

# 西秦岭南缘康县—留坝一带白水江群碎屑岩的地球化学特征及构造背景

王涛<sup>1</sup>, 王宗起<sup>1</sup>, 闫全人<sup>1</sup>, 闫臻<sup>2</sup>, 卢海峰<sup>1</sup>, 李秋根<sup>1</sup>

WANG Tao<sup>1</sup>, WANG Zong-qi<sup>1</sup>, YAN Quan-ren<sup>1</sup>,

YAN Zhen<sup>2</sup>, LU Hai-feng<sup>1</sup>, LI Qiu-gen<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

**摘要:**西秦岭南缘白水江群主要由碎屑岩基质和不同性质的岩块组成,碎屑岩为一套深水浊流沉积。碎屑岩的稀土元素球粒陨石标准化曲线以轻稀土元素富集、Eu负异常和重稀土元素平坦为特征;主量元素和微量元素的特征指示白水江群碎屑岩的物质来源具有多源性,但主要以岛弧环境为主。这表明白水江群的构造环境为活动大陆边缘,而非被动大陆边缘。

**关键词:**西秦岭;白水江群;地球化学;岛弧;活动大陆边缘

中图分类号:P534.43;P595

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2006)06-0730-07

**Wang T, Wang Z Q, Yan Q R, Yan Z, Lu H F, Li Q G. Geochemical characteristics and tectonic setting of clastic rocks of the Baishuijiang Group in the Kangxian-Liuba area on the southern margin of the West Qinling, China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(6):730-736**

**Abstract:** The Baishuijiang Group on the southern margin of the West Qinling is composed of clastic matrix and blocks of different origins. The clastic rocks are marked by a sequence of deep-water turbidite current deposits. The chondrite-normalized REE distribution patterns for the clastic rocks are LREE-enriched with flat HREE and negative Eu anomalies and the characteristics of the major elements and trace elements indicate that the clastic rocks were derived from multiple provenances but mainly from an island arc. This suggests that the tectonic setting of the Baishuijiang Group is the active continental margin rather than the passive continental margin.

**Key words:** West Qinling; Baishuijiang Group; geochemistry; island arc; active continental margin

秦岭造山带位于华北板块和扬子板块之间,在中国大地构造研究中具有十分重要的意义。尽管其形成和演化经过多年的研究并已取得重大的进展,但是由于秦岭造山带具有长期的、多阶段的、复杂的发展历史,对一些基础问题仍然存在较大的分歧,还有待于深入的研究。如对出露于西秦岭南缘的白水江群的构造属性,目前存在较大的争议,一种观点认为白水江群属于扬子被动大陆边缘<sup>[1-4]</sup>,而另一种观点

统地认为属于南秦岭活动大陆边缘<sup>[7-9]</sup>。

迄今为止,对西秦岭南缘的研究主要集中在勉略带<sup>[10]</sup>,而对白水江群的研究较少。事实上,白水江群形成的构造背景与其南边的勉略带和整个秦岭造山带有着重要关系。为此,笔者对白水江群中碎屑岩的沉积环境、岩石组成特征、沉积岩的源区性质等进行了研究与讨论,为进一步探讨该区的大地构造性质和演化提供有用的信息。

收稿日期:2005-03-29;修订日期:2005-12-09

地调项目:中国地质调查局项目(200313000057)资助成果。

作者简介:王涛(1974-),男,在职博士,助研,从事构造地质学研究。E-mail:real-wt@sohu.com

### 1 区域地质概况

西秦岭南缘白水江群呈带状分布于陕西、甘肃2省交界处,东起陕西省留坝县,经甘肃省徽县、成县到康县等地区。大地构造上位于秦岭造山带西南部,扬子地台与秦岭造山带结合部位。前人将其地层称之为“白水系”<sup>[1]</sup>。陕西省区域地质测量队在进行1:20万成县幅填图时命名为“白水江群”<sup>①</sup>。由于在该地层中迄今没有发现可靠的化石证据,前人将其与成县盆地以西的“白龙江群”<sup>[2]</sup>相对比,时代定为志留纪,一直沿用至今。

白水江群北以留坝—谈家庄断裂为界,出露泥盆系—三叠系;南以出露泥盆系三河口群和勉略带<sup>[3]</sup>为界,主要出露古生代横丹群复理石岩系和元古宙碧口群火山岩系<sup>[3,4]</sup>(图1)。白水江群主要由一套浅变质的浊积岩夹碳酸盐岩、基性—超基性火山岩等构造岩块组成,向东与石泉—洋县一带由砂板岩、生物礁灰岩与火山熔岩互层构成的海山相连<sup>[5]</sup>。

### 2 沉积相特征

白水江群中的浊积岩组合因受区域上较强的构造变形的影响,其部分原岩的层理已被改造,因此只对局部变形较弱的岩层进行了相分析。

浊积岩在白水江群中非常发育(图2),一般表现为灰色—灰黑色细砂岩与粉砂质板岩、泥质板岩互层,相当于

Mutti等<sup>[5]</sup>提出的浊积相组合中的b段、d段和e段沉积组合。浊积岩层序的底部常以具有平行层理的灰色细砂岩b段开始,c段不发育。在整个剖面中浊积岩内部以d段和e段重复交替为主,d段和e段常变质成板岩,厚度各处不一,水平层理比较发育。在区域上,单个砂岩层不连续,有的呈透镜状,砂岩底部多与泥质板岩呈水平过渡。不同层位的岩性柱状图A和B(图2)表明,白水江群具有垂向上逐渐变细的特征。在单个沉积序列中大都表现为砂岩层较薄、泥岩层较厚,具有海底扇扇缘沉积的特征<sup>[6]</sup>。

### 3 碎屑岩成分特征

样品主要沿西秦岭南缘甘肃徽县至陕西略阳新建公路剖面采集,代表了白水江群地层的岩石特征,剖面位置如A—A'和B—B'所示(图1)。所取样品来自白水江群浊积岩,主要岩性为灰色的粉砂岩、粉砂质泥质板岩和泥质板岩。

碎屑岩的基质含量变化较大,变化于10%~15%之间,以钙质胶结为主,呈基质支撑结构。碎屑岩中富含斜长石,而贫乏钾长石。长石总的含量变化于15%~30%之间。通常情况下,长石表面比较粗糙,发育聚片双晶,但颗粒较小;微斜长石格子双晶很少见。岩屑含量为10%~20%,主要是硅质岩、火山碎屑、泥岩等,呈棱角状—次棱角状。石英颗粒含量较高,变化于50%~70%之间,在薄片单晶石英的含量小于多晶石英的含量。总体上,石英颗粒表面较混浊,以次棱角状为主,个别

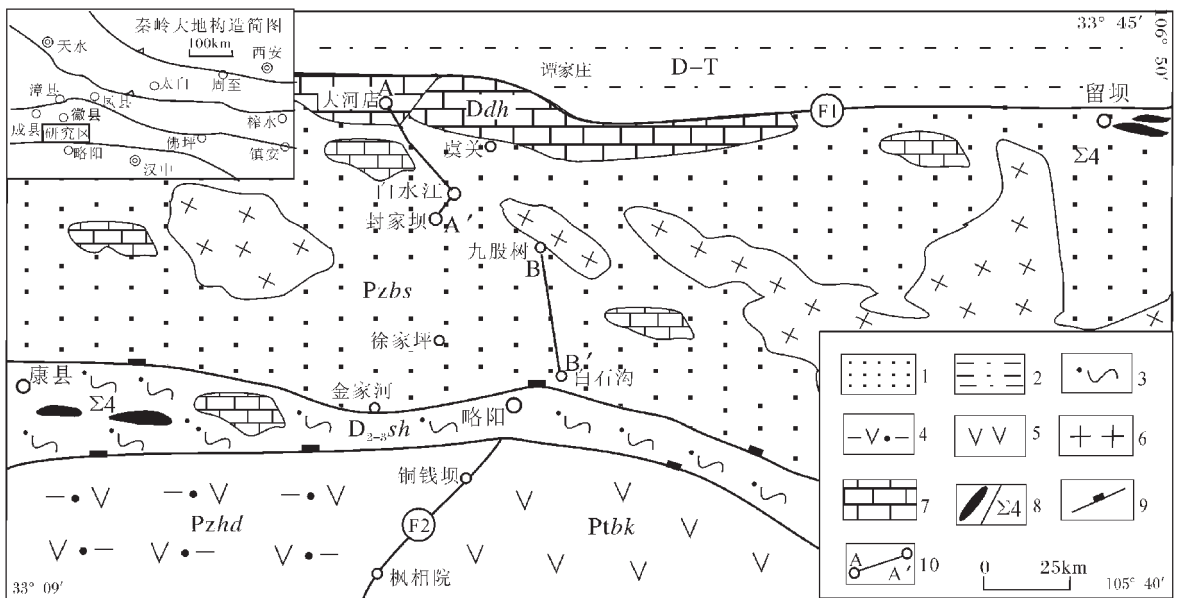


图1 西秦岭南带区域地质简图

Fig.1 Simplified regional geological map of the south belt of the West Qinling

1—碎屑岩;2—浊积岩;3—混杂岩;4—火山岩;5—安山岩;6—花岗岩;7—灰岩;8—超基性岩;9—缝合带边界;10—剖面位置;F1—留坝—谈家庄断裂;F2—铜钱坝—枫相院断裂;D—T—泥盆系—三叠系;Ddh—大河店组;Pzbs—白水江群;D<sub>2-sh</sub>—泥盆系三河口群;Pzhd—横丹群;Ptbk—碧口群

① 陕西省地质局区域地质测量队.1:20万成县幅地质图及说明书.1967.

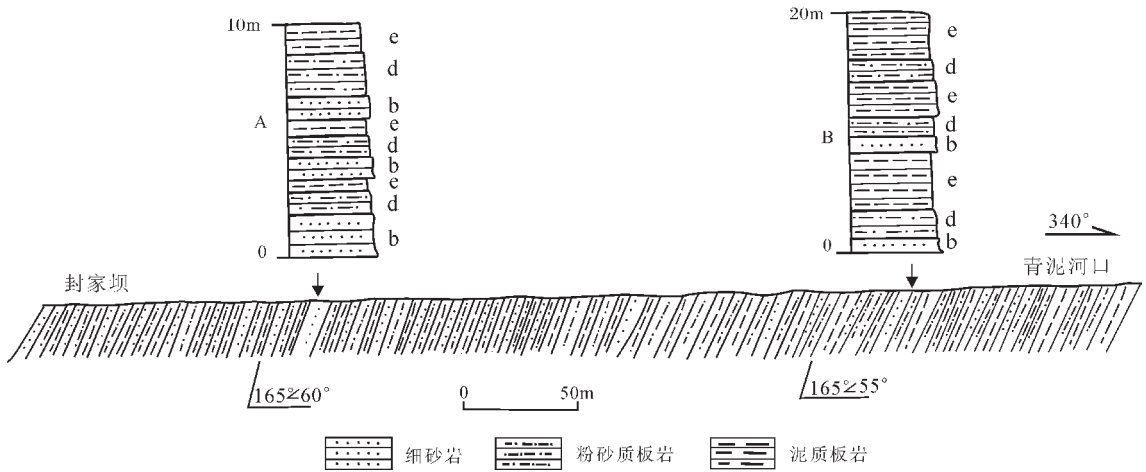


图2 封家坝白水江群浊积岩露头剖面(图1中剖面A-A')

Fig.2 Cross section of the turbidite outcrop of the Baishuijiang Group in Fengjiaba

薄片可见次生加大现象,具有波状消光的多晶石英和变质纹发育的石英颗粒。在薄片可见黑云母、白云母等变质矿物,在部分薄片可见矿物的定向排列,部分薄片矿物具有拖尾状构造,说明该岩石已发生较强的变形。这些特征表明碎屑岩源区母岩有火山岩、花岗岩、变质岩、砂岩等。可见,西秦岭白水江群碎屑岩的碎屑组成复杂,沉积物源区具多源性。

#### 4 分析方法

碎屑岩的主量元素、微量元素和稀土元素的分析是在中

国地质科学院国家地质实验测试中心完成的。主量元素测定时首先称取样品0.50 g,以无水四硼酸锂和硝酸铵为氧化剂,在1200℃左右熔融制成玻璃薄片,使用X-射线荧光光谱仪(XRF)测定,仪器为日本理学3080E X-射线荧光光谱仪,其中FeO采用重铬酸钾容量法、 $H_2O^+$ 采用重量法、 $CO_2$ 采用气体体积法测定;稀土元素采用过氧化钠溶矿ICP-MS测定;微量元素中Zn、V、Cr、Sr、Ba采用四酸溶矿ICP-AES(酸溶)法,其他元素采用四酸溶矿ICP-MS,所用仪器为等离子体质谱仪。所有样品标样为GBR-4,误差小于3%。分析结果见表1和表2。

表1 白水江群碎屑岩主量元素分析结果

Table 1 Major element analysis of clastic rocks of the Baishuijiang Group

| 样品号   | BS96  | BS91  | BS912 | BS82  | BS85  | BS913 | BS931 | BS103 | BS1041 | BS106 | BS109 | BS110 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 岩性  | 板岩    | 板岩    | 粉砂岩   | 板岩    | 板岩    | 粉砂岩   | 板岩    | 板岩    | 粉砂岩    | 板岩    | 粉砂岩   | 板岩    |
| SiO <sub>2</sub>                                      | 44.49 | 40.99 | 39.67 | 80.01 | 56.60 | 82.44 | 72.76 | 48.27 | 65.75  | 65.23 | 58.74 | 92.93 |
| TiO <sub>2</sub>                                      | 0.59  | 0.44  | 0.24  | 0.56  | 0.47  | 0.51  | 0.69  | 0.44  | 0.82   | 0.63  | 3.16  | 0.18  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                        | 11.47 | 9.40  | 4.39  | 10.81 | 7.58  | 9.46  | 13.18 | 4.72  | 17.47  | 13.73 | 15.93 | 3.75  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                        | 0.11  | 0.23  | 0.28  | 0.35  | 0.14  | 0.10  | 0.52  | 3.45  | 0.71   | 0.21  | 0.91  | 0.10  |
| FeO   | 6.36  | 5.24  | 4.82  | 2.32  | 2.41  | 2.20  | 3.56  | 0.01  | 5.92   | 5.00  | 8.30  | 0.72  |
| MgO   | 11.25 | 15.19 | 18.35 | 1.26  | 1.05  | 0.94  | 2.93  | 0.85  | 2.70   | 2.98  | 4.35  | 0.54  |
| CaO   | 22.17 | 25.79 | 30.73 | 0.33  | 27.50 | 0.43  | 1.12  | 39.44 | 0.48   | 6.70  | 1.57  | 0.22  |
| MnO   | 0.79  | 0.72  | 0.79  | 0.04  | 0.25  | 0.05  | 0.06  | 0.89  | 0.14   | 0.44  | 0.38  | 0.04  |
| Na <sub>2</sub> O                                     | 0.55  | 0.40  | 0.46  | 2.31  | 3.02  | 2.12  | 1.54  | 1.44  | 1.64   | 1.85  | 3.32  | 0.20  |
| K <sub>2</sub> O                                      | 1.89  | 1.52  | 0.16  | 1.89  | 0.85  | 1.61  | 3.50  | 0.29  | 4.18   | 3.14  | 2.31  | 1.27  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                         | 0.33  | 0.09  | 0.10  | 0.12  | 0.12  | 0.13  | 0.14  | 0.19  | 0.19   | 0.09  | 1.04  | 0.04  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *+MgO                  | 17.71 | 20.64 | 23.42 | 3.89  | 3.59  | 3.23  | 6.96  | 3.96  | 9.26   | 8.17  | 13.47 | 1.35  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>      | 0.26  | 0.23  | 0.11  | 0.14  | 0.13  | 0.11  | 0.18  | 0.10  | 0.27   | 0.21  | 0.27  | 0.04  |
| K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                    | 3.45  | 3.79  | 0.35  | 0.82  | 0.28  | 0.76  | 2.28  | 0.2   | 2.54   | 1.70  | 0.69  | 6.53  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> O+CaO | 0.50  | 0.36  | 0.14  | 4.09  | 0.25  | 3.70  | 4.96  | 0.12  | 8.23   | 1.61  | 3.26  | 9.13  |

注:分析值均已换算为干体系,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*代表(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO)的值;主量元素含量%

表2 白水江群碎屑岩稀土和微量元素分析结果

Table 2 Trace element and REE analysis of clastic rocks of the Baishuijiang Group

| 样品号<br>岩性            | BS96<br>板岩 | BS910<br>板岩 | BS912<br>板岩 | BS82<br>板岩 | BS85<br>板岩 | BS913<br>砂岩 | BS931<br>板岩 | BS103<br>板岩 | BS1041<br>砂岩 | BS106<br>板岩 | BS109<br>砂岩 | BS110<br>板岩 |
|----------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| La                   | 23.2       | 17.6        | 12.6        | 23.3       | 24.4       | 20.2        | 30          | 15.3        | 49.9         | 40.1        | 162         | 9.6         |
| Ce                   | 40.9       | 32.3        | 26          | 44.4       | 44.3       | 39.8        | 56.6        | 32.1        | 98.5         | 72.6        | 316         | 15.3        |
| Pr                   | 4.83       | 3.85        | 3.21        | 5.41       | 5.44       | 4.53        | 6.65        | 3.56        | 11.2         | 8.2         | 34.7        | 2           |
| Nd                   | 17.3       | 14.1        | 12.2        | 20.5       | 21.8       | 17.5        | 25.7        | 15          | 38           | 28.8        | 126         | 7.59        |
| Sm                   | 3.42       | 3.01        | 3.17        | 3.85       | 4.95       | 3.67        | 4.86        | 4.08        | 7.65         | 5.24        | 22.5        | 1.59        |
| Eu                   | 0.81       | 0.87        | 1.02        | 0.98       | 1.18       | 0.78        | 0.97        | 0.8         | 1.64         | 1.12        | 4.39        | 0.52        |
| Gd                   | 3.77       | 3.17        | 3.32        | 3.95       | 5.04       | 3.69        | 4.49        | 5.17        | 7.3          | 5.11        | 20.3        | 1.64        |
| Tb                   | 0.6        | 0.49        | 0.55        | 0.62       | 0.89       | 0.53        | 0.7         | 0.97        | 1.07         | 0.76        | 2.63        | 0.26        |
| Dy                   | 3.58       | 2.8         | 3.5         | 3.47       | 5.24       | 3.01        | 3.44        | 6.08        | 5.54         | 3.95        | 11.8        | 1.4         |
| Er                   | 2.01       | 1.47        | 2           | 1.98       | 3.41       | 1.92        | 1.95        | 3.37        | 3.31         | 2.47        | 6.08        | 1.01        |
| Ho                   | 0.73       | 0.51        | 0.72        | 0.66       | 1.18       | 0.66        | 0.7         | 1.27        | 1.12         | 0.83        | 2.22        | 0.32        |
| Tm                   | 0.28       | 0.24        | 0.27        | 0.32       | 0.51       | 0.26        | 0.28        | 0.52        | 0.46         | 0.36        | 0.76        | 0.14        |
| Yb                   | 1.9        | 1.53        | 1.79        | 2.02       | 3.2        | 1.74        | 1.94        | 3.16        | 2.96         | 2.57        | 4.45        | 0.95        |
| Lu                   | 0.26       | 0.21        | 0.28        | 0.29       | 0.45       | 0.26        | 0.29        | 0.43        | 0.45         | 0.32        | 0.58        | 0.14        |
| Y                    | 21         | 16.1        | 19.9        | 18.5       | 36.9       | 16.4        | 19.3        | 41.7        | 30.6         | 23          | 57          | 10.3        |
| Co                   | 10.2       | 6.82        | 4.34        | 8.73       | 7.53       | 6.57        | 10.8        | 6.87        | 19.5         | 21.1        | 22.6        | 7.49        |
| Cs                   | 1.63       | 1.26        | 0.31        | 3.35       | 1.25       | 2.93        | 11.9        | 0.72        | 11.6         | 8.91        | 4.89        | 1.13        |
| Pb                   | 11         | 14.9        | 34.4        | 12.7       | 19.1       | 10.2        | 9.8         | 36.9        | 22.5         | 28.2        | 4.78        | 9.69        |
| Rb                   | 51         | 40.7        | 5.72        | 82.5       | 30.9       | 68.6        | 157         | 13.3        | 153          | 146         | 85.7        | 58.8        |
| Sc                   | 9.95       | 6.16        | 3.64        | 8.11       | 8.14       | 6.48        | 11.3        | 3.74        | 14.2         | 12.5        | 9.92        | 3.77        |
| Th                   | 8.82       | 5.42        | 4.19        | 6.36       | 4.94       | 6.52        | 10.8        | 3.57        | 11.9         | 12.7        | 19.8        | 3.24        |
| U                    | 3.57       | 2.52        | 3.4         | 1.33       | 1.42       | 1.18        | 1.32        | 0.8         | 2.04         | 2.06        | 2.1         | 3.89        |
| Ba                   | 237        | 158         | 23.4        | 54.5       | 171        | 411         | 616         | 133         | 1372         | 896         | 2073        | 2176        |
| Cr                   | 59.7       | 43          | 22.7        | 69         | 35.2       | 54.5        | 75.5        | 29.4        | 87           | 85.3        | 42.3        | 48.2        |
| Cu                   | 3.65       | 3.43        | 3.24        | 15.8       | 8.74       | 10.5        | 6.95        | 6.34        | 20.7         | 11.7        | 157         | 37.2        |
| Ni                   | 18.9       | 17.9        | 8.79        | 13.4       | 6.9        | 10.9        | 30.2        | 3.82        | 37.7         | 40.3        | 41.9        | 54.8        |
| Sr                   | 322        | 285         | 313         | 120        | 1304       | 125         | 114         | 233         | 105          | 380         | 261         | 11.7        |
| V                    | 58.3       | 45.8        | 10.5        | 66.5       | 33.8       | 52.4        | 68.6        | 16.6        | 111          | 105         | 135         | 572         |
| Zn                   | 48.9       | 47.3        | 38.4        | 53.8       | 24.5       | 51.8        | 120         | 17          | 118          | 118         | 149         | 282         |
| Hf                   | 2.16       | 1.76        | 1.91        | 4.85       | 4.15       | 5.33        | 4.84        | 2.01        | 4.68         | 3.41        | 15.2        | 1.09        |
| Nb                   | 9.03       | 5.95        | 3.79        | 9.79       | 7.18       | 8.53        | 11.2        | 6.47        | 13.5         | 12.8        | 170         | 8.62        |
| Ta                   | 0.66       | 0.5         | 0.32        | 0.7        | 0.51       | 0.63        | 0.9         | 0.53        | 1.01         | 0.88        | 12.7        | 0.44        |
| Zr                   | 71.4       | 58.8        | 64.4        | 181        | 146        | 189         | 183         | 73.5        | 177          | 124         | 719         | 54.2        |
| Eu/Eu*               | 0.69       | 0.86        | 0.96        | 0.77       | 0.72       | 0.65        | 0.63        | 0.54        | 0.67         | 0.66        | 0.62        | 0.99        |
| (La/Sm) <sub>N</sub> | 4.13       | 3.56        | 2.42        | 3.68       | 3.00       | 3.35        | 3.76        | 2.28        | 3.97         | 4.66        | 4.38        | 3.67        |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 8.04       | 7.58        | 4.64        | 7.60       | 5.02       | 7.65        | 10.19       | 3.19        | 11.10        | 10.28       | 23.98       | 6.66        |
| LREE/HREE            | 2.65       | 2.70        | 1.80        | 3.09       | 1.80       | 3.04        | 3.77        | 1.13        | 3.92         | 3.96        | 6.29        | 2.26        |
| (Gd/Yb) <sub>N</sub> | 1.59       | 1.66        | 1.48        | 1.57       | 1.26       | 1.70        | 1.85        | 1.31        | 1.97         | 1.59        | 3.65        | 1.38        |

注:稀土和微量元素含量 $10^{-6}$ 

## 5 地球化学特征

### 5.1 主量元素特征

碎屑岩的主量元素 $\text{SiO}_2$ 的平均含量为60%左右,以 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.04~0.27,一般为0.1~0.2)偏低、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (一般0.3~6.00,平均为2.00)偏高和较高的 $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/(\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ 指以 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的形式表示全铁的含量)含量(一般在3.5%~20%之间)

为特征。除个别样品外,多数样品的CaO含量较高,可能是样品中部分岩石以钙质胶结为主的缘故。

### 5.2 稀土元素特征

白水江群碎屑岩样品的稀土元素含量、特征比值和球粒陨石标准化后的分布模式见表2和图3。尽管稀土元素的绝对含量变化较大,但球粒陨石标准化曲线与典型的后太古宙页岩(如PASS和NASC)和上地壳<sup>[7]</sup>相似,主要以轻稀土富集为

特征,而重稀土元素含量均一,  $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$  和LREE/HREE比值均大于1;以显著的Eu负异常 ( $Eu/Eu^*$ 一般为0.60~0.70)、重稀土平坦 ( $(Gd/Yb)_N=1.3\sim 3.65$ ,平均值1.75)和无Ce异常为特征。

## 6 构造背景讨论

沉积物的化学组成受物源类型、风化条件、搬运方式及成岩作用等多种因素的制约。而这些因素主要受沉积盆地的构造环境所控制,因此通过分析碎屑岩的地球化学特征可以判别其形成的大地构造背景。在这方面已有大量的研究成果和文献,并总结出了一系列碎屑岩的构造环境判别图解<sup>[17-24]</sup>。本文将从浊积岩的地球化学特征方面进一步探讨碎屑岩的物质来源和构造背景。

Roser等<sup>[21]</sup>在对新西兰来源于不同物源区的砂岩和泥岩主量元素成分研究的基础上,发现和总结出以砂岩和泥岩氧化物的比值( $K_2O/Na_2O-SiO_2$ 和 $SiO_2/Al_2O_3-K_2O/Na_2O$ )为参数,通过图解判别沉积物的不同物源区和构造背景的方法(图4)。

笔者将西秦岭南缘白水江群碎屑岩的主量元素的比值( $K_2O/Na_2O-SiO_2$ 与 $SiO_2/Al_2O_3-K_2O/Na_2O$ )分别投入判别图中,可以看出样品点几乎都落入大洋岛弧区(ARC)和岛弧区(A1)(图4-a、b),说明物源来自于岛弧。

在Tarney<sup>[25]</sup> $TiO_2-SiO_2$ 图解中,样品点大都落入火成岩区,而少数点落入沉积岩区(图5-a),说明碎屑岩沉积时,物源主要来自于火山岩源区。在Bhatia<sup>[18]</sup>根据对东澳大利亚古生代砂岩的研究提出的 $TiO_2-(Fe_2O_3+FeO+MgO)$ 图解中,样品点既有落入大洋岛弧区的,又有位于大陆岛弧和活动大陆边缘内的(图5-b)。这表明白水江群发生沉积时,物质来源不仅具有岛弧的特征,而且还显示出一定的多源性。

在Bhatia等<sup>[20]</sup>具有构造环境判别意义的 $Th-Sc-Zr/10$ 、

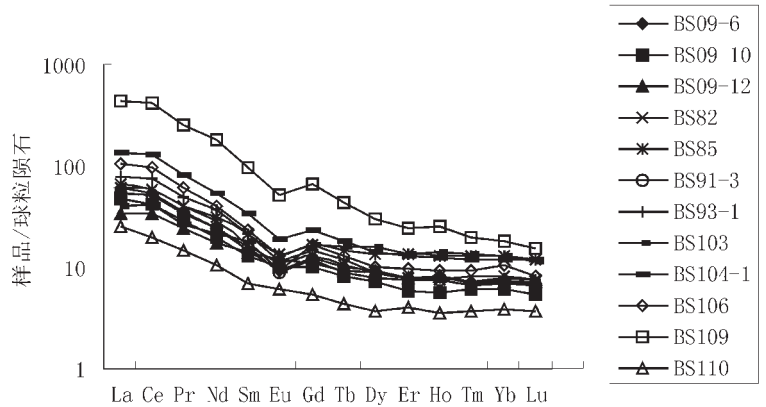


图3 稀土元素的球粒陨石标准化配分曲线

Fig.3 Chondrite-normalized REE distribution patterns

$La-Th-Sc$ 图上,白水江群的样品点几乎全部落入大陆岛弧区内(图6-a),或者大部分位于大陆岛弧区,少部分位于活动大陆边缘区(图6-b),进一步说明该区发生沉积时,沉积物质来源于构造活动比较强的物源区。

Bhatia<sup>[19]</sup>通过对各种构造背景下形成的砂岩、泥岩的稀土元素特征的研究,总结了在不同构造环境中形成的砂岩、泥岩的稀土元素特征判别标志,主要判别参数见表3。将西秦岭南缘白水江群碎屑岩的微量元素参数与其对比,发现其稀土元素值La、Ce、REE和La/Sc平均值与活动大陆边缘构造环境相似,物源来自于基底隆起,而 $La_N/Yb_N$ 、LREE/HREE、Eu值与大洋岛弧构造环境相似,物源来自于未切割的岩浆弧。这说明白水江群沉积构造环境以岛弧为主。

## 7 结论

根据碎屑岩的沉积环境、组成特征及地球化学分析结果可以认为,西秦岭南缘白水江群浊积岩发生沉积时,物源具

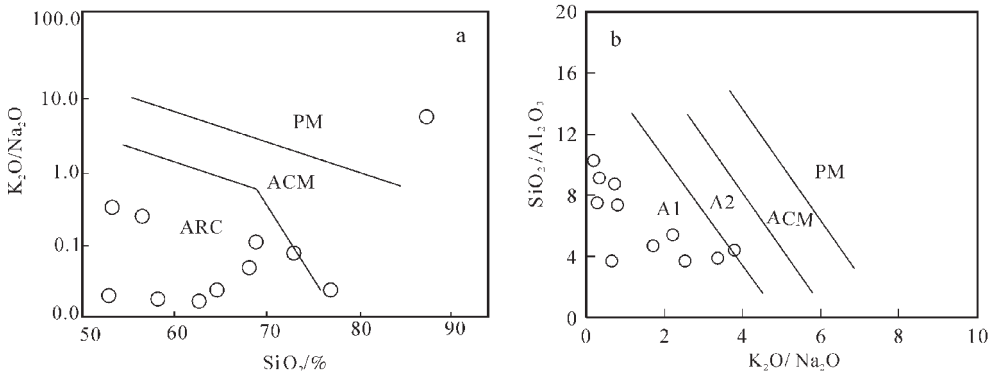


图4 白水江群碎屑岩 $K_2O/Na_2O-SiO_2$ (a)和 $SiO_2/Al_2O_3-K_2O/Na_2O$ (b)构造环境判别图解<sup>[21]</sup>

Fig.4 Tectonic setting discrimination diagram of  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  (a) and  $SiO_2/Al_2O_3-K_2O/Na_2O$  (b) of clastic rocks of the Baishuijiang Group

ARC—大洋岛弧;ACM—活动大陆边缘;PM—被动大陆边缘;A1—岛弧环境;A2—演化的岛弧环境

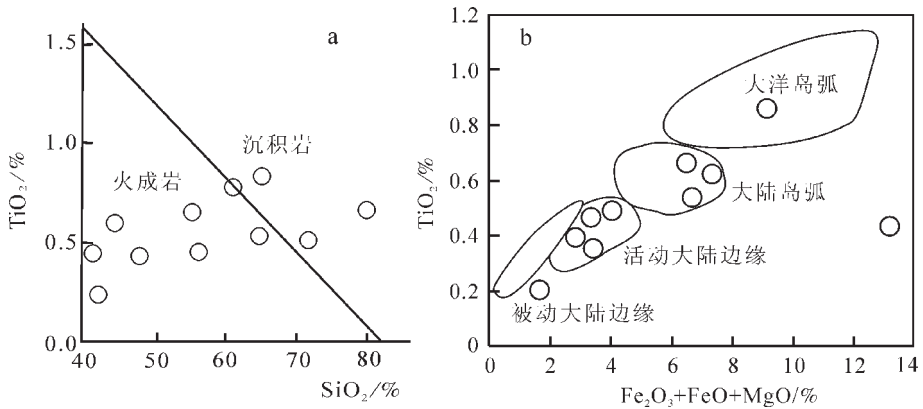


图5 白水江群碎屑岩TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>和TiO<sub>2</sub>-(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MgO)构造环境判别图解<sup>[18,25]</sup>

Fig.5 Tectonic setting discrimination diagram of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>-(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MgO) for clastic rocks of the Baishuijiang Group

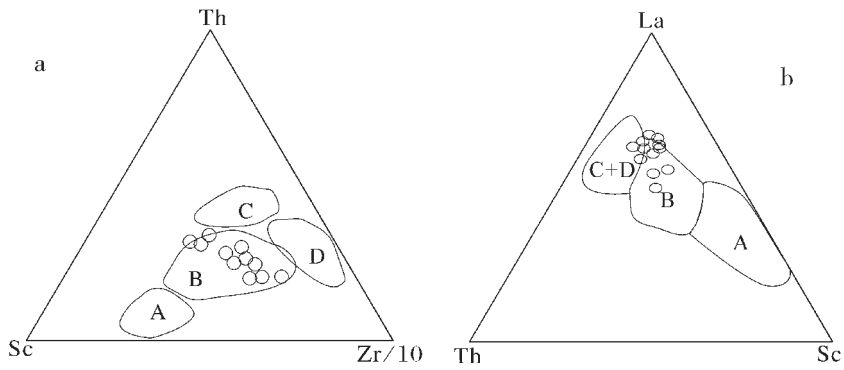


图6 白水江群碎屑岩Th-Sc-Zr/10、La-Th-Sc构造环境判别图解<sup>[21]</sup>

Fig.6 Tectonic setting discrimination of Th-Sc-Zr/10 and La-Th-Sc for clastic rocks of the Baishuijiang Group  
A—大洋岛弧;B—大陆岛弧;C—活动大陆边缘;D—被动大陆边缘

表3 白水江群碎屑岩与不同构造环境下砂岩的化学组成对比

Table 3 Comparison of the chemical composition of clastic rocks in the Baishuijiang Group with that of sandstone from various tectonic settings

| 构造环境<br>物源类型                     | 大洋岛弧<br>未切割岩浆弧 | 大陆岛弧<br>切割岩浆弧 | 活动大陆边缘<br>隆起基底 | 被动大陆边缘<br>克拉通内部 | 白水江群<br>活动型 |
|----------------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|-------------|
| La                               | 8              | 27            | 37             | 39              | 35.7        |
| Ce                               | 19             | 59            | 78             | 85              | 68.2        |
| Eu                               | 1.04           | 0.79          | 0.6            | 0.56            | 0.84        |
| REE                              | 58             | 146           | 186            | 210             | 190         |
| La/Sc                            | 0.55           | 1.82          | 4.55           | 6.25            | 4.17        |
| La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub> | 2.8            | 7.5           | 8.5            | 10.8            | 2.91        |
| LREE/HREE                        | 3.8            | 7.7           | 9.1            | 852             | 3.05        |

有多源性的特征,既有大洋岛弧环境,又有大陆岛弧环境,表明物质来源于构造活动较强的区域,进一步证实了西秦岭南缘白水江群具有活动大陆边缘的特征。

致谢:本文在撰写过程中得到中国地质科学院地质研究所姜春发研究员的悉心指导,在此表示衷心的感谢。

#### 参考文献:

- [1]Mattauter M, et al. Tectonic of the Qinling belt: build-up and evolution of eastern Asia[J]. Nature, 1985, 317(10): 496-500.
- [2]张二朋,牛道韞,霍有光,等.秦巴及邻区地质-构造特征概论[M].北京:地质出版社,1993.71-84.
- [3]张国伟,梅志超,李桃红.秦岭造山带南部古被动大陆边缘[A].见:张国伟编.秦岭造山带的形成及其演化[C].西安:西北大学出版社,1988.86-98.
- [4]张国伟,张本仁,袁学诚.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001.1-855.
- [5]王清晨,孙枢,李继亮,等.秦岭大地构造演化[J].地质科学,1989,2: 129-142.
- [6]任纪舜,张正坤,牛宝贵,等.论秦岭造山带[A].见:叶连俊,钱祥麟,张国伟主编.秦岭造山带学术讨论会论文集[C].西安:西北大学出版社,1991.99-110.
- [7]匡耀求,张本仁,欧阳建平.南秦岭古生代沉积岩的地球化学特征及其反映的区域地壳活动性[J].岩石学报,1995,11(2):203-212.
- [8]王宗起,陈海泓,郝杰.南秦岭晚古生代—三叠纪弧前增生楔的初步确认[A].见:陈海泓,侯泉林,肖文交主编.中国碰撞造山带研究[C].北京:海洋出版社,1999.100-113.
- [9]王宗起,王涛,闫臻,等.秦岭晚古生代弧前增生的背驮型盆地体系[J].地质通报,2002,21(8~9):456-464.
- [10]李春昱,刘仰文,朱宝清,等.秦岭及祁连山构造发展史[A].见:国际交流地质学术论文集(1),区域构造、地质力学[C].北京:地质出版社,1978.174-187.
- [11]赵亚曾,黄汲清.秦岭与四川地质[J].地质专报(甲种),1931,第9号:1-123.
- [12]叶连俊,关士聪.甘肃中南部地质志[J].地质专报(甲种),1944,第19号.
- [13]陶洪祥,何恢亚,王全庆.扬子板块北缘构造演化史[M].西安:西北大学出版社,1993.1-137.
- [14]闫全人,王宗起,A D Hanson,等.南秦岭横丹浊积岩系——晚古生代发育于扬子板块被动陆缘上的弧前盆地充填物[J].地质通报,2002,21(8~9):495-500.
- [15]Mutti E Ricci-Lucchi F. Turbidites of the northern Apennines: introduction to facies analysis[J]. International Geological Review, 1972, 20: 125-166.
- [16]Shanmugan G, Moiola R J. Submarine fans characteristics, model, classification and reservoir potential[J]. Earth-Science Reviews, 1988, 24(6): 383-428.
- [17]Taylor S R, McLennan S. The continental crust: its composition and evolution[M]. Oxford, Blackwell, 1985.1-312.
- [18]Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611-627.
- [19]Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywacks and mudrocks: provenance and tectonic control[J]. Sedimentary Geology, 1985, 45: 97-113.
- [20]Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywacks and tectonic discrimination of sedimentary basins [J]. Contributed Mineral Petrol., 1986, 92: 181-193.
- [21]Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suite using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ration[J]. Geology, 1986, 94(5): 635-650.
- [22]Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone mudstone suites determined using discriminate function analysis of major-element data[J]. Chemical Geology, 1988, 67: 119-139.
- [23]McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes[A]. In: Lipin B R, Mckay G A, eds. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements[C]. Reviews in Mineralogy, 1989, 21: 169-200.
- [24]Cullers R L. The controls on the major and trace element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the wet Moutains, Colorado, USA[J]. Chem. Geol., 1995, 123: 107-131.
- [25]Tarney J. Geochemistry of Archaean high-grade gneisses with implications as to the origin and evolution of the Precambrian crust[A]. In: Windley B F, ed. The early history of the earth [C]. Wiley, New York, 1976. 405-418.