

无轨采矿

WUGUI CAI KUANG

李开文 编

03

原子能出版社

内 容 提 要

本书主要内容有：无轨开采的特点和发展状况；无轨开采设备；无轨矿山的开拓方式、采矿方法；无轨开采矿井通风和废气净化；以及无轨矿山安全防护措施。无轨开采设备、开拓方式、采矿方法三章篇幅较长，介绍也较详细。根据我国铀矿工业发展的需要，书中还介绍了国外一些铀矿山无轨开采的情况。因此本书对于金属矿山、非金属矿山、铀矿山和使用无轨设备施工隧道、硐室、勘探坑道等部门的广大工程技术人员，以及大专院校采矿专业师生，均有参考价值。

无 轨 采 矿

李 开 文 编

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张 $5\frac{1}{2}$ ·字数121千字

1983年2月第一版·1983年2月第一次印刷

印数 001—1700·统一书号：15175·455

定价：0.70元



前 言

无轨采矿（又称无轨开采）是六十年代发展起来的一门新的地下开采技术。它与传统的地下开采相比，效率高、能力大、使用灵活、动力来源广泛，大大促进了矿山产量的提高，加快了矿山建设的速度。西方国家年产15万吨以上的矿山，现在百分之八十都采用了无轨开采技术。无轨开采有力地促进了现代工业的发展。

无轨设备用于井下之后，给地下传统的开拓系统、采矿方法、通风防护、设备维修等带来了一系列的变革。例如，开拓系统中广泛应用斜坡道，通风计算中以稀释柴油机废气为计算依据，凿岩爆破参数得到了改善，采准尺寸普遍加大等。它已经形成具有自己特点的、比较系统的开采技术，适应了现代工业发展的需要，也是近年来采矿科学技术中一项重大发展。

我国七十年代中、后期引进无轨开采技术之后，建设了一批无轨矿山，部分无轨设备已试制成功，这是加速我国矿山现代化一项有力措施。随着我国工业水平不断提高，无轨开采在我国也将会得到越来越广泛的运用。

本书广泛地搜集了无轨开采有关资料，并分章节给予系统的总结和评价。由于无轨开采是正在发展中的科学技术，尤其国内无轨开采技术还处在初期阶段，因此目前还难以做出十分中肯的评述。

本书在编写过程中得到了张天保同志、李蕴峰同志、王宗棠同志、李可大同志和裴柏欣同志大力支持和详细审核，

在此深表感谢。

由于编者水平较低，书中错误和不足之处一定不少，请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 无轨开采概述.....	1
第一节 无轨开采的发展状况	1
第二节 无轨开采的特点	2
第三节 无轨开采有广阔的前途	4
第二章 无轨开采设备.....	6
第一节 无轨开采设备的分类	6
第二节 无轨设备的选择	39
第三章 无轨矿山的开拓方式.....	48
第一节 开拓方式的分类	48
第二节 无轨矿山巷道的分类	67
第三节 无轨矿山巷道断面的选择	70
第四节 无轨矿山巷道坡度	76
第五节 坑内道路	78
第六节 斜坡道的掘进	80
第四章 无轨开采的采矿方法.....	81
第一节 无轨设备在充填法中的应用	82
第二节 无轨设备在房柱法中的应用	103
第三节 无轨设备在崩落法中的应用	116
第四节 无轨设备在分段矿房法中的应用	126
第五节 无轨设备在阶段矿房法中的应用	132
第五章 无轨开采矿井通风.....	141
第一节 坑内废气和废气标准	141

第二节	废气净化措施	143
第三节	风量计算	147
第四节	通风系统和通风方式应注意的问题	158
第五节	独头巷道通风	159
第六章	无轨矿山安全防护措施	160
第一节	设备的维修工作	160
第二节	轮胎的维护	164
第三节	无轨矿山的安全注意事项	168

第一章 无轨开采概述

地下矿山使用无轨自行采矿设备开采矿石，称为无轨开采。

第一节 无轨开采的发展状况

无轨开采于本世纪四十年代末和五十年代初在美国问世之后，瑞典等国接着也相继使用。虽然在研制适合井下特点的无轨设备方面做出了一定努力，但由于设备不完善，废气净化没有解决，因此整个五十年代仍然没有得到广泛的应用。

六十年代初期，因美国研制外形低矮、车身铰接、四轮驱动的柴油铲运机成功，废气净化也取得较大进展，无轨开采才比较快地发展起来。据统计，五十年代末期世界无轨矿山不到十个，1965年就增加到二十个左右，1967年增加到三十个左右，1969年就有六十多个了，到了七十年代得到了更大的发展。据1973年统计，世界上共有一百多个矿山使用了一千五百台左右无轨设备。到目前为止，全世界已有六千台以上无轨装运卸的联合设备（包括气动、电动、柴油驱动）用于井下，而且象凿岩台车和其它辅助车辆已相当完善。

表1-1是几个国家和地区的无轨开采情况。

实际上，象法国全部铁矿山，美国所有铅锌矿山，瑞典大部分有色金属矿山都完全是无轨开采。当然，矿体较薄、岩层不稳定等，也限制了无轨设备在一些矿山的使用，如

非众多的金矿和铂矿，至今仅个别的使用无轨设备。

从采矿方法来看，房柱法和深孔崩矿的阶段矿房法使用无轨设备比例最大。由于无轨设备的采用，近年来深孔阶段矿房法，无底柱分段崩落法，机械化充填法使用数目大大增加了。

表1-1 几个国家和地区无轨矿山统计

国家或地区	1976年地下矿山总数 (个)	1976年无轨矿山数 (个)	无轨矿山所占百分数 (%)
加 拿 大	107	74	69.1
美 国	66	48	72.1
法 国	41	39	95
澳大利亚	24	16	66.6
瑞 典	25	20	80
南 非	66	6	9
赞 比 亚	8	6	75

注：本表统计之矿山规模均大于 15 万吨/年。

七十年代中、后期，我国一些黑色金属矿山、有色金属矿山、铀矿山也逐步推广了无轨开采。部分适合国情的无轨设备也研制成功，象小寺沟铜矿、红透山铜矿、凡口铅锌矿、河北铜矿等都是我国新设计的，或者正在改造中的无轨矿山。我国是一个矿产资源十分丰富的国家，随着工业水平不断的提高，预计八十年代以后无轨开采在我国将有较大的发展。

第二节 无轨开采的特点

无轨设备在地下矿山使用之后，不仅有很高的生产能力，而且十分机动灵活，能很好地适用于井下生产的特点，给矿山建设和生产带来了一系列好处。

(1) 能使矿山开拓快、投产早、迅速达到设计能力。

例如，采用斜坡道开拓的矿山，除斜坡道掘进可以利用无轨设备外，其它开拓巷道也可以充分利用无轨设备。一旦斜坡道施工完毕，即便竖井没有投入使用，也能利用无轨设备通过斜坡道运出矿岩。

(2) 能提高工效、降低成本。利用电耙运搬时，效率一般为 25—35 吨/人班。使用无轨设备后，在国外效率一般可达到 100—150 吨/人班，而且运距可在 200 米以上。日本三井公司神冈矿，由电耙出矿改为铲运机出矿后，工效提高了四倍，总成本降低了三分之一。瑞典的鲁萨瓦拉矿，由有轨改为无轨之后，井下人员的生产效率由 9 吨/人班，提高到 19 吨/人班，每吨矿石的成本降低了 27%，每吨废石的成本降低了 80%，还减少了 38 名工人。

(3) 无轨设备机动性大，使用范围广。无轨设备自带动力，能快速自行到任何场地，无需铺轨、架线、接软管等。在上坡、下坡等不利条件下均可工作。若与其它设备(如液压泵、液压马达、风动马达等)配合使用，就可在无轨设备上实现能量转换，做到一机多能，增大使用范围。无轨设备在完成掘进工作之后，还可兼作道路平整、材料运搬、粉矿回收、找边等工作。由于它可以加大运距，又可减少溜井和漏斗等工作量，简化了井下作业。

(4) 无轨设备分担了提升任务，因而加大了竖井提升能力。无轨设备可以通过斜坡道将掘进的岩石直接运至地面，或者将人员、材料直接运至井下各工作面，使竖井专门提升矿石，从而大大提高了竖井的提升效率。瑞典基鲁纳铁矿，过去人员和材料是通过平巷—盲竖井—斜下山等几次转运之后才达到工作面的，浪费了时间和动力。改用无轨开采之后，人员和材料通过斜坡道直接到达工作面，减少了运输环

节，增加了生产时间，提高劳动生产率20%，降低成本15%左右。

(5) 无轨设备动力来源广泛。现在的动力来源有压缩空气、电缆、架线供电、蓄电池供电、柴油机等。压气和电作动力时，无轨设备必须拖带风管和电缆，不灵活，而且运距也受一定的限制；蓄电池作动力时，在机重相等的情况下，负荷小于其它动力设备，不能作到体积小、容量大的特点。现在都趋向于柴油机作动力。不过，由于废气净化复杂，今后动力的发展趋势仍然是电力可能性最大。

(6) 由于坑内采用无轨设备，不需铺轨道，节省了钢材。

无轨设备在地下矿山使用之后，由于机械化程度高，设备需要量大，设备购置费高，坑道断面一般也较大，使矿山一次投资多；同时操作维修严格，备品配件多，矿山设备的维修工作量大；柴油机废气污染井下空气，使矿井通风量大大提高。但是，无轨设备使用之后大量减少了劳动力，降低了矿石成本，加快了投资还本期限，以及大大增加了矿山产量，从而可获得较高利润。因此，十多年来无轨开采仍然得到了迅速发展。

第三节 无轨开采有广阔的前途

无轨开采获得迅速发展，不是偶然现象，因为在采矿工艺中，装载和运输是两道很重要的环节，它们占了回采循环时间的50%以上，在采矿直接成本中也占了很大的比重。往往由于这两道工序落后，采矿工艺不但生产效率很低，而且摆脱不了笨重的体力劳动。为了改善运输条件，本世纪初，

人们就将轨机车用于井下；本世纪三十年代又将轨轮式装载机配合轨轮式矿车用于井下；五十年代末，大型电耙开始用在井下。这一系列的改革，装运机械化水平虽然大大提高了，由于有轨运输中固有特点，不论是轨轮式装载机还是电耙，都摆脱不了机动性差、不灵活、设备数量多、利用率不高、作业分散的缺点；以及由于这些缺点给生产带来了环节多、机械化程度低、辅助作业人员过多的现象。

七十年代以来，资本主义世界劳动力短缺，因此竭力寻求开采效率更高的采矿方法，和装运效率更高的机械化设备；又由于井下作业地点的不断移动，于是一种机动灵活、效率高、适应广、一机多能的无轨设备问世了。实践证明，无轨自行设备应用之后，对回采工艺中如何提高装载和运输两道薄弱环节有了很大的突破，装运效率和井下劳动生产率大大提高了。无轨开采的发展完全是整个工业发展的结果。

当然，柴油无轨设备用于井下，需要废气净化和加强通风，但是这是正趋于解决的问题。至于无轨设备要求坑道断面较大，只要矿岩稳定，由于劳动生产率提高，并不会显著增加基建费用，运输作业的简化，可以减少某些井巷工程，加之机械化程度提高以后，还可以降低掘进费用。

无轨开采在国内外正处于上升时期。随着工业的不断发展，对开采那些矿体连续性好、厚度较大的矿床，其发展前途仍将很大。

第二章 无轨开采设备

第一节 无轨开采设备的分类

无轨开采设备的分类有三种方法：（1）按用途可分为主要无轨设备和辅助无轨设备；（2）按行走机构不同，可分为轮胎式无轨设备和履带式无轨设备；（3）按动力能源不同，可分为气动、电动、柴油驱动三种无轨设备。目前使用较普遍的是柴油驱动的轮胎式无轨设备。

主要无轨设备一般是指以铲运机为代表的井下装运卸联合设备、坑内卡车、凿岩台车三种。辅助无轨设备一般是指装药车、锚杆车、喷浆车、运送人员和材料车、平路机、压路机等。

一、铲 运 机

铲运机是专门为地下矿山设计的一种长、矮、窄，中部铰接，液压转向的前端式装运卸设备。设备本身没有贮料车箱而带一个大容积的铲斗。铲斗装满以后就运往溜井，或运往其它卸载地点。它既可用于采场出矿，又可用于掘进出渣，在短距离条件下可以独立完成装运卸作业。

铲运机由于车身为中央铰接，因此转弯半径小，操作轻便灵活。它的外形高度与轮胎直径大致相同，重心低，行驶平稳，非常适合井下作业。铲运机一般都是四轮驱动，爬坡能力较强。由于载荷集中在前部，发动机和轮胎的磨损都比较大，所以只适合作短距离作业，不适合长距离运输。

铲运机型号较多，斗容从 0.76 米^3 到 13 米^3 ，额定载重从 1.36 吨到 17.70 吨。小型铲运机 HST-1A 型，其司机头部高度仅为 1.83 米，宽度为 1.22 米。大型的 ST-13 型铲运机，司机头部高度也只有 2.54 米，宽度为 3.05 米。铲运机发展的动向是：（1）零部件逐渐标准化。目前有一半左右是非标准件，标准化后，成本将降低，使用范围还将扩大；

（2）改进液压系统和控制仪表，采用盘式制动器和静液压传动，或者采用飞轮增能的小型发动机；（3）由于柴油发动机有废气和废热，电动铲运机的产量正在迅速增长。

铲运机可分为大、中、小型。载重大于 9 吨者为大型；4—9 吨者为中型；小于 4 吨者为小型。常用的铲运机如表 2-1 所示。

西方各国使用的铲运机大部分为美国瓦格纳 (Wagner) 公司、乔伊 (JOY) 公司、艾姆科 (EIMCO) 公司、卡特皮勒 (Caterpillar) 公司、瑞典的阿特拉斯-科普科 (Atlas-Copco) 公司、加拿大的贾维斯-克拉克 (Jarvis-Clask) 公司的产品。常见的 ST 系列就是瓦格纳公司的产品；EIMCO 系列为艾姆科公司的产品；Cat 系列为卡特皮勒公司的产品；LTD 系列为乔伊公司的产品；JS 系列为贾维斯-克拉克公司的产品。除此之外，法国莫迪尔斯矿山设备公司生产的 CT 系列的铲运机、西德郝锡旺 (CHH) 公司生产的 LF 系列铲运机、西德楚普佛 (Schopf) 公司生产的 L 系列铲运机、芬兰泰姆努克 (Tamrock) 公司生产的 TORO 系列铲运机、波兰弗德努玛 (Fadroma) 公司生产的 LK 系列铲运机、瑞典渥利渥 (VOLVO) 公司生产的 BM 系列铲运机、日本川崎公司生产的 KLD 系列铲运机、以及苏联生产的 ПД 系列铲运机也都是受欢迎的产品。

表2-1 常用几种铲运机规格

铲运机型号	斗容 (米³)	有效载重 (吨)	外形尺寸 (毫米)			柴油机能 率(马力)	最大速度(公里/小 时)	自重 (吨)
			宽	高	长			
ST-2B	1.53	2.72	1550	1400	6600	70	20	10.25
ST-5A	3.13	7.26	2450	1640	8915	130	44	17.1
ST-8A	5.16	10.9	2440	1880	9500	174	36.9	26.4
EIMCO911	0.76	3.2	1220	1150	4170	38	12.9	4.08
EIMCO915	3.8	10.9	2440	1675	8660	174	40	17.75
EIMCO916	4.5	10.0	2440	2005	8660	174	40.1	19.0
EIMCO912B	1.72	3.65	1525	1370	7010	76	40	9.12
DZL50	3.0	6.0	2500	1950	8804	200	34	16.4
Z4J-4D	2.0	4.0	2100	1700	7800	130	22	12
ZCY-3	3.0	8.0	2500	1740	8700	200	20	20
HST-1	0.76	3.0	1200	1300	4500	45	10	4.5
L-110	3.0;4.0	—	2440	1830	8450	—	20.8	16.3
GST-3	1.95	3.68	2135	1778	6375	130	29	16.1
GST-5A	3.2	7.3	2450	1525	8915	174	37	17
TLF4	1.75	3.5	1600	1900	7100	86	17	9.7
LK-1	2.0	4.0	2200	2200	8300	115	20	10.8
462HCS	2.5	5.0	2500	1630	9350	130	27.8	12.0
EIMCO912	1.53;2.07	3.63	1524	1370	7000	70	29	7.92
Cat980	3.4	—	2700	1800	7900	—	—	—

现在生产柴油铲运机的公司大部分又同时生产电动铲运机，但是电动铲运机使用比较普遍的是加拿大JS系列的产品。从使用的总台数和总斗容来看，美国的ST-2B型和ST-5A型铲运机用得最多。在机械化充填法中斗容为 3.8米^3 的铲运机使用最为普遍。

国内也开始设计和制造铲运机，如由长沙矿山研究院设计、柳州工程机械厂制造的DZL50型铲运机；由长沙矿山研究院设计、厦门工程机械厂制造的Z4J-4D型铲运机均已试制成功，并已投入使用；由马鞍山矿山研究院等单位设计制造的ZCY-3型铲运机正在试制；北京矿冶研究总院和太原矿山机械厂也正在联合试制我国小型铲运机新产品。

世界各地生产的铲运机，其结构大体相同，都包括工作机构、发动机和净化装置、传动系统、转向系统、制动装置等几部分。工作装置安装在前车架上，发动机和除前桥以外的大部分传动机构，均安装在后车架上，前后车架通常用插销铰接。图2-1为ST系列铲运机的典型结构，图2-2为EIMCO915型铲运机外形图。

除了铲运机之外，井下装运卸联合设备还有前端式装载机和装运机。

前端式装载机，其铲斗卸载在设备的正前方。它可分为正装正卸和正装侧卸两种型号。它是露天和井下均能使用的一种设备。由于它外形高大，重心偏高，一般说来只宜装载，不宜运输。六十年代中期，它才用于地下开采的房柱法和分段崩落法采场的装矿，以及大断面隧道掘进时的装渣。产品有美国卡特皮勒公司的Cat966C型、Cat950型等。国产装载机有LB-150型双臂式装载机等产品。图2-3为Cat980型装载机外形图。

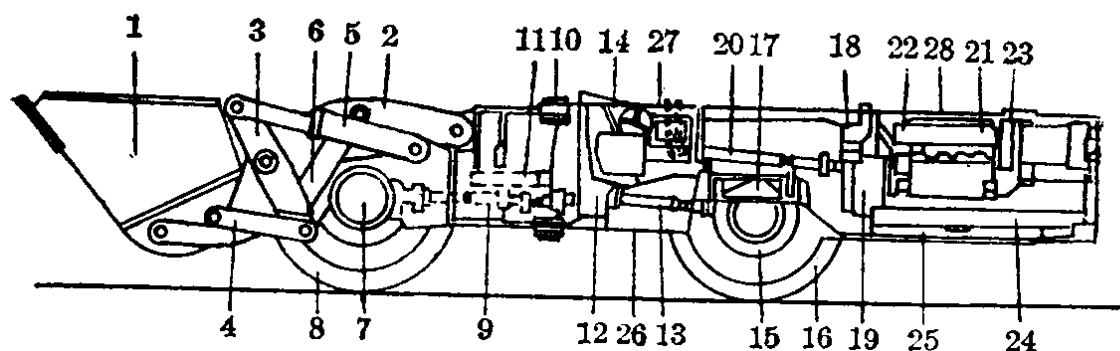


图2-1 ST 系列铲运机

- 1 —— 铲斗； 2 —— 动臂； 3 —— 摇臂； 4 —— 连杆； 5 —— 转斗油缸；
 6 —— 动臂升降油缸； 7 —— 前桥； 8 —— 前轮； 9 —— 第二传动轴；
 10 —— 铰接插销； 11 —— 转向油缸； 12 —— 变速箱； 13 —— 第三传动轴；
 14 —— 操纵机构及驾驶座； 15 —— 后桥； 16 —— 后轮； 17 —— 后轮摆动架；
 18 —— 空气滤清器； 19 —— 液压变矩器和油泵； 20 —— 第一传动轴；
 21 —— 柴油发动机； 22 —— 液压变矩器、油冷却器； 23 —— 发动机冷却器；
 24 —— 蓄电池； 25 —— 燃油箱； 26 —— 液压油箱； 27 —— 活动保护盖板；
 28 —— 发动机罩。

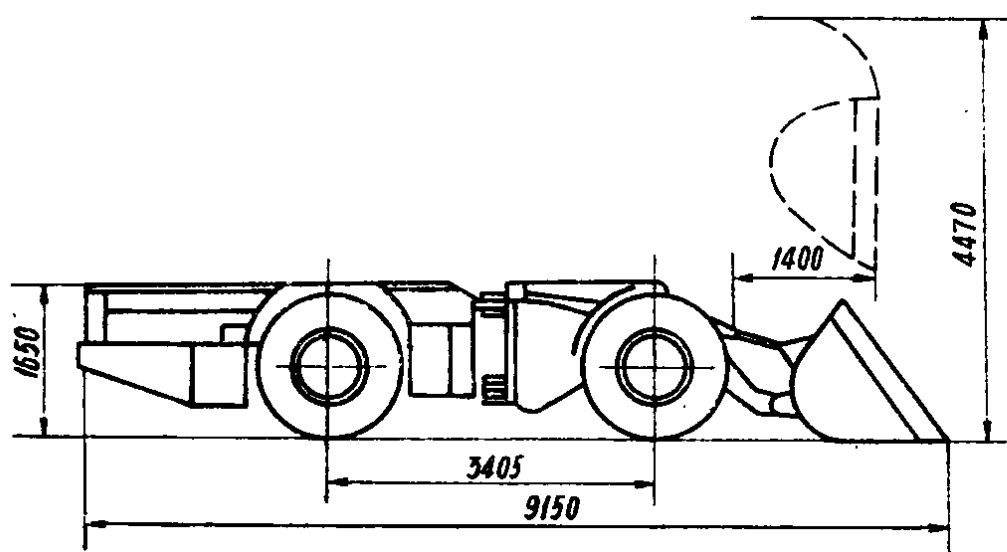


图2-2 EIMCO915 型铲运机外形

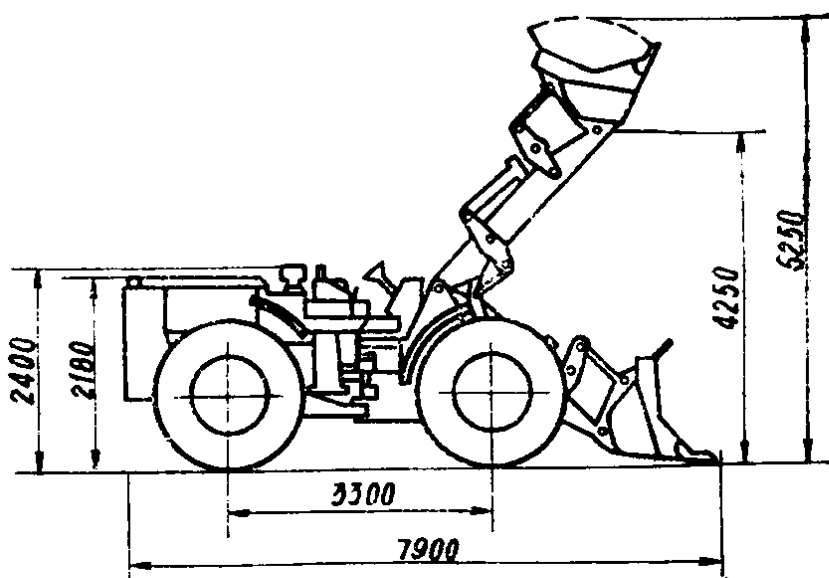


图2-3 Cat980 型前端式装载机外形

装运机有柴油驱动和风动两种。柴油驱动的装运机有一个正装后卸式的铲斗和一个贮料箱，驱动部分和装载部分铰接。根据卸载方式不同，它可分为底卸式、翻卸式、推卸式三种。装运机有行驶平稳、速度较快、维修费用低、轮胎消耗低的优点。在潮湿、水大的情况下，也能顺利作业。一般用在房柱法和充填法采场。由于巷道掘进和某些采矿方法不宜采用这种设备，装运机多用性受到了一定的限制。推卸式装运机对于中等距离的大量运输是十分理想的。它的主要产品有美国乔伊公司生产的 TL-55，TL-110，EC₂ 等型号的装运机。国产装运机有 C-50 型和 C-30 型等。图 2-4 为 TL-55 型装运机的外形。

图 2-5 至图 2-16 是国际上 11 种主要铲运机的外形图片。