2013 F 10 F GEOLOGY AND KESOUKLES	Oct. 2013
第22卷第5期 地质与资源	Vol. 22 No. 5

文章编号:1671-1947(2013)05-0409-07

中图分类号 P585.2

文献标识码 :A

X射线粉晶衍射仪在千枚岩鉴定与分类中的应用

迟广成,肖 刚,陈英丽,伍 月,胡建飞,王海娇,岳明新,王 鑫 (沈阳地质矿产研究所/中国地质调查局沈阳地质调查中心,辽宁沈阳110032)

摘 要:以往千枚岩是依据显微镜下观察岩石结构构造及矿物成分进行分类定名.实际上千枚岩中鳞片状绿泥石和黑云母以及微粒 石英、钾长石和斜长石在岩石薄片中区分十分困难.为了准确鉴定千枚岩中鳞片状和微粒状造岩矿物种类及其相对含量 利用 X 射线 粉晶衍射半定量技术对 19 件千枚岩岩石进行分析测试.研究结果显示 利用云母、绿泥石、石英、钾长石和斜长石等造岩矿物 X 射线 衍射峰的明显差异 结合 X 射线衍射全谱拟合半定量分析测试技术,能快速检测云母、绿泥石、石英、钾长石和斜长石等造岩矿物种类 与含量.实践证明,将千枚岩岩石野外观察、岩石薄片鉴定和 X 射线粉晶衍射技术紧密结合起来,才能准确定出千枚岩岩石的名称. 关键词:千枚岩 岩石薄片鉴定;X 射线衍射分析;分类命名

APPLICATION OF X-RAY POWDER DIFFRACTOMETER IN THE IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF PHYLLITE

CHI Guang-cheng, XIAO Gang, CHEN Ying-li, WU Yue, HU Jian-fei, WANG Hai-jiao, YUE Ming-xin, WANG Xin (Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110032, China)

Abstract: Phyllite is traditionally classified and defined based on the microscopic observation of rock structure and mineral composition. Actually, it is quite difficult to distinguish the scaly chlorite from biotite, and microgranular quartz and K-feldspar from plagioclase in the slices of phyllite. In order to accurately identify the scaly and microgranular rock-forming minerals and their relative contents in phyllite, the semi-quantitative technique of X-ray powder diffraction is adopted to analyze 19 pieces of phyllite samples. The results show that, by the obvious differences of X-ray diffraction (XRD) peaks between mica, chlorite, quartz, K-feldspar and plagioclase, in combination with the X-ray diffraction spectrum fitting technique, the minerals and their contents can be quickly detected. Practice has proved that the integrated application of field observation, slice identification and X-ray powder diffraction will determine the accurate name of phyllite.

Key words: phyllite; microscopic identification; X-ray diffraction analysis; classification and definition

0 引言

千枚岩是具有千枚状构造的低级变质岩石.原岩 通常为泥质岩、粉砂岩及中、酸性凝灰岩等 经区域低 温动力变质作用或动力热流变质作用的低绿片岩相 阶段形成.若原岩为页理发育的页岩,在热接触变质 条件下经低温重结晶作用也可形成.千枚岩的变质程 度比板岩稍高,原岩成分重结晶作用明显,具显微鳞 片变晶结构、显微粒状鳞片变晶结构、斑状变晶结构 等.千枚岩主要由细小的绢云母、绿泥石、石英、钠长石 等在变质作用中生成的矿物组成,常含少量的金红石、 电气石、磁铁矿及炭质、铁质等,有时有少量黑云母微 晶、硬绿泥石、方解石或锰铝榴石等小变斑晶出现^[1]. 据主要造岩矿物组分可将千枚岩划分为绢云千枚岩、 绿泥千枚岩、石英千枚岩、钙质千枚岩、炭质千枚岩、绿

收稿日期 2013-04-12 ;修回日期 2013-06-07. 编辑 :李兰英.

基金项目 国土资源部"变质岩岩石矿物鉴定现代检测技术研究"项目(201011029-3)资助

作者简介 迟广成(1964—) 男 高级工程师 从事岩矿测试工作 通信地址辽宁省沈阳市皇姑区北陵大街 26 甲 3 号 ,E-mail//chiguangcheng@126.com

泥绢云千枚岩和绢云绿泥千枚岩.当岩石中出现铁铝 榴石、十字石等特征变质矿物,或基质中出现大量云母 类矿物,仍具千枚状构造时,可定为千枚状片岩,为千 枚岩与片岩之间的过渡类型^[2].

到目前为止,千枚岩岩石定名主要以野外观察和岩 石薄片鉴定为主要技术手段,鉴定结果正确与否完全依 赖分析人员长期岩石薄片鉴定积累的经验,主观因素起 到了很大作用,这给千枚岩鉴定结果带来了很大风险. 随着 X 射线粉晶衍射技术的快速发展^[3-6],许多地质 工作者把该项技术应用到造岩矿物的检测中^[7-9].国内 外研究资料表明,X 射线粉晶衍射技术不但能够检测 出岩石中结晶矿物组分,通过全谱拟合应用软件还能 半定量分析出岩石中不同矿物组分的相对含量^[10],这 为我们研究千枚岩岩石鉴定方法提供了一个切实可靠 的技术手段.本次研究利用 X 射线粉晶衍射仪对 19 件千枚岩岩石样品进行造岩矿物半定量分析测试,以 期准确检测出千枚岩中绿泥石、云母、石英、钾长石和 斜长石等造岩矿物种类及含量,从而解决以往千枚岩 岩石分类定名不准的难题.

1 样品采集与处理

在本溪岗草屯和程家堡子的江还山组,大石桥苇 子峪的江还山组,盖县任家沟、梁东沟的江还山组,海 城高家峪南的高家峪组,海城高峪的王家沟组,海城范 峪-华子峪组,海城杨家堡的江还山组地层中,千枚岩 大面积出露的地方,找到尽可能新鲜的岩石,采集岩石 标本.课题组本次研究共采集千枚岩岩石样品19件, 其中辽南地区采集千枚岩岩石样品16件(样品编号前 为字母 P),辽东地区采集千枚岩岩石样品3件(样品 编号前为字母 b),并对19件千枚岩岩石样品进行岩 石薄片磨制和全岩样品粉碎加工^[11].

2 千枚岩岩石薄片鉴定

野外采集的 19 件千枚岩岩石样品磨制成岩石薄 片 利用偏光显微镜鉴定显示:岩石样品具有千枚状、 条带状、片状、眼球状及柔皱构造,具鳞片粒状变晶、鳞 片变晶、变余砂状及粒状鳞片变晶结构.岩石中斜长 石、石英均为他形粒状—长条状 颗粒没有明显砂屑棱 角,粒度一般在 0.1 mm 以下.鳞片状矿物主要为绢云 母、白云母、黑云母和绿泥石.绢云母多呈无色—浅黄 褐色,鳞片状,具极完全解理,平行消光,最高干涉色为 二级黄.黑云母和白云母颗粒一般大于 0.2 mm,黑云 母呈褐色或绿色,白云母无色.绿泥石多呈淡绿色,鳞 片状,具异常干涉色^[12-13].19 件样品中有 1 件含有白云 石矿物,1 件含有红柱石矿物.显微镜下鉴定的千枚岩 主要造岩矿物特征和组分含量见表 1、2.

据显微镜下鉴定的岩石组构特征,可把 b11、b17、 b18、P54、P143、P150号岩石定名为绢云千枚岩(见图 1);P27、P43 号岩石定名为绿泥二云千枚岩(见图 2); P26、P28、P30、P50 号岩石定名为二云千枚岩(见图 3) P42 号岩石定名为黑云石英千枚岩 P44 号岩石定 名为绿泥黑云石英千枚岩 :P45 号岩石定名为黑云斜 长千枚岩 :P48 号岩石定名为绿泥绢云千枚岩 :P92 号 岩石定名为绢云绿泥千枚岩 ;P147 号岩石定名为绿泥 千枚岩 :P151 号岩石定名为黑云千枚岩 (见图 4). 实 际上岩石中黑云母和白云母因区域地质应力作用颗粒 比绢云母增大,其颗粒在 0.2~0.3 mm 之间,如果把黑 云母、白云母等同绢云母考虑 19 件岩石的种类可粗 略分为绢云千枚岩、绿泥绢云千枚岩和绿泥千枚岩3 种.千枚岩中石英、斜长石、绢云母、白云母、黑云母、绿 泥石、红柱石、白云石和金属矿物是根据矿物镜下光学 特征而定. 白云石是根据闪突起、高级白干涉色等光学 特征 加稀冷盐酸不剧烈起泡而定.

矿物特性	石英	斜长石	白云母	黑云母	绿泥石	白云石
颜色	无色	无色	无色	褐—绿色	淡绿色	白一暗褐
形态	粒状	粒状	片状	片状	鳞片状	粒──块状
解理	有裂纹	两组完全	一组极完全	一组极完全	一组极完全	三组完全
光性	一轴(+)	二轴(-)	二轴(-)	二轴(-)	二轴(-)	一轴(-)
突起	低正突起	低正突起	正中突起	正中突起	低正突起	闪突起
干涉色	一级灰白—黄白	一级灰—白	三级绿	三级绿	一级灰	高级白
标志特征	波状消光	见聚片双晶	鸟眼消光	鸟眼消光	异常干涉色	{0221}双晶

表 1 千枚岩中主要造岩矿物鉴定特征 Table 1 Identification features of main rock-forming minerals in phyllite

据文献[14].

				1	I J				
编号	岩石名称	石英	斜长石	白云母	黑云母	绿泥石	金属矿物	红柱石	白云石
b11	绢云千枚岩	34	_	65	_	_	1		_
b17	绢云千枚岩	22	—	70	8	—	—		—
b18	绢云千枚岩	20	—	75	5	—	—		—
P26	二云千枚岩	30	—	40	25	—	5		—
P27	绿泥二云千枚岩	20	_	45	17	10	8	_	—
P28	二云千枚岩	35	_	45	15	_	5	_	—
P30	二云千枚岩	27	_	25	45	2	1	_	—
P42	黑云石英千枚岩	30	20	—	45	_	5	_	—
P43	绿泥二云千枚岩	25	10	45	10	10	—	_	—
P44	绿泥黑云石英千枚岩	40	10	5	35	10	—	_	—
P45	黑云斜长千枚岩	15	40	5	30	5	5	_	—
P48	绿泥绢云千枚岩	20	8	60	—	10	2	_	—
P50	二云千枚岩	20	10	30	30	8	2	_	—
P54	绢云千枚岩	30	8	55	—	5	2	_	—
P92	绢云绿泥千枚岩	30	_	23	—	45	2	_	—
P143	绢云千枚岩	22	_	75	—	—	1	2	—
P147	绿泥千枚岩	25	_	—	—	60	1	_	14
P150	绢云千枚岩	23	_	70	—	5	2	_	—
P151	黑云千枚岩	25	3	_	70	1	1	_	_

表 2 显微镜下千枚岩岩石矿物成分

Table 2 Mineral composition of phyllite under microscope

含量单位:%.



图 1 绢云千枚岩 Fig. 1 Sericite phyllite

3 千枚岩 X 射线粉晶衍射分析

3.1 仪器与工作条件

千枚岩矿物成分 X 射线粉晶衍射分析工作由沈 阳地质矿产研究所实验测试中心完成. 使用的仪器为 Bruker-D8 X 射线粉晶衍射仪(德国布鲁克公司生产). 测量条件:X 射线管选用铜靶,管压为 40 kV,管流 40 mA,扫描范围为 20 角为 4~65°(全谱). 检测器为闪



图 2 绿泥二云千枚岩 Fig. 2 Chlorite two-mica phyllite

烁计数器 DS(发散狭缝)和 SS(防散射狭缝)为 1.0 mm, RS(接收狭缝)为 0.1 mm,步长为 0.03°/步,扫描速度为 0.4 s/步^[15-16].

3.2 样品测试及解译

把岩石薄片鉴定为千枚岩的 19 件岩石在碎样间 制成 74 µm 以下粒级粉末样品,然后在玛瑙钵中研磨 至 45 µm 左右,制成待测样.19 件千枚岩样品在给定

411



图 3 二云千枚岩 Fig. 3 Two-mica phyllite



图 4 黑云千枚岩 Fig. 4 Biotite phyllite

的测试条件下,用X射线粉晶衍射仪进行扫描,取得 相应岩石的X射线衍射花样图谱,千枚岩主要造岩矿 物X射线衍射图谱基本特征^[17]见表3.利用EVA软件 进行矿物定性解译和半定量分析^[18-19],19个岩石样品 X射线粉晶衍射图谱解译的岩石矿物组成及含量见 表4^[20-21].

3.3 千枚岩样品(XRD+岩石薄片鉴定)分类定名

据 X 射线粉晶衍射半定量矿物成分分析结果(见 表 4),结合显微镜下岩石矿物结构特征,可把 b11、 b17、b18、P48、P54、P150 号岩石定名为绿泥绢云千枚 岩(图 5);P42、P44、P45、P151 号岩石定名为绿泥黑云 千枚岩;P26、P27、P28、P30 号岩石定名为二云千枚岩 (图 6);P43 号岩石定名为二云绿泥千枚岩;P50 号岩 石定名为绿泥二云千枚岩;P92 号岩石定名为绢云绿

	表	3	千枚岩矿	物X	射线衍射	图谱基本	特征	
Fable	3	X-r	av diffra	ction r	oatterns o	f mineral	ls in nhvl	lit

矿物			8个	·强衍射	峰位值)	及相对强	∐度 Ⅰ值		
石英	Ι	10	8	8	7	6	7	6	6
	d	0.3350	0.4290	0.1819	0.1543	0.1383	0.1373	0.1182	0.1082
~~~~	Ι	3	6	4	4	5	10	5	5
がてつ	d	0.6370	0.4030	0.3780	0.3660	0.3510	0.3180	0.2922	0.1346
钿上工	Ι	6	7	5	6	10	6	5	9
ᡃᠬᡳ᠋᠋	d	0.4210	0.3770	0.3460	0.3330	0.3230	0.2995	0.2570	0.1795
루미	Ι	10	6	7	5	10	5	8	7
고덕	d	0.9890	0.4930	0.4430	0.3460	0.3310	0.2972	0.2548	0.1984
妈记工	Ι	10	8	9	6	8	6	5	5
球泥口	d	0.7150	0.4760	0.3550	0.2660	0.2400	0.2020	0.1670	0.1550
去针芯	Ι	6	10	9	6	7	9	7	7
亦 长切	d	0.3680	0.2696	0.2512	0.2199	0.1835	0.1689	0.1482	0.1450
ウニエ	Ι	10	4	7	4	7	7	5	5
D 4 1	d	0.2880	0.2670	0.2190	0.2013	0.1808	0.1785	0.1112	0.1001
营船石	Ι	10	10	4	8	4	4	9	4
豕肬勹	d	0 1400	0 4450	0.3080	0 2550	0 2480	0 1645	0 1492	0 1242







泥千枚岩(图7);P143 号岩石定名为绢云石英千枚岩 (图8);P147 号岩石定名为绿泥千枚岩.

- 4 结果与讨论
- 4.1 千枚岩两种造岩矿物检测方法比对 岩石薄片鉴定法于 19 件千枚岩样品中检出含有

	Table 4         XKD analysis for the mineral composition in phyllite									
编号	岩石名称	石英	钠长石	云母	绿泥石	钾长石	黄钾铁矾	赤铁矿	白云石	黏土矿物
b11	绿泥绢云千枚岩	44.2	3.8	41.0	11.0	-	_	-	-	_
b17	绿泥绢云千枚岩	37.2	7.0	38.1	17.6	-	-	-	-	-
b18	绿泥绢云千枚岩	26.5	3.0	46.0	24.4	-	-	-	-	-
P26	二云千枚岩	39.9	-	57.7	-	-	-	-	-	2.4
P27	二云千枚岩	34.1	-	62.4	-	-	-	-	-	3.5
P28	二云千枚岩	27.8	-	72.2	-	-	-	-	-	-
P30	二云千枚岩	34.0	-	59.2	5.7	-	-	1.0	-	-
P42	绿泥黑云千枚岩	38.8	7.1	27.6	26.6	-	-	-	-	-
P43	二云绿泥千枚岩	29.0	7.2	22.5	41.4	-	-	-	-	-
P44	绿泥黑云千枚岩	43.5	6.7	33.8	15.9	-	-	-	-	-
P45	绿泥黑云千枚岩	34.2	7.3	32.2	25.5	-	-	0.8	-	-
P48	绿泥绢云千枚岩	22.5	2.7	37.5	37.3	-	-	-	-	-
P50	绿泥二云千枚岩	26.8	2.7	40.9	29.7	-	-	-	-	-
P54	绿泥绢云千枚岩	28.5	2.5	39.4	29.6	-	-	-	-	-
P92	绢云绿泥千枚岩	31.3	5.0	20.2	41.0	2.4	-	-	-	-
P143	绢云石英千枚岩	43.9	-	31.8	-	21.3	3.1	-	-	-
P147	绿泥千枚岩	25.4	-	-	62.5	1.8	-	-	10.3	-
P150	绿泥绢云千枚岩	31.3	4.4	41.6	22.6	-	-	-	-	-
P151	绿泥黑云千枚岩	32.1	9.2	42.3	16.3	_	_	_	_	_

#### XRD 千枚岩岩石矿物成分分析结果 表4

含量单位:%











云石、金属矿物、黄钾铁矾和黏土矿物样品分别为 19 件、13件、18件、15件、3件、1件、2件、1件和2件.X 射线粉晶衍射法在 19 件样品中未检出红柱石,对绢 云母、白云母或黑云母也不能有效区分,该方法能有



图 8 绢云石英千枚岩衍射图 Fig. 8 Diffraction diagram of sericite quartz phyllite

效区分千枚岩中钾长石和钠长石矿物. 同岩石薄片鉴 定技术比较 X 射线粉晶衍射法对千枚岩中钾长石、钠 长石、绿泥石检出率分别高出 32%、16%和 16%. 4.2 千枚岩两种岩石分类方法定名比对

岩石薄片定名与 XRD+岩石薄片定名结果(见表 5)显示:P26、P28、P30、P48、P92、P147号6件样品二 者岩石定名相同,其余13件样品详细定名均有差异. 通过对岩石薄片鉴定法与 XRD 同显微鉴定结合岩石 定名法比对发现,岩石薄片鉴定法定名的优势在于能 准确定出千枚岩的岩石构造(如千枚状构造、带状构 造)和结构(如变余砂状结构、鳞片粒状变晶结构). XRD 同岩石薄片鉴定结合岩石定名方法优势在于更 准确体现出岩石中层状硅酸盐矿物(绿泥石和云母)及 长石(钾长石、斜长石)、石英矿物种类与含量.由于晶 体择优取向作用,XRD分析的层状硅酸盐矿物含量明 显高于岩石薄片鉴定结果,长石、石英等非层状硅酸盐 矿物含量则比岩石薄片鉴定含量低.综合对比发现,千 枚岩分类定名必须把岩石薄片鉴定法同X射线粉晶 衍射法结合起来,才能准确鉴定出千枚岩的名称.

## 5 结语

19 件岩石薄片鉴定与 X 射线粉晶衍射半定量矿物成分分析结果显示 细小的石英、钾长石和斜长石,

表 5	千枚岩岩石薄片定名与	X 射线粉晶衍射分析定名对比

 Table 5
 Comparison of phyllite definition between slide

 identification and X-ray powder diffraction analysis

样品号	岩石薄片定名	XRD+岩石薄片定名
b11	绢云千枚岩	绿泥绢云千枚岩
b17	绢云千枚岩	绿泥绢云千枚岩
b18	绢云千枚岩	绿泥绢云千枚岩
P26	二云千枚岩	二云千枚岩
P27	绿泥二云千枚岩	二云千枚岩
P28	二云千枚岩	二云千枚岩
P30	二云千枚岩	二云千枚岩
P42	黑云石英千枚岩	绿泥黑云千枚岩
P43	绿泥二云千枚岩	二云绿泥千枚岩
P44	绿泥黑云石英千枚岩	绿泥黑云千枚岩
P45	黑云斜长千枚岩	绿泥黑云千枚岩
P48	绿泥绢云千枚岩	绿泥绢云千枚岩
P50	二云千枚岩	绿泥二云千枚岩
P54	绢云千枚岩	绿泥绢云千枚岩
P92	绢云绿泥千枚岩	绢云绿泥千枚岩
P143	绢云千枚岩	绢云石英千枚岩
P147	绿泥千枚岩	绿泥千枚岩
P150	绢云千枚岩	绿泥绢云千枚岩
P151	黑云千枚岩	绿泥黑云千枚岩

绿泥石和云母等鳞片状硅酸盐矿物在显微镜下很难区 分,只有利用 X 射线粉晶衍射半定量分析技术才能准 确检测出千枚岩中细粒长石与石英成分,区分绿泥石、 云母等层状硅酸盐矿物.研究表明 X 射线粉晶衍射半 定量矿物分析技术在千枚岩分类命名中起到关键作 用,千枚岩岩石定名仅靠野外观察和岩石薄片鉴定是 不准确的,必须利用 X 射线粉晶衍射技术加以验证, 只有把千枚岩岩石野外观察、岩石薄片鉴定和 X 射线 粉晶衍射技术紧密结合起来,才能准确定出千枚岩岩 石的名称,为千枚岩原岩恢复和原岩沉积相的判断提 供更准确的矿物学信息.

参考文献:

- [1]贺同兴,卢良兆,李树勋,等.变质岩岩石学[M].北京地质出版社, 1980:105—190.
- [2]GB/T17412.3-1998, 岩石分类和命名方案——变质岩岩石的分类和 命名方案[S].
- [3]马喆生,施倪承. X 射线晶体学-晶体结构分析基本理论及实验技术 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1995: 2—23.
- [4]姚心侃. 多晶 X 射线衍射仪器的技术进展[J]. 现代仪器, 2001(3): 1-4.

加强人员队伍建设,优化人才结构,提高人才素 质,这是提高原始资料数字化以及社会化服务水平的 根本保障.可以对地质资料管理人员开展相关文件、规 则的培训,促进管理人员对新规则精神和要求的了解 和掌握.

3)制定统一标准 统一管理 领导重视

制定馆藏机构建设标准、管理技术标准以及地质 资料信息采集、处理、存储、开发利用的统一标准,建立 全国地质资料管理与服务信息系统,推进地质资料管 理标准化建设.同时,地质调查项目承担单位以及相关 领导要重视资料的管理、利用、开发工作,而不仅仅是 重视项目的实施过程.

4)加强地质资料公共服务制度的实施

为提高地质资料管理、数字化和公共服务水平,要 加强地质资料公共服务制度的实施,包括《地质资料管 理条例》《地质资料管理条例实施办法》《加强地质资料 社会化服务的若干规定》《关于建立健全地质资料网络 服务体系的通知》《关于印发实物地质资料管理办法的 通知》和《涉密地质资料管理细则》等,为地质资料数字 化、社会化服务提供法律保证.

参考文献:

- [1]董佩信 赵亮,王世轶.实现大区地质资料信息为地方经济有效服务的思考[J].地质与资源,2009,18(3):233—236.
- [2]施红棉. 地质资料图文数字化工作现状和发展趋势[J]. 资源环境与 工程, 2009, 23(3): 345—346.
- [3] 茹湘兰. 我国地质资料管理与服务信息系统建设初步设想[J]. 国土资源信息化, 2001(4): 19—21.
- [4]王凤生. 贯彻《地质资料管理条例》,加强全省地质资料管理[J]. 吉 林地质, 2002, 21(3): 84—86.
- [5]尚武. 地质资源数字化信息建设的原则及若干问题的探讨[J]. 中国 矿业, 2005, 14(7): 38—40.
- [6] 茹湘兰. 地质资源公共服务现状与问题[A]// 第六届全国地质档案 资料学术研讨会文集. 北京 地质出版社, 2008: 21—23.

(上接第 414 页 / Continued from Page 414)

- [5]杨庆余,周荣生. 巧妙的构想 大胆的创新——劳厄与 X 射线衍射的 实验[J]. 大学物理, 2002, 21(4): 34—37.
- [6]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.
- [7] 迟广成,王娜,吴桐.X射线粉晶衍射仪鉴别鸡血石[J].岩矿测试, 2010,29(1):82-84.
- [8] 迟广成,宋丽华,王娜,等. X 射线粉晶衍射仪在山东蒙阴金伯利岩 蚀变矿物鉴定中的应用[J]. 岩矿测试, 2010, 29(4): 475—477.
- [9] 迟广成,肖刚,张俊敏,等. X 射线粉晶衍射仪在辽宁瓦房店金伯利 岩蚀变矿物鉴定中的应用[J]. 地质与资源, 2012, 21(1): 160—164.
- [10]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.
- [11]DZ/T0130.1~16-2006,地质矿产实验室测试质量管理规范[S]. 2006:275—286.
- [12] 潘兆橹. 结晶学及矿物学[M]. 北京 地质出版社, 1985: 235-246.

- [13]李胜荣. 结晶学与矿物学[M]. 北京 地质出版社, 2008: 264-268.
- [14]林培英. 晶体光学与造岩矿物[M]. 北京 地质出版社, 2005: 125— 153.
- [15]刘粤惠,刘平安. X 射线衍射分析原理与应用[M]. 北京:化学工业 出版社, 2003: 72—77.
- [16]马礼敦. X 射线粉晶衍射仪[J]. 上海计量测试, 2003, 30(5): 41-46.
- [17]中国科学院贵阳地球化学研究所. 矿物 X 射线粉晶鉴定手册[M]. 北京 科学出版社, 1978: 117—122.
- [18]马礼敦. 近代 X 射线多晶体衍射——实验技术与数据分析[M]. 北 京:化学工业出版社, 2004: 21—69.
- [19]廖立兵 李国武 蔡元峰 ,等. 粉晶 X 射线衍射在矿物岩石学的应用 [J]. 物理, 2007, 36(6): 134—136.
- [20]梁栋材. X 射线晶体学基础[M]. 北京 科学出版社, 1991: 11-46.
- [21]叶大年,金成伟. X 射线粉晶衍射法及其在岩石学中的应用[M]. 北 京 科学出版社, 1984: 76—128.