

贵州桐梓松坎二叠系岩石特征及沉积环境分析

罗进雄, 何幼斌, 王丹, 李蔚洋, 文静

长江大学地球科学学院; 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100

摘要 贵州桐梓松坎二叠系剖面是华南二叠系的一条代表性剖面, 自下而上依次可以分为栖霞组、茅口组、龙潭组和长兴组, 总厚度为 484.02m。野外实测和室内研究表明: 剖面岩石类型较为单调, 主要为石灰岩和页岩, 以及少量的白云岩和硅岩。石灰岩进一步可以分为生屑石灰岩、生屑质石灰岩、含生屑石灰岩、泥(粉)晶石灰岩和眼球状石灰岩。眼球状石灰岩主要分布于栖霞组下部和茅口组中下部, 为沉积作用和成岩作用共同作用的产物, 与上升流关系密切。白云岩主要为呈斑块状分布的石灰质白云岩, 主要分布于栖霞组和茅口组, 其可能为石灰岩经埋藏白云化作用而形成。硅岩可分为结核状、团块状、条带状硅岩和层状硅岩两种类型; 二者皆为交代成因。通过岩性、古生物、沉积构造、地球化学等相标志的分析, 划分出了滨岸和碳酸盐岩开阔台地两种沉积环境, 其中碳酸盐岩开阔台地内局部出现浅滩环境。沉积演化表明, 该地区二叠纪发生了两次较大的海进、海退旋回, 第一次海侵始于中二叠世栖霞初期, 结束于茅口末期; 第二次海侵始于晚二叠世龙潭初期, 直至长兴期末结束。

关键词 桐梓县; 二叠系; 眼球状石灰岩; 白云岩; 沉积环境

中图分类号 P531

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.02.004

Petrological Characteristics and Sedimentary Environment Analysis of the Permian of Songkan Section, Tongzi County, Guizhou Province

LUO Jinxiong, HE Youbin, WANG Dan, LI Weiyang, WEN Jing

Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education; School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China

Abstract The Permian of Songkan section at Tongzi County, Guizhou Province is a typical section in south China, which is composed of the Qixia, Maokou, Longtan and Changxing Formations with a thickness of 484.02m. The field measurements and lab studies show that the rock types of this section are rather simple, including limestones, shale, dolostones and siliceous rocks. Limestones can be further divided into bioclastic limestones, bioclastic-bearing limestones, microcrystalline-fine crystalline limestones and eyeball shaped limestones. The eyeball shaped limestones were mainly developed in the lower part of the Qixia Formation and the middle to lower parts of Maokou Formation. They were formed by the interaction of sedimentation and diagenesis under the influence of upwelling. The dolostones are dominated by calcitic dolostones distributed in patches. They were mainly developed in Qixia and Maokou Formation, and probably formed by burial dolomitization. Siliceous rocks can be divided into two types of the nodule-, lump- and band-like rocks and the bedded siliceous rocks, which were formed by metasomatism; and the source of silicon is related to the hydrothermal activity. According to the analyses of lithology, palaeontology, sedimentary structures and geochemistry, two kinds of sedimentary environments were identified. They include the shore zone and the carbonate platform, and locally there are shallow banks in the platform. The analysis of the sedimentary environment evolution indicates that two sedimentary cycles of transgression and regression occurred in the Permian. The first transgression began in the Early Qixia Age, ended in the Late Maokou Age. In the Early Longtan Age, the second transgression began and lasted until the Late Changxing Age.

Keywords Tongzi County; Permian; eyeball shaped limestones; dolostones; sedimentary environment

收稿日期: 2012-10-17; 修回日期: 2012-12-04

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05004-001-004)

作者简介: 罗进雄, 博士研究生, 研究方向为沉积学, 电子信箱: luojinxiong1980@126.com

0 引言

在岩相古地理研究中,基干剖面分析是一项重要的基础工作,在应用“单因素分析多因素综合作图法”^[1,2]编制定量的岩相古地理图时,该项工作就显得尤其重要了。因为定量的岩相古地理图的立脚点是各种第一手的定量的单因素资料,而第一手的定量的单因素资料的取得就是对基干剖面的实测和研究。本文以沉积学理论为指导,按照“单因素分析多因素综合作图法”对基干剖面的技术要求,对贵州桐梓松坎剖面二叠系的岩石学特征和沉积环境进行分析。

贵州桐梓松坎二叠系剖面位于贵州省桐梓县松坎镇韩家店附近,地理位置 28°33.359'N, 106°50.745'E(图 1),210 国道恰好沿倾向切过地层,形成了较理想的露头。该剖面的二叠系走向为近东西向,产状向南陡倾,倾角一般为 60°~70°;剖面的地质构造简单,基本上表现为一个单斜构造;由于修高速公路护坡,龙潭组被覆盖,导致龙潭组与茅口组的界线出露不甚理想,其它地层界线清楚,层段均发育齐全;露头上生物化石极为丰富,沉积标志可靠,具有良好的代表性。

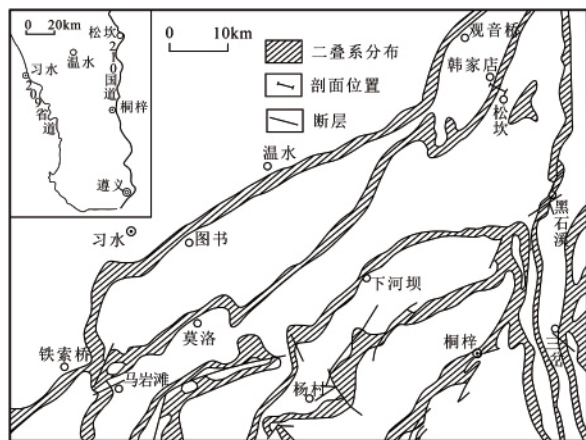


图 1 贵州桐梓松坎剖面位置

Fig. 1 Location of Songkan section in Tongzi County, Guizhou Province

1 地层划分

贵州桐梓松坎二叠系厚度达 484.02m,按照传统的观点^[3-7],将本区二叠系划分为下统栖霞组、茅口组及上统龙潭组和长兴组,与二叠系“三分”观点^[8-10]的中统栖霞组、茅口组及上统龙潭组和长兴组相当。在“三分”方案中,本区二叠系缺失下统。本文采用二叠系“三分”方案,其中栖霞组、茅口组、龙潭组和长兴组厚度分别为 102.64、267.85、54.33 和 59.2m,各组间界线比较清楚,栖霞组与下伏志留系韩家店组、龙潭组与茅口组呈平行不整合接触;茅口组与栖霞组、长兴组与龙潭组以及长兴组与上覆下三叠统夜郎组为整合接触。

根据岩性特征,将栖霞组分为 3 段,分别为下部碎屑岩段(铜矿溪层)、中部眼球状石灰岩段和上部块状石灰岩段;将茅口组分为 4 段,自下而上岩性依次为下眼球状石灰岩、中石灰岩段、上眼球状石灰岩段和上石灰岩段;将长兴组分

为 2 段,下段的泥质含量较上段的高。

2 生物组合及特征

贵州桐梓松坎二叠系化石十分丰富,以底栖生物为主,门类多、含量高,见藻类、鲕类、有孔虫、珊瑚、腹足类、腕足类、三叶虫、苔藓虫、介形虫、棘皮类、双壳类和海绵等,这些生物化石及其碎片未见磨蚀现象,多为原地堆积,分析研究区化石及其组合特征,有助于研究二叠纪各沉积期沉积环境。

该地区二叠系绿藻和红藻十分发育。绿藻以松藻为主,可见米齐藻、始角藻、假蠕孔藻和蠕孔藻,这些绿藻主要分布于热带、亚热带浅海,海水水温在 10℃以上,以水深在 0~10m 范围内最盛,最大水深不超过 30m;红藻主要为二叠钙藻和翁格达藻,其生态环境与绿藻相似,一般生活于温暖清洁的浅水环境,水深介于 20~30m^[5,6,11]。

有孔虫包括鲕类和非鲕有孔虫,是研究区二叠系碳酸盐岩中最常见的生物组分之一。鲕类常见的有希瓦格鲕、古纺锤鲕和南京鲕等;非鲕有孔虫常见的有球旋虫、砂盘虫、古串珠虫、拟球瓣虫、厚壁虫等。研究区有孔虫多营底栖生活,大多数分布于浅水碳酸盐台地上。

腕足类也是研究区最常见的生物之一。在不同岩相中,腕足类化石特点有所不同。在中厚层石灰岩中,腕足类常以体大、量多特点;在薄层石灰岩中,常以体小、量少为特点。

根据野外及室内资料,通过综合分析,择其优势,发现研究区二叠系化石组合较单调,主要为藻类有孔虫腕足类组合。该组合化石丰富,种属门类多、剪含量高,以绿藻和红藻为主,有孔虫和腕足类次之,还有鲕类、珊瑚、海百合、腹足类、双壳类、三叶虫、苔藓虫和介形虫等。丰富的藻类反映当时沉积环境为清澈的浅水水域;有孔虫以壳壁较厚的属种为主,腕足类则个体较大、数量较多,也表明水体具有一定的水动力条件。以上特点表明该组合为浅水开阔海域中的生物组合。

3 主要岩石类型及特征

贵州桐梓松坎地区二叠系岩石类型为碳酸盐岩和碎屑岩的岩石组合,岩石类型较为简单,主要为石灰岩和页岩,以及少量的白云岩和硅岩。各岩石类型在剖面上的分布见表 1。

3.1 石灰岩

按照结构成因分类^[11],并参考特殊构造(眼球状构造),将石灰岩分为生屑石灰岩、生屑质石灰岩、含生屑石灰岩、泥晶石灰岩及眼球状石灰岩等。

(1) 生屑石灰岩。分布在长兴组、茅口组和栖霞组,含量分别为 97.55%、38.70%和 19.43%,其厚度占松坎剖面总厚度的 48.72%,是构成松坎二叠系剖面的主要岩石类型。岩石中生屑含量一般为 50%~90%,种类主要为绿藻、红藻、有孔虫、腕足类和介形虫等,还可见棘皮类、鲕类、双壳类、腹足类、苔藓虫、珊瑚、管壳石和三叶虫等,其中红藻以二叠钙藻为主,绿藻主要为松藻和粗枝藻,有孔虫的种类则较多,主要可见球瓣虫、球旋虫、厚壁虫、假橡果虫、串珠虫等。填隙物主要为

表 1 贵州桐梓松坎二叠系岩石类型及分布

Table 1 Rock types and distributions of the Permian of Songkan section in Tongzi County, Guizhou Province

岩石类型		分布特征/%			
		栖霞组	茅口组	龙潭组	长兴组
碳酸盐岩	泥(粉)晶生屑石灰岩	19.43	38.70	—	97.55
	亮晶生屑石灰岩	19.61	12.46	—	—
	含生屑泥(粉)晶石灰岩	—	1.39	—	—
	泥(粉)晶石灰岩	1.32	—	—	2.45
	生屑质泥(粉)晶石灰岩	10.87	11.72	—	—
	眼球状石灰岩	45.79	35.73	—	—
	白云岩	较少	较少	—	—
碎屑岩	页岩、泥岩	2.29	—	100	—
硅岩	层状硅岩	0.69	—	—	—
	硅质结核、团块、条带	较少	较多	—	较少

泥(粉)晶方解石, 次为亮晶胶结物, 其中亮晶生屑石灰岩主要分布在栖霞组的上部(15 和 17 层)和茅口组的中上部(24、25、26、27、30、34 层)。这类岩石反映其沉积时能量较高, 可能为开阔台地较浅水环境, 尤其是亮晶生屑石灰岩, 能量更高, 沉积环境可能为开阔台地内的浅滩。

(2) 生屑质石灰岩和含生屑石灰岩。这两类岩石除在生屑含量上有所不同外, 其余特征基本相同。主要分布在栖霞组和茅口组, 含量分别为 10.87% 和 13.11%, 二者厚度占剖面总厚度的 9.60%。岩石中生屑含量一般 11%~46%, 种类主要为棘皮类、有孔虫、腕足类、介形虫等, 还可见红藻、绿藻、鲎类、双壳类、腹足类和海绵骨针等, 藻类含量较低。填隙物主要为泥(粉)晶方解石。这两类岩石的沉积环境虽有所不同, 但大体上都是水动力条件较弱、能量较低环境下的产物。

(3) 泥晶石灰岩。泥晶石灰岩在剖面的比例很低, 仅 0.58%, 主要分布于栖霞组(16 层)和长兴组(1 层)。这类岩石生屑含量低, 小于 10%, 反映了水体相对较深、能量较低、较为安静的沉积环境。

(4) 眼球状石灰岩。这类岩石以其形状似眼球而得名, 岩石由“眼球”和“眼皮”组成。关于“眼球”和“眼皮”宏观特征和微观特征, 笔者在相关文章中已经作了详细描述^[12,13], 在此就不再赘述了。

关于中国南方二叠系眼球状石灰岩的成因, 有多种观点。如, 沉积于较深水陆棚的低能环境, 再由差异压实作用形成^[14]; 形成于碳酸盐台地周缘水体较深的斜坡, 由滑动变形、或由重力流作用或重力流与等深流共同作用形成^[15]; 沉积时期周期性底流溶解作用和成岩作用时期差异压实作用共同作用形成; 形成于较局限的、稍深水的台地或台地边缘缓坡, 由沉积作用和成岩作用综合而成等^[5,6]。笔者在野外工作的基础上, 结合室内薄片鉴定分析、碳氧同位素分析及微量元素分析, 对中上扬子地区二叠系眼球状石灰岩的野外宏观特征、镜下微观特征、地化特征及其形成机理进行了较为详细的研究。研究表明“眼球”为富氧沉积, “眼皮”为缺氧沉积。综合分析, 提出了“眼皮”可能为上升流作用的产物, 眼球

状石灰岩是受上升流作用的影响, 由沉积和差异压实共同作用形成的^[13]。

剖面上眼球状石灰岩主要分布于栖霞组下部和茅口组下部和中部, 占剖面总厚度的 29.61%。栖霞组眼球状石灰岩占组厚的 45.79%, 占剖面总厚度的 9.75%; 茅口组眼球状石灰岩可以分为下眼球石灰岩段(1~8 层)和上眼球状石灰岩段(13~19 层), 占组厚的 35.73%, 占剖面总厚度的 19.86%。

3.2 白云岩

本地区二叠系未见成层的白云岩, 主要为呈斑块状分布的白云岩, 分布在栖霞组的 6、8、12 层; 以及茅口组 9B、11、16、18、19、11、23、25、29、31、34 层。

白云石多为极细晶、细晶菱形晶体, 多沿缝合线和裂缝分布, 表面污浊, 可见雾心亮边结构, 见残余生屑结构。这种白云岩系交代成因, 其原岩大多可能为含生屑泥晶石灰岩或泥晶生屑石灰岩, 也可以是亮晶生屑石灰岩。根据其中的生物组合和围岩的岩性, 判断其沉积环境不具备蒸发泵白云化作用或回流渗透白云化作用的条件, 也不具备近海面的混合白云化作用的条件。因此, 初步推断为埋藏白云化作用, 其中的 Mg^{2+} 可能来源于石灰岩本身和围岩受压实和压溶作用而排出的孔隙水。

阴极发光薄片分析显示, 该剖面碳酸盐岩普遍发暗棕红色光, 其中白云石发光相对较亮, 为暗棕红色—棕红色, 边缘发光较暗, 中心发光相对较亮, 具环带结构。石灰岩中生屑与填隙物发光不太一致, 可见生屑轮廓, 二者界线较清晰。碳酸盐岩普遍发光较暗, 反映其经历了还原环境的成岩改造^[16]。

3.3 碎屑岩

本地区二叠系碎屑岩主要为泥岩和页岩, 分布于栖霞组铜矿溪层和龙潭组, 占剖面总厚度的 11.76%。

铜矿溪层下部为灰黑色、灰黄色页岩, 中部为灰黑色铝土矿层, 具豆粒结构, 上部为黑色页岩夹黄铁矿小晶粒。铝土矿成分主要伊利石和一水铝石, 一水铝石的含量约 20%, 为海洋沉积型铝土矿。沉积环境可能为滨海沼泽环境。

龙潭组下部岩性主要为灰黑色、黑色页岩、砂质页岩、碳

质页岩,其中夹两层煤层,下面一层较薄,约30cm,上面一层较厚,可达3m;上部岩性主要为黄色、黄灰色泥岩、页岩夹薄层粉砂岩,在页岩中还夹菱铁矿结核。推断沉积环境为滨海沼泽或三角洲平原沼泽。

3.4 硅岩

本地区二叠系硅岩较为普遍,主要为硅质结核、团块和条带,在栖霞组的下部见一层状硅岩(2层)。其矿物成分主要为玉髓、少量的白云石与方解石;方解石主要为未被完全硅化的生屑组成,见残余生物结构,明显地反映了对石灰岩交代的特征。硅岩的颜色多为灰黑色,也有呈灰白色和乳白色。灰白色和乳白色的硅岩主要分布在栖霞组(9层、10层)和茅口组(26层、28层)。栖霞组中9层和10层的硅岩为硅质结核,灰黑色与灰白色相间,形成同心状;茅口组中的26层和28层为硅质条带。这类呈灰白色和乳白色的硅岩可能为白云化的产物。

采自于栖霞组第11层下部距底2.5m的样品为灰黑色硅质结核,化学成分分析表明其SiO₂含量56.44%,Al/(Al+Fe+Mn)比值0.09;采自于茅口组第28层底部距底1.5m的样品为

灰白色硅质条带,化学成分分析表明其SiO₂含量为88.31%,CaO含量6.08%;Al/(Al+Fe+Mn)比值0.12;二者的Al/(Al+Fe+Mn)比值介于0.01~0.6,更接近于热水成因^[17-19]。

4 沉积环境分析

根据岩性、古生物、沉积构造、单因素等相标志,对贵州桐梓松坎二叠系剖面各组段的沉积环境作如下分析。

4.1 栖霞组的沉积环境

栖霞早期发生海侵,沉积了铜矿溪层,其下部为灰黑色、灰黄色页岩,中部为灰白色、灰黑色铝土矿层,具豆粒结构,应为海洋沉积型铝土矿;上部为黑色页岩夹黄铁矿小晶粒。沉积环境可能为滨海沼泽环境。铜矿溪层沉积末期,海侵规模扩大,海水加深,才沉积了栖霞组石灰岩。石灰岩类型主要有泥(粉)晶石灰岩(占组厚1.32%)、生屑质泥(粉)晶石灰岩(占组厚10.87%)、泥粉(晶)生屑石灰岩(占组厚19.43%)、亮晶生屑石灰岩(占组厚19.61%)、眼球状石灰岩(占组厚45.79%)、碎屑岩(占组厚2.29%)、层状硅岩(占组厚0.69%)。

根据岩性特征,自下而上可分为3段(图2):下部碎屑岩

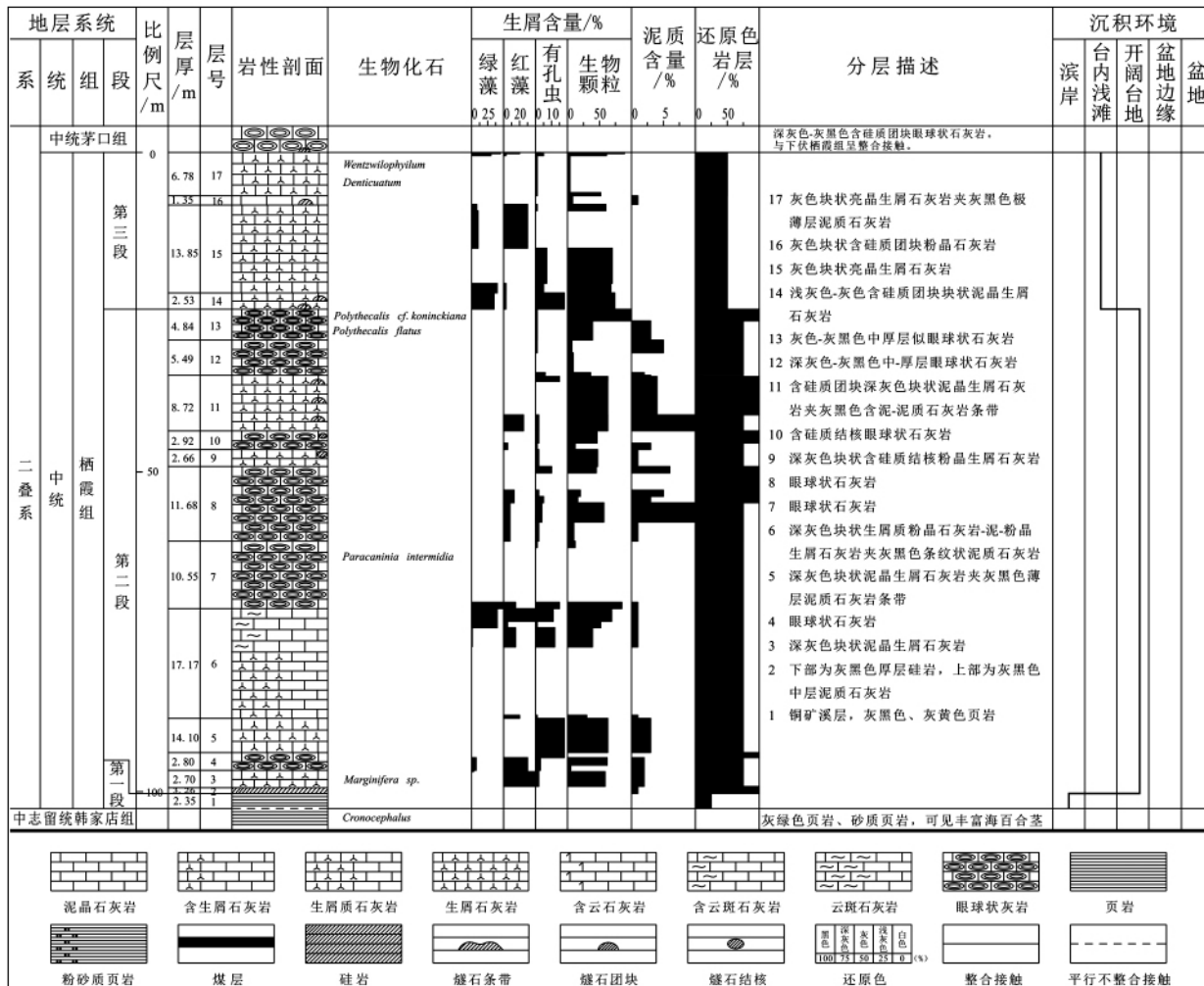


图2 贵州桐梓松坎剖面中二叠统栖霞组岩石特征及沉积环境分析柱状图

Fig. 2 Histogram of petrological characteristics and sedimentary environment analysis of the Middle Permian Qixia Formation of Songkan, Tongzi County, Guizhou Province

段(铜矿溪层)、中部眼球状石灰岩段(2~13层)和上部块状石灰岩段(14~17层)。

(1) 铜矿溪层。下部为灰黑色、灰黄色页岩,中部为灰白色、灰黑色铝土矿层,具豆粒结构,应该为海洋沉积型铝土矿;上部为黑色页岩夹黄铁矿小晶粒。沉积环境可能为滨海沼泽环境。

(2) 眼球状石灰岩段。主要为灰—深灰色中厚层—块状泥(粉)晶生屑石灰岩夹灰黑色薄层含生屑—生屑质泥晶石灰岩,岩石颜色较深,泥质含量 1.26%,含硅质结核、团块,颜色主要为灰黑色,也有灰黑色与灰白色相间,形成同心状,硅质呈灰白色可能是因为含有白云石的缘故。生屑含量较高,平均 30.74%,种类主要有红藻、绿藻、有孔虫、鲕类、海绵、珊瑚、苔藓虫、腕足类、腹足类、双壳类、介形虫、海百合和三叶虫等。早期(1~7层)生屑主要为红藻、绿藻和有孔虫等,说明水体较浅,为浅水开阔台地;晚期(8~13层)生屑多为介壳类,且藻类含量较低,8层见菊花石,菊花石一般形成低洼的陆棚地区^[9],说明沉积时水体较深、循环不畅,沉积环境为较深水的开阔台地或具有缓坡特点的碳酸盐台地环境。

(3) 块状石灰岩段。主要为灰色厚层—块状亮晶生屑石灰岩和泥(粉)晶生屑石灰岩,其中亮晶生屑石灰岩占该段厚度的 82.13%。生屑含量较高,平均含量 65.65%,种类主要有红藻、绿藻、有孔虫和海百合等,还可见鲕类、腕足类、腹足类、珊瑚、管壳石、介形虫和钙球等,局部鲕类较富集。局部重结晶作用强烈,可见细—中晶石灰岩。本段沉积环境能量较高,可能为开阔台地内浅滩。

综上所述,在栖霞初期发生海侵,沉积环境可能为滨海沼泽,铜矿溪层沉积末期,海侵进一步扩大,沉积环境应为浅水开阔台地,一直到 8 层,水体最深,沉积环境可能为较深水的开阔台地或具有缓坡特点的碳酸盐台地环境。而后水体又逐渐变浅,为较浅水的开阔台地。到栖霞晚期,研究区沉积环境演变为开阔台地内浅滩。

4.2 茅口组的沉积环境

本组与栖霞组为连续沉积。自下而上可以分为 4 个岩性段(图 3),依次为下眼球状石灰岩段(1~8层)、中石灰岩段(9~12层)、上眼球状石灰岩段(13~19层)和上石灰岩段(20~40层)。

(1) 下眼球状石灰岩段。岩石颜色较深。眼球为较纯的石灰岩,多为深灰色含生屑泥(粉)晶石灰岩,眼皮为灰黑色薄层生屑质泥晶石灰岩和泥晶生屑石灰岩。该段泥质含量相对较高,为 4.70%。生物碎屑含量较高,平均 42.81%,种类主要为腕足类、有孔虫和介形虫,还可见少量海百合、腹足类和鲕类等,个别层的藻类含量也较高。可见硅质结核、硅质团块。生物组合特征表明为该段沉积时环境为开阔的浅海环境,泥质含量相对较高,说明沉积时水体较深,循环不良,因此本段沉积环境可能为开阔台地较深水环境。

(2) 中石灰岩段。主要为深灰色块状泥(粉)晶生屑石灰

岩,少数为中层。泥质含量相对较低,为 1.47%。生屑含量较高,平均 53.22%,种类主要红藻、绿藻和有孔虫等,还可见腕足类、介形虫、海百合、鲕类、腹足类、珊瑚、苔藓虫、海绵等,其中局部鲕类较富集,个体也较大。可见硅质结核。本段的岩性和古生物特征表明沉积水体较浅,其沉积环境应为开阔台地环境的较浅水环境。

(3) 上眼球状石灰岩段。岩石颜色较深。眼球为较纯石灰岩,一般为深灰色泥(粉)晶生屑石灰岩,眼皮为灰黑色泥晶石灰岩,眼皮中的泥质含量相对较高。常含有硅质条带、结核。该段的泥质含量相对较高,为 4.51%。生屑含量也较高,平均 54.70%,种类主要为红藻、绿藻、有孔虫、腕足类和介形虫等,还可见鲕类、双壳类、腹足类、海绵、苔藓虫和海百合等。生物特征表明沉积环境为开阔的浅海环境,泥质含量相对较高,说明沉积时水体较深、循环不畅,因此本段沉积环境可能为开阔台地较深水环境,但比下眼球状石灰岩段的沉积水体浅。

(4) 上石灰岩段。主要为灰色—深灰色厚层—块状泥(粉)晶生屑石灰岩、生屑质泥(粉)晶石灰岩和亮晶生屑石灰岩,岩石也可见浅灰色,层厚亦有中层。常夹灰黑色薄层泥晶生屑石灰岩。硅质团块、条带较发育。该段泥质含量相对较低,为 0.80%。生屑含量较高,平均 53.29%,且生物组合有规律性。20~28层,生屑主要为绿藻、有孔虫、红藻和海百合;29~31层,生屑主要以海百合为主,且 29 层生屑含量相对较低;32~40层,生物组合和 20~28 层较相似,主要为红藻、绿藻、有孔虫和海百合。其他常见的生物种类有鲕类、腕足类、腹足类、苔藓虫、珊瑚等,其中局部鲕类较富集,个体较大;局部珊瑚较发育。岩性和古生物特征表明本段沉积环境为开阔台地较浅水环境,其中 24、25、26 和 34 层为亮晶生屑石灰岩,沉积环境能量较高,可能为开阔台地内浅滩。

4.3 龙潭组的沉积环境

茅口期末,受东吴运动影响,研究区地壳上升隆起,海水退却,造成了中下统间的沉积间断,本组与下伏茅口组呈平行不整合接触。根据零星露头观察并参阅已有资料,该组下部岩性为灰黑色、黑色页岩、砂质页岩、碳质页岩,其中夹两层煤层,下面一层较薄,约 30cm,上面一层较厚,可达 3m;上部黄色、黄灰色页岩夹薄层粉砂岩,在页岩中还夹菱铁矿结核(图 4)。推断沉积环境为滨海沼泽或三角洲平原沼泽。

4.4 长兴组的沉积环境

本组与下伏龙潭组为连续沉积。岩石类型较单一,主要为泥(粉)晶生屑石灰岩(占组厚的 97.55%),少量粉晶石灰岩(占组厚的 2.45%)。根据岩性特征,自下而上可以分为两段,下段的泥质含量相对较高。本组岩石泥质含量为 3.25%,生屑含量较高,平均 63.78%。主要为红藻、绿藻、有孔虫和鲕类,还有腕足类、介形虫、海百合、腹足类和双壳类等。生物组合具有一定的规律性,下段藻类主要为红藻,而上段藻类则主要为绿藻;下段海百合少见,而上段海百合的含量相对较高;上段的鲕含量比下段高(图 4)。

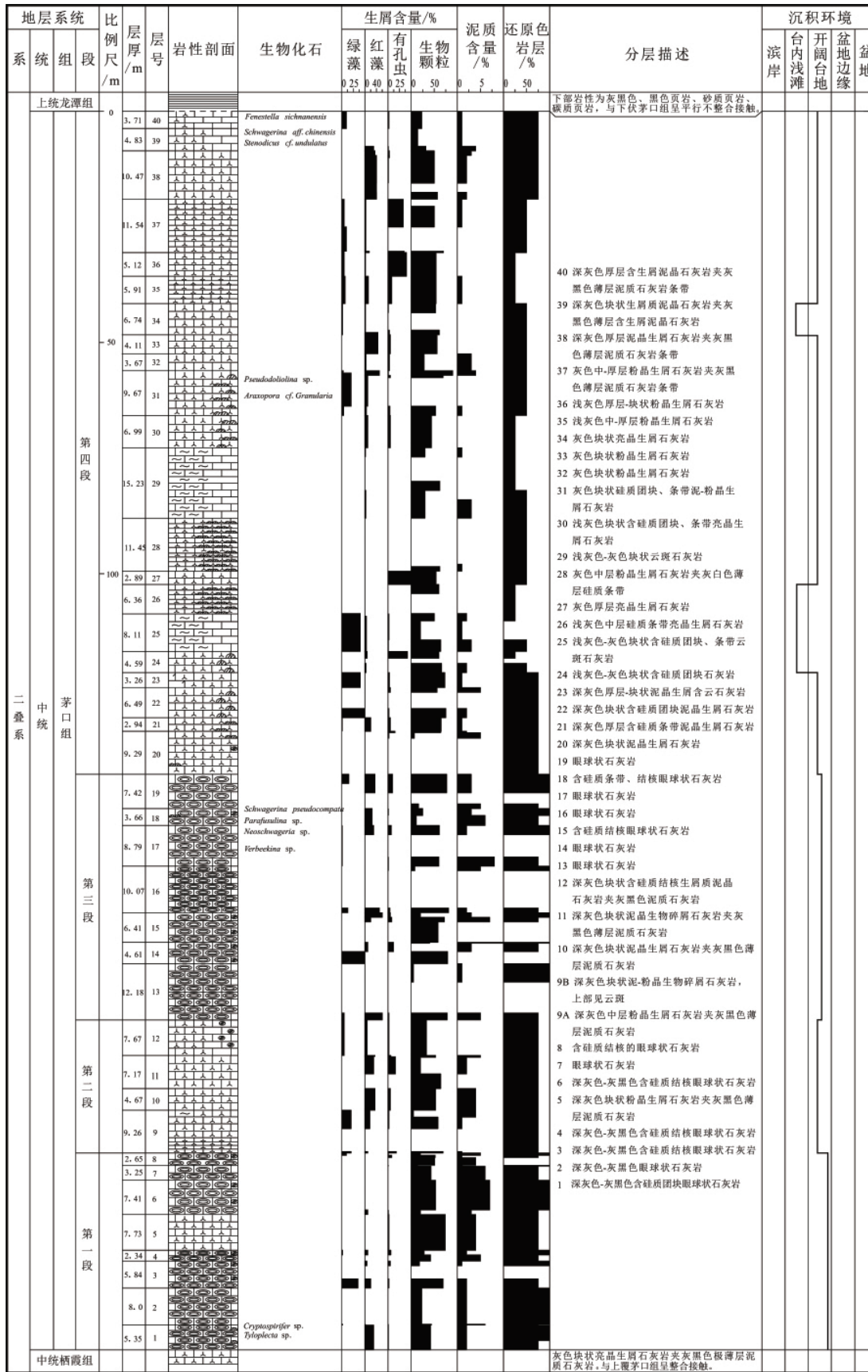


图3 贵州桐梓松坎剖面中二叠统茅口组岩石特征及沉积环境分析柱状图(图例同图2)

Fig. 3 Histogram of petrological characteristics and sedimentary environment analysis of the Middle Permian Maokou Formation of Songkan, Tongzi County, Guizhou Province (legend same as in Fig. 2)

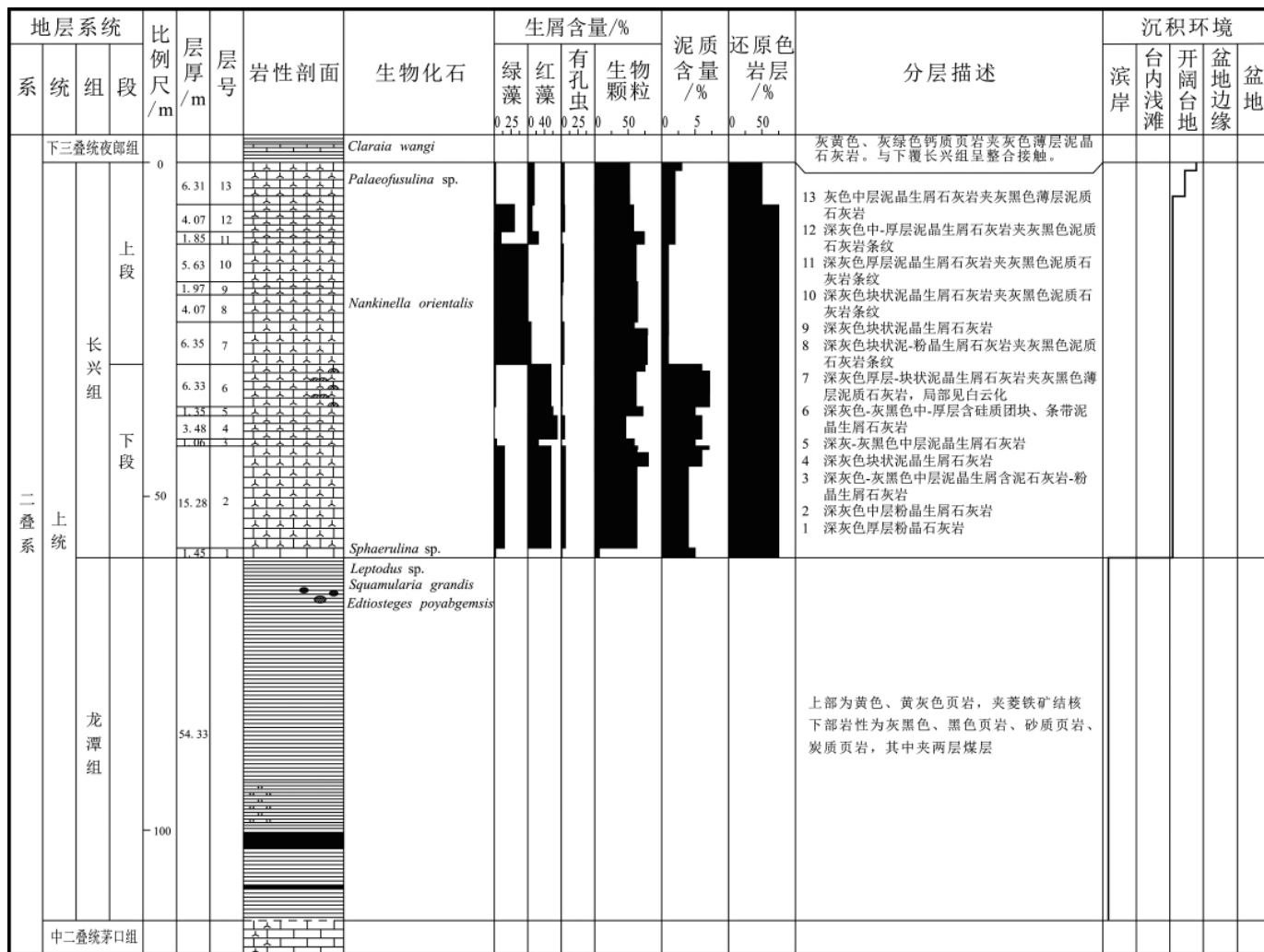


图4 贵州桐梓松坎剖面上二叠统岩石特征及沉积环境分析柱状图(图例见图2)

Fig. 4 Histogram of petrological characteristics and sedimentary environment analysis of the Upper Permian of Songkan, Tongzi County, Guizhou Province (legend same as in Fig. 2)

下段岩石类型主要为深灰色中-厚层泥(粉)晶生屑石灰岩。上部发育硅质团块、结核，泥质含量相对较高，为5.08%，可能是离岸较近的原因。生屑含量较高，平均65.78%，主要为红藻、有孔虫和绿藻，还可见腕足类、介形虫和鲎类等。沉积环境为开阔台地环境较浅水环境。

上段岩石类型主要为深灰色中厚层-块状泥(粉)晶生屑石灰岩夹少量灰黑色薄层泥质石灰岩条纹，顶部为石灰岩夹黄绿色页岩。泥质含量较低，为1.51%。生屑含量较高，平均61.87%，主要为绿藻、红藻、鲎类和有机虫等，还可见海百合、腕足类、介形虫、海绵、腹足类、双壳类和珊瑚等。沉积环境为开阔台地较浅水环境。

纵观贵州桐梓松坎地区二叠纪沉积环境，主要为开阔台地环境、滨岸沼泽环境和台内浅滩环境，经历了两次海侵海退旋回。第一次海侵始于早二叠世栖霞期初期，接受了铜矿溪层的沉积。铜矿溪层沉积末期，海侵进一步加强，栖霞早期，研究区主要为浅水开阔台地，水体有变深的趋势，直到8

层沉积时，水体最深，也应该是整个剖面水体最深的时期，而后水体又逐渐变浅，沉积环境主要为浅水开阔台地和开阔台地内浅滩。茅口早期，海水再次加深，沉积了下眼球石灰岩段，而后水体变浅，沉积了中石灰岩段，接着水体又一次加深，沉积了上眼球石灰岩段，其沉积水深应该比下眼球石灰岩沉积时期的要浅，茅口晚期水体再次变浅，沉积环境主要为浅水开阔台地和开阔台地浅滩。到茅口末期，受东吴运动的影响，研究区地壳上升隆起，海水退却，造成了茅口期与龙潭期之间的沉积间断，龙潭期的沉积环境可能为滨岸沼泽或三角洲平原沼泽。晚二叠世长长期，地壳再度下降，海水复进，为第二次海侵，沉积环境主要为浅水开阔台地。

5 结论

(1) 贵州桐梓松坎剖面二叠系总厚度484.02m，其中化石类型十分丰富，以底栖生物为主，门类多，含量高，其化石组合属藻类有孔虫腕足类组合，其中藻类的分布具有一定的规

律性,翁格达藻主要分布于茅口组的上石灰岩段的 24~37 层;长兴组的下段藻类主要为红藻(二叠钙藻),长兴组的上段藻类则主要为绿藻。

(2) 贵州桐梓松坎二叠系岩石类型主要为石灰岩和碎屑岩,以及少量的白云岩和硅岩。石灰岩进一步可以分为生屑石灰岩、生屑质石灰岩、含生屑石灰岩、泥(粉)晶石灰岩和眼球状石灰岩等。其中眼球状石灰岩的沉积环境为碳酸盐台地,是受上升流作用的影响,由沉积和差异压实共同作用形成的;白云岩则可能是埋藏白云化作用形成的;硅岩主要为交代成因,硅质来源与热水活动相关。

(3) 沉积环境分析表明研究区二叠纪沉积环境主要为不具高能边缘礁、滩的缓坡型碳酸盐岩开阔台地,台地内局部发育浅滩,此外还发育滨岸。沉积演化表明研究区二叠纪发生了两次较大的海进、海退旋回,第一次海侵始于早二叠世栖霞初期,结束于茅口末期;第二次海侵始于龙潭初期,直至长兴期末结束。

参考文献 (References)

- [1] 冯增昭. 单因素分析综合图法——岩相古地理学方法论[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 70-77.
Feng Zengzhao. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 70-77.
- [2] 冯增昭. 单因素分析多因素综合图法——定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3-19.
Feng Zengzhao. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(1): 3-19.
- [3] 盛金章. 中国的二叠系[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 1-93.
Sheng Jinzhang. The permian of China[M]. Beijing: Science Press, 1992: 1-63.
- [4] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社, 1985: 75-83.
Wang Hongzhen. The atlas of palaeogeography of China [M]. Beijing: Sinomaps Press, 1985: 75-83.
- [5] 冯增昭, 何幼斌, 吴胜和, 等. 中下扬子地区二叠纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 25-41.
Feng Zengzhao, He Youbin, Wu Shenghe, et al. Lithofacies palaeogeography of the Permian of middle and lower Yangtze region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 25-41.
- [6] 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 1997: 7-53.
Feng Zengzhao, Yang Yuqin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies palaeogeography of the Permian of south China [M]. Dongying: China University of Petroleum Publishing House, 1997: 7-53.
- [7] 王立亭, 陆邦彦, 赵时久, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-12.
Wang Liting, Lu Bangyan, Zhao Shijiu, et al. Lithofacies palaeogeography and mineralization of the Permian of south China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-12.
- [8] 曾鼎乾. 四川华蓥山二叠系调查追记 [J]. 中国地质科学院院报, 1984, 5(9): 109-117.
Zeng Dingqian. Journal of Chinese Academy of Geology Science, 1984, 5(9): 109-117.
- [9] 张正华. 黔南二叠纪地层[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988: 1-113.
Zhang Zhenghua. The Permian of south Guizhou Province [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1988: 1-113.
- [10] 李国辉, 李翔, 宋蜀筠, 等. 四川盆地二叠系三分及其意义[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(3): 20-26.
Li Guohui, Li Xiang, Song Shujun, et al. Exploration and Development of Gas, 2005, 28(3): 20-26.
- [11] 冯增昭. 沉积岩石学 (上册)[M]. 2 版. 北京: 石油工业出版社, 1993: 308-320.
Feng Zengzhao. Sedimentary petrology (Vol 1)[M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 308-320.
- [12] 罗进雄, 何幼斌, 王丹, 等. 湖北兴山大峡口剖面二叠系岩石特征及沉积环境分析[J]. 古地理学报, 2009, 11(4): 393-404.
Luo Jinxiong, He Youbin, Wang Dan, et al. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(4): 393-404.
- [13] 罗进雄, 何幼斌. 中-上扬子地区二叠系眼球状石灰岩特征及成因研究[J]. 地质论评, 2010, 56(5): 629-637.
Luo Jinxiong, He Youbin. Geological Review, 2010, 56(5): 629-637.
- [14] 张继庆, 冯纯江, 杜德勋, 等. 四川盆地早二叠世碳酸盐沉积作用及风暴沉积作用[M]. 重庆: 重庆出版社, 1986: 11-74.
Zhang Jiqing, Feng Chunjiang, Du Dexun, et al. Carbonate sedimentation and storm deposit of early Permian of Sichuan Basin[M]. Chongqing: Chongqing Press, 1986: 11-74.
- [15] 李双应, 洪天求, 金福全, 等. 巢县二叠系栖霞组臭灰岩段异地成因碳酸盐岩[J]. 地层学杂志, 2001, 25(1): 69-74.
Li Shuangying, Hong Tianqiu, Jin Fuquan, et al. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(1): 69-74.
- [16] 王英华, 张绍平, 潘荣胜. 阴极发光技术在地质学中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 30-39.
Wang Yinghua, Zhang Shaoping, Pan Rongsheng. Application of cathodoluminescence technology in geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 30-39.
- [17] Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the northern Pacific: Their geological significance as indication of oceanic ridge activity[J]. Sedimentary Geology, 1986, 47(1-2): 125-148.
- [18] Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environment of cherts and associated rocks in the Francis-can and Shiment terrances [J]. Sedimentary Geology, 1987, 48: 65-108.
- [19] 杨玉卿, 冯增昭. 华南下二叠统层状硅岩的形成及意义[J]. 岩石学报, 1997, 13(1): 111-120.
Yang Yuqin, Feng Zengzhao. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(1): 111-120.
- [20] 颜佳新, 张宽忠, Carlson E H. 华南地区栖霞组“菊花石”假象与海泡石矿成因探讨[J]. 矿物岩石, 2000, 20(4): 1-5.
Yan Jiaxin, Zhang Kuanzhong, Carlson E H. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20(4): 1-5.

(责任编辑 马宇红, 朱宇)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。