



贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度分析及其沉积环境意义

王宁祖^{1,2}, 张文斌², 何碧², 陶刚³, 赵飞², 孙平原², 张志奎², 赵振琯²

1. 成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059; 2. 甘肃省地质矿产开发局第二地质矿产勘查院, 甘肃兰州 730000; 3. 西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳 621010

摘要: 通过对贵州中坪地区上三叠统二桥组 16 件砂岩样品进行粒度分析, 结合二桥组砂岩地层所在的区域地质背景, 研究砂岩形成时的沉积环境及水动力情况. 对砂岩的粒度概率累积曲线、C-M 图、粒度特征参数、结构参数散点图解等的分析显示, 二桥组砂岩粒度概率累积曲线图具有较好的正态分布特征, 频率直方图多呈单峰式; 正态概率累积曲线主要为多跳一悬式、一跳一悬式、一跳一悬夹过渡式, 主要由悬浮组分和跳跃组分组成, 缺少滚动组分. 中坪地区上三叠统二桥组从下部到上部处于一个由三角洲平原及前缘相向浅湖相过渡的沉积环境.

关键词: 上三叠统; 二桥组; 粒度分析; 沉积环境; 贵州省

SANDSTONE GRAIN SIZE ANALYSIS OF UPPER TRIASSIC ERQIAO FORMATION IN ZHONGPING AREA, GUIZHOU PROVINCE: Implication of Sedimentary Environment

WANG Ning-zu^{1,2}, ZHANG Wen-bin², HE Bi², TAO Gang³, ZHAO Fei², SUN Ping-yuan², ZHANG Zhi-xi², ZHAO Zhen-guan²

1. School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. No. 2 Geology and Minerals Exploration Institute, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Lanzhou 730000, China;

3. School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China

Abstract: Through the grain size analysis of 16 sandstone samples from the Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area of Guizhou Province, combined with the regional geological setting, the paper studies the sedimentary environment and hydrodynamic conditions during the formation of the sandstone. The analysis on the probability cumulative grain size curves, C-M diagram, grain size characteristic parameters and scatter diagram of structure parameters of the sandstone indicates that the probability cumulative grain size curves of the sandstone from Erqiao Formation show good normal distribution, and the frequency histograms mostly show single-peak curves. The normal probability cumulative curves are mainly multi-bouncing population-one suspension population, one bouncing population-one suspension population, and one bouncing population-one suspension population-transitional zone patterns, mainly composed of suspended and jumping components, but lack of rolling components. The Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area from the lower to the upper part is in a sedimentary environment transitioning from delta plain and delta front facies to shallow lake facies.

Key words: Upper Triassic; Erqiao Formation; grain size analysis; sedimentary environment; Guizhou Province

收稿日期: 2022-04-27; 修回日期: 2022-06-02. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“乌蒙山区地质矿产综合调查”(DD20160019); “贵州乌蒙山区 1:5 万店子场(G48E006018)、大关(G48E007017)、六厂(G48E007018) 3 幅区域地质调查”(DD20160019-04).

作者简介: 王宁祖(1993—), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事区域地质调查及矿产勘查工作, 通信地址 甘肃省兰州市城关区雁儿湾路 399 号, E-mail// wangningzu@163.com

0 引言

沉积岩粒度受物源、搬运介质、搬运方式、沉积环境等因素控制,根据沉积岩的粒度分析,可得到沉积物当时的沉积环境、水动力情况等信息^[1-5]。粒度分析是研究碎屑沉积物中各种粒度的百分含量及粒度分布的一种方法^[4-7]。碎屑岩的粒级分布和颗粒的分选好坏是沉积介质搬运能力强弱的标尺,是判别沉积时的自然地理环境以及水动力条件的良好标志之一^[8]。

“二桥组”源于产自贵阳市附近的“二桥砂岩”,《贵州省区域地质志》(1987)及《贵州省岩石地层》(1997)均使用二桥组代表贵州中西部及北部整合于自流井组之下,平行不整合或整合于三桥组、关岭组-杨柳井组、宣威组或火把冲组之上的一套陆相砂岩地层,时代为晚三叠世瑞替期^[9-10]。《贵州省区域地质志》(2013)沿用二桥组,代表贵州省晚三叠世佩桔错(瑞替)期一早侏罗世赫塘期的一套河湖相砂岩夹黏土岩及煤线的地层,与下伏地层多呈平行不整合接触^①。而本研究在开展“贵州乌蒙山区 1:5 万草木(G48E005018)、黔西县(G48E006017)、店子场(G48E006018)、大关(G48E007017)、六厂(G48E007018)、龙场(G48E008017)六幅区域地质调查”项目时,认为采用《贵州省岩石地层》的观点称为二桥组更合理,并将中坪地区二桥组的时代归于晚三叠世。

贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度分析及其沉积环境等特征未曾详细报道,研究不够深入,仅在《1:25 万毕节县、安顺市幅报告》^②、《贵州省区域地质志》(1987)及《贵州省岩石地层》中简单阐述了二桥组的地质特征、岩石组合特征、与上下地层的接触关系等^[9-10]。笔者采集了贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩 16 件样品进行粒度分析,对其粒度参数特征、粒度判别函数、概率累计曲线形态特征、结构参数散点图解、C-M 图解以及沉积环境等方面进行研究,旨在查明中坪地区上三叠统二桥组岩性组合的分布规律、粒度特征以及沉积环境特征,深入探讨了贵州中坪地区及邻区晚三叠世的沉积构造背景,以期对其作合理的解释。

1 研究区地质概况

1.1 大地构造位置

研究区位于贵州省黔西县中坪镇,大地构造单元属扬子板块西南缘,特提斯-喜马拉雅构造域与滨太平洋构造域两大构造单元交汇部位,其北为四川盆地,西部为康滇-三江复杂变形区,东南部为右江褶皱带^[11];属羌塘-扬子-华南板块(一级)扬子板块(二级)上扬子板块(三级)黔北隆起区(四级)织金穹盆构造变形区(五级)(图 1)^{①②}。

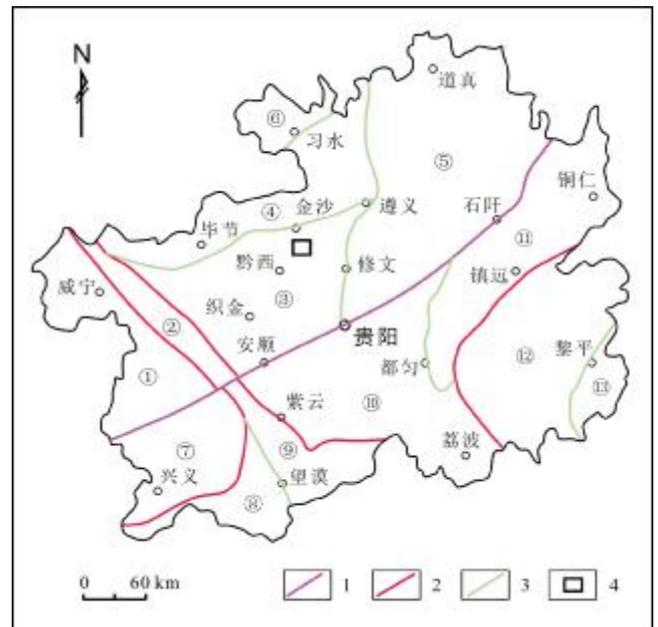


图 1 研究区区域地质简图

Fig. 1 Regional geological map of the study area

1—三级构造界线 (third-order tectonic boundary); 2—四级构造界线 (fourth-order tectonic boundary); 3—五级构造界线 (fifth-order tectonic boundary); 4—研究区 (study area); ①威宁穹盆构造变形区 (Weining dome-basin tectonic deformation zone); ②六盘水北西向褶皱断带 (Liupanshui NW fold belt); ③织金穹盆构造变形区 (Zhijin dome-basin tectonic deformation zone); ④毕节弧形褶皱带 (Bijie arc fold belt); ⑤凤冈南北向隔槽式褶皱变形区 (Fenggang N-S fold deformation zone); ⑥赤水水平缓褶皱变形区 (Chishui gentle fold deformation zone); ⑦兴义穹盆构造变形区 (Xingyi dome-basin tectonic deformation zone); ⑧册亨东西向紧闭褶皱变形区 (Ceting E-W tight fold deformation zone); ⑨望谟北西向褶皱带 (Wangmo NW fold belt); ⑩都匀南北向隔槽式褶皱变形区 (Duyun N-S fold deformation zone); ⑪铜仁复式褶皱变形区 (Tongren complex fold deformation zone); ⑫榕江开阔复式褶皱变形区 (Rongjiang open complex fold deformation zone); ⑬黎平紧闭复式褶皱变形区 (Liping tight complex fold deformation zone)

①贵州省地质调查院.贵州省区域地质志. 2013.

②贵州省地质调查院.安顺市幅、毕节县幅(1/25 万)区域地质测量报告. 2004.

1.2 地层特征

中坪地区地层区划属于扬子地层区黔北地层分区中的毕节-瓮安地层小区^①,出露的地层以三叠系为主^[12],寒武系、二叠系次之,少量石炭系、侏罗系、白垩系.其中三叠系地层为夜郎组(T_{1Y})、嘉陵江组(T_{1j})、关岭组(T_{2g})、二桥组(T_{3e})^[13],二桥组与下伏关岭组狮子山段(T_{2g}^{s2})、上覆自流井组(J_{2z})均呈平行不整合接触.

本研究在黔西县中坪镇大山坡、下沟村实测上三叠统二桥组剖面 2 条,特征描述如下.

1) 贵州省黔西县中坪镇大山坡上三叠统二桥组剖面 (PM116) (图 2)

上覆地层:自流井组綦江段(J_{2z}^q)

- 16. 紫红色中层石英砂岩,单层厚度 15~50 cm,发育水平层理 12.4 m
 - 15. 灰色厚层砾岩,岩层单层厚度 50~70 cm,砾石成分为灰岩、燧石、脉石英,大小 1~2 mm,次圆状—次棱角状 0.7 m
- 平行不整合接触 -----

二桥组(T_{3e}) 252.5 m

- 14. 浅灰黄色厚层—巨厚层岩屑石英砂岩,单层厚度 70~130 cm,发育交错层理、水平层理,见植物化石,大小(1 cm×5 mm)~(5 cm×1 cm),植物叶片已炭化 27.4 m
- 13. 灰黄色厚层—巨厚层含云母石英砂岩,单层厚度 50~120 cm,水平层理 14.0 m
- 12. 灰黄色中厚层岩屑石英砂岩,单层厚度 20~70 cm 12.2 m
- 11. 灰绿色中层长石石英砂岩,单层厚度 15~45 cm 25.4 m
- 10. 灰白色中厚层石英砂岩,单层厚度 15~70 cm,局部夹 15 cm 灰色中层细砾岩,砾石大小 3~10 mm,成分为脉石英燧石 25.3 m
- 9. 黄灰色中层岩屑石英砂岩,单层厚度 10~50 cm 19.3 m
- 8. 灰色中层长石石英砂岩,单层厚度 20~50 cm,水平层理 24.4 m
- 7. 灰色厚层—巨厚层岩屑石英砂岩,单层厚度 70~120 cm,水平层理 22.2 m

- 6. 灰色中薄层岩屑石英砂岩,单层厚度 5~50 cm,水平层理 16.4 m
 - 5. 灰色厚层—巨厚层岩屑石英砂岩,单层厚度 70~200 cm,发育水平层理,局部夹极薄层泥岩 24.3 m
 - 4. 灰色中层钙质石英砂岩,发育水平层理,见褐铁矿化 19.3 m
 - 3. 灰白色薄层—极薄层石英砂岩,单层厚度 1~10 cm,发育水平纹层 8.9 m
 - 2. 灰黄色厚层长石石英砂岩,单层厚度 50~100 cm,底部夹灰黑色薄层泥岩 13.4 m
- 平行不整合接触 -----
- 下伏地层:关岭组狮子山段第三亚段(T_{2g}^{s2})

- 1. 灰色薄层微晶白云岩夹微晶灰岩,局部夹少量深灰色极薄层泥岩 14.1 m

2) 贵州省黔西县中坪镇下沟村上三叠统二桥组剖面 (PM211) (图 3)

上覆地层:自流井组綦江段(J_{2z}^q)

- 23. 浅灰色中层砾岩,砾石成分为灰岩、砂岩、硅质岩、脉石英,大小 2~10 mm,次棱角状—次圆状,分选性中等 1.1 m
- 平行不整合接触 -----

二桥组(T_{3e}) 352.8 m

- 22. 灰色厚层石英砂岩,单层厚度 50~100 cm 9.4 m
- 21. 浅灰黄色块状长石石英砂岩,单层厚度大于 200 cm,发育水平层理、交错层理 15.6 m
- 20. 浅灰黄色巨厚层岩屑石英砂岩夹同色中厚层长石石英砂岩,两者比例 2:1,发育楔状交错层理,见褐铁矿化,局部夹少量极薄层泥岩 50.0 m
- 19. 灰色薄层岩屑石英砂岩,单层厚度 5~10 cm 9.8 m
- 18. 浅灰黄色厚层—巨厚层岩屑砂岩,单层厚度 50~170 cm,发育水平层理 19.5 m
- 17. 浅灰黄色薄层—极薄层砂岩,单层厚度 1~3 cm,夹铁质结核、砂质结核,见褐铁矿化 0.7 m
- 16. 浅灰黄色厚层岩屑石英砂岩,单层厚度 50~100 cm,见植物化石,大小 5 cm×2 cm 16.4 m

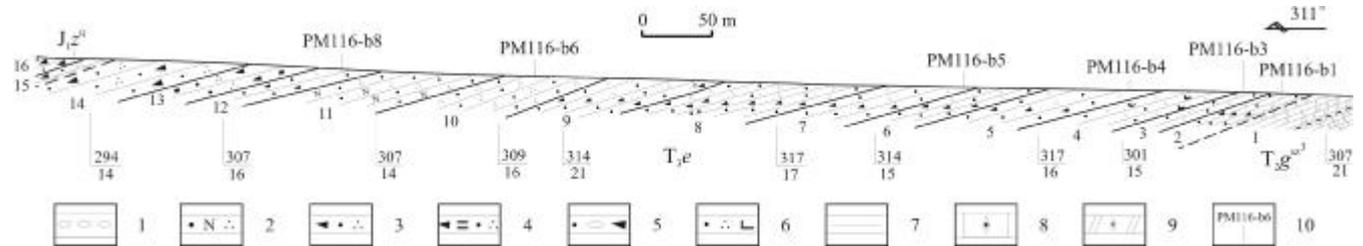


图 2 贵州省黔西县中坪镇大山坡上三叠统二桥组剖面 (PM116) 图

Fig. 2 Profile of the Upper Triassic Erqiao Formation (PM116) at Dashanpo in Zhongping, western Guizhou

1—砾岩 (conglomerate); 2—长石石英砂岩 (feldspar quartz sandstone); 3—岩屑石英砂岩 (lithic quartz sandstone); 4—含云母岩屑石英砂岩 (mica-bearing lithic quartz sandstone); 5—含砾屑砂岩 (gravel sandstone); 6—钙质石英砂岩 (calcareous quartz sandstone); 7—泥岩 (mudstone); 8—微晶灰岩 (micrite); 9—微晶白云岩 (microcrystalline dolostone); 10—采样位置及编号 (sampling position and number)

①贵州省地质调查院.贵州省区域地质志. 2013.

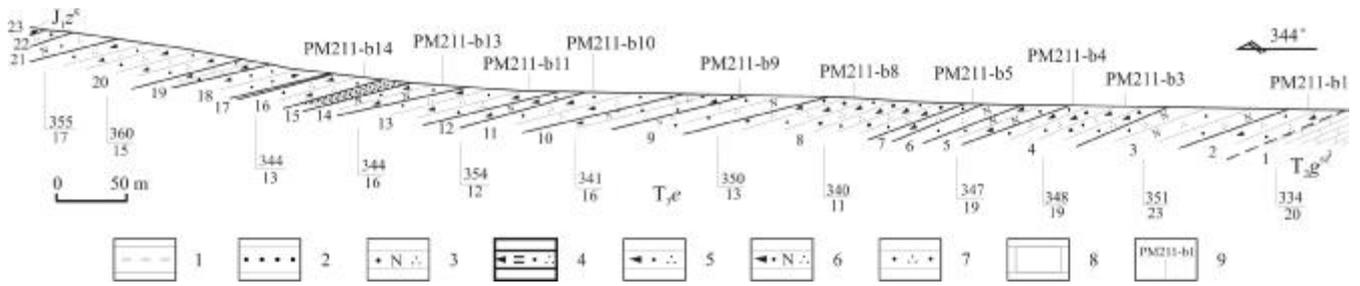


图 3 贵州省黔西县中坪镇下沟村上三叠统二桥组剖面(PM211)图

Fig. 3 Profile of the Upper Triassic Erqiao Formation (PM211) at Xiagou in Zhongping, western Guizhou

1—砾岩 (conglomerate); 2—砂岩 (sandstone); 3—长石石英砂岩 (feldspar quartz sandstone); 4—含云母岩屑石英砂岩 (mica-bearing lithic quartz sandstone); 5—岩屑石英砂岩 (lithic quartz sandstone); 6—岩屑长石石英砂岩 (lithic feldspar quartz sandstone); 7—石英砂岩 (quartz sandstone); 8—灰岩 (limestone); 9—采样位置及编号 (sampling position and number)

- 15. 浅灰黄色极薄层砂岩, 单层厚度 1~3 cm, 见铁质结核, 结核大小(5 mm×5 mm)~(1 cm×1 cm) 8.4 m
 - 14. 浅灰色厚层—巨厚层长石岩屑砂岩, 单层厚度 50~200 cm, 见铁质结核, 结核大小(1 cm×5 mm)~(3 cm×1 cm) 13.8 m
 - 13. 浅灰黄色厚层岩屑石英砂岩, 单层厚度 50~100 cm, 局部夹 15 cm 浅灰黄色砂岩, 见深灰色砂质结核、黄铁矿, 偶见植物化石被炭化 22.4 m
 - 12. 浅灰绿色块状长石岩屑砂岩, 单层厚度 200~300 cm, 发育水平层理, 见植被化石, 外廓形态完整, 全部炭化, 根、茎、叶不易观察, 大小(1 cm×1 cm)~(10 cm×5 cm) 6.4 m
 - 11. 灰色厚层—块状岩屑石英砂岩, 单层厚度 50~300 cm, 见植物根、茎、叶化石, 大小(1 cm×1 cm)~(10 cm×5 mm), 部分形态清楚, 局部夹少量含云母长石砂岩、透镜体状浅灰黄色岩屑石英砂岩及砂质结核, 结核大小(5 cm×5 cm)~(10 cm×5 mm) 22.0 m
 - 10. 灰色巨厚层岩屑石英砂岩, 单层厚度 50~100 cm 0.5 m
 - 9. 灰色厚层长石石英砂岩, 单层厚度 50~100 cm, 劈理化较强 12.6 m
 - 8. 浅灰黄色略带微绿色中厚层含云母岩屑石英砂岩, 单层厚度 20~100 cm, 见铁质结构, 大小(3 mm×2 mm)~(1 cm×5 mm) 37.8 m
 - 7. 浅灰色中厚层岩屑石英砂岩, 单层厚度 30~100 cm, 发育平行层理, 局部见泥裂, 少量植物化石 5.9 m
 - 6. 浅灰色厚层—巨厚层长石石英砂岩, 单层厚度 60~130 cm, 发育水平层理 11.6 m
 - 5. 浅灰黄色厚层长石岩屑砂岩, 局部夹少量巨厚层砂岩, 发育水平层理 12.0 m
 - 4. 浅灰黄色厚层含云母岩屑石英砂岩, 单层厚度 50~100 cm, 见植物根、叶等化石, 大小(1 cm×5 mm)~(5 cm×1 cm), 部分被炭化形成有机物, 部分形态保存完整 29.8 m
 - 3. 浅灰黄色厚层—巨厚层长石石英砂岩, 单层厚度 50~100 cm 32.4 m
 - 2. 浅灰色厚层岩屑石英砂岩, 单层厚度 50~100 cm, 发育水平层理 15.8 m
- 平行不整合接触 -----
- 下伏地层: 关岭组狮子山段第三亚段 (T₂^g₃)
- 1. 灰色中薄层微晶灰岩, 单层厚度 5~15 cm, 局部夹少量深灰色极薄层泥岩 1.2 m

贵州中坪地区上三叠统二桥组为一套碎屑岩沉积 (图 4a), 岩性主要为浅灰、灰白色厚层块状疏松岩屑石英砂岩、石英砂岩、长石石英砂岩、含白云母岩屑石英砂岩, 偶夹灰、灰黑、黑色粉砂质泥岩、炭质泥岩, 夹铁质结核、砂质结核; 岩层发育楔状交错层理 (图 4b)、水平层理、平行层理 (图 4c); 生物化石为植物化石 (已炭化) (图 4d); 岩层真厚度为 252.5~352.8 m, 由北到南逐渐变薄。

2 样品采集与分析方法

在贵州黔西县中坪地区共采集了 16 件上三叠统二桥组砂岩新鲜样品, 其中大山坡 6 件、下沟村 10 件, 采样位置见图 2、图 3。砂岩样品野外采集过程中, 尽量排除和避免任何相邻层位和外来物质的污染。后经室内挑选新鲜、蚀变较弱者进行岩石薄片鉴定和粒度分析。

岩石薄片鉴定在四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队测试中心完成。粒度分析在成都理工大学沉积地质研究院实验室完成^[14], 粒度分级是采用伍登-温特沃思 (Udden-Wentworth) 粒度分级标准 (Φ); 采用图像法 (薄片粒度统计法), 每次测量的粒径不大于 5Φ 的颗粒粒数均以 400 为最低值, 且各粒级颗粒质量分数、体积分数和粒度参数的计算结果均修约到两位小数^[15]。本研究采用图解法, 其步骤是先根据粒度分析数据中各粒级颗粒的百分比绘制出累积曲线, 然后在累积曲线上直接兑取某些累积百分比处的颗粒直径^[15], 再依据福克-沃德 (Folk-Ward) 公式计算出平均粒径、标准差、偏态和峰度等粒度参数^[16]。上三叠统

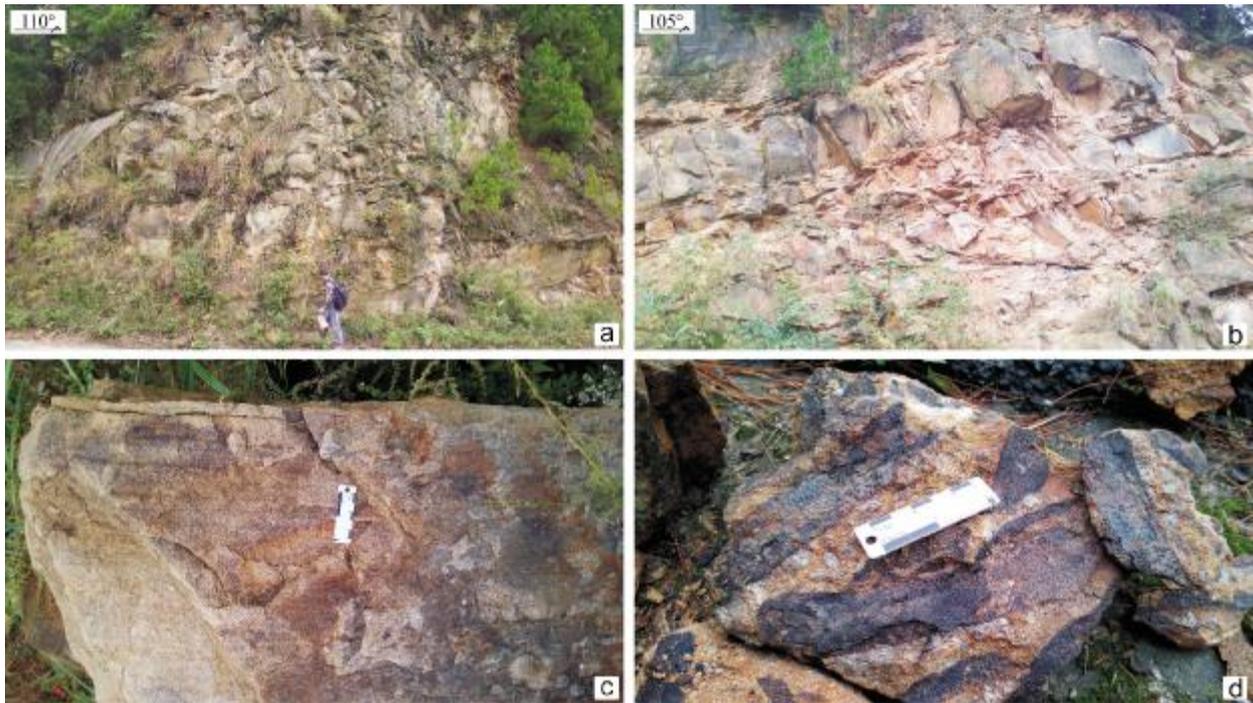


图4 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩野外宏观特征及沉积构造

Fig. 4 Field characteristics and sedimentary structures of the sandstone of Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping, Guizhou Province
a—二桥组砂岩野外照片(outcrop of sandstone of Erqiao fm.); b—大型楔状交错层理(剖面 PM116 第 14 层)(large wedge-shaped cross bedding); c—平行层理(剖面 PM211 第 7 层)(parallel bedding); d—炭化的植物化石(剖面 PM211 第 12 层)(carbonized plant fossil)

二桥组砂岩矿物成分统计数据见表 1, 粒度分析统计见表 2, 粒度参数见表 3.

3 分析结果

3.1 岩石学特征

中坪地区上三叠统二桥组主要为碎屑岩, 岩性为岩屑石英砂岩、长石岩屑砂岩、石英砂岩、含云母岩屑石英砂岩等(表 1), 以岩屑石英砂岩为主.

1) 中细粒岩屑石英砂岩(图 5a): 岩石由碎屑物石英、岩屑、长石, 少量云母, 填隙物绢云母, 粉砂石英、微粒石英、黏土、绿泥石、褐铁矿及金属矿物组成, 具细—中粒砂状结构. 碎屑中石英均有弱的重结晶, 少量具波状消光; 岩屑为泥岩、泥质板岩, 少量硅质岩, 长石为斜长石、正长石; 云母为少量白云母、黑云母碎片, 黑云母有绿泥石蚀变. 碎屑呈次棱角状, 粒径在 0.0625~0.5 mm 之间, 其中 0.0625~0.25 mm 约占 40%, 0.25~0.5 mm 约 60%, 分选性良好. 填隙物为微粒石英、粉砂石英、绢云母、黏土、绿泥石、褐铁矿, 呈颗粒支撑、孔隙式胶结. 金属矿物呈他形粒状、砂状、点状分布.

2) 中细粒长石岩屑砂岩(图 5b): 岩石由碎屑物石英、岩屑、长石, 少量云母, 填隙物绢云母, 粉砂石英、微粒石英、黏土、褐铁矿及金属矿物、海绿石组成, 具中—细粒砂状结构. 碎屑中石英有弱的重结晶, 少量具波状消光; 岩屑为泥岩、泥质板岩、硅质岩、粉砂岩; 长石为斜长石、正长石, 少量微斜长石; 云母为少量白云母、黑云母碎片, 碎屑呈次棱角状, 粒径在 0.0625~0.5 mm 之间, 其中 0.0625~0.25 mm 约占 60%, 0.25~0.5 mm 约 40%, 分选性良好. 填隙物为微粒石英、粉砂石英、绢云母、黏土、褐铁矿, 呈颗粒支撑, 孔隙式胶结. 金属矿物呈他形粒状、砂状, 点状分布; 海绿石呈卵圆状.

3.2 粒级及参数特征

3.2.1 粒级特征

从表 2 可知, 中坪地区上三叠统二桥组 16 件样品中, PM116-b5、PM116-b6、PM211-b1 样品见粗砂组分($0 < \Phi \leq 1$), 所有样品基本均含中砂($1 < \Phi \leq 2$)、细砂($2 < \Phi \leq 3$)、极细砂($3 < \Phi \leq 4$), PM116-b4、b5、b6 样品不含粗粉砂($4 < \Phi \leq 5$), PM116-b1 和 PM211-b3、b4、b5、b11 样品含细粉砂($5 < \Phi \leq 8$), 样品粒度分布较为

表1 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩矿物成分统计表

Table 1 Mineral compositions in the sandstone from Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area, Guizhou Province

序号	样品号	岩性	Qm	Qp	Q	F	Lv	Ls	L	Lt
1	PM116-b1	细中粒岩屑石英砂岩	64	8	72	4	-	6	6	8
2	PM116-b3	中粒石英砂岩	85	3	88	3	-	-	-	3
3	PM116-b4	细中粒岩屑石英砂岩	70	8	78	3	-	7	7	15
4	PM116-b5	硅质胶结中粒石英砂岩	76	13	89	-	1	-	1	14
5	PM116-b6	硅质胶结含砾不等粒石英砂岩	52	38	90	-	-	-	-	38
6	PM116-b8	硅质胶结中细粒岩屑石英砂岩	77	8	85	-	-	5	5	13
7	PM211-b1	硅质胶结中粒岩屑石英砂岩	76	6	82	2	-	5	5	11
8	PM211-b3	细粒岩屑石英砂岩	75	5	80	3	-	7	7	12
9	PM211-b4	细粒岩屑石英砂岩	75	3	78	4	-	8	8	11
10	PM211-b5	硅质胶结细粒岩屑石英砂岩	68	15	83	1	-	5	5	20
11	PM211-b8	中细粒岩屑石英砂岩	70	3	73	5	-	12	12	15
12	PM211-b9	细粒岩屑砂岩	54	7	61	6	-	23	23	30
13	PM211-b10	细粒岩屑石英砂岩	66	4	70	4	-	15	15	19
14	PM211-b11	细粒岩屑石英砂岩	70	3	73	4	1	10	10	13
15	PM211-b13	细中粒长石岩屑砂岩	65	3	68	7	-	13	13	16
16	PM211-b14	中细粒岩屑砂岩	62	3	65	4	-	18	18	21

注: Q—总石英质颗粒; Qm—单晶石英颗粒; Qp—多晶石英质岩屑(燧石等); F—总长石颗粒; L—总非稳定隐晶岩屑; Lv—火山、半深成、变质火山岩屑; Ls—沉积和变质沉积岩屑; Lt—多晶质岩屑颗粒(L+Qp).

集中. 以上特征显示二桥组砂岩具有较好的分选性.

3.2.2 粒度平均值

粒度平均值(M_z)代表沉积物粒度分布的集中趋势, 指示搬运和沉积介质的平均动能^[14-16]. 较小的平均粒径值指示了一种低能、水动力作用较弱的沉积环境, 而较大的平均粒径值指示了一种高能、水动力作用较强的沉积环境^[5]. 从表3可知, 中坪地区上三叠统二桥组16件样品中平均粒径最小 Φ 值为0.3, 最大 Φ 值为2.91, 平均粒径的均值 Φ 为2.14.

3.2.3 偏度

偏度(Sk)是判断沉积物粒度频率分布的对称性, 并表明中位数与平均值的相对位置的参数^[14-16]. 当 $Sk=0$ 时, 样品粒度为对称分布; $Sk>0$ 时沉积物粒度较粗, 且有一个细尾部, 为正偏; $Sk<0$ 时表示沉积物集中在细粒部分, 而有一个粗尾部, 为负偏^[14]. 偏态的正

负表现了粗颗粒组分和细颗粒组分的相对异常, 并反映了沉积过程中能量的变异, 对于环境是一个灵敏指标^[15].

由表3可知, 中坪地区上三叠统二桥组16件样品偏度最大为0.6, 最小为0.07, 平均为0.25, 落入0.1~0.3之间, 所有样品均为正偏, 表明其沉积以较粗物质为主, 且留有一个细物质的尾部.

3.2.4 峰度

峰度(K_g)代表曲线两端与中间分选性的比率, 以衡量沉积物粒度频率曲线峰型的宽窄程度^[14]. 根据 K_g 的大小值划分峰型: $K_g=1$ 为正态曲线; $K_g>1$ 为窄峰; $K_g<1$ 为宽峰^[14]. 峰度用于判断沉积环境和追溯物源^[15].

从表3可知, 中坪地区上三叠统二桥组16件样品均为窄峰, 峰度最大值为3.70, 最小值为1.00. 有6个

表2 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度分析统计表

Table 2 Sandstone grain size analysis of the Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area, Guizhou Province

序号	样品号	岩性	砾石	巨砂	粗砂	中砂	细砂	极细砂	粗粉砂	细粉砂	黏土
			$\phi \leq -1$	$-1 < \phi \leq 0$	$0 < \phi \leq 1$	$1 < \phi \leq 2$	$2 < \phi \leq 3$	$3 < \phi \leq 4$	$4 < \phi \leq 5$	$5 < \phi \leq 8$	$\phi > 8$
1	PM116-b1	细中粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	46.94%	43.60%	6.31%	0.14%	0.01%	3.00%
2	PM116-b3	中粒石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	56.45%	29.91%	2.60%	0.04%	0.00%	11.00%
3	PM116-b4	细中粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	54.41%	39.09%	1.51%	0.00%	0.00%	5.00%
4	PM116-b5	硅质胶结中粒石英砂岩	0.00%	0.00%	44.04%	52.66%	1.28%	0.02%	0.00%	0.00%	2.00%
5	PM116-b6	硅质胶结含砾不等粒石英砂岩	4.95%	24.60%	53.66%	12.04%	1.72%	0.04%	0.00%	0.00%	3.00%
6	PM116-b8	硅质胶结中细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	17.59%	68.52%	11.50%	0.39%	0.00%	2.00%
7	PM211-b1	硅质胶结中粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	18.12%	64.25%	15.78%	0.84%	0.01%	0.00%	1.00%
8	PM211-b3	细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	27.59%	55.95%	13.13%	0.32%	0.01%	3.00%
9	PM211-b4	细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	15.90%	59.01%	17.70%	0.38%	0.01%	7.00%
10	PM211-b5	硅质胶结细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	9.04%	62.25%	23.94%	0.76%	0.01%	4.00%
11	PM211-b8	中细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	2.54%	69.68%	23.38%	0.40%	0.00%	4.00%
12	PM211-b9	细粒岩屑砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	54.15%	40.85%	0.97%	0.03%	0.00%	4.00%
13	PM211-b10	细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	6.37%	60.25%	27.45%	0.93%	0.00%	5.00%
14	PM211-b11	细粒岩屑石英砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	4.46%	69.51%	22.86%	0.17%	0.01%	3.00%
15	PM211-b13	细中粒长石岩屑砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	49.72%	42.73%	2.53%	0.01%	0.00%	5.00%
16	PM211-b14	中细粒岩屑砂岩	0.00%	0.00%	0.00%	6.45%	49.39%	34.27%	2.86%	0.03%	7.00%

样品处在尖锐($K_g=1.56\sim 3.00$)和非常尖锐($K_g>3.00$)范围,这可能与砂砾中掺有黏土、粉砂等悬浮物有关,说明该沉积物可能是由多物源混合沉积形成的^[1]。

3.2.5 标准偏差

标准偏差(σ)是分选性的指标,反映了粒度分布与平均粒径之间的差异,用来区分沉积物的分选程度^[14]。其值越大,分选越差;其值越小,分选越好^[5]。福克按 σ 值大小将分选程度分为6级^[16]:1)当 σ 值在0~0.35之间,表示分选极好;2)当 σ 值在0.35~0.50之间,表示分选较好;3)当 σ 值在0.50~0.71之间,表示分选中等;4)当 σ 值在0.71~1.00之间,表示分选较差;5)当 σ 值在1.00~2.00之间,表示分选差;6)当 σ 值在2.00~4.00之间,表示分选极差。分选性的好坏与水动力条件有关,可作为沉积环境的判断标志之一^[15]。

由表3可知,中坪地区上三叠统二桥组16件样品

中有3件样品 σ 值在0.35~0.5之间,有7件样品 σ 值在0.5~0.7之间,有1件样品 σ 值在0.7~1之间,有5件样品 σ 值在1~2之间。 σ 值最大为1.51,最小为0.43,平均为0.81。综上所述,二桥组不同层位砂岩的粒度分选性变化较大。

3.3 粒度概率累计曲线特征

粒度概率累积曲线是直接根据所得颗粒级百分比绘制而成的,其横坐标表示颗粒直径,纵坐标使用概率坐标,在粒度概率累积曲线上表示概率的累积,百分比图形由几条相交的直线组成。不同性质的沉积物,其线段的数目、交切点和斜率等性质均有不同。不同的概率累计曲线组合特征反映了不同的沉积动力条件,并由此较为精确地区分沉积环境^[14-15,17]。

中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度概率累积曲线图(图6),频率曲线显示较好的正态分布特征,频率直方图多呈单峰式,只有PM116-b1呈双峰式。正态概率

表 3 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度参数表

Table 3 Sandstone grain size parameters of the Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area, Guizhou Province

序号	样品号	岩性	Mz	σ	Sk	Kg	Y_1	Y_2	Y_3
1	PM116-b1	细中粒岩屑石英砂岩	2.07	0.63	0.17	1.07	-3.64547616	8.1412173	80.06498679
2	PM116-b3	中粒石英砂岩	2.07	1.51	0.60	3.67	-22.0201246	24.0381537	211.5944169
3	PM116-b4	细中粒岩屑石英砂岩	1.97	0.62	0.24	1.62	-3.88118016	11.4563438	78.94578004
4	PM116-b5	硅质胶结中粒石英砂岩	1.08	0.43	0.12	1.07	-1.83740736	7.1757583	49.73243659
5	PM116-b6	硅质胶结含砾不等粒石英砂岩	0.30	0.82	0.11	1.30	-6.24421536	7.5665248	69.37489984
6	PM116-b8	硅质胶结中细粒岩屑石英砂岩	2.43	0.52	0.16	1.10	-2.39106656	8.5433958	77.20693864
7	PM211-b1	硅质胶结中粒岩屑石英砂岩	1.49	0.55	0.16	1.02	-2.942486	7.4288335	64.60200475
8	PM211-b3	细粒岩屑石英砂岩	2.37	0.62	0.18	1.00	-3.50339216	8.0595378	84.12071404
9	PM211-b4	细粒岩屑石英砂岩	2.61	1.35	0.37	3.78	-16.75133	23.6459675	185.8141358
10	PM211-b5	硅质胶结细粒岩屑石英砂岩	2.71	0.60	0.13	1.15	-2.942098	8.771976	86.934213
11	PM211-b8	中细粒岩屑石英砂岩	2.74	0.52	0.22	1.11	-2.59576456	9.2239198	83.14591864
12	PM211-b9	细粒岩屑砂岩	2.00	0.43	0.26	1.28	-2.24994936	9.8935133	66.66855859
13	PM211-b10	细粒岩屑石英砂岩	2.78	1.20	0.41	3.37	-13.588138	22.022051	164.065767
14	PM211-b11	细粒岩屑石英砂岩	2.72	0.48	0.07	1.07	-1.52116056	8.0040718	77.48842164
15	PM211-b13	细中粒长石岩屑砂岩	2.05	1.28	0.47	3.70	-15.8013698	23.5659238	166.7618964
16	PM211-b14	中细粒岩屑砂岩	2.91	1.37	0.40	2.83	-17.3319842	19.0143953	194.6279438

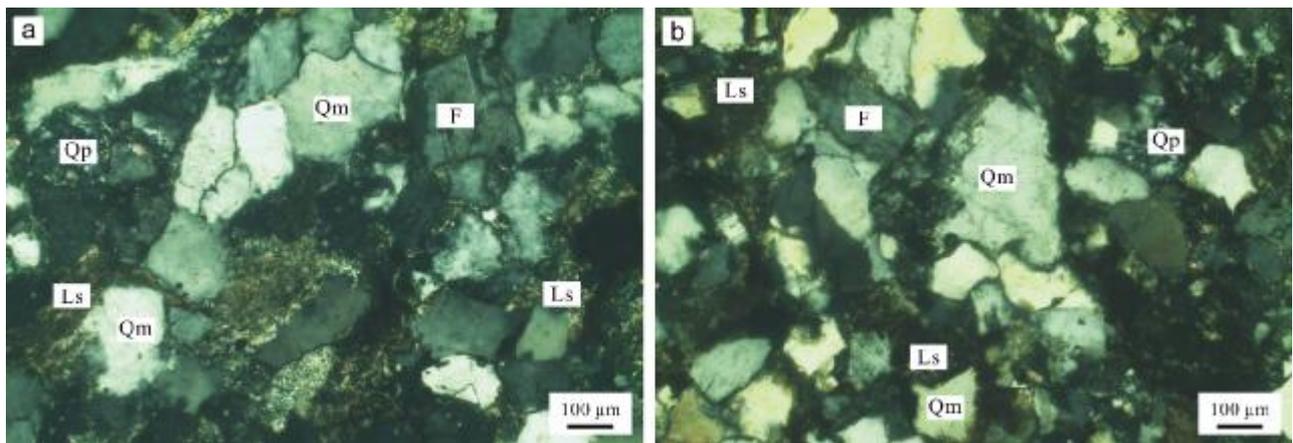


图 5 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩显微镜下特征

Fig. 5 Microscopic characteristics of sandstone from the Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area, Guizhou Province

a—岩屑石英砂岩 (lithic quartz sandstone); b—长石岩屑砂岩 (feldspar lithic sandstone); Qm—单晶石英 (monocrystal quartz); Qp—多晶石英质岩屑 (polycrystal quartz debris); F—长石 (feldspar); Ls—沉积和变质沉积岩屑 (sedimentary and metamorphic sedimentary rock debris)

累计曲线主要为多跳一悬式、一跳一悬式 (PM116-b4、PM116-b5、PM211-b1、PM211-b5、PM211-b10)、一跳一悬夹过渡式 (PM211-b4、PM211-b11), 由悬浮组分

和跳跃组分组成, 缺少滚动组分.

1) 多跳一悬式

此粒度概率累积曲线由一段悬浮次总体加上三段

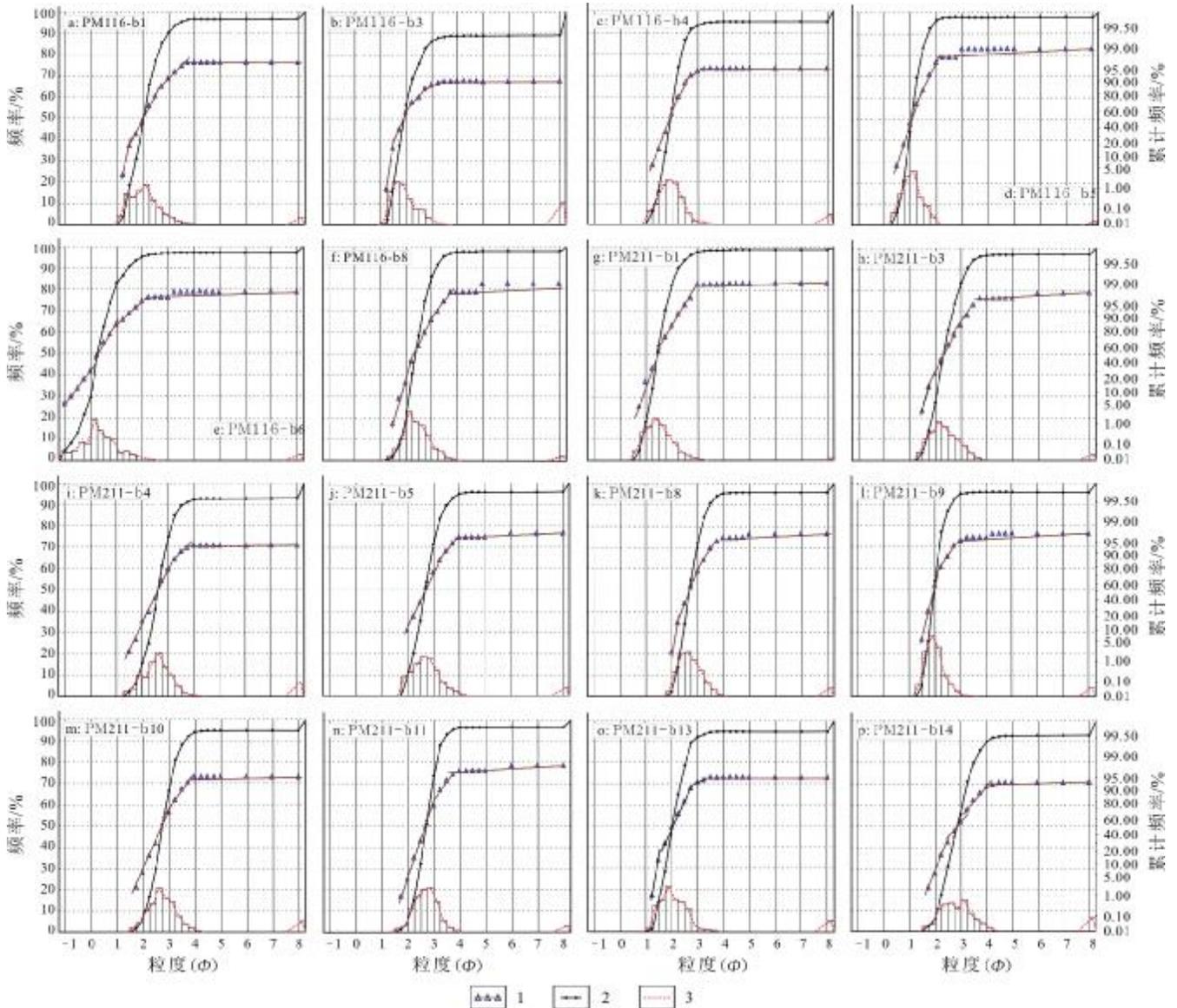


图6 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度概率累积曲线图

Fig. 6 Probability cumulative curves of sandstone grain size of the Upper Triassic Erqiao Formation in Zhongping area, Guizhou Province

1—正态概率累计(normal probability accumulation); 2—累计频率(cumulative frequency); 3—频率(frequency)

跳跃次总体组成(图 6a、b、e、f、h、k、l、o、p), 两个次总体交切于 $3\Phi\sim 4\Phi$ 之间. 悬浮总体含量为 1%~10%, 斜率较小, 分选差. 跳跃次总体含量 90%~95%左右, 斜率较大 ($50\sim 70^\circ$), 显示有较好的分选性. 此类型的概率累积曲线图特征, 指示了沉积物受多组水流影响, 颗粒经过良好分选. 此类曲线所反映的沉积环境为三角洲前缘河口坝、浅湖砂坝.

2) 一跳一悬式

此粒度概率累积曲线主要由两个次总体组成(图 6c、d、g、j、m), 由两条线段构成, 分别代表含量较多、分

选较好、斜率较高 ($60\sim 80^\circ$) 跳跃次总体和含量较少、分选较差、斜率较低的悬浮次总体. 跳跃次总体占全部颗粒的 90%左右, 含量 40%~80%, 颗粒粒径范围集中. 跳跃次总体与悬浮次总体交截点位于 $2.5\Phi\sim 3.5\Phi$. 悬浮组分含量低, 粒度跨度范围大于 4Φ . 此粒度概率累积曲线反映了典型的河流沉积物特征.

3) 一跳一悬夹过渡式

此粒度概率曲线是由一个跳跃总体、一个悬浮总体及一个过渡总体组成的三段式(图 6i、n), 缺失滚动次总体. 跳跃组分含量为 70%~75%, 粒度区间 $1\Phi\sim$

3 Φ , 跳跃颗粒包括中砂、细砂, 直线段斜率 70~75°, 分选较好, 说明水流稳定, 有很强的淘洗能力. 过渡段含量 18%~23%, 斜率 35~45°, 分选中等, 其与直线段截点为 3 Φ , 与悬浮总体截点在 3.75 Φ 附近, 搬运方式介于递变悬浮搬运和跳跃搬运之间. 悬浮组分含量 2%~12%, 斜率小于 5°, 指示悬浮组分仍然比例较小, 分选很差. 两个次总体之间的交切点为过渡式, 指示了一种特殊的水动力条件, 为河口砂坝沉积的粒度分布特征. 河流注入湖泊初期, 流速骤然降至更低的水平, 较粗颗粒迅速沉淀, 并使沉积物周围的水介质中较细颗粒比例增加, 导致悬浮次总体的较粗端斜率逐渐提高. 粒度概率累积曲线上则表现为两个次总体的过渡式交切^[15].

4 沉积环境分析

王立亭^[18]研究黔西北及邻区非海相三叠系—侏罗系界线时, 认为二桥组是跨三叠系与侏罗系的岩石地层单位, 二桥组为一套厚度巨大的三角洲相陆缘碎屑岩沉积, 与下伏杨柳井组及上覆下侏罗统自流井组均为平行不整合接触. 周冰洋等^[19-20]研究认为, 贵州大方地区二桥组为一套陆相含植物化石的灰白、黄灰、褐灰色厚层夹薄层岩屑石英砂岩, 沉积相为河流相辫状河—曲流河亚相, 大地构造背景属于被动大陆边缘克拉通盆, 年代地层归于上三叠统瑞替阶. 胡阳等^[21]研究了重庆长寿地区上三叠统地层特征, 认为二桥组沉积环境为河流三角洲沉积. 孙建勋等^[22]研究认为黔北普宜地区二桥组为一套厚度巨大的三角洲相陆缘碎屑岩沉积, 二桥组砂岩成熟度偏高, 总体分选较好, 磨圆中等, 岩石未经历长距离搬运, 源岩以酸性岩浆岩、变质岩为主.

贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩中发育平行层理、楔状交错层理等沉积构造, 岩层中夹铁质结核、砂质结核; 岩屑石英砂岩中见少量白云母、电气石、海绿石等矿物, 岩相组合指示沉积环境为三角洲相. 乔卫涛等^[14]研究认为海绿石非严格的浅海指相标志, 王云飞^[23]研究云南的抚仙湖中产大量的海绿石, 朱政源等^[24]研究松辽盆地的下白垩统青山口组中也发现了海绿石, 进一步说明海绿石也可产于陆相.

研究表明, 沉积物标准偏差和平均粒径与沉积物物源关系密切, 而偏态和峰态反映的是沉积环境对粒

度的改造结果^[5, 25]. 在贵州中坪地区共采集了 16 件上三叠统二桥组砂岩新鲜样品进行薄片粒度分析, 粒径主要为 0.0625~0.5 mm, 平均粒径值(M_z)为 2.14, 标准偏差(σ)为 0.81, 偏度(Sk)为 0.25, 属于极正偏, 总体粒度偏粗, 峰度(K_g)值为 1.88, 指示了贵州黔西县中坪地区在晚三叠世时期沉积物经历了短期的改造. 在中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度概率累积曲线图(图 6)中, 频率曲线显示较好的正态分布特征, 频率直方图多呈单峰式, 正态概率累计曲线主要为多跳—一悬式、一跳—一悬式、一跳—一悬夹过渡式, 由悬浮组分和跳跃组分组成, 缺少滚动组分. 上述特征指示了该地区二桥组砂岩从三角洲平原及前缘相向浅湖相过渡的沉积环境.

弗里德曼^[26]研究了取自世界各地的有代表性的砂样, 利用粒度参数偏度和标准偏差离散图区别河流砂和海滩砂—湖滩砂. C-M 图主要通过判断沉积物的搬运方式和水动力状况来鉴定沉积环境, 其 C 值和 M 分别代表概率累积曲线上 1%(最粗粒径)和 50%(中值)处的粒径^[27]. 在 σ - Sk 图解(图 7)中, 中坪地区 16 件二桥组砂岩样品大多数点落在滨浅湖及水下重力流区和三角洲前缘平原区, 只有 1 件样品落在洪泛平原及部分三角洲平原. 在 C-M 图解(图 8)中, 中坪地区 16 件二桥组砂岩样品中有 8 件落在牵引流区域, 5 件落在浊流(重力流)区域, 3 件落在了二者的分界线附近, 指示二桥组砂岩整体具牵引流与重力流属性.

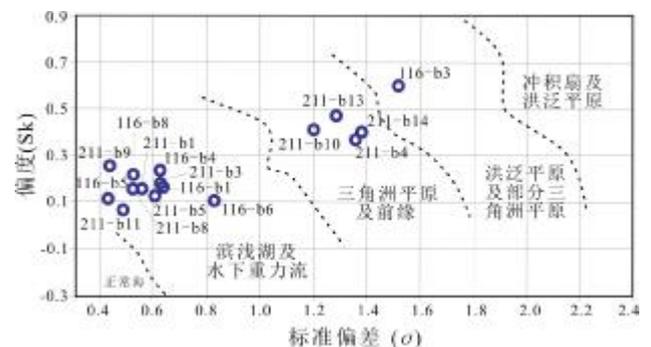


图 7 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩偏度标准偏差离散图 (据文献[27])

Fig. 7 The dispersion diagram of skewness-standard deviation for sandstone of the Upper Triassic Erqiao Formation (From Reference [27])

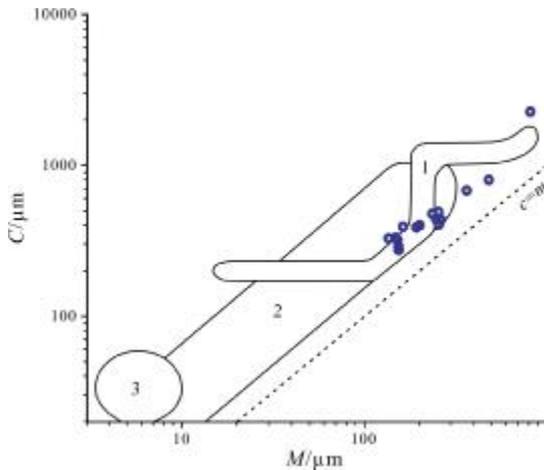


图8 贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩 C-M 图
(据文献[27])

Fig. 8 The C-M diagram for sandstone of the Upper Triassic Erqiao Formation
(From Reference [27])

1—牵引流沉积(tractive current deposition); 2—浊流沉积(turbidite deposition); 3—静水悬浮沉积(still water suspended deposition)

综上所述,结合区域研究成果和本区的调查结果分析,贵州中坪地区上三叠统二桥组砂岩主体沉积于滨浅湖和三角洲平原-前缘沉积环境。

5 结论

1) 在贵州中坪地区共采集了16件上三叠统二桥组砂岩新鲜样品进行薄片粒度分析,粒径主要为0.0625~0.5 mm,平均粒径值(Mz)为2.14,标准偏差(σ)均值为0.81,偏度(Sk)均值为0.25,属于极正偏,总体粒度偏粗,峰度(Kg)均值为1.88。这些特征指示了贵州黔西县中坪地区在晚三叠世时期沉积物经历了短期的改造。

2) 中坪地区上三叠统二桥组砂岩粒度概率累积曲线图显示较好的正态分布特征,频率直方图多呈单峰式;正态概率累计曲线主要为多跳一悬式、一跳一悬式、一跳一悬夹过渡式,主要由悬浮组分和跳跃组分组成,缺少滚动组分。

3) 中坪地区上三叠统二桥组为一套碎屑岩沉积,岩性主要为浅灰、灰白色厚层块状岩屑石英砂岩、石英砂岩、长石石英砂岩、含白云母岩屑石英砂岩,沉积环境为滨浅湖和三角洲前缘沉积环境。

致谢:审稿专家和编辑部对本文提出十分宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1]刘宝珺,张锦泉.沉积成岩作用[M].北京:科学出版社,1992:65-92.
Liu B J, Zhang J Q. Sedimentary diagenesis [M]. Beijing: Science Press, 1992: 65-92. (in Chinese)
- [2]赵澄林.沉积学原理[M].北京:石油工业出版社,2001:1-214.
Zhao C L. Principles of sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1-214.
- [3]姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003:136-152.
Jiang Z X. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 136-152. (in Chinese)
- [4]成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北京:地质出版社,1978:1-133.
Shanbei Team of Chengdu College of Geology. Grain size analysis and application for sediments[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 1-133. (in Chinese)
- [5]张帅军.西藏岗玛日地区下三叠统康鲁组砂岩粒度分析及环境意义[D].北京:中国地质大学,2013.
Zhang S J. Sandstone grain size analysis and environmental significance of Lower Triassic Kanglu Formation, Gangmari region, Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [6]丁旭林.粒度分析与重矿物组合的地质应用[J].科学技术与工程,2012,12(14):3439-3442.
Ding X L. Geologic application of grain size analysis and heavy mineral assemblage[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(14): 3439-3442.
- [7]Weiss E L, Frock H N. Rapid analysis of particle size distributions by laser light scattering[J]. Powder Technology, 1976, 14(2): 287-293.
- [8]肖晨曦.粒度分析及其在沉积学中的应用研究[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2006,25(3):118-123.
Xiao C X. The research summary of grain size analysis and its application in the sedimentation [J]. Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition), 2006, 25(3): 118-123.
- [9]贵州省地质矿产局.贵州省区域地质志[M].北京:地质出版社,1987:76-135.
Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Guizhou Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 76-135. (in Chinese)
- [10]贵州省地质矿产局.贵州省岩石地层[M].北京:地质出版社,1997:136-201.
Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. Stratigraphy (lithostratic) of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing

- House, 1997: 136–201.
- [11]孙平原, 何碧, 赵飞, 等. 贵州乌蒙山黔西地区二叠系玄武岩地球化学特征及其地质意义[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(12): 41–51.
- Sun P Y, He B, Zhao F, et al. Geochemical characteristics and their geological significance of Permian basalt rocks in Qianxi area, Wumengshan of Guizhou Province [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(12): 41–51.
- [12]何碧, 张向文, 赵飞, 等. 贵州黔西官坝地区二叠系—三叠系地质界面黏土岩的火山岩特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 现代地质, 2020, 34(5): 1028–1042.
- He B, Zhang X W, Zhao F, et al. Volcanic characteristics, LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of claystone at the Permian-Triassic boundary, Guanba area in Guizhou Province, South China and the geological implications[J]. Geoscience, 2020, 34(5): 1028–1042.
- [13]王宁祖, 张向文, 何碧, 等. 贵州省黔西县大寨地区中三叠统关岭组绿豆岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 矿物岩石, 2019, 39(1): 82–91.
- Wang N Z, Zhang X W, He B, et al. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the mung bean rocks of the Middle Triassic Guanling Formation in Dazhai area of Qianxi County, Guizhou Province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2019, 39(1): 82–91.
- [14]乔卫涛, 陈仁, 胡歆睿, 等. 贵州开阳地区澄江组第二段砂岩粒度分析与沉积环境[J]. 贵州地质, 2020, 37(1): 59–65.
- Qiao W T, Chen R, Hu X R, et al. Grain-size analysis and depositional environment of the second member of Chengjiang Formation at Kaiyang area of Guizhou Province [J]. Guizhou Geology, 2020, 37(1): 59–65.
- [15]陈逵. 元坝地区须家河组储层岩石学特征和图像法粒度分析研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- Chen K. Reservoir petrology characteristics study and image method grain-size analysis of Xujiuhe Formation in Yuanba area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014.
- [16]Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3–26.
- [17]Visher G S. Grain size distributions and depositional processes [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1969, 39(3): 1074–1106.
- [18]王立亭. 试论黔西北及邻区非海相三叠系/侏罗系界线[J]. 贵州地质, 2002, 19(3): 175–178, 162.
- Wang L T. Initial discussion on the boundary of the Triassic-Jurassic of the non-marine facies in Northwest Guizhou and its adjacent areas [J]. Guizhou Geology, 2002, 19(3): 175–178, 162.
- [19]周冰洋, 赵兵, 孙剑, 等. 贵州大方地区二桥组地层特征及沉积相分析[J]. 地质学刊, 2017, 41(1): 46–53.
- Zhou B Y, Zhao B, Sun J, et al. Stratigraphic features and sedimentary facies analysis of the Erqiao Formation in the Dafang area of Guizhou Province [J]. Journal of Geology, 2017, 41(1): 46–53.
- [20]周冰洋. 贵州大方地区中—晚三叠世地层划分对比及沉积相分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- Zhou B Y. Stratigraphic division and comparison and sedimentary facies analysis of Middle-Late Triassic in Dafang County of Guizhou Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- [21]胡阳, 龚晓波, 廖阮颖子. 重庆长寿地区上三叠统地层特征研究[J]. 四川有色金属, 2020, 29(4): 29–32.
- Hu Y, Gong X B, Liao R Y Z. Stratigraphic characteristics of upper Triassic in Changshou area of Chongqing [J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2020, 29(4): 29–32.
- [22]孙建勋, 吴亮, 肖长源, 等. 黔北普宜地区晚三叠世二桥组砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄、重矿物分析及地质意义[J]. 地质学报, 2022, 96(3): 824–839.
- Sun J X, Wu L, Xiao C Y, et al. Implications of detrital zircon U-Pb ages and analysis of heavy minerals from sandstone of the Late Triassic Erqiao Formation in Puyi area, North Guizhou [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(3): 824–839.
- [23]王云飞. 抚仙湖现代湖泊沉积物中海绿石的发现及成因的初步研究[J]. 科学通报, 1983(22): 1388–1392.
- Wang Y F. the Discovery and Preliminary study on genesis of glauconite in modern lake sediments of Fuxian Lake [J]. Chinese Science Bulletin, 1983(22): 1388–1392. (in Chinese)
- [24]朱政源, 董凌峰, 于航, 等. 海绿石的成因与应用[J]. 科技创新与应用, 2015(33): 16–18.
- Zhu Z Y, Dong L F, Yu H, et al. Genesis and application of glauconite [J]. Technology Innovation and Application, 2015(33): 16–18. (in Chinese)
- [25]吴龙, 宗维, 杜小峰, 等. 鄂西恩施白垩纪盆地跑马岗组砂砾岩粒度分析[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(2): 164–169.
- Wu L, Zong W, Du X F, et al. Grain size analysis of sand-conglomerate of Paomagang Formation in Enshi Cretaceous basin, western Hubei Province [J]. Resources Environment & Engineering, 2019, 33(2): 164–169.
- [26]Friedman G M. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967, 37(2): 327–354.
- [27]Passee R. Grain size representation by CM patterns as a geologic tool [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1964, 34(4): 830–847.