文章编号: 1009-3850(2000)03-0105-08

复理石杂砂岩的化学组成与板块构造

方国庆[1], 刘德良[2]

(1. 中国科学院兰州地质研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学与技术大学地球与空间科学系, 安徽 合肥 230026)

摘要: 复理石杂砂岩中的常量元素组成与物源区和板块构造背景密切相关。因此, 利用常量元素组成可以推断其形成时的板块构造背景。该项研究已成为再造和恢复造山带古板块构造背景的重要辅助手段。本文综述了该项成果的研究史和最新进展, 并对其有关问题进行了讨论。

关 键 词: 复理石; 杂砂岩; 化学成分; 板块构造

中图分类号: P585. 3; P542+. 4 文献标识码: A

1 引 言

沉积学家越来越认识到板块构造对蚀源区和沉积盆地的控制作用, 以及沉积岩构造单元在时空上的紧密关系。砂石成分受蚀源区、沉积作用性质以及连结蚀源区和盆地路径的种类等多种因素影响, 而蚀源区与盆地的主要关系受板块构造支配, 这最终又控制了不同类型砂岩的分布。有鉴于此, 沉积岩石学家一直期望能象火成岩岩石学家一样能用砂岩的化学成分来判断和探讨其岩石形成的大地构造背景和区域地质演化, 但由于受风化、搬运、成岩以及变质作用等诸多因素的影响, 使得砂岩类型、矿物成分和化学组成, 以及与构造背景的关系等方面较火成岩要复杂得多, 致使该项研究一直未有大的进展。近 20 年来, 由于板块构造理论的发展和板块沉积学的兴起[1], 使这一研究重新受到重视, 最先在矿物成分上获得突破[2]。随后, 复理石杂砂岩的化学组成与板块构造的关系也相继取得进展[3~7]。之所以在复理石杂砂岩研究上获得进展是与其沉积速率快、重复发育、岩性单调、分布广且与板块构造关系密切等特点有关。由于砂岩的骨架矿物组成在沉积期后变化较大, 如挤压破碎、分解成基质等, 而且矿物鉴定难度大, 统计繁琐。与之相比, 全岩化学组成就显示出良好的优势。尽管成岩作用等对砂岩的化学组成有所影响, 但这些变化是相联于原始化学组成和板块构造环境的, 整体上的组分仍能较好地反映其形成的板块构造背景。目前, 复理石杂砂岩的化学组成已成为再造和恢复造山带古板块构造背景的重要辅助手段。

收稿日期: 1999-07-10

2 复理石的形成与板块构造

复理石又称复理石建造、复理石相、复理石沉积等,是我国造山带中广泛发育的建造类型,从前寒武系至第三系都有发育,其中不仅富含极具经济价值的金、银、铅、锌、汞、锑等矿产,同时还记录有大量的有关造山带形成演化的信息而具有重要的理论意义,因此,复理石一直是造山带研究的重要内容。众多的研究表明,复理石主要由重力流沉积组成,有时高达90%以上,其次尚发育等深流,内潮汐和远洋沉积。重力流中又以浊积岩最为发育,因而复理石又被称为浊积岩系。

与其它类型沉积建造不同的是,复理石沉积需要有以下基本条件:①持续不断的巨量物源供给;②较深的海盆或洋盆;③具有重复形成重力流的构造条件。因此,该建造能很好地将物源、盆地及构造联系起来,其构造背景显然与能提供大量物源的大陆边缘和火山岛弧有密切关系。基于板块构造理论,将其形成的板块构造背景划分为被动大陆边缘、活动大陆边缘和大洋岛弧三种类型。

2.1 被动大陆边缘(PM)

沉积物沉积在板块内部的稳定大陆边缘、克拉通内盆地、碰撞造山带外的残留洋盆、不活动或灭亡的碰撞边界。沉积物成熟度高,主要来自地台和再旋回造山带的古老沉积岩和变质岩。克拉通和断陷地堑也包括在这一类型中。大西洋型大陆边缘是最为典型的实例,所以这一类型又被称为大西洋型大陆边缘。总的说来,该环境下的沉积物来自稳定的大陆并沉积在远离活动板块边界的环境中。

2.2 活动大陆边缘(ACM)

A. 陆缘弧 盆地发育于成熟的大陆壳。沉积物主要来自上隆基底的花岗岩、花岗片麻岩和硅质火山岩,反映上部地壳的组成。陆缘弧为大陆地壳的一部分,安第斯山为典型例子,因此这一类又称为安第斯型大陆边缘。另外走滑型的盆地也包括在这类环境中,如现今的加利福尼亚太平洋沿海地带。

B. 岛弧型 岛弧位于正常的或较小于正常地壳厚度的地壳之上,形成岛链与大陆以海相隔,如苏门答腊和爪哇岛。沉积物主要来源于英安岩、流纹岩以及中酸性凝灰岩和安山岩,玄武岩少见。具有比大洋岛弧多的钾质和硅质。这一类有时也被称为大陆岛弧,这种岛弧又被称为"脱节的后退弧(detached and noncontracted)"。

2.3 大洋岛弧(ARC)

沉积盆地相连于大洋岛弧,该岛弧位于洋内,多位于大洋边缘。一般形成一个边缘盆地。弧下可以是洋壳或者兼有洋壳和陆壳。前者如西太平洋弧,后者如日本弧。一个火山岛弧分为弧前和弧后盆地。火山弧区少富钾的岩石。沉积物来源以长英质或中性岩为主,部分为拉斑玄斑武岩、钙碱性安山岩。这类岛弧有时也被称为"迁移的(migratory)"或"稳定的(stationary)"弧。

3 砂岩的化学组成与板块构造

3.1 K_2O-Na_2O, Al_2O_3-(K_2O+Na_2O)判别图

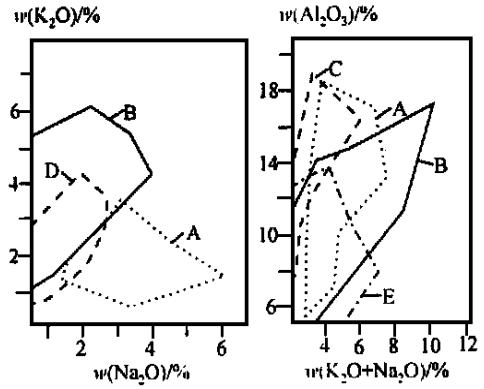

图 1　依据砂岩的化学成分对构造环境的判别
(据 Middleton 等, 1960)

A. 优地槽; B. 断裂地槽; C. 大陆成煤盆地; D. 外源准地槽; E. 其它环境

Fig. 1　Diagrams of K_2O versus Na_2O and Al_2O_3 versus K_2O+Na_2O of sandstones showing the discrimination of their tectonic environments (after Middleton et al., 1960)

A= eugeosyncline; B= taphrogeosyncline; C= continental coal-forming basin; D= exogeosyncline; E= other settings

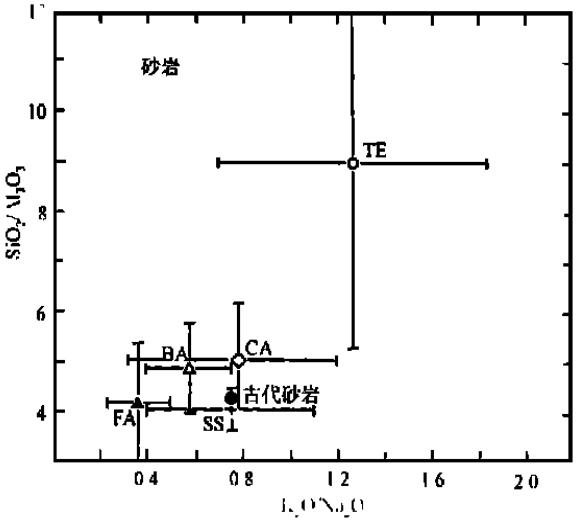

图 3　现代深海砂的化学成分(据 Maynard 等, 1982)

TE.(板块构造)后缘; BA. 岛弧的弧后; CA. 陆缘弧; FA. 岛弧的弧前; SS. 走向滑动

Fig. 3　Chemistry of deep-sea sands (after Maynard et al., 1982)

TE= trailing-edge; BA= backarc of island arc; CA= continental margin arc; FA= forearc of island arc; SS= strike-slip

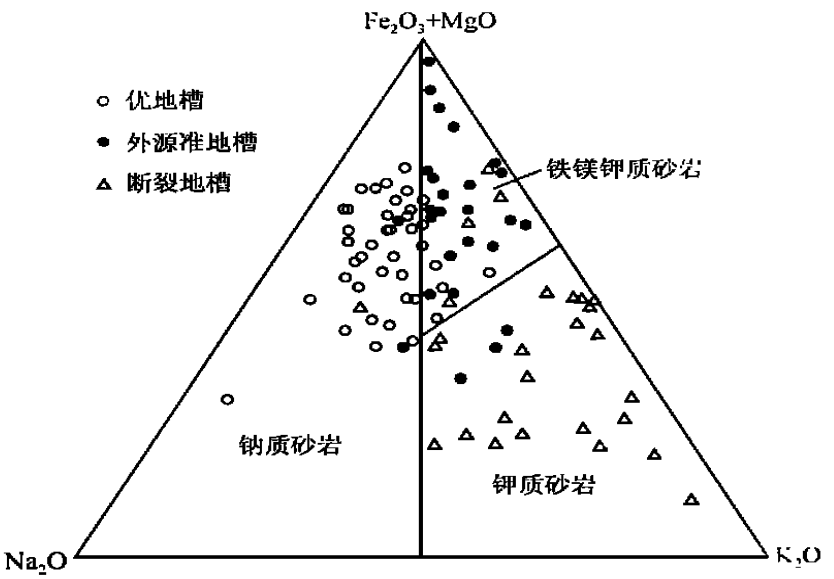

图 2　砂岩的化学组成与构造环境(据 Blatt 等, 1980)

Fig. 2　Chemical composition of sandstones in relation to tectonic setting (after Blatt et al., 1980)

60 年代初, Middleton 等依据化学成分建立了砂岩形成时的构造环境判判别图(图 1)。但由于各种环境不能很好地分开, 重叠部分比例很大, 因而这个图很少被研究者所引用。

3.2 三类杂砂岩

Crook(1974)[2]注意到复理石杂砂岩的主要成分组合与特定的大地构造位置相对应, 于是总结了许多杂砂岩资料, 并与代表性的岩石成分相比较, 将杂砂岩划分为三类, 并将其对应于不同的板块构造环境。

贫石英杂砂岩 构架颗粒石英含量小于 15%, SiO_2 平均含量为 58%, $K_2O/Na_2O \ll 1$。该类杂砂岩相连于岩浆岛弧物源区。

中等含量石英的杂砂岩 构架颗粒石英含量为 15% ~65%, SiO_2 平均含量为 68% ~74%; $K_2O/Na_2O < 1$。该类杂砂岩物源区复杂, 并相连于典型的活动大陆边缘。

富石英杂砂岩 构架颗粒石英含量大于 65%, SiO_2 平均含量为 89%, $K_2O/Na_2O > 1$。这类杂砂岩沉积在被动大陆边缘和板块内部。

3.3 Na_2O-K_2O-(Fe_2O_3+MgO)三角判别图

Blatt (1980)[9]等人给出了一个判别不同类型地槽的 Na_2O-K_2O-(Fe_2O_3+MgO)三角判别图(图 2)。

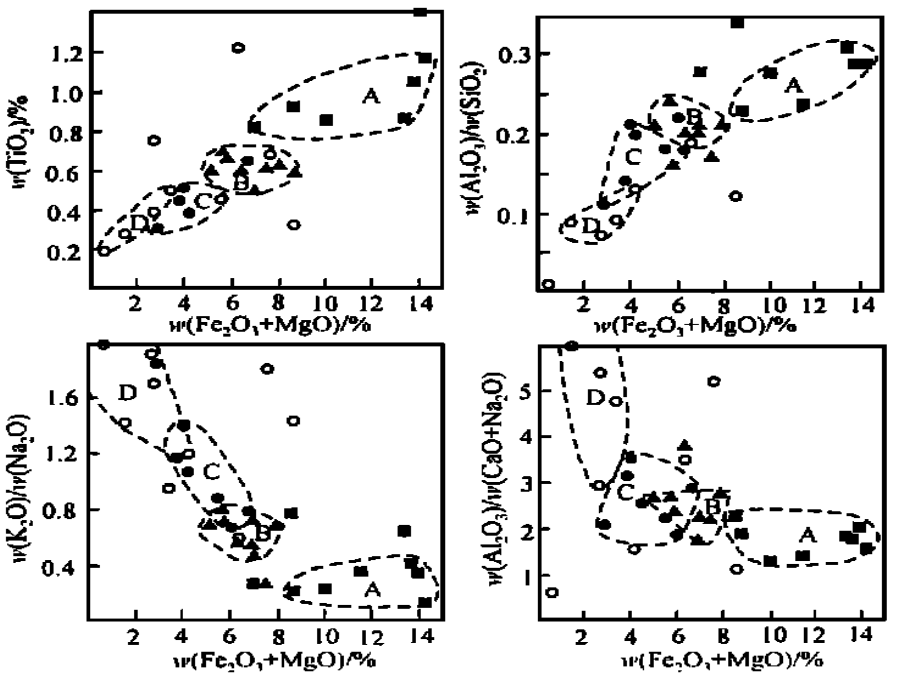

图 4 依据砂岩的主要化学成分对构造环境的判别(据 Bhatia, 1983)

A. 大洋岛弧(四方块); B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘(空心圆圈); D. 被动大陆边缘(实心圆圈); Fe_2O_3 为全铁

Fig. 4 Major element composition plots of sands and sandstones for tectonic setting discrimination (after Bhatia, 1983)

A= oceanic island arc (squares); B= continental island arc (triangles); C= active continental margin (open circles); D= passive continental margin (solid circles). Fe_2O_3 represents total iron.

3.4　现代深海砂的化学组成与构造环境

Maynard 等(1982)[10,11]对现代深海砂进行了主要元素的判别研究，认为被动大陆边缘的砂特征明显，然而其它环境的砂还不能依据其成分分开(图 3)。

3.5　判别方程图

Bhatia(1983)[3]在研究东澳大利亚古生代浊积岩的基础上提出了不同板块构造环境砂岩的平均化学成分，并给出了几个判别图(图 4)。Bhatia 给出的判别图有很大的缺点，主要是把各个指标分开做图，使图显得简单而且难以综合起来研究。从图上可以看出他本人的工作也难以落在他所划定的区域。Bhatia(1986)[4]将该工作扩展至微量元素，但没有取得更好的结果。值得注意的是 Bhatia 曾给出砂岩主要常量元素的判别方程及判别图(图 5)。但由于目前对常量元素与岩石成因的本质认识不足，加之已知环境砂岩组成数据的缺乏，致使判别方程的精度很低，判别指数达不到要求。但是这个方法极为可取，它能最大限度地利用砂岩化学成分所携带的信息。这是今后工作应注意的一个重要方向。

3.6　K_2O/Na_2O-SiO_2 判别图

Roser 和 Korsch(1986)[5]在研究新西兰古生代浊积岩时曾建立并应用了一个 K_2O/NaO_2 和 SiO_2 的双变量图(图 6)，对不同板块构造背景下形成的砂岩进行判别，效果较好。但是该图所用氧化物指标太多，显得过于简单。

3.7　$K_2O/(Na_2O+CaO)$-SiO_2/Al_2O_3 的双变量判别图

方国庆(1989)给出一个判别图(图 5)。被动大陆边缘(PM)区所代表的砂岩结构和矿物成熟度高，SiO_2 多大于 70%，$K_2O/(Na_2O+CaO)$一般大于 1，类似于地台沉积盖层成分；大

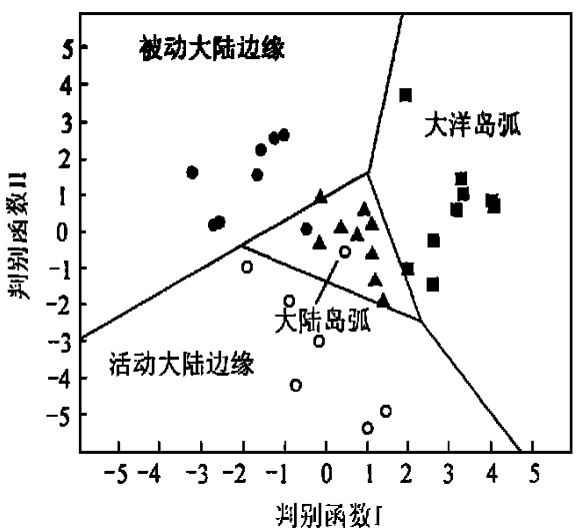

图 5　不同构造环境下砂岩的判别函数Ⅰ对Ⅱ的判别图

(据 Bhatia, 1983)

Fig. 5　Plot of discriminant scores along Function Ⅰ versus Ⅱ for various sands and sandstones (after Bhatia, 1983)

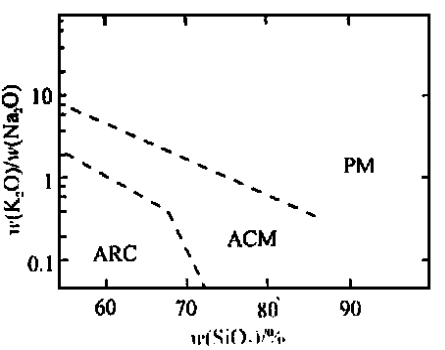

图 6　K_2O/Na_2O-SiO_2 双变量图

(据 Roser 等, 1986)

ARC. 大洋岛弧; ACM. 活动大陆边缘; PM. 被动大陆边缘

Fig. 6　Bivariate diagram of K_2O/Na_2O versus SiO_2 (after Roser et al., 1986)

ARC = oceanic island arc; ACM = active continental margin; PM = passive continental margin

洋岛弧(ARC)区砂岩结构及成分成熟度低, SiO_2 含量多小于 60%, $K_2O/(Na_2O+CaO)$远小于 1, 类似于大洋拉斑玄武岩、成熟岛弧以及整个地壳的平均成分; 活动大陆边缘(ACM)区性质介于前两者之间, ACM-Ⅰ 趋向于 PM, ACM-Ⅱ趋向于 ARC。该图与其它判别图相比, 其优点在于: 一是增加了氧化物并将其综合表现在同一图上; 二是各区域能有效地分开, 重叠区域少。应用该图对我国部分地区的复理石进行了投影分析(图 7), 效果较好。

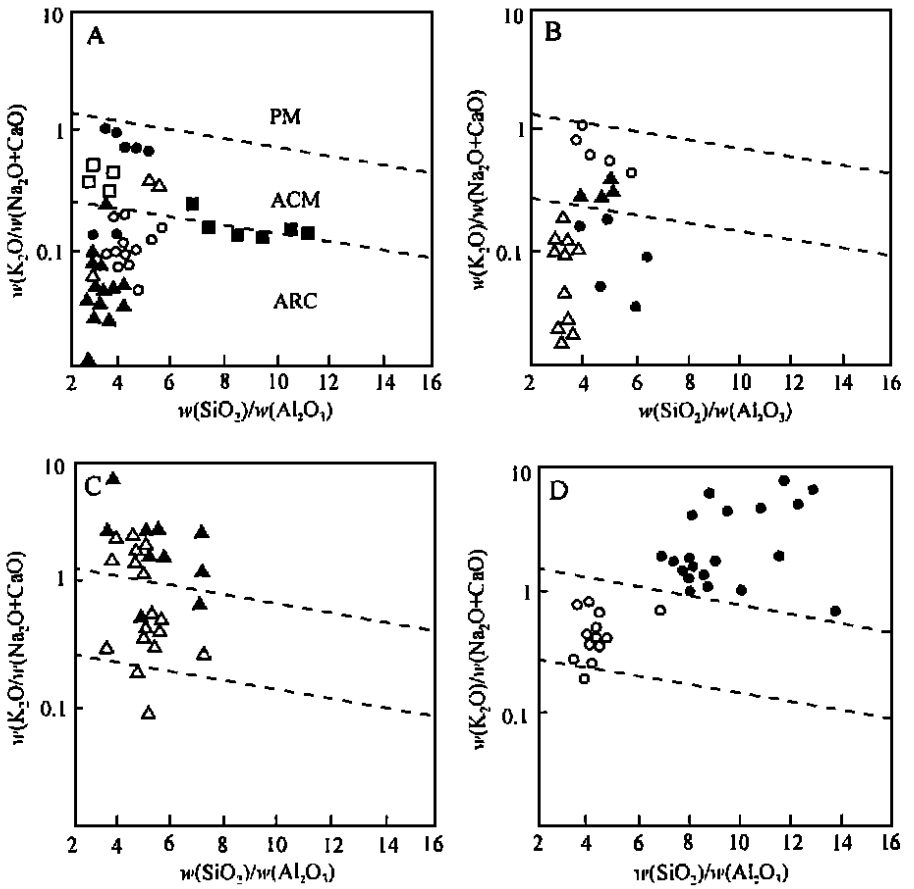

图 7 $w(K_2O)/w(Na_2O+CaO)$-$wSiO_2/w(Al_2O_3)$判别图(据方国庆, 1993)

A. 川西盐边群复理石(实心圆)—安第斯型活动大陆边缘; 西藏日喀则复理石(空心圆)—大洋岛弧环境; 南费吉盆地现代沉积(实三角)—洋岛弧环境[8]; 黔南桂北二叠系(空方块)和三叠系(实方块)浊积岩系—活动大陆边缘[12,13]; 甘肃碧口新元古代复理石(空三角)—活动大陆边缘环境[14]。B. 新疆西准噶尔下石炭统复理石(实心圆)—大洋岛弧; 西准噶尔乌和公路中石炭统复理石(空心圆)—活动边大陆缘; 北天山中石炭统复理石(实三角)—安第斯型活动大陆边缘; 新西兰岛史蒂芬组复理石(空三角)—大洋岛弧环境[15]。C. 华南板溪群(实三角)—被动大陆边缘; 冷家溪群(空三角)杂砂岩—活动大陆边缘[16]。D. 福建下古生界复理石(实心圆)—被动大陆边缘[17]; 秦岭商丹变质杂砂岩(空心圆)—活动大陆大缘[18]

Fig. 7 $w\,K_2O/w(Na_2O+CaO)$ versus $wSiO_2/w\,Al_2O_3$ diagram for tectonic setting discrimination (after Fang Guoqing, 1993)

A. Solid circles represent the flysch from the Yanbian Group, western Sichuan, indicating the Andean-type active continental; Open circles represent the flysch from Xigaze, Xizang, indicating an oceanic island-arc

4　应注意的几个问题

(1)为了不使方解石和挥发分影响化学组成, 因此, 应将所有的化学分析结果重新换算成无方解石和挥发分。

(2)粒度对砂岩的矿物成分和化学成分影响较大, 为使研究有一个相对统一的标准, 采样时确定浊积岩的 A 段或 B 段中粒度的杂砂岩十分必要。

(3)在使用化学成分判断构造背景时, 应结合岩石、矿物和区域地质资料, 以期获得满意的结果。在分析时, 同一套岩石组合中的样品分析结果采用平均加权与个别分析相结合的方法, 平均加权能反映一个总的趋向, 而个别数据分析可以突出变化的趋势。

参考文献:

[1] 方国庆, 张晓宝. 板块沉积学[J]. 地球科学进展, 1992, 9(4): 19—25.

[2] DICKINSON W R and SUCZEK C A. Plate tectonics and sandstone composition [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(1): 2—31.

[3] BHATIA M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. The Journal of Geology, 1983, 91(6): 611—626.

[4] BHATIA M R and CROOK K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92(2): 181—193.

[5] ROSER B P and KORSCH R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio [J]. The Journal of Geology, 1986, 94(5): 635—650.

[6] 方国庆. 用杂砂岩的化学成分判断复理石形成时的板块构造背景[J]. 沉积学报, 1989, 7(增刊): 109—117.

[7] 方国庆. 一个用于推断复理石形成时板块构造背景的判别图[J]. 西北地质科学, 1993, 14(1): 121—125.

[8] CROOK K A W. Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositions in flysch arenites (graywackes)[A]. DOTT R H and SHAVER R H. Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation [C]. Tulsa: SEPM Special Publication, 1974, 19: 304—310.

[9] MAYNARD J B, VALLONI R and YU H S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins [A]. LEGGETT J K. Trench-Forearc Geology [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publicatioins, 1982, 551—562.

A. environment; Solid triangles represent the modern sediments from the South Virgi Basin, indicating an oceanic island-arc environment; The Permian (open squares) and Triassic (solid squares) turbidite series in southern Guizhou and northern Guangxi indicate an active continental margin; Open triangles represent the Late Proterozoic flysch from Bikou in Gansu, indicating an active continental margin. B. Solid cireles represent the Lower Carboniferous flysch from western Junggar, Xinjiang, indicating an oceanic island-arc environment; Open circles represent the Middle Carboniferous flysch from Urumqi-Hoboksar Highway in western Junggar, Xinjiang, indicating an active continental margin; Solid triangles represent the Middle Carboniferous flysch from northern Tianshan, Xinjiang, indicating the Andean-type active continental margin; Open triangles represent the flysch from the Stephen Formation in New Zealand, indicating an oceanic island-arc environment. C. Solid triangles represent the greywackes from the Banxi Group in southern China, indicating a passive continental margin; Open triangles represent the greywackes from the Lengjiaxi Group in southern China, indicating an active continental margin. D. Solid circles represent the Lower Palaeozoic flysch from Fujian, indicating a passive continental margin; Open circles represent the metamorphic greywackes from Shangdan, Qinling, indicating an active continental margin.

[10] MAYNARD J B. Composition of plagioclase feldspar in modern deep-sea sands: relationship to tectonic setting[J]. Sedimentology, 1984, 31(4): 493—501.

[11] 刘宝珺, 张锦泉, 叶红专. 黔西南中三叠世陆棚—斜坡沉积特征[J]. 沉积学报, 1987, 5(2): 1—16.

[12] 侯方浩, 黄继祥. 南盘江断陷区二、三叠系的火山碎屑浊积岩——一种独特的无海底扇浊流沉积模式[J]. 沉积学报, 1984, 2(4): 19—32.

[13] 裴先治. 碧口地区复理石岩系特征及其构造环境[J]. 西安地质学院学报, 1992, 14(1): 42—49.

[14] AITCHISON J C and LANDIS C A. Sedimentology and tectonic setting of Late Permian-Early Triassic Stephen Subgroup, Southland, New Zealand: an island arc-derived mass flow apron[J]. Sedimentary Geology, 1990, 68(1-2): 55—74.

[15] 李日俊, 郝杰, 胡文虎. 从岩石化学特点看板溪群的沉积大地构造背景[J]. 湖南地质, 1991, 10(3): 186—188.

[16] 朱玉磷, 邱盛安. 福建西部早古生代杂砂岩特征及其物源区和构造背景[J]. 地质论评, 1989, 35(6): 501—511.

[17] 于在平, 孙勇, 张成立, U. Altenberger. 秦岭商丹缝合带变质砂岩地球化学特征及构造环境探讨[J]. 地质论评, 1991, 37(6): 492—507.