

高等学校艺术设计类专业“十二五”规划教材
创意大师产学融合系列丛书
——总主编 刘维亚 吴国欣

创意大师
产学融合

建筑结构与力学基础



刘昭如 庄 艳 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

高等学校艺术设计类专业“十二五”规划教材

创意大师产学融合系列丛书

——总主编 刘维亚 吴国欣

建筑结构与力学基础



刘昭如 庄 艳 编著

上海交通大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构与力学基础 / 刘昭如, 庄艳编著. — 上海:
上海交通大学出版社, 2011
(创意大师产学研融合系列教材丛书)
高等学校艺术设计类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-313-07480-5

I. ①建… II. ①刘… ②庄… III. ①建筑结构—结构
力学—高等学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第178986号

责任编辑 张 静 陈杉杉
设计总监 赵志勇
装帧设计 汤 梅

建筑结构与力学基础

刘昭如 庄艳 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路951号 邮政编码: 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海晨熙印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 7.5 字数: 162 千字

2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

ISBN 978-7-313-07480-5/TU 定价(含光盘): 48.60元
ISBN 978-7-900697-87-5

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话: 021-51095722

高等学校艺术设计类专业“十二五”规划教材

创意大师产学融合系列丛书

编审委员会

顾问

- 陈汉民 清华大学美术学院教授
秋山孝 日本多摩美术大学教授
白金男 韩国成均馆大学教授
韩秉华 香港美术家协会副主席
薛文广 同济大学教授
吴静芳 东华大学服装艺术设计学院教授
吴承麟 中国上海会展业协会会长
Jonathan Barratt 伦敦艺术大学中央圣马丁艺术学院教授

主任委员

- 刘维亚 中国包装联合会设计委员会副主任
上海市原创设计大师工作室领衔大师
马新宇 上海工程技术大学艺术设计学院教授
吴国欣 同济大学设计创意学院教授
张 同 复旦大学上海视觉艺术学院教授

委员 (按姓氏笔画排列)

- | | | | | |
|-----|----------|-----|---------|-----|
| 王如仪 | 王炳南 (台) | 许传宏 | 阴 佳 | 吕金龙 |
| 刘世声 | 刘昭如 | 安晓波 | 江 滨 | 吴飞飞 |
| 李文敏 | 佐井国夫 (日) | 沈 杰 | 汪尚麟 | 陈 浩 |
| 陈 健 | 陈原川 | 吴桂香 | 李淑君 (台) | 张 强 |
| 罗 兵 | 林采霖 (台) | 周美玉 | 周智诚 (美) | 周雅铭 |
| 胡文安 | 俞 英 | 席 涛 | 聂桂平 | 常利群 |
| 章 翔 | 彭 亚 | 葛艳玲 | 潘惠德 | |



总序

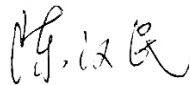
PROLOG

现代艺术设计应大工业生产的需求而诞生，伴随着社会现代化的进程而成长，所以其内涵既具有经典的人文艺术元素，又体现了当代科学、工程技术及市场营销的特质。现代艺术设计的活动，已渗透到人类生活相关的各个角落，粗可列为视觉传达设计、产品设计、空间设计几个大的类别，细则分成视觉识别体系、包装、展示、广告、书装、环境、建筑、公共艺术、室内装饰、工业、影视、服装、舞美、网络、动漫、游戏、会展、数码互动等具体设计形式。现代艺术设计种类与技术随着现代科学材料工程技术的发展仍在日新月异地增生与完善；其形象思维特征又启迪着科学的新发现与技术的新发生。

现代艺术设计是市场目的明确的应用型创意活动。它与纯艺术的根本区别在于：纯艺术是个体内心世界艺术形象的展示，存在价值为唯一性与独特性；设计艺术则是为受众服务的作品，其价值在于被服务群体的认可度。种类庞大的现代艺术设计系列已发展成为策划、设计并实施人类工作、交流、休闲的生存全状态趋向根本合理的软科学。

世界上的现代艺术设计教育不足百年，在我国的历史则更短。其中一个时期，教育背景的产业、市场、工程技术还处于不成熟状态，造成了本专业从培养计划、教材、教法上存在着重工艺轻设计、重艺术轻应用、重理论轻实践、重课堂轻市场的情况，难以培养出产业需求的现代设计人才。这种矛盾随着现代经济的发展日益尖锐，从而在创意产业发达的沿海设计类高校中掀起了教育改革的热潮。观上海交通大学出版社推出的这套教材，惊喜地发现它已跻身于这场改革的行列。首先，系列教材的作者既有高校资深专业教师，又有创意产业一线的著名设计师，以及科研单位的研究人员，产、学、研强强联手，三重角色结合，为教材铸造了不同凡响的创意灵魂。第二，实现了理论与案例相结合的内容特色。这是在教材形式上从高校象牙塔走向市场的可贵一步。第三，大部分教材加强了实践环节比重，从而彰显了学科应用型的性质。本人还注意到编著者的队伍中有国际上著名的专家，内容上也有意嫁接了国际上优秀教材的精髓，实在可喜可贺！对这套教材在教学使用后产生的优良评价，我充满信心。

清华大学美术学院教授



2011年2月20日

前言

FOREWORD

想要在日趋激烈的国际竞争中赢得发展的主动权，其根本还要靠科技，基础仍在于教育，关键则在于人才，由此可见“强国必须强教”。教育是一个国家现在和未来昌盛强大的基础。当前是全球经济信息化的发展时期，我们不是缺人员而是缺人才，培养人才的三个关键为“教材”、“教师”、“教法”，因而我们需要大力推动教育内涵式的发展，树立育人为本的理念。为此，上海交通大学出版社组织相关专业的专家、学者共同编写“高等学校艺术设计类专业‘十二五’规划教材·创意大师产学研融合系列丛书”，丛书共分六大类，包括专业基础、平面设计、包装设计、产品设计、环境艺术设计及会展设计，首期推出近50种。本套教材十分重视如何运用创新的思维方式去激发艺术灵感；利用新的解决手段去实现设计目标；对教育培养艺术创意设计人才的教材形式进行探索。

本套教材从不同的艺术设计专业角度，分类别册进行编著，使专业知识细化且深化，并以启发性教育的方法和实际需求为出发点，运用国内外成功的设计案例进行剖析，采用图文并茂的形式，描述创作过程。就艺术设计而言，它具有跨学科的特点，并受到其他门类学科思维的影响，如社会潮流、对纯艺术的追求、建筑风格的演变、新潮学术理论等多元文化的交融；新科学产生的三维的互联网信息结构、多媒体中动态音像处理；新材料和新技术涌现，不断变化的制作工具介入等，在这次编写的教材范例中均有所反映。

艺术设计的过程是集成创新的过程，只有创新精神和创新努力，才能使设计具有差异性，从而带来艺术设计活力；使学习者在国际化的概念中参与体会民族文化的精神，在复杂的设计中悟到清晰的规律。本套教材特别邀请高校资深的专业教师、创意设计一线的专家及国内外著名的专家、学者参与编写，目的在于提升教材质量水平，使其具有产学研相结合、国内外相结合、理论与案例相结合的三结合特色。

本套教材可以帮助学习者明晰自己应当做什么样的设计？为谁而设计？使他们在从设计到实现的过程中，培养良好的艺术素质、独特的创新能力及一流的设计技巧，成为集文化、美学、人际、市场、技术、传播等综合优势为一身的人才，使之学到的知识能融入社会、融入市场、融入生活，从而更好地为社会服务。

中国包装联合会设计委员会副主任
上海市原创设计大师工作室领衔大师



2011年3月



自序

PROLOG

从事环境艺术设计或室内设计的人员，工作的目标无疑是不断创造适宜及良好的生活环境。但好的环境不单单意味着美观和舒适，还必须有基本的安全保障，这就要求相关的从业人员必须对作为工作对象的建筑物有一个较为全面的了解，特别是了解常见建筑物的结构构成方式及其应有的正常工作状态，以保证设计方案的合理性，并且避免在工作中因错误地更改建筑物原有的组成部分而造成安全事故或留下安全隐患。

本教材面向环境艺术设计和室内设计等专业的学生，介绍力学和建筑结构方面的基础知识，并且根据生源的特点以及按艺术类实施教学的课程总体设置情况，结合编者的相关工作以及教学实践经验，在教材编写过程中做到：

- (1) 基本原理以够用为原则，以描述为主，要求对基本概念定性并能了解其相关关联，不要求进行计算；
- (2) 知识面适当拓宽到装修构件连接的可能性以及装修时应注意的结构安全性；
- (3) 每章附有思考题或实验要求；
- (4) 图文并茂，深入浅出，结合实际；
- (5) 教材以文字部分及教学课件光碟共同出版。

希望能够对大家的学习有所帮助，也希望能够得到反馈意见，促使我们今后的工作做得更好。谢谢！

编者
2011年6月

内容介绍

本书以环境艺术设计的基本概念为切入点，紧密围绕绿色、保护、发展三个中心词展开论述，一面论述环境的重要性以及环境与人的关系，另一面论述如何造就和展示环境美，理论与实践结合得非常紧密，层次清晰，内容深入浅出，适合高校环境设计专业学生及环境艺术设计爱好者阅读。

作者介绍

刘昭如

同济大学建筑与城市规划学院教授，曾任上海建桥学院艺术设计系系主任，国家一级注册建筑师，具有40余年建筑施工、建筑设计以及建筑学和环境艺术设计方面的教学和管理经验。其所编著或主编的三本教材《建筑构造设计基础》、《房屋建筑学》和《房屋建筑构成与构造》入选“十一五”国家级规划教材，其中《房屋建筑学》还入选教育部公布的普通高等教育精品教材书目。其所主持的“建筑构造”及“房屋建筑学”两门课程被评为上海市精品课程。

庄 艳

上海建桥学院副教授，建筑学硕士，有较为丰富的环境艺术设计课程的教学经验以及一定的相关工程实践经验，多年来面向艺术类专业学生开设建筑结构与力学基础课程，取得了较好的成绩。



目录

content

■ ■ ■ ■ ■ ■	第一章	概论	1
	第一节	建筑物的构成系统	1
	第二节	学习建筑结构与力学常识的目的	9
	第三节	本课程的学习方法	12
■ ■ ■ ■ ■ ■	第二章	建筑力学基础	15
	第一节	力的基本概念	15
	第二节	力的作用效应	21
	第三节	荷载及其分类	26
	第四节	荷载的作用方式	29
■ ■ ■ ■ ■ ■	第三章	结构构件受力分析	35
	第一节	结构构件的基本形态	37
	第二节	结构构件受力分析的基本假设及适用原则	39
	第三节	结构构件受力及变形分析	40
	第四节	支座类型及构件连接方式	50
■ ■ ■ ■ ■ ■	第四章	常用建筑结构类型及其受力特征	65
	第一节	墙体承重结构	65
	第二节	骨架承重结构	75
	第三节	空间结构	83



目录

content

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	第五章	环境设计中常见的结构安全性能问题	93
	第一节	原有建筑构件改动的可能性	95
	第二节	在既有建筑中增加构件的可能性	103
■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■		参考文献	107

第一章 概 论

训练目的 使学生了解建筑物的构成系统，重点掌握强度、刚度和稳定性对结构系统安全性能的影响；了解学习建筑结构与力学常识的目的和学习方法。

参考课时 讲课4课时、课内练习及交流讲评4课时，共8课时。

第一节 建筑物的构成系统

建筑物为我们提供日常生活所需的各种空间和场所，它也是我们从事室内外环境设计所面对的主要对象。

建筑物通常由楼地层、墙或柱、基础、楼梯、电梯、屋盖、门窗等几部分组成，并按照合理的方式构成一个系统。在这个系统中，建筑物的各部分又可以划归不同的子系统，即建筑物的结构系统、围护和分隔系统以及设备系统。

一、建筑物的结构系统

建筑物的结构系统指建筑物的承重受力系统以及保证结构稳定的系统。如图1-1所示的建筑，虽然只有钢筋混凝土的楼板、屋面板、梁和



图1-1 某建筑结构系统封顶阶段

柱子，还没有安装内、外墙和门窗，但作为结构系统的骨架已经全部完成，在工程中称之为到达“结构封顶”的阶段。后续安装的墙体、门窗、设备和装修构、部件的重量，交付使用后使用者和家具、屋面积雪、风力等所可能增加的重量，将连同该骨架的自重一起，由结构系统来承担，



图1-2 该建筑物装修完成并即将交付使用时的状态



图1-3 砌体墙承重的住宅室内



图1-4 钢骨架承重的某广场小建筑

并经由系统中的楼板（包括屋面板）、结构梁、结构柱和基础，最终传递到支承建筑物的地基上去。我们称结构系统以外的对该系统的作用称为外力。此外，这个结构系统在整个使用周期内，还需要抵抗因地基沉降、温湿度、材料的干缩等的影响所可能产生的变形，确保处于正常、安全的使用工作状态，并且在如地震等偶发事件发生时保持必要的整体稳定性。图1-2是该建筑物装修完成并即将交付使用时的状态。

不同类型的建筑按照其性能要求及受力特征，可以采用不同的结构系统。如图1-3所示的建筑物，其竖向受力构件不是柱子而是墙体，建筑物的自重以及各种外力是经由楼板（包括屋面板）、承重墙、基础传递到地基上去的。这样的建筑物的墙体如果用砌块来砌筑的话，由于抗震的需要，其所有的内、外墙，无论是否承重，一般都需要同步建造，以便采取构造措施来形成整体、加强建筑物整体抵抗变形的能力。因此，对于砌体墙承重的建筑物，究竟哪些墙是承重墙，属于建筑的结构系统，还需要做进一步的判断。在本教材的第四章中，我们将详细介绍判断的依据。图1-4和图1-5是两个



图1-5 砌体墙承重的某绿地小品

分别采用结构柱和墙作为竖向承重构件的建筑小品的实例。

在对建筑物进行设计的时候，首先必须提出明确的结构方案，并进行结构计算，哪怕是一些绿地小品也不例外，其目的是使结构系统具有足够的可靠性。所谓可靠性，是指结构构件在规定的基准使用期内（一般为50年），在规定的条件下（指正常设计、施工、使用和维修），完成预定功能（指正常承受作用力、维持良好工作状态、有足够的耐久性以及在偶发事件中能保持必要的整体稳定性）的安全程度。结构的安全性能，与结构构件及其构成的结构系统是否能满足强度要求、刚度要求以及稳定性要求有关。

（一）强度

构件在外力的作用下不会发生破坏，即构件抵抗破坏的能力，称之为强度。构件的强度主要由用作结构构件的材料的性能、构件的尺寸以及构件间的连接方式等因素决定。如图1-6所示的被积雪压垮的某滑冰场，屋顶坍塌时其承重梁发生了断裂，除年久失修等原因外，主要是由于屋面荷载超过了梁强度所能够承受的限度。

（二）刚度

构件及整个结构抵抗变形的能力，称为刚度。满足刚度要求时，构件及整个结构所产生的变形应该不超过一定的范围。

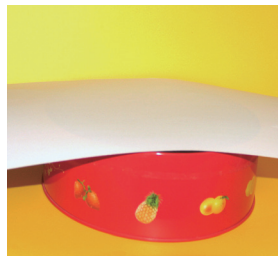
图1-7所示的是关于刚度的一个小实验。开始时先将一张纸搁在一个空罐子上，再在上面放一个笔筒，结果纸张因发生变形，使得笔筒陷入了罐子内；然后移开笔筒，将原来的这张纸像折纸扇一样折叠后再重复先前的步骤，结果发现折过的纸能够很好地支承上方的笔筒。在这个实验中，纸张本身的强度并没有发生改变，仅因为折叠后纸张高度变大，即其刚度得到了提高，也就



图1-6 某室内滑冰场的屋顶因结构强度不足以抵抗屋面荷载造成坍塌



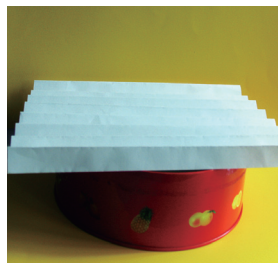
(a) 一个空罐子



(b) 在上面铺上一张纸



(c) 纸因变形不能支承重物



(d) 把纸折叠后重新铺上去

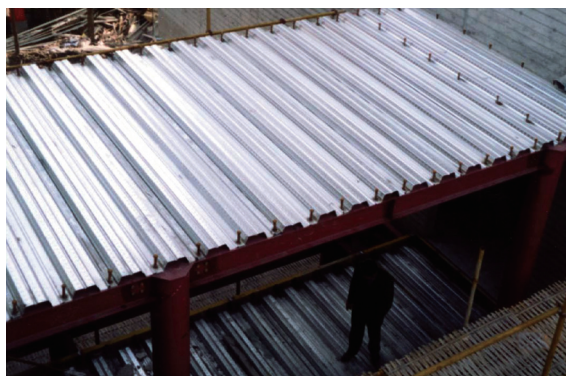


(e) 纸的刚度提高后能支承重物

图1-7 有关刚度问题的小实验



(a) 两栋相邻建筑间设有钢结构的过道



(b) 钢板压制成型后刚度可适应楼板施工要求

图1-8 压型钢板经压制成型后刚度得到提高

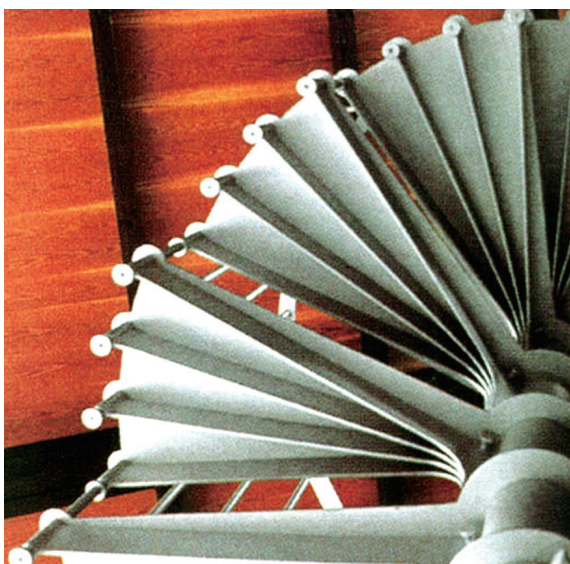
是抵抗变形的能力增强了，结果实现了支承重物的目的。同样的方法在工程实践中经常被运用。如图1-8 (a) 所示的连接两栋建筑物的过道，其楼板和屋顶采用装配压型钢板、再叠合混凝土的施工工艺（图1-8b）。按照设计，施工完成后，压型钢板应该视作与上面叠合的混凝土作为一个整体共同承受结构荷载，但在施工过程中，钢板还必须满足上人及承受施工荷载等的要求，因此将钢板压制成图示的形状，其主要目的是提高钢板的刚度。

图1-9所示的钢楼梯的踏步板，其构成方式所采用的也是和压型钢板近似的原理。

以上这两组图片所提供的都是提高构件刚度的实例，但结构的刚度不仅体现在构件上，按照需要，还会体现在构件间的连接方式以及结构的体系上。如图1-10所示的木屋架，为了保证转折处构件之间不发生转动，采用了斜撑来加固。又



(a) 钢楼梯实例



(b) 踏步板与压型钢板的构成形式相似

图1-9 踏步板与压型钢板的构成形式相近似的钢楼梯实例



图1-10 构件间的连接处需要加强刚度的实例



图1-11 水平结构系统需要加强刚度的实例

如图1-11所示的某机场候机厅的大型屋顶，为了抵抗风力的影响，在整个水平结构系统中加入大量的斜撑，以增加屋面刚度。

（三）稳定性

结构在外力作用下，其平衡状态不能丧失，否则将无法满足正常的工作状态。构件或者整体结构抵抗丧失平衡的能力称之为结构的稳定性。仅以同样是雪灾造成的破坏为例，图1-6所示的滑冰场的垮塌是因为承重梁的强度不够，而图1-12所示的电缆塔的倒塌则是因为结构瞬间失去稳定性。试想如果电缆塔两侧的电缆都未断裂，尽管因冰冻而严重变形，同时增加了许多重量（如图1-13所示的冰雪），由于塔身两侧受力较均匀，塔身依然可以处于平衡状态；一旦有一侧的电缆不堪重负而断裂，瞬间电缆塔就有可能因为失去平衡而倒塌。

结构系统失去稳定性是非常严重的状况，有时单个构件率先失去稳定性可以导致整个结构顷刻失去工作能力，这是十分危险的，因此在结构设计时往往需要对某些构件进行稳定性的验算并采取必要的措施来保持其稳定性。如图1-14所示的某机场候机厅的屋顶桁架梁向外悬挑相当大的



图1-12 雪灾中因失稳而倒塌的电缆塔



图1-13 因受力均匀仍处于平衡状态的电杆



图1-14 某机场候机厅外伸梁用杆件拉结防止其失去稳定



图1-15 拆除墙体前应判断是否承重墙



图1-16 在原有结构系统上增加较大负荷前应先复核其承载能

距离，而屋面的系统却比较薄弱，为了防止在风力的作用下梁的外伸部分发生晃动而超出原来设定的要求，或造成部分杆件失稳，在梁的端部各设置了两对杆件来进行拉结。

综上所述，可能导致结构系统丧失功能的因素是多方面的：结构构件发生断裂等破坏属于构件的强度不够；结构构件产生过大的变形被认为是其刚度不能满足要求；构件突然改变原有平衡状态的现象称为失稳，是其稳定性不够。构件的安全正常使用，必须以满足强度、刚度及稳定性的要求为前提。因此，在建筑物建成投入使用之后，不可以轻易对其结构系统进行变更，尤其是当需要对建筑物进行装修以及改造的时候，应当注意不得随意拆除或削弱原有的结构；同时，在建筑物使用的过程中，也应当注意不能超出原来设计的范围无限制地增加负荷。因为这些做法都会破坏建筑物的结构系统，最终影响建筑物的安全使用或者缩短其原来应该具有的使用寿命。

如图1-15所示的建筑墙体在装修过程中被敲开了一个大窟窿，如果这片墙是承重墙，其强度遭到削弱后上边楼板的支承就会产生问题。如在图1-16所示的某单层工业厂房改造为创意园区的实例中，原有厂房的空间十分高大，在加入夹层之前，必须对原有的结构柱等构件进行承载能力的复核，以确认增加夹层的负荷不会对其结构安全性能造成影响。

二、建筑物的围护和分隔系统

建筑物的围护和分隔系统指建筑物中起围合和分隔空间的界面作用的系统。如某些不承重的隔墙、门窗等，它们可以用来围合、界定建筑物

的内、外部空间，起到遮风、挡雨、隔热、保温等作用，也可以对建筑的室内部分进行分隔。另外，建筑物中的有一些构件虽然属于结构受力系统，如楼板和一些墙承重体系建筑中的承重内、外墙等也起到了围合和分隔空间的作用，故也可以被列入建筑的围护和分隔系统，但在建筑装修或改造的过程中，必须首先强调这些构件的承重结构功能属性，不能轻易对其进行改造，否则会对建筑物造成安全隐患。图1-17至图1-19所示分别是属于建筑物围护和分隔系统的砌体填充外墙、玻璃幕墙以及轻质内隔墙。

属于围护和分隔系统的建筑构部件，如果不是同时也具备结构功能、需要承重的话，在使用过程中可以根据不同阶段的使用要求在合适的范围内发生如位置、材料、形式等的变动。例如图1-17至图1-19所示的建筑物中的砌体填充外墙、玻璃幕墙以及轻质内隔墙都可以拆除或进行更换，因为它们都是在建筑物的结构系统全部完成后再行安装的，拆除对建筑物的受力及稳定状况并没有特别的影响。但如图1-3所示的砌体砌筑的墙体，即便有部分按原设计就不是结构的承重墙，在装修和改建的过程中还是应该充分考虑其对加强建筑物整体抵抗变形能力的作用，不要贸然全部拆除。此外，属于围护和分隔系统的建筑构部件，无论采用什么材料制作，都具有重量，需要由结构构件来支承，因此当在建筑物中更换或者添加围护和分隔构件的时候，还应该注意其所在的位置是否合适、产生的重量是否在原有建筑物的结构所允许承受的范围内，以及不能够因为新添加的构件而改变了原有结构系统的力的传递路线。



图1-17 某建筑物的砌体填充外墙



图1-18 某建筑物的玻璃幕墙



图1-19 某建筑物的轻质内隔墙