

科學圖書大庫

窯業專論文集

(第一輯)

編譯者 程道腴 鄭武輝

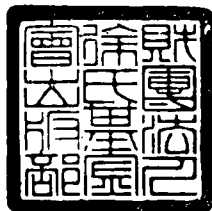
徐氏基金會出版

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

中華民國七十三年九月廿九日初版

窯業專論文集

(第一輯)

基本定價 3.00

編譯者 程道腴 北京大學理學士
鄭武輝 台北工專畢

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 徐氏基金會出版部 臺北市郵政信箱 13-306 號

電話 9221763
9271575
9271576
9286842

發行者 財團 徐氏基金會出版部 郵政劃撥帳戶 00157952 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 3070998

序

故事總是老少咸宜愛不釋手，原因是一篇有頭有尾內容一貫的整篇敘述文。

筆者自堅守三十年的研究崗位退休後側身餐門那時總想以講故事方式講授陶瓷課程手邊雖有零星資料整理輯譯又時不我與兩年前自教席告退後決心以此生餘年了此宿願。於是爬羅剔抉幸有斬獲但要輯成一整篇故事則力猶未逮乃改以拾穗方式再分編依搜到的先後分輯刊印。

本文集擬依下列五編搜集彙譯。

(一)窯業通論—包括窯業技藝史略，原料採掘、性質、提純、坯料的製備、成形、施釉、乾燥與燒成、彩繪等。

(二)窯業專論—包括餐具瓷、藝術瓷、衛生瓷，地磚面磚、耐火材料、電氣及電子陶瓷、牙瓷、磨料、琺瑯及新興陶瓷。

(三)窯業基本原理—包括膠質化學，反凝與凝聚、電泳等。

(四)窯業實驗室—包括窯業原料與成品之物理與化學檢驗重要設備與操作如電子顯微鏡、X射線繞射儀等等。

(五)窯業工廠佈置計劃的基本原則。

至於是能完整除視資料之搜集荷外尚希窯業界先進垂教焉。

程道腴 謹識加京客寓

目 錄

序	I
第一章 窯業礦物礦床地質導論	1
1. 有關礦床的扼要	1
2. 岩漿分異作用	5
2.1 火成岩	10
2.2 偉晶花崗岩	10
2.3 熱液形成的礦物和岩石	11
3. 風化作用	12
3.1 殘留岩石	13
3.2 新生岩石	14
4. 沉積作用	16
4.1 碎屑沉積物及沉積岩	16
4.2 蒸發岩	17
5. 變質作用與變質岩	17
6. 有關窯業原料跋語	22
第二章 窯業原料之地質探勘與採掘	24
1. 原料系統	24
2. 探勘程序	24
3. 取 樣	25
3.1 鑿 壕	26

3.2 鑽 孔	27
3.3 土壤學的查勘	31
4. 繪 圖	33
5. 其他必需的調查	33
6. 採 礦	34
6.1 鬆開法	34
6.2 裝 載	40
6.3 拖 運	46
第三章 窯業原料礦床	48
1. 引 言	48
2. 可塑性窯業原料礦床	49
2.1 黏土礦物的由來	51
2.2 高嶺土礦之調查	53
2.3 黏土與壤土礦床的調查	65
2.4 多水高嶺土的產地	69
2.5 伊萊石礦床	69
2.6 高嶺石黏土石及燧石黏土類	69
2.7 微晶高嶺土、膨土礦床	70
2.8 海泡石礦床	71
3. 非可塑性窯業原料礦床	71
3.1 長石及霞石原料礦床	72
3.2 石英原料的礦床	78
3.3 火山玻璃和富矽氧火山岩屑礦床	81
3.4 促進燒結及熔化的原料礦床 (含鋰、鋇、氟、硼)	82
3.5 碳酸鹽原料礦床	84
3.6 石膏石及硬石膏礦床	86
3.7 一般非可塑性耐火原料的礦床	87
3.8 特殊非可塑性耐火原料及為特殊製造用原料的礦床	92
3.9 絕熱耐火原料的礦床	97

第四章 窯業原料性質	102
1. 引言	102
2. 窯業原料的分類	102
3. 可塑性窯業原料類	103
3.1 結晶化學與黏土礦物的性質	103
3.2 高嶺石族	106
3.3 高嶺土與黏土的流變性	117
3.4 高嶺石原料的代用	129
3.5 高嶺石黏土及黏土石	129
3.6 其他黏土及壤土	137
4. 非可塑性窯業原料類	147
4.1 長石及含長石原料	148
4.2 霞石與霞石正長石	161
4.3 石英及石英沉降堆積物	163
4.4 火山玻璃及火山碎片富於矽氧者	169
4.5 促進燒結及熔化的物料	171
4.6 磷酸鈣	174
4.7 碳酸鹽原料	174
4.8 石膏石與硬石膏	180
4.9 一般非塑性耐火原料	180
4.10 特殊無塑性耐火原料	190
4.11 隔熱耐火原料	193
4.12 着色物質或顏料	194
第五章 陶瓷坯料之製備	202
1. 範圍	202
2. 引言	202
3. 方法一通論	205
3.1 黏土打漿法	206

3.2	調 配	208
3.3	壓濾法	210
3.4	噴霧乾燥法	211
3.5	捏練法	215
4.	衛生瓷坯料之製備	218
4.1	瓷化軟瓷	219
4.2	火黏土衛生器	227
5.	餐具器之製備	231
5.1	坯體的類型	231
5.2	坯料的物理狀態	233
5.3	可塑性坯料之製備—濕式法	235
5.4	鑄形泥漿的製備	247
5.5	製造粉壓法用的粒狀料	249
6.	粒狀的面磚和地磚坯料之製備	250
6.1	坯料調配	250
6.2	自泥漿製粒狀料法	252
6.3	乾混坯料製粉粒法	254
7.	電用硬質瓷及滑石坯料之製備	257
7.1	坯料配方	257
7.2	坯料之製備	258
第六章 骨灰瓷		263
1.	定 義	263
2.	沿 革	264
3.	原 料	265
3.1	骨 灰	265
3.2	康尼西陶石	268
3.3	瓷 土	268
4.	骨灰瓷的製造	268
4.1	坯料製備	268

4.2	成形法	269
4.3	修坯與乾燥	270
4.4	素 燒	271
4.5	施 釉	274
4.6	裝 飾	275
5.	骨灰瓷坯的組成	275
5.1	燒成過程中之反應	275
5.2	坯胎的微構造	277
6.	性 質	279
6.1	機械強度	279
6.2	熱強度	280
6.3	耐磨損性	281
6.4	化學抗蝕性	281
6.5	光學特性	281
7.	組成上改變對坯體微結構與性質的影響	284
7.1	骨灰的取代品	284
7.2	傳統成份的比例中變動	285
7.3	其他添加物	286
8.	骨灰瓷關係於硬質瓷的地位	287
第七章 氧化物陶瓷		294
1.	引 言	294
2.	鋁氧陶瓷	295
2.1	原 料	295
2.2	製造技術	296
2.3	性 質	297
2.4	應 用	299
2.5	展 望	302
3.	鉍氧、鎂氧和鉛氧基的氧化物陶瓷類	302
3.1	鉍氧陶瓷	303

3.2	鎂氧陶瓷.....	303
3.3	鋁氧陶瓷.....	303
4.	迄今少用或未用的材料.....	304

第一章 窯業礦物礦床地質導論

1. 有關礦床的扼要

礦床一詞代表着在岩體中，有價值礦物聚集體且能收回的總量而言。但此一詞用之於礦化作用 (Mineralization)，或岩石生產上，就看某些情況而定。這些情況中有屬於大自然的，而為產主或礦工所不得不承認的。

—有價值的礦物或成份的平均含量。

—相當於礦物或成份的含量，那些是不利於加工或用途的。

—蘊藏量。

—礦床的大小、形狀與類型。有價值部份或表土的厚度、深度、岩石動力學、差排 (Dislocations) 的頻率和類型，水文地質的情況等。
—一座礦床的地質結構可能易於開採，但是，不論是大蘊藏量與否，也會防礙開採的。

—地理位置、氣候、充足水源，也就是一些對採礦，加工、運輸和地下結構的費用等決定性影響。

尚有其他先決條件，因人的活動範圍而異，如科學、技術、經濟、法律或政治等等情況而有所變動者：

—採礦、加工、製造的方法。

—原料或其製品的用途。可能有相當的改變：如在短期內又發現新的用途，但是也會偏愛別的和更便宜的物料，或者因節約能源，或是有一容易而方便的環境等。

—最後而最重要的，原料的市價和利潤，全看供求，平時或戰爭。

以上所述種種因素，是一礦床價值錯綜複雜的情形，至於可採的限

量一般都由含量和蘊藏決定了的。但是，就許多窯業原料和金屬礦石來比較，前者比較不易，其原因爲二：

- 需求量和其產品量常常是少得很。一種製造高價值特殊產品的原料，可能就開採經年即或幾十年之久，所以蘊藏量低自不在話下。
- 因產品條件日增，如耐火度或顏色，或者是驟然發生但組成或性質上稍有改變的，即使最大的蘊藏量，也英雄無用武之地，無法一爭長短。

窯業原料還加四重和大多數別的原料不同之點：

- 大多數情況中和金屬礦石相反，其中主要成份是無所不在的元素。第一表所列是地殼平均組成中最新的數值。
- 化學組成可變動限度不大，大致而言，是遠甚於煤、銅礦或一件混凝土的集合體。
- 即使在多數用途上都具備滿意的化學組成，但所含的礦物類型（晶體結構）却較爲重要或具決擇性。
- 即使岩石的形狀、或顆粒內部結構，或者在質地上都很好，但粒狀和粒度分佈却佔重要地位。

如上所述，並非誇大其詞的說，一件良好的窯業原料是那麼寥若辰星。

要想從現有礦床的起源來發掘新礦床，或新礦床的可能地層，就與了解地質上的、岩石上的和地球化學上的架構，是不可分開的，這種知識，在“窯業手冊”中分兩步傳授給讀者：第一章敘述礦床之形成通則，而略去一切次要的事實。第二章中是有關個別窯業原料形成的特殊情況。

和某特殊含量無關，係就化學立場而言，每一礦床代表着所要的元素或化合物的重要富裕，而和上表中地殼的平均含量一比，就會發生下列一連串的問題：

- 這些累積來的元素，化合物，礦物，其主要的來源是什麼？
- 又是什麼方法將這些東西從其來源中移來？又是那種能的搖動而令其遷徙呢？
- 又以什麼方式，什麼運輸的方法，從來源處遷到這座礦床的地方呢？
- 這一番運輸對礦床的周邊又有什麼後果呢？

第1表 地殼的平均組成(最重要的11種常見的元素)

	g/kg		g/kg
氧	470.0	鉀	25.0
矽	295.0	鎂	18.7
鋁	80.5	鈦	4.5
鐵	46.5	氫	1.5
鈣	29.6	錳	1.0
鈉	25.0		997.3

在1 g 以下的各元素

	10^{-3} g/kg		10^{-3} g/kg		10^{-6} g/kg
磷	930	氮	19	銻	500
氟	660	鈷	18	銻	250
銀	650	鉛	16	鎢	130
硫	470	鈷	13	汞	83
錫	340	硼	12	銀	70
碳	230	鎳	9	硒	50
氯	170	鈦	8	鈮	13
鋇	170	鈹	3.8	銻	9
鈾	90	鉍	3.7	鉑	5
鎳	83	錫	2.5	金	4
鋅	83	鈾	2.5	碲	1
銻	70	鉬	2.5		
鎳	58	鉍	1.7		
銅	47	銻	1.4		
鈹	37	鎢	1.3		
銻	32	銻	1.3		
鈹	29	鉬	1.1		
鎳	29	鉍	1.0		
鉍	20	鉛	1.0		
鎳	19				

一爲何這礦床正好如此適所？這個場所又是如何發生的呢？像所說這類礦床，要在什麼樣的地質環境中才能產生的呢？

一這座礦床留存至今，又是什麼有利環境所維護的？

即使在全體岩石中只佔九牛一毛，其本質是窯業原料的話，多半都可視爲岩石。所以，首先它似乎就參與成岩作用的最重要方法。就如特

第2表 地質時間表

年代 10 ⁶ 年	代	紀	特 殊 事 件
2	新生代	第四	大陸的最大延伸 人的年代
		第三	被子植物及哺乳類的優越。 大多數可塑性窯業原料的形成 火山大量地活動
70		白堊紀	全球造山運動和最大的海進 第一個被子植物門
140	中生代	侏儸紀	第一個鳥類，蜥蜴類佔優勢
180		三疊紀	第一個哺乳類
225			在南半球冰期
	古生代	二疊紀	岡瓦納 (Gondwana) 大陸衰退 蒸發岩擴大形成
275		石炭紀	植物定住大陸，大半的煤床的形成
345		泥盆紀	第一個擴大的大陸沉積 植物和動物開始定住大陸 第一個導管植物
400		志留紀	在海洋內較一樣的動物群
440		奧陶紀	第一個有機生成的石灰石
490	前寒武紀	寒武紀	除非脊椎的外大多數動植物門生存
580		元古紀	在大氣中氧創造藻類
1800		太古時代	太氣中無氧，結合的鐵份的海洋沉積作用。最原始型的 生命發展中，克拉通 (Cratons) 的形成 (大陸中央 安定地區) 地球歷史的最長時期
3900			

別的結晶相（或玻璃質）組成而言，每一種岩石類型，都各有各的安定範圍，用溫度、壓力，還原電位（Redox potential），有水無水，pH 值等去表明。在許多情況中，在安定岩石形成時候所流行的物理和化學情況，在地質的年代中有了改變，如某種岩體向着或離開地球表面而移動。結果呢，不是原本的諸物相，遭到風化而形成產物（溶解，殘留），就是由變質作用而形成新岩石，其化學組成相等或相似，但却是新的結晶相了。

爲使與造岩方法有關起見，就必需用成因分類法來分窯業原料，而不用傳統的分之爲可塑性，非可塑性及特殊原料（以下各節均冠以鑑定法）。

茲將岩石或礦床的形成，其暫定架構，依地質年代列如第 2 表中。其中時間單位“eon”（“極長時間”）和“era”（“代”）等並非地層單位，而“紀”（“period”）、“世”（“epoch”）及“時代”（“age”）等，已經是時間地層的單位了。採用時間-地層單位（Time-stratigraphic unit）一詞於某一種礦床或原料，不但將其形成的時間，絕對的及相對的意義上加以固定，而且使它在地質上及構造上的事件，和其鄰近及特殊的局部環境，有了關連。因爲岩石地層發展，在不同的大陸上進行並不一致，即使是同一大陸而部位不同也是如此，時間-地層一詞的含意，相互間不能比較或轉換的。至少對非可塑性或特殊窯業原料而言，品級和性質與地質年代無關。可是，對可塑性原料，却由於成岩作用或變質作用的方法，因增加地質年代而可能改變或不能適用。

2. 岩漿分異作用

窯業原料除用露天採掘法採礦外，很少深到 1000 公尺以上的；這就是說，只是在地殼的淺處來採掘的。姑不論這點，單就礦床和岩石的形成去解釋，就得考慮到地殼下面不易看的“上層地幔”（“Upper mantle”）。關於它厚度和情況的敘述，已經十分正確地從地震波速度的測量，推算出來。至於它的組成，則可從在火山岩中如捕虜岩（Xenolithes）中得出結論，此岩是由地幔的一部份移動而生的。

地殼的厚度，在大陸下和在陸架底部上，在 20 公里到 60 公里之間，而海洋中地殼只有 10 公里厚。雖然大陸地殼只有地球總體的 0.1 % 以下，但其蘊藏所有原料和燃料的礦床，却是人類文化之所依。雖地殼的形成，如今仍不十分明瞭，但由其結構、組成和發展方面看，總經過 4.2×10^{12} 年之久，其原因是只有少數地方，由於上升及侵蝕法將 20 公里到 30 公里深的岩石，帶到地表面來。截至目前為止，只有一個鑽孔，深達 10 公里以上的。

大陸的地殼，可分為薄而幼的平坦沉積的及火山的岩層，以及很厚一摺疊而結晶的火成與變質岩基層，並非全屬於前武紀的。又因為其溫度較低，地殼脆弱，這也就是它被機械力（應力）所破碎，而由地球內部或地殼本身的運動而出來。這樣的破碎可能是也可能不是因位移及斷口（裂碎、節理、斷層），而連續地上升到“地幔”中。

斷口和裂縫正是“岩漿”主要的孔道，岩漿是指熱而能流動的熔物（Melt），即能侵入又能擠出的。岩漿（“Magma”）是一複數的名詞，因為其在組成上和熔點上全不一致（總在 900 K 和 1700 K 之間）。大多數岩漿型的都以矽酸鹽為主，很少很少有碳酸鹽或磷酸鹽或氧化物之類的。有一種決定性的成份是可揮發的，特別是水，它將熔點大大地降低了（一直低到 200 K）。

岩漿類型的，並非地球演化的原始時期的殘留物，而一直是不斷地在不同深度下，由熱的熔融部份所產生的，却是自“地幔”中或地殼較深部分結晶的物料。至於熔化所需的熱能，假設是由局部地熱流上升的來的。

岩漿是一種化學性極具侵蝕的，所以它所流之處，無論是地球表面，或地殼高處，所經過的固體岩石都會發生反應。圍岩或頂岩，不是遭到岩漿的同化（部份或全部熔解），就是遭到化學上或熱的改變（變質的）。一股乾岩漿，可以從濕的岩石中取去水，只要是遇上它。當岩漿在地殼中上升時，特別是在它的上方部分，必需有冷卻作用和去氣體作用發生。開始分異作用的第一個結果，是將原本均質熔物，分成兩種緻密不同，而且不可相混的兩分熔物，雖然這種現象只是局部顯著。輕質的部分熔物，主要含矽酸鹽，重質者為硫化物。

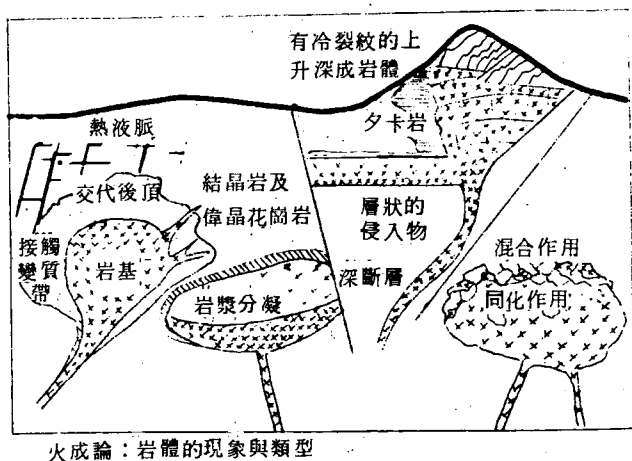
矽酸鹽熔物再要繼續地冷卻時，構成它的礦物，主要成份（Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti），就挨序地結晶；早期內，溫度仍在 1300 K 時，橄欖石，正 - 及斜 - 輝石（Ortho-and Clino-pyroxenes），鉻鐵礦和 Fe-Ti - 氧化物沉澱。如斯，全仗溫度和冷卻快慢，形成礦物的分碎或聯合，這常藉過渡作用而連繫。重質的分碎物可能都集聚在岩漿室的底部，而輕質的則浮漂於其上。在這兩種情況下，則很容易發生兩種分碎物彼此分離，或者是一種仍呈流動狀的熔物和已成固體結晶殘留物分開。所以，一種岩漿的分異作用，在地殼內就分成幾處不同的地方。岩漿分異和固化的主要產物，均稱火成岩（Igneous rocks or magmalites）。又因岩體的形狀、外貌、組織、性質和科技上的用途等，都和冷卻的情況，有非常密切的關係，同時這些岩體又會在地殼內部或表面上的固化的位置上的。

在極慢的冷卻中（期間或許 10^6 年以上），那只有在很深的地方（8 公里到 18 公里深），遂形成中度到粗大顆粒的深成岩（Plutonic rocks）。像這種岩石岩體，形狀全然不同，如層狀入侵物，但在多數情況下，都是三次元擴張的岩基（Batholithes），又因冷卻時收縮而顯示節理的特性網狀。火成岩的最多部是二次元岩體，是在適中的冷卻速度下，或者在較淺坦處形成的，如果岩漿是填入脈似的斷口中，或者侵入別的岩石的節理中的話，都是成二次元岩體的。

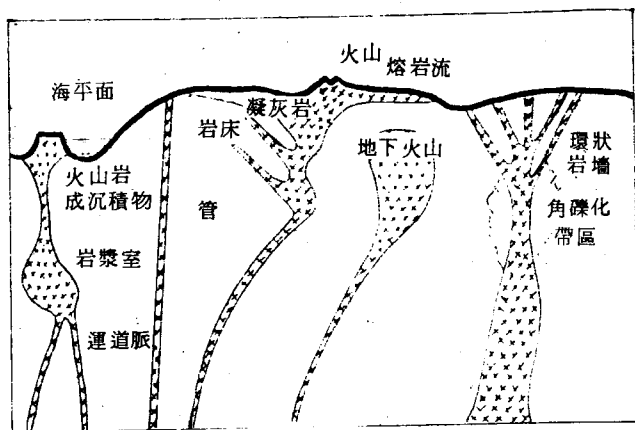
也只有拼入的火成岩能交切任何（較老的）岩石，不顧這些岩石的層理或連結是如何。

細粒的渣狀的火山岩，均在海表面或底部，或者是急冷而造成的。在驟急時（幾分鐘光景），結晶作用不及產生，岩漿遂固化成一種玻璃。當時上方壓力又迅速地降低（如在火山內），揮發物爆炸地逸出，分裂熔物，玻璃或剛固化的火成岩，也就分成細灰或較大的噴出物（Ejecta）。

在一種緩緩固化作用中，去氣也發展得緩慢，再加上又有佔優勢的結晶形殘留熔體形成。岩漿中所有的成份，除了大部可揮發物之外，還積集些因晶體化學的原因而不能在結晶作用早期及主要時期，摻入礦物之中。



火成論：岩體的現象與類型



火山作用：岩體的現象及類型

第1圖 地殼內部岩漿侵位的不同現象，在其環境中岩漿體的形成與岩漿的影響。

大多數情況中，殘留熔物固化於深成岩或其緊鄰中，而成偉晶花崗岩。仍呈液相（“熱水溶液類”）遂沉澱出其諸成分於火成岩中而成礦物，或者是一部份的會在相當距離處的任何岩石中。有些液相也可能在