

玻璃 建筑

设计与施工

(德)罗布·尼瑟(Rob Nijse) 著

黎明 译

glass

GLASS IN STRUCTURES

ELEMENTS
CONCEPTS
DESIGNS



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

玻璃建筑设计与施工

(德)罗布·尼瑟(Rob Nijse) 著

黎明 译

G L A S S I N S T R U C T U R E S

E L E M E N T S

C O N C E P T S

D E S I G N S



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

本书通过对玻璃梁、玻璃地面、玻璃柱、玻璃幕墙（包括其他种类的玻璃墙）、玻璃屋顶以及其他玻璃建筑的介绍，使读者熟悉了这种“神奇的”建筑材料的分类、性能和应用。其中还包括很多还处在构思阶段的设计方案。

书中还辅以大量的示意图和照片以便于读者更好地了解玻璃在建筑中的作用。

Glass In Structures: Elements, Concepts, Designs

©2003 Birkhäuser-Publisher for Architecture, P.O.Box 133, CH-4010 Basel, Switzerland

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition copyright ©2009 by China Electric Power Press.

本书中文简体字翻译版由中国电力出版社出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号：01-20062751

图书在版编目（CIP）数据

玻璃建筑设计与施工/（德）尼瑟（Nijse,R.）著；黎明译. —北京：
中国电力出版社，2009

书名原文：Glass in Structures: Elements, Concepts, Designs

ISBN 978-7-5083-8475-7

I. 玻… II. ①尼…②黎… III. ①玻璃结构—建筑设计②玻璃结构—建筑
工程—工程施工 IV.TU382

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第019334号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：张鹤凌 电话：010-58383355 邮箱：zhiyezige2008@163.com

责任印制：陈焊彬 责任校对：闫秀英

北京盛通印刷股份有限公司印刷·各地新华书店经售

2009年7月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·10.25印张·255千字

定价：58.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话（010-88386685）

前言

为什么要使用玻璃？是为了满足很多建筑物透明方面的需要。此外，玻璃总能制造惊奇：玻璃会产生很多意想不到的效果，甚至富有经验的设计者也只能预见到其中的一部分。在我看来，使用玻璃的目的不仅仅是为了透明，还是追寻一种奇妙的感觉。正是这种感觉，激励着建筑师和工程师以创新的手法运用玻璃。玻璃特有的品质所带来的隐蔽性和梦幻般的效果，至今仍然无法通过计算来实现，也很难通过绘图表达出来。

由乔迪·伯纳多 (Jordi Bernardo) 拍摄的巴黎的卡迪亚基金会 (Fondation Cartier) 表现了这个错觉的瞬间。这里的玻璃看起来是不可见的，建筑的内部和周围环境没有边界地融合在一起，整个建筑物融合在背景里。只有那张常见的鸟类张贴画显示出拍摄者是从室内向室外拍摄的。而那座看起来坐落在院子里的老建筑，则实际坐落在街道的另一边。

《玻璃建筑设计与施工》一书展示了大量的富有创造力的玻璃建筑以及这些建筑的复杂精妙的细部设计。本书同时也介绍了玻璃在建筑中应用的巨大潜力。从结构工程师的角度来看，本书对建筑物及其构造的分析常常是不够详尽的。书中所记述的设计方案就像一次次的建筑工艺世界中的冒险旅程，有些方案实现了，创造出迷离的建筑效果，有些至今依然没有实现。即使在那些没有实现的方案里，这种探索的感觉依然持续着。正是从这些探索中获取的知识和经验酝酿着下一次新的探索。书中对在不同方向上人们对新的探究所寄予的期望、每一个工程中未知组合的表现特色以及解决办法都做了介绍。本书在写作过程中紧密地着眼于在设计过程的不同阶段建筑师与结构工程师之间的协作。

MVRDV/雅科布·凡·路易斯

目 录

前言

绪论 1

玻璃梁 9

玻璃地面 39

玻璃柱 53

玻璃幕墙 75

其他的玻璃墙 95

玻璃屋顶 112

谈谈玻璃以外 134

项目列表 157

致谢 159

跋 160

绪论

“我无法预见我所能制造出来的东西”

乔治·斯蒂芬森

玻璃是一种迷人的物质，它综合了各种不平常的甚至是完全对立的特质：你可以看穿它，可是它却能防水，然而水几乎能够渗透过所有的物质；一方面它几乎是牢不可破的，另一方面一条刮痕也能让它变得非常易碎。

把玻璃引入到建筑工程学领域的尝试只有几十年，但是我保证在不久的将来，人们将会像现在信赖钢材和混凝土那样信赖玻璃。不要忘记钢材应用到建筑中才只有200年的历史，而混凝土更是只有短短的100年。

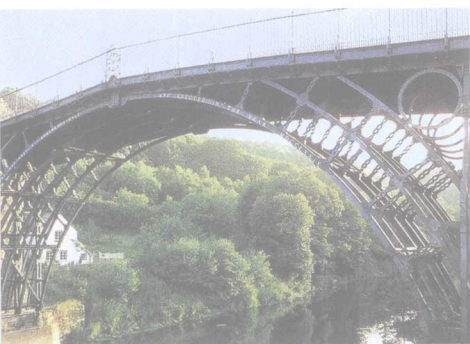


图0-1 柯尔布鲁克代尔铁桥
第一座全部用铁建造的大桥，建于1789年

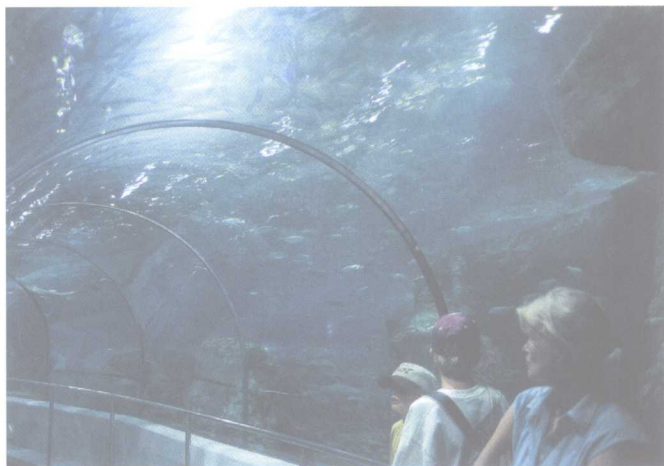


图0-2 水族馆，巴塞罗那
人们通过一条巨大的人行隧道在水下安全地行走

玻璃的透明性是非常有价值的特性。能够在保温，遮风挡雨的同时让你看到外部世界正在发生的一切，这是多么完美的组合体啊！不论是陆地上还是在海洋里，你都能够透过一层厚厚的玻璃安全地观看凶猛的野兽。甚至在太空领域，玻璃也被用来观察天文现象。

自从被发现的那天起，玻璃所具有的魔术般的特性就迷倒了众人。最初玻璃展现在人们面前的形式是山洞里的水晶石。它与冰有着非常惊人的相似之处，但是水晶石在常温下不会熔化，这在原始人看来简直就是一种巫术。接着人们学会了如何制作玻璃。古罗马作家老普林尼在长篇巨著《自然史》中所讲述的故事，就是这一过程最好的注解。

“这条河（贝卢斯河，现在黎巴嫩境内）的入海口泥泞且深邃，仅仅在潮水退去后才露出它的沙滩。这里的沙子并不闪光，直到河水把它们卷起，洗去杂质，然后，经过海浪的反复冲刷，才能使用。这片海滩绵延仅半英里，但是在很长一段时期里，这里都是玻璃的唯一来源地。

传说有一天，一艘满载着苏打排尼基商船停泊在这里准备做饭，但是海滩



图0-3 一块水晶石，人类最早认知的“玻璃”

令人赏心悦目的、隐形的建筑！



上没有石头来支撑他们的烹饪用具，所以他们从船上搬下来成块的苏打垫在下面。当海滩上的沙子变热熔解时，一种未知的透明液体流淌了出来。这就是玻璃的由来。”

这是一次幸运的巧遇，制作玻璃的三种必要元素都集中在了这片海滩，石英（沙子）——二氧化硅；苏打——碳酸钠；白垩（海贝壳）——碳酸钙。这三种物质被加热熔化产生了四氧化硅——玻璃的基本成分。聪明的腓尼基商人很快认识到了这种闪光的、透明的物质的潜在价值，于是玻璃就诞生了。

处理这种物质的技术在不断发展，这当中最聪明的发明要数吹风管了。是谁突发异想地把一个中空的管子投入熔化了了的玻璃中，然后吹出一个玻璃泡来？据说是一个叙利亚人，他在玻璃被发明的第一个世纪里想出了这个主意。这带来了一系列的可能性：瓶子、杯子、管子、装饰品都能用玻璃制造出来。经过进一步的钻研，人们制作出了像浮雕玻璃这样精致的艺术品。

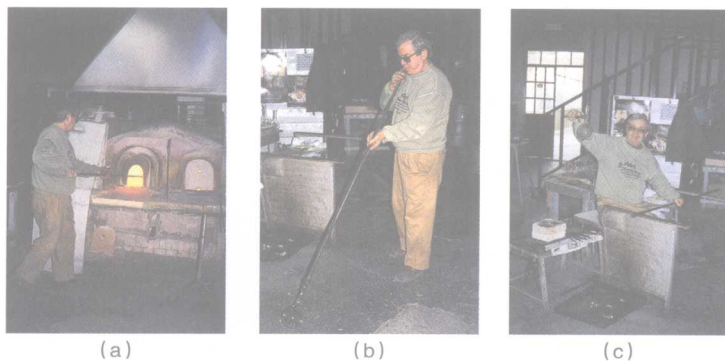


图0-5 (a) 在威尼斯附近的穆拉诺岛上的工场里，一些熔化的玻璃被吹风管从熔炉里取出；(b) 通过吹风管，玻璃被吹成一个大泡泡，同时通过钳子伸展成瓶子的形状；(c) 工匠自豪地展示完成的玻璃瓶子

混合着不同颜色的化合物的玻璃融合在一起，用巧妙的手法雕刻出令人惊异的古罗马艺术品。吹风管的使用引出的另一个结果是人们可以制作玻璃盘子了。吹一个尽可能大的玻璃泡，然后刺破它，接着飞快地转动吹风管，一个巨大的玻璃圆盘就被制作出来了。技艺高超的匠师能够生产直径1m的玻璃圆盘。盘子可以被分成小块，比如方形，于是玻璃窗就诞生了。当时能够制作出来的最大尺寸是300mm×400mm，很多块这样的玻璃块被安装在木制的或者铜制的框架里，能够让日光照到我们的起居空间里来，并且让里面的人们不管刮风下雨还是天寒地冻，都能够看到外面的世界。

技术上的进步对建筑学的影响是显著的。在过去的一个世纪中，窗户形状的变化很好地说明了这一点。最初的窗户为了适应小块玻璃而形成了众所周知的中世纪窗户样式。窗户的尺寸被生产方式——吹风管所制约。同样非常漂亮的“玫瑰”——哥特式教堂上的窗户也使用了这种玻璃。玻

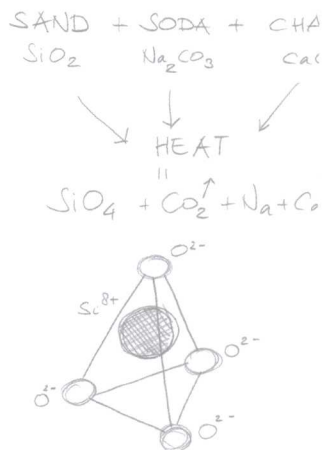


图0-4 玻璃的基本分子： SiO_4
注意金字塔结构外部的负极，它是形成材料内部能够让光线通过的小缝隙的主要原因，同时它也造成了玻璃的易碎性

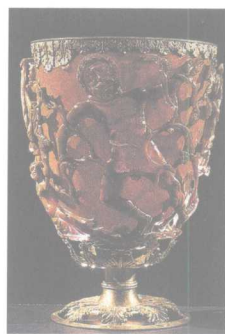


图0-6 一件利用浮雕技术制作成的罗马玻璃制品。描绘的是色雷斯国王莱克格斯侮辱了酒神狄俄尼索斯之后被常青藤扼死的故事



图0-7 通过旋转开敞的玻璃泡，一个平坦的玻璃圆盘被制作出来

璃工匠们向熔化的玻璃中添加了不同的金属化合物，由此产生了彩色玻璃，然后用一个框架把这些玻璃固定起来。开始，因为框架相当地不牢固，这种窗户不能承受较大的跨度，后来人们用天然石材作框架来保证这些窗户的结构稳定性，使窗户的直径达到了8m。

14世纪发生在斯特拉斯堡地区的技术进步领导了建筑学的变革。其时，利用吹风管已不仅能将玻璃制作成球形状，还能够将其制成圆筒状。把玻璃圆筒切开后再次加热直到变得平坦，就能得到面积较大的玻璃板，这就是人们所说的圆柱体法生产工艺。最初，这种工艺仅仅比旋转吹风管制作出来的玻璃尺寸大一点。大约到了1750年，随着圆柱体法生产工艺的进一步改良，平板玻璃的尺寸增加到了800mm×1000mm。

在那个年代，玻璃属于奢侈品，原材料来自波希米亚的含铁沙子的玻璃，透明度非常高，但产量稀少，价格昂贵。玻璃在童话中扮演了奢华、纯洁的角色，例如仙女给灰姑娘打扮的时候给她穿戴的玻璃鞋；还有小矮人埋葬白雪公主时用的玻璃棺材。

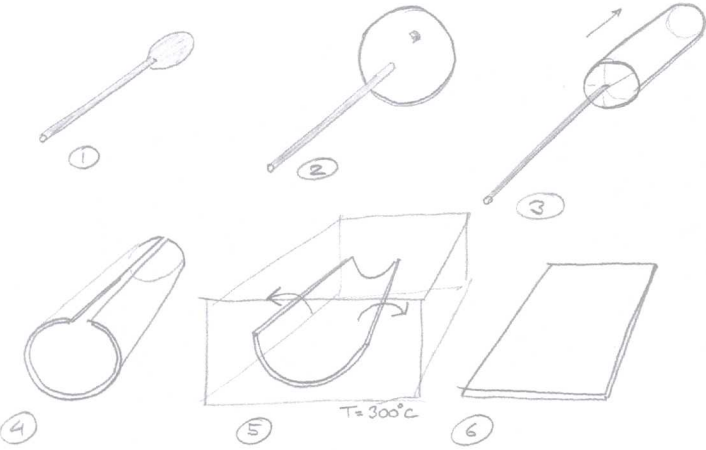


图0-9 圆柱法生产玻璃板

用圆柱法生产的大尺寸玻璃应用在建筑上，给其带来的影响是非常明显的。接下来的技术进步发生在1900年的比利时，在那里工业化的拉伸玻璃生产工艺发展起来了。在这个方法中，人们将一根铁棒放在盛满熔化的玻璃的池子中，然后缓缓提起，当铁棒脱离熔化的玻璃液面的时候，一片黏稠的玻璃被铁棒带起，在空气中冷却凝固。用这种方法可以生产出大块的玻璃，理论上其长度可以不受限制。先进的技术所带来的效果非常明显，随着日益工业化的西方世界的蓬勃发展，大型玻璃建筑出现在新建的城镇中。最近一次玻璃技术的进步来自于20世纪中叶的英国。这个生产工艺的名字叫做浮法玻璃，其制作方法是，把液态的玻璃置于熔化的锡床上，这样制造者就可以得到双面都平整光滑的玻璃，一面来自于完全平整的熔锡，朝上的另一面，由于熔融玻璃的自身重力，也变得非常平整。

通过冷却，缓慢向前移动的玻璃板逐渐凝固，人们发明了一种基本连续的制作玻璃的方法。这对于建筑技术的进步又是一次巨大的影响。仅用玻璃板就能当作建筑物的围护表面，使得更大规模的使用玻璃得到了广泛的认可。自1960年以后，随着全球战后经济的发展，在建筑物外立面上的

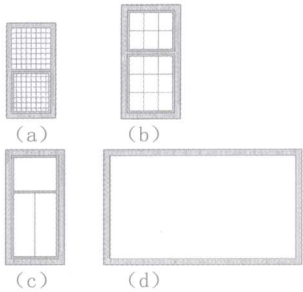


图0-8 从中世纪到20世纪窗户框的发展
(a) 14世纪; (b) 17世纪;
(c) 19世纪; (d) 20世纪



图0-10 灰姑娘试穿水晶鞋

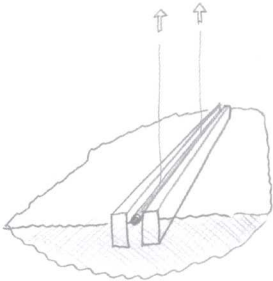


图0-12 “抽出”玻璃的生产方法

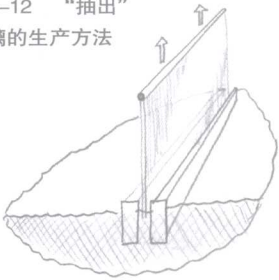




图0-11 在莱顿中世纪建筑的窗户和19世纪建筑的窗户

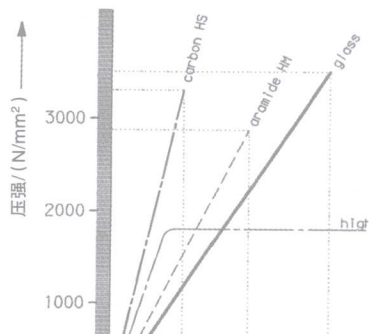


图0-14 这幅图表展示了玻璃潜在的能力：在实验室中拉伸玻璃与其他建筑材料的比较

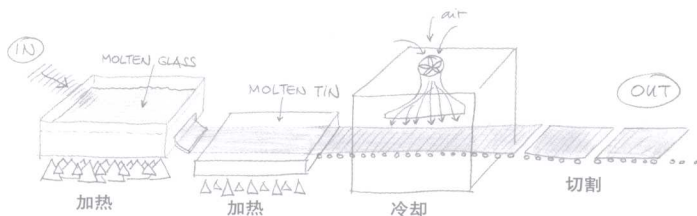


图0-13 “浮法”玻璃的生产方法

变化印证了这一点。几乎现在所有的玻璃都是浮法玻璃。巨大的熔炉——现代的摩洛哥炉遍布世界，连续不断的工业化流水线生产出了大量的玻璃。不幸的是，这些产品的质量很差，用一块新的玻璃更换碎掉的那块，比提高产品的质量和强度要廉价得多，哪里还有高强度玻璃的市场呢？

所以我们只好使用质量较差的尺寸大约为 $3.2\text{m} \times 6.0\text{m}$ 的玻璃产品。更不幸的是，这种通过拉伸所生产的玻璃厚度是有限的，这使得建造安全玻璃建筑的目标变得更加富有挑战性了。另一方面，完全用玻璃建造的建筑无法提供很好的舒适感。纯玻璃建筑受到很严重的社会和物质方面的制约。俄罗斯著名导演谢尔盖·艾森斯坦在电影《玻璃房》中所展现的简单的但是非常清楚的画面为此提供了最好的社会制约方面的例子。它全面地阐明了，太多的空间开放不可避免地会给人们带来私密性缺乏的感受，这种感受足以使人发疯。同样物质方面的制约也需要谨慎地考虑。“暖房”被认为是令人讨厌的毫无必要的措施。如今我们能够利用隔热的玻璃板在冬日保持室内的温度。不幸的是，在夏天这些玻璃板同样保持了阳光的热量并且严重地



图0-16 在阿纳姆的一个俱乐部里，孩子们好奇地观察玻璃地板下的世界

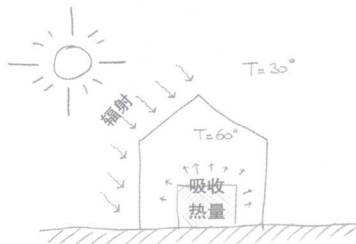


图0-17 全玻璃建筑的绿色房屋，科学的、优秀的设计解决了其舒适问题

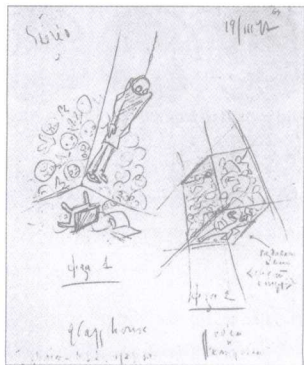


图0-15 谢尔盖·艾森斯坦 (Sergei Eisenstein) 为电影“玻璃房” (1947) 中的情节作的草图，揭示了住在一座全玻璃的房子里对心理上的影响

影响了室内的温度。当设计全玻璃建筑的时候,首先需要仔细衡量社会的和物质方面的制约。

安全问题

几乎所有的拉伸玻璃都是浮法玻璃。这是本书所有有关建筑玻璃的描述的出发点。但是仅仅使用浮法玻璃板是不足以建造安全的建筑的。玻璃是一种非常特别的物质,既结实,又易碎,一对矛盾的结合体,这也是很危险的。

对于一个安全的结构来说,这个结构应是有多余量的(也就是说有能力承受老化的构件失效)和不可展延的。展延性意味着如果一个结构慢慢延展到它自身可以承受的极限它就会突然的折断或者崩溃。一个好的结构必须能对变形做出预警,也就是说在超负荷时,或对完整性的巨大的损害来临之前,能发出噪声或者其他的信号。由于本身特有的材料特性,钢材就有着很好的“预警”性。当超负荷出现的时候它会发生相当大的扭变,也就是平常所说的变形。由于钢材是钢筋混凝土的主要构成材料,所以钢筋混凝土也有这种“预警”性。木材在负载变得太大的时候也会吱吱作响。玻璃就像不加钢筋的混

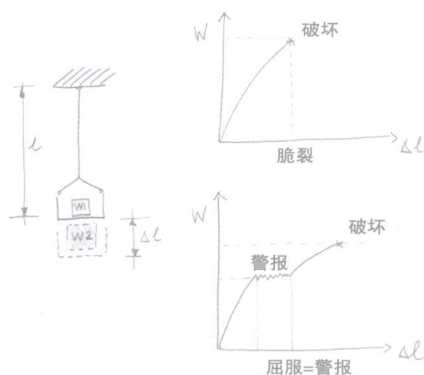


图0-18 在材料的特性里创建一种预警机制

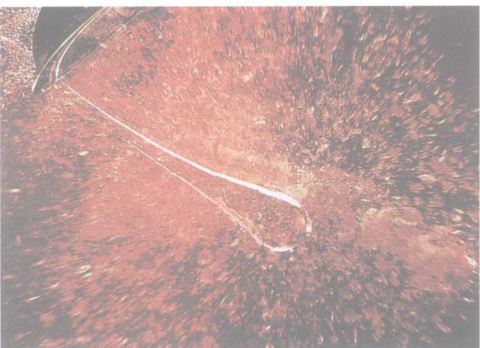


图0-19 尾部被破坏,鲁帕特王子玻璃滴立刻爆裂

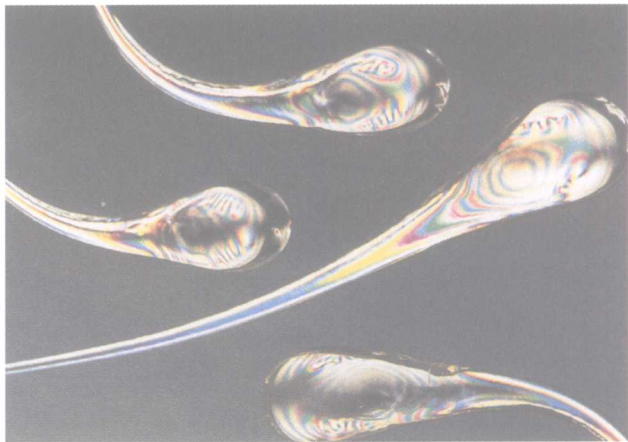


图0-20 完整的鲁帕特王子玻璃滴

凝土一样,对过载不能够发出预警。它也会变形,但是很不明显;并且会在发生意外的重大黏合性受损的时候碎裂。明智的工程师不会喜欢这种“脆弱的”习性,这是不安全的。结构必须能在超负荷引起的断裂之前发出预警,以便人们可以逃生或者采取保护措施。

那么我们能创造出安全的有“预警性”的玻璃结构来呢?单块的浮法玻璃会在受到突然的外力负荷的时候断裂。比如说,一块飞来的石头,会使玻璃变成大块的碎片,彻底丧失完整性。为应对玻璃的这种脆弱性,发展了两种基本的处理方法。第一种是对玻璃进行高温回火的韧化处理,第二种是通过层压法或者压条法对玻璃板进行处理。

高温回火法是按照人工的引导压缩玻璃板的外“表面”。这种压缩消除了玻璃表面常见的微小裂缝,同时均衡了玻璃表面的张力。同样的冲击带来的荷载在冲击点产生的重压被玻璃的张力轻易地承受了,这同样也得益于对玻璃外“表面”的

压缩。关于高温回火法给玻璃带来的影响的最好的例子，是所谓的鲁帕特王子的玻璃滴。在18世纪的巴伐利亚，人们发现把炽热得熔化的玻璃滴入水桶中，一个形状特殊的“玻璃滴”就会被拉伸出来。事实上这种“带着尾巴的玻璃滴”就是钢化后的玻璃，水快速地冷却了表面，使玻璃滴表面硬化而内部仍旧是滚烫的。人们发现这种玻璃滴能够被重锤敲击而不碎裂。巴伐利亚的鲁帕特王子把这种玻璃滴介绍到了英国，并在各种宴会上当作一个神奇的物品来展示。在宴会开始前王子告诉一位身材娇小女士怎样击碎这种玻璃滴。在餐桌上，他向一名强壮的男子挑战，让他用重锤来击碎他的玻璃滴，在一阵疯狂的尝试之后，这名骄傲的男士不得不被迫承认他的努力是白费的。而当那位身材娇小的女士挑战的时候，这位女士轻易地击碎了玻璃滴，把它变成了一大片微小的玻璃碎末。这当中的奥妙是什么呢？原来是这位女士击碎了玻璃滴的尾巴，从而打破了其拉紧的“表面”和被压缩的内部之间的平衡。

第二种针对单块浮法玻璃板弱点的改进，其效果是更加明显的。如果安排两根分别独立的梁结构就会更安全。如果计算精确的话，当其中的一根梁断裂，另一根也能够承担负荷。以这种方法改进的玻璃被称作叠片结构玻璃，一种几乎看不到的衬托物或者粘合层把两片玻璃板结合在一起。如果把三层玻璃挤压在一起形成一根梁就能得到一个非常安全的结构，甚至人们刻意从各个方位向它投掷石头，也只能打碎外面的两层。由于衬托物或者胶把被损坏的外面两层玻璃板结合在中间的玻璃板上，这些破碎的部分保护了剩余的梁不被石头所破坏。如果结构工程师精确地计算出中间的梁所需承受的正常荷载，再乘以1.1的安全系数，那么就

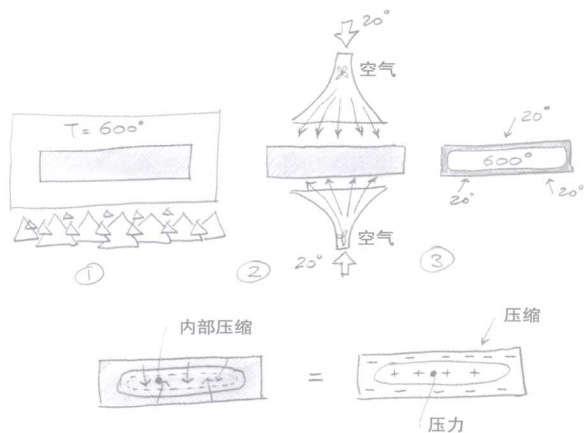


图0-21 钢化玻璃的生产过程

不会有任何意外发生。只要不是特别大的弹性变形，人们都有足够的时间离开受损的建筑物，业主也有时间准备一根完善的梁并用它替换掉被损坏的部分。

通过碾压使玻璃变得坚韧也是可行的。通过以上两种方法我们能够创造出安全的玻璃建筑。

钢化玻璃

高温回火钢化玻璃是一种物理的方法，有一点不能忽略，这种处理并没有改变玻璃本身的特性。要使玻璃变得更结实，更不易损坏，方法就是通过人工的引导，利用巨大的压力压缩普通的浮法玻璃板的外“表面”，使玻璃表面变得坚固。然后在熔炉中将玻璃加热到 600°C ，把玻璃板从熔炉中取出后向其表面吹常温的空气，这就导致了外“表面”迅速冷却，从而变得坚硬，而玻璃内部却仍然很热，冷却缓慢。当物质冷却的时候会不可避免地产生收缩，此时外部的玻璃已经形成了稳定不变的形态。而在其内部，玻璃的收缩依然进行着，并牢固地附着于外表面上，当玻璃冷却之后，其外“表面”力求保持原状的力和内部的收缩力之间便达到了平衡。钢化后的玻璃外表面受到内部收缩力的影响有着以下重要的作用。现有的刮痕和裂痕会

被挤压闭合,新的刮痕也受到同样的影响,这意味着玻璃结构中的受力部位由于内应力的存在,保持现有的裂纹不会再继续扩大而导致结构崩溃。对玻璃来说裂纹的扩展是真正危险的现象。从分子结构上来看,玻璃自身缺乏一种抑制裂纹扩展的机制;恰恰相反,裂纹的扩展受到材料本身张力的影响,会以最快的速度发展,直至碎裂到边缘。这就是我们所熟知的玻璃的易碎性,一种糟糕的特性。

初化玻璃产生的另外一个影响是,荷载被初化处理过程中所产生的内应力“吸收”。如果初化过程产生了100MPa的内应力,那么在这个例子中荷载产生145MPa的外力才能使这块初化玻璃破裂。从45MPa到145MPa,这使得玻璃看上去变得结实了,而实际上这仅仅是由于初化处理增加了玻璃的内应力,玻璃本身并没有变化。

初化处理的另一个特殊的作用是规则破碎的形状。浮法玻璃破碎时都伴随着锋利的边缘。一旦因为压力水平超过了正常值导致了初化玻璃的碎裂,存在于被压缩的外“表面”和内部应力之间的力的平衡就被打破了。这会导致内应力迅速释放而引起爆炸,玻璃板会碎裂成很多细小的碎片。这种情况在老式汽车的挡风玻璃上体现得非常明显,当被小石头击中以后,挡风玻璃就变成白花花的一片从而妨碍驾驶员的视线。由于这种原因,现在挡风玻璃都使用半初化或者强化玻璃。这种类型的玻璃使用和普通初化玻璃相同的生产工艺,但是只在玻璃上加很小的应力。

叠片结构玻璃

使玻璃更加安全的办法之一是把多块,如三块玻璃板粘贴在一起。这是一种相当有效的解决方法。如果一块石头击中单独的一块玻璃,那么这块玻璃不可避免地会碎裂。同样的,如果玻璃内部某处的拉力超过正常值,那么细小的裂纹就会开始扩张。如果玻璃中没有制约裂纹扩张的机制,这条裂纹会持续扩张到整块玻璃的尽头。对钢铁来说,一片砂砾层或者一条加强的栅就可以阻止裂缝的扩张;而在玻璃上它会持续扩张,最终导致玻璃一致性的完全丧失直至崩溃。但是如果这块破碎的玻璃是被粘在另外一块玻璃上的,那么现在还剩下一块完整的玻璃。如果剩下的那块玻璃足够结实,能承受两块玻璃的荷载,那么就不会产生崩裂。另一个好处是,碎裂的玻璃从它那一侧保护了剩下的这块玻璃不被石头伤害。所以如果把三块玻璃粘在一起,中间的玻璃就会从各个方向被保护起来。我们把外围的玻璃板称作“牺牲的”玻璃板。如果叠片玻璃用于地板,上面的牺牲玻璃板还会受到日常使用(鞋底的泥土)的磨损。假如我们把上面的这一层做成可移动的,那么我们就能够每两年更换一次上层玻璃板从而尽可能地保持玻璃板的透明度。原理是显而易见的,但是怎么做才能把两块玻璃粘在一起而不被看到明显的接缝呢?有两种方法可以解决这个问题:第一种方法是使用一种透明的箔片的层压法,这种箔片名叫PVB,是一种化学试剂聚乙烯醇缩丁醛(polyvinylbutyrate)的英文缩写。箔片放置在被机械挤压面的另一面,在熔炉中被均匀地加热到250℃。如果操作正确,那么箔片就会真正地变为不可见。然而,熔炉的尺度限制了层压玻璃的尺寸,一般来说最大的尺寸是2.5m×4.5m。另一种方法是使用树脂,在两种成分混合成的液体中接缝被填充满。接缝在敷上树脂之后立即凝固。

稍后我们将把建筑物的每一部分都转化成玻璃的:墙、屋顶、地板、不



图0-23 巴黎卢浮宫的倒金字塔,一个不可思议的以钢为主的结构体,尽管它的本意是创造一个玻璃金字塔

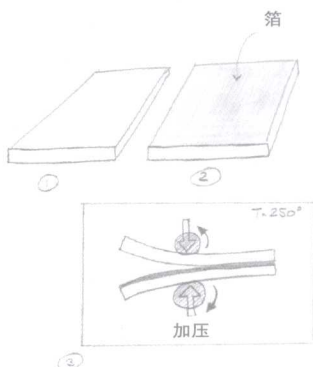


图0-22 制造叠片玻璃



图0-24



图0-25

图 0-24、图 0-25 从顶部和内部看莱顿 [建筑师：Trude Hooykaas Ontwerpgroep和Joost Ruland] 的玻璃屋顶。他们在尽可能少地保留钢结构的方面取得了巨大的成就

再脆弱的玻璃柱、高科技钢材料支撑的具有抽象神秘美感的纯玻璃构件。尽管钢骨架的使用已经达到了最小限度，但是它们仍然影响着效果并且吸引人们的注意力。我们将创造出附带最少量其他材料的纯玻璃结构，为了这个目标我们必须在实验室里测试最适宜的数值

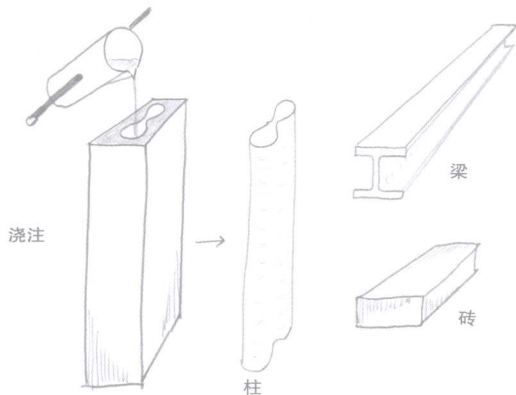


图0-28 把玻璃浇铸在模具里可以得到各种样式的结构玻璃柱。

范围，以得到最大的安全性。事实上，在建造第一个大尺度的玻璃和钢建筑——伦敦的水晶宫的时候我们已经这样做了。

贯穿建筑的每一根钢梁在测试的时候都被加载了3倍于实际使用中的实验荷载。通过这样测试的钢梁才被认为是安全的。这些测试会破坏这些构件，但是正如德国哲学家弗里德里希·尼采所说：“你不得不破坏你所爱的东西，从而了解它。”

我们被引导使用新的方法去学习如何使用和熟练地处理玻璃，例如，粘接似乎是一种连接两个独立个体时最常用的方法。同时我们必须了解当玻璃在熔化状态的时候有着很强烈的可模锻性。如今这种方法仅用来生产玻璃艺术品，但是用这种方法来制作结实的柱和梁甚至是玻璃“砖”都已经变得越来越现实。

在这本书里我们描述了把玻璃变成安全、美观的结构材料的第一步。

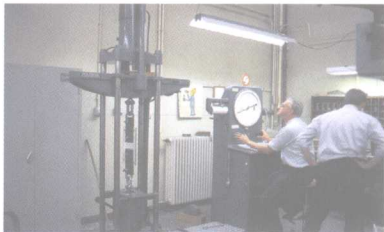


图0-26 在荷兰代夫特实验室对玻璃结构进行的测试

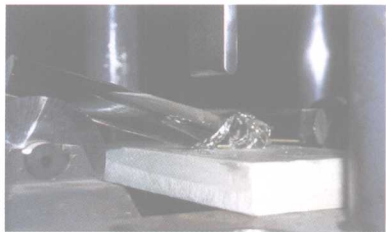


图0-27 在一次失败的测试中坏掉的玻璃棒。甚至连坏掉的玻璃体都是那么的漂亮

玻璃梁

桥

在张力下稳固，在压力中坚强，
支撑在两岸但却不属于任一阵营，
站立在自己的领地内，全神贯注地跨越。
持续作用着，拱和坡道，
在张力下稳固，在压力中坚强。

谢默斯·希尼

（选自：《电光》，2001）

桑斯比克艺术展的玻璃廊
阿纳姆，荷兰，1986

欧洲专利局的玻璃屋顶
莱西达姆，荷兰，1900—1991

一座改造的办公建筑的玻璃屋顶
布达佩斯，匈牙利，1992—1994

玻璃人行桥
鹿特丹，1992—1994
阿纳姆，1996年，1999—2000
荷兰

大玻璃梁
阿姆斯特尔夫，荷兰，1994—2000

一座博物馆里的玻璃楼梯
茨沃勒，荷兰，1995—1998

玻璃顶棚
内梅亨，荷兰，1997—1999

2002佛罗丽阿德玻璃桥
霍夫多夫，荷兰，1999—2002



图1-1 马斯垂克的玻璃桥，鹿特丹桥的复制品

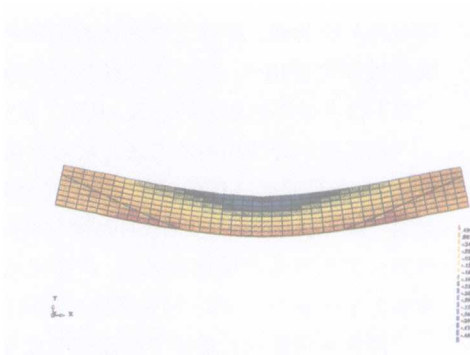


图1-2 为配有预应力钢缆的玻璃梁所做的有限要素分析图（为布达佩斯工程所做的研究）

尽管应用的范围较小，用玻璃制作的窗户甚至地板都已经使用过一段时间了。而玻璃梁，无论从哪一方面来说相对于较早的罗马帝国时期，都是一个非常实质性的提高。就玻璃梁的构思来说是非常诱人的，但又是十分危险的——如果玻璃破裂，它就会碎得非常彻底，因为它的内聚力丧失了。过大的负荷或者一块飞来的石头，诸如此类的破坏达到一定限度，梁就会突然地崩溃。这一点是人们无法接受的，因为我们总是喜欢用带有预警机制的材料来做结构，这样，在事态变得十分危急的时候会有更大的灵活性。比如说一根钢梁，可以通过巨大的变形和所谓的屈服——一种可塑的变形来预警。

玻璃本身并没有这样的“预警”性。只有把单独的玻璃块不显痕迹地粘合在一起，也就是常说的层压法，我们才能得到安全的玻璃梁。用层压法制作玻璃，早在20世纪初期就被发明了出来。有这么一个故事，一名科学家失手打碎了一个装满胶液的玻璃瓶，并且由于某种原因把它留在了地板上，几天后，两块玻璃碎片被毫无痕迹地粘在了一起。在同一天晚报上，他得知一位姑娘死于车祸，原因是一颗细小的砂砾把汽车的挡风玻璃打得粉碎。他意识到如果挡风玻璃是用两块玻璃无痕地粘接在一起制成的话，那么悲剧也许就不会发生。这个想法推动了层压玻璃的工业化生产。另一个重要的促进来自内穆尔杜邦化学公司，它发明了一种叫做PVB (polyvinyl-butyrates) 的透明箔片，能用来把玻璃板粘合在一起。生产是在高压容器中进行，温度高达250℃。玻璃板和这种箔片或材料层被相当大的高压碾压在一起。其结果就得到了由两块，有时甚至可以达到十块单独的玻璃板粘合而成的完美的、透明的玻璃板。用这种方法，安全的玻璃梁出现了，不是单独的一根梁，而是粘在一起的两根甚至更多的梁。如果有人向玻璃梁投掷石块，他只能打碎外面的那一层，那些破碎的玻璃块仍然粘附在中心的玻璃块上，从而保护了它。

正因为安全方面的原因，玻璃梁的概念在20世纪80年代还属于“空中楼阁”。为数众多的国际结构工程师团体都在对此进行研究，但是谁敢第一个在实际建筑中使用玻璃梁呢？心理上的障碍是巨大的，我们的日常生活经验告诉我们，玻璃是易碎的。客户和承包商都会尽量避免做危险的实验。建筑业是一个非常保守的行业，因此新技术是被众人以批评的眼光来看待的，各种问题被不断提出，以确保对材料特性的完全了解，不仅仅是在建造的时候，还贯穿于日后的长期使用中。

新的发展需要有激情的客户甘愿冒一定的风险。工程师自然有义务分析所提出的创新，对可能产生的各种不利影响进行研究。新技术总是慢慢地被大家接受，玻璃梁的逐步采用就是一个很好的例子。

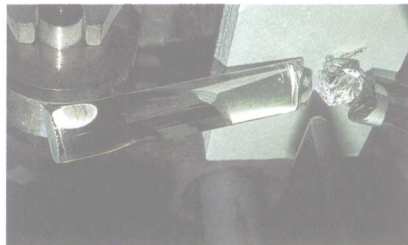


图1-3 对于周长30mm的玻璃棒所做的受压弯曲极限的测试。一系列的测试用来研究测定关于这种特殊类型的玻璃的统计上可以接受的值

桑斯比克艺术展的玻璃廊

阿纳姆, 荷兰, 1986

《一个夏天的奇迹》

在过去的一段时期里, 每隔5年左右在阿纳姆一个叫做桑斯比克的地方(现在是一个城市公园)都要举办一个大型的艺术展。活动中, 现代艺术作品被放置在公园里以及山顶上堂皇的大厦中。陈列艺术品的临时展厅都是由荷兰的著名建筑师, 如Gerrit Rietveld和Aldo van Eyck来设计的。其中Rietveld设计的亭阁在展览结束后被移到国家森林公园里(the Hoge Veluwe National Park)的库勒穆勒博物馆中永久使用。

最初的想法是制作一个放置容易受损的艺术品的玻璃长廊。在后来的发展中, 一个支撑屋顶的小型钢构架添加了进来。主要入口由一个柱状的玻璃桶形成, 深580mm, 高3650mm(强化玻璃厚15mm), 用螺栓固定在混凝土基础上。力的传递依靠箱位的螺栓形成的摩擦力。要点就在于一个位于玻璃柱和角钢之间的3mm厚的氯丁(二烯)橡胶垫, 垫子由螺栓固定在混凝土基础上。

在1986年的展览会上, 一个由两名年轻建筑师——Jan Benthem 和Mels Crouwel组成的团队被邀请设计一个可作适应性调节的亭阁来放置更多的容易受损的艺术品。他们带来了这样一个方案: 一个玻璃长廊从山脚下的小路一直延伸到原有的大厦。通过这个长廊, 来访者可以在走向别墅的时候欣赏着公园威严的古树以及树间迷人的现代艺术品。

ABT被邀请来为这个特殊的亭阁进行结构工程设计。工程顾问负责人Michel van Maarschalkerwaart是一个天才, 在最初和建筑师们一起研究方案的时候, 他们就确定了墙和屋顶应该是尽可能的透明, 例外的是支撑屋顶的梁应该用纤细的钢构架, 这样建筑物看起来就不会太过无形。汉斯·克里斯蒂安·安徒生的童话《皇帝的新衣》讲述了一个关于“看不见的东西”的故事, 而他们却不得不为了在场地上真实地再现建筑做一些事情。幸运的是, 因为这是一个临时性的亭阁, 那些严格的建筑规范和标准只是在某些部位才必须执行。我们和建筑师一起研究的方案很简洁: 被用于1950年建成的汽车陈列室的玻璃肋构成了亭阁的柱子; 屋顶梁是轻薄的钢构架, 由很薄的角



图1-4 节点细节: 柱子, 玻璃表面和屋顶钢构架