# 黔东北寒武系牛蹄塘组沉积学特征及沉积环境演化

唐佐其[1],刘凌云[1],谯文浪[2],陈 武[1],华 兴[1],吕留彦[1],马义波[1*]

(1. 贵州省地质调查院、贵州省地质物探开发应用工程技术研究中心、贵州省地质调查院院士工作站,贵州 贵阳 550081;2. 贵州省地矿局102地质大队,贵州 遵义 563000)

[摘 要]通过对黔东北松桃-江口地区寒武系牛蹄塘组调查研究及系统的样品控制,以岩石学、层序地层学、微量元素地球化学为技术手段,研究发现该组地层岩石主要为富含炭质细碎屑岩组合,沉积构造丰富,识别出该地层组为完整的三级层序,自下而上可进一步划分为盆地-大陆斜坡-深水陆棚相沉积。微量元素总体上富亲铜、亲铁元素,贫亲石元素;以V、Ni、Mo、Re、As、Cd、U元素丰度及U/Th、δU、V/(V+Ni)、V/Cr、Ni/Co比值指标证实研究区牛蹄塘组中下部沉积条件均位于氧化界以下,属于贫氧-厌氧还原环境,为区域上V、Mo等元素的超常富集提供必要条件,至本组上部为贫氧-弱氧化环境,划分出Ⅶ个氧化还原幕次,细化了研究区牛蹄塘组沉积环境条件及其演化特征。

[关键词]黔东北;牛蹄塘组;微量元素;沉积环境演化

[中图分类号]P53.41;P539.2 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2019)-01-0061-08

黔东北-湘西地区目前是我国南方页岩气资源评价和勘探开发的重点地区之一,亦为黑色岩系型层控多金属矿床发育的重要地区。近年来针对区内黑色岩系矿产研究分析了多金属成矿物质来源及矿床成因(李胜荣等,2000、2002;蒋少勇等,2006;舒多友等,2012、2014;晏国祥等,2014;付勇等,2016);针对黔中-黔北地区浅海陆棚相牛蹄塘组层序、地球化学及沉积环境探讨也有较多成果(杨剑等,2004;袁宏等,2007;庞艳春等,2011;梁超等,2011;张岳等,2016);针对湘西地区斜坡相牛蹄塘组层序、微量元素、有机碳特征亦有了较为深入的研究(曹双林等,2004;李苗春,2013;邓义楠,2015;周鹏等,2018)。

黔东北松桃-江口地区牛蹄塘组分布广泛,发育较完整、层序清晰、矿产丰富,是研究沉积环境的良好区域。杨兴莲等(2007)通过丹寨南皋、三都渣拉沟前寒武纪-寒武纪转换时期对比,认为处过渡区的南皋剖面牛蹄塘组表现出缺氧环境的特征;杨恩林等(2013)通过对松桃、镇远黑色岩系剖面对比分析认为黑色页岩可能形成于受上升洋流影响的陆棚海局限盆地边缘沉积;马义波等(2015)对梵净山地区南华系-志留系沉积体系进行了划分,认为牛蹄塘组为陆棚相沉积。除《中国区域地质志(贵州志)》对沉积环境进行了概略研究外,其他针对本区牛蹄塘组沉积层序及沉积时期古海水介质特征研究内容较少。本文以区内牛蹄塘组为研究对象,在野外剖面及钻孔调查基础上,对层序、微量元素地球化学进行研究,理清区内牛蹄塘组沉积环境及海水介质演化特征,为贵州早寒武世研究及多金属富集研究提供基础地质支撑。

## 1 地质概况

研究区大地构造位置位于江南造山带之铜仁复式褶皱变形区,寒武系地层属扬子地层区之江口地层小区,牛蹄塘组整合覆于老堡组硅质岩(磷质岩)之上,与上覆九门冲组有机质灰岩亦呈

[收稿日期]2018-10-15 [修回日期]2018-12-21

[基金项目]中国矿产地质志项目(DD20160346、DD20190379),贵州省地矿局科研项目(黔地矿科合[2012]16号、黔地矿科合[2017]29号)。

[作者简介]唐佐其(1987—),男,硕士,工程师,主要从事基础地质、水工环地质、城市地质、资源环境承载力调查研究工作。

[通讯作者]马义波(1988—),男,硕士,工程师,主要从事基础地质、矿产地质、旅游地质研究工作。

连续沉积,呈条带状分布于梵净山穹窿、坝盘背斜俩翼(图 1),岩性变化不大,厚 3.77～138.3 m 不等。依据岩性组合、含矿性及总有机碳含量可分三段:下部高炭质粘土岩夹少量硅质岩,偶见碳酸盐岩透镜,岩石中均可见黄铁矿结核、云母碎片,为钒多金属主要产出层位;中部中厚-厚层炭质粘土岩、含炭质粉砂质粘土岩,夹灰绿色砂质粘土岩,发育块状、水平、条纹及条带状层理;上部含炭质粉砂质粘土岩、粘土质粉砂岩,间夹砂质粘土岩、粉砂岩、钙质粘土岩,局部见夹有机质灰岩,发育水平、条带、脉状及透镜状层理等,总体由下向上为逆粒序。

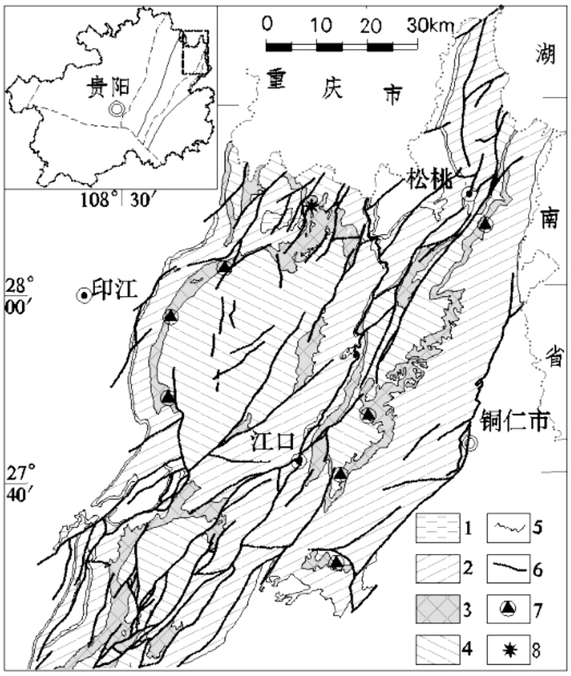



**图 1　研究区地质简图及取样分布图**

Fig. 1　Geological sketch and sampling distribution of the study area

1—奥陶系;2—寒武系第二统-芙蓉统;3—寒武系纽芬兰统-第二统;4—前寒武系;5—地质界线;6—断层界线;7—剖面位置;8—钻孔位置

## 2　样品的采集与测试

充分收集研究《1∶5万梵净山、德旺、江口、凯德幅区调项目》、《1∶5万钟灵、松桃、盘信、牛郎幅区调项目》、《贵州松桃-江口地区寒武系炭质粘土岩地球化学特征》相关样品的鉴定与测试分析结果,对比分析并选取高地 2 处钻孔为主要研究对象,控制牛蹄塘组及上下层位进行系统地取样,取样间距一般为 30 ～ 50 cm,共计样品数为 62 件。样品测试分析由广州澳实分析检测,微量元素采用 ICP-MS 测试,测试方法代码 ME-rMS61r,全部样品在做 ME-rMS61r 的消解前进行了高温灼烧。

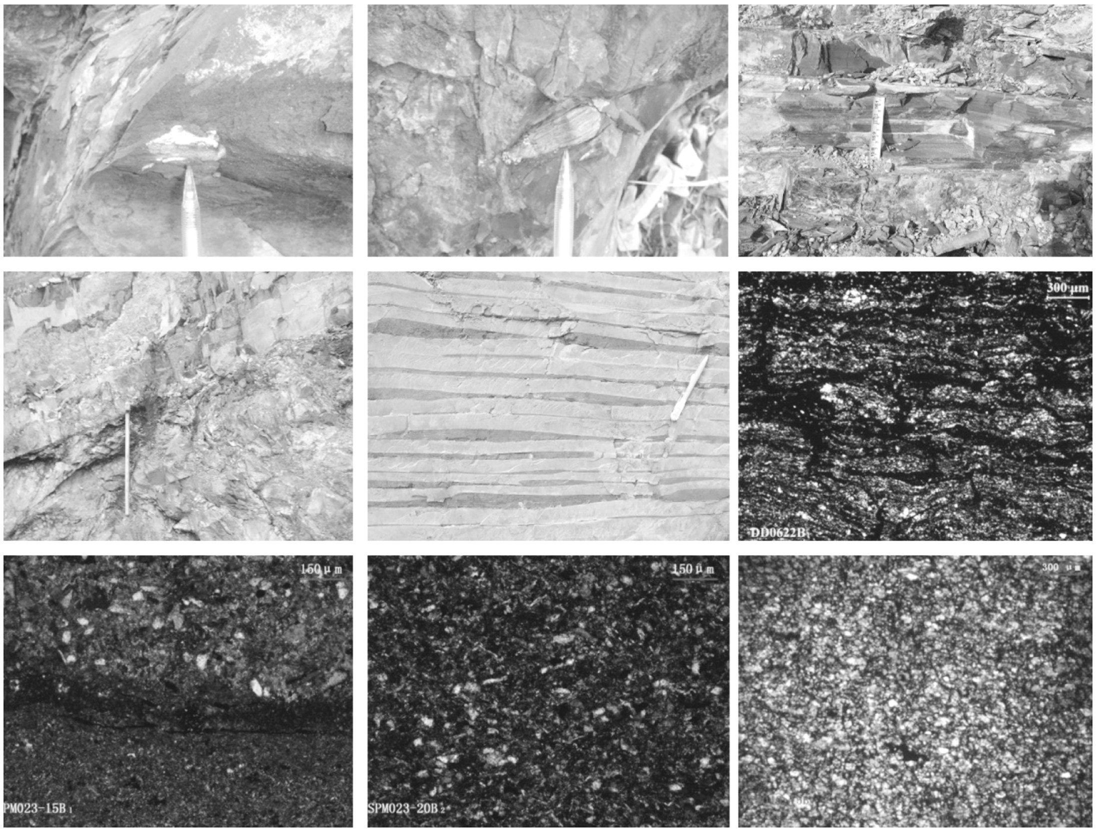
## 3　岩石学特征

区内牛蹄塘组基本岩性组合为炭质粘土岩、含炭质粘土岩、粘土质含炭质粉砂岩、含炭质粉砂质粘土岩、粉砂岩、粉-细砂岩等富含有机碳细碎屑岩组合;在矿物组成方面粘土矿物总量为 19.7%～54.0%,碎屑含量 24.4%～65.3%,黄铁矿 0%～9.2%;少量方解石、白云石、磷灰石等。岩石样品多为泥质、粉砂状、显微鳞片状结构,块状、层状、条带状、层纹状构造等(照片 1)。研究区内样品中总有机碳 TOC 为 1.5%～13.0%,平均 5.5%,由下向上渐降低。岩石中有机碳、黄铁矿含量与沉积条件关系密切,早寒武世早期快速海侵,有机质得以较好地保存,黄铁矿含量可高达 9.2%。结合下伏老堡组硅质岩特征及局部所夹碳酸盐岩透镜,研究区牛蹄塘组沉积早期应为随海平面上升而形成的滞留深水沉积,处浪基面以下水较深位置,氧化作用弱,强还原环境特征;向上还原条件渐减弱,有机碳、黄铁矿含量相应地降低,陆源碎屑颗粒渐增多,发育水平、条带、脉状层理等;至本组顶部,有机碳、黄铁矿进一步减少,陆源碎屑颗粒增多,粒度增大,偶见有古生物化石,出现化学胶结、颗粒/杂基比值较高。

## 4　沉积层序特征

通过牛蹄塘组横向对比发现:区内除南东半溪上部未见明显砂岩夹层外,其余均可见有粉砂岩或粉-细砂岩夹层(图 2)。对比梵净山穹隆两翼,南东翼粒度更细,显示更为深水环境,物源相对贫乏,沉积厚度较北西侧薄;北西侧黑桃湾至永义一带,不仅沉积厚度较大,中上部见大量陆源碎屑颗粒加入沉积。综合对比研究发现区内牛蹄塘组自下而上可细分为盆地、大陆斜坡、深水陆棚相沉积,自下伏磷质层开始识别出一个完整的三级层序 SQⅡ:

层序界面位于下伏老堡组硅质岩与磷质层分界面,该界面处偶见 4～10 mm 铁壳层,总体应为Ⅱ型界面。磷质层厚 0.31～0.95 m,常具有较丰




**照片 1　牛蹄塘组主要沉积相特征**

Photo 1　Major Sedimentary facies features of Niutitang formation

1—黄铁矿;2—黄铁矿;3—水平稳层;4—块状层理;5—透镜状层理;6—含炭质粉砂岩(单偏光 5×10);7—粉砂质粘土岩(正交偏光 10×10);8—粘土质粉砂岩(正交偏光 10×10);9—有机质灰岩(正交偏光 5×10)

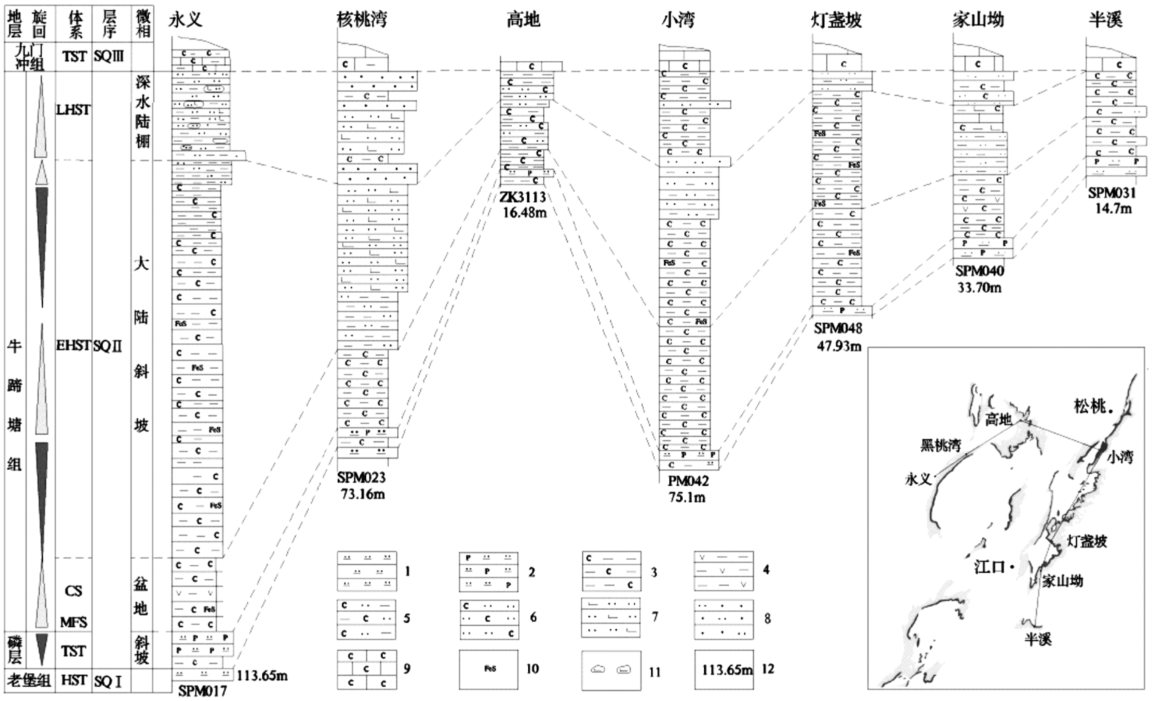



**图 2　研究区牛蹄塘组沉积层序特征**

Fig. 2　Sedimentary sequence features of Niutitang formation in the study area

1—硅质岩;2—磷矿层;3—炭质粘土岩;4—钒矿化层;5—炭质粉砂质粘土岩;6—含炭质粉砂岩;7—钙质粉砂岩;8—粉-细砂岩;9—有机质灰岩;10—黄铁矿结核;11—钙质结核;12—牛蹄塘组地层厚度

富微生物化石(疑原类、蓝藻、绿藻等)和小壳动物化石(软舌螺、管壳类、单板类)等,时间上应属于早寒武世早期。表明全球大冰期结束之后,在扬子区温暖海洋中细菌、藻类、小壳动物开始快速发展,在演化趋势上同步繁盛于梅树村阶起始;随后海平面的快速上升而形成了短暂的海侵体系域(TST)。

牛蹄塘组底界时期,水深基本达到最深的条件,处于最大海泛面(MFS)。随后,海水保持了较深的条件(CS),缓慢沉积一套稳定的黑色高炭质粘土岩;此时处盆地沉积的高炭质粘土岩可见顺层理分布的星点状、细线状、结核状黄铁矿,偶见有结核状碳酸盐岩。

牛蹄塘组中上部为高位体系域(HST),可进一步划分出早期高水位体系域(EHST)、晚期高水位体系域(LHST)。早期高水位体系域(EHST)主要发育一套层次稍厚的黑色炭质粘土岩、炭质粉砂质粘土岩夹少量粉砂质粘土岩,南东家山坳一带见有少许有机质灰岩夹层。炭质粘土岩层次稍厚,偶见有星点状、结核状黄铁矿发育,水平层理、层纹构造、细条带状构造较发育,局部见粘土质粉砂岩层面有滑移变形构造,为大陆斜坡相沉积。晚期高水位体系域(LHST)主要沉积了一套薄层、薄-中层灰黑色、深灰色炭质粘土岩、粉砂质粘土岩、粉-细砂岩。与中、下部相比,上部层位的粉砂质含量明显增加、粒度增粗,北西永义-黑桃湾一带含钙质透镜或夹层;反映该时期海平面下降,造成水体变浅,总体应为深水陆棚环境的沉积产物。

结合剖面化学样品分析及区内钒矿床地质特征,钒矿化在纵向上主要富集于牛蹄塘组下部高炭质粘土岩中,即底界之上 10 m 范围内,中上部层位则富集程度较低;横向上表现为南东桃映-坝盘-家山坳一带较西部富集程度高,矿化层厚度大;具有开采意义的矿床点亦集中分布于盘石-坝盘-青阳一带。钒矿石矿物组份基本由粘土矿物、碎屑及炭质构成,不见或少见钒的独立矿物,多赋存于硫化物矿物中或炭吸附状态产出。由此可见,梵净山穹隆南东处较深水盆地沉积,可能为区内钒矿床的富集提供了必要条件。

## 5　微量元素特征及沉积环境演化

沉积盆地基本的地球化学环境,对元素的分布起主要的控制作用,并且表现出微量元素分布的规律性。前人对微量元素指示的地质意义有较多的研究和实践,许淑梅等(2007)对氧化还原敏感性元素 Mo、V、U、Cd、Re 地球化学行为及环境意义进行了重点研究。林治家等(2008)认为氧化还原作用影响到海水中许多元素的地球化学行为,每一次海洋氧化还原环境的巨变都在海相沉积岩中留下了丰富的地球化学记录,可用 DOP、U/Th、自生 Uau、V/Cr、Ni/Co 等参数进行氧化还原环境的定性和定量研究。由此,沉积岩氧化还原敏感元素可以为沉积环境的变迁提供可靠信息,诸如 V、Ni、Mo、Re、As、Cd、U 等的含量直接或间接指示了沉积水体的氧化还原条件;另一方面微量元素比值 U/Th、V/(V+Ni)、V/Cr、Ni/Co 及 δU 等亦可以有效的指示沉积环境条件,从而可建立起自下而上海水介质条件演化特征。

### 5.1　微量元素含量特征

**表 1　研究区牛蹄塘组微量元素特征**

Table 1　Trace elements characteristics of Niutitang formation in the study area

| 序号 | 元素 | 区间值 | 平均数 |
|---|---|---|---|
| 1 | V | 1.13～26.00 | 10.49 |
| 2 | Ni | 0.81～13.60 | 6.36 |
| 3 | Mo | 2.34～71.67 | 43.99 |
| 4 | Re | 5.13～771.79 | 136.68 |
| 5 | As | 5.73～56.33 | 17.70 |
| 6 | Cd | 1.94～195.92 | 55.93 |
| 7 | U | 0.8～34.9 | 9.7 |
| 8 | U/Th | 0.77～6.46 | 2.89 |
| 9 | δU | 1.39～1.90 | 1.75 |
| 10 | V/(V+Ni) | 0.68～0.91 | 0.80 |
| 11 | V/Cr | 1.42～18.77 | 8.51 |
| 12 | Ni/Co | 2.55～20.15 | 8.78 |

区内牛蹄塘组总体上富亲铜元素和亲铁元素,贫亲石元素;测试分析数据经大陆上地壳丰度标准化处理后,标准化值大于 1 则说明相对富集,数值越大说明越富集;反之,小于 1 则是亏损。经统计发现,除一件样品中 Ni、U 分别为 0.81、0.80 表现为亏损外,其余 V、Ni、Mo、Re、As、Cd、U 均大于 1 表现为较为富集(表 1)。牛蹄塘组下部层位较中上部层位富集程度高,表现为亲铜元素 Ag、As、Sb、Cd、Ti 明显较富集,氧化还原敏感元素 V、Ni、Mo、Re、As、Cd、U 亦具有自下而上富集程度逐渐降低的趋势。

富集多种元素的黑色岩系有利于形成各种矿产,可能与黔东北地区大量的钒、钼、铀、磷等矿床有成因联系。另一方面,元素自下而上表现富集程度不一致,呈现出多次波峰波谷旋回性特征,可以预见海平面变化是“阶梯式”或者周期性变化的,氧化还原介质条件亦具有多幕次性。

## 5.2 微量元素比值特征

**表 2　缺氧环境和富氧环境的地球化学判别指标表**

Table 2　Geochemical evaluation index in oxygen deficient environment and oxygen rich environment

| 判别标志 | 缺氧环境 | | 富氧环境 |
|---|---|---|---|
| | 厌氧 | 贫氧 | |
| U/Th | >1.25 | 0.75～1.25 | <0.75 |
| δU | >1.0 | <1.0 | |
| V/(V+Ni) | >0.6 | 0.46～0.6 | <0.46 |
| V/Cr | >4.25 | 2～4.25 | <2 |
| Ni/Co | >7 | 5～7 | <5 |

如前述,国内外学者根据沉积岩在贫、富氧环境沉积地球化学特征表现,将 U/Th、V/(V+Ni)、V/Cr、Ni/Co 及 δU 法作为沉积环境贫、富氧性的判别标志,并给出了相应的标准(表 2)。牛蹄塘组微量元素比值判别式自下部指示为厌氧强还原性特征向上逐渐演化为贫氧还原环境,至上部层位 U/Th、V/Cr、Ni/Co 均指示具弱氧化环境,由下至上呈逐渐减小的趋势且具有一定的多幕次特征。将前述比值判别分析结果与地层层序之间的关系做出综合柱状图(图 3),按照其变化特征可划分为Ⅶ组氧化还原变化幕次,其与沉积层序关系密切,进一步丰富了沉积时期底层海水介质条件:

第Ⅰ幕即为海侵体系(TST)时期,沉积磷质层,常具有内碎屑结构。早寒武世早期生物的大量繁盛,随后的海侵导致沉积条件的改变,但总体上还属于大陆斜坡相沉积,阳光极微弱乃至无法达到,生物稀少,水体氧含量低但总体属于氧化环境。

第Ⅱ幕即为最大海泛面之后形成的凝缩段(CS),岩石组合为高炭质粘土岩、含黄铁矿炭质粘土岩,有机炭 4.32%～5.66%,黄铁矿含量 1.0%～3.0%。微量元素 U/Th 比值 3.03%～6.46,δU 值 1.80～1.90,V/(V+Ni)比值 0.68～0.87,V/Cr 比值 2.93～18.77,Ni/Co 比值 5.96～20.15。显示自沉积早期最大海泛面开始,属浪基面以下海水较深位置的盆地沉积,虽海平面出现动荡,但总体以厌氧的强还原环境为主,沉积物物源有双向来源。本段岩性单调,沉积构造不发育,是沉积作用极不活跃的产物,而这种不活跃有力于金属矿物缓慢聚集和沉淀,因而与成矿作用密不可分;区内 V-PGE 多金属层均产自本岩性段,可能与深水强还原环境、多元物质来源、较低速率的沉积作用关系密切。

第Ⅲ幕为早期高水位体系域(EHST)产物,岩石组合以炭质粘土岩、炭质粉砂岩、粘土质粉砂岩,有机质含量 4.34%～4.74%,黄铁矿多小于 2%;其 U/Th 比值 3.16～4.60,δU 值集中在 1.81～1.86,V/(V+Ni)比值 0.70～0.91,V/Cr 比值 8.10～13.81,Ni/Co 比值 10.03～12.50。显示海水有一次缓慢减退,出现较深水的大陆斜坡沉积,厌氧还原环境亦相对减弱,陆源碎屑颗粒逐渐增多,粒度渐增大。

第Ⅳ幕海平面出现动荡,海水介质氧化还原条件缓慢变化。岩石组合以含炭质粉砂质粘土岩、含炭质粘土岩、粉砂质粘土岩为主,有机质含量 3.01%～3.86%,黄铁矿多小于 1%;其 U/Th 比值 2.47～4.94,δU 值集中在 1.76～1.87,V/(V+Ni)比值 0.72～0.90,V/Cr 比值 4.95～13.47,Ni/Co 比值 8.32～10.14。显示海水有一次加深的过程,厌氧还原环境至本幕顶部得以加强。

第Ⅴ幕海平面渐降低,沉积了一套以粉砂质粘土岩、炭质粘土岩、粉砂岩,常见有层纹构造、条带状构造及层状构造,未见或极少见黄铁矿,有机质含量 2.51%～3.75%。其 U/Th 比值 0.82～2.97,δU 值集中在 1.42～1.80,V/(V+Ni)比值 0.75～0.88,V/Cr 比值 2.14～14.58,Ni/Co 比值 2.65～10.85,显示厌氧还原环境进一步减弱,主要为贫氧还原条件,出现较典型大陆斜坡沉积沉积,此时陆源碎屑颗粒进一步增多,沉积构造较为明显,局部见有重力流及滑移变形构造。

第Ⅵ幕岩性组合以粉砂质粘土岩、钙质粉砂岩、粉-细砂岩为主,局部见有有机质灰岩透镜或夹层,以普遍含有钙质为特征,常见有层纹构造、条带状构造及层状构造,未见或极少见黄铁矿,有机质含量 2.84%～5.91%;其 U/Th 比值 1.99～2.65,δU 值集中在 1.71～1.78,V/(V+Ni)比值 0.73～0.88,V/Cr 比值 2.95～12.59,Ni/Co 比值 3.88～9.90,显示早期高水位体系域接近尾声,贫氧弱还原环境,陆源碎屑颗粒粒度渐增大、占比增多,颗粒/杂基比值逐渐升高。

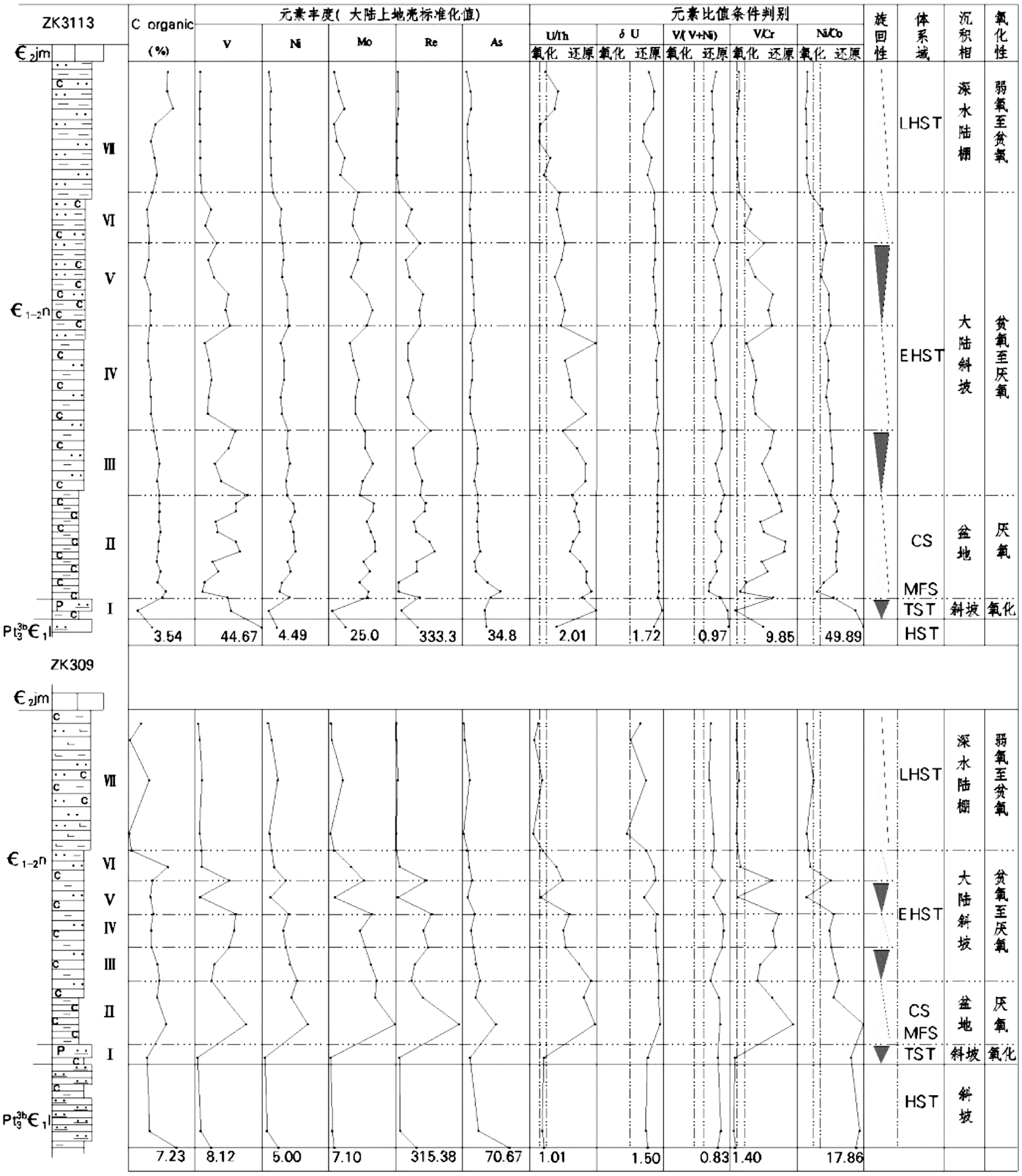



**图3　研究区牛蹄塘组微量元素地球化学特征综合柱状图**

Fig. 3　Composite histogram of micro element geochemical characteristics in Niutitang formation of the study area

第Ⅶ幕晚期高水位体系域(LHST)产物,岩性组合为含炭质粘土岩、粉砂岩、粉-细砂岩组合,常具有钙质结核,化学胶结特征明显,具有正粒序层理、水平层理、条带状层理等,未见明显黄铁矿。其U/Th比值为0.29～2.26,δU值集中在0.92～1.74,V/(V+Ni)比值为0.69～0.79,V/Cr比值为1.93～2.69,Ni/Co比值为2.55～4.97,U/Th、V/Cr、Ni/Co均指示具弱氧化环境。野外调查于梵净山穹隆西翼偶见生物化石,显示海平面进一步减退,沉积介质条件由贫氧还原条件逐渐向弱氧化环境变化。

## 5.3　沉积环境演化特征

根据判别指标,牛蹄塘组沉积时期多属于还原环境中,自下而上还原条件渐减弱,至顶部深水陆棚时处于贫氧还原-弱氧化环境。结合区域地

质资料,研究区牛蹄塘组沉积时期古海洋演化继承了陡山沱期北西高南东低地理格局,全球海平面上升,导致缺氧事件的发生,形成了一套分布较广的黑色岩系,以炭质粘土岩为主,其次为含炭质粉砂质泥岩,普遍含细粒黄铁矿。这套黑色页岩总体呈由南东向北西由深水区向浅水区逐渐超覆,从而造成了扬子碳酸盐台地的第一次淹没。从本研究区及纵向上看,牛蹄塘组岩性组合及沉积构造特征,微量元素地球化学特征指示了自下而上为滞留盆地—大陆斜坡—深水陆棚相沉积,底层海水介质条件自厌氧强还原环境—贫氧还原环境—贫氧-弱氧化环境条件,水体环境的变化并不是一蹴而就,而是经历了多幕次的转化,形成了本相区牛蹄塘组特定的岩石组合类型。区内 V-PGE 多金属层的超常富集可能形成于盆地沉积,与深水强还原环境、多元物质来源、较低速率的沉积作用关系密切。

## 6　结论

本文通过对研究区内牛蹄塘组系统地调查研究,以岩石学、层序地层学、微量元素地球化学为主要技术手段,对其岩石组合类型、沉积结构构造、微量元素地球化学特征等多种沉积相及沉积海水介质条件进行了系统研究。

通过上述研究发现该组地层岩石主要为富含炭质细碎屑岩组合,以岩性组合、含矿性及总有机碳含量划分下、中、上三个岩性段。研究识别出该地层组为一完整的三级层序 SQⅡ,自下而上可进一步划分为盆地-大陆斜坡-深水陆棚相沉积。以系统性的微量元素测定,发现该地层组总体富亲铜元素和亲铁元素,贫亲石元素,自下而上氧化还原敏感元素 V、Ni、Mo、Re、As、Gd、U 等富集程度依次降低;以 U/Th、δU、V/(V+Ni)、V/Cr 及 Ni/Co 比值判别式对沉积时期氧化—还原条件进行判断,指标进一步证实研究区牛蹄塘组盆地-大陆斜坡相沉积均位于氧化界面以下,属于贫氧-厌氧还原环境;至本组顶部,为贫氧-弱氧化沉积,以此进一步细化了研究区牛蹄塘时期沉积环境演化特征。

### [参考文献]


曹双林,潘家永,马东升,等 . 2004. 湘西北早寒武世黑色岩系微量元素地球化学特征[J]. 矿物学报, 24(4):415-419.

邓义楠,郭庆军,朱茂炎,等 . 2015. 湘西下寒武统牛蹄塘组黑色岩系的微量元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报,34(2):410-418.

贵州省地质调查院 . 2017. 中国区域地质志(贵州志)[M]. 北京:地质出版社 .

洪万华,叶飞,余万泽,等 . 2015. 1:5万钟灵、松桃县、盘信、牛郎幅区域地质调查报告[R]. 贵阳:贵州省地矿局 115 地质大队:42-59.

李胜荣,等 . 2000. 湘黔寒武系底部黑色岩系贵金属元素来源示踪[J]. 中国科学,30(2):169-174.

李胜荣,等 . 2002. 湘黔下寒武统铂族元素来源与矿化年龄的 Re-Os 同位素制约 . 中国科学(D 辑),32(7):568-575.

李苗春,姚素平,丁海,等 . 2013. 湘西牛蹄塘组黑色岩系的地球化学特征及其油气地质意义[J]. 煤炭学报,38(5):857-863.

梁超,姜在兴,郭岭,等 . 2011. 陆棚相黑色泥岩发育特征、沉积演化及页岩气勘探前景——以瓮安永和剖面牛蹄塘组为例[J]. 大庆石油学院学报,35(6):13-21.

林治家,陈多福,刘芊 . 2008. 海相沉积氧化还原环境的地球化学识别指标[J]. 矿物岩石地球化学通报,27(1):72-80.

马义波,唐佐其,谯文浪,等 . 2015. 贵州梵净山地区南华系-志留系沉积体系特征及其演化[J]. 贵州地质,32(1):15-20.

庞艳春,林丽,朱利东,等 . 贵州瓮安地区北斗山矿区寒武系牛蹄塘组的特征[J]. 地质通报,2011. 30(8):1245-1250.

谯文浪,马义波,唐佐其,等 . 2015. 1:5万梵净山、德旺、江口、凯德场幅区域地质调查报告[R]. 贵阳:贵州省地质调查院,54-68.

舒多友,吴自成,张命桥,等 . 2012. 黔东北地区钒矿石与围岩稀土元素地球化学特征及其意义[J]. 矿床地质,48(6):1118-1128.

舒多友,候兵德,张命桥,等 . 2014. 黔东北地区钒矿床地球化学特征及成因研究[J]. 矿床地质,33(4):857-869.

许淑梅,张晓东,翟世奎,等 . 2007. 海洋环境中氧化还原敏感性微量元素地球化学行为及环境指示意义[J]. 海洋地质动态,23(1):11-18.

晏国祥,等 . 2014. 贵州下寒武统黑色岩系中镍钼钒矿床特征及成因浅析[J]. 贵州地质, 31(1):38-44.

杨剑,等 . 2004. 黔北黑色岩系的岩石地球化学特征和成因[J]. 矿物学报,24(3):285-289.

杨恩林,吕新彪,鲍淼,等 . 2013. 黔东下寒武统黑色页岩微量元素的富集及成因分析[J]. 地球科学进展,28(10):1160-1169.

杨兴莲,朱茂炎,赵元龙,等 . 2007. 黔东前寒武纪-寒武纪转换时期微量元素地球化学特征研究[J]. 地质学报, 81(10):1391-1397.

袁宏,肖家飞,何熙琦,等 . 2007. 黔北牛蹄塘组的地球化学特征及形成环境[J]. 贵州地质,24(1):55-59.

张岳,等 . 2016. 贵州开阳磷矿地区下寒武统牛蹄塘组地层层序及其 As、Sb、Au、Ag 丰度异常与赋存状态研究[J]. 岩石学报,32(11):3253-3268.

周鹏,彭中勤,罗胜员 . 2018. 吉首斜坡带寒武系牛蹄塘组层序地层划分对比及有机碳含量变化探讨[J]. 地层学杂志,42

(1):9-17.
Shao-Yong Jiang et al, Trace- and rare-earth element geochemistry and Pb-Pb dating of black shales and intercalated Ni-Mo-PGE-Au sulfide ores in Lower Cambrian strata, Yangtze Platform, South China[J]. Miner Deposita, 2006, 41:453-467.
Yong Fu et al, New Re-Os Isotopic Constrains on the Formation of the Metalliferous Deposits of the Lower Cambrian Niutitang Formation [J]. Journal of Earth Science, 2016, 27(2):1-11.

# Sedimentology Characteristics and Sedimentary Environment Evolution in Niutitang Formation of Cambrianin Northeast Guizhou

**TANG Zuo-qi, LIU Ling-yun, QIAO Wen-lang, CHEN Wu, HUA Xing, LV Liu-yan, MA Yi-bo**

(1.*Guizhou Geological Survey*, *Guiyang* 550081, *Guizhou*, *China*; *Guizhou Research of Geologyand Geophysical prospecting devecoped and Applied Engineering Technology*, *Guiyang* 550081, *Guizhou*, *China*, *Cademician Workstation*, *Guizhou Geological Survey*, *Guiyang*550081, *Guizhou*, *China*; 2.102 *Geological Party*, *Guizhou Bureau of Geology and Mineral ExploraTion and Development*, *Zunyi* 563000, *Guizhou*, *China*)

[**Abstract**] Field investigation and systematic sampling of the Niutitang formation of the Cambrian system in Songtao - Jiangkou area of northeast Guizhou were conducted, Petrologic sequence stratigraphy and trace element geochemistry are the technical means, It is found that the stratigraphic rocks in this group are mainly composed of carbonaceous fine clastic rocks, The formation is identified as a complete three-level Sequence, From bottom to top, it can be divided into basin slope, continental slope and deep water shelf facies。The trace elements are rich in copper and iron, and poor in stone, It takes V、Ni、Mo、Re、As、Cd、Uand U/Th、δU、V/(V+Ni)、V/Cr、Ni/Co as index, It is further confirmed that the slope-continental slope facies of the Niutitang formation in the study area are all located below the oxidation interface, It belongs to the environment of anaerobic reduction, To the top of this group, there is a deep-water shelf facies deposition with low oxygen and weak oxidation, Seven REDOX stages were further divided, The sedimentary environmental conditions and evolution characteristics of Niutitang formation in the study area were refined。

[**Key words**] Northeast guizhou; Niutitang formation; Traceelement ; Sedimentary environment evolution