

科學圖書大庫

陶瓷技術概論

譯者 宋光梁

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十七年四月二十四日再版

陶瓷技術概論

基本定價 2.20

譯者 宋光梁 中國文化學院教授

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。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號
承印者 大原彩色印製企業有限公司 電話：3611986. 3813998

譯 序

(一)本書譯述目的

本書之譯述，旨在為國內大專院校陶業工程、材料科學、藝術等系科提供適當而簡明的教本，及為普通中學、工業學校工藝教師以及從事陶瓷專業暨業餘人士之參考。

(二)本書內容摘要

本書書名原為 An Introduction to the Technology of Pottery，係由世界聞名的，位於英國烏斯特之烏斯特皇家製瓷公司（The Worcester Royal Porcelain Company）研究部經理保羅·拉多（Paul Rado）所著，並列為英國聯邦及國際文庫（The Commonwealth and International Library）。

全書計十一章。首先論及陶瓷器的發展。繼就原料、坯料的製備、製作方法、乾燥及加工、施釉、及彩飾，分章詳述陶瓷製造各步驟。此項製品傳統的及現代的型類，以及各項物理的及化學的性質，各以專章闡述，有助讀者對於陶瓷製品全貌之瞭解。其於檢討陶瓷工業的過去、現在、和將來的一章中指出，在衆多競爭性的製品劇烈競爭下，陶瓷工業有賴從業人士努力改進，仍將屹立不拔而恒久持續。

附錄陶瓷計算可作坯料及釉料配製的參考，並附列參考資料，搜集廣泛，尤足供有志進修人士的選讀。

(三)本書譯述經過

譯者從事陶瓷工業及教育有年，近更擔任中國文化學院化學工程學系陶業組教學，深感適當教本的缺乏，即就本書原本摘錄複印應用，並為增進諸生閱讀效率，曾將一部份譯為中文。茲趁本期暑假之暇，將全書譯就，承徐氏基金會允為出版，藉廣流傳，或更有貢獻於國內此項工業及教育之推展。惟以時間匆促，倘有未盡妥恰之處，敬希學者專家不吝指正，實所企感。

宋光梁 謹識

中華民國六十三年十月

目 錄

第一章 陶瓷器的發展	1		
1.1 引言.....	1		
1.2 人類與黏土.....	1		
1.3 陶器在考古學上的意義.....	2		
1.4 陶瓷器經久長的發展.....	2		
進修讀物.....	6		
第二章 陶瓷原料	7		
2.1 可塑性材料：黏土.....	7		
2.1.1 黏土礦物.....	7		
2.1.2 瓷土.....	14		
2.1.3 沈積黏土.....	17		
2.2 非塑性材料.....	21		
2.2.1 矽石.....	21		
2.2.2 長石質礦物.....	27		
2.2.3 鹼土礦物.....	31		
2.2.4 雜項礦物.....	33		
2.2.5 骨灰.....	33		
進修讀物.....	34		
第三章 坯料的製備	35		
3.1 坯料的組成.....	35		
3.2 坯料的加工.....	36		
3.2.1 可塑原料（黏土）			
		的處理.....	36
		3.2.2 非塑性（硬質）原料的處理.....	36
		3.2.3 已製備的坯料成分的衡重和混合.....	40
		3.2.4 榨濾.....	43
		3.2.5 均質化.....	44
		3.2.6 坯料製備的現代化進修讀物.....	45
			46
		第四章 製作方法	47
		4.1 在可塑性態的製作.....	47
		4.1.1 手工成形.....	47
		4.1.2 拉坯.....	47
		4.1.3 用石膏模以成形.....	48
		4.2 用泥漿以製作.....	53
		4.2.1 泥漿鑄製技術.....	54
		4.2.2 泥漿的生成.....	58
		4.2.3 泥漿生成的機構.....	58
		4.2.4 泥漿與石膏系統.....	61
		4.3 非傳統的製作法.....	63
		4.3.1 乾壓製或半乾壓製.....	63
		4.3.2 射入模製.....	64
		4.3.3 熱壓.....	65
		4.3.4 在熔態或利用結	

晶作用以製作·····	65	7.2 玻璃和釉的構造·····	94
進修讀物·····	65	7.3 坯與釉關係·····	96
第五章 乾燥和加工·····	67	7.3.1 熱膨脹的意義·····	96
5.1 乾燥·····	67	7.3.2 釉對陶瓷坯的發展 之影響·····	97
5.1.1 乾燥的機構·····	67	7.3.3 釉與坯之互作用··	98
5.1.2 熱的傳遞·····	68	7.4 釉的組成·····	98
5.1.3 乾燥室的型式·····	68	7.4.1 分子式的概念·····	98
5.1.4 乾燥程序·····	69	7.4.2 構成釉所用氧化物 之助熔作用·····	99
5.2 加工修整·····	71	7.4.3 典型的釉·····	100
5.2.1 鍍製·····	72	7.5 特殊的釉·····	102
5.2.2 切削及整修·····	72	7.5.1 具有一種結晶相的 釉·····	102
5.2.3 黏著·····	72	7.5.2 因坯而導致特殊效 應的釉·····	104
5.2.4 修整、水拭、和 乾拭·····	74	7.6 釉料配製所用的原料··	105
進修讀物·····	74	7.7 釉的加工·····	107
第六章 燒 製·····	75	7.7.1 玻製·····	107
6.1 熱對於陶瓷坯的作用··	75	7.7.2 研磨·····	108
6.1.1 物理變化·····	75	7.8 釉的施敷·····	109
6.1.2 黏土—長石—石英 系統·····	76	7.8.1 坯件在施釉前的調 節·····	109
6.1.3 影響化學反應的因 數·····	81	7.8.2 浸釉·····	109
6.2 陶瓷器燒製的工業實務	82	7.8.3 噴釉·····	110
6.2.1 坯件的裝置·····	82	7.9 坯件施釉後的乾燥和加 工·····	110
6.2.2 燃料的型類·····	85	7.9.1 乾燥·····	110
6.2.3 窯的型類·····	86	7.9.2 加工·····	110
6.2.4 燒製的控制·····	91	7.10 釉的燒製·····	111
進修讀物·····	92	進修讀物·····	112
第七章 施 釉·····	94	第八章 彩 飾·····	113
7.1 定義和來源·····	94		

8.1 陶瓷彩料·····	113	10.1 機械強度·····	166
8.2 著色料的製備·····	115	10.1.1 強度及脆性的基本原因·····	166
8.3 著色劑·····	115	10.1.2 陶瓷坯質強度的估定·····	169
8.4 陶瓷彩料的施敷·····	119	10.1.3 陶瓷設計對於強度的影響·····	170
8.4.1 著色坯·····	119	10.1.4 結構和組織的影響·····	170
8.4.2 釉底料和泥漿彩飾·····	119	10.2 熱強度·····	174
8.4.3 著色釉·····	121	10.3 磨損阻力·····	176
8.5 釉下和釉上彩飾法·····	121	10.3.1 機械磨損·····	176
8.5.1 徒手塗繪·····	122	10.3.2 化學侵蝕·····	177
8.5.2 噴霧·····	122	10.4 密度·····	177
8.5.3 打底·····	122	10.5 顏色·····	177
8.5.4 打印·····	122	10.6 半透明性·····	178
8.5.5 印刷·····	125	10.7 釉對於陶瓷性質的影響·····	179
8.5.6 網版印刷·····	125	進修讀物·····	180
8.5.7 印花釉法·····	125	第十一章 陶瓷工業·····	182
8.5.8 酸金蝕刻·····	127	11.1 過去·····	182
8.5.9 擦光·····	127	11.2 現在·····	183
進修讀物·····	127	11.3 將來·····	186
第九章 陶瓷器的型類·····	128	進修讀物·····	188
9.1 多孔坯質·····	129	附錄 陶瓷計算·····	
9.1.1 普通陶器·····	129	1. 坯料計算·····	189
9.1.2 馬約利卡陶器·····	130	1.1 化學分析換算為示性分析·····	189
9.1.3 陶器·····	132	1.2 依據已知示性分析之批料組成計算·····	192
9.1.4 鋁氧基烹飪器皿·····	135	2. 釉料計算·····	193
9.2 緻密坯質·····	135	2.1 重量百分率組成與分子式相互換算·····	193
9.2.1 陶石器·····	135		
9.2.2 瓷器·····	138		
9.2.3 堇青石烹飪器皿·····	162		
9.2.4 玻璃瓷·····	162		
進修讀物·····	163		
第十章 陶瓷性質·····	166		

2.2	依據已知分子式之批	式計算.....	199
	料組成計算.....	進修讀物.....	201
2.2.1	未玻製釉.....		194
2.2.2	玻料釉.....		197
2.3	已知批料組成之分子	參考資料	202

第一章 陶瓷器的發展

1.1. 引言

陶瓷器 (Pottery) 是古希臘人所稱造成世界的四大元素之完美的組合。陶瓷器以泥土製成，用水以成形，在空氣內乾燥，並用火使之耐久。它的製造包括與焙製麵包等相同的步驟，即研磨，用水混合、捏合、成形、乾燥、和燒製。在新石器時代，焙製麵包的爐也用以燒製陶器。在焙製時，需要使用泥土的製品。而製作陶瓷時，泥土本身用作原料。

陶瓷器製作的要點，與麵包焙製相似，即：製品在冷的狀態成形，然後再加熱燒製。當陶瓷器發展之時，它用各種圖案、著色、和施釉，加以彩飾 (decoration)。現時，陶瓷器大多數都有釉。這是將釉的原料經混合、磨細，並製成的懸浮體，再於冷的狀態，施於已燒成的陶瓷器上。彩飾通常在施釉之後，以金屬的氧化物予以著色爲之。再度燒製，將著色料永久固著於釉上。

1.2. 人類與黏土

在地殼上，出產最豐富、最普遍、且最易取得的材料就是黏土 (clay)。古代人類經常與它接觸。他們在雨後能看到在黏土內留有腳印，並且他們能用手將黏土成形。他們因而發現黏土是可塑的。可塑性 (plasticity) 是黏土的一種最重要的性質，這一性質使古代人認識這種材料可能構成陶瓷器基礎之鑰。他們發現以黏土製作的物品，能保持它們的形狀，並當置於太陽下時，變爲乾燥和堅固。

古代人可能將土罐擲入火中予以銷毀；可能偶然將它墜入火內；或可能有此構想，與麵包相似，將它焙製。當他發現這土罐經暴露於火，即變成很爲較強，並於敲擊時，發出悅耳的聲音之時，這事定必成爲一件令人興奮的

2 陶瓷技術概論

經驗。他會注意到它已收縮。他會下意識地警覺這現象係由於燒製燒結（sintering），化學反應，一種玻璃相（glassy phase）的形成，並同樣地，已察覺可塑性的一些特徵。

1.3. 陶器在考古學上的意義

陶器是人類所發現的第一種合成材料（synthetic material）：係黏土製成的形狀，經燒製至足夠高的溫度，將原來的黏土的物理的和化學的性質變為具有石材的特性中之許多性質的一種新的物質，即一種人造石（artificial stone）。陶器與石相似的性質，使它對於考古學家成為無價之寶，甚至一隻瓶已經破碎，而碎片也可為非常有價值。

陶器首先發現，約在公元前 15,000 至 10,000 年，即新石器時代（Neolithic age）初期。游牧民族曾知曉陶器，但未曾使用，因為它太脆之故。因而，陶器是定居生活的一種特徵（幾乎是一種標號）。陶器的出現和發現，象徵著人類進步的一個重要的階段。

考古學家主要依據陶器的型類，以認辨各種文化，並訂定它們的年代次序。陶器可公正地稱為史前時期的曆書：

考古學家已將它〔陶瓷〕的不斷變化的式樣加以編目如此徹底，致自廢墟中揀出的陶器碎片，可據以斷定一座城市的興起、全盛、和衰落的時代，準確至半個世紀以內。〔萊特（Wright），1960。〕

陶器的碎片特別受到歡迎，作為古地中海區的斷定時代的工具。有時，陶器的式樣，幾乎與現今時代的衣著的式樣，相似地劇烈而時常變化；因而，從一地方獲得的陶罐碎片，與在地中海區的另一地方發現並已斷定時代的陶器，作式樣上的比較，使專家能斷定它們的時代準確至一個世紀以內。〔色洛克摩頓（Throckmorton），1962。〕

1.4. 陶瓷器經久長的發展

一般都假定，陶器是在籃的製作之後。史前時代的人，尤其女人，用黏土塗在籃的外面，使之加強。陶器的構想可能當籃子偶爾地被灼燒時而開始。有籃子的印痕的已經燒過的黏土製件，經斷定時代為公元前 15,000 至 10,000 年，已在肯亞（Kenya）的岡布爾斯穴（Gambles Cave）發現。由樹條籃所遺留的痕跡，作為一種粗糙的裝飾，並且其後，這些條紋在陶輪拉坯的陶罐上，有意地加以摹倣。有些權威人士認為證據不足，而對於籃的製作領先陶器的理論加以爭辯；他們聲稱陶器是籃的製作的先驅。

模製陶瓷器的其他最常用的手工方法，就是盤條（coiling）（即用長的泥條砌成器皿）。

用泥漿鑄製（casting）在古巴勒斯坦（Palestine）即已使用，但此法僅約自公元1730年，方在歐洲使用。

陶輪（potter's wheel）的引用，可能是人類最早的機器，標示著陶瓷器的機械化的開始。已知最早的陶輪的使用，是在美索不達米亞（Mesopotamia）的窩卡（Worka）鎮（公元前5000年）。在印度河流域（Indus Valley）文化時代，製陶人也曾使用陶輪，正如同馬牙人（Mayan）為他們的孩童製作陶器玩具。約在舊約時代（Old Testament times）（公元前2000年），陶輪已在南巴勒斯坦普遍使用。

古代陶器多有不上釉，雖則釉在遠溯至公元前1200年埃人已經知道。對於古代陶器的燒製，實際上沒有資料。燒製是製陶人手藝的最神秘和最技巧的部份，並且他們也同樣的神秘和技巧地保持這商業上的秘密。但吾人有著燒製的困難和由於燒成的器皿因開裂或畸變而導致成為的廢物之觀念，因而耶路撒冷（Jerusalem）城的一座門稱為“罐片之門”（Gate of Potsherds）。古希臘人時常尋求神的幫助，而中古時代的製陶人，在燒製之前先行祈禱。

並非所有陶器均須經燒製。北美洲的印地安人為防止他們的碟和大盤（非用於烹飪）的開裂，即施以脂膏直至飽和為止。載有題詞的黏土片，通常僅因火災而偶然被灼燒，正如房屋所用的建築磚之例。

與製作方法的改進的同時，所用的原料也加以精製。

大多數的黏土，不僅被氧化鐵，並且被砂和長石質的和鈣質的礦物，所沾污。這些材料將減低黏土的可塑性，並且對於很細的黏土而言，這是一件優點，否則這些黏土可塑性實嫌過高；由可塑性過高的黏土製作的坯件，當乾燥和燒製之時，將會開裂。人們當發現不含有“沾污”的礦物的這類微細的黏土時，他們知曉加入非塑性材料。最就近可用的材料不僅有如砂、石灰石等礦物，即穀草也可用。北美洲科羅拉多（Colorado）印第安人以及其他製陶人，都能將已燒過的陶器軋細的碎片混入，以防止開裂。

這些輔助礦物也會影響當燒製之時的性能，這類礦物大多數作為熔劑。一種很強的熔劑即為氧化鐵，它在最接近地球表面的黏土內一定存在，這種黏土幾乎與人類直接接觸。氧化鐵對於燒成的顏色負責，正常地構成棕色和紅色的各種色蔭（shades）。

製陶人在力求精製和完善所作的研究之中，努力使器皿色白，而第一次

4 陶瓷技術概論

的成功即將器皿覆蓋以一層不透明的釉：即獲得馬約利卡陶器（majolica）。利用黏土的更精選，配入更多的燒成白色的非黏土的材料如燧石，以及提高燒製溫度，因而製成陶器（earthenware）。另一方面，採用助熔沾污物（contaminant）含量高的黏土和燒至足夠高的溫度，因而獲得一種無孔隙的製品，即陶石器（stoneware）。但當黏土和其他礦物的氧化鐵含量都甚低並燒製至很高的溫度時，所得的製品不僅無孔隙，並且色白而半透明。這種製品稱為瓷（Porcelain），這是製陶人的巔峯的成就。

最重要型類的陶瓷器之約略的特性列示於表 1.1。

表 1.1 陶瓷器的特性

A. 多孔的陶瓷器

型 別	原 料 (%)	燒製溫度 (°C)		顏色及其他特性
		素 燒	釉 燒	
普 通 陶 器 (common pottery)	黏土 (不純)	900	1000 至 1100	棕色至紅色 有時不上釉
馬約利卡陶器 (majolica)	黏土 (不純) + 砂及 熔劑	900	1000 至 1100	棕色，但覆 有白色不透 明釉
陶 器 (earthenware)	球土 } 50	1050 至	950 至	不佳的白色
	瓷土 }	1150	1050	
	長石質礦物 5 至 20			
	燧石或其他矽石礦物 30 至 50			

B. 緻密的陶瓷器

型 別	原 料 (%)	燒製溫度 (°C)		顏 色 及 其 他 特 性
		素 燒	釉 燒	
陶石器 (stone ware)	黏土 (天然的含有熔劑) 或黏土 + 熔劑及 矽石材料	1100 至 1300	1000 至 1100	灰色、淺黃色等 有時不需釉燒， 在素燒末期加入 食鹽，以產生釉 的效應。
玻化瓷器 (vitreous china)	球土 } 瓷土 } 50 長石質礦物 10 至 20 石英 35 至 45	1100 至 1250	1000 至 1100	不佳的白色至白 色 微半透明
軟質瓷 (註) (soft porcelain)	瓷土 30 至 40 長石 30 至 40 石英 25 至 35	900 至 1000	1250 至 1350	不佳的白色至白 色 半透明
硬質瓷 (hard porcelain)	瓷土 50 長石 15 - 25 石英 15 - 35	900 至 1000	1400	帶青色的白色 半透明
骨瓷 (bone china)	瓷土 25 康瓦耳石 25 骨灰 50	1250	1100	純白色 半透明

註：軟質瓷有數種型類 (第九章，頁 140)。

進修讀物

Archaeology and pottery: Chatterjee (1960); Kelso and Thorley (1941-3), (1950); Matson (1965); Shepard (1956).

(考古學與陶瓷器)

Method of dating: Aitken (1964); Weaver (1967); Wooley (1937).

(斷定時代之方法)

Art historical: Savage (1959), (1963); Charles (1964).

(藝術歷史)

General ceramics: Dale and German (1964); Kingery (1960); Mc Namara (1945); Norton (1952); Rosenthal (1949); Salmang (1961); Seger (1902); **Singer and Singer (1963).**

(一般陶瓷學)

第二章 陶瓷原料

2.1. 可塑材料：黏土

設若沒有一種具有可塑性的原料，則陶瓷器將無由發展。可塑性（plasticity）已定義為：

可塑性是使一種材料能因外力的施用而改變其形狀，不致損壞，並當此外力移除或減少至某一數值以下時，能保持那種形狀之性質。[Moore, 1965.]

黏土具有此種特性。它能因高的應力而易於流動，但對於低的應力則否。當“製作”時，它甚易變形，但它一經製成一種形狀，則決不再變形——它的降伏值（yield value）很高。

黏土的可塑性主要由於它所含膠態粒子（colloidal particles）而起。這種膠態粒子含量又大部份依黏土礦物（clay mineral）的型類而定。

2.1.1. 黏土礦物

2.1.1.1. 黏土礦物的生成、組成、和性質 最重要的黏土礦物是高嶺石（kaolinite）（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）*。這個名稱係由“高嶺”而來，“高嶺”是中國北部的一座小山，在該處首先發現一種純粹的燒成白色的黏土。在世界其他地方有相似的黏土礦床，但發現都頗為較遲。這種型類的黏土，在英國稱為瓷土（china clay），而在美國及他處則稱為“高嶺土”（kaolin）。

高嶺石是礦物長石或類似的暫安定的矽酸鋁礦物（metastable alumin-

*本書的化學式，通常都以氧化物形式表示之，而不採用在構造上更為正確的形式（例如 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 表示高嶺石），因為此種表示法可幫助讀者瞭解各種礦物所負擔的陶瓷的（ceramic）任務。

silicate minerals) 之分解的產物——此等矽酸鋁礦物係在高溫情況下生成，為各種火成岩 (igneous rock) 或變質岩 (metamorphic rock) 的成分。當此等礦物與環境不再是平衡時，則這種分解，於有水存在時，將在低溫發生。

有些瓷土礦床，諸如在英國康瓦耳 (Cornwall) 所發現者，經礦物學上的證明，顯示鉀長石 (potash feldspar) 首先分解為次生雲母 (secondary mica)，再成為高嶺石。這些反應如次：

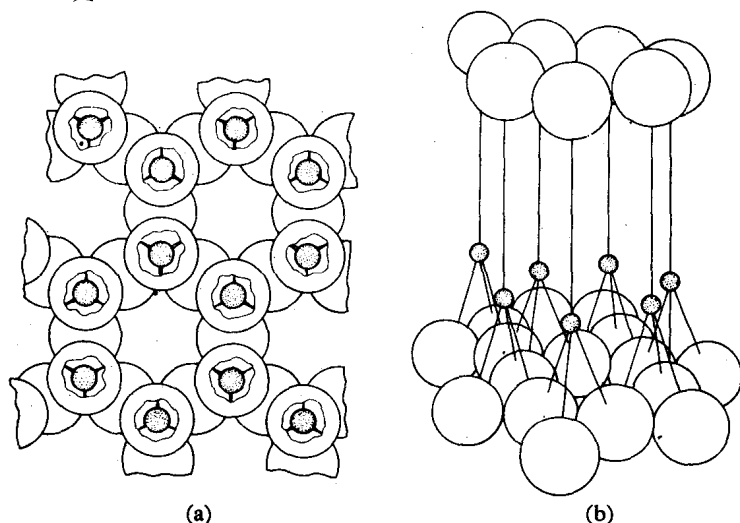
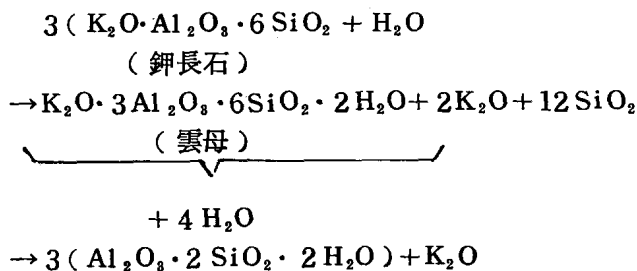


圖 2.1 矽石層單位 Si_2O_5 : (a) 切開圖, (b) 透視圖, 係在 c 向打破 (After Hawth (1951), p.137)

但長石可由濾除鹼類並摒除 4 SiO_2 ，而能直接轉變為高嶺石。梅葉 (Mayer) 及卡斯勒 (Kästner) (1930) 曾宣稱：已將花崗長石 (granitic feldspar) 直接轉變為高嶺石，係僅將此種長石埋在園圃土壤內經一年而成。

高嶺石的結構 (黏土礦物中之最完整者)，可認為由兩層構成。一層由矽離子與氧離子組成，在該層內，各矽離子都位於由四個氧離子形成的四面體的中心〔圖 2.1，矽石層 (silica layer)〕。另一層由鋁離子與氫氧離子組成〔圖 2.2，水鋁石層 (gibbsite layer)〕，氫氧團 (hydroxyl) 構成四面體的角。當這兩層組合時，即構成高嶺石的一層 (圖 2.3)。每一鋁離子現在都圍以六個陰離子，其中有些是氧離子，及有些是氫氧離子。

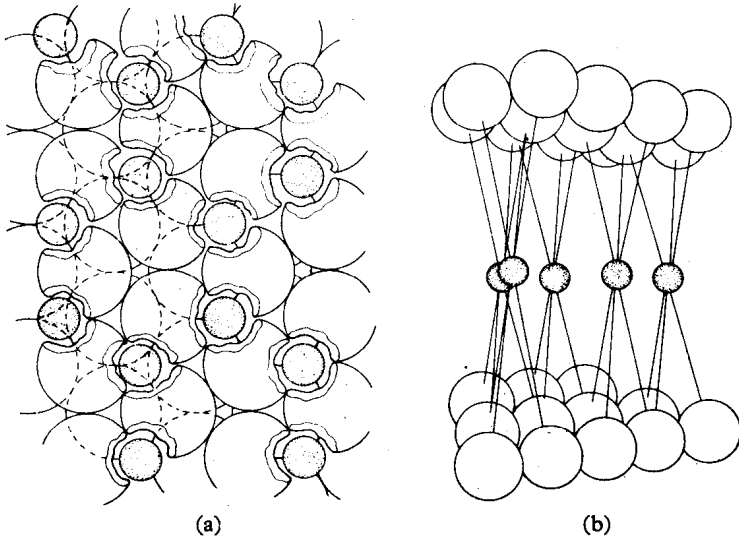


圖 2.2 水礬土結構 $\text{Al}(\text{OH})_3$; (a) 切開圖, (b) 透視圖, 係在 c 向打破 (After Hauth (1951), p.138.)

高嶺石的晶格，很罕有如圖 2.3 所示的完整。在各層的疊積內，時常發生錯亂 (disorder)，此種情形會影響到陶質性質。因此，多水高嶺土 (halloysite)，係屬高嶺石質黏土礦物 (kaolinitic clay minerals) 的一屬 (group)，具有與理想的高嶺石 $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$ 相同的構造式，但它的各層互相疊積的方式不同。在一種形式的多水高嶺土內，水分子存在於

層與層之間；這種型類稱為水合多水高嶺土（hydrated holloysite） $(\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 。

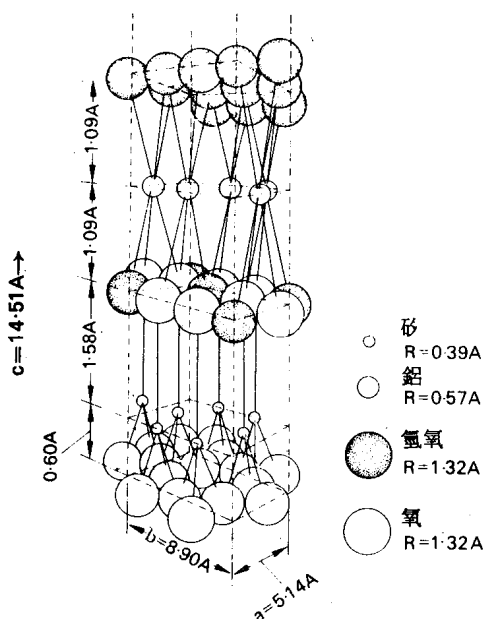


圖 2.3 高嶺石晶格： $(\text{OH})_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ 透視圖係在 c 向打破 (After Hauth(1951), p.140.)

黏土礦物的另一屬，對於陶瓷工業很關重要的，即為微晶高嶺土類（montmorillonite）。它們由與高嶺石相同的基本成分組成，但矽石與礬土比率為此構造式 $(\text{OH})_2\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ （或 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）的兩倍大。在微晶高嶺土內，一層的氫氧化鋁與兩矽石層緊縮在一起。如圖 2.4 所示，理論的礦物或親礦物葉蠟石（pyrophyllite）的構造，正與上列公式相當。在微晶高嶺土的其他形式內，氫氧化鋁層，為鎂的水化物（氫氧鎂石（brucite））或氫氧化亞鐵（ferrous hydroxide）所換置。

高嶺石係以小的六角形片狀晶體（大小約為 0.1 至 2 μ ）組成，此等晶體僅在電子顯微鏡下可見。此等晶體時常被壓縮成為手風琴狀的疊積。在水合多水高嶺土內，中間層水（interlayer water）將層與層間的鍵（bonds）