第二篇

矿山测绘技术在矿山开采中的应用

第一章　矿山开采总论

第一节　采矿与采矿学

一、采矿

开采矿产资源的过程和作业叫采矿。采矿工业是一种最基本的原料工业，它的活动必然会增加社会的物质财富。

本《采矿手册》涉及的采矿活动范围包括黑色金属、有色金属、放射性元素、化学工业原料与建筑材料等金属和非金属矿物的开采。

矿床的开采方式分为三大类型。第一类为露天开采，它需要先将矿体上覆的岩土剥离，然后开采矿体。硬岩矿物的露天开采多采用台阶式机械化开采。砂矿也常用露天开采，它包括台阶式机械化开采、水力机械化开采、采砂船开采等方法。第二类为地下开采，用于开采剥采比过大或者地表需要保护因而不宜于采用露天开采的矿床。它需要从地表掘进井巷到达矿体然后采矿。根据采场地压管理的特点，地下采矿方法可分为空场采矿法、充填采矿法，和崩落采矿法三种。第三类为特殊开采，它包括溶浸、水溶、热熔、盐湖采矿和海洋采矿等。

矿床的开发过程如图 2－1 所示，包括采前工作和采矿生产工作两部分。本书着重对采矿生产工作的方法和工艺进行了详尽的阐述，而对采前工作特别是探矿工作只作简要介绍。

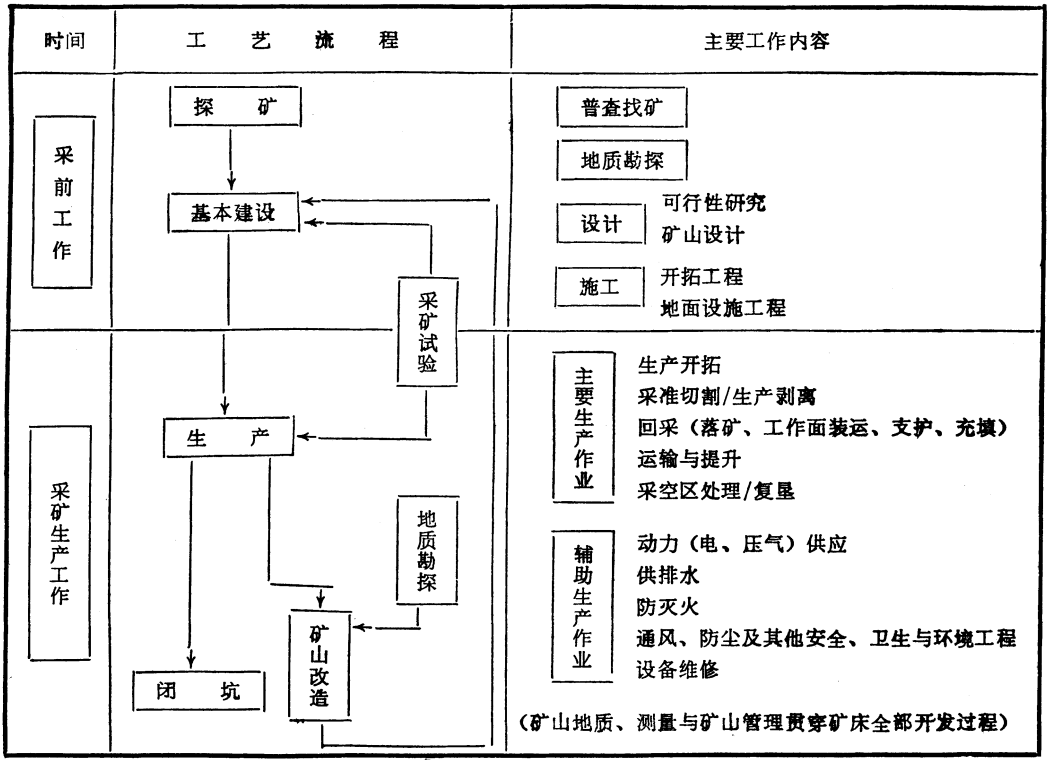

图 2－1　矿床开发过程

采矿工业发生产过程和生产环境，与其他工业相比，具有下列特点：

(1)矿山建设的地点为矿床产地所决定，矿址不象工厂厂址可以自由选择，而是往往要在交通、水源、动力、生活等外部条件非常不利的地点建矿，因此矿山建设的外部设施工程量大，投资较多，周期较长；且矿山的生产年限，受工业储量的限制，一般比工厂的为短，闭坑时还会带来许多善后处理问题。但采矿工业除了矿山生产时直接创造巨大的经济效益之外，还会带来繁荣地区经济、缩小城乡差距等一系列社会效益。

(2)采矿作业需要经常为自己准备生产条件。它不象工厂生产，一经建成，在一相当长时间内生产能力可保持不变；而是通过回采作业，每天都在消失生产能力。因此，一个矿山需要经常进行开拓和采矿准备工作，不断创造或补充生产能力；为了保持矿山正常生产，必须使开拓、采准、回采等工作的强度互相协调，并使开拓和采准保持一定的超前关系。否则，如露天矿不及时进行剥离和掘沟，地下矿不及时进行开拓和采准切割，就会造成采掘(剥)失调，迫使矿山减产。

(3)各矿山的矿床地质赋存条件复杂多样，开采条件互不相同；即使在同一矿山这些条件也因地而异；加之采矿作业的工作面不象工厂的工作场地固定不变，而是每时每日

都在随着作业面的推进而变换地点，这更增加了矿山作业条件的多变性。因此，必须加强生产矿山的地质勘探工作；矿山开采的方法和工艺必须多样化，因地制宜，合理采用，而不应强求一致，推广某一特定技术；矿山企业在矿山开采的各过程中都必须加强采矿试验研究工作，还必须随着矿山的日益延深与扩大（这种延深与扩大往往导致采矿作业日益艰难，成本日益增加）而进行及时的矿山改建或扩建。只有这样，才能适应矿山作业条件的变化，不断提高生产效率，降低成本，增加产品的竞争能力。

（4）采矿生产过程只有矿石的破碎与搬运，不可能提高其有用矿物的含量。相反地由于开采时不可避免地会混入废石而使矿石贫化，同时有部分矿石不能采出，损失于地下。某些非金属矿（如石墨、云母、水晶、金刚石、石棉等）在采矿过程中还会破坏其晶体，使产品的使用价值降低。因此，降低矿石的贫化率和损失率，保护特定非金属矿产的晶体，是采矿生产中重要的质量要求。

（5）采矿作业受客观自然条件的限制，尤其是地下采矿，更是如此，故在当前，采矿还是一种劳动量较大，工作条件不良，安全性差，实现综合机械化和自动化较困难的工业。因此更应特别注意安全作业，改善劳动保护和环境条件，对开采有放射性的矿床尤其应重视防护工作。

由于上述特点，使矿山管理工作更加复杂化。因此加强科学管理，提高矿山工作者的管理水平，比其他任何工业更为重要。在这方面可挖掘的潜力是很大的。

二、采矿学

采矿学是研究有用矿物开采的理论、方法、工艺及管理的一门应用性科学。尽管很早以前采矿就为人们提供了衣食住行的原料，但以前人们只是把采矿视为一门技艺，自从本世纪以来，由于将数学和物理学等自然科学的成就应用到采矿各过程，一些重要的采矿技术和经济问题得到定量的科学解答，特别是矿山岩石力学、矿内空气学、爆破力学、矿山系统工程等方面取得重大的进展，因而形成了与矿山生产相关的从地质至采矿工艺技术以及经济、生态等方面结合起来的一门独立的科学。它主要的研究内容有：

（1）矿山地质与测量。研究金属和非金属有用矿物矿床的成因、产状、赋存条件等，矿山工程地质与水文地质，生产勘探技术与工艺，矿山测量，矿产储量评价、保护与监督等。

（2）矿山岩石力学。研究岩石的物理力学性质、原岩应力及矿床开采中发生的力学过程，地下开挖空间与露天边坡的稳定性，地压显现规律和围岩与支护相互作用原理，岩层的加固与支护方法，地表沉降，岩层移动和岩爆等的预测及控制等。

(3)岩石破碎及工艺。研究岩石的可钻性、可爆性和可切割性以及它们对于破碎能耗和效果的关系,不同岩石条件下最优凿岩爆破参数,爆轰动力学和爆破地震学,井巷钻进与炮孔凿岩的技术与工艺,工业炸药的研制及其性能测定与有效利用,岩石破碎新方法等。

(4)矿山建设方法与工艺。研究大规模土石方工程的工艺与技术,井巷与硐室的施工工艺与技术,通风、排水、供气、供电、照明等系统的管线敷设的工艺与技术,矿山地面设施的施工工艺与技术等。

(5)露天开采方法与工艺。研究露天矿总体设计理论,露天剥离、掘沟与采矿相互关系的理论,露天矿生产规模与采装设备合理配套的理论,露天开采工作过程的工艺与技术。露天砂矿开采方法与工艺等。

(6)地下开采方法与工艺。研究地下矿总体设计理论,地下矿开拓、采矿准备和回采相互关系的理论,地下矿生产规模与采装运设备合理配套的理论,地下采矿方法合理选择的原则,地下采矿工作过程的工艺及技术,放矿理论,降低采矿作业的矿石损失与贫化的途径等。

(7)特殊采矿方法与工艺。研究不同矿物在特定的物理、化学或生物作用下的特性;研究对不同矿床溶浸、水溶、热熔的技术及工艺;研究盐湖的开采技术及工艺;研究探海底部沉积矿床和热液矿床的开采工艺与技术,海底基岩下矿床的特殊开采工艺及技术,海滨砂矿的特殊开采工艺与技术以及海水中采取有用矿物的工艺及技术等。

(8)矿山机械化与自动化。研究矿山采掘与运输等机械设备的特殊要求与工作机理;矿山生产过程机电设备最优配套,矿山开采过程自动化遥控与监测的理论和装置,综合机械化与全自动化的理论与装置,矿山设备维修制度与工艺以及设备更新的理论等。

(9)矿山系统工程与管理工程。研究矿山开发过程的优化;研究电子计算机在矿山设计与作图,工艺过程控制以及计划与管理等方面的应用;研究矿山计划、组织与管理;研究矿床经济评价、工业指标、采矿技术经济分析以及矿床开采综合成本分析等。

(10)采矿安全与卫生工程。研究矿山火灾、水患、岩石冒落、爆破事故等的发生原因及其防治;研究人机工程学及自动控制技术,减少人为工业事故;研究矿山作业产生的有害因素对矿工健康的影响及有害因素的监测;研究以通风为主要手段的综合预防措施;研究职业病的发生原因及预防措施。

(11)矿山环境工程。研究矿区大气污染物的控制原理、净化措施与大气质量评价;研究矿山废水与酸性水的形成机理与防治措施,矿山水的循环应用和地下水资源的保护;研究矿山噪声源的控制和噪声的测定与综合治理;研究矿山废石和尾矿的治理及综

合利用 ;研究矿山地面保护、复垦工程和恢复景观等。

第二节　采矿工业对人类及社会经济发展的重要意义

矿产品是发展和建设社会物质文明的关键和基础。从史前到现在,它一直在为人类的衣食住行及其他必须品提供着原料。其作用之大和影响之深,只要从人类学家和历史学家都以对矿物的利用采命名人类文明发展的各个阶段——旧石器时代、新石器时代、青铜器时代、铁器时代以及目前的原子时代——就可以显而易见了。所以许多历史学家和人类学家都高度重视矿产品对于人类进步和社会经济发展的重要作用,指出‘ 人类的进步是以利用矿物的能力来衡量的 ”、“ 现代人类几乎是完全依赖矿物王国而生存 ”、“ 在工业文明的发展中,矿产品被认为是人类的主要物质原料 ’等等。这些赞扬之词,对矿物来说是并不过分的这是因为：

(1)采矿工业是许多工业的基础,它为许多工业提供原材料。

首先,采矿工业是冶炼和加工工业的基础,它为冶炼和加工工业提供原矿石。没有采矿,冶炼及加工工业也就成为无米之炊。

经冶炼及加工后的金属原材料是建筑工业、运输工业、通用机械工业等赖以存在的基础。以重量计,金属总消耗量中的 90%以上是钢铁。几乎所有大型建筑物是钢结构或钢筋混凝土建成的,它约占钢的消耗量的 30%。钢铁是车辆、船只和其他运输工具的主要材料,年消耗量占钢铁总量的 1/4 以上。通用机械工业耗用钢材总量的 20%。此外如石油、天然气和化学工业所用的容器、管道以及食品工业的罐头盒等耗用的钢铁数量亦很大。为了改进钢铁的质量,还需要锰、镍、铬、钼、钴、钨、钒、钛、铌、钽等金属以制成特殊钢或合金钢等。

每年铝的消耗量有 1/4 以上用于运输工业,1/6 用于建筑工业,10%左右用于电气工业,1/3 以上用于包装工业。

近年铜的消耗量有一半以上用于电气工业,1/5 用于通风机械工业,1/6 用于建筑工业,10%左右用于运输工业。

锌的消耗量有 1/3 用于建筑工业,20%用于运输工业,20%用于电气和机械工业。

几乎有 60%的铅耗用于电池、电缆包皮、保险丝等电器工业上。

建筑工业需要大量的非金属矿物,石灰石、粘土、石膏是生产水泥的主要原料 ;高岭

土用于制白水泥、面砖、油毡、屋面材料；花岗石、大理石等用作饰面材料等。

近四分之一世纪以来，许多新兴工业迅速发展，虽然有的金属（如钢铁等）或矿产品可用化学合成物质来代替。但矿产品的作用不是因此而降低了，相反地由于新兴工业的发展，要求矿产品的品种更多了，数量更大了。

在化学工业上需要大量的铅板和铅管用作制酸设备的部件；在制造无机化学产品硝酸、过氧化氢和有机化学产品乙烯、苯胺等时需要铂族金属作催化剂；合成纤维工业、石油化学工业以及制碱工业的反应塔、蒸馏塔、热交换器、阀门等设备与部件需要含钛金属的材料；钨用于制酸工业的过滤器和离心机；汞的硫酸盐是制乙醛的催化剂；生产橡胶时需要含镁、锌或硒等物质作硫化促进剂或硬化剂等等。

在石油工业上，作为钻井用的泥浆加重剂，耗用了世界上绝大部分生产的重晶石；石油精炼需要大量的铼、稀土金属、天然碱；此外还需钾的化合物作航空汽油的热处理和铂族金属作优质航空汽油的催化剂；四乙铅加在汽油内可起到防爆作用。

在电子工业的设备部件上，每年要耗用大量的纯金（美国约占全国金的耗用量的20%，日本高达30%）以及银、钽和铍、镉等的合金或化合物。铯合金、钛粉和锂等用于吸收真空管中的微量气体；锗和硅是重要的半导体材料；云母是电气器材的重要绝缘材料。

在电影、电视以及无线电传真工业上，用铯制的光电池是其重要部件，稀土金属用作电影机的自热炭精，特别是其中铕与钆是制造彩色显像管不可缺少的原材料，镉是电视和无线电传真的光电管的重要材料，铊可作红外光作用很灵敏的光电管，硒主要用于制造整流器、光电管、讯号装置、谐振放电器以及电视元件，无氧铜用来制造超高频电子管，锌可制微晶锌板供传真之用。

在核工业方面，铀和钍是最重要的原料；硼、镉、铪和某些稀土元素（如钆）是重要的控制材料；石墨是常用的慢化剂；铍是制成减速器很好的材料；锆、铝或镁的合金是反应堆重要的结构材料；此外镍、钛、铌、钒等合金在核工业中都有重要的用途。

在航天工业中需要铍作宇宙飞船和火箭的保护壳及一些部件、飞机的圆盘制动器等；铍也是火箭与喷气式飞机的高能燃料的添加原料；钛和锆的硼化物制成陶瓷金属可用来生产火箭的喷嘴和燃料室的内衬等；锂-6是火箭和新型喷气式飞机的重要燃料；碘可作火箭燃料的添加剂；金属铯粉可作离子火箭发动机的推进剂；渗银的钨用以制造火箭固体燃料的喷管；钼、镍、铬、铂、铋、钽、锆、铼等金属或合金都是制造火箭、飞机等有关部件的重要材料。

在轻工业方面，陶瓷、釉和玻璃等工业耗用大量的砂岩、硅砂和长石；约有一半的硒用于玻璃及颜料等制造业；硼也是主要用于玻璃、陶瓷、釉以及肥皂与清洁剂等产品；钛

矿石用于制造颜料、釉及玻璃等；镉有一半左右用于油漆及涂料；锌、锑、铅、钴、锂、稀土、萤石、重晶石等在制造陶瓷、玻璃、颜料、染料、油漆或釉等轻工业方面每年都有较大的消耗量；此外铅锑锡合金以及铋等是印刷活字的重要材料；食品罐头及涂料筒每年耗用的锡将近锡全部耗用量的 1/3。

农业三大化学肥料的主要原料除一部分氮肥可取自空气中的氮以外，其余的都来自采矿工业；此外如用硫制硫酸铵肥、白云岩制钙镁磷肥与粒状化肥等。砷的化合物用于除草剂、植物干燥剂以及木材防腐剂等；铜、锌的化合物以及萤石制的氟化物等都是重要的杀虫剂；汞化合物可作种子媒染剂；铀在农业上利用其放射性同位素研究植物光合作用、施肥效果等。

在医药方面，有不少西药是靠矿物原料制成的，即使中药也采用矿产品，如石膏、辰砂、雄黄、雌黄、磁石、明矾等。美国和日本牙科用的金要占他们国家每年金消耗量的 10%以上，美国在牙科以及其他医疗方面用的铂占其年消耗量 15%，骨科用的金属材料有镍铬不锈钢、钴铬钼合金以及钛合金等。众所周知，钴、镭等放射性同位素还是治疗癌的重要手段。

在安全与环保工程中，近年日益采用锑的化合物作防燃剂。美国 1985 年在这方面用的锑竟占该年美国锑的总耗量的 60%。铂作为汽车净化排放物的催化剂，用量增长极快。石棉一向被认为是防火、隔热、隔音的重要材料。

(2)采矿工业在国民经济中占有相当重要的地位。采矿工业在国民经济中所占的地位虽然随着近年来许多新兴工业的发展而有所下降，但它仍然是许多国家国民经济的重要支柱。

我国自解放以采，矿业得到迅速发展。1985 年矿业总产值(包括燃料)约 600 亿元，居世界第四位。虽然它在我国工业年产值的比重中只占 7%，但以这些初级产品为基础的原材料工业及有关加工工业的产值却占工业年产值的 60%。因此，矿业已成为我国社会主义经济的重要支柱。我国矿业对积累资金、发展国内经济，作出了较大的贡献。由于我国工业发展速度较快，还须进口不少矿产品，但也有许多矿产品可供出口，对平衡外贸收支起到了重要的作用。

在国外，美国 1985 年金属和非金属矿产品(不包括燃料)总产值为 240 亿美元，经加工成原钢、粗铜、水泥与化肥等产品后，产值达 2440 亿美元。加拿大 1983 年金属和非金属(不包括燃料)矿产品的年产值达到全国人口平均 435.6 加元/人。澳大利亚、巴西、玻利维亚、南非、赞比亚、博茨瓦纳等国家都是以矿产品的出口为其经济的重要命脉，分别占全国出口总额的 44～95%，并为各国人民提供了就业的机会。

矿业对社会发展所起的作用是显而易见的。欧洲 17 至 18 世纪时的工业革命与取自美洲丰富的矿产资源是分不开的。美国 19 世纪初从卡罗来纳州、佐治亚州逐步向田纳西州、新墨西哥州开发黄金，最后于 1848 年在加利福尼亚州发现最大的金矿床，出现世界上著名的“黄金热”，因而引起了美国西部的迅速开发与繁荣。澳大利亚的大力开发，始于 19 世纪中叶，是加利福尼亚黄金热的继续。我国象鞍山、本溪、攀枝花、铜陵、白银、金川、个旧等城市的建设与繁荣，也完全是由于开发了当地矿产资源。

(3)矿产品是巩固国防的重要战略物资。矿产品特别是金属矿产品是重要的战略物资，这是人所共知的。军舰、大炮、坦克、飞机，需要大量的钢铁和各种镍、钼和钨、铬、钒、钛等金属及其合金；核装备少不了铀、稀土金属和石墨复合材料等；制造枪弹和炮弹需要黄铜、铅、砷、锑等合金；镁、锂、锆、锶等还是制造燃烧弹、照明弹等的重要原材料；压电水晶广泛用于自动武器、超音速飞机、导弹、核武器等的导航与遥控设备；蓝石棉具有防丙种射线和净化原子污染空气的用途，等等。所以自古以来，不少战争起因于争夺矿产资源，而每个屹立于世界的独立国家更需要发展矿业，以巩固国防，增强抵御外侮的能力。我国于 1958 年起开发铀矿，依靠自己的力量，在 1964 年爆炸了第一颗原子弹，1967 年爆炸了第一颗氢弹，1970 年第一艘核潜艇下水，目前我国已拥有一支战略核武器威摄力量，为保卫我国国防，保卫世界和平起到了重大的作用。

第三节　当前世界主要矿产品的产销情况

一、世界主要矿产品的产量

表 2－1 列出 1981～1985 年世界主要金属矿物和非金属矿物的年平均产量。为了对比，也列出了 1951～1955 年的年平均产量，可以看出：

(1)在过去 30 年中，总的来说，所有矿产品的产量都有增长，其中金属矿产品以钒、铂族金属和铝土矿增加最快，1981～1985 年的平均年产量分别为 1951～1955 年的平均年产量的 9.22 倍、7.89 倍和 5.46 倍，也即是年增长率分别达 7.7%、7.1%和 5.8%；其次为菱镁矿、镍和钼等矿产品；再次为铁、铜、钴、铬、锌、锰、铋、银、铅等矿产品；锑、汞、锡、金、钨等只稍高于 50 年代初期的生产水平。

表 2－1　世界主要矿产品 1981～1985 年年平均产量及其与 1951～1955 年年平均产量的对比

矿产品名称	1981～1985 年矿山平均年产量(t)	80 年代初主要生产国家或地区	1951～1955 年矿山平均年产量(t)	1981～1985 年平均年产量为 1951～1955 年平均年产量的倍数
金	1.380×10^{3}	南非、苏联、加拿大、美国、中国	1.076×10^{3}	1.28
银	1.201×10^{4}	墨西哥、秘鲁、苏联、美国、加拿大	6.693×10^{3}	1.79
铂族	2.136×10^{2}	苏联、南非、加拿大	2.706×10^{1}	7.89
铜	7.967×10^{6}	智利、美国、苏联、加拿大、赞比亚	2.812×10^{6}	2.83
铅	3.345×10^{6}	苏联、美国、澳大利亚、加拿大、秘鲁、中国	1.969×10^{6}	1.70
锌	6.266×10^{6}	加拿大、苏联、澳大利亚、秘鲁、墨西哥	2.685×10^{6}	2.33
锡	2.224×10^{5}	马来西亚、泰国、印尼、玻利维亚、中国、苏联	1.902×10^{5}	1.17
汞	6.616×10^{3}	苏联、西班牙、中国、美国、阿尔及利亚	5.723×10^{3}	1.16
锑	5.326×10^{4}	中国、玻利维亚、南非、苏联、墨西哥	4.990×10^{4}	1.07
菱镁矿	1.456×10^{7}	苏联、中国、朝鲜人民民主共和国、奥地利、希腊	4.010×10^{6}	3.63
铝土矿	8.005×10^{7}	澳大利亚、几内亚、牙买加、苏联、巴西	1.466×10^{7}	5.46
铁	5.115×10^{8}	苏联、巴西、澳大利亚、中国、美国	1.771×10^{8}	2.89
锰	8.329×10^{6}	苏联、南非、巴西、加蓬、中国、澳大利亚	3.600×10^{6}	2.31
镍	7.079×10^{5}	苏联、加拿大、澳大利亚、新加利多尼亚、印尼、古巴	2.005×10^{5}	3.53
铬	2.729×10^{6}	南非、苏联、阿尔巴尼亚、津巴布韦、土耳其	1.086×10^{6}	2.51
钴	2.831×10^{4}	扎伊尔、赞比亚、苏联、澳大利亚、新加利多尼亚	1.125×10^{4}	2.52
钨	4.466×10^{4}	中国、苏联、南朝鲜、玻利维亚、澳大利亚	3.203×10^{4}	1.39
钼	9.112×10^{4}	美国、智利、加拿大、苏联、秘鲁、中国	2.812×10^{4}	3.24
钒	3.208×10^{4}	南非、苏联、中国、芬兰、美国	3.478×10^{3}	9.22
钛	2.850×10^{6}	澳大利亚、加拿大、南非、挪威、苏联	1.104×10^{5}	2.59
铋	3.957×10^{3}	澳大利亚、墨西哥、秘鲁、日本、美国、中国	1.905×10^{3}	2.08
锂	2.277×10^{3}	苏联、津巴布韦、中国、美国、巴西	不详	
稀土金属	3.97×10^{4}	美国、澳大利亚、中国、印度、苏联	不详	
铀(含 U_3O_8 量)①	5.781×10^{4}	苏联、加拿大、美国、南非、澳大利亚	不详	
重晶石	6.517×10^{6}	中国、美国、苏联、墨西哥、印度	2.041×10^{6}	3.19
硼(含 B_2O_3 量)	9.367×10^{5}	美国、土耳其、苏联、阿根廷、中国	不详	
萤石	4.581×10^{6}	墨西哥、蒙古、苏联、中国、南非	1.216×10^{6}	3.77
磷矿石	1.409×10^{8}	美国、苏联、摩洛哥、中国、突尼斯	2.800×10^{7}	5.03
钾盐矿(含 K_2O 量)	2.712×10^{7}	苏联、加拿大、民主德国、联邦德国、法国	6.105×10^{6}	4.44
硫磺	5.210×10^{7}	苏联、美国、加拿大、波兰、中国、日本	2.456×10^{7}	2.12
石膏	7.814×10^{7}	美国、加拿大、法国、伊朗、西班牙、中国	2.719×10^{7}	2.87

矿产品名称	1981～1985年矿山平均年产量(t)	80年代初主要生产国家或地区	1951～1955年矿山平均年产量(t)	1981～1985年平均年产量为1951～1955年平均年产量的倍数
石墨	5.813×10^5	中国、苏联、印度、南朝鲜、墨西哥、奥地利	1.960×10^5	2.97
石棉	4.302×10^6	苏联、加拿大、南非、赞比亚、中国	1.515×10^6	2.84
工业金刚石	7.048×10^0	扎伊尔、苏联、博茨瓦纳、南非、澳大利亚	不详	
云母	2.400×10^5	美国、苏联、印度、加拿大、法国	1.270×10^5	1.89
盐	1.674×10^8	美国、苏联、中国、联邦德国、加拿大	5.987×10^7	2.80

注：各金属矿产品除特别注明者外均为矿山产品的金属含量。

①1983～1984年平均产量。

(2)在过去30年中，非金属矿物的增长速度，总的来说，比金属矿物的增长速度快，如非金属矿产量最大的磷矿石增长了4倍多，其他矿种都增长了1倍以上。

(3)铜和铁的增长速度很近似，其年增长率为3.6%左右。由于这两种矿石占金属矿石总产量的比例极大，故全世界近30年来金属矿石产量的年增长率约在4%左右(考虑到开采品位的下降)，又由于非金属矿物的年增长率超过金属矿物的年增长率，故全世界每年采矿量的增长速度仍然是较大的。

(4)值得指出的是，近30年来亚非拉各发展中国家矿产品产量的增长速度要比发达国家的增长速度为快。例如发展中国家的铁矿石产量从50年代初只占世界产量的16.9%，而到80年代初上升到37.5%，铜的产量从43.6%上升到53.0%，磷矿石的产量从39.6%上升到42.5%等等。

二、世界主要矿产储量的丰富程度

全世界各种矿产的储量，迄今为止，还有多少？它为今后采矿工业的发展提供需求量的丰富程度如何？人类是否会受到矿产资源枯竭的威胁？这些都是人们所关心的问题。限于技术问题和人为因素，要想知道世界上各矿种的确切储量数字是不容易的。

表2－2将各矿种的现有探明储量按可供今后开采的年限划分为极丰富、丰富和一般三类，每类中的各矿种也基本上是按开采年限长短的顺序排列的。它基本上反映了各矿种可供今后开采的丰富程度。所谓现有‘探明储量’不包括预测储量，更不包括未揭露的资源。开采年限是按现有地质储量除以当前全世界的年产量计算的。表中极丰富的矿种的开采年限约在100年以上，丰富的矿种约可采50～100年，而一般矿种的可采年限小于50年。

表 2－2　各矿种可供今后开采的丰富程度

类别	说明	矿种
1	极丰富(可采年限约在 100 年以上)	稀土金属、锂、硼砂、钾盐矿、钒、菱镁矿、锰、铝土矿、钴、磷矿、铂族金属、铬、钛、镍、钼、铁
2	丰富(可采年限在 50～100 年)	锑、钨、萤石、铜、铋、镉、重晶石、铀、硫磺
3	一般(可采年限在 50 年以下)	铅、锌、汞、金、银、石棉、金刚石、锡

从表中看出,全世界各矿种的储量除极个别的外,是相当丰富的。特别值得提出的是,根据近 40 年来的实践,由于勘探技术的进步,勘探出来的储量的年增长率有些甚至比矿山生产的年增长率还大。也就是说,除掉生产消耗的地质储量外,每年还可净增一定数量的地质储量。表 1－3 列出本世纪 40 年代至 70 年代几种主要有色金属世界地质储量的增长情况可资说明。

但是由于矿产资源分布不均匀,个别国家或地区会遇到某些矿产资源的奇缺。例如,根据美国矿业局《1986 年矿产商品简报》的资料分析,全世界铬的储量分别有 84%和 11%为南非和赞比亚所有;铂族金属的储量南非和苏联分别占 81%和 17%;锰的储量南非和苏联分别占 71%和 21%;稀土金属储量中国和美国分别占 79%和 11%;钼的储量美国和智利分别占 45%和 21%;锂的储量玻利维亚和智利分别占 66%和 16%;钾的储量加拿大占 57%,苏联占 22%;磷的储量摩洛哥占 59%,美国占 16%;南非和苏联占有金的储量约 2/3;而铌的储量仅巴西即占有 88%。因此:

(1)任何国家为了发展本国的经济,必须重视矿产品的外贸,互通有无,才能满足国民经济生产建设的需要。

(2)保护矿产资源、提高采矿回采率和降低贫化率、加强矿产资源的综合利用极为重要,被列为许多国家的基本国策。

表 2－3　近 40 年铜、铅、锌(均为金属量)和铝土矿地质储量的增长情况(单位:万吨)

矿种	铜	铅	锌	铝土矿
40 年代	9100	3100～4500	5400～7000	160500
50 年代	12400	4500～5400	7700～8600	322400
60 年代	28000	8600	10600	1160000
70 年代	54300	15700	24000	2270000
50 年代至 70 年代地质储量年增长率(%)	7.5	5～5.75	4.75～5.25	9.75
50 年代至 70 年代矿山生产的年增长率(%)	3.75	1.75	2.75	7

(3)不同国家都将各自缺乏的矿种列入关键性和战略性的物资来对待,保有必要的

贮备量,同时进行代用品的研究,发展和利用本国资源丰富的材料。

三、80 年代初期主要矿产品的销售情况

表 2－4　1980～1984 年主要矿产品世界贸易统计

矿产品名称	1980～1984 年全世界年平均出口量(t)	主要出口国家或地区	主要进口国家或地区
铁矿石	3.484×10^8	巴西、澳大利亚、苏联、加拿大、印度、利比里亚、瑞典、南非	日本、联邦德国、美国、比利时－卢森堡、意大利、波兰、法国
锰矿石	8.91×10^6	南非、加蓬、苏联、澳大利亚、巴西、印度	日本、法国、挪威、波兰、捷克、联邦德国、美国
铜矿石、铜精矿及冰铜、海绵铜等(金属含量)	3.11×10^6	菲律宾、西班牙、加拿大、印尼、澳大利亚、巴布亚－新几内亚、智利	日本、联邦德国、南朝鲜、比利时－卢森堡、西班牙
铅精矿(金属含量)	1.01×10^6	秘鲁、加拿大、澳大利亚、南非、摩洛哥	日本、联邦德国、法国、比利时－卢森堡、西班牙
锌精矿(金属含量)	3.60×10^6	秘鲁、澳大利亚、加拿大、瑞典、爱尔兰	日本、联邦德国、法国、比利时－卢森堡、荷兰、意大利
铝土矿	3.22×10^7	几内亚、澳大利亚、牙买加、巴西、希腊、圭亚那	美国、日本、联邦德国、苏联、加拿大、意大利
菱镁矿	1.985×10^6	希腊、捷克、中国、朝鲜人民民主共和国、奥地利	苏联、联邦德国、波兰、日本、法国奥地利
钨精矿	4.92×10^4	中国、澳大利亚、玻利维亚、南朝鲜、葡萄牙、泰国、加拿大	美国、苏联、联邦德国、奥地利、日本
锡矿石(金属含量)	1.89×10^4	澳大利亚、新加坡、玻利维亚、阿根廷、英国、扎伊尔	英国、马来西亚、荷兰、西班牙、联邦德国
锑矿石(金属含量)	4.36×10^4	玻利维亚、泰国、中国、南非、澳大利亚、墨西哥	法国、英国、美国、日本、比利时－卢森堡
汞(金属)	3.624×10^3	西班牙、中国、阿尔及利亚、联邦德国、墨西哥	美国、联邦德国、沙特阿拉伯、印度、比利时－卢森堡
磷矿石	4.555×10^7	摩洛哥、美国、苏联、约旦、多哥、秘鲁	法国、加拿大、波兰、西班牙、日本、比利时－卢森堡
重晶石	2.76×10^6	中国、摩洛哥、泰国、爱尔兰、印度	美国、联邦德国、委内瑞拉、英国、墨西哥
萤石	1.94×10^6	中国、墨西哥、南非、泰国、西班牙	美国、日本、联邦德国、加拿大、苏联
石棉	1.93×10^6	加拿大、苏联、南非、津巴布韦、意大利	美国、日本、联邦德国、法国、尼日利亚
石墨	2.08×10^5	中国、南朝鲜、墨西哥、奥地利、马达加斯加	日本、美国、联邦德国、英国
云母	5.20×10^4	印度、中国、美国、法国、英国、西班牙	英国、日本、联邦德国、美国、法国、荷兰

表 2－4 列出 80 年代初期世界范围内各主要矿产品的外贸总额和主要出口国家与进口国家。从表中可以看出，第三世界多是矿产品的出口国家，而发达国家则往往依赖国外的矿产品，其中美国、日本以及欧洲经济共同体国家更是如此。表 2－5 列出这些国家对国外矿产品的依赖程度。

表 2－5　美国、欧洲经济共同体及日本对进口矿产品的依赖程度

$$\text{进口依赖程度，\%} = \frac{\text{净进口量}①}{\text{视在消耗量}②} \times 100$$

矿产品名称	美国（%）（1985 年）	欧洲经济共同体（%）（1984 年）	日本（%）（1984 年）
金	31	99	94
银	64	84	19
铂族	92	100	98
铜	27	99	89
铅	—	75	72
锌	69	67	54
锡	72	88	96
汞	57	100	—
锑	45	95	100
铝土矿及铝氧	97	63	100
铁矿石	22	87	99
锰	100	95	96
镍	68	93	100
铬	73	90	99
钴	95	99	100
钨	68	90	80
钼	–	100	96
钒	46	100	100
钛	40	100	100
钽	92	100	100
铌	100	100	100
铀	不详	75	100
镉	55	40	0
锂	0	100	100
锶	100	40	100
重晶石	69	3	39
硼砂	0	100	100
萤石	89	25	100

矿产品名称	美国(%) (1985 年)	欧洲经济共同体(%) (1984 年)	日本(%) (1984 年)
磷矿石	0	99	100
钾盐	77	9	100
硫磺	5	38	0
石棉	71	44	98
云母	100	100	100
石膏	38	0	4
硅	23	73	100
硒	54	99	0

①净出口量 = 进口量 – 出口量 + 库存调给量；

②视在消耗量 = 国内生产量(包括再生产品) + 净进口量；

第四节　中国采矿发展史

一、采矿的萌芽时期(西周以前)

中国社会自古至今使用矿产品的先后次序是石材、装饰矿物(包括玉石和颜料矿物)、燧石、陶土、铜、金、铁、煤、石油及铀。

中国采矿有文字可考的历史始于商代(公元前 16 世纪至前 11 世纪),但中国之有采矿活动还要早很多。

迄今发现最早的采矿遗址,是山西怀仁镇鹅毛口石器制作场和广东南海县西樵山采石加工场,分别为自凝灰岩煌斑岩夹层挖采和从石洞帮壁撬掘石材,其年代据考古判定至迟在新石器时代早期,距今已历万年。

关中和豫西一些早期仰韶文化遗址中出土的原始陶器,是采制粘土矿物的先声、距今有七八千年。

1978 年在甘肃兰州东乡马家窑出土的青铜小刀(含锡量为 6 ~ 10%),是我国迄今发现的最早青铜器物。该遗址经碳 – 14 测定,其年代约距今 4700 年。

据记载,夏商周三代的采铜活动在晋南(中条山山脉)、豫西北丘陵和豫西陕东山区(从崤山、华山到终南山一带)。又据近年发掘大冶铜绿山采矿遗址的鉴定,该地地下采矿始于 3000 多年前的商代晚期,而地下采矿之前,曾经有过相当长时间的露天开采,现

已发现露天采场 7 个。它说明了夏商周三代的采铜工业不仅在中原也在长江流域进行。

西周以前(公元前 11 世纪以前),由于采掘工具多用石或木制(青铜的极少),选冶技术更低,故所采矿体除砂矿中的自然铜、自然金外,多为高品位矿石,而且大都不太坚硬,如铜矿体就是以孔雀石为主的次生富集氧化矿石居多。

商周之时已设矿官。但商之"货人"是包括矿冶等手工业在内的一个财货贸易部门;周的"⁻‖⁻人"(⁻‖⁻为古矿字)则是已明确分工的"掌金玉锡石之地"的采矿管理机构,需要矿石时"取之",以供器物",不用时封存于地下"为之守禁"。⁻‖⁻人机构中还有"中土"、"下士"、"府"、"史"、"胥"、"徒"等技术管理职责的分工,这既说明了当时社会阶层的分化与劳动分工,也反映出矿业有相当大的发展。但进行采掘作业的则是不在机构编制之内的奴隶和罪犯。

我国古时采矿是和识矿找矿分不开的。《山海经·五藏山经》(春秋末年、即公元前 5 世纪成书)和《书·禹贡》(战国后期、即公元前 3 世纪成书)是总结中国从石器时代到早期铁器时代关于识矿与用矿资料的两种古文献。前者所记矿物达 89 种,其中金、银、铜、铁、锡等十种金属矿物产地有 170 多处,包括非金属矿物的玉石,怪石、垩土等则共有 309 处,并从找矿提出了"赤铜—砺石"、"黄金—银"、"铁—文石"等许多近代矿床学上的共生现象。后者记录了全国某些矿产,对土壤的分类研究已具科学雏型。中国前人在这两本书中,对矿物岩石进行的系统研究远比外国早一两千年。中国关于"气"的学说及金属矿在地下生成的理论,是当时世界上先进的科学思想。

二、采矿业初步形成体系时期(春秋至南北朝)

春秋(公元前 770 年至前 476 年)时期,中国开始进入铁器时代。早期铁矿遗址已发掘的有山东临淄(齐国故城)和河北兴隆古洞沟(燕国)及邯郸(赵国)等处。战国时代(公元前 475 年至前 221 年)冶铁业的兴盛在于大量制造农具和手工业工具,兵器则仍以青铜制的为主而铁制的很少,如秦统一六国主要是用铜兵器,故其时铜铁矿业均盛。

铜矿石产地,春秋战国时中原有晋南、豫西北和陕东,长江流域有铜绿山,北有内蒙的林西。另外,在汉水、汝河与金沙江已开采砂金,在江陵发掘的金币郢爰、陈爰最高含金量达 94～98%,还有四川盆地西南缘的银矿,山东的登莱铅矿,四川涪陵的丹砂矿,也都在开采。

这一时期的采矿技术已有全面的发展。巷道的作用已由仅作回采演进到作开拓、采准及探矿之用。竖井(古称坑)可深到 50～60m,断面从正方形进到矩形,面积达 1.4～2m^2。平巷高度可到 1.5～1.8m,并能沿倾角掘进 25°～70°的斜巷,特别是一种"浅井"和

“短巷”相结合的阶梯式斜巷，最宜于探矿和采矿，又可兼作上下水平间的联络道。露天矿规模已相当大。最大的长500m、深17m，边坡还较为陡急。地下采矿方法已由竖坑法发展到巷道采矿法，下向梯段法，全面法和方框支架法。支架工艺相当先进，框式支架有榫接也有搭接，有竖分条方框和倾斜分层链式方框，横撑支架用得很长，巷道支架有鸭嘴与亲口结合的棚子，有的棚子已取消底梁。

早期采矿常用的落矿技术火爆法，在我国矿山较普遍采用的年代不迟于春秋时期。采掘工具由春秋及以前时期的铜、石、木制进步到战国时的铁、木、石制；尤其是战国时的一种四棱尖锥状铁钻，可以采掘较坚硬的块状矿体。采掘工艺中出现了充填工艺。矿井提升使用了木辘轳，其木轴结构在战国时有很大改进，并可制动停车，是古代木制简单机械的先声。此外还有深井的自然分风、分段排水、采空区封闭以及用木制船形砂斗测定矿石品位追踪富矿等技术。上述一系列成就比欧洲各国要早数百年甚至上千年。

秦统一中国（公元前221年）后，迁徙卓氏、孔氏等冶铁主到边远铁产地，进一步开发了南阳、临邛等冶铁中心。汉初，一些诸侯国的冶铁业实际操纵在豪强大族手中，汉武帝刘彻乃于元狩四年（公元前119年）实行盐铁官营，在全国四十郡设铁官49处，其中今山东12处，江苏7处，河南、陕西各6处，河北、山西各5处，四川3处，北京、辽宁、安徽、湖南、甘肃各1处。从铁官分布情况看，西汉冶铁业是在战国时期的基础上发展起来的，绝大部分在北方原来的齐、秦、燕、赵、魏、韩六国境内，长江以南广大地区只有桂阳郡（今湖南郴州）1处。

西汉（公元前206年至公元25年）冶铁、铸钱、煮盐三大工业以冶铁业为主导，大的铁官下辖若干个作坊，作坊在矿产地的则坑冶俱设。巩县铁生沟是已发掘的著名古矿冶遗址。年代为西汉中期到王莽时；河南是我国铁矿开发早、产地多的省分。铜产地以长江中下游最为重要，丹阳郡（今安徽宣城、丹阳一带）的坑冶著称其时，今江苏江都县的大铜山和仪征县的小铜山都曾是吴王刘濞采铜铸钱之地。汉文帝刘恒时邓通曾在今川西的雅安、荥经一带大规模采铜铸钱。司马迁在《史记·货殖列传》中指出铜铁两种矿藏遍布南中国千里之境，金、锡、丹砂主产江南，并说“长沙出连、锡”（“连”是铅锌矿石），记载着中国采锌之始。总之，秦和西汉是我国封建社会初期金属矿开采极盛的时期。西汉矿冶业的规模宏大，元帝刘奭时（公元前48年至前33年）“铸钱及诸铁官皆置吏、卒、徙，攻山取铜铁，一岁功十万人以上”（《汉书·贡禹传》）。《汉书》所记铜、铁矿山的开采深度有达数百米的。古代开采铁矿石的主要要求是有害杂质少，其次是品位高，以便直接炼出优质生铁。如风化淋滤形成的富铁矿和接触交代富铁矿，都是主要的开采对象。另外，在今河北承德地区的一处西汉铜矿遗址中，发掘有铁制手推四轮小车的车轮；这种小车

对当时增产矿石和加深矿井是起了相当大的作用的。

东汉(公元 25 年至 220 年)铁官只有 34 处,分布略同西汉,但云南的 2 处是新设。东汉的铁制农具有很大发展。其铜矿也有新增,如徐州(今江苏铜山县)是有名的基地,中条山也开辟了新矿。此外,云南的锡、铅和银,四川、贵州的汞,川、滇的砂金,均有所发展。

煤在中国最早是用作颜料与染料而不是燃料。从史籍考证,燃料矿物的识用年代,煤至迟当在春秋战国,石油和天然气至迟当在秦汉之间。煤之始采并用于炼铁不应晚于冶炼业兴盛的战国时期,但迄今发现的最早遗址是巩县铁生沟及郑州古荥镇(西汉中期到晚期及东汉前期),而且所用燃料是木炭为主煤为辅。

魏(公元 220 ~ 265 年)、晋(公元 265 ~ 420 年)、南北朝(公元 420 ~ 589 年)时,北方长期动乱,但出于农、战之需,黄河中游的冶铁业仍具一定规模,并开发了今河南的陕县,泌阳几处铜矿和山西恒州(今大同县)的银矿,恢复了山东、陕西等地的旧铜矿、长江以南地区经济破坏较轻,矿冶业得到进一步发展,一般在郡县设冶令和丞。矿产地有今江苏、浙江和湖北境内众多的铁矿和大冶铜矿,四川广元与汉水的砂金,吴县的山金,湖南衡州和岭南一带的银。当时砂金开采已由露天的掘取法和垦土法发展到地下开采(据王隐《晋书·地道记》)。

这一时期内有关矿业的著作有:春秋时代齐国人著《管子》,其"地数"篇中不仅统计了钢铁等矿产地的数目千百个,而且记述了"上有赭者下有铁","上有慈石者下有铜金"等现代矿床学所证实的许多金属共生现象,限于当时的科技水平,它除了把铜和铁的硫化物混称作黄金或铜金以外,大体上都符合现代关于硫化物矿床的矿物分布理论。北魏郦道元在《水经注》中不仅载有全国(重点在北方)1252 条水道源流,而且调查了大量矿产;有的还记述了当时少数民族地区的矿冶盛况,如"河水"篇载屈茨北二百里有山,夜则火光,昼日但烟,人取此山石炭冶此山铁,恒充三十六国之用",说明当时新疆龟兹(今库车县一带)有大型煤矿和铁矿,就地冶铸,供应邻近的众多地区。

三、古代采矿业的兴盛时期(隋至元代)

隋(公元 581 ~ 618 年)、唐(公元 618 ~ 907 年)的经济是齐头发展长江、黄河两大流域。比秦汉时主要发展黄河流域远为繁荣,其矿冶业也空前兴盛。

隋代矿政的特点是收矿权为国有,大力开采铜矿,用以更换汉武帝时发行沿用太久的五铢钱。主要矿山有今湖北(如白纻山、今大冶县境)和安徽的铜,山东的金和广东的银,等等。

唐初近百年,民间分散的盐铁小手工业又渐为富商巨贾所垄断。在肃宗乾元(公元758年始)以后虽特置盐铁使,主管盐的专卖兼掌银铜铁锡的采冶,但其实只管收税,并不直接经营矿场与冶铸作坊。到唐代晚期文宗开成元年(公元830年),"山泽之利归州县刺史",连特派大臣收税的制度也废除了。因此,民营矿冶大发展,比前代官营的刑徒充役或徭役制的劳动生产率大为提高。

唐初金银铜铁铅锡之冶168处,到中期增为271处(含矿场251处)。其中金矿场除山东1处外都在南方各省,铜矿场遍布全国45个州,银亦分布28个州、府。著名产地有武陵(今湖南常德)和邕州(广西境内)的金矿区,陕州平陆、安邑等县(今山西中条山区)和郴州的铜银矿区,鄂州铜铁矿区,山东莱芜铁矿区等。据《新唐书·食货志》记载,元和(公元806~820年)初年"岁采银万二千两,铜二十六万斤,铁二百七万斤,锡五万斤,铅无常数"。这是我国最早载于正史的古代金属税额,实际产量还要大很多。唐代始大量生产胆铜,是中国溶浸法采铜的先声,地点在今安徽和江西。唐代奉道教为国教,大搞炼丹,主要汞矿场在湖南的辰州、锦州(今麻阳)和四川的溱州(今綦江)、茂州(今茂县)。在元和四年(公元809年),炼丹家清虚子发明了黑火药。

北宋(公元960~1126年)前期,农业恢复快,工商业繁荣,其中矿业进一步发展。宋初矿山基本上是民营,国家只收税。政府在重要矿区或冶铸中心设"监"和"务",主管收税和征集矿石("监"即主监官的驻地;"务",是矿冶税务所或矿产收购站)。生产单位有"场"、"坑"和"冶"。"场"是采石场,"坑"即矿坑,一般每个场辖若干坑;"冶"是冶炼作坊),一个冶所需矿石往往由几个场供给;大抵置监之处必有冶,设务之处多有场。铜锡铅银等矿产,矿坑比较固定,都有场有坑;而采掘风化堆积铁矿床或淘取河床砂金,一般无固定的采矿地点,也就不设场;尤其是铁冶在古代多是收购矿石集中冶铁,故只立冶而不置场。据《宋史·食货志》载,宋初全国"坑冶凡金银铜铁铅锡监、冶、场、务二百有一"处,英宗治平年间(公元1064~1067年)金属矿的坑冶总数又增加了几十处。总的来看,矿冶业的布局与唐代相近,但产量远远超过。如铁、铜、铅、银,集中在河北、江西、福建、广东四省开采;主要矿山有邢州綦村冶、磁州固镇冶(以上为铁矿),韶州岑水场、巾子场、信州铅山场、饶州兴利场(以上为胆铜矿)、连州场、衢州场(以上为铅矿),饶州德兴场,南剑州(以上为银矿),还有登州、莱州的金坑,沅州、信州等地的南方砂金,甘肃、陕西的水银,以及广西、湖南的朱砂等。神宗元丰元年(公元1078年),各种矿产的年收入量达到铁550万斤,铜1460万斤,锡232万斤,铅919万斤,银21万两,金1万两,水银、朱砂各3000斤。煤在宋代已普遍用作手工业(如炼铁)和日常生活中的燃料,而炼焦又始于南宋咸淳六年(公元1270年),其发明大大促进了冶铁业的发展。当时产煤地主要是山西,还有河

南沁县和江苏徐州。北宋矿业兴盛的原因很多，主要是社会经济发展与统治者的需要，及采矿技术的进步。

南宋（公元 1127～1279 年）前期胆铜生产有发展。辽、西夏及金各少数民族政权的铁矿开采量大，技术水平亦高。

元朝（公元 1271～1368 年）立国后设洞冶总管府和淘金总管府统辖全国坑冶，还有鼓铸局、镔铁局、金银局等管理金属手工业和兵器制造，颁布矿业法规以保护官办矿场和恢复税收。矿冶以官营为主，由罪犯与在籍工匠服役，又设冶户、煽炼户、银户、淘金户按额纳课。也有民营坑冶，但随时可被收归官营。总的说，元代的铁、银、金矿仍有较大发展。元初的生铁年收入量在 500～1000 万斤之间，到至元十三年（公元 1276 年）达 1600 万斤，比宋代的最高年收入量提高近 1 倍；天历元年（公元 1328 年）银收入量 30 万两，数量与北宋初期相当；金的最高年产量约 3 万两，比宋代产金极盛的皇祐年间高出 1 倍。但是，铜、锡、铅等经济及货币用金属的生产则比宋代减产了很多倍。元代主要的矿产地有：江、浙、赣、湘、鄂等南方各省和冀、鲁、晋"腹里"三省的铁，吉、辽、新疆的金，云南的铜云南、江西的银和湖南的汞。

在从隋到元这 800 年间，我国古代采矿业获得大发展，不仅多种矿产达到上述空前的高产量，而且在技术上出现了如下的重大突破：

公元 6 世纪到 10 世纪初，广东肇庆端溪开采砚石已使用房柱采矿法，其矿房跨度为 1 丈，矿柱宽 6 尺，同时可回采三四个矿房。

始于唐代而盛于宋代的胆铜生产，到北宋末年其产量已占铜总产量的 20%，南宋增加到 85%。生产规模达 77 处沟槽，取铜 1 斤耗铁 2 斤 4 两，是先进的技术指标。

深井开凿始于战国而技术突破于北宋。四川盐井最初是用来采取地下岩盐层中之卤水熬制井盐，钻井工艺为绳索钻进法，但井口一直是周长三四丈的大口径。到北宋庆历、皇祐年间（11 世纪 40～50 年代），在五通桥和自贡才出现了小口径深井，称卓筒井，"卓筒"是直如竹筒之意，凿井用钻头为圆刃铁锉的中国式顿钻，井口如碗大（约 130mm），深数十丈，用木质套管或巨竹去节套接成为井壁，然后用较细的竹子制成水桶提取卤水，一桶可提数斗。这一机械冲击式钻井法是世界创举，李约瑟考定此法于 11 世纪传入西方，对世界采矿和钻井工程的发展具有重大的贡献。

南宋福建建宁府松溪县瑞应场银矿"取银之法，每石壁上有黑路乃银脉，随脉凿穴而入，甫容人身，深至十数丈，烛火自照，所取银矿皆碎石。用臼捣碎，再上磨，以绢罗细，然后以水淘，黄者即石、弃去，黑者乃银，用面糊团入铅，以火锻为大片，即入官库。俟三两日再煎成碎银"。这说明了识矿、采矿、选矿和炼银的全部工艺过程。

南宋时北方金朝的铁矿开采技术成就很大，从黑龙江阿城五道岭古矿遗址看来，是用十几条沿矿脉走向的螺旋形斜坡道（宽 1.5m，高 2m）开采，其深度为 7～40m，都布置在脉内，遇矿体不规则处则用分支巷道开辟回采工作面。整个采区呈椭球状，符合现代地压管理的要求。估计共采出了铁矿石四五十万吨，规模很大。

北宋时撰有两本有关矿冶的著作：沈括于公元 1086～1093 年写的《梦溪笔谈》，现传本 26 卷，分 17 个门类计 609 条。条文内容涉及采矿冶金的散见于器用、异事、辨证、杂志、权智、药议等门类中。本书最早提出“石油”一词，对石油的性能、产地、开采和用途均有具体记述，书中对太阴玄精（龟背石）的描述，注意到了矿物的结晶形状、颜色、光泽、透明度、解理以及加热失去结晶水和潮解等性状。并对胆铜及湿法冶铜技术有详细记载。

另一本为《浸铜要略》，是宋哲宗时（公元 1086～1100 年）张潜所著，记述从胆水提取铜甚详；其后裔张理献书于元朝廷，元末明初危素为此书作《浸铜要略序》，称书中胆铜法有“用费少而收功博”的经济价值。

四、古代采矿业的继续发展时期（明到清乾隆初叶）

明代（公元 1368～1644 年）初期吸取前代官办矿冶业的教训，尽量让百姓自由采冶，官收其税（对银矿尤其如此）；官办矿业仍役使在籍工匠、军夫和罪犯，但放松对工匠的控制。故明代前期约 90 年，民办的金银铜铁锡铅汞七种金属矿冶有大发展。全国矿冶业重心仍继续南移。铁的年收入量 1800 多万斤，其中湖广、江西两省占了 1000 万斤，今湖北大冶是主产地，后来广东佛山也是著名产地。在 15 世纪中叶还出现了我国封建社会最后的一个采银高潮，主要银场分布在闽、浙、川、滇四省，年收银 13～18.3 万两，其中云南渐增到占总量一半以上。明代新兴的矿冶是采锌炼锌，其中湖南水口山铅锌矿盛采一时，宣德三年（公元 1428 年）铸造铜鼎约用金属锌 13000 斤。其他矿产有皖、川、云、贵的铜及赣省的胆铜，桂、湘、云南的锡，以及云南的金和贵州的汞。湖南锡矿山锑矿也是明代开始采的，当时误认锑为锡。明代后期则因矿政积弊及矿工逃亡而减产。

在采矿技术方面，明代比宋代有所突破。陆容（明中叶时人）所撰《菽园杂记》，对浙西丽水地区的银铅锌脉矿的找矿、开采及加工作过详细记述，说明当时已准确掌握矿床产状规律，采深可达数百米，采冶方法仍分别是空场法和灰吹法，落矿却采用了爆破技术。据河北《唐县志》载，万历二十四年（公元 1596 年），县境矿山使用了“钻钢”即手工钻眼和“火爆石裂”使“山灵震惊”的爆破技术。这是世界上以凿岩爆破为主的采矿工艺的开始，说明中国矿山应用凿岩爆破术比国外早三分之一个或半个世纪。

宋应星于崇祯七年（公元 1634 年）撰写的《天工开物》，是我国古代头一部有采矿专

篇著作的科技文献；该书分十八卷，其中五金、陶埏、燔石、丹青，珠玉等卷记载了三十几种金属和非金属矿产的开采与加工技术，保留了相当多的古代采矿资料，对地下矿藏的开采方法，包括坑硐的支护、充填、通风及瓦斯检测、提升等工艺，记录了许多劳动人民的发明创造，被国外誉为世界第一部农业与手工业生产的百科全书。

明崇祯时（公元 1628～1644 年）主张引进西方科技以富强国家。当时招聘来华的外国人中，先有意大利人毕方济建议聘请澳门的“精于矿路之儒”来传授探矿、采矿技术；后有日耳曼人汤若望在蓟督军前，除传授火器水利外，还讲采矿方法，这是外人来华第一次采矿学术交流活动。此事终因清兵入关而废。

清代（公元 1616～1911 年）初期戒于前代的矿工起义，禁止或限制民间开矿。至康熙二十一年（公元 1682 年）以理财四策之一而“开矿藏”，于公元 1685 年大采滇铜，一直到嘉庆（公元 1796～1820 年）中期是滇铜开采的极盛时代，最高年产量有 1400 万斤；由官方放本收铜，除抽取 10～20%的“课铜”外，另按官价收购抵偿工本。在云南铜矿（主要为氧化矿）和锡矿的开采中，大量采用了方框支架法，支架作业土名“架镶”。与现代六柱榫接的无甚差别，按支架间距之不同分为“寸步镶”和“走马镶。清初（约公元 1700 年）五通桥盐区钻凿深度达 560m 的盐井有数千口，最深的是 1243m；其钻凿采用弹性杆，提升用井架及顶部的滑轮、侧部的辘轳和地面的大绞车，整个设备的动作原理与以后西方 19 世纪的顿钻相同。

这时期的采矿文献，有孙廷铨的《颜山杂记》，记明清之际山东淄博煤矿先进技术甚详，并提出“凿井不两，行隧必双，令气交通，以达其阳”的井巷设计原则。田编霞的《黔书》记清初贵州汞矿和铅矿采矿工艺技术亦详。张泓的《滇南新语》最早记载了云南铜矿的地下开采技术。

中国的自然科学是从十六、十七世纪（即明代后期的武宗到神宗年间）开始落后于西方国家的，而矿冶业的落伍则直到 18 世纪初叶即乾隆初年才开始。当时欧洲已发生产业革命，科学技术大进展，增加了对金属的需要。

五、采矿业发展缓慢时期（清乾隆初叶至解放前）

清初滇铜开采以后，铅、锌、锡和煤、铁等矿也听民私采，抽税十分之二到三、四。但金银因不许私采，故在清代前期（公元 1820 年以前）只有一座甘肃敦煌金矿生产，年收“课金”800 两。矿业重心已南移到湖南和云贵。主要矿产有云南东川、四川西部和湖南常宁、桂阳的铜，云南个旧、湖南郴州与广东的锡，云、贵和湖南（桂阳州、郴州）的铅锌，青海（都兰哈拉铅厂）、贵州威宁和云南（先后生产的有 32 个厂）的银，云南（金沙江、麻姑等

6 个厂)、贵州的金(盛采在公元 1840 年以后),贵州(开阳汞矿,明代盛采的万山汞矿已衰)、云南及湖南的汞,广东佛山和陕西汉中的铁,以及鲁、冀、晋、湘、粤各省的煤。总的说,清代矿业发展速度慢于明代,矿产地 406 处,总数虽接近于明代(420 处),但产量一般都下降,金银减产最多,只有铜铅锌比明代增产。

鸦片战争前后,清王朝经济、民族、阶段的矛盾重重,矿工生活困苦,矿业凋零,云南即因杜文秀回民起义(咸丰六年,公元 1850 年)而封禁了全省的铜矿。

19 世纪 60 至 90 年代的 30 多年是'洋务运动'时期,中国政府第一次引进一批世界的近代技术设备。从 70 年代起兴办了一批矿冶企业,其中基隆煤矿是中国第一个用机器开采的近代采矿企业(1878 年投产,日产 300t);漠河金矿于 1887 年始采(1888 年中国产金达 43 万两,占世界总产量的 7%,居第五位);汉阳铁厂和大冶铁矿干 1890 年兴建,是中国也是远东第一个近代钢铁联合企业;大冶铁矿拥有从德国购进的采掘设备和 30km 窄轨铁路,是中国第一座用机器开采的露天铁矿,在 1891 年即生产铁矿石 4 万吨;萍乡煤矿从唐宋到清代曾用土法开采,1898 年设萍乡煤矿局,年产煤最高达 90 万吨。

清代的采矿著作还有中期的吴其溶撰、徐金生绘的《滇南矿厂图略》(1844 年刊),记云南采铜银技术很详,书末附有《天工开物·五金》、王松《矿厂采炼篇》、倪慎枢《采铜炼铜记》及王昶《铜政全书·咨询各厂对》等,可以说本书集古代地下采矿技术之大成,是研究采矿技术发展史的珍贵资料。清代末期有吴炅立著《自流井风物名实说》,比《东坡志林》、《天工开物》所记四川井盐的钻井及熬制技术更详。

在 19 世纪末本世纪初,一批铜、铅锌、锡、金、汞等有色金属企业逐步转用近代技术装备生产,同时也开发了锑、钨等资源,其中,1874 年恢复云南东川铜矿,1906 年出精矿。1911 年四川彭县铜矿、1912 年云南会泽铜矿相继产出精矿。湖南水口山是规模最大的近代铅锌矿,1904 年采用新法开采,1906 年建设老鸦巢斜井,1909 年建成新选厂。近代锡矿始于云南、广西、广东、湖南等省,以云南个旧最早(于 1889 年开始向国外出口锡)。还有湖南平江黄金洞金矿于 1889 年购置新法洗金机,1896 年广西桂平县采用新法炼金,山东招远、平度和广东增城也都用新法采金炼金。贵州铜仁汞矿于 1899 年用新法开采。湖南新化是近代锑矿的发源地,1897 年湖南官矿总局设新化锑矿局大规模开采锡矿山锑矿。

与上述近代厂矿建设相适应,政府开始设立了矿业管理机构。首先是 1898 年清廷的路矿总局(北京),1903 年成立商部、总理全国矿政。1906 年商部与工部合并改为农工商部,在北京设矿务总办事局,各省设矿政调查局。民国元年(1912 年)成立实业部(后又改为工商部、农商部、农矿部等),内设矿政局。30 年代后期还成立了资源委员会主管矿业。

从第一次世界大战前后起到 1949 年为止，中国近代的矿山企业在国内外战争的动荡中发展。首先起步的有南芬、鞍山、龙烟等铁矿，1918 年赣湘粤钨矿区年产钨砂 9872t，出口 9497t，1924 年四川会理铅锌矿用新法开采，1925 年全国产汞 400t，1927 年云南锡业公司建马拉格竖井；1896～1934 年大冶共采出铁矿石 1200 万吨，其中 340 万吨供汉阳铁厂、860 万吨运往日本。1937 年抗日战争爆发，旧中国矿业风雨飘零。当时日本帝国主义者侵占了东北、华北、华中、华东的大批煤铁等矿产资源，国民党政府转向西南、华南、西北。从 1938～1945 年，国民党统治区总共仅产煤 4562 万吨，而日本帝国主义者在中国抢走的原煤却有 41950 万吨；国民党统治区共计产生铁 41.3 万吨、钢 4.5 万吨，而日本帝国主义者侵占的鞍钢在 1937 年一年就产生铁 70 万吨、钢 50 万吨、钢材 28.5 万吨。

另一方面，中国共产党领导的解放区采用近代技术结合古代传统技术，发展了小型钢铁工业，开发了不少矿藏，其中有八路军总部军工部柳沟铁厂（1939 年）和阳泉铁厂（1948 年产铁 6500 余吨）。1945 年日本投降后，民主政府接管了一批煤矿，尔后又从国民党政府手中陆续接管了除台湾省以外的所有煤矿，在当时艰难的物质条件下逐步恢复生产。从 1946～1949 年 10 月，解放区约生产原煤 2000 万吨。东北解放区又于 1947 年成立金矿局，1948 年成立东北有色金属管理局，解放区在 1948 年生产的黄金超过万两。

第五节　新中国成立以来采矿工业及技术的发展

一、采矿工业的发展

我国矿产资源丰富，品种比较齐全，到目前为止，已探明储量的矿产达 130 多种，其中锑、钨、钼、汞、锡、钒、铁、稀土金属、菱镁矿，萤石、重晶石、磷、硼、石墨、石膏、膨润土等 20 多种矿产居世界前列，这些矿产资源为迅速发展我国的采矿工业提供了物质条件。

解放前，我国采矿工业技术落后，设备陈旧，生产不振，矿产资源遭受了严重的破坏。新中国成立 30 多年以来，对矿山建设很为重视，投资约达 300 亿元，使采矿工业的落后面貌得到了改变。

新中国矿山生产发展的过程是：解放头三年，主要是恢复生产，对个别矿山进行了改扩建。第一个五年计划时期，新建和扩建一大批矿山，矿石产量增长很快，为发展采矿工业打下了良好的基础。第二个五年计划开始时，采矿工业发展迅猛，但由于工作失误，造

成采剥(掘)失调,致使1960年以后产量下降。自1963年至1965年进行了三年国民经济大调整,巩固了矿山原有生产水平,并有所提高。1966年开始了第三个五年计划建设,但由于"文化大革命"的干扰,生产发展又遭受挫折。在第五和第六个五年计划时期,主要是在党的十一届三中全会以后,把工作重点转移到经济建设上来,采矿工业才又得到健康发展。1986年3月国家颁布了《中华人民共和国矿产资源法》(见附录1),1987年4月国务院又制订了《矿产资源勘查登记管理暂行办法》、《全民所有制矿山企业采矿登记管理暂行办法》、《矿产资源监督管理暂行办法》等具体条例(分别见附录2~4)。这些法规对合理利用矿产资源正在起着和将要起到良好的作用。

1985年,我国除燃料矿产品外,年产各种金属及非金属矿石(不包括砂石)达到5.9亿吨。表2-6列出了"六五"期间主要矿种的平均年产矿石量(不包括地方中小型矿山的产量),为了与解放前后对比,也列出了1949年和解放初期(经济恢复时期和"一五"期间)的矿石年平均产量。从表中看出:1981~1985年主要矿种的年平均矿石产量与1949年的比较分别超过了百余倍至数百倍,为经济恢复时期的30倍,"一五"期间的6.3倍。

表2-6　我国"六五"期间主要金属和非金属矿石平均年产量及其与解放前后产量对比

矿产名称		矿石年产量(万吨)				"六五"期间与解放前后年产量的对比(倍)		
		"六五"期间(1981~1985)	1949年	经济恢复时期(1950~1952)	"一五"期间(1953~1957)	1949年	经济恢复时期	"一五"期间
序号		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ/Ⅱ	Ⅰ/Ⅲ	Ⅰ/Ⅳ
金属矿	铁矿	11787.0	59	311.3	1150.0	199.8	37.9	10.2
	锰矿	223.2	0.1	13.0	34.2	223.2	17.2	6.5
	菱镁矿	249.4	1	21.2	49.5	249.4	11.8	5.0
	铜矿	1967.0	10	59.7	169.2	196.7	32.9	11.6
	铅锌矿	821.4	3	31.7	121.8	273.8	25.9	6.7
	铝土矿	227.8	0	0	24.0④	—	—	9.5
	钨矿	559.4	4	85.3	287.8	139.9	6.6	1.9
	锡矿	1022.8	6	19	11 57.8	170.5	53.8	0.9
	其他①	1871.4	不详	130.3	270.2	—	1 4.4	6.9
	小计	18729.4	不详	671.6	3259.7	—	27.9	5.7
非金属矿	磷矿	1108.3	不详	1.67	13.5	—	663.7	82.1
	硫铁矿	495.7	2	14.3	71.6	247.9	34.7	6.9
	石灰石矿②	1799.4	14.9	66.8	265.5	120.8	26.9	6.8
	粘土矿	514.1	不详	24.9	70.0	—	20.6	7.3
	石棉矿	13.6	0.06	0.4	1.9	226.7	34.0	7.2
	石膏矿	474.0	0.98	5.2	26.1	483.7	91.2	1 8.2
	滑石矿	102.4	0.23	2.4	6.8	445.2	42.7	15.1
	高岭土矿	55.0	0	0	5.6⑤	—	—	9.8
	石墨矿	22.2	0.09	0.83	2.7	246.7	26.7	8.2
	其他③	580.3	不详	9.7	62.7	—	59.8	9.3
	小计	5165.1	不详	126.2	524.9	—	40.9	9.8

矿产名称	矿石年产量(万吨)				“六五”期间与解放前后年产量的对比(倍)		
	“六五”期间(1981～1985)	1949 年	经济恢复时期(1950～1952)	“一五”期间(1953～1957)	1949 年	经济恢复时　期	“一五”期间
合计	23894.5	不详	797.8	3784.6	—	30.0	6.3

① 包括钼、锑、汞、镍、铬、金、铀等矿，其中金矿 1983 年以后未计入产量，铀矿自 1960 年起才有产量；
②石灰石矿为钢铁冶金辅助原料的产量，未包括化学工业和建筑材料部门的石灰石矿产量约 2 亿余吨；
③包括白云石、硅石、萤石、硼矿等矿，其中萤石矿自 1957 年起才有产量，硼矿自 1956 年起才有产量；
④铝土矿自 1954 年起才有产量；
⑤高岭土自 1955 年起才有产量。

我国矿山规模不断扩大，矿山数目急剧增加。据 1985 年对全国主要金属和非金属矿产统配矿山的统计，年产矿石 300 万吨以上的矿山有 15 座，年产矿石 100～300 万吨的矿山有 32 座，各主要矿种统配的露天矿和地下矿共达 332 座，见表 2－7。

表 2－7　1985 年我国主要金属和非金属矿产统配矿山数目　　单位：座

矿产名称		>300 万吨/年		300～100 万吨/年		100～50 万吨/年		50～30 万吨/年		30～10 万吨/年		<10 万吨/年		总计		备注
		露天	地下	露天	地下	露天	地下	露天	地下	露天	地下	露天	地下	露天	地下	
金属矿	铁矿	12		7	4	10	4	7	6	16	16	12	9	64	39	
	锰矿									1	2	4	3	5	5	
	铬矿											1	1	1	1	
	菱镁矿			1		2				1	7			4	0	
	铜矿	1		2	3	1	9	4	3	1			5	9	27	
	铅锌矿						4		2		12		4	0	22	
	铝土矿							1		3	1	2	2	6	3	
	钨矿						4		7		12		7	0	30	
	锡矿	1		1			1	2	3		3		4	4	11	
	钼矿			1			2		1				3	1	6	
	锑矿								1		1			0	2	
	汞矿										1		3	0	4	
	镍矿			1			1		1	1			1	2	3	
非金属矿	磷矿			1	3	1	2		2	2				4	7	仅冶金与化学矿山
	硫铁矿			1					3	1	3			2	6	
	石灰石矿	1		6		4		5		2			1	18	1	
	矾矿										2			0	2	
	白云石矿			1		2		1		4		2		10	0	
	石棉											2	8	2	8	
	石膏								1	3	3			3	4	
	滑石											1	5	1	5	
	石墨											1	6	1	6	
	高岭土												1		1	
	膨润土												2		2	
合计		15		22	10	20	27	20	30	35	63	25	65	137	195	

二、露天开采技术的进步

露天采矿在我国采掘工业中得到优先发展。据 1985 年矿石量统计，露天开采比重，石灰石、菱镁矿、大理石为 100%，铁矿为 87%，有色金属矿和磷矿各为 50%，硫铁矿为 35%，铀矿为 20%。

(一)露天开采方法

为缩短基建周期、减少基建投资和降低生产剥采比，我国一些露天矿如南芬、东鞍山、大孤山、水厂等铁矿以及白银铜矿、昆明磷矿等都采用了分期分区开采方式，获得较好的经济效益。这些矿山以前都沿用缓工作帮坡角开采方式，70 年代以来，有的矿山已开始使用陡帮开采，对推迟剥离峰期，进一步均衡剥采比，取得显著的效果，且为分期分区采矿创造了良好的过渡条件。弓长岭铁矿独木采区改用陡帮开采后，1972 ~ 1982 年比过去五年平均年产矿石量提高一倍多，获经济效益 7800 余万元。湖南浏阳磷矿采用陡帮开采后，平衡了生产剥采比，保证了产量的接替。

我国露天矿开拓方法，按运输方式主要分为铁路运输和汽车运输。铁路运输在露天矿的使用量占主要地位，其中铁矿按产量计约占 60% ;汽车运输开拓方式机动灵活，在我国化学原料和有色金属等露天矿得到极广泛的应用。近年，东鞍山等铁矿采用半固定式破碎机及带式输送机等设备实现了半连续运输的方式。石人沟铁矿和大孤山铁矿的带式输送机运输也已投产使用。

平硐溜井开拓在一些地形高差大的露天矿有较大的发展，大中型石灰石露天矿使用量占 80%。南芬铁矿的溜井系统，直径 6m，深度 450m，生产能力为 750 万吨/年。70 年代以来，对溜井结构参数、放矿口结构形式、溜井的磨损规律与井壁加固施工工艺、预防堵漏和跑矿等技术作了大量研究与改进工作。

露天矿山采用了许多新的掘沟方法和工艺。大孤山矿采用梭式调车‘宽爆窄出’掘沟工艺，后又采用长臂铲下卧开段沟上装车法 ;大冶铁矿采用双铲联合交错分层掘沟法；大抬、南山、眼前山铁矿采用汽车 – 铁路联合运输掘沟工艺 ;白银铜矿采用无纵向段沟掘沟方法都不同程度地提高了掘沟速度。

此外，70 年代以来随着采用大区爆破，以及近年在岩石松软、节理发育的矿山采用无穿爆开采工艺，对露天采场参数，特别是平台布置都引起显著的变化。

我国砂矿开采历史悠久，过去只是用水力机械化开采砂锡和砂金，现已扩大到用于开采钛铁矿、锰矿、钽铌铁矿、锆英石、金刚石、粘土等矿物。近十余年来还使用采矿船开采砂金矿床。

我国近年已捞取了锰结核试样，开始开展深海矿床开采的研究工作。

我国正在积极发展热熔、水溶以及溶浸采矿。例如，泰安矿用钻孔热熔法开采自然硫，吴城矿用钻孔水溶法开采天然碱，铀矿开采正在推广应用堆浸技术和钻孔溶浸技术。

盐湖矿床是一种独特的矿床。青海察尔汗盐湖采用沟渠开采晶间卤水，晒制光卤石后采用抛料式采盐机开采的旱采工艺和采盐船开采光卤石的水采工艺，内蒙查干诺尔碱矿采用索斗铲开采技术，都取得良好效果。

(二)露天开采设备

露天开采设备的发展，经历了由小到大、由低效到高效、由单机作业到主辅工序设备配套发展的过程。

我国露天矿穿孔设备自 60 年代起，相继研制成 YQ－150 型、KQ－150/200 型潜孔钻机，近几年又发展了 SQ－100J 型高压潜孔钻机。与钻机配套，相应地研制多种型号的冲击器和钻头，其中 W－200 型、J－200B 型已进入国际市场。

在研制潜孔钻机的同时，我国于 70 年代引进了 48R、60R 等型号的牙轮钻机。近年研制成钻压 35t 的 YZ－35 型高钻架牙轮钻机，已批量生产。钻压 55t 的 YZ－55 型牙轮钻机亦于 1985 年底通过技术鉴定。与此同时，研制并生产出 13 个规格 19 个品种的露天矿用牙轮钻头，除满足国内需要外，已开始进入国际市场。

我国露天矿装载设备，使用较多的是斗容 1～4m^3 的电铲。70 年代引进了长臂铲、7.6m^3 电铲。以后相继研制 10、12m^3 的 WK－10 型、WD－1200 型电铲在南芬、大孤山等铁矿使用。水厂铁矿、德兴铜矿还引进了斗容 13m^3 的电铲。

我国已研制并推广了 5m^3 前端式装载机和 5.5～7.5m^3 液压挖掘机。孝义铝土矿近期采用松土机－铲运机的露天开采新工艺，实现铲装、运输和卸装一机化。晋宁磷矿等采用了 D8L、D9L 推土机(带犁松器)－前端武装载机－自卸汽车的无穿爆开采新工艺。

全国露天铁矿山拥有准轨铁路达 800 多公里。广泛使用粘重 80、100、150t 的直流电机车和 60、100t 的铁路翻斗车。

我国自 50 年代以来，很多矿山使用国外进口载重量 25t 以下的自卸汽车。60 年代起研制 32t 自卸汽车。70 年代末引进 108t 和研制 100t 电动轮自卸汽车。80 年代又引进 154t 电动轮自卸汽车。常州冶金机械厂与国外合作制造的 MARK－36 型 154t 电动轮自卸汽车已在南芬铁矿使用。

50 年代铁路运输矿山采用排土犁排土，以后发展了电铲排土，推土机排土。近年，东鞍山铁矿研制和应用了带式输送机连续运输排土的新设备。

为实现露天矿辅助作业机械化，已研制成各种气动的、液压的、移动式的碎石机，各

种装填铵油炸药、浆状炸药、乳化炸药的装药车，露天矿炮孔充填机，铰接式振动压路机，矿山多用洒水车以及工程地质勘察用的岩芯钻机等。

大型露天矿山已开始研制现代化生产指挥系统的通讯联络设备。德兴铜矿已配备图象监视系统和双工无线电话机。

(三)露天爆破技术与器材

1956 年，白银铜矿首次成功地进行了万吨级炸药的硐室大爆破，爆破矿岩量 906 万立方米。并总结了地震波对构筑物、建筑物的影响，提出了我国采用的爆破地震波影响的安全距离。70 年代初，朱家包包铁矿也进行了万吨级炸药大爆破，爆下矿岩达 1140 万立方米。

露天矿的深孔爆破由 50 年代的单排孔秒差爆破发展到多排孔微差爆破，并应用了微差挤压爆破。以后又采用了大区多排孔微差爆破和大孔距、小抵抗线爆破等技术。

为了减少爆破对露天矿边坡稳定和周围建筑物的影响，70 年代采用了预裂爆破、光面爆破、缓冲爆破、定向爆破等控制爆破技术以及其他减震措施，取得较好的效果。

60 年代初研制成粉状铵油炸药和防水铵松腊炸药、以后又制成多孔粒状铵油炸药，至今这类炸药占矿用炸药使用量的 70% 以上。与此同时，还发展了浆状炸药，在生产中得到了应用。70 年代末发展起来的新型防水乳化炸药是我国矿用炸药的一个突破。已研制成 20 多个品种，其中 *EL*、*RJ* 两系列的主要性能基本达到国外同类产品水平。具有连续乳化工艺和设备的乳化炸药制造车间已先后在许多矿山投产。乳化炸药混装车也在海南铁矿研究成功。

50 年代末至 60 年代初先后研制成 5 段、10 段微差电雷管，最近又制成 MG803 - A 型 30 段高精度微差电雷管。为了防止爆破事故，70 年代中研制成无桥丝和低阻桥丝的两种抗杂散电雷管。70 年代末又研制成非电导爆管起爆系统，1985 年产量达亿米，在矿山应用，使爆破事故率降低了 40% 左右。

无起爆药微差电雷管的研制成功，改善了雷管在生产、运输、储存、使用过程中的安全性能，已在国内推广，并向瑞典诺贝尔公司转让技术。此外，还研制成功了静态爆破剂，已用于大理石开采及其他工业中。

(四)矿山岩石力学在露天矿的应用

岩石力学研究成果已在我国露天矿山生产实践上发挥了重大的作用。

按岩石可钻性、爆破性和围岩稳定性的岩石分级方法已开始在生产上应用。

60 年代我国应用岩石构造理论与岩石流变理论在大冶铁矿对露天采场边坡稳定性问题进行了一系列试验研究。以后又应用极限平衡法和有限分析法在兰尖、朱家包包等

铁矿评价了边坡稳定性。海南铁矿加强爆破测震和边坡位移监控等工作，对原设计的露天矿边坡角作了修改，获得了 5000 万元的经济效益。

三、地下开采技术的进步

(一)矿床开拓

我国地下矿山根据不同的矿体赋存条件、矿山地形地貌、技术经济条件而选用多种开拓方案。有色和黑色金属矿床多为急倾斜矿体，一般生产规模较大，因此，据不完全统计，采用竖井开拓占 50%，平硐与竖井联合开拓占 15%，平硐开拓占 20%，斜井开拓占 10%，其他占 5%。铀矿床倾斜矿体较多，且生产规模不大，故多采用斜井开拓。据统计，铀矿中用斜井开拓的矿山占地下矿山总数的 56%，竖井开拓占 32%，平硐开拓占 12%。

近 10 年来，许多矿山先后引进了无轨采矿设备，斜坡道已在小寺沟、尖林山、符山、大厂、凡口、三山岛等矿用于辅助开拓，初步显示出其优越性。

(二)井巷掘进

竖井掘进，五六十年代时，均采用人工或小型掘进设备施工，普通防水炸药(也使用少量硝化甘油炸药)爆破，木支护或木模浇灌整体混凝土支护，单层吊盘，掘砌单行作业，月平均掘进速度 10～20m。70 年代中期，研制成环形和伞形钻架，以及斗容 0.4～0.6m^3 抓岩机等较高效率的凿、装、提升、卸料设备，组成了机械化作业线，同时采用高威力防水炸药、中深孔(3～4m)光面爆破、锚喷支护、激光导向、坐钩式自动翻碴、短段掘砌、平行作业以及各种类型的金属活动模板和多层吊盘砌壁等一系列技术措施，取得了良好效果，一般矿山平均月进尺 25m 左右，1976 年凡口铅锌矿副井掘进最高月成井达 120.1m，连续 3 个月的总进尺超过 300m。

平巷掘进，解放初期基本上靠人工完成凿装运作业，以后发展为气腿子凿岩到近年的掘进钻车配以多台重型凿岩机凿岩，从 50 年代研制成华－1 型装岩机到铲插式和蟹爪式等多种耙取方式的装岩机直到无轨装运设备装岩，架线式或蓄电池式电机车运输，以及向－1 型自行矿车等等，形成了机械化掘进作业线；从掘砌(支护)顺序作业二次成巷施工方法，发展为采用掘砌(支护)平行作业一次成巷施工方法；从浅眼角锥掏槽、点火爆破，发展为较深炮眼直线掏槽，电力微差爆破和控制爆破等技术；并改善了通风、防尘、照明、防噪音等一系列作业条件；使掘进速度从平均月进尺不到 15～20m，普遍提高到 60～100m，采用机械化作业线作业的矿山，一般都达到 120～150m。浦市磷矿、新晃汞矿和马万水工程队分别于 1975 年、1976 年、1977 年创独头月进尺 903m、1056.8m 和 1403.6m 的纪录，跨进了世界先进的行列。

天井掘进，解放初期几乎全部采用木框式普通掘进法。60 年代初，研制和推广了具有效率高、木材省和通风条件较好的吊罐掘进法，但它在安全上仍有隐患。同期，引进和研制了爬罐，在镜铁山铁矿以及近年在大吉山钨矿应用。黄沙坪铅锌矿和八街铁矿等 30 多个矿山还成功地应用深孔一次凿岩分段爆破掘进法。近年研制成钻孔偏斜率小、效率较高的 KY－120 地下牙轮钻机用于钻中心孔，将有助于这种掘进法的推广。

斜井掘进技术近期有了长足的进步。铀矿、锰矿和铅锌矿都采用过多机凿岩、耙斗式装岩机装岩，箕斗提升和锚喷支护等一整套技术，使不少矿山的月进尺达到 120～200m 的先进纪录。

近十年来，开展了井巷钻进法的研究，取得可喜的进展。目前已有数十台不同型号的天井钻机在十多个金属和非金属矿山使用，先后钻进了近 200 条天井，钻进的最高天井为 140m，最大直径为 2m，一般月钻进速度为 80～100m，在中硬以下岩石中，钻进成本大体与普通掘进法相当。但竖井和平巷的钻进法尚处于试验阶段。

（三）采矿方法

据 1985 年各部门重点矿山的统计，使用各类采矿方法采出矿石所占的比重见表 2－8。

表 2－8　1985 年各部门重点地下矿山使用各类采矿方法采出矿石所占比重（%）

采矿方法	铁矿	有色金属矿	铀矿	化工原料矿	建材矿
空场法	5.9	34.5	14.3	60.6	51
充填法	0	19.1	54.8	0.9	21
崩落法	94.1	46.4	30.9	38.6	28

解放初期，大部分矿山采用浅眼留矿法和干式充填法，其次是全面法、房柱法、长壁法等。随着矿山机械化水平的提高和工艺技术的进步，一些劳动强度大，生产效率低，坑木消耗多，采矿成本高的采矿方法，如上向横撑支柱法、方框支柱充填法、分层崩落法等已很少使用，而一些高效率、高强度、低成本的深孔采矿方法（如阶段矿房法，分段崩落法，阶段崩落法）以及回采率高、贫化率小的尾砂与胶结充填法等逐步得到推广。目前，我国常用的主要采矿方法有以下几种：

A　空场采矿法

建国初期浅眼落矿的留矿法应用甚广。50 年代中，发展了深孔留矿法，后来又发展了许多变型方案，如全面留矿法、房柱留矿法、爬罐留矿法等。目前留矿法在有色金属矿山仍占较大的比重，但在铀矿山中因对辐射的防护条件不利，其应用范围日益缩小，在金矿中也因矿石损失贫化大而逐步被其他方法所代替。

全面法与房柱法在我国铜、锑、钼、磷、铀等矿用得较多。铀矿开采为了对辐射的防

护和减少污染，常用混凝土支柱取代矿柱，效果很好。60 年代初，锡矿山锑矿采用了杆柱房柱法，提高了矿石回采率。60 年代后，发展了深孔房柱法，最近，开阳磷矿正在试验进路杆柱房柱法。

1955 年华铜铜矿和金岭铁矿首先应用垂直扇形中深孔分段落矿的阶段矿房法（曾称分段采矿法），接着寿王坟铜矿应用潜孔凿岩的水平或垂直深孔的阶段矿房法。80 年代初，凡口铅锌矿试验成功了 VCR 法等大量落矿采矿方法。

B　充填采矿法

充填法多用于铜、铅、锌、锑、镍、金、铀等有色金属和贵金属矿山。建国初期，多用干式充填和支架充填。60 年代初，逐步采用尾砂和胶结充填后，凡口、金川等矿应用了机械化盘区充填采矿法，引进和研制了先进的采装运设备，建立了无轨采矿机械化充填新工艺。80 年代初，发展了下向充填法以及长锚索和短锚杆联合护顶工艺，解决了松软矿石的回采问题。

在铀矿开采中，对充填法的底部结构、间柱形式、采场垫板、顺路天井支护、混凝土输送系统以及干式充填料输送方式等方面进行了改进，使回采工艺水平与采场生产能力都得到较大提高。为了解决含铀煤开采时存在的火、水、氡气、瓦斯、地压等问题，还采用了倾斜分层和倾斜进路充填法。

C　崩落采矿法

壁式崩落法在锰矿、煤系硫铁矿、粘土矿、铝土矿、铁矿等多用长壁方案，铀矿多用短壁和进路方案。

50 年代向山硫铁矿和杨家杖子钼矿曾用低分段的无底柱分段崩落法采矿；1964 年引进无轨采矿设备，在大庙铁矿试验应用了高分段的无底柱的分段崩落法实现了机械化开采。目前这种采矿方法已占地下铁矿产量的 60～70%，在化学矿山也获得广泛应用。为进一步提高采矿强度，降低贫化损失，改善通风条件，70 年代后期又试验成功了高端壁双进路的无底柱分段崩落法。

有底柱分段崩落法于 1959 年在中条山铜矿开始试用，1960 年易门铜矿也使用了这种方法，并发展成为阶段强制崩落法。目前有底柱分段崩落法在铜矿、钼矿、磷矿中被广泛采用，实现了深孔挤压爆破落矿，电耙或铲运机出矿。60 年代初曾在易门铜矿试验过阶段自然崩落法，目前该法正在中条山铜矿和金山店铁矿试验使用。

在高温自燃的硫化矿床开采方面，采用了灌浆、封闭、充填采空区，加强通风、防火、灭火等措施，在铜陵松树山铜矿采用竖分条分段崩落法和向山硫铁矿采用低分段无底柱分段崩落法进行回采，都获得了较好的效果。

(四)地下开采爆破技术

解放初期,采掘作业全用浅眼爆破,使用硝铵炸药和少量的硝化甘油炸药,明火点燃导火索起爆,爆破效率低,且易发生安全事故。

50 年代中推广了电力起爆,60 年代初推广了导爆索起爆和微差起爆。随后,在深孔落矿的采场中,推广了散装炸药、机械装填的挤压爆破技术;在扇形深孔中还采用了大密集系数的爆破技术、同排孔间交错装药对角线微差爆破和预装药技术等;进行了采场爆破模拟试验研究,探讨了合理爆破参数及不同炮孔排布方式,从而改善了爆破效果。80 年代初,凡口铅锌矿在试验 VCR 采矿方法的采场,采用起爆弹 - 导爆索 - 导爆管 - 导爆索起爆系统,爆破效果良好,爆破后采场顶板和矿壁平整。

在天井掘进中,我国早在 50 年代末便开始试用一次凿岩、分段爆破的深孔爆破技术。近 10 多年来黄沙坪铅锌矿等在这方面技术有较快的进步,掘成的天井全高可达 60m;桃林铅锌矿掘进盲天井采用导轨式凿岩机一次钻凿深孔、分段爆破,成井高度平均为 12m;符山铁矿采用切割钻车凿岩,也取得同样效果。此外,在各类井巷掘进和硐室开挖中,推广了预裂爆破、光面爆破等控制爆破技术,对保证工程质量起到了重要作用。

解放后,在研制铵油炸药、浆状炸药和乳化炸药等矿用工业炸药,研制塑料导爆管非电起爆系统和无起爆药雷管,以及研制矿用炸药的加工与装填机械和爆破检测仪表等方面的成绩都是卓著的。例如我国是世界上最早在地下小直径炮眼落矿中应用乳化炸药的国家,我国研制的井下装药车小时生产率达 500kg,起爆器可引发 4000 ~ 5000 发电雷管,爆破器材参数综合测试仪能测全爆速、电雷管延期时间,并能提供起爆电源。这些成就标志着我国矿用爆破器材已开始步入世界先进行列。

(五)矿山岩石力学与支护技术

应用矿山岩石力学研究了井巷围岩的应力应变状态及其与时间的关系、井巷围岩与支护互相作用的机制以及采场顶板和矿柱应力应变及位移,为合理选择巷道断面及支护型式提供了科学的依据。

应用矿山岩石力学还初步解决了如锡矿山锑矿、湘西金矿、刘冲磷矿、邵东石膏矿等缓倾斜矿床开采和盘古山钨矿、弓长岭铁矿、石人嶂钨矿等急倾斜脉状矿床开采中的地压控制技术和大面积地压活动的预报监测技术问题;也解决了井巷和硐室工程支护中的实际技术问题。后者如在张家洼铁矿区深埋软岩巷道、西石门铁矿粗破碎机硐室和金川镍矿高应力区岩石巷道所做的各项研究试验,都是通过深入研究岩石的膨胀性,流变性等工程岩体力学特性,系统观察岩体变形和支护构筑物的受力状况后,经回归分析,据以指导设计施工和评定围岩稳定,收到良好的效果。这种‘位移监控法’正在推广发展中。

为此目的所需用的整套岩体和支护量测仪器，如收敛计、位移计、量测锚杆、喷层应变计和岩石参数声波测定仪等，以及为采场岩层位移和采空区大冒落的一批观测监控仪表，也已研究成功并推广应用。

这些成就的实际应用，开始改变了过去矿山设计中对地下采矿方法的选择、采场构成要素的选定、以及回采顺序、支护方法、充填机理、地下开采岩石移动角的确定等单纯依靠经验类比的方法。

50 年代，我国绝大多数矿山都应用木支架、砖、石料支护、整体浇灌、混凝土支护、钢筋混凝土整体式和装配式支护，以及金属支架等。60 年代初发展了锚杆支护，随后又发展了喷射混凝土支护以及锚喷或锚喷网支护等，在矿山得到广泛应用，从而逐步代替了 50 年代传统的支护方式。

20 多年来，注浆技术的研究成果在矿山得到了广泛的应用，如凡口铅锌矿、英德硫铁矿、金州石棉矿等竖井掘进时的地面或工作面预注浆堵水，金岭铁矿和梅山铁矿等竖井局部涌水事故的处理，金川镍矿等采取注浆措施，加固不良岩层和穿过塌落区，以及水口山铅锌矿和张马屯铁矿的大面积帷幕注浆隔水等。在注浆设备和材料方面，研制成功单液和双液注浆设备以及水玻璃、木质素、脲醛树脂、环氧树脂等多类化学浆液材料，此外，近年还应用了旋喷注浆技术。

(六)地下矿山机械化与自动化

30 多年来，我国地下矿山开采机械化与自动化的发展过程大体是：

国民经济恢复时期，从苏联引进了手持式气动凿岩机和小斗容铲斗式装岩机，在凿、装岩两项体力劳动强度很大的工序中实现了以简易设备替代手工作业。

第一个五年计划时间，从苏联引进整套矿山机械设备，并筹建矿山机械厂和研究机构，实现了低水平的机械化掘进和采矿。矿山自动化方面，开始装备了一些电气传动控制设备，如提升机的起动控制和电机车的速度控制设备等。

第二个五年计划和国民经济调整时期，开展了矿山采掘设备的全面仿制和局部创新工作。50 年代后期，仿制了苏联手持式、气腿式、支架式和向上式气动凿岩机、潜孔钻机，气动和电动铲斗式装岩机、小斗容抓岩机和低扬程小流量吊泵等；60 年代中期，大搞矿山机械化自行研制铲斗式装岩机、平巷掘进钻车、斗式转载机、槽式列车及吊罐等设备，形成了较低水平的采掘机械化作业线。此外，还从瑞典引进了当时较先进的气动采掘设备，对提高地下矿山采掘工业起了一定的作用。矿山自动化方面，对提升、运输、通风、排水等固定设备开展了较系统的研究，使矿山出现了一批继电器、接触器控制的简易自动化装置。

第三个和第四个五年计划期间，主要是进入 70 年代以后，在 60 年代机械化矿山试点的基础上，自行研制了多种独立回转式高效率凿岩机，平巷和采场钻车，竖井掘进钻架，各种斗容为 $0.4\sim0.6m^3$ 的抓岩机，车斗容积为 $0.2\sim0.4m^3$ 的自行式气动装运机，蟹爪、立爪和蟹立爪装载机，梭式矿车、振动出矿机等设备，形成了较高效率的机械化作业线。矿山自动化也有较大的发展。

第五个和第六个五年计划时期，地下矿山机械化和自动化水平得到了进一步提高。主要特点是设备品种更加齐全，单机效率和设备组合程度更高，有更多的辅助配套设备，形成了更完善的采掘机械化作业线。如研制出大直径高压潜孔钻机，井下小型牙轮钻机，液压凿岩机及其配套钻车，锚杆钻车，半湿式混凝土喷射机，锚喷组合列车，电动和柴油铲运机，遥控铲运机，以及各种电动和液压天井钻机等。这一时期矿山自动化发展的特点是 采用了以电子技术为基础的自动化装置和仪表 ；自动化的目的从单纯节约劳动力转变为提高生产效率、改善劳动条件和保证作业安全；自动化的对象从矿山固定设备转到采掘工作面和运输系统 加强了检测仪表的研制，并在大型设备（如卷扬机、天井钻机等）中应用先进的可控硅技术。

四、系统工程及电子计算机开始在矿山应用

60 年代初，我国开始了矿山系统工程的研究，应用运筹学排队论方法对露天矿山铁路运输问题进行探索。70 年代以来，开始开发露天矿可行性研究的计算机程序软件，完成了地质矿床模型、露天矿境界圈定、运输系统模拟与装运设备选择、长期采掘计划编制等一系列软件，1981 年冶金部主持通过技术鉴定，为露天矿可行性研究中应用电子计算机打下了良好基础。以后先后研制了更为完善的软件系统，应用于凹山、密云、德兴、大冶、厂坝等露天矿的开发可行性研究中。

由于矿山企业进行改革，强化管理，一些矿山对生产系统分析决策中应用电子计算机取得了不少进展，并取得较大的经济效益。如南京吉山铁矿因生产过程中的变化，要求相应调整矿山境界，用克立格法对原设计露天境界进行检验、进行多方案对比，在许多排列组合计算中选取最优方案，实施后每年可得经济效益 200 万元。类似方法还在太钢峨口铁矿对铁矿石工业指标的合理性进行研究，解放了生产力，使矿山达到设计年产量，由年亏损 400 万元转为赢利 400 万元。

利用计算机模拟方法评价并改进装运工艺系统。如大孤山铁矿模拟电铲－电机车系统，评价并提出所能达到的运输能力，找出其中薄弱环节加以改进。歪头山、石人沟、大宝山等铁矿也做过类似分析。地下矿山应用电子计算机对一些采矿方法进行模拟研

究和通风网络的解算，也收到较好的效果。

用电子计算机编制长期开采进度计划和短期配矿计划开始在矿山使用。如石人沟铁矿已编制出适用于露天矿山编制年度开采计划用的计算机程序；黄沙坪铅锌矿、符山铁矿已编制出适用于地下矿山的程序。符山、水厂、大宝山等铁矿、船山石灰石矿研制应用了一批计算机配矿的程序。

微型计算机在矿山应用已贯穿到生产管理、设计计算各个环节中。不少矿山开发和应用了数据处理及辅助决策的应用软件。如攀枝花矿山公司、海南、东鞍山、梅山铁矿、德兴铜矿、大厂锡矿应用微机计算的范围有综合计划统计、销售与供应管理、库存管理、设备管理、财务管理、成本控制、工资管理、干部档案管理、生产调度等等。有些设计院已将计算机辅助设计(CAD)技术应用于编制矿山长期开采进度计划，使采矿工程师免去绘图、计算储量等繁琐作业。

五、矿山安全环保技术的进步

贯彻安全生产、保证良好的工作条件和保护生态环境，是我国矿山企业管理的基本原则。解放以来，我国颁发了一系列矿山安全条例和环境保护规，各部门、各矿山根据国家的要求进一步建立和健全了安全环保规章制度，加强了领导和专职机构，开展了安全与环保技术的科研工作。

(一)矿山安全技术

爆破是50年代导致矿山重大事故的主因之一。近30年来，研究了炸药爆炸时的物理化学反应和爆破的力学效应，因而能较准确地计算爆破地震效应和空气冲击波安全距离，也就能有效地防止爆破对构筑物的破坏和爆破飞石的危害；研究成功了能有效防止起爆引起伤亡事故的非电起爆系统，以及抗杂散电流雷管、无起爆药微差雷管等起爆器材，为爆破安全提供了物资基础；此外，还研究了杂散电流分布规律，硫化矿中的炸药自爆机理及对炸药库的防潮等方面的技术。这些成果对防止爆破安全事故的发生起了重要作用。

岩层破坏引起的安全事故占矿山事故的很大比率。在地下采矿方面，近期已能通过现场观测、实验室工作和理论分析，划定矿区地压活动的危险区；研制并普遍应用了地音仪、声波仪、光应力计、钻孔应力计、地震仪等仪器，对地压活动进行观测，近10多年来，锡矿山锑矿、巴里锡矿、石人嶂钨矿等，多次成功地预报了大面积地压活动；弓长岭、梅山、程潮和尖林山等铁矿进行采区顶板观测及空区处理问题的研究，通过各种仪器的观测分析，获得了可靠的资料，使顶板冒落规律的分析及监测顶板冒落情况有了科学依据，

对分析地压活动及认识其规律性具有重要作用。

露天矿边坡的维护取得了重要的成就，70 年代，大冶铁矿先后对三个较大的滑体采取打抗滑桩，预应力锚杆和锚索，修筑混凝土护坡墙等措施进行边坡滑体局部加固获得成功，以后许多矿山又应用了削坡减载、坡面注浆、钻孔疏水等一系列边坡加固技术都取得良好的成效。某露天铀矿曾五次产生滑坡，通过以打钻孔柱为主的综合治理措施，得到治理。近年，我国研制成多点边坡位移自动记录仪等仪表，监测边坡，作过多次准确的滑坡预报。如大冶铁矿 1979 年 7 月成功地预报了该矿象鼻山北帮 2 万多立方米滑体的塌落，保证了矿山人员和设备的安全。德兴、永平、石录等铜矿和云浮硫铁矿等对泥石流的危害，提出了一系列的防治措施，也是很成功的。

此外，为防止竖井提升中跑罐、过卷扬和蹾罐等事故，改进了过卷扬保护装置，研制了卷扬机信号显示仪、卷扬信号发送器和接收器，研制了卷扬机的动力制动装置，均起到良好作用。

(二)矿山卫生工程与环境保护

矿山通风的主要成就，一是全面实现了矿井机械化通风，并在通风系统上针对各矿的具体情况，研究建立了分区通风和棋盘式、梳式、上下行间隔式等通风网络结构，不断地完善了通风系统；二是对通风设备运转和系统参数的测定，成功地应用了遥控遥测技术；三是对局扇通风方式，特别是降低漏风系数和分支通风方面取得了较多的经验；四是研究提出了地温预热系统选择和预热巷道参数的设计计算方法，推广了入风流地温预热的经验，有效地解决了北方矿山冬季入风井冻结问题；五是对通风机械、自动风门及局扇消声装置的研制方面，也取得可喜的进展。

30 多年来，我国矿山工作者围绕减尘、降尘、排尘和防护等四个环节发展了以风、水为主的综合防尘措施，普遍采取了喷雾洒水、密闭及加强通风的措施，研制了多种除尘设备、测尘仪表和个体防护装置，结合管理工作，提出并推行了“水、风、密、管、护、教、宣、革”八字防尘方针。在防止氡气、铀矿等放射性物质和柴油设备的废气污染方面，铀矿和云南锡业公司等单位做了许多卓有成效的工作。由于这些努力，全国出现了一大批防尘、防毒和防污染的先进矿山，例如西华山钨矿的通风防尘与文明生产的经验，深受国外同行的重视。

对露天矿大型设备的单机防尘与空调技术进行了试验研究。如在牙轮钻机上安设了复合顺气流脉冲袋式除尘器，在电铲司机室安装了带有防尘与负离子发生器和半导体空调器等净化与空调装置。

80 年代起，白银露天矿在采场、地表及近空进行了长期系统的气象参数与污染强度

的观测与分析，利用整套低空探测仪器，建立了我国第一个矿山大气污染气象观测站。大孤．山铁矿深凹采场和大冶铁矿也相继进行了这方面的测定研究。

有计划地整治因采矿而破坏的土地，进行复垦植被、取得较好的效果和经验。如湖南601矿复垦总面积达83万平方米，复垦率达93.4%。永平铜矿和板潭锡矿的大面积植树造林和复垦工作，成效同样显著。此外，盘古山钨矿等的矿区绿化对改善矿山环境也是十分重要的。

六、采矿教育、科研与设计力量的壮大

建国以来，采矿教育、科研、设计事业也得到了蓬勃的发展，科技队伍不断壮大。

(一)教育事业的发展

东北地区解放后，人民政府即在夹皮沟金矿开办了采矿技术人员训练班，培养了新中国第一批采矿科技人员。建国后，相继创办了一批高等和中等矿业学校，1950年成立了东北工学院，1952年进行高校院系调整，成立了北京钢铁学院、中南矿冶学院(现名中南工业大学)等。至今，设有采矿专业的部属高等学校已有21所(见表2－9)，并招收和培养了硕士和博士研究生，至于中等专科学校就更多了。此外，还开办了许多技工学校、职工业余学校和短期训练班等。从而培养和造就了一大批采矿专门人才和技术工人，扩大了矿山科技队伍，提高了矿业职工的素质。

表2－9　我国有采矿专业的高等学校、部属设计和科研机构

序号	高等学校	部属设计院	部属研究院
1	东北工学院	北京有色冶金设计研究总院	长沙矿冶研究院
2	北京钢铁学院	长沙有色冶金设计研究院	长沙矿山研究院
3	中南工业大学	鞍山黑色冶金矿山设计研究院	冶金部安全环保研究院
4	昆明工学院	昆明有色冶金设计研究院	北京矿冶研究总院
5	西安冶金建筑学院	南昌有色冶金设计研究院	核工业部第六研究听
6	鞍山钢铁学院	长沙黑色冶金矿山设计研究院	马鞍山矿山研究院
7	包头钢铁学院	沈阳铝镁设计研究院	长春黄金研究所
8	江西冶金学院	蚌埠玻璃工业设计研究院	西北矿冶研究院
9	武汉工业大学	秦皇岛玻璃工业设计研究院	咸阳非金属矿研究所
10	重庆大学	天津水泥工业设计研究院	合肥水泥研究设计院
11	衡阳工业学院	兰州有色冶金设计研究院	
12	广西大学	长春黄金设计院	
13	武汉钢铁学院	核工业部第四设计研究院	

序号	高等学校	部属设计院	部属研究院
14	广东工学院	苏州非金属矿工业设计研究院	
15	四川建筑材料工业学院	成都建筑材料设计院	
16	武汉化工学院	化工部化学矿山设计研究院	
17	沈阳黄金专科学校	化工部化学矿山规划设计院	
18	长沙有色金属专科学校	马鞍山钢铁设计研究院	
19	昆明有色金属专科学校	秦皇岛黑色冶金矿山设计研究院	
20	连云港化学矿业专科学校	南京水泥工业设计研究院	
21	山东建材专科学校	长沙化学矿山设计研究院	

（二）科研机构的创立

解放前的采矿科研机构仅有一个十余人的采矿研究室，50 年代中期在长沙创建了我国第一批全国性的采矿科研专门机构，如长沙矿冶研究院和长沙矿山研究院等。现在，部属科研单位已达 10 所（见表 2－9）。此外，一些省、市及大中型企业、高等矿业院校设立了采矿研究所。这些研究单位已拥有较高理论水平和综合研究能力的科研队伍，又有先进的试验装备和完善的实验手段，能独立完成大、高、精的国家重点科研项目。

我国采矿科技工作者，理论联系实际，面向生产，解决了一系列重大采矿技术难题，有的科研成果达到了国际先进水平。到 1985 年止，五个部门的采矿系统共获得了 400 多项部和国家级的科研成果奖。这些成果在矿山得到推广应用，促进了生产发展，得到较好的经济和社会效益。

（三）设计力量的壮大

1953 年我国组建了第一个有采矿专业的设计院，即北京有色冶金设计研究总院，1956 年成立鞍山黑色冶金矿山设计院。1958 年以后，各部门都建立了自己的矿山设计院。至目前，除各省、市和大型企业的设计院（处）外，五个部门直属的有采矿专业的设计单位就有 21 个（见表 2－9）。这些设计院专业齐全，除承担国内大、中、小型的矿山设计工作外，还完成了援外的矿山设计任务。

（四）学术活动与情报交流

新中国成立以来，广泛开展了采矿学术活动和情报交流，各部门都有群众性的学术团体——学会。对提高采矿技术水平起着重要的作用。

1956 年成立了中国金属学会，随后成立了化学工业学会、铀矿冶学会、硅酸盐学会，1985 年又成立了有色金属学会。每个学会都设有采矿学术委员会，领导开展采矿学术活动，进行国内外采矿学术交流，提供咨询决策，出版学术刊物与科普读物等工作。各学会（包括煤炭学会）每三年联合召开一次全国采矿会议，检阅采矿科技成果，探讨采矿业发

展趋势。这些活动对促进采矿界多出成果,多出人才以及推动采矿工业的发展都做出了较大的贡献。

同时,各部门还按行业建立了采矿情报网(近年又在此基础上成立了中国采矿情报协作网),每年召开年会,举办学习班,先进技术讲座和情报交流会,做封互通情报,及时交流经验。

各部门还创办了多种采矿刊物和出版专题文献资料,主要有《有色金属(采矿部分)》、《金属矿山》、《铀矿冶》、《化工矿山技术》、《非金属矿》、《工业安全与防尘》、《爆破器材》、《国外金属矿采矿》、《国外采矿技术快报》、《金属矿业文摘》等期刊杂志,介绍国内外采矿科技成果,学术论文以及生产与科研动态等。

七、采矿工业的进一步发展

中国古代采矿工业曾经有过光辉灿烂的历史,但在近二百余年以来,发展缓慢,落后于西方的现代采矿工业。新中国成立以后,重视矿山建设,积极发展生产,改进技术,采矿工业获得很大进步,为社会主义经济建设提供了大量基础原料,作出了巨大贡献。但与国际先进水平相比,我国采矿工业还存在下列几个主要问题:

(1)矿山装备水平方面,大型露天矿尚缺乏性能良好、生产效率高的大型装载运输设备;地下矿山没有足够的机动灵活、适应性强、坚固耐用的无轨和液压设备;矿山设备品种单一,没有形成系列化产品;辅助作业设备不全,发挥不了主机设备的生产能力;备品配件供应困难,使国内新研制的设备,甚至从国外引进的成熟设备,也不能顺利应用;矿山作业的自动化水平更低。因此新的高效率的工艺尚未完全掌握推广。

(2)矿山管理方式不适应现代化生产的要求。我国当前还缺乏先进的科学管理手段(如供矿山管理应用的电子计算机及软件、先进的信息设备等),基本上尚停留在手工业的管理阶段;管理体制落后,从生产上需要的备品配件(如设备零件、钢钎、钎头等)、原材料(如炸药、水泥等)到职工及其家属的生活、医疗保健、文体活动、子女教育与就业等问题都需要矿山自行解决,没有发挥社会的力量办矿山,而是把矿山办成为行业齐全的市镇社会,因而加重了矿山的额外负担;另一方面又没有重视职工的技术培训,缺乏掌握先进技术的本能。

(3)矿山劳动生产率低。我国矿山劳动生产率,特别是全员劳动生产率与国外采矿工业发达国家比较要低十数倍,甚至更多。这不仅带来矿山大量非生产性开支,降低矿山经济效益,而且导致矿山开采强度低,建设周期长,积压资金等一系列缺点。

因此,必须针对上述问题,采用先进设备,改进开采工艺,提高设备的作业率,改革经

营管理体制,实现科学管理,从而不断地提高劳动生产率,降低生产成本,提高资源回采率。深信随着‘改革、开放’方针的继续贯彻,我国采矿工业必将获得进一步的蓬勃发展。

第六节　采矿的未来

据估计,今后相当一段时间,矿产资源完全可以满足人们的需要。预计在今后二三十年甚至上百年,人类的采矿活动仍将以大陆为主。但矿床开采条件将日益艰难复杂,矿石品位日益降低,因此,必然要采用特殊的开采技术。同时将会面向海洋,开发丰富的海底矿产资源。此外,探索星球采矿技术也可能兴起。但这要在比较遥远的未来方能变成现实。

一、露天采矿

在技术经济合理的范围内,最大限度地增加开采深度,是露天采矿技术总的发展趋势。预计到本世纪末,一些大型金属露天矿,其开采深度可达 600 ~ 800m。此时,有关岩石力学,边坡稳定和通风排水等研究工作,将相应得到较大的发展。

为了解决露天矿进入深部开采以后,运输距离越来越大、剥离费用越来越高,以及地表的生态和环保等问题,今后在开采倾斜深矿床时,可能使用内部排土技术工艺,用分层开采矿床(在开采下部分层时重新铲掘剥离岩石),并将剥离岩石充填采空区。这是提高深露天矿开采技术经济效果的一个发展方向。

随着科学技术的进步,在本世纪末,一些露天矿可能采用新的采剥工艺、堆积方法和矿岩在生产过程中的加工方法,以便建立不排岩土或少排岩土的露天开采工艺,并尽最大可能提高矿岩的综合利用。

今后一二十年常规穿孔作业,牙轮钻机仍将占主要地位,但将普遍采用电子计算机自动控制穿孔工作制度参数。牙轮钻机和高压水射流(或激光等)联合穿孔的技术,在今后也颇有发展前途。

预计到 2000 年时,将出现更为高效、廉价而适应性强的新型炸药。非电起爆系统将普遍采用,应用微波照射起爆炸药也可能推广。此外还将广泛使用电子计算机进行爆破优化设计,以便根据不同岩性正确选取炸药类型、装药结构和合理的爆破参数,提高爆破效果,减少爆破震动,并计算从穿孔爆破、装载运输直至破碎、磨矿整个系统的效率,能耗

和总体经济效益。

在本世纪末以前的挖掘装载设备，电铲仍将占居重要地位，但液压挖掘机将在比较松软的矿岩中广泛应用。在 2000 年以前，可能研制成功一种兼有单斗电铲、前端式装载机和液压铲各种技术优势的新型挖掘装载设备。

到 2000 年时，汽车运输在露天矿仍将广泛应用。今后汽车运输技术的发展，在很大程度上将借助电子计算机和空间技术的成果，其变革的重点将放在改进技术性能、节约油耗、减少废气污染和安全可靠上，以便不断提高运输效率并降低作业成本。随着科学技术的进步，100 ~ 160t 级的机械传动汽车将有新发展，并将与同吨位的电动轮汽车展开激烈的竞争；而大吨位的架线式电动轮汽车（亦称双能源汽车），则将在柴油昂贵而电力资源比较丰富的地区推广使用。预计到 2000 年时，载重 30 ~ 60t 的中小型自卸汽车仍将在中小型矿山广泛应用；载重 200 ~ 250t 级的特大型汽车则将仅限于在少数特大型露天矿的上部水平剥离作业中工作；至于载重 110 ~ 150t 或 180t 级的大型汽车，则将广泛用于大型露天矿的下部水平或作业空间较大的区段。为了提高电铲和汽车的综合装运效率，在各种大型露天矿中还将全面推广电子计算机自动化调度汽车系统。

在某些运量较大、运距又很长的大型露天矿，由于铁路运费低廉，能耗较少而可靠性又较高，因此到 2000 年时仍将采用铁路运输（单一的或与汽车联合的），且在设备和工艺上还将进一步发展。其合理使用范围可达深度 300m 左右。发展途径将是采用电力牵引机组（粘重 360t 以上）、大坡度（50 ~ 60‰）线路和露天矿内部隧道或外部堑沟，同时改进设备和线路设施，使各工序作业全盘机械化，并用电子计算机改善运行控制和调车作业。

在今后一段时间内，采场破碎 – 带式输送系统将成为深凹露天矿的一种重要运输形式。在工作平台较多的矿山，将继续采用“汽车 – 破碎机 – 带式输送机”运输系统，以充分发挥汽车运输的灵活性和带式输送机的优越性，在某些矿体赋存条件比较简单，工作线比较长而运输水平又比较少的大型露天矿，则可能取消汽车而直接采用“电铲（或前端式装载机）– 移动式破碎机 – 带式输送机”这一新的工艺系统。上述运输系统将采用电子计算机进行监测和联锁控制。在某些露天矿的端帮还可能采用 30° ~ 60°的大倾角夹心式带式输送机，作为“采场内破碎 – 带式输送”系统的组成部分，将块度小于 250mm 的矿石转运到地面带式输送机运往选矿厂。

在 2000 年左右，某些软和中硬矿岩的露天矿，可能使用类似目前某些露天煤矿的“斗轮挖掘机 – 带式输送机”这一连续开采工艺，但其斗轮挖掘机的结构形式和工作状态将有较大改进，并在其轮斗的侧壁或前方装设圆盘式切割器、镐式刀盘或碎石松土器，在轮斗挖装时，预先将岩石切割碎裂。某些特大型坚硬矿岩露天矿则可能采用“‘斗轮’挖

掘机 – 带式输送机 ’这一连续装载 – 运输的工艺系统，但这要借助爆破工艺技术的改善和‘ 斗轮 ’挖掘机结构强度的提高及其结构形式的改进，并在技术经济论证合理的条件下方能使用。

二、地下采矿

当前世界上最深的地下矿山已在地表以下 4200 多米进行开拓，预计今后会继续加深。此时，有关运输，提升、地压管理、岩石力学、通风和降温等安全环保问题，将日益复杂和困难。

今后地下采矿技术的发展，仍将以不断提高矿山生产效率和矿产资源的回收利用为中心，并尽量采用先进技术，减少基建投资和生产成本，同时最大限度地改进采矿作业的安全和环境保护工作。

预计在本世纪末以前，传统的地下采矿工艺和设备，将不断有所改进，而无爆破采矿和完全电气化的矿山，则可能在 2000 年以后出现，并将成为今后地下采矿技术的一个发展方向。

尽管各个地下矿山的地质条件不同，情况多变，但随着整个采矿工艺和设备的不断革新，其采矿方法必将根据矿山本身的具体条件而不断革新和改进，以寻求最经济合理的发展途径。

被誉为当代地下采矿技术重大发展之一的 VCR 法和 VRM 法，既有大量落矿法生产效率高的优点，又有充填法地压控制好，矿石损失贫化少的长处，目前已越来越引起人们的关注，预计今后将进一步优化和发展。瑞典 LKAB 公司在研究中的‘ 2000 年的基律纳地下矿 ’准备建设 1000m 深的地下‘ 露天矿 ’，采用大规模空场采矿—崩落采矿法，凿岩、爆破和装运作业，均用电视屏幕和计算机遥控，这是一项具有巨大想象力的工程。至于中厚以下急倾斜矿体的采矿技术，今后研究的焦点是寻求减少贫化率，提高经济效益的采矿方法，同时研制小型新设备以提高机械化水平。预计，在急倾斜中厚脉状矿体中，分层充填采矿法和分段凿岩阶段矿房法将有较大的竞争力。对于充填采矿法，今后的发展重点将是降低成本，并研究同时进行回采和充填两项作业，以提高生产率。

在发展大直径深孔落矿的采矿方法时，采场凿岩将进一步发展机身低矮而易于拆卸的高压潜孔钻机，其孔径可达 100 ~ 250mm，孔深可达 100 ~ 200m，整个凿岩工作将由电子计算机监控。破碎大块将不再使用炸药，而代之以液压碎石机或其他化学碎石剂。在 2000 年以前还可能使用硬岩连续采矿机，在一些矿山的一些区段取代传统的凿岩爆破法。

在 2000 年以前,柴油铲运机将逐步被电动铲运机取代。今后还将出现架线式(或架线一电缆联合)电动铲运机。

在 2000 年以前还可能使用电动液压操纵的连续装载机,亦用电子计算机进行监控,其生产效率可达常规铲运机的 5 ~ 10 倍 ;连续装载机具有灵活的履带式行走机构,可向链板输送机连续装矿,并可与移动式破碎机和带式输送机配套作业,形成连续装载运输系统。在某些条件下将取代井下汽车或铁路运输。未来的带式输送机将可实现水平拐弯,其提升倾角可超过矿石自然安息角而成为一种急倾斜提升运输工具。

在某些深度不大而距选矿厂又不远的矿山,采用斜坡道汽车开拓,直接从工作面将矿石运到选矿厂将有发展前途。但今后井下的汽车运输,将用电动汽车取代柴油汽车。电动汽车将以架线供电为主,辅以蓄电池供电,它可以到达柴油汽车能够到达的任何地方,并可提高运行速度,降低噪声和废气污染,减少通风费用和运输成本。

矿石将不经竖井用箕斗罐笼提升,除上述大倾角带式输送机和汽车斜坡道运输外,还可能出现矿浆管道运输。即将矿石在地下破碎,研磨后,用水力泵送到地表。在技术经济适宜时,还可建造地下选矿厂。

在未来地下矿的井巷掘进中,可能用钻进法逐步取代凿岩爆破法。目前国外一些地下金属矿山,不但已成功地使用天井钻机钻凿天井 ;而且还用天井钻机以扩孔方式钻成直径 6m、深 990m 的竖井,其导向孔的偏差仅 0.6%。预计今后在软岩中将可用竖井钻机全断面掘进,一次成井 ;而在硬岩中则将仿效天井钻进法先打导向孔然后扩成大断面井筒,此时将辅以高压水射流钻进成井。过去许多矿山采用多竖井开拓,今后则将尽可能用一条大直径的竖井开拓 过去采用多段提升的深井,今后则将尽可能采用深井单段提升。今后一些主提升井的直径可能增大到 12m 以上,而最大井深则可能达到 3000m,即使矿山深达到 4000 ~ 5000m 时才也只需两段提升。至于平巷掘进,目前虽仍以普通凿岩爆破法为主,但到本世纪末或 2000 年以后,平巷联合掘进机将取得进一步的发展,特别是掘进机的机体及其刀具从结构到材质均将有较大变革,若再与高压水射流或激光等联合作业和电子计算机控制,不用凿岩爆破的平巷掘进法,终将在硬岩矿山得到实际应用。

综上所述,未来的地下矿山将出现重大的技术变革,不用炸药的无爆破机械连续采矿法可能实现,而不用柴油机的完全电气化的矿山也为期不远。

三、溶浸、水溶、热熔采矿及盐湖矿床开采

溶浸采矿与常规采矿法相比,具有投资省、成本低、能耗少、建设周期短、劳动条件好

和环境影响轻微等许多优点。特别是它可以充分利用矿产资源,不仅适于处理矿体或矿区边界以内的贫矿,崩落区或充填区内的残矿,老采空区残留的矿柱,地面的表外矿或过去堆存的低品位矿石和尾矿等潜在的矿产资源,回收其中有价值的成分;而且还可经济而有效地开发利用由于品位低、埋藏深、产状多变、成分复杂、选别困难等技术经济上的种种原因以致不能用常规方法开采的矿床。因此,近十余年来,溶浸采矿十分引人注目。目前国外许多采矿工业发达的国家用溶浸法所产铀量已超过用常规采选法处理的产铀量。美国用这种方法产出的铜达全国铜年产量的 18 ~ 25%。特别是近年金价上升,许多国家用这种方法回收低品位金矿,日益增加。预计今后除对目前已进入工业生产的铀、铜、金,银四种金属的溶浸采矿进一步推广并完善其工艺外,还将使溶浸采矿的应用范围进一步扩大,可望在 2000 年以前,锰,镍、钴、铝的溶浸采矿法将有所突破,并投入工业生产。

近年来溶浸采矿最使人感兴趣的一个方面是采用细菌(即生物工程)来对付难以处理的矿石以及含有大量有毒共生矿物(如砷、汞和锑)的矿石和精矿。生物处理法不但可使矿石或精矿中的有用成分转变为更适于常规法浸出,而且可将有毒的共生矿物转化为危害性较小的副产品,从而提高了金属回收率并使环境污染减至最低限度。尽管这种回收工艺目前在工业上尚来得到广泛的应用,但已有一些技术开发公司长期在积极研究并已获得了若干享有专利的细菌浸出工艺流程。预计在本世纪末以前,这种生物处理法,将可在实际工业生产中推广应用。

近年来用堆浸 – 碳吸附 – 电积法回收金银的技术已臻成熟并已在工业生产中广泛应用,今后还将进一步完善和发展。在金矿的原地浸出和加工处理中用氰化物作为浸出剂,对地下水的污染和生态环境的危害较大,近年来对无氰浸出剂的研究工作正逐步取得进展,而且还可能找到更新的回收方法,预计用原地浸出金银矿物在今后颇有发展前途。

在非金属矿物中,用钻孔水溶法回采钾盐、岩盐和钻孔热熔法回采自然硫等技术上已经成熟,并积累了较丰富的工业生产经验,是今后的发展方向。预计今后将进一步强化其溶解手段,并在开采磷块岩、天然碱和芒硝等矿种方面扩大其应用范围。

盐湖矿床是固液共存、互相转化的一种特殊矿床,含有石盐、钾镁盐、硼、锂、芒硝、天然碱、钠硝石、水菱镁矿、铷、铯、溴、碘等矿物或化合物。预计随着现代化建设事业的发展,上述矿产必将更加广泛地进入到新的工业领域。因此进一步研究它们的固液态转化规律,改进旱采、水采工艺,研制更有效的开采设备(如采盐机、索斗铲等)将具有重要意义。

四、海洋采矿

海洋矿产资源十分丰富，在世界 3.62 亿平方公里的海底总面积（占地球面积的 2/3 以上）中，约有 15% 为锰结核所覆盖。从大陆架、大陆坡到大洋底蕴藏着大量的金属矿和非金属矿，其中还有一些可再生的自生矿物（如锰结核等）。

尽管海洋矿产资源受其构造特点、赋存条件，水深，离海岸距离和开采提升方法等经济技术条件的约束较大，目前还处于半工业性试验阶段。但今后随着科学技术的进展以及人类对某些矿产资源的日益需要，海洋采矿必将加速发展，并成为未来采矿的重要方向。

大陆架海底表目的矿产资源主要有海滨砂矿和砂砾。砂锡（锡石）是砂矿的重金属矿物代表，砂砾是世界上重要的骨料资源。目前开采海砂主要使用砂泵或戽斗法，由于泵吸扬程只有 40m 左右，其采场仅限于 20～30m 深的浅海处；今后为了开采更深处的海砂，需要进行赋存状态的调查及开采技术的开发研究。

大陆架海底基岩中的矿产资源主要有两种类型；一是金属矿和煤等固体矿物，另一是石油和天然气等流体矿物。此外，还有与岩盐丘地共生的硫磺和层状岩盐的可溶性矿物，固体矿物的开采一般要从海岸或人工岛上开凿很长的巷道，不论在技术上还是经济上都是难题，可溶性矿物的开采方法是通过钻孔输入过热水蒸汽或过热水使之溶解，然后通过竖井提升到海面及地表。

分布在大陆架海底表层的海绿石、磷灰石和重晶石，在大陆坡上也有赋存，但由于水较深，其重要性不如大陆架。在水很深的地区受技术和经济方面的约束难以开采；而分布在水深 1000m 左右坡面上的矿产资源，在将来则有可能开采。

在海洋采矿中最有价值、最有希望而又最引人注目的是赋存在大海洋底的锰结核、富钴锰结壳和热液金属矿床。

海洋锰结核广泛分布于水深 3000～5000m 处的各大海洋底表层，呈未固结状、块状或层状，其总储量约 5000 亿吨；而在太平洋夏威夷群岛东南方的 $C-C$ 富矿区，预计可作为第一代锰结核开采的工业储量约 230 亿吨，富含镍、铜、钴、锰等有用金属元素。其中有镍 2.9 亿吨（含镍 1.26%），铜 2.3 亿吨（含铜 1%），钴 0.6 亿吨（含钴 0.25%），锰 63.3 亿吨（含锰 27.5%）。这是目前最重要的潜在矿产资源。为此，近二十多年来，美国、法国、联邦德国、苏联和日本等工业发达国家，或自行组织勘探，或组成跨国集团进行勘查，并已在部分海域进行了采矿试验。海洋锰结核的开发系统包括海底集矿、水中提升，采矿船临时储矿、海陆运输及矿石处理等重要环节，目前重点研究的主要有流体方式

采矿系统和连续绳斗式采矿系统两种，而前者似更受到重视。美国对海洋锰结核的开发预计在 90 年代末 21 世纪初可能达到商业生产阶段。日本工业技术院在 80 年代初制定了锰结核采矿系统研究开发计划（1981 至 1989 年），目前配合该项目的有关研究所正共同进行开发研究，预计在 2000 年左右可能投入工业性生产。但由于深海采矿是一种高风险高难度技术，而且围绕海洋锰结核的开采权问题，工业发达国家和发展中国家一直在进行斗争 此外，各国锰结核采矿集团之间在技术上也相互保密，无不希望各自能尽量获得国际海底富矿区，并早日进入商业生产。这虽有利于技术竞争，但也可能延缓技术开发的进程。

富钴锰结壳几乎全部分布在沿海岸 200 海里水域内深 1000 ~ 2000m 的海山坡面上，其含钴量一般为 0.25 ~ 0.35%，有的甚至高达 1%以上，由于钴是一种重要的战略物资，而且都在有关国家 200 海里经济专属区以内，因此在最近几年之内就有可能开发海上的富钴锰、结壳。

海底热液金属矿床已发现的有高温热液中含有锌、铜、铁、银、金等重金属泥和固态金属硫化物矿床，后者赋有深度较浅，一般为 200 ~ 300m 左右，目前美国等正使用潜艇在东太平洋海膨区域进行勘查。而红海的重金属泥已由沙特阿拉伯 – 苏丹红海委员会受联邦德国等企业委托着手制定勘查与开发计划，并正在进行振动 – 虹吸方式的采矿试验。由于这些矿床的金属含量很高（含铜 10%，含锌 30 ~ 55%），已成为引人注目的海洋资源，有关采矿方法的研究将是今后开发的重要课题。

第二章　矿山地质与矿床

第一节　矿　　物

一、矿物及其分类

矿物是由地质作用形成的天然单质或化合物。它具有相对稳定的化学成分，呈固态结晶者有确定的内部结构，少数呈液态（如水）、气态（如硫化氢），在一定物理化学条件范围内保持稳定状态。目前已命名的矿物约三千种。

一种或多种有经济意义的矿物集合体称为矿石。矿物或其集合体的化学成分或物理性质决定着矿石的用途，矿物的粒度和结构构造影响矿石的加工工艺，因而矿物研究是矿产开发的重要基础。

一般采用晶体化学分类法进行矿物分类。通常将矿物分为六大类：（1）自然元素；（2）硫化物及其类似化合物；（3）卤化物；（4）氧化物和氢氧化物；（5）含氧盐，包括硝酸盐类、碳酸盐类、硼酸盐类、硫酸盐类、硅酸盐类以及铬酸盐、钼酸盐、钨酸盐、磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐类；（6）金属有机化合物。

二、矿物鉴定

鉴定矿物先从外表可见的特征入手。包括：（1）颜色；（2）条痕，即矿物粉末色；（3）光泽，即矿物表面对可见光反射的能力，由强而弱分为：金属光泽（如同金属抛光后的表

面)、半金属光泽(如同陈旧的金属器皿表面)、金刚光泽(如同金刚石磨光面)、玻璃光泽(如同玻璃表面)、并因矿物解理和集合体习性不同而呈珍珠、油脂、树脂、丝绢、腊状和土状光泽;(4)透明度;(5)硬度,常以十种不同硬度的矿物来表示等级(摩氏硬度)即1)滑石、2)石膏、3)方解石、4)萤石、5)磷灰石、6)正长石、7)石英、8)黄玉、9)刚玉、10)金刚石;(6)结晶习性;(7)解理;(8)断口;(9)比重;(10)磁性;(11)发光性,激发能量停止作用即停止发光的称荧光,还能继续发光一段时间的称磷光;(12)可燃性等等。此外还应注意矿物共生的规律。矿物简易鉴定索引列入表2－10。

表2－10　矿物简易鉴定表

条痕	硬度	解理	颜色及其他特征	矿物名称
黑色或金属彩色(金属光泽为主)	<5.5	明显	银白、锡白、铅灰、钢灰、铁黑色	石墨、辉钼矿、方铅矿、辉锑矿、自然铋、硫锑铅矿、硫锰矿、硫砷铜矿、角银矿
		无		辉银矿、辉铜矿、黝铜矿、黝锡矿、自然铂、粗铂矿、自然银、晶质铀矿、硼镁铁矿、软锰矿、铀黑、石墨、辉钼矿、钴土矿、钯铂矿
	≥5.5			辉砷钴矿、毒砂、钛磁铁矿、沥青铀矿、钛铁矿、磁铁矿、硬锰矿、褐锰矿、方钍石、砷钴矿、硫钴矿、亮铱锇矿、砷铂矿
	<5.5		铜红、金黄、蓝、铜黄等金属彩色	铜蓝、自然铋、自然金、自然铜、斑铜矿、黄铜矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿、红砷镍矿、红锌矿、碲金矿
	≥5.5			白铁矿、黄铁矿
褐、红、黄色(半金属光泽、金刚光泽)	≤2.5		红、褐	辰砂、雄黄、钴华、褐铁矿、粉末状赤铁矿、脂铅铀矿、深红银矿、淡红银矿
			黄	自然硫、雌黄、钨华、铋华、钼华、铅黄、锑华、粉末状硫镉矿、钙铀云母
	2.5~5.5			铬铅矿、彩钼铅矿、磷钇矿、硫镉矿、闪锌矿、黑钨矿、赤铜矿、钛铀矿、黄钾铁矾、水锰矿、硫砷银矿、硫锑银矿、烧绿石(黄绿石)、细晶石、易解石、黑稀金矿
	≥5.5			铬铁旷、赤铁矿、铌－钽铁矿、独居石、锐钛矿、板钛矿、黑稀金矿、易解石、晶质铀矿、金红石、锡石
蓝、绿色(非金属光泽)	<5.5			铜铀云母、钙铀云母、硅孔雀石、胆矾、镍华、孔雀石、蓝铜矿、臭葱石、绿泥石、暗镍蛇纹石、水绿矾、硅铍钇矿
无色、白色(非金属光泽)	≤2.5		有味感	钠硼解石、石盐、钾盐、芒硝、硼砂、光卤石、无水芒硝、泻利钦、钠硝石、杂卤石、天然碱
			无味感	滑石、叶蜡石、高岭石、多水高岭石、蒙脱石、蛭石、水白云母、白云母、黑云母、金云母、锂云母、铁锂云母、石膏、海绿石、蛇纹石、蓝铁矿、绿高岭石、水镁石

条痕	硬度	解理	颜色及其他特征	矿物名称
无色、白色（非金属光泽）	2.5～5.5		加盐酸冒泡，放出 CO_2	天然碱、方解石、白云石、菱镁矿、菱铁矿、菱锰矿、菱锌矿、菱锶矿、文石、白铅矿、毒重石、钡解石、氟碳铈矿
		明显		重晶石、天青石、硬石膏、杂卤石、异极矿、萤石、白钨、独居石、硅灰石、透闪石，一水软铝石、方柱石、红柱石、菱沸石、钠沸石、钙沸石、硼镁石、氟镁石、磷钇矿
		不明显		铅矾、蛇纹石、异极矿、杂卤石、硼镁石、铝土矿、明矾石、磷灰石、蛋白石、霞石、白榴石、白钨、磷酸氯铅矿、矾酸铅矿、砷酸铅矿、方沸石、菱沸石酸铅矿、方沸石，菱沸石
	≥5.5	明显	黑、绿、蓝	阳起石、普通角闪石、斜方角闪石、普通辉石、紫苏辉石、顽火辉石、绿帘石、黝帘石、蓝晶石、钠铁闪石、透辉石、刚玉，霓石、锐钛矿、绿松石、蓝闪石、褐帘石、黄钇钽矿、铌钇矿
			无、白色或浅色	金红石、斜长石、透长石、正长石、辉石、黄玉、刚玉、方柱石、红柱石、硅线石、蔷微辉石、钙霞石、斜方角闪石、一水硬铝石
		不明显	形态呈一向或二向延长	石英（水晶）、十字石，绿柱石、电气石，符山石，板钛矿
			形态呈粒状	金刚石、尖晶石、硅镁石、橄榄石、白榴石、铯榴石、石榴子石、榍石、方钠石、黝方石、堇青石、日光榴石、β－石英、石英、锆石、香花石、方硼石
			形态呈隐晶、块状	褐钇铌矿，碧玉，玛瑙、石髓、燧石、葡萄石、软玉、硬玉

为对矿物进一步的研究，通常是采集标本磨制薄片（对透明矿物）或光片（对不透明矿物）、在偏光或反光显微镜下观察矿物的光学和物理性质，进行显微化学试验进一步鉴定矿物并观察矿物的粒度和嵌布关系。也可磨制光薄片观察透明和不透明矿物间的关系。取矿物碎片在浸油中作显微镜观察，是透明矿物鉴定的重要辅助方法。

对光学显微镜难以确切鉴定的矿物或较简单的矿物集合体，尚需采用一些更专门的方祛。如差热分析（确定热谱以鉴定非金属矿物）、红外光谱分析（不适用于金属矿物），X－射线粉晶照像或晶体结构分析（确定晶体内部结构。后者不适用于矿物集合体）和电子显微镜观察（确定矿物外表形态）等。

一般情况下，可以挑取单矿物以一般的化学分析方法研究矿物的定量化学成。但在矿物颗粒细小，或需要扫描特定面积内某些元素的分布状况，确定它们的赋存状态和相互关系的情况下，则必须磨制专门的光片，最好是进行无破损的电子探针分析，也可进行激光显微光谱分析（是破损性的）。

三、主要工业矿物

按本章矿种排列顺序列入表 2－11。

表 2-11 主要工业矿物一览表

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
铁	磁铁矿	Fe_3O_4	铁黑	半金属	5.5～6	4.8～5.3	等轴，粒状、块状	强磁性	炼铁、炼钢	合成氨催化剂
	赤铁矿	Fe_2O_3	铁黑 钢灰、褐红	金属—半金属	5.5～6	5～5.3	三方，板状、土状、鲕状		同上	颜料
	褐铁矿	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	黄褐、深褐	暗淡	1～5.5		块状、钟乳状、土状		炼铁	
	菱铁矿	$FeCO_3$	浅褐、浅黄白	玻璃	3.5～4.5	3.9	三方，块状、结核状		炼铁	
	鲕绿泥石	$Fe_4AlSi_3O_{10}(OH)_6 \cdot nH_2O$	深灰绿 黑	暗淡	3	3.03～3.4	单斜，鲕状集合体		炼铁	
锰	软锰矿(助锰矿)	MnO_2	黑	半金属—暗淡	2～6	5左右	四方，块状、粉末状		铁合金	干电池，陶瓷氧化剂
	褐锰矿	$Mn^{2+}Mn^{4+}O_3$	黑	半金属	6	4.7～5	四方，粒状、块状		铁合金	
	硬锰矿	$mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$	黑	半金属	4～6	4.4～4.7	钟乳状、块状		铁合金	
	水锰矿	$MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$	黑	半金属	3～4	4.2～4.3	单斜，隐晶块状		铁合金	
	菱锰矿	$MnCO_3$	玫瑰	玻璃	3.5～4.5	3.6～3.7	三方，粒状、结核状	解理完全	铁合金	合成工业原料
铬	铬铁矿	$(Mg,Fe)Cr_2O_4$	黑	半金属	5.5	4.2～4.8	等轴，粒状、块状	弱磁性	炼铬、制铬盐	耐火材料
	铬尖晶石类	$(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)_2O_4$	黑	金属	5.5～7.5	4～4.8	等轴		炼铬、耐火材料	
钒钛	钒磁铁矿（含钒磁铁矿）	$Fe^{2+}(Fe^{3+},V)_2O_4$	铁黑	半金属	5.5～6	4.8～5.3	等轴，粒状、块状	强磁性	炼铁、钒	
	钛铁矿	$FeTiO_3$	铁黑	半金属	5～6	4.72	三方，粒状集合体	微具磁性	炼钛	
	金红石	TiO_2	褐红、黑褐	金刚—半金属	6	4.2～4.3	四方，粒状、块状		炼钛	制焊条、钛白粉
	钛磁铁矿（富钛磁铁矿）	$Fe^{2+}(1+x)Fe^{3+}Ti_xO_4$	铁黑	半金属	5.5～6	4.8～5.3	等轴，粒状、块状	强磁性	炼铁、钛	
铝	一水硬铝石	$\alpha—Al_2O_3 \cdot H_2O$	白、黄褐、淡紫等	玻璃	6～7	3.3～3.5	斜方，细鳞片集合体	解理中等	炼铝，耐火材料	高铝水泥
	一水软铝石	$\gamma—Al_2O_3 \cdot H_2O$	白、微带黄	玻璃	3.5	3.01～3.06	斜方，块状	解理完全	炼铝，耐火材料	回收镓
	三水铝石	$\gamma—Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	白、灰绿、浅红	玻璃	2.5～3	2.43	单斜，鳞片块状、结核	解理极完全	炼铝，耐火材料	回收镓
	霞石	$(NaK)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	无、白、淡黄	玻璃	5～6	2.6	六方、粒状、块状		炼铝、陶瓷、玻璃	水泥、回收钾

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
铜	黄铜矿	$CuFeS_2$	铜黄	金属	3～4	4.1～4.3	四方，块状、粒状	具良导电性	炼铜	
	斑铜矿	Cu_5FeS_4	蓝紫斑状锖色	金属	3	4.9～5	等轴，粒状、块状		炼铜	
	辉铜矿	Cu_2S	铅灰	金属	2～3	5.5～5.8	斜方，烟灰状、块状	电良导体	炼铜	
	硫砷铜矿	Cu_3AsS_4	钢灰—铁黑	金属	3.5	4.4～4.5	斜方，块状、粒状	解理完全	炼铜	
	黝铜矿	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	钢灰—铁黑	金属—半金属	3～4	4.4～5.1	等轴，粒状、块状		炼铜	
	孔雀石	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$	翠绿—黑绿	玻璃	3.5～4	3.9～4.1	单斜、葡萄状、块状		炼铜，工艺雕刻	农药、颜料
	自然铜	Cu	铜红	金属	2.5～3	8.5～8.9	等轴，树枝状、粒状	强延展性，良导电	炼铜，工艺雕刻	
铅	方铅矿	PbS	铅灰	金属	2～3	7.4～7.6	等轴，粒状、块状	解理完全	炼铅，回收银	半导体，回收铊锗镓
	白铅矿	$PbCO_3$	白	金刚	3～3.5	6.4～6.6	斜方，钟乳状、土状		炼铅，回收银	
锌	闪锌矿	ZnS	无、黄褐、棕黑	金刚	3～4	3.9～4	等轴，粒状	解理完全	炼锌	回收镉、铟等
	红锌矿	ZnO	深红—橙黄	金刚	4～4.5	5.6～6	六方，粒状、块状	解理完全	炼锌	表面弹性波器件
	菱锌矿	$ZnCO_3$	白、微带浅绿、浅褐	玻璃	5	4.1～4.5	三方，土状、钟乳状		炼锌	回收钴、镉、铟
	异极矿	$Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2H_2O$	白、蓝、绿	玻璃	4.5～5	3.4～3.5	斜方，钟乳状、块状	解理完全	炼锌	
镍	镍黄铁矿	$(Fe, Ni)_9S_8$	古铜黄	金属	3～4	4.5～5	等轴，粒状	解理完全	炼镍、钴	
	紫硫镍铁矿	Ni_2FeS_4	紫灰	金属	4.5～5.5	4.5～4.8	等轴，细粒状集合体		炼镍、钴	
	针镍矿（针硫镍矿）	NiS	浅铜黄	金属	3～3.5	5.2～5.6	三方，纤维放射状		炼镍、钴	
	暗镍蛇纹石（硅镁镍矿）	$Ni\ Si_4O_{10})(OH)_4 \cdot 4H_2O$	草绿	暗淡	2～2.5	2.3～2.8	皮壳状、土状		炼镍、钴	
锡	黄锡矿（黝锡矿）	Cu_2FeSnS_4	带绿的钢灰、黄灰	金属	3～4	4.3～4.5	四方，块状、粒状		炼锡、铜	
	锡石	SnO_2	腊黄、浅褐、黑	金刚	6～7	6.8～7	四方、粒状		炼锡、铜	回收铌、钽
钨	黑钨矿（钨锰铁矿）	$(Fe, Mn)WO_4$	红褐—黑	半金属	4.5～5.5	7.1～7.5	单斜，板状、柱状晶体	解理完全，弱磁性	炼钨	回收铌、钽、钪
	白钨矿（钨酸钙矿）	$CaWO_4$	灰白、带浅黄、浅紫	油脂	4.5	5.8～6.2	四方，粒状	解理中等，浅蓝荧光	炼钨	激光发射材料

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
钼	辉钼矿	MoS_2	铅灰	金属	1	4.7～5	三方、六方，鳞片	解理完全，滑腻感	炼钼、铼	
锑	辉锑矿	Sb_2S_3	铅灰	金属	2～2.5	4.6	斜方，长柱状、放射状	解理完全，熔点低	炼锑	
	硫锑铅矿	$Pb_5Sb_4S_{11}$	铅灰—铁黑	金属	2.5～3	6.23	单斜，纤维状集合体	解理中等，性脆	炼铅、锑	
汞	辰砂（朱砂）	HgS	猩红	金刚	2～2.5	8.09	三方，粒状、块状	解理完全	炼汞	医药、颜料
钴	砷钴矿	$(Co,Ni,Fe)As_{3\pm x}$	锡白—钢灰	金属	5.5～6	6.4～6.8	等轴，粒状、块状		炼钴、镍	
	辉砷钴矿（辉钴矿）	CoAsS	锡白（微带红）	金属	5～6	6～6.5	等轴或斜方，粒、块状		炼钴	
	含钴黄铁矿	$(Fe,Co)S_2$	浅铜黄	金属	6 6.5	4.9～5.2	等轴，粒状、块状		炼钴，制硫酸	回收镍、金
	硫钴矿	Co_3S_4	钢灰	金属	5～5.5	4.85	等轴，粒状、块状		炼钴	回收镍、铜
	钴土	$(Co,Ni)O\cdot MnO_2\cdot nH_2O$	微带蓝的黑色	土状	低	3.1～3.7	土状、结核状		炼钴、镍	
铋	辉铋矿	Bi_2S_3	带铅灰的锡白色	金属	2～2.5	6.4～6.8	斜方，长柱状、针状	解理完全	炼铋	医药
	自然铋	Bi	银白	金属	2.5	9.7～9.83	三方，粒状、块状	弱延展性	铋原料	
金	自然金	Au（Ag＞15%称银金矿）	金黄	金属	2.5～3	15.6～19.3	等轴，粒状、树枝状	强延展性	金原料	
	碲金矿	$AuTe_2$	铜黄—银白	金属	2.5	9.1～9.4	单斜，细条片状、粒状		炼金、碲	
银	自然银	Ag	银白	金属	2.5	10.1～11.	等轴，粒、块、树枝状	强延展、电热良导体	银原料	
	辉银矿	Ag_2S	铅灰	金属	2～2.5	7.2～7.4	等轴，块状	弱延展性	炼银	
	深红银矿（硫锑银矿）	Ag_3SbS_3	黑红	金刚	2～2.5	5.77～5.86	三方，短柱状、粒状		炼银	回收锑
	淡红银矿（硫砷银矿）	Ag_3AsS_3	鲜红	金刚	2～2.5	5.57～5.64	三方，块状、粒状	理解中等	炼银	激光原料
	角银矿	AgCl	浅色-暗色	金刚	1.5～2	5.55	等轴，块状、被膜状		炼银	
铂族金属	自然铂	Pt（Fe9～11%称粗铂矿）	银白-钢灰	金属	4～4.5	15～19	等轴，粒状	延展性，微磁性	铂原料	
	亮铱锇矿	(Ir_2Os)（Os＜35%称暗铱锇矿）	锡白-浅灰	金属	6～7	17～21	六方，板状	解理完全，性脆	铂族原料	

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
铂族金属	砷铂矿	$PtAs_3$	锡白	金属	6～7	10.5～10.7	等轴		炼铂	
	钯铂矿	(Pd, Fe)Pt, (Pt>7%)	银白-钢黑	金属	4～4.5	15～19	等轴，粒状	具磁性，导电	铂、钯原料	
稀有金属	锂辉石	$LiAl(Si_2O_3)$	白-黄白	玻璃	6～7	3.1～3.2	单斜，粒状、板状		炼锂	回收铯、稀土元素
	锂云母（鳞云母）	$KLi_{1.5}Al_{1.5}[AlSi_3O_{10}](F,OH)_2$	淡紫、黄绿	玻璃	2～3	2.8～2.9	单斜，细鳞片	解理完全	炼锂	回收铯、铷，高温玻璃
	铁锂云母	$KLiFeAl(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$	淡黄、褐绿	玻璃	2～3	2.9～3.2	单斜，片状集合体	解理完全	炼锂	
	磷铝锂石（磷铝石）	$LiAl(PO_4)(F,OH)$	乳白、蓝白	玻璃	5.5～6	3.11	三斜，细粒、放射状	解理完全—中等	炼锂	
	绿柱石（绿宝石）	$Be_3Al_2(Si_6O_{12})$	白带绿、翠绿、黄	玻璃	7.5	2.9	六方，方柱状、粒状		炼铍	宝石
	羟硅铍石（硅铍石）	$Be_4(Si_2O_7)(OH)_2$	无、浅黄	玻璃	6～7	2.6	斜方，细小板状、柱状	解理完全—中等	炼铍	
	似晶石（硅铍石）	Be_2SiO_4	无、黄白、淡红	玻璃	7.5～8	3	三方，粒状、放射状		炼铍	宝石
	烧绿石（黄绿石）	$(Ca, Na)_2Nb_2O_6(OH, F)$	褐、黄绿、黑	树脂	5～5.5	4.12～4.36	等轴，粒状、块状	强放射性	炼稀土、铌、钽	
	细晶石	$(Ca, Na)_2(Ta, Nb)_2O_6(OH,O,F)$	浅黄、褐	玻璃或树脂	5～5.5	5.9～6.4	等轴		炼铌、钽、稀土	
	铌铁矿（钶铁矿）	$(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$	铁黑、褐黑	半金属	6	5.2～6.25	斜方，短柱或板状		炼铌、钽	回收铼
	钽铁矿	$(Fe, Mn)(Ta, Nb)_2O_6$	铁黑、褐黑	半金属	6	6.55～8.25	斜方，短柱或板状		炼铌、钽	回收铼
	锆英石（锆石）	$ZrSiO_4$（含铀钍高称曲晶石）	褐黄、灰、无色	金刚	7～8	4.7	四方，粒状	耐高温、耐腐蚀	炼锆、铪，玻璃	铸造、回收铼
	铯榴石	$Cs(AlSi_2O_6)\cdot H_2O$	无色	玻璃	6.5～7	2.86～2.9	等轴，块状		提铯，制铯盐	
	天青石	$SrSO_4$	浅蓝灰、无色	玻璃	3～3.5	3.9～4	斜方，粒状、钟乳状		炼锶	
	碳酸锶矿（菱锶矿）	$SrCO_3$	无、浅绿、浅黄、浅灰	玻璃	3.5～4	3.6～3.8	斜方，粒状、纤维状		炼锶	
稀土金属	独居石（磷铈镧矿）	$(Ce,La,Th)PO_4$	黄褐、蜜黄、棕	树脂	5～6	5.1	单斜，板状晶体	放射性，解理中等	炼铈、镧、钍	
	氟碳铈矿	$(Ce,La)(CO_3)F$	黄、赤褐		4	5	六方		提稀土	
	磷钇矿	$(Y,Ce,Er)PO_4$	黄褐、赤黄	玻璃 油脂	4～5	4.4～5.1	四方，粒状、块状	解理完全，放射性	炼钇	
	硅铍钇矿	$Y_2FeBe_2(SiO_4)_2O_2$	黑、绿黑	玻璃-树脂	6.5～7	4～4.65	单斜，粒状、块状	强放射性，溶于盐酸	炼钇	

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
稀土金属	褐帘石	$(Ce_3Fe_2Ca,Al)Si_3O_{12}$	褐—沥青黑色	树脂	5.5～6	3.2～4.2	单斜，常呈非晶质	放射性	炼铈、镧、钍	
	黄钇钽矿	$YTaO_4$	灰、黄褐	暗淡	5.5～6.5	6.24～7.03	四方，粒状集合体		提钽和稀土	
	铌钇矿	$(FeCa)(Y,Er,U)(Nb,Ta)_4O_5$	松脂黑	树脂	5～6	5.2～5.7	单斜，常呈非晶质	放射性	提钇、铀、铌、钽	
铀钍	晶质铀矿	$U_2 \cdot UO_7$	黑	半金属-树脂	5～6	8～10左右	等轴	强放射性	提铀	回收钍、镭、稀土
	沥青铀矿（铀沥青）	UO_2	沥青黑	树脂-半金属	3～5	6.5～8.5	等轴，钟乳状、块状	强放射性	提铀	
	铀黑	$UO_2 \cdot UO_3 \cdot PbO$	黑、灰黑、深灰	暗淡	1～4		非晶质	强放射性	提铀	
	方钍石	$(Th,U)O_2$	暗灰，黑	树脂-半金属	6.5～7	8.9～9.8	等轴	强放射性	炼钍、铀	
	钛铀矿	$(U,Ca,Th,Y)(Ti,Fe)_2O_6 \cdot nH_2O$	黑、褐黄	树脂	4.5	4.5～5.4	单斜	强放射性	炼铀、钍、钛、稀土	
	铜铀云母	$Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$	翠绿	玻璃	2.3～2.5	2.3～2.6	四方，鳞片状集合体	强放射性	炼铀	
耐火、陶瓷、玻璃原料	高岭石	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$	白、杂色	暗淡	1	2.6	单斜或三斜	潮湿具可塑性	耐火、陶瓷、电瓷	造纸、橡胶、油漆
	多水高岭石（埃洛石、叙永石）	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8 \cdot 4H_2O$	白、杂色	暗淡	1～2	2～2.2	单斜，土状		陶瓷原料	
	蒙脱石（胶岭石、微晶高岭石）	$(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$	白、带浅红、浅绿	暗淡	1	2	单斜，土状	吸水性强（膨胀）	纺织、橡胶、陶瓷	冶金球团
	伊利石（水白云母）	$KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_4)$		珍珠			单斜，鳞片状块体	滑腻感	制瓷	
	硅灰石	$Ca_2Si_3O_4$	白微带灰一红	玻璃	4.5	5	三斜，放射状集合体	解理完全	陶瓷	
	透闪石（纤维状者为石棉）	$Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	白、浅灰	玻璃丝绢	5.5～6	2.9～3	单斜，放射状、块状	解理中等	石棉，新型玻璃	
	透辉石	$CaMgSi_2O_6$	浅绿、浅灰	玻璃	5～6	3.3～3.4	单斜，粒状、放射状	解理中等	新兴陶瓷原料	
	蓝晶石	$Al_2(SiO_4)O$	蓝、蓝灰	玻璃	6.5～7	3.56～3.68	三斜，扁平柱状	解理中等到完全	高级耐火材料	宝石
	红柱石	$Al_2(SiO_4)O$	灰白、褐红	玻璃	7	3.1～3.2	斜方，柱状	解理中等到完全	高级耐火材料	彩石

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
耐火、陶瓷、玻璃原料	矽线石	$Al(AlSiO_5)$	灰、褐、灰绿	玻璃	7	3.23～3.25	斜方，放射状集合体	解理完全	高级耐火材料	
	叶蜡石	$Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	灰白，带黄、绿红	玻璃	1～2	2.66～2.9	单斜，片状，隐晶块状	挠性，滑感	耐火、绝缘材料	陶瓷、油漆、造纸、雕刻
	蛇纹石（纤维状者为石棉）	$Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$	灰白、浅绿、黄绿	蜡状	2.5～3.5	2.4～2.5	单斜、斜方，块状		耐火、化肥原料	雕刻，建筑材料
	橄榄石	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	橄榄绿、黄绿	玻璃	6.5～7	3.2～3.5	斜方，粒状集合体		耐火材料	宝石
	菱镁矿	$MgCO_3$	白、灰、黄	玻璃	4～4.5	2.9～3.1	三方、粒状集合体	解理完全	耐火材料	炼镁、镁盐水泥
	石英	SiO_2	无、乳白、紫、浅玫瑰	玻璃	7	2.65～2.66	三方、六方、柱状、块状		玻璃、耐火、型砂陶瓷	光学、电器材料
	钾长石	$KAlSi_3O_8$	肉红、黄褐、灰白	玻璃	6～6.5	2.57	三斜、板状	解理完全	玻璃、搪瓷、电瓷	制钾肥、磨料
熔剂	萤石（氟石）	CaF	黄、绿、蓝、紫、无	玻璃	4	3.18	等轴，粒状、块状	解理完全	熔剂、制氢氟酸	搪瓷水泥、光学材料
	白云石	$CaMg(CO_3)_2$	灰白、带浅黄、浅绿	玻璃	3.5～4	2.8～2.9	三方，粒状、块状	解理完全	熔剂、耐火、化肥	制镁、镁盐、陶瓷、建材
	方解石	$CaCO_3$	无、白、杂色	玻璃	3	2.6～2.8	三方、钟乳状、块状	解理完全	熔剂、水泥、电石	光学材料、陶瓷
硫	黄铁矿	FeS_2	浅铜黄	金属	6～6.5	4.9～5.2	等轴，粒状、块状		制硫酸	回收金、钴、镍
	白铁矿	FeS_2	浅铜黄	金属	5～6	4.6～4.9	斜方，结核状、粒状		制硫酸	
	磁黄铁矿	$Fe_{1-x}S$	暗铜黄色	金属	4	4.6～4.7	六方或单斜，块状	具磁性	制硫酸	回收镍、钴
	自然硫	S	浅黄色	金刚	1～2	2.05～2.08	斜方，块状		硫原料	
肥料原料	钾盐	KCl	无、乳白	玻璃	1.5～2	1.97～1.99	等轴，块状	咸而苦涩，易溶	钾肥和化工	
	光卤石	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O$	无、淡红、褐	油脂	2～3	1.6	斜方，粒状，块状	易潮解，味苦涩	制镁、钾	回收铷、铯
	杂卤石	$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	白、灰、带棕、红、黄	玻璃	3.5	2.78	三斜，粒状、块状、纤维状	溶于水	化肥	
	钾盐镁矾	$KMg(SO_4)Cl \cdot 3H_2O$	浅黄、灰白、红	玻璃	2	2.1	单斜、粒状	性脆易溶，味苦	化工，化肥原料	
	钠硝石（智利硝石）	$NaNO_3$	白、淡黄、褐	玻璃	1.5～2	2.24～2.29	三方、块状，皮壳状	易溶，微咸	制碱、氮肥、硝酸	氧化剂、洁净剂
	钾硝石（硝石）	KNO_3	无、灰白	玻璃	2	1.99	斜方，皮壳状	易溶，微咸	制钾肥、氮肥	
	磷灰石	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	灰、无、褐黄、淡绿	玻璃	5	3.2	六方，粒状、块状		磷肥，回收稀土	激光发射材料制磷

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
制碱	天然碱(碳酸钠石)	$Na_3H(CO_3)_2\cdot 2H_2O$	灰白、灰黄	玻璃	2.5～3	2.11～2.14	单斜，板粒、皮壳状	易溶，味咸	制碱、玻璃原料	洗涤剂
其他化工原料	硼砂	$Na_2[B_4O_5(OH)_4]\cdot 8H_2O$	白、带浅灰、黄、浅蓝	玻璃	2～2.5	1.69～1.72	单斜，粒状、土状	易溶，甜涩味	提取硼	
	硼镁石	$Mg_2[B_2O_4(OH)](OH)$	白	玻璃	3～4	2.62	单斜，纤维状、粒状		提取硼	
	硼镁铁矿	$(Mg,Fe)_2Fe(BO_3)O_2$	炭黑、绿黑	丝绢暗淡	5	3.9～4	斜方，放射状、粒状		制硼	
	电气石（碧玺）	$Na(Fe,Mg,Li)_3Al_6(Si_6O_8)(BO_3)_3(OH)_4$	黑、褐、玫瑰红、蓝绿	玻璃	7～7.5	2.9～3.2	三方，柱状	热电、压电性	激光、无线电、宝石	炼硼、硼肥、硬度材料
	明矾石	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	白、带浅灰、浅黄、红	玻璃	3.5～4	2.6～2.8	三方，粒状、土状		提取明矾	炼铝、钾肥、硫酸
	斜发沸石	$(Na,K,Ca)_{2-\beta}Al_2(Al,Si)_2Si_{13}O_{36}\cdot 12H_2O$	无、白、浅红、褐	玻璃、丝绢	3.5～4	2.1～2.2	假单斜，板状、条状		过滤剂、水泥	净化水
	丝光沸石	$(Na_2,K_2,Ca)(Al_2Si_{10})O_{24}\cdot 7H_2O$	白、淡黄	丝绢、玻璃	3～4	2.12～2.15	斜方、放射状、束状、纤维状		过滤剂、水泥	土壤改良剂
	毒砂（砷黄铁矿）	FeAsS	锡白	丝绢、玻璃	5.5～6	5.9～6.2	单斜或三斜，粒状、块状	脆，敲打蒜臭味	炼砷	回收钴、金
	雌黄	As_2S_3	柠檬黄	金刚-油脂	1～2	3.4～3.5	单斜，块状、粉末状	烧时蒜臭味	炼砷、颜料、珐琅	制药
	雄黄（鸡冠石）	AsS	桔红	金刚	1.5～2	3.50	单斜，块状、土状		炼砷、颜料、焰火	制药
	石盐	NaCl	无、灰白	玻璃	2.5	2.168	等轴，粒状、块状	易溶、味咸	制钠、盐酸	
	芒硝	$Na_2SO_4\cdot 10H_2O$	无、带黄、绿	玻璃	1.5～2	1.48	单斜，块状、皮壳状	味苦	化工	玻璃、制草、造纸、染料
	泻利盐	$MgSO_4\cdot 7H_2O$	无、白	玻璃	2～2.5	1.68	斜方，块状、钟乳状	易溶，味苦咸	制镁、化工	医药、水泥玻璃等

矿种	矿物名称	化学成分	颜色	光泽	硬度	比重	晶系和习性	其他特征	主要用途	次要用途
其他化工原料	胆矾	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	蓝	玻璃	2.5	2.29	三斜，钟乳状、粒状	性脆	杀虫剂、化工	
	重晶石	$BaSO_4$	无、灰、红、黄褐、黑	玻璃	3～3.5	4.3～4.5	斜方，厚板状		加重剂，充填剂	医药、化工等
	毒重石（碳酸钡矿）	$BaCO_3$	无、微带灰、黄	玻璃	3～3.5	4.2～4.3	斜方，粒状、块状		加重剂，充填剂	医药、化工等
其他建材	滑石	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	淡绿、白、带浅黄	珍珠	1	2.7～2.8	单斜，叶片状、块状	能弯曲，滑感	填料	日用化工原料
	蛋白石（组成硅藻土）	$SiO_2 \cdot nH_2O$	蛋白、杂色	珍珠	5～5.5	1.9～2.5	非晶质、钟乳状、块状		建材化工等	工艺材料
	石膏	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	无、白、灰、红、褐	珍珠	2	2.3	单斜，块状、纤维状		水泥、建筑、模型	陶瓷、造纸、油漆配料
	石墨	C	黑	半金属	1	2.09～2.23	六方、三方、鳞片状	挠性，滑感	坩锅、电极、电刷耐火材料	滑润剂，铅笔芯、颜料
	海泡石	$Mg_8(Si_{12}O_{30})(OH)_4 \cdot 12H_2O$	白、灰、浅黄	暗淡	2～2.5	2.2	单斜或斜方，致密块状	柔软，光滑	钻井泥浆，脱色剂	吸附剂、粘合剂
	凹凸棒石	$Mg_5[Si_4O_{10}(OH)]_2 \cdot 4H_2O$	无、浅绿				单斜，土状		钻井泥浆，脱色剂	吸附剂、粘合剂
研磨材料	金刚石	C	无、带黄、蓝褐、黑	金刚	10	3.47～3.56	等轴，自形晶粒		切削、研磨材料	宝石
	刚玉	Al_2O_3	蓝灰、黄灰	玻璃	9	3.95～4.1	三方，粒状、块状		研磨材料	宝石
	黄玉	$Al_2SiO_4(F,OH)_2$	无、带浅黄、浅绿	玻璃	8		斜方，粒状		研磨材料	宝石
	石榴子石	$(Fe, Mg, Mn)_3(Al,Fe,Cr)_2(SiO_4)_3$	血红、红褐、鲜绿、黑	玻璃	6.5～7.5	3.1～4.3	等轴、粒状、块状		研磨材料	宝石

第二节　岩　　石

一、岩石分类及基本特征

岩石是一种或多种矿物在地质作用中形成的天然集合体。一定种类的矿产与一定种类的岩石密切有关。根据成因、结构构造、矿物成分和化学成分，可把岩石分为三大类 岩浆岩、沉积岩和变质岩。各类岩石的基本特征见表 2－12。

二、岩浆岩分类及有关矿产

岩浆岩分类和有关矿产见表 2－13。所列矿产归属于内生矿床，其中大部与岩浆期后气掖活动有关，常与接触变质岩和气液变质岩紧密相伴。

表 2－12　三大岩类岩石基本特征

岩石种类	成岩作用	产状	结构构造	矿物成分	化学成分
岩浆岩	地下深处溶解有挥发性组分的硅酸盐岩浆上升到地壳上层或冲出地表，冷凝固结而成	喷出岩：火山维、熔岩流或熔岩被。次火山岩呈层状、脉状、似层状、钟状、透镜状、环状、柱状或筒状 侵入岩：岩床、岩盆、岩盖、岩墙、岩株、岩基、与围岩常呈突变接触，次火山岩和侵入岩常可交截层理	全晶质结构、玻璃质结构、半晶质结构、斑状结构、文象结构。条纹结构、反应边结构、包含结构、煌斑结构、辉长结构、辉绿结构 条带状构造、块状构造、斑杂构造、流动构造、流纹构造，似层状构造、气孔构造、杏仁状构造	石英、长石、黑云母、角闪石、辉石、橄榄石。特征矿物组合：无石英橄揽石为主为橄榄岩类；无石英，长石＋副长石为主为霞石正长岩类；极少量石英，斜长石为主为辉长岩类及闪长岩类；极少量石英，正长石为主为正长岩类；长石＋石英为花岗岩类	$SiO_2 < 45$ 超基性岩（重量%）45～53 基性岩 53～66 中性岩 ＞66 酸性岩 $FeO > Fe_2O_3$；$Na_2O + K_2O >$ 6.9%　CO_2、H_2O 含量极少
沉积岩	在不太高的温度和压力下，由风化作用、生物作用和某种火山作用形成的物质经过搬运、沉积、成岩作用，在地表和地表下不太深处形成	成层分布，有沉积特征如波痕和层理，化石普遍存在，与周围岩石往往成相变关系	碎屑结构、火山碎屑结构、泥状结构、粒屑结构、结晶粒状结构、生物结构 成层构造，层面构造、缝合线、叠锥、结核、叠层构造	石英、长石、氧化物矿物，氢氧化合物矿物、粘土矿物、盐类矿物、碳酸盐矿物 主要（遣岩）矿物只有 1～3 种，不超过 5～6 种	$Fe_2O_3 > FeO$；$K_2O > Na_2O$ 富含 H_2O 和 CO_2

岩石种类	成岩作用	产状	结构构造	矿物成分	化学成分
变质岩	地壳中已经形成的岩石，由于其所处地质环境的改变，在较高温度压力和(或)较强动力环境下形成	多数分布在古老的结晶地块和构造活动带中，既可成区域性的广泛出露，也可成局部分布	碎裂结构、碎斑结构、糜棱结构、变晶结构、变余结构 变余构造、变成构造、(斑点状构造、板状构造、千枚状构造，片状构造，片麻状构造，条带状构造)	红柱石、蓝晶石、矽线石、十字石、阳起石、透闪石、滑石、叶蜡石、蛇纹石、硬绿泥石、方柱石、硅灰石、符山石 纤维状、长柱状、针状矿物常呈规律的定向排列 含(OH)的矿物比岩浆岩更为发育 石英长石常见波状消光	与原岩的化学成分关系密切

除表 2－13 所列之外尚有如下重要岩石：(1)伟晶岩，是巨粒结晶的脉状岩石，其化学成分和矿物成分都与其相关的岩类近似。其中花岗伟晶岩与稀有和放射性矿产有关。一些白云母、水晶、黄玉、钾长石等非金属矿产也采白花岗伟晶岩。(2)煌斑岩，主要由暗色矿物组成斑晶的一类暗色脉岩，常按矿物组成具体命名，如云(母)斜(长)煌斑岩等。有些铜，钼多金属矿床的生成与煌斑岩的存在有关。

三、沉积岩分类及有关矿产

根据沉积物质的来源、沉积方式及沉积环境，可将沉积岩分为陆源沉积岩，火山物源沉积岩和内源沉积岩。内源沉积岩的物质来源与水盆地内的溶解组分及生物作用有关，它又分为蒸发岩、非蒸发岩、可燃性有机岩三类。各类岩石特征及与之有关的矿产见表 2－14。

火山喷发环境有海陆相之分，与之有关的矿化特点差别很大。

石灰岩尚可根据结构和戍因进一步分类。它对查明若干层控矿床的分布规律较有意义。我国广泛采用曾允孚(1980)的分类。

四、变质岩分类及有关矿产

根据变质岩形成的物理化学条件及结构构造，可将其分为区域变质岩，混合岩、接触变质岩、气液变质岩、动力变质岩五大类。各大类岩石特征及与之有关的矿产见表 2－15。

表 2-13 岩浆岩分类及矿产

酸度分类	超基性岩				基性岩			中性岩			酸性岩	
碱度分类	钙碱性	偏碱性	过碱性		钙碱性	碱性	过碱性	钙碱性	钙碱性-碱性	过碱性	钙碱性	碱性
岩石类型	橄榄岩-苦橄岩类	金伯利岩类	霓霞岩-霞石岩类	碳酸岩类	辉长岩-玄武岩类	碱性辉长岩-碱性玄武岩类		闪长岩-安山岩类	正长岩-粗面岩类 二长岩-粗安岩类	霞石正长岩-响岩类	花岗岩-流纹岩类	
SiO_2（重量%）	<45				45～53			53～66			>66	
	38～45	20～38	38～45	<20								
K_2O+Na_2O（重量%）	<3.5		>3.5		平均3.6	平均4.6	平均7	平均5.5	平均9	平均14	平均6～8	
$(K_2O+Na_2O)^2/SiO_2-43$					<3.3	3.3～9	>9	<3.3	3.3～9	>9	<3.3	3.3～9
石英含量（体积%）	不含				不含或少含	不含		<20		不含	>20	
硅铝矿物种类及含量 似长石（霞石、方钠石、白榴石）	不含	不含	含量变化大	可含	不含	不含或少含	>5（体积%）	不含		不含或少含	5～50（体积%）	不含
硅铝矿物种类及含量 斜长石、碱性长石（K、Na）	不含	不含	可含少量碱性长石		以基性斜长石为主	以碱性长石及基性斜长石为主，也可有中长石、更长石		中性斜长石可含碱性长石	碱性长石为主，可含中性斜长石	碱性长石	碱性长石及中酸性斜长石	酸性长石
铁镁矿物种类	橄榄石、斜方辉石、单斜辉石为主，角闪石次之	橄榄石、透辉石、镁铝榴石、金云母	碱性暗色矿物		以辉石为主，可含橄榄石、角闪石	单斜辉石为主（含钛普通辉石、碱性辉石），橄榄石也较多		角闪石为主、辉石黑云母次之		碱性辉石、碱性角闪石为主，富铁云母次之	黑云母为主，角闪石次之，辉石较少	碱性角闪石、富铁黑云母为主，碱性辉石次之

酸度分类		超基性岩			基性岩			中性岩				酸性岩	
碱度分类		钙碱性	偏碱性	过碱性	钙碱性	碱性	过碱性	钙碱性	钙碱性-碱性		过碱性	钙碱性	碱性
铁镁矿物体积(%)		>70		30～70	40～70			15～40				<15	
代表性侵入岩	深成岩	纯橄榄岩、橄榄岩、二辉橄榄岩、辉石岩			辉长岩、苏长岩、斜长岩	碱性辉长岩		闪长岩	二长岩	正长岩、碱性正长岩	霞石正长岩	花岗岩、花岗闪长岩	碱性花岗岩
	浅成岩	苦橄玢岩	金伯利岩	霓霞岩 钙霞岩	碳酸岩	辉绿岩	碱性辉绿岩	闪长玢岩	二长斑岩	正长斑岩	霞石正长斑岩	花岗斑岩、花岗闪长斑岩	霓霞花岗岩
						辉绿玢岩	碱性辉绿玢岩						
特征结构构造		显晶质结构、似斑状结构、等粒结构、不等粒结构、块状构造											
代表性喷出岩		苦橄岩、玻基纯橄岩、科马提岩	玻基辉橄岩	霞石岩	碳酸熔岩	拉斑玄武岩 高铝玄武岩	碱性玄武岩	碱玄岩、碧玄岩、白榴岩	安山岩	粗安岩	粗面岩碱性粗面岩	响岩	流纹岩、英安岩、黑曜岩、珍珠岩、松脂岩	酸性流纹岩、碱流岩
特征结构构造		隐晶质结构、玻璃质结构、斑状结构、气孔状构造、杏仁状构造、流纹状构造											
主要有关矿产	金属	铬、镍、钴铂族		稀土、铝	铌、稀土、铀	铜、镍、钴、钒、钛、铁、铬		铁、铜、金、银		稀有放射性	稀有、稀土	稀有、放射性、钨、锡、钼、铜、铁、铅、锌、金等	
	非金属	耐火材料、钙镁磷肥原料、石棉	金刚石	磷、钾		铸石、矿棉						斑脱岩、沸石岩、膨胀珍珠岩、明矾石、叶蜡石	

表 2-14 沉积岩分类及矿产

陆源沉积岩					火山物源沉积岩						内源沉积岩			
岩石类型	砾岩	砂岩	粉砂岩	泥质岩（页岩）	类型	向熔岩过渡的火山碎屑熔岩类	正常火山碎屑岩类		向沉积碎屑岩过渡的火山碎屑岩类		岩石类型	蒸发岩	非蒸发岩	可燃有机岩（生物残体）
					亚类		熔岩火山碎屑岩亚类	火山碎屑岩亚类	沉积火山碎屑岩亚类	火山碎屑沉积岩亚类				
粒径(mm)	>2 砾状结构	2～0.05 砂状结构	0.05～0.005 粉砂状结构	<0.005 泥质结构	火山碎屑物含量	含量不定，一般约30～50%	>90%以塑性碎屑为主	>90%无或很少塑性碎屑	90～50%	50～10%	主要岩石类型及主要矿物成分	盐岩（钾盐岩、石盐岩、石膏岩）；石盐、钾盐、光卤石、钾盐镁矾、芒硝、泻利盐、石膏、硬石膏、水碱、天然碱、硼砂	石灰岩（方解石）白云岩（白云石）磷块岩（磷灰石）铁质岩（赤铁矿、针铁矿）硅质岩（蛋白石、玉髓）锰质岩（软锰矿、硬锰矿）铝质岩（三水铝石、一水软铝石、一水硬铝石）沸石质岩（沸石）	煤 石油 油页岩 石煤
物质组成	碎屑、杂基、胶结物				成岩方式	熔岩胶结	熔结	压实	压实和水化学胶结	压实和水化学胶结				
主要矿物	石英、长石（钾长石、酸性斜长石）、云母				集块（>64mm）组成	集块熔岩	熔结集块岩	火山集块岩	沉集块岩	凝灰质巨砾岩（巨角砾岩）				
重矿物	锆石、独居石、锡石、金红石、磷灰石、石榴子石、十字石、蓝晶石、电气石、黄玉等				角砾(64～2mm)组成	角砾熔岩	熔结火山角砾岩	火山角砾岩	沉火山角砾岩	凝灰质砾角砾岩）	特征结构构造	结晶粒状结构、纤维结构、碎屑结构、斑状变晶结构、塑变结构、块状构造、条带状构造	粒屑结构、生物骨架结构、晶粒结构、交代结构、胶状结构、鲕状结构、泥质结构、叠层构造、块状构造	
填隙物质	杂基：细粉砂及粘土物质 胶结物：铁质、钙质、硅 、泥质				火山灰(<2mm)组成	凝灰熔岩	熔结凝灰岩	凝灰岩	沉凝灰岩	凝灰质砂岩（粉砂岩、泥岩）				
主要矿产 金属	金、铂、锡、钨、铌、钽、铁、铜				铁、锰、铜、铅、锌、铀						铁、汞、锑、铜、铅、锌、银、镍、钴、钼、铀、钒			
主要矿产 非金属	建材石料、研磨材料、耐火材料、石油				钾、硼、硫、建材石料						石膏、硬石膏、天青石、硫、萤石、水晶、冰洲石、石盐、钾盐			

注：1．砂岩按常见碎屑物进一步命名，如石英砂岩、长石砂岩、岩屑砂岩等。粉砂-泥质岩按混入物或胶结物进一步命名，如铁质粉砂岩、钙质泥岩；

2．火山物源沉积岩有时按火山物成分进一步命名，如流纹质凝灰岩、安山质火山角砾岩等。

表 2-15 变质岩分类及矿产

区域变质岩		混合岩		接触变质岩		气液变质岩		动力变质岩	
岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征
板岩类	主要含粘土矿物、细粒石英、绢云母、绿泥石。具泥质粉砂质结构，板状构造	注入混合岩类	基本为基体的矿物组合，新生的石英质脉体仅占次要地位。主要构造有角砾状构造、眼球状构造、分支脉状构造、条带状构造、肠状构造	斑点板岩类	具板状构造，重结晶作用不完全，具较多的残余原岩特征，出现少量的新生矿物、呈斑点状分布	蛇纹岩类	由超基性岩石经气液交代，使橄榄石、辉石变成蛇纹石、绢石，具网状、叶片状变晶结构、块状构造	构造角砾岩类	原岩受应力作用破碎成棱角状的碎块，在剪切力和重力影响下位移、被胶结后形成。胶结物往往是粘土、铁锰质等，有时也有很细的泥砂质
千枚岩类	主要含绢云母、石英、钠长石、绿泥石。具细粒鳞片变晶结构，千枚状构造								
片岩类	主要含云母、绿泥石、阳起石、透闪石、角闪石、石英、长石等，具均粒鳞片变晶结构，斑状变晶结构、片状构造			角岩类	原岩特征已基本消失，出现细粒矿物紧密镶嵌的角岩结构，岩石致密坚硬			压碎岩类	原岩受压碎变形作用后形成的碎裂化程度较高的岩石
片麻岩类	主要含长石、石英、云母、石榴子石、透辉石、阳起石等，具中粗粒鳞片粒状变晶结构、片麻状、条带状构造	混合片麻岩类	主要为新生的花岗质脉体，仅残留有变质岩中某些不易变化的矿物。主要有片麻状构造，条带、条痕状构造或眼球状构造	接触片岩、片麻岩类	岩石的矿物组合和结构构造与区域变质的片岩、片麻岩相似	青磐岩类	由中基性火山岩及火山碎屑岩经气液变质形成绿色块状岩石，中细粒变晶结构，变余斑状、变余火山碎屑结构，块状、斑杂状、角砾状构造，主要矿物绿帘石、绿泥石等	糜棱岩类	原岩受压碎、变形更为强烈，具明显的平行定向构造
长英质变粒岩类	主要含长石、石英、辉石、闪石、石榴子石、云母等。具粒状变晶结构、块状构造								

区域变质岩		混合岩		接触变质岩		气液变质岩		动力变质岩	
岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征	岩石名称	岩石学特征
角闪质岩类	主要含角闪石、斜长石、石英，具变晶结构，片麻状、条带状构造	混合花岗岩类	矿物成分相当于花岗岩或花岗闪长岩，但其中可保留一定数量的暗色矿物	大理岩类	矿物组合和结构构造与区域变质大理岩类相似	云英岩类	酸性侵入岩或其它成因的岩石经气液交代形成，中粗粒粒状变晶结构，鳞片花岗变晶结构，块状构造由比例不同的石英、白云母等为主组成	波状岩	在动力变质过程中，磨擦热生成的高温使岩石局部熔化并迅速冷却的产物
麻粒岩类	主要含长石、辉石、石榴石、石英，具麻粒结构、块状构造								
榴辉岩类	主要含绿辉石、石榴石，具不等粒变晶结构，块状构造			矽卡岩类	中酸性侵入岩与钙镁质碳酸盐类岩石接触交代作用形成。主要矿物石榴石、滓石、符山石、硅灰石等。不等粒变晶结构，块状、斑杂状构造	次生石英岩类	中酸性火山岩受热液蚀变的硅化产物。主要矿物为石英、绢云母等，具显微花岗变晶结构，块状构造	构造片状岩	粒状矿物为主的岩石在动力变质过程中，矿物被压扁、拉长而形成的岩石
大理岩类	主要含重结晶的碳酸盐矿物。具等粒变晶结构、块状构造					（气液变质岩的原岩和新生矿物种类繁多，按主要新生矿物命名，以上仅为举例）			
主要矿产 金属	铁、铜、金、铀		铅、锆、钛、铌。钽、铀、金、钼		铁、铜、铅、锌、金、银、钨、锡、铋、钼、铍		铜、铅、锌、汞、锑、钨、锡、钒、铋、镍、钼		铀
主要矿产 非金属	镁、磷、石棉、石墨		刚玉、石榴石、石墨、磷灰石		硼		硫、石棉，重晶石、萤石、水晶、明矾石		石棉、部分滑石

注：1．区域变质岩以主要组成矿物命名具体岩石。例如黑云母石英片岩、角闪斜长片麻岩、白云石大理岩等；

2．注入混合岩与混合片麻岩以构造特点命名。如眼球状混合岩、阴影状混合片麻岩等；

3．接触变质岩按主要的新生矿物具体命名、如黑云母斑点板岩、长石石英角岩、钙铁榴石矽卡岩等。

变质岩研究工作中的一个重要问题是恢复原岩，首先是沉积岩、侵入岩和喷出岩。恢复原岩的途径有 5 个方面：(1)地质产状和岩石组合；(2)矿物成分和矿物共生组合；(3)变余结构、构造；(4)岩石化学和地球化学特征；(5)副矿物形态。

第三节　成矿作用与矿床地质 – 工业类型的划分

一、成矿作用

(一)风化 – 沉积作用

(1)已经形成的岩石受风化而变松软，化学上不稳定的组分分解移出，稳定组分重新组合而富集，某些移出的组份向下渗透，在原地潜水面下又再次沉淀富集，这些作用可形成风化—淋滤矿床。其中，在原地残留富集的常称风化壳型或红土型矿床，在潜水面下富集的则常称次生富集或淋积矿床。

(2)风化作用中分解出的稳定重矿物，在受地质营力搬运时可因重力分选而富集，此时形成砂矿床。如水流基本未参与搬运和分选，则在原地及其附近生成残积坡积或风化壳型砂矿 如地表迳流参与搬运和分选，则在盲谷、洪积扇，河床、河漫滩和三角洲中生成洪积冲积砂矿 如浅滩上的波浪参与搬运和分选，则在海滩上形成海滨砂矿。延入海滨以外陆棚浅水部分的砂矿统称滨外砂矿。古代的河流和海滨砂矿因大陆上升而抬升，高于现代河漫滩和海滨者常称阶地砂矿。

表 2 – 16　小型地质构造基本类型的特征

划分原则		基本类型名称及其特点
褶曲	基本类型	背斜 核部出露老地层，向翼部地层时代变新 向斜 核部出露新地层，向翼部地层时代变老
	按褶曲枢纽水平程度(褶曲长宽比)	水平褶曲或线状褶曲：长宽比 > 10 短轴褶曲(短轴背、向斜)：长宽比 10 ~ 3 穹窿(相应于背斜)：长宽比 < 3 构造盆地(相应于向斜)，长宽比 < 3
	按横剖面岩层产状	直立褶曲：两翼地层对称反向倾斜，正常产状 倾斜褶曲，两翼地层不对称反向倾斜，正常产状 倒转褶曲：两翼地层同向陡倾斜，一冀倒转产出 平卧褶曲：两翼地层同向缓倾斜，一翼转产出

划分原则		基本类型名称及其特点
断层	基本类型(斜向位移使用组合名词)	平移断层:使地质体水平错移 正断层:使断层上盘相对下盘向下错移 逆断层,使断层上盘相对下盘向上错移 逆掩断层:位移特征同逆断层,断层面倾角 $<45°$
	按断层群的组合形式	地堑:相向或相背的正或逆断层间出现下降断块的构造 地垒:相背或相向的正或逆断层间出现上升断块的构造 阶梯式断层:产状一致的正断层群,上盘梯式下降 叠瓦状断层:产状一致的逆断层群,上盘叠瓦状上升
节理	按力学成因	张节理、剪节理(参见正文)
	按与岩层产状关系	走向节理、倾向节理、斜向节理、层面节理(节理面走向与岩层走向平行、垂直、斜交或与层面完全相合)
	按与褶曲轴关系	纵节理、横节理、斜节理(节理面走向与褶曲轴走向平行、垂直、或斜交)
劈理	基本类型	流劈理:微细矿物定向排列而成的潜在裂面 破劈理:密集的平行剪裂面,间距小于 1cm,矿物无定向 滑劈理:切过早期流劈理的平行滑动面,矿物定向
	按与地质体关系	轴面劈理:大致平行褶曲轴面而略呈扇形和倒扇形分布,主要为流劈理及滑劈理 断层伴生劈理:为破劈理及流劈理,一组近于平行断层,其相交锐角指向本盘错移方向,另组大角度交切断层 层间劈理:褶皱作用中层间滑动导生的破劈理,与层面相交的锐角指示相邻岩层的滑动方向 顺层劈理

(3)进入水体的溶解组分,可因生物化学的吸取和沉淀作用以及化学沉淀作用而沉积。以后,在成岩过程中,和进入沉积物的碎屑物一起,还可发生再溶解,再迁移及再沉淀,此时形成沉积矿床。

(4)进入水体的易溶组分则只在泻湖或内陆凹地中由于强烈蒸发而形成盐湖并沉淀膏盐层,或经毛细管蒸发沉淀盐霜,称蒸发矿床。典型的蒸发矿床并不富含重金属。

(二)地下热液的渗流作用

(1)深循环的地下水常是高纯氯化物卤水,有很强的溶解重金属的能力,它们受地热场的加温而渗流,萃取围岩中的金属,在围岩中充填或交代成矿,形成热卤水矿床。

(2)热卤水也可沿构造上升到达地表水体底部沉积成矿,形成热卤水沉积矿床,或补给某些盐湖和盐泉。

(3)如果地热场强度大,能使流体长期处于超临界状态($>350℃$士),它必然同时引起岩石一定程度的变质,使流体成分受变质影响而富集 CO、CO_2、HCO_3^- 等从而近于变质热液。这种热液的渗流也能富集某些重金属成矿。它们通常发生在主期变质之后,称

为叠加变质热液矿床。

(4)最近还查明,地下热液还可参加沉积成岩矿床的成岩和成岩期后改造作用形成陆源(热水)再造矿床。

(三)岩浆(侵入)活动

(1)随着温度下降,岩浆中不同性质的组分如硅酸盐和硫化物等可因不混溶而分离,不同时期结晶的组分也可因重力和动力而发生聚集,这些都导致有用组分集中,在岩浆凝结过程中形成岩浆矿床;

(2)岩浆可以富含挥发组分,携带大量重金属络合物。侵入岩浆结晶过程中挥发组分聚集,形成含矿溶液。它向低温低压方向运动,在急剧减压、降温、或与介质起反应的条件下通过充填或交代围岩而成矿,形成岩浆气液矿床。其中,常因含矿岩石的不同而称为矽卡岩型(或接触交代型)、云英岩型、斑岩型、石英脉型矿床等。富含挥发组份的残余熔浆则形成伟晶岩矿床。

(四)火山活动

(1)深部岩浆熔离形成的矿浆可以喷溢或爆发到地表,形成矿浆喷溢或爆发矿床。

(2)火山热液活动可以形成火山热液矿床。

(3)这种热液沿构造上升到达地表水体底部时则可形成火山热液沉积矿床,或补给某些盐湖、盐泉。后两类矿床的形成机制尚有尖锐的对立意见。

(五)变质作用

(1)大多数变质作用本身只改变已形成金属矿床的矿物组合和结构构造,从而称之为受变质矿床(或沉积变质矿床)。对非金属则不然,它可以把高铝岩石变成刚玉、红柱石、矽线石、蓝晶石等矿床,把炭质岩石变为石墨矿床等,这些可称变成矿床。

(2)和金属矿产关系密切的是变质热液活动。前进变质作用是一个释放水和活动组分的过程,后者向低温低压方向渗流,并萃取原岩及其中气液相组分所含的金属,在一定的变质相带中以充填或交代的方式成矿,形成变质热液矿床。

很多成矿作用进程中伴有物理化学条件的演化,从而使过程显现出阶段性。同一过程在不同的矿化阶段往往生成不同的矿物组合,有特定的矿化元素。根据矿物组合体之间的穿插、交代和覆盖关系,区分各阶段的产物并查明其分布,是查明特定元素富集规律的基础。

还应注意,某些矿床是地质历史上相隔甚远的多种成矿过程叠置的结果,需要进行细致的具体分析。

二、矿床的地质－工业类型

矿床是地壳中或地表矿石蕴藏的天然场所。它含有一个或相邻的多个矿体，在目前的技术、经济条件下，可以开采利用。

矿床分类办法很多，本章采用的是地质－工业分类。

矿床地质－工业类型划分的基本原则是：(1)所考虑的仅限于在工业上有一定重要性的对象；(2)要综合考虑影响采矿和矿石加工工艺的因素，如矿石的化学和矿物成分、结构构造、物理性质、矿体的产状、形态、含矿岩石和围岩等；(3)要力求把这些因素与矿床产出的地质条件联系起来。

但在实际上，由于不同著者的着眼点以及各个矿种特点、研究历史和习惯用语不同，在矿床地质－工业类型的实际划分和命名方面差异是很大的；有的侧重于成因标志，有的侧重于形态，有的侧重于围岩，有的侧重于矿化成分。

三、工业对矿产质量的要求

工业对矿产质量的要求随时间、地点和矿床特点而变，需要经过调查研究和详细计算来确定。此外，下述材料可以帮助粗略估计某一矿产利用的可能性：

(1)国家和有关工业部门颁发的矿产品标准，据此可以估计矿石能否不经选矿富集而直接为工业利用；

(2)全国矿产储量委员会制定的各矿种地质勘探规范。其中，根据我国一般经济情况和技术—经济条件提出了矿石储量计算圈定矿体的参考指标或试算指标。

第三章　矿山地质工作及其矿山测绘的应用

第一节　矿山地质工作的主要职能、内容和任务

一、矿山地质工作及其职能

本章所阐述的矿山地质工作，是指矿山从基建、生产、直至开采结束所进行的一系列地质工作。这些工作是在找矿评价、地质勘探工作基础上进行的，它既是前两阶段地质工作的继续和深化，又要对前两阶段工作起验证和补充作用；同时它还要完成某些与开采直接有关的其他工作任务。它是矿床开采中的基础工作之一。

概括地说，矿山地质工作具有四个主要职能：服务生产、管理生产、监督生产和延长矿山服务年限。

矿山地质工作可分为矿山基建期的地质工作和生产期的地质工作。两者在工作内容上，虽有某些共同点，但也有不少的差异。

二、矿山地质工作的主要内容和任务

（一）生产地质工作

生产地质工作是指矿山开采全过程（包括基建）中一系列直接为生产服务的地质工作。

A　经常性生产地质工作

该项工作是指矿山开采过程中，为了保证矿山生产的正常进行，每个矿山都要经常进行的工作。主要包括：生产勘探工作（在基建期为基建勘探工作）；在探采工程中的地质调查、取样及原始地质编录工作；综合地质编录工作；以及储量计算工作等。

B　专门性生产地质工作

这项工作是指矿山开采过程中，为了解决某些与地质因素有关的特殊问题或关键问题，由矿山地质部门专门进行或配合其他部门进行的地质调查及研究工作。这种工作不是每个矿山经常都要进行的，仅在必要时才专门进行。主要包括：为了解决岩体稳定或工程动力地质问题（如流砂、泥石流）而进行的工程地质调查研究工作；为了解决矿坑防排水问题而进行的水文地质调查研究工作；为了提高生产效率而进行的专门地质工作（如爆破地质调查研究）；为了保护矿山生产或生活环境而进行的环境地质调查研究；为了开展矿产资源的综合利用而开展的专门地质研究工作，以及为了改变或改进矿石的加工工艺而进行的工艺矿物学研究等。

以上工作的任务是为开采及选矿提供比地质勘探报告更详尽可靠的，特别是近期将生产地段的，有关矿床埋藏特征、矿体赋有条件及形态变化、矿石类型、品级及其储量（经过升级的）和质量、开采技术条件以及与技术加工有关的矿石地质特征等资料，以直接为开采设计、采掘（剥）计划编制，井巷施工、生产和矿石技术加工服务。

（二）矿山地质技术管理和监督工作

管理和监督工作往往密切相关，有些工作还要有矿山测量人员参与。管理和监督工作包括：承担矿产储量管理、统计、上报以及保有程度的分析和检查；与测量专业共同承担三（或二）级矿量的管理及保有指标的检查；从地质角度参与矿石质量均衡的管理、开采中矿石损失和贫化的管理和监督、采掘（剥）计划编制、矿山发展远景计划编制、现场施工生产的管理和监督，以及采掘单元停采或报废的管理等；对某些非金属矿，有时还要参与矿产品或深加工产品标准的制定等工作。

以上工作的任务是根据国家矿产资源法等有关法规和采掘的技术方针政策，保证矿产资源的合理回收和正常生产的持续进行。

（三）综合地质研究工作

矿山有大量的探采工程揭露了矿床，有利于对矿床地质开展综合研究。诸如：矿体形态的综合研究；矿床物质成分的综合研究；矿床构造的综合研究；控矿因素和成矿规律的综合研究等。

开展这些研究的任务一方面是为了指导盲矿体的寻找和错失矿体的追索，另一方面

也为了指导生产勘探工程的合理布置以及采、选生产活动。此外，也可为地质学的发展作出贡献。

(四)矿区深部及外围的找矿勘探工作

尽管生产矿山在基建前就进行过找矿评价和地质勘探工作，但由于当时探矿工程尚有限，对矿床构造和成矿规律等的认识也还不够深入，所以不可能找到和探明矿区深部及周围的所有盲矿体或错失矿体。为此，在矿山开发后，在综合地质研究的基础上，应及时进一步采取各种找矿方法和手段，开展矿区深部及已知矿床周围的找矿勘探工作，包括寻找新矿种的盲矿体。

显然，这个工作的任务是为了扩大矿产储量以延长矿山服务年限。

第二节　矿山基建期的地质工作

矿山基建期的地质工作，由基建单位承担，但是在实际工作中，为了便于投产与基建的衔接和进行生产准备工作，矿山生产筹备机构的地质人员，在基建阶段特别是基建后期即应开始参与一定的地质工作。本节所述基建期韵地质工作，包括以上两方面人员所进行的地质工作。

一、地质勘探资料的熟悉与验审

尽管矿床地质勘探报告在矿山企业设计前业经储委审批，但是，一个矿床经过设计并投入基建后，无论是基建部门或矿山生产筹备机构的地质人员以及采矿人员，都首先要结合现场踏勘和基建中陆续揭露的地质现象，一方面熟悉地质勘探报告的主要内容，以了解矿床地质条件；另一方面应对报告作进一步的验证和审查。通过这两方面的工作，既有利于矿床的开发和施工，又有利于矿山地质工作与地质勘探工作的衔接，同时还可发现勘探工作中的不足之处。以便明确以后地质及开采工作中应注意的问题。

应熟悉和验审的主要内容如下：

(一)矿区地质资料的熟悉与验审

(1)矿床赋存条件：赋存条件主要包括矿体的分布，形状、产状、延深以及围岩的岩性、蚀变与矿体的接触关系等。对矿体上面的覆盖层厚度及其矿体的分界线—也应给予足够的重视。在这些问题的熟悉与验审中，一方面要深入阅读、分析对比各种图纸资料

与文字资料；另一方面要检查是否有足够的工程控制依据。

(2)矿床构造特征：熟悉和验审主要矿带或矿体分布地段内的构造特征及其研究程度，尤其是对影响矿体赋存状态和变化规律的构造更应作为重点。

(3)矿石特点：矿石特点包括矿石的主要有用组分，伴生有用组分及有害杂质的种类、赋存状态和品位(或含量)；矿石中的主要有用矿物和脉石矿物的种类和相对含量；矿石的结构、构造特征以及矿石的自然类型、工业类型和工业品级的划分等。在审阅中既要熟悉其结论，又要检查其采样、测试的代表性以及类型、品级划分的合理性。

(4)矿化富集规律及矿床成因：着重熟悉控制矿化富集的因素，同时审查对矿化富集规律及矿床成因的观点是否有充分的事实依据。

(二)勘探工作程度及质量的验审

(1)勘探程度：应着重审阅矿床勘探类型划分与勘探方案是否合理，勘探工程的布置方式是否正确，特别应分析勘探网度对矿体形状、产状、有益及有害组分的变化，以及对影响矿体的地质构造等的控制，能否满足开采的要求。

此外，还要审阅矿体边界的圈定是否合理；对矿体沿走向方向和延深方向是否已能掌握其变化规律；是否漏失有工业价值的矿体或者圈入非工业矿石；对主矿体上下盘的平行矿体是否已合理圈定等。

上述问题的核心是实际工程控制程度是否充分，在审阅中应按勘探剖面图逐张对比分析。

(2)勘探工程及取样质量：包括钻探的矿心，岩心采取率和钻孔的顶角弯曲及方位偏斜是否符合规定的要求，是否已按规定距离实测；在平面与剖面地质图上对弯曲度大的钻孔是否进行了封孔埋标等。一般要求矿心回次采取率大于 70%，分层采取率大于 75%；分层岩心采取率大于 65%，全孔采取率大于 70%。

对取样工作应验审取样方法、间距与规格是否合理，有无试验和验证资料的对比；半工业试验与可选性试验的样品是否有代表性；矿石体重，湿度和其他物理力学性质的测定方法是否正确等。

(3)矿石研究程度：应审阅矿石物质组成、结构、构造、品级及类型的划分，以及矿石中各种有益和有害组分赋存状态的研究程度是否满足开采及加工的要求；对级外品、夹石以及围岩的化学成分特点是否有足够的研究；矿石综合利用的问题是否有充分相应程度的工艺矿物学的研究；普通分析和组合分析的项目以及内外验证的结果是否符合规定的要求等。

此外，对某些利用其物理性质的非金属矿石，还应审阅其有用矿物技术物理性质测

定的项目是否齐全以及其测定结果数据。

(三)矿床开采技术条件和矿床水文地质条件资料的熟悉和验审

对矿床开采技术条件应熟悉与验审下列问题:矿石和岩石的物理力学性质;矿体及围岩(特别是顶底板围岩)的稳固性;对矿体及围岩稳固性有影响的结构面或破碎带的分布及产状等。

验审中应着重审查其是否进行了深入的调查;是否进行过有足够代表性的测试;以及其研究结论是否与基建施工已揭露的情况相符。

水文地质条件方面主要应熟悉下列问题:含水层和隔水层的特征及其与矿体的关系;地下水的类型及其补给、迳流,排泄条件;地下水与地表水间的水力联系;地下水的水质特征;预计矿坑涌水量;地质构造、岩溶、流砂层及老窿积水等与矿床充水有关的条件等。

对上述问题的验审应着重审查是否进行过全面的水文地质现场调查;矿坑涌水量计算方法是否正确;以及基建施工中已揭露的水文地质条件是否与报告所提供情况相符等。

(四)储量计算资料的熟悉与验审

在这方面,既要熟悉地质勘探中所采用的指标、方法及计算结果,又应验审矿床工业指标与矿体边界的圈定方法是否合理;储量计算方法的选择、面积的测定、平均品位的计算、特高品位的处理及体重确定是否正确;以及参加计算的各剖面间储量级别是否对应一致等。

最后还要对储量计算的整体情况进行验审,包括检查不同储量计算方法(如垂直断面法与水平断面法)间的误差大小,以及高、低级储量的分布能否和开采顺序相适应等。

(五)图纸资料的熟悉与审查

对所有主要图纸进行认真而细致的阅读和分析对比,以充分熟悉这些图纸。与此同时,还应审查:图纸的种类是否齐全;图幅大小是否满足开采工作的需要;各图种之间的地质界线是否吻合;图的内容与文字报告是否一致;以及图纸的内容等方面是否能满足设计的需要。

二、基建勘探及基建工程中的地质工作

基建勘探是矿山基建工作的一个组成部分。是指在矿山基建过程中。为保证基建开拓、采准施工和初期开采的需要,在地质勘探的基础上,对初期开采地段所进行的探矿和储量升级工作。其主要任务是提高基建开拓范围内矿体的工程控制程度和地质研究

程度。但并非所有矿山都需要进行基建勘探。原则上,可根据下列条件考虑是否需要进行基建勘探。

对地质条件不甚复杂的矿山,只要勘探程度合理,已获得足够的高级储量,而且在数量上和部位分布上均能满足基建开拓和首期投产地段采准工程设计的需要,就不必进行专门的基建勘探。

对多数有色金属、稀有金属矿床以及部分黑色金属矿床等地质条件复杂的矿山,凡已有的地质勘探资料,尚不能满足基建开拓和首期投产地段采准工程设计的要求者,就应进行基建勘探,其所需费用由基建投资支出。

此外,在基建阶段,不论是否开展基建勘探,在基建工程中的地质调查和编录工作,则是任何基建矿山都要进行的;当发现有矿化现象时,还要进行采样和化验,这些工作都是基建时必不可少的工作。

三、基建时矿山环境地质调查

在矿山企业设计前,本应进行矿山环境地质调查,建立矿山生态环境平衡系统,以便为矿山企业设计中的环保工程设计提供依据,但是目前我国相当数量的矿山在设计前尚未能做到这一点。因此,必须在基建时补做。此外,即使在矿山设计时进行过环境地质调查的矿山,当投入基建后,已明确了采、掘(剥)范围,而且已有一定数量的废石和废水排出地表,也有必要对预定采、掘(剥)范围及排出的废石及废水开展以下更有针对性的调查。

(一)矿山水土污染的地质调查

成矿过程可使矿区某些元素的含量异常;而在矿山基建和以后的生产过程中,大量废石、废水以及尾矿排放到地表,可进一步加剧矿区水、土中某些元素的异常,以至出现严重的污染。因此,为了协助环保部门搞好环保工作,在基建时就应进行下列几方面的调查研究。

A　矿山原始环境地质调查与评价

此项工作的目的是为了查明尚未采掘的地质体,能否成为环境污染源和出现污染的可能程度。其主要工作内容包括:查明地质体中可能造成污染的有害物质的赋存状态,含量及分布;进行原始环境地质质量评价以确定潜在污染源及其可能造成的污染程度;对可能产生污染的矿山,还要编绘出污染源分布图。

B　环境污染定点定期监测

对于经过原始环境地质质量评价,断定有可能产生环境污染的矿山,在基建阶段就

应开展环境污染监测工作,对此,可先在废石堆周围以及矿坑水排入的水体(河、湖、塘或水库)布置一定的监测点,定期测定水体和土壤中有害组分浓度的变化,如发现已出现污染情况,还应及时扩大布点范围,以开展全面的监测。

C　废石中污染元素风化扩散情况调查

要调查开拓中排出废石的风化速度,并测定废石堆中元素的流失状况和从废石堆中流出的水流中有害组分的含量,以便查明它们对附近水体,下游水体以及周围土壤的污染影响。

(二)矿山地热的调查

对于位于地热异常区的矿山或预计开采深度较大的矿山,一方面应掌握地热的变化规律,以便在矿山开采中采取适当措施,避免其危害;另一方面又应尽可能设法利用它来为生产和生活服务。为此目的,应进行下列几方面工作:

(1)查明影响矿区地热变化的地质因素,并定期在专门的钻孔或井下测温钻孔中进行地温观测,了解地热增温率等地热变化规律,以便预测深部尚未施工井巷或采场中的最初温度。

(2)对存在地热异常的基建矿山,应查明产生异常的地质条件和地下热水的运动规律,并编绘出地热等值线图。

(三)矿石(或围岩) 自燃的地质调查

对矿石有自燃危险(往往是硫化物矿床)的矿山,在基建时进行有关矿石自燃问题的调查研究,其目的是通过调查研究确定可能产生自燃危险的地段,为有关部门采取预防性措施提供地质方面的依据。这方面的调查内容是:

(1)矿区范围内的矿石和岩石的物质成分及其含量,特别是能引起自燃的那些成分(如硫化物)及其含量;

(2)矿(岩)石结构、构造特点;

(3)通过实验测定矿(岩)石氧化速度、升温加速点和始燃点;

(4)矿(岩)石的物理性质(如导热系数等)和力学性质(如与破裂程度有关的脆性等);

(5)矿体厚度、产状、矿床分带性及其变化特点;

(6)矿床水文地质条件及地下水的成分等。

根据上述调查资料的综合分析,还应在有关地质图上圈定出自燃危险性程度不同的地段,以作为采取预防措施的依据。

(四)矿山空气污染的地质调查

在矿山开拓及其后的开采过程中都会有一些矿(岩)石粉尘悬浮于空气中;一些有

害，气体（如氡气）也可从地质体中逸出，这些都可能对矿山空气造成污染。因此，在矿山投产前就有必要对可能造成污染的地质因素进行调查研究，为矿山采取预防性措施提供资料。

A　有害粉尘的地质调查

主要工作有：对空气中粉尘样品的矿物成分，粒度、尘粒形状等进行显微镜下鉴定；对井巷中岩石及矿石样品进行鉴定，并与相应地段空气中粉尘的鉴定结果进行对比分析，以查明易于产生有害粉尘的岩石、矿石或其中某些矿物；编制有害粉尘预报地质图，即在有关地质图上圈出可能产生有害粉尘的地段。

B　有害气体的地质调查

这里有害气体主要指自地质体中逸出的有害气体如氡气或二氧化硫气体等。调查时应查明有害气体的成分、含量（浓度），来源和逸出部位等，并绘成相应图件和对其影响程度作出评价。

四、基建时补充水文地质调查

由于地质勘探阶段揭露矿床的工程有限以及对地下水动态观测时间较短等因素的限制，该阶段对水文地质条件的调查研究还不可能很深入和全面。故水文地质条件复杂的矿山，在基建时还应在原有工作的基础上，进一步对矿床水文地质条件作更深入的调查研究，以便更全面地掌握地下水动态和更精确查明矿床充水条件、矿坑涌水量及突水危险等，并作出矿山开采后地下水动态可能变化情况的预计，作出防排水效果的预计以及作出地下水对矿山设备和岩体稳定危害程度的预计，同时也应考虑综合利用地下水的可能性，这方面的工作有：

（一）补充水文地质测绘

其任务是通过进一步的实际观测和调查，测绘更精确、更详细的矿床水文地质图。

在补充水文地质调查中，既要对地质勘探阶段水文地质测绘中尚未弄清的问题进一步调查研究，也要对基建阶段新出现的与水文地质有关的问题进行研究，为此而增加的工程及工作成果都应补充填绘到水文地质图上去。

（二）补充水文地质物理勘探

在进行补充水文地质测绘的同时，可利用各种物探手段，进一步查明诸如含水层及隔水层的分布、构造破碎带的延展及其含水性、溶洞分布规律等（如用高频无线电波透视仪对含水溶洞进行调查），以补充水文地质测绘中地表调查之不足。

（三）水文地质条件的进一步工程揭露及调查

在水文地质条件复杂矿山的基建阶段，如有必要，可在原有工作基础上，补充水文地

质钻孔或利用矿山探、采工程进行详细水文地质调查和测试工作，以取得评价矿区水文地质条件和完成各种水文地质计算所需要的资料。

（四）继续并完善地下水动态的长期观测

地下水动态系指地下水的水位、水温、流量和化学成分随时间的推移而产生变化等。当水文地质条件复杂矿山开始基建后，除原观测点外，还应补充一定数量水文地质观测孔或利用基建井巷工程设立一些新观测点，继续观测。此外，还应进一步掌握地表水、气象等因素与地下水动态之间的相互关系。

在上述几项工作所积累资料的基础上，还应进行综合分析研究和预计涌水量的验算，以得出更可靠的工作成果，供防排水部门参考。

五、工程地质补充调查和矿（岩）石技术参数补充测定

尽管在矿山企业设计前已进行过矿区某些工程地质调查和矿（岩）石技术参数的测定，可是由于当时对矿床工程揭露的范围及深度均有限，而且工业场地、采掘（剥）范围等也尚未设计、确定，所以往往工程地质调查的深入程度不够，矿（岩）石技术参数测定样品的代表性不足，而且这两项工作也难以都针对工业场地、采掘（剥）范围的地质体来进行。为此，在基建时，往往还要根据实际需要，补充开展一些调查或测定。

（一）可能要进行工程地质补充调查的项目

（1）矿山工业场地及路基的工程地质调查；

（2）井筒及大硐室的工程地质调查；

（3）岩溶发育规律的工程地质调查；

（4）露天边坡稳定性的工程地质调查；

（5）井下地压显现的工程地质调查；

（6）各种动力工程地质现象（如天然滑坡、崩塌、泥石流、流砂等）的工程地质调查等。

（二）可能要补充测定的矿（岩）石技术参数

（1）与工程地质研究有关的矿（岩）石及其中弱面的力学性质参数（如岩石抗压强度、抗剪强度、抗拉强度、弱面抗剪强度等）；

（2）与采掘工艺有关的矿（岩）石技术参数（如松散系数、容重、爆破后块度、可钻性、爆破性等）；

（3）与储量计算有关的矿石技术参数（如体重、湿度等）；

（4）与水文地质有关的矿（岩）石技术参数（如孔隙率、各种水理性质等）。

六、投产前矿山地质业务的基础建设工作

在矿山基建过程中，矿山生产筹备机构的地质人员，就要着手做好从基建地质工作向投产后地质工作的过渡工作。其中最主要的是矿山地质业务的基本建设工作。包括：

(一)地质原图的设计建立或补充完善

地质原图是矿山所用综合地质图纸的原始底图，其优劣必将影响到各种地质图纸的质量，进而对矿山开发中的设计、施工和生产产生重大影响。

某些地质原图在地质勘探或基建地质工作中已经建立，投产后将移交给生产矿山；而另一些地质原图(如坑道地质平面图及某些专门性生产地质图件)，则必须由生产矿山地质部门自行设计建立。在矿山投产前，矿山生产筹备机构的地质人员就必须精心设计新建原图与补充完善已有原图，并进行周密通盘的研究，使两者成为统一的整体，形成完善的原图体系。

(二)矿山地质技术要求细则的制订

为了保证矿山生产中矿山地质工作有统一的要求，以顺利进行工作，在投产前，矿山生产筹备机构的地质人员，就要通过对矿区的了解以及根据矿山投产后的生产要求，制订出矿山地质工作的技术要求细则，作为开展矿山地质工作的准则，并在生产中不断补充与完善。

矿山地质工作技术要求细则应包括：原始地质编录技术要求；综合地质编录技术要求；矿产化学取样、加工与样品化验以及岩矿物理技术性质测定的技术要求；生产勘探工程的设计与施工的技术要求；矿石损失与贫化管理与监督的技术要求；地质文字，图表及实物资料保管细则等。

必要时，还将制定水文地质观测与工程地质观测的技术要求；环境地质调查的技术要求等。

(三)地质资料保管设施及措施的建立

生产矿山积累了比地质勘探部门更为丰富的地质资料(文字、图表、照片，标本或岩心等实物、地质数据库软盘等)。这些资料有的直接用于开采工作或指导生产勘探，有的则是开展综合地质研究的基础，并通过综合研究进而指导找矿或发展地质学理论。在某种意义上说矿山地质资料是一种“无价之宝”。因此，从矿山基建开始就应高度重视其保管工作，并做好以下基础建设：

(1)建立起完善的保管设施，包括岩(矿)心库、资料室、标本柜、资料柜等；

(2)建立起严格的保管措施条例，包括资料的分类、编目、借还制度、销毁资料的审批

手续以及保管员职责等；

(3)不仅要保管好矿山投产新收集到的资料，还要保管好地质勘探、基建地质乃至普查找矿时所积累的资料。

第三节　生产勘探

一、生产勘探的目的和任务

生产勘探是在地质勘探的基础上进行的勘探工作，其主要目的在于提高矿床勘探程度，达到储量升级，直接为采矿生产服务。其成果是编制矿山生产计划，进行采矿生产设计、施工和管理的重要依据。生产勘探的主要任务：

(1)采用一定技术手段进一步准确地圈定矿体，详细查明采矿区矿体形状、产状及围岩特征等赋存条件，着重点是矿体边界、端部，阶段间矿体的“下垂”、“上延”部分，夹石及破坏矿体的断层、破碎带，后期穿插岩脉，矿石品级、类型的圈定和控制。

(2)进一步查明矿产的质量和数量，按生产要求重新计算矿石平均品位或其他质量指标，重新计算矿产储量。

(3)探明采区原地质勘探未控制的存在于主矿体上，下盘及边，深部的平行、分支矿体和其他小盲矿体。

(4)在采区进一步查明矿床水文地质条件、工程地质条件、矿岩的物理力学性质，必要时还要进一步查明矿石技术加工条件及其他生产需要解决的地质问题。

通过生产勘探，多数矿床的矿产地质储量由 C 级升至 B 或 A 级，小而复杂的矿床由 D 级升至 C 级(极少数可能达 B 级)。由于生产勘探多年持续进行，储量升级随采区发展而逐步扩展，为保证生产勘探资料及时服务于生产，储量升级必须对生产保持一定的超前关系，超前的范围和期限由矿山具体的地质、技术和经济条件决定。在一般情况下，生产勘探超前采矿生产的范围对露天采矿为一到几个台阶。地下采矿为一到两个阶段。

生产勘探费用摊入采区生产成本，亦可动用维简费。

二、生产勘探的技术手段

生产勘探采用的主要技术手段有槽探、井探、钻探和坑探三类。各工程主要技术特征和适用条件综合如表 2－17。

表 2－17　生产勘探工程技术特征

工程种类	工程名称		主要技术规格	工效	基本作用	常用设备型号
槽井探	探槽	山地探槽	底宽 0.5～1.0m，壁坡度 70°～80°；长度等于矿体或矿带宽度	0.5～1.0	揭露埋深小于 5m 的矿体露头	手掘或挖沟机械
		平盘探槽	断面 1.0(宽)×0.5(深)m；长度等于矿体或矿带宽度	5～10	剥离露天采场工作平盘上的人工堆积物	手掘或挖沟机械
	浅井		断面 0.6～1.0×1.0～1.2m；深度一般小于 20m	0.5～1.0	揭露埋深大于 5m 的矿体；多用于砂矿及风化堆积矿床	手掘或吊杆机械
钻探	砂矿		孔径 130～335mm；深度 15～30m	10～15	探砂矿	SZ－130，SZC－150，SZC－219，SZC－325
	露天炮孔		孔径 150～320mm；深度 10～30m	15～20	取岩泥、岩粉、控制矿石品位	露天采矿潜孔、牙轮钻
	地表岩心钻		孔径 91～150mm；深度一般 50～200m 最大 600m	3～5	探原生矿床，多用于露天采矿	DDP－100 型汽车钻，北京－100，XU－300，XU－600，YL－3，YL－6，XY－1
	坑内钻	岩心钻	孔径 91～150mm 深度一般 50～200m；最大 600m	5～10	配合坑道探各类原生矿床	KD－100，钻石－100，钻石－300，钻石－600，YL－3
		爆破深孔	孔径 45～100mm 深度 15～50m	15～20	配合坑道探各类原生矿床	YG－40、80，BBC－120F YSP－45，YQ－100
抗探	平巷(穿脉、沿脉)		断面，坡度、弯道与生产坑道一致。纯勘探坑道断面 1.5～2.0(宽)×1.8～2.0(高)m 坡度可达 5%	0.2～1.0	在阶段、分段平面上，沿脉控制矿床走向，穿脉控制矿体宽度	利用矿山坑道掘进设备
	上、下山		断面同平巷、坡度 15°～40°	0.2～0.8	用于缓倾斜矿体，在阶段间控制矿体沿倾斜变化	利用矿山坑道掘进设备
	天井		断面 1.2×2.2m 坡度 40°～90°	0.2～1.0	用于急倾斜矿体，在阶段间控制矿体变化	利用矿山坑道掘进设备

注：探槽工效单位米^3/工班；浅井工效单位米/工班；钻探及坑道工效单位米/台班。

合理选择勘探技术手段是决定生产勘探效果的重要因素。由于勘探常与采掘生产交叉进行，必须考虑探、采工程的相互利用和施工设备的机动灵活。最适用的工程必须依据矿区具体的地质、技术和经济条件综合选用。

在砂矿、风化矿床露天采矿时，最适用的生产勘探工程为砂钻和浅井。对于原生矿床露天采矿则是平盘探槽和地表岩心钻。平盘探槽一般沿勘探线垂直矿体、矿带布置，目的是挖去露天采场工作平盘上的人工堆积浮碴和碎矿，便于取样和填绘平盘地质平面图。平盘探槽分两类：主干槽切穿整个矿带，辅助槽揭露矿体，如图 2－1。由于露天采矿

生产勘探往往逐段进行，地表岩心钻多采用浅及中深型，孔深一般小于 200m。为避免影响采场生产作业，广泛采用机动性强的汽车钻（如 DDP－100 型）。利用炮孔取样，是露天采矿控制原矿品位经济而有效的手段。

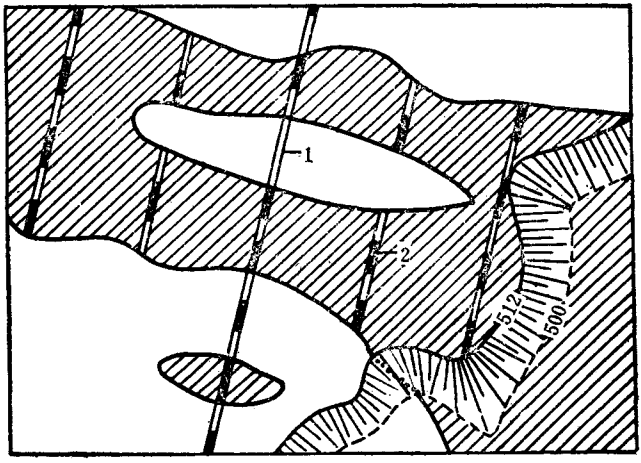

图 2－1　宝山矿露天采场平盘探槽布置
1—主干槽；2—辅助槽

地下采矿时，坑探是重要的生产勘探手段，其优点是可供生产利用，所获资料可靠程度较高。各类坑道的勘探作用综合示意如图 2－2。

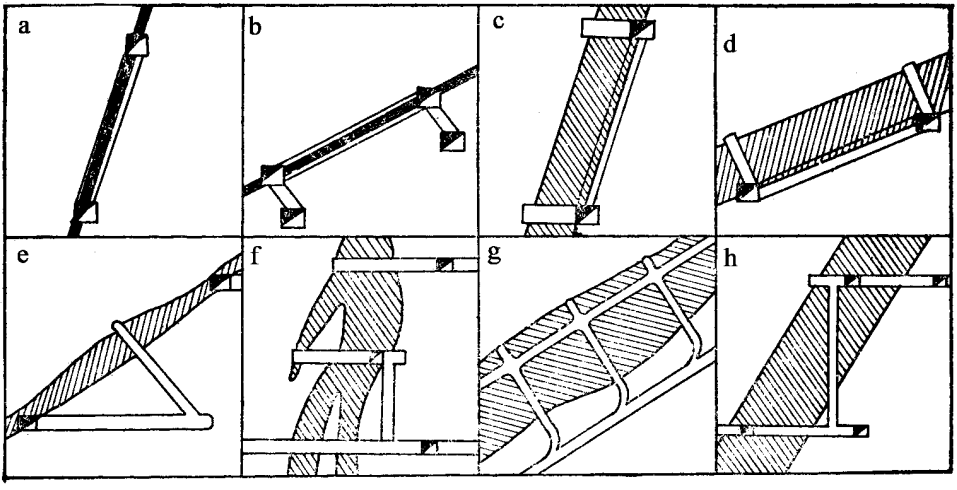

图 2－2　生产勘探中所用各类坑道综合示意图
a—急倾斜极薄矿体，用脉内沿脉及天井；b—缓倾斜极薄矿体，用脉内沿脉及上山或下山；c—急倾斜中厚矿体，用下盘沿脉、天井及穿脉；d—缓倾斜中厚矿体，用下盘沿脉、上山及小井；e—倾斜中厚矿体，用下盘沿脉及斜天井；f—不规则矿体，用分段巷道；g～h—厚大矿体，阶段水平面上用脉内沿脉和穿脉巷道（g），垂直剖面上用阶段天井（h）

单纯依靠坑道勘探不能取得最佳效果，必须与坑内钻相配合。坑内钻的作用主要有：指导坑道掘进；以钻代坑；探明坑道难于控制的不规则矿体和零星分散的小盲矿体以及阶段间矿体的“下垂”、“上延”部分；探明构造及构造错失矿体；探明地下水；也可作生产用钻孔，如放水孔等。坑内钻的作用综合示意如图 2－3

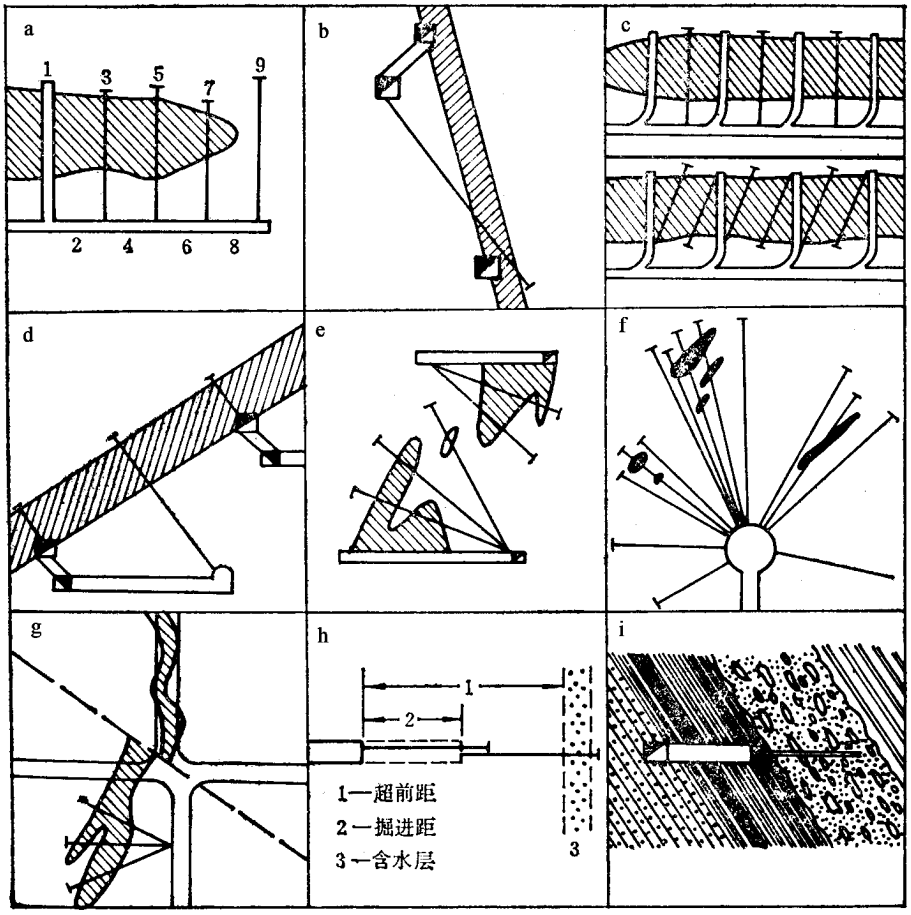

图 2－3　坑内钻作用综合示意图

a—指导沿脉掘进，数字表示施工顺序；b—指导下阶段巷道掘进；c—代替穿脉加密工程；d—代替斜天井或上山；e—探阶段间的“下垂”、“上延”矿体；f—探不规则的小盲矿体；g—探构造错失矿体；h—超前探地下水；i—作为放水孔

（图中 acfh 为平面图，其余为剖面图）

与坑道比较，坑内钻工效高约 3～5 倍，单位成本低约 5～10 倍，即使考虑布置为束形、扇形，半圆甚至全圆的群孔，总进尺可能高于坑道，其总成本仍然较低，且劳动条件较好，使用比较机动灵活。但钻探所获资料的可靠程度往往低于坑探，且一般也不能为生

产利用。比较好的方法是将两者结合起来，实行“坑钻组合勘探”。按工程的作用，坑钻组合勘探可以分为“以坑探为主”或“以钻探为主”两种方式。一般在阶段或分段平面上往往以坑道勘探为主，钻探为辅；剖面上则以钻探为主，坑探为辅。坑钻组合勘探要求两者统筹布置，统一施工管理，最终能综合利用成果。由于钻探取得资料的可靠性低于坑探，当对钻探资料有疑问时，钻探的可靠性要用一定的坑道进行检验。

三、生产勘探工程的总体布置

生产勘探工程总体布置时应考虑下述因素：

(1)尽可能与地质勘探已形成的总体工程系统保持一致，即在原地质勘探线上加密工程或者在原地质勘探线间加密新的勘探线，以便利用原地质勘探提供的资料。

(2)生产勘探剖面线的方向应尽可能垂直采区矿体走向，当勘探地段矿体产状变化较大，其走向与总的勘探线剖面不垂直且交角小于 60°时，应当根据实际情况改变剖面工程布置的方向(图 2－4)。

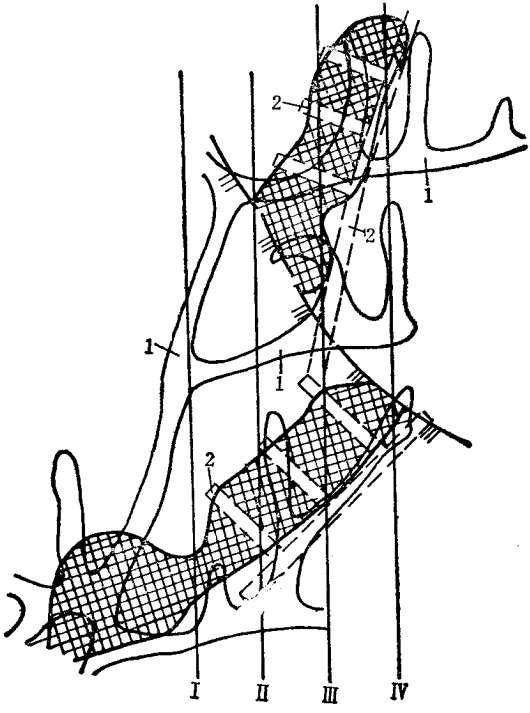

图 2－4　生产勘探工程布置对比

1—原布置坑道；2—应正确布置的坑道；Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ—原勘探线

(3)生产勘探工程构成的系统应当尽可能与采掘工程系统相结合。

按工程系统布置形式,生产勘探共有五类不同的工程系统:

(一)勘探网系统

勘探网系统由铅直性工程,如浅井、直钻沿两组以上剖面线排列形成。工程在平面上布置为正方形、长方形或菱形等网格,可以从两个以上剖面方向控制和圈定矿体。本系统多利用原地质勘探已形成的勘探网加密,适用于砂矿床,风化矿床及产出平缓的原生矿床露天采矿时的生产勘探。

(二)勘探线系统

该系统由具有不同倾角的工程构成,如探槽、浅井、直或斜钻以及某些坑道(常为穿脉、天井及上、下山)。工程沿一组平行或不平行的勘探线剖面布置,利用该剖面控制和圈定矿体。本系统工程多在原地质勘探基础上加密,往往用于倾斜产出的各类原生矿床露天采矿以及某些情况下(开拓、采准尚未完全展开等)地下采矿的生产勘探。

(三)水平勘探系统

生产勘探工程沿一系列水平面布置,并从水平断面图上控制和圈定矿体。有下述两种情况:

(1)厚大矿体露天采矿时单纯用平盘探槽(填制平盘地质平面图)的生产勘探;

(2)急倾斜不规则中、小型柱状矿体地下采矿时采用水平扇形坑内钻(填制阶段地质平面图)的生产勘探。

(四)棋盘格式勘探系统

该系统适用于薄矿体地下采矿时的生产勘探,坑道沿矿体走向及倾斜布置构成棋盘格状。对于急倾斜薄矿脉、层,工程主要由脉内沿脉及其间的脉内天井构成;对于缓倾斜薄矿层,工程主要由脉内沿脉及其间的上、下山构成。矿体纵投影图是本系统用以圈定矿体的主要图件之一。

(五)格架式勘探系统

控制和圈定矿体的工程沿平面及剖面两个方向布置,组成格架状。当地下采矿时,在阶段及分段平面上,工程主要由脉外或脉内沿脉、穿脉及水平钻构成;在剖面上主要由天井或上下山及剖面钻构成。采用露天采矿时,平盘探槽与钻孔结合,亦可组成格架系统。此系统应用甚广,当矿体厚度较大,生产勘探工程的布置最终多能形成这样一种系统。

四、生产勘探工程网度

为了提高矿床勘探程度,生产勘探必须在地质勘探的基础上加密工程。通常储量每

提高一个级别，工程需加密一倍，有时二至四倍。但是进行生产勘探时并不是对所有的矿体、地段都毫无例外地同等加密工程，在确定合理工程网度时必须综合考虑下述因素：

(1)矿床地质因素：矿床地质构造复杂，矿体形状、产状变化大，取得同级地质储量的工程网度应较密，反之则可稀。矿体边、端部，次要的小盲矿体及构造复杂部位勘探难度较大，工程网度一般密于主矿体或矿体的主要部位。

(2)地质工作要求：合理的工程网度应保证工程及剖面间地质资料可联系和对比，不能漏掉任何有开采价值的矿体。

(3)工程技术因素：坑道所获资料的可靠程度高于钻探，在相似地质条件下达到同等勘探程度，坑道间距可以稀于钻探。

(4)生产因素：露天采矿的地质研究条件较好，在相似地质条件下，取得同级地质储量所需工程网度可以稀于地下采矿。当所用采矿方法的采矿效率愈高，采矿分段、盘区及块段的结构愈复杂，构成参数要求愈严格，对采矿贫化与损失的管理要求愈高或者要求按矿石品级、类型选别开采，需要进行矿石质量均衡而应对矿石品级进行严格控制等情况下，对勘探程度要求愈高，所需的勘探工程网度也愈密。

为了便于探采结合，地下采矿时生产勘探工程间距应与采矿阶段、分段的高度以及开拓、采准及切割工程的间距相适应。

(5)经济因素：生产勘探工程网度加密将增加探矿费用，但却可减少采矿设计的经济风险。当两者综合经济效果处于最佳状态时的网度应为最优工程网度。

勘探工程网度与矿产本身的经济价值大小亦有一定关系。价值高的矿产与价值低的矿产比较，勘探程度可以较高，相应工程网度允许较密。

确定生产勘探工程网度的方法一般有三种，即类比法、验证法和统计计算法。

(1)类比法　类比法亦称经验法，此法是先划分矿床的勘探类型，再将被勘探矿床(区段)与同类型矿床(区段)的勘探工程网度(经实践证明是正确的)对比，以选定合理的工程网度。

矿床勘探类型是根据矿床的某些地质特点用以衡量矿床勘探难易程度进而选定勘探方法(包括工程网度)的一种矿床分类。分类的主要依据是：矿体规模的大小，矿石质量变化程度或矿化均匀程度，矿化的连续性，矿体形态特征及其变化程度，矿体产状的稳定性等。一般用罗马数字表示分类，第Ⅰ勘探类型一般矿床大而简单，而第Ⅱ、Ⅲ…等勘探类型相应较小和比较复杂。求取同级地质储量时，第Ⅰ勘探类型工程网度最稀，而第Ⅱ、Ⅲ…等勘探类型要求逐类增密。矿床种类不同，矿床勘探类型具体划分亦不相同，且不同矿种同一勘探类型矿床之间在矿床地质特点和工程网度方面难以相互对比。有的

矿种如铬铁矿划分为三类，有的矿种如铜和铀等划分为五类，而多数矿种划分四类。各类矿种矿床勘探类型的具体划分和求取各级地质储量的相应工程网度的经验性规定在全国矿产储量委员、会所制定的各矿种的勘探规范内有详细记载，本书从略。由于矿体局部地质构造因素变化的复杂性，采掘工程构成对生产勘探的影响，矿山实际采用的生产勘探工程网度往往密于规范规定，且不同矿山工程的加密情况和程度有所不同。今仅将部分矿山实际勘探工程网度列入表 2－18，供参考。

表 2－18　部分矿山地质勘探及生产勘探工程网度

序号	矿区	勘探类型	地质勘探网度(m)	生产勘探网度(m)	备注
1	南芬铁矿	Ⅰ	钻　C　400×200 B　200×100～150 A　100～200×100	平盘探槽　24×50 钻　A　50×50	
2	攀枝花铁矿	Ⅱ	钻　C　200×100 B　100×100 A　100×50～100	平盘探槽　15×25～30 钻　A　50×50	
3	八一锰矿	Ⅰ	钻　C　50～100×50 B　25～50×25	钻、浅井　B　25～30×25～30 筒口锹　10～20×10～20	水力开采
4	孝义铝矿	Ⅰ	钻、浅井、槽 C　200×200 B　100×100	钻、浅井　C　200×200 B　100×100 指导剥离　50×50	
5	老厂砂锡矿	Ⅲ	砂钻、浅井 C　50～70×50～70 B　25～60×25～60	砂钻、浅井 B　25～30×25～30	水力开采
6	白银铜矿	Ⅲ	钻　C　100×100	钻　B　50×25 局部　25×25	
7	老虎头稀有金属矿	Ⅲ—Ⅳ	钻　C　200～100	平盘探槽　25 钻　B　50～100×50	
8	701 铀矿	Ⅲ	钻　D　40×40 C　40×20	平盘探槽　10×10	
9	云浮硫铁矿	Ⅱ—Ⅲ	钻　C　200×50～100 B　100×50	平盘探槽　12×25～50 钻　A　50×50	Ⅲ、Ⅳ号矿体
10	浏阳磷矿	Ⅱ—Ⅲ	钻　C　200×100	平盘探槽　25 钻　B　50～100×50	
11	庞家堡铁矿	Ⅰ	钻　C　300～400×100～200 B　75～150×75～150	坑　A　30×30～60	
12	弓长岭铁矿	Ⅰ—Ⅱ	钻　C　300×150 B　150×70 A　75×75	坑　A　50～60×40×40～60	

序号	矿区	勘探类型	地质勘探网度(m)	生产勘探网度(m)	备注
13	湘潭锰矿	Ⅱ	钻　C　150×70 B　75~150×75 A　75×37.5	坑　A 30×50~100×7.5~10 坑内钻　15~30×10~15	
14	金川镍矿	Ⅱ	钻　C　100×100~150 B　100×50~75	坑　A　30×25~30	
15	因民铜矿	Ⅱ	钻　C　60~120×40 坑　B　60×40	坑　A　60×10~20	
16	桃林铅锌矿	Ⅱ—Ⅲ	钻　C　100×50 坑　B　20×25	坑　B　40×25×30~50	
17	杨家杖子钼	Ⅱ—Ⅲ	钻　C　100×100	坑　B　40×25×50	
18	西华山钨矿	Ⅲ	钻　D　80~100×80~100 C　80×40~50×50	坑　B　25~50×50×50 坑内钻　10	
19	万山汞矿	Ⅳ	钻　C　50×50	坑　B　10~25×20~30×20~30 坑内钻　10	
20	711－1 铀矿	Ⅲ	钻　D　50~100×50 坑　C　50×20~40	坑　B　50×20×40 小矿体加副段　12×25	
21	716 铀矿	Ⅳ	钻　D　40×40 C　20×20 坑　C　30×20	坑　C　30×20×40	矿区东部
22	广元粘土矿	Ⅱ	钻　C　200×200 B　100×100	坑　C　100×100 B　50×50	
23	马路坪磷矿	Ⅰ	钻　C　800×800 B　400×200 A　200×100	坑　A　40×100	
24	风城硼矿	Ⅲ	钻　D　100×50 钻,坑 B　50×50	坑　B　12.5~25×12.5~25 A　6~25×12.5	
25	向山硫铁矿	Ⅲ	钻　C　100×50	坑　B　20~30×25×17.5 坑内钻　50×50	
26	七宝山硫铁矿	Ⅲ—Ⅳ	钻　D　100×80~100 C　50×30~50	坑　B　40×25 A　8~20×25	
27	应城石膏矿	Ⅰ	钻　C　1000×1000 B　500×500	坑　120(切割与回风巷平距)×70(上、下山)	无单独生产勘探
28	金州石棉矿	Ⅰ	钻　C　200×100B　100×100	坑　B　50×80~100 A　50×40~50 坑内钻　10~20	下盘矿
29	鲁圹石墨矿	Ⅱ	钻　C　600×500 B　300×250	坑　A　35×100×100	

序号	矿区	勘探类型	地质勘探网度(m)	生产勘探网度(m)	备注
30	丹巴云母矿	Ⅰ—Ⅲ	坑　D　30～50×30～50 C　30～40　×　20～40	坑　B　30(斜距)×10～20	缓倾斜矿体

注：1. 序号 1～10 为露天采矿，11～30 为地下采矿；
2. 钻探网度，走向×倾向；
3. 坑探网度：段高×穿脉×天井或上、下山；
4. 平盘探槽网度，台阶高×走向，只一数字指走向；
5. 序号 3 内“筒口锹”“指手握”“洛阳铲”；
6. 表中地质储量分级（A、B、C、D）概念见 3.6。

类比法方法简便，应用甚广，所确定工程网度是否准确可靠，有待工作过程中用其他方法检验。

(2)验证法　验证法可以分为工程网度抽稀验证法和探采资料对比验证法两种。工程网度抽稀验证法是将同地段不同网度所获资料进行对比，以最密网度资料作为对比标准，选定逐次抽稀后不超出允许误差范围的最稀网度作为今后采用的生产勘探工程网度。探采资料对比验证法是将同地段开采前勘探取得的资料与开采取得的资料对比，以开采资料作为对比的标准，验证不同勘探网度的合理性。

探采资料对比验证法最适用于矿山生产时期，既可验证地质勘探又可验证生产勘探工程网度的合理性，而抽稀验证法由于具有一定程度的不确定性，只是一种辅助方法。

(3)统计计算法 统计计算法是最能说明勘探工程网度合理性的方法，方法的种类较多，这里介绍的是地质统计学方法。

地质统计学中根据经验半变异函数曲线可以确定变程 α，α 实质上代表样品的影响范围，因此变程可以表明具相关性的两取样(工程)点间最大可能的合理间距。通过半变异函数还可计算克立格估计方差 σ_k：

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot \overline{\gamma}(v_i, V) - \overline{\gamma}(V, V) + \mu \qquad (2-1)$$

式中　λ_i——权系数；

$\gamma(v_i, V)$——当向量 h 两端分别独立描述邻域 v_i 和待估域 V 时的平均半变异函数值；

$\overline{\gamma}(V, V)$——待估域内所有样品对间的平均半变异函数；

μ——拉格朗日乘子。

上式表明，克立格估计方差 σ_k^2 是平均半变异函数 $\gamma(h)$ 的线性组合，在被估块段尺寸、变异函数模型及参数确定以后，估计方差即与勘探工程网度有关，即估计方差最小的勘探工程位置和网度方案为最优方案。

1)最优工程位置的确定 先计算完工工程数为 n 时的每个工程的克立格估计方差 $\sigma_k^2(n)$ 及每当增加一个工程 x_i 后全区每个工程的估计方差 $\sigma_k^2(n+1.x_i,)$,然后计算每一工程的估计方差相对降低率 G_i：

$$G_i = \frac{\sigma_k^2(n) - \sigma_k^2(n+1,x_i)}{\sigma_k^2(n)} \times 100\% \qquad (2-2)$$

根据 G_i 的计算值作出‘等估计方差相对降低率曲线图”,图中高点与工程位置重合,说明该工程位置为最优方案。

2)最优工程网度的确定 将已按相对最密网度勘探的地段划分为大小,形状不同的网格(图 2-5),每一网格的交点就是一个工程结点。对各种网格计算每一结点的克立格估计方差,再计算每一网度的平均估计方差,然后将每一网格花费的费用金额与平均估计方差进行对比,作出曲线图(图 2-6),从图上选出最优工程网度,在图 2-6 中,200~300m 之间的工程间距应为最优勘探工程网度方案,因为即使再加密网度,也无助于降低平均估计方差,而只是增加了勘探费用。还可利用每一结点的估计方差编制‘等估计方差图”,按上述确定最优工程位置的方法对图中估计方差相对较高的区域适当加密工程,而估计方差相对较小的区域应当是工程优先施工区域。

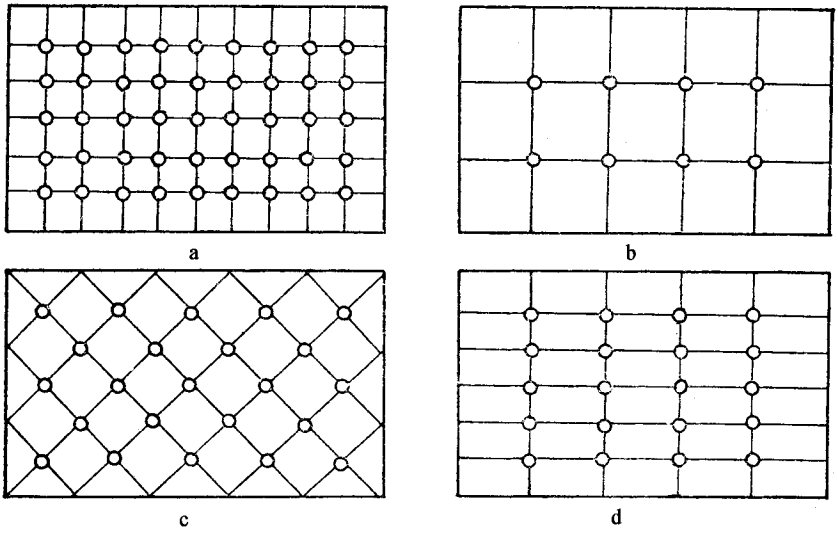

图 2-5　同一勘探地段划分的各种勘探工程网格

a—密的正正方形网格;b—稀的正正方形网格;c—斜正方形网格;

d—长方形网格

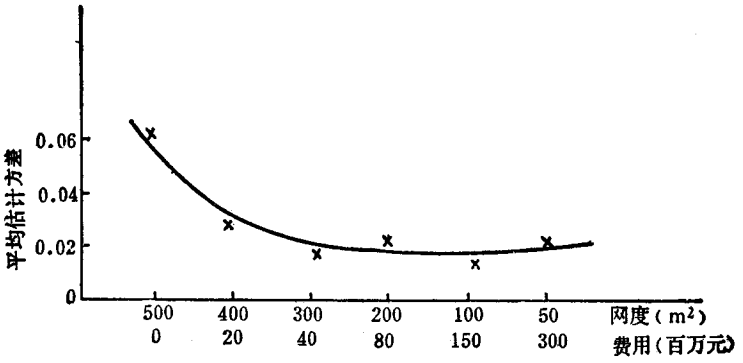

图 2－6　最优勘探网度选择曲线

上述方法虽能通过估计方差的分析较有效地确定合理的工程网度，但也应辅以不同网度对地质构造以及矿体内部结构控制程度的综合分析，才能得出最可靠的结论。

五、生产勘探设计

生产勘探设计一般每年进行一次，是矿山年度生产计划的组成部分之一。必要时也进行较长或较短期的设计。生产勘探设计的主要任务为：根据矿山地质、技术和经济条件、企业生产能力、任务以及三级矿量平衡和发展建设的要求，并按照开采工程发展顺序所安排的生产勘探的对象、范围以及储量升级任务来拟定生产勘探方案，确定工程量、人员、投资、预计勘探成果，并对生产勘探设计的合理性作出说明。

生产勘探设计按工作程序一般分为方案总体设计及工程单体技术设计两个步骤。

(一)生产勘探总体设计

总体设计主要解决生产勘探的总体方案问题，如勘探地段选择，技术手段选择，工程网度确定，工程的总体布置方式，工程的施工顺序和编制工程施工方案等。设计完成后应编写设计说明书，说明书由文字、设计图和表格构成。文字中应说明：上年度生产勘探工作完成情况，本年度生产勘探任务和依据；设计地段地质概况；生产勘探总体方案；勘探工作及工程量统计，预计矿量平衡统计，预计技术经济指标计算；工程施工顺序和方案等。主要设计图有：露天采矿的采场综合地质平面及勘探工程布置图、预计地质剖面图；地下采矿的预计阶段地质平面及工程布置图、预计地质剖面图。必要时提交矿体顶、底板标高等高线图、矿体纵投影图和施工有关的网络图表。

(二)生产勘探工程的单体技术设计

单体设计主要解决各工程的施工技术和要求等问题。

(1)探槽。要确定工程位置，方位、长度、断面规格，提出施工目的和要求。

(2)浅井。要确定井位坐标、断面规格、深度,提供工程通过地段的水文和工程地质条件,提出施工目的和要求,井深大于 10m 者尚应提出通风、排水、支护措施 进入原生岩石的浅井,应提出爆破、运搬措施。

(3)钻探。要求编出钻孔预计地质剖面图及钻孔柱状图,并说明钻孔通过地段的地层、岩性、水文及工程地质条件 确定钻孔孔位坐标、方位、倾角,预计换层、见矿及终孔深度,提出对钻孔结构、测斜、验证孔深,岩(矿)心采取率,水文地质观测及封孔等的要求,孔深小于 50m 者,上述要求可简化。

(4)坑探。要求提供坑道通过地段的地层、岩性、构造、水文及工程地质条件 说明坑道开门点位置和坐标,工程的方位、长度、坡度、断面形状和规格,弯道位置及参数,工程的施工目的和地质技术要求。探采结合坑道的技术规格要符合生产技术要求,必要时由采矿人员设计。纯勘探坑道的技术要求可以适当降低。参见表 2 – 17。