

新疆博罗霍洛山地区上志留统 博罗霍洛山组沉积构造背景分析

李永铁

(石油大学 北京 100083)

提 要 新疆中天山西段的博罗霍洛山地区,在早古生代具有裂陷带性质。上志留统博罗霍洛山组形成于该裂陷带的最后闭合阶段,具有其特殊的形成时间和沉积特征。通过对该组地层的沉积学、岩石学及地球化学等方面的分析,本文较深入地讨论了其沉积环境及其沉积构造背景。认为该组岩石为浊流沉积物,其形成与活动性较强的大陆边缘区有着密切的关系,其陆源物质来源以当时存在于裂陷带以南的具有一定陆壳厚度和中等成熟度的“伊宁古陆”区为主。

关键词 博罗霍洛山组 浊流沉积 沉积及地球化学特征 沉积构造背景

第一作者简介 李永铁 男 36岁 博士后 沉积学/构造及岩相古地理学

新疆中天山西段的科古琴山至博罗霍洛山地区,在大地构造上位于伊宁地块与准葛尔地块的中间地带,即以往所称的博罗霍洛加里东地槽褶皱带或加里东楔。中上元古界至下古生界在该区广泛分布,尤其是下古生界,层序完整,化石丰富,岩石及岩相类型多样,是天山地区的标准地层区之一。但由于本区断裂及褶皱构造非常发育,地层后期破坏强烈,致使部分地层之间的接触关系很难查明。

根据对沉积、古地理及构造演化的分析,在早古生代沿科古琴山到博罗霍洛山地区应具有裂陷带性质(本文称之为博罗霍洛早古生代裂陷带),其范围限于博罗霍洛山南坡断裂和北坡断裂之间,呈北北西—南东东向延伸,并在其南北两侧均存在有古陆剥蚀区,但裂陷带内陆源沉积物质主要来源于南部古陆。裂陷带的演化可分为三个阶段:初期(早寒武世—早奥陶世)以拗陷为主;前期(中奥陶世—早志留世)为裂陷阶段,发育有双模式火山岩;后期(中—晚志留世)为闭合阶段,广泛接受了复理石沉积,到志留纪末裂陷带完全闭合。

本文所讨论的上志留统博罗霍洛山组,以其紫红色为主的杂色沉积而著称,形成于博罗霍洛山早古生代裂陷带的最后闭合阶段,具有其特殊的形成时间和沉积特征。前人对该组曾做过一些工作,但多侧重于地层的划分和对比方面。本文从该组的沉积岩石学特征及地球化学特征等方面入手,讨论其形成的沉积环境及大地构造背景,以期能对该组的研究做些有益的补充。

1 博罗霍洛山组的主要特征

1.1 主要沉积特征及岩相分析

博罗霍洛山组主要分布于中天山西段的科古琴山—博罗霍洛山的主脊及其南坡,出露

厚度最大可达 3183m,且未见顶。岩石以紫红色为主的杂色沉积为特征,曾被称之为“红色岩组”,与下伏的库茹尔组呈整合接触。博罗霍洛山组主要岩石组合为岩屑长石砂岩、钙质泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和少量含泥粉砂质灰岩。除在粉砂质灰岩中含少量床板珊瑚和腕足类碎片外,几乎不含其它化石。沉积物单层厚度不大,但在横向上非常稳定,并且所含的化石碎片也多集中成层出现,而显示出经过明显水流搬运的特征。该组沉积最明显的特征是韵律性十分发育,粒级递变性明显。另外该组地层中的构造变动也非常严重,在博罗霍洛山主脊地区呈倒转产出,显示了地层沉积后博罗霍洛早古生代裂陷带闭合时加里东运动对此区的强烈影响。

根据对典型地段剖面分析,博罗霍洛山组中韵律性岩石可以明显地划分成四种构造段:①平行层理段,层理厚 0.5~1cm,以较粗的岩屑长石砂岩为主;②交错层理、斜层理段,也往往同时发育包卷层理,以粉砂岩为主;③水平纹层段,呈极细的纹层状,以钙泥质粉砂岩为主;④块状层段,以粉砂质泥岩为主。据野外观察,层序完整部分可见四段连续出现,粒度递次减小。但往往 1、4 两段并不是经常存在,而大量出现的是 2、3 两段所组成的不完整的韵律变化。各段出现的几律约为 1:4:4:1 韵律层厚 3~40cm,以 20cm 左右者居多,各韵律层之间具有冲刷界面。

以上四段与典型的鲍玛浊积岩序列相比,分别与其 b、c、d、e 各段相当,只是缺失 a 段。对岩石的粒度分析结果,在 C-M 图上样点较为集中分布,基本平行于 C=M 的基线(图 1)。C/M 比值大部分在 3 以下,显示了较深水的浊流沉积特征。

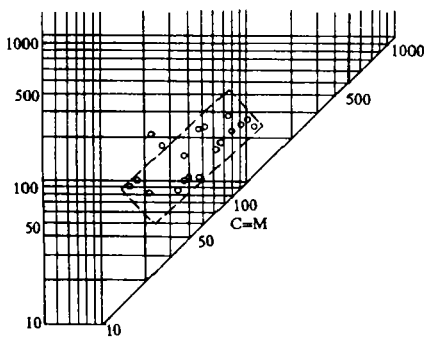


图 1 博罗霍洛山组杂砂岩粒度分析 C-M 图
Fig. 1 C-M pattern of graywackes of the Bolhinur Mt. Formation

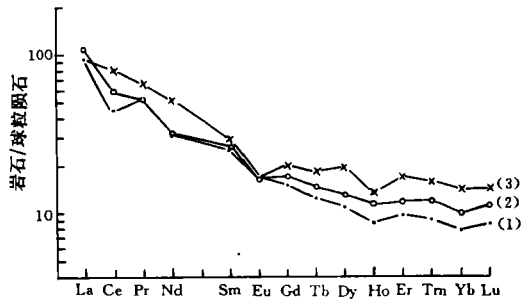
Walker 和 Mutti(1976)曾提出详细的浊积岩分类,共划分出 A-G 7 种相,其中 ABFG 四相不适用鲍玛序列,CDE 三相鲍玛序列可以适用。与其相比,博罗霍洛山组浊积岩可归为 D 相,相当于鲍玛序列的 bcde 或 cde 段,即典型的远源浊积岩,多形成于海底扇的边缘。

另外,整合下伏于博罗霍洛山组之下的库茹尔组岩石中,可见斜层理及滑塌构造等沉积构造,显示了其形成于海底具有一定坡度的斜坡相区。因此,库茹尔组与博罗霍洛山组从总体上构成了一个由斜坡到海底扇的岩相演化序列。但遗憾的是由于本区构造破坏严重和工作程度所限,难以对其总体形态和特征进行更深

入的研究。

1.2 主要化学成分特征

对博罗霍洛山组中几种不同碎屑岩的化学分析结果表明,在靠近南部物源区裂陷带边缘部分的样品,其 SiO₂ 含量相对较低,而铁、镁、钙相对较高。原因可能是边缘水体较浅、碳酸盐岩沉积较多所致,并且在地层剖面中也确实是含有较多的灰岩夹层。在沉积中心(北部地区)由于浊流的快速搬运、沉积和水体较深,原地沉积的碳酸盐岩明显减少,其岩石的化学成分可能更能代表物源区的性质。所取样品化学成分与地盾区相比,二者基本一致,只是钙、镁含量稍高。



1)粉砂岩(4个样品) 2)泥岩(2个样品)
3)北美泥岩(40个样品)

图2 博罗霍洛山组岩石稀土元素分布型式
Fig. 2 Comparison of chondrite normalized REE patterns of rocks of the Bolhinur Mt. Formation.

1.3 稀土元素(REE)特征

许多资料表明,稀土元素(REE)在海相沉积岩形成过程中的相对不活跃性及在海水中浓度极低且停留时间很短的特性,致使沉积岩中的REE丰度和分布型式只能是由一定构造环境下的物源区母岩所决定。

对博罗霍洛山组中各类不同岩石的分析结果,其轻重稀土比即LREE/HREE为7.46~9.81,La_N/Yb_N为9.59~14.06。岩石的REE分布型式(图2)显示轻稀土相对富集型,Eu亏损中等(计算δEu值为0.82),Ce明显亏损。应用Elderfield等(1982)提出的Ce异常计算公式:

$$Ce_{anom} = \lg [3Ce_N / (2La_N + Nd_N)]$$

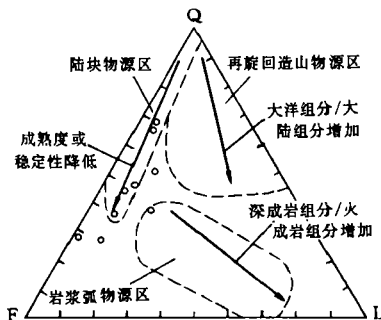
以北美页岩(NA SC)为标准,所计算的博罗霍洛山组中由粗到细各类岩石的Ce_{anom}值分别为-0.18、-0.21和-0.15,均小于-0.10,显示了Ce亏损,并且指示了相对氧化条件。这与该组岩石多显红色指示氧化条件相一致。其原因可能是该组沉积时频繁的构造活动使浊流频繁发生、海水动荡相对富氧所致。

2 博罗霍洛山组构造背景分析

陆源岩石的成分受物源区特点、沉积作用性质等多种因素的影响,而物源区与沉积盆地的主要关系又受到大地构造性质的支配,这最终控制了不同类型沉积的分布。根据比较大地构造学的观点,近年来已有不少学者提出了现代各种性质板块构造来源的沉积模式,并由此推广到古代沉积组合与板块构造性质的鉴别上。根据前人的研究经验,以下对博罗霍洛山组岩石的沉积构造背景做些尝试性的讨论。

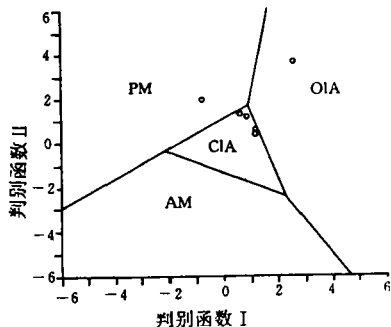
2.1 岩石主要矿物组分的判别

通过对博罗霍洛山组砂岩矿物成分的统计,其石英和硅质岩岩屑平均含量40%、长石45%、碳酸盐岩岩屑15%,属杂砂岩类。应用大家所熟悉的Dickinson等(1979)砂岩骨架组分Q-F-L判别图,本组杂砂岩绝大部分落入了陆块物源区内(图3)。



Q—稳定的石英颗粒,其中包括单晶石英颗粒和多晶石英质岩屑(主要为燧石) F—单晶长石颗粒,包括斜长石和钾长石 L—不稳定的多晶岩屑,包括火山及变质岩屑和沉积及沉积变质岩屑
图3 博罗霍洛山组杂砂岩Q-F-L图解
Fig. 3 Q-F-L diagram from graywackes of the Bolhinur Mt. Formation.

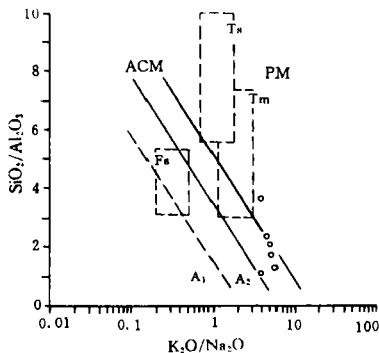
另外,根据岩石的阴极发光分析结果,石英呈褐色,应主要形成于区域变质岩中。考虑到该组岩石并未受到明显的区域变质作用,因而石英成分应能代表物源区岩石的特点。再结合古流向及岩相变化等特征,基本可以肯定,博罗霍洛山组沉积物主要来源于南部的“伊宁古陆”剥蚀区。



PM. 被动陆缘 AM. 活动陆缘
CIA. 大陆型岛弧 OIA. 大洋型岛弧

图 4 博罗霍洛山组杂砂岩构造背景化学成分判别函数图解

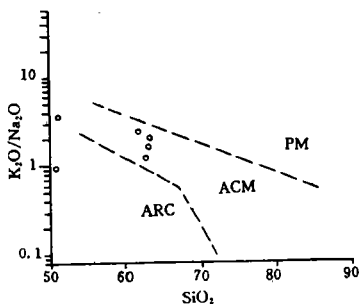
Fig. 4 Tectonic discrimination functions diagram from graywackes of the Bolhinur Mt. Formation (From M. R. Bhatia, 1983)



A₁ · 岛弧背景玄武质—安山质碎屑 A₂ · 演化的岛弧背景霏细深成岩碎屑 ACM. 活动大陆边缘 PM. 被动大陆边缘

图 5 博罗霍洛山组杂砂岩 SiO₂/Al₂O₃—K₂O/Na₂O 构造背景判别图

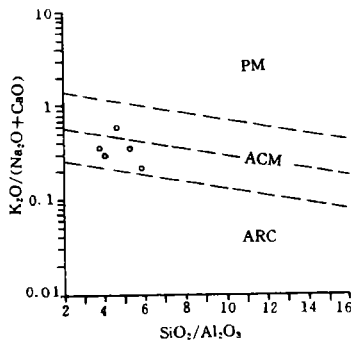
Fig. 5 SiO₂/Al₂O₃—K₂O/Na₂O plots of graywackes of the Bolhinur Mt. Formation (Form B. P. Roser, 1986)



ARC. 大洋岛弧 ACM. 活动大陆边缘
PM. 被动大陆边缘

图 6 博罗霍洛山组杂砂岩 K₂O/Na₂O—SiO₂ 构造背景判别图

Fig. 6 K₂O/Na₂O—SiO₂ tectonic discrimination diagram from graywackes of the Bolhinur Mt. Formation (From B. P. Roser, 1986)



PM. 被动大陆边缘 ACM-I. 安第斯型大陆边缘
ACM-II. 岛弧盆地活动大陆边缘 ARC. 大洋岛弧

图 7 博罗霍洛山组杂砂岩 K₂O/(Na₂O+CaO)—SiO₂/Al₂O₃ 构造背景判别图

Fig. 7 K₂O/(Na₂O+CaO)—SiO₂/Al₂O₃ plots of graywackes of the Bolhinur Mt. Formation (From Fang Guoqing, 1989)

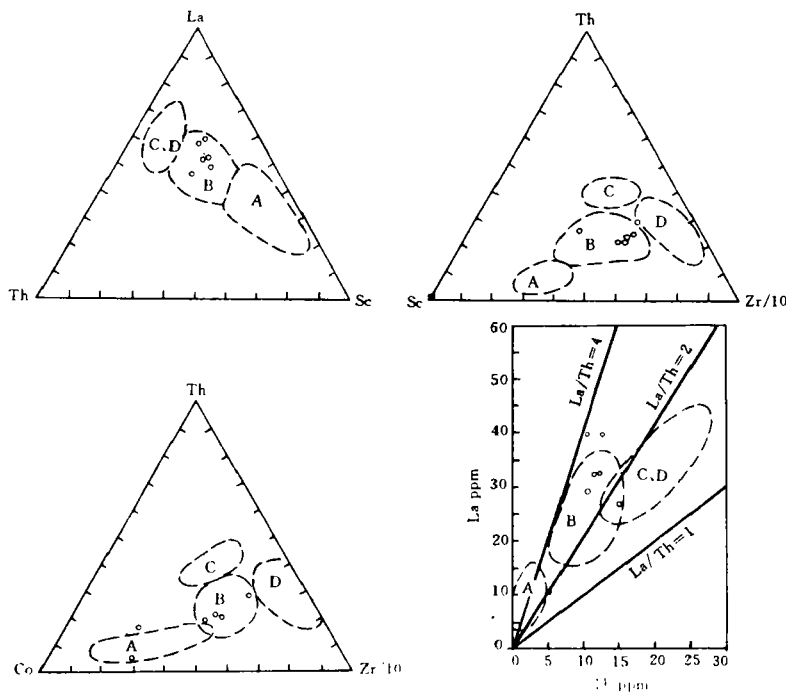
2.2 岩石化学成分判别

利用砂岩的化学成分来判别构造环境,最初由 Crook(1974)所提出,进入 80 年代以后,方法逐渐增多,精度逐渐提高,所利用的成分由最初简单几种逐渐增加到所有常量元素,同时所适用的岩石也从砂岩逐渐到所有细碎屑岩类。具有代表性的研究者有 Bhatia (1983)、Roser(1986)以及我国的方国庆(1989)等。

对博罗霍洛山组岩石化学成分计算并投影作图(图 4、5、6、7),可以看出,无论选择何种判别函数,样点基本上均落入活动大陆边缘(ACM)或大陆型岛弧(CIA)区构造背景中。

2.3 稀土元素(REE)成分判别

利用稀土元素和微量元素判别构造环境,最初应用于火山岩中。在沉积岩中,80 年代以后才用来解决物源区和大地构造性质问题。在这方面研究最多且最具代表性的为 Bhatia,其研究表明,来自不同构造背景下的砂岩和泥岩有其特征的 REE 丰度和分布型式。他还提出了利用不同 REE 进行构造背景判别的图解。经计算,博罗霍洛山组中不同岩石的 REE 各项特征平均值分别为 La33.60、Ce44.43、 Σ REE141.09、La/Yb18.33、LaN/YbN11.86、LREE/HREE8.29 & Eu0.82。与 Bhatia (1985)所提出的不同构造背景 REE 参数相比较,除 Ce 略有亏损和 La/Yb 略高以外,各项特征基本与大陆岛弧构造背景区一致。



A. 大洋岛弧 B. 大陆岛弧 C. 活动大陆边缘 D. 被动大陆边缘

图 8 博罗霍洛山组杂砂岩稀土元素判别图

Fig. 8. La—Th—Sc, Th—Sc—Zr/10, Th—Co—Zr/10 and La—Th plots of graywackes of the Bolhinur Mt. Formation (From M. R. Bhatia, 1986)

利用该组岩石中不同稀土和微量元素投影作图判别,均显示了较好的一致性,样点绝大部分落入了B区,即大陆岛弧区(图8)。

另外,根据Bhatia(1983)的 SiO_2/Al 等与REE关系的判别,显示了博罗霍洛山组的源岩具有中等的成熟度。

2.4 博罗霍洛山组沉积构造背景

从以上各种岩石学、地球化学及REE等特征的判别可以看出,博罗霍洛山组的形成与活动性较强的大陆边缘区(安第斯型大陆边缘和大陆岛弧区)有着密切的关系,其形成于博罗霍洛早古生代裂陷带最后闭合阶段的浊流沉积环境,物源区为具有一定陆壳厚度和中等成熟度的陆块区。考虑到古水流方向及岩相变化等特征,沉积物应主要来自于裂陷带南部的“伊宁古陆”区。

由于对沉积岩形成盆地及物源区构造背景的判别研究,只是近二十年来的进展,许多研究方法的适用性和精确性还很局限,加之以地质构造的复杂性,所以还需要做更进一步的深入研究。并且,由于工作程度的限制和资料不足,本文只是多利用了前人的研究经验对博罗霍洛山组进行了初步尝试性的探讨,以望能起到“抛砖引玉”的作用。

致谢:本文是在王鸿祯和朱鸿教授的精心指导下完成,在此谨致以衷心地感谢。

收修改稿日期:1993-12-10

参 考 文 献

- [1] 王中刚,于学元等,1989,稀土元素地球化学,北京:科学出版社。
- [2] 王作勋,邬继义等,1990,天山多旋回构造演化及成矿,北京:科学出版社。
- [3] 王鸿祯,刘本培,1981,中国中元古代以来古地理发展的轮廓,地层学杂志,5(2)。
- [4] 方国庆,1989,用杂砂岩的化学成分判断复理石形成的板块构造背景,沉积学报,7卷增刊,109~117。
- [5] 李汉瑜,1983,关于石英阴极发光特征及其在砂岩研究中的应用,沉积学报,1(2)。
- [6] 刘宝君,曾允孚,1985,岩相古地理基础和工作方法,北京:地质出版社。
- [7] 新疆地层表编写组,1981,西北地区区域地层表(新疆分册),北京:地质出版社。
- [8] M. R. Bhatia, 1985, Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology*, Vol. 45. p97~113.
- [9] M. R. Bhatia and K. A. V. Cook, 1986, Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 92, No. 2. p. 181-193.
- [10] W. R. Dickinson and C. A. Suczek, 1979, Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG*, Vol. 63, No. 12.
- [11] B. P. Roser and R. J. Korsch, 1986, Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. *The Journal of Geology*, Vol. 94, No. 5. p635~650.

Analysis of the Tectono—sedimentary Setting of the Bolhinur Mt. Formation (Upper Silurian) in the Bolhinur Mt. Region, Xinjiang

Li Yongtie

(University of Petroleum, Beijing, 100083)

Abstract

The Bolhinur Mt. Formation of the Upper Silurian is widely distributed in the Bolhinur Mt. region. The Formation was formed in the closing stage of the Bolhinur Early Palaeozoic Aulacogen and is famous for its purplish red sediments.

Having analysed sedimentologic, petrologic and petrochemical features, the author probes into the tectonic setting of the Bolhinur Mt. Formation of the Upper Silurian and concludes that the Formation was turbidity current sediments and formed in close relationship with an active continental margin. The source area of the Formation was mainly southern "Yining oldland", which had certain continental crust and middle maturity.

Key Words: The Bolhinur Mt. Formation, Turbidity current sediment, Sedimentary and geochemical features, Tectonic setting.