

四川九寨沟地区泥盆—三叠系多重地层划分对比及沉积环境

彭 东^{1,2} 谢云喜² 王明光² 吴树通²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 四川地矿局区域地质调查队, 四川 双流 610213)

提要:位于青藏高原东缘四川盆地接壤处的四川九寨沟地区发育了总厚 6 000 m 以上的碳酸盐岩,通过 1:5 万区域地质调查和一系列专项调查,将该区内岩石地层划分为 9 个岩组。生物地层划分了 3 个珊瑚组合带,3 个腕足组合带,1 个腕足顶峰带,2 个双壳顶峰带以及有孔虫组合带和顶峰带各 1 个。生态地层研究划分了两个生态群落。根据地球化学元素特征划分了 11 个地球化学段。研究了地层的常量元素和碳同位素特征。对碳酸盐岩进行了微相分析。综合各项沉积标志进行了沉积环境判别,其中岷河组沉积环境最为特殊,属于碳酸盐岩和陆源碎屑的混合沉积体系。

关键词:九寨沟;地层;多重划分对比;沉积环境

中图分类号:P534.44~51 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)05-1013-10

著名的世界自然遗产、中国国家地质公园四川九寨沟发育于泥盆纪—三叠纪碳酸盐岩地层上,独特的地质、大地构造背景造就了九寨沟的独特地质景观。九寨沟发育于青藏高原东缘与四川盆地结合部的摩天岭地块上^[1],地层区划为南秦岭—大别山地层区摩天岭分区九寨沟小区^[2],其地层与四周的玛多—马尔康地层区金川小区迥然不同。小区内为稳定型沉积,层序连续,古生物化石丰富,总厚大于 6 196.2 m。九寨沟口为荷叶断裂带,发育特殊岩石地层单位—塔藏岩组(塔藏构造混杂岩)^[3~4]。

1996—2000 年间,针对“地质背景对旅游景观、区域生态系统的制约”这一重要课题,国土资源部下达给四川地矿局九寨沟、则查哇等 4 幅 1:5 万区域生态地质调查,取得了丰硕的成果。之后于 2001—2004 年间又先后在此开展了地质遗迹和地质公园调查评价、九寨沟水循环系统研究等一系列工作。笔者对九寨沟地区的地层进行了岩石地层、生物地层、层序地层、化学地层、年代地层等(表 1)多重划分和对比研究,表 1 中地层厚度均指最大厚度。

1 岩石地层

九寨沟小区出露岩石地层单位 9 个岩组,其中划分了 6

个岩段。地层间均为整合接触。古生代各组主要是正常海相灰岩,化石丰富,仅底部当多组为成分成熟度和结构成熟度均高的石英砂岩夹石英质砾岩。中部叠山组一段内夹少量粉砂质板岩。三叠系则出现较多白云岩,化石稀少。岩石地层序列及岩性特征见表 1。

2 生物地层

九寨沟生物化石数量丰富,门类较多。计有珊瑚、腕足类、双壳类、有孔虫、腹足类、层孔虫、苔藓、植物、牙形刺、孢子等 11 个门类,尤以前 5 类较富集。根据生物化石的分布特征划分出下列生物地层单位(表 1)。

2.1 珊瑚类生物地层

(1) *Caninia—Syringopora* 组合带

对应于益哇沟组上部—岷河组中部,为珊瑚组合带。主要分子有:*Caninia cornucopiae ateles*, *C. vigilans* Reed, *C. sp.*, *Beichuanophyllum?* sp., *Diphyphyllum statangense* Yü, *Pseudozaphrentoides* sp., *Pseudouralinia* sp., *Neozaphrentis* sp., *Kassinella* sp., *Zaphrentites stereoseptata* Wu et Zang, *Syringopora distans* Fischer, *S. multitabulata* Lin 等。化石以单体的皱纹珊瑚与丛状复体型的横板珊瑚密切共生为特征,反

收稿日期:2005-10-31;改回日期:2006-01-26

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1996(86)),四川省地矿局生态地质专题研究项目(1997(7))及九寨沟国家地质公园项目联合资助。

作者简介:彭东,男,1969 年生,高级工程师,博士生,从事区域地质矿产、环境地质工作;E-mail: Peng_dongxin@163.com。

表 1 多重地层划分对比

Table 1 Multiple stratigraphic classification and correlation of the Jiuzhaigou areas

地层区划	年代层		岩石地层		岩 性 特 征	生物地层及生态群落	层序	体系域	沉积环境	化学地层		
	系	统	组	段								
摩 天 岭 地 层 分 区 九 寨 沟 小 区	第 四 系	全新统			Qh: Qh ^{al} 冲积砂砾层; Qh ^{pl} 洪积角砾层; Qh ^{cl} 崩积角砾岩块; Qh ^{al} 钙华; Qh ^{sal} 残坡积砾泥层; Qh ^l 沼泽淤泥堆积	腕足类: 珊瑚: 群 落: 1. <i>Cyrtospirifer</i> 顶峰带; 2. <i>Martiniella</i> — <i>Eochoriatites</i> 组合带; 3. <i>Grandispirifer</i> — <i>Striatifera</i> 组合带; 4. <i>Uncinunellina</i> — <i>Oldhamina</i> 组合带 腕足类: 珊瑚: 群 落: 1. <i>Claraia</i> 顶峰带; 2. <i>Unionites</i> 顶峰带 有孔虫: 1. <i>Palaeotextularia</i> — <i>Geinitzia</i> 组合带; 2. <i>Parafusulina</i> 顶峰带 有孔虫: 群 落: 1. <i>Kionophyllum</i> — <i>Carcinophyllum</i> 组合带; 2. <i>Amandophyllum</i> — <i>Dibunophyllum</i> 组合带; 3. <i>Amandophyllum</i> — <i>Dibunophyllum</i> 组合带; 群 落: 1. <i>Spiriferida</i> 底栖群落; 群 落: 2. <i>Caninia</i>	1 2 3 4 5 6	HST TST SMST HST TST HST TST SMST HST TST SMST	河流湖泊冰川洼地等 浅海咸化泻湖潮坪 陆棚上斜坡 台地边缘 局限海 陆棚斜坡 潮间带—潮下带 潮间带 无障碍海岸 障壁海岸 浅海 浅海滨岸	F ₁₁ F ₁₀ F ₉ F ₈ F ₇ F ₆ F ₅ F ₄ F ₃ F ₂ F ₁		
					更新统						中统	祁让沟组
		下统	红星岩组	灰、深灰色白云岩、砂屑砾屑白云岩夹少量灰岩。厚 387.9 m								
		三 叠 系	中统	下统	罗让沟组						灰、深灰、紫红色泥质粉晶灰岩、硅质灰岩、砾屑灰岩。厚 259.1 m	
	上统										叠山组	二段 灰、浅灰色微晶灰岩、鲕粒灰岩、角砾状灰岩、泥晶藻屑灰岩。厚 197.2 m
	一段 灰色泥灰岩夹灰黑—黑色变质粉砂岩、板岩。厚 111.6 m											
	下统										大关山组	二段 灰、深灰色燧石灰岩、粉砂质生物碎屑灰岩。厚 197.2 m
		一段 浅灰—灰白色结晶灰岩、生物碎屑灰岩。底部夹鲕粒、豆粒砾屑灰岩。厚 310.8 m										
	石 炭 系	中统	下统	岷河组	二段 灰、深灰色生物碎屑灰岩、白云质灰岩偶夹燧石灰岩。顶部夹黄褐、灰白色变质石英砂岩。厚 1111.1 m							
					一段 灰、深灰色生物碎屑灰岩与含钙质绢云母板岩大套互层。厚 490.4 m							
					上统						益哇沟组	深灰、灰黑色生物碎屑灰岩、含燧石灰岩夹少量砾屑灰岩。厚 689.7 m
					下吾拉组							深灰、灰黑色泥质生物碎屑灰岩夹钙质板岩。未见底。厚 337 m
下统	当多组	灰、深灰色中厚层、块状砾岩、含砾岩屑砂岩、石英岩。未见底。厚大于 560 m										

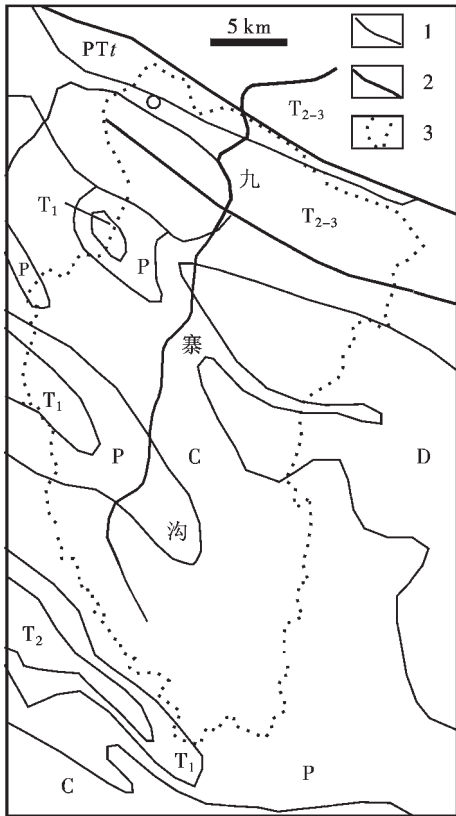


图 1 九寨沟地质略图

D—泥盆系;C—石炭系;P—二叠系;T₁—下三叠统;
T₂—中三叠统;PTt—塔藏岩组;T₂₋₃—西康群;
1—地层界线;2—断裂;3—研究区范围

Fig.1 Geological sketch map of Jiuzhaigou.

D—Devonian;C—Carboniferous;P—Permian;T₁—Lower Triassic;
T₂—Middle Triassic;PTt—Tazang Formation-complex;T₂₋₃—Xikang
Group;1—Stratigraphic boundary;2—Fault;3—Area of study

映一种独特的珊瑚海环境。*Caninia cornucopiae ateles* 与新地岛艾特层所产 *Canina aff. cornucopiae* 相当接近,且被佟正祥^[9] 作为邵东阶的带化石。其他化石则有较长时限,根据化石总体面貌时限为早石炭世。

1994 年范影年^[9] 在九寨沟扎如沟剖面上建立有 *Kassinella-Molophyllum-Siphonophylloides* 珊瑚组合带,大致相当于本组合带下部。*Kassinella-Molophyllum-Siphonophylloides* 组合带内的 *Kassinella*、*Molophyllum* 两属在中国尚属首次发现,说明横向上九寨沟地区由北向南生物化石有趋于特异的趋势。

(2) *Kionophyllum-Carcinophyllum* 组合带

对应于岷河组二段中—上部,为珊瑚组合带。主要分子有:*Kionophyllum (Darwasophyllum) jiuzhaigouense* Fan, *Carcinophyllum irregulare majiaobaense* Fan, *Melanophyllum sp.*, *Lonsdaleia crassiconus* M'coy 等。

在九寨沟扎如沟剖面上范影年^[9] 建有 *Carcinophyllum-Kionophyllum* 珊瑚组合带,总体面貌与本带一致,仅命名属的相对含量有差别,属地层的横向变化。组合带分子与威宁组中晚石炭世早期的同名带基本一致。*Kionophyllum* 一属在川东区广泛分布,是九寨沟地层更接近东部扬子区,而与西部造山带不同的化石证据。研究区本组合带层位略偏低,时限为早石炭世晚期—晚石炭世早期。

(3) *Amandophyllum-Dibunophyllum* 组合带

对应于大关山组一段,为珊瑚组合带。主要分子有:*Amandophyllum symmetricum*, A.sp., *Dibunophyllum yui* Chi, *Kionophyllum sp.*, *K.irregulare* Fan 等。本带为九寨沟地区独有的珊瑚组合带,根据主要化石时代,组合带时限为晚石炭世晚期。

2.2 腕足类生物地层

(1) *Cyrtospirifer* 顶峰带

对应于岷河组一段底部,为腕足类顶峰带。带内 *Cyrtospirifer* 属高度发育,化石分异度低(*Cyrtospirifer* 属占采集化石总数的 95% 以上)。主要化石分子为 *Cyrtospirifer sinensis* Grabau, C. sp. 等,共生分子有 *Athyris sp.* *Cyrtospirifer* 在九寨沟地层小区内常与早石炭世初期的 *Composita communis* 等共生,具有泥盆纪向石炭纪过渡的性质,在研究区根据地层对比,时限为早石炭世早期。

(2) *Martiniella-Eochoritites* 组合带

对应于岷河组一段中—上部,为腕足类组合带,位于 *Cyrtospirifer* 顶峰带之上。主要化石有:*Martiniella chinglungensis* Chu, *Eochoritites?* sp., *Echinoconchus subelegans* (Thomas), *Schuchertella sp.*, "*Ptodus*" *kinlingensis* Chu, *Ptychomaletoechia kinlingensis* (Chu), *P. panderi* (Sem et Moell) 等。本带与侯鸿飞^[8] 建立的 *Martiniella elongata-Eochorititeschui* 组合带基本一致。时限为早石炭世晚期。

(3) *Gigantoproductus-Striatifera* 组合带

对应于岷河组二段,为腕足类组合带。主要发育于九寨沟信扎一带,卡真沟一带尖灭。主要分子有:*Gigantoproductus superior* (Jan), *Striatifera striata* (Fischer), S.? sp., *Delepineia transversa* Yang, *Kusbassicus sokol*, *Chonetes sp.*, *C. ischimicus* 等。本带与侯鸿飞^[8] 在大塘阶所建腕足类组合基本一致,时限为早石炭世晚期。

(4) *Uncinunellina-Oldhamina* 组合带

对应于叠山组一段中部—二段底部,为腕足类组合带。主要分子有:*Uncinunellina sp.*, *U.? sp.*, *Oldhamina sp.*, *Pugnax sp.* 等。本带为九寨沟地区特有生物组合。组合带内化石均为形态较特异的品种,可推测其主要为营穴居生活,一般存在于潮汐带和海底富有泥沙的环境。与沉积相分析的此时环境水体较浅的结论吻合。*Oldhamina* 为晚二叠世标准化石。时代属晚二叠世无疑。

2.3 双壳类生物地层

(1) *Claraia* 顶峰带

对应于罗让沟组中部,为双壳类生物地层。主要化石有: *Claraia cocentrica* Yabe, *C.griesbachi* Bittner, *C.?* sp., 共生分子有 *Myophoria (Neoschizodua) laevigata* Ziethen, *Entolium discites* Schlotheim 等。

带内 *Claraia cocentrica* 较少见, *C.griesbachi* 则多见于三叠纪广泛分布的 *Claraia wangi* 延限带内。从岩性来看,九寨沟此时也属于比较特殊的地区,因此本顶峰带反映了地方特色。时限为早三叠世。

(2) *Unionites* 顶峰带

对应于罗让沟组上部。化石分子有: *Unionites guizhouensis*, *U. sp.*, *U.?* sp.等。

地层序列中本带层位高于 *Claraia* 顶峰带,有演替关系,与其他地区对比,难以找到相似的生物地层,也为地方性生物地层单位。可能代表环境趋于闭塞,水体变浅,底栖双壳在数量上超过了深海表生-底栖双壳。时限为早三叠世。

2.4 有孔虫类生物地层

(1) *Palaeotextularia*-*Geinitzina* 组合带

对应于大关山组一段,为瓣类生物组合带。主要分子有: *Palaeotextularia sp.*, *Geinitzina sp.*, *G.tcherdynjevi* K. M. Maclay, *Nedosaria sp.*, *Climacammina sp.*, *Deckerella tenuissima* Reytlinger, *Padangia sp.*等。

这一生物地层面貌既与四川东部,也与川西、藏东地区差别较大,是本区特有的。这一时期,九寨沟以北荷叶断裂带已开始活动,裂谷带已开始拉张^[3],生物地层的区别可能是构造环境变迁的反应。根据化石时代,组合带时限为早二叠世。

(2) *Parafusulina* 顶峰带

对应于大关山组底部,为瓣类生物等顶峰带。主要分子有: *Parafusulina akasakensis* Deprat, *P. sp.*, 共生分子有 *Pseudoschwagerina sp.*。生物地层面貌同样与其他地区差别较大,原因同上。本顶峰带时代为早二叠世早期。

3 生态地层

九寨沟发育的地层中部分层位古生物化石丰富,保存完整,对生态地层学研究很有利。根据生态地层学划分原理,以化石群落为划分依据,划分有 *Spiriferida* 底栖群落和 *Caninia* 群落两个生态层。

3.1 *Spiriferida* 底栖群落

对比为下吾拉组。群落内主要分子为腕足类。化石产出于深灰色灰岩中。以目命名(石燕贝目)。

化石主要有: *Grandispirifer*, *Chonetes*, *Cyrtospirifer*, *Dictyoclostus*, *Mucrospirifer*, *Spinulicosta*, *Camarotoechia* 等。地层中化石以背壳或腹壳着底,并以后者为主,平行或微斜交层面。化石保存极好,甚至连 *Mucrospirifer* 属尖细的翼尖也未受损。埋藏密度约 10 cm² 内 1~2 枚,密集成层。以化石翼尖

为测量基准,一般为 2~3 cm,最大可达 5 cm。岩石中普遍见有黄铁矿微晶,呈集合体出现。也偶见鲕粒,高度对称,具有多圈同心层,应为钙质潮坪上往复浪的产物,未经长距离搬运即沉积于盆地内。

群落内生物以具宽翼展的石燕贝类腕足高度发育,其他类型稀少为明显特征。薄片中还见有一仅 1.8 mm 的小个体腕足,壳厚,保存完整,应为适应环境的生态变异类型。

综合各方面生态资料,可恢复出群落古生境如下:

群落内分子营底栖固着一半固着生活,其独特的石燕贝类宽阔的翼展弥补了不发育的肉茎的功能,在较宁静的环境条件下可自在地繁殖生衍。黄铁矿的出现说明水体中氧逸度不高,沉积物中则更低而显还原环境。故生活条件应为潟湖,水体呈滞流较封闭状态,生存条件不佳,故而群落内生物属种单调。但另一方面恶劣的生存环境抑制了其他生物,天敌少,遂致本群落中对生存环境和基底类型适应性较强的类型一枝独秀,“人丁”兴旺,死亡后遗体群集,成为化石层。

表 2 九寨沟及邻区泥盆纪—早三叠世地层层序对比
Table 2 Stratigraphic correlation of the Devonian to Lower Triassic in Jiuzhaigou and its adjacent areas

地质年代	川西藏东地区 ^[2]	上扬子地区 ^[2]	九寨沟(研究区)	
T ₁	波茨沟组 (PTb)	铜街子组 (Tt)	祁让沟组 (Tqr)	
		飞仙关组 (Tf)	红星岩组 (Th)	塔藏岩组 (PTr)
P ₂	大石包组 (Pd)	龙潭组 (Plt)	叠山组 (Pds)	
				一段
P ₁	三道桥组 (Ps)	茅口组 (Pm)	大关山组 (CPd)	二段
		栖霞组 (Pq)		
		梁山组 (Pl)		
C ₂	西沟组 (Cx)	黄龙组 (Ch)		一段
C ₁	雪宝顶组 (DCx)	总长沟组 (Cz)	岷河组 (Cm)	二段
		马角坝组 (Cm)	益哇沟组 (Dcy)	一段
		茅坝组 (DCm)		
D ₃	危关组 (Dw)	沙窝子组 (Ds)	下吾拉组 (Dx)	
D ₂		观雾山 (Dgw)	当多组 (Dd)	
		养马坝组 (Dy)		
D ₁		甘溪组 (Dg)		

3.2 Caninia 群落

对比为益哇沟组—岷河组。群落内主要分子为珊瑚 *Caninia* 一属。

化石产出岩性为生物碎屑灰岩。共生化石包括腕足 *Cyrtospirifer* 及海百合、腹足、介形虫、海参骨板等。其生活类型既有底栖也有浮游生活者,珊瑚则既有单体型也有复体型。化石保存完好,圆锥状单体珊瑚可见始端锥顶(该标本现由九寨沟游人中心地质陈列馆展出)。岩石中陆源碎屑含量极低。

根据各项古生态特征,恢复群落生境为温暖清洁的浅海碳酸盐沉积环境,光线充足,氧循环良好,能量中等,可能已形成生物礁障壁,平均水深大致在 20 m 左右,间歇的风暴浪可能对海底沉积物有影响。

在群落演替过程中,本群落取代了上述的 *Spiriferda* 底栖群落,其海水深度的变化形式为海平面相对上升,反映了一次海侵过程。

4 年代地层对比(表 2)

4.1 泥盆系

下—中泥盆统对比为当多组。所产腕足类化石: *Emanuella* sp., *Atrypa desquamata* mut. alpha G., *Atrypa cf. desquamata* mut. alpha G., *Eospiriferina* sp. 及珊瑚等均为中泥盆世化石,此外还采有 *Orientospirifer?* sp. 等化石,两相结合,对比为下—中泥盆统。

中泥盆统对比为下吾拉组。所产腕足类、珊瑚类化石均以中泥盆统为主,仅少量属种可延续至上泥盆统。区内北部孢子化石时代为中、晚泥盆世,南部所产孢子化石可与区域上早、中泥盆世孢子化石相比较。因此下吾拉组主体对比为中泥盆统,需注意其具穿时性。这与地层清理^[4]认识一致。

4.2 上泥盆统一下石炭统

对比为益哇沟组。组内既有大量晚泥盆世腕足类化石,也有大量早石炭世的珊瑚和少量腕足类化石,因此总体对比为上泥盆统一下石炭统。益哇沟组为一跨纪的地层单位。

4.3 石炭系

对比为岷河组。其中岷河组一段仅含早石炭世腕足类、珊瑚类化石,对比为下石炭统。岷河组二段开始出现中石炭统腕足类及珊瑚类化石,上部产有 *Amygdalophylloides* sp., *Sestrophyllum* sp. 等晚石炭世化石,故岷河组整体对比为下石炭统一上石炭统下部。

4.4 上石炭统一下二叠统

对比为岷河组二段—大关山组一段底部。所采珊瑚与腕足类、瓣类化石既有晚石炭世分子,也包含早二叠世成分,划分对比为上石炭统一下二叠统无疑。

4.5 上二叠统

对比为叠山组。剖面及填图中均未获可靠化石,但相邻图幅九寨沟、则查哇、红星岩幅内均有较多化石证据,对比仍

是比较可靠的。

4.6 下三叠统

对比为罗让沟组和红星岩组。本次工作未获化石。根据 1:20 万区域地质调查采获的双壳类化石有: *Claraia cocentrica* Yabe, *Claraia griesbachi* Bittner, *Claraia* sp., *Unionites guizhouensis* 等,对比为下三叠统。

5 层序地层划分

通过对九寨沟地区地层中各岩性接触界面,沉积体系等的观察、分析研究及判别,自下而上划分了 6 个二级层序(表 1),层序均为 II 型层序,由陆架边缘楔体系域(或海侵体系域)—海侵面(最大海侵面)—高水位体系域组成。

岷河组内层序划分较细,这是因为其时海平面变化频繁,形成了独特的混合沉积体系,具有较大的研究意义^[9]。红星岩组、祁让沟组出露局限资料较少,未划分层序。整个层序凝缩段表现不明显。

表 3 地球化学地层单位特征

Table 3 Characteristics of geochemical stratigraphic units

岩石 地层	化学 地层 单位	元素平均含量/10 ⁻⁶							
		Ti	Cu	Mn	Pb	B	Ni	V	Sr
祁让沟组	F11	126	1.5	55	1.1	3.5	<1	<1	38
红星岩组	F10	150	1.5	100	1	2	2	<1	300
罗让沟组	F9	250	3	67	1	2.8	2.7	2.2	267
	F8	167	1	50	1	2.8	2.7	2.2	267
	F7	294	2.5	94	1.4	3.2	2.8	3.9	138
叠山组 二段	F6	99	2	54	1	1.9	<1	<1	97
叠山组 一段	F5	233	2	68	1	1.6	<1	<1	117
大关山组 二段	F4	62	2	68	1	1.6	<1	<1	195
大关山组 一段	F3	250	1	40	2	5	3	3.5	30
岷河组	F2	105	2	87	1	2.2	<1	<1	94
益哇沟组									
当多组	F1	212	3	50	2	1.8	1	2	48

注:由四川地矿局区域地质调查队实验室半定量光谱分析。

6 地球化学地层

地球化学地层划分选用九寨沟内从泥盆系当多组至中三叠统祁让沟组共 87 件样品(代表 87 个统计层)的半定量光谱成果用最优化分割法进行。所选用的元素是成果值大于测试仪器报出值且对区内环境评价有指导意义的元素。经筛选,选用了 Ti, Ca, Mn, Pb, B, Ni, V, Sr 等 8 个元素。

试验了两种分割方案。当对 87 件样品全程分割时最多分割为 7 段;第二种是分别对古生界和三叠系进行分割。经试算,古生界分割为 6 段、三叠系分割为 5 段时分割点与全程分割重合最好。

全程分割中,大关山组二段以下层位内不出现分割点,分割点集中分布于叠山组一段及罗让沟组内,而其他层位元素变化较均匀,无法分割。只有当对古生界和三叠系再进行更细分割时,才出现了新的分割点。结合地质特征,共将区内地层分割成 11 段,各化学地层段特征如下(表 3):

F1 段:对比为当多组。岩性为变质石英砂岩夹少量灰岩。元素组合特点是高 Ti, Cu, Pb, V, Ni, 低 Mn, B, Sr。元素地层划分标志与野外岩石地层标志均十分明显。

F2 段:对比为下吾拉组、益哇沟组、岷河组和大关山组一段底部。岩性为灰岩及细碎屑岩互层,岩石韵律性较强,故平均化学成分较单调。本段具较高 Cu, B, 低 Ti, Mn, Pb, Ni, V, Sr 的特点。

F3 段:对比为大关山组一段变质砂岩段。岩性特征明显。具高 Ti, B, Ni, V, Pb, 低 Cu, Mn, Sr 的特点。

F4 段:对比为大关山组及叠山组一段底部。岩性为较纯的灰岩。具高 Sr, Cu, 低 Ti, Mn, Pb, B, Ni, V 的特点。

F5 段:对比为叠山组一段中上部。岩性为钙质泥岩、粘板岩。具高 Ti, Cu, Mn, B, Sr, Ni, 低 Pb, V 的特点。

F6 段:对比为叠山组二段。岩性为较纯的灰岩。具高 Sr, Cu, 低 Ti, Mn, Pb, B, Ni, V 的特点。

F7 段:对比为罗让沟组下中部。岩性为生物碎屑灰岩夹少量白云岩。具高 Ti, Cu, B, Ni, V, Sr, 低 Mn, Pb 的特点。

F8 段:对比为罗让沟组上部。岩性为白云岩,底部出现灰岩。具高 B, 低 Ti, Cu, Mn, Pb, Ni, V, Sr 的特点。

F9 段:对比为罗让沟组顶部至红星岩组底部。岩性为灰

岩。具高 Ti, Cu, B, Ni, V, Sr, 低 Mn, Pb 的特点。

F10 段:对比为红星岩组下部。岩性为生物碎屑灰岩,含少量白云质。具高 Sr, Ni, 中等 Mn, 低 Ti, Cu, Pb, B, V 的特点。

F11 段:对比为红星岩组中部—祁让沟组。岩性为白云岩夹少量砂屑灰岩。具高 B, 低 Ti, Cu, Mn, Pb, Ni, V, Sr 的特征。

所划分的 11 段化学地层与岩石地层比较,其碎屑岩与碳酸盐岩划分位置较一致,元素含量差异与岩性对比较好。而碳酸盐岩内部,两种地层划分则有明显差异。岩石地层划分主要采用野外宏观标志,人为性较大,而化学地层划分采用客观指标、数学方法,有助于更精细的地层研究。

从以上划分结果来看,对碳酸盐环境下的沉积演化来说,元素的迁移变化比岩性变化更敏感。因而地球化学地层划分对沉积环境恢复有独特的意义。

7 沉积环境分析

7.1 岩石化学及微量元素标志

益哇沟组、岷河组二段岩石 CaO 均接近理论值(CaO 56.03%, CO₂ 43.97%^[10])。MgO 及其他成分含量极低,为质地纯净的灰岩。岷河组一段岩石 CaO 含量为 48.41%, 含有 5.02% 的 SiO₂ 及大于 1% 的 Al、Fe, 为含硅质灰岩,沉积环境异于前者(表 4)。

当多组中变质石英砂岩 SiO₂ 含量高达 96.48%~97.28%, lg(SiO₂/Al₂O₃) 为 2.1~2.3, lg(Na₂O/K₂O) 小于 -1.4, 为化学分类中的石英砂屑岩^[11]。具有特殊的沉积环境。据 Bhatia^[12] 的砂砾岩化学成分判别函数,岩石为被动陆缘产物。

镁铝比值(m=100×MgO/Al₂O₃)可指示沉积岩的亲海性或亲陆性。灰岩中 m 值为 51~210, 为水体盐度 >30.63% 的海水沉积环境^[13]。

各岩石地层单位的 Sr/Ba 比值(表 5)在一定范围内变化。淡水中 Sr/Ba 值小于 1, 海水中 Sr/Ba 值大于 1, 且随远离海岸增大^[13]。自当多组—益哇沟组水逐渐加深,岷河组一段时水较浅,而岷河组一段—大关山组一段时水再度加深,在大关山组沉积时达最大值,之后逐渐变浅并小幅波动,直至祁让沟组沉积时,最后海水退出区内。这与沉积相分析推断的古沉积环境一致性很好,尤以当多组、大关山组一段、罗让沟组、红星岩组、祁让沟组吻合程度最高。

表 4 沉积岩中常量元素分析

Table 4 Major element analysis of sedimentary rocks

岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	烧失
变质石英砂岩	96.48	0.10	0.83	0.48	0.19	0.05	0.14	0.55	0.10	0.25	0.05	0.78	0.11	0.44
变质石英砂岩	96.96	0.05	0.45	0.45	0.07	0.01	0.05	0.62	0.00	0.15	0.03	0.15	0.05	0.23
变质石英砂岩	97.28	0.05	0.45	0.55	0.12	0.01	0.00	0.14	0.00	0.15	0.05	0.31	0.05	0.37
亮晶介屑灰岩	0.44	0.07	0.19	0.00	0.49	0.00	0.40	53.58	0.41	0.15	0.13	0.90	0.10	43.07
亮晶生屑灰岩	5.02	0.10	1.07	0.81	1.78	0.32	0.55	48.41	0.46	0.15	0.13	1.13	0.10	39.86
结晶灰岩	1.18	0.04	0.57	0.09	0.19	0.04	0.00	53.24	0.41	0.15	0.04	0.76	0.03	42.94

注:由国土资源部宜昌地质矿产研究所分析。

表 5 地层中 Sr/Ba 比值

Table 5 Sr/Rb ratios of strata

地 层	Sr/Ba	地 层	Sr/Ba
祁让沟组	3.33	大关山组一段	11.5
红星岩组	3.52	岷河组二段	5.25
罗让沟组	6.82	岷河组一段	4.7
叠山组二段	6.88	益哇沟组	5.1
叠山组一段	6.77	下吾拉组	4.8
大关山组二段	8.71	当多组	2.1

注:由四川地矿局区域地质调查队实验室分析,半定量光谱。

表 6 九寨沟灰岩中碳氧同位素值

Table 6 Carbon and oxygen isotopic data for limestone in Jiuzhaigou

序 号	岩 性	层 位	δC^{13} (PDB)	δO^{18} (PDB)	δO^{18} (SMOW)
1	灰岩	祁让沟组 (Tqr)	0.912	-15.222	15.168
2	生物碎屑 灰岩	红星岩组 (Th)	-0.441	-7.088	23.553
3	白云岩	罗让沟组 (Tlr)	4.684	-2.684	28.093
4	藻灰岩	罗让沟组 (Tlr)	2.907	-7.364	23.268
5	鲕粒灰岩	大关山组 (CPd ¹)	0.048	-8.380	22.221
6	生物碎屑 灰岩	岷河组 (Cm ²)	4.633	-3.442	27.311
7	生物碎屑 灰岩	岷河组 (Cm ¹)	-0.007	-6.192	24.476
8	生物碎屑 灰岩	益哇沟组 (Dcy)	1.017	-7.364	23.268

注:由国土资源部宜昌地质矿产研究所分析。

如前所述,微量元素对沉积环境反映很敏感。由地球化学地层划分可见,在沉积环境渐变过程中,化学元素分异不明显,但当环境突变时,如海水由深变浅或由浅变深时反映极灵敏,因此在大关山组一段、罗让沟组、红星岩组、祁让沟组内出现分割点,而下吾拉组、益哇沟组、岷河组等沉积时环境只是逐渐变开阔,总的来看深度变化不大,故据地球化学元素仅分割成 1 层。

事实上,当以最优分割法将 Sr/Ba 值分为 6 段时,其分点与地层最优分割是相当一致的。说明所选元素的确能反映沉积环境的变化而非是偶然因素导致元素差异。尤其是 F7 段(罗让沟组底部),古生态分析为较深水,元素则出现 Ni、Cu、Pb、Sr、Mn 齐高,否定了笼统认为九寨沟地区三叠系水浅的认识^[4],效果颇佳。

由于岩石重结晶,氧同位素(表 6)已不能反映成岩环

境。 $\delta^{13}C$ 为 $-0.441\text{‰} \sim -4.684\text{‰}$,属海相灰岩正常范围^[5]。

九寨沟盆地位于塔藏构造带与雪山断裂带之间,构造上称摩天岭地块,地层分区属九寨沟小区,出露地层为太阳顶组、白龙江群、当多组、下吾拉组、益哇沟组、岷和组、大关山组、叠山组、罗让沟组、红星岩组、祁让沟组等。盆地主要处于被动大陆边缘海岸带沉积环境,地层中古生物化石丰富,为沉积环境分析提供了丰富的资料。

7.2 碳酸盐微相特征

现代成因岩石学的微相研究是研究沉积环境的具体特点,揭示岩石形成作用的过程,进而为宏观沉积学研究(岩相古地理、层序地层学、事件地层学等)提供准确、细微的可靠证据^[5]。九寨沟地区自泥盆系益哇沟组以上出现集中的碳酸盐岩,为碳酸盐微相分析提供了有利条件,弥补了灰岩宏观沉积标志较少的缺陷。

(1) 益哇沟组

本组底部岩石薄片生物碎屑以双壳、蓝绿藻屑、介形虫、腹足类等环境适应性强的类型为主,少含或不含腕足类、棘皮等窄盐性生物,生物碎屑粒度不均匀,介屑无定向,为灰泥—化石结构类型中的多粒度基底型^[6]。岩石由泥晶胶结,并含少量褐铁矿(由黄铁矿转变而来)。露头中上部层中腕足类化石集中产出。

中部薄片中生物化石为单粒度支架型^[6],粒度 0.3~0.5 mm。生物碎屑成分以腕足、介形虫、双壳为主,少量棘皮。含 25% 的砂、砾屑,成分主要为泥晶藻灰岩。胶结物中亮晶方解石 10%,泥晶方解石 5%。露头中产出较多石燕类腕足化石,未见珊瑚化石。上部岩石面貌与中、下部迥然不同,剖面上几乎每层均有化石,且出现了较多珊瑚化石与鲕化石碎屑。还有碳酸盐砂屑(假鲕粒)出现,为间异粒化石结构^[6],是研究区唯一的异粒—化石结构类型。

(2) 岷河组一段

组内下部岩石薄片中可见含较多砾屑,为内碎屑,成分与基质基本一致,但生物碎屑较多,且主要为藻屑。生物碎屑仍以环境适应性强的腹足类、介形虫为主,腕足类、棘皮少见。为单粒度基底型^[6]。但露头中可见局部层中有珊瑚产出。

中部岩石薄片中含大量腕足、棘皮化石,生物碎屑较破碎。具冲刷构造及水平层理,且含石英砂屑,亮晶方解石胶结物相间出现,证明环境呈频繁的韵律变化。为多粒度基底型^[6]。

上部岩石薄片中含珊瑚、腕足、双壳、藻屑等生物,化石破碎。有 15% 的砂屑。岩石由泥晶方解石胶结。露头中则产较多珊瑚及腕足化石,发育砂质页岩夹层。为单粒度支架型。

(3) 岷河组二段

岩石薄片中生物碎屑较少,但富含棘皮动物。含砂、砾屑,岩石由亮晶胶结。露头中产大量珊瑚、腕足、鲕化石。为单粒度基底型。

7.3 沉积环境综合分析

(1) 早—中泥盆世沉积环境

此期沉积物当多组为粗碎屑岩夹砂岩、灰岩的岩石组

合。其中下部砾岩杂基含量低,分选较好,磨圆中等,成分非单一,具定向排列性,应为滨海平原地带河流冲积成因。上部砂岩具有良好的成分成熟度和结构成熟度,灰岩夹层中产丰富的窄盐性生物如珊瑚、棘皮碎片、层孔虫等化石。因此本组沉积时环境总体为滨浅海,从下至上为一大海侵层序。

(2)中泥盆世沉积环境

沉积物为下吾拉组,其岩性表现为有规律的韵律变化,反映在生物面貌上,珊瑚化石间隔出现。总体环境为浅海,水位频繁升降,环境处于开放与闭塞相间变化中。由于水浅近岸,故海水周期性的升降对环境制约性很强,在岩石记录中反映很显著。

(3)晚泥盆世—早石炭世早期沉积环境

物质记录为益哇沟组。早期环境较闭塞,水体能量较低,碳酸盐微相研究反映生物组合以广盐性、环境适应性强的品种如双壳类、介形虫、腹足类等为主,岩石由泥晶胶结,且有黄铁矿出现。环境对比为碳酸盐台地前斜坡末端(陆棚内缘坡底相^[15])。

中期环境有所改变,生物组合中腕足类含量增加,腕足类化石主要为石燕类,未见珊瑚化石,表明可能具有较硬的底质,水体较浑浊。胶结物中出现了亮晶方解石,说明水体能量略高于下部。

与早期、中期相比晚期环境有了较大的改变,产丰富的珊瑚、腕足类、筳化石,含碳酸盐砂屑。此时区内为温暖、清洁的浅海,氧循环良好,生物多样性强,水体能量较高。

(4)早石炭世晚期沉积环境

早石炭世晚期物质记录为岷河组二段,此时环境又趋闭塞,生物化石主要为环境适应性强的腹足类、介形虫等,腕足类、棘皮少见。岩石中砾屑含量较高,成分以泥晶藻屑灰岩为主。但环境变化迅速,海水快速进退,时而出现温暖清洁的浅水环境,产珊瑚化石。

稍晚,岩石记录中生物组合由大量腕足、棘皮,化石普遍破碎,具冲刷构造及水平层理,且含石英砂屑。亮晶胶结物相间出现,说明环境在振荡变化中总体变浅。沉积相对比为浅海陆棚相。

早石炭世晚期末,水深与前相近,但灰岩中富产珊瑚,说明碳酸盐沉积期仍为温暖清洁的浅海环境,环境能量中等。

(5)晚石炭世沉积环境

岷河组二段顶部夹石英砂岩,石英砂屑成分成熟度及结构成熟度均很高,可见平行层理。灰岩中产大量珊瑚、腕足类、筳类化石,而岩石薄片生物碎屑较少,仅见棘皮动物。富含砂、砾屑,岩石由亮晶胶结。环境应为开阔、温暖、清洁的浅海环境,沉积环境能量极强,可大致相当于近滨潮间带,灰岩中生物遗体多被打碎,故岩石薄片生物碎屑含量不高,但却以窄盐性的棘皮为主,具单粒度基底型结构,含大量砂砾屑,岩石由亮晶胶结,灰泥即细小生物碎屑已被冲刷殆尽。但环境中障壁(可能以生物障壁为主)发育,障壁后相对低能环境中抗浪性强的珊瑚、腕足类等仍得以保存。

(6)晚石炭世—早二叠世沉积环境

物质记录为大关山组一段。岩石中生物碎屑以筳、棘皮、腕足类、藻屑为主,普遍含内碎屑,胶结物中亮晶方解石占有较大比例,近滨海滩上磨圆极好的石英砂也堆积其中。说明本阶段早期环境能量较高,为正常盐度、温暖清洁的浅海环境。生物障壁发育,形成结构特殊的钙质石英砂岩(成因上实为石英杂砂岩),岩石为结构成熟度极高的石英砂被灰泥杂基基底胶结而成,其成因公认是石英砂在“高能浅滩环境形成、障壁后低能环境堆积”^[15]。

大关山组二段下、中部生物碎屑组合为藻屑、有孔虫、棘皮、介屑等,岩石中常含团粒,出现鸟眼构造及原生示底构造。生物化石破碎严重,岩石由亮晶胶结;上部生物碎屑以软体动物、藻屑为主,多具泥晶套,岩石由泥晶胶结。说明本阶段晚期沉积环境为浅水潮间带,局部位于平均高潮线之上;末期为局限台地(泻湖及局限海湾),水深较先前为深。

(7)晚二叠世沉积环境

物质记录为叠山组。早期特征是沉积物中结晶灰岩、粉屑灰岩与粉砂质板岩大套互层,环境仍为局限台地,障壁发育程度频繁变化不定,导致泥砂质定期注入盆地。晚期环境重趋开放,沉积物为亮晶鲕粒灰岩,亮晶生物碎屑灰岩,生物碎屑以有孔虫、藻屑、棘皮为主,含内碎屑。相环境为碳酸盐台地边缘,呈温暖浅水,中等搅动态势。

(8)早三叠世沉积环境

早三叠世沉积物罗让沟组,早期发生一次海侵,海水加深,环境为陆棚边缘上斜坡,沉积物中含砾屑、薄皮鲕。化石为弱固着型双壳类,水体能量较低,沉积速率受上部物源区控制,沉积缓慢时沉积物得以充分氧化而显紫红色。

晚期水体在振荡中总体趋浅,形成白云岩成岩环境(浅海咸化泻湖、潮坪等)发育鸟眼构造,化石稀少。沉积物为红星岩组。

(9)中三叠世沉积环境

中三叠世物质记录为祁让沟组。本期在开始曾发生短暂海侵,之后,海水水体极浅,始终处于潮坪及咸化泻湖沉积环境,沉积物以白云岩为主。

双壳类化石由成都理工大学苟宗海教授鉴定,腕足类化石由成都理工大学赵兵教授鉴定,珊瑚和有孔虫类化石由四川地矿局区域地质调查队张涛高级工程师鉴定。谨表谢忱。

参考文献(References):

- [1] 四川省地质矿产局.四川省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. Regional Geology of Sichuan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991 (in Chinese with English abstract).
- [2] 四川省地质矿产局.四川省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1995.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province.

- Stratigraphy (Lithostratic) of Sichuan Province [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press,1995(in Chinese with English abstract).
- [3] 曹俊, 彭东, 郭建强, 等. 塔藏构造混杂岩带特征 [J]. 中国地质, 2002,29(4):387~391.
- Cao Jun, Peng dong, Guo Jianqiang, et al. Characteristics of the Tazang tectonic melange belt[J]. Geology in China, 2002, 29(4):387~391(in Chinese with English abstract).
- [4] 杨恒书, 赖旭龙, 杨逢清, 等. 四川隆康、塔藏含火山岩地层时代新证据[J]. 中国区域地质, 1995,(1):71~75.
- Yang Hengshu, Lai Xulong, Yang Fengqing, et al. New evidence of volcanic strata in Tazang, Sichuan Province[J]. Regional Geology of China, 1995,(1):71~75(in Chinese with English abstract).
- [5] 佟正祥, 王树碑, 陈继容. 四川西北部的岩关阶 [J]. 地层学杂志, 1985,9(4):283~292.
- Tong Zhengxiang, Wang Shubei, Chen Jirong. The Aikuanian Stage of northwestern Sichuan[J]. Journal of Stratigraphy, 1985,9(4):283~292(in Chinese with English abstract).
- [6] 范影年. 四川南坪县扎如沟早石炭世岩关期地层新资料[J]. 岩相古地理, 1994,14(3):10~17.
- Fan Yingnian. New data of Yanguan Stage of early Carboniferous in Zaru Vally, Nanping County, Sichuan Province [J]. Sedimentary Facies and Paleogeography, 1994, 14(3):10~17(in Chinese).
- [7] 彭东, 曹俊, 杨俊义, 等. 四川九寨沟地区黄土的初步研究[J]. 中国区域地质, 2001,20(4):359~365.
- Peng Dong, Cao Jun, Yang Junyi, et al. Study of loess in the Jiuzhaigou area, Sichuan [J]. Regional Geology of China, 2001, 20(4):359~365(in Chinese with English abstract).
- [8] 侯鸿飞. 四川龙门山地区泥盆纪地层古生物及沉积相[M]. 北京:地质出版社, 1988.
- Hou Hongfei. Devonian stratigraphy, paleontology and sedimentary facies in Longmenshan, Sichuan [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1988(in Chinese).
- [9] 江茂生, 沙庆安. 碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展[J]. 地球科学进展, 1995,10(6):551~554.
- Jiang Maosheng, Sha Qingan. Reseach advances in the mixed siliciclastic-carbonate seddimentary systems [J]. Advances in Earth Sciences, 1995,10(6):551~554(in Chinese with English abstract).
- [10] 潘兆橹主编. 结晶学及矿物学(下册)[M]. 北京:地质出版社, 1985.
- Pan Zhaolu (eds.). Crystallography and Mineralogy (2nd) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985(in Chinese).
- [11] Pettijohn F J. Sedimentary rocks (Third edition) [M]. Harper & Row, 1975.
- [12] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstone[J]. J. Geol., 1983, Vol. 91.
- [13] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京:地质出版社, 1985.
- Liu Baojun, Zeng Yunfu. Bases and Methods of Sedimentary Facies and Paleogeography[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985 (in Chinese).
- [14] 中华人民共和国区域地质调查报告. 1:200 000 漳腊幅 (地质部分)[R]. 四川省地质局, 1978.
- Bureau of Geology of Sichuan Province. Regional Geology Report of People' Republic of China, 1:200 000 Zhangla Sheet(Geology) [R]. 1978(in Chinese).
- [15] 包洪平, 杨承运. 碳酸盐岩微相分析及其在岩相古地理研究中的意义[J]. 岩相古地理, 1999,19(6):59~64.
- Bao Hongping, Yang Chengyun. Microfacies analysis in carbonate rocks and its significance in the study of sedimentary facies and paleogeography [J]. Sedimentary Facies and Paleogeography, 1999, 19(6):59~64(in Chinese).
- [16] 余素玉. 化石碳酸盐微相[M]. 北京:地质出版社, 1989.
- Yu Suyu. Carbonate Microfacies of Fossil [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989(in Chinese).
- [17] 曾允孚, 夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1986.
- Zeng Yunfu, Xia Wenjie. Petrology of Sedimentary Rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986(in Chinese).

Multiple stratigraphic classification and correlation of the Devonian–Triassic in the Jiuzhaigou area, Sichuan, and its sedimentary environment

PENG Dong^{1,2}, XIE Yun-xi², WANG Ming-guang², WU Shu-tong²

(1. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*

2. *Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Shuangliu 610213, Sichuan, China)*

Abstract: A sequence of carbonate rocks with a total thickness of over 6000 m is developed in Jiuzhaigou in the border region between the eastern margin of the Qinghai–Tibet Plateau and Sichuan basin. Based on the 1:50000 regional geological survey and a series of special–subject surveys in this areas, nine formation–complexes are recognized in the lithostratigraphic context, and 3 coral assemblage–zones, 3 assemblage–zones and 1 acme–zone of brachiopods, 2 bivalve acme–zones and 1 assemblage–zones and 1 acme–zone of foraminifers are distinguished in the biostratigraphic context. In terms of ecostratigraphy, 2 communities are established. According to the characteristics of geochemical elements, 11 geochemical intervals are identified. In addition, the authors have studied the major element and carbon isotopic features and conducted microfacies analysis of carbonate rocks. Through integrating various sedimentary indicators, the authors have made discrimination of sedimentary environments, of which the sedimentary environment of the Minhe Formation is unique, belonging to a mixed carbonate and terrestrial clastic sedimentary system.

Key words: Jiuzhaigou; strata; multiple stratigraphic classification and correlation; sedimentary environment

About the first author: PENG Dong, male, born in 1969, senior engineer and Ph. D. candidate, majors in regional geology and mineral resources and environment geology; E-mail: peng_dongxin@163.com.