

潘特列耶夫来华讲学
记 录 整 理 稿

401
49 (2-1)
2028

目 录

第一讲	科迪勒拉地区地质构造与矿产.....	1
第二讲	与火山作用有关的块状多金属矿床.....	11
第三讲	浅成的火山作用及浅成矿床.....	28
第四讲	斑岩型矿床.....	42
第五讲	二十年来新进展.....	51

加拿大能源、矿山、石油资源部 地质局高级
研究员潘特烈耶夫博士来华讲学记录整理稿

女士们、先生们 你们好！

今天我很高兴有机会被邀请来沈阳地矿所讲学。在今后几天里我要讲加拿大在研究矿床方面的一些经验。我所研究的这些地区都是一些年轻的地区，但是可以从中得到很重要的信息。对这些年轻地区进行研究是很重要的，虽然这些地区与古老的地区有很多区别，但可以通过对它们的研究去了解古老的地区，因为他们的地质作用是一样的。希望能通过对年轻地区的火山岩进行研究而得到一定的启示。今天主要简单介绍一下加拿大几个地区的地质情况，首先讲一下科迪勒拉地区的地质构造以及所有与矿床有关的信息，最后谈谈成矿时代和成因。

第一讲：科迪勒拉地区地质构造与矿产

从成矿作用看，包括三个因素：

- ①、成矿时代
- ②、构造作用
- ③、矿床成因

一、构造格架

加拿大与中国的面积基本相当，位于北纬 50° 以北，有2600万人口，其中80%的人口住在南部地区。今天我要讲的是科迪勒拉地区，包括不列颠哥伦比亚省和它北部的育空地区。（图I—1）

※ B、C省内前寒武纪大陆岩石很少，它只在古大陆边界以东存在，而在古大陆边界以西则为火山岩。加拿大和中国相比，加拿大的地质情况要简单得多，东部有些前寒武纪地层，西部多是一些规则分布的年轻的火山岩。B、C省只有加拿大面积的七分之一。B、C省的地质情况，从西到东具有规则的带状变化，从南到北各带也是稳定的。（见图I—2）这五个带的岩石所经受的构造变形和变质作用都是基本相似的。界线以东为冒地槽岩石，以西为岛弧岩石。该区有两个侵入岩带（一个在东，一个在西），都是经过变质的花岗岩。

现从西到东看这五个带。最西部为岛屿带，然后西边的第一个带，为花岗岩带（称海岸侵入杂岩带）。第二个带，称断块带，边界均为断层构成。第三个带，为山间带，其西部为草原，地形起伏不大，山间带的北部为山区，林木很少。第四个带，为侵入变质岩带，该带内呈现受冰川作用的U形谷。第五个带位于最东部，为安底斯山带，冒地槽岩石分布区，并经过了强烈褶皱。

B、C省的中部地带具有非常年轻的火山岩，仅300年历史。

1970年前人们认为界线以东为冒地槽，以西为优地槽。而1970年后用板块观点去认识它，发现东西部优地槽之间为碰撞带，东边冒地槽为古大陆，西边优地槽为增生带，即北美大陆由东向西增

※ B、C省—The Province of British and
Columbia

生，其物质均来自古大洋。

在谈到地槽成矿时，首先应谈到苏联毕利宾的成矿模式。苏联用地槽观点虽然确定了30个成矿带，但它的整个构造格架是错误的。地槽观点认为在古大陆边缘首先发生火山作用，并以垂直升降运动为主，它是在挤压作用下产生的垂直升降运动。

后来，由于板块构造模式的出现，使槽台说最后变得没有价值了。从现代的大洋中脊中我们可以了解到玄武岩从洋中脊喷出以及它们的运动情况。（见图 I—3）通过人们的测量，知道海底移动1—5厘米/年。洋壳向大陆边缘的陆壳下俯冲，把洋底和洋底上的沉积物带到下面去，这些物质发生重熔并沿裂隙形成火山作用或形成浅成侵入体，而在大陆内部还可有些裂谷，它相当于洋中脊的作用，它们是由梯形构造产生的。这种模式与科迪勒拉的构造模式是一样的，在大陆边缘有俯冲带 即安底斯型大陆边缘。

下面介绍北美大陆的演化情况：见北美大陆边缘演化图。（图 I—4）

A 大陆和海洋相连为同一板块，属被动大陆边缘。

B 大陆裂开产生裂谷。

C 裂开的陆块向西移形成海洋。

D 洋壳向陆板块下俯冲

E 继续俯冲，最后两个陆板块重新聚合在一起。

F 陆块向北美大陆上仰冲，把洋底岩石 带到北美大陆上。

G 洋底向北美大陆下俯冲并形成迭瓦状断层。

从图 I—5 中可以看到北美大陆的边缘和岛弧，200 m.y 前，北美大陆西边有一个岛弧，而到 100 m.y 前，北美大陆西边有两个岛弧并于白垩纪时与古大陆碰撞，到现在，两个岛弧都与北美大陆碰撞在一起了，并产生了花岗岩侵入作用和变质作用。岛弧运动是从西向东，同时从南往北。岛弧上有化石可作为碰撞的证据，这些化石 是生长在赤道附近的。同时还有另一个证据，即古地磁，通过古地磁解释，可知这些岩石原来是产在南部地区而不是北部地区。

图 I—6 安底斯型大陆边缘图

从该图上可以看到洋底是向大陆之下俯冲，这种作用在北美大陆边缘发生不只一次，而是两次。在这种情况下，洋底物质不仅向大陆下俯冲，还可以向大陆上仰冲。从 B、C 省的地质情况看，从西向东分五个带。根据岩石和构造可把 B、C 省分为两大部分，一为北美大陆，另一部分不是原来的北美大陆，而是从远处漂移来的，即外来的，其中有些沉积物，根据化石说明它们可能来自中国。此外通过对岩石的各种分析也说明它们不是原来北美大陆的物质。在北美大陆和外来物质之间为洋壳物质。以前对岛弧与大陆碰撞的时间不了解，现在知道岛弧上的沉积物为晚侏罗纪，因此可推知它们的碰撞时间为白垩纪。另一种方法，可以通过对侵入体（花岗岩）和变质作用进行放射性测

定来确定其年龄。此外，通过地球物理和地球化学的研究知道了北美大陆的边界，其 $\text{Sr}^{87} / \text{Sr}^{86}$ 的初始比值为 0.706（界东 > 0.706，界西 < 0.706）。

二、矿产

以上讲的都是些构造格架及其演化。以后要讲与上述格架有关的矿产。在考虑成矿作用时首先要考虑它是与老的岩石或新的岩石有关，其次要考虑矿化与沉积作用有关还是与变质作用有关，还要考虑矿化与构造断裂作用有关还是与火山活动有关。

现在来研究矿床，看它是在什么地方形成的？又是什么时候形成的？是怎样形成的？现在以 B、C 省的矿床为例。（见图 I—7 矿产分布图）。这是按矿产类型划分的，这张图很重要，B、C 省所有的矿床都标在上面。根据这张图，我们可以看到某些矿产，如钨矿主要产于冒地槽和东部侵入岩中。而镍矿主要产在东部火山岩带和岛弧火山岩带。如果我们用计算机来做这张图就很简单了。这张图只是简单的表明了

矿产在各构造带中的分布情况。此外还可用计算机绘制等值线图，如 1—2% 的金属含量等值线图。同时计算机还可以绘制出很大或很小的矿床（点）的位置，我们可以根据这些位置进行各种分析，如我们了解了矿床集中分布在什么地方，就可以圈出矿床集中分布区。下面是根据金属含量作出的直方图（图 I—8），我们从这张图上可以清楚地看到 B、C 省那一个构造带那种金属比较集中

(五个构造带从左向右表现在每一个直方图上)，如Sb主要集中在西部岛弧区，Sn主要集中在东部冒地槽区安底斯山带等。这些金属含量可以通过区域化探，如大面积土壤取样分析得到。同样，用这种方法我们还可以了解各种金属的背景值，如中部带的Cu、Pb含量是西部带的四倍。在不同的构造环境中可以形成不同类型的矿床，而在同一构造环境中由于围岩的性质不同也可以形成不同类型的矿床，如西部岛弧区，由于火成岩侵入到不同的围岩中，就形成了不同的元素富集，如某个带形成矽卡岩型铜、铁矿，而另一个带则形成矽卡岩金矿。同样，在东部构造带中为矽卡岩型钨、钼、锡矿，西部构造带则为细脉金矿。

这就是说，不同的岩石形成了不同的矿源。在同一构造单元中可形成不同的矿床。其中最重要的含矿围岩是侵入岩，其次是三叠纪岛弧和侏罗纪火山岛弧成矿区的岩石以及元古代矿床都是很重要的矿源层。

最后进行综合分析，把所有的矿产汇集起来绘制出远景图，用四种不同的颜色代表不同的远景区，如红色—最高远景区，橘红—较高远景区，绿色—少远景区，黄色—无远景区。这个工作是最基本的。

B、C省最少远景的地区是最年轻的沉积盆地，此外，变质岩核部含矿也最低。年轻的火山岩含矿也不太高。尽管这些地区对金属成矿不利，但他们对石油、煤和一些沉积矿产有很高的成矿背景。

下边再看看大陆边缘（增生前）的沉积物（图V.—9）。大陆边

缘的沉积往往都是一些碎屑沉积。就和长江、黄河的沉积一样。在元古代和寒武纪，直到中生代的碎屑岩中有Pb、Zn和重晶石产出。另外还有铜矿，大约1—2米厚，品位1%。（见图I—10）——理想化的沉积盆地。

（图V—10）萨利文构造—地层环境

北美大陆盆地是由同生断层造成的，盆地中的一些构造断裂、褶皱以及火山喷发等对成矿都是很有利的因素。此外，成矿时代也很重要，这里主要有三个成矿期。①元古代，②寒武纪，③泥盆纪，这主要说明围岩对成矿的作用，例如，在寒武纪地层中，我们发现岩石已发生变质作用，同时还有断裂存在，而金属元素则沿断裂发生矿化。这是一个很简单的模式。在大陆边缘往往有一些断裂，热液沿断裂上升形成矿化。根据我们的经验，在这种盆地中往往有一些岩墙侵入。因此沉积作用和同生断裂作用对成矿是很重要的，而更重要的是与这些岩墙有关的热液。

（图I—12）萨利文剖面：萨利文矿床的发现是很有趣的，首先发现矿床下部为角砾岩化带，其中含有许多电气石，因此推知有富含硼的流体矿化作用。主要成矿期的热液在海底形成铅、锌矿床。然后又一次热液作用在矿体底部形成钠长石化，因此象萨利文这类矿床往往有角砾岩化带存在这种角砾岩化带对矿液的活动起了很重要的作用。

中泥盆纪剖面图V—11，中泥盆纪时有些地区高出海面，这些地区在中泥盆纪前的沉积物都是来自东边的北美大陆，该盆地与大洋隔绝，在其西边出现陆地和火山，沉积环境主要为浅水，形成铜矿床。这种盆地可分为三级：大盆地，面积约100余平方公里。在大盆地中有一些小盆地，约10平方公里左右。小盆地中还有一些局部凹陷，约1平方公里左右。盆地中有一断裂，沿此断裂有黄铁矿化。在局部凹陷中也有富含黄铁矿的沉积物。矿化作用由北向南，为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿，然后矿化作用减弱为含硅质的沉积物。其找矿标志为黄铁矿、方铅矿和闪锌矿，再远一点则为重晶石—硅质等沉积。

此外，火山通道亦是热液通道，形成铜矿。而在东边盆地中形成黄铁矿→方铅矿→闪锌矿→(其上复盖)硅质泥岩。这些都是与冒地槽有关的岩石。

下面再看看西部地区的地质情况。最老的岩石为古生代洋壳岩石，这些岩石与北美大陆接触的方式有：①仰冲，②俯冲，③与北美大陆碰在一起。古生代的蛇绿岩带主要为碳酸盐、蛇纹岩和燧石。有人称它为蛇绿岩，而实际上并不是蛇绿岩，但它很重要，是金矿的原岩。但是对金矿原岩来说，玄武岩和超基性岩是特别重要的。这里也有两种意见，一种认为基性、超基性岩是很好的原岩；另一种意见认为原岩本身并不重要，而重要的是它们所经历的沉积环境。这个地区的岩石发生了热液的氧化作用，从而金得以吸出，因为这种岩石容易吸

收 CO_2 ，这种 CO_2 又能吸收金。此外，金的另一种沉积作用是由变质杂岩中的变质热液沉淀出来。太古代金矿的成矿作用基本上与中生代侵入岩的作用差不多。与蛇纹岩伴生的除金矿外，还有石棉和绿帘辉石玉。蛇纹岩被断层切割，然后沿断层形成一些金属富矿体，其中最重要的是Fe，还有Sn、W、Bi等矿。此外，在玄武岩中还有一些银矿。

在三叠纪的岛弧区，形成了一些与火山作用有关的块状多金属硫化物矿床，还有一些浅成侵入体存在。在玄武岩和泥质沉积岩之间往往形成块状多金属矿床，也就是有人称之为层状含黄铁矿的硫化物矿床。

与岛弧有关的最常见的是日本的黑矿，这种矿床往往和一些长英质的火山作用有关，我们认为这是一种典型的与岛弧有关的成矿作用，与酸性火山岩有关的块状硫化物矿床。

岛弧地体也是重要的斑岩铜矿的形成环境，加拿大B、C省的铜矿主要产在西部岛弧带和中部火山岩与侵入岩的接触带中。而在这种火山岩地区，Mo矿则产在晚期的小型侵入体中。

在东部的侵入岩带中（即侏罗纪构造带中）产有Au、Ag、Pb、Au、Ag、Mo（W）、W、Sn等矿床。其中Mo（W）和W、Sn矿床主要产在地台侵入岩中。

在西部这种岛弧环境中，浅成侵入体往往伴随有火山作用而形成

斑岩铜、钼矿床和铅、锌矿脉。经过分析我们认为这种铅、锌矿床是与浅成侵入体和火山喷发作用有关的矿床。此外，在东部地区时代较新的侵入岩体中还有一些脉状矿床，它们往往与浅部小侵入体有关。在此时期发生了很重要的平移运动，说明该时期的整个构造环境由挤压变为拉张，伴随此种构造运动产生了一些小的侵入体和有关的铜、钼矿床。

当我们谈到斑岩铜矿时往往要谈到与成矿有关的一些构造和伴随的火山作用。(I—14) 这种热力作用就是加拿大很重要的金矿成矿作用，这种伴随构造运动的火山口对金矿的形成是很重要的。我们研究了苏必利尔近地表的断裂及与火山作用有关的金矿床。而最后由平移产生拉张运动，同时引起的一些火山作用也是加拿大科迪勒拉最年轻的火山作用。

与钼矿伴生的小侵入体有600多个，在阿拉斯加这种小侵入体有200来个，这些火山作用形成了一些Au、Ag矿床和Au矿床，但最重要的是铁矿床。

在第三纪沉积盆地中，形成与构造有关的铀矿。含铀的沉积物为粗碎屑砾岩，铀矿主要沉积在河床相的砾岩中，其上为玄武岩复盖，然后发生隆起，与砾岩伴生的有砂矿。

金矿来源于老的变质岩（无脉岩存在）。有的矿床，如CARIB—00主要产于地下石英脉中，其它的矿床都与绿岩带有关，从金的砂矿看，有的砂金矿是在冰川前形成的，也有在冰川后形成的。

第二讲：与火山作用有关的块状多金属矿床

今天我要讲的是跟火山作用有关的块状多金属矿床。对于火山作用与矿床间的关系，现在人们已完全认识到它们间存在着成因关系。从描述的角度来说，人们把这种矿床称之为块状多金属硫化物矿床。但从成因的角度来说，一般叫做火山成因的矿床。这种类型的矿床可能产生在火山岩当中，但更重要的是其成因可能跟火山作用有关。他们产生的时代范围很宽，从中生代、古生代直至太古代都有，甚至从最年轻全新世火山作用到第三纪的火山作用都有这种类型的矿床产出。因此可以这样说，只要有火山作用，就有可能有这种类型矿床产出。

块状多金属硫化物矿床可能分三种类型。这里需要说明的是，我们这种分类方案在理论上可能没有多大意义，但对找矿勘探来说是很很有意义的。因为它很实用。

所谓硫化物矿床，其中的硫化物必须超过70%，因为只有这样才能有开采价值。

块状多金属硫化物矿床一般位于火山岩堆的某一个层位中，但也可以是火山岩层中的某一层。因此它可以象一般的岩层一样发生褶皱。当然，变形作用和变质作用会把这种类型矿床的矿层和矿石外形改造得面目全非。因此，在研究这种类型的矿床时，最好选择那些未经变形和变质作用的原生矿床来研究，通过对原生矿床的研究来探讨它们的成因。一般来说，块状多金属硫化物矿床中的变形和变质作用是很

容易发现的。因为通常情况下这种矿床的床石是沉积形成的，都是细粒状的。但如果矿床经过变形和变质作用，就会发生重结晶并形成一些斑晶。通过这些重结晶形成的斑晶，我们就可以发现或判断矿石是否发生过变形或变质作用。当然，变形作用和变质作用一般都会使矿质富集。

我今天要讲的火山岩中的矿床主要产于两个部分。一个产于西部的火山岩带，另一个产于中部的火山岩带。B、C省和育空地区这种类型的矿床产于冒地槽区沉积盆地内的火山岩带中，这些沉积盆地的火山岩带中产有一些铜、银铜、铜锌和铅锌矿床。我这里要讲的是西部地区年青大山岩中的这类矿床。我曾多次谈到过的Westmin矿床、Kutcho矿床和Wincly Craggy矿床就是这样的矿床。这是三个极为重要的矿床。昨天，我曾向大家介绍美国阿拉斯加地区的地质情况。今天，我再向大家介绍这个地区极为重要的矿床，即科林西—克林克西矿床。尽管阿拉斯加地区在政治上不属于加拿大，但从地质上来看是和加拿大相同的。

现在，让我们再回来看一下我们对这种矿床的分类方案。我们这种以典型矿床的产地命名的分类对于勘探地质学家是很有用的。我们将这种类型矿床分为如下三类：(1)赛浦路斯型(Cyprus)；(2)别兹型(Besshi)；(3)黑矿型(KuRoKo)。其中(2)和(3)都是在日本发现的。别兹型又叫比沙克型(德文名称)，它是一种含黄铁矿和黄铜矿

型的层状矿床。当然。这些类型矿床叫什么名称并不很重要。重要的是这些矿床产出有什么样的金属以及这些金属产出在什么样的围岩当中。第一种类型即 Cyprus 型矿床产有 Cu 和 Zn。产于基性火山岩中。别兹型矿床也产有 Cu 和 Zn。但产于沉积岩和基性火山岩混合的围岩内；第三种黑矿型矿床产有 Pb、Zn 和 Cu。产于长英质火山岩中。下面。我们来叙述一下这三种类型矿床的地质特征。

表 II—1 所示为这三种类型矿床所含金属类型的情况。从表上可以看出。黑矿主要以 Pb、Zn 为主。别兹型主要为 Zn 和 Cu。赛浦路斯型以 Cu 为主。

这三种类型矿床 大小不一。小者很小。大者很大如 Windy Craggy 矿床可达几亿吨；从产出时代来看。它们时代可以很宽。黑矿型矿床从泥盆纪到白垩纪都有产出。别兹型是古生代的。赛浦路斯型从二迭纪到第三纪都有产出。我们刚才已经讲过。这种类型矿床时代并不重要。重要的是是否有火山作用。只要有火山作用。就有可能存在矿化。我们再来看一下金属比值。不同类型矿床中各种金属的

比值是有差别的。所谓金属比值是指 $\frac{Zn}{Zn + Cu}$ 的值。黑矿型矿床

$\frac{Zn}{Zn + Cu}$ 值较大。赛浦路斯矿床 $\frac{Zn}{Zn + Cu}$ 值较小；同样地。 $\frac{Au}{Ag}$

值也具有类似的特征。即随矿床类型不同而不同。这类矿床另一重要

的特点是黑矿型矿床含有大量的 Pb 和硫酸盐。后者主要是石膏和重晶石。赛浦路斯型矿床由于产在基性火山岩中。所以含 Pb 较低。含 Co 较高。

现在我们再来看一下这三种类型矿床各自产于什么样的构造环境

海底喷发的火山岩。也就是海底的（水下的）火山作用。在大的扩张脊或裂谷环境中一般都产有蛇绿岩。在这些蛇绿岩中一般产有赛浦路斯型 Cu 和 Au 矿床。在大陆边缘的岛弧和岛弧中的一些盆地或弧后的扩张带中都有可能产出别兹型矿床。在岛弧中分异的火山岩中即在那些时间上比较晚的（晚期的）、层位比较高。比较酸性的火山岩中往往产有多金属矿床即黑矿型矿床。另外一个很重要的事实是这种类型矿床（指黑矿型矿床）中往往含有大量的 Pb。人们一般认为 Pb 是来自大陆壳的岩石。可是在这些岛弧下往往是没有花岗岩的。另外。在一些大陆的沉积盆地中也见有一些碎屑岩和与碎屑岩伴生甚至与碳酸盐伴生的 Cu、Pb、Zn 矿床。这些矿床一般称之为硫化物矿床。这种矿床和前面讲的三种类型矿床是不一样的。我不想多讲这种类型的矿床。因为这种类型的矿床有时是和火山岩伴生的。有时是和沉积岩伴生的。因此对其成因可能会有争论。现在我们来讲一下块状硫化物矿床中最重要的一种即与酸性火山岩伴生（主要与流纹岩、英安岩伴生）的矿床。这种类型矿床（指与酸性火山岩伴生的矿床）及与这种类型矿床伴生的岩石很重要的一个特征就是它们含有很大

块的石英碎屑或碎块。这种类型矿床一般与喷发作用有关。它们需要非常强烈的喷发作用。加拿大最大的一个块状硫化物矿床——基德克里克矿床。该矿床产于太古代岩石中。在加拿大，这种类型矿床往往与其中含有较大长英质岩石碎块的角砾岩伴生。桑斯特先生把这种角砾岩叫做糜尔岩，它实际上是一种长英质岩或流纹岩的角砾岩。桑斯特先生认为，如果见有这种岩石，那就意味着在不远的地方可能有这种矿床存在。

下面，我们从成因的角度探讨一下这种类型矿床，看一下它们的成因模式。

图II-1是根据佐滕1974年的模式和斯科特1980年的进行过修改的模式绘制的，在一个火山旋回中一般包括有英安岩、凝灰岩和角砾岩，在这种情况下英安岩约占50%，其余为凝灰岩和角砾岩。这种火山作用所形成的岩石规模很小，一般只有1.4 Km²左右，所以它是一种局部的、很小的火山作用。当然，矿体在整个火山岩中只占很小的部分。从图上可以看出，矿体产于火山岩的顶端部分。这些火山岩喷出以后，顶部往往被剥蚀并在洼地中重新沉积出来。这些洼地中的岩石可能是沉积岩，也可以是火山碎屑岩。对勘探来说，这些矿床很重要的一个标志是它们往往是晚期形成的，后来又受到剥蚀作用并以更晚期的沉积岩的形式出现，在沉积岩中它们呈角砾出现，角砾成分可以是矿石，也可以是长英质岩石。此外，这种类型的矿床往往伴生有一个“矿液补给带”。在这种补给带中往往发育有一些裂隙，这些裂隙一般都被