

建筑粘土制品

〔美〕 W.E.布罗奈尔著

湛轩业 周汉平 译

糕弃疾 王益群 审

全国建筑材料专业砖瓦科技情报网

目 录

第一章 历史和分类

- 1-1 早期历史……………(1)
- 1-2 工业革命……………(5)
- 1-3 科学革命……………(9)
- 1-4 建筑粘土制品的分类……………(13)
- 参考文献

第二章 建筑粘土制品的矿物成分

- 2-1 层状硅酸盐矿物的结构……………(18)
- 2-2 层状硅酸盐矿物的分类……………(23)
- 2-3 基本矿物……………(28)
- 2-4 非基本矿物……………(29)
- 2-5 典型的矿物组成……………(31)
- 参考文献

第三章 原料和处理

- 3-1 开采……………(34)
 - 3-1-1 原料的勘探……………(34)
 - 3-1-2 矿床的检验及评价……………(36)
 - 3-1-3 开采的程序……………(37)
 - 3-1-4 开采的污染控制……………(40)
- 3-2 原料的处理……………(40)
- 3-3 颗粒尺寸分布……………(44)
- 3-4 粉尘污染的控制……………(48)
- 3-5 掺和料与外加剂……………(48)
- 参考文献

第四章 建筑粘土制品的成型

- 4-1 水的结构与特性……………(51)

- 4-2 粘土—水的相互作用……………(55)
- 4-3 粘土的塑性……………(60)
- 4-4 塑性成型方法……………(65)
 - 4-4-1 在成型中的塑性……………(65)
 - 4-4-2 软泥成型工艺……………(67)
 - 4-4-3 硬泥成型工艺……………(68)
 - 4-4-4 塑性压制工艺……………(76)
 - 4-4-5 挤出泥条的切割……………(76)
 - 4-4-6 砖坯的自动化码垛……………(77)
 - 4-4-7 干压成型工艺……………(79)
- 参考文献

第五章 干燥过程

- 5-1 粘土坯体的干燥原理……………(82)
- 5-2 干燥收缩、应力和强度……………(88)
- 5-3 实际干燥过程……………(90)
- 5-4 干燥室的类型和能源……………(92)
 - 5-4-1 间歇式与连续式干燥室……………(92)
 - 5-4-2 能源……………(94)
- 5-5 干燥室的热平衡……………(95)
- 5-6 制品泛白的形成……………(97)
- 参考文献

第六章 焙烧过程

- 6-1 层状硅酸盐矿物的高温反应……………(101)
- 6-2 在典型粘土坯体中的反应……………(106)
- 6-3 窑内气氛的影响……………(113)
 - 6-3-1 窑内的气氛……………(113)
 - 6-3-2 氧化—还原……………(115)
 - 6-3-3 碳和黄铁矿的氧化……………(116)
 - 6-3-4 颜色的形成与控制……………(119)
- 6-4 窑的类型……………(119)

- 6-5 窑的焙烧·····(112)
- 6-6 燃烧器装置·····(123)
- 6-7 冷却应力·····(126)
- 参考文献

第七章 装饰、砖墙板和包装

- 7-1 砂饰表面·····(131)
- 7-2 挤出成型砖的表面饰纹··(132)
- 7-3 表层装饰·····(136)
- 7-3-1 化装土和泥釉·····(136)
- 7-3-2 釉料·····(137)
- 7-4 砖墙板·····(139)
- 7-5 包装·····(139)
- 参考文献

第八章 上釉粘土污水管的连接

- 8-1 工厂装配式连接件·····(141)
- 8-2 对安全接头的要求·····(141)
- 8-3 承压接头的类型·····(142)
- 8-3-1 聚氯乙烯接头·····(142)
- 8-3-2 聚脂接头·····(143)
- 8-3-3 聚氨脂接头·····(145)
- 8-3-4 直管的接头·····(146)
- 8-4 上釉粘土管接头的技术要求与
试验·····(147)
- 参考文献

第九章 质量管理

- 9-1 基本原则·····(148)
- 9-2 质量管理方案的本质·····(148)
- 9-3 程序·····(149)

- 9-4 统计方法·····(150)
- 参考文献

第十章 工厂设计

- 10-1 初步设计·····(152)
- 10-2 影响工厂设计的诸因素··(153)
- 10-3 工厂调试设计·····(154)
- 参考文献

第十一章 适用性和耐久性

- 11-1 建筑粘土制品的适用性··(156)
- 11-2 砖和屋面瓦的耐久性····(156)
- 11-3 污水管的耐久性·····(160)
- 11-4 湿膨胀·····(160)
- 11-5 砖瓦与砂浆的粘结·····(162)
- 11-6 砖砌体的泛霜和污斑····(162)
- 11-7 砖砌体的清洗·····(164)
- 参考文献

第十二章 未来的发展趋势

- 12-1 建筑粘土制品的生产····(167)
- 12-2 技术改造·····(170)
- 12-3 未来的研究·····(171)
- 12-4 结束语·····(172)
- 参考文献

名词对照·····(174)

第一章 历史与分类

1-1 早期历史

古人们用手工把地面上适用的材料制作成砖，大约是在4500年前一次大洪水之后，当时人们居住在沿幼发拉底河及其支流的美索不达米亚。显然，当时的制砖技术已达到用焙烧使其坚硬、耐久、美观的水平，可能还使用了简单的砖模，使砖的形状和尺寸一致。

考古发掘表明：与此同时，世界其他地区也有制砖了。在印度河流域（即现在的巴基斯坦一带）的摩亨佐·达罗发现的砖墙上的砖，距今已有4500年之久，其形状类似我们今天的砖。在秘鲁，发现了约5000年前的土坯。在印度河流域的古城卡利邦根出土的前哈拉巴时期的烧结砖见图1。这块传统式样的砖，其年代估计在5000年前，是至今发现的最古老的烧结砖。在分布于世界的各古代文明地区，制砖技术得以按平行方式发展，这必然是因为粘土材料的性质中有某种独特的东西，使古人们容易发现这种材料的适用性。^[1]



图1 在印度河流域的古城卡利邦根出土的烧结砖。经页岩制品博物馆同意

制砖的开端应追溯到人类更早的历史，因在《圣经》所记述的那个时间，制砖技术已有相当水平。制砖业可能是人类继农业后出现的第二项集体生产活动。农业一经出现，人类即从大自然恩惠的狩猎者和采集者变为增产者。农业，逐渐改变着远古人们的生活习惯，原先的游牧生活也变成定居生活了。当发现适于种植粮食的肥沃土地时，人们便聚拢并定居下来，耕田种地。居住地一定程度上的稳定性，使得人们能建造固定的住宅、贮仓，并建起阻止企图侵占其宝贵土地的来犯者的某种防护结构。凑巧这类地区往往含有大量可供制砖的洪积平原的粘土原料。据说在一些地区砖的出现较陶器为早，这可能是建筑砖形状简单的缘故。在死海稍北的约旦河流域，有一座《圣经》里提到的城市杰里乔(Jericho)，在这座城的城基下，发现了最早的土坯。图2是这种土坯的照片。土坯取自前陶新石器文化期居住点的建筑上，碳¹⁴定年为9,000~10,000年前。应注意，当时并未使用砖模，土坯上的拇指凹印仍清晰可见。凹印

与当时使用的泥浆一道，构成楔状砌合。^[1]

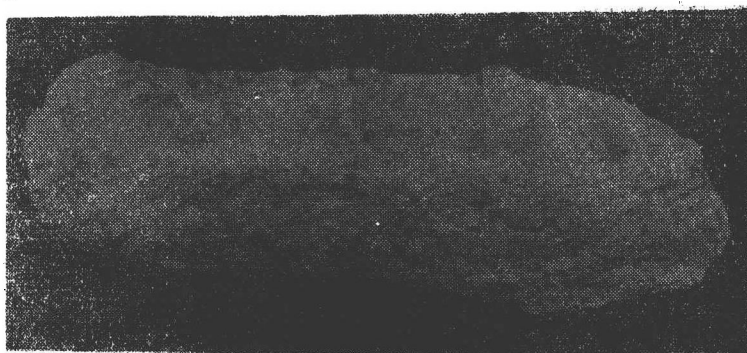


图2 在一前陶新石器文化期居住点发现的土坯，其年代早于《圣经》里提到的城市杰里乔。经页岩制品博物馆同意

约在6000年前，临近哈布尔河的哈拉伏已使用矩形砖模，成形掺加麦草的砖。哈布尔河为幼发拉底河一支流，在今天的叙利亚一带。这种砖模的顶部和底部均为开口，以便在干燥时得到均匀日照。直到那时，砖仍不经焙烧。当时，在塑性粘土中还掺入切碎的草以防止干燥裂纹。^[2]有迹象表明，在较晚的时候，即使制造烧结砖仍要掺碎草，但图1中的烧结砖并未含草。^[1]

大约在5000年前，采用了焙烧制砖技术，同时，装饰开始用在砖上。此后，砖上的装饰图案日趋复杂。^[1]图3为一块带有刻纹的烧结砖，年代在4000年前。据鉴定，这块砖取自世界神恩利勒神庙。这座神庙建于乌尔-拿姆王在位时的苏美尔城市尼普尔，^[1]在今天的伊拉克地区。装饰继续复杂化，到约3000年前，在亚述霸权时期的美索不达米亚南部，制作装饰已达到煞费苦心的地步。“在亚述晚期，上釉的砖常用于装饰，并在尼尼微失陷后的巴比伦达到顶点（公元前612—539年）。在粘土扁平坯上做出浮雕状图形，然后用金属丝将扁平坯切成砖的尺寸，供焙烧和上釉。著名的伊什塔尔门和通向巴比伦城中心的普罗赛申大街即是用此法制出其装饰的。”^[2]

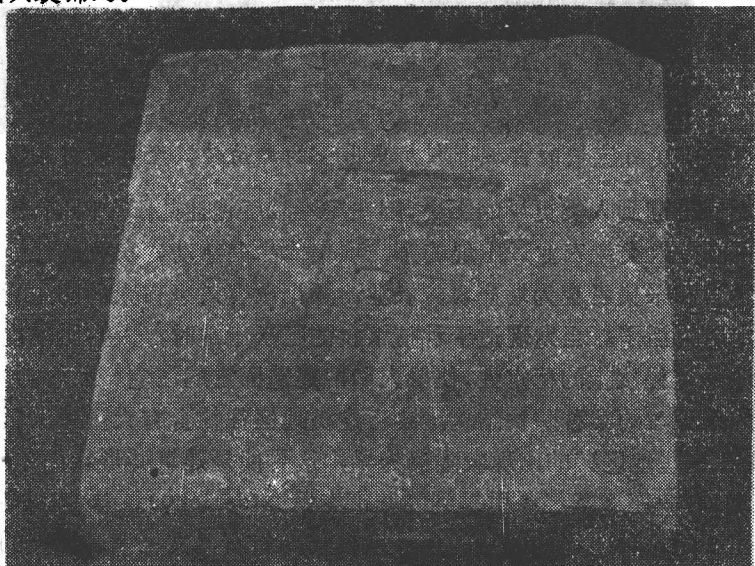


图3 自古城尼普尔出土的4千年前的砖。经页岩制品博物馆同意

粘土制砖取得经验后,出现了陶器的制造和制陶转盘的使用。用制陶转盘生产一种新的建筑粘土制品。距今3400年前,克里特的克诺萨斯王宫中的排水管,已用上有环状接头的粘土管道。^[3]

公元前945年,砖模设计前进了一步,这可从图4所示的一块埃及烧结砖上看出。这块砖取自尼罗河三角洲的布拔斯梯斯,是在法老沙桑克一世在位时制造的。如图所示,砖的底边缘实际是开口砖模的口。这种砖模有四面壁和一个底,极像今天生产软泥砖的自动制砖机上的砖模。砖的边缘像是自砖模口部刮去多余的泥料造成的。

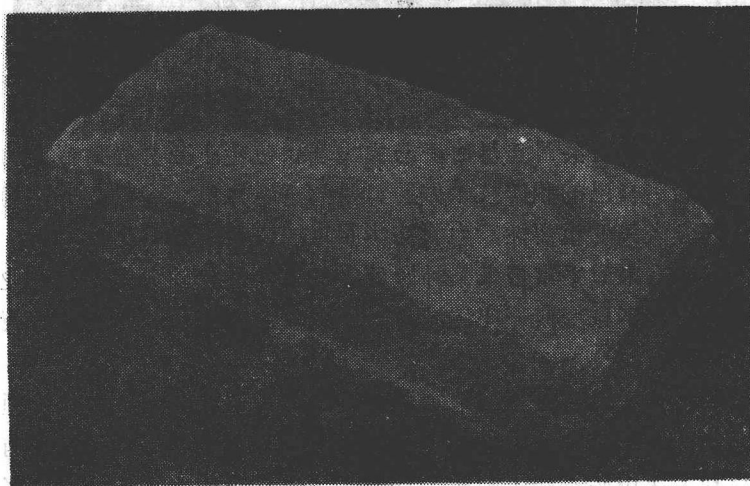


图4 埃及出土的法老沙桑克一世时期的烧结砖。经页岩制品博物馆同意

古罗马人制造砖瓦的技术来自古希腊和伊特拉斯坎人。尽管如此,古罗马建筑却有其讲实际的特点,并在建筑上有所创新。早在公元前1000年,古希腊和伊特拉斯坎人已善于制造建筑用赤陶砖和屋面瓦,他们在公元前496年来到罗马,从事这一行业。然而,到大约公元前150年,罗马人已知将火山灰与石灰混合,制出一种水硬的火山灰质水泥。于是,水泥很快就成为古罗马的主要建筑材料。到共和国晚期,砖瓦制造已停止。由于水泥并不能造出漂亮的建筑物,故其表面要饰以砖、瓦和石块。从早先的建筑物上拆取的砖瓦已足够用,因此,在其后的许多年中,一直用这些砖瓦镶饰新建的水泥建筑。到了公元1世纪的奥古斯都时期,在古罗马,为修饰官方建筑又开始制造砖瓦了。为此目的制出一种三角形砖。可将这种砖的一个尖端沿水平方向插入混凝土墙,故此,建成后的墙外表由极薄的砖组成。还有,每隔2~3呎用上两脚方砖(two-foot square tiles)加强连接。这一时期,私人住房以土坯建造,然后用石灰、沙子和大理石粉末制得灰泥,粉饰于墙面。^[4]

公元1世纪,古罗马人将其制砖技术带入大不列颠。罗马军团随军带有自己的砖瓦制造工。较寒冷地带建筑中的取暖装置,即是用他们生产的一种有趣的砖建造的。图5是一块罗马式的用于火坑供暖的砖,取自英国的巴思,制造于公元1世纪。这种有装饰纹的空心砖成一组置于房间的墙壁内,下面是一个壁炉。热气上升经过这些砖,给房间带来温暖和舒适。^[1]

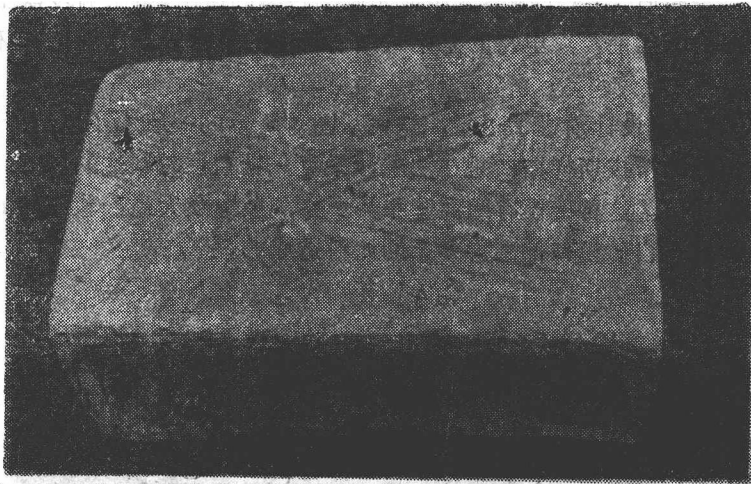


图5 一块取自英国巴思的罗马式火坑供暖砖。经页岩制品博物馆同意

英国到13世纪开始用自己的制砖技术做砖,这样,一种延续至今的、非常稳定的工业出现了。屋面瓦对大不列颠人民的重要性,为爱德华四世的议会所强调。1477年,议会就这种瓦的生产作了规定。悲剧看来似乎常带来某种好处。1666年的伦敦大火给制砖业以巨大刺激,几年间,这座城市由一座木城变成一座砖城,一座更安全的城市。^[6]这时,英国已将制砖技术传入美洲。

早期进入美洲的移居者迅速利用当地土源做砖,大量记载提到17世纪那里许多地区建起了砖窑。1611年,弗吉尼亚最先开始做砖,1629年,马萨诸塞移居者已用包有铁皮的砖模做砖,1643年,在普利茅茨用砖盖起了哨所,1651年,莫尔登的土地售与一位名叫约翰逊的砖制造商。他的生产规模显然在扩大,因为18年后通过了一项法令,以制止采土场向公路侵占,由此可见这一工业的兴旺程度。1667年,马萨诸塞生产的砖的质量由立法机关管理。1646年,斯泰弗森特州长将制砖技术引进纽约。1871年出版、由W·L·斯通所著的《纽约城历史》一书中暗示,制砖业与人民生活息息相关。作者在书中提到,1661年,酒厂、砖厂及其他工厂经营顺利。这里请注意砖厂被提到的重要位置。^[6]

缅因的早期移居者自1635年开始制砖,并最先将其产品由皮斯加达加港向西印度群岛出口,时为1789年。北卡罗来纳在1663年,罗德艾兰在1681年,宾夕法尼亚在1683年都相继出现了制砖工业。在美国,每当到达某地的首批移居者定居下来时,砖的生产便随之而来。制砖工业还随早期移居美国西部的人们带到那里。^[6]

宾夕法尼亚的蒙哥马利(约在1735年)和伯利恒(在1740年)最先开始制造屋面平瓦。但在用于大生产的机器出现前,这一工业一直不稳定。

1800年以前的美国制砖工业实况,在舒特的小故事里有很好的描述。^[7]在康乃狄克有一条叫作昆尼皮阿克的河流,沿岸居住的农夫用木柴作燃料烧砖。这种活儿只是在农闲时才干的。在早秋时准备工作即开始。烧砖在这里常被作为十月间欢庆活动的一项内容。焙烧期间,砖窑主人的朋友及声称自愿当帮手的、喝得醉醺醺的乡邻,纷纷前来凑热闹。他们这种“帮忙”常危及到整窑砖的质量。当时,最大砖窑的生产能力是20,000~75,000块,偶尔也烧到100,000块。尽管数量还较小,许多制砖者仍需3~5年的时间才能将其产品销售完。

1-2 工业革命

1850年刚过去，同其他部门一样，建筑粘土制品工业即发生了巨大变化。为充分理解这一突变的性质，我们必须追溯到18世纪后半期的英国。正是在这里诞生了“革命”。这一革命影响到世界许多地区，包括美国在内的人民的经济结构和社会结构。一万年来，经济财富的主要来源是农业和商业，而制造业则相形见绌。15世纪爱尔兰伯蒂向读者介绍的最佳致富途径是：从事批发贸易、探寻财宝、巴结某一富人以便成为其继承人、放贷款、出租草场马匹之类。他只字未提商品生产。公元2世纪，古罗马有家制砖厂确曾雇过46个管理人员，但这种厂家是极罕见的，并同1850年后出现的经济企业不同。^[8]

建筑粘土制品工业的革命实际上是随着蒸汽机的发明和发展而开始的。詹姆士·瓦特经过长期艰苦努力，将纽可曼发明的不能胜任工作的蒸汽机，改进成具有极大能力与功率的蒸汽机，时为1786年。

要是没有某种途径能生产和出售所设想的机器，发明本身并不能单独触发工业革命。后来，瓦特有幸与一位名叫马修·布尔顿的富有而又成功的制作商合作。1786年，当他们给50对石磨配上两台蒸汽机，创建当时世界上最大的面粉厂时，在伦敦及其附近地区引起了轰动。此后，对各种用途的蒸汽机的需求纷纷出现，许多“新人”（即某一新近产生的社会阶层的开创人）变得非常富有。^[9]

1790~1850年间，蒸汽机继续得到改进，并使许多制造过程实现了机械化。扩大的资本和加速提高的商品产量要求建起精致复杂的工厂，而这种工厂又产生出新工种、新职业，所以才有了经济和社会革命。正是在这一时期，美国发明了第一台以蒸汽为动力的软塑成型砖机。早期的一台机器由亨利·马丁引入，在新泽西州的珀思安博一带使用，然而30年后这种机器才普及开来。这30年中，人们仍像过去千百年那样用砖模手工制砖，^[6] 1859年，约翰·克雷温在英国发明以蒸汽为动力的硬泥挤出砖机，用于砖的成型，^[9] 1860年，美国也开始使用硬泥挤出机。约1862年，在新泽西州坎登附近的豌豆海湾，钱伯斯兄弟公司开始使用一台装有自动切坯机的机器。^[10]

作为对砖机的必要补充部分，1859年欧洲出现哈夫曼连续窑，不久即传入美国。这一复杂设备能适应成型机增加的产量，并较过去的间歇窑节省大量燃料。^[9]

蒸汽机还为选矿设备提供了巨大动力，因而，泥质页岩破碎机便得到应用，这就为建筑粘土制品的生产开辟出新的巨大原料来源。在此之前，原料的来源一直是传统的沉积粘土。第一个用页岩制砖的人是L·G·艾森哈尔特，时间是1880年，地点是纽约州的霍尔兹海兹。^[10]

把机械动力引进建筑粘土制品干压法生产的历史是暗淡的。在美国，机械的、由人工操作的压制机早在1829年就开始使用，并在多年来逐步得到改进。据说一些压制机到1856年时以水力为动力，到1870年时以蒸汽为动力。由于挤出设备的引进，干压法不管怎么说都是短命的。但至今在建筑粘土制品工业中，压制法仍用于成型墙地砖。

只是在19世纪末，当机器已广泛用于生产时，当这一非常古老的行业之传统势力停止抵抗时，工业革命才算真正取得对建筑粘土制品工业的控制。供给高速成型机的大量粘土和页岩之开采需要蒸汽挖土机，塑性成型前之原料制备必须有动力驱动的破碎和搅拌设备，坯子

的干燥与焙烧需要风机，窑内大量制品之移动需要动力。

随着机器用于建筑粘土制品厂的综合操作，除建筑砖外的其他制品在美国也开始以工业规模生产。1872年，西弗吉尼亚州的查尔斯顿的一些街道已采用铺路砖铺砌。该地区的这一工业在18世纪迅速发展起来，但到本世纪20年代又迅速消失。普兰克报告说，第一座联动屋面瓦制造厂1871年建于印第安纳州的特雷霍特，1891年纽约州的艾尔弗雷德森特开始制造红色屋面瓦，1892年鲁道维希公司在印第安纳州的蒙哥祖马和伊利诺斯州的芝加哥高地建起工厂。在加利福尼亚州，制瓦业最终找到较好的市场。^[10] 1875年，新泽西州开始生产用于防火建筑的隔墙砖。到1875年，用手工模和制陶转盘生产排水管的小厂已成为历史。蒸汽压制和挤出技术成为排水管工业的心脏。^[9] 到1893年，釉面砖和瓷砖这类过去从英国进口的

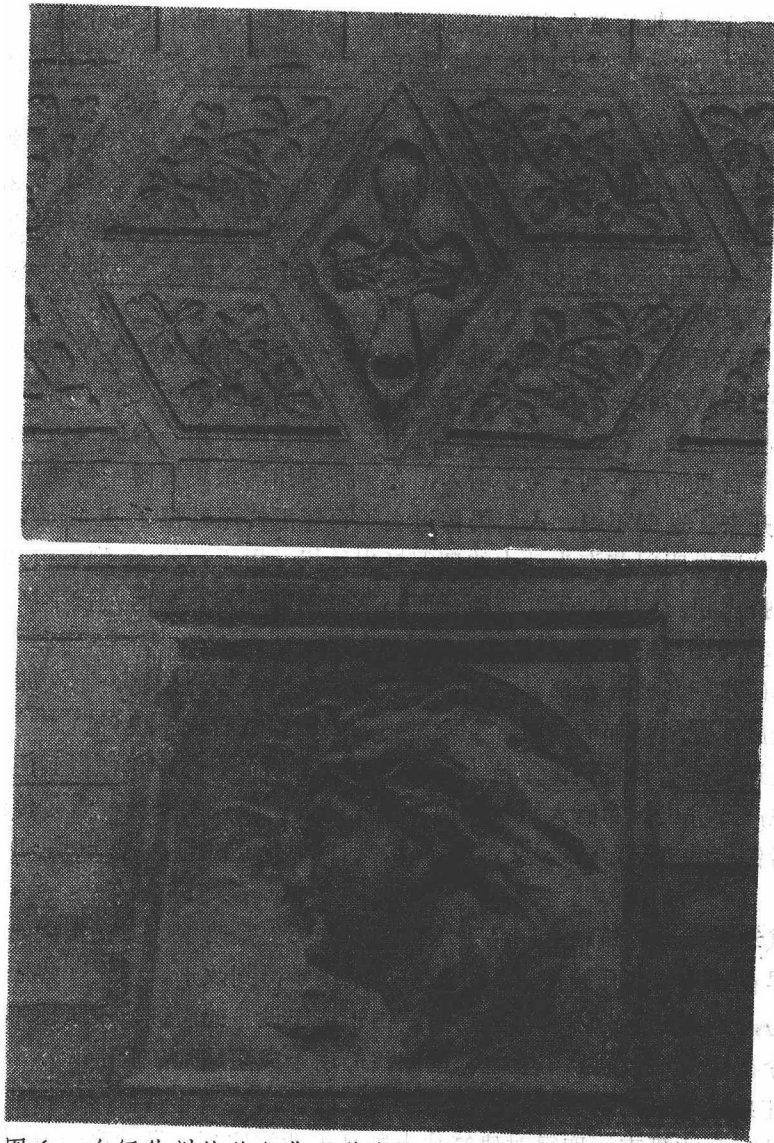


图6 在纽约州的艾尔弗雷德森特生产的无釉红色陶砖
时间在十九世纪九十年代末。经D·E·雷斯同意。

制品已在伊利诺斯州的莫门斯和马里兰州的芒特塞维治生产。到1896年，其他工厂在宾夕法尼亚州的塞勒尔斯堡和新泽西州的塞尔维尔也应运而生。1875年，在俄亥俄州的赞斯维尔组建了生产地砖的美国彩釉砖公司。经历了缓慢的开端，终于取得成功。1800年又增设了一条釉面墙砖生产线。截止1890年，在美国东部已建起14座砖厂，生产上釉和不上釉的墙地砖。19世纪70年代是工业革命向美国建筑粘土制品工业冲击的年代。⁶

在几次失败后，1849年，以珀思安博的霍尔陶砖厂之建成为标志，开始了建筑用陶砖的生产。1879年，该厂与他厂合并为珀思安博陶砖公司。⁶早期陶砖用红色粘土和炆器粘土制出，生产的红陶砖样品见图6。从图片上可看出建筑陶砖复杂的装饰外表。当想到这些陶砖从约1895年起一直处于风吹日晒中时，你就会认识到这种陶砖不同一般的抗风化性能。可惜现在已无人知晓生产这种砖所用的原料和工艺。

美国工业革命头四十年，使得制砖这一古老的工业迅速发展起来。这样，出现了在全国各厂生产的砖尺寸和形状标准化的需要。出于这一原因，1898年成立美国材料试验学会，以便就这类问题在生产者和消费者之间达成协议。后来，该学会成为确定所有建筑材料质量与耐久性标准的最高权威机构。

尽管有不少哈夫曼窑在美国建成，但仅有少数几座用于建筑粘土制品工业。大概是因为，1903年美国制砖公司在位于宾夕法尼亚州的菲尼克斯维尔的奥克斯工厂，引入一座连续式直线隧道窑。该窑长576呎，可能以煤为燃料。这是美国建筑粘土制品工业的重大技术进步。这种窑注定要普及开来。整个20世纪，这种窑在建筑粘土制品工业中得到改进和完善。

本世纪20年代出现自动压瓦机，由宾夕法尼亚州兰斯德尔的福兰克林制瓦公司制造和使用。随着自动压制机与连续窑的结合，1929年，这家公司墙地砖的一次焙烧、连续生产线建成。这种高速度、高效率的生产使这一行业在其他各建筑粘土制品工业中赢得了声誉。¹¹¹

1932年，出现了粘土制品挤出成型的一项极端重要的技术突破，这就是真空箱的设置。塑性粘土通过成型机口前在真空箱内受压迅速通过。这一技术提高了各生产工序中产品的强度的均匀性。真空挤出消除了一直存在于产品中的、由螺旋推进器造成的分层现象。螺旋推进器是连续挤出机的一个不可缺少的部件。真空挤出法至今仍广泛用于建筑粘土制品工业。

尽管蒸汽机是建筑粘土制品业工业化和发展的动力，是手工制造向机械化生产转变的动力，但这种推动力持续时间不长。以蒸汽为动力的机械化工厂出现于1860年，到1900年，已改用电动机，到1920年，许多内燃机已用于工厂内外的采土和运输上。

1925年，水泥工业的机械化使得大量较便宜的混凝土制品投入市场，这就在建筑粘土制品工业中引起巨大变化。由于街道和公路使用了混凝土，铺路砖工业因而在本世纪20年代急剧衰落下来。在墙体建筑中起承重作用的普通砖，其产量到1923年达到最高峰。此后，混凝土砌块、空心混凝土制品和钢材逐渐成为承重墙和内隔墙的基本材料。也正像古罗马时期那样，砖再次退居到饰面材料的地位。用于防火内隔墙的空心陶砖完全为水泥制品所取代，到1952年，这种砖的产量已微乎其微了。

这时，建筑粘土制品工业已意识到自己处于同水泥制品的竞争中。通过大量增加砌筑砖产量，制砖业已基本弥补了在普通砖市场上的损失。今天的建筑粘土制品主要是砌筑砖，排水管、地砖和贴墙砖，但在美国，现仍少量生产铺路砖、楼地板、空心砖、排水道砖、屋面瓦和引水管。注意这里未提到建筑用赤陶砖工业，因在后面另有叙述。

在建筑粘土制品工业革命期间，当某地人口集中到足以形成市场的程度时，工厂就在那

里纷纷出现。一些企业搞得不错，其他的则由于管理不当和技术落后，处于摇摇欲坠中。这种散乱状态不可避免地导致分散企业的合并或联合。这一现象出现于1899年。那年彼茨堡国家耐火材料公司接管了宾夕法尼亚、俄亥俄、新泽西、马萨诸塞和马里兰诸州的工厂。波士顿的新英格兰制砖公司也于1899年购得新英格兰州的工厂。次年，芝加哥的伊利诺斯制砖公司接管了附近地区的工厂。1905年，克利夫兰的鲁道维希和塞勒当二公司合并，而且还控制了好几州的工厂。^[6] 传播成功的管理方法、为获得较高利润而调节价格和为适应市场需求而订较好的生产计划，是引起这一阶段合并的驱动力。

出于类似原因，一些公司在截止20年代的兴旺阶段里继续发展。在制砖业上取得经验的格里兄弟于1908年新建一家制砖企业，并在1916年、1920年、1925年、1937年分别得到其他工厂。1928年，田纳西州的金斯波特制砖公司和约翰逊城页岩砖公司合为页岩制品总公司。该公司在两年内购得弗吉尼亚州的里奇兰和田纳西州的诺克斯维尔的工厂。

正如柯克在1932年指出的那样，这一时期的合并未必都是成功的。衣阿华州的8家工厂和其他一些州的30家工厂合并两年后就倒闭了。这一不幸的情况使柯克对该工业中如此大量的合并所带来的益处提出疑问。他指出，这些合并没有为达到具体目标而妥善计划过。这种对所要求达到的目的的分析，即使在今天这种工业经济环境中，也是一项基本的合并步骤。强调这点是必要的，因为建筑粘土制品工业现在仍有这一缺点。在工业革命的头四十年（1860~1900年），导致建筑粘土制品业迅速工业化的其他驱动力是人口的变化和社会的都市化。在这四十年中，美国的人口增长了一倍多，从1860年的31,513,000人增至1900年的76,094,000人。^{[13][14]} 每年都有成百万移民迁来。这些移民需要住房和工作用的牢固建筑物。在这一时期，都市化正全力进行，城市的防火是必要的。这一迅速上升的要求使砖、瓦和管道的生产得以摆脱手工制造。使用机械化、高效能的设备成为必要，而这又进一步要求组织良好的工厂和用来购买必需设备及派于其他用途的资本。农夫与商人再也无法跟上不断扩大的经济了。

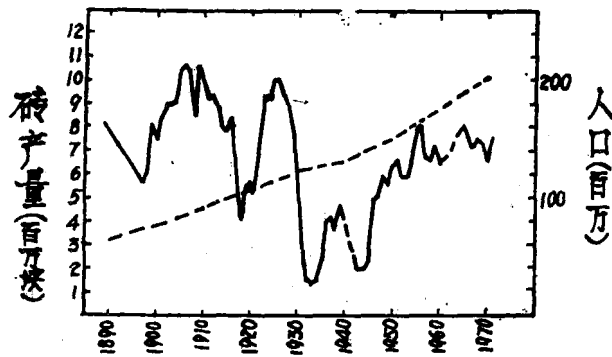


图7 美国历年砖产量与人口的关系

作为建筑粘土制品工业所有部门的经历，以稳定的制砖工业为例，我们可看到经济失调对该工业发展的影响。图7是与人口对照的20世纪美国砖生产的情况。该图可作对潜在需求的衡量。图中实线代表近几十年来的砖产量；虚线代表同期人口的增长情况。一般认为，砖产量随人口增长而增长。然而，战争和经济萧条对该工业灾难性的影响却清楚地反映到数字上了。1907年的金融大恐慌在1908年的砖生产中显示出来。第一次世界大战造成短期的建筑施

工量的下降，为1922年砖产量的疾速上升所弥补。大约是第一次世界大战结束后的10年，30年代的经济危机使砖产量降到相对于人口需求来说的极低水平。正当建筑和砖生产开始从经济崩溃中恢复时，第二次世界大战使砖生产实际停止了四年。从第二次世界大战结束起，制砖业一直在努力满足需要。由于人口的稳定增长，建筑粘土制品工业在每次经过经济不稳定时期后，都会出现一个迎头赶上的情形。

1-3 科学革命

让我们回顾一下历史，看看工业革命的开端和发展及其对我们文化的影响。现在，我们正处于C·P·斯诺称之为“科学革命”的又一社会经济变革中，^[16]但其边缘我们还看不清楚，因为这场革命还在进行中。现在仅能对这场革命的作用作个推测。认识到这一革命正在发生，并认识到它将对文化产生的影响或许比机器对文化产生的还要重大，对我们是极端重要的。科学革命的冲击已触及到建筑粘土制品工业，建筑粘土制品工业必须比任何时候都更清楚地意识到这股力量。

C·P·斯诺将科学革命的开端划在本世纪20年代，或者说，是我们开始实际利用亚原子粒子的时候。对建筑粘土制品工业来说，导致这一新变革开始的诸项发现的完成时间较此为早。到1935年，适用于该工业的科学知识已具备。但经济危机和第二次世界大战使这些知识的应用推迟到1946年后。这对建筑粘土制品工业的建筑用赤陶砖工业部分来说太迟了。即使现在，整个建筑粘土制品工业在适应科学革命上仍是缓慢的。与这一变革所产生的新兴工业不同，该工业成千年来的传统看来难以冲破。

就建筑粘土制品工业来说，科学革命的种子早在1895年W·K·伦琴发现X射线时就播种了。这颗种子经过休眠后萌芽于1912年。这年，当劳厄和弗里特里希表明X射线是由晶体原子衍射的时候，他俩带来了第一个新芽。1913年，W·H·布拉格^[16]和W·L·布拉格^[17]对得自X射线衍射数据的晶体结构作了数学解答，并写出著作。他俩正是用这一著作精心培育这个新芽的。由于许多科学家对他们所能接触的每块晶体都作了衍射图，科学革命的这些幼芽因此能从一个地方到另一个地方自由地在生长起来。衍射图一张张地添入技术文献中。尤其重要的是，将X衍射运用于细到连显微镜也不能测出其结晶度的细粒材料上。这些材料是在土壤和粘土中发现的、过去被认为是非结晶的物质。

1930年，L·波林^[18]收获了所有这些科学栽培结出的果实，奠定了建筑粘土制品工业科学革命的基础。他将有关无光泽、云母状的矿物的资料搜集、整理出来，由此推演出粘土矿物的晶体结构。建筑粘土制品工业第一次认识了其工作对象。在此之前，粘土矿物因其超细度的晶体，从未有过详细描述。

作为所有粘土加工基础的粘土矿物学得到进一步发展。霍夫曼、恩德尔和威尔姆在1933年就一种叫作蒙脱石的特别有趣的粘土矿物结构作了报告。^[19]罗斯与亨德利克斯于1945年提供了有关这种矿物的更多的、广泛而详细的情况。^[20]布林德里在1951年提出了建筑粘土制品工业确定粘土矿物和其余有关的云母状矿物的方法。^[21]然后，格里姆将有关所有粘土矿物结构及其在水中的性质、干燥特性和加热中形成的产物等资料汇编成书。该书初版于1953年，修订于1968年。^[22]

另一种可检验和确定原料或成品中结晶物相的科学工具也传入建筑粘土制品工业，这便

是岩相显微镜。T·N·麦克维在1934年曾促使我国陶瓷工业使用这一工具。这一仪器现在仍广泛用于检测粘土制品中决定着许多物理特性的微观结构。

任何陶瓷都涉及高温化学反应。1884年，H·L·累沙德利埃在研究高温加热中粘土放热与吸热反应时，取得了科学的突破。^[24]为测定这些热效应，他用了一个pt-pt10%Rh热电偶。然而在1934年格兰戈将差热电偶原理用于测定加热粘土矿物的加热效应前，累沙德利埃的这一成果一直未被我国陶瓷工业所利用。^[25]因斯雷和尤厄尔^[26]使用了这一称为差热分析的方法。诺顿^[27]恰在第二次世界大战前鉴定了用于粘土矿物学的这一方法。实践证明，在理解焙烧过程和提高焙烧质量上，差热分析是非常有效的，尤其在X射线衍射配合使用时更是如此。第二次世界大战后，这一技术开始在工业中应用。

在第二次世界大战期间发展起来的电子装置，于1946年用于实验室和工厂。电子仪器开始在建筑粘土制品工业中得到使用。从那时起直到现在，这一领域进展迅速。阴极射线管、陶瓷晶体管和磁铁的出现及为进行宇宙探索所作的努力给指导和控制所有工业，包括建筑粘土制品工业在内的工业生产，提供了许多新型仪器和改进的仪器。

最近，克莱姆森大学的G·鲁滨逊研制出一种声学仪器。用这种仪器，可在焙烧和冷却时监听并记录出现于制品中的宏观裂纹和微观裂纹的声音。这一技术即刻应用到建筑粘土制品工业。^[28]这种仪器大有助于制订最佳焙烧和冷却制度，达到节省燃料、提高质量的目的。

需有受过技术训练的人员支持工业革命。随着工业化逐步趋向复杂，发明家和能工巧匠已不再够用。工程师被要求建造、经营和管理工厂。导致科学革命的科学与实际应用激发起巨大活力，越来越多的科学定理带来了实际效益。在第二次世界大战末期，几乎所有美国人都相信：一切问题都可在基础科学研究中得到解决。

甚至在各工业自身意识到这种需要之前，一些高度工业化的州的政府已开始提供陶瓷工业的工程教育，时间在上世纪末本世纪初。早先，一家工厂若从未雇过一个工程师，这并无关大局。美国陶瓷工程教育开始于1894年，创立人为俄亥俄州立大学的小爱德华·奥尔顿。现在的纽约州立陶瓷学院建于1900年，第一任院长是查尔斯·F·宾斯。制订陶瓷工程教学大纲的第三所学校是新泽西州的拉扎尔斯大学。该校建于1902年，由C·W·帕尔米利主持。下面还有伊利诺斯州立大学和伊阿华州立大学。这两所学校分别于1905年和1907年设立陶瓷工程课程。今天，已有20所大学将陶瓷工程和陶瓷科学课程纳入教学计划，还有其他许多大学设有陶瓷科学课程。

理查森^[29]在1903年明确评论到，建筑粘土制品工业在吸收大学毕业的工程师和科学家上是缓慢的。他观察到，该工业技术缺乏使其利润减少。他用下面这段话分析了这一形势：

“我们现在无疑是在我们的制砖机械效率中引导这个世界的，但在有关粘土的精确技术知识上，在为特殊用途而对粘土处理的最佳方法上，在科学的干燥和焙烧制度上，实际上，在所有涉及粘土制品生产的化学过程中，我们都有许多要学的。学习的途径只有一种，这就是通过在技术学校里训练我们的青年人，教给他们一整套陶瓷工程课程。”理查森的这一呼吁为建筑粘土制品工业所忽视，这又引起诺顿^[30]在1934年说到：“陶瓷工业对受过高级训练的工程师和科学家的需要量，比它自己意识到的还要大……。作为对受过完整训练的人员需要的例子，让我们看看制瓦业的情形。制瓦业竟解决不了釉面瓦的裂纹问题，这是令人吃惊的。毫无疑问，无裂纹的瓦是可以做出来的……。需要的只有两点，即：对有关定理完全理解和

制造过程中更加谨慎的操作。”

“还有一例，就是砌筑砖工业。因砌有这种砖的墙出现许多裂缝，该工业已损失了价值成百万美元的生意……；还因砖墙的泛霜，也使该工业损失大笔生意。泛霜使墙面看上去极不雅观，这就在许多场合下完全限制了建筑师使用这种材料。在眼下，我们还不完全知道造成泛霜的原因和消除这一原因的办法。……找到其原因和消除办法看来并非不可能。该工业需要这样的技术人员：他们有足够的眼力看到他们广阔视野中的这些问题，并在自己大有可为的市场受到其他种类材料的严重入侵前，解决之。”

建筑粘土制品工业的一个部门——建筑用赤陶砖工业，因缺乏科学原理的指导，只经过30来年就垮台了。而在这段时间里，科学原理用于建筑粘土制品的迫切性已被指出。到1910年，早期的建筑用赤陶砖迅速扩及到至少七个州。在这种高度装饰性的建筑粘土制品开始生产不久，对颜色的需求量越来越大。约在1884年，泥釉或化妆土已广泛用作着色材料。到1900年，釉料已普及。这一市场需求的变化将该工业从红焙烧色块体扩大到浅黄焙烧色炆器土和掺加20~45%熟料以控制收缩的低级耐火粘土上。这种淡色坯料更适合鲜艳着色剂的应用。^[31]但这种材料上的更换和釉料的使用却出现了问题。

恰在建筑用赤陶砖工业继续发展的时候，耐风化方面出现了问题。釉料在使用期中发生裂痕，砖体裂纹出现，装饰表面的剥落完全损坏了一些建筑。这一风化问题在1915年已注意到，1917年克莱尔已为此而伤脑筋。他列出造成这一问题的诸原因：有缺陷的坯体混合物，霜冻作用和变化无常的焙烧环境。^[32]希尔在1922年认为造成这一问题的原因可能是：水通过劣质灰浆缝进入陶砖内部、建造质量低劣的墙体、使用中由于砖体的含铁量引起了湿膨胀。^[33]将责任从制造工艺推卸到砌墙工艺或根本无法消除的原因上，是建筑用赤陶砖工业的典型作法。

由于建筑用赤陶砖工业缺乏解决这些问题的科技人员和方案，于是，国家标准局自1917年^[34]开始同由国家赤陶砖学会主持的一团体合作研究赤陶砖问题。在弄清这一给建筑用赤陶砖工业带来灾难的问题上，1927年斯伯瑞尔首次取得突破。他测定了一些普通陶瓷体的延时湿膨胀。^[35]延时湿膨胀通过从釉面裂纹进入产品内的水的结冰，造成釉面的裂痕和制品的最终破坏。两年后，舒利希特和波尔找到了无须弄清其基本原因和效应就可防止湿膨胀的方法。^[36]他俩用菱苦土和高炉矿渣降低了湿膨胀。他俩还发现，将坯体焙烧到仅有很低的孔隙率，使水无法渗入，可降低湿膨胀。

然而，这些努力远远不够且已为时过晚。尽管建筑用赤陶砖在许多场所都处于衰退中，但其产量在1926年仍达到最高峰。1926年，圣·路易的西北赤陶砖公司建成一座称为“世界第一工厂”的隧道窑工厂。^[37]此时，建筑用赤陶砖工业至少有27家工厂。到了1931年，工厂纷纷倒闭，到1935年，建筑用赤陶砖工业就垮台了。这时，它已无法利用致力于研究这一问题的研究者的发现。1945年，美国陶瓷学会撤销了赤陶砖部。仅有几家工厂继续生产到1960年。从这一年起，建筑用赤陶砖市场就不复存在了。就目前所知，当时仅有一家工厂生产定做的赤陶砖，该厂在加利福尼亚州。这一惨痛教训使整个建筑粘土制品工业醒悟过来了，看清为了更好地认识原料、制造方法和使用性能而及时进行基础研究和应用研究的必要性。

发生在美国的科学革命终于在1949年开始渗入建筑粘土制品工业。由于建筑粘土制品工业由几家大公司和许多较小公司组成，因此倾向于合作性的研究和研制规划。这一年，国家

粘土管道研究所和建筑粘土制品研究所都在着手大范围的研究和研制规划。大约与此同时，4~5家大公司制订出他们自己的质量管理和应用研究计划。这些努力可能是被几所大学的研究计划激发起来的。这些大学自1929年起就开始向建筑粘土制品工业灌输有用的概念。

国家粘土管道研究所于1949年在洛杉矶建立起一座实验室，进行建筑粘土制品工业有普遍意义的工作。1957年，实验室迁到伊利诺斯州克里斯特尔雷克的新地区，实验室工作在那里仍非常活跃。研究工作的价值可以由自1950年以来出现于该工业的革新和改进中看出。对原料和各制造工艺更好的认识带来了无釉玻化陶管、直管和工厂装配式压缩接头，最终使各成员公司获取了更大的利润。

建筑粘土制品研究所由生产砌筑砖和承重空心砖的成员组成。该所在芝加哥的保险研究基金会设立了建筑粘土制品研究基金会，由罗伯特·B·泰勒领导。那里的工作开始于1950年，旨在力图降低费用和改进砖瓦结构的建造方法。研究工作发展迅速。1955年在伊利诺斯的杰尼瓦建立单独的研究实验室成为必要。在其后的13年中，杰尼瓦研究实验室和艾尔弗雷德大学纽约州立陶瓷学院进行了一项最活跃、最成功且范围广大的研究工作。遗憾的是各成员公司仍不懂得为保持其生意兴隆而进行科研的必要性。不到10年，他们就对研究的进展速度感到不耐烦。他们不愿为了科研成果的应用而在其工厂进行变革，他们在确定研究项目上意见不一致。在此期间，几家大公司发展得更大，一些主要有限公司为经营的多样化买进建筑粘土制品公司的股票。这些组织对合资经营已失去兴趣，因为他们本身已有能力为所制订的较适合自己需要的研究和研制计划提供资金。结果，1967年当研究所迁到弗吉尼亚州麦克莱恩的新址时，以前的研究项目已基本被废弃。一项有关建筑设计试验的小计划现仍在那里进行。该所最近易名为“美国制砖研究所”。

即使在砖瓦研究的这段短暂时间里，仍完成了几项重大工作：确定了制品向不同尺寸、形状发展的方向；作出抗爆建筑设计，并在核爆炸条件下进行了试验；完成收集各类墙体热值数据这项巨大工作；首创工厂装配式砖墙板；研制出用于航运的产品自动密封包装；解决了制品表皮泛白这个令人头疼的、焙烧中出现的问题；完全弄清了风化这一在使用期中出现的问题。其他那些进行中的计划可惜未能继续下去。

在科学革命影响下，1960年以来砖瓦工业中完成的部分重大项目有：

1. 通过更好的控制仪器和设备设计，改善了干燥和焙烧环境；
2. 制品从成型到隧道窑车的码坯自动化；
3. 装运前产品的密封包装；
4. 提高了控制和适应原料的能力；
5. 推广了耐久性强的产品的生产。

目前，窑车自动装卸刚在几处研制出。人人都意识到节省燃料的必要性和一种能源替代另一种能源的可能性。

田纳西州诺克斯维尔的页岩制品总公司作了一项确实重要的关于工厂设计和管理的试验。该试验是页岩制品总公司、Acme制砖公司、比克尔斯塔夫粘土制品公司、保伦粘土制品公司和哈罗普陶瓷服务公司这五家公司，在1965年联合研究的结果。1967年，页岩制品总公司建成一座密集码垛焙烧砌筑砖的全自动化工厂。1974年调整前，这家工厂一直按此法生产。尽管焙烧过程中存在一些困难，但这一方法仍具生命力。从技术上讲，自页岩制品总公司首创中取得的经验现在已能够克服这些困难了。

由于建筑粘土制品工业的科学革命和美国人口的增长, 1950年左右又出现了一股公司合并的新驱动力。这股力量一直持续至今。在科研、自动设备、仪器(包括计算机)、新型隧道窑、干燥室和市场贸易上所需供应的数量是小公司无法承担的。从1952年到1970年底, 许多私营小工厂被一些大的全国性的公司买进了, 并出现建筑粘土制品公司与其他有关工业的公司合并的情况。

还有其他几种力量在起作用, 使建筑粘土制品工业中公司的合并还带来另外一些好处: 较好的管理方法可得到推广、在任何工厂的生产线上产品有更大的灵活性、有了更有效的销售力、这样可使产品更好地分销。

我们现在正处于科学革命之中, 至于我们将被引向何方, 仅能从推测中想象, 但有一点是可以肯定的, 那就是: 将来的发展只会对建筑粘土制品工业有利, 并且越早地利用革新成果就越好。对建筑粘土制品工业发展趋势的推测, 将在本书最后一章论及。

1-4 建筑粘土制品的分类

在历史发展中, 这种或那种建筑粘土制品不知被提到过多少次。在更详尽地探寻与该工业有关的科学和技术之前, 我们最好先浏览一下列在“建筑粘土制品”项下的所有制品。为方便起见, 将其按一定顺序列入表1。根据制造方法、用途和已被公认的术语等, 分为四类明显不同的制品。

如该表的注释所示, 表内列出的所有制品的颜色均不相同。基本颜色为红、浅黄、白三色, 视原料而定。因成分变化和焙烧环境不同, 这三种颜色的深浅程度也有所变化。红色包括从桃红依次变化到近乎黑色的一系列颜色; 浅黄色则包括从淡乳黄色依次变化到灰色的一系列颜色。有时还加入着色剂, 以加强棕、蓝、绿、黑等颜色效果。为了美学效果, 人们在砌筑砖、饰面砖、墙地砖上通过饰面、纹理和釉面创造出的色彩千差万别、数不胜数。然而现在有一点变得清楚了, 即: 颜色必须控制在人类视觉范围内。

建筑粘土制品的分类 表1

一、砖

(一) 砌筑砖

1. 挤出的硬泥成型砖

(1) 实心砖: 素面的、表面有纹理的或上釉的砖

(2) 多孔砖: 素面的、表面有纹理的或上釉的砖

(3) 墙板砖: 素面的、表面有纹理的或上釉的

2. 模制砂面砖——软泥成型砖

(1) 砂面起纹理的砖

(2) 砂面上釉的砖

3. 干压法成型砖

4. 轻质砖

(二) 普通砖(低标号砖, 用于内墙——译者注)

(三) 铺路砖

二、薄壁制品

(一) 空心砖 (用于墙体建筑)

1. 隔墙砖

2. 饰面砖: 素面的、釉面的

(1) 标准配砖; (2) 吸声砖; (3) 轻质砖; (4) 空心砌块

3. 烟囱砖

(二) 地面砖

1. 缸砖

2. 大型的: 各种形状的素面砖、有纹理的砖和釉面砖

3. 马赛克铺地砖

(三) 贴墙砖: 一般为釉面的

(四) 烟道砖

(五) 屋面瓦

三. 陶土管

(一) 污水管和排水管: 素面或釉面的

1. 有轮毂接头的

2. 直管

(二) 耐化学腐蚀的: 素面或釉面的

(三) 引水管: 素面或釉面的

(四) 排水道砖

1. 平型

2. 孔洞型

四、建筑用赤陶砖: 素面或釉面 (琉璃的)

(表中所列每一制品的颜色和尺寸各不相同。)

表格注释还表明: 规格的大小和形状各异的制品招致大量尺寸的差异, 如砖的规格有:

$11\frac{5}{8} \times 3\frac{5}{8} \times 1\frac{5}{8}$ 吋, 即 $295 \times 91 \times 40\text{mm}$; $203 \times 92 \times 57\text{mm}$, $295 \times 193 \times 91\text{mm}$ 或更大的

等等。建筑饰面砖中不同尺寸和形状的砖的数量更大。陶土管直径从 4 吋到 42 吋 (10.2~107cm) 不等。任何这种制品中尺寸的过大差异是不允许的; 所有建筑砌体必须互相协调。

根据用途, 砖基本上可划为三类: 砌筑砖、普通砖和铺路砖; 每类都要求具有适合其用途的特性。今天, 普通砖和铺路砖仅占整个砖生产的一小部分。普通砖不能用在处于风化环境中的墙面上。普通砖常被看作等外品, 是生产中的失误或事故的结果; 但一些工厂已准备好接受定货, 生产用于建筑物内耐火墙上的普通砖。当然, 这种砖的出售价格较通常的砌筑砖为低。

砌筑砖所属各小类按制造方法划分。塑性粘土原料通过机口挤出而成的制品在建筑粘土制品工业中称作硬泥成型制品。用这一方法可生产实心制品, 也可生产空心制品。在实心砖挤泥机机口中加上芯件就可制出空心砖。墙板砖按适当尺寸和形状制作预制墙板。预制墙板做好后, 作为完整墙体的一部分进行装配。模制砂面模砖用软泥成型法制作。这种砖模内衬有沙子以防粘土的粘附。尽管在现代工厂里这是一道高度自动化的工序, 但它也只是对工业化前的手工制砖法的改良。现在, 美国已不用干压法制作墙面砖了, 但表中仍将此法收入, 因