

层控矿床和层状矿床

第四卷

K.H. 乌尔夫 主编

地质出版社

层控矿床和层状矿床

第四卷

67
25

层控矿床和层状矿床

K. H. WOLF 主编

第 四 卷

大地构造和变质作用

地 质 出 版 社

HANDBOOK OF STRATA-BOUND
AND
STRATIFORM ORE DEPOSITS

Edited by K. H. WOLF

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY

1976

Volume 4

TECTONICS AND METAMORPHISM

层控矿床和层状矿床

、第四卷

乌尔夫 主编

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年4月北京第一版·1979年4月北京第一次印刷

印数1—7,420册·定价2.10元

统一书号: 15038·新377

层控矿床和层状矿床

第四卷 大地构造及变质作用

目 录

第一章 地槽中的成矿作用 A.M.Vans	1
前 言	1
地 槽	1
某些较早的概念	1
地槽和板块构造	2
传统地槽概念中的成矿作用	5
成矿作用和板块构造	6
引言	6
红海类型地槽	6
岛弧类型地槽	10
同源(同生、自生authigenic)矿床	12
安第斯类型地槽	15
日本海类型地槽	16
大西洋类型地槽	16
地中海类型地槽	16
结 论	17
参考文献目录	18
第二章 层控成矿作用 J.W.Gabelman	22
前 言	22
层控作用	22
概述	22
海相、滨海相和湖相沉积作用	28
大陆沉积作用	35
成岩作用	36
流体分泌后生作用	38
岩浆形成和分异作用	42
火山作用	42
侵入作用	43
变质作用	46
侵蚀风化作用	48

大地构造作用	48
参考文献目录	49
第三章 层控矿床与成矿构造 J.W.Gabelman.....	60
前 言	60
成矿构造的基本原理	62
背景	62
成矿作用	63
矿区分带	64
区域矿带	71
共生组合	77
成矿带和梯度	80
金属成矿省	81
成矿带的大地构造控制	82
成矿构造梯度	84
多次叠加构造活动带	84
对活动带的解释	86
成矿带的地裂控制	86
成矿构造概念的演进	92
区域成矿带分带类型实例	92
总述	92
安第斯山成矿带	93
墨西哥成矿带	94
北美科迪勒拉成矿带	97
阿巴拉契亚成矿带	98
斯堪的纳维亚成矿带	106
海西成矿带	110
比利牛斯造山成矿带	111
区域成矿带分带的层控矿床	112
总述	112
造山带	112
地裂构造带	118
构造与层控的关系	118
总述	118
成矿作用的分布	121
可能的成矿作用梯度	121
可能的混杂作用	121
参考文献目录	122
第四章 在活动性裂谷中或其附近发现的层控金属矿床	
E.T.Degens 及 D.A.Ross	129
前 言	129
背景	129

构造背景	131
基伍湖	134
地震剖面	134
水形学	135
沉积物	136
坦噶尼喀湖、爱德华湖及艾伯特湖	140
地球化学平衡	142
热液排放的速率	142
水热流体的化学成分	143
根据非洲湖研究所得出的结论	144
红 海	145
构造	145
热液活动	147
大洋中脊	152
结 论	155
参考文献目录	156

第五章 矿石和变质作用：时间的和成因的关系

A.Mookherjee	160
前 言	160
定义	161
已存在矿体的变质效应	161
氧化物矿石	161
硫化物矿石	164
受区域变质矿床的组构和矿物学的演化	174
“矿源层”型沉积物的变质效应	177
含铁建造	178
黑色页岩	178
在沉积—火山堆积中分散的少量元素的变质效应	181
变质过程中矿体生成的可能性——简述	183
总的考虑	183
变质水：其演化、特性和转变为成矿流体	183
按“板块构造”假说矿石变质作用——岩浆作用的相互关系	190
结 论	191
参考文献目录	191

第六章 在深度变质区辨认和解释层状矿床的问题：以Broken Hill矿床为例 R. A. Both和 R. W. Rutland.....

前言	203
大地构造位置	204
区域岩石学	205

砂屑岩和泥质岩	205
条带状含铁建造	205
角闪岩和钙质岩石	208
石英长石质片麻岩	208
伟晶岩	210
Mundi Mundi 花岗岩	210
粒玄岩	210
富硫化物岩石	210
含矿层序	212
变质作用和地质年代学	213
区域构造	215
矿区构造	217
退化片岩带	219
结论性说明和区域构造	220
矿体构造	220
含矿层位的地层整合性	221
矿体与主要褶皱的关系	223
矿体中的褶皱	224
矿体的多向倾伏	227
关于构造的结论性意见	229
关于矿体的矿物学和地球化学方面的证据	230
前 言	230
矿物学的和结构的研究	231
岩石学方面的研究	233
地球化学研究 (元素丰度)	235
地球化学研究 (同位素比值)	239
总 结	241
Broken Hill 矿床的形成环境	242
参考文献目录	244

第一章

地槽中的成矿作用

A.M.Vans

前言

成矿作用和地槽之间的关系，历来不是一个易于讨论的课题。现在如以简短的本文进行论述，更可能是十分困难的。这是因为：一方面，近二十年中我们对矿床成因的认识取得大发展，但不是朝着简化概念，纳入一个或二个统一的假说的方向发展，而是相反，颇为强调了成矿作用在包括地槽在内许多地区的多成因特征；另一方面，最近在地学中的所谓革命，使得大部分地质学家从根本上审订地槽的发生和性质的概念。然而决非所有地质学家都认为全球构造及与之相适应的板块运动概念，是作为解释大陆漂移和造山作用的新理论。海底扩张一说，就为别洛乌索夫(1970)和A. A. Meyerhoff与A. H. Meyerhoff(1972)所反对。新近苏联有关本课题的一篇论述报道，仍顽强地坚持着回溯到本世纪五十年代中期统治着地质学家的经典的Hall—Dana—Stille关于地槽演化及其性质的概念(Smirnov和Kazanski, 1973)。在本文扼要评述中，假定读者是熟悉以造山运动告终的地槽发展的经典概念的，因而对地槽特征和历史仅作了简要论述，并以此作为地槽区本身及与之有关矿化作用演化的现代观点的一个引言。

地槽

某些较早的概念

Hall 1859年提出山脉是由于堆积在一延长沉降槽内一套巨厚浅海沉积的形变作用而形成的概念，Dana(1873)给予发展，并命名为地槽。Suess(1875)和Haug(1900)指出，不是所有山系都有巨厚沉积，同时如在欧洲阿尔卑斯部分山脉中则具较多的深海或远海沉积特征。对浊流搬运力量的认识(Kuenen和Migliorini, 1950)，促使人们意识到许多碎屑沉积(古地槽硬砂岩和阿尔卑斯山系的复理石沉积)常生成于半深海环境。Steinmann(1905)识别出阿尔卑斯山系中一套与变形放射虫硅质岩和深海沉积伴生的橄榄岩、辉石岩、辉长岩、粗玄岩和枕状熔岩，并把这一套火成岩命名为“蛇绿岩套”。Suess

(1909)记述了阿帕拉契和其他造山带“蛇绿岩套”的产出特征,并注意到它们从未出现在前陆地带。他同意 Steinmann 的认识:蛇绿岩套与深海沉积共生,并指出在山系中它们可以逆掩于浅海沉积之中。

在Hall的典型地槽区——阿帕拉契早古生代地槽——以及其它地区可以在空间上清楚地划分出一套较薄、浅海沉积为主、缺乏岩浆活动的岩层和出露有蛇绿岩套的与之平行的深海沉积物带,从而使得 Stille(1936, 1940)从正地槽这一概念中分出冒地槽(缺乏岩浆活动)和具有蛇绿岩套和复理石沉积的优地槽。在许多地质学家脑海中地槽演化图式是:地槽内的堆积物必然于造山运动的末期上升成山。这样的演化图式使得Scheumann(1932) Backlund(1936), Von Bubnoff(1937)Stille(1940)和其他地质学家,提出了前造山期、同造山期和后造山期岩浆活动,作为在造山旋迴总体模式的组成部分。嗣后发展为硅铝地槽(ensialic Geosyncline)的概念,其中的蛇绿岩套,不认为是洋壳卷入地槽活动的证据,而认为是硅铝层地壳未达到足够厚度和热量产生同造山期花岗岩浆时,就坠入硅镁层中所产生的最初期的岩浆活动。继之又有 Hall 所叙述的后造山期的“暗色岩墙”火山作用。地槽旋迴中岩浆的分阶段概念是重要的,因为地槽内许多矿化作用,过去和现在均认定与这些岩浆活动有关。模式中蛇绿岩的产出位置十分重要,因为它与许多矿床常常有着密切的空间关系。

近期,板块构造学说之前,主要对地槽的论述,当推Aubouin(1965),他提出了既适于对称性地槽又适于不对称性地槽发生的方式。简单的不对称模式,由一对在沉积作用、岩浆活动和变形作用中具有不对称性和极性(polarity)的优地槽和冒地槽组成。蛇绿岩套只限于冒地背斜脊(miogeanticlinal ridge)的海洋一侧的优地槽中,越过冒地背斜脊即是大陆克拉通棱边发展起来的冒地槽。Steinmann关于蛇绿岩是洋底物质升起的概念象Knopf(1948)和Kay(1951)提出巨厚的安山质一流纹质序列是古老优地槽早期产物的说法一样,都同样造成混乱。正如许靖华(1972)已注意到,这种混乱已带入现阶段板块构造中,而通过海沟内壁蛇绿岩的侵位,是较早期所假设的有关地槽与板块活动关系的一些概念。

地槽和板块构造

板块构造学说的发展及其依据,本文不拟论述。然而为了对比地槽类型序列与地壳板块内发展起来的不同构造带的相互关系,必须对板块主要构造单元作概要地叙述。这些对比已经有一些出版论述,诸如 Mitchell 和 Reading(1969),Walton(1970),Dickinson(1971)和许靖华(1972)等著作,这些著作对本文有相当的用处。板块构造发展的设想示意图见图1。在该地壳发展模式,存在着一系列线状沉降带,如果有碎屑物质的源地和借以有利的搬运条件,其内将接受沉积物。Dickinson注意到这类潜势地槽(Potential geosynclines)位于板块接合处或接近于板块接合处或者在板块内部,这些地带陆壳的减薄,在沉积物荷重下,能发生大规模的沉降。

地槽发生的各种可能地带已有全面的叙述和分类。许靖华已令人信服地以简单的、灵活的记述性命名,使“我们成见中的地槽图式和模式得已继续存在”,因而他仅分出三种地槽类型。太平洋型地槽发生于敛合接合带(Converging junctures),大西洋型形成于板块内部大陆边缘地带以及地中海型是基于非洲和欧洲板块侧向位移之间地中海发展演化的

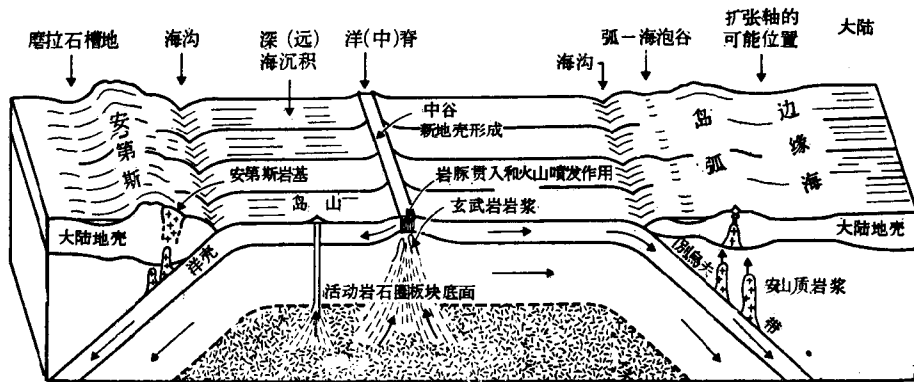


图 1 板块运动和洋壳组成的基本单元块状示意图

左侧是安第斯类型地槽位置，在大陆一侧具有磨拉石堆积槽地，其沉积超覆于前寒武纪地壳之上，以及在大洋一侧具有弧—海沟谷和海沟；右侧是岛弧类型地槽及其海沟，在弧—海沟谷中的沉积槽地，火山弧和碎屑沉积的楔形后弧 (back-arc wedges) 未表示；边缘海代表日本海类型地槽的位置，可能有或不具有扩张轴

结果。在承认许氏坚持简明分类的重要的同时，我们可以顺便指出，他太不认真对待太平洋类型地槽的弗朗西斯科和安第斯亚类可能的生命力了。在关于建立适合于缝合板块接合带内出现的不同地段的不同类或亚类的文献中具有相当一致性的事实证实没有更多、更详细的分类能超过许靖华所提出的分类的价值。缝合接合处主要的三个场所，Mitchell 和 Reading 及 Walton 进行了探讨，示如图 1。

图 1 左侧是位于大陆边缘的安第斯类型地槽，海洋板块俯冲于其下，同时海沟沿接合带形成于俯冲下降板块的一侧。图 1 右侧是较复杂地带，那里距大陆壳一定距离处的海洋出现了毕乌夫带 (Benioff Zone)，俯冲板块向地幔俯冲之后立即出现了海沟。在 75—275 公里宽海谷之后，出现了火山岛弧山系 (volcanic island chain)。碎屑沉积作用发生于海沟和弧海沟谷 (arc-trench gap) 中，同时可能出现上升的沉积外弧 (sedimentary outer arc)。这种海沟—弧系列即是 Mitchell 和 Reading 所称的岛弧型地槽。在岛弧的后面地带 (后弧区 back-arc area) 进一步发生沉积作用和岩浆活动，而碎屑楔形堆积可以从弧区内缘发展到海区—日本海类型地槽。当大西洋类型地槽是由于板块反向运动所引起，导致最后形变发生在缝合接合带，这一地区我们可参照 Walton 的命名为地中海类型地槽。在地中海地区中生代和第三纪地质历史发展并非如此简单，当大陆之间发生碰撞时需给予其它名称叫喜马拉雅类型。因而许靖华提出的地中海类型一名在某种意义上，仅指有关板块相对运动是大规模的侧向运动。正如许靖华所指出的，对后一类型的认识解决了阿尔卑斯地质中的一些问题，诸如：特定的构造格局，构造混杂岩的附带发育，阿尔卑斯复理石海沟的长期性以及缓和的阿尔卑斯岩浆活动。如果假定板块俯冲在阿尔卑斯造山运动中无显著作用，则以上的地质特征都可以得到解释。阿尔卑斯成矿作用的某些方面也与该区相对缺乏俯冲作用有着联系。这里须提及具有厚沉积的另一地区，是在大陆壳破裂早期扩散 (divergent) 接合地带本身成为巨厚沉积的场所。东非地堑和红海就是该类型的现在代表地区。本文将采用“红海类型地槽”一名。上述各类地槽的主要岩石类型见于表 I。在下文结合上述各类地槽的矿床将进一步讨论这些岩石类型①。

① 红海地槽详细讨论，见本卷 4 章，Degens 及 Ross——编者。

表 1 不同类型地槽中一般所见的沉积岩和火成岩 (据 Mitchell 和 Reading 1969 及 Walton 1970, 有所修改)

地槽类型	浅水碎屑沉积	碳酸盐沉积	拉斑玄武岩, 深海沉积及蛇绿岩	构造混杂岩	壮年期浊流岩	钙-碱火山岩及侵入岩	钙-碱浊流岩	磨拉石建造	基 底 性 质
安第斯山系海沟	早有	早有	丰富(1)	早有丰富	早有到普遍(2)	普遍 ³ (2)	早有到普遍(2)	丰富(3)	大陆海洋
岛弧火山弧海沟		局部丰富	早有(1)丰富(1)	丰富		丰富(2)	丰富(2)普遍(2)		海洋海洋
日本海	丰富(3)	局部丰富	如基底是海洋则出现		丰富(2)	凝灰岩(2)	早有到普遍(2)		海洋或大陆
地中海 1		丰富(1)	普遍	早有	丰富(2)	早有	早有	丰富(3)	大陆 + 某些海洋
大西洋 2 冒地槽 优地槽	丰富(1)	丰富(2)	普遍(1)		丰富(2) 偶见拉斑玄武岩于底部				大陆海洋
红 海	平地基阶段 普遍(1)并有蒸发岩		丰富(2) 富炭和金属泥						海洋(初始大陆)*

注: 限于篇幅, 表中省去弧-海沟断谷的冒地槽型序列, 可参阅 Dickinson (1971)。

1 形成于侧向活动板块接合处。

2 如遇受大陆碰撞成为喜马拉雅型地槽。

3 沉积的正常序列。

* 此处可能有误? 可否为“大陆(初始海洋)”? ——译者。

传统地槽概念中的成矿作用

与优地槽演化有关的岩浆活动作用的不同阶段的假说，自然涉及伴随矿床生因的不同阶段的概念，而这是自四十年代和五十年代以来仍然强调的大部分金属矿床生因基于岩浆—热液的理论。岩浆活动及其有关矿化作用的各种推论图示 Ramovic (1963) 曾作了评

表 II 理想地槽的演化及其伴随的岩浆作用，沉积作用和矿床生因阶段

构造阶段	岩浆活动及其伴生的矿化作用	沉积作用中的有关矿化作用
1. 初始火山阶段 广阔的海隆起地带产生火山作用和火山岛弧	具有硫化物杏仁体和浸染体的早期基性熔岩（所罗门群岛），特别是具砷化物的 Au-Ag（斐济）	某些前寒武纪 Mn-Fe 矿床可能属此
2. 优地槽发展阶段 地槽底部缓慢下曲带来巨厚的沉积和火山沉积序列 由于火山作用和沉积作用火山岛的扩大 第一褶皱幕	(a) 蛇绿岩套 (i) 细碧岩—角闪岩、伴生有层状黄铁矿型铜、锌、铝和重晶石矿层（塞浦路斯、黑矿矿床），兰—迪尔 Mn-Fe 矿（中欧） (ii) 阿尔卑斯超铁镁质岩，伴生有铬（土耳其），Pt 金属（塔斯马尼亚），Ni（Thompson 带曼尼托巴） (iii) 辉长岩—辉石岩—纯橄岩岩伴有 Fe-Tc, Cu-Ni, Pt-Pd（乌拉尔） (b) 中性到酸性趋势的火山作用，进一步产生黄铁矿硫化矿（魁北克，昆士兰，新不伦瑞克） (c) 少量长英质深成侵入体伴有矽卡岩矿（Fe, Cu(Co)）（天山）	前寒武纪阿哥玛类型条带铁矿建造（安大略，西澳大利亚） 碎屑磁铁矿—赤铁矿—磷灰石沉积矿床（基鲁纳，马姆欠里耶特）
3. 优地槽进一步发展和冒地槽阶段 中脊的上升及其后继向外生长。主褶皱幕，岩基的贯入作用 火山和大陆碎屑的混成	(a) 长英质火山作用伴有火山喷气硫化矿 (b) 钙—碱深成岩（辉长岩到花岗岩闪长岩）矽卡岩钨矿和热液 Au, Cu, Mo, Pb, Zn。网脉状铜钼矿（斑岩铜矿等） (c) 正常花岗岩到白岗岩、伟晶岩和云英岩和脉状 Sn, W, Ta, Li, Be, Mo, Bi, As	铁和锰碳酸盐矿 米奈特—克林顿铁矿、前寒武纪苏必利尔条带铁矿建造（Mesabi, Gogebic 山系），早期的灰岩铅—锌矿
4. 后造山，早大陆阶段 靠近大陆火山岛与大陆一并焊接，转换为年轻地台，伴随断裂 陆上火山作用的块断运动	(a) 少量辉长岩到花岗岩的侵入，伴有脉状 Pb, Zn, As 矽卡岩 Pb-Zn, W, Mo 矿 (b) 安山质—英安质火山作用，脉状 Pb, Au-Ag, Mo, U (c) 远成热液未定岩浆种类的 Pb, Zn, Hg 矿 (d) 可能属于这一阶段的斜长岩，伴有 Fe-Ti（魁北克）（Stanton）或属于第 3 阶段（Magakyan），基性岩盆伴生 Cr-Ni-Pt 和 Cu-Ni-Pt（布什维尔、肖德贝里、诺里尔斯克）	红层铜矿 U-V 科罗拉多高原型 Pb-Zn 密西西比谷型
5. 大陆棚和地盾阶段	(a) 河漫玄武岩伴生自然 Cu（基韦诺半岛） (b) 金伯利岩—碳酸盐岩组合、金刚石、Nb、稀土金属、Th-U	非火山型锰矿（尼科波尔，恰图拉），古 Au-U 砾岩层（盲河，威特沃特斯兰）

（根据 Ramović, 1968, Stanton 1972, Smirnov 和 Kazanski 1973, 以及其他的讨论）

述, 从其中选出了以下若干有关的短评。1933年, Lindgren 已经论述了美洲西部岩浆中心及其伴生矿物分带在时间上的迁移。一年以后, S. Smirnov 和 Grigor'yev 从对苏联不同地区的研究分别得出相似结论。从那时起, 苏联地质学家的概念, 在这一领域中占主导地位。对这个矿床成因图式, 苏联的 Fersman, Bilibin, Magakyan 和 Smirnov 等极为重视。在德国 Schneiderhöhn 的矿床成因模式建立在 Stille 的概念影响下, 并为其他德国和奥地利的地质学家所发展。最近可称为继经典传统后的出版物是 Stanton (1972) 和 Smirnov 及 Kazanski (1973) 的两本著作。表 II 中试图将上述各地质学家建立起来的不同矿床模式的主要特征进行艰苦的总结工作。存在困难之一是: 某些图式中未能考虑矿床类型随时间的变化以及这些方案基于早寒武纪到现在成矿关系的重要观念, 而其他方案全部或很大部分是根据显生代的资料。所幸板块构造概念是如此年青, 免于上述存在的特殊困难, 但应用这一全球构造的新理论解释自前寒武纪取得的“形变和变质”资料, 现在引起了复杂的争论。

成矿作用和板块构造

引言

依据板块构造学说, 考虑地槽的概念, 可将地槽堆积物的六种主要类型叙述归入表 I。概括一下出现于各种不同地槽类型的矿化作用, 首先讨论的是裂谷形成和新地壳生成之处。因为在这些地点形成的许多物质, 可以由各种不同的机制如初始板块运动, 板块逆向运动, 大陆碰撞等, 传送到不同类型地槽区中。

红海类型地槽

红海类型地槽之前, 发生过大陆(或海洋)地段伴有断裂的区域性上升或隆起并伴有裂谷作用, 导致地堑的产生(图 3A 和 B、C 阶段)。地堑本身可以成为大量沉积作用和火山作用的场所(莱茵地堑, 东非大断裂谷)。这种大型地壳断裂带, 部分可进一步扩展, 出现大陆(或古洋)壳的完全分离, 并导致在这些断裂带内新洋壳的形成和产生初始海洋(embryonic ocean), 如红海。考虑红海四周存在与之直接相联系的类似的地堑和地壳的上隆性质, 似乎可以合理的推想, 红海已经历了大陆地堑阶段(Tromp, 1950, Dietz 和 Holden, 1970)。

在地堑内堆积物质的性质将随纬度和火山作用的程度或火山作用的缺失而变化。在东非裂谷区, 沿断层崖(escarpment)具有砾岩扇的红层型沉积普遍发育。滩(或干盐湖, playa)湖产出蒸发岩并出现少见的碱类沉积(Natron 湖, Magadi 湖及其周围地区)。这些现象都伴随着岩浆的碳酸盐活动, 并产生碳酸盐岩及其有关的矿化作用。Petraschek (1972) 认为非洲地堑和莱茵地堑的碳酸盐岩是由于这类型的深切断裂形成的。

基伍(Kivu)湖湖水富含锌, 并沉淀了闪锌矿(Degens 等, 1972), 在埃及 Um Gheig 中新世中期, 距红海 7 公里处出现层状铅锌矿床, 其生成确认仅限于红海海湾内(Anwar 等, 1972)。在距红海约 100 公里的阿法尔(Afar)裂谷北部, Bonatti 等(1972)曾报道一个整合的铁—锰—钽矿床。它们出现于靠近一层礁灰岩的底部, 其下是由玄武岩碎屑组成的

底砾岩，再下为海相玄武岩层。在红海西北段的任何一侧，晚第三纪出现了铅—锌—铜—重晶石矿床（见 Dadet 等，1970）。所有这些成矿过程的全部和一部都归因于下面将讨论的红海热卤水和含金属泥（metalliferous mud）。

大陆漂移的开始和进一步扩展，深部地壳的潜流和张性断裂同时促使大陆壳沿断裂谷变薄（Dickinson, 1971）。在上述过程的某一阶段，朝着海洋方面的裂口，将开始出现海洋条件。从莱茵地堑的观察，沿大西洋海岸的中生代沉积以及红海的中新世沉积均说明巨厚的蒸发岩序列可能形成于上述大陆漂移的阶段。包括石盐和石膏的蒸发岩与泥灰岩、粘土互层，继之为上新世和更新世的砂质和碳酸沉积。环红海的蒸发岩有巨大的厚度（Said, 1969）。红海由玄武岩铺地，从岩石学上说，它似乎是介于断裂谷和海洋间的中性岩层（Chase, 1969）。从磁异常，地震测量（seismicity），海深测量（bathymetry）均指出红海底中心出现了一条最新的洋壳。地震速度指出在其边缘仍存在陆壳（Girdler, 1969）。在碎屑岩和化学沉积区域之外出现了远海沉积（Emeny 等，1969），在具有厌氧微生物条件的地方是富含炭质的粘土如在大西洋中一样（Hollister 等，1972）。在富含有机物的上涌泉水带有磷酸盐物质流入浅海环境的地区，特别是流入有碳酸盐沉积的地区也可以发育磷块岩矿床。沿大西洋和太平洋海岸的许多陆棚区有许多现在正在形成的磷块岩矿床。离开西南非海岸的地方，在富含炭质泥中的磷酸盐层富集有铀，而与其伴生的泥中含有镍和锌（Baturin 1971 和 Baturin 等，1971）。上述产生情况与北美和瑞典的化石含铀页岩可以密切对照。现在在海洋中经钻探已发现的富炭质泥普遍产出的地方表明，这是一个可能形成油页岩和石油、天然气的环境。这类沉积可能是莱茵地堑和苏伊士海湾石油和天然气的来源岩石。

现在我们讨论一下新洋壳的发展和矿化作用的关系。红海的中央带是一个与新洋壳发展有联系的高热流地带，它的构造可以认为与主要大洋的洋中脊的构造相似。地壳扩张地带成矿作用的证据是应予考虑的，但是应该记住在绪言中提到的观点，即上述构造的发展最终将归并为产生一系列不同的地槽类型，简化如表 I。但是必先扼要地总结一下这些扩张地带所发生的主要运动及其新洋壳形成的现代假说。人们认为随着岩石圈的分离移动，物质自软流层上移到断裂带之下（图 2）。这种上升的橄榄岩类物质发生局部熔融并形成玄武岩岩浆，这类岩浆产物包括海底喷发玄武岩，最后形成巨厚的枕状熔岩及火山碎屑沉积（图 2 洋底第 2 层）。该类岩浆的另一部分灌入于受继续扩张作用产生的纵向断裂内，形成了由粗玄武岩岩脉群组成的席状杂岩。这类岩浆既侵入于第 2 层底部也侵入于第 3 层上部。第 3 层由层状辉长岩杂岩体组成，这是玄武岩浆的第三类主要产物，其上为席状杂岩岩脉。第三层的下界即是莫霍（“Moho”），

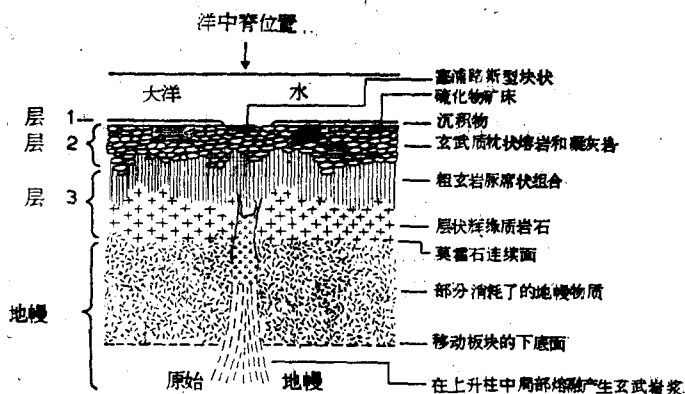


图 2 沿扩张轴洋壳发展示意图

地壳分层及示出塞浦路斯型块状硫化矿床的可能位置
(据 Cann 1970 和 Sillitoe, 1972a)

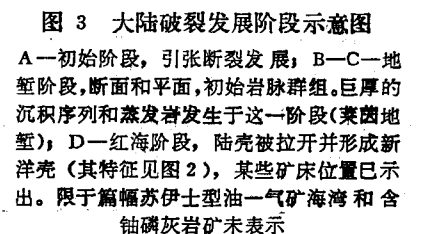
不连续面,而莫霍面之下即为地幔。紧接在不连续面之下的地幔物质可能包括部分已蛇纹石化并发生“底辟”(diapiric)作用的纯橄岩(Gass和Masson Smith, 1963),斜辉辉橄岩和二辉橄岩。这些可能是局部熔融作用已消耗尽的残留。玄武岩岩浆未能上升喷发而固结于这一深度者,可能转化为榴辉岩(eclogite)。当这些新的地壳物质自海洋中脊向外运移时,以深、远洋沉积物的形式出现的洋壳第1层增加了。正如Sillitoe(1972)所提示的那样有充分的证据说明许多黄铁矿硫化物矿床,也形成于初始洋壳发生过程之际。这一结论的强有力证据是这类矿床普遍产于第2层的顶部或其中。由于篇幅所限,这里不能列举大量证据来说明这类矿床形成于火山和海水的界面处或非常接近于界面处。正如Sillitoe已注意到,这类同生矿床的侵位是在第1层形成之前,而不可能形成在洋盆其它地段。如果洋壳块体卷入敛合接合带的地槽堆积中,那么类似图2的剖面就可能出现。这就是Sillitoe描述的在塞浦路斯、纽芬兰、土耳其以及其他地区的情况。因之,如果构造形变条件允许的话,这类成因的块状硫化物矿床和Steinmann三位一体(trinity)的组成要素之间的空间关系,在造山带将会显示出来。

在更详细讨论这些黄铁矿矿床成因之前,红海中央带富含金属泥和热卤水令人兴奋的发现,应该提出来供参考。这些发现引起人们极大的兴趣,同时也是研究、讨论的主题,其中有许多已在Degens和Ross(1969)的著作中报道了。——可参阅本卷第四章。在中央带的不同地段发现了许多深渊(deeps)。就现所知仅是在它们中的某些地段才形成热卤水及其伴生的富含金属的沉积物。Degens和他的同伴所研究的那些地段限于2000米等深线地段。按此规定Atlantis-II深渊长14公里,宽5公里和深达2170米。在其基底,层状的杂色沉积物盖于玄武岩之上,其厚度常超过20米乃至100米。活塞取芯结果揭示了一个层状的包括有水锰矿、氧化铁、铁硫化物、铜和锌(Bischoff, 1969)等不同相的沉积层。虽然现在已被卤水层和正常的红海水掩盖,但是,显然其中存在挟带有沉积物的卤水溢流(Overflow of brine),因在这些深渊以外地段有薄层重矿物沉积(Ross等, 1969)。在Atlantis-II深渊内部的沉积物中,在某些薄层内,锌的富集高达20%。但铜和锌在此沉积的上部10米内的总含量分别达1.3%和3.4%,铁平均达29%,还有银、金、铅、钴、镍、镉、砷、锡、锑、铟、汞等痕迹。主要金属含量的经济价值很高,为发现它们工业利用的可能性的研究,正在进行中。

这些沉积物及其上掩盖的热卤水的温度可达60℃(Ross, 1972),并含高达30%的氯化钠,它们被认为是起源于深源岩浆溶液的上升或者是海水反复循环中自侧旁蒸发岩中滤出的盐,以及通过玄武岩热流中滤出的金属。如果第二种生因机制是唯一的或是主要的,那么由于这种生因生成的富含金属的泥,只有在蒸发岩足够接近以提供其所需的盐的情况下才得以形成(图3, B阶段)。情况既然如此,可以在现代海洋中按已知蒸发岩分布的面积勾绘出上述矿床很可能存在或不可能存在的地段。Blissenbach和Fellerer(1973)曾对北大西洋的这种特点作过初步研究。Bonatti等(1972)认为在阿法尔断裂谷沉积中缺失硫化物相,是由于热液外流到一个开放的循环地带,而不是保存在一个有利于硫化物沉淀、具有厌氧微生物条件的闭合盆地中。他们也注意到沿东太平洋隆起地段和印度洋脊铁—锰—铜矿的发现,并支持海水反复循环成因说。另一方面,Correcci和Longinelli(1972)坚决认为加里福尼亚以远的海底中的重晶石的氧同位素比值,表明它们是火山生因。Boström等(1973)指出远海沉积中的钡,富集于活动洋脊系(active ridge system)或

再回到海洋中脊块状硫化物矿床的生因问题上来，人们已提出该类矿床形成的过程类似现在红海富含金属泥的产出，但是它们在成分上、结构和构造上均不一样，它们经不起仔细对比，而 Sillitoe 认为这类矿床是由于第 3 层辉长岩杂岩最后固结阶段析出的热液而形成的看法似乎更有可能。Sillitoe 提出关于海洋中脊硫化物矿化作用的有力证据，是自印度洋 Karlsberg 洋中脊捞取出的样品 (Dmitriev 等, 1971)。被捞上来的经过热液蚀变的玄武岩和粗玄岩碎块，含有细硫化物—石英脉，其中含铜 5%，锌 400ppm 和银、汞的痕迹。也从海底取到有含锡石、黄铁矿、黄铜矿和磷灰石的蛇纹石化橄榄岩。在这一点上，值得回顾的是，某些前寒武纪层状黄铁矿床含有一定经济价值的锡矿，如加拿大不列颠哥伦比亚省 Sullivan 矿床。Dmitriev 等 (1971) 报道从另一海洋火山作用地区—亚速尔群岛—捞取到有含碳酸盐脉、具交代作用的斜辉辉橄岩和二辉橄岩的碎块，其中铅、锌、铜、银和汞的含量有所增多，有时还含铬、钒、钴、镍、锡和铍。分离出来的重矿物有磷灰石、重晶石、萤石、符山石、电气石和黄玉，这说明矿化作用发生于超过海水反复循环生因所能希望的较高温中。

随着大陆的进一步漂移，红海发展成为一个壮年的海洋，而其海洋底的块状硫化物矿床正从洋中脊不断运移。这个洋中脊与怎么样也不能被视为地槽的广阔深海平原相毗邻。发生在这些地区并导致某些元素集中的作用最终形成矿床，这是不容忽视的，不管其大小如



A—初始阶段,引张断裂发展;B—C—地堑阶段,断面和平面,初始岩脉群组。巨厚的沉积序列和蒸发岩发生于这一阶段(莱茵地堑);D—红海阶段,陆壳被拉开并形成新洋壳(其特征见图2),某些矿床位置已示出。限于篇幅苏伊士型油气—气矿海湾和含钼磷灰岩矿未表示

何,它最后均可被带到敛合接合带下降到别鸟夫带内,并由于岩浆作用^①的反复循环,成为混杂岩,或者是冲于地槽的其它序列中。这些元素在其它一些岩石内的存在,除非它们不是由构造作用导入,可以作为这些岩石形成的环境和性质的一个有力的线索。这类沉积中重要的是铁—锰结核,通常被简单地叫做锰结核(见第三卷四章 Scott)。

现在更多经济上的兴趣集中在这些结核上,由于这些结核中含有铜、镍和钴,并且已计算出的仅在太平洋洋底结核的总重即达 10^{11} 吨。它们并非均匀的遍布于大洋中而是集中在较深海盆和距洋脊一定距离的深海平原中。它们所含镍、钴和铜,也显示了区域性的变化(Tooms等,1971)。由于还有含金属的泥,这意味着在洋底某些部位,较其他地区获得经济价值的结核,有更大的潜在能(Blissenbach和Fellerer,1973)。洋底温度看来似乎是控制它们形成的一个因素。在大部分结核富集地段温度是 $0^{\circ}-4^{\circ}\text{C}$,而超过 10°C 时似乎妨碍其形成。这可能就是在红海明显缺乏这些结核的原因。

许多结核如果到达敛合接合带,则很有可能被带入别鸟夫带或混合成混杂岩,在该处普遍受剪切和受变质作用,以致不太可能认出其真像。然而,自法国的Montagne Noire和德国的Rheinisches Schiefergebirge的泥盆纪深海灰岩(Turker,1973),西西里和阿尔卑斯的侏罗系(Tenkyns,1967; Germann,1971),帝汶岛的白垩系(Andley Charles,1972)以及其它少部分地区对它们均有报道。

岛弧类型地槽

这类在地槽出现的矿床,根据其是否形成于弧—海沟以外或被板块运动搬移到弧—海沟,而称为异源矿床^②(Allogenic deposits);或是否发生于这类地槽杂岩之内,而称为同源矿床^③(Authgenic deposits)。作如上划分是适宜的。异源矿床先予考虑如下。

异源矿床 已经提及,红海型地槽和洋盆演化中形成的各种岩石和矿床,在不同的一系列环境和方式下,运移到达大洋海沟俯冲带的顶部(图4)。在洋壳板块下降中有多少物质被剥离残留下来?不同作者议论纷纭。Gilluly(1971)对沉积物堆积在上覆板块(Overriding plates)前缘的概念,提出了疑问。同时Gilluly, Reed和Cady(1970)认为北美板块上覆于整个太平洋洋壳层序之上^④。Wright和McCurry(1972)也赞同洋壳的整体俯冲,并指出这可以促使大量可供利用的金属的再循环。正如Wright和McCurry清楚地指出过,从岩浆生因和矿化作用观点,这问题有重要的含意,但限于篇幅这里不予讨论。但应指出,看来以这种方式堆积的混杂岩(许靖华,1971),在地质剖面中决非少见,同时上述锰结核的发现,是有碍于所有洋壳物质在破碎(destructive)板块边缘全部俯冲的假设。截止目前尚无确切证据说明,起源于洋中脊的块状硫化物矿床已被混合成混杂岩(Island Mountain矿床可能是一例外—见下)或自洋壳剥离、冲断。但是众所周知,如此多的洋壳物质乃至地幔物质以蛇绿岩套形式出现于各大陆上不同时期的地槽堆积,显然这些洋壳的主要剥离体常未遭受俯冲的命运。Mitchell和Bell(1973)对岛弧演化和有关矿床的全面审查,将这些大洋中脊硫化物称为“塞浦路斯型块状硫化物”。他们提出中

① 原文为“magmic”可能为“magmatic”之误——译者。

② 这里须予弄清,此二名词在应用上有些不同于沉积岩石学家的定义,移置或外来的(allochthonous)和原地的(Autochthonous)分别代表异源的和同源的——编者。

③ 此处似应理解为太平洋整个洋壳层序全部俯冲,未残留堆积——译者。