第 28 卷　第 2 期
2026 年　4 月

古　地　理　学　报
JOURNAL OF PALAEOGEOGRAPHY（Chinese Edition）

Vol. 28　No. 2
Apr. 2026

文章编号：1671-1505(2026)02-0724-16　　**DOI**:10.7605/gdlxb.2026.017

云南曲靖及周边地区中泥盆世晚期地层及海陆分布*

王　怿[1,2]　郭　文[1]　张小乐[1]　王　凯[1]　彭辉平[1]　乔　丽[1]

1 古生物学与油气地层应用全国重点实验室，中国科学院南京地质古生物研究所，江苏南京 210008
2 中国科学院大学南京学院，江苏南京 211135

摘　要　云南曲靖及周边地区是中国中泥盆统研究最早且较为深入的地区之一。该地区既发育以碎屑岩为主的陆相—海陆过渡相沉积，又发育碳酸盐岩夹碎屑岩的正常浅海沉积，因此是研究中泥盆世晚期海陆分布的理想地区之一。依据岩性特征及其与下伏地层的接触关系，笔者对研究区内中泥盆统上部地层进行了梳理，建议该套地层宜使用西冲组或曲靖组，而不宜继续使用海口组，中泥盆统自下而上应为穿洞组、上双河组、西冲组/曲靖组（同期异相）。研究区内中泥盆统上部地层可划分为碎屑岩、碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积、碳酸盐岩3个分布区，其中碎屑岩分布区又可分为周边不整合和中间连续沉积2个亚区。基于古生物证据、沉积学特征和初步地球化学分析，提出西冲组主要为陆相沉积，也发育陆海过渡相沉积，而同期异相的曲靖组为正常浅海沉积。中泥盆世晚期，研究区环境自西向东依次为古陆剥蚀区、陆相沉积环境（河流等）、海陆交互环境和正常浅海，这种海陆分布演变既受控于区域的古地理格局，同时也受到加里东期构造运动的宏观影响。

关键词　海陆分布　西冲组　曲靖组　中泥盆世　云南

第一作者简介　王怿，男，1963 年生，中国科学院南京地质古生物研究所研究员，主要从事志留系—泥盆系地层和早期陆生植物的研究。E-mail：yiwang@nigpas.ac.cn。

中图分类号：P534.44　　**文献标志码**：A

Late Middle Devonian strata and distribution of land and shallow sea in Qujing and surrounding areas, Yunnan, China

WANG Yi[1,2]　GUO Wen[1]　ZHANG Xiaole[1]　WANG Kai[1]　PENG Huiping[1]　QIAO Li[1]

1 *State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy*, *Nanjing Institute of Geology and Palaeontology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *China*
2 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing*, *Nanjing* 211135, *China*

Abstract　The Qujing and surrounding areas, Yunnan, China, is one of the earliest and more in-depth research areas of the Middle Devonian in China, and one of the ideal areas for study on the distribution of land and shallow sea in the late Middle Devonian period. According to the lithologic characteristics and the contact relationship with the underlying strata, this paper sorts out the late Middle Devonian strata in the area is better to use the Xichong Formation/Qujing Formation than the Haikou Formation. The Xichong Formation is redetermined, and its age is determined to be the late Middle Devonian (Givetian). The Middle Devonian sequence in the area, from bottom to top, consists of

* 国家重点研发计划项目（编号：2022YFF0800200）资助。[Financially supported by the National Key Research and Development Program of China (No. 2022YFF0800200)]

收稿日期：2025-06-12　　改回日期：2025-07-15

Chongdong, Shangshuanghe and Xichong formations or Qujing Formation (coeval but heterotrophic). Based on the lithology, contact relationship with the underlying strata and sedimentary thickness, the upper Middle Devonian in the area is divided into three distribution zones: clastic rocks, carbonate and clastic rocks mixed, and carbonates distribution areas, among which the clastic rock distribution area is divided into two subzones. Based on paleontological evidence, sedimentary characteristics and preliminary geochemical results, the characteristics of the Xichong Formation were analyzed, and it was proposed that the formation was mainly terrestrial sedimentary and developed land-sea transitional facies sedimentation. The Qujing Formation of the same period is a normal shallow marine sediment. In the late Middle Devonian, from west to east, the area showed a transition from erosional land zone to terrestrial depositional zone to interaction zone of land and shallow sea, and finally to the normal shallow sea. This land-shallow sea change is not only controlled by the palaeogeographic distribution of the region, but also by the macroscopic influence of the Caledonian tectonic movements.

Key words　distribution of land and shallow sea, Xichong Formation, Qujing Formation, Middle Devonian, Yunnan Province

About the first author　WANG Yi, born in 1963, is a professor of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, CAS. His research focuses on Silurian-Devonian System, and early land plants. E-mail: yiwang@nigpas.ac.cn.

在中泥盆世，云南曲靖及周边地区处于低纬度带（侯鸿飞和王士涛，1988），西有康滇古陆，北邻上扬子古陆，西南发育牛头山古岛。区内中泥盆世地层出露良好，含丰富的动植物化石，是中国中泥盆统研究最早和较为深入的地区之一（如：Grabau，1931；Sun，1945；廖卫华等，1978，1979；云南省地质局，1978；侯鸿飞和王士涛，1988；云南省地质矿产局，1990；张远志等，1996；彭辉平等，2016；刘琮滢等，2022）。该地区建立有多个中泥盆统岩石地层单元，例如穿洞组、下双河组、西冲组和曲靖组（Sun，1945；廖卫华等，1978，1979；云南省地质局，1978）。受限于区域的古地理特征，特别是在中泥盆世晚期，区内既发育以碎屑岩为主的陆相—海陆过渡相沉积（西冲组），同期也发育以碳酸盐岩夹碎屑岩为主的正常浅海沉积（曲靖组），因而，该地区是研究中泥盆世晚期海陆分布的理想地区之一。

在云南曲靖及周边地区的中泥盆世晚期地层中，普遍发育煤线，部分剖面发育角质残植煤和含油砂岩等（Zhou *et al.*，2025）。尽管这些沉积矿产资源未能达到工业开采的标准，但其在中泥盆世晚期产出，对于探索早期煤及其相关资源演变、早期煤与陆生维管植物演化的相关性以及与区域陆海变化的关联性具有重要意义。

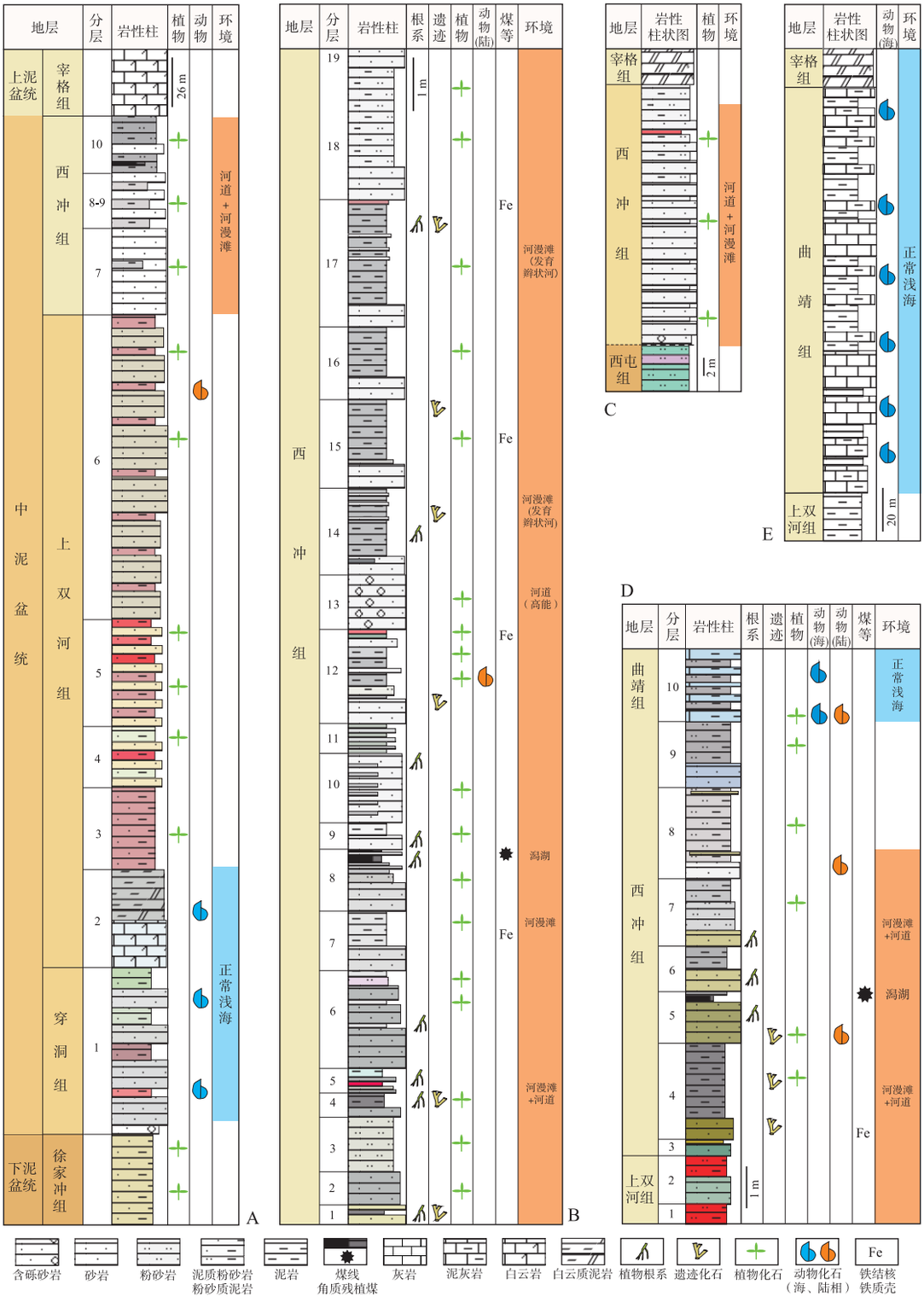
本研究聚焦于曲靖及周边地区，以中泥盆统上部（西冲组和曲靖组）为研究对象，实际剖面资料以曲靖幅 1∶20 万地质图的地质报告为主（云南省地质局，1978），参考近年来的研究成果，重点开展该区地层单元厘定、划分和对比，确定不同类型地层的分布，并结合古生物学、岩石学、沉积学和地球化学证据，揭示研究区内海陆分布的总体态势。

1　地层特征

对于曲靖及周边地区中泥盆统的地层单元划分和对比，先后出现了不同的方案（参见彭辉平等，2016；郄文昆等，2021；刘琮滢等，2022）。在研究区内，曲靖徐家冲—沾益西冲剖面中泥盆统发育最为齐全，自下而上为穿洞组、上双河组、西冲组（图 1-A）。在曲靖东山和五台山一带，中泥盆统主要出露曲靖组，底部含小型双壳类的含钙质碎屑岩可能为上双河组（图 1-E）。

1.1　穿洞组（D_2c）

云南省地质局第二区域地质测量大队于 1978 年在 1∶20 万曲靖幅地质填图时建立的地层单元（云南省地质局，1978）。该组命名剖面在沾益下双河村南西侧的小山坡上，岩性以紫红色、黄绿色砂质、钙质泥岩与长石石英砂岩互层为主，上部夹



A—曲靖徐家冲—沾益西冲剖面，穿洞组、上双河组和西冲组命名剖面（据云南省地质局，1978；有修改）；B—沾益上双河北水库剖面，西冲组参考剖面；C—沾益解家湾剖面，西冲组代表剖面之一（据云南省地质局，1978；有修改）；D—沾益上哨高寨水库剖面，西冲组和曲靖组混合沉积剖面；E—曲靖东山剖面，曲靖组代表剖面之一（据刘琮滢等，2022）

图 1 云南曲靖及周边地区中泥盆统 5 条代表剖面

Fig. 1 Five representative sections of the Middle Devonian in Qujing and surrounding areas, Yunnan, China

中层状白云岩。命名剖面上，穿洞组厚 64.7 m。穿洞组在曲靖徐家冲—沾益西冲剖面同样发育，厚度为 87.3 m，岩性主要为杂色石英砂岩夹砂质、钙质泥岩。穿洞组与下伏下泥盆统徐家冲组呈整合或假整合接触，与上覆中泥盆统上双河组呈整合接触。

穿洞组下部产胴甲鱼类 *Bothriolepis* sp.，*Wudinolepis* sp.；上部产胴甲鱼 *Bothriolepis* sp.，*Xichongolepis qujingensis* 和介形类 *Briatina* sp.，*Hermmannina* sp.。由于缺乏锚定地质时代的标准化石，该组地质时代尚存在争议。根据生物地层对比及介形类、植物化石和孢子组合特征，前人将该组时代定为中泥盆世早期（蔡重阳和李星学，1982；侯鸿飞和王士涛，1988；徐仁和高联达，1991；侯鸿飞等，2000）。朱敏和王俊卿（1996）依据早期脊椎动物化石，提出该组时代为早泥盆世晚期。因该组地质时代的厘定需要提供进一步的化石证据，故本研究暂将其划归为中泥盆世早期。

1.2　上双河组（D_2s）

云南省地质局第二区域地质测量大队于 1978 年在曲靖幅 1∶20 万地质填图时建立的地层单元（云南省地质局，1978）。该组命名剖面在沾益西冲村南东侧的山坡上（称为西冲剖面，本研究的曲靖徐家冲—沾益西冲剖面），岩性以褐灰色、褐黄色、土黄色石英杂砂岩与褐红色、桔黄色砂质泥岩为主，底部为灰色白云岩夹白云质泥岩。命名剖面厚 324.3 m，区域内厚度变化较大，从地层缺失到厚度逾 300 m。与下伏中泥盆统下部穿洞组和上覆中泥盆统上部西冲组均呈整合接触。

上双河组底部白云岩中产牙形刺 *Icriodus retrodepressus*，*I.* aff. *expansus* 和介形类 *Paramoelleritia* sp.（沈权，1991；王尚启和刘正明，1994），时代为中泥盆世 Eifelian 期。该组中上部主要产有植物化石 *Minarodendron cathaysiense*，*Barrandeina dusliana*n，*Lepidodendropsis* sp.，*Taeniocrada* sp. 等；胴甲鱼 *Bothriolepis zhujiangyuanensis* 等；介形类 *Leperditia* cf. *yunnanensis* 等；轮藻 *Sycidium haikouense*，*S. lagenarium* 等；孢子 *Archaeozonotriletes variabilis-Cymbosporites magnificus* 组合，或 *Archaeozonotriletes variabilia-Calyptosporites proteus* 组合和 *Geminospora lemurata-Cristatisporites triangulatus* 组合，地质时代为中泥盆世 Eifelian-Givetian 期（王振，1976；李星学和蔡重阳，1979；卢礼昌，1980；徐仁和高联达，1991；蔡重阳等，1994；王尚启和刘正明，1994；田家杰和朱怀诚，2005；彭辉平等，2016；刘琮滢等，2022；Xian *et al.*，2025）。综上所述，该组的地质时代为中泥盆世早—晚期。

1.3　西冲组（D_2x）

由廖卫华等（1978）命名，命名地在滇东曲靖和沾益。最初定义为“厚度可达 800 余米，由石英砂岩夹砂质页岩所组成，下部含 40 m 厚的白云质灰岩，底部有 1 层底砾岩与翠峰山群呈平行不整合接触”，时代为中泥盆世晚期。最初命名时并无命名剖面描述，云南省地质局（1978）依据沾益西冲剖面特征（至少 3 月份后出版，207 页曲靖幅 1∶20 万区域地质调查报告的验收决议书时间），将这套中泥盆统厚近 800 m 的地层划分为 3 个组，自下而上为穿洞组、上双河组和海口组（新定义），这与最初的西冲组一致，依据化石组合认为其地质时代为整个中泥盆世。廖卫华等（1979）将西冲组改为西冲群，命名剖面为沾益西冲剖面，与最初定义相比，只是增加了“与上覆宰格组则呈整合接触”，同时指出其中一部分地层与海口组相当。蔡重阳和李星学（1982）将西冲组作为中国中泥盆世晚期陆相地层的代表岩组，指出命名剖面在沾益西冲附近，岩性分为 3 段，其中下段为白云岩夹白云质灰岩，中段为杂色泥岩、粉砂岩夹砂岩，上段为白色、灰白色砂岩和黑色碳质泥岩（蔡重阳等，1994）。后期研究表明，西冲组（蔡重阳和李星学，1982；蔡重阳等，1994）的下段和中段为云南省地质局（1978）的上双河组，上段为云南省地质局（1978）的海口组。

在曲靖及周边地区，中泥盆统上部地层究竟是使用海口组还是西冲组，一直存在不同的观点。海口组由 Depart（1912）在云南昆明海口地区命名，谢家荣（1941）对其进行了重新叙述。命名剖面位于云南昆明附近的海口村，岩性以浅灰色或灰褐色砂岩、粉砂岩为主，与下伏下寒武统筇竹寺组呈不整合接触，与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触。命名剖面厚约百米。从岩性主要特征、所产植物化石总体面貌和胴甲鱼 *Bothriolepis* 来看，海口组和西冲组十分相似，但是昆明海口地区海口组发育不全，缺乏连续沉积的下伏地层。潘江等（1978）、张远志等（1996）提出海口组特指昆明海口地区

的碎屑相地层，并认为不宜在其他地区泛用。曲靖和沾益等地广义的“海口组”是否完全与昆明海口地区命名的海口组相当，尚存疑（侯鸿飞等，2000）。在 1978 年 3 月 26 日 1∶20 万曲靖幅区域地质调查报告的验收决议书中（云南省地质局，1978，206-207 页）指出，“中泥盆统海口组的划分”是该图幅存在的主要问题之一。正如彭辉平等（2016）提出，曲靖、沾益地区中泥盆统需要使用更为合适的岩石地层名称，如西冲组等。鉴于西冲组已被广泛使用（李星学和蔡重阳，1979；王尚启和刘正明，1994；蔡重阳等，1994；王怿和 Berry，2001；田家杰和朱怀诚，2005；彭辉平等，2016；王怿等，2024），本研究提出曲靖及周边地区中泥盆统上部地层宜使用西冲组。以下是对西冲组的重新厘定。

西冲组：廖卫华等（1978）命名，命名剖面为曲靖徐家冲—沾益西冲剖面（云南省地质局，1978）（图 1-A），GPS 位置为 25°36′19″N、103°45′31″E，参考剖面为沾益上双河村北 400 m 水库剖面（图 1-B），GPS 位置为 25°35′07″N、103°44′33″E。岩性为灰色、灰白色、棕黄色石英砂岩夹黑色、灰色、灰白色、白色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩，局部夹少许紫红色、灰绿色泥岩，发育薄煤层或角质残质煤；在与下伏地层非连续沉积地区，底部发育有灰白色石英砂砾岩。主要分布于曲靖、沾益及其周边地区，厚度 0.7～104.4 m。在命名剖面及周边剖面上，该组与下伏中泥盆统上双河组呈整合接触，后者为杂色碎屑岩（发育褐红色、紫红色沉积）；与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触，后者为白云质灰岩。区域上，与下伏寒武系、奥陶系、志留系上部或下泥盆统呈假整合接触，与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触。

西冲组产有大量动、植物化石，植物主要以西冲植物群为主（Wang *et al.*，2007），局部发育植物根系，孢子见 *Retusosporites-Cymbosporites-Ancyrospora*（RCA）组合（卢礼昌，1988）、*Archaeozonoteiletes variabilis-Cymbosporites magnificus*（VM）组合（田家杰和朱怀诚，2005）或 *Geminospora lemurata-Cristatisporites triangulates*（LT）组合（徐仁和高联达，1991），并产有胴甲鱼 *Bothriolepis* sp.，*Hunanolepis* sp. 等。依据化石特征，该组时代为中泥盆世吉维特期。

1.4 曲靖组（D_2q）

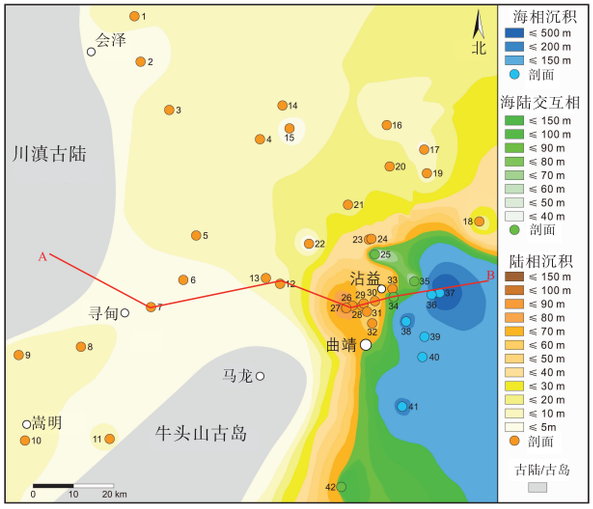
详细记述见刘琮滢等（2022）。在曲靖市以东地区，该组以海相碳酸盐岩为主，夹碎屑岩，主要产以 *Stringocephalus* 和 *Bornhardtina* 为主的腕足动物群（Liu *et al.*，2024），发育有珊瑚等。曲靖组既具有海相碳酸盐岩，又发育碎屑岩，属于混合沉积（杨朝青和沙庆安，1990），形成于以泥质沉积为主的海湾中。以曲靖东山（图 1-E）和五台山（刘琮滢等，2022，图 4）剖面为例，该组岩性为海相碳酸盐岩和碎屑岩（以泥岩为主）交互沉积，两者的比例大约为 4∶1（云南省地质局，1978）。在中厚层灰岩中，发育大量鸮头贝类化石，伴生有大量广海型珊瑚，指示相对稳定的清澈浅海环境（刘琮滢等，2022）；在泥岩中，产十分破碎的维管植物化石，表明其是异地埋藏并经历了较长距离的搬运，指示沉积物来自陆源，同时发育大量的腕足类和珊瑚，指示其沉积环境属于浅海，故为近岸沉积，具有陆源泥沙注入（刘琮滢等，2022）。该组与下伏中泥盆统上双河组呈整合接触，与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触，或与下石炭统呈假整合接触。该组的地质时代为中泥盆世吉维特期。区域上，与西冲组为同期异相，而在沾益高寨剖面上，下部为西冲组，上部相变为曲靖组（图 1-D）。

2 地层分区及分布特征

本研究以云南曲靖及周边地区为主，范围包括曲靖、沾益、会泽南部、寻甸东部、嵩明北部、宣威南部、宜良东北部和马龙，重点关注的地层是中泥盆统上部地层（西冲组和曲靖组）。本研究涉及的剖面主要引用曲靖幅 1∶20 万区域地质调查报告，结合对 5 条剖面的实际研究（图 1），总计以 42 条剖面为实际材料。将 42 条剖面的西冲组或曲靖组资料录入 Geobiodiversity Database（GBDB）数据库，自动集成地层古地理分布图（图 2）。依据曲靖及周边地区中泥盆统上部地层岩性特征、沉积厚度及其与下伏地层接触关系，将中泥盆统上部地层划分为 3 个分布区（图 2）。

2.1 碎屑岩分布区（图 2，黄色系区域）

该分布区出露地层为西冲组，岩性以灰白色、棕黄色石英砂岩为主，夹灰色、灰白色、白色泥质



黄色系示碎屑岩分布区；绿色系示碎屑岩和碳酸盐岩混合分布区；蓝色系示碳酸盐岩分布区。剖面编号：会泽：1-驾车滴水岩，2-三股水，3-陡石坎，4-小铺子；寻甸：5-竹园沟，6-大河口新村，7-初奈，8-纳郎，9-鲁士；嵩明：10-小连灯，11-干海子；沾益：12-新庄，13-章溪，14-德泽，15-马桑水，17-马雄山，18-大撇坡，19-干沟，20-旧屋鲁村马鞍山，21-刘家庄；22-块乌，23-解家湾，24-真如寺，25-云岗，26-上双河村北水库，27-曲靖徐家冲—沾益西冲，28-椒树上村边，29-曲靖高铁北站，30-玉林公园北坡，31-太平公墓西，33-玉光，34-史家坡，35-高寨水库，37-秧田冲，38-桃园；宣威：16-呵盆沟；曲靖：32-金玫瑰园西，36-大营盘，39-五台山，40-东山，41-张家营村；宜良：42-滑泥坡

图 2　云南曲靖周边地区中泥盆世晚期古地理分布

Fig. 2　Palaeogeographical distribution map of the late Middle Devonian strata in Qujing and surrounding areas, Yunnan, China

粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩。沾益西冲一带为该区的沉积中心，西冲组厚达 104.4 m，周缘厚度为 50 m 左右。由该沉积中心向北东、南西和北西，西冲组厚度变小，一般在 30 m 以内，且越远离沾益，西冲组厚度越小。依据厚度和下伏地层发育情况，可进一步分为 2 个亚区。

周边不整合分布亚区：分布范围为图 2 中剖面 1~24 地区，主要位于研究区的周边。该分布亚区西冲组主要以灰白色石英砂岩为主，底部多发育灰白色砾岩或含砾砂岩；厚度小于 30 m，最薄处只有 0.7 m（图 3，寻甸初奈，剖面 7）；产有植物化石：*Minarodendron cathaysiense*，*Lepidodendropsis arborescens*，*Barrandeina dusliniana*，*Eocladoxylon minutum* 等；胴甲鱼：*Bothriolepis* sp.，*Hunanolepis* sp. 等。在该亚区中，西冲组与下伏不同时期地层呈假整合接触，与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触。在剖面 1~4、10、14、15 中，西冲组与下伏寒武系沧浪铺组呈假整合接触（图 3，会泽三股水，剖面 2）；在剖面 9 中，与下伏奥陶系下巧家组呈假整合接触（图 3，寻甸鲁士）；在剖面 5~8、12 中，与下伏志留系上部关底组呈假整合接触（图 3，寻甸初奈，剖面 7）；在剖面 13、16~24 中，与下伏下泥盆统西屯组呈假整合接触（图 1-C；图 3，沾益章溪和解家湾，剖面 13、23）。

中间连续沉积分布亚区：分布范围为图 2 中剖面 26~33 地区，主要分布在沾益与曲靖之间。本分布亚区西冲组最为发育，岩性以灰白色、棕黄色石英砂岩夹灰色、灰白色、白色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩为主，在不同层位发育煤线或角质残植煤，偶尔夹薄层紫红色、淡红色粉砂质泥岩。该组地层最厚处在沾益西冲，达百米以上（图 1-A；图 2），是西冲组的沉积中心，周边多在 50 m 左右。产有丰富的植物化石，即西冲植物群（Wang *et al.*, 2007）：*Minarodendron-Barrandeina-Eocladoxylon* 带（王怿等，2024）；孢子为 *Archaeozonoteiletes variabilis-Cymbosporites magnificus*（VM）组合（田家杰和朱怀诚，2005）；胴甲鱼为海口动物群（Zhao and Zhu, 2010），常见有 *Bothriolepis* sp.，*Hunanolepis* sp. 等。在该亚区中，西冲组多与下伏上双河组呈整合接触，与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触（图 1-A；图 3，沾益上双河、西冲、曲靖金玫瑰园，剖面 26、27、32）。在沾益玉林公园北坡剖面，西冲组与下伏下泥盆统徐家冲组呈假整合接触。

2.2　碎屑岩和碳酸盐岩混合分布区（图 2，绿色系地区）

该分布区位于从沾益云岗（图 2，剖面 25）、史家坡（图 2，剖面 34）、高寨（图 2，剖面 35）到宜良滑泥坡（图 2，剖面 42）一带，出露地层为西冲组和曲靖组，岩性为碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积。在各剖面中，地层发育状态不尽相同：在沾益云岗剖面（图 3，剖面 25），岩性以灰白色石英砂岩为主，夹灰色、灰白色粉砂质泥岩，在中层石英砂岩中夹薄层砂质灰岩（厚 0.3 m）（刘琮滢等，2022），故其以西冲组的碎屑岩沉积为主、中间夹有灰岩沉积的曲靖组，与下伏下泥盆统西屯组呈假整合接触。在沾益高寨剖面（图 1-D；图 3，剖面 35），下部以灰白色石英砂岩为主，夹灰色、灰白

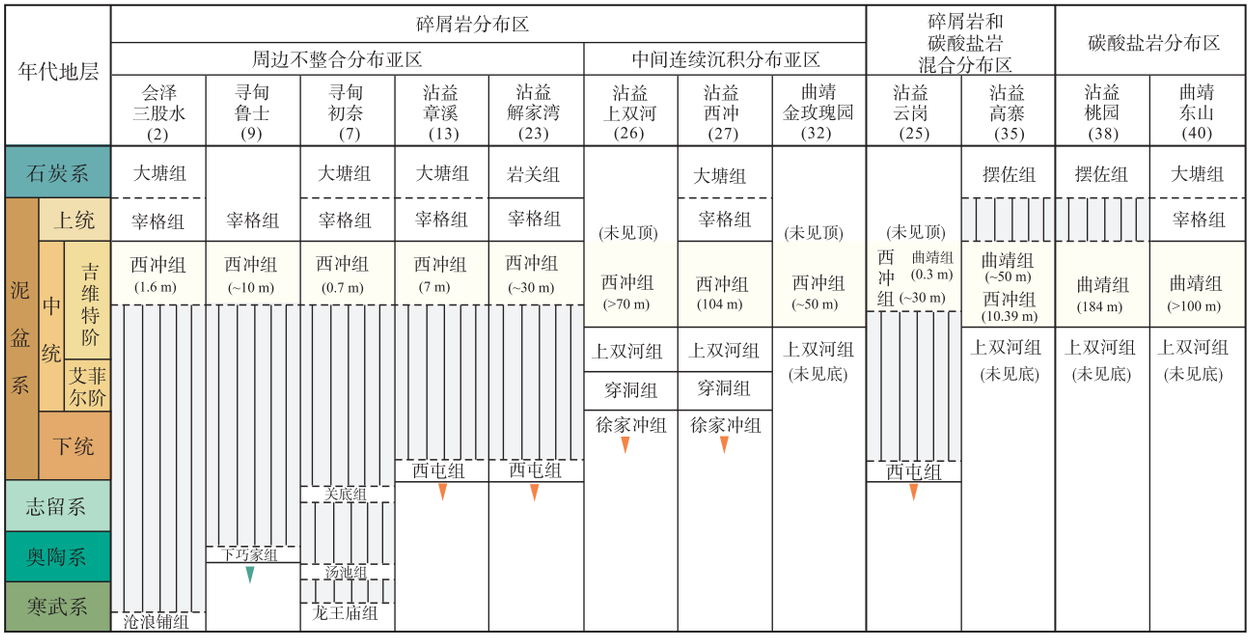


图 3 云南曲靖及周边地区中泥盆统上部地层的划分和对比（剖面编号见图 2）

Fig. 3 Subdivision and correlation of the late Middle Devonian strata in Qujing and surrounding areas, Yunnan, China (section numbers shown in Fig. 2)

色粉砂质泥岩，发育植物化石、植物根系和角质残植煤，为西冲组，而上部岩性为碎屑岩夹薄层灰岩，产有腕足类和珊瑚化石，为曲靖组；与下伏中泥盆统上双河组呈整合接触，与上覆下石炭统呈假整合接触。在沾益史家坡剖面（云南省地质局，1978），岩性为灰色、灰白色中—厚层石英砂岩夹灰色粉砂质泥岩与砂泥质灰岩、钙质泥岩交互沉积，为碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积，产有植物化石 *Minarodendron cathaysiense*，*Barrandeina dusliniana* 等，轮藻 *Sycidium* sp. 等，胴甲鱼 *Bothriolepis* sp.，*Hunanolepis* sp. 等，同时产有腕足类 *Stringocephalus* 等，珊瑚 *Thamnopora* 等，但由于地层出露原因，其下伏和上覆地层尚不清楚。在宜良滑泥坡剖面，该组地层出露厚度 100 m 左右，下部为石英砂岩或砂砾岩沉积，相当于部分西冲组，上部为灰岩沉积，为曲靖组，与下伏前寒武系和上覆下石炭统均呈假整合接触。

2.3 碳酸盐岩分布区(图 2，蓝色系区域)

分布范围为图 2中的蓝色系地区，分布于沾益秧田冲(图 2，剖面 37)、桃园（图 2，剖面 38)、曲靖大营盘（图 2，剖面 36)、五台山（图 2，剖面 39)、东山(图 1-E；图 2，剖面 40)、张家营（图 2，剖面 41）一带。该分布区出露的地层为曲靖组，以碳酸盐沉积为主，夹灰色泥岩沉积。沾益秧田冲砂泥岩与灰岩比例为 1∶1，沾益桃园为 1∶2，曲靖的 4 条剖面为 1∶4（云南省地质局，1978)；最厚地层在沾益秧田冲，达 402 m，其他剖面多为百米以上；富含中泥盆世晚期腕足类 *Stringocephalus*、*Desquamatia*、*Athyris* 等和珊瑚 *Thamnopora*、*Argutastrea* 等（刘琮滢等，2022)，在泥岩中可产植物化石，但是十分破碎。与下伏中泥盆统上双河组呈整合接触，与上覆上泥盆统宰格组呈整合接触，或与上覆下石炭统呈假整合接触。

2.4 总体分布特征

从地层厚度上看，该时期地层总体呈现西北薄、东南厚的特征。就西冲组而言，以曲靖与沾益之间为沉积中心（曲沾中心)，最厚处在沾益西冲，为 104 m；周边厚度多小于百米，多为 50 m 左右；自曲沾中心向西的大片区域，西冲组厚度变小，近中心地区厚度在 10~30 m 之间；再向西、西南、西北、北、东北的外围地区，厚度多小于 10 m，最薄处只有 0.7 m。就曲靖组而言，其主要分布在曲靖—沾益以东地区，厚度基本为百米以上，最厚达 402 m。

从岩性特征上看，研究区东南以碳酸盐沉积为主（曲靖组），其他区域以碎屑岩沉积为主（西冲组），两者之间为西冲组与曲靖组混合沉积区，但是在不同剖面上 2 个组的占比略有不同。例如，沾益云岗剖面（图 2，剖面 25）以西冲组为主，中间夹碳酸盐岩；高寨（图 2，剖面 35）和宜良滑泥坡剖面下为西冲组，上为曲靖组；史家坡剖面（图 2，剖面 34）为碎屑岩和碳酸盐岩交替混合沉积。

3　西冲组特征

本研究的资料主要来自对沾益上双河北水库剖面（图 1-B，5，6）和高寨水库剖面（图 1-D，7-1），并集成了曲靖徐家冲—沾益西冲剖面（图 1-A）、沾益解家湾剖面（图 1-C）和玉光剖面（图 2，剖面 33）的分析结果。

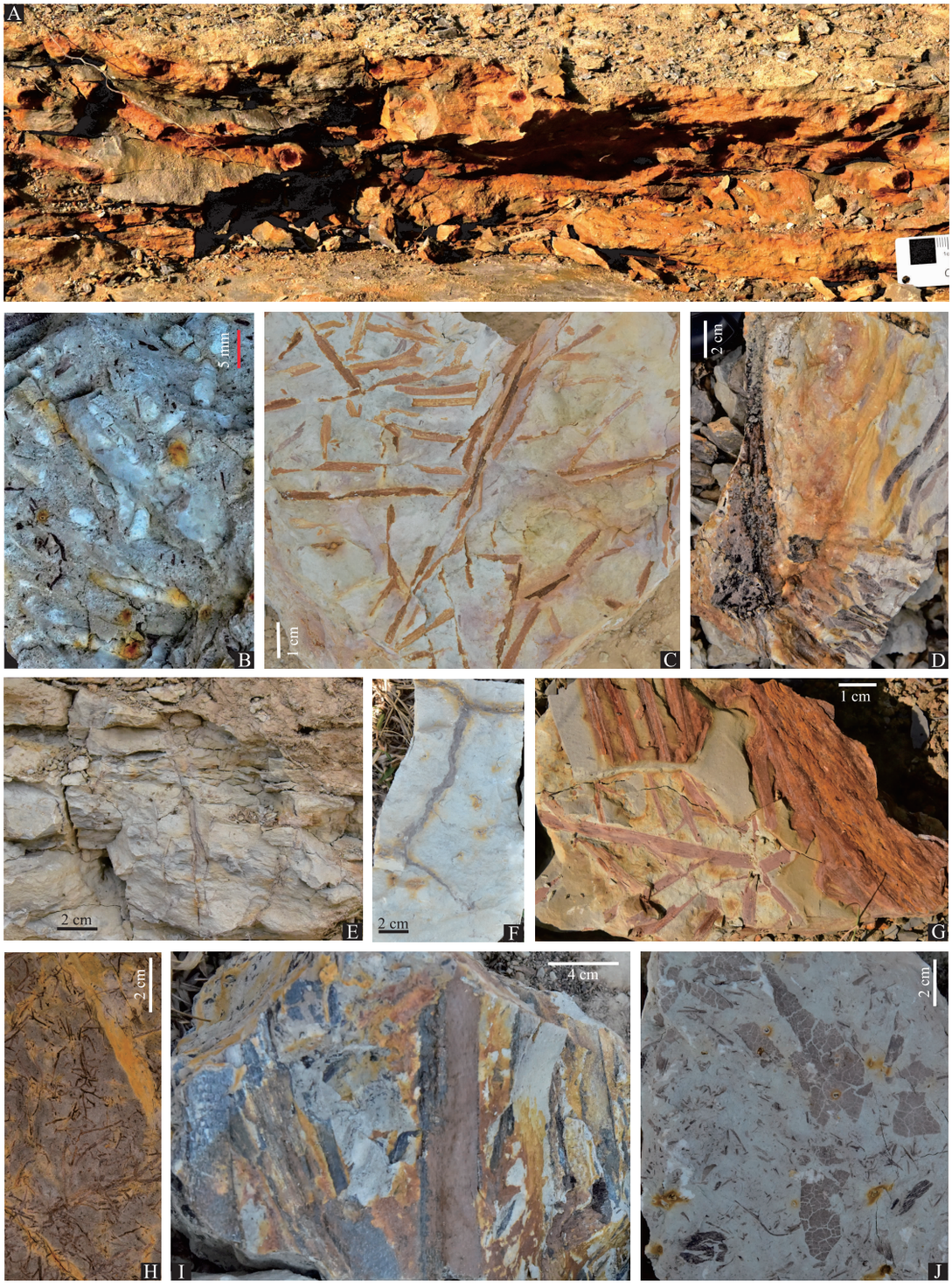
3.1　古生物特征

西冲组所含化石主要以植物大化石、胴甲类和遗迹化石为主，并未发现指示正常浅海的大化石，如腕足类、珊瑚等。

植物大化石：西冲组中产有大量植物化石，通称为西冲植物群（Wang *et al.*，2007）。西冲植物群以地方性分子发育为特征，是一个地方性植物群。石松类最为繁盛，出现了个体较大的植物类型；“真蕨植物”是一种原始类型植物，代表了真蕨植物祖先类型之一；大型的枝木蕨植物均为典型地方性分子；细小的三枝蕨类植物十分发育。华南中泥盆世晚期的 *Minarodendron-Barrandeina-Eocladoxylon* 植物带以西冲植物群为代表（王怿等，2024）。从植物化石的保存状态来看，尽管未见整体保存的植物体，多呈部分保存，但是大小不同的植物茎干同层保存，植物体各部分均相连保存。在石松植物中，如 *Minarodendron*、*Yuguangia*、*Barrandeina* 等（Li，1990；蔡重阳和王怿，1995；Hao *et al.*，2007；Liu *et al.*，2013；郑高峰等，2026），植物茎干上均着生有十分容易脱落的叶，孢子囊穗多着生细枝的末端；*Eocladoxylon minutum*（Berry and Wang，2006a）植物体的不同级次枝连生保存，末端分枝系统均保存了原始着生型式，同时末端孢子囊也完整保存；*Panixa* 和 *Rhipidophyton*（Berry and Wang，2006b；Wang and Berry，2006；Xue *et al.*，2016）的大型侧枝着生茎轴上，并保持了生长的型式，侧枝的多次分叉末端枝系完整。这些植物化石的保存状况表明它们属于异地埋藏，但是其沉积环境属于陆地环境且水动力相对比较弱，植物体的搬运距离短，距离植物体的生长地比较近。在沾益西冲、解家湾、上双河水库北剖面中，植物化石多保存完整，易脱落的叶、刺和孢子囊等均连生（图 4-C，4-G 至 4-I），表明其未经长距离搬运，距离植物生长地较近，基本属于陆地环境。在沾益高寨剖面中，尽管发育植物化石，但多较为破碎，且主要为粗茎干（图 5-F），未见易脱落结构，表明这些植物经历了相对较长距离的搬运，远离生长地，沉积于离陆地较远的环境。

遗迹化石：西冲组多发育虫管遗迹化石和植物根迹。虫管遗迹化石主要产自粉砂质泥岩或泥岩之中，十分富集，个体比较小，直径 2~3 mm，有分叉，具有可能的分节特征（图 4-A，4-B）。如在沾益高寨剖面西冲组下部，发育有 3 层虫管遗迹化石；在上双河北水库剖面西冲组中，虫管遗迹化石整个剖面均发育，达 6 层。这类虫管遗迹化石可能形成于陆地环境，也可能是低能的缓流河的滨岸带，处于淡水水上和水下之间，伴有周期性的暴露和洪水浸漫；生物活动的底质是潮湿至湿、塑性的泥质沉积底层。植物根迹是陆相遗迹化石的一大特色，在沾益高寨剖面西冲组上部发育有 3 层植物根迹，均沿层面分布（图 5-D）；在上双河北水库剖面西冲组中，植物根迹整个剖面发育，达 9 层，共有 3 种形态，分别是沿层面展布、分叉（图 4-F），穿插层面、分叉（图 4-E），地层中保存植物茎始端并着生根系，其中最后一种基本属于植物根系化石（图 4-D）；在曲靖金玫瑰园剖面中，西冲组发育连续 10 小层植物根迹。这些植物根迹指示西冲组中存在陆相沉积。

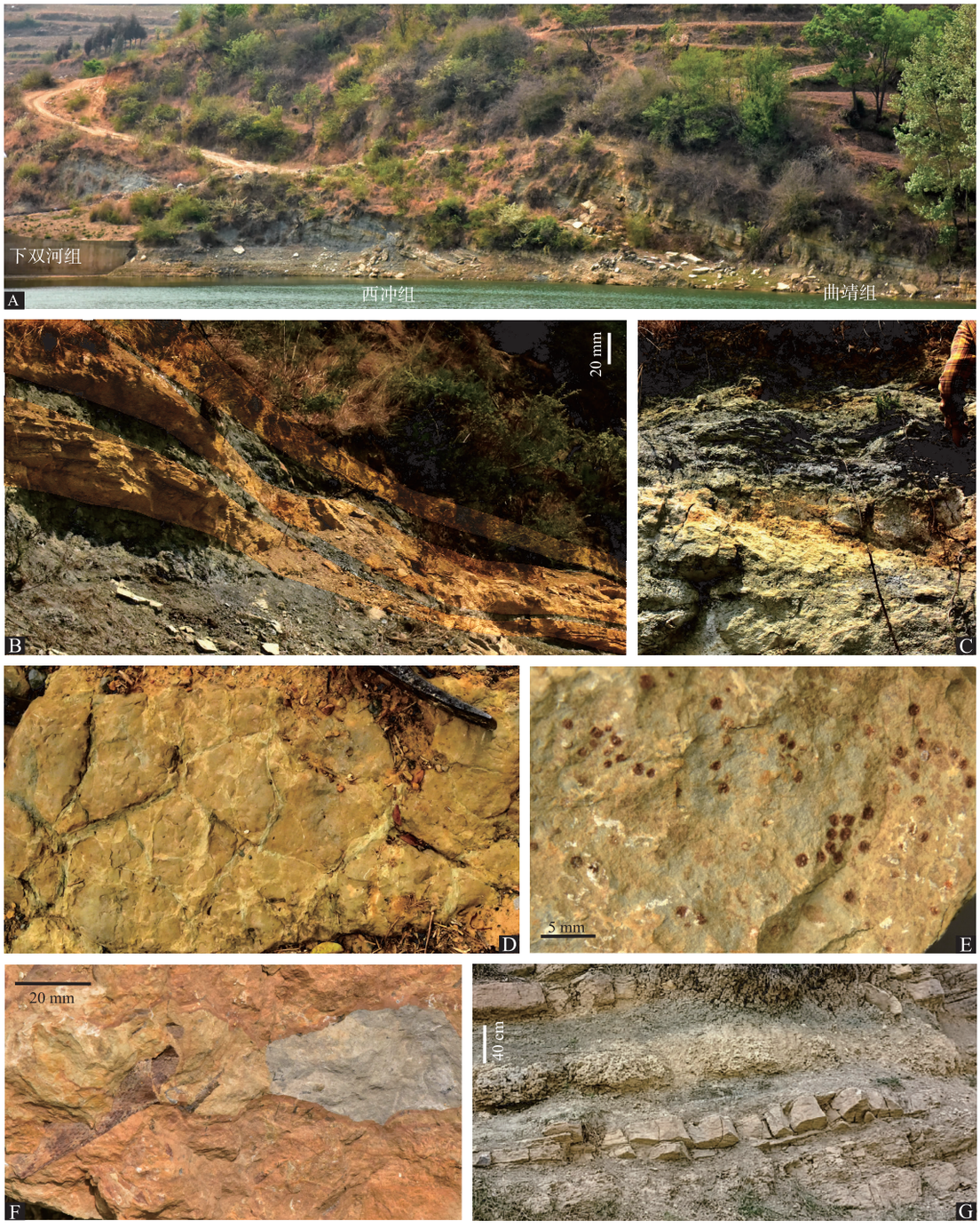
胴甲鱼类：西冲组中的胴甲鱼类主要以 *Bothriolepis* 和 *Hunanolepis* 等为主，并广泛分布。*Bothriolepis* 在华南中泥盆统广泛分布，如湖南跳马涧组、云南昆明海口组等，是华南中泥盆统的典型分子。胴甲鱼类可能营底栖，以小型动物及植物为食。尽管胴甲鱼类生活的水体特征有待确证，但是从其可能的食性而言，它与植物具有密切的相关性，至少生活在具有淡水注入的水体中。在嵩明小连灯、沾益新庄、马涉水等剖面中，西冲组厚度不到 10 m，以石英砂岩和砾岩为主，夹泥质粉砂岩，产有



A，B—虫管遗迹化石；C—解家湾剖面，植物化石-*Minarodendron* sp.；D—具有根系植物茎干-*Rhipidophyton*? sp.；E，F—植物根迹；G~I—植物化石-*Barrandeina* sp. 茎和枝系，细小植物枝系和孢子囊，*Lepidodendropsis* sp. 和 *Panxia* sp. 茎干；J—角质层和植物碎片。A，B，D~J 均采自上双河北水库剖面

图 4 云南沾益上双河村北水库和解家湾剖面的各类化石

Fig. 4 The late Mddile Devonian fossils from the north reservoir section of Shangshuanghe village and the Xiejiawan section in Zhanyi, Yunnan, China



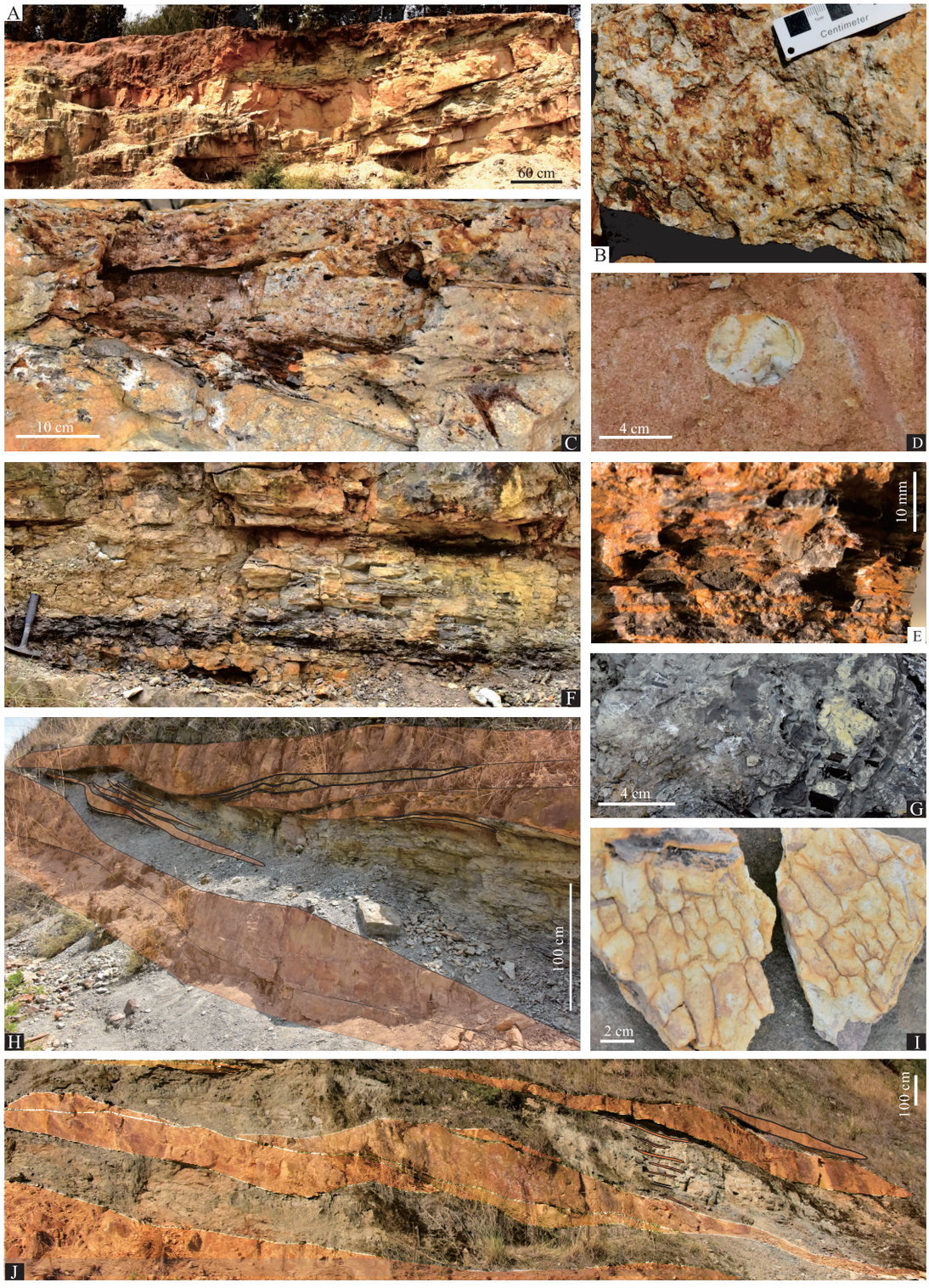
A—剖面远观图；B—西冲组中透镜状砂岩夹透镜状泥岩或角质残植煤；C—西冲组的角质残植煤；D—西冲组的植物根迹；E—西冲组砂岩中的轮藻藏卵器；F—曲靖组钙质砂岩，具植物茎干-*Lepidodendropsis* sp.；G—曲靖组，钙质砂岩夹薄层灰岩

图 5　云南沾益高寨剖面各类化石和沉积特征

Fig. 5　The late Middle Devonian fossils and sedimentary characteristics from Gaozhai section in Zhanyi, Yunnan, China

*Bothriolepis*等，可能代表了陆地环境沉积。

另外，西冲组中还产出一种较为常见的轮藻藏卵器化石(图 5-E)。尽管轮藻植物体化石不易保存，但是藏卵器的产出指示了轮藻植物的存在。轮藻主要生长在淡水和半咸水中，可指示陆地环境的存在。轮藻藏卵器化石并非原地埋藏，而是经过了一定距离的搬运，可与海相腕足类和珊瑚同层保存，如沾益高寨剖面曲靖组中（刘琮滢等，2022，



A—解家湾剖面，透镜状砂岩夹泥质粉砂岩；B，C—含砾砂岩；D—含砾紫红色粉砂岩；E—含铁泥岩；F，G—煤线；H，J—透镜状砂岩和泥岩，泥岩中含多层小的透镜状砂岩；I—粉砂质泥岩中的泥裂。B-J 均来自于上双河村北水库剖面

图 6 云南沾益上双河村北水库和解家湾剖面的沉积特征

Fig. 6 The late Middle Devonian sedimentary characteristics from north reservoir section of Shangshuanghe village and Xiejiawan section in Zhanyi, Yunnan, China

图 2-8)。

3.2　沉积特征

西冲组主要以灰白色、白色、棕黄色石英砂岩为主，夹灰色、白色泥质粉砂岩、泥岩。在周缘不整合分布亚区，西冲组底部多为石英含砾砂岩(图 1-C)，或发育透镜状石英砾岩，指示陆相沉积的开始。在中间连续分布亚区，西冲组与下伏上双河组连续沉积，不发育砾岩或含砾砂岩，但出现了白色纯石英砂岩。在沾益上双河北水库剖面中，第 13 层发育含砾砂岩(图 6-B，6-C)，呈透镜状，砾石成分为粉砂岩，磨圆好，分选较差，大小不一；在下部紫红色的粉砂岩中发育砾石，成分为灰白色粉砂质泥岩，磨圆好(图 6-D)。

西冲组中的石英砂岩常为砂糖状纯石英砂岩，在沾益解家湾和云岗剖面上，其可作为建筑材料开采；在沾益玉光剖面，这套石英砂岩曾作为高速公路的施工建材。石英砂岩沿走向多呈透镜状，夹有透镜状泥质粉砂岩或粉砂质泥岩(图 6-A)。在沾益上双河北水库剖面上，西冲组中上部呈现石英砂岩与粉砂质泥岩或泥岩交互(图 6-H，6-J)，如图 5-H 来自图 1-B 的 14-15 层，14 层下部为石英砂岩层，上部为灰色泥岩层，泥岩层中产有虫管遗迹(图 4-B) 和植物根迹化石，内含至少 5 层透镜状薄层石英砂岩；15 层下部为石英砂岩层，其中细层沿走向呈透镜状分布，各细层的透镜体中间最厚、走向延伸长度不尽相同。图 6-J 来自图 1-B 的 16-18 层，17 层下部为石英砂岩层，细层沿走向呈透镜状分布；17 层上部为灰色和灰白色泥岩层，整体特征类同 14 层，在泥岩层中产出丰富的植物化石(图 4-H，4-I)、虫管遗迹化石(图 4-A) 和植物根迹，在层面中见到类似泥裂结构，泥岩顶部发育含铁泥岩(图 4-A；图 6-E)；泥岩层中发育 8 层透镜状薄层石英砂岩。上述特征呈现出典型的下粗上细的二元沉积结构，指示其为河流沉积。依据岩相分布方式和空间展布特征、沉积岩石特征、化石分布和构成等，笔者认为石英砂岩层对应规模不同的沙坝，属于河道沉积，而泥岩层则属于河漫滩沉积。由于河流改道等原因，这 2 个沉积单元在空间上形成复杂的关系。

西冲组常发育煤线(图 6-F，6-G)，煤线中保存有植物的残留体，由植物化石形成，Zhou 等(2025) 认为其属于温暖气候条件下的潟湖沉积。在沾益西冲、玉光和高寨剖面中，西冲组发育角质残植煤(图 5-C)。在高寨剖面中(图 5-B 来自图 1-D 的 4-7 层)，角质残植煤层(图 5-C) 赋存于 2 层石英砂岩层之间，呈透镜状展布。这种角质残植煤在云南禄劝和华坪、四川渡口等地的中泥盆世晚期地层均有产出，曾一度进行过小规模的工业开采(孙德伟等，2007，韩德馨，1964；权彪和韩德馨，1998)。构成角质残植煤的主要植物为 *Orestovia* cf. *devonica*，其形成多受控于当时的区域古地理和古气候条件，成煤的古地理条件是位于近岸和水分充沛的特定小盆地。在沾益西冲、上双河北水库和玉光、曲靖金玫瑰园剖面中，西冲组的灰色或白色泥岩中保存植物角质层，有时富集成十分薄的煤线，但分布非常局限，多为层面大量分散保存，同层具有植物碎片(图 4-J)，这些植物角质层的母体植物来自不同的陆生维管植物 (Guo and Wang, 2016)。在沾益玉光剖面，煤线主要产自西冲组中上部，以灰色、灰白色的砂岩夹页岩、泥岩为主，含有 3 层煤线，单层厚度小于 10 cm，呈透镜状展布，延伸 2~3 m，主要由角质层构成，母体植物可能为 *Panxia gabata* (孙德伟等，2007)；煤线上、下地层中产有大量保存完整的植物化石 (Wang *et al.*, 2007)，并产有大量孢子 (Zhu and Liu, 2002)。上述特征指示了一种近陆源、水体十分安静的水洼环境，其具有一定生物量，局部可形成煤线，但是尚未达到形成煤层所需的生物量。

3.3　地球化学特征

地球化学指标可以指示不同的沉积环境。Sr/Ba 值、B/Ga 值和 S/TOC 值均被用来确定古盐度，进而分析形成环境(Wei *et al.*, 2018；Wei and Algeo, 2020；Zhou *et al.*,2023)。Sr/Ba<0.2、0.2~0.5、>0.5 或 B/Ga<3、3~6、>6 均分别指示淡水、半咸水和盐水；S/TOC<0.1、>0.1 分别指示淡水和半咸水/盐水。

西冲组以碎屑岩为主，受多种因素控制，如植物碎屑的含量、气候 (干旱或日照蒸发)、黏土物质的含量和风化程度等，这会对测试结果带来一定影响，导致用地球化学指标指示沉积环境具有一定的不确定性。依据对沾益上双河北水库和高寨剖面的地球化学分析，Sr/Ba 值在剖面中位于 0.15~

0.3 之间，变化较小，指示沉积物多为陆地来源；B/Ga 值有所变化，可用来进行环境变化分析；而 TOC 含量受控于沉积物中植物碎屑的含量，具有较大偏差。有关 2 条剖面的地球化学研究结果将在后续发表。Zhou 等（2025）对双河剖面的海口组（本研究上双河组和西冲组）进行了岩相和地球化学分析，显示西冲组下部（样品 18－26）Sr/Ba <0.2、S/TOC<0.1，指示其形成于淡水沉积环境中。上述的地球化学初步研究结果显示，西冲组的沉积物多来源于陆地，形成于淡水沉积环境。

4 海陆变化特征

以西冲组/曲靖组分布为基础，以岩性变化（碎屑岩到碳酸盐岩）为依据，综合各类海陆特征，分析曲靖及周边地区的海陆变化过程。在时间尺度上，主要以中泥盆世晚期为一个时间单元，结合上、下时段的研究，揭示研究区海陆变化的过程。

4.1 中泥盆世晚期海陆分布

研究区西北区域为川滇古陆的一部分，南中部发育牛头山古岛，它们均属于陆地，未见中泥盆世晚期的沉积，多为寒武系或更老的地层。在周缘不整合分布亚区（2 个古陆之间及东北地区）发育有西冲组，该组底部多发育砾岩，主要以石英砂岩为主，夹有粉砂岩和泥岩透镜体，厚度为 10 m 左右，为陆相沉积，可能属于河流和泛滥平原沉积。在中间连续沉积分布亚区（曲靖到沾益之间），西冲组以碎屑岩沉积为主，发育煤线，厚度大于 50 m，多与下伏地层呈连续沉积，属于陆相沉积（河流和泛滥平原）夹海陆过渡相沉积。在碎屑岩和碳酸盐岩混合分布区，发育一套西冲组和曲靖组混合沉积，碎屑岩和碳酸盐岩共同发育，陆相和海相共存，属于海陆交互沉积。在碳酸盐岩分布区（曲靖和沾益东南地区），主要发育曲靖组，岩性以海相碳酸盐岩为主夹碎屑岩，产有大量海相化石，指示正常浅海沉积。

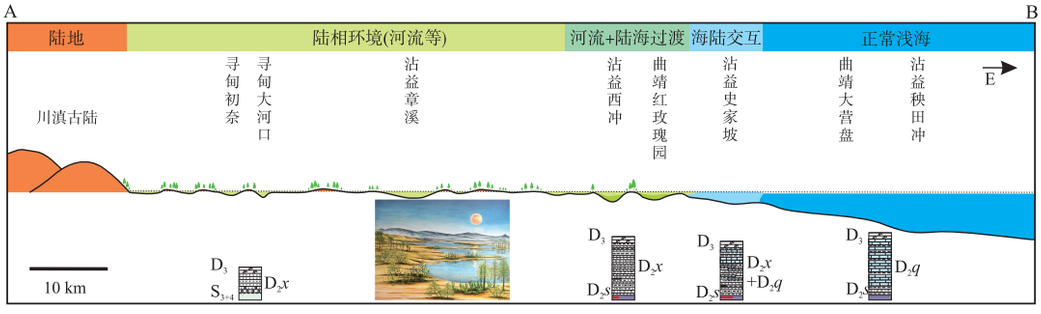
在整个研究区，西部和南中部为陆地；两者之间和向东地区，广泛分布陆相沉积，发育有河流和泛滥平原沉积；到曲靖和沾益之间，既发育河流沉积，同时发育河流入海的海陆过渡沉积；再向东，出现了海陆交互环境；到曲靖和沾益以东，为正常浅海沉积，并具有陆源泥岩的注入。总体上，在中泥盆世晚期，研究区沉积环境从西到东呈陆地→陆地环境（河流等）→河流+海陆过渡/海陆交互→正常浅海的变化态势（图 7）。

4.2 泥盆纪纵向变化过程

在周缘不整合分布亚区，中泥盆世晚期之前为陆地。中泥盆世晚期接受陆相河流沉积，表现为西冲组多为粗碎屑沉积，沉积厚度较小。到晚泥盆世早期，该亚区沉降，接受正常浅海沉积，表现为上泥盆统宰格组发育白云质碳酸盐岩。

在中间连续沉积分布亚区，寒武纪中期—志留纪晚期为陆地。志留纪晚期，该地区沉降，转为正常浅海，后变为海陆交互环境。早泥盆世呈海陆交互，中间可能夹有陆相沉积，地层为西屯组上部、桂家屯组、徐家冲组。在中泥盆世早期到早晚期为海相或海陆交互，地层为穿洞组和上双河组。在中泥盆世晚期，以陆相环境和海陆交互环境为主，地层为西冲组。至晚泥盆世，该亚区又下降为正常浅海环境。

在碎屑岩和碳酸盐岩混合分布区，尽管下伏地层未有出露，但依据相邻的中间连续分布亚区的特



S_{3+4}：关底组；D_2s：上双河组；D_2x：西冲组；D_2q：曲靖组；D_3：宰格组。图中景观复原图来自郝守刚（2023，画作 10）；剖面位置见图 1

图 7 云南曲靖及周边地区中泥盆世晚期陆海分布

Fig. 7 Showing land and sea change during the late Middle Devonian in Qujing and surrounding areas, Yunnan, China

征，认为仅在中泥盆世晚期表现为海与陆的交替，是海陆交互环境。

在碳酸盐岩分布区，中泥盆世早—晚期为海陆交互沉积，到中泥盆世晚期为正常浅海环境。在晚泥盆世，部分地区延续了浅海环境，部分地区发生抬升转为陆地，直到早石炭世早期变为了陆相→海陆交互相→浅海相环境。

总体上，在志留纪晚期之前区内多为陆地，经历了长达亿年以上的风化和剥蚀。在志留纪晚期，区内中间区域由陆地快速转为正常浅海，到早泥盆世由正常浅海变为海陆交互环境，且一直延续到中泥盆世早—晚期。在中泥盆世晚期，区内整体接受沉积，西部和中间地区为陆相河流环境和海陆交互环境，东南部为正常浅海环境。晚泥盆世，几乎整个区内发生海侵，转为正常浅海环境。

4.3　海陆变化的原因推测

在中泥盆世晚期，云南曲靖及周边地区陆海分布主要受控于区域的古地理格局。西部和西北部为川滇古陆的一部分，南中部有牛头山古岛，北部更远地区为上扬子古陆，而在这些古陆的中间区域是一个开阔平原区，周边古陆不仅提供物源，同时提供水源，使得该地区发育有陆相沉积；到东南地区，发育正常浅海。总体上呈现西—西南高、东南低的格局。

从整个构造演化分析，云南曲靖及周边地区中奥陶世—志留纪晚期抬升为陆地，这是全球加里东期构造运动对该区的宏观影响；志留纪晚期—中泥盆世早期，该区开始接受沉积（只是在中部地区），这是由于全球加里东期构造运动的减弱，使得在扬子陆块边缘的部分区域出现沉积；中泥盆世晚期，加里东期构造运动结束，如同扬子区中部沉积的云台观组，该区整体接受陆相沉积，东南地区下降为正常浅海。到晚泥盆世，该区地势进一步下降，基本全面接受海侵，为正常浅海沉积。

总体上，云南曲靖及周边地区的海陆演变过程既受控于区域的古地理格局，同时受到加里东期构造运动的宏观影响。

5　结论

1）通过对云南曲靖及周边地区中泥盆统上部地层沿革的梳理，依据岩性特征和与下伏地层接触关系，提出在曲靖及周边地区中泥盆统上部地层宜使用西冲组/曲靖组，并对西冲组进行了厘定，确定时代为中泥盆世晚期，建议该区不宜继续使用海口组。在该区中，中泥盆统自下而上为穿洞组、上双河组、西冲组或曲靖组（同期异相）。

2）依据岩性特征、沉积厚度及其与下伏地层的接触关系，将曲靖及周边地区中泥盆统上部地层划分为碎屑岩区、碎屑岩和碳酸盐岩混合区、碳酸盐岩分布区，其中碎屑岩分布区可进一步分为周边不整合和中间连续沉积分布亚区。

3）依据古生物化石、沉积特征和地球化学资料，认为西冲组主要为陆相沉积，发育海陆过渡相沉积；同期异相的曲靖组产有大量海相动物化石，为正常浅海相沉积。

4）在中泥盆世晚期，研究区从西到东呈现由陆地→陆地环境（河流等）→河流+海陆过渡→海陆交互→正常浅海的态势，这种陆海演变过程既受控于区域的古地理格局，同时也受到加里东期构造运动的宏观影响。

致谢　特别感谢重点研发计划项目《植物登陆的环境资源效应》的指导专家、老师及同事们长期的讨论，促进了对相关问题的思考。

参考文献(References)

蔡重阳,李星学. 1982. 中国泥盆纪陆相地层的划分与对比. 见：中国科学院南京地质古生物研究所编. 中国各纪地层对比表及说明书. 北京：科学出版社,109-123.［Cai C Y,Li X X. 1982. Subdivision and correlation of the Devonian continental strata in China. In：Nanjing Institute of Geology and Palaeontology,Academia Sinica (ed). Stratigraphic Correlation Chart in China with Explanatory Text. Beijing：Science Press,109-123］

蔡重阳,王怿. 1995. 泥盆纪植物群. 见：李星学,周志炎,孙革,欧阳舒,邓龙华编. 中国地质时期植物群. 广东科学技术出版社,22-57.［Cai C Y,Wang Y. 1995. Fossil floras of Devonian. In：Li X X,Zhou Z Y,Sun G,Shu Q Y,Deng L H(eds). Fossil Floras of China through the Geological Ages. Guangdong Science and Technology Press,22-57］

蔡重阳,方宗杰,李星学,王怿,耿良玉,高联达,王念忠,李代芸,刘仲衡. 1994. 滇东早、中泥盆世海陆过渡相生物地层学研究. 中国科学(B 辑),24(6)：634-639.［Cai C Y,Fang Z J,Li X X,Wang Y,Geng L Y,Gao L D,Wang N Z,Li D Y,Liu Z H. 1994. New advance in the study of biostratigraphy of Lower and Middle Devonian marine-continental transitional strata in eastern Yunnan. Science in China(Series B),24(6)：634-639］

韩德馨. 1964. 云南禄劝泥盆纪角质残植煤的煤岩研究. 煤炭学报,1(1)：95-99.［Han D X. 1964. Preliminary study on the petrology

of the Devonian liptobioliths in Luchiuan, Yunnan. Journal of China Coal Society, 1(1): 95-99]

郝守刚. 2023. 逝去的光影: 地史时期植物景观油画系列. 北京: 科学出版社, 1-158. [Hao S G. 2023. Elapsed Light and Shadow: An Oil Painting Series of the Plant Landscapes in Geological History. Beijing: Science Press, 1-158]

侯鸿飞, 王士涛. 1988. 中国地层: 中国的泥盆系. 北京: 地质出版社, 1-348. [Hou H F, Wang S T. 1988. Stratigraphy of China: The Devonian System of China. Beijing: Geological Publishing House, 1-348]

侯鸿飞, 曹宣铎, 王士涛, 鲜思远, 王金星. 2000. 中国地层典: 泥盆系. 北京: 地质出版社, 1-119. [Hou H F, Cao X D, Wang S T, Xian S Y, Wang J X. 2000. Stratigraphy of China: The Devonian System. Beijing: Geological Publishing House, 1-119]

李星学, 蔡重阳. 1979. 中国泥盆纪植物群. 地层学杂志, 3(2): 90-95. [Li X X, Cai C Y. 1979. Devonian flora in China. Journal of Stratigraphy, 3(2): 90-95]

廖卫华, 许汉奎, 王成源, 阮亦萍, 蔡重阳, 穆道成, 卢礼昌. 1978. 西南地区泥盆纪地层的划分与对比. 见: 中国地质科学院地质矿产研究所主编. 华南泥盆系会议论文集. 北京: 地质出版社, 193-213. [Liao W H, Xu H K, Wang C Y, Ruan Y P, Cai C Y, Mu D C, Lu L C. 1978. Subdivision and correlation of the Devonian strata of Southwest China. In: Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geologcial Sciences (ed). Symposium on the Devonian Strata of South China. Beijing: Geological Publishing House, 193-213]

廖卫华, 许汉奎, 王成源, 蔡重阳, 穆道成, 卢礼昌. 1979. 西南地区几个泥盆系基础剖面的论述. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所编. 西南地区碳酸盐生物地层. 北京: 科学出版社, 221-249. [Liao W H, Xue H K, Wang C Y, Cai C Y, Mu D C, Lu L C. 1979. A few sections of the Devonian System of southwest China. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica (ed). Carbonate Biostratigraphy of Southwest China. Beijing: Science Press, 221-249]

刘琮滢, 乔丽, 梁昆. 2022. 滇东曲靖—盘溪地区中泥盆统岩石地层的划分与对比. 地层学杂志, 46(4): 346-356. [Liu C Y, Qiao L, Liang K. 2022. Lithostratigraphic subdivision and correlation of the Middle Devonian in Qujing and Panxi areas of eastern Yunnan, China. Journal of Stratigraphy, 46(4): 346-356]

卢礼昌. 1980. 云南沾益龙华山泥盆纪小孢子及其地层意义. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 14: 1-62. [Lu L C. 1980. Devonian miospores from the Longhuashan section in Zhanyi of Yunnan and their stratigraphic significance. Memoirs of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, 14: 1-62]

卢礼昌. 1988. 云南沾益史家坡中泥盆统海口组微体植物群. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 24: 109-222. [Lu L C. 1988. Middle Devonian microflora from Haikou Formation at Shijiaopo in Zhanyi of Yunnan, China. Memoirs of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, 24: 109-222]

潘江, 王士涛, 高联达, 侯静鹏. 1978. 华南陆相泥盆系. 见: 中国地质科学院地质矿产研究所, 主编. 华南泥盆系会议论文集. 北京: 地质出版社, 240-260. [Pan J, Wang S T, Gao L D, Hou J P. 1978. The continental Devonian System of South China. In: Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geologcial Sciences (ed). Symposium on the Devonian Strata of South China. Beijing: Geological Publishing House, 240-260]

彭辉平, 刘锋, 朱怀诚. 2016. 滇东曲靖、沾益地区下、中泥盆统岩石地层单位沿革概况及修订建议. 地层学杂志, 40(3): 318-334. [Peng H P, Liu F, Zhu H C. 2016. Revision of the Lower and Middle Devonian lithostratigraphy in Qujing and Zhanyi, eastern Yunnan Province, China. Journal of Stratigraphy, 40(3): 318-334]

郄文昆, 郭文, 马学平, 宋俊俊, 徐洪河, 乔丽, 梁昆, 陈波, 卢建峰, 常君滢. 2021. 中国泥盆纪岩石地层划分和对比. 地层学杂志, 45(3): 286-302. [Qie W K, Guo W, Ma X P, Song J J, Xu H H, Qiao L, Liang K, Chen B, Lu J F, Chang J Y. 2021. Lithostratigraphic subdivision and correlation of the Devonian in China. Journal of Stratigraphy, 45(3): 286-302]

权彪, 韩德馨. 1998. 云南禄劝中泥盆世含煤岩系化石生态群落: 兼论角质残植煤的成因. 中国矿业大学学报, 27(3): 298-301. [Quan B, Han D X. 1998. Fossil communities of coal-bearing formation (Givetian, Middle Devonian) in Luquan, Yunnan: analysis of the origin of cutinitic liptobiolith. Journal of China University of Mining and Technology, 27(3): 298-301]

沈权. 1991. 曲靖附近的中、上泥盆统. 地层学杂志, 15(4): 270-277. [Shen Q. 1991. Middle and Upper Devonian of Qujing. Journal of Stratigraphy, 15(4): 270-277]

孙德伟, 王怿, 徐洪河, 傅强. 2007. 云南禄劝中泥盆世晚期角质残植煤中植物角质层的再研究. 古生物学报, 46(3): 355-364. [Sun D W, Wang Y, Xu H H, Fu Q. 2007. Restudy on the cuticles of late Middle Devonian coal from Luquan, Yunnan, China. Acta Palaeontologica Sinica, 46(3): 355-364]

田家杰, 朱怀诚. 2005. 云南沾益泥盆系龙华山组、西冲组孢子生物地层研究. 地层学杂志, 29(4): 311-316. [Tian J J, Zhu H C. 2005. Devonian miospore biostratigraphy of the Longhuashan and Xichong formations in Zhanyi of Yunnan. Journal of Stratigraphy, 29(4): 311-316]

王尚启, 刘正明. 1994. 云南曲靖翠峰山剖面中的介形类 leperditeds 及其地层意义. 古生物学报, 33(2): 140-155. [Wang S Q, Liu Z M. 1994. Leperditiid (Ostracoda) from the Cuifengshan section, Qujing, Yunnan and their stratigraphical significance. Acta Palaeontologica Sinica, 33(2): 140-155]

王怿, Berry C M. 2001. 云南西冲组的一种细小植物: 兼论华南中泥盆世晚期植物组合. 古生物学报, 40(4): 424-432. [Wang Y, Berry C M. 2001. A new small plant from the Xichong Formation of Yunnan, and discussion on the floral assemblage of late Middle Devonian in South China. Acta Palaeontologica Sinica, 40(4): 424-432]

王怿, 郄文昆, 徐洪河, 郭文, 张小乐, 卢建峰, 黄璞, 王凯, 彭辉平, 陈雨萱, 赵文金. 2024. 华南广西运动后泥盆纪碎屑岩地层的划分和对比. 地层学杂志, 48(2): 124-146. [Wang Y, Qie W K, Xu H H, Guo W, Zhang X L, Lu J F, Huang P, Wang K, Peng H P, Chen Y X, Zhao W J. 2024. Subdivision and correlation of the Devonian clastic strata after the Kwangsian orogeny in South China. Journal of Stratigraphy, 48(2): 124-146]

王振. 1976. 西南地区中泥盆世的直立轮藻. 古生物学报, 15(2): 175-186, 253-255. [Wang Z. 1976. Middle Devonian *Sycidium* and *Chovanella* from Southwest China. Acta Palaeontologica Sinica, 15(2): 175-186, 253-255]

谢家荣. 1941. 云南矿产概论. 地质论评, 6(Z1): 1-42. [Hsieh C Y. 1941. Overview of the mineral resources in Yunnan. Geological Review, 6(Z1): 1-42]

徐仁, 高联达. 1991. 云南东部中泥盆世、晚泥盆世早期孢子带及其

地层意义. 植物学报,33(4): 304-313,339-340. [Hsü J,Gao L D. 1991. Middle and early Upper Devonian miospore zonations in eastern Yunnan and the significance their stratigraphy. Journal of Integrative Plant Biology,33(4): 304-313,339-340]

杨朝青,沙庆安. 1990. 云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境: 一种陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积. 沉积学报,8(2): 59-66. [Yang C Q,Sha Q A. 1990. Sedimentary environment of the middle Devonian Qujing Formation, Qujing, Yunnan Province: a kind of mixing sedimentation of terrigenous clastics and carbonate. Acta Sedimentologica Sinica,8(2): 59-66]

云南省地质局. 1978. 1/20 万《曲靖幅》区域地质调查报告(地质部分).北京: 地质出版社,1-226. [Bureau of Geology of Yunnan Province. 1978. The Regional Geological Survey Report(Geological Part) of 1/200000 Geological Map of Qujing. Beijing: Geological Publishing House,1-226]

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1-728. [Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional Geology of Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House,1-728]

张远志,张定辉,刘世荣,薛国安,黄铭卿,杨宗仁,彭厚斋,李云,张绍华,贺天全. 1996. 云南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-367. [Zhang Y Z,Zhang D H,Liu S R,Xue G A,Huang M Q,Yang Z R,Peng H Z,Li Y,Zhang Z H,He T Q. 1996. Stratigraphy(Lithostratic)of Yunnan Province. Wuhan: China University of Geosciences Press,1-367]

郑高峰,王嘉树,李炳鑫,刘乐,薛进庄. 2026. 云南曲靖中泥盆统海口组两种石松类植物及其演化和古地理意义. 古地理学报, 28(2): 755-772. [Zheng G F,Wang J S,Li B X,Liu L,Xue J Z. 2026. Two lycopsid plants from the Middle Devonian Haikou Formation of Qujing,Yunnan,China and their evolutionary and paleogeographic implications. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition), 28(2): 755-772]

朱敏,王俊卿. 1996. 从脊椎动物化石角度论云南曲靖下、中泥盆统界线. 地层学杂志,20(1): 58-63.[Zhu M,Wang J Q. 1996. On the Lower-Middle Devonian boundary in Qujing,Yunnan. Journal of Stratigraphy,20(1): 58-63]

Berry C M, Wang Y. 2006a. *Eocladoxylon* (*Protopteridium*) *minutum* (Halle) Koidzumi: an early *Rhacophyton*-like plant from the Middle Devonian of China. International Journal of Plant Sciences,167: 551-566.

Berry C M,Wang Y. 2006b. A new plant attributed to Cladoxylopsida from the Middle Devonian of Yunnan Province,China. Review of Palaeobotany & Palynology,142: 63-78.

Grabau A W. 1931. Devonian Brachiopoda of China: 1. Devonian Brachiopoda from Yunnan and other districts in South China. Palaeont, Sinica,Ser. B,3: 1-753.

Guo Y,Wang D M. 2016. Studies on plant cuticles from the Lower-Middle Devonian of China. Review of Palaeobotany & Palynology,227: 42-51.

Hao S G,Xue J Z,Wang Q,Liu Z F. 2007. *Yuguangia ordinata* gen. et sp. nov.,a new lycopsid from the Middle Devonian(late Givetian)of Yunnan,China,and its phylogenetic implications. International Journal of Plant Sciences,168(8): 1161-1175.

Li C S. 1990. *Minarodendron cathaysiense*(gen. et comb. nov.),a lycopod from the late Middle Devonian of Yunnan,China. Palaeontographica B,220: 97-119.

Liu C Y,Qiao L,Liang K,Li Y,Qie W K. 2024. Middle Devonian brachiopods from Qujing of eastern Yunnan,China and their biostratigraphical and palaeoecological implications. Palaeoworld,33(6): 1564-1579.

Liu L,Wang D M,Xue J Z,Meng M C,Guo Y. 2013. Reinvestigation of the lycopsid *Minarodendron cathaysiense* from the Middle Devonian of South China. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie,Abhandlungen,268: 325-339.

Sun Y. 1945. Devonian subdivision of east Yunnan. Science Record,1(3-4): 486-491.

Wang Y,Berry C M. 2006. Morphology of a non-pseudosporochnalean cladoxylopsid from the Middle Devonian of Yunnan, South China. Palaeoworld,15: 54-67.

Wang Y,Berry C M,Hao S G,Xu H H,Fu Q. 2007. The Xichong flora of Yunnan,China: diversity in late mid Devonian plant assemblages. Geological Journal,42(3-4): 339-350.

Wei W,Algeo T J. 2020. Elemental proxies for paleosalinity analysis of ancient shales and mudrocks. Geochemica et Cosmochimica Acta, 287: 341-366.

Wei W,Algeo T J,Lu Y B,Lu Y C,Liu H M,Zhang S P,Peng L,Zhang J Y,Chen L. 2018. Identifying marine incursions into the Paleogene Bohai Bay Basin lake system in northeastern China. International Journal of Coal Geology,200: 1-17.

Xian Z M,Pan Z H,Wang J H,Jia L T,Zhao Y T,Luo Y C,Zhu M. 2025. A new antiarch,*Bothriolepis zhujiangyuanensis* sp. nov.,from the Eifelian(Middle Devonian)of Qujing,Yunnan,SW China. Acta Geologica Sinica(English Edition),99(1): 1-14.

Xue J Z,Huang P,Wang D M,Wang Q,Hao S G. 2016. Anatomy of the Middle Devonian cladoxylopsid *Panxia gabata* Y. Wang et Berry from Yunnan Province,Southwestern China. Review of Palaeobotany & Palynology,224: 66-82.

Zhao W J,Zhu M. 2010. Siluro-Devonian vertebrate biostratigraphy and biogeography of China. Palaeoworld,19(1-2): 4-26.

Zhou K,Sun J Y,Yang M F,Zhang S,Wang W C,Gao R,Zhang P X,Wang W Q,Liu H Q,Shao L Y,Lu J. 2023. Geochemical characteristics of the Middle Jurassic coal-bearing mudstones in the Dameigou area(Qaidam Basin,NW China): implications for paleoclimate,paleoenvironment, and organic matter accumulation. ACS Omega, 8(50): 47540-47559.

Zhou K,Yang M F,Zhang S,Lu J,Yin L S,Shao Y W,Liu H Q,Zhang P X,Yan Z M,Gao R,Shao L Y,Fielding C R. 2025. Evolution of depositional environments of the Middle Devonian Haikou Formation in the Qujing Basin,South China: implications for coal accumulation on the early Earth. Palaeogeography,Palaeoclimatology,Palaeoecology,675: 113100.

Zhu H C,Liu L C. 2002. A Middle Devonian spore assemblage from Zhanyi,Yunnan,South China. In: Abstracts,Commission International de Microflire du Paléozoique,Lille,September 2002: 75.

Depart J. 1912. Memories du service geologique de L' Indochinel. Geologie Generale,1(1): 1-118.

(责任编辑　张西娟)