

[苏] А. Д. 斯皮 岭



ОПТИМИЗАЦИЯ

СИСТЕМ ШАХТНОГО
ЛОКОМОТИВНОГО
ТРАНСПОРТА



矿井机车 运输系统优化

杨 复 兴 译 煤 炭 工 业 出 版 社

87
TD529
2
3

矿井机车运输系统优化

〔苏〕A.Д.斯皮岭

杨复兴 译

1981/10

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书阐述了矿井机车运输的现状和发展前景。叙述了用电子计算机优化机车运输系统参数的原理。探讨了最优运输设备的选择问题、地下金属矿电机车运输的自动化设计、具有协调牵引性能与制动性能的电机车机电参数的计算。拟订了参数系列和大容量矿车的结构。提出了矿井轨道合理坡度的论据，并论证了采用具有最优参数的运输设备时得到的经济效益。

本书可供从事矿井机车运输的设计、使用和科研工作的广大科技人员阅读，对矿业高等学院和专科学校的师生也有参考价值。

责任编辑：陈 锦 忠

А. Д. СПИЦЫН
ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ШАХТНОГО
ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТА

〈НАУКА〉 Казахской ССР АЛМА-АТА 1984

矿井机车运输系统优化

〔苏〕А. Д. 斯皮岭

杨复兴 译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168¹/₃₂ 印张6⁵/₈

字数171千字 印数1—2,180

1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷

书号15035·2736 定价1.35元



前 言

根据苏联共产党第二十六次代表大会奠定的“1981~1985年和1990年以前时期经济和社会的发展基本方针”，保证国民经济在矿物原料方面需要量日益增长的采掘工业部门将得到进一步发展，这与苏联党的长期任务——始终不渝地提高人民物质与文化生活水平的目标是一致的。

增加有用矿物的开采量要依靠下列途径：改造和运用现有的生产能力；建设新的大型企业；改进矿床开采的工艺和技术；在采矿作业不断强化和集中化情况下实行生产过程综合机械化与自动化。

在货流量增长的条件下，提高了对矿山运输的要求，尽管已取得重要成就，但是矿山运输仍具有劳动量大、经营费用高的特点。在采矿工业中，有用矿物的运输费用约占产品成本的10%，而在煤炭矿井中运输工人占采煤工人的11%。在地下金属矿，包括装载和辅助过程的运输作业劳动量约为采矿整个劳动消耗的40%。因此，依靠严密的工作组织、改进运输系统、完善现有的并研制新型高生产率的运输设备，以提高矿井运输的效果，就具有重要的国民经济意义。

在干线水平巷道各种井下运输方式中，机车运输是基本的；煤炭矿井利用机车运输完成的货运量约占总运输量的90%，而在地下金属矿几乎全部货运量均由机车完成。因为机车运输具有通用、高度可靠（依靠一般的备用）和经济性（当运输距离很长时）等优点，因此在未来它仍将发挥主导作用。

矿井机车运输与其他型式的铁路运输（城市的、工业的和干线的）在牵引计算原理方面有很多共同之处，同后者的根本区别是：由于矿井机车运输的特殊工作条件形成的工艺系统、技术设

备与主要参数。因此需用不同方法来对待矿井机车运输的计算、设计、使用，以及特别是最优设备和最优参数的确定。

在研究和建立可解决与机车运输——特别是与矿井机车运输的设计和使用有关的、最重要问题的列车牵引原理方面，Н.П.彼得罗夫、Д.М.列别杰夫等人发挥了主导作用。

矿井电机车牵引的奠基者——Ф.Н.什克利亚尔斯基，提出了等加速计算方法的论据，叙述了电机车、电气接线图、牵引变电站以及蓄电池的结构。在С.А.沃洛特科夫斯基的著作中进一步发展了矿井电机车牵引计算原理。

苏联矿山运输与工厂运输学派的领导人А.О.斯比瓦阔夫斯基和Н.С.波利亚科夫，以他们的奠基性著作促进了矿井运输科学的发展、牵引计算方法的完善以及设备使用的改进。

在Я.Б.卡利尼茨基、Б.А.库兹涅佐夫、К.К.库兹涅佐夫、Н.А.马列维奇、В.А.波诺马连科、А.А.伦格维奇、А.В.雷谢夫、Г.И.索洛德、В.А.瑟索耶娃、В.Г.绍林、Н.Т.卡列宁、З.М.列伊捷斯、И.И.利夫希茨、С.И.洛帕京、В.Н.斯塔修克等人的著作中，阐述了矿井机车运输的理论、设计、使用与优化等等很多问题。

矿井机车运输是由各个相互联系的环节组成的复杂可控系统，这些环节包括：运输设备（矿车和机车），干线巷道的轨道和终端站（装载站和井底车场）。运输系统的效果，在很大程度上取决于按给定采矿技术条件选择的组成环节具有这样的最优参数，即：允许充分利用所有运输设备的技术潜力；在整个系统建设和使用的综合费用（主要的和附加的）最小的条件下保证有最大的生产能力和最好的安全性。

在以前发表的机车运输著作中，是在其影响因素的和各因素间相互关系的变参数数量和变化范围有极大限制的条件下，研究各个环节的。

特别注意利用基于经营费用最小的技术经济分析法，来选择矿车和机车的最优参数和合理使用范围，同时把所有运输作业看

作决定性的因素。在一部分著作中，孤立地选择矿车的最优容积、车组的载重量或者机车的粘着重量，而在另一部分著作中则联立确定这些参数。对于给定型式的矿车，求解每个问题都没有给出它的几何尺寸。而如果考虑到矿车外形尺寸是没有充分科学根据、相当主观地选取的，那么所选择的矿车参数以及在职能方面同它有联系的其他运输设备的参数，可能都不是最优的。

主观的确定矿车几何尺寸与限制矿车载重量的提高，以致迄今不可能提出具有改进技术性能的单个矿车的容积——即机车运输发展和提高效益主要方针之一的、有科学论据的建议来。这在很大程度上说明，在苏联没有切实的实施这一方针；尽管各科学研究院、设计院和机械制造厂已联合作了大量工作。例如，只要指出苏联煤炭矿井采用的65%矿车的容积在 2m^3 以下，而在美国的煤炭矿井载重量自9至30 t的矿车约占在册矿车总容积的50%，就足以说明问题。在西欧国家（法国、英国）的煤炭矿井使用载重量12 t和20 t的矿车，在金属矿井使用载重量30 t的矿车。在瑞典的《基鲁纳》地下铁矿，采用载重量50 t的矿车。在苏联，标准系列限定的矿车容积的上限为 8m^3 。

在所有知名的著作中，计算电机车的机电参数时没有使牵引设备和制动设备直接匹配，这个问题在设计的过程中就存在。结果导致一部分电机车的技术速度大大低于制动允许的速度，由此不适当的限制了它们的生产能力；相反地，另一部分电机车的速度超过紧急制动允许的速度，因此必须用人工耗能方法降低速度，使电机车的控制复杂化，更主要的是在事故情况下不能保证列车适时停止。

在叙述矿井轨道的著作中，轨道的主参数——纵向坡度的大小是按载重量3 t以下的矿车确定的，并没有考虑列车在下坡和装载站调车作业时的安全行驶条件。这些著作中的一些建议是相互矛盾的，因此对矿井轨道的优化坡度问题不可能给出明确的解答。安全规程亦没有给出明确的解答，因为在规程中仅指出允许坡度的上限。而现有的矿井工艺设计定额的坡度部分，在某种程

度上来说只适用于单位运行阻力大的、小容量矿车的使用条件。但是在使用阻力小、载重量大的矿车时，现有的定额就不能满足保证电机车合理工况和列车安全行驶的要求。

选择井底车场的工艺系统时，以它的建设和经营费用最小作为优化性准则，不考虑干线巷道的运输费用。

最近，苏联和其他国家的学者们特别注意机车运输系统各个环节优化问题的求解，并把运输过程看作随机过程。解题方法是建立在利用概率方法、电子计算机、模拟计算机以及模拟—数字计算机组的数学模拟与电子模拟基础上的。针对煤矿的情况，在苏联作者的某些著作中，有叙述装载站的储存量、单轨巷道和双轨巷道的应用范围、运输系统的通过能力与利用系数的计算方法。然而，这些著作没有探讨运输设备参数的优化与预测、地下金属矿井机车运输的自动化设计，以及对改进和提高这种运输方式的效果具有重要意义的其他问题。本书可以弥补这个缺点，书中利用基本计算方法，从所有环节的相互联系以及同煤层和矿床地下开采工艺的有机联系方面，论述了矿井机车运输的综合优化问题。本书是根据作者在科学研究和教育工作中积累的资料编写而成的。

目 录

前 言

第一章 矿井机车运输的使用条件与发展前景 1

第一节 采矿技术条件与机车运输的基本系统 1

第二节 运输设备发展与改进的基本趋势 9

第二章 机车运输工艺系统的分类及其各环节最优

参数的选择 31

第一节 工艺系统的结构组成* 31

第二节 装载站最优工艺系统的基本计算与选择 33

第三节 干线轨道及其基本参数的选择 44

第四节 井底车场最优工艺系统的选择与基本计算 53

第三章 车辆与运输巷道基本参数的分析关系 67

第一节 矿车与运输巷道参数的相互关系 67

第二节 矿车载重量与表征其经济性的参数之间的关系 86

第四章 列车重量与电机车机电参数的计算 98

第一节 按粘着条件确定列车重量 98

第二节 按电机车牵引电动机的发热条件确定列车重量 105

第三节 按制动条件确定列车重量 114

第四节 电机车牵引和制动性能的分析 127

第五节 机车机电参数的计算方法 131

第五章 机车运输参数的综合优化 142

第一节 工艺过程及其费用的概述 143

第二节 煤炭矿井与地下金属矿的经济—数学模型 154

第三节 机车运输参数的优化算法 156

第四节 机车运输的最优参数 165

第五节 大容量矿车结构的改进 173

第六节 优化机车运输参数产生的经济效益 175

第六章 用电子计算机设计地下金属矿的电机车

运输	179
第一节 电机车运输最优设备的选择	179
第二节 电机车运输的计算	184
结 论	193
参考文献	195

第一章 矿井机车运输的 使用条件与发展前景

矿井运输尤其是机车运输的发展与改进，与总的科学技术进步——其中包括与矿床开采技术和开采工艺的进步，有着不可分割的联系，而后者是建立在应用更完善的开拓方式、准备方式、采矿方法、采矿作业不断强化和集中化的生产过程综合机械化和自动化基础上的。

第一节 采矿技术条件与机车运输的基本系统

在尺寸、形状和物理机械性质方面有区别的煤田和矿床的矿山地质条件特点，预先定下了煤炭矿井与金属矿井的不同开拓方式、准备方式和开采方法，以及不同的机械化和运输的系统与设备。

苏联煤田的特点是：在倾角、煤层厚度和瓦斯含量、围岩稳定性等方面的矿山地质条件多种多样。用地下开采法采煤的总产量中，缓倾斜煤层的采煤比重占 77.8%，倾斜煤层——9.4%，急倾斜煤层——12.8%。Ⅲ级瓦斯井和超级瓦斯井的采煤量占一半以上。

煤田多半用长柱式采煤法开采，它的采煤量占总产量的 93.4%，而其中柱式采煤法占 64%，连续采煤法——22.7%。沿走向和俯斜（仰斜）的柱式采煤法的比重不断增长，并且最近几年内在顿涅茨煤田应达到 80%，在卡拉干达煤田——88~90%，在庫兹涅茨煤田——82%。

机械化采煤的主要设备是联合采煤机和刨煤机。同时，浅截式综合机械化采煤机组的应用日益广泛，它的采煤量达 60% 以上。推广先进技术，能保证工作面的负荷急剧增长、提高劳动生

产率并改善技术经济指标。目前，用地下开采法采出的三部分煤炭，是由平均日产量为1000t的综合机械化工作面采出的。很多先进生产者和革新者运用新技术，使工作面的日采煤量达到2000和3000t，而个别工作队甚至达5000t以上。

用长柱法开采煤层时，阶段式和盘区式是基本的准备方法。苏联所有主要煤田的盘区准备方法的比重预计会继续增长。同时，推荐用布置在稳定围岩内的、并集中全部煤层运输任务的组合巷道（平巷、上山）准备浅煤层。阶段法用于开采急倾斜和倾斜煤层，以及井田尺寸不大于3~4 km的缓倾斜煤层。它广泛用于采取沿俯斜（仰斜）推进工作面的柱式采煤法、并以贯通阶段或水平全高的斜巷准备采区的卡拉干达煤田。

苏联的煤田多半采用两座中央布置的立井开拓。其中一座是装备罐笼提升设备的辅助井；第二座是供运出主要货物用的箕斗井，而有时还配备罐笼。对年产量大（ $120\sim 150\times 10^4\text{t}$ 和更高）并当预定延深的新水平开采深度很大时，可能设三座中央布置的井筒。为了改善通风条件，可采用沿俯斜方向错开的中央立井开拓。

对于年产量为 $300\sim 600\times 10^4\text{t}$ 的特大型矿井，使用现有开拓方式时通风条件和井筒延条件变复杂。因此在科学研究院和设计院全面审议的基础上，对这样的矿井推荐利用自岩石平巷到中央立井具有独立通风系统和运煤系统的几个单独采区准备井田（走向长10~12km）。

用阶段石门开拓急倾斜煤层时运输系统最简单，在这种情况下可利用单水平的机车运输。煤炭经漏斗自煤仓装入矿车，经运输平巷和石门运至井底车场。因为在煤仓、存煤台阶、溜眼和溜井内储存煤炭，可随着煤的积聚向装载站发送矿车。

当开采一组靠近的急倾斜煤层并采用带采区石门的组合平巷或岩石平巷开拓井田时，同样采用单水平的机车运输，而不管运输巷道具有很多分支的特点。在此运输系统中可采用双环节运输方式，即自工作面到集车错车道用轻型（调度）机车运煤，而自

集车错车道到井底车场用重型（干线）机车运煤。

在开采缓倾斜和倾斜煤层的矿井内，以使用钢绳运输的主要上山和下山开拓和准备工作水平时运输系统最复杂。在此条件下使用双水平或多水平的机车运输。而采用有矿车运搬的水平间巷道时，便形成多段轨道运输，使运输系统更加复杂化。

多段运输系统广泛地用于顿涅茨、基谢列夫和卡拉干达煤田的生产矿井，它的缺点是货流分散、井下运输劳动量大、由于空车供应不及时而引起工作面停顿；就是说在很多矿井内运输成为限制发展煤炭开采的薄弱环节。因此，开采缓倾斜和倾斜煤层时运输系统的改进方向规定为：拒绝采用多段轨道运输；消除分散的采煤作业；大大提高工作面、煤层、侧翼和水平的负荷；所有水平巷道和主斜巷的输送机运输与井底车场水平的干线机车运输联合应用。当主斜巷的倾角很大时，可采用特殊形式的输送机或箕斗。

由此，开拓井田特别是开拓有若干可采煤层的井田时，预定了多水平开采方式的广泛应用，因为采用此法时可实现沿煤层平巷、组合平巷、岩石平巷和石门直接到井底车场的单水平机车运输。

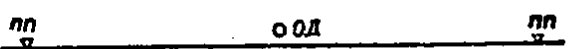
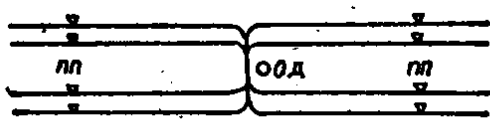
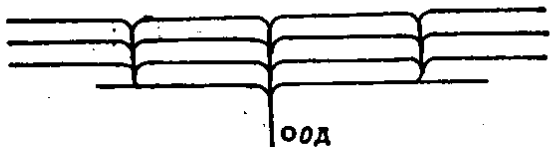
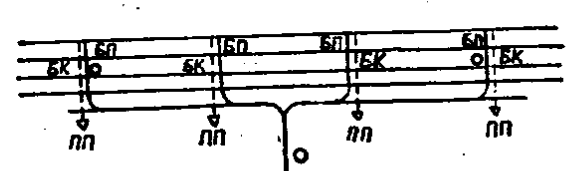
以盘区方式准备缓倾斜煤层的柱式采煤法使运输系统大大简化，因为可将盘区巷道和斜巷的输送机运输与主水平的无段轨道运输联合应用。柱式采煤法以及井田和采区的后退式开采，使运输条件大大改善，因为避免了工作面的煤炭和采准巷道的矸石同时运到运输平巷上，这样就可用专门车组运输煤炭和矸石。

用斜井开拓煤层时的运输系统较简单，从采区到井底车场有可能利用单水平的机车运输。

单水平的机车运输，还可用于以立井和阶段方式准备采区的阶段石门或分水平石门开拓煤层的场合，这时可最大限度地简化向中央立井输煤的系统。

根据改进开拓、准备和开采方法的近代趋势，可着重提出干线机车运输若干最典型的系统（表1.1）。开采缓倾斜和倾斜煤

表 1.1

煤 层		准 备 方 法	运 输 系 统*	
单 独 煤 层	急倾斜	阶段石门	1	
	倾斜与缓 倾斜煤层	带上山和下山的 (盘区的)主石门	2	
		分水平石门和上山	3	
		阶段石门和沿走向 推进工作面	4	
		阶段石门和沿俯斜 或仰斜推进工作面	5	
		无组合平巷的主石 门	6	
组 合 煤 层	急倾斜、 倾斜与缓倾 斜	带组合平巷或岩石 平巷的阶段石门	7	
	倾斜和缓 倾斜	带组合上山和下山 的主石门 主石门和沿溜煤井 转载煤炭	8 9	
	急倾斜和 倾斜	带阶段石门的数个 独立采区	10	
	缓倾斜	带分水平石门的数 个独立采区	11	

层时，预定回采井田和盘区的斜井及水平巷道的运输全部输送机化，但不排除可作为回采作业生产系统的机车运输（沿水平巷道）〔171〕。

新建和改建矿井的干线机车运输的运距和货流量不断增长，并在很大范围内变化。改建目的是将若干个矿井联合成为以共用井筒中央出煤的统一生产单位。根据“全苏中央国家煤炭工业发展设计和技术经济论证研究所”的资料，作业线最远时煤矿干线运输的运距和货流量在下列范围内变化：

运输距离 m	货流量（无瓦斯矿井） t/d	货流量（有瓦斯矿井） t/d
在1000以内	在1000以下	在3500以下
在2000以内	在7000以下	在2500以下
在3000以内	在5000以下	在5000以下
在6000以内	在7000以下	在5000以下

目前，平均日产量达3000~5000t煤的矿井数比1955年增长了2.4~3倍，而日产量在5000t煤以上的矿井数约占生产矿井总数的16%。将来，矿井的平均年生产能力将达 $150\sim 200\times 10^4\text{t}$ 。个别矿井——特别是库兹巴斯区矿井的产量将达 $600\sim 800\times 10^4\text{t/a}$ 。

运输距离和货流量是选择干线巷道运输形式的决定条件。输送机运输适用于货流量很大、距离较短的干线巷道，而机车运输则适用于运输距离很长的场合〔186〕。

目前，苏联煤矿干线水平巷道机车运输所占比重约为90%。

尽管连续运输得到广泛发展，然而在最近10~15年内煤矿水平巷道输送机化的水平仅为18~20%，而斜井为45~50%〔93〕，亦就是说在未来主导作用仍将属于轨道运输——特别是具有很多优点（经济、通用和可靠）的机车运输。

煤层开拓、准备和开采方法的改进，以及矿井生产能力和井

* 上页表内符号：ОД——井底车场的主井；УП——装载站；БК——采区的输送机石门；БП——采区的铺轨石门；од——采区井底车场的主井。

田尺寸的扩大，为利用具有重型机车和大容量矿车的机车运输创造了有利条件。

矿床与层状的、厚度和倾角一般保持不变的煤田不同，具有多种多样的形状和尺寸，并可能是层状的、形状极其复杂的薄矿脉和厚矿体。这些矿床绝大多数矿石的硬度很高，因此需借助凿岩爆破作业开采。

最近，在苏联矿床回采工艺发生了很大变革。对贵重矿石、固体充填和整石充填采矿法应用日益广泛。开采大型铁矿床时，借助深孔爆破的采矿量显著增长。研制并推广了粒状炸药、浆状炸药以及混合炸药^①，可以从根本上改变爆破过程、改善矿石的破碎质量，并实现深孔装药机械化。为了加速崩落矿石从工作面放出并装入运输设备，很多金属矿井使用生产能力达300t/h以上的振动放矿装置。

在金属矿井推广高生产能力的自行式设备，就可改用新的矿床开采工艺、明显提高劳动生产率并改善技术经济指标。使用自行式运输机时，自回采工作面到溜井的矿石运搬距离可增大到200~300m；而使用载重量20~25t的自卸式汽车时则可增大到500~600m。

有效的利用新型的、生产能力更大的设备，能建立贯通几个台阶的、集中机车运输的集运水平。根据矿床采矿技术条件的不同，自回采工作面到溜井的矿石运搬可用自行式运输机或者带振动给料机的输送机。这时，机车运输以及矿石放出和运搬设备均独立地发挥作用。

有色金属矿床多半用平硐和立井开拓，而黑色金属矿床多半用立井、部分用斜井开拓，最常见的情况是一座中央立井和一座或两座侧翼立井。中央立井是供提升货物、升降人员用的主井，通常装备有双箕斗和带平衡锤的罐笼。侧翼立井作为通风和辅助作业之用，并可装备罐笼提升。当金属矿井的生产能力很大时，需在矿床的中央布置两座甚至三座立井。例如，铁矿的标准设计

① 由硝酸铵粉剂和5~6%的液体混合而成——译者。

规定：当年产量为 $250 \times 10^4 \text{t}$ 时采用两座中央立井；当年产量为 $350 \times 10^4 \text{t}$ 时采用三座中央立井。根据最近的卫生要求，在新设计的矿井中禁止用装备箕斗提升的立井输送新鲜空气。因此，用一座中央箕斗—罐笼井开拓矿床的方式将受到限制。

将来，开拓矿床时预料可大大提高阶段的高度、建立集运水平、采用螺旋坡道（供运搬自行设备、材料和人员之用）、掘凿装备输送机的斜井。

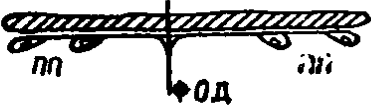
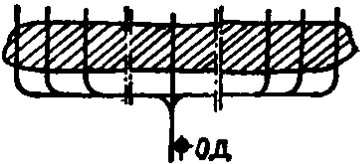
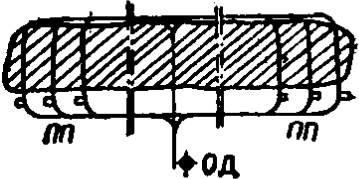
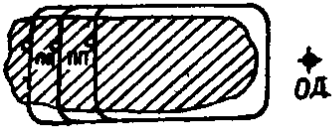
相应矿床用阶段石门和主石门开拓的方式，单水平的机车运输得到优先推广。根据矿床的尺寸和形状、倾角和厚度以及准备方法和开采方法的不同，可以突出机车运输的四种主要系统：不带进车线的尽头式，带有进车线（横巷）的尽头式，环形式和混合式（表1.2）。尽头式的主要优点是运输巷道的长度较短，缺点是装载时调车过多，限制了运输线路的通过能力。为了缩短装载时调车作业的时间，将运输平巷与横巷连接处做成三角形进车线，而在个别情况下在车组中使用两台电机车（头尾各一台）。环形式使运输巷道的长度增大，但巷道具有很高的通过能力，并可组织列车连续—间歇运行。金属矿机车运输系统不同于煤矿的特点是：线路的直线段很长，具有很多弯道和较多的分支（表1.1和1.2）。

金属矿井的货流量和运输距离主要与矿体尺寸有关，而矿体尺寸又预定了矿井的生产能力。

克里沃洛格矿区生产矿井的矿石年产量已达 $600 \times 10^4 \text{t}$ ，而将来预计的产量达 $800 \sim 1000 \times 10^4 \text{t}$ 。为了减少多阶段开采和生产工作面的数量而计划在矿区实施的采矿作业集中化，将在扩大产量的同时大大提高生产矿井的货流量。当规定联合几个矿田并沿水平运输巷道将矿流转载到一个出矿井的总体改造实现时，货流量将增长到更大值：在运距达 6km 以上情况下每天运出的矿石量甚至以数万吨计。为了开采含铁石英岩，拟在矿区建设年产量达 $4000 \times 10^4 \text{t}$ 的新矿井。

在新建的有色冶金和矿山—化学工业的大型矿井中，货流量

表 1.2

矿 体	开拓和准备方式	机车运输系统	
急倾斜-(占优势的)、倾斜和缓倾斜的, 厚度较小	阶段石门和矿石平巷或岩石平巷	1	不带进车线的尽头式 
急倾斜、倾斜和缓倾斜, 厚度很大和较大	阶段石门和带有横巷一进车线的岩石平巷	2	带有进车线的尽头式 
	阶段石门和带有横巷一进车线的岩石平巷和矿石平巷	3	
	阶段石门、平巷和横巷	4	环形式 
走向和延深方向厚度一致的大型矿体	阶段石门、平巷和横巷	5	
水平和缓倾斜的, 厚度很大和较大	主石门、掘凿在底板岩石内的平巷和横巷	6	
急倾斜和缓倾斜的, 厚度很大	阶段石门和带有半环形装载站的岩石平巷	6	