

黔东南新元古代下江群甲路组大理岩的 碳氧同位素组成及其意义

徐世林, 杨瑞东

(贵州大学资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550023)

[摘要]黔东南地区发育的新元古代下江群,与湖南中西部的板溪群,广西北部的丹洲群属于同期地层。本文根据下江群甲路组中所夹大理岩的地质特征及其碳氧同位素组成,认为其有可能与华北青白口系景儿峪组中上部对比。运用氧同位素地质温度计原理计算出该大理岩的变质温度在630℃左右,这个温度高于前人普遍认为下江群属于浅变质绿片岩相的温度,笔者认为这可能是甲路组层位较老,经历了较多变质作用的结果。下江群以大量的碎屑岩为主,仅局部层位,如甲路组中出现一些透镜状碳酸盐岩沉积,代表强烈的裂谷作用下出现短暂的相对稳定、浅海环境,并沉积碳酸盐岩。

[关键词] 新元古代; 甲路组; 大理岩; 碳氧同位素; 沉积环境

[中图分类号] P534.3; P597 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2016)02-0091-05

华南扬子板块新元古代中期,在湘黔桂裂谷系统中沉积了一套巨厚的陆源碎屑为主的浅变质岩系,其中多个层位夹有火山岩和侵入岩,其所含矿产也是十分可观,黔东南下江群中受板岩控制的石英脉型金矿,湖南湘西板溪群中的钨铋金高中低温三位一体热液矿产,桂北丹洲群变质岩系中外闻名的滑石矿床,均备受地质学者们的关注。近年来,“雪球地球”^[20-22]的更进一步的使这时期成为研究的热点。由于其与上覆南华系冰期地层呈整合关系,所以是研究成冰纪起始年龄的重要层位,而且作为华南直接暴露出的变质结晶基底(汪正江,2008),也是研究扬子板块与华夏板块的关键层位,由此,最近有很多研究者认为我国南方在南华系之下建立一个“系”是十分合理的^[11],其将对应国际上的拉伸系(Tonian: 1 000 Ma ~ 850 Ma)。

秦守荣等^[9](1984)建议将甲路组一名限于原甲路组第二段。现今甲路组指整合于芙蓉坝组或归眼组之上,整合伏于新寨组之下的变质钙质岩系,即原义为甲路组第二段,与广西地矿局所称白竹组第二段相当,其在湘、黔、桂毗邻地区广泛分布。岩性主要为钙质板岩及钙质

千枚岩、钙质片岩。钙质常呈微薄层或小透镜体状大理岩。

陈文西^[1](2007)对下江群甲路组沉积特征及其下伏四堡群花岗岩锆石年龄进行研究,得出了823 Ma±12 Ma的年龄,并认为这和摩天岭花岗岩(825 Ma±2.4 Ma)相一致^[15],反应了黔东南820 Ma的起始沉积年龄。张传恒等^[16](2009)通过对下江群的沉积地质特征研究认为,其主体上是向上变粗的陆源碎屑沉积系,形成于弧后裂陷盆地靠大陆一侧,沉积扩散方向总体向西,在横向上介于强变质深海浊积岩系的盐边群和弱变质滨浅海为主体的板溪群之间,属于汇聚型板块边缘内。高林志等^[5](2010)运用甲路组中的斑脱岩锆石测得年龄为814 Ma±6 Ma,进一步证实了820 Ma为南华系起始年龄的可靠性。覃永军^[10](2015)通过LA-ICP-MS技术,对下江群多组锆石进行测定,将其约束在815 Ma~717 Ma之间,并且受到裂谷系统岩浆作用的制约。但是,作为下江群底部的甲路组大理岩,对其研究较少,特别是其中的大理岩形成环境、同位素组成等问题前人很少研究,为此本文开展甲路组大理岩的研究。

1 下江群甲路组大理岩

作为南华系中少量的碳酸盐岩,产于甲路组上段的透镜体大理岩很是特别。从江县甲路组实测剖面发育最完整。甲路组厚 153 m,为暗灰绿色具条带状层理的绢云石英钙质片岩及绢云母—白云母石英钙质片岩,中部夹灰绿色薄层绢云母滑石片岩,上部时见大理岩透镜体。钙质片岩含大理岩小透镜体,风化面钙质流失呈蜂窝状孔洞。

雷山县城周围,也有甲路组大理岩出露,大理岩厚度变化大,呈大的透镜体产出,透镜体厚约 5 m,为浅灰色至白色中厚层至块状(图 1)。由于变质作用,岩石往往具有碎裂结构、糜棱结构(图 2)。

2 样品与实验方法

本文对位于雷山县城出露的下江群甲路组大理岩采样,共采取 10 多个大理岩样品,样品滴稀盐酸后起泡,说明其具有碳酸钙,选出 5 件样品进

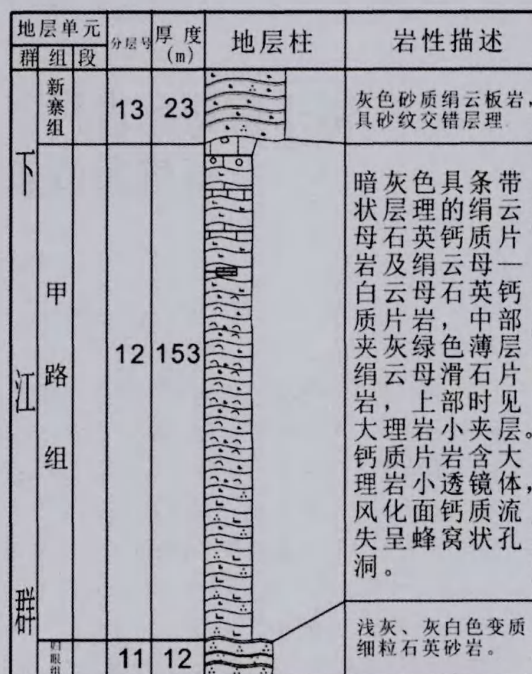


图 1 雷山县甲路组实测剖面

Fig. 1 Tested section of jialu formation in Leishan

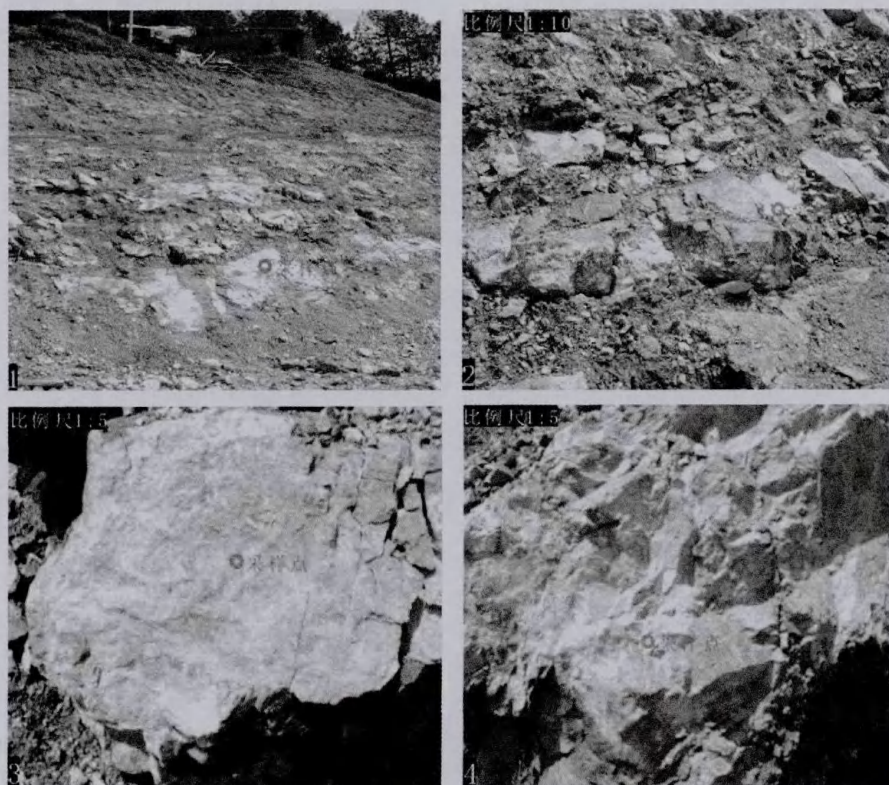


图 2 雷山甲路组大理岩

Fig. 2 Giotte of jialu formation in Leishan

1—甲路组与上覆新寨组分界线,红线为甲路组上段大理岩层;2—大理岩性相对变化较大,所以取了两个样;

3—大理岩透镜体破碎结构;4—大理岩中具有纹理结构

行分析测试。样品被碎样成 200 目,每个样品取 5 克采用磷酸法在 50℃,真空条件下充分反应 72 h,将收集到的 CO₂ 气体送入 MAT253C033 稳定同位素气质谱仪,测定其碳、氧同位素组成(表 1)。

表 1 雷山甲路组大理岩碳氧同位素数据
Table 1 C isotopic data of Griotte in jialu formation in Leishan

样品 编号	岩性	主要矿物	δ ¹³ C PDB	std error * t (‰)	δ ¹⁸ O PDB	std error * t (‰)	1000lnα = A×10 ⁶ /T ² +B≈δA-δB A = 2. 780, B = -3. 400, δB = -0. 300‰
1	大理岩	方解石、白云石	-7. 537	0. 020	-16. 559	0. 014	633
2	大理岩	方解石、白云石	-6. 817	0. 015	-14. 459	0. 062	633
3	大理岩	方解石、白云石	-6. 208	0. 026	-14. 220	0. 022	629
4	大理岩	方解石、白云石	-2. 152	0. 014	-10. 842	0. 028	629
5	大理岩	方解石、白云石	-7. 401	0. 005	-13. 127	0. 031	630
平均值			-6. 023	0. 016	-13. 841	0. 031	630

3 甲路组碳氧同位素组成及地质意义

3.1 甲路组碳同位素

四堡运动之后,整个华南开启了裂谷的形成和填充,作为扬子板块东南缘的主体,湘黔桂盆地中沉积了一套楔形地层^[1],由于相变和命名的关系依此划为板溪群,下江群,丹洲群。而起始的沉积大都是总体为海进退积的底砾岩和其上的冲洪沉积相。其起始年龄约束在 815 Ma ~ 820 Ma 之间^[18],反应了裂谷的拉张和物源供给的不同。原青白口系由于下马岭组 1 368 Ma 的锆石年龄,解体为骆驼岭组和平行不整合与其上的景儿峪组^[4],在骆驼岭组中的²⁰⁶Pb-²³⁸U 测年为 930±10 Ma^[5],反应了蓟县标准剖面的骆驼岭组和景儿峪组应为新元古代,其沉积上限为 800 Ma。随后华北板块上升接受剥蚀,景儿峪组与骆驼岭组的划分是以不整合界面和岩性为依据,景儿峪组为泥灰岩,骆驼岭组为砂砾岩。而 820 Ma ~ 800 Ma,在华南正好对应于湘黔桂盆地沉积的下江群甲路组(丹洲群白竹组、板溪群马底驿组)。

根据碳氧同位素组成,可以看出碳同位素的变化曲线与氧同位素的变化曲线的一致性(图 3),说明这些大理岩的碳同位素是同期进行变化的,是单一地质作用对碳同位素进行改造的,大理岩的 δ¹³C 明显的负偏,其原因是变质分馏作用使得¹²C 在变质过程中随 CO₂ 流失,¹³C 的来源、水与岩石反应的程度以及脱气作用等因素决定了碳酸盐岩中碳同位素的组成都是小于-10. 000‰,

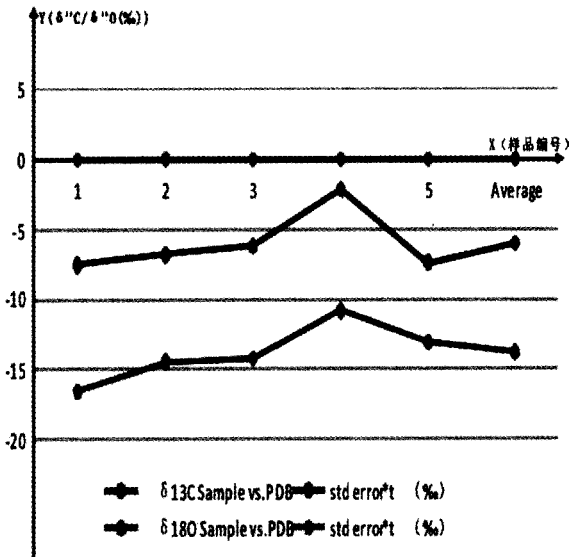


图 3 大理岩碳氧同位素曲线
Fig. 3 C isotopic curve of Griotte

可以看出后期成岩作用的影响^[21]。笔者认为正是变质作用对甲路组的碳酸盐岩进行改造成为了大理岩,4 号样品的 δ¹³C 值为-2. 152‰表现出与景儿峪组的接近,其 δ¹⁸O 也是正好接近-10. 000‰。

本文所测的碳同位素值,是可以在进行适当的修正后使用的,能在理论上和其他层位的碳同位素值进行对比,并具有一定的古环境恢复意义。相比之景儿峪组的基本处于 0 值附近,并由正值逐步偏负的趋势^[2],接近景儿峪组顶部时,其碳同位素值为-0. 490‰反应出沉积水位的不断变浅并最终暴露接受风化作用的影响的沉积过程。笔者推测若是没有变质作用的影响,本文采集样品的 δ¹³C 也应该在 0 值附近,正常的海相沉积。也恰好说明华北和华南在当时有相似的古海洋环境。

3.2 雷山甲路组大理岩氧同位素分析其变质程度

根据经典的稳定同位素分馏平衡公式: $1000 \ln \alpha = A \times 10^6 / T^2 + B \approx \delta A - \delta B$ 。式中的 A 取值 2.78, B 取值 -3.40, δB 取值 -0.30‰^[23]。将甲路组大理岩所测氧同位素值代入式中获得平均温度为 630℃ (表 1)。

这个温度大于以往一直认为的板溪群是浅变质作用的低绿片岩相,黔东南石英脉型金矿多富集于绿片岩相和低绿片岩相的板岩中^[13]。与朱明新^[19](2001)通过研究伊利石的结晶度 Kubler 指数(经 Kisch 国际标样校正)所认为的板溪群中—低压级变质作用近变质带上部(250 ~ 300℃)也不同,而是达到了中压角闪岩相中变质带附近。造成大理岩整体变质程度高于其周围变质体的原因,笔者认为这与甲路组的层位有很大关系,作为扬子板块直接的变质结晶基底,其经受的构造作用是多期次的,基本上的构造运动都对它产生了影响,这点在其杂乱无章的岩层结构上可以看出。其次,根据多位学者的研究,通过丹洲群的层状变形带分析认为的加里东期的构造旋回中,由南及北的应力场,使得位于靠南面(从江、雷山)的碳酸盐岩沉积受到的应力更大,时间更久。再者,碳酸盐岩的刚性较弱,受到构造作用时会强烈的变质,而马底驿组的砂、砾岩抗变质能力相对较强。三方面的影响可能造成了大理岩达到中压角闪岩相的变质程度。

4 甲路组大理岩的沉积环境分析

中国新元古代中期地层沉积厚度巨大,有近 10 万米。但在华南,仅在甲路组(白竹组)上段沉积了少量的碳酸盐岩,华北则表现为以碳酸盐岩沉积为主,新元古代中期在 Rodinia 超大陆裂解的背景下,扬子板块的边缘裂解出了多处裂谷系统。东南缘的湘黔桂作为主要的沉积盆地一直备受关注,近年来其沉积构造背景逐步有一个相对统一的认识,四堡—晋宁运动之后,整个华南很快又进入了拉伸裂解阶段,甲路组及下江群正是反映出湘黔桂裂谷的发育过程,由冲—洪沉积开始,逐渐从滨浅海过渡到碳酸盐台地相,最后形成深海浊流沉积相,在全球海平面上升的基础上,裂谷稳定地拉伸和充填,形成巨厚的陆源碎屑沉积^[6-12]。

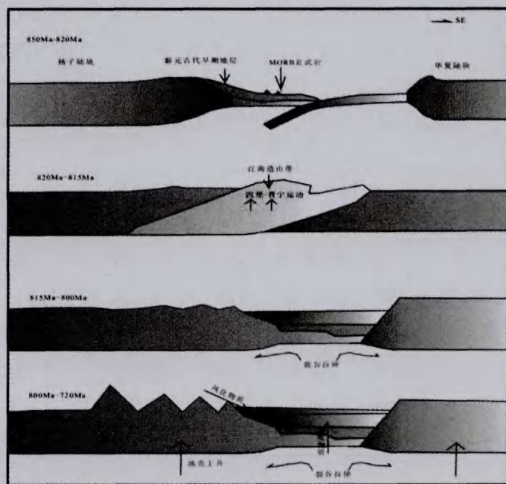


图 4 华南裂谷系沉积模式(据高林志等,2015)

Fig. 4 Sedimentary mode of Huanana rift valley

碳酸盐沉积需要一个相对稳定的,陆源供给较少的浅水环境,在甲路组大理岩之后,尽管有 Ca 质沉积,但是由于裂谷的持续拉伸,加之冰期前全球的大规模风化性,陆源碎屑物质和岩浆物质不断加入,持续破坏着 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 的平衡,很难沉淀出碳酸盐。华北则是由于其古老克拉通的刚性,在蔚县运动后进入一个稳定沉积的过程,整个青白口系表现出海侵退积型,到景儿峪组时进入稳定的碳酸盐滨岸沉积体系,同样在冰期前大海退环境下,景儿峪组长期暴露在水上进行长达近 300 Ma 的风化,寒武纪大海侵后才重新开始接受沉积,造就了青白口系的华北克拉通真正稳定盖层,而华南在裂谷系统的影响下一直都在接受碎屑岩沉积(图 5)。

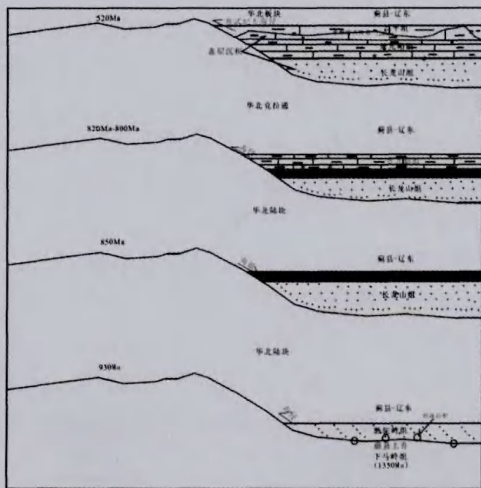


图 5 华北青白口系沉积模式

Fig. 5 Sedimentary mode of Qingbaikou series in north China

下江群甲路组上段的碳酸盐岩沉积相对于华北巨厚的碳酸盐岩是很薄,有些还仅仅只是透镜体,但是经过雷山县甲路组的野外研究和采样观察,其厚度变化较大,一般为透镜体,但在雷山条带,大理岩的厚度可到达4~5 m,向两侧延伸后逐渐变薄变为透镜体。在广西罗城的黄金剖面丹洲群白竹组上段有45 m厚的泥质灰岩,其对于甲路组大理岩,是同期碳酸盐岩沉积已知最厚的地方^[14]。所以,自裂谷在扬子板块东南缘开启后,裂谷向两侧逐渐扩张,而桂北罗城地区可能是作为早期的裂谷开启地段,沉积物较之同期地层普遍要厚,湘西板溪地区作为裂谷中心,沉积碎屑岩为主,其中碳酸盐岩沉积就很难见到。受张启锐根据皖南——浙西南华系沉积构造认为冰期沉积巨厚的原因是裂谷作用和冰川作用的共同影响这一设想的启发^[17],笔者认为甲路组上段的碳酸盐岩沉积的环境应该是处于湘黔桂裂谷系统靠近扬子板块的一个次级盆地上的碳酸盐台地沉积,台地边缘的缓坡地带正是桂北罗城地区的泥灰岩沉积区。随着海水不断的上涨和裂谷的持续拉伸,台地被淹没,岩浆物质和碎屑物质逐渐增多,碳酸盐岩的沉积平衡被打破。而桂北三江大断裂东部的三门街地区在拱洞组之下的一个层位,在裂谷后期又趋于稳定之后,受原来的碳酸盐台地的影响又再次的沉积了碳酸盐岩,后经变质作用形成了滑石矿产^[3]。

5 结论

通过对雷山县城附近的下江群甲路组大理岩碳氧同位素初步的研究,得出以下认识。

(1)根据前人对新元古代中期820 Ma~800 Ma之间的华南与华北地层对比资料,结合甲路组碳同位素与华北青白口系碳同位素资料,认为华南板溪群甲路组与华北景儿峪组及其之上的相应地层有可能是同期的。

(2)利用甲路组大理岩氧同位素组成,采用稳定同位素分馏平衡方程,获得甲路组大理岩变质温度为610~650℃,达到了中压角闪岩相中等变质程度。这比前人认为板溪群属于绿片岩相变质温度还要高,可能是甲路组属于板溪群最底部地层及岩性因素,其受到变质作用更强所致。

(3)对甲路组碳酸盐岩沉积环境分析,认为华南地区以大量碎屑岩沉积为主,很少出现碳酸

盐岩的原因是裂谷作用强烈,碳酸盐岩仅在裂谷早期相对稳定的浅海环境形成。

[参考文献]

- [1] 陈文西,王剑,付修根,汪正江,熊国庆. 黔东南新元古界下江群甲路组沉积特征及其下伏岩体的锆石 U-Pb 年龄意义[J]. 地质论评,2007,01:126-131.
- [2] 储雪蕾,张同钢,张启锐,冯连君,张福松. 蓟县元古界碳酸盐岩的碳同位素变化[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2003,10:951-959.
- [3] 董宝林. 丹洲群岩相特征及有关问题的讨论[J]. 广西地质,1993,03:33-38.
- [4] 高林志,张传恒,史晓颖,宋彪,王自强,刘耀明. 华北古陆下马岭组归属中元古界的锆石 SHRIMP 年龄新证据[J]. 科学通报,2008,21:2617-2623.
- [5] 高林志,戴传固,刘燕学,王敏,王雪华,陈建书,丁孝忠. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义[J]. 中国地质,2010,04:1071-1080.
- [6] 高林志,尹崇玉,丁孝忠,王泽九,张恒. 华南地区新元古代年代地层标定及地层对比[J]. 地球学报,2015,5:533-545.
- [7] 李任伟,陈锦石,陈志明. 蓟县早寒武一新元古不整合界面处风化壳碳酸盐碳、氧同位素组成特征[J]. 地质科学,2000,1:55-59.
- [8] 乔秀夫,高林志,张传恒. 中朝板块中、新元古界年代地层柱与构造环境新思考[J]. 地质通报,2007,5:503-509.
- [9] 秦守荣,朱顺才,王砚耕. 黔东南晚元古早期地层岩组的重新划分[J]. 贵州地质,1984,2:11-14.
- [10] 覃永军,杜远生,牟军,卢定彪,龙建喜,王安华,张厚松,曾昌兴. 黔东南地区新元古代下江群的地层年代及其地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2015,7:1107-1131.
- [11] 汪正江. 黔东南地区新元古代裂谷盆地演化及地层划分对比研究[D]. 北京:中国地质科学院,2008.
- [12] 汪正江,王剑,江新胜,孙海清,高天山,陈建书,邱艳生,杜秋定,邓奇,杨菲. 华南扬子地区新元古代层划分对比研究新进展[J]. 地质论评,2015,1:1-22.
- [13] 杨瑞东,张晓东,刘玲,袁世婷,许利群. 贵州锦屏新元古界青白口系下江群稀土、微量元素分布特征——探讨金的来源问题[J]. 地质学报,2009,4:505-514.
- [14] 杨菲,汪正江,王剑,杜秋定,邓奇,伍浩,周小琳. 华南西部新元古代中期沉积盆地性质及其动力学分析——来自桂北丹洲群的沉积学制约[J]. 地质论评,2012,5:854-864.
- [15] 曾雯,周汉文,钟增球,曾昭光,李惠民. 黔东南新元古代岩浆岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地球化学,2005,34(6):548-556.
- [16] 张传恒,刘耀明,史晓颖,高林志,张聪. 下江群沉积地质特征及其对华南新元古代构造演化的约束[J]. 地球学报,2009,4:495-504.

(下转第107页)

- [10] 高道德,石善华. 贵州中部九架炉组沉积特征[J]. 贵州地质,1992,9(2):109-117.
- [11] 高道德. 黔中沉积型铝土矿成矿模式[J]. 贵州地质,1996,13(2):166-171.
- [12] 贵州省地矿局一一五地质大队. 贵州清镇铝土矿猫场矿区矿床地质特征和成矿规律研究[R]. 1995,11.
- [13] 陈庆刚,陈群,杨明坤,等. 黔中地区铝土矿成矿规律及找矿靶区研究报告[R]. 2009,10.
- [14] 贵州省有色地勘局六总队. 贵州省凯里-黄平地区铝土矿整装勘查总体报告[R]. 2013,12.
- [15] 贵州省有色地勘局物化探总队. 贵州省瓮安-龙里地区铝土矿整装勘查汇总地质报告[R]. 2013,10.

Discussion of Metallogenic Epoch of Bauxite Deposit in Central Guizhou

CHEN Qing-gang, CHEN Qun, DAI Xiao-yan

(115 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development,
Qingzhen 551400, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, the sequence structural features of bauxite deposit in central Guizhou, the roof and floor formation, the surface feature, lithofacies paleogeography features are compared and discussed, the evolution of central Guizhou uplift affect the metallogenic epoch of bauxite deposit, the metallogenic epoch of bauxite deposit in central Guizhou is divided to lower Carboniferous, the stratum is Jiujiulu formation, and the accordance are discussed.

[Key words] Jiujiulu formation; Bauxite deposit; Central Guizhou

(上接第95页)

- [17] 张启锐. 皖南-浙西南华系沉积构造环境研究[J]. 中国科学:地球科学, 2015, 2: 127-138.
- [18] 张世红, 蒋干清, 董进, 韩以贵, 吴怀春. 华南板溪群五强溪组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学新结果及其构造地层学意义[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2008, 12: 1496-1503.
- [19] 朱明新, 王河锦. 长沙-澧陵-浏阳一带冷家溪群及板溪群的甚低级变质作用[J]. 岩石学报, 2001, 2: 291-300.
- [20] Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, et al. A Neoproterozoic snowball earth. Science, 1998, 281: 1342-1346.
- [21] Kaufman A J, Knoll A H. Neoproterozoic variations in the C-isotopic composition of seawater; stratigraphic and biogeochemical implications. Precambrian Research, 1995, 73: 27-49.
- [22] Kerr A R. An appealing snowball earth that's still hard to swallow. Science, 2000, 287: 1734-1736.
- [23] O'Neil J R. Theoretical and experimental aspects of isotopic fractionation. In: Stable isotopes in high temperature geological Processes. Rev. Miner, 1986, 16: 1-40.

Carbon and oxygen isotopic composition and its significance of Jialu Fm. marble, Neoproterozoic Xiajiang Gr. in Southeast Guizhou, China

XU Shi-lin, YANG Rui-dong

(College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

[Abstract] In Southeast Guizhou deposition of Neoproterozoic Xiajiang Gr, the central and Western Hunan Banxi Gr, Northern Guangxi Danzhou Gr belongs to the strata of the corresponding period. According to the Xiajiang Gr Jialu Fm clamped by the geological characteristics of marble's carbon and oxygen isotopic composition, that has its possibility and North China Qingbaikou system Jingeryu Fm in upper contrast. Oxygen isotopic geothermometer principle applied to calculate the marble of the metamorphic temperature at around 630°C, the temperature higher than most previous researchers believed that Xiajiang Gr belongs to metamorphosed to greenschist facies of the temperature, the author think maybe it is a formation of the older, experienced as a result more metamorphism. Xiajiang Gr dominated by a large number of clastic rock, only local layers, such as Jialu Fm appear some lenticular carbonate sedimentary rocks, represent strong rifting appears short of relatively stable, shallow sea environment and carbonate sedimentary.

[Key words] The Neoproterozoic; Jialu Fm, marble; Carbon and oxygen isotope; Sedimentary environment