

你，化学，
用锐利的目光，
渗透到地球的深处，
开发出俄罗斯地下的宝藏。

罗蒙诺索夫 1763年

绪 言

世界各国对有用矿物都感到大量的需要。不仅从地球内部开采出的矿物数量逐年在增加，而且所采出的化学元素也愈来愈多种多样。

1916年，维尔纳茨基对各个不同时代所利用的化学元素进行了有趣的统计。根据这些统计，人类在古代所利用的元素是19种，在18世纪是28种，在19世纪是50种，在20世纪初期则是59种〔1〕^①。现今所利用的元素种类就更多了，其中也包括着用人工方法获得的含有大量活性和稳定性同位素的超铀元素在内〔2〕。

按照费尔斯曼的统计，在近百年来，煤、铁、锰、镍和铜的每年需要量增长到50—56倍，而钨、铝、钨和钾的消耗量则增加到200—1,000倍〔3〕。根据斯米尔诺夫的資料，最近三十年来所开采的有色金属和稀有金属，要比过去整个人类历史时期所开采的还多得多。近几年来，铀的开采就发展得更快了。

在许多国家里，现今所开采的某些矿物的矿床很快就会枯竭。在美国，个别已经探明储量的有色金属矿床特别是这样。

① 方括号内的数字表示参考文献的号数，以下仿此。——译者

要摆脱这种局面；有两个办法。一个办法是，开采愈来愈贫的矿床；可是开采这样的矿床，大家认为是不经济的。还有一个办法是增加开采的深度。

可是在这两种情况下，运用现有的机械采矿方法，都会带来巨大的困难。在开采贫矿床时，必须将大量的废石跟有用矿物一道运出地面，并进行处理。而高深度开采却是十分复杂、繁重，对人有很大的危险性，因此目前开采煤矿、铁矿和许多其他的矿物，实际上都是在不超过1,500米的深度下进行的。只是在个别的情况下，开采特别贵重的矿物（例如南非的金刚石和金子），才在深达3,300米的深处进行工作，而且在资本主义制度下开采这些矿物，是以残酷剥削工人和牺牲大批人员的代价换来的。

为了增加矿物的开采量，来满足日益增长的需要，就要运送更多的人、机器和机械到地下工作，并且要消耗大量的金属、木材和其他材料。

但无论机械化是怎样的愈益完善，和劳动保护是采取多么妥当的措施，地下工作仍然是繁重和危险的。加上地下劳动的生产率又是比较低。特别是在我们建设共产主义的国家里，这种状况是决不能容忍的。所以必须寻找出一种方法，要不仅能够增加有用矿物的开采量，而且能够尽量减少在地下从事工作的人数，并能提高其劳动生产率。在这方面，早就已经在探寻新的途径，而且已经有了一系列重要的成就，并还正在不断地出现着各种更完善的未利用的办法。

地球是一个巨大的能量-化学实验室，其中自发地进行着各种各样化学的、物理的、生物的和其他的过 程。这些过程的结果，就形成了有用矿物的矿床。

在那些能用来开采有用矿物的许多现代化技术中，到目

前为止，在采矿业中仅广泛地使用了机械方法，而这种方法是要人和机器在地下工作的。这也就是机械采矿法的根本缺点。

如果运用愈益广泛应用于地面技术上的化学工艺学方法来人工造成类似自然过程的过程，就可以实行不用人在地下工作而采得矿物。这方法可以开辟无限的可能性，但还是处在发展的开始阶段。

当然，我们可以提出研究利用远距离控制和自动控制的办法来进行机械采矿的问题，利用这些办法，可以从地面上来控制在地下进行工作的一切采矿机器。

但是，在这方面也有很大的困难。目前甚至在理论上也没有比较明确的方向，因此也没有得出任何确定的技术方法来克服这些困难。例如巷道支架的自动化，地下机器的修理或磨损部件的调换等，都属于这些困难。大家都知道，采矿机器的某些零件，如采矿联合机和截煤机的切割齿，很快就会被磨损，需要经常加以调换。

采用从地面上进行控制的方法来进行巷道支架和修理地下机器或调换磨损部件，甚至在自动化控制和远距离控制技术发展到最高水平时，也是未必能实现的。

设想创造一些能在地下用机械方法破碎岩石而又不需要定期修理和更换零件的机器，同样也是很少有现实性的。最后，地下开采总还是需要完成采准、开拓、切割、清理等大量的矿山工作。为了完成这些工作，需要成千上万的人、机器和机械直接在地下工作。所有这些都是非常复杂和费钱的，同时也还没有解决主要的任务——使人们从繁重而危险的地下劳动中解放出来。

在采矿水力机械化方面，基本上也有上面所说的这种情况。这时机器还是要到地下工作。无论是从地面上对机器进

行控制和操縱达到怎么样的自动化程度，都还是要人到地下去修理和調換水力机組的零件。

可是現代的科学和技术，实际上已使我們有可能提出設法从根本上改善采矿技术的問題。我們所擁有的办法，已使我們有可能去探討和运用一种效率既高而又不需要人到地下去工作的采矿过程和方法。‘化学工艺学过程’就是这样的过程。运用这个过程，可以把呈固体状态蘊藏于自然界中为人們所需要的物質，就在地下变为液体或气体状态，通过鑽孔引出地面。这时，就完全不需要人在地下从事工作。

岩盐的地下溶解、煤的地下气化、油頁岩的地下干餾、硫的地下溶解、銅的地下溶浸等，都属于这样的技术过程。

在采矿业中广泛应用这种过程，就叫做“采矿化学化”(Химизация)。

由人們直接在矿床所在地进行化学的、物理的、物理化学的和生物的作用过程，可以叫做“地球工艺学过程”(Геотехнологический процесс)。而与这种过程的探討、研究和实现有关的科学技术領域，就叫做“地球工艺学”(Геотехнология)。

就象用来表示地質学与化学的邊緣科学領域的術語“地球化学”一样，这一術語也是可以采用的。大家知道，地球化学体现并有机地結合了这两个科学領域分別所固有的一些特点。新的科学技术領域——地球工艺学——同样是地質学和化学工艺学等学科的一門邊緣科学技术。它也把这些学科分別所固有的一些特点有机地結合起来了。

当然，“采矿化学化”和“地球工艺学”这两个術語在一定範圍內是有条件的。當我們說“采矿化学化”时，意思不仅是指气化、溶浸、用氧溶解、焙燒等化学过程，而且也

包括熔融、升华等物理过程、低温炼焦的物理化学过程和其他类似的过程。

有人对“地球工艺学”这一术语是有异议的。他们的理由是：地球工艺学不仅涉及地质学和化学工艺学领域，而且也涉及矿山机械工艺学的一部分（例如机械破碎岩石的工艺学问题）。为了避免误解起见，这里可以强调指出：“地球工艺学”这一术语是指研究和实现地下化学工艺学过程的科学技术领域，所以与需要人们在地下工作的破碎岩石机械工艺学完全无关。

采矿科学技术这一发展方向的意义和进步性是无可怀疑的。所以即使是概略地叙述一下化学采矿法的历史、现状和进一步发展的远景，这也是应该的。

本书将对现在已经知道的化学采矿法进行简短的历史评述和分析，并试图指出采矿化学化的进一步发展远景。

用地下溶解法采矿

岩盐的地下溶解

地下溶解过程是人类为了开采所需要的物质而应用的一个物理化学过程。

人类为了自己的需要，早在史前时代就开始采盐和使用盐了。由此可见，这是采矿业中最古老部门之一。在有关盐的最古老的文献史料和保藏的历史文件中，都说到盐已是很普遍、大家都知道的东西了。

我们只能推测，从天然盐水中蒸发或冻结盐的最简单方法是采盐的第一种方法。后来，当人们发现石块状的盐矿床（显然，因此才叫做“岩盐”）时，最初是在露天采盐场进

行开采，然后則是在埋藏于地表面下不深的矿床中来进行开采。

当人們发现有些盐矿体埋藏很深，而依靠从天然盐水中蒸发和冻结或者露天开采的方法不可能滿足人們对盐的需要时，于是就开始用地下采矿的方法从地內采盐。

直接在盐矿体所在地进行盐的溶解，和經過由地面鑽通的鑽孔从地內采盐的方法，是采盐技术发展的最新阶段。

根据許多史料，欧洲采盐发展的历史情况如下。829年，在薩·斯堡和維利契卡就已开始进行采盐〔4〕。在833年，天主教神甫科尔維依从法国国王誠篤路易那里获得了采盐的許可証。在图斯庫兰主教1105年的文件中，就有維利契卡地区（波兰）开采盐井的报导。在那里进行的是地下采盐；无疑地到那时采盐技术已在其发展道路上前进了一大步。

俄国的历史文件告訴我們，当时在罗斯，盐場已非常发达，主要是用“盐釜”（чрепѣ）从天然盐水中熬煮盐〔5〕。根据档案史料，庫列〔6〕这样記述罗斯的熬盐发展情况：

“还早在1137年，諾夫戈罗德の斯維托斯拉夫·奧列戈維奇大公給索非亚大教堂的敕令中，就命令从每一熬盐戶征收一定量的盐作为稅收。

“到12世紀，有指令要在沃洛格达、科斯特羅馬、諾夫戈罗德（巴拉赫拉）、彼尔姆等省和其他地方进行从地下盐水中生产盐。

“在13—14世紀，熬盐在罗斯已蓬勃地发展。例如，1391年，特罗依采-謝尔吉耶夫寺院奉令在加利奇免稅熬盐。后来这寺院又奉令在彼列斯拉夫斯克和涅列赫特免稅熬盐。

“許多其他的寺院（索洛維茨、基里洛夫、彼契涅格、

卡达拉克什、阿尔汉格尔等等)，同样也奉命免税熬盐和售盐。在古罗斯，是鑽通深达60—70米的直掘井和鑽孔来开采地下盐水的，而且通常是用木管沉入鑽孔中。”

随着技术的发展，鑽孔深度不断增加，沉入的木管就逐渐被鉄管所代替，汲出盐水用的吊桶和手絞車就被深井拉杆泵所代替，后来則更为离心泵所取代。

根据下列的一些資料，可以判断出俄罗斯盐場的鑽孔发展程度和这一工业部門的成长情况。早在1687年，在托特麦（沃洛格达省）已有深170—268米的鑽孔150个，其中进行生产的有133个。1697年，在列恩瓦（彼尔姆省）已有深90—164米的鑽孔39个，其中进行生产的有23个。在巴拉赫納（高尔基省）已有深95—130米的鑽孔33个。按照現有資料，到17世紀末以前，俄国最大的盐場共計有鑽孔435个。鑽孔的深度达250米，在某些情况下則更要深些。这些鑽孔照例是提开盐水式的，換句話說，就是經過鑽孔将天然盐水采出。

在天然盐水具有相当高濃度、盐質很純的个别地方（例如在斯拉維斯克和別列茲尼克），开采时产量很高，到如今还順利地进行着生产。在盐水濃度低的其他地方，从前虽曾进行相当大規模的开采，現在已經逐漸衰落，几乎完全停止生产。例如在古罗斯，盐厂早在15世紀就已开工，并給国家帶來了大量的收入，它是从210米深处采出的濃度很低（1.363% NaCl）的盐水中进行熬盐的。可是后来盐厂逐漸衰落，最后完全关闭，这是因为它們不能跟廉价得多的岩盐和自凝縮盐相竞争的緣故。由于这个原因，索尔威切哥次克的許多盐厂和斯特罗加的其他盐厂都不再存在了。

在地面溶解所开采的岩盐的生产盐的方法，並沒有多大成效。因为这样获取盐的成本要比用地下溶解法获取盐的成

本高很多。

地下溶解法是目前开采工业盐水最普遍应用的方法。地下溶解法有两种：（1）开拓矿山井巷（竖井、平洞、平巷等）来溶解盐层（矿井法），（2）經鑽孔給入水来溶解盐层（无矿井法）。

在英国奇沙依尔，从紀元一世紀就开始利用盐的資源。1670年，开始用开凿矿井的方法来采盐。但70年以后，地表水进入了其中一个矿井，将整个开采区淹没。于是目前所开采的大量盐水，就是这次淹没的結果。由这溶液中提取盐的成本，几乎要比用矿井法采盐的成本低10倍。应用矿井法取得盐水时，可用所謂灌注法溶解和地下巷道法溶解。

1890年在舍涅别克开始采用的灌注法溶解的实质是：在盐层中掘进采准巷道（平巷）以及溶浸所謂“漏斗状”的主要生产巷道时，从注入管道（噴水器）給入水来溶解盐。在普列姆尼茨，大部分的盐水是在灌滿水的特殊矿房中由水将矿房的四壁溶解而成的。这一方法为以后在斯捷布尼克、卡鲁什和其他盐厂所用的地下巷道溶解法架設了桥梁。后一方法是把淡水由上平巷经过傾斜的地下巷道給入位于下平巷水平上的矿房中。水在矿房中的四壁和頂板上溶解盐。在矿房中生成的盐水，沿着敷設在隔牆內的管道流到下平巷，然后由这里运出地面。

由地面上給入水来溶解盐，和經鑽孔将所得到的盐水运出地面的无矿井采盐法，引起了特別大的兴趣。

我們沒有可以指明何时何地首次应用这方法的資料。只是知道，无矿井采盐矿的方法在20世紀初就已获得很普遍的应用。其中在伊諾夫拉茨拉夫是1920年开始用这方法获得盐水，在維利契卡是1924年，而在什彼尔加烏則是1929年。

这方法是将套管沉入鑽孔中，沉入套管的底座安放在岩盐矿体上盘的的水平面上。鑽孔与管子外壁の間隙要仔細地填实。在沉入的大套管中再放下小直径的套管，小套管的底端要比鑽孔工作面高2—3米(图1)。

在开采时，采用两种方法来給入溶剂(水)和排出盐水。在第一种情况下，水沿着内套管給到溶解矿房的底部，盐水則由矿房頂部沿着管子之間の間隙排出。这就是所謂正流向方法(簡称正流法)。在第二种情况下，水沿着管子之間の間隙給到矿房頂部，盐水則由矿房底部沿着內套管排出。这种方法叫做逆流向方法(簡称逆流法)。

普遍有这样一种意見，認為用地下溶解法来开采盐矿床是最簡單的事。这些人說这方法已經广泛运用，已不需要再加改进，因此在这方面就沒有再作研究的必

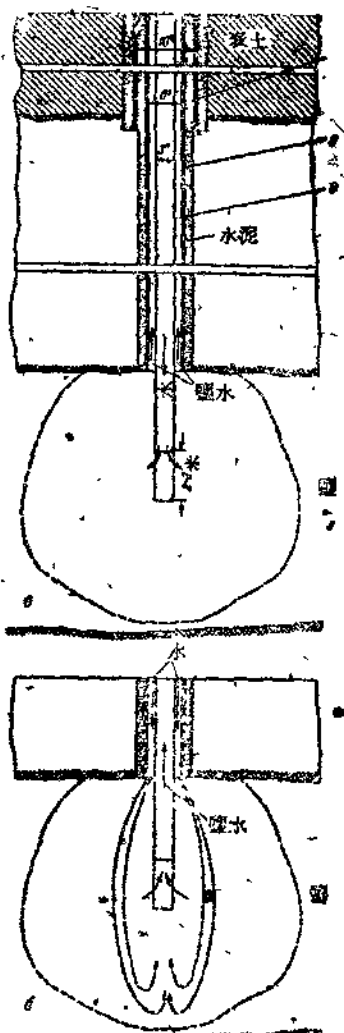


图1 用正流法(a)和逆流法(b)经过鑽孔溶解盐：
1, 2—沉入的套管，3—开采的套管。箭头指示溶剂(水)和盐水的运动方向

要。这种观点是錯誤的。

虽然所采用的經過鑽孔地下溶解盐的方法具有許多的优点，但仍然存在着矿床儲量利用系数低的主要缺点。最初溶解是在鑽孔壁进行的。逐渐形成的溶解矿房則呈倒圓錐形（頂端向下）；随着矿房容积的增加，四壁愈来愈离开垂直位置。四壁的傾斜角变得使不溶解的殘余物开始在其上沉积下来，而溶解过程就急剧減慢。当四壁的傾斜角达到 $30-40^{\circ}$ 时，溶解完全停止，鑽孔的工作就只得中斷。这时矿床儲量的利用率不超过 $10-15\%$ 。

为了克服这个主要缺点，曾提出了水力穿孔的方法。采用这方法时，矿房的頂板就是其溶解表面（图2）。这一通过試驗和設計而形成的方法，在1934年开始采用，后来經過个别改进。这方法可以大大提高矿床儲量的利用系数。

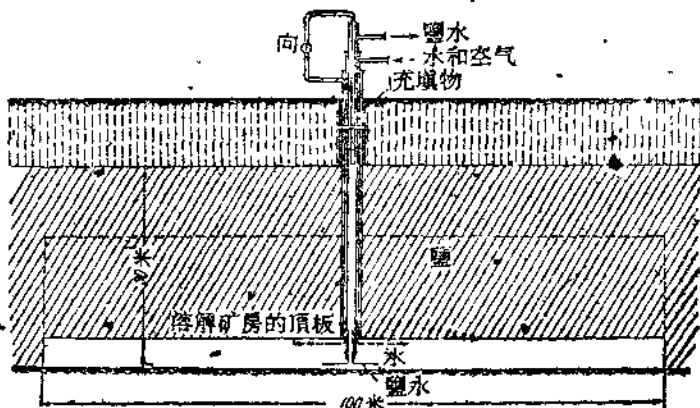


图2 用水力穿孔法經过鑽孔溶解开采盐矿床的示意图

当大量消耗盐产品的化学工业或食品工业的企业是以盐水形式需要盐时，人工地下溶解岩盐的方法应该認為是最經

济的。这方法的下列优点就是有力的証据：

1. 可以很有效地开采高深度的盐矿床，而用矿井法来开采这样的矿床，在技术上是困难和不经济的。

2. 将开采盐和溶解盐结合在一起，就消除了在地面建造庞大和高价建筑物的必要性。

3. 使人們能从地下劳动中完全解放出来。

盐的大量损失还由于直到现在都是采用局部作用、互不联结的鑽孔系統来进行地下溶解的缘故。給入溶液和排出盐水都是经过同一个鑽孔。当然这在不小的程度上影响到盐的溶解速度和将盐运出地面的速度。

如果用不是局部的，而是成組的、在地下互相联结的鑽孔来开采矿床，就可以达到相当高的技术经济指标。首先，这时就为从一組鑽孔給入溶剂，而从另一組鑽孔排出溶液的方法創造了可能性。于是溶解速度（由于溶剂和盐水的液流的强烈湍流运动）就会比鑽孔局部工作时显著提高。其次，溶剂可以在矿体内通过很长的距离，这就使得每一个鑽孔在所使用时期内溶解的盐量和盐从矿床中的回收率都会大得多。

为了使成組系統的鑽孔工作能实际实现，必須用某种方法在給水鑽孔和排盐水鑽孔之間建立起联络通道。

采用适当的定向噴咀給入細水股流来穿通联络通道，可以認為是“貫通”鑽孔方法中的一种。

开采盐矿床时，必須仔細地研究溶解的特性和速度，研究在盐溶解过程中形成的不同形式的沟道和液流的各种液压条件下与溶剂飽和速度有关的一些現象。

在这方面已經有了一定的成就。化学工业部全苏制盐研究所在庫列的领导下，由1940年开始用物理数学分析法来对