

四川盐边县红格钒钛磁铁矿矿石矿物及化学成分分布特征

胡 毅, 冉启瑜, 张明胜

(四川省地质矿产勘查开发局 106 地质队, 成都 611130)

[摘 要] 红格矿区是我国目前最大的钒钛磁铁矿资源基地, 其矿产资源储量丰富, 伴生钒、铀、镓、铬、钴、镍、铜、硫等有用元素, 具有较高的经济价值。通过系统分析矿区有益元素的赋存状态及分布规律表明: 矿石中各种元素的相对含量以及含量的波动幅度, 与矿石 TFe、岩性和岩石组合高度相关。

[关键词] 钒钛磁铁矿; 矿石; 矿物; 化学成分; 红格; 四川

[中图分类号] P618.31; P618.6; P518.47 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2020)-01-0040-06

1 矿床简要特征

红格基性—超基性层状杂岩体主要侵位于震旦系上统灯影组灰岩, 矿床以断裂为界分为南北矿区, 含矿岩体具明显相带特征, 自上而下分为辉长岩相带(ν)、辉石岩相带(ϕ)、橄辉岩相带($\sigma\phi$), 组成各个岩相带的岩石自上而下岩性呈逐渐过渡关系, 因而显示出明显的韵律式变化。各岩相带中矿体呈层状、似层状、条带状产出, 产状与岩体产状一致。总体来看: 辉长岩相带矿化较差, 矿体主要集中在中、下部, 且矿石 TFe (全铁, 即铁元素的总含量) 品位相对较低, 上部基本不含工业矿体; 辉石岩相带矿化最好, 夹石率最小, 矿石 TFe 品位相对较高, 尤其是相带的上部和下部更为突出, 而相带中部 TFe 品位相对较低; 橄辉岩相带其矿化程度居于上述二相带之间, 其特点是, 相带中之夹石、TFe 品位较低的矿石和 TFe 品位较高的矿石, 常呈互层或条带状产出(四川省地质矿产勘查开发局 106 地质队, 1991)。

2 矿石矿物组成

主要为铁钛氧化物和硅酸盐矿物, 此外还含少量硫、砷、铋化物、磷酸盐矿物。这些矿物以不

同种类、含量、产状、结构构造组合成不同的矿石和夹石类型(罗金华等, 2005)。

2.1 矿石矿物

主要矿物为氧化物及硫化物、砷化物和铋化物。

2.1.1 氧化物

氧化物是矿石的重要组成部份, 以钛磁铁矿、钛铁矿为主, 还有少量的镁铁尖晶石、铬尖晶石及钛铬铁矿, 原生的铁钛氧化物不同程度发生变化而生成少量的次生铁钛氧化物如钛磁赤铁矿、赤铁矿、金红石、钙钛石、白钛矿等。

2.1.2 硫砷铋矿物

硫砷铋化物种类繁多, 主要为 Co、Ni、Cu 的硫砷化物及少量 Pb、Zn、Mo 硫化物。在矿石中的含量一般只有 0.5%~3.5%, 粒度变化范围 0.002 mm~0.7 mm, 一般为 0.05 mm~0.26 mm, 少数粗粒的硫化物分布橄辉岩相带底部富硫化物带, 粒径可达 2 mm~4 mm。在这些矿物中, 以磁黄铁、黄铁矿为主, 约占硫砷铋化物的 90% 以上。其次, 有镍黄铁矿、黄铜矿、硫镍钴矿、紫硫镍矿、辉钴矿、方铅矿, 偶见砷铂矿, 砷镍矿、针镍矿、墨铜矿、辉钼矿和毒砂等, 还见极微量的自然铅、毒砂等(四川省地质矿产局攀西地质大队 1987)。

[收稿日期] 2019-01-24 [修回日期] 2019-12-29

[基金项目] 四川省地勘基金项目(川国土资函[2010]998号)“四川省盐边县会理县红格钒钛磁铁矿深及外围普查”资助。

[作者简介] 胡毅(1978—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事地质调查与矿产勘查。E-mail: 1050383646@qq.com

2.1.3 铂族矿物

就整个含矿基性—超基性岩体看,铂族元素含量是低的,但通过大量人工重砂证实,铂族矿物突出富集在硫化物矿物中,辉石岩相带底部硫化物富集带和橄辉岩相带底部硫化物富集带均为铂族元素矿物富集带。

2.2 脉石矿物

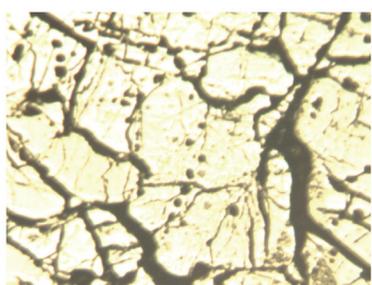
主要矿物有单斜辉石、橄榄石、斜长石、角闪石、黑云母、镁铁尖晶石以及它们的次生蚀变矿物

蛇纹石、透辉石、次透辉石、次闪石、绿帘石、榍石、碳酸盐等。

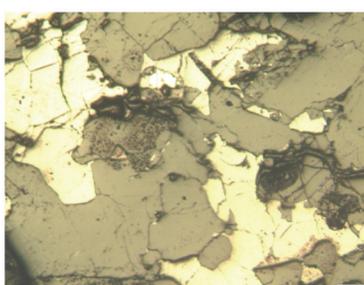
2.3 矿石结构构造

2.3.1 矿石结构

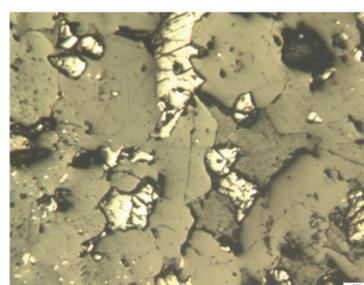
可分为早期岩浆阶段、晚期岩浆阶段、岩浆期后阶段三个时期形成,以前两个阶段生成的结构构造为主。矿区内矿石结构以嵌晶(包含)结构、海绵陨铁结构、填隙状陨铁结构、半自形—他形粒状镶嵌结构为主。



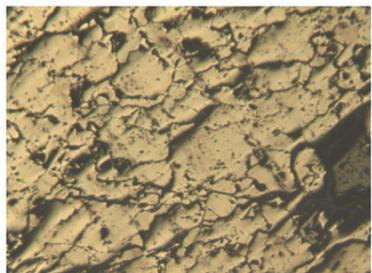
半自形-它形粒状结构,块状构造



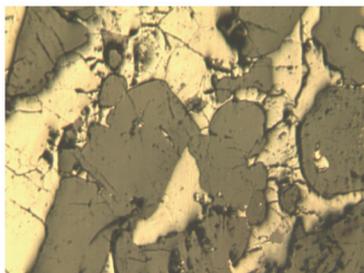
半自形-它形柱粒状结构,星浸染状构造



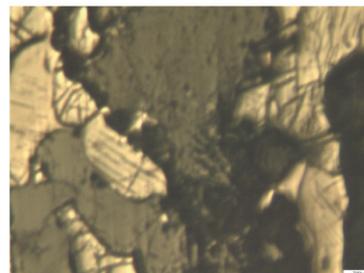
半自形-它形柱粒状结构,星浸染状构造



辉石型致密块状构造



半自形-它形柱粒状结构,海绵陨铁结构,稠密浸染状



半自形-它形柱粒状结构,稀疏浸染状构造

图1 红格矿区矿石显微结构构造

Fig.1 Microstructure of ore in hongge mining area

2.3.2 矿石构造

矿区内常见矿石构造有浸染状构造、条带状构造、致密块状构造。此外还有流斑状、斑杂状和流状构造,以浸染状构造、条带状构造为主。

3 矿石化学成分特征

3.1 矿石化学成分含量及变化

根据 ZK11003 钻孔多元素分析成果和组合分析成果可知,矿石的主要有用组分为:TFe、TiO₂、V₂O₅、Cr₂O₃、Ca、MnO、Co、Ni、Cu、S 和 P₂O₅,主要

岩组分为:SiO₂、Al₂O₃、MgO、CaO 等。

3.1.1 矿石中 TFe、TiO₂ 的含量变化

按矿体单工程统计,可大体了解 TFe、TiO₂ 的含量变化和分布富集情况:辉长岩相带底部和辉石岩相带及橄辉岩相带是主要含矿层位,辉石岩相带 TFe 和 TiO₂ 含量最高,TiO₂ 含量一般 9% 以上。

在空间分布上,矿石 TFe、TiO₂ 的含量沿矿体走向上变化不大,品位变化系数(变化程度指标)一般 30%左右,属均匀分布;沿垂直方向上变化属较均匀,反映含矿母岩岩浆分异造成的矿化差异(图2)。

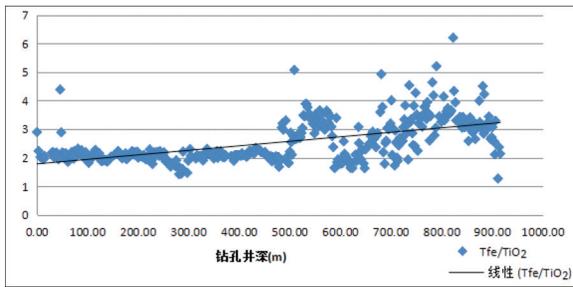


图2 红格矿区 ZK11003 钻孔 TFe/TiO₂ 沿厚度方向变化散点图

Fig. 2 Scatter diagram of TFe/TiO₂ changes along the direction of thickness in ZK11003 borehole in hongge mining area

各个矿体中,矿石中的 TiO₂ 都是随矿石 TFe 含量的增高而增高的(图 3),但 TFe 与 TiO₂ 相对含量的高低又是与含矿母岩的基性程度有关的,一般来说,TFe 的相对含量与母岩的基性程度同增减,而 TiO₂ 的相对含量则与母岩基性程度的增减相反(图 2),因此 TFe、TiO₂ 的相对含量是随含矿母岩的基性程度而变化的。

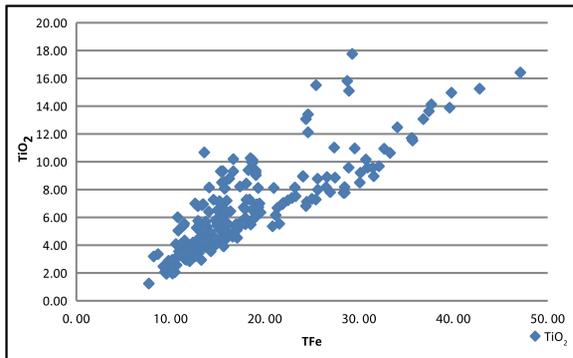


图3 红格矿区 ZK11003 钻孔 TFe、TiO₂ 品位变化散点图

Fig. 3 scatter diagram of TFe and TiO₂ grade changes in ZK11003 borehole in hongge mining area

各矿段 TFe 和 TiO₂ 的平均比值为 2.08 ~ 2.61 左右,系统对比矿石铁钛比值对划分成矿岩相带及矿石自然类型具有指导意义。

3.1.2 矿石中其它伴生组分的含量变化

红格铁矿各元素的分布富集规律性强,而且在不同的含矿层和空间都比较稳定, V₂O₅、Co、Ga、MnO 等,与矿石的 TFe 的关系密切,它们的含量高低直接受矿石 TFe 含量的控制(图 4、图 5、图 6); TFe 与 V₂O₅ 的比值特别是 V₂O₅ 与 TFe 呈二元直线相关,且相关系数较大,更接近正比关系,它说明 V₂O₅ 主要受矿石 TFe 控制。在选矿流程中,相关元素将主要进入铁精矿,为进一步富集回收利用提供可能。

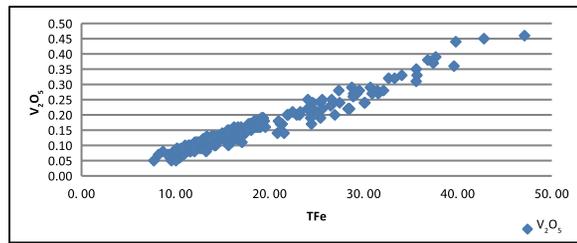


图4 ZK11003 样品 TFe 与 V₂O₅ 品位散点图

Fig. 4 scatter plot of TFe and V₂O₅ samples ZK11003

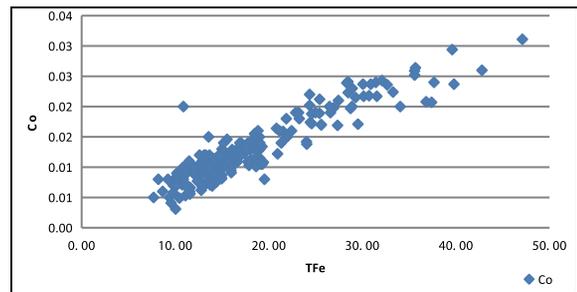


图5 ZK11003 样品 TFe 与 Co 品位散点图

Fig. 5 scatter plot of TFe and Co in ZK11003 sample

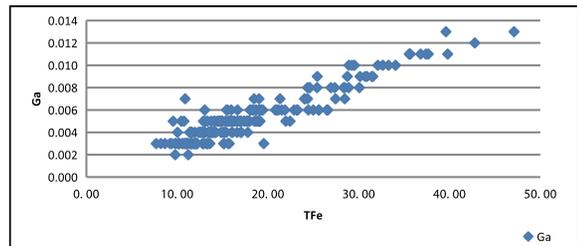


图6 ZK11003 样品 TFe 与 Ga 品位散点图

Fig. 6 scatter plot of TFe and Ga in ZK11003 sample

与矿石 TFe 含量关系不密切的元素,包括: Cr₂O₃、Ni、Cu、S、Sc 和 Pt 族元素等,它们的富集情况,除辉长岩相带 Co>Ni 外,其它各相带均是 Ni>Co、S、P 在辉长岩相带明显高于深部相带,递减趋势明显,其它元素随岩石基性程度增加含量有不同程度增加,Cr₂O₃、Sc 增加趋势明显;各伴生元素沿厚度方向较为一致的起伏变化,也反映岩相带韵律分异造成内部基性程度的变化。各伴生元素含量在基性与超基性岩相带矿体有不同变化,而在各相带内部变化基本一致,反映岩相带基性程度对伴生元素含量控制明显,从空间上看,北矿区橄辉岩相带矿体 Cr₂O₃、Ni、Cu、Co 含量相对最高。其它元素的含量变化没有明显的差异,如 V₂O₅、Cr₂O₃、Ga 绝大部分赋存在钛磁铁矿中,Co、Ni、Cu 主要集中在硫化物精矿中;Pt 族和 Se、Te 绝大部分富集在硫化物中(四川省地质矿产勘查开发局 106 地质队 2018)。

3.2 元素赋存状态

根据本次勘查所分析 102 件铁物相成果,结合原有资料通过计算人工重砂样品成果,得出主要有益组分在钛磁铁矿和钛铁矿、硫化物和脉石矿物中的分配关系。

3.2.1 铁(TFe)

主要赋存于钛磁铁矿,其次为钛铁矿、脉石矿物及硫化物中。根据物相样分析,矿石品级越高,mFe(磁性铁)分配值和分配率越大,而且与矿石中的 TFe 呈直线相关,工业矿石尤其如此(图 7)。

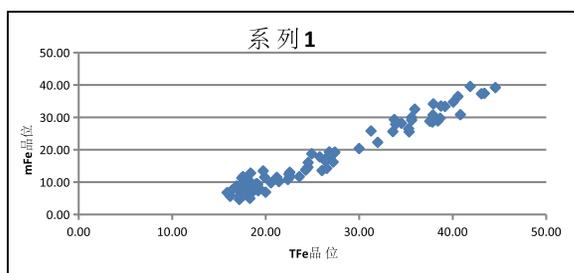


图 7 矿区物相样 TFe 与 mFe 品位散点图

Fig. 7 scatter diagram of TFe and mFe grade of mineral phase samples in the mining area

各类矿物中,钛磁铁矿中 TFe 分配最多,含矿层位对钛磁铁矿中的 TFe 分配值的影响不明显。仅辉石岩相带上部和下部矿石稍高。南北矿区相比,各有高低,但差别不大。钛铁矿中的 TFe 分配值不随矿石品级变化随矿石品级变化或略有变化。SFe(硫化铁)与 SiFe(硅酸铁)分配与矿石品位呈负相关,反映硫化物,脉石矿物中的 TFe 分配率随矿石品级的增高而降低(图 8、图 9)。所以,工业矿石的大部份铁(55%~90%)都集中在钛磁铁矿之中;而低品位矿石的钛磁铁矿仅占矿石 TFe 的一半(50%~55%),另一半主要集中在钛磁铁矿和脉石矿物之中,硫化物所占有的铁很少。

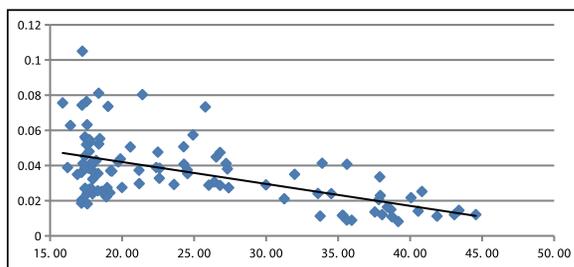


图 8 矿区物相样 SFe/Fe 与 TFe 品位散点图

Fig. 8 SFe/Fe and TFe grade scatter plots of mineral facies samples in the mining area

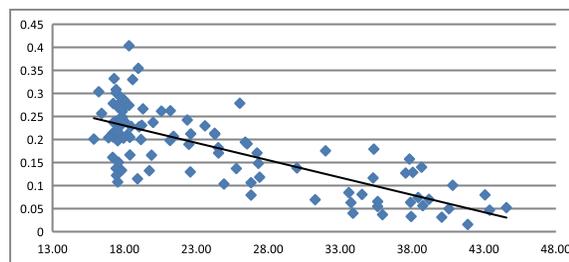


图 9 矿区物相样 SiFe/Fe 与 TFe 品位散点图

Fig. 9 scatter diagram of SiFe/Fe and TFe grade of mineral phase samples in the mining area

各矿体相比辉石岩相带上部和下部的钛磁铁矿所占有 TFe 分配率最高,钛铁矿最低,其它层位则相差不大。从选矿的角度看,辉石岩相带上部和下部的 TFe 回收率各含矿层中最高的。南北矿区相比,北矿区钛磁铁矿中的 TFe 分配率比南矿区偏低 3%~5%,但钛铁矿则相反,这是因为北矿区钛铁矿的产率比南矿区高的缘故(李存帅等,1980)。

3.2.2 钛(TiO₂)

各类矿石中 TiO₂ 的分配,主要集中在钛磁铁矿和钛铁矿中,两者分配率占 80%~90%,钛磁铁矿所占有 TiO₂ 是随矿石品级增高而增高。而钛铁矿则相反。其增高和降低的速度相近,故两者分配率含量近于定值。北矿区钛磁铁矿中的 TiO₂ 分配率比南矿区偏低。

脉石矿物的 TiO₂ 分配值以直线方程随矿石品级的增高而降低。硫化物中几乎不含 TiO₂。

3.2.3 钒

主要集中在钛磁铁矿中,分配率占 73.59%~97.58%,它是随矿石品级增高;此外在脉石矿物和钛铁矿中占有少部份,其分配率是随矿石品级的增高而降低。

值得提出的是:到目前为止,尚未发现含钒的独立矿物。矿石中的 V₂O₅ 主要是以类质同象的形式存在于钛磁铁矿中。

3.2.4 铬(Cr₂O₃)

矿石中的 Cr₂O₃ 主要分布在钛磁铁矿中,分配率占 90%,其他矿物含铬甚低,且主要是在脉石矿物中。钛磁铁矿中的 Cr₂O₃ 是随矿石品级和基性程度的增高而增高,在二级品矿石中分配率低,约 80%左右。钛磁铁矿中的 Cr₂O₃ 亦表现出韵律性变化,上部较低,下部逐渐增高(张建廷等,2005)。

3.2.5 钴(Co)镍(Ni)铜(Cu)

Co、Ni、Cu 主要分布在硫化物中,分配率一般占 50%以上;钛磁铁矿和脉石矿物次之;钛铁矿所占比例最少,除 Co 以外, Ni、Cu 分配率均在 5% 以下。

3.2.6 铂族元素(Pt、Pd、Os、Ir、Ku、Rh)和硒碲(Se、Te)

铂族元素在硫化物中的含量,有明显的富集规律。其它的矿物相中含量甚微,小于 0.01g/t)。

Pt、Os、Ir 在重砂中发现过独立矿物铂矿、硫钨矿,含量是很少的,说明 Pt 族元素主要是以类质同象赋存在硫化物精矿中。

Se、Te 是以类质同象赋存在硫化物精矿中,全矿区平均含量分别为:0.004 4%,0.000 5%。

3.2.7 镓(Ga)钪(Sc)锰(MnO)

Sc 主要赋存于脉石矿物中,但钛铁矿中也有相当含量,钛磁铁矿含量最低,分配率脉石矿物最高达 80%,脉石矿物中钪的含量与分配率随基性程度增高而增高,钛铁矿 15%左右,钛磁铁矿 5%左右,全矿区平均含量为 27 g/t。

MnO 主要分散在钛磁铁矿、钛铁矿和脉石矿物之中,各约占三分之一,不同的矿石品级所占的比例不相同:在 Fe₂(低品位铁矿)中,以脉石矿物的 MnO 分配率最大(46%);在 Fe₁(工业品位铁矿)中以钛磁铁矿的 MnO 分配率最大(60%)。

3.3 矿石有害元素赋存状态

3.3.1 磷主要赋存于磷灰石中

矿石中磷灰石含量较少,且分布不均,在上部辉长岩含矿带部分岩石中较富集,底部橄辉岩岩含矿带中磷灰石含量极少。P₂O₅在矿石中含量为 0.04%~2.10%,随 TFe 含量增高而略有下降,钛磁铁矿含量为 0.008%~0.136%,钛铁矿痕量 0.005%~0.047%对钛磁铁矿的质量并无影响。

3.3.2 矿石含硫为 0.005%~0.89%;从矿体看,总的趋势是自上而下硫含量减少

硫在各种单矿物中含量:钛磁铁矿为 0.05%~0.33%,钛铁矿 0.02%~0.63%,一般为 0.01%~0.04%。硫主要赋存于硫化物中,钛磁铁矿、钛铁矿含量较少(四川省地质矿产勘查开发局 106 地质队,2018)。

4 伴生有益组分综合评价

红格钒钛磁铁矿是以铁为主,伴生的钒钛、铬、钨、镓、钴、镍、铜和铂族等多种有益矿产,是伴生有益元素种类多、储量大、品位较高的综合性特大型多金属矿床。其中钒钛赋存在钛磁铁矿和钛铁矿中,在生产中已综合利用,钴、镍、铜可在硫化物中富集回收,钨可在冶炼中富集回收,其它伴生元素如铬、镓和铂族元素达不到综合利用指标,暂不能利用。

矿石中以钛磁铁矿、粒状钛铁矿、硫化物三类工业矿物为主,且这三类矿物都是富含多种有益元素可供综合利用的矿物原料。其中钛磁铁矿是铁、钛、钒、铬、镓的主要工业矿物,也含微量钴、镍、铜、钨;粒状钛铁矿是钛的主要工业矿物,其次是铁,有微量钴、镍、铜、钨;硫化物是回收钴、镍、铜的主要对象,矿石中已发现 20-30 种硫化物,其中以磁黄铁矿、黄铁矿为主,镍黄铁矿、紫硫镍矿、辉钴矿、红砷镍矿等少量,此外还发现有微量铂族元素。硫化物中的 Co、Ni、Cu、S、Se、Te 及铂族元素等多种有益组分都有回收价值(刘亚川等,2014)。

通过对矿体伴生的钒钛、硫、磷、铬、钴、镍、铜进行了综合勘查评价,钒钛和部分铬可达到综合评价最低参考指标,钒钛作为铁矿综合圈定指标,不单独圈定矿体,按铁矿矿体估算伴生元素矿物资源量,矿体中除硫、铜规模达中型外,磷、铬、钴、镍、钨可达大型规模。

矿石中各种元素的相对含量以及含量的波动幅度,都与矿石 TFe、岩性和岩石组合有着规律性的联系;如磷主要在辉长岩型矿石中富集,铬主要在超基性岩(主要是橄辉岩)型矿石中富集且与 TFe 品位正相关,钴主要在辉石岩型矿石富集,钨主要在超基性岩型矿石中富集。硫含量按岩性基性程度增加而递减,与钴、镍、铜含量不相关,这是由辉长岩型矿石较其他类型矿石中含硫铁矿更多引起的。

总体上说,红格钒钛磁铁矿的矿石选冶性能良好,现有经济技术条件下,对红格铁矿进行综合利用是可行的,具有较好的社会效益和经济效益。

[参考文献]

李存帅,刘杪,马天元,等. 1980. 攀枝花—西昌地区钒钛磁铁矿共生矿物质成份研究[R]. 84-88.

- 刘亚川,丁其光,徐明. 2014. 攀西钒钛磁铁矿共生资源及利用 [M]. 北京:冶金工业出版社,98-106.
- 罗金华,邱克辉,张佩聪,等. 2013. 红格钒钛磁铁矿中钛磁铁矿的矿物学特征研究[J]. 矿物岩石,33(03):1-6.
- 四川省地质矿产局攀西地质大队. 1987. 四川红格钒钛磁铁矿矿床成矿条件及地质特征[M]. 北京:地质出版社,68-71.
- 四川省地质矿产勘查开发局 106 地质队. 1991. 四川省渡口市红格矿区钒钛磁铁矿详细勘探地质报告[R]. 206-234.
- 四川省地质矿产勘查开发局 106 地质队. 2018. 四川省盐边县红格矿区钒钛磁铁矿深部及外围普查报告[R]. 135-142.
- 张建廷. 2005. 红格铁矿铬的赋存、分布与回收利用[J]. 四川有色金属,(01):1-4.

Characteristics of Minerals and Chemical Composition of Hongge Vanadium Titanite Ore in Yanbian County, Sichuan Province

HU Yi, RAN Qi-yu, ZHANG Ming-sheng

(106 Geological team, Sichuan Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Chengdu 611130, Sichuan, China)

[**Abstract**] Hongge mining area is the largest resource base of vanadium titanomagnetite in China at present. Its mineral resources are rich in mineral resources. The elements such as vanadium, mirror, front, chromium, cobalt, nickel, steel and sulfur are of high economic value. Through the systematic analysis of the occurrence and distribution of beneficial elements in the mining area, it is shown that the relative content and fluctuation range of various elements in the ore are highly related to the ore TFe, lithology and rock assemblage.

[**Key Words**] Vanadium titanomagnetite; Ore; Mineral; Chemical composition; Hongge