

## The Basin Translation from Late Paleozoic to Triassic of the Youjiang Basin and Its Tectonic Signification

DU Yuansheng<sup>1)</sup>, HUANG Hu<sup>1)</sup>, YANG Jianghai<sup>1)</sup>, HUANG Hongwei<sup>2)</sup>,  
TAO Ping<sup>3)</sup>, HUANG Zhiqiang<sup>2)</sup>, HU Lisha<sup>1)</sup>, XIE Chunxia<sup>1)</sup>

1) State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;

2) General Academy of Geological Survey of Guangxi, Nanning, 530023;

3) Guizhou Academy of Geological Survey, Guiyang, 550004

**Abstract:** The Youjiang Basin was a continental margin basin during the Late Paleozoic—Triassic between Yangtze plate and Jinshajiang (Jinsha River)—Ailaoshan (Ailao Mountain) ocean which rifted on the base of South China Caledonian orogen. The basin has begun to rift at the time of the late Emsian and the branch ocean associated with the Paleo-Tethys was formed during the Carboniferous. In the Permian, the ocean basin began its southwest subduction beneath the Vietnam block and evolved into active continental margin. After the latest Early Triassic, following its closure and collision, the syn-collisional rocks extend in wide areas of Napo and Pingxiang. The Youjiang Basin formed a foreland basin with flysch during the Middle Triassic. So the Youjiang Basin experienced rift basin (late Early Devonian to Late Devonian), passive continental margin (Early Carboniferous to Early Triassic) and foreland basin (Middle Triassic) tectonic stages.

**Key words:** Youjiang Basin; Late Palaeozoic; Triassic; sedimentary basin, tectonics

## 灵山岛早白垩世复理石不是陆内三角洲沉积

——答钟建华教授

吕洪波<sup>1,2)</sup>, 张海春<sup>2,3)</sup>, 王俊<sup>4)</sup>, 张素菁<sup>4)</sup>, 董晓朋<sup>1)</sup>, 张星<sup>1)</sup>

1) 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛, 266580; 2) 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京, 210008;

3) 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京, 210008; 4) 香港大学地球科学系, 香港

山东省青岛市灵山岛早白垩世复理石及大量的滑塌沉积现象披露(吕洪波等, 2011, 2012)以来, 国内很多地学同行先后前往考察。在为壮观而奇特的地质现象所折服的同时, 同行们也发现了不少亟待解决的问题, 提出了不同的认识。其中, 中国石油大学钟建华教授最近撰文明确质疑笔者等的认识, 指出这套发育多种软沉积物变形构造的复理石不是深海沉积的浊积岩, 而是以三角洲相为主体的陆内浅水沉积, 与板块边缘或碰撞造山带无关(钟建华, 2012)。

杨钟健(1936)早已指出, “过错是无论什么人都不能免的, 尤其是研究科学的人, 其所有著作中, 差不多全免不了错误。”因此笔者等热烈欢迎钟建华教授和其他同行指出笔者等的错误, 并且十分赞同杨老先生的主张, “有错误并不是可

耻的事, 最重要的是肯承认自己的错误, 改正自己的错误”。

灵山岛位于苏鲁造山带中, 岛上出露的早白垩世复理石记录着盆地沉积环境和大地构造演化的重要信息, 是揭示扬子板块与华北板块碰撞造山的关键证据之一, 必须认真探讨。笔者等仔细阅读了钟建华(2012)一文, 但仍未能被其说服。为了学术之进步, 特响应任继舜等(2004)学术争鸣之号召, 针对该文指出的四点质疑作简要回答, 以引起国内地学同行的注意, 更希望有兴趣的同行前往现场考察并作深入研究, 为中生代以来苏鲁造山带的构造演化研究提供更多的野外证据。

### 1 规模不等的滑塌沉积不是近距离滑动的结果

钟建华(2012)概括了各种软沉积物变形构造: “多尺度

注: 本文为现代古生物学和地层学国家重点实验室资助项目(编号 0826060303)的成果。

收稿日期: 2012-11-21; 改回日期: 2012-12-09; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 吕洪波, 男, 1957年生。现为中国石油大学地球科学与技术学院教授。主要从事构造地质学、沉积学和第四纪地质学研究。

Email: hongbolu@upc.edu.cn。

滑动、滑塌构造基本都是近距离滑动,连续性很好或极好。灵山岛这套沉积岩最主要的特点是发育了多尺度的软沉积变形构造,如软变形斜歪褶皱、平卧褶皱、滑叠构造(软双重构造)、多米勒构造、变形层理等”。

该文所归纳的正是规模不等的软沉积物变形构造,分别相当于吕洪波等(2011)所介绍的“滑塌褶皱”、“同沉积布丁构造”和“浊积岩粒序层理中的包卷层理”。虽然使用的术语不一,但不影响对这类同沉积变形构造特征的理解,这些滑塌褶皱连续性好显然不能作为近距离滑动的证据。但笔者尚未能从钟建华(2012)叙述中理解其“多米勒构造”是什么样的构造。

钟建华(2012)进一步指出:“…其顶部的炭质页岩含大量碳化植物碎屑…表明植物微细结构保存完好,尽显原地堆积的特点…是在三角洲前缘或侧缘的短距离滑动、滑塌,而与陆缘斜坡毫无关系”。

但这不能作为近距离滑动的证据,因为:既然已经滑塌而且褶皱了,滑塌体内保留的植物碎片就不能作为“原地”沉积的标志了。这里的碳化植物碎屑是在半成岩的炭质页岩中被整体滑塌搬运到更深的水体中褶皱堆积的,而非单独搬运。如果是浅水的、局部的近源滑塌堆积,应该混合有粗碎屑,但这里却完全是细碎屑。

钟建华(2012)还介绍到:“…软沉积变形褶皱基本上都是平卧的,本身的连续性很好,…这种特点揭示了变形体没有液化,是在固结较好的情况下发生了短距离位移形成的,极有可能是三角洲前缘条件下形成的近距离滑动滑塌…”。

在修船厂剖面出露的已经固结较好的薄层砂泥互层滑塌褶皱层厚度超过9m,而顺层延伸几百米仍不见端点,只能说明滑塌规模巨大,但却无法说明搬运距离短。滑塌体内有些厚层砂岩具有典型的浊积岩特征(因为发育粒序层理和沟模构造),但薄层砂岩以及相间的纹层状粉砂质泥不具有浊积岩的粒序层理。然而,它们却同处于一个大型滑塌褶皱体中,堆积于一个代表浊积岩的巨厚层粒序层砂岩之上(图1a, f)。二者沉积环境本身存在着巨大差异,但却包裹于同一褶皱层中,这恰恰是远距离搬运的证据。

现代海底调查发现:大型水下滑塌主要发生在大陆坡(产生海底峡谷),而堆积于大陆隆,因此才作为深水沉积的重要类型之一。水下滑塌一旦发生,没有明显的坡度变缓是无法停下来的,因此大量滑塌堆积必然位于大陆隆到深海平原的过渡区,而这里也正是浊积岩堆积的主要场所(Boggs, 2001)<sup>398-415</sup>。灵山岛复理石剖面所展示的浊积岩(以细砂与粉砂粒序层理与黑色泥岩互层为特征)夹同沉积滑塌褶皱恰好反映了深海陆隆或海沟的沉积环境。

近年来对滑塌沉积的研究显示:滑塌体前方以同沉积褶皱变形为主,而后方则以断裂为主(Tisljar et al., 1998)。灵山岛复理石中所发现的滑塌堆积都是典型的滑塌褶皱层(远源端),而缺少滑塌发生的同沉积断崖(源头)。灵山岛剖面上没见源头而只见堆积,说明滑塌的规模巨大,搬运距离远,而堆积必然在深水区。

海底滑塌堆积一般规模巨大才得以保留。研究发现:单个滑塌堆积体的总长度至少数百米(Kangi et al., 2010),而厚度一般超过数米,有的厚度甚至超过300m,长度超过100

km(Boggs, 2001)<sup>405</sup>。灵山岛剖面上所出露的滑塌褶皱层顺层延伸至少数百米未见变化,不同滑塌褶皱层的厚度从不到1m到超过4m(吕洪波等,2011)。这说明滑塌规模巨大,发生频率极高。

综上所述,灵山岛的滑塌沉积缺少近距离滑塌的标志。滑塌体的来源,正如钟建华(2012)强调,是三角洲沉积,但却是在大陆坡环境的滑塌而堆积于相当于陆隆(或海沟)环境的深水沉积。

## 2 厚度在毫米级以内的水平纹层不是浅水高能环境的产物

钟建华(2012)写到:“…一些水平层理实际上是平行层理,那怕是那些产于泥岩或页岩中的毫米、甚至0.1mm厚的纹层都是平行层理;因为其中这些纹层是由粉砂级的颗粒侧向叠合形成的(叠瓦构造),…叠瓦构造的倾角平均47°,远大于一般河床砾石形成的叠瓦构造的倾角,也远大于浊积岩中的叠瓦构造的倾角…纹层控制的颗粒支撑叠瓦构造揭示了它是在一种极浅水和清水条件下由牵引流的条件下形成的,这种浅水可能只有数厘米到十余厘米,或数十厘米,水已经浅到了无法形成波痕”。

黑色的软泥沉积应该是静水而低能的缺氧环境,而非浅水高能环境,这已是沉积学界共识。

由粉砂和黑色泥质互层构成的厚度不足1mm且延伸稳定的水平纹层中没有任何牵引流的标志(如前积纹层、波痕等),而是细粉砂周期性降落于静止水体的结果(图1b、c)。高速水流形成的所谓的“平行层理”只能由砂级以上的碎屑颗粒组成,而且常常伴随剥离线理(Boggs, 2001)<sup>94</sup>,绝非细粉砂和泥交互形成的微细纹层。

由细粉砂和粘土组成的微细纹层可能的沉积场所有:安静而缓慢悬浮沉积的湖泊、三角洲前缘局部丰富的沉积物周期性供应的安静水底、潮下陆架区安静而周期性风暴影响区、深海底缓慢沉积区受周期性的浑浊沉积物影响区。但这种纹层若得以保存,必须是在缺少生物扰动的有毒环境才行(Boggs, 2001)<sup>95</sup>。因此,灵山岛滑塌褶皱层中的这些纹层状粉砂质泥无论如何必须在安静的水体才能形成和保留,绝非高能浅水环境。因为高能浅水必然形成氧化环境,不但不能形成如此细的黑色纹层,更难以保存。

无数的实验证实,水下砂或粉砂的休止角为25°,而泥的休止角小于10°(Adams et al., 2001),砂的休止角再大也不会超过30多度(Julien, 2010)。如果在稳定的水平纹层发育的粉砂与泥中发现倾角为47°的“叠瓦状”构造,那肯定不是沉积作用的结果了。事实上,钟建华(2012)发现的穿越一系列微细纹层的“叠瓦状”构造并非碎屑颗粒自然堆积的斜层理,其上下层一致的变形特征说明是一系列同沉积变形的显微揉皱和显微劈理(图1b、c),是滑塌褶皱层中的重要变形记录。这一变形组合与构造地质学中介绍的褶劈理(Davis and Reynolds, 1996)<sup>431-436</sup>相似,因为是软沉积物变形,故可称为同沉积褶劈理(synsedimentary crenulation cleavage)。显然,这个不能当作高能浅水沉积的标志。

## 3 沟模是浊积岩特有的底模构造,不能当作浅水沉积的标志

钟建华(2012)介绍了灵山岛复理石中的沟模构造:“…

总体近于平行产出…宽度总体稳定, 偶见局部变宽; 一般不分叉, 但表面常有毫米级宽、不足毫米高的次级纵沟纵肋, 可能是植物根茎末端的劈叉刻划形成的。初步认为沟模系植物在流水的作用下刻划泥层, 尔后被砂层充填形成。而不是砾石或其他物质刻划形成的。所以从大量沟模可以初步判别灵山岛的沉积岩是在浅水条件下形成的, 而不是深水…如果是深水浊流的话, 植物不可能沉底, 即使沉底的话也不可能出现独立悬浮状态, 它们只会与碎屑混杂在一起, 因而难以对泥质底形进行刻划形成工具痕”。

灵山岛复理石砂岩底部的沟模基本上相互平行(图

1d), 说明其上砂岩层是浊流搬运的, 而非洪水等牵引流携带植物根茎刻划的(洪水携带植物根茎难以刻划出方向一致的一组直线型沟模)。不管形成沟模的“工具”是砾石或植物根茎等, 砂体为快速的浊流搬运是肯定的。

发育粒序层理的砂岩底部最容易保留沟模、槽模等构造, 这是浊积岩重要的特征之一(Boggs, 2001)<sup>[11]</sup>, 不能当作浅水的标志。

#### 4 镜煤条带与炭屑可以搬离浅水沼泽而到深海沉积

钟建华(2012)以滑塌褶皱层中携带有黑色的炭屑甚至



图 1 胶南灵山岛早白垩世复理石沉积部分结构、构造

(a) 修船厂剖面巨厚层滑塌褶皱层叠覆于露头最底部的厚层浊积岩之上; (b)、(c) 灵山岛修船厂剖面滑塌褶皱层中的粉砂质泥纹层发育同沉积显微褶皱理, (b) 野外露头, (c) 岩石薄片, 图中尺上每小格为 1mm; (d) 大型滑塌体内粒序层理砂岩底面的沟模构造被同沉积小断层错开; (e) 岛南端千层崖剖面远源浊积岩露头; (f) 修船厂剖面滑塌褶皱层下的浊积岩巨厚层粒序层理(颜色自下而上逐渐变深)

镜煤为根据,认为灵山岛复理石是典型的包括沼泽在内的浅水环境沉积的。文中写到:“碳屑多与砂泥碎屑混合产出,未见任何垂直的碳化植物,没有一点根土岩的特点,多显示出异地堆积的特点,可能是被洪水或风暴搬运到异地堆积形成的…镜煤条带和煤屑…常与变形层理、泥砾和冲刷充填面共生,揭示了是高能化的产物…从其本身及沉积特点看,这是一种在沼泽内部或近沼泽堆积形成的,没有经过明显的远距离搬运。所以,它们的存在揭示了泥炭沼泽的发育,所以也进而揭示了灵山岛这套发育多尺度软沉积变形构造的互层状砂泥岩是浅水沉积”。

“碳屑与砂泥碎屑混合产出”恰恰是浊流二次搬运的标志,而非沼泽原地堆积的结果,否则轻质的炭屑无法与重的砂泥混合;而浅水高能环境植物碎屑又容易氧化腐烂,不利于炭屑的保存,更不会成煤了。最近二十年来研究发现,很多煤层都是异地搬运堆积的,如云南先锋盆地的煤层就是良好的例子(吴冲龙等,2006)。即使是“原地”堆积的炭屑在局部成煤,然后随着所赋存的岩层整体滑塌搬运到深水中再沉积是完全可能的。因此,滑塌褶皱层中的炭屑和“镜煤”不能否定该复理石的浊流成因,但却指示了其最终堆积场所并非浅水的沼泽区。

此外,灵山岛复理石被看作远源浊积岩有下述根据:①韵律层薄,每个砂岩与黑色泥岩的韵律组合一般不超过50 cm,多数为20 cm之内;②粒序层理段底部最粗的沉积物颗粒也以细砂和粉砂为主,根本没有代表近源端的砾石或粗砂;即使偶尔出现的厚度超过1米的粒序层理段,也是以细砂到泥的粒序为特征(图1f),缺少粗碎屑;③砂、泥比例低,即泥质单元相对于砂质单元为高。从灵山岛南端千层崖剖面的外观(图1e)可以看出,多数韵律组黑色的泥质单元层均比浅色的砂质单元厚度大(砂泥比例明显低于50%)。上述这些特征都显示:灵山岛复理石为典型的远源浊积岩。

诚然,灵山岛浊积岩的物源区最可能是三角洲,但却是三角洲沉积物再次搬运的结果。这与世界上著名的三角洲一样,成为浊积岩的主要物源区,如密西西比河三角洲(Boggs, 2001)<sup>410</sup>。前人研究揭示,三角洲确实可以成为重要的浊积岩物源区(Heller and Dickinson, 1985),然而灵山岛的浊积岩及其夹杂着的滑塌褶皱层却是深海沉积的记录,不能当作陆内浅水三角洲沉积。该套浊积岩是在扬子板块和华北板块碰撞前的残余洋盆中形成的,其沉积特征、物质组成以及后期变形等特征对南北两个大陆在晚中生代拼合以及苏鲁造山带的发展演化研究都具有非常重要的意义,希望引

起地质同行更加广泛的关注。

**致谢:**钟建华教授在灵山岛复理石剖面上进行了认真而仔细的观察,获得了详实的第一手资料。虽然认识不同,但他赞赏笔者等在灵山岛所做的工作,并明确提出自己的质疑。这才促使笔者等进一步探讨滑塌褶皱层中的水平纹层粉砂质泥岩的同沉积变形构造,才促使笔者等进一步澄清该套复理石的深水成因。这种学术争鸣必将对地质研究的进步起到良好的促进作用。《地质论评》编辑部对讨论给予了大力的支持。笔者等在此向钟建华教授和《地质论评》编辑部表示敬仰和诚挚的感谢!

## 参 考 文 献 / References

- 吕洪波,王俊,张海春. 2011. 山东灵山岛晚中生代滑塌沉积层的发现及区域构造意义初探. 地质学报, 85(6): 938~946.
- 吕洪波,张海春,王俊,张素菁,董晓朋,张星. 2012. 灵山岛晚中生代浊积岩中发现巨大滑塌岩块. 地质论评, 58(1): 80~81.
- 任纪舜,章雨旭. 2004. 爱国——地质学家的责任, 争鸣——学术进步的动力——庆祝《地质论评》刊行50卷. 地质论评, 50(6): 592, 597.
- 吴冲龙,李绍虎,王根发,刘刚,孔春芳. 2006. 先锋盆地超厚优质煤层的异地成因模式. 沉积学报, 24(1): 1~9.
- 杨钟健. 1936. 论错误. 地质论评, 1(1): 33~40.
- 钟建华. 2012. 灵山岛中生代沉积岩是深水源浊积岩,还是陆内三角洲沉积?——与吕洪波教授商榷. 地质论评, 58(6): 1180~1182.
- Adams E W, Schlager W and Anselmetti F S. 2001. Morphology and curvature of delta slopes in Swiss lakes; lessons for the interpretation of clinofolds in seismic data. *Sedimentology*, 48(3): 661~679.
- Boggs S Jr. 2001. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (3rd edition). New Jersey: Prentice Hall, 1~726.
- Heller P L and Dickinson W R. 1985. Submarine ramp facies model for delta-fed, sand-rich turbidite systems. *AAPG Bulletin*, 69(6): 960~976.
- Kangi A, Aryaei A A and Maasoomi A. 2010. Synsedimentary deformations in member 2 of Mila Formation in the Central Alborz Mountains, Northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(1): 33~39.
- Julien P Y. 2010. *Erosion and Sedimentation* (2nd edition). Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press, 1~392.
- Tisljar J, Vlahovic I, Velic I, Maticce D, Robson J. 1998. Carbonate facies evolution from the late Albian to Middle Cenomanian in Southern Istria (Croatia): influence of synsedimentary tectonics and extensive organic carbonate production. *Facies*, 38(1): 137~151.