

彭中勤, 王传尚, 李志宏, 等. 广西桂中坳陷东缘早石炭世斜坡相层序地层研究[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1503-1514.
Peng Zhongqin, Wang Chuanshang, Li Zhiong, et al. The Early Carboniferous sequence stratigraphy on the eastern margin of the Guizhong depression, Guangxi[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1503-1514(in Chinese with English abstract).

广西桂中坳陷东缘早石炭世斜坡相层序地层研究

彭中勤^{1,2} 王传尚¹ 李志宏¹ 王保忠¹

(1. 武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 本文以桂中坳陷东缘斜坡相区早石炭世象州崖脚、运江剖面为主要研究对象, 开展了桂中坳陷东缘斜坡相区早石炭世层序地层的划分和对比研究。根据斜坡相区三级层序的发育特点, 将巴平组划分为 5 个三级层序(CSQ1~5), 5 个三级层序构成石炭系下部的二级层序。斜坡相区与台地相区早石炭世层序地层的划分基本一致, 可实现相互对比。通过区内沉积层序的对比, 建立了桂中坳陷东缘层序地层格架, 探讨了该区下石炭统的海平面变化规律。

关键词: 广西桂中; 斜坡相区; 下石炭统; 层序地层

中图分类号: P535; P58 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)05-1503-12

1 引 言

层序地层学作为地球科学研究前沿之一, 最早由 Sloss^[1] 在 1950 年提出层序的概念, 20 世纪 70 年代, 以 Vail^[2] 为首的地质学家创立了地震层序地层学, 使得地层学的发展跃上了一个新的台阶, 源于被动大陆边缘海相盆地、以地震地层学为基础的新兴地层学分支学科——层序地层学是 70 年代末形成的, 其基本观点是地层单元的几何形态、沉积作用和岩相分布受构造沉降、海平面升降、沉积物供给和气候这 4 大因素的控制。随着盆地油气勘探与开发向更复杂和更深入的方向发展, 以 Cross^[3] 为核心的研究组提出了高分辨率层序地层分析理论和技术, 并取得了多方面的成果, 也存在着许多难以解决的问题, 在海相盆地研究中, 确定全球性海平面变化、不同级别层序的划分标志以及层序地层学术语体系与已形成规范的年代地层和岩石地层学术语体系的对应等方面都存在困难, 同

时在陆相含油气盆地和层序地层学研究也受到诸多严峻的考验^[4]。

目前, 关于层序界线的划分有多种方案: 以 Vail^[2] 为代表的经典层序界线, 以高水位体系域与低水位体系域或陆棚边缘体系域之间的不整合或与之相当的整合面作为层序的界面, 这种方案完全沿袭地震地层学的划分; 以 Galloway^[5] 为代表, 采用最大海泛面作为层序的界面; 以殷鸿福^[6] 和 Johnson 等^[7] 为代表, 以低水位体系域或陆棚边缘体系域与海进体系域之间的初始海泛面作为层序的界面, 认为以一个海平面升降周期中形成的海进-海退旋回地层作为一个层序更符合自然变化的节律; 王训练^[8] 认为以殷鸿福^[6] 和 Johnson 等^[7] 所主张的初始海泛面作为层序的边界更为优越、合理; 肖传桃等^[9] 在研究生物层序地层的界线也采用此方案。本文运用 Vail^[2] 为代表的经典层序界线对典型斜坡相区象州崖脚剖面的层序地层研究, 并通过不同相区层序

收稿日期: 2013-07-31; 改回日期: 2014-03-07

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011121104, 12120114053701)联合资助。

作者简介: 彭中勤, 男, 1981 年生, 助理研究员, 博士生, 主要从事构造地质学、区域地质调查研究; E-mail: pzhongqin@cgs.cn。

通讯作者: 王传尚, 男, 1969 年生, 研究员, 博士, 长期从事地层学与古生物学研究; E-mail: wangchuanshang@yahoo.com.cn。

地层对比研究,探讨桂中坳陷东缘下石炭统海平面的变化规律。

2 剖面简介

象州崖脚剖面位于桂中坳陷东缘,距象州县城西南约3 km的柳江河北岸(图1),是一条斜坡相的石炭纪巴平组剖面,地层出露齐全,且顶底界线清楚,底界以晚泥盆世五指山组浅灰色薄层状扁豆状灰岩的结束,巴平组土黄色薄层硅质泥岩夹钙质泥岩、硅质岩的出现为标志,二者之间为整合接触关系;顶部以晚石炭世大埔组灰白色块状砾屑白云岩的出现为标志,接触界面凸凹不平,二者呈平行不整合接触。

广西第七地质队区调分队曾实测过该剖面,其后,王瑞刚^[9]对该剖面开展了生物地层的研究工作,李志宏最近对该剖面的牙形石又做了进一步的研究(相关成果将另文发表)。根据前人^[9]和李志宏的最新资料,巴平组下部含 *Siphonodella duplicata*、*S. sandbergi*、*S. crenulata* 等带化石,其年代应归属杜内阶;中部含 *Scaliognathus anchoralis*,其年代仍属杜内阶;其上含菊石 *Nomismoceras* cf. *sp. irorbis*,

Merocanites (Merocanites) cf. *Subap plantus*,可归属维宪阶;顶部含 *Declinognathodus noduliferus*, *D. laterralis*,可确定其年代归属巴什基尔阶。因此,该剖面有很好的生物地层资料,可对沉积时限予以控制,是开展石炭纪世斜坡相区层序地层研究的理想剖面。

本文以斜坡相区的典型剖面—象州崖脚剖面和运江剖面为研究重点,进行层序地层划分,并结合典型的台地相区剖面——平塘卡洛剖面、恭城西岭乡挖沟剖面、永福永安剖面,探讨桂中坳陷东缘不同相区下石炭统层序地层的对比(图2~3)。

3 区域地质背景

广西桂中坳陷是广西中部的海西期坳陷,其北部与江南隆起为邻,西隔垭紫—都安断层与罗甸断坳、南盘江坳陷相接,东、南与桂林坳陷、大瑶山隆起相接,基底为下古生界(主要是寒武系)浅变质岩。自早泥盆世开始,沿钦州—防城一线自南向北出现了广泛的板内张裂活动,使包括桂中地区在内的广西大部分地区下沉为盆地,尤其是早泥盆世晚期到早石炭世的陆内扩张,形成了台地、台沟间列的被动大陆边缘盆地格局^[10-13]。

早石炭世早期,桂中坳陷区继承了晚泥盆世的古地理格局,自早泥盆世晚期以来,随着碳酸盐台地逐渐解体,逐渐出现开阔台地相带、斜坡相带和台沟相带的分异。不同相区的沉积特征相去甚远,造成不同相区地层对比存在极大困难。关于早石炭世层序地层的划分,目前也存在较大的分歧,有3个三级层序^[14-16]、5个三级层序^[17]等几种不同的划分意见。另据前人资料^[17-20],桂中坳陷东缘地层主要为泥盆系、石炭系,根据盖层封闭性综合分级评价为保存条件好,鉴于桂中坳陷下石炭统是页岩气的有利生气层,也是重要的勘探目的层。因此,抓住斜坡相区早石炭世层序地层划分的关键问题,开展桂中坳陷早石炭世层序地层划分与对比,不仅是基础地质研究的重要内容,也是页岩气资源勘探亟待解决的问题。

4 层序地层划分、对比

4.1 斜坡区早石炭世三级层序的划分

关于黔桂地区早石炭世三级层序的划分,前

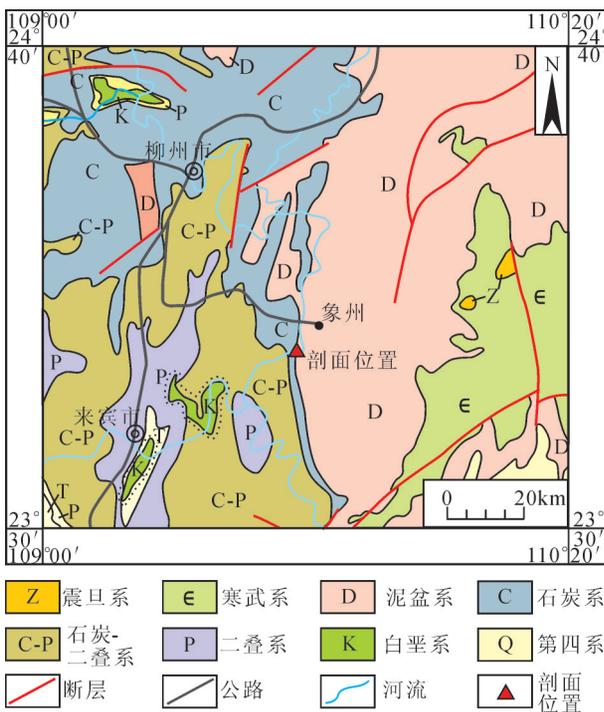


图1 研究区剖面位置图
Fig.1 Location of the profile

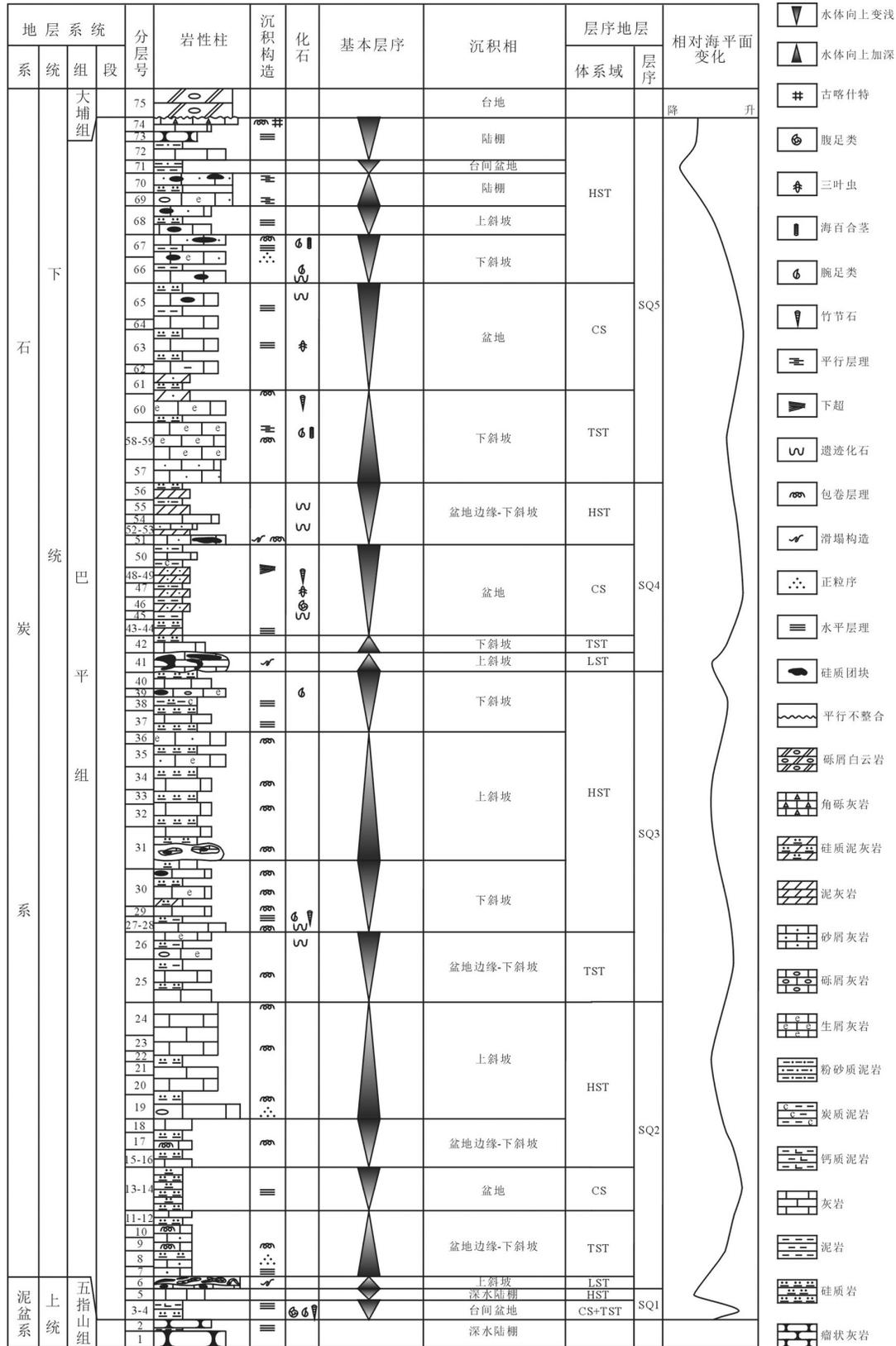


图2 广西象州崖脚下石炭统巴平组剖面层序地层划分

Fig.2 Sequence classification of the Lower Carboniferous Baping Formation along the Xiangzhou Yajiao section, Guangxi

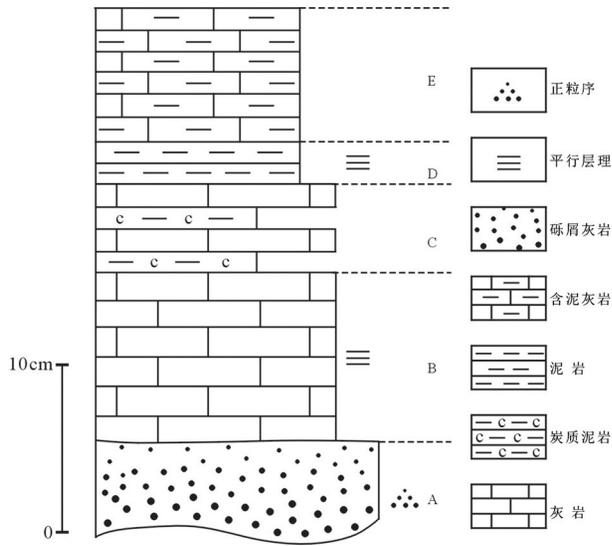


图3 HST下部发育的鲍马序列
Fig.3 Bouma sequence in the lower part of HST

人^[16-17]在黔南坳陷、南盘江坳陷等地的不同相区研究较多,划分方案也不尽相同,但研究都较为笼统,基本上是将岩关阶作为石炭系第一个三级层序(SQ1),大塘阶下部为第二个三级层序(SQ2),大塘阶中部至德坞阶顶部为第三个三级层序(SQ3)。

在层序界面的识别基础上,参照陈洪德等^[23]对中国南方海相地层的层序划分方案,通过对象州崖脚、象州运江、恭城县挖沟和永福永安剖面各层序之间的相互对比,初步建立了研究区早石炭世三级层序划分方案,将桂中坳陷下石炭系巴平组划分为5个三级层序,分别命名为CSQ1~CSQ5。5个三级层序构成1个超层序,其沉积时限相当于下石炭统。

斜坡区早石炭世以象州崖脚、运江剖面为代表。其中,位于象州运江镇的运江剖面沉积较为连续,仅部分掩盖,因此该剖面仅可作为层序地层划分和对比研究的辅助剖面。从目前掌握的资料来看,崖脚剖面和运江剖面的沉积特征类似,沉积序列大致相同,相互间可以直接对比。现以崖脚剖面为例,将本区早石炭世三级层序地层划分和各层序特征简述如下:

4.1.1 CSQ1

CSQ1为石炭系最下部的一个三级层序,底界为泥盆—石炭系界线,在象州崖脚剖面该层序界面为一个沉积转换面,以晚泥盆世五指山组顶部高水

位体系域与早石炭世巴平组底部海进体系域和凝缩段重合之间界线作为层序的界面,下伏地层为晚泥盆世五指山组,发育一套深水陆棚相沉积,上覆地层早石炭世巴平组,为一套斜坡—盆地相沉积。界线附近海平面呈现出先加深,后迅速海退的过程。

前人研究表明,在泥盆—石炭纪之交发生了一次全球性的海退事件,这个海退事件在中国引起 *Cystophrentis* 动物群的绝灭。在各沉积相区,CSQ1的底界与泥盆—石炭系界线附近海退事件的顶界时限是一致的,但不同相区沉积特征表现却不尽相同。1988年5月国际泥盆—石炭系界线委员会将南边村剖面列为泥盆—石炭系界线辅助层型候选剖面之一,牙形石 *Siphonodella praesulcata*-*S.sulcata* 演化谱系并与现行泥盆—石炭系界线定义相一致的剖面,为台地边缘相区,泥盆—石炭界线位于南边村组中部石灰岩中,即泥盆系与石炭系界线位于 *Siphonodella praesulcata* 与 *Siphonodella sulcata* 之间,以 *Siphonodella sulcata* 的首现作为石炭纪开始,该组沉积物形成于全球性海平面下降的特殊条件下,该事件影响了泥盆—石炭系界线^[24]。

在台地相区阳朔县兴坪镇回龙剖面额头村组顶部中一厚层微晶粒屑灰岩尚见 *Quasiendothyra koneusis* cf. *dentata* 等晚泥盆世顶部的典型分子,尧云岭组底部薄层微晶灰岩即出现杜内阶最下部典型分子单房室有孔虫 *Bisphaera* sp.,并大量繁盛。与本文永福永安剖面额头村组—尧云岭组界线与法门阶—杜内阶界线一致。

据象州崖脚剖面资料显示^[9],该层序界面既是一个沉积转换面,同时该界线又是一个生物群演替的事件界线,如晚泥盆世繁盛的掌鳞刺 *Palmatolepis* 和贝刺 *Icriodus* 全部灭绝,被管刺 *Siphonodella* 取代;泥盆纪末繁盛一时的层孔虫、有孔虫中的 *Quasiendothyra*、*Eoendothyra* 以及珊瑚中 *Cystophrentis* 的灭绝,而代之以有孔虫 *Bisphaera* 和珊瑚 *Pseudouralinia* 为代表的有孔虫—珊瑚群落。

在斜坡相区的崖脚和运江剖面,该三级层序下部海进体系域与凝缩段重合,发育一套以薄层硅质泥岩夹中层状钙质泥岩,偶夹灰黑色极薄层硅质岩为主,表现为台间盆地的沉积。位于开阔台地相区的挖沟和永安剖面,其层位与尧云岭组大致相当,为一套深灰色薄层夹泥质条带生物屑微晶灰岩、粒

屑灰岩,构成退积结构的海进体系域。黔南坳陷开阔台地相的平塘卡洛剖面,与之相当的层位为汤耙沟组下部生物礁灰岩-浅海陆棚相薄层灰岩组成的向上变深的海侵沉积序列。

该三级层序,在崖脚剖面厚度约6.8 m。底部为巴平组下部的盆地相薄层硅质泥岩、中层状(10~12 cm)黑色泥岩、钙质泥岩及灰黑色极薄层硅质岩所组成的海进体系域和凝缩段(TST+CS)的沉积序列,代表着一次快速的海侵。上部发育一套以深水陆棚相的泥-微晶灰岩夹灰褐色薄层钙质泥岩,泥灰岩,由此组成一个总体向上变浅的沉积序列,为本层序的高水位体系域(HST)。在台地相区的挖沟、永安和平塘卡洛剖面,均发育海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST),主要以一套灰岩、豹皮状灰岩、生屑灰岩和砾屑灰岩的沉积序列发育为特征。

4.1.2 CSQ2

该层序在斜坡相区发育于巴平组下部,发育一套完整的三级层序,在台地相区与祥摆组和英塘组的下部地层相当,在崖脚剖面,其厚度103.6 m,下部发育一套以斜坡区滑塌角砾为特征的LST低位域沉积(图4-a、b),厚度约4.2 m,其底部为0.8~1.20 m块状,灰黑色滑塌含砾屑粉晶,微晶灰岩,见及大个体的硅质岩团块、角砾,大者50 cm×60 cm,小者为20~30 cm,基质黑色粉晶灰岩中所含砾石为浅灰-灰泥晶灰岩,磨圆及分选中等。向上为滑塌角砾岩,其厚度变化于0.7~1.20 m。砾石含量在20%~30%,砾石成分以灰岩、灰质

白云岩为主,见及少许海百合茎碎片,砾石大小混杂,大者30~35 cm,小者2~3 mm,其中2~7 cm者居多,磨圆及分选差。上部2.2~2.40 m为滑塌构造变形层,褶皱构造发育,夹杂大型滑塌岩块,3~4 m长,厚度在0.5~0.7 m,少数岩块为砾石所组成,其含量在50%~60%,岩性为浅灰色含灰质白云岩,基质成分为深灰-灰黑色块状含砾屑粉晶灰岩,砾屑由灰质白云岩,泥晶灰岩组成,依据岩层滑动构造判别大致向230°方向滑动。

TST沉积始于滑塌构造层结束,沉积厚度约23 m,发育一套深灰-灰黑色中层(30~35 cm)泥晶灰岩-微晶灰岩夹薄层(8~9 cm)生屑灰岩,间夹3~4层厚度为7~12 cm硅质岩,硅质灰岩,发育鲍马序列(图2,图4-c),但该序列多不完整,大致有以下几种

组合方式:ABCDE、AE、ABE、ACE等,硅质岩夹灰岩透镜体的层面上发育包卷层理,局部层段发育平行层理,其沉积环境应为下斜坡相。TST沉积顶部发育钙屑浊流沉积(图4-d),连续两次,上部的浊流向下超覆在下部浊流之上,其沉积环境应为盆地边缘相。

随着海侵的进一步加强,表现为海进退积型序列,向上发育了黑色薄层夹中层状硅质岩,偶夹2~3 cm厚灰褐色硅质炭质泥岩,为一套凝缩段(CS)沉积,厚度15.1 m,该层段的黑色硅质岩沉积应为本三级层序最大海泛期的沉积,其沉积环境为盆地相。

本三级层序的HST较为发育,厚度57.3 m,下部为黑色中层状微晶灰岩间夹黑色中-薄层硅质岩,常在硅质岩的顶、底板发育包卷层理。向上硅质岩减少,灰岩增加,主要以灰黑色中层含砂屑、砾屑粉晶灰岩夹薄-中层及板薄层硅质岩,发育包卷层理为特征,次级旋回具有向上变薄,成层性变好的退积特征,发育鲍马序列(钙屑浊积岩),其沉积环境应为斜坡相沉积。

在开阔台地相区,祥摆组构成一个三级沉积层序(CSQ2),在该组中发育潮下坪砂岩、潮间坪泥质砂岩、潮上坪砂质泥岩、沼泽相炭质泥岩、沼泽相煤层及煤线,由这些岩相单元构成若干潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序^[26]。挖沟和永安剖面英塘组构成一个三级层序(SCQ2),发育海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST),该层序TST为灰黑色薄层状泥质生物灰岩、含泥质生物灰岩夹薄层灰质泥岩,底面凹凸不平,有3~5 cm厚的铁泥质物胶结的灰岩角砾岩,含大量腕足类、珊瑚、三叶虫、海百合茎等,水平纹层发育。HST为中-厚层状生屑灰岩、砂屑灰岩、细晶白云岩,向上含硅质结核为特征,产珊瑚及少量腕足类、螺类。

4.1.3 CSQ3

本层序在崖脚、运江剖面位于巴平组中下部,发育TST和HST,崖脚剖面沉积厚度94.2 m,运江剖面部分掩盖,但沉积序列清楚,其沉积厚度约120 m。

崖脚剖面TST厚度24.5 m,为一套向上变厚的进积序列,基本层序:A为钙质泥岩;B为灰黑色中层夹薄层含生屑、砾屑灰岩微晶灰岩,夹黑色薄层硅质岩、硅质泥岩,发育水平层理,局部层段可见包卷层理(图4-e),层面见及遗迹化石,多呈分支状顺



a-CSQ2底部发育滑塌构造



b-CSQ2底部发育滑塌构造



c-CSQ2下部远源浊流沉积



d-CSQ2中部凝缩段及钙屑浊流沉积



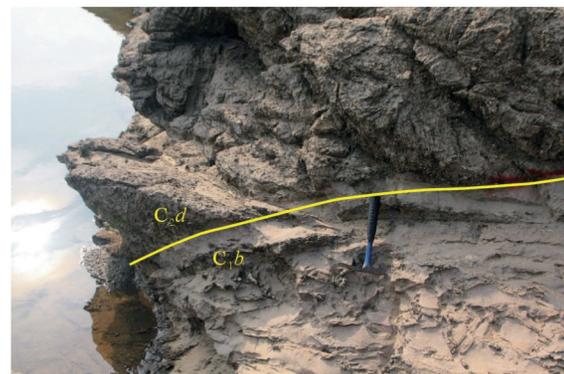
e-CSQ3下部发育包卷层理



f-CSQ4底部发育滑塌构造



g-CSQ5中部发育滑塌构造



h-CSQ5顶部发育的古喀斯特沉积

图4 研究区早石炭世三级层序特征

Fig.4 Characteristics of Carboniferous 3rd grade sequence of study area

层分布。HST的厚度巨大,厚达69.7m,为灰黑-黑色中层含砾屑微-粉晶灰岩、微晶灰岩与含硅质、炭质泥岩呈不等厚互层状叠置,在硅质泥岩中局部层段间夹灰黑色薄层灰岩,见平行层理,泥岩中偶见遗迹化石顺层分布。向上灰岩夹层增多,单层增厚,仍夹硅质岩、硅质灰岩,厚度达50~55 cm,发育包卷层理。

从总体沉积特征看,本层序的TST为盆地边缘-下斜坡相的沉积,HST为下斜坡和上斜坡相的沉积。

在台地相区,本层序分别与平塘卡洛剖面的旧司组和恭城挖沟、永福永安剖面的英塘组上部层位相当,发育海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)。在平塘卡洛剖面主要沉积一套厚层状灰岩、生屑灰岩夹瘤状灰岩;在恭城挖沟、永福永安剖面,主要沉积以深灰色中层状含硅质团块(结核)生物屑微晶灰岩与微晶灰岩组成韵律性互层为特征。

4.1.4 CSQ4

本层序在崖脚坡面自下而上可划分为LST、TST、CS(凝缩段)、HST,是一个完整的三级层序。

LST为一套上斜坡相的沉积,厚度较小,为6.8 m,整体为灰黑色中-厚层粉晶灰岩,含砾屑、硅质团块夹中层状微晶灰岩,偶夹7~15 cm极薄层含硅、钙质泥岩。具有滑动构造的特征(图4-f):①中-厚层灰岩夹硅质岩团块,硅质条带明显滑动构造,并发育褶曲;②局部层段灰岩层呈透镜状,夹砾屑、硅质团块。

TST为一套下斜坡相的沉积,其下部为中层状(27~29 cm)泥灰岩-微晶灰岩,风化呈浅灰-浅紫色,夹黑色薄-中层状硅质岩,发育水平层理。上部灰黑色微晶-泥晶灰岩间夹发育水平层理的泥灰岩,呈不等厚互层状产出,间夹黑色薄层(6~7 cm)硅质岩,韵律性明显。

CS(凝缩段),厚度31.7 m,本层段主要为中-薄泥灰岩、灰岩、粉砂质泥岩、炭质泥岩夹硅质岩的组合,泥灰岩层面遗迹化石尤为丰富,至少有3种类型:呈二歧式分支状、细线状和棒状。丰富的遗迹化石,暗示底域环境为富氧环境。另见少量的菊石、三叶虫和竹节石化石,从保存状态看,三叶虫、菊石均显示异地搬动,竹节石亦可能受水流作用。从整体的沉积特征判断,仍为盆地边缘相的沉积,富氧的底域环境可能与钙屑浊流的充氧有关,中部

黑色含炭质泥岩或为本层水体深度最大的位置。

HST,厚度21.55 m,底部沉积一套灰黑色中厚层状砂屑灰岩夹薄层硅质岩或燧石团块,发育包卷层理、平行层理,具有滑塌角砾。向上为中薄层灰岩、泥灰岩、硅质岩,整体显示为先向上变深的海侵退积型沉积,后向上单层变厚、粒度变粗的进积型序列,其沉积相为下斜坡-盆地边缘-下斜坡,平行层理发育的层段具有远源浊流的特点。

在相邻斜坡相区的运江剖面,该三级层序由于浮土掩盖,下部仅见TST+CS,为灰-深灰色微晶灰岩夹泥岩、硅质岩,发育斜层理、水平层理,鲍马序列为CDE、CE组合,向上为硅质岩,上部相当于高水位体系域的沉积可能因CSQ5低水位体系域的侵蚀而缺失。

在开阔台地相区,发育不完整的三级层序,与斜坡相相比,缺失低水位域(LST)和凝缩段(CS)的沉积。层位上分别对应平塘卡洛剖面的上司组下部和恭城挖沟剖面的黄金组下部,上司组下部岩性为中-厚层状瘤状灰岩、灰岩、生屑灰岩夹少量泥岩,黄金组下部为含硅质结核生物微晶灰岩、泥晶灰岩夹生物泥质灰岩、灰质泥岩,产大量大长身贝、网格长身贝、笛管珊瑚、及小体石燕、角石等化石,保存较好,水平纹层较发育。

4.1.5 CSQ5

本层序在崖脚剖面包含了巴平组上部(127.1 m)的沉积,发育TST、CS、HST。HST沉积厚度较大,厚达57.7 m。

TST沉积序列表现在沉积特征上,是由2个向上变细、变薄的退积型副层序组和1个向上变厚、变粗的进积型沉积副层序叠置而成,其沉积环境总体上以包卷层理、平行层理、滑塌构造等发育的下斜坡相(图4-g)。

副层序组 I:下部为灰色中厚层状含砂屑粉晶灰岩夹燧石条带或团块,中上部灰岩单层厚度减薄(20 cm±),硅质岩条带减少,为一退积序列。

副层序组 II:下部为灰色中层状(20 cm±)含生屑粉晶灰岩夹薄层硅质岩或硅质团块,上部为黑色薄层状硅质岩与灰色含泥质粉晶灰岩互层。为一向上变薄变细的退积序列,

副层序组 III:下部为灰黑色薄层(5~10 cm)含少量生屑粉晶灰岩夹薄层状硅质岩,向上灰岩中生

屑含量增加,单层厚度加大(20~30 cm),所夹硅质岩呈团块状。灰岩中可见平行层理,上部生屑常呈条带状分布,系水流作用所致。生屑以海百合茎为主,并见竹节石,竹节石略具定向性,只是有水流作用,显示为向上进积的沉积特征。

CS(凝缩段),由灰黑色中薄层状粉晶灰岩、泥灰岩、页岩夹硅质岩,局部夹硅质结核,灰岩中见水平纹层及前积纹层,自下而上,硅质多呈条带状或结核状成层分布,经成岩压实作用,层面凹凸不平,呈似瘤状构造,水平层理发育,总体上看,本层段海水进一步加深,为盆地相沉积环境。

HST的厚度为57.7 m,以中层状粉晶灰岩-微晶灰岩,灰岩中含少量硅质条带,层间夹少量黄绿色页片状泥岩为主体岩性,发育大型包卷层理,水平层理,层面见少量遗迹化石和珊瑚化石,局部层段见斜层理和滑塌角砾。本层段上部为灰色(略带紫红色)中层状粉晶灰岩,局部为角砾状灰岩,不显层理,角砾呈不规则团块状、长条状。从原岩分析,本层仍为深水相沉积,但顶部的角砾岩则代表一次暴露,为古喀斯特沉积(图4-h)。从区域资料分析,巴平组与上覆大埔组砾屑白云岩为平行不整合接触关系。

本段为下石炭统最后一个三级层序,从总体沉积演化特征来看,TST为下斜坡相的沉积,CS为盆地相的沉积,而HST为斜坡-陆棚相的沉积。

在运江剖面,本层段底部为低水位体系域(LST)的沉积,厚度为20 m,岩性为灰色厚层细粒岩屑石英砂岩;海进体系域厚度为19 m,岩性为灰-深灰色薄层泥岩,产瓣腮及植物碎片,顶部为灰色薄层微晶灰岩夹生物屑灰岩、硅质岩,生物屑灰岩,具斜层理、水平层理,鲍马序列为CDE、CE组合。高水位体系域(HST)缺失,海侵体系域(TST)的硅质岩与上覆大埔组白云岩之间为平行不整合接触关系。

在开阔台地区,平塘卡洛剖面发育不完整的三级层序TST和HST,上司组与大埔组为角度不整合接触,二者之间地层缺失,为古风化壳,是一个升降侵蚀不整合面。

4.2 不同相区三级层序对比

马治鸾等^[17]研究黔南坳陷石炭系层序地层特征及岩相古地理时,将黔南坳陷石炭系实测剖面划分

为2个二级层序和12个三级层序,其中下石炭统划分为1个二级层序和5个三级层序,第一个三级层序(CSQ1)为汤耙沟组,认为是一个三级层序的海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)的沉积,由于古陆边缘大部分均暴露,地表遭受风化剥蚀,造成低水位体系域缺失。梅冥相等^[26]、焦大庆等^[15]在研究黔桂地区石炭系层序地层格架时,将下石炭统划分为1个二级层序和3个三级层序,第1个三级层序相当于岩关世汤耙沟期,为一个总体向上变浅的沉积相序列,其顶底界面均为暴露间断面,分别属于紫云运动第二幕(主幕)与第三幕的区域不整合面。本文台地相区英塘组与之相似,发育海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)的沉积。梅冥相等^[26]、焦大庆^[15]等所划分的早石炭世第2个三级层序由祥摆组煤系地层组成,在该组中发育潮下坪砂岩、潮间坪泥质砂岩、潮上坪砂质泥岩、沼泽相炭质泥岩、沼泽相煤层及煤线,由这些岩相单元构成若干潮汐动力型碎屑岩米级旋回层序,为一个水体向上变浅的序列,其顶界对应紫云运动的第四幕。但隆轲^[27]在研究黔南坳陷下石炭统沉积特征后,认为下石炭统祥摆组主要发育滨岸相,炭质泥岩与中层状细粒石英砂岩、粉砂岩呈不等厚互层,两者比例在区域上差别较大,下部砂岩含量较高,往上砂岩减少,泥岩增多,表现为海平面逐渐上升的一个过程。马治鸾等^[17]将第2个三级层序对应的祥摆组,认为是滨海相的砂泥岩沉积,自下而上划分为前滨、近滨、远滨亚相,表现为海平面逐渐上升的一个过程。通过对平塘卡洛、独山白虎坡祥摆组剖面的考察和实测工作,本文与梅冥相等^[26]、焦大庆等^[15]的划分前2个三级层序划分方案一致,祥摆组表现为海平面逐渐下降的一个过程(图5)。

梅冥相等^[26]、焦大庆等^[15]的孤立台地区第3个三级层序由都安组与大埔组底部的白云岩地层组成,构成海侵体系域和早期高水位体系域的基本特征,连陆台地区第3个三级层序由旧司组 and 上司组构成一个三级沉积层序(SQ15),发育潮下坪灰质白云岩及白云质灰岩、潮间坪泥晶白云岩、潮上坪泥质白云岩和潟湖相白云质泥岩,这些岩相单元构成若干环潮坪型碳酸盐岩米级旋回层序,在三级海平面上升期以发育厚基底类为主,而在下降期则以薄基底类为主。但根据马治鸾等^[17]的研究,将第3个三级

层序细划为3个三级层序,分别对应旧司组开阔台地的沉积、上司组下部陆棚沉积和上司组上部的开阔台地的沉积。根据这一情况,研究区斜坡相和台地相发育的CSQ1和CSQ2与梅冥相等^[26]、焦大庆等^[15]的下石炭统下部2个三级层序划分一致,CSQ3、CSQ4、CSQ5与马治鸾等^[10]所划分的下石炭统上部3个三级层序可完全予以对比。

5 结 论

桂中坳陷东缘早石炭世跨台地相区、斜坡相区、盆地相区等不同的沉积相区,其沉积系列在不同的相区有不同的特征,关于早石炭世二级层序的划分,前人^[14-17,26]基本上是将早石炭世作为一个二级层序对待,本文与前人^[14-17,26]的研究成果相同,而三级层序的划分则存在较多不同的意见。

斜坡相区三级层序的发育特点和其他相区有明显的差异。鉴于盆地相区难以进行三级层序的划分,因此,与台地相区相对比,斜坡相区三级层序的发育特点如下:

(1)斜坡相区发育低水位体系域,以低水位扇或远源浊流以及CS(凝缩段)沉积为特点,而在台地相区的恭城挖沟剖面 and 永福永安剖面,低水位域不发育,以海侵体系域作为一个三级层序的开始。

(2)从三级层序的发育特征来看,除个别三级层序发育完整的沉积序列(LST、TST、CS、HST)外,多数三级层序并不完整。斜坡相区海侵体系域(TST)和低水位域(LST)沉积厚度相对较薄。

总之,斜坡相区早石炭世层序地层的划分与台地相区可以基本统一,二者在三级层序上可实现直接对比。

参考文献(References):

[1] Sloss L L. Sequences in the cratonic interior of North America[J]. Geological Society of America Bulletin, 1963, 46(6): 1050-1057.
 [2] Vail P R, Michum R M, Thonon S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level[J]. AAPG Memorir, 1977, 26(1): 63-811.
 [3] Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles. Upper Cretaceous Western Interior. U.S.A[C]// Wilgus C K. Sea-Level changes: An Integrated Approach. SPEM Special Publish, 1988, 42: 371-3801.
 [4] 肖传桃, 刘莉, 陈志勇. 层序地层学的研究状况及有关理论问题探讨[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(6): 1-6.

Xiao Chuantao, Liu Li, Chen Zhiyong. Current Situation of Sequence Stratigraphy and Discussion on Related Theoretic problems[J]. Journal of Oil and Gas Technology(JJPI), 2006, 28(6): 1-6(in Chinese).
 [5] Galloway W E. Genetic stratigraphy sequence in basin analysis I: Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units [J]. AAPG Bull., 1989, 73: 125-1421.
 [6] 殷鸿福, 童金南. 层序地层界面与年代地层界线的关系[J]. 科学通报, 1995, 40(6): 539-5411.
 Ying Hongfu, Tong Jinnan. The relationships of sequence stratigraphy and chronostratigraphic boundary[J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(6): 539-5411(in Chinese).
 [7] Johnson J H, Klaper G. North American midcontinent Devonian T-R cycles[J]. Oklahoma Geological Survey Bulletin, 1992, 145:127-1351.
 [8] 王训练, 苏文博. 选择全球界线层型剖面点(Gssp)的一个重要参考[J]. 科学通报, 1999, 44(18): 2008-2016.
 Wang Xunlian, Su Wenbo, et al. An important reference criterion for the selection of GSSP[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(5): 472-480(in Chinese).
 [9] 王瑞刚. 象州县崖脚下石炭统剖面简介[J]. 广西地质, 1996: 62-88.
 Wang Ruigang. Outline of the Lower Carboniferous section in the Yajiao, Xiangzhou County, Xiangzhou[J]. Guangxi Geology, 1996, 62-68(in Chinese with English abstract).
 [10] 刘家洪. 桂中地区泥盆系层序岩相古地理研究[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2009: 62-68.
 Liu Jiahong. Study on Devonian Sequence Litho-Paleogeographic in Central Guangxi [D]. Chengdu University of Technology Master's Degree Thesis, 2009: 62-68(in Chinese with English abstract).
 [11] 金爱民, 尚长健, 朱蓉, 等. 桂中坳陷及周缘地下水化学-动力学特征与油气保存[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(5): 758-765.
 Jin Aimin, Shang Changjian, Zhu Rong, et al. Ground hydrochemical & hydrodynamic characters and hydrocarbon preservation, in Guizhong depression and its margin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(5): 758-765 (in Chinese with English abstract).
 [12] 吴国干, 姚根顺, 徐政语, 等. 桂中坳陷改造期构造样式及其成因[J]. 海相油气地质, 2009, 14(1): 33-40.
 Wu Guogan, Yao Genshun, Xu Zhengyu, et al. Structural patterns and origin of tectonic reformation in Guizhong Depression[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(1): 33-40(in Chinese with English abstract).
 [13] 钟怡江, 陈洪德, 侯明才, 等. 右江盆地北部中晚泥盆世层序充填特征分析[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 338-345.
 Zhong Yijiang, Chen Hongde, Hou Mingcai, et al. Sequence filling features of Middle-Late Devonian period in northern Youjiang basin[J]. Geology in China, 2011, 38(2): 338-345(in Chinese with English abstract).

- [14] 梅冥相, 马永生, 邓军, 等. 滇黔桂盆地及其邻区石炭纪至二叠纪层序地层格架及三级海平面变化的全球对比[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 13–24.
Mei Minxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. Carboniferous to Permian sequence stratigraphic framework of the Yunnan–Guizhou–Guangxi basin and its adjacent areas and global correlation of third–order sea–level change[J]. *Geology in China*, 2005, 32(1):13–24(in Chinese with English abstract).
- [15] 焦大庆, 马永生, 邓军, 等. 黔桂地区石炭纪层序地层格架及古地理演化[J]. 现代地质, 2003, 17(3): 294–302.
Jiao Daqing, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. The sequence–stratigraphic framework and the evolution of paleogeography for Carboniferous of the Guizhou and Guangxi areas[J]. *Geoscience*, 2003, 17(3): 294–302(in Chinese with English abstract).
- [16] 王鸿祯, 史晓颖, 王训练, 等. 中国层序地层研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 2000: 39–98.
Wang Hongzhen, Shi Xiaoying, Wang Xunlian, et al. *Sequence Stratigraphy Research in China*[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2000: 39–98(in Chinese).
- [17] 马治鸾, 淡永, 陈洪德, 等. 黔南拗陷石炭系层序地层特征及岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(5): 494–499.
Ma Zhiluan, Dan Yong, Chen Hongde, et al. Sequence stratigraphy and paleogeography of Carboniferous in the south of Guizhou Sag, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2011, 38(5): 494–499(in Chinese with English abstract).
- [18] 李国新, 范昱, 陈洪德, 等. 黔南独山地区晚石炭世—早二叠世早期沉积特征及层序地层研究[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 346–355.
Li Guoxin, Fan Yu, Chen Hongde, et al. Sedimentary characteristics and sequence characteristics of Late Carboniferous and early Early Permian period in Dushan, southern Guizhou Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 346–355(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈子焯, 姚根顺, 楼章华, 等. 桂中坳陷及周缘油气保存条件分析[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(1): 80–88.
Chen Ziliao, Yao Genshun, Lou Zhanghua, et al. Study of hydrocarbon preservation condition in Guizhong depression and the margin[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2011, 40(1): 80–88(in Chinese with English abstract).
- [20] 李爱勇, 柳建新, 朱春生, 等. 大地电磁测深在桂中坳陷油气勘探中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 3(1): 8–12.
Li Aiyong, Liu Jianxin, Zhu Chunsheng, et al. The application of magnetotelluric sounding to oil and gas exploration in central Guangxi depression[J]. *Geophysical & Geochemical exploration*, 2012, 3(1): 8–12(in Chinese with English abstract).
- [21] 黄羚, 徐政语, 王鹏万, 等. 桂中坳陷上古生界页岩气资源潜力分析[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 497–506.
Huang Ling, Xun Zhengyu, Wang Pengwan, et al. An analysis of resource potential of Upper Paleozoic shale gas in Guizhong depression [J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 497–506(in Chinese with English abstract).
- [22] 聂海宽, 张金川. 页岩气藏分布地质规律与特征[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 41(2): 700–708.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan. Shale gas reservoir distribution geological law, characteristics and suggestions [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2012, 41(2): 700–708(in Chinese with English abstract).
- [23] 陈洪德, 田景春, 刘文均, 等. 中国南方海相震旦系—中三叠统层序划分与对比[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(4): 249–255.
Chen Hongde, Tian Jingchun, Liu Wenjun, et al. Division and correlation of the sequences of marine Sinian system to middle Triassic series in the south of China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2002, 29(4): 249–255(in Chinese with English abstract).
- [24] 俞昌民, 王成源, 阮亦萍, 等. 桂林南边村泥盆—石炭系界线层型剖面简介[J]. 广西地质, 1988, 1(1): 45–53.
Yu Changmin, Wang Chengyuan, Ruan Yiping, et al. Outline of the Devonian–Carboniferous boundary stratotype section in the nanbiancun village, Guilin, Guangxi[J]. *Geology of Guangxi*, 1988, 1(1): 45–53(in Chinese with English abstract).
- [25] 王训练. 从综合地层学观点论华南浅海相泥盆系—石炭系的分界[J]. 地质论评, 1997, 43(4): 394–402.
Wang Xunlian. On the Devonian–Carboniferous boundary of neritic facies areas in South China from a synthetic stratigraphical viewpoint[J]. *Geological Review*, 1997, 43(4): 394–402(in Chinese with English abstract).
- [26] 梅冥相, 孟庆芬, 易定红, 等. 黔桂地区石炭系层序地层格架及海平面变化[J]. 地球科学, 2004, 25(1): 39–46.
Mei Minxiang, Meng Qingfang, Yi Dinghong, et al. Carboniferous sequence framework in Guizhou and Guangxi, Southern China [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25(1): 39–46 (in Chinese with English abstract).
- [27] 隆轲. 黔南坳陷下石炭统沉积特征分析[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 6: 104–105.
Long Ke. The carboniferous sedimentary characteristics analysis in Southern Guizhou Depression [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2010, 6: 104–105(in Chinese with English abstract).

The Early Carboniferous sequence stratigraphy on the eastern margin of the Guizhong depression, Guangxi

PENG Zhong-qin^{1,2}, WANG Chuan-shang¹, LI Zhi-hong¹, WANG Bao-zhong¹

(1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China; 2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: Based on the study of the slope facies along the Yajiao and Yunjiang sections in Xiangzhou on the eastern margin of the Guizhong depression, the authors carried out the classification and correlation of Carboniferous sequence stratigraphy on the slope facies. According to the development characteristics of 3rd grade sequence in slope facies, the Baping Formation of the Early Carboniferous is divided into five 3rd grade sequences (CSQ1-5), which constitute a 2nd grade sequence of the Early Carboniferous. The Lower Carboniferous sequence stratigraphic classification frameworks between the platform and the slope facies are consistent approximately, and hence the correlation could be carried out directly. On the basis of regional sedimentary sequence correlation, the Lower Carboniferous sequence stratigraphic framework is established. Sea-level changes in Early Carboniferous in this region is also discussed.

Key words: Guizhong of Guangxi; slope facies; Lower Carboniferous; sequence stratigraphy

About the first author: PENG Zhong-qin, male, born in 1981, doctor, assistant researcher, engages in the study of structural geology and regional geological survey; E-mail: pzhongqin@cgs.cn.