

文章编号: 0254-5357(2014)05-0698-08

X 射线粉晶衍射仪在大理岩鉴定与分类中的应用

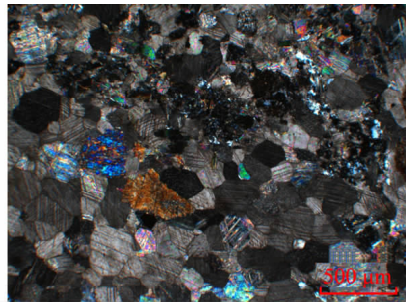
迟广成, 肖 刚, 伍 月, 陈英丽, 王海娇, 胡建飞
(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032)

摘要:大理岩主要有方解石大理岩、白云石大理岩和菱镁矿大理岩三种。以往大理岩是依据偏光显微镜下观察岩石结构构造及矿物成分进行分类定名, 由于方解石、白云石、菱镁矿都属于三方晶系, 具有闪突起、高级白干涉色、一轴晶负光性和菱形解理等相同晶体光学特征, 偏光显微镜下区分十分困难。为了准确鉴定大理岩中碳酸盐矿物种类及其相对含量, 本文利用岩石薄片偏光显微镜和 X 射线粉晶衍射技术对 32 件大理岩岩石样品进行分析测试。岩石薄片鉴定结果表明: 大理岩造岩矿物主要有方解石、白云石、菱镁矿、石英、斜长石、白云母、黑云母、绿泥石、黏土和金属矿物。根据岩石结构构造及矿物组分特征, 可把 32 件大理岩样品划分为方解石大理岩、长英质方解石大理岩、石英绿泥白云石大理岩、白云石大理岩、云英质白云石大理岩和菱镁矿大理岩等 15 个类型。X 射线粉晶衍射分析表明: 大理岩造岩矿物主要有方解石、白云石、菱镁矿、石英、斜长石、钾长石、云母、绿泥石、滑石和蒙脱石。综合分析认为: 岩石薄片偏光显微镜鉴定技术很难区分方解石、白云石和菱镁矿等碳酸盐矿物, 以及细小的石英、钾长石和斜长石、滑石和白云母等鳞片状硅酸盐矿物; X 射线粉晶衍射分析技术不仅能准确检测出大理岩中方解石、白云石和菱镁矿等碳酸盐矿物种类及相对含量(方解石、白云石和菱镁矿的 X 射线衍射主峰有明显差异, d 值分别为 0.303 nm、0.288 nm 和 0.274 nm), 而且能够有效鉴别岩石中粉砂级斜长石、钾长石与石英(三种矿物的 X 射线衍射主峰 d 值分别为 0.319 nm、0.324 nm、0.334 nm); 且能区分蒙脱石、绿泥石、云母和滑石等层状硅酸盐矿物(四种硅酸盐矿物的 X 射线衍射主峰 d 值分别为 1.400 nm、0.705 nm、0.989 nm、0.938 nm)。综合岩石薄片偏光显微镜鉴定和 X 射线粉晶衍射分析结果, 最终确定 32 件大理岩样品划分为 22 个岩石类型。研究认为: 仅根据岩石薄片偏光显微镜鉴定或 X 射线粉晶衍射技术其中一种方法不能准确鉴定大理岩岩石, 应将大理岩岩石野外观察、岩石薄片鉴定和 X 射线粉晶衍射技术结合起来, 才能准确确定大理岩岩石类型。

关键词: 大理岩; 岩石薄片鉴定; X 射线衍射法; 分类命名

中图分类号: P588.313; P575.5

文献标识码: B



我国云南大理县是著名的大理岩产地, 大理岩由此得名。大理岩是由石灰岩、白云岩等碳酸盐岩类经变质后形成的, 大理岩类碳酸盐矿物含量占 50% 以上, 可含各种钙镁硅酸盐及铝硅酸盐矿物, 一般为粒状变晶结构、条带状构造或块状构造。大理岩命名方式为: 颜色 + 特征构造 + 非碳酸盐矿物 + 碳酸盐矿物种类 + 大理岩, 如绿灰色条带状金云透闪白云石大理岩^[1]。较纯的碳酸盐原岩变质重结晶后形成的大理岩, 主要有大理岩、白云石大理岩、

菱镁矿大理岩, 可含微量白云母、斜长石、钾长石、磁铁矿和石墨等; 含少量硅质的石灰岩, 变质后形成含石英的大理岩; 含硅、铝、镁杂质的石灰岩(即泥质灰岩和泥质白云质灰岩), 低级变质时可出现含蛇纹石、滑石、绿泥石、绿帘石等大理岩, 变质程度稍高可出现含透闪石、钙铝榴石、方柱石、斜长石的大理岩, 温度更高可出现含透辉石、镁橄榄石、金云母、尖晶石等大理岩^[2]。

到目前为止, 大理岩岩石定名主要以野外观察和

收稿日期: 2013-05-21; 修回日期: 2013-08-15; 接受日期: 2014-02-02

基金项目: 国土资源部公益科研专项—变质岩岩石矿物鉴定检测技术方法研究(201011029-3)

作者简介: 迟广成, 高级工程师, 从事岩矿测试工作。E-mail: chiguangcheng@126.com。

岩石薄片鉴定为主要技术手段,鉴定结果是否正确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,这给大理岩鉴定结果带来了很大不确定性。有的地质工作者利用稀盐酸浸蚀法、油浸法、差热分析法、染色法鉴定碳酸盐矿物种类,鉴定结果也不准确^[3]。随着 X 射线粉晶衍射技术的快速发展^[4-7],许多地质工作者将该项技术应用于岩石造岩矿物检测领域^[8]。国内外研究表明,X 射线粉晶衍射技术不但能够检测出岩石中的结晶矿物组分,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^[9-12],为研究大理岩岩石矿物检测方法提供了一个切实可靠的技术手段。本文利用 X 射线粉晶衍射技术对 32 件大理岩造岩矿物进行半定量分析,以期准确检测出方解石、白云石和菱镁矿等碳酸盐矿物种类及含量,从而解决以往大理岩岩石分类定名不准确的难题。

1 样品采集与处理

课题组在辽宁省本溪、凤城、岫岩、海城地区,江还山组、杨树沟组、王家沟组、华子峪组、汤家沟组、高家峪组地层采集大理岩样品共 32 件。其中,辽中南地区采集大理岩岩石样品 19 件(样品编号前为字母 P),辽东地区采集大理岩岩石样品 13 件(样品编号前为字母 b)。并对 32 件大理岩岩石样品进行岩石薄片磨制和全岩样品粉碎加工^[13]。

2 大理岩岩石薄片鉴定

大理岩岩石薄片鉴定在沈阳地质矿产研究所实验测试中心完成。利用偏光显微镜鉴定岩石结构构造及矿物组分,并对大理岩样品进行分类定名。鉴定中将显微镜下具高级白干涉色、闪突起、一轴晶负

光性和菱形解理的矿物定为碳酸盐矿物(表 1)^[15]。岩石分类命名时将碳酸盐矿物总量大于 50%、具有粒状变晶结构的岩石定为大理岩^[14],加稀盐酸剧烈起泡者,定为方解石大理岩;不剧烈起泡者,定为白云石大理岩或菱镁矿大理岩。

本次研究工作利用岩石薄片偏光显微镜检测技术,对采集的大理岩岩石的结构构造、矿物颜色、形态、颗粒大小、含量及光学特征进行系统分析,综合岩石薄片鉴定结果,将 32 件大理岩样品划分为 15 个类型(见表 2):方解石大理岩(7 件,见显微照片图 1a)、含石英方解石大理岩(2 件)、云英质方解石大理岩(1 件)、石英方解石大理岩(1 件)、长英质方解石大理岩(1 件)、硅砂泥质方解石大理岩(1 件)、含云母石英白云石大理岩(2 件)、石英绿泥白云石大理岩(1 件)、含石英绿泥白云石大理岩(1 件)、石英白云石大理岩(1 件)、白云石大理岩(7 件,见图 1b)、云英质白云石大理岩(3 件)、含石英白云石大理岩(2 件)、菱镁矿大理岩(1 件,见图 1c)和含云母白云石大理岩(1 件,见图 1d)。

32 件大理岩造岩矿物光学特征见表 1。大理岩中,次要矿物石英、白云母、金属矿物、黑云母、斜长石、绿泥石和黏土矿物是根据矿物镜下光学特征而定;主要造岩矿物方解石、白云石和菱镁矿,利用岩石薄片偏光显微镜鉴定技术很难区分,需结合标本与稀盐酸反应程度才能进行初步判断。若碳酸盐类岩石加稀盐酸剧烈起泡,可推测碳酸盐矿物为方解石。若碳酸盐类岩石加稀盐酸不剧烈起泡,可推测碳酸盐矿物为白云石或菱镁矿(这次工作中菱镁矿的定名主要是根据野外采样收集的资料而定)。实际上,采用岩石薄片鉴定技术和与稀盐酸反应观测方法,这两种测试手段结合分析碳酸盐矿物种类会

表 1 大理岩主要造岩矿物基本光学特征

Table 1 The main optical characteristics of the rock-forming minerals for marble rocks

矿物特性	方解石	白云石	菱镁矿	石英	斜长石	绿泥石	黑云母	白云母
化学成分	Ca[CO ₃]	CaMg[CO ₃]	Mg[CO ₃]	SiO ₂	CaAlSi ₃ O ₈	-	-	-
晶系	三方	三方	三方	三方	三斜	单斜	单斜	单斜
颜色	无-白	白-暗褐	黄-灰白	无色	无色	无-黄绿	褐-浅黄	无色
形态	柱、板片	粒-块状	粒-土状	粒状	柱状	鳞片	叶片状	叶片状
解理	三组完全	三组完全	三组完全	无	两组完全	一组完全	一组极完全	
光性	一轴(-)	一轴(-)	一轴(-)	一轴(+)	二轴晶(+)	二轴晶(-)	二轴晶(-)	二轴晶(-)
突起	闪突起	闪突起	闪突起	正低	正-负低	正低-中	正中	弱闪突
干涉色	高级白	高级白	高级白	I 级黄白	I 级灰	I 级灰	Ⅱ~Ⅳ级	Ⅱ~Ⅳ级
标志特征	{0112} 双晶	{0221} 双晶	-	波状消光	聚片双晶	异常干涉色	平行消光	鸟眼消光
加稀盐酸	剧烈起泡	不剧烈起泡	粉末无泡	不起泡	不起泡	不起泡	不起泡	不起泡

出现很多错误的结论。如果 1 件大理岩样品中含有 60% 方解石、30% 白云石和 10% 石英,利用岩石薄片鉴定技术和与稀盐酸反应观测方法只能把 90% 碳酸盐矿物定为方解石,鉴定结果中显示不出 30%

白云石的存在,显然,与岩石的实际矿物组成不符。可见,大理岩岩石矿物鉴定及分类命名应该引进更有效的测试技术加以解决^[16]。

表 2 大理岩岩石薄片检测定名及矿物组分特征

Table 2 The detected name and mineral characteristics of the marbles with microscopic identification

样品编号	岩石类型	样品件数	矿物组分及含量(%)					
			方解石	石英	斜长石	黏土	白云母	金属矿物
b26、b27、b28、b31、 b32、b45、P142	方解石大理岩	7	94~99	0~5	—	—	<1	0~3
P139、P144	条带状含石英大理岩	2	90~94	2~5	—	—	2~4	1
P96	云英质大理岩	1	70	20	—	—	7	3
P141	石英方解石大理岩	1	75	20	—	—	4	1
b43	长英质大理岩	1	60	20	18	—	—	2
P140	硅砂泥质大理岩	1	62	16	—	18	4	—
样品编号	岩石类型	样品件数	菱镁矿	石英				
P77	菱镁矿大理岩	1	97	3				
样品编号	岩石类型	样品件数	白云石	石英	白云母	绿泥石		
P154、P155	含云石英白云石大理岩	2	70~75	18~25	5~7	0~10		
P156	石英绿泥白云石大理岩	1	75	15	—	10		
P197	含石英绿泥白云石大理岩	1	90	5	—	5		
P196	石英白云石大理岩	1	85	15	—	—		
样品编号	岩石类型	样品件数	白云石	石英	白云母	金属矿物	绿泥石	黑云母
b33、b34、b35、b46、 b47、P79、P80	白云石大理岩	7	94~98	0~3	0~3	0~4	0~3	0~3
P95、P152、P153	云英质白云石大理岩	3	50~70	15~30	15~20	0~5	0~5	—
P94、P198	含石英白云石大理岩	2	90~95	5~7	0~2	0~1	—	—
b40	含云母白云石大理岩	1	80	1	10	4	—	5

注:P 号样品采集于辽中南地区,b 号样品采集于辽东地区。

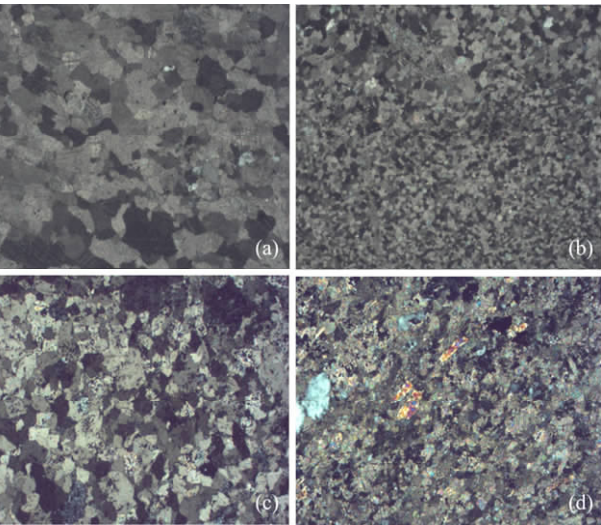


图 1 大理岩显微照片

Fig.1 The micrographs of marble samples

a—方解石大理岩;b—白云石大理岩;c—菱镁矿大理岩;d—含云母白云石大理岩。

3 大理岩 X 射线粉晶衍射分析

3.1 仪器与工作条件

大理岩矿物成分 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)。仪器测量条件为:X 射线管选用铜靶,管压 40 kV,管流 40 mA,扫描范围:2θ 角为 4°~65°(全谱);检测器为闪烁计数器,DS(发散狭缝)和 SS(防散射狭缝)均为 1.0 mm,RS(接收狭缝)为 0.1 mm,步长为 0.02°/步,扫描速度为 0.5 秒/步^[17-18]。

3.2 样品测试及解译

将岩石薄片鉴定为大理岩的 32 件岩石,制成 74 μm 以下粉末样品,在玛瑙钵中研磨至 15 μm 左右,制成待测样。在给定的测试条件下,用 X 射线粉晶衍射仪对样品进行扫描,取得相应岩石的 X 射线衍射图谱,利用 EVA 软件进行矿物定性解译和半定量分析^[20-21]。大理岩造岩矿物 X 射线衍射图谱基本特征^[19]见表 3,其 X 射线粉晶衍射图谱解译的矿物组成及含量见表 4^[22-23]。

表 3 大理岩主要造岩矿物 X 射线衍射图谱基本特征

Table 3 The basic characteristics of X-ray diffraction pattern for main rock-forming minerals of marble

矿物	大理岩造岩矿物 X 射线衍射图谱 8 个强衍射峰 d 值及相对强度 I 值								
方解石	I	10	4	5	5	6	5	4	5
	d	0.3030	0.2490	0.2280	0.2100	0.1905	0.1873	0.1417	0.1045
白云石	I	10	4	7	4	7	7	4	5
	d	0.2880	0.2670	0.2190	0.2013	0.1808	0.1785	0.1387	0.1112
菱镁矿	I	10	4	8	4	7	4	4	6
	d	0.2740	0.2510	0.2100	0.1942	0.1702	0.1407	0.1355	0.1069
石英	I	8	10	8	7	6	7	6	6
	d	0.4290	0.3340	0.1819	0.1543	0.1383	0.1373	0.1182	0.1082
斜长石	I	6	6	4	4	10	5	5	6
	d	0.4030	0.3750	0.3490	0.3360	0.3190	0.3180	0.2930	0.2520
钾长石	I	6	7	5	6	10	6	5	9
	d	0.4210	0.3770	0.3460	0.3330	0.3240	0.2995	0.2570	0.1795
云母	I	10	6	7	5	10	5	8	7
	d	0.9890	0.4930	0.4430	0.3460	0.3310	0.2972	0.2548	0.1984
滑石	I	10	5	4	10	4	7	4	7
	d	0.9380	0.4710	0.4530	0.3120	0.2610	0.2480	0.1873	0.1530
绿泥石	I	10	8	9	6	8	6	5	5
	d	0.7050	0.4760	0.3550	0.2660	0.2400	0.2020	0.1670	0.1550
蒙脱石	I	10	7	4	6	4	4	4	7
	d	1.400	0.4450	0.3080	0.2550	0.2480	0.1690	0.1645	0.1492

注: d 为矿物晶格间距(单位:nm), I 为晶面衍射相对强度。

表 4 大理岩 X 射线粉晶衍射分析矿物成分含量

Table 4 The mineral compositions of the marble by X-ray diffraction analysis

XRD + 岩石薄片鉴定 32 件大理岩岩石分类	样品 件数	矿物组分含量(%)								
		方解石	白云石	石英	云母	滑石	钾长石	斜长石	绿泥石	蒙脱石
大理岩	4	90.6 ~ 97.9	0 ~ 2.7	0.7 ~ 4.1	0 ~ 0.9	—	—	—	—	1.3 ~ 4.2
含白云石大理岩	1	81.5	10.0	4.6	—	—	—	—	—	4.0
含绿泥石大理岩	1	88.6	1.3	1.4	—	3.1	—	—	5.6	—
白云石长英大理岩	1	51.8	12.0	11.8	2.9	—	—	17.7	1.3	2.5
白云石云母大理岩	1	70.4	11.0	4.6	10.9	—	—	—	—	3.1
云母白云石长英大理岩	1	53.4	12.4	15.0	9.4	—	5.4	2.0	—	2.5
含石英白云质大理岩	1	63.5	15.8	8.8	3.9	—	4.3	—	—	3.7
云英白云质大理岩	2	30.4 ~ 48.0	16.9 ~ 19.5	17.4 ~ 39.1	9.0 ~ 13.5	—	0 ~ 2.9	—	—	0 ~ 3.2
钙质粉砂岩	2	9.0 ~ 37.3	6.8 ~ 16.4	22.5 ~ 38.6	10.8 ~ 16.1	—	—	16.3 ~ 20.6	2.0 ~ 3.5	—
绿泥钙质粉砂岩	2	—	25.1 ~ 35.4	27.4 ~ 28.4	12.7 ~ 21.8	—	8.6 ~ 15.9	0 ~ 1.4	5.8 ~ 17.5	—
白云石大理岩	1	1.0	88.9	1.5	0.9	2.8	—	2.5	—	2.5
含云母白云石大理岩	2	0 ~ 1.1	82.9 ~ 92.3	—	5.8 ~ 10.9	—	—	1.8 ~ 1.9	—	0 ~ 3.5
含石英白云石大理岩	3	—	81.9 ~ 87.4	5.8 ~ 8.0	0 ~ 4.0	0 ~ 5.4	—	1.5 ~ 4.2	0 ~ 4.4	0 ~ 4.8
含滑石石英白云石大理岩	1	—	81.9	6.4	—	5.4	—	1.5	—	4.8
方解滑石白云石大理岩	2	6.5 ~ 9.6	64.3 ~ 70.7	—	8.9 ~ 14.2	7.6 ~ 9.5	—	1.3 ~ 1.9	—	1.8 ~ 3.6
云母长英白云石大理岩	1	—	59.8	16.2	7.9	—	16.2	—	—	—
云英白云石大理岩	1	—	71.6	15.4	10.4	—	—	2.6	—	—
绿泥云英白云石大理岩	1	—	64.1	14.0	10.8	—	—	—	11.1	—
滑石白云石大理岩	1	4.9	78.0	—	3.2	11.0	—	1.4	—	1.5
大理岩岩石分类	样品件数	方解石	白云石	石英	菱镁矿	滑石	钾长石	斜长石	绿泥石	蒙脱石
菱镁矿大理岩	1	0.7	0.5	1.0	90.6	3.4	—	—	3.8	—
滑石菱镁矿大理岩	1	0.7	0.3	1.2	81.5	16.4	—	—	—	—
绿泥滑石菱镁矿大理岩	1	0.8	0.6	0.8	85.8	6.7	—	—	5.4	—

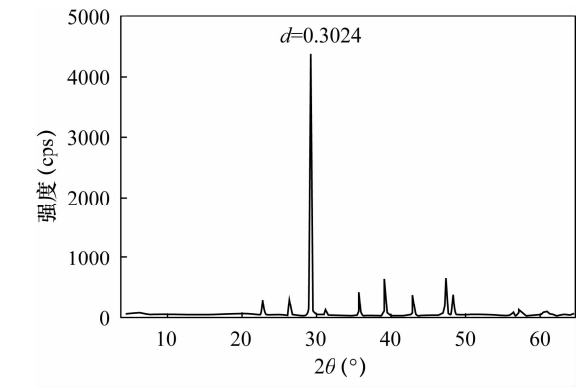


图 2 方解石大理岩 X 射线衍射图谱
Fig. 2 The X-ray diffraction pattern of the calcite marble

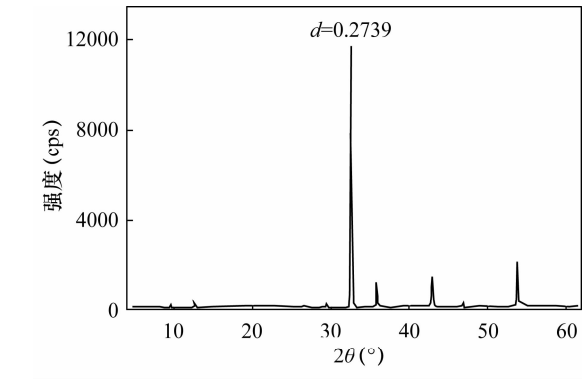


图 5 菱镁矿大理岩 X 射线衍射图谱
Fig. 5 The X-ray diffraction pattern of the magnesite marble

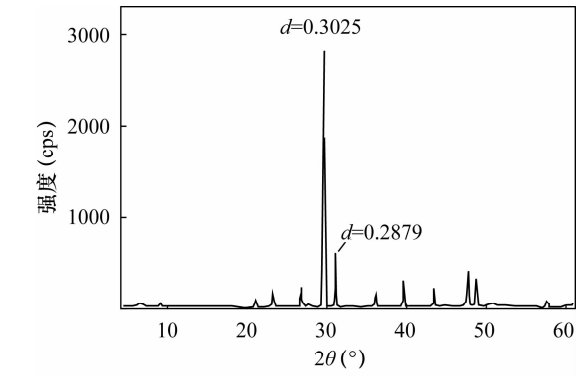


图 3 含石英白云石方解石大理岩 X 射线衍射图谱
Fig. 3 The X-ray diffraction pattern of the calcite marble including dolomite

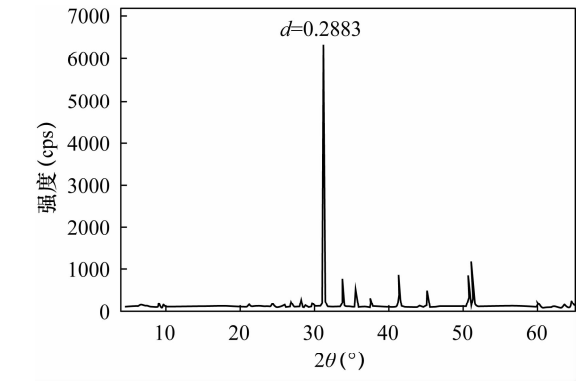


图 4 白云石大理岩 X 射线衍射图谱
Fig. 4 The X-ray diffraction pattern of the dolomite marble

4 大理岩岩石薄片鉴定和 X 射线粉晶衍射结果分析

4.1 两种鉴定方法分析造岩矿物的检出率

32 件岩石样品中,造岩矿物石英、方解石、云母、白云石、斜长石、菱镁矿、绿泥石、蒙脱石、滑石和钾长石用岩石薄片偏光显微镜鉴定法和 X 射线粉

晶衍射检测法的矿物检出率明显不同(见表 5)。除了云母和石英,X 射线粉晶衍射法矿物检出率比岩石薄片偏光显微镜鉴定法矿物检出率更高,二者检出率差值最小为 6.3%,最大为 50.0%。大理岩造岩矿物 X 射线粉晶衍射技术与岩石薄片偏光显微镜鉴定技术检测结果比对显示:X 射线粉晶衍射技术更能准确检测出岩石中方解石、白云石、斜长石、菱镁矿、绿泥石、蒙脱石、滑石、钾长石等矿物组分,对于岩石薄片偏光显微镜鉴定法在 32 件岩石样品中单一检出的斜长石、菱镁矿和绿泥石,以及零检出的滑石和钾长石矿物有更高的检出率,这充分体现了岩石薄片偏光显微镜鉴定技术的局限性。可见,大理岩岩石定名仅靠野外观察和岩石薄片偏光显微镜鉴定是不准确的,必须利用 X 射线粉晶衍射技术加以验证。

两种鉴定方法的检出矿物结果比对显示:X 射线粉晶衍射技术能准确鉴定出大理岩中白云石、方解石和菱镁矿等碳酸盐矿物及含量,区分粉砂-细砂级石英、钾长石、斜长石和云母、滑石、绿泥石、蒙脱石等层状硅酸盐矿物,这些都是岩石薄片鉴定很难做到的。

4.2 两种鉴定方法的技术优势

岩石薄片偏光显微镜鉴定技术优点在于能准确鉴定出岩石结构构造、造岩矿物颜色、形态、颗粒大小及主要矿物组分含量,可以判别岩石是属于岩浆岩、沉积岩还是变质岩。其缺点在于很难区分方解石、白云石和菱镁矿等碳酸盐矿物,以及细小的石英、钾长石和斜长石、滑石和白云母等鳞片状硅酸盐矿物。

比较而言,X 射线粉晶衍射半定量分析技术优点在于能准确检测出大理岩中方解石、白云石和菱镁矿等碳酸盐矿物种类及相对含量,三种矿物 X 射

表 5 大理岩 X 射线粉晶衍射与岩石薄片鉴定检出矿物结果比对

Table 5 The identified minerals of marble detected by X-ray diffraction and rock microscopic identification

比对参数	石英	方解石	云母	白云石	斜长石	菱镁矿	绿泥石	蒙脱石	滑石	钾长石
X 射线衍射检出数	27	22	21	31	16	3	11	17	9	6
岩石薄片检出数	28	13	21	18	1	1	5	1	0	0
二者检出率差值	-3.1%	31.1%	0	37.5%	46.9%	6.3%	18.8%	50.0%	28.1%	18.7%
二者检出符合数	23	13	18	16	1	1	5	1	0	0
二者检出符合率	85%	59%	86%	52%	6%	33%	45%	6%	0	0

线衍射主峰 d 值分别为 0.303 nm、0.288 nm 和 0.274 nm,X 射线衍射主峰差异明显;而且,能够有效鉴别粉砂级斜长石、钾长石与石英三种矿物,三种矿物的 X 射线衍射主峰 d 值分别为 0.319 nm、0.324 nm、0.334 nm;能够区分蒙脱石、绿泥石、云母和滑石等层状硅酸盐矿物^[24],这四种硅酸盐矿物的 X 射线衍射主峰 d 值分别为 1.400 nm、0.705 nm、0.989 nm 和 0.938 nm。其缺点在于仅仅根据 X 射线粉晶衍射半定量分析方法测定的岩石矿物组分及含量,缺少岩石结构构造特征的情况下,不能判断岩石是属于岩浆岩、沉积岩还是变质岩。本次研究发现:仅根据岩石薄片鉴定或 X 射线粉晶衍射技术其中一种方法不可能准确鉴定出大理岩岩石名称,只有把大理岩岩石野外观察、岩石薄片鉴定和 X 射线粉晶衍射检测技术紧密结合起来,才能准确鉴定出大理岩岩石的名称。

4.3 大理岩岩石类型的确定

大理岩岩石薄片偏光显微镜检测定名与 XRD + 岩石薄片偏光显微镜检测定名结果比对显示(表 6):b26、b28、b31、b33、b45、P94、P155、P198 号 8 件样品二者岩石定名相同;b27、b32、b34、b35、P77、P156、P196、P197 号 8 件样品二者岩石定名基本相同;b40、b46、b47、P139、P140、P142、P141、P144、P154 号 9 件样品二者岩石定名大类相同,详细定名有明显差异;b43、P79、P80、P95、P96、P152、P153 号 7 件样品二者岩石定名不同。由于层状硅酸盐矿物 X 射线粉晶衍射半定量分析结果可能比实际岩石中含量高(表 2 和表 4),在岩石鉴定时,须将 X 射线粉晶衍射检测结果与岩石薄片偏光显微镜鉴定技术相结合,才能给出更加科学合理的造岩矿物组分及含量。经岩石薄片偏光显微镜检测定名和 XRD + 岩石薄片偏光显微镜检测定名综合比对后,这次研究最终把 32 件大理岩样品划分为 22 个岩石类型。

表 6 32 件大理岩岩石薄片定名与 XRD + 岩石薄片定名对比

Table 6 Comparison of mineral names of 32 marbles with microscopic identification and X-ray diffraction + microscopic identification

样品编号	大理岩岩石分类		样品编号	大理岩岩石分类	
	岩石薄片鉴定	XRD + 岩石薄片鉴定		岩石薄片鉴定	XRD + 岩石薄片鉴定
b26	大理岩	大理岩	P94	含石英白云石大理岩	含石英白云石大理岩
b27	大理岩	含白云石大理岩	P95	云英质白云石大理岩	钙质粉砂岩
b28	大理岩	大理岩	P96	云英质大理岩	钙质粉砂岩
b31	大理岩	大理岩	P139	含石英大理岩	含白云石云母大理岩
b32	大理岩	含绿泥石大理岩	P140	硅砂泥质大理岩	含云母白云石长英质大理岩
b33	白云石大理岩	白云石大理岩	P141	石英大理岩	云英白云石质大理岩
b34	白云石大理岩	含云白云石大理岩	P142	大理岩	含石英白云石质大理岩
b35	白云石大理岩	含云白云石大理岩	P144	含石英大理岩	云英白云石质大理岩
b40	含云母白云石大理岩	方解滑云白云石大理岩	P152	云英质白云石大理岩	绿泥钙质粉砂岩
b43	长英质大理岩	白云石长英质大理岩	P153	云英质白云石大理岩	绿泥钙质粉砂岩
b45	大理岩	大理岩	P154	含云英白云石大理岩	云母长英质白云石大理岩
b46	白云石大理岩	滑石白云石大理岩	P155	含云英白云石大理岩	云英白云石大理岩
b47	白云石大理岩	方解滑云白云石大理岩	P156	石英绿泥白云石大理岩	绿泥云英白云石大理岩
P77	菱镁矿大理岩	滑石菱镁矿大理岩	P196	石英白云石大理岩	含滑石石英白云石大理岩
P79	白云石大理岩	菱镁矿大理岩	P197	含石英绿泥白云石大理岩	含石英白云石大理岩
P80	白云石大理岩	绿泥滑石菱镁矿大理岩	P198	含石英白云石大理岩	含石英白云石大理岩

5 结语

以往大理岩岩石定名主要以野外观察和岩石薄片偏光显微镜鉴定为主要技术手段。实际上,大理岩主要造岩矿物方解石、白云石和菱镁矿,利用岩石薄片偏光显微镜鉴定技术很难区分,鉴定过程中往往需结合标本与稀盐酸(盐酸浓度为10%)反应程度才能进行初步判断,一般认为加稀盐酸剧烈起泡为方解石,加稀盐酸不剧烈起泡为白云石;如果大理岩中同时含有方解石和白云石两种碳酸盐矿物,用岩石薄片偏光显微镜鉴定技术和加稀盐酸法根本区分不开。本次研究发现,大理岩中细小的石英、钾长石和斜长石、滑石和白云母等鳞片状硅酸盐矿物利用岩石薄片偏光显微镜鉴定技术也很难区分。本文利用X射线粉晶衍射半定量分析技术,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,而且能鉴别出粉砂级斜长石、钾长石与石英成分,区分蒙脱石、绿泥石、云母和滑石等层状硅酸盐矿物。

研究表明:岩石薄片偏光显微镜鉴定技术优点在于能准确鉴定出岩石结构构造,划分岩石所属大类,而X射线粉晶衍射技术优点在于能准确鉴定出岩石矿物组分。由此可见,将大理岩岩石野外观察、岩石薄片偏光显微镜鉴定和X射线粉晶衍射技术相互结合起来,才能准确鉴定大理岩岩石的名称,为大理岩原岩恢复和原岩沉积相的判断提供更多的矿物学信息。

6 参考文献

- [1] GB/T 17412.3—1998,岩石分类和命名方案——变质岩岩石的分类和命名方案[S].
- [2] 贺同兴,卢良兆,李树勋,兰玉琦.变质岩岩石学[M].北京:地质出版社,1980:105—190.
- [3] 潘兆鲁.结晶学及矿物学[M].北京:地质出版社,1985:235—246.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] He B B. Introduction to two-dimensional X-ray diffraction [J]. *Powder Diffraction*, 2003, 18(2): 71—80.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 迟广成,宋丽华,王娜,崔德松,周国兴. 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.
- [11] 迟广成,肖刚,陈英丽,伍月,胡建飞,王海娇,岳明新,王鑫. 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.
- [12] 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.
- [13] DZ/T 0130.1—16—2006,地质矿产实验室测试质量管理规范[S]. 2006:275—286.
- [14] Kretz C. Symbols for rock-forming minerals [J]. *American Mineralogist*, 1983, 68: 277—279.
- [15] 李胜荣. 结晶学与矿物学[M]. 北京:地质出版社,2008:264—268.
- [16] 林培英. 晶体光学与造岩矿物[M]. 北京:地质出版社,2005:125—153.
- [17] 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.
- [18] 马礼敦. X射线粉晶衍射仪[J]. 上海计量测试,2003,30(5):41—46.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 廖立兵,李国武,蔡元峰,黄俊杰. 粉晶X射线衍射在矿物岩石学的应用[J]. 物理,2007,36(6):134—136.
- [22] 梁栋材. X射线晶体学基础[M]. 北京:科学出版社,1991:11—46.
- [23] 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.
- [24] 迟广成,肖刚,张俊敏,钟辉,王海娇,胡建飞. X射线粉晶衍射仪在千枚岩鉴定与分类中的应用[J]. 地质与资源,2013,22(5):409—414.

The Application of X-ray Powder Diffraction to Marble Definition and Classification

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

Abstract: Marble primarily consists of three types: calcite, dolomite and magnesite. Marble classification is based mainly on the structures and mineral compositions seen under the microscope. It is very difficult to determine calcite, dolomite and magnesite under the microscope because each type has the same crystal optical characteristics, such as flash protrusions, senior white interference color, uniaxial optical negative and rhomboid cleavage, which belong to the triclinic system. In order to identify the mineral types and the relative content of the carbonate in marble accurately, 32 marble samples were tested with microscope and X-ray Powder Diffraction using semi-quantitative analysis technology. The identification of thin section results showed that: Marble rock-forming minerals are calcite, dolomite, magnesite, quartz, plagioclase, muscovite, biotite, chlorite, clays minerals and metal ores. According to the characteristics of the rock structure and the mineral components, 32 marbles can be divided into calcite marble, felsic calcite marble, quartz chlorite dolomite marble, dolomite marble, mica-felsic dolomite marble, magnesite marble and other 15 types. The X-ray Powder Diffraction semi-quantitative analysis results showed that: the marble rock-forming minerals are calcite, dolomite, magnesite, quartz, plagioclase, K-feldspar, mica, chlorite, talc and montmorillonite. Comprehensive analysis showed: it's difficult to distinguish calcite, dolomite and magnesite and other carbonate minerals, and tiny quartz, K-feldspar and plagioclase, muscovite and other scaly talc silicate minerals by thin section with microscope identification technology. X-ray Powder Diffraction semi-quantitative analysis technique can not only accurately detect the type and relative content of calcite, dolomite, magnesite, and other carbonate minerals, (D values of dolomite, calcite and magnesite, the major X-ray Diffraction peak, were 0.303 nm, 0.288 nm and 0.274 nm), but also identify effectively the rock silt plagioclase, feldspar and quartz with D values of respectively 0.319 nm 0.324 nm and 0.334 nm; and identify montmorillonite, chlorite, mica, talc and other layered silicate minerals with D values of respectively 1.400 nm, 0.705 nm, 0.989 nm and 0.938 nm. The application of X-ray Powder Diffraction semi-quantitative analysis techniques is a breakthrough on marble mineral identification technology. According to comprehensive results of thin section under polarizing microscope identification and X-ray Powder Diffraction analysis, 32 marble samples are divided into 22 kinds of rock types eventually. The study showed that using microscope or X-ray Powder Diffraction identification technology separately is insufficient for accurately identifying marble rocks. Both techniques should be combined with field observation, to identify accurately the marble type.

Key words: marble; rock microscopic identification; X-ray Diffraction; classification and definition