

经济地质

76 卷 第四 期

美国

ECONOMIC GEOLOGY

and

the Bulletin of the Society of Economic Geologists

1981

六月——七月

地 质 出 版 社

美国《经济地质》

中译本、半季一期

1981年6月—7月

76卷 第4期

统一书号: 15038·新895 定价: 1.00元 开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 10³/₄ 字数: 356,000

编辑者: 美国《经济地质》中译本编辑部
出版者: 地质出版社
(北京西四)

印刷者: 地质出版社印刷厂
(北京海淀区学院路29号)

发行者: 新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

目 录

加利福尼亚州成矿区的岩性-构造格局	J. P. Albers (1)
萨德伯里微文象岩的侵入史和构造史: 古地磁证据	W. A. Morris (21)
新喀里多尼亚南部豆荚状铬铁矿的构造分类D. Cassard, M. Rabinovitch, A. Nicolas, J. Moutte, M. Leblanc和 A. Prinzhofer (34)	
酸度—盐度图——对云英岩和斑岩矿床的应用	D. M. Burt (58)
网脉状钼矿床的成因和分类	G. Westra 和 S. B. Keith (67)
花岗岩辉钼矿体系	F. E. Mutschler, E. G. Wright, S. Ludington, 和 J. T. Abbott (90)
西南极洲Argentine群岛的钼铜铁矿化的产状	D. D. Hawkes 和 M. J. Littlefair (109)
印度东部沿Singhbhum剪裂带的矿石成因及其与火山作用、构造作用、花岗岩活动和交代作用的 关系	A. K. Banerji (115)
密西西比河谷型矿化的脉石矿物 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值及成因 K. M. Kessen, M. S. Woodruff和N. K. Grant (121)	
科学通讯	
密苏里州南部隐伏寒武纪岩石中可能发现矿产的有利地带 R. L. Erickson, E. L. Mosier, S. K. Odland 和 M. S. Erickson (128)	
蒙大拿州Belt超群中层控鲕状含铜、银矿床	I. M. Lange和D. E. Eby (138)
美国的黄金资源剖析	S. M. Cargill (141)
前寒武纪的煤或碳沥青: 高级变质片岩和片麻岩中石墨的来源 J. J. Mancuso和R. E. Seavoy (147)	
参考文献目录	(150)
第五期目录 (预告)	(封三)

加利福尼亚州成矿区的岩性-构造格局

J. P. Albers

摘 要

加利福尼亚的岩性-构造格局主要是在中生代期间形成的。当时,洋壳和岛-弧壳的各种地带都向较古老的陆壳增生,导致了大陆的向西生长。在中生代期间还发生了花岗岩岩石的巨大岩基物质切过了所有这些地壳类型的侵位。这些事件以及后来的第三纪和第四纪火山活动造成的不连续的构造地层带,以具有特定的金属矿床类型为特征,或者在有些地带,实际上不存在矿床。

铅-银-锌交代型矿床在加利福尼亚州东部的古生代硫酸盐岩带中是常见的,在冒地槽和克拉通地带的其它地方则零星产出,而在洋壳和岛-弧地带则没有。大多数的接触交代钨矿床,包括全部较大的矿床,产在Sierra Nevada岩基的冒地槽岩石的顶垂体中,但是重要的Atocha矿床却产在侵入大洋地带的花岗岩质岩石中。钼的分布与钨的分布一致。加利福尼亚的全部大型接触交代铁矿床都产在克拉通和冒地槽带内,但这种类型的稀少的小型矿床也产在Sierra Nevada北部和Klamath山东部的岛-弧带。

脉金矿床,尽管广泛散布,但表现出与受到花岗岩质深成岩体侵入的大洋和岛-弧地带有明显的密切关系。全部的主要矿床,包括如Bodie那样的晚第三纪富矿脉矿床都产在这些地带中。看来,岩浆作用是导致金的活化和转移的原因。但是金属可能来自蚀地槽岩石,主要是镁铁质火山岩。

大多数汞矿床产在海岸山脉,在那里,它们通常产于蛇纹岩蚀变产物的硅-碳酸盐岩中。矿床看来与海岸山脉逆断层有着空间上的联系,而汞可能来自下伏弗兰西斯科组合的沉积岩。

后生矿化作用在中生代的不同时期内发生,在中新世和上新世再次出现。成矿作用时间和各种矿床类型的分布表明,围绕Sierra Nevada岩基不存在后生矿床的广阔范围的分带。

同生矿床主要以块状硫化物、伴有燧石的锰矿和铬铁矿为代表。除个别例外,块状硫化物矿床都局限于岛-弧地带,而且几乎所有这类矿床都在硅质火山岩中。它们被解释为与围岩是同生的,尽管在初始沉积以后可能发生过一些金属的重新分布。矿床产于至少五个不同时代的火山序列中(从早泥盆世到晚侏罗世或早白垩世)与它们的围岩一道,可能形成在距离现在位置有某些距离的地方。

伴有燧石的锰矿床,主要产在混杂岩内洋壳的外来岩块中,可能是在相当深的海洋环境中形成的。铬铁矿局限于超镁铁质岩石中,这种岩石的大部分占据了分割各种增生地区的缝合带。

前 言

通过增进我们对矿床成因和分布的认识,才能使加利福尼亚和别的地方的新矿产的发现有所增多。因此,这个报告试图表明加利福尼亚各类矿床分布模式与一定的构造地层地区的相关程度。相关性将为圈定有利于勘查特殊矿产或矿产组合区,以及计算不连续地区的矿产潜力提供进一步。

Guild(1971, 1972)强调矿床成因学的价值,(在矿床所处的全部地质背景中研究矿床的成因)如同探索和解译矿石类型与地球板块构造单元之间的广泛联系

的一把钥匙。他还观察到,越来越多的资料正迅速地汇合到统一的板块构造学说之中,以及如果这个学说是正确的,则矿床的形成和聚集也必然与其相适应。此外, Guild还讨论了(1972)始新世以后的成矿区与空间关系,并认为,实际上有充分证据密切关系是存在的。一个有关的问题上的地质记录竟完备得足以进一步追与地质时代中的相似关系。加利福尼亚是一个有复杂的地质但又具区域规模(与大陆不同)的区域,是一个可设法回答上述问题的适当的野外实验室。

正如Campbell(1966, P. 12)所指出的,虽然早期

的记录不完整,但远在1949年以前在加利福尼亚的金属、非金属和燃料的产量无疑是低的。然而,在1948年,黄金的意外发现成为扭转加州矿业地位的最重要事件,并且很容易使黄金在金属矿产的产值方面达到首位。1948年以后,除黄金外,几乎有十多种其它金属的矿石也有相当数量的产出。按元素的英文字母顺序排列,这些金属是:铬、铜、铁、铅、锰、汞、钼、银、钨和锌(表1)。在加利福尼亚州还有大约20种其它金属矿产,其中半数以上至少有过少量的生产。

在此次研究工作中使用的基础图件比例尺是1:1,000,000。表1中列举的11种金属的位置图是点在透明的基底图纸上,并直接覆盖在相同比例尺的地质图上进行对比。特殊矿产的矿床依据过去的产量划分为不同的大小等级,并按产出的矿产划分了矿床类型。这些数字来自加州矿业和地质局的报告以及美国地质调查所的战略矿物年报。文献中报导的、这里提到的11种矿产的全部原生矿床和矿点都在图上标出(砂矿床未标出)。金的脉状矿床按地区标出。图1是一个钨矿床分布位置图的实例。

表 1 加利福尼亚州11种选定的金属
的产量总和·1948—1978

金 属	产 量		单 位
	总计 ¹	1978(p) ²	
Ag	122,500,000	49,759	盎司(约31.1克)
Au	106,300,000	3,616	同上
Cr	552,000	0	公吨
Cu	591,700	NA	公吨
Fe	40,000,000 ³	NA	公吨
Hg	2,950,000	NA	铁制容器(76磅)
Mn	290,500	0	公吨
Mo	<2,700 ⁴	NA	公吨
Pb	257,500	NA	公吨
W	26,500 ⁵	NA	公吨
Zn	148,500	NA	公吨

1. 1848—1978
2. 初步数字, 1978年1—11月
3. 1948—1970, 矿石
4. 1894—1953
5. 1906—1957
NA 未利用的
资料来自美国矿山局矿物年报

1:250,000 的加州地质图(Jennings等, 1977)提供了本文所依据的大量地质资料。原始资料来源于更详细的(1:62,500或更大比例尺)和更近期的地

质图以及关键地区的报告,以及关于本区板块构造历史的大量近期的文章。虽然,加利福尼亚的地质资料在很多地区还很不足,但是一般的大地构造格局现已很好了解,可以用以考察标型矿床类型与这个格局的空间关系,以及在资料许可的范围内的时间关系。在本报告中此图件已由1:1,000,000加以缩小,并进一步概括。

加利福尼亚州的构造格局

为了解释包括加州在内的西部山系的部分演化,曾经提出过几种板块构造模式或局部模式(例如, Hamilton, 1969, 1978; Moores, 1970; Burchfiel 和 Davis, 1972; Speed, 1977)。尽管这些模式在有关事件如何和何时发生的很多重要方面有所不同,但其基本论点都一致,即大洋壳和岛弧壳的各种组合都向较老的硅铝大陆壳增生,结果造成大陆向西增长。许多增生作用发生在中生代,但是也有一些可能在古生代。此外,在晚前寒武纪,似乎发生了裂谷事件(Stewart, 1972),可能有一次是发生在晚古生代。Hamilton(1969)是在板块构造学说影响下综合出本州清晰构造图象的第一个作者。本文中的构造格局大致按照他的模式,并且根据其他作者的近期研究以及依据我本人的观察和分析而加以修正和加工。

由于构造演化的结果,现今的加利福尼亚被认为基本包括了6种下伏地壳物质的一般类型,其上覆岩石,主要占据了Great Valley和 Modoc 高原,以及无数更小的地区。这六个地区是:(1)前寒武纪和古生代克拉通和冒地槽区;(2)前寒武纪和古生代的碳酸盐区,这是(1)的一个分支;(3)岩基地区;(4)岛弧壳区;(5)洋壳和(6)大洋和(或)岛弧区,主要是混杂岩。这些地区表示在图2上。总的来看,上述地区的序列是从东向西排列的。也存在很多次一级地区,包括岛弧和洋壳区之间的重要间隔。此处使用的岩基地区一词仅限于大部 Sierra Nevada 和南部加利福尼亚岩基,尽管在本州其它地区,尤其是 Mojave 沙漠 Salinian 地块,以及 Klamath 山也有很多深成岩体(图2)。

克拉通和冒地槽区

加利福尼亚的东南部是硅铝质壳,主要包括前寒武纪和古生代的沉积岩,它们被可能被主要是中生代的花岗质深成岩体大量地侵入。在更远的东南部(图2),古生代的和有些薄的少量的上部前寒武纪岩石在古老的前寒武纪结晶岩的基底之上形成了薄层。Stewart(1972)和 Stewart 及 Poole(1975)将此区作为克拉

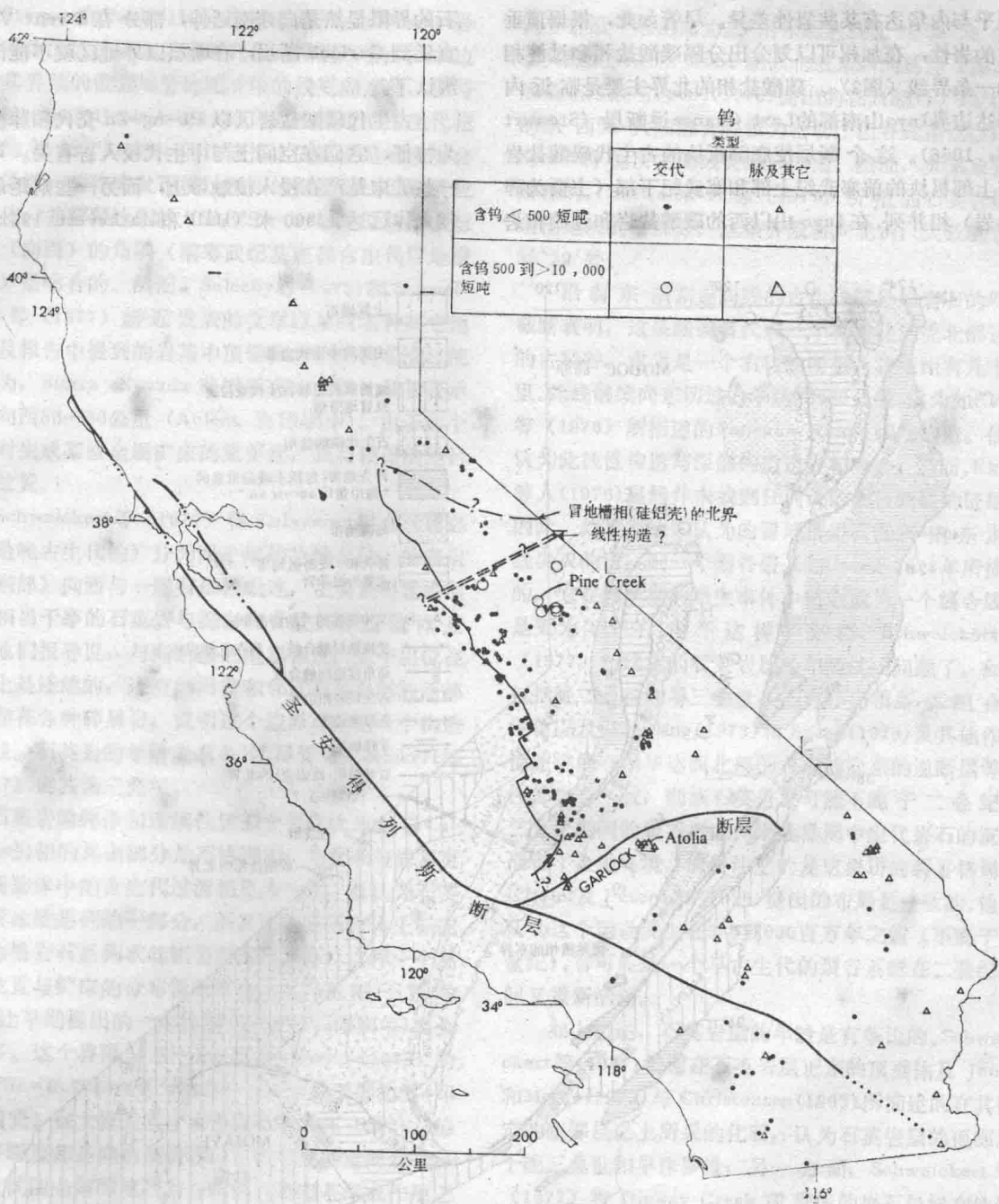


图 1 加利福尼亚州钨矿床的分布

通来描述。在克拉通以北和以西，这里上部的前寒武纪地层和古生代的地层明显变厚，属冒地槽区，是自北部加拿大延伸到北墨西哥的带的一部分。在克拉通以及克拉通和冒地槽岩石的边界带中，典型的矿床包括了本区最大的接触交代铁矿床(图 3)和分散的小型贱金属交代矿床(图 3 中未表示)。

内华达的古生代冒地槽地层 (Roberts 等, 1958)

被划分为碳酸盐相，其向西渐变为过渡相。碳酸盐相主要由厚层碳酸盐岩层组成，伴有很次要的石英岩和页岩，而过渡相则包括较多的石英岩和细粒碎屑岩，碳酸盐则少得多。

在加利福尼亚州可看出也有这种碳酸盐相，然而，加州的过渡相主要是以 Sierra Nevada 岩基中的变质顶垂体以及 Mcjave 沙漠中若干山的分散露头为代表，

似乎与内华达有某些岩性差异。尽管如此，根据顶垂体的岩性，在加州可以划分出分隔碳酸盐相和过渡相的一条界线（图2）。碳酸盐相的北界主要是临近内华达边界Inyo山南部的Last Chance逆断层（Stewart等，1966）。这个断层使底部板块的古生代碳酸盐岩与上部板块的前寒武纪上部和寒武纪下部（主要为碎屑岩）相并列。在Inyo山以西的碳酸盐岩和过渡相岩

石的界限显然是向东南延伸，部分在Owens Valley，直延到Garlock断层，在断层以外地区就不能清楚地辨认了。

古生代碳酸盐岩区以Pb-Ag-Zn交代和脉型矿床为特征，它们在空间上与中生代侵入岩有关。可是，一些矿床是产在侵入接触带上，而另一些则距最近的侵入体远达2,300米（Hall和Mackevett, 1962）。

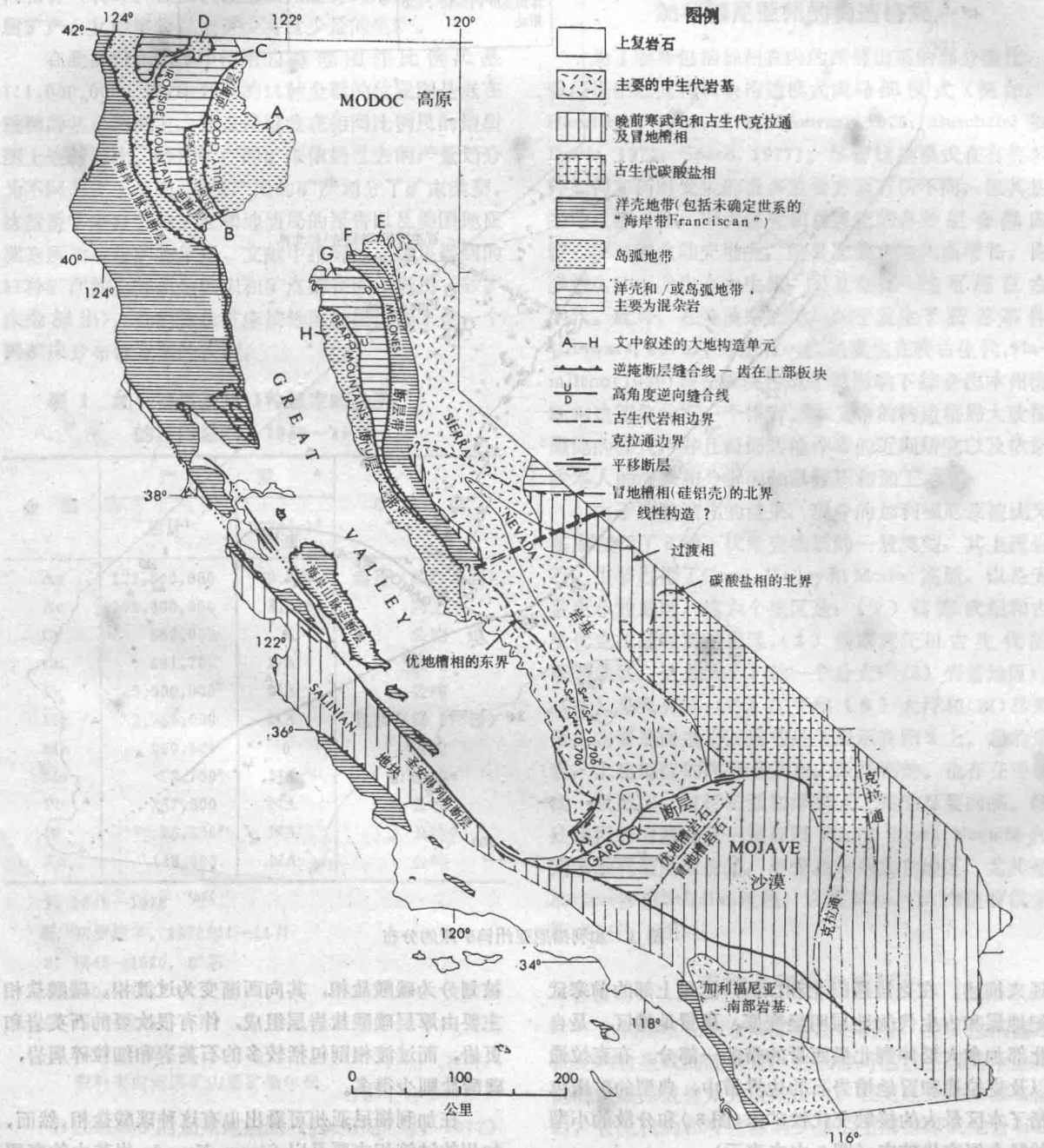


图 2 加利福尼亚州的构造简图

Stewart和Poole(1975)主要根据Sierra Nevada岩基顶垂体的岩性确定了同时代优地槽岩石的东部边界。其界线的位置尽管比图2中的线更向东些,但与根据Kistler和Peterman(1973, 1978)测定的中生代花岗岩的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值拟定的模式是完全吻合的。最近一些作者发现横过加州的初始铷比值有系统的变化,并解释他们的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.706$ 线基本上与向海(向西)的角隅(前寒武纪基底和古生代冒地槽岩石)是吻合的。然而, Saleeby等(1978)和Schweickert等(1977)新近发表的文章以及对各种其它地质图及报告中提到的岩基中顶垂体岩性的再检查,使我认为, Sierra Nevada 硅铝质壳的角隅比最初表示的更向西30—80公里(Ablers, 在印刷中)。由于这个边界对生成某些金属矿床的重要性,我将较详细地讨论其位置。

Schweickert等(1977)将Calaveras组合(想必主要是晚古生代的)分为四个厚的岩性单位。最高层(最东部)向西与一燧石层相毗连,主要是明显成层的、相当干净的石英岩与泥岩和少量灰岩透镜体互层。他们报导说,与向西部的地层相反,这个层位在地层上是连续的,还有,沿着和邻近石英岩层的西部边界存在各种碎屑岩,说明这个边界可能是一个构造分界线。石英岩的年龄尚有争论,尽管Schweickert等(1977)定其为三叠纪。

石英岩的纯净和连续性质似乎使我认为它与Calaveras岩相的其余部分是不协调的;它看来与岩基更东部顶垂体中的古生代过渡相更为一致。我认为石英岩是冒地槽系列的一部分,而其西部界限大体上标志着冒地槽岩石系列或硅铝壳的西部界限。这样一个界限的位置与矿床的分布情况符合,尤其是对于钨和金,它比早期提出的一个界限(Ablers, 在印刷中)要合适得多。这个界限与Kistler和Peterman(1978)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.706$ 也更为吻合。石英岩的西部边界(即硅铝质壳)被大概是五个水平断层所破坏(图2)。每一水平断层都是向右侧横移,它们可能的走向是东—北东。试图去解释这些右行断层(可能是深成作用之前或是与深成作用同期的)已超出本文的范围,但是它们似乎使岩基的宽度向西增大,并影响石英岩层和矿床的分布。

在邻近北纬 $38^{\circ}29'$ 和西经 $120^{\circ}27'$ 处(图2), Schweickert等(1977)确定石英岩层或者尖灭,或是向北过渡到显然更老的(志留纪)的Shoo Fly组。本文的解释是该岩层紧靠断层或裂谷而尖灭,但并未得到证实。由上述位置向东到内华达边界和边界以外,顶垂体中古生代冒地槽岩石总的走向为北—北西,

似乎是沿一条走向为东—南东的达到北纬 $38^{\circ}08'$ 的线而突然尖灭;在Mono湖以北成东西向延伸(图2)。这条东西线与Speed(1978)提出的在西经 $119^{\circ}40'$ 以东的东—西弧—大陆缝合线极为密切,但在此顶点以西, Speed将他所定的线突然转向南。然而,如果象我所解释的, Schweickert等(1977)所指的石英岩层是硅铝地块的一部分,这条界限将向北折,大致到北纬 $38^{\circ}29'$ 处。

沿着东—南东走向线的古生代冒地槽岩石的明显截断表明,这条线或者代表一个构成硅铝壳北部边界的古裂谷,或者是一个右行的断层,其断距有几十公里。此线继续向东切过内华达约260公里,成为如Ekren等(1976)所描述的Pancake Range线性构造。他们认为此线性构造与深部构造边界相吻合。然而, Ekren等人(1976)显然并未找到任何大的右行断层的证据。因此,如果象他们认为的冒地槽岩石沿东—南东走向线尖灭的话,则一个裂谷带(如Speed 1978年所描述的,它在较晚期的增生事件中使它成为一个缝合线)是更为合理的。由于这样的解释, Schweickert等(1977)所确定的石英岩层的年龄就成问题了。如果包括晚二叠世和早三叠世,还有洋壳和岛—弧组合的侵位以及Silberling(1973)和Speed(1978)及其他作者描述过的在内华达西北部的主要的向东的逆断层等事件都吻合一致,则该石英岩层可能不晚于二叠纪。二叠纪期间的裂谷形成作用为早期中生代岩石的沉积准备了盆地环境。值得注意的是这里讲的裂谷格局和Kistler及Peterman(1978)提出的布局是一致的。他们认为这个运动发生在350到600百万年之前(不晚于泥盆纪),有可能是一个早古生代的裂谷系统在二叠纪期间又重新活动。

如上所述,石英岩层的年龄是有争论的。Schweickert等(1977)根据在石英岩层正东的顶垂体及Jones和Mocre(1973)与Christensen(1963)所描述的在其假定的底部层之上所采的化石,认为石英岩层的顶部属于晚三叠世和早侏罗世;另一方面, Schweickert等(1977)将Dinkey Creek顶垂体的岩石包括在他们的石英岩层之内,而Kistler和Bateman(1966)主张(部分地根据构造背景)Dinkey Creek岩石属下古生代的。Turner和Ransome(1898)最早描述过这层石英岩,认为它是古生代的。它既非早期下古生代,也非晚三叠世—早侏罗世的年龄与石炭纪和二叠纪年龄是符合的,后者被认为是Schweickert等(1977)所确定的Calaveras组合的下部三层的年龄。因此,根据年龄和岩性,石英岩的西部边界相当于主要缝合线的位置似乎是合理的。Schweickert等人(1977)

填图中所填的不连续糜棱岩带也为这种观点提供了证据。如果石英岩的西部标志着硅铝壳的边隅,则石英岩层的年龄对正确理解 Sierra Nevada 区构造演化事件的时间是很关键的。

上面的讨论似乎已经超出了一篇关于矿床成因文章的范围,但是,它对于说明在 Sierra Nevada 岩基地区 W、Au、Fe 和 Mn 矿床的分布有着密切关系。加州

的大部分钨矿床,如这里所解释的几乎全部的重要钨矿(Atolia 例外)都产在硅铝壳的冒地槽岩石的顶垂体中。相反,主要的脉金矿床,包括全部重要矿床都产在下伏有洋壳或岛-弧岩石圈的区域,就象全部的沉积型铁和锰矿以及伴有缝石的锰矿床一样。脉型锰矿产在硅铝壳中。因此,一定的矿床类型的分布对认识地区类型(terrane types)(此处是硅铝壳和大洋

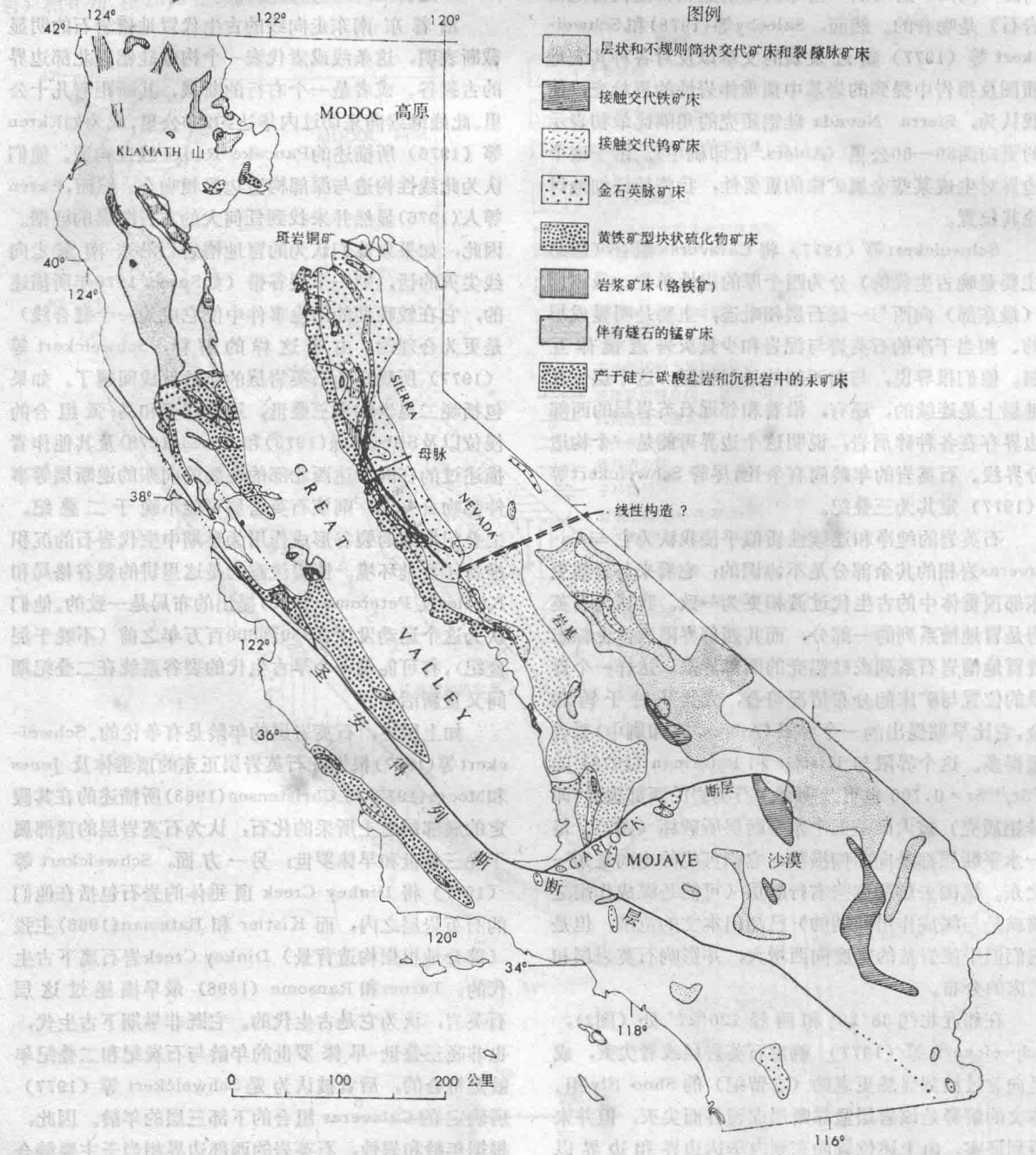


图 3 加利福尼亚州金属矿床分布简图

岩石圈)是另一个有用的标志。

岩基地带

Sierra Nevada 岩基

Sierra Nevada 岩基在其南部和东部侵入到上古生代冒地槽岩石中和中生代陆相火山岩中,而在其北部和西部增生有大洋和岛-弧地带(图2)。P. C. Bateman和美国地质调查所的同事们主要在北纬37°和38°间的填图表明,岩基是由很多彼此隔离的深成岩体组成,其中有很多呈带状,具有较镁铁质的边缘带和较硅铝质的内带。

除了在各深成岩体内部的成分变化外,这个岩基还表现出从西到东在成分上的总体变化。在西部主要是石英闪长岩,还有少量的闪长岩和辉长岩。岩基的中部主要是花岗闪长岩,而东部是花岗岩,它包括石英二长岩、花岗岩和白岗岩。尽管有变化和例外情况,这个系列总的来说是能成立的。

Bateman 和 Dodge(1970)发现,和岩石成分的变化相适应,在一个区域范围内,岩基中的 K_2O 向东增长而钙降低。Dodge 和 Bateman(1977)报导说,同样也是在一个区域的规模上, K_2O 的增长还伴随着痕量元素铀、钍、铷和铍的向东增长,以及上面提到的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值的增长。稀土(全部)也是向东增长的(F. W. Dodge, 口头交流, 1978)。因此, Sierra Nevada 岩基从西到东横穿其延伸方向,在岩性和化学成分上还是有规律的变化。

一个相应的问题是,为什么与岩基有关的矿床类型只与某些年龄的花岗岩类有关,而与其它岩石无关。根据对岩基岩石中放射性测量数据的分析,Evernden, 和 Kistler(1970)以及 Kistler 等(1971)认为岩基的侵位大约用了131百万年的时间,可能有五次较重要的侵入作用期。图4是根据 Evernden 和 Kistler(1970)以及 Lanphere 及其他人(1968)等的资料改编的,部分地总结了加利福尼亚的中生代侵入活动。最早的侵入岩群(195到210百万年)构成了岩基东部的较小地区。正西方并与最古老岩石相毗连的是最年轻岩石,构成一个沿着岩基的全长延伸的带,年龄由79到90百万年。此带以西是三个依次变老的带,其年龄分别为104~121, 132~148, 160~180百万年。最后这个带沿着西部边缘分布,虽然不很广泛,在最古老岩石的正东沿着岩基最东边却有一个与之相对应的年龄相似的岩石带(图4)。因此,除去年龄为160—180百万年的侧翼外,有一个明显的、横切岩体的、不对称的年龄变化,尽管最年轻的侵入体大体在中部形

成一个线形带。

岩基内部的矿床包括了W、Mo, 一些Fe、Au 和贱金属以及少量Sn。Dodge 和 Bateman(1977)最近论述了矿床与岩基的空间关系,以及岩基在成矿中的可能作用。他们认为,大多数金属的来源是邻近矿床的围岩,而不是来自岩基的末期溶液。

钨和钼与岩基有清楚的空间关系。接触交代钨矿床的分布似乎主要受碳酸盐顶垂体的位置和数量控制。产于Pine Creek区(图1)的最大的钨钼矿床,与更富K的花岗岩伴生,这种花岗岩是东部岩基的特征。钨矿床的产出与岩基中所有时代的花岗岩有关,还与不同年龄的碳酸岩主岩顶垂体有关。岩基年轻的中间部分相对地缺少矿床说明了在该部分顶垂体是稀少的。

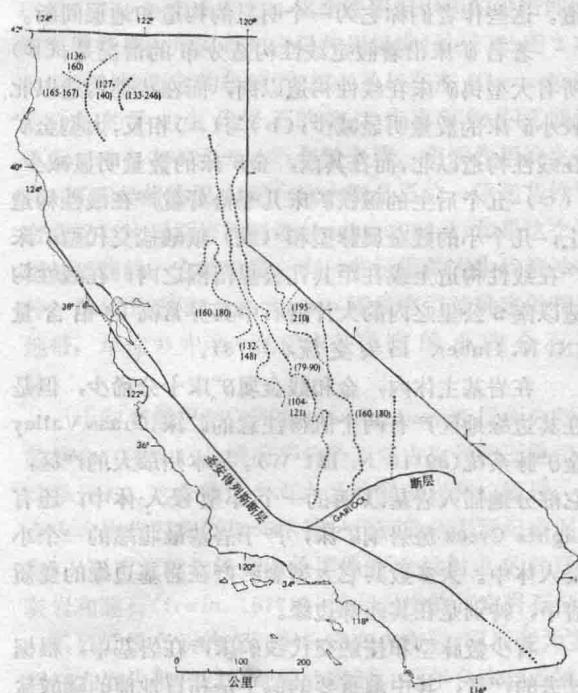


图4 加利福尼亚 Sierra Nevada 和 Klamath 山的侵入岩的年龄。括弧中的数字相当于 K-Ar 法的百万年。据 Evernden 和 Kistler (1970) 以及 Lanphere 等 (1968) 资料修改

在硅铝壳西边角偶的一个水平错断,(靠近37°30' N, 119°45' W 处),我把它看作是一个古老线性构造的形迹的一部分,该构造横穿岩基向 NE 65—70°延伸(图2和3)。线性构造的形成早于岩基的这一部分的花岗岩类。一系列地质特征及其对几种矿床类型分布的明显影响说明上述情况。地质特征包括:(a)变质岩露头分布的显著差异;在线性构造以北,Calaveras 组合及其它岩石单元,在图2上表现为洋壳组合,沿

着岩基的西侧组成一个宽而连续的露头带,而在线性构造以南,变质岩则作不连续的顶垂体产出(图2);

(b)上面讨论过的石英岩层(Schweickert等,1977)显然有水平错动,在邻近 $37^{\circ}30'N$, $119^{\circ}45'W$ 处向右方错动了至少12公里;(c)岩基的西部边缘在此线性构造的西端向西突出,在同一区中,一个强的重力高值凸线甚至更向西;(d)Fiske和Tobisch(1978)描述年龄为100百万年的Minarets破火山口就发生在线性构造上,说明这个构造曾经存在,并形成有破火山口位在其上的天然薄弱带;(e)Mono湖以南晚第三纪到第四纪的大火山田表明,下伏地壳中有薄弱带。尤其值得注意的是,线性构造正好从White山以北、横过内华达向东延续至少有250公里。该White山被Ekren等(1976)称为Warm Springs线性构造。这些作者们称它为一个明显的构造和地层间断。

著名矿床沿着假定线性构造分布的情况是:(a)所有大型钨矿床在线性构造以南,而在线性构造以北较小矿床的数量明显减少;(b)与(a)相反,大型金矿在线性构造以北,而在其南,金矿床的数量明显减少;

(c)五个后生的磁铁矿床几乎恰好就产在线性构造上;几个小的贱金属脉型和(或)碳酸盐交代型矿床产在线性构造上或在距其几公里范围之内;在线性构造以南2公里之内的大片岩石中具异常高的钼含量(N. K. Huber, 口头交流, 1978)。

在岩基主体内,金和贱金属矿床十分稀少,但是在其边缘地区产有两个值得注意的矿床:Grass Valley金矿脉系统($39^{\circ}15'N$, $121^{\circ}W$),是本州最大的产区,它部分地插入岩基以西的一个小型侵入体中;还有Lights Creek斑岩铜矿床,产于岩基最北端的一个小侵入体中。大多数其它大型金矿产在岩基边缘的变质岩中,特别是在其西部边缘。

有少数脉型和接触交代铁矿床产在岩基中,根据过去的产量,其中最重要的似乎是和冒地槽的碳酸盐相和硅铝壳过渡相之间的界线有关。Minarets矿床($37^{\circ}40'N$, $119^{\circ}09'W$)是例外,它产在变质火山岩顶垂体中,海拔为3000米,这是很难到达的,但是它含有约250万吨矿石(Trask和Simons, 1948)。还有,在内华达州向北不远,大型的铁矿床产在洋壳岩石圈析出的岩石中。而在加利福尼亚州, Klamath山的一些接触交代铁矿床产在岛-弧壳中。因此,尽管铁与克拉通地带以及与加利福尼亚南部的碳酸盐相界线表现为正相关,但它并不是只局限于单一的地带或环境。

加利福尼亚南部岩基

在圣安得列斯断层以西的加利福尼亚南部(Peni-

nsular Ranges)岩基,不象Sierra Nevada岩基中部那样经过充分研究,但是, Larson(1948, 1954), Jahns(1954), Krummenacher等(1975), Silver(1979)以及加利福尼亚工艺研究所的同事们曾进行过有意义的研究。加利福尼亚南部岩基的主要成分,在东部是石英闪长岩,在西部是花岗闪长岩、辉长岩和花岗岩。在西部以浅色岩为主,这与Sierra Nevada岩基的情况相反。

根据Silver(1979), Peninsular Ranges(加利福尼亚南部)岩基的发育始于135到140百万年之前,成为前寒武纪克拉通的外侧,以后又从较早的中生代弧转向海洋,伴有少量重叠。大约在35百万年内,它是一个静态的火山-侵入岛弧,大约在105百万年以前,侵入中心向东转移,并约在80百万年以前到达克拉通。Silver(1979)指出,玄武岩的或产生玄武岩的“岩浆房”(reservoirs)是岩浆的原始来源。但是,化学的和同位素的资料表明,单一岩浆房不能充分地解释这种有顺序的但又广泛的变化。他认为,幔源必然起了重要的作用,但是氧同位素资料表明,出露到地表环境(大陆岩石圈)的东部岩浆房也必定起了重要的作用。

尽管存在并开采过锡、钨、金、钼和镍的小型矿床,但无论是加利福尼亚南部岩基的火成岩或侵入的围岩,都没有重要的金属矿床。最重要的矿床是产出过锂矿物和宝石的伟晶岩。

本文并不认为Klamath山和加利福尼亚东南部是岩基地区,尽管两地都有无数的侵入体,有些是相当大的。Salinian地块(图2)也包含花岗岩侵入体。这些侵入体对在Klamaths的侵入岛弧和大洋区说,在区域范围内仅有次要意义,但对加利福尼亚南部的冒地槽-克拉通沉积相来说,则并非如此。在Klamaths的侵入体的成分是石英闪长岩和少量的花岗闪长岩,而在本州东南部为花岗岩和花岗闪长岩,这反映了它们产在(和来自?)不同的含矿地域(host terranes)中;在Klamaths为岛弧-大洋壳,而在加利福尼亚南部为冒地槽和克拉通地壳。

岛弧和洋壳地域

下伏于本州东部和南部的硅铝壳以西(图2)的下层岩石,除Salinian地块外,显然是增生的岛弧和洋壳。除了在海岸山脉外,这些地域中有花岗质深成岩体侵入。地质记录允许这样解释,即岛弧和大洋岩石圈的板片(Slices)或增殖部分,主要是由于发生中生代的海底扩张而向大陆断块增生的结果(例如, Hamilton, 1969)。增生的板片之间或相对地域之间的缝合线通常

以超基性岩带为标志。主要由超镁铁质岩石确定的主要缝合带示于图2。在Klamath山,这些缝合带都是向东缓倾(Irwin, 1964),但在Sierra Nevada,这些带中的一些,如Melones断层带(Clark, 1960)倾向接近直立。此外如果在单个的板片或单元中,层面和叶理,经常是向东倾斜。

构成加利福尼亚海岸山脉大部地区的弗兰西斯科组合,明显是在一个基底(显然是在洋底玄武岩)上的深水杂砂岩、粉砂岩和页岩(Hamilton, 1969)。海岸山脉逆断层(Bailey等, 1970)推动着同期的Great Valley系列和海岸山脉蛇绿岩,在它们的基底之上向西移动盖在弗兰西斯科组合体之上。这个逆断层在海岸山脉北部的出露区内相当陡地向东倾斜,但是在海岸山脉的中部和南部,则呈向南的平缓起伏的倾斜,在该地,部分的Great Valley系列以构造接触关系覆于弗兰西斯科组合之上。为什么在Great Valley和Sierra Nevada之下这个逆断层更平缓地向东倾斜,这仍是一个未解决的问题。

Klamath 山

不连续的弓形的地质体组成了Klamath山。Irwin (1964)首先提出,这些地质体由巨大的向东倾斜的逆断层所分隔,后者以超基性岩带为标志。以后, Davis (1968, 1969), Hamilton (1969), Irwin (1977 b)和其他人引伸了这个概念并提出可与在西Sierra Nevada的类似地域相对比。在Klamath山和Sierra Nevada两地都有蛇绿岩,并且按顺序排列,由东向西年龄越来越年轻(而且在Klamaths,在构造上还是较低的)。Irwin(1977a)曾系统地整理了Klamath和西部Sierra Nevada两地的蛇绿岩套的放射性同位素年龄。显然,这些年龄代表着增生的板片或块体的形成年龄,而不是代表累积的总年龄。为了便于讨论,这些大地构造单元在图上用字母表示。

在Klamath山,最东部的大地构造单元(图2,单元A)由其西部的古生代岩石和东部的中生代岩石组成。该单元西北部的岩石主要是相当细的硅质碎屑沉积物,伴有一些燧石和局部的生物礁(biohermal*)灰岩,属于奥陶纪和志留纪。这些岩石覆盖在三位一体(Trinity)超镁铁质岩席及其伴生的奥长花岗岩和辉长岩等之上,后者的年龄为455到480百万年(Irwin, 1977a)。在单元A的南部,泥盆纪的火山-弧序列覆盖在三位一体超基性岩席之上,而本身又被一个主要为碎屑岩、火山碎屑岩、火山岩以及少量的石灰岩的序列所盖覆,向东年龄逐渐变得更为年轻,一直延续到中侏罗世。与泥盆纪序列相似,时代为二叠和三叠纪

的第二个火山-弧序列,产于这个剖面的更东部。西Shasta Cu-Zn矿区的块状硫化物矿床(Kinkel等, 1956),产于泥盆纪弧序列的硅质岩相中,而在东Shasta的这类矿床(Albers和Robertson, 1961)则产于二叠纪和三叠纪序列的硅质岩相中。在大地构造单元A中发现的其它矿床有少量的小型汞矿、接触交代铁矿床、三位一体超镁铁质岩席中的无数的小铬矿扁豆体以及显然产在花岗岩侵入岩体中的金石英脉系统。其中最为重要的是Shasta和Trinity的French Gulch-Deadwood脉系,它已生产了约80万盎司的黄金(Albers, 1964, 1965),与Sierra低山区的金矿床比较,数量很少。

在单元A西界的缝合线(图2)被称为Bully Choop逆断层(Irwin, 1964)和Trinity逆断层(Davis, 1968)。Bully Choop形成在先。这个逆断层以西的地带即中间变质带是由角闪石和云母片岩组成(单元B,图2),根据放射性测定的年龄,它想必是与在东Klamaths到处分布的早古生代岩石的高度变质产物是同期的(Lanphere, 1968)。Rb-Sr年龄表明,变质作用发生在380百万年前的泥盆纪,这大概是三位一体超基性岩席叠置在片岩原岩的时期(Irwin, 1977a)。如果这个设想是正确的,它就是唯一有一些证据的古生代俯冲事件。单元B在Sierra Nevada还没有清楚确定的相应地带,单元B中唯一的矿床是稀疏的小的金石英脉。

中间变质岩带以西和被Siskiyou逆断层所分割开的部分(图2),是情况不明的西部古生代和三叠纪带(单元C)。这个带包含大量的混杂岩和蛇绿岩,包含上古生代石灰岩体(尽管时代可能到志留纪或泥盆纪),还有可能年轻到中侏罗世的含放射虫的硅质凝灰岩和燧石(Irwin, 1977b)。混杂岩中的其它岩石包括一系列低级变质的变沉积岩和变火山岩,以后者为主。西部古生代带和三叠纪带的南部,近年自东到西被细分为(Irwin, 1972, 1977 b)岩相或多或少连续的三个地带,即North Fork, Hayfork和Rattlesnake Creek带(图5和6)。这几个带的岩性表明,蛇绿岩的North Fork带和Rattlesnake Creek带属于洋壳,而较多安山质的Hayfork带是岛弧型(Irwin, 1972)。每一个带也都有自己的矿床特征。蛇绿岩的North Fork带实际上没有矿床,岛弧Hayfork带有无数的小的脉金矿床,而蛇绿岩的Rattlesnake Creek带以含有大量的小型铬铁矿和伴有燧石的锰矿床为特征(图5和6)。因此,西部古生代带和三叠纪带的这三个地域可能是

* 原文有误,应为biohermal——译注

交错重叠的地壳板片，是由三个独立的板块构造系统形成的。

在西部古生代和三叠纪带以西以及由 Ironside 山逆断层从该带中分出的部分是构造上较低 的西 侏 罗 纪 带 (单元 D, 图 2) (Irwin, 1964, 1977 a)。主要由 Josephine Peridotite 的超镁 铁 质 岩, 变 安 山 岩, 变 玄 武 岩、变 流 纹 岩、变 凝 灰 岩、页 岩 和 杂 砂 岩 组 成。组成单元D西部的 Josephine Peridotite 与辉长岩和辉绿岩共生。最近从这个单元的斜长花岗岩中的一个锆英石中测得 U-Pb 年龄为 157 百 万 年 (Harper 和 Saleeby, 1980)。这个单元在有些地方被变 火 山 岩 覆 盖, 而在另外一些地方沿其东部边缘以断层与变火山岩和沉积岩相接触。在加利福尼亚与俄勒冈边界以南几公里, 单元D分割成片并包含了单元 C 的外来层状体 (图 2)。单元C体与在俄勒冈州的主要单元 C 相连接, 但其向加利福尼亚州突出, 说明 Ironside 山逆断层是波状的, 而且, 总的看来, 在邻近本州的边界处, 断层面几乎是水平的。

西部侏罗纪地带的超镁铁质岩石包括大量小到中型的铬铁矿床, 在很多地方含 Ni 红土覆于超镁铁质岩石之上。此外, 在变火山岩中有几个块状硫化物矿床; 有少量小的铜和汞矿床明显与闪长岩墙有关。已知在西部侏罗纪带还有一些分散的锰矿点和三个小的金-石英矿区。

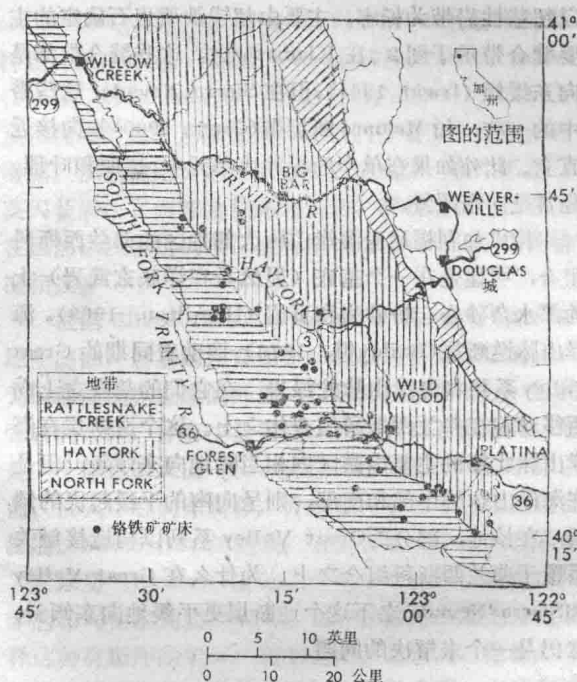


图 6 加利福尼亚铬铁矿与南部 Klamath 山西部古生代和三叠纪带的各地域的关系

Sierra Nevada 北部和 Sierra 低山

在 Sierra Nevada 的北部和西部, 其构造格局与 Klamaths 山有些相似, 又有些明显区别。Clark (1960) 命名的 Foothills 断层系的各个组成部分, 将大洋壳和岛弧壳的岩石板片隔开, 其中有些和 Klamaths 的类似岩石板片可以有把握地进行对比。如在 Klamaths 那样, 大多数岩石板片被以断续的超镁铁质岩带为标志的大断层 (地缝合线) 带分离开。一个重要的区别是, Foothills 体系的断层, 尽管表现为反向运动, 却比 Klamaths 缝合带倾斜陡得多——70° 到 90° E (Clark, 1960)。

在图 2 上, Sierra Nevada 北部古生代和中生代岩石的 Taylorsville 剖面, 组成单元 E 和大致为单元 F 的北半部。Diller 首先 (1908) 对此加以描述, 近年来 Memath (1966) 又作了介绍, 他认为重要的逆掩断层和倒转岩层导致了 Diller 的剖面的明显倒转。这个剖面的时代至少是志留纪到晚侏罗世。

单元 E 的特征是含有较多的火山物质, 其成分属安山岩到流纹岩的范围, 显然是海底成因, 因而认为具有岛弧亲缘性。这个单元, 至少从总的方面看来, 在岩性上可与 Klamaths 的单元 A 的南部相对比。近来 D'Allura 等 (1977) 提出一个更详细的对比, 但是, 按照现有资料, 完全符合似乎是不大可信的。在 Klamaths

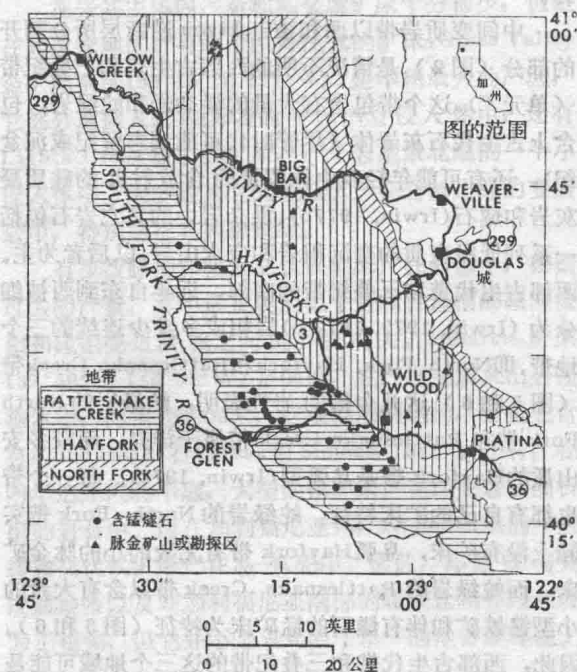


图 5 加利福尼亚含金燧石和脉金矿山及勘探区与南部 Klamath 山的西部古生代和三叠纪带的各地域的关系

maths, 单元A的南部有大量块状硫化物矿床, 还有金石英脉和一些接触交代铁矿, 但是在 Sievra 北部的单元C中 (Arlington 建造), 没有块状硫化物矿床, 相反, 却有一些伴有燧石的锰矿床。在这两个单元中都经常见到金石英脉系。可以推断, 如果单元A和E真的可以对比, 隐藏的块状硫化物矿床可能就产在单元E的硅质火山岩中。

图2中单元F北部的大部地区属于志留纪的Shoo Fly建造, 而在南部, 大约在 $38^{\circ}35'N$ 处为Calaveras组, 一般认为属于石炭纪。这些单元的地层以及构造的相互关系还未经过充分的研究。两个建造都厚, 岩性和构造复杂, 并且似乎都形成于深水中。它们在西部被Foothills断层系的最东边的断层所截(图2)。

据Clark(1976)的意见, Shoo Fly的下部由暗灰色板岩和一些层状燧石和砾岩组成, 而其上部包含石英和长石砂岩, 少量的板岩、石英岩、碳酸盐岩以及镁铁质和硅铝质火山岩。这个组合可能是源于大陆的, 但其沉积环境则很可能是在深水——陆隆、弧前或弧后。但不是深海丘陵。另一方面, Calaveras组的岩性稍微显示出有些较为肯定的深海亲缘性。其岩性组分是板岩、千枚岩、变燧石、一些碳酸盐岩、角闪岩以及安山质和玄武质的变火山岩。此外, Calaveras组含有相当丰富的含Mn燧石, 而在Shoo Fly则明显缺Mn。因此, 尽管在图2上Shoo Fly-Calaveras构造地层带是属于洋壳范畴, 必须强调的是, 除东部的石英岩层外, 两种不同类型的地壳, Shoo Fly(可能是大陆边缘的, 来自陆源)和Calaveras, 更可信的是属于深海成因或者如Schweickert等(1977)所假定的为边缘盆地成因。

含少量贱金属硫化物的金-石英系统在单元F的Shoo Fly和Calaveras二组内都相当普遍, 但只有在后一组中才出现小型沉积铁矿和伴有燧石的锰矿床。有两个接触交代铁矿床过去被认为是属于Calaveras组(Durrell和Proctor, 1948), 现在如McMath(1966)所确定的应属于Shoo Fly组。

在Klamath山中没有单元F岩石的明确的对应物, 尽管Calaveras组和西部古生代带和三叠纪带的岩性相当一致。

在倾斜陡的Melones断层带以西是单元G(图2), 它包括一套复杂的、被中生代深成岩侵入的古生代和中生代岩石。变火山岩包括大量的凝灰岩和火山碎屑岩、蛇纹岩、板岩、一些砾岩、碳酸盐岩和燧石, 混杂岩是基本的岩石类型(Clark, 1976; Duffield和Sharp, 1975)。某些岩石具有清楚的洋壳亲缘性, 而其它一些可能是岛弧岩。因此, 属于单元G的岩石板片(图2)

显示为大洋和(或)岛弧地域。在对这个地域的成因系统进行合理划分以前, 还需要做大量的工作, 但是总的看来, 它与Klamaths的西部古生代和三叠纪带是明显相似的。单元G有巨大的经济意义, 因为它拥有加利福尼亚几乎所有的大金矿, 包括母脉和Grass Valley区的大金矿。此外, 有无数小型铬铁矿床产在超镁铁质岩石中, 还有与燧石伴生的小型锰硅酸盐矿床。很多金石英脉与贱金属硫化物伴生, 少量的如在Grass Valley见到的那样具有白钨矿, 但它们几乎没有什么经济价值。

Foothills系统最西部的断层带被Clark(1960)称为Bear山断层带。在北部低山区, 这个断层带向外展开形成一系列北西向延伸的构造线(Strands), 再向南, 它们表现为一个连续的主要的断层带。在断层带和Great Valley系列之间, 向西是单元H, 主要包括镁铁质到硅质的变火山岩和板岩, 以及晚侏罗世的杂砂岩。以岩性为基础, 在Klamath山单元H和D似乎是可以对比的, 尽管单元D中不包括如此多的硅质火山岩。单元H中有无数块状硫化物矿床, 它们几乎全部都产在硅质火山岩中。脉型贱金属矿床也丰富, 虽然大多数是小型矿床, 此外, 小的金石英脉系也很普遍。

近年来曾试图根据岩性、构造和年龄, 将Klamath山和Sierra Nevada地域进行对比(Clark, 1960; Davis, 1969; Hamilton, 1969)。尽管有些细节还难以理解, 但是地域和构造的广泛对比还是相当好地建立起来。某些矿床类型诸如伴有燧石的锰矿, 铬铁矿以及一定范围内的金矿脉在两个地区中都能很好地对比, 但其它类型如块状硫化物的对比则很困难。块状硫化物矿床在Klamaths的单元A中数量很多, 但在北部Sierra Nevada的单元E中则至今尚未发现。还有, 尽管单元D有少量块状硫化物矿床, 它们产在大部分的镁铁质变火山岩中, 这就与其在单元H中的相应物的情况相反, 后者几乎全部都产在硅质变火山岩中。

Blake和James(1977)在讨论邻近Great Valley西北部海岸山脉的Yolla Bolly接合线的板块构造历史时, 认为Sierra和Klamath板块是在晚侏罗世接合的, 而其整体在后来可能在早白垩世被破坏, 进入晚白垩世时继续破裂, 同时Klamath这部分向北西向移动。说明这个结论的证据包括三个大的北西向延伸的左行断层, 它们影响了Great Valley系列。这些断层可能相当于Sierra Nevada北部和西部的Klamath地带的左行位移。上述的构造发育为提出的相关性提供了证据。

弗兰西斯科组合和海岸山脉蛇绿岩

在中生代时, 向加利福尼亚增生的最西部的岩石

群是弗兰西斯科组合,它构成本州北部和中部海岸山脉的大部分,主要由杂砂岩、页岩、泥岩和粉砂岩组成,还有深海燧石和页岩、洋底枕状玄武岩、蓝色片岩、榴辉岩、蛇纹岩和石灰岩,其中有些是含铁的。在Bailey等(1964)清楚地描述了其内部的岩性和构造,以及其它作者(例如,Hamilton, 1969; Bailey等, 1970; Dickinson, 1970; Ernst, 1970; Hsu, 1974)提出了其板块构造格局以前,弗兰西斯科组合一直是地质上的一个谜。近来,Blake和Jones(1974)将圣弗兰西斯科地区以北的弗兰西斯科组合非正式地划分为三个带。最东的也是构造上最低的带,称为Yolla Bolly带,主要为杂砂岩和泥岩,伴有次要的燧石和变火山岩;在Yolla Bolly带以西是中带,主要是混杂岩;由它再向西是晚白垩世到中第三纪的海岸带,主要为长石砂岩以及很少量的石质火山的或燧石的碎屑。

弗兰西斯科组合在其东部与同时期的Great Valley系列接壤,后者在这里被认为是上覆岩石系列的一部分,其底部由蛇绿岩(在图2上表现为洋壳带)组成,上覆为厚的碎屑沉积岩序列。根据岩石单元的较好连续性,缺乏火山岩,以及变形的宽广开放样式,可将Great Valley系列与弗兰西斯科组合区别开来(Bailey等, 1964, 1970; Blake和Jones, 1974)。海岸山脉逆断层将Great Valley系列底部的蛇纹岩与弗兰西斯科组合分离开,它标志出一个主要沿Great Valley的长度延伸的、并向北越出俄勒冈边界的古沉降带(图2)。沿此断层,弗兰西斯科岩石逆掩在蛇绿岩之下,再向北位于Klamaths的单元D之下。

一个被广泛接受的假说认为,弗兰西斯科-Great Valley-Sierran和Klamath地区是一个典型的俯冲成因的三位一体,依次由深海槽、弧-槽间地和岩浆弧组成。然而,Blake和Jones(1978)指出,尽管这个模式作为一个基本的概括可能是正确的,但是它不能解释能说明复杂的古构造历史的加利福尼亚地质中的一些局部特征。例如这个假说不能解释在圣弗兰西斯科湾以南的弗兰西斯科组合中,存在有大量中性和硅质火山岩,其中有些含有块状硫化物矿床,Blake和Jones(1978)认为它们是晚侏罗弧火山活动的代表。他们(1978)还指出,弗兰西斯科组合和Great Valley系列中的其它岩相异常,并告诫不要利用过份简单的模式企图解释加州海岸山脉北部的复杂地带的空间关系。

汞和锰矿床在弗兰西斯科组合的部分地区是常见的,但它们趋向于产在明显不同的区域。绝大多数的锰矿床和矿点都与混杂岩单元的燧石碎屑有关。锰矿床

与海岸山脉北部的中央混杂岩带的关系是明显的。

有些汞矿产在弗兰西斯科沉积岩中,但是大多数海岸山脉的汞矿是产在蛇纹岩蚀变产物的硅-碳酸盐岩中。即使非大多数也有许多蛇纹岩可能是组成Great Valley系列的底部的蛇绿岩的一部分,它们沿着海岸山脉逆断层掩覆于弗兰西斯科组合岩石之上。然而有一些,如在New Almaden,似乎以塞子状或板片形式从下部挤上来。Bailey等(1973)发现,所有加利福尼亚海岸山脉的汞矿床都可标绘在距海岸山脉逆断层1公里的构造厚度内。

铬铁矿全部产在超镁铁质岩及其蛇纹岩变种中,它们同样可能是Great Valley系列底部蛇绿岩的主要部分。在弗兰西斯科组合中已知有三个块状硫化物矿床,其中有两个产于圣弗兰西斯科湾正东的石英角砾岩中,它可能是岛弧火山活动的产物。据Stinson(1957)的意见,第三个矿床产于页岩、绿岩、杂砂岩和燧石中,它们似乎属于海岸山脉北部的中央混杂岩。

加利福尼亚南部岩基以西的地带

在Santa Barbara(34°N)以南,第三纪和第四纪的沉积物在距洛杉矶以南的若干距离处,覆盖了中生代和更老的岩石。然而,在加利福尼亚南部岩基以西,一个包括晚侏罗世板岩和泥岩的岩石带被中性到硅质的砾岩、角砾岩、凝灰岩和熔岩不整合地覆盖,这些岩石与晚侏罗世沉积岩成互层(Jahns, 1954)。Hamilton(1969)相信,在早中生代,岩基以西不存在陆壳,而泥岩剖面可能是在海底形成的,只是由于构造作用而被迅速地插入到大陆的角隅。根据他的观点,上覆的上侏罗统火山岩与岩基的一部分是同期的。因此,在本文的图2上,加利福尼亚南部岩基以西地区被人为地称作一个洋底的石质板片,同时要当心,覆盖本区大多数地方的中生代火山岩可能并不是大洋成因的。在这个地带中已知的矿床很少并很小。

Salinian地块

Salinian地块(图2)是被花岗岩体侵入的变质冒地槽岩石带,其中不含化石。此带在东侧以圣安德列斯断层为界,在西边被另一个大断层(即Nacimientos断层)所截。这个地块传统地被认为是Mojave地块的一部分,沿着圣安德列斯断层向北西错断约500公里。然而,Ross(1977)发现,Salinian地块的沉积岩岩性与Mojave的岩性并不相似,因此,这两个地块并不能对比。Salinian地块的金属矿床很少,尽管在西部Mojave地块中稍为丰富。但是,这个差别可能是侵蚀水准面不同所形成。Ross(1977)认为,Salinian地

块可能真正是外来的,在其地质成因上与加利福尼亚的其余部分毫无关系。

上覆的岩石

图2中表现为上覆岩石的地区只包括这些岩石(包括冲积盖层)的主要地区,即在该区较古老的下伏岩石明显地大面积地隐蔽。这些地区有(a)Great Valley,下伏有年龄从晚侏罗世到全新世的沉积岩(组成Great Valley系列的最下部的海岸山脉蛇绿岩在本文中归入下伏岩石中);(b)加利福尼亚南部海岸区,主要下伏有年龄由晚白垩世到全新世的沉积岩;(c)Modoc高原和毗邻的Cascade Range南部,下伏有晚第三纪和第四纪的火山岩。加利福尼亚东部和东南部的其它大片地区被第三纪火山岩和第三纪到全新世的冲积层覆盖,但是下伏岩石仍有充分出露,因此可以划分出主要的构造地层带。在海岸山脉还发现第三纪和第四纪的其它火山岩。

位于底部蛇绿岩之上的Great Valley系列的中生代部分,曾被广泛地认为是一个弧-槽间的部分,主要由分选不好的、第一旋回的碎屑沉积物组成,它们大部分来源于东面邻近钙-碱性火山-深成岩的弧区(Dickinson和Rich, 1972; Ernst, 1979)。除去在最低部位,在蛇绿岩之上的短距离内有某些含凝灰质岩层外,在Great Valley系列中火山岩层是非常少见的。在Great Valley系列或在第三纪及其上更年轻的沉积岩中,唯一已知的金属矿床,在本文中认为是产于New Idria区的几个汞矿床,它们产于晚白垩世的Panoche组中(Eckel和Myers, 1946)。

从北纬约35°15'延到墨西哥边界的加利福尼亚南部海岸区,与沿圣安德列斯断层的Great Valley的南部是毗连的(图2)。在这些晚白垩世到全新世的海相沉积岩中基本上缺乏金属矿床。

覆盖在本州东北部的火山岩是亲钙-碱性的,包括玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩,以辉石安山岩为主(Macdonald, 1966)。邻近Cascade岩浆弧南端的Lassen峰,在1917年曾经活动过,还有,圣海伦斯山的现代活动和遍布Cascades的年轻火山岩层,都证实这个弧确实还在活动着。这些活动可能反映了位于Mendoceno断裂带以北、北美大陆之下的Juan de Fuca板块的俯冲当前仍在活动(Atwater, 1970)。

金是在Cascade-Modoc火山地带曾经开采过的唯一金属,尽管也报导过汞和次生铜的显示(Gay, 1966)。大多数金来自Hayden山区。在该地,金产于切割流纹质凝灰岩和角砾岩的脉中。它的产量与来自构造地层地带的产量相比是很小的。

第三纪火山岩中最大的金产量来自邻近内华达州边界、Modoc高原正南的Bodie区的安山岩比较浅成的脉中。这个地区产出的金约值3000万美元(Clark, 1970)。再向南,到Mojave沙漠中,含有锰的氧化物以及方解石和重晶石的岩脉切割了第三纪的火山岩和扇积砾。在这些矿床中还产出了一些锰(Divis, 1957)。

第三纪和第四纪的火山岩也出现在海岸山脉一带,在圣弗兰西斯科湾以北分布最广。有些汞矿,如在Sulphur Bank所见的那些矿床,产在这些年轻火山岩中。还有活动的热泉,其中有些沉淀出非金属矿物,这些也和火山活动有关。

1980年8月Homestake矿业公司宣布,在圣弗兰西斯科以北约160公里处的Knoxville汞矿区中发现了重要的金矿。至少有600万吨平均为0.17盎司/吨的矿石集中在过去产汞的Manhattan矿山附近。据Avevitt(1945),在该矿山中,汞的主岩是硅化流纹质凝灰岩(蛋白石化)和蚀变的玄武岩,这些岩石几乎与Clear湖火山(1.6百万年以前)有一定的联系。我根据Homestake公司的报导推测,这些金是产在蚀变火山岩中,尽管也可能产在硅-碳酸盐岩中,后一种岩石在本区也存在但是并不多见。根据E. H. Bailey(口头交谈),这种蛋白岩是海岸山脉唯一的蛋白岩。然而,这种类型的矿床在内华达西部是常见的。含金岩石的范围,在Homestake公司宣布的当时显然还未确定,因此,看来有可能矿石要明显地超过600万吨。不管怎样,它是加利福尼亚海岸山脉中一个独特的金的异常富集,该地区的其它地方都只含有很少量的金。该富金矿很可能与Clear湖的火山活动有关。

如果不考虑圣安德列斯和Garlock断层,这个关于加利福尼亚构造格局的总结将是不完善的。晚中生代的这两个贯通性构造(图2)曾经明显地破坏了上述的一些地带。据Atwater(1970)的意见,圣安德列斯转换断层大约形成于30百万年前。除去可能的汞外,至今还未发现与圣安德列斯和Garlock断层有关的矿床。McLaughlin等(1979)当时报导过脉中的铜、铅和锌的硫化物沿着圣安德列斯系统的共轭断层分布,该断层位在加利福尼亚北部的Point Delgada。此外,New Almaden汞矿床靠近圣安德列斯断层,而Rianda矿床临近圣安德列斯的一个分支——Calaveras断层。

矿床类型与构造地层带的关系

在上述关于构造格局的讨论中,已提到各个地质构造单元或地带中已发现独特的矿产和矿床类型。已

年代和成矿作用

加利福尼亚的同位素年龄资料还很不足，使我们难以对成矿时期与具体俯冲作用或具体侵入事件进行仔细的对比。然而，还可以进行一些评论和对少数还算明确的关系进行叙述。

同生矿床

有些矿床类型被认为与其围岩是同生的，或接近于同生。这些矿床包括铬铁矿、镍、块状硫化物、沉积铁矿和伴有燧石的锰矿床，它们全都产在增生的大洋壳或岛弧壳地带。Irwin(1977a)最近曾总结了关于

经确定了约15种矿床类型。随环境不同，不同的矿床类型具有不同的主要矿产。在表2和图3中总结了这些关系。每种主要矿床类型的分布示于图7和图8，作为对图3的补充，因为在图3上，一些格局交错重叠，使之难以阅读。

尽管对很多矿床类型来说，尤其是金石英脉，存在有例外，但其主体显示出对单个构造地层带有明显的优选性，同时矿床类型的分布也与总的大地构造格局密切相关。此外，显而易见，如图5，6中所表现的，在亚带中两者之间也存在着更具体的关系。这点补充意见需要更详细的进行研究才可加以确定。因此，必须强调，这里讲的关系只是很一般化的。

表 2 地壳物质类型与矿床类型的相对丰度和（或）规模的关系

矿 产	矿 床 类 型	大陆壳	增生的岛-弧壳	增生的大洋岩石圈	深成侵入岩
铬	岩浆的	—	—	大	—
含钛磁铁矿	岩浆的	(前寒武的)			(层状)
铜	块状硫化物	—	大	小	—
	脉和浸染的	小	中	中	大
	交代的	大	小	小	小
金	金石英脉	中	中	大	大
				(主要为 S:erra Nevada)	(Grass Valley)
铁	接触交代的	大	中	小	小
	脉和矿化裂隙带	大	小	小	中
	沉积的，包括含锰氧化物	—	中	大	—
	含钛磁铁矿	—	—	—	大
	块状硫化物	—	中	小	—
铅-锌	交代的	大	—	—	—
	块状硫化物	—	大	—	—
	脉和裂隙	中	小	小	中
锰	伴有燧石的	—	中	大	—
	裂隙	大	小	小	小
	成层的	小	—	—	—
	残余的，各种各样的	小	小	中	小
汞	硅-碳酸盐型	—	—	大	—
	在伴有蛇纹岩的高岭化沉积岩中	—	—	大	—
	其它（脉，等）	—	小	小	—
钼	浸染的	—	—	—	小
	脉或伟晶岩	小	—	小	小
	接触交代	中	—	小	—
银	交代的	大	—	—	—
	块状硫化物	—	大	小	—
	脉，裂隙或其它	小	—	大	中
钨	接触交代的	大	小	中	—
	脉	中	小	小	大

注：—，没有