

柳江盆地西部吴庄背斜巨型角砾区的揭层逆冲滑脱及伸展垮塌

关成尧^{1,2*}, 白相东^{1,2}, 刘晓燕^{1,2}, 肖雨¹, 纪松涛¹, 袁四化^{1,2}

¹防灾科技学院地球科学与工程学院, 河北 三河

²河北省地震动力学重点实验室, 河北 三河

收稿日期: 2025年6月23日; 录用日期: 2025年8月29日; 发布日期: 2025年9月8日

摘要

本文针对柳江盆地吴庄背斜教学路线中巨型角砾的成因模式问题, 研究认为本区巨型角砾发展的早期存在顺层逆冲滑脱的逆冲推覆构造造成了局部“(切层)坡坪式构造”, “(切层)坡坪式构造”形成的菱形块体经过滚动磨圆形成了巨型角砾及其周围的含基质“包裹层”。吴庄背斜西部区域活动分为逆冲推覆和伸展滑塌两个主要期次, 并细分为逆冲推覆、顺层伸展滑塌、切层伸展成盆三个具体的阶段。这两个期次都形成“狮爪滚绣球”的巨型角砾活动模式, 造成巨型角砾的滚动及磨圆。认为柳江盆地在响山岩体的侵入过程中挤压作用造成顺层逆冲推覆构造, 后经过盆地伸展垮塌导致了吴庄背斜西部的伸展、沉陷、顺层滑脱, 以及(切层)断陷成盆。(切层)断陷成盆形成西倾断阶控制的断陷向斜, 名为“大绪口-车厂向斜”, “大绪口-车厂向斜”在成因上可能和房山岩体西缘向斜有相似之处。

关键词

柳江盆地, 吴庄背斜, 巨型角砾, 构造演化

Break-Out Thrust Slip and Extension Collapse of Wuzhuang Anticlinal Giant Breccia Area in Western Liujiang Basin

Chengyao Guan^{1,2*}, Xiangdong Bai¹, Xiaoyan Liu^{1,2}, Yu Xiao¹, Songtao Ji¹, Sihua Yuan^{1,2}

¹Department of Earth Sciences and Engineering, Institute of Disaster Prevention, Sanhe Hebei

²Hebei Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Sanhe Hebei

Received: Jun. 23rd, 2025; accepted: Aug. 29th, 2025; published: Sep. 8th, 2025

*第一作者。

文章引用: 关成尧, 白相东, 刘晓燕, 肖雨, 纪松涛, 袁四化. 柳江盆地西部吴庄背斜巨型角砾区的揭层逆冲滑脱及伸展垮塌[J]. 自然科学, 2025, 13(5): 1004-1010. DOI: 10.12677/ojns.2025.135105

Abstract

This paper focuses on the genesis model of the giant breccia in the Wuzhuang anticline teaching route of the Liujiang Basin. It is studied that in the early stage of the development of the giant breccia in this area, there was a thrust and overburden structure of along-layer thrust and slippage, which caused a local “(cut layer) slope flat structure”. The rhombic blocks formed by the “(cut layer) slope flat structure” are rolled and rounded into giant breccia and the surrounding matrix-containing “enveloping layers”. The activities in the western area of the Wuzhuang Anticline are mainly divided into two phases: retrograde overthrust and extension and collapse, and are further subdivided into three specific stages: retrograde overthrust, extension and collapse along the layer, and cross-layer extension and basin formation. Both of these sessions formed a “lion’s claw rolling hydrangea” giant horn activity pattern, causing the giant horns to roll and be rounded. It is believed that during the intrusion of the Xiangshan rock mass, the compression effect in the Liujiang Basin caused the thrust and overburden structure of the upper layer. Later, through the basin’s extension and collapse, the western part of the Wuzhuang Anticline was extended, subsided, and the upper layer slipped off, as well as the (cut layer) faulted and sank into a basin. The basin formed by the fault depression of the cut layer has created a fault depression syncline controlled by the westward inclined fault step, which is called the “Daxukou-Chechang syncline”. The “Daxukou-Chechang syncline” may have similarities in genesis with the syncline on the west margin of the Fangshan rock mass.

Keywords

Liujiang Basin, Wuzhuang Anticline, Giant Breccia, Tectonic Evolution

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

柳江盆地是中国地学研究的发祥地之一[1], 每年数十所院校在这里展开地质相关实习。上世纪 90 年代, 区域研究初次成型[2]-[4], 近些年煤炭[5] [6]岩石[7] [8]地化[9]研究推进相对较快, 构造地质方面研究仍相对薄弱[10]。在区域构造认识方面, 曾出现向斜盆地观点[2] [11]-[14]、负向火山 - 构造盆地观[3]、拗断盆地观[4]、西部背斜观[12]-[14]、单斜与西部陡立岩层组合观(郟庐断裂系走滑诱发的断陷构造观点)[15]、现代地貌盆地观[12]等观点。关成尧[10]依据任学义[16]的剖面制作了演化剖面, 认为是响山岩体上侵就位过程中产生的水平推挤作用形成坡坪式薄皮逆冲推覆构造, 强化了柳江盆地前陆盆地构造观, 认为盆地西缘的局部推行距离在 4.5 km 以上, 预计整体水平推移距离可达 8~9 km 左右, 相对于现今响山岩体和柳江盆地东西尺度都为 15 km 左右而言, 属于“相对超大尺度”的逆冲推覆构造。本文结合关成尧[10]的坡坪式逆冲推覆构造模式, 解释柳江盆地吴庄背斜教学路线中的巨型角砾的成因模式问题, 并以巨型角砾活动现象为基础为盆地构造演化增加更多的模式要素信息方面启示。

2. 柳江盆地吴庄背斜巨型角砾

(1) 一般认为的顺层滑脱现象

柳江盆地吴庄教学路线是重要的体现构造信息的教学路线[11] [12], 吴庄教学路线“滑塌巨型角砾”被华北区域的地质学生及地质教师所熟知, 该“滑塌巨型角砾”被邵先杰[14]及柳江地质遗迹保护区解释

为区域伸展滑塌成因，反映研究区发生伸展滑塌。但具体如何发生地层滑动和如何塌陷的问题邵先杰[14]及柳江地质遗迹保护区建设的专家团并未给出明确的解释。由于近些年“滑塌巨型角砾”区域的植被较多，本文采用 2016 年拍摄的视野开阔的照片进行解释，解释成果如图 1 所示。在图 1 中巨型角砾下部存在倾向西部的滑脱断层，产生顺层滑脱，并产生图 1 中巨型角砾左下角的临近地层滑动所致的“虚脱”，这个“虚脱”一定程度上反映了其揭层性及顺层滑脱的属性。

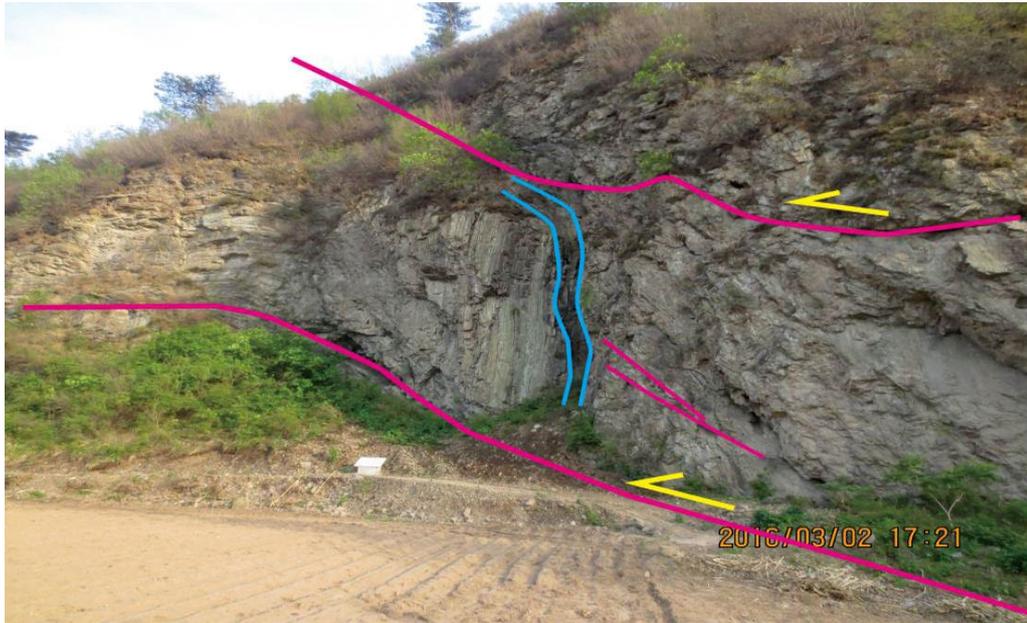


Figure 1. “Giant breccia” in the Wuzhuang anticline teaching route in Liujiang Basin (The camera is facing south)
图 1. 柳江盆地吴庄背斜教学路线中的巨型角砾(镜头方向南)

(2) “狮爪”的包裹

巨型角砾西侧的“混杂地层”(原始地层能够识别)呈现包裹巨型角砾的形态，巨型角砾呈现三维的球体(或圆柱体)深嵌于西侧的“混杂地层”(指示地层的在变形作用下混乱，而不是混杂堆积)中，图 1 中的蓝色区域呈现一定程度上和巨型角砾球面趋向于平行的趋势，这是多圈滚动导致的对围区混杂地层的拖曳调整的作用(原始地层相对难以识别)，可以理解为巨型角砾的“包裹层”，巨型角砾上部紧邻的上部断层以下区域也可能是“包裹层”。这里的“狮爪”意指角砾外围的地层和角砾本身之间的策动关系，以提高教学的形象性，具体见后文。

3. 有利的逆冲成因要素

如图 1 的逆冲结构在吴庄背斜西部的吴庄教学路线上并不是孤立存在的，从巨型角砾区继续西行还有相应的逆冲结构。

(1) 有利的逆冲结构

从巨型角砾区继续西行存在地貌上的“缩进”关系，如图 2 所示，从巨型角砾向西行 60 m 的山体在水平面上截然地向南缩进，其间可能存在顺层滑脱断层，也正是顺层滑脱的存在导致了两个山体的抗剥蚀能力的差异，从而导致了在地貌上的缩进关系，形成如图 2 中所示的“南退山”。再向西则存在规模较大的倾向西的切层花岗质岩脉，推测倾向西的切层花岗质岩脉的前身可能存在切层断层，并且这种倾向西的切层花岗质岩脉还不止一条。

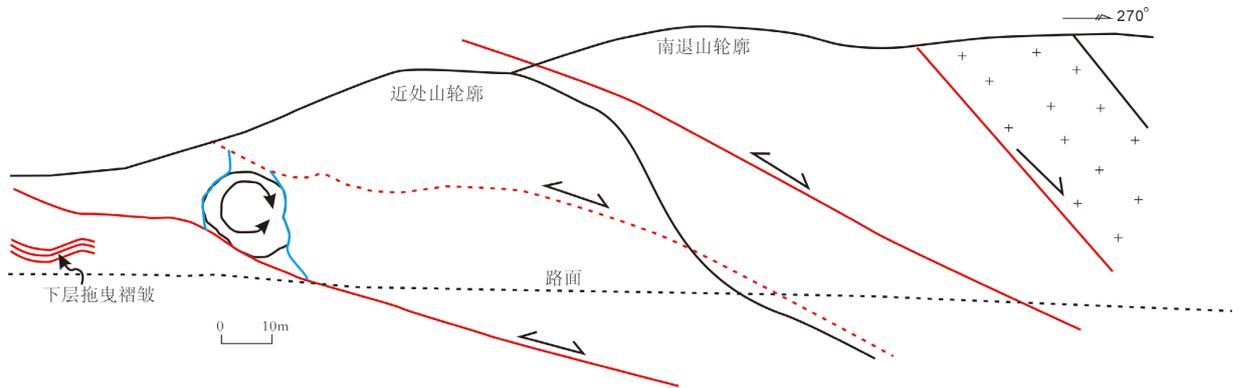


Figure 2. Conjectural map of integral thrust structure in west Wuzhuang, Liujiang Basin

图 2. 柳江盆地吴庄西部整体性逆冲结构推测图

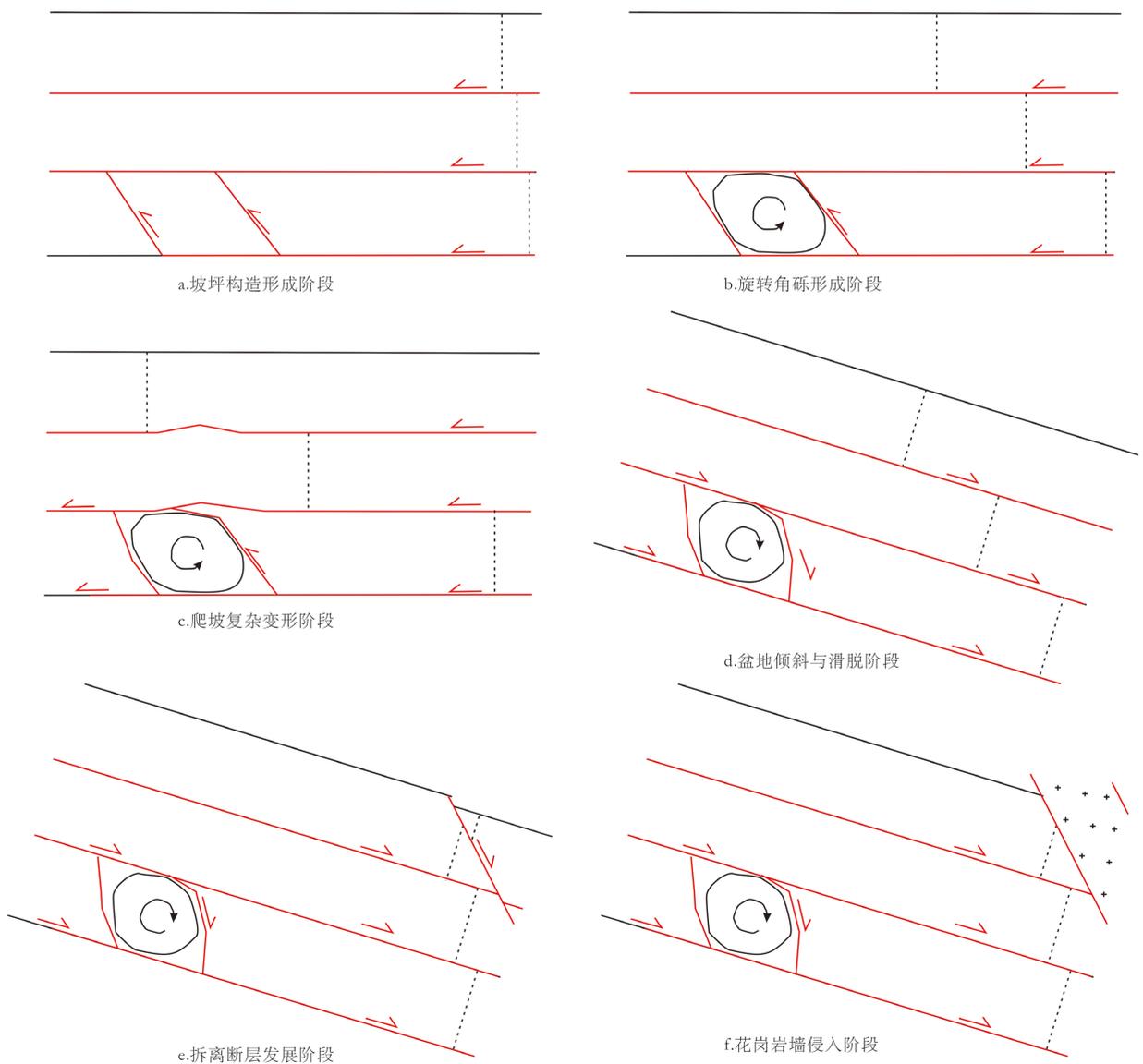


Figure 3. Evolution model of the adjacent area of "giant breccia" in the western Wuzhuang anticline

图 3. 吴庄背斜西部巨型角砾邻区演化模式图

(2) “狮爪滚绣球”模式

形如图 2 的逆冲推覆构造可以推动巨型角砾滚动, 就像“狮爪滚绣球”一样, 可以沿顺层滑脱断层向东滚动, “狮爪滚绣球”也可以在后文中的伸展滑塌中反向向西滚动, 具体见后文。这个“狮爪滚绣球”模式, 是由于逆冲岩席的顺层推动所导致, 具体见后文。

(3) 逆冲派生拖曳褶皱

在巨型角砾向东约 40 m 的位置, 存在逆冲派生的拖曳褶皱, 形态似“月亮船”形态, 如图 2 左下所示, 推测这个拖曳褶皱是在逆冲阶段由其上层的顺层滑脱断层拖曳作用所形成的, 而在伸展滑塌的阶段一般难以形成这种和顺层滑脱断层斜交的拖曳褶皱, 这里的和顺层滑脱断层斜交的拖曳褶皱也是后文中论及的逆冲推覆期存在的证据之一。

4. 成因及演化模式

从成因演化的角度来讲, 这个存在逆冲推覆构造的“狮爪滚绣球”模式的形成主要包括以下阶段, 如图 3 所示, 从大区域活动发展模式来讲, 主要有以下两个大的成盆期次。

(1) 坡坪式逆冲推覆构造期

坡坪式逆冲推覆构造期由于形如关成尧[10]所述的薄皮逆冲构造产生揭层的顺层坡坪式构造, 在这个顺层坡坪式构造形成的过程中在今巨型角砾的部位形成局部切层并形成“菱形夹块”(如图 3(a)所示), 随着顺层滑脱推覆的发展, “菱形夹块”发生被动旋转, 产生对棱角部分的磨蚀, 形成磨圆趋势, 并使磨蚀产物以基质的形式加入到周围的“包裹层”之中, 随着时间的推移, 巨型角砾右侧的地层会逐渐产生“爬升效应”, 并可能一定程度上导致上部地层被迫拱起(如图 3(c)所示)。

(2) 伸展滑塌成盆期

在吴庄背斜西部地区的伸展滑塌成盆期, 在吴庄背斜西部发生盆地伸展沉降和地层倾斜(具体范围还亟待准确的地质调查予以支撑), 在这样的整体趋势下发生由于重力位能导致的顺层滑脱(如图 3(d)所示), 巨型角砾发生与推覆期旋向相反的滚动, 进一步磨圆, 随着伸展沉降和地层倾斜的推进, 产生一些“切层”的伸展断层(如图 3(e)所示), “切层”伸展断层的发育产生新的控制面, 新控制面一定程度上阻碍顺层滑脱的继续大规模发展, 盆地沉降和倾斜更加剧烈。最后在成盆的某个阶段, 形成花岗岩脉体的侵入, 由于脉体是深部来源, 更高的概率是从“切层”的伸展断层而来, 形成吴庄背斜西部的一系列的花岗质岩脉。

5. 区域构造意义讨论

(1) 逆冲推覆与坡坪式构造

邵先杰[14]及柳江地学遗迹保护区建设的专家团虽然早有“滑塌”和“滑塌角砾”的概念, 但这个“滑塌”大约指的是伸展导致的顺层滑脱的意义。依据本文的观点, 一方面, 巨型角砾的形成不仅仅存在“滑塌”, 而是存在更早的逆冲推覆构造, 相当于本文在邵先杰[14]的伸展滑塌之前引入了一个逆冲推覆构造期次, 这与关成尧[10]的柳江盆地前陆构造观点相一致, 并与前陆构造观点相互印证与说明。另一方面, 伸展滑塌的动力学方面, 本文倾向于将其细分为“顺层滑塌”和“切层伸展”两个子阶段或者子行为, 具体在后文中描述。柳江盆地的逆冲推覆构造不仅仅具有大区域的“切层”的较为复杂的推覆, 同时在很多小区域顺层逆冲构造, 这一点与关文[10]讨论的奥陶纪顶底板存在的数 km 尺度的较大规模的坡坪式构造有所不同, 本文的这些小规模的顺层逆冲构造是关文[10]讨论的奥陶纪顶底板存在的数 km 尺度的较大规模的坡坪式构造的补充, 是的数 km 尺度坡坪式构造的局部表现形式。这两个实例(本文的逆冲和关文[10]讨论前陆盆地顶底板逆冲)说明了这种逆冲推覆构造的发育在柳江盆地西部是较为广泛的, 并且是在

关文[10]讨论的数 km 尺度坡坪式构造的“整装性”基础上存在着更小尺度上的“复杂性”。综合关文[10]和本文的认识,可以理解为本文的逆冲岩席可以理解关文[10]中同一岩片内部存在的数十米推移距离或者百米级别推移距离的滑脱、逆冲、揭层,相比之下,关文[10]中的揭层为“大揭层”,本文的揭层为“小揭层”,关文[10]中的顺层滑脱为数千米尺度的“大滑脱”或者“大推覆”,本文的滑脱则为数十米或者百米级别的“小滑脱”或者“小推覆”。关文[10]中的构造依据地震剖面,解释的是 3~5 km 深度的整体结构,而本文的解释是基于地表出露信息,属于小尺度的局部构造,本文的逆冲结构价值在于补充关文[10]中小尺度的信息,补充关文[10]中地震剖面识别精度的不足,两者是一个综合体,本文的结构说明了关文[10]中的各个岩片内部并非铁板一块,而是发生了大量的数十米级别的逆冲构造和坡坪式构造,关文[10]中讨论的是宏观控制面,是本文研究尺度外围的“顶底板构造”,而本文的结构则是关文[10]中“顶底板构造”控制下的岩片内部的更小尺度的岩席逆冲关系,是更大一级构造控制下的次级构造。另外,由于顺层滑脱并不容易被发现和证实,本文巨型角砾恰恰是其存在的有力证据,使得柳江盆地研究者更加容易关注到这种模式。坡坪式逆冲推覆构造期导致了柳江盆地吴庄背斜西部形成了前陆盆地结构,顺层逆冲推覆结构导致了西部地层迅速抬升、叠置、剥蚀,同时也造成了形如图 2 左下的“月亮船”式的挤压拖曳派生褶皱,从证据链的角度来说,相当于“月亮船”也是逆冲推覆构造存在的证据之一。

(2) 存在后期伸展成盆行为

前文已经提及,本文倾向于将其细分为“顺层滑塌”和“切层伸展”两个子阶段或者子行为,相当于扩展了邵先杰[14]及柳江地学遗迹保护区建设的专家团的“伸展滑塌”概念。后期的伸展成盆行为值得关注,这种重力位能导致的顺层滑脱正断层效应和区域伸展的切层断层的存在,都是伸展成盆的具体表现,使得吴庄背斜西部存在着东西尺度上小于吴庄背斜的断陷向斜,这个向斜的南北尺度大约是可以和吴庄背斜相当的(这方面的工作还需要翔实的野外研究进行落实)。这个断陷向斜区域表面上就是“吴庄-柳观峪背斜”的西翼而已,因此容易被忽略,但如果考虑到其可能代表着相对独立的成盆期次,这里可以命名为“大绪口-车厂向斜”(大绪口在北,车厂在南,车厂以南是否存在该断陷叠加的向斜还需要深入的研究来确定),是区域伸展成盆形成的断层控制的向斜,诚然,这个伸展成盆或者是重要的事件而亟待年龄数据的验证。

(3) 整体上的西倾“断阶”结构

这部分花岗质岩脉的统一西倾说明了其整体上呈现断层倾向西的“断阶”结构,越向西地层的沉陷量越大,从东西地层分布上也存在“东老西新”的状况。在吴庄教学路西段,凤山组直接通西倾花岗质脉体分隔与东部的徐庄“页岩”实现“断层接触”,实现“东老西新”,这说明这种“东老西新”的状况一部分是由于地层向西倾斜导致的,也有向西倾的断阶沉陷所导致的成盆分量,这一方面是西倾“断阶”结构问题,也是断陷成盆问题。

(4) 伸展成盆和花岗质岩体岩脉活动可能具有联系性

伸展成盆和花岗质岩体岩脉活动具有联系性,两者可能互为表里,相互影响,甚至还可能是相互耦合的。在本文中,从图 3 的表示中可见大约是和断层发展的同期后者后期顺切层断层而上,但究竟是断层发展的同期还是断层发展的后期还有待于考究,本文倾向于认为伸展成盆和整体性向斜(含断阶的控制的断陷向斜)的形成可能是花岗质活动的同期效应,这种向斜效应并不是罕见的,如北京的房山岩体的西部和南部就存在整体性向斜[17],只不过本区的向斜还受到了地堑断阶的改造而已。因此,本文所提的“大绪口-车厂向斜”很可能是和房山岩体上侵过程中形成的向斜[17]在成因上是相似的。

6. 结论

(1) 本区早期存在顺层滑脱的逆冲推覆构造,造成局部“坡坪式构造”,“坡坪式构造”形成的菱形

块体经过滚动磨圆形成了吴庄路线的巨型角砾。

(2) 巨型角砾的核心形成猝发机制不是滑塌,而是顺层逆冲诱发的“造坡行为”所制造的“菱形地块”经滚动磨圆所形成,可用“狮爪滚绣球”模式进行解释。

(3) 本区存在顺层逆冲推覆构造及后期的盆地倾斜及伸展滑脱,成因上推测是响山岩体同岩浆期作用的产物,是响山岩体上侵并推开地层导致了顺层逆冲。

(4) 吴庄背斜区域后期伸展成盆行为,形成整体上的西倾“断阶”结构,并形成受到西倾断阶控制的“大绪口-车厂断陷向斜”,“大绪口-车厂断陷向斜”所代表的伸展成盆和花岗质岩体岩脉活动可能具有准同期性和成因联系性。

(5) 本区的活动分为逆冲推覆和伸展滑塌两个主要期次,并细分为逆冲推覆、顺层伸展滑塌、切层伸展成盆三个具体的活动阶段。

基金项目

基金项目:河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2022GJJG483)、防灾科技学院大学生创新创业训练计划项目(X202411775016)联合资助支持。

参考文献

- [1] 牛平山,郭玉华. 建立柳江盆地地质遗迹自然保护区之管见[J]. 石家庄经济学院学报, 1998(4): 362-366.
- [2] 姚玉君. 柳江盆地构造地貌的内应力分析[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 1996(2): 61-63.
- [3] 郝素琴,曲以秀,杨洪英. 柳江火山-构造盆地的特征及演化[J]. 沈阳黄全学院学报, 1997, 16(1): 16-22.
- [4] 刘锡文. 从秦皇岛柳江盆地岩浆活动论其大地构造性质及成矿特征[J]. 唐山工程技术学院学报, 1995(1): 76-79.
- [5] 马良. 柳江盆地内岩浆侵入活动对煤层煤质的影响[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 226-234.
- [6] 王海军. 柳江盆地岩浆活动对主力煤田水文地质特征的影响[J]. 煤炭学报, 2021, 46(5): 1670-1684.
- [7] 冯诗海,李红,蒋佳俊,等. 华北秦皇岛地区柳江盆地马家沟组碳酸盐岩多期白云化作用[J]. 沉积学报, 2017, 35(4): 664-680.
- [8] 刘书燕,孙浩元,胡烁,等. 柳江盆地本溪组铁质鲕粒粉砂岩特征及成因[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(27): 11547-11557.
- [9] 赵汇珍,陈勇,涂聪,等. 柳江盆地髻髻山组凝灰岩地球化学与熔体包裹体水含量特征[J]. 岩矿测试, 2025, 44(1): 88-101.
- [10] 关成尧,肖雨,白相东,等. 中国河北柳江盆地西部构造演化及前陆盆地规律研究[J]. 自然科学, 2025, 13(5).
- [11] 林建平,赵国春,程捷,等. 北戴河地质认识实习指导书[M]. 武汉:地质出版社, 2005.
- [12] 柳成志,马凤荣. 北戴河地区地质实习指导书[M]. 北京:石油工业出版社, 2006.
- [13] 王青春. 秦皇岛地质认识实习教程[M]. 武汉:地质出版社, 2010.
- [14] 邵先杰,褚庆忠,马平华,等. 秦皇岛地质实习指导书[M]. 北京:石油工业出版社, 2018.
- [15] 李越,季建清,涂继耀,等. 燕山东部柳江地区构造属性新解与郯庐断裂系活动[J]. 岩石学报, 2009, 25(3): 675-681.
- [16] 任学义,刘强,齐云飞. 柳江盆地西翼含煤岩系特征及构造控煤作用研究[J]. 中国锰业, 2017, 35(3): 27-39, 57.
- [17] 何斌,徐义刚,王雅玫,等. 北京西山房山岩体岩浆底辟构造及其地质意义[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2005, 30(3): 298-308.