

文章编号: 1000-0550(2011)01-0031-10

北大巴山与志留纪火山作用相关的碳酸盐岩 沉积学特征及形成环境^①

闫臻¹ 王宗起² 张英利² 向忠金¹ 闫全人¹ 王涛¹

(1. 中国地质科学院地质研究所 北京 100037; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037)

摘要 生物碎屑灰岩、生物礁是造山带内最为常见的岩石类型之一,它们可以形成于多种构造环境。研究这些岩石组合的结构组成及生物赋存状态可为古地理恢复及造山带演化提供依据。分布于北大巴山地区与富TiO₂碱性火山岩紧密相关的碳酸盐岩组合长期以来被认为是被动陆缘台地相组合。该套碳酸盐岩组合主要由生物礁、生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、泥质灰岩、角砾灰岩共同构成。砂屑灰岩及生物灰岩中常伴随有薄层凝灰岩夹层;同时这些碳酸盐岩中富含不同比例的火山碎屑成分,发育粒序层理、平行层理、波纹斜层理和滑塌构造。生物碎屑灰岩通常与凝灰质砂岩、泥岩构成韵律层,火山质碎屑在类岩石中主要表现为粒径0.5~3 mm的棱角状一次棱角状玄武岩和凝灰岩碎屑,具有近源沉积特征;生物礁中通常出现1~2.5 cm棱角状一次棱角状玄武岩碎屑,且在生物礁之间的砂岩夹层中含有丰富的0.5~1 mm的次圆状玄武岩碎屑;砂屑灰岩中含有棱角状一次棱角状玄武岩和辉石两类碎屑,其中辉石碎屑粒径通常为1~2 mm,同时该类岩石中还含有丰富的黄铁矿,这些黄铁矿通常因其粒径变化而发育粒序结构特征。角砾状灰岩可分别由砂屑灰岩、生物礁及生物碎屑灰岩构成,也可由三者共同构成,玄武岩碎屑仅出现于角砾状生物礁灰岩中。这些碳酸盐岩中的生物化石具有曾经历过明显的搬运改造特征,其中生物碎屑灰岩和砂屑灰岩中的化石碎屑以次圆状为主,生物礁中的生物化石平行于砂岩夹层分布且发生不同程度的压扁和挤压变形,岩石中普遍发育滑塌沉积构造。这些特征共同表明,该套碳酸盐岩与下伏的碱性玄武岩形成密切相关,二者共同构成了与现代大洋中典型洋岛/海山相一致的结构特征,且这些碳酸盐岩多沿着下伏玄武岩的周边沉积,具有深水—斜坡环境的沉积组合,同时因其中所包含的生物化石经历了一定距离搬运作用而发生再沉积,进一步表明这些生物发育时代可能略微早于该套火山—沉积组合的形成时代。

关键词 生物礁 生物碎屑灰岩 火山—沉积作用 洋岛/海山 志留系 北大巴山地区

第一作者简介 闫臻 男 1970年出生 博士 造山带沉积学 E-mail: yanzhen@mail.igcas.ac.cn

中图分类号 P588.24+5 **文献标识码** A

生物碎屑灰岩、生物礁是造山带内最为常见的岩石类型之一。现代海洋地质学研究表明,生物碎屑灰岩、生物礁、浊积岩及滑塌堆积组合可形成于大陆边缘陆棚及邻区,也可形成于海山、洋岛、大洋高原和岛弧环境并作为这些地貌单元的重要组成部分^[1,2]。现代大洋深海钻探(ODP)研究则进一步表明,形成于海山、洋岛及岛弧环境的生物灰岩、礁灰岩中以富含火山碎屑成分为典型特征^[3]而有别于陆缘浅水环境生物灰岩、生物礁^[2]。尽管海山、洋岛、大洋高原以及岛弧在板块俯冲增生造山作用过程中通常被肢解和破坏,致使这些不同大地构造相的岩石组合以构造残片/块体形式散落于造山带增生杂岩内^[4~6],但这些构造残片/块体良好地记录了古板块和古地理格

局演化。因此,通过鉴别和甄理造山带内碳酸盐岩的赋存状态并研究其组成和生物化石产态,可为古地理格局恢复以及造山带大地构造相研究提供依据。

北大巴山地区志留系分布广泛,地层发育相对齐全。在紫阳县红椿坝—岚皋县断裂南北两侧,志留系在岩性、岩相、古生物丰度、沉积环境及火山—岩浆作用等方面存在一定差异,前人曾对其古生物分布特征、相互关系、地层穿时性以及火山—岩浆作用地球化学特征进行了不同程度研究^[7~12]。其中沿着红椿坝—岚皋县断裂两侧出露的志留系(图1)中有丰富的生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、泥质灰岩及富含生物化石碎屑的砂砾岩组合,其归属和时代长期以来存在较大争议。1966年,陕西省区调队在1/20万《紫阳幅》

^①国家自然科学基金项目(批准号:40772137)、中国地质科学院基本科研业务费(编号:J0709)、中国地质调查局地质调查项目(编号:1212010611807)和国家“十一五”科技支撑计划项目(编号:2006BA801A11)共同资助。All rights reserved. <http://www.cnki.net>
收稿日期:2009-11-05;收修稿日期:2010-03-15

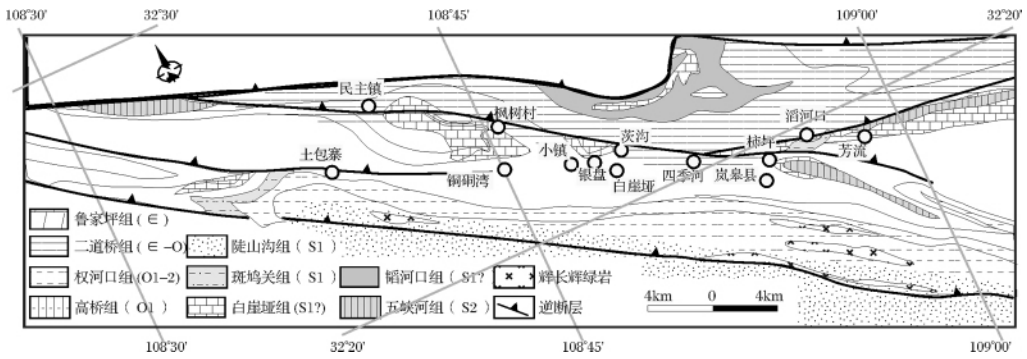


图 1 北大巴山地区红椿坝—岚皋县断裂两侧早古生代碳酸盐岩分布地质简图(据 1:20 万《紫阳幅》地质图修改)^①

Fig. 1 Geological map of early Paleozoic carbonates along the both sides of the Hongchunba-Langao fault in the North Daba Mountains (Modified after Geological Map of Ziyang, 1:200000)

地质图及说明书中将其归为中志留统; 1988 年, 陕西省区调队在进行 1:20 万《紫阳幅》地质图修测过程中将该套组合与下伏的块状、枕状玄武岩以及深绿—灰绿色厚—块状火山角砾岩、火山角砾凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰质砾岩、凝灰质砂岩等火山碎屑岩组合共同命名为“陡山沟组”, 并根据其中的珊瑚和腕足类化石将其时代厘定为早志留世。1999 年, 陕西省地勘局地质七队在 1:5 万《岚皋县幅、洛河街幅、八仙街幅》地质图及区域地质调查报告中将该套组合命名为“滔河口组”; 同年, 陕西省地勘局区域地质矿产研究院在 1:5 万《岚河口幅、佐龙街幅》地质图及区域地质调查报告中则将岚皋县红椿坝—岚皋县断裂南侧小镇白崖垭九条沟一带呈北西—南北向展布的生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、泥质灰岩及富含腕足、珊瑚、海百合茎、层孔虫化石的火山质砂岩、砾岩组合命名为“白崖垭组”, 而将其下部深绿—灰绿色厚层辉石玄武岩、辉石玄武质凝灰岩、基性火山角砾岩、凝灰岩、凝灰质砂岩、局部夹海相陆源碎屑岩和生物碎屑灰岩组合命名为“滔河口组”, 并认为白崖垭组与滔河口组之间为整合接触, 且白崖垭组与上覆的富含中志留世笔石化石的陆源碎屑浊积岩之间为整合接触, 结合这些岩石组合内的化石进而分别将白崖垭组和滔河口组的形成时代厘定为早志留世晚期和早志留世。这些研究进一步表明, 前人逐渐将北大巴山地区的碳酸盐岩组合与其下伏的火山岩组合分裂开来对待, 且主要集中于形成时代方面的研究, 而相对缺乏对这些碳酸盐岩组合的成分及其与下伏火山岩之间的有机成因联系研究, 进而影响了该地区构造环

境的认识。

本研究将对分布于红椿坝—岚皋县断裂两侧的碳酸盐岩组合(白崖垭组)以及火山岩组合(滔河口组)中生物灰岩透镜体的野外产出状态、空间分布、碎屑组成特征和化石赋存状态进行全面分析, 并结合前人对下伏火山岩的研究结果, 探讨北大巴山地区火山—沉积作用形成构造环境。

1 基本地质特征

我们通过对岚皋县小镇银盘及民主镇土包寨一带进行了详细的野外地质路线调查研究以及小镇银盘 1:1 万地质图填图工作基础上, 综合分析该区已有的各种地质资料结果表明, 分布于红椿坝—岚皋县断裂南侧志留纪地层内的生物碎屑灰岩、生物礁或以透镜体形式存在于基性火山岩、角砾状火山熔岩以及火山质浊积岩组合中, 或被夹持于富含火山碎屑物质的砂砾岩层中。其中前者主要见于岚皋县小镇茨沟、民主镇土包寨、滔河口以西的庙沟、四季河、柿坪及其以东芳流乡一带; 后者见于岚皋县小镇白崖垭九条沟、银盘及枫树村。

火山岩组合中的碳酸盐岩类型为生物碎屑灰岩和生物礁两类, 但以生物碎屑灰岩为主。除了这两类岩石以透镜体形式被夹持于片理化细粒块状玄武岩中, 生物礁也可以透镜状形式分布于生物碎屑灰岩层间。生物碎屑灰岩单层厚度一般为 8~10 cm, 而生物礁灰岩透镜体单层厚度为 10~15 cm。该类碳酸盐岩组合主要见于小镇茨沟露头(图 2a)。在小镇枫树村一带, 火山岩中的碳酸盐岩透镜体主要是生物碎

屑灰岩,二者之间为断层接触(图2b),灰岩两侧的火山岩为富含辉石斑晶(含量为15%;粒径通常为3 mm)的块状玄武岩;该类灰岩通常为厚层状,露头宽度为5.3 m。然而,在民主镇土包寨一带,生物礁灰岩(图2c)、生物灰岩(图2d)与岩屑晶屑凝灰岩、凝灰质粉砂岩、黑色薄层泥质粉砂岩之间为整合接触,

以夹层形式分布于这些碎屑岩组合中。露头上,凝灰岩、粉砂岩、灰岩组合与下伏的枕状玄武岩、火山角砾岩组合构成一个在剖面上具有向上熔岩减少以沉积岩为主的火山—沉积组合序列;枕状玄武岩之上的火山角砾岩中可见丰富的海百合茎和少量珊瑚化石及化石碎屑。在小镇白崖垭一带,可见黄褐色粗砂岩、

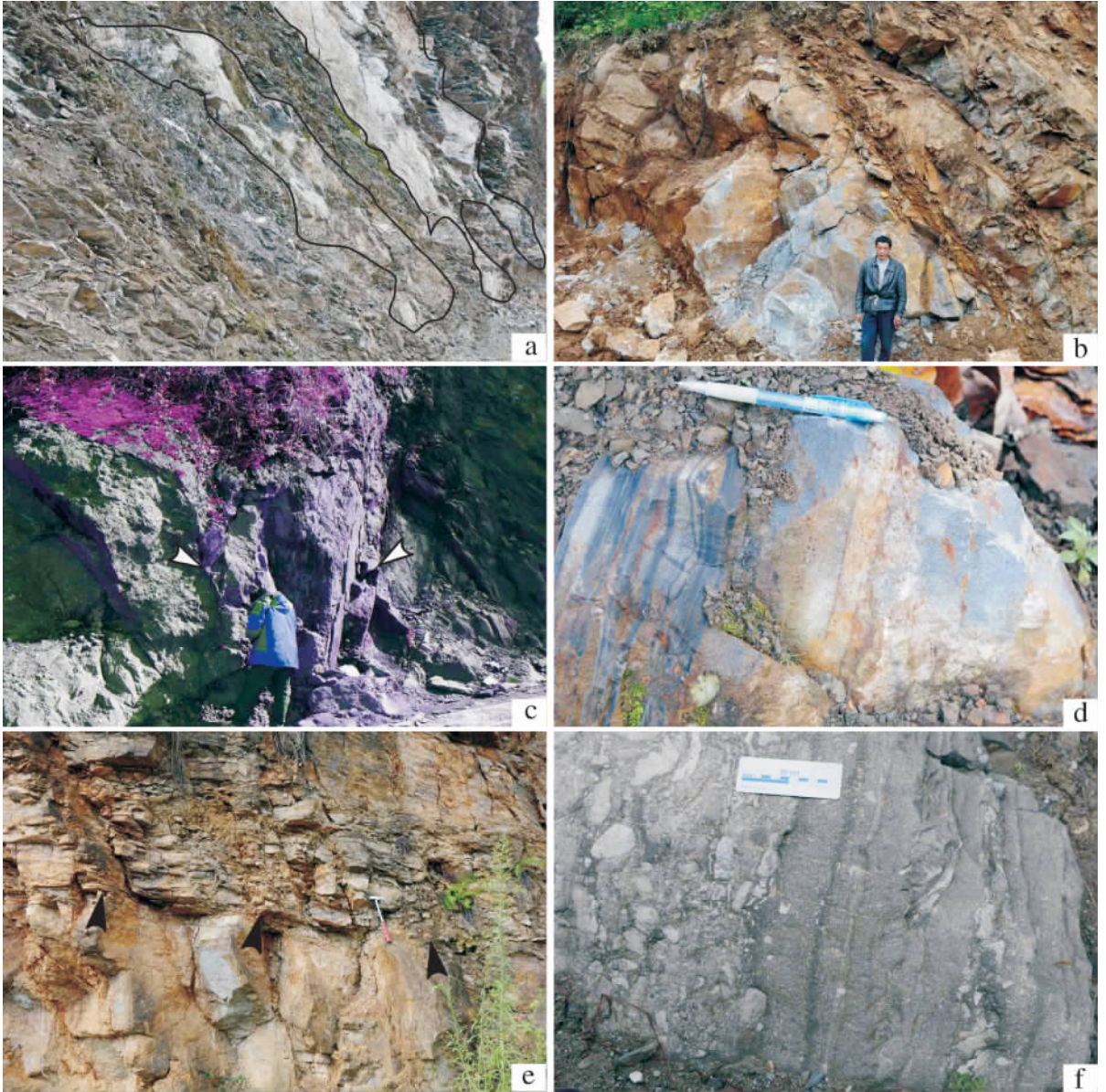


图2 北大巴山志留系中碳酸盐岩产出特征野外露头照片

a. 火山岩中生物碎屑灰岩透镜体(灰白色); b. 灰岩与火山岩(左)和砾岩(右)之间为断层接触; c. 生物礁以夹层(箭头所指)形式分布于深灰色凝灰岩(左)及粗砂岩(右)层间; d. 生物碎屑灰岩(浅灰色)与黑色泥岩构成韵律层; e. 中—薄层生物碎屑灰岩与薄层凝灰质砂岩互层(箭头所指)整合于浅灰色中厚层粗砂岩之上; f. 生物碎屑灰岩与富含火山岩屑粗砂岩构成韵律层

Fig. 2 Photographs of Silurian carbonates in the North Daba Mountains

a. lenticular bioclastic limestone within volcanic rocks (pointed by arrow); b. fault between the limestone and volcanic beds (left) and conglomerate beds (right); c. biohermal limestone interlayer (pointed by arrow) between the deep-gray pyroclastic rocks (left) and coarse-grained sandstones (right); d. rhythmically thin alternating layers of light-gray bioclastic limestones and dark mudstones; e. alternating layers of medium-thinner bioclastic limestones and thinner pyroclastic sandstones (pointed by arrow)

overlie the light-gray medium-thick coarse-grained sandstones conformably; f. alternating layers of bioclastic limestones and coarse-grained sandstones with abundant volcanic fragments

灰色中—厚层生物礁灰岩、钙质粗砂岩、生物碎屑灰岩组合构成多个韵律层,单个韵律层厚度一般为6~10 m,直接整合于块状玄武岩之上。

对于分布于黄褐色(新鲜面为灰绿色)砂、砾岩组合中的碳酸盐岩而言,在研究区内不同地段也呈现出不同的岩石组合类型。在小镇银盘一带,露头剖面上,下部表现为生物灰岩(厚度为3.5 m)直接上覆于粗砂岩之上(图2e),且薄层生物灰岩(厚度一般为5~7 cm)与灰绿色薄层凝灰岩互层;中部主要为厚层块状生物礁灰岩(厚度一般大于3 m)与砾岩组合,虽然后期构造作用破坏使得这些礁体的规模难以估测,但构造块体内部仍然清晰保留着生物礁灰岩与砾岩间整合接触关系;上部为薄层生物灰岩(露头宽度为2.5 m)整合于含砾粗砂岩之上,并与含中志留世笔石化石的五峡河组之间为断层接触。在小镇枫树村露头,可见生物灰岩与凝灰岩构成韵律层(图2f),露头宽度约500 m,与灰绿色块状玄武岩之间为断层接触;白崖垭一带,灰色含泥质条带生物灰岩、厚层生物礁灰岩则与上覆早志留世黑色含笔石碳泥质板岩之间也为断层接触。在岚皋县滔河口一带,砂屑灰岩、生物碎屑灰岩以夹层形式分布于砾岩、钙质粗砂岩之中。

此外,在小镇银盘一带,可见角砾状生物灰岩与生物礁灰岩以构造透镜体形式夹持于五峡河组黑色泥岩、泥质粉砂岩、薄层硅质岩中。在民主镇铜洞湾一带,生物礁灰岩表现为角砾状,与早志留世灰绿色薄层粉砂岩、泥岩之间为整合接触,但与砾岩之间的关系因地表覆盖则难以确认。

总之,区域填图表明,这些碳酸盐岩在走向上分布十分不稳定,绝大多数集中分布于火山岩周边,并与凝灰质砂砾岩、火山角砾岩的分布紧密相关。

2 碳酸盐岩岩石学特征

通过野外露头详细观察和手标本的详细研究,研究区内碳酸盐岩可分为四类:(1)生物碎屑灰岩,(2)生物礁灰岩,(3)砂屑灰岩,(4)角砾灰岩。这四类岩石均未发生重结晶作用以及任何变质变形作用的改造,因此野外及其容易辨认。

(1) 生物碎屑灰岩

手标本上,此类岩石以富含生物碎屑化石以及少量火山岩碎屑为典型特征。其中生物化石以珊瑚和海百合茎为主,并有少量苔藓虫,主要以化石碎片/屑形式存在。火山岩碎屑有玄武岩和凝灰岩两类(图

3a),其含量约为5%~6%,最高可达10%,主要为棱角状—次棱角状,粒径一般为1~2.5 mm;这些火山岩屑实际上以“砾石”形式分布于此类碳酸盐岩中,粒径变化范围较大(0.5~3 mm),具有近源沉积特征(图4a)。该类岩石在研究区内经常与灰绿色薄层凝灰质砂岩、黑色泥岩互层出现(图2d,e);凝灰质粗砂岩含有个体相对较小(一般小于2 cm)的珊瑚、海百合茎等化石碎屑,与生物碎屑灰岩形成多个韵律层(图3b),并在单个韵律层中发育底冲刷面及粒序层(图2f)等沉积构造。

(2) 生物礁灰岩

剖面上,该类岩石通常以厚层块状形式位于生物碎屑灰岩之上,其中分布有大量的珊瑚、海百合茎和苔藓虫,并在滔河口一带还含有腕足类化石。这些化石相对于生物碎屑灰岩中的化石而言,个体大(一般大于2 cm,最大可达11 cm),以平行于岩层层面生长为典型特征(图3c),同时这些化石多呈现不同程度的压扁、拉长以及扭曲变形特征。不同造礁生物之间胶结物为富含棱角状—次棱角状玄武岩岩屑(含量为5%;粒径变化于1~2.5 cm)的粗砂以及凝灰质成分。露头上,此类岩石中未见火山岩砾石,但多见厚度为1~2 cm火山质砂岩夹层(图3e)。

相对于生物碎屑灰岩而言,生物礁灰岩中部分生物化石发生了重结晶作用,野外露头及手标本难以观察清楚其结构特征。该类岩石除了因生物化石个体大小差异形成的正粒序结构特征外(图3e),滑塌褶皱(图3d)十分发育。此外,这些生物礁灰岩之间的凝灰质粗砂岩中常保存有部分个体相对完好的珊瑚、海百合茎等化石,并发育斜层理(图3f)。该类岩石中的火山岩碎为次棱角状—次圆状,含量(图4b,c)较低,粒径相对较小,一般为0.5~1 mm,最大者可达3 mm;这些火山岩屑主要分布于生物化石间隙中,其长轴方向与生物化石生长方向相一致(图4b)。

(3) 砂屑灰岩

砂屑灰岩在研究区内分布相对较少,主要见于岚皋县滔河口火山岩组合以及小镇银盘五峡河组中。灰岩中的砂屑主要为棱角状—次棱角状辉石及玄武岩碎屑,含量大于8%。辉石碎屑颗粒粒径通常为1~2 mm,最大者可达1.2 cm;玄武岩屑一般为1.5~2 mm,最大者为3 mm(图4d);其含量一般不低于8%,局部露头中其含量可能高达15%。该类灰岩中含有少量珊瑚、海百合茎及腕足类化石碎屑,发育正粒序构造。在小镇银盘露头,砂屑灰岩与薄层(2~3 cm)

黑色碳质泥岩构成韵律层。这些砂屑灰岩内普遍发育团块状、星点状以及纹层状黄铁矿,黄铁矿纹层宽度变化于 0.5 ~ 3 cm。通常情况下,砂屑灰岩层下部以富含粗粒化石碎屑和粗粒、团块状黄铁矿为特征,向上黄铁矿随着化石碎屑粒径变小及其含量变少也发生相似变化特征,并在顶部逐渐过渡为平行纹层状,从而在剖面上呈现“正粒序”结构的分布特征(图 3g)。

(4) 角砾灰岩

该类岩石主要见于小镇银盘五峡河组中,与砂屑灰岩一起构成碳酸盐岩透镜体并夹持于黑色碳质泥岩、粉砂岩。角砾可分别由砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、生物礁构成,但区内主要由砂屑灰岩和生物碎屑灰岩

共同组成(图 3h),大小混杂,胶结物为灰色砂屑灰岩,局部可见同沉积滑塌褶曲。然而,角砾全部为棱角状生物礁灰岩仅在铜洞湾一带出现,且其中富含(含量为 15%)粒径小于 3 mm 的棱角状玄武岩碎屑(图 3i)。该类岩石中的角砾大小差异较大,以砾质支撑为主(图 3h),分布于灰黑色生物礁灰岩层之间,厚度为 30 ~ 55 cm。

总之,除了火山岩屑外,生物灰岩、生物礁及砂屑灰岩中还包括丰富的海百合茎、苔藓虫、珊瑚、层孔虫、腕足等生物碎屑。这些生物碎屑主要表现为次圆状,且因其粒径大小变化及其含量变化而在露头上表现出正粒序层结构特征,具有碎屑流沉积特征;同时生物礁中不同造礁生物之间的化石多平行于砂岩层

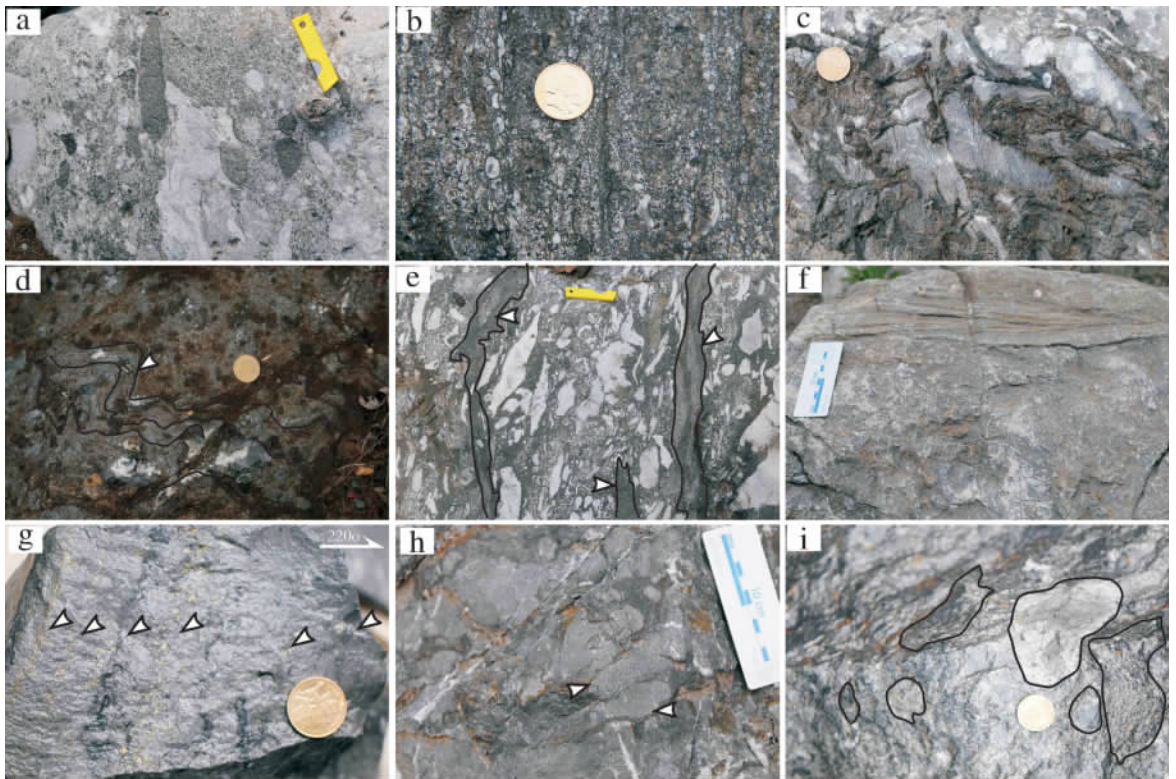


图 3 各类碳酸盐岩成分野外露头照片

a. 含火山岩碎屑(深灰色)生物碎屑灰岩; b. 具有韵律结构生物碎屑灰岩; c. 具有定向排列分布特征的生物礁灰岩; d. 生物礁灰岩中的滑塌构造(箭头指示); e. 生物碎屑灰岩中的凝灰岩夹层(箭头所指); f. 发育斜层理钙质火山质粗砂岩整合于生物碎屑灰岩之上; g. 发育粒序层构造砂屑灰岩,其中黄铁矿纹层(箭头所指)也具有粒序层特征; h. 同沉积砾岩,砾石由生物礁灰岩(箭头所指)及砂屑灰岩共同组成,胶结物与含凝灰质生物碎屑灰岩相同; i. 富含火山岩(玄武岩)碎屑(箭头所指)的生物礁灰岩。

Fig. 3 Photographs of limestones with different components

a. bioclastic limestone with volcanic fragments (deep-gray); b. bioclastic limestone with rhythmically structure; c. biohermal limestone with orientational characters; d. slide deformation within biohermal limestone (pointed by arrow); e. pyroclastic interlayers (pointed by arrow) within bioclastic limestones; f. calcareous, volcanic sandstones with cross-bedding overlying the bioclastic limestones conformably; g. sandy limestone with graded bedding, and pyrite lamination (pointed by arrow) also showing graded bedding; h. syndimentary conglomerates with biohermal limestone (pointed by arrow) and calcarenitic limestone clasts; I. biohermal limestone containing abundant volcanic (basalt) fragments (pointed by arrow).

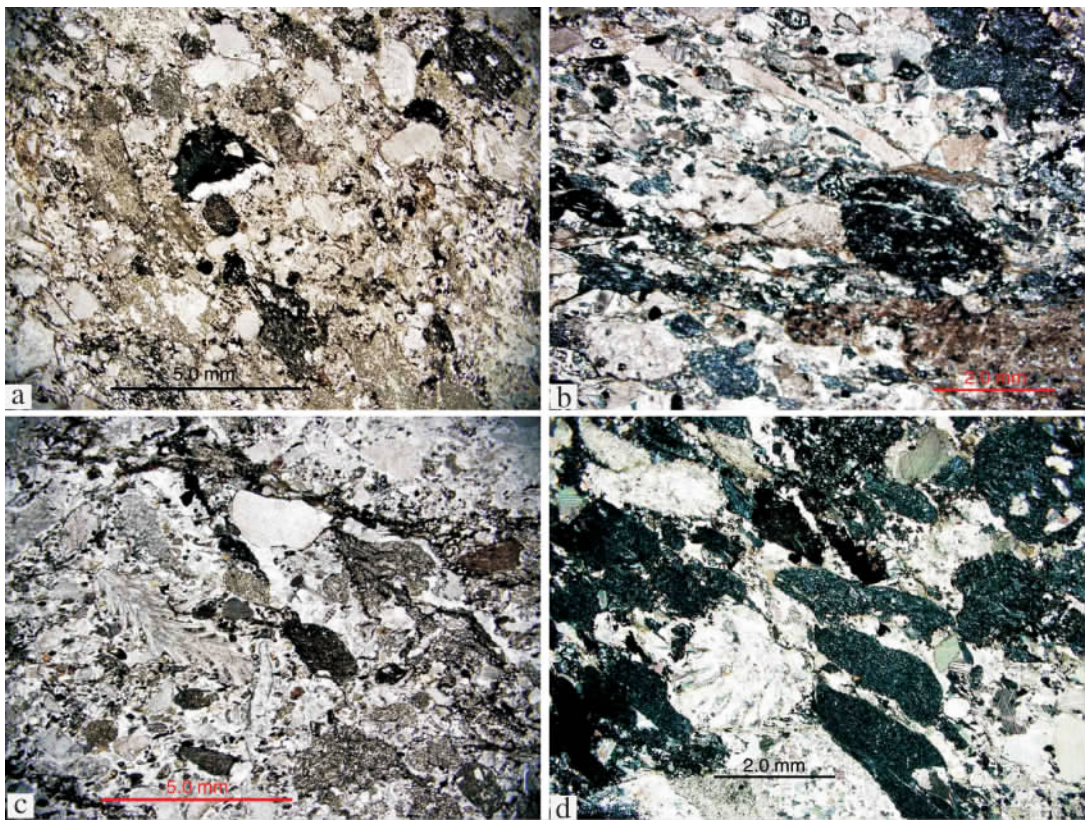


图 4 灰岩显微组分照片

a b. 生物礁灰岩; c. 生物碎屑灰岩; d. 砂屑灰岩

Fig. 4 Photographs of limestone micro-components

a, b. biohermal limestone; c. bioclastic limestone, d. calcarenitic limestone

面生长,且普遍发育滑塌沉积构造,进一步表明这些生物化石可能并非原地生长,而是曾经历了一定距离的搬运后发生再次沉积。

3 碳酸盐岩中生物化石赋存状态及地层形成时代

古生物化石的存在与否是确定地层形成时代的依据之一,然而这些古生物化石的赋存状态以及所含化石的岩石同周边岩层关系则是厘定地层形成时代的关键。在造山带内,形成于被动大陆边缘、洋岛、海山及岛弧等环境的生物碎屑灰岩及生物礁通常由于造山作用而发生肢解和破坏,并使其原始产态发生位移,从而使得其以各种块体形式裹夹于相邻沉积岩层内。因此,在进行造山带内地层时代研究时,需要重点研究化石产态、含生物化石岩石与周边岩石之间的接触关系,进而为地层形成时代确定提供可靠依据。

北大巴山滔河口组和白崖垭组灰岩含有丰富的生物化石,包括珊瑚、层孔虫、苔藓虫、腕足,前人曾对

这些化石的种属和形成时代进行了研究。林宝玉^[13]根据珊瑚化石 *Mesofavosites oculiporides* (中巢珊瑚)、*Halysites yumeuensis* (链珊瑚) 等将白崖垭组时代厘定为中志留世; 雒昆利等^[12]根据生物灰岩中的珊瑚化石 *Riphaeolites regulariformis* 和苔藓虫化石 *Batostoma quijingense* 以及黑色页岩内笔石化石将北大巴山火山—沉积组合时代厘定为早志留世中、晚期; 陕西省地勘局区域地质矿产研究院^①根据生物灰岩夹层中的早志留世珊瑚化石 *Fauosites nanshanensis* Yu (南山蜂巢珊瑚)、*Almptexoides raritatulatus* He (稀板似包珊瑚) 化石和层孔虫 *Cetexodi-ctyon* sp. 化石,将其与下伏的火山岩组合即滔河口组时代厘定为早志留世; 同时根据砂砾岩中生物碎屑灰岩夹层内的珊瑚 *Mesofauosites* sp. (中巢珊瑚)、*Mesofauosites regulariformis* (规则形中巢珊瑚)、*Pilopngllia* sp. (似皮珊瑚)、*Palaeofauosites helitoieslin* (日射形古巢珊瑚)、*Try-*

① 陕西省地勘局区域地质矿产研究院,《岚河口》(I49E021004)、《佐龙街》(I49E022004) 1:50000 地质调查报告,1999。

plasm sp. (单体珊瑚) 等化石, 将白崖垭组时代定为早志留世晚期。陕西地勘局第七地质队^①根据凝灰质生物碎屑灰岩或生物礁中的珊瑚化石 *Favosites nanshanensis* Yu(南山蜂巢珊瑚)、*Almptexoides raritatus* He(稀板似包珊瑚)、*Fletcherilla sichuanensis* Lin(弗莱切尔珊瑚四川种)、*Amplexoides* sp. (似包珊瑚)、*Heuolits decipiens mccooy*(日射珊瑚) 以及层孔虫 *Inexodictyon* sp. (纽层孔虫) 等将滔河口组时代厘定为早志留世。从这些资料来看, 分布于北大巴山地区红椿坝断裂两侧的碱性火山岩及上覆的富含火山碎屑成分的碳酸盐岩组合目前被多数研究者认为是早志留世中—晚期产物, 主要依据其中所产出的化石形成时代来得出该认识的, 相对缺乏这些化石的赋存状态研究资料, 导致该套组合的形成时代还存在有一定的分歧。

总之, 目前已有资料共同表明这些碳酸盐岩内的化石组合包含有早志留世^[12]和中志留世^[13]两个不同时代的珊瑚化石, 且中志留世化石主要出现于白崖垭组中, 早志留世化石主要出现于白崖垭组之下的滔河口组火山岩组合中。同时, 我们也于2008年夏天在小镇银盘村生物礁灰岩(属于白崖垭组)内采获早志留世晚期—中志留世哈氏珊瑚化石 *Mesofavosites khalfini* Dziubo(经西安地质矿产研究所曹宣铎研究员鉴定)。野外露头 and 室内显微结构分析综合表明, 北大巴山滔河口组及白崖垭组中灰岩内所含生物化石均以生物化石碎屑形式(图2f, 3b和4)存在为典型特征; 生物礁灰岩内的珊瑚、海百合茎化石主要是平行于岩层面分布和生长, 同时这些化石具有被弯曲、拉长等构造变形特征。这些基本地质事实进一步表明, 北大巴山地区分布于红椿坝断裂两侧火山岩组合内部及上覆碳酸盐岩层中的生物化石及其碎屑并非原地生长而是曾发生一定距离搬运, 具有异地搬运再沉积特征^[14~16], 其自身生长时代并不能代表其所在的火山—沉积作用序列(即滔河口组和白崖垭组)的形成时代。因此, 我们初步认为北大巴山地区的滔河口组和白崖垭组共同代表的火山—沉积序列时代可能晚于中志留世。

4 沉积环境分析

研究区内的生物灰岩与凝灰质砂岩往往构成韵律层, 其中生物灰岩层内因其中所包含的生物碎屑粒度变化而形成正粒序层(图3e和5a), 且在其上覆砂岩层中发育斜层理(图3f)。火山碎屑含量及粒度变

化使得砂屑灰岩层(图3g)也以发育正粒序构造为特征, 同时其中所含黄铁矿也表现为向上粒度逐渐变细而形成正粒序层。黄铁矿在砂屑灰岩中的最大粒径为3 mm, 且集中分布于岩层下部。发育正粒序层构造的灰岩厚度一般为4~6 mm, 最大厚度为10 mm; 其中的凝灰质砂岩单层厚度则为1~2 mm, 垂向上发育波纹斜层理构造的泥质粉砂岩及泥质灰岩厚度相对增大, 变化于5~40 mm。正粒序层、波纹斜层理、平行层理构造是砂屑灰岩、钙质粉砂岩组合中最为常见的沉积构造(图5a, b)。这些沉积构造组合表明北大巴山地区志留系生物碎屑灰岩具有碎屑流/浊流沉积特征。其中发育粒序层构造的生物碎屑灰岩或砂屑灰岩相当于 Bouma 序列 Ba 段, 其上覆的具有平行纹层构造泥质灰岩相当于 Bb 段, 而发育波纹层理构造的泥质粉砂岩/泥质灰岩相当于 Bc 段。垂向上, 由生物碎屑灰岩与凝灰质泥岩主要构成 Bab 组合, 厚度一般为5~7 cm; 砂屑灰岩、泥质灰岩及凝灰质泥岩构成 Babcd 组合, 厚度一般变化于1.9~4.9 cm。然而, 当砂屑灰岩底部出现角砾状灰岩时, 其上覆组合则表现为由砂屑灰岩、泥质灰岩及钙质泥岩共同构成厚度8~13 cm的 Babc 组合。

除了上述沉积构造组合外, 野外还可见到同沉积砾岩(图3h)和发育槽状交错层理(图5c)的砂砾岩。其中前者由生物礁灰岩与砂屑灰岩角砾构成, 在岚皋县芳流乡中坝村以及小镇银盘村一带均有出露, 生物礁灰岩露头厚度为7.6 m, 砂屑灰岩露头厚度为1.7 m。空间上, 这些角砾状生物灰岩与上覆生物灰岩之间为渐变过渡关系。在滔河口及白崖垭一带, 由同沉积角砾状灰岩、生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、泥质灰岩共同构成的碳酸盐岩透镜体内含有丰富的黄铁矿纹层, 以透镜体形式夹持于富含中志留世笔石化石和黄铁矿条带(宽度5~8 mm)的黑色泥岩及凝灰质粉砂岩组合中(五峡河组)。具有槽状交错层理(图5c)的砂砾岩主要见于小镇银盘村一带, 侧向延续性差, 分布局限, 剖面上出露于碳酸盐岩碎屑流之下; 其中砾岩层中的砾石全部为椭圆—圆形玄武岩砾石, 大小混杂, 砾质支撑为主, 局部发育叠瓦状构造, 而砂岩中的岩屑主要为棱角状凝灰岩和玄武岩碎屑; 该套沉积组合可能代表了近岸斜坡水道沉积或潮下水道沉积。

① 陕西省地勘局第七地质队. 《岚皋县》(I49E023004)、《洛河街》(I49E023005)、《八仙街》(I49E024005) 1:50000 地质调查报告. 1999.

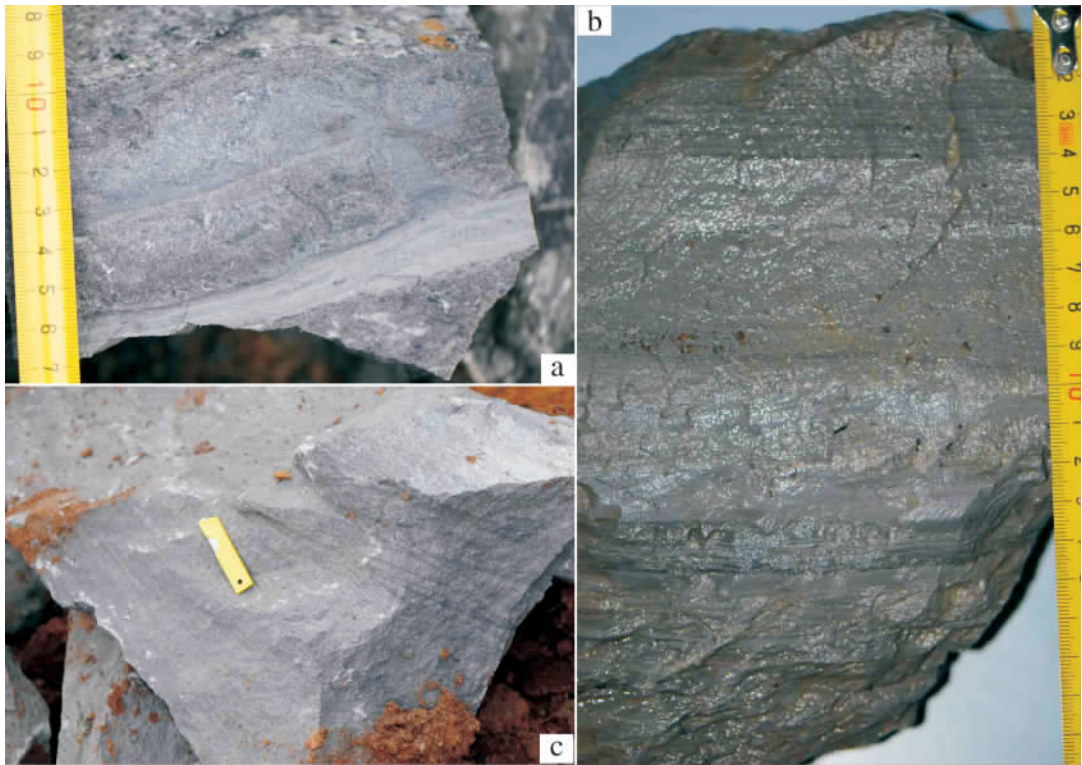


图 5 碳酸盐岩及钙质砂岩内的沉积构造

a. 具有正粒序层构造生物碎屑灰岩; b. 具有正粒序层、平行层理及波纹层理构造碳酸盐岩浊积岩; c. 钙质砂岩内的斜层理

Fig. 5 Sedimentary structures of carbonates and calcareous sandstones

a. Normally graded-bedding of the bioclastic limestone; b. Carbonate turbidite with normally graded, parallel and wavy beddings; c. cross-bedding of calcareous sandstones

上述这些特征表明,北大巴山地区“下志留统”碳酸盐岩具有碎屑流/浊流沉积特征,其中所包含的生物化石具有近源再沉积特点,从而形成具有粒序层理构造的生物碎屑灰岩。同时,该套碎屑流沉积曾沿着古斜坡隆起边缘形成。通过对碳酸盐岩相邻砂砾岩层内斜层理测量,结果表明与这些碳酸盐岩相关的砂岩、砾岩层组合形成于一火山作用凹地内,而这些碳酸盐则主要形成于火山凹地周边隆起位置,从而导致现今野外所观察到的碳酸盐岩多沿火山岩出露位置断续分布特征,并在局部形成生物礁直接连续沉积于火山岩之上的特征。

5 形成构造环境及大地构造意义

空间上,北大巴山地区“下志留统”碳酸盐岩与火山岩紧密相伴,其中含有丰富的火山岩碎屑组分;同时,在这些生物灰岩之间还发育含生物化石的凝灰质粉砂岩夹层。表明这些碳酸盐岩形成时曾伴随有强烈的火山活动,进而为碳酸盐岩沉积提供了部分物质来源,同时在生物活动繁盛期火山作用相对较弱,

其中的碎屑成分主要来自近源火山岩的剥蚀产物。现代大洋盆地研究表明,浅水碳酸盐岩、生物礁灰岩、硅质岩和碎屑沉积岩除了在海山、洋岛和大洋高原之上及周围形成外,还可形成于岛弧环境^[1]。相对于洋岛/海山环境而言,泻湖和大陆边缘斜坡沉积组合是岛弧环境碳酸盐岩的两个重要沉积相组合,且在剖面上岛弧岩石组合序列中缺乏灰岩与火山碎屑岩互层沉积组合序列^[1]。与岛弧碳酸盐岩相比较,北大巴山地区“下志留统”中的碳酸盐岩主要为生物礁、生物碎屑灰岩、浅海斜坡以及火山质浊积岩的沉积组合,缺乏潮坪相和泻湖相沉积组合,显然不属于岛弧构造环境碳酸盐岩,应属于洋岛/海山组合序列。

傅力浦等^[7]通过对北大巴山地区志留纪地层研究表明,早一中志留世时期北大巴山地区为连续海相沉积;黄月华等^[17]根据紫阳县蒿坪一带火山岩的结构构造和这些火山岩与相邻沉积岩之间的关系,指出北大巴山地区早古生代火山岩为海底溢流喷发。岩石学和地球化学研究结果^[10,17]表明,北大巴山地区早古生代火山岩为富钛(TiO_2 含量通常大于 3wt%)

的碱性火山岩 形成于伸展背景环境; 辉石单矿物地球化学成分研究则表明这些火山岩中形成于板内环境。事实上 这些火山岩中含有丰富的钛辉石和局部地段富含金云母也表明其具有深源特征。垂向上 由块状/枕状粗粒碱性玄武岩、细粒碱性玄武岩、角砾状玄武岩向上逐渐变为富含金云母—辉石晶屑凝灰岩、凝灰质砂岩、砾岩、含生物化石碎屑钙质砂岩、生物灰岩的组合序列。沉积相分析表明 凝灰岩、砾岩及生物灰岩具有浊流沉积特征 并在凝灰岩和生物灰岩中发育滑塌沉积构造。我们通过对火山岩之上砂砾岩的碎屑组成及古水流综合分析 表明这些砂砾岩中富含丰富的辉石以及玄武岩碎屑 是下伏火山岩直接风化产物 属于近源沉积 且其上的生物灰岩中也含有丰富的火山岩碎屑。这些特征表明 北大巴山地区早古生代沉积作用过程中伴随有较强的火山作用 其岩石组合序列与现代大洋洋岛/海山结构特征^[1 3 5 6]相一致。

近年来 在北大巴山地区早古生代火山—沉积序列中相继发现了重晶石矿床、萤石矿床、与火山—岩浆作用相关的 Zn—Cu 矿床、构造热液相关 Cu—Au 矿床 其中重晶石矿床主要分布于寒武纪地层中 其它类型矿床主要分布于志留纪火山—沉积组合序列中。岩石地球化学和 Si、O、Sr、Nd 同位素研究^[18] 共同表明 北大巴山地区的重晶石矿床的形成与火山活动紧密相关。志留系碳酸盐岩碎屑流沉积与下伏的碱性火山岩、火山角砾岩及火山质砂砾岩共同构成了洋岛/海山的岩石组合序列 其中的化石组合及其产状研究表明该洋岛/海山火山沉积作用可能终止于晚志留世甚至泥盆纪。这些基本地质事实进一步表明 北大巴山地区在志留纪时期火山活动强烈 从而为该区矿床形成提供物质来源。

致谢 姜春发、高联达研究员在野外给予指导和帮助; 曹宣铎研究员进行了珊瑚化石鉴定; 写作过程中与陈俊璐博士进行了探讨; 匿名评审者和贵刊编辑对本文提出了建设性修改意见。在此一并表示衷心感谢!

参考文献 (References)

- 1 Soja C M. Island-arc carbonates: characterization and recognition in the ancient geological record [J]. *Earth-Science Reviews*, 1996, 41: 31-65
- 2 Le Pichon de X. 6000 Meters Deep: A Trip to the Japanese Trenches: Photographic Records of the Nautilic Dives in the Japanese Subduction Zones [M]. Tokyo: University of Tokyo Press, 1988: 1-403
- 3 Clift P D, ODP Leg 135 Scientific Party. Volcanism and sedimentation in rifting island-arc terrain: an example from Tonga, SW Pacific [C] // Smellie J L, ed. Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins. Geological Society Special Publication, 1995, 81: 29-51
- 4 Roberston A H F. Role of the tectonic facies concept in orogenic analysis and its application to Tethys in the Eastern Mediterranean region [J]. *Earth Sciences Reviews*, 1994, 37: 139-213
- 5 Doubleday P A, Leat P T, Alabaster T, et al. Allochthonous oceanic basalts within the Mesozoic accretionary complexes of Alexander island, Antarctica: Remnants of proto-Pacific oceanic crust [J]. *Journal of Geological Society London*, 1994, 151: 65-78
- 6 Dobresov N L, Buslov M M, Uchio Yu. Fragments of oceanic islands in accretion collision areas of Gorny Altai and Salair, southern Siberia, Russia: Early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian-Early Cambrian time [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 673-690
- 7 傅力浦, 宋礼生. 陕西紫阳地区(过渡带)志留纪地层及古生物 [J]. *西北地质科学*, 1986, 14: 1-198 [Fu Lipu, Song Lisheng. Stratigraphy and paleontology of Silurian in Ziyang region (transitional belt) [J]. *Northwest Geoscience*, 1986, 14: 1-198]
- 8 李育敬. 陕西岚皋下志留统滔河口组的建立及其与陡山沟组、白崖组关系的探讨 [J]. *陕西地质*, 1989, 7(2): 7-14 [Li Yujing. The establishment of the Lower Silurian Taohekou Formation and its relationship with the Doushangou and the Baiyaya Formations in Langao County of Shaanxi [J]. *Geology of Shaanxi*, 1989, 7(2): 7-14]
- 9 李荣社. 陕西紫阳—岚皋地区志留纪岩石地层单位穿时性讨论 [J]. *陕西地质*, 1990, 8(12): 59-64 [Li Rongshe. On the diachronism of the Silurian lithostratigraphic units in the Ziyang-Langao area, Shaanxi province [J]. *Geology of Shaanxi*, 1990, 8(12): 59-64]
- 10 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 等. 北大巴山碱质基性—超基性潜火山杂岩岩石地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-80 [Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, et al. Petrogeochemistry of Alkali Basic, Ultrabasic Subvolcanic Complex from Northern Daba Mts. China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-80]
- 11 周小康, 张月树. 陕西岚皋地区早志留统滔河口组的厘定及其意义 [J]. *陕西地质*, 1996, 14(1): 42-48 [Zhou Xiaokang, Zhang Yueshu. Determination of the Early Silurian Taohekou Formation in the Langao region, Shaanxi province and its significance [J]. *Geology of Shaanxi*, 1996, 14(1): 42-48]
- 12 雒昆利, 端木和顺. 大巴山区早古生代基性火成岩的形成时代 [J]. *中国区域地质*, 2001, 20(3): 262-266 [Luo Kunli, Duanmu Heshun. Timing of Early Paleozoic basic igneous rocks in the Daba Mountains [J]. *Regional Geology of China*, 2001, 20(3): 262-266]
- 13 林宝玉. 中国志留系 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 73-80 [Lin Baoyu. The Silurian System of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 73-80]
- 14 Zuff G G. On the use of turbidite arenites in provenance studies: critical remarks [C] // Morton A C, Todd S P, Haughton P D W, eds. Developments in Sedimentary Provenance Studies. Special Publication

- of Geological Society, London, 1991, 57: 23-29]
- 15 Cibir U, Spadafora E, Zuffa G G, *et al.* Continental collision history from arenites of episutural basins in the Northern Apennines, Italy [J]. Geological Society of America Bulletin, 2001, 113: 4-19
- 16 闫臻, 方爱民, 潘裕生, 等. 西藏达金海相碎屑岩的组成、地球化学特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 949-960 [Yan Zhen, Fang Aimin, Pan Yusheng, *et al.* Detrital modal geochemical characteristics and tectonic setting of the Dajin marine clastic rocks, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4): 949-960]
- 17 黄月华, 任有祥, 夏林圻, 等. 北大巴山早古生代双模式火成岩套以高滩辉绿岩和篙坪粗面岩为例[J]. 岩石学报, 1992, 8(3): 243-256 [Huang Yuehua, Ren Youxiang, Xia Linqi, *et al.* Early Paleozoic bimodal igneous suit on North Daba Mountains-Gaotan diabase and Haopin trachyte as examples [J]. Acta Petrologica Sinica, 1992, 243-256]
- 18 吕志成, 刘丛强, 刘家军, 等. 北大巴山下寒武统重晶石矿床赋矿硅质岩地球化学研究[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 390-406 [Lü Zhicheng, Liu Chongqiang, Liu Jiajun, *et al.* Geochemical studies on the Lower Cambrian witherite-bearing cherts in the Northern Daba Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(3): 390-406]

Sedimentary Features and Tectonic Environments of Silurian Volcanic-Related Carbonates in the North Daba Mountains

YAN Zhen¹ WANG Zong-qi² ZHANG Ying-li² XIANG Zong-jin¹ YAN Quan-ren¹ WANG Tao¹

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Abstract Bioclastic and biohermal limestones, which are widely exposed in the orogenic belt, should be formed in different tectonic environments. Identifying their composition and fossil occurrence state is of fundamental importance for palaeogeographical reconstructions and orogenic evolution. Carbonate rocks, which are closely related to alkaline basalts with high TiO₂ abundance, have been regarded as platform deposits of passive margin in the North Daba Mountains. They are composed of biohermal limestone, bioclastic limestone, calcarenite, and marlstone with abundant bioclastic and volcanic fragments. Thinner pyroclastic interlayers generally occur in the calcarenite and bioclastic limestone assemblages. Graded, parallel, wavy beddings and slump structure are very common in the outcrops. Bioclastic limestone, tuffaceous sandstone and mudstone generally show rhythmic features. Volcanic fragments within the bioclastic limestone are mainly composed of 0.5 to 3 mm angular-subangular basalt and tuff, indicating proximal sedimentary deposits. Volcanic fragments of the biohermal limestone are dominated by 1~2.5 cm angular-subangular basalts and 0.5-1 mm subrounded basalt fragments are also abundant in the sandstone beds which are interbedded within the biohermal limestone beds. Two types of volcanic fragments occur in the calcarenite: basalt and pyroxene. They are angular and subangular, and pyroxene fragments range from 1 to 2 mm in size. Abundant pyrite grains in the calcarenite show normal graded structures because of their size variation. Breccia limestone is composed of calcarenite, biohermal and bioclastic limestones, and basalt fragments only exist in the breccia biohermal limestone. Fossil clasts/fragments in the calcarenite and bioclastic limestone are mainly subrounded, suggesting that these fossil fragments had ever been transported for a long distance. Additionally, the growth orientation and distribution of fossils in the biohermal limestone are generally parallel to the sandstone interbeds, and slump structures are very common in this lithology. These characters coevally suggest that these carbonate assemblages are sincerely associated with the underlying basalts with alkaline geochemical affinity spatially; they have the similar framework and constitute characters of modern oceanic island/sea mountain. The carbonate generally developed around the underlying basalts and deposited in the deep-water and slope environments. Moreover, fossils within these carbonates should be derived from other place and were modified during transport, indicating the ages of these fossils should be earlier to the age of carbonate rocks.

Key words biohermal limestone; bioclastic limestone; volcano-sedimentation; oceanic island/sea Mountain; Silurian; North Daba Mountains