

黑矿型矿床, 成因模式, 金属, 元素组成

http://www.cqvip.com

10-47

## 日本黑矿型矿床的新成矿模式

P612

Tetsuro Urabe 等

Urabe, T

杨光

## 引言

日本本州和北海道发现的黑矿型矿床的成因问题争论热点之一就是其金属来源问题。氢和氧同位素研究表明, 海水成因的孔隙流体在黑矿型矿床成矿过程中起着重要作用。围岩中发育的大量蚀变晕表明, 金属淋滤理论似乎可以解释黑矿型矿床的成因。贱金属在共生的酸性熔体与水流体间分配的新近实验结果表明, 供给黑矿型矿床底板长英质火山岩的岩浆, 其排放出形成黑矿型矿床富含金属的岩浆流的潜力很大。

本文旨在重新评价有关黑矿型矿床的地质和地球化学资料, 以便根据最新资料提出其矿床成因。这些新资料是通过黑矿型块状硫化物矿床成矿作用的研究, 以及通过对东北太平洋中发育不完全的洋中脊的研究得到的, 而这种成矿作用见于冲绳海槽弧后环境和西北太平洋伊豆—博宁岛弧区。

## 黑矿型矿床的地质背景

日本的黑矿型矿床位于“绿凝灰岩”区, 该区为中新世东北日本岛弧中一条长 1 500 km 的弧后海槽 (图 1)。21—14 Ma 期间边缘海 (日本海) 张开作用使东北日本岛弧与欧亚大陆分割开。东北日本岛弧在处于张性构造状态期间亦发生过多次裂谷作用。Yamaji (1990) 指出, 裂谷作用始于日本海张开作用之后, 持续时间约 3 Ma, 日本海张开作用始于 18 Ma, 结束于 15 Ma。裂谷活动高峰期是在 16—15 Ma 之间, 估计在 1 Ma 多的时间里垂直位移达 1—3 km。形成流纹质和玄武质组分的强烈的双模式火山作用发生于裂谷中, 这种双模式火山作用与当时地壳减薄作用有关。值得一提的是, 伊豆—博宁岛弧上目前亦存在类似的构造现象和火山作用现象。重晶石-氧化硅管状体与黑矿型矿床的赤铁矿燧石管状体相类似, 前者发现于称之为须美寿裂谷的弧后盆地中。

北陆盆地 (图 2) 是发育于裂谷地堑中的火山-沉积盆地, 它被认为是日本最重要的黑矿型矿田。在此盆地中发现有矿石储量达 1—10 百万 t 的黑矿型矿床多处, 如在小坂、深川、积迦内和松峰等地。该区矿石总量估计约有 140 百万 t, 矿石平均品位为铜 1.6%、锌 3.0%、铅 0.8%。

许多地学工作者指出, 北陆盆地的黑矿型矿床成矿作用与岩浆作用关系密切。在东北日本广大地区火山作用的初始阶段始于约 40 Ma 前, 该阶段的火山产物主要为安山岩及少量的钙碱性玄武岩和流纹岩。一些安山质凝灰岩单元具有熔结结构, 因而被认为是陆上沉积产物。

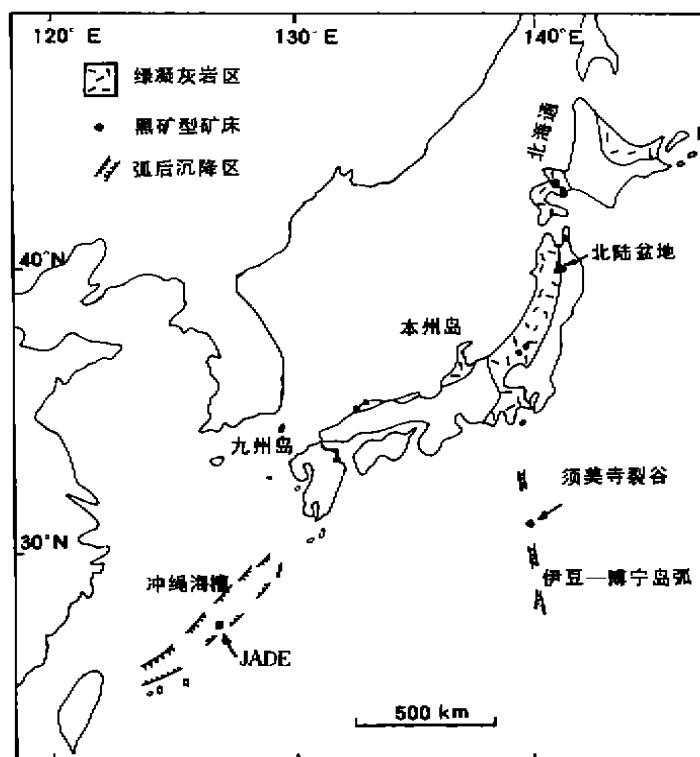


图1 黑矿型矿床及其它现代类似矿床在冲绳海槽区 (JADE) 及伊豆—博宁岛弧 (须美寿裂谷) 弧后环境中的分布情况

火山作用第二阶段以其二元性为特征。拉斑玄武岩和钙碱性流纹岩喷发于 16—12 Ma, 与强烈的裂谷作用同期。

### 金属淋滤模式

在黑矿型矿床周围无论是矿床底板还是顶板的长英质火山岩中都观察到极为发育的蚀变晕。根据蚀变矿物组合, Data 等人 (1983) 将深川矿床蚀变晕分为三个带。从矿床中央到边缘, 依次为绢云母-镁绿泥石带 (横断面  $1.5 \times 3 \text{ km}$ )、蒙脱石带 (宽 1—3 km) 和沸石边缘带。

Ohmoto 等人 (1983) 将深川矿床作为根据底板蚀变晕进行金属淋滤配重计算的野外模式。绢云母-绿泥石带中大约有三分之一底板长英质火山岩, 其 Zn 含量小于  $40 \times 10^{-6}$ , 而在沸石带中, 底板长英质火山岩中 Zn 的平均含量为  $79 \times 10^{-6}$ 。根据底板岩石中的这些 Zn 含量, Ohmoto 等人 (1983) 计算出, 如果底板岩在与向下循环的海水相互作用期间, 其 Zn 含量平均值降低  $10 \times 10^{-6}$ 。那么则需要  $1 \times 10^{11} \text{ t}$  底板岩石才能保证有  $1 \times 10^6 \text{ t}$  的 Zn 供给成矿体系, 其所需的岩石体积相当于深达 2.5 km 的绢云母-绿泥石带和蒙脱石带 ( $4 \times 4 \text{ km}$ ) 两个带的体积。

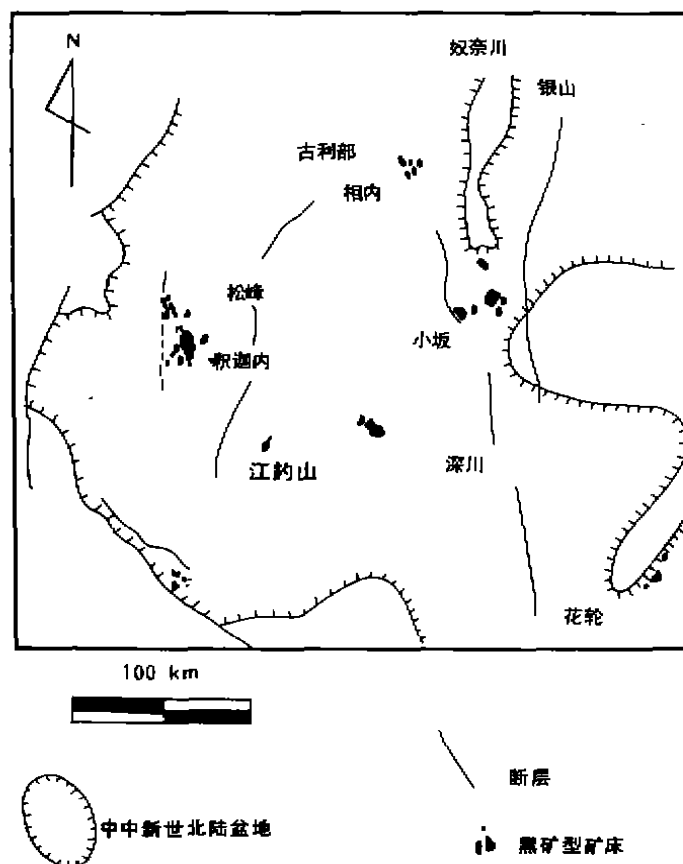


图2 东北日本北陆盆地黑矿型矿床分布图

### 岩浆水热模式

对黑矿型矿床火山序列的详尽研究结果表明,黑矿型矿床的成矿作用并不是单一地质事件造成的。其成矿作用是单个火山中心反复喷发岩屑凝灰角砾岩和喷出流纹质熔岩丘的长期作用的结果。

与黑矿型矿床成矿作用有关的酸性岩浆可能有利于成矿溶液的生成。有关贱金属在共生的花岗质熔体和水流体间的分配的实验表明,如果在低围压条件下从铝质熔融体中释放出富氯流体,金属的分配显著地趋于液相(岩浆流体)。与黑矿型矿床形成有关的酸性岩浆体正合乎这些要求。例如蚀变了酸性深成岩的角砾(发现于深川矿床角砾岩墙中)具有斑状结构,表明它们侵位于地壳较浅部位。黑矿型矿床底板的英安岩和流纹岩属于偏铝质,而顶板英安岩和流纹岩属于偏碱性。

## 黑矿型矿床的金属来源

北陆盆地的中中新世火山岩铅同位素组成中放射性成因的成分比基底岩石（千枚岩、燧石和次要的砂岩）中的相应要少些（图3）。块状硫化矿上部（黑矿）的铅同位素组成中的放射性成因的成分比其块状硫化矿下部（黄矿）的相应要多些。这些数据表明，黄矿中铅的来源不同于黑矿中铅的来源。Fehu 等人（1983）根据这些资料，认为黄矿比黑矿具有更多火山成因的铅组分。

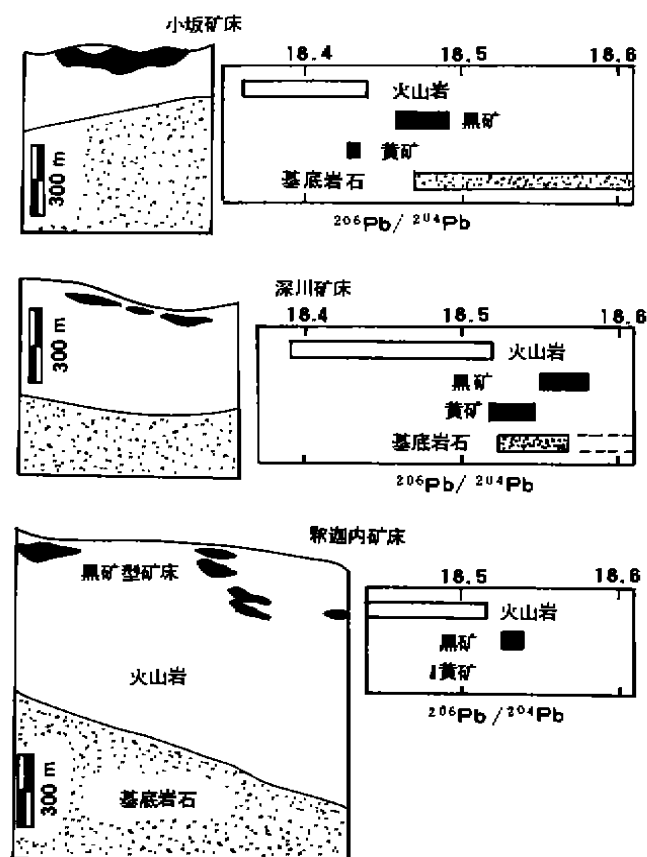


图3 小坂矿床、深川矿床和积迦内矿床横断面示意图及这些黑矿型矿床的铅同位素组成 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ )

黄矿与黑矿铅同位素组成的差异似乎不利于单纯的岩浆热液成矿模式，如 Urabe (1987) 在其成矿模式中强调黑矿型矿床所有贱金属均直接源于长英质火成岩浆。铅同位素数据似乎有利于金属淋滤成矿这一模式（图4）。Ohmoto 等人（1983）在这一成矿模式中认为，黑矿型

矿床成矿体系始于成岩阶段,当时孔隙流体与中中新世长英质火山岩相互作用形成浸染状石膏。该体系受到侵入岩的加热增温作用,当温度为150—300℃时形成黑矿,而当温度大于300℃时则形成黄矿。黑矿成矿阶段的等温线位置必定低于黄矿成矿阶段的等温线位置。在黑矿成矿阶段,基底岩石中有大量的铅游离出来。因此,黑矿较之黄矿含有更多源于下部基底地层中的放射性成因铅(图4)。

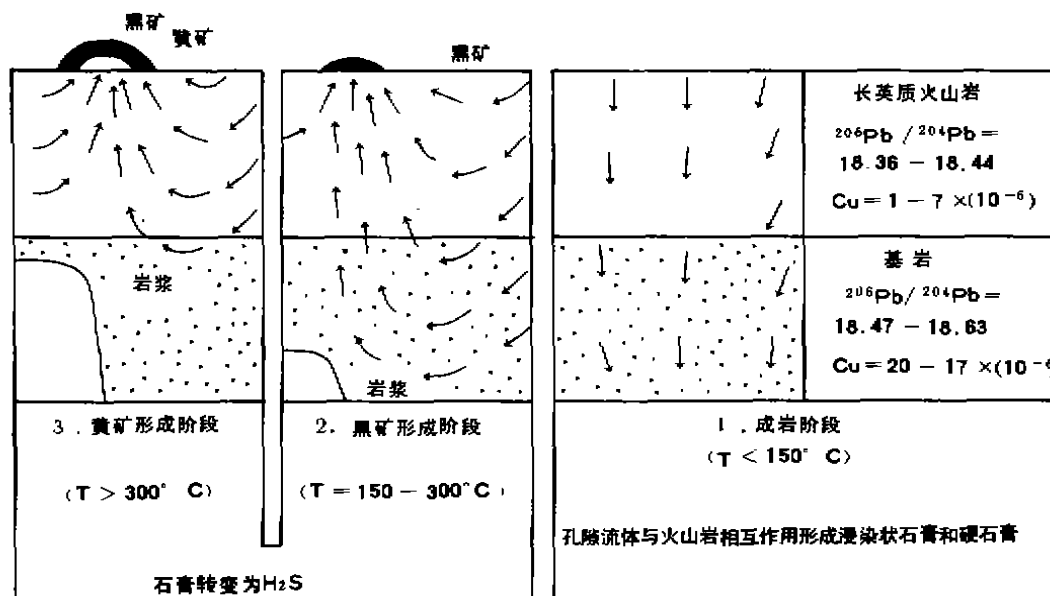


图4 金属淋滤成矿模式(据小坂矿床地球化学资料)

若考虑到中中新世火山岩和基底岩石(千枚岩、燧石、砂岩)的贱金属含量,则可发现金属淋滤成矿模式存在很大矛盾。未蚀变中中新世火山岩铜的含量小于 $8 \times 10^{-6}$ ,而基底岩石铜的含量为 $20 \times 10^{-6} - 70 \times 10^{-6}$ 。其铅同位素组成表明黑矿成矿阶段的等温线位置必定低于黄矿成矿阶段的等温线位置。这表明只有在黄矿成矿阶段,孔隙流体才会运移于贫铜火山岩中(图4)。

根据金属淋滤成矿模式,预计小坂矿床的 $\text{Cu}/\text{Zn}$ 比值高于积迦内矿床和深川矿床的 $\text{Cu}/\text{Zn}$ 的比值,这是由于基底岩石位于小坂矿床之下的层位较之积迦内矿床和深川矿床之下的层位要浅(图3)。但是,小坂矿床、深川矿床和积迦内矿床中 $\text{Cu}/\text{Zn}$ 比值和中中新世火山岩厚度之间不存在正相关关系。

### 硫和矿液的来源

黑矿型矿床最显著特点是其硫同位素组成表现出明显的均一性。黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿的 $\delta^3\text{S}$ 值大部分介于2—8‰之间。该值与北陆盆地中火山岩的硫同位素值极为类似,这表明岩浆中的硫可能是黑矿型矿床硫的主要来源。

在金属淋滤成矿模式中, Ohmoto 等人 (1983) 认为, 黑矿型矿床矿液中的硫大部分来自浸染状石膏和硬石膏, 而浸染状石膏和硬石膏是在温度小于  $150^{\circ}\text{C}$  的成岩阶段和早期热液作用阶段通过孔隙流体 (海水) 与火山岩的相互作用形成的 (图 4)。在温度增大条件下通过围岩中的铁与有机碳起相互作用, 使得源于硬石膏的一些硫酸根离子被还原形成  $\text{H}_2\text{S}$ 。当温度大于  $300^{\circ}\text{C}$  时, 流体亦通过溶解火山岩中的黄铁矿获取部分硫。然而, 新鲜火山岩的硫含量很低, 故可不考虑火山围岩中的火成黄铁矿作用。

Pisutha-Arnond 等人 (1983) 指出, 黑矿型矿床矿液的  $\delta\text{D}$  值和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为  $-30$ — $+15\text{‰}$  和  $-6$ — $+4\text{‰}$ 。通过对这些矿液的同位素组成和化学组成 (它是根据硅质矿中石英的液体包裹体资料和氧同位素资料进行估算的) 与深海钻探计划岩心样中孔隙流体的同位素组成和化学组成相比较, 可得出从成岩作用阶段直至热液作用阶段孔隙流体 (海水) 和火山岩持续相互作用这一金属淋滤成矿模式。

黑矿型矿床矿液的  $\delta\text{D}$  值和  $\delta^{18}\text{O}$  值 (根据 Pisutha-Arnond 和 Ohmoto 资料仔细挑选出的数据计算而得到的数值) 落于岩浆流体区和海水 (标准平均海水) 区之间 (图 5)。形成小坂矿床硅质矿周围的围岩蚀变晕中的绢云母的成矿流体的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  估算值落于黑矿型矿床成矿流体区和海水区之间。而且形成高岭石 (形成于成矿作用的衰退期) 的热液流体的  $\delta\text{D}$  值和  $\delta^{18}\text{O}$  值落于生成绢云母的流体区和海水区之间。这些资料表明, 岩浆流体是成矿作用和底板蚀变作用的不可缺的成分。较之产生底板绢云母蚀变作用的流体来说, 形成黑矿型矿床的热液流体具有更丰富的岩浆流体组分。在高岭石成矿作用这一衰退期内, 其热液流体主要是海水。

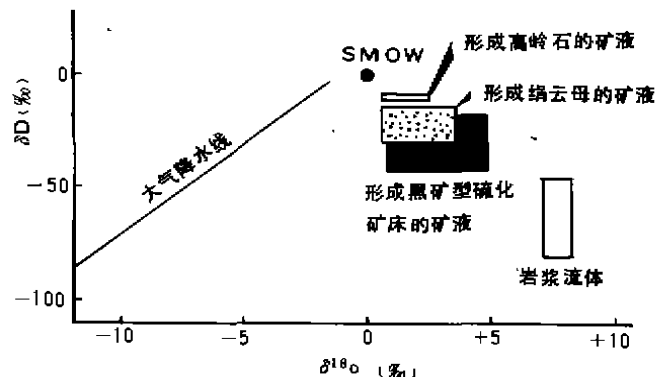


图 5 黑矿型硫化物矿床矿液及其它流体的氢 (δD) 氧 (δ<sup>18</sup>O) 同位素组成对比图 (SMOW 为标准平均海水)

### 与活动海底水热系统的比较

在东北太平洋可见到海底热液矿和黑烟囱。在这些矿床中, 高度沉积了的中央裂谷中的

块状硫化物 Pb/Zn 比值高于其它弱沉积了的裂谷中的块状硫化物的 Pb/Zn 比值, (例如, 阿克西亚尔海山和南胡安德富卡海岭之裂谷的块状硫化物的 Pb/Zn 比值。这一发现表明, 中央裂谷中的铅是通过上升流体从富铅沉积物中淋滤出的。

中央裂谷硫化物样品的铅平均含量只有 0.05%, 其含量大大低于黑矿型硫化矿床的铅含量。冲绳海槽中黑矿型海底块状硫化矿的铅含量 (达 25%) 大大高于中央裂谷硫化矿的铅含量。这主要是由于岩浆类型的不同造成的 (流纹质岩浆至玄武质岩浆), 而这些岩浆类型则受控于地质背景 (陆壳的存在或缺失)。

JADE 诸矿床 (图 1) 为岩浆水热模式提供了有利的证据。这些矿床出现于构造拗陷区——伊是名火山拗陷区 (直径  $5 \times 3 \text{ km}$ ) 的东北坡。JADE 诸矿床由块状硫化物内带和重晶石-自然硫外带组成, 其总面积为  $500 \times 200 \text{ m}$ 。块状硫化物内带区与高热流带区 ( $>10\,000 \text{ mW/m}^2$ ) 一致。其形状呈 NE-SW 向展布, 表明这些矿床之下存在一个高层位的岩浆房。

块状硫化物内带由深达 1 300 m 和 1 550 m 的活动的和古代的硫化物-硫酸盐岩筒和泉华冢组成。在这些岩矿筒中, 从一个黑烟囱排放出温度达  $320^\circ\text{C}$  的水热流体, 这种流体每公斤水含  $\text{CO}_2$  200 mmol,  $\text{H}_2\text{S}$  12.4 mmol 和  $\text{CH}_4 + \text{H}_2$  14.8 mmol。其气体含量为洋中脊扩张中心水热流体气体含量的 50—100 倍。 $\text{CO}_2$  的碳和氧同位素组成表明其气体是从酸性岩浆中释放出。JADE 矿床成矿流体富钾 (达  $72 \times 10^{-8}$ ) 的特征乃是海水和酸—中性火山岩间相互作用形成的水热流体的特点。在伊是名火山拗陷区发现英安质熔岩丘, 表明该区存在酸性岩浆。

### 岩浆水热模式的修正及其 对黑矿型矿床的勘探的意义

黑矿型矿床及冲绳海槽中现代类似矿床 (JADE 诸矿床) 的地质、地球化学和地球物理资料表明, 高层位铝质酸性岩浆房是黑矿型矿床的主要金属来源地。东北太平洋矿床铅同位素的研究结果和 Pb/Zn 比值表明, 某些铅及其它一些金属 (如钡、锌) 通过淋滤作用从围岩获得。

在修正后的岩浆水热模式中, 其成矿温度是在酸性岩浆侵入后马上达到最大值 (图 6)。岩浆流体携带有足够量的铜, 在海底沉淀富铜矿 (黄矿)。由于黄矿中的铅主要来自酸性岩浆, 所以矿石铅的铅同位素组成应代表了岩浆的铅同位素组成, 它应与中中新世火山岩 (源于同一个酸性岩浆源) 的铅同位素组成相类似。同时酸性岩浆通过传导作用加热围岩, 大约于数百年后形成运移围岩中的孔隙流体的水热循环系统。受热后孔隙流体从围岩中淋滤出成矿金属, 并沿着对流系统通道携带这些金属。

在成矿作用第二阶段, 循环孔隙流体进入岩浆排放系统, 并与岩浆流体混合。孔隙流体的侵入引起岩浆流体温度下降, 并导致岩浆流体将铜携带至沉积区的能力下降。因此当混合流体 (岩浆流体+受热孔隙流体) 在海底与海水混合时, 则形成黑矿。因为黑矿中某些铅亦来自基底岩石, 所以黑矿铅同位素组成不同于黄矿的铅同位素组成。

岩浆流体的排放停止后, 水热流体的温度则骤然下降。孔隙流体中这时占主导作用的是水热流体, 无能力携带足够的铅、锌用于形成黑矿。成矿作用第二阶段以其在黑矿中形成重

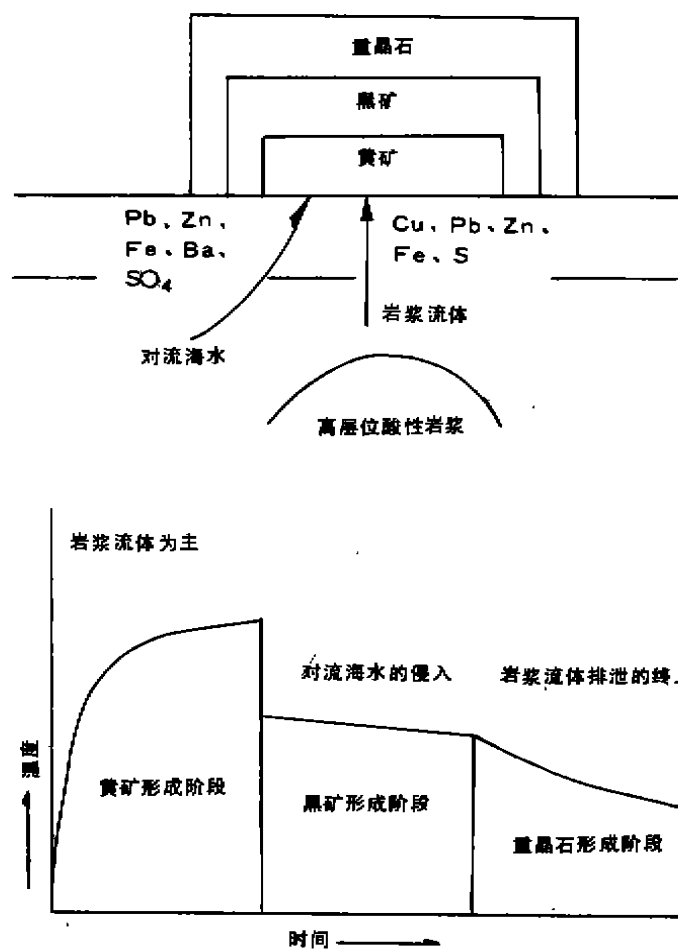


图6 修正后的岩浆水热模式示意图

晶石、赤铁矿和石英层为特征。伊豆—博宁岛弧中的须美寿裂谷的水热系统(图1)可以作为这一阶段的现代范例。

译自 Episodes Vol. 14, No. 3, 1991

杨光译 姜玉校