

国外层控矿床译文集

贈 閱

請 交

地质部宜昌地质矿产研究所

1981年5月

目 录

普罗莫萨斯层状铅锌矿床：它们的成因讨论·····	(1)
拉贾斯坦成矿域的时间空间关系·····	(7)
铜矿床在时间和空间上的演化·····	(16)
沉积岩和火山成因岩石中的铜矿床	
——由同生、成岩、后生作用形成的低温铜矿床的地质评价·····	(41)
东太平洋隆起区发现块状深海硫化物矿床·····	(67)
南澳大利亚卡蓬达上元古代层控铜矿化的成因·····	(74)
瑞典 Vassbo 砂岩型铅锌矿床的矿化控制因素·····	(88)
花轮矿山、明通矿床黑矿成矿作用的环境	
——矿床与下盘流纹岩的特殊关系·····	(99)
新斯科舍省加斯河地区铅—锌矿的勘探·····	(116)
犹他州东部及科罗拉多州西部格林河组马霍干尼带油页岩中的汞·····	(122)
美国西部大陆边缘的构造及矿床·····	(127)
安大略图恩德海湾地区的多里昂区铅—锌—重晶石矿脉·····	(133)
澳大利亚北部领土麦克阿瑟铅、锌、银矿床中及其周围沉积岩中碳的含量·····	(150)

普罗莫萨斯层状铅锌矿床： 它们的成因讨论

F. J. Escandon V.

在世界范围内，广泛分布着由矿物成分简单的与地层大致整合的铅—锌—重晶石—萤石矿床。这类矿床被称之为层状矿床；或者，当它们与周围地层没有成因关系时，则被称为层控矿床。在过去的一段时期，人们已讨论过它们的成因，但对于这类矿床的主要开采矿区却没有取得一致的意见。通过对美国、欧洲、苏联的大型层状矿床的研究后，业已表明这类矿床还有同生矿床、成岩矿床和后生矿床之别。

1966年在纽约召开的关于层状铅—锌—萤石—重晶石矿床成因问题的讨论会上，F. G. Snyder 对这类矿床的成因和分类标准的理论进行了精辟的分析。根据他的定义（表1）：“如果矿床是与围岩在同样的作用过程中同时形成的，则为同生矿床；如果矿床是在先已生成的岩石中后来导入形成的，则为后生矿床；所谓成岩成因的矿床，指的是金属与主岩的沉积物是同时形成的，但应有重结晶作用、矿物的重新排列和物质的有限运移。”

为了对分类标准进行评价，Snyder 提议根据证据的可靠性，把它分成三种类型（表2）：偶然的和任意的证据不能决定矿床的成因，只有有了特征性的证据，才能决定其成因。

为了试图说明这些矿床的成因，本文就对普罗莫萨斯矿区的地质特征，以及地球化学和同位素证据进行了分析。

普罗莫萨斯矿区

普罗莫萨斯矿山位于墨西哥奇瓦东北100公里的孟尼拉斯山脉（图1）。自1943年至1973年，该矿山生产了150万吨矿石（含银60克/吨、铅8%，锌16%）。现在的产量为每月15,000吨。

孟尼拉斯山脉由一套从奥陶纪至二迭纪的厚为1,600米的灰岩、细屑岩和砾岩的地层层序组成，上侏罗世拉卡西塔组不整合地覆盖在它的上面。该组的厚度达270米，从下而上分为五个段：

1) 底砾岩（0~100米厚）：又分为石英胶结的钙质砾岩和以钙质砂岩为基质的砾岩两个亚段。



图1 普罗莫萨斯矿区的位置

表 1

层状矿床的成因理论 (据F.G.Snyder, 1967)

矿床类型	同生型	碎屑 海水溶液中的金属 原地物质的重结晶作用
	成岩型	原地物质的重结晶作用 金属在主岩中有少量运移 金属从火山喷发作用中有少量运移
	后生型	冷雨水 热液 受熱雨水 来自已知火成源中的金属 来自未知火成源中的金属 原生水

表 2

证据的类型 (据F.G.Snyder, 1967)

类 型	特 征
任 意 的	可作双重解释的特征
特 征 的	表示某一特殊成因或排除某一特殊成因的特征
偶 然 的	与矿化作用无关的特征

2) 奎斯塔页岩 (60~90米厚): 为一套薄层的钙质和碳质页岩和泥质灰岩, 有些在矿体周围已重结晶化。

3) 米纳维贾大理岩 (20~30米厚): 由厚层的大理岩组成, 含泥质灰岩和钙质页岩夹层。在岩层急剧变陡的地方, 主要在大理岩中有一些角砾岩化, 但在边缘的页岩和灰岩中, 有时也出现角砾岩化。角砾岩常具硅质胶结, 或呈弱的铅—锌—铁矿化, 其中局部已氧化。在强矿化地段附近, 米纳维贾大理岩含自然硫。

4) 帕蒂奥页岩 (30~40米厚): 由薄层的泥质灰岩、页岩和黑色灰岩*组成。

5) 奎维塔斯大理岩 (厚 8 米): 该大理岩的重结晶作用比米纳维贾大理岩的差。与薄层的钙质页岩和泥质灰岩互层。

第三纪的碎屑岩不整合地覆盖于拉卡斯塔组之上, 含适量的绿泥石, 有些地层经受了轻微的重结晶作用, 并具强硅化带。

普罗莫萨斯地区有两种类型的火成岩: 1) 第三纪浅成的微晶白岗岩; 2) 侵入于古生代岩层中的时代不明的微粒正长岩。在德瓜达卢佩砂矿区附近则有各种正长岩侵入体。

时代为奥陶纪至狼营组 (晚二迭世) 的岩石均已褶皱。褶皱的走向为 $N40^{\circ}W$, 由于馬拉松 (Marathon) 造山运动的影响, 出现有走向为北东—南西的逆掩断层。科阿韦利亚造山运动 (Cohuillian Orogeny) 期间, 累纳德层 (中二迭世) 呈东西向覆盖在先前的岩层之

* 原文为 Limolites, 疑是 Limestones 之误——译者

上。拉拉米构造运动（白垩纪晚期）使拉卡西塔组褶皱在古生代地层之上，形成了无数的构造阶地。

普罗莫萨斯矿体

普罗莫萨斯矿体分两种类型。在古生代岩层中，方铅矿、闪锌矿和黄铁矿伴随断层和裂隙产出，距断裂越远，矿化作用就弱。矿体的正上方，有密集的由细小方解石脉充填的裂隙分布。在这些区段，矿体延伸穿切了层理。而当裂隙或断层穿过石灰岩层时，矿体就较宽。页岩岩层则为不利于成矿或不透水的障壁层。这些矿体已证实是后生的，黄铁矿中含有硒（15 和 90ppm 之间），说明它是热液生成的。金属的来源尚不清楚，但在矿体东南 1 公里，出现有一个小小的正长岩露头。

第二种类型为底砾岩、奎斯塔页岩和米纳维贾大理岩（这些岩段的最大总厚度为 220 米）中形成的层状矿体群。三个矿体（砾岩矿体、卡罗拉矿体和第 32 号矿体）都含含铁量低的具磨擦发光性的闪锌矿和含银量低的方铅矿，在方解石和重晶石脉石中还含黄铁矿。此外，在三个矿体中还含少量的石英，它的比例很稳定。

第 32 号矿体是最大的，长 900 米，平均宽 80 米，厚 4 米，呈延长的馒头状，走向变化于 $S 45^{\circ}E$ 至 $S 10^{\circ}E$ 之间，在米纳维贾大理岩中，它倾向南东，倾角 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ （图 2）。

奎斯塔页岩中的卡罗拉矿体是较不规则的。它由一系列不同地层中段的馒头状矿体组成，并由矿舌连接起来（图 2）。矿石具隐晶质和等粒结构，沿着层面呈规则的条带状分布。从图上看，矿体为半椭圆形，平均厚度为 4 米。

底砾岩中的砾岩矿体最小，长 100 米，宽 40 米，厚 4 米。走向北东，倾向南东。

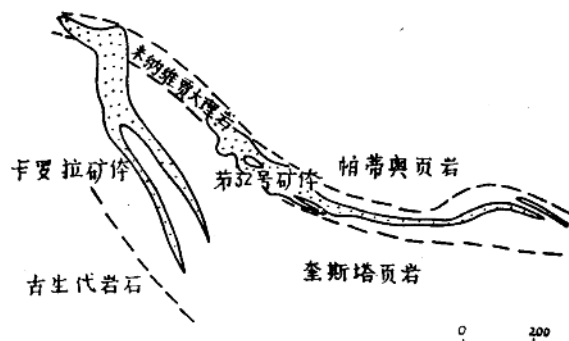


图 2 第 32 号矿体和卡罗拉矿体横剖面图

矿体成因

为了讨论第 32 号、卡罗拉和砾岩矿体，首先要提出所能得到的证据，然后按其可靠程度划分等级。这些矿体的主要特征是：

- 1) 它们的矿物成分简单，有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、方解石、重晶石和石英等。
- 2) 它们被限定在拉卡西塔组的三个段里，三个段的总厚度不超过 220 米。
- 3) 矿体受主岩的褶皱控制。
- 4) 与地层大致整合。
- 5) 由褶皱作用而形成的角砾岩化大理岩被硫化物胶结。
- 6) 矿体周围有小的裂隙状细脉。

7) 第32号矿体赋存于大理岩中。卡罗拉和砾岩矿体的附近则有大理岩化的岩层。

8) 矿化作用分带一般呈北西方向展布。

9) 在每个矿体中, 锌和铅之比值以及矿石的厚度和品位都有变化, 而这些都与沉积和成岩特征无关。

10) 黄铁矿中的硒含量变化于15~90ppm之间。

11) 硫同位素 (S^{34}) 的平均值为 3.0, S^{32}/S^{34} 之比值变化于22.10~22.30之间。

12) 生成顺序的研究表明, 先是黄铁矿和方解石沉积, 接着是闪锌矿沉积, 最后才是方铅矿沉积。

13) 该矿区有热液蚀变的证据。

现把上述特征的可靠程度分级如下:

1) **矿物成分简单**: 矿物成分简单的层状矿床曾被分为同生、成岩、后生三类, 说明它们可能是由综合作用生成的。因此, 矿物成分简单既不表明、也不排除某种既定的成因, 故可认为是任意的证据。

2) **矿体限定在小的地层间隔范围内**: 一些研究者认为, 这是同生成因的标志, 而另一些研究者则认为, 这种限定性仅表明某几个或某一个地层层位有利于矿物沉积, 因而这也是任意的证据。

3) **矿体受褶皱控制**: 虽然这种争辩似乎表明矿体是后生的, 但它不是一个特征性的证据, 因为它仍可以被反驳说: 在褶皱期间金属可以发生有限的运移。因此, 这也是任意的证据。

4) **矿体与地层整合**: 这说明矿体是同生的, 或说明对成矿有利地层的再侵位。但除此之外, 业已有人指出, 卡罗拉矿体常贯入地层之中。所以, 这也是任意的证据。

5) **角砾岩化大理岩被铅、锌和铁等矿物胶结**: 角砾岩化作用是由拉拉米期褶皱作用引起的, 由于角砾岩是由硫化物胶结的, 这就表明硫化物是在岩石沉积和褶皱之后沉积的。对于金属发生过有限运移的问题也还有争议, 但矿体周围所有的角砾岩都被硫化物胶结这个事实, 使反对的意见没有太大的影响力。作者认为, 这是一个特征性的证据。

6) **矿体周围有密集的小裂隙状细脉**: 这些细脉充填了褶皱作用后出现的小裂隙或断裂, 这说明矿化作用是后生的。但由于细脉很小, 因此它可被解释为是由金属的有限运移而形成的。因而这也是任意的证据。

7) **与矿体伴生的大理岩化作用**: 虽然米纳维贾和奎维塔斯大理岩伸展达6公里, 但它们在普罗莫萨斯很多矿化带中, 厚度是较大的, 大理岩化程度也较高。重结晶层中镁的含量比金属硫化物中镁的含量少。显然, 某些含镁较多的地层有利于成矿, 而含镁较少的地层仅发生重结晶作用。大理岩化作用与铅—锌和铁硫化物的这种组合表明, 硫化物是后生的。但这一证据也只是任意的, 因它并没有排除成岩作用的可能性。

8) **北西向矿化作用分带**: 锌与铅之比值朝着西北方向稍稍升高, 以及在阿尔丰斯托斯矿山则出现有铜, 根据岩浆派地质学家的意见, 该方向可能存在着火成源。然而, 因为阿尔丰斯托斯、卡罗拉、第32号和砾岩等矿体均不连在一起, 因此, 该证据也是任意的。

9) **矿体中矿石品位的变化**: 矿体中有高品位带 (例如高锌—铅比例), 这些带与沉积或成岩特征无关。由于有相反的争论, 该证据也是任意的。

10) **黄铁矿中的硒含量**: J. Ordonez (1971) 认为, 黄铁矿的硒含量与矿体的成因有关 (图3)。

沉积型黄铁矿：含硒 2~9 ppm，平均 3 ppm。

层状黄铁矿：含硒 10~80 ppm，平均 25 (原文不清——译者) ppm。

热液型黄铁矿：含硒 2~150 ppm，80% 的试样为 10~50 ppm。

岩浆型黄铁矿：含硒 15~200 ppm，平均 60 ppm。

交代型黄铁矿：含硒 10~1000 ppm，平均 172 ppm。

根据对第32号、卡拉拉、砾岩、米纳维贾、拉古多斯和阿尔丰斯托斯等矿体的九个黄铁矿试样的分析，硒含量的变化为 15 ppm (卡拉拉矿体的一个试样) 至 90 ppm (拉古多斯矿体)。根据上述这些结果，普罗莫萨斯层状矿体更接近于热液成因，而不是沉积成因。作者认为，这是特征性的证据，尽管有些地质学家不接受这一观点。

11) 硫同位素：硫有六个同位素，其中 S^{32} ， S^{33} ， S^{34} ， S^{36} 是稳定的。这些硫同位素在自然界中的丰度为： $S^{32} = 95.1\%$ ， $S^{33} = 0.74\%$ ， $S^{34} = 4.2\%$ ， $S^{36} = 0.016\%$ 。

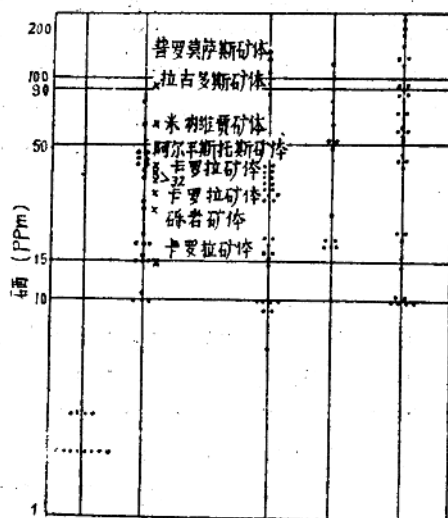
陨石中的陨硫铁 (FeS)，它的 S^{32}/S^{34} 比值为 22.220，这被认为是地球的原始硫含量。大陆和海洋建造中的硫化物则富含 S^{32} ，用下列公式计算普罗莫萨斯的硫化物成分，得出 $\delta S^{34} = -3.0$ 。

$$S^{34} = \left[\frac{S^{34}/S^{32} \text{ 试样}}{S^{34}/S^{32} \text{ 标准样}} - 1 \right] \times 1000$$

(假设 $S^{32}/S^{34} = 22.287$)

把此值绘成图 4，则普罗莫萨斯矿区应属于岩浆—热液矿床。如果认为地球的原始硫化物比为 22.220，则该证据对于普罗莫萨斯矿床就是特征的。

12) 矿体中矿物的生成顺序：在黄铁矿和方解石沉积之后，即这两种矿物停止沉积之后，闪锌矿和方铅矿才开始沉积。这说明它们并非碎屑沉积，但并不排除它们是同生的。所以，这也是任意的证据。



沉积—层状—热液—岩浆—交代

图 3 不同成因黄铁矿中的硒含量 (据 Ordenez, 1971)

岩浆热液型矿床
犹他马里斯维尔矿区
普罗莫萨斯矿区
犹他北拉斯阿尔山区
科罗拉多中心城矿区
砂岩型铀矿床
犹他比格印度瓦什矿区
新墨西哥拉古纳矿区
科罗拉多赖尔矿区
怀俄明气山矿区
“红层”铜矿
犹他怀特坎约矿区
新墨西哥西美安托山区
新布伦斯威克斯威特摩兰县
新斯科舍坎伯兰县

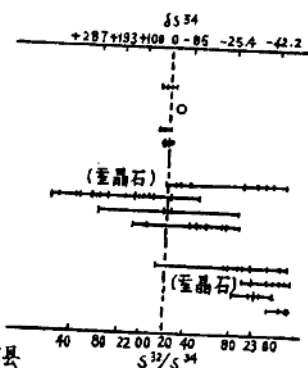


图 4 大陆建造中的硫化物同位素组分 (据 Jensen 和 Dessau, 1967)

13) 热液蚀变：一些地质学家认为，大理岩化可能不是热液的。此外，第三纪岩石的硅化和绿泥石化也与矿化作用无关。因此，这也是任意的证据。

从所讨论的普罗莫萨斯矿床的13个特征中，只有被硫化物胶结的角砾状大理岩、黄铁矿中的硒含量和 S^{32}/S^{34} 之比值才清楚地表明是后生的，并且可能是热液的。矿体的构造控制、大理岩化作用、分带性以及同一矿体内的品位变化都说明是后生的，但证据还是容许讨论的。

矿化作用的成因和时代

作者认为，普罗莫萨斯层状铅锌矿床是后生热液型矿床，金属来源于一个未知的火成源。但是，关于黄铁矿中硒的含量以及 S^{32}/S^{34} 的比值在理论上尚未被所有的地质家所接受。贫铁闪锌矿的出现和方铅矿中不含银，说明矿床经历了一个远成热液阶段。为了验证这种情况，必须确定铅的同位素比值。

对于这些矿体的成因是有怀疑的，所以，对于它们的时代怀疑甚至更大。作者（1971）从构造去考虑，认为它们是渐新世的。

在距普罗莫萨斯10公里的德瓜达卢佩砂矿区，用铀/铅法测得与正长岩伴生的铀和金的矿化作用时间为35百万年。该年龄属于渐新世，从而证实了在拉拉米造山运动的末期，该带有过热液矿化作用存在。

译自 Society of Mining Engineers,
AIME, 1975, Vol.258, p. 128~131

郑理珍 译 张志刚 校

拉贾斯坦成矿域的时间空间关系

R. S. 杰因 (Jain)

摘 要

拉贾斯坦有两个清楚的成矿域。一个为铜矿域，位于阿杰米尔东北；另一个是以铅锌矿为主的成矿域，在阿杰米尔西南，沿阿拉瓦利—德里走向分布。两个矿域都与阿拉瓦利—德里地槽系构造带有关。在阿拉瓦利，硫化物矿化的早期相主要由铅锌矿组成，与优地槽有关，优地槽以浊积岩 (turbidite) 和蛇绿岩的存在为特征；而在德里，晚期以铜为主的矿化产在冒地槽中，其特征是具有浅水沉积作用，地槽演化晚期阶段的酸性岩浆活动占优势。

在优地槽的铅锌矿化中，可能具有生物活动的同生成因矿层起了主要作用。与后德里期酸性侵入体有关的热液活动，对冒地槽中的铜矿化有影响。这两个成矿域都是以重复的造山作用的应力为基础的，这应力使矿石发生了重新定向聚集。

引 言

本文试图解释拉贾斯坦前寒武纪贱金属矿床的分布与阿拉瓦利—德里地槽系构造带的关系，确定成矿域的时间空间关系，为直接在特殊的构造—岩相带内寻找特殊的金属硫化物提供线索。本文还讨论了可能以该构造带动力学为基础的不同成矿域中硫化物矿床的成矿过程。本文是对如何理解拉贾斯坦地区与成矿作用有关的时间、空间和构造运动范围的一次探讨。

拉贾斯坦的前寒武系

拉贾斯坦的前寒武系由条带状片麻岩杂岩组成，几乎包含本邦的全部贱金属矿化。赫伦 (1917、1953) 把该系分为阿拉瓦利、赖阿洛 (Raialo) 和德里三个组。一般认为带状片麻岩杂岩是基底，其上堆积了较年轻的沉积岩，具有明显的侵蚀不整合面。拉贾·拉欧 (Raja Rao) (1971) 把带状片麻岩的变质沉积岩划归到前阿拉瓦利的比尔瓦拉群，而把阿拉瓦利群、德里群划分到阿拉瓦利群，因为他根据两者之间的渐变接触，认为从阿拉瓦利群到德里群是连续的地槽层序。

赫伦提出了概括的地层剖面。萨卡尔 (1972) 根据有关的放射性年龄资料略加修改，列表如下 (见表 1)。

表 1

拉贾斯坦地区的前寒武纪剖面

乔德普尔	梅瓦尔, 阿杰米尔—梅瓦拉 (Merwara) (主复向斜)
乔德普尔砂岩 (‘Troms Aravalli Vindhyan’) (745百万年) 褶皱作用和贾洛尔及锡万纳 (Siwana) 花岗岩 马拉尼 (Malani) 流纹岩的侵入	
	伟晶岩 (850—750百万年) 阿杰米尔和翁塔拉 (Untala) 花岗岩 (950—1000百万年) 基尚加尔霞石正长岩 (1490百万年) 拜拉特 (Bairat) 花岗岩 (1660百万年)
德里造山运动、变质作用和花岗岩化作用	
	上德里群 { 钙质片岩和片麻岩 千枚岩和黑云母片岩、石英岩 底部长石砂岩—粗砂岩
赖阿洛 (Makrana) 大理岩, 拉斯 (Ras) 石灰岩	赖阿洛群 { 石榴石—黑云母片岩、赖阿洛 (拉杰 纳加尔) 大理岩 底部粗砂岩
阿拉瓦利造山运动和花岗岩化作用 (2000百万年)	
苏杰特 (Sojat) 页岩 古尔瓦尔 (Goolwar) 片岩	上阿拉瓦利群 { 千枚岩、石灰岩、石英岩和复合片 麻岩; 底部石英岩、粗砂岩和砾岩 厚层火山岩 (2550百万年)
格雷伊 (Grey) 片麻岩	条带状片麻岩杂岩 (部分) 贝拉奇花岗岩 基底杂岩 (3500百万年)

阿拉瓦利—德里地槽系

几位作者据不同方法对该地槽系进行了分类。斯蒂尔和凯 (Wyllie, 1971) 把地槽系分为两部分, 即优地槽和冒地槽。优地槽是在远离克拉通的内部形成的, 以基性和超基性岩和大陆坡底部海洋地壳上堆积的浊积岩为特征。冒地槽离克拉通较近, 在地槽系的外围或边缘带, 以浅水碎屑、碳酸盐沉积和少量的火成活动为特征。由于清楚而特殊的火成活动相, 地槽的明显演化已被确定。斯蒂尔划分了三个主要阶段: (1) 构造作用 岩浆幕, 发生海底

火山活动，形成蛇绿岩和细碧岩；（2）造山作用期的岩浆作用，造成构造同期和构造晚期的花岗岩侵入；（3）后期岩浆活动幕，表现为安山熔岩的喷发，花岗岩和花岗闪长岩的侵入，和标志着该幕衰减的玄武岩的溢出。奥保尼（Aubouin）（Wyllie, 1971）把地槽的演化分为三期，（1）地槽期，（2）晚地槽期，（3）地槽期后，持续时间最长，可再划分为（a）生成阶段，包括初期下沉、深水沉积物的堆积和蛇绿岩的喷发，（b）发展阶段，以造山作用和优地背斜脊（eugeanticlinal ridge）的隆起为特征。接着就从隆起的脊部发生侵蚀作用，沉积物堆积到优地向斜槽（eugeosynclinal furrow）中，以复理石沉积开始为标志。在这一阶段，当隆起和复理石沉积还在进行时，迭加的第三造山阶段（c）在内带也开始了。随着优地背斜脊侧翼复理石沉积的不断堆积，复理石的堆积便开始向槽的方向迁移。随着沉积物从内带到外带的迁移，伴有火成活动和变质作用的造山作用带也发生迁移。进一步的情况为：‘侵蚀作用之后继续隆起，因而已褶皱的复理石层本身就变成了冒地槽区新复理石沉积的来源。’地槽期造山阶段之后进入晚地槽期，这时已形成的窄槽下降并接受毛拉石沉积。晚地槽期的标志也是安山岩和玄武岩熔岩的喷发和花岗闪长岩岩基的侵入。最后一期，即地槽期后，以垂直运动为主，产生区域性隆起和上升的山谷，常常伴随有玄武质火山作用。

本文的分类遵循了斯蒂尔和凯的意见。

阿拉瓦利—德里地槽系现今以阿拉瓦利和德里变沉积岩为代表，组成了阿拉瓦利山脉，总的呈北东—南西走向横贯整个中拉贾斯坦。北面，可延伸到德里，或许向北经过旁遮普到基拉纳（Kirana）和桑格拉山（克里斯纳 Krishnan, 1960），进一步延续到加瓦尔喜马拉雅（Garhwal Himalayas）。南面，阿拉瓦利山延续到古吉拉特的坎贝湾的昌盘尼尔区（Champaner）。从那里，进一步向南延伸并分叉；一支向拉克代夫，另一支向迈索尔，然后与北北西—南南东向的达瓦尔山连接（克里斯纳，1953）。戴尔（Dhar）（1972）根据地质年代学资料，提出两种可能的方案，（1）迈索尔（和拉克代夫）的达瓦尔山是拉贾斯坦的阿拉瓦利山的延续，不过是两个隔开的地槽区沉积的，（2）阿拉瓦利地槽与西海岸的达瓦尔地槽是相连的，前者向东分支跨越中央帮。阿玛德（Ahmad）（1964）也根据年代资料提出，存在有一个巨大的印度—非洲地槽系，据推测，印度的阿拉瓦利地槽在上部基底的马飞吉（Mafingi）造山运动期间与中非相连。由于不同作者的绝对年龄资料不同和古生物证据不足，因此，阿拉瓦利地槽的范围还不能肯定地确定。然而，对本文来说，可将坎贝湾当做这一地槽系的南界。地槽的东界和西界同样很难划定。不过，既然相信地槽是沿克拉通边缘形成的，那么就可把本德尔汗德克拉通的边缘，或许把古吉拉特和拉贾斯坦南部德干暗色岩体的西界看做阿拉瓦利地槽系的东界（西卡 Sikka 等，1964）。西界在某些地方可能沿西拉贾斯坦的外阿拉瓦利，并可能与阿拉瓦利走向平行或大致平行。这标志着阿拉瓦利—德里地槽系广布于德里到坎贝湾长约1000公里，宽约300公里的广大地区中。

阿拉瓦利优地槽

阿拉瓦利群由厚层块状沉积岩组成，以泥质为主、常含铁质，为不纯的碳酸盐岩，并被基性、超基性和花岗岩侵入。变质作用从东到西逐渐加深，东部边缘为蚀变页岩，然后是板岩、千枚岩，中部则为片岩。阿拉瓦利地区的一般地层层序如下（据赫伦）：

阿拉瓦利群	{	千枚岩、燧石灰岩和含铁灰岩
		石英岩和复片麻岩
		底石英岩、粗砂岩、硬砂岩和砾岩
		基性火山岩和超镁铁质岩类
		……………不整合……………
本德尔汗片麻岩/条带状片麻质杂岩		

基性火山岩和超镁铁质岩类，代表着优地槽带构造作用以前岩浆幕特征的细碧岩和蛇绿岩。基性火山岩，现在以变质的绿色片岩和变闪长岩为代表，出露在阿拉瓦利群的底部，在乌代普尔、班斯瓦拉、纳特德瓦拉、卡克洛里 (Kakroli) 附近和其他地区，有石英岩夹层出现。石英岩夹层的特征，说明了沉积作用同期的火山作用，这是优地槽演化开始阶段的特点。

优地槽带最典型的岩石建造是硬砂岩 (浊积岩)，它代表了海底浊流造成的粒级、层理为复理式型的水下沉积物。在乌代普尔地区阿拉瓦利群的底部，有发育良好的硬砂岩和次硬砂岩 (Subgraywacke)。由乌代普尔再往北至阿杰米尔地区，往南至登加普尔—班斯瓦拉，在阿拉瓦利—德里走向上这些岩石缺失，可以说明优地向斜槽由乌代普尔地区往外逐渐变浅。

超基性岩以蛇纹岩和滑石—透闪石片岩为代表，沿阿拉瓦利—德里走向分布于北至阿杰米尔，南至登加普尔之间，长约 400 公里的地区。如上所述，一般认为这些岩石是优地槽的表征产物。因此，超基性岩带的延伸长度可近似地说明阿拉瓦利优地槽的横向范围。在古吉拉特邦萨巴尔坎塔地区的阿拉瓦利群中也报导了有超基性岩。因而，可以认为优地槽带从阿杰米尔附近一直延伸到拉贾斯坦的南端，并可能超出古吉拉特邦。

德里冒地槽

德里变沉积岩构成了以砂质和钙质为主的浅水相的上部群。地层层序如下 (据赫伦)：

晚期侵入 花岗岩、细晶岩和伟晶岩、闪岩

阿贾布加尔群 (Ajabgarh)	{	板岩、千枚岩、片岩、石英岩
		不纯灰岩、白云岩、大理岩等
		角岩角砾岩

阿尔瓦尔群	{	库赛尔加尔灰岩 (Kusalgarh)
		石英岩、长石砂岩
		粗砂岩和砾岩、灰岩和同期火山岩

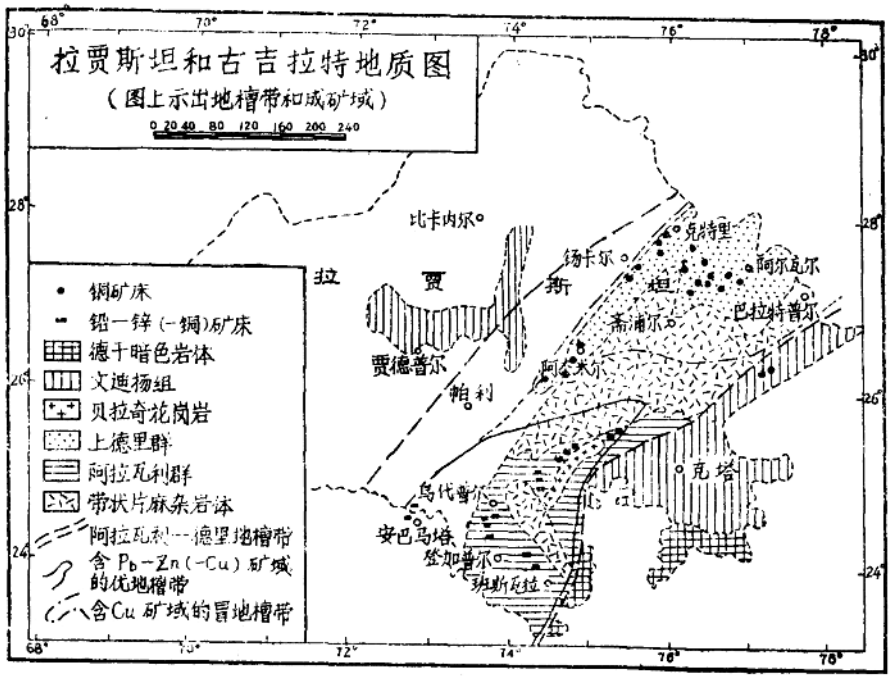
赫伦根据乌代普尔地区阿尔瓦尔群底部的侵蚀不整合，确定了阿拉瓦利和德里变质沉积岩之间的沉积间断。对上所述，后来的工作者不承认这一不整合，发现它们之间的界线是渐变的，因此，沉积作用是连续的。此外，萨卡尔 (1972) 汇编了不同工作者 (Crawford、Polkanov、Tugarinov、Sarkar 等) 的地质年代资料，认为阿拉瓦利旋迴结束阶段距今约 2000 百万年，而德里旋迴—约 1660 百万年，这样，在 440 百万年的时距内，形成了厚度为 20000 英尺的德里群，与差不多相当于 500 百万年中沉积的阿拉瓦利旋迴，沉积厚度大致相等。因此，在阿拉瓦利和德里沉积作用之间，似乎没有多大间断的时间，所以有理由相信地层层序是连续的。

罗伊·乔迪里 (Roy chowdnury) 和达斯·格普塔 (Das Gupta) (1964), 讨论拉贾斯坦西北部的德里沉积作用时, 认为德星群是正在上升的阿拉瓦利山前缘的陆外渊中 (正地槽) 沉积的, 且德里盆地是受阿拉瓦利造山运动的控制。据此, ‘虽然德里盆地经受了造山运动的改造, 但德里沉积盆地仍显示出陆缘相的特征, 并且标志着不典型的造山作用相。’ 他们引证复理式沉积和同期火山质喷发的缺失, 来证明德里的陆缘环境。甘古帕特雅雅 (Gangopadhyaya) (1972) 在研究了拉贾斯坦东北部德里群的基础上, 指出德里群沉积发生在 ‘一个离古陆边缘不远的活动带’。

通观德里群发育的地区, 据在巴锡和巴拉特普尔—巴亚纳地区出现的基性熔岩流, 证明在连续的德里群沉积作用的同时, 于底部有过火山活动。在此, 造山作用至少包括三个褶皱幕和重复出现的岩浆活动, 由岩石组合可显示出浅水环境, 从而证明其构造环境正好位于近克拉通边缘的活动带上, 即冒地槽环境。因此, 推想德里地区是阿拉瓦利—德里地槽系中的一个冒地槽。本文应定作德里冒地槽。

成 矿 域

拉贾斯坦铜和铅锌矿化区的分布表明, 存在两个明显不同的成矿域——一个是铜矿域, 另一个是以铅锌为主的成矿域 (见图), 它们可能分别与阿拉瓦利—德里地槽系的德里冒地槽和阿拉瓦利优地槽有关。



铅锌成矿域:

拉贾斯坦的铅锌矿床主要分布在阿杰米尔以南,沿阿拉瓦利—德里走向延伸。这些矿床包括扎瓦尔 (Zawar) 铅锌矿带、拉杰普拉—达里巴 (Dariba) 矿带、普尔—巴内拉矿带、萨瓦尔 (Sawar) —巴亚塔 (Baiata) 矿带、班斯瓦拉区的铅锌矿床和拉贾斯坦—古吉拉特边界的安巴马塔—德林 (Ambamata—Deri) 区的铅锌铜矿床。划分铅锌成矿域时,给了两个基本假设: 1) 成矿域内全部矿床都是以铅锌矿床为主,以铜为辅(如拉杰普拉—达里巴和巴内拉—宾德尔 (Bhinder) 带的多金属矿床); 2) 全部矿床都局限在阿拉瓦利群岩层内。拉杰普拉—达里巴、普尔—巴内拉和萨瓦尔—巴亚塔带的层位稍有异议,因有关拉贾斯坦前寒武系划分的最近观点,应划为前阿拉瓦利群 (Raja Rao 的比尔瓦拉群, 1971)。但是这些观点需要进一步证实,因此,仍采用赫伦老的分法。

铅锌成矿域中最有意义的地区是乌代普尔的扎瓦尔铅锌矿带,据估计,铅锌品位为 5—6% 的矿石储量在 1 亿吨以上。该矿床主要是铅锌矿(然而,最近在矿带的南部发现有些铜的硫化物,与该矿带以产铅锌为主要特征来比,数量不大)。扎瓦尔铅锌矿带从哈梅达摩格拉 (Hametamogra) 到帕萨德 (Parsad), 延伸长度在 20 公里以上。该地区下伏着褶皱的阿拉瓦利岩层,由白云岩、碳质板岩、硬砂岩和砾岩组成。硫化物矿化产在白云岩和碳质板岩中。根据斯特拉泽克 (Straczek) 和斯里坎坦 (Srikantan) (1967) 的意见,扎瓦尔矿带莫奇阿·马格拉 (Mochia Magra) 区的硫化物矿脉,受成矿前的密集复杂的断裂系和陡倾断层系控制。后来的工作者根据明显的沉积构造和不存在任何热液活动,认为硫化物矿床,特别是扎瓦尔北部哈梅塔 (Hamete) —福马瓦拉 (Phommarwalla) 部分,是沉积的层状矿床。

延伸 17 公里以上的拉杰普拉—达里巴矿带是这个邦最近发现的最有意义的铅锌矿床。在拉杰普拉—达里巴地段,估计锌和铅品位约 9% 的各类矿石的储量约 5200 万吨,矿石中还伴生有数量不大的铜和其他硫化物。硫化物矿化主要沿白云岩和石墨片岩接触线上的断层带分布,这两种岩石自身也受到矿化。还发现硫化物呈脉状、细脉状、透镜状和平行层理的带状产出。根据这一事实和硫化物与石墨片岩的共生关系,很可能是生物化学成因的,同时在这个地区不存在任何明显的热液活动,说明这种矿床可能属于同生层控矿化类型。

比尔瓦拉地区的普尔—巴内拉矿带中,有几个小型的铅—锌和铜矿床,延伸长度在 25 公里以上。关于硫化物矿化的性质了解不多,因为勘探工作还处于初期阶段。然而一般说来,如在蒂朗加 (Tiranga) 地区见到的那样,矿带的典型特征是矿化局限于陡倾褶皱鼻上的石英岩、含磁铁矿片岩、钙质和石墨质岩中。除普尔—达里巴和巴内拉地段已分别估算出铜矿石占 1% 的矿石储量约 1 百万吨和 173 万吨之外,其他许多地段,即蒂朗加、代夫普拉 (Devpura)、代德瓦斯 (Dedwas) 等地段,也确定有铅锌矿化,估计它们的储量约 1000 万吨(后两地段的铅—锌约占 4—5%),说明这个区域性规模的矿带,以铅锌为主,目前所获得的资料,也说明这些矿床是同生沉积性质的。

产于滑石—片岩、钙质—片岩和其他德里变质岩中的安巴马塔—德林 Pb—Zn—Cu 矿床,估算 Pb—Zn—Cu 品位为 13.5—17.0% 的矿石储量在 700 万吨以上。

铅锌矿化的性质多少与阿杰米尔地区东南部的萨瓦尔—巴杰塔矿带相似,阿杰米尔地区的铅锌矿化呈脉状和带状产出,平行于标志着沉积成因的硅化结晶质白云岩的层面。

在帕利、奇托加尔 (Chittorgarh) 和班斯瓦拉地区, 不太有名的铅锌矿床产于阿拉瓦利变质沉积岩中。因为这些矿床有待详细调查, 关于其矿化性质, 尚无从谈起, 只能说这些矿床几乎都位于铅锌成矿域的铅锌地区中。

拉贾斯坦的全部铅锌矿床以压倒优势的证据表明它们是同生成因的, 例如地层控制、矿化层内的后期变质构造、不存在围岩的热液蚀变作用和交代作用, 以及缺乏可辩认的与任何火成岩体的成因联系。

乌代普尔地区阿拉瓦利岩层中的迭层石, 无疑证明, 当时存在有某种生物活动。在乌代普尔 (扎瓦尔) 地区以及上述阿拉瓦利的全部其他铅锌矿床中, 碳质物质的普遍存在更进一步证实了生物活动。例如在扎瓦尔地区, 块状碳酸盐岩与和谐的韵律层、薄片状富含腐植质的淤泥和泥灰岩伴生, 表明了静海相的沉积条件。缺失氧化物和蒸发岩, 进一步指明沉积作用是在细菌大量繁殖的潮湿的完全还原的环境下进行的。在世界上的另一些地方, 根据化石和化学证据, 已证实在前寒武纪岩层中存在有藻类。因为大部分细菌很小而又没有明显的形态特点, 许多很可靠的化石细菌的构造遭到了破坏, 而其他一些可供鉴定的构造也可能缺失。本文作者在班斯瓦拉地区的阿拉瓦利灰岩中 (铅矿化的Goj—Parla区) 偶然发现了很小的象化石的构造, 不过, 遗憾的是不能鉴定。大家知道, 作为还原营力的细菌能形成铅锌硫化物。这样的硫酸盐还原细菌已知的有 *Desulforibrio* 和 *Desulfotomaculum* 属。根据物理—化学条件、还原作用环境的范围, 以及因细菌引起硫化物矿化时硫酸盐还原的其他必要条件等的研究, 一般认为铅锌硫化物矿床可能是生物成因的 (Trudinger 等1972)。世界上其他几个层控硫化物矿床, 诸如美国的密苏里、堪萨斯、俄克拉何马和密西西比矿床, 澳大利亚的伊萨山和梅斯·阿塞河 (Mac Arther Kiver) 铅锌矿, 德国的库帕斯耶发 (Kupferschiefer) 铅锌矿等, 都是生物成因的 (Trudinger 等)。

虽然, 还没有明显的证据证明拉贾斯坦地区铅锌矿床中有生物成因的硫化物矿化, 但从理论上讲是存在的, 不能排除生物活动在这些矿床形成中起作用的可能性。

铜矿域

铜矿域主要由克特里铜矿带和阿尔瓦尔铜矿带组成, 几乎包括了拉贾斯坦的全部已知的和可能的铜矿。若干铜矿产在斋浦尔和巴拉特普尔地区的邻近部分, 也包括在这个铜矿域中。克特里矿带从辛格哈纳 (Singhana) 到拉古纳德加尔 (Raghunandgarh) 长达80公里以上, 产有马丹—库丹 (Madan—Kudan)、科里汗 (Kolihan)、萨库 (Sathkui) 和阿克瓦利 (Akwali) 等铜矿床, 印度地质调查所的一些工作者作过调查, 对其地质、构造和矿床成因作过详细报导。这个矿带中的其他几个铜矿床, 已经历了不同的勘探阶段, 研究的目的是进一步查明克特里矿带的矿化性质。根据现有的综合性资料, 沿矿带的全部矿床主要是铜矿床, Cu的含量从0.8—2.4%, 明显地缺失铅和锌。一般说来, 铜矿化发现于上德里群的砂屑—泥质岩内。据达斯·格普塔 (1968) 的资料, 硫化物矿化呈细脉状、脉状、浸染状和块状沿NE—SW向的剪切带和断层带产出, 剪切带和断层带构成了控矿的主要构造特征。达斯·格普塔在详细研究矿相及其生次序的基础上, 得出结论认为: 克特里矿带的硫化物矿化是后生的, 高温热液到中温热液型的, 成因上可能与德里变沉积岩中的花岗岩侵入体有关。

阿尔瓦尔铜矿带包括阿尔瓦尔和附近斋浦尔地区的一组铜矿床, 其中已开发的达里巴和

巴高尼 (Bhagoni) 矿床是主要的。其他矿床和有远景的矿点, 如巴来什瓦尔 (Baleshwar)、普拉塔加尔、纳拉得什瓦尔 (Nalladeshwar)、马塔苏拉 (Matasula)、乔德哈瓦斯 (Jodhawas)、拜拉特和纳格尔 (Nagel) 等, 尚待调查, 所以, 对它们知道的还不多。这些地区的大部分铜矿化, 局限于上德里群的砂屑—泥质岩中。构造控制, 如断层和剪切带, 在硫化物富集方面起着主要作用, 硫化物的富集一般与花岗岩侵入体有关。

在巴拉特普尔地区, 在哈陶里 (Hathori)、坎克海里 (Khankheri)、尼萨尔 (Nithar)、克尔 (Ker) 等地, 都发现了铜矿。硫化物呈浸染状、脉状、裂隙充填状沿德里群岩石的剪切带产出, 有时与重晶石共生 (如 Hathori 地区), 结合构造特点说明矿脉为热液成因的。

在铜矿域的南端阿杰米尔附近, 在基尚加尔、阿杰米尔的洛哈克汗 (Lohakhan) 和塔拉加尔 (Taragarh)、拉杰加尔、拉乔希 (Rajoshi)、钦普拉 (Chinpura) 等地发现了若干小型铜矿。这些矿都产于德里群变沉积岩中的有利构造部位, 也许与后德里埃林普拉花岗岩或其他花岗岩的上升热液有关, 该区主要是酸性火成活动。在洛哈克汗矿床, 已开始初步钻探, Pb—Zn 品位 (约 2—3%) 大于铜矿品位 (低于 1%)。但是, 该矿床只是跨越阿杰米尔地区长达 40 公里以上的古哥拉—卡尔瓦 (Cugra—Kharwa) 贱金属矿带的一小部分 (杰因等, 1961)。整个矿带的详细勘探工作很可能证明, 洛哈克汗矿床的铜矿带是原生的, 铅锌品位局还会有所增加。因此, 这个矿带的特点主要是铜。

由此已可看出, 北拉贾斯坦整个铜矿域中, 似乎铜矿床都产在上德里群变沉积岩的构造薄弱带, 这表明热液成因的特征, 很可能与后德里期的花岗岩体侵入有关。仅仅在萨拉迪普拉 (Saladipura) 矿床, 块状黄铁矿—磁黄铁矿的富集才显示出沉积成因的层控矿床证据。该矿床完全缺失铜, 同样也没有 Pb 和 Zn, 只是在铁矿物晶体中存在约 0.8% 的 Zn。因此这种矿床在铜矿域硫化物矿化的一般类型中是不正常的, 需要另外解释。

结 束 语

由上述的讨论可以看出, 在拉贾斯坦, 广义地说有两个成矿域: 1) 铜矿域, 包括北拉贾斯坦的克特里、阿尔瓦尔、巴拉特普尔、斋浦尔和阿杰米尔地区的全部铜矿床, 这些矿床在阿杰米尔以北沿德里—阿拉瓦利走向分布。这些矿床, 看来是热液成因的, 产于阿拉瓦利—德里地槽系冒地槽带上德里群的变沉积岩中。2) 以铅锌为主的成矿域, 包括拉贾斯坦的全部已知铅锌 (和伴生铜矿) 矿床, 产于阿拉瓦利和上德里群的优地槽变质沉积岩中, 在阿杰米尔以南沿阿拉瓦利—德里走向分布。这些矿床表明它们是同生成因的, 在硫化物矿化作用中可能有生物活动的影响, 而且可能与阿拉瓦利—德里地槽系的优地槽带有关。

两个成矿域都经受了多次造山运动、岩浆活动和变质作用, 这样, 沉积作用的原生特征以及矿化作用的同生成因或后生成因性质明显消失, 也许硫化物矿物沿着有利的构造部位重新迁移。

上述对拉贾斯坦铅—锌和铜矿床分布的这种认识, 不可能避免任何这类研究工作所固有的缺点, 因为我们所研究的地质旋迴几乎概括了 10 亿年 (阿拉瓦利的 5 亿年和德里的 4.4 亿年) 的时间间距, 而且该旋迴发生在 20 到 30 亿年以前的前寒武纪, 包括数百万年以上的许多后来又发生的一系列沉积作用、造山作用和各种地壳运动, 并伴随有几百多万年的岩浆活动和

变质作用。然而，无疑指明了一种可能的途径，即通过详细研究，能使我们理解这两个不同的铅—锌和铜矿的成矿域，也许还有第三个多金属（Pb—Zn—Cu）矿床的成矿域产生的原因，从而可进一步指导我们在特定的地区去找特定的金属矿。

（参考文献 略）

译自Journal Of The Geological Society Of India

Vol.17, No. 3, 1976.P359—369

褚松和 译

林 彻 校