

上扬子地台北缘 小壳动物群爆发前夕的古海洋环境

庞艳春 王绪本 林 丽 / 著

**Ancient marine environment on the eve of
Small Shelly Fauna radiation in the northern margin of
the Upper Yangtze Platform**



科学出版社

上扬子地台北缘小壳动物群 爆发前夕的古海洋环境

庞艳春 王绪本 林 丽 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是对上扬子地台北缘小壳动物爆发前夕的古海洋环境特征综合研究的成果总结,扼要地介绍研究意义及研究简史,对研究区的灯影组进行详细的划分与对比,并详细描述和分析了各段岩石学特征及古生物学特征,总结了川北南江地区灯影组地层的沉积环境变化及相应的古生物演化规律;对灯影组各段地层岩石中的微量元素、稀土元素、常量元素和硅同位素特征进行分析,总结灯影组的地球化学特征变化,结合地层古生物特征及古沉积地质背景,探讨小壳动物爆发前夕的古海洋环境特征及变化。本书还讨论了壳体成分与围岩及古环境的关系;根据地层特征和地球化学特征,简要阐述了本区灯影组的含矿性特征与古环境的关系。

本书可供地质教学、科研人员以及地层古生物、沉积环境学和地球化学等专业工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

上扬子地台北缘小壳动物群爆发前夕的古海洋环境 / 庞艳春, 王绪本, 林丽著. — 北京: 科学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-03-054572-5

I. ①上… II. ①庞… ②王… ③林… III. ①古海洋学 IV. ①P736.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 232362 号

责任编辑: 李小锐 唐 梅 / 责任校对: 韩雨舟

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017年9月第一次印刷 印张: 7.25

字数: 146千字

定价: 68.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

前寒武纪晚期—寒武纪早期是地球演化史上最重大的变革时期之一。这一时期涉及超大陆的裂解、早期生命辐射、全球生物地球化学循环以及环境变迁等一系列全球性的重大科学问题，因此前寒武系—寒武系界线地层特征一直是国际上古生物学家和地层学家最为关注的研究课题之一。

寒武纪金钉子最终在加拿大纽芬兰布伦半岛查佩尔岛组剖面建立，以遗迹化石 *Phycodes pedum* 的首次出现作为界线，是北美、北欧和中欧地区(北大西洋—太平洋区)前寒武系—寒武系界线剖面的代表(钱逸, 1999)。但是，该层型剖面主要是以硅质碎屑岩相为主，剖面不完整，难以与中国扬子地台区的含有丰富小壳化石和具有可对比的稳定同位素资料的碳酸盐相界线剖面进行对比(钱逸等, 2002)。

前寒武系—寒武系界线地层在中国扬子地台区出露最好，典型剖面包括云南晋宁梅树村剖面、会泽大海剖面、永善肖滩剖面(罗惠麟等, 1980, 1985, 1991; 钱逸等, 1984)，贵州织金戈仲伍剖面(罗惠麟等, 1988)，湖北宜昌三斗坪剖面(丁莲芳等, 1992)，陕西宁强宽川铺大河子沟剖面(丁莲芳等, 1983)，四川峨眉麦地坪剖面(殷继成等, 1980; 马叶情等, 2008)等。通过剖面资料的总结可知，华南地区的前寒武系—寒武系界线位于灯影组顶部地层中(表 1)。

表 1 扬子地台分区的前寒武系—寒武系界线地层系统(据杨遵和等, 1983, 修改)

地层系统		云南晋宁地区		四川峨眉地区		陕西宁强地区		四川南江地区		湖北宜昌地区			
寒武纪	梅树村阶	筇竹寺组	石岩头段 (玉案山段)		筇竹寺组	马林崖段	郭家坝组	筇竹寺组	沙滩段 (下段)				
			(中谊村段 三段)	大海段					三段 (磨坊岩段 或新立段)				
				中谊村段									
		灯影组	小歪头山段		灯影组	三段 (麦地坪段)	灯影组	三段 (宽川铺段)	灯影组	三段 (天柱山段 或黄鳝洞组)			
	灯影组		待补段								二段 (高家山段)	二段 (高家山段)	二段 (高家山段)
			白岩峭段										
埃迪卡拉纪	灯影峡阶		一段 (龙潭街段)			一段		一段 (藻白云岩段)		一段 (杨坝段)	一段		

灯影组(Z_2-C_1d)系李四光等于 1924 年创建的“灯影石灰岩”演变而来的。其命名地点在湖北宜昌市西北 20km 长江南岸石碑村至南垞村的灯影峡(辜学达

和刘啸虎, 1997)。原始定义: “上震旦系灯影石灰岩: 白色块状呈峭壁形的石灰岩, 多少带白云质; 在风化表面上有坚硬的矽质夹层突出。” 现今灯影组定义为以浅灰—深灰色中厚层—块状白云岩为主, 夹白云质灰岩、灰岩, 硅质岩薄层及条带, 时夹少量泥质页岩, 富含微古植物及藻类化石, 近顶部含小壳动物化石磷矿层, 与下伏观音崖组白云岩夹粉砂岩或陡山沱组粉砂质页岩为整合接触, 与上覆筇竹寺组或牛蹄塘组或邱家合组底部碳质页岩、粉砂质页岩或硅质岩夹白云岩呈整合或平行不整合接触的地质体。本组岩性及厚度均较稳定, 以白云岩为主的宏观特征较明显, 广泛出露于扬子地台的许多地区, 在鄂西、黔中、滇东、川西、陕南等地尤其发育(辜学达和刘啸虎, 1997)。扬子地台区的灯影组厚度一般为 800~1000m。根据生物地层和岩石地层特征, 灯影组可分三个段: 灯影组一段(杨坝段或龙潭街段)主要为藻白云岩及微晶、泥晶白云岩, 根据藻类化石又可分为三层, 即下藻层、葡萄状白云岩和上藻层; 灯影组二段(高家山段或白岩哨段), 主要为含燧石条带的泥晶白云岩, 底部常有数米至 50m 的碎屑岩, 产褐藻及印痕、遗迹化石, 顶部常有磷块岩层, 该层位在陕南一带产有著名的高家山生物群, 时代属于前寒武纪晚期; 灯影组三段(扬子地台的不同分区分别称其为麦地坪段、宽川铺段、天柱山段、中谊村段、磨坊岩段或者新立段), 一般厚 20~40m, 最厚达 80m, 主要为含胶磷矿的细晶白云岩和硅质条带白云岩, 底部为含硅质条带或扁豆体的白云质灰岩及黑色薄层状硅质岩, 厚 10~33m, 该段与下伏灯影组二段(高家山段)为连续沉积, 以产丰富的小壳化石为特征, 时代属于早寒武世早期。

产在前寒武系顶部(灯影组二段、高家山段或白岩哨段)的高家山生物化石群, 主要由后生动物的蠕虫类、球壳类、似水母类等实体化石和遗迹化石组成, 并可见宏观藻类与其共生, 发现于陕西宁强。近年来对于高家山生物群的研究发现, 该生物群除含大量后生动物遗迹化石、宏观藻类化石和软躯体蠕虫类外, 还存在骨骼化带壳动物新类群化石(张录易等, 2001; 华洪等, 2001; Meyer et al., 2012)。而产在寒武系底部(灯影组麦地坪段、宽川铺段或磨坊岩段或新力段等)普遍出现的小壳化石, 主要包括软舌螺类、软体动物(双壳类、单板类、腹足类、喙壳类)、腕足类、锥石类、海绵化石、棘皮动物骨板及一些分类位置不明的类别(原牙形石和牙状化石类、具腔骨片类、钉形化石、托莫特壳类、球形化石、阿巴纳管类等)(何廷贵等, 1981, 1984, 1987, 1989; 陈孟莪等, 1981; Yu, 1988; 秦洪宾, 1988; 李国祥, 1992; Siegmund, 1997; 李国祥, 1999; 钱逸, 1999; Yue and Bengtson, 1999)。从前寒武纪晚期以软躯体动物为主的生物面貌到寒武纪初的以带壳小个体后生动物为主的生物面貌, 这一生物事件的转变一直是令很多研究者迷惑的问题, 因此对其环境研究也就成了当前科学研究的热点。

越来越多的资料显示(郭庆军等, 2004; Kouchinsky et al., 2007; 余光模等, 2010)前寒武系—寒武系界线处 ^{13}C 同位素负漂移具有全球一致性。聂文明等(2006)根据黔中的碳同位素特征研究认为, 是上升洋流将深部 ^{13}C 耗尽的水体带到浅水区域沉积形成 ^{13}C 负漂移, 即古海洋中可能存在上升洋流, 大洋环流作用增强(Cook, 1992)。Ling等(2007)认为陡山沱组末期的大洋转换释放了二氧化碳到大气中, 升高了温度, 随后灯影期的高生产率得到复兴, 导致灯影组中出现较高的碳同位素值。黄志诚等(1999)根据对江苏句容、南京市幕府山、湖北京山、四川峨眉山的灯影组中上部的白云岩的碳氧同位素分析及原生白云石胶结物包裹体测定, 认为前寒武纪晚期的古海洋为炎热蒸发的高盐度的古海洋。研究者(马文辛等, 2011)对渝东地区前寒武系—寒武系灯影组硅质岩的元素地球化学特征进行研究, 提出该区灯影组中的硅质岩可能存在热水沉积成因。Wen等(2011)根据云南梅树村剖面的 Mo 同位素特征分析认为, 氧化条件在前寒武纪就已经逐步发生并持续, 这些海洋化学条件在寒武纪初发生了完全重组并导致寒武纪初的生物多样性。但也有研究认为(张同钢等, 2004; 彭花明等, 2006a, 2006b), 扬子地台灯影期古海水虽然具有较高的碳、硫同位素值, 但总体上有缓慢降低的趋势, 可能是灯影期古海洋出现了缓慢氧化的特征。Kouchinsky(2012)根据全球前寒武纪末期至早寒武世小壳动物矿化骨骼的分布特征, 认为晚前寒武纪至早寒武纪的海洋存在一个化学波动, 小壳动物辐射是在一个以富高镁方解石和文石为特征的海洋环境中发生的。Sato等(2014)提出, 高度富磷的海水背景可能是发生小壳动物群迅速分布事件的主要原因。以上资料显示, 前人对前寒武系—寒武系界线层位的沉积环境的研究虽已取得重要进展, 但主要集中在含小壳化石的上下层位(灯影组中上部层位或上部层位)。生物面貌的演化应该是一个从渐变到突变的积累过程, 作者认为对于小壳动物爆发前夕(整个灯影组沉积时期或更长时期)的古海洋环境及背景的系统研究和综合研究应该是解释小壳动物爆发原因的关键。

区域资料(四川省矿产局和成都理工大学南江区调大队, 1995; 赵兵, 1999)表明, 川北南江地区构造简单, 前寒武系—寒武系界线地层出露广泛, 灯影组以碳酸盐岩为主, 地层完整。而在这一地区灯影组中的磨坊岩段、新立段和沙滩段中富含丰富的小壳化石, 被认为是研究前寒武系—寒武系界线地层又一理想区域(杨暹和等, 1983; 杨暹和和何廷贵, 1984; 何原相和杨暹和, 1986; Steiner et al., 2004)。综合区域资料和野外踏勘工作可知, 川北南江地区是研究扬子地台北缘小壳动物爆发前夕古海洋环境的理想区域。

本书的主要内容: 对上扬子地台北缘的南江地区灯影组进行了详细的划分与对比, 结合对各段岩石学特征和古生物学特征的详细描述与分析, 总结了川北南江地区灯影组地层的沉积环境变化及相应的古生物演化规律; 对灯影组各段地层

岩石中的微量元素、稀土元素、常量元素和 Si 同位素特征进行了分析,总结界线地层的地球化学特征,结合地层古生物特征及古沉积地质背景,探讨了小壳动物爆发前夕的古环境特征;研究灯影组磨坊岩岩段中的小壳化石成分和结构特征,分析壳体原生成分与围岩的关系,探讨壳体成分与沉积环境的关系。

本书用事实说明,小壳动物群爆发前夕的古海洋环境发生了重要的变化,多种因素促成了小壳动物的爆发,构成了寒武纪生物大爆发的第一幕,对小壳动物爆发前夕的古海洋环境进行综合研究,将为早期生命演化的地质背景提供很好的客观材料和依据。另外,前寒武纪—寒武纪界线地层中,常见磷矿、镍钼矿等,前寒武纪—寒武纪界线地层的地球化学特征研究可以为界线地层的含矿性预测提供依据。

本书内容是在国家自然科学基金(41173058、40839909)、四川省教育厅青年基金(2011-532)、成都理工大学中青年骨干教师培养计划(JXGG201214)、成都理工大学沉积地质学科科研创新团队项目(KYTD201703)和四川省一流学科建设经费(2017)资助下,在著者博士后研究成果基础上进一步丰富和完善而成。在研究过程中,感谢导师王绪本教授和林丽教授给予的重要指导和帮助,以及成都理工大学何廷贵教授、侯明才教授的重要指导!另外,在研究工作中,成都理工大学博士后科研流动站、成都理工大学沉积地质研究院沉积地质实验室和地层古生物学实验室、成都理工大学地球物理学院以及成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室、中国科学院广州地球化学研究所、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、湖北省宜昌地质研究所、西南冶金测试中心、核工业北京地质研究院分析测试研究中心等有关单位和个人给予大力支持!电镜扫描工作是在冯明石博士的帮助下完成的,野外及室内的研究工作还得到了马叶情、黄永皇、李雅楠、孙红强、王寒栋、王琛、隗延章、汪晟、黎坤秀、刘定坤、邱浩、李天民等研究生及本科生的相助!另外,本书引用了国内外很多学者的观点和图件!在此,一并表示最衷心的感谢!

由于编写时间仓促和水平有限,书中难免有不足之处,敬请各位前辈和同行批评指正!

著者

2017年9月

目 录

第 1 章 地层	1
1.1 地质概况	1
1.2 地层划分沿革	2
1.3 剖面列述	4
1.4 地层划分与对比	13
第 2 章 岩石古生物特征及沉积环境分析	16
2.1 藻白云岩段	16
2.1.1 岩石学特征	16
2.1.2 古生物特征	19
2.1.3 沉积环境分析	20
2.2 砂质白云岩段	22
2.2.1 岩石学特征	22
2.2.2 古生物特征	24
2.2.3 沉积环境分析	25
2.3 高家山段	25
2.3.1 岩石学特征	25
2.3.2 古生物特征	28
2.3.3 沉积环境分析	30
2.4 碑湾段	30
2.4.1 岩石学特征	30
2.4.2 古生物特征	32
2.4.3 沉积环境分析	33
2.5 磨坊岩段	33
2.5.1 岩石学特征	33
2.5.2 古生物特征	35
2.5.3 沉积环境分析	38
第 3 章 地球化学特征及环境讨论	39
3.1 元素地球化学特征分析	39
3.1.1 样品选择及实验方法	39

3.1.2 微量元素结果及讨论	40
3.1.3 常量元素结果及讨论	53
3.2 硅同位素特征及分析	61
3.2.1 样品选择及实验方法	61
3.2.2 实验结果及讨论	62
3.3 有机碳含量特征及分析	62
3.3.1 样品选择及测试	62
3.3.2 实验结果及讨论	63
第4章 地层含矿性分析及其与环境的关系	66
4.1 地层含矿性分析	66
4.1.1 磷成矿性分析	66
4.1.2 镁成矿性分析	66
4.1.3 生油岩分析	67
4.2 与环境的关系	68
第5章 小壳动物化石成分特征及其与环境的关系	69
5.1 材料和方法	69
5.2 岩石薄片中的小壳化石特征	69
5.3 乙酸处理过的小壳化石特征	73
5.4 讨论	79
第6章 古生物主要属种描述	81
6.1 小壳动物	81
6.2 藻类	88
参考文献	90
图版说明及图版	95

第1章 地 层

1.1 地质概况

川北南江地区构造上位于上扬子地台的北缘(图 1-1)。现有资料表明, 本区地质演化经历了晚太古代—早古生代克拉通结晶基底、晋宁期克拉通褶皱基底、澄江期大陆裂谷、晚震旦世—中三叠世克拉通盖层、印支运动以来陆内盆山耦合—推覆构造形成五大演化阶段, 构造变形强烈, 多期活动叠加或置换(魏显贵等, 1997)。区内扬子地台结晶基底、褶皱基底和沉积盖层均有出露。南江地区的前寒武系—寒武系界线地层所处构造阶段为晚震旦世—中三叠世克拉通盖层阶段。晚震旦世开始, 米仓山地区处于被动大陆边缘广海沉积环境, 沉积了一套浅海型碳酸盐岩、碎屑岩。

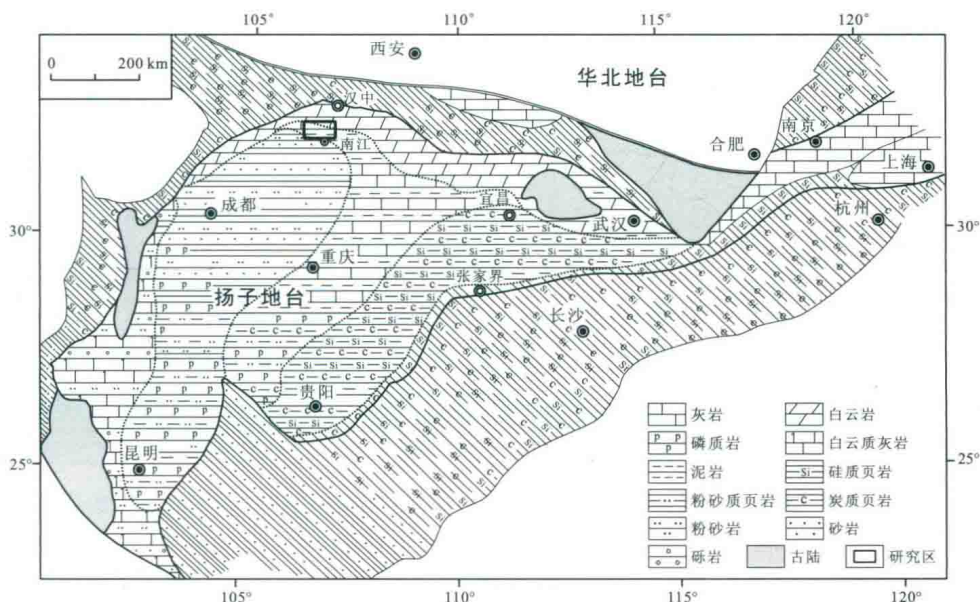


图 1-1 震旦纪末—寒武纪初中国扬子地台区岩相古地理简图(据马永生等, 2009, 改绘)

南江地区行政区划归属于四川省巴中市, 东邻通江县, 南接巴州区, 西接旺苍县, 北靠陕西省南郑县, 区内有国道和省道通过, 交通方便(图 1-2)。

1:20万区域地质测量报告南江幅(1965)和1:5万区域地质调查报告曾家—盐井河—檬子—关坝—吴家垭—国华—楠木—南江幅(1995)显示,川北南江地区出露的地层有中上元古界和震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系、侏罗系及少量的第四系。研究区内的震旦系和寒武系地层单位由老到新依次为:观音崖组、灯影组、筇竹寺组、仙女洞组和陡坡寺组。灯影组顶部灰岩中含有大量小壳动物化石,前寒武系—寒武系界线位于灯影组顶部。根据1:5万南江幅及相邻幅地质图(1995)可知,区内构造简单,灯影组和筇竹寺组的地层走向主要沿北东—南西向展布。

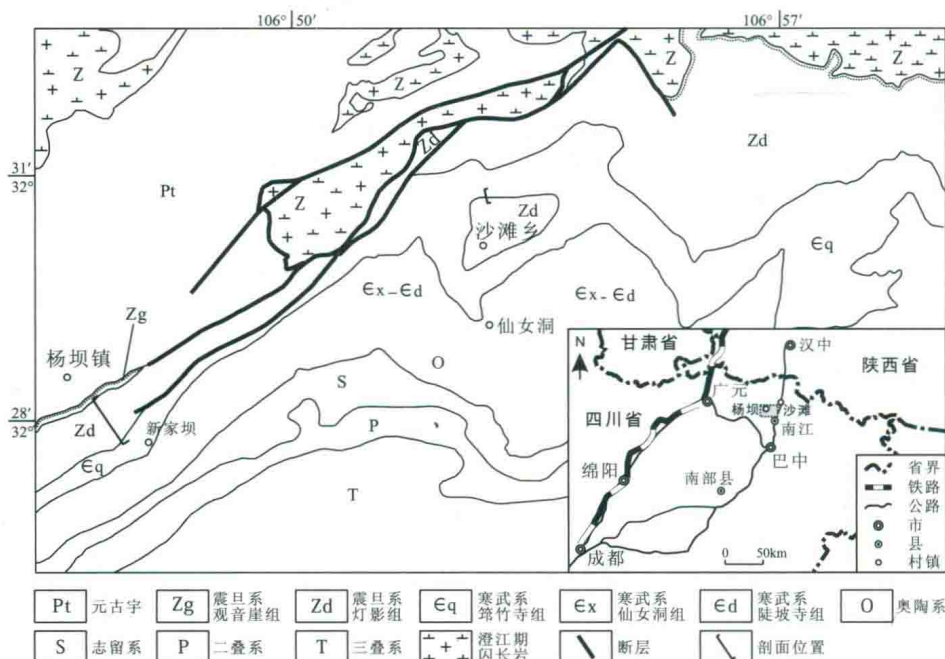


图 1-2 四川省南江地区前寒武系—寒武系界线分布简图

(四川省矿产局和成都理工大学南江区调大队, 1995, 略有修改)

1.2 地层划分沿革

南江地区的灯影组, 岩性、厚度及岩相比较稳定, 为一套以白云岩为主的地层, 上覆于观音崖组碎屑岩之上, 下伏于筇竹寺组杂色泥页岩之下。对于研究区内前寒武系—寒武系界线岩石地层的划分, 有多种不同的划分方案(表 1-1)。

杨暹和等(1983)根据生物特征将本区的灯影组由下至上分为三段: 杨坝段、高家山段和磨坊岩段(或新立段)。杨坝段, 主要为藻白云岩及微晶、泥晶白云岩, 地层特征与扬子地台区总体特征基本一致。高家山段, 下部为黑色薄板状硅质层及白云质砂岩, 灰绿色细纹状粉砂岩, 含砾砂岩及砾岩, 上部为白色、灰白

色微—细晶白云岩夹纹层状藻白云岩以及含硅质条纹带的微晶—细晶白云岩，与扬子地台区的高家山段总体特征相比，顶部缺失磷块岩层。磨坊岩段，由含沥青的灰黑色灰岩、白云质石灰岩组成，底部为含硅质条带或扁豆体的白云质灰岩及黑色薄层状硅质岩，厚10~33m。新立段，主要为含胶磷矿砂屑白云岩及含硅质条带的细晶白云岩，下部有硅质胶磷矿薄层，底部为薄层条纹带状硅质白云岩，该段与磨坊岩段为同时异相的沉积。

表 1-1 灯影组岩性分段历史沿革及邻区对比表

地区 文献 地层单位	陕西北强地区		川北南江地区								
	丁莲芳等(1992)		杨暹和等(1983)		四川省矿产局和成都理工大学南江区间大队(1995)		赵兵(1999)		本书(2017)		
寒武纪	郭家坝组		筇竹寺组		筇竹寺组		筇竹寺组		筇竹寺组		
	灯影组	宽川铺段	灯影组	磨坊岩段/新立段		灯影组	三段		灯影组	磨坊岩段	
碑湾段		高家山段		二段			四段			碑湾段	
高家山段				一段			三段			高家山段	
藻白云岩段				杨坝段	一段		二段			砂质白云岩段	
			一段		藻白云岩段						
埃迪卡拉纪	陡山沱组		观音崖组		观音崖组		观音崖组		观音崖组		

四川地矿局南江幅1:5万区调报告(1995)，将南江杨坝灯影组剖面由下至上划分为三段：灯一段($Z_2d^2n_1$)、灯二段($Z_2d^2n_2$)、灯三段($Z_2d^2n_3$)。灯影组一段，岩性及厚度都较稳定，厚为520~588m，下部主要为灰、灰白色中厚层纹层状及葡萄状或皮壳状渗流白云岩，上部主要为灰色中厚层石英砂质白云岩、砂屑泥微晶白云岩夹微晶白云岩，主要为潮间—潮上带沉积，与杨暹和等(1983)划分的杨坝段一致；灯影组二段，厚度为23~49m，岩性主要为黄灰色中层含砾白云质长石石英砂岩及中薄层粉砂质泥岩，中部夹黄灰色中薄层流纹质凝灰岩及灰黑色中薄层硅泥岩，主要为潮下混合带至台盆环境沉积，海水相对较深，相当于杨暹和等(1983)划分的高家山段下部特征；灯影组三段，厚度为196m，岩性主要为灰—深灰色中厚层夹块状条带(纹层)状硅化细粉晶白云岩，硅质条带或纹层占20%~40%、偶见假角砾状白云岩，岩层中含有少量的磷质。

赵兵(1999)在参照四川地矿局南江幅1:5万区调报告(1995)的划分方案的基础上，根据灯影组一段地层上下部的岩性差异将原灯影组细分为两段，分别称为灯影组一段和二段，原灯影组二段、三段分别变为灯影组三段和四段。此时灯影组一段的特征为皮壳状白云岩及藻白云岩；二段为灰色中厚层石英砂质白云岩、砂屑泥微晶白云岩夹微晶白云岩；三段相当于区调报告上的原二段，岩性主

要为黄灰色中层含砾白云质长石石英砂岩及中薄层粉砂质泥岩,中部夹黄灰色中薄层流纹质凝灰岩及灰黑色中薄层硅泥岩;而四段相当于区调报告上的原三段,岩性主要为灰—深灰色中厚层夹块状条带(纹层)状硅化细粉晶白云岩。

与本研究区相邻的陕西宁强地区的灯影组地层特征与本区灯影组特征十分接近,丁连芳等(1992)将该陕西宁强地区灯影组统一划分了四个段,由下到上依次为:藻白云岩段(下白云岩段)、高家山段、碑湾段和宽川铺段。藻白云岩段,以浅灰色、灰白色中—厚层白云岩,厚层块状藻白云岩夹葡萄状、花斑状结构的白云岩为特征,含微古植物化石。高家山段,一套以碎屑岩为主的地层,下部为灰绿色、紫红色粉砂质泥岩,黑色硅质岩;中部为黄绿色泥质粉砂岩夹中薄层灰岩及灰岩透镜体;上部为灰色、灰黑色硅质灰岩夹薄层粉砂岩、页岩等,含软躯体后生动物化石、遗迹化石、宏观藻类及微古植物化石,该段在标准地点的厚度为 55m。碑湾段,相当于原高家山组的上部地层,主要是灰色—灰白色厚层块状白云岩、细晶白云岩、层纹状白云岩夹硅质结核或硅质条带,含微古植物化石,顶部含遗迹化石,标准地点厚 365m。宽川铺段,一套含硅的浅海碳酸盐岩沉积,岩石类型主要是灰色、深灰色中层状含沥青质灰岩,含胶磷矿砂屑、砾屑灰岩、硅质岩、磷块岩及中厚层白云岩,富含多门类小壳化石和微古植物,标准地点厚 60~70m。

为了能够很好地进行区域生物地层资料的对比以及避免段落名称混淆,本书采用生物地层特征和岩石特征相结合的方法,将南江地区灯影组的分段特征和名称修订如表 1-1 所示。

1.3 剖面列述

灯影组在南江地区出露较好,1:5 万区域地质调查报告(南江幅,1995)中的典型剖面为杨坝剖面,沿公路展布。而完整保留前寒武系界线特征的地层剖面,主要是沙滩剖面和新立剖面。作者近年来通过在南江地区的考察工作,对灯影组露头较好的剖面进行了观测和更为详尽的实测,并系统取样。各剖面详细特征如下列叙述。

1. 杨坝剖面

杨坝剖面位于南江县杨坝镇,南江县至杨坝的公路旁,灯影组各段出露较为完整,交通方便。通过观测、补测和采样,对原剖面的岩石特征进行了补充。

上覆地层为筇竹寺组的黑色页岩。

——— 平行不整合接触 ———

灯影组

磨坊岩段(8.64m)

17-3 为深灰色块状中细晶灰岩。灰岩中含少量的小壳化石: *Protoherzina anabarica* 和 *Zhijinities lubricus*。

5.39m

17-2 灰色含硅质条带的灰岩。

3.25m

碑湾段(187.81m)

17-1 灰色中厚层弱硅化微晶白云岩。

4.47m

16 深灰色厚一块状硅化叠层石藻白云岩。

45.22m

15 灰白色中层微晶白云岩与深灰色中薄层硅化叠层藻白云岩互层。

29.5m

14 中上部为深灰色厚层假角砾状泥微晶白云岩,下部为灰色至深灰色厚层泥微晶白云岩。可见保存较好的叠层石。

31.29m

13 灰白色中厚层泥微晶白云岩。

44.65m

12 灰色、深灰色厚层硅化粉晶化泥微晶白云岩及硅化去膏化泥微晶白云岩。

32.93m

高家山段(48.97m)

11 灰色、黄灰色中厚层云基长石石英砂岩及含泥质石英粉砂岩,夹含砾云基长石石英砂岩。

6.35m

10 灰黑色中一薄层硅泥基含砂硅泥岩或硅质岩。

5.23m

9 黄灰色薄层流纹质沉凝灰岩。

18.19m

8 中上部为灰黄色中薄层泥质粉砂岩,下部为黄灰色中层泥基长石石英粉砂岩。

8.79m

7 黄灰色中层云砾屑长石石英砂岩、泥质粉砂岩、泥岩构成一个完整的沉积旋回。

10.41m

砂质白云岩段(145.71m)

6 灰色、深灰色中—厚层泥微晶白云岩。

53.73m

5 灰色厚层石英粉砂质泥微晶白云岩。

44.61m

4 灰色中层含石英粉砂泥微晶白云岩及含砂屑泥微晶白云岩, 该层含动物化石碎屑。

48.37m

藻白云岩段(373.66m)

3 灰色中厚层条带状隐藻白云岩夹多层葡萄状白云岩。

186.13m

2 浅灰色中—厚层皮壳状微细晶白云岩。

85.89m

1 灰色至灰白色中—厚层皮壳状渗流白云岩及层纹石白云岩。含藻类化石 *Balios conferus*、*Balios pinguensis*、*Renalcis* sp.。

101.64m

——整合接触——

观音崖组

灰色中—中厚层石英砂岩。

2. 杨坝南公路剖面

该剖面与杨坝剖面相邻, 位于杨坝公路南, 地层特征和岩石学特征清楚, 岩石样品新鲜易采。该段剖面以藻白云岩为主, 常见皮壳结构和藻纹层, 其特征相当于杨坝剖面灯影组藻白云岩段, 底部与观音崖组整合接触关系清楚, 但上部出露不完整。对该段地层进行了详细实测和系统采样, 剖面详细特征如下。

灯影组**藻白云岩段(>92.3m)**

7 灰色至灰白色中厚层皮壳状白云岩, 皮壳状结构发育, 皮壳大小不一, 藻白云岩少见。

28.18m

6 灰白色块状藻白云岩, 皮壳发育, 个体较大, 直径多大于5cm, 沿着岩层面密集分布。

11.02m

5 灰白色中厚层藻白云岩,局部可见皮壳状白云岩。此处藻白云岩极发育。

5.34m

4 灰白色中厚层皮壳状白云岩,常见纹层状藻白云岩或条纹状藻白云岩。

4.58m

3 灰黑色块状细晶皮壳状藻白云岩,皮壳直径为5~7cm,此处鸟眼构造发育。

11.98m

2 灰黑色块状细—微晶白云岩,局部可见纹层状夹层(0.5~1cm厚)和鸟眼构造(长轴直径为1~2cm),孔洞中充填亮晶方解石。

17.67m

1 灰色块状泥微晶白云岩为主,夹有少量条带状藻灰岩。

13.32m

————— 整合接触 —————

观音崖组

0 灰色中—中厚层石英砂岩。

3. 杨坝茶溪村剖面

该剖面位于杨坝乡茶溪村,距离原杨坝剖面较近,位于原杨坝剖面西侧山头的西坡上。该剖面地层以碎屑岩为主,相当于原杨坝剖面的高家山段,高家山段地层出露完整,上下地层接触关系清楚,剖面几乎无覆盖,利于观察。对该段地层进行了详细实测和系统采样,剖面详细特征如下。

灯影组碑湾段

8 灰色厚层—块状白云岩、灰质白云岩,可见灰黑色致密的硅质透镜体或硅质条带夹层。

>3m

————— 整合接触 —————

高家山段(34.93m)

7 黄褐色—灰色薄层泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,其中粉砂岩中含白色石英晶体(晶体直径约1cm),呈斑状分布。

1.39m

6 黄色中薄层中细粒云基石英砂岩、砂质白云岩、泥质粉砂岩、泥岩构成,呈韵律重复出现。

2.13m

5 灰色、灰黑色薄层含细砾岩屑/砂的粉砂岩, 水平层理发育。

1. 56m

4 黑色—灰黑色中薄层致密硅质岩、硅质页岩, 有时可见碎屑结构。

5. 90m

3 灰色—灰绿色中薄层含绿泥石流纹质沉凝灰岩, 具水平层理或纹层。

8. 84m

2 浅灰绿色或灰白色中薄层泥页岩, 风化严重, 岩石具明显褪色现象。

5. 55m

1 黄灰色薄层中细粒石英砂岩、灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩构成旋回。

9. 56m

——— 整合接触 ———

藻白云岩段

0 灰色厚层—块状白云岩, 溶孔发育, 可见刀砍纹, 风化明显。

>5m

4. 杨坝观音崖剖面

该剖面位于原杨坝剖面—观音崖段, 灯影组碑湾段出露完整。对该段地层进行了详细实测和系统采样, 剖面详细特征如下。

上覆地层为筇竹寺组黑色页岩。

——— 平行不整合接触 ———

灯影组

磨坊岩段

11 灰黑色块状细晶灰岩, 底部灰岩中具有硅质岩夹层。细晶灰岩中含少量的小壳动物化石, 包括 *Zhijinites lubricus*、*Protoherzina anabarica*。

8. 64m

碑湾段(189. 34m)

10 灰白色块状硅化微晶白云岩和细晶白云岩, 纹层构造常见, 局部还可见条带构造, 纹层为黑色, 多碳化, 可见假角砾构造。

34. 48m

9 浅灰色至深灰色块状细晶白云岩, 白色纹层增多, 黑色条带在上部呈现逐渐增多的现象。

17. 47m

8 灰色—深灰色厚层—块状砂屑白云岩, 此处段条带相对下面地层中的条带