

国外深凹露天矿 开采技术



冶金部情报标准研究总所

前 言

我国露天开采的铁矿石产量约占全国铁矿总产量的90%。现有16个年产300~1000万t的大型骨干矿山,设计年产规模1.0亿t以上,采剥总量3.0亿余吨。其中大孤山、大冶、眼前山、南山、白云鄂博东矿、大石河、水厂和东鞍山等8个铁矿已转为深凹或凹陷开采,大孤山铁矿已开采到封闭圈以下156m,大冶和眼前山铁矿也都已开采到封闭圈以下132m,这8个铁矿的产量约占全国重点铁矿产量的50%。

国内外生产实践表明,露天开采虽有很多优越性,但由山坡露天转为深凹露天开采后,带来不少严重的技术问题。目前深凹露天矿开采的突出问题是:

1. 开采条件越来越差。随着开采深度的增加、采场作业尺寸的缩小,开采、运输和新水平准备的困难加大,导致矿山能力不断下降,成为矿山生产的主要矛盾。

2. 露天边坡越来越高。我国露天铁矿的边坡高度随开采的延深,有的边坡垂直高度已超过300m,大冶铁矿已达336m。一般大型矿山的边坡高度为300~500m,有的超过600m。随着边坡的加高加陡,边坡稳定性的研究、控制和维护难度更大。

3. 采场的环境污染越来越严重。随着开采深度增加,露天坑内的大气质量急剧下降,劳动环境与作业条件日益恶化,坑内形成“大锅底”,自然通风困难,有的在夏季气温高达50℃,劳动效率显著降低。

4. 深凹露天矿的防排水越来越困难。山坡露天矿只有地表防排水问题,转为深凹开采以后,不仅要作好地表防排水工程,而且,一些矿山存在地下水,对爆破作业,边坡影响较大,特别是在雨季受洪水的威胁。

此外,我国露天铁矿的矿体赋存条件均为短而深,开采境界小,剥采比大,一个300万t规模的矿山其采剥总量相当于国外一个800万t规模的矿山。同时,我国的露天铁矿开采,原来都是采用低台阶,小装备,不适应深凹露天开采挖潜增产的需要。

由于深凹露天铁矿存在以上问题,生产能力将不断下降,甚至有的矿山很快消失。近期全国露天铁矿年消失能力约达300万t,预计到本世纪末消失能力将达2000万t以上。因此,在“八五”期间应组织全国科技力量联合攻关,解决深凹露天开采中的几个重大技术问题,提高深凹露天开采的综合技术水平,是我国深凹露天矿挖潜增产的重要途径。

为了配合“八五”科技攻关和矿山技术改造的需要,研究国外深凹露天矿开采的实践经验,摸清国外深凹露天矿开采技术的现状与发展方向,冶金部科技司委托冶金部情报标准研究所组织力量,对当今国外深凹露天矿的开采技术进行调查研究,收集现有技术成果和实践经验,汇编成《国外深凹露天矿开采技术》文集,供矿业科技工作者和有关领导同志参阅。希望大家从中吸取有益的东西,促进矿山科学技术的发展,为我国钢铁工业持续、稳定、协调发展作贡献。

冶金工业部科技司矿山处

1991年12月

编辑说明

为了满足“八五”期间深凹露天矿科技攻关和技术改造的需要，冶金部情报标准研究总所矿山室受冶金部科技司矿山处的委托，于1990年7月~1991年12月组织力量对国外深凹露天矿的开采方法、边坡工程、运输、通风防尘和防排水等技术问题进行了系统的调研，并撰写编辑出版《国外深凹露天矿开采技术》文集。

参加调研、撰写文稿和提供资料的单位有冶金部情报标准研究总所、马鞍山矿山研究院、鞍山黑色冶金矿山设计研究院和冶金部安全环保研究院等。全文由冶金部情报标准研究总所高玉英、申仲杰同志负责编辑；冶金部科技司陈积松同志和冶金部情报标准研究总所钱桂华同志负责审稿。

由于我们缺乏经验，又因收集的资料有限。错误与不足之处，欢迎批评指正。

1991年12月

目 录

一、概 况	1
(一) 国外露天矿开采深度的发展概况	1
(二) 国外深凹露天矿开采的特点	1
(三) 国外深凹露天矿开采装备的发展概况	3
二、联合运输工艺和装备	6
(一) 深凹露天矿联合运输方式的发展趋势	6
(二) 汽车-铁路联合运输工艺与装备	6
(三) 汽车-破碎机-胶带运输机联合运输工艺与装备	15
三、高台阶开采技术	36
(一) 露天矿高台阶开采工艺的特点及当今国外的发展趋势	36
(二) 台阶高度的优化选择	39
(三) 高台阶开采的钻孔爆破工作	43
(四) 高台阶开采的装载和运输工作	47
(五) 高台阶开采工艺的参数确定	48
(六) 高台阶开采工艺对采掘工作制度的影响	50
(七) 在集中水平影响区合理采用变化台阶高度的工艺系统	51
(八) 苏联克里沃罗格矿区露天铁矿的高台阶开采	53
(九) 山坡露天矿使用高台阶开采工艺	55
四、深凹露天矿分期过渡开采方法	56
(一) 概述	56
(二) 分期过渡开采设计	58

(三) 分期过渡期间的稳产措施.....	67
(四) 陡帮开采工艺的应用.....	74
(五) 实例介绍.....	79
(六) 露天转地下开采.....	94
五、国外露天矿边坡工程技术的最新发展.....	108
(一) 露天矿边坡整体化设计思想日趋完善.....	108
(二) 边坡安全性评价指标产生质的变革.....	116
(三) 人工智能技术正向边坡领域渗透.....	149
(四) 边坡监测技术进一步实现规范化、定量化和自动化.....	153
(五) 对边坡岩体的分类和强度确定作了有益的探索.....	170
(六) 边坡综合治理技术的发展.....	178
(七) 典型滑坡实例研究.....	185
六、深凹露天矿的通风.....	194
(一) 天然能源的利用.....	195
(二) 污染源的最佳控制.....	195
(三) 人工通风设备.....	197
(四) 深凹露天矿通风设计.....	198
(五) 露天矿铲装作业中的水力除尘.....	203
(六) 露天矿强化自然通风的几种方法.....	208
(七) 露天矿汽车运输路面的扬尘防治技术.....	214
七、国外露天矿防排水技术.....	231
(一) 疏干排水.....	231
(二) 防渗帷幕堵水.....	240
(三) 疏干排水实例.....	244

一、概 况

高玉英

(一) 国外露天矿开采深度的发展概况

目前,世界上一些大型金属露天矿逐渐转入深部开采,一部分已成为深凹露天矿,一部分正向深凹露天矿过渡。

苏联大部分铁矿床属于倾斜或急倾斜矿床,经过几十年的高强度开采,各露天矿的采深急剧增加。近年来,苏联露天铁矿的深度增加了100~120m。1989年,苏联露天铁矿按封闭圈计的加权平均深度已达200m。索科洛夫露天铁矿、萨尔拜露天铁矿和北部采选公司的五一露天铁矿的开采深度超过了300m。米哈依洛夫、安诺夫、英古列茨、列别金和中央采选联合公司1号等10个露天铁矿的采深达200~300m。目前生产的21个大型骨干矿山不久平均采深将达410m。1986~1990年期间预计有70%的矿岩是从200m以下深部采出的,其中从300m及更深处采出的矿岩量约占露天开采矿岩总量的50%。将来,苏联大部分铁矿石将从最终开采深度500~700m的大型露天矿开采。据苏联冶金部矿山局介绍,在2005~2010年期间,苏联基本上不建设新的铁矿山,全靠老矿山进行技术改造和设备更新等措施来增加产量。这期间,苏联黑色冶金工业发展的特点是继续扩大露天矿规模和不断增加开采深度。

美国露天铜矿开采的较深,如宾厄姆铜矿,现在的开采深度已达802m,成为世界上最深的露天矿;西雅里塔铜铅矿和双峰铜矿现在的开采深度也分别达到了430m和375m。而美国的铁矿床赋存较浅,因此开采深度不大,如著名的明塔克铁矿和希宾铁矿的最终开采深度才为165m。

瑞典艾蒂克铜矿在60年代开始露天开采,现保有储量25000万t,年产矿石1200万t,剥离岩石800万t,属欧洲最大的铜矿。设计开采深度420m,现在开采深度为200m。矿石采用汽车-破碎机-胶带输送机运输。

此外,智利、南非、澳大利亚和印度等国家和地区的金属矿床的开采深度也逐渐在加深,如智利丘基卡马塔露天铜矿、南非帕拉博拉铜矿和澳大利亚纽曼山铁矿的开采深度分别达到了610m、400m和210m、国外部分金属露天矿的规模及采场参数见表1-1-1。

(二) 国外深凹露天矿开采的特点

深凹露天矿开采的特点是,随着采场深度的急剧增加,开采技术条件日趋复杂化,有效作业空间越来越小,采掘工作线缩短,工作平台变窄,运输距离增加,硬岩的比例增大,边

国外部分金属矿山的规模及采场参数

表 1-1-1

矿 山 名 称		规 模 (万t/a)		深 度 (m)		采 场 尺 寸 (m)		阶 段 高 度 (m)
		矿 石	岩 石	设计深度	现开采深度	长	宽	
中 央 采 选 公 司	1号露天矿	1548.9	1120.5	500 (以封闭圈计)	300 (1989年)	4130	1325	
	3号露天矿			500 (以封闭圈计)	90	2350	1800	
苏联南部采选联合公司露天矿		3550	3450	555 (以封闭圈计)	285 (1989年)	2800	2000	15
苏联列别金采选联合公司露天矿		4400		435 (以封闭圈计)	250 (1989年)	4000	2900	15
苏联美古列茨采选公司露天矿		3640	4160	625 (以封闭圈计)	284	2900	2000	15
北 选 部 公 司	五一露天铁矿	3050	8140	650 (以封闭圈计)	315	2740	2200	12
	安诺夫露天铁矿	1800	7060	450 (以封闭圈计)	220	7300	1500	15
科夫多尔采选公司露天铁矿		1650	5708	534 (以封闭圈计)	225 (1990年)	2300	1800	15
米哈依洛夫采选联合公司露天铁矿		3939		450 (以封闭圈计)	215 (1989年)	6500	1850	10~15
索科洛夫采选联合公司	萨尔拜露天铁矿	1700		655 (以封闭圈计)	380 (1989年)	3500	2400	20
	索科洛夫露天铁矿	700		540 (以封闭圈计)	350 (1989年)	3300	1800	15
美国西雅里塔露天铜钼矿		7万t/d	8.7万t/d	563	430	2000	1600	15
美国宾厄姆露天铜矿		9.6万t/d	6.9万t/d		802	4000	2400	15
南非帕拉博拉露天铜矿		93000t/d	214000t/d	805	400 (1990年)	1800	1600	15.2
澳大利亚纽曼山露天铁矿		3500		600	210	5500	1500	15
南非德兴露天铁矿		2200	5600		324 (1988年)			12.5
智利丘基卡马塔露天铜矿					610	3900	2500	26
瑞典艾布克露天铜矿		1200	800	420	200	2000	300	15

坡稳定性变差；环境污染严重；排水条件恶化等。这一系列问题导致矿山设备效率及生产能力下降，开采费用增加。如苏联露天铁矿，近年来由于平均采深由150m增加到210m，硬矿岩在开采总量中所占比重由61%增加到69.4%，矿岩平均坚固性提高12~15%，汽车平均运距增加20~30%，铁路平均运距增加15~20%，矿岩运量（以t·km计）增加了25~30%；采场自然通风不良的时间也大大增加，平均竟占工作时间的10~12%，因而引起采、装、运设备每年停车的时间达450~500小时，最长一次持续14天之久。当气压低、风速小时，露天坑内粉尘烟雾数日不散，有害气体无法自然排出，空气可见度只有10m，致使下部水平的自然通风条件急剧恶化。

据克里沃罗格矿区作业情况分析，它所属各露天矿采深增加100m（深度范围100~300m）时，成本增加50~100%，采、装、运设备效率降低25~40%。由于上述原因，该矿区所有露天铁矿近10年来强度显著降低，致使矿石设计产量未完成。

南非帕拉博拉露天铜矿，1980年采掘量最高，达34.8万t/d，随着露天矿的延深（目前采深为400m），剥采比增加，1989年采掘量已降到20.8万t/d，其中矿石为9.48万t/d。

又如澳大利亚纽曼山矿惠尔巴克山采场南帮，随着垂高不断地增加（现已达210m），工程地质条件逐渐复杂化，断裂构造和节理发育，地下水丰富，因此生产过程中，特别是1985年以来，曾多处多次发生沿页岩层面、断层面、页岩与矿石接触面的平面型及楔型的滑坡。最大的一次是1987年5月在14~16号台阶上发生的垂高45m，上部长130m，下部长45m，厚5m，重7万t、滑距10m的滑坡。

（三）国外深凹露天矿开采装备的发展概况

近些年来，为了适应开采深度不断增加的需要，国外深凹露天矿的设备，尤其是运输设备，不断进行更新和改造。

1. 穿孔设备

国外深凹露天矿的穿孔设备以牙轮钻机为主。西方国家深凹露天矿主要使用美国布赛鲁斯-伊利公司、丹佛加德纳公司和马里恩公司制造的牙轮钻机。其主要型号为45-R、60-R、55-R、61-R、GD-120、GD-130、M-3、M-4和M-5等。孔径多为310~380mm。孔径445mm的牙轮钻机只在个别少数矿山使用，如南非锡兴铁矿和加拿大卡罗尔铁矿。

苏联深凹露天矿主要使用国内制造的孔径250mm的CBIII-250MH牙轮钻机穿孔。该钻机的数量占牙轮钻机总台数的82%，在黑色冶金露天矿中完成的穿孔量占总穿孔量的90%。孔径320mm的CBIII-320牙轮钻机只有少量的使用。

由于近10年来CBIII-250MH牙轮钻机可靠性有所降低，苏联还研制了CBIII-250-20、CBIII-250-32、CBIII-250-55等牙轮钻机，由于还没达到要求的可靠性和寿命，因此，现在还没被批准进行批量生产。钻400mm孔径钻孔的超大型钻机，工业试验虽以失败，但能把250mm孔径扩大成450~500mm孔径的CBIII-250MHP热力扩孔钻机已批量生产。该钻机使用空气作为扩孔氧化剂。CBIII-250MH牙轮钻机钻出250mm的钻孔后，用该热力扩孔钻机

扩孔,把孔径扩大到450~500mm。采用热力扩孔时,岩石的体积破碎速度比牙轮钻机穿孔提高60~80%。采用CBIII-250MHP型钻机时,由于加大了孔网尺寸,因此可以提高穿孔效率。如英古列茨露天铁矿,使用CBIII-250MHP热力扩孔钻机扩孔,使每米深孔矿岩爆破量从26m³增加到46.5m³,穿孔成本从0.2791卢布/m下降到0.2296卢布/m。到1989年时,该矿使用该工艺的爆破量已达300万m³,而1987年时只25万m³。

现在,米哈伊洛夫、列别金、斯托伊连、科斯托穆克什和奥列涅格尔采选公司的各露天矿在极坚硬矿岩(含铁石英岩)中都已采用CBIII-250MHP钻机。其规格及技术性能见表1-3-1-1。

CBIII-250MHP钻机的规格及技术性能

表 1-3-1-1

钻架升起时长度 (m)	10.11
高度 (m)	23.7
钻架降下时长度 (m)	23.06
宽度 (m)	5.6
高度 (m)	7.41
设备容量 (kW)	423
钻机重量 (t)	76
扩孔后钻孔直径 (mm)	450~500
钻孔深度(包括扩孔段) (m)	19.5
燃料消耗量 (L/h)	120
压缩空气压力 (MPa)	0.68

近年来,国外牙轮钻机的主要技术发展方向是朝采用高钻架、长钻杆、自动控制系统、舒适的司机室、标准化系列化的零部件,先进的工作机构和传动系统及可钻倾斜孔方向发展。如马里恩公司的M-4、M-5及M-3等钻机都采用了高钻架并配有自动钻进装置,80%的零部件能互换使用;Atlas公司的Rotc系列钻机的钻杆从3.05m增加到6m长;I-R公司的DM-35型钻机一次钻孔深达19.8m。55-R II牙轮钻机具有独特的弹簧加载单链推压机构,而且其回转、提升和行走机构均改用交流电动机,其功率从75马力增加到125马力,提高了65%。50-R、55-R牙轮钻机能钻65°的倾斜孔,德国鲁道夫、豪西尔公司的HBM550型钻机及加德纳丹佛公司的GD-170型牙轮钻机也能钻斜孔。60-R牙轮钻机配有减震装置和稳杆器。GD-120牙轮钻机使用S28型减振接头。

2. 装载设备

国外深凹露天矿的装载设备还是单斗电铲占统治地位,而索斗铲在比较松散的覆盖层和大水矿床中用于基建工程和剥离作业。

在美国、澳大利亚、智利和南非等一些西方国家和地区,深凹露天矿的装载作业主要使用美国布塞鲁斯-伊利、马里恩和哈尼斯费格公司制造的铲斗容积9.1~23m³的电铲。其主要型号为280-B、P&H-2100、191-M、295-B、P&H-2300、P&H-2800、192M、P&H-2100BL和P&H-2800XP等。其中19~23m³的大电铲多在澳大利亚纽曼山露天铁矿、美国宾厄姆露天铜矿、智利丘基卡马塔露天铜矿和南非帕拉博拉露天铜矿使用。

苏联深凹露天矿普遍使用铲斗容积8m³的ЭКГ-8И电铲,这种电铲工作可靠而且实用。

1975年, ЭКГ-8И电铲在电铲总数中占的比重只有21.5%, 而到1987年时就超过了55%。近年来, 苏联铲装设备技术更新的途径是, 将斗容 6m^3 以下的电铲(ЭКГ-4.6和ЭКГ-5А)换成ЭКГ-6.3УС(长臂铲)、ЭКГ-8И和ЭКГ-12.5型电铲。这三种电铲的台数占电铲总台数的70%, 但其完成的工作量却占80%。如北部采选公司露天矿, ЭКГ-4.6型电铲已完全被大电铲所取代, ЭКГ-8И电铲已是主力电铲, 并有ЭКГ-12.5型电铲在作业, 英古列茨采选公司露天铁矿, 1973年以前铲装作业以使用ЭКГ-4.6电铲为主, 以后这种电铲陆续被ЭКГ-8И电铲代替。

在1990~2000年期间, 苏联在增产 10m^3 、 15m^3 斗容电铲和 8m^3 、 12m^3 、 20m^3 斗容液压铲的基础上, 打算研制和推广ЭКГ-10УС、ЭКГ-12УС和ЭКГ-16УС型长臂铲, 并把它们用于露天矿深部水平开采。

国外电铲向大型化发展的趋势未改变, 但在西方国家, 电铲大型化的速度放慢了。其发展主流是: 改进结构, 增进零部件的标准化和系列设备零部件的互换性, 革新驱动方式, 提高能量的利用; 提高安全性、耐用性及操作的方便、舒适和卫生性等。如, 电铲的行走机构已全部由上部传动转为底部传动, 并发展双电机驱动, 即每条履带由各自的电动机驱动, 这样可以使两条履带达到差速运动, 而实现转弯时达到平滑运动。如P&H-2300XP电铲, 就具有这种性能。由于电子技术的发展, 电铲的供电方式也发生了大变化, 由可控硅供电系统和交流变频调速系统代替原来的电动机-发电机组, 使驱动功率提高10~15%, 并减少了维修、振动和噪音。如, P&H-2300和F&H-2800电铲采用可控硅供电系统, 395-B电铲采用了交流变频调速系统。

3. 运输设备

随着露天矿的延深和随之而来的运距的增加, 大部分矿山对运输系统及其设备进行了改造和更新。除极少数深凹露天矿仍用单一汽车或单一铁路运输型式外, 其余的深凹露天矿都采用了汽车-铁路和汽车-破碎机-胶带运输机联合运输工艺系统。作为联合运输中间环节的汽车发展很快。

目前, 在一些西方国家和地区的深凹露天矿中, 普遍使用载重量108~154t的电动轮汽车, 其中以154t汽车为最多。181t以上的汽车仅在智利丘基卡马塔和美国西雅里塔等少数深凹露天矿使用。以上汽车主要是美国瓦布科、尤尼特瑞格、尤克利德和特雷克斯四个公司的产品。其主要型号为Wabco-120C (109t)、Wabco-120B (109t)、Wabco-170C (154t)、Wabco-170D (154t)、Wabco-3200A (181t)、Wabco-3200B (181t)、Terex 33-15 (154t)、Mark-30 (130t)、Mark-36 (154t)、EuclidR-170 (154t)。

苏联深凹露天矿使用的载重汽车以本国白俄罗斯汽车制造厂生产的БелАЗ系列为主, 经历一个由小到大逐步发展的过程, 最早使用БелАЗ-540 (27t)、БелАЗ-548 (40t) 汽车。近些年来以БелАЗ-549 (75t)、БелАЗ-7519 (110t) 和БелАЗ-7523 (42t) 取代载重量40t以下的汽车。从1986年开始, 又以载重量110t的汽车取代载重量75t的汽车, 仅1986年7月到1987年7月这一年间, 18个大型铁矿的БелАЗ-549汽车就减少了80标准台, БелАЗ-548汽车减少了245标准台, 而БелАЗ-7519 I 汽车增加200标准台。

(下转第35页)

二、联合运输工艺和装备

高玉英

(一)深凹露天矿联合运输方式的发展趋势

没有任何一种现代运输方式,在不同其它运输方式有效配合的情况下,而能够将一个设计深度达500m以上的露天矿一直开采到底的,随着深度的加大,势必采用各种类型的联合运输。

据多年的研究与实践证明,汽车铁路、汽车(铁路)-破碎机-胶带运输机和汽车-箕斗等联合运输方式能适应深凹露天矿的开采。其中间断-连续运输方式是当今世界深凹露天矿大力发展的一种联合运输方式,它与单一的铁路运输或单一汽车的运输相比,无论在运输效率、运输成本和基建投资方面都比前者优越。当开采深度达300~400m时,其效果更理想。但固定式或半固定式破碎机影响该运输工艺的效率。因此,许多国家都在研制适合于深凹露天矿的破碎装置,并且正在用可移式破碎机代替固定式或半固定式破碎机。

认为,汽车-可移式破碎机-胶带运输机系统今后将在金属露天矿得到广泛使用。

(二)汽车-铁路联合运输工艺与装备

在西方国家的金属露天矿,铁路运输主要作为外部运输,采场内很少使用。如,美国具有明塔克铁矿、伊利铁矿和宾厄姆铜矿等极少数露天矿采场内使用了铁路运输。宾厄姆铜矿从60年代以后改为汽车-铁路联合运输,现正改造为汽车-破碎机-胶带运输机系统。明塔克铁矿现在还是以单一铁路运输为主,极少部分矿石(约15%)用汽车-铁路联合运输。伊利铁矿大部分矿石已转为汽车-铁路联合运输,只有一个采场用单一铁路运输。而苏联却大大不同了,铁路运输的比重相当高,这是历史原因造成的。

苏联自五十年代中期确定了优先发展露天开采的国策后,建设了一系列大型露天铁矿。由于当时苏联汽车工业不够发达,几乎全部采用了单一铁路运输。当开采深度达到150~180m以后,铁路运输中的矛盾日趋尖锐,铁路展线受限,下延掘沟、端部扩帮装载条件变差,新水平准备时间延长,重列车下坡运输变为上坡运输,牵引量减少,效率下降,能耗上升,成本增加,使矿山持续生产受阻。为了既能解决这些难题,又能发挥原有铁路运输设备,线路及维修设施的作用,苏联绝大部分露天铁矿在工作面铁路运输作业区的下部使用汽车-铁路联合运输。如,波尔塔瓦采选公司露天铁矿、北部采选公司的五一露天铁矿和安诺夫露天铁矿、中央采选公司的1号露天铁矿和3号露天铁矿、索科洛夫-萨尔拜采选公司的索科洛夫露

天铁矿和萨尔拜露天铁矿、列别金露天铁矿、科尔舒诺夫露天铁矿、奥列涅戈尔露天铁矿、科斯托穆克什露天铁矿、斯托伊连露天铁矿等。目前，苏联露天铁矿用铁路转运的矿岩量已超过12亿t。

苏联多年的实践证明，汽车-铁路联合运输的确是一种既经济又有效的运输方式，它不仅使铁路运输效率提高42%、成本下降18%，而且还能使汽车的运输距离控制在最佳范围内。但随着开采深度的进一步延深，作业空间更加狭窄，往深水平引进铁路线进度迟缓，导致汽车重载上坡的运输距离越来越长（有时竟长达4~5km，大大超过了规定的1.2~1.5km的范围），油耗量增大，运费成倍增长，运输效率显著下降。为了解决新出现的问题，苏联深凹露天矿采取了更新铁路运输设备，改造铁路运输线路和完善转载方式等措施。

1. 更新铁路运输设备，实现铁路运输电气化

苏联露天矿运输技术更新与改造的主要方向是：在深凹露天矿实现铁路运输电气化，采用现代化牵引机组和大型矿车更换陈旧磨损的设备。自70年代以来，苏联大力研制推广360t的牵引机组和100t以上的矿车，取代了相当数量的TЭ3内燃机车、EЛ-1和EЛ-2型电机车及60~85t翻斗车。今后还准备在所有大型露天矿，使用牵引机组取代普通电机车。目前，苏联露天铁矿用牵引机组完成的矿岩量约占整个铁路运量的50~60%。

苏联在铁路运输电气化方面进行了大量工作，在第十二个五年计划期间修建766km露天矿电气化铁路。1987年，英古列茨、南部、波尔塔瓦、北部、索科洛夫-萨尔拜、卡恰尔、斯托伊连、列别金等采选公司共建了130km电气化铁路。1988年，电气化铁路运输的矿岩量达到7.076亿t，比1985年多8700万t，近期，苏联计划把全部露天铁矿的铁路都改造为适用ОПЭ-1А、ОПЭ-1Б和ОПЭ-2型等牵引机组的电气化铁路。

目前，在苏联深凹露天铁矿中，铁路运输的牵引设备主要采用粘重360~372t的1.5/3.0KV的直流ПЭ-2М型牵引机组和10KV的ЕЛ-10、ОПЭ-1、ОПЭ-2和ОПЭ-1А型交流牵引机组，其中ПЭ-2М使用最多。苏联在上述牵引机组的基础上还发展了直流ПЭ-3Т（在ПЭ-2М基础上改进而成的）型牵引机组和交流ОПЭ-1Б（在ОПЭ-1А基础上改进而成）、ЕЛ-20型牵引机组。为适应深凹露天矿大运量的需要，正在研制ТАУ型480t的大功率牵引机组。牵引机组的主要技术性见表2-2-1-1。

与牵引机组配套的主要铁路矿车是105t、130t、165t和172t翻斗矿车，其中105t的翻斗矿车使用最多。为了运输比重较大的矿岩，目前正在研制145~200t的高强度自卸矿车。苏联部分翻斗车的技术性能见表2-2-1-2。美国露天矿铁路运输的牵引设备多为直流电机车，

矿车的载重量一般为80t、85t和90t。

苏联的研究和生产实践表明，采用牵引机组可以提高列车的牵引能力、运行速度、爬坡能力、运输效率和降低运输成本。如，卡奇卡纳尔铁矿采用ЕЛ-10型交流牵引机组效果很好，与П-100型电机车相比，使运输效率提高了27%，运输成本下降了19~22%。列别金露天铁矿使用总粘重420t的ОПЭ-1型交流牵引机组，承担50%以上的矿岩运输量，与使用普通电机车相比，运输劳动生产率提高22%。索科洛夫-萨尔拜采选公司采用总粘重386t的ПЭ-2М型直流牵引机组90余台，正常作业达66台，承担索科洛夫和萨尔拜两个露天铁矿的部分矿岩运量，在40%坡道上与ЕЛ-1型电机车相比，牵引量提高70~80%。

表 2-2-1-1

苏联牵引机组主要性能

名 称	EL-10			ПЭ-2M(直流)			ОПЭ-1			ОПЭ-2			ОПЭ-1А			ОПЭ-1Б		ПЭ-3Т
	主 控 电 机 斗 车	全 机 组	主 控 电 机 斗 车	主 控 电 机 斗 车	全 机 组	主 控 电 机 斗 车	主 控 电 机 斗 车	全 机 组	主 控 电 机 斗 车	主 控 电 机 斗 车	全 机 组	主 控 电 机 斗 车	主 控 电 机 斗 车	全 机 组	主 控 电 机 斗 车	全 机 组	交 流	直 流
轴 排 列 式	20-20-20-20 (20-20)	3 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	3 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	3 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	3 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	3 (20-20)	20-20-20-20 (20-20)	3 (20-20)	3 (20-20)	3 (20-20)
粘 着 重 量 (t)	124.0	124.0	374.0	120.0	124.0	268.0	120.0	120.0	120.0	120.0	124.0	124.0	124.0	124.0	124.0	124.0	372.0	372.0
轴 重 (t)	31.0	31.0	31.0	30.0	31.0	—	30.0	30.0	30.0	30.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
电 动 斗 车 载 重 (t)	—	55.0	110.0	—	45.0	90.0	—	45.0	—	45.0	—	45.0	—	45.0	—	45.0	—	—
长 度 (mm)	19900	19200	52300	19306	16002	51306	19130	18760	18460	55160	19302	18002	51306	19302	18002	18202	54800	54800
高 度 (马 放 下 时) (mm)	5015	—	5015	—	—	5270	—	—	—	—	5270	—	—	—	—	—	—	—
通 过 最 小 曲 线 半 径 (m)	—	—	60	60	60	80	60	60	60	60	60	60	60	80	80	80	80	—
额 定 电 压 (kv)	—	—	10.0	1.5/3.0	1.5/3.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	1.5/3.0
小 时 制 功 率 (kw)	1640	1640	4920	847/1810	847/1810	2540/5420	2160	2160	2160	2160	6480	—	—	5600	—	—	6780	6780
小 时 制 牵 引 力 (kn)	227	227	680	242	242	728	270	270	270	270	810	—	—	700	—	—	980	980
小 时 运 行 速 度 (km/h)	—	—	—	—	—	12.8/27.3	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	29.0	29.0	29.0	25.4	25.4	25.4	25.4
柴 油 机 功 率 (kw)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
电 动 机 数 量 (台)	4	4	12	4	4	12	4	4	4	4	12	4	4	4	4	4	12	—
机 组 单 位 功 率 (kw/h)	—	—	13.2	—	—	8/16.51	—	—	—	—	18.6	—	—	15.0	—	—	18.2	—

苏联翻斗车 (100t以上) 性能

表 2-2-1-2

名 称	2BC-105	BC-130	TBC-165	TBC-180
载 重 (t)	105	130	165	172
自 重 (t)	48.5	50.5	85	67.7
自重系数	0.46	0.388	0.51	0.77
车厢容积 (m ³)	48.5	50.7	0.51	0.369
轴 数	6	6	8	8
长 度 (mm)	14900	15030	17630	17580
轴 距 (mm)	9340	9340	8120	8120
车箱尺寸(mm)上宽	3120	3120	3055	3026
下宽	2622	2622	2600	2562
上长	13395	13395	16130	16216
下长	12983	12986	13630	15556
车 高 (mm)	3226	3226	3220	3285
侧 板 高 (mm)	1280	1320	1390	1315
最大宽度 (mm)	3320	3520	—	3660
车厢倾角 (度)	45	45	45	45
气 缸 数	6	6	8	8
轴 重 (t)	25.0	23.6(30.1)	30.7(31.3)	29.5(30)
线路荷重 (t/m)	10.32	11.73	14.07	13.56

2. 改造铁路线路系统

为了使铁路向下延深, 必须改造铁路运输的线路系统, 由以下三方面进行:

1) 增大线路坡度

增大铁路运输线路的坡度能将铁路延深到更深水平。当采深达到200~250m时, 铁路运输系统越来越复杂, 这不仅使运输设备的生产效率降低, 也使采矿设备的效率降低, 致使生产规模的扩大受到限制。这时应考虑把线路的坡度过渡到50~60%或者更大。苏联、捷克斯洛伐克和西班牙等国家在矿山都积累了坡道大于40%的陡坡铁路运输的生产经验。如西班牙的马克萨多露天铁矿使用电动矿车牵引时的线路坡度为60%; 捷克斯洛伐克的上塔特拉区有坡度达60%的铁路区段在运营; 苏联科尔金煤矿1973年在长800m的区段试验了坡度60%的铁路运输; 苏联列别金露天铁矿成功地使用纵坡50%的铁路线竖沟。据报道, 采用60%陡坡铁路运输可使铁路运输深度增大100~150m, 矿山基建工程量和汽车集运量分别减少25%和15%, 运距缩短30%, 由采场向上提升矿岩的费用降低20%。如科尔金煤矿在-45m水平以下扩大60%陡坡线路, 可使铁路长度减少25%, 运输距离缩短33%, 移道工作量减少17%。

并取得16.4万卢布的经济效益。因此,苏联大多数露天矿都计划在采深200~250m时过渡到较陡坡度。目前斯托伊连、波尔塔瓦、奥列涅戈尔和科斯托穆克什等采选公司正在进行改用50~60%陡坡线路的工作。

铁路运输线路的坡度是否可无限大,从苏联的计算和试验得出,认为80%的坡度最优越,其经济效益比60%的坡度提高10%。坡度再大,经济效益反而下降,如100%坡度的经济效益与60%的相当。

为了确保露天矿陡坡铁路运输的安全可靠,苏联矿山采取了以下一些措施:

(1) 在运矿列车及其它辅助车辆上安装配有BP-498型配气阀的风动制动器和采用电磁钢轨制动器;(2) 使用P65和P75重型钢轨(代替P50型钢轨)和超长钢轨,在铁路所有曲线段内侧都要装护轮轨,而外侧全部用补强垫板;(3) 在移动线路上用金属轨枕部分或全部代替木轨枕,在道岔区和曲线段使用浸油枕木。直线段每公里铺1840~2000根枕木,半径小于600m的曲线段每公里铺2240根枕木;(4) 道渣厚度增加150~200mm;(5) 在铁路上安装弹簧式或扣板式、档板式和分配钢梁的支撑式防爬器。

2) 改进线路布置方式

为了减少折返和提高线路的通过能力,苏联一些深凹露天矿除采用之字线和螺旋线联合系统外,在地表有条件的地方还采用了外部堑沟和采场内铁路斜坡隧洞。

在境界外开挖大堑沟,以陡坡铁路沿着堑沟直接进入各水平,然后以中间沟向两侧扩帮,改变之字线折返下降的不足。如科斯托穆克什露天铁矿,为了减少铁路之字折返线路的扩帮量,在南北两端开挖堑沟(计划1995年完成)。北部堑沟由229m水平延深至115m水平,南部堑沟由205m水平延深至145m水平,设计分别以57%和60%的陡坡铁路进入各水平,堑沟车站及去各水平的岔线均在坡道上,采用10KV交流牵引机组。目前,在37%坡道上仍使用内燃机车和105t矿车。

在端部由采场境界外开凿铁路隧洞,一次折返多水平,可以腾出铁路折返线所占的空间,并缩短列车周转时间,使铁路运输在不需分期过渡、不增加扩帮的条件下继续延深。如萨尔拜露天铁矿,为解决深部2亿t矿量,在南端开凿由0m至-80m及-36m至-120m两条折返铁路隧洞。隧洞宽5.4m、高8m,采场内铁路纵坡为40%,隧洞内铁路纵坡为35.5%,一次折返下降80~84m,可保证铁路进车线延深到-310m。

3. 完善汽车-铁路转载方式

汽车向铁路列车转载矿岩方式的优劣在一定程度上影响作业的效率,因此,国外矿山很注意完善汽车-铁路联合运输的转载方式。

在汽车-铁路联合运输系统中,从自卸汽车向铁路矿车直接转载矿岩最为简单,但这种转载方式除转载能力小(很少超过100~200万t/a)、对铁路翻斗车冲击大以外,还对汽车和铁路列车的生产配合关系要求十分严格,当正常生产遇到故障时,会造成整个联合运输系统停产。因此,这种转载方式在大型铁矿很少使用,只是在局部采区或小型露天矿才应用这种转载方式。

电铲转载方式具有工作可靠、转载能力大、堆场结构简单等优点,因此得到广泛应用。

目前,苏联在汽车-铁路联合运输系统中,普遍使用这种转载方式。但这种转载方式也有不少缺点:如基建投资大、占用场地多、向下搬迁困难、集载汽车运距不能保持在合理范围内(0.7~1.5km)、生产运营费高和严重污染环境等。这种情况促使人们探索更有效、更可靠而又更简单的转载方式。苏联国家采矿工业设计院和黑色冶金部矿山研究院共同研究了具有振动式给矿机的转载站。这种转载站的结构优点是,可以在坚硬岩石台阶上设置漏斗式料仓,取代金属结构料仓,并且转载过程是自动化的。通过计算证明,这种转载站可以保证年生产能力达到1200~1600万t,而每吨矿石的转载费用仅为0.35~1.25戈比。苏联一些矿山正准备建设这种转载站。美国伊利铁矿多年使用带有振动给矿机的转载槽,装满一列9辆85t翻斗车的列车,仅需25分钟。苏联中部克里沃罗格露天铁矿使用一种高架式转载栈桥。它配有专门的计量漏斗,装一列6~7辆85~100t翻斗车只用了15~25分钟。上述两种转载方式与电铲转载比较,效率提高一倍,价格便宜30~50%。

对于大型深凹露天矿来说,带有振动式给矿机的转载站是比较理想的转载方式,它可随采场向下延深而较容易地向下搬迁。陡坡铁路和这种转载站联合起来使用,可使汽车-铁路联合运输的开采深度达到300~400m。

4. 汽车-铁路联合运输的实例

1) 苏联列别金露天铁矿

列别金露天铁矿位于苏联别尔哥罗德省的古布金地区,是库尔斯克磁力异常区的主要铁矿之一。

列别金矿床属于沉积变质矿床,主要矿物是磁铁矿,其次是赤铁矿和假象赤铁矿,普氏硬度系数 $f=14\sim17$,比重为 3.4t/m^3 ,水分为3%。非金属矿物主要是石英和碱性闪石,其次是黑云母、绿泥石、长石等。平衡表内矿石储量A+B+C1级为24.77亿t。含铁品位为33.5%。

列别金露天矿分三期建设。一期工程于1968年开始建设,1972年建成投产,采矿和第一选厂能力为1500万t/a。二期工程的采矿和选矿(第二选矿厂)能力为1620万t/a。三期工程于1979年建成投产,采矿和选矿(第三选矿厂)能力为1200万t/a。合计采选能力为4320万t/a。

该露天矿最终尺寸为:长4000m、宽2900m、深450m、段高15m。穿孔作业使用СВШ-320、СВШ-250МН、СВШ-320р、СВШ-250-320/20型牙轮钻机和СВШ-250МНР及СТР620型“列别金”人热力钻机。牙轮钻机穿孔效率为18350m/台·a。装载作业使用ЭКГ-8И和ЭКГ-12.5型电铲。矿岩运输采用汽车-铁路联合运输方式。使用的汽车是БелАЗ-540和БелАЗ-548型汽车。牵引设备为ТЭМ-2型内燃机车 and ОПЭ-А and ОПЭ-2型牵引机组。转载设备为移动式临时转载站。

由采场内石英岩站至选厂卸载站之间的铁路线坡度,中央采矿工业企业设计院原设计为40%。由于标高高差达169m和堑沟位置有限,必须以在+70m和+90m标高处建设折返站的方法进行展线。列别金采选公司为减少建设工期和工程量,推荐了坡度为50%的堑沟展线方案,从而排除了折返站展线的问题,使这段原长4.5km的铁路减少到3.4km,基建总投资额减少200万卢布。

列车由ОПЭ-1А或ОПЭ-2牵引机组和9辆105t的矿车组成。重载列车全重1750t,车辆计算的轴荷载为310KN。车速为20.9km/h,货运强度大于3000万t·km/km·a。路基上铺设P-65型新轨,1A型木枕。在20cm厚的砂垫层上,铺25cm的碎石道砟。每公里铁路铺设2000根枕木。区间装备着自动化控制的自动闭塞装置。凡在该区段上作业的列车,都装设压风制动器;这种制动器上装备着BP-498型配气阀。1985年,列别金采选公司制造了在陡坡线路上作业的、装备有快速制动装置的专用列车,1986年列别金露天铁矿就大幅度地提高了该竖沟的运输能力,8组生产列车每年保证运输矿石2290万t。

2) 科斯托穆克什露天矿

科斯托穆克什露天铁矿位于苏联西北地区,靠近芬兰边境,属于科斯托穆克什采选公司,矿体由主矿体和副矿体组成。主矿体开采境界长4.3km、宽1.9km,设计的坑底标高为-400m,副矿体开采境界长3.5km、宽1km,设计的坑底标高为-180m,上部联成一个采场。矿体倾角为60~80°,普氏硬度系数f为14~17。矿石含铁品位为30.9%。矿石储量为9亿t。矿山生产规模:矿石为2400万t/a,岩石为9600万t/a。

科斯托穆克什露天铁矿1978年开始基建,1982年投产,1984年达产。1989年开采深度为125m(至封闭圈),矿石产量为2374.93万t,岩石剥离量为4602.32万t,在册人数7157人。工人劳动生产率8004t/人·a。

穿孔作业使用СБЛН-250МН牙轮钻机和СБЛН-250МНР热力扩孔钻机,全年穿孔工作量为77.85万m。СБЛН-250МН牙轮钻机在册台数为20.5台,台年效率为3.79万m;СБЛН-250МНР在册台数为1.7台,台年效率为0.72万m。全年爆破矿岩量为2310万m³,1m孔爆破矿岩量为29.4m³。矿岩炸药消耗量为0.97kg/m³(格拉莫尼特73/21炸药)。

电铲装载工作量3240万m³,其中采场工作面为2370万m³,占73.15%;倒堆量870万m³,占26.85%。电铲在册数28.7台,其中ЭКГ-12.52台(工作面);ЭКГ-8И型24.6台,工作面18.3台,排土场1.3台,倒装5台;ЭКГ-4.6型1.6台,工作面1台,倒装场0.6台;ЭЛН-6/45型索斗铲0.5台(工作面)。电铲平均斗容8.1m³,每m³斗容年效率:工作面为13.49万m³,排土场为16.15万m³,倒装场为20.75万m³。

汽车运输量为7030万t,平均运距2.7km。БелАЗ-75191(载重量110t)在册台数为80.7台,工作台数为45.2台,平均载重量为108t,台年在册效率为87.1万t,每载重吨年运量0.792t。运输成本为12.6戈比/t·km。

铁路运输量3960万t,平均运距5.1km,内燃机车在册数26.2台,工作数18.9台。内燃机车在册效率为150万t/台·a,工作台数效率为210万t/台·a。运输成本3.15戈比/t·km,仅为汽车运输成本的25%。今后改用交流10KV牵引机组后,铁路运输成本还可相应下降。全矿矿岩的单位电耗量为0.8kWh。

1995年有+175m、+160m、+145m、+115m四个水平六个倒装场,卸车平台高出铁路10m,采场台阶高15m。为减少铁路之字折返线路的扩帮量,在南北两端开挖竖沟,设计以57%及60%陡坡铁路进入各水平,竖沟车站及去各水平的岔线均在坡道上,采用10KV交流牵引机组及105t翻斗矿车。目前,在37%坡道上仍使用内燃机车。下部以БелАЗ-75191型汽车运输,在±0、-60m、-140m设三个矿石溜井,矿石经井下破碎机破碎后由胶带输送机运出地表。在主矿体另一侧设可移式破碎机-胶带运输机系统,将岩石运到废石场,可移式破碎