

宜昌透辉石矿床地质特征 及其釉面砖工艺研究

汪仁勇 吴桂捷

(中国地质科学院宜昌地质矿产研究所)

内容提要: 宜昌透辉石矿床产于前震旦系崆岭群小渔村组含透辉石大理岩中, 规模大, 矿体呈层状产出, 层位稳定, 开采条件优越。矿床由8个矿体组成, 品位富(矿体平均含矿率为66.16—80.73%, 厚5—90m。矿石经X射线衍射和差热等分析, 证实矿物成分主要为透辉石, 含量为90—94%。工业试验表明, 透辉石是一种低温、快烧、高节能新型陶瓷原料, 产品各项指标均达国家标准。

主题词: 透辉石 矿床地质特征 工艺性能 宜昌

一、矿床产出地质背景

宜昌透辉石矿床在大地构造上位于淮阳山字型构造西翼反射弧顶柱——黄陵背斜的西南部, 北西向天宝山复背斜的西南翼。区域地层围绕黄陵背斜作NNE向分布, 核部为前震旦系崆岭群变质岩系, 震旦系及其以后的地层(厚6000m)不整合覆盖其上。

矿床分布于黄陵花岗岩外接触带, 距花岗岩一般100—800m。矿区主要地层为崆岭群古村坪组黑云母斜长变粒岩、石英片岩夹角闪片岩、小渔村组下部大理岩段和上部角闪片岩段, 庙湾组绿色片岩出露不全, 分布于矿区西南角。矿区地层、构造及岩浆岩分布情况见图1。

二、矿床地质特征

(一) 含矿层位和矿体特征

矿体赋存于崆岭群小渔村组下部大理岩段, 含矿围岩为含透辉石大理岩, 矿层顶板为石英岩和角闪片岩, 底板为大理岩, 含矿层位稳定。

矿床由8个矿体组成, 矿体长63—560m, 厚5—90m, 品位较富。

矿体呈层状、似层状产出, 产状稳定并和围岩产状一致, 两者一起呈同步褶皱。矿石和围岩界线清楚, 透辉石呈层状、条带状分布于大理岩中并和大理岩呈互层状产出, 透辉石单层一般厚0.5—3m, 少数达10余米, 大理岩单层一般厚0.1—0.3m。透辉石和大理岩易于分离, 故易于手选为透辉石精矿。

(二) 矿石特征

矿石矿物成分以透辉石为主, 含量为90—94%, 其次为方解石, 含量为3—6%, 透闪石

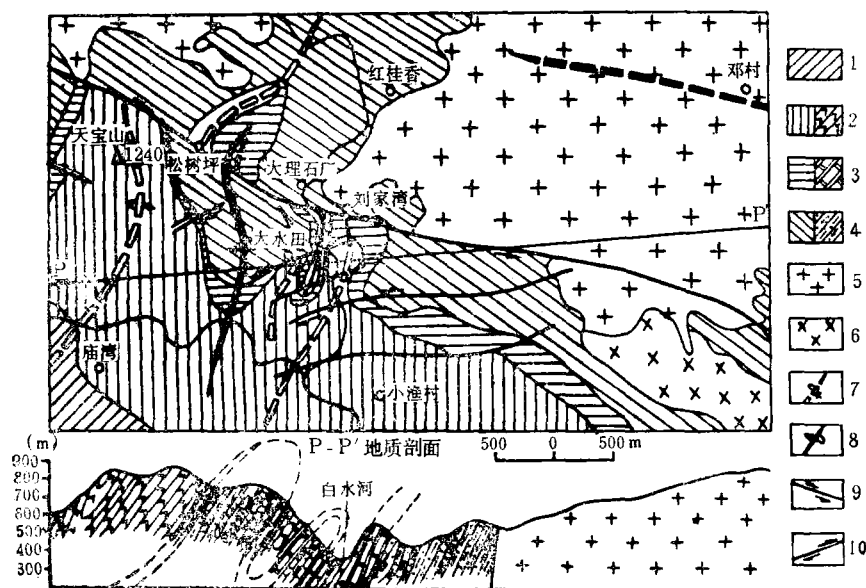


图 1 宜昌邓村红桂香透辉石矿区构造地质略图

1—崆岭群庙湾组绿色片岩系；2—3—崆岭群小渔村组角闪片岩段、大理岩段；4—崆岭群古村坪组黑云母斜长变粒岩及混合岩；5—前震旦纪黄陵花岗岩；6—前震旦纪辉长岩；7—倒转向斜及向斜轴线；8—倒转背斜及背斜轴线；9—北西向张扭性断裂；10—北东东向扭压性断裂

Fig.1. Schematic structural-geological map of the Hongguixiang diopside ore district at Dengcun, Yichang.

1—Greenschist of Miaowan Formation, Kongling Group; 2—3—Hornblende schist member of Xiaoyucun Formation, Kongling Group; 4—Biotite plagioclase leptynite and migmatite of Gucunping Formation, Kongling Group; 5—Pre-Sinian Huangling granite; 6—Pre-Sinian gabbro; 7—Axis of overturned syncline; 8—Axis of overturned anticline; 9—NW-trending tenso-shear fault; 10—NEE-trending shearing compressive faults.

含量为1—3%，此外尚有少量蛇纹石、磷灰石、滑石、磁铁矿、辉钼矿等矿物。矿石的化学成分见表1。此外，矿石中尚含有微量的Pb、Zn、Cu、Ga、Sn、Mo、Mn、Cr、Ni、Co等元素。

透辉石晶体呈板状或柱状，常组成柱状集合体，单晶长一般为5—50cm，节理发育，密集垂直晶体长轴分布，使矿石极易破碎呈小斜方六面体晶粒。此外还有放射状集合体和树枝状集合体。长柱状集合体、放射状集合体和树枝状集合体矿石分布于矿区各个矿体中，占矿石总量的95%以上。致密块矿石仅见于松树坪I号矿体边部，均占矿石总量的1—3%。

根据矿物的共生组合和成因，矿区有如下四种矿石类型：

1. 透辉石型矿石：以透辉石为主，含微量其他矿物，为主要矿石类型，占矿石总量85%以上，在各个矿体中均有分布。透辉石呈长柱状、板状集合体产出，在空间上常和大理岩薄层呈互层状产出，两者界线清楚。

2. 石英透辉石型矿石：以透辉石为主，占85%，石英占10—15%，另含少量方解石、蛇纹石、磁铁矿、滑石等矿物。本类型矿石为次要类型，占矿石总量的10%，主要分布于松树坪I号矿体上盘透辉石石英岩附近，且两者呈过渡关系；刘家湾II号矿体上盘石英岩附近

表 1 矿石的化学成分

Table 1. Chemical composition of the ore

成 分	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CO ₂	灼失	CuO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
含量	47.5	22.95	16.0	1.28	0.16	0.1	0.5	0.0005	0.01	0.1	0.1	0.05	0.01	0.016
(%)	54.63	28.22	18.82	3.94	0.75	4.89	5.44	0.0019	0.066	0.44	0.97	0.09	0.30	0.045

亦有分布。透辉石呈长柱状集合体和致密块状产出。矿石内常夹有透辉石石英岩或与透辉石石英岩呈互层，两者不易分辨。此类型矿石常混杂于透辉石型矿石当中，不能单独圈出。

3. 透辉透闪石型矿石：以透闪石为主，含量占90%以上，透辉石含量占5—8%，方解石、石英、蛇纹石等合占2%左右。本类型矿石分布于刘家湾Ⅱ号矿体中下部，占矿石总量的3%。该类矿石夹于透辉石型矿石当中，呈层状产出，产状和围岩一致。

4. 透闪透辉石型矿石：以透辉石为主，透闪石次之。透闪石呈放射状或针状交代透辉石。本类型矿石占矿石总量的1—2%，分布分散，不能单独圈定。

矿区各矿体的平均含矿率为66.16—80.73%，全部矿石品级均达到原矿Ⅰ级品。如按精矿品级（Ⅰ级品透辉石含量>80%；Ⅱ级品>70%；Ⅲ级品>60%），松树坪Ⅰ号矿体（平均品位为80.73%）已达精矿Ⅰ级品，其它各矿体除松树坪Ⅱ号矿体（66.16%）为精矿Ⅲ级品外，含矿率均在70%—80%之间，达到精矿Ⅱ级品要求。矿石和大理岩易于分离，通过手选均可达到精矿Ⅰ级品要求。因此，本矿床是一个高品位的优质透辉石矿床。

三、透辉石矿石釉面砖的工艺研究

（一）透辉石原矿的研究

透辉石物理性质如表2。透辉石的理论化学成分：CaO 25.93%，MgO 18.52%，SiO₂

表 2 本矿床透辉石的物理性质

Table 2. Physical properties of diopside from the deposit

矿物名称	化学式	形态、解理	硬 度	密 度 (g/cm ³)	颜 色	主要粉晶数据 (×10 ⁻¹⁰ m)	熔融温度 (℃)
透辉石	CaOMgO-2SiO ₂	长柱状、放射状， 解理(110)、(1 $\bar{1}$ 0) 或(001)，裂理发育	5.5—6	2.80—3.19	白色、 浅绿色	2.53(100) 3.00(80) 1.62(60)	1391

55.55%。矿区透辉石原矿化学成分：CaO 27.64%、MgO 16.09%、SiO₂ 46.44%、Al₂O₃ 0.52%、Fe₂O₃ 1.49%、TiO₂ 0.02%、Na₂O 0.87%、K₂O 0.03%。和理论成分相比，CaO高，MgO和SiO₂低，这是由矿床产于大理岩中，并远离花岗岩的地质环境所决定的。

透辉石属单斜晶系，空间群为C_{2h}²-C₂/C。其衍射峰数据如表3、图2，由于择优取向的影响，强度略有差别。由图2可见，矿石中除透辉石外，还有少量的方解石、透闪石、绿泥石等杂质矿物。

矿石在404/406型差热分析仪中进行差热分析,纯透辉石差热曲线为一条直线(图3 D01曲线),无热效应;不纯者便有热效应,于880℃见一吸热谷(图3 D04y曲线),是因含少量方解石,加热后放出CO₂所致,另外在630℃和850℃出现两个吸热谷,是透辉石中含绿泥

表 3 透辉石X射线粉晶衍射数据

Table 3. X-ray powder diffraction data of diopside

<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
8	4.462	5	3.345	100	3.233	56	2.990	13	2.951	20	2.891	4	2.834	7	2.563
<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
29	2.517	6	2.304	2	2.217	25	2.154	8	2.131	6	2.107	8	2.042	5	2.014
<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
3	1.968	3	1.872	14	1.836	23	1.753	8	1.625	15	1.616	4	1.587	7	1.564
<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>								
10	1.550	3	1.524	2	1.504	5	1.487								

测试单位: 宜昌地矿所第二研究室
测试条件: C_{α} 靶, $K\alpha$, 管压50kV, 管流30mA, 扫描速度4°/min, DS 1°, SS 1°, RS 0.15, RSM 0.6

测试单位: 宜昌地矿所第二研究室

测试条件: C_{α} 靶, $K\alpha$, 管压50kV, 管流30mA, 扫描速度 $4^{\circ}/\text{min}$, $DS\ 1^{\circ}$, $SS\ 1^{\circ}$, $RS\ 0.15$, $RSM\ 0.6$

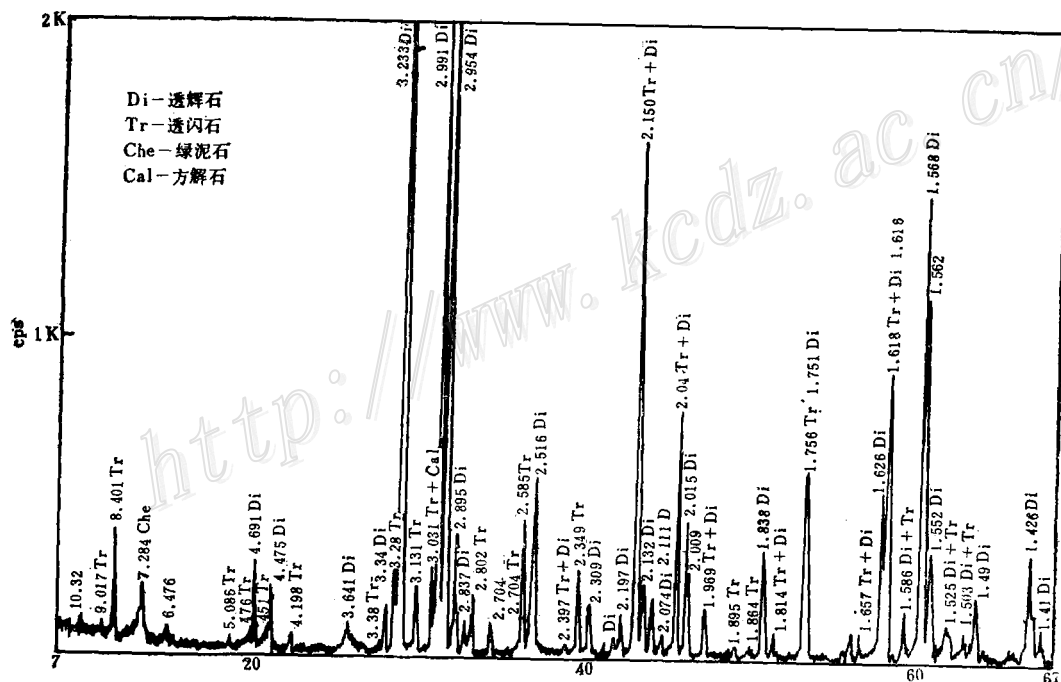


图 2 透辉石X射线衍射图

Fig. 2. X-ray diffraction pattern of diopside.

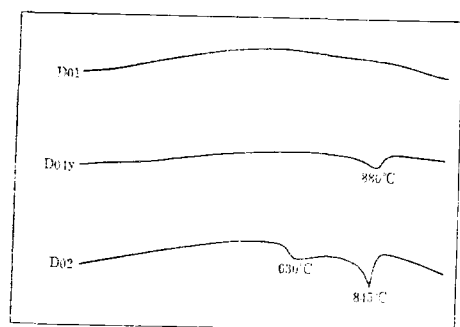


图3 透辉石差热曲线

D01为纯透辉石（无热效应）；D04y为透辉石中含少量方解石；D02为透辉石中含绿泥石

Fig.3. Differential thermal curves of diopside.

D01-Pure diopside (without thermal effect); D04y-Diopside containing a little calcite; D02-Diopside containing chlorite.

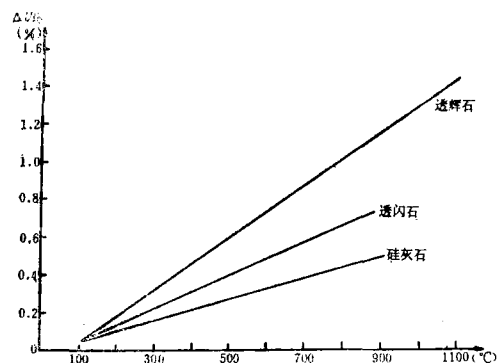


图4 透辉石的热膨胀率与温度的关系

Fig.4. Relationship between thermal expansibility of diopside and temperatures.

表4 透辉石膨胀系数对比表

Table 4. Comparison of expansion coefficient between diopside, tremolite and wollastonite

$d \times 10^{-5}/t$	温 度 (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
矿 物												
透 辉 石		7.32	9.51	10.56	11.63	12.27	12.96	13.12	13.46	13.65	13.88	14.01
透 闪 石		4.40	6.84	7.74	8.21	8.36	8.36	8.88	9.02	—	—	—
硅 灰 石		5.28	5.44	5.90	6.19	6.32	6.52	6.67	6.71	—	—	—

注： d 为线膨胀系数； t 为温度

测试单位：宜昌市电工合金厂中心理化室

石，两次失去结构水所引起（见图3 D02曲线）。由差热分析证实矿石主要由透辉石组成，含有少量方解石、绿泥石、白云石等矿物。

透辉石的平均膨胀系数见表4，热膨胀率与温度关系见图4。透辉石的热膨胀系数呈近似直线性变化，且较透闪石及硅灰石的热膨胀系数都大。

（二）透辉石质釉面砖坯体试验

1. 原料生产要求 20t原矿洗选后经过雷蒙磨细碎；坑料温度控制在110—120℃；坑尾厚15cm；坑头厚30cm；泥料水分控制在8.5—9.5%；粉料水分7—9%；颗粒级配40目筛余55—60%；保证陈腐时间24小时。

坯料配方：透辉石30—50%，粘土35—50%，石英10—15%，长石5—10%。

2. 坯料的差热分析^① 由图5可知，坯料在加热过程中，粘土有机质约在455℃前后燃烧，结晶水在500℃开始脱除，830℃左右碳酸盐矿物开始分解，近1000℃左右有新相矿物出现。

①由宜昌地质矿产所差热组测定

3. 素坯制备工艺参数 将坯料送入30t摩擦压力机成型, 用86.7m隧道窑烧成, 烧成周期47小时。素坯制备工艺参数如表5。

4. 坯体成分 坯体化学成分如表6, 其实验式为:

$$\begin{cases} 0.0308 & \text{K}_2\text{O} \\ 0.0249 & \text{Na}_2\text{O} \\ 1.032 & \text{CaO} \\ 0.8339 & \text{MgO} \end{cases} \begin{cases} 0.9632 & \text{Al}_2\text{O}_3 \\ 0.0368 & \text{Fe}_2\text{O}_3 \end{cases} \begin{cases} 4.888 & \text{SiO}_2 \\ 0.0448 & \text{TiO}_2 \end{cases}$$

根据素坯粉末X射线衍射分析, 素坯矿物成分主要由透辉石、石英、磷石英、钙长石及少量的堇青石等组成。

5. 素坯特征

(1) 素坯的线膨胀系数如表7; 热膨胀率与温度的关系如图6。由表7及图6说明, 透

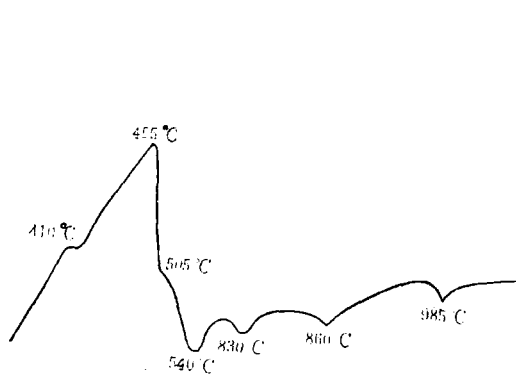


图5 8622号坯料差热图谱

样品名称: 透辉石质坯料; 室内温度: 27—30℃; 最高温度: 1050℃; 灵敏度: 1/2; 加热速度10℃/min

Fig.5. Differential thermal pattern of No.8622 blank.

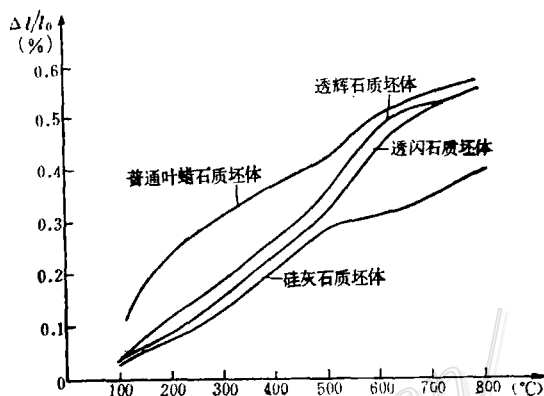


图6 素坯热膨胀率与温度的关系曲线

Fig.6. Relationship between thermal expansibility of blank and temperatures.

辉石质釉面砖素坯在开始升温时膨胀快, 变化缓慢, 而粘土质釉面砖素坯加热过程中膨胀系数变化较大, 同时可以看出透辉石质素坯的膨胀系数较硅灰石质、透闪石质的大, 因而坯釉能够较好地结合在一起。

(2) 素坯的显微结构特征 用光学显微镜和电子显微镜对透辉石质釉面砖素坯进行了显微结构分析, 其特征是: 透辉石与石英为瘠性矿物, 呈长形粒状, 粒度较大, 一般在30—50μm以上, 分布较均匀, 构成骨架。钙长石、磷石英及堇青石等矿物的粒度较小(一般在3μm以下), 与不定形微晶玻璃相混杂, 分布于骨架之间。

(3) 降低烧成温度 透辉石质釉面砖是以透辉石为主, 另外加上高岭土、石英、长石、方解石等原料组成。煅烧后的素坯主要出现钙长石、磷石英及结晶差的堇青石等新相。它的形成温度在1000℃左右。根据CaO—MgO—Al₂O₃—SiO₂四元相图上点位和液相等温线求得透辉石质坯体的熔融温度大约为1350℃, 而普通釉面砖坯体熔融温度为1600℃左右。按经验式换

表 5 素坯制备工艺参数表

Table 5. Technological parameters for preparation of blank

性能	泥浆细度 (万孔筛余)	粉料 细度	生坯强度 (kg/片)	素烧温度 (℃)	素坯吸水率 (%)	烧成收缩 (%)	素坯白度 (度)
指标	< 3 %	12—14目	71	1042—1080	17—20	<1	60—70

表 6 坯体化学成分表

Table 6. Chemical composition of the blank

含量 (%)	成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量	合计
8622		58.34	19.49	1.17	0.71	11.49	6.68	0.56	0.31	0.3	99.05

(由宜昌地质矿产所六析分室)

表 7 各种成分素坯线膨胀系数对比表

Table 7. Linear expansion coefficients of blanks with different compositions

$b \times 10^{-6}/t$	温度 (℃)	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800
成分									
透辉石质		5.46	6.98	7.35	7.57	8.13	9.04	8.20	7.64
透闪石质		3.34	5.66	6.23	6.70	7.22	8.37	8.18	7.85
硅灰石质		3.90	5.02	5.41	5.89	6.44	7.51	7.14	6.81
叶蜡石质		10.95	13.59	11.45	10.15	9.15	9.35	8.55	7.85

注: d 为线膨胀系数; t 为温度

测试单位: 宜昌市电工合金厂中心理化室

算, 则透辉石质釉面砖的烧结温度为1080℃, 较普通釉面砖烧结温度(1280℃)降低200℃。

(4) 缩短烧成周期 ①预热阶段: 由于透辉石为柱状、针状晶体, 在坯体中形成许多细小孔隙, 成为水分快速排除的通道, 能快速预热升温。另外, 透辉石本身不含有机物和水, 从其差热曲线上可以看出在1200℃以前没有明显吸热和放热效应发生, 故可以快速预热升温。②烧成阶段: 透辉石釉面砖在高温烧成阶段主要生成钙长石、磷石英及少量的堇青石, 产生的放热效应较普通釉面砖高温时所形成的莫来石、堇青石、方石英的放热效应小得多, 因此可以快烧。③冷却阶段: 透辉石质釉面砖加入石英较普通釉面砖少, 且坯体膨胀系数随温度的变化突变幅度较小(图6), 故适宜于快速冷却。

(5) 减少烧成收缩 透辉石质釉面砖收缩率为0.3—0.5%, 能确保产品尺寸均一, 而普

通釉面砖的收缩率为1—1.5%。

(6) 提高机械强度 透辉石质釉面砖坯体结晶相具交织结构, 由透辉石、钙长石等长柱状、针状晶体纵横交错, 形成网状, 其周围被其它晶体固结。经测试, 透辉石质釉面砖机械强度为200.5kg/cm², 而硅灰石质者为170—180kg/cm², 显然透辉石质釉面砖具有较高机械强度。

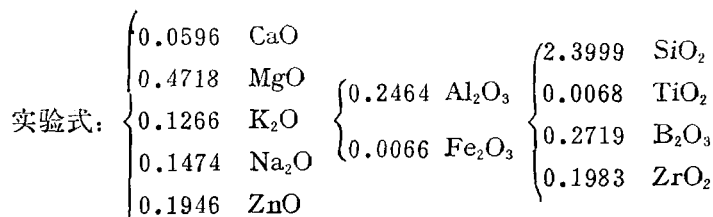
(三) 釉烧试验

透辉石质釉面砖素坯白度低, 有时微带黄棕色, 为此选用覆盖能力强, 白度高, 釉面平滑光亮的硼铅乳浊釉, 釉之化学成分如表8。

表8 釉料化学成分表
Table 8. Chemical composition of glazed material

成分 (%) 釉料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	B ₂ O ₃	ZrO ₂	烧失量	合计
硼铅釉	52.01	9.05	0.20	0.37	1.20	6.85	4.30	3.29	5.71	6.83	8.8	1.37	99.98

(由宜昌地质矿产所六室分析)



釉烧采用宜昌市建筑陶瓷厂67.8m隧道窑, 烧成温度为980—1060℃, 烧成周期为25小时, 成品合格率为96.81%, 一级品率为62.18%。

(四) 透辉石质釉面砖试验结果

全国质量检测中心对50块规格为152×152×5 (mm³) 的釉面砖试样进行了系统检测, 其吸水率为16.68—19.57%, 平均为17.56%; 弯曲强度 (MPa) 为13.13—20.94, 平均为16.72; 白度为80.1—81.6, 平均为81.3; 色调一致, 基本无色差; 耐急冷急热性合格; 外观质量全部合格。透辉石釉面砖的吸水率、白度、弯曲强度和耐急冷急热性等项性能, 均达到白色陶瓷釉面砖国家标准。试验结果表明, 透辉石作为一种新开发的陶瓷原料是完全可以应用的。

经扫描电镜观察, 坯釉之间相互渗透, 坯釉交界处不平坦, 中间层已明显形成, 其厚度约为10μm。

(五) 透辉石釉面砖的经济效益

根据宜昌市建筑陶瓷厂生产的透辉石质釉面砖和硅灰石质釉面砖比较结果, 其经济效益是每生产10⁶m²透辉石质釉面砖, 可为厂家节约154.72万元, 其中用透辉石取代硅灰石年节约原料费16万元; 用透辉石取代滑石节约原料费5.6万元; 缩短烧成周期, 年节约重油541.2t; 合格率从原来的89%上升到96.81%, 多出产品87750m²; 一级品率从50%上升到62.18%。因而用透辉石代替硅灰石生产釉面砖可取得更大的经济效益。

参加专题研究的还有谢崇裕、陈锦海、张开明、殷珠元、廖喜林等。透辉石釉面砖的工艺研究是和宜昌市建筑陶瓷厂一起合作完成的,在研究过程中得到该厂的帮助和支持,特此致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕 张顺隆、闵鑫忠 1985 低温速烧陶瓷原料——透辉岩简介 中国地质 第9期
- 〔2〕 吕宗凯等 1985 集安透辉石矿床地质特征及其作为釉面砖材的应用研究 吉林地质 第2期
- 〔3〕 曲元贵、刘志贤、孙鸣飞 1983 我国硅灰石矿床成因类型及地质特征 矿床地质 第4期

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE YICHANG DIOPSIDE DEPOSIT AND TECHNOLOGICAL STUDIES OF ITS GLAZED BRICK

Wang Rengyong and Wu Guijie

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological
Sciences, Yichang, Hubei)

Abstract

The Yichang diopside deposit occurs in diopside-bearing marble of Xiaoyucun Formation of pre-Sinian Kongling Group and is composed of eight orebodies, being large in size. Layered in form, the orebodies have stable stratigraphic horizon and rich grade (average ore ratio of the orebodies being 66.16-80.73%). With the thickness of 5-90m and superior mining condition, the deposit is an ideal large size one which is near in distance, rich in grade, shallow in depth and easy in mining.

The X-ray diffraction and differential thermal analyses of the ore demonstrate that diopside is the main mineral component, whose content is up to 90-94%. The diopside is mainly characterized by prismatic and platy crystal which form prismatic aggregates. The single crystals are usually 5-50cm in length, with rare giant crystals whose length is over 50cm.

Industrial experimentation shows that the glazed brick made of diopside has better technological properties than ordinary clay glazed brick and is superior to glazed brick of other compositions in such aspects as sintering temperature and cycle, qualification rate, rate of first class product, absorption rate and contraction rate. It is therefore a low temperature, fast burning and effective energy-saving new type porcelain material, with various quality indexes of its products all reaching national standard.