

地球工艺采矿方法

苏联 B. И. 阿连斯

《国外采矿技术快报》编辑部

一九八七年六月

译校者的话

苏联B.Ж.阿连斯教授的著作《地球工艺采矿方法》(B.Ж.Аренс Геотехнические методы добычи полезных ископаемых)一书,论述了地球工艺采矿法的基础、特点及其分类原则。首先提出了作为一门独立学科出现的地球工艺学的研究对象、内容、方法和目的,还探讨了地球工艺采矿法的矿床地质条件、开采工艺、以及经济和设计方面的问题。书中大量列举了运用地球工艺法(包括溶解、地浸、气化、熔化和水力等)开采岩盐、钾盐、硫、煤、页岩、磷灰石、铜、铀等矿产的经验。可供科研、设计、教学和生产矿山的工程技术人员学习参考。

本书由于惠玉、王西文译,焦承祖、周问华校,《国外采矿技术快报》编辑部编辑出版。由于译校者水平所限,错误之处,在所难免,欢迎读者批评指正。

1987年6月

编 者 的 话

要提请读者注意的是,Б.М.阿连斯教授的这本书乃是一部专题学术著作。书中对矿业的一门新学科——应当成为新的采矿方法和改进现行无矿井采矿法基础的地球工艺学——的全部问题给了充分的、系统的叙述。可以说,这一著作起到了促使地球工艺学成为矿业科学中的一门独立学科的作用。

此书试图全面分析用地球工艺法开采有用矿产时所发生的各种现象和作用。第一部分所研究的是地球工艺学的总则。在这部分里需要详细探讨地球工艺学的形成(研究作为地球工艺学基础的物理—化学作用和与自然—地质条件相关的开采方式),及其研究对象和研究方面的问题。同样还需要详细地探讨地球工艺采矿法的原理、自然—地质条件、开拓和开采方式,以及新开采法的经济与设计问题。

此专题学术著作的第二部分是叙述地球工艺法在工业中运用的经验。

当然,在这本内容如此广泛的书中,许多方面只是把问题提了出来,但未予解决。作者力图从某种角度总结全部已积累的资料,并想指出地球工艺学各方面的主要研究任务。我们认为作者正确地指出了地球工艺法在采矿工业中的前景。

Б.М.阿连斯的书是一部内容新颖的学术著作,书中所阐述的一些问题作者均最积极地、直接地参加了研究。当然,此著作也未能做到绝对完善,在取材上还未做到绝对客观,但不能否认它在理论研究方法上的正确性。

苏维埃矿业科学的成就是公认的,有一切根据可以指望本著作会促进采矿事业的继续进步,并还能给予从事矿业实际工作的许多工程师以帮助。

Н.В.麦利尼科夫 院士

序 言

太古时代，在人们有意识的活动中，矿业起了很大作用。原始人用专门挑选的岩石制作工具。在新石器时期，人们为其自身需求开始从地下采矿。而到现在，任何工业部门的发展均与矿物原料的开采和加工有着密切的联系。

现在，有用矿产的开采量已十分巨大。对天然矿物原料的需求年年增长，因而需要开采更贫和埋藏更深的矿床，而开采这类矿床在技术上有很大的难度，因此也会有不能令人满意的经济效果。工业所需的有用矿产的品种也一年比一年多。如按 B.И. 维尔纳茨基的资料，古代人类总共用了19种元素，在十八世纪为28种，十九世纪为50种，而在二十世纪已利用了59种元素。现在工业上则利用了 Д.И. 门捷列夫元素周期表中所列的72种元素。

人们目前还只是开发了被称之为矿产仓库的地壳表层。

对采矿技术发展规律的分析表明，如果说矿业本身是以地表采集矿产开始，那么在二十世纪初地下采矿方法便成了矿业的主要方法。从五十年代起，由于大型机器制造基地的发展，露天采矿工程开始激增。露天开采范围的扩大趋势在近期(到2000年前)将到尽头，因为，地质远景情况表明了今后开采贫的、埋藏深的和矿山—地质条件复杂的矿床的必然性。开采和加工有用矿产的技术虽然在不断进步，但用常规方法开采这类矿床是不经济的。因此，地球工艺采矿法很有发展前途，它将成为矿业中心的主要方法。

用机械从矿体中剥离矿石的传统方法(露天及井下)开采矿床时总要有有人在采矿工作面装载和运搬矿石，这种方法不但不能把人从繁重的劳动中解放出来，而且还要采出和运送大量的废石，并要加工处理全部毛矿，除此以外，为了堆放废石，还要占用大量可经营的珍贵的良田土地。

为了实现发展国民经济的宏伟规划，必须寻找能增加矿产开采量，提高劳动生产率、降低成本、避免采出废石并运到地表的新途径。因此，所涉及的问题要比某种工艺方法或技术手段所研究的问题广泛得多。解决以上所说的任务是一项重要的综合课题，它包括地质、水文地质、物理、化学以及矿体的生产技术特征等课题，并且要基于用无矿井开采的地球工艺法来解决这一课题。

最常用的无矿井开采法有盐的地下溶解，某些金属(铀、铜)矿的地下浸出，硫的地下熔化，可燃性生物岩的地下气化。这些方法可免除矿石的破碎、运搬、地下运输等全部无生产效益的工序，而直接从原地将矿产采出，从而使矿床的开拓及采准费用降到最低限度。

目前，地球工艺采矿法的运用范围是很有限的，但可以肯定地讲，二、三十年以后这些方法一定会成为许多有用矿产开采技术进展的基础。地下原地采硫在现在已创造了地下热压法，采出到地表的是成品硫磺球，而不是需要再行选矿和加工硫的矿石，看来，在地下埋藏很深的各种金属矿床上建立铸造场的日子不远了。

地球工艺法在采矿业中的发展和应用不仅有很大的经济价值，而且有巨大的社会意义。可以说，这些方法应用的社会后果将体现为改变人在开采过程中的作用和地位，同样也将改变人们劳动的内容和性质。如：矿工的井下劳动将由地表控制开采过程所代替，此外，地球

工艺采矿要扩大矿物原料的开采量可不增加新工人，而且还要改变工人的职业结构（除非专门技术性的劳动外）。B.И. 列宁把煤的地下气化方法（地球工艺法中的一种方法）称之为一个伟大的技术胜利。B.И. 列宁指出：“这个任务的解决所引起的变革是巨大的…，甚至还有可能利用那些质量最差而现在尚未开采的煤层”。在社会主义条件下运用这种方法“就能立刻缩短一切工人的工作时间…，一定能使劳动条件更卫生，使千百万工人免除烟雾、灰尘和泥垢之苦”^{*}。

应当讲，由于缺少必要的理论基础，掌握地球工艺方法，尤其是它在矿业中的广泛应用在某程度上是停顿了。到目前为止还没有阐明地球工艺法的专门综合分析，也没有使矿业科学的这一部分形成一门确定了科目和科学内容（对象、方法、目的）以及科学原理和任务的独立学科。而现在，使在地球工艺开采法方面积累的知识和实际经验固定下来并形成一门独立的学科——地球工艺学——的必要性已成熟了。

为了广泛地发展并将这些新方法应用于工业生产，必须及早发展工艺流程所依据的这门科学。

提请读者注意的这本书，阐述了近年来越来越令人感兴趣的地球工艺采矿法，它已积累了反映在许多著作中的大量经验。莫斯科矿业学院和莫斯科地质勘探学院已在讲授地球工艺学的课程。作者为莫斯科矿业学院学生讲授的材料奠定了这一专题著作的基础。许多研究者参与了地球工艺学的发展工作。作者特别感谢一贯支持我们工作并关心书中所探讨的全部问题的H.В. 麦利尼科夫院士。真诚地感谢关照我们工作的A.В. 西多连院士，苏联科学院通讯院士B.В. 尔热符斯基，乌克兰科学院院士A.И. 谢尔巴尼，Ю.И. 佳季金教授，A.П. 德米特里耶夫教授和M.А. 麦利尼科夫教授等。作者衷心感谢帮助我们工作的亲密同事A.М. 加伊金、Л.И. 库里齐娜、Б.В. 伊斯马吉洛夫、Г.Х. 赫契扬，И.Л. 杰米亚诺娃И.С. 纳弗图林，Л.Н. 别利亚叶娃、Л.И. 马克叶娃以及科学技术候补博士，Л.К. 西麦年科、B.А. 兹克夫、B.И. 别洛夫和B.Ф. 波尔库诺夫。Л.П. 罗巴诺夫教授和莫斯科奥尔忠尼启则地质勘探学院地球工艺学教研室全体同志在讨论手稿时提出的批评和建议，作者一并在表示真诚的感谢。

^{*} 列马选集第十九卷，1948年。

目 录

第一部分 地球工艺采矿方法的基础

第一章 地球工艺学是一门科学.....	(1)
1. 地球工艺采矿法的特点及其分类.....	(1)
2. 地球工艺学的定义.....	(3)
3. 地球工艺学的内容.....	(3)
4. 地球工艺学的理论基础.....	(4)
5. 地球工艺学发展的主要方向.....	(5)
第二章 用地球工艺法开采有用矿产的原理.....	(7)
1. 岩石和矿产.....	(7)
2. 岩石介质、岩石和矿产的特性.....	(7)
3. 矿产的溶解和浸出.....	(10)
4. 对岩石的热作用.....	(14)
5. 热化学过程.....	(17)
6. 岩石的悬浮分散.....	(19)
7. 电磁场对岩石的作用.....	(21)
8. 地球工艺采矿法的理论及实验研究.....	(21)
第三章 地球工艺法的自然-地质条件.....	(24)
1. 决定能否运用地球工艺法开采的自然-地质因素.....	(24)
2. 地球工艺法对矿产质量和矿床地质-水文地质条件的要求.....	(25)
3. 矿床自然-地质条件的勘探和研究方法.....	(27)
4. 钻孔水力学.....	(31)
5. 地球工艺采矿法的水动力计算.....	(33)
6. 地球工艺采矿法的地质工作和生产勘探.....	(36)
第四章 地球工艺采矿法的矿床开拓.....	(40)
1. 用钻孔开拓矿床.....	(40)
2. 钻进设备.....	(41)
3. 钻孔结构.....	(42)
4. 钻孔钻进.....	(42)
5. 钻孔固孔.....	(43)
6. 钻孔试压.....	(44)
7. 物探测井.....	(44)
8. 钻孔装置.....	(45)
9. 钻孔编录.....	(47)
第五章 地球工艺开采方法.....	(48)
1. 开采方向.....	(48)

2. 钻孔布置的网度	(48)
3. 钻孔投入生产的顺序	(52)
第六章 地球工艺采矿法的经济问题	(54)
1. 采矿方法的选择	(54)
2. 地球工艺法的劳动生产率	(55)
3. 分析与矿床开拓有关的某些经济因素	(56)
4. 钻孔最佳网度的确定	(58)
5. 对各种采矿方法的经济指标的分析	(60)
第七章 用地球工艺法开采有用矿产的设计原则	(63)
1. 设计的任务及特点	(63)
2. 企业设计所需的原始资料	(63)
3. 矿床开拓	(64)
4. 回采钻孔结构的选择	(64)
5. 钻孔开采工艺	(65)
6. 开采方法	(66)
7. 有用矿产的回收率	(66)
8. 有用矿产的提升	(67)
9. 回采设备	(71)
10. 回采过程的综合自动化控制及监测	(72)

第二部分 运用地球工艺的经验

第八章 盐矿的地下溶解	(75)
1. 溶解石盐和钾盐的物理 - 化学原理	(76)
2. 开采岩盐卤液的方法	(78)
3. 溶解工艺	(81)
4. 开采盐矿的技术 - 经济指标	(83)
5. 借助于钻孔地下溶解钾盐	(84)
第九章 地下浸出	(87)
1. 地下浸出的矿产资源基地及其发展前景	(87)
2. 浸出过程的物理 - 化学规律	(88)
3. 溶液在地层中的渗透和地质 - 水文地质因素对浸出的影响	(89)
4. 地浸工艺流程	(90)
5. 强化地浸的手段	(91)
6. 进一步研究地浸的任务	(94)
第十章 开采可燃性有机岩矿床的地球工艺法	(95)
1. 煤的地下气化	(95)
2. 含油页岩的地下处理	(102)
3. 石油的二次开采法	(105)
4. 用地球工艺法开采地蜡的可能性	(109)
第十一章 硫的地下熔化	(111)

1. 硫的地下熔化法的基本概念	(111)
2. 地下熔化法的自然—地质基础	(113)
3. 地下熔化法的理论基础	(114)
4. 地下熔化法的工艺原理	(116)
第十二章 钻孔水力采矿	(125)
1. 钻孔水力开采法的实质(专利文献概述)	(125)
2. 在金吉谢普磷灰石矿床运用钻孔水力开采法的经验	(127)
3. 钻孔水力采矿的主要研究任务和发展前途	(134)
第十三章 处于探讨阶段的几种地球工艺方法	(135)
1. 水氯镁石的溶解	(135)
2. 铁的浸出	(135)
3. 磷灰石的地下浸出	(136)
4. 锰的浸出	(137)
5. 汞的升华	(137)
6. 从地下水中提取矿产	(137)
7. 硫的地下燃烧	(138)
8. 煤的地下氢化	(139)
9. 地热的利用	(139)
结束语	(140)

第一部分 地球工艺采矿方法的基础

第一章 地球工艺学是一门科学

1. 地球工艺采矿法的特点及其分类

通过热力作用、质量交换、化学作用和水动力作用使有用矿物就地转变成流动状态，地球工艺采矿法即建立于此基础上，其特点为下：

有用矿物的开采通常（例外是从专门准备的矿块中地浸金属，见第九单）。通过专用设备和准备好的钻孔；

在开采过程中沿矿层运动的流体（溶化载热和其它液体）-工作剂是本方法的主要开采手段；把工作剂注入矿体和将有用成分抽至地表，既可通过同一个钻孔、也可通过其它的钻孔；有用矿物只有在其结合状态改变之后才开始移动，即从固态转变成流动状态之后才能回收；

在工艺上，一般是采用选择性浸出，实际上是就地处理毛矿和回收有用成分；

用改变各种参数（流量、温度、压力和浓度等）、以及改变工作剂注入位置和有用成分抽出位置的办法从地表控制开采过程；

矿体既是开采对象、又是进行地球工艺过程的地点，矿床分区进行开采并围绕开采钻孔采区按时转移；

开采条件决定采区的大小和形状。

回采工艺过程的复杂性和多样性、以及矿床开采条件的特殊性均表明，为了研究和发展地球工艺采矿法，就必须使之系统化。一般来讲，根据作为开采工艺基础的不同作用进行分类是合理的。按照这一原则，可划分为建立在化学作用基础上的方法，建立在物理作用基础上的方法和综合方法。

建立在下列基础上的方法属于第一类：

用水溶解岩盐、钾盐、镁盐、铀盐、硫酸盐、硫酸-碳酸盐、苏打和硼砂等；

用酸液溶浸的有硫酸溶液溶浸天青石、兰铜矿、赤铜矿和某些铀矿物等，盐酸溶液溶浸闪锌矿、辉钼矿、铀矿和стопционит等，硝酸溶液溶浸辉银矿、辉铋矿和闪锌矿等；用碱溶液溶浸铝土矿和红锌矿等；还可利用盐类溶液-硫化钠、氯化亚铁、氰化钾（金）以及其它试剂的溶液；

用燃烧法（如煤、油页岩和石油的地下气化）和焙烧法（黄铁矿、黄铜矿、辉铋矿等）对矿石作热化学处理。

建立在以下基础上的方法属于第二类：

熔化（硫和地蜡等）和升华（雄黄和辰砂等）；

用水射流束剥离疏松岩石（如疏松矿石的钻孔水力开采），并用振动或其它办法使之转变为流砂状态。

建立在既运用化学作用、又运用物理作用基础上的方法属于综合方法（如在电场中浸出金属）。建立在细菌浸出基础上的方法应属于综合方法。

表 1

矿物 流动状态	矿物转变成可流动状态的方式			
	物 理 的	化 学 的	物理—化学的	微 生 物 的
气 体	温度和压力作用 (升华、蒸馏)	氧化作用, 分解作用 (局部的或完全的 燃烧、焙烧)	有物理作用 的化学反应	细菌作用
液 体	熔化蒸馏 (温 度、压力的作用)	形成分子溶液 的浸出和溶解	有物理作用的氧化 作用, 溶解和浸出	细菌浸出
可流动的 机械混合物	水—气破碎	胶结物的溶解	使用表面活性剂、 化学试剂和物理场 的分散作用	胶结物的细菌溶 解 (细菌作用)

表 2

矿 石 的 地 球 工 艺 性 质	地 球 工 艺 开 采 方 法				
	矿 体 的 性 质				
	矿体是由一种 有用矿物组成	矿体是由分散状的有用矿物组成			
		渗 透 的		弱 渗 透 的	
		多孔的和疏松的	裂隙的和洞穴的	含粘土多的	坚 硬 的
燃烧和升 华性能	气化 (煤)	气化 (泥炭、褐煤)	气化 (硫)	气化 (油页岩)	升华 (雄黄辰沙)
熔化性能	熔化 (水氯镁 石、光卤石)	在电场中熔化 (地沥青、重石油)	用热载体熔化 (硫、地蜡、地沥青)	—	用高频电流熔 化 (硫)
转变成液 体的性能	溶解 (岩盐、钾 盐、水氯镁石 等)。氢化 (煤)	溶浸 (钼、 钨、地蜡)	溶浸 (多金属)	升华 (油页岩)	预先破碎后浸出 (铜、镍、砷等)
转变成可流动 悬浮体的性能	钻孔水力开采 (煤、钾、镁、矾、泥 炭、砂、含铀岩石)	钻孔水力开采 (磷灰石、锰 矿、砂矿)	—	具冲刷作用 的水力开采	胶结物的溶解 (磷灰石—霞石矿)

为了更直观起见, 这个分类可用表格 1 表示。此分类表格的编制, 既考虑了有用矿物流动状态的类别 (气体、熔融体、溶液、可流动混合物)、又考虑了矿物转变成这种状态的方法。

某种开采方法的选择取决于有用矿物的地球工艺性质 (有用矿物在工作剂的作用下具有可流动状态的性质) 和自然—地质环境, 自然—地质环境与地质—水文地质条件一样地反映岩石特性及其饱和流体特性 (孔隙性、渗透性、裂隙性、有用成分的含量和水的矿化度等)。

为了判断运用某种地球工艺方法的可能性,可使用列有各种方法的表格2。运用地球工艺方法的主要条件是有用矿物在某种工作剂的作用下转变成可流动状态的现实可能性和经济合理性。此外,还必须保证能够把工作剂输送到相互作用的表面和通过钻孔把有用成分抽至地表。

2. 地球工艺学的定义

由于需要论证地球工艺采矿法的参数和编制各种矿床的开采设计,从而产生地球工艺学这门独立的学科。可把关于地球工艺采矿法的科学概括地称为地球工艺学,广而言之,它是研究在采矿(采用使有用矿物就地转变成可流动状态,并随即将产品流体输送至地表的方法)时发生于岩石介质中的作用和过程的一门科学。应指出的是,确定一门新学科的名称是一个十分严肃的问题,名称具有某种引导意义(在新学科的旗帜下使各专业研究人员的工作结合起来),名称应引起人们对这门必然要产生的学科的注意。一门学科的名称应简洁、悦耳,要符合科学术语常规。因任何开采方法、而不只是物理-化学方法,都与《地球工艺学》这个术语有关,因此这个术语遭到激烈反对。地球工艺法似乎是“篡夺”了整个采矿业的名称。为了避免误会,商定只把具有上述特点的采矿法称为地球工艺法。

正如任何一门新学科一样,地球工艺学也是发展于许多门科学之边缘。地球工艺学尤其与物理学和化学紧密相关,因它所研究的开采工艺过程首先取决于矿产的物理-化学性质。仅从矿层既是开采对象、又是物理-化学作用对象这一点就明了地球工艺学与地质学之间的明显联系。此外,为了解决地球工艺开采方面的问题,必须查明矿体形态和矿化特点、水文地质和赋存条件。地球工艺学从某种角度综合了各种科学知识,加强了各门学科的联系,提供了更深入、更全面地研究开采工艺的可能性。可把地球工艺学定为一门实用科学,它处于矿业、地质、物理和化学等科学之边缘,其任务是:运用矿业和地质科学成果,采用物理、化学和微生物方法,去解决与无矿井采矿有关的问题。地球工艺学研究建立于利用矿产和围岩的物理-化学性质基础上的开采工艺流程、以及控制这些工艺流程的方式方法。综上所述,地球工艺学接受了物理、化学、地质和矿业科学的成就,它应是一门综合性的科学,是全面研究和解释在用地球工艺方法采矿时发生的过程和现象。

3. 地球工艺学的内容

作为地球工艺采矿法的发展基础的这门新科学,它将是建立新的和完善现行的地球工艺采矿法的理论依据,也是高等学校教授地球工艺法的基本理论。众所周知,一门科学的研究对象就是包括在这门科学之内的和应由这门科学来研究的一些问题。常有若干门科学同时研究同一对象、现象和过程的情况,但每一科学各自有认识所研究对象的某种特殊性和共同性的任务。地球工艺学首先是一门关于无矿井采矿方法的科学,它是研究与开采工艺基础的物理-化学作用和自然-地质环境有关的矿产开采方法的。

上述地球工艺学的定义需要从这门科学的三个主要问题(项目、方法和目的)来加以阐述。

从地球工艺学的观点来看,研究一个矿床,首先应研究要回收的有用成分转变成可流动状态(溶液、熔融体、气体、可流动的混合物)的可能性。在有用矿物的状态变化的过程中,其状态的任何转变(物理的或化学的)都与自然-地质环境有关。因此,地球工艺学所

涉及的范围，远比把岩石或矿产纯粹作为地质范畴的问题来研究要广泛得多。地球工艺学作为一门科学，其特殊性不仅决定了它的发展方向，并且还要求重新考虑关于岩体的传统概念，以便更确切、更深入地理解其任务。

岩石介质这概念恰当表明了在有利用矿物状态变化区域内由岩石及相态平衡所表征的自然—地质环境的含意。岩石是各种矿物的聚合体，在矿业中被看作固相物质，含有存在于固相、液相或气相中的各种成分。应把岩石介质、物理—化学作用及其实施手段总括成为地球工艺体系。这意思完全符合关于体系的一般概念，即由相互联系的各个部分组成一个闭合的整体的概念。基于这样的认识，可把地球工艺学的基本原则归结为研究主要开采工艺流程，以及研究为了把有用矿物转变成可流动状态，并将其采出至地表，而在工作剂作用下进行的岩石介质对物理、化学和物理—化学转变的反应情况。对于某一地球工艺体系而言，有一种是决定其变化而起主导作用的。

已明确的是，地球工艺学研究的对象就是必须用新的观点，从新的角度来探讨采矿工业中的各种现实课题（矿床、开采方法和工艺流程等）。这正是产生这门新科学的一个原因。

地球工艺学的方法。地球工艺学是关于地球科学的一个组成部分。正如大多数关于地球的科学一样，地球工艺学的特点是对待所研究的现象有多种多样的见解与办法。地球工艺学运用物理、化学、地质和矿山开采方法，研究无矿井采矿工艺流程和手段。由于运用物理、化学和数学方法，可以定量分析所产生的过程，并能对其进行研究和利用。

可以肯定地讲，在矿业、同样在地球工艺学（与在任何其它科学领域一样）中，定量研究都有困难，且附有假设条件。每个矿床的情况都十分复杂，而每个试验又无法重复进行。

矿体的埋藏条件和物质成分各不相同，通过研究不能作出通用的定量结论。依上所述，决定采矿工艺参数的定量函数关系的运用受到很大的限制。定量结论只适用于特定的理想矿床。我们认为，从动态观点来看，在自然条件下的一切试验实际上都是不可逆的。为了使定量结论具有实际意义，假设条件应尽可能的与自然条件相符合。

地球工艺学这门科学最大限度地运用了现代的研究方法，是全面地理解用地球工艺方法采矿时发生于地下的复杂的相互作用现象所必须的一种综合性科学知识。

地球工艺学作为一门科学，其目的是发展对矿产、自然—地质环境和开采工艺有积极作用的采矿方法；地球工艺学作为一门实用科学，其最终目的是发展和改进地球工艺方法，以便开采赋存于复杂的矿山—地质条件下的矿床，扩大其运用范围，提高劳动生产和创造良好的劳动条件。

4. 地球工艺学的理论基础

从所述矿业科学中的这门新学科的对象、方法和目的可看出，地球工艺学的理论基础是采矿—地质学和物理学—化学，还有一系列强化开采所依据的微生物学（借助于细菌浸出铀和铜）。阐述采矿管理方法和岩石介质控制方法的科学属于矿山—地质学，它包括如下的知识：矿体构造、产状和物质成分，矿石和围岩的物理—化学性质，开采方式方法及其规章制度。与这些知识有关的有地质学、地球物理学、地球化学、水文地质学、矿物学、岩石物理和矿床开采等科学。物理—化学知识用于研究矿石和围岩与工作剂相互作用的过程。

地球工艺学主要包括两方面内容：第一方面的内容与矿床自然—地质条件的研究有关。研究这些条件虽不属采矿—水冶工程师的工作，但应很好地掌握和了解，以便能预计开采情

况。第二方面的内容则与采矿工艺的研究有关：选择矿床开拓方式、使矿物转变成流动状态的方法、抽注液和运输方法，还要选择产品液的最佳处理方案。地球工艺学应根据大量的、表征矿床特征的各种因素来选择最佳的开采方式方法。

似乎不需要分析地球工艺学的经济因素，但众所周知，在解决具体条件下的开采问题时，如不能最经济的回收有用成分，则地球工艺学将受到开采者的菲薄。地球工艺学虽属实用科学，但却与理论研究紧密相关，且把基础科学作为本身发展的科学—技术基础。

5. 地球工艺学发展的主要方向

为了顺利发展地球工艺学，需要研究许多地球工艺方面的课题，还要建立定性和定量评价用地球工艺法开采矿床的标准。在运用地球工艺方法时，了解开采环境是十分重要的，因此地球工艺学的任务应包括对矿床自然—地质条件的研究。对于确定采矿工艺的最佳条件而言，现有的自然科学和采矿工艺知识并非都满足要求。因此，运用现有理论概念，不能确定开采强度的准确标准，也不能定量确定对自然因素的函数关系，还不能根据所采用的工艺参数的不同来区分开采类型和强度。因此，一些特殊的研究应根据不同的自然和工艺因素集中于制定定量评价工艺流程的方法。

地球工艺学的基本任务是：

研究岩石介质对矿产转变成可流动状态的影响，研究由此而引起的地球工艺学系统内的平衡状态的变化；

研究化学和物理特性本身的转变情况，这里所谓的对矿产在地球工艺系统内的转变机理的研究，就是确定转变的性质和各个阶段的进行顺序；伴随转变的作用机理，包括转变速度和复杂的动态平衡；

研究采矿手段。

在确定了矿产相变的可能性之后，必须解决一系列科学、技术和经济课题。第一是工作剂注入矿体，工作剂的选择及其输送参数和方式。第二是控制开采工艺流程，包括控制工作剂在矿体内的分布情况。第三是把有用成分从埋藏地点输送到地表和进一步的加工处理。第四是选择高工效的、经济合理的开采系统。因此，地球工艺系统应划分为几个主要部分：一是钻凿至矿体埋藏部位的钻孔，使工作剂能注入矿体并能将有用成分抽至地表；二是被工作剂作用的那部分矿体。

工作剂的成分及其用量在很大程度上决定着方法的技术经济指标。解决工作剂的注入问题与解决工作剂在矿体中分布的控制问题通常是密切相关的。由于研究这些问题的复杂性，只有在进行分别研究之后，才能查明它们之间的相互影响，具有决定意义、且最难于研究的是在矿体内发生的作用。地球工艺系统中的数学模拟方法应成为分析和预测这些作用的基础。建立最佳开采的计算方法以及控制工艺流程的计算方法构成了在地球工艺学中的理论分析基础。理论分析具有发展和改善两方面的趋势：第一是详细研究地球工艺法开采时的各种工艺过程，阐明表征每一固定工艺的具体参数；第二是研究主要地球工艺流程（热力的、扩散的、动力的）的定型化问题，定型化表现在确立工艺流程的数学描述和自动控制的共同性方面。从这些趋势的发展来看，把矿体作为静态体系来对待的概念应让位于复杂的动态体系的概念。而且，对多孔介质的浸出理论的现有解释应该给予特别讨论，这种解释目前尚未运用于地球工艺流程。

正是由于地球工艺流程的科学理论，在实现地球工艺流程的控制方法方面，极大地扩大了我们的眼界。

开采工艺流程的控制包括一系列问题：控制矿体中的热和质量交换作用，选择开采系统的参数，还有开采工艺技术问题。当然，如果不详细研究岩石介质（地质构造、矿床水文地质条件、矿体自然—地质特点）的主要性质，这些问题是无法解决的。掌握了岩石介质的自然—地质特点和开采工艺的特殊性，才能计算工艺参数和生产钻孔结构的参数。

根据有用成份在矿岩中存在形式，决定如何抽至地面和进一步加工处理的问题。送至地表的主运输道，有时可兼作注液钻孔，或者钻凿专门的抽液钻孔。

正确选择溶剂在工艺和经济方面起着重要作用，溶剂的成分和性质取决于一系列因素——矿体的产状、矿产转变成流动状态的能量效应、必须的温度区间、能量在矿体内转换的现实可能性等。在溶剂确定之后，则需要解决降低溶剂在矿体中的损耗问题。

(参 考 文 献 略)

第二章 用地球工艺法开采有用矿产的原理

1. 岩石和矿产*

矿产(固态、液态和气态矿物质)在地壳中以矿体形式存在。所谓矿体,就是在一定经济行情下能合理开采出来的矿产在地壳中的自然聚集。矿产通常以某种化合物形式存在于地下,而化合物则是由具体的地质作用、岩浆作用、变质作用、破碎及沉积作用的结果而生成的。稳定的自然化合物(矿物)的数量不超过三千。每一矿物的特点具有各自的化学成分、物理性质和内部结构。矿物按其成份分为单质体(如自然金、铂、硫和碳等)、硫化物(如黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿等)、卤素(岩盐和钾盐)和作为地壳体的含氧化合物(氢氧化物、硅酸盐、硅酸铝、硫酸盐、磷酸盐和碳酸盐等)。大多数矿物具有晶体结构,只有少数为非晶质矿物。矿物物理特性很多,自然,它们都由其化学成分和结构所决定。矿物的分布广泛与否取决于其分子外电子层的性质和它的稳定性。那些电子层全充满电子的原子是最稳定的,这类矿物的化学性质不活泼。可以用第一电离势,即一个外层电子脱离原子所耗费的功,来说明原子的电子结构的稳定性,同时也表示元素的化学活泼性,易分离出电子的那些元素有较高的化学活泼性,碱金属(钠、钾等)属于此类。在化合物、溶液和晶格中,碱金属原子给出自己的一个电子并转变成带正电荷的离子。氯原子只差一个电子即可填满电子层,它很容易获取一个补充电子并变成负电荷离子。在水中氢的两个电子补充给氧原子,使它达到有8个电子的闭合电子层,这就是水分子稳定性好的原因。氧化硅分子稳定性好,石英及其它化合物广泛分布在地壳中,原因也在于此。

矿物以单晶体、结晶颗粒的集合体或呈非结晶质形式,存在于地壳之中。有用矿产的成因和原始矿物是多种多样的,但只有在较少的地球化学条件下,才会聚集为数量上、品位上具有工业价值的矿产。矿物是在内生作用(岩浆溶岩的结晶,气体升华时一些矿物与另外矿物的交代作用,变质作用)和表生作用过程(岩石的机械、化学、生物破坏和沉积)中生成。

岩石——各种矿物的稳定集合体,通常由某组造岩矿物及付矿物组成而形成独立的地质体。按成因岩石分为岩浆岩、变质岩和沉积岩。对地球工艺法来讲,很重要的是要知道下列问题:岩石结构,而岩石结构与颗粒、集合体和包体的大小、形状以及相互排列有关;岩石构造,即矿物的空间排列(如片状构造);赋存形式(层状、巢状、透镜状、脉状、岩株及岩基等)。岩石的成分是多种多样的,含矿产的岩石叫矿石,说明矿石特征的是品位,造岩矿物成分和有害杂质含量等。

2. 岩石介质、岩石和矿产的特性

第一章已讲到,从地球工艺学的观点看来,研究岩石介质的特性应以确定能否把所需提取的有用成分变为可流动状态(溶液、熔融体、气体、可流动混合物)为目的。对于地球工艺法,单独取样进行研究的作法是不可取的,必须对岩石介质进行研究,而它是呈固体、液体或气体形式的,含有各种成份的一个或几个非均质的介质体系。其中研究矿产的地球工艺性

* IO. И. 佳季金教授建议把可用钻孔开采的地热也作为矿产。

质是最有意义的，因为正是这种性质确定了有用矿产的相变特性。研究岩石介质，就是研究矿产和围岩的状态，成份和结构。岩体的性状取决于孔隙、裂隙及空隙被气体或液体充满的程度，矿体和周围介质的温度，以及矿体在岩体中的位置。岩体可能是充水的（液体充满孔隙和空隙）、潮湿的（水和气体部分地充填孔隙和空隙）和干燥的（水可能以水蒸气和结合水形式存在于岩体中）。

矿产的许多物理性质取决于温度的高低，所以，部分地球工艺法是基于利用有用矿产的热力特性以便将其转变为流动状态。

矿体的位置决定了围岩对矿体的压力及其水文地质条件。

研究岩石成份意味着：

确定岩石的物质成份，即研究组成矿产的矿物形态组合及矿物成份；

研究化学成份，即确定化学元素和化合物；

测定矿石的粒度成份和显微集合体组成。

除矿石的结构和构造外，研究矿石的孔隙度是特别有意义的，了解矿石的有效孔隙度或开启孔隙度尤其重要，这种孔隙度决定地球工艺采矿方法是否现实可行，因为它决定了工作剂和有用成份能否在压力梯度作用下在矿体内移动。

如上所述，一切地球工艺采矿法都是建立在运用矿产的物理和化学性质，并使其转变为流动状态的基础之上。当我们利用矿产的化学性质时（溶解、燃烧性质），它产生化学变化，即在原子、分子和离子的相互作用过程中，它们重新化合并改变矿产的成份。当我们利用矿产的物理特性时，矿产是在各种物理场作用下改变其本身的状态。

对地球工艺法最有意义的是岩体的水力、热力和电磁特性。岩体的渗透性（或聚水性）与它的孔隙度、透水性和能被各种液体浸润的性质有关。研究岩石的孔隙性可评价其导水性。

总孔隙度是空隙和孔隙的体积与岩石体积之比值。动力孔隙度（即有效孔隙度）只表示那一部分液体能渗透的孔隙体积。空隙和孔隙的周壁面积大小是岩石的一种最重要的地球工艺特性。所以，渗透性取决于孔隙通道的开启程度、大小及形状，以及流通道路的曲直复杂程度。

表示岩石能否让液体和气体流动通过的物理特性是渗透率（用达西单位表示）和渗透系数（米/昼夜，厘米/秒），它们的相互关系是：

$$K_{\phi} = K_a \frac{\gamma}{\mu} \quad (1)$$

式中： γ ——液体比重（克/厘米³）；

μ ——液体粘度（里泊）。

压力波在岩石中的传递速度用等传导值 α （米²/昼夜）表示， α 值按下式计算（与矿体弹性 β 有关）：

$$\alpha = \frac{K\pi}{\mu \cdot \beta} \quad (2)$$

计算渗透系数的许多方法，在专门文献中已有描述。为了地球工艺法所要求的目标，应当在自然条件下，用钻孔抽水或钻孔注水试验的办法测定岩石的渗透性。研究人员确定，岩石的透气性远比渗透高矿化度水的性能好得多，因在高矿化度水的运动通道表面上会形成多

分子吸附层及产生粘土颗粒的膨胀，从而缩小通道的断面，影响渗透性的还有岩石的特性，如岩石的可压缩性、弹性、塑性等。岩石渗透性分为绝对渗透性、有效渗透性和相对渗透性。绝对渗透性表示在大气压力下，岩石通过气体的能力，并按渗透的线性规律计算。对不同的液体，渗透性是不同的，这种渗透性叫做相渗透性（或有效渗透性）。有效渗透性之比叫做相对渗透性。如在自然条件下测定岩石的渗透性，要考虑具体的岩层赋存条件，还要考虑其内部压力、温度以及液体的物理—化学性质（化学成份、矿化度、粘度和比重等）。

除渗透性外，属于岩石水力学性质的还有如下几种特性：水容量——包涵和贮有一定水分的性能；给水性——能自由地流出一定量的水份的性能；抗水性——与水作用时能保持其粘度、稠度和强度的性能；毛细特性——在毛细作用力的作用下能把水沿孔隙通道提升起来的性能；膨胀——体积增大的性能；收缩性——干燥时体积缩小的性能；湿陷性——湿润时体积缩小的性能；润湿性——与液体分子相互作用的性质；吸附特性——从气体、水蒸气和液体中吸附聚集各种物质于自己表面的性能；吸收性——吸收气体、水蒸气和液体的性能；粘性——粘附各种物体的性能。

利用岩石在一定温度下，能从固相转变成液相或气相的这种有用矿产的热力学性质是某些地球工艺法的基础。具有物理特征的相间转变能力分为熔化、蒸发、升华、结晶和凝聚等。

熔化——有用矿产转变成液态的性能。用熔化温度（是岩石从开始熔化到完全变成液态的温度范围）和单位熔化热量，即熔化单位体积的岩石所需热量来表示其特性。

蒸发——矿产从固相或液相转变为气相的特性，在数量上可用蒸发热来表示（克服分子间的吸引力并使其脱离表面所需的热量）。

升华——矿产从固态转变成气态的特性，在数量上，用升华热来表示（原子和分子间联系能的量度）。

结晶——矿产从熔融体、溶液或气体形成晶体并能使晶体生长的性能，由于原始相平衡遭到破坏（过饱和或过冷）而产生结晶。在数量上，这种性能用结晶度（即从溶液或熔融体变成固相物的数量）来表示。

凝聚——矿产从气态转变成固态或液态的性能。

此外，为了计算基于岩石热特性基础上的工艺参数，还必须研究以下岩石性质，如：导热性（在有温差条件下传导热能的特性，用导热系数及对流系数表示）；热容量（在温度升高时增加本身热函的特性，用单位平均热容和真热容以及温度传导系数表示）；热膨胀或收缩（在温度变化时，改变其几何尺寸的特性，用体膨胀系数及线膨胀系数表示）。

当电、磁及放射性场作用于岩石的时候，可使化学及物理作用强化。

属于电性质的有：导电性（用单位导电率或电阻率表示，也可用各向电性能异性系数表示）；电力强度（即抗电压破坏的能力，用击穿电压表示）；极化强度（即岩石与周围电场相互作用的能力，用相对电容率和介电损耗率表示）。

属于岩石磁性的有：磁化率（岩石在磁场作用下磁化的特性）和剩余磁化性（岩石保持磁性的能力）。

属于岩石放射性质的有：天然放射性（岩石产生放射性辐射的能力）和岩石吸收 α 、 β 及 γ 辐射和中子辐射的能力。

在采用地球工艺方法时可用岩石的某些力学性质，而为了评价有用矿产的开采条件必须