

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2015.01.006

贵州省镍钼钒多金属矿成矿地质特征 及其控制因素

陈 大

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院, 贵阳 550005)

摘要: 贵州省的镍钼钒多金属矿分为岩浆熔离型铜镍矿、热液型多金属矿床中的镍钼钒矿、沉积型镍钼钒矿和次生淋滤型镍钼矿等4种矿化类型。文章重点介绍了沉积型镍钼钒矿的成矿地质特征,分析了其成矿条件及找矿标志,探讨了黑色岩系底部镍钼钒多金属矿层的成因机理,提出了“白烟囱”型的成硅(磷)、成矿、生物爆发的形成机制和被动大陆边缘构造、岩相古地理、深部岩浆岩及断裂构造等控制因素。

关键词: 镍钼钒多金属矿;黑色岩系;矿化类型;控制因素;白烟囱;贵州省

中图分类号: P613;P618.6 **文献标识码:** A

分析了相应的成矿控制因素。

0 引言

黑色岩系为富含硫化物和有机质的暗色泥质岩、硅岩和碳酸盐岩组合,广泛分布于华南地区的寒武系黑色岩系中已发现赋存有60余种有用元素,其中的20多种达到工业利用指标,随着科学技术的不断发展以及人类需求的日益增长,其资源意义将会逐渐为人们所认识。黑色岩系代表了古代大洋的缺氧事件,是地质历史发展过程中具有重现性的时限沉积相,达到全球性或接近全球性的规模^[1],对黑色岩系的研究有着重要的地质环境意义。随着贵州寒武纪生命大爆发研究的开展,特别是寒武系底部热水生物群的发现^[2-3],海底热水流体活动对资源、环境、生命起源的重要意义已逐步显现出来^[4-5]。

关于华南地区寒武系黑色岩系及其金属层,前人已提出多种机制假设,但总体缺乏解释生命起源、环境演化(有机质、硅质、缺氧)与多元素富集(Mn, P, V, Ni-Mo)的共同机制,相应的矿床成因争论也就在所难免。为此,本文通过调查评价贵州省镍钼钒资源,用生命起源机制解释这三者共同的成因,并

1 区域地质背景

贵州省的大地构造单元为扬子陆块中的上扬子古陆块,包括川中前陆盆地、扬子陆块南部碳酸盐台地、上扬子东南缘被动边缘盆地、雪峰山陆缘裂谷盆地、南盘江—右江前陆盆地等5个三级构造单元^[6]。其中,梅树村阶的沉积型镍钼钒矿全都产于扬子陆块南部碳酸盐台地和上扬子东南缘被动边缘盆地中。

贵州的地层从新元古界—第四系均有出露,大部分地区层序完整、出露良好,化石丰富;除了黔东南梵净山群、板溪群火山变质岩、黔西二叠系的峨眉山玄武岩外,全省地层以石灰岩、白云岩为主,间或发育部分碎屑岩类,偶有硅质岩分布。

贵州的构造变形不很强烈,西部以NW向褶断带为主,中北部以侏罗山式褶皱为主,北部赤水、习水一带为盆地边缘平缓开阔褶皱带,东南部的雷公山过渡性剪切带和江南基底褶皱—冲断带则以NE向构造及一系列剪切、冲断构造的发育为特征,西南

收稿日期: 2014-03-12; **责任编辑:** 赵庆

作者简介: 陈 大(1969—),男,高级工程师,从事找矿勘查和矿床学研究。通信地址:贵州省贵阳市南明区宝山南路564号,贵州省有色金属和核工业地质勘查局;邮政编码:550005;E-mail: chenda@163.com

部为南盘江造山褶皱带。

上述各构造带和构造单元之间还分布着多组深大断裂,主要有 NE 向的松桃—独山断裂、开远—平塘隐伏断裂、新晃—凯里断裂、革东—西江断裂、铜仁断裂、孟溪—余庆断裂、钟灵—塘头断裂, NW 向的垭都—紫云断裂, EW 向的黔中—马场断裂、岩孔断裂, SN 向的贵定断裂、都匀断裂、三都断裂、白露断裂、石门坎断裂等。

1.1 区域地球物理特征

贵州的重力场由东向西逐次下降,铜仁为 -40 mGal,到威宁达 -215 mGal。全省被 2 条近 SN 向台阶状异常带和 1 条连接二者的近 EW 向重力低值带分成 4 个相对平稳的部分。东部 SN 向的台阶异常带由东北部的铜仁向南延展,经三穗、剑河、榕江向南西方向延入广西百色,该异常带为大兴安岭—太行山—武陵山重力异常梯级带的南延部分,贵州省内称为松桃—榕江重力梯级带;西侧的重力异常带自四川省盐津经赫章到水城,于水城滥坝附近折向南西,经盘县到云南罗平,为贺兰山—龙门山—乌蒙山重力异常梯级带的南延地段,称为赫章—水城—盘县重力梯级带;联结这 2 条近 SN 向梯级带的 EW 向重力低值异常带西起纳雍,东至三穗,异常等值线呈一系列向东突出的同形扭曲,称为滥坝—贵阳—三穗重力低值带。

根据重力异常资料,结合地质分析,全省划分出 3 条深大断裂带:松桃—榕江深大断裂带、赫章—滥坝—盘县深大断裂带和滥坝—贵阳—三穗等 3 条深大断裂带。另外,贵州布格重力异常图上显示,雷山—都江—从江一带是 1 个重力低值异常带,东段 2 个重力低,分别与吉羊花岗岩和元宝山花岗岩位置吻合,西段的雷山—都江重力低,推断深部有隐伏的花岗岩带存在。从兴仁起,经贞丰、紫云到广西南丹分布着 1 条链状重力低值异常带,在其南侧,沿南盘江(西起广西隆林,往东经凌云到巴马)还分布着 1 条与其平行的链状低值异常带,这 2 条链状低值异常带初步推断为花岗岩带。

贵州 1:1 000 000 航磁测量除榕峰—水城异常区、川黔异常区和黔桂异常区涉及贵州外,其余大部分地区磁场平缓;1:200 000 航磁成果中圈定了雷山—都江异常带,划分出三都—都江、镇远—施洞口 2 个“613”原生矿预测区、雷山多金属成矿远景区及 1 个铁矿找矿远景区。

全省地面放射性伽玛强度,以中部的纳雍—息烽地区、东部的黄平—荔波地区、西部的威宁—水城

地区最高;岩性以页岩中最高,石灰岩次之;地层中则出现下寒武统牛蹄塘组、下二叠统梁山组、上二叠统龙潭组(或吴家坪组)3 个异常层位。

1.2 区域地球化学特征

全省 1:200 000 地球化学图中, Cu, Pb, Zn 元素的丰度值较高; Ni 元素的丰度整体偏低,只是在新元古界、下寒武统、上泥盆统、下石炭统、上二叠统中较为富集,在中元古界及下寒武统中有镍矿化形成; V 元素在元古宇—侏罗系中均较富集,尤其在上震旦统、下寒武统、上二叠统及下三叠统中更为突出,下寒武统中已形成钒矿床。

Mo-V 或 Ni-Mo-V 组合异常主要分布在东部下寒武统牛蹄塘组、渣拉沟组及明心寺组碳质页岩、黏土岩、砂岩出露区,与该层位中的镍钼钒矿床吻合。 $w(\text{Ni})=50\times 10^{-6}\sim 200\times 10^{-6}$; $w(\text{Mo})=10\times 10^{-6}\sim 15\times 10^{-6}$,最高 50×10^{-6} ; $w(\text{V})=200\times 10^{-6}\sim 400\times 10^{-6}$,最高 $1\,000\times 10^{-6}$ 。其他以 Cr-Ni, Cu-Ni-V, Cr-Ni-Co-V, Cu-Pb-Zn-Co 组合异常出现,主要分布在贵州中西部地区。

2 镍钼钒矿的矿化类型

贵州省的镍钼钒矿分为 4 种类型:岩浆熔离型铜镍矿、热液型多金属矿床中的镍钼钒矿、沉积型镍钼钒矿和次生淋滤型镍钼钒矿。其中,岩浆熔离型铜镍矿、热液型多金属矿床中的镍钼钒矿和次生淋滤型镍钼钒矿均显示出矿点少、资源潜力有限的特点,而沉积型镍钼钒矿的赋矿层位分布广泛,已知矿床(点)众多,伴生金属元素较多,具有较大的找矿潜力,是主要的矿化类型。

2.1 岩浆熔离型铜镍矿

该类型矿化分布在梵净山地区的黑湾河、盘溪沟、凤凰山一带,已查明有桑木沟和两岔河 2 个矿化带,均赋存于梵净山群回香坪组第六段顶部的变质超基性岩中,为辉绿岩—超基性岩组合。变质超基性岩顺层分布,为磁性不均匀的弱磁性体,一般可分 4 个相带:①顶部酸性角斑岩—杏仁状辉绿岩带;②上部辉绿岩—辉长岩带;③中部及中下部辉石岩—橄榄辉石岩—辉石橄榄岩带;④下部辉石岩—辉绿岩—杏仁状辉绿岩带。矿化带一般赋存于辉石岩—橄榄辉石岩—辉石橄榄岩相带中。

桑木沟矿化带位于梵净山背斜南东翼的次级芋头当背斜北西翼与瓦溪断层之间的挤压带上,主要

有桑木沟、大转弯、陈家沟、长溪沟4处矿点;两岔河矿化带有两岔河、青龙洞2处矿点。桑木沟获镍金属表外地质储量8 220 t,两岔河获镍金属地质储量1 333 t。主要金属矿物为磁黄铁矿、黄铜矿、针镍矿、镍黄铁矿、钴镍黄铁矿等,平均 $w(\text{Ni})=0.12\%\sim 0.17\%$,矿石呈星散状、细脉状、浸染状、块状等。

2.2 热液型多金属矿床中的镍钼钒矿

(1) 钒铅锌矿、钼铅锌矿。主要分布在黔西北的赫章、威宁、水城一带,赋矿地层以石炭系为主,主要矿床(点)有耿家寨钒铅锌矿、横塘钒铅锌矿、五里坪钼铅锌矿等;横塘和五里坪为小型矿床,其余均为矿点。矿石的金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及其氧化矿物,钒矿物为钒铅矿 $[\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}]$,同时伴生有As。五里坪钼铅锌矿床的矿石矿物主要有钼铅矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,次为菱锌矿、水锌矿、白铅矿、黄铜矿、褐铁矿等,脉石矿物为重晶石、石英、白云石、黏土或泥质等;矿石呈自形-半自形晶粒结构、角砾结构、交代假象结构、裂隙充填结构、包粒结构等,还有碎粒-碎斑结构、砾屑结构,具角砾状构造、块状构造。矿石品位 $w(\text{Mo})=0\sim 2.67\%$, $w(\text{Pb})=0.41\%\sim 10.00\%$, $w(\text{Zn})=0.62\%\sim 32.97\%$,伴生的Ga,Ge,Ag元素达到综合利用的要求^[8]。

(2) 汞铀钼矿、镍铀钒矿。已知矿床(点)有兴义大际山、开阳白马硐(属人工次生型,冶炼炉渣)和水城大水沟等。大际山的矿层厚度0.53~12.10 m,一般厚2 m,具黄铁矿化、碳化、轻微硅化等蚀变,矿石品位 $w(\text{Mo})=0.31\%\sim 3.64\%$,获钼金属储量3 202 t,但钼矿物的组分尚未查清;水城大水沟获镍金属储量27.9 t,钼金属储量2.3 t,矿石矿物以沥青铀矿、钼钙铀矿及含铀褐铁矿为主,次为辉镍矿、硫铁镍矿及针镍矿;矿石具细脉状和角砾状构造。

2.3 沉积型镍钼钒矿

沉积型镍钼钒矿分布较为广泛。钒矿主要分布于铜仁—松桃—万山一带、施秉—镇远—天柱一带、黔北遵义松林—金沙岩孔、湄潭背斜蔡家沟;钼矿分布于湄潭背斜、松桃—铜仁—万山一带,多呈透镜状夹于钒矿层中;镍钼矿主要与黄铁矿组成黄铁矿型镍钼“金属层”,主要分布于纳雍张维背斜、织金果化背斜及桐子背斜中,在金属层之下有时含镍钼也较高。总体来说,东部以钒矿化为主,西部以镍钼矿化为主,中部及北部大部分地段则镍钼钒矿化均有。

矿化主要赋存于下寒武统梅树村阶中,可分为黄铁矿型和碳质页岩型2个亚类。黄铁矿型即镍钼

“金属层”,主要矿物有红砷镍矿、紫硫黄铁矿、硫钼矿及少量针铁矿、二硫镍矿、闪锌矿,伴生黄铁矿,由碳质-粉砂质组成基底,具砾屑及生物屑结构,叠层状、滑动状、生物搅动状构造;碳质页岩型主要矿物为胶磷矿、石英、重晶石、黄铁矿,未见镍钼钒的独立矿物,陈建华等^[9]认为钼以胶状硫钼矿集合体产出,钒则多以类质同象赋存于黏土矿物水云母中。这类矿床(点)较多,并往往与磷块岩、重晶石等伴生,有大河边、新土沟、松林、半溪、坝黄等矿床(点)。

2.4 次生淋滤型镍钼矿

现有天柱板寨镍矿点、纳雍下木溪镍矿点、金沙干沟坝钼矿点,镍钼矿层主要产于第四系残坡积层或黏土层中,分布有限,品位不高,工业意义不大。

3 沉积型镍钼钒矿的成矿地质特征及矿床实例

沉积型镍钼钒矿分布较为广泛,全省大部分地区都有。钒矿主要分布于东部铜仁—松桃—万山、施秉—镇远—天柱一带,其他地段中偶有零星产出;镍钼矿主要分布于西部纳雍张维背斜、织金果化背斜、桐子背斜和清镇一带;黔中、黔北的大部分地区均有镍钼钒矿化,或以其中一种、两种矿化为主。矿化层位为下寒武统梅树村阶,包括Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ矿层,其中Ⅰ矿层主要为钒的矿化,Ⅱ矿层较为稳定,为主要矿化层位(图1)。

(1) Ⅰ矿层主要产于牛蹄塘组底部含磷碳质页岩和留茶坡组上部的硅质岩夹碳质页岩及硅质磷块岩中,矿体呈透镜状,厚0.2~1.41 m,最厚处>2 m,此矿层主要为钒矿化, $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.1\%\sim 0.54\%$,主要分布于松桃新场—铜仁半溪—镇远火石洞一带。

(2) Ⅱ矿层为主要含矿层位,习称“黑层”或“金属层”;产于下寒武统牛蹄塘组下段及九门冲组、木昌组、渣拉沟组底部之碳质页岩中,赋存金属元素主要为Ni,Mo,V,往往以其中一种或两种矿化为主。部分地段尚有Co,Gr,Yb等元素,品位接近工业要求,矿层分布较稳定,长度往往可达数千米,但厚度普遍较薄(0.35~4.24 m),个别厚度可达37.44 m^[10],矿石 $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.51\%\sim 4.5\%$,一般1%左右,个别高者可达15.76%; $w(\text{Mo})=0.03\%\sim 0.05\%$,高者可达0.32%, $w(\text{Ni})=0.01\%\sim 0.1\%$ 。

(3) Ⅲ矿层亦为镍钼钒的含矿层位,但分布不如Ⅱ矿层普遍,产出层位为牛蹄塘组下段顶部及九门

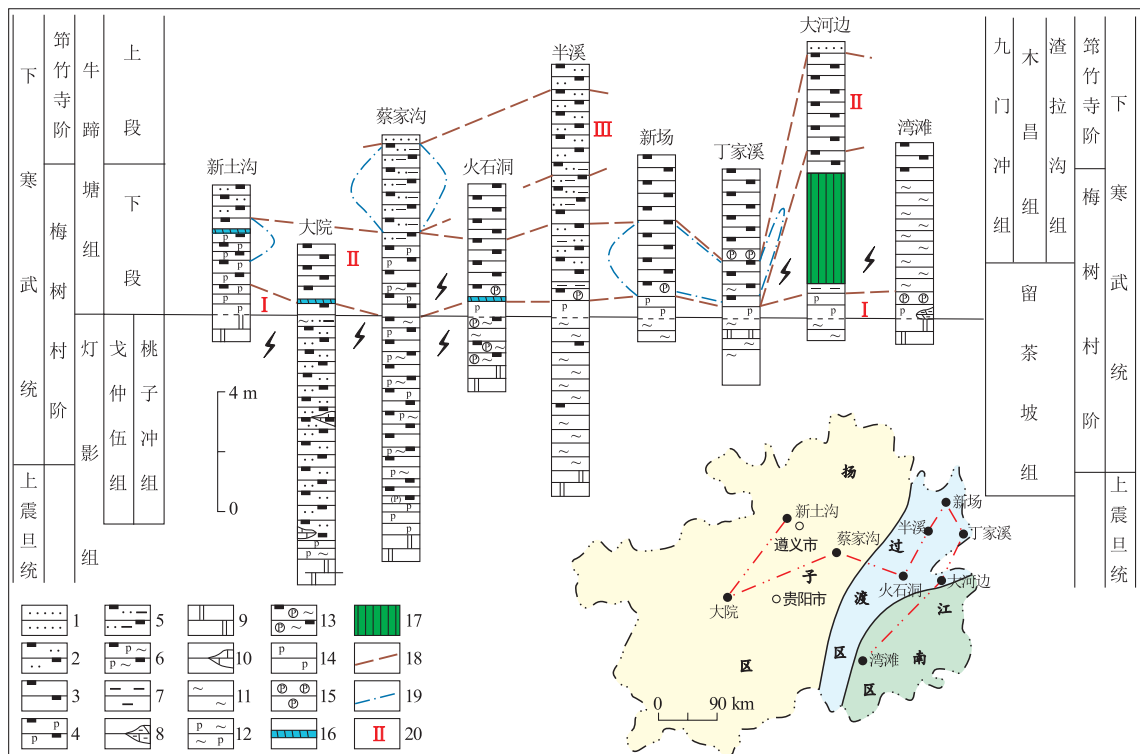


图1 贵州镍钼钒矿对比

Fig.1 Comparison of Ni-Mo-V ore horizons in Guizhou province

1. 砂岩; 2. 碳质粉砂岩; 3. 碳质页岩; 4. 含磷碳质页岩; 5. 碳质粉砂质黏土岩; 6. 含磷硅质碳质页岩; 7. 黏土岩; 8. 铁质黏土; 9. 白云岩; 10. 碳质灰岩透镜体; 11. 硅质岩; 12. 含磷硅质岩; 13. 含磷结核碳质硅质岩; 14. 硅质磷块岩; 15. 结核状磷矿; 16. 镍铜金属层; 17. 重晶石矿; 18. 钒矿层对比线; 19. 钼矿层对比线; 20. 矿体编号

冲组、木昌组、渣拉沟组下部。含矿岩石与Ⅱ矿层基本相同,主要为碳质页岩、粉砂质碳质页岩及含硅质细砂岩。西部以产镍钼为主,钒仅在东部见及;此外,部分地区(织金大院)的Co, Cu, Zn, Pt, Pd, Ag等元素品位接近或达到工业要求,矿层呈似层状、透镜状,厚0.02~0.68 m,个别可达4.8 m,矿石 $w(\text{Ni}) = 0.04\% \sim 8.04\%$, $w(\text{Mo}) = 0.004\% \sim 8.42\%$, $w(\text{V}_2\text{O}_5) = 0.51\% \sim 0.66\%$ 。

此外,镍钼钒矿所赋存的黑色岩系往往是多种元素(PGE, REE, Au, Ag, Ni, Mo, V, Cu, Pb, Zn, Se, U, Tl, Cd, As等)的重要载体,其中产出石煤、重晶石、磷、多金属矿等许多大型、超大型矿床。

3.1 西部地区镍钼矿成矿地质特征

西部地区以镍钼矿化为主,分布于纳雍水东—织金大院、清镇桃子冲一带,矿化赋存于纳雍张维背斜、织金果化背斜、桐子背斜及清镇桃子冲背斜中,含矿层位为假整合于上震旦统灯影组之上的牛蹄塘组,是以灰绿色页岩及黑色碳质页岩为主的浅海相沉积,厚130~159 m,多分为3个岩性段,底部为黑色硅质岩及磷块岩夹黑色高碳质页岩(第一段,含矿

岩系或含磷岩系),下部为黑色高碳质页岩(第二段),中上部为黑色碳质页岩夹灰绿色砂质页岩,含三叶虫*Tsuningidiscus*等(第三段)。

通常将三叶虫出现以前的第一段和第二段作为牛蹄塘组的下段(等同于梅树村阶上段),其中灰绿色页岩出现前的碳质页岩段为黑色岩系,下伏含磷岩系或上磷矿段,镍钼金属层在区域地层对比中被视为含磷岩系与碳质页岩段的分界,也有研究者将其划分为黑色岩系的底部岩性段^[11]。但近年多把底部的磷块岩作为相关矿产一起研究^[12],也把底部硅质岩作为分析环境的一种手段^[13]。因此,作为通常意义的黑色岩系,其空间概念实际指牛蹄塘组下段的地层,其顶界以三叶虫或灰绿色页岩的出现为标志,底界以与灯影组之间的假整合面为限。西部地区的镍钼矿化以水东一大院钼矿为例叙述如下。

(1)含矿岩系。水东一大院钼矿位于纳雍县水东乡—织金县大院一带,含矿岩系主要为灰黑色碳质泥页岩+镍钼金属层+硅磷质组合,其中灰黑色碳质泥页岩厚度变化较大,一般14~68 m,向北有增厚趋势,镍钼金属层+硅磷质层厚7~20 m,一般

为7~12 m。垮桥一带地层剖面的层序从上到下为:

⑥黑灰-灰黑色碳质页岩、泥岩,由下向上碳质减少,颜色变浅,局部地段底部2 m范围含微量钼多金属元素,厚14.47 m;

⑤灰黑色透镜状含胶磷矿碳质泥岩及灰岩,顶部为黄铁矿型镍钼多金属层(Ⅱ矿层),厚15~25 cm;

④灰黑色薄层夹中厚层纹状粉砂质泥岩,中下部粉砂质较发育,并含灰岩透镜体及硅质、磷质结核,底部泥岩含胶磷矿及硅质,厚7.38 m;

③黑色磷片状高碳质泥岩,含黄铁矿结核,下部含磷,上部为伽玛异常层位,厚60 cm;

②深灰色中厚层鲕状含硅质磷块岩,厚45 cm,含软舌螺 *Circotheca* sp.;

①古风化壳,为黄褐色铁质黏土,厚0.3~0.5 m。

织金大院一带的牛蹄塘组的岩性层序从上到下为^[14]:深灰色板状碳质泥岩→黑色薄片状富碳质页岩→金属层→灰色硅质粉砂岩或硅质岩→灰色粗粒-中粒结晶泥灰岩→灰色含碳泥质粉砂岩→含磷硅

质岩或硅质磷块岩;下伏灯影组硅质白云岩。

(2)矿床特征。纳雍水东-织金大院钼矿区呈一NE向复背斜构造,从北西向南东依次为龙场背斜、路咀向斜(新厂向斜)、岩口背斜、羊场向斜、沙场背斜,形成北部以新厂断层为界、南部以沙场背斜为界,宽缓褶曲相对发育的NE向椭圆状穹隆构造,核部为震旦系、寒武系,翼部依次为石炭系、二叠系及三叠系(图2)。矿区以Ⅱ矿层为主,为含镍钼黄铁矿型金属层,赋存于下寒武统牛蹄塘组下段含矿岩系的中下部,一般层厚几厘米到几十厘米,局部有加厚,厚度变化明显,呈似层状、豆荚状或层纹状产出,层位相对稳定,连续性较好,产状 $5^{\circ}\sim 13^{\circ}$,矿石含Ni、Mo,品位变化较大,伴生Zn、Cu、Ag、Co达综合利用要求。矿石中矿物组分简单,矿石矿物以黄铁矿、含镍黄铁矿、胶硫钼矿为主,脉石矿物主要为水云母等黏土矿物,近地表处有大量赤铁矿、褐铁矿,矿石多呈他形-半自形细-微粒结构,胶状、层纹状构造。

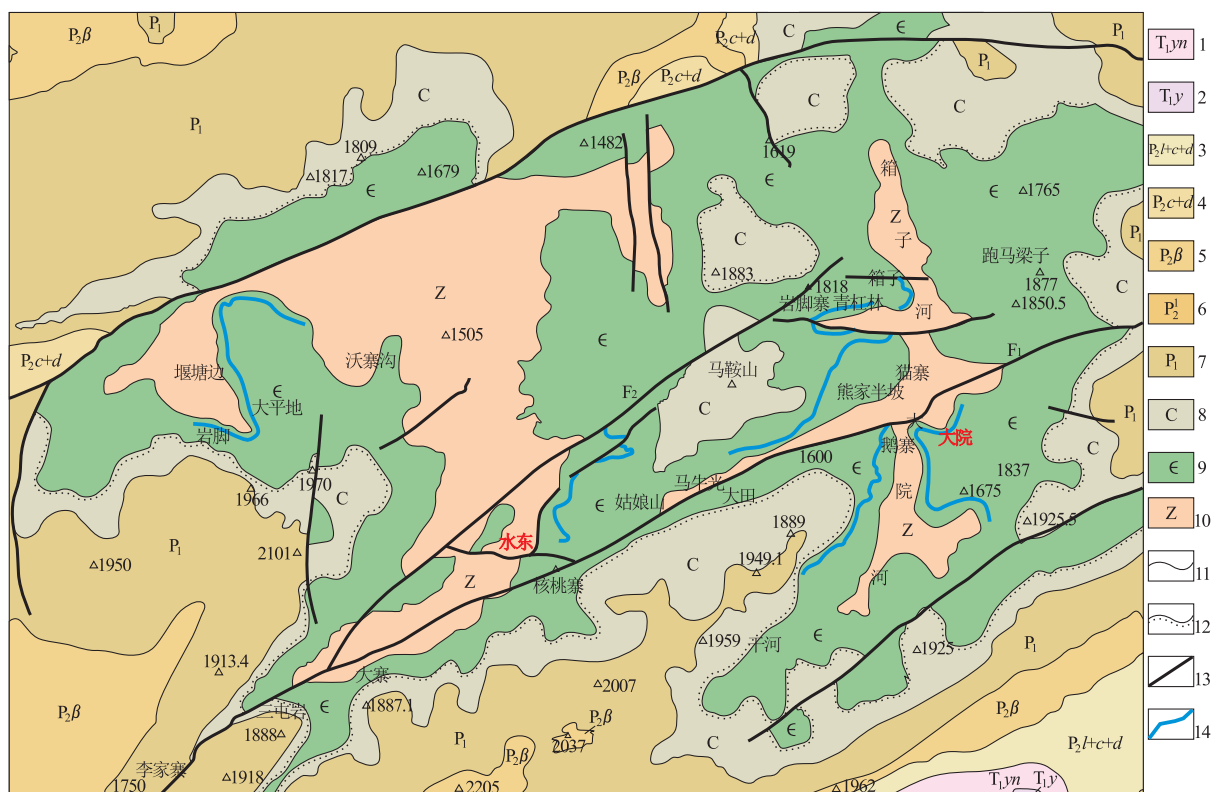


图2 水东-织金大院钼矿区地质图

Fig. 2 Geological map of Shuidong-Zhijindayuan Mo deposit in Guizhou province

1. 下三叠统永宁镇组:灰色中厚层状灰岩夹白云质泥岩;2. 下三叠统飞仙关组:紫红-灰绿色砂泥岩夹粉砂岩;3. 上二叠统龙潭组+长兴组+大隆组:砂泥岩夹硅质灰岩;4. 上二叠统长兴组+大隆组:硅质灰岩夹泥灰岩;5. 上二叠统龙潭组峨眉山组:玄武岩;6. 上二叠统龙潭组底部:褐黄色黏土岩夹砾岩;7. 下二叠统:灰岩夹砂泥岩;8. 石炭系:灰色灰岩及白云岩;9. 寒武系:碳质页岩、砂页岩及白云岩;10. 震旦系:灰白色厚层状白云岩;11. 地质界线;12. 不整合界线;13. 断裂;14. 钼矿层

连续,呈似层状,局部呈豆荚状、扁豆状,与地层产状一致,矿化富集程度与含矿岩系厚度一般呈正相关关系。各矿体及矿石特征(从上至下)描述如下。

④碳质泥岩型镍钼矿体(次镍钼层):位于含矿岩系顶部,分布不连续,呈透镜状、似层状,顶界与围岩界线不清,靠采样化验控制, $w(\text{Ni})=0.05\%$, $w(\text{Mo})=0.1\%$,厚 $0\sim0.5\text{ m}$;

③黄铁矿型镍钼矿体:位于次镍钼层之下,顶底板界线清楚,肉眼可区分,呈薄层状,分布连续稳定, $w(\text{Ni})=3\%\sim6\%$,平均 3.5% , $w(\text{Mo})=5\%\sim8.8\%$,平均 7.1% ;矿石呈深灰色、灰黑色,为含钼镍矿和黄铁矿的碳质泥页岩、粉砂质泥页岩,黄铁矿条带发育,风化后有褐铁矿皮壳及薄膜;具粉砂泥质结构,微层理及条带状构造;金属矿物有辉钼矿、红砷镍矿、针镍矿、紫硫镍铁矿、闪锌矿、黄铁矿等,脉石矿物有石英、碳质、硅泥质、胶磷矿等。

②碳质页岩型镍钼钒矿体:位于“金属层”之下,顶底板界线清楚,呈层状产出,分布连续, $w(\text{Ni})=0.052\%\sim0.199\%$, $w(\text{Mo})=0.048\%\sim0.35\%$, $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.511\%\sim1.468\%$,厚度 $0.33\sim1.15\text{ m}$ 。

①高碳质页岩型钒矿体:位于磷块岩层之上,顶底板界线清楚,层位稳定,分布全区, $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.526\%\sim0.936\%$,平均 0.8% 。

3.3 黔东南地区钒(镍钼)矿成矿地质特征

黔东南地区的铜仁—松桃—万山一带为以钼钒矿化为主的过渡区,伴有磷、铀、重晶石矿化,镍矿化较弱;在天柱地区,钒矿化伴随重晶石矿化出现。含矿建造为包括留茶坡组顶部的硅质岩夹碳质页岩及硅质磷块岩和上部的九门冲、木昌组底部的碳质页岩。特以江口县半溪钒矿为例说明其矿化特征。

半溪钒矿位于江口县坝盘乡。矿床产于坝盘背斜南西倾伏端,出露地层有板溪群、震旦系、下寒武统;含矿地层为下寒武统九门冲组和震旦—寒武系留茶坡组,地层倾角 $10^\circ\sim35^\circ$;矿床规模为小型。由于黔东南—湘西地区的含矿岩系研究程度不高,因此仅对含矿层进行阐述。本区的3个矿层自下而上为:

I 矿层(留茶坡组顶部)。硅质磷块岩,厚 $0.2\sim1.41\text{ m}$,平均 0.49 m ; $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.2\%\sim0.54\%$,平均 0.33% ,含矿系数 0.75 ; $w(\text{U})=0.02\%\sim0.042\%$,平均 0.028% ,含矿系数 0.5 ; $w(\text{REE})=0.084\%\sim0.157\%$,平均 0.117% ;另有10件样品中 $w(\text{Y}_2\text{O}_3)=0.05\%$ 。

II 矿层(主要含钒层)。黑色鳞片状碳质页岩,

向上为黑色粉砂质碳质页岩,厚 $0.9\sim4.24\text{ m}$,平均 2.41 m ; $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.59\%\sim1.04\%$,平均 0.74% ; $w(\text{Mo})=0.002\%\sim0.016\%$; $w(\text{Ni})=0.005\%\sim0.01\%$;中部夹有一层黑色含粉砂质黏土质碳质页岩,厚 $1.2\sim2.20\text{ m}$,平均 1.77 m ; $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.018\%\sim0.46\%$,平均 0.34% ;区域地质志及有关资料^[16]将该矿层归属于九门冲组一段的底部。

III 矿层(次含矿层)。黑色含粉砂质、黏土质碳质页岩,厚 $1.35\sim4.80\text{ m}$,平均 2.84 m ; $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.56\%\sim0.66\%$,平均 0.60% ; $w(\text{Mo})=0.018\%$, $w(\text{Ni})<0.015\%$;靠近矿层底部夹有硅质岩,可作为标志层,由于工作程度较低,矿层不稳定。

矿床主矿层含钒稳定,矿石具泥质和鳞片结构,仅见独立的钒矿物,仅见少量黄铁矿。

3.4 黔东南地区磷铀钒为主的矿化特征

黔东南钒的矿化分布于剑河南明—剑河—三都—一线以东地区,该区分布着大量的火山变质岩系,属于江南地层区,其含矿建造为渣拉沟组黑色黏土岩,内含磷结核。

渣拉沟组主要为黑色碳质页岩,富含黄铁矿结核,中、上部夹少量砂质页岩,上部碳质减少,渐变为砂质黏土岩,底部有 4 m 厚的黑色薄层硅质岩夹结核状磷块岩,向南、向北逐渐增厚,在三都附近厚 91 m ,南部水洋一带厚约 200 m ,北部里略一带厚达 248 m ,与上覆都柳江组及下伏老堡组均为整合接触。

矿化主要赋存于底部黑色薄层硅质岩夹结核状磷块岩与黑色碳质页岩中,以磷铀钒矿化为主,伴生有铂多金属矿化。发现有三都渣拉沟、湾滩、里略等矿化点,工作程度极低。以渣拉沟矿点为例说明其矿化特征。

渣拉沟矿点位于三都县城东部,以磷钒矿化为主,矿化层为下寒武统渣拉沟底部,震旦系假整合面之上,产状与上覆岩层一致,倾向 $35^\circ\sim40^\circ$,常见有挠曲现象,呈层状,厚 $0.2\sim2\text{ m}$,一般 $0.5\sim1\text{ m}$,平均 0.75 m ,向南北两端尖灭,矿化主要赋存于硅质岩之上含磷结核的含石煤碳质页岩中,透镜状,厚 $0.5\sim1.5\text{ m}$,磷结核大小不等,直径 $0.5\sim3\text{ cm}$,顺层排列,分布极不均匀。块状磷块岩 $w(\text{P}_2\text{O}_5)=10.05\%\sim33.91\%$,平均 13.30% ; $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.257\%$,伴生铀的矿化。此外,里略矿点 $w(\text{P}_2\text{O}_5)=15\%\sim25\%$, $w(\text{U})=0.01\%\sim0.05\%$, $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.1\%\sim0.76\%$ 。

4 成矿控制因素

决定矿床分布的基本因素不外乎两个方面,其一为物源,其二为包括构造、岩浆活动、地层(包括岩相古地理)、区域地球化学、古水文地质等的地质作用^[17]。而关于本类矿床的成矿控制因素,除久凯等(2012)提出了古构造、古气候与海平面变化、上升洋流、海底热液活动等因素外,较少有人论及,其原因主要在于:①同类矿床的勘探实例较少;②含矿岩系的研究程度较低;③矿床成因的分歧较大;④相应的研究工作较少,震旦纪—寒武纪黑色岩系与相应矿产、古生物之间的研究亦不多见。

4.1 矿床成因与物质来源

施春华等^[22]总结了本类矿床可能为陨石撞击同沉积、岩浆火山碎屑、海水、热水、多元素差异来源成因等5种模式。本文通过对含矿岩系的研究,归纳出以下特点:

(1)西部地区:上部的黑色碳质页岩中不含矿,镍钼多金属层发育于底部的硅质-磷质岩与其上的碳质页岩的过渡地段。

(2)黔北地区:镍钼多金属层产于底部的硅磷质岩与碳质泥页岩过渡的粉砂质、碳泥质岩段,在硅磷质减少、碳质出现前或出现初期,通常会有镍钼多金属矿化的出现。

(3)黔东南地区:含钒矿层产于硅质岩即将消失(先是磷质消失)、黏土质开始增多,但必须有薄层硅质岩夹层存在的层位中。

上述岩性变化显示了海侵或水体逐步加深的过程。对遵义松林地区的研究表明,尽管证明了海底热液喷口及相关生物群的存在^[18],但松林生物群^[19]却出现在镍钼金属层的顶部,说明生物作用和碳同位素负异常^[20]存在滞后性特点;而对硅质岩的研究显示^[21],该套岩系中分散元素Se的富集可能与大量硫化物的存在、热水沉积作用和火山作用有关^[17];近年的研究显示,早期的碳可能由深源碳与海相碳酸盐岩共同提供^[22],研究还证明^[23-24],来自长英质岩浆的海底深部热流体系统极度富集两类气体(CO_2 烃类流体和盐水流体), CO_2 - CH_4 - H_2S 气体或流体的大量存储及其与盐水流体的反应效应导致金属硫化物的工业堆积。这样,如果把上部碳质页岩的形成归因于生物的大量繁殖,一个白烟囱型的海底热液喷口^[25]基本可解释这样的事件序列:硅

磷质沉积—镍钼硫化物—生物爆发,这其中碳的无机形成^[26]解释了生物爆发的成因^[27],而某些孔状或椭圆状结构的存在^[18]可能说明为白烟囱结构的部分。冯军等认为^[28],在黑烟囱附近生活的嗜热细菌和古细菌在基因组序列上最接近地球上原始的祖先,生活环境也与生命起源时地球上的高温、缺氧环境非常类似,这样的现象与寒武纪生命大爆发结果相吻合。

周明忠等^[29]在遵义牛蹄塘组底部发现的凝灰岩及其精确锆石 U-Pb 年龄(518 ± 5) Ma 和其上部 Ni-Mo 多金属矿层 Re-Os 定年 537~542 Ma 的年龄^[30-32],解释为岩浆房的成矿物质经火山作用喷出后沉积成矿。

作者据此认为,海底白烟囱模式以及间隙期的喷流热泉作用可能更好地解释各种地质的、矿化的、生物的形成环境问题^[12,33-34]。

4.2 被动大陆边缘背景下的构造控制与岩相古地理环境

对于区域构造环境,有人认为是非补给性的封闭性浅水海盆^[35]或深水缓坡-浅水滞留海环境^[36],但多项研究认为是较深的浅海低能滞留、缺氧还原的台地边缘环境^[37]。在 Rodinian 超大陆裂解的全球构造背景下^[25],区域当处于被动大陆边缘拉张性裂谷或裂陷槽的环境^[38],伸展构造较为发育,从洋到陆,往往发育有裂谷盆地-裂陷槽-挠曲盆地序列,中间间夹浅水区,从目前分布格局看,基本可分为3个有隔挡的槽盆^[39],向南越过云开古陆后,进入远洋盆地,这一格局基本满足 Lehmann 等^[40]所构建的海水成矿模式,但随着超大陆裂解的发展,逐渐融入了热水的、火山的、生物的因素^[18,41],这与织金磷矿稀土元素所显示的具有正常海相沉积并伴有海相热水沉积混合成因特征^[42]相吻合,也基本与“磷矿形成可能与幔源物质的加入”的结论不矛盾。如前所述,有机质和磷都能在深水海底产生,这也解决了生物大爆发所必需的物质基础。

综上所述,位于扬子中部的裂陷槽及其南、北两侧的隔挡(图4)控制了湘黔两地多金属矿层的分布。

4.3 深部岩浆岩及断裂构造控制

随着研究的深入,人们越来越认识到沉积矿床形成过程中深部岩浆岩及断裂构造的作用^[43]。而岩浆房或隐伏岩体主要有提供物质、热源以及 F^- , Cl^- 等矿化剂的作用,后期可能对成矿还有改造与富集作用。断裂构造则在控制盆地展布及岩浆房的

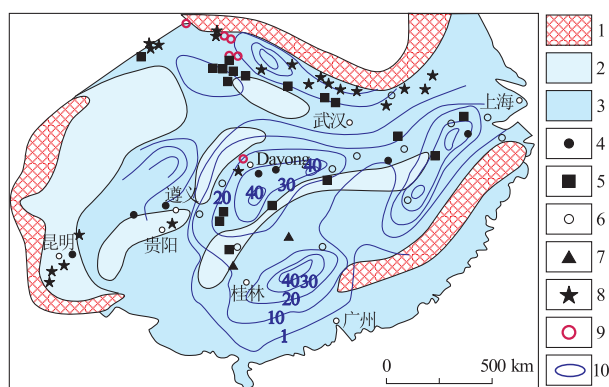


图4 华南地区晚新元古代至早寒武纪岩相古地理简图^[42]

Fig. 4 Lithofacies palaeogeographic sketch of the late Neo-Proterozoic to Early Cambrian in southern China

1. 古陆; 2. 浅海相; 3. 深海相; 4. 镍-铜-铅-金矿; 5. 重晶石矿;
6. 钒矿; 7. 铀矿; 8. 磷矿; 9. 锰矿; 10. 石煤等厚线/m

演化、岩浆与流体上侵等方面都起着重要作用。

参考文献:

- [1] 范德廉. 含金属黑色岩系及锰矿床[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1988(2): 84-86.
- [2] 杨瑞东, 朱立军, 高慧, 等. 贵州遵义松林寒武系底部热液喷口及与喷口相关生物群特征[J]. 地质论评, 2005(5): 3-14, 131.
- [3] 杨瑞东, 鲍森, 魏怀瑞, 等. 贵州天柱寒武系底部重晶石矿床中热水生物群的发现及意义[J]. 自然科学进展, 2007, 17(9): 1304-1309.
- [4] 陈多福, 陈光谦, 陈先沛, 等. 岩石圈热水流体作用的环境效应研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997(4): 35-36.
- [5] 孙省利, 陈践发, 刘文汇, 等. 海底热水活动与海相富有机质层形成的关系: 以华北新元古界青白口系下马岭组为例[J]. 地质论评, 2003(6): 588-595.
- [6] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [7] 顾尚义, 万国江, 毛健全, 等. 富砷钒铅矿在贵州横塘的发现与研究[J]. 矿物学报, 2002(1): 15-18.
- [8] 邓克勇, 张正荣, 金翔霖. 贵州省赫章县五里坪钼(铅锌)矿地质特征及成因浅析[J]. 贵州地质, 2007, 24(3): 179-184.
- [9] 陈建华, 彭家强, 温官国. 贵州松桃下寒武统九门冲组钼钒矿的赋存状态初步研究[J]. 贵州地质, 2007(3): 185-187, 243.
- [10] 曾昭光, 陈启飞. 贵州省构皮滩厚大钼钒矿体的发现及成矿模式探讨[J]. 西部探矿工程, 2012(4): 120-123.
- [11] 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(8): 1245-1250.
- [12] 施春华, 曹剑, 胡凯, 等. 黑色岩系矿床成因及其海水、热水与生物有机成矿作用[J]. 地学前缘, 2013(1): 19-31.
- [13] 冯彩霞, 刘燊, 胡瑞忠, 等. 遵义下寒武统富硒黑色岩系地球化学: 成因和硒富集机理[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2010(6): 947-958.
- [14] 贵州省地质局 115 地质大队. 贵州省织金县大院镍钼矿区普

查报告[R]. 贵阳: 贵州省地质矿产局, 1977.

- [15] 贵州省地质局 102 地质大队. 贵州省遵义县松林至金沙省县岩孔镍、铜、钒矿普查地质报告[R]. 贵阳: 贵州省地质矿产局, 1981.
- [16] 杨宗文. 黔东“黑层”钒矿基本特征及成因初探: 以贵州镇远县江古钒矿为例[J]. 贵州地质, 2008(1): 31-34, 50.
- [17] 郑明华, 张斌. 论金属矿床形成的矿源层控制[J]. 成都地质学院学报, 1985(1): 1-13.
- [18] 施春华, 曹剑, 胡凯, 等. 华南早寒武世黑色岩系 Ni-Mo 多金属矿床成因研究进展[J]. 地质论评, 2011(5): 718-730.
- [19] 杨瑞东, 张位华, 姜立君, 等. 澄江生物群分子在贵州遵义牛蹄塘组发现[J]. 地质学报, 2003(2): 145-150, 289.
- [20] 杨瑞东, 朱立军, 王世杰, 等. 贵州寒武系底部碳同位素异常的地层学和生物学意义[J]. 地质学报, 2005(2): 157-164.
- [21] 冯彩霞, 池国祥, 胡瑞忠, 等. 遵义黄家湾 Ni-Mo 多金属矿床成矿流体特征: 来自方解石流体包裹体、REE 和 C、O 同位素证据[J]. 岩石学报, 2011(12): 3763-3776.
- [22] 张洪铭, 李曙光. 深部碳循环及同位素示踪: 回顾与展望[J]. 中国科学: 地球科学, 2012(10): 1459-1472.
- [23] 侯增谦, 张绮玲. 冲绳海槽现代活动热水区 CO₂-烃类流体: 流体包裹体证据[J]. 中国科学: 地球科学, 1998, 28(2): 142-148.
- [24] 侯增谦, 艾永德, 曲晓明, 等. 岩浆流体对冲绳海槽海底成矿热水系统的可能贡献[J]. 地质学报, 1999(1): 57-65.
- [25] Chen D, Wang J, Qing H, et al. Hydrothermal venting activities in the Early Cambrian, South China: Petrological, geochronological and stable isotopic constraints [J]. Chemical Geology, 2009, 258(3/4): 168-181.
- [26] 赵洪伟, 龚建明, 陈建文, 等. 与火山-热液作用有关的海洋天然气水合物[J]. 石油实验地质, 2005(4): 395-398, 403.
- [27] 李江海, 初凤友, 冯军. 深海底热液微生物成矿与深部生物圈研究进展[J]. 自然科学进展, 2005(12): 1416-1425.
- [28] 冯军, 李江海, 陈征, 等. “海底黑烟囱”与生命起源述评[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2004(2): 318-325.
- [29] 周明忠, 罗泰义, 李正祥, 等. 遵义牛蹄塘组底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 2008(1): 104-110.
- [30] 李胜荣, 肖启云, 申俊峰, 等. 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[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2002(7): 568-575.
- [31] Jiang S, Yang J, Ling H, et al. Re-Os isotopes and PGE geochemistry of black shales and intercalated Ni-Mo polymetallic sulfide bed from the Lower Cambrian Niutitang Formation, South China[J]. Progress in Natural Science, 2003, 13(10): 788-794.
- [32] Mao J, Lehmann B, Du A, et al. Re-Os Dating of Polymetallic Ni-Mo-PGE-Au Mineralization in Lower Cambrian Black Shales of South China and Its Geologic Significance[J]. Economic Geology, 2002, 97(5): 1051-1061.
- [33] 戴宝章, 赵葵东, 蒋少涌. 现代海底热液活动与块状硫化物矿床成因研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004(3): 246

- 254.
- [34] 牛向龙, 李江海, 冯军. 海底硫化物黑烟囱典型结构构造及其成因意义[J]. 高校地质学报, 2004(4): 535 - 544.
- [35] 陈南生, 杨秀珍, 刘德汉, 等. 我国南方下寒武统黑色岩系及其中的层状矿床[J]. 矿床地质, 1982(2): 39 - 51.
- [36] 张位华, 姜立君, 高慧, 等. 贵州寒武系底部黑色硅质岩成因及沉积环境探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003(2): 174 - 178.
- [37] 杨剑, 易发成. 贵州—湖南黑色岩系的有机碳和有机硫特征及成因意义[J]. 地质科学, 2005(4): 9 - 15.
- [38] Mitchell A H G, Garson M S. Mineral Deposits and Global Tectonic Settings[M]. Academic Press, 1981.
- [39] 张爱云, 伍大茂, 郭丽娜, 等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1 - 240.
- [40] Lehmann B, Nægler T F, Holland H D, et al. Highly metal-liferous carbonaceous shale and Early Cambrian seawater[J]. Geology, 2007, 35(5): 403 - 406.
- [41] 施春华, 胡瑞忠. 贵州织金含稀土磷矿床的 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2008(2): 205 - 209.
- [42] Emsbo P, Hofstra A, Johnson C, et al. Lower cambrian metallogenesis of south China: Interplay between diverse basinal hydrothermal fluids and marine chemistry[M]// Mao J, Bierlein F. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Springer Berlin Heidelberg, 2005: 115 - 118.
- [43] 韩润生, 邹海俊, 吴鹏, 等. 楚雄盆地砂岩型铜矿床构造-流体耦合成矿模型[J]. 地质学报, 2010(10): 1438 - 1447.

Geological and metallogenic characteristics and ore-control factors of Ni-Mo-V poly-metal deposits in Guizhou province

CHEN Da

(Geological and Mineral Prospecting Institute, Guizhou Non-ferrous Metals and Nuclear Industry
Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China)

Abstract: Ni-Mo-V poly-metal deposits in Guizhou province are divided into four types, i. e., magma li-quation Cu-Ni deposit, hydrothermal Ni-Mo-V deposit and sedimentary Ni-Mo-V deposit and secondary leaching Ni-Mo deposit. This paper is stressed geological and metallogenic characteristics of the sedimen-tary Ni-Mo-V deposit. The metallogenic condition and prospecting marks are analyzed, genetic mechanism of Ni-Mo-V ore layer at bottom of black shale sequence explored and the ore control factors, such as mechanism of “white chimney” type Si-P layer and organism explosion, passive continental margin, litho-facies palaeogeography, deep magmatite and fault, etc. put forward.

Key Words: Ni-Mo-V poly-metal deposit; black shale sequence; mineralization type; ore-control factor; white chimney; Guizhou province