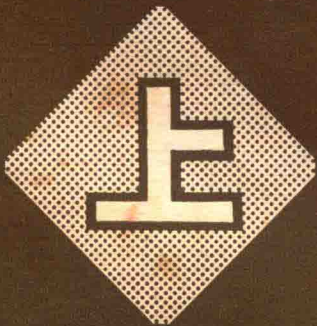


国外隱伏矿床地质找矿方法



冶金工业部情报研究总所

前 言

解放以来，随着地质工作的广泛开展和大规模的矿山开发工作，出露地表的矿床多数都已被揭露，如果要再发现新的地表矿床，其难度是更大了，今后我国金属矿床找矿的主要注意力已不得不转向找隐伏矿床上面。

从国家建设方针来看，已从外延转为内涵，从靠新建转为依靠老企业技术改造挖潜的方针，因此为了提高整个国民经济效益，地质部门应该有重点地把找矿工作布署在生产矿区及其外围，布署在现有工业区，而这些地区的地质找矿正如上述，寻找露头矿的机会愈来愈少了，其主要出路在于寻找出露区的盲矿床，在于寻找掩盖区的隐伏矿床。

这种找矿形势的变化，要求地质找矿工作必须有一个较大的变革，单一的地质方法，以及任何一种单一找矿技术，对解决这个复杂难题都是很难见效的，它要求地质找矿工作必须向总体化方向发展，向综合成矿预测方向发展。我们必须系统地掌握一套在掩盖区寻找隐伏矿床的预测方法，要用地质、物探、化探、同位素、包体、遥感、数学地质等多学科的方法去研究该地区的主要地质问题，去圈定主要控矿因素才能得出综合的找矿信息，以达到综合找矿预测的目的。

在这些方面，近一、二年来冶金地质已初步取得一些进展，利用遥感地质、区域物探、区域化探资料去了解掩盖深度，基底构造，含矿岩体，控矿构造等一系列基础地质问题，极大地推动了找矿工作的进展。

为了借鉴国外这方面成果，我们组织有关人员译编了这份材料，由于我们水平不高，可能有不少错误，故仅供大家学习时参考，对文中的错误，也望给我们提出，以便在今后工作中注意改正。

参加本文集有关文章译校的同志有胡品美（兼主编工作）、孙润臣、李丁炎、余宗周、周传新、周长令、盛桂浓、林镇泰、欧阳宗圻、谢仲恒、杜春林、殷俊良、钱桂华、云舒岩、刘泉清、廉介民。请冶金部地质司周长令、周传新、熊光楚三位同志对译文进行了技术审校。

1982年12月

一、预测隐伏矿床时的总体构造—建造填图.....	(1)
二、勘查深部火山成因矿床.....	(5)
三、加拿大诺里塔矿区主矿带内块状硫化物的侵位和成因的找矿意义.....	(20)
四、寻找盲矿体的途径——	
盲矿床的勘探促进研究人员重视矿床形成环境的研究.....	(40)
五、利用地貌构造分析预测汞矿化.....	(52)
六、北鹿地区饵钩黑矿矿床的勘探	
——从圈定勘探目标地区至发现矿床的勘探经过.....	(55)
七、从泥岩和有孔虫化石看释迦内矿石的找矿方向.....	(70)

综合地质方法

八、应用综合方法普查隐伏型金属矿床.....	(81)
九、苏联内生隐伏多金属矿床的普查和勘探.....	(85)
十、地球化学寻找金属矿.....	(89)
十一、论盐晕、水晕、气晕寻找隐伏型金属矿.....	(100)
十二、原生晕中元素地球化学共生组合的找矿意义.....	(104)
十三、发现火山岩型块状硫化物矿床有利区的岩石地球化学指标.....	(109)
十四、黑矿矿床外围找矿的圈定方法	
——低 Na_2O 晕的运用——.....	(130)
十五、加拿大魁北克诺兰登，诺北克Cu—Zn—Au—Ag块状硫化物矿床	
围岩中的原生晕.....	(138)
十六、瑞典北部硫化物勘探的岩石地球化学勘探资料.....	(154)
十七、秘鲁拉克朗贾班岩铜矿床的淋滤帽的地球化学.....	(171)
十八、用分散流在矿业发达地区普查找矿.....	(189)
十九、播但地区的隐伏地质构造和物体探数据.....	(203)
附：国内外隐伏矿床地质找矿题录索引.....	(220)

地 质 方 法

预测隐伏矿床时的总体构造—建造填图

在现有的生产矿区寻找深部隐伏黄铁矿矿体，是地质部门的一项十分重要的任务。它是以前田、矿区的总体构造—建造填图资料为基础的。这种综合性的方法，要以坑道和深钻的研究成果，以及分析地球物理和地球化学资料为依据，预先深入研究含矿火山岩建造及其岩相，查明控矿和容矿构造。笔者在南乌拉尔一些矿山进行试验所获得的总体填图经验，在上乌拉尔地区得到了成功的应用。全苏地质勘探科学研究所与乌拉尔地质部门一起，共同完成了一系列研究工作，其中包括在岩相—建造基础上编制的1:50000预测图；一系列构造图、平面图和剖面图；对含矿古火山构造及其中黄铁矿型矿化的赋存条件所进行的深入研究。下面讨论上述工作的方法及所取得的成果。

上乌拉尔地区，对总体构造—建造填图并研究其方法来说，是一个很合适的对象。就地质构造特征而言，该区在许多方面都与南乌拉尔类似。这里的含矿火山岩系广泛发育，含矿的古火山构造有微弱变形，并赋存有已知的乌泽尔金、“小九大”、莫洛焦日、切巴奇、塔尔干、诺维和奥焦尔等隐伏含铜黄铁矿矿床。此外，这个地区还进行过深入的地质—地球物理和地球化学研究。上乌拉尔地区位于东马格尼托哥尔斯克优地槽北段内带的中部。向北是乌恰林斯克矿区，向南是亚历山大洛夫矿区。该区东与古姆别依—阿达莫夫古岛弧带毗邻。该带主要由安山—玄武岩建造的火山岩(D₁—D₂gv₂)组成，西部则与优地槽的后带接壤，由厚大的玄武—粗面岩建造的火山岩构造(1)

据库尔巴诺夫的资料，区内发育有玄武岩类火山作用的钠质系列建造：玄武岩均—建造(D₁)；流纹—玄武岩反差建造(D₂e)；玄武—安山—英安—流纹岩连续建造(D₂gv)；安山—玄武岩建造(D₂gv₂)；夹有上述建造岩石冲刷产物和礁灰岩的火山沉积建造(D₂gv—D₂fr)。所有的黄铁矿型矿体均赋存在连续建造的酸性岩石中，产于古火山内部构造范围内岩石剖面的不同层位。古火山构造产于反差建造的玄武岩类岩体上。为了进行预测，必须确定含矿酸性火山岩的分布规律和产出条件，划分与矿体伴生的岩相，并研究它们所构成的构造。另外还要查明矿化的赋存层位，追踪运矿带，并确定含矿构造的埋藏深度。

为了确定含矿火山岩的分布规律，还研究了反差建造玄武岩类古山脊，后者决定着含矿的流纹—英安岩成分的火山岩和年青建造岩石的分布。产于均—建造玄武岩类下面的山脊，沿北北西方向延展，穿过整个地区并超出其范围。山脊轴部的厚度为2.5~3公里，两翼厚度0.5~1公里。根据深钻和地震测量资料所编制的玄武岩类山脊古地形圈，以及对构成山脊岩石的岩相所作的分析表明，山脊是由弧立的和链群式的中心型古火山构成的。它们形成局部出露地表的隆起。山脊坡平缓地倾没，与深部的边缘拗陷联为一体。在其宽5~6公里

的轴部分布着相当于火山口—近火山口相的熔岩、火山岩滓和块状集块岩，两翼则有远火山相的韵律层状再沉积火山碎屑岩，它们是在浅水条件下生成的。

根据打穿酸性火山岩的许多钻孔资料，对其厚度所作的分析表明，酸性火山岩产于玄武岩类山脊的轴部和山坡上，并充填等轴状、弓状、半弧状和线状的火山—构造盆地，同时还合并为由盆地分离出来的平地。环绕山脊的盆地和加入山脊的隆起，继承了玄武岩类古火山形成末期奠定的火山沉陷。盆地范围内岩石的厚度为300~1200米，盆地范围以外的厚度只有200米或更小。小型的盆地构造多集中在玄武岩类隆起的鞍部，而深的盆地则集于其坡部(见图1)。

大部分盆地构造都是经过再压缩的，外观呈向上顶部突出，底部向下弯曲的透镜状，并受到与火山作用同期的断裂破坏，具有阶梯状的构造。这些构造，是在不太深的古海洋环境下，在坳陷、沉降和陷落的过程中，在中心型喷发—喷出火山机构形成时产生的；在这些构造的范围内，发育有近火山口的喷出产物(穹丘熔岩、岩流、熔岩碎屑、块状集块岩和混灰熔岩)及其衍生的礁灰岩便证明了这一点。大部分斑状结构流纹—英安岩成分的火山岩，具有类似于阿尔泰同类岩石那种原始熔浆的分熔分层现象。对于寻找黄铁矿型矿床来说，最有意义的是玄武岩类隆起坡上轴部附近直径0.7~2公里的盆地。这种盆地为同心状的，具有很陡的陷落壁，并受与火山活动同期的断裂所限定。盆地靠近沉降破火山口和火山—破火山口。

乌泽尔金、切巴奇、塔尔干矿床，正是赋存在使麦日奥泽尔隆起复杂化的这种盆地之中。在位于隆起轴部的小型盆地中，赋存有“十九大”矿床。位于莫洛焦日隆起顶部北坡盆地内的莫洛焦日矿床，以及赋存在玄武岩类基底高地上不太大的凹地内的诺维矿床，也具有类似的情况。奥泽尔矿床的矿体产在乌特雷克塔什玄武岩类隆起周边冰川形和弧形盆地结合部的破火山口状陷落之中。含矿构造本身就产于火山构造盆地内部的局部封闭洼地。这些洼地位于流纹—英安岩喷出穹窿、玄武岩类基底阶地和礁灰岩地障之间的地带。火山沉积成因的扁平透镜状和层状矿体，充填于伴有成矿物质堆积面的不平坦处。矿体下部的岩石受到硅化、绢云母化，沿导矿断裂有丰富的碳化物。

研究和对比含矿构造剖面，有助于确定矿化赋存的层位。已经查明，黄铁矿矿体产于好几个层位，这些层位在剖面上通常与再沉积的火山碎屑物质的层位吻合。在矿体的延长部分可以根据分层的地球化学异常追溯层位。最深的一个层位是在乌泽尔金矿床确定的。这里的

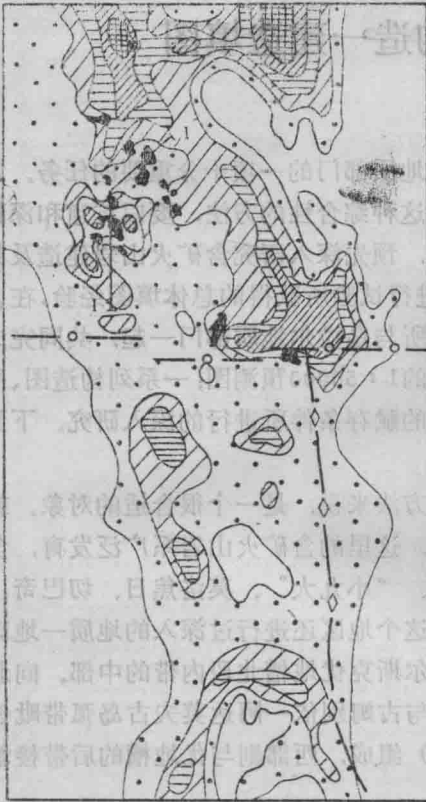


图1 上乌拉尔地区含矿的连续建造流纹—英安岩火山岩层厚度分布图

- 1—无矿岩层的地段；岩层厚度；
- 2—0~300米； 3—300~500米；
- 4—500~700米； 5—700~900米；
- 6—大于900米； I—I——地质剖面

研究和对比含矿构造剖面，有助于确定矿化赋存的层位。已经查明，黄铁矿矿体产于好几个层位，这些层位在剖面上通常与再沉积的火山碎屑物质的层位吻合。在矿体的延长部分可以根据分层的地球化学异常追溯层位。最深的一个层位是在乌泽尔金矿床确定的。这里的

矿体产在充填于局部古盆地的韵律火山岩层剖面的下部。这个古盆地是在第一期喷出相发生后的一些喷出穹丘当中形成的(图2)。切巴奇和莫洛焦日盆地内更高层的中间层位,见于大斑石英流纹—英安岩的底板,其在剖面上的位置,是在被冲刷的火山岩层之上。火山岩覆盖着下面的矿体。

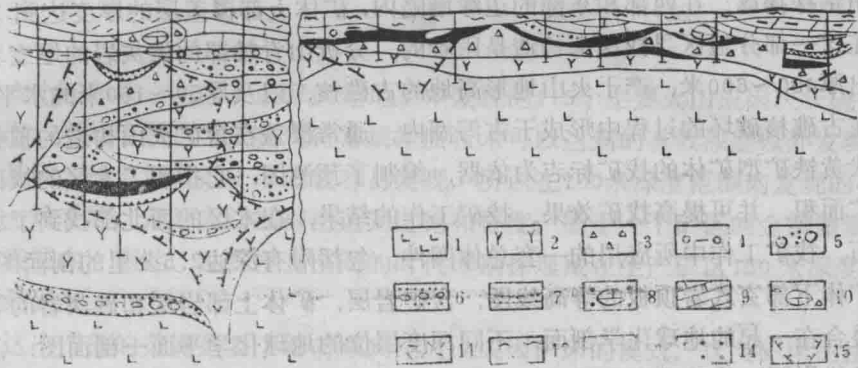


图2 乌泽尔金型“十九大”矿床构造地质剖面

1 - 反差建造 (D_21) 玄武岩火山淬凝灰岩、角砾岩; 连续建造的火山岩 (D_2gv_1); 2 - 流纹—英安岩, 含石英斑晶 1~7 毫米, 构成岩流和喷出穹丘, 3 - 流纹—英安岩成分的凝灰岩和火山角砾岩, 4 - 凝灰熔岩状凝灰岩, 5 - 混合成分的未分选的粗碎块屑和块状角砾岩, 6 - 韵律互层的凝灰砾岩、凝灰细砾岩和凝灰砂岩, 7 - 绿泥石薄层凝灰岩; 沉积—火山建造 (D_2gv-D_3fr) 岩石; 8 - 含灰岩角砾和丰富的含矿碎屑的混合成分粗碎屑角砾岩, 9 - 礁灰岩, 10 - 碎屑灰岩, 常具红色灰质—凝灰质胶结物, 11 - 硅质碧玉、凝灰砂岩、凝灰细砾岩和凝灰砾岩, 常为红色, 弱分异建造 (D_2gv_2) 的安山—玄武岩和安山岩; 12 - 中生代堆积层; 13 - 致密块状黄铁矿矿石; 14 - 含矿碎屑; 15 - 热液交代退色带 (主要是绿泥石—绢云母—石英成分) 和浸染状黄铁矿矿化带轮廓线

分布面积最均匀的上部矿化赋存层位, 是在含矿火山活动渐熄的过程中, 在古地形总的补偿和夷平时期形成的。它一直延续到连续建造剖面的最上部。该建造为石英斑状流纹—英安岩、熔凝灰岩类岩石, 以及与凝灰砂岩、硅质和上覆灰岩互层的凝灰岩。矿体产于火山岩剖面的上部, 或产于其上覆的凝灰沉积岩或灰岩交界的部位, 有时也产在上述岩石的内部。在这个层位上, 赋存有“十九大”、塔尔干、诺维等矿床的矿体, 以及乌泽尔金矿田的上部矿体(图2)。

该区总体预测的重要任务之一, 是确定导矿构造要素。巴兰诺夫通过建立不同深度层位的地球化学剖面和平地图, 才追溯出长 3~6 公里、宽 0.1~1 公里的线形带体系。这些线形带乃是复杂程度增高和环带构造的地球化学异常链。对应于每层矿化的运矿断裂即符合这种环形构造。例如, 底部层位的矿体与北北西向、近东西向和部分北东向、南北向的断裂有关。带的鞍部, 就其成分而言, 通常相当于后带, 这里的矿化主要是 Mo 和 Co。近离后带发育有含 Cu、Zn 矿化的中间带, 后者又被前锋带所取代。前锋带的特点是具有断续的含有

Ba、Zn、Pb的多元素异常。矿体通常是：在中间带（奥焦尔、“十九大”乌泽尔金、莫洛焦日矿床）；产于与中间带交界处的前锋带内的情况则比较少见（塔尔干、切巴奇矿床）。

含矿构造的埋藏深度，是根据上覆岩层的体积分析资料确定的。这些岩层包括在一定层位上与灰岩和致密硅页岩伴生的安山—玄武岩（ D_2gv_2 ）和火山—沉积（ $D_2gv_1 - D_2fr$ ）建造。在火山成因山脊的轴部和坡部附近，矿体上部岩层的厚度不超过三、四百米，这里的含矿构造可用钻探揭露。在西部和东部的边缘拗陷内，矿体上部覆盖层的厚度达到1000~1500米，所以在这一部分地区寻找深部构造是困难的。分析山脊轴部的礁灰岩的厚度表明，其中可以划分出厚400~600米、产于火山地形高地的古礁核，以及厚50~100米的水平层。水平层主要是在古礁核破坏的过程中形成于古泻湖内，通常覆盖在含矿火山构造的顶板之上。

以隐伏黄铁矿型矿体的找矿标志为依据，编制了预测图，它指明了本区的找矿方向，可以缩小找矿面积，并可提高找矿效果。找矿工作的结果，在本区的西北部找到了块状的含铜黄铁矿矿石。找矿工作中所应用的一套总体图件，包括附有深达2.5公里的剖面图的岩相—建造图，矿体下部玄武岩顶板的等高线图，含矿岩层、矿体上部岩层和礁灰岩的等厚图，与地质剖面叠合在一起的地球化学剖面，不同深度层位的地球化学平面—剖面图，含矿岩层地球化学异常投影图，找矿准则和找矿标志图和预测图，建议在含矿古火山构造变化不大的地区，在进行含铜黄铁矿矿体空间预测时加以采用。

林镇泰 译自苏联《Разведка и охрана недр》1)

1981年No10 21—26页

孙润臣 校

勘查深部火山成因矿床

一、摘要

回顾六十五年来在加拿大前寒武纪地层中发现的115个主要火山成因块状硫化物矿床，就可以看出，用地面勘探方法在现行常规地质技术可以达到的有效深度以外发现的矿床仅占7%。这是因为浅部埋藏的矿床比较容易发现，所以在100米深度范围内发现的矿床就特别多。对这一地表层，常规方法勘探已达到过饱和程度。鉴于一个矿区的金属储量不一定局限在近地表层内，因此，勘探垂直空间的时代即勘探埋藏在生产矿区150米深度以下的矿床的时代已经到来。

完成这一任务的关键是要了解前寒武纪火山成因矿床的模式，这类矿床往往与长英质火山作用晚期相有关，往往产于一定时代的地层层位中，其标志是伴生有火山喷气产物。主要块状硫化物矿床一般是一些不连续的统一体，其概率曲线上部5%的矿床规模一般大于4,500万吨，其表面面积为0.30平方公里，中型规模一般大于120万吨，表面面积为0.02平方公里。这些主要矿床的经济价值，上部5%的大型矿床为55亿加元，中型矿床为1.25亿加元。根据这些矿床的出现频率来看，前一种大型矿床占4%，中型占15%。

研究一下前寒武纪主要生产矿区的发现史，如诺兰达和弗林·弗朗，就可以知道，大部分矿石储量通常是在新地质技术应用的初期阶段，直到这种技术尚未超过其有效勘探深度极限之前发现的。除诺兰达矿区外，在其他矿区，矿床发现的平均深度一般都是在地面以下50米范围内。

发现深部矿床是一项难度较大的工作，目前有效的勘探方法之一是在盲矿体上部和周围的露头（或岩芯）中圈定断裂控制的汞渗透晕。这种技术已证明是一种有效的手段，它可以发现埋藏深度大于700米的矿床。电磁测井法也可以有效地圈定过去钻孔漏掉的矿床。此外，微迹元素地球化学趋势面分析法也有助于沿含矿地层布置勘探钻孔来圈定矿体。

根据定义，生产矿区应具有可靠的成矿有利条件。将来如果主要是在150米深度以下找矿，并能把深部找矿方法与充分的地质分析结合起来，那么在那些地区发现新矿床的可能性会大大增加。为了寻找概率曲线上部25%的规模大于330万吨、表面面积为0.05平方公里的矿床，一开始就应设计800米深的钻探计划，这种规模的矿床价值一般为3.10亿加元，其出现频率为12%。每个这样的钻孔，总费用大约要用4万加元。如果找矿深度局限在400米，则一个钻孔的总费用一般为2万加元，相当于在边远地区的前寒武纪绿岩带中进行普查钻探的一般拨款费用。根据公司提出的目标，开展深部矿床勘查已展现出令人鼓舞的前景，它虽然有风险但也有报酬。

二、绪言

“如果我还知道什么事情的话，那就是现在在你们的领土上，有许多地方的地下深处还

埋藏着许多财富，它比地面上看得见的明显的财富多得多，再会”（阿格里科拉^{*}，1556）。

本文标题中所用的“Prospecting”（勘查）一词，而不是“Exploration”（勘探）一词，是国际上为了表达勘查隐伏矿床这门科学目前水平的真实性而确定的。勘查（Prospecting）虽然意味着用相当原始的手段在地面上寻找矿床，但它也可以有效地说明用现代技术从地表上寻找深部隐伏矿床的现状。如果还需要进一步说服我们改变态度，那么阿格里科拉的上述那段名言现在仍然像425年前一样是真理。

最近65年来，在加拿大前寒武纪地层中已发现了115个有经济价值的重要火山成因的矿床。这些矿床的矿石量总计有7.40亿吨，金属品位：铜2%，锌4%，银50克/吨，金1克/吨。它们可提取出的金属量：铜1,500万吨，锌3,000万吨，银3.8万吨，金750吨，按现在的金属价格计算，未开采前的原矿石总值超过1,000亿加元，其中贱金属占总值的63%，其余的是贵金属。这是一个重大的贡献，在价值上可与加拿大前寒武纪金矿的生产总值相提并论。

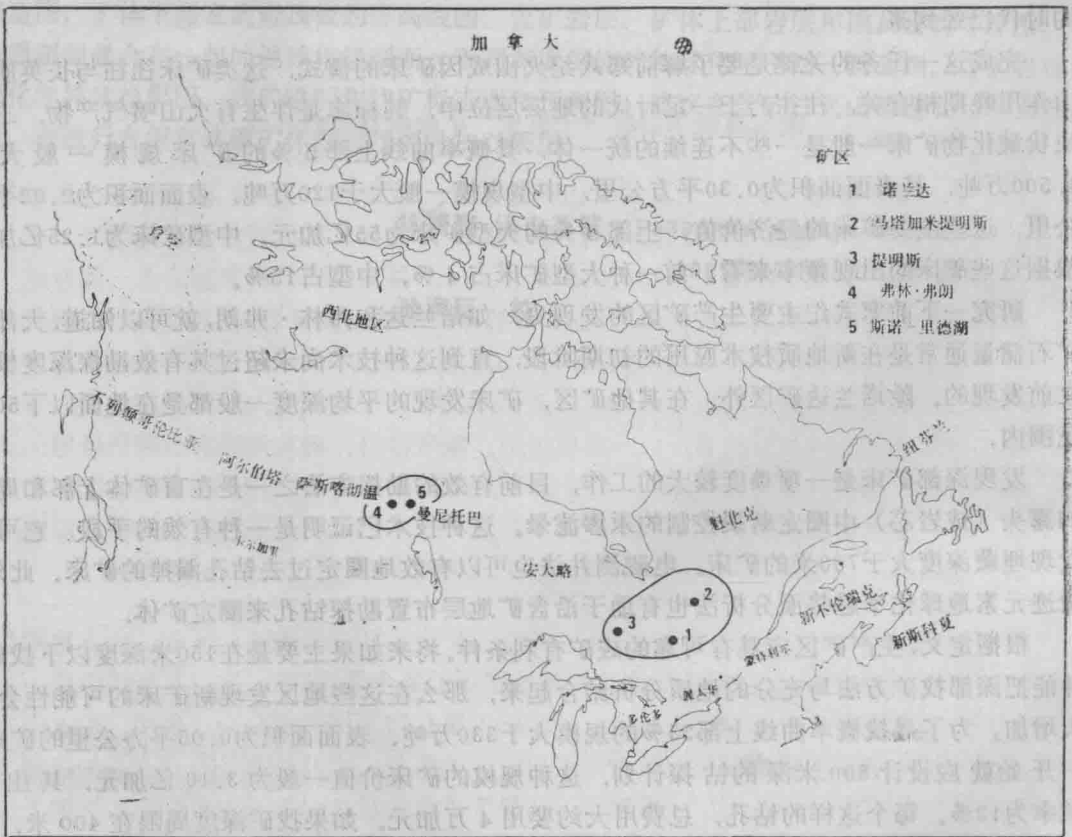


图1 前寒武纪主要生产矿区位置图

回顾一下这些矿床的发现史就可以看出，这些矿床的大部分是在地表100米的深度范围内找到的。地面常规勘探发现的矿床有49个（占总数的43%），其中主要矿床有：弗林·弗朗霍尔尼和杰克矿床。物理技术找到的矿床51个（占总数44%），主要的有：基德克利克，拉

* 译者注：阿格里科拉—德国矿物学家，冶金学家（1494—1555）

丹, 马塔加米和奎范特矿床。其余的矿床(占13%)主要是地质方法发现的, 在后一组矿床中, 有一小部分是在地表100米深度以下发现的, 占目前为止已发现矿床总数的7%。

从这个数据中可以明显地看出, 矿床实际上只是在厚度约为1/10公里的地壳薄层中发现的, 勘探工作也主要是在这一薄层之中进行的, 因此, 只是用了二维空间方法找矿。二维空间找矿方法造成了许多无用的重复工作, 浪费掉数千万加元, 对比较浅部的异常做了不少重复研究。虽然, 偶尔也有收获, 但勘探工作已经饱和, 赢利减少, 因此人们开始认识, 大力开展三维空间或立体空间勘探, 特别是在表面面积有数十公里的生产矿区开展这类勘探的时代已经到来。如果说生产矿区内的金属仅仅赋存在近地表的浅层内, 这是不可思议的。现在已有充分的理由相信, 勘查深部矿床将得到与过去在地表或靠近地表进行勘探获得同样的报酬。调整勘探方向需要了解矿床模式的各种特点, 而且要与发展和提高地质找矿技术相结合, 来发现深部矿床。这将要求勘探人员具有创新精神, 并且要有长期稳定的财力支持。

本文强调深部找矿是因为目前需要增加前寒武纪矿石储量。深部矿找矿基本原则虽然是根据块状硫化物矿床制定的, 但也适用于其他矿床类型和地质环境, 对前寒武纪火山成因矿床的经济地质条件也做了综合分析。此外, 对一些主要生产矿山的开发史也进行了评述, 因此, 可以确信, 在大部分生产矿山还会有许多矿床有待于发现, 而且对未来提出了一个有价值的前景。

三、对统计术语的注解

为了按规模大小划分矿床, 在图表中使用了一些统计术语。它们在文章中作为百分位数使用, 以便前后过程更加清楚, 即在观察值递降分布中, “间-上十分位数”在递降总体分布中是一个处在5%之上和95%之下的点。由此可以看出, “上十分位数”位于10%的点上, “上四分位数”位于25%的点上, “中位数”位于50%的点上, “下四分位数”位于75%, “下十分位数”位于90%。此外, 平均数等于算术平均值, “众数值”是最常见的分布数。

四、矿床模式特点

表现矿床模式的主要特点为1) 地质条件, 2) 经济条件, 3) 几何条件。熟悉了解这些特点并能识别它们的变化, 是找矿成功的关键。仔细地研究这些资料就会得出一些共性的特点, 当然也有一些特点是比较少见的, 但是, 若能对上述三个方面都能找出一个最基本的共性特点, 那就可以引导出一些主要的标准, 做为勘探指南。图1所示为赋存有前寒武纪火山成因矿床的5个主要矿区位置图。

五、矿床地质条件

最近15年来, 关于前寒武纪火山成因矿床的地质条件和环境, 已有大量文献报导。矿床地质这个题目在不少的出版物中也有详细的评述(例如, 吉尔穆尔, 1965; 古德温, 1965; 塞尔普, 1965; 胡特琴森等, 1971; 桑斯特, 1972; 斯彭施和罗森-斯彭施, 1975; 桑斯特和斯科特, 1976; 霍格森和顿登, 1977)。其中有一些对单独的矿床做了详细的地质描述。

(例如, 博尔迪, 1968; 惠特莫尔, 1968; 科茨等, 1970; 西蒙斯等, 1973; 库·莫斯曼, 1975; 罗伯特, 1975; 斯彭施, 1975; 沃尔克等, 1975; 克努斯基等, 1978; 麦克吉汉等, 1981)。

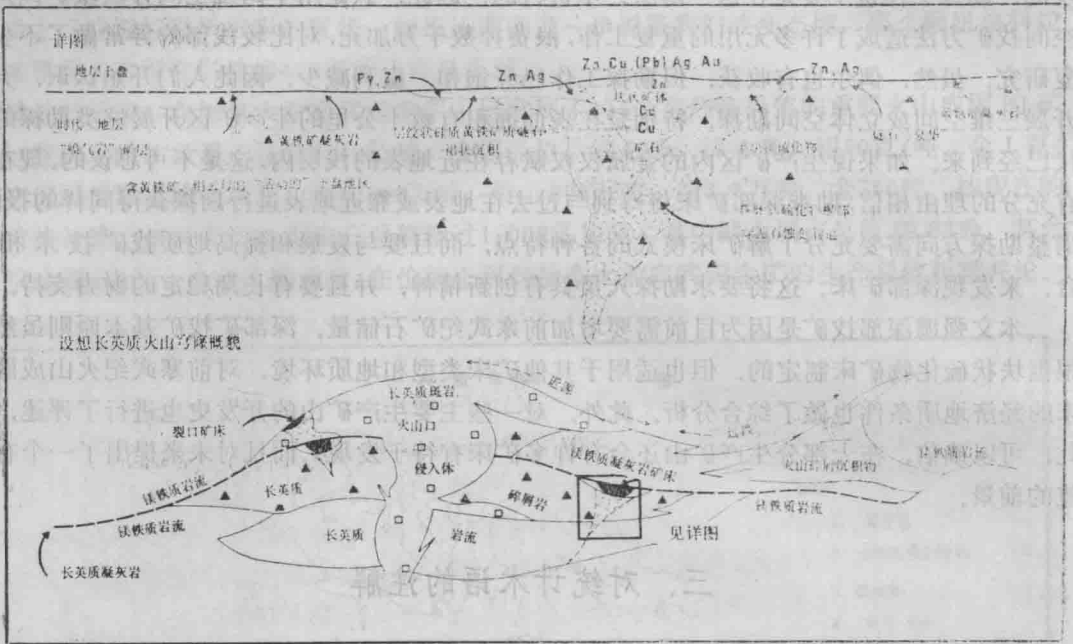


图2 理想剖面—含矿长英质火山管道

图2所示为含矿长英质火山岩堆的理想剖面, 它具有许多前寒武纪火山成因矿床共有的特性。放大部分为含矿体系, 图很简单, 但相当准确地说明了前寒武纪火山成因矿床的共同的地质特征。

除特殊情况外, 一般这类矿床往往与长英质火山作用晚期相伴生, “块状硫化物”这个术语指的是硫化物含量大于50%的矿化体, 它们由不同含量的黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿和黄铜矿组成, 有少量的方铅矿、磁铁矿和其他一些金属矿物, 但不一定所有这些矿物在每一个矿床中都存在。

块状硫化物矿床一般由一个或多个扁豆体组成, 并基本上与周围岩层整合接触, 而且往往在火山岩系中沿一定“时代—地层”间断分布, 经常形成一些燧石—凝灰质层——晚期长英质喷气产物。层状和浸染状硫化物通常是沿这种含矿层产出, 而且在硫化物透镜体的30米范围内表现出金属含量急剧增多现象。下盘地层经常是长英质碎屑岩, 并具有在喷气裂口发育之前的火山喷发相, 浸染状和线脉状硫化物多产于下盘地层中, 这些不同的岩性普遍蚀变产生绿泥石或绢云母。这种蚀变带呈似管状, 并为热液提供通道。在少数情况下, 还可能产出一些垂直的硫化物透镜体。表现为突破的矿床体系, 是更年青的火山岩侵位到上盘地层中热液长期活动的产物。

重要的是这些地质体的不同规模。蚀变管道顶部的喷气裂口体系的直径一般为几百米; 矿化的长英质火山岩堆(主要岩性及其周围矿体)的直径可能达到5公里; 中心部分的破火山口复合机构——火山地区的主要形迹——可能有数十公里的直径。矿床的周围环境表现为

不连续的难以捉摸的靶区，但是它是可以认识的。

六、矿床的经济条件

了解矿床的经济条件是确定找矿工作是否值得进行的前提。关于矿床品位、规模、出现频率、发现的可能性都是重要的基础数据，因为这些数据是识别矿床是否值得进行持久勘探的参数。具有真实经济价值的矿床的条件是很明确的，但也要规定一些可接受的最低可行标准。目前报导这种标准的文献尚比较少（辛格等，1975年；波尔弟，1977年；弗杯斯比，1977年；桑恩特，1977、1980）。另外，关于矿床的发现率和费用方面的数据也是很重要的，最近关于这方面的文章已有一些新的报导（戴力和布思，1978年；克兰斯东，1980）。此外对当前财政条件下发表的一些金属矿床的经济生存能力方面的数据也不能忽视（基尔本，1980；麦肯齐，1981）。

表1 统计数据前寒纪火山成因矿床 (N=115)

矿床类型	单位百分数值	吨位 (百万)	价值/矿床 (百万加元)	价值/吨 (加元)	出现频率 (%)
间-上10分位数	(5%)	45.35	5,472	121	4.0
上10分位数 (中位数)	(10%)	12.05	1,404	116	7.0
上4分位数 (中数)	(25%)	6.20	714	115	9.0
上4分位数 (中数)	(50%)	3.35	310	93	12.0
上4分位数 (众数)	(50%)	1.27	125	93	15.0
下4分位数	(75%)	0.35	40	114	} >40.0
下10分位数	(90%)	0.30	30	110	
		0.13	14	107	

*：冶炼前的净价值，以铜回收率为90%，锌85%，银65%，金50%计算。
1981年价值铜2.40加元/公斤，锌1.00加元/公斤，银0.65加元/克，金22加元/克。

表1所示为前寒武纪火山成因矿床的统计数据。在概率曲线上部10%规模范围内的矿床可以认为是有价值的矿床；这种矿床虽然很少碰到，但一经发现，在多数情况下就几乎一定可以开采生产，对在25%规模范围内的矿床，在大部分生产矿区内都可能做出有利的生产决策，遇到此类矿床的机会较多，发现的可能性比较大。中型规模的矿床可能在已开发的矿区具有合理开采的条件。在较低规模范围内的那些矿床，最好让那些已有采矿/选矿设施的公司去决策。图3用图解说明了这些主要的价值/规模函数关系。

根据对矿床规模和价值的评价以及进行深部找矿的勘探费用的分析，找矿视域可侧重于寻找25%规模范围的隐伏深度为800米的矿床，一般有着合理的予期效果，发现的可能性也较大，对于深度大于800米的勘探工作，则矿床必须具有更大的规模，以便补偿提高了的勘探费用和后来的生产费用。

七、矿床的几何条件

众所周知，火山成因矿床的特点是经常以成群分布形式出现，这与各地区火山岩—地层特点有关（桑斯特，1980）。此外，有一些矿床在一个地区内还往往表现出一定的线性分布特征（吉尔莫尔，1965）。这种线性走向可能反映一种早期的火山裂隙，矿床易于沿这种裂隙形成。关于块状硫化物矿床的各种规模范围尚欠了解。了解这类矿床的自然规模范围与其矿石储量的比例关系对确定预期的矿床靶区规模是十分重要的。

表2所示是根据阿比地区矿体在围岩地层平面上常呈长短轴比为3:1的关系计算出来的各种块状硫化物矿床的潜在范围。

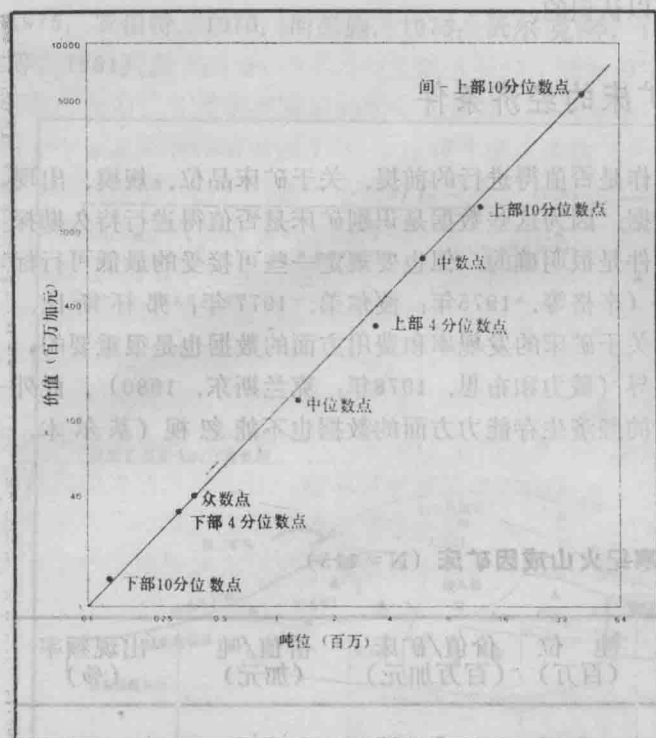


图3 价值/规模关系—前寒武纪火山成因矿床

表2 潜在的靶区规模——前寒武纪火山成因矿床

矿床类型	长轴(米)	短轴(米)	厚度(米)	矿床范围 (/公里 ²)	需要的钻孔数 (/公里 ²)
间-上部10分位数点	1,000	300	50	0.30	3
上部10分位数点	600	170	35	0.10	10
(中位数点)	500	150	25	0.08	12
上部4分位数点	370	125	20	0.05	20
中数点	375	90	15	0.02	50
(众数点)	185	60	10	0.01	100
下部4分位数点					
下部10分位数点	185	50	6	<0.01	>100

注：按长短轴比为3:1计算其自然大小，并按比例调整其相应厚度

首先这些数据可以为计算靶区范围提供实际的基础，可以用来计算每平方公里矿层需要打多少钻孔。图4对此做有图解说明。有些矿床—特别是在变质程度比较高的地区的矿床—明显地变细变薄，长短轴比超过10:1（考特斯等，1970；豪金斯和马丁，1970）。此外，褶皱复杂

的矿床，则需要充分的分析以确定其靶区范围（马丁，1966）。这些特殊情况需要一套不同的计算方法。

根据几何参数采用计算机模拟建立数字模式，对特定的采矿区设计勘探计划，是一个值得研究的领域（马维斯特等，1980）。如果只以纯数字术语表示，则在很大程度上取决于置信度，而置信度又取决于特定勘探钻孔的控制面积（辛杰·德鲁，1976）。但无论怎样数字绝不能替代地质学的作用。

八、生产矿区勘探史

对生产矿区勘探史的研究，可以为提高矿床勘探效果提供丰富的数据。而深入的研究则有助于了解各种找矿方法——地质、地球物理学、地球化学的互相作用关系，每一种方法在其整个历史时期都曾经是成功的。

对勘探史资料所做的分析表明，使用各种地质技术方法找矿都有一定的模式直至达到其最大找矿深度和最后发现其局限性为止。因此，在收获明显下降时，勘探工作就达到了饱和状态。对于壮年期的弗林·弗朗和诺兰达矿区所做的开发研究在文献中已有报导（包尔弟，1979）。

表3所示为赋存有贱金属矿床的5个前寒武纪主要矿区的统计数据。诺兰达和弗林·弗朗可以认为是已进入壮年期的矿区，因为它们是早期探矿人员发现的。斯诺—里德湖和马他加米可以认为是比较年青的矿区，因为它们基本上是通过地球物理找矿方法的发展和使用而发现的。提明斯贱金属矿区在发现的时间和形式上可能是介于上述两者之间。这几个矿区约占这种已知火山成因矿床的53%。壮年期的诺兰达和弗林·弗朗已有60年的勘探史，今后为找出矿床需要用更多的时间。提明斯是一个特殊的例子，因为最初并未把它认为是一种潜在的贱金属矿区，早期只是认为它是一个主要的金矿区。但是，由于发现了世界级大型基德—克利克矿床，它大大地弥补了损失的时间，而且超过了其他矿区累积的储量数，其总价值相当于提明斯矿区的金的总产量，因此，有人用讽刺口吻说，基德—克利克矿似乎是含金属不足。

弗林·弗朗矿区矿石的平均品位（Cu2.3%，Zn4.1%）与前寒武纪火山成因矿床的平均品位很类似。各矿区矿床平均规模和平均价值相当类似，只有斯诺—里德湖地区例外。这个例外的原因可能是由于尚未发现主要的矿床之故（桑斯特，1980）。除诺兰达矿区之外，

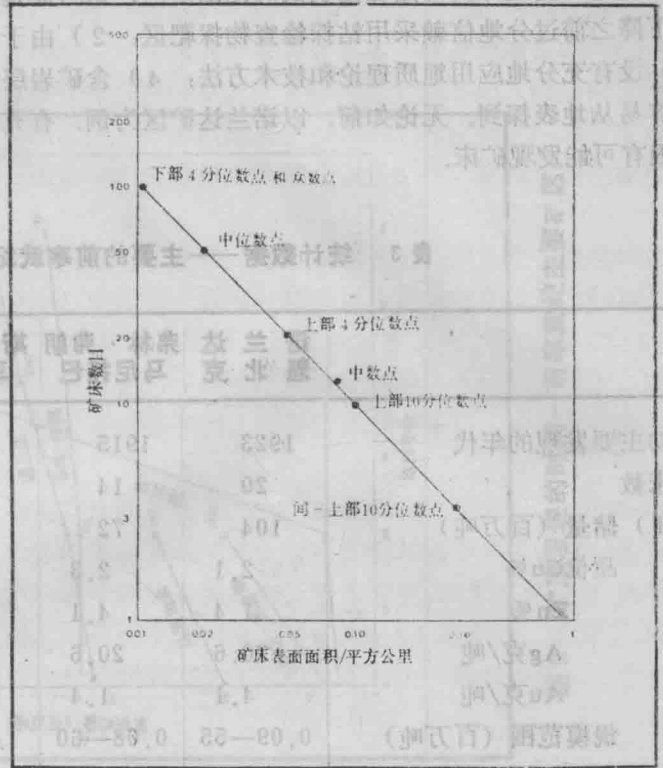


图4 空间/密度关系—前寒武纪火山成因矿床

其他矿区的发现深度都是在比较浅的范围之内。这可能是由于下述一些原因：1) 在收获开始下降之前过分地信赖采用钻探检查物探靶区；2) 由于覆盖层太厚，物探靶区不明显；3) 没有充分地应用地质理论和技术方法；4) 含矿岩层普遍呈陡倾产状，因此，有些靶区不容易从地表探到。无论如何，以诺兰达矿区为例，有充分的理由可以相信在其他矿区深处也很有可能发现矿床。

表 3 统计数据——主要的前寒武纪贱金属矿区

	诺 兰 达 魁 北 克	弗 林 · 弗 朗 马 尼 托 巴	斯 诺 - 里 德 湖 马 尼 托 巴	马 塔 加 米 魁 北 克	提 明 斯 安 大 略
最初主要发现的年代	1923	1915	1956	1957	1943*
矿床数	20	14	13	9	5
(i) 储量(百万吨)	104	72	25	38	152
品位Cu%	2.1	2.3	3.1	6.6	2.4
Zn%	1.4	4.1	3.7	9.4	5.8
Ag克/吨	20.6	20.6	17.1	27.4	82.8
Au克/吨	4.1	1.4	1.0	—	—
规模范围(百万吨)	0.09—55	0.08—60	0.27—6	0.01—25	0.05—145
平均规模(百万吨)	5.2	5.1	1.9	4.2	(—)
(ii) 平均值(百万加元)	加元289	加元568	加元222	加元433	(—)
发现深度范围(米)	0—708	0—40	0—61	2—23	0—15
发现的平均深度(米)	138	18	18	13	4
(iii) 矿区规模(平方公里)	1550	1250	1750	1000	1650
区内矿床密度	1:78	1.90	1:135	1:110	1:330

注：(这5个生产矿区占在前寒武纪地层中的火山成因矿床和贱金属生产量的53%)

(i) 过去生产量加现有储量

(ii) 冶炼前的净值，按Cu回收率90%，Zn85%，Ag65%，Au50%计

1981年价格，Cu2.40加元/公斤，Zn1.00加元/公斤，Ag0.65加元/克，Au22加元/克

(iii) 矿区的估计规模

(—) 样品个数不足

• 开始生产：发现年代不详

图5中图解所示为矿床发现与时间的关系。在勘探工作开始的时候，最初发现的矿床一般是最大的，后来发现的矿床规模就逐渐变小(提明斯矿区例外，在该矿区由于发现基德—克里克矿床累积储量迅速增加)。图6所示为各矿区储量的主要部分是在初期勘探的20年内发现的。在随后的两个20年期间收获逐渐减少。在这方面提明斯矿区与其他矿区又有不同，图7所示为在不同时期矿床发现的平均深度。诺兰达矿区大大超过其他矿区的平均深度(在本文撰写过程中，鹰桥铜公司报导在诺兰达矿区发现了一个新的块状硫化物矿床，产出的垂

直深度为±1,300米。这一发现对该矿床的未来是一个好兆头。)

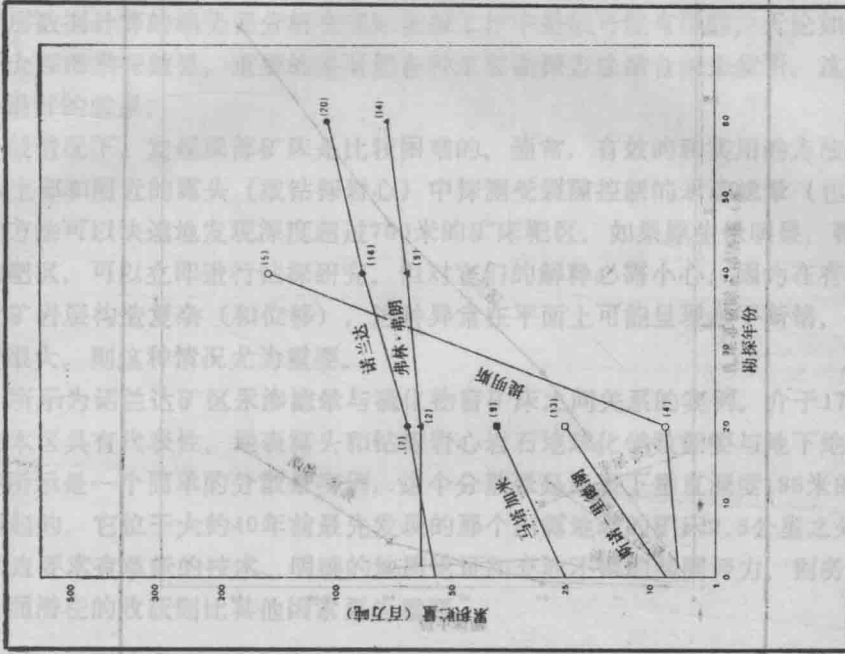


图 5 矿床发现的时间——前寒武纪主要矿区

十、讨论——生产矿区与新区普查找矿

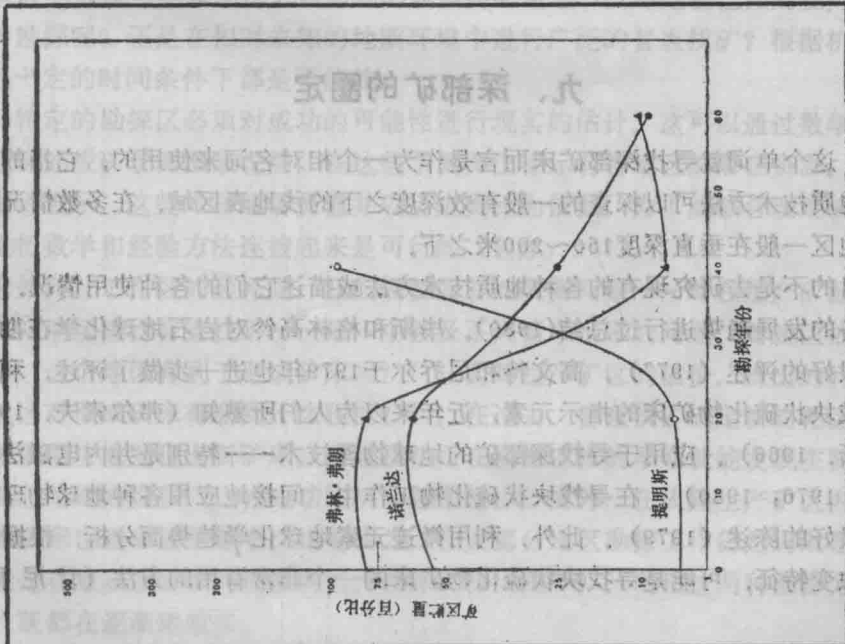


图 6 不同时期各矿区的储量百分比——前寒武纪主要矿区