滇西保山地区奥陶系至志留系仁和桥组笔石生物地层

郑书粲[1]，冯庆来[2*]，龙精杰[2,3]，陶振鹏[1]

1. 黄冈师范学院建筑工程学院，湖北 黄冈 438000；
2. 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074；
3. 湖南省地质灾害调查监测所，长沙 410029

第一作者，E-mail：zhengshucan@cug.edu.cn

* 通信作者，E-mail：qinglaifeng@cug.edu.cn

2024-08-03 收稿；2024-11-18 修回；2024-11-21 接受

基金项目：湖北省自然科学基金计划项目“滇西下志留统仁和桥组黑色岩系成烃生物类型对有机质富集的影响机理研究”（2024AFB337）；黄冈师范学院高级别培育项目“保山地块仁和桥组黑色泥页岩成烃生物演化规律研究”（202525404）；湖北省教育厅哲学社会科学研究项目“鄂东古生物化石的调查、发掘与开发利用研究”（23Q072）；中石化勘探分公司项目“保山地块页岩气资源调查与评价”（合同编号“35450003-22-ZC0607-0003”）

中图分类号：P534；Q911　　文章编号：2096-8523(2025)04-0256-17　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240430

摘　要：滇西保山地区广泛发育奥陶系–志留系仁和桥组黑色岩系。为了建立其笔石地层时空对比框架，以云南保山市施甸县半坡剖面和茶地剖面为研究对象，开展了生物地层学和岩石学研究。研究表明，研究区仁和桥组总厚度约 71.6 m，底部发育一层厚约 25 cm 的古风化壳，与下伏蒲缥组呈平行不整合接触，证明研究区在晚奥陶世曾暴露于地表。基于高分辨率笔石化石调查，识别出了上奥陶统赫南特阶至志留系兰多维列统特列奇阶共 9 个笔石带，自下而上依次为 *Metabolograptus persculptus* 带（仁和桥组第 1 笔石带，后续简称 R1）、*Akidograptus ascensus* 带（R2）、*Parakidograptus acuminatus* 带（R3）、*Cystograptus vesiculosus* 带（R4）、*Coronograptus cyphus* 带（R5）、*Demirastrites triangulatus* 带（R6），*Lituigraptus convolutus* 带（R7），*Stimulograptus sedgwickii* 带（R8）和 *Spirograptus guerichi* 带（R9）。与扬子地区龙马溪组笔石生物地层对比表明，保山地区仁和桥组 9 个笔石带能够与龙马溪组 LM1 ~ LM9 笔石带相对应。此研究成果为保山地区仁和桥组页岩气调查评价建立了良好的笔石生物地层学基础。

关键词：奥陶系–志留系；仁和桥组；笔石生物地层；龙马溪组；滇西保山地区

奥陶系顶部至志留系底部黑色岩系在全球范围内广泛分布，欧洲北部至中部波罗的海盆地早古生代含油气地层、西伯利亚地块含油气地层、挪威–丹麦盆地富有机质层系以及美国阿纳达科盆地黑色页岩等均为该时期原特提斯洋周缘烃源岩勘探开发重点层系[1-4]。在过去十几年里，我国四川盆地周缘奥陶系–志留系五峰组–龙马溪组含笔石黑色页岩勘探开发取得了重要突破，其研究成果成为该套烃源岩评价的典范[5-8]。除了沉积环境、沉积类型和烃源岩控制因素的研究外，实现该套地层页岩气精准预测的重要支撑点在于被称作“黄金卡尺”的笔石带的建立与完善[9-10]。20 世纪末至 21 世纪初，关于奥陶纪末–志留纪初笔石生物地层的研究多围绕着全球生物大灭绝和生物复苏这 2 大课题展开[9]，随着页岩气勘探开发的开展，笔石生物地层研究再次兴起，笔石带的建立为全球地层对比提供了精准的时间框架，既可用于选定黑色页岩层系中最有潜力的开发层位，也可用于圈定黑色页岩的空间分布[9-12]。研究成果及探勘开发成果表明，五峰组–龙马溪组 WF2-LM4 笔石带对应的富有机质页岩段是进行页岩气开采的重点层位[10, 13-14]。

该套岩系在我国滇西也广泛发育，保山地区奥

著录信息：郑书粲，冯庆来，龙精杰，等. 滇西保山地区奥陶系至志留系仁和桥组笔石生物地层[J]. 地质科技通报，2025，44(4)：256-272.
ZHENG Shucan, FENG Qinglai, LONG Jingjie, et al. Graptolite Biostratigraphy of the Ordovician to Silurian Renheqiao Formation in the Baoshan region, southern Yunnan, China[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(4): 256-272.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjtb.cug.edu.cn

陶系–志留系仁和桥组是一套沉积厚度大且有机质富集的页岩层段[15]，其大地构造分区属于滇缅泰马地块，在志留纪早期靠近印度大陆北缘，处在阿拉伯地区与华南地区之间的原特提斯洋周缘[16]。然而，目前关于该地区基础地质和页岩气地质的研究较为缺乏，不足以支撑其页岩气勘探评价工作的进行。首先，关于仁和桥组笔石带的划分存在不同认识：云南省地质矿产局[17]在仁和桥组命名剖面建立了 11 个笔石带；倪寓南等[18]结合保山地区若干剖面研究结果，以施甸响水坳剖面为主，建立了 8 个笔石带；ZHANG 等[19]在老尖山剖面建立了与扬子地区 LM1 ~ LM7 带对应良好的 7 个笔石带。其次，关于仁和桥组与下伏地层蒲缥组的接触关系认识不一致[11, 19-20]。因此，开展仁和桥组命名剖面的地层学研究至关重要。然而，由于仁和桥组最初命名剖面——半坡剖面下部遭到人类活动破坏，故本研究以半坡剖面为主，选取临近其西侧约 1 km 处的茶地剖面作为补充，通过连续密集的笔石化石系统采集及鉴定，划分仁和桥组岩石地层和笔石生物地层，对比施甸地区历年来笔石地层划分方案，探讨奥陶系–志留系地层接触关系，并与扬子地区龙马溪组笔石生物地层进行对比讨论，旨在为进一步进行保山地区仁和桥组页岩气地质研究奠定地层学基础。

1　仁和桥组地层层序

茶地剖面和半坡剖面行政区划位于云南省保山市施甸县仁和桥镇以西约 3 km 的半坡村西部，沿半坡村至浑水塘村的乡间小路分布(图 1)。研究区大地构造位置位于滇缅泰马地块北部，保山地区中部[16-17]。区内古生代及中生代地层发育、化石丰富、地层序列完整。奥陶系和志留系自下而上划分为蒲缥组、仁和桥组和栗柴坝组，均发育较好。多年调查研究表明，仁和桥组地层出露于云南保山、泸水、凤庆、施甸、镇康一带，为一套深水环境沉积形成的富含笔石的台盆相黑色岩系，发育水平层理及黄铁矿颗粒(透镜体)，其地质时代划归奥陶纪末期至早志留世初期[17, 20]。

1.1　茶地剖面

茶地剖面为人工修路形成的新鲜剖面，地层出露良好，层序清晰，笔石化石丰富。剖面奥陶系–志留系地层自下而上为蒲缥组和仁和桥组(图 2)。

现将茶地剖面奥陶系–志留系地层(图 3a)描述如下：

仁和桥组(未见顶)

第 10 层：黑色薄层碳质页岩，局部发育厚度为 1 ~ 2 mm 的粉砂质纹层，最厚可达 3 ~ 4 mm。镜下可见明显碳质条带、泥质条带和粉砂质条带(图 3a，CD-10 样品点)。产笔石 *Pernerograptus revolutus gracilentus*，*Demirastrites magnificus*，*Rastrites guizhouensis* 等。地层厚度 3.80 m。

第 9 层：灰黑色薄层细砂岩。野外呈现颗粒感明显、无水平纹层的特征。地层厚度 0.20 m。

第 8 层：黑色薄层状碳质泥岩，水平纹层发育。产笔石 *Oktavites communis juvenis*，*Monograptus xizangensis* 等。地层厚度 1.15 m。

第 7 层：黑色薄层状粉砂质泥岩，距底部 0.9 m 处夹有一层厚 10 cm 的泥岩。产笔石 *Demirastrites triangulatus*，*Petalolithus minor*，*Normalograptus crassus* 等。地层厚度 2.20 m。

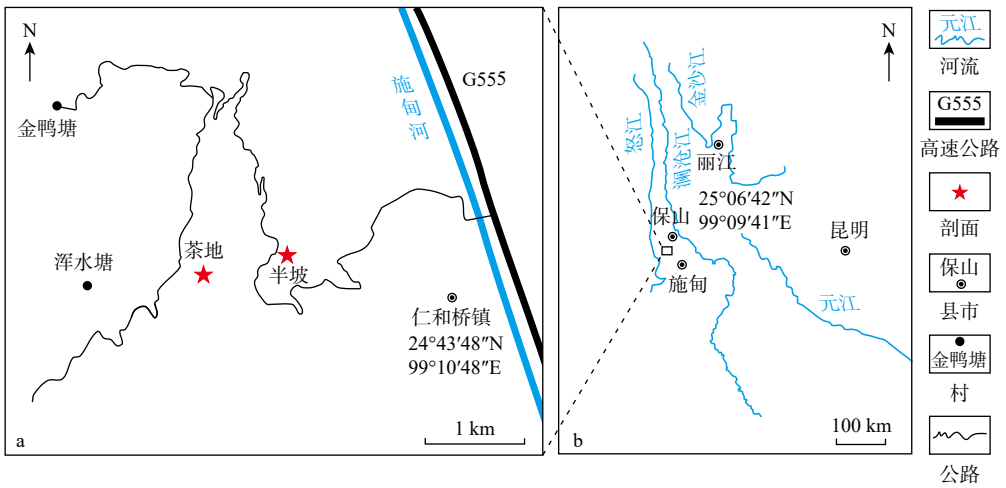


图 1　茶地剖面和半坡剖面交通位置图

Fig. 1　Location maps of the Chadi section and the Banpo section



a. 剖面露头及第 1 层蒲缥组和第 2 ~ 4 层仁和桥组地层界限; b. 仁和桥组第 2 层古风化壳; c. 仁和桥组第 5 层平行层理; 数字代表仁和桥组第 1 ~ 4 层地层

图 2　茶地剖面典型标志层

Fig. 2　Stratigraphic boundary and typical marker bed of Chadi section

第 6 层: 黑色薄层状碳质页岩, 顶部和底部均为 7 ~ 10 cm 薄层泥岩。产笔石 *Petalolithus palmeus*, *Corongraptus gregarius*, *Coronograptus cyphus* 等。地层厚度 1.10 m。

第 5 层: 黑色薄层状含碳质粉砂质泥岩。水平纹层发育(图 2c), 薄片显示碳质含量较第 4 层明显减少, 泥质及粉砂质颗粒明显增多。产笔石 *Glyptograptus clavatus*, *Petalolithus palmeus*, *Lituigraptus convolutus* 等。地层厚度 0.85 m。

第 4 层: 黑色薄层状碳质页岩, 底部为一层厚约 10 cm 的碳质泥岩, 中间夹若干层 3 ~ 5 cm 薄层状泥岩。在薄片下, 碳质团块呈絮网状分布于泥质成分周围, 体积分数在 25% ~ 35% 之间。(图 3a, CD-4 样品点)。底部产笔石 *Akidograptus ascensus*, *Metabolograptus wangjiawanensis* 等; 下部产笔石 *Parakidograptus acuminatus*; *Normalograptus scalaris*; 中部产笔石 *Cystograptus vesiculosus*, *Normalograptus similis* 等; 上部产笔石 *Coronograptus cyphus* 等。地层厚度 5.05 m。

第 3 层: 灰黑色薄层状粉砂质泥岩。薄片下呈明显泥质结构, 颗粒主要为石英, 分布于泥质成分中, 局部聚集呈条带状, 分选磨圆差, 体积分数约占 25%。仅见笔石化石, 产笔石 *Metabolograptus persculptus*, *Metabolograptus ojsuensis*, *Metabolograptus extraordinarius, Normalograptus xainzaensis* 等。地层厚度 0.85 m。

第 2 层: 古风化壳。地层厚度 0.25 m。

----------平行不整合 ----------

蒲缥组(凯迪阶)

第 1 层: 黄绿色中薄层状含钙质团块生物碎屑钙质泥岩(图 2a)。野外整体特征为紫红色粉砂质泥岩和灰绿色泥岩交替产出。下部为紫红色粉砂质泥岩; 上部产有大量手指大小钙质团块, 生物化石多样, 海林檎化石和头足类化石丰富, 产海百合类、三叶虫类、角石类、双壳类、腹足类等古生物门类化石。地层厚度 1.45 m。

1.2　半坡剖面

半坡剖面位于施甸县仁和桥镇半坡村, 为仁和桥组最初命名剖面。由于村镇建设, 剖面下部被破坏和覆盖; 上部仍出露较好, 层序清晰, 笔石化石丰富。

现将半坡剖面志留系地层(图 3b)描述如下:

仁和桥组(未见顶)

第 8 层: 灰黑色薄层状含碳质泥岩, 发育纹层状构造, 风化面为灰白色。镜下显示主体为黏土矿物, 体积分数约 65%; 粉砂体积分数约 25%, 主要为石英、长石和云母; 碳质体积分数约 10%(图 3b, BP-12 样品点)。有若干笔石富集层, 产笔石 *Oktavites spiralis*, *Oktavites communis rostratus*, *Demirastrites triangulatus*, *Demirastrites magnificus*, *Pribylograptus acuminatus*, *Monograptus* cf. *halli*, *Monograptus rhynchophorus*, *Diplograptus changningensis*, *Streptograptus* cf. *nanshanensis*, *Streptograptus crisptus*, *Streptograptus linearis*, *Rastrites guizhouensis densus*, *Rastrites urceolus*, *Climacograptus divaricatus* 等。地层厚度 8.8 m。

第 7 层: 浅灰色至灰绿色薄层状粉砂质泥岩, 泥质含量向上升高, 风化面为紫红色。薄片显示中下部黏土矿物体积分数约 60%, 粉砂质主要为次棱角状石英、长石和云母, 上部碳质含量增高, 体积分数约 40%(图 3b, BP-9-4 样品点)。产笔石 *Pristiograptus sichuanensis*, *Demirastrites triangulatus*, *Demirastrites decipiens valens*, *Pernerograptus galaensis*, *Pernerograptus qijiangensis*, *Monograptus gemmatus*, *Monograptus capillaris*, *Monograptus* cf. *halli*, *Monograptus rhynchophorus*, *Lituigraptus convolutus*, *Rastrites linggispinus* 等。地层厚度 6.3 m。

第 6 层: 灰色纹层状粉砂质泥岩, 纹层由白色粉砂质与黑色泥质互层组成。薄片显示粉砂级陆源碎屑体积分数约 50%, 主要为次棱角状石英、长石和云母,

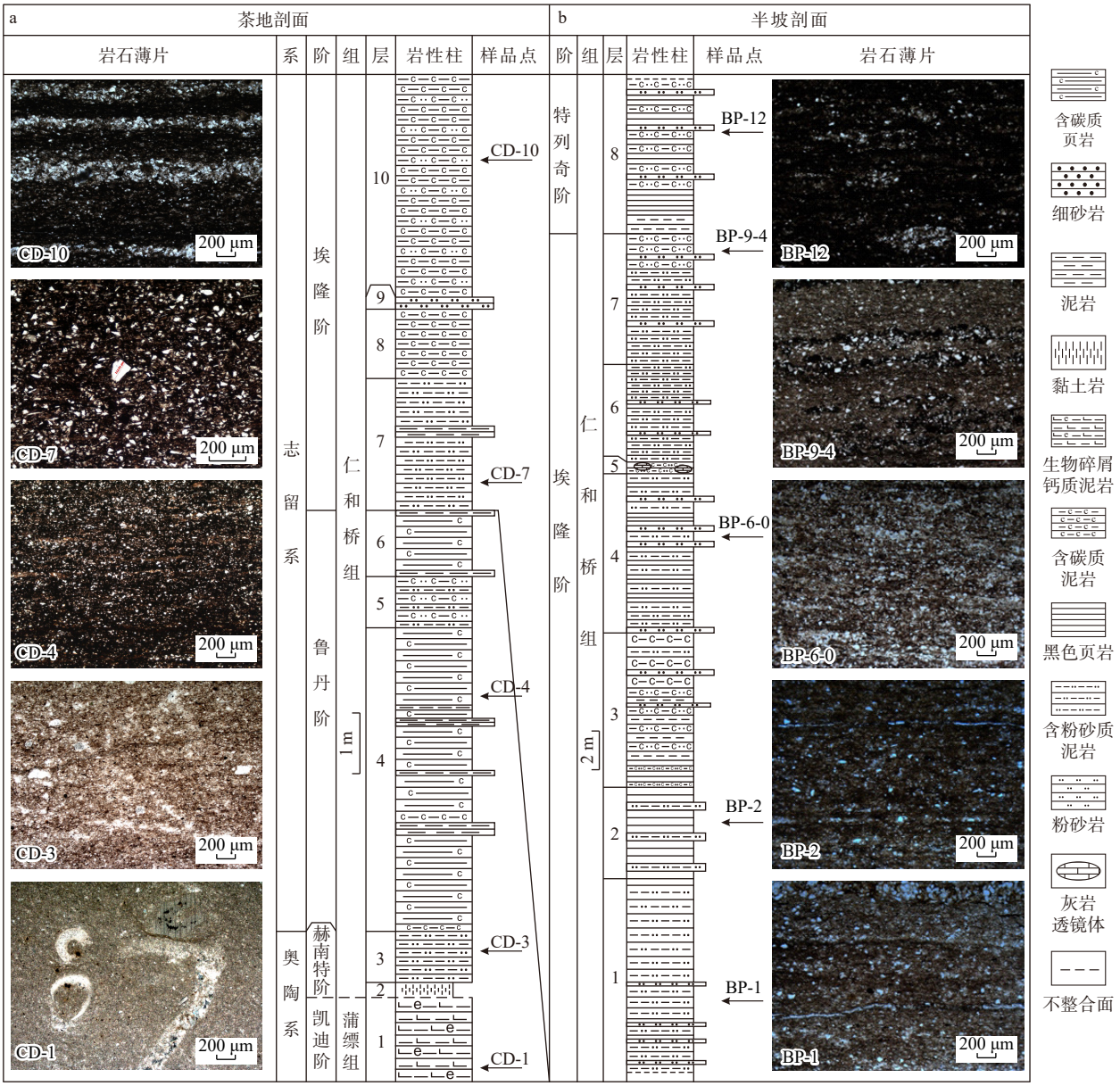


图 3　茶地剖面（a）和半坡剖面（b）岩性柱状图和代表性岩石薄片照片

Fig. 3　Lithostratigraphic column and the representative lithologic thin sections of the Chadi section (a) and the Banpo section (b)

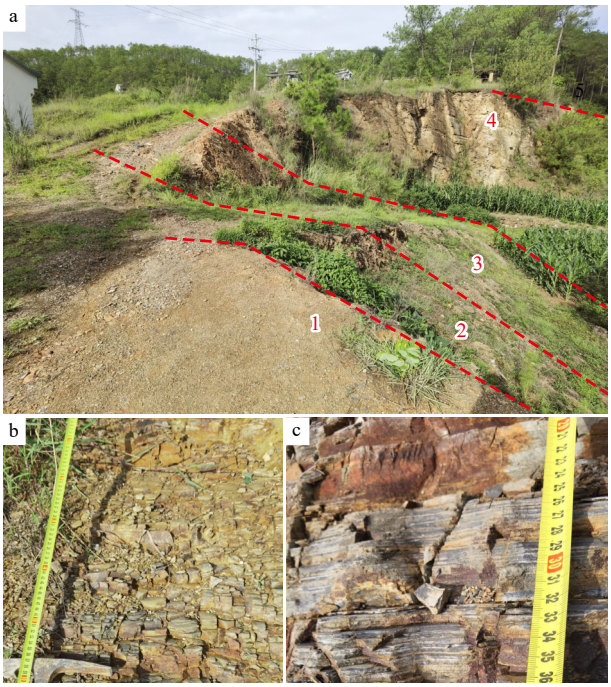
黏土矿物体积分数约 45%, 碳质体积分数约 5%。产笔石 *Demirastrites triangulatus*, *Monograptus* cf. *halli*, *Rectograptus gaoluoensis*, *Normalograptus xainzaensis*, *Normalograptus scalaris* 等。地层厚度 5.4 m。

第 5 层: 风化面呈红褐色的含碳质粉砂质泥岩, 夹细小的灰岩透镜体, 透镜体长半径约为 12 cm。底部出现笔石 *Lituirgraptus convolutus* 和 *Petalolithus folium tornquisti*。地层厚度 0.6 m。

第 4 层: 深灰色含粉砂质泥岩, 风化面为灰白色。薄片显示碳质含量下降, 黏土矿物体积分数约 60%, 粉砂体积分数约 25%, 陆源碎屑主要为石英、长石、云母, 分选磨圆较好, 石英长石呈次圆−次棱角状颗粒, 云母呈片状(图 3b, BP-6-0 样品点)。产笔石 *Rastrites guizhouensis densus*, *Climacograptus scalaris*, *Demirastrites denticulatus*, *Oktavites gansuensis*, *Pernerograptus qijiangensis* 等。地层厚度 8.8 m。

第 3 层: 灰黑色纹层状碳质泥岩。纹层由白色粉砂质与黑色泥质互层组成(图 4c)。薄片显示碳质体积分数向上升高, 约为 35%, 边缘清晰的粉砂级陆源碎屑体积分数约 15%, 石英、长石呈次棱角状, 黑云母呈片状或条带状, 粉砂纹层与泥质纹层交互产出。产笔石 *Pristiograptus concinnus*, *Climacograptus scalaris*, *Rastrites guizhouensis densus* 等。地层厚度 8.6 m。

第 2 层: 浅灰色含粉砂质泥岩, 局部夹粉砂岩薄层, 风化面呈红褐色。薄片显示黏土矿物体积分数



a. 剖面露头及仁和桥组地层界线; b. 仁和桥组第 1 层, 风化面为灰白色的薄层状碳质泥岩; c. 仁和桥组第 3 层, 纹层状清晰的碳质泥岩; 数字代表仁和桥组第 1 ~ 4 层地层

图 4　半坡剖面野外照片

Fig. 4　Outcrop photos of the Banpo section

偏高, 约为 70%, 边缘清晰的粉砂级陆源碎屑体积分数约 15%, 石英和长石呈次棱角–次圆状颗粒, 黑云母呈片状, 砂质纹层与泥质纹层交互产出, 碳质体积分数约 15%(图 3b, BP-2 样品点)。笔石产出丰富, 含笔石 *Demirastrites magnificus*, *Rastrites distans*, *Diplograptus changningensis*, *Monograptus rhynchophorus*, *Streptograptus runcinatus*, *Euclimacograptus hastatus* 等。地层厚度 5.1 m。

第 1 层: 灰色含碳质粉砂质泥岩, 局部夹粉砂岩薄层。露头风化面呈浅黄色(图 4a, b), 新鲜面呈灰黑色, 薄片显示黏土矿物体积分数高达 70%, 含边缘清晰的粉砂级陆源碎屑体积分数约 25%, 石英和长石呈次棱角状颗粒, 黑云母呈片状, 砂质纹层与泥质纹层交互产出, 碳质体积分数约 5%(图 3b, BP-1 样品点)。产笔石 *Demirastrites triangulatus*, *Demirastrites magnificus*, *Monograptus gemmatus*, *Monograptus yichangensis*, *Rastrites distans*, *Rectograptus abbreviatus*, *Oktavites spiralis*, *Pristiograptus sichuanensis*, *Pernerograptus raphidos* 等。地层厚度 11 m。

未见底。

2　仁和桥组笔石生物地层划分

为了系统研究仁和桥组地质时代, 对茶地剖面和半坡剖面仁和桥组进行了精细连续采样, 部分笔石照片分别见图 5, 6。在茶地剖面共采集化石 918 件, 鉴定出 29 属, 123 种, 建立了 6 个笔石带。根据这些带化石在剖面中的首现位置, 分别定名为: *Metabolograptus persculptus* 带(仁和桥组第 1 笔石带, 后续简称 R1 带)、*Akidograptus ascensus* 带(仁和桥组第 2 笔石带, 简称 R2 带)、*Parakidograptus acuminatus* 带(仁和桥组第 3 笔石带, 简称 R3 带)、*Cystograptus vesiculosus* 带(仁和桥组第 4 笔石带, 简称 R4 带)、*Coronograptus cyphus* 带(仁和桥组第 5 笔石带, 简称 R5 带)和 *Demirastrites triangulatus* 带(仁和桥组第 6 笔石带, 简称 R6 带)。

半坡剖面露头虽受到风化作用影响, 但笔石保存状况良好, 属种丰富, 在层面上多呈叠加状或散点状分布, 碳质硬体薄膜清晰, 可以清晰识别包括胞管在内的绝大多数笔石生物发育特征。共采集化石 862 件, 鉴定出 25 属, 111 种, 建立了 4 个笔石带, 分别为 *Demirastrites triangulatus* 带(仁和桥组第 6 笔石带, 简称 R6 带), *Lituigraptus convolutus* 带(仁和桥组第 7 笔石带, 简称 R7 带), *Stimulograptus sedgwickii* 带(仁和桥组第 8 笔石带, 简称 R8 带)和 *Spirograptus guerichi* 带(仁和桥组第 9 笔石带, 简称 R9 带)。

现将各笔石带化石分布及化石特征介绍如下。

R1 带(图 7): 产于茶地剖面, 以第 3 层出现的 *Metabolograptus persculptus* Elles and Wood(雕刻中间笔石)首现为标志(图 5b)。笔石体长约 27 mm, 始部尖削, 宽约 1 mm, 向上增宽至 2 ~ 2.3 mm, 两侧近于平行, 胞管腹缘和口缘呈波形弯曲, 掩盖 1/2, 两列交错排列。该带内出现的属种有: *Metabolograptus ojsuensis* Koren' and Mikhailova, *Metabolograptus extraordinarius* Sobolevskaya, *Normalograptus xainzaensis* Mu and Ni, *Diplograptus parallelus* Li, *Climacograptus disparatus* Huang 等。

R2 带(图 7): 产于茶地剖面, 以第 4 层底部 *Akidograptus ascensus* Davies(向上尖笔石)首现为标志(图 5c)。笔石体细小, 出露长度 4 mm, 始端尖削, 横过第一对胞管口处宽 0.3 mm, 向上逐渐增宽。该带出现较多的化石有同属的 *Akidograptus cuneatus* Chaletzkaya, *Avitograptus avitus* Davies, *Metabolograptus wangjiawanensis* 等。

R3 带(图 7): 产于茶地剖面, 以第 4 层下部 *Parakidograptus acuminatus* Nicholson (尖削拟尖笔石)首现为标志(图 5d)。笔石体长约 18 mm, 始端尖削, 向上逐渐增至最大宽度约 1.5 mm。第 2 个胞管



a. *Metalograptus ojsuensis* Koren' and Mikhaylova in Apollonov et al. 1980, 样品点 CD-3; b. *Metabolograptus persculptus* Elles and Wood 1907, 样品点 CD-3; c. *Akidograptus ascensus* Davies 1929, 样品点 CD-4; d. *Parakidograptus acuminatus* Nicholson 1867, 样品点 CD-4; e. *Cystograptus vesiculosus* Nicholson 1868, 样品点 CD-4; f. *Cystograptus ancestralis* Štorch 1972, 样品点 CD-4; g. *Demirastrites triangulatus* Harkness 1851, 样品点 CD-7; h. *Rastrites guizhouensis* Mu 2002, 样品点 CD-10; i. *Coronograptus cyphus* Lapworth 1876, 样品点 CD-10

图 5　茶地剖面部分笔石照片

Fig. 5　Graptolites photos form the Chadi section

从第 1 个胞管中部生出后，横过胎管尖端直接向上生长，胞管形状介于雕笔石式和直管笔石式之间，腹缘略微弯曲，口缘平。该带出现的笔石属种有：*Normalograptus scalaris* Hisinger, *Climacograptus* cf. *premedius* Waern, *Climacograptus minutus* Carruthers, *Cystograptus ancestralis* Štorch, *Glyptograptus complanatus* Fang 等。

R4 带(图 7)：产于茶地剖面，以第 4 层中部 *Cystograptus vesiculosus* Nicholson (轴囊囊笔石)首现为标志(图 5e)。出露部分长约 21 mm，宽约 4 mm，中轴伸出末端之外，且逐渐膨大。胞管直管状且宽大，掩盖 1/2，口缘宽，口部稍微扩展，在 10 mm 内有 10 ~ 8 个胞管。带内出现的笔石属种包含：*Normalograptus similis* Chen and Lin, *Akidograptus longus* Huang and Lu, *Hercograptus* cf. *introversus* Melchin, *Rectograptus bellulus obtusatus* Li 等。

R5 带(图 7)：产于茶地剖面，第 4 层上部至第 6 层出现 *Coronograptus cyphus* Lapworth(曲背冠笔石)(图 5i)。笔石长约 46 mm，宽缓且向背侧弯曲，胎管细长，胞管口呈孤立状。该带内还出现了笔石 *Coronograptus gregarius* Lapworth, *Dimorphograptus* cf. *elongatus* Lapworth, *Huttagraptus solidus* Štorch,



a. *Euclimacograptus* Riva 1989, 样品点 BP-3; b.*Normalograptus* sp., 样品点 BP-6; c. *Glyptograptus* sp., 样品点 BP-7-0; d. *Demirastrites magnificus* Pribyl and Munch 1942, 样品点 BP-0; e. *Rastrites peregrinus* Barrande 1850, 样品点 BP-9-1; f, n, o. *Stimulograptus sedgwickii* Portlock 1843, 样品点 BP-9-1, BP-11, BP-12; g. *Rastrites distans* Lapworth 1876; h. *Spirograptus guerichi* Loydell et al. 1993, 样品点 BP-9-2; i. *Monograptus yichangensis* Ni 1987, 样品点 BP-0-7; j. *Demirastrites triangulatus* Harkness 1851, 样品点 BP-2-1; k. *Spirograptus guerichi* Loydell et al. 1993, 样品点 BP-12; l. *Rastrites distans abbreviatus* Lapworth 1876, 样品点 BP-2-1; m. *Oktavites gracilis* Wang 1978, 样品点 BP-6-1; p. *Petalolithus* sp., 样品点 BP-7-1; q. *Pribylograptus argutus* Lapworth 1876, 样品点 BP-7-3; r. *Pernerograptus* Pribyl 1941, 样品点 BP-9-2; s. *Demirastrites triangulatus*, 样品点 BP-0-0; t. *Spirograptus guerichi* Loydell et al. 1993, 样品点 BP-9-2; u. *Lituigraptus convolutus* Hisinger 1837, 样品点 BP-7-3; v. *Pernerograptus qijiangensis* Ye 1978, 样品点 BP-8-1; w. *Monograptus gemmatus* Barrande 1850, 样品点 BP-9; x. *Pristiograptus* sp., 样品点 BP-1; y. *Pristiograptus sichuanensis* Ye 1978, 样品点 BP-0-4; z. *Monograptus xizangensis* Mu and Ni 1975, 样品点 BP-6

图 6　半坡剖面部分笔石照片

Fig. 6　Graptolites photos form the Banpo section

Pristiograptus concinnus Lapworth, *Glyptograptus clavatus* Ye, *Petalolithus palmeus* Barrande 等。

R6 带(图 7, 8): 茶地剖面和半坡剖面均有此带, 以 *Demirastrites triangulatus* Harkness(三角半耙笔石)的首现为标志(图 5g, 6j)。在茶地剖面, 该化石于第 7 ~ 10 层均有分布。笔石体向背侧弯曲, 末部较直, 始部胞管近于孤立, 仅掩盖 1/3, 末部胞管为三角形, 末端向下呈小钩状, 10 mm 内有 9 个胞管。伴随出现的属种丰富, 有笔石 *Demirastrites decipiens valens* Pribyl and Munch, *Demirastrites magnificus* Pribyl and Munch, *Demirastrites major* Elles and Wood, *Atavograptus pristinus* Hutt, *Cystograptus penna* Hopkinson, *Glyptograptus lanpherei* Churkin and Carter, *Huttagraptus praestrachani* Hutt and Rickards, *Metaclimacograptus tongziensus* Chen and Lin 等。剖面上部被沉积物覆盖, 且未出现下一个带的判断依据。在半坡剖面, *Demirastrites triangulatus* 首现于第 1 层距剖面底部 7.7 m 处, 并在第 1 层至第 8 层中部陆续出现(图 8)。在其分布范围内发掘的笔石属种丰富, 具代表性的分子为单笔石属的 *Monograptus*

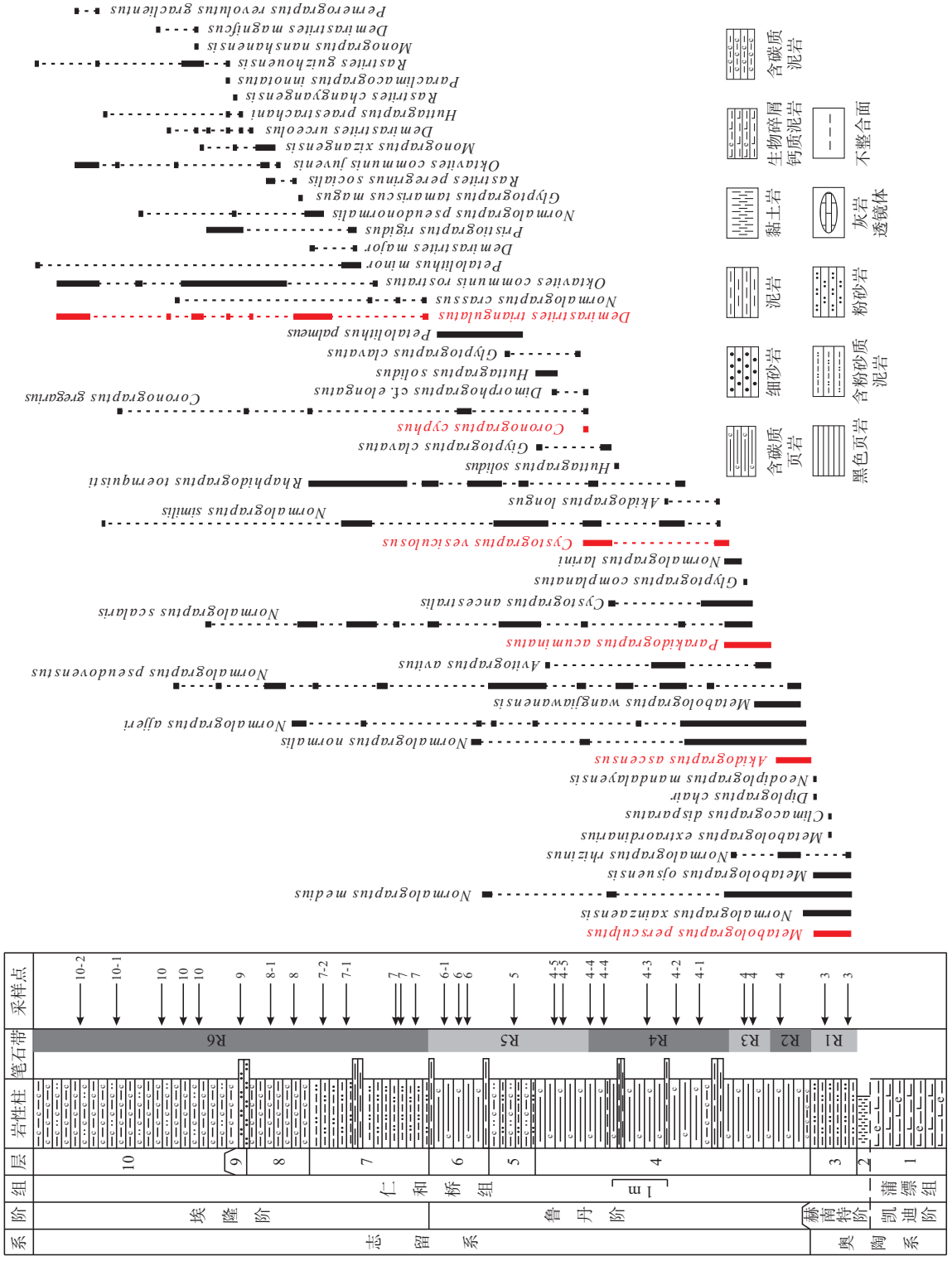


图 7　茶地剖面部分笔石延限图（红色代表带化石）

Fig. 7　Graptolites distribution of Chadi section

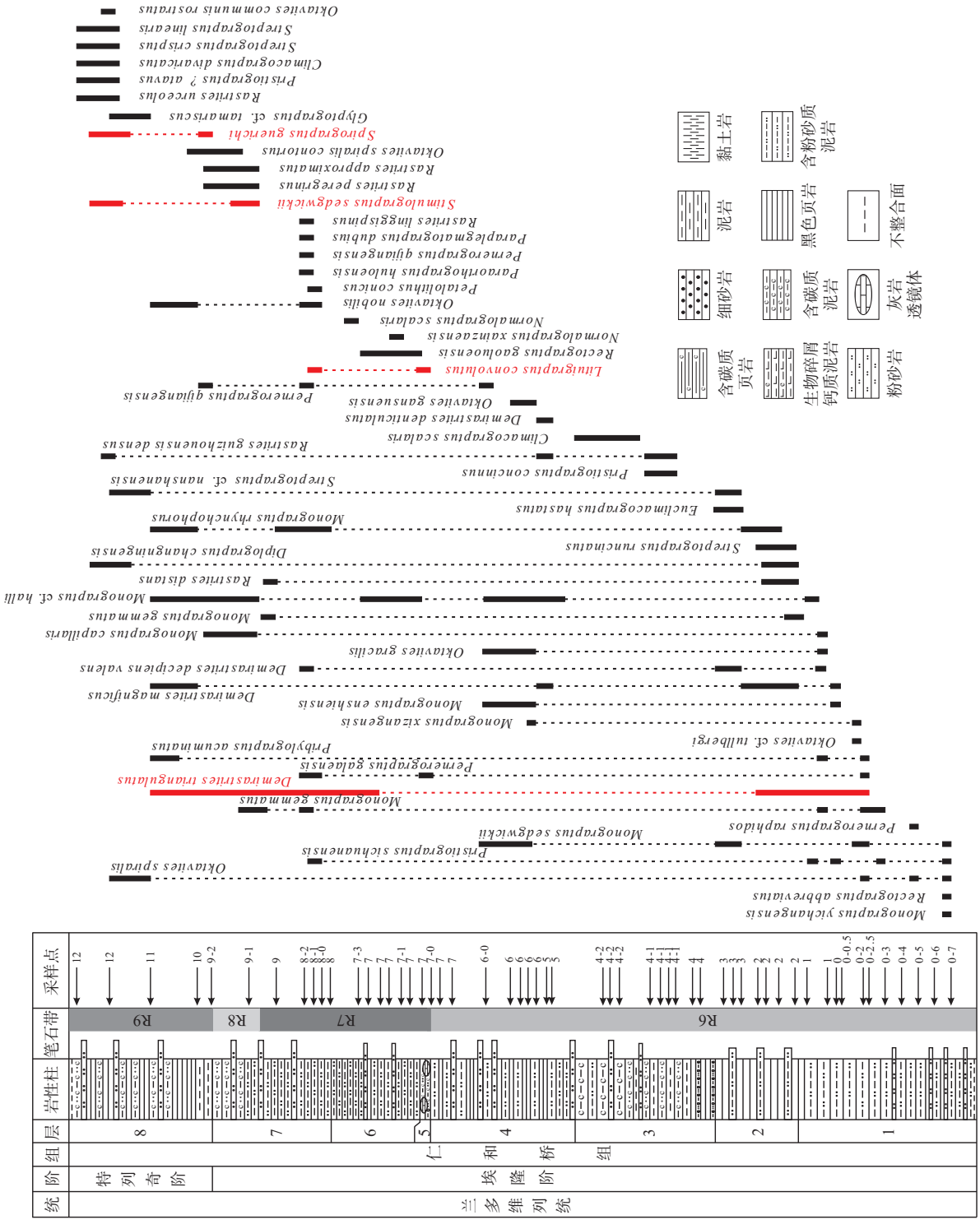


图 8　半坡剖面部分笔石延限图（红色代表带化石）

Fig. 8　Graptolites distribution of Banpo section

gemmatus Barrande(图 6w), *Monograptus yichangensis* Ni(图 6i), *Monograptus* cf. *halli* Barrande, *Monograptus enshiensis* Mu et al; 半耙笔石属的 *Demirastrites* cf. *denticulatus* Tornquist, *Demirastrites decipiens* Tornquist, *Demirastrites magnificus* Pribyl and Munch; 耙笔石属的 *Rastrites distans* Lapworth (图 6g), *Rastrites distans abbreviatus* Lapworth, *Rastrites guizhouensis densus* Li 等。

R7 带(图 8): 产于半坡剖面, 以第 5 层底部出现 *Lituigraptus convolutus* Hisinger 为标志(图 6u)。笔石体向腹侧弯曲, 胞管孤立, 胞管间距与胞管长度之比为 1/3, 末端平直变细。以此种首现代表进入 R7 笔石带。该带还出现笔石 *Petalolithus folium* cf. *tornquisti* Boucek and Pribyl, *Petalolithus conicus* Boucek and Pribyl, *Pribylograptus argutus* Lapworth (图 6q), *Pernerograptus galaensis* Lapworth, *Monograptus gemmatus* Barrande(图 6w), *Diplograptus changningensis* Ye, *Pristiograptus atavus* Li 以及 *Rastrites urceolus* Richter 等。

R8 带(图 8): 产于半坡剖面, 以第 7 层上部出现赛氏具刺笔石 *Stimulograptus sedgwickii* Portlock 为标志(图 6f)。笔石体由单列钩状胞管组成, 笔石枝直或始部略向背侧弯曲, 胞管口部具口刺或成对的侧刺, 笔石体始部原胞管平行于笔石枝背缘, 至笔石体末部, 胞管间掩盖明显, 胞管末部突出于笔石体的腹侧之外(图 6n, o)。该笔石在第 8 层上部再次出现(图 8)。同时还出现了笔石 *Rastrites peregrinus* Barrande(图 6e), *Rastrites approximatus* Perner 和 *Oktavites spiralis contortus* Geinitz 等。

R9 带(图 8): 产于半坡剖面, 带化石 *Spirograptus guerichi* Loydell et al.格里奇螺旋笔石首现位置对应剖面第 8 层底部(图 6h)。本剖面的 *Spirograptus guerichi* Loydell et al.个体较大, 高 15 mm 左右, 宽 8 ~ 12 mm, 但没有达到 *Spirograptus turriculatus* Barrande 的大小, 计有 4 ~ 6 个圆环, 笔石体紧密螺旋卷曲, 胞管呈钩状, 掩盖少, 具有口刺, BP-9-2 的样品锥顶角为 30°(图 6h)。在此之上出现了 R6 带延限至此的笔石 *Demirastrites* cf. *denticulatus* Tornquist, *Oktavites spiralis* Geinitz, *Diplograptus changningensis* Ye 和 *Rastrites guizhouensis densus* Li。该带还出现了笔石 *Climacograptus divaricatus* Ge, *Rastrites urceolus*, *Pristiograptus atavus*, *Streptograptus crispus* Lapworth, *Streptograptus linearis* Chen 和 *Oktavites communis rostratus* Elles and Wood 等。

3 讨 论

3.1 仁和桥组笔石生物地层划分方案对比

关于仁和桥组笔石化石较为全面系统的报道最早出自南京地质古生物研究所倪寓南等[18]1982 年对云南西部志留系多条剖面的研究, 系统采集了各门类化石并进行了详细分层。该研究以保山沙河厂南海头剖面、施甸响水坳水库剖面和施甸半坡村南山沟剖面为主, 结合其他剖面的笔石化石资料, 鉴定出 8 个笔石带, 自下而上分别是 *Climacograptus normalis-Climacograptus miserabilis* 带, *Orthograptus vesiculosus* 带, *Pristiograptus gregarius* 带, *Oktavites communis* 带, *Monograptus sedgwickii* 带, *Spirograptus turriculatus* 带, *Streptograptus crispus* 带, *Monoclimacis griestoniensis minuta* 带。此划分方案与自 1941−1962 年各项研究所获得的笔石带对比, 得出响水坳水库剖面最底部的 *Monoclimacis griestoniensis minuta* 带大致与志留系最底部的 *Monoclimacis griestoniensis* 带相当[21-22], 而在其下部采得了 *Akidograptus* sp., 并且未发现 *Glyptograptus persculptus*, 因此笔者根据笔石化石组合判断该带大致代表志留系底部, 与现今划定的龙马溪组 LM2 带至 LM4 带地层对应, 且与下伏上奥陶统关系不明。该地层与上覆上志留统为断层接触, 且未见 *Oktavites spiralis*。因此, 该方案上部的 *Streptograptus crispus-Monoclimacis griestoniensis minuta* 带能够与现今划定的 LM9/N1 *Spirograptus turriculatus* 带大致对应, 代表了特列奇阶上部地层。

尔后, 云南省地质矿产局[17] 在前人研究基础上, 进行了笔石化石的补充发掘, 并对前人的资料进行了重新整合, 将响水坳剖面仁和桥组笔石划分为 11 个带, 相当于整个下志留统。自下而上分别为 *Glyptogrsptus persculptus* 带, *Akidograptus-Diplograptus modestus* 带, *Orthograptus vesiculosus* 带, *Pristiograptus cyphus/Pristiograptus leei* 带, *Demirastrites triangulatus-Pristiograptus gregarious* 带, *Demirastrites convolutus* 带, *Monograptus sedgwickii* 带, *Spirograptus turriculatus* 带, *Streptograptus crispus* 带, *Monoclimacis griestoniensis* 带, *Oktavites spiralis* 带 [17]。ZHANG 等[19] 对保山沙河厂地区进行了更细致的研究, 最终在老尖山剖面鉴定出了与扬子地区 LM1 ~ LM7 对应的 7 个笔石带, 自下而上分别为 *Metabolograptus persculptus* 带, *Akidograptus ascensus* 带, *Parakidograptus acuminatus* 带, *Cystograptus vesicu-*

losus 带，*Coronograptus cyphus* 带，*Demirastrites triangulatus* 带，*Lintuigraptus convolutus* 带。由于老尖山剖面底部与下伏蒲缥组为不整合接触关系，并无赫南特阶下部 *Metabolograptus extraordinarius* 带的报道，因此对原先显示与下伏上奥陶统接触关系不明的响水坳剖面[21] 进行了重新发掘，并补充了老尖山剖面的缺失，找到了自 *Metabolograptus extraordinarius* 至 *Oktavites spiralis* 的所有笔石序列，其层位由赫南特阶底部延至特列奇阶顶部[20]。此方案除了完整性更高之外，还在前人基础上进一步厘清了滇西赫南特阶笔石与扬子地区笔石的对比关系。

前人的研究逐步推进了保山地区仁和桥组生物地层与全球地层对比关系。本研究对以往资料有较强补充，首先，在茶地剖面第 3 层发掘的若干枚 *Metabolograptus extraordinarius* 化石的位置高于 *Metabolograptus persculptus* 首现位置，并且下部第 2 层古风化壳中无笔石出露迹象，无法建带。根据带化石首现原则，将第 3 层下部定为 *Metabolograptus persculptus* 带，并认为茶地剖面底部缺失地层可能比响水坳剖面、飞达石场剖面[20] 及芒市地区邵地河剖面[11] 要多。此结果丰富了保山地区凯迪期至赫南特期古地势和风化剥蚀时期的分析证据。第二，在半坡剖面上部发掘的 *Stimulograptus sedgwickii* 带和 *Spirograptus guerichi* 带与扬子地区 LM8 和 LM9 带有较强的可比性，补充了对保山地区埃隆阶与特列奇阶地层层序的认识，有助于进一步分析仁和桥组笔石生物地层与扬子地区的对比关系。

3.2　蒲缥组与仁和桥组地层接触关系

关于奥陶系–志留系地层接触关系，陈旭等[23] 通过华南、华北和塔里木地块中笔石和牙形刺的研究，发现上述地体在上奥陶统凯迪阶与赫南特阶之间普遍存在一个平行不整合，并认为这一海水变浅过程与全球海平面变化曲线不符，主要受广西运动控制。SALTZMAN 等[24] 与 HOLLAND 等[25] 通过碳同位素研究认为，从中奥陶世开始，在冈瓦纳大陆的部分高纬度地区，已经有小型冰盖的形成并开始扩张，随着冰盖凝聚的不断进行，最终导致了全球海平面的下降和不同地区的区域性剥蚀。地质条件和地质作用的复杂性导致了同一时期不同地区地层之间存在一定差异性。陈旭等[26] 对贵州、重庆等地区龙马溪组黑色页岩的的研究表明，由于黔中古陆扩张和海平面变化的影响，黔渝地区志留系龙马溪组黑色笔石页岩呈现阶段性渐进的展布模式，不同地区笔石的分布受控于水体深度，但并非一成不变。这也给滇西地区笔石带研究提供重要启示，需要考虑不同纬度地区海平面变化对笔石化石分布的影响。

研究区在晚奥陶世–早志留世属于滇缅泰马地块，在早志留世靠近印度大陆北缘，《云南省岩石地层》中，晚奥陶世蒲缥组与上覆仁和桥组之间为整合接触，生物地层由 *Diplograptus bohemicus* 带延伸至 *Glyptograptus persculptus* 带。ZHANG 等[19] 通过对保山老尖山剖面的考察，发现在蒲缥组与仁和桥组之间存在古风化壳，下伏地层蒲缥组顶部产三叶虫 *Symphysops* sp.和 *Pseudampyxina* sp.，指示其沉积于中凯迪期，相当于华南地区的 *Nankinolithus* 带；上覆地层仁和桥组底部沉积于赫南特期 *Metabolograptus extraordinarius* 带，其上 *Metabolograptus persculptus* 带至 *Demirastrites triangulatus* 带的带化石均有产出。FANG 等[11] 在施甸响水坳水库附近飞达石场剖面蒲缥组顶部采集有三叶虫类、腕足类、鹦鹉螺类，指示其沉积于中晚凯迪期；在仁和桥组底部采集的笔石分子属于 *Metabolograptus extraordinarius* 带和 *Metabolograptus ojsuensis* 带，说明沉积间断结束于早赫南特期 *Metabolograptus extraordinarius* 带。

茶地剖面仁和桥组与下伏蒲缥组之间为平行不整合接触，可见明显风化壳（图 2a, b ），蒲缥组黄绿色中薄层状含钙质团块生物碎屑钙质泥岩，与紫红色粉砂质泥岩交替产出，出现大量钙质团块和丰富的古生物化石门类。基于室内薄片鉴定，对仁和桥组底部及其下伏地层蒲缥组岩性综合特征及沉积相的分析表明，第 1 层在镜下可观察到明显古生物化石切面、方解石颗粒和自形黄铁矿颗粒（图 3，样品点 CD-1）。根据岩性特征、矿物学特征和古生物化石门类等沉积相判别标志，认为茶地剖面蒲缥组为浅海陆棚相。第 2 层为黄褐色古风化壳（图 2b），表明蒲缥组与仁和桥组之间存在平行不整合面，说明该地区在晚奥陶世暴露于地表形成沉积地层缺失，为风化壳残积相。第 3 层为仁和桥组灰黑色粉砂质泥岩，野外显示新鲜面呈灰色，无明显层理，古生物化石仅可见笔石。在底部距风化壳 5 cm 之上的位置产笔石 *Metabolograptus persculptus*，表明该层沉积于奥陶纪顶部的赫南特期，并且限定了风化剥蚀的时间上限。该层岩石颜色、岩性和可见笔石化石表明，研究区在风化剥蚀结束后经历了快速海进，重新被海水覆盖且水深逐渐加深。第 4 层为仁和桥组黑色碳质页岩，底部破碎严重，极其发育的水平层理、大量的笔石化石和海绵骨针化石，表明该层沉积于水深较大的海相环境，镜下大量棱角状碎屑石英颗

粒表明受到陆源输入的影响，该层应沉积于靠近大陆边缘的深水台盆相。接下来第 5 ~ 10 层以持续海进为主要特征，总的来说研究区晚奥陶世至早志留世地层经历了先海退–后海进的沉积旋回过程。海退阶段开始于晚奥陶世蒲缥组沉积时期，以钙质泥岩至风化黏土岩的岩性变化为特征，表明研究区在晚奥陶世时海水变浅并逐渐暴露至地表，沉积相由浅海陆棚相转变为风化剥蚀区。海进阶段主要出现在晚奥陶世赫南特期至早志留世，以风化黏土岩至碳质页岩的岩性变化为特征，记录了研究区在风化剥蚀结束后重新被海水覆盖，水深快速加深的沉积过程，沉积相由风化残积相快速转变为深水台盆相。此外，仁和桥组内部岩性变化特征表明在海进过程中还存在着小范围的海平面波动和水动力变化。

吕勇等[27]在同属于保山地层分区的潞西小区中发现了以 *Hiranatian magna* 为代表的“赫南特贝动物群”，认为潞西地层小区受赫南特期冰川作用影响。茶地剖面蒲缥组顶部地层中未采集到具有地层指示意义的宏体化石，未发现赫南特贝动物群痕迹，暂时无法精确限定风化壳底部时间。但在仁和桥组底部采集到了带化石分子 *Metabolograptus persculptus*，说明茶地剖面遭受风化剥蚀在赫南特期中晚期结束，与扬子板块的部分地区一致，不仅结束时间晚于老尖山剖面和飞达采石场剖面，而且茶地剖面鲁丹阶至埃隆阶下部笔石带出露完整。因此，潞西地层小区重新接受沉积的时间明显早于施甸地层小区，说明施甸地层小区在当时可能较潞西地层小区具有更高的古地势。因未在蒲缥组顶部找到能限定风化壳开始的精细的古生物化石带材料，暂无法将研究区开始遭受风化剥蚀的起始时间与广西运动结合。笔者认为施甸大部分地区仁和桥组属于近岸、局限、滞流和厌氧的沉积环境，受海侵影响晚于其他水体更深的地区。

综上所述，茶地剖面蒲缥组与仁和桥组之间的古风化壳记录了赫南特期因冰川作用导致的海平面下降，使得研究区裸露至地表形成不整合面。随着冰盖的消融，该区域重新被海水覆盖，经历水体快速加深，从而形成仁和桥组黑色岩系。

3.3 仁和桥组与龙马溪组生物地层对比及黑色岩系沉积时限

对华南扬子区奥陶纪–志留纪笔石生物地层序列的最新厘定由南京地质古生物研究所完成，并基于扬子地区地下钻井研究，将笔石生物地层广泛应用于页岩气生产研究中[9, 26, 28-29]（图 9）。现将滇西仁和桥组笔石带与扬子地区龙马溪组笔石带对比如下：

3.3.1 赫南特阶

茶地剖面 R1 带以 *Metabolograptus persculptus* Elles and Wood（雕刻中间笔石）带化石首现为标志，与扬子地区 LM1 带底界出现的带化石 *Normalograptus persculptus* Elles and Wood 为相同物种，代表同一化石带[30]。同时，本区出现了 LM1 带若干幸存种同属或同种化石，包括 *Metabolograptus extraordinarius*、*Paraorthograptus* sp.和 *Climacograptus* 等[26]。因 R1 带下部为古风化壳，并且首枚 *Metabolograptus extraordinarius* 化石在 *Metabolograptus persculptus* 上方出现，无法建立 *Metabolograptus extraordinarius* 带。因此 *Metabolograptus persculptus* 带在茶地剖面中的地层层位可以与扬子地区 LM1 带地层对比，但是否包含扬子区 LM1 带底部的地层层位，目前还无法确定。

3.3.2 鲁丹阶

茶地剖面 R2 带以第 4 层出现的 *Akidograptus ascensus*（向上尖笔石）首现为底界，这一生物地层分带序列可在全球广泛识别，如华南、哈萨克斯坦、波西米亚、波兰、阿根廷、西藏等[31-32]。相比于扬子地区，本区 R2 带与扬子区 LM2 带最大的区别之一是在 *Akidograptus ascensus* 之上仍有较多的正常笔石分子，如 *Normalograptus normalis*、*Normalograptus ajjeri* 等。

茶地剖面 R3 带以第 4 层下部 *Parakidograptus acuminatus*（尖削拟尖笔石）首现为标志，同时出现的 *Cystograptus ancestralis* Štorch，作为扬子区 LM3 笔石带中部的典型分子，也能对地层时代的限定和 R3-R4 笔石带的划分形成有效制约[33]。此外本区含有大量正常笔石和栅笔石，如 *Normalograptus scalaris*、*Normalograptus longispinus*、*Climacograptus* cf. *premedius* Waern、*Climacograptus minutus* 等。

茶地剖面 R4 带带化石 *Cystograptus vesiculosus*（轴囊囊笔石）延限约 1.87 m。LM4 带在扬子地台的很多剖面均有发育和出露，如黔北[34]、江西武宁[35]和安徽[36]。本区 R4 带含有的 *Neodiplograptus lautus*、*Atavograptus atavus*、*Dimorphograptus elongatus cracentus* 化石在扬子地区 LM4 也广泛出现[34]。而 *Hercograptus* cf. *introversus*、*Rectograptus bellulus obtusatus*、*Huttagraptus billegravensis*、*Rhaphidograptus toernquisti* 和 *Paramplexograptus paucispinus* 为本区特有。

茶地剖面 R5 带 *Coronograptus cyphus*（曲背王冠笔石）延限达 3.48 m。与扬子地区 LM5 带一致

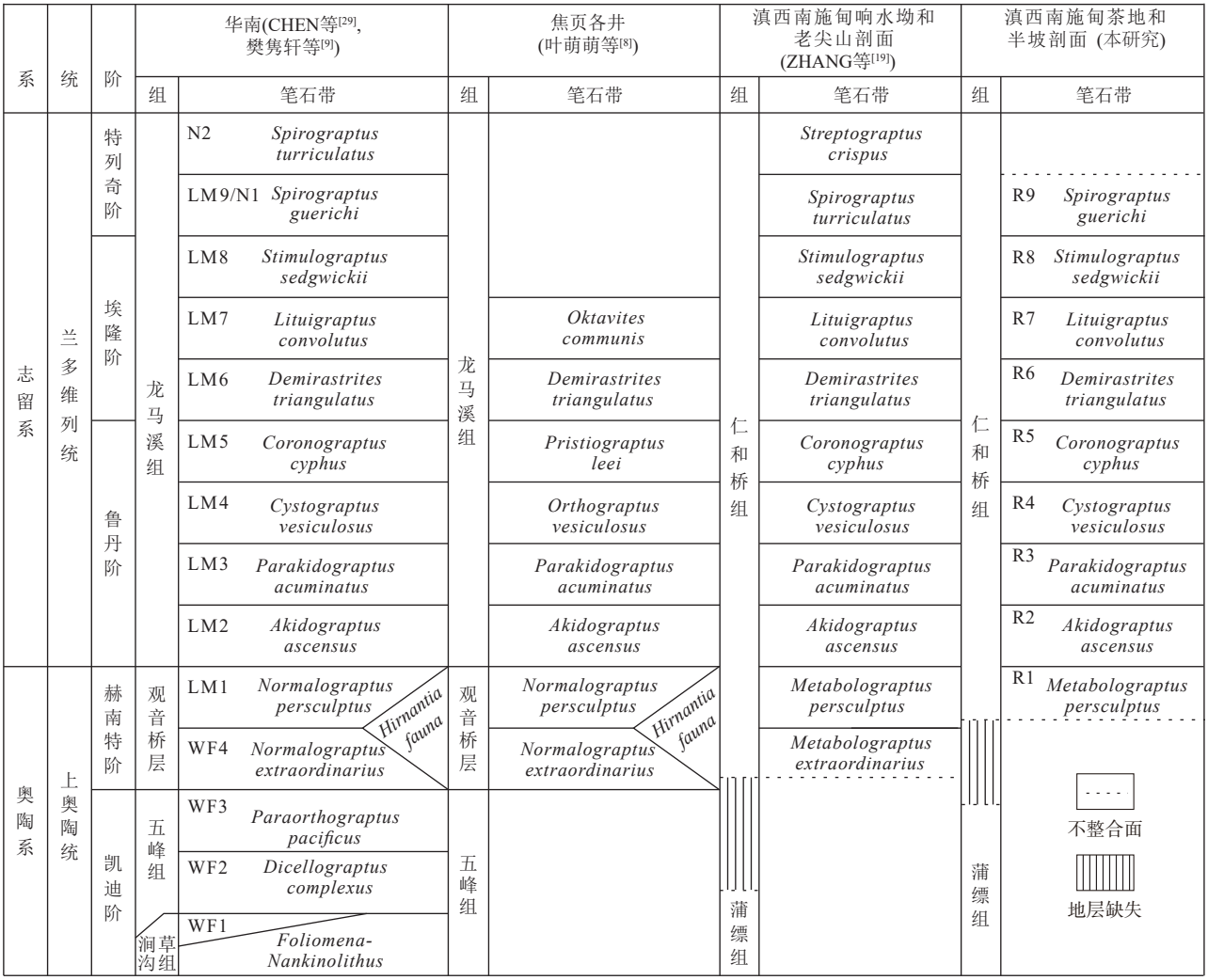


图 9　仁和桥组与龙马溪组笔石带序列对比图

Fig. 9　Graptolite zones comparison between the Renheqiao Formation and the Longmaxi Formation

的是, 该时期同时出现王冠笔石、两形笔石和针笔石属的多种化石, 如 *Coronograptus* sp., *Coronograptus gregarius*, *Dimorphograptus* cf. *elongatus* 和 *Rhaphidograptus sinicus* 等[34]。而该带因采集到的带化石 *Coronograptus cyphus* 标本位于带化石 *Demirastrites triangulatus* 之上, 故笔者以 *Pristiograptus* sp., *Coronograptus* sp., *Huttagraptus* sp. 等单笔石动物群的繁盛为划分依据, 且 R5 带下部存在该带中的典型分子 *Huttagraptus acinaces*, 该分子曾在峡东地区作为带分子被归于 LM4-LM5 带中[37]。此外, 特征分子 *Cystograptus ancestralis* 的出现, 也能对地层时代的限定和 R3-R4 笔石带的划分形成有效制约[33, 38-40]。

3.3.3　埃隆阶

R6 带在茶地剖面和半坡剖面都以三角半耙笔石 *Demirastrites triangulatus* 出现为标志, 除了带化石一致性以外, 与扬子区 LM6 带相吻合的特征还有耙笔石属、半耙笔石属、花瓣笔石属、锯笔石属以及单笔石属的大量出现, 如茶地剖面的 *Petalolithus* cf. *ovatus*, *Petalolithus elacatus*, *Petalolithus folium*, *Rastrites* cf. *phleoides* 和 *Rastrites guizhouensis* 等。单笔石属在扬子区 LM6 带虽存在[9, 41], 但丰度和分异度都低于半坡剖面。除了数量较多的代表性笔石类别之外, 本区 R6 带极具特色的还有半坡剖面的綦江普纳笔石 *Pernerograptus qijiangensis*、西藏单笔石 *Monograptus xizangensis*、间隔耙笔石短缩亚种 *Rastrites distans abbreviatus*、迷惑半耙笔石强壮亚种 *Demirastrites decipiens valens*、纤细奥氏笔石 *Oktavites gracilis* 和削尖普利贝笔石 *Pribylograptus acuminatus* 等的发现。

由于半坡剖面未见底, 因此并不能确定带化石 *Demirastrites triangulatus* 首现位置, 而剖面最底部的 *Monograptus yichangensis*, *Monograptus gemmatus*, *Pernerograptus raphidos* 和 *Pristiograptus sichuanensis* 等化石, 基本显示了扬子地区 LM6 带的化石特征,

因此半坡剖面 R6 带和扬子地区 LM6 带可进行对比，而 LM6 带为埃隆阶的第 1 个化石带，因此半坡剖面 R6 带或可向下延续一定长度，鲁丹阶和埃隆阶的界线可能被覆盖。此外，扬子地区 LM6 带的代表性化石近似耙笔石 *Rastrites approximatus* Perner[9, 12, 38] 在半坡剖面出现较晚，在 R8 带带化石以上出现；而扬子地区通常出现于 LM 9 带的 *Oktavites spiralis* 在本区出现较早，由 R6 带延伸至 R9 带。

半坡剖面 R7 带以 *Lituirgraptus convolutus* 首现为标志。该带伴生的普利贝笔石属 *Pribylograptus*、耙笔石 *Rastrites* 属，以及毛发单笔石 *Monograptus gemmatus* 等，与扬子地区 LM7 带的化石特相吻合，可以进行对比。本区 R7 带大量出现的花瓣笔石属 *Petalolithus* 在扬子地区通常出现在埃隆阶底部 LM6 带[9, 12, 41-42]。

R8 带以半坡剖面第 7 层上部出现的赛氏具刺笔石 *Stimulograptus sedgwickii* 为依据，与扬子地区大部分研究区一样，此带笔石化石稀少，出现了此带的典型笔石 *Rastrites peregrinus* 和 *Oktavites spiralis contortus*[9, 12, 20, 41-42]。

3.3.4　特列奇阶

R9 带带化石 *Spirograptus guerichi* 首现位置对应半坡剖面第 8 层底部。扬子地区 LM9 带为特列奇阶的第 1 个带，代表分子有奥氏笔石属 *Oktavites* 和 *Torquigraptus planus* 以及 LM8 带延限至此的带化石赛氏具刺笔石 *Stimulograptus sedgwickii* 等[9, 12, 41-42]。而本区的 R9 带笔石除了赛氏具刺笔石 *Stimulograptus sedgwickii* 外，则更加与施甸地区以往报道相吻合，以锯笔石属 *Pristiograptus* 和卷笔石属 *Streptograptus* 为主[20]，也出现了耙笔石属 *Rastrites* 和奥氏笔石属 *Oktavites*。

综上，茶地剖面和半坡剖面化石保存良好。本研究在仁和桥组建立的 9 个笔石生物带 R1 ~ R9，能够对应于扬子地区龙马溪组的笔石带 LM1 ~ LM9，为同一时期不同地区的对比提供了精准的时间卡尺。但要建立黑色页岩的时空展布模式以及为页岩气生产提供科学指导，还需要更广泛的研究。

4　结论

（1）研究区地处滇缅泰马地块，在晚奥陶世曾暴露于地表，导致茶地剖面蒲缥组与仁和桥组之间存在地层沉积缺失，发育一层厚约 25 cm 的古风化壳，呈平行不整合接触；且保山潞西地层小区在晚奥陶世重新接受沉积的时间早于施甸地层小区；

（2）滇西保山施甸地区仁和桥组地层序列完整，化石丰富且保存良好，基于高分辨率笔石地层调查，识别出了上奥陶统至下志留统 9 个笔石带，自下而上依次为赫南特阶 *Metabolograptus persculptus* 带（R1），鲁丹阶 *Akidograptus ascensus* 带（R2）、*Parakidograptus acuminatus* 带（R3）、*Cystograptus vesiculosus* 带（R4）、*Coronograptus cyphus* 带（R5），埃隆阶 *Demirastrites triangulatus* 带（R6），*Lituigraptus convolutus* 带（R7），*Stimulograptus sedgwickii* 带（R8）和特列奇阶 *Spirograptus guerichi* 带（R9），分别对应扬子地区建立的标准笔石生物地层框架 LM1 ~ LM9 笔石带。

利益冲突声明：所有作者声明无利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献：

[1] 王洪浩，李江海，孙唯童，等. 志留纪全球古板块再造及岩相古地理 [J]. 古地理学报，2016，18(2)：185-196.
WANG H H, LI J H, SUN W T, et al. Global Palaeo-plate reconstruction and lithofacies Palaeogeography in the Silurian[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2016, 18(2): 185-196. (in Chinese with English abstract)

[2] ZOU C N, DONG D Z, WANG S J, et al. Geological characteristics and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 641-653.

[3] LUČIĆ D, BOSWORTH W. Regional geology and petroleum systems of the main reservoirs and source rocks of north Africa and the middle east, the geology of the Arab world: An overview[M]. Cham: *Springer Geology*. 2019.

[4] ALBRIKI K, WANG F Y, LI M J, et al. Silurian hot shale occurrence and distribution, organofacies, thermal maturation, and petroleum generation in Ghadames Basin, North Africa[J]. Journal of African Earth Sciences, 2022, 189: 104497.

[5] 李刚，赵迪斐，郭英海. 川东南地区龙马溪组页岩笔石与沉积环境的关系 [J]. 科学技术与工程，2018，18(12)：16-23.
LI G, ZHAO D F, GUO Y H. The relationship between graptolite of Longmaxi shale and sedimentary environment in southeastern Sichuan[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(12): 16-23. (in Chinese with English abstract)

[6] KHAN M Z, FENG Q L, ZHANG K, et al. Biogenic silica and organic carbon fluxes provide evidence of enhanced marine productivity in the Upper Ordovician-Lower Silurian of South China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2019, 534: 109278.

[7] 郭伟. 渝东南地区五峰组–龙马溪组黑色岩系地球化学特征与有机质富集机制研究 [D]. 武汉：中国地质大学(武汉)，2019.
Guo W. Geochemical Characteristics and Organic Matter enrichment mechanism: A case study of Wufeng-Longmaxi Black Shales in southeast of Chongqing[D]. Wuhan: China University of

Geosciences (Wuhan), 2019. (in Chinese with English abstract)

[8] 叶萌萌, 潘安阳, 张毅, 等. 涪陵地区五峰组–龙马溪组黑色页岩有机质特征及成烃生物分析 [J]. 微体古生物学报, 2023, 40(4): 317-326.
YE M M, PAN A Y, ZHANG Y, et al. Organic matter composition and hydrocarbon biogenic analysis on the black shale of the Wufeng–Longmaxi Formations in Fuling area[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2023, 40(4): 317-326. (in Chinese with English abstract)

[9] 樊隽轩, MELCHIN M J, 陈旭, 等. 华南奥陶-志留系龙马溪组黑色笔石页岩的生物地层学 [J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(1): 130-139.
FAN J X, MELCHIN M J, CHEN X, et al. Biostratigraphy of black graptolite shale in Longmaxi Formation of Ordovician-Silurian in South China[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2012, 42(1): 130-139. (in Chinese)

[10] 陈旭, 樊隽轩, 张元动, 等. 五峰组及龙马溪组黑色页岩在扬子覆盖区内的划分与圈定 [J]. 地层学杂志, 2015, 39(4): 351-358.
CHEN X, FAN J X, ZHANG Y D, et al. Subdivision and delineation of the Wufeng and Lungmachi black shales in the subsurface areas of the Yangtze platform[J]. Journal of Stratigraphy, 2015, 39(4): 351-358. (in Chinese with English abstract)

[11] FANG X, MA X, LI W J, et al. Biostratigraphical constraints on the disconformity within the Upper Ordovician in the Baoshan and Mangshi regions, western Yunnan Province, China[J]. Lethaia, 2018, 51(2): 312-323.

[12] 王红岩, 施振生, 孙莎莎. 四川盆地及周缘奥陶系五峰组: 志留系龙马溪组页岩生物地层及其储集层特征 [J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(5): 879-890.
WANG H Y, SHI Z S, SUN S S. Biostratigraphy and reservoir characteristics of the Ordovician Wufeng-Silurian Longmaxi shale in the Sichuan Basin and surrounding areas, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(5): 879-890. (in Chinese with English abstract)

[13] 聂海宽, 陈清, 李世臻, 等. 重庆綦江观音桥剖面五峰组—龙马溪组地层特征及其对页岩气勘探开发的启示 [J]. 地层学杂志, 2022, 46(3): 271-285.
NIE H K, CHEN Q, LI S Z, et al. Stratigraphic characteristics of Wufeng Formation-Lungmachi Formation in Guanyinqiao section of Qijiang, Chongqing, China and their implications for shale gas exploration and development[J]. Journal of Stratigraphy, 2022, 46(3): 271-285. (in Chinese with English abstract)

[14] 邹才能, 赵群, 张国生, 等. 能源革命: 从化石能源到新能源 [J]. 天然气工业, 2016, 36(1): 1-10.
ZOU C N, ZHAO Q, ZHANG G S, et al. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(1): 1-10. (in Chinese with English abstract)

[15] 李遇. 滇西地区下仁和桥组页岩气储层特征 [C]//匿名: 云南省首届青年地质科技论坛优秀学术论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2017, 168: 13.
Li Y. Shale Gas Reservoir Characteristics of Xiarenheqiao Formation in Western Yunnan [C]//Anon. Yunnan Exploration & Development (Ltd) of Coalbed Gas Resource. [S.L.]: [S.n.], 2017, 168: 13. (in Chinese with English abstract)

[16] METCALFE I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and Palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 66: 1-33.

[17] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.
Yunnan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. (in Chinese)

[18] 倪寓南, 陈挺恩, 蔡重阳, 等. 云南西部的志留系 [J]. 古生物学报, 1982, 21(1): 119-132.
NI Y N, CHEN T E, CAI C Y, et al. The Silurian rocks in western Yunnan[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1982, 21(1): 119-132. (in Chinese with English abstract)

[19] ZHANG Y, WANG Y, ZHAN R. Ordovician and Silurian Stratigraphy and Palaeontology of Yunnan, Southwest China[M]. Science Press, 2014.

[20] 苏柯又. 滇西–湾甸地区奥陶系沉积地层及沉积相特征研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
SU K Y. Study on characteristics of stratum and sedimentary of Ordovician sedimentary strata in wandian area of facies west Yunnan[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017. (in Chinese with English abstract)

[21] 全国地层委员会. 全国地层会议学术报告汇编: 中国的志留系 [M]. 北京: 科学出版社, 1962.
Compilation of Academic Reports of the National Stratigraphic Conference: Silurian System of China [M]. Beijing: Science Press, 1962. (in Chinese)

[22] 尹赞勋. 志留纪时期的中国, 西南地区区域地层表(云南省分册) [M]. 北京: 地质出版社, 1966.
YIN Z X. China During the Silurian period, regional stratigraphic chart of southwestern China (Yunnan Volume) [M]. Beijing: Geological Press, 1966.(in Chinese)

[23] 陈旭, 樊隽轩, 陈清, 等. 论广西运动的阶段性 [J]. 中国科学(地球科学), 2014, 44(5): 842-850.
CHEN X, FAN J X, CHEN Q, et al. On the stages of Guangxi movement[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2014, 44(5): 842-850. (in Chinese with English abstract)

[24] SALTZMAN M R, YOUNG S A. Long-lived glaciation in the Late Ordovician? Isotopic and sequence-stratigraphic evidence from western Laurentia[J]. 2005, 33(2): 109-112.

[25] HOLLAND S M, PATZKOWSKY M E. Sequence architecture of the Bighorn dolomite, Wyoming, USA: Transition to the late Ordovician icehouse[J]. 2012, 82(8): 599-615.

[26] 陈旭, 樊隽轩, 王文卉, 等. 黔渝地区志留系龙马溪组黑色笔石页岩的阶段性渐进展布模式 [J]. 中国科学(地球科学), 2017, 47(6): 720-732.
CHEN X, FAN J X, WANG W H, et al. Stage-progressive distribution pattern of the Lungmachi black graptolitic shales from Guizhou to Chongqing, Central China[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2017, 47(6): 720-732. (in Chinese with English abstract)

[27] 吕勇, 山克强, 谢运球, 等. 滇西潞西(芒市)的奥陶系和志留系 [J]. 地层学杂志, 2014, 38(2): 161-169.

LYU Y, SHAN K Q, XIE Y Q, et al. Ordovician-Silurian sequences in Luxi(Mangshi), western Yunnan, SW China[J]. Journal of Stratigraphy, 2014, 38(2): 161-169. (in Chinese with English abstract)

[28] CHEN X, CHEN Q, AUNG K P, et al. Latest Ordovician graptolites from the Mandalay Region, Myanmar[J]. Palaeoworld, 2020, 29(1): 47-65.

[29] CHEN X, RONG J Y, FAN J X, et al. The global boundary stratotype section and point (GSSP) for the base of the hirnantian stage (the uppermost of the Ordovician system)[J]. Episodes, 2006, 29(3): 183-196.

[30] ŠTORCH P, SCHÖNLAUB H P. Ordovician-Silurian boundary graptolites of the southern Alps, Austria[J]. Bulletin of Geosciences, 2012: 755-766.

[31] CHEN X, FAN J X, MELCHIN M J, et al. Hirnantian (latest Ordovician) graptolites from the Upper Yangtze region, China[J]. Palaeontology, 2005, 48(2): 235-280.

[32] CHEN X, RONG J Y, MITCHELL C E, et al. Late Ordovician to earliest Silurian graptolite and brachiopod biozonation from the Yangtze region, South China, with a global correlation[J]. 2000, 137(6): 623-650.

[33] ŠTORCH P. Graptolites from the rhuddanian-aeronian boundary interval (Silurian), Prague synform, Czech republic[J]. Bulletin of Geosciences, 2015: 841-891.

[34] 武学进, 陈清, 李关访, 等. 黔北习科 1 井五峰组–龙马溪组黑色页岩的地层划分与对比 [J]. 地层学杂志, 2020, 44(1): 1-11.
WU X J, CHEN Q, LI G F, et al. Stratigraphic subdivision and correlation of the Wufeng and Lungmachi black shales from Xike-1 drillcore in northern Guizhou Province, South China[J]. Journal of Stratigraphy, 2020, 44(1): 1-11. (in Chinese with English abstract)

[35] 冯洪真, 李明, 李丽霞, 等. 江南斜坡区早奥陶世笔石动物的生物分带与多样性变化 [C]//佚名. 全国地层会议. 北京: 中国地质学会, 2013.
FENG H Z, LI M, LI L X, et al. Biostratigraphy and diversity changes of early Ordovician graptolites in the Jiangnan slope area[C]//Anon. National Stratigraphic Conference. Beijing: Chinese Geological Society, 2013. (in Chinese)

[36] 夏广胜. 安徽无为西部下志留统笔石 [J]. 古生物学报, 1979, 18(1): 92-121.
XIA G S. Lower Silurian graptolites of Wuwei, Anhui Province[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1979, 18(1): 92-121. (in Chinese with English abstract)

[37] 汪啸风, 陈孝红, 王传尚, 等. 中国奥陶系和下志留统下部年代地层单位的划分 [J]. 地层学杂志, 2004, 28(1): 1-17.
WANG X F, CHEN X H, WANG C S, et al. Ordovician to the Lowest Silurian chronostratigraphic subdivision in China[J]. Journal of Stratigraphy, 2004, 28(1): 1-17. (in Chinese with English abstract)

[38] 刘义生, 金吉能, 潘仁芳, 等. 渝东南盆缘转换带五峰组–龙马溪组常压页岩气保存条件评价 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(1): 253-263.
LIU Y S, JIN J N, PAN R F, et al. Preservation condition evaluation of normal pressure shale gas in the Wufeng and Longmaxi Formations of basin margin transition zone, Southeast Chongqing[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 253-263. (in Chinese with English abstract)

[39] 王川, 董田, 蒋恕, 等. 中扬子地区上奥陶统–下志留统五峰组–龙马溪组页岩纵向非均质性及主控因素 [J]. 地质科技通报, 2022, 41(3): 108-121.
WANG C, DONG T, JIANG S, et al. Vertical heterogeneity and the main controlling factors of the Upper Ordovician-Lower Silurian Wufeng-Longmaxi shales in the Middle Yangtze region[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41(3): 108-121. (in Chinese with English abstract)

[40] 蔡全升, 陈孝红, 王传尚, 等. 上奥陶统五峰组–下志留统龙马溪组黑色岩系笔石赋存特征与堆积模式 [J]. 地质科技通报, 2020, 39(2): 43-53.
CAI Q S, CHEN X H, WANG C S, et al. Occurrence characteristics and depositional model of graptolites from the black shale in the Upper Ordovician Wufeng Formation and Lower Silurian Longmaxi Formation[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2020, 39(2): 43-53. (in Chinese with English abstract)

[41] 罗超, 王兰生, 石学文, 等. 长宁页岩气田宁 211 井五峰组–龙马溪组生物地层 [J]. 地层学杂志, 2017, 41(2): 142-152.
LUO C, WANG L S, SHI X W, et al. Biostratigraphy of the Wufeng to Longmaxi Formation at Well Ning 211 of Changning shale gas field[J]. Journal of Stratigraphy, 2017, 41(2): 142-152. (in Chinese with English abstract)

[42] 樊隽轩, 吴磊, 陈中阳, 等. 四川兴文县麒麟乡五峰组–龙马溪组黑色页岩的生物地层序列 [J]. 地层学杂志, 2013, 37(4): 513-520.
FAN J X, WU L, CHEN Z Y, et al. Biostratigraphy of the Wufeng-lungmachi black shales at Qilin, Xingwen County, Sichuan Province[J]. Journal of Stratigraphy, 2013, 37(4): 513-520. (in Chinese with English abstract)

Summary for “滇西保山地区奥陶系至志留系仁和桥组笔石生物地层”

Graptolite Biostratigraphy of the Ordovician to Silurian Renheqiao Formation in the Baoshan region, southern Yunnan, China

ZHENG Shucan[1]，FENG Qinglai[2*]，LONG Jingjie[2,3]，TAO Zhenpeng[1]

1. School of Architectural Engineering of Huanggang Normal University, Huanggang Hubei 438000, China；
2. School of Earth Science, China University of Geoscience (Wuhan), Wuhan 430074, China；
3. Hunan Province Geological Disaster Survey and Monitoring Institute, Changsha 410029, China

First author，E-mail：zhengshucan@cug.edu.cn

* Corresponding author， E-mail：qinglaifeng@cug.edu.cn

Abstract：The Ordovician to Silurian Renheqiao Formation, characterized by a sequence of well-preserved black shales, is extensively developed in the Baoshan region, southwestern Yunnan Province, China. [**Objective**] The primary goal of this study is to establish a graptolite biostratigraphic framework for the Renheqiao Formation. To achieve this, the research focuses on the Banpo and Chadi sections in Shidian County, Baoshan City, Yunnan Province, which are critical outcrops for biostratigraphic analysis in the area. [**Methods**] A combination of high-resolution biostratigraphic and lithologic records was conducted to precisely define the stratigraphy and identify key biozones within the formation. [**Results**] The Renheqiao Formation in the study area is approximately 71.6 meters thick, with a about 25 cm of paleo-weathering crust at the base. It unconformably overlies the Pupiao Formation, indicating that the study area was subaerially exposed during the Late Ordovician. Based on detailed fieldwork and high-resolution surveys, a total of nine graptolite zones were identified, spanning from the upper Hirnantian in the Ordovician to the Silurian Llandovery Telychian stage. These identified graptolite zones are in ascending order as follows: the *Metabolograptus persculptus* zone (R1), *Akidograptus ascensus* zone (R2), *Parakidograptus acuminatus* zone (R3), *Cystograptus vesiculosus* zone (R4), *Coronograptus cyphus* zone (R5), *Demirastrites triangulatus* zone (R6), *Lituigraptus convolutus* zone (R7), *Stimulograptus sedgwickii* zone (R8), and *Spirograptus guerichi* zone (R9). [**Conclusion**] The nine graptolite zones of the Renheqiao Formation in the Baoshan region correlate well with those of the Longmaxi Formation (LM1–LM9) in the Yangtze region. This correlation not only strengthens the regional stratigraphic framework but also provides a solid basis for future shale gas exploration and assessment in the Baoshan region.

Key words: Ordovician-Silurian； Renheqiao Formation； graptolite biostratigraphy； Longmaxi Formation； Baoshan region, southern Yunnan

Received：2024-08-03；Revised：2024-11-18；Accepted：2024-11-21

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240430