

黔东下寒武统黑色岩系钒矿床

陈恨水¹, 杨恩林^{1,2}, 杨秀德¹

(1. 贵州省地矿局 117 地质队, 贵阳 550018;

2. 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074)

摘要: 扬子地台周边的下寒武统黑色岩系蕴藏着丰富的金属矿产资源。文章探讨了黔东地区下寒武统黑色岩系中的钒矿床地质特征及成矿问题。钒矿床受地层的控制, 钒等金属元素致矿是多种条件产物, 其成矿高峰期 of 热水沉积与正常沉积交替期, 矿石的成矿年龄为 $(521 \pm 54) \sim (542 \pm 11) \text{Ma}$; 矿床类型为沉积型矿床。

关键词: 钒矿床; 黑色岩系; 下寒武统; 黔东地区

中图分类号: P613; P618.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2013)02-0230-06

0 引言

震旦-寒武纪之交, 转换期地层系列中黑色岩系较为完整地出露在黔东地区。近些年, 赋存于黑色岩系中的矿床勘查取得了突破性进展, 比如, 页岩气、穆龙套金矿等。该层中的镍、钼、钒矿床也一样醒目, 在下寒武统黑色岩系九门冲组下部(碳质粉砂岩)或留茶坡组上部(碳质硅质岩)赋存钒矿床。随着矿业市场的活跃, 钒矿选冶工艺的提高, 不少企事业单位对黔东地区下寒武统黑色岩系钒矿床进行了勘查, 取得了明显效果。本文据区内已有黑色岩系矿床资料和作者工作所获取实际资料, 通过对黔东地区下寒武统黑色岩系典型钒矿床进行对比、分析, 试图揭示该类矿床的成岩成矿规律, 提出找矿方向及标志。

1 地质背景

在中元古代早期, 扬子克拉通发生裂解, 分裂了扬子陆块和华夏古陆(图 1), 其间为南华狭窄洋盆

和一些微陆块。研究区位于南华狭窄洋盆^[1], 其古地理环境为构造稳定、低沉积速率的大洋盆地向大陆边缘台地过渡环境下的江南造山带西南段, 盘山背斜北段的桐子园背斜^[2]。

区内出露地层有^[2]: 青白口系清水江组, 南华系铁丝垅组、大塘坡组和南沱组, 震旦系陡山沱组、留茶坡组, 寒武系九门冲组、变马冲组、杷郎组及第四系。留茶坡组、九门冲组为区内含钒的黑色沉积建造。

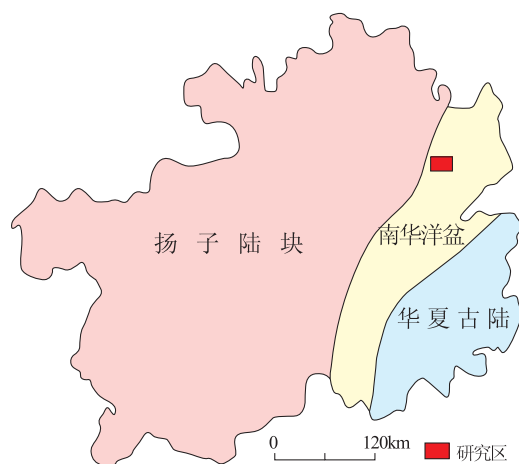


图 1 研究区构造示意图

Fig. 1 Structural sketch of the study area

收稿日期: 2012-07-14; 改回日期: 2012-10-26; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 陈恨水(1971-), 男, 苗族, 工程师, 学士, 长期从事固体矿产勘查项目和经营管理工作。E-mail: 155060162@qq.com

通信作者: 杨恩林。E-mail: yel770105@163.com

2 钒矿地质特征

2.1 黑色岩系分布及岩性特征

黔东地区的黑色岩系主要分布在铜仁、凯里和黔南等地,主要为下寒武统九门冲组含碳砂泥质、硅质沉积建造,部分为上震旦统留茶坡组含碳质硅质沉积建造。九门冲组:上部黑色碳质粉砂岩,泥质结构,鳞片状、层纹状构造,含细粒状、细线状及团块状黄铁矿;中下部见包裹磷、泥、硅质结核,结核呈椭球或球状,直径大约0.5~2 cm之间,镍、钼、钒等含量较高,俗称(多金属层)磷矿层。留茶坡组:黑色薄-中厚层含碳质硅质岩为主,层间常夹薄层碳质黏土岩(局部二者互层),底界置于陡山沱组泥质条带白云岩之上。

“黑色岩系”的两大类岩石:黑色薄-中层状碳质粉砂岩和(似)层状碳质硅质岩,其主要化学成分为:粉砂岩, $w(\text{SiO}_2)=54.38\%\sim66.68\%$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=1.07\%\sim15.86\%$;硅质岩, $w(\text{SiO}_2)=93.41\%\sim96.32\%$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=0.58\%\sim2.74\%$ 。

2.2 含矿岩系及岩石组合

(1)黔东下寒武统黑色岩系从黔东北至黔东南分别称为九门冲组或留茶坡组(黔东北地区)、渣拉沟组(三都地区),主要为一套厚度不大的薄层-中厚层碳质粉砂岩、含磷(泥、硅)质结核碳质粉砂岩和薄层硅质岩夹薄层碳质粉砂岩。含磷(泥、硅)质结核层或磷块岩为矿层的岩性标志,钒矿主要产于此层附近,如中坝钒矿床、注溪钒矿床等。

(2)含钒岩系:九门冲组一段碳质粉砂岩或留茶坡组碳质硅质岩及其所夹的粉砂岩;据岩性组合由上往下可分为5层,基本稳定,具可对比性,但厚度有变化。

①灰黑色鳞片状碳质粉砂岩,泥质结构,鳞片状、层纹状构造,含细粒状、细线状及团块状黄铁矿、重晶石,局部有矿化, $w(\text{V}_2\text{O}_5)<0.45\%$,厚度0.5~5.0 m。

②深灰色薄层碳质粉砂岩,泥质结构,层纹状构造,见少量黄铁矿呈星点状、条带状分布,系主要含钒层位,厚度0.77~14.18 m,平均品位 $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.63\%$ 。

③黑色鳞片状碳质粉砂岩(黏土岩),俗称多金属层(磷矿层),具有泥质结构,鳞片状构造。在碳质粉砂岩中包裹磷(泥、硅)质结核,结核呈多椭球状,直径一般在0.5~3 cm之间,大小不等,风化后呈灰绿色疏松多孔状粉砂质岩;该层所含金属元素(Ni, Mo, V, Au, Ag, Pt, Pd等)的含量较高,其中 $w(\text{V}_2\text{O}_5)>0.8\%$,厚度0.10~0.3 m;总体较稳定,部分地段变为石煤层

或磷块岩层。

④灰黑色(极)薄层状黏土岩,泥质结构,鳞片状构造,一般夹于硅质岩或与硅质岩互层,含钒较高,但厚度极薄。

⑤灰黑色、黑色薄-中层状硅质岩,具有细晶-隐晶质结构,块状构造,厚度0.72~7.00 m,其中 $w(\text{V}_2\text{O}_5)=0.1\%\sim0.4\%$ 。

(3)黔东地区由南往北,钒的富集层位逐渐上升。在黄平镇远一带,主要富集于留茶坡组上部—九门冲组底部;在岑巩注溪,主要富集于留茶坡组顶部—九门冲组底部;再往北到石阡境内,主要富集于九门冲组下部。

(4)钒矿床与岩性组合和岩石类型关系密切^[3]。岩性组合:中厚层状硅质岩-薄层状硅质岩偶夹黏土岩-薄层状硅质岩与黏土岩互层-含磷(泥、硅)质结核碳质粉砂岩-薄层状碳质粉砂岩-中厚层状碳质粉砂岩。岩石类型:含钒岩系以“多金属层”为中心,向上(约15 m)、下(约5 m)都为矿体,但品位逐渐降低(表1),即碳质粉砂岩-多金属层-硅质岩(或夹黏土岩)的 $w(\text{V}_2\text{O}_5)$ 呈现出正态分布的特征(图2)。总体上,黏土质成分减少,矿体品位变低,硅质岩中钒达不到工业品位;钒主要富集于碳质粉砂岩中,源于钒置换黏土矿物中半径相似的阳离子进入硅酸盐矿物晶格中^[4]。

从上述钒矿石品位与沉积序列和岩性组合的变化特点得知,钒元素的成矿高峰期为:由热水沉积的硅质岩^[5]转变为正常沉积粉砂岩的岩性变化时期。含钒碳质粉砂岩也仅出现在含磷(泥、硅)质结核碳质粉砂岩(多金属层)或磷矿层附近;九门冲组顶部灰岩之上的碳质粉砂岩和留茶坡组底部的含碳硅质岩不含矿,进一步说明钒等金属元素是在热水沉积与正常沉积条件共同作用下才能成矿,任何单一的沉积条件都难以成矿。

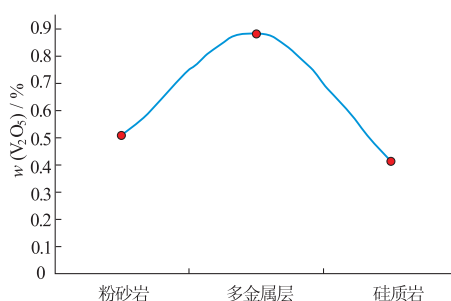


图2 不同岩性矿石品位图

Fig. 2 Diagram showing of grades of ores within different lithologies

表 1 矿石样品分析
Table 1 Ore sample analysis

样品编号	岩性	$w(V_2O_5)/\%$	样品编号	岩性	$w(V_2O_5)/\%$	样品编号	岩性	$w(V_2O_5)/\%$
ZK42701-23	粉砂岩	0.396	ZK30304-20	粉砂岩	0.522	ZK30008-16	粉砂岩	0.473
ZK42701-24	粉砂岩	0.128	ZK30304-21	粉砂岩	0.434	ZK30008-17	粉砂岩	0.64
ZK42701-25	多金属层	0.569	ZK30304-22	多金属层	1.006	ZK30008-18	多金属层	1.425
ZK42701-26	硅质岩	0.416	ZK30304-23	硅质岩	0.282	ZK30008-19	硅质岩	0.625
ZK42701-27	硅质岩	0.094	ZK30304-24	硅质岩	0.076	ZK30008-20	硅质岩	0.107
ZK30808-20	粉砂岩	0.087	ZK40702-20	粉砂岩	0.104	QXTC412H17	粉砂岩	0.091
ZK30808-21	粉砂岩	0.369	ZK40702-21	粉砂岩	0.624	QXTC412H18	粉砂岩	1.078
ZK30808-22	多金属层	0.915	ZK40702-22	多金属层	0.986	QXTC412H19	多金属层	2.214
ZK30808-23	硅质岩	0.582	ZK40702-23	硅质岩	0.073	QXTC412H20	硅质岩	0.751
ZK30808-24	硅质岩	0.49	ZK40702-24	硅质岩	0.356	QXTC412H21	硅质岩	0.061
ZK32004-22	粉砂岩	0.45	QXTC415H06	粉砂岩	0.6	QXTC423-H12	粉砂岩	0.587
ZK32004-23	粉砂岩	0.434	QXTC415H07	粉砂岩	0.34	QXTC423-H13	粉砂岩	0.297
ZK32004-24	多金属层	0.812	QXTC415H08	多金属层	1.02	QXTC423-H14	多金属层	1.219
ZK32004-25	硅质岩	0.45	QXTC415H09	硅质岩	0.81	QXTC423-H15	硅质岩	0.241
ZK32004-26	硅质岩	0.434	QXTC415H10	硅质岩	0.46	QXTC423-H16	硅质岩	0.317
QXTC9H10	粉砂岩	0.12	QXTC417H10	粉砂岩	0.1	ZK41902-26	粉砂岩	0.094
QXTC9H11	粉砂岩	1.00	QXTC417H11	粉砂岩	0.81	ZK41902-27	粉砂岩	0.613
QXTC9H12	多金属层	1.19	QXTC417H12	多金属层	0.99	ZK41902-28	多金属层	0.966
QXTC9H13	硅质岩	0.59	QXTC417H13	硅质岩	0.62	ZK41902-29	硅质岩	0.364
QXTC9H14	硅质岩	0.6	QXTC417H14	硅质岩	0.66	ZK41902-30	硅质岩	0.363

注:样品由贵州省地矿局黔东南地矿测试中心测试。

2.3 钒矿体特征

黔东南寒武统黑色岩系中的钒矿床是较为单一的矿床,仅有极少数矿床局部块段的钼、镍可以考虑综合回收利用。钒矿体均呈层状、似层状、透镜状产于九门冲组第一段底部或留茶坡组顶部,产状与地层产状一致;矿体中均分布有大小不等的夹石,矿体与围岩一般无明显界线,只能通过化学分析来确定矿体的界线。一般具有多层矿体,在柱状剖面上可对比,属沉积层控型矿床。矿体形态简单,产状稳定,部分地段受到后期构造破坏。

2.4 矿石特征

(1)矿物组成。各矿区矿石主要成分基本相同,以陆源碎屑和硅质为主要成分。矿石矿物主要为黏土矿物、碳质、泥质,以及少量黄铁矿。陆源碎屑分布均匀,以粒度 0.06~0.004 mm 粉砂级陆源碎屑多见,粒度 0.25~0.06 mm 细砂级陆源碎屑偶见;碎屑呈次圆、次棱角状,分选性良好而磨圆度中等,碎屑矿物成熟度良好;具显微鳞片状结构、泥质结构;层状构造,属非补偿性深水盆地沉积环境的产物。脉石矿物为石英和岩屑,石英呈不规则粒状,粒径一般为 0.01~0.02 mm。晶粒间主要是黏土矿物、碳质、有机质及白云母等充填,局部见褐铁矿,其周边有微晶石英包裹。

(2)矿石类型。依据矿石物质组成和结构构造,

矿石划分为 3 种自然类型:含碳质粉砂岩、含磷(泥、硅)质结核钒矿石或磷块岩钒矿石、含炭质硅质岩夹粉砂岩。

含碳质粉砂岩矿石。黑色、灰黑色,泥质结构,层状构造,由碳泥质粉砂岩组成,含沥青质,断口呈贝壳状,为主要的矿石类型,主要分布于矿层中上部, $w(V_2O_5)>0.45\%$ 。

含磷(泥、硅)质结核(3~18 cm)或磷块岩矿石。产于九门冲组底部,浅灰色,风化暗绿色;泥(砂)质结构,结核或薄层状构造,由含磷(泥、硅)质结核球粒和薄层状碳泥质粉砂岩组成,为区内品位最高的矿石类型, $w(V_2O_5)>0.8\%$ 。

含碳质硅质岩夹黏土岩。分布于矿体底部,黑色,微-隐晶质结构,层(板)状构造,由层状硅质岩夹(极)薄层状粉砂岩或二者互层组成,局部见极少量藻化石,断口呈光滑阶梯状,品位较低, $w(V_2O_5)<0.4\%$ 。

(3)矿石组构。矿石结构构造简单(图 3),含碳质粉砂岩型矿石主要为粉砂状结构、显微鳞片状结构;硅质岩型矿石主要为网脉状结构、微-隐晶结构、等粒状镶嵌结构^[6]。矿石构造主要为层(纹)状构造,局部可见条带状、结核状构造。

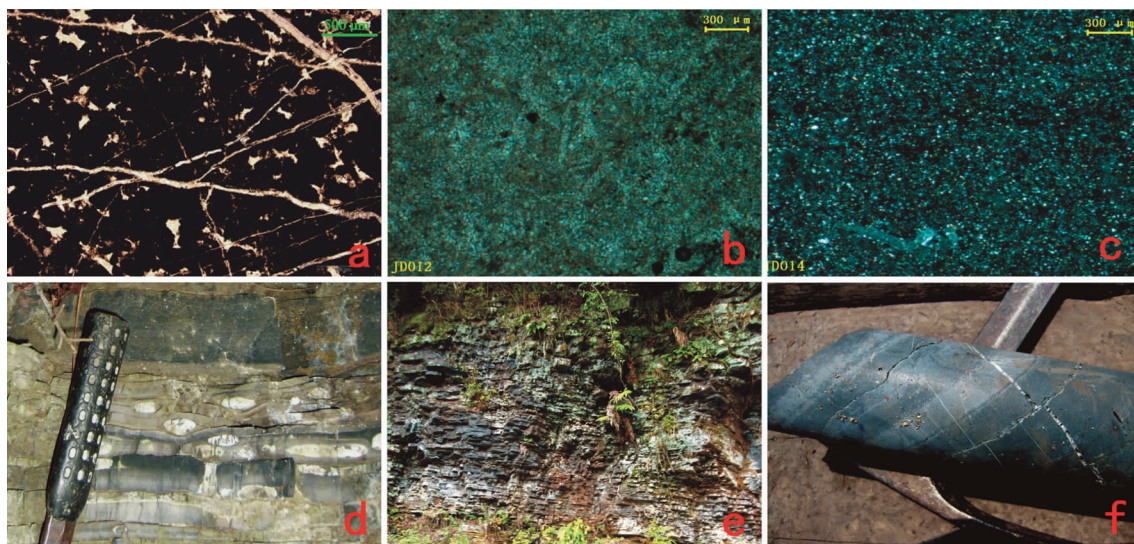


图3 矿石结构构造照片

Fig. 3 Ore texture and structure

a. 网脉结构(单, 5×10); b. 泥晶结构(单, 5×10); c. 等粒状镶嵌结构(单, 5×10);
d. 结核状构造; e. 层状构造; f. 条带状构造

3 矿床成因探讨

3.1 成矿时代

随着研究的不断深入和手段的创新,黑色岩系矿床的成矿时代同位素测年成为了可能:产于下寒武统戈仲伍组的织金磷矿床矿石年龄为 $(542\pm 23)\sim(541\pm 12)\text{Ma}$ ^[7];遵义下寒武统黑色岩系中镍钼层(多金属层)年龄为 $(541.3\pm 16)\sim(542\pm 11)\text{Ma}$ ^[8], $(521\pm 54)\text{Ma}$ ^[9];结核状磷酸硅质岩年龄为 $(531\pm 24)\text{Ma}$ ^[9]。前人研究表明:镍钼层(多金属层)为下寒武统黑色岩系钒等金属元素的成矿高峰期,其年龄代表该类矿床成矿高峰期的地质时代,即区内钒矿床的成矿高峰期的年龄为 $(521\pm 54)\sim(542\pm 11)\text{Ma}$ 。

3.2 成矿物质与流体来源

(1)成矿物质来源。据已有资料,贵州下寒武统黑色岩系中金属矿物源存在着地外和地内两种成因观点,但大多数研究认为金属成矿元素来自于地内。如,华南下寒武统黑色岩系多金属元素来源于地外物质^[10];黔北遵义黑色岩系多金属元素可能来源于地幔^[11];玄武岩质地壳可能是湘黔地区下寒武统“多元素富集层”中微量元素的最主要供给源^[8];华南黑色岩系“多金属层”为正常海水沉积作用成矿,

生物沉积为主导作用^[12]。

(2)成矿流体来源。有来自海水、岩浆热液和海底热(卤)水等观点。如,黔北遵义黑色岩系黄铁矿成矿流体主要由盆地热卤水、大气饱水和海水组成^[13];遵义地区黑色岩系铂多金属成矿流体由盆地热卤水和大气饱水混合而成^[14];黔北黑色岩系金属元素矿床,“热”来源于海底火山喷溢和侵入活动^[11]。

前人的研究表明:湘黔地区下寒武统黑色岩系金属矿床物源和热源具有多重性。

3.3 矿床成因分析

黑色岩系中多金属元素富集成因学说众多:海底热水沉积及生物化学沉积作用^[15]、热水沉积成岩矿床^[14]、海底喷气沉积矿床^[11]等。

黑色岩系含矿沉积建造为泥、硅、磷和硫的岩石组合序列,即岩相为一套含钒薄层硅质岩-磷结核层-碳质粉砂岩相,是下寒武统黑色岩系型钒矿床的特定岩性组合^[3]。粉砂岩型矿石为海水正常沉积;硅质岩形成于大洋盆地向大陆边缘台地过渡环境,为热水沉积作用的产物^[5];而矿体标志层(多金属层)是海盆缓慢沉降产生凝缩层的正常沉积作用。矿体岩性组合为硅质岩和黏土岩互层-多金属层或磷矿层-粉砂岩,即海底火山喷流-间歇性海底火山喷流-正常沉积为古地理环境。多金属层或磷矿层(矿体标志层)为该类型钒矿床成矿高峰期 $((521\pm 54)\sim$

(542±11)Ma),成矿时代与华南扬子地块从 Rodinia 超大陆中裂解漂移出来时间(600~550 Ma 和 540 Ma)^[16]的相近;寒武纪与震旦纪转换时期是“成磷期”^[17],当时气候温暖,水体营养度高,造成生物生产率增加,使得海洋底层水含氧量减少,致使浮游生物大量死亡,磷元素大量富集,部分磷转变为磷酸盐。此时,海底火山热液活动较为剧烈,带来了大量的钒等金属元素,而磷酸盐对钒起着吸附(富集)作用^[17],所以从宏观上看,有磷结核出现的粉砂岩钒等金属元素的含量就高。

综上所述,黔东南寒武系统黑色岩系钒矿床形成于大洋盆地向大陆边缘台地过渡的还原环境,在华南扬子地块从 Rodinia 超大陆中裂解过程中诱导的间歇性构造、火山活动,以及生物大量死亡造就的磷酸盐吸附钒等多金属而形成矿床,即在有机质参与的正常沉积和热水沉积共同作用下发生了成岩成矿作用。

4 找矿方向及标志

在黔东南地区,震旦-寒武纪之交沉积的黑色岩系出露较为完整,岩性组合为硅质岩-含磷质结核粉砂岩-碳质粉砂岩,且其相带较宽、发育完整,预示着可能出现大而富的钒矿床^[3],即这一带在区域和深部具有良好找矿前景。沉积钒矿床具有明显的时代专属性^[17],我国黑色岩系型钒矿床赋存于震旦-寒武系之中;本区钒矿层亦分布于寒武系下统的九门冲组 and 上震旦统的留茶坡组,这一套黑色岩系可作为沉积钒矿床的一个主要找矿方向。当然不是该时期所有黑色岩系都能找到钒矿层,其岩性组合也很重要,钒的赋矿层位一般都有含泥、硅、磷和硫的建造组合。区内留茶坡组与九门冲组之中的多金属层或磷块岩为钒矿床的标志层,含泥、硅、磷和硫建造组合也可以作为找矿标志;另外,地层的抗风化能力也可以间接地作为找矿标志,含钒岩系为抗风化能力较强的粉砂岩和易破碎的薄层状硅质岩组成,地形地貌多为陡崖。

致谢:野外工作期间得到贵州地矿局注溪钒矿详查项目部的全体人员和相关领导的大力支持,成文过程中得到贵州地质矿产开发股份有限公司总地质师毛应江教授级高工的指导,在此表示诚挚的感谢!

参考文献:

- [1] 汪正江. 黔东南新元古代裂谷盆地演化及地层划分对比研究[D]. 北京:中国地质科学院, 2008: 1-120.
- [2] 贵州省地质矿产局. 贵州省岑巩县注溪矿区钒矿详查地质报告[R]. 贵阳:贵州省地质矿产局, 2010.
- [3] 刘光昭, 尹华锋, 刘玉峰, 等. 湖南下寒武统黑色岩系中的钒矿床[J]. 地质与资源, 2008(3): 194-201.
- [4] Li Shengrong, Xiao Qiyun, Shen Junfeng, et al. Rhenium-osmium isotope constraints on the age and source of the platinum mineralization in the Lower Cambrian black rock series of Hunan-Guizhou provinces, China[J]. Science in China(Series D). 2003, 46(9): 919-927.
- [5] 杨恩林, 陈恨水, 陈焕, 等. 黔东南留茶坡组硅质岩元素地球化学特征与形成环境[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 406-411.
- [6] 周永章, 付伟, 杨志军, 等. 雅鲁藏布江缝合带及藏南地区硅质岩微组构特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 743-750.
- [7] 施春华. 磷矿的形成与 Rodinia 超大陆裂解、生物爆发的关系[D]. 北京:中国科学院, 2005: 1-108.
- [8] 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, 2002, 32(7): 568-575.
- [9] Jiang S Y, Yang J 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(17): 97-103.
- [10] Fan Delian, Yang Ruiying, Huang zhongxiang. The lower Cambrian black shale Series and theiridium anomaly in south China[C] // Developments in geoscience—Contribution to 27th International Geological Congress, Moscow. Science Press, Beijing, China, 1984.
- [11] 杨剑. 黔北地区下寒武统黑色岩系形成环境与地球化学研究[D]. 西安:长安大学, 2009: 1-173.
- [12] 张爱云, 潘治贵, 翁成敏, 等. 杨家堡含钒石煤的物质成分和钒的赋存状态及配分的研究[J]. 地球科学, 1982(2): 193-206.
- [13] 孙晓明, 王敏, 薛婷, 等. 华南下寒武统黑色岩系铂多金属矿中黄铁矿流体包裹体的 He-Ar 同位素体系[J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 661-666.
- [14] 王敏, 孙晓明, 马名扬. 黔西新华大型磷矿磷块岩稀土元素地球化学及其成因意义[J]. 矿床地质, 2004, 23(4): 484-493.
- [15] 游先军, 孙际茂, 陈明辉, 等. 湘西北下寒武统黑色岩系中的钒矿床[J]. 矿产与地质, 2008, 22(1): 20-26.
- [16] 颜耀阳. 超大陆研究进展[J]. 国外前寒武纪地质, 1996(3): 14-20.
- [17] 刘伟江, 杨镜明. 新疆乌什苏盖提布拉克钒矿地质特征和找矿前景[J]. 新疆有色金属, 2009(2): 22-25.

Vanadium deposits in the Lower Cambrian black rock series in eastern Guizhou province

CHEN Henshui¹, YANG Enlin^{2,1}, YANG Xiude¹

(1. Geological Team 117, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550018, China;

2. Faculty of Earth Resource of China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Abundant metal mineral resources are hosted in the Early Cambrian black rock series at periphery of Yangtze platform in China. Geological features and problems related to mineralization of vanadium deposits in the black rock series are studied in the paper. The vanadium deposits are horizontally controlled. Vanadium and other metal mineralization is related to a variety of deposition conditions. Epoch of alternated hydrothermal deposition and normal sedimentation is the peak epoch for the mineralization of vanadium. The metallogenic age of ores is (521 ± 54) to (542 ± 11) Ma. Genetically, they are sedimentary deposits.

Key Words: vanadium deposit; black rock series; Early Cambrian Series; Eastern Guizhou province