

东秦岭松树沟超镁铁岩体铬铁矿 成矿特征分析^①

陈彰瑞

(武汉化工学院资源工程系, 武汉 430073)

程寄皋

(武汉冶金科技大学资源工程系, 武汉 430081)

摘 要 以东秦岭松树沟超镁铁岩体的产状和铬铁矿的产出特征为背景, 结合铬铁矿的组分特征, 对副矿物铬铁矿和不同矿石类型铬铁矿的穆斯堡尔谱进行成矿特征方面的解释; 并通过与铬铁矿形成有关的宏观和微观地质现象分析, 指出铬铁矿体是地幔岩高度熔融形成的富铬和镁的极端部分。

关键词 超镁铁岩 铬铁矿 穆斯堡尔谱 地幔岩

1 超镁铁岩体的产状

松树沟超镁铁岩体产于华北板块与扬子板块之间的东秦岭碰撞缝合带内, 是商南蛇绿杂岩中出露规模最大(20 km^2)、保存较完整的古生代蛇绿杂岩体^[1]。岩体南、北边界均为逆冲断层所限, 平面上呈似纺锤状, 剖面上呈楔状, 延深1200m以上, 系由5个大致平行的岩片逆冲推覆叠置而成的组合体。每一岩片由1至4个岩相带组成, 各岩片产状及其内主要岩相带分布方向均与岩体总体走向平行或成小角度相交。岩体是深部形成并由构造作用搬运至异地而就位^[2]。

该岩体与世界上典型蛇绿杂岩体对比^[3], 大致相当于典型蛇绿岩剖面序列最下部的超镁铁岩, 主要是岩石 Moho 面以下的上地幔变质橄榄岩系列以及 Moho 面上的堆晶超镁铁岩系列两部分。

岩石化学及稀土元素化学计算均显示该岩体为地幔底辟的部分熔融成因^[4], 其熔融过程以不平衡熔融为主, 兼有平衡熔融, 主元素和稀土元素计算均可分为两期熔融事件, 第一期熔融出玄武质岩浆, 形成辉长岩—拉斑玄武岩

系列岩石, 残余物为高辉斜辉橄榄岩, 熔融程度约 20% ~ 25%; 第二期熔融出超镁铁质岩浆, 形成透辉橄榄岩系列岩石, 残余物为纯橄榄岩和低辉橄榄岩, 熔融程度约 25% ~ 30%。

2 铬铁矿的产出特征

岩石化学分析显示, 该岩体具有明显的铬铁矿矿化, 其中 $M/F = 6.5 \sim 11.5$ 的变质橄榄岩部分, 是工业铬铁矿体的产出岩相, 而 $M/F = 4.7 \sim 7.5$ 的堆晶超镁铁岩部分, 虽有铬铁矿矿化, 但未形成有工业价值的铬铁矿体。

本区有工业价值的铬铁矿体主要产在变质橄榄岩系列的纯橄榄岩中, 少部分产于斜辉橄榄岩中, 或斜辉橄榄岩相与纯橄岩相的接触部位。在有利于成矿的岩相中, 条带浸染状矿体周边围岩无明显的蚀变外壳, 稠密浸染和致密块状矿体周围常有一层由铬斜绿泥石和蛇纹石组成的蚀变外壳(厚几厘米至几十厘米不等), 蚀变外壳外往往还有一圈层(厚几十厘米至几米)完全不含铬铁矿的纯橄榄岩, 再外则为含铬铁矿(1% ~ 2%)的纯橄岩或斜辉纯橄岩, 或斜辉橄榄岩, 这种现象说明铬铁矿矿体和纯

① 收稿日期: 1995-12-11; 修回日期: 1996-07-08 陈彰瑞, 男, 59岁, 高级工程师

橄榄岩外壳决非贯入含斜辉纯橄岩或斜辉橄榄岩中,而只能是地幔橄榄岩高度熔融过程中,辉石被橄榄石交代消失而铬铁矿逐步富集的结果^[5]。

矿体和矿化体形态极为多样,计有豆荚状、笔杆状、串珠状、不规则透镜状等。单个矿体一般长 20~30 m,厚度 0.3~0.7 m,且往往是单个矿体长度 $\gg$ 延深度 $>$ 厚度。矿体和矿化体具有成群成带出现的特点。矿化带和有利的成矿岩相带分布一致。在同一矿化带内的矿体或矿化体,沿走向呈断续侧幕状排列,在剖面上呈断续叠瓦状再现。

矿体产状基本可分为两种类型^[2],岩石 Moho 面以下地幔变质橄榄岩在近水平的粘性流动变形阶段形成的浸染条带状矿体,其产状与岩相带和 Moho 面产状大体一致;地幔变质橄榄岩近水平的分层粘塑性剪切变形阶段形成的稠密浸染和致密块状矿体,其走向与控矿岩相带走向成 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 夹角。且以块状矿石为主的矿体,其近四周经常伴有稠密浸染一斑杂状矿石,再远为稀疏浸染矿石。致密块状矿石中的脉石矿物无斜方辉石,稀疏浸染矿石中的脉石矿物有斜方辉石,即铬铁矿出现的密集程度同斜方辉石的减少和消失是一致的。这只能说明铬铁矿来自岩体本身,来自地幔橄榄岩的部分熔融^[5]。

3 铬铁矿[(MgFe)Cr₂O₄]组分特征

矿石中铬铁矿以半自形中、粗粒为主,少数为自形八面体和它形巨晶。铬铁矿晶粒内拉断和碎裂结构发育,熔蚀和交代结构也常见。在致密块状铬铁矿周边或沿其裂纹常可见铬铁矿被铬斜绿泥石所交代,在稀疏浸染铬铁矿中常可见微晶 γ -赤铁矿交代铬铁矿,且随所处部位变浅,交代程度加强。经 X 光衍射分析和计算,铬铁矿晶胞参数 $a_0=8.276\sim 8.357\text{ \AA}$ 反映 Cr^{3+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 的类

质同象代替广泛。部分铬铁矿颗粒具有环带结构,从核心到边缘 Mg/Fe 比值增高,Al 较富,也可见相反的现象。反映出镁质铬铁矿、镁铁质铬铁矿和铁质铬铁矿互为环带和过渡。副矿物铬铁矿多系中细粒自形结构,也可见蠕虫状连晶结构。后者系单斜辉石和斜方辉石被橄榄石交代而伴随铬铁矿出熔作用而成^[6]。这种现象显微镜下经常可见。

铬铁矿的化学组分见表 1。据铬尖晶石类单矿物成分计算和分类(白文吉、许文斗法)^[7],造矿铬铁矿可细分为镁质铬铁矿、镁铁质铬铁矿和铁质铬铁矿三种,而副矿物铬铁矿只有铁质铬铁矿和铁质低铝铬铁矿两种。镁质铬铁矿一般产于致密块状铬矿石中,镁铁质铬铁矿一般产于块状和稠密浸染铬矿石中,铁质铬铁矿只产于稀疏浸染和稀疏条带浸染状铬铁矿石中或以副矿物出现。从总体趋势看,块状和稠密浸染状矿石中铬铁矿富铬镁贫铁,条带浸染状矿石贫铬镁富铁,而副矿物铬铁矿富铬铁贫镁。即从致密块状铬铁矿 $\rightarrow$ 稠密浸染状铬铁矿 $\rightarrow$ 稀疏至中等条带状铬铁中的 MgO 和 Cr₂O₃ 有逐渐降低而 $<\text{FeO}>$ 有逐渐升高之趋势。

4 铬铁矿穆斯堡尔谱分析

对不同矿石和岩石类型中铬铁矿取了 8 个单矿物样作穆斯堡尔谱分析,有关参数见表 2,其拟合谱见图 1。8 个样的谱形基本相似,除 505-10 号样可分解成 4 套电四极分裂双峰外,其余 7 个样均为 3 套电四极分裂双峰。据其四极分裂值(QS)和同质异能移值(IS)进行峰的指派^[8],总体看来,Fe³⁺ 由一套双峰的谱图构成,Fe³⁺ 电子组态(3d⁵)是高自旋,Fe³⁺ 充填于铬铁矿晶体晶格中八面体空隙(即 B 位,6 次配位)。Fe²⁺ 由 2 套或 3 套(如 505-10)双峰的谱图构成,Fe²⁺ 电子组态(3d⁶)也是高自旋,Fe²⁺ 充填于铬铁矿晶体结构中四面体空隙(即 A 位,4 次配位)。四面体中 Fe²⁺ 产生

2 套或 3 套双峰，标志着 Fe^{2+} 有 2 种或 3 种次近邻环境。产生这种差异现象的原因，据宏观地质现象来推断，可能是铬铁矿形成时在上地幔所处热动力构造作用不大均一，致使产出的铬铁矿晶体结构中阳离子配位多面体歪曲程度不同。

表 1 铬铁矿的化学成分* 及四组分计算结果(%)**

矿物名称	镁质铬铁矿	镁铁质铬铁矿	镁铁质铬铁矿	镁铁质铬铁矿	铁质铬铁矿	铁质铬铁矿	铁质低铝铬铁矿	铁质铬铁矿
产状	致密块状	致密块状	稠密浸染状	致密块状	条带浸染状	条带浸染状	条带浸染状	强蚀变纯橄岩
样品号	505- 2	505- 3	505- 4	505- 10	037B81	419	272	B- 39
Al_2O_3	7. 55	5. 79	8. 20	8. 48	3. 13	8. 87	9. 91	3. 26
Cr_2O_3	57. 85	62. 15	55. 82	55. 86	55. 17	50. 46	48. 48	57. 42
Fe_2O_3	5. 16	6. 87	8. 58	7. 33	11. 42	10. 74	10. 60	9. 41
FeO	17. 28	17. 65	17. 42	18. 85	25. 41	22. 82	25. 32	25. 43
MnO	0. 33	0. 38	0. 42	0. 48	0. 73	0. 50	0. 46	0. 69
MgO	10. 93	6. 94	9. 37	8. 83	3. 64	6. 35	5. 71	3. 59
CaO	0. 04	0. 01	0. 03	0. 02	0. 06	0. 00	0. 06	0. 03
K_2O	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
Na_2O	0. 15	0. 08	0. 05	0. 06	0. 03	0. 10	0. 03	0. 00
TiO_2	0. 05	0. 05	0. 06	0. 07	0. 05	0. 13	0. 07	0. 06
SiO_2	0. 27	0. 01	0. 00	0. 02	0. 49	0. 00	0. 06	0. 09
总和	99. 61	99. 93	99. 95	100. 00	100. 13	99. 97	99. 98	99. 98
$\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	0. 269	0. 350	0. 457	0. 350	0. 404	0. 423	0. 377	0. 333
扣除杂质后计算的组分								
Al_2O_3	7. 68	5. 84	8. 29	8. 56	3. 20	8. 99	9. 32	3. 30
Cr_2O_3	58. 81	62. 70	56. 42	56. 38	56. 45	51. 15	49. 14	58. 16
< FeO>	22. 58	24. 38	25. 77	26. 10	37. 21	33. 32	35. 74	34. 99
MgO	10. 76	7. 08	9. 51	8. 96	3. 14	6. 54	5. 80	3. 55

* 分析者：武汉工业大学测试中心 ** 文献[7] 中 § 222 铬尖晶类矿物的分类和命名

表 2 铬铁矿的穆斯堡尔谱参数值

顺序	样品名称	Fe ²⁺						Fe ³⁺		Fe ³⁺ / Fe ²⁺ 峰面积比
		I		II		II'		III		
		IS ₁	QS ₁	IS ₂	QS ₂	IS ₃	QS ₃	IS ₄	QS ₄	
1	505- 2 致密块状镁质铬铁矿	0. 93	1. 43	0. 94	0. 79			0. 36	0. 51	0. 299
2	505- 3 致密块状镁铁质铬铁矿	0. 92	1. 46	0. 93	0. 79			0. 35	0. 50	0. 389
3	505- 4 稠密浸染镁铁质铬铁矿	0. 73	1. 60	0. 96	0. 71			0. 36	0. 42	0. 493
4	505- 10 致密块状镁铁质铬铁矿	0. 82	1. 65	0. 95	0. 68	1. 33	2. 50	0. 39	0. 39	0. 389
5	037- B- 81(428 [#] 矿体) 条带浸染状铁质铬铁矿	0. 78	1. 46	0. 92	0. 57			0. 39	0. 43	0. 449
6	419 [#] 矿体 条带浸染状铁质铬铁矿	0. 79	1. 66	0. 98	0. 74			0. 36	0. 45	0. 475
7	272 [#] 矿体边部条带浸 染状铁质低铝铬铁矿	0. 86	1. 61	0. 95	0. 74			0. 36	0. 41	0. 419
8	B- 39 强蚀变纯橄岩中 星散状铁质铬铁矿	0. 92	1. 27	0. 95	0. 57			0. 36	0. 47	0. 370

分析者：武汉大学穆斯堡尔谱室; 实验条件：穆斯堡尔仪为 OXFORD- MS500 型；放射源为 10mci⁵⁷Co/ Pd;
 IS (同质异能移值) 和 QS (四极分裂值) 均相对于 αFe

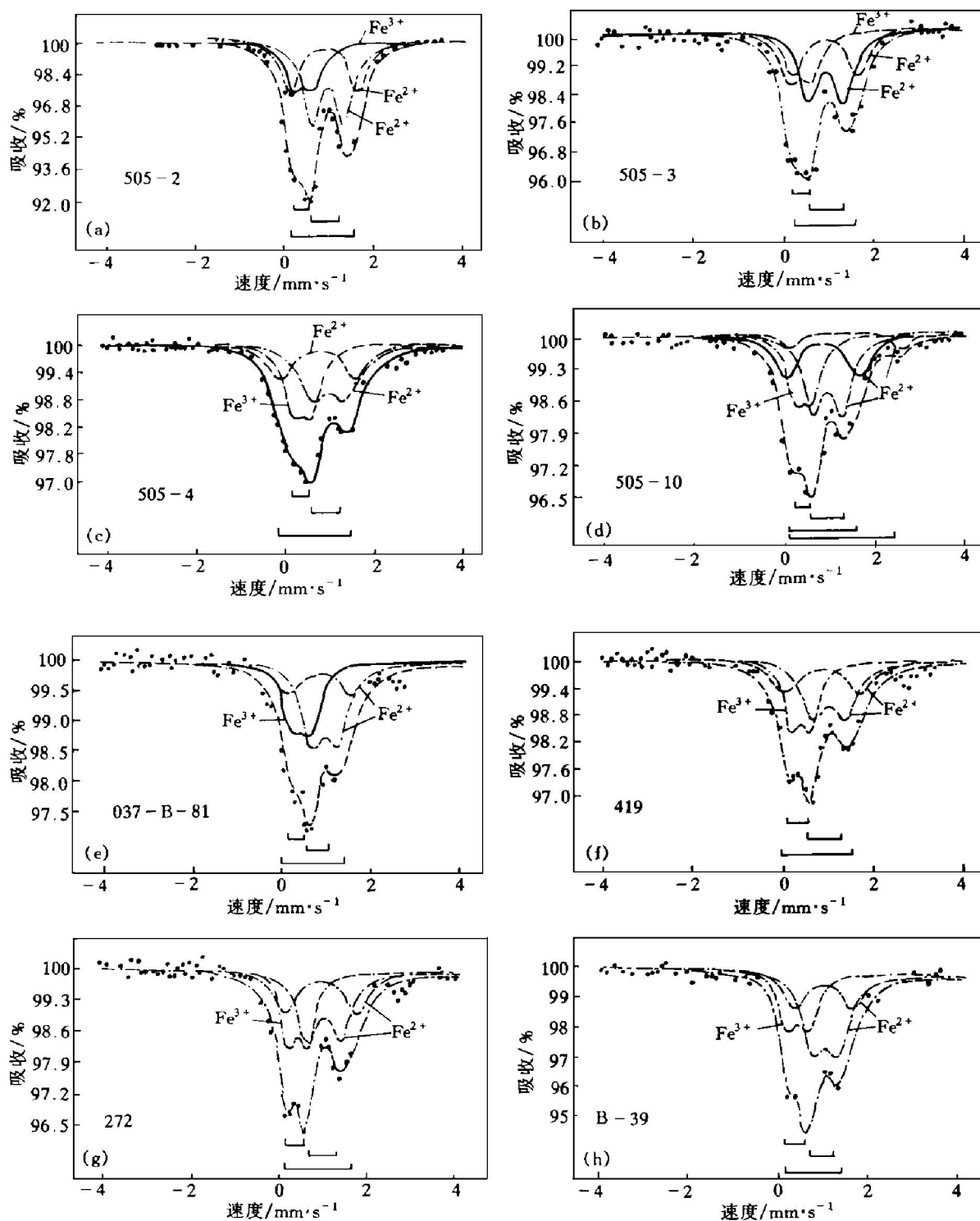


图1 不同矿石和岩石类型中铬铁矿穆斯堡尔谱图

5 铬铁矿成矿条件分析

由表1 铬铁矿单矿物化学分析值计算得出的 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值与穆斯堡尔谱峰面比得出的比值(表2)相比较,前者稍低于后者,这可能是铬铁矿单矿物不纯所致,也可能是系统误差

引起,但二者比值变化规律一致,因此不影响 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值的应用。

由表2 可知,矿体(505[#])中不同矿石类型中造矿铬铁矿 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 的平均值(0.39)与其围岩(B-39)中付矿物铬铁矿 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值(0.37)相近,说明二者总体形成氧逸度 f_{O_2} 条件相似。且在同一矿体中,自矿体中心至边

缘, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值有递增趋势, 具体表现是矿体中心致密块状镁质铬铁矿 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值为 0.299, 矿体中间致密块状镁铁质铬铁矿 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值为 0.389, 矿体边缘稠密浸染状镁铁质铬铁矿 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值为 0.493, 说明矿体不是在同一氧逸度 f_{O_2} 条件下形成的。氧逸度增高, 反映含矿熔浆中挥发性组分增加, 或反映铬铁矿形成深度变浅, 或两者同时起作用。

铬铁矿中 Cr_2O_3 含量是成矿压力条件的指示剂。因随地球深度增加, 配位场空间缩小, 晶体场分裂参数 Δ 值和晶体场稳定能 CFSE 将相应增加, 具有高 CFSE 的离子 Cr^{3+} 相对富集。因此, 据表 1 可知, 致密块状、稠密浸染状矿石及围岩中铬铁矿形成深度相对较大。而条带浸染状矿石中铬铁矿形成深度相对较小。 Cr_2O_3 含量还反映矿体(505[#]) 中心部分铬铁矿形成深度较大, 其后是围岩中副矿物铬铁矿, 形成深度最小的是矿体边缘稠密浸染状矿石中的铬铁矿。此种现象说明, 矿体不是在同一静态环境下形成, 而是在含矿上地幔橄榄岩浆由深部向上部逐渐运移的动态环境下形成的。

再从不同岩石中副矿物铬铁矿和不同矿石类型中造矿铬铁矿铬/铁和镁/铁值分布特征^[6]加以说明: 即从副矿物铬铁矿至块状铬铁矿, $\text{Cr}_2\text{O}_3/(\text{FeO})$ 比值由 1.32 增加至 2.49, $\text{MgO}/(\text{FeO})$ 比值由 0.11 增至 0.38, 也即由副矿物铬铁矿至造矿铬铁矿, 铬、镁不断富集, 而铁不断降低; 在不同矿石类型中, 从稀

疏浸染 $\rightarrow$ 稠密浸染 $\rightarrow$ 致密块状铬铁矿石, 铬、镁也不断富集, 铁也不断降低; 在含矿岩相中, 从斜辉橄榄岩至纯橄榄岩中铬铁矿, 铬、镁也不断升高, 铁也不断降低, 与辉石量不断减少相一致。上述现象说明, 不同造矿铬铁矿在形成过程中是经历了不断熔融和再造的过程。

综上所述, 可概略认为, 铬铁矿(体)的形成是由于地幔岩的对流和底辟上升, 因绝热减压而引起部分地幔岩熔融, 在熔融过程中不仅使成矿物质(铬)得到初步富集, 同时也使地幔岩中一系列矿物不断演化和再造, 从而使成矿物质(铬)得到进一步富集, 铬铁矿体是演化和再造过程的最终产物, 也可认为是地幔岩高度熔融形成的富铬、镁的极端残余部分。

参考文献

- 1 李先福等. 武汉化工学院学报, 1994, 16(1): 11-16.
- 2 李先福等. 武汉化工学院学报, 1994, 16(4): 49-52.
- 3 李春昱, 郭令智, 朱 夏等著. 板块构造基本问题. 北京: 地震出版社, 1986.
- 4 余 研等. 武汉化工学院学报. 1994, 16(4): 44-48.
- 5 王希斌, 鲍佩声, 邓万明等. 中国地质科学院主编. 中华人民共和国地质矿产部专报(三), 岩石、矿物、地球化学, 第8号. 北京: 地质出版社, 1987: 215-288.
- 6 陈彰瑞等. 武汉化工学院学报, 1995, 17(3): 41-44.
- 7 王恒升, 白文吉, 王炳熙等编著. 中国铬铁矿床及成因. 北京: 地质出版社, 1983.
- 8 陈义龙, 徐斌富, 程寄皋. 武汉大学学报, 1991, (4): 29-33.

CHARACTERISTIC ANALYSIS ON MINERALIZATION OF CHROMITE IN DONGCHINLING-SHONGSHUGOU ULTRAMAFIC ROCKS

Chen Zhangrui

Wuhan Institute of Chemical Technology, Wuhan 430073

Chen Jigao

Wuhan Metallurgy University of Science and Technology, Wuhan 430081

ABSTRACT Based on the occurrence of Dongchinling-shonshugou ultramafic rock and the characteristics of the chromite mineralization as well as the mineral components, a comprehensive explanation of the mineralization characteristics of the various chromites, such as those of being as the accessory minerals and those of different types of ore, has been proposed through the analyses of Mössbauer spectra. In addition, the macroscopic and microscopic geological analyses of the mineralization of chromite leads to conclusion that the chromite ore body is actually the extreme portions of rich chrome and rich magnesium formed by the highly-melted pyrolite.

Key words ultramafic rock chromite Mössbauer spectra pyrolite

(编辑 何学锋)

(From page 10)

MINERALIZING BELT CHARACTERISTICS AND EXPLORATORY PROSPECT OF SANDSTONE COPPER AND SILVER DEPOSIT IN HUILI RED BASIN

Zhang Suhua, Xu Yiren, Wang Dehua

Department of Geography, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004

ABSTRACT Geotectonic structure, regional structure and ore district structure to sandstone copper and silver ore districts and bodies have been expounded. And as the bases of the paleogeograph localization of mineralizing belts, the characteristics of lithologic facies, the ore body distributions in texture, the denudation and residual degree of ore bodies, the compositions of ore-bearing beds, and the zoning characteristics of metallic minerals in ore bodies to predict the potential district about sandstone copper and silver deposit, the authors divided the west Huili red basin into three mineralizing belts: the western, the middle and eastern ones, and suggested the exploratory prospect.

Key words Kangdian geodome diwa basin mineralizing belts opening zoning of metal mineral closing zoning of metal mineral denudation and residual degree

(编辑 何学锋)