

## 我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尙有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鏗氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二十種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

11/16/51

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

**自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；**

**旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；**

**大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者**

主動地精選最新、最佳外文學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

# 序

窯業工業為高溫工業之一環，一切產品均賴火力以完成最後一步操作，而製出成品。可是，火力又如何控制，如何去集中，則非窯爐莫屬。准此，窯爐該算是一切窯業工業中最重要設施，則從事斯業者，又焉能漠視。

本書之編述，旨在就陶瓷工業用的窯爐經緯，描一輪廓，先就窯爐如何從營火式的坑穴演變則今天的隧道窯。不分中外縱的簡述一過，然後再將如何選擇所需窯爐，乃至裝窯燒窯等所應注意事項，分章說明，再就築窯與燒窯等所需條件與物料，予以橫的編攷。至於附於書尾的設計，熱的計算等三章，僅做驚鴻一瞥，只能給讀者一個概念，其所不同於築窯學者亦在此。

執筆之始，既知資料不足，又感學力未逮，然終因獻曝熱忱甚熾，終成此瓦礫之編，以就教於先進，幸垂教焉。

程道映謹識

民國六十四年五月於  
工業技術研究院聯合工  
業研究所材料科學研究室

# 目 錄

第一章 緒 論.....	1
1.1 引 言 1.2 何謂窯爐 1.3 窯爐沿革	
第二章 窯爐種類與構造.....	9
2.1 窯爐種類 2.2 間歇式窯 2.3 半連續式窯 2.4 登窯構造	
2.5 連續式窯 2.6 半隧道窯 2.7 隧道窯 2.8 各型隧道窯略述	
2.9 隧道窯之優劣 2.10 電 爐 2.11 間接加熱式抵抗爐	
2.12 直接加熱式抵抗電爐 2.13 感應電爐	
2.14 小型電爐設計與建造實例	
第三章 窯爐的選擇.....	56
3.1 基本資料 3.2 各型窯爐優劣比較 3.3 燒墜道窯應注意事項	
第四章 裝 窯.....	59
4.1 裝窯用具 4.2 間歇式窯裝窯法 4.3 隧道窯裝窯法	
第五章 燒 窯.....	67
5.1 引 言 5.2 燒成理論 5.3 窯內氣體之流動 5.4 燒成時期	
5.5 冷卻時期 5.6 燒成操作 5.7 燒成階段	
第六章 燒窯各因素之測定.....	80
6.1 引 言 6.2 溫度之測定 6.3 壓力之測定 6.4 流量之測定	
6.5 氣體分析儀 6.6 自動控制簡介	
第七章 燃料與燃燒器.....	108

7-1 引言	7-2 分類與比較	7-3 固體燃料	7-4 液體燃料	
7-5 氣體燃料				
<b>第八章 築窯材料</b>				<b>123</b>
8-1 引言	8-2 窯用耐火磚特性	8-3 矽磚	8-4 黏土質磚	
8-5 高鋁磚	8-6 耐火灰泥	8-7 隔熱耐火磚	8-8 其他隔熱材料	
8-9 隔熱磚的分類及規格	8-10 其他隔熱製品			
<b>第九章 設計與築窯</b>				<b>136</b>
9-1 基礎	9-2 砌築	9-3 窯之設計與施工		
9-4 間歇式窯設計上的問題	9-5 隧道窯設計上的問題			
9-6 通風設備	9-7 築窯後之檢查與初燒應注意事項			
<b>第十章 熱量計算法</b>				<b>171</b>
10-1 熱量計算的意義	10-2 隧道窯之熱量計算法			
10-3 間歇式窯熱量計算法	10-4 窯壁損失熱的計算法			
<b>第十一章 燒成時製品出現之缺陷</b>				<b>184</b>
11-1 引言	11-2 燒成溫度所引起的缺陷			
11-3 燒成速度所引起的缺陷	11-4 窯內氣氛所引起的缺陷			
11-5 裝窯所引起的缺陷	11-6 操作上疏忽所引起的缺陷			
<b>索 引</b>				

# 第一章 緒 論

## 1.1 引 言

我國的哲學理論，所謂金、木、水、火、土五行，和印度的“四大”——地、水、火、風等，都是指構成宇宙萬物的重要元素。要以現代的術語來說，那就是土、水、火和空氣。若就人類生命延續、文化傳遞於無疆之休，在四大中似以火為最，特別是陶瓷方面，火將質軟的土器變硬、變牢而且能夠傳遞到幾千年後的今天，假如沒有火，陶瓷技藝無法存在。既知火對陶瓷有如此的重要，那麼如何點火（Kindling），和如何控制火（Controlling），以及如何引火到土質形體上去，使它堅硬而歷久不變，是從古到今一直向人類挑戰的課題。從營火（Bonfire）到坑窯（Pit kiln）到現在的窯爐，就是人類接受這項挑戰的成果。

## 1.2 何謂窯爐

從我國造「窯」字看去，是指穴中放置土器的物（我國以羊為吉祥之物，故以羊代之）。下升火燒製，這大概是指坑窯而言，若從「陶」字，則為依山阜而建一穴，並有蓋覆如「匸」者，其中盛以土質之缶（古代一樂器名）：

窯 = 穴 + 羊 + 火

陶 = 匸 + 缶 + 火

則已進步而成為固定構造矣。

日本窯之字源，出自 Kama，即炊事之竈，有炭竈與瓦竈之別，此竈字在燒成物方面，亦復通用，通常亦用釜字，在韓國窯也使用釜字，其發音也是 Kama。

窯之相當外國語，在英語為 Kiln，德語為 Ofen，法語為 Four，而爐字則為 Fuirace，德語為 Ofen，法語 Foyer。其中英語 Kiln (kil) 由 Anglo-Saxon 之 Cyn 轉變而來，據說是表示廚房之拉丁語 Culina 而來。

## 2 陶瓷窯爐學

總之，窯之一字，似與人類最切身之處發展而來，其用以將物料加熱之裝置，使用之於金屬工業、化學工業及陶（窯）業工業中，關係重要，尤其是窯業工業，其所有產品，莫不經窯爐熔融或燒熔而成者，一旦窯爐作業不正確時，即無法製出物美價廉之成品。又所使用之窯爐，若在構造上不適當時，則其在經濟上及工業上亦無法存在。窯爐係由燃料之燃燒或電熱等熱源之加熱而操作，因此，窯爐之熱效率，在設計與操作時，應列為優先考慮者，而窯爐之研究，亦為從事窯業工業人員，接受考驗之重要課題，也是努力工作之目標。

窯業用之窯，曾歷經多年的累積經驗去改進，雖然近來有長遠之進步，但在學理上仍未窺堂奧，大部分靠經驗而設計，而操作。因此，學習窯爐，不可單靠書本，最重要的還要實際經驗。

### 1.3 窯爐沿革

陶瓷窯是人類最古老工作之一，最原始的可追溯到紀元前八千年以前，比營火（或稱祝火，bonfire）稍許好點。至於史前時代的窯，無法確知其



第1.1圖 中國古代用煤球燒磚圖



第 1.2 圖 非洲北內幾里亞土人燒窯上覆以瓦罐以保存熱力罐內外均舉火加熱

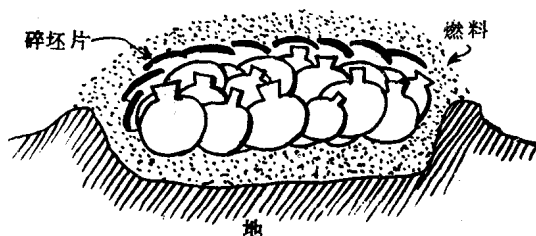
構式，只憑揣測，可能和現代原始民族所用的差不多。

黏土製品燒成的目的，在使其堅硬、耐久而不透水。無疑的，這是件意外的發現，人類可能在營火地上發現，經火加熱的土質，變得堅硬，也許是黏土糊的竹籃意外地遭火燒，而發現泥土堅硬。由此稍加改進，集中火力去燒製一些特製土坯，正如第 1.1，1.2 兩圖所示。這一段時期可以稱之為營火窯時期（Bonfire Period），如是有了窯的構想，同時窯業工業也就誕生了。於是乎製陶的知識和燒成的技術，也就傳遍開了。試看今日在中亞細亞（Central Asia）和南美（South America）土人所用的方法，就和先民所用的很相似。這種露天燒成的方法，各地都不相同，不過主要的是用燒紅的煤塊和火爐來包着土坯，增高其溫度使達紅熱。

#### 坑窯時期

日語稱為穴窯，是紀元前六世紀時所用的窯，以地為窯壁，掘淺坑約 14~20 吋深，幾尺見方，坑底和四周鋪以蘆葦樹枝，再將土坯置放上面，儘量少留空隙，燃料有時就塞在坯的中間和四周，頂部用碎的熟坯片或用泥糊法，如第 1.3 圖所示。這種坑窯在引火時因空氣不足，燃燒極慢，約經一二小





第1.3圖 坑窯

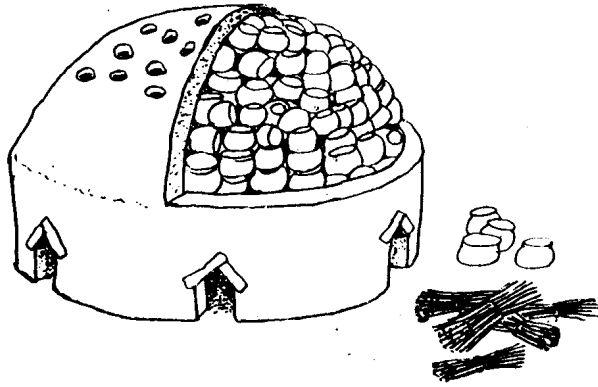
時才將坯烘乾，接着灰燼漸漸積多，溫度才開始上升。等到全部是紅熱，即停火，在上面蓋上樹枝和泥灰等，以維持等溫，逐漸冷卻，然後出窯。

這種穴窯，在近東、歐陸，中國和日本都有，從日本內地分佈情形看來，西自對馬和北九州起，中央地帶有斗竈的窯跡，關東以北則較少。同樣為穴窯，在陶器時代的，規模較小。密閉式之燒成，成品大多呈青黑色——還原焰燒成，後來逐漸改進，也可以用氧化焰燒成，而且還有施釉的成品。日本的穴窯是掘山坡而成的窖窯（Bank kiln），比坑窯又改進不少。

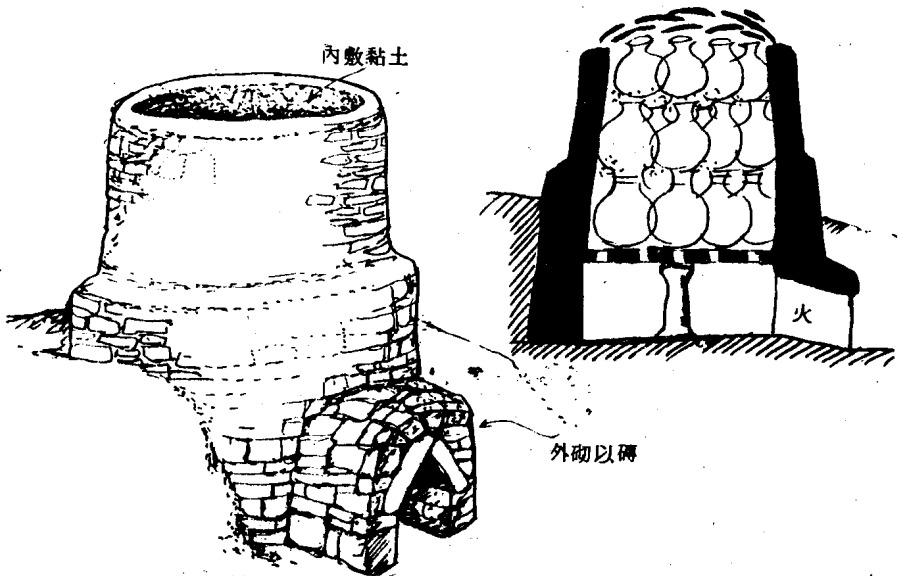
當時燒窯所用的燃料，因地因人而異，有用蘆草或乾草，有用樹枝，有用乾牛糞。這種坑燒法唯一的優點是無固定結構，只要燃料方便的話，隨地都可以燒窯，不過窯溫無法升高，很少超過暗紅熱， $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，所以只能燒製質軟而多孔性的土器，更談不到有釉成品。顏色深暗，要燒製淡色氧化焰的陶器，就要極小心控制火焰才行。

### 雜窯時期

因坑窯在燒成時，吸取地中的水分，溫度不易上升，燃燒也不易完全，因此就想到在地面上築窯。這種改良式的坑窯，在保存熱量上和燃料加添上，以及熱循環上，都能顧到，這就是在坑的下部開些小孔，供空氣可以進入坑中，以助燃燒，又更進一步的在坑上砌一道矮土牆，於是遂成雛形窯（Rudimentary kiln）。如第1.4圖所示。像這種窯，在西班牙和墨西哥仍有採用者。後來再改進建成圓形的，燃料從坑底部加入，火焰上升入窯加熱坯體，而不再靠灰燼傳熱，如是真正的陶瓷窯遂告誕生，如第1.5，1.6，1.7三圖。這種圓筒形的窯，上端開口，底部有一隧道式進口，以便燒火，土坯放在有孔的窯底上，火焰由此孔上升入窯腔，經坯體上升出窯。更有在頂端開口處鬆鬆地蓋上一只破坯或瓦片，如第1.7圖所示。陶瓷窯改進到這一步，就和現代窯所應具備的條件一樣：有火室或火口，亦即燃燒室或熱量發

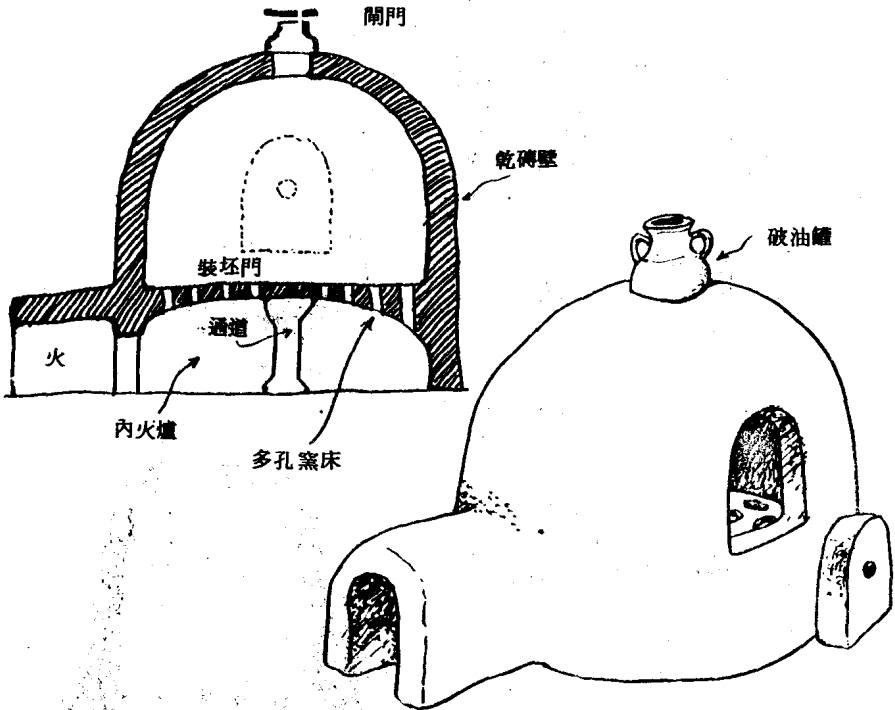


第 1.4 圖 離形窯(1)



第 1.5 圖 離形窯(2)

生處，有窯爐或放坯的地方，同時也是保存熱力的地方，還有烟道或出口，烟和氣可從此逃逸，並可產生抽氣作用，將空氣從火口抽入，帶着熱力上升入窯。後來爲使熱量喪失不太大，又將窯牆四周塗以黏土，亦有開山坡建窯的，從此窯就成爲固定型的，而且可以燒很多次。古希臘窯在窯頂開口處加

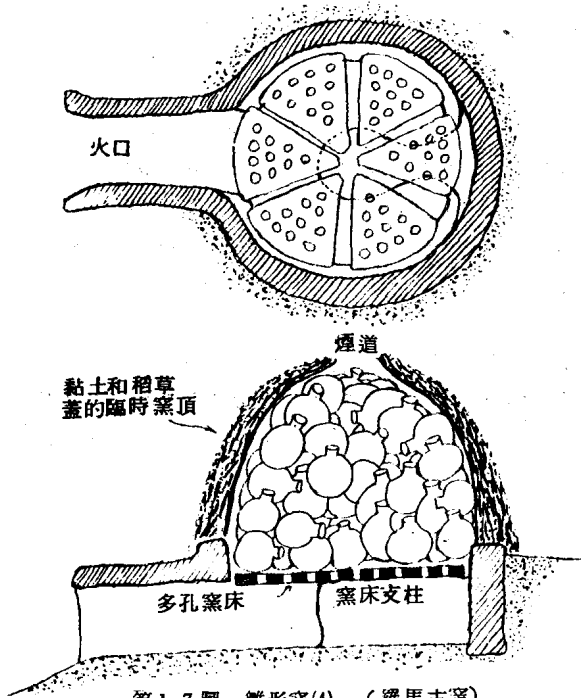


第1.6圖 罐形窯(3) (古希臘窯)

塊開板(見第六圖),更在牆上開一窺視孔。這樣一改,不單可以控制燃燒速度,溫度上升的快慢,並且還可以看見窯內部變化情形。到此,窯是百鍊齊備。

### 成窯時期

陶瓷器從上古時代到中世紀,已逐漸發達,更因釉的發明,瓷的發明,質地密緻而機械強度增大,在在都需要高溫燒成,因此,窯爐也應需要而做大幅度的改進,如使燃料能充分燃燒發揮最大熱力的燃燒室(Combustion Chamber),和製品加熱的燒成室(Burning Chamber);同時為了加強通風,另外加建一座烟囪。這種高溫的窯爐,首先改建成功的應該是我國,因為在漢初時代(紀元前二百多年),我國已發明了瓷,在西方則稱之為初瓷(Proto-Porcelain),由江西景德鎮窯燒出,而名之為假玉,所用燃料是煤。因我國地大物博,燃料之出產,成品之種類,以及土質之不同,因地而



第1.7圖 雜形窯(4) (羅馬古窯)

異，為適當地條件，遂有平窯、傾斜窯，登窯等之建造。但對燃料採用上，有一種共見的趨勢：在北方主要用煤，燒氧化焰，在南方則用薪材，燒還原焰。我國這種燒高溫的窯，漸漸地傳到日本和歐洲。

十八世紀以後，歐洲的陶瓷器有顯著的進步，窯爐也事改良，遂有直焰式圓窯和方窯出現，又由成品種類和產量增加，窯的容量也增大，燃料則由煤薪而發展為煤氣。窯溫的控制，已操勝券。

歐洲陶瓷器之進步，主要是由於各該國之官窯所推動，正如我國歷朝之御窯一樣。十八世紀末期，歐洲古式凱沙爾窯 (Kasseler Ofen)，以德國為中心，相當於法國 Four de Cassel，英國之 Cassel 窯，和我國之景德鎮窯極相似，亦屬於橫焰式窯，是平地築成之單室窯，前設火口，後築烟囪，但因火候不均，不太經濟。柏林官窯乃改為豎窯，造成兩層直焰式圓窯，設火口於四周，使窯溫均勻，並在下層燒本燒，餘熱上升至頂層，執行素燒。後來又經多次研究改進，才有倒焰式圓窯，燃燒方面，因煤在燒還原焰時煙灰過濃，在1857年柏林官窯試用氣體燃料，接着又因單室窯燃料不經

濟，窯溫終不易均勻，至十九世紀中葉以後，遂有連續燒成式之輪窯（Chamber kiln, Ring kiln）及隧道窯（Tunnel kiln）之研究與採用。輪窯係 1858 年霍夫曼氏（Hoffmann）所專利，故又稱霍夫曼窯。

隧道窯（Tunnel kiln）和上述各式的窯都不相同，在此種窯內，燒成物本身在窯內慢慢移動。隧道窯開始是用在燒磚和烤釉上彩，一直到 1899 年法人 Faugeron 氏取得專利權之後，才開始用在燒製陶瓷器，不久，德國也成功地使用隧道窯燒製瓷器。二十世紀初，完成隧道窯燒法，於是陶瓷器之製造，也成現代化而發展成工業化，產量大增，品質也均一，人工也省了很多。

總之：爲了提高窯業產品品質，燒成溫度逐步提高，爲適應這種時代要求，首先是着手改良窯爐結構，爲加強通風，改進保溫，選擇燃料，利用餘熱，更進而增加產量及節省勞力，同時又因耐火材料在品質上之改進，而促使築窯方法和燒窯技術，有長足進步。

## 第二章 窯爐種類與構造

### 2.1 窯爐種類

窯爐之分類法很多，有依(1)燒成作業分類者，有依(2)窯焰進行方向者，有依(3)火焰與燒成物接觸情況者，(4)使用燃料之種類者，(5)燒成之目的者，更有依(6)窯爐之形狀而分類者，大致有以下分類法。

#### (1)依燒成作業分類法

#### (2)依窯焰進行方向分類法

- (a)間歇式窯 (Periodic Kilns)
- (b)半連續式窯 (Semi-Continuous kiln)
- (c)連續式窯 (Continuous kiln)
- (a)橫焰式窯 (Horizontal draft kiln)
- (b)直焰式窯 (Up-draft kiln)
- (c)到焰式窯 (Down-draft kiln)

#### (3)依火焰與燒成物接觸情況分類法

- (a)直接火式窯 (Direct firing kiln)
- (b)半焰室式窯 (Semi-muffle kiln)
- (c)焰室式窯 (Muffle kiln)

#### (4)依燒成目的分類法

- (a)薪火窯 (Wood fired kiln)
- (b)煤火窯 (Coal fired kiln)
- (c)燒氣體窯 (Gas fired kiln)
- (d)重油火窯 (Heavy-oil fired kiln)
- (e)電 窯 (Electric kiln)

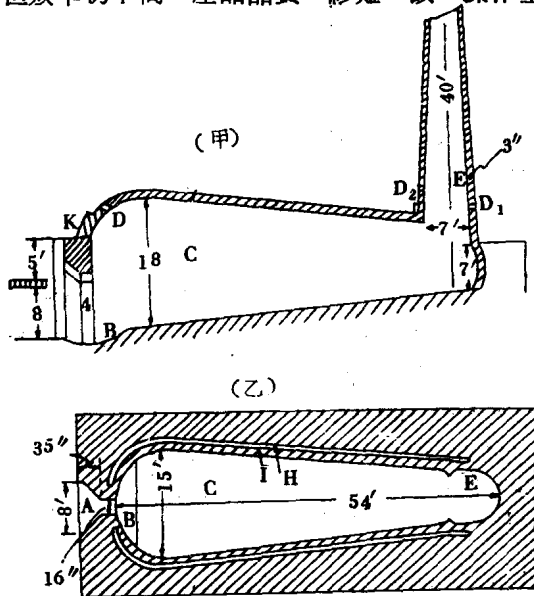
#### (5)依燒成目的分類法

- (a)素燒窯 (Biscuit kiln)
- (b)本燒窯 (Glost kiln)

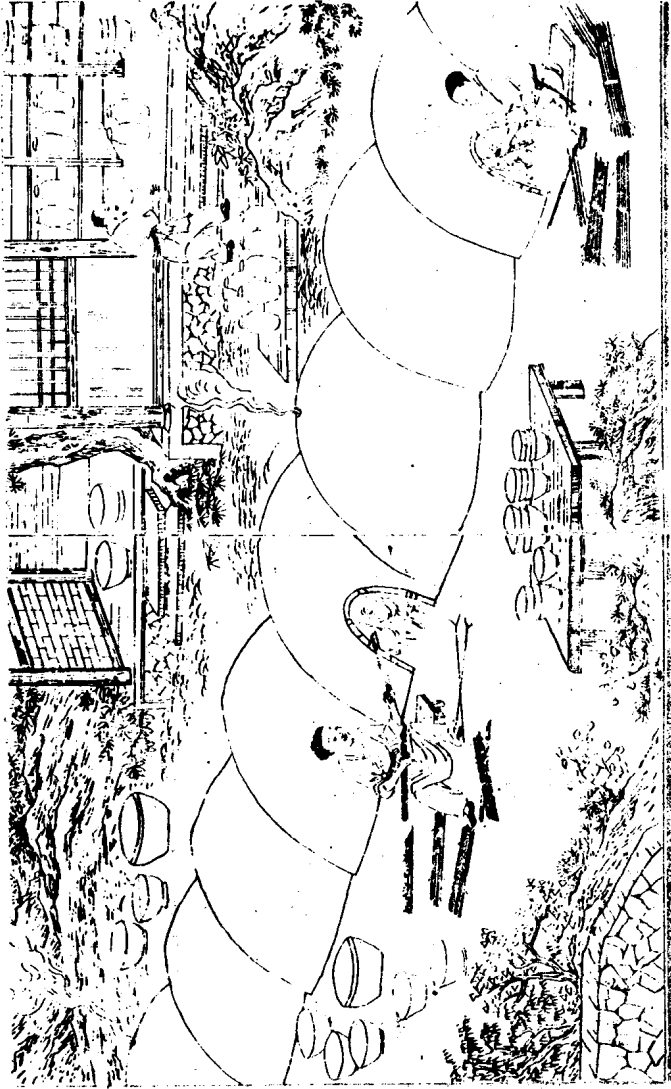
- (c) 烤花窯 (Decorating kiln)
- (d) 熔塊窯 (Frit furnace)
- (6) 依窯的形成分類法
  - (a) 圓 窯 (Round kiln)
  - (b) 方 窯 (Rectangular kiln)
  - (c) 輪 窯 (Ring or Chamber kiln)
  - (d) 隧道窯 (Tunnel kiln)

## 2·2 間歇式窯

間歇式窯又稱不連續式窯，換言之，其燒成操作分批進行者，坯體裝窯，燒火，冷卻然後始出窯，同時燒成程序則因燒成物種類而定，亦即其溫度時間表 (Time-temperature schedule) 之伸縮性較大，小型工廠式製造特殊陶瓷器工廠多樂用之，同時築造費用遠低於隧道窯。間歇式窯一般都只有一間大而以耐火磚襯裡的窯室，以及幾個火口和烟道烟囪。此類窯爐在間歇式操作原則之下，其結構及形式很多，究因其未脫離最原始結構之範疇，故費用雖低，但效率仍不高，產品品質，終難一致。操作上遠不及隧道窯容易。



第 2.1 圖 景德鎮窯



第 2.2 圖 瓶窯連缸窯。(中國又一式之橫格式間歇窯)

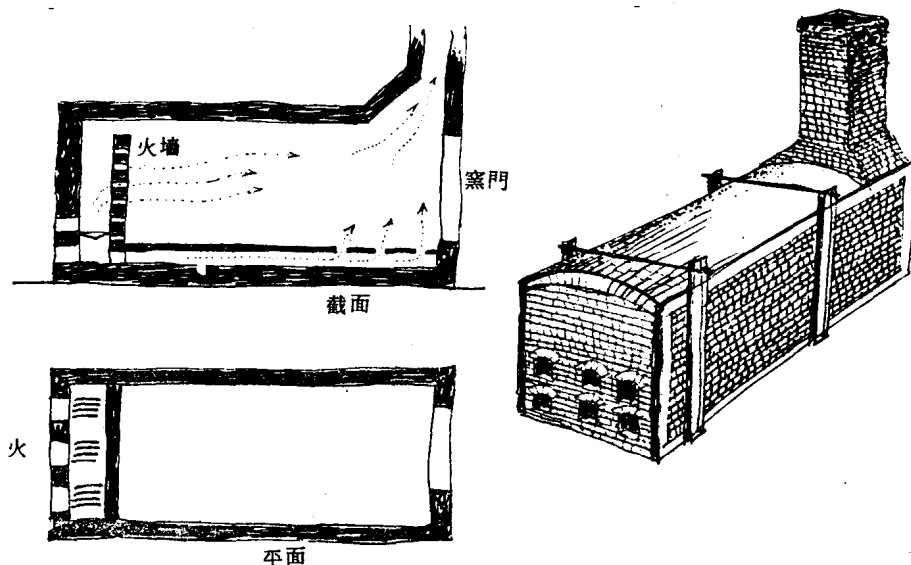


## 橫焰式窯

自火室發生之火焰進入腔，大致是和爐床平行，橫掃坯體，始由煙囪排出窯外。這種橫焰式窯無疑的也是我國首先建造，特名之為景德鎮窯，如第 2.1 圖所示。此係一橢圓形室窯，圖中 A 為出入門，坯體之裝窯與出窯，皆由此門，B 為火床，燃料即在此處燃燒，C 為本燒室，D 為看火孔，即窺視孔，E 為煙囪。裝窯完竣，即將窯門封閉，於封門處設投薪口，窺眼，火坑等，火坑下為燃燒時承積灰燼之所，同時兼作通風。投薪口為正方形，其位置在窯門中央。本燒室呈隧道形，窯之前端高而潤，尾端狹而低，煙囪設於此，此兩端均呈圓形，地勢前低後高，略呈傾斜，相差約 3 英尺。其中央高大處名窯腹，後端近煙囪處名挂窯口，煙囪內部名餘堂。煙囪為圓形，其下端設  $D_1$   $D_2$  兩看火孔。

此類窯窯溫，前高後低，極不均勻，我國陶人以往在不同之火位，燒製不同之陶瓷器，有本燒，有素燒，有燒瓷器，更有尾端燒陶器或土器者。如 2.2 圖所示，前端溫度高燒花瓶之流，尾端溫度低，則燒土器或炆器缸鉢之類，故稱之為瓶窯接連缸窯。

凱沙窯 (Cassel kiln) 是德國一般用以燒磚的，和在英國的新堡窯 (New Castle kiln) 是表兄弟。凱沙窯的窯室是一 11 ~ 35 英尺長，8 ~ 12



第 2.3 圖 凱沙窯