

21世纪高等院校工程管理专业教材

建筑结构

——概念、原理与设计

JIANZHU JIEGOU

GAINIAN YUANLI YU SHEJI

(第二版)

张建新 宁欣 编著

LLOYDS BANK

LLOYDS

FE 东北财经大学出版社
NORTHEAST UNIVERSITY OF ECONOMICS AND STATISTICS PRESS



21世纪高等院校工程管理专业教材

建筑结构

——概念、原理与设计

JIANZHU JIEGOU
GAINIAN YUANLI YU SHEJI

(第二版)

张建新 宁欣 编著

 东北财经大学出版社 大连
Dongbei University of Finance & Economics Press

© 张建新 宁 欣 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构：概念、原理与设计 / 张建新，宁欣编著. —2 版.
—大连：东北财经大学出版社，2014. 8
(21 世纪高等院校工程管理专业教材)
ISBN 978-7-5654-1542-5

I. 建… II. ①张… ②宁… III. 建筑结构-高等学校-教材
IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 112348 号

东北财经大学出版社出版

(大连市黑石礁尖山街 217 号 邮政编码 116025)

教学支持：(0411) 84710309

营 销 部：(0411) 84710711

总 编 室：(0411) 84710523

网 址：http: //www. dufep. cn

读者信箱：dufep @ dufe. edu. cn

大连雪莲彩印有限公司印刷

东北财经大学出版社发行

幅面尺寸：170mm×240mm

字数：505 千字

印张：25

插页：1

2014 年 8 月第 2 版

2014 年 8 月第 2 次印刷

责任编辑：李 彬 石建华 龚小晖 王芑南 责任校对：毛 杰 那 欣

封面设计：张智波

版式设计：钟福建

ISBN 978-7-5654-1542-5

定价：42.00 元

21 世纪高等院校工程管理专业教材编写委员会

主 任

王立国 教授，博士生导师

委 员

(以姓氏笔画为序)

马秀岩 王全民 王来福 刘 禹 刘秋雁

李 岚 张建新 宋维佳 武献华 梁世连

总序

8年前,我们依照建设部高等院校工程管理专业学科指导委员会制定的课程体系,组织我院骨干教师编写了“21世纪高等院校工程管理专业教材”。目前,这套教材已出版的有《工程经济学》、《可行性研究与项目评估》、《工程项目管理学》、《房地产经济学》、《项目融资》、《工程造价》、《工程招投标管理》、《工程建设合同与合同管理》、《城市规划与管理》、《国际工程承包》、《房地产投资分析》、《土木工程概论》、《投资经济学》、《建筑结构——概念、原理与设计》、《物业管理理论与实务》等17部。

上述教材的出版,既满足了校内本科教学的需要,也满足了其他院校和社会上实际工作者的需要。其中,一些教材出版后曾多次印刷,深受读者的欢迎;一些教材还被选入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。从总体上看,“21世纪高等院校工程管理专业教材”已取得了良好的效果。

为进一步提升上述教材的质量,加大工程管理专业学科建设的力度,新一届编委会决定,对已出版的教材逐本进行修订,并适时推出本科教学急需的新教材。

组织修订和编写新教材的指导思想是:以马克思主义经济理论和现代管理理论为指导,紧密结合中国社会主义市场经济的实践,特别是工程建设的管理实践,坚持知识、能力、素质的协调发展,坚持本科教材应重点讲清基本理论、基本知识和基本技能的原则,不断创新教材编写理念,大力吸收工程管理的新知识和新经验,力求编写的教材融理论性、操作性、启发性和前瞻性于一体,更好地满足高等院校工程管理专业本科教学的需要。

多年来,我们在组织编写和修订“21世纪高等院校工程管理专业教材”的过程中,参考了大量的国内外已出版的相关书籍和刊物,得到中华人民共和国国家发展和改革委员会、中华人民共和国住房和城乡建设部等部门的大力支持。同时,东北财经大学出版社有限责任公司的领导、编辑为这套系列教材的及时出版提供了必要的条件,做了大量的工作,在此一并致谢。

编写一套高质量的工程管理专业的系列教材是一项艰巨、复杂的工作。由于编著者的水平有限,书中的缺点与不足在所难免,竭诚欢迎同行专家与广大读者批评指正。

21世纪高等院校工程管理专业教材编委会主任 王立国

第二版前言

本书作为工程管理专业中工程技术课程平台主干课程——建筑结构的教材出版后,多年来得到了广大读者的厚爱和支持。为了使教材内容更加完善、更方便教学,故决定修订再版。本次修订主要依据《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)、《建筑结构抗震设计规范》(GB50011-2010)、《高层建筑混凝土结构技术规范》(JGJ3-2010)及相关最新标准、规程进行,同时对书中的结构进行了部分调整,对一些地方进行了勘误。

本次修订主要做了如下工作:

(1) 基于教学上的考虑调整了部分章节的内容和次序,将原第五章中关于砖石砌体结构的部分内容重新整合,形成第十章砌体结构,第五章中悬索结构与拱结构、索膜结构部分并入第十二章中,由此第五章的主要内容为混凝土结构体系与受力特点。

(2) 结合建筑结构相关学科的前沿内容,增加了第12章建筑结构新体系的内容,介绍一些较新的建筑结构概念与形式,开拓学生的思路。

(3) 针对新颁发的《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)、《建筑结构抗震设计规范》(GB50011-2010)等国家标准,对本书的相关内容进行了修改和更新。

(4) 在本书的附录中增加了常用的专业术语,修订并增加了常用的设计计算表格。

(5) 对书中相对复杂与难于理解的部分进行了适当的取舍和删减,对在实际工程中普遍运用的部分进行了适当的增加,在语言叙述方面进行了调整,力求更加通俗易懂、深入浅出。

本书编写分工如下:第一、五、六、七、八、十、十二章及附录部分由张建新撰写,第二、三、四、九章由宁欣撰写,第十一章由陈小波撰写,全书由张建新统稿。

在本书的编写过程中,得到了东北财经大学投资工程管理学院王立国、宋维佳等教授的关心与支持,以及本书第一版的作者刘禹老师的大力支持和帮助,在此表示感谢。衷心感谢东北财经大学出版社编辑对本书倾注的心血和热情。同时,也非常感谢李虹峰同学为本书的资料收集、整理和绘图等方面付出的辛勤劳动。

本次修订参考了国内外许多学者的论著,吸收了同行的辛勤劳动成果,并尽可

能在书后的参考文献中一一列出。但由于内容涉及广泛，资料较多，难免挂一漏万，在此衷心感谢相关参考文献的作者。

由于作者水平有限，书中难免存在不足、差错，敬请国内专家、学者及广大读者批评指正。

作 者

2014 年 3 月

目录

第一章 建筑结构的基本知识	1
学习目标	1
第一节 结构的概念	1
第二节 结构的作用	2
第三节 结构的组成	5
第四节 建筑物对于结构的基本要求	7
第五节 建筑、结构设计的主要内容	8
第六节 结构工程的历史演进过程	10
第七节 建筑结构的分类及应用	12
第八节 建筑结构的 basic 构件	14
第九节 小结	14
关键概念	15
复习思考题	15
第二章 荷载的基本概念	16
学习目标	16
第一节 荷载及其分类	16
第二节 荷载取值	18
第三节 特殊荷载与作用简介	23
第四节 小结	35
关键概念	36
复习思考题	36
第三章 常用的结构材料	37
学习目标	37
第一节 结构材料的基本要求	37
第二节 混凝土	40
第三节 钢筋	55
第四节 钢筋混凝土	63
第五节 劲性混凝土	67
第六节 钢管混凝土	69
第七节 木材	70

第八节 砌体	71
第九节 小结	74
关键概念	75
复习思考题	75
第四章 结构设计原理	76
学习目标	76
第一节 设计基准期和设计使用年限	78
第二节 结构设计的功能要求和可靠度	79
第三节 建筑结构的设计方法	80
第四节 结构上的荷载最不利分布	89
第五节 建筑结构设计过程综述	92
第六节 小结	93
关键概念	94
复习思考题	94
第五章 混凝土结构体系与受力特点	96
学习目标	96
第一节 建筑结构体系综述	96
第二节 结构概念设计	102
第三节 结构的选型	111
第四节 框架结构的设计原理	114
第五节 剪力墙结构的设计原理	123
第六节 排架结构的设计原理	128
第七节 小结	141
关键概念	142
复习思考题	142
第六章 钢筋混凝土跨度结构——梁板结构体系分析	143
学习目标	143
第一节 钢筋混凝土梁板结构体系的构成	143
第二节 钢筋混凝土梁式结构的正截面设计	154
第三节 钢筋混凝土梁的斜截面设计	180
第四节 钢筋混凝土梁的耐久性与刚度问题——裂缝与变形	192
第五节 钢筋混凝土梁板结构的特殊问题——受扭作用	197
第六节 其他钢筋混凝土水平结构——无梁楼盖、双向板、密肋楼盖、井字梁与楼梯	203
第七节 小结	212
关键概念	215
复习思考题	215

单向板肋梁楼盖设计案例·····	216
第七章 钢筋混凝土垂直结构体系分析 ·····	230
学习目标·····	230
第一节 受压构件综述·····	231
第二节 轴心受压构件·····	233
第三节 偏心受压构件·····	238
第四节 受压构件的综合分析·····	248
第五节 钢筋混凝土受拉构件·····	251
第六节 小结·····	253
关键概念·····	255
复习思考题·····	255
第八章 预应力混凝土结构原理与应用 ·····	256
学习目标·····	256
第一节 预应力混凝土结构概述·····	256
第二节 施加预应力的方法·····	260
第三节 预应力混凝土的材料和锚具·····	264
第四节 预应力混凝土构件的张拉控制应力与预应力损失·····	268
第五节 预应力混凝土构件的一般构造·····	277
第六节 小结·····	280
关键概念·····	281
复习思考题·····	281
第九章 钢结构的基本构件与结构体系 ·····	282
学习目标·····	282
第一节 钢结构的结构体系·····	283
第二节 钢结构的构件连接方式·····	288
第三节 钢结构构件的计算与构造原理·····	293
第四节 小结·····	304
关键概念·····	304
复习思考题·····	304
第十章 砌体结构 ·····	305
学习目标·····	305
第一节 常见的砖石砌体结构体系·····	306
第二节 砖石砌体结构的力学简化体系构成·····	309
第三节 砖石砌体结构的微观构造要求·····	312
第四节 砖石砌体结构的裂缝控制·····	317
第五节 小结·····	321

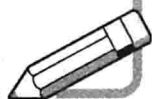
关键概念·····	321
复习思考题·····	321
第十一章 结构的地基与基础·····	322
学习目标·····	322
第一节 地基与基础的基本概念·····	324
第二节 土中应力的分布与土的强度·····	330
第三节 土的压缩性与地基沉降·····	336
第四节 地基承载力·····	338
第五节 土坡的稳定问题·····	340
第六节 基础的设计原理·····	344
第七节 小结·····	355
关键概念·····	355
复习思考题·····	355
第十二章 建筑结构新体系·····	356
学习目标·····	356
第一节 悬索结构·····	356
第二节 拱结构·····	360
第三节 索膜结构·····	363
第四节 混合空间结构·····	369
第五节 高层建筑结构体系的新发展·····	372
第六节 小结·····	375
关键概念·····	376
复习思考题·····	376
附录1 名词与术语·····	377
附录2 常用建筑材料的性能与基本构造·····	383
参考文献·····	389

第一章

建筑结构的基本知识

□ 学习目标

掌握结构的基础知识以及结构对建筑的重要作用。



第一节 结构的概念

建筑物是人类建造的人工空间，当自然界出现各种复杂的变化时，如风、雨、雪、地震等，稳固的人工空间能够保证人类的正常生活与生产（如图 1-1 所示），如住宅、办公楼、购物中心等民用建筑，以及厂房、仓库等工业建筑。建筑物是人类得以生存与发展的基础。世界上的文明古国无不留下了令人叹为观止的建筑奇迹，正如历史学家所说，建筑记录了人类的历史。

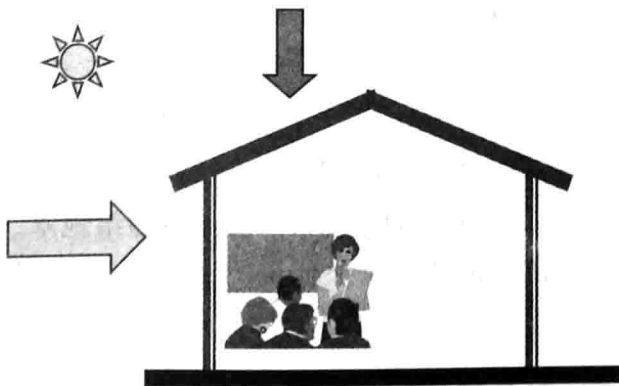


图 1-1 建筑与人类的关系

除了建筑物，为了达到某种特殊的目的，人们还修建了各种各样的构筑物。构

筑物是指人们一般不直接在内进行生产、生活活动的场所，如桥梁——其目的是为了交通方便，用来沟通自然界的各种阻隔，使天堑变通途；水坝——为的是挡水或约束水流的方向，从而保证人类对于水资源的利用。此外，常见的构筑物还有烟囱、围墙、蓄水池及隧道等。同建筑物一样，这些构筑物也要面对各种自然的力量与人为的作用。

为了保证这些建筑物、构筑物在各种自然、人为的作用下保持其自身的工作状态（跨度、高度及稳定性等），必须有相应的受力、传力体系，这个体系就是结构。在后文中，我们将建筑物与构筑物统称为建筑物。

建筑结构是构成建筑物并为使用功能提供空间环境的支承体，承担着建筑物的重力、风力、撞击及振动等作用下所产生的各种荷载，是建筑物的骨架。在正确设计、施工及正常的使用条件下，建筑结构应该具有抵御可能出现的各种作用的能力。同时，建筑结构又是影响建筑构造、建筑经济和建筑整体造型的基本因素，是建筑物赖以存在的基础。

常见建筑物的梁、板、柱，桥梁的桥墩、桥跨，水坝、堤岸等属于结构，而人们在日常活动中看不到的基础也属于结构。

对于建筑物来说，屋顶、墙和楼板层等都是构成建筑使用空间的主要组成部件，它们既是建筑物的承重构件，又都是建筑物的围护构件，其功能是抵御和防止风、雨雪、冰冻以及内部空间相互干扰等影响，为提供良好的空间环境创造条件。

结构是建筑物的骨架，是建筑物赖以存在的基础，因此结构必须是安全的，即在各种自然与人为的作用下保持其基本的强度要求——不被破坏，基本的刚度要求——不发生较大的变形，基本的稳定性要求——不出现整体与局部的倾覆。

通常情况下，常规建筑结构的工程造价及用工量分别占建筑物造价及施工用工量的 30% ~ 40%，建筑结构工程的施工期占建筑物施工总工期的 40% ~ 50%。由此可见，建筑结构在很大程度上影响了整个建筑物的造价和工期。

第二节 结构的作用

从结构的基本原则来看，结构的作用是在其使用期限内，将作用在建筑物上的各种荷载或作用（从自然到人为的各种力和作用）承担起来，在保证建筑物的强度、刚度和耐久性的同时，将所有的作用力可靠地传递给地基。建筑结构的作用主要包括：抵抗结构的自重、承担其他外部重力、承担其他侧向力以及承担特殊作用。

一、抵抗结构的自重作用

自重是地球上的任何物体均存在的基本物理特征，是由地球的引力产生的（如图 1-2 所示），组成结构的材料也同样存在自重。尽管初学者在学习力学基础

时, 由于简化计算的需要而经常忽略结构的自重, 但实际上很多结构材料的比重 (单位体积的重量) 非常大, 从而会使自重成为结构的主要荷载, 如混凝土结构、砖石砌体结构等, 在结构设计中是无法忽略的。



图 1-2 地球上的建筑

通常情况下, 自重是均匀地分布在结构上的, 因此自重在计算时经常被简化为均布性的竖直荷载, 如梁板的计算。但是, 有时也会为了计算简化的需要, 在不影响整体结构受力效果的前提下, 将自重简化为集中荷载。例如, 在桁架的计算中, 会将杆件的自重简化为作用在节点上的集中力 (如图 1-3 所示)。

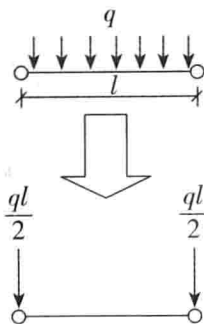


图 1-3 均布荷载的一种简化

二、承担其他外部重力作用

结构上的各种附加物, 如设备、装饰物及人群等, 均存在重量, 需要结构来承担。上部结构对于下部结构来说, 也是附加的外部重力荷载, 需要下部结构来承担。因此, 结构需要承担各种外部重力形成的荷载作用, 这是对结构的基本要求, 也是单层结构发展为多层结构的基本前提。

结构所承担的其他外部重力荷载是多种多样的, 会随着建筑物的差异而不同。北方地区冬季降雪量大, 因此雪荷载是北方地区结构设计所要考虑的重要内容, 这也是北欧、俄罗斯等的古典建筑大多是采用尖顶的原因所在 (尖顶的倾斜屋面难以留存大量的积雪, 从而可避免建筑物由于沉重的雪荷载作用而倒

塌)。而生产中有大量排灰的厂房(如冶金、水泥生产等)及其邻近建筑物,在进行结构设计时,需要考虑屋顶的积灰产生的重力荷载。这是由于这类建筑物的屋顶容易积存大量的灰尘,如果这类建筑物的体型较大,日常的清理工作会很难进行,在使用几十年后,积灰的重力作用对建筑物的影响是不容忽视的。

三、承担其他侧向力作用

结构除了需要考虑垂直力的作用外,抵抗侧向力对于建筑物来说也是十分重要的。对于较低的建筑物,侧向力并不构成主要的破坏作用,但是随着建筑物增高,侧向力逐步取代垂直的重力作用,成为影响建筑物的主要作用。

常见的侧向作用有风和地震作用。风是由于空气的流动所形成的,由于建筑物会对风的流动形成阻力,因此风也会对建筑物形成推力。当然,现实中的风荷载效应是十分复杂的,这部分内容将在本书的第二章中加以详细讨论。地震时,地面会产生往复的侧向位移,而由于惯性,建筑物会保持原有的静止状态。因此,地震时地面与建筑物之间会形成运动状态的差异,从而形成侧向力的作用。与风的作用不同,地震不是直接产生的力作用在建筑物上,而是建筑物自身惯性产生的,因此建筑物所受到的地震作用除了跟地震的强弱有关,也与建筑物自身质量等关系密切。关于地震的问题也将在第二章中加以详细讨论。

对于特定的构筑物由于要满足特殊的功能要求,因此除了风与地震作用外,还需要承担特定的侧向力。例如,桥梁需要承担车辆的水平刹车力;水坝与堤岸需要承担波浪的侧压力与冲击力;挡土墙需要承担土的侧压力等。在结构设计中,侧向力与作用是不能够忽视的,且大多数侧向力与作用属于动荷载,作用更加复杂。

四、承担特殊作用

除了常规的力与作用外,建筑物可能由于特殊的功能或原因,承担特殊的作用。

例如,我国北方冬季寒冷、夏季酷热,温度变化范围可达 60°C 以上,冬季室内外温差也可以达到 50°C 以上,温度的变化导致的结构变形不协调是产生结构内力的主要原因。结构外表面温度较低而结构内部温度较高,形成较大的温度差导致结构发生变形,若变形遭到约束,则在结构内部产生应力,容易产生温度裂缝(如图1-4所示)。有的时候,建筑物的地基会在建筑物的荷载、地下水及地震等多种因素的影响下产生沉陷,而当地基的沉陷不均匀时,会导致建筑物被破坏(如图1-5所示),常见的破坏形式包括建筑物倾斜、不均匀沉降、墙体开裂、基础断裂等。结构设计者也需要考虑这些特殊原因产生的影响,才能保证所设计的结构是安全、可靠的。

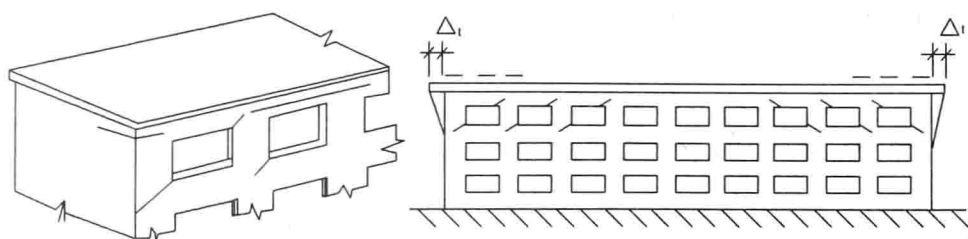


图 1-4 温度变化产生的影响

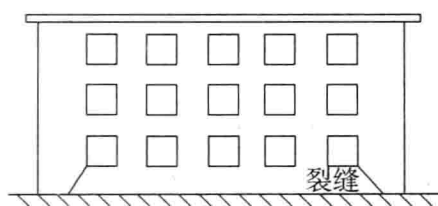


图 1-5 地基沉陷产生的影响

第三节 结构的组成

结构是由构件经过稳固的连接而形成的。构件是结构直接承担荷载的部分，连接可以将构件所承担的荷载传递到其他构件上，进而传递到结构基础上直至地基。

从一般的建筑结构来理解，结构有以下几个特定的组成部分：形成跨度的构件与结构、垂直传力的构件与结构、抵抗侧向力的构件与结构以及基础。

一、形成跨度的构件与结构

建筑物内部要形成必要的使用空间，跨度是必不可少的尺度要求。跨度是建筑物中梁、板及拱券等两端承重结构之间的距离，没有跨度就不可能形成内部的空间。没有跨度构件，各种跨度以上的垂直重力荷载就不可能传至结构的基础。

在形成跨度的构件和结构中，应用最广泛的跨度构件是梁。结构中有了梁的作用才可以保证梁的下部空间，同时又可以在梁的上部形成平面，进而形成建筑中第二层的人工空间。此外，梁是轴线尺度远远大于截面尺度的线形构件，在结构设计计算时可以将其简化为截面尺度为零的杆件。受弯是梁的基本受力特征，弯曲是梁的基本变形特征。

板是覆盖一个面且具有相对较小厚度的平面形结构构件，其原理、作用与梁基本相同。但当板的尺度与约束共同作用，体现出明显的空间特征时，其计算原理会稍有变化。

桁架、拱以及悬索等是形成跨度的构件与结构中的特殊形式，这些结构与构件与梁、板构件的不同之处在于，它们不是以受弯为基本受力特征的，且常应用在大跨度结构中。在大跨度结构中，梁的弯曲效应十分巨大，这对于结构来说是非常不

利的，因此采用桁架、拱以及悬索等结构型式，可以达到抵消或减小结构的弯曲效应的目的。

二、垂直传力的构件与结构

当跨度构件（如梁、板等）形成空间并承担相应的重力荷载时，跨度构件的两端必然会形成对于其他构件的向下的压力作用，这种压力作用需要其他的构件承担并向下传递至基础。同时，建筑物的空间需要高度方向的尺度，应有相应的构件形成建筑物的空间高度要求。满足上述需要的构件与结构即为垂直传力构件与结构。

常见的垂直传力构件或结构是柱。通常情况下，柱的顶端是梁，梁将其承担的垂直作用传给柱；柱的下部是基础，将作用传递至地基。当然，柱的下部也可以是柱，从而形成多层建筑。在特殊的情况下，柱的下部也可以是梁，一般称之为托梁，托梁将其上柱的垂直力向梁的两端分解传递。

与梁类似，柱的轴线尺度也远远大于截面尺度，在结构设计计算时也可以将其简化为截面尺度为零的杆件。轴向力是柱的基本受力特征，即柱主要承受平行于柱轴线的竖向荷载。同时，由于结构中竖向荷载可能存在偏心作用，导致作用在柱上的轴向力对柱产生偏心影响，因此使得柱受压的同时受弯。

墙也是垂直传力的构件之一，其原理、作用与柱基本相同。但是墙与柱相比，由于墙的轴线方向具有较大侧向尺度，因此该尺度方向的刚度较大，从而具有良好的抵抗侧向变形的能力，这是柱并不具备的。墙除了作为承重构件之外，还有分隔空间、保温、隔声及隔热等功能。

三、抵抗侧向力的构件与结构

建筑物内部需要有相应的构件或结构来抵抗侧向力或者作用。常见的抵抗侧向力的构件是墙。由于墙的侧向尺度较大，因此其侧向刚度大、抗侧移能力强，可以有效抵御侧向变形与荷载。此外，更重要的是墙可以直接与地面相连接，从而使建筑物形成整体的刚度空间。

楼板也是抵抗侧向力的构件之一。楼板的侧向刚度也较大，但板并不直接与地面相连，它只能够将建筑物在板所在的平面内形成刚性连接体，而不能如墙一般使建筑物在不同层间形成刚度。

除了墙以外，柱与柱之间可以利用支撑来形成抵抗侧向变形的结构，在许多钢结构的建筑中，这种支撑是必不可少的，其作用与墙是相同的。

四、基础

基础是结构的最下部，是埋入土层一定深度的建筑物下部承重结构。基础是将建筑物上部的各种荷载与作用传递至地基的重要部分，没有基础，建筑物就是空中楼阁。由于建筑物承受各种荷载与作用，因此基础也要承担垂直力、水平侧向力及