

有色金属技术新进展

科学技术文献出版社

有色金属技术新进展

中国科学技术情报研究所
《有色金属技术新进展》编辑组

编译

1-1451

内 容 简 介

本书共分两大部分。第一部分是撰写有色金属的采矿、选矿、冶金、应用等方面的文章。这些文章作了全面论述,并提出许多带方向性的问题,对我国有色金属工业的发展具有重要的指导意义;第二部分是选译重金属、稀有金属和贵金属领域中的30篇国外最新文献。书末附有“近年世界各国有色金属产销量”一览表。

有色金属技术新进展

中国科学技术情报研究所 编译
《有色金属技术新进展》编辑组

科学技术文献出版社 出版

重 庆 印 制 一 厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 32 字数: 491千字

1984年7月北京第一版第一次印刷

印数: 1—3900册

科技新书目: 75—62

统一书号: 15176·599 定价: 7.75元

1984

前 言

为发挥我国有色金属资源的优势,全国许多单位在有关部、委和省市自治区政府的统一领导下,正围绕金川、攀枝花、包头三大基地,以及钨、锡两业的建设组织科技攻关。本书是为配合这一工作而出版的。全书分两部分:第一部分是由曹蓉江、滕藤、陈家镛、童光煦、陶恩瑞、李毓康、毛月波等专家撰写的文章,他们分别就有色金属的采矿、选矿、冶金、应用作了全面的论述,综合了国内外有色金属工业和科研方面的最新进展,提出了许多带方向性的问题,对我国有色金属资源的开发和利用具有重要的指导意义;第二部分是由北京有色金属研究总院、冶金部情报总所、北京钢铁学院、北京矿冶研究总院、北京有色金属设计研究总院等单位提供的30篇译文。选译自最近几年国外技术报告、科学论文、专利、综述、专家评论等方面的有参考价值的文献。主要内容涉及重金属、稀有金属和贵金属领域中的采矿、选矿、冶金、应用等方面的新工艺和新成果。书末附有“近年世界各国有色金属年产量”一览表。本书可供从事有色金属生产和研究的广大科技工作者、企业管理人员、干部和高等院校有关专业的师生参考。

在编辑本书的过程中,滕藤、曹蓉江等专家就文章的取舍、编排的格式等作了具体指导。北京有色金属研究总院的郁强、王正勲和邓孝耕,冶金部情报总所的江达和陈远望等同志做了大量的工作,付出了艰辛的劳动。在此谨向他们表示衷心的感谢。

本书由王大和、杜宝荣、何群三位同志负责审订和编辑,由于水平有限,定有不少缺点和错误,敬请读者和有关专家指正。

中国科学技术情报研究所

《有色金属技术新进展》编辑组

38101

目 录

金属采矿技术的成就与展望	童光煦 (1)
国内外矿物工程学的最新进展	李毓康 (13)
我国湿法冶金的情况	陈家镛 (27)
溶剂萃取技术在重有色金属冶炼中的应用和进展	滕 藤 (38)
我国仲钨酸铵(APT)的制造方法	曹蓉江 (64)
重有色金属火法冶金的发展方向—熔池富氧熔炼	毛月波 (69)
锡的应用发展和研究动向	陶思瑞 (73)
世界重要金属矿物资源及其综合利用现状	孙文俊 (81)
垂直漏斗后退式采矿法在霍姆斯塔克矿的应用	(89)
矿岩流动在采矿设计和生产中的重要性	(103)
美国矿务局对改进金属矿和非金属矿地下开采技术的研究	(115)
苏联中央锡业研究所为发展苏联锡矿采选业作出的贡献	(123)
锡选矿中磨矿分级系统的改进	(126)
硫化矿—锡矿石的综合利用	(134)
锡生产原料基地的综合利用问题	(140)
重选回收细泥的前景	(143)
处理金银矿石的炭浆工艺	(150)
从斯蒂尔瓦特复合矿石中制备铂-钯精矿的浮选方法	(157)
金、银、铂族金属的矿石和原料及其冶炼和精炼	(168)
日本三菱公司秋田炼锌厂银的回收	(178)
有色金属火法冶金的趋向	(187)
用烟化法从富硫化矿和低品位精矿中回收锡	(207)
玻利维亚的锡冶炼	(219)
钨的提取冶金	(224)
东芝横滨金属厂的钨冶炼	(239)
生产高纯钨的方法	(246)
用液膜法从多组分溶液中分离铜、钴、镍	(250)
用液膜法从水溶液中萃取铜：一个模拟实际过程的模型	(257)
日本新的处理镍钴混合硫化物的湿法冶炼工艺	(266)
用卡诺酸分离钴、镍	(277)
用溶剂萃取法从镍电解液中去除钴和其它杂质元素	(286)
用溶剂萃取法分离再生贱金属	(292)
溶剂萃取与离子交换在钨与钼的湿法冶炼方面的效果	(297)
金银冶金的某些进展	(301)
应用酸性硫脲溶液从细粒浸染金矿中提取黄金	(308)
用二氧化硫和硫酸从含砷烟尘中提取三氧化二砷	(320)
钛在能源工业中的应用	(328)
钛和锆在化学介质中的应用	(336)
附表：近年世界各国有色金属年产销量	(339)

金属采矿技术的成就与展望

童光照（中国金属学会常务理事、教授）

由于世界上人口增加和人类生活水平提高，对各种矿物的需要量逐年在增长，第二次世界大战以前增长率为4%，50年代开始平均为5%。^①可是75年第一次能源危机以来，增长率降低，不到60年代和70年代初期的一半。据报导，80年西方国家的金属矿石及一些主要非金属矿石（金刚石、石棉、钾盐、磷矿和硼砂）产量约27亿吨，露天矿和地下矿各占一半。^②这一年苏联的铁矿石产量为5.5亿吨，有色金属矿石和剥离废石总量约为20亿吨。^③因此，估计在当年的世界金属矿石产量在40亿吨以上，其中有色金属矿石产量估计在25亿吨左右。

金属矿石的产量增加了，可是品位却在下降。铁矿石平均品位：苏联在65年为40.8%，70年为37.3%，到76年为36.1%；^④美国51年为49.5%，71年为34%，到77年大部分为20~36%。^⑤美国在1900年只开采含铜6%以上的矿石，70年代平均开采品位则为0.7%，80年代开采的斑铜矿平均品位为0.53%，到本世纪末期预测要降到0.25%。^⑥至于边界品位以下的金属资源，因溶浸法的发展，也都在大量设法开采。西方国家采用溶浸法生产的铜，已占其年产量的5%。75年美国用此法生产的铜占其年产量的20%，76年开采12,600吨铀，其中用溶浸法的有500吨。用这种方法还可以回收矿石中的钼、镍、金和其他有色金属，能够取得很有希望的成果。^①

另一个增加金属矿石的来源，是加大开采深度。现在开采较深的一些矿床，主要是有色金属，其开采深度已超过2,000米的地下矿山，有美国南达科塔州的铅矿区为2,280米和爱达荷州的科乌尔德·艾林铅矿区为2,340米；加拿大镍矿有的达到2,400米；印度科拉尔金矿已到3,240米；南非西部底卜斯金矿开拓深度到达3,800米，估计到5,000米时，在经济上仍为合算。国外许多金属露天矿开采深度也都在增大，最深的老矿——美国宾汉姆露天铜矿，深度已到800米。^①

由于陆地上矿产资源日益枯竭，人类开发海底矿物的时代已经到来。海底矿产资源储量极为丰富，初步探明深海中的锰结核矿石储量约为2~3万亿吨，其中以太平洋的含矿品位较高，约为150亿吨（含锰24%、镍1.06%、铜0.53%、钼0.9%、钴0.35%）；磷结核约100亿吨，软泥为1,000万亿吨。而且这些含有多种金属和非金属的矿产储量，均属于自生矿物，如锰结核在一年中的自生量，锰可供世界用三年，钴四年，镍一年。^②据美国内务部估计，海洋采矿的发展，可使美国在85年镍的进口量，从目前需要量的82%降到34%，钴从73年进口量的77%，可以降到自给；锰的进口量可能削减一半。由此可见，海洋采矿的发展，前途是十分壮观的。

金属矿石的产量增加了，可是矿山数目的增加，远不及矿山规模加大来得快。国外已投产或正在建设中的年产矿石1,000万吨以上或采剥总量超过2,000万吨的大型露天金属矿山，至少有60~70座，仅美国和苏联就各有20座，其中年产矿石4,000万吨或采剥总量8,000万吨左右的特大型露天金属矿，即有20多座。^③如美国明塔克铁矿为年产矿石6,000万吨，矿岩采剥总量1亿2千万吨；美国宾汉姆铜矿年产矿石量为3,780万吨，矿岩采剥总量1亿6

千万吨。至于地下矿山，也同样趋向大型化，西方地下开采的金属矿山及一些主要非金属矿山，从69年到79年的10年内，虽然产量增加了，但矿山个数却保持在590座左右，年产量大于1百万吨的有197座，其中有56座大于3百万吨；④目前最大的地下矿山，有超过2,000万吨的，如瑞典基律纳铁矿，有超过1,000万吨的，如美国圣·曼略耳铜矿和克来麦格斯铝矿。

由于金属矿石开采量大和贫矿多，在开采方式上露天矿得到发展。以美国为例，过去20年来，地下开采平均每年只增加矿石量0.36%，而露天开采却每年平均递增采剥总量80%。按金属品种，铁、铜、铝、钨等矿石开采，露天矿的比重较大。以铁为例，苏联为85%，美国94%，澳大利亚为100%，加拿大、巴西、利比里亚、南非、智利、委内瑞拉和印度也主要是露天开采；铜矿方面，美国和苏联也分别各占60%和65%。①

以上所述，是世界上金属采矿工业的现状，其在科学技术上的成就和发展方向，可分以下几个方面。

一、机械化、自动化和计算机应用

金属矿山规模的扩大，主要取决于贫矿开采和设备大型化。但大型设备的发展，基本上趋向于稳定，现在主要是对已有设备进一步改进，特别是注意节能，适当提高效率，加强预防维修来延长设备寿命，要求具有更好的灵活性和耐用性，以及提高辅助作业的机械化程度，这是当前的奋斗目标。②

1. 国外露天矿技术装备水平。在穿孔上普遍采用钻头直径为200~380毫米的牙轮钻机，而最大直径可到444毫米。潜孔钻机在中小型露天矿仍是主要穿孔设备，但孔径仍不超过200~250毫米。

在装载设备上，电铲仍是主要工具，斗容从3.8~6.1米³已增到9.2~15.2米³，较大的有20~30.5米³，个别剥离表土的最大索斗铲已达170米³。液压铲也在发展，在挖掘矿石上最大的斗容已达17.5米³，主要用在较松软的煤矿，采石场和表土的装载，用在金属矿山上正在增长。轮胎式前端式装载机在金属矿山各种辅助作业中，早就得到广泛的应用，现已发展到成为装载设备，最大斗容已达9米³，在煤矿有的到了14~17米³；近几年来为露天矿此种设备而提供的新产品和改进产品比较突出，使其装载能力有了惊人的提高；但是装载机还是有其局限性，特别是从规格和能量上来看，不能取代电铲。①②③

露天矿的运输工作占有很重要的地位，是一种费用最高，花费劳力最多的工作，所需劳动力占全矿50~60%，运输费用占总成本的50%左右，特别是露天矿深度的增加，这个问题就显得更为突出。在国外，汽车仍是主要运输矿岩的设备，85吨级以上的是电动轮汽车，而汽车的载重量现在处于两个极端：一是小到18吨，二是大到270吨，甚至到350吨级；但当前矿山企业主张载重200吨级汽车是最佳规格。由于露天矿用汽车节油越来越被重视，有些矿山公司采用架线辅助装置的电动轮汽车，如南非的柏拉博拉铜钛矿，节约油量占总耗量的34%；还有发展代用燃料或燃料添加剂，如采用木酒精代替部分柴油，试验液态氢，以及把柴油和蓄电能结合在一起的混合式发电机等。轮胎是限制汽车重型发展的主要因素之一，日本小松汽车公司运用航空工业的成就，制造成一种高强度的轮胎，引起了汽车工业界的重视。在国外，采用单一铁路运输的露天金属矿，只有美国伦西铜矿和苏联南部采选公司露天矿等少数几个矿山。但是使用铁路与汽车联合运输的矿山，还是比较多的。苏联铁路运输的比重较大，80年全苏露天铁矿的铁路运输量仍占有30%左右。为了提高铁路运输能力，苏联除广

泛采用120吨和150吨以上的电机车外,还使用1,200马力的内燃机车,并在一些深凹露天矿推广使用电气自翻车,可以在60%的坡道上行驶,最大粘重已达360吨,目前最大翻斗车的载重量为180吨。另外,皮带运输机在国外露天矿的应用,正在大力发展,已由用在松软和中硬的矿岩,扩大到坚硬的矿岩;皮带运输机的运输能力大,爬坡可达18°,与汽车和铁路运输相比较,可以缩短运距,降低矿石成本;并已采用移动式破碎机和钢绳胶带运输机,来解决大块和皮带磨损问题。汽车一固定或半固定式破碎机—胶带运输机的联合运输方法,近20年来有了很大的发展,主要是用在开采深度较大或扩建的露天矿,如智利的丘基卡马塔铜矿,深度已超过400米,采用了这一方法,经济效益很好。因此,从50年代起,苏联就着手研究这种运输方法在金属露天矿中的应用问题,而且在78年就有了19座黑色冶金露天矿在采用。^⑩

国外露天矿在机械化中,非常重视辅助作业的机械化问题。在露天采场和公路路面的清理和维护工作上,都配备有平路机、压道机、水车、撒砂车等。在维护和检修工作上,除设有机修车间外,还专门设有检修设备的车辆和润滑车、加油车、吊车等,开赴现场,对各种设备进行维修、润滑和加油。在生产作业上,采用凿岩台车与落锤或液压破碎机破碎大块,装药车进行装药,推土机或前端式装载机归拢爆堆、清理工作面 and 排土。

2. 地下矿山机械设备在国外,近廿年来成就也是很显著的,主要在设备的机动、灵活、高效和大型化。竖井钻机在美国发展最快,直径为1.5~7.44米,平均仍只有1.8米,井深可达1,680米,主要用作通风或其他目的的辅助井筒;1.2~3.0米直径的井筒,平均月成井速度为150~250米。但是普通凿井方法在目前仍是通用方法,南非金矿区平均进尺100米/月,62年创造6.7米净径的381米/月的最高纪录。天井钻进技术正在取代传统的凿岩爆破方法,主要用于钻进矿石溜井和通风天井,也用来钻进辅助天井、采场人行天井、切割天井、充填井和安全通道。80年在世界25个国家中便有290台天井钻机在使用。目前钻3.6米直径的天井是普遍的,高度可达900米。直径4.6米以下天井的钻进费用,要比普通法的掘进费用更为便宜,掘进速度快2~3倍,工作更安全,成井更稳固,通风阻力较小。虽然平巷全断面钻机在美国许多矿山都试用过,而且新一代钻机还有许多改进,但由于矿山平巷较短,钻机通过竖井困难,搬运装卸费时,故平巷钻进法大量推广,还要一段较长的时间;^⑪通常仍是采用凿岩爆破方法,苏联米尔盖利姆赛伊铅锌矿在76年创造最高纪录1034.6米/月。

国外地下矿山的凿岩设备,特别是在巷道掘进上,推广了液压凿岩机;但是风动凿岩机持有结实、简单、容易维修和设备价格低等优点,并在不断地改进和完善中,现在仍难断言哪种将占领优势地位。凿岩机用的柱齿钻头的优点,近年来已显示出来,大直径的在市场上日益占有主导地位,而且小直径的也已研制成功,正在推广中。^⑫配有1~3台凿岩机的全液压台车,现已广泛地应用,有利于实现凿岩的自动化。近几年来潜孔钻机在地下钻大直径落矿深孔,已得到大量推广,直径为100~200毫米的炮孔,孔深可达53米,穿孔速度可到3.0~4.5米/时。地下牙轮钻机已在苏联、加拿大等国使用,钻头直径为200毫米,孔深60~130米。

无轨装运卸设备中铲运机日益在国外地下矿山占有重要地位。对于断面大的巷道,装运卸设备中的前装机比铲运机更受人们欢迎。这些无轨装运卸设备,能普遍地提高生产效率一倍以上。在80年地下矿山中,已有地下无轨装运卸设备25,000多台,铲斗容积为0.76~13米³,目前最大者已达18米³。但是绝大多数的装运卸设备是用柴油驱动的,由于空气污染和通风费用的不断增长,电动铲运机是当前一种新的动向,有取代柴油驱动铲运机的趋势,拖曳电

缆式铲运机正在推广,第一台架线式铲运机已在加拿大霍克斯铜锌矿试运转,效果也甚好。无轨柴油驱动的辅助车辆,如装药车、混凝土浇灌车、撬毛车、液压二次破碎机、架棚机、锚杆安装车、人车、材料车、润滑车等,都很广泛地在采用,对降低矿工繁重的体力劳动,减少井下工人数量,获得明显的成效。汽车运输用在地下矿主要运输线路中,正在逐渐增多,但有轨运输仍是主要方式,在西方国家大型地下矿山中,还有70%,如美国汉德逊钼、瑞典基律纳铁矿等都是**有轨运输;而瑞典马尔姆贝耶特铁矿在600米运输水平,则全部使用45吨柴油卡车运输。在苏联却在广泛应用振动放矿和运输,还推广了振动技术的连续回采工艺,即振动出矿机→转载机→胶带运输机→矿石溜井→振动溜口→矿车的连续放矿和运搬工艺,使整个流水线有可能实现自动化控制。^①

坚硬矿石的采矿机正在大力试验,如南非金矿的冲击锤式液压采矿机,法国洛林铁矿的120HR型采矿机,美国白松铜矿的长壁式刨岩机等,都已取得一定的成绩;可是这些设备都还存在有钻头强度、可靠性和适应性以及工作面运搬与支护等问题,有待进一步完善,所以目前只能说采矿机还是处在萌芽时期。^①

3. 遥控和自动化技术的应用,在当前采矿工业中迫切需要。露天矿的大型钻机和巨型电铲有的已经实现了遥控;露天矿机车运输的自动化早就已经应用;露天矿全部自动化,已具备可能的条件,但目前尚未有一个矿山实现。

地下矿的自动化难度较大。但是瑞典基律纳铁在主要运输水平采用自动控制系统,美国汉德逊钼矿的15.5公里主平硐和地面至选厂7公里距离的铁路上,运输工作全部自动控制。矿井提升、排水、通风、压气等,在一些技术发达的国家里,早就实现了自动化。地下凿岩作业已普遍采用一人操纵多机台车,从开孔到凿岩结束和钎子退回原位,全部实现了自动化。为了改善劳动条件,试用了喷射混凝土的遥控装置。瑞典有一座充填法矿山,也实现了装、运、卸的自动化。预计随着逐步实现连续采矿作业,自动化水平将越来越高,但实现全部自动化尚有一段距离。^{①④}

4. 电子计算机在探矿和露天矿中的应用,已成为一件平常的事情;但是在地下矿山因作业较为复杂而发展缓慢。继南非柏拉博拉露天铜钛矿采用电子计算机控制调度汽车运输系统之后,加拿大赖特山露天铁矿,保加利亚米德特露天铜矿和美国皮马露天铜矿也都装设了类似的计算机系统。另外,在露天矿采矿生产作业中,如牙轮钻机和皮带运输机的自动控制,边坡监测系统的自动化等,电子计算机的应用,已经是比较成功的。^①

在地下矿山方面,瑞典有些矿山设置有中心控制室,用电子计算机操纵列车,从矿仓装矿、配矿、运行到卸矿。美国克来麦格斯钼矿在使用阶段自然崩落法中,采用了电子计算机处理矿石数量及质量,合理制订放矿制度,实现均匀持续放矿,以提高采矿回收率和降低贫化率。^①

在矿山企业管理上,电子计算机已应用于地质勘探、测量、矿石储量计算、生产、基建、工程服务、供销、财务、计划等方面,都有很大成绩。^①

在研究工作上,澳大利亚南威尔士大学在计算机上模拟地下采场,能分析应力集中、位移以及相互关系,有利于矿柱与矿房的设计。美国利用模拟计算机,在井巷设计中分析整个掘进过程各工序的成本和效率,使设计工作合理化。瑞典用计算机研究巷道掘进凿岩爆破参数。南斯拉夫研究计算机在维修工作上的应用。^①

总之,电子计算机在金属矿山的应用,日益增加,内容也极其广泛,是未来实现无人或少人矿山,不可缺少的手段。

由于金属矿山的机械化和自动化水平的提高,电子计算机也逐渐得到广泛的应用,改变了矿山工作人员和职能机构的组成结构,人员组成中机械人员与采矿人员的比例,由40年代以采矿人员为主体,目前变成各占人数一半。另外,矿山上的设备维修工作,由过去只有很小的维修业务,到当前不仅设有小、中修,还设有大修车间。这些反映出三十多年来,矿山在演变中出现了一个很大的变化。随着电子计算机、空间技术和原子能的运用和发展,无人的采矿和挖掘工作面将会普遍地出现;在恶劣环境和繁重劳动以及深海区的海底采矿等条件下,将会用机械人操作以代替人工作业,由电子计算机来控制;在大规模开展溶浸法采矿时,将需采用原子能爆破等等;这些都是近代技术革命所给予采矿工作者的繁重任务,必将取得辉煌的成果。^⑥

二、新材料、新技术和新工艺

近二十年来,矿山在新材料、新技术和新工艺方面,有了较大的成就,也促进了金属采矿工业面貌的改变。

1. 矿用材料如炸药,起爆器材和喷锚支护都有很大的进展。在国外,铵油炸药和浆状炸药在互相竞争的情况下,进展都是显著的。据美国矿务局统计,74年美国金属矿山炸药使用总量中,铵油炸药占59.5%,浆状炸药占34.5%,而其它炸药只有6%左右。乳化油炸药是70年代发展起来的一类新型抗水炸药,受到各国普遍重视,其强大的生命力已经显现出来。

瑞典的塑料管非电导爆装置,是70年代在提高爆破安全性方面的最大革新。这种起爆系统能防止杂散电流,不致引起炸药早爆,有利于孔底起爆,已经用于露天开采、竖井开凿、地下掘进和采矿。

摩擦锚杆是近十年来发展起来的新型锚杆,在国外得到大量采用,目前美国年用量约350万根,相当于所有锚杆的50%,在国外锚杆新品种很多,如美国的水泥锚杆,瑞典的水压膨胀锚杆等,都有发展前途。另外,有一种钢丝绳锚栓,是用来维护和加固露天矿边坡和地下矿的采场顶部矿体及上下盘,深度可超过20米,现已全面推广应用。至于喷射混凝土技术,随着喷射设备和混凝土组分的改进,混凝土强度一般可达420公斤/厘米²。瑞典卢基公司研究一种湿式喷射混凝土的方法,使溅出的物料损失率,由干式最多40%,降低到不超过18%,产生的粉尘也大大地减少。瑞典波立登公司使用含有钢纤维的喷射混凝土,抗张强度有了显著提高。当前在井巷维护上,锚杆和喷射混凝土联合支护方法对破碎岩层是最有效的方法;有时还可以加上金属网,防止碎块冒落,保证安全作业。^{⑦⑧}

2. 在爆破技术和工艺上,也有了很大的进步。国外露天矿广泛采用多排微差爆破技术,以增加每次爆破的矿岩量,减少爆破次数,提高设备利用率,改善爆破质量。美国巴比特铁矿同时爆破的炮孔排数为3~6排,多者达8~10排,一次爆破10万吨矿岩量已习以为常,有的达到100~200万吨。美国最大的一次爆破量达20~25排孔,矿岩量达300万吨。由于使用多排微差爆破和高威力炸药,可使大块率降低,美国巴比特铁矿为1.5%,苏联有的矿山甚至小于1%。^⑨

在地下矿爆破技术和工艺的改进上,除在推广微差爆破和光面爆破外,也增加了一次爆破量,特别是在充分利用爆破能量上,取得一定的进展。美国皮里奇铁矿在76年用浆状炸药483吨,回采矿柱270万吨,这是世界上最大的一次地下大爆破。加拿大克雷顿铜镍矿在77年也

用浆状炸药一次回采214万吨矿柱，并用起爆迟发器使每次迟发炸药量控制在允许限度4,086公斤以内，使爆破区下面及其附近运输巷道的震动和冲击波控制到最小，也改善了爆破效果。这种复杂的起爆迟发系统，从第一段到最后一段只用1,500毫秒时间。加拿大国际镍公司从充分利用爆破能量观点出发，研究成功了球状药包爆破，并提出只要药包直径与长度比不小于1比6，即可认为是球状药包。由于球状药包的出现，导致出现新的矿柱回采方法、采矿方法、采场切割方法和天井掘进方法，是地下开采过程中一项很有价值的发现。^{①②}

为了提高回采强度，进一步有利于矿山机械化，许多地下矿山采用斜坡道开拓，一般都是竖井——斜坡道联合方案；后者通常用作运送人员、材料和设备的辅助通道，可与采场直接连通，大大减轻了人员的体力劳动，减少转运次数和运送时间，提高了劳动生产率；于是出现了机械化房柱法、机械化充填法、机械化崩落法、机械化分段法等，使地下开采面貌，出现一个崭新的场面。另外，斜坡道还可以用作露天转入地下的联合开拓巷道，实践证明，也是行之有效的。^③

由于采矿设备和技术的发展，虽然在露天矿上采矿方法变化不明显，但是地下采矿方法却有了较显著的变革。据现在估计，地下矿山采出金属矿石量，约占全世界金属矿石总量的30%；有些国家地下采出金属矿石量的比重还很高：瑞典87%、法国95%、联邦德国97%、日本98%和南非73%；而各种地下采矿方法在全世界采出矿石的比重：分段空场法25%，房柱法15%、充填法20%、分段崩落法10%、自然崩落法15%和其他方法15%。这些地下采矿方法在变革中，有些比较突出。加拿大国际镍公司克拉伯里矿区，首先采用潜孔钻机打下向165毫米大直径深孔，在阶段全高下，进行球状药包自下而上分层爆破，成功地创造了“大直径深孔漏斗崩矿后退式采矿方法”（即VCR法），很快地在全世界得到推广。这个方法的缺点，是要求昂贵的高密度炸药，在装药和爆破中，操作复杂，因而出现许多改进方案，其中一种是采用大直径深孔和球状药包爆破，先开凿一条切割槽或切割天井，然后用一般深孔进行采场回采工作，大大简化了操作方法，降低了回采成本。在美国的阶段自然崩落法研究中，对预测矿体可崩性的研究上，取得了明显的成就，可以根据矿体中的裂隙和节理的分布状况，将这种方法应用到坚硬的矿石中，如美国汉德逊钼矿便是一个例子。在瑞典基律纳铁矿，为了解决无底柱分段崩落法的贫化率高、通风困难、每次爆破量少、装运费用高以及深度增大所引起的稳定性问题，试验分段崩落——留矿法新方案，预计在83年可以采完，初步观察，情况良好。在苏联对改进无底柱分段崩落法上，推广了一种高低分段无底柱崩落采矿法；还在顿茨克采选公司《青年》铬矿试验了人造柔性假顶的无底柱分段崩落法，以图降低开采贫化率和提高矿石回收指标。在加拿大、日本、澳大利亚等国，充填法得到发展；充填工作已实现管道化，砂浆中固体重量浓度为65~75%，充填料大部份是选厂尾砂，美国矿务局在全尾砂中试验成功电力脱水技术和美国乔伊公司研制定型离心脱水设备；特别是在胶结充填法中充填体有效地支撑地压，又可以下向回采，更使这类采矿方法，得到迅速推广，于是出现许多新方案，如点柱式上向分层充填法、下向分层充填法、无底柱分段充填法等，使充填采矿法在未来的深部开采中，以及在当前环保条例日益严格的情况下，将会得到进一步的发展，可能使选厂进入地下，只把精矿用管道送上地表，因而矿井提升会有变化，地面可不要尾矿设施，完全改变了现在的矿山面貌，这一设想的实现，为期也不会太远。^{④⑤}在薄矿脉开采上，30年来进展不大；美国已着重在提高分层充填采矿法的机械化程度和用冲击破碎镐进行落矿等两方面下功夫。^⑥

总之，在当前矿山安全和环保条例日益严格的情况下，西方国家的矿石生产成本在上

涨,但是某些主要金属产品价格又在下落,解决这个矛盾,除加强矿山机械化和自动化外,必须改进和创造更好的矿山开采技术及其生产工艺和矿用材料,以期达到进一步提高开采强度,改善工作条件和取得最大的经济效益,应是迫不及待的任务。特别是开采技术一改变,会引起一个由量变到质变的过程,能促使采矿工业来一次大革命。现在看来,这种趋向潜在可能性很大,要改变为期也不会太远了。

三、矿山环保、劳保和福利

在矿山建设和生产的原则中,首先应考虑的是生产安全,其次是环境保护,然后才能谈到经济利益,这三者又是缺一不可。

1. 矿山环境保护的目的。一是控制公害,二是确保作业人员的健康,以求达到提高劳动生产率和矿山生产能力。

金属矿山在整个建设和开采过程中,对周围环境的影响和破坏都很大,如生产作业中所产生的粉尘和噪音,露天矿、废石场和尾矿坝对地貌、植物和自然景象的破坏,以及废水对周围农田、河塘和水源的污染等,由于矿山地点偏僻,远离城市,长期以来没有引起人们的足够重视。因此,近代矿山科学技术面临的问题,是如何把矿山环境保护和保证作业人员的健康放在首位,从70年代开始,这个问题已逐渐被人们所关注。美国到70年代以后,开始重视环境保护工作,现有22个州制定了土地复原工作规程,有些州还规定矿山在设计阶段或开采初期,即应把环保措施和费用考虑在内。美国政府在71年制定了矿区环保专门条例后,对强化环境保护,改善水、气污染以及土地复原工作,设立专门机构进行控制管理,一些企业的环保费用约占整个企业投资的10~12%。加拿大对矿山企业公害的防治工作也很重视,国家环境保护委员会建议,在新建矿山的设计中,应包括一项占基建投资5~20%的用于恢复环境或复田的费用;还成立了地貌构造公司,以制定矿山企业环境保护的设计方案,这是准允矿山设计和投产的必不可少的文件。^①

采矿工业对土地的破坏,数量是很大的。在露天矿方面,美国和加拿大每年破坏土地约6万公顷,其中废石场占56%;苏联每年约占3万到3万5千公顷;联邦德国仅开采褐煤一项,每年就要占地2万1千公顷。现在土地破坏了,要求做复田工作,并已列入法律条款中。美国的50个州,从30年到71年,采矿工业共占用土地1,408,000公顷,已恢复的土地为590,000公顷,复田率达40%。71年美国采矿工业占地83,400公顷,其中有66,000公顷已经复田,约占总数的80%。联邦德国莱茵褐煤区面积为25,000公顷,至60年代末期,被开采破坏的土地达15,000公顷,其中8,200公顷土地已恢复,复田率为55%;恢复后的土地中4,163公顷植树造林,2,990公顷用于农业,1,047公顷改造为人工湖。加拿大对地貌恢复要求,一般标准较高,都要植草,甚至种树,有条件的还可以种花或农作物。加拿大能源、矿山和资源部所属采矿研究中心,曾拟定在废石场和尾矿坝上的复田研究计划,由农艺师指导,与矿山公司共同进行,已取得一定的成绩,但还处于探索阶段,有待植物学者和土壤学者的合作,进一步来研究。^{②③}

金属矿山的废水,有矿区地表与坑内的排水、生产过程中的废水以及雨水。这三种水的任何一种都可能量大而难处理,特别是酸性水,威胁周围农田、植物和鱼类的生长,甚至可能污染工业与民用的水源。在这种废水中,通常含有大量被溶解的金属或含金属的悬浮物,以及炸药和其它残物等,还可能被柴油和废润滑油所污染。常规的处理办法,是用石灰或石

灰石提高其pH值,使重金属沉淀,经过过滤,回收其金属;废水用凝聚沉淀法处理后再用,提高循环用水率。对于废水中由于使用铵油和浆状炸药带有一些氮化合物,目前还未找到满意的处理方法;但是有些矿山把它用于选矿,使生产费用中水费可以节省。^{⑦⑧}

采矿工业的大气污染,主要来自爆破产生的有毒气体,废石堆逸出的气体和柴油动力设备的废气,以及凿岩、爆破和装运等作业产生的粉尘。国外已研制了装在工作设备上的空气连续取样监控装置,及时了解空气污染的情况。对于独特的环境污染物,如氮、柴油废气等,已在发展电子计算机监控系统,进行取样及监控;还有个人用的检测有毒气体装置,捕集微细烟尘设备等。由于柴油无轨设备的大量应用,恶化污染了井内空气,要求加强矿井通风,如瑞典乌登有色金属矿山因增加通风量,致使全矿有47%的电力用于通风;再加上预热送入的空气,共占全矿耗油量的38%,比柴油装运设备用油量(占30%)还要多。另外,在柴油动力设备上,装有废气洗涤水箱,催化净化装置以及其它过滤设施等。在深凹露天矿的通风防尘上,苏联比较重视,由于所需风量太大,技术复杂和成本高,进展不明显。但是近年来仍在研究露天矿大气的自动控制调节系统,以便在各种主要设备的作业场所,调节各种气体(氧化碳、氧化氮、二氧化硫等)的含量和粉尘量,并测定风速和风向、大气压力、气温和湿度等。另外,西方国家已成功地运用地下通风系统的计算机程序,自动控制通风量,使通风系统合理化,能安全地稀释和排走柴油设备和爆破所产生的气体、烟雾和粉尘。^{①⑦⑧}

2. 在劳保方面,国外也比较重视。美国矿务局79年计划在通风安全研究工作上,拨款6,000万美元,包括通风、防尘、防火、防瓦斯突出、防冲击地压、防岩层塌落、消除有毒气体、消音、消震等各个方面,研究和各种装备、器材和仪表,已取得较好的成就。

在控制噪音上,是从改进设备,消除噪音音源,对司机操作室和设备装设隔音装置,以及采用个人防护器和耳塞、耳罩等三个方面来实现,也都取得较好的成绩。^④

在研究矿山照明方面,美国矿务局制定了矿山照明度及可见度的标准,安装无眩目的固定照明灯和发展携带式照明灯,已有很明显的成就。^④

为了发现和抢救在井下遇难人员,在美国利用无线电通讯装置和红外线技术方面,都取得了一定的成效;如采用由帽灯电池供电的小型发射机,向地面发出信号,使井下矿工发生事故被堵塞出口时,能与地面迅速取得联系而获救。为了便于联系工作,美国矿务局在格雷斯科铁矿采用HT-220步话机、无线电收发机连同雷迪艾克斯线,搞成新的综合通讯系统,将凿岩设备、提升设备、运输设备、采矿区段和维修车间等同地面联接起来。还有采用载波信号、编码器和增音装置可选择地呼叫井下流动的带有袖珍接收器的工人;也可以利用全呼性能装置,使所有人员同时得到通知;还有采用在井下工区装设一台小型携带式无线电收发机,通过超高频载波连接装置,接到矿用电话上,使无线电信号能送到井下其它部分或地面,因而可为工区的流动矿工提供双向通讯。此外,还建立环境监测系统,对空气流动速度、温度以及所含氧化氮和一氧化碳进行测量,通过一条双股电话线路,把信号输送显示——监测——报警盘。^{①④}

3. 对矿山生活福利问题,在国外也很重视。这是由于当前西方国家矿山企业面临的问题是矿工缺少,技术人员不够。许多技术发达的西方国家,都雇用外籍矿工和技术人员,现象比较普遍。因此,如何吸引人们参加矿山工作,成为一项重要任务。于是矿山的的生活福利问题,便成为办好矿山企业的一项非常重要内容。下面举一个例子来说明这个问题。在60年代末期,澳大利亚发现了汉墨斯列铁矿区,赤铁矿石平均品位为60%Fe,探明储量5.5亿吨高品位矿石;这个矿区在澳大利亚西南部干旱半沙漠地带,常年温度在摄氏40度以上,5百

公里以内无交通线路，无城市和港口。如果要建矿，必须修铁路，建港口和城市，城市住房必须空调，城市供应要有澳大利亚大、中城市水平，还要有较好的中、小学，这一切是吸引人员前往工作的条件。后来他们考虑到加拿大在寒带地区建设矿山企业，也是考虑到取暖和其它一些福利问题，于是就决定建设，并已取得较好的经济效益。^⑥这种实例，近20年也多了起来。

在国外，尤其是在美国，由于环境保护和劳保卫生有了法律上的保护，有些矿山企业出现了矿石成本增高，劳动生产率降低，个别甚至被迫停产。但是金属矿山的环境保护和环境改造工作，仍是日益引起人们的关注，有关的科学技术的研究工作，将进一步得到重视和加强，这也是近代的矿山科学技术一个很重要的特点。

四、采矿技术理论问题

采矿工业是一种开发原材料的工业，工程性和工艺性很强，所涉及到自然科学领域中的理论问题也很广泛；但是与采矿直接有关的多数问题，是属于力学范畴，其中岩石力学可以说是采矿技术的理论基础。自60年代末期以来，很多西方国家对矿山岩石力学给予很大重视，如美国和加拿大都组织全国力量进行规模庞大的研究计划；加拿大能源、矿山和资源部下属矿物能源中心系统地总结了露天矿边坡稳定性的技术经验，编写成《露天矿边坡手册》；美国国防部新技术处主持了《岩石快速掘凿》计划等，都是十分成功而很有益处的研究工作。澳大利亚联邦科学与工业研究组织认为，岩石力学对于采矿技术将具有：（1）在矿山设计方面采用系统工程时，应结合地质力学和岩石力学的应用技术，以寻求最优方案；（2）在矿山生产方面，进行矿山压力监测，提供经验指导生产。由此不难看出，今后采矿技术，将与系统工程和岩石力学密切相关，而岩石力学更具有迫切性和实用性。所以，在国外对岩石物理力学性质的研究，已取得巨大的成绩，除已有标准化的实验室和现场实测方法外，还有《岩石物理力学性质手册》专著，可供设计和生产中使用，并且提出了岩石分级指标和岩性指标，可供判断岩体稳定性和崩落性的依据。在解决岩石工程问题上，可以对比类似矿山进行分析，找出经验解答；还可以从较便宜的二维光弹模拟到很贵的三维力学模拟，进行物理分析；再就是应用数学模型，计算边坡稳定和地下空间周围的应力及位移；特别是应用有限单元法、有限差分法、边界单元法等，模拟各向异性和非均质性岩体，更引起人们重视。上述研究成果，已能成功地解决矿山生产中的实际问题，如露天矿的边坡设计，已经达到成熟阶段；地下矿的应力控制技术，对房柱法和分段空场法的矿房、矿柱参数计算，矿块自然崩落法的崩落机理分析，以及充填法中充填体的性质和功能，都取得一定的进展。对于监控技术，使用传感器和各式仪表以及监测岩体位移、应力、应变、人工支柱上负荷、振动、岩石噪音等有关岩石稳定性的参数，从两种或两种以上的测试方法所得到的数据，可供判断边坡、巷道支护、采场顶板、矿柱等的稳定性，是可靠的；如在智利的丘基卡马塔露天铜矿及时监控一次450万吨的塌帮，使人员设备未遭到损失，生产只耽误两天半的时间。美国矿务局的斯波坎采矿研究中心，采用宽频带微震监控，有限单元采场应力模拟分析，岩石物理力学性质测定，以及爆破释放应力等技术，成功地进行了一些矿层的岩爆预测和控制。^{④⑤}

在研究岩石的物理力学性质的基础上，应用波动力学理论，研究凿岩工作中的能量吸收和利用，以及岩石机械破碎机理，改进凿岩机及其凿岩工具的设计，达到提高凿岩效率和降低凿岩费用；应用冲击波理论和爆轰动力学理论，结合热动力学和热化学原理，研究岩石爆

破碎机理, 寻求最优爆破效果和最佳爆破方案。^④此外, 应用空气动力学理论和热力学原理, 解决矿井通风系统计算, 扇风机设计及工作特性以及其它有关矿山的风流运动问题; 还应用和发展统计数学, 来精确地评价矿床品位及储量, 以及计算开采过程中的矿石损失贫化等问题。

总之, 在采矿技术理论问题上, 虽然已经有了一个很好的开端, 但是仍然离生产上的要求差距很大。而且当前仅是在想围绕力学来形成一个体系, 这个体系现在尚不能把几方面的问题有机地联系在一起, 还需要作大量的工作。特别是如何把地质学与力学结合在一起, 这一点是所形成的理论能否解决实际问题的关键, 千万不可忽视。

五、我国的成就和几点建议

自49年建国以来, 我国金属采矿事业得到迅速的发展。铁矿石从年产59万吨到1亿2千万吨, 有色金属矿石也有大量的增长。在这30多年中, 矿山面貌发生了巨大的变化, 由原始的、无计划的、笨重的人工开采, 逐渐过渡成为有组织、有计划和主要作业实现了机械化开采的矿山, 安全生产也得到了保障。铁矿石主要是露天开采, 有色金属包括砂矿在内, 露天开采量也接近一半。这些矿山基本上是用自制设备装配起来的, 主要生产环节已实现了机械化。

在我国金属矿山中, 露天矿山的年产量较大, 大多数都在1百万吨以上, 最大的已超过7百万吨, 年最大的矿岩剥采总量达到2,500万吨, 最大的开采深度已到270米左右。平峒溜井开拓在山坡露天矿应用较广, 效果也很好。露天矿的主要设备是钻头直径100~250毫米潜孔钻机和斗容4米³电铲; 运输方式在铁矿多数是80吨电机车和60吨自翻车, 而有色金属矿山则为32吨以下自卸汽车。目前少数大型矿山也有使用钻头直径220~300毫米牙轮钻机, 斗容8米³电铲和1百吨电动轮汽车。在爆破方法上, 近年来广泛采用大区多排深孔微差爆破和留碴挤压爆破, 改善了爆破质量, 提高了电铲装车效率, 降低了爆破震动影响。为保护边坡稳定, 还应用了预裂爆破, 也取得了良好效果。在露天矿基建剥离和定向堆筑尾矿坝等方面, 多次采用露天硐室大爆破技术, 最大药量达到万吨级, 具有速度快、投资省、工效高等优点。在爆破器材方面, 铵油炸药已普遍使用, 浆状炸药也在应用, 乳化油炸药已经推广, 塑料管非电导爆系统早就试制成功。在露天矿边坡加固方面, 采用钻孔钢轨桩和支护墙, 预应力锚杆以及用削坡减载锚杆、抗滑桩、护边墙、坡面喷浆, 钻孔疏水等综合加固方法, 也是比较成功的。砂矿在有色金属露天矿开采矿量中占有53%, 用来开采砂锡和砂金, 是采用水力开采方法; 近年来, 也在推广采金船开采砂金。^{①②}

我国金属矿地下矿山, 多为中小型, 最大设计规模虽有超过500万吨/年, 但当前生产中能达到的只有1百几十万吨/年。这些中小型矿山约占地下总矿量的三分之一左右, 数目也较多。在我国地下开采金属矿床中, 特别是有色金属, 开采技术条件较复杂, 给采矿工作带来很多困难。有的矿床具有自燃性, 容易发火; 有的矿床水文地质条件差, 涌水量大, 采前必须疏干; 有的属于中厚(4~15米)、倾斜(30°~45°)和顶盘不稳固, 极难开采; 有的深度不大, 但地压严重; 还有薄矿脉(1~3米)和极薄矿脉(<1米)占有相当大的比重, 高效率回采方法不易实现。正是这些开采技术条件, 决定着地下采矿方法的特点, 留矿法在有色金属矿山中比重大, 在长期生产实践中, 为了提高矿石回收率和机械化程度, 减少贫化以及节约坑木, 创造了十多种变形方案。电耙出矿的有底柱分段崩落法也在有色金属矿山获

得极为迅速的发展,其产量在60年代翻了一番,出现了小补偿空间挤压爆破、向相邻松散矿岩挤压爆破等方案。无底柱分段崩落法自60年代中期以来,迅速推广应用,成为铁矿地下开采中的主要方法,机械化水平较高,普遍采用CTC—700型单机台车和ZYQ—14型气动装运机,有些矿山还采用CTC—214型双机台车与ZLD—40(2米³)和ZLD—50(3米³)型铲运机;还在近年来试验了斜坡道运输和高低分段、菱形布置的深孔落矿方案,都取得一定的成效;并在强制崩落顶盘和改善进路通风状况,创造了一些可行的方法。在60年代中期,由于水砂充填法试用成功,紧接着又发展尾砂充填法和胶结充填法,使这类采矿方法在有色金属矿山产量比重日益增高;在采用高分层回采(3米),锚杆护顶,充填料管道输送,立式砂仓与流化卸料技术,以及实现采场台车凿岩、机械装药和气动或柴油驱动铲运机运搬,使其又得到推广;特别是成功的使用了向下充填法,顺利地解决了极不稳定矿体的开采问题。在我国金属矿山,还使用了房柱法、全面法、分段空场法、阶段矿房法、长壁崩落法、分层崩落法和阶段强制崩落法等,也都有一定的成就,且各具有自己的特点。特别是在深孔采矿方法的设备上,除采用YQ—100潜孔钻机和YG—80凿岩机外,还使用YGZ—90型外回转凿岩机。这些地下矿山,从60年代中期开始,广泛采用了铵油炸药和微差雷管,也基本上实现了装药机械化;当前还正在推广乳化油炸药。①②③

在我国金属矿地下矿山中,井巷掘进数量是比较大的。仅有色金属矿山,自建国30多年中,巷道总掘进量近3万公里,其中竖井约3百公里。目前最深矿井已超过800米。竖井和平硐开拓所占的比重较大。井巷掘进中,竖井正在推广配套的机械化掘井设备;平巷掘进基本上实现机械化;天井掘进中,有普通法、吊罐法和深孔法三种,吊罐法使用比较广泛,也具有较高水平;天井钻机基本上也试验成功,最大直径达到1.5米,并在一些有色金属矿山推广使用。锚杆和喷射混凝土的技术现已大量使用,装备逐渐实现机械化,成果还是显著的。①②③

在我国,电子计算机用在采矿工业上,目前主要用在确定露天矿最优境界,边坡稳定性和剥采工程进度计划,以及解算矿井通风网路及最佳风机选择与计算地质储量等,但还不是那样广泛和普及。①②至于环境保护、劳动卫生和职工福利等方面,也都取得明显的成就。

总的看来,我国金属采矿工业与技术先进的国家相比较,首先是矿山规模小,设备较落后,爆破器材质量差和品种少;在矿山环境保护、劳保卫生和福利方面,还未得到应有的重视;自动化和理论研究尚未提到日程;尤其重要的是科学管理制度不健全,影响到我国金属矿山现代化发展。为了改进当前面貌,使我国金属采矿工业适应“四化”的需要,提出下列几点建议:

1. 我国金属矿山生产上的主要差距,关键在机械装备。而我国的机械制造业的情况,在制造矿山设备上还是一个薄弱环节。在这种情况下,不要急于赶制大型机械设备,而是以中小型为主,使之多样化和序列化,且要注意质量;特别是要加强辅助设备的研制工作,这是一个隐患,必须引起重视。如果经济条件可能,也可以引进少量而我们又能制造备品备件的大型设备,来武装几个主要矿山基地,以便掌握高效率设备的生产工艺,同时积极安排试制工作,为逐步过渡创造条件。

2. 应把矿山环境保护,劳保卫生和福利工作放在重要位置。这是一项花费不小,可能看不见经济效益的工作。但是这个问题在全世界早就引起重视,而且已在付诸实现。我国在矿山现代化征途中,一定要把它列在首位,使矿山工作具有一定的吸引力,后继才会踊跃。必须指出,我国金属矿山在劳保卫生和福利工作上,做过不少的工作,也已取得了一定的成

绩；但是还不够，仍需加强这方面的工作。

3. 加强矿山职工培训工作，提高文化和技术水平，这一点非常重要，千万不能忽视，更不能走过场。要知道一个近代化的矿山，不但有高度技术化的装备，更要有一批讲科学技术，讲组织纪律，讲文明生产的合格职工队伍。如果没有一定文化水平和专业技能，是无法胜任这些工作的。

4. 要重视新工艺、新技术和新方法的试验研究，特别是地下采矿方法的试验研究工作。必须意识到采矿方法是地下矿的核心问题，选择不当，严重地影响到矿山建设和生产，30多年来，我们所受到的教训，是值得深思的。要解决这个问题，应舍得花这笔费用，在决定采矿方法之前，要搞好试验研究工作，这样才能保证方法的合理性，在生产上能够很快得到应用和推广，也是一个培训和锻炼工人和技术人员的好机会。

5. 不能忽视采矿技术理论的研究工作。要知道金属采矿工业比较复杂，科学技术问题多，牵扯到许多行业和科学领域，要想获胜，必须解决一些有关基本技术理论问题，首先是岩石力学。那就是搞清开采对象内在关系，其它的科学技术问题，也就迎刃而解了。

参 考 文 献

1. 童光煦：《金属采矿工业发展动向》，中国金属学会第三届年会文件，1978年12月
2. «Mining Activity in Western World», Mining Magazine, January, 1981 and 1982
3. 《苏联采矿工业现状》，采矿科技，1981年第1期，北京矿冶研究总院
4. 鞍山黑色冶金矿山设计研究院：《美国露天铁矿的技术水平和发展趋势》，1977年，冶金部情报标准研究所
5. 《美国有色金属矿山开采基本情况》，国外采矿，1981年第2期，长沙矿山研究院
6. 徐鼎：《国外金属矿山采矿技术水平和发展趋势》，有色矿山，1979年第2期，北京有色冶金设计研究总院
7. 张键元：《八十年代国外露天金属矿科学技术展望》，1977年4月油印本，鞍山黑色冶金矿山设计研究院
8. 曹燮明：《金属矿地下开采七十年代技术成就及发展动向》，国外采矿，1979年第1期，长沙矿山研究院
9. Kennedy B. A. & Zaburunov S., «Surface and Underground Mining, Equipment and Trends in 1980», World Mining, August, 1981
10. 《1980年国外金属矿山露天开采技术发展概况》，国外采矿，1982年第2期，长沙矿山研究院
11. 张可能：《国外金属露天矿胶带运输的现状和发展趋势》，矿山情报，1981年第2期，马鞍山黑色冶金矿山研究院
12. 《国外地下金属矿山采矿技术发展概况（1980年评摘编）》，国外采矿，1982年第1期，长沙矿山研究院
13. 《1978年地下采矿技术发展概况》，国外采矿，1980年第3期，长沙矿山研究院
14. 《国外金属矿地下开采七十年代技术的成就及今后发展动向》，国外采矿，1979年第1期，长沙矿山研究院
15. 《改进脉状矿床采矿方法概况》，国外采矿，1981年第1期，长沙矿山研究院
16. 马思霖和邬立国：《采矿工业和国土资源》，有色金属（矿山部分），1982年第2期，冶金工业出版社
17. Thomas E. G., An Introduction to Mining, Exploration, Feasibility, Extraction, Rock