

伍月, 迟广成, 刘欣. X 射线粉晶衍射法在变粒岩鉴定与分类中的应用[J]. 岩矿测试, 2020, 39(4): 546 – 554.
WU Yue, CHI Guang – cheng, LIU Xin. Application of X – ray Powder Diffraction Method in Identification and Classification of Leptite
[J]. Rock and Mineral Analysis, 2020, 39(4): 546 – 554. 【DOI: 10. 15898/j. cnki. 11 – 2131/td. 201908050117】

X 射线粉晶衍射法在变粒岩鉴定与分类中的应用

伍月, 迟广成*, 刘欣
(中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110032)

摘要: 变粒岩的鉴定通常以显微镜鉴定技术为主,但在显微镜下区分颗粒细小的长石、石英及绿泥石、蒙脱石、云母等层状硅酸盐矿物十分困难,仅通过显微鉴定技术对变粒岩进行定名可能产生较大误差,这对地质填图和原岩恢复工作会造成一些偏差,导致得出错误的地质结论。随着 X 射线衍射分析技术的发展,该技术已广泛应用于矿物学和岩石学的研究,本研究将结合 X 射线粉晶衍射技术,对显微镜下难以区分的细小矿物进行鉴定。共选用 23 件变粒岩样品,利用 X 射线粉晶衍射分析和显微镜岩石薄片鉴定技术,对变粒岩矿物组分进行检测,用 X 射线粉晶衍射矿物半定量分析结果验证岩石薄片鉴定结果准确性。显微镜岩石薄片鉴定结果与 X 射线粉晶衍射物相分析结果对比显示,10 件样品定名一致,其余 13 件样品详细定名有差异。通过分析产生差异的原因,可以认为显微镜岩石薄片鉴定优势在于能确定岩石结构和构造,以及常见矿物组分;X 射线粉晶衍射法的优势在于能检测出显微镜下较难区分的细小石英和长石颗粒的相对含量,并能检测出颗粒较小的绿泥石、蒙脱石及云母等层状硅酸盐矿物,该方法对含量较少、颗粒较细的矿物检测效果较好。实验证明将显微岩石薄片鉴定技术和 X 射线粉晶衍射技术相结合,才能更准确对变粒岩进行定名,为地学研究提供更符合客观实际的技术数据和分析结论。

关键词: 变粒岩; 岩石薄片鉴定; X 射线粉晶衍射法; 分类定名

要点:

- (1) 显微鉴定法能确定岩石结构和构造及常见矿物组分,但区分颗粒细小的矿物十分困难。
- (2) X 射线粉晶衍射法能检测出镜下难以区分的细小矿物以及层状硅酸盐矿物。
- (3) 将显微鉴定法与 X 射线粉晶衍射法相结合,对变粒岩进行准确定名。

中图分类号: P575.5 **文献标识码:** B

变粒岩是指主要由长石和石英组成的细粒粒状变质岩石。具等粒状变晶结构、块状构造,矿物变晶粒度一般 0.1 ~ 0.5mm(有时可达 1mm),长石和石英矿物含量大于 70%,长石含量大于 25%,片状、柱状矿物含量一般小于 30%,暗色矿物主要是黑云母、角闪石、透辉石、紫苏辉石,可含有矽线石、石榴石等特征变质矿物。长石和石英颗粒间常见有层状硅酸盐矿物,如绿泥石、蒙脱石及云母等层状硅酸盐矿物,大部分虽是结晶质,但颗粒通常很细,在一般偏光显微镜下难以区分。

X 射线衍射分析方法简单、分析速度快、分析范围广,已发展成为一项普遍开展的常规分析项目。X 射线衍射分析被用于矿物学和岩石学的研究,广泛应用于结晶样品的物相定性、半定量分析、结晶度及晶体结构等测定。根据矿物的 X 射线衍射分析结果,可以推测矿物晶体的形成温度、压力等条件,对于矿物和成矿、成岩作用过程的研究都具有重要意义。定性分析是应用 X 射线粉晶衍射数据来对岩石样品内组成的矿物进行检测^[1],特别是对含量较少的矿物^[2],得出该样品中所含矿物组分,因此

收稿日期: 2019 – 08 – 05; 修回日期: 2019 – 12 – 12; 接受日期: 2020 – 04 – 23
基金项目: 国土资源部公益专项“变质岩岩石矿物鉴定检测技术方法研究”(201011029 – 3)
作者简介: 伍月,工程师,从事岩矿测试工作。E – mail: wuyuemay005@163.com。
通讯作者: 迟广成,教授级高级工程师,从事岩矿测试工作。E – mail: chiguangcheng@126.com。

定性分析是 X 射线粉晶衍射技术在矿物学岩石学研究上主要的应用方向,而且对于矿物同质多象及类质同象能够进行有效的分析。X 射线粉晶衍射定量分析能够测试出样品所含矿物成分的相对含量^[3],尤其对于含有相同元素组合、成分不同的样品,该方法是更有效的测试手段。随着 X 射线粉晶衍射分析技术的发展,已有很多地质工作者将 X 射线粉晶衍射半定量分析技术应用在造岩矿物^[4]、黏土矿物、隐晶质^[5-6]及微量矿物^[7]鉴定中,不仅能准确检测出岩石中结晶矿物组分,通过全谱拟合软件还能半定量分析出岩石中不同矿物组分的相对含量,为原岩恢复和原岩沉积相的判断提供更多信息。

到目前为止,变粒岩岩石定名以野外观察和岩石薄片鉴定为主要技术手段,鉴定结果主要依赖分析人员长期的经验积累,具有一定的局限性^[8-10]。由于显微镜岩石薄片鉴定技术主要用来确定岩石的结构和构造^[11],确定常见的矿物组分,很难区分颗粒细小的绿泥石、蒙脱石及云母等层状硅酸盐矿物,本研究拟用 X 射线粉晶衍射半定量分析技术来解决这个问题。对于变粒岩的详细定名和分类,需要借助 X 射线粉晶衍射法对样品进行半定量分析,以能全面检测所含矿物类型。

1 实验部分

1.1 实验样品

在大石桥周家、松树里尔峪组,大石桥虎皮峪里尔峪组和高家峪组,海城八里水库浪子山组,变粒岩大面积出露地区,选取新鲜的岩石,采集岩石标本。一般在垂直岩石层理方向,依据层状岩石出露宽度,按全宽 5 等份均匀采集 5 件变粒岩,用于岩石薄片磨制、X 射线粉晶衍射分析。5 件样品一是用来保证尽可能采集到未风化的岩石标本,二是对比所采变粒岩样品在垂直岩层方向的变化程度。本次变粒岩岩石矿物鉴定技术方法研究共采集 23 件变粒岩样品,分别来自两个剖面 b 和 p,样品编号 b67~p124。本研究的岩石薄片鉴定及 X 射线粉晶衍射分析工作均在沈阳地质调查中心实验测试中心完成。

1.2 岩石薄片鉴定

偏光显微镜鉴定结果显示,23 件变粒岩岩石样品具有块状构造、板状构造、片麻状构造、条带状构造。具粒状变晶结构、鳞片粒状变晶结构^[12]。

岩石中斜长石、微斜长石、石英均为他形粒状,黑云母和白云母呈片状,电气石和金属矿物呈半自

形-自形粒状,粒径一般在 0.05~1.0mm 之间,黑云母呈褐色或绿色,白云母无色,柱状矿物以透闪石为主,部分岩石含有黝帘石和绿帘石。具体成分见表 1。

1.3 X 射线粉晶衍射分析

1.3.1 仪器和工作条件

Bruker-D8 型 X 射线粉晶衍射仪(德国 Bruker 公司)。仪器工作条件为:X 射线管选用铜靶,管压 40kV,管流 40mA,扫描范围 2θ 角为 $4^{\circ}\sim 65^{\circ}$ (全谱);检测器为闪烁计数器,发散狭缝和防散射狭缝为 0.1mm,接收狭缝为 0.1mm,步长为 $0.03^{\circ}/\text{步}$,扫描速度为 $0.1\text{ 秒}/\text{步}$ ^[13-14]。

1.3.2 样品制备与测试

将 23 件变粒岩样品一部分研制成 $74\mu\text{m}$ 以下粒级粉末,在玛瑙钵中研磨至 $45\mu\text{m}$ 左右,制成待测样。23 件变粒岩样品在以上测定条件下,用 X 射线粉晶衍射仪进行扫描,获得对应的衍射图谱,利用全谱拟合软件进行矿物种类的解译和半定量分析^[15]。

2 结果与讨论

2.1 岩石薄片鉴定结果

在 23 件变粒岩样品中显微镜岩石薄片鉴定法检出 23 件样品含有石英,20 件样品含有钾长石,20 件样品含有斜长石,22 件样品含有金属矿物,8 件样品含有白云母,18 件样品含有黑云母,9 件样品含有电气石,3 件样品含有角闪石,2 件含有绿帘石,2 件样品含有黝帘石。

据显微镜下鉴定的岩石组构特征,可把 23 件变粒岩划分为 9 种类型(表 1):p3、p4、p5 号岩石为电气二长变粒岩(图 1a);b67、b114、p97、p98 号岩石为黑云斜长变粒岩(图 1b);b93、b94、b95、b97 号岩石为电气黑云二长变粒岩;p100、p102、p103 号岩石为白云母二长变粒岩(图 1c);b103 号岩石为黑云二长变粒岩;b113 号岩石为电气微斜变粒岩;p99、p105、p106 号岩石为二云二长变粒岩(图 1d);p2、p9 号岩石为磁铁微斜变粒岩;p123、p124 号岩石为角闪/绿帘二长变粒岩。变粒岩中石英、斜长石、微斜长石、白云母、黑云母、透闪石、黝帘石、绿帘石、电气石和金属矿物是根据矿物镜下光学特征而定。

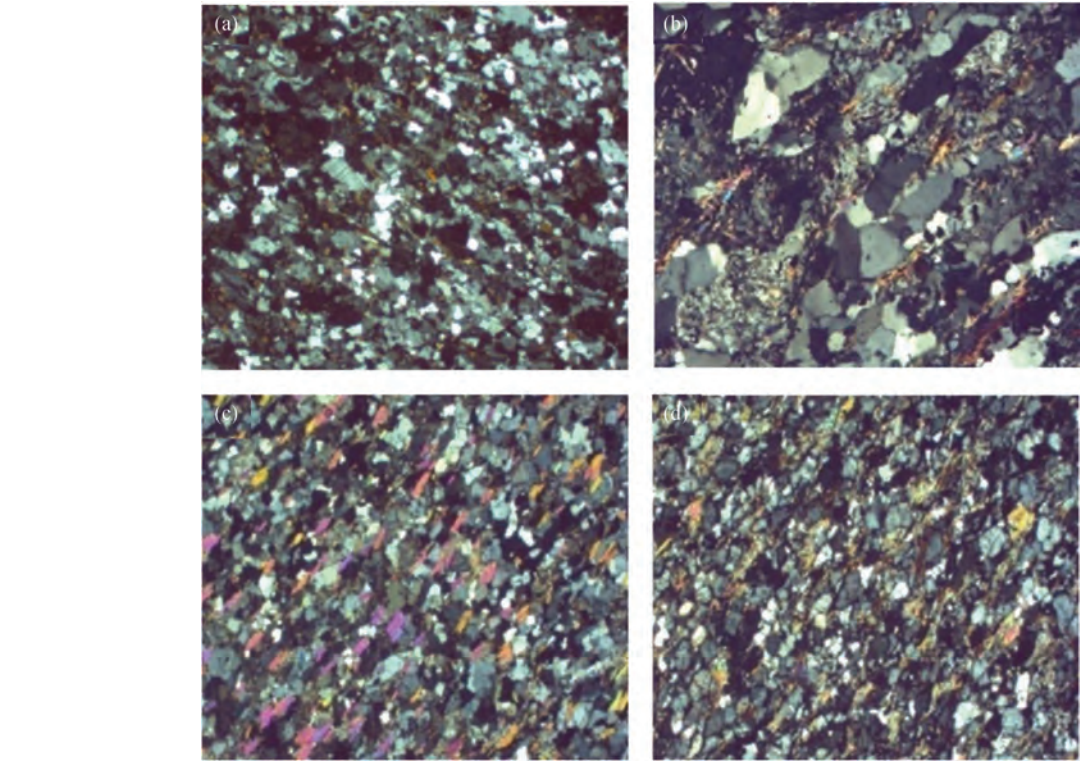
2.2 X 射线粉晶衍射分析结果

X 射线粉晶衍射法检出:23 件样品含有石英,22 件样品含有钾长石,18 件样品含有斜长石,15 件样品含有云母,3 件含有绿帘石,3 件含有绿泥石,7 件样品含有电气石,4 件样品含有磁铁矿,1 件样品

表 1 显微鉴定变粒岩岩石矿物成分

Table 1 Microscopic identification of mineral composition of leptite

样品编号	岩石名称	矿物含量(%)								
		石英	微斜长石	斜长石	金属矿物	白云母	黑云母	电气石	透闪石	绿帘石
b67	黑云斜长变粒岩	25	—	55	—	2	18	—	—	—
b93	电黑二长变粒岩	20	40	12	3	—	10	15	—	—
b94	电黑二长变粒岩	20	40	10	3	—	12	15	—	—
b95	电黑二长变粒岩	20	40	15	5	—	10	10	—	—
b97	电黑二长变粒岩	20	45	15	6	—	4	10	—	—
b103	黑云二长变粒岩	25	45	15	5	—	10	—	—	—
b113	电气微斜变粒岩	21	60	—	2	—	2	15	—	—
b114	黑云斜长变粒岩	20	6	60	3	—	8	1	2	—
p2	磁铁微斜变粒岩	25	65	—	10	—	—	—	—	—
p3	电气二长变粒岩	25	35	20	2	—	3	15	—	—
p4	电气二长变粒岩	24	45	10	5	—	1	15	—	—
p5	电气二长变粒岩	25	45	10	6	—	4	10	—	—
p9	磁铁微斜变粒岩	23	65	—	10	—	2	—	—	—
p97	黑云斜长变粒岩	35	—	50	5	—	10	—	—	—
p98	黑云斜长变粒岩	36	—	50	2	2	8	—	—	2(黝帘石)
p99	二云二长变粒岩	33	15	30	5	5	10	—	—	2(黝帘石)
p100	白云二长变粒岩	35	40	10	5	10	—	—	—	—
p102	白云二长变粒岩	35	35	15	5	10	—	—	—	—
p103	白云二长变粒岩	35	25	20	5	13	2	—	—	—
p105	二云二长变粒岩	20	50	10	5	10	5	—	—	—
p106	二云二长变粒岩	25	40	15	5	8	7	—	—	—
p123	角闪二长变粒岩	5	50	10	2	—	—	—	8	25
p124	角闪二长变粒岩	5	60	10	1	—	—	—	10	14



a—电气二长变粒岩；b—黑云斜长变粒岩；c—白云母二长变粒岩；d—二云二长变粒岩。

图 1 四种变粒岩显微镜下特征

Fig. 1 Features of four kinds of leptite under the microscope

含有钛铁矿,2 件样品含有赤铁矿,3 件样品含有角闪石,1 件样品含有辉石,19 件样品含有蒙脱石。

据 X 射线粉晶衍射分析结果,K 值法的分析结果存在一定的偏差^[16],RIR 法和绝热法绝对误差稍低一些,全谱拟合法的精确度最高^[17-19]。因此,本次分析采用全谱拟合解译^[20-22],得出的半定量矿物成分分析结果(表 2)结合显微镜下岩石矿物结构特征,可把 23 件变粒岩划分为 14 种类型:b67、b114、p97 号岩石定名为黑云斜长变粒岩;b93、b94、b95、b97 号岩石定名为电气二长变粒岩;p3、p4、p5 号岩石定名为电气微斜变粒岩(图 2);p105、p106 号岩石定名为二云斜长变粒岩;p123、p124 号岩石定名为角闪/绿帘微斜变粒岩;b103 号岩石定名为黑云二长变粒岩;p2 号岩石定名为磁铁微斜变粒岩;p9 号岩石定名为磁铁二长变粒岩;p98 号岩石定名为二长变粒岩;p99 号岩石定名为二云二长变粒岩;

p100 号岩石定名为白云微斜变粒岩;p102 号岩石定名为白云母斜长变粒岩;p103 号岩石定名为白云母二长变粒岩;b113 号岩石定名为辉石微斜变粒岩。

2.3 X 射线粉晶衍射分析与岩石薄片鉴定结果对比

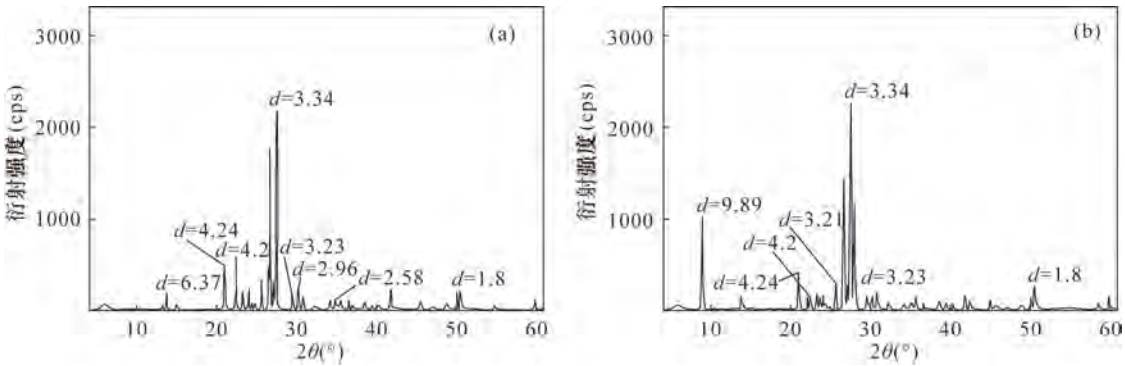
X 射线粉晶衍射法在 23 件样品中未检出黝帘石,对显微镜下未检出的绿泥石、辉石和蒙脱石检出效果较好,对白云母和黑云母不能有效区分,而能有效区分钾长石和钠长石、黑云母和绿泥石。与岩石薄片鉴定法比较,X 射线粉晶衍射法对变粒岩中蒙脱石、绿泥石检出率高 83% 和 13%,黝帘石检出率则比岩石薄片鉴定法低 9%。

岩石薄片定名与 X 射线粉晶衍射半定量矿物成分岩石定名结果(表 3)显示:10 件样品二者岩石定名相同;其余 13 件样品详细定名有均有差异。

表 2 变粒岩矿物成分 X 射线粉晶衍射分析结果

Table 2 Analytical results of mineral composition of leptite by X-ray powder diffractometer

样品编号	岩石名称	矿物含量(%)									
		石英	钾长石	斜长石	云母	绿帘石	绿泥石	电气石	磁铁矿	角闪石	黏土矿物
b67	黑云斜长变粒岩	32.7	—	38.7	14.1	2.6	11.9	—	—	—	—
b93	电气二长变粒岩	24.7	29.4	38.4	1.4	—	—	3.4	—	—	2.7
b94	电气二长变粒岩	32.2	24.1	31.1	4.9	—	—	2.9	—	—	4.7
b95	电气二长变粒岩	35.3	17.3	40.0	—	—	—	3.5	0.5	—	3.4
b97	电气二长变粒岩	36.2	20.7	28.3	2.1	—	—	8.4	0.6	—	3.7
b103	黑云二长变粒岩	27.3	15.2	49.8	5.8	—	—	—	—	—	1.9
b113	辉石微斜变粒岩	17.4	60.3	3.1	2.8	—	—	—	2.1	12.7	1.6
b114	黑云斜长变粒岩	12.5	8.3	59.1	13.6	—	1.6	—	—	4.8	—
P2	磁铁微斜变粒岩	21.0	70.8	—	—	—	—	—	5.8	—	2.5
P3	电气微斜变粒岩	16.2	70.5	—	—	—	—	10.8	—	—	2.5
P4	电气微斜变粒岩	27.0	58.8	—	—	—	—	9.4	3.0	—	1.8
P5	电气微斜变粒岩	20.3	64.0	—	—	—	2.1	10.5	3.1	—	—
P9	磁铁二长变粒岩	20.4	42.3	27.4	—	—	—	—	6.3	—	—
P97	黑云斜长变粒岩	50.3	—	43.4	5.1	—	—	—	—	—	1.2
P98	二长浅粒岩	27.5	45.4	22.6	0.8	—	—	—	—	—	3.7
P99	二云二长变粒岩	46.4	25.8	13.5	11.9	—	—	—	—	—	2.3
P100	白云微斜浅粒岩	64.3	26.0	—	7.3	—	—	—	—	—	2.4
P102	白云斜长变粒岩	56.0	7.5	14.4	19.9	—	—	—	—	—	2.2
P103	白云二长变粒岩	43.5	25.3	20.9	7.7	—	—	—	—	—	2.6
P105	二云斜长变粒岩	56.5	8.3	25.7	5.8	—	—	—	—	—	3.7
P106	二云斜长变粒岩	53.7	7.3	19.3	17.9	—	—	—	—	—	1.8
P123	角闪微斜变粒岩	4.7	66.8	4.3	—	10.1	—	—	—	11.6	2.4
P124	角闪微斜变粒岩	4.5	58.1	9.9	—	8.9	—	—	—	15.5	3.1



a—电气微斜变粒岩(p3)；b—黑云二长浅粒岩(b117)。

图2 变粒岩 X 射线粉晶衍射图谱

Fig.2 X - ray powder diffraction patterns of leptite

表3 变粒岩显微鉴定定名与 X 射线粉晶衍射分析定名对比

Table 3 Comparison of leptite naming by microscopic identification and X - ray powder diffraction analysis

样品编号	岩石薄片定名	XRD + 岩石薄片定名	样品编号	岩石薄片定名	XRD + 岩石薄片定名
b67	黑云斜长变粒岩	黑云斜长变粒岩	P9	磁铁微斜变粒岩	磁铁二长变粒岩
b93	电黑二长变粒岩	电气二长变粒岩	P97	黑云斜长变粒岩	黑云斜长变粒岩
b94	电黑二长变粒岩	电气二长变粒岩	P98	黑云斜长变粒岩	二长浅粒岩
b95	电黑二长变粒岩	电气二长变粒岩	P99	二云二长变粒岩	二云二长变粒岩
b97	电黑二长变粒岩	电气二长变粒岩	P100	白云二长变粒岩	白云微斜浅粒岩
b103	黑云二长变粒岩	黑云二长变粒岩	P102	白云二长变粒岩	白云二长变粒岩
b113	电气微斜变粒岩	辉石微斜变粒岩	P103	白云二长变粒岩	白云二长变粒岩
b114	黑云斜长变粒岩	黑云斜长变粒岩	P105	二云二长变粒岩	二云二长变粒岩
P2	磁铁微斜变粒岩	磁铁微斜变粒岩	P106	二云二长变粒岩	二云二长变粒岩
P3	电气二长变粒岩	电气微斜变粒岩	P123	角闪二长变粒岩	角闪微斜变粒岩
P4	电气二长变粒岩	电气微斜变粒岩	P124	角闪二长变粒岩	角闪微斜变粒岩
P5	电气二长变粒岩	电气微斜变粒岩			

通过对岩石薄片鉴定与 X 射线粉晶衍射分析优势对比发现(表4),岩石薄片鉴定法优势在于能准确定出岩石构造(如片麻状构造)和结构(如鳞片粒状变晶结构、等粒变晶结构),能鉴定出更多的金属矿物、黝帘石,有效区分白云母和黑云母。X 射线粉晶衍射法优势在于不仅能准确区分细小的蚀变矿物种类^[23]及层状硅酸盐矿物绿泥石、蒙脱石^[24]和云母^[25],又能检出长石(钾长石、钠长石)和石英矿物种类与相对含量,由于晶体择优取向作用,X 射线粉晶衍射法分析的矿物含量中层状硅酸盐明显高于岩石薄片鉴定结果。

迟广成等^[26-27]将 X 射线粉晶衍射半定量分析技术应用在大理岩、板岩、千枚岩等的鉴定中,不仅能准确检测出大理岩中白云石、方解石和菱镁矿等碳酸盐矿物种类及相对含量^[28],而且能有效鉴别粉砂级长石与石英成分,区分蒙脱石、绿泥石和滑石等

表4 变粒岩显微鉴定与 X 射线粉晶衍射分析优势对比

Table 4 Comparison of the advantages of microgranularity identification and X - ray powder diffraction analysis

样品编号	鉴定方法	矿物含量(%)							
		钾长石	斜长石	白云母	黑云母	绿泥石	黏土矿物	副矿物	帘石
l93	显微鉴定	40	12	-	10	-	-	3	-
	XRD	29.4	38.4	1.4	-	-	2.7	-	-
b113	显微鉴定	60	-	-	10	-	-	2	-
	XRD	60.3	3.1	2.8	-	-	1.6	2.1	-
p5	显微鉴定	45	10	-	4	-	-	6	-
	XRD	64	-	-	-	2.1	-	3.1	-
p9	显微鉴定	65	-	-	2	-	-	10	-
	XRD	42.3	27.4	-	-	-	-	6.3	-
p98	显微鉴定	-	50	2	8	-	-	2	黝2
	XRD	45.4	22.6	0.8	-	-	3.7	-	-
p100	显微鉴定	40	10	10	-	-	-	5	-
	XRD	26	-	7.3	-	-	2.4	-	-
p123	显微鉴定	50	10	-	-	-	-	2	绿25
	XRD	66.8	4.3	-	-	-	2.4	-	绿10.1

注: 由于 X 射线衍射分析没有区分出白云母和黑云母,其测量结果显示为云母的总含量。

层状硅酸盐矿物。现代大型仪器岩石矿物鉴定技术为岩石鉴定提供了可靠的手段^[29],因此变粒岩分类定名应该把岩石薄片鉴定法与 X 射线粉晶衍射法结合起来,以期准确鉴定变粒岩中长石种类及石英、斜长石、钾长石含量,达到准确鉴定变粒岩名称的目的。

3 结论

本研究通过对 23 件岩石薄片鉴定与 X 射线粉晶衍射半定量分析,对比结果显示:岩石薄片显微鉴定能够确定岩石结构、构造及岩石种属,但对于颗粒较细的长石、石英、绿泥石、蒙脱石和云母等矿物很难区分。利用 X 射线粉晶衍射法能有效地区分层状硅酸盐矿物绿泥石、蒙脱石和云母,以及粉砂级长石(钾长石、斜长石)和石英矿物的相对含量,特别是能鉴定含量较少、粒度较细的矿物成分。

变质岩中主要矿物组分和特征矿物能够为原岩恢复和岩石形成条件提供判断依据,因此,对变粒岩的岩石定名仅靠野外和薄片鉴定并不准确,有必要利用 X 射线粉晶衍射法来验证。将变粒岩野外观察、岩石薄片显微鉴定和 X 射线粉晶衍射法相结合,才能准确对变粒岩进行定名,并能更全面地为地质工作提供更准确的矿物间共生、演化及成因等依据。

4 参考文献

- [1] 何丽,徐翠,修迪,等.将 X 粉晶射线法、电子探针分析与岩矿鉴定法应用于矿物分析[J].中国锰业,2016,34(3):159-163.
He L,Xu C,Xiu D,et al. Discussin on how to apply the X-ray powder diffraction, the electron microprobe analysis and the rock ore appraisal to the rock and mineral analysis reasonably [J]. China's Manganese Industry,2016,34(3):159-163.
- [2] 陈爱清,江向峰,李国武,等.微量样品的 X 射线粉晶衍射分析研究[J].矿物学报,2017,37(1/2):1-6.
Chen A Q,Jiang X F,Li G W,et al. A study on X-ray powder diffraction of micro sample[J]. Acta Mineralogica Sinica,2017,37(1/2):1-6.
- [3] 沈春玉,储刚. X 射线衍射定量相分析新方法[J].分析测试学报,2003,22(6):80-82.
Shen C Y,Chu G. A new method for quantitative X-ray diffraction phase analysis [J]. Journal of Instrumental Analysis,2003,22(6):80-82.
- [4] 孙以谏. X 射线晶体学对造岩矿物研究的应用[J].资源调查与环境,2002,23(3):172-178.
Sun Y J. Application of X-ray crystallography on

- studying rock-forming mineral[J]. Resources Survey & Environment,2002,23(3):172-178.
- [5] 李杨. X 射线粉晶衍射法结合显微镜薄片观测运用于具隐晶质岩石的鉴定[J].中国金属通报,2018(2):246-247.
Li Y. X-ray powder crystal diffraction method combined with microscopy observation for identification of cryptocrystalline rocks [J]. China Metal Bulletin,2018(2):246-247.
- [6] 何丽,范超,田颖,等. X 射线粉晶衍射法结合运用于岩矿鉴定的薄弱部分——隐晶质岩石[J].中国锰业,2017,35(6):132-135.
He L,Fan C,Tian Y,et al. X-ray powder diffraction to vulnerable part of mineral and rock identification—Cryptocrystalline rocks [J]. China's Manganese Industry,2017,35(6):132-135.
- [7] 胡耀东. 光学显微镜鉴定、扫描电镜(能谱)及微区衍射在微量矿物检测中的联合应用[J].云南冶金,2015,44(1):63-66.
Hu Y D. The combied application of optical microscope indentification, scanning electron microscope (energy spectrum) and micro mineral detection [J]. Yunnan Metallurgy,2015,44(1):63-66.
- [8] 宋颖. 岩石矿物鉴定方法综述[J].化工管理,2018,23(8):237-238.
Song Y. Summary of rock mineral identification methods [J]. Chemical Enterprise Management,2018,23(8):237-238.
- [9] 廖冰冰. 岩矿鉴定工作现状及其发展趋势分析[J].资源信息与工程,2018,33(2):27-28.
Liao B B. Analysis of the status and development trend of rock and mineral identification[J]. Resource Information and Engineering,2018,33(2):27-28.
- [10] 殷悦. 浅谈岩石矿物鉴定的方法与应用[J].化工设计通讯,2017,43(6):136.
Yin Y. Analysis on the method and application of rock mineral indentification[J]. Chemical Engineering Design Communications,2017,43(6):136.
- [11] 游振东. 变质岩电子岩相学初探[J].地质科技情报,1984(3):11-17.
You Z D. Preliminary study on electronic petrography of metamorphic rocks [J]. Geological Science and Technology Information,1984(3):11-17.
- [12] 陈曼云,金巍,郑常青. 变质岩鉴定手册[M].北京:地质出版社,2009:69-71.
Chen M Y, Jin W, Zheng C Q. Metamorphic rock identification manual[M]. Beijing: Geological Publishing House,2009:69-71.

- [13] He B B. Introduction to two - dimensional X - ray diffraction [J]. Powder Diffraction, 2003, 18 (2) : 71 - 80.
- [14] 廖立兵, 李国武. X 射线衍射方法与应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2008: 134 - 136.
Liao L B, Li G W. X - ray diffraction methods and their application [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 134 - 136.
- [15] 马礼敦. X 射线粉晶衍射的新起点——Rietveld 全谱拟合 [J]. 物理学进展, 1996, 16(2) : 251 - 256.
Ma L D. The new starting point of X - ray powder diffraction—Rietveld whole pattern fitting [J]. Progress in Physics, 1996, 16(2) : 251 - 256.
- [16] 伍月, 刘欣, 张波, 等. X 射线粉晶衍射基体清洗法在矿物定量分析中的应用 [J]. 地质与资源, 2017, 26(3) : 323 - 328.
Wu Y, Liu X, Zhang B, et al. The application and research of X - ray powder diffraction matrix flushing method in quantitative analysis [J]. Geology and Resources, 2017, 26(3) : 323 - 328.
- [17] 林伟伟, 宋友佳. 沉积物中 X 射线衍射物相定量分析中的两种方法对比研究 [J]. 地球环境学报, 2017, 8(1) : 83 - 86.
Lin W W, Song Y J. A comparative study on X - ray diffraction mineral quantitative analysis of two methods in sediments [J]. Journal of Earth Environment, 2017, 8(1) : 83 - 86.
- [18] 邱贤荣, 齐砚勇, 唐志强. 全谱拟合定量分析石灰石 [J]. 分析科学学报, 2013, 29(1) : 146 - 148.
Qiu X R, Qi Y Y, Tang Z Q. Rietveld quantitative analysis of limestone [J]. Journal of Analytical Science, 2013, 29(1) : 146 - 148.
- [19] 冉敬, 郭创锋, 杜谷, 等. X 射线衍射全谱拟合法分析蓝晶石的矿物含量 [J]. 岩矿测试, 2019, 38(6) : 660 - 667.
Ran J, Guo C F, Du G, et al. Quantitative analysis of mineral composition of kyanite by X - ray diffraction with Rietveld refinement method [J]. Rock and Mineral Analysis, 2019, 38(6) : 660 - 667.
- [20] Gualtieri M L, Romagnoli M, Miselli P, et al. Full quantitative phase analysis of hydrated lime using the Rietveld method [J]. Cement & Concrete Research, 2012, 42(9) : 1273 - 1279.
- [21] Woodruff L, Cannon W F, Smith D B, et al. The distribution of selected elements and minerals in soil of the conterminous United States [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2015, 154: 49 - 60.
- [22] Santini T C. Application of the Rietveld refinement method for quantification of mineral concentrations in bauxite residues (alumina refining tailings) [J]. International Journal of Mineral Processing, 2015, 139: 1 - 10.
- [23] 许乃岑, 沈加林, 张静. X 射线衍射 - X 射线荧光光谱 - 电子探针等分析测试技术在玄武岩矿物鉴定中的应用 [J]. 岩矿测试, 2015, 34(1) : 75 - 81.
Xu N C, Shen J L, Zhang J. Application of X - ray diffraction, X - ray fluorescence spectrometry and electron microprobe in the identification of basalt [J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34(1) : 75 - 81.
- [24] 万洪波, 廖立兵. 膨润土中蒙脱石物相的定量分析 [J]. 硅酸盐学报, 2009, 37(12) : 2055 - 2060.
Wan H B, Liao L B. Quantitative phase analysis of montmorillonite in bentonite [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2009, 37(12) : 2055 - 2060.
- [25] 邓苗, 汪灵, 林金辉. 川西微晶白云母的 X 射线粉晶衍射分析 [J]. 矿物学报, 2006, 26(2) : 131 - 136.
Deng M, Wang L, Lin J H. Characteristics of micro - crystal muscovite in west Sichuan, China: An X - ray powder diffraction analysis [J]. Acta Mineralogical Sinica, 2006, 26(2) : 131 - 136.
- [26] 迟广成, 肖刚, 伍月, 等. X 射线粉晶衍射仪在大理岩鉴定与分类中的应用 [J]. 岩矿测试, 2014, 33(5) : 698 - 705.
Chi G C, Xiao G, Wu Y, et al. The application of X - ray powder diffraction to marble definition and classification [J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(5) : 698 - 705.
- [27] 迟广成, 肖刚, 汪寅夫, 等. 铁矿石矿物组分的 X 射线粉晶衍射半定量分析 [J]. 冶金分析, 2015, 35(1) : 38 - 44.
Chi G C, Xiao G, Wang Y F, et al. Semi - quantitative analysis of the mineral components of iron ores by X - ray powder diffraction [J]. Metallurgical Analysis, 2015, 35(1) : 38 - 44.
- [28] 郝原芳, 赵爱林. 方解石、白云石定量分析——X 射线衍射法快速分析 [J]. 有色矿冶, 2005, 21(5) : 58 - 60.
Hao Y F, Zhao A L. A simple method of quantitative analysis for calcite and dolomite in rock by X - ray diffraction [J]. Non - Ferrous Mining and Metallurgy, 2005, 21(5) : 58 - 60.
- [29] 杜谷, 王坤阳, 冉敬, 等. 红外光谱/扫描电镜等现代大型仪器岩石矿物鉴定技术及其应用 [J]. 岩矿测试, 2014, 33(5) : 625 - 633.
Du G, Wang K Y, Ran J, et al. Application of IR/SEM and other modern instruments for mineral identification [J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(5) : 625 - 633.

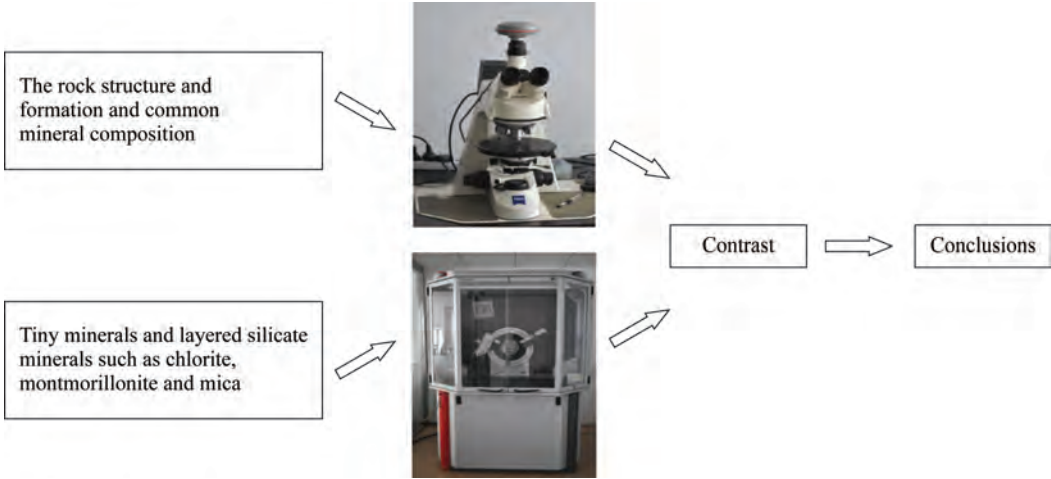
Application of X – ray Powder Diffraction Method in Identification and Classification of Leptite

WU Yue, CHI Guang – cheng^{*}, LIU Xin

(Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110032, China)

HIGHLIGHTS

- (1) The microscopic identification method can determine rock texture, structure and common minerals, but it is very difficult to distinguish tiny minerals.
- (2) X – ray powder diffraction can detect tiny minerals and layered silicate minerals that are difficult to identify using a microscope.
- (3) Combined microscopic identification and X – ray powder diffraction methods can be used to name and classify leptite.



ABSTRACT

BACKGROUND: The identification of leptite is usually based on microscopic identification technology, but it is very difficult to distinguish tiny feldspar, quartz, and layered silicate minerals such as chlorite, montmorillonite and mica using a microscope. There could be a large error in the naming of leptite by microscopic identification methods, which will cause errors in geological mapping and original rock recovery, leading to incorrect geological conclusions. The development of X – ray powder diffraction analysis technology has led to its wide use in the study of mineralogy and petrology.

OBJECTIVES: To identify tiny minerals that are difficult to distinguish under the microscope by using X – ray powder diffraction technology.

METHODS: A total of 23 leptite samples were selected. The mineral composition of leptite was detected by X – ray powder diffraction analysis and microscopic rock thin section identification technology. Semi – quantitative X – ray powder diffraction was used to verify the accuracy of the rock slice identification results.

RESULTS: The comparison between the identification results of the microscopic rock slices and the X – ray powder diffraction phase analysis results showed that 10 out of 23 samples had the same name. Analyzing the reasons for the difference, it can be found that the advantage of microscopic rock identification was that it can be used to determine rock texture and structure, as well as common mineral components. The advantage of the X – ray powder diffraction method was that it can be used to detect the relative content of tiny quartz and feldspar particles that were difficult to distinguish under the microscope, and can detect tiny layered silicate minerals such as chlorite, montmorillonite and mica, which was effective for detecting minerals with less content and finer particles.

CONCLUSIONS: Only by combining the microscopic rock thin identification technology and the X – ray powder diffraction technology can the leptite be named and classified more accurately. The combination of two techniques provides more objective technical data and analytical conclusions for geoscience research.

KEY WORDS: leptite; rock flake microscopic identification; X – ray powder diffraction; classification

《生态修复技术名录(化学污染)》正式出版

为了建立针对不同污染类型的生态修复理论方法体系,为生态修复实践工作提供理论基础和技术支撑,自然资源部中国地质调查局国家地质实验测试中心编著的《生态修复技术名录(化学污染)》已于 2020 年 5 月地质出版社正式出版。

本书在充分调研国内外化学污染修复资料的基础上,将土壤和水体中目前存在的化学污染进行了细致分类,并针对不同污染类型给出了适用的修复理论和技术。针对土壤中的重金属污染、酸性污染和盐渍化,土壤有机污染中的农药污染、酚类污染、苯系物污染和石油污染,地表水和地下水中的重金属污染、有机污染和氮磷污染等修复技术,不同修复技术的原理、操作、优缺点和成熟度进行详细的阐述。系统梳理了不同污染介质中的化学污染、化学污染中的不同污染类型的修复技术和修复原理,对生态修复理论方法体系进行了归纳和总结。本书可供生态修复领域的同行和环境保护相关部门的工作人员作为参考书和指导书,为生态修复工程实践提供技术支撑。

(国家地质实验测试中心供稿)