为 $3\,200\text{ t/h}$ 。该破碎站包括板式给矿机、破碎机、卸料输送机、可接长的可移式带式输送机各 1 台,并附有履带式运输车 1 台,轮胎式检修吊车 1 台。前述各种设备均可用履带式运输车分别搬运。

当破碎站系统在西雅里塔露天矿投入生产后,每隔 6~9 月移动一次,其移动距离为 $300 \sim 800\text{ m}$,在 48 h 内即可在新的作业场所快速组装。

本工艺方式的应用条件较广泛,如:① 坚硬岩石,爆破后仍需破碎才能由带式输送机运输;② 工作面不宜布置带式输送机;③ 矿岩互层,混杂较多,单一工作面胶带运输难以分运;④ 半固定式破碎站移设较易,影响时间较短。

2.2.2 南非锡兴铁矿

锡兴铁矿从 1974~1981 年生产能力不断增长,现已达到 110 Mt/a 。采取的技术措施是:① 改变采矿工艺及采用大型设备。设备改为 14 台载重 90 t 和 66 台 150 t 后卸式电动轮汽车,7 台斗容为 15.3 m^3 和 9 台斗容为 11 m^3 的挖掘机及 418 mm 的电动牙轮钻机。运输系统采用了坑内破碎站一带式输送机和排土机系统;② 应用计算机管理的矿山计划系统,即地质数据、矿体模型,境界设计和矿山工程生产计划;③ 汽车由人工调度改用计算机调度;④ 汽车改为电力—柴油驱动,架线供电的线路在 1989 年底扩建到 $7\,010\text{ m}$,即所有 150 t 汽车最后都装备无轨变电弓和控制装置。

以上 4 条措施使露天矿坑开采面积达 11 km^2 ,采用半连续达到了 3 个目的,即扩大生产规模至 110 Mt ,节约柴油 9 年累计 100 ML ,降低运输成本约 11.3% 。

锡兴露天铁矿采场内剥离岩石采用了坑内破碎站一带式输送机的 ICC 系统。使用 150 t 后卸式汽车把松散容重为 $1.38 \sim 2.5\text{ t/m}^3$ 、块度达 1.5 m 的废石运往破碎站。破碎站将岩石破碎到 250 mm ,再用一组带式输送机运往排土场。

ICC 系统包括以下主要部件:

(1) 一台可拆卸的半固定式破碎装置。它由 1 台阿里斯—查尔默斯 60—109 型旋回破碎机,1 台 $3\text{ m} \times 9\text{ m}$ 板式给料机和 1 台 $3\text{ m} \times 9\text{ m}$ 的板式排料机组成。

(2) 一条配料带式输送机系统。它包括 1 台宽 2 100 mm 的主卸料输送机,1 台 1 800 mm 宽的倾斜输送机(提升高度 70 m),1 台 1 800 mm 宽提升高度为 35 m 的倾斜输送机。

(3) 一套排土系统:它包括 1 台宽 1 800 mm、长 1 800 m 可伸缩的给料运输机,1 条宽 1 800 mm、长 1 100 m 的可移式输送机,1 台桥式转载机(长 22 m)和 1 台堆积高度可达 20 m 臂长 56 m 的履带式排土机。

上述 ICC 系统投入运转时,可达 250~300 kt/a,设备利用率为 75%,小时能力为 5 000~6 000 t。

对于上述两个半连续工艺系统中的半固定破碎站要随开采水平下降而向下移设。因此,西雅里塔露天矿和锡兴露天铁矿应用的定期移设的可拆卸的破碎站,均属半固定式破碎站。这种破碎站装设有不同形式的可拆移的金属框架,本身无行走设备,要借助履带车将几个拆卸的部分进行搬移。

2.2.3 泰国马也莫褐煤露天矿

该矿采用 3 台半固定式破碎站的半连续工艺系统。

马也莫露天煤矿属 Mae Moh 工程项目的-一个部分,马也莫煤田位于泰国北部,计划建设 1 725 kW 电厂,目前 3 台 75 kW 和 4 台 150 kW 机组已完全运转,尚有 3 台 300 kW 机组在设计阶段。它需要从目前年产 1.3 Mt 增加到年产 12 Mt,剥采比为 5 m³/t,目前年生产能力约 4.5 Mt。

褐煤层有两层主要煤层,厚度 10~30 m,由一层厚也是 10~30 m 的粘土和页岩层所分隔,煤的发热量为 7 113~17 573 J/g,设计需发热量为 11 297 J/g。

采场平均采深为 100 m,排土场排弃高度 100 m 以上。

有关公司决定分两个阶段建设:

(1) 1982~1983 年期限内每年完成 15 Mm³ 剥离量进行招标。

(2) 1985 年中期为完成半固定破碎站—带式输送机—排土机的连续运输系统进行招标,在决定方案前进行了三个方案的比较,如表 2-1 所示。

表 2-1 工艺环节

方案	I	II	III
破碎	间断	间断	间断
装载	间断	间断	间断
运输	连续	间断/连续	间断
排土	连续	连续	间断
破碎	钻孔爆破、犁松	钻孔爆破、犁松	液压铲、钻孔爆破
装载	液压铲钢绳铲	液压铲	液压铲
运输	移动式破碎站、带式输送机	汽车、半固定式破碎站胶带运输	汽车
排土	排土机	排土机	汽车推土机

方案比较结果为第 II 方案在技术上及经济上可行。采用设备为:① 7 台 13 m³ 液压铲,20%剥离量需爆破;② 19 台 85 t 汽车,平均运距 400 m;③ 5 台带式输送机,共长 5.5 km,宽 1 800 mm,速度 5 m/s,最终排土带式输送机作扇形推进,覆盖 5 km² 排土面积;④ 排土机履带式行