

# 川西北地区茅坝组灰岩地质特征及用途探讨

刘亮<sup>1\*</sup>, 赖华<sup>2</sup>, 杨鹏涛<sup>1</sup>, 许涛<sup>1</sup>, 胡康强<sup>1</sup>, 王超<sup>1</sup>, 谭英波<sup>1</sup>

(1. 四川省地矿局 川西北地质队, 四川 绵阳 621010; 2. 绵阳市自然资源局, 四川 绵阳 621010)

**摘要:**川西北龙门山地区分布有丰富的碳酸盐资源,评价和利用较多的是石炭纪、二叠纪、三叠纪优质水泥用灰岩,而对泥盆系下统茅坝组(D<sub>3</sub>m)灰岩的研究评价不足.茅坝组灰岩CaO含量介于52.97%~54.78%;MgO含量在0.28%~1.64%;SiO<sub>2</sub>含量0.33%~1.41%;SO<sub>3</sub>含量介于0.01%~0.19%;K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O为0.036%~0.098%,均达到优质水泥用(I级品)要求.经测试,茅坝组灰岩的饱和抗压强度33.4~51.4 MPa;坚固性1%~3%;压碎指标8.8%~10.1%;碱集反应14 d膨胀率为0.009%,放射性总 $\alpha$ 为 $3.52 \times 10^2$  Bq/kg,总 $\beta$ 为 $1.62 \times 10^2$  Bq/kg.所有指标均符合建筑石料用要求.

**关键词:**川西北;茅坝组灰岩;水泥;建筑石料

中图分类号:P584 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2019)01-0055-07

## Geological Characteristics and Application of Limestone of Maoba Formation in Northwest Sichuan

Liu Liang<sup>1</sup>, Lai Hua<sup>2</sup>, Yang Pengtao<sup>1</sup>, Xu Tao<sup>1</sup>, Hu Kangqiang<sup>1</sup>, Wang Chao<sup>1</sup>, Tan Yingbo<sup>1</sup>

(1. Northwest Sichuan Geological Team, Mianyang 621010, China;

2. Mianyang Municipal Bureau of Land and Resources, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** There are abundant carbonate resources in Longmen Mountains, Northwest Sichuan. Carboniferous, Permian and Triassic limestones are the most widely evaluated and utilized, while the study and evaluation of lower Devonian Maoba Formation (D<sub>3</sub>m) limestone is insufficient. CaO content of limestone in Maoba Formation ranges from 52.97% to 54.78%. MgO content ranges from 0.28% to 1.64%. SiO<sub>2</sub> content ranges from 0.33% to 1.41%. SO<sub>3</sub> content ranges from 0.01% to 0.19%. K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O content ranges from 0.036% to 0.098%, all meeting the requirements of high-quality cement (Grade I). The test results show that the saturated compressive strength of Maoba Formation limestone is 33.4 ~ 51.4 MPa, firmness 1% ~ 3%, crushing index 8.8% ~ 10.1%, expansion rate of alkali-aggregation reaction 14 days is 0.009%, with total radioactive alpha  $3.52 \times 10^2$  Bq/kg, beta  $1.62 \times 10^2$  Bq/kg. All indicators meet the requirements of building stone.

**Keywords:** Northwest Sichuan; limestone of Maoba formation; cement; building Stone

随着西成高铁的开通,沿线城市的经济社会呈现加速发展的趋势,对矿产资源的需求亦愈加旺盛,特别是基础建设大量运用的水泥及建筑石料,寻找和评价新的矿产资源,对地方经济社会发展有巨大的推动和保障作用.研究区位于龙门山中段前山带与川西北前陆盆地的结合部位<sup>[1-3]</sup>,分布有丰富的碳酸盐资源<sup>[4]</sup>,同时距马角镇距离不到4 km,周边有双马水泥等大型水泥生产企业,配套设施齐全;京昆高速、宝成线和西成高铁从马角镇南侧通过,有着便利的交通条件.研究区2.53 km<sup>2</sup>范围内,经估算茅坝组(D<sub>3</sub>m)灰岩储量为1 293万t,远景可达20 000万t以上.对其地质特征及用途研究有着重要的经济和现实意义.

收稿日期:2018-12-12

\*通信作者,E-mail: liuliang2006ziyang@163.com

# 1 地质概况

## 1.1 地层

矿区内出露地层包括上泥盆统沙窝子组(D<sub>3s</sub>)、上泥盆统茅坝组(D<sub>3m</sub>)、下石炭统总长沟组(C<sub>1z</sub>)、下石炭统黄龙组(C<sub>1h</sub>)、下三叠统飞仙关组(T<sub>1f</sub>) (图1)。现由老到新综述如下:

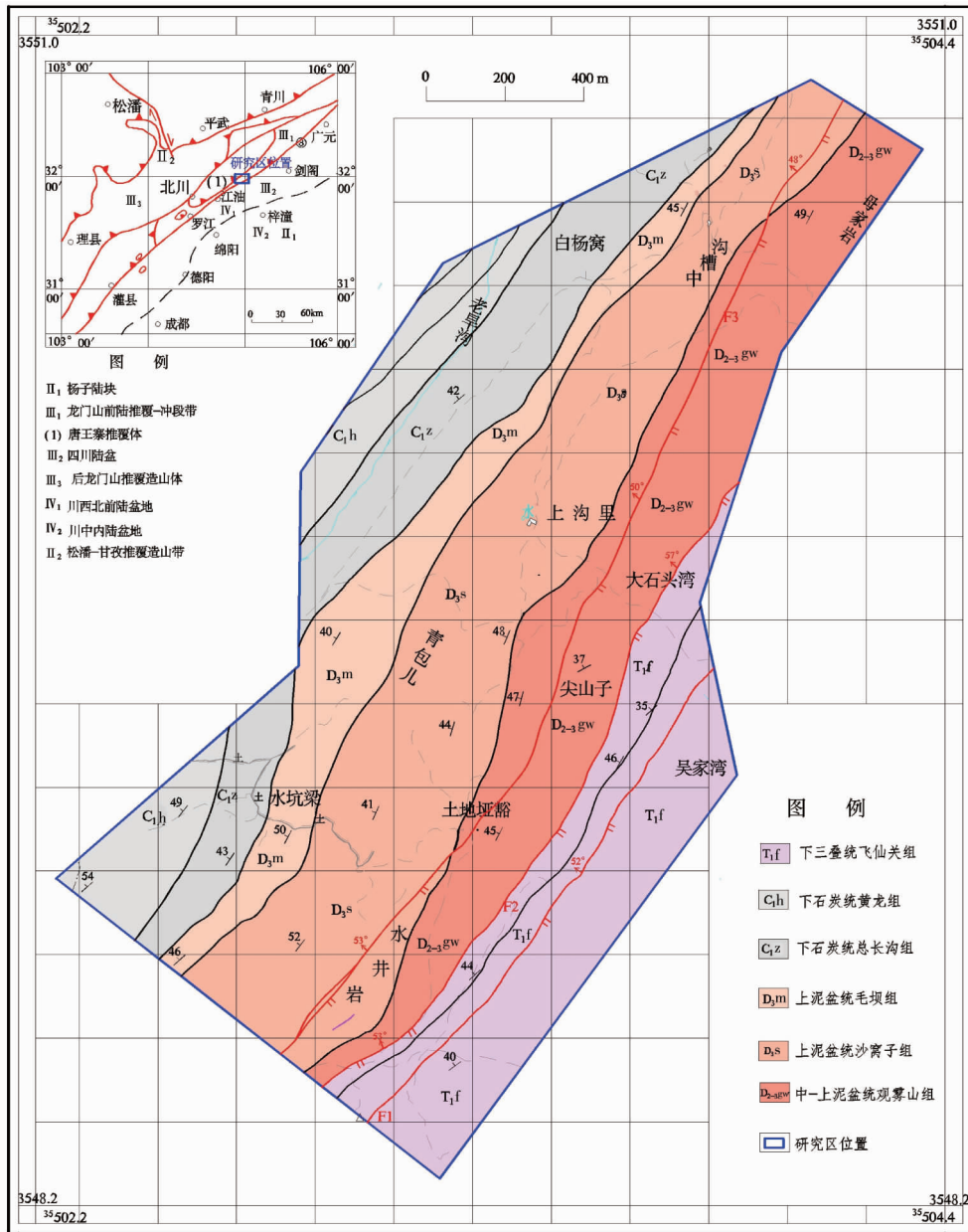


图1 研究区区域构造位置图及地质简图

### 1.1.1 上泥盆统沙窝子组(D<sub>3s</sub>)

沙窝子组地层呈北东-南西向广泛分布于测区中部,出露面积 0.75 km<sup>2</sup>,地层厚度较稳定,厚度约 264.5~294.4 m.与观雾山组(D<sub>2-3gw</sub>)整合接触,以豹斑灰岩为分界标志;沙窝子组(D<sub>3s</sub>)顶部白云岩与茅坝组(D<sub>3m</sub>)灰岩区别明显.

### 1.1.2 上泥盆统茅坝组(D<sub>3m</sub>)

茅坝组地层呈北东-南西向广泛分布于测区北西部,出露面积 0.26 km<sup>2</sup>,地层厚度在横向上变化较大,总体上是南北两段较薄,中间较厚,该组厚度在青包儿达到最大.厚度约 50.0~112.3 m.茅坝组(D<sub>3m</sub>)与沙

窝子组(D<sub>3</sub>s)顶部白云岩区别明显,呈整合接触;与上覆总长沟组(C<sub>1</sub>z)地层为平行不整合接触;岩性有灰白色细晶灰岩、泥晶灰岩、粉晶砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、浅灰色粉-微晶灰岩。其沉积环境早期为碳酸盐开阔台地灰泥混合潮坪,晚期演变为碳酸盐开阔台地边缘鲕砾滩相。该组在马角坝一带厚度>215 m,区域上厚度可达290 m<sup>[6]</sup>。

### 1.1.3 下石炭统总长沟组(C<sub>1</sub>z)

总长沟组地层广泛分布于测区北西部,呈北东-南西向展布,出露面积0.39 km<sup>2</sup>,地层厚度总体上表现为南北2段较薄,中间较厚。厚度90.0~104.4 m。岩性主要为灰白色中层状粉晶生物碎屑灰岩,含介形虫、腕足、海百合等化石,部分地段分布有灰-深灰色块状细晶灰岩与灰白色厚层状球状灰岩,局部夹有少量灰白色中-厚层状微晶白云岩,底部为一套厚约2~5 m的紫红色泥岩标志层,横向上连续稳定,厚度变化小,风化后形成橙红色-紫红色土壤,与其他土壤区别明显。与上覆地层黄龙组(C<sub>1</sub>h)为整合接触,与下伏茅坝组(D<sub>3</sub>m)地层为平行不整合接触。

### 1.1.4 下石炭统黄龙组(C<sub>1</sub>h)

黄龙组地层呈北东-南西向分布于测区北西部,出露面积0.29 km<sup>2</sup>,厚度>98 m,未见顶;与总长沟组(C<sub>1</sub>z)整合接触,二者的分层标志为紫红色砾屑灰岩。岩性复杂,底部为紫红色中-厚层砾屑灰岩;其上为灰-灰白色中-厚层状(含)生物碎屑微晶灰岩,岩石表面较光滑,局部可见有雨水等溶蚀形成的光滑沟槽、孔洞,局部可见灰-灰白色中-厚层状细晶白云岩。

### 1.1.5 三叠系下统飞仙关组(T<sub>1</sub>f)

飞仙关组地层呈北东-南西向分布于研究区南东部,出露面积0.35 km<sup>2</sup>,地层厚度变化不大,厚度>112.6 m。属较典型的浅海潮坪潮间沉积环境<sup>[7]</sup>,由碳酸岩、泥岩、粉砂质泥岩组成,与上覆观雾山组为断层接触。

## 1.2 构造

从大地构造来看,研究区位于龙门山巨型逆冲推覆构造带-前陆推覆构造带之马鞍塘冲断带,存在一系列深断裂,走向北东-南西,倾向北西,是三叠纪末印支运动的结果,沿塑性地层滑动,喜山运动使构造进一步发展,形成现今的构造格局。岩层的走向、褶皱轴线以及主要断层的走向均为北东-南西方向,与山体延伸的方向一致。其总体特点是:深断裂发育,褶皱紧密,地层出露较老,岩石基本未变质<sup>[6]</sup>。研究区区域上位于马角坝倒转背斜的北西翼,北西翼为正常翼,为单斜构造,褶皱不发育,以断裂构造为主,区内主要表现为层间滑动。

## 2 矿体特征

### 2.1 矿体(层)特征

矿体赋存于泥盆系茅坝组地层中,与地层产状一致,呈中厚层状、块状,矿体产状矿体倾向北西,倾角35°~60°,呈单斜层状产出,走向北东-南西延伸>3.0 km,产出稳定,连续性、均匀性和完整性好。岩性为细晶灰岩、泥晶灰岩、粉晶砂屑灰岩、生物碎屑灰岩等。矿体在研究区内出露宽度325~965 m,厚度21~116 m,出露标高705~1 080 m,高差375 m。

### 2.2 矿石特征

矿石新鲜面呈灰-灰白色,风化面呈土黄色,细晶-微晶结构,中-厚层状、块状构造,主要由方解石组成,含少量白云石。岩石中可见粒状、鲕粒状灰岩颗粒,具有同心层,局部可见硅质、钙质胶结物,岩石致密坚硬。岩石断口呈贝壳状,风化面较光滑,见有少量小溶沟(图2)。据岩矿鉴定成果,样品岩性有细晶灰岩、泥晶灰岩、粉晶砂屑灰岩、生物碎屑灰岩等4种类型。

细晶灰岩主要由方解石组成,少量含有泥质成分,方解石含量97%~100%,泥质含量0%~3%。



图2 茅坝组灰岩矿石特征

**泥晶灰岩:**岩石具含生物碎屑泥晶结构,块状构造.岩石由方解石和生物碎屑等组成,生物碎屑杂乱分布于方解石中.生物碎屑(23%):粒径0.05~3.50 mm不等,可见双壳、有孔虫、腕足等生物碎屑,充填方解石,杂乱分布.方解石(77%):无色,以粒径 $\leq 0.004$  mm的泥晶为主,可见少量微晶颗粒,高级白干涉色,茜素红染色呈红色,杂乱分布.金属矿物:含量少,褐色、黑色,粒径0.02~0.10 mm的粒状,不透明,杂乱分布.岩石中可见不规则方解石脉.

**粉晶砂屑灰岩:**岩石具粉晶砂屑结构,块状构造.岩石由方解石、砂屑和生物碎屑等组成,方解石为充填物.生物碎屑(3%):粒径0.05~0.50 mm,可见有孔虫等生物碎屑,充填方解石,杂乱分布.砂屑(80%):深灰色,粒径0.1~0.5 mm,不规则状,为泥晶灰岩砂屑,杂乱分布.砾屑(3%):深灰色,粒径2.0~2.3 mm,不规则状,为泥晶灰岩砾屑,杂乱分布.方解石(14%):无色,粒径0.02~0.50 mm,以0.03~0.06 mm的粉晶为主,高级白干涉色,茜素红染色呈红色,杂乱分布.岩石中可见不规则方解石脉.

生物碎屑灰岩由方解石、生物碎屑组成.方解石含量60%~93%,生物碎屑含量7%~40%,生物碎屑为介形虫、珊瑚、有孔虫、腕足、海百合等,杂乱分布于方解石中.

### 3 矿石用途及质量讨论

#### 3.1 水泥用灰岩质量

川西北前龙门山地区分布有丰富的碳酸盐资源,优质水泥主要赋存于石炭系下统总长沟( $C_{1z}$ )、黄龙组( $C_{1h}$ )、二叠系下统栖霞组( $P_{1q}$ )、茅口组( $P_{1m}$ )及三叠系天中统井山组( $T_{1tj}$ )地层中<sup>[8,9]</sup>,而对于泥盆系茅坝组灰岩的研究评价不足,本次水泥用标准参考《中华人民共和国地质矿产行业标准》(DZ/T 0213—2002)<sup>[10]</sup>,具体指标见表1.

表1 水泥用石灰质原料矿石化学成分一般要求

类别	化学成分质量分数/ %					
	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	fSiO <sub>2</sub>	
					石英质	燧石质
I 级品	≥48	≤3.0	≤0.6	≤1	≤6	≤4
II 级品	≥45	≤3.5	≤0.8	≤1	≤6	≤4

本次工作共取样 11 件.钻孔中 6 件,勘探线上 5 件(表 2).由具有相关资质认证的四川省地矿局川西北地质队实验室分析测试,检查方法为重量法,CaO 含量介于 52.97%~54.78%,平均值 53.98%,变化系数小,含量稳定,且地表与深部变化亦不大;MgO 含量在 0.28%~1.64%,平均值 0.90%;SiO<sub>2</sub> 含量 0.33%~1.41%,平均值 0.76%;SO<sub>3</sub> 含量介于 0.01%~0.19%,平均值 0.06%,含量远小于 1%;K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 为 0.036%~0.098%,平均值 0.06%;TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 0.07%~0.21%,平均值 0.12%;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 0.10%~0.47%,平均值 0.20%,所有化学成分质量分数均符合优质水泥(I 级品)相关要求.

表 2 茅坝组灰岩样品化学组分数据表

%

送样编号	样品描述	检测项目及检测结果								
		CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOSS
ZK0201-03HQ	块状	54.04	0.030	0.013	0.020	0.72	0.33	0.10	0.13	42.93
ZK0201-09HQ	块状	54.78	0.021	0.015	0.049	0.28	0.39	0.10	0.10	43.38
ZK0201-11HQ	块状	53.66	0.077	0.015	0.094	0.68	0.93	0.13	0.30	43.22
ZK0001-04HQ	块状	53.27	0.080	<0.010	0.180	1.16	1.41	0.21	0.47	42.90
ZK0003-02HQ	块状	52.97	0.065	<0.010	0.190	1.64	0.88	0.18	0.24	43.10
ZK0101-04HQ	块状	54.57	0.030	<0.010	0.051	1.22	0.42	0.09	0.14	43.12
KT04-01HQ	块状	54.00	0.033	<0.010	0.020	0.90	0.62	0.09	0.13	42.75
KT02-01HQ	块状	54.00	0.042	<0.010	0.010	0.90	0.80	0.07	0.16	42.68
KT00-01HQ	块状	54.43	0.030	<0.010	0.020	0.99	0.47	0.12	0.12	43.39
KT01-01HQ	块状	53.70	0.088	<0.010	0.020	0.72	1.06	0.18	0.28	42.80
KT03-01HQ	块状	54.40	0.045	<0.010	0.010	0.68	1.12	0.09	0.17	42.59
平均值		53.73	0.05	0.01	0.06	1.14	0.76	0.13	0.21	42.98

### 3.2 建筑用石料质量

传统灰岩主要用作水泥、冶金溶剂用等,这些用途对矿石化学组分要求较高,运用相对局限,而建筑石料在基础建设中用量巨大,随着国家对河道采砂的限制,机制砂有着天然的质量可控,绿色环保等优势,其应用是大趋势.已有不少学者对其进行了研究探讨<sup>[11-13]</sup>,本次石料质量指标测试项目依据《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685-2011)的质量指标要求(见表 3).

表 3 石料质量一般要求

指标项目	指标等级			备注
	I 类	II 类	III 类	
硫酸盐及硫化物 (按 SO <sub>3</sub> 质量计)/%	≤0.5	≤1.0	≤1.0	
坚固性(质量损失)/%	≤5	≤8	≤12	采用硫酸钠溶液法经 5 次环后的质量损失
岩石抗压强度/MPa		≥30		立方体试件尺寸 50 mm×50 mm×50 mm,圆柱体试件尺寸 F50 mm
碎石压碎指标/%	≤10	≤20	≤30	
碱集料反应	经集料碱活性检验(岩相法),骨料被评定为非碱性时,作为最后结论.若评定为碱性骨料或可疑时,作测试,在规定达到试验龄期的膨胀率应小于 0.10%			

#### 3.2.1 岩石抗压强度

本次调查在钻孔及地表共取样 14 组,样品测试结果见表 4.灰岩样品饱和抗压强度值在 32.0~49.5 MPa,最大可达 61.2 MPa,平均值 41.5 MPa,符合建筑用石料大于 30 MPa 的要求.

#### 3.2.2 碎石压碎指标

本次工作在地表及探槽中共采集 11 组样品(表 5),11 组样品压碎指标值在 8.8%~10.1%,平均值 9.5%,均符合建筑石料用要求;9 件样品小于 10%,属 I 类.

表4 茅坝组灰岩样品饱和抗压强度测试结果表

样品编号	样品名称	饱和单轴抗压强度(R)/MPa			样品编号	样品名称	饱和单轴抗压强度(R)/MPa		
		单值	平均值	最大值			单值	平均值	最大值
ZK0201-03KY	细晶生物碎屑灰岩	42.9	50.1	66.0	KT00-01KY	粉晶含生	32.0	38.7	50.2
		66.0				物碎屑砂	33.9		
		41.3				屑灰岩	50.2		
ZK0201-09KY	粉晶砂屑灰岩	41.5	41.3	42.0	KT01-01KY	细晶生物	32.3	32.0	33.4
		40.4				碎屑砂屑	33.4		
		42.0				灰岩	30.2		
ZK0201-12KY	细晶灰岩	50.0	51.4	54.0	KT02-01KY	细晶含砂	33.8	37.2	43.7
		54.1				屑生物碎	43.7		
		50.1				屑灰岩	34.2		
ZK0202-11KY	粉晶砂屑灰岩	36.6	35.7	38.2	KT03-01KY	细晶生物	41.0	44.1	48.4
		32.4				碎屑砂屑	48.4		
		38.2				灰岩	43.0		
ZK0001-04KY	微晶灰岩	38.4	40.0	49.7	KT04-01KY	细晶砂屑	51.4	49.4	55.3
		49.7				生物碎屑	41.6		
		31.9				灰岩	55.3		
ZK0101-04KY	粉晶砂屑灰岩	44.3	46.0	52.4	KT06-01KY	微晶-细	34.5	36.7	38.5
		41.3				晶灰岩	38.5		
		52.4					37.2		
ZK0003-02KY	含生物碎屑泥晶灰岩	40.9	46.0	57.6	KT06-02KY		51.7	48.0	51.7
		39.5				细晶灰岩	47.6		
		57.6					44.6		
灰岩饱和抗压平均值							42.6		

表5 茅坝组灰岩样品压碎指标

样品编号	室内定名	压碎指标/%	样品编号	室内定名	压碎指/%
KT00-01YS	粉晶含生物碎屑砂屑灰岩	10.0	PM01-17YS	含生物碎屑泥晶灰岩	9.6
KT01-01YS	细晶生物碎屑砂屑灰岩	9.7	PM01-18YS	生物碎屑微晶灰岩	8.8
KT02-01YS	细晶含砂屑生物碎屑灰岩	10.1	PM03-17YS	生物碎屑泥晶灰岩	9.0
KT03-01YS	细晶生物碎屑砂屑灰岩	9.9	21YS	生物碎屑微晶灰岩	9.1
KT04-01YS	细晶砂屑生物碎屑灰岩	9.7	KT06-02YS	生物碎屑灰岩	10.1
KT06-01YS	细晶灰岩	9.8			

### 3.2.3 坚固性(质量损失)

本次工作在槽探及地表中共采集11组样品,其坚固性在1%~3%(表6),平均值1.8%,变化系数小,坚固性稳定.根据石料质量等级划分,样品坚固性均小于5%,属I类.

表6 茅坝组灰岩样品坚固性指标

样品编号	室内定名	坚固性/%	样品编号	室内定名	坚固/%
KT00-01YS	粉晶含生物碎屑砂屑灰岩	1	PM01-17YS	含生物碎屑泥晶灰岩	1
KT01-01YS	细晶生物碎屑砂屑灰岩	2	PM01-18YS	生物碎屑微晶灰岩	2
KT02-01YS	细晶含砂屑生物碎屑灰岩	2	PM03-17YS	生物碎屑泥晶灰岩	3
KT03-01YS	细晶生物碎屑砂屑灰岩	2	21YS	生物碎屑微晶灰岩	2
KT04-01YS	细晶砂屑生物碎屑灰岩	1	KT06-02YS	生物碎屑灰岩	2
KT06-01YS	细晶灰岩	2			

### 3.2.4 碱集料反应

本次工作所测得的碱集料反应14d膨胀率为0.009%,小于0.1%,满足建筑石料用要求.



### 3.2.5 放射性

本次工作在灰岩中测得总 $\alpha$ ,总 $\beta$ 值分别为 $3.52\times 10^2$ 和 $1.62\times 10^2$ ,运用HPGe $\gamma$ 能谱仪测定的 $^{238}\text{U}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ 的比活度均在建筑石料规定的范围内,符合有关标准规定的限值;灰岩 $\text{IRa}$ 、 $\text{Ir}$ 低于检出下限,均符合A类建筑材料 $\text{IRa}\leq 1.0$ , $\text{Ir}\leq 1.0$ 的要求,皆为合格的建筑材料,其产销和适用范围均不受限制.

综上所述,区内石料质量符合普通建筑石料用的相关要求.

## 4 结论

1) 11件灰岩样品 $\text{CaO}$ 含量平均值为53.98%,含量稳定,且地表与深部变化亦不大; $\text{MgO}$ 含量平均值为0.90%; $\text{SiO}_2$ , $\text{SO}_3$ , $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{TFe}_2\text{O}_3$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等所有化学成分质量分数均符合优质水泥(I级品)相关要求.

2) 茅坝组灰岩饱和抗压强度平均值为42.6 MPa;坚固性平均值为1.8%;压碎指标平均值为9.5%;碱集反应14 d膨胀率为0.009%,放射性总 $\alpha$ 为 $3.52\times 10^2$  Bq/kg,总 $\beta$ 为 $1.62\times 10^2$  Bq/kg,所有指标均符合建筑石料用要求,多数指标可达到优质石料要求.

### 参考文献:

- [1] 蔡立国,刘和甫.四川前陆褶皱-冲断带构造样式与特征[J].石油实验地质,1997,19(2):115-120.
- [2] 覃建雄,曾允孚,黄志勋,等.四川龙门山马角坝地区石炭纪层序地层及海平面变化研究[J].岩相古地理,1996,16(1):19-33.
- [3] 杨伟.川西北马角坝实习基地泥盆系-三叠系碳酸盐岩沉积环境研究[D].成都:成都理工大学,2009.
- [4] 翟文亮.龙门山甘溪地区泥盆系碳酸盐与陆源碎屑混合沉积特征[J].地质学刊,2017,41:230-238.
- [5] 刘奇川,胡晓昆,刘文彦.川西龙门山中段新型饰面灰岩矿产地质特征及评价[J].石材,2010,6:8-11.
- [6] 谢启兴,白富正,梅刚,等.1:25万广元市幅区域地质调查报告[R].成都:四川省地质调查院,2013.
- [7] 崔卫东.川西北地区下三叠统飞仙关组沉积、成岩作用及其对储层的影响[D].南充:西南石油学院,2003.
- [8] 章少华.我国水泥石灰岩矿床的几个特点[J].建材地质,1986(4):6-11.
- [9] 何益,张成江.都江堰张家山水泥用石灰岩矿地质特征及经济价值[J].四川地质学报,2015(1):80-82.
- [10] 中华人民共和国国土资源部发布.DZ/T0213-2002,冶金、化工石灰岩及白云岩、水泥原料矿产地质勘查规范[S].2005.
- [11] 赵云川,刘波,杨德武.四川省南江县东榆镇耳子山建筑用石料矿床地质特征及开采技术条件研究[J].四川有色金属,2015,2:37-39.
- [12] 叶立鑫.试谈普通建筑石料矿产地质勘查及技术方法[J].中国非金属矿工业导刊,2018,1:1-24.
- [13] 郑平,姚征.绍兴县洞桥建筑石料矿床特征及开采技术条件分析[J].中国非金属矿工业导刊,2016,124(4):26-27.