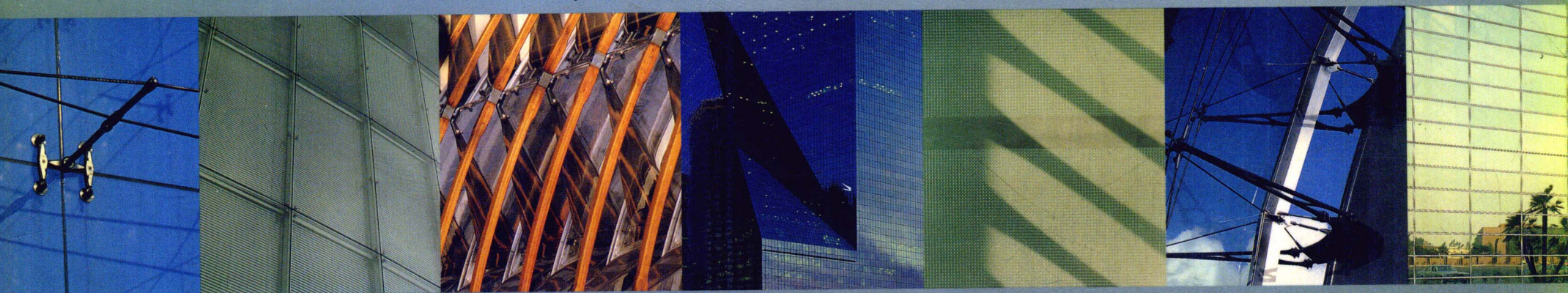


(英)Michael Wigginton 编著
李冠钦 译



建筑玻璃

建筑玻璃

(英) 米歇尔·维金顿 著
李冠钦 译

机械工业出版社

本书版权登记号：图字：01 - 2002 - 5030

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑玻璃 / (英) 维金顿著; 李冠钦译. —北京: 机械工业出版社, 2002. 11
ISBN 7 - 111 - 11078 - 1

I. 建… II. ①维…②李… III. 建筑玻璃 IV. TQ172. 72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083301 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 彭礼孝 张亚秋

中华商务联合印刷 (广东) 有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

2008 年 8 月第 2 次印刷

1040mm × 1200mm 1/16 · 15 印张 · 627 千字

定价: 260.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677 - 2527



6	引言				
10	第1章 玻璃使用的历史和建筑背景				
60	第2章 玻璃技术				
84	第3章 玻璃建筑案例分析				
110	威利斯·费伯和杜马斯大楼, 1975	172	玻璃墙 - ‘les serres’, 1986	220	第4章 未来: 材料、智能与职责
	福斯特设计室		阿得里恩·费恩斯伯		
	英格兰, 伊普斯维奇		Cite des sciences et de l’		
116	科林博物馆, 1980		industrie	239	第5章 附录
	古拉·布里克斯及其设计室		帕洛阿尔托研究中心,	240	附录1 材料和性能
	纽约科林		法国巴黎	270	附录2 玻璃制造
122	联合银行塔楼, 1986	178	玻璃音乐厅, 1990	283	附录3 制造部分
	贝律铭及其同事		皮尔特·赞伦和米库·埃考特	287	附录4 其他玻璃和玻璃产品
	达拉斯喷泉区		荷兰, 阿姆斯特丹	297	附录5 透明塑料
126	卢浮宫金字塔, 1988	184	banque populaire l’ouest,	304	注释
	贝律铭及其同伴, 法国巴黎		montgermont,rennes 法国	306	参考书目
132	花园社区教堂, 1980		1990	308	参考书目
	约翰逊/布吉建筑师设计室		欧迪乐·德克和贝洛伊特·科里特	320	致谢
	美国加利福尼亚, 花园社区		及莱斯·弗朗西斯·里奇		
138	省政府与法院联合大楼, 1980	190	滑铁卢国际车站, 1993		
	亚瑟·埃里奇森设计室,		尼古拉斯·格里米梭及其同伴		
	温哥华		英国 伦敦		
144	IBM 旅行帐篷, 1986	196	西方早晨新闻大楼, 1993		
	伦佐·皮亚诺建筑设计组		尼古拉斯·格里米梭及其同伴		
150	劳埃德大楼, 1986		英国普利茅斯		
	理查德·罗杰斯设计组,	202	本瑟姆的住宅, 1984		
	伦敦		本瑟姆和科洛维尔		
156	西方化学中心, 1980		荷兰, 艾尔密		
	佳能设计室, 以及赫尔姆斯·奥	208	雕塑帐篷, 1986		
	贝塔和卡沙鲍姆		本瑟姆和科洛维尔		
	美国纽约尼加拉瀑布		荷兰, 桑斯比克		
162	商业发展中心, 1993	212	House extention, 1992,		
	诺曼·福斯特爵士及其同事		里克·马拉及迪乌赫斯特·马		
	德国杜伊斯堡市		克费兰尼		
168	RWE AG 总部, 1996		伦敦, 哈姆斯塔德		
	因格霍温, 奥弗迪克及其同伴	216	约瑟夫楼梯, 1989		
	德国埃森		伊娃·吉尼娜		
			伦敦		

引言

德国德绍城中鲍豪斯学派建筑的玻璃围墙，建于1926年，设计者是沃尔特·格罗皮厄斯。对玻璃的使用作为不可缺少的部分写入了现代建筑外表设计的理论基础中。

无可辩驳，玻璃是人类发现的最异乎寻常的材料。玻璃由地球上最丰富的矿物经熔化和冷却制成，是一种透明却岩石般坚硬的物质，玻璃还具有不易参与化学反应的特性，几乎任何物质都可以贮存在由玻璃制成的容器中。我们用玻璃制造出镜头、瓶子、纤维光缆以及玻璃织物和玻璃窗。在人类发现玻璃后的4000年中，对于玻璃的使用几乎涉及到人类创造世界的各个方面。

玻璃的多方面特性以及广泛用途扩展到我们生活和表现风格的各个方面，玻璃的主要成分是来源充足且价格低廉的矿物质硅，这使得它在人类制造和技术的发展历史中占据独特的地位，还同时使之成为各种当代设计师赖以使用的特殊材料，其应用的范围涉及到从光、无线电通信到电子工程等各个领域。

这本书阐述了玻璃在建筑中的应用，并且揭示了从一百多年以前，建筑设计师开始充分认识到玻璃的巨大潜力到现在，建筑玻璃应用的革命性发展历程。玻璃出现2000年后，人们才发现它可以用来制作窗子，而不只是用来制作饰品和水壶。这大概是因为最早发明玻璃的地方由于气候原因并不需要人们创造封闭透光的空间，也有可能是因为制造平板玻璃太困难了。不管怎样，这种想象力的跳跃一旦完成，立即就给建筑带来了全新概念的表现风格，而且这种风格还在得到不断发展和探究。

如果没有玻璃，在这个世纪的绝大部分时间里，我们不得不在昏暗的房间中度日，并且为了中和人们获取

天气保护、视野、隐私以及光线而产生的冲突，还要付出各种艰苦的努力。玻璃不但保护和服务于我们，它还为我们带来了哥特式大教堂的光辉和19世纪温室的美景，玻璃还巩固了伴随20世纪到来而发生的建筑革命。

尽管每年都有很多文学作品问世，但是有关建筑玻璃的文献参考却十分少见（与此有关的重要参考书目更多地收藏于一些私人藏书室中）。一本由某家厂商提供的技术内容目录，介绍得比本书更加深入，另外，还有一本由瑞典同行出版的有关镀铬氧化物的书籍，此书中有630页介绍了科学的发展，其中后100页是各种原始资料来源书籍和论文的参考书目。现在人们已经将玻璃和透明物质列入了高科技的领域中。

考虑到需要掌握的技术内容的巨大数量及其发展的速度，任何作者想要创作百科全书式的参考书目的想法都是愚蠢的。本书的构思和创作目标并不是要涵盖建筑玻璃的各个方面，而是致力于帮助那些希望使用玻璃的人们，帮助他们理解玻璃特性及其潜力，同时使这些人能够更好地相互沟通和理解。

如今的建筑和设计依赖于技术认识的不断发展。有这样一种文化达观的普遍信条，即如果我们不能很好的控制技术，它就会反过来控制我们。有一种悠久的观点补充了这种信条，认为在很大的范围内建筑科学起源于技术。从维特鲁威到维奥莱-勒-杜克的建筑理论，我们能够学习到建筑流派在设计意图和材料使用上的变化，同时也能够了解到20世纪对技术

的困扰正是继承长期传统所致。

出于对技术本身的兴趣而过分迷恋于此是十分危险的，这并不比完全基于无知的创造高明多少。正是因为头脑中有这样的观点，我才要试着创作这本书，力图使建筑师、玻璃技术专家和制造商之间，能够通过有意义的方式进行相互沟通。

这本书主要分成两个部分，按照两种不同的方式阐述主题。第一部分主要以叙述性的语言讲述玻璃在建筑中应用的历史，避免对科学技术细节的讨论；第二部分系统地介绍了玻璃应用技术。尽管在两个部分之间进行了交叉附注，但是不可否认，这种带有大量参考指示的交叉附注显得太分裂了。因此索引在两部分之间充当了重要的通道，同时也为了解主题内容提供了线索。



第1部分包括四章，其中的每一章都可看作是独立的文章，包括玻璃使用的历史、最近的技术发展、20世纪最后几十年中玻璃在建筑中的应用以及对未来美好前景的展望。

第1章，玻璃使用的历史和建筑背景，介绍了玻璃应用达到现在状况的过程，解释了玻璃制造技术的发展是如何缓慢影响建筑形态的。本章将注意力集中在建筑玻璃发展的五个重要历史时期，解释了制造技术的进步在不同时期如何促进建筑玻璃向前发展。在这里作者无意对建筑玻璃发展历史的各个方面都作详尽的回顾。这部分也不是作为内容涉猎广泛的原始资料教科书而编写的，这样的教科书内容过于繁冗，如果按照这样的风格编写，光这一部分就可能都会超过现在全书的厚度，更重要的是它违背了作者创作的初衷。注释的参考目录可以引导读者去阅读一些原始资料教科书，从这些书中足以找到玻璃发展历史的详尽资料。

本书将玻璃的历史看作是一幅背景画卷。在这里，那些阳光照耀下的山峰（也有一些昏暗的峡谷）就足以阐述玻璃与建筑之间关系的长期发展过程。伴随着玻璃制造技术的不断进步，出现了一系列建筑玻璃发展的重要时期，这些重要时期以玻璃制造技术的巨大进步和伟大建筑的出现为代表，本书将描述每一时期的重要代表作，并且阐述玻璃的特性和建筑的总体表现形式。

本章第1节描述了玻璃发明时期的情形，解释了玻璃的化学成分、制作工艺与性能表现之间相互依赖的关

系。玻璃的性能与采用的原材料和制作工艺息息相关。在发现了玻璃制造实质的2000年后，人们才掌握了平板玻璃的制作方法，而这恰恰为玻璃建筑的出现奠定了基础。

在引言部分之后，接下来的两节介绍了最初的两个重要的玻璃建筑时期：哥特式建筑时期及其后继时期。第4节介绍了17、18世纪时玻璃制作技术的进步，以及由之带来的文艺复兴时期建筑在欧洲的发展和传播。第五节将我们带入到19世纪的早期，这一时期以温室建筑为代表，并由之引出了题为商业殿堂的第6节，在这一节中，着重介绍了19世纪下半叶的技术革命，并由之带来的温室建筑的巨大发展。

简短的第7节陈述了玻璃在“框架加外壳”建筑中所充当的重要角色。这种建筑形式起源于芝加哥，并于19世纪末传遍全世界。由此，很自然地引出了最后的小节，这两节主要介绍了发生在21世纪的新一轮技术革命。

玻璃的制作工艺是逐渐进步的，而且人们也在缓慢地认识到将一些材料掺加到玻璃中可以改善玻璃的性质，这些内容在所有小节中都会逐个世纪的进行描述。作为本书中最长的一章，本章包括了对建筑发展的回顾，需要特别指出的是，此回顾的焦点是建筑形式的发展变化，而这些发展变化的巨大意义恰恰得自于对玻璃的使用。而对于建筑演变过程中对玻璃使用的缓慢发展进程，文章的焦点并非在此。举例来说，使用玻璃在建筑上开窗，这本身在英国建筑从中世

纪向前发展过程中就充当着重要的角色，但是本书中并没有对此进行深入的讨论。窗子的故事本身就是很有意义的，它值得用单独的一本书去讲述，但是我们这本特别的书中并没有做这样的尝试。

第2章玻璃技术，内容主要是对玻璃的总体看法，涉及到玻璃的实质、工作特性、制作工艺以及使用它的方法。本章首先介绍的是玻璃的制造技术以及玻璃的基本物理性质，然后提出了玻璃最基本也是最主要的特性——透明性，文中还讨论了玻璃的透明度问题。作为设计者，当我们与玻璃一起工作时，对透明度的认识将有助于我们解决一些必须考虑的问题。这一点在过去的20年中变得更加复杂，因为人们利用各种涂层改变玻璃的透光性，同时还发明了将玻璃组合使用的方法。玻璃并非唯一可以透光的材料，在这一部分里，我也提到了一些具有透光性的塑料材料，之所以如此是因为在一些复合系统中玻璃要与这些材料共同工作。

第3章建筑玻璃，从各个方面讲这一章都可说是本书的核心部分，它展示了我们同时代的人们，尤其是那些已经充分认识了玻璃材料的人们，是如何利用玻璃、如何欣赏和喜爱玻璃，并且利用它创造出伟大建筑杰作的。从这个意义上讲，较之对方法的介绍，这更像是对人类成就的展示和庆祝。一段介绍性的文字描述了从1945年到现在，建筑玻璃的发展历程，在这里有一系列的例子加以说明。每个例子都是建筑物，在这些建筑中，玻璃已经成为建筑概念的中心问题，并且得到了很好的使用。值得注意的是，其中的很多建筑使用了特殊的玻璃材料，或者发展了新的技术以支持其建筑概念。正是技术进步的威力带给建筑更强的艺术表现力和更漂亮的外观。这20个建筑并非是按照什么“排名前20”之类的概念选出的。在我写作这本书的同时，就有新的伟大的玻璃建筑正在设计中，而这正体现了玻璃材料的新兴力量。选取的建筑知识简单的表现了创造伟大建筑的技巧 and 知识。

第4章玻璃建筑的未来，描述了就在我们面前展开的美好的未来世界。最近的10年改变了我们考虑建筑玻璃的方式，同时也为建筑师和设计师提供了新的概念，换个角度讲，他们有责任不断了解和掌握新的技术。色素、气凝胶、高性能的化学组成以及nm技术的引进向我们展现了更加丰富的材料世界，而这将会带来新的建筑革命。当然我们也不得不为性能需要、能源使用以及资源和生态保护进行不断的斗争。

一批新的建筑正要拔地而起，随着技术的发展，玻璃将要成为这些建筑的中心材料。本章讨论的建筑发展的方向以及相关的技术（特别是显微技术），同时也提出了未来建筑玻璃发展的日程。

在这四个章节之后，给出了五个附录，主要介绍了当前玻璃技术的术语。文中用通俗易懂的方式描述了材料的核心技术。并且结合玻璃的物理、化学和性能表现讲解了玻璃的制作技术。与那些透明塑料一样，其他的非建筑用玻璃也在文中有所讨论。书中还介绍了玻璃制造的产业结构，对于那些要为玻璃技术提出新问题的设计师们，增加这些内容的认识是非常重要的。

即便在这本书即将完成之际，不管这本书的厚度和酝酿它的时间，材料的选取都应该占据重要的地位，因为我并不想要包罗万象。这一点在我描述20世纪90年代初期的建筑时表现得尤其突出。最近5年通过阅读国际性的杂志，我们已经能够看到一些美妙玻璃建筑的雏形。本书并没有为了参与20世纪末对建筑玻璃发展的庆祝而给出玻璃建筑物的目录，作者做出这样的决定是痛苦的，但却是经过仔细考虑的，因为这样的内容必定会与其他出版物相重复。非常重要的是，本书展示了雄厚的建筑和技术的基础，这个基础将会是历史性的，因为当我们跨入21世纪的时候，它必定会带来玻璃建筑的新时代。

第1章 玻璃使用的历史和建筑背景

1 加德满都的建筑。在将玻璃应用于建筑之前,人们对视野、隐私以及对阻挡风雨的要求必须通过其他的方法来满足。

2 伦敦水晶宫。著名的博览建筑物,由约瑟·帕克斯顿在福克斯和亨德森的协助下设计完成,这个伟大的玻璃建筑物掀开了建筑现代运动的序幕。

玻璃以其独特的方式融入到建筑史中,并形成了自己的历史。玻璃在其发展的最高水平显示出了重要的意义。这是因为,建造工作是文化与实用需求的有效结合,这种需求要求把建筑材料以某种形式组合起来;因此,人们对建筑的需求与固有的沟通欲望在这里汇合了。建筑程序以及建筑本身固有的表达方式依赖于明智、灵活地使用材料。同时这又取决于材料的可获得性、适宜性、成本以及制造它们的技术需要。另外所有这些因素又要因时间和空间的影响而产生变化。

在人类懂得建筑之后的几千年里,人类不得不努力满足通常是互相矛盾的两个建筑需求:一方面,为了满足遮风挡雨、免受侵袭、提供私人空间的要求,要建造密封似的建筑;而另一方面,为了照明以及满足人们视觉上的要求,要把光线引入室内。人类试图寻找这样一种材料,它既具有一定的硬度、稳定性、密闭性又具有一定的透明度。但这种寻找是失败的。因此人类不得不发明复杂的屏蔽技术,或者简单地说是使人类能够在黑暗环境中生活下去的技术。

玻璃的出现对于这个显然是不可能有答案的技术问题似乎是个命中注定的答案:如何制造出这样一种材料,它具有完美的透明度、耐磨损性、强度,并且具有一个可以很容易被社会接受的价格?

正像我们现在所知道的,要获得很好的透明度,对物理和化学上的要求是非常精确的。它要求有关的材料要具有独特的分子组成和原子结构。这些材料通常只能在液体中找到,而它们并不能形成很好的建筑用材。然而玻璃,这种过度冷却的液体,保留

了它的透明的特性。二氧化硅原子和分子中的特殊放射物被加热到熔化的温度,然后再被小心地冷却。这样,它们就不会结晶,相反却变得透明或不透明。大自然的这个偶然发明使人类获得了理想的制造透明石片的材料。这种材料来源于一种物质,这种物质在行星上很丰富并且很容易获得,这种物质就是:普通的石子。

然而,为了把沙子颗粒转化成可使用的透明产品需要很高的温度和制造工艺。这么高的制造工艺是很难掌握的。在玻璃烧制过程中焙烧窑是必不可少的。它可以提供足够高的温度来熔化掉那些坚如岩石的砂砾(这些砂砾要足够小以便于加热)。相对于温度的要求,更难以做到的可能是烧制技术了。人类必须提高烧制技术以控制熔化了物质的外形。当被熔化的物质逐渐被冷却,它会从一个浓而粘的、粘滞的状态过渡到光亮的玻璃态物质。

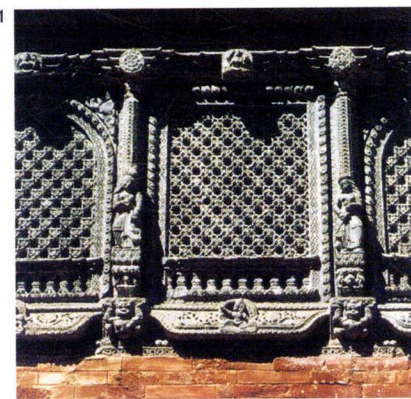
这种卓越技术和高超工艺的历史背景是几千年来小心守卫和秘密贸易的基础。这种贸易是以玻璃烧制专门技能为基础的。这种技能被严格限制在极少数的人当中,人们只知道掌握

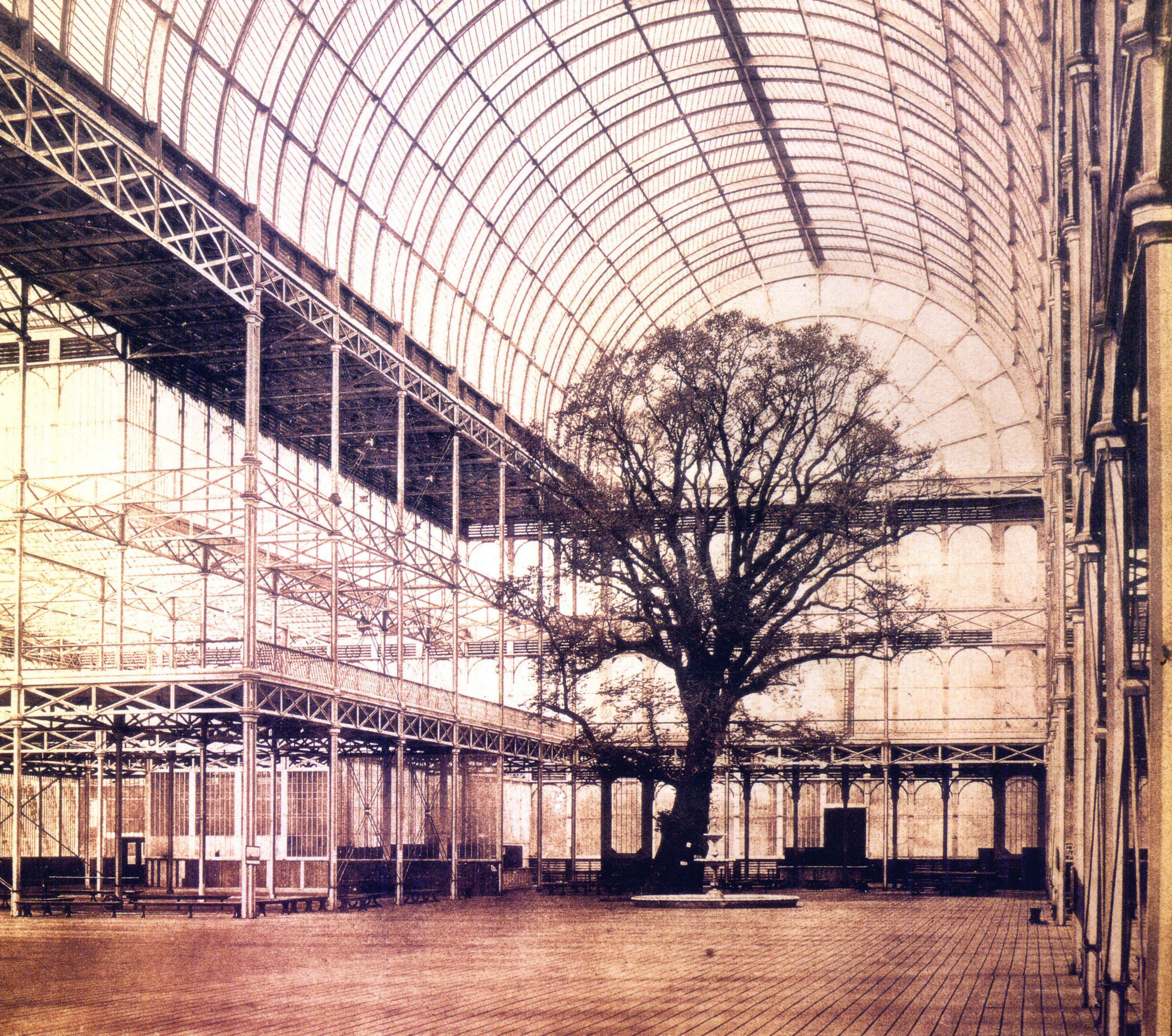
这些技能的人会得到很高的报酬,他们穿越大陆去其他地方满足人们不断增长的玻璃制造需求。

玻璃的发现发生在距今大约4000年前的地中海东部,很可能是在古代某个制陶窑里。当陶罐里熔融的硅石混合了炉膛上的碱性灰,可能就产生了玻璃。到公元前1500年,压制和模制的玻璃器皿在埃及已经相当普遍。并且玻璃制造技术也已经传播到现代威尼斯和奥地利的霍尔。亚历山大大帝在亚历山大发现了著名的玻璃制品。此前不久,也就是公元前332年,他发现了这个城市。

从第一块玻璃的发现到吹制玻璃的出现,2000年的时间已经过去了。制造在窗子上使用的足够薄、足够硬的玻璃已经成为可能。伴随着这项技术的发展,产生了新概念上的建筑学语言。这些语言直到现在还在不断地发展不断地被探索被研究。从最初简单的提供光线和满足视觉上的要求而同时可以不失去温暖的庇护,到新观念以及技术杰作的产生,这些技术杰作的重要品质都来源于这种美妙的材料——玻璃。

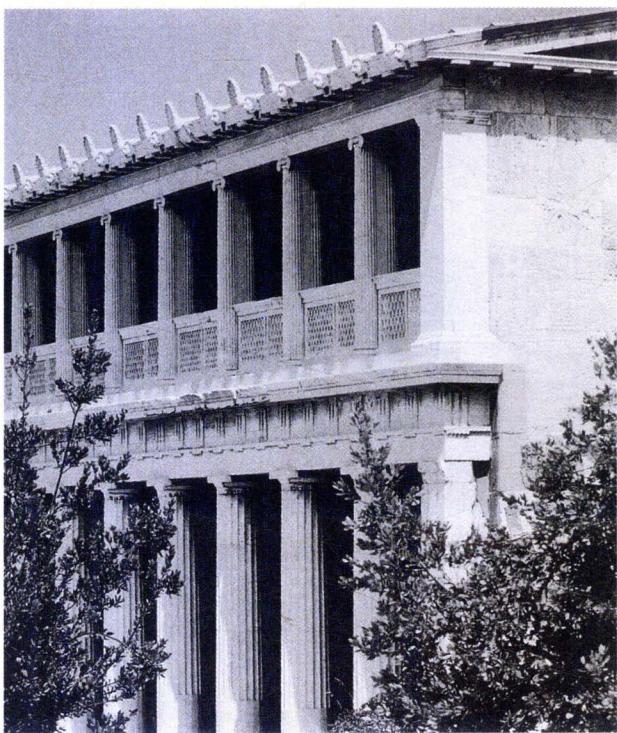
人类想象力的飞跃可能是导致吹制玻璃发明的最主要因素。吹制玻璃起源于公元前1世纪的叙利亚和巴勒斯坦地区。在建筑史上吹制玻璃是玻璃发展史上最早的一个里程碑。它要求利用技术把烧制玻璃的温度提高到1500℃左右,操作这项技术需要相当大的勇气。制造吹制玻璃的技术从叙利亚传播到了埃及,并且被用于制造容器和大而扁的盘子(窗户用玻璃的前体)。埃及玻璃受到了罗马征服者的高度赞扬,以至于埃及玻璃被当作贡品、礼物来使用。





然而,由于气候条件的原因,发明装有玻璃的窗户在功能上并不具有某种必要性。时间进入公元前1世纪,建筑学由于受到亚历山大大帝的推动而得到了很大的发展。这一点在维特鲁威的《建筑学十书》中得到了很好的记载。在这套书中维特鲁威用很长的篇幅介绍了希腊和罗马风格的建筑,并且很详细地介绍了相当数量的建筑材料和建筑技术。这些建筑材料和建筑技术在当时已经得到使用。在第2本和第7本书中关于建筑结构的论述读起来感觉上很像现代读物:书中对砖、沙子、石灰、火山灰、石头、木材都有涉及,同时被放在一起加以论述的还有造墙、造拱以及彩绘。但是这里面却独独没有玻璃。维特鲁威详细分析了建筑的实用功能和建筑的设计风格之间的关系,其中维特鲁威只关注两个方面的内容:舒适度以及气候条件。他基于这两个方面的考虑提出了对于房屋、居室的安置位置以及建造方位的建议。比如,冬天使用的房屋、居室就应设计有火炉,这就要求设计建造房屋时要考虑到清除烧火污迹的问题。

对维特鲁威或者说对希腊、罗马风格建筑的研究直到现在还在继续着。这种研究表明建筑的本质是如何相对地独立于玻璃窗户这个概念的。一年中大自然为我们提供了太多的光和热,而不透光不透热的建筑在人们看来似乎是一个安全的地方。不可否认,敞开的窗户是建筑结构中的一部分,设计者让光线穿过柱子或房顶上的洞(这个屋顶是作为房子的中院、正厅或是作为万神庙的屋顶,这不得而知)。像



3 雅典 Attalos 的柱廊,建于公元前159~138年(1953~1956年进行了重新修复)。地中海东岸地区是玻璃的发源地,但是对座落于此的建筑来说,玻璃并非必不可少的。在当地阳光充足的气候条件下,这个柱廊的设计很好地解决了环境控制的问题。作为过渡空间,下部柱廊的阴暗部分很好地完成了对公共街道与建筑封闭空间的衔接。

雅典重建的有拱形顶盖的柱廊或回廊建筑结构就向人们展示了在没有玻璃窗户的条件下,光、影、结构、安全措施是如何在一起相互调整而达到和谐状态的。中东地区的传统建筑一直保留到现在,它向人们揭示了同雅典的柱廊或回廊建筑结构一样的建筑理念。

除此以外,就像玻璃是半透明材料的一种一样,窗户也成为了建筑词汇的一部分。罗马已经出现了玻璃窗户,这种窗户用的玻璃大概有 1m^2 ,并且很可能是铸造成的。在庞培发现了窗户用的玻璃,这些玻璃有500mm宽,700mm长,12mm厚。典型的窗户用玻璃其厚度通常都在3mm以上,并且颜色偏绿。平板玻璃也被用来建造原始的温室,而且人们也喜欢

用柱柱修建黄瓜架:对于罗马贵族而言,能让蔬菜不分季节的生长实在是一大幸事。

玻璃制作工匠们制作技术的进步同两件事情息息相关:混合和成形。玻璃的化学成分是构成玻璃外形的基础,同时它也决定了制作玻璃的难易程度。在早期的一些发现中有一个很明显的事实,那就是在玻璃制作原料中加入一些混合性的添加剂可以降低玻璃原料的熔化温度。相反,采用其他一些方式放入另外一些添加剂却可以提高其熔化温度,而且还会制作出一种特殊形态的玻璃,这种玻璃有特别的用途。纯二氧化硅的熔点略高于 1700°C 。然而即使是在这个高温下二氧化硅仍然是呈粘性的(它流动1000次要比糖浆流动1000次困难)。况且这个温度并不能很容易的获得。纯碱助熔剂可以把二氧化硅的熔点降低到 800°C 以下,但是在这个温度下得到的最终产物遇水很容易破碎。我们再把石灰加入到先前的纯碱—二氧化硅混合物中,新得到的混合物可以抵御水的破坏并且可以提升其耐久性。但是这种由三种成分组成的混合物却很容易结晶。如何获得一种很好的平衡是选择添加剂和使实验取得实质进步的关键。幸运的是在硅酸盐中作为杂质存在的纯碱和石灰,使古代的玻璃制造者们可以较容易的进行上述实验。虽然我们用的添加剂是很有效的,但制作玻璃仍然很复杂。因为在玻璃制作过程中普遍存在着这样一个事实: 900°C 的温度可以生成一种叫做“玻璃原料”的物质。但是形成这种物质需要在 1100°C 的高温下连续作业16个小时或

更久(“玻璃原料”对混合物发生作用,从而生成大量的玻璃)。平面玻璃在化学组成成分上的改革在一个多世纪的时间里逐渐得到改良。经过这种改良所得到的结果已经达到了罗马的水平。其使用的助熔剂也同我们现在所使用的纯碱、石灰相似。这样制成的玻璃带着淡淡的绿色。它的各种化学成分比例为:二氧化硅占69%,纯碱占17%,石灰和氧化镁占11%,明矾、氧化铁和氧化锰共同占3%。

玻璃中的混合组成成分同大自然天然的组成成分以及人造材料有关,同时也受到了几个重要改良的影响。比如助熔剂、稳定剂、脱色剂以及其他作用成分的使用。然而直到18世纪末期这种混合成分仍然是不精确的。叙利亚是玻璃的诞生地,在玻璃早期的发展史中,叙利亚贝勒斯河岸的沙子无疑曾扮演过重要的角色。贝勒斯河沙的天然化学成分是:15%左右的碳酸钙,3.5%~5%的明矾,1.5%的碳酸镁,这为熔烧玻璃提供了一个近乎完美的天然组合。我们只需要再加入碳酸钠助熔剂就可以创造出一个“现代的”制玻璃原料。公元前650年的亚述石碑证实了一个古老的制玻璃方法:60份沙子,180份海蓬子属植物碱,5份硝石(就是我们通常所说的硝酸钾)和2份石灰。塞利歌尼亚是一种含有纯碱的植物。公元1世纪的普里尼的玻璃制法同亚述人的制法有着异曲同工之妙。它采用1份沙子和3份硝石。然而,无论配方如何变化,制玻璃的原始材料本身都为玻璃制造提供了一个很好的化学组合,即从海岸上得来的石灰加上从海生植物灰中获取的纯碱。

在维特鲁威时代之后的几个世纪里,玻璃逐渐发展成为一种非常重要的制作窗户的材料。它的功能也不再仅仅局限于作为一种透明的、抵御风沙雨雪的遮蔽物。在靠近罗马的圣·保罗康斯坦丁大教堂,人们发现了流光溢彩的彩色玻璃制品。这些彩色玻璃制品大约生产于公元337年。在地中海这种气候特殊的地区,玻璃的照明、装饰的作用要远比玻璃作为一种透明的防护体所起到的保护的作用要大。

就像我们今天所知道的,罗马帝国的向北扩张导致了玻璃安装业的兴起。玻璃工业在Saone和莱茵地区得到了发展,叙利亚、犹太和亚历山大的手工艺者在科伦和的里雅斯特建造了著名的玻璃制作厂,这些人使玻璃工业的发展跃上了一个新的台阶。在的里雅斯特,拉丁语 glesum (这本是德语中的一个词,是透明的,有光泽的意思)开始被使用。这也就是我们现在所使用的那个名字。中东地区的手工艺者在玻璃制作这个行当里一直处于统治地位,直到公元600年左右,德国侵略者的入侵才打破了他们的垄断统治。从公元400年,罗马帝国覆灭以后,作为玻璃制作中心的莱茵和隆河山谷一直保留着,同时,很多玻璃制作者也流向了波河山谷和利古里亚区。

叙利亚人对玻璃发展曾有过的古老的影响不能被低估。公元8世纪,叙利亚的旋转制盘术被证明对北方玻璃制作业的发展起过极其重要的作用。大约也就是在8世纪,威尼斯人的玻璃工业开始兴起。威尼斯,当今世界最重要的城市之一,被完美的建造出来了。它位于中东和北欧之间。当叙利亚的手工艺者们在进行着他们的贸易的

4 一个造于公元50~100年的意大利吹制玻璃碗,自从玻璃发现以后,玻璃制造技术就在不断地发展变化,但是直到2000年后,人们才找到了制作平板玻璃的方法,从而为玻璃窗的出现奠定了基础。

5 一个琥珀色的玻璃碗,由叙利亚-巴勒斯坦人的手工作坊于公元前200~150年制成,他们采用的制作程序现在已经失传。这个玻璃器皿就产于玻璃的发源地,它的完美造型和美丽颜色显示了控制玻璃材料的高超技艺,同时也说明当时的玻璃制造技术已经达到了较高的水平。

时候,威尼斯就自然而然地扮演起了完美的贸易中心的角色。到10世纪,威尼斯人的玻璃工业已经形成。以前占主要部分的流浪式的贸易活动从此有了一个全新的贸易背景。

威尼斯人最初是以制作装饰用的玻璃器皿和玻璃容器而闻名的。但他们很快就把他们的技术运用于制作窗户玻璃和眼镜镜片上。显然,在14世纪,威尼斯见证了这样一种完美的制作镜子的技术。制作镜子要使用具有反射作用的铁以及水银。在威尼斯和在北欧制作出来的平面镜都可以由两种制作方法得到:圆筒制作法和旋转制作法。

在人类第一个千年即将结束的时候,威尼斯人已经形成了他们的技术风格,尤其表现在用旋转法制作厚薄不均的平板玻璃上。北欧的制作者们则把这两种技术完美地加以统一,这一创造迎来了辉煌的哥特式建筑时代。到公元1000年,他们已经建立了一个具有相当大规模的玻璃工业。他们既使用旋转法也使用圆筒法制作玻璃产品,来满足教堂以及他们自己日益增大的对玻璃产品的需求。由于气候的原因,北欧拥有漫长的冬天,天空也经常阴云密布,这种气候使人们对玻璃的需求不断增长。

在12世纪早期,圆筒制玻璃法曾



4

被一位德国和尚西奥菲勒斯在他的Diversarium Artium Schedula一书中加以描述。在这段早期的描写记载了一项制作平面玻璃的技术。这项技术被使用了800年。其制作流程是这样的:用一个中空的铁管拾起一个熔化状态的玻璃球。接下来,往这个玻璃球中吹气并使之成为一个气泡,这个气泡不断膨胀,最终形成一个很大的空心球体。然后,将这个球体提起来并使之摆动,它就会变成一个玻璃圆筒。这个玻璃圆筒有一个半球形筒底,将筒底捏起并使之收缩,然后将“顶底杆”接到收缩筒底的顶部。此时,圆筒的另一端仍然是柔软的,而且也是敞开着。一个完整的玻璃圆筒就这样形成了。随后,这个圆筒将被再次加热,也可能被截去一部分以减少圆筒的长度,并要把表面整平、修光。塞欧费勒斯还给出了另外一种玻璃制作方法。这种方法具有北欧玻璃制作工艺的显著特点。这种方法所建议的玻璃原料由1份沙子和2份山毛榉灰构成。加热熔炉和制造木灰都会用到山毛榉,玻璃制造的循环本质对山毛榉的损耗减少与再生作出了显著的贡献。中欧地区将木材灰烬作为纯碱的主要来源,正是这一点将该地区的草碱玻璃与地中海地区的玻璃助熔剂是从海洋植物中获取的。

旋转法承袭于早期叙利亚人的发明,在中世纪的北欧仍然被使用着。旋转法被人们所熟知是由于一段对它制作工艺的描写。这段描写出自菲利普·德·凯克瑞,他生长在鲁昂附近的La Haye。他撰写这段文字的时间是1330年。这种U形环状的“帽顶”玻璃是这样制成的:制作时先吹



5

出一个球状物,然后将帽顶的一端(即敞开一端的对应面)粘贴在顶底杆和顿钻上。这个吹成的洞随着旋转不断的扩大,最终形成一个平面,看起来很像是一个盘子。这种玻璃盘的典型直径大约在600~700mm之间。

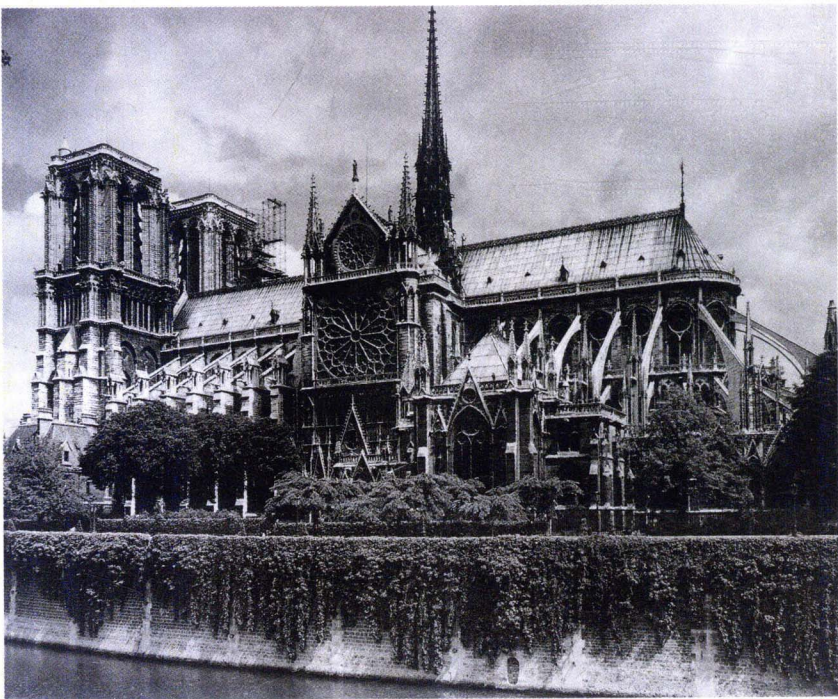
因为这两种制作玻璃的制作方法不同,因而制作出来的片状玻璃也是大不相同。圆筒法制出的玻璃更大、更圆、也更平一些。但是制作程序中不可或缺的第二次加热却破坏了玻璃的表面,这个加热程序主要是为了把外形整平。Marvering是制作吹制玻璃的程序,它通过让玻璃原料在一块石头上不停的滚动来制作玻璃。这种方法很有特点,但玻璃却很容易受到损害。由于在制作过程中不接触火,所以制作中的玻璃非常易碎。同圆筒法制出的玻璃相比,旋转法制出的玻璃更美观。因为这种玻璃在制作过程中从始至终都不被接触。但是旋转法制出的玻璃的另一个特点,也是它的缺点,就是在玻璃中心有许多同心环,这使得玻璃表面很不平滑。以上这两种法制出的玻璃无一例外都很薄,很脆。虽然如此,由于玻璃的尺寸在不断增大,以及把它们安装到建筑物上去的安装技术也在不断发展,玻璃还是自然而然地成为了北欧大教堂建筑风格元素中的重要一员。这种地位一直持续到人类第一个公元千年的结束。

哥特式建筑时期

北欧哥特式建筑时期是第一个真正意义上的玻璃建筑时代，这个时期是从基督大教堂开始的。基督大教堂是中世纪黑暗时代后北欧建筑的杰出代表。从罗马式建筑到哥特式建筑，建筑外观的变化是根本性的，同时也是戏剧性的。中世纪早期的建筑，人们在砖石墙壁上凿洞穿孔，孔洞的大小要满足透光、防卫的需要，同时还必须解决结构支撑的问题。哥特式建筑的建造者们必须要创造一种新的建筑形式以改变旧有的建筑风格。

宏伟的哥特式大教堂在结构上取得了很大的进步，这种进步使哥特式建筑在建筑发展历史上占据了重要的地位。这主要是因为哥特式建筑完全依赖于经验性的设计，并没有采用复杂的结构分析，但是它却创造出了人类建造史上最伟大的结构。如果说 Pont du Gard 和万神庙是罗马式建筑的代表，那么哥特式大教堂的拱顶和扶壁则带给人们对于环形空间的全新感受。而这一切都是用那些只能承

6,7 Clermont Ferrand 附近 St Nectaire 的罗马式教堂 (6, 建造于 1146 ~ 1178 年) 和巴黎圣母院 (7)。巴黎圣母院的唱诗坛始建于 1160 年，而其西部的建筑却完成于 1200 ~ 1245 年。哥特式建筑的原型以框架结构和框架间的隔膜为代表，这与罗马式建筑巨大的墙壁和孔洞形成了鲜明的对比。



受压力的材料建造的。大量的朝圣者从法国出发到 Santiago di Compostella 去参加重要的宗教集会。在满足朝圣者居住和集会的要求之外，有些圣徒还对于建筑物还提出了有关声学方面的要求，例如查鲁尼城的圣徒休，他特别喜爱格利高里圣歌，因此希望能够通过回响的效果增强声音的起伏和交叠。除了满足上述的两个基本功能，人们修建教堂还怀着赞美上帝愿望和打击异己的目的，十分难得的是，这种在建筑上的竞争带来的是令人惊奇的效果。

人们要求营造长方形而不是方形的空间，这种空间的跨度是巨大的，从而逼迫建造者们采用了尖拱的建筑形式，在这种建筑中，压力由新式的

拱顶承担，拱顶的下面是承重的墙和柱子，为了抵抗拱顶向外的推力，扶壁应运而生。采用这种技术带来的结果是在哥特式石头框架中，只存在压力，材料受拉的情况很少出现。

如果说哥特式建筑本身是满足结构要求的合理产物，那么随之出现的玻璃墙壁却是因为人们考虑如何抵抗天气变化的产物。建造者想寻找一种能够将天气变化抵御在外的薄膜物，否则哥特建筑采用框架结构的设想将化为泡影，根据这个设想，建筑上将存在巨大的孔洞。此时玻璃的作用变得更加显而易见。欧洲南部拥有炎热的夏季和较为温暖的冬季，因此在这些地方，根本没必要在建筑物的孔洞上装上玻璃。但是在北欧，因为

天气的原因，对阳光的防护变得不再重要，取而代之成为主要问题的是对光线的渴求和对抵御寒冷和雨水的需求。在哥特式石头框架的巨大孔洞处，玻璃找到了自己在建筑上的合理位置。

随着建筑从承重墙体的形式中摆脱出来，人们对光的渴求也日益强烈。同时这种渴求还逐渐取代了他们的保持隐私和黑暗的本能。在人们这种渴望的推动下，建筑从墙体形式发展成为玻璃建筑形式，而这一过程只用去了短短的一百年时间。

玻璃作为自然的填充材料，镶嵌在金属制成的框格中间，为建筑内的巨大空间带来了光明。如果没有玻璃，这些建筑恐怕会成为不合实际的巨大的开放寓所。玻璃和制作窗子的技巧的存在是这种新结构产生和发展的必要条件。

透明性（后者是对它的缺乏）和相对的半透明性，它们本身都是不重要的。石头框架间的巨大孔洞本身就具有重大的意义，至于透明性可能带来的好处倒在其次。窗子对人们思想的启发作用或许更有意义。在这一时期的教会著作中，《圣经》中插入了拥有灿烂颜色的图画，有关当地的故事记录了人们的善举，但是描写的语言晦涩难懂。从这些建筑的外面看，这些装了玻璃的窗子就像是奇妙的屏幕，尽管它们与周围的石头一起受到了风雨的侵蚀，但是当偶然的一缕光线从上面反射出来时，我们还是能够体会出它们的美妙。从建筑的内部看，眼望处光辉闪耀，处处体现出其久远年代的荣耀。



能够提供给建造者的都是小块的玻璃，但是建筑上留下的需要填充的孔洞却是巨大的，这给他们带来了一定的困难，同时也驱使他们创造出一种具有全新特征的建筑体系来解决这个难题。正如现在看到的，哥特式建筑的巨大玻璃窗子全都是装配而成的，就像是一小块一小块的玻璃缝制在一起似的。嵌在石头框架空隙中的这些玻璃，靠金属制成的框格将它们组合在一起。

在介绍哥特式建筑的发展历史时，我必须提到两个与此有关的故事。这两个故事虽看似相近，却有着根本的不同，就像是小说中交错的情节一样。其中一个较为通俗的故事主要讲述了哥特式建筑的基本特征：石头框架、扶壁、拱顶以及彩色的玻璃等。而在另一个故事中，将会更多地涉及到建筑外观变化的潜在规则，它主要叙述了人们对光和发光体的探求，以及对减轻建筑的重量而做出的尝试。我将通过第一个伟大外骨架建筑的诞生来阐述以上的内容。而它实际上是在我们展示哥特式建筑诞生的内在动力，因此我必须首先介绍这部分内容。

哥特式建筑的发展以及人们对光的探求

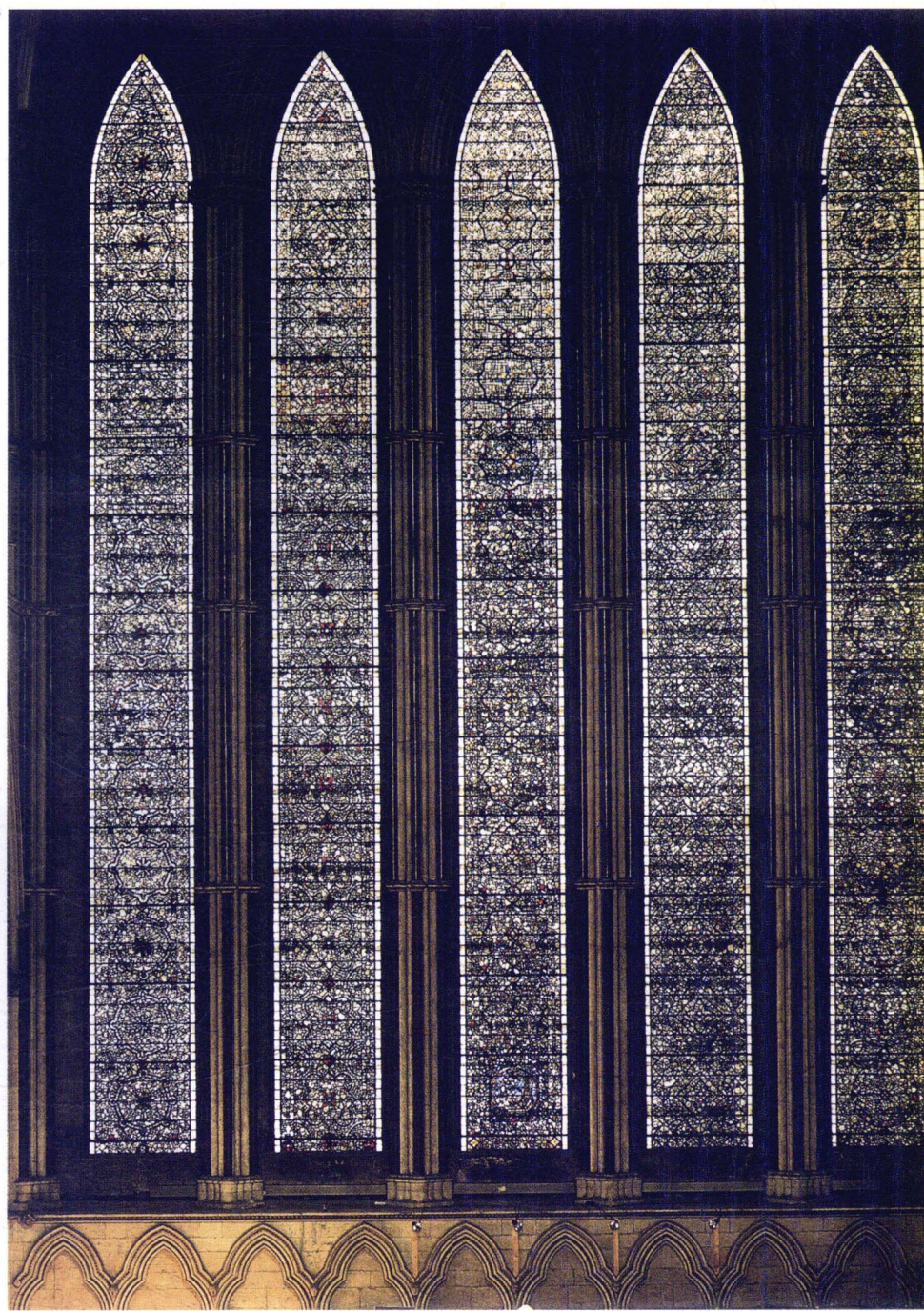
要探究哥特式建筑总体的发展历史以及哥特式大教堂奇特的发展过程，既使是对具有雄辩能力的历史学家来讲，这也是件非常困难的事情。在长达400多年的启蒙文化中，圣徒之间进行激烈的争斗和攀比，这极大地促进了这些庞大建筑的跳跃式发展。在这段历史中，也会偶尔发生火

8 约克大教堂的五姐妹窗，建于1260年。

灾和结构倒塌事件，这也从侧面推动了建筑的发展。

哥特式的建筑形式诞生后，马上就成为一股国际化的潮流，并且巴黎附近方圆100mile的范围内的到了极大的发展。就在这个区域内，Abbot Suger 修建了圣丹尼斯大教堂，随后 High Gothic 又建造了沙特尔大教堂。12世纪和13世纪初期，一些著名的大学建成了，例如牛津大学和剑桥大学，这一时期还涌现了最早的复调音乐作曲家 Leotin 和 Perotin（两人均在巴黎工作），圣托马斯阿奎奈哲学体系也形成于同一时期。艺术历史学家帕诺夫斯基告诉我们 Suger 是如何通过建筑对经院哲学产生影响的。12世纪理性主义对建筑也产生了重要的影响，这种影响的巨大意义就在于它带来了建筑技术的变革，人们对教堂建筑中的墙壁产生了新的认识，建筑中非结构部分的厚墙壁全部被隔膜物取代了。

哥特式建筑在结构上达到的高度得到了人们的认可。也许并不像 Choisy 和维奥莱一勒一杜克这些严格的理性主义者所说的，哥特式建筑对结构的理解和表现都是非常清晰的。哥特式建筑试图对层次加以区别和归类，并且通过逻辑的方法表达出来，从经院哲学的思想观点以及哥特式建筑的带肋拱顶、支撑柱和扶壁等结构表现形式中，我们很容易找到与此有关的证据。



建筑外观的变化决定于结构概念的转变,哥特式建筑的外观就得自于拱顶的肋和圆拱构造。在哥特式建筑发展的前期,人们在建造拱顶时,总是试图改变它的几何形状并标记出力的作用线。而11世纪ile de France地区建造的建筑中,墙的地位也得到了削弱。将这两种想法相互结合,从而创造出了一些新形式的建筑,比如1133年建造的St Pierre de Montmartre以及建造于7年后的Abbot Suger的杰作圣丹尼斯大教堂。从这里我们可以看出,在这次变革中,正是人们对建筑构造规则的认识,使得玻璃墙壁和支撑柱的建筑形式得以形成。在随后的20年里,建造者们将玻璃墙壁引入到Sens和Laon的建造中,从而使这些建筑获得了良好的内部采光,而这完全得益于安装在拱门上三拱式拱廊以及天窗上的玻璃。

1170年,St Remi在兰斯落成。在唱诗坛上提高的三个台阶的位置,建造者安装了玻璃墙壁。增加了这个高窗,不但使拱顶得到了更多的光线照射,也使室内空间获得了最大限度的照明。在一些中世纪街道风景画中,我们经常可以看到这类建筑作为画面的城市背景出现。5年后,在距离St Remi北部不到50km的地方,Laon创造了哥特式建筑中玻璃使用的新高度,在这座建筑中设置了第一面落地的玻璃墙壁。

随后,在1194年的10月,一场突然降临的火灾毁掉了沙特尔大教堂的绝大部分建筑。Fubert礼拜堂遭到了严重的毁坏,但是保留下来的珍贵遗物(其中有一件被认为是圣母玛利亚在诞下耶稣时穿过的外衣)唤起了

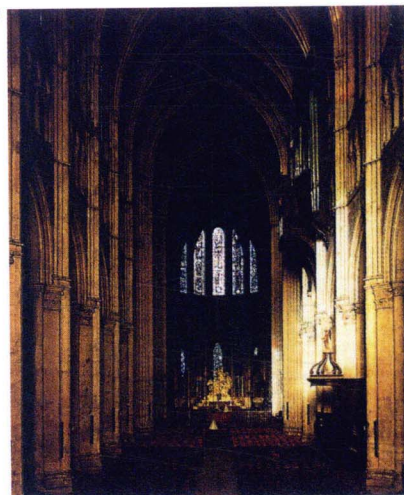
9 巴黎圣丹尼斯大教堂,建于1140年前。教堂中留出的唱诗坛位代表了哥特式建筑最早的表现形式。

10 沙特尔大教堂,建于1194~1120年

11 巴黎 Sainte-chapelle, 建于1243~1248年。这是一个为法国圣路易建造的,进行了昂贵且复杂装饰的圣骨堂,它有一部分墙壁是完全用玻璃建造的。这个建筑在使用大量的玻璃的同时,采用了岩石骨架和精炼金属制成的框格。

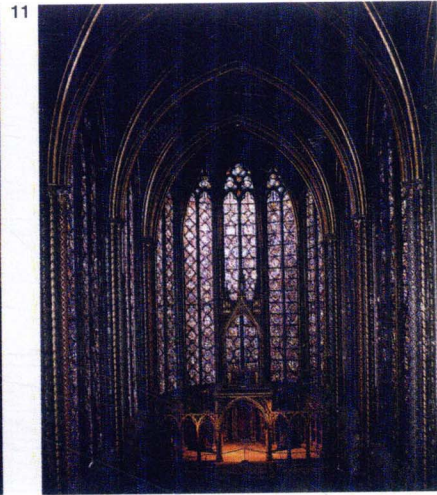
人们重新建造一座大教堂的极大热情。募集到的资金中,不但有来自当地人民的捐助,也有来自法国国王菲利普二世支持。英王查理一世也允许英国牧师为这一重建项目募集资金,而当时他正与菲利普二世交战。到1223年为止,大教堂的绝大部分得到了重建,并且于1660年恢复使用。沙特尔大教堂是哥特式建筑中的杰作,它将人们对室内光线追求的步伐向前大大地推进了。教堂内部的高窗体现了当时最高超的建筑技艺,而它高高的拱廊以及上面小的三拱式拱廊减轻了建筑的重量,增加了建筑的垂直度。此外,采光玻璃主要安置在教堂的正殿,并没有设置在唱诗坛的边界上。大教堂内部良好的采光性和巨大的玻璃墙壁完全得益于设在建筑外部的扶壁,而这正体现出高超的建筑艺术。

沙特尔大教堂正殿建成前10年的1210年,参加兰斯大教堂建造工作的建筑师Jean d'Orbais发明了一种新方法,用这种方法可以建造出更大面积的玻璃墙壁。与以往的平面框格相比,他



的这种方法采用了更合理的栅栏框格,从而使建筑增加了对玻璃的使用,进一步缩小了墙壁的面积。10年后,Robert de Luzarches把这种在框格建造上的进步引入了亚眠教堂。再过10年,这种方法得到了进一步的发展,建造者将其应用在圣丹尼斯大教堂重建的正殿上,创造出了第一个具有放射状框格的建筑。因此到1231年为止,从Abbot Suger建造圣丹尼斯大教堂开始,经过大约90年的发展,哥特式建筑进入了成熟时期,哥特式建筑真正达到了建筑与玻璃完美结合的境界。岩石墙壁的面积减小了,人们将省下来的石头用在建造拱顶的肋上。装了玻璃的三拱式拱廊和巨大的玻璃高窗为教堂带来了从未有过的光明,这都得益对浇注的放射状框格网的使用。采用这种框格后,建筑对石头的用量也减少了。

1243年开始建造的巴黎Sainte Chapelle真正实现了最小限度使用结构的玻璃墙壁。Sainte Chapelle是一个圣骨堂,并不是教堂,它有一部分墙壁从地面到拱顶完全是用玻璃建造



的。1248年到1300年建造完成的科隆大教堂是一座宏伟的建筑,它的唱诗坛有46m高,是辐射式玻璃建筑中的杰作。法国人和英国人屡遭征服之苦,国家政权也更迭频繁,尽管它们最早接受了哥特式的建筑,但是在这一点上他们并不是独一无二的,德国和一些中欧国家都出现了一些岩石框架加玻璃墙壁的建筑典范。科隆大教堂在亚眠教堂的基础上建造而成,并于1322年投入使用。这座大教堂在外观上显得更加富丽堂皇,堪与后来的Beauvais相媲美。到14世纪中叶时,德国皇帝查理四世将宏大的哥特式建筑从德国引入到布拉格,他还下令建造了亚琛大教堂,而这个教堂的玻璃墙壁是哥特式建筑时期最伟大的玻璃墙壁之一。亚琛大教堂是德国皇帝加冕的地方,1355~1414年这里建造了一个设计极其大胆而且具有很好采光性能的唱诗坛。Watkin高度评价了这个唱诗坛,认为它是“巍然高耸巨大玻璃罩”,同时还指出它是30年后建造的国王学院礼拜堂的先驱。