

甘肃小柳沟钨矿床矿石特征

刘堆富^{1,2}, 陈玉峰²

(1. 中国地质大学, 武汉 430074; 2. 甘肃有色地质勘查局四队, 张掖 734012)

[摘要] 文章对甘肃小柳沟钨矿床矿石类型、矿石结构构造、矿石矿物化学成分、主要有用组分赋存状态及其镶嵌关系、矿石比重特征进行了详细论述, 指出(1)小柳沟钨矿床矿石类型简单;(2)矿石结构构造较为复杂;(3)矿石中矿物组成较复杂, 种类多; 矿石中有用元素主要有钨, 此外含硫、铜、铋、钼、锌、锡等, 钨是矿石中主要回收对象, 而硫、铜、铋等具有一定的综合利用价值, 可以考虑综合回收;(4)矿石中钨主要呈白钨矿存在, 有少量钨华及黑钨矿; 矿石中铜主要呈黄铜矿存在, 有少量斑铜矿或辉铜矿; 矿石中铋主要呈辉铋矿存在; 矿石中钼主要呈辉钼矿存在, 部分呈类质同象分布于白钨矿中, 这部分钼难以用选矿方法分离; 矿石中含硫矿物主要为黄铁矿, 次为磁黄铁矿, 其他含硫的矿物有黄铜矿、辉铋矿、辉钼矿, 但是量都很少;(5)1号矿体及4号矿体所处矿化带中矿体的比重值不尽相同, 进行资源/储量估算时应区别对待。

[关键词] 矿石特征 小柳沟钨矿床 甘肃

[中图分类号] P618.67 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2005)05-0010-07

0 前言

钨作为一种战略储备物资, 在国防工业及国民经济中占有十分重要的位置。世界上长期以来开发的钨矿原料主要是白钨矿, 而我国长期开采利用的以石英脉型黑钨矿为主, 我国的大型、超大型以白钨矿为主的多金属矿床由于嵌布粒度细, 矿石矿物组份复杂, 选冶的经济技术指标尚未彻底解决等因素, 目前尚未大规模开采利用。

甘肃小柳沟钨矿床是甘肃有色地质勘查局及局属四队近年来在北祁连西段地质找矿上的重大突破, 经普查、详查、勘探探明为以夕卡岩型为主的大型白钨矿矿床, 白钨矿嵌布粒度大, 矿石矿物组分简单, 选矿试验表明, 各项经济技术指标较为理想。

该矿床地质特征及矿体特征在相关文献中已有论述^[1-3], 在此不再赘述, 本文只研究其矿石特征。

1 矿石类型

该矿床矿石类型主要有:

1) 夕卡岩型矿石

该类型多出现在夕卡岩及夕卡岩化灰岩中, 主要有稠密浸染状、条带状白钨矿、黄铜矿矿石; 浸染

状、稠密浸染状白钨矿矿石; 白钨矿辉钼矿矿石; 锡石白钨矿矿石等。

其中以稠密浸染状白钨矿矿石为主, 该矿床1号、4号、11号等主要矿体, 几乎全为此类型矿石, 且钨矿品位较高。

2) 蚀变千枚岩、角闪云母片岩型矿石

该类型多见于角闪云母片岩、含炭绢云母千枚岩中, 主要有: 稀疏浸染状白钨矿矿石; 白钨矿辉钼矿矿石; 石英—白钨矿矿石及辉钼矿细脉状矿石。

该类型矿石在矿床中分布广泛, 仅次于夕卡岩型矿石。

3) 花岗岩型矿石

以浸染状黄铜矿辉钼矿矿石和辉钼矿矿石为主, 白钨矿—辉钼矿矿石次之。该类型矿石仅在ZK2-1孔中16号矿体所见。在矿床中所占比例, 目前尚微不足道。

2 矿石的结构构造

2.1 矿石构造

1) 浸染状构造: 为最重要的矿石构造, 包括星散浸染状、稀疏浸染状、浸染状及稠密浸染状, 系由白钨矿、黄铜矿、黄铁矿及其他硫化物的集合体浸染

[收稿日期] 2004-11-10; **[修订日期]** 2005-03-04; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[第一作者简介] 刘堆富(1973年-), 男, 1996年毕业于中南工业大学, 获学士学位, 工程师, 在读硕士生, 现主要从事地质找矿和矿产资源评价工作。

于脉石矿物中而构成,通常在石英脉型矿石中主要是浸染状或稀疏浸染状,而稠密浸染状构造仅见于夕卡岩型矿石中,而且只在部分有白钨矿、黄铜矿及黄铁矿同时富集的矿石中可见。

2) 细脉状构造:较为常见,主要由细粒黄铁矿集合体沿岩石劈理、裂隙充填交代和白钨矿集合体呈细脉状产出。这种矿石构造多见于蚀变千枚岩、角闪云母片岩型和夕卡岩型矿石。

3) 斑杂状构造:相对较少见,主要由较粗粒的白钨矿、较细粒的白钨矿及硫化物相对集中分布而构成,一般仅见于石英脉型矿石和夕卡岩型矿石中。

4) 假象条带状构造:系一种特殊的矿石构造类型,仅见于蚀变千枚岩、角闪云母片岩型矿石,系由细粒黄铁矿集合体沿一组密集的劈理充填交代,并在劈理间浸染而构成,由于黄铁矿的含量较悬殊,似平行条带交互分布。

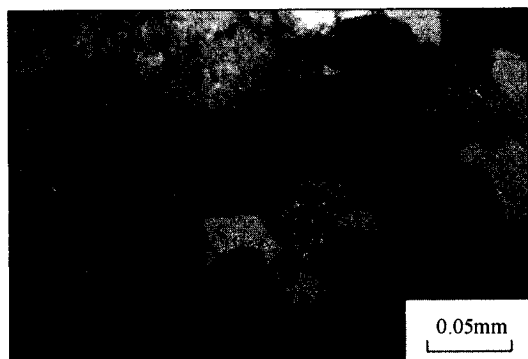
5) 团块状构造:较为少见,主要出现于多组较密集的石英脉穿插夕卡岩的部位,由白钨矿和硫化物强化富集而构成。

6) 块状构造:相对少见,仅限于夕卡岩型富矿体中,由粗粒白钨矿构成块状白钨矿矿石、由黄铁矿、黄铜矿构成块状铜矿石。

2.2 矿石结构

相对矿石构造而言,矿石结构较复杂,包括多种矿石结构类型。

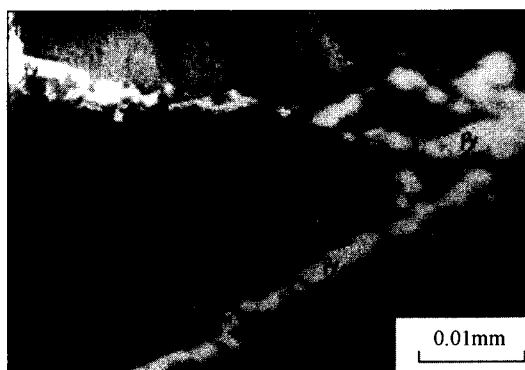
1) 自形—它形粒状结晶结构:系主要矿石结构类型,白钨矿多见半自形晶,亦可见部分呈自形晶或它形晶(照片1),黄铜矿几乎都为它形晶结构,晚期黄铁矿主要呈它形晶结构,早期黄铁矿虽多为自形、半自形粒状,但系再结晶产物。



照片1 白钨矿(W)粒状嵌布于石英中

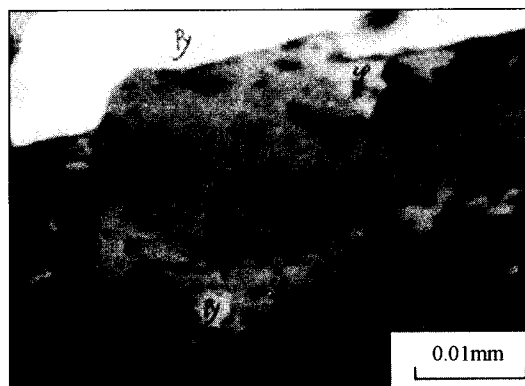
2) 自形半自形粒状结晶结构:较为常见,主要出现于蚀变千枚岩型矿石,主要是早期呈现细脉状或浸染状的微细粒黄铁矿在后期再结晶成外形较好

的自形晶或半自形晶,但其内部往往包裹有大量不规则状分布的非金属矿物,见照片2。



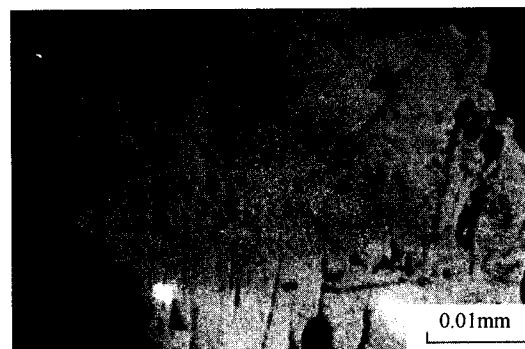
照片2 黄铁矿(Py)呈自形或半自形晶嵌布于脉石中

3) 包含结构:较为少见,通常见白钨矿包含不规则状黄铜矿,黄铁矿包含不规则状黄铜矿,黄铜矿包含不规则状黄铁矿,黄铜矿包含闪锌矿,闪锌矿包含黄铜矿,见照片3。



照片3 黄铁矿(Py)黄铜矿(Cp)与闪锌矿(Sp)的嵌布特征

4) 交代溶蚀结构:系常见矿石结构类型,由较晚形成的矿物沿较先形成的矿物边缘及裂隙交代溶蚀的结果,见照片4。



照片4 辉铋矿(Bis)沿黄铜矿(Cp)边缘嵌布

5) 交代残余结构:较为少见,系交代溶蚀作用

的极端类型。主要见白钨矿被黄铁矿或黄铜矿强烈交代呈现孤岛残留,黄铁矿被黄铜矿交代呈孤岛状或破布状残留。

6) 定向乳滴状结构:较为少见,固溶体分离产物,由黄铜矿在闪锌矿中呈定向乳滴构成,几乎所有的闪锌矿中都含有定向乳滴状黄铜矿。

小柳沟钨矿床的形成经历了变质成矿期、夕卡岩成矿期(早、晚夕卡岩阶段)、热液成矿期(高温、中温、低温热液阶段)3个成矿期5个成矿阶段^[4,5],根据镜下鉴定结果并结合野外穿插关系,主要金属矿物成生于夕卡岩成矿期(晚夕卡岩阶段)和热液成矿期(高温、中温热液阶段),生成顺序为:早期黄铁矿—白钨矿—辉钼矿—辉铋矿—晚期黄铁矿—毒砂—黄铜矿—闪锌矿—方铅矿;脉石矿物长石、云母、石榴子石、透闪石、透辉石、绿帘石等主要成生于变质成矿期和夕卡岩成矿期,石英、绿泥石在各个成矿期及其不同阶段均可形成。

3 矿石成份

3.1 矿石化学成份

矿石光谱定性分析结果及化学多元素分析结果见表1、2。矿石中有用元素主要有钨,此外含硫、铜、铋、钼、铈、锡等,钨是矿石中主要回收对象,而硫、铜、铋等具有一定的综合利用价值,可以考虑综合回收。

表1 矿石光谱定性分析结果 $w_B/\%$

含量范围	元素名称
>1	Si、Al、Ca、Mg、K、Fe
0.1~1.0	W、S、Mn、Na、Ti、F
0.01~0.1	Cu、Bi、Zn、P、Cr、Co、Ni
<0.01	Mo、Sn、Pb、Hg、Rb、Sr、Ba

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

表2 矿石化学多元素分析结果 $w_B/\%$

元素	WO ₃	Cu	S	Bi	Zn	Mo	Pb	Sn
含量	0.78	0.033	0.67	0.02	0.043	<0.01	<0.01	<0.013
元素	K ₂ O	Na ₂ O	Mg	Ca	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe	Mn
含量	1.27	0.29	2.76	10.33	8.39	45.32	2.89	0.19
元素	TiO ₂	F	P	Au	Ag			
含量	0.48	0.54	0.063	<1g/t	<15g/t			

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

2.2 矿石矿物成分

矿石中矿物组成较复杂,种类多,主要有用矿物有白钨矿、黄铜矿、辉铋矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿等,脉石矿物主要有透闪石—阳起石、绿泥石、石英、符山石、透辉石—钙铁辉石、绿帘石、石榴石、白

云母、绢云母、长石、方解石、萤石、磷灰石等,矿石的矿物组成及大致含量见表3。

表3 矿石矿物组成及大致含量 $w_B/\%$

矿物名称	含量	矿物名称	含量
白钨矿	0.95	透闪石—阳起石	52
黄铜矿	0.1	绿泥石	
辉铋矿	0.03	白云母、绢云母	11
辉钼矿	0.016	方解石、白云石	10.5
闪锌矿	0.06		
黄铁矿	1.4	石榴石	1
磁黄铁矿		长石	2.5
符山石	7.0	石英	12
透辉石—钙铁辉石		磷灰石	0.3
绿帘石		萤石	1.1
少量或微量矿物		毒砂、斑铜矿、辉铜矿、硅灰石、黑钨矿、钨华、自然铋、方铅矿、锡石	

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

有关金属矿物的主要产出特征如下:

1)、白钨矿:白钨矿呈它形或半自形不规则粒状或细粒状,多呈星散状或细粒稠密团块状、斑点状,少数呈细脉状浸染嵌布于夕卡岩矿物及石英中,矿石中白钨矿多呈白色或乳白色,油脂光泽,在紫外线下多呈淡兰色,部分呈淡黄色荧光,白钨矿与脉石矿物透闪石—阳起石、绿泥石、符山石、透辉石、石英、萤石等矿物共生密切,部分与硫化矿连生。矿石中白钨矿粒度变化范围较大,介于1~0.076mm之间,以0.25~0.076mm者居多,白钨矿单体解离测定结果表明,一般要磨至-0.125mm粒级才能单体解离,经显微镜下挑选白钨矿单矿物分析含WO₃为78.28%,含Mo为0.23%。白钨矿电子探针分析结果见表4。

表4 白钨矿的电子探针微区分析结果 $w_B/\%$

分析序号	WO ₃	CaO	MoO ₃	FeO
1	80.01	19.37	0.55	0.06
2	79.55	20.44	0.02	0.00
3	80.37	19.46	0.12	0.03
4	80.43	19.34	0.19	0.03
5	79.93	20.07	0.00	0.00
6	79.51	20.35	0.12	0.02
7	80.38	19.50	0.10	0.02
8	80.18	19.14	0.67	0.00

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

电子探针分析结果表明,矿石中有部分白钨矿含钼,最高含量可达0.67%,钼在白钨矿中呈类质同象状态。

黑钨矿呈板状,黑色,粒度较细,多小于0.2mm,在矿石中较少见到,仅在重砂产品中偶尔见到。

2) 黄铜矿:呈黄铜色,多呈它形、不规则粒状或细粒状,粒度多介于0.5~0.01mm之间,多呈星散状浸染嵌布于夕卡岩型矿石或石英脉型矿石中,少数呈不规则脉状,少量呈微细粒状、乳滴状或细脉状分布于闪锌矿中。黄铜矿电子探针微区分析结果见表5。

另据扫描电镜能谱分析结果,黄铜矿通常含微量金(见表6),最大点含量1.16%,但万倍扫描电镜下未见金的独立矿物。

表6 小柳沟钨矿床部分金属矿物扫描电镜能谱分析(点分析)结果表

样号	矿物	主要成分及含量/%	样号	矿物	主要成分及含量/%
1-1	黄铁矿(I)	S54.35, Fe45.65, Au0.00	2-2	黄铜矿	S36.56, Fe29.77, Cu33.67, Au0.00
3-6	黄铁矿(I)	S53.13, Fe46.87, Au0.00	2-2	黄铜矿	S36.50, Fe29.68, Cu33.55, Au0.27
2-1	黄铁矿(II)	S54.35, Fe45.46, Au0.19	2-3	黄铜矿	S36.62, Fe29.68, Cu33.14, Au0.26
5-1	黄铁矿(II)	S56.54, Fe42.54, Au0.92	3-2	黄铜矿	S35.46, Fe29.86, Cu33.42, Au1.16
5-2	黄铁矿(II)	S56.20, Fe42.92, Au0.88	3-4	辉铋矿	S19.04, Bi80.96, Au0.00
3-1	黄铁矿(II)	S53.78, Fe45.02, Au1.20	3-5	辉铋矿	S18.69, Bi81.31, Au0.00
2-1	白钨矿	W83.89, Ca16.11, Au0.00	3-3	毒砂	S21.21, As41.23, Fe37.55, Au0.00
2-4	白钨矿	W83.69, Ca16.31, Au0.00			

引自《甘肃省肃南县小柳沟钨矿床地质普查报告》^[8], (I)早期黄铁矿, (II)晚期黄铁矿。

3) 黄铁矿:多为浅黄色,常呈自形、半自形或它形,呈粒状、细粒状或不规则脉状嵌布于矿石中,主要见于蚀变千枚岩、角闪云母片岩型矿石中,部分见于夕卡岩型矿石,少量见于石英脉型矿石,粒度变化范围较大,介于2~0.1mm之间。黄铁矿电子探针分析结果见表7。

表7 黄铁矿电子探针微区分析结果 $w_B/\%$

分析序号	S	Fe	Ni	Cu	Sb
1	53.82	46.13	0.02	0.02	0.00
2	54.09	45.89	0.00	0.00	0.01
3	54.13	45.85	0.02	0.00	0.00
4	53.40	46.58	0.01	0.00	0.00
5	54.01	45.99	0.00	0.00	0.00
6	52.68	47.26	0.04	0.00	0.02
7	53.78	46.19	0.00	0.02	0.00

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

另据扫描电镜能谱分析结果,黄铁矿一般含微量金(见表6),最高点含量可达1.20%,但万倍扫描电镜下未见金的独立矿物。

4) 辉铋矿:浅灰色或锡白色,主要见于石英脉型和夕卡岩型矿石中,多呈短柱状或不规则长条状,常沿夕卡岩矿物或白钨矿边缘及裂隙充填,或沿黄铜矿及黄铁矿边缘及裂隙充填嵌布,粒径多小于0.1mm。辉铋矿电子探针分析结果见表8。

5) 闪锌矿:主要见于夕卡岩型矿石中,极少量分布于蚀变千枚岩、角闪云母片岩型和石英脉型矿

表 5 黄铜矿电子探针微区分析结果					$w_B/\%$
分析序号	S	Fe	Ni	Cu	Sb
1	34.70	30.03	0.00	35.27	0.00
2	35.50	29.58	0.00	34.89	0.03
3	35.09	30.68	0.02	34.17	0.02
4	33.90	30.21	0.00	35.88	0.01
5	34.89	31.21	0.00	33.88	0.01

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

石,呈不规则粒状产出,通常与黄铜矿共生,一般在闪锌矿内部见黄铜矿乳滴,有时亦可见黄铜矿中有羽毛状、十字状闪锌矿存在,多数闪锌矿粒径介于0.5~0.05mm。

表8 辉铋矿电子探针微区分析结果 $w_B/\%$

分析序号	S	Bi	Fe	Cu	Pb
1	18.69	80.61	0.32	0.38	0.00
2	18.88	79.40	0.15	0.64	0.92
3	19.32	79.77	0.25	0.52	0.13

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

6) 方铅矿:主要见于夕卡岩型矿石中,呈不规则粒状产出,通常与闪锌矿、黄铜矿共生,粒径一般不足0.3mm。

7) 辉钼矿:铅灰色,片状,星散浸染嵌布于矿石中,或沿黄铁矿裂隙充填呈网状,罕见于夕卡岩型矿石中,粒径通常不足0.1mm。辉钼矿电子探针分析结果见表9。

表9 辉钼矿电子探针微区分析结果 $w_B/\%$

分析序号	S	Mo	Fe
1	41.27	58.46	0.27
2	40.45	59.29	0.25
3	40.68	59.23	0.08
4	41.20	58.76	0.04
5	40.48	59.40	0.11

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

8) 毒砂:罕见于石英脉型和夕卡岩型矿石中,

多呈半自形粒状,在石英脉内呈星点状分布或嵌布于其他硫化物中,扫描电镜能谱分析表明其不含金(见表6)。

9) 斑铜矿:罕见于夕卡岩型矿石中,与黄铜矿共生,呈现不规则状,粒径均不足 0.1mm。

4 主要有用组分赋存状态及其镶嵌关系

4.1 赋存状态

通过以上分析可知,钨是矿石中主要回收有用元素,铜、钼、铋、硫等具有一定的综合利用价值,可以考虑综合回收。

经镜下鉴定、物相分析、电子探针分析表明,矿石中钨主要呈白钨矿存在,有少量钨华及黑钨矿,矿石钨物相分析结果见表10;矿石中铜主要呈黄铜矿存在,有少量斑铜矿或辉铜矿;矿石中铋主要呈辉铋矿存在;矿石中钼主要呈辉钼矿存在,部分呈类质同象分布于白钨矿中(这部分钼难以用选矿方法分离);矿石中含硫矿物主要为黄铁矿,次为磁黄铁矿,其他含硫的矿物有黄铜矿、辉铋矿、辉钼矿,但是量都很少。

表 10 矿石钨物相分析结果

相态	钨华	白钨矿	黑钨矿	合计
WO ₃ 含量	0.026	0.762	0.002	0.79
占有率	3.29	96.46	0.25	100

由江西南方稀土高技术股份有限公司分析。

4.2 主要矿物之间的连生关系

1) 白钨矿:与白钨矿连生的矿物主要为石英、石榴子石、方解石等脉石矿物,其次为黄铜矿、黄铁矿,偶有辉铋矿,个别为毒砂及其他硫化物。

2) 黄铜矿:与黄铜矿连生的矿物主要为透闪石、硅灰石、石榴子石和石英等脉石矿物,少量为白钨矿、黄铁矿和闪锌矿,个别为毒砂、辉铋矿及其它硫化物。

3) 黄铁矿:主要与长石、绿泥石、方解石、绢云母、石英和各种夕卡岩矿物连生,部分与黄铜矿连生,少数与白钨矿及其他硫化物连生。

4.3 常见连生矿物的镶嵌类型

4.3.1 白钨矿与连生矿物的镶嵌类型

(1) 白钨矿—石英:最常见二者以平滑规则的接触界面连生,构成平直毗连镶嵌,有时可见白钨矿包裹微细粒石英自形晶或石英包裹微细粒白钨矿半自形晶,构成包裹镶嵌,偶尔可见白钨矿呈细脉穿插石英或石英呈现细脉穿插白钨

矿,构成细脉镶嵌,依镜下统计大致判断,3种镶嵌类型的比例约为75:20:5。

2) 白钨矿—夕卡岩矿物:主要为参差毗连镶嵌,其次可见白钨矿沿夕卡岩矿物粒间交代而包裹这些矿物,构成包裹镶嵌,有时可见白钨矿沿夕卡岩矿物集合体微细裂隙充填构成细脉镶嵌,三者的大致比例依次为70:20:10。

3) 白钨矿—方解石:通常为平直毗连镶嵌,有时可见方解石呈细脉状穿插于白钨矿中,构成细脉镶嵌,这种镶嵌类型不足5%。

4) 白钨矿—黄铜矿:主要为比例相近的平直或参差毗连镶嵌,少数可见黄铜矿包裹或呈细脉状穿插于白钨矿中,而构成包裹镶嵌(<10%),或细脉镶嵌(<10%)。

5) 白钨矿—黄铁矿:由于黄铁矿存在两个世代,它们的镶嵌关系比较复杂,白钨矿与早期黄铁矿主要呈参差毗连镶嵌或包裹镶嵌(黄铁矿被白钨矿包裹),白钨矿与晚期黄铁矿除参差毗连镶嵌或平直毗连镶嵌外,还常见包裹镶嵌(黄铁矿包裹微细粒白钨矿)和细脉镶嵌(黄铁矿呈现细脉状)。

6) 白钨矿—辉铋矿或辉钼矿:主要为平直毗连镶嵌,偶见细脉镶嵌(硫化物呈细脉状)。

4.3.2 黄铜矿与连生矿物的镶嵌类型

1) 黄铜矿—石英:主要呈现参差或平直毗连镶嵌(参差毗连镶嵌更常见),其次为细脉镶嵌(黄铜矿呈细脉状),偶有包裹镶嵌(石英被包裹)。

2) 黄铜矿—方解石:直接嵌连者较少,主要为参差毗连镶嵌,有的见细脉镶嵌(方解石呈细脉状)。

3) 黄铜矿—夕卡岩矿物:直接嵌连者主要包括黄铜矿—石榴石、黄铜矿—透闪石、黄铜矿—硅灰石。黄铜矿—石榴石主要呈参差毗连镶嵌,部分为细脉镶嵌(黄铜矿呈细脉状);黄铜矿—透闪石主要呈毗连镶嵌;黄铜矿—硅灰石主要呈平直毗连镶嵌,系由黄铜矿沿纤维状、放射状硅灰石粒间充填而成。

4) 黄铜矿—绢云母或绿泥石:直接镶嵌为主,其次为包裹镶嵌(二者互为包裹),少数细脉镶嵌(黄铜矿呈细脉状)。

5) 黄铜矿—闪锌矿:参差毗连镶嵌和包裹镶嵌,包裹镶嵌者主要是黄铜矿呈现乳滴状定向分布于闪锌矿中。

6) 黄铜矿—其他硫化物:因辉钼矿、辉铋矿、毒砂和方铅矿都很少见,故它们与黄铜矿连生不常见到,所见者除参差毗连镶嵌外,尚有包裹镶嵌,且多

为黄铜矿包裹这些硫化物。

4.3.3 黄铁矿与连生矿物的镶嵌类型

1) 黄铁矿—石英:主要呈参差或平直毗连镶嵌(在黄铁矿细脉中),部分包裹镶嵌(黄铁矿包裹不规则状石英),有时见细脉镶嵌(黄铁矿呈现细脉状)。

2) 黄铁矿—夕卡岩矿物或长石:常见者包括黄铁矿—石榴子石、黄铁矿—透辉石、黄铁矿—长石,一般以参差毗连镶嵌常见,部分为细脉镶嵌(黄铁矿呈现细脉状),有时可见包裹镶嵌(互为包裹)。

3) 黄铁矿—方解石:参差或平直毗连镶嵌常见,有时见包裹镶嵌。

4) 黄铁矿—绿泥石或绢云母:以参差或平直不等粒毗连镶嵌常见。

5) 黄铁矿—辉钼矿或辉铋矿:难见,多为参差毗连镶嵌。

6) 黄铁矿—闪锌矿或方铅矿:难见,多为参差毗连镶嵌,有时为包裹镶嵌(黄铁矿被包裹)。

4.4 矿物嵌布均匀程度

为充分反映矿物的空间分布特性,以嵌布均匀度来表示嵌布均匀性。

嵌布均匀度 = 见矿单元数/统计单元数 × 100

在720个统计单元中,白钨矿见矿单元数为378,黄铜矿为316,黄铁矿为295,由此得它们的嵌布均匀度分别为52.6,43.9,和41.0,都属于较均匀嵌布。

5 矿石比重

研究资料表明^[4],1号矿体及其所处矿化带中其它矿体的比重值与4号矿体及其所处矿化带中其它矿体的比重值不同,差异较大,应区别对待。

通过筛选后,利用73件小体重样品测定值计算,1号矿体比重值和品位值的相关系数 $r = 0.098786$,利用相关系数检验法进行检验,给定 $\alpha = 0.01$,自由度 $n = 73 - 2 = 71$,查表可得 $P\{|r| > r_{\alpha}(n-2)\} = (\text{的临界值 } r_{0.01}(71) = 0.2830 \sim 0.3017)$,显然 $r < r_{0.01}(71)$,表明二者之间没有相关关系。因此1号矿体的比重值可以利用体重样的平均值进行计算, $D_1 = 3.12T/M^3$ 。1号矿体所处矿化带中其它矿体(2号、6号等)与1号矿体矿石特征相似,比重值也采用 $3.12T/M^3$ 。

通过筛选后,利用32件小体重样品测定值计算,4号矿体比重值和品位值的相关系数 $r = 0.589949$,利用相关系数检验法进行检验,给定 $\alpha =$

0.01,自由度 $n = 32 - 2 = 30$,查表可得 $P\{|r| > r_{\alpha}(n-2)\} = (\text{的临界值 } r_{0.01}(30) = 0.4487)$,显然 $r > r_{0.01}(30)$,表明二者之间存在相关关系。因此,需要建立回归方程进行4号矿体比重值的计算,现将回归方程建立如下:

设 X 变量代表品位, Y 变量代表比重:

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = 15.514$$

$$L_{yy} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = 0.617047$$

$$L_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = 1.825305$$

$$R_{\text{回}} = L_{xy}/L_{xx} = 0.117655$$

$$b_0 = \bar{y} - R_{\text{回}} \times \bar{X} = 2.870526$$

$$\hat{Y}_i = 2.870526 + 0.117655 \times \bar{X}_i$$

回归方程的显著性如何,需要进一步利用 F 检验法进行检验

$$S_{\text{回}} = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = 0.214756$$

$$S_{\text{剩}} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = 0.40229$$

$$F = \frac{S_{\text{回}}/P}{S_{\text{剩}}/(n-2)} = 16.015$$

当给定 $\alpha = 0.05$,第一自由度 $N_1 = 1$,第二自由度 $N_2 = (n-2) = 30$,查表可得 $P\{F > F_{\alpha}(p, n-p-1)\} = (\text{的临界值 } F_{0.05}(1, 30) = 4.17)$,显然 $F > F_{0.05}(1, 30)$,因此认为回归方程显著有效。

4号矿体所处矿化带中其他矿体矿石特征与4号矿体矿石特征相似,其比重值也可利用上述回归方程求得。

6 结论

1) 小柳沟钨矿床矿石类型简单;

2) 矿石结构构造较为复杂;

3) 矿石中矿物组成较复杂,种类多;矿石中有用元素主要有钨,此外含硫、铜、铋、钼、锌、锡等,钨是矿石中主要回收对象,而硫、铜、铋等具有一定的综合利用价值,可以考虑综合回收;

4) 矿石中钨主要呈白钨矿存在,有少量钨华及黑钨矿;矿石中铜主要呈黄铜矿存在,有少量斑铜矿或辉铜矿;矿石中铋主要呈辉铋矿存在;矿石中钼主要呈辉钼矿存在,部分呈类质同象分布于白钨矿中,这部分钼难以用选矿方法分离;矿石中含硫矿物主要为黄铁矿,次为磁黄铁矿,其他含硫的矿物有黄铜

矿、辉铋矿、辉钼矿,但是量都很少;

5) 1 号矿体及 4 号矿体所处矿化带中矿体的比重值不尽相同,进行资源/储量估算时应区别对待。

综上所述,结合小柳沟钨矿床地质特征及其自然环境,该矿床规模大,主成矿元素 WO_3 品位高,嵌布粒度大,易采易选,水、电、路“三通”,各项经济技术指标较为理想,对该矿床转入合理建设开发利用,无疑可以缓解我国华南地区钨矿资源日趋枯竭的局面,而且对“西部大开发”伟大战略的顺利实施及带动地方经济和民族经济大发展大有裨益。

[参考文献]

- [1] 陈进平,刘堆富,周 宏. 小柳沟钨多金属矿床矿化富集特征[J]. 2001 年湖南矿物岩石地球化学论丛. 长沙:中南大学出版

社,2001,128~132.

- [2] 周廷贵,周继强,宋史刚,等. 小柳沟铜钨矿田矿化特征及找矿方向[J]. 地质与勘探,2002,(2):37~41.
 [3] 张胜业,李 杰,周继强,等. 小柳沟铜钨多金属矿区地质特征[J]. 地质与勘探,2002,(4):33~35.
 [4] 刘堆富,安 涛,张树宏,等. 甘肃省肃南县小柳沟钨矿床中间地质勘探报告[R],2004,8.
 [5] 奚小双,孔 华. 甘肃小柳沟钨铜多金属矿床控矿构造与成矿规律研究报告[R]. 中南大学地学环境工程学院,2005,1.
 [6] 许新邦,管建红,敖加荣,等. 甘肃省肃南县小柳沟钨矿选矿扩大连续试验研究报告[R]. 江西南方稀土高技术股份有限公司,2004,6.
 [7] 甘肃小柳沟白钨矿选矿流程试验报告[R]. 江西南方稀土高技术股份有限公司,2002,10.
 [8] 周廷贵,张胜业,陈进平,等. 甘肃省肃南县小柳沟铜钨矿床地质普查报告[R],2002,7.

ORE CHARACTERISTICS IN THE XIAOLIUGOU TUNGSTEN DEPOSIT OF GANSU PROVINCE

LIU Dui-fu^{1,2}, CHEN Yu-feng²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. No. 4 Team, Gansu Bureau of Non-ferrous Metal Prospecting, Zhangye 734012)

Abstract: Types, structures, mineral chemistry compositions, composing state and relationship of main useful components and gravity of ores in the Xiaoliugou tungsten deposit in Gansu province is being described. It is pointed that ore types in the deposit are simple and ore structures are comparatively complex. Ore mineral composition is relatively complex with different types. Tungsten is a main useful element besides sulphur, copper, bismuth, molybdenum, zinc, tin etc, and can be used as main retrieved target in the ores with the useful components of sulphur, copper, and bismuth. Tungsten in the ores exists mainly as scheelite and some as wolfram ocher and wolframite. Copper mainly exists in chalcopyrite, and rarely in chalcomielite and chalcocite. Bismuth mainly exists in bismuthinite. Molybdenum mainly exists in molybdenite and some in scheelite as isomorphs which are difficult to be separated. Main sulphur-bearing mineral is pyrite, pyrrhotite comes second. Other sulphur-bearing minerals are chalcopyrite, bismuthinite and molybdenite with less content. Ore weights in the No. 1 and No. 4 ore bodies are different and must be treated with certain discrimination when estimating resources and reserves.

Key words: ore characteristics, Xiaoliugou tungsten deposit, Gansu