

doi: 10.12029/gc20160320

白建科, 王洪亮, 朱小辉, 等. 北祁连石灰沟奥陶纪中堡群滑塌堆积特征及其古地理环境意义[J]. 2016, 43(3): 977-986.

Bai Jianke, Wang Hongliang, Zhu Xiaohui, et al. Characteristics of olistostromes from the Ordovician Zhongbao Group in Shihuigou area, North Qilian orogenic belt and their palaeogeographic implications[J]. Geology in China, 2016, 43(3): 977-986(in Chinese with English abstract).

## 北祁连石灰沟奥陶纪中堡群滑塌堆积特征 及其古地理环境意义

白建科<sup>1,2</sup> 王洪亮<sup>1,2</sup> 朱小辉<sup>1,2</sup> 谢从瑞<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局造山带地质研究中心,  
西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:**北祁连永登县石灰沟作为奥陶纪中堡群命名地, 历来是研究北祁连奥陶纪构造演化的理想场所。依据实测地层剖面, 石灰沟奥陶纪中堡群可以划分为上、下两段: 下段以中基性火山岩、火山碎屑岩为主; 上段以出现大量碳酸盐岩、硅质岩、粉砂岩, 夹中基性火山碎屑岩为特征。野外调查过程中发现, 中堡群上段发育多层硅质岩, 其层内发育强烈的构造变形。经岩石组合、地层序列、沉积相、火山喷发相、变形特征及空间组合关系研究, 认为该套特殊的沉积层系为典型的滑塌堆积。根据滑塌堆积的内部结构特征及火山-沉积相序等分析, 初步判断其形成于靠近岛弧的深水盆地环境, 具多岛洋构造背景。这将为恢复和建立北祁连造山带奥陶纪沉积环境和古地理演化提供可靠依据, 也为进一步研究北祁连奥陶纪沟-弧-盆体系空间格局提供了重要沉积学佐证。

**关键词:**北祁连造山带; 石灰沟; 奥陶纪中堡群; 滑塌堆积

中图分类号: P534.42; P588.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)03-0977-10

## Characteristics of olistostromes from the Ordovician Zhongbao Group in Shihuigou area, North Qilian orogenic belt and their palaeogeographic implications

BAI Jian-ke<sup>1,2</sup>, WANG Hong-liang<sup>1,2</sup>, ZHU Xiao-hui<sup>1,2</sup>, XIE Cong-rui<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Research Center for Orogenic Geology, Xi'an Center of Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** As the first named location of the Ordovician Zhongbao Group, Shihuigou area in Yongdeng County of North Qilian Mountain is an ideal place for the study of the Ordovician tectonic evolution of North Qilian orogenic belt. On the basis of the measured stratigraphic section, the Zhongbao Group in Shihuigou area can be divided into upper and lower part respectively: the

收稿日期: 2016-02-03; 改回日期: 2016-03-09

基金项目: 中国地质调查局项目(121201011000150003, 121201011000150004, 12120113013400)和国家自然科学基金项目(41202077)联合资助。

作者简介: 白建科, 男, 1983年生, 工程师, 主要从事沉积学、盆地分析与造山带演化; E-mail: baijianke2003@163.com。

lower part mainly consists of mafic-intermediate volcanic rocks and pyroclastic rocks, whereas the characteristics of the upper part is the existence of carbonate, cherts and siltstone interbedded with intermediate-basic pyroclastic rocks. Field investigation shows that there are many layers of cherts and strong deformation in the upper part of the Ordovician Zhongbao Group. According to the study of the rock assemblage, stratigraphic sequence, sedimentary facies, volcanic eruption facies, deformation features and spatial combination relationship, this set of special sedimentary strata are considered to be the typical olistostromes. Considering its internal structure and volcanic-sedimentary succession, the authors hold that the olistostromes should be deposited in the deep-water basin near the island arc, which belonged to a tectonic background of archipelagic ocean. The discovery of olistostromes in the Zhongbao Group provides reliable evidence for recovering and establishing the Ordovician sedimentary environment and paleogeographic evolution of the North Qilian orogenic belt. It also offers important sedimentologic evidence for further studying the trench-arc-basin system spatial pattern of the North Qilian orogenic belt.

**Key words:** North Qilian orogenic belt; Shihuigou area; Ordovician Zhongbao Group; olistostromes

**About the first author:** BAI Jian-ke, male, born in 1983, engineer, mainly engages in the study of sedimentology, basin analysis and evolution of tectonic belt; E-mail: baijianke2003@163.com.

**Fund support:** Supported by Programs from China Geological Survey (No. 121201011000150003, 121201011000150004, 12120113013400) and National Natural Science Foundation of China (No. 41202077).

北祁连造山带位于中祁连地块与华北板块西部阿拉善地块之间,是中国境内最具特色的加里东期碰撞造山带。随着板块构造学说引进大陆造山带研究,有关北祁连加里东造山带的物质组成、结构和构造演化引起学者们的极大关注,在北祁连蛇绿岩和火山岩、蓝片岩和高压变质带、构造变形、沉积盆地及大地构造演化等方面取得了丰硕的成果<sup>[1-9]</sup>。研究表明,祁连山造山带内发育有震旦纪—中寒武世的裂谷火山岩、晚寒武世—奥陶纪蛇绿岩、中晚奥陶世岛弧火山岩、晚奥陶世弧后拉张盆地火山—沉积岩、志留纪残余海盆复理石、泥盆纪间磨拉石和不同类型高压变质岩等。其中,奥陶纪发育典型的沟—弧—盆体系,岩石组合主要为玄武岩、安山玄武岩、安山岩、火山碎屑岩及各类岩屑砂岩、板岩、灰岩及硅质岩。作为洋壳地层系统重要组成部分的硅质岩,在北祁连奥陶纪各种构造环境中广泛发育,既可以与蛇绿岩紧密伴生,成为蛇绿岩建造的组成部分,又可以同岛弧火山活动关系密切或者单独成层出现。硅质岩具有明显的构造环境指示作用,可以为沉积盆地的形成及构造环境恢复提供具有判别作用过程的信息,历来是地质学家关注的焦点,研究成果较为丰硕,但对北祁连奥陶纪硅质岩形成大地构造环境仍然没有形成统一的认识。北祁连山寒武纪—奥陶纪硅质岩岩石化学特征显示,形成于大洋中脊、近弧环境和深海盆地的硅质岩岩石化学成分存在明显差异<sup>[10]</sup>。钱青等<sup>[11]</sup>认为北祁连老虎山地

区中、晚奥陶世与玄武岩互层的硅质岩形成于弧后盆地靠近陆缘环境。徐学义等<sup>[12]</sup>认为北祁连石灰沟地区硅质岩形成于岛弧构造环境。杜远生等<sup>[13]</sup>认为北祁连寒武—奥陶纪与裂谷、洋壳、岛弧、弧后盆地火山岩共生的硅质岩的构造背景不是典型的远洋盆地和洋中脊,而是部分靠近、部分远离陆源的大陆边缘深水盆地的多岛洋背景,北祁连奥陶纪存在宽阔、多岛的古洋盆。朱杰等<sup>[14]</sup>通过对北祁连老虎山地区硅质岩地球化学分析,得出该地区早奥陶世为相对稳定的被动大陆边缘环境,中、晚奥陶世为弧后盆地环境。闫臻等<sup>[9]</sup>认为北祁连石灰沟地区硅质岩形成于陆缘环境,并非深海或者洋中脊环境。北祁连山东段永登县石灰沟剖面作为奥陶纪中堡群的建组剖面所在地,是研究北祁连造山带奥陶纪构造演化的理想场所。笔者在永登县石灰沟对奥陶纪中堡群开展调查过程中,在前人原划中堡群薄层状硅质岩中发现滑塌堆积,并着重对其岩石组合、软沉积变形特征、地层序列、接触关系及区域展布特征等方面进行了研究。这将为恢复和建立北祁连石灰沟地区奥陶纪沉积环境和古地理演化提供依据,也为进一步研究北祁连奥陶纪沟—弧—盆体系空间格局提供了重要沉积学佐证。

## 1 地质背景

位于华北板块与中—南祁连山微板块之间的北祁连造山带,北界为走廊南山断裂,南缘为中祁

连北缘断裂,西段为阿尔金走滑断裂所截切。北祁连造山带自北向南由弧后盆地、岛弧、俯冲杂岩和消减洋壳残片等不同的单元构成,其中发育多条火山岩和花岗岩带、多条蛇绿岩带、弧前增生楔等基本构造单元,具有典型增生型造山带的特征<sup>[5,9,15-20]</sup>。北祁连地区奥陶纪地层出露齐全,奥陶纪早期海盆继续扩张形成洋盆,产出蛇绿杂岩与远洋泥硅质岩以及基性火山-沉积岩建造。中、晚奥陶世,洋盆受板块俯冲作用影响开始汇聚,导致岛弧与弧后盆地的形成,构建了中基、中酸性至碱性火山岩与正常碎屑岩-碳酸盐岩的沉积建造。甘肃省永登县境内的石灰沟地区位于北祁连造山带东段,大地构造位置上处于北祁连岛弧带,呈北西-南东带状分布(图1-a)。研究区出露地层(图1-b)主要有:中元古代皋兰群变质粉砂岩、泥岩、泥灰岩,具复理石特征;中、上寒武统香毛山组滨海-浅海相碎屑岩;中、上奥陶统中堡群火山岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩组合;下志留统肮脏沟组半深海相碎屑岩;上泥盆统沙流水组湖相碎屑岩;二叠纪自下而上依次出露大

黄沟组→黄泉组陆相杂色泥质岩、砂岩不等厚互层,三叠纪自下而上出露五佛寺组→丁家窑组→西大沟组→南营儿组河流-湖泊相杂色砾岩、砂岩和泥岩;下白垩统河口群河湖相杂色碎屑岩,局部夹含油砂页岩;新近纪甘肃群为山麓-河流相砾岩、砂岩、泥岩组合;第四纪为松散沉积物沉积。

## 2 中堡群火山-沉积地层序列

永登县中堡镇石灰沟为奥陶纪中堡群建组剖面所在地,由于首次在中堡镇石灰沟发现中奥陶世笔石化石 *Nemagraptus gracilis*,因之命名为中堡群,指分布于永登中堡,天祝马牙雪山、宁家梁山及白银等地的一套火山岩及碎屑岩<sup>[21]</sup>。在石灰沟地区,奥陶纪中堡群主要出露于向斜南北两翼,包括海相火山岩和正常沉积岩。在详细分析石灰沟中堡群地层剖面(图2)的基础上,根据剖面中沉积岩,特别是硅质岩和碳酸盐岩的出现,将中堡群划分为上、下两段:下段以中基性火山岩、火山碎屑岩为主;上段以出现大量碳酸盐岩、硅质岩、粉砂岩,夹中基性

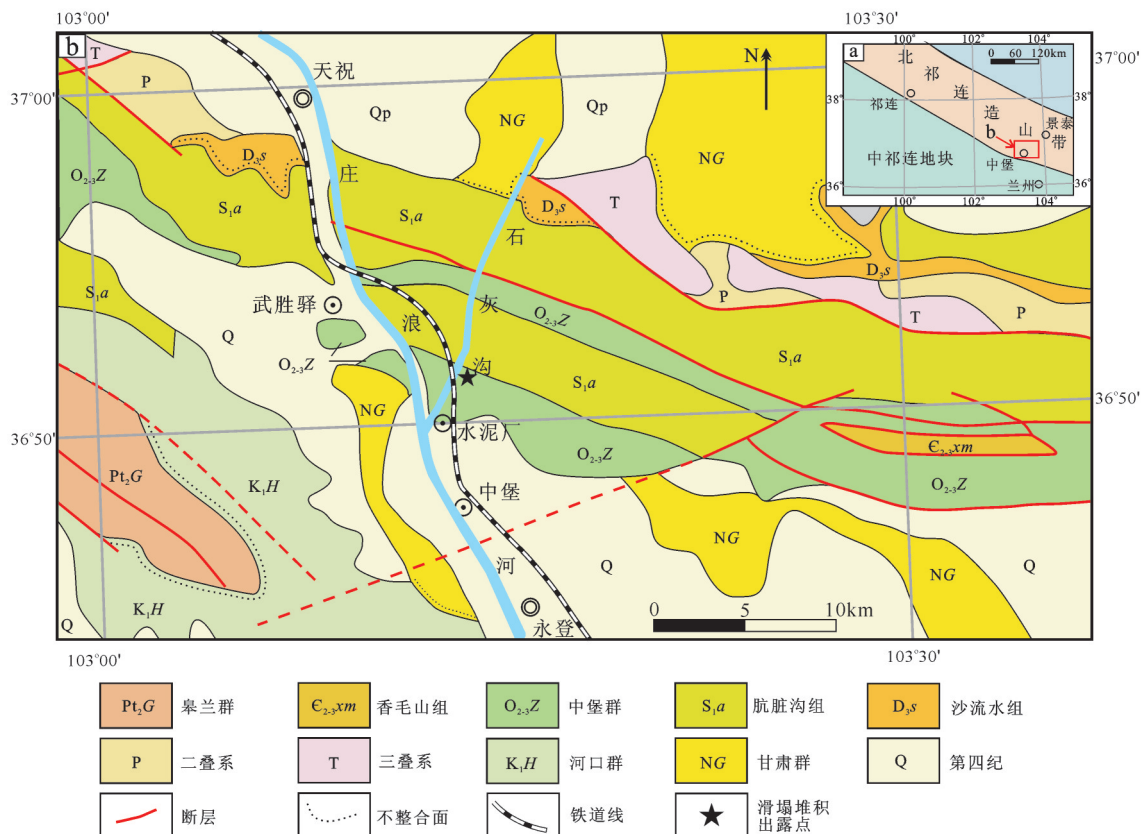


图1 北祁连造山带东段石灰沟地区地质简图

Fig.1 Simplified geological map for Shihuigou area along the eastern section of the North Qilian orogenic belt

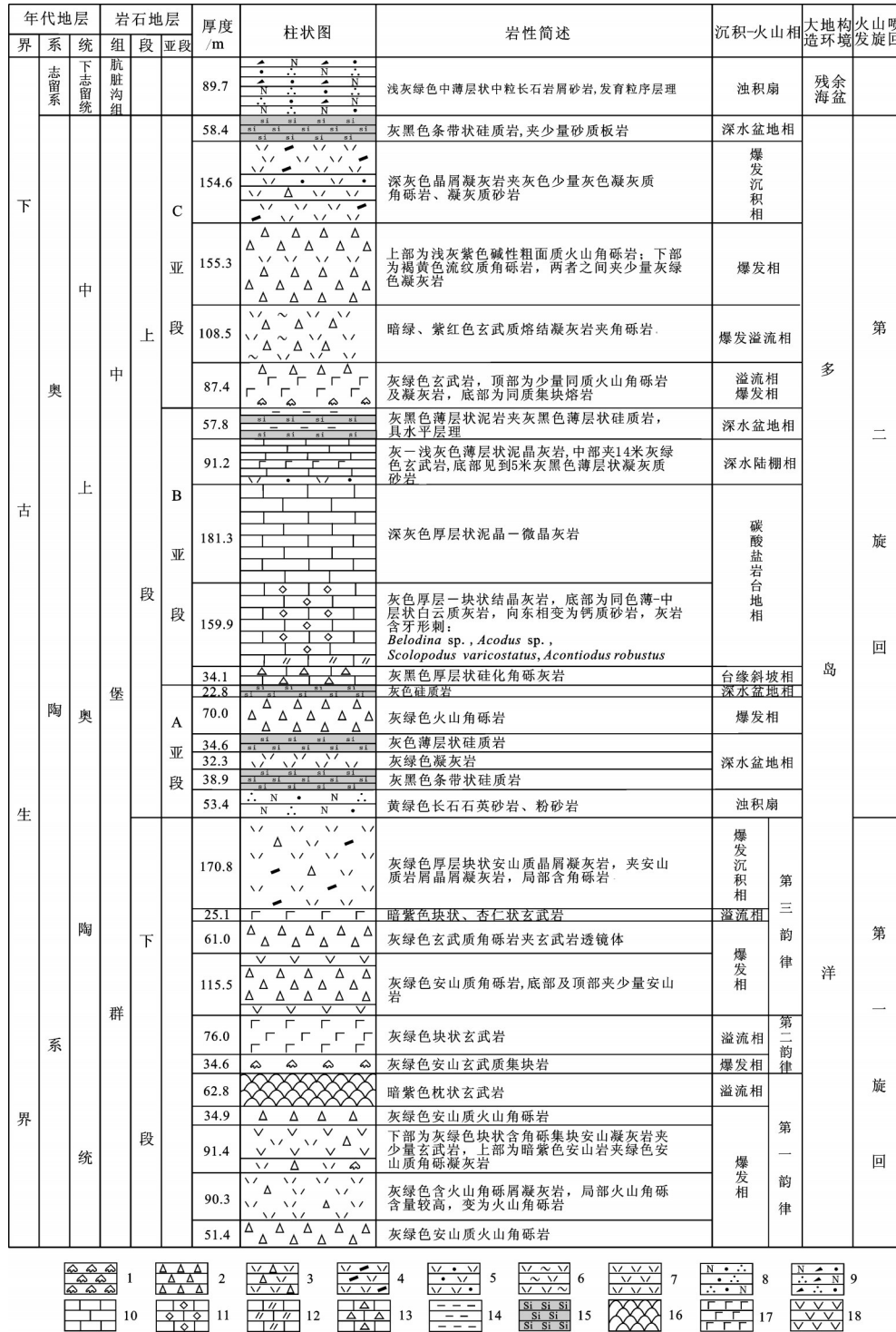


图2 甘肃省永登县石灰沟中堡群综合岩性柱状图  
 1—集块岩;2—火山角砾岩;3—含角砾凝灰岩;4—晶屑凝灰岩;5—凝灰质砂岩;6—熔结凝灰岩;7—凝灰岩;8—长石石英砂岩;9—长石岩屑砂岩;10—泥晶灰岩;11—结晶灰岩;12—白云质灰岩;13—角砾状灰岩;14—泥岩;15—硅质岩;16—枕状玄武岩;17—玄武岩;18—安山岩

Fig. 2 Integrated lithologic columnar section of the Zhongbao Group in Shihuigou area of Yongdeng County, Gansu

- 1—Volcanic agglomerate; 2—Volcanic breccia; 3—Breccia-bearing tuff; 4—Crystal tuff; 5—Tuffaceous sandstone; 6—Ignimbrite;
- 7—Tuff; 8—Feldspar-quartz sandstone; 9—Feldspathic lithic sandstone; 10—Limestone; 11—Crystalline limestone; 12—Dolomitic limestone;
- 13— Breccia limestone; 14— Mudstone; 15— Cherts; 16— Pillow basalt; 17—Basalt; 18—Andesite

火山碎屑岩为特征。中堡群上、下两段分别对应两个大的火山喷发旋回,每个旋回中识别出若干火山-沉积相(图2)。火山岩相主要依据火山碎屑岩或沉积岩的出现,以及火山岩岩性、岩相、构造等变化规律,划分火山喷发韵律。火山喷发韵律类型主要是火山岩相韵律,包括爆发沉积相、爆发相、溢流相、爆发溢流相等。沉积岩相是依据沉积岩的岩性、结构、沉积构造等特征划分沉积相,包括深水盆地相、碳酸盐岩台地相、台缘斜坡相、浊积扇相等。

中堡群下段:以中基性火山岩及同质火山碎屑岩为主,岩石组合为灰绿色安山质火山角砾岩、火山角砾凝灰岩、集块岩、暗紫色枕状玄武岩、杏仁状玄武岩、灰紫色安山岩等。由下到上划分出3个爆发相→溢流相的火山喷发韵律,第一韵律由大规模安山质火山角砾岩开始,逐渐过渡为灰绿色含角砾凝灰岩、凝灰岩,最后以暗紫色枕状玄武岩的出现结束,该火山喷发韵律持续时间最长。第二韵律开始,火山喷发强度较大,以灰绿色安山玄武质集块岩的大量出现为标志,其底部集块较大,可达0.3~0.5 m,向上集块岩中集块变小,逐渐过渡为火山角砾岩,紧接着为溢流相灰绿色块状玄武岩。第三韵律主体以爆发相火山碎屑岩为主,出现大量灰绿色安山玄武质角砾岩、安山质晶屑凝灰岩,其间夹少量溢流相暗紫色杏仁状玄武岩、安山岩。

中堡群上段:以出现大量碳酸盐岩、硅质岩、粉砂岩,夹中基性火山碎屑岩为特征。依据火山岩和沉积岩出现比例关系由下到上可分为A、B、C三个亚段。A亚段岩石组合为灰黑色薄层状硅质岩、灰绿色凝灰岩、黄绿色长石石英砂岩、粉砂岩夹灰绿色火山角砾岩、凝灰岩,形成于深水盆地环境。B亚段岩石组合以灰色厚层块状灰岩夹少量凝灰岩、凝灰质砂岩、玄武岩为特征,灰色厚层一块状结晶灰岩及厚层状泥晶—微晶灰岩,为碳酸盐岩台地相,含牙形刺 *Belodina* sp., *Acodus* sp., *Scolopodus varicostatus* 等。灰黑色厚层一块状硅化角砾灰岩中灰岩角砾为棱角状一次棱角状,大小不一,具有滑塌成因特征,形成于台缘斜坡环境。灰黑色薄层状泥质岩夹灰黑色薄层状硅质岩,发育水平层理,为深水盆地相。灰—浅灰色薄层状泥晶灰岩夹灰绿色玄武岩、薄层状凝灰质砂岩形成于深水陆棚环境。C亚段以火山爆发相火山碎屑岩为主夹少量溢

流相玄武岩,岩石组合为灰绿色玄武质火山角砾岩、集块岩、浅灰紫色碱性粗面质火山角砾岩、灰绿色晶屑凝灰岩、少量凝灰质砾石、砂岩。顶部出现灰绿色条带状硅质岩,硅质岩层内发生强烈的构造变形。

### 3 主要滑塌沉积特征

永登县石灰沟奥陶纪中堡群实测地层剖面显示,中堡群上段发育多层灰黑色薄层状硅质岩(图2),这些硅质岩层内部滑塌沉积发育,滑塌层变化强烈,出现典型的滑塌堆积和滑塌褶皱(出露点地理坐标为:36°51.54'N, 103°13.63'E; 高程H: 2323 m)。指示硅质岩沉积时期,大地构造环境非常不稳定,在多种应力作用下,硅质岩中形成了一系列不同种类的同沉积滑塌变形构造。滑塌堆积中的岩块主要由硅质岩、碳酸盐岩、凝灰岩等组成,多呈浑圆状一次棱角状,其中硅质岩岩块内部原始层理也发生了明显褶皱。滑塌褶皱规模大小不等,多表现为灰黑色薄层状硅质岩层发生强烈塑性扭曲变形,滑塌揉皱,可见平卧褶皱、紧闭褶皱、宽缓褶皱、尖棱状褶皱等形态。

#### 3.1 滑塌堆积类型

##### 3.1.1 整体块状滑塌

这种类型的滑塌体多为硅质岩岩块(图3-a, b),与未变形的原地沉积在岩性上是一致的。沉积于斜坡上的未固结或半固结的硅质岩,一方面由于自身厚度的增加,另一方面由于地质事件(地震、火山活动、海啸等)的诱发,使得其向下整块滑动,形成许多透镜状的滑塌岩块。岩块块体较大,长轴多大于50 cm,野外宏观露头上可见长轴大于5 m的硅质岩岩块。这些滑塌体与背景沉积界限明显,常表现出截切关系,在滑塌作用较弱部位,背景沉积硅质岩产状清晰可见,并伴有滑塌褶皱(图3-a);而在滑塌作用较强部位,背景沉积中硅质岩揉皱、扭曲强烈,岩层产状无法识别(图3-b)。滑塌岩块内部层理塑性变形强烈,层内揉皱作用发育(图3-b),但岩层尚未出现碎裂现象,仍处于塑性流变阶段。

##### 3.1.2 碎裂砾质滑塌

这种类型的滑塌体岩石成分复杂,既可见与背景沉积岩性相同的硅质岩岩块,也可见到碳酸盐岩岩块、凝灰岩岩块等(图3-c)。碎裂砾质岩块多出

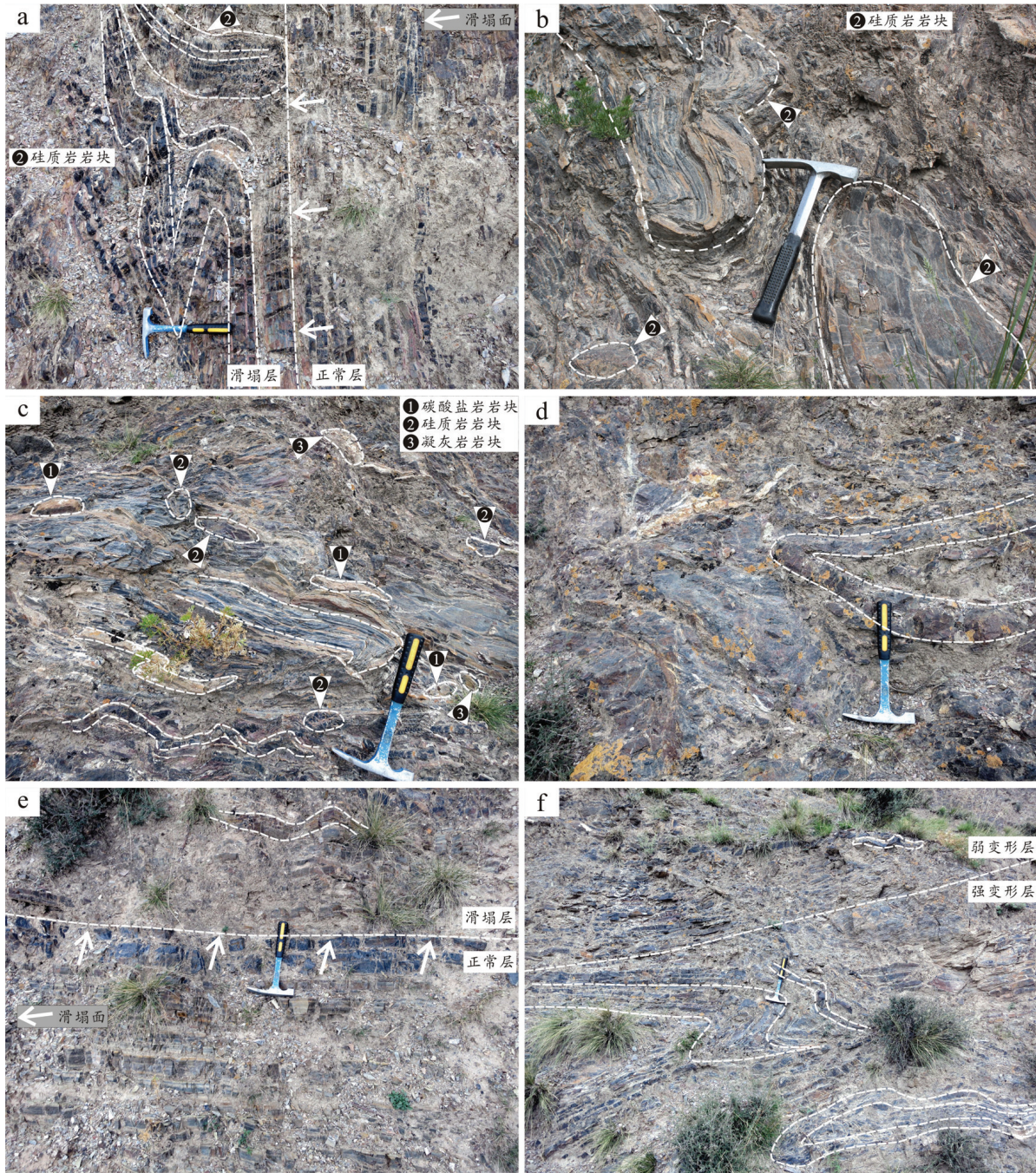


图3甘肃永登县石灰沟中堡群主要滑塌构造特征

a—正常层与滑塌层界线, 紧闭褶皱, 滑塌岩块; b—滑塌岩块, 滑塌岩块内部岩层塑性变形; c—滑塌岩块岩性复杂、宽缓褶皱; d—平卧褶皱; e—正常层与滑塌层界线; f—弱变形层与强变形层界线、不对称褶皱、复杂卷曲

Fig. 3 Main characteristics of slump structures in the Zhongbao Group in Shihuigou area of Yongdeng County, Gansu  
a—The boundary between normal layer and slump layer, tight fold, slump rock block; b—Slump rock block, plastic deformation of strata in slump rock block; c—Complex lithology of the slump rock block, the open fold; d—Horizontal fold; e—The boundary between normal layer and slump layer; e—The boundary between weak deformation layer and strong deformation layer, asymmetric fold, complex fold

现在整体块状滑塌层位的下部,其中的外来岩块以灰岩和凝灰岩居多,呈团块状、透镜状、角砾状、次圆状,不规则状。其大小相差悬殊,无定向结构,最大粒径可达1 m,而最小粒径约为0.5 cm,多数在8~50 cm。碳酸盐岩台地前缘或洋底平原上沉积的碳酸盐岩、凝灰岩等,在自身重力作用下,发生碎裂、垮塌,并沿陡斜坡向下运移至硅质岩沉积部位。由于外来岩块(碳酸盐岩、凝灰岩等)下落的重力影响,岩块与基质的接触面显示一个明显向下的凹面。这种滑塌堆积缺乏大型的滑塌褶皱变形现象,原地沉积硅质岩中仅见少量宽缓褶皱变形(图3-c),表明这种滑塌岩块到达该地没有伴随明显的水平位移,属于突发的、短距离的滑塌事件<sup>[22]</sup>。

### 3.2 滑塌褶皱

弱固结或未固结硅质岩在重力、地震等因素作用下产生顺坡向下滑动,这个过程中会形成各种类型、位态的同沉积褶皱,其轴面、枢纽产状变化大,没有力学性质上的相似性,明显受层的控制。滑塌褶皱转折端以挤压应力为主,转折端地层的内部及地层之间发育次级同沉积滑塌微褶皱构造。滑塌层与正常沉积层之间界面清晰,上、下两套岩层产状明显不协调,上部滑塌层中形成紧闭褶皱,褶皱轴面与正常硅质岩岩层夹角较小,为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ (图3-a)。随着地质应力强弱变化,顺坡滑动的沉积物会发生强度不同的变形,形成各种类型滑塌褶皱,除紧闭褶皱(图3-a)外,还会出现平卧褶皱(图3-d)、两翼不对称褶皱(图3-f)、宽缓褶皱(图3-e, f)等等,甚至一些奇形怪状的卷曲(图3-f)。这些不同形态的滑塌褶皱,既可以表现为单一的简单褶曲状,也可以组合成复杂褶曲状或肠状。

### 3.3 滑移面

滑移面指沉积物顺坡向下滑动的面,其在小范围内多呈较规则、平直的面(图3-a, e),与断层面明显的区别就是滑移面两侧岩石无构造引起的碎裂现象,但两侧岩层产状存在较大差异,正常沉积层一侧硅质岩产状稳定( $17^{\circ}\angle 56^{\circ}$ ),而在滑塌层一侧硅质岩发生折曲变形,形成各种形态的褶皱(图3-a)。

### 3.4 滑塌沉积序列

实测地层剖面(图2)显示,中堡群上段灰黑色薄层状硅质岩中滑塌层与正常沉积层呈旋回性产出特征(图3-a, e),即滑塌层断续出现,其间产出未

受滑塌影响的正常沉积。即使滑塌层连续出现,其内部也存在变形强弱程度的不同(图3-f)。这是由于受岩性、坡度、滑塌体的厚度以及滑移距离等因素的影响,再加上地质事件(地震、火山活动、海啸等)的诱发,使得滑塌作用的发育程度存在较大差异。这些地质事件的发生一般是阵发性的或脉动的,强烈发生期会产生“滑塌层”等非稳定沉积,(相对)平静期则形成“正常沉积层”,由此反复出现而显示出“旋回性”。最初的潜在滑移到蠕动,只能使未固结和半固结的水平纹层变得弯曲,厚度的均一性也会由此而遭到一定程度的破坏。地质作用的进一步加强,使沉积层产生滑动,滑动层内发生更明显的塑性变形,形成滑塌构造<sup>[23]</sup>。地层沉积序列上,滑塌层与正常沉积层构成了厚度不等、规模不同的滑塌沉积旋回。滑塌沉积序列由滑塌堆积层(A)、滑塌褶皱弱变形层(B)、滑塌褶皱强变形层(C)和正常沉积层(D)等4部分组成。北祁连造山带东段永登县石灰沟中堡群上段硅质岩中滑塌沉积序列有以下4种组合:ABD型、CB型、CD型和AD型(图4)。

## 4 沉积期构造背景

已有研究表明,北祁连加里东造山带奥陶纪发育典型的沟-弧-盆体系,岩石组合主要为玄武岩、安山玄武岩、安山岩、火山碎屑岩及各类岩屑砂岩、板岩、碳酸盐岩及硅质岩。北祁连造山带东段石灰沟地区奥陶纪中堡群主要由枕状熔岩、火山集块岩、火山角砾岩、凝灰岩、碱性玄武岩、硅质岩、碳酸盐岩组成。前人对这套地层中的火山岩进行了详细研究,认为其为岛弧或洋岛的重要组成部分<sup>[18, 24-26]</sup>,并且认为该套火山岩由下到上记录了岛弧从早到晚演化的3个阶段:初期拉斑玄武质火山岩→中期钙碱性中性火山岩→成熟期碱性火山岩<sup>[25]</sup>。但对于该区奥陶纪中堡群地层中广泛出现的硅质岩的形成构造环境仍没有形成统一的认识,如远离大陆、靠近岛弧的多岛洋深水盆地环境<sup>[13]</sup>;大陆边缘环境,并非深海或洋中脊环境<sup>[9]</sup>;介于大陆边缘和远洋盆地之间的构造环境<sup>[27]</sup>。

滑塌堆积多赋存于以重力流发育为特征的斜坡-深水沉积组合内,常与碎屑流沉积在纵、横向上呈相变关系,并构成夹层或互层状。一般呈席状

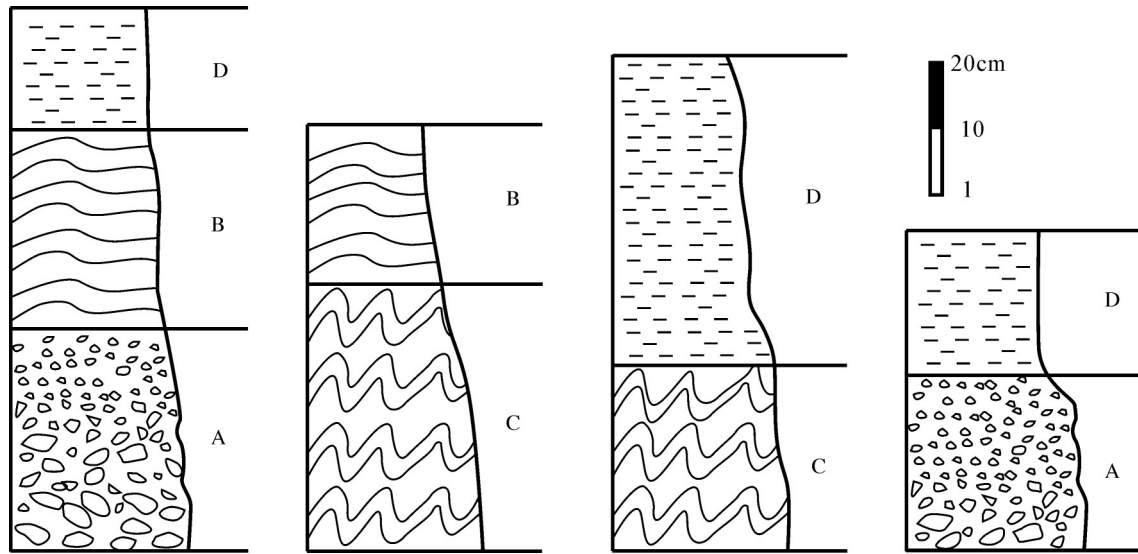


图4 甘肃永登县石灰沟中堡群滑塌沉积组合序列

A—滑塌堆积层;B—滑塌褶皱弱变形层;C—滑塌褶皱强变形层;D—正常沉积层

Fig.4 The assemblage sequence of the olistostrome in the Zhongbao Group in Shihuigou area of Yongdeng County, Gansu  
A—The layer of olistostrome; B—Weak deformation layer of the slump fold; C—Strong deformation layer of the slump fold; D—The normal layer

体、透镜体,与上下岩层基本平行<sup>[28]</sup>。滑塌堆积可以发生在任何地质背景下,既可以发生在板块的拉张阶段,也可以发生在碰撞和增生造山带中<sup>[22]</sup>。甘肃永登县石灰沟中堡群内部滑塌沉积发育,滑塌层变化强烈,出现典型的滑塌堆积和滑塌褶皱。滑塌堆积中的岩块成分以硅质岩为主,少量碳酸盐岩和凝灰岩,同时基质为灰黑色薄层状硅质岩,说明中堡群滑塌堆积的“岩块”和“基质”都来源于盆地内部,属于内滑塌堆积。滑塌褶皱表现为灰黑色薄层状硅质岩层发生强烈扭曲变形,滑塌揉皱,可见平卧褶皱、紧闭褶皱、宽缓褶皱、尖棱状褶皱等形态。说明滑塌沉积发生时,斜坡的陡缓变化较大,既出现滑塌堆积,又出现滑塌褶皱。火山-沉积序列特征表明,中堡群由海相火山岩和正常沉积岩组成,其中火山岩相包括爆发沉积相、爆发相、溢流相、爆发溢流相等,沉积相包括深水盆地相、碳酸盐岩台地相、台缘斜坡相、浊积扇相等,这种复杂多变的岩性、岩相组合反映中堡群沉积时期,火山活动频繁,构造活动强烈,沉积环境极其不稳定,突发地质事件会造成斜坡上未固结或弱固结沉积物顺坡向下发生蠕动和滑移、滑塌,进一步发展为高密度重力流体,产生滑塌堆积和滑塌褶皱。碳酸盐岩台地相沉积也不稳定,中堡群上段底部就可见到代表重力流事件的台缘斜坡相角砾灰岩。多层灰黑色薄层

状硅质岩发育并且其内产出丰富的放射虫和笔石化石,放射虫有刺长、纤细、壳薄、壳纹细密等特点,具有深水、温暖条件下生长特征<sup>[13]</sup>。硅质岩、板岩和细碎屑岩沉积组合表现出重力流和浊流沉积性质,这些特征都指示硅质岩形成于半深水—深水的洋盆环境。结合前人在石灰沟所做硅质岩的地球化学特征:轻稀土元素富集特征不明显, $\delta\text{Ce}$ 没有明显的负异常。可以推测奥陶纪中堡群沉积时期,北祁连的构造背景既不是典型的大陆边缘,更不是典型的远洋盆地,而是靠近岛弧的深水盆地环境,具多岛洋构造背景。

## 5 结 论

(1)甘肃永登县石灰沟奥陶纪中堡群火山-沉积岩系可以划分为上、下两段:下段以中基性火山岩、火山碎屑岩为主;上段以出现大量碳酸盐岩、硅质岩、粉砂岩,夹中基性火山碎屑岩为特征。

(2)中堡群上段多层灰黑色薄层状硅质岩层内部发育滑塌沉积,滑塌层变化强烈,出现典型的滑塌堆积和滑塌褶皱,指示硅质岩沉积时期,大地构造环境非常不稳定,在多种应力作用下,硅质岩中形成了一系列不同种类的同沉积滑塌变形构造。

(3)根据整个滑塌堆积层的岩石组合、内部结构、褶皱变形及滑塌沉积序列等特征,认为中堡群



硅质岩形成于半深水—深水的洋盆环境,同时结合前人硅质岩地球化学研究成果,初步判断奥陶纪中堡群沉积时期,北祁连处于靠近岛弧的深水盆地环境,具多岛洋构造背景。

**致谢:**野外工作中得到中国地质调查局西安地质调查中心李荣社教授级高工、李向民研究员、宋忠宝研究员等的亲临指导,写作过程中得到了周志强研究员的建议,在此表示衷心的感谢!

### 参考文献(References):

- [1] Wu H Q, Feng Y M, Song S G. Metamorphism and deformation of blueschist and their tectonic implication, North Qilian Mountains, China[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1993, 11(4): 523–536.
- [2] 左国朝, 吴汉泉. 北祁连中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析[J]. *地球科学进展*, 1997, 12(4): 315–323.  
Zuo Guochao, Wu Hanquan. A bisubduction—collision orogenic model of early—Paleozoic in the middle part of North Qilian area[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1997, 12(4): 315–323(in Chinese with English abstract).
- [3] 宋述光. 北祁连山俯冲杂岩带的构造演化[J]. *地球科学进展*, 1997, 12(4): 351–365.  
Song Shuguang. Tectonic evolution of subductive complex belts in the North Qilian Mountains[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1997, 12(4): 351–365(in Chinese with English abstract).
- [4] 葛肖虹, 刘俊来. 北祁连造山带的形成与背景[J]. *地学前缘*, 1999, 6(4): 223–230.  
Ge Xiaohong, Liu Junlai. Formation and tectonic background of the Northern Qilian orogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 223–230(in Chinese with English abstract).
- [5] 杜远生, 朱杰, 韩欣, 等. 从弧后盆地到前陆盆地——北祁连造山带奥陶纪—泥盆纪的沉积盆地与构造演化[J]. *地质通报*, 2004, 23(9/10): 911–917.  
Du Yuansheng, Zhu Jie, Han Xin, et al. From the back—arc basin to foreland basin—Ordovician—Devonian sedimentary basin and tectonic evolution in the North Qilian orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(9/10): 911–917(in Chinese with English abstract).
- [6] Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y. Magma genesis in the Ordovician backarc basins of the North Qilian Mountains, China[J]. *GSA Bulletin*, 2003, 115(12): 1510–1522.
- [7] Zhang J X, Meng F C, Wan Y S. A cold early Palaeozoic subduction zone in the North Qilian Mountains, NW China: petrological and U—Pb geochronological constraints[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2007, 25(3): 285–304.
- [8] Song S G, Zhang L F, Niu Y L. et al. Eclogite and carpholite—bearing metasedimentary rocks in the North Qilian Suture zone, NW China: Implications for early Palaeozoic cold oceanic subduction and water transport into mantle[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2007, 25(5): 547–563.
- [9] 闫臻, 李继亮, 雍拥, 等. 北祁连石灰沟奥陶纪碳酸盐岩—硅质岩形成的构造环境[J]. *岩石学报*, 2008, 24(10): 2384–2394.  
Yan Zhen, Li Jiliang, Yong Yong, et al. Tectonic environment of Ordovician carbonate—cherts in the Shihuigou area, North Qilian orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(10): 2384–2394(in Chinese with English abstract).
- [10] 冯益民, 何世平. 北祁连山寒武—奥陶纪硅质岩岩石学特征及形成环境[J]. *西北地质科学*, 1994, 15(1): 17–25.  
Feng Yimin, He Shiping. Characteristics of petrochemical components of cherts from the North Qilian Cambrian—Ordovician sequences and their sedimentary environments[J]. *Northwest Geoscience*, 1994, 15(1): 17–25(in Chinese with English abstract).
- [11] 钱青, 张旗, 孙晓猛, 等. 北祁连老虎山玄武岩和硅质岩的地球化学特征及形成环境[J]. *地球科学*, 2001, 36(4): 444–453.  
Qian Qing, Zhang Qi, Sun Xiaomeng, et al. Geochemical features and tectonic setting for basalts and cherts from Laohushan, North Qilian[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(4): 444–453(in Chinese with English abstract).
- [12] 徐学义, 赵江天, 夏林圻, 等. 北祁连山早古生代硅质岩稀土元素特征及环境指相意义[J]. *地质论评*, 2003, 49(6): 605–609.  
Xu Xueyi, Zhao Jiangtian, Xia Liqi, et al. Tectonic setting implications of REE in Early Paleozoic siliceous rocks from the Northern Qilian Mountains[J]. *Geological Review*, 2003, 49(6): 605–609(in Chinese with English abstract).
- [13] 杜远生, 朱杰, 顾松竹. 北祁连永登石灰沟奥陶纪硅质岩地球化学特征及大地构造意义[J]. *地质论评*, 2006, 52(2): 184–189.  
Du Yuansheng, Zhu Jie, Gu Songzhu. Sedimentary geochemistry of cherts from the Middle—Upper Ordovician in Shihuigou area, North Qilian orogenic belt and its tectonic implications[J]. *Geological Review*, 2006, 52(2): 184–189(in Chinese with English abstract).
- [14] 朱杰, 杜远生. 北祁连造山带老虎山奥陶系硅质岩地球化学特征及古地理意义[J]. *古地理学报*, 2007, 9(1): 69–76.  
Zhu Jie, Du Yuansheng. Geochemistry characteristics and palaeogeographic significance of the Ordovician siliceous rocks from Laohushan area, North Qilian orogenic belt[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(1): 69–76(in Chinese with English abstract).
- [15] 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义[J]. *地质学报*, 1978, 54(1): 287–295.  
Xiao Xuchang, Chen Guoming, Zhu Zhizhi. A preliminary study on the tectonics of ancient ophiolites in the Qilian mountain, Northwest China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1978, 54(1): 287–295(in Chinese with English abstract).
- [16] 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学[J]. *地质学报*, 1994, 68(1): 1–15.

- Xu Zhiqin, Xu Huifen, Zhang Jianxin, et al. The Zoulangnanshan Caledonian subductive complex in the Northern Qilian Mountains and its dynamics[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(1): 1-15(in Chinese with English abstract).
- [17] 冯益民, 何世平. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京: 地质出版社, 1996, 71-101.
- Feng Yimin, He Shiping. The Tectonics and Orogeny from Qilian Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996, 71-101(in Chinese).
- [18] 夏林圻, 夏祖春, 彭礼贵, 等. 北祁连山石灰沟奥陶纪岛弧火山岩系岩浆性质的确定[J]. *岩石矿物学杂志*, 1991, 10(1): 1-10.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Peng Ligui, et al. Determination of magmatic nature of Ordovician island arc volcanic series in the Shihuigou area in the Northern Qilian Mountains[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1991, 10(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- [19] 周志强, 曹宣铎, 赵江天. 祁连山早古生代地层和沉积-构造演化[J]. *西北地质科学*, 1996, 17(1): 1-58.
- Zhou Zhiqiang, Cao Xuanduo, Zhao Jiangtian. Early Palaeozoic stratigraphy and sedimentary-tectonic evolution in eastern Qilian Mountains, China[J]. *Northwest Geoscience*, 1996, 17(1): 1-58 (in Chinese with English abstract).
- [20] Du Y, Wang J, Han X G, et al. From flysch to molasse—the sedimentary and tectonic evolution of the Late Caledonian—Early Hercynian foreland basin in North Qilian Mountain[J]. *Journal of China University of Geosciences*, 2003, 13(1): 1-7.
- [21] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997, 90-127.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. Stratigraphy (Lithostratic) of Gansu Province, China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997, 90-127 (in Chinese).
- [22] 张星, 吕洪波, 董晓朋, 等. 白云鄂博群哈拉霍疙特组滑塌堆积的发现及其地质意义[J]. *地质论评*, 2013, 59(6): 1199-1206.
- Zhang Xing, Lv Hongbo, Dong Xiaopeng, et al. Olistostrome discovered in the Halahuogete Formation, Bayan Obo Group and its geological significance[J]. *Geological Review*, 2013, 59(6): 1199-1206(in Chinese with English abstract).
- [23] 刘贵, 李增华. 中扬子台地南缘斜坡带上震旦统的滑塌沉积[J]. *江汉石油学院学报*, 1991, 13(1): 17-25.
- Liu Gui, Li Zenghua. The upper Sinian slump deposits on the zone of slope in the south margin of central Yangtze platform[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 1991, 13(1): 17-25(in Chinese with English abstract).
- [24] 张瑞林, 赵江天, 申少宁. 甘肃永登石灰沟奥陶纪岛弧区沉积建造的特征[J]. *西北地质科学*, 1995, 16(1): 123-133.
- Zhang Ruilin, Zhao Jiangtian, Shen Shaoning. Characteristics of sedimentary formation in Ordovician island-arc area from Shihuigou in Yongdeng, Gansu[J]. *Northwest Geoscience*, 1995, 16(1): 123-133(in Chinese with English abstract).
- [25] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩浆成因[J]. *中国地质*, 2003, 30(1): 48-60.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. Magmagenesis of Ordovician back-arc basins in the Northern Qilian Mountains[J]. *Geology in China*, 2003, 30(1): 48-60(in Chinese with English abstract).
- [26] 沈娟, 饶万祥, 胡沛青, 等. 北祁连山石灰沟奥陶纪玄武岩流体组成及其地质意义[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2014, 50(4): 472-476.
- Shen Juan, Rao Wanxiang, Hu Peiqing, et al. Chemical compositions of volatiles and their geological significance in Ordovician in alkali basalt in Shihuigou area, North Qilian[J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2014, 50(4): 472-476(in Chinese with English abstract).
- [27] 陆静云, 王志励, 杜理科, 等. 北祁连山玉石沟地区奥陶纪硅质岩特征及其大地构造意义[J]. *岩矿测试*, 2014, 33(5): 747-757.
- Lu Jingyun, Wang Zhili, Du Like, et al. The characteristics and tectonic significance of Ordovician siliceous rocks in the Yushihou area, North Qilian[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2014, 33(5): 747-757(in Chinese with English abstract).
- [28] 张抗. 滑塌堆积及其构造意义[J]. *岩相古地理*, 1994, 14(6): 15-34.
- Zhang Kang. Olistostromes and their tectonic significance[J]. *Lithofacies and Palaeogeography*, 1994, 14(6): 15-34(in Chinese with English abstract).