

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

塔里木盆地北部古生代层序地层系统

于炳松

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

内容提要 层序地层系统,本质上就是以各种不同级次的海平面变化所控制的不同级次的沉积层序为单位,在年代地层学格架中所建立起来的地层系统。本文以露头剖面的层序地层研究为主要依据,结合生物地层和地震地层的研究成果,在进行详细层序划分的基础上,在塔里木盆地北部古生代地层中建立起了由不同周期叠加的海平面变化所控制的不同级次的层序所组成的层序地层系统。通过生物地层和层序地层相结合的方法,厘定并标定了一系列重要地质界线的年龄,提高了该区地层划分的精度。

关键词 层序 层序地层系统 古生代 塔里木盆地北部

地层学的根本目的在于识别和排列有助于准确对比事件发生的先后顺序。从实用的观点出发,最好的地层对比要在不断变窄的时间限制内具有高度的复现能力。为了达到这种目的,识别和同时应用多种地层判别标准以达到最高的精确度是很重要的。层序地层学是通过识别由海平面升降周期性变化所产生的沉积特征来划分对比地层、定年和解释地质记录的新方法,它使地层划分和对比在方法上和精度上,得到了很大的发展。

层序地层体系,本质上就是以各种不同级次的层序为单位,在年代地层学格架中所建立起来的地层系统^[1]。沉积层序首先是在岩石地层剖面中识别出来的,之后通过沉积层序与古生物地层和(或)磁性地层的关系,将它们与线性年代标度间接地结合起来,以确立其年代地层的同一性。因此,层序年代地层系统是通过标准年代地层单位(阶)将年代和岩石两方面的资料有机地结合起来的。由此可见,层序年代地层工作首先是划分和识别不同级次的沉积层序;其次,对这些层序进行详细的生物地层和(或)磁性地层的研究,通过标准年代单位(阶)将不同级次的层序与不同周期的海平面变化联系起来,从而在年代地层学格架中建立起由不同周期叠加的海平面变化所控制的不同级次的层序所组成的层序地层系统。

1 塔里木盆地北部古生代层序划分

层序划分是层序地层研究的基础。正确识别不同级次的沉积层序是建立可靠的层序地层系统的先决条件。本次研究中,为了尽可能保证层序划分的准确性和可靠性,在对露头剖面进行层序划分时,除了依据详细的沉积学研究外,还充分利用了古生态学和地球化学证据。限于篇幅,本文仅以二叠系的一段地层为例,来说明层序划分的过程(图1)。

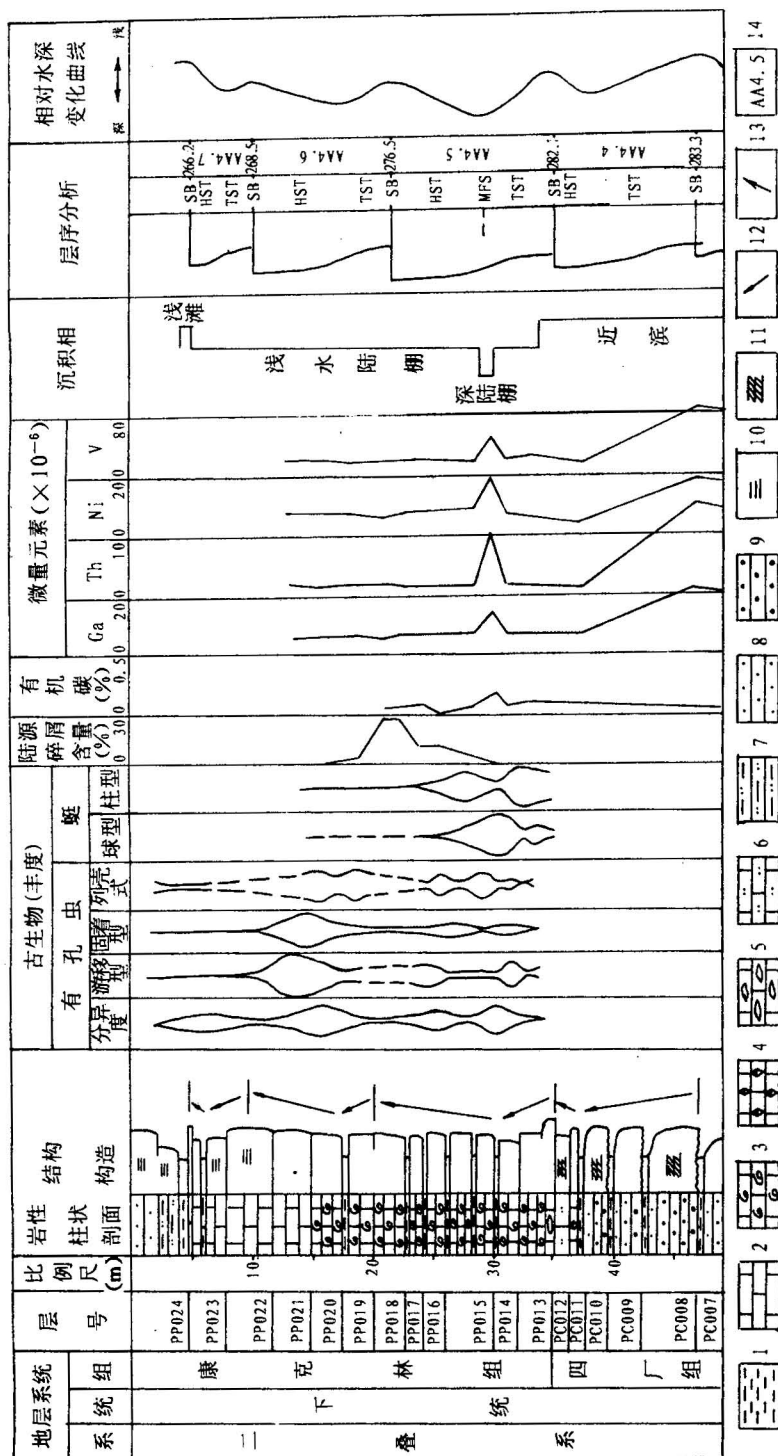


图 1 AA4.4—AA4.7 层序柱状剖面图

Fig. 1 The column of sequences AA4.4—AA4.7

1. 泥岩; 2. 微晶灰岩; 3. 微晶生物屑灰岩; 4. 微晶砂屑灰岩; 5. 砾屑灰岩; 6. 钙质泥岩; 7. 粉砂质泥岩; 8. 细砂岩; 9. 粗砂岩; 10. 水平层理; 11. 板状交错层理; 12. 退积型准层序组; 13. 进积型准层序组; 14. 层序及编号
1. Mudstone; 2. micrite; 3. bioclastic-micritic limestone; 4. micritic calcarenite; 5. calcirudite; 6. calcareous sandstone; 7. silty mudstone; 8. fine sandstone; 9. coarse sandstone; 10. horizontal bedding; 11. planar cross bedding; 12. retrogradational parasequence set; 13. progradational parasequence set; 14. sequence and its number

如图 1 所示,AA4.4 层序(PC008—PC012 层)的底界面为一具有明显陆上暴露侵蚀标志的 I 型层序界面。下部 PC008—PC010 层,由三个由下往上由粗变细的小旋回组成。旋回中砂岩粒度逐渐变细,钙质含量逐渐增加,每一由粗变细的小旋回的厚度也逐渐变薄,呈退积型,属海进体系域。从 PC010 层顶部的泥岩至 PC012 层,由泥岩向上变成含生物碎屑的砂屑灰岩,钙质砂岩,层厚增加,粒度变粗,呈进积型。属高水位体系域。PP013 层底部为一层含砂生物屑砾屑灰岩,与 PC012 层明显不同。砾屑灰岩之上变为富含蠕类的生物屑微晶灰岩,构成退积型沉积。在 PC012 与 PP013 层的界面上下,准层序的叠置方式发生了从进积到退积的变化,故判定为一层序界面。该界面上,虽可见微弱的冲刷现象,但没有明显的陆上暴露迹象,故属 II 型层序界面。

AA4.5 层序底界面位于 PC012 与 PP013 层之间,即为上述 AA4.4 层序的顶界面,属 I 型层序界面。该层序为一 I 型层序。

海进体系域包括 PP013—PP014 层。下部为含砂微晶砾屑灰岩、微晶生物屑砾屑灰岩,生物主要为棘皮类和苔藓虫,陆源碎屑含量占 20% 左右。向上变成微晶生物屑灰岩或生物屑微晶灰岩,生物颗粒以蠕为主,其次有腕足类、有孔虫、苔藓虫、介形虫、双壳类、腹足类、绿藻和海百合茎等。至 PP014 层顶部,为一层厚约 15cm 的灰黑、深灰色泥岩,含少量苔藓虫。从下往上,陆源碎屑含量逐渐减少,内碎屑粒度变小,含量减少,而生物颗粒含量增加,到 PP014 层上部,生物颗粒含量可达 70%,生物个体大。有孔虫分异度较下部明显增加。游移型有孔虫丰度增加,而固着型有孔虫丰度降低,蠕类化石中,球状个体丰度大增,而柱状、纺锤状个体丰度明显降低。化石大小混杂,无分选,保存完整,说明水动力条件较弱。岩层厚度从中厚层状逐渐减薄至中层状。上述特征说明其相对水深从下往上逐渐增加。微量元素及有机碳分析在 PP014 层顶部也出现明显的高峰值。至 PP015 层,又出现进积型准层序组,由此可见,PP014 层顶部页岩即为最大海泛面的位置。

高水位体系域由一系列前积型的准层序组所组成,每一准层序的下部为一层厚约 10cm 的深灰色泥岩,其上为薄—中层状或厚层状微晶生物屑灰岩或生物屑微晶灰岩。整个高水位体系域从下往上,生物颗粒含量逐渐减少(从 60% 减至 30%),上部出现核形石。岩层单层厚度逐渐增加(从 5—15cm 增至 50—100cm),陆源碎屑含量逐渐增加(从 1% 增至 30%)。呈现相对水深逐渐变浅的进积特征。

层序顶界面位于 PP018 与 PP019 层之间。从 PP015 层往上,至 PP018 层,微晶生物屑灰岩层的厚度逐渐增加(从 5—15cm 增至 50—100cm),准层序的叠置方式呈进积型。但从 PP018 层到 PP019 层,灰岩层厚度又明显变薄成薄层状(从 50—100cm 减至 1—3cm),准层序的叠置方式呈退积型。从生物特征来看,在该界面处,有孔虫丰度和分异度明显减少,而上下层位则明显增加。从陆源碎屑含量来看,在该界面处(PP018 层),陆源碎屑含量达最高(占 30%)。在其上下层位均逐渐减少(图 1)。综合这些特征,可判定 PP018 层与 PP019 层间为一层序界面。由于界面上没有明显的陆上暴露侵蚀的迹象,故属 II 型层序界面。

应用上述分析方法,我们对塔里木盆地北部古生代地层进行了详细的层序划分。在古生代露头剖面中,共识别出各种不同发育特征的层序 98 个^①。对于这些层序,通过详细的时限标定(方法见下文),其时间跨度主要在 0.8—8Ma 之间(仅两个层序的年龄达 10—11Ma),总体属

① 于炳松. 新疆塔里木盆地北部古生代层序地层及其沉积学研究. 中国地质大学(北京),博士学位论文. 1994.

三级层序。这些三级层序的组合,构成超层序(supersequence)。在上述剖面中,可识别出这类超层序 31 个,其时间跨度在 4—25Ma 之间。这些超层序的组合,构成超层序组(supersequence set)。上述地层中,共识别出超层序组 9 个,其时限在 17—55Ma 之间。从上述超层序和超层序组的时限来看,应属二级层序。这些二级层序的组合,构成更大级别的层序,称为巨层序(megasequence)。本区古生代地层中,识别出巨层序 4 个。其时限为 62—116Ma,属一级层序。不同级次层序的组合关系见表 1。

2 层序边界年代的标定

层序边界年代的标定,是层序地层研究的重要环节之一。我们在层序边界年龄的标定上,采用了生物地层和层序地层相结合的方法。首先将塔北露头剖面中的化石带与国际上的标准阶进行对比,再根据已经标定了年龄的国际标准阶^[2,3]来确定露头剖面中主要地质界面的年龄。塔北古生界化石带和代表分子与国际和中国标准阶的对比^①见表 1。在标定了主要地质界面的年龄后,离层序边界的年龄还相去甚远。为了进行进一步的深入研究,必须尽可能地标定露头剖面中各层序界面的年龄。为此,我们采取了如下方法:将由主要地质界线所限定的年龄段内的地层层序,与全球海平面变化周期进行对比,根据全球海平面变化曲线中下降拐点的年龄来反推我们露头剖面中层序边界的年龄。我们之所以用上述方法来标定层序边界的年龄,其主要依据有以下几点:

(1) 据地震剖面所作的塔里木盆地北部古生代的海岸上超曲线与全球海平面变化曲线十分相似,说明塔北古生代的海平面变化周期和频率,与全球海平面变化基本一致^②。

(2) 根据层序地层学的基本理论,一个层序被认为是在一个完整的海平面变化周期中形成的,因此,一个层序对应于海平面变化的一个相应的周期,层序边界与海平面变化曲线中的下降拐点相对应^[1]。

(3) 从塔北古生代露头剖面的层序划分结果来看,在连续的地层剖面段内,由物理学标准所限定的沉积层序的数量与全球海平面变化曲线中短周期(三级)的个数基本吻合,可进行对比^③。

因此,我们认为,上述方法是合理可行的。用上述方法所标定的塔北各级层序界面的年龄见表 1。

3 塔北古生代层序地层系统

在上述详细的层序划分和层序边界年代标定的基础上,我们以层序地层学基本理论为指导,根据由不同级次叠加的海平面周期性升降变化所控制的不同级次的沉积层序的组合关系,在塔北古生代地层中,建立起了一套统一的、以层序为基本单元的年代地层系统(表 1)。这套地层系统,可以在区域间甚至在全球范围内进行更高精度的地层对比。同时,通过研究不同级次层序的组合规律及三维展布特点,可帮助我们了解年代地层格架中岩石的相互关系。

① 曾学鲁等. 新疆塔里木盆地北部层序地层中的微体古生物学研究. 85—101—04—05—01 专题研究报告. 1994.

② 刘金辉. 塔里木盆地北部地震层序格架及三叠系沉积体系研究. 中国地质大学(北京)博士学位论文. 1993.

③ 于炳松. 新疆塔里木盆地北部古生代层序地层及其沉积学研究. 中国地质大学(北京)博士学位论文. 1994.

表 1a 塔里木盆地北部古生代层序地层系统(P₂)

年代 (Ma)	地层		时代		生物地层 化石带及代表分子	年龄 (Ma)	岩石地层 组	层序地层③			层序② 年龄 (Ma)	相对水深① 变化曲线 深 ← 浅 →	上超点① 变化曲线 升 → 降 ←
	世	统	国	中				巨层序	超层序	层序			
250 三叠纪	T ₁	特里斯坦巴瑟期	长兴期	<i>Paracalamites</i> sp. <i>Sphenophyllum</i> - <i>Calamites</i> - <i>Noeggerathioipsis</i> 组合	248	比尤勒包谷组	AB3	3.2	250.8				
		龙溪期	长兴期		253.4	沙井子组	AB2	2.4	258.2				
		卡皮丹期	李口期		260.2	开派兹雷组	AB1	1.7	265				
		沃德期	栖霞期		266.2	库普库兹满组	AA	4.1	276.5				
250-225 二叠纪	P ₂	空谷期	栖霞期	<i>Schwagerina cushmani</i> <i>Parmirian</i> 带 <i>Pseudofusulina</i> <i>Kobusioschwagerina</i> - <i>Kobusioschwagerinoides</i> 带 <i>Pseudoschwagerina leei</i> 带 <i>Triticites</i> 带(区外)	274.6 282.1 286 296.2	康克林组	AA4	2.2	282				
		阿丁斯克期	隆林期			丘达依沙依组	AA3	2.1	288				
		萨克马尔期	马平期			比京他乌组	AA2	1.5	296.2				
		阿莱尔期	小独山期			比京他乌组	AA1	1.1	320				
250-225 二叠纪	P ₂	卡西莫夫期	达拉期	<i>Fusulinella</i> - <i>Fusulina</i> 带 <i>Profusulinella</i> 带 <i>Eostaffella</i> - <i>Millerella</i> 带 <i>Eostaffella</i> - <i>Millerella</i> 带 <i>Dainella nibellii</i> 带	311 320 333	比京他乌组	KB5	5.3	322				
		莫斯科期	滑石板期			卡拉萨依组	KB4	4.2	325				
		巴什基尔期	德姆期				KB3	4.1	327.8				
		谢尔普霍夫期	大塘期				KB2	3.2	333				
250-225 二叠纪	P ₂	韦亮期	大塘期		352.2	卡拉萨依组	KB1	3.1	342.2				
		杜内期	岩关期	<i>Polygnathus symmetricus</i> - <i>Bispathodus</i> <i>Pseudosmochitina</i> <i>Verrucosporites</i> - <i>Punctosporites pusillus</i> - <i>Leiorhites</i> - <i>Laevigatosporites</i> 组合	358 360 367 375 380	巴桑组	KB5	5.6	368				
		法内期	锡矿山期			克孜尔塔格组	KB4	4.3	376				
		费拉斯期	余田桥期				KB3	4.1	381				
250-225 二叠纪	P ₂	吉维特期	东岗岭期		387	克孜尔塔格组	KB2	2.3	383				
		爱非尔期	应堂期	<i>Ozarkodina denckmanni</i> - <i>Trichonodella inconstans</i> - <i>T. symmetrica</i> <i>Galeaspis</i> - <i>Asiacanthus</i>	394 401 408	依木干他乌组	KB1	2.1	389				
		爱姆斯期	四排期				KA5	5.1	397				
		布拉格期	郁江期				KA4	4.3	401				
250-225 二叠纪	P ₂	洛霍考夫期	那高岭期			依木干他乌组	KA3	3.2	408				
			莲花山期				KA2	2.4	409				
							KA1	1.1					
							KA	2.1					

①曾学鲁等. 新疆塔里木盆地北部层序地层中的微体古生物学研究. 85-101-04-05-01 专题研究报告. 1994.

② 于炳松. 新疆塔里木盆地北部古生代层序地层及其沉积学研究. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 1994.

③刘金辉. 塔里木盆地北部地震层序格架及三叠系沉积体系研究. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 1993.

表 1b 塔里木盆地北部古生代层序地层系统 (P₂₁)Table 1b The sequence stratigraphic system of Paleozoic in Northern Tarim Basin (P₂₁)

年代 (Ma)	世	地 层 时 代	代 ①	生物地层 ④	年 ①	岩石地层	层序地层 ⑤	层序 ⑥	层序 ⑦	层序 ⑧	相对水深 ② 变化曲线	上起点 ③ 变化曲线
450	志留纪	多里世	妙高期		414	塔塔格组	TPB	TPB	TPB	TPB		
	志留纪	多里世	关底期	<i>Cingulochitina wronai</i>	421							
	志留纪	多里世	秀山期	<i>Sinacanthus</i>	428	柯坪塔格组	TPB	TPB	TPB	TPB		
	志留纪	多里世	白沙期	<i>Glyptograptus incertus</i>	433							
	志留纪	多里世	石牛栏期	<i>-G. alternis</i> 带	438							
	志留纪	多里世	龙马溪期	<i>Besselodus articus</i>	442	印干组	TPA	TPA	TPA	TPA		
	志留纪	多里世	五峰期	<i>Pseudodimacograptus sinuatus</i>	448							
	志留纪	多里世	临湘期	<i>Sinoceras chinense</i>	459	其浪组	TPA	TPA	TPA	TPA		
	志留纪	多里世	宝塔期	<i>Eoplacognathus jiangyeensis</i>	463.9	坎岭组	TPA	TPA	TPA	TPA		
	志留纪	多里世	庙坡期	<i>Nemagraptus gracilis</i>	472	萨干干组	TPA	TPA	TPA	TPA		
	志留纪	多里世	牯牛潭期	<i>Pterograptus elagans</i>	475	大湾沟组	TPA	TPA	TPA	TPA		
	志留纪	多里世	大湾期	<i>Didymograptus cf. murchisoni</i>	478	鹰山组	SC	SC	SC	SC		
	志留纪	多里世	红花园期	<i>Eoplacognathus foliaceus</i>	492							
	志留纪	多里世	两河口期	<i>Paroistodus originalis</i>	495	蓬莱坝组	SC	SC	SC	SC		
	志留纪	多里世	凤山期	<i>Paroistodus proteus</i>	505	下丘里塔格组	SC	SC	SC	SC		
	志留纪	多里世	长山期	<i>Scolopodus quadriplacatus</i>	513							
	志留纪	多里世	固山期	<i>Terodontus gracilis</i>	519	阿瓦塔格组	SB	SB	SB	SB		
	志留纪	多里世	张夏期	<i>Terodontus</i>	523							
	志留纪	多里世	徐庄期	<i>Hirsutodontus bulbosus</i>	531	沙依里克组	SA	SA	SA	SA		
	志留纪	多里世	毛庄期		534	吾松格组	SA	SA	SA	SA		
	志留纪	多里世	龙王庙期	<i>Chitidilla kunningaspis</i>	540							
	志留纪	多里世	沧浪铺期	<i>Redlichia paokannia</i>	555	肖尔布拉克组	SA	SA	SA	SA		
	志留纪	多里世	筇竹寺期	<i>Metaredlichnoides shizhudiscus</i>	560							
	志留纪	多里世	梅树村期	<i>Siphonochites circotheca</i>	570	玉尔吐斯组	SA	SA	SA	SA		
	志留纪	多里世			591							
500	志留纪	多里世										
550	志留纪	多里世										
550	志留纪	多里世										

①—③ 见表 1a 下方。

关于层序地层系统的命名,目前世界上还没有一个比较成熟的统一方案。现在,国际上已发表的层序地层表上采用的大多是 Sloss(1949)在研究北美克拉通时提出的一套命名系统^[4]。它将古生代地层划分为四个大的层序,对应于巨层序级,分别命名为 Sauk, Tippecanoe, Kaskaskia 和 Absaroka。对于巨层序内的超层序组,从下往上在巨层序名后加上 A, B, C 等来命名,如 Sauk A(简记为 SA)表示 Sauk 巨层序中最下面的一个二级超层序组。对于超层序组中超层序的命名,在超层序组的名后再加上数字 1, 2, 3 来表示其先后序列,如 SA1。对于三级层序,其命名是在超层序的基础上,后面再加 1, 2, 3 等来表示,其间用“.”号分开,如 SA1.1 表示 Sauk 巨层序下部第一个超层序组(SA)中第一个超层序(SA1)内的第一个三级层序。本文对塔里木盆地北部古生代层序地层系统的命名,也采用了上述的这套系统,这有以下两点原因:

(1) 通过地震剖面中上超点变化曲线的研究发现,塔里木盆地北部古生代的海平面变化规律,与全球海平面变化曲线基本吻合,说明了海平面变化的全球性。相应地,由这种全球性海平面变化所控制的沉积层序,也必然具有相应的变化和发育特征。因此,采用在 Sloss(1949)的命名基础上发展起来的这套层序地层系统,便于我们将塔里木盆地北部层序地层特征与全球性层序地层进行对比。

(2) 在塔里木盆地中,开展层序地层工作尚属首次,因此,在层序地层系统方面,没有任何前人的资料可以借鉴,而在 Sloss 的基础上发展起来的这套命名系统,目前在世界范围内已有一定的影响。故采用这套系统,可以避免不必要的混乱。

塔里木盆地北部古生代的层序地层系统及其与传统地层系统的对比关系见表 1。表中,通过生物地层和层序地层相结合的方法,对塔里木盆地北部古生代的地层界线和各级层序界面进行了年龄标定,并据此厘定了塔里木盆地北部古生代各组岩石地层的时代归属,提高了该区地层划分的精度。

笔者在撰写此文过程中,得到乐昌硕、曾学鲁、徐怀大教授及刘金辉博士的帮助和指导,在此表示衷心的感谢

参 考 文 献

- 1 威尔格斯 C K. 等. 层序地层学原理(海平面变化综合分析). 徐怀大等译. 北京:石油工业出版社,1993. 47—254 页.
- 2 Harland W B. 等. 地质年代表. 袁相国,姬再良,刘 椿译. 北京:地质出版社,1987.
- 3 王鸿祯等. 国际地层时代对比表. 北京:地质出版社,1990.
- 4 Sloss L L. Forty years of sequence stratigraphy. Geological Society of America Bulletin, 1988, 100(11): 1661—1665.

THE PALEOZOIC SEQUENCE STRATIGRAPHIC SYSTEM IN NORTHERN TARIM BASIN

Yu Bingsong

(Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang)

Abstract

Sequence stratigraphic system is a stratigraphic system constructed in the chronostratigraphic framework. The construction of this system depends on the depositional sequences with different ranks which are controlled by corresponding sea-level changes. Such a sequence stratigraphic system has been constructed for the first time in the Paleozoic strata in the northern part of the Tarim basin, which mainly depends on the study of outcrop sequence stratigraphy combined with the results of seismic stratigraphy and biostratigraphy. The system is composed of different ranks of sequences controlled by sea-level changes occurring in different periods, which enhances the precision of division and correlation of strata in the northern Tarim basin.

Key words: sequence, sequence stratigraphic system, Paleozoic, northern Tarim basin

作者简介

于炳松,男,生于1962年11月。1982年毕业于浙江省煤炭工业学校,1991年6月和1994年6月在中国地质大学(北京)先后获理学硕士、博士学位。现为中国科学院地球化学研究所博士后研究人员,主要从事沉积学、层序地层学和地球化学方面的研究。通讯处:贵阳市观水路73号中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室,邮政编码:550002。