

江西广丰超大型高品质黑滑石矿石地球化学特征及应用建议

王运¹, 胡宝群^{1*}, 李满根¹, 范鹏飞^{1,2}

1. 东华理工大学 地球科学学院, 江西 南昌 330013;
2. 核工业二三〇研究所, 湖南 长沙 410011

中图分类号: TD875+.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)06-0117-09
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.06.017

摘要 为了了解江西省上饶市广丰区黑滑石矿石矿物特征、地球化学特征及碳含量特征等,以便更好地利用黑滑石,助力打造黑滑石百亿元产业基地,通过对该区黑滑石开展野外调查、岩相学、地球化学分析等,并在此基础上提出对黑滑石应用的建议。结果显示本区黑滑石矿石类型主要为假鲕状滑石岩、角砾状滑石岩、片理化滑石岩等。矿石中矿物主要为黑滑石、石英及白云石,化学成分主要为SiO₂、MgO和CaO;假鲕状滑石岩和角砾状滑石岩的总碳和无机碳含量明显低于片理化滑石岩,而有机碳含量明显高于片理化滑石岩;本区黑滑石初步达到塑料、陶瓷、橡胶及涂料用滑石一级标准。

关键词 广丰黑滑石;岩相学特征;地球化学特征;物质组成

滑石颜色多样,可以是黑色、白色、绿色、灰色、棕色或无色^[1-2],其中黑滑石除了因混入有机碳导致颜色为黑色外,其矿物组成成分、成因类型、化学成分都与白滑石相似^[3]。滑石主要应用于陶瓷工业原料、橡胶填料、塑料填料、涂料填料、锂离子电池负极材料^[4]、船用聚合物填料及隐身材料、光催化降解材料等^[5],品质好的可以用于化妆品及药品等^[1]。

我国的黑滑石资源非常丰富,主要集中于江西省广丰区、湖南省保靖县、重庆市南桐区、四川省南川县上饶市等地,其中广丰区黑滑石矿资源量为超大型,累计探获黑滑石资源储量超过2亿t^[6]。朱馨怡^[7]对广丰黑滑石矿床开展了岩石学、地球化学特征研究,取得了较为丰富的成果,但该研究所取样品对于指导黑滑石应用代表性是不足的,因为其在黑滑石露天采场取了7件黑滑石样品,试验测试后发现其中6件为硅质岩,仅1件为黑滑石矿石。李成祥^[8]对广丰黑滑石开展了矿物特征、地球化学特征、晶体结构特征、碳质含量特征等研究,发现滑石晶体中存在“类石墨烯碳层”,部分碳存在于晶体的晶间,该成果为黑滑石的应用提供新方向;但该研究未明确矿石中主要矿物的含

量,且所研究样品无机碳含量偏高与实际生产利用的矿石有偏差,无法为具体生产利用提供依据。雷焕玲等^[9]对广丰黑滑石矿进行地球化学分析研究时未将黑滑石矿石分类,没区分各类型矿石的地球化学特征,限制了对黑滑石矿的精细化应用。总之,前人的研究多偏向于地质成矿理论研究,与实际生产应用结合较少。

江西省上饶市广丰区政府欲打造黑滑石百亿元产业基地,急需了解当地黑滑石矿石较为详细的物质组成及相关信息,为有针对性地引进黑滑石应用企业提供帮助。本次通过野外地质调查、岩相学、地球化学分析、矿石碳含量及类型分析等,研究黑滑石矿石矿物特征、地球化学特征及碳含量特征等,参考GB/T 15342—2012《滑石粉》规范,初步提出本地黑滑石的应用领域。

1 地质背景

江西广丰黑滑石矿床地理位置位于江西省上饶市广丰区,大地构造上处于钦杭结合带中段的赣中对接带之广丰地体。区内地层出露齐全,自古元古代至第四纪地层均有出露(图1)。广丰黑滑石矿层出露于新

收稿日期:2020-11-23

基金项目:国家自然科学基金(41472069);东华理工大学博士启动基金(DHBK2019051);江西省重点研发计划项目(20203BBG72W011)

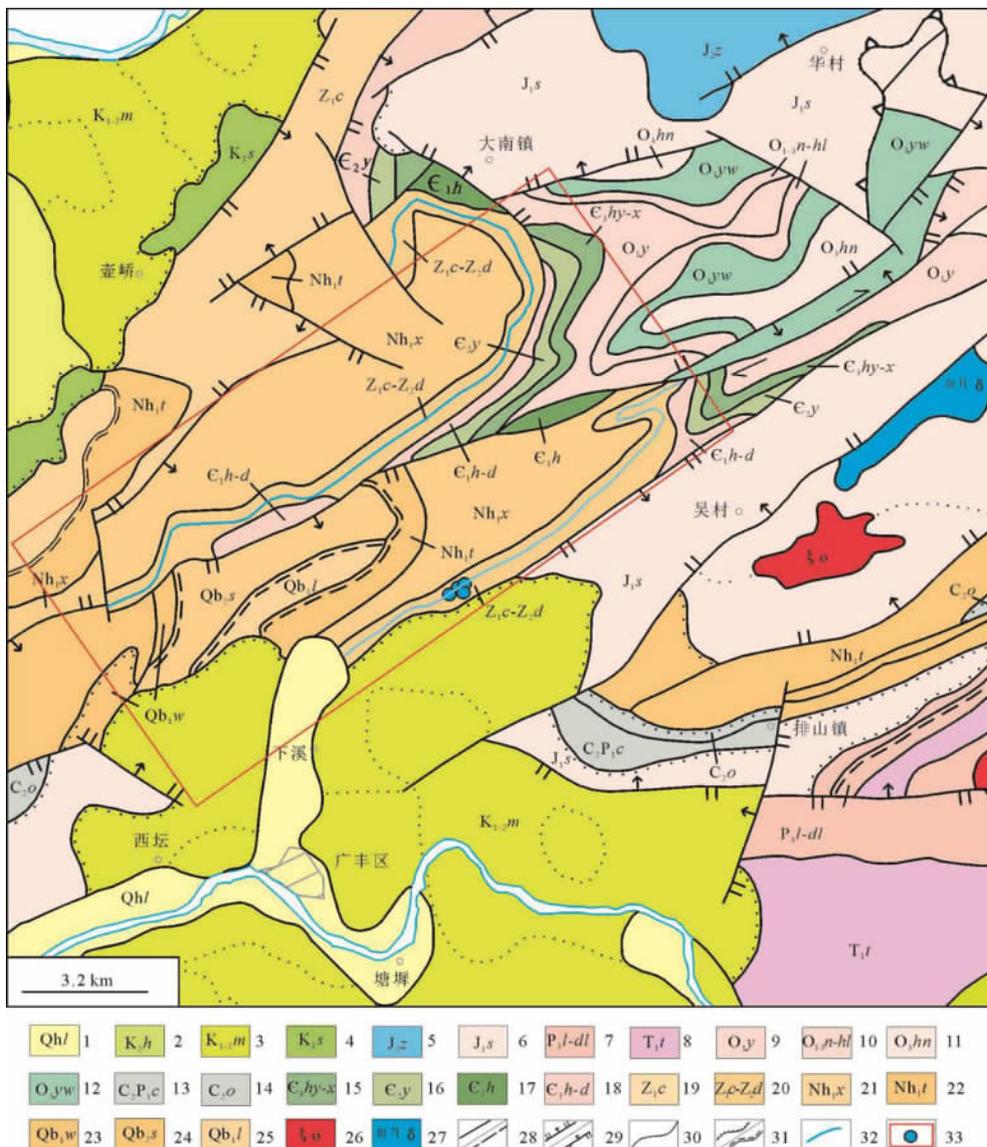
作者简介:王运(1985-),男,高级工程师,博士,主要从事岩矿地球化学研究。Email:357768473@qq.com。

通信作者:胡宝群(1965-),男,教授,博士,主要从事岩矿地球化学研究。Email:bqhu@ecit.cn。

元古代震旦系上统灯影组。该组岩性特征以灰白、灰色中~厚层状白云质灰岩及硅质岩为主,夹有数层灰黑、灰绿色薄层状含炭钙质粉砂岩、含炭钙质泥岩及钙质泥岩,厚约 50~200 m。其分别与上覆地层荷塘组和下伏朝阳组呈整合接触。黑滑石矿层底板为灯影组下段灰色硅质岩、条纹状硅质岩及鲕状硅质岩之上,顶板为灯影组上段的浅灰白色鲕状硅质岩、白云质灰岩,局部可见黑滑石矿层与硅质岩或白云质灰岩互层。本区受多次构造运动,断裂构造主要为 NE 向,其次为 NW 向,此外褶皱较为发育。区内多组构造交织成网,对黑滑石矿体稳定性及延续性造成不利影响。区内火山活

动不强烈,仅在矿区外围见到一些零星分布的燕山期火山岩及岩脉。

黑滑石矿体呈层状、似层状、透镜状产出,厚度一般为几厘米至一百多米。矿体中常夹有宽度不等的硅质岩和碳酸盐岩条带,矿体与顶底板界线较为明显。黑滑石矿体不仅受地层控制还受褶皱、断裂构造控制,导致部分矿体破碎。矿体总体为 NE 向,倾向 SE,倾角 60~80°,在局部地段受断层、揉皱以及地层倒转及地层内滑动等导致矿体产状及厚度变化较大,部分地段矿体甚至出现缺失。



1. 联圩组;2. 河口组;3. 茅店组;4. 石溪组;5. 漳平组;6. 水北组;7. 乐平组一大陈组;8. 铁石口;9. 印渚埠组;10. 宁国组一胡乐组;11. 黄泥岗组;12. 砚瓦山组;13. 船山组;14. 藕塘底组;15. 华严寺组一西阳山组;16. 杨柳岗组;17. 荷塘组;18. 荷塘组一大陈岭组;19. 朝阳组;20. 朝阳组一灯影组;21. 休宁组;22. 听门组;23. 翁家岭组;24. 上墅组;25. 骆家门组;26. 石英正长岩;27. 石英二长闪长岩;28. 实测性质不明断层/推测断层;29. 正断层/逆断层;30. 整合岩层界线;31. 不整合界线/平行不整合界线;32. 矿体;33. 矿区范围及采样位置

图 1 广丰区黑滑石矿区地质图

Fig. 1 Geological map of black talc mining area in Guangfeng District

2 样品采集及测试

本次样品采于上饶市广丰区萍塘黑滑石停产的露天采场,共采集典型代表性样品5件,岩性分别为中等风化黑滑石岩、假鲕状滑石岩、角砾状滑石岩、片理化滑石岩、钙质泥岩。其中采集的钙质泥岩与黑滑石岩在同一地层,便于与黑滑石岩从岩相学及地球化学方面进行对比。样品的岩矿鉴定是在核工业230研究所完成的。样品的化学成分测试,碳含量及类别测试分析在澳实分析测试(广州)有限公司完成。其中微量稀土元素测试采用电感耦合等离子体质谱测试分析,主微量元素采用X射线荧光光谱仪熔融法测试分析;无机碳(碳酸盐碳)采用高氯酸消解,电量分析仪测试;有机碳总量和全碳采用红外感应仪测试。

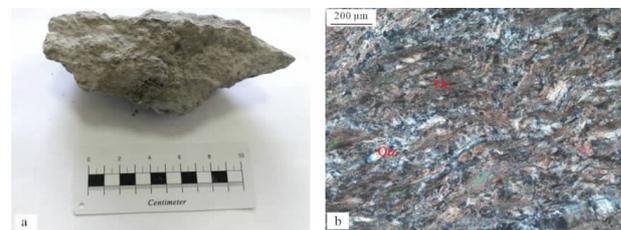
3 矿石矿物特征

新鲜黑滑石矿为黑色、灰黑色,块状,手摸有滑腻感、污手,外观与石煤相似。黑滑石矿风化后为灰白色,由于碳酸盐及炭质流失,其质量变轻。矿石结构较简单,主要为假鲕状、片理状和角砾状结构,胶结物主要为碳酸盐、硅质等。矿石构造较简单,主要为块状构造、片状构造,具定向性的特点。

本次对采集的5件具代表性样品进行了岩相学研究。

3.1 中等风化黑滑石岩

手标本为灰白色,中等风化,片麻状构造,难以辨认矿物成分,易破碎成粉末(图2a)。正交偏光显微镜下观察岩石主要由长片状定向排列滑石,他形晶粒状石英,少量不透明炭质、铁质等组成。岩石中的石英与滑石分别受应力作用相对聚集,略呈显微条带,两种矿物的接触处形成线理(图2b)。其中滑石含量相间分布约75%,片状、长片状、鳞片状,单偏光镜下颜色为浅褐色到无色,集合体显定向排列。石英含量约20%,他形粒状,晶体受应力显压缩拉长状。不透明炭质、铁质含量约5%,分布滑石解理之间。



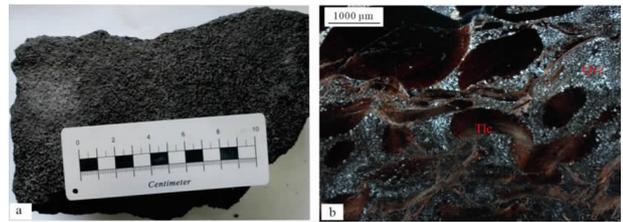
a. 手标本; b. 正交偏光镜下特征; Tlc. 滑石; Qtz. 石英

图2 中等风化黑滑石岩

Fig. 2 Moderately weathered black talc

3.2 假鲕状黑滑石岩

手标本为黑色,假鲕粒结构,层理状构造,污手,假鲕粒大小约2 mm,黑色为滑石,白色为石英(图3a)。正交偏光显微镜下观察岩石主要由假鲕粒状、角砾状滑石,他形变晶粒状石英,少量白云石等组成(图3b)。其中滑石呈假鲕粒状,含量约50%,粒径0.5~4.5 mm,椭圆状、次圆状、少量呈弯曲的片状,单偏光镜下颜色为褐色,其椭圆长轴略显顺层定向排列。石英含量约45%,他形晶粒状,粒径<0.2 mm,以胶结物的形式分布在滑石粒间,见石英交代滑石假鲕粒致使其呈残留状,说明石英形成晚于滑石。白云石含量约5%,他形粒状,与石英混合分布。



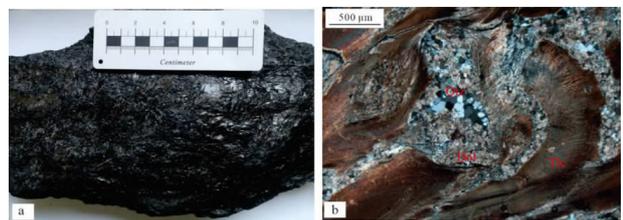
a. 为手标本; b. 为正交偏光镜下特征; Tlc. 滑石; Qtz. 石英

图3 假鲕状黑滑石岩

Fig. 3 Pseudooolitic black talc

3.3 角砾状黑滑石岩

手标本为黑色,新鲜样品,砾状结构明显,层理状构造,污手,见断裂构造面,黑色为滑石,白色为石英(图4a)。正交偏光显微镜下观察岩石主要由滑石、石英、白云石和少量不透明矿物组成(图4b)。其中滑石含量约60%,砾状,大小约0.6~4.7 mm,见同心纹结构,显顺层定向排列。可见褐色滑石边部的少量无色、细鳞片状的滑石,被白云石和石英交代。石英含量约25%,他形粒状,大小约0.02~0.19 mm,分布于滑石粒间。白云石含量约15%,他形粒状,分布滑石粒间。另有微量黑色有机质或炭质。胶结物主要为石英和白云石两种矿物组成,在胶结物中,石英多处在中心位



a. 为手标本; b. 为正交偏光镜下特征; Tlc. 滑石; Qtz. 石英; Dol. 白云石

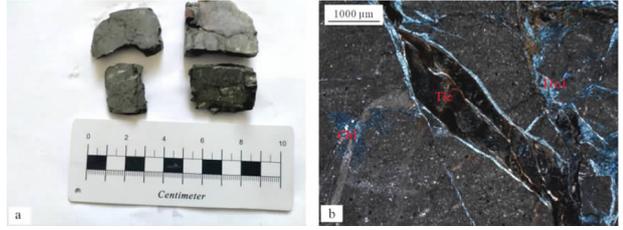
图4 角砾状黑滑石岩

Fig. 4 Brecciated black talc

置,白云石处于石英周边更靠近滑石,说明石英形成晚于白云石。

3.4 片理化黑滑石岩

手标本为黑色,新鲜样品,片理结构发育,层理状构造,污手,见断裂构造面有碳质镜面,黑色为滑石,白色为石英(图 5a)。正交偏光显微镜下观察岩石主要由滑石、石英、白云石及不透明的炭质、有机质等组成(图 5b)。其中滑石含量约 70%,主要为砾状,大小约 0.5 ~ >5.0 mm,呈定向排列。石英含量约 25%,他形粒状、集合体状,集合体受应力略显透镜状。白云石含量约 5%,他形粒状,大部分包裹石英。另有微量黑色有机质或炭质。



a. 为手标本;b. 为正交偏光镜下特征;Tlc. 滑石;Dol. 白云石;Chl. 绿泥石

图 6 钙质泥岩

Fig. 6 Cataclastic altered rocks

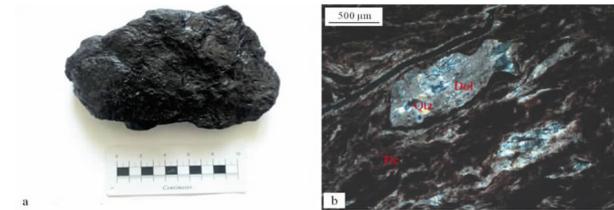
4 地球化学特征

4.1 主要元素特征

根据表 1 可知,本次采集新鲜黑滑石岩 SiO₂ 含量为 50.65% ~ 77.03%,平均为 63.78%;MgO 含量为 17.60% ~ 30.00%,平均为 25.27%;TiO₂ 含量极少,低于检测限 <0.01%,几乎可以忽略不计;Al₂O₃ 含量也很少,为 <0.01% ~ 0.20%;TFe₂O₃ 含量也很少,为 0.05% ~ 0.21%,平均为 0.10%;MnO 含量也很少,为 0.01% ~ 0.03%,平均为 0.02%;CaO 含量为 0.38% ~ 6.58%,平均为 2.47%;P₂O₅ 含量为 0.02% ~ 0.04%,平均为 0.03%;其它主要元素 BaO、Cr₂O₃、K₂O、Na₂O、NiO、SO₃、ZnO 含量都很少,与镜下观察的矿物特性相符。

中等风化黑滑石岩 SiO₂ 含量(81.26%)明显高于新鲜黑滑石岩, MgO (15.40%)、CaO (0.04%)、P₂O₅ (0.01%)、SO₃ (0.01%)、烧失量(2.47%)等明显低于新鲜黑滑石岩,说明 MgO、CaO、P₂O₅ 等组分减少受风化影响流失。烧失量包括水和气体(CO₂),中等风化黑滑石岩中碳因氧化成 CO₂ 导致其烧失量低于新鲜黑滑石岩;而 SiO₂ 含量增加则是因为 SiO₂ 相对稳定不易受风化影响,所以其相对含量增高(表 1)。

钙质泥岩主要元素含量与黑滑石岩相比, K₂O、Al₂O₃、TFe₂O₃、SO₃、P₂O₅ 含量高, MgO、Na₂O 含量低;与附近泥岩^[10] 相比,其主要元素含量相差不大,但 MgO 含量明显高于泥岩,在岩矿鉴定时发现黑滑石充填于钙质泥岩裂隙。



a. 为手标本;b. 为正交偏光镜下特征;Tlc. 滑石;Qtz. 石英;Dol. 白云石

图 5 片理化黑滑石岩

Fig. 5 Schistosized black talc

3.5 钙质泥岩

手标本为浅绿色,见多条白色碳酸盐细脉,层状构造(图 6a)。正交偏光显微镜下观察岩石主要由黏土矿物、石英、白云石,少量不透明矿物等组成(图 6b)。其中黏土矿物含量约 50%,显微鳞片状,集合体显定向排列。石英含量约 30%,其中微晶石英含量约 20%,与黏土矿物混合分布;变晶石英含量约 10%,柱状、集合体状,主要充填岩石裂隙。

白云石含量约 10%,他形粒状、集合体状,少量晚期的白云石分布岩石裂隙中。滑石含量约 4%,主要分布在岩石裂隙。绿泥石含量约 5%,不规则片状,主要分布于岩石裂隙中。不透明矿物含量约 1%,主要为黄铁矿、钛铁氧化物,分散于黏土矿物中。

表 1 样品主要元素测试分析数据

Table 1 Test and analysis data of major elements in samples

岩性	样号	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	BaO	Cr ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	NiO	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	ZnO	烧失量	合计
中等风化黑滑石岩	GF01	81.26	15.40	0.04	0.02	0.01	0.03	0.13	0.01	0.01	0.08	0.02	0.01	0.01	<0.01	0.04	2.47	99.54
假鲕状滑石岩	GF02	77.03	17.60	0.46	0.20	<0.01	0.02	0.21	0.02	0.01	0.08	0.01	0.03	0.09	<0.01	0.03	4.24	100.03
角砾状滑石岩	GF03	63.67	30.00	0.38	<0.01	<0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.12	0.01	0.02	0.10	<0.01	0.05	5.74	100.19
片理化滑石岩	GF04	50.65	28.2	6.58	<0.01	0.02	<0.01	0.05	0.01	0.03	0.11	<0.01	0.04	0.06	<0.01	0.03	14.1	99.88
钙质泥岩	H02	58.81	4.41	1.26	15.54	0.14	0.01	5.74	6.90	0.03	0.05	0.01	0.21	0.54	1.86	0.02	4.57	100.1

4.2 微量元素特征

中等风化黑滑石岩 Ba、K、Sr、P 含量明显比新鲜黑滑石岩降低,说明这些元素易受风化淋滤流失;而 Th

和 U 含量比新鲜黑滑石岩增加,可能是因为其它成分减少而导致 Th 和 U 相对增加的缘故;钙质泥岩微量元素含量基本都高于黑滑石岩(表 2,图 7)。

表 2 样品微量元素测试分析数据

/10⁻⁶

Table 2 Analysis data of trace elements in samples

岩性	样号	Rb	Ba	Th	U	K	Nb	La	Ce	Pb	Sr
中等风化黑滑石岩	GF01	0.6	27.5	0.48	0.38	100	1.1	0.7	1.4	2	1.9
假鲕状滑石岩	GF02	1.0	42.6	0.23	0.2	200	0.5	0.7	1.2	0.9	14.9
角砾状滑石岩	GF03	0.7	27.2	0.52	0.24	200	1.3	0.5	1.1	2.2	8.3
片理化滑石岩	GF04	0.3	183.5	0.28	0.24	100	0.7	0.4	0.8	1.1	105.5
钙质泥岩	H02	131.5	1170	10.55	1.23	57900	25.3	38.1	58.7	2.9	59.7

岩性	样号	Nd	P	Zr	Sm	Eu	Tb	Y	Er	Yb	Lu
中等风化黑滑石岩	GF01	0.6	90	4.9	0.12	0.03	0.03	1.7	0.13	0.16	0.03
假鲕状滑石岩	GF02	0.5	180	3.3	0.1	0.02	0.02	0.9	0.07	0.07	0.01
角砾状滑石岩	GF03	0.5	120	6.8	0.12	0.03	0.02	1.4	0.1	0.15	0.03
片理化滑石岩	GF04	0.4	220	3.4	0.11	0.02	0.02	1.4	0.1	0.16	0.03
钙质泥岩	H02	30.2	990	284	6.33	1.53	1.03	32.5	3.17	2.81	0.42

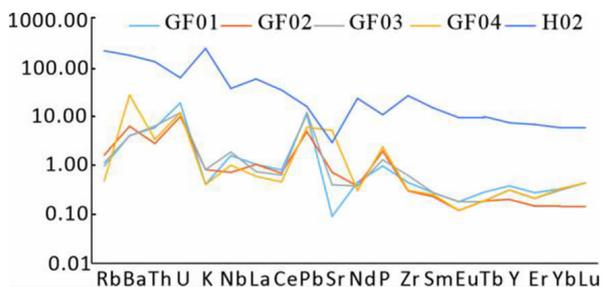


图 7 样品微量元素蛛网图^[11]
Fig. 7 Spider diagram of trace elements in samples

4.3 稀土元素特征

通过稀土测试结果,显示中等风化黑滑石岩 Σ REE、 Σ LREE 和 Σ HREE 含量高于新鲜黑滑石岩,因为稀土元素不易受风化影响,所以其相对含量增高(表

3)。新鲜黑滑石岩 Σ REE 变化范围在 $2.42 \times 10^{-6} \sim 3.06 \times 10^{-6}$, 平均为 2.82×10^{-6} (表 3)。钙质泥岩 Σ REE、 Σ LREE 和 Σ HREE 明显高于黑滑石岩。黑滑石岩稀土元素球粒陨石^[12] 标准化配分曲线为右倾(图 8)。轻重稀土元素的比值一定程度上反映了轻、重稀土元素的分馏程度,黑滑石岩 LREE/HREE 值为 3.03 ~ 6.46, 平均为 4.47, 轻稀土相对富集。 $(La/Yb)_N$ 值为 1.69 ~ 6.74, 平均值为 3.56, 轻重稀土分异程度较大。 $(La/Sm)_N$ 、 $(Gd/Yb)_N$ 分别指示轻重稀土各自的分异程度,黑滑石岩 $(La/Sm)_N$ 介于 2.29 ~ 4.40, 平均为 3.10, 说明轻稀土之间具中等分异; $(Gd/Yb)_N$ 比值 0.55 ~ 1.27, 平均值为 0.82, 重稀土之间分异不明显。 δCe 介于 0.89 ~ 1.05, 平均为 0.97, 具不明显负异常特征,总体上趋于正常; δEu 介于 0.55 ~ 0.76, 平均值为 0.63, 具有明显的负异常特征。

表 3 样品稀土含量测试及特征值

/10⁻⁶

Table 3 Rare earth content test and characteristic value of samples

岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
中等风化黑滑石岩	0.70	1.40	0.15	0.60	0.12	0.03	0.17	0.03	0.19	0.04	0.13	0.02
假鲕状滑石岩	0.70	1.20	0.13	0.50	0.10	0.02	0.11	0.02	0.10	0.02	0.07	0.01
角砾状滑石岩	0.50	1.10	0.12	0.50	0.12	0.03	0.12	0.02	0.14	0.03	0.10	0.02
片理化滑石岩	0.40	0.80	0.09	0.40	0.11	0.02	0.11	0.02	0.13	0.03	0.10	0.02
钙质泥岩	38.10	58.70	8.32	30.20	6.33	1.53	6.28	1.03	6.04	1.17	3.17	0.47

岩性	Yb	Lu	Σ REE	Σ LREE	Σ HREE	LREE/HREE	δEu	δCe	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$	$(Sm/Nd)_N$	$(Gd/Yb)_N$
中等风化黑滑石岩	0.16	0.03	3.77	3.00	0.77	3.90	0.64	0.99	3.67	2.95	0.62	0.86
假鲕状滑石岩	0.07	0.01	3.06	2.65	0.41	6.46	0.58	0.89	4.40	6.74	0.62	1.27
角砾状滑石岩	0.15	0.03	2.98	2.37	0.61	3.89	0.76	1.05	2.62	2.25	0.74	0.65
片理化滑石岩	0.16	0.03	2.42	1.82	0.60	3.03	0.55	0.98	2.29	1.69	0.85	0.55
钙质泥岩	2.81	0.42	164.57	143.18	21.39	6.69	0.73	0.76	3.79	9.14	0.64	1.80

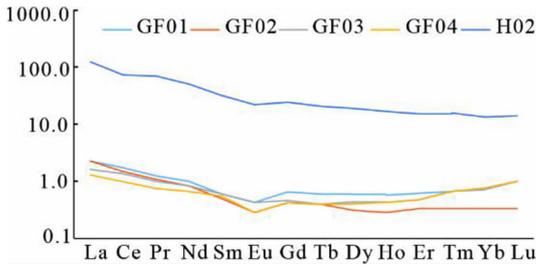


图 8 样品稀土元素球粒陨石标准化配分曲线^[12]
Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns of samples

4.4 碳含量及类别特征

根据表 4 可知,本次采集新鲜黑滑石岩无机碳含量为 0.13% ~ 2.72%, 平均为 1.03%; 有机碳含量为 0.44% ~ 0.72%, 平均为 0.62%; 总碳含量为 0.90% ~ 3.38%, 平均为 1.73%。本次采集的中等风化黑滑石岩中各类碳含量明显少于新鲜黑滑石岩, 说明碳易受风化影响。钙质泥岩总碳和有机碳含量低于新鲜黑滑石岩。假鲕状滑石岩和角砾状滑石岩的总碳和无机碳含量明显低于片理化滑石岩, 而有机碳含量明显高于片理化滑石岩。本次采集的黑滑石岩有机碳含量与李成祥^[8]测试的有机碳含量(0.38% ~ 0.68%) 几乎一致, 而无机碳含量远小于李成祥^[8]测试的无机碳含量(8.77% ~ 40.71%), 说明黑滑石岩无机碳即碳酸盐含量变化较大。

表 4 样品碳类别及含量测试 /%

Table 4 Carbon category and content test of samples

岩性	样号	无机碳	有机碳	总碳
中等风化黑滑石岩	GF01	<0.05	0.11	0.10
假鲕状滑石岩	GF02	0.23	0.69	0.92
角砾状滑石岩	GF03	0.13	0.72	0.90
片理化滑石岩	GF04	2.72	0.44	3.38
钙质泥岩	H02	0.39	0.04	0.45

5 成矿环境及成因

对于滑石的形成环境及成因国内外已有广泛研究。滑石的成因主要有热液成因、海水沉积成因和变质交代成因等。Moore 等^[13]在俯冲带和裂谷系统断层泥及蛇纹岩中发现有滑石, 推测滑石是由于超镁铁质岩石与硅饱和热液反应形成的。在阿尔卑斯山东部第三纪断裂带系统的部分地区, 含硅热液将白云石蚀变为滑石片岩^[14]。变质沉积成因的滑石一般是由含硅流体的热液蚀变白云岩和菱镁矿形成的^[15]。Lee 等^[16]在吉尔吉斯斯坦-哈萨克斯坦 Makbal 杂岩俯冲相关超高压变质片岩和苏格兰 Unst Valla 油田区块的角闪岩相交代片岩中发现存在滑石。Dekov 等^[17]在海

底黑烟岩及附近沉积物的裂缝中发现滑石, 认为是由于此处有较高的二氧化硅活性促使滑石形成。Tosca 等^[18]认为在近现代海洋盐度和 Mg^{2+} 、 SiO_2 升高以及 $pH > 8.7$ 的环境下受微生物的影响可形成滑石。Rodríguez - Ruiz 等^[19]运用透射电子显微镜观察认为滑石可由云母出溶形成。对于本区黑滑石的成矿环境及成因, 朱馨怡^[7]认为黑滑石是在岛弧环境, 由基性-超基性岩在含 CO_2 的热液和含 SiO_2 的热液共同作用下形成的, 李成祥^[8]认为黑滑石由自生沉积-变质改造形成的, 雷焕玲等^[9]认为黑滑石是同生热水沉积形成的。

广丰黑滑石矿层赋存于新元古代震旦系上统灯影组, 形成于沉积环境。沉积区的古气候、古沉积环境、水体物化性质对元素分异作用的影响造成了元素分布规律的差异性, 为通过元素地球化学特征恢复古沉积环境提供了依据(表 5)。

表 5 样品元素特征值

Table 5 Characteristic values of sample elements

岩性	样号	Zr/Al	Rb/K	Sr/Cu	Sr/Ba	Th/U	La/Ce
假鲕状滑石岩	GF02	33.00	50.00	2.44	0.35	1.15	0.58
角砾状滑石岩	GF03	340.00	35.00	0.14	0.31	2.17	0.45
片理化滑石岩	GF04	340.00	30.00	3.78	0.57	1.17	0.50
平均值		237.67	38.33	2.12	0.41	1.49	0.51

5.1 古水深及离岸距离

Zr 是典型的亲陆性元素, 越远离陆源区, 岩石中含量越低。但沉积岩中 Zr 元素的分布受 Al 元素支配, 因此 Zr/Al 值能代表近距离搬运的陆源组分及水体深度的变化, 其值越小, 表示离岸越远, 水体更深^[20-21]。Rb 元素和 K 元素在水中的迁移和富集均与黏土密切相关, 且 Rb 元素比 K 元素更易被黏土吸附而远移。Rb/K 值常用来指示水深的变化, 值越大, 揭示水体加深。本次采集的假鲕状滑石岩 Zr/Al 值(33.00)最低, Rb/K 值(50.00)最高, 而片理化滑石岩 Zr/Al 值(340.00)最高, Rb/K 值(30.00)最低, 说明假鲕状滑石岩与角砾状滑石岩、片理化滑石岩相比, 其形成时的古水深较深, 离岸距离较远。

5.2 古气候及古盐度

Sr/Cu 值介于 1 ~ 10 之间指示温湿气候, 大于 10 则对应干热气候^[22]。本次采集的黑滑石岩样品 Sr/Cu 值为 0.14 ~ 3.78, 说明当时为温湿气候。正常海相沉积物中 Sr/Ba 值大于 1, 受到海底热水流体作用影响越高则 Sr/Ba 值越小^[23]。本次采集的黑滑石岩样品 Sr/Ba 值为 0.41, 说明其受到较强的海底热水流体作用。

热水成因沉积物 Co/Zn 值 < 0.4 , 正常自生来源沉积物的 Co/Zn 值平均约为 $2.5^{[24]}$ 。本次采集的黑滑石岩样品 Co/Zn 值为 0, 说明其为热水成因沉积物。

5.3 古环境

富 U 沉积物容易受二次氧化而导致 U 的流失, 并影响铀作为古氧相替代指标的可靠性, 因此将铀与其他指标相结合综合分析才能更好地确定沉积环境的氧化还原条件^[25]。U/Th 比值的大小很早就被用作氧化还原环境的指示剂, U 和 Th 在还原状态下地球化学性质相似, 在氧化状态下差别很大。U 元素在 U^{6+} 情况下是可溶的, 所以很容易在风化过程中随溶液流失, 在强还原条件下 U^{6+} 会被还原成 U^{4+} , 而 U^{4+} 不溶于水, 会沉淀下来在沉积物中富集, Th 在低温环境中相对稳定, 它会在风化残留物质中富集。基于这两种元素的地球化学性质差异, 沉积物或沉积岩中 Th/U 比值可以作为环境的氧化还原状态指示^[26]。一般来说, Th/U 值在 0 ~ 2 之间指示缺氧环境^[27]。本次采集的黑滑石岩样品 Th/U 值为 1.49, 说明当时为缺氧环境。

Ce 在大陆地壳中较稳定, 不易被风化迁移, 故 Ce 在陆相沉积物中含量较高, 在河水中含量较低, 随着河水进入海水, 海水中 Ce 的含量会相对减少, 从而导致 Ce 的负异常。海相不同沉积环境、不同氧化还原条件下 La/Ce 的比值不同, 热液结壳、古代海水的 La/Ce 为 2.8, 正常 Fe - Mn 水成沉积物的 La/Ce 为 0.25。研究区黑色岩系的 La/Ce 值为 0.45 ~ 0.58, 表明正常水成环境下受到了一定程度热液作用影响。吴朝东等^[28]提出判定公式 $\delta U = U/[0.5 \times (U + Th/3)]$, $\delta U > 1$ 还原环境, $\delta U < 1$ 为正常的海水环境。根据此公式, 本次采集的黑滑石岩样品的 δU 介于 1.16 ~ 1.45, 这表明其沉积于还原环境。另外黑滑石矿石 δEu 具有明显的负异常特征也表明其形成于还原环境。

5.4 成因

滑石形成的化学方程式可能为 $3Mg^{2+} + 4Si(OH)_4 \rightarrow Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2 + 4H_2O + 6H^+$ ^[17]。江西广丰区黑滑石矿体受地层的控制, 呈层状、似层状, 并见与白云岩、硅质岩相间产出。矿区岩石类型比较简单, 主要以沉积岩为主, 岩浆岩不发育。矿石中矿物较为简单, 由滑石、石英、碳酸盐和有机质组成, 部分矿石因构造影响而呈片理化。据研究, 前寒武纪海水富含 Mg^{2+} , 海底热液富含 Si^[29], 且滑石矿的稀土特征与白云石及海水的稀土特征相似^[8]。有机质的参与可能促进了黑滑石的形成^[30]。通过野外调查、岩相学和地球化学研究, 在参考前人研究成果^[7-9]基础上, 认为黑滑石是由海水及海底热液形成, 后期经构造运动而成片理化。

6 应用建议

广丰区的黑滑石既可作为陶瓷原料又能作为塑料、橡胶和涂料等重要的填充剂。黑滑石作为原料, 在当地主要用于生产日用陶瓷, 其能使陶瓷煅烧后密度均匀、表面平滑、光泽度好, 并通过不同成分的配比使陶瓷展现出不同的色彩。黑滑石作为塑料、橡胶和涂料等重要的填充剂, 主要销往江苏省。塑料中添加黑滑石粉可改善塑料的抗化学性、耐热性、稳定性、坚实性、抗拉强度、抗蠕变能力和电绝缘能力。橡胶中添加黑滑石粉可使胶料塑性低、粘着性小、表面光滑等, 常用于耐热、耐酸、耐碱及绝缘橡胶制品中。如在汽车轮胎中, 用黑滑石粉替代部分炭黑, 可以改善橡胶的耐热性能。涂料中添加黑滑石粉可降低制造成本, 增加产品剪切强度、压力强度和张力强度, 降低其变形强度、伸张率和热膨胀系数。

虽然已有部分企业将本区的黑滑石应用于陶瓷、塑料、橡胶等领域, 但是由于未对黑滑石矿石类型进行区分, 导致产品质量并非最优。不同的矿石类型其用品质及用途有所差异, 结合本次黑滑石矿石化学成分数据(表 1)参考 GB/T 15342—2012《滑石粉》规范, 建议本区不同类型黑滑石的应用范围如下:

- (1) 角砾状黑滑石岩达到一级塑料用滑石标准和一级陶瓷用滑石标准;
- (2) 假鲕状黑滑石岩达到橡胶用滑石一级标准;
- (3) 假鲕状黑滑石岩和角砾状滑石岩达到涂料用滑石一级标准。

另外黑滑石在高科技领域可应用于锂离子电池负极材料^[4]、船用聚合物填料及隐身材料、光催化降解材料等^[5], 这为黑滑石的应用指出了新的方向。

7 结论

(1) 本区黑滑石矿石类型主要为假鲕状滑石岩、角砾状滑石岩、片理化滑石岩等。矿石中矿物主要为黑滑石, 其含量一般为 50% ~ 75%, 石英含量为 20% ~ 45%、白云石含量为 2% ~ 15%。

(2) 本次采集新鲜黑滑石岩化学成分主要为 SiO₂ (平均含量为 63.78%), MgO (平均含量为 25.27%), CaO (平均含量为 2.47%), 其它元素含量均较低; 黑滑石岩稀土元素相对于球粒陨石为轻稀土富集; 黑滑石岩轻重稀土分异程度较大, 其中轻稀土之间具中等分异, 重稀土之间分异不明显。

(3) 假鲕状滑石岩和角砾状滑石岩的总碳和无机碳含量明显低于片理化滑石岩, 而有机碳含量明显高于片理化滑石岩; 不同类型的黑滑石矿石地球化学成分及碳含量不同, 导致其应用及品质有所不同。

(4)黑滑石成矿环境为水深差异较大的缺氧还原环境,黑滑石是由海水及海底热液形成,后期经构造运动而呈片理化。

致谢: 本项研究得到了江西省地质勘查基金管理中心主任王先广教授高级工程师,上饶市广丰区黑滑石综合开发项目建设指挥部办公室韩礼虎,江西省地质矿产勘查开发局赣东北大队赖凌高级工程师的帮助与支持,在此表示深切的谢意!

参考文献:

- [1] PI - PUIG T, ANIMAS - TORICES DY, SOLÉ J. Mineralogical and geochemical characterization of talc from two Mexican Ore Deposits (Oaxaca and Puebla) and Nine Talc Marketed in Mexico; Evaluation of its cosmetic uses[J]. *Minerals*, 2020, 10: 388.
- [2] 杨辉. 滑石加工工艺方法浅析[J]. *矿产保护与利用*, 2014(3): 56 - 58.
- [3] 宗培新. 我国黑滑石产业现状及发展趋势[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2014(1): 1 - 3.
- [4] FAN P, LIU H, LIAO L, et al. Excellent electrochemical properties of graphene-like carbon obtained from acid-treating natural black talc as Li-ion battery anode[J]. *Electrochimica Acta*, 2018, 289: 407 - 414.
- [5] 秦文莉. 基于黑滑石的复合材料制备及其在功能材料领域的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [6] 张连湘, 欧阳洪生, 巫志豪. 江西广丰黑滑石矿床成因模式及找矿方向分析[J]. *资源信息与工程*, 2019, 34(6): 17 - 20.
- [7] 朱馨怡. 江西广丰黑滑石矿床岩石学、地球化学特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [8] 李成祥. 江西广丰黑滑石矿物学研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.
- [9] 雷焕玲. 江西广丰超大型滑石矿床地球化学特征及成因[D]. 南京: 南京大学, 2012.
- [10] 陈正国, 邸素梅, 祝强. 广丰黑滑石的增白试验及致黑机理探讨[J]. *非金属矿*, 1993(6): 6 - 8.
- [11] SUN SS, MCDONOUGH WF. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, et al. *Magmatism in the oceanic basins*[J]. *Special Publication of Geological Society of London*, 1989, 42: 313 - 346.
- [12] BOYNTON WV. Cosmochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Henderson P (ed.). *Developments in geochemistry* [J]. Amsterdam: Elsevier, 1984, 2: 63 - 114.
- [13] MOORE DE, LOCKNER DA. Talc friction in the temperature range 25 °C - 400 °C; Relevance for fault - zone weakening [J]. *Tectonophysics*, 2008, 449: 120 - 132.
- [14] PROCHASKA W. Geochemistry and genesis of Austrian talc deposits [J]. *Applied Geochemistry*, 1989, 4(5): 511 - 525.
- [15] MUHAMMAD T, AKIRA I, RYOHEI T, et al. Ore Genesis and geochemical characteristics of carbonate hosted talc deposits in Nangarhar Province, Afghanistan [J]. *Resource Geology*, 2018, 68(4): 352 - 372.
- [16] LEE J, JUNG H, KLEMD R, et al. Lattice preferred orientation of talc and implications for seismic anisotropy in subduction zones [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2020, 537, 116178.
- [17] DEKOV VM, CUADROS J, SHANKS WC, et al. Deposition of talc - kerolite - smectite - smectite at seafloor hydrothermal vent fields: Evidence from mineralogical, geochemical and oxygen isotope studies [J]. *Chemical Geology*, 2008, 247(1/2): 171 - 194.
- [18] TOSCA NJ, MACDONALD FA, STRAUSS JV, et al. Sedimentary talc in Neoproterozoic carbonate successions [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 306(1/2): 11 - 22.
- [19] RODRÍGUEZ - RUIZ MD, ABAD I, BENTABOL M, et al. Evidences of talc - white mica assemblage in low - grade metamorphic rocks from the internal zone of the Rif Cordillera (N Morocco) [J]. *Applied Clay Science*, 2020, 195: 105723.
- [20] DAS BK, BIRGIT - GAYE H. Geochemistry of rewalsar lake sediment, Lesser Himalaya, India: Implications for source - area weathering, provenance and tectonic setting [J]. *Geosciences Journal*, 2003, 7(4): 299 - 312.
- [21] JIN ZD, LI FC, CAO JJ, et al. Geochemistry of Daihai Lake Sediments, Inner Mongolia, North China: Implications for provenance, sedimentary sorting, and catchment weathering [J]. *Geomorphology*, 2006, 80(3): 147 - 163.
- [22] 李春荣, 陈开远. 潜江凹陷潜江组元素演化特征及其古气候意义 [J]. *石油地质与工程*, 2007(6): 18 - 21.
- [23] PETER JM, SCOTT SD. Mineralogy, composition, and fluid - inclusion microthermometry of seafloor hydrothermal deposits in the southern trough of Guaymas basin, gulf of California [J]. *Canadian Mineralogist*, 1988, 26: 567 - 587.
- [24] TOTH JR. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron [J]. *GSA Bulletin*, 1980, 91(1): 44 - 54.
- [25] 汤冬杰, 史晓颖, 裴云鹏, 等. 华北中元古代陆表海氧化还原条件 [J]. *古地理学报*, 2011, 13(5): 563 - 580.
- [26] KIMURA H, WATANABE Y. Oceanic anoxia at the precambrian-cambrian boundary [J]. *Geology*, 2001, 29(11): 995 - 998.
- [27] BRUMSACK HJ. The trace metal content of recent organic carbon - rich sediments; Implications for cretaceous black shale formation [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 232(2): 344 - 361.
- [28] 吴朝东, 杨承运, 陈其英. 湘西黑色岩系地球化学特征和成因意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 1999, 18(1): 26 - 39.
- [29] 孟凡巍, 刘成林, 倪培. 全球古海水化学演化与世界主要海相钾盐沉积关系暨中国海相成钾探讨 [J]. *微体古生物学报*, 2012, 29(1): 62 - 69.
- [30] LI C, WANG R, XU H, et al. Interstratification of graphene-like carbon layers within black talc from Southeastern China: Implications to sedimentary talc formation [J]. *American Mineralogist*, 2016, 101(7): 1668 - 1678.

Application Suggestions and Geochemical Characteristics of Ultralarge High Quality Black Talc Ore in Guangfeng, Jiangxi Province

WANG Yun¹, HU Baoqun¹, LI Mangen¹, FAN Pengfei^{1,2}

1. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China;

2. Research Institute No. 230, CNNC, Changsha 410011, China

Abstract: In order to understand the mineral characteristics, geochemical characteristics and carbon content characteristics of black talc ore in Guangfeng District, Shangrao City, Jiangxi Province, make better use of black talc and help to build a 10 billion yuan industrial base of black talc. Based on the field investigation, petrography and geochemical analysis, some suggestions on the application of black talc are put forward. The results show that the main types of black talc in this area are pseudoolitic, brecciated and schistose talc. The main minerals in the ore are black talc, quartz and dolomite. The chemical composition of the ore is mainly SiO_2 , MgO and CaO . The contents of total carbon and inorganic carbon in pseudoolitic and brecciated talc are significantly lower than those in schistose talc. But the content of organic carbon is higher than that of schistose talc. The black talc in this area has preliminary reached the first grade standard of talc for plastics, ceramics, rubber and coatings.

Key words: Guangfeng black talc; petrographic characteristics; geochemical characteristics; material composition

引用格式:王运,胡宝群,李满根,范鹏飞.江西广丰超大型高品质黑滑石矿石地球化学特征及应用建议[J].矿产保护与利用,2020,40(6):117-125.

Wang Y, Hu BQ, Li MG, and Fan PF. Application suggestions and geochemical characteristics of ultralarge high quality black talc ore in Guangfeng, Jiangxi province[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(6): 117-125.

投稿网址:<http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail:kcbh@chinajournal.net.cn