

我国耐火粘土的工业指标和矿石质量评价

李震唐 刘长龄

引 言

耐火粘土一般可分为软质粘土、半软质粘土、硬质粘土和高铝粘土。软质粘土的特性是在水中容易浸散，与水或其它液体拌合后，能形成可塑性的泥团，且具有很大的粘性，在制作耐火材料（制品）时常用作结合剂，因此也称为塑性粘土或结合粘土；半软质粘土的浸散性较差，即在水中浸散较慢或只能部分浸散，其可塑性及粘结性较软质粘土也差。在制作耐火材料（制品）时常代替软质粘土作结合剂使用，有时也代替部分硬质粘土使用；硬质粘土一般在水中不浸散，其可塑性及粘结性均很差，因此也称为非可塑性粘土。它是粘土耐火砖的主要原料，在制作各种粘土耐火制品时常先煅烧成熟料或部分煅烧成熟料后使用；高铝粘土是含铝较高的耐火粘土（一般指 Al_2O_3 含量大于 46—50% 以上的耐火粘土），其硬度和比重均大，耐火度较高，常用以制作较高级的耐火材料（高铝砖）。

Al_2O_3 的含量高低，是评价耐火粘土的性质和质量的重要标志之一。含 Al_2O_3 低的粘土，常不能制作耐火材料或不能制作高级的耐火材料。我国的耐火粘土一般含铝较高，有些高铝粘土的 $Al_2O_3 + TiO_2$ 的含量（熟料）

常达 85~95% 左右，有些软质粘土的 $Al_2O_3 + TiO_2$ 的含量（熟料）常达 40~50% 左右。这种含铝较高的特点，提供了制做高级耐火材料的条件。另外，易熔物质含量多了会降低耐火度，影响粘土的质量。对软质粘土来说，可塑性也是评价粘土质量的重要条件。

耐火粘土是冶金工业、机械工业、建筑材料工业、电器工业和陶瓷工业等必需的原料，在工业建设中占着一定的重要地位。目前在耐火粘土的找矿勘探、采掘生产和工业利用方面，工业指标和矿石质量评价问题是一个值得重视和研究的问题。现就其主要方面论述如下，不当之处，敬希指正。

一、工业指标问题

（一）工业指标的主要项目

工业指标的主要项目一般包括： $Al_2O_3 + TiO_2$ 、 Fe_2O_3 、灼减量 and 耐火度。对高铝粘土来说有时还包括 CaO ；对含钙量较高或含钙量波动很大的硬质粘土和半软质粘土来说也包括 CaO ；对软质粘土和半软质粘土来说还规定可塑性指数的要求。在耐火粘土中 Fe_2O_3 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 及有机质等等都是有害的杂质，均须注意研究并根据具体情况规定其工业指标*。此外，各种

* 某些杂质含量很少，一般不列入工业指标。

耐火粘土一般均規定矿层的最低可采厚度和夹石剔除厚度的要求；在有可能露天开采时，还規定有用矿层和围岩的剥采比（剥离比）。

关于灼减量的要求，一般規定为不大于15%或16%，对某些軟质粘土和含揮发分較高的粘土，有时也規定为不大于18%。灼减量太高的粘土，影响制砖性能，一般常不采用。但对其它性能較好的軟质粘土来說，有时即使灼减量較大（18—25%），也可用作一般耐火制品的結合剂。

曾經有一些耐火粘土矿的工业指标，将灼减量規定为不大于15%。按这样的規定就使一些有价值的矿石在图紙上变成了废石（夹石）。如山西某耐火粘土矿的一些样品（熟料%）就有这样情况：

表 1

编号	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	灼减量	耐火度
y2574	97.95	1.08	0.01	1.2	[15.20]	>1770°C
y2546	94.9	1.07	0.27	2.4	[15.04]	>1770°C

从上列两个試样的分析試驗結果看，都是很好的高鋁粘土，只是灼减量較原指标規定略略超过一点。按規定这两个样品就只能作为級外品或废石处理。实际上灼减量略大于15%的样品在使用上并不影响耐火粘土的质量，而且这类样品（灼减在15—16%的），在許多耐火粘土矿区尚占有一定数量。因此对这类矿区来說，将工业指标中的灼减量規定为不大于16%是比較合理的。

耐火度、Al₂O₃ + TiO₂、Fe₂O₃ 三者的相互关系比較密切，一般說，Al₂O₃ + TiO₂ 的含量在25—30%以上的粘土，才可用作耐火粘土。其中軟质粘土及半軟质粘土的 Al₂O₃ +

TiO₂ 含量常在25—50%之間；硬质粘土的 Al₂O₃ + TiO₂ 含量常在30—50%之間；高鋁粘土的 Al₂O₃ + TiO₂ 含量常在46—50%以上。在耐火粘土中 Fe₂O₃ 是最主要的有害杂质，它的含量越少越好。一般說 Fe₂O₃ 的含量小于3.5%的才可用作耐火粘土。其中 Fe₂O₃ 的含量在1.2—1.5%以下的是較优质的耐火粘土，Fe₂O₃ 的含量在1.5—2.5%之間的是中等质量的耐火粘土，Fe₂O₃ 的含量在2.5—3.5%之間的是质量較差的耐火粘土。耐火度是耐火粘土的一种主要工艺物理性能。一般說 Al₂O₃ 的含量愈高，耐火度也愈高；Fe₂O₃ 的含量愈高，耐火度則愈低；其它如 K₂O、Na₂O、CaO、MgO ……等易熔物质的含量愈高，耐火度也愈低，反之耐火度就愈高。

TiO₂ 在耐火粘土中是有益成分还是有害杂质？目前还缺乏全面系統的研究資料。华北某耐火材料厂經過生产高鋁砖的实践，認為 TiO₂ 能加速莫来石和刚玉的再結晶，促进高鋁砖的燒結，是天然的矿化剂，它提高了高鋁粘土的价值。在生产普通粘土砖的实践中，据某些耐火材料厂的經驗是：耐火粘土中含有少量的 TiO₂ 时，对制作耐火材料是有益无害的；但如大量存在則使耐火砖（制品）产生熔疤和降低耐火度。TiO₂ 在我国耐火粘土中的含量，一般是随着 Al₂O₃ 含量的增加而增加。华北、东北九个主要矿区的耐火粘土，TiO₂ 的含量大多数在0.31—2.96%。唐山、古冶一带高鋁粘土中的 TiO₂ 一般含量約在1—3%，最高含量达3.8%，經試驗証明，对制做耐火材料有益而无害。

在工业指标中对 Fe₂O₃ 的要求曾經有越来越严的趋势。这对合理利用矿产資源方面是不利的。如某耐火材料厂对硬质粘土 Fe₂O₃

含量提出的要求是：Ⅰ等 $<1.2\%$ ，Ⅱ等 $<1.8\%$ ，Ⅲ等 $<2\%$ ；对软质粘土 Fe_2O_3 含量提出的要求是：Ⅰ等 $<1.8\%$ ，Ⅱ等 $<2\%$ ，Ⅲ等 $<2.3\%$ 。这一要求，比一般指标高了很多，就是最好的耐火粘土矿区，也没有多少原料能满足以上要求。实际上应该怎样合理地利用矿产资源？对生产来说怎样更为有利？是值得很好地研究的。以山西某耐火粘土矿区为例，有相当数量的耐火粘土，其化验结果与表 2 所列样品类似：

表 2

编号	$Al_2O_3 + TiO_2$ (%)	Fe_2O_3 (%)	灼减量 (%)	耐火度 ($^{\circ}C$)
y2542	46.47	3.12	13.54	1750
y2569	31.26	3.06	8.38	1685
y2614	41.07	3.10	11.34	1675
y2635	47.41	3.03	14.06	1755

由以上结果看，这样的耐火粘土是可以利用的，但过去由于不合指标规定都作废石（夹石）处理了。又如河南某软质粘土矿区有两个无矿的钻孔，其取样化验结果如表 3：

表 3

孔号	样 (m)长	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)
35-1	1.33	32.8	3.2
13-1	0.9	35.13	3.12

由以上结果看， Al_2O_3 的含量是合乎要求的，只是 Fe_2O_3 的含量略超过了 3%，按指标规定只能作无矿孔处理。因此在区内就造成了两个“天窗”。

从这样的情况看来，如果在工艺指标中将 Fe_2O_3 规定为不大于 3.5%，以上两个矿区的这些样品，就都变成了有益矿层的样品，不仅能增加矿石的储量，而且在一定程度上

还减少了矿层的复杂性。因此在一般情况下，在工业指标中对最低品级的 Fe_2O_3 含量，规定为不大于 3.5%，是比较适当的。

根据许多试验研究资料可以看出，在有杂质中，CaO 的含量对耐火粘土的质量影响也很大。如河南某耐火粘土矿的一些分析试验资料（表 4）就表明了这种情况：

表 4

顺序号	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO [*] (%)	SiO_2 [*] (%)	耐火度 ($^{\circ}C$)
001	43.06	2.87	5.43	38.97	<1580
002	46.96	1.82	6.14	32.68	<1580
003	45.63	1.34	4.31	39.28	<1580
004	36.20	0.57	1.90	54.86	<1580

* 生料品位

由以上结果看，撇开 CaO 和耐火度不论，在一般指标中 002、003、004 号三个样品可相当Ⅰ级品或Ⅱ级品；001 号样品可相当Ⅲ级品。但实际情况是这几个样品的耐火度均低于 $1580^{\circ}C$ ，不能作为耐火粘土使用。其耐火度所以如此之低，并不是由于 Al_2O_3 的含量低或 Fe_2O_3 的含量高，而主要是因为 CaO 的含量高，且影响很大。因此 CaO 含量高的矿区，在工业指标中应规定对 CaO 的要求。

根据对几个矿区的 1295 个试样的分析结果的统计，我们发现耐火度和主要化学成分 (Al_2O_3 、 Fe_2O_3) 的关系大体上存在着以下某些规律性（表 5）：

1. Al_2O_3 的含量（熟料一下同）大于 60% 的耐火粘土，其 Fe_2O_3 的含量虽然较高（即使达到 5% 左右），其耐火度均大于 $1770^{\circ}C$ ；
2. Al_2O_3 的含量在 50—60% 的耐火粘土，其 Fe_2O_3 的含量虽然较高（即使达到 5% 左右），其耐火度绝大部分均在 $1730^{\circ}C$ 以上。其中 Fe_2O_3 的含量在 1.5% 以下的，其耐火度

表 5

耐火度 (°C)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)					
		<1	1—1.5	1.5—2.5	2.5—3.5	3.5—4.5	>4.5
>60		>1770	>1770	>1770	>1770	>1770	>1770
50—60		>1770	1750—>1770	1730—>1770	1730—>1770	1730—>1770	1730—>1770
40—50		1690—>1770	1670—>1770	1650—>1770	1630—>1770	1610—>1770	1610—>1770
30—40		1670—>1770	1630—>1770	<1580—1750	1610—1750	<1580—1710	<1580—1730
25—30		<1580—1690	<1580—1690	<1580—1670	<1580—1650	<1580—1650	<1580—1630
<25		<1580—1650	<1580—1650	<1580—1630	<1580—1610	<1580	<1580

均在 1750°C 以上；

3. Al₂O₃ 的含量在 40% 以上的耐火粘土，其 Fe₂O₃ 的含量在 1% 以下的，其耐火度絕大多数均在 1770°C 以上；

4. Al₂O₃ 的含量在 30—50% 的耐火粘土，其 Fe₂O₃ 的含量大于 3.5—5% 时，耐火度有显著下降的趋势；

5. Al₂O₃ 的含量在 25—30% 的耐火粘土，其耐火度均在 1690°C 以下；

6. Al₂O₃ 的含量小于 25% 的耐火粘土，其耐火度一般均小于 1580°C，只有少数可达 1650°C。

(二) 耐火粘土的理化性质和工业指标的品級划分問題

在工业指标中划分品級时，軟质粘土一般多划分为两个品級至三个品級，半軟质粘土和硬质粘土一般多划分为两个品級至四个品級，高鋁粘土一般多划分为三个品級至四个品級。在具体矿区中各类耐火粘土究竟应划分为几个品級，主要須根据該耐火粘土的自然条件（成分、外观特征、物理性质等）并結合生产实际需要而定。

在已經进行过勘探或已提交了一定数量的工业儲量的耐火粘土矿区中，不同的矿区各有不同的特点。例如：山东某耐火粘土矿的化学成分經統計后可以看出，其 Al₂O₃ 的

含量在 40—50% 的占 85.70%，含量小于 40% 的仅有 0.95%，含量大于 50% 的也只有 13.28%（其中含量大于 60% 的只有 0.47%）；其 Fe₂O₃ 的含量小于 1.5% 的占 44.95%，含量在 1.5—2.5% 的占 36.49%，含量在 2.5—3.5% 的占 16.6%，含量大于 3.5% 的仅占 1.89%。由統計結果看，該矿主要是中等至优质的硬质粘土（占 85.23%），而可用作高鋁粘土的較少（占 12.81%）。因此在規定該矿的工业指标时，詳細划分硬质粘土的品級是合理的（可划分为两个至三个品級），符合其自然条件和本身的特点；但詳細划分高鋁粘土的品級却沒有必要，根据高鋁粘土的自然条件和本身的特点划分为一个品級是合适的（表 6）。

表 6 山东某矿耐火粘土主要化学成份統計表

占試 样总数 (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ (%)				合計	备注
		<1.5	1.5— 2.5	2.5— 3.5	>3.5		
				0.95	0.95	硬质粘土	
		37.36	32.22	14.70	1.42	85.70 硬质粘土	
		7.59	4.27	0.95	12.81	高鋁粘土	
					0.47	0.47 高鋁粘土	
合計		44.95	36.49	16.60	1.89	99.93 根据 211 个样品統計	

河北某耐火粘土矿的化学成分經統計后可以看出，其 Al₂O₃ 的含量在 40—50% 的占

92.3%，含量大于50%的仅占3.2%，含量小于40%的也仅占4.8%；其 Fe_2O_3 的含量小于1.5%的占33.3%，含量在1.5—2.5%的占35.6%，含量在2.5—3.5%的占17.6%。由统计结果看，该矿基本上是中等至优质的硬质粘土（占83.3%），而可作高铝粘土用的极少（占3.2%）。因此在规定该矿的工业指标时，详细划分硬质粘土的品级是合理的，（可划分为三个至四个品级），符合其自然条件和本身的特点；但对高铝粘土来说，既没有划分品级的必要，也没有规定指标的必要性，实际上将少量的高铝粘土归并在硬质粘土中是比较合适的（表7）。

表7 河北某矿耐火粘土主要化学成份统计表

占试样总数 (%)	Fe_2O_3 (%)				合计	备注
	<1.5	1.5—2.5	2.5—3.5	>3.5		
<40	1.0	2.8	0.5	0.5	4.8	硬质粘土
40—50	30.5	31.4	17.1	13.3	92.3	硬质粘土
>50	1.8	1.4			3.2	高铝粘土 (或硬质粘土)
合计	33.3	35.6	17.6	13.8	100.3	根据217个样品统计

山西某耐火粘土矿的化学成分经统计后可以看出，其 Al_2O_3 的含量在50—95%的占70.42%，含量在30—50%的占26.47%；其 Fe_2O_3 的含量小于1.5%的占45.65%，含量在1.5—2.5%的占27.32%，含量在2.5—3.5%的占12.38%，含量大于3.5%的占14.64%。由统计结果看，该矿主要是中等至优质的高铝粘土，而硬质粘土较少。因此在规定该矿的工业指标时，详细划分高铝粘土的品级是合理的（可划分为三个至四个品级），符合其自然条件和本身的特点；而硬质

粘土的品级划分可以简化，根据其自然条件和本身的特点，划分为一个至二个品级是合适的（表8）。

表8 山西某矿耐火粘土主要化学成份统计表

占试样总数 (%)	Fe_2O_3 (%)				合计	备注
	<1.5	1.5—2.5	2.5—3.5	>3.5		
<30	1.13	1.13	0.28	0.56	3.10	
30—40	2.54	1.41	1.68	0.56	6.19	硬质粘土
40—50	8.17	4.22	3.10	4.79	20.28	硬质粘土
50—60	8.73	4.22	2.53	2.82	18.30	高铝粘土
60—70	6.76	6.48	1.41	2.25	16.90	高铝粘土
70—80	7.89	3.10	2.26	3.38	16.63	高铝粘土
>80	10.43	6.76	1.12	0.28	18.59	高铝粘土
合计	45.65	27.32	12.38	14.64	99.99	根据355个样品统计

由上看来，在确定某一耐火粘土矿的工业指标时，既要依据工业上的要求，也要结合该矿耐火粘土的自然条件及其本身的特点。单独依据一方面的情况，而忽视另一方面的情况是不合理的。

二、矿石质量评价问题

评价一个耐火粘土矿的矿石质量，主要是依据该矿区耐火粘土的化学成分、矿物成分和物理性质，在通常情况下是将其主要化学成分($Al_2O_3 + TiO_2, Fe_2O_3, CaO$, 灼减量)和物理性质(耐火度、可塑性)规定在工业指标中，用工业指标来衡量矿石的质量，为了区别矿石质量的高低，在工业指标中常将不同类型的耐火粘土(高铝粘土、硬质粘土、半软质粘土、软质粘土)划分为一至几个品级。在习惯用法上，特等品常代表最好的耐火粘土，其次依次为I级品、II级品和III级品等。

对一个新矿区的耐火粘土的矿石或对一个尚未經工业利用过的耐火粘土矿区的矿石,当决定大规模使用这种矿石之前,应对其加工技术性能进行詳細的了解。即需要选择有代表性的矿石进行加工技术試驗。加工技术試驗的項目一般应包括:化学全分析、矿物成分鑑定、矿石的結構构造和外观特征的描述、真比重、体积比重、耐火度、气孔率、吸水率、干燥收縮率、烧成收縮率、烧結溫度、可塑性*、粘結力*、浸散性*、顆粒分析*、最大可塑水*、成型水**、成型压力**、荷重軟化溫度**和抗渣性**等等。

耐火粘土的化学成分,一般是不稳定的。在一个矿区甚至在一个矿区的一个地段內,其化学成分的变化也是很大的。在耐火粘土的化学成分中占主要地位的有 Al_2O_3 、 SiO_2 和 H_2O , 优质的耐火粘土(硬质粘土、半軟质粘土、軟质粘土)其化学成分相近于高岭石的理論成分(Al_2O_3 39.5%, SiO_2 46.5%, H_2O 14%),胶体化学沉积的硬质粘土更是如此。我国某些耐火粘土(高鋁粘土)的 Al_2O_3 的含量常大量超过高岭石的理論含量,这主要是由于在这些耐火粘土中存在着水鋁石(很少情况下有勃姆石)所致。在耐火粘土化学成分中占次要地位的有: TiO_2 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 CO_2 、 SO_3 以及有机质等等(表9)。这些成分含量少时对耐火粘土的质量影响不大,含量多时对耐火粘土的质量就产生不同程度的影响。

耐火粘土的矿物成分与其化学成分有一定的联系,对耐火粘土的质量和性能也有不同程度的影响。

耐火粘土由于顆粒較細,其矿物成分在野外常不易鑑定,一般通过显微鏡鑑定可以

辨認出大部分粘土矿物,特别是結晶較大的主要矿物(如水鋁石、高岭石、勃姆石、水云母等)及一些附生矿物或杂质矿物(如石英、赤鉄矿、針鉄矿、黄鉄矿、鋯英石、电气石及金紅石等等);通过显微鏡观察也可以帮助肉眼識別耐火粘土的結構构造(參見附頁照片)。但是普通岩石显微鏡的放大倍数有限,对一些顆粒特細的粘土矿物及光学性质相似的矿物尚不易鑑定,需要借助于差热分析、X射线衍射分析及电子显微鏡鑑定等进行研究。根据以往的研究工作,可将耐火粘土的矿物成分分为粘土矿物或主要矿物(高岭石、水鋁石、水云母、单热石……等),这是耐火粘土的主要构成物质(表10),它决定着耐火粘土的性质。附生矿物(或碎屑矿物有:电气石、鋯英石、金紅石、白云母、长石、磁鉄矿、鈦鉄矿、海綠石、柘榴石、蓝晶石、角閃石、輝石、黄玉等),它們通常呈粒状分散在粘土之中,数量很少,对粘土的性质影响不大。杂质矿物或称有害杂质,它們常常影响粘土的质量,其中影响較大的有以下几种:

(一) 石英:在軟质粘土及半軟质粘土中常含有不同数量的砂状或粉砂状的石英碎屑,有时也形成細小的夹层和細脉,这种石英能减弱粘土的可塑性和粘結力(起瘠化作用)。無論在硬质或軟质粘土中含有石英,将会相对地降低耐火粘土的耐火度。

(二) 鉄质矿物:

1. 鉄的氢氧化物,常成褐鉄矿、赤鉄矿和針鉄矿。有时形成細脉、薄壳、包裹体;有时形成繡状顆粒或沿裂隙的树枝状物或成

* 半軟质粘土和軟质粘土的試驗項目;

** 一般半工业試驗項目。

表 9 我国部分矿区耐火粘土矿物理化学性质比较表

矿石类型	产地	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O + Na ₂ O (%)	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)	SO ₃ (%)	S (%)	MnO (%)	灼减量 (%)	总计 (%)	试验单位	耐火度 (°C)	可塑性 (指数)
高铝粘土	山西某地	39.22~80.08	1.6~2.96	1.04~43.96	0.54~3.67	0.1~0.62	0.07~0.75	0.02~1.42				0.04~0.24		13.68~15.08	99.96~101.17		1730~>1770	
	河南某地	60~75⑤		10~30	1~5	1~2								11~15		⑤	1770~1830	
硬质粘土	河北某地	38.24~54.38	1.46~3.05	30.62~44.47	0.03~1.01	0.35~0.56	痕~0.51	0.1~0.64				0.03~0.29	痕	13.42~15.11				
	河南某地	31.39~57.32	1.42~3.5	23.71~53.20	0.54~4.18	0.24~1.29	0.12~0.76	0.19~2.06					0.01~0.4	8.44~14.7	99.93~101.1		1690~>1770	
半软质粘土	内蒙某地	26.65~39.39	0.57~1.43	43.95~59.82	0.16~2.05	0.17~0.43	0~0.08		0.002~0.65	0.01~0.08				9.59~18.84				
	山西某地	45~50①	2.0~2.48		1.0~1.5	0.36~0.2	0.2	0.3					0.014~0.026	14~15			>1770	
软质粘土	山东某地	29.0~46.74	0.31~1.31	32.48~53.38	0.14~2.8	0.11~0.93								10.30~14.89			1650~1770	
	河北某地	37.9~39.17	1.48~2.24	43.69~44.49	0.75~1.93	0.04~0.29	0.20	0.20				0.012~0.02		13.56~13.86			>1730	
半软质粘土	山西某地	27.04~38.34	1.60~2.50	43.16~58.14	0.73~6.07	0.19~1.41	0.22~0.57	0.76~2.53						9.82~14.44	99.69~101.25		1670~1760	1.3~2.8⑥
	内蒙某地②	31.16~37.22	0.81~1.88	41.72~53.59	0.35~1.82	0.38~0.97	0.18~0.59		0.12~1.5③	0.03~1.11④				10.51~16.39	109.46~190.80			
软质粘土	河北某地	25.94~37.86	1.6~2.53	42.79~52.92	1.51~4.94	0.41~0.57	痕~0.5	0.21~0.61					痕	11.02~14.0				1.27~5.22⑧
	河南某地	32.26~39.21	1.64~2.18	42.5~50.86	0.4~2.04	0.18~3.1	0.20~1.1?	0.66~5.01					0.018~0.79	9.28~14.42	99.90~101.18		1670~>1770	1.7~2.5⑤
软质粘土	辽宁某地	35.55~36.98	1.1~1.38	43.02~44.74	1.92~4.64	0.34~0.62	0.3~0.81	0.23~1.72			痕~0.76			13.80~14.27			1630~1750	17.2⑤
	山西某地	21.69~37.38	0.85~1.34		0.8~7.07	0.04~0.96	0.06~1.14	0.69~2.46					6.86~15.52			⑥	1580~1750	1.5~3.9③

① 熟料 (并包括TiO₂) ② 华北地质勘探公司 ③ K₂O的含量 ④ Na₂O的含量 ⑤ 华北地质勘探公司 ⑥ 北京钢铁工业试验所
 ⑦ 中国科学院金属研究所 ⑧ 阿杰别尔格法 ⑨ 泽米亚狄斯基法

表 10 我国部分矿区耐火粘土矿石矿物成份比较表

矿石类型	产地	地	高岭石	水铝石	三水铝石	石英	白云母 或水云母	赤铁矿 或褐铁矿	金红石	锆英石	钛铁矿	海绿石	有机物	方解石 (或碳酸盐)	电气石
高铝粘土	山西某地 河北某地 河南某地		微量—40 40—50 25—40	>50—90 50 50—70			微量 微量 <2	微量 <5 <2	微量 <2 <2	微量 微量	微量		微量 微量	微量 微量 <2	微量 微量 微量
硬质粘土	河北某地 山西某地 山东某地 河南某地		>90 80—90 >90 90	微量—10 微量—10 <2		<2 <2	<2 微量 微量 <2	<2 微量 微量 微量	微量 微量 微量 微量	微量 微量	<1 <2		微量 微量		微量 微量
半粘 软土质	山西某地 河北某地		>80 >90			<10 <2	微量—10 微量—10	微量 <2	微量 微量			微量	微量 微量		微量
软质粘土	山西某地* 辽宁某地 河南某地		>98 85—88 50—80	1—4	<10	<2 <2	微量 2—8 微量—30	微量 微量 微量	微量 微量	微量			微量 微量	0.42—1.94	微量

* 由化学分析结果推算的矿物成份，其它矿区的矿物含量系根据部分薄片结果。

为浸染状；

2. 铁的硫化物，常为分散的黃铁矿、白铁矿的晶粒或結核，有时聚集成团块状；

3. 铁的碳酸化合物，常成繡状、球状、餅状、結核状及細晶状的菱铁矿；

粘土中的这些鉄质矿物含量較多，分布也較普遍，在耐火制品中能形成熔斑，降低其耐火度，都是非常值得注意的有害杂质。

(三) 鈣和鎂的碳酸盐矿物和硫酸盐矿物：这类矿物常成各种形状的結核、团块、薄膜，有时分散或呈脉状(特别是方解石)，含量多时，能降低耐火粘土的耐火度，并易使耐火制品产生裂紋。

(四) 有机物质：耐火粘土中的有机物质，主要是植物成因的有机物质，常呈浸染状，有时以碳质碎片或煤綫存在。这种物质含量多时能增大耐火粘土的灼减量，使制成的耐火制品不致密或产生裂紋。有机物质即使含量不多，也常使耐火粘土的顏色加深或呈現黑色。

耐火粘土的外觀特征在一定程度上可以大致的反映其质量(化学成分、矿物成分、物理性质)，如不含大量杂质的优质的耐火粘土常呈比較均匀之白灰色、白色、灰色、淡灰色或淡灰黄色。含有鉄、錳或有机物等有害杂质的粘土，多半呈紅色、黃褐、褐色、紫黑或深黑色，有时出現有这种顏色的斑点。如果耐火粘土矿石的节理或裂隙发育，往往有次生杂质填充(常多氧化鉄及碳酸鈣)会影响质量。含铝最高的高铝粘土(单矿水铝石的)往往呈致密状(但較胶体沉积具貝壳状断口的硬质粘土稍粗糙些，也更坚硬些)、参差状。一般高铝粘土常呈豆繡状結構(豆繡子多半由水铝石組成，石基常由高岭

石組成)。硬質粘土呈灰色致密均勻具貝壳~半貝壳狀斷口者質量常較好；呈灰黑粗晶狀，黃灰砂狀及豆餈狀或含砂的硬質粘土其質量往往較差。半軟質粘土及軟質粘土色澤均勻，顆粒較細、含石英及有機質少的一般質量較好，反之較差。又如在高鋁粘土中含鋁高的比重也較大（雜質含量相似的情況下），又易風化成松散狀的粘土，其可塑性一般較好；不易風化的呈堅硬致密狀的粘土，其可塑性和浸散性一般較差。

有些不合耐火粘土要求的粘土，根據其各自的性質和特點，常可以分別有其它不同的用途，因此在進行耐火粘土的找礦勘探和質量評價時，對這類粘土也應予以充分注意，進行必要的了解，以便考慮適當的加以利用。

如： Al_2O_3 的含量在15—20%， Fe_2O_3 和 TiO_2 的含量均小於1%，氧化鈣和石膏的含量也不高時，可用作優質的陶瓷原料； SiO_2 的含量在50—65%， Al_2O_3 的含量在15—20%， Fe_2O_3 的含量在6—10%，或n在2—3，P在1.5—3的粘土可作一般的水泥原料*； Al_2O_3 的含量在48—78%， Fe_2O_3 的含量在7—15%， SiO_2 的含量小於8—20%的可用作鐵矾土**。

此外，含鋁量不高，但粘結性、浸散性和可塑性較好且含砂量極少的粘土，可用作鉗探工程的泥漿；含 Fe_2O_3 較高的高鋁粘土，其鋁硅比大於2.6的，可作鋁土礦使用。

$$* \quad n(\text{硅酸率}) = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}, \quad P(\text{鋁氧率}) = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

** 黑色冶金用的一種熔劑

本文照片說明

照片1. 高鋁粘土的餈狀結構（水鋁石鋁土礦）

單偏光 × 28

河北東部石炭系

照片2. 高鋁粘土的復餈結構（水鋁石鋁土礦）

單偏光 × 28

河北石炭系

照片3. 高鋁粘土的豆狀結構，並受次生水鋁石脈割切

正交偏光 × 28

河北東部石炭系

照片4. 高鋁粘土中的次生水鋁石脈（柱狀晶體垂直脈壁）

正交偏光 × 110

河北東部石炭系

照片5. 硬質粘土的餈狀結構

單偏光 × 25

河北石炭系

照片6. 硬質粘土的砂狀結構（主要由隱晶質高齡石集合體構成的砂粒組成）

單偏光 × 10

河北開平

照片7. 硬質粘土的蠕狀重結晶結構

單偏光 × 28

內蒙石炭二迭系

照片8. 硬質粘土的向心結構

正交偏光 × 28

河北石炭系

照片9. 硬質粘土中的自生高齡石底切面六角形（並有次生水雲母化現象）

正交偏光 × 70

內蒙

照片10. 硬質粘土中含自生石英，並包裹粘土物質（十字中心）

單偏光 × 70

內蒙

照片11. 半軟質粘土（高齡石+水雲母）

正交偏光 × 100

河北峰峰

照片12. 軟質粘土（高齡石+水雲母+有機質）

正交偏光 × 100

河北石炭系