

世界黄金开采与开发

—国外金矿地下开采专辑—

(创刊号)

长沙矿山研究院
一九九一年十二月一日

世界黄金开采与开发

—国外金矿地下开采专辑—

主 编 单 位：长沙矿山研究院

编委会主任：黄业英

副 主 任：黄树勋 王爵鹤 常德河

主 编：王爵鹤

副 主 编：姚必鸿 尹慰农 肖通遥

审 校：王爵鹤 常德河 姚必鸿 王维德 周正濂等

责 任 编 辑：肖通遥

序 言

中国黄金学会于1990年11月正式宣告成立。我院承蒙国家黄金管理局和中国黄金学会的厚爱，荣幸地被推选为黄金学会首届理事会的理事单位和采矿学委会委员单位，并派出各一名理事和委员。为了祝贺中国黄金学会的成立，我院将积极参与我国黄金矿山开采与开发的科学研究试验和科技情报服务工作，为我国黄金采矿事业的发展贡献绵薄。

我国黄金矿产资源以脉状矿床为主，规模不大，埋藏较深，绝大多数矿床只能实行地下开采。由于矿床的开采技术条件比较复杂，如矿体赋存形态多变，品位不均，断层较多，节理、裂隙比较发育，有的矿床水文地质条件也很复杂，使矿山生产十分艰难。在这些开采技术条件下，只有加强矿山的技术改造和生产管理，才能大力发展我国的黄金开采事业。

自1975年以来，国家对黄金矿山进行了大规模的技术改造，同时新建和扩建了一批中、小型地下矿山，采掘方法和工艺设备不断更新和发展，并且加速了引进国内外先进技术和装备的步伐，使我国的黄金产量以每年递增10%以上的速度大幅度增长，跃居世界主要产金国的行列，黄金矿山已呈现一派蒸蒸日上的繁荣景象。

为了有助于我国从事黄金采矿生产和科技工作的同志了解国外黄金生产和技术发展状况，我院特开创《世界黄金开采与开发》一不定期内部刊物，并以这期“国外金矿地下开采专辑”作为创刊号。今后将根据需要和可能陆续编印这类专刊。

我院从事金属采矿科研工作已有35年的历史，虽然已积累了一定经验，但在黄金采矿战线上却是一名新兵。今后，我们将以老兵新传的精神，为我国黄金采矿事业的发展作出新的成绩，并热忱期待黄金界同志们的帮助。

中国黄金学会理事
长沙矿山研究院科技处处长 王爵鹤
教授级高工

1991年12月1日

目 录

| | |
|----------------------------------|---------|
| 国外金矿地下开采····· | (1) |
| 薄矿脉开采的中深孔采矿法····· | (14) |
| 天井采矿法····· | (2) |
| 澳大利亚薄矿脉开采的问题和希望····· | (28) |
| 坎农金矿····· | (35) |
| VCR 法在霍姆斯特克金矿的应用····· | (43) |
| 霍姆斯特克金矿长锚索支护的评价····· | (51) |
| 评价充填料质量作为南非金矿选择和研究最佳充填系统的基础····· | (57) |
| 威特沃特斯兰德各金矿减少废石运输、提升和处理的效益····· | (67) |
| 加拿大科恩金矿岩层破坏机理研究····· | (74) |
| 美国Colosseum金矿品位控制和矿体圈定····· | (82) |
| 南非金矿的无爆破开采····· | (88) |
| 水力在深部开采中的应用····· | (94) |
| 水力提升：地下矿延深的一种经济方案····· | (109) |
| 南非、加拿大、澳大利亚、美国、苏联五国一些金矿的概况····· | (112) |

国外金矿地下开采

肖通遥 曹子纯

一、80年代国外黄金生产形势

70年代内的两次（即1973、1978）石油危机和随之而来的通货膨胀，使得黄金价格猛涨，1980年的平均价格已达610美元/盎司。进入80年代后，黄金的价格尽管也有波动，但总的来说是坚挺的。由于黄金市场看好，在全球范围内掀起了空前的黄金热，国外许多矿业公司、投资公司、资源公司和勘探公司纷纷转向金矿勘探和开发。于是，仅80年代内就发现了许多金矿床，其中黄金储量在100吨以上的世界级金矿床就有10几座。

南非、苏联、美国、澳大利亚和加拿大是世界五大产金国，这五个国家近年的年黄金产量占世界黄金总产量的80%左右。因此，本文的重点将放在这五个国家的金矿山上。

下面先介绍这五个国家黄金生产的特点和生产情况。

南非 南非是世界黄金的最大产地，曾在1970年创造过1000吨的年生产纪录，占当年世界黄金总产量的2/3。至1985年止，其黄金累计产量突破了4万吨，处理含金矿石量43亿吨，平均金品位9.29克/吨。

南非金矿的特点是：矿体埋藏深度大（现在的采矿活动已在地表以下3000余米的深度范围内进行，有几个已着手投资开发的金矿区，矿脉延伸到4000米以下），厚度小（1~2米），倾角在35°以下；地压和地热问题严重。

由于开采深度越来越大，矿石品位不断下降（1970年创纪录时为13.28克/吨，1988年已降至5.13克/吨），生产成本随之上升，1988年为275美元/盎司，到1989年，有些矿山已超过390美元/盎司。因此，南非的黄金产量不断下降，1989年已降至608吨。有人预测，今后南非的黄金产量只能维持在600吨左右。

苏联 80年代，苏联是世界第二大黄金生产国，但新建投产的矿山不多，原有矿山的资源越来越少，开采品位日益下降，导致其在80年代的黄金产量徘徊于200吨至300吨左右，产量最高的1983年为312吨。在苏联的黄金产量中，来自地下金矿的份额不大。

美国 70年代的美元贬值和黄金价格的猛涨，带来美国208年历史中的第五次“淘金热”。在80年代，金矿已成为美国矿业界的热门，连过去素无勘探和开发经验的公司也跃跃欲试，许多外国公司蜂拥而至。

1980年，美国的黄金产量还只有30吨，截至1984年底，却至少在25个州的500多个矿区生产黄金，产量已逾70吨，其金矿石有50%采自脉金矿。1988年的黄金产量逾200吨，1989年增至259吨，跃为世界第三大产金国。

美国黄金业的腾飞，除众多公司向金矿勘探和开发外，还有三大原因：第一，改进采矿方法，从采矿计划使用计算机软件包到采用新的地下采矿技术；第二，依靠完善的财政计划；第三，开发并应用堆浸技术，这一新技术的应用，使开采品位只及常规法品位十分之一的矿石仍有利可图，从而扩大了可采矿石储量。

尽管到80年代末美国金矿石的平均品位已降至2克/吨以下，由于技术进步，其黄金生产成本仅为223美元/盎司，比其它主要产金国的生产成本都低。

澳大利亚 澳大利亚的黄金业几经衰荣，1980年处于最低潮，只产黄金17吨。从此以后又逐年发展。1988年产黄金152吨，成为世界第四大黄金生产国。1989年猛增到204吨。

80年代澳大利亚黄金生产迅速发展的主要原因是：

1. 黄金价格好；
2. 政府对黄金生产实行优惠政策，免征所得税，西澳大利亚州还可免交资源税；
3. 强化地质勘探，1980—1981~1987—1988年度，私人勘探金矿的投资增长4倍，达到5.81亿美元/年，地质储量中的黄金含量，1984年为560吨，1988年增至1617吨。
4. 采选冶工艺有了很大改进，使劳动生产率提高和成本降低。1900~1988年，尽管金品位已从24克/吨降至4.8克/吨，但劳动生产率已从200吨/人年提高到1540吨/人年，黄金成本仅238美元/盎司。

澳大利亚的采金业是从开采年限不长的近地表矿床发展起来的，但有些金矿却只适于地下开采。随着近地表矿体的逐渐枯竭，今后澳大利亚的金矿石将主要靠地下矿生产。

加拿大 加拿大的黄金产量从1980年的50吨增加到1989年的158吨，已发展成为世界第五大产金国。加拿大现有金矿的品位较高，多在5克/吨以上。但因矿体埋藏较深，绝大部分是地下开采，基建投资和采矿成本较高，使黄金生产成本达250美元/盎司，高于西方国家的平均值（234美元/盎司）。

加拿大有先进的勘探技术和丰富的找矿经验，在1982~1987年执行的一项规模相当大的勘探和开发计划中，5年内使可采矿量的含金储量翻了一番，达到1500吨，按1987年的产量116.5吨计，可开采14年。加拿大采矿业注重发展采矿新技术，70年代初研究出VCR法，80年代又为薄矿体开采设计了天井采矿法。

除上述世界五大产金国外，巴西、菲律宾、巴布亚新几内亚、哥伦比亚、智利和委内瑞拉等国的黄金生产在80年代也有很大发展。采金业的兴旺，使全世界80年代的黄金产量提高了70%。

80年代世界主要产金国的黄金产量（吨）

| 年 份 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 南 非 | 675.1 | 657.6 | 664.3 | 679.7 | 683.3 | 671.7 | 640.0 | 607.0 | 621.0 | 608.0 |
| 苏 联 | 311.0 | 262.0 | 265.9 | 267.5 | 269.0 | 270.0 | 275.0 | 275.0 | 280.0 | 285.0 |
| 美 国 | 30.2 | 42.9 | 45.0 | 60.9 | 71.5 | 79.5 | 118.0 | 154.9 | 205.3 | 259.0 |
| 澳大利亚 | 17.0 | 18.4 | 27.0 | 30.6 | 39.0 | 58.5 | 75.1 | 110.7 | 152.0 | 197.0 |
| 加 拿 大 | 50.5 | 52.0 | 64.7 | 73.5 | 81.3 | 90.0 | 105.7 | 115.8 | 134.8 | 159.5 |

二、90年代黄金供需的预测

根据80年代中期的资料，世界黄金的分配结构是：各中央银行作储备拥有的黄金量、私人拥有的黄金量和珠宝首饰或其它黄金制品的黄金用量约各占三分之一。到80年代末，这种分配结构有了变化，主要是珠宝首饰加工的黄金用量不断增加，仅1989年就增加了23%。此

外，黄金在工业上的应用也增多。

预计，90年代全世界对黄金的要求量将继续增加，原因是：

1. 许多发展中国家的收入提高，越来越多的人购买珠宝首饰。
2. 东欧的经济改革，黄金作为其财政收入的作用将提高。
3. 海湾战争后，中东的重建要求安全和稳定，黄金可促使重新确立贸易和国际间的财务交易。

然而，90年代世界黄金的供应量（产量）预计会有下降趋势，主要原因是：

1. 作为世界头号产金国的南非，由于政策不稳定、矿石品位下降和生产成本不断提高，其黄金产量已在逐年下降，90年代的头一年已降至605吨。

2. 美国尽管其1990年的黄金产量达到295吨（比1989年提高11%）而跃居世界第二位，但许多较易开采的矿体行将枯竭，适于堆浸的矿石开采量越来越少（堆浸是美国扩大可采储量和降低成本的主要技术之一），预计其今后的黄金产量也会下降。

3. 澳大利亚各公司赶在该国从1991年1月1日起实行征收采矿税（39%）以前，于1990年大大加快采矿步伐，生产黄金214吨，比1989年提高19%。但因许多小矿和近地表矿体已将采完，在实行征收采矿税以后，有些矿山将会减产或停产。

4. 近地表矿床越来越少，开采深度越来越大和矿石品位不断下降，这是各国金矿的共同特点，而这些都是促使生产成本提高的关键因素。1990年，共同市场（MEC）国家黄金生产平均成本提高了4.2%，加上金价的波动，必将使黄金生产受到影响。

根据以上供需的预测，90年代世界黄金市场的形势会求过于供。

90年代伊始，有的采矿公司已看准这种趋势，并作出新的决策和安排。例如，历史悠久的美国霍姆斯特克采矿公司于1990年将其铅锌企业和最后保留的油气企业全部卖光，并关闭了其铀矿，回到了单纯的黄金公司。

霍姆斯特克公司之所以敢于进行这样的改组，是因为它在世界黄金市场竞争中处于以下有利地位：

1. 储量和基地大，而且稳定。由于公司能不断地为有效的勘探计划提供资金，所以在80年代最后两年的勘探活动使其金矿含金储量有增无减。

2. 公司的矿山地处美国、澳大利亚、加拿大和智利，矿山地理位置的多国分布，可防止政治风险和不可控制的费用提高。

3. 公司的资金平衡表非常坚挺，几乎无长期债务，现金寸头大，给予了其购买金矿储量的机会和为新工程开发提供资金在财务上的灵活性。这样，它不需要提前销售生产的黄金，保存足够参与坚挺的黄金市场竞争的能力。

4. 技术先进。公司从1899年起就开始应用溶浸技术并不断发展，使金的回收率从75%提高到94%。在70年代末期，霍姆斯特克金矿通过试验采用了VCR法，使采矿劳动生产率提高到平均为35吨/工班。

当然，在预测的90年代的形势下，黄金市场有竞争能力的绝非霍姆斯特克采矿公司一家。有些善于开发新技术的公司和资源条件较有利的公司，他们也将发展黄金生产。有些公司，如澳大利亚的一些公司，在本国不利的条件下，正试图向国外寻找金矿基地。

三、国外地下金矿开采技术

国外金矿的特点是：地下矿多，脉状矿床多和中小型矿多。1983年从地下矿采出的矿量就已占总采出矿量的64%。由于已知近地表矿床行将枯竭，一些露天矿超过开采深度极限而转地下和越来越严格的环保限制，今后地下金矿将是黄金生产的主要矿石源。

然而，由于矿石品位不断下降，开采深度逐渐加大，劳务费不断提高，以及金价波动等一系列不利因素的影响，要想维持和发展地下金矿开采，就必须设法提高劳动生产率、降低成本和早生产早受益，以适应价格的波动。为此，国外地下金矿在以下方面作了努力，取得了明显的效果。

(一) 斜坡道应用的发展

多数地下矿山传统的运输系统是主运输平巷与竖井提升相联合。这种运输系统可在很大程度上实现自动化，每吨矿石的运输成本低，深部采矿时尤为明显。这种系统的不利方面是：1. 竖井、破碎机、箕斗站和运输平巷的基建投资费高；2. 井巷建设时间长，如一个500米深的竖井提升系统的建设时间为5年左右。投资费用高和建设时间长会给矿山的经济效益以重大影响。

采用斜坡道开拓则有下列优点：开拓时间短，早投产早受益；生产前投资少；生产灵活性大；斜坡道运输系统可根据要求逐步延伸，并根据矿体结构、采矿和岩石力学条件以及最新技术予以调整，使其布置合理；用汽车从斜坡道运输不经过破碎的矿石可大幅度提高经济效益。随着无轨设备在地下矿应用的不断发展，斜坡道的优点就更为突出。因而，斜坡道在地下金矿的应用不断增多。据“加拿大新金矿的设计与生产”一文介绍，加拿大深200米以内的金矿大部分采用斜坡道开拓。

开拓主斜坡道 这类斜坡道用于矿岩运输（主要用汽车运输）和无轨设备出入、通风、人员和材料运输。如果斜坡道与竖井联合，则矿岩从竖井提升，主斜坡道就用作无轨设备出入、通风和人员、材料运输。

采场斜坡道 这种斜坡道用于无轨设备出入采场，现在已广为应用。斜坡道或布置在脉外，或布置在脉内，前者用联络道与采场连通。

(二) 研究试验新采矿方法

为了提高采矿生产率，国外地下金矿无论是厚矿体还是薄体（脉）开采，都在朝深孔采矿法发展。

1. 天井采矿法

天井采矿法是为开采急倾斜薄矿体而研究设计的一种先进的采矿方法。此法的实质是：沿矿体走向划分采场（分条），在采场内用天井爬罐或单轨掘进机组掘进凿岩天井，然后从安装在天井内的天井爬罐或单轨回采机组的凿岩平台上用架柱式凿岩机钻凿水平深孔，然后

自下而上进行分层爆破。一排水平炮孔即为一个分层，每次可爆破1~3个分层。每次爆破的矿石，或部分放出（留矿方案），或全部运出（空场方案），或出矿后进行充填（充填方案），视矿体和围岩的具体条件而定。

根据加拿大多姆金矿和苏联乌兹别克黄金生产联合公司某矿的试验和应用结果证明，天井采矿法有如下明显的优点：

(1) 水平深孔的钻孔精度较高。从多姆金矿试验时用的检查天井观测结果来看，深13米的水平深孔基本上落在预定位置。这样有助于减少围岩崩落造成的矿石贫化。

(2) 水平深孔落矿的采矿生产率高，上述两矿的试验结果都比浅孔留矿法提高一倍左右。

(3) 作业安全。在天井采矿法的留矿方案中，工人基本上无需在暴露的采场顶板下作业，从而实际上在回采过程中可消灭约70%的事故源。空场方案和充填方案的凿岩爆破作业同样在天井内进行，这比在暴露的采场顶板下作业更为安全。

(4) 机械化程度高。天井采矿法的留矿方案和空场方案的回采工作机械化程度分别达79%和82%。从天井掘进到水平深孔凿岩爆破的回采过程，都利用全套机械设备，即：加拿大用天井爬罐系统，苏联用单轨采掘机组（包括KIIB-6型掘进机组、KOB-25型回采机组和IIB-1000型辅助提升机），大大改善了工人的劳动条件。还由于此法无需在每个分层准备工作平台，不必平整暂留矿石堆面，大大减少了工人的手工劳动量，从而可提高回采劳动生产率。

(5) 可降低采矿成本。如以浅孔留矿法的采矿成本为1，天井采矿法的采矿成本只0.51。

基于上述优点，苏联把单轨采掘设备应用于天井水平深孔回采视为矿块上向分层落矿采矿法（留矿法、空场法、充填法）发展史上新阶段的开始。

2. VCR法在地下金矿的应用

VCR法是加拿大工业公司与国际金属公司合作为开采国际金属公司利瓦克铜镍矿一矿柱而设计的。这是一种作业安全的大规模地下采矿法，其回采工艺包括：从采场切顶层沿矿体倾斜向下部水平拉底空间钻凿直径165毫米的平行深孔；然后测孔和堵塞孔底，从上部向炮孔预定位置装填预定量的炸药和爆破，每次爆破向拉底空间爆破一个或两个水平分层；从拉底层或拉底层以下的放矿点出矿。

美国霍姆斯特克金矿在其矿石品位下降和成本提高的情况下，于70年代后期开始试验VCR法。通过小型试验后，1979年正式采用VCR法开采上部水平的低品位矿块，并取得成功。此后，大量高品位采场也用VCR法开采。到1983年，VCR法在霍姆斯特克矿已发展成为一种十分完整的采矿方法，其采出矿量已占该矿地下总采出矿量的60%。

业已证明，用VCR法开采霍姆斯特克矿倾角大于 60° 、矿量超过5万吨的连续矿块是卓有成效的，劳动生产率平均达35吨/工班。该矿在大矿块采用VCR法取得成功的基础上，又用此法开采小矿块。据已采完的5个采场的统计资料，劳动生产率达到平均33.5吨/工班，采矿平均成本43.3美元/吨。

然而，VCR法也有其固有的缺点，最主要的是装药工艺复杂，每爆破一次都要先行测孔和堵孔，然后才能装药和填塞。测孔和堵孔很费时间，若是前次爆破形成的新顶板凹凸不

平, 则下一次爆破确定各孔的装药量就更费事。

3. 采用中深孔采矿法开采薄矿脉

目前, 在薄矿脉(体)开采中研究并应用中深孔采矿法具有十分重要的意义, 因为:

(1) 薄矿脉开采仍然是本世纪黄金生产的主要矿石源, 为了保持和提高薄矿脉开采的竞争能力, 采用高生产率的采矿方法是主要手段;

(2) 已经发现和圈定大量次经济矿床, 需要提供生产率高和成本低的采矿方法, 才能使开采这类矿床有利可图;

(3) 薄矿脉采场用的大功率自行式凿岩设备现在可以买到, 为深孔采矿法的应用提供了有利条件。

这里所述的薄矿脉中深孔采矿法, 规定矿体厚度小于2米, 从分段巷道钻凿直径小于80毫米的平行炮孔, 每排不多于3个炮孔。根据矿体规则性、岩层稳定性和钻孔可能达到的精度范围布置分段巷道。分段巷道间距6~20米。矿块高度与分段间距密切相关, 通常一个矿块最多设计4条分段凿岩巷道, 所以矿块高度不大于80米。矿块长度受生产率、矿石品位和是否要留永久矿柱等因素的限制。已知的最大采场长度为105米。在正常情况下, 从采场一端的切割天井后退式回采。

加拿大有十多个金矿采用过或正在采用这种采矿法, 根据各矿的经验, 认为薄矿脉中深孔采矿法的生产率高, 但矿体应具备以下三个基本条件:

- (1) 矿脉倾角大于 50° , 以便矿石能自溜;
- (2) 矿脉连续性好, 规则;
- (3) 上、下盘稳固, 不致因帮壁塌落造成采幅内的矿石贫化。

4. 改进采矿方法

前面已述, 中深孔采矿法的生产率高, 但有其适用条件。对于不具备要求条件的矿山, 则是对原用方法的改进, 以达到提高生产率的目的。下面介绍一种下向梯段法的改型方案。

博茨瓦纳马普诺拉金矿对下向梯段法的改进很有成效, 其改型方案很具特色。

该矿的矿脉厚度为0.5~1米, 品位变化很大, 矿脉倾角 65° , 矿石和围岩稳固。矿山设计生产能力为6600吨/月。

下向梯段法的改进方案是将段高50米的采场分成三个分段, 每个分段用下向梯段开采。在最下一个分段的采准工作完成后, 即先从该分段进行回采。当其第一个梯段工作面推进10米后, 中间分段开始同时进行回采, 而中间分段的第一个梯段工作面推进10米后, 最上一分段也开始同时进行回采。爆破矿石经漏斗装入轨轮矿车。

这种回采方式的优点是: 降低了回采工作面的空顶高度, 安全性好; 一个采场有三个分段的工作面同时进行作业, 提高了回采强度; 回采工作面的矿石能自动溜放; 回采灵活性大, 如果岩石条件差或遇有夹层和品位变化时, 无论采用混采或分采, 均不影响其它工作面的回采作业。

5. 矿柱回采的独特方法

澳大利亚北罗亚尔金矿有一房柱法开采的残留区, 面积约1平方公里, 矿体的倾角 20° ~

45°，有些矿柱的金品位达50~60克/吨。为了安全地回采这些矿柱，采用了一种独特的方法，即用人工石膏矿柱作临时支护。

人工石膏矿柱的构筑方法是：在原矿柱间的空间用粗钢筋和粗麻布围起，形成石膏矿柱的边界，向围内输送烧石膏（取自附近盐湖底的天然石膏，用电厂废热煅烧）。在输送烧石膏时，向输送管道喷口加水，形成石膏浆体充填空区，很快就可形成坚固的熟石膏矿柱。试验证明，石膏矿柱的抗压强度可达20兆帕。

石膏矿柱形成以后，则以后退式回采高品位矿柱。

（三）凿岩爆破工艺的改进

不管采用何种采矿方法，凿岩爆破的成败将是决定采矿生产率、采矿成本、矿石损失率和贫化率等技术经济指标优劣的关键因素。在脉金开采中，降低贫化率和粉矿产出率（从而减少富矿粉的损失）极为重要，加上矿体薄，故对凿岩爆破的要求就更为严格。现将国外地下金矿在凿岩爆破工艺方面的改进概括如下：

1. 采用平行密集束状深孔崩矿

苏联乌兹别克黄金生产联合公司某矿在厚度0.6~3.5米的薄矿体开采中，进行了沿走向垂直分条崩矿新工艺的工业试验。结果表明，在预定一次爆破的一段矿体中，分散均匀布置的大直径炮孔爆破时，实际采幅总要超过设计值的15~35%，在距工作面3~7米的采空区上、下盘经常有大块岩石冒落，不合格大块产出率有时达10~12%，粉矿产出率高达10~30%。

采用平行密集束状深孔代替分散大直径深孔，爆破效果大为改善。密集束状深孔优于分散大直径深孔之处在于：可增加药包的表面积及其与介质的接触面积，减少单位侧表面积炸药量，并可使各个相邻药包的强烈破碎区部分重合；可改变爆破能作功形成的强烈破碎区的形状和单位脉冲的大小，改善能量在预定破碎岩体中的传递条件，发生爆破波的相互作用和改变所产生的应力波参数；大大减小爆破的超爆作用，脉石混入率降低了75%，而且采矿区平整得多，从而可减少矿石的二次贫化；改善破碎质量，-5毫米粒级的矿石减少40%，从而减少采场的富矿粉损失。

2. 提高钻孔精度

钻孔精度是各种深孔采矿法成败的重要因素之一。炮孔偏斜过大，不仅爆破破碎质量不好，还会造成围岩崩落而增加矿石贫化。

为解决炮孔偏斜，采取了以下措施：

（1）改进凿岩设备及工具

在潜孔钻机上加计算机控制装置。计算机通过保持旋转头的方向及钻头恒定的推力来控制钻孔角度，以及优化炮孔直度。

以钻管取代钻杆。钻管的外径比钻杆外径大，具有更大的抗弯强度，从而可减小钻孔偏斜。例如，用直径45毫米的普通钻杆，每米钻孔的偏斜为25毫米，而用直径87毫米的钻管，相应的偏斜仅10毫米。所以，无论是潜孔钻进还是液压凿岩机钻凿深孔，都在发展应用钻

管。

为解决液压凿岩机钻孔偏斜和排碴问题，芬兰Tamrock公司和瑞典Secoroc公司合作，成功地研制出钻管凿岩系统。该系统是在功率大、机械化程度高的Tamrock新的深孔钻机系列基础上，加进了Secoroc独具特色的新系列管式钻杆和柱齿钻头。孔径最佳范围为89~127毫米，钻孔深度达55~60米而偏斜很小，相比之下，普通钻杆的实用最大钻孔深度只为30~35米。

(2) 从同一段巷道钻凿上向孔和下向孔

有些金矿采取从同一段巷道钻凿上向孔和下向孔的办法，既可减小炮孔偏斜，又可加大分段高度。上向孔的深度为12米左右，下向孔不大于20米。

3. 合理排列炮孔和确定起爆顺序

对于薄矿脉而言，爆破时确保采场帮壁不剥落极为重要，因帮壁剥落会造成不可接受的矿石贫化。为防止崩落上盘围岩，有的矿山是从炮孔排列入手。如以每排3个炮孔为例，加拿大多姆金矿的经验是将中间那个孔偏离中点布置，即离上盘远些，并首先起爆这个炮孔。靠上盘那个炮孔最后起爆，这样它就可有充分自由面的情况下爆破，可使上盘得到保护和减少爆震引起的剥落。至于靠上盘那个炮孔的位置，有的矿山布置在矿体与围岩接触线上，另有的是布置在要求的爆破面靠里0.1~0.2米处。

4. 爆破监测

为了获得合适的爆破破碎块度，国外地下金矿采用了爆破监测技术。

最新的爆破监测仪表及监测技术，已能测定峰值质点速度、起爆速度、每个起爆药包的性能和药包起爆的实际时间。通过爆破监测获取的经验、分析数据和对影响爆破性能的了解，为修改爆破设计参数提供合理的基础资料。

5. 降低炸药密度

在有保持岩层稳定、减少帮壁剥落造成矿石贫化等要求的矿山，采取在铵油炸药中加聚苯乙烯颗粒的办法以降低其密度，即降低起爆速度。采用这种混合物炸药，可获得与不偶合装药的同样效果，而且费用较低和需要较少的劳动量。铵油炸药的起爆速度约为3300米/秒，用50%铵油炸药与聚苯乙烯颗粒的混合物，其起爆速度约为2600米/秒。起爆速度较低，将降低起爆压力和炮孔压力。峰值质点速度与起爆压力成正比，而在给定点测量的峰值质点速度是岩体会在该点遭受破坏的征兆。因此，采用降低密度的铵油炸药将减小爆破对周围岩体的破坏。

(四) 机械化开采

国外地下金矿为了提高采矿生产率，竭力发展机械化开采。机械化开采的一个明显特点是发展无轨设备。像条件恶劣的南非各金矿，1986年以来无轨化的发展也相当迅猛，仅1987年一年就购进200台铲运机和50台台车，分别占西方当年这两种产品产量的24%和17%。

大孔径深孔钻进的潜孔钻机发展了微机自动控制装置（如加拿大研制的GD-60型潜孔

机)，生产率高、钻孔精度高。瑞典研制的Simba 269型遥控潜孔钻机配备有计算机控制系统和电视监视系统，一人可控制4台钻机钻孔，台班效率达80米，钻孔精度高。这为发展高生产率的深孔采矿法提供了有利条件。

浅孔和中深孔凿岩普遍采用凿岩台车，其中有单机的，也有双机和3机的；有风动的，也有电动-液压的。现在的趋势是发展全液压的凿岩设备。

手持式液压凿岩机可钻凿直径22~32毫米的炮孔；重型液压凿岩机可钻直径98~127、127~178、178~254毫米的深孔。

第三代液压凿岩机配有后冲阀尼阀，可利用钎杆的回弹能量推动活塞后退，从而提高了冲击频率和工作油压；钎尾推力轴承采用液压平衡式，以消除凿岩机反冲产生的推力波动和内部零件的振动；活塞长而重，形状有利于应力波的传递；可根据岩石条件改变冲击频率和冲击能量；配备双高压蓄能器，减少了隔膜的断裂；采用中低压系统，抗灰尘能力强。

目前的液压凿岩机，已可工作1000小时不拆机。钻具寿命较第二代有很大提高，钻凿砂岩和片麻岩时，钎杆寿命提高到15000米，钎尾23000米；钻凿极硬岩时，钎杆寿命达3000~5000米，钎尾6000~10000米。

南非与瑞典阿特拉斯公司合作研制的低结构的Stomec H25-2型全液压双机凿岩台车，凿岩劳动生产率比手持式凿岩机提高10倍以上。

由于液压凿岩设备可比风动凿岩设备节能60~75%，凿岩速度提高50~100%，工作环境好（噪声10~15分贝、无油雾、工作面可见度高、粉尘少），易根据岩石条件不同调节冲击频率和冲击能以及易实现自动化，所以近几年发展应用相当快。

为了适应薄矿体（脉）开采的需要，Bask公司研制的TMU200微型台车宽仅1.2米，质量2.5吨，配一台70公斤的凿岩机，既可用于掘进和采矿，又可用于钻凿上向锚杆孔，一机多能。

采场装运普遍采用各种类型的铲运机（或与汽车配套）。国外有人把铲运机的应用称之为实现了采矿机械化，可见铲运机在机械化开采中的地位。铲运机的斗容一般为0.38~4.6米³，最大的6米³，最小的0.2米³。

铲运机出矿，运距较小时，由铲运机直接将矿石运至放矿溜井；运距大时，配用载重量20~30吨的汽车运输。

除了主要采矿作业发展机械化外，辅助作业也在发展机械化。辅助设备发展的特点是品种不断增多和多功能化。

采矿机械化发展的一个新特点是设备制造厂家推出成套设备。如埃姆科公司推出的一种快速拆卸系统，提供40多种附属装置，使铲运机既用作装载，又用来运输人员、材料和设备，以及进行凿岩、锚杆等作业。瑞典巴斯克公司研制出的浮石清理和锚杆联合机组，两个单独支臂用快速连接装置换装在同一底盘上，换装时间不超过10分钟。辅助车辆更是采用通用底盘，可换装箱斗、容器、座椅、升降台、臂架等多种装置，作多种用途（运输人员、材料和设备的车辆，维修车，管道、电缆敷设车，加油车，喷锚支护车等等）。

（五）地下废石留作充填料的设想

尽管国外地下金矿在朝生产率高的中深孔和深孔采矿法发展，但充填法仍是主要采矿法

之一，特别是在开采向深部发展和像南非这种深矿井开采情况下，地压大、岩石破碎，充填法将起重要作用。因此，将废石留在地下作充填料的设想特别有吸引力。

节省废石运输、提升和在地面处理的费用，加上充填法（节省坑木和不丢弃矿柱）和机械化的应用所获得的利益，可能对最低可采品位产生有利影响。降低可采品位，意味着以前认为不具有开采价值的低品位矿区将可以开采，但为获得同样的计划金属量，则要求增加矿石产量。将废石留在井下，可在原有竖井提升能力的情况下增加矿石提升量，因此不加大提升能力也可满足生产要求。

地下废石源主要是脉外掘进废石和回采时与矿石混杂的废石。在南非威特沃特斯兰德金矿区，大约有一半的矿山其脉外掘进废石量占采场落矿量的30%以上。对于多数矿山而言，唯一充足的废石源是回采时与矿石混杂的废石。

南非对现有地下破碎站（破碎产品为-5毫米）目前生产成本和基建费用的估算，每吨充填废石约5美元，大大低于经济分析得出的无盈亏成本。据试验分析，粗碎废石的充填质量要比迄今由地面尾砂制备的非胶结充填料的充填质量高得多。因此，对于矿石品位较低的矿山，将废石留在地下作充填料的理由是非常充足的。

四、新技术开发

1. 无爆破采矿

传统的各种采矿方法都用爆破崩落矿岩，因此，回采过程中不得不采用循环作业，这使采矿生产率和工作面推进速度都受到限制。为解决这一问题，国外研究了一种新的采矿技术，即无爆破采矿。

无爆破采矿可连续进行，从而使回采工作面能够达到较高的推进速度；每班的上班时间可错开，有利于缓和井下运输和竖井提升的紧张状况；产生的细颗粒较少，可在工作面分出废石并用于充填，减少工作面废石运输，还可提高金的回收量；改善岩层和环境控制，有利于在更大深度进行开采；大大改善作业条件。

无爆破采矿系统由装有液压冲击器的采矿机和运输矿岩的刮板运输机组成。

典型的冲击式采矿机由工作机构、液压泵站和缆车组成。实际长度一般约6.5米。采矿机沿导轨移动。

整个采矿系统必须实现三个主要功能：（1）用液压冲击器破碎工作面的矿岩；（2）将破碎下来的矿岩装到工作面运输机上；（3）运输机将矿岩运出，并卸入集矿巷道。

在南非深矿井的情况下，矿岩裂隙间距一般小于500毫米，冲击器的设计按破碎0.5米厚的岩层考虑，冲击能取4000焦耳，工作频率选为3赫兹。

据南非矿山公会研究机构进行的初步试验结果，头一个月的开采速度为215米³（单班作业），第二个月为256米³，平均235米³。

根据试验结果，已着手研制更先进的采矿系统。新系统有类似于现有采矿机的简单运动机构，但用一连续齿条-齿轮牵引机构取代现用的油缸顶杆-凸轮牵引机构。驱动采矿机的液压介质改为净水。不用电动-液压泵站而改为水力，有可能使采矿机的尺寸大大缩小，并且还有减少采矿机费用和系统复杂性等附加优点。

已经确定谨慎的试验性能指标：冲击器的冲击能为4000焦耳，工作频率5赫兹；额定开

采速度为 $5\text{米}^3/\text{小时}$ ，或 $300\text{米}^3/\text{月}$ （以单班作业、每月工作150小时、采矿机利用率为40%计）。预计工作面需10名工人，如要在工作面进行分选，则增加2人。

2. 水力在深部开采中的应用

南非许多金矿已在很大的深度进行开采，随之而来的是地压和温度问题越来越大。矿井深部岩石断裂破碎及风压低，使凿岩机及其它回采设备效率低，有时风压低得妨碍了设备性能的发挥。因此，生产成本不断提高。南非矿山公会以其矿山和采矿公司的名义，通过一项系统的研究和发展计划，正致力于解决这些问题。

用水作动力的构想

从矿井冷却的观点出发，由通风改为用水作主要的冷却介质是合理并允许的。当矿井加深时这更是必要的，因为热量集于巷道内以及从地面进来的空气压缩加热，向地下巷道供给的冷却空气就要愈加依赖于地下制冷站。相比之下，水可在地面制冷厂更有利的条件下冷却，并通过对冷却能力损失不大的隔热管道输送到工作面。当水输送到矿内时，它可获得能量。这种水与自由下落的水不同，通过管道输送的水，每1000米垂高可形成10兆帕的静水压力。用水作动力的构想，就是以送入矿内的冷却水所获得的静压为动力来驱动采矿机械。

据估计，对于开采深度大于1500米的工作区，水力可得压力是符合驱动回采设备一般需要15~20兆帕要求的；从冷却的要求来考虑，可得的水量也足以满足主要回采设备的需要。此外，高压水网路所有管件和控制元件均可从市场买到，尽管还不是所需要的理想形式。

据此，南非矿山公会研究机构接着进行了两方面的工作：其一，以克鲁夫矿为基地，利用其整个竖井系统，设计了成套装备的水力系统。其二，设计并建成了半工业性试验的水力系统，从安装、调试和生产中获取实践经验。半工业性试验系统还可提供鉴定设计方法和试验专为水动力应用而研制的各设备、装置的机会。

主要设备试验结果

两台以乳化液作动力的凿岩机使用了45个班，钻凿了深1.2米的炮孔共1300个，平均凿岩速度与其它金矿用电动-液压凿岩机的凿岩速度相同。

用耙矿机辅之以手持式水射流清理装置清理了总计5143吨矿石，小时清理速度比单用耙矿机高29.2%（包括耽误）和13.1%（不包括耽误）。

用增压器以22兆帕水压架设水力支柱的试验进行了27个班。还直接用水力管路中17兆帕左右的水力架设支柱，对上盘状况或支柱保持定位的能力无任何不利影响。

从1984年开始的14个月半工业性试验，表明水动力在技术上可行和经济上合理。与风动凿岩相比，凿岩速度快1倍，直接成本估计可降低10~40%，总经营费降低20%。

到1988年底，南非已有5座金矿在生产采场中使用乳化液驱动的凿岩机。克鲁夫矿则已有一个采场完全应用水力采矿，并已安排了两个采区应用水力，预计最终全矿将有40%的矿量由水力设备采出。

3. 水力提升

除上述开发水动力技术外，南非有的金矿和国外其它地下金属矿山也正在研究水力提升。水力提升的提出基于以下两点：

(1) 在采矿工业中，将细颗粒矿石制备成矿浆是常规处理矿石的一部分。因此，从系统的观点出发，从工作面到最终加工，矿浆输送将视为一种普通方案。

(2) 地下矿往往有大量的地下水需要排出地表，若排水系统与水力提升系统合二为一，那么与其它输送固体矿物至地表的运输方式相比，地下水排出地表所需的动力费就可从提升费中减去。

在目前情况下，矿石用常规方法采出，然后用水力提升至地表。典型的流程如下：

井下贮矿仓→破碎→湿式粗磨→贮矿浆搅拌池→泵送（水力提升）→地面受矿浆搅拌池→选厂。

在采用水力提升的情况下，地下废石的运输系统选择，主要视处理量大小而定。处理量大，可分批磨碎，直接泵送至尾砂池，或留在井下作充填料用。处理量小，或用汽车运去充填，或运至地表。

水力提升的泵送要素，如泵送速度、能耗量、泵的类型及数量、管道布置等，都是以泵送矿浆产品及其粒级分布和磨蚀性等资料为基础进行设计。

据瑞典A.塞尔格伦教授等人的研究，不同运输方式的相对投资费和生产费用对比如下：

| | 水力提升 | 竖井机械提升 | 斜坡道汽车运输 |
|-------|------|--------|---------|
| 相对投资费 | 1.0 | 2.8 | 0.8 |
| 相对生产费 | 1.0 | 1.3 | 8.0 |

注：假设水力提升所需的全部用水可从井下获得。

从上面对比资料看出，水力提升是一个经济的运输方案，如结合前面所述的水动力的应用，其优点就会更加突出。

五、总 结

在国外黄金生产中，地下金矿已经是，将来更加是主要的矿石源。

开采深度不断加大，矿石品位逐渐下降，使生产成本提高，给维持和发展地下金矿的开采带来越来越大的困难。面临这些困境，国外地下金矿采取了以下对策。

1. 尽量采用高生产率的采矿方法。厚矿体开采朝大量落矿的大直径深孔采矿法发展，薄矿体（脉）开采在发展深孔分段法和研究出水平深孔落矿的天井采矿法。对于只适于生产率较低的充填法和浅孔留矿法的矿床，则靠发展机械化开采以提高生产率和降低成本。

2. 改进回采工艺。凿岩在采矿生产过程中所占工时和成本的比重最大，又是影响爆破效果和矿石损失贫化的关键因素。因此，提高凿岩生产率和钻孔精度至关重要。为满足这种要求，设备制造厂家研制出高效率的潜孔钻机和液压凿岩机，大大提高了凿岩生产率。凿岩设备带自动控制装置和配用管式钻杆，大大提高了钻孔精度。凿岩设备和工具的改进，为发展各种深孔采矿法提供了有利条件。

在薄体开采的分段法中，为了减少采准工程量，加大分段高度而又能保证钻孔精度，采

用了从同一分段巷道同时钻凿上向孔和下向孔的办法。

为解决围岩崩落造成矿石贫化问题，研究了合理的炮孔排列和起爆顺序，以及采用降低密度（加聚苯乙烯颗粒）的铵油炸药。

进行爆破监测，依据监测结果不断改进凿岩爆破参数，提高爆破破碎质量。

3. 注重岩石力学研究。岩石力学研究的目的在于查明采矿诱生应力产生的岩层破坏机理，以指导采矿设计和研究确定岩层控制及加固方法，从而最大限度地提高矿石回采率、采矿生产率和经济效益，保证作业安全。

4. 大力发展机械化开采。采矿机械发展的特点是：无轨化、大型化、微型化和液压化。也就是说，大型矿山的凿岩、运输设备朝大型化发展；小型矿山（或薄矿脉）的开采设备朝微型化发展。

5. 开发新技术。迄今，国外地下金矿开采已经应用和正在研究的新技术有溶浸技术、无爆破采矿、水动力的应用和水力提升。

溶浸技术的发展历史比较长，但至今还只用在矿石和废石堆浸方面。溶浸技术的发展应用，可降低矿石开采品位和生产成本，这对今后地下金矿维持生产和发展是很重要的。

无爆破采矿、水动力和水力提升这三种技术，有的还处于研究试验阶段，有的（水动力）已进行了半工业性试验和局部生产应用。从试验结果看，这些新技术在经济上是合理的，技术上是可行的（尽管不是所有矿山皆是）。作者认为，纵观这三种技术，以水为横线，可牵动连续采矿和连续运输，形成以水为动力的地下矿综合开采系统。这种系统的实现，将是深部地下矿开采的一大革命。

（参考文献另附）