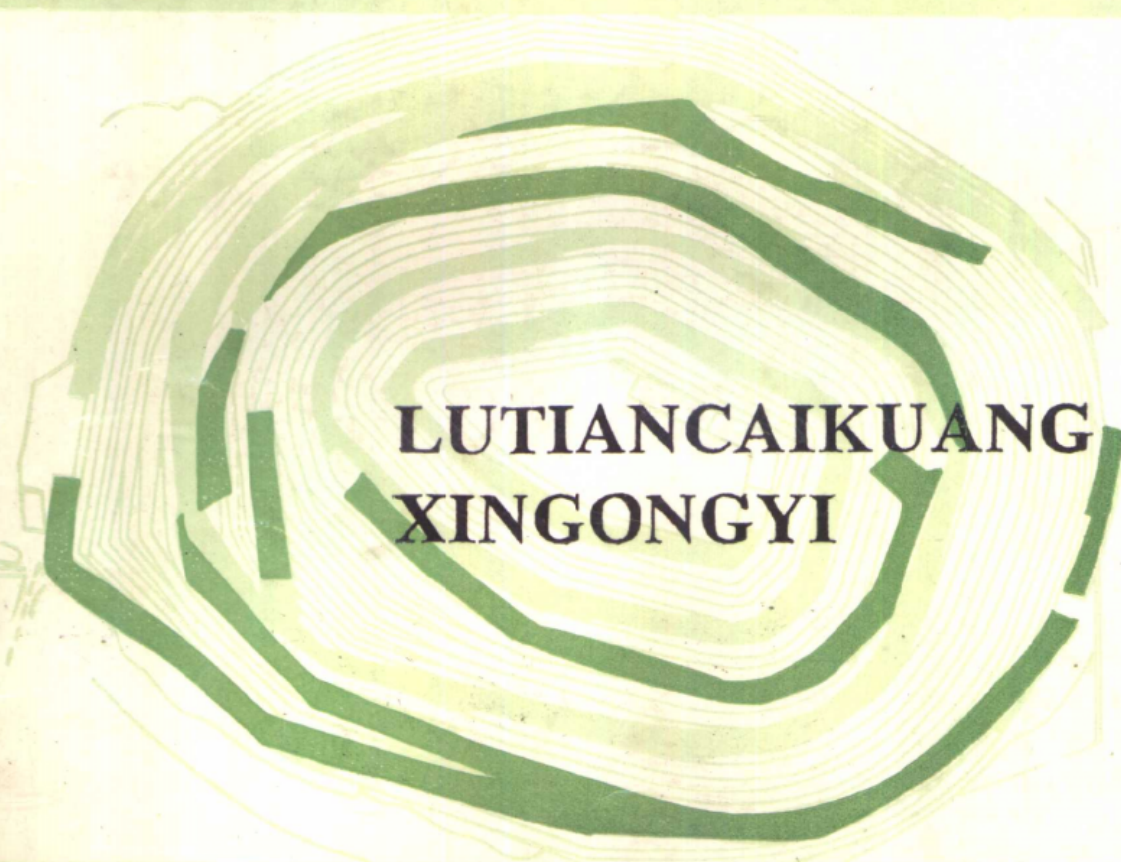


高等学校教学用书

露天采矿新工艺

张达贤 张幼蒂 编著



LUTIANCAIKUANG
XINGONGYI

中国矿业大学出版社

封面设计:张蕴琪

ISBN 7-81021-637-6

TD · 121 定价:3.60 元

10824
2-266

高等学校教学用书

露天采矿新工艺

张达贤 张幼蒂 编著

中国矿业大学出版社

747630

(苏)新登字第 010 号

摘 要

本书在论述露天开采现状和发展的基础上,介绍了单斗铲—卡车工艺、半连续开采工艺、露天采矿机开采工艺、架线双能源卡车工艺、高倾角带式输送机工艺、露天长壁开采工艺以及综合开采工艺等露天开采新工艺,重点是用系统工程的方法讨论研究开采工艺系统的选择和设备优化配置与优化调度问题。

本书是大学露天采矿专业学生的选修课教材和研究生的教学参考书,也可供科学研究人员和现场工程技术工作者参考。

责任编辑 乔 石

技术设计 冀锦蓉

高等学校教学用书

露天采矿新工艺

张达贤 张幼蒂 编著

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 12.25 字数 230 千字

1992 年 10 月第一版 1992 年 10 月第一次印刷

印数: 1—5000 册

ISBN 7-81021-637-6

TD·121

定价: 3.60 元

前 言

露天采矿的优越性已为世所公认,但露天采矿的效益很大程度上取决于露天开采工艺的正确运用及合理抉择。我国露天煤矿的赋存条件较为复杂,故开采工艺的合理选择及其应用尤为重要。

本书重点讨论适于我国露天煤矿应用的开采工艺,用系统工程方法研究采运设备的优化配置及卡车的优化调度问题。书中材料除部分取自于国内外技术资料外,其余均为我校及编著者近年来的研究工作成果。编者向提供资料的单位和个人深致谢意!

本书系在“露天采矿新工艺”讲义基础上修编而成。该讲义作为选修课教材及研究生教学参考书,已经多届学生应用。本次出版,编著者又作了较多的补充及修改,期望该书能为露天开采专业的教学工作及我国露天矿山的开发作出微薄贡献。

本书 1~6 章由张达贤编写,7~8 章为张幼蒂编写。

由于编者水平所致,缺陷难免,恳望读者指正。

编者

1990 年 11 月

ABF-68/06

目 录

第一章 露天开采的现状与发展	(1)
第一节 露天开采的现状.....	(1)
第二节 露天开采工艺及其分类.....	(4)
第三节 露天开采工艺的发展趋向.....	(5)
第二章 单斗铲-卡车开采工艺	(7)
第一节 概述.....	(7)
第二节 作业技术和采掘方法.....	(8)
第三节 铲、车类型匹配和数量配合.....	(16)
第四节 开采程序.....	(21)
第五节 电铲、卡车的作业成本.....	(29)
第六节 道路的通过能力.....	(32)
第七节 作业管理.....	(40)
第三章 半连续开采工艺	(42)
第一节 应用简况.....	(42)
第二节 应用和设计准则.....	(42)
第三节 破碎机组的生产能力及设置.....	(44)
第四节 胶带运输机的机道设置.....	(56)
第五节 自移式破碎机的应用及其发展.....	(58)
第四章 其它开采新工艺	(65)
第一节 露天采矿机开采.....	(65)
第二节 架线双能源卡车.....	(71)
第三节 高倾角带式输送机.....	(79)
第四节 露天长壁式采矿方法的应用.....	(85)
第五章 综合开采工艺	(87)
第一节 概述.....	(87)
第二节 国内外有代表性的露天矿山应用实例分析.....	(89)
第三节 典型组合方案及其适用条件.....	(94)
第四节 综合工艺系统的应用条件及开发范围划分.....	(95)
第五节 开拓运输系统及开采参数的配合.....	(101)
第六节 系统间产量匹配及其它问题.....	(108)
第七节 综合开采工艺实例分析.....	(109)
第六章 开采工艺系统的选择	(118)
第一节 概述.....	(118)

第二节	工艺选择的一般准则.....	(119)
第三节	实例研究.....	(124)
第七章	采掘运输设备的优化配置.....	(151)
第一节	用数学规划方法研究采矿工艺配合问题.....	(151)
第二节	用系统模拟方法研究铲车配合.....	(153)
第三节	用排队论方法研究铲车配合.....	(157)
第四节	设备出动的概率分析及系统产量计算.....	(164)
第八章	矿山运输设备的优化调度.....	(169)
第一节	概述.....	(169)
第二节	挖掘机-卡车自动化调度系统.....	(171)
第三节	挖掘机-卡车优化调度准则及软件系统.....	(177)
第四节	露天矿铁道运输调度系统.....	(188)
参考文献		(190)

第一章 露天开采的现状与发展

第一节 露天开采的现状

在矿物原料市场上,约 80% 的矿物原料由露天开采方式提供。露天开采的重要性可以从几种重要矿物原料的露天和地下开采比重看出(表 1-1)。

表 1-1 世界几种重要矿物原料的露天开采比重

矿物原料	比重(%)
硬 煤	30
褐 煤	86
铁	78
铜	91
磷 灰 石	89
石 棉	75
铝 矾 土	91
建 材	100
锰	88
铀	30
镍	45
其 它	40

与地下开采不同,露天开采在采出矿物原料的同时一般需剥离数倍于矿物量的土岩,故考察露天开采的规模时,应一并列出相应的剥离量。表 1-2 列出了几种重要矿物原料的年开采量。

表 1-2 世界几种重要矿物原料的开采量 单位: 10⁶t

序号	矿物原料	矿 物	剥 离	合 计
1	建 材	11383	982	12365
2	硬 煤	556	11120	11676
8	褐 煤	712	5696	6408
4	铁 矿 石	1692	1581	3273
5	铜 矿 石	606	1394	2000
6	磷 灰 石	230	690	920
7	石 棉	98	293	391
8	铝 矾 土	67	134	201
9	铀	4	138	142
10	锰	20	60	80
11	镍	19	57	76
12	其 它	308	440	748
13	总 计	15695	22585	38280

从表 1-2 中所列开采量看出,露天开采业已达到巨大规模,采矿工艺技术也较完善。

在矿物原料开采过程中,对露天开采工艺选择影响最大的是物料的硬度。如以是否需要穿爆作业和能否应用连续开采工艺为原则来区分硬、软岩露天矿,则主要矿物原料硬、软岩露天的划分情况如表 1-3 所示。

表 1-3 以物料硬度为标准的露天矿分类

矿物原料	硬岩露天(%)	软岩露天(%)
建 材	52	48
硬 煤	61	39
褐 煤		~100
铁	95	5
铜	96	4
磷 灰 石	50	50
石 棉	80	20
铝 矾 土	50	50
铀	90	10
其 它	50	50

表 1-3 数字表明,在矿物原料开采中软岩露天占有相当比重,从而预测连续开采工艺有较好的应用前景。

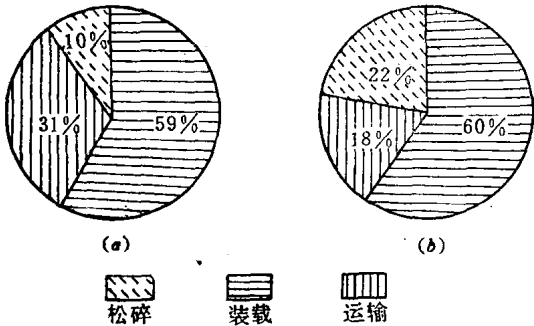


图 1-1 各工艺环节所占投资及经营费比重(%)
a—投资; b—经营费

在露天开采工艺系统的诸环节中,从投资及经营费用角度分析,各工艺环节所占比重如图1-1所示。

由于露天开采无可置疑的优点,自本世纪初以来,露天采煤量在世界煤炭总产量中所占的比重一直在增长(表1-4)。

由表 1-4 可见,从 1960~1980 年的 20 年间,露天采煤净增量占同期世界煤炭总净增量的 75% 左右。

表 1-4 世界煤炭总产量及露天采煤量

年 份	世界煤炭产量 (Mt)	露天采煤量 (Mt)	露天采煤比重 (%)
1913	1341	90	6.7
1962	1922	450	23.4
1981	3762	1510	40.1

表 1-5 列出了各主要采煤国的露天采煤现况。图 1-2、图 1-3 则分别为美国煤产量及露天采煤比重的发展情况。

各主要采煤国家发展露天采煤的主要经验是:

1) 将优先发展露天采煤作为增加煤产量的主要途径。如美、苏两国在 80 年代净增煤产量中露天采煤量均占 3/4 左右。原东德先后建设 18 座大型露天煤矿,使煤炭产量迅速增长。印度计划到 2000 年时煤产量近 400Mt,其中露天采煤量为 200Mt。

2) 有条件时尽量实现开采集约化,以提高劳动生产率,降低生产成本。如原西德莱

表 1-5 各主要采煤国露天采煤情况

国 家	露天采煤比重 (%)	露天矿数量 (个)	露天煤产量 (Mt)	效 率 (t/工)
美 国	60.3	约3500	482.5	25.6
原 苏 联	42	70	303.9	24.2
原 东 德	100	35	312.1	66.5
原 西 德	59.6	17	130.6	81.3
澳大利亚	61.3	45	82.0	37.6
捷 克	70	21	87.4	17.5
加 拿 大	85		36.4	
印 度	52.8		82.6	

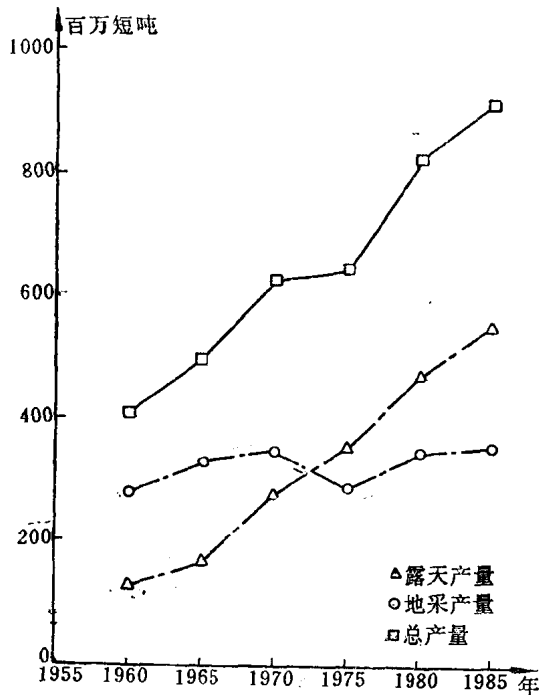


图 1-2 美国煤产量变化情况

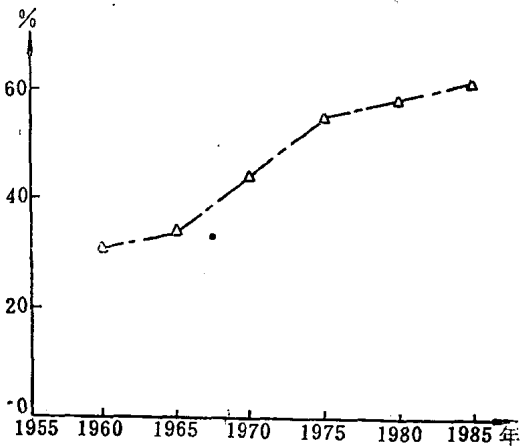


图 1-3 美国露天采煤比重增长情况

茵褐煤矿区露天矿数目从1950年的23个锐减至1974年的5个，而每个露天矿的平均产煤量则从2.78Mt提高到21.8Mt。原苏联、德国、波兰等国都在建设年采煤40Mt以上，年剥离量逾100Mm³的巨型露天煤矿。美国也在西部地区建设一批年产量千万吨级的大型露天煤矿。

3) 在开采工艺方面趋向于开采设备大型化、生产过程连续化以及扩大倒堆工艺的应用范围。

在以上发展总趋势的前提下，选择具体煤田开采工艺时仍应因地制宜。如在德国及欧洲一些国家，为适应当地覆盖层松软、气候温和的有利条件，主要发展连续及半连续开采工艺；美国多为近水平煤田，对埋藏浅的较薄煤层多用倒堆工艺剥离，埋藏较深的厚煤层则用单斗铲-卡车工艺；原苏联为适应其多样的赋存条件，相应采用各种工艺方式。表1-6为原苏联露天开采工艺的构成情况。

表 1-6 原苏联露天开采工艺构成比例(%)

年 度 工艺方式	1970	1980	1990 ^①	2000 ^②
运输开采法	56	64.8	74.4	78
其中：铁道运输	39.4	46	41.2	46
卡车运输	16.1	14.4	27.5	27.1
胶带运输	0.5	4.4	5.7	4.9
无运输倒堆	38.5	30.1	22.4	20.7
其它	10.5	5.1	3.2	1.3

①、②为预计值。

4) 由小到大,分期建设,以提高前期开发效益。如原苏联埃基巴斯图兹煤田的勇士露天矿,共分九期建设,从1954年开始,第一期规模为10Mt,至1982年达到50Mt设计规模。

5) 建立设备制造业与加强设备的维修。几个露天开采设备制造能力强的国家,一般都是基于本国特点和制造能力,发展自己的优势产品,并按世界市场需求扩展设备的规格品种。如美国形成了单斗铲及卡车设备系列,德国形成了连续及半连续工艺设备系列。在设备制造方面后起的苏、波、捷等,采取引进关键设备与国内研制相结合的方式发展。如捷克形成了适合本国特点的高切割力轮斗铲系列。在设备维修方面,都注意采取计划预防维修与计算机管理相结合的方法,提高设备的利用率。

6) 建立近距电站,实行煤电联营。波兰各褐煤矿区均在露天矿附近建设近距电站,在褐煤发热量仅为8373.6kJ/kg左右的条件下煤矿企业仍有盈利。又如澳大利亚莱楚比河省褐煤矿区实行煤电联营,维多利亚州电力的80%由该联营企业供应,解决了褐煤售价低所造成的亏损问题。

7) 重视矿区开发前的全面规划及综合研究工作。原苏联在新矿区开发前,首先制定矿区开发规划,同时有针对性地提出科研课题和新设备的研制规划。设计部门在科研部门提出的科研成果和制造部门提供的新设备的基础上进行设计。例如,针对各严寒地区新煤田开发中遇到的防冻与疏干问题,在大量试验研究工作基础上,通过采用耐低温金属材料、改进润滑系统等措施降低了设备冬季作业的故障率,用巷道和降水孔辅以侧沟疏干措施改善了疏干效果。

第二节 露天开采工艺及其分类

露天开采工艺由生产工艺环节和工艺系统所组成。

生产工艺环节包括主要和辅助生产环节。其中主要生产环节是:采掘、运输、排卸(排土及卸矿);辅助生产环节包括设备维修、动力供应、防排水等。每一生产环节,一般由数个生产工序组成,如采掘环节中的矿岩准备、采装、工作面线路移设等。生产工艺环节主要研究各环节内各种设备的作业方法、工作规格与工作面参数的确定、生产能力计算与提高生产能力的途径、环节内部工序间的联系、环节内诸设备比选等问题。

露天开采工艺系统则是完成采掘、运输和排卸这三个环节的机械设备和作业方法的总称。工艺系统是从总体和宏观角度考察系统,如讨论环节间的联系和配合,主要讨论设

备类型和规格的选择及匹配、各环节设备能力和数量匹配、系统参数确定、系统的调配与管理、工艺系统选择等。

按照各环节所采用的设备作业方法的特征或作业过程中矿岩流的特征,露天开采工艺系统可分为四大类:

- I. 间断工艺;
- II. 连续工艺;
- III. 半连续工艺;
- IV. 综合工艺。

按照所用设备可完成的生产环节数,工艺系统又可分为两组:

- I. 独立式工艺;
- II. 合并式工艺。

露天开采工艺系统分类如表 1-7 所示。

表 1-7 露天开采工艺系统分类

分 类		采 用 设 备 示 例
I. 间断工艺	A. 独立式	1. 单斗铲-铁道运输-推土犁(单斗铲) 2. 单斗铲-卡车运输-推土机 3. 单斗铲-联合运输-排土设备
	B. 合并式	1. 单斗铲(机械铲、拉铲)倒堆 2. 铲运机开采
II. 连续工艺	A. 独立式	1. 多斗铲-带式输送机-悬臂排土机 2. 连续采矿机-带式输送机-悬臂排土机 3. 水枪-水力运输-水力排土
	B. 合并式	1. 多斗铲-运输排土桥 2. 连续式倒堆设备
III. 半连续工艺		1. 单斗铲-自移式破碎机-带式输送机-排土机 2. 单斗铲-卡车-破碎设备-带式输送机-排土机 3. 轮斗铲-卡车(铁路)-排土设备 4. 螺旋钻-卡车
IV. 综合工艺		同一采场内上述任意两个(或以上)单一工艺系统的组合

第三节 露天开采工艺的发展趋向

由于露天采矿工业乃是大量土石方的移运作业(年移运量达 38200Mt), 故其发展主要依靠露天采矿工艺的发展。在露天采矿史上, 每一次重大的工艺变革均给露天采矿业的发展引入巨大动力。例如:

- 从手工开采向机械化开采的发展;
- 卡车工艺的发展;
- 连续及半连续工艺的发展;
- 倒堆及综合工艺的发展;
- 牙轮钻的发展;

——爆破材料及技术的发展;

——计算机用于生产控制及管理。

而在一定的工艺发展水平下,设计及矿山工程的优化具有重要作用。

鉴于露天采矿所面临的条件日益困难,对露天采矿工艺的改善提出了更高的要求。据趋向预测,露天采矿工艺将朝着以下方向发展。

1) 完善现有的单斗铲-卡车工艺系统。实现卡车计算机调度管理的新突破;

2) 扩大连续工艺的应用范围。发展高切割力轮斗铲,研制高倾角及运输大块物料的带式输送机,完善严寒及复杂条件下的连续工艺技术;

原西德露天煤矿中,利用带式输送机运送物料比重已达82%以上。原东德露天煤矿中各种运输方式的比重见表1-8。

表1-8 原东德露天煤矿中各种运输方式的使用比重(%)

运输方式	1957	1970	1981	1985	1990 ^①
剥离物:					
铁路运输	72	43	25	17	14
胶带运输		8	25	30	27.9
运输排土桥	28	49	50	53	58.1
煤:					
铁路运输	100	90	60	50	
胶带运输		10	40	50	

① 为预计值。

3) 发展半连续工艺系统,特别是开发应用关键设备——可移式破碎机组;

4) 建立及实践综合开采工艺;

5) 发展复杂煤层及薄煤层的选采设备,如连续采矿机及螺旋钻等;

6) 发展双能源卡车系统,以降低卡车昂贵的运输费用;

7) 发展并完善工艺系统的选择理论。

在实现上述发展过程中,需要采矿与机械制造部门的共同努力。与机械制造者不同,采矿工作者对采矿工艺的研究侧重于下述内容:

(1) 适合露天采矿要求的设备类型、规格和工作机构的研究;

(2) 工艺系统选择的理论及方法;

(3) 工艺系统的联系、匹配及管理;

(4) 设备作业方法及提高设备利用率的研究;

(5) 特殊条件下(严寒、多雨、选采、硬岩等)的作业方法。

第二章 单斗铲-卡车开采工艺

第一节 概 述

随着卡车载重量的增大,单斗铲-卡车开采工艺在露天采矿中获得迅速的发展。表2-1为国外露天矿山应用卡车运输的情况。如在美国露天矿中,卡车运输比重从1962年的54.4%上升到1979年的90.8%,卡车的平均载重量达100t或以上。

由于大载重量卡车所具有的优点,露天矿用卡车的平均载重量呈上升趋势(图2-1)。随载重量增加,单位载重量所需的发动机功率下降。如载重量为50t的卡车,单位载重量所需发动机功率为8.1kW/t,而190t卡车降为6.3kW/t(图2-2)。

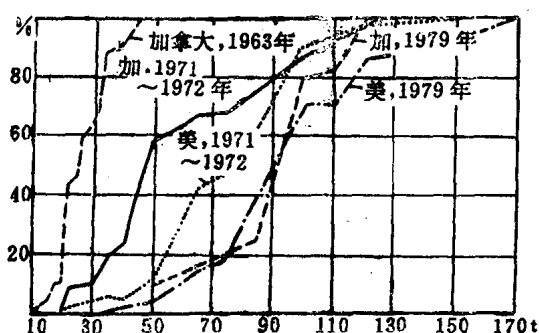


图 2-1 不同载重量卡车所占比重

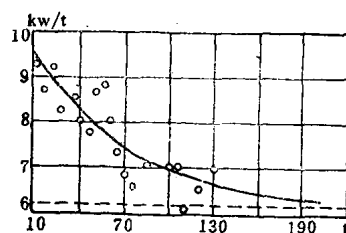


图 2-2 单位发动机功率与载重量关系

表 2-1 国外金属矿山卡车运输应用情况

国 家	露天矿数	卡车数, 台	总载重量, t	平均载重量, t	矿 岩 运 量		卡车能力, 千 t/台a
					总量, Mt	其中卡车完成数, %	
露 天 铜 矿							
美 国	23	774	78280	101.2	722.3	90.8	993
加 拿 大	8	156	15790	101.2	205.7	100	1318
秘 鲁	3	110	8901	80.9	117.2	91	1065
智 利	2	128	16260	127	112.9	100	882
赞 比 亚	1	103	10875	105.6	63.8	100	619.4
墨 西 哥	1	37	4440	120	33.7	100	910.8
合 计	57	1977	200862	101.6	1775.8	92.3	898.2
露 天 铁 矿							
美 国	13	528	53021	100.4	375.1	83.4	710
加 拿 大	5	104	10420	100.2	129.6	100	1246
委内瑞拉	2	37	2875	77.7	15.5	100	775
合 计	20	669	66316	99.1	520.2	87.4	777.6

单斗铲-卡车工艺的迅速发展,与该开采工艺具有高度作业机动性、对不同产量规模适应性强、建设速度快以及投资较低等特点有关。另一方面,由于轮胎、燃料及维护费较高,与其它开采工艺比,其经营费一般也较高。

由此,成功应用单斗铲-卡车开采工艺的途径为,充分发挥卡车作业机动性强的特点,尽量缩短卡车运距以及提高设备的作业率。

根据国内外露天矿使用卡车运输的经验,提高系统效率的措施如下:

- (1) 完善工作面作业技术和采掘方法;
- (2) 系统中铲车的合理选型和匹配;
- (3) 选择合理的开采参数与开采程序;
- (4) 卡车调度管理的优化;
- (5) 加强道路维护和设备检修;
- (6) 减轻气候对作业影响。

第二节 作业技术和采掘方法

一、作业技术

在矿山建设投资中,电铲和卡车的购置费是一项重大的投资项目,因此必须采用正确的作业技术,以保证设备的利用率和安全工作条件。

1. 保持平整台阶

对于电铲-卡车开采工艺而言,保持一个平整台阶尤为重要。

从生产率和经济性看,电铲的挖掘面如高于设计标高,已破碎的物料将留在底板上,造成浪费并复杂了下一台阶的穿爆作业;另一方面,低于设计标高将使电铲遇到硬底,从而降低电铲的生产率并增加维修工作量。

其次,虽然电铲履带架和履带装置可以在一定程度的高低不平的地面上作业,但电铲连续地在粗糙的或波状起伏很大的矿坑底板上作业将大大加速履带板、滚轮和履带架的磨损。在装载区的底板上的突出点会成为支点,挖掘时电铲在这一点上可能重复的摇摆,从而造成额外的磨损。

最后,在不平整的坑线和平盘上运行时,卡车将被迫降低速度。即使在低速下,波浪式的坑底也会引起物料的洒落,从而造成轮胎损坏和卡车架扭曲变形。

2. 斜坡上挖掘和行走

如在上坡或下坡挖掘之间存在选择的话,应该尽量选择后者,此时机器的重力作用将部分平衡挖掘造成的推力。

如采用上坡挖掘,电铲履带应该至少转 45° 角,最好转 90° 角,以离开斜坡的倾向线。这样做电铲在装载时的回转角可能大于 90° ,或者卡车就位时间可能增加,但设备利用率提高及维修成本降低将弥补这种损失。

3. 电铲大调动

电铲大调动可能由下列因素引起,爆破、既定台阶上矿岩采尽、由矿石工作面移向岩石工作面或反之,以及矿石质量中和的要求。

大调动前应注意检查以下方面。

- (1) 检查整个电铲调动路线,需要时应填平凹坑,冬季往冰上洒砂。

(2) 检查行走路径上的净空或限界是否合乎要求,如填方斜坡道宽度应是电铲走行宽度的两倍。

(3) 确保沿线动力装置处于良好工况。

此外,电铲在行走中应该逐渐转弯。假如需要转 90° 弯,应该以 $15^\circ \sim 20^\circ$ 的增量逐渐回转,以减少对履带销、辊子、导轮和履带架本身的横向推力。

4. 大块和冻帽处理

卡车装超规格大块或冻帽时,应首先往车箱里装一些细物料,用以保护车箱。超规格大块不应该放置在物料顶部,否则卡车有可能失稳或造成洒料,这在夜间尤其危险。

假如电铲勺斗的斗齿能够挖到冻帽或大块,司机应把电铲停在与该大块成一条线的位置上,电铲履带与掌子应成 90° 角。挖掘时,应先挖松大块下的区域,而后用勺斗引导大块下落。

在勺斗够不到大块的情况下,电铲的站立位置应偏离大块的下落线,电铲履带则始终和掌子成 90° 角(图 2-3)。

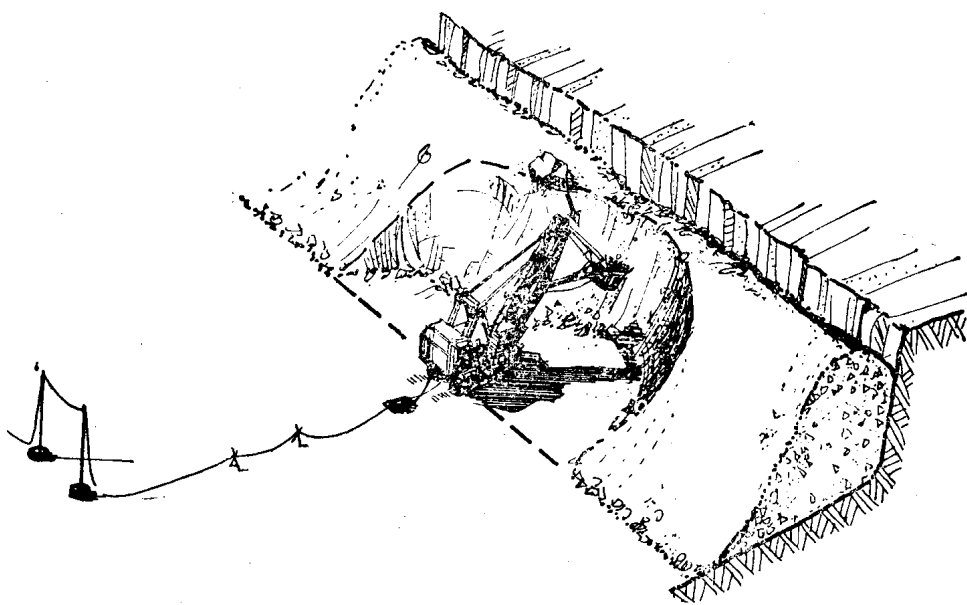


图 2-3 电铲采掘大块方法

二、采掘方法

电铲-卡车开采工艺中,电铲的采掘方法可由电铲相对于工作面的站立位置、卡车的装车位置以及卡车到电铲和离开电铲时的行走路线等特征加以区分,通常采用下述四种采掘方法。

- (1) 双侧折返入换装车法;
- (2) 单侧折返入换装车法;
- (3) 行车道旁装车;
- (4) 修正行车道旁装车。

1. 双侧折返入换装车方法

采用这种方法时,电铲履带正对着爆堆站立,电铲直对爆堆后壁进行挖掘,卡车折返进入电铲的两边装载。由于卡车就位准备装车系和电铲向另一侧卡车装载同时进行,可尽量减少电铲等装时间,最大限度地发挥电铲的效率。

双侧折返装车需在电铲两侧为卡车提供进路,故须在电铲后部架设电缆桥,电缆桥离

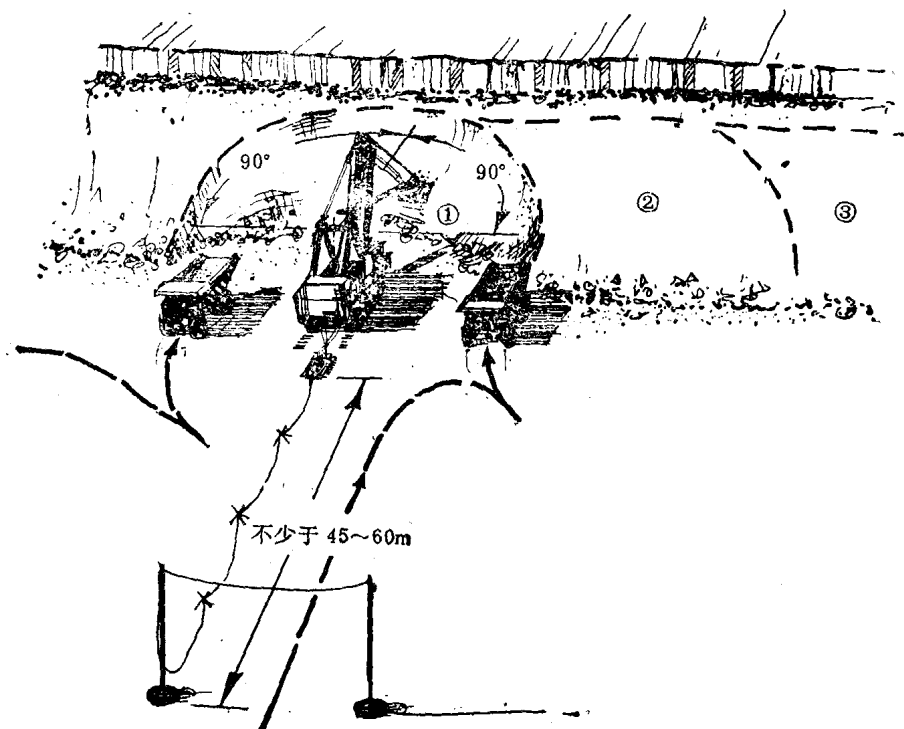


图 2-4 双侧折返装车法

①、②、③——采掘顺序

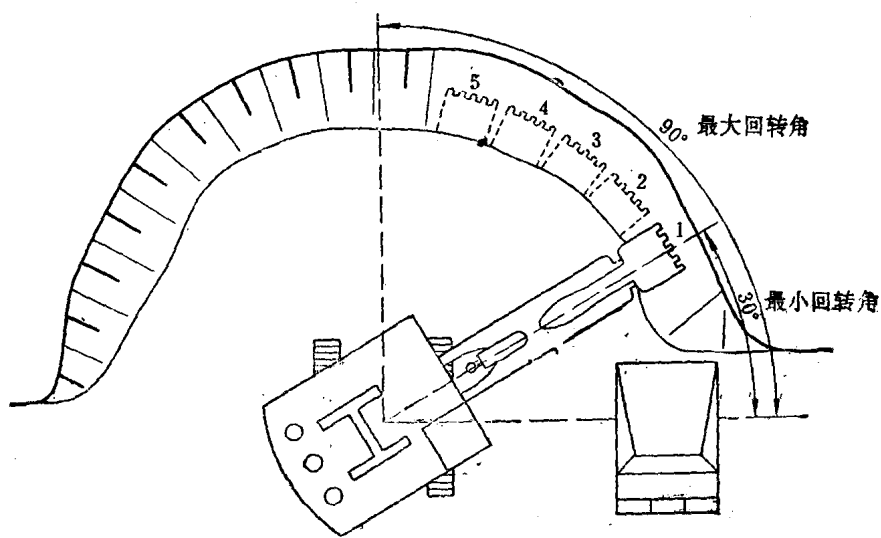


图 2-5 装载回转角

1,2.....5——挖掘顺序