

前 言

根据我国国情，在一个相当长的时期内，我国土建工程中的许多建筑物，还将采用混合结构（即砖或其它砌体结构与钢筋混凝土结构或钢、木结构的混合）体系；我国大专院校土建类专业的基本专业课程之一亦将是混合结构设计。有鉴于此，我们曾在1979年以清华大学建筑工程系的名义编写了《混合结构设计》。至1987年4月该书已第四次印刷，受到许多大专院校师生和广大土建科技工作者的欢迎，我们在此表示衷心的感谢。

本书——《混合结构设计》第二版是参照《建筑结构设计统一标准》，以及新编的《建筑结构荷载规范》、《砌体结构设计规范》、《混凝土结构设计规范》、《建筑地基基础设计规范》、《建筑抗震设计规范》等修订的。修订中，为了适应广大村镇建筑的需要，对混合结构的部分内容如单层砖柱厂房，钢筋混凝土现浇楼盖、楼梯和悬挑构件的类型和设计要点作了适当补充。

我们在高等工业学校三十余年执教的生涯中，有幸参加了不少混合结构工程的设计和施工，积累了一定的工程实践经验，深感“理论结合实际”这条基本教学原则和工程设计原则的重要，因此，在编写和修订本书过程中，注重以下一些特色：

1. 结合混合结构的建设需要，确定本书章节；
2. 遵循混合结构的设计过程，安排本书顺序；
3. 列举混合结构的实践经验，充实本书内容。

例如，砌体构件计算固然是基本内容，但墙体设计和抗震设计却在混合结构设计中占有更重要的地位；我们在这两章里增设墙体开裂、破坏和震害的实例分析，强调墙体布置中若干值得注意的问题。又如，楼盖和楼梯构件计算也是混合结构设计的基本内容，但板梁体系的概念、楼盖和楼梯的类型以及它们在工程实践中的经验，却是设计中更为重要的问题。作为一个结构设计人员，具备正确的设计思想和概念，掌握科学的设计理论和方法、了解丰富的结构体系和型式、善于吸取实践的经验教训是必不可少的素质；所有这些，也是一个接受工程师基本训练的工科大学生应有的素质。

作为专业课教科书，本书还力求具有以下性质：

1. 符合与本书相应的课程的基本教学要求；
2. 符合工科大专院校学生一般的认识规律；
3. 具有科学性、系统性、可接受性和教育性；
4. 与其它相关学科的教学内容相配合和衔接。

例如，本书第三、四、八章属于专业课教学的基本内容，除系统地阐明了砌体构件计算、墙体设计、混合结构建筑物的抗震验算和构造措施外，增设了“本章小结”和“思考题”两部分。这样做，既便于学生自学，又对如何自学、如何自行总结有所引导。又如，本书第九章是一个比较完整的设计实例，它对指导学生怎样应用和迁移所学知识、怎样全面地比较分析和综合地解决工程实际问题有重要的参考价值。我们认为，专业课教科书应

与基础课教科书有所不同。后者需要提供理论、概念、方法、数据方面的规律性知识，属于“知道为什么”的范畴；而前者则必须更加强调理论与实际、科学与技术的结合，并提供运用科学理论解决实际问题的方法，属于“知道怎样做”的范畴。本书的编写工作，正是遵循这个原则进行的。

本书第一、二、三、五、八章由罗福午编写，第四、六章由郑金床编写，第七、九章由叶知满编写。全书由罗福午修改定稿。

本书一定有不少缺点错误，请读者提出批评指正，以便再版时改进。

第一章 绪 论

1.1

为了成功地设计混合结构建筑物，必须首先弄清结构在建筑物中的功能和它得以存在的原因。结构，永远是建筑物的基本部分。无论古代人为自己或家庭建造的掩蔽物，还是现代人建造可容纳成百上千人在那里生产、贸易、娱乐的空间，他们都必须用一定的材料，建造成具有足够抵抗能力的空间骨架，抵御自然界可能发生的各种作用，为人类生产和生活需要服务，这种骨架就称为结构。

土建工程中的结构主要可分成四类：

1. 形成人类从事生产和生活活动空间的房屋结构。
2. 为人群和车辆提供通道的桥梁结构。
3. 抵御自然界侧向和竖向力的水工和土工结构、如水坝、护堤、挡土墙、隧道等。
4. 构成为某种专门用途服务的特种结构，例如烟囱结构、罐体结构、海洋平台结构等。

无论哪类结构都必须具备应有的功能。

结构的功能，首先表现为满足人类生产、生活的要求和人类对美观的需要。这是结构之所以存在的根本目的。

结构的功能，其次表现为要抵御自然界的各种力（如地心吸力、风力、振动力等），使骨架不致于在各种力作用下发生破坏、失稳、倾倒或产生影响正常使用的过大变形。这是结构之所以存在的根本原因。

结构的功能、还表现为合理而充分地发挥结构材料的作用，使骨架能在正常维护下具备良好的工作性能、足够的耐久性能并取得较好的经济效益。这是结构之所以存在的根本条件。

土建工程中的结构设计，实际上是对土建工程在使用、美观、受力、材料利用、施工方法、造价等一系列问题进行正确而综合的处理，达到使土建工程适用美观、安全可靠、技术先进、经济合理的目的。在这一点上，混合结构建筑物的结构设计和其它土建工程的结构设计是相同的。

1.2

混合结构建筑物，通常指用多种不同材料做成的结构构件组成的建筑物。例如楼（屋）盖用钢筋混凝土、墙体用砖或混凝土砌块建成的建筑物；用木屋架、木楼盖、砖墙、三合土基础建成的建筑物等等，都称为混合结构建筑物。

混合结构所用的材料有很大的地方性，如山区可用石材做墙和基础，林区可用木材做

屋架和楼板，工业发达地区可用粉煤灰、炉渣做成块材砌墙等。由于这种材料的地方性，使混合结构的应用范围极为广泛。一般民用建筑物如住宅、宿舍、办公楼、学校、商店、食堂以及各种无吊车或吊车吨位不大的单层或多层工业建筑物，都可采用混合结构。

国内混合结构建筑物多为1~5层，个别的达到9或10层。单层混合结构厂房或仓库、食堂的跨度可达15~18m。多层混合结构房间的跨度常在3~6m之间；较大的跨度可达10m左右。

混合结构是由多种构件组成的整体。一栋多层混合结构建筑物究竟有哪几类构件？它承受哪些荷载？这些荷载的传递路线是怎样的？下面我们以某底层商店住宅的结构为例进行分析（图1-1）。

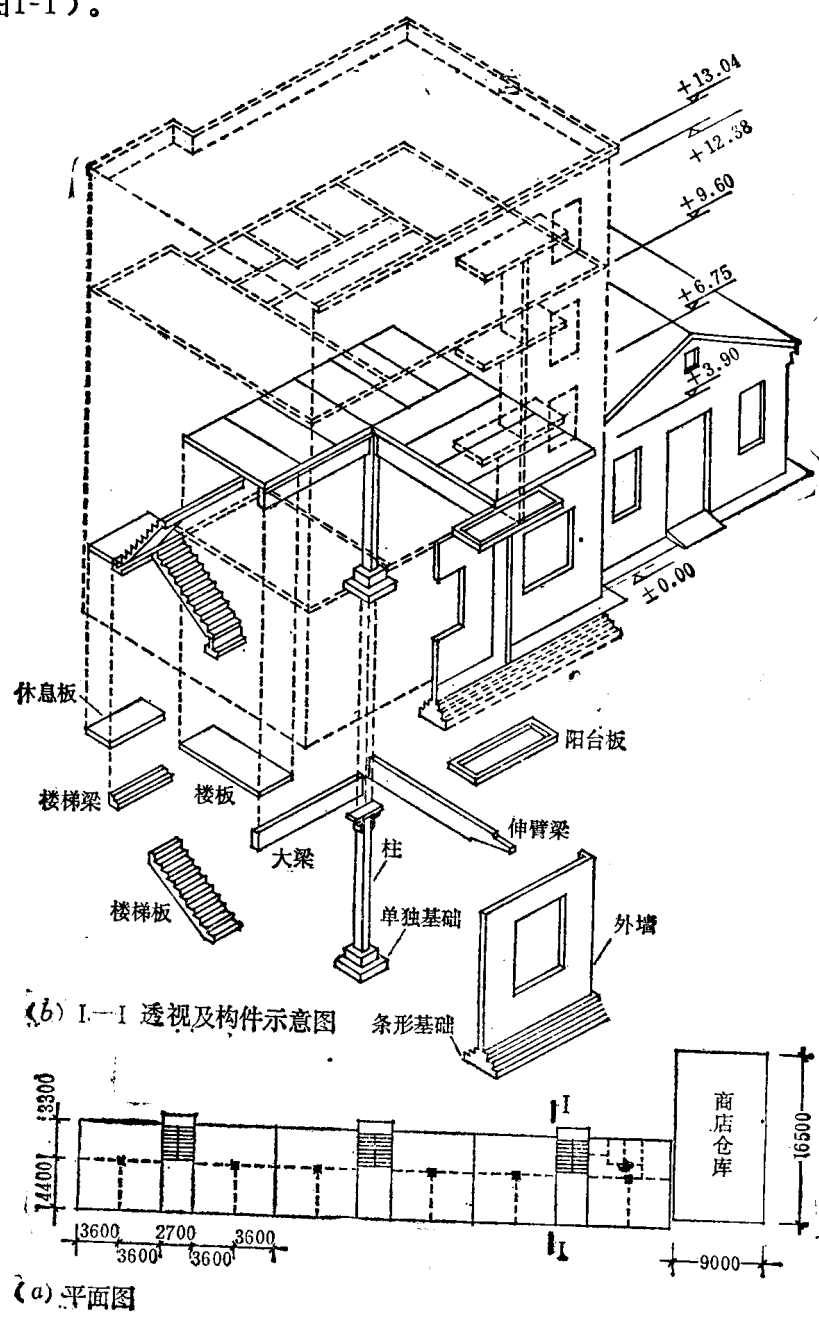
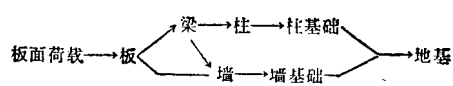


图 1-1 某底层商店住宅的结构示意

在这里，可以看到混合结构由下面几类构件组成：

- (1) 板——承受与板面相垂直的荷载，如楼板上的人群、家具、设备以及楼板、地面层自重等（第二章图2-1）。这些荷载的计量单位都以 kN/m^2 计。图1-1中的楼板、阳台板、楼梯板等都属于这一类。
- (2) 梁——承受板传来的压力以及梁的自重，荷载作用的方向与梁的轴线相垂直。荷载的计量单位以 kN/m 计。当荷载作用长度（或作用面）对构件说相对很小时，可看作集中荷载，计量单位以 kN 计。图1-1中的大梁、伸臂梁、楼梯梁等都属于这一类。
- (3) 墙——承受梁、板传来的压力以及墙的自重，荷载作用的方向与墙面平行。
- (4) 柱——承受梁传来的压力以及柱的自重，荷载作用的方向与柱的轴线平行。
- (5) 基础——承受墙、柱传来的压力，并将它扩散到地基上去。

荷载传递路线示意如下：



以上是人群、设备、构件自重等竖向荷载的传递路线。此外，混合结构还受到水平方向的风荷载（第二章图2-1），它的传递路线是：

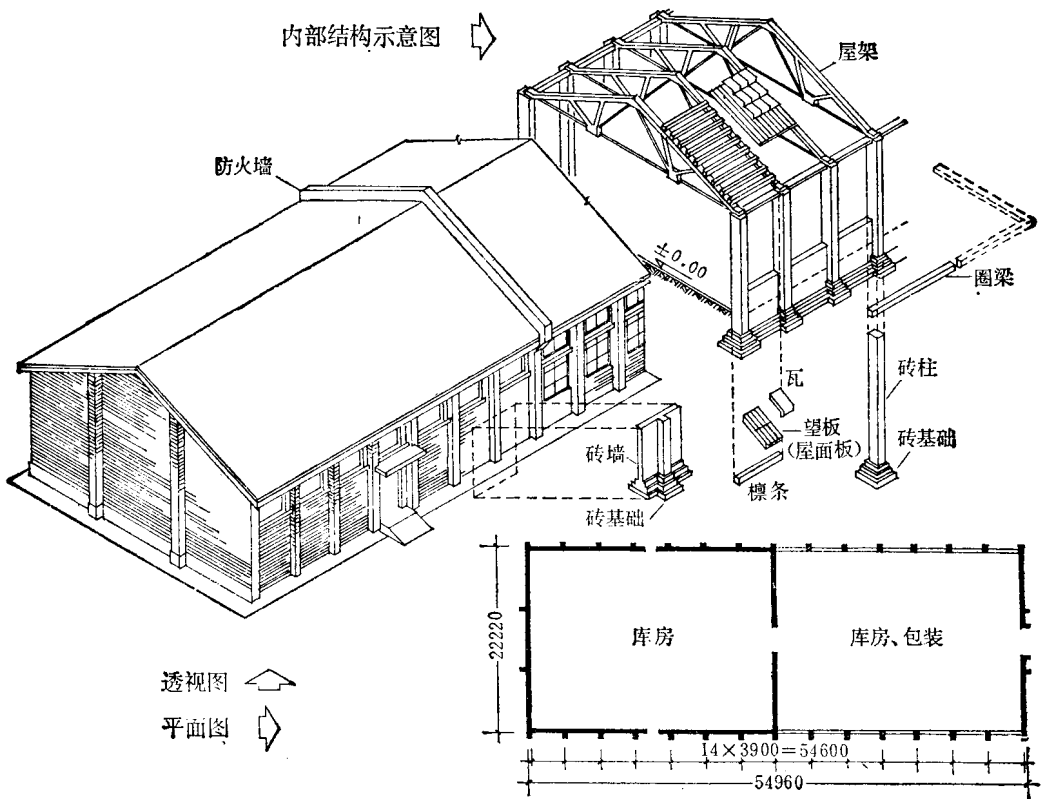
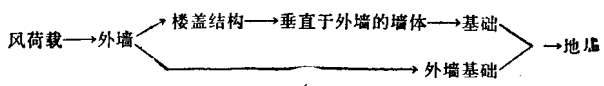


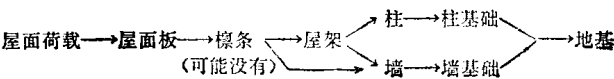
图 1-2 某单层仓库的结构示意

对一个单层混合结构说来，它的构件类型和荷载传递路线可以某仓库结构为例进行分析（图1-2）。

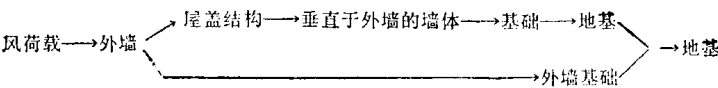
在这里，混合结构由下面几类构件组成：

- （1）屋面板——承受雪、风、屋面层自重等荷载。
- （2）檩条——承受屋面板传来的压力以及檩条自重等荷载。
- （3）屋架——承受由檩条或由屋面板直接传来的压力，以及屋架自重等荷载。
- （4）墙、柱、基础等构件——与多层混合结构相似，不另赘述。

各种构件承受竖向荷载的传递路线示意如下：



水平荷载（以风为例）传递路线示意如下：



由此可见，无论多层还是单层混合结构，由板、梁、屋架等构件组成的楼盖或屋盖，是水平方向的主要承重结构；由墙、柱等构件组成的墙体、柱网，是垂直方向的主要承重结构。本书主要讨论砖砌体（包括砌块砌体，下同）构件的计算，并应用砖砌体和钢筋混凝土结构的知识讨论墙体设计、钢筋混凝土楼（屋）盖设计、基础设计、抗震设计，解决混合结构建筑物的设计问题。

1.3

我国采用混合结构房屋有悠久的历史。西安半坡村建筑遗址的发掘证明，远在五千年前，我国已开始用黄土和木材建造房屋（图1-3）。殷、商时代就有了夯土墙房屋。3000年前已开始使用烧制砖。举世闻名的万里长城、河南嵩岳寺塔（图1-4）和古代许多用砖木建造的寺院宫殿，表现了我国古老而丰富的民族文化，显示了当时劳动人民在建筑方面高度的技术水平。

中华人民共和国建国以来，我国基本建设取得了辉煌的成就。以北京住宅为例，至1971年新建面积就等于解放前住宅的20倍。图1-5为1966年建成的北京左家庄住宅群，图1-6为1972年建成的北京建国门外某外交公寓外貌，该房屋为九层混合结构，为国内层数最多的混合结构之一。

以平屋顶多层混合结构住宅为例，每平方米建筑面积的工料指标如表1-1所示。

表 1-1

指标 时期	钢 材	木 材	水 泥	砖	建 筑 重 量 (每平方米建筑面积)	劳 动 力
建国初期	15 kg左右	0.05 m³左右	90 kg左右	350块左右	1.5~1.6 t	4~5工左右
近 期	10 kg左右	0.01 m³左右	70 kg左右	250块左右	1.1~1.2 t	3工左右

注：指屋盖、楼盖、墙体、基础的用料、用工。

可见,混合结构建筑物所用的材料是比较多的,特别是小块粘土砖的砌筑工程量繁重,而且需要大量粘土做原料,与农业争地。混合结构的发展趋势是革新和节约建筑材料并减轻建筑自重。随着我国社会主义建设的发展,建筑材料用量日益增长,要求我们不断挖掘潜力,开展技术革新,大力发展轻质、高强的新型建筑材料,进行墙体和构件的改革。减轻建筑自重是各国建筑结构发展的共同趋势,建筑构造重量减轻后,板、梁自重就可减轻;板、梁自重减轻后,墙、基础自重又可减轻。这样既能节约材料、降低造价,又能减少劳动力、便于施工、加速建筑工业化。

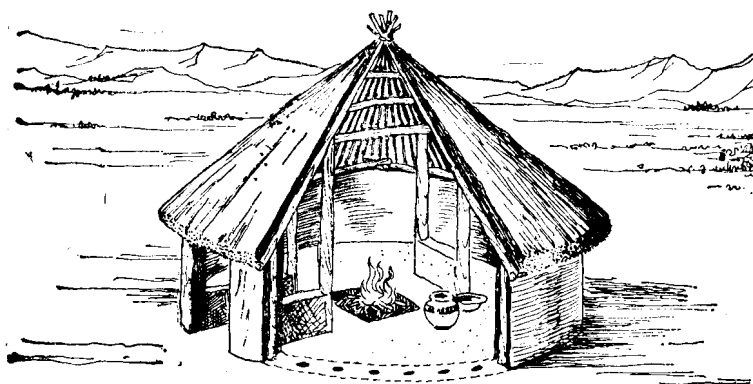


图 1-3 半坡村建筑遗址建筑复原(约公元前3000年)

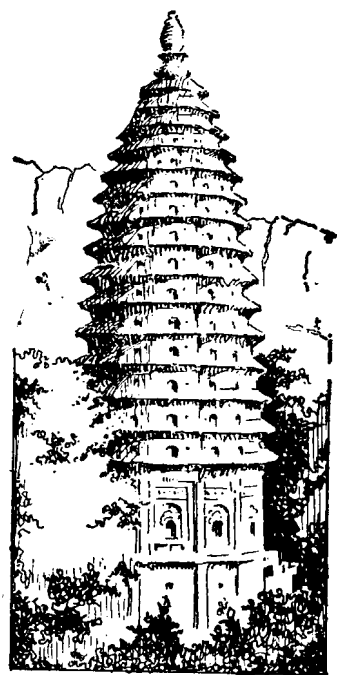


图 1-4 河南嵩岳寺塔(公元520年前建成)

当前,材料革新、减轻重量的措施有:

(1) 减少现浇钢筋混凝土结构,大力发展装配式钢筋混凝土结构。

(2) 利用高强度钢筋和混凝土,发展预应力混凝土结构。目前各地混合结构的楼板、屋面板、屋架等都已大量采用预应力混凝土构件,梁、楼梯、檩条也有用预应力混凝土构件的。江浙一带发展预应力混凝土的情况尤为突出。

(3) 利用工业废料,发展轻质、高强、空心、大块的新型材料,进行墙体改革。如北京用加气混凝土做屋面构件和非承重墙,重量只有砖砌体的1/3。上海利用粉煤灰生产砌块做墙体,不仅重量较轻而且节约水泥。许多地区试制成功多孔空心承重砖,重量轻、隔热效能好。如南京、西安、辽宁、黑龙江等地生产的空心砖孔洞率为25~30%(若用于承重墙体的空心砖,其孔洞率不宜超过40%),砖厚90~115mm,既可减轻墙体自重,又可节约砌筑砂浆和减少用工。

(4) 利用地方材料。如黑龙江、云南和中南地区采用了土筑墙和土坯墙,四川某些地区应用乱石墙、三合土墙,广东某些地区应用灰、砂、土建筑等都取得了“取材易、造价低、建设快”的效果。

(5) 改革建筑结构。例如发展大型墙板结构和框架轻板结构。北京目前试点的框架轻板结构,就是用高强度预应力混凝土梁、柱为框架做承重结构,用各种轻质板材做非承重墙的新型结构。具体地说,即发展“六板”(加气混凝土板、石膏板、石棉水泥板、矿

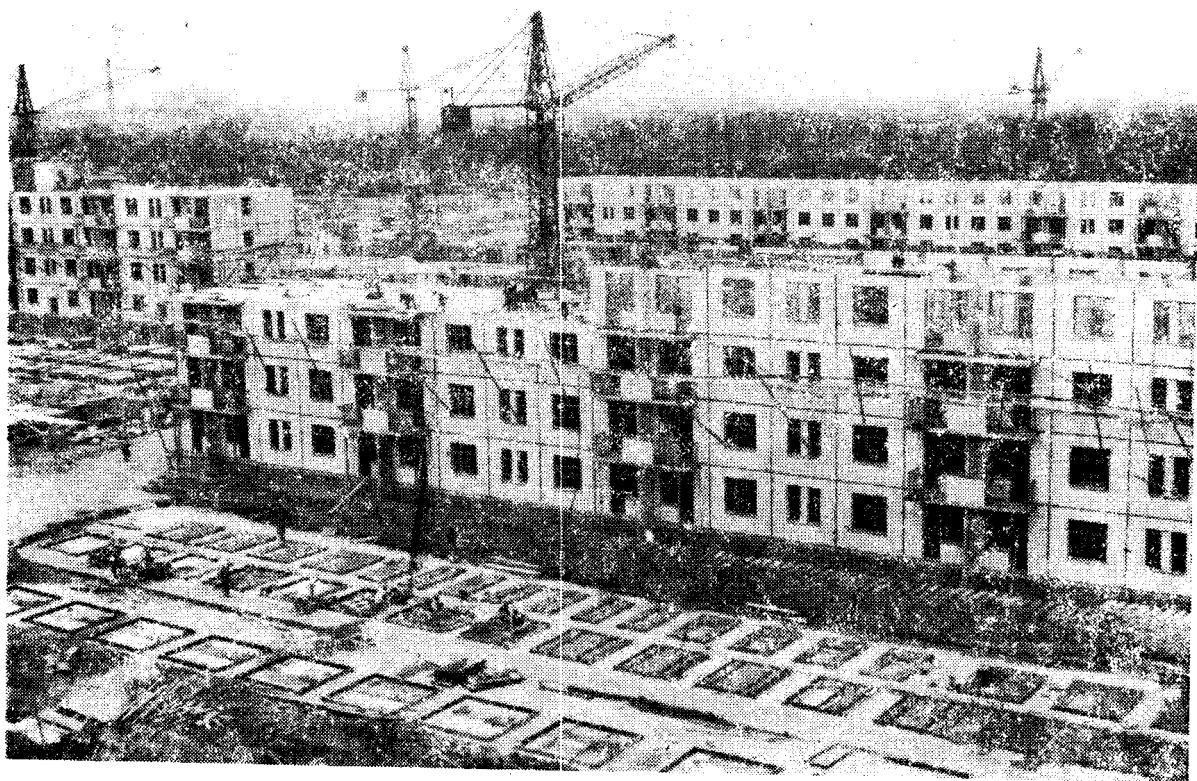


图 1-5 北京左家庄住宅群（用大型砖壁板墙体）



图 1-6 北京外交公寓外貌

渣棉板、草纤维板、合成塑料板作为内外墙和屋面板、天花板及地面材料），“二毡”（玻璃纤维油毡、矿渣棉毡作防水及墙面填充材料），“一纸”（墙纸作内墙装饰材料），“一梁、一柱、一基桩”（预制高强度钢筋混凝土空心梁、柱作框架、基础）等新型建筑材料。

但是，目前就全国范围来看，基本建设所用的墙体材料，主要还是粘土砖，占总量的百分之九十以上，今后一段时间内，粘土砖还会占相当比重。

1.4

进行混合结构设计，大体要遵循以下设计程序：

(1) 调查研究、收集资料。主要指调查建筑物使用单位对生活使用、生产工艺等方面的要求，收集风、雪、地质、地震等自然条件的资料，材料供应、施工条件等设计依据的资料以及其它设计工种（建筑设计、给排水设计、暖气通风设计、电气设计等）对结构设计的要求等。此外，还要调查已建成的类似建筑物的情况（如使用单位对设计的反映，新材料、新结构的使用效果，建筑物的实际沉降等），对正反两面的经验教训加以分析研究，作为设计时的借鉴。

(2) 确定结构方案。主要指确定墙体结构、主要结构构件和基础的型式和体系。要同时做几个方案，经过技术经济的分析比较，才能加以确定。

(3) 进行结构布置。主要指屋盖布置、楼盖布置、墙体布置、基础布置。这时必须统筹考虑各个设计工种的要求。

(4) 结构构件设计。包括构件内力分析，截面的设计计算和处理好各种构造要求。进行构件设计时应该尽量选用定型的标准构件，以减少设计和现场施工工作量。

(5) 绘制施工图纸。包括结构布置、构件大样两类图纸。施工图是施工的依据，它应该反映结构设计的结果，处理好设计和施工的关系，做到为施工服务。

(6) 做设计预算。它也是用国家规定的各项政策检验全部设计的过程。做预算时如果发现设计所用的材料量或造价不符合国家规定的有关指标时，设计应作相应修改。

施工图交付施工后，并不意味着设计已经完成，因为在施工过程中情况还可能不断发生变化，常常需要修改设计以适应变化后的新情况。只有等建筑物施工完毕，交付使用实践证明所设计的建筑物既适用合理又安全可靠，而且总结了经验教训之后，设计工作才算最后完成。

1.5

结构设计和结构构件计算有所不同。结构构件计算主要涉及构件承受的内力和构件强度、变形间的关系，解决结构构件的设计问题；而结构设计则主要涉及结构构件和建筑物之间的关系，解决建筑物总体结构的设计问题。前者是局部，后者是全局；当然全局中包括了局部。在这一方面，混合结构设计和其它结构设计（如单层工业厂房结构设计、高层建筑结构设计）是一致的。

本书作为混合结构设计的一本专著，在讨论与混合结构有关的某些构件设计的基础上，必然要讨论混合结构设计的一些全局性问题。也就是说，在讨论一些结构构件，如板、梁、柱、墙体、基础的设计计算的同时，要对它们的方案、布置、构造等问题进行全面综合的分析，要考虑与结构设计有关的安全、经济、材料、施工、工种关系等各方面问题。这是本书区别于其它结构书籍的一个特色。

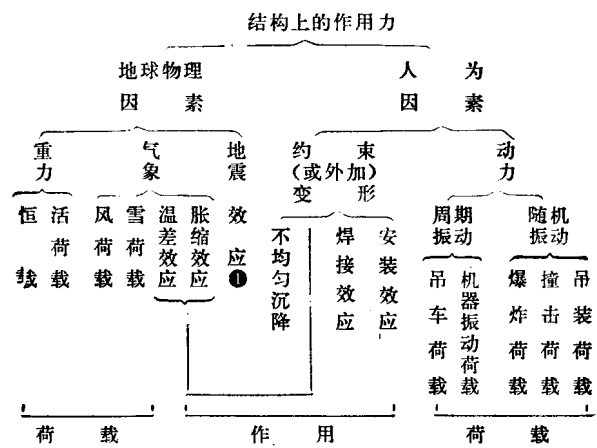
本书在构件计算方面，侧重于砌体结构构件。混合结构中有关钢筋混凝土结构构件的计算，已有钢筋混凝土结构专著加以讨论，本书毋需赘述。但有关混合结构中钢筋混凝土结构构件的方案、布置、构造以及它们与砌体结构构件的关系，则是本书要加以讨论的一些主要问题。

本书是一本建筑结构工程专业（即工民建专业）所用的专业课教科书，也是一本适用于土建工程设计的参考书。作为专业课教科书，它应做到结构理论与工程实际相结合，设计理论与设计实践相结合，既便于教师讲授，又便于学生自学。作为工程设计参考书，它应做到深入浅出、综合分析、取材新颖、便于应用。这两方面却是紧密联系、相辅相成的。这是本书的指导思想和编写原则。

第二章 混合结构的作用力

建筑物结构设计的一个重要目的是保证建筑物使用时的安全可靠。为此，必须研究引起结构破坏（或因变形过大而不能使用）的因素——作用力，以及抵抗这种破坏的因素——结构的强度（或刚度）。作用力可分为直接施加于结构的，称为荷载；以及由外加或约束变形引起而间接施加于结构的，称为作用。前者如重力荷载、风荷载等；后者如地震作用、温差作用等。荷载也是一种作用，因此我国《建筑结构设计统一标准》规定将二者总称为“结构上的作用”。本书遵照习惯将荷载与作用分别称谓，并总称之为作用力。

结构上的作用力有两个来源：地球物理的和人为的，如下所示：



结构上的作用力，可按下列原则分类：

- 1.按随时间的变异分类：可分为永久作用力（如构件自重、土压力等）、可变作用力（如楼面活荷载、风荷载等）、偶然作用力（如地震作用等）。
- 2.按随空间位置的变异分类：可分为固定作用力（如构件自重、固定设备荷载等）、可动作用力（如人群和家具荷载等）。
- 3.按结构的反应分类：可分为静态作用力（如楼面活荷载等）、动态作用力（如设备振动荷载等）。
- 4.按作用力产生原因分类：可分占据空间的质量（如重力荷载）、环境变化（如雪荷载）、地质现象（如基础不均匀沉降）、材料性质（如胀缩效应）、人工外加变形（如预加应力）、意外事件（如碰撞）。

不同的结构上的作用力，在设计中有不同处理方法。其中最基本的是按时间的变异分类，因为它在后述的结构可靠性分析中，关系到作用力概率模型、作用力值及其效应组合形式的选择。

① 效应，指由于某种原因使结构产生的内力、变形等。

结构上的作用力的值怎样取呢？一般说来，即使在取得一定资料的情况下也很难确切预估这些作用力的值，因为结构上的作用力与建筑物所在地区、所用材料、使用状态以及时间等多种因素有关，而这些因素是随机的。因此设计时取用的荷载或作用，都是在正常使用条件下可能出现的最大估算值，称为标准值^①。这种估计，是在概率统计理论基础上。能为绝大多数人所接受的估计。

一般说来，建筑物所承受的各种荷载，都可从《建筑结构荷载规范》（简称《荷载规范》）上查到。但《荷载规范》规定的是一种常用荷载的标准值，它们仅适用于一般情况。一旦建筑物的实际情况与《荷载规范》规定的一般情况不符时，设计人员就应按实际情况或采用实测、类比等方法确定结构上作用的荷载。

在常见的混合结构设计中，会遇到以下一些作用力：

（1）楼面活荷载——如人群、家具、隔断墙、机器设备等。如图2-1中的1；

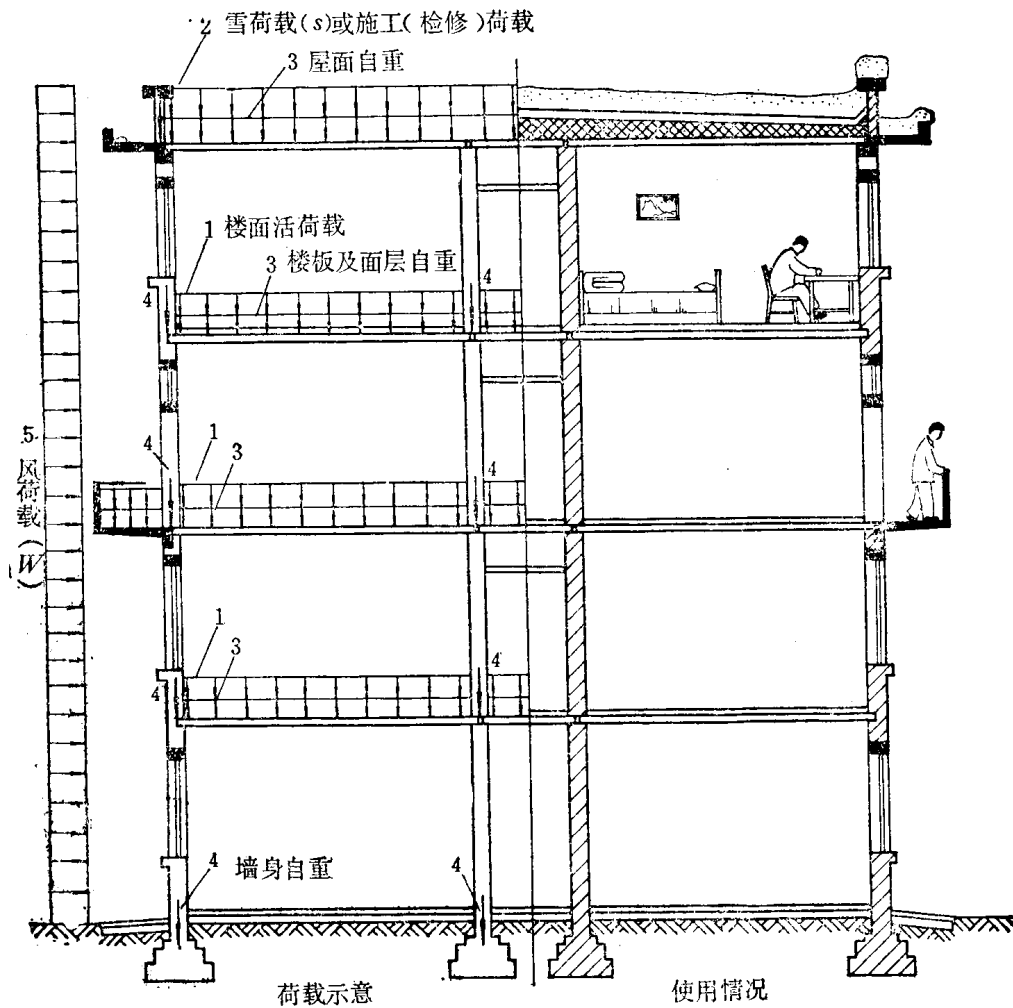


图 2-1 混合结构建筑物所受荷载示意

（2）屋面活荷载——如雪、上人屋面的人群、施工（检修）荷载、坡屋面风荷载等，如图2-1中的2；

^① 标准值的概念，将在本章2.5.2节讨论。

(3) 结构构件和建筑构造层自重, 如图2-1中的3为楼板及面层自重, 4为墙身自重;

(4) 外墙面上的风荷载, 如图2-1中的5;

(5) 有的工业厂房有吊车荷载;

(6) 位于地震区的建筑物, 将承受地震作用引起的地震效应;

(7) 处于不均匀地质条件下的建筑物, 将承受基础不均匀沉降引起的结构效应;

(8) 由于大气温湿度变化以及材料的收缩性能, 将引起温差和胀缩效应。

下面讨论混合结构建筑物有关荷载的确定。

2.1 永久荷载(恒载)

恒载是指建筑物内部每一构配件的质量所引起的地心吸力, 包括建筑物中的结构构件、楼地面及顶棚装饰、墙面抹灰、隔断墙、固定设备等重力荷载。

设计结构构件时要预估它的自重和作用在其上的建筑构造层重量, 但构件的实际自重和构造层的实际重量要到施工完以后才得知。所以设计时必须事先假定构件和构造层的尺寸, 算出其体积, 乘以《荷载规范》列出的平均单位容重, 就能得到估计的恒载标准值; 加以结构上作用的其它荷载, 才能通过相应计算公式校核这个构件的承载力。这是结构设计必须经过的步骤。构件尺寸估计、构造层做法, 来自长期设计经验, 它们经常是技术上的判断而不是科学的计算结果。

在有些情况下, 构件自重是主要荷载, 如大跨度构件、砌体构件等; 在另一些情况下, 构件自重并不重要, 如预应力构件等; 无论哪种情况, 构件自重都不能忽略。

多数情况下, 恒载是构件的不利负担; 这时要考虑超载(即超出恒载标准值)的可能; 另一些情况下, 恒载却是有利因素, 如作用在悬挑构件抗倾覆一侧的恒载; 这时不但不能考虑恒载的超载, 还要将其标准值乘以小于1的系数, 即考虑实际恒载小于其标准值的可能。

2.2 楼面活荷载

建筑物楼面上的实际活荷载, 可能随时间和不同使用类型而有较大变化, 而且是通过一系列集中力施加到楼面上的。例如, 人体重量通过脚加于楼面, 家具通过支点加于楼面等。可是在设计时采用的却是均布荷载。由分散的多个可移动的集中力化算成全楼面的均布活荷载, 要利用等效荷载的概念。

图2-2为一简支单向板, 跨度 l , 板上作用有若干集中力 P_i , 可求得跨中最大弯矩 $M_{\max}$ 。如果将 P_i 折换成均布荷载 q_e , 使得由 q_e 产生的跨中最大弯矩值亦等于 $M_{\max}$, 则此均布荷载

$$q_e = \frac{8M_{\max}}{bl^2} \quad (2-1)$$

称为集中力按弯矩的“等效均布荷载”, 即 P_i 可用 q_e 代替, 取得跨中最大弯矩值相等的效果。

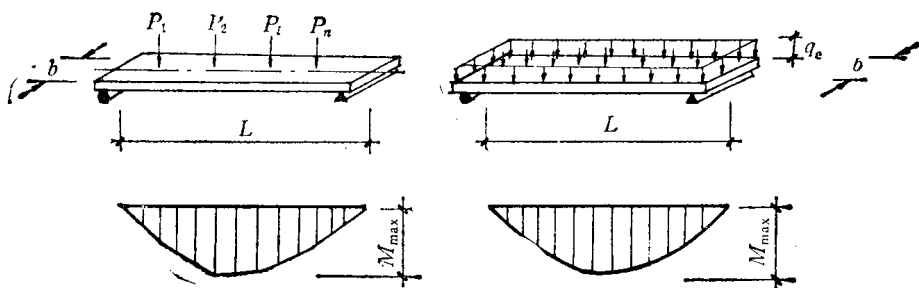


图 2-2 等效荷载的概念（按弯矩等效）

《荷载规范》规定的楼面均布活荷载是利用等效均布荷载概念，对一大批建筑物的使用实况作调查，取得大量数据后经概率统计方法处理而得到的。以某一间民宅为例，平面尺寸为 $4.8\text{m} \times 3.4\text{m}$ ，室内布置如图2-3a，选取荷载相对集中的 1m 板宽为计算单元，算得它的最大弯矩 $M_{\max} = 1.69\text{kN}\cdot\text{m}$ ，则

$$q_e = 8 \times 1.69 / 1 \times 3.4^2 = 1.17\text{kN/m}^2$$

即该房间的楼面等效活荷载为 1.17kN/m^2 。

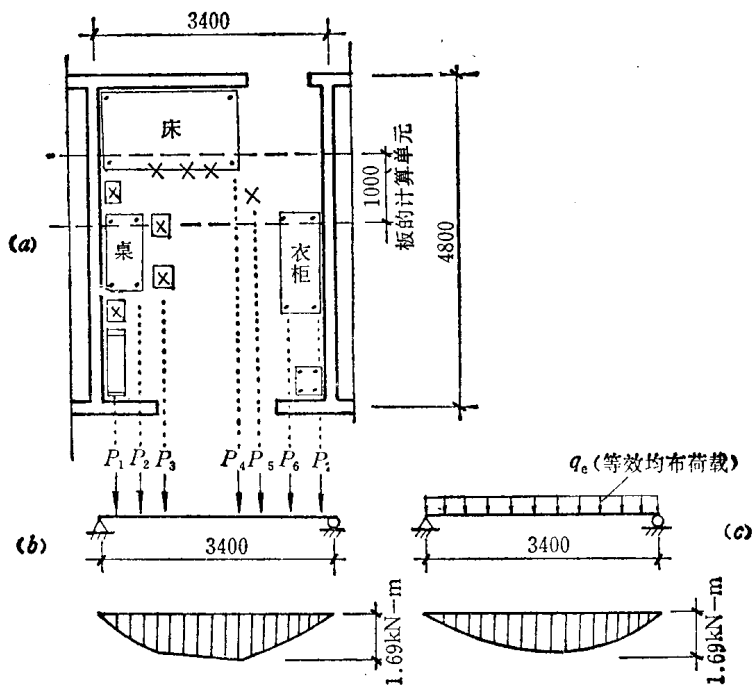


图 2-3 某住宅房间的等效均布荷载

为了确定住宅楼面活荷载值，调查了600余间住宅的相应资料，得到600余个等效活荷载的数据：其中小的只有 0.4kN/m^2 ，大的近 2.0kN/m^2 ，平均值为 1.05kN/m^2 。如将住宅楼面活荷载定为 1.05kN/m^2 ，则小于或等于 1.05kN/m^2 的房间仅占50%，所定的值显然偏小而不安全；如定为 2.0kN/m^2 ，虽然小于或等于 2.0kN/m^2 的房间可达100%，但毕竟接近 2.0kN/m^2 的房间太少，所定的值偏大而不经济；如定为 1.50kN/m^2 ，从统计资料可知，大于该值的房间只占2.3%，亦即97.7%的房间大于或等于所定的值。可以认为，确定1.50

kN/m^2 为住宅楼面活荷载, 能为绝大多数人所接受, 是合理的。

《荷载规范》已确认住宅楼面活荷载为 1.50kN/m^2 , 其它使用类型的楼面活荷载亦已列出。所列值均为楼面活荷载的标准值, 即在正常情况下可能出现的最大估计值。

《荷载规范》还规定在设计楼面梁、墙、柱、基础时要考虑楼面活荷载标准值的折减系数。其原因是: 由一根梁或一片墙支承每层楼面上的每平方米面积上都同时作用着全部活荷载标准值的可能性是很小的。一般楼面面积愈大, 楼面满载的可能性愈小; 反之亦反。所以, 要采用活荷载折减系数来考虑这个问题。例如, 设计住宅、宿舍、办公楼等建筑物的楼面梁时, 当梁的从属面积 $A \geq 25\text{m}^2$, 取折减系数 0.9 ; 设计住宅、宿舍、办公楼的墙、柱、基础时, 可按表2-1选取楼面活荷载折减系数。

按 楼 层 的 活 荷 载 折 减 系 数

表 2-1

墙、柱、基础计算截面以上的楼层数	1	2~3	4~5	6~8
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1.0 (0.9)	0.85	0.70	0.65

注: 当楼面梁从属面积 $A \geq 25\text{m}^2$, 采用括号内的系数。

2.3 屋 面 活 荷 载

屋面活荷载包括雪荷载、上人屋面的人群荷载、不上人屋面的施工荷载、有灰源屋面的积灰荷载等。

2.3.1 雪荷载

雪荷载 s 是屋面积雪的地心吸力, 是某一地区基本雪压 s_0 和所设计建筑物屋面形状参数 μ_r 的乘积, 以 kN/m^2 计。

$$s = \mu_r s_0 \tag{2-2}$$

《荷载规范》规定的基本雪压, 是统计了全国近300个地点气象台站的资料后确定的。这些资料是当地空旷平坦地面上各年的最大雪压(=积雪深度 $\times$ 当地平均积雪密度)。经统计分析后求出的30年一遇的最大雪压即为基本雪压。所谓30年一遇, 指的是每30年有可能出现一次达到或超过的最大雪压的概率; 或称每年达到或超过该值的概率为 $1/30(3.33\%)$ 。这个概率, 已为我国历次颁布的《荷载规范》所采纳。

雪荷载是作用在屋面水平投影面上的。屋面坡度愈大, 积雪愈薄, 雪压愈小; 另一方面, 当屋面有凹谷、挡板, 或在高低屋面交接处附近, 又会因形成雪堆而使雪压增大。因此, 雪荷载必然是基本雪压与屋面积雪分布系数 μ_r 的乘积, μ_r 按不同屋面形状按《荷载规范》采用。

《荷载规范》规定了各地区的基本雪压, 如北京 0.30kN/m^2 , 上海 0.20kN/m^2 , 哈尔滨 0.40kN/m^2 ; 也规定了各种 μ_r 值, 如屋面坡度为 25° 、 30° 时, μ_r 值分别为 1.0 、 0.8 , 高低屋面交接处附近, $\mu_r = 2.0$ 。由基本雪压算得的雪荷载亦为标准值。

2.3.2 其它屋面均布活荷载

对于不上人屋面, 指的是屋面施工荷载。它的值与屋面材料有关: 如瓦屋面施工活载的标准值较小, 取 0.30kN/m^2 ; 而钢筋混凝土屋面施工活载的标准值较大, 取 0.70kN/m^2

(钢或钢筋混凝土屋架)，或 0.5kN/m^2 (轻钢屋架)。

对于上人屋面，指的是屋面平台上人群的重力荷载，参照楼面活荷载标准值的最小值取 1.50kN/m^2 。但屋面平台兼作群众聚会、体育训练场时，则应按相应楼面活荷载采用。

屋面积灰荷载仅在设计有大量排灰的厂房及其相邻建筑物时才需考虑，可直接查《荷载规范》取用。

2.4 风 荷 载

风对建筑物的作用是动力的，而且受到各种环境因素影响。下面分别讨论这些因素对风荷载的影响。

2.4.1 风速

风的动力特性如图2-4所示。在建筑物一定高度处记录的风速读数显示出两种现象：一种是围绕平均风速上下波动的风速，它与平均风速相比，变化不大；另一种是变化幅度较大的阵风风速。因此，风有两个分量，一个是静力的，另一个是动力的。平均风速随高度增长，如图2-5。可是风接近地面时因受到地面物体如房屋、树木、地形等的摩擦而减速，所以平均速度的增长率是地面粗糙程度的函数。地面物体的干扰愈大，同一高度上的风速愈小。

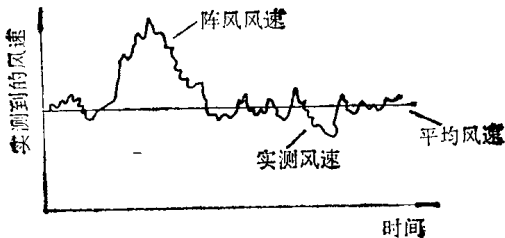


图 2-4 风速与时间的关系

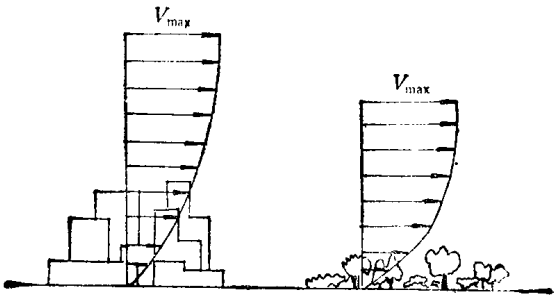


图 2-5 风速与高度和地面粗糙程度的关系

2.4.2 风压与风速的关系

风压取决于风速。当一股空气按一定方向流动遇到建筑物表面时，就产生使建筑物侧移的倾复力，这就是风压。风压随风速和受压面积的增加而增大。

《荷载规范》关于某地区基本风压的确定，是根据全国300多个地点气象台站的平均年最大风速资料确定的。其方法是把这些资料统一换算成离地面10m高、自记10分钟的平均年最大风速，并按照下列风压 W_1 (kN/m^2)和风速 V (m/s)的静态关系

$$W_1 = V^2 / 1600 \tag{2-3}$$

得到相应的平均年最大风压；再根据这些平均年最大风压的数据统计得出30年一遇的某地区基本风压 W_0 (kN/m^2)标准值。这是当风向与建筑物表面垂直时，建筑物在10m高度处受到的平均最大风压的标准值。

2.4.3 风压随高度和地面粗糙程度的变化

在大气边界层内，风速随离地面高度而递增，这种递增规律又主要取决于地面粗糙程

度。《荷载规范》将地面粗糙程度分为三类地区，并得到各类地区的风压高度变化系数 μ_z ：

A类——近海海面、海岸、湖岸等，

$$(\mu_z)_A = 1.379 \left(\frac{Z}{10} \right)^{0.24} \quad (2-4)$$

B类——房屋稀疏的中小城镇、大城市郊区等，

$$(\mu_z)_B = \left(\frac{Z}{10} \right)^{0.32} \quad (2-5)$$

(2-5)式关系如图2-7(a)所示。

C类——有密集建筑群的大城市市区。

$$(\mu_z)_C = 0.713 \left(\frac{Z}{10} \right)^{0.4} \quad (2-6)$$

式中 Z 为离地面高度。 μ_z 可从《荷载规范》查得。

2.4.4 紊流，风压受建筑物体型的影响

当流动的空气正面遇到建筑物时，气流就流向侧边，然后与主气流会合，这就产生了空气的紊流，如图2-6所示。这时，在建筑物迎风面是正气压，而在建筑物两侧和背风面，气流会离开建筑物表面形成一个涡流和旋涡区，它们是由紊流产生的圆形气流，对建筑物表面产生负气压。如果在迎风面，建筑物有削角，将使气流有平滑的过渡，可以减小风压。

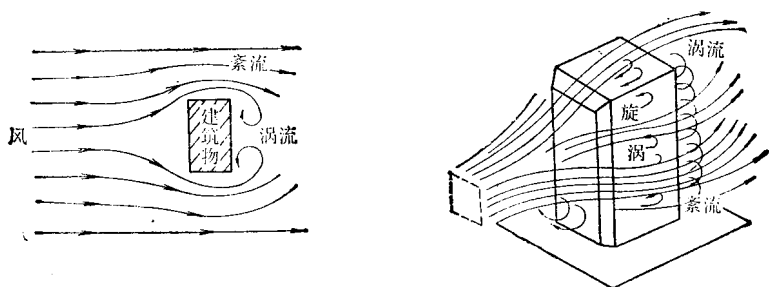


图 2-6 紊流、涡流和旋涡

由此可见，风在建筑物表面引起的实际风压与建筑物的体型有关。《荷载规范》采用风载体型系数 μ_s 来反映这个影响。 μ_s 是指风在建筑物表面引起的实际压力（或吸力）与来流风压的比值。它表示建筑物表面静态压力的分布规律，主要与建筑物的体型、尺寸等几何性质有关。以封闭式双坡屋面单层建筑物为例，其各墙面上的 μ_s 值如图2-7所示。

2.4.5 风对建筑物的振动影响

风的动力特性对一般多层混合结构建筑物影响不大，设计时可不予考虑；但它对细长度较大的建筑物的影响却不能忽视。对细长度较大的建筑物说，动力阵风产生的动力风压，将使建筑物有大于静态侧移的阵风颤振。该总侧移与静态侧移的比值称为风振系数 β_z 。《荷载规范》规定，高度大于30m，且高宽比大于1.5的建筑物，以及基本周期 T_1 大于0.25秒的烟囱、塔架等高耸结构，要计算风振系数；对于其它情况， $\beta_z = 1$ 。

本书涉及的混合结构建筑物， $\beta_z = 1$ 。

2.4.6 风荷载标准值 w 的计算

综上所述，垂直作用在建筑物表面上的风荷载标准值 w (kN/m^2)，可按下列公式计