科学通报 2016 年 第 61 卷 第 6 期: 556 ~ 560
观 点
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

龙游石榴石角闪岩是退变榴辉岩吗?

于津海*, 舒良树

南京大学地球科学与工程学院, 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093
* 联系人, E-mail: jhyu@nju.edu.cn

2015-06-04 收稿, 2015-08-22 修回, 2015-08-24 接受, 2015-12-10 网络版发表
国家重点基础研究发展计划(2012CB416701)和国家自然科学基金(41330208, 41272226)资助

摘要 2015年一篇题为"浙江龙游石榴石角闪岩(退变榴辉岩): 华夏加里东期碰撞造山事件的新证据"的论文发表在《科学通报》第13期上(陈相艳等, 2015). 但是作者提供的岩相学和矿物化学证据明显不足, 加里东期高压-超高压变质作用的结论与区域地质背景也不吻合. 结合我们对野外和岩相学特征的观察, 可以认为该石榴石角闪岩没有经历过榴辉岩相的变质作用, 不能作为加里东碰撞造山的证据.

关键词 浙江龙游, 石榴石角闪岩, 退变榴辉岩

自邢光福等报道在浙西龙游地区发现"榴闪岩"以来, 该岩石一直备受关注[1,2]. 他们都认为该岩石是加里东期碰撞造山的产物, 岩石很可能经历了高压甚至超高压的变质作用. 2015年《科学通报》第13期发表了陈相艳等的论文"浙江龙游石榴角闪岩(退变榴辉岩): 华夏加里东期碰撞造山事件的新证据"[3]. 作者根据岩相学观察和矿物成分分析, 认为该石榴石角闪岩是早期榴辉岩退变质而成; 早期榴辉岩在440 Ma经历了高压-超高压变质作用. 如果华南内部真的存在加里东期高压-超高压变质作用, 这将对华南早古生代构造格架产生重大影响. 但是根据我们的野外考察、薄片观察和对该文作者"证据"的重复检验与比对, 我们认为龙游石榴石角闪岩不是一个退变榴辉岩, 更没有经历过超高压变质作用, 特撰此稿以求争鸣.

1 "退变榴辉岩"的定名有误

野外和显微镜下观察显示该岩石主要由角闪石(40%~45%)、石榴子石(30%~35%)、透辉石(5%~15%)、斜长石(8%~15%)和少量的石英(5%~8%)组成; 粗粒变晶结构, 块状构造, 应定名为石榴石角闪岩, 其原岩为基性岩. 陈相艳等人[3]文章中所谓的"石榴子石斑晶"多为小颗粒石榴子石与长石和石英的集合体(图1(a), (b)), 且大多数集合体的边上没有该文所谓的"白眼圈"构造. 有一些石榴子石集合体周围似乎存在"白眼圈"(图1(b)), 但它们都由斜长石+石英组成(图2(a)~(c)), 而不是典型的紫苏辉石+斜长石或角闪石+斜长石组合. 原理上, 铁镁质石榴子石不可能只分解形成长英质矿物. 这种"白眼圈"构造很可能是石榴子石生长过程中消耗了周围的铁镁质组分,

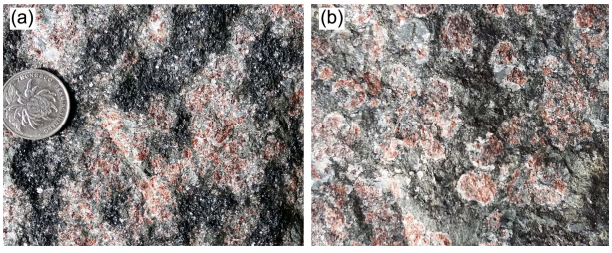


图 1 龙游白石山头榴闪岩手标本照片. (a) 石榴子石-角闪石-长石-石英集合体, (b) 斜长石+石英"白眼圈"

Figure 1 Photos of the Longyou garnet amphibolites. (a) Assemblage of garnet-amphibole-feldspar-quartz; (b) so-called "white eye" structure

引用格式: 于津海, 舒良树. 龙游石榴石角闪岩是退变榴辉岩吗? 科学通报, 2016, 61: 556–560
Yu J H, Shu L S. Is the garnet amphibolite in the Longyou a retrograded eclogite? (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 556–560, doi: 10.1360/N972015-00616

© 2015《中国科学》杂志社

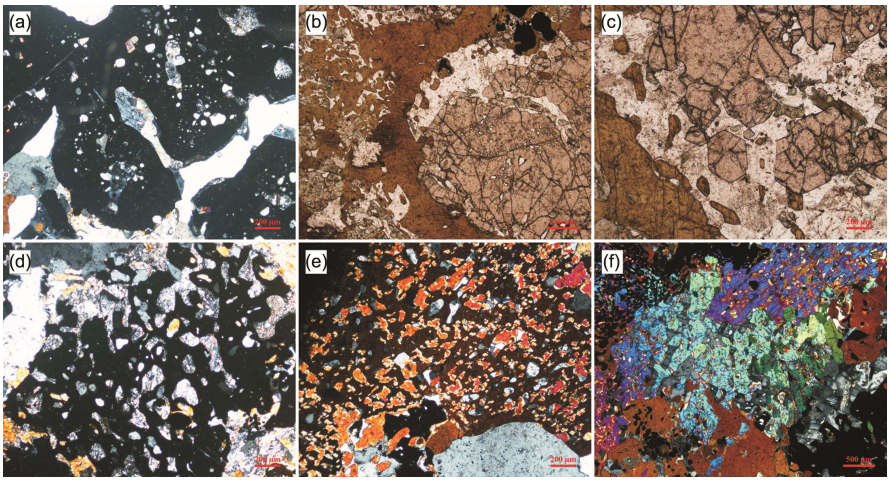


图 2 龙游白石山头石榴石角闪岩显微照片. (a), (b) 自形石榴子石周围的斜长石+石英组合, 以及其核部包裹的斜长石+石英; (c) 自形石榴子石颗粒; (d) 石榴子石中包裹大量斜长石(部分蚀变成绢云母); (e) 透辉石中斜长石+石英包裹体以及被角闪石交代成筛孔状的透辉石; (f) 透辉石被角闪石交代以及正环带斜长石(右下角).

Figure 2 Photomicrographs of the Longyou garnet amphibolites. (a), (b) Euhedral garnet surrounded by assemblage of pl+qz contains pl and qz inclusions in the core; (c) euhedral garnet; (d) garnet includes many pl (sericitization); (e) diopside contains pl and qz inclusions and is partially replaced by hornblende; (f) diopside replaced by hornblende and pl with compositional zoning. pl, plagioclase; qz, quartz

而剩余长英质组分的结果. 实际上, 这些石榴子石往往具有自形的边界(图2(a)~(c)), 而与降压分解形成紫苏辉石+斜长石或角闪石+斜长石组合时的锯齿边现象明显不同.

陈相艳等人[3]认为该石榴石角闪岩是退变榴辉岩. 但文章中没有提供任何榴辉岩组成矿物的残留证据; 岩石中没有绿辉石, 没有金红石(只有钛铁矿被榍石包裹), 而被作者认为属于M1榴辉岩相矿物的石榴子石核部也不是富镁石榴子石. 更重要的是这些石榴子石的核部含有很多斜长石+石英的包裹体(图2(a), (b), (d)), 这与核部为榴辉岩相变质矿物的推论不符. 作者认为"绿辉石"都已退变成透辉石+斜长石的"后成合晶"(图3(a)), 但这个所谓的"后成合晶"与典型的后成合晶相差甚远(图3(b), (c)). 在岩石中更常见的是被角闪石交代成筛孔状的透辉石(图2(e), (f)). 在矿物成分上, 由绿辉石退变形成的后成合晶中的浅色矿物都应是钠质斜长石[4~6]. 而本岩石中透辉石包裹的是基性斜长石(An53~60)+石英. 另一方面, 绿辉石分解形成透辉石+钠长石时必然要消耗SiO_2(石英): 绿辉石+石英=透辉石+钠长石. 而龙游石榴石角闪岩中的"后成合晶"中却包含有较多石英(图3(a)和2(e)). 因此, 图3(a)所显示的矿物关系不是后成合晶, 实为大的透辉石颗粒包裹斜长石+石英小颗粒. 所有这些现象都表明, 石榴石角闪岩的前身不是榴辉岩, 更没可靠证据证明它曾受到过超高压变质作用.

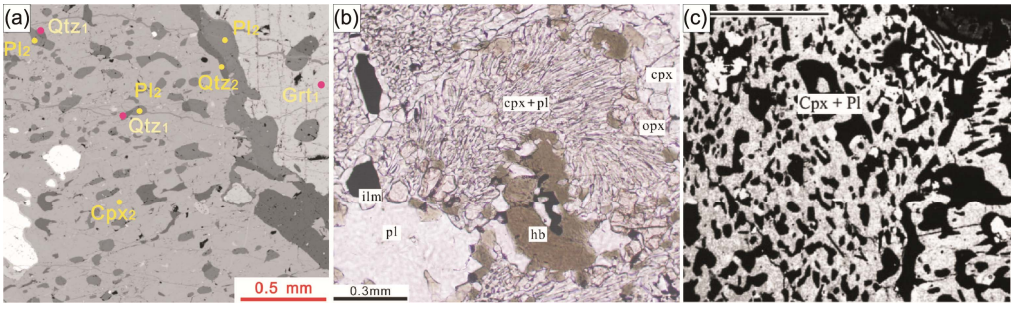


图 3 (a) 陈相艳等人[3]论文中的所谓后成合晶; (b) 高压麻粒岩中的后成合晶[7]; (c) 绿辉石退变形成的后成合晶[6]. pl, 斜长石; qtz, 石英; hb, 角闪石; cpx, 单斜辉石; grt, 石榴子石; ilm, 钛铁矿

Figure 3 (a) So-called symplectite (BSE) provided by Chen et al. [3]; (b) typical symplectite in high-pressure granulites [7]; (c) symplectite of omphacite in retrograde eclogite (BSE) [6]. pl, plagioclase; qtz, quartz; hb, hornblende; cpx, clinopyroxene; grt, garnet; ilm, ilmenite

2 “退变榴辉岩”与华南早古生代变质环境不协调

在野外, 龙游石榴石角闪岩呈孤立的滚石出现, 周围是龙游群片岩、片麻岩. 已有的研究表明龙游群片麻岩为普通的黑云母斜长片麻岩[8], 没有任何特征的高压变质矿物组合. 而在大别-苏鲁超高压变质带, 包含榴辉岩透镜体的长英质片麻岩, 无一例外地都经历过高压-超高压变质作用[9,10].

根据我们的野外调查和区域地质资料, 在龙游石榴石角闪岩的四周以及华南早古生代褶皱带的其他地方, 均没有发现高压-超高压变质岩. 地表广泛分布的是S型花岗岩和以高温麻粒岩为代表的变质岩. 在龙游石榴石角闪岩西侧的江西弋阳地区, 出露有加里东期基性麻粒岩[11], 其矿物组合为石榴子石+紫苏辉石+斜长石+黑云母; 在其东侧的陈蔡地区, 出露有陈蔡群中高级泥质变质岩[12,13], 岩石具有矽线石+石榴子石+黑云母+斜长石+钾长石+石英矿物组合, 指示中压变质相系. 显然, 龙游“高压-超高压榴辉岩”与整个华南早古生代变质环境是不协调的.

3 它是个源区不明的滚石, 周围没有原始露头

该岩石现以滚石面貌出现在新元古代江绍缝合带的南缘位置, 是个20多立方米大小的孤立岩块(图4(a)), 周围没见同样岩性的露头. 围岩是风化强烈的古元古代龙游群(对应于浙南的八都群)黑云斜长片麻岩; 在其西南侧的六连岗, 分布一些强烈蛇纹石化的超镁铁岩、辉石岩、石榴斜长角闪岩、硅质灰岩、碧玉岩等无根的构造岩块, 寄主岩为千枚岩、片岩、片麻岩, 没有退变榴辉岩.

该岩块至少在1994年就裸露地面, 曾被第二作者当石榴斜长角闪岩观察描述. 当时野外考察的同行者包括贾东教授和法国的夏飞教授等, 岩石的矿物组成为: 31%石榴子石, 22%斜长石, 43%角闪石, 并有少量石英(据原始记录). 在此之前, 周新民教授及其研究生也多次到此地考察, 均未发现该地区存在榴辉岩. 当时农民们正在该岩块东侧的大采石坑中挖掘“磷矿”, 采坑大小约100 m×30 m×20 m(图4(b)), 坑中岩石由无根的混杂岩组成, 主要是当时被当作“磷矿”采掘的蛇纹岩团块, 其次为辉长岩和花岗岩或花岗片麻岩, 基质是片麻岩、石英片岩等, 采坑中并没有识别出石榴斜长角闪岩或榴辉岩.

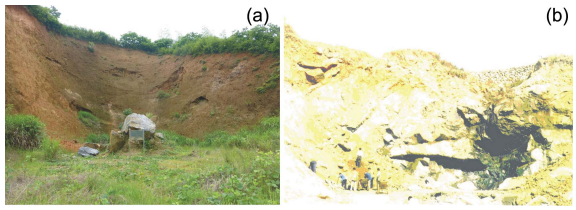


图 4 龙游白石山头野外照片. (a) 石榴石角闪岩滚石(2015 年摄), (b) 蛇绿混杂岩采石坑(1994 年摄)

Figure 4 Field photographs. (a) Garnet amphibolite len in schist and gneiss in the Baishishan, Longyu county (taken in 2015); (b) ophiolite mélange quarry (taken in 1994)

野外研究表明, 这些岩石的剪切面理(320°∠50°)、拉伸线理(316°∠48°)产状及其*XZ*面上的运动学动向标志, 指示其为一个上盘岩块朝SE方向逆冲运动的韧性剪切带[14], 因此, 坑中这些岩块有可能属于构造侵位的新元古代蛇绿混杂岩团块, 可作为扬子与华夏地块在新元古代发生碰撞拼合的产物.

对于这个孤立岩块的就位原因可能多解, 一种可能是构造混杂岩的碎块. 但迄今为止的地质调查、文献资料和作者的工作, 均没有在华夏和江南地区出露的新元古代蛇绿混杂岩中识别出退变榴辉岩. 第二种可能是在南华纪冰川作用下, 随冰川远距离搬运而来, 然后冰融沉积于此. 在这种情况下, 即使真的是退变榴辉岩, 在没有确定其原始位置之前, 也没有任何地质意义.

4 大地构造属性的确定应重视野外事实, 可重复检验的宏观标志比微观观察更加重要

华南早古生代褶皱带的构造属性一直是国内学术界激烈争论的问题. 根据野外调研, 不少学者认为该造山带与板块俯冲机制无关[15~21]. 鉴于以下几方面: (1) 该褶皱带内没有早古生代大洋蛇绿岩、弧岩浆岩、大规模幔源组分、高压/低温变质岩、超高压变质岩, 与阿尔卑斯山(发育大洋蛇绿岩与超高压变质岩)、中亚造山带、雅鲁藏布江地区(发育蛇绿岩、弧岩浆岩、高压蓝片岩、大规模新生地壳)等典型增生型、碰撞型造山带显著不同; (2) 10个不同区段早古生代地层序列均展示稳定浅海-半深海沉积环境[22]; (3) 早古生代花岗岩绝大多数为S型, 极少幔源组分, 不具俯冲-碰撞型花岗岩带的线状分布特

征, 而呈面型展布规律. 一些学者提出它为陆内构造作用产物, 属于板内造山带的认识[19~24]. 陈相艳等人[3]依据此“退变榴辉岩”提出加里东期板块俯冲-碰撞造山的构造模式. 不同的学术认识很正常, 但大地构造属性的学术论争应以区域地质与构造证据为基础, 更加重视野外事实, 特别重视可重复检验的宏观标志. 陈相艳等人[3]所提出的“退变榴辉岩”野外产状不够清楚, 岩相学和矿物学证据尚不够充分, 因此把它作为加里东造山事件的重要证据, 是难以置信的.

5 文中其他问题

(1) 文章认为440 Ma很可能代表高压-超高压变质时间, 而晚期的退变质作用发生在230 Ma. 但是, 440 Ma的年龄曾被通讯作者解释为麻粒岩相变质时代[13]. 更为离谱的是, 作者将440 Ma的峰期变质与230 Ma的退变质组合在一起构成一个*P-T-t*轨迹; (2) 文章认为榴辉岩首先退变为高压麻粒岩, 而后再退变为角闪岩, 但是作者建立的*P-T-t*轨迹并没有经过麻粒岩相; 而且, 文章所建的*P-T-t*轨迹实际只依据一个温压估算点; (3) grt-cpx-pl压力计不对, 实际为grt-cpx-pl-qz压力计; 而根据作者设定的M2阶段的矿物组合, 应该获得它们的温压条件, 而目前无法获得, 说明他们的假设很可能是有问题的; (4) 图1中标出的郴州-临武断裂(CLF)的走向完全不符合该断裂的实际走向(在Zhang等人[13]的文章中存在同样的错误), 且“临武”被写成“林武”; 而政和-大埔断裂被写成政和-大蒲断裂, 等等.

致谢 周新民老师对龙游石榴石角闪岩的再研究工作进行了指导, 阅读了本文稿, 提出了诸多宝贵建议, 特表谢意.

参考文献

1 Xing G F, Jiang Y, Chen Z H, et al. First finding of Caledonian garnet amphibolite in the Qin-Hang zone (in Chinese). Res Sur Environ, 2013, 4: 208 [邢光福, 姜杨, 陈志洪, 等. 钦杭结合带首次发现加里东期榴闪岩. 资源调查与环境, 2013, 4: 208]

2 Wang J G, Yu S Q, Hu Y H, et al. The discovery, petrology and geochronology of the retrograded eclogite in the Jiangshan-Shaoxing suture zone (in Chinese). Geol China, 2014, 41: 1356–1363 [汪建国, 余盛强, 胡艳华, 等. 江山-绍兴结合带榴闪岩的发现及岩石学、年代学特征. 中国地质, 2014, 41: 1356–1363]

3 Chen X Y, Tong L X, Zhang C L, et al. Retrograde garnet amphibolite from eclogite of the Zhejiang Longyou area: New evidence of the Caledonian orogenic event in the Cathaysia block (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 1207–1217 [陈相艳, 仝来喜, 张传林, 等. 浙江龙游石榴石角闪岩(退变榴辉岩): 华夏加里东期碰撞造山事件的新证据. 科学通报, 2015, 60: 1207–1217]

4 Zhang Z M. Disequilibrium reactions and kinetics of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie mountains (in Chinese). Earth Sci J China Univ Geosci, 1996, 21: 501–507 [张泽明. 大别山地区超高压变质岩的不平衡退变质反应及动力学. 地球科学—中国地质大学学报, 1996, 21: 501–507]

5 Yang T N. Early retrometamorphism of Donghai eclogite: The formation and characteristics of symplectite and its geological implications (in Chinese). Acta Geol Sin, 2001, 75: 91–96 [杨天南. 东海榴辉岩的早期退变质-后成合晶的形成、特点及地质意义. 地质学报, 2001, 75: 91–96]

6 Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. High-pressure granulites (retrograded eclogites) from the Hengshan complex, North China Craton: Petrology and tectonic implications. J Petrol, 2001, 42: 1141–1170

7 Zhang Y H. Phase equilibrium modeling for metamorphic evolution of high-pressure granulites and anatexis of gneisses in the Hengshan Complex, Shanxi Province (in Chinese). Doctoral Dissertation. Beijing: Peking University, 2013. 1–116 [张颖慧. 山西恒山高压麻粒岩变质演化与片麻岩深熔作用的相平衡研究. 博士学位论文. 北京: 北京大学, 2013. 1–116]

8 Yu J H, Wang L J, Griffin W L, et al. A Paleoproterozoic orogeny recorded in a long-lived cratonic remnant (Wuyishan terrane), eastern Cathaysia Block, China. Precambrian Res, 2009, 174: 347–363

9 Wang X M, Liu J G. Regional ultrahigh-pressure coesite-bearing eclogitic terrane in central China: Evidence from country rocks, gneiss, marble, and metapelite. Geology, 1991, 19: 933–936

10 Ye K, Yao Y P, Katayama I, et al. Large areal extent of ultrahigh-pressure metamorphism in the Sulu ultrahigh-pressure terrane of East China: New implications from coesite and omphacite inclusions in zircon of granitic gneiss. Lithos, 2000, 52: 157–164

11 Yu J H, Lou F S, Wang L J, et al. The geological significance of a Paleozoic mafic granulite found in the Yiyang area of northeastern Jiangxi Province (in Chinese). Chin Sci Bull, 2014, 59: 3508–3516 [于津海, 楼法生, 王丽娟, 等. 赣东北弋阳早古生代麻粒岩的发现及其地质意义. 科学通报, 2014, 59: 3508–3516]

12 Gao L Z, Ding X Z, Liu Y X, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of Neoproterozoic Chencai Complex in Jiangshan-Shaoxing fault zone and its implications (in Chinese). Geol Bull China, 2014, 33: 641–648 [高林志, 丁孝忠, 刘燕学, 等. 江山-绍兴断裂带陈蔡岩群片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 2014, 33: 641–648]
13 Zhang C L, Santosh M, Zhu Q B, et al. The Gondwana connection of the South China: Evidence from monazite and zircon geochronology from Cathaysia Block. Gondwana Res, 2015, 28: 1137–1151
14 Shu L S, Lu H F, Charvet J, et al. Kinematic study of the northern marginal fault zone of Wuyishan, South China (in Chinese). Geol J China Univ, 1997, 3: 282–292 [舒良树, 卢华复, Charvet J, 等. 武夷山北缘断裂带运动学研究. 高校地质学报, 1997, 3: 282–292]
15 Ren J S. On the geotectonics of southern China (in Chinese). Acta Geol Sin, 1990, 4: 275–289 [任纪舜. 论中国南部的大地构造. 地质学报, 1990, 4: 275–289]
16 Shu L S. Pre-Devonian tectonic evolution of South China: From Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt (in Chinese). Geol J China Univ, 2006, 12: 418–431 [舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带. 高校地质学报, 2006, 12: 418–431]
17 Shu L S. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block (in Chinese). Geol Bull China, 2012, 31: 1035–1053 [舒良树. 华南构造演化基本特征. 地质通报, 2012, 31: 1035–1053]
18 Faure M, Shu L S, Wang B, et al. Intracontinental subduction: A possible mechanism for the Early Palaeozoic Orogen of SE China. Terra Nova, 2009, 21: 360–368
19 Zhang G W, Wang Y J, Guo A L, et al. Tectonics of South China continent and its implications. Sci China Earth Sci, 2013, 56: 1804–1828 [张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 中国华南大陆构造与问题. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 1553–1582]
20 Wang Y J, Zhang F F, Fan W M, et al. Tectonic setting of the South China Block in the early Paleozoic: Resolving intracontinental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology. Tectonics, 2010, 29, doi: 10.1029/2010TC002750
21 Li Z X, Li X H, Wartho J A, et al. Magmatic and metamorphic events during the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny, southeastern South China: New age constraints and *P-T* conditions. GSA Bull, 2010, 122: 772–793
22 Shu L S, Jahn B M, Charvet J, et al. Early Paleozoic depositional environment and intracontinental orogeny in the Cathaysia Block (South China): Implications from stratigraphic, structural, geochemical and geochronologic evidence. Am J Sci, 2014, 314: 154–186
23 Charvet J, Shu L S, Laurent-Charvet S, et al. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China. Sci China Earth Sci, 2011, 54: 166–184
24 Shu L S, Yu J H, Jia D, et al. Early Paleozoic orogenic belt in the eastern segment of South China (in Chinese). Geol Bull China, 2008, 27: 1581–1593 [舒良树, 于津海, 贾东, 等. 华南东段早古生代造山带研究. 地质通报, 2008, 27: 1581–1593]

Is the garnet amphibolite in the Longyou a retrograded eclogite?

YU JinHai & SHU LiangShu

State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

A paper titled as “Retrograde garnet amphibolite from eclogite of the Zhejiang Longyou area: New evidence of the Caledonian orogenic event in the Cathaysia block” was recently published in *Chinese Science Bulletin* (Chen et al., 2015). However, the petrographic features and mineral compositions that authors provided cannot demonstrate that high-pressure or ultra-high pressure metamorphism occurred in the area in Early Paleozoic. Moreover, this conclusion is inconsistent with regional geological background. Combined with our field survey and petrographic observations, it can be inferred that this garnet amphibolite did not experience eclogite-facies metamorphism, and cannot be taken as evidence for the Caledonian collisional orogeny.

Longyou of western Zhejiang, garnet amphibolite, retrograded eclogite

doi: 10.1360/N972015-00616