

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.281>



东秦岭加里东期沉积—构造演化过程

江小均^{1,2},任纪舜²,周鼎武³,赵磊²,刘仁燕²,孙会一²

1. 昆明理工大学国土资源工程学院,云南昆明 650093

2. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037

3. 山东科技大学地球科学与工程学院,山东青岛 266590

摘要:前人基于北秦岭带广泛分布的与加里东期俯冲—碰撞相关的火山—岩浆—变质事件,认为秦岭加里东期造山运动仅仅局限于北秦岭带,中—南秦岭带由于“软碰撞”表现为泥盆系与下伏地层为连续或平行不整合接触关系,不存在加里东造山作用响应。通过对东秦岭地区中—南秦岭带出露的22条泥盆系与下伏地层接触关系剖面进行变形差异和间断缺失特征研究,且对不整合面之间“志留系红层”进行SHRIMP U-Pb年代学和沉积环境研究,结果显示东秦岭地区泥盆系与下伏褶皱基底地层(Pt_3-S_1)整体上呈区域性角度不整合接触(局部微角度不整合),不整合面之间缺失地层南北存在明显差异,上下地层存在明显不同构造变形特征。而旬阳县关防—公馆一线不整合面之间“志留系红层”时代为中—晚志留世(S_{2-3} , <435 Ma),其为东秦岭加里东期造山运动形成的前陆盆地在南秦岭地区前缘沉积的响应。基于上述事实,证实不仅北秦岭受加里东期造山运动影响且中—南秦岭带也发生强烈褶皱造山作用,从而为更深入地探讨东秦岭加里东期造山及沉积响应演化过程提供依据。

关键词:东秦岭;加里东运动;角度不整合;“志留系红层”;锆石 SHRIMP U-Pb;年代学。

中图分类号:P547;P548

文章编号:1000-2383(2019)01-0088-21

收稿日期:2018-04-18

The Caledonian Tectonic-Sedimentary Evolution Process in Eastern Qinling Orogenic Belt

Jiang Xiaojun^{1,2}, Ren Jishun², Zhou Dingwu³, Zhao Lei², Liu Renyan², Sun Huiyi²

1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

3. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China

Abstract: As the volcanic-magmatic-metamorphic events related to the Caledonian subduction-collision are widely distributed in northern Qinling orogenic belt, Caledonian orogeny was believed to be limited there, and there is no response to Caledonian orogeny in southern-central Qinling orogenic belt, owing to the continuous/parallel unconformable “soft collision” between the Devonian and underlying strata. In this paper, deformation differences and discontinuous loss features of contact relationship between the Devonian and underlying strata of 22 outcrop sections in southern-central Qinling orogenic belt are investigated. In addition, the SHRIMP U-Pb geochronology and sedimentary environment on the “Silurian red strata” in unconformities are analyzed. It is indicated that the contact relationship between the Devonian and underlying folded basement strata (Pt_3-S_1) is a regional angular unconformity (regional micro-angular unconformity) in general, and the stratigraphic hiatus shows pronounced differences from north to south in eastern Qinling orogenic belt. What’s more, different tectonic deformation features are presented in upper and lower strata. It is believed that the age of “Silurian red strata” in unconformities is the Middle-Later Silurian (S_{2-3} , <435 Ma) along Guanfang-Gongguan in Xunyang County. It should be front sedimentary response with the foreland ba-

基金项目:中国地质调查局项目(Nos. 12120110200150009, DD20160095);国家自然科学基金项目(No. 41673060);云南省科学技术奖—杰出贡献奖(No. 2017001)。

作者简介:江小均(1985—),男,讲师,博士,主要从事沉积学和大地构造学工作. ORCID: 0000-0001-6586-4967. E-mail: cagsjiang@126.com

引用格式:江小均,任纪舜,周鼎武,等,2019.东秦岭加里东期沉积—构造演化过程.地球科学,44(1): 88—108.

sin formed by eastern Qinling Caledonian orogeny. It is confirmed that Caledonian orogeny induced strong folding orogeny in all Qinling orogenic belt, which will help us to get a better understanding for Caledonian orogenic-sedimentary evolution process in eastern Qinling mountains.

Key words: eastern Qinling orogenic belt; Caledonian orogeny; angular unconformity; the Silurian red strata; zircon SHRIMP U-Pb; geochronology.

0 引言

前人研究认为北秦岭造山带是以加里东造山为主旋回的多旋回造山带(黄汲清等,1977)。北秦岭带主要由宽坪群、二郎坪群、秦岭群和丹凤群组成,其中二郎坪群蛇绿混杂岩中硅质岩含有早古生代放射虫和牙形石生物化石(王学仁等,1995),以及前人获得的枕状玄武岩和辉长岩锆石U-Pb年龄为523~443 Ma,表明二郎坪群蛇绿混杂岩时代为早古生代(陆松年等,2003;李王晔等,2007;李源等,2012)。秦岭群形成于古元古代(张国伟,1991;张国伟等,2001),经历了晋宁期(1 000~800 Ma)和加里东期(460~400 Ma)构造—岩浆—变质作用(张国伟等,2001;张宗清等,2002;张思敏等,2014;何宇等,2018)。丹凤群蛇绿混杂岩形成时代为早古生代(杨森楠,1985;Mattaute *et al.*,1985;Cui *et al.*,1996;闫全人等,2007;闫臻等,2009;崔建堂等,2011)。总之,北秦岭带存在一条东西向延展的早古生代商—丹构造混杂岩(534~442 Ma)、俯冲相关的基性侵入体(534~442 Ma)和俯冲—碰撞型花岗质岩浆岩(500~403 Ma)为主的加里东造山带(Dong *et al.*,2011;Dong and Santosh,2016)。

前人关于南秦岭带泥盆系与下伏地层不整合关系研究程度较低或未受关注,并且大多数学者基于柞水县古道岭和龙洞沟地区泥盆纪地层与下伏寒武系—奥陶系碳酸盐岩呈“假”连续、平行不整合或微角度不整合接触关系认为扬子板块(或秦岭微板块)与华北板块发生“软碰撞”,并未在中—南秦岭带加里东期发生变形和褶皱造山(Hsu *et al.*,1987;Sengör,1985;王清晨等,1989;张国伟,1991;孟庆任等,1995;Meng and Zhang,2000;屈红军等,2002)。虽然也有少数学者提出东秦岭地区泥盆系与下伏地层存在角度不整合接触关系(杜定汉等,1986),陕西省地质矿产局综合研究队(2008,陕西周至板房子—宁陕沙洛一带富铁矿成矿规律和预测研究)在柞水小磨岭地区发现泥盆系刘岭群牛耳川组不整合于新元古代耀岭河群火山岩之上;杜定汉等

(1986)在南秦岭旬阳县桐木街大红岩和湖北上津镇西涧长沟地区发现下泥盆统西岔河组底部砾岩与下伏志留系梅子垭组片岩或千枚岩可能呈角度不整合关系。之后杨应章和李海平(1991)结合区域地质调查成果对东秦岭泥盆系开展研究,认为南秦岭地区泥盆系的下泥盆统西岔河组砾岩与下伏地层呈角度不整合接触关系,而中带和北带泥盆系为上泥盆统与下伏寒武系—奥陶系硅质条带白云岩呈微角度或超覆不整合接触关系,并认为泥盆系角度不整合的发现印证了秦岭加里东运动普遍存在;然而这些报道并未引起重视。本文选取东秦岭地区22处泥盆系与下伏地层接触关系剖面为研究对象,重点解剖接触面上覆与下伏地层的构造变形、沉积序列和是否存在地层间断特征,以期得到接触面类型及东秦岭加里东期造山与盆地演化耦合过程。

1 地质构造背景

秦岭造山带属昆仑—秦岭巨型造山带的东段,是中—朝板块与扬子板块之间的构造缝合造山带,它的研究对大别造山带和西部昆仑—祁连造山带的连接起着关键作用,对中国,甚至亚洲东部大陆地壳的形成、发展及演化具有重要意义。秦岭造山带长期以来受到国内外地质学家关注,其形成和演化历史一直是地质科学的研究热点。秦岭造山带属昆仑—祁连—秦岭巨型造山带的东段,大致以徽成盆地为界分为东秦岭和西秦岭。南北方向上,根据板块构造模式,一般以商—丹断裂、洛南—栾川断裂和勉略—镇巴—城口—襄樊—广济断裂为界将秦岭造山带分为中—朝板块、北秦岭、南秦岭和扬子板块。其后,考虑到秦岭造山带构造演化的复杂性,以山阳—凤镇断裂为界将南秦岭带细分为中秦岭和南秦岭(黄汲清等,1977;任纪舜等,1980)(图1a)。北秦岭带是一个以加里东造山为主旋回的多旋回造山带(黄汲清等,1977)。由北向南分为如下地质构造单元:宽坪群、二郎坪群、秦岭群、丹凤群(张国伟等,2001)。论文研究区主要位于中—南秦岭地区(图1b),中秦岭带主体自西向东由泥盆系舒家坝群($D_{2-3}sh$)、刘岭群

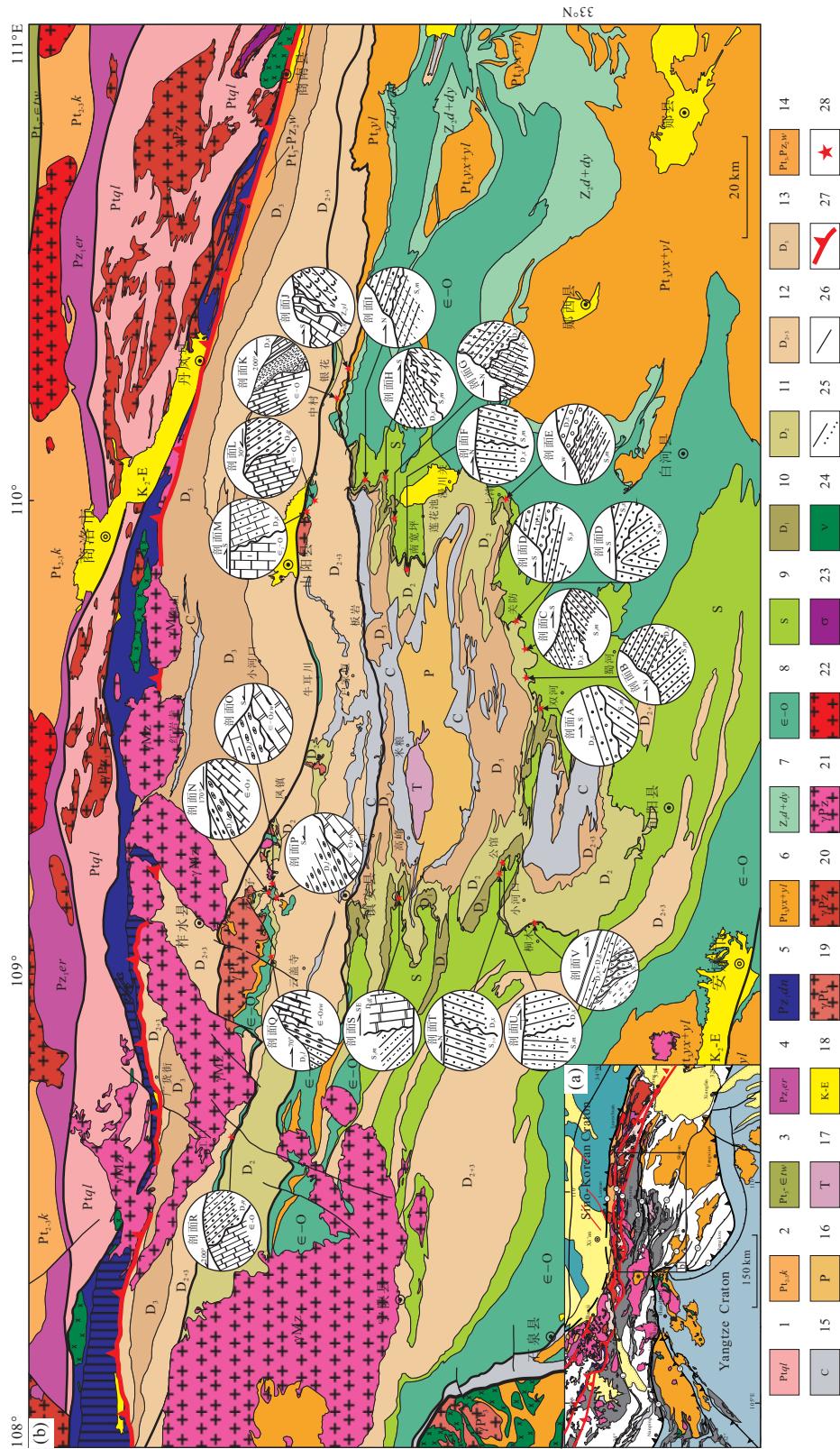


图1 东秦岭造山带地质简图(a)和加里东角度不整合接触关系分布(b)

Fig. 1 Geological map of the eastern Qinling orogenic belt (a) and distribution of the Caledonian unconformity contact relationship (b)

1. 秦岭群；2. 宽坪群；3. 陶湾群；4. 二郎坪群；5. 丹凤群；6. 鹰西群和耀岭河；7. 震旦系陡山沱和灯影组；8. 寒武系—奥陶系；9. 志留系；10. 下泥盆统(西窑河组和公馆组等)；11. 中泥盆统(南秦岭带石灰沟组、大枫沟组和古道岭组等)；12. 中上泥盆统(中秦岭带牛耳川组、池沟组和青石垭组等)；13. 上泥盆统(中秦岭带刘岭群桐岭寺组和南部泥盆系)；14. 武关岩群；15. 石炭系；16. 二叠系；17. 三叠系；18. 白垩系—古近系；19. 新元古代岩浆岩；20. 早古生代岩浆岩；22. 侏罗纪—白垩纪岩浆岩；23. 超基性岩；24. 基性岩；25. 角度不整合；26. 断层；27. 缝合带；28. 不整合剖面。不整合剖面位置：A. 双河镇潘家西北；B. 旬阳县双河镇穿洞沟；C. 旬阳县庙坪镇核桃园；D. 关防镇朝阳沟；E. 郎西县上津镇磨沟口；F. 山阳县南宽坪镇银厂乡小东沟；G. 山阳县石瓮子镇北龙洞沟；H. 山阳县法官乡柳树沟；I. 山阳县长沟镇峡凹口村；J. 山阳县石瓮子镇古道岭村；L. 山阳县十里铺镇东甘沟；M. 山阳县十里铺镇老沟；N. 杞水县石瓮子镇大红岩；O. 杞水县石瓮子沟；P. 杞水县石瓮子镇东甘沟；Q. 镇安县云镇峡口腊台沟；R. 宁陕县沙坪公社冷水沟小母猪沟；S. 镇安县青铜关镇北磨石沟口；T. 旬阳县公馆镇龙王滩；U. 旬阳县公馆镇北；V. 旬阳县公馆镇北；W. 旬阳县公馆镇北。

($D_{2-3}l$)、信阳群($D_{2-3}x$)和佛子岭群(Pz_1)及其相当地层组成的以华力西造山为主旋回、于燕山造山最终完成的多旋回造山带。南秦岭是一个以加里东期和印支期造山为主旋回的多旋回造山带,南秦岭带自下而上出露中—新元古代鄖西群($Pt_{2+3}yx$)和耀岭河群(Pt_3yl)等与裂谷环境有关的火山—沉积地层、震旦系—志留系(Z_2-S_1)被动大陆边缘沉积地层、东秦岭泥盆系—三叠系(D_1-T)晚古生代大陆壳上伸展盆地地层以及上白垩统—第三系(K_2-E)箕状断陷沉积盆地沉积序列,并发育新元古代(850~650 Ma)、志留纪(439~431 Ma)和印支期这3期构造—岩浆事件(张宗清等,2002;李怀坤等,2003;牛宝贵等,2006;凌文黎等,2007;夏林圻等,2008;刘仁燕等,2011,Zhu et al.,2018)。本研究所涉及地层主要为南秦岭带地层系统,主要关注加里东期造山作用形成的角度不整合面上下地层,即下伏前泥盆系和上覆泥盆系。

2 东秦岭加里东期角度不整合确定

2.1 剖面展布及地层岩石特征

前人研究认为加里东造山运动只作用在北秦岭带,中—南秦岭带加里东造山作用微弱,泥盆系与下伏地层连续沉积或平行不整合。只有少量学者认为中—南秦岭带存在加里东角度不整合,但未引起重视。本次研究对中—南秦岭带22条泥盆系与下伏基底地层接触关系剖面进行详细地层学和构造地质学等解剖研究,剖面显示东秦岭泥盆系与下伏基底地层呈区域性角度不整合(图1b)。根据角度不整合接触面构造和缺失地层差异性,将东秦岭地区区域角度不整合总体划分为山阳—柞水古隆起带和镇安—板岩断裂以南地区,具体上下层位构造和缺失地层差异性描述如下。

2.1.1 镇安—板岩断裂以南地区 (1)下泥盆统西岔河组(D_1x)与下志留统梅子垭组(S_1m)呈角度不整合接触(图1b,图2,剖面A、E和F;图3,剖面G、H和I)。

不整合接触关系主要分布于旬阳县双河—公馆一线以南和以北地区,即泥盆纪镇—旬盆地南缘和东缘(武当地块周缘)地区,主要表现为下泥盆统西岔河组(D_1x)含砾粗砂岩或砂砾岩角度不整合覆盖于下志留统梅子垭组(S_1m)灰绿—灰黄色含透入性劈理片岩和板岩局部夹砂砾岩,不整合面缺失上中志留统下泥盆统部分地层($S_{2-4}-D_1$)并且不整合面

上下地层构造差异明显(图2,剖面A、E和F;图3,剖面G、H和I)。在盆地南缘旬阳双河镇潘家—红军乡之间蜀小县道旁(N $33^{\circ}04'17.1''$,E $109^{\circ}33'48.8''$,H:406 m),下泥盆统西岔河组底部砂砾岩产状较下志留统板岩夹砂砾岩地层产状平缓(泥盆系层理 S_0 产状为 $332^{\circ}\angle 18^{\circ}$,下志留统层理 S_0 产状为 $358^{\circ}\angle 66^{\circ}$),下志留统梅子垭组板状劈理(S_1)发育($S_1:21^{\circ}\angle 45^{\circ}$)(图1b和图2,剖面A);在盆地东缘(武当地块西缘)地区鄖西县上津镇—山阳县长沟镇南北一线,不整合面上下地层构造差异明显,下伏下志留统梅子垭组以及奥陶系经历了S-N向强烈挤压及E-W走向褶皱变形,平卧褶皱、紧闭褶皱以及透入性劈理(S_1)发育(原始层理 $S_0:219^{\circ}\angle 28^{\circ}$,劈理 $S_1:225^{\circ}\angle 3^{\circ}$),上覆泥盆系构造相对简单,无透入性劈理发育,地层走向为S-N向与泥盆纪镇—旬盆地东边界一致(层理 $S_0:276^{\circ}\angle 20^{\circ}$)(图2,剖面E和F;图3,剖面G、H和I)。需特别指出的是在上津镇涧长沟水库对面331省道旁(N: $33^{\circ}05'51.8''$,E: $110^{\circ}00'46.2''$,H:377 m)奥陶系钙质粉砂岩、粉砂质泥岩夹薄层泥灰岩发育两期变形:早期形成透入性面理(S_1)与原始层理(S_0)近平行,平行于透入性面理(S_1)析出石英脉;晚期透入性面理(S_1)和石英脉发生褶皱变形,褶皱枢纽产状方向不定,既有平卧褶皱又有斜歪褶皱,褶皱转折端轴面劈理(S_2)发育(图2,剖面E)。

(2)下泥盆统公馆组(D_1g)与下志留统梅子垭组(S_1m)呈角度不整合接触(图1b和图4,剖面S和V)。

不整合接触关系主要分布于旬阳县桐木街—镇安青铜关南北一线(泥盆纪镇—旬盆地西缘),主要表现为下泥盆统公馆组(D_1g)钙质粉砂岩或泥质灰岩角度不整合覆盖于下志留统梅子垭组(S_1m)灰绿—灰黄色含透入性劈理片岩(图4,剖面S),不整合面缺失上中志留统下泥盆统部分地层($S_{2-4}-D_1$),较盆地东缘多缺失下泥盆统西岔河组砂砾岩,并且不整合面上下地层构造差异明显。在镇—旬盆地西缘桐木街—青铜关南北一线,不整合面上下地层构造差异明显,下伏下志留统梅子垭组变形强烈,透入性劈理(S_1)发育,局部发育膝折和共轭节理等构造(原始层理(S_0)产状为 $128^{\circ}\angle 48^{\circ}$ (平均值),片理(S_1)产状为 $155^{\circ}\angle 62^{\circ}$ (平均值),膝折构造产状为 $278^{\circ}\angle 56^{\circ}$ (平均值)),上覆泥盆系构造相对简单,无透入性劈理发育,地层走向与泥盆纪镇—旬盆地西部边界一致(层理 $S_0:130^{\circ}\angle 60^{\circ}, 198^{\circ}\angle 84^{\circ}$)(图4,

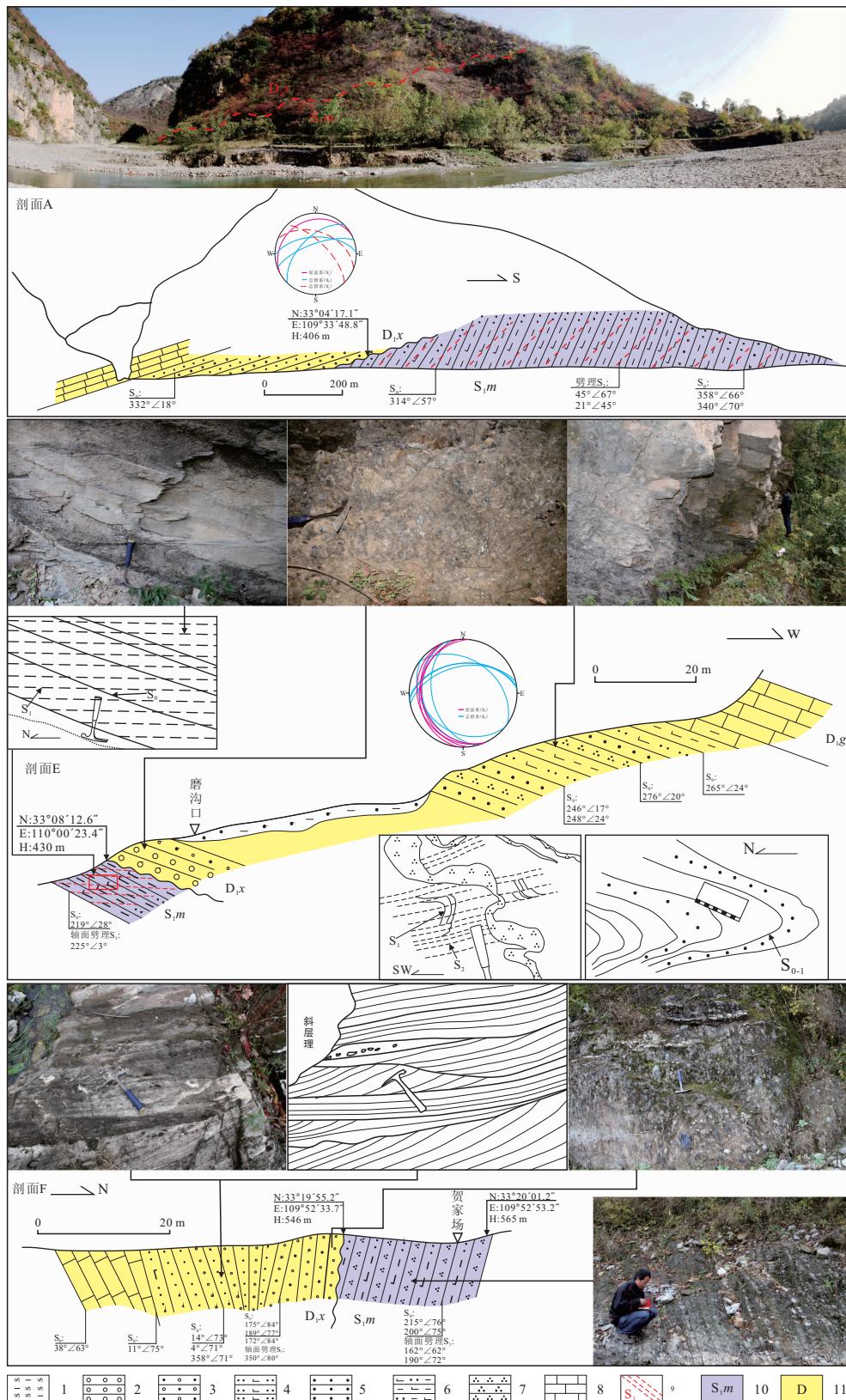


图 2 南秦岭镇安—板岩断裂以南地区下泥盆统西岔河组(D_1x)与下志留统梅子垭组(S_1m)呈角度不整合接触剖面 A、E 和 F

Fig. 2 The angular unconformity profiles A, E and F of the Devonian Xichahe Formation and underlying Early Silurian Meiziya Formation in the south of Zhen'an-Banyan fault, southern Qinling orogenic belt

剖面位置对应图 1b 剖面 A、E 和 F; 1. 志留系梅子垭组片岩; 2. 泥盆系底部砾岩; 3. 砂砾岩; 4. 钙质粉砂岩; 5. 砂岩; 6. 粉砂质钙质泥岩; 7. 石英砂岩; 8. 灰岩; 9. 剥理; 10. 志留系梅子垭组(S_1m); 11. 泥盆系(D)

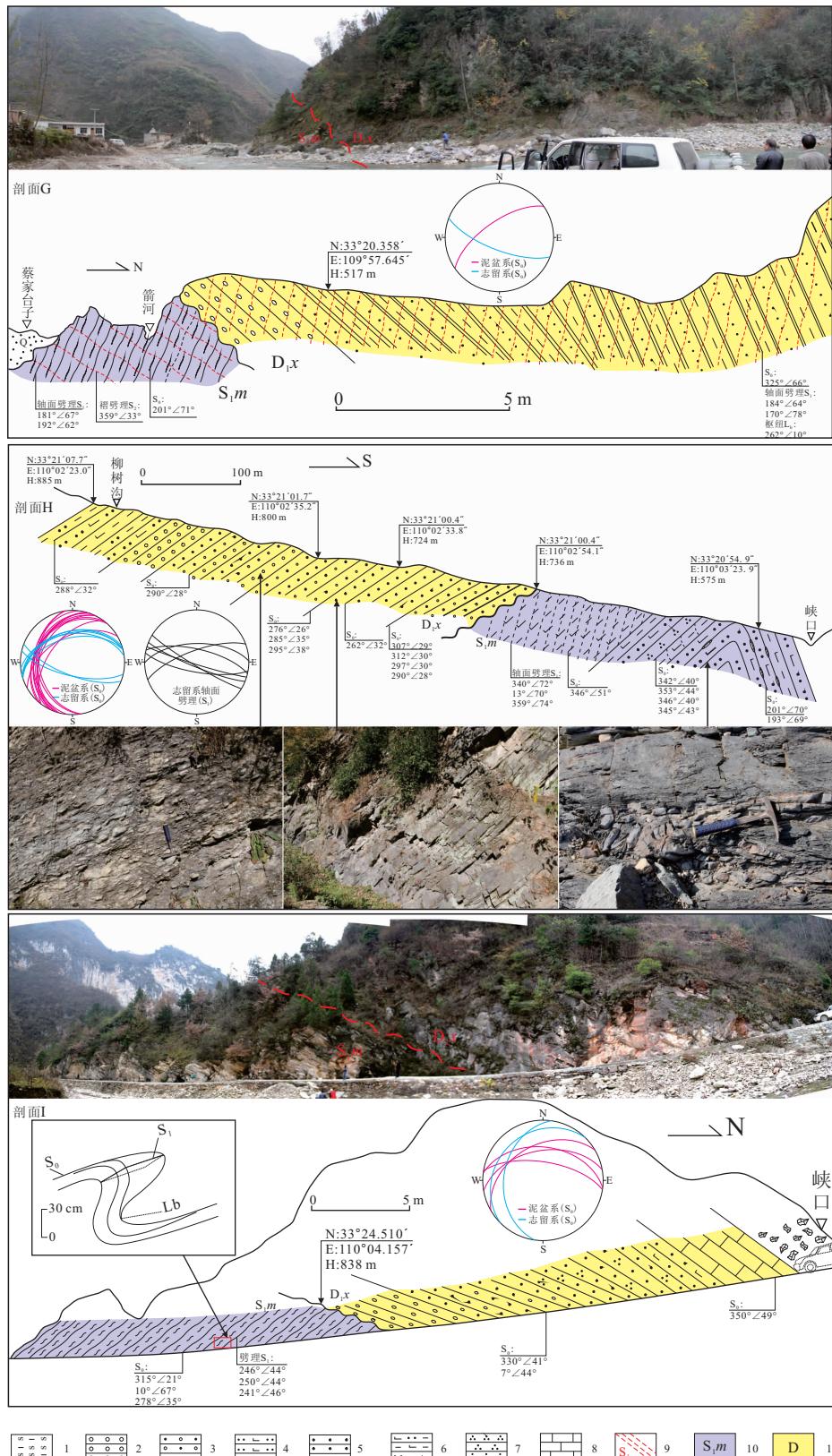


图3 南秦岭镇安—板岩断裂以南地区下泥盆统西岔河组(D₁x)与下志留统梅子垭组(S₁m)呈角度不整合接触剖面 G、H 和 I
Fig. 3 The angular unconformity profiles G, H and I of the Devonian Xichahe Formation and underlying Early Silurian Meiziya Formation in the south of Zhen'an-Banyan fault, southern Qinling orogenic belt

剖面位置对应图1b 剖面 G、H 和 I; 1. 志留系梅子垭组片岩; 2. 泥盆系底部砾岩; 3. 砂砾岩; 4. 钙质粉砂岩; 5. 砂岩; 6. 粉砂质钙质泥岩; 7. 石英砂岩; 8. 灰岩; 9. 劈理; 10. 志留系梅子垭组(S₁m); 11. 泥盆系(D)

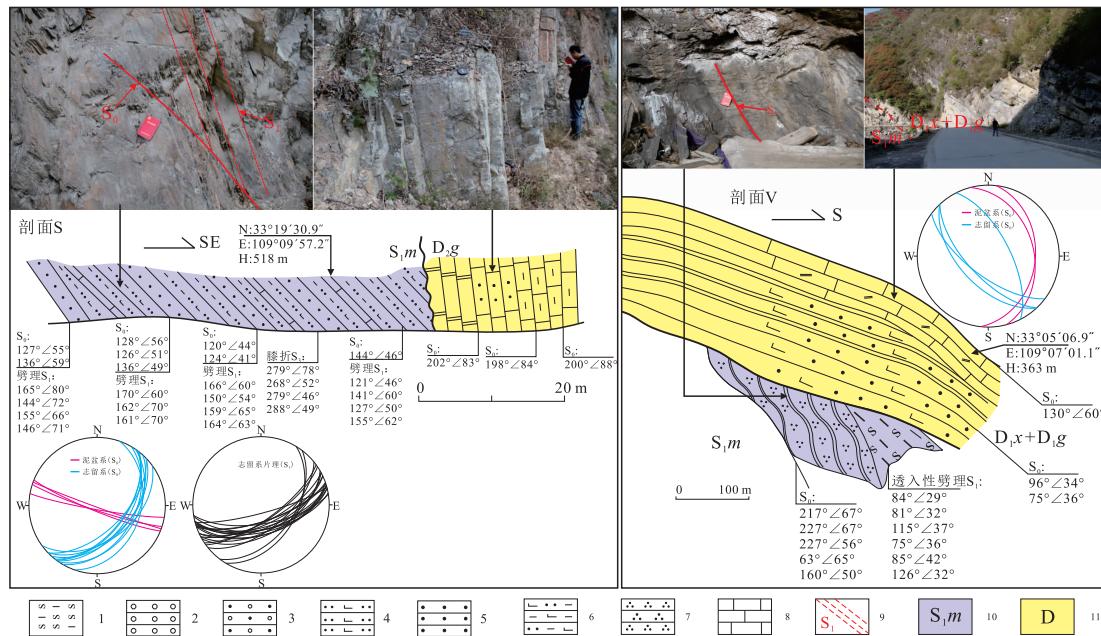


图 4 南秦岭镇安—板岩断裂以南地区下泥盆统公馆组(\$D_1g\$)与下志留统梅子垭组(\$S_1m\$)呈角度不整合接触剖面 S 和 V

Fig. 4 The angular unconformity profiles S and V of the Devonian Gongguan Formation and underlying Early Silurian Meiziyu Formation in the south of Zhen'an-Banyan fault, southern Qinling orogenic belt

剖面位置对应图 1b 剖面 S 和 V; 1. 志留系梅子垭组片岩; 2. 泥盆系底部砾岩; 3. 砂砾岩; 4. 钙质粉砂岩; 5. 砂岩; 6. 粉砂质钙质泥岩; 7. 石英砂岩; 8. 灰岩; 9. 剪理; 10. 志留系梅子垭组(\$S_1m\$); 11. 泥盆系(D)

剖面 S 和 V).

(3)“志留系红层”角度不整合夹持于下志留统梅子垭组(\$S_1m\$)和下泥盆统西岔河组(\$D_1x\$)之间(图 1b; 图 5, 剖面 D; 图 6, 剖面 B、C 和 U).

“志留系红层”主要指陕西旬阳县公馆—双河地区夹持于上覆下泥盆统与下伏下志留统(\$S_1\$)不整合面之间一套灰绿—紫红色富含凝灰质细碎屑岩, 底为灰绿—灰白色中—厚层状砂岩, 局部发育一套细砾岩、弱显逆序沉积序列、滨海—潮坪相环境的地层单元。结合古生物地层(陕西省地质矿产局, 1994, 1:50 000 小河口幅、落驾河幅和双河口幅区域地质调查报告)和同位素资料(<435 Ma)(江小均, 2013), 将其暂定为志留系。“志留系红层”可与西北地质所 1966 年在陕西旬阳县双河镇水洞沟命名的水洞沟组(\$S_{2+3}\$)对比。

“志留系红层”与下志留统梅子垭组角度不整合剖面位于湖北郧西县关防镇朝阳沟(N: \$33^{\circ}06'57.1''\$, E: \$109^{\circ}44'59.4''\$, H: 484 m), 该剖面“志留系红层”底部灰绿色砂岩与下志留统梅子垭组(\$S_1m\$)灰—灰绿色含透人性劈理的砾岩、钙质砂岩和泥岩互层呈角度不整合接触, 不整合面缺失少量地层(\$S_{1-2}\$)并且不整合面上下地层构造差异明显。下志留统梅子垭组发生 NE-SW 向挤压形成近东西向

褶皱(向斜北翼 \$S_0\$ 产状为 \$200^{\circ}\angle 50^{\circ}\$, 南翼产状为 \$25^{\circ}\angle 78^{\circ}\$), 轴面劈理(\$S_1\$)发育, 劈理切过砾石(轴面劈理 \$S_1: 200^{\circ}\angle 60^{\circ}\$)。“志留系红层”构造不发育, 其构造线为 NE-SW 走向(层理 \$S_0\$ 产状为 \$325^{\circ}\angle 15^{\circ}\$)(图 1b 和图 5, 剖面 D). 该剖面下泥盆统西岔河组(\$D_1x\$)底砾岩与下伏“志留系红层”接触关系由于接触面位于朝阳沟剖面陡崖之上, 其产状未查实。但区域上该角度不整合面较为发育, 主要位于旬阳县庙坪乡核桃园、双河镇穿洞沟和阴岩、公馆龙王滩和公馆镇北一线(图 1b 和图 6, 剖面 B、C 和 U); 表现为下泥盆统西岔河组(\$D_1x\$)灰—灰白色厚层砂砾岩角度不整合于“志留系红层”灰—灰绿色石英砂岩或含砾粗砂岩之上(图 1b 和图 6, 剖面 C)。“志留系红层”和下泥盆统西岔河组(\$D_1x\$)之间缺失上志留统下泥盆统(\$S_4-D_1\$)且构造特征弱差异, 整体上“志留系红层”受近 N-S 向挤压形成褶皱(以庙坪镇核桃园剖面为例, 褶皱两翼产状分别为 \$S_0: 344^{\circ}\angle 38^{\circ}\$ (平均值, \$n=6\$) 和 \$192^{\circ}\angle 35^{\circ}\$), 轴面劈理和板劈理发育(\$S_1: 7^{\circ}\angle 76^{\circ}\$ (平均值, \$n=11\$)), 下泥盆统西岔河组粗碎屑岩和公馆组碳酸盐岩地层产状较“志留系红层”平缓且轴面劈理不发育(\$S_0: 357^{\circ}\angle 33^{\circ}\$ (平均值, \$n=10\$))(图 2 和图 6, 剖面 C).

2.1.2 东江口—小磨岭—陡岭古隆起地区 前人

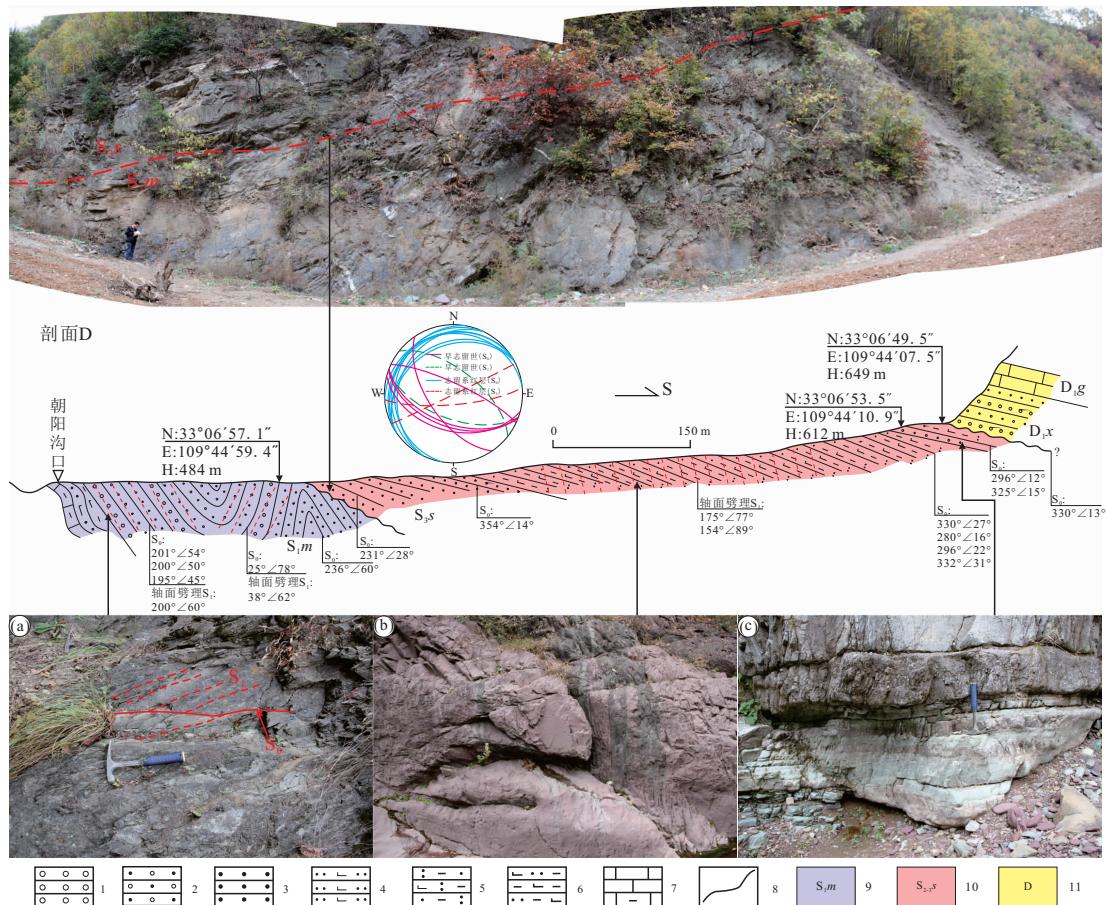


图 5 郧西县关防镇朝阳沟“志留系红层”野外接触关系剖面图及地质特征

Fig. 5 The geological characteristics and contact relationship of sections of the Silurian red strata in Guanfang Town, Yunxi County 剖面位置见图 1b 剖面 D;照片 a 为下志留统梅子垭组顶部砾岩,砾岩层透入性轴面劈理(S_1)发育;照片 b 为“志留系红层”;照片 c 为“志留系红层”顶部层位砾岩夹层;1. 砾岩;2. 砂砾岩或含砾砂岩;3. 砂岩;4. 钙质粉砂岩;5. 志留系红层凝灰质钙质泥岩;6. 钙质粉砂质泥岩;7. 公馆组灰岩;8. 不整合接触关系;9. 下志留统梅子垭组;10. “志留系红层”;11. 泥盆系西岔河组

关于该区加里东不整合研究较多,通过柞水—山阳隆起带地区泥盆纪粗碎屑岩与下伏寒武系—奥陶系碳酸盐地层之间地层产状差异较小的接触特征,认为东秦岭地区泥盆系与下伏地层接触关系为平行或微角度不整合,不存在明显的区域性角度不整合(Sengör, 1985; Hsu *et al.*, 1987; 王清晨等, 1989; 孟庆任等, 1995; Meng and Zhang, 2000; 屈红军等, 2002).

(1) 中泥盆统龙洞沟组与寒武系—奥陶系呈低角度不整合接触(图 1b 和图 7, 剖面 N、O、P、Q 和 R).

不整合接触关系主要分布于古隆起西部地区(柞水县石翁子镇—云盖寺镇—宁陕县江口冷水沟),中泥盆统龙洞沟组(D_2l)(相当于凤县—旬阳小区中侏罗统大枫沟组(D_2d)))底部砾岩与下伏寒武系—奥陶系含硅质条带白云岩或白云质灰岩呈角度不整合接触,底部砾岩以碳酸盐岩砾石为主,与下伏

地层岩石特征一致,前人认为其为筛积砾岩.不整合面较古隆起南部南秦岭带缺失较多地层,但较古隆起西部地区东部地区缺失地层较少,缺失整个志留系一下泥盆统和部分中泥盆统($S-D_1$),并且不整合面上下地层产状具有弱差异.典型剖面位于陕西柞水县石瓮子镇古道岭村(N:33°33'23.2", E:109°09'20.8", H:671 m),中泥盆统龙洞沟组白云质砾岩与下伏地层寒武系—奥陶系石瓮子组(∞ -Osw)呈微角度不整合接触关系(寒武系—奥陶系 $S_0:228^\circ \angle 37^\circ$ (平均值, $n=6$),龙洞沟组产状 $S_0:216^\circ \angle 20^\circ$ (平均值, $n=4$)),其余龙洞沟—东甘沟—蜡台沟—冷水沟剖面与上述剖面特征类似(图 7, 剖面 N、O、P 和 R).

(2) 中泥盆统古道岭组(D_2g)或上泥盆统星红铺组(D_3x)与寒武系—奥陶系呈角度不整合接触(图 1b 和图 8, 剖面 J、K 和 L).

不整合接触关系主要分布于古隆起东部地区

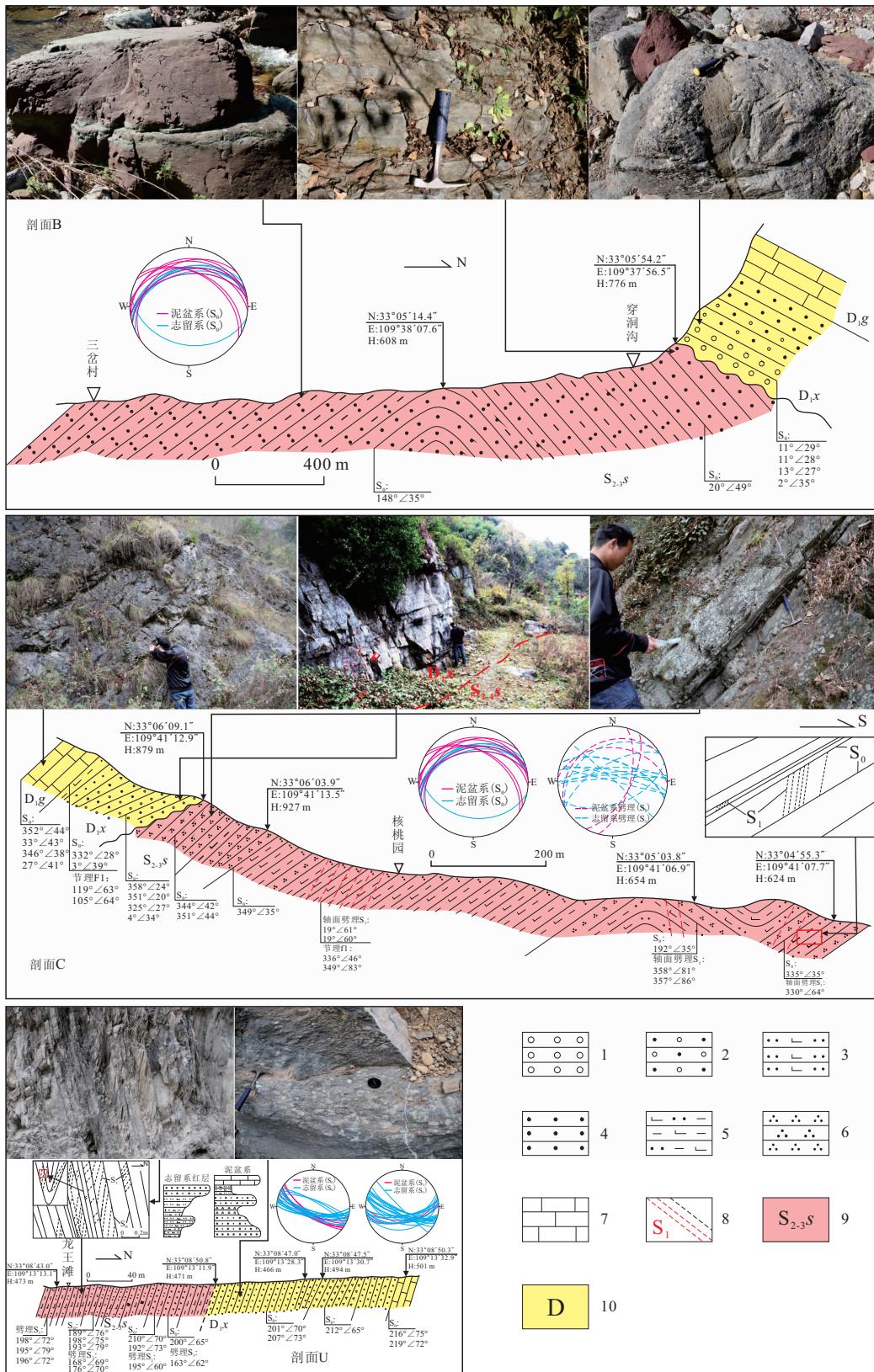


图 6 南秦岭镇安—板岩断裂以南地区下泥盆统西岔河组(D_1x)与“志留系红层($S_{2+3}s$)”角度不整合接触剖面

Fig. 6 The angular unconformity profile of the Devonian Xichahe Formation and underlying Silurian red strata in the south of Zhen'an-Banyan fault, southern Qinling orogenic belt

剖面位置对应图 1b, 剖面 B、C 和 U; 1. 泥盆系底部砾岩; 2. 砂砾岩; 3. 钙质粉砂岩; 4. 砂岩; 5. 粉砂质钙质泥岩; 6. 石英砂岩; 7. 灰岩; 8. 斑理; 9. 志留系红层($S_{2+3}s$); 10. 泥盆系(D)

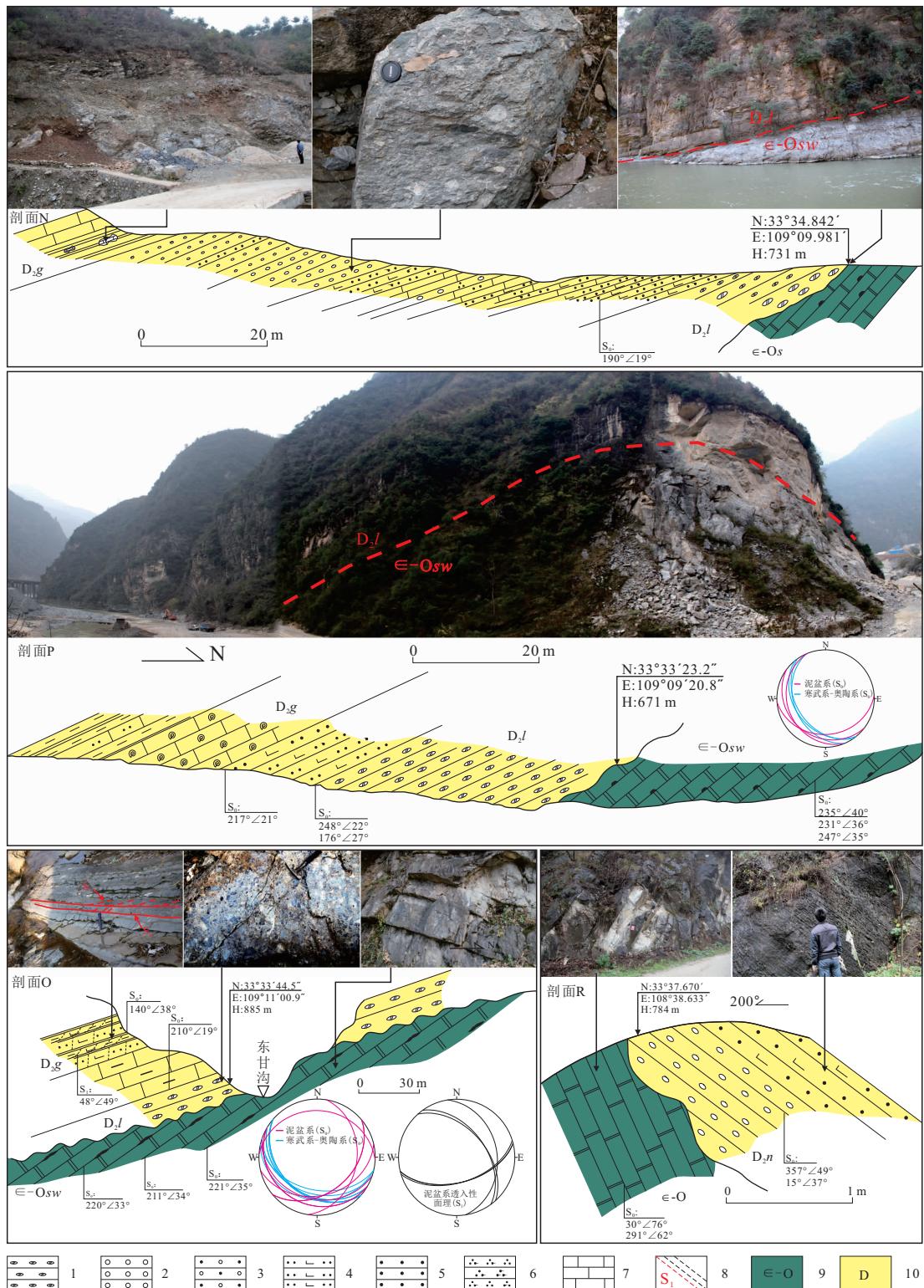


图 7 小磨岭地区泥盆系与下伏基底震旦系—寒武系角度不整合接触剖面

Fig. 7 The angular unconformity profiles of the Devonian and underlying Sinian-Cambrian strata in the Xiaomoling area
剖面位置见图 1b, 剖面 N、O、P 和 R; 1. 泥盆系灰质底砾岩; 2. 砾岩; 3. 砂砾岩; 4. 钙质粉砂岩和粉砂质泥岩; 5. 砂岩; 6. 石英砂岩; 7. 灰岩; 8. 剥理; 9. 寒武系—奥陶系; 10. 泥盆系

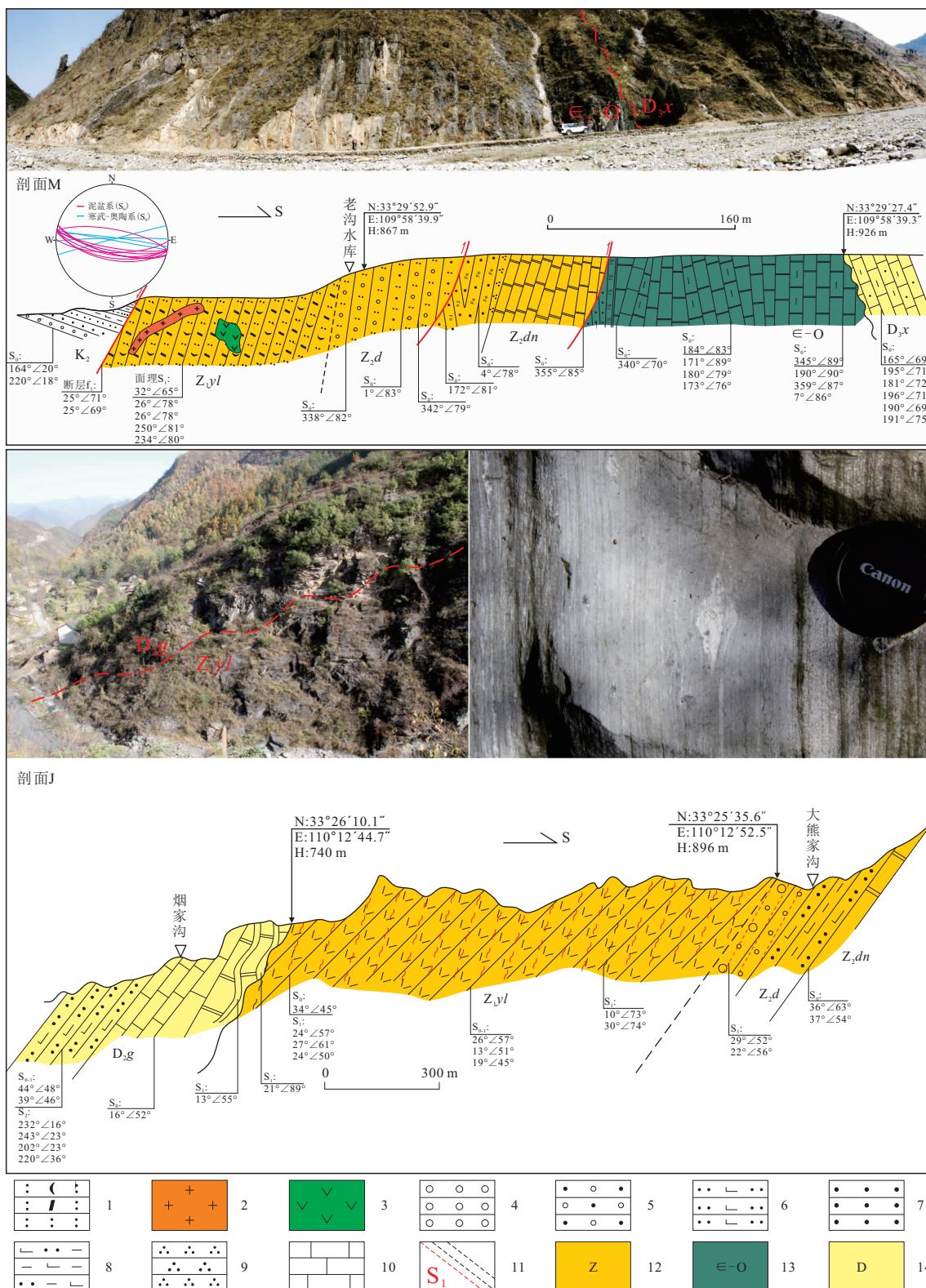


图 8 东江口一小磨岭—陡岭古隆起地区泥盆系与下伏基底震旦—寒武系角度不整合接触剖面图

Fig. 8 The angular unconformity profiles of the Devonian and underlying Sinian-Cambrian strata in the Dongjiangkou-Xiaomolingtou area

剖面位置对应图 1b, 剖面 J 和 M; 图例: 1. 耀岭河群熔结凝灰岩; 2. 侵位耀岭河群花岗质脉; 3. 侵位耀岭河群花岗质岩脉; 4. 泥盆系底部砾岩; 5. 砂砾岩; 6. 钙质粉砂岩; 7. 砂岩; 8. 粉砂质钙质泥岩; 9. 石英砂岩; 10. 灰岩; 11. 剥理; 12. 震旦系; 13. 寒武系—奥陶系; 14. 泥盆系

(山阳老沟—老龙头沟—烟家沟—梅子沟地区),主要表现为中泥盆统古道岭组(D_2g)或上泥盆统星红铺组(D_3x)碳酸盐岩—钙质粉砂岩地层局部夹砾岩角度不整合覆盖于下伏寒武系—奥陶系($\epsilon-O$)碳酸盐岩和耀岭河组(Pt_3yI)凝灰质片岩之上。不整合面较古隆起南部南秦岭带缺失较多地层,缺失整个志留系—中下泥盆统部分地层($S-D_2$),局部地区缺失寒武系—奥陶系(山阳中村镇烟家沟和柞水小岭镇地区),并且不整合面上下地层构造具有弱差异。典型剖面位于陕西山阳县十里铺镇老沟(N:33°29'27.4",E:109°58'39.3",H:926 m),上泥盆统星红铺组砂质板岩与寒武系—奥陶系灰岩呈高角度不整合接触(寒武系—奥陶系 $S_0:359^{\circ}\angle87^{\circ}$ (平均值, $n=8$),星红铺组产状 $S_0:195^{\circ}\angle71^{\circ}$),其余剖面由于受印支期挤压作用在不整合面上形成断层泥质或钙质糜棱岩。并且在山阳中村镇—银花镇地区,泥盆系不整合面之下地层在加里东期发生倒转,新元古代耀岭河群叠置于陡山沱组碎屑岩和灯影组碳酸盐之上,之后被上泥盆统星红铺组不整合覆盖,说明该地区泥盆纪之前加里东期发生构造运动使下伏地层发生倒转(图 8,剖面 J)。

总之,东秦岭地区泥盆系与下伏地层呈高角度不整合(少数微角度不整合)接触关系。在郧西县关防朝阳沟—旬阳县公馆镇一线下泥盆统西岔河组与下伏“志留系红层”(前人认为的上中志留统水洞沟组)呈角度不整合;且“志留系红层”与下伏下志留统梅子垭组之间角度不整合,两侧地区下泥盆统西岔河组与下伏下志留统梅子垭组呈角度不整合,东江口一小磨岭—陡岭古隆起西部地区中泥盆统龙洞沟组与下伏寒武系—奥陶系石瓮子组呈微角度不整合,东江口一小磨岭—陡岭古隆起东部地区中泥盆统古道岭组或上泥盆统星红铺组与下伏寒武系—奥陶系呈角度不整合。需特别指出的是在北秦岭太白—凤县地区发育上石炭统草凉驿组含煤陆相类磨拉石建造与元古代宽坪群呈角度不整合接触(图 9)。

2.2 不整合面上下沉积特征及间断时间

不整合面上泥盆系—石炭系底部具有 10~20 m 厚砾岩或砂砾岩(在山阳县银花镇东响当沟砾岩厚达 200 m),广泛分布于南秦岭带泥盆系沉积盆地边界;下部为粗碎屑岩,以灰—灰白色砂砾岩和含砾粗砂岩为主,发育板状斜层理和砾石“叠瓦状”构造等沉积构造,向上过渡为细碎屑岩,局部碎屑岩发育斜层理和不对称波痕等沉积构造;上部过渡巨厚

层碳酸盐岩沉积,该套地层显示具有典型正粒序的海进沉积序列(图 9)。而下伏加里东褶皱基底上部下志留统梅子垭组(S_1m)为一套深水复理石相细碎屑岩,郧西县关防朝阳沟顶部发育一套灰黑色薄层状细砾岩,显示出逆序列的海退沉积序列(图 5,照片 a)。在郧西县关防朝阳沟—旬阳县公馆镇一线,加里东不整合面之间发育一套“志留系红层”滨浅海相紫红色凝灰质细碎屑岩,顶部局部可见薄层粗碎屑砾岩,发育小型斜层理和不对称干涉波痕等沉积构造,显示出弱逆序列的海退沉积序列(图 5,照片 c;图 9c 和 9g)。

东秦岭加里东角度不整合面下伏最新地层中含大量的笔石化石,特别是在山阳宽坪一带下志留统梅子垭组(S_1m)深灰—黑色板岩中含奥陶纪—早志留世笔石 *Glyptograptus*;而不整合面上覆最老地层下泥盆统西岔河组(D_1x)陆相—滨浅海相粗碎屑岩化石稀少,未发现确定时代意义的化石,主要发现一些珊瑚 *Squameofavosites*, *Pachyfavosites yuii*, *Tryplasma* 和 *Pseudomicropalma* 等,及双壳类 *Cypricardinia*, *Grammysia*, *Solenomorpha?* sp., *Glossites cf. concentricus* 等化石。但西岔河组与公馆组(D_1g)碳酸盐岩地层中发育早泥盆世介形类 *Paramoeleritia subtrapezoidalis*, *P. cf. subtrapezoidalis*, *Leperditia*;腹足类 *Murchisonia*;轮藻 *Sycidium* 化石(杜定汉等, 1986)。上述发现说明东秦岭加里东角度不整合面存在明显的早中志留世—早泥盆世沉积间断。总体上东秦岭地区加里东角度不整合面缺失地层(沉积间断时间)南北差异明显,南秦岭郧西县关防朝阳沟—旬阳县公馆镇一线,由于下泥盆统西岔河组和下志留统梅子垭组存在两个不整合面,且其间沉积中一晚志留世(<435 Ma)“志留系红层”,该区域缺失地层最少(缺失早志留世和晚志留世地层?);山阳—柞水古隆起(前隆)地区包括前人经常论述古隆起以南柞水石瓮子地区,因扬子板块与华北板块加里东期发生俯冲—碰撞作用,在被动陆缘发生前隆造山作用影响下缺失地层最多(缺失部分上奥陶统、整个志留系和中下泥盆统,局部地区甚至缺失上泥盆统部分),除上述区域,整个南秦岭地区缺失早志留世—早泥盆世地层。

2.3 不整合面上下构造层构造变形差异性

东秦岭地区加里东不整合面上覆泥盆系和下伏加里东褶皱基底(Pt_3-S_1)地层构造特征差异较大(图 10)。不整合面下伏地层(Pt_3-S_1)构造形态表现为 N-E 或 NE-SW 向挤压形成 E-W 走向褶皱,褶皱

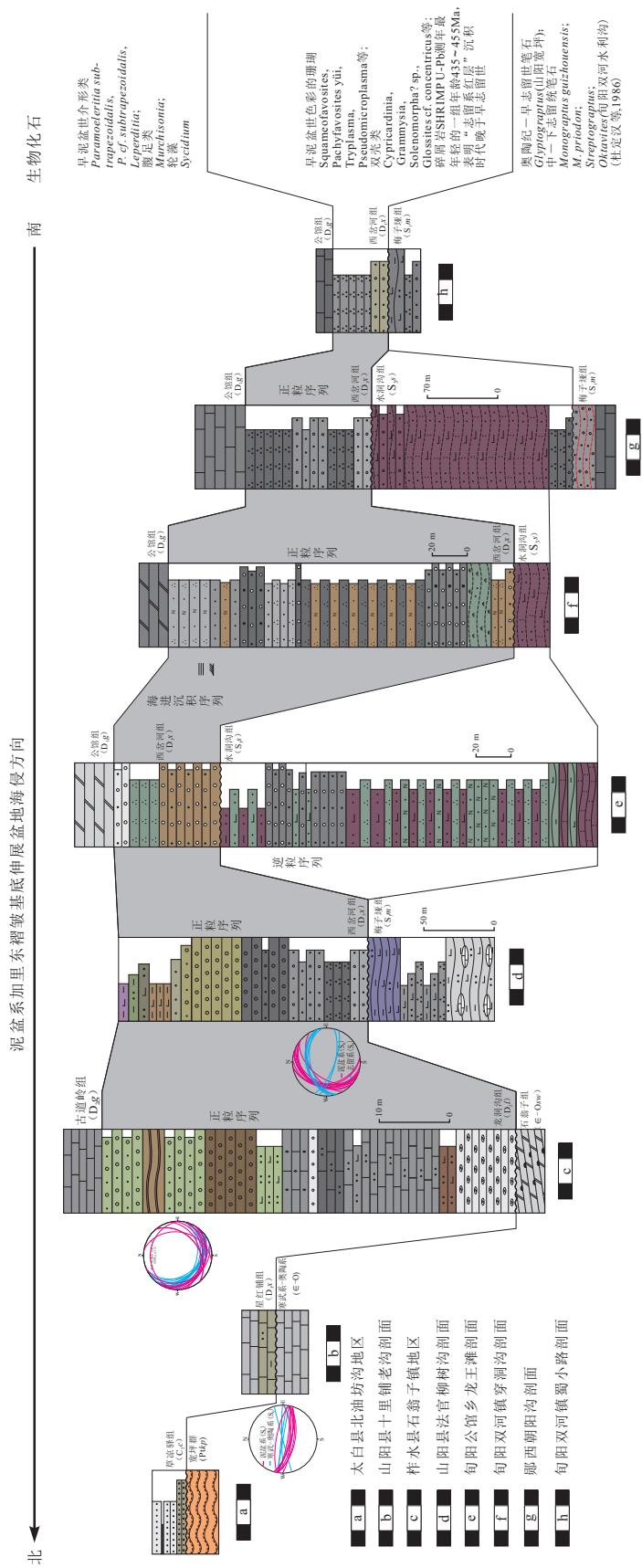


图 9 东秦岭加里东不整合面沉积序列及地层对比柱状图

Fig. 9 The stratigraphic correlation column and sedimentary sequence of the Caledonian unconformity in eastern Qinling orogenic belt
 a. 太白县北油坊沟地区;b. 山阳县十里铺老沟剖面(N:33°29'27.4", E:109°58'39.3", H:926 m);c. 柘水县石翁子镇北龙洞沟剖面(GPS: N:33°34.842', E:109°09.981', H:731 m);d. 山阳县法官乡柳树沟剖面(N:33°21'00.4", E:110°02'54.1", H:736 m);e. 旬阳县小河口镇龙王滩剖面(GPS: N:33°08'50.8", E:109°13'11.9", H:471 m);f. 旬阳县两河口镇潘家竹桶沟剖面(GPS: N:33°03'42.4", E:109°35'13.1", H:393 m);g. 鄢西县朝阳沟剖面(N:33°06'57.1", E:109°44'59.4", H:484 m);h. 旬阳双河镇小路剖面(N:33°04'17.1", E:109°33'48.8", H:406 m)(杜定汉等,1986)

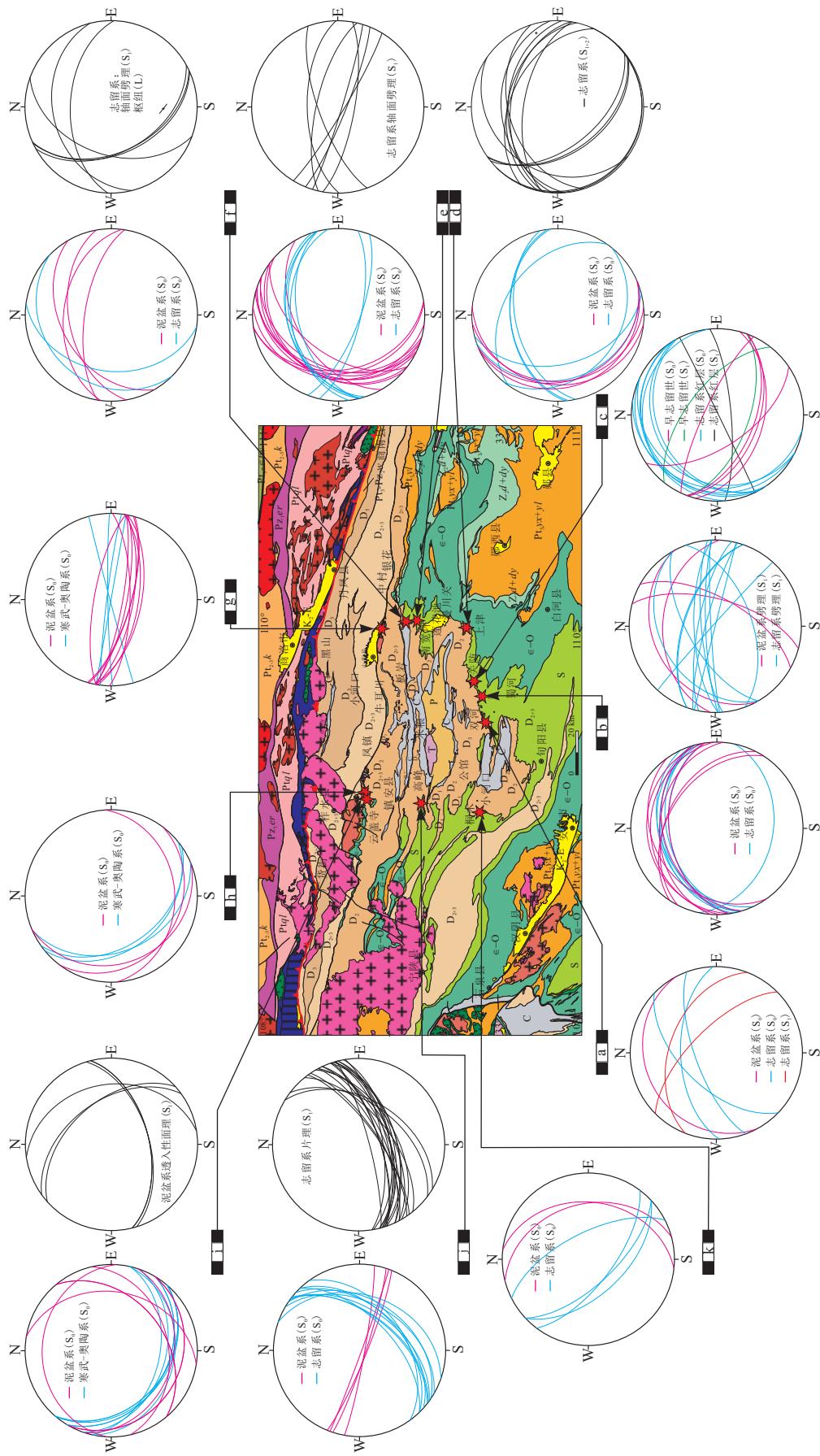


图 10 东秦岭地区泥盆系与下伏基底地层构造差异数状要素

Fig. 10 The structural difference factors between the Devonian and underlying basement strata in eastern Qinling orogenic belt

a. 蜀小路(旬阳县双河镇—红军乡); b. 核桃园地区(旬阳县庙坪乡); c. 前阳沟剖面(湖北郧西关防乡); d. 涿长沟—磨沟口地区(湖北省上津镇); e. 柳树沟地区(山阳县法官乡); f. 峡凹口地区(山阳县法官乡); g. 老沟剖面(山阳县十里铺); h. 古道岭剖面(柞水县石翁子镇); i. 东甘沟地区(柞水县石翁子镇); j. 磨石沟口地区(镇安县青铜关镇北); k. 大红岩地区(旬阳县桐木乡)

形态表现为较开阔褶皱、“S-M-Z”复式褶皱和平卧褶皱等, 褶皱轴面劈理或透入性劈理发育, 地层构造线方向总体为东西向(图 2, 剖面 E; 图 3, 剖面 I; 图 10). 不整合面上覆泥盆系构造线与下伏基底地层相差较大, 其构造线与晚古生代伸展盆地边界线走向一致。泥盆系沉积盆地南部边界构造线为东西走向, 向北倾; 盆地西部边界地区泥盆系底部层位构造线为南北走向, 向东倾; 东部武当周缘地区构造线为近南北向, 向西倾; 盆地北部山阳古隆起地区构造线为东西向, 向南倾(图 10). 这种特征可能与盆地基底地形以及晚古生代伸展沉积盆地形成之初海侵作用有关。这里必须强调的是东秦岭地区加里东不整合面“志留系红层”与下伏下志留统梅子垭组的构造线和变形程度也不一致, 在关防乡朝阳沟剖面可见(图 5 和图 10d), 下伏地层构造线为 NW-SE 向, 由于 NE-SW 向挤压作用形成褶皱, 褶皱劈理(S_1)发育, 顶部造山型砾岩砾石被劈理切穿; 而上覆“志留系红层”产状平缓, 构造线为 NE-SW 向, 向 NW 倾, 与泥盆系伸展盆地边界和地层产状一致, 并且变形构造不发育。

3 不整合面之间“志留系红层”特征及时代

南秦岭“志留系红层”原层位为上志留统水洞沟组($S_{2+4}s$), 1966 年由西北地质所于陕西旬阳县双河镇水洞沟命名, 主要分布于旬阳县小河口镇康坪—公馆—竹筒河—双河镇水洞沟、潘家和三岔河—庙坪乡龙家河—郧西县关防乡等地。

“志留系红层”夹持于上覆下泥盆统与下伏下志留统(S_1)不整合面之间的一套灰绿—紫红色富含凝灰质细碎屑岩中, 顶底为灰绿—灰白色中—厚层状砂岩, 局部发育一套细砾岩, 弱显逆序沉积序列地层单元。岩石特征主要为一套灰绿色、紫红色富含凝灰

质绿泥绢云母粉砂质千枚岩、绢云母石英粉砂质千枚岩、绢云母千枚岩夹灰绿—紫红色薄—中厚层石英杂砂岩和泥质粉砂岩地层单元, 其顶底以郧西县关防朝阳沟一带发现“志留系红层”上下角度不整合面为界线(图 1b, 剖面 D 和图 5), 厚 930~1 900 m. 本次研究在潘家竹桶沟、潘家阴岩等地见大量小型斜层理、不对称波痕、干涉波痕、脉状层理及透镜状层理等沉积构造, 表明该套地层沉积环境为干燥炎热的浅海滨海—潮坪相环境(图 11).

“志留系红层”发育最完整剖面位于湖北郧西县关防镇朝阳沟(N: 33°06'57.1"E; 109°44'59.4"H; 484 m)(图 1b, 剖面 D 和图 5). 该剖面“志留系红层”与下伏下志留统梅子垭组呈角度不整合接触, “志留系红层”底部灰绿色砂岩与下志留统梅子垭组(S_1m)灰—灰绿色含透入性劈理的砾岩、钙质砂岩和泥岩互层呈角度不整合接触, 不整合面缺失少量地层(S_{1-2})并且不整合面上下地层构造差异明显。

前人仅在郧西县关防朝阳沟—旬阳县公馆镇一线加里东不整合面之间的“志留系红层”发现少量具志留系—泥盆系过渡色彩珊瑚 *Tryplasma devonianum*, *Pseudamplerus*, *Favosite compositus* 等和腕足 *Athyris*, *Spirifer*, *Furyspirifer* 化石(陕西省地质矿产局, 1994, 1: 50 000 小河口幅、落驾河幅和双河口幅区域地质调查报告; 杜定汉等, 1986), 认为“志留系红层”时代为中—晚志留世—早泥盆世。由于该套地层为碎屑岩地层, 特征生物化石稀少, 本研究试着在旬阳县双河镇水洞沟—穿洞沟—阴岩地区采集 4 件“志留系红层”富含凝灰质细碎屑岩样品(图 12~12f), 进行锆石 SHRIMP U-Pb 测年研究, 以期得到“志留系红层”沉积时代。

4 件碎屑岩获得 26 颗锆石测年数据(1031-2 凝灰质粉砂质千枚岩样品 12 颗; 1030-5 凝灰质千枚岩样品 8 颗; 1112-4 凝灰质粉砂质千枚岩样品 4 颗

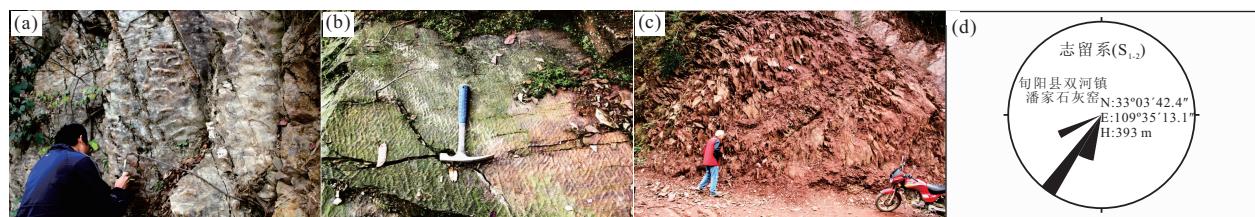


图 11 南秦岭“志留系红层”沉积构造、岩石及古流向特征

Fig. 11 The sedimentary structure, lithologic features and paleocurrent direction feature of the Silurian red strata, southern Qinling orogenic belt

a. 不对称波痕(双河镇潘家西北石灰窑); b. 志留系最上部发育干涉波痕(双河镇潘家阴岩); c. 志留系红层(双河镇潘家阴岩); d. 古流向玫瑰花图解(古水流流向总体为西南流向东北)

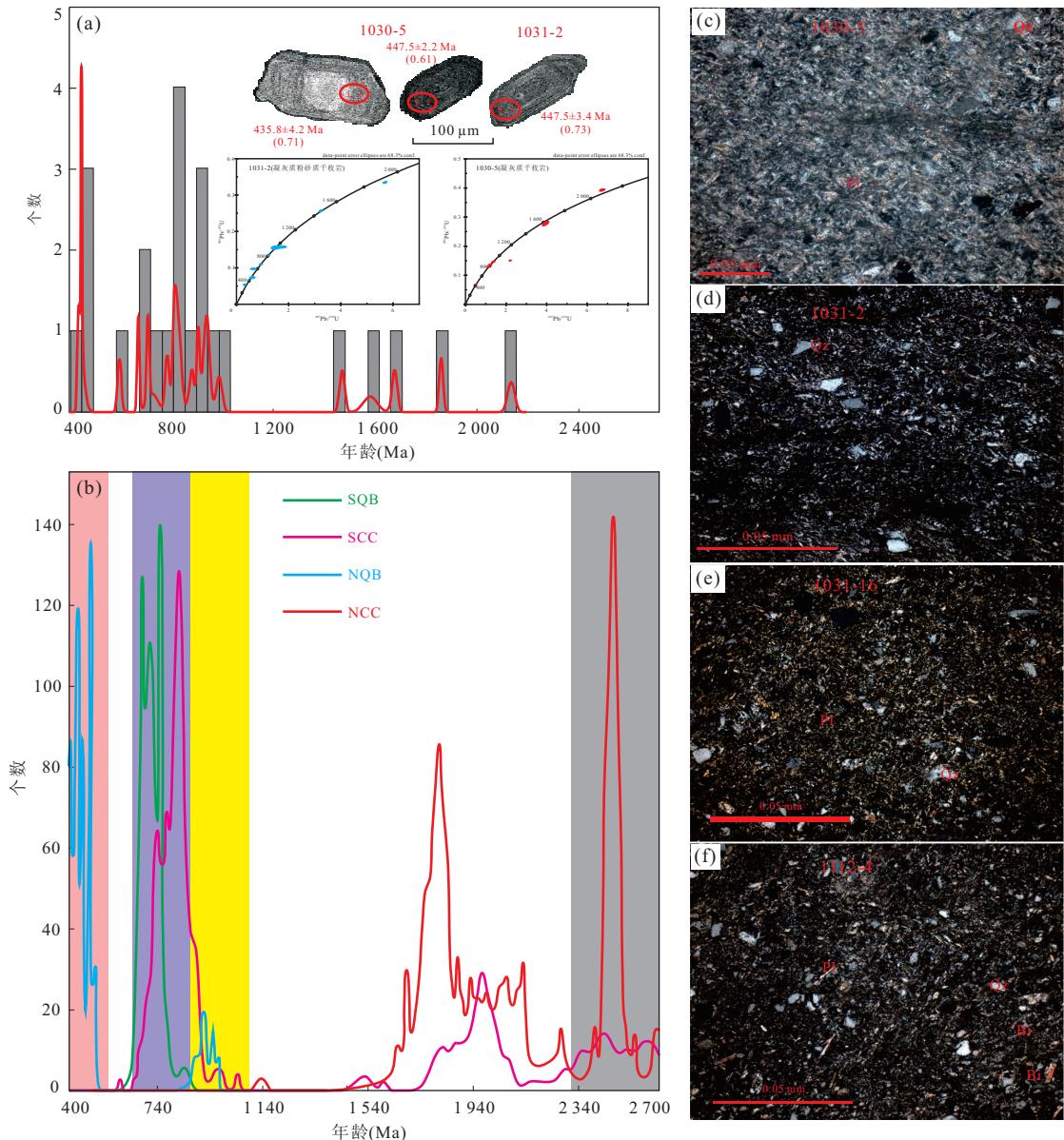


图 12 南秦岭“志留系红层”凝灰质碎屑岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年谐和图、年龄频谱图和锆石 CL 图像(a 和 b)和镜下特征(c~f)

Fig. 12 Zircon SHRIMP U-Pb dating concordia, age spectrum, CL image (a and b) and microscopic structure (c—f) of the tuffaceous clastic rock in the Silurian red strata, southern Qinling orogenic belt

a.“志留系红层”锆石 SHRIMP U-Pb 测年谐和图、年龄频谱图和锆石 CL 图像;b. 区域上各个块体锆石年龄频谱图;SQB. 南秦岭;NQB. 北秦岭;SCC. 华南板块;NCC. 华北板块;c. 灰绿色凝灰质千枚岩(1030-5), 正交, 5×20;d. 紫红色凝灰质粉砂质千枚岩(1031-2), 正交, 5×10;e. 紫红色凝灰质粉砂质千枚岩(1031-16), 正交, 5×10;f. 紫红色凝灰质粉砂质千枚岩(1112-4), 正交, 5×10

和 1031-16 凝灰质粉砂质千枚岩样品 2 颗)(图 12a、12b 和表 1)。由于测试过程中锆石年龄不集中且分散,结合锆石形态笔者认为本次 SHRIMP U-Pb 测年结果为碎屑锆石年龄。其中 12 颗 1031-2 样品锆石中两颗为测试时仪器测试过程中一次流问题(1031-2 样品 6.1 和 7.1)造成年龄问题,其余 10 锆石年龄数据分布在谐和线附近(图 12a)。所有锆石具有岩浆振荡环带且 Th/U 比值大于 0.1(0.4~

1.5), 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谱段集中于 455.0~447.5 Ma, 597.7~670.9 Ma, 812.8~988.0 Ma, 1 454 Ma 和 2 008 Ma(图 12a);8 颗 1030-5 样品锆石年龄数据都分布在谐和线附近,所有锆石具有岩浆振荡环带且 Th/U 比值大于 0.1(0.15~1.06), 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谱段集中于 435.8~447.5 Ma, 783.8~905.7 Ma, 1 683 Ma 和 2 022 Ma;4 颗 1112-4 样品锆石年龄数据都分布在谐和线附近, 所有锆

表 1 东秦岭“志留系红层”砾灰质碎屑岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年数据

Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb data of the tuffaceous clastic rock in the Silurian red strata, southern Qinling orogenic belt

Spot	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	$^{232}\text{Th}/$ ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*/$ (10^{-6})	$^{206}\text{Pb}^*$ %	$^{206}\text{Pb}^*/$ ^{238}U	$^{207}\text{Pb}^*/$ %	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*/$ %	$^{206}\text{Pb}^*/$ ^{238}U	$^{207}\text{Pb}^*/$ %	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$^{208}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$^{208}\text{Pb}^*/$ %	$^{208}\text{Pb}^*/$ ^{238}U	$^{208}\text{Pb}^*/$ %	$^{208}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	±
1031-2(砾灰质粉砂质千枚岩, N:33°04'46.9" E:109°36'01.0" H:724 m)																		
1.1	76	77	1.05	4.8	0.00	0.0731	2.5	0.614	10	0.0609	10	455	11	635	220	500	28	
2.1	202	105	0.54	28.8	0.12	0.1657	1.3	1.628	1.8	0.07125	1.2	988	12	965	25	971	19	
3.1	103	112	1.12	8.8	2.43	0.0971	1.4	0.652	11	0.0487	11	597.7	7.8	132	270	545	34	
4.1	412	159	0.40	118.5	0.17	0.3343	0.47	5.695	0.80	0.12356	0.65	1859.3	7.6	2008	12	1616	24	
5.1	45	18	0.41	6.0	1.05	0.1550	1.7	1.49	7.0	0.0700	6.7	929	15	927	140	823	68	
6.1	187	100	0.55	8.8	1.55	0.0538	2.7	0.347	10	0.0428	10	337.6	9.0	—180	250	317	24	
7.1	301	240	0.83	17.2	0.78	0.06589	0.72	0.470	4.5	0.0517	4.4	411.3	2.9	274	100	398	11	
8.1	76	102	1.40	10.8	5.65	0.1567	1.5	1.64	11	0.0758	11	938	13	1088	220	945	60	
9.1	332	233	0.73	20.7	1.05	0.07188	0.79	0.549	4.9	0.0554	4.8	447.5	3.4	430	110	446	14	
10.1	479	244	0.53	46.2	2.27	0.10968	0.69	0.932	4.2	0.0616	4.2	670.9	4.4	661	90	646	32	
11.1	187	272	1.50	41.3	0.30	0.2564	0.77	3.230	1.7	0.0914	1.5	1.471	10	1454	29	1509	17	
12.1	259	130	0.52	29.9	0.10	0.13437	0.74	1.247	1.8	0.0673	1.7	812.8	5.7	847	35	805	14	
1030-5(砾灰质千枚岩, N:33°00'50.5" E:109°33'10.7" H:456 m)																		
1.1	207	143	0.71	12.5	0.36	0.06994	10	0.546	3.8	0.0566	3.7	435.8	4.2	476	82	433	12	
2.1	93	97	1.08	11.7	0.15	0.1465	1.2	1.375	4.0	0.0681	3.8	881	10	871	79	877	20	
3.1	830	489	0.61	51.4	0.25	0.07188	0.50	0.5605	1.8	0.05656	1.7	447.5	2.2	474	37	441.2	5.9	
4.1	480	90	0.19	62.9	1.06	0.15084	0.63	2.204	1.7	0.1060	1.6	905.7	5.3	1731	29	939	69	
5.1	145	127	0.91	16.2	0.52	0.1293	1.0	1.116	3.7	0.0626	3.5	783.8	7.6	695	75	782	37	
6.1	97	100	1.06	11.4	0.71	0.1359	1.9	1.218	4.9	0.0650	4.5	821	14	775	95	840	27	
7.1	179	117	0.68	60.4	0.31	0.3925	0.76	6.740	1.3	0.1246	1.1	2.134	14	2022	19	2111	36	
8.1	104	127	1.27	24.9	0.48	0.2779	1.9	3.95	2.7	0.1032	1.9	1.581	27	1683	36	1381	130	
1112-4(砾灰质粉砂质千枚岩, N:33°05'55.7" E:109°41'11.0" H:855 m)																		
1.1	216	114	0.55	55.4	0.44	0.2972	0.69	4.921	1.5	0.1201	1.4	1.677	10	1958	24	1556	37	
2.1	67	21	0.33	7.0	2.11	0.1190	3.4	1.004	9.7	0.0612	9.1	725	23	645	200	652	100	
3.1	264	161	0.63	31.3	0.40	0.1373	1.1	1.229	2.7	0.0649	2.4	829.4	8.9	772	51	816	20	
4.1	38	63	1.70	4.7	4.00	0.1366	2.3	1.11	17	0.0587	17	825	18	556	370	791	48	
1031-16(砾灰质粉砂质千枚岩, N:33°05'51.4" E:109°38'07.6" H:608 m)																		
1.1	109	81	0.76	14.9	0.71	0.1573	1.1	1.467	3.4	0.0676	3.2	941.9	9.6	857	67	912	25	
2.1	314	220	0.72	31.3	0.09	0.11625	0.70	1.033	1.8	0.0645	1.7	709.0	4.7	757	35	707	11	

注: $^{206}\text{Pb}^c$ (%)指普通铅中的 ^{206}Pb 占全铅的百分数;应用实测 ^{204}Pb 校正普通铅;表中所有误差为 1σ . 所有数据在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心“虚拟网络实验室”测定.

石具有岩浆振荡环带且 Th/U 比值大于 0.1(0.4~4.0), 镓石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谱段集中于 725.0~829.4 Ma 和 1 958 Ma; 2 颗 1031-16 样品锆石年龄数据都分布在谐和线附近, 所有锆石具有岩浆振荡环带且 Th/U 比值为 0.09~0.71, 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 941.9 Ma 和 709.0 Ma。综合上述 21 颗碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果, 笔者认为锆石年龄最年轻的峰值为 435.8~455 Ma ($n=4$), 最老的峰值为 1 958~2 022 Ma ($n=3$), 其间还包括 1 454~1 683 Ma、783.8~988.0 Ma 和 597.7~709.0 Ma(图 12a)。

锆石年龄频谱图中最年轻的一组年龄 435.8~455 Ma 可能间接表明“志留系红层”沉积时代晚于早志留世。对比前人总结南秦岭、华南板块、北秦岭和华北板块锆石年龄谱系(图 12b, Dong *et al.*, 2013), “志留系红层”碎屑锆石物源区特征较为复杂, 扬子板块、北秦岭和中一朝板块共同提供物源, 暗示秦岭造山带在东秦岭“志留系红层”沉积时期中一朝板块—扬子板块之间的秦岭洋盆已经关闭, 中一朝板块和扬子板块共同为东秦岭泥盆系沉积盆地提供物源。综上所述, 角度不整合于下泥盆统西岔河组底部砾岩之下和早志留世砾岩之上的“志留系红层”形成时代为中一晚志留世(<435.8~455 Ma), 其为东秦岭加里东期造山运动形成的前陆盆地前缘沉积响应。

4 秦岭加里东构造演化过程讨论

综合东秦岭地区加里东角度不整合特征和区域演化资料, 笔者认为东秦岭造山带在上寒武统一奥陶系扬子板块与华北板块之间秦岭洋向北发生俯冲作用形成北秦岭陆缘弧; 至奥陶纪末期扬子板块被动大陆北缘由于前隆(forebulge)作用, 东江口一小磨岭—山阳—陡岭一线最先褶皱隆升成陆; 之后扬子板块与华北板块发生陆陆碰撞, 至下志留统梅子垭期(S_1m)整个秦岭洋海水全部退出, 整个东秦岭区隆升成陆, 形成本文重点阐述的东秦岭加里东期不整合面。因在南秦岭带旬阳小河镇—公馆镇—双河镇和郧西关防乡一线发育滨海—潮坪相弱逆粒序带, 上中志留统“志留系红层”与下志留统梅子垭组呈角度不整合接触, 以及中秦岭南缘山阳中村街镇苏峪沟—银花镇响当沟地区发育大于 200 m 巨厚砾岩(顶底为逆冲断层接触, 砾岩时代未知, 笔者推测为中一晚志留世), 结合前阶段构造演化特征笔者认为中一晚志留世时期东秦岭地区处于陆—陆碰撞阶段, 这一时期仅在局限区域接受沉积, 位于中秦岭带

山阳地区的巨厚砾岩为前陆盆地磨拉石建造, 而南秦岭“志留系红层”为东秦岭加里东期造山运动在南秦岭地区的前陆盆地前缘沉积响应(图 13a)。早泥盆世早期(西岔河组(D_1x)沉积时期), 东秦岭地区进入碰撞后伸展阶段, 特提斯洋海水由西至东进入东秦岭地区, 在南秦岭镇安—板岩断裂以南的局限地区形成加里东褶皱基底上的陆壳伸展性质滨浅海盆, 至中—晚泥盆世(星红铺组(D_3x)沉积时期), 伸展海盆逐渐向北海侵超覆到中秦岭东江口一小磨岭—山阳—陡岭古隆起和北秦岭造山带之上, 从而达到最大海侵面(图 13b)。晚泥盆世—早石炭世, 由于东秦岭地区特别是中秦岭北部武关和北秦岭大部分经历左行逆冲走滑变质作用(350~320 Ma, Chen *et al.*, 2014, 江小均, 2013), 使原属于泥盆系的刘岭群发生强烈中角闪岩相变质作用, 形成武关变质岩群和花岗质析离脉体; 且中—北秦岭带发生强烈褶皱隆升, 致使东秦岭晚古生代海盆开始迅速萎缩, 到晚石炭世末中秦岭地区海盆消失, 而南秦岭只在镇安—旬阳一带存在局限海盆。综上所述, 东秦岭造山带加里东期造山运动不仅影响北秦岭地区, 且中—南秦岭带的整个秦岭造山带发生强烈造山变形作用, 其与印支期陆内叠覆造山运动构成东秦岭带两个主构造期运动。上述加里东期造山特征与南祁连—欧龙布鲁克地块—柴北缘加里东造山特征一致, 说明加里东造山作用影响范围较为广泛, 东从秦岭一直延伸至祁连—柴北缘地区, 构成一个巨型加里东造山带。

5 结论

(1) 东秦岭地区泥盆系与下伏加里东褶皱基底地层呈高角度不整合(局部微角度不整合)接触关系, 证实不仅仅北秦岭受东秦岭加里东期造山运动影响, 且中—南秦岭带也发生强烈褶皱造山作用。

(2) 结合锆石 SHRIMP U-Pb 和古生物资料, 笔者认为角度不整合夹持于下志留统梅子垭组和下泥盆统西岔河组之间“志留系红层”形成时代为中一晚志留世(<435.8~455 Ma), 其为东秦岭加里东期造山运动形成的前陆盆地前缘沉积响应。

(3) 东秦岭加里东期沉积—构造演化过程为: 晚奥陶世—早志留世梅子垭期(S_1m), 俯冲增生造山阶段, 秦岭洋向北发生俯冲作用形成北秦岭陆缘弧, 扬子板块北缘由于前隆(forebulge)作用最先褶皱隆升成陆, 最终扬子板块与华北板块沿商—丹缝合带发生陆—陆碰撞造山, 使秦岭洋海水逐渐全部退出,

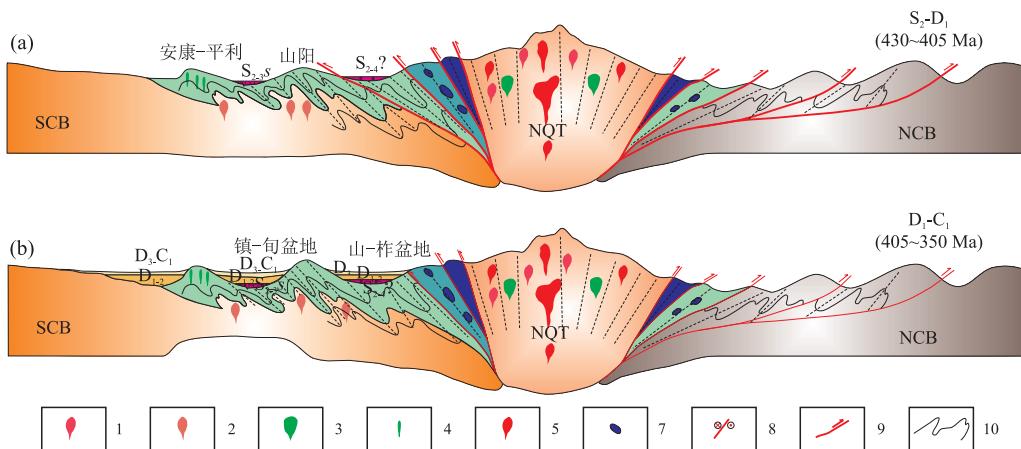


图 13 东秦岭晚古生代沉积盆地沉积—构造演化过程

Fig. 13 Sedimentary-tectonic evolution process of the Late Paleozoic sedimentary basin, eastern Qinling orogenic belt

SCB. 扬子板块(华南板块); NCB. 中一朝板块(华北板块); NQT. 北秦岭带; 1. 北秦岭带新元古代早期岩浆岩(1000~900 Ma, 牛角山); 2. 南秦岭带新元古代中期岩浆岩(700~850 Ma, 小磨岭—板板山—陡岭); 3. 北秦岭早古生代岛弧基性岩浆岩(534~442 Ma); 4. 南秦岭带早古生代晚期辉绿岩墙群(439~431 Ma, 大巴山); 5. 北秦岭早古生代岛弧花岗质岩浆岩; 7. 蛇绿混杂岩; 8. 走滑挤压性质断裂; 9. 逆冲断裂; 10. 褶皱造山作用

整个东秦岭造山带隆升成陆; 中—晚志留世($<435.8\sim455$ Ma)前陆盆地碰撞造山阶段, 表现在中秦岭南缘沉积巨厚磨拉石沉积和南秦岭前陆盆地前缘沉积的“志留系红层”; 早泥盆世早期西岔河期($D_{1,x}$)之后, 后碰撞伸展古特提斯陆壳海盆地阶段, 特提斯洋海水由西至东进入东秦岭地区, 在南秦岭镇安—板岩断裂以南的局限地区形成加里东褶皱基底上的伸展海盆, 至中—晚泥盆世(星红铺组($D_{3,x}$)沉积时期), 伸展海盆继续扩大逐渐向北海侵超覆到中秦岭东江口一小磨岭—山阳—陡岭古隆起和北秦岭造山带之上, 从而达到最大海侵面。

致谢:感谢西北大学董云鹏教授, 陕西地调院李海平教授级高级工程师和中国地质科学院地质研究所牛宝贵研究员在野外地质调查方面和成文给予本研究的大力帮助; 以及评审专家和编辑部老师对稿件提出了建设性的修改意见, 对改进文章质量起了重要作用, 在此一并表示感谢!

References

- Cui, J. T., Han, F. L., Zhang, S. H., et al., 2011. North Qinling Luohansi Rock Group SHRIMP U-Pb Zircon Age and Its Tectonic Significance. *Northernwestern Geology*, 44(4): 8–14 (in Chinese with English abstract).
- Cui, Z. L., Sun, Y., Wang, X. L., 1996. A Discovery of Radiolaria from Danfeng Ophiolites, North Qinling and Its Tectonic Significance. *Chinese Science Bulletin*, 41(11): 916–919. <https://doi.org/10.1007/BF02181072>
- Chen, L. Y., Liu, X. C., Qu, W., et al., 2014. U-Pb Zircon Ages and Geochemistry of the Wuguan Complex in the Qinling Orogen, Central China; Implications for the Late Paleozoic Tectonic Evolution between the Sino-Korean and Yangtze Cratons. *Lithos*, 192 – 195: 192 – 207. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.01.014>
- Dong, Y. P., Liu, X. M., Neubauer, F., et al., 2013. Timing of Paleozoic Amalgamation between the North China and South China Blocks: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Ages. *Tectonophysics*, 586: 173 – 191. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.11.018>
- Dong, Y. P., Santosh, M., 2016. Tectonic Architecture and Multiple Orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China. *Gondwana Research*, 29(1): 1 – 40. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.06.009>
- Dong, Y. P., Zhang, G. W., Neubauer, F., et al., 2011. Tectonic Evolution of the Qinling Orogen, China: Review and Synthesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(3): 213 – 237. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.03.002>
- Du, D. H., et al., 1986. Research of the Devonian System of Qin-Ba Region in the Shaanxi Province. Xi'an Jiaotong University Press, Xi'an (in Chinese).
- He, Y., Zhao, Y. J., Zhang, W. X., et al., 2018. Zircon U-Pb Ages of a Felsic Vein in Ultrahigh Pressure Eclogite from North Qinling Terrane and Their Geological Implications. *Earth Science*, 43(2): 389 – 400 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.597>
- Huang, J. Q., Ren, J. S., Jiang, C. F., et al., 1977. An Outline of the Tectonic Characteristics of China. *Acta Geologica Sinica*, 51(2): 117 – 135 (in Chinese with English abstract).
- Hsu, K., Wang, Q. C., Li, J. L., et al., 1987. Tectonic Evolution of Qinling Mountains, China. *Eclogae Geologicae*

- Helvetiae, 80(3):735—752.
- Jiang, X. J., 2013. The Study of Sedimentary Characteristic and Tectonic Setting in Eastern Qinling Orogenic Belt (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Li, H. K., Lu, S. N., Chen, Z. H., et al., 2003. Zircon U-Pb Geochronology of Rift-Type Volcanic Rocks of the Yaolinghe Group in the South Qinling Orogen. *Geological Bulletin of China*, 22(10):775—781 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. H., Li, S. G., Pei, X. Z., et al., 2007. Geochemistry and Zircon SHRIMP U-Pb Ages of the Guanzizhen Ophiolite Complex, the Western Qinling Orogen, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11):2836—2844 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Yang, J. S., Pei, X. Z., et al., 2012. A Model for Multi-Stage of the Early Palaeozoic Danfeng Ophiolite in Qinling Orogen Belt: From Arc to Inter-Arc Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 28(6):1896—1914 (in Chinese with English abstract).
- Ling, W. L., Ren, B. F., Duan, R. C., et al., 2007. Zircon U-Pb Isotopic Chronology of the Wudangshan Group, Yao-linghe Group and Basic Intrusive Rocks in South Qinling and Its Geological Significance. *Chinese Science Bulletin*, 52(12):1445—1456 (in Chinese).
- Liu, R. Y., Niu, B. G., He, Z. J., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Eastern Pan of the Xiaomaoling Composite Intrusives in Zhashui Area, Shaanxi, China. *Geological Bulletin of China*, 30(2):31—43 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. N., Li, H. K., Chen, Z. H., 2003. Characteristics, Sequence and Ages of Neoproterozoic Thermo-Tectonic Events between Tarim and Yangzi Blocks——A Hypothesis of Yangzi-Tarim Connection. *Earth Science Frontiers*, 10(4):321—326 (in Chinese with English abstract).
- Mattauer, M., Matte, P., Malavieille, J., et al., 1985. Tectonics of the Qinling Belt: Build-Up and Evolution of Eastern Asia. *Nature*, 317(6037):496—500. <https://doi.org/10.1038/317496a0>
- Meng, Q. R., Mei, Z. C., Yu, Z. P., et al., 1995. A Discovered Devonian Land in the Northern Margin of the Qinling Plate. *Chinese Science Bulletin*, 40(3):254—256 (in Chinese).
- Meng, Q. R., Zhang, G. W., 2000. Geologic Framework and Tectonic Evolution of the Qinling Orogen, Central China. *Tectonophysics*, 323(3—4):183—196. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(00\)00106-2](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(00)00106-2)
- Niu, B. G., He, Z. J., Ren, J. S., et al., 2006. SHRIMP U-Pb Ages of Zircons from the Intrusions in the Western Douling-Xiaomaoling Uplift and Their Geological Significances. *Geological Review*, 52(6):826—835 (in Chinese with English abstract).
- Qu, H. J., Mei, Z. C., Cui, Z. L., et al., 2002. Depositional Systems and Palaeogeographic Evolution of the Devonian in Zhen'an Basin of South Qinling. *Journal of Palaeogeography*, 4(1):36—42 (in Chinese with English abstract).
- Sengör, A. M. C., 1985. Geology: East Asian Tectonic Collage. *Nature*, 318(6041):16—17. <https://doi.org/10.1038/318016a0>
- Ren, J. S., Jiang, C. F., Zhang, Z. K., 1980. Geotectonic Evolution of China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Ren, J. S., Wang, Z. X., Chen, B. W., et al., 1999. The Tectonics of China from a Global View—A Guide to the Tectonic Map of China and Adjacent Regions. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, Q. C., Sun, S., Li, J. L., et al., 1989. The Tectonic Evolution of the Qinling Mountains Belt. *Chinese Journal of Geology*, 24(2):129—142 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. R., Hua, H., Sun, Y., 1995. A Study on Microfossils of the Erlangping Group in Wantan Area Xixia County, Henan Provience. *Jounal of Northwest University (Natural Since Edition)*, 25(4):353—358 (in Chinese with English abstract).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Li, X. M., et al., 2008. Petrogenesis of the Yaolinghe Group, Yunxi Group, Wudangshan Group Volcanic Rocks and Basic Dyke Swarms from Eastern Part of the South Qinling Mountains. *Northwestern Geology*, 41(3):1—29 (in Chinese with English abstract).
- Yan, Q. R., Chen, J. L., Wang, Z. Q., et al., 2007. Geochemical Characteristics, SHRIMP Age and Geological Significance of Pale-Intrusive Rocks in the Pleistocene La-va of Xiaowangjian, North Qinling. *Science in China (Series D)*, 37(10):1301—1313 (in Chinese).
- Yan, Z., Wang, Z. Q., Chen, J. L., et al., 2009. Geochemistry and SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Amphibolites from the Danfeng Group in the Wuguan Area, North Qinling Terrane and Their Tectonic Significance. *Acta Geologica Sinica*, 83(11):1633—1646 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S. N., 1985. The Evolution of Qinling Intercontinental Rift System in Paleozoic. *Earth Science*, 10(4):53—62 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Y. Z., Li, H. P., 1991. The Geological Significance and Sedimentary Characteristics of the Devonian in South-eastern Shanyang County, Shanxi Province. *Northwest ern Geology*, 24(1):5—10 (in Chinese).
- Zhang, E. P., Niu, D. W., Huo, Y. G., et al., 1993. The Outline of Regional Geological Tectonic Feature in the Qin-

- ling-Dabashan Mountain and Adjacent Region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, G. W., 1991. A Discussion on Basic Features of Tectonic Development of Lithosphere of the Qinling Belt. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 21(2): 78—85 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Zhang, B. R., Yuan, X. C., et al., 2001. The Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, S. M., Jiang, G. L., Liu, K. F., et al., 2014. Evolution of Neoproterozoic-Mesozoic Sedimentary Basins in Qinling-Dabie Orogenic Belt. *Earth Science*, 39(8): 1185—1199 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2014.103>
- Zhang, Z. Q., Zhang, G. W., Tang, S. H., et al., 2002. Isotope Geochronology of the Metamorphic Strata in Southern Qinling Mountain. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhu, Y. X., Wang, L. X., Ma, C. Q., et al., 2018. Geochronology, Geochemistry and Sr-Nd-Pb Isotopic Study of the Wulong Flower-Like Glomerophyric Diorite Porphyry (Central China): Implications for Tectonic Evolution of Eastern Qinling. *Journal of Earth Science*, 29(5): 1203—1218. <https://doi.org/10.1007/s12583-018-0878-1>
- 群及基性侵入岩群锆石 U-Pb 同位素年代学及其地质意义. 科学通报, 52(12): 1445—1456.
- 刘仁燕,牛宝贵,和政军,等,2011.陕西柞水地区小茅岭复式岩体东段 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 地质通报, 30(2): 31—43.
- 陆松年,李怀坤,陈志宏,2003.塔里木与扬子新元古代热—构造事件特征、序列和时代—扬子与塔里木连接(YZ-TAR)假设. 地学前缘, 10(4): 321—326.
- 孟庆任,梅志超,于在平,等,1995.秦岭板块北缘一个消失了的泥盆纪古陆. 科学通报, 40(3): 254—256.
- 牛宝贵,和政军,任纪舜,等,2006.秦岭地区陡岭—小茅岭隆起带西段几个岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义. 地质论评, 52(6): 826—835.
- 屈红军,梅志超,崔智林,等,2002.南秦岭镇安盆地泥盆纪沉积体系与古地理演化. 古地理学报, 4(1): 36—42.
- 任纪舜,姜春发,张正坤,1980.中国大地构造及其演化. 北京:科学出版社.
- 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等,1999.从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明. 北京:地质出版社.
- 王清晨,孙枢,李继亮,1989.秦岭的大地构造演化. 地质科学, 24(2): 129—142.
- 王学仁,华洪,孙勇,1995.河南西峡湾潭地区二郎坪群微体化石研究. 西北大学学报(自然科学版), 25(4): 353—358.
- 夏林圻,夏祖春,李向民,等,2008.南秦岭东段耀岭河群、陨西群、武当山群火山岩和基性岩墙群岩石成因. 西北地质, 41(3): 1—29.
- 闫全人,陈隽璐,王宗起,等,2007.北秦岭小王洞枕状熔岩中淡色侵入岩的地球化学特征、SHRIMP 年龄及地质意义. 中国科学(D辑), 37(10): 1301—1313.
- 闫臻,王宗起,陈隽璐,等,2009.北秦岭武关地区丹凤群斜长角闪岩地球化学特征、锆石 SHRIMP 测年及其构造意义. 地质学报, 83(11): 1633—1646.
- 杨森楠,1985.秦岭古生代陆间裂谷系的演化. 地球科学, 10(4): 53—62.
- 杨应章,李海平,1991.陕西山阳东南一带泥盆系的沉积特征及地质意义. 西北地质, 24(1): 5—10.
- 张二朋,牛道韫,霍有光,1993.秦巴及邻区地质构造特征概论. 北京:地质出版社.
- 张国伟,1991.试论秦岭造山带岩石圈构造演化基本特征. 西北大学学报, 21(2): 78—85.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,等,2001.秦岭造山带与大陆动力学. 北京:科学出版社.
- 张思敏,姜高磊,柳坤峰,等,2014.秦岭一大别新元古代—中生代沉积盆地演化. 地球科学, 39(8): 1185—1199.
- 张宗清,张国伟,唐索寒,2002.南秦岭变质地层同位素年代学. 北京:地质出版社.

附中文参考文献

- 崔建堂,韩芳林,张拴厚,等,2011.北秦岭罗汉寺岩群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地质意义. 西北地质, 44(4): 8—14.
- 杜定汉,等,1986.陕西秦巴地区泥盆系研究. 西安:西安交通大学出版社.
- 何宇,赵宇洁,张文祥,等,2018.北秦岭超高压榴辉岩中长英质脉体的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球科学, 43(2): 389—400.
- 黄汲清,任纪舜,姜春发,等,1977.中国大地构造基本轮廓. 地质学报, 51(2): 117—135.
- 江小均,2013.东秦岭泥盆系沉积特征和构造背景研究(博士学位论文).北京:中国地质科学院.
- 李怀坤,陆松年,陈志宏,等,2003.南秦岭耀岭河群裂谷型火山岩锆石 U-Pb 年代学. 地质通报, 22(10): 775—781.
- 李王晔,李曙光,裴先治,等,2007.西秦岭关子镇蛇绿混杂岩的地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. 岩石学报, 23(11): 2836—2844.
- 李源,杨经绥,裴先治,等,2012.秦岭造山带早古生代蛇绿岩的多阶段演化:从岛弧到弧间盆地. 岩石学报, 28(6): 1896—1914.
- 凌文黎,任邦方,段瑞春,等,2007.南秦岭武当山群、耀岭河