千家坪钒矿床形成机制初步探讨*

Preliminary Studies on Forming Mechanism of Qianjiaping Vanadium Deposit, Shaanxi

张贵山[1, 2] 温汉捷[1] 郑厚义[1, 2, 3]

（1 中国科学院地球化学研究所，贵州 贵阳 550002；2 中国科学院研究生院, 北京 100039；
3 西北有色地勘局地质研究所，陕西 西安 710075）

Zhang Guishan[1, 2], Wen Hanjie [1], Zheng Houyi[1, 2, 3]

(1 Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Gguizhou, China; 2 Postgraduate Research Institute, CAS, Beijing 100039, China; 3 Institute of Geology, Northwest Bureau of Geology and Mineral Prospecting and Development, Xian 710075, Shaanxi, China)

摘 要 千家坪钒矿床产于寒武系水沟口组，赋矿岩层为一套碳、硅、泥岩组合的黑色岩系。钒矿的品位在1.0%～1.55%之间，矿石主要分为 3 种类型：含结核泥岩型、碳质泥岩型和碳硅质泥岩型。钒的赋存状态主要为吸附态和类质同象态；Pt 等贵金属综合利用价值很高。通过对成岩、成矿条件的研究，初步认为千家坪钒矿为同生沉积而成。

关键词 钒矿床 形成机制 千家坪

黑色岩系是指一套以含硫化物（黄铁矿为主）和有机质较多为特征的海相的暗色硅质岩、泥质岩的组合（中国科学院矿床地球化学开放研究实验室，1997）目前已发现的层控型钒矿床多与此有关，主要分布在华北地块、扬子地块与秦岭—祁连褶皱系两侧，在塔里木地块、华南褶皱系也有分布。岩性上受震旦纪—早寒武世、志留纪和二叠纪的含碳硅质岩，铝（粘）土岩和磷块岩的控制。

千家坪钒矿是近年在南秦岭黑色岩系中探明的一个中型矿床，该矿床位于凤镇—山阳大断裂以南及月河—铜线关断裂以北的宁陕—商南蕴矿带内。本文通过对千家坪钒矿床地质特征和钒的赋存状态及成矿条件的分析，初步探讨矿床石形成的机制。

1 区域地质概况

区域大地构造隶属南秦岭海西—印支褶皱带。北邻镇安—板岩镇深大断裂，南为武当山穹隆构造。区内次级构造发育。主要为耀岭河复背斜、冷水河反转向斜、楼房沟—耀岭河断裂、湘河—月亮湾断裂。其中耀岭河复背斜由耀岭河岩组及震旦系陡山沱、灯影组、寒武系水沟口组等地层组成，总体构成一轴面北倾的复式背斜；冷水河反转向斜核部由石炭系—二叠系或泥盆系、奥陶系地层组成，两翼主要为奥陶系、寒武系和震旦系地层，向斜枢纽走向为 NWW，轴面北倾，北翼倒转，南翼正常。区域上出露地层主要有青白口系耀岭河岩组和震旦系陡山沱组。岩浆岩不发育。

2 矿区地质概况

2.1 地质特征

千家坪钒矿位于冷水河反转向斜的北翼。区内出露的主要地层有震旦系灯影组（Z_2dn）、寒武系水沟口

* 国家重点基础研究项目资助（G1999043208）
第一作者简介 张贵山，男，1971 年生，硕士，矿床地球化学专业。

组（$\epsilon_1 s$）及岳家坪组（$\epsilon_2 y$）s、石瓮子组（ϵ_3-O_2）和白龙洞组（O*b*）。其中寒武系水沟口组（$\epsilon_1 s$）的岩性为黑色碳硅质岩、紫灰色钙硅质岩、碳泥质板岩、紫灰色泥质板岩、薄层灰岩夹泥岩及黑色碳硅质岩；其他组的岩性主要为碳酸盐岩（其中灯影组主要是白云岩）。区内构造简单，自北向南有 4 条近 EW 向次级断裂构造，矿区北部有少量脉岩产出。（图 1）

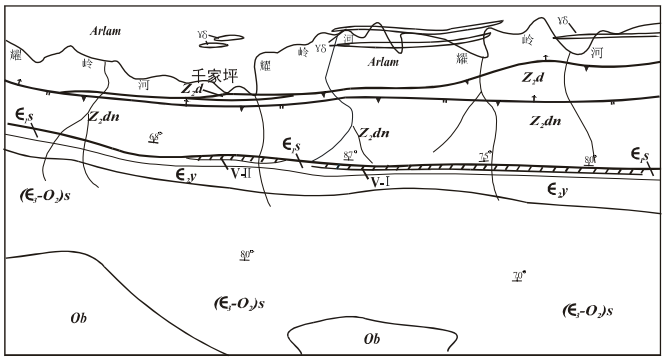


图 1 商南千家坪钒矿地质简图（据朱红周，2001 修编）

1—白龙洞组；2—石瓮子组；3—岳家坪组；4—水沟口组；5—灯影组；6—陡山沱组；7—楼房沟组；8—岩脉；9—地质界线；10—断层；11—钒矿体；12—矿体编号；13—产状

2.2 赋矿地层特征

千家坪钒矿床的赋矿地层为寒武系水沟口组的一套碳、硅、泥岩组合。区域上赋矿地层稳定，呈 EW—NWW 方向展布。其与上覆地层岳家坪组整合接触，与下伏地层灯影组以构造形式接触。水沟口组在矿区可分为二大层五小段。下部呈黑色-灰色层，由砂岩夹硅质岩、含结核碳硅质岩夹泥岩、褐色-灰色含结核泥岩三段组成，向东流水沟一带尚夹 0.4 m 重晶石岩。该层为主要的含矿层位。上部的紫色-灰色层由紫色页岩、灰色-深灰色灰岩-泥灰岩夹钙质泥岩二段组成，基本不含矿。

2.3 岩相古地理特征

晚震旦世—早古生代时秦岭巴山地区地壳解体，出现古秦岭洋，而晚震旦世到早奥陶世也正是秦岭洋最大扩张期。在这一时期南秦岭接受了一套寒武—志留纪的巨厚被动陆源沉积体系，其特征为发育富硅、碳质的陆缘裂谷深水沉积和喷流沉积，沉积格局受同生长断裂与前寒武纪地块所控制，以正常沉积岩系为主夹少量火山岩。受同生长断裂控制出现了还原环境下的滞流深水次级盆地沉积（卢纪英等，2001；梅志超等，1995；张国伟等，1995）正是在这样构造运动背景下，造成沉积盆地缺氧、滞流等条件；南秦岭地区寒武纪形成以黑色硅质岩为主的黑色岩系，分布甚广，在这套岩系中赋存有 Ni、Mo、V、Se、及重晶石、菱锰矿和贵金属矿床（中国科学院矿床地球化学研究实验室，1997）。千家坪矿床赋存层位为一套黑色岩石组合，反映的正是缺氧环境的沉积特征。

3 矿石特征

3.1 含矿岩石特征

矿区内含矿岩石主要为碳硅质岩、泥质岩两种，该两种岩石均产在寒武纪水沟口组内，并存在大量泥硅质结核。其基本特征如下：

（1）（碳质）泥质岩：主要由泥（页）岩组成，少量岩石含碳硅质岩条带，碳质泥岩中炭的含量为 5%~15%。岩石的主要矿物为粘土矿物（以高岭石、钾伊利石为主）、黄铁矿、石英等。其中粘土矿物含量≥75%。隐晶-泥质结构，粉砂质结构，板状构造。

（2）碳硅质岩：主要由黑色碳硅岩组成，基本无泥质夹层，仅在碳硅岩层层面有薄膜状泥质、铁质存在，含碳质 10%左右。岩石的矿物组成以隐晶—微晶石英为主，含量为 65%~95%；次为粘土矿物（水云母（钾伊利石）、高岭石），含量为 10%。；其他矿物为方解石 、褐铁矿 、黄铁矿等。矿石呈隐晶结构，纹层状、条带状、结核状构造。

3.2 矿石类型、物质组成及钒赋存状态

矿床的矿石类型有黄色、灰色含结核（碳质）泥岩型矿石、黑色碳硅质岩夹互泥岩型矿石及黑色碳硅质岩型矿石三种。主要由碳质、泥质和微晶—细晶石英组成，次为石墨、方解石、重晶石、绿泥石、绢云

表 **1** 矿石化学成分分析结果

	w(B)/%											
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	S	灼减量	总量
组合样 1	73.86	0.27	3.22	6.86	2.42	1.94	1.66	0.12	0.64	0.52	8. 90	100.41
组合样 2	78.29	0.50	2.47	3.7	1.85	2.46	1.18	0.06	0.75	0.68	8.56	100.50

表 **2**　矿石伴生组分及有害组分分析结果

	w(B)/%					*w*(B)/10^{-6}		*w*(B)/10^{-9}	
	V_2O_5	Co	Ni	Mo	As	Au	Ag	Pt	Pd
组合样 1	1.55	0.002	0.016	0.016	0.006	0.06	19	20	67
组合样 2	1.0	0.006	0.021	0.0049	0.09	0.13	4.67	13	54

母等；矿石多具叶片状、薄片状、互层状构造，泥质、微晶-细晶结构。前两种为主要矿石类型，后者次之。从表1的数据显示，矿石以SiO_2、Fe_2O_3、Al_2O_3、MgO、CaO、K_2O高为特征；从表2的数据显示，千家坪钒矿矿石中V_2O_5的含量为1.0%～1.55%，已超过钒的工业品位（0.8%）；贵金属的含量并不高，不能单独形成独立的矿床。 Pt的平均含量为17.62×10^{-9}（11件样品），Pt+Pd平均含量为45.76×10^{-9}，Pt族元素在钒矿体中含量达不到工业品位，只能作为伴生元素综合利用。千家坪钒矿中只有两种钒的独立矿物，钒锐钛矿和钒铁矿。钒锐钛矿零星状分布于岩石中，电子探针分析结果显示其V_2O_5含量达22.12%～26.11%；钒铁矿呈针柱状、放射状分布于结核中，电子探针分析结果显示其V_2O_5含量为9.89%，两种独立矿物在岩石中的数量非常少，不能成为钒的主要载体矿物。对矿石物相分析及电渗析试验表明，钒主要以吸附态和类质同象形式赋存在。其中粘土矿物（高岭石、钾伊利石）吸附的占66%以上，类质同象态及别的形态的钒所占的比例不足34%。根据张爱云等（1987）的资料，黑色岩系层控钒矿中的钒赋存状态有3种，分别富集在有机质、粘土矿物水云母（钾伊利石）及独立的钒矿物中（张爱云等，1987）。家坪钒矿中的钒主要以吸附赋存状态存在于粘土矿物中，其他形式的钒只占三分之一左右。地质作用过程中，V^{5+}离子可以取代Al^{3+}的位置而进入硅酸盐矿物中。少量的钒存在于独立矿物中。

3.3　结核特征

千家坪钒矿床含矿岩石中，结核普遍发育，规律性地产出于硅质岩与泥质岩接触面附近。结核的形状各异，主要有球形、椭球形、盘形，结核的大小从数毫米到数十厘米。有少量结核由于脱水时体积收缩而产生裂隙，被石英、方解石等矿物充填。结核的同心层状构造发育。

千家坪钒矿中的结核按物质组成可分成泥质结核和硅质结核两种。泥质结核成分主要为泥、碳酸盐、褐铁矿，内外圈成分基本相同，但含量不同，由内向外，碳酸盐含量逐渐增多；硅质结核主要由隐晶-微晶石英组成，含褐铁矿、钒铁矿，在结核的外圈钒铁矿较多，而在内圈褐铁矿较多。

千家坪钒矿赋矿地层中普遍发育结核特征，反映沉积环境为深水盆地（朱红周等，2001）。

4　矿床形成机制

千家坪钒矿的赋矿层位于秦岭陆缘被动裂盆中，成岩特征为同生沉积和化学沉积为主，在缺氧条件下形成一套黑色碳、硅质岩。高长林等（1999）认为硅质岩有两种成因，化学成因和生物成因，以化学成因为主[8]。千家坪钒矿床含矿层中的硅质岩具隐晶结构，微层状构造，大量镜下观察未发现生物活动证据。据此我们初步判断千家坪钒矿石是主要由化学沉积作用形成的。由于秦岭洋正处于扩张期，构造活动频繁，喷流作用带来的大量物质流向沉积盆地，在缺氧的条件下，沉积形成典型的黑色岩系，为矿床的形成奠定了物质基础。粘土矿物对金属离子的强烈吸附性能，使得成岩作用过程中，进入流体相的钒等金属离子被吸附、固定而富集成矿；赋矿岩石的碳质对金属离子也具有吸附作用，可能对钒的富集成矿有一定的贡献。

根据上述矿区地质及矿石组合和钒的赋存状态研究，我们认为千家坪钒矿是同生沉积成因的矿床。在寒武纪古秦岭洋扩张阶段，由于特定的构造条件及热活动背景，造成缺氧、滞流的裂陷盆地沉积环境。喷流作用带来的钒等金属离子在粘土矿物等的强烈吸附作用下，发生迁移、富集，并固定在特定的层位或介质中，形成千家坪钒矿床。同时在岩浆、喷流等内生地质作用下，部分钒以类质同象形式进入硅酸盐矿物中，这些硅酸盐矿物进入上述沉积体系，也对钒的富集成矿提供物质来源。

参 考 文 献

中国科学院矿床地球化学开放研究实验室. 1997. 矿床地球化学. 北京: 地质出版社. 266~294.

卢纪英, 李作华, 张复新, 等. 2001. 秦岭板块金矿. 西安: 陕西科学技术出版社. 2~64.

梅志超, 崔志林, 孟庆任, 等. 1995. 秦岭早古生代沉积作用与构造演化. 高校地质学报, 1(2): 29~36.

张国伟, 张宗清, 董云鹏. 1995. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. 岩石学报, 11(2): 101~113.

张爱云, 伍大茂, 郭丽娜, 等. 1987. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义. 北京: 科学出版社. 72~73.

朱红周, 郑厚义, 范红科. 2001. 陕西省商南县千家坪钒矿地质特征及找矿前景. 西北金属矿产地质, (1-2).

高长林, 何将启. 1999. 北大巴山硅质岩的地球化学特征及其成因. 地球科学, 24 (3): 246~249.