岱崮地貌的基本特征、成因和演化

中国石油大学（华东）　王萌，戴伊宁，李圯

（中国石油大学（华东）地球科学与技术学院，山东 青岛 266580）

（地质科学，2017 年 4 月 ）

李理 教授

摘要：岱崮地貌是一种寒武系碎屑岩之上的平顶灰岩地貌，为中国五大地貌之一，对其研究具有地质学、古地理环境等科学意义。本文通过野外地质调查及室内研究，分析研究了岱崮地貌的特征、成因和演化，得出以下结论：1）岱崮镇的崮主体呈 NW 向展布，由崮体和崮基组成。崮体包括崮顶、崮腰和崮底，崮顶为灰岩，崮腰和崮底以碎屑岩为主，崮基为前寒武系岩浆岩或太古宇泰山群；2）近水平岩层是岱崮地貌发育的基础；3）NNW 向、NW 向和近 EW 向断层是岱崮地貌形成的根本因素，NW 向和 NE 向节理是主控因素，控制了岱崮地貌的走向、密度；4）岱崮地貌古生代以来经历了多个时期的演化，经过加里东运动、海西运动和印支运动留存的寒武系—中奥陶统、上石炭统—二叠系是岱崮地貌形成的基础，燕山期侏罗世末-晚侏罗世（162～149.8Ma）、白垩纪（140～90Ma）及喜马拉雅早期（65～43Ma）产生的断层及节理是岱崮地貌产生的先决条件，43Ma 以来的抬升、剥蚀和岩溶作用是现今岱崮地貌成型的关键时期。

Abstract：Daigu limestone is one of the top five geomorphologic features in China. It’s a flattened mountain surrounded by cliff with steep to gentle clastic rocks above the pre-Cambrian. The study of Daigu landform has the scientific meaning of geology and palaeogeographical environment. Through field geological survey and indoor research, the characteristics, genesis and evolution of Daigu landform in Daigu Town, Menyin County of Shandong Province are discussed, and the following conclusions are drawn：1） The Daigu landform in Daigu area is mainly in NW trend, which is composed of body and basement. Daigu body includes the limestone top, and clastic rock side and the foot. 2） Near horizontal layer is the basis of Daigu landform. 3） NNW, NW and near-EW faults are the fundamental factors for the formation of Daigu landforms, and NW and NE joints are the main factors controlling the trend and density of Daigu landform. 4） Daigu landform have undergone many periods of evolution since the Paleozoic. After the Caledonian movement, the Hercynian movement and the Indosinian movement, the remained Cambrian- Middle Ordovician, Upper Carboniferous to Permian is the base of Daigu landform. The faults and joints formed during the Late Jurassic to Late Jurassic（162～149 Ma）, Cretaceous（140～90 Ma）and Early Himalayan（65～43 Ma）are prerequisites, while the uplift, denudation and karstification since 43 Ma are the key period for the formation of Daigu landform.

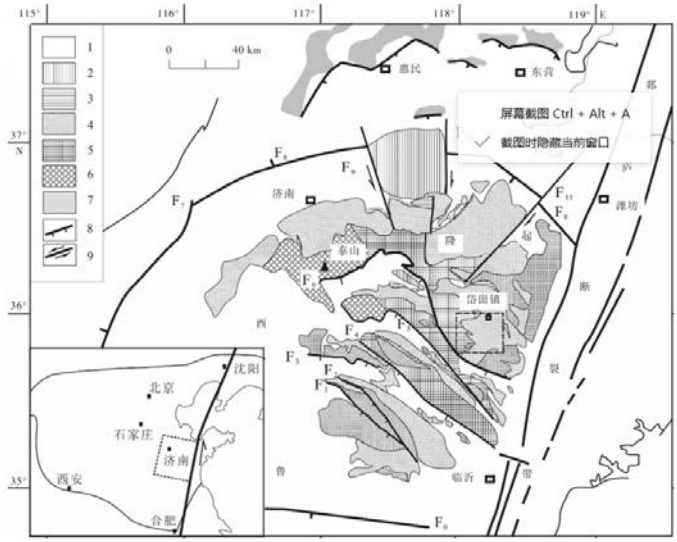
关键词：岱崮地貌；特征；断层；成因；演化

作为一种平顶灰岩地貌，岱崮地貌是继岩溶地貌、丹霞地貌、张家界地貌、嶂石地貌之后第五种重要的岩石地貌，主要分布在山东省沂蒙山地区，特别是在蒙阴县岱崮镇有 30 座[1]，如著名的岱崮保卫战中的南岱崮、北岱崮、大崮等。与南非开普敦平顶山、委内瑞拉平顶罗赖马山、印度中部等平顶砂岩山不同，岱崮镇的崮以其典型性、多样性、规模的集群性、分布的集中性而特色鲜明，具有非常重要的研究价值。近十年岱崮地貌所有研究主要集中在地貌学特征及其旅游价值，认为“崮”形成于寒武纪，结束于 67Ma，由于强烈的地壳切割和抬升运动形成[2-3]，但整体研究不够系统、深入[1]，没有回答究竟什么时期因何种原因形成，忽视了其中的地质学意义[1]，如：崮的高度代表了古夷平面的抬升高度，隐含着地壳抬升的信息；崮的形态、崩塌可判断构造应力作用大小及方向等。本文在岱崮地貌的形态、组成、类型基础上，根据其发育和展布规律，结合区域地质背景，分析其形成机制，推断其演化过程，为岱崮地貌提供详实的地质资料，为它的开发与保护及申报国家地质公园和世界自然遗产提供参考和科学依据。

一、区域地质背景

国家自然科学基金项目（41672193）、中央高校基本科研业务费专项资金和中国石油大学（华东）国家级大学生创新项目资助。**作者简介**：王萌（1995-）、女，山东东营，地质学专业，2014 级，主要从事构造地质学等研究。

岱崮地貌位于山东省鲁西南沂蒙山区，集中分布在蒙阴县东北部岱崮镇。岱崮镇构造上属于华北克拉通东部鲁西地块东北角泰山凸起，被两条区域大断层相夹，东邻郯庐断裂带，西南为泰山—铜冶店断层（图1）。岱崮镇区内地层发育太古宇泰山群、寒武系朱砂洞组、馒头组、张夏组、崮山组，缺少崮山组以上地层，与典型华北克拉通相比明显不同。早元古代黑云二长花岗岩侵入到泰山群中，经过区域变质作用形成结晶基底。区内主要发育 NNW、NW 和近 EW 向 3 条大断层，以及一系列近 EW 向小断层。



1.第四系/古近系；2.中生界；3.上古生界；4.下古生界；5.元古宇；6.太古宇；7.剥蚀区；8.正断层；9.走滑断层；F0.丰县—沛县断层；F1.尼山断层；F2.甘霖断层；F3.汶泗断层；F4.蒙山断层；F5.新泰—垛庄断层；F6.泰山—铜冶店断层；F7.兰考—聊城断层；F8.齐河—广饶断层；F9.文祖断层；F10.磁村断层；F11.上五井断层

图 1 山东省蒙阴县岱崮镇岱崮地貌区域构造位置

Fig.1 The tectonic location of Daigu landform in Daigu Town，Mengyin County，Shandong Province

二、岱崮地貌的基本特征

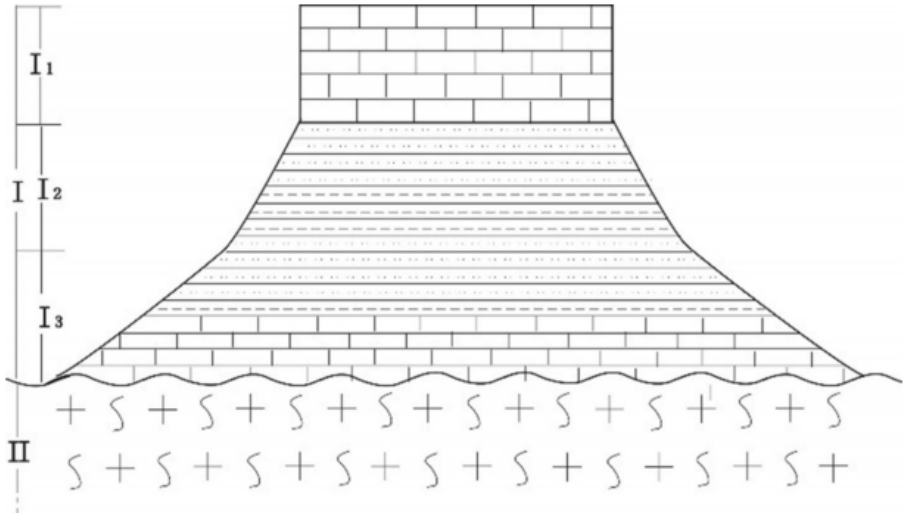
（一）崮的概念和结构

岱崮，又称望岱崮，由于站在上面可以看到泰山而得名。它是山顶平坦开阔、四周峭壁陡立，峭壁下面坡度由陡到缓的地貌，简称“崮”。即辞海中“顶平、坡陡的山”。

露头区研究发现，山顶平坦四周陡峭的部分为灰岩，其下为呈斜坡状的碎屑岩，二者倾角在 7°～10°，最下面是元古宇或太古宇泰山群。在后期地壳运动中它们是一个整体，都是崮的组成部分，而以往的研究都没有涉及元古宇和太古宇。根据岩性的不同、地层的差异，以及它们在崮形成中的作用，建立广义崮的概念，即崮是前寒武系之上由缓变陡的碎屑岩支撑、四周为峭壁的平顶灰岩山。崮的结构由崮体和崮基两部分组成，其中崮体又分为崮顶、崮腰和崮底 3 部分，最上面的平顶灰岩“帽子”称为崮顶，其下陡斜坡部分为崮腰、缓斜坡部分为崮底；最下面的元古宇或泰山群叫做崮基（图 2）。

崮顶由灰岩构成，包括薄层和厚层灰岩。其高度为 10～100m[1]；崮腰、崮底由粉砂岩和页岩等碎屑岩为主，夹有少量灰岩；崮基由泰山群（Art）花岗片麻岩、早元古代二长花岗岩组成。崮体与崮基之间为异岩不整合接触。

无论是崮顶还是崮腰、崮底，岩层倾角都很小。如大崮，崮底和崮腰处朱砂洞组（∈1z）紫红色粉砂质泥页岩，夹竹叶状灰岩、鲕粒灰岩产状为 330°∠10°；崮顶泥质条带灰岩产状为 353°∠7°，都属于近水平岩层。又如，獐子崮和拔锤子崮，崮底产状为 330°∠3°，倾角非常小。其他崮也有相似特征 [1]，这是崮的典型构造特征。



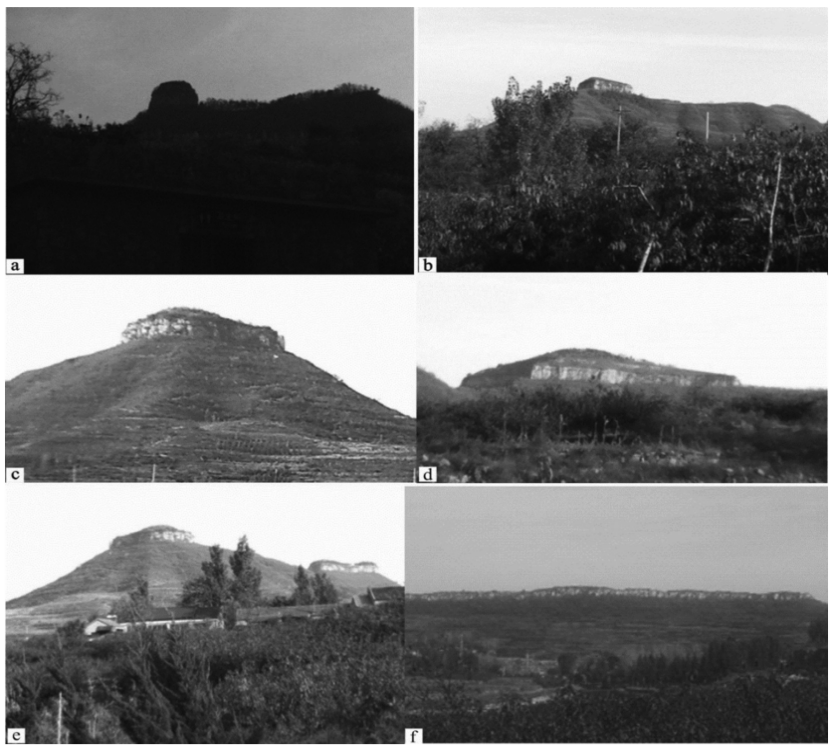
Ⅰ.崮体： Ⅰ1.崮顶； Ⅰ2.崮腰， Ⅰ3.崮底； Ⅱ.崮基

图 2 崮的结构示意图

Fig.2 The structure of the Daigu landform

（二）崮的形态和展布

野外地质考察发现，岱崮地区的崮有多种形态，崮顶灰岩有柱形、正方形、长方形、长条形，崮腰和崮底为碎屑岩，远远望去像软木塞、谷堆、方桌、卧龙。娇俏的瓮崮，精致的油篓崮，峭拔的獐子崮，气势磅礴的大崮，独特的拔锤子崮，雄壮的卧龙崮，它们择山峰而居，依山脊而列，群崮耸立，雄壮秀美（图 3）。这些崮呈 NW300°、310°和 340°，主体呈 NW 向展布，为方便研究，由西向东命名为西排崮、中排崮和东排崮（图 4）。岱崮地貌地质博物馆分隔了西排崮和中排崮，沿岱崮镇—坡里一线以东方向为东排崮。崮的密度有大有小，中排崮密度最大，东排崮密度最小。



a.瓮崮；b.油篓崮；c.獐子崮；d.大崮；e.拔锤子崮（右）；f.卧龙崮

图 3 蒙阴县岱崮地区典型崮的形态

Fig.3 The morphology of typical Daigu in Daigu area，Mengyin County

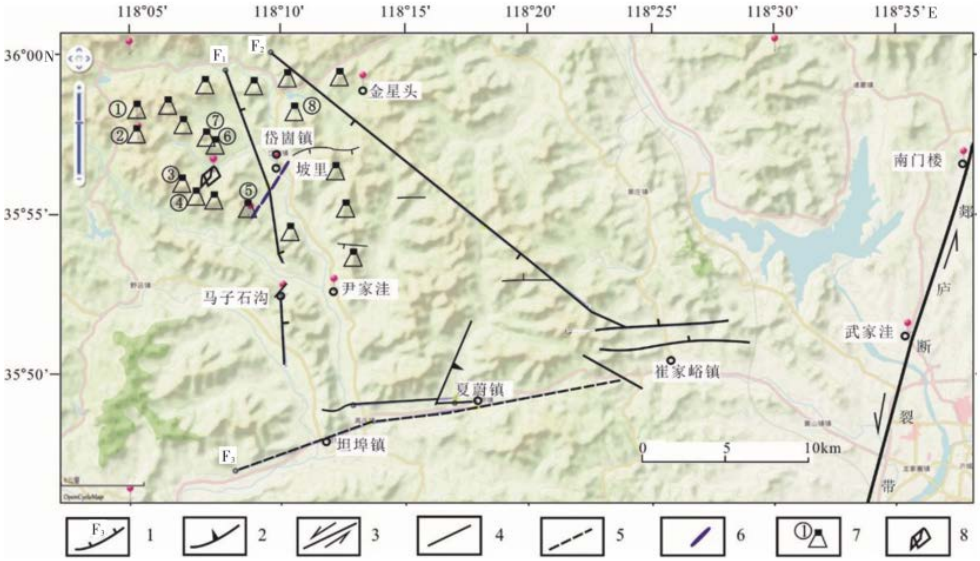
三、岱崮地区崮的成因和演化

岱崮地区的崮特色鲜明，它们是内、外动力作用的结果，其中断裂作用（断层和节理）和溶蚀/岩溶作用起到了关键作用。

（一）断层

根据山东省 1∶200000 地质图，岱崮镇地区发育的大断层主要有 3 条，它们分别是 NNW 向的坡里—马子石沟断层（F1）、NW 向的金星头断层（F2）和近 EW 向坦埠—夏蔚断层（F3）（图 4）。坡里—马子石沟断层倾向东，倾角为 83°～87°，在马子石沟被小断层错开，呈右列，反映了左行走滑，是一条张剪断层。断层西盘分布着西排崮和中排崮；东盘上分布着东排崮。金星头断层倾向 SW，与铜冶店断层、新泰—垛庄断层等区域控凹断层平行，上盘相对下降，也是一条具有张剪性质的正断层。F1 与 F2 断开的都是寒武系，二者组成地堑。值得注意的是，这两条断层的走向与 3 排崮的展布方向平行，暗示二者有一定的关系。

近 EW 向的坦埠—夏蔚断层是全区最大的断层，为一条推测断层，北盘为寒武系，南盘为元古宇。F3 向东延伸，是一条近 EW 向的正断层（图 4），即紧靠崔家峪镇北边倾向 N 的 EW 向正断层。其南、北盘与 F3 一致，仅被一条性质不明的 NW 向断层错开，也具有张剪性质。分析这些近 EW 向的断层可能是一条正断层，具有张剪性质。



1.主要正断层及编号；2.逆断层；3.走滑断层；4.性质不明断层；5.推测断层；6.金伯利岩；7.崮及编号；8.岱崮地质博物馆。F1.坡里—马子石沟断层；F2.金星头断层；F3.坦埠—夏蔚断层。

①.北岱崮；②.南岱崮；③.瓮崮；④.油篓崮；⑤.大崮；⑥.獐子崮；⑦.拔锤子崮；⑧.卧龙崮

图 4 蒙阴县岱崮地区主要断层及崮的分布

Fig.4 Distribution of main faults and Daigu landform in Daigu area，Mengyin County

（二）节理

大崮、獐子崮等野外露头观察，发现灰岩和紫红色粉砂质泥岩中剪节理非常发育，它们产状稳定，测得走向集中在 310°～336°和 65°～67°，33°和 283°，倾角近直立，呈共轭 X 剪节理。其中 NW 向一组与西排崮的展布相同，近 EW 向节理似乎与崮的密度相关。节理发育处岩层倾角为 3°～10°，因此属于早期平面 X 剪节理，其锐角平分线可以指示 σ1 方向。

上述节理锐夹角为近 EW 向，反映了区域上近 SN 向的伸展，能够产生近 EW 向的正断层。反过来说，近 EW 向的正断层发育，能够派生出上述 NE 和 NW 向节理。岱崮地区恰恰发育以坦埠—夏蔚断层为代表的近 EW 向大断层及一系列小断层（图 4）。

（三）成因和演化

岱崮地貌是古生代以来多期构造运动形成的，根据区域构造发展史，其演化经历了古生代加里东运动、

海西运动，中生代印支运动、燕山运动，以及新生代喜马拉雅运动。

加里东运动和海西运动都表现为区域升降运动。海西运动之后，寒武系—中奥陶统、石炭系—二叠系是水平岩层，形成了岱崮地貌的基础。三叠纪鲁西隆起有沉积，后因印支运动被剥蚀殆尽[4]。印支运动还形成了蒙山断层、新泰—垛庄断层、铜冶店等 NW 向大型逆断层，以及近 EW 向宽缓褶皱[5]，但在岱崮地区可能仅发育 NW 向金星头断层。

晚三叠世—早侏罗世，由于华北、扬子板块碰撞形成了左行郯庐断裂带，在中侏罗世末—晚侏罗世的 162～149.8Ma，由于 Izanagi 板块以 NWW 向低角度俯冲于欧亚板块之下[6]，郯庐断裂带开始第二期强烈左行走滑活动[7-8]。左行走滑导致的旁侧断层活动如图 5 所示，其中 NNW 向断层为 R 破裂，对应坡里—马子石沟断层，NW 向断层为 R´破裂，对应金星头断层，它们都具有张剪性质，这与实际相符；近 EW 向断层为 X 破裂，对应坦埠—夏蔚断层，具有压剪性质。这些断层派生的 NW、NE 向节理中，NW310°～330°节理最发育，其次是走向为 NE33°、NEE70°和 NWW273°的节理，与观察到的节理发育方向一致，它们是岱崮地貌形成的先决条件。

早白垩世 140Ma，郯庐断裂带为左行走滑活动，加上鲁西隆起 NE—SW 向伸展作用及 SW 向构造逃逸[9-11]，坡里—马子石沟、金星头断层成为具有张剪性质的正断层，而坦埠—夏蔚断层由压剪扭转为张剪正断层。上述节理继续发育，直到晚白垩世 90Ma，因太平洋板块俯冲速率降低至 131mm/a[6]，研究区整体抬升遭受风化剥蚀。

新生代喜马拉雅早期，受 NW—SE 向伸展作用，和郯庐断裂带左行走滑活动[12-13]，上述正断层继续活动。始新世 43Ma 之后，鲁西隆起整体抬升[14]，断层不再活动。崮体随之抬升、遭受剥蚀；23Ma 鲁西隆起再次快速抬升，溶蚀作用、岩溶作用加上重力作用沿节理逐渐发育、崩塌，形成灰岩山顶平展、周围峭壁如削，峭壁以下陡坡逐渐由陡到缓，姿态各异、秀美壮观的岱崮地貌。

具体来说，岱崮地区的崮是在断层派生的 NW 向、NE 向剪节理的基础上，经过抬升、剥蚀、岩溶作用形成的，这种节理“切块”—抬升“下切”作用的重复进行，最终形成了岱崮地貌。因此它属于一种构造地貌。而 43Ma 以来的抬升是岱崮地貌定型的关键时期，即岱崮地貌是与鲁西隆起新生代抬升[14]同期形成的。

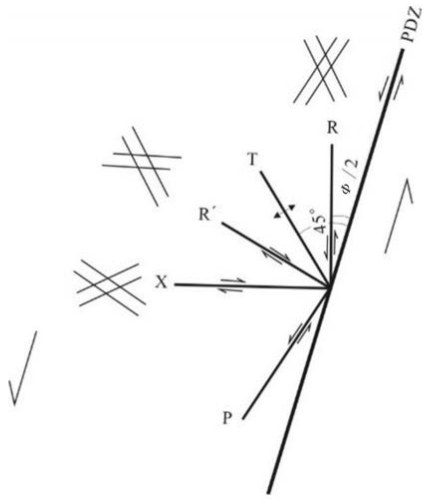


图 5 郯庐断裂带旁侧断层及派生节理，示岱崮地貌力学成因

Fig.5 The lateral fault and joint of Tan-Lu fault zone，showing the geomorphologic mechanism of Daigu

四、结论

（1）崮的结构分崮体和崮基，崮体包括崮顶、崮腰和崮底 3 部分。其中崮顶为平顶灰岩，崮腰和崮底主要为碎屑岩。

（2）加里东、海西和印支运动后留存的近水平岩层形成了岱崮地貌的基础。

（3）燕山期（162～149.8Ma）、白垩纪（140～90Ma）及喜马拉雅早期（65～43Ma）产生的 NNW 向、NW 向和近 EW 向断层是岱崮地貌形成的先决条件，喜马拉雅期（43Ma 以来）的抬升剥蚀、岩溶作用是岱崮地貌的关键和定型期。

（4）NW 向和 NE 向节理是岱崮地貌形成的主控因素，控制了其走向、密度。

参考文献

[1]丁新潮，徐树建，倪志超. 山东岱崮地貌研究综述. 山东国土资源，2014，30（11）：32-35.

[2]安仰生，张旭，孙茂田等. 鲁中南岱崮地貌的成因及演化——以抱犊崮为例解析. 山东国土资源，2010，26（2）：9-11.

[3]安仰生，张旭，陈希武等. 山东枣庄熊耳山崮形地貌成因及地质景观保护. 山东国土资源，2007，23（6）：61-63.

[4]朱炎铭，秦勇，范炳恒等. 渤海湾盆地三叠系沉积厚度恢复及其意义. 中国矿业大学学报，2001，30（2）：195-200.

[5]李理，钟大赉，杨长春等. 伸展作用序列及其深部背景：以晚中生代以来鲁西隆起和济阳坳陷为例. 地学前缘，2012，19（5）：255-273.

[6]Maruyama S，Isozaki Y，Kimura G et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands：Plate tectonic synthesisfrom 750 Ma to the present. The Island Arc，1997，6（1）：121-142.

[7]Wang Y. The onset of the Tan-Lu fault movement in eastern China：Constraints from zircon（SHRIMP）and 40 Ar/ 39 Ar dating. Terra Nova，2006，18（6）：423-431.

[8]朱光，胡召齐，陈印等. 华北克拉通东部早白垩世伸展盆地的发育过程及其对克拉通破坏的指示. 地质通报，2008，27（10）：1594-1604.

[9]刘建忠，李三忠，周立宏等. 华北板块东部中生代构造变形与盆地格局. 海洋地质与第四纪地质，2004，24（4）：45-54.

[10]朱光，徐佑德，刘国生等. 郯庐断裂带中—南段走滑构造特征与变形规律. 地质科学，2006，41（2）：226-241.

[11]李理，赵利，刘海剑等. 渤海湾盆地晚中生代—新生代伸展和走滑构造及深部背景. 地质科学，2015，50（2）：446-472.

[12]韩文功，季建清，王金铎等. 郯庐断裂带古新世—早始新世左旋走滑活动的反射地震证据. 自然科学进展，2005，15（11）：1383-1388.

[13]李理，谭明友，张明振等. 潍北—莱州湾凹陷郯庐断裂带新生代走滑特征. 地质科学，2009，44（3）：855-864.

[14]李理，钟大赉. 泰山新生代抬升的裂变径迹证据. 岩石学报，2006，22（2）：457-464.