

烟台市福山地区透辉石矿 成矿地质条件与开发应用研究

于 守 兴

(烟台市矿产资源管理局)

一 前 言

在国际上,透辉石虽尚未列入工业矿物范畴,但1975年西德首次报导了合成透辉石在釉面砖、卫生瓷、日用瓷方面应用的试验研究文章。继后,1984年苏联在《玻璃与陶瓷》的杂志中报导了“天然透辉石产物——一种有前途的陶瓷原料”。随着研究工作的不断深入,透辉石的应用领域不断扩大,除主要应用于陶瓷工业外,在硅微晶玻璃、铸石、各种油漆、颜料、涂料领域里也得以广泛应用。

我国在陶瓷工业上,尤其在陶瓷釉面砖生产中,一直在探求低温快速烧成的新型原料。七十年代以来,曾用硅灰石、磷渣、珍珠岩等原料,研究生产低温快烧面砖,并取得了一定成绩。尤其1983年中国科学院地质所等单位首次成功地进行的“透辉石低温快速烧成釉面砖”的试验研究,在国内开辟了透辉石作为新型陶瓷原料的广阔前景。1984年省内首次发现烟台福山区老官庄透辉石矿后,在栖霞、蓬莱、福山地区相继发现了多处透辉石矿和透闪石矿(以下统称透辉石矿)。区内矿产储量丰富、矿石质量好,目前矿石已销往省内外,并就近建成了生产陶瓷釉面砖的建筑陶瓷厂。现对该区透辉石矿床的成矿地质条件、评价手段和开发应用工艺阐述如下。谬误之处,敬请批评指正。

二、透辉石矿成矿地质条件

胶东地区透辉石矿均赋存于下元古界粉子山群不同层位中。有赋存于张格庄组一、三段地层中的透辉石矿(栖霞李博士沓),或产于该组三段地层中的滑石化透闪石矿(蓬莱山后李家),和赋存于巨屯组一段地层中的透辉石矿(福山老官庄和蓬莱杏林庄等地)(图1)。

赋存于张格庄组一、三段和巨屯组一段地层中的透辉石矿,矿床规模大、矿石质量好。现以地质工作程度较高的福山老官庄透辉石矿床为例(图2),对其成矿地质条件简述如下。

(一) 地层

矿区内出露地层主要为粉子山群张格庄组二、三段,巨屯组一段和岗嵒组二段。为

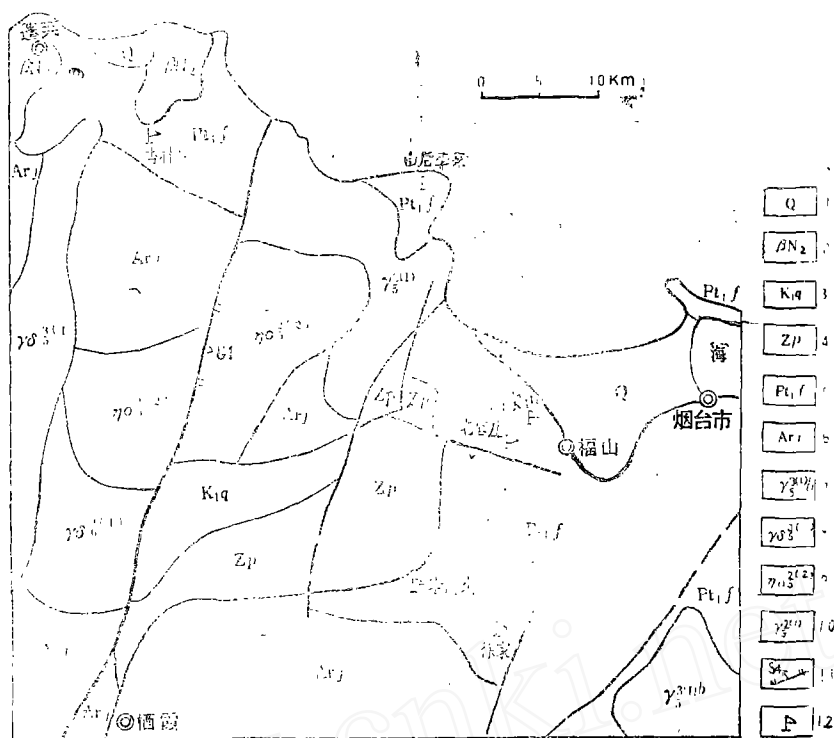


图1 透辉石矿分布位置图

1.第四系；2.上第三系玄武岩；3.下白垩统青山组；4.震旦系蓬莱群；5.下元古界粉子山群；6.大古界胶东群；7.似斑状二长花岗岩；8.似斑状花岗闪长岩；9.石英二长岩；10.片麻状花岗岩；11.断裂性质及产状；12.矿床(点)位置

一套中级区域变质岩系。

1. 张格庄组 (Pt_1fzh)

岩性以大理岩、白云石大理岩和透闪岩为主，夹少量片岩。

二段 (Pt_1fzh^2)：透闪岩夹黑云片岩、黑云变粒岩和大理岩。

三段 (Pt_1fzh^3)：以白云石大理岩和青灰色大理岩为主，局部夹片岩和透闪岩。

2. 巨屯组一段 (Pt_1fj^1)

岩性为石墨透闪岩、透闪片岩、石英透辉岩、透闪透辉岩夹透辉大理岩、透闪石英岩。据岩石组合特征，划分为三个岩性带。分布于矿区中部。

第一岩性带 (Pt_1fj^{1-1})：地表为石墨透闪岩、透闪片岩夹云母片岩，石墨大理岩。深部为方解石透闪岩、含石墨透闪大理岩。为矿体底板。

第二岩性带 (Pt_1fj^{1-2})：为透辉石矿含矿带。地表为透闪透辉岩、石英透辉岩夹薄层石墨透闪岩、透辉大理岩透视镜体。深部为方解石透闪透辉岩、方解石透辉岩、方解石透闪透辉岩。

第三岩性带 (Pt_1fj^{1-3})：地表为石墨透闪岩、石英透闪岩、透闪石英岩夹透闪透辉岩。深部为方解石透闪岩、方解石透闪石英岩、透闪大理岩和硅质大理岩。为矿体顶

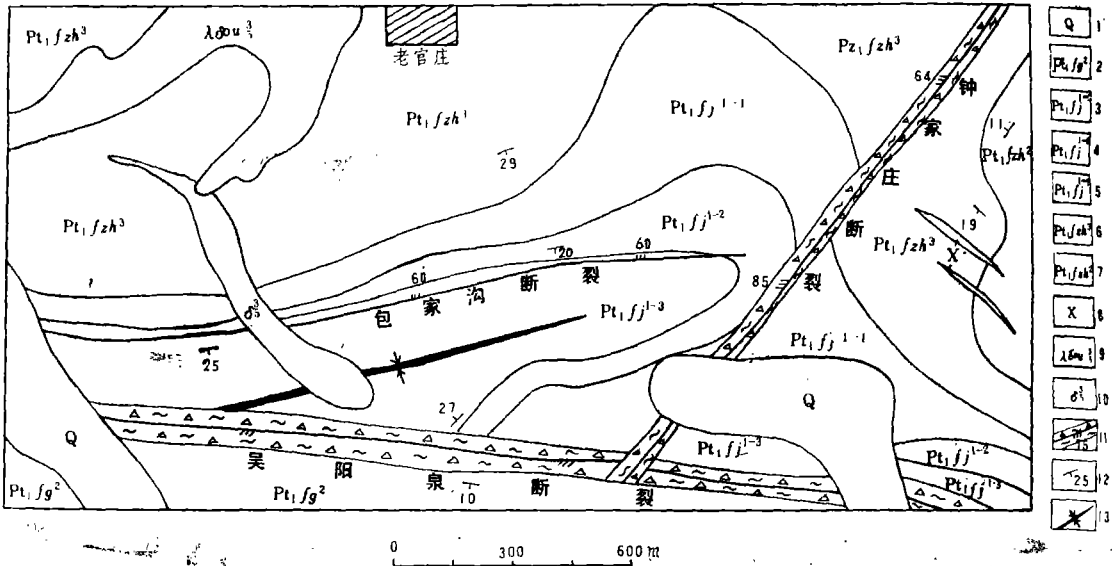


图2 老官庄透辉石矿区地质略图

1.第四系; 2.岗嵒组二段; 3.巨屯组一段第三岩带; 4.巨屯组一段第二岩带; 5.巨屯组一段第一岩带; 6.张格庄组三段; 7.张格庄组二段; 8.煌斑岩; 9.石英闪长玢岩; 10.闪长岩; 11.挤压破碎带及产状; 12.地层产状; 13.向斜轴

板。

3. 岗嵒组二段 (Pt₁fg²)

为疙瘩状二云片岩、疙瘩状黑云片岩、黑云变粒岩。

(二) 构造

矿区位于吴阳泉断裂与钟家庄断裂交汇处的北西侧。

1. 东西向构造

褶皱、断裂构造均较发育, 构造线总体方向近东西。

(1) 褶皱构造: 为一枢纽波状起伏、槽部宽缓、向东扬起的向斜。

(2) 断裂构造: 断裂构造呈压扭性。

吴阳泉断裂: 全长35公里以上, 挤压破碎带宽85—130米。断面南倾, 倾角60°—70°。

包家沟断裂: 长千米以上, 挤压破碎带宽2—5米。断面北倾, 倾角55°—60°, 显左行压扭性, 破坏矿体。

2. 北东向构造

总体构造线走向北东30°。成生于中生代晚期。系在南北向力偶作用下, 继承改造和斜跨迭加于东西向构造之上而成。

(1) 褶皱构造: 矿区东部为幸福山穹窿的一部分。地层走向近南北, 倾向西。

(2) 断裂构造: 以钟家庄断裂为主, 其南端切入吴阳泉断裂, 北东端延伸出矿区

之外。

(三) 岩浆岩

区内产出岩浆岩有闪长岩、石英闪长玢岩和煌斑岩，呈脉状零星产出，均为燕山晚期岩浆活动之产物，破坏矿体。

(四) 变质岩及变质作用

区内出露区域变质岩石包括云母片岩类、透闪—透辉岩类、变粒岩—石英岩类、大理岩—白云石大理岩类。

云母片岩类，原岩为贫钙镁的泥质岩石。透闪—透辉岩类、原岩为硅质白云岩（或硅质白云质灰岩）。变粒岩—石英岩类，原岩为砂岩、粉砂岩。大理岩—白云石大理岩类，原岩为石灰岩和白云岩。

据矿物共生组合和岩石化学研究，形成透辉石的反应是绿片岩相（低温变质相）与角闪岩相（中温变质相）分界的标准反应，透辉石从不出现在绿片岩相中。角闪岩相最高温阶段出现直闪石和矽线石，矿石中无直闪石和矽线石。由此可以说明矿体属典型低压中温变质相，其温度范围为540—655℃，压力范围为1—5 Kb。

据鲍文和温克勒等人的实验资料，硅质白云岩（或硅质白云质灰岩），随温度升高可依次出现滑石—透闪石—透辉石。

(五) 矿体规模、形态和产状

透辉石矿带东西长2100米。圈定出一个工业矿体。矿体产状严格受地层层位控制，呈层状、似层状，与围岩同步褶皱。分布于向斜南北两翼和东部扬起端。矿体形态规整，控制长1207米，没有分支复合现象，厚度稳定。矿体形态与产状如图3。

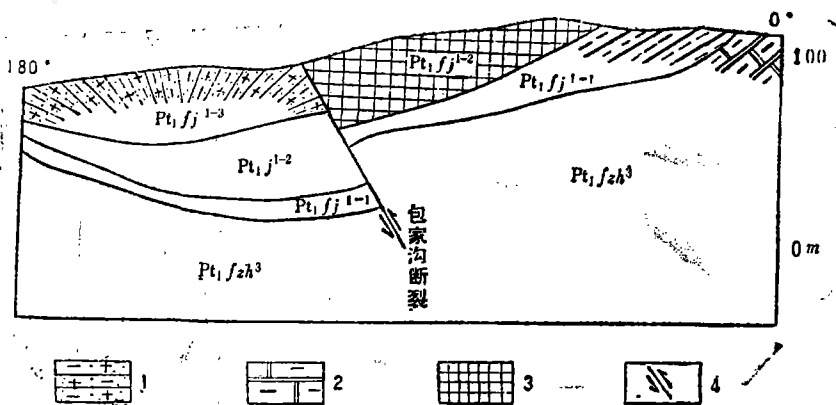


图3 第8勘探线剖面图

1. 石墨透闪岩；2. 石墨大理岩；3. 矿体；4. 断裂

(六) 矿石特征

1. 矿物成分

矿石的主要矿物成分为透辉石、次为透闪石，石英和方解石，偶有黄铁矿、磁铁矿、石墨、绿帘石、钾长石、楣石和磷灰石。

(1) 透辉石: 白色、灰白色, 柱粒状无规律镶嵌分布, 粒径一般0.1—0.6毫米。有时被后期的方解石、钾长石和石英交代。矿区平均含量53.70%。透辉石单矿物成分如表1。

表1 透辉石单矿物化学分析结果表

样品编号	分 析 结 果 (%)											
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	LoS	H ₂ O ⁺
860D001	69.03	19.30	14.88	0.80	0.27	0.06	0.36	0.00	0.26	0.21	1.24	0.35
860D002	54.07	23.14	19.55	0.76	0.45	0.07	0.30	0.01	0.20	0.04	1.46	0.38

由透辉石单矿物红外光谱谱线(图4)可以看出, 其特征波数与标准矿物图谱基本相同。X光衍射图谱(图5)面间距d(Å)、衍射高峰(相对强度)、峰形为标准透辉石图谱也基本一致。差热分析曲线(图6)基本为一平直线, 无吸热谷和放热峰, 860D001曲线上的小吸热谷是石英杂质的吸热谷(573℃)。为此, 该透辉石在烧制陶瓷釉面砖时不会出现裂纹和条纹, 能保证产品质量。

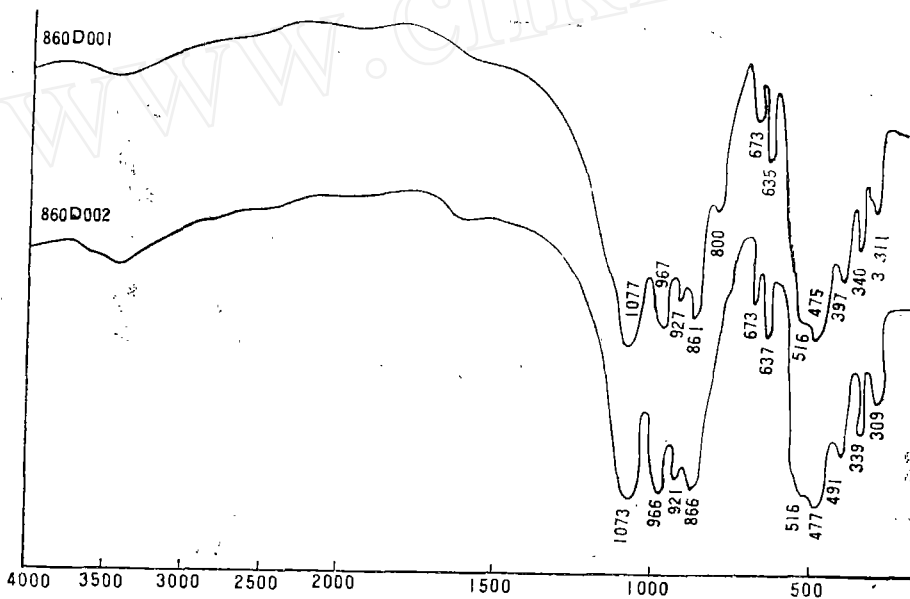


图4 透辉石红外光谱谱线图

(2) 透闪石: 无色、浅绿色, 粒状, 粒径0.5毫米以下。分布于透辉石粒间。矿区平均含量23.85%。

(3) 石英: 乳白色, 粒状, 粒径0.25—0.75毫米, 均匀分布在透闪石粒间。矿区平均含量12.49%。

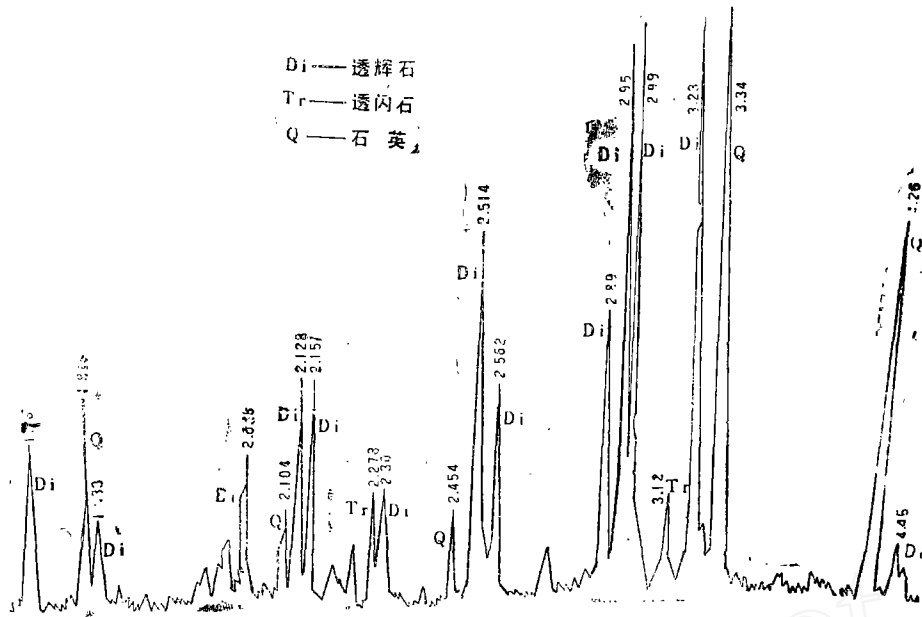


图5 透辉石X光衍射曲线图

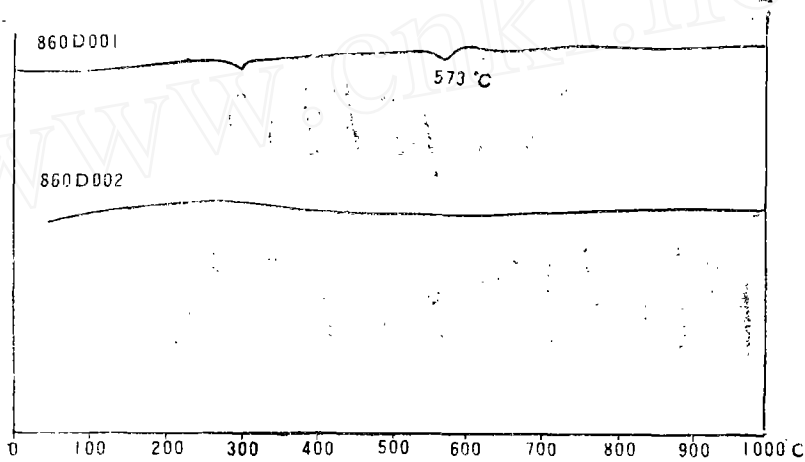


图6 透辉石差热分析曲线图

(4) 方解石：乳白色，粒状，粒径在0.5毫米以下。矿区平均含量2.02%。

2. 矿石结构构造

结构以柱粒状镶嵌变晶结构为主，次有斑状变晶结构、鳞片柱粒状变晶结构和柱状变晶结构。构造以块状构造为主，局部呈不明显的片状构造。

3. 矿石类型

据矿物组合分为石英透辉岩型和透闪透辉岩型。因二者开采加工利用无差别，故未单独圈定。

4. 化学成分

矿石主要化学成分为(%)：SiO₂：55.49，CaO：18.39，MgO：15.71，Fe₂O₃：1.72，CO₂：1.03。

(七)其它各矿床(点)概况如表2

表2 栖霞福地区透辉石矿床(点)一览表

位 置	矿石类型	主要矿物成分(%)	主要化学成分(%)					成因类型
			SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	CO ₂	
栖霞 李博士亦	透辉石矿	透辉石矿:92 石英:6 透闪石:2	57.62	22.97	17.88	0.75	0.44	区域变质
蓬莱 杏林庄	石英透辉石矿	透辉石51 石英35 透闪石10 钾长石4	69.92	15.00	9.40	1.70	0.11	区域变质
福山 邢家山	透辉石矿	透辉石98 石英1 绿泥石1	51.44	19.45	12.18	3.50	0.21	热液交代
栖霞 徐家	透闪石矿	透闪石70 钾长石30	52.04	13.69	9.51		0.14	区域变质
蓬莱 山后李家	滑石透闪石矿	透闪石 滑石 方解石						区域变质

(八)矿床成因及找矿标志

区内透辉石矿多为区域变质成因，仅福山邢家山透辉石矿为热液交代成因。区域变质矿床往往是规模大，矿石质量好。而热液交代矿床则规模小，矿石含杂质多，质量差。

透辉石属钙镁硅酸盐矿物，抗风化性强，地貌上多形成正地形。山东境内除粉子山群地层中产有透辉石矿外，还应重视在胶东群地层中寻找该类矿产。

三、评价手段选择

(一)透辉石矿物特征

透辉石化学组成为：CaMg[Si₂O₆]，其中CaO：25.8965%，MgO：18.6118%，SiO₂：55.4917%，还常含有少量的Fe、Al、Mn、Na等。

透辉石是链状辉石族矿物，单斜晶系，属钙镁硅酸盐矿物。

(二)工业技术指标的确定

透辉石矿的有益组分是透辉石和透闪石，石英不作为评价技术指标，适量石英是有

益的,凡纯透辉石矿,生产过程中要加适量硅石,而石英含量过多则影响热稳定性能。有害组分为白云石、方解石等碳酸盐矿物和着色氧化物 Fe_2O_3 、 MnO 、 TiO_2 。碳酸盐矿物影响烧成气氛,含量高则影响产品质量(多孔),一般要求小于10%。着色氧化物含量高则影响产品白度,一般要求小于1%。尤其地表取样,要除掉矿石节理裂隙中充填的红土,碎样加工中不能用铁器,以防人为导致 Fe_2O_3 增值。目前国内尚未制定出该类矿床的地质勘探规范,据国内同类矿床工业利用资料,结合本区实际情况,确定圈矿指标和开采技术条件为:

透辉石+透闪石 $\geq 50\%$

$Fe_2O_3 \leq 2\%$

方解石 $\leq 10\%$

最低可采厚度2米

夹石剔除厚度2米

据上述指标圈定矿体,其形态规整,矿石质量好(虽 Fe_2O_3 数值偏高,但涂用乳油釉,能保证产品质量),用该矿石作主要原料烧成的陶瓷釉面砖,完全符合部颁标准。

(三) 矿物计算

有益和有害组分的含量除 Fe_2O_3 、 MnO 和 TiO_2 可据化学分析结果直接判别外,其它组分则需据化学分析结果计算为矿物含量,据矿物含量予以判别。按本区矿石中主要矿物成分确定基本化学分析项目为: SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 和 CO_2 。据化学分析结果进行矿物计算。程序如下。

首先列出有关矿物化学式及氧化物含量百分比(分子量百分比)(表3),然后进行矿物含量的计算。

表3 矿物化学式和氧化物含量表

矿物名称	代号	化学式	分子量	氧化物含量(%)				
				CaO	MgO	SiO_2	CO_2	H_2O^+
透辉石	D	$CaMg[Si_2O_6]$	216.5524	25.8965	18.6118	55.4917		
透闪石	T	$Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$	812.3704	13.8064	24.8067	59.1694		2.2176
石英	[Q]	SiO_2	60.084			100		
方解石	Cal	$CaCO_3$	100.0892	56.0294			43.9706	

矿物含量计算式推导如下:

1. 方解石含量计算式

方解石($CaCO_3$)中的CaO与 CO_2 的重量比(等于分子量比)为:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{CO}_2} = \frac{56.0294}{43.9706} = 1.274, \text{ 矿石中方解石的氧化钙为 } \text{CaO}_{\text{方}} = 1.274\text{CO}_2 \quad (1)$$

方解石含量计算式为:

$$\therefore \frac{\text{CaCO}_3}{\text{CO}_2} = \frac{\text{CaO} + \text{CO}_2}{\text{CO}_2} = \frac{56.0294 + 43.9706}{43.9706} = 2.27$$

$$\therefore \text{方解石的含量为: } \text{CaI} = 2.27\text{CO}_2 \quad (\text{A})$$

2. 透辉石含量计算式

透辉石和透闪石均为钙镁硅酸盐矿物, 其所含氧化钙为不溶氧化钙(以Ca'O表示), 分析结果中之全氧化钙(CaO)减去方解石中所含可溶氧化钙(CaO_方), 剩余部分为不溶氧化钙(Ca'O), 即组成透辉石和透闪石之氧化钙。

即: $\text{Ca}'\text{O} = \text{CaO} - \text{CaO}_{\text{方}}$

将(1)式代入, 则 $\text{Ca}'\text{O} = \text{CaO} - 1.274\text{CO}_2$ (2)

据透辉石(D)和透闪石(T)所含Ca'O、MgO之比值, 分三种情况: 若Ca'O : MgO ≥ 1.39 时, 说明矿石中不含透闪石, 可据MgO计算透辉石含量; 若Ca'O : MgO ≤ 0.56 时, 说明矿石中不含透辉石, 可据Ca'O计算透闪石含量; 而当Ca'O : MgO界于1.39~0.56区间时, 说明矿石中透辉石与透闪石共存。本区多数矿床(点)属第三种情况, 为此可列出方程:

$$\begin{cases} 100\text{Ca}'\text{O} = 25.8965\text{D} + 13.8064\text{T} & (3) \\ 100\text{MgO} = 18.6118\text{D} + 24.8067\text{T} & (4) \end{cases}$$

由(4)式得:

$$24.8067\text{T} = 100\text{MgO} - 18.6118\text{D}$$

$$\text{T} = 4.0312\text{MgO} - 0.7503\text{D} \quad (5)$$

将(5)式代入(3)式

$$100\text{Ca}'\text{O} = 25.8965\text{D} + 13.8064(4.0312\text{MgO} - 0.7503\text{D})$$

$$= 25.8965\text{D} + 55.6564\text{MgO} - 10.3589\text{D}$$

$$= 15.5376\text{D} + 55.6564\text{MgO}$$

$$\text{D} = \frac{100\text{Ca}'\text{O} - 55.6564\text{MgO}}{15.5376} = 6.4360\text{Ca}'\text{O} - 3.5820\text{MgO}$$

将(2)式代入上式

$$\text{D} = 6.4360(\text{CaO} - 1.274\text{CO}_2) - 3.5820\text{MgO}$$

$$= 6.4360\text{CaO} - 8.1995\text{CO}_2 - 3.5820\text{MgO}$$

为此, 透辉石含量计算式为:

$$\text{D} = 6.44\text{CaO} - 3.58\text{MgO} - 8.20\text{CO}_2 \quad (\text{B})$$

3. 透闪石含量计算式

将(B)式代入(5)式

$$\text{T} = 4.0312\text{MgO} - 0.7503\text{D}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4.0312\text{MgO} - 0.7503(6.44\text{CaO} - 3.58\text{MgO} - 8.20\text{CO}_2) \\
 &= 4.0312\text{MgO} - 4.8319\text{CaO} + 2.6861\text{MgO} + 6.1525\text{CO}_2 \\
 &= 6.7173\text{MgO} - 4.8319\text{CaO} + 6.1525\text{CO}_2
 \end{aligned}$$

透闪石含量计算式为:

$$T = 6.72\text{MgO} - 4.83\text{CaO} + 6.15\text{CO}_2 \quad (\text{C})$$

4. 透辉石与透闪石含量之和计算式

将(B)式与(C)式相加得:

$$\begin{aligned}
 D + T &= (6.44\text{CaO} - 3.58\text{MgO} - 8.20\text{CO}_2) + (6.72\text{MgO} \\
 &\quad - 4.83\text{CaO} + 6.15\text{CO}_2)
 \end{aligned}$$

$$\text{化简得: } D + T = 1.61\text{CaO} + 3.14\text{MgO} - 2.05\text{CO}_2 \quad (\text{D})$$

5. 石英含量计算式

SiO_2 总量(化验结果)减去透辉石、透闪石中所含 SiO_2 数, 剩余之 SiO_2 为游离 SiO_2 , 形成石英。

$$Q = \text{SiO}_2 - 55.49D - 59.17T$$

将(B)、(C)式代入上式

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{SiO}_2 - (6.44\text{CaO} - 3.58\text{MgO} - 8.20\text{CO}_2) \times 55.49\% \\
 &\quad - (6.72\text{MgO} - 4.83\text{CaO} + 6.15\text{CO}_2) \times 59.17\%
 \end{aligned}$$

化简后石英含量计算式为:

$$Q = \text{SiO}_2 - 0.71\text{CaO} - 1.99\text{MgO} + 0.91\text{CO}_2 \quad (\text{E})$$

用以上A、B、C、D、E五式, 据化学分析结果, 则可分别计算出方解石、透辉石、透闪石、透辉石+透闪石、石英等矿物含量。

(四) 手段选择

勘探手段以槽探和钻探为主。

勘探网度可采用 200×100 米求B级, 400×100 米求C级。勘探深度为矿区周围最低侵蚀基准面。

样品测试除按一般非金属矿床规范进行外, 尚需进行透辉石单矿物化学、X光衍射和红外线光谱测试, 以准确鉴定矿物种属。进行单矿物差热分析, 以确定吸热和放热温度区间。按不同矿石类型, 分别进行陶瓷釉面砖烧成试验, 以确定矿石质量、坯体和釉料配方及烧成工艺。上述样品的测试工作是评价透辉石矿的重要组成部分, 每种矿石类型均需测试1—3组。

另外, 着色氧化物 Fe_2O_3 、 MnO 和 TiO_2 是有害组分, 地表尤应注重采取新鲜矿石。地表采样规格一般为 5×3 厘米, 样长2米。

四、应用工艺与经济效益

(一) 应用工艺

1. 坯料

(1) 配方、化学成分和坯式

配方范围为：透辉石20—80%，粘土10—30%，生焦宝石10—40%，石英0—10%。

化学成分如表4。

表4 坯料化学成分表

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	总量
含量(%)	56.84	7.32	0.48	0.35	21.42	13.35	0.53	0.29	100.58

坯式为：0.08K₂O

0.06Na₂O 0.96Al₂O₃ 12.61SiO₂

5.09CaO 0.04Fe₂O₃ 0.05TiO₂

4.41MgO

(2) 坯料中各种原料的成分和作用

1) 透辉石矿，老官庄透辉石矿，灰白色，致密块状，晶体呈短柱状，发育有两组完全的柱面解理。透辉石比重为3.2—3.5，英氏硬变为5—6，熔点为1390℃，膨胀系数为7×10⁻⁶度⁻¹(室温—800℃)，透辉石矿及其它原料化学成分如表5。

表5 坯料中各种原料化学成分表

原料	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
透辉石		52.34	1.05	0.45	0.10	25.00	15.53	0.29	0.31	5.39
粘土		56.52	30.05	0.46	1.29	0.25	0.35	1.09	0.09	10.68
生焦宝石		46.06	37.62	0.78	0.75					13.76
石英		99.81								

通过X射线衍射分析，透辉石矿矿石中矿物成分有透辉石、透闪石、绿泥石、石英和方解石。其中方解石含量在一定范围内(<10%)对制陶无影响，其余矿物成分都可以作为陶瓷原料。

据透辉石特殊的物理性质、化学性质、矿物性质及其与高岭石粘土的特征的固相化学反应，决定了它在坯体中有以下突出作用。

i、降低烧成温度：传统陶瓷生产采用以硅、铝为主要成分的原料，组成Si—Al—(Mg或K)体系，物相主要是莫来石。为了实现以Si、Al组成的体系的烧结和生成结晶好的莫来石反应，需要采用高温烧成工艺，焙烧温度在1200℃以上，多在1250—1300℃。

而透辉石引入到陶瓷坯体中时,主要组分除了Si、Al外,还增加了Ca,致使传统的Si—Al—(Mg或K)体系变成为Si—Al—Ca—(Mg或K)体系。后者的最低共熔点温度低于前者。此外,在Si—Al—Ca为主要成分的低共熔体系中,生成的物相主要是钙长石,而实现这一固相反应比生成结晶好的莫来石的反应温度低。为此,坯体中加入适量透辉石可使坯体烧成温度降至1080—1100℃。

ii、缩短烧成周期:原生产传统坯体的烧成周期(隧道窑)为65—70小时,而透辉石加入到坯体中,使烧成周期降为50分钟(辊道窑)。原因在于透辉石质釉面砖较传统坯体配方含粘土矿物少,且不含石灰石。而粘土矿物和石灰石则因含有结构水和挥发气体,需较长的加温时间,以使其缓慢排出。如若升温过急,气体急剧地排出,会导致坯体开裂。而透辉石本身不含结晶水和挥发性气体,因此,利于较快予热升温。同时,细小的层状粘土矿物,不利于干燥速度加快,而透辉石拉长的柱状晶体,则提供了水分逸出的通道,干燥速度较快,利于快速通过予热带。另外,透辉石质坯体较传统坯体含石英少。透辉石的膨胀系数较小,为 $\sim 7 \times 10^{-6}$ 度 $^{-1}$,且加热过程中不发生任何相变,而呈线性膨胀。石英则膨胀系数较大,为 $\sim 12 \times 10^{-6}$ 度 $^{-1}$,且在573℃发生瞬即相变,由三方晶系的 α 石英变为六方晶系的 β 石英,伴随0.8%的体积突变。方石英的膨胀系数为 $10-12 \times 10^{-6}$ 变 $^{-1}$,且在200—280℃时也发生快速相变,由四方晶系的 β 方石英变为等轴晶系的 α 方石英,伴随2.4%的体积突变。为此,含石英少的透辉石质坯体利于快速升温 and 冷缺,不易引起炸裂。经计算,在1000℃温度下,透辉石质坯体中生成钙长石的反应热为139.01千焦耳/克分子,而传统坯体在1000℃温度下,生成莫来石的反应热为405.694千焦耳/克分子。为此,透辉石质坯体中发生的比较平稳的固相反应有利于坯体快速通过予热带,烧成带和冷却带。

iii、减少坯体收缩:透辉石质坯体中粘土矿物含量少,且透辉石颗粒表面积小和不带电荷,故而产生的水膜厚度薄,因而坯体干燥收缩少。再者,透辉石质坯体在烧成过程中的基本固相反应造成的体积收缩本身就小。

IV、减少湿膨胀:陶瓷坯体的湿膨胀大小是决定其使用寿命长短的指标之一。湿膨胀与下列因素有关。

a、结晶相的湿膨胀小,玻璃相的湿膨胀大。

b、对玻璃相来说,碱土金属质较碱金属质湿膨胀小。

c、坯体的吸水率低,则湿膨胀小;反之则湿膨胀大。透辉石质坯体较传统坯体,吸水率相当或更小($< 20\%$),因低温快烧而使结晶相含量多、玻璃相含量少,且玻璃相富碱土金属(Ca、Mg),因此,透辉石质坯体的湿膨胀较传统坯体为小。

V、其它:坯体引入短柱状和柱面解理发育的透辉石晶体,利于缩短坯体的球磨时间。坯体中粘土矿物少,利于坯体压制成型时的排气,不易产生叠层。透辉石质坯体在适宜烧成温度下生成粘度低的钙质玻璃相,易于浸润颗粒,使固结作用增强,利于提高坯体的烧成强度。

2) 粘土:坊子粘土是塑性较好的软质粘土。其矿物成分为高岭石和蒙脱石。化学成分见表5。其在坯体中的作用如下。

i、具有良好的可塑性,可使坯体成型,赋予生坯强度。

ii、在烧成温度下,其与透辉石发生生成钙长石的反应,这个反应有利于坯体的烧结,与传统的高岭石生成莫来石的反应相比,该反应的收缩较小。

3)生焦宝石:产于淄博地区,是一种硬质粘土。其矿物成分主要是高岭土。化学成分见表5。其在坯体中的作用如下。

i、较低的可塑性对坯体成型起辅助作用。

ii、与透辉石反应利于坯体的烧结,减少烧成收缩。

iii、因其含有机质和烧失量较多,故而不宜引入过多。

4)石英:产于本地,属于硬质的瘠性原料。化学成分见表5。其在坯体中的作用如下。

i、引入具有高膨胀系数(12×10^{-6} 度 $^{-1}$)的石英,会使坯体的膨胀系数随之增加,这利于与低温釉在膨胀系数上的匹配。不然,如若坯体膨胀系数较小,易引起釉面的后期龟裂。

ii、引入石英利于坯体的干燥,减少坯体的收缩。

iii、石英不宜引入过多,否则会因它的急剧相变造成坯体在快烧中的炸裂。

(3)坯体配方特点

1)可降低配料成本。

2)坯体烧成温度虽然不是最低,但有一定烧成温度范围,可适合煤烧的窑炉。

(4)素坯的热膨胀系数

它在室温—1000℃范围内的热膨胀系数如表6。其膨胀系数小,近于线性膨胀,利于坯体快速烧成。

表6 素坯热膨胀系数表

温度范围(℃)	18~100	18~200	18~300	18~400	18~500	18~600	18~700	18~800	18~900	18~1000
$\times 10^{-6}$ 度 $^{-1}$	6.35	6.35	6.46	6.76	7.02	7.55	7.53	7.40	7.44	7.46

2. 釉料

(1)配方、化学成分和釉式

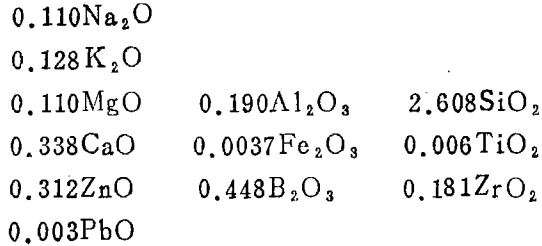
配方:匹配透辉石质坯体的釉应为低温、低膨胀的强乳浊釉。经试验研究,配方为:D18熔块93%,苏州土7%,氧化钴80克/吨。

化学成分如表7。

表7 乳浊釉化学成分表

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ZrO ₂	PbO	$\frac{1}{2}$ B ₂ O ₃	ZnO
含量(%)	52.80	6.51	0.10	0.14	6.41	1.24	4.02	2.31	7.53	0.18	10.50	8.51

换算成釉式为:



(2) 釉面砖的主要工艺性能

1) 尺寸: 国家对陶质釉面砖的尺寸要求是: 长度108、152毫米, 允许偏差 ± 0.5 毫米。而产品尺寸在107.5—108.5和151.5—152.5毫米范围内, 符合国家标准。

2) 白度: 产品白度值为78—81.1°, 比原生产产品和原部颁标准(78°)略高。

3) 吸水率: 产品的吸水率为15.40—16.34, 平均为15.84, 比原生产产品(18.50)为低, 优于部颁标准($< 22\%$)。

4) 抗折强度: 产品的抗折强度(公斤/厘米²)为179.3—218.7, 平均200.8, 高于原生产产品水平(167.9), 优于部颁标准(> 170)。

5) 耐热急变性和耐压蒸性: 产品全部通过150℃到20℃水的耐热急变性的常规试验。将透辉石质釉面砖和原生产产品各5公斤放在高压釜内于20公斤/厘米²压力下压蒸5小时, 前者未出现形变, 而后者则出现网裂。说明前者湿膨胀小, 使用寿命长, 可达15年以上。

6) 釉的膨胀系数: 釉的膨胀系数如表8。

表中可见, 釉较坯的膨胀系数低 1×10^{-6} 度⁻¹左右, 二者是匹配的。

表8 坯、釉膨胀系数对比表

釉或坯	温度范围(℃)	×10 ⁻⁶ 度 ⁻¹				
		18~100	18~200	18~300	18~400	18~500
釉		5.30	6.45	5.50	5.61	5.70
坯		6.35	6.35	6.46	6.76	7.02

3. 工艺流程简述

(1) 原料粗碎→水碾中碎→球磨细碎→除铁滤泥→地坑干燥→粉土→成型→干燥→素烧→半成品检查。

(2) 釉原料混合→熔块熔剂→球磨细碎→施釉→干燥→釉烧→成品检查。

(二) 经济效益

1. 技术指标

(1) 降低烧成温度: 透辉石质釉面砖较传统生产, 素烧降低180—200℃, 釉烧降

低120℃。

(2) 缩短烧成周期: 透辉石质釉面砖较传统生产, 素烧周期由65—70小时降为50分钟(烟台建陶陶瓷厂用辊道窑)。

(3) 提高了坯体强度: 透辉石质釉面砖较传统生产, 坯体抗折强度提高20%。

(4) 降低了湿膨胀, 增加了使用寿命。

(5) 提高了产品的合格率和一级率: 传统生产的素烧合格率为79.6%, 釉烧合格率为80.1%, 釉烧一级率为40.3%。透辉石质釉面砖的素烧合格率(108型)为90.8%, 釉烧合格率为90.5%, 釉烧一级率48.8%。

(6) 缩短球磨时间:

传统生产的球磨时间为14小时, 透辉石质坯料的球磨时间为9小时, 缩短了四分之一。

2. 经济指标

(1) 节能: 据热平衡原理和实际经验, 凡烧成温度在1000℃以上时, 每降低100℃, 可节省燃料15—20%。而釉烧温度降低120℃, 素烧温度降低近200℃, 则可节省燃料25%以上。烧成时间每降低10%, 热耗则降低4%, 产量可提高10%。详见表9。

表9 不同原料生产釉面砖经济指标对比表

生产厂	昆仑建陶厂(粘土质)	烟台建陶厂(透辉石质)
项目		
坯料成本	50元/吨	21.96元/吨
球磨时间	13—14小时	9—10小时
素烧温度	1190—1220℃	1060—1080℃
素烧时间	65—70小时(隧道窑)	50分钟(辊道窑)
素烧煤耗	5.3Kg/m ²	4.4Kg/m ²
素烧电耗	0.15元/m ²	0.10元/m ²
素坯合格率	80—85%	85—90%

(2) 增产: 透辉石质釉面砖的素烧周期可缩短一半(招远建陶厂隧道窑条件下), 素烧产量可翻一番。如按坯料成本占整个釉面砖成本的五分之二计算, 产值可增加40%, 利润亦可增加40%, 若按年产25万米²釉面砖年利润为30万元计算, 利润可增加12万元。

烟台建陶厂(辊道窑)年产釉面砖10万米², 每片(108毫米)成本0.07元, 销售价0.25元, 年成本78.71万元, 年产值110万元, 年利润可达30余万元。

(3) 降低坯料成本：按烟台建陶厂生产规模，每吨坯料成本降低28元，年需坯料800余吨，可节省原料费2.24万元。

(4) 节省优质耐火材料：由于采用了低温烧成工艺，因而可用废匣钵替代耐火度高的熟焦宝石，每年可节省耐火熟料近百吨，折款近万元。

五、结 语

烟台市所辖的栖霞，蓬（莱）福（山）地区，蕴藏有丰富的透辉石矿资源，矿石储量预计可达三千万吨以上，且有长石、石英等配料矿产。其矿产质量好，分布集中，埋藏浅，交通方便，开采条件好。在目前大力发展外向型经济的情势下，应注重开发出口创汇，亦或引进外资，兴建大型建筑陶瓷厂，以充分发挥矿产资源优势。

参考文献

- [1]北京地质学院结晶矿物教研室，1964，矿物学。中国工业出版社。
- [2]长春地质学院贺同等，1980，变质岩岩石学。地质出版社。
- [3]温克勒，1980，变质岩成因。科学出版社。
- [4]曲元贵等，1981，吉林省硅灰石矿床成因及找矿工作有关问题探讨，吉林地质（1）。

www.cnki.net

STUDY ON THE GEOLOGIC CONDITIONS
OF THE DIOPSIDE DEPOSIT IN FUSHAN
AREA YANTAI CITY AND ITS APPLIED
TECHNOLOGY

Yu Shouxin

(Yantai Administration Bureau of Mineral Resources)

Abstract

A new raw material for ceramics, with its good performance of quick calcine at the lower temperatures, has attracted much attention from the research institutions and factories since it was introduced into the calcine (making) of glazed bricks. This paper, taking the Laoguanzhuang diopside deposit as an example, discusses its geologic conditions, the evaluation method and the technology of its development and application so as to bring into full play the advantages of this mineral resources.