地质・矿床

瑶岭钨矿区寒武纪地层特征对寻找石英脉型黑钨矿的指示意义

李社宏^{1,2},李文铅¹,梁前勇^{1,2},贾继标³,郑揭东⁴

(1.中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室,广州 510640;2.中国科学院研究生院,北京 100049;3.有色金属矿产地质调查中心,北京 100012;4.瑶岭矿业有限责任公司,韶关 512159)

[摘 要] 瑶岭钨矿由北矿区、东矿区和白基寨矿区 3 个矿区组成,其中北矿区是主要生产矿区,以 石英脉型黑钨矿为主。在对北矿区大比例尺填图过程中,我们发现矿区地表地层单一,主要为寒武纪沉 积的变质砂岩和板岩。针对这种情况,我们采用土壤地球化学测量、物探磁法测量、钻探等工程方法对 寒武纪地层进行研究,综合分析了矿区地质特征、地球物理磁法特征及地球化学特征在对矿脉水平分 布、矿脉垂直分布、蚀变矿物因素、构造因素、热接触因素和成矿因素的外在表现,从而建立起矿区寒武 纪地层对矿化的指示体系表,并指出瑶岭钨矿北区深部和东南部有很大的找矿潜力,是值得继续找矿的 有利目标地段。

[关键词]瑶岭钨矿 黑钨矿 寒武纪地层 土壤地球化学 物探磁法测量 [中图分类号]P618.67 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2009)04-0358-09

Li She-hong, Li Wen-qian, Liang Qian-yong, Jia Ji-biao, Zheng Jie-dong. The features of cambrian strata and its implication to exploration of quartz vein wolframite in the Yaoling tungsten mining area [J]. Geology and Exploration, 2009, 45(4):358–366.

岭南地区寒武纪地层是石英脉型黑钨矿赋 存的主要地层之一^[1-3]。一般认为寒武纪地层中 变砂岩、板岩等与下伏中酸性岩体一样性脆、易 断裂,是很好的赋矿岩层。也有认为寒武纪黑色 砂岩和板岩等为主矿源层,具有高的 W 为背景 值^[4],但是并不是所有的寒武纪地层中都有矿 化。是否可以建立一些识别标志,用这些标志识 别出矿化或者为其含矿性提供一些依据,文章以 粤北瑶岭钨矿为例,对含石英脉型黑钨矿的含矿 寒武纪地层进行地质、物探磁法、次生晕化探、钻 探和原生晕化探研究,探讨其对黑钨矿的指示意 义。

1 矿区地质背景

瑶岭钨矿在广东省韶关市枫湾镇坪山乡。 矿区位于华南加里东褶皱带、湘南-粤北海西-印 支凹陷区域内,处于大东山-贵东-九连山东西向 构造岩浆带中部北侧,是赣南-粤北钨矿带的重 要组成部分。矿区位于曲仁构造盆地和九连山 褶皱断层带的交汇部位,属于瑶岭复背斜的核 部^[5,6]。南岭地区是中国最大的钨矿成矿区,区 域赋矿地层主要为与中酸性岩浆岩关系密切的 寒武系地层。主要成矿类型为石英脉型黑钨矿。

矿区内出露的地层主要有第四系、石炭系、泥盆 系、奥陶系和寒武系,见图1。其中石英脉型黑钨矿 主要赋存于花岗斑岩北侧的寒武纪地层中,是典型 的石英脉型黑钨矿。

2 地质特征对矿化指示

通过对矿区进行 1:10000 大比例尺填图,同时 结合槽探和钻探资料对瑶岭北区寒武纪地层、岩石 和矿脉(主要针对厚度大于 10cm 的石英脉或明显 见到黑钨矿的石英脉群组)进行分析,归纳其地质 特征对矿化的指示意义。

[[]收稿日期]2009-03-16;[修订日期]2009-06-01。[责任编辑]杨 欣。

[[]基金项目]全国危机矿山接替资源预测项目(编号:200644089)的资助。

[[]作者简介]李社宏(1977年—),男,2000年毕业于长安大学,获学士学位,在读博士生,主要从事地质与成矿研究。



图1 瑶岭钨矿矿区地质简图

Fig. 1 Geological map of the Yaoling tungsten deposit 1-寒武系-八村群;2-上奥陶系;3-中下奥陶系 4-泥盆系-桂 头群;5-泥盆系-东岗岭组;6-泥盆系-天子岭组;7-燕山中期 花岗岩;8-花岗斑岩;9-含黑钨矿石英脉;10-断层;11-土 壤地球化学测量区

1—Cambrian Bacun Group ; 2—Lower Ordovician; 3—Middle and Upper Ordovician; 4—Devonian Guitou Group; 5—Devonian Donggangling Formation; 6—Devonian Tianziling Formation; 7—Jurassic granite; 8—granodiorite porphyry; 9—wolframite-bearing quartz veins; 10—fault;11—unconformity boundary;12—soil geochemical survey area

2.1 地层及矿物特征

寒武纪地层主要为八村群的变砂岩、板岩。在 寒武纪地层下隐伏燕山期的花岗岩,少量地表出露 的花岗岩为褐黄色,强烈风化,结构松散。

八村群主要变砂岩、板岩等,可以划分出两段, 上段由粉红色-褐红色风化的变质细粒石英砂岩、 泥质粉砂岩和少量板岩组成,厚20~40m。一般呈 中层-厚层状构造,整体倾向呈南西,倾角平缓,多 在20°~40°间。粉红色-褐红色变质粉砂岩常夹有 少量的灰绿色的泥质粉砂岩,层理清晰,劈理发育, 覆盖地表。下段主要为灰色-灰白色板岩夹变砂 岩,地表出露少,多呈中厚层状-厚层状构造,岩石 层面和节理面有明显的褐铁矿化。变砂岩与板岩互 层,之间无明显的过渡界线,变砂岩中的岩屑有轻微 的绿泥石、绿帘石化、电气石和萤石化。

石英细砂岩中石英在 55% ~90% 之间,为陆源 砂屑,呈次圆-次棱角状,具重结晶结构。此外陆源 碎屑中还有少量长石,其绢云母化明显。填隙物主 要为粘土质杂基,多已绢云母化和绿泥石化。副矿 物主要有磁铁矿和锆石。粉砂岩中粘土达到45% ~85%,陆源粉砂55%~15%。粘土均已微鳞片状 绢云母、雏晶黑云母、白云母化,陆源粉砂主要为长 英质,并具有次圆-次棱角状结构。板岩主要由粉 砂(10%~15%),粘土质(50%~55%),新生的绢 云母、绿泥石、帘石、阳起石和少量黑云母(35%左 右)等组成,副矿物主要为电气石、锆石、磷灰石和 葡萄石等。次生矿物主要有硅质、石英和碳酸盐等。

沉积岩中电气石化是寻找钨锡矿床的重要标志^[7],主要为高温热液交代蚀变产生。在地层中发现少量的变质流纹岩和凝灰岩,推测地层中元素 B 可能与火山喷气作用有关。

2.2 岩石地球化学特征

在寒武纪地层中,采集地表和钻孔中新鲜岩石 标本,分析全岩的主微量元素特征。

主量元素特征: SiO₂ 在细砂岩中含量高,粉砂 岩中变化范围大,板岩中比较集中。结合薄片,石英 含量相对较高,说明寒武纪沉积岩的成熟度比较高。 岩石中 K₂O 含量高,而岩石中大量存在绿泥石、绢 云母等矿物,推测绿泥石、绢云母中 K 可能主要来 自寒武纪的地层。TiO₂ 含量在细砂岩和粉砂岩中 相对较低,在板岩中含量较高,说明物源受过强烈改 造。FeO > Fe₂O₃ 暗示相对还原的环境。CaO 和 P,O₅ 的含量较低,可能有过风化、淋滤作用。

稀土元素特征:对全岩进行球粒陨石配分模式 处理,其结果见图2。寒武纪地层中细砂岩、粉砂岩 和板岩的稀土配分模式高度一致,说明为同源沉积 物。Ce无异常,这与相对还原的环境和岩石具有陆 源特征相吻合。Eu 的负异常与在化学风化中,Eu 优先被带出有关^[8]。整体轻重 REE 分馏明显,轻稀 土分馏明显,重稀土分馏不明显,与一般花岗岩特征 吻合,暗示了沉积物的源岩为花岗岩。

微量元素特征(表 2):W 自深部隐伏的花岗岩 到地表,含量总体升高,均为正常背景值的几十倍, 表明 W 在地层中具有上移特征。B 与 W 特征基本 一致。Sn、Mo、F、Zn 和 Be 等由深部向浅部含量降 低,这主要与元素在上移过程中形成锡石、辉钼矿、 萤石和闪锌矿等有关。挥发份元素 F 和 B 含量为 正常 1~10 倍。Sn、Mo、Bi、As、Be、Li、Cu、Pb、Zn 等 金属离子也远远大于中国东部变余砂岩的含量。高 挥发份和高金属元素的高含量说明矿区具有有利于 成矿的地质背景条件。

	Table 1	Contents of major elements (10^{-2}) and trace elements $(10^{-6}, Au10^{-9})$ of Cambrian rocks in Yaoling												
名称	粉砂岩	粉砂岩	粉砂岩	粉砂岩	板岩	板岩	板岩	板岩	板岩	板岩	板岩	板岩	板岩	板岩
SiO_2	74.68	68.26	64.52	52.94	66.72	63.06	63.48	63.16	65.06	64.36	64.52	62.90	65.60	64.56
Al_2O_3	9.84	13.47	16.36	18.14	15.65	17.27	16.78	16.67	15.68	16.70	16.73	16.69	15.73	16.38
TiO ₂	0.54	0.68	0.78	0.61	0.83	0.79	0.83	0.77	0.78	0.84	0.80	0.74	0.82	0.75
Fe_2O_3	2.27	1.14	1.73	1.10	1.46	2.41	2.16	2.58	2.52	1.70	1.72	3.32	1.93	1.49
FeO	2.63	3.42	3.81	2.66	3.54	3.74	3.76	4.10	3.14	3.69	3.78	3.14	3.83	4.12
CaO	1.79	1.71	0.51	6.19	0.30	0.30	0.34	0.38	0.34	0.30	0.51	0.34	0.21	0.55
MgO	2.88	2.24	2.94	4.82	2.67	2.88	2.76	2.91	2.82	2.67	2.73	2.79	2.88	2.76
K_2O	2.53	3.45	5.22	7.80	3.93	4.42	5.65	5.18	4.99	4.61	4.19	5.11	4.46	4.94
Na ₂ O	1.02	2.18	0.45	1.40	1.24	0.44	0.29	0.32	0.57	0.79	0.19	0.82	0.47	0.48
MnO	0.058	0.148	0.099	0.108	0.070	0.090	0.073	0.078	0.104	0.089	0.090	0.073	0.084	0.063
$P_{2}O_{5}$	0.12	0.12	0.12	0.14	0.12	0.11	0.12	0.15	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11	0.12
LOI	100.01	99.30	99.70	99.83	99.59	98.67	99.22	100.17	99.15	99.30	99.23	99.12	99.82	99.66
Be	2.34	3.71	27.55	9.34	3.89	9.22	5.59	3.93	4.48	3.90	6.94	3.92	4.53	3.68
Bi	0.36	1.72	2.10	3.00	0.46	0.14	0.12	0.22	0.11	0.13	0.16	0.14	0.09	0.19
Cu	161.0	62.7	6.0	97.3	16.1	11.8	13.4	13.9	9.9	14.4	7.9	28.8	10.9	14.2
Li	65	137	145	273	110	200	130	106	112	105	145	102	113	110
Nb	14.5	17.2	21.3	24.4	21.8	20.6	22.3	21.1	21.7	23.4	20.9	22.5	22.5	24.9
Sn	4.7	47.5	20.2	11.7	8.2	39.9	16.9	7.9	6.4	7.0	26.5	4.7	6.1	6.2
Та	1.12	1.37	1.74	1.90	1.77	1.67	1.83	1.72	1.74	1.87	1.68	1.82	1.79	2.01
W	2.02	2.84	10.73	33.31	3.53	9.92	6.95	3.32	4.39	4.46	12.83	4.07	5.74	5.56
Ce	65	76	93	82	92	108	103	107	101	103	101	105	102	105
Dy	5.32	4.53	5.83	4.49	6.05	5.95	6.12	6.01	5.91	6.13	6.09	6.10	6.06	6.19
Er	2.92	2.52	3.20	2.63	3.30	3.33	3.36	3.30	3.31	3.29	3.35	3.39	3.37	3.40
Eu	1.03	1.32	1.38	1.25	1.29	1.49	1.53	1.55	1.43	1.49	1.50	1.55	1.48	1.47
Gd	5.69	5.22	6.45	5.10	6.44	6.73	6.74	6.65	6.67	6.76	6.68	6.73	6.59	6.83
Ho	1.00	0.85	1.10	0.89	1.13	1.14	1.15	1.11	1.13	1.16	1.17	1.16	1.16	1.18
La	35.1	40.8	48.1	44.0	48.3	57.5	55.4	58.2	54.1	55.3	53.9	55.7	55.3	55.2
Lu	0.46	0.43	0.54	0.46	0.54	0.53	0.58	0.55	0.55	0.54	0.54	0.57	0.58	0.57
Nd	27.6	31.9	39.2	33.2	38.3	43.0	41.5	42.5	40.2	41.7	40.9	42.7	40.7	43.3
Pr	7.54	8.74	10.83	9.47	10.52	12.02	11.71	12.02	11.31	11.72	11.49	11.94	11.46	11.92
Sm	6.02	6.29	7.67	6.06	7.43	7.96	8.03	7.89	7.70	7.99	7.71	8.14	7.68	8.26
Tb	0.92	0.79	0.97	0.76	1.02	1.03	1.03	1.04	1.03	1.06	1.05	1.04	1.04	1.07
Tm	0.46	0.41	0.51	0.45	0.53	0.54	0.54	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.54	0.57
Y	28.5	23.6	31.0	23.9	31.8	31.1	31.3	30.9	30.9	31.4	31.6	32.0	32.0	32.5
Yb	2.84	2.65	3.35	2.89	3.43	3.40	3.53	3.38	3.38	3.47	3.47	3.50	3.48	3.59

表 1 瑶岭寒武纪地层岩石主量 (10⁻²)、微量元素(10⁻⁶, Au10⁻⁹)含量

测试单位:河北廊坊地质实验室。

-

	Table 2 Contents of trace elements $(10^{-6}, Au10^{-9})$ of Cambrian strata in Yaoling												
名称	W	Sn	Мо	Bi	As	Be	Li	F	В	Cu	Pb	Zn	Au
地表土壤(569个样品)) 60.0	19.9	2.3	14.2	74	4.7	76	1022	258	65	78	120	0.7
岩石(133个钻孔样品)) 44.8	31.2	3.9	8.4	170	7.4	120	3330	173	33	57	133	0.6
花岗岩(32个样品)	29.6	39.2	38.8	17.5	49	18	49	4392	55	79	70	321	0.5
中国东部变余砂岩[9]	1.1	1.9	0.49	1.7	6.8	1.7	25	440	34	22	18	64	1.1

寒武纪地屋微量元素(10⁻⁶ Au10⁻⁹)

注:花岗岩来自450 中段坑道内(深部隐伏花岗岩的顶部)。



2.3 矿脉地表分布特征

迄今为止,在瑶岭寒武纪地层中已经发现80多 条不同规模的石英矿脉。将其归纳与分组,以 F_{α} 和 F_{cs} 断裂为界线,将矿区石英脉划分为三个群,即I、 Ⅲ、Ⅲ群。这些脉群中矿脉可能从东到西是可以连 接起来的,但是由于石英脉条数众多,变化较大,故 将其分组,以利于分析和归纳,见表3。

脉体较集中,主要沿北西-南东方向展布,倾向 主要为 200°~240°, 倾角在 60°~75°间。这一特征 与附近石人嶂和梅子窝石英脉黑钨矿基本一致。矿 化以Ⅲ群为中心,向两边逐渐减弱,向南东有发散的 趋势。矿脉厚 10~120cm 不等,部分以细脉群出 现。矿脉为裂隙充填,受后期构造作用改造强 刻[5]

矿脉主要充填于岩石的裂隙中,统计北区地层 中岩石的断层裂隙和节理共有6个期次,其中石英 脉型黑钨矿主要在第3个期次中^[6]。矿脉受后期断

表3 号	谣岭寒武纪地层地表石英脉特征
------	----------------

Table 3 Quartz vein character on the surface in Cambrian strata in Yaoling

群	组	倾向/°	倾向/°	基本特征
Ι	I_1	240 ~ 250	35 ~45	石英脉有不明显的矿化,宽度较 小多在2~10cm间
	I $_2$	220 ~ 240	55 ~65	石英脉破碎,褐铁矿化明显,宽 度为10~30cm.矿化不明显
	I ₃	210 ~ 240	60 ~75	条小石英脉组成,彼此平行或交 互,脉间有细脉成网络状连接
П	I ₄	20 ~ 40	70 ~ 85	脉较细,宽约 2~15cm,呈树枝 状零星出露,延伸不长,黄铁矿 萤石化
	II 1	200 ~ 225	50 ~ 65	西部收敛,东部发散.石英脉宽 度细小一般在1~5cm
	II 2	200 ~ 225	50 ~ 65	与 Ⅱ ₁ 相似,石英脉条数稀少,由 5 条组成,整体脉宽比较均匀
	II 3	220 ~ 260	60 ~75	走向靠近西部 F ₆₅ 处有向南弯曲 的趋势,脉宽 5~20cm,微弱矿化
	II 4	变化大	60 ~ 70	具中部收敛,东西两边发散.石 英脉的宽度很细,一般在 2 ~ 10cm 间
Ш	Ⅲ ₂	170 ~ 230	60 ~75	西北收敛,东南逐渐散开.宽2 ~20cm,见方解石石的网状细脉
	Ⅲ ₂	170 ~ 220	68 ~ 80	矿脉品位好,延伸稳定,矿山基 本采空,宽50~100cm

裂作用影响,改变空间的联系分布,明显受构造控 制。

2.4 地质特征对矿化指示

现阶段发现瑶岭石英脉型黑钨矿主要在寒武纪 地层中,矿脉倾向和地层倾向基本一致,倾角比地层 倾角陡。寒武纪地层主要为陆源原地沉积,电气石 发育,在还原的环境中,近地表岩石经过强烈改造 (可能为风化、淋滤等)作用。寒武纪地层普遍的绿 泥石、绢云母化。岩石中 SiO,、K,O 含量高,各类岩 石的稀土特征基本一致, 微量元素显示具有高挥发 份和高金属元素的背景值。矿脉主要在构造作用强 烈地段,呈带状聚合分布,具有群组分带性。总结地 质特征对矿化的指示主要有以下几个方面:

 1)在寒武纪地层或其附近有中酸性的花岗质 岩体,其中岩体与石英脉型黑钨矿有成因上的联系, 是成矿的内因;

 2) 矿脉受构造作用控制,其成因多为沿岩石裂隙充填而成,后期的构造作用对矿脉起了破坏作用, 使矿脉的空间架构变的复杂;

3) 矿脉群组特征明显,从区域上梅子窝、石人嶂
 和瑶岭矿脉走向为北西向为主,矿脉倾角一般在 60°~
 80°度之间,瑶岭矿脉倾角较缓,主要在 60°~70°间;

4)寒武纪地层中泥质粉砂岩、石英细砂岩和板 岩蚀变普遍,其中绿泥石化和绢云母化最为明显。 蚀变矿物主要有电气石,石榴石,阳起石,帘石,萤 石、磁铁矿和黑云母。其中电气石对石英脉型黑钨 矿有一定的指示意义;

5)源岩为花岗岩的沉积物在相对还原的沉积 环境中,形成成熟度较高的寒武纪地层。地层含高 SiO₂、K₂O 和 W 背景值。同时,地层中 F、B、Sn、Mo、 Bi、As、Be、Li、Cu、Pb、Zn 含量高,反映了挥发份和金 属离子的富集特征,对矿化有一定指示意义。

3 物化探对矿化的指示

文章对寒武纪地层中的部分地段进行详细解 剖,采用1:10000 物探磁法测量和土壤地球化学 测量,规格为200 m×20m,对同点进行物探磁法测 量和土壤化学分析(图3)。物探由北京有色地质 调查中心测量,化探分析由河北廊坊地质实验室 完成。



abnormality

3.1 物探磁法特征

根据物探磁法测量结果,见异常图和化探图。 在异常图中,磁法弱异常主要为隐伏的花岗岩,南 北向分布在地层深部。对白基寨矿区花岗岩进行 磁测,范围主要在 $0.1 \sim 25.7(4\pi \times 10^{-6} \text{SI})$,其磁法 对隐伏花岗岩的探测已经被证实。通过对矿区各 岩性的测量,发现板岩为 $6.5 \sim 81.6(4\pi \times 10^{-6} \text{SI})$, 变质砂岩和石英砂岩在 $1 \sim 78.4(4\pi \times 10^{-6} \text{SI})$, 矽 卡岩在 2.9~65.3(4π×10⁻⁶SI),黑钨矿细脉在 44.1~126.8(4π×10⁻⁶SI)间。△T异常最大值为 184 nT, 最小值为-68nT, 平均强度91nT。在化极 ΔT 磁异常的二次信息提取后,有四个单体封闭的 异常。均分布在隐伏岩体引起负异常区的两侧边 部,磁源体(主要为磁黄铁矿)的估算埋藏深度在 200~300m。这四个单封闭体被矿区 F65 和 F。断 裂所分割,深大断裂处磁性较弱,可能断裂形成时 与深部岩浆作用有关。图中东部的高异常区与地 表接近生活区有建筑物干扰有关。结合地质情况 矿化主要集中在磁异常的急变过渡带上,从北西 向东南展布。

3.2 土壤地球化学特征

土壤地球化学主要测试地表元素分布,共分 析了 W、Sn、Mo、Bi、Be, Bi, F、Li、Cu、Pb、Zn、Au、 Ag、As 十四种元素。黑钨矿脉异常主要为北西向 展布,东南部与矿山东矿区相接壤。磁异常被矿 区两大主要断裂割裂。由此可见此断裂为深大断 裂,与成矿关系不大,但对矿脉空间分布有改造控 制作用。

W和Bi的吻合性较好,与地表发现的矿脉主体 位置基本耦合。Sn、F、Li和B的异常基本也能反映 矿脉的总体形态,向西南有所移动。向西南移动的 原因主要为矿体向西南倾伏,矿脉倾向一般在200° ~240°之间。挥发份元素和指示隐伏岩体的元素 F、Li和B从岩体或矿体中扩散出来向上运移,在矿 脉上盘形成一定的异常区间,反映了矿脉的倾向和 侧伏情况。

3.3 物化探对矿化指示意义

综合物化探测量的结果,进行归纳如下:

1) 矿化在磁法测量中表现为正异常和负异常
 的急变带上(隐伏岩体和深大断裂),矿化磁异常范
 围在 44.1~126.8(4π×10⁻⁶SI);

次生晕研究中, Bi 与 W 的耦合性最好, Sn 和 Mo 次之, 元素 B、Li、F 等异常区主要出现在矿化体的上盘位置, 暗示了矿脉的倾伏方位;

 3)地质、物化探耦合位置高的地段,尤其对隐 伏岩体上盘有指示意义的地段可能是存矿的有利地 段。

4 垂向变化特征

在矿区中部,选择地层地质情况稳定、物探磁 法异常急变带和土壤地球化学异常为目标靶区进 行钻探。以其中钻孔 ZK602 进行系统取样分析, 原则为每 3m 取一个样品,分析了其中 W、Sn、Mo、 Bi、Be, Bi, F、Li、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As 十四种元 素。由于寒武纪地层厚,未能钻探进入岩体,但根 据矿区坑道资料推测,钻探距离岩体顶部已经不 远,见图 4。

4.1 垂向变化地质和地球化学特征:

在钻探工程中,寒武纪上层为 126m 的紫红色 和土壤色的变砂岩夹板岩,其下为灰色-灰绿色的 板岩夹变砂岩。钻孔中发现石英脉多条,一般厚 1 ~25cm,部分地段为细石英网脉。主要矿脉情况见 钻孔剖面简图(图4),在上下地层中岩性一致,石英 脉向下细脉增多,有大量的微小脉,其倾角变化大。 在石英脉的周边有白云母和少量黄铁矿化。

W的高值主要出现在石英脉附近,这与矿脉 位置基本吻合。由图 4 可以看出 Bi 和 W 高值吻 合度最好,在石英脉中发现有少量的辉铋矿,辉铋 矿呈细丝状多自形,多在石英晶洞中,部分在石英 晶体中。Mo和Sn的含量往地层深处逐步增加,尤 其 Mo 的丰度在地层中与深度正比关系明显, Mo 主要为辉钼矿,赋存在石英脉边部,为鳞片状,有 时与铅锌矿共生,呈星点状。此外在石英脉附近 常见有电气石、萤石和毒砂等矿物。其中电气石 主要呈针状和不规则状,一般在板岩和变砂岩中, 少量在石英脉中。萤石呈绿色和淡红色一般在石 英脉中或晶洞中。毒砂常与黑钨矿伴生,呈浸染 状,部分在石英脉边部的云英岩化地层中,呈块 状。其他元素如 Be 和 Li 等元素推测主要赋存于 云母等矿物内,主要为元素运移到石英脉或矿脉 附近的地层中,与变质矿物关系密切。

4.2 垂向变化特征对矿化指示意义

综合以上情况,在地层中,垂向变化对矿化的指 示有以下几个方面:

1) 垂向上与 W 成正比关系的元素主要为 Bi, Sn 和 Mo 次之;

2) 地层从上向下, Bi、Mo、F、B 等元素含量增加, Be 和 Li 的含量变化不大, As 含量向下变小;



图 4 瑶岭钨矿 ZK602 钻孔剖面地质及岩石地球化学纵向变化趋势图

Fig. 4 Geological cross section and vertical lithogeochemical map of drill hole ZK602 of the north block of the Yaoling 1—含矿石英脉;2—板岩;3—变砂岩;4—钻孔及编号

1-qartz veins with wolframite; 2-slate; 3-metamorphic sandstone; 4-drilling and number

3) 矿脉两边常有几厘米到几十厘米的次生白 云母带。矿体中晶洞发育,晶洞内多发育自形的水 晶。在石英脉中除黑钨矿外,常见有针状的电气石 和少量星点状的铅锌矿、鳞片状辉钼矿、萤石和毒砂 等矿物。

5 矿化指示体系建立

矿床识别体系的建立是一个复杂的过程,尤其

作为危机矿山^[10-15]。文章通过对瑶岭钨矿寒武纪 地层水平和垂直方位地质、地球化学、钻探和物探磁 法的研究,归纳出这些因素对矿化的指示特征如 表4。

根据以上的矿化识别特征,我们推测,瑶岭钨矿 北区向深部和东南部还有很大的找矿潜力,是值得 继续深入研究的地段。

表4 瑶岭钨矿北区寒武纪地层矿化指示体系

Table 4 Mineralization identifying features in Cambrian strata of north Yaoling

内部因素	地质特征表现	地球物理磁法表现	地球化学表现
矿脉	大多数石英脉中均有不同程度矿化,脉 体边部明显云英岩化,黑钨矿团块状, 沿岩石裂隙充填而成,品位变化大。	相对高正磁异常,范围在 44.1 ~ 126.8(4π×10 ⁻⁶ SI),主要受矿化附近 的黄铁矿和磁黄铁矿等因素控制。	W 一般与 Bi, Mo, Sn 关系密切, 同时与 Fe, Cu, As 等元素共生
矿脉水平分布	矿脉呈北西西走向,一般倾向在 210~ 240°之间,矿脉呈群组分布,一般在水 平面上表现为受构造控制	磁异常一般为急变带靠近岩体附近, 矿脉走向在异常上表现为带状特征	Bi,W 异常最吻合,其次为 Sn, As. 挥 发份元素 F 等集中于矿化上盘.
矿脉垂直分布	矿脉穿透寒武纪地层中各组,倾角一般 在 75 ~85°之间. 与传统"五层楼" 模式 一致,下部蚀变强,上部风化强。	矿脉深部向负异常特征的隐伏岩体 倾斜,由于矿脉倾角大,易形成异常 急变带	W,Bi,Mo 向下含量增加.Li,F,Be,B 等元素向下增加,而As 的含量减少.
蚀变矿物因素	地层普遍绿泥石化和绢云母化. 矿脉附 近一般见有云英岩化,常见蚀变矿物主 要为电气石,萤石,毒砂,石榴石等	高磁异常推测主要为热作用形成的 磁黄铁矿和磁铁矿	地层中高 K,F 和 B 等含量, As,Cu 等 元素也有富集,高 Be 和 Li 等可能进入 变质矿物。
构造控矿因素	矿脉空间分布明显受东北向和东西向 的断裂改造作用,后期至少有 3 期断裂 拉断矿脉,断裂控制矿脉分布	深大断裂与低磁异常吻合,推测深大 断裂与隐伏花岗岩关系密切	断裂分割 F,Li 和 B 等异常,后期的构 造作用可能减弱了这些挥发性元素的 含量
热接触因素	上部为斑点状板岩,中部为绿泥石化板 岩,深部为白云母,堇青石板岩。热接 触带之下为隐伏花岗岩。	一般地层和隐伏的酸性岩体磁性都 不强。热蚀变磁黄铁矿和镍黄铜矿 磁性较高。	挥发份元素 F,Cl,B,As 等元素从热接 触带进入上部地层,部分花岗岩中元 素会进入地层
矿床成因因素	黑钨矿赋存于石英脉中,热液充填岩石 裂隙而成.位于隐伏中酸性岩体的上部 和边部,矿脉边部有次生白云母,矿脉 两侧有不同厚度的云英岩化。	由于热作用形成磁性矿物集中在窄 长范围内,充填裂隙的矿脉磁异常平 面上表现为长窄形急变带。	W 与 Bi,Mo,Sn 等伴生元素富集,地层 富含高挥发份 F,Cl,B 等元素,高 K 地层易形成绿泥石和绢云母等。

「参考文献]

[1] 何小平. 瑶岗仙钨矿找矿预测探讨[J]. 中国钨业, 2002, 17 (4):39-43.

He Xiao-ping. A Prediction on Looking for Mineral Deposit in Yaogangxian Tungsten Mine [J]. China Tungsten Industry,2002, 17(4):39-43.

[2] 曹钟清.大吉山钽铌钨矿床地质特征及找矿模型[J].地质与 勘探,2004,40(6):34-37.

Cao Zhong-qing. Geological Characteristics and Prospecting Model of Dajishan Niobium-Tantalum-Tungsten Deposit [J]. Geology and Exploration, 2004, 40(6):34-37.

[3] 邓晋福,罗照华,苏尚国.岩石成因、构造环境与成矿作用
 [M].北京:地质出版社,2004:180-186.
 Deng Jing-fu, Luo Zhao-hua, Su Shang-guo. Petrogenesis, tecton-

ic setting and mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House Beijing China, 2004:180–186.

[4] 魏绍六,贾宝华,曾钦旺. 南岭地区钨矿成矿机理探讨[J]. 资 源调查与环境,2006,27(2):103-109.

Wei Shao-liu, Jia Bao-hua, Zeng Qin-wang. Metallogenic mechanism of tungsten deposit in Nanling area [J]. Resources Survey and Environment, 2006,27(2):103–109.

[5] 王 燕,周圣华,陈梦熊,李明高,曾永熊. 粤北瑶岭钨矿矿化
 类型多样性与叠加性研究[J]. 地质与勘探,2007,43(3):1-5.
 Wang Yan, Zhou Sheng-hua, Chen Meng-xiong, Li Ming-gao, Zeng Yong-xiong. Variety and superposition in the Yaoling tung-sten deposit, northern Guangdong Province[J]. Geology and Ex-

ploration ,2007,43(3):1-5.

- [6] 李社宏,李文铅,赵凤生,褚燕生,梁前勇,严成文. 瑶岭-石人 嶂钨矿构造动力特征探讨[J].中国钨业,2008,23(6):1-6.
 Li She-hong, Li Wen-qian, Zhao Feng-sheng, Zhu Yan-sheng, Liang Qian-yong, Yan Cheng-wen. On Tectonic Dynamic Features of Yaoling-Shirenzhang Zone [J]. China Tungsten Industry, 2008, 23(6):1-6.
- [7] 胡受奚,叶 瑛,方长泉. 交代蚀变岩岩石学及其找矿意义
 [M].北京:地质出版社,2004:41-44.
 Hu Shou-xi, Ye Ying, Fang Chang-quan. Petrology of the Metasomatically Altered Rocks and Its Significance in Prospecting
 [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:41-44.
- [8] 张刚理. 成岩成矿理论与找矿[M]. 北京:北京工业大学出版 社,1989:49-51.
 Zhang Gang-li. Theory and Prospecting of Diagenetic and Mineral-

ization [M]. Beijing: The Industrial University Publishing House in Beijing, 1989:49-51.

[9] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007:41-42.

Chi Qing-hua, Yan Ming-cai. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House Beijing China,2007:41-42.

 [10] 周圣华, 鄢云飞, 李艳军. 矿产勘查中的物化探技术应用与地 质效果[J]. 地质与勘探, 2007, 43(6):58-62.
 Zhou Sheng-hua, Yan Yun-fei, Li Yan-jun. Application and Efficiency of Geophysical and Geochemical Exploration Methods in Present Ore Prospecting [J]. Geology and Exploration, 2007, 43 (6):58-62.

[11] 俞中辉,张玉生,卢秀全,胡春亭,李晨辉,姜兰芳,张汉成.杨 金沟白钨矿床地质特征及矿床勘查类型讨论[J].地质与勘 探,2007,43(4):8-12.

> Yu Zhong-hui, Zhang Yu-sheng, Lu Xiu-quan, Hu Chun-ting, Li Chen-hui, Jiang Lan-fang, Zhang Han-cheng. Geological Characteristics and Prospecting Types of Yangjingou Scheelite Deposit [J]. Geology and Exploration, 2007, 43(4):8-12.

[12] 李 惠,岑 况,沈镛立,吴悦斌,张国义,张连发,禹 斌. 危机
 矿山深部及其外围盲矿预测的化探新方法及其最佳组合
 [J]. 地质与勘探,2006,42(4):62-66.

Li Hui, Cen Kuang, Shen Yong-li, Wu Yue-bin, Zhang Guo-yi, Zhang Lian-fa, Yu Bin. New Geochemical methods and best technique combination for prediction of blind orebody in the deep and surrounding of crisis mines [J]. Geology and Exploration,2006, 42(4):62–66.

[13] 刘崇民. 危机矿山找矿的地球化学方法技术研究[J]. 地质与 勘探,2002,38(增刊):227-230. Liu Chong-min. A study on geochemical exploration technics and methods for prospecting in the mines of reserve crisis [J]. Geology and Exploration, 2002, 38 (supplement): 227–230.

 [14] 李淑玲,孟小红,范正国,姚长利,于长春,郭良辉,万建华,张 洪瑞. 危机矿山重磁资料精细处理与解释:以湖北省大冶铁 矿为例[J].地球科学:中国地质大学学报,2007,32(4):559-563.

Li Shu-Ling, Meng Xiao-hong, Fan Zheng-guo, Yao Chang-li, Yu Chang-chun, Guo Liang-hui, Wan Jian-hua, Zhang Hongrui. Application of Fine Gravity and Magnetic Data Processing and Interpretation in the Prospecting of Crisis Mines [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2007, 32 (4):559-563.

[15] 陈广浩,苏勇,张湘炳.成矿构造研究法在危机矿山找矿中的 几个应用实例[J].大地构造与成矿学,2005,29(1):63-70.
Chen Guang-hao, Su Yong, Zhang Xiang-bing. Examples of Application of Metallotectonic Research Method to Ore Prospecting in Hazardous Ore Deposits [J]. Geotectonica et metallogenia, 2005,29(1):63-70.

The Features of Cambrian Strata and Its Implication to Exploration of Quartz Vein Wolframite in the Yaoling Tungsten Mining Area

LI She-hong^{1,2}, LI Wen-qian¹, LIANG Qian-yong^{1,2}, JIA Ji-biao³, ZHENG Jie-dong⁴

(1. Key Laboratory for Metallogenic Dynamics, Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy

of Sciences, Guangzhou 510640; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3 China Non-ferrous Metal Resource Geological Survey, Beijing 100012;

4. Yaoling Mining Co, Ltd, Shaoguan 512159)

Abstract: The Yaoling tungsten deposit is composed of north block, east block and Baijizhai block. The north block is the main production mine and mineralization type is mainly quartz vein wolframite. Large-scale geological mapping covering the north block was undertaken and it is found that the strata on the surface is simple, metamorphosed sandstone and slate of Cambrian age. Soil geochemical sampling, ground magnetic survey and drilling were carried out to study the Cambrian strata. The horizontal and vertical distribution of veins, alteration, structural controls and contact metamorphism were investigated, and mineralization identifying feature table in Cambrian strata in north YaoLing was set up. It is predicted that the deep and the southeast part in north block is highly prospective for searching for the new mineralization.

Key words: quartz vein wolframite, Cambrian strata, soil geochemistry, magnetic survey, Yaoling