

doi:10.3799/dqkx.2013.051

羌塘盆地藏夏河组砂岩地球化学特征及意义

宋春彦¹, 王 剑¹, 付修根¹, 冯兴雷¹, 曾胜强^{1,2}, 何 利¹

1. 成都地质矿产研究所, 四川成都 610081

2. 中国地质科学院研究生部, 北京 100037

摘要: 藏夏河组是指发育于北羌塘盆地北部的一套砂、泥质互层的复理石相沉积地层, 其时代为晚三叠世诺利期。由于其形成时间正是羌塘地体与可可西里—松潘地体沿金沙江缝合带进行碰撞、缝合的时期, 因此该套地层对于探讨晚三叠世藏北地质演化具有重要的指示意义。通过对北羌塘盆地多色梁一带藏夏河组砂岩进行 X 射线衍射, 全岩常量、稀土和微量元素分析, 以及锆石裂变径迹等方法分析该套砂岩的物源、沉积构造背景, 进而探讨晚三叠世羌塘盆地的性质。研究表明, 其岩石类型为杂砂岩, 物源主要为长英质火成物质, 另有少量古地壳再循环物质加入, 沉积大地构造背景为活动大陆边缘与大陆岛弧。结合前人研究资料, 推断晚三叠世北羌塘盆地的性质可能为前陆盆地, 藏夏河组为一套造山前或同造山期形成的复理石沉积建造。

关键词: 羌塘盆地; 晚三叠世; 藏夏河组; 地球化学; 沉积。

中图分类号: P534.51

文章编号: 1000-2383(2013)03-0508-11

收稿日期: 2012-08-11

Geochemical Characteristics and Signatures of the Sandstones from Zangxiahe Formation in Qiangtang Basin

SONG Chun-yan¹, WANG Jian¹, FU Xiu-gen¹, FENG Xing-lei¹, ZENG Sheng-qiang^{1,2}, HE Li¹

1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China

2. Graduate Department of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Abstract: The Qiangtang basin is located between the Jinshajiang suture (JSS) and Bangong-Nujiang suture. It is an important petroliferous basin in the northern Tibet Plateau, China. It is formed by the stacking of many basins of different stages, properties and generations. There have always been a lot of debate about the Late Triassic property of Qiangtang basin, so the Late Triassic Zangxiahe Formation is selected as the research subject in this paper. The Zangxiahe Formation, which is deposited on the northern margin of the Qiangtang basin, is a very thick flysch (>3 000 m) with sandstone and shale sediments. It is an very important indicator for the Late Triassic property of Qiangtang basin. The X-ray diffraction (XRD), major compositions, rare earth elements and trace elements of the whole rocks and the fission tracks of clastic zircon of the sandstones from Zangxiahe Formation in Qiangtang basin are studied in this paper, which reveals that the tectonic settings of source rock area belong to active continental margin and continental island arc. Combined with the results of previous studies, it is concluded that the main source area is JSS and the major source rocks are the felsic rocks. The felsic rocks are likely the S-COLG which intruded into the JSS in Middle Triassic. The deposition time of the Late Triassic Zangxiahe Formation is the same as the formation time of JSS. So the Late Triassic Qiangtang basin is a peripheral foreland basin.

Key words: Qiangtang basin; Late Triassic; Zangxiahe Formation; geochemistry; sedimentation.

羌塘盆地位于青藏高原北部, 夹持于金沙江缝合带和班公湖—怒江缝合带之间(图 1), 该盆地具有两坳一隆的构造格架, 自北向南可分为北羌塘盆地、中央隆起带和南羌塘盆地。晚三叠世北羌塘盆地

位于金沙江缝合带和中央隆起带之间, 对于羌塘晚三叠世原型盆地性质的争论较大。主要有冒地槽(黄汲清和陈炳慰, 1987)、弧后盆地(周祥, 1984; 西藏自治区地质矿产局, 1993; 潘桂棠等, 1998; 和钟铎等,

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40972087); 国家油气专项(No. 选区[2009]01)。

作者简介: 宋春彦(1981—), 男, 博士, 从事地层、构造和油气方面研究。E-mail: 331377185@qq.com

2000)和陆表海(余光明和王成善,1990;陈文西和王剑,2009)、周缘前陆盆地(黄继钧,2000;王成善等,2001;李勇等,2002)、碰撞前渊盆地(易积正等,1996;朱同兴等,2005)以及前陆盆地向裂陷盆地转换(王剑等,2009)等不同的观点。

羌塘盆地的形成与演化与其南、北两大构造缝合带密切相关。藏夏河组作为羌塘盆地北缘一套晚三叠世沉积地层,沉积时代正好处于羌塘地体与欧亚大陆沿金沙江缝合带拼贴的关键时期,其大地构造位置上正好位于金沙江缝合带南缘,因此其对于探讨晚三叠世羌塘盆地的性质具有重要指示意义。到目前为止,多数学者均认为藏夏河组属于复理石沉积建造,复理石主要形成于深边缘海和半深海环境,也可以形成于浅海,其沉积大地构造背景包括深海沟弧前盆地、边缘海盆地以及残留洋盆地等。

由于藏夏河组具有重要的地质意义,因此本文通过对采自羌塘盆地北缘多色梁一带的藏夏河组砂岩进行 X 射线衍射,全岩常量、稀土和微量元素分析以及锆石裂变径迹分析等,试图探讨该套杂砂岩的物源、沉积环境和沉积大地构造背景,进而探讨晚三叠世羌塘盆地的性质。

1 地质背景

羌塘中生代盆地为一个呈东西向展布的长条形盆地。成都地质矿产研究所在北羌塘坳陷进行 1 :

25 万黑虎岭幅区域地质调查时,在北羌塘盆地北缘新建了藏夏河组,以此代表多格错仁地层分区北部的上三叠统一套砂泥质深水复理石盆地相沉积为特征的地层体。前人曾将其称为苟鲁山克错组(张以菲和郑健康,1994)、肖茶卡群或肖茶卡组(西藏自治区地质矿产局,1993;王成善等,2001;赵政璋等,2001)。在该地层中出现四川上三叠统须家河组常见的孢粉:*Cadargasporites grranulatus*, 上三叠统常见的双壳类 *Halobia plicasa*, *H. superbescens* 等(王成善等,2001),以及晚三叠世诺利克期牙形石 *Epigondollella* 动物群(李勇等,1999)。据此,完全可以认定藏夏河组的时代属晚三叠世。

藏夏河组主要分布于羌塘盆地北缘藏夏河—多色梁子—丽江湖一带,呈近东西向展布,出露面积约 600 km²,多未见顶和底,唯在弯弯梁一带发现被下侏罗统那底岗日组火山岩、火山碎屑岩平行不整合覆盖或直接为中侏罗统雀莫错组角度不整合覆盖。该地层厚度 > 600~1 063 m,已知厚度最大处为岗盖日剖面(厚度达 3 153 m)。藏夏河组主要表现为一套深水复理石盆地相沉积特征,发育典型的鲍马序列。砂岩常具正粒序层理,小型交错层理和波痕;在细砂岩、粉砂岩中发育小型沙纹层理、小型斜层理、水平层理等。在砂岩底部发育重荷模、沟模、槽模和底冲刷等沉积构造。藏夏河组主要岩性为灰、深灰色薄至中厚层状细砾岩、含砾砂岩、细粒岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩,石英砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩页

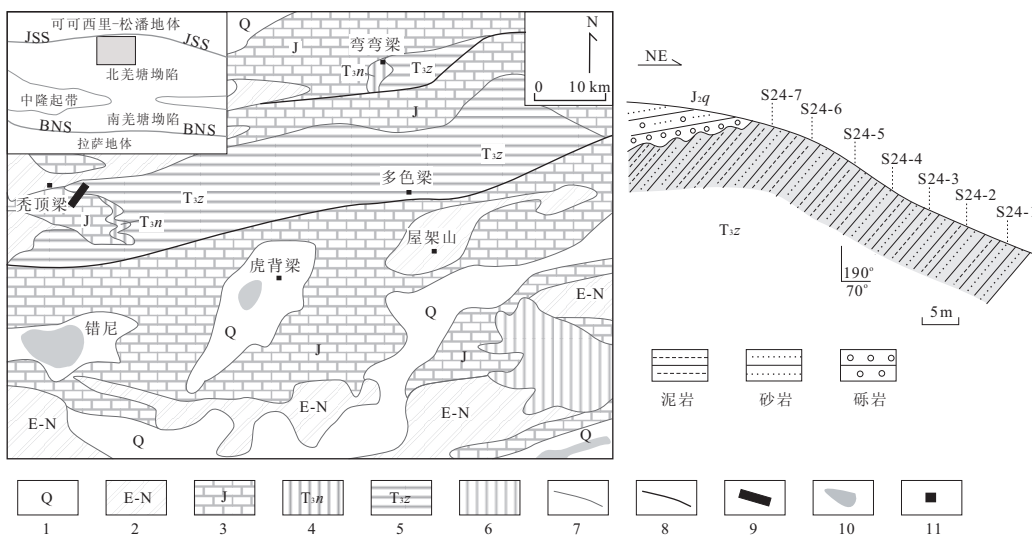


图 1 研究区地质简图(a)以及采样剖面(b)

Fig. 1 Study area (a) and sampling section (b)

1. 第四系;2. 第三系;3. 侏罗系;4. 上三叠统那底岗日组;5. 上三叠统藏夏河组;6. 新生代火成岩;7. 地层界线;8. 断层线;9. 剖面位置;10. 湖泊;11. 地名;JSS. 金沙江缝合带;BNS. 班公湖—怒江缝合带

岩和泥页岩组成多种互层状韵律式沉积。在北羌塘盆地北部藏夏河—岗盖日—明镜湖一带,上三叠统表现为灰色、灰绿色泥页岩与黄灰色、灰色薄—中层状中细粒岩屑杂砂岩不等厚互层(朱同兴等,2005)。

2 岩石类型

笔者以羌塘盆地错尼以北的秃顶梁剖面为研究对象(图 1)。剖面上部为中侏罗统雀莫错组,未见顶,产状较缓($\sim 20^\circ$);剖面下部为上三叠统藏夏河组,未见底,产状较陡($60^\circ \sim 70^\circ$)。雀莫错组与藏夏河组为角度不整合接触关系,在雀莫错组底部发育特征的底砾岩,其中见藏夏河组的砂岩砾石。藏夏河组岩性为灰色、灰绿色泥页岩与灰色薄—中层状中细粒岩屑杂砂岩、岩屑长石砂岩不等厚互层,泥岩与砂岩比例约为 2.5 : 1.0。砂岩中发育正粒序和小型交错层理等沉积构造,未见典型的鲍马序列。

本文沿剖面自下而上在其中分别采集 7 件砂岩样品(图 1),地球化学分析在国家地质测试中心完成。随机选取 3 件砂岩样品进行 X 衍射分析,其结果基本一致(图 2)。通过软件估算岩石中主要矿物的含量,其中石英含量较低约为 48%~56%,除去硅质基质后,石英碎屑的含量会更低。长石含量较高,约为 29%~34%,其中钾长石较低,约为 9%~10%,斜长石含量较高,约为 19%~25%。碳酸盐矿物约为 8%~10%,粘土矿物含量约为 7%~9%,碳酸盐矿物与粘土主要以杂基形式出现,因此该批样品杂基含量大于 15%,属杂砂岩。

砂岩中的钾含量一般均超过钠的含量,含钠较丰富的岩石主要是杂砂岩,其中钠长石含量高是主要原因,也可能是含有富含钠的火山岩碎屑(Crook,1974)。本文中所有样品的 Na_2O 含量均大

于 K_2O ,这也表明该批样品属杂砂岩。砂岩中 CaO 比 MgO 含量高,反映了方解石的丰度一般要比白云石的丰度大,也可能是含有钙斜长石的缘故。

确定沉积物成熟度的常用地球化学标准是 SiO_2 含量和 SiO_2 与 Al_2O_3 比值(Potter,1978),它们反映了沉积岩的石英和粘土及长石的含量,由于 SiO_2 主要来自于石英碎屑, Al_2O_3 主要来自于粘土矿物和长石。另外,岩石的化学成熟度指数是碱质($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)的含量,它同样是长石含量的度量。因此,可以根据全岩化学成分中 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值以及化学成熟度指数划分岩石类型。Pettijohn *et al.* (1973) 按照 $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ 对 $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 投影进行陆源砂岩分类。据此原则,研究区 7 件砂岩的投点均落入杂砂岩区(图 2),显示为一套分选中等、成熟度较低的碎屑岩,属典型的杂砂岩类。

镁铝比值 $m = 100 \times (\text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 是根据沉积岩层中 MgO 的亲海性和 Al_2O_3 的亲陆性特征而建立的比值关系。在由淡水向海水过渡的沉积环境中, m 值随沉积环境中水体盐度的增大而增大, m 值主要反映沉积环境中水体的盐度特征(刘岫峰,1991)。在不同类型的沉积环境中 m 值的变化范围是:①淡水沉积环境 $m < 1$;②海、陆过渡性沉积环境 m 为 1~10;③海水沉积环境 m 为 10~500;④陆表海环境(或泻湖碳酸盐岩沉积环境) $m > 500$ 。根据计算本文砂岩中 m 介于 13~23 之间,表明其沉积于海水环境,而不是海、陆过渡性沉积环境。

3 物源判别

3.1 常量元素分析

常量元素在判别沉积岩源区的应用中已较为广

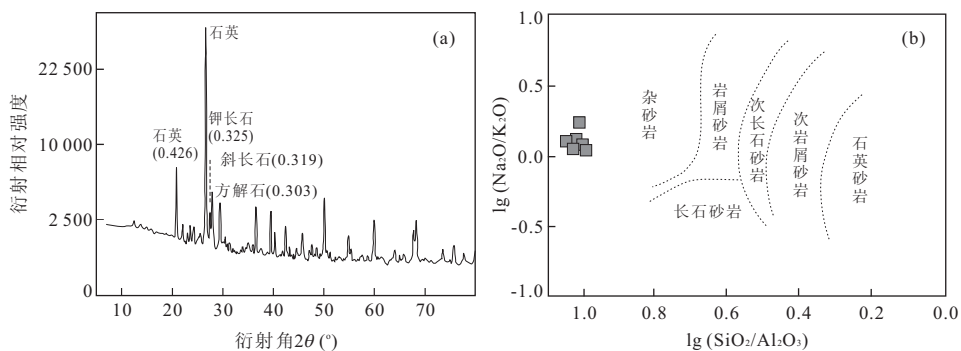


图 2 砂岩 X 射线衍射图谱(a)与砂岩分类图解(b)(据 Pettijohn *et al.*, 1973)

Fig. 2 X-ray diffraction of sandstones (a) and the type of the sandstones (b)

泛(邵磊等,1999;李曰俊等,2000;杨江海等,2006),本文 7 件砂岩在 Roser and Korsch(1988)的图解中落入了长英质火成物源区,但靠近石英质沉积物源区(图 3)。因此,本区砂岩以长英质物源为主,但混有部分石英质物源成分。

3.2 稀土与微量元素分析

稀土元素在指示沉积物源区的指标中非常可靠。其中 REE、Th、Sc 和高场强元素等可以用来分析源岩,当 $Th/Sc=1$ 为古老大陆上地壳; $Th/Sc \geq 1$ 为再循环沉积岩; $Th/Sc < 1$ 为年轻未分异弧(Taylor and McLennan,1985)。本文 7 件样品中有 6 件的 Th/Sc 介于 0.68~0.83 之间,显示物源主要为年轻未分异弧。仅 1 件样品 $Th/Sc=1.21 > 1$ 显示为再循环沉积岩。稀土模式也可用来指示物源,LREE/HREE 比值低,无 Eu 异常,则物源可能为基性岩石;LREE/HREE 比值高,有 Eu 异常,则物源多为硅质岩(Rollinson,1993)。本文 LREE/HREE 介于 8.2~9.7 之间,比值较高,且有明显的 Eu 负异常,显示物源主要为富硅岩石(图 3)。

为进一步揭示源岩的属性,利用 La/Th-Hf 和 La/Sc-Co/Th 源岩属性判别图解(Gu *et al.*, 2002),对研究的砂岩样的原始属性进行了分析(图 4)。由图 4a 可见,大多数砂岩落在长英质源区。仅有一件样品落在落在长英质源区的右侧,可能是含有较多再循环沉积岩成分所致,即含有古老沉积岩成分混入。在 La/Sc-Co/Th 图解上,研究区砂岩具有低而相对稳定的 Co/Th 比值,平均为 1.68。样品的投点位于长英质火山岩与安山岩之间,较靠近长英质火山岩,反映源岩以长英质岩为主,可能尚有安山质岩石的混入(图 4b)。

综上所述,藏夏河组物源以长英质岩石为主,并混合有少量安山质岩石和古老沉积物。

3.3 锆石裂变径迹

锆石裂变径迹法分析物源区是利用锆石矿物中所含的微量铀杂质裂变时在晶格中产生的辐射损伤,经一系列化学处理后形成径迹。通过观测径迹的密度、长度等分布,并对其加以统计分析,从中提供与物源区的年龄及构造演化有关的信息(Haughton *et al.*, 1991; Sambridge and Compston, 1994; Brandon, 1996; Galbraith, 1997; Dunkl and Giulio, 2001)。若沉积后样品未经完全退火,则其单颗粒年龄可能是各物源区母岩组分的混合。针对该情况, Galbraith 提出了用 χ^2 检验来判定颗粒年龄是否服从泊松分布,即是否属于同一组分。也可用放射图来判定裂变径迹年龄是否由多个组分构成(Galbraith, 1997)。Brandon(1992)提出了两种确定总体混合成分的分选方法,从而避免了单个颗粒锆石年龄精确度较低的缺点。

为了分析藏夏河组砂岩的物源,本文对采自秃顶梁剖面的两件砂岩(S24-1 和 S24-7)进行了锆石裂变径迹分析,测试在中国地质大学(北京)完成,结果见图 5(详细数据另刊文介绍)。从两件样品的单颗粒年龄分布可以看出,样品 S24-1 的单颗粒裂变径迹年龄介于 85~263 Ma 之间,样品 S24-7 的单颗粒裂变径迹年龄介于 115~340 Ma 之间。根据藏夏河组的沉积时期为晚三叠世卡尼-诺利期,该套地层的沉积年龄应该在 228~203 Ma 之间,则单颗粒锆石裂变径迹年龄中大于该年龄段的属物源成分的反映,小于该年龄段的属后期热退火所致。为了更加精确地分析藏夏河组的物源,通过 Brandon(1996)提出的二项式峰值拟合法,拟合了 2 件样品的最佳峰值年龄(图 5a, 5c),其中大于 228~203 Ma 年龄段的峰值年龄分别为 242 Ma 和 254 Ma。这意味着藏夏河组的母岩可能形成于晚二叠世一中三叠世早

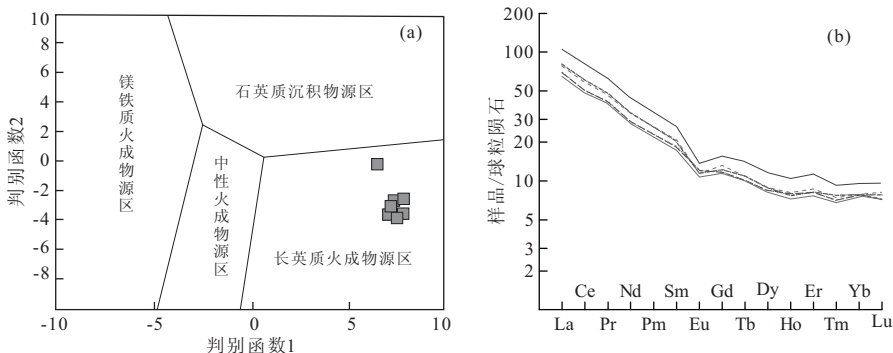


图 3 主要元素的源区判别图(a)(据 Roser and Korsch,1988)与稀土元素配分模式(b)
Fig. 3 Source rock discrimination on major elements (a) and chondrite-normalized REE patterns (b)

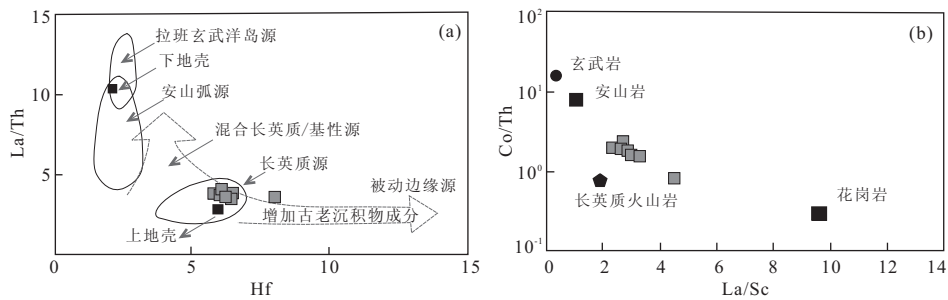


图 4 La/Th-Hf(a)和 La/Sc-Co/Th 源岩判别图解(b)(据 Gu *et al.*, 2002)

Fig. 4 Source rock discrimination for the sandstones of Zangxiahe Formation on La/Th vs. Hf (a) and La/Sc vs. Co/Th (b)

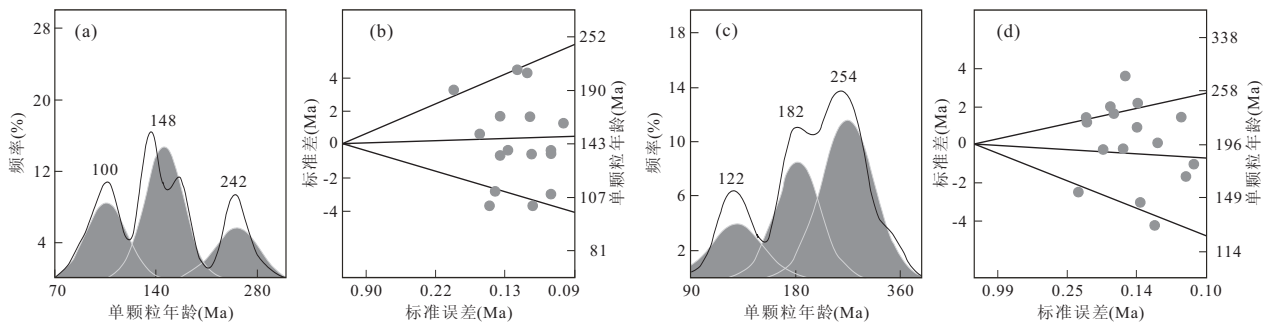


图 5 锆石裂变径迹最佳拟合峰值年龄与颗粒年龄的雷达图

Fig. 5 Peak ages of zircon fission track and radia plots of grain ages

a, b. 样品 S24-1 的峰值年龄与颗粒年龄的雷达图; c, d. 样品 S24-7 的峰值年龄与颗粒年龄的雷达图

期,对于长英质火成岩物源而言,其可能性较大;也可能在该时期,藏夏河组的源区发生了巨大的地壳隆升,从而导致其母岩冷却到锆石裂变径迹的退火带温度之下,对于古老沉积岩、变质岩的可能性较多. 主量元素和微量元素均已表明本文中砂岩的物源以长英质火成岩为主,则 242 Ma 和 254 Ma 的峰值年龄暗示着晚二叠世—中三叠世早期可能发生过于强烈的长英质岩浆活动或岩浆冷却事件.

4 沉积大地构造背景分析

4.1 常量元素分析

碎屑沉积岩的地球化学特征主要取决于其组成成分,而成分与其物源和大地构造环境有着非常密切的关系. 沉积构造背景对物源具有一定的控制作用,沉积物的化学组成也记录了沉积成岩过程中构造活动变化情况. 因此,可以根据碎屑沉积岩的地球化学特征来判别源岩大地构造环境(蔡观强等, 2006).

利用砂岩的化学成分来判别构造环境,具有代表性的研究者有 Middleton(1960)、Dickson and Suczek(1979)、Bhatia(1983, 1985)、Blatt *et al.* (1972)、Blatt

(1985)、以及 Rose and Korsch(1986, 1988). Blatt *et al.* (1972)认为钠质和镁铁质砂岩都形成于活动性较强的构造区,而钾质砂岩则是扩张背景盆地的特征岩石. 本文 7 件样品均落入钠质砂岩区(图 6a),表明其沉积于活动性较强的构造环境.

Roser and Korsch(1986)在研究新西兰古生代浊积岩时曾建立并应用了(K_2O/Na_2O)-(SiO₂)的双变量图(图 6b)来判别不同板块构造背景下砂岩形成的构造环境. 对于活动陆缘型砂岩,当其 SiO₂ 较低时,其 K_2O/Na_2O 值相当高. 在该图解中,7 个杂砂岩样品点几乎均落入活动大陆边缘区,并靠近被动大陆边缘一侧,仅有一个样品落入岛弧区(图 6b).

Bhatia(1983)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下砂岩的平均化学成分,并给出了构造背景判别图(图 6c, 6d). 本文 7 件样品在 TiO₂-(Fe₂O₃+MgO)关系图解中基本落入活动大陆边缘区,在 (Al₂O₃/(CaO+Na₂O))-(Fe₂O₃+MgO)图解中全部靠近活动大陆边缘区.

4.2 稀土、微量元素分析

将研究区砂岩的稀土元素与 Bhatia(1985)总结

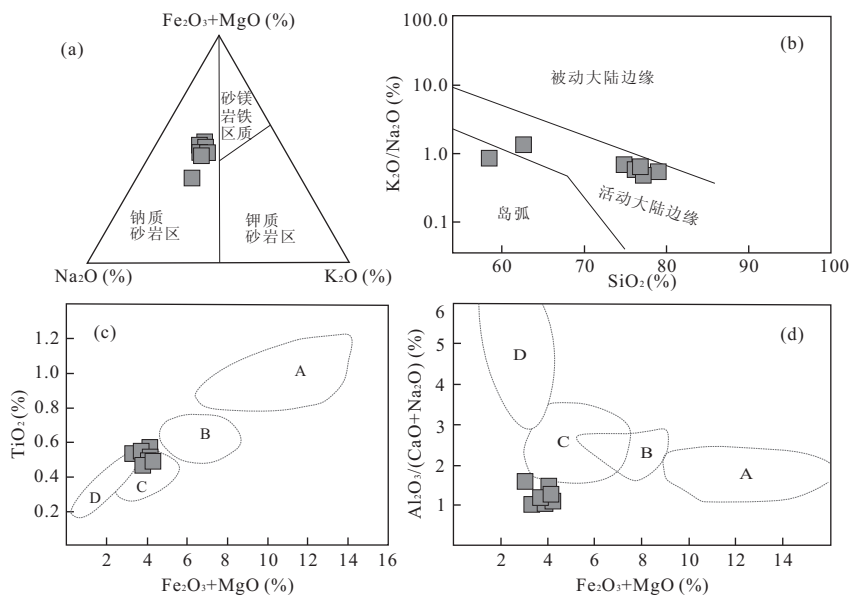


图 6 藏夏河组砂岩主量元素的构造环境判别

Fig. 6 Major element composition and the tectonic setting discrimination of the sandstones of Zangxiahe Formation
图 6a 据 Blatt *et al.* (1972); 图 6b 据 Roser and Korsch (1986); 图 6c 和图 6d 据 Bhatia (1983). A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘; Fe_2O_3 代表全铁

表 1 藏夏河组砂岩与典型构造背景沉积盆地杂砂岩的 REE 特征 (据 Bhatia, 1985)

Table 1 Comparison of REE characteristic parameters of the sandstones of Zangxiahe Formation with the greywackes from various tectonic setting

不同构造背景源区类型	La	Ce	ΣREE	La/Yb	$(La/Yb)_N$	LREE/HREE	δEu
大洋岛弧	8.0	19.0	58.0	4.2	2.8	3.8	1.04
大陆岛弧	27.0	59.0	146.0	11.0	7.5	7.7	0.79
活动大陆边缘	37.0	78.0	186.0	12.5	8.5	9.1	0.60
被动大陆边缘	39.0	85.0	210.0	15.9	10.8	8.5	0.56
研究区样品平均值	24.2	49.8	142.6	14.4	9.7	8.5	0.76

注:表中量纲为 10^{-6} .

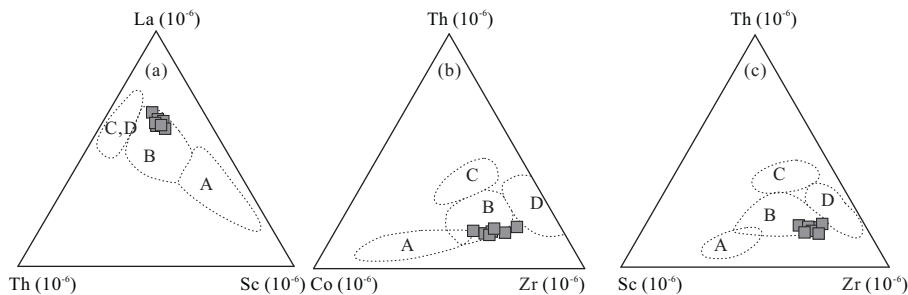


图 7 微量元素构造环境判别图 (据 Bhatia and Crook, 1986)

Fig. 7 La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 and Th-Sc-Zr/10 plots of the sandstones of the Zangxiahe Formation, for tectonic setting discrimination

a. La-Th-Sc; b. Th-Co-Zr/10; c. Th-Sc-Zr/10; A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘

的 4 类典型构造环境砂岩的稀土元素含量进行对比,发现本文的砂岩平均稀土元素非常接近于大陆岛弧,表明藏夏河组杂砂岩可能形成于大陆岛弧构造背景下的沉积盆地 (表 1).

Bhatia and Crook (1986) 认为,砂岩的微量元素,尤其 La、Th、Y、Zr、Ti、Co 和 Ni 等不活泼的微量元素,在判别构造环境上作用很大,并提出了可以

表 2 藏下河组砂岩的主量元素、稀土元素和微量元素数据
Table 2 Major compositions, rare earth elements and trace elements of the whole rocks from the sandstones of Zangxiahe Formation in Qiangtang basin

元素	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ZrO ₂	烧失量	Total	Rb	Sr	Ba	Nb	Zr	Hf	Th
S24-1	76.81	0.53	6.41	1.03	0.92	0.095	1.37	3.99	2.22	1.81	0.083	2.53	3.59	101.39	60.5	192	553	8.56	280	6.51	6.94
S24-2	75.42	0.56	6.43	1.06	1.30	0.084	1.51	4.10	2.26	1.83	0.086	2.51	4.06	101.21	54.0	195	526	7.98	183	4.92	5.79
S24-3	78.93	0.57	7.57	1.89	0.20	0.071	0.95	2.14	2.86	1.86	0.120	2.84	2.75	101.75	63.0	134	618	11.40	325	8.10	8.99
S24-4	76.82	0.55	6.34	1.06	1.14	0.075	1.47	3.82	2.24	1.80	0.086	2.53	4.39	101.32	54.9	195	576	8.36	243	5.77	5.58
S24-5	76.79	0.52	6.35	1.08	0.98	0.093	1.35	3.97	2.25	1.77	0.084	2.43	4.59	101.26	60.5	192	553	8.56	280	6.51	6.94
S24-6	75.30	0.55	6.48	0.94	1.32	0.082	1.54	4.40	2.24	1.80	0.084	2.48	5.06	101.28	54.0	195	526	7.98	183	4.92	5.79
S24-7	77.63	0.58	6.51	2.03	0.39	0.067	1.55	3.08	2.27	1.82	0.089	3.58	3.86	102.46	57.0	167	646	8.75	251	6.04	6.41
元素	Cr	Co	Ni	Sc	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	V
S24-1	135.0	9.60	53.8	8.34	1.62	24.8	49	5.82	20.2	3.97	0.84	3.16	0.52	2.85	0.55	1.72	0.25	1.64	0.23	16.8	54.5
S24-2	146.0	11.90	65.1	7.81	1.40	21.4	40.6	5.01	17.4	3.58	0.88	3.02	0.48	2.71	0.57	1.71	0.23	1.62	0.25	15.7	54.2
S24-3	55.1	7.58	21.0	7.40	2.14	32.6	65.4	7.59	26.3	5.15	1.01	4.05	0.67	3.74	0.75	2.37	0.30	2.00	0.31	22.9	49.3
S24-4	155.0	11.60	67.0	8.14	1.43	20.1	38.9	4.87	16.8	3.36	0.79	2.99	0.47	2.61	0.52	1.61	0.22	1.58	0.25	16.3	54.8
S24-5	135.0	9.60	53.8	8.34	1.62	24.8	49.0	5.82	20.2	3.97	0.84	3.16	0.52	2.85	0.55	1.72	0.25	1.64	0.23	16.8	54.5
S24-6	146.0	11.90	65.1	7.81	1.40	21.4	40.6	5.01	17.4	3.58	0.88	3.02	0.48	2.71	0.57	1.71	0.23	1.62	0.25	15.7	54.2
S24-7	174.0	12.90	74.4	8.48	1.59	24.2	46.9	5.63	20.0	4.01	0.84	3.39	0.51	2.85	0.58	1.81	0.24	1.64	0.26	17.7	55.7

注:表中主量元素量纲为 10⁻²,微量元素为 10⁻⁶.

区分形成于海洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘砂岩的图解(图7)。

本文7件砂岩在Bhatia and Crook (1986)给出的微量元素构造环境图上均落在大陆岛弧构造背景。由此看来,根据稀土与微量元素得出的构造环境与根据常量元素得出的结论有一定差别。

5 讨论

羌塘盆地北缘藏夏河组为一套巨厚的陆源碎屑沉积,粒度分析表明为浊流相成因,属典型的浊流沉积(李曰俊等,2000)。主量元素和X射线衍射分析结果表明,藏夏河组为一套分选中等、成熟度较低的碎屑岩。

物源分析结果表明,其物源成分以长英质岩石为主,并混合有少量安山质岩石和古老沉积物。锆石裂变径迹分析结果表明长英质物源的年龄为晚二叠—中三叠世早期,而羌塘盆地中央隆起带的长英质火成岩基本形成于侏罗纪,二叠纪—中三叠世主要为基性火成岩,因此藏夏河组的物源可能主要来自盆地北部的金沙江缝合带和可可西里地区。这意味着,羌塘中央隆起带在当时可能并未暴露,而成为北羌塘盆地的物源区,构成所谓的双物源区。因此,羌塘晚三叠世沉积盆地的陆源碎屑来源于盆地北缘活动大陆边缘的岩浆岛弧源区和造山带源区,金沙江缝合带内年龄为240 Ma的同碰撞花岗岩(李勇等,2003)的发现证明了该推断。

常量元素分析表明,藏夏河组的沉积构造背景为活动大陆边缘;稀土和微量元素分析结果为大陆岛弧。Rollinson(1993)指出通过沉积岩地球化学分析得出的构造背景只能反映物源区的大地构造环境,而不可能反映沉积盆地的大地构造背景。因此,在晚三叠世时期,羌塘盆地北缘物源区(金沙江缝合带、可可西里地区)属于活动大陆边缘构造环境,且可能发育有大陆岛弧性岩浆弧,这与李曰俊等(2000)的认识基本一致。

可可西里地区发现的晚泥盆世、中二叠世和中三叠世放射虫动物群,表明可可西里洋盆存在的时代为晚泥盆世至中三叠世晚期,最后的闭合时间在拉丁晚期之后(王玉净等,2005)。金沙江缝合带已发现的辉绿岩脉群,侵位时间为 246.21 ± 5.18 Ma(李勇等,2003),显示为伸展环境,表明晚三叠世羌塘盆地形成前的构造环境为被动大陆边缘;在金沙江缝合带飞马滩发现的年龄为240 Ma的同碰撞花岗

岩,表明金沙江缝合带西段碰撞作用的下限为中三叠世(李勇等,2003)。总之,目前研究结果表明中三叠世时期,羌塘地块与北侧可可西里—松潘地块沿金沙江缝合带发生了碰撞缝合,在碰撞缝合带上发育有同碰撞型花岗岩,在仰冲板块上可能发育有大陆边缘性岩浆弧,晚三叠世北羌塘盆地就发育在这样的构造环境之下,其物源主要为来自北侧同碰撞型花岗岩和大陆岛弧内的长英质物质,另外有少量古大陆地壳再循环物质加入。

综合分析认为,晚三叠世期间沿金沙江构造带发育有大陆岛弧,羌塘地块与可可西里—松潘地块由洋—陆俯冲向陆—陆碰撞过渡,藏夏河组为一套造山前或同造山期形成的深水浊流沉积。结合前人资料,推断晚三叠世北羌塘盆地的性质可能为周缘前陆盆地。藏夏河组作为羌塘晚三叠世前陆盆地底部的一套深水复理石沉积,是羌塘由早期伸展性盆地到晚三叠世挤压性盆地转换过程的重要沉积记录,同时也暗示了晚三叠世在青藏高原北部沿金沙江缝合带发生的重大造山事件。

6 结论

通过对藏夏河组砂岩进行全岩X射线分析和主量元素分析,确定其岩石类型为杂砂岩。通过地球化学分析,查明其物源主要为长英质火成物质,另有少量古地壳再循环物质加入。锆石裂变径迹分析表明藏夏河组的母岩可能形成于晚二叠—中三叠世早期,主要来源于盆地北缘活动大陆边缘的岩浆岛弧源区和造山带源区。常量元素分析表明,藏夏河组的沉积构造背景为活动大陆边缘;稀土和微量元素分析结果为大陆岛弧。因此,在晚三叠世时期,羌塘盆地北缘物源区(金沙江缝合带、可可西里地区)属于活动大陆边缘构造环境,且可能发育有大陆岛弧性岩浆弧。结合前人研究资料,推断晚三叠世北羌塘盆地的性质可能为前陆盆地,藏夏河组为一套造山前或同造山期形成的复理石沉积建造。

References

- Bhatia, M. R., 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *Journal of Geology*, 91(6): 611—627. doi: 10.1086/628815
- Bhatia, M. R., 1985. Rare Earth Element Geochemistry of Australian Paleozoic Greywackes and Mudstones: Provenance and Tectonic Control. *Sedimentary Geology*, 45: 97—113.

- doi: 10.1016/0037-0738(85)90025-9
- Bhatia, M. R., Crook, K. A. W., 1986. Trace Element Characteristics of Greywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92: 181—193. doi: 10.1016/1359-0189(90)90036-W
- Blatt, H., 1985. Provenance Studies and Mudrocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1985, 55(1): 69—75. doi: 10.1306/212F8611-2B24-11D7-8648000102C1865D
- Blatt, H., Middleton, G., Murray, R., 1972. Origin of Sedimentary Rocks. New Jersey: Prentice Hall
- Brandon, M. T., 1992. Decomposition of Fission-Track Grain Age Distributions. *American Journal of Science*, 292(8): 535—564. doi:10.2475/ajs.292.8.535
- Brandon, M. T., 1996. Probability Density Plot for Fission-Track Grain-Age Samples. *Radiation Measurements*, 26(5): 663—676. doi: 10.1016/S1350-4487(97)82880-6
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region, 1993. Regional Geology of the Tibet Autonomous Region. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Cai, G. Q., Guo, F., Liu, X. T., et al., 2006. Clastic Sediment Geochemistry: Implications for Provenance and Tectonic Setting and Its Influential Factors. *Earth and Environment*, 34(4): 75—83 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W. X., Wang, J., 2009. The Formation and Evolution of the Qiangtang Basin During the Late Triassic-Middle Jurassic Period in Northern Tibet. *Geology in China*, 36(3): 682—693 (in Chinese with English abstract).
- Crook, K. A. W., 1974. Lithogenesis and Geotectonics: The Significance of Compositional Variation in Flysch Arenites (Graywackes). In: Dott, R. H., Shaver, R. H., eds., *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation (SP19)*. SEPM Special Publication, Tulsa: 304—310.
- Dickson, W. G., Sucek, C. A., 1979. Plate Tectonic and Sandstone Composition. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 63(12): 2164—2182. doi: 10.1306/2F9188FB-16CE-11D7-8645000102C1865D
- Dunkl, I., Giulio, A. D., 2001. Kuhlemann Combination of Single-Grain Fission-Track Chronology and Morphological Analysis of Detrital Zircon Crystals in Provenance Studies Sources of the Macigno Formation (Apennines, Italy). *Journal of Sedimentary Research*, 71(4): 516—525. doi: 10.1306/102900710516
- Galbraith, R. F., 1997. The Radio Plot: Graphical Assessment of Spread in Ages. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 17(3): 197—206. doi: 10.1016/1359-0189(90)90036-W
- Gu, X. X., Liu, J. M., Zheng, M. H., et al., 2002. Provenance and Tectonic Setting of the Proterozoic Turbidites in Hunan, South China: Geochemical Evidence. *Journal of Sedimentary Research*, 72(3): 393—407. doi: 10.1306/081601720393
- Haughton, D. W., Morton, A. C., Todd, S. P., 1991. Developments in Sedimentary Provenance Studies. Oxford University Press, London.
- He, Z. H., Li, C., Yang, D. M., et al., 2000. The Tectonic Sedimentary Feature and Evolution of Qiangtang Basin in Northern Tibet. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(4): 347—352 (in Chinese with English abstract).
- Huang, J. J., 2000. Nature of the Qiangtang Basin and Its Tectonic Evolution. *Journal of Geomechanics*, 6(4): 58—66 (in Chinese with English abstract).
- Huang, J. Q., Chen, B. W., 1987. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Li, Y., Wang, C. S., Yi, H. S., 2002. Filled Sequence and Evolution of the Mesozoic Qiangtang Composite Foreland Basin in the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Stratigraphy*, 26(1): 62—67 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Wang, C. S., Yi, H. S., 2003. The Late Triassic Collision and Sedimentary Responses at Western. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(2): 191—197 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Yi, H. S., Wang, C. S., 1999. The Discovery and Geological Significance of Late Triassic Epigondollella Fauna in Northern Tibet Plateau. *Geological Review*, 45(6): 628 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. J., Sun, L. D., Gong, F. H., et al., 2000. A Preliminary Study on the Tectonic Setting of Upper Triassic Flysch at Chasang, North Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 443—448 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. F., 1991. Research Methods in Lab for Sedimentary Rocks. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Middleton, G. V., 1960. Chemical Composition of Sandstones. *Geological Society of America Bulletin*, 71(7): 1011. doi: 10.1130/0016-7606(1960)71[1011:CCOS]2.0.CO;2
- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., et al. 1998. Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R., 1973. Sand and Sandstone. Springer Verlag, New York.
- Potter, P. E., 1978. Petrology and Chemistry of Modern Big

- River Sands. *J. Geol.*, 86(4): 423—449. doi: 10.1086/649711
- Rollinson, H. R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific Technical Press, London.
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1986. Determination of Tectonic Setting of Sandstone-Mudstone Suites Using SiO₂ Content and K₂O/Na₂O Ratio. *The Journal of Geology*, 94(5): 635—650. doi: 10.1086/629071
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1988. Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone Suites Determined Using Discriminant Function Analysis of Major Element Data. *Chemical Geology*, 67, 119—139. doi: 10.1016/0009—2541(88)90010—1
- Sambridge, M. S., Compston, W., 1994. Mixture Modeling of Multi-Component Data Sets With Application to Ionprobe Zircon Ages. *Earth and Planetary Science Letters*, 128(3—4): 373—390. doi: 10.1016/0012—821X(94)90157—0
- Shao, L., Li, W. H., Yuan, M. S., 1999. Characteristic of Sandstone and Its Tectonic Implications of the Turpan Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1): 95—99 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Wang, C. S., Yin, H. S., Li, Y., et al., 2001. The Geological Evolution and Prospective Assessment for Oil and Gas in the Qiangtang Basin, Tibet. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, J., Ding, J., Tan, F. W., et al., 2009. The Oil-Gas Strategic Precinct Survey and Evaluation of Qinghai-Tibet Plateau. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Wang, Y. J., Yang, Q., Guo, T. Z., 2005. The Late Middle Triassic Radiolarians *Spongoserula Rarauana* Fauna From the Hoh Xil Region, Qinghai. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 22(1): 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. H., Du, Y. S., Zhu, J., 2006. Geochemical Characteristics of the Lower Silurian Flysch Greywacke in Zhenglu, Jingtai County, Gansu Province. *Geological Science and Technology Information*, 25(5): 27—31 (in Chinese with English abstract).
- Yi, J. Z., Deng, G. H., Zhang, X. F., 1996. Conditions of Oil and Gas Forming in Qiangtang Basin, Northern Xizang (Tibet). *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(2): 141—146 (in Chinese with English abstract).
- Yu, G. M., Wang, C. S., 1990. Sedimentary Geology of Tethys in Tibet. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, Y. F., Zheng, J. K., 1994. The Geological Conditions of the Hoh Xil Region in Qinghai and the Neighbourhood. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, Z. Z., Li, Y. T., Ye, H. F., et al., 2001. Tectonic Characteristics and Basin Evolution of Qinghai-Tibet Plateau. Science Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhou, X., 1984. Plate Tectonics of Tibet. Geological Publ. House, Beijing (in Chinese).
- Zhu, T. X., Dong, H., Li, C., et al., 2005. Distribution and Sedimentary Model of the Late Triassic Strata in Northern Qiangtang on the Qinghai-Xizang Plateau. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 25(3): 18—23 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡观强, 郭锋, 刘显太, 等, 2006. 碎屑沉积物地球化学: 物源属性、构造环境和影响因素. *地球与环境*, 34(4): 75—83.
- 陈文西, 王剑, 2009. 晚三叠世—中侏罗世羌塘盆地的形成与演化. *中国地质*, 36(3): 682—693.
- 和钟铤, 李才, 杨德明, 等, 2000. 西藏羌塘盆地的构造沉积特征及演化. *长春科技大学学报*, 30(4): 347—352.
- 黄继钧, 2000. 羌塘盆地性质及构造演化. *地质力学学报*, 6(4): 58—66.
- 黄汲清, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化. 北京: 地质出版社.
- 李勇, 王成善, 伊海生, 2002. 中生代羌塘前陆盆地充填序列及演化过程. *地层学杂志*, 26(1): 62—67.
- 李勇, 王成善, 伊海生, 2003. 西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰撞作用与沉积响应. *沉积学报*, 21(2): 191—197.
- 李勇, 伊海生, 王成善, 1999. 青藏高原北部晚三叠世 *Epigondollella* 动物群的发现及其地质意义. *地质论评*, 45(6): 628.
- 李曰俊, 孙龙德, 龚富华, 等, 2000. 藏北查桑上三叠统复理石沉积大地构造背景的初步探讨. *岩石学报*, 16(3): 443—448.
- 刘岫峰, 1991. 沉积岩实验室研究方法. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1998. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社.
- 邵磊, 李文厚, 袁明生, 1999. 吐鲁番—哈密盆地的砂岩特点及构造意义. *沉积学报*, 17(1): 95—99.
- 王成善, 伊海生, 李勇, 等, 2001. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价. 北京: 地质出版社.
- 王剑, 丁俊, 谭福文, 等, 2009. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价. 北京: 地质出版社.

王玉净,杨群,郭通珍,2005. 青海可可西里地区中三叠世晚期放射虫 *Spongoserrula rarauana* 动物群. 微体古生物学报,22(1):1-9.

西藏自治区地质矿产局,1993. 西藏自治区区域地质志. 北京:地质出版社.

杨江海,杜远生,朱杰,2006. 甘肃省景泰正路下志留统复理石杂砂岩沉积地球化学特征. 地质科技情报,25(5) 27-31.

易积正,邓光辉,张修富,1996. 藏北羌塘盆地成油气地质条件探讨. 地球科学,21(2):141-146.

余光明,王成善,1990. 西藏特提斯沉积地质. 北京:地质出版社.

张以菲,郑健康,1994. 青海可可西里及邻区地质概论. 北京:地震出版社.

赵政璋,李永铁,叶和飞,等,2001. 青藏高原大地构造特征及盆地演化. 北京:科学出版社.

周祥,1984. 西藏板块构造—建造图及说明书. 北京:地质出版社.

朱同兴,董瀚,李才,等,2005. 青藏高原北羌塘地区晚三叠世地层展布和沉积型式. 沉积与特提斯地质,25(3): 18-23.

《地球科学——中国地质大学学报》 2013 年 第 38 卷 第 4 期 要目预告

循化—化隆盆地晚白垩世以来盆山耦合过程:来自物源与磷灰石裂变径迹年代学分析的证据 ...	张远泽等
内蒙古锡林浩特地区中元古代锡林浩特岩群的厘定及其意义	周文孝等
青藏高原班公错的湖盆成因及构造演化	刘芳晓等
岷江叠溪古堰塞湖沉积物中孢粉特征	王小群等
四川石棉县大水沟岩片绿片岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义	阮林森等
吉南老岭地区早白垩世铝质 A 型花岗岩的厘定及其构造意义	秦 亚等
陆内克拉通盆地"溯源退积"层序构型构建:以鄂尔多斯盆地山西组为例	朱红涛等
松辽盆地北部 T2 反射层断裂密集带成因机制研究	孙永河等
基于贝叶斯网络的地震相分类	顾 元等