

探索矿山开采技术的第三次变革

非金属矿山开采

>>煤炭是大自然赐予人类的宝贵资源。我国的煤炭资源储量丰富，截至到 2015 年底，我国煤矿数量多达 1.08 万处，其中年产 120 万吨以上的大型煤矿 1050 处。

>>然而我国煤田地质构造复杂，自然灾害多发，安全高效的煤炭开采技术对于煤炭行业的转型发展至关重要。

视频链接：<https://v.qq.com/x/page/d0323ad3x1c.html>

主讲人：**何满潮**：中国科学院院士、中国矿业大学（北京）深部岩土力学与地下工程国家重点实验室主任

采掘比例失调、生产接替紧张一直是困扰煤矿生产组织和安全管理的难题。如何提高煤炭开采的安全性、降低成本、提高开采效率是我国煤炭科研工作者的探索方向。

中国工程院钱鸣高院士提出了以砌体梁理论为基础的 121 大煤柱工法，中国科学院宋振骐院士提出了以传递岩梁理论为基础的 121 小煤柱工法，引领了我国煤炭开采领域的两次技术变革。每一次采矿技术的变革都让我国的煤炭开采利用效率大幅度提升。

何满潮院士提出的无煤柱自成巷开采技术 110-N00 工法是我国煤炭开采技术第三次变革的典型代表。它创造性地实现了采煤和掘进过程的统一，将传统的一面双巷道变成了一面单巷，取消了区段煤柱，实现了无煤柱开采。

金属矿山开采

1、地下矿山的智能化

目前世界上地下矿山都在追求高效、安全，所以机械化水平、自动化水平不断在提

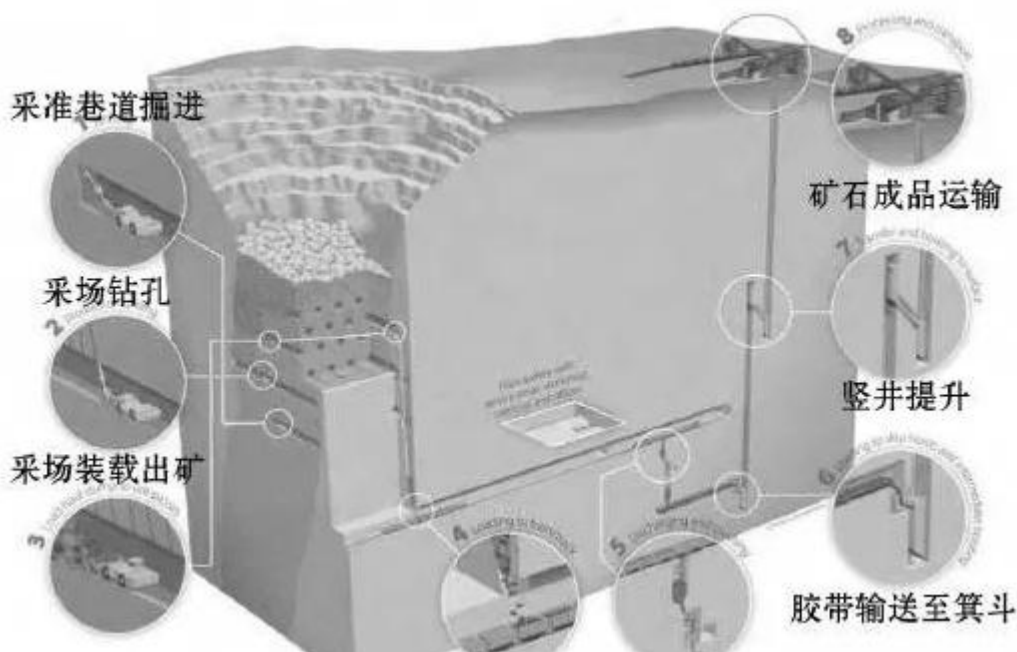
高。以瑞典基律纳铁矿为例。基律纳铁矿以产高品位（含铁率超过 70%）铁矿石著名，是目前世界上最大的铁矿山之一。其铁矿开采已有 70 多年的历史，现已由露天开采转为地下开采。



基律纳铁矿智能化主要得益于大型机械设备、智能遥控系统的投入使用，以及现代化的管理体系，高度自动化和智能化的矿山系统和设备是确保安全高效开采的关键。

1) 开拓

基律纳铁矿采用竖井+斜坡道联合开拓，矿山有 3 条竖井，用于通风、矿石和废石的提升，人员、设备和材料主要用无轨设备从斜坡道运送。主提升竖井位于矿体的下盘，到目前为止，采掘面和主运输系统已经下移了 6 次，目前的主要运输水平在 1045m 水平。



2) 钻孔装药及爆破

巷道掘进采用凿岩台车，台车装有三维电子测定仪，可实现钻孔精确定位。采场凿岩采用瑞典阿特拉斯公司生产的 SimbaW469 型遥控凿岩台车，孔径 150mm 最大孔深 55m 该车采用激光系统进行准确定位，无人驾驶，可 24h 连续循环作业。年崩矿量可达 300 万 t。

3) 矿石远程装载和运输与提升

基律纳铁矿采场凿岩、装运和提升都已实现智能化和自动化作业，凿岩台车和铲运机都已实现无人驾驶。

矿石装载采用山特维克/汤姆洛克生产的 Toro2500E 型遥控铲运机，单台效率为 500t/h。井下运输系统有胶带运输和有轨自动运输两种类型。有轨自动运输一般由 8 列矿车组成，矿车为连续装、卸载的自动化底卸车，胶带输送机自动将矿石从破碎站运送到计量装置中，与竖井箕斗完成装载和卸矿，整个过程均为远程控制。

4) 遥控砼喷射技术支护加固技术

巷道支护采用喷锚网联合支护，由遥控混凝土喷射机完成，锚杆和钢筋网安装使用锚杆台车。



遥控混凝土喷射机

2、溶浸技术应用日益广泛

目前在回收低品位铜、金矿石、铀矿等已广泛采用溶浸技术，在溶浸技术中有原地浸出、堆浸和原地破碎浸出三大类。

美国、加拿大、澳大利亚等国家处理 0.15%-0.45%低品位铜矿石，2%以上的铜氧化矿石和 0.02%-0.1%的铀矿石基本上都采用堆浸和原地爆破浸出回收。

以美国为例，美国采用原地爆破浸出铜的矿山就有 20 多个。如内华达州的迈克矿，亚利桑那州的佐尼亚铜矿日产铜均在 2.2t 以上，蒙大那州的巴特矿和铜皇后分矿日产铜金属为 10.9-14.97t，美国溶浸铜产量占总产量的 20%以上，黄金产量超过 30%，铀产量绝大部分也来自溶浸采矿。



3、深部开采技术

随着资源量不断的减少，目前采矿的深度越来越深，采深到 1000m 以下，带来了许多在浅部采矿没遇到的困难和问题，如地压增大，岩温增高，矿山的提升、排水、支护、通风等方面的困难也随着增大。

| 深井矿山常见问题 | |
|-----------|--|
| 提升能力 | 开采深度增大，首先碰到的就是矿井的提升能力问题，目前的提升机一次提升最大高度已超过 2000m。如加拿大一次提升的最深矿井—克赖顿镍矿 9# 竖井，已深达 2172m；南非斯坦总统金矿的一条竖井已达 2310.4m。目前提升设备能力已完全能满足大型深井矿山的要求。 |
| 岩温和通风降温 | 个矿山开采深度增大，岩温也随之增高，如日本丰羽铜锌矿在 -600m 水平（大约距地表 1200m 左右）岩层温度已超过 100℃，但世界许多国家规定井下温度不能超过 28℃。深井矿山普遍采用加大井下通风风量和对井下空气进行冷却降温，即采用风冷和水冷两种方式，两者中选用其一还是两者兼之，除了设法降低气温的同时，也要重视减少井下机械设备的散热量，井下柴油设备的散热和井下制冷设备本身的散热问题。 |
| 地压管理和采矿方法 | 一般深井矿山都要建立一套完整的地压测量和监控系统，它直接关系到采矿生产能否顺利进行和生产成本高低，岩爆是深井采矿中可能碰到的突出问题，为了预测岩爆，许多矿山都在井下安装了微震监控装置，例如美国日照银矿就在 2254m 水平安装了微震监控装置，进行 24 小时监控。 |

我国现阶段的非煤矿山的开采深度一般都不超过 700-800m，但近年已有一些埋藏深度达 1000m 左右的矿床正在开发，铜陵有色金属公司所属的冬瓜山铜矿床、金川二矿区就属于其中。

| 排名 | 矿山名称 | 深度/m |
|----|----------|------|
| 1 | 河南灵宝金鑫金矿 | 1600 |
| 2 | 云南会泽铅锌矿 | 1500 |
| 3 | 云南六苜铜矿 | 1500 |
| 4 | 吉林夹皮沟金矿 | 1500 |
| 5 | 秦岭金矿 | 1400 |
| 6 | 红透山铜矿 | 1300 |
| 7 | 东峪金矿 | 1300 |
| 8 | 潼关中金 | 1200 |
| 9 | 玲珑金矿 | 1150 |
| 10 | 冬瓜山铜矿 | 1100 |
| 11 | 湘西金矿 | 1100 |
| 12 | 阿舍勒铜矿 | 1100 |
| 13 | 三山岛金矿 | 1050 |
| 14 | 金川二矿区 | 1000 |
| 15 | 山东金洲矿业集团 | 1000 |

4、矿山环保工作与综合治理

在国外尤其是发达国家，对矿山环境都采用综合治理的措施。对矿山排出的废水、废气、废渣及粉尘、噪音等均有严格的技术标准，许多低品位的矿山，因环保治理费用太大，而无法建设和投产。

目前国外还强调建立无废料矿山和洁净矿山，德国鲁尔工业区瓦尔斯姆煤矿就是成功的例子，用洗煤厂的煤泥和煤发电燃烧后的煤灰和破碎后的井下废石加入水泥经活化搅拌，用PM泵打到井下充填空区，矿山不向外排任何固体废料。

5、充填采矿技术应用日趋广泛

根据情况不同，采用不同的充填料。

| 不同情况下的充填料类型 | |
|-------------|---|
| 区域性支护 | 用优质的刚性充填料，减少弹性体积闭合和产生岩爆的危害 |
| 岩层控制 | 对充填料质量要求不严格，但要求大范围充填，且充填后不应收缩 |
| 多矿脉采矿 | 对充填料的要求是较低的应力状态下，充填料应是刚性的，以便使岩层变形位移保持最小 |
| 环境控制 | 为保证封闭住上盘以免风流通过采空区，要求充填料不收缩，进行大面积充填 |

目前充填要考虑的问题：

- ①要集中力量形成实用而可靠的系统。要研究和开发有效的充填技术，使充填作业和采矿作业循环有效的结合。要重视充填系统的管理工作。
- ②研究可使现有系统达到优化设计的技术，研究构成优质充填料的粒级分布，研究在水力旋流器和破碎方面已有所改进的充填料制备工艺流程，研究用于优化充填料的输送技术如压力损失、磨损、腐蚀以优化充填系统总体设计。
- ③加强对充填料的制备、输送、充放和受载变形过程的定量认识，为安全、稳定、高效的采矿奠定基础。

目前国际上用的充填工艺有：水砂充填、干式充填、高水固体充填、水力充填(高浓度自溜输送)、全尾砂膏体自溜充填及全尾砂膏体泵送充填。目前国际上推荐的是全尾砂膏体泵送充填。



目前，加拿大已有 12 座矿山应用高浓度膏体充填，南非和澳大利亚也有新建的膏体充填系统投产。新的充填工艺将可以更好地满足保护资源、保护环境、提高效益、保证矿山发展的要求。充填采矿在 21 世纪的矿业发展中将有更加广泛的前景。

6、大洋多金属核采矿

多金属结核赋存于 3000-5000m 左右深的海底。要开采就必须要有可行的采矿方法。因此世界各国均把发展可靠的采矿方法放在优先位置，并对此进行了大量的试验研究，有的甚至还进行了深海中间采矿试验。从 60 年代末至今，国际上已开发和试验了的大洋采矿方法主要分为连续链斗(CLB)采矿方法、海底遥控车采矿方法及流体提升采矿方法三类：

(1)连续链斗(CLB)采矿方法：该方法是日本人 1967 年提出的。该方法较简单。主要由采矿船、拖缆、索斗和牵引船组成。按一定间隔，把索斗系于拖缆上并放入海底，拖缆在牵引船的搬运下带着索斗做下行、铲取和上行动作，这种无级绳式循环运转就构成了连续采集环路。

CLB 的主要特点是能适应水深的变化保持正常作业。但 CLB 法的产量只能达 100t/d. 远达不到工业开采的要求。因此，CLB 采矿法于 70 年代末被放弃。

(2)海底遥控车采矿方法：该方法主要是由法国人提出的。海底遥控车为无人驾驶潜水采矿车，主要由集矿机构、自行推进、浮力控制和压载四大系统组成。在海面母船的监控下，采矿车按照指令潜入海底采集结核，装满结核后浮出水面并到母船接受仓卸下结核，海面母船通常可控制数台采矿车同时作业。

该方法采矿系统投资大，产品价值不高，在几十年内没有经济效益情况下，法国大洋结核研究开发协会已于 1983 年停止研究，但这种采矿车的采运原理被视为有前途的采集技术。

(3)流体提升采矿方法：目前国际上较为认可的是流体提升式采矿方法，且最具有工业应用前景。该方法是当采矿船到达采区后，将集矿机和提升管接好并逐步放入海船集矿机用于采集海底沉积物中的结核并进行初步处理，以水力或气力提升方式使管内的水以足够的速度向上运动，将结核输送到海面采矿船上。



随着 21 世纪人类开发利用海洋的到来，大洋采矿技术显得尤为重要。现代高新技术的发展为大洋资源开发铺设了桥梁，它的形成和发展将对世界海洋经济、文化及人类海洋意识产生积极深远的影响。

关于国外矿山的采矿技术发展趋势除了前述的六个方面以外。还有自然崩落采矿技术日趋完善，应用也在不断扩大，另外在凿岩爆破也有大量的新技术涌现，矿山岩石力学与工

程已经作为一个独立的学科。在矿山的建设和生产中发挥越来越大的作用。

随着工业的发展，对矿物资源的需求在不断的增加，目前不管是发达国家和发展中国家都把占有资源、开发资源做为战略性措施来考虑，因此在开采上涌现了大量的高效、安全、低成本的采矿技术和方法，需紧跟先进技术的步伐，开发好资源。

注：文章来源于矿业汇、科技前沿大师谈，由采矿工程平台整理