

科學圖書大庫

製陶瓷用的黏土和釉

譯者 程道腴

徐氏基金會出版

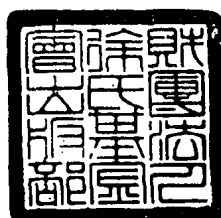
徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信

發行人 呂幻非

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國七十三年八月十日七版

製陶瓷用的黏土和釉

基本定價 2.60

譯者 程道腴 經濟部工業研究所工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。 謝謝惠顧

局版臺業字第3033號

出版者 財團法人 徐氏基金會出版部 臺北市郵政信箱 13-306 號

發行者 財團法人 徐氏基金會出版部 郵政劃撥帳戶第 15795 號

承印者 大原彩色印製有限公司 台北市武成街三五巷九號

電話 922176
927157
927157
928684

電話 307099

原序

撰寫本書的目的，是想將有關陶瓷原料和其在陶瓷中的用途，種種重要的事實，以明晰而易解的方式，呈諸讀者之前。

陶瓷是富有才力的媒介。它是多采多姿的，每一種文化和每一個時代中，都可在陶瓷中找到新的表現方式。以一媒介物而言，陶瓷能有許多美好的造型，色調和結構，同時它的表現不單是在種類上，無可比倫，而且在永恒上和應用上，亦復如斯。要想充分做到媒介物，陶瓷專家不但需要技巧，想像力和藝術的眼光，而且在技藝的技術上的知識，也要有深厚的基礎。這種知識得之不易，而有許多很嚴正地從事於陶瓷的，都是經過不斷地試驗，千錘百鍊中學來的。爲今之計，希望使有志於斯者，能直趨陶瓷之堂奧，能從理解上去試驗，方能事半功倍。至於技術上的資料，不可墨守成規，而需要在陶瓷上，有自由而富創造性的取捨途徑。

本書每一論題，並非包羅無遺，作者也不擬累讀者於詳盡，而書中所有的資料，盡量求其實用，除想到需要使論題明瞭外，並無技術上的記錄和化學上的理論。

作者要在此感謝的是紐約州立大學阿弗烈德分部（Alfred University）陶瓷系的同仁，特別是 S. R. Scholes, Sr. 博士，他將原稿予以有意義的編輯。

作者還要感謝華府的斯密松研究所的 Freer 藝術陳列館（Smithsonian Institution's Freer Gallery of Art），能夠在他們豐富的收藏中攝取許多照片，作者所攝的是站在陶瓷製作人的觀點，並且在這些古代傑作上，表現出釉和黏土的品質和結構來。

Daniel Rhodes
Alfred, N. Y.

目錄

第一編 黏土

第一章 黏土在地質上的由來 3

1. 地殼的性質。
2. 地質變遷的力量。

第二章 黏土的化學組成 7

1. 黏土的代表性組成。
2. 黏土的分子組成。
3. 黏土來自長石。

第三章 黏土的物理性 10

1. 粒度與形狀。
2. 可塑性。
3. 原生黏土。
4. 次生黏土。

第四章 黏土乾燥和燒成 14

1. 乾燥方法。
2. 燒成的初期——乾燥和冒水氣。
3. 氧化作用。
4. 石英轉換作用。
5. 瓷化作用。

第五章 黏土的種類 20

1. 高嶺土。
2. 球狀黏土。
3. 火黏土。
4. 匣鉢黏土。
5. 缸器黏土。
6. 土器黏土。
7. 其他黏土。

第六章 黏土坯體 25

1. 黏土坯體的定義。
2. 改變黏土坯體使之合用所必需的方法。
3. 以瓷器為黏土坯體實例。
4. 達成物料適度混合的方法。

5. 定缸器坯的配方。 6. 爲特別成形法所設計的黏土坯體。
7. 拉坯黏土。 8. 模造黏土。 9. 鑄形黏土。 10. 旋坯及壓坯用坯體。 11. 黏土坯體中顏色與結構。 12. 土器。
13. 缸器。 14. 瓷。 15. 耐爐火器皿。

第七章 採掘與製備黏土 51

1. 採掘。 2. 混合黏土。 3. 黏土時效，去空氣及捏練。

第二編 釉藥

第八章 玻璃及釉的性質 58

1. 氧化矽爲玻璃的基石。 2. 製造玻璃。 3. 玻璃和釉的區別。

第九章 早期的釉 62

1. 埃及釉。 2. 早期鉛釉。 3. 灰釉。 4. 漿釉。
5. 長石釉。 6. 鹽釉。

第十章 氧化物及其在造釉中作用 66

1. 氧化作用與氧化物。 2. 釉的氧化物。 3. 氧化物在釉中作用。 4. 釉如何在窯中熔化。 5. 二氧化矽。 6. 氧化鋁。
7. 氧化鈉。 8. 氧化鉀。 9. 氧化鉛。 10. 氧化鈣。 11. 氧化鋇。
12. 氧化鎂。 13. 氧化鋅。 14. 氧化錫。 15. 氧化銻。 16. 氧化鋰。 17. 氧化硼。

第十一章 釉的原料 76

1. 用於釉中原料之製備法。 2. 燧石 SiO_2 。 3. 黏土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。 4. 長石。 5. 白堊。 6. 碳酸鎂。 7. 白雲石。 8. 碳酸鋇。 9. 滑石。 10. 碳酸鋇。
11. 硬硼酸鈣石。 12. 密陀僧。 13. 鉛白。
14. 鉛丹。 15. 氧化鋅。 16. 氧化銻。 17. 蘇打灰。

或碳酸鈉。 18. 骨 灰。 19. 冰晶石。 20. 磷雲母。
21. 碳酸鋰。 22. 氟 石。 23. 眞珠灰。 24. 硝石。
25. 硼砂。

第十二章 釉計算法，理論與目的 85

1. 釉有不同配方的必要。
2. 照在釉中作用以區分氧化物。
3. 原子量理論及化學式中各氧化物量說明。
4. 合一的實驗式。
5. 從實驗式計算釉方。
6. 從配料算成實驗式的實例。

第十三章 用含多種氧化物原料時釉的計算法 93

1. 原料一覽表。
2. 當 量。
3. 長石化學式。
4. 由簡單鉛釉實驗式算配料法。
5. 含黏土和長石釉的計算法。
6. 選擇釉用原料。
7. 較複雜釉的計算法。
8. 含複雜長石的計算法。

第十四章 由配料或配方算釉實驗式 104

1. 由配方推定釉實驗式的實例。
2. 由配料算成實驗式的步驟

第十五章 釉計算中幾個實際的問題 107

1. 釉的比較。
2. 原料的替換。
3. 變更釉的實驗式。
4. 甄試新原料。

第十六章 釉的組成 112

1. 釉的熔融點。
2. 各種氧化物的助熔作用。
3. 釉中氧化矽和氧化鋁量。
4. 限度實驗式。

第十七章 釉的種類 118

1. 低溫鹼性釉。
2. 鉛 釉。
3. 含硼 釉。
4. 布里斯脫釉。
5. 瓷器和缸器釉。

第十八章 創立釉的公式 125

1. 創立釉百分率配方。
2. 創立釉時用分子實驗式。
3. 寫作釉新實驗式的實例。
4. 依據一特定原料的性質以創立實驗式

第十九章 熔塊釉132

1. 用熔塊的理由。
2. 可溶性釉的危險。
3. 製熔塊法。
4. 算熔塊配料法。
5. 計算組成中有熔塊的釉。
6. 將熔塊當做釉。

第二十章 釉的結構138

1. 透明性和失透性。
2. 光釉和無光釉。

第二十一章 釉內顏色的由來142

1. 釉內顏色的理論。
2. 氧化鐵。
3. 氧化銅。
4. 氧化鈷。
5. 氧化鉻。
6. 氧化錳。
7. 氧化鎳。
8. 氧化鈮。
9. 金紅石。
10. 鈦鐵礦。
11. 鉻酸鐵。
12. 氧化鈾。
13. 鎘及硒。

第二十二章 調配色釉法151

1. 加單個氧化物於釉中。
2. 綫混合法。
3. 三軸混合法。
4. 不用混合而使釉變化法。
5. 釉色料的用途。
6. 黑色釉。
7. 試釉用的試片。
8. 施釉及印記試驗。
9. 登記試驗。
10. 試驗的要件。

第二十三章 釉的混合及塗施160

1. 球磨。
2. 混合及過篩釉料。
3. 釉中水的比例量。
4. 釉用懸浮劑，樹膠及叢聚劑。
5. 用塗、浸及淋等法施釉。
6. 噴釉。
7. 釉的厚度。

第二十四章 燒釉164

1. 有釉坯裝密。
2. 在燒製中釉的形成。
3. 燒窑和測溫。
4. 不均勻溫度。
5. 比較氣燒和電燒。
6. 用瓶裝氣，油或木材燒火。
7. 燒窑失敗。
8. 一次燒器皿。

第二十五章 釉的缺陷169

1. 細裂。
2. 釉脫。
3. 蜷縮。
4. 生麻點及針孔。

5. 起泡和起天泡。 6. 欠火及過火。 7. 施釉缺陷。 8. 窑變。

第二十六章 化粧土 176

1. 化粧土組成。 2. 化粧土中着色氧化物。 3. 瓷化化粧土。
4. 施化粧土的技藝。

第二十七章 釉下色及彩飾 181

1. 用於釉下彩繪的顏料。 2. 釉下顏料的施用。 3. 釉下印花。

第二十八章 釉上彩飾 185

1. 馬賽利加。 2. 釉上琺瑯。 3. 釉上印花。

第二十九章 還原火及還原釉 188

1. 還原火的理論。 2. 還原作用對黏土坯體的影響。 3. 基本釉對還原作用的反應。 4. 還原釉的顏色範圍。 5. 還原釉中氧化鐵所生的顏色。 6. 氧化銅在還原釉中顏色。 7. 在還原火中所得的其他顏色。 8. 用還原火燒窑術。

第三十章 特別釉與釉效果 199

1. 閃光釉。 2. 施鹽釉。 3. 漿釉。 4. 灰釉。
5. 結晶釉。 6. 碎紋釉及汙聚釉。 7. 埃及濕泥。 8. 紅色釉。 9. 赭土印形。 10. 樂燒器。 11. 選用陶瓷原料。

附 錄 214

實驗室檢驗黏土法	原子量及分子量	加入釉內造色及紋理的
原料	測溫錐之終點	溫度換算表
性氧化物的建議加入量	語彙	釉公式
	重量與尺度	各着色

索引 243

第一編 黏土

黏土是一單純物料，量豐而價廉，易得易製，正如其他製造用的原料一樣，毋需多費手續。不然，先民是不可能用之以製陶器。陶器至今仍不賴科學而製作。

黏土也是一種氣質性物料（temperamental material）。其可塑性或加工性變動很廣，有些黏土做這種用途很好，但却不適合另一種。黏土在乾時收縮，燒時則更收縮，給製陶家生出許多問題來。在燒製時黏土的各種反應，似乎是難以預測，即使是最小心地去控制，但仍不免有些料不到的事發生在燒成過程中。所有這些問題，連帶如何用黏土成形等，其實際上的答案有賴手藝而非科學。幾百年來，製陶家憑仗着技藝成功地運用着原料。自然，近來科學發達，也貢獻許許多多陶瓷方面的知識，和一些以往模糊不清的，或者是由實際經驗來的方法，都一一因研究而弄明白了。例如，最近透過使用電子顯微鏡，而知道成粒狀黏土顆粒的正確大小和形狀。

陶器製作上的困難，大多數是起因於變數繁多。即使是買進現成配好的原料，可是在成形技藝上，乾燥，燒成，乃至施釉等方面，亦復有變數存在。如製陶人所要求的，將窯業上的操作，或多或少有點控制，是要了解一些左右他們的原料的原理。他們需要知道其中黏土何以會收縮，又何以有些收縮得更厲害點，為什麼陶瓷器在窯內冷卻會開裂，以及如何調配及燒製所用的物料，以達到某種效果。只要利用較少數的幾個原理，原料的各種變數，組成和熱處理，也就可以管制。

黏土是幾種本身無價值的物料之一，可是，却能夠製造出有價值的物件來，而這個價值是操在製陶人手中。黏土本身是沒有形狀的，完全靠製陶人的靈感，而稍許受到黏土本來形狀的影響。在形狀上，黏土自然是困於某些限度。例如，失之太薄的一概不適於黏土，因為燒後物件就具有脆弱本性，又造型太龐大的，在濕的時候，沒等到做完就會倒塌。可是，只要不出這些範圍，製陶人可以隨心所欲的去做，並且，用黏土所造出物件，其形狀真是千變萬化，巧妙無窮。

2 製陶瓷用的黏土和釉

一件陶瓷器，至少在製作者看來是有價值的，代表着實用和美的綜合價值。一件陶瓷器，還和文明與文化的最早傳統有關，它並且在某方面，還直接顯示出人類生活的最基本部分。一件陶瓷器，不論其如何粗陋，但它在滿足人類在物質與精神的需求上，却分享着手工的榮耀。

陶瓷器（Ceramics）可以這麼說：它是件可垂永久的藝術品，實用而美觀，或只是美觀的，它是原料土藉熱力燒成的。陶瓷器不單是包括陶器（Pottery），同時還包括：玻璃，磚瓦和其他建築用黏土製品，耐火材料和火磚，實驗用瓷器，各種衛生用具，隔電瓷器，水泥，石膏粉，石灰以及金屬上面的玻璃質琺瑯等等。上述這些工業，就全體而言，成為人類工業生活重要而不可或缺的部份。全都是有賴於單純的，豐富的和價廉的土質原料。陶瓷器，是人類首先發明的有用的藝術品，流傳至今，仍不失為人類最主要的活動範圍。

第一章 黏土在地質上的由來

1- 地殼的性質

要想知道用做原料的黏土，必先想到它的地質學上的由來。黏土是地球表面的地質上風化產物，因為這種風化方法是綿綿不斷的，無所不在的，所以，在自然界，黏土也成為極普遍而極豐富的物料。事實上，它却是農夫，礦工和築路的障礙物。黏土切不可稀少，不普通或者是價值高的物料視之，而它却是構造地球表面所不可少的土料。

黏土從古到今，仍然是大自然的製品，無疑的，仍有更多的黏土在製造中，不過仍不能在今天用做陶瓷器。我們總以為地球的表面，是永恒不變的，這是因為我只能在一個極暫短的時間去觀察，殊不知地球是在繼續不停在變，滄海桑田，桑田滄海！各地區的氣候，從兩極到赤道，都各不相同。地球上最常見的，諸如山陵，平原，河流，深谷，湖泊，沙漠及海洋等，都代表幾百萬年來地質上力量的積效。

在混沌初開時，地球是一團熔融的物料，正如所知的，地殼是相當薄的凍結的一層，而內部仍包蘊着極熱的地心。當地球表面仍呈熔融狀時，質重的物料，如金屬之類，下沉到較深之處。這一番下沉，就使熔融物的表層的組成，趨於一致。當地球逐漸冷卻時，上層或地殼遂固化。這樣由熔融物冷卻而形成的岩石，稱之為火成岩（igneous rocks）。

原始的火成岩地殼，蓋覆在地球上的，其組成必定和全球表面的，非常一致的，而現在之有如此的千差萬別，大部份由於以後的種種變化的結果。在幾千呎以下，地球大都由一玄武岩層（basalt layer）組成，厚度在一百英里以上。再望下去，只知道是比地殼重，極熱和極密緻，這是由於上覆物料的壓力，此外，其正確的性質如何，尚屬不知。至於地心，大概是鐵和鎳佔極大成份。

所有火成岩，一直深到十英里左右的，其平均組成大致如下：

SiO	59.14
Al ₂ O ₃	15.34
Fe ₂ O ₃ + FeO	6.88
CaO	5.08
Na ₂ O	3.84
MgO	3.49
K ₂ O	3.13
H ₂ O	1.15
TiO ₂	1.05
	99.10
其 他	.90
	100.00

由上列分析表中，有件奈人尋趣的：地球表面只是少數幾種氧化物，竟構成如此巨大的東西。矽氧和鋁氧，就佔全地殼的 75 %，要再看看，這兩種氧化物，又是黏土的主要元素。

當地球表面冷卻成為固體時，遂有各類礦物形成。礦物 (Mineral) 可以說是一種天然的土質物料，具有一定的化學組成者。在冷卻過程中，遂使各種礦物自熔物中結晶析出，又情況不同，所形成的礦物自各異。由於熔物在組成上部位不同，壓力迥異，以及冷卻的快慢，也就生出許許多多不同的礦物。由於在熔物中，某幾種氧化物大佔優勢，正如所望的，地殼的礦物組成，非常單純，下面就是構成地殼的各種礦物的近似百分率：

長 石	59.5
含鐵和鎂組	16.8
石 英	12.0
黑 雲 母	3.8
鈦 礦	1.5
其 他	6.4
	100.0

長石遠多於其他的而為最普遍的礦物，它一經風化，大部分都算成黏土。顯而易見的：上面五類礦物，就佔有地殼的 90 %。經證實在大自然有幾

百種礦物，可是都爲量不多，而且大多數的被認爲是天生的畸形。

2- 地質變遷的力量

大約在二十萬萬年前，地質變遷的力量，就開始加之於剛冷却的火成岩上。同時包圍在地球四周的大氣，和地球表面開始相互作用。又因地球冷了，大氣中濕份，那時仍是呈蒸汽態的，也開始冷凝，於是傾盆大雨亦降，如此連綿達幾百萬年之久，它注滿了海洋，同時也對較高處的地球表面，產生着深遠而久遠的作用。

水，至少是地質變遷中最重要的作用物（agent）。首先，水差不多已經溶解無數量的岩石。有人會想到岩石是不溶的，不受水侵蝕的，可是積作累月的經過幾百萬年之後，水可以洗平許多高山。大海中現存的鹽份——估計有十五萬億噸——這就是雨水對地球的溶解作用的鐵證，它是漸漸地從岩石內漂出可溶性物質，而挾之歸於大海，而且濃度還在繼續地在增大。

水除了化學作用，當做溶劑外，它還夾帶着礦物的碎粒，對岩石施行一番磨損的機械作用。由於雨點的磨損，水流和冰河中岩石的研磨等，致使岩石受化學的崩解而碎成小塊。這種岩塊的磨耗（attrition）是無法在短期內察覺的，都是一股無比的力量。

水也能滲到岩石裂縫中，一經結冰遂膨脹，像水這種作用，一方面把岩石碎成小塊，同時還溶解其中所有可溶性物質。

植物根的作用，也參與這份崩解的工作，根在裂縫中得到立足點，於是就在滋長時，把岩石劈裂成小塊。此外，其他地質的變遷的顯著力量，比水的較爲次要，諸如冰川的和風送顆粒的磨損作用等。

原始的地球上岩石，當時看去似乎是堅硬而永久不滅的，而事實上，全球的表面岩石，却奧秘地在變遷着。這種方法稱之爲風化與浸蝕作用（Weathering and erosion），說明山川景色之所以變化瑰異。高山，是在地球表面冷却時，由於岩石的上推力所造成的，收縮而鼓起，高山經過浸蝕作用而削矮，成淤泥而沉到海底湖中。這種成層的淤泥，又經熱力和壓力，變成新的或變質的岩石（metamorphic rock），這種岩石再遭上推而形成新山脊和高山，此高山又再遭削平和再度沉積，如此循環不息。

地質上如此反復研磨特有產物，就是黏土，也是岩石風化的最終產物。當山陵被水所磨損時，所得的岩屑，再度被水所研磨得更細，而最終遂在靜止的河灣或三角洲，悄悄地沉降下來，並且還類別顆粒的大小。後來，這些還分解的岩石礦床，其中大部份可溶性物早已沖掉，漸漸地遭到地質上的上推

6 製陶瓷用的黏土和釉

，提高到陸地，靜候製陶者的採掘。

第二章 黏土的化學組成

1- 黏土的代表性組成

正如所願的，黏土的一般化學組成，就整體而言，都和地球表面的很相似。例如，試將一種普通紅色黏土分析，和平均的地球表面氧化物的近似百分率來比：

	地 球 (整體而言)	普通紅黏土
SiO_2	59.14	57.02
Al_2O_3	15.34	19.15
Fe_2O_3	6.88	6.70
MgO	3.49	3.08
CaO	5.08	4.26
Na_2O	3.84	2.38
K_2O	3.13	2.03
H_2O	1.15	3.45
TiO_2	1.05	0.91

由上列兩種分析中，特別注意的：矽氧和鋁氧含量極相似，且均佔全物料大部份；還有就是鐵含量幾乎不變。

黏土都是些比上表中兩樣品要純得多，鐵少得多而鋁氧還要高點的，如下表中北加州高嶺土的分析，雖然在這種比較純的黏土，和整體的地殼的代表性組成比照下，也是值得注意的。

到此，我們可以想到黏土，雖歷經崩解，被浸蝕作用而粉碎到極細顆粒的，但仍不失為地球殼的代表樣品。黏土之和所有岩石的平均不同之處，是在物理狀態，而化學組成却較次。實際上，黏土在化學組成上，真是變動很大。較純的，淡燒的黏土（light-burning clays），都有較高百分率

南加州高嶺土

SiO ₂	46.18
Al ₂ O ₃	38.38
Fe ₂ O ₃	0.57
MgO	0.42
K ₂ O	—
Na ₂ O	1.22
H ₂ O	13.28

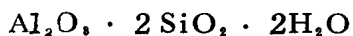
的鋁氧，和低百分率的鐵份和其他雜質。因為黏土大部是由鋁氧和矽氧所構成的，而其他氧化物，概被認做不純物。

黏土組成因其母岩而異，在不同的地方，其火成岩最後產生黏土的，也迥然不同，有些多多少少含有遊離鐵，有的含多量石英，而有的則載着有氧化鐵。有時，從遼闊地區所浸蝕來的岩屑，被河川所帶在一起，而在河灣或三角洲沉積下來。像這類黏土，它就是從各地岩石所分解的代表樣品。

從黏土的化學分析，顯示其含有相當量的水，這是化合的水，是水化法（hydrating process）或水解作用（hydrolysis）的結果，黏土亦因此而形成。

2- 黏土的分子組成

要視之為礦物的話，黏土可以說具有下列的化學式：



在上面的化學式中，各氧化物的相對量，是以分子比而非重量百分率表達的。在黏土中，一分子的 Al₂O₃，和二分子的 SiO₂ 及二分子的 H₂O 結合。這是一個代表性的化學式，而實際的樣品却含有形形色色的“雜質”（impurities）。高嶺礦是礦物學上的名詞，凡純黏土物質皆以此名之。

3- 黏土來自長石

今從黏土的化學百分率去追溯，發現它很和長石類的礦物相近，長石是人所共見的，最豐富的礦物，因此，它很重要地參加任何黏土形成的工作。長石含有鋁氧（Al₂O₃）和矽氧（SiO₂），並和一種或幾種其他的鹼性氧

鉀長石	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
鈉長石	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
鈣長石	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

當長石被地質上的風化力所崩解時，其中鹼金屬部份，稱之為蘇打鉀灰或石灰的，較易溶解，遂被水流所携走，而將矽氧和鋁氧留下。還有一部份矽氧，是由化學化合作用所分離出的。所殘留的鋁氧和矽氧，經長期的曝露於濕氣中，遂遭水化或和水起化學上的化合。全部方法的過程，需要經過幾百萬年，而不能在實驗室中做製的，可以用下列化學方程式來說明：



黏土礦物

$$+ \text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2) + \text{SiO}_2$$

(溶液中)

(在溶液中或在黏土內)

這是長石高嶺化作用的略圖，並未提到黏土的物理性，而只是說明化學組成。由此顯而易見的：黏土是歷經長期的侵蝕和變遷的最後產物，是一種化學上極端惰性的物料。所有大自然的變化，其能加諸於黏土的，只是藉熱力和壓力使之成頁岩或板岩，至於這類變質岩之形成，却需要特殊情況。熔點，黏土熔化的溫度是高的，即使是普通地表面的黏土，也要在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以上才熔融（本書中所有溫度均為攝氏）。其原因（將在後章詳述）是這樣，黏土中所有較易熔的鹼金屬化合物，都已經去掉，殘留下的只有些極耐火的鋁氧，再加上少量的鐵和其他礦物。