近十年来国外金属矿地下开采技术的成就及今后发展趋向

长沙矿山研究院高级工程师　曹燮明

进入本世纪七十年代以来，全界世每年金属矿石产量已超过21亿吨，其中地下采矿约9亿吨，占总量的43%〔1〕。但因地下矿品位高，故就金属量来说，它占有很重要的地位，特别是有色金属矿更是如此。例如苏联近年有色金属矿石地下矿产量虽然只占总量的35%，但金属量却占50%〔2〕。美国1978年铅、锌、锑的100%、钨的96%、银的63%、金的54%（均按矿石量计）是靠地下开采的。铁和铜矿石虽然露天采矿占绝大比例，但每销售1吨商品铁矿石要3.3吨露天原矿，而地下原矿则只需1.7吨；每选出1吨铜金属的精矿，要189.4吨露天原矿，而地下矿原矿则只需109.9吨〔3〕。其它如瑞典、法国、西德、日本和南非等国的金属矿石则更是主要靠地下开采的。金属矿山随着不断的开采，愈来愈深，而新发现的矿床又多属埋藏较深的；加之地下矿对环境污染较易控制，故预料今后将进一步提高地下采矿的比重。

国外地下金属矿山的生产规模近十年来不断扩大。据英国《采矿杂志》统计，国外（不包括苏联及东欧国家）在1970年年产矿石大于300万吨的地下金属矿只19个，而1982年已迅速增至47个〔4、5〕。

国外地下金属采矿的劳动生产率得到不断增长，如占法国铁矿石产量95%的洛林铁矿区采用房柱法开采，从1957年全员劳动生产率10.8吨/工班上升到1967年的21吨/工班，翻了一番，1979年又翻了一番，为43吨/工班，1980年达44.85吨/工班〔6〕。主要采用地下开采的瑞典、芬兰等国的金属矿山全员劳动生产率平均都在20吨/工班以上，其中瑞典位于北极圈附近的莱斯瓦尔铅矿年产矿石150万吨，按工时计全员劳动生产率（包括所有职工和维修服务包工）达到7.2吨〔7〕。

国外金属地下矿山增加生产、扩大生产规模及提高劳动生产率来源于发展科学技术。现将近十年来国外已大量推广并在生产上起着决定性作用的新技术和今后采矿科技的发展趋向论述如下。

一、地下采矿设备趋向机动灵活和高效率

地下采矿受到工作面空间的限制，生产对象是坚硬的岩石，故要求设备具有突出的灵活性和适应性，同时要求结构简单，结实耐用，维修方便，可用率高，以提高设备的生产效率。六十年代发展起来的无轨行走以及随后应用的柴油机动力（七十年代末它受到电动力的挑战）和液压驱动是近十多年来地下采掘设备三大技术特点。现简介传统采矿的各种设备的主要成就如下：

发展凿岩台车以实现机械化凿岩。这是继承六十年代的成就并得到进一步发展提高

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

的。台车多以柴油机为动力、轮胎行走、铰接底盘、并装有隔音操作室和防震装置。由于采用了台车，因此可更多地使用重型支架式凿岩机。凿岩机多采用独立回转，以提高扭矩和冲击功。采用了液压回转支臂，并配备自动平行移动机构，以确保炮眼排列方向。发展了柱齿钎头，不尽能增长钎头寿命、提高穿孔速度，还可减少修磨时间。此外还发展了自动化凿岩。由于这些成就，使平巷掘进的凿岩速度在七十年代中期平均为27.9毫米/秒，比六十年代中期的22.9毫米/秒提高了22%〔8〕，有人估计比四十年代的速度要提高三、四倍；用于采场深孔凿岩，每台班穿孔300余米是较普通的。据英国《采矿杂志》调查，台车使用寿命平均为5.5年〔35〕。

液压凿岩机是1973年才投入市场的新产品，至八十年代初资本主义国家已有十七个厂家生产48种型号两千余台的设备，在采矿设备史上发展之快是无与伦比的〔48〕。这是因为它与同规格的风动凿岩机比较，速度可提高50～100%甚至2～3倍，节约能耗1/2～1/3，此外可降低凿岩费用和改善作业条件(无雾，降低噪音8～10分贝)。它配以液压台车不仅能用于平巷掘进，还可用于采场深孔凿岩，以及处理大块的二次凿岩。目前瑞典、南非等国已建成全液压凿岩的矿山。瑞典乌登有色金属矿山用液压凿岩机，台时穿孔80米，而同规格的风动凿岩机只45米，因而使这个用充填法采矿日产矿石1500吨的矿山只需用1台双机台车每班打眼三个多小时（每天2班）即可完成全矿凿岩任务〔9〕。但液压凿岩机还有其缺点：如设备费用大、维修质量要求高、设备可用率低、占地空间大等。只有克服这些缺点，达到风动凿岩机那样可靠耐用，才能完全取代后者。

采用潜孔钻和牙轮钻在地下矿凿大直径深孔是七十年代地下凿岩的又一项新成就。苏联在五十年代已广泛采用直径100毫米、支架式的地下潜孔钻机，而西方国家直到1972年研制出结实可靠、易维修、效率高、所有机件安装于自行式车架之上的潜孔设备之后，潜孔凿岩才为矿山人员所接受。目前它用于地下矿能钻直径100～200毫米、深达150米的炮孔。其穿孔速度虽只有风动凿岩机的1/3，但孔径大、孔数少、节省劳动力、减少装药时间、破碎块度好、凿岩作业条件好，因而有利可图〔8〕。例如美国皮·里奇铁矿在分段空场法采场用潜孔钻凿直径162毫米、深28～40米的炮孔，台班效率从1975年以后稳定在1090吨以上，钻头寿命915米/个〔8〕。采用高风压（17.5公斤/厘米^2）比普通风压（7公斤/厘米^2）的钻机，穿孔速度可提高2倍多，今后应采用装滑行座的移动式电动压风机和增压压风机在工作面就近供给高风压的压气〔8〕。

牙轮钻机是1971年在加拿大某矿用Robbins'11D型钻机钻直径200毫米、深30米的炮孔落矿取得良好效果，证实能有效地控制大块和防止矿柱破坏而后被采用的。目前有7台钻机在加、澳、美的三个矿山作业，穿孔孔径170～228毫米。（澳大利亚艾萨山矿在抗压强度平均171.6兆帕的矿石中钻孔，工班效率达1330吨〔8〕。苏联克里沃罗格矿区的列宁矿务局使用2台新研制的、能钻直径243毫米炮孔的БШ-200C型牙轮钻机，在磁铁石英岩的阶段矿房法采场中凿岩，台班效率为15米，如以落矿量计算要比孔径105毫米钻机的台班效率高5倍〔36〕。总的说来，采用牙轮钻机凿大直径深孔落矿，能降低采准及穿爆费用，劳动效率高，有最好的凿岩环境。然而目前地下牙轮穿孔尚处于摇篮时代，钻机类似露天矿的小型牙轮钻机。下一代地下牙轮钻机是否能具有当前露天钻机的许多特点——具有钻更大孔径的能力、无级变速、自动钻进和有环境保护的司机室，将

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

取决于应用这些大孔的爆破技术的发展。

无轨装运设备的发展使地下采矿出现了新的变革。它是六十年代末和七十年代初发展起来的，但近年来进行了许多改进和提高。据西方国家统计，1965年采用无轨装运设备的地下矿只20个，1969年上升到60个，1973年就有119个[11]。改用这些设备的矿山普遍提高工效一倍甚至更高。这是因为这些设备机动灵活，使用范围广；产量大，效率高；节省有轨运输铺道的基建和维修费用；矿山建设速度快，可利用斜坡道边建边投产。但是这类设备尚存在一些缺点需待改进，主要是设备投资大、维修工作量大、产生废气需要增加矿井通风量。

这类设备主要有铲运机（包括装运机）和坑内汽车。铲运机是短距离的装运卸设备。瓦格纳的ST-13型斗容9.9米^3，载重18吨，是当前这类产品的最大型号。但是1981年就西方国家调查，市场销售量最多的铲运机还是3.8米^{3}的，占30%；其次是1.5～1.9米^{3}的，占22%；再次是0.76～1.1米^{3}的，占15%。至于6.1米^{3}以上的铲运机，看来目前需求量很少。据推测，西方国家可能拥有铲运机的总台数约6500台，实际平均利用率约60%，实际平均台班效率约280吨/台班[35]。苏联对这类设备的发展也很快，至1980年有色金属地下矿山就拥有本国生产和引进的铲运机500台以上。一台在册铲运机年装运矿石的定额指标为22万吨[37]。由于铲运机是以柴油机为动力的，存在废气净化问题，因而近年来出现了以电为动力的趋向。据推测西方国家已有200台电动铲运机在矿山应用，引起了矿山工作者的普遍重视[35]。较长距离的运输可用自卸式卡车。有各种卸矿方式以降低卸矿高度。例如美国瓦格纳公司的20吨伸缩式汽车有一个专门的伸缩式车厢，卸矿高度仅2.1米。瑞典阿特拉斯·科普柯公司销售的Hagg牌12吨汽车，底部装有运输带，卸车时将运输带反向运行，不需翻卸车厢[10]。据1981年初就西方国家矿山调查[35]：卡车使用寿命平均为4年最长可达14年，而通常采取的最佳经济寿命是7年；设备利用率40～80%，平均为58%；台班运输效率介于200～500吨之间，平均为315吨；生产费用（不包括固定资产折旧费）平均约1.2美元/吨。

井下胶带运输机是一种高效、可靠、连续作业和节能的运输设备。近年在设计与制造上出现了许多新的突破，如发展钢绳支承的胶带运输机、研制成电子计算机与电子控制系统的驱动装置和经向轮中间驱动装置、制成了合成纤维加强运输带、采用可自动调整胶带上矿岩块位置的环形托滚、以及运输带可水平拐弯等，因而在地下金属矿获得了较快的推广。由于出现了轻便的给矿-破碎机，可在采场工作面进行粗碎，更提高了胶带运输机的效率和使用寿命。例如美国矿石坚硬的白松铜矿从主平巷通过一条长18公里的电动胶带运输机将矿石沿斜井运甚选厂，在采场工作面附近用Stamler给矿-破碎机破碎大块，以保证井下运输带上矿石块度小于150毫米，避免了大块引起的停工事故。目前该矿已有80%的矿石使用了这种破碎-运输设备[12]。

辅助作业机械化解放了地下采矿占用的大量劳动力。近年来发展了各种装药车和装药器，装药器容量达1450公斤，某些浆状炸药装药车的装药速度达45公斤/分。发展了各种履带式或轮胎式、低车身、中央铰接的车子安装液压或风动冲击器或齿型撬棍，以供破碎大块、敲取松石、铲平巷道周壁之用，此外还有为支护用的锚杆安装机、喷射混凝土车、架棚机；为乘人或运料以及维修、润滑等之用的服务车。标准的服务车为柴油机驱动、低车身、中央铰接、曲率半径小的四轮驱动车辆，具有机动灵活的特点，

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

并且是一机多能的；有的甚至可和主要设备互换。例如有的凿岩台车和装岩机可在工作面更换部分部件兼做锚杆安装机、松石清理机和大块碎石机之用[8、10]。

二、采用廉价优质的爆破与支护材料

金属矿用炸药近年推广和改进了五十年代后期发展起来的铵油炸药和浆状炸药，几乎完全取代了达纳马特炸药。据美国资料，1978年在金属矿山中铵油炸药的用量占54.71%，浆状炸药及水胶炸药占40.83%，而其它高威力炸药只占4.42%（主要用于竖井掘进），安全炸药占0.04%[8]。近十年来铵油炸药在制造上（混合铝金属、改进硝酸铵质量）和使用上（改善装药车、采用炮孔疏干技术、改进包装技术以及地下大直径深孔的应用）又有很大发展。浆状炸药在其固有的高密度、抗水性强和安全的特点上，一方面寻求廉价的、密度较低而又能抗水的品种，使之用于易破碎的岩石以与铵油炸药争夺市场；另一方面寻求能用于小直径炮眼爆破的品种以与达纳马特等炸药夺争市场。事实上，近年在美国金属矿的炸药耗用量中，浆状炸药的增长速度为快，它从1974年的16020万磅上升到1978年的23447万磅，增长45.1%，而同期铵油炸药从27737万磅上升到31414万磅，只增长13.3%[8]。在七十年代后期国外发展了乳化油炸药，如阿特拉斯炸药公司的Powermax系列，可用于直径1英寸的炮眼，在20°F时用8号雷管起爆，爆速为4500～4800米/秒，现已开始投入市场。

起爆器材中微差爆破的优越性和微差雷管在制造上的成熟程度使七十年代的采矿工作者广泛采用了这种技术。近几年为了加强爆破的安全性，提高效率和改善爆破网路设计的灵活性，出现了许多电的和非电的起爆技术。这里略举两种最新成就：一是英国诺贝尔炸药公司的Magnadet电雷管，它是1981年初投入市场的，其原理是在每个电雷管上连接一个具有频率选择的磁环，它只能用12～15千赫高频交流电源的专用发炮器起爆，因而使电雷管与外部电感应处于隔离状态，防止由于直流电、交流电、静电或射频辐射等杂散电流的作用而引起早爆，还可避免电流漏电引起拒爆和部分爆破的现象，同时操作十分简便，节省大量时间[13、14]。另一种是瑞典奈特罗诺贝尔公司研制的Nonel和美国大力神公司研制Hercudet等非电起爆器材。前者为内壁喷涂活性物质的塑料管，在管的一端用雷管或起爆枪产生冲击波，由活性物质以2000米/秒左右的速度传递，从而引爆接在管的另一端的非电雷管中的延时装置。它对巷道掘进的成束爆破很方便。后者除用两根塑料引入管取代普通脚线外，其余部分与电雷管相似。在塑料管未导入易爆气体之前，它是钝感的[13]。

锚杆支护虽然是五十年代就发展起来的，但近年普遍地用树脂锚杆代替原来机械锚杆，并发展了许多新型锚杆。例如为了解决采场爆破后的装矿安全问题，澳大利亚一些矿山在充填法采场使用了20米长的钢绳锚杆，用注浆法装入顶板，进行预支护。瑞典一铁矿在分段崩落法采场用玻璃纤维锚杆代替钢锚杆。国外近年发展了摩擦锚杆，将外径38毫米的带槽钢管压入直径56毫米的钻孔中，因产生径向负荷提供对岩层移动的径向摩擦阻力。此外还有齿形锚杆，由2块半圆形长钢管沿锯齿边连接，对顶板起到迭合、悬挂、楔栓和压实作用；还有让压锚杆以适应容易发生岩爆的矿山的支护需要等等[15]。预计将进一步寻求初凝时间快、早期强度高而又价廉的锚定材料、研究锚定工作原理、根据岩层类型合理选择锚杆类型及参数、完善锚杆穿孔及安装设备等以进一步推广和发展锚定技术。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

喷射混凝土随着水泥质量的提高、采用有效的速凝剂以及钢丝或玻璃纤维等加强材料，因而能达到很高的强度。采用大型喷射设备，标准生产效率达5.4米^3/小时（理论生产能力达15米^3/小时）[8]。此外近年还制成了装有支臂的遥控装置，工人基本上摆脱了普通支护工作体力劳动强度大，工作条件差的作业环境。它与锚杆钢丝网联合使用，基本上能解决井下各种不良岩层的支护问题，因此它将得到进一步的发展和推广应用。

在巷道掘进中用水泥或树脂注浆**加固岩层**已是一项很成熟的技术。人们日益期望在采矿前将矿岩加固以增加选择地下采矿作业的自由，使那些用低效率采矿方法开采无利可图的矿体能用高效率的采矿方法来开采。目前瑞典、澳大利亚正在发展这方面技术，其中包括钢绳锚索对岩层进行预加固的技术[16]。预料今后这方面技术将有更大的发展。

三、开采方法的工艺更趋简便

地下采矿方法的工艺更趋简便，是近二、三十年来也是今后发展的总趋势。1974年第八届国际采矿会议对2000年采矿技术的预测普遍认为：充填法、分段崩落法以及分段采矿法是各种采矿方法最有发展前途的方法，而缓倾斜矿体的开采则以房柱法最有希望。

充填采矿法由于近十多年来实现了从普遍充填法发展到机械化充填法而受到采矿界的特别重视。其技术途径主要是采用斜坡道进路的盘区开采方案；使用采矿凿岩台车打深眼、机械化装药爆破、无轨设备出矿、机械化处理松石、锚杆护顶等工艺以实现高分层回采；在充填工艺上使用尾砂胶结充填、发展高浓度管道输送以及利用全尾砂等技术；并进而发展了下向充填、分段充填等方法。采用胶结充填法的优点，不仅是可防止采场垮陷和地表移动，更主要的是可降低矿石损失率到5%左右、贫化率不超过10%[8]。在劳动生产率方面它已不再是低工效的采矿方法，例如垄断瑞典有色金属采矿业的布利登公司在中型地下矿山中广泛采用充填法采矿，六十年代初期全部用气支式凿岩机打眼、电耙出矿；到1980年有2/3的采矿量用液压凿岩设备打眼（其余用风动凿岩台车）、95%左右的出矿量用柴油轮胎式自行设备出矿（其余是用新发展的电动轮胎式自行设备取代柴油动力的设备）。这个公司的朗色尔矿日产矿石2000吨，近年采用水平分层充填法采矿，只用2个采场便可完成任务，全员工效高达28吨/工班，且矿石回收率达到90%，贫化率只5%。该矿原用分段采矿法，矿石回收率只达80%，贫化率高达20%。故从总的经济效益来衡量，采用充填法是有利的[34]。苏联近年也在大力发展充填法，1981年有色金属地下采矿总量中有24.2%是用充填法采出的[38]；克里沃罗格铁矿区充填法的比重也由1970年的0.8%上升到1980年的6.4%[39]。

房柱法在开采坚硬矿石的缓倾斜矿床由于近年来不断发展起来的液压凿岩、装药机械化锚杆支护以及大型无轨装运设备等技术使它适应的采场高度从中厚提高到30米，矿体倾角从几度提高到30度左右。其劳动生产率是地下采矿方法中最高的，某些文献甚至称可与露天采矿相比美。如上述瑞典莱斯瓦尔铅矿和法国洛林铁矿便是典型例子。美国新铅带的许多矿山和白松铜矿也都采用这种方法。

大直径深孔落矿的VCR法（垂直深孔漏斗爆破后退式回采法）是1973年从加拿大金属矿山迅速发展起来的一种采矿法。它应用利文斯通爆破漏斗的爆破理论，从采场上部平巷凿直径150或165毫米（苏联最大有到

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

243毫米的）、深度一般不超过60～70米（最大有达90米）的炮孔，分段向下爆破。其主要优点有减少采准工程、改善爆破质量、作业安全、避免上向凿岩爆破的烦重体力劳动、提高生产能力和工效。与此方案相似的还有所谓“垂直阶段采矿法”（VMB）。这些方法至今使用虽不到十年，但它的成功及未来的潜力是令人鼓舞的[17]。例如美国有百年开采历史的霍姆斯特克金矿，曾用方框充填法，以后又用分层充填法。为了满足日产矿石6800吨的要求。七十年代初经常要100个采场作业。近年采用VCR法，与原用充填采矿法比较，按采矿方法（包括采准切割）计，工人劳动生产率从15.1吨/工班提高到31.6吨/工班，回采费用（包括附加费用）从9.49美元下降至4.91美元，特别是能提高采矿强度和有效地回采胶结充填法采后的矿柱；故该公司计划在今后几年内将VCR法的采矿比重提高到35～60%[18]。西班牙的鲁别尔斯铅锌矿是一个年产矿石100万吨的矿山，原计划用深孔空场法和水平分层充填法回采，后来作了方案修改，现是一个100%使用VCR法采矿的矿山。苏联在克里沃罗格铁矿区近年采用HKP-100潜孔钻机和БШ-200C牙轮钻机在阶段或分段空场法采场钻直径105毫米和243毫米的炮孔，向垂直切割槽落矿，取得较好效果。1980年整个矿区用这两种采矿方法采出的矿石占总产量的22.5%，损失率14.7%，废石混入率分别为7.2%和7.6%。在采用振动出矿等技术时，按采矿方法计的工人劳动生产率达55～57吨/工班[39]。最近瑞典正在实行一个由国家主持制订的五年采矿试验研究计划，其主要内容即是大孔采矿[16]。预料今后大直径深孔法的使用将日益扩大。

无底柱分段崩落法虽然在五十年代初已是瑞典基律纳铁矿的主要采矿方法，但只是当进入七十年代由于无轨设备在采矿上的应用才得到更多矿山的迅速推广。近十余年来的主要成就有：采用斜坡道采准方案使工人和设备可直接进入分段平巷的工作面；改进分段巷道布置及凿岩爆破参数，发展了筒式炮孔的布置方案；改进出矿巷道的稳定性，特别是维护出矿口眉线的稳定；研究放矿规律以及控制出矿最终品位的措施等。瑞典基律纳铁矿是一个全部采用这种采矿方法并具有生产原矿能力3000万吨/年的矿山，早在1961年末就建成了斜坡道进路，工人乘汽车从地面更衣室至当时井下最深的420水平仅需5分钟[49]。由于采用先进设备和工艺，使七十年代以来井下工人劳动生产率达80吨/工班。但在深部水平，巷道支护量增加、采矿贫化率大。为了解决这些问题，目前矿山正在进行留矿分段崩落法的试验[19,8]。苏联广泛地采用另一种方案——有底柱分段崩落法。1980年克里沃罗格铁矿区有56.4%的矿石是用这种方法采出来的。其中用深孔落矿的比重由1960年占总量的22.2%上升到1980年的53.3%，用接杆凿岩落矿的比重由1960年占总量的16.9%下降到1980年的3.1%。1980年这种采矿方法的损失率平均为19.6%，废石混入率为7.3%。为了减少采准工作量，近年试用了在出矿巷道漏斗口向上凿深孔、向垂直切割槽落矿的方案，从而节省了凿岩巷道，现正在推广中[39]。

阶段自然崩落法在美国使用得很广泛；而在苏联如克里沃罗格矿区在1960年使用这种方法的比重还有23.7%，但从1970年便完全不用了[39]。近年来美国对这种方法的岩性指标及崩落性的确定、地压控制与巷道维护、放矿规律与矿石质量管理以及应用大型无轨设备等做了大量的工作，使采矿方法生产能力、工效、特别是采矿质量有显著提高。采矿工人的劳动生产率为136～317吨/工班，全员劳动生产率在18～36吨之间。克莱马克斯铜矿的矿石回收率92.5%、贫化

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

率15%是属中等的例子[8]。

普通井巷掘法和采矿方法一样，近十余年来同样取得相应的发展。用爬罐掘**天井**具有灵活、快速、经济、安全的优点，能适应各种断面和倾斜的天井；合理选用风动、电动或柴油液压马达的推进装置，掘进高度也不受限制。目前西方国家已有1500台不同类型的爬罐在矿山应用，在中等断面的天井掘进中，工效一般为1.5米/工班[8]。苏联金属矿天井掘进也主要是使用爬罐，平均月掘进速度达100～120米，采用多工作面掘进时可达1000米以上[38]。

普通法掘进平巷可采用有轨设备和无轨设备两种系列。无轨设备具有机动灵活的优点，使用于多工作面大断面的平巷掘进，可得到较高的工效。瑞典马姆贝里耶特铁矿的掘进小组共12人，分2班作业，在坚硬的铁矿石中掘断面21.2米^{2}的分段巷道，采用凿岩台车和Cat 980装载机等设备，1975年时平均日进尺26米（计划为30米），装矿量2200吨。掘进工工作面工效为2.2米/工班，以矿石量计为183吨/工班[40]。苏联有色金属矿平巷掘进使用成套的自行设备，使劳动生产率从2～2.5米^3/工班提高到目前的8～10米^3/工班，多工作面掘进时可达20～25米^3/工班[38]。在长距离独头巷道掘进中较多地使用有轨设备。例如美国亨德森钼矿主平峒西段的掘进，断面5×4.6米，长11.037公里，岩石高度破碎，90%的巷道需用钢支护及混凝土支护，且水大、逆坡度掘进，采用5机凿岩台车、1.1米^{3}装岩机、7.6米^{3}侧卸式矿车和25吨电机车等设备，于七十年代初期用1648个工作日完成，平均日进尺6.7米[41]。卡尔福克铜矿在断面4.5×3.7米、长1830米的主平峒掘进，采用液压凿岩设备、立爪式装岩机、梭式列车、电机车等设备，日完成2个循环，每个循环进尺3.65米。每面50个深3.8米的炮眼只需2个凿岩工以90～120分钟的时间便可完成打眼任务[42]。南非Randfontein金矿1981年1月在岩石坚硬、相隔20米的两平行巷道中交叉作业，采用高风压（724千帕）凿岩、LM 56装岩机出碴以及加强管理等措施，在连续31个工作日进尺1101.4米，在他们自己的杂志上称做创世界纪录[43]。

斜井掘进量随着井下无轨设备和胶带运输机的推广应用而日益增加。美国奎斯塔钼矿于1979～1980年在倾角10°、断面5.8×4.6米、长1980米、高度破碎的安山岩中掘进，采用三机凿岩台车配以PR55型凿岩机和4米长钢钎凿岩、2.7米^{3}铲运机和汽车出碴、临时堆碴侧巷倒运、喷锚网支护等工艺，每天三班作业，平均日出勤17.46个工班，进尺4.6米，被认为是良好水平[44]。

近年来**竖井**直径日益加大，深度日益加深。以前采用多竖井的开拓方案，现在则尽可能地用一个大直径的竖井；以前采用多段提升的深井，现在则尽可能地采用深井一次提升。南非西部深水平公司九十年代将在地表下3800米水平采矿，目前正在建一对直径9.8米的竖井，井底在地表下4164米，分两段提升，深度分别为2300米和2000米。主井将安装4个各载重21吨矿石的箕斗和4个各载150人的三层罐笼[45]。美国“幸运星期五”银矿新建一座直径5.5米、深2347米的竖井，这是西半球最深的竖井。掘进工作按每周7天、每天3班，共50人分四组作业。曾在1981年初连续31天进尺142.3米（当时井深503米），创北美掘井新记录[46]。

四、实现连续采矿是矿山工作者的奋斗目标

采矿工艺不用凿岩爆破的循环作业而用机械实现连续作业，最后达到全矿山的自动化作业，是采矿工作者长期奋斗的目标。近年来主要的进展有：

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

天井钻进技术已为金属矿山广泛采用。1967年全世界还只有12台天井钻机在作业，1975年增至180台，到1981年估计有300台天井钻机在世界上25个国家中使用[20]。美国近年用天井钻机钻进的进尺超过了用凿岩爆破法掘进的进尺。综合加拿大国际镍公司、瑞典布利登和基律纳等岩石坚硬耐磨矿山的实际资料，扩孔直径1.83米的天井每米直接费用为340.7美元[21]。目前钻进天井的直径从0.7至6.4米，一般为3.7米；高度即使在硬岩也已超过600米，最高达914米。加拿大国际金属公司用罗宾斯61R钻机钻直径1.8米的硬岩天井，速度达1.2～3米/小时，每米成本比普通法低60%。澳大利亚一铜矿用IR公司的RBM-7型钻机在硬岩中钻直径1.8米、高390米的天井，共用292小时，平均钻进速度1.33米/小时。近年又发展了盲天井钻机，可自下而上钻漏斗天井，实际高达91.5米，班进尺13.4米[22]。这为广泛推广天井钻进创造了更有利的条件。

竖井钻进目前尚不普遍。美国在1963～1973年的十年间在非煤矿山（主要是铀矿和有色金属矿）共钻了83个竖井，占同期建井总条数的43.2%，总进尺的22.4%，其中虽有井筒直径达5米，深244米的，也有深824米、直径1.8米的，但总平均直径只1.8米，主要用于探矿与老矿通风之用[23]。1977年美国罗宾斯公司组装了直径6.1米的竖井钻机，1979年又组装了7.6米的钻机，但目前的经济因素限制了这种钻进技术的应用。当前有的矿山将钻进技术与普通法掘进联合应用，如加拿大基德克里克矿建成北美最大的竖井（直径6.3米、深1556米），在上部的840米是用钻机首先钻1.83米的孔而后用普通法扩大。这种施工方法已引起了矿山工作者的注意。

平巷钻机在近十年的发展中已有许多前所未有的特点：可在曲率半径小的巷道作业、能钻各种非圆形断面的巷道、可向上向下钻斜井、可成功地用于单轴抗压强度2800公斤/厘米^{2}的岩石、也可钻软岩在紧跟钻头之后加上支护、可变换转速及推力以得到适宜的钻进速度等。但目前在坚硬岩石的金属矿作业仍受到限制。美国迈阿米铜矿在松软的东矿体的平巷掘进是全部用Dosco钻机完成的[24]。至于在硬岩中的钻进，南非一金矿用西德Wirth全断面钻机钻直径3.4米的平巷，通过坚硬和磨蚀性大的石英岩，其成本比普通掘进法要高1倍以上[25]。据称因其钻进速度快，因而在经济上仍有其生命力。

连续采矿机在七十年代初还只是做些断断续续的生产试验，到七十年代后期已被用为正常生产的手段。例如法国洛林铁矿区于1974年试用3台120HR采矿机，1975年迅速增加到10台，被誉之为“开始出现了连续采矿机的时代”[47]。美国迈阿米铜矿是一个老矿，曾采用过方框充填法采矿，近年发现了东矿体，品位含铜3%，根据掘进时采用Dosco连续钻机的经验，已用一台同样的设备采用巷道充填法来采矿。将钻进高和宽各4米、长46米的巷道用胶结尾砂充填，待固结后再回采同样尺寸的矿柱。目前每个班以2.5小时的时间钻采，其余时间进行支护及其它工作，可进尺3.7米，即矿石59米^3。据称可100%地回采矿石，故经济上有利[24]。南非金矿在开采坚硬、平缓的含金石英矿脉，为了避免细颗粒金矿的损失，积极研究用连续采矿机配以胶带运输设备的工艺，现正在试验中。

近年国外进行了多种岩石破碎新方法的研究，但最有成效的还只是**高压水破碎**。现已能产生对岩石冲击压力3500～70000公斤/厘米^{2}的脉冲射流可破碎最坚硬的岩石。但仅有水射流破碎岩石不是好办法，必须与机械切割或其它方法联合使用才是最好的展望。因联合法能以中等压力的高压水有效地破碎硬岩，从而降低所需的能量。它与钻进设备配

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

合使用是近期内实现连续开采最有前途的。此外美国近年还用它发展了钻孔采矿法，即将一套水射流装置放入从地面钻凿并贯穿地下矿床的钻孔内，冲蚀矿体。矿泉用泵提升至地面。由于开拓量少、投产快、环境保护好、作业安全、实现廉价的管道运输，因而受到采矿工作者的重视[26]。

溶浸采矿，特别是原地溶浸采矿，是一种连续作业并且容易实现自动化的远距采矿法。它能经济合理地回采埋藏较深、品位较贫、储量不大的矿体。据估计，世界上每年有10%以上的铜金属产自溶浸采矿法[27]。美国1978年用原地浸出（包括废堆浸出）回收纯铜12.65万吨，此外用池浸和堆浸回收纯铜8.85万吨[3]。美国矿业局目前对原地浸出的研究工作集中在铜和铀的浸出，但对其它矿物基本上也是可行的。原地溶浸采矿的一个重要因素是合理选定井位、井距及泵输溶液的速度。为此美国矿业局曾研制了溶液流程计算机模型。液流图象可显示详细的液流路径图、整个浸区或其中任一部分的等时线、等速线和等压线图。此外对建井材料和工艺、矿石的有效破碎方法、提取含矿溶液的水冶方法、回收溶液及其再利用等技术也进行了有成效的研究[26,23]。

提高作业自动化水平是实现矿山全盘自动化的一个重要环节。国外矿山的通风、压风、提升和排水等固定设备已有较完善的自动控制并已得到普遍推广。在有轨运输的矿山，行车运输自动化的水平也很高。如瑞典基律纳铁矿地下运输的所有环节——装车、平巷运输、过磅、卸载、粗碎、箕斗提升和箕斗卸载甚至矿石取样都已全部实现自动化或从地下中心控制站进行遥控[28]。美国亨德逊钼矿主平峒至选厂22.5公里的铁道运输自动化水平也是很高的。坑内带式运输机可实现联动控制，苏联矿山工作者认为采用振动放矿机配合带式运输设备是实现连续出矿的一个较好的途径。

五、尽可能地减少采矿对环境的污染

金属矿地下采矿作业引起环境污染和破坏的因素主要有：

井下大气的污染，其主要杂质来源于爆破和内燃机废气等产生的气体；岩层中赋存的和放射物衰变产生的气体；液体产生的油雾和水蒸气；凿岩、爆破、装运和其它作业产生的粉尘；

深部开采放出的地热；

凿岩以及扇风机等作业时产生的噪音；

矿井排出的废水；

地下矿废石场排放的废石以及地表泥石流的危害。

针对上述矿山环境污染问题，近年国外进行的工作有：

加强矿井通风，对有害气体予以稀释和排走。对产生空气污染物的地方进行连续取样并监控其临界数值，特别是为产生独特的矿山环境污染物如柴油机废气、氡气等的矿山发展了计算机监控系统，进行取样及监控。研制了模拟矿山通风系统计算机程序，自动控制通风量，使通风系统合理化。由于矿井向纵深扩大，合理使用和研制有效的辅助扇风机日益受到矿山工作者的重视。为了抑制氡气从井巷或空区溢出，对井下气流保持正压和将一切渗漏之处用浇注水泥浆加以密封是有效的。

柴油机废气控制的措施一方面是尽量减少其产生。如加强设备的维护使之经常处于良好的运转状况；减轻发动机负荷以降低不完全燃烧产物；改进燃料油如加入氧化剂、水/油乳化液或甲醇油乳化液等；采用闭路循环将净化后的尾气再送进发动机使用；发展电动或其它能源（如甲醇）的设备以代替柴油设备等。另一方面是采用净化措

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

施，主要有催化净化、喷水淋洗以及废气冷却等。实践证明采用几种不同的控制装置的混合系统是控制柴油机废气最有效的方法，例如基律纳汽车就是将上述净化措施联合使用的。[23、29]

控制粉尘的方法除通风洒水外近年发展了泡沫除尘、真空集尘、干式离心集尘、湿式集尘、静电除尘、袋式除尘等控制装置，其中有些除尘效果虽好，但费用尚高。采用个人劳动保护的办法如戴防尘口罩是有效的，它可与粉尘隔离，独立供给氧气。此外实现设备的遥控与自动化或者在设备上装隔尘操作台也是矿山工作者寻求的技术途径。

控制噪音的措施主要有：（1）消除噪音源，如在凿岩机上装排气消音器或排气软管，可降低噪音7分贝，有的还试用了特制的消音钎杆，但这些措施目前还不免影响设备的效率。（2）封闭噪音源，这对于压风机等固定设备是可行的。（3）在巷道四周，特别是在自行式设备的表面装防声板（如橡胶）可抑制及吸收部分噪音。（4）将操作人员与噪音源隔离，如在凿岩台车、装运设备上安装隔音操作台，这种隔音材料一般是用多层聚氨脂泡沫和铅板组成的。（5）采用个人防护器，如耳塞和耳罩等，这是当前行之有效的措施，前者用橡胶或塑料做成，可降低噪音15～20分贝；后者可与安全帽合制，能降低噪音30～40分贝。除上述措施外，国外很重视暴露于一定强度的噪音下的时间限制，许多国家在矿业法规中都有规定，以资遵循[8、23]。

随着开采深度增加，地温一般以1.8℃/100米的梯度上升。国外不少矿山采用了冷却装置**降温**。近年还发展了泵送结晶冰以代替冷却水，据称效果甚佳。

矿井水的净化处理可采用重力沉积、化学沉淀（多用石灰或硫化钠）、pH值中和、氨中和以及过滤等措施。提高循环用水率以减少废水输出和加强净化设备的自动监控以保证出水质量等措施也是可行的。

采取物理的、植物的或化学的方法**稳定废石堆及尾砂场**并及时进行植被工作。研究全尾砂充填或将尾砂储存于地下等措施日益得到矿山的重视。

近年来国外很重视**井下照明**的工作，除制定了矿山照明度及可见度的标准外，还研制了各种安装于工作面和设备上的不眩目的固定照明灯以及应付事故和设备检修用的携带式照明灯。美国矿业局与圣乔伊矿业公司合作在这方面的研究工作便是其例子。

值得指出：国外近年新建矿山在设计时便测定并登记矿山采前的**生态平衡**数据，开采时经常进行检查（一般每月一次），以便及时发现矿山环境不正常的现象。此外矿山设计应有环境保护的详细计划送政府环保部门审批。

六、实现科学管理获取最大的经济效益

随着生产技术的发展，生产管理已成为一门重要的科学。它是借助各个方面的科学技术成就，合理地进行计划、安排、控制与管理生产，以达到最大的经济效益。

研究和推广电算机在矿山的应用是矿山实现科学管理的主要手段。1971年有人调查47个使用电算机的矿山，了解各矿在生产与管理上应用电算机的情况。调查结果表明，在计算矿量、财务分析、维修、测量、矿山设计、编制生产计划、通风、在线控制、材料管理、编制建筑计划、岩石力学与边坡稳定、选矿、凿岩爆破、设备选择等各方面都已使用了计算机[30]。然而那时计算机昂贵，只能在一些大公司应用，不能普遍推广，且地下矿山因作业条件复杂发展更慢。近年发展了小型和微型电算机，由于这些设备具有高超的计算能力、费用低、储存

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

量大和操作方便等优点，加之有许多咨询公司可为矿山提供设备及编制软件，故日益受到矿山的欢迎。人们预料电算机在矿山各方面的用途将会成几何级数增加，其主要方面有：

利用计算机发展模拟技术，优选采矿方法、工艺、设备以及控制出矿品位、确定配矿方案等，还可依据市场价格、矿山寿命和边界品位得出不同的利润指标。例如澳大利亚艾萨山矿建立的采矿方法数学模型，可以确定各种设计参数的每吨矿石成本，并分析设计参数与成本之间的密切关系，从而选择最优方案[31]。

利用计算机监控采矿作业，进一步实现自动化。这在前面各节的叙述中已有不少实例。近年芬兰研制的Minecon计算机监控系统能在矿山大气中检测和控制多达768个元件装置，并测定像氧、一氧化碳等气体的含量参数，自动控制排水、照明、通风、胶带运输机等设备，也可对设备不正常状况的发生和发展及时发出警报。

应用计算机进行计划管理，例如瑞典布利登有色金属公司建立计算机系统中心，在所属各矿山和总公司等地装有终端装置。数据经转输线传送到中央信息处理机，在这里建立数据库，以供管理目的和研究之用。计算机设计功能有：编制商业供应和采购计划、选择矿山合理布局、编制矿山勘探、生产和运输计划、预维修计划以及管理通讯等。

应用计算机发展地质统计学，用克里格法对矿块作出评价，并进而对矿化特征进行概率计算。

加强设备维修以提高设备可用率是矿山管理工作的另一项重要任务。国外不少矿山设有强大的维修部门，具有与采矿部门和选矿部门同等的职能权力。他们建立了良好的检查记录制度（包括司机班前检查和维修工定期检查）；对司机进行严格的操作与安全培训工作；应用计算机编制计划、进行材料与供应的检索、维修费用数据处理和维修档案资料处理等工作，近年来不少地下矿山采用“逐步油样分析的发动机保养法”取得显著成效。该法定期采取油样进行光谱分析以确定柴油污染或变质情况、发动机金属部件磨损程度及以发现过热、定时不当，冷却系统破裂等故障。据报道采用该措施的矿山可成倍地提高发动机寿命，延长换油时间。如美国扬（Young）矿以前一年多一点时间便要大修一次发动机，采用该法后两年多不需大修；新市场（New Market）矿换油间隔时间从100小时倍增至200小时；米列肯（Milliken）矿铲运机的发动机的正常运转时间从7000小时提高到13000小时，换油时间从120小时延长到180小时[32,33]。此外有的矿山还应用了计算机进行发动机和发电机的校准和调整的程序，使这些设备的轴承故障几乎完全杜绝。

开展矿山节能的研究，这是七十年代以来举世瞩目的重大问题。国外矿山一方面着眼于加强能源管理，提高利用效率，以降低产品的直接能耗。例如进行宣传，提高职工节能的责任感，杜绝跑、冒、滴、漏等浪费能源的现象；培养人才，建立能源科学管理队伍；安装计量仪表，完善监测手段；加强用电管理，提高功率因数，控制峰值负荷；加强压风和通风系统及设备的管理；编制能量平衡，实现能源计划管理等。另一方面改革现有的工艺及设备，强化采掘过程，以降低采矿综合能耗。例如合理选用节能型采矿方法；研制与推广节能型采掘设备，如上述液压凿岩机、电动铲运机、坑内破碎-胶带运输机组、坑内架线式摩电汽车等；回收利用低温余热，如井下回风余热及压风机冷却水余热等。与此同时，进一步加强科研工作，探索新的节能技术（如探索新的岩石破碎方法）和寻求新的廉价的能源等。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

保持矿山通讯的通畅与准确是现代矿山科学管理重要的一项任务。对露天矿来说，采用无线电通讯已有很长的时间，也是很成熟的技术。但地下矿的无线电通讯还是近十来年科研工作者努力的结果。目前采用载波信号、编码器以及增音装置，可选择地呼叫井下流动的、带有袖珍接收器的工人，也可利用全呼性能，使所有人员同时得到通知；采用由帽灯电池供电的小发射机，向地面发出信号，使在井下因事故而被围困的矿工能与地面取得联系；采用井下工作区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线上，使无线电信号能传送到井下其它部分或地面，因而可为工作区的流动矿工提供双向通讯。由于通讯联络及时，加强了管理工作，因而促进了矿山生产效率的提高。

参 考 文 献

1. Richard Hoppe: «E/MJ Operating Handbook of Mineral Surface Mining and Exploration», 1978.

2. «Совершенствование техники подземных рудников СССР», Издательство Наука, 1981, 57～66.

3. U.S.Department of The Interior: «1978～1979 Minerals Yearbook» , 1980.

4. "Mining Activity in the Western World", «Mining Magazine», 1983, Vol. 148, №1.

5. "International Mining Survey", «Mining Magazine», 1971, Vol. 125, №3.

6. "萨西洛尔——法国主要铁矿开采公司之一" «国外金属矿采矿», 1982年第11期。

7. Stan Dayton: "Boliden Takes a Quarrying Concept Underground at One of Europe's Larger Lead Mines", «E/MJ», 1981, №2.

8. W. A. Hustrulid: «Underground Mining Methods Handbook», 1982.

9. "High productivity at Udden Mine Where much New Equipment is tested", «World Mining», 1977, №10.

10. Richard A. Thomas: "Underground Mining Equipment: Flexibility and productivity are Still the Watchwards", «E/MJ», 1978, №6.

11. "Trackless Mining", «Mining Magazine», 1975, №1.

12. "Feeder-Breakers at White Pine Copper", «E/MJ», 1980, №4.

13. "Initiation of Explosives——Some recent Innovations", «Mining Magazine», 1981, №5.

14. "Novel Initiating System for Blasting Explosives from Nobel's". «The Mining Enigineer», 1981, Vol.140, №234.

15. "Underground Mining", «Mining Conges Journal», 1978, №2.

16. 瑞典采矿研究基金委员会："瑞典第一次大规模采矿试验研究"，«国外金属矿采矿»，1982，第10期。

17. G.K.Jorgenson："垂直漏斗后退式采矿法述评" «国外金属矿采矿»，1982，第7期。

18. Steven T.Mitchell: "VCR Stoping Proves Successful af Homestake", «Mining Engineering», 1980, №11.

19. I. Hansagi and L. Hermansson: "Sub-level Snrinkage Caving", «World Mining», 1979, №5.

20. "Raise Drilling", «E/MJ», 1981, №2.

21. N.E.Norman & J.H.Dye: "The Economics of Mechanical Raise Boring", «Mining Engineering», 1981, №3.

22. C. F.Smith: "Blind Hole Raise Boring", «Mining Congress Journal», 1980, Vol.66, №6.

23. Dravo Corp: «Analysis of Large Scale Non-Coal Underground Mining Methods», 1974.

24. "Miami East Project may utilize Dosco Mining Machines in Stopes", «E/MJ», 1982, Vol. 183, №3.

25. H.Burgess & J.G.Taylor: "Tunnel Boring in a deep South Africa Gold Mine", «IMM Transaction», Apr. 1980.

26. L. L. Davis: "美国矿业局研究改进地下金属矿和非金属矿的开采技术"，«国外金属矿采矿»，1982年，第4期。

27. D'Arcy A.Shock: "Solution Mining", «Mining Engineering», 1977, №2.

28. P.A.Jonason: "先进的运输系统在地下矿的应用"，«国外金属矿采矿»，1981，第2～3期。

29. A.Lawson: "控制井下柴油机排放物的进展"，

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

《国外金属矿采矿》，1982年第8期。

30. Milton T. Pana: "Operation Research", «Mining Engineering», 1972, №2.

31. P.K.Chatterjee & G.D.Just: "Cost Analysis for the Design and Operation of Sublevel Open Stoping", «Mining Engineering», 1981, №10.

32. Bernie Carter: "检验润滑油可使发动机寿命倍增并使维修费用减少"，《国外金属矿采矿》，1982年第3期。

33. Mobil Oil Corp: "进行油分析可延长发动机寿命并节油，"《国外金属矿采矿》，1982年第7期。

34. "Cut-and-Fill Mining at Boliden", «World Mining», 1982, №10.

35. «Mining Magazine» 编辑部："地下矿自行采矿设备调查"，《国外金属矿采矿》，1982年第5期。

36. Н.П.Лебедь："列宁矿及奥尔忠尼启则矿的生产及改建经验"，《国外金属矿采矿》，1982年第5期。

37. Н.Г.Вергус, Ю.А.Петров, А.В.Соболь: "Гипроникель"，«Горный Журнал», 1981, №2.

38. Горный Журнал 编辑部："苏联有色冶金采矿工业六十年"，《国外金属矿采矿》，1983年第6期。

39. Е.Д.Прилипенко: "Развитие Технология Подземнвирозработка Железорудных Месторождений", «Горный Журнал», 1983, №2.

40. "Utilisation des chargeuses-transporteuses et problemes d'entretien en Suède", «Bulletin Technique», 1975, №120.

41. Richard Hoppe: "Amax prepares to Cave Henderson Molybidenum Mine", «E/MJ», 1976, №1.

42. David Martin: "Rapid Mine Development by Anaconda using Hydraulics", «Tunnel & Tunnelling», 1979, №1.

43. "Tunnelling Triumph", «Coal, Gold + Base Minerals», 1981, №3.

44. H.W. Judges, D. R. Shoemaker: "Driving Moly-Corp's Conveyor Decline at Questa", «Mining Engineering», 1980, №6.

45. J. R. Chadwick: "Wester Deeps going deeper", «World Mining», 1981, №3.

46. W. E. Crandall etc: "Disigning Lucky Friday's Silver Shaft", «E/MJ», 1981, №4.

47. J.A.Varoquaux etc: "productivity in the Iron-ore Mines of Lorraine", «Ⅸth World Mining Congress Proceedings», 1976.

48. "Hydraulic Percussive Drills Up-date", «Mining Magazine», 1982, №4.

49. "Latest Developments at Kiruna", «The Mining Journal», 1962, Vol. 258, №6600.

（上接第80页）

（九）中和沉淀物坑内复原技术

实际情况调查（1982年）

沉淀物固化试验（1982年）

（十）其它

大型矿山采空区坑内废水综合治理措施调查（1975年）

松尾矿中和处理新方法等的研究（1975年）

关于中和沉淀物随时间而变化的基础调查（1976～1977年）

关于中和沉淀物脱水的基础调查（1976年）

关于矿山公害预防技术的调查（1976～1977年）

关于中和沉淀物的溶解情况的调查（1977～1979年）

在英国、法国、西德和荷兰进行关于矿山公害预防技术的调查（1975年）

译自日本《鉱山》，1982，
№11，11～21

孟庆仁 译 宋 群 校

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n