

第 1 篇 引导性概念

第 1 篇中的 3 章是对于结构给出的总览,叙述了结构在建筑物中的应用情况。其中第 1 章面向结构自身,全面地讨论了各种构件和各种结构系统的不同分类方法。第 2 章回顾了通用于结构分析的基本力学原理。第 3 章研究结构在设计时必须承受的荷载,并对建筑结构的分析和设计过程进行一般性的讨论。

第 1 章 结构：总览

1.1 概述

自古以来,任何一本书的开头都要先给出一些定义。建筑**结构**的简单定义是,将建筑物自身及其在使用中所产生的荷载传递给地基的一种设施。在学习结构的过程中,广泛涉及多方面的概念是很重要的,虽然,学习结构包括对建筑结构基本概念的理解,即定义并描述物体受力后的基本特征;更为基本的是,结构界定了人们所熟悉的“力”(force)这个词的抽象概念。对建筑结构的研究,还涉及怎样处理更为广泛的空间和尺度问题。尺寸、尺度、形状、比例和形态这些用语,通常都能在属于结构设计人的词汇中找到。

作为研究结构的一种途径,重温上面最初提到的结构定义是有意义的。尽管上述定义所界定的结构目的很有价值,但不幸的是,这个定义对结构是怎样建成的,或者结构有哪些特征却没有给予说明,例如就没有回答:结构这个设施是怎样将荷载传递给地基的?如果采用词典作者用词要求既综合又准确的风格来说,则**结构**应该定义为:在一个空间中,用各种构件组成的,有着某种特征的机体,它的整体特征决定着它各个部分的相互关系。有了这样的定义,结构的目的就可以界定为上述表述的内容。

尽管可能令人难以置信,但这种几乎是可笑的、学究气口吻的、既冗长又相对抽象的定义,实际上却很有价值。这个定义首先表述结构是一个**实际的**实体,而不是一个抽象的理念或一个有趣的结局。结构又是一个被建造的物体,而不是一项要讨论的事件。一个结构的内涵必然要相应地加以处理和解决,如果只是单纯地用文字来假定一个结构能够承受某种荷载或具有某种功能,则是不适宜的。一个具体设施必然要符合决定它性能的原理,达到它预期达到的目的。因此,设计结构达到它预期的目的,是设计者的任务。

结构进一步延伸的定义,是从结构整体功能的角度来看的,这一点很重要。因为当人们面对一个在外观上由许许多多梁和柱组成的建筑物时,容易忘掉它整体的面貌。这时很容易将结构想像成只是一个个单独构件的集合,在这个集合中每个构件只完成各自的功能。实际上所有结构都首先具有也必然具有作为一个整体单元的功能,其次才具备各个分散构件的个别功能。与上述延伸的结构定义相一致的是,有了这些在位置和联系上不变的构件,才能使结构作为整体将作用在其上的竖向和水平荷载传递到地基上去;反过来说,无论这些个别构件的位置和联系怎样变化,如果它们在将荷载传递到地基的过程

中不能作为整体功能的一部分,它们的集合就不能看成是一个结构。至于上述定义中提到的荷载,它包含一个重要事实是,结构一般是根据某个具体的荷载条件和功能要求进行设计的。结构只与这种条件有关;它们在和这种条件不相符合的情况下,通常是很容易被损坏的。例如,一个能承受正常使用荷载和环境荷载的建筑物,是不能够简单地用它承受通过空间从角隅处传来的荷载的。由于这幢建筑物未曾按这种独特的荷载进行设计,一旦遇到它时就会倒塌。即使是有超人(Superman)托举着这个建筑物也难以承受这种荷载。

若要正规地定义一个设计结构的行为,它至少在文字上也会像前面定义结构时所述的一样复杂,但其结果也会和前面一样有意义。设计一个结构,就是对一些结构构件进行布置,确定它们之间的相互关系,目标是使得由它们组成的结构整体具备人们所期望的性能。关于所布置构件自身的特征和它们之间的联系思维形式,就是设计一个结构的基本概念。

结构构件承受荷载时的布置方式,以及它们之间可能存在的相互关系,是多种多样的。例如,一个砌块拱可以用各种布置方式的砌块组成,一根梁既可用简单支承的方式与柱连接也可和柱进行刚性连接,它们随后的结构作用将会完全不同。这些问题在本书后续章节中将加以讨论。

1.2 结构的一般类型

1.2.1 基本分类

1. 引言

对任何领域中某个事物的基本认识,都是从对该领域中的类型群进行系统判别、排序、并标以名称开始的。每个形成这种类型分类所依据的准则,和设想的类型之间联系方面的知识,都同样重要。本节介绍一种仅按结构的形状和物理性能对结构构件及其系统进行分类的方法(见图 1-1)。由于这种分类方案只包括一些构件叠加性集合后所形成的复合结构,它是被简化了的。在这里,集合的意义在于构件叠加后的性质,而结构上的意义则是构件在布置和相互联系后能给予结构的某些承受荷载的特征。作为一种概述,图 1-1 所表示的较为简单的分类方法是有用的。

2. 几何特征

按照其基本几何特征,图 1-1 左侧所表示的结构形式通常既可分类为**线形构件**(或称由线形单元组成的构件),也可分类为**面形构件**。线形构件还可分为直线形构件或曲线形构件。面形构件也能分为平面形构件或曲面形构件。曲面形构件还可分属单曲率构件或双曲率构件。

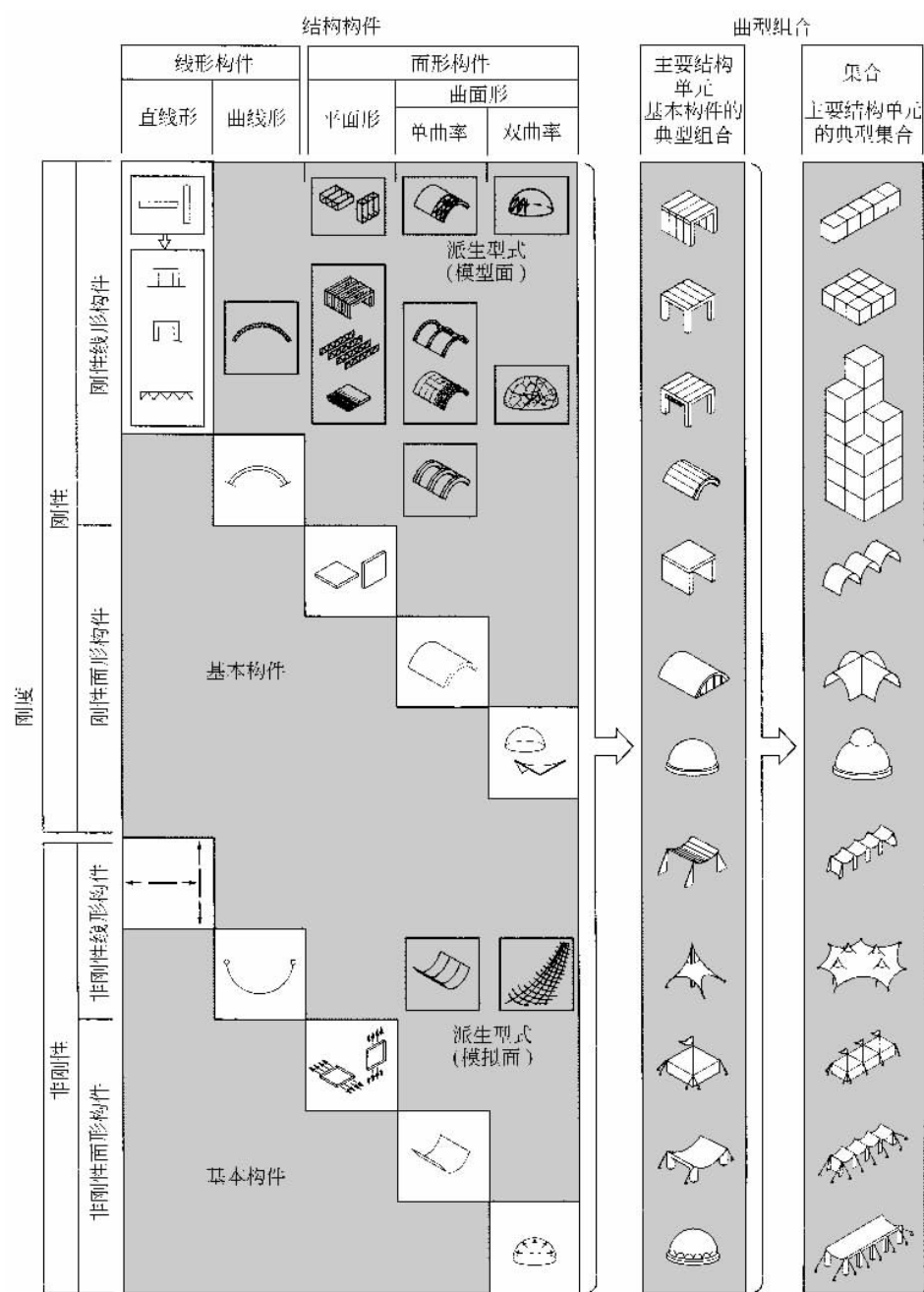


图 1-1 基本构件的分类

基本结构构件按几何和主要物理特征的分类。也列出典型的主要结构单元和它们的集合。本图表只是列出一些有限的构件,没有对怎样正确地布置结构构件以便获得可行的结构组合给出重要建议

当然,严格地说所有结构构件都是有厚度的,没有所谓的一条线的构件或者一个面的构件。然而为了分类,将那些长而细的构件(例如截面尺寸相对小于其长度的立柱)视为线形构件还是有用的。同理,面形构件也有它的厚度,但其厚度和长度相比,是很小的。

和一个结构构件是线形或面形紧密联系在一起的,是材料和/或其所用的建造方法。许多材料天然就呈线形。例如,木材由于它天然生长方法,成材后就是线形的。固然也有可能用木材直接做成较小的面形构件(就像普通胶合板)或者用多片木材集合成较大的面形构件。钢材原本也是线形的,它也可能直接做成小型面形构件(例如钢桥面板)。

3. 刚性特征

在图 1-1 中还表示了第二种分类方法,它是按照结构构件的刚性特征分类的。这里主要区分构件是刚性的还是柔性的。**刚性构件**是指那些在荷载或可变荷载作用下没有显著形状改变的构件,例如典型的梁(见图 1-2(a))。尽管如此,它们在荷载作用下通常还会有很小程度的弯曲。

柔性构件是指在一种荷载条件下只有一个形状,一旦荷载性质改变,它的形状也会急剧变化的构件,例如钢缆(见图 1-2(b))。但是不论柔性构件的形状怎样变化,它始终保持着自身的完整性^①。

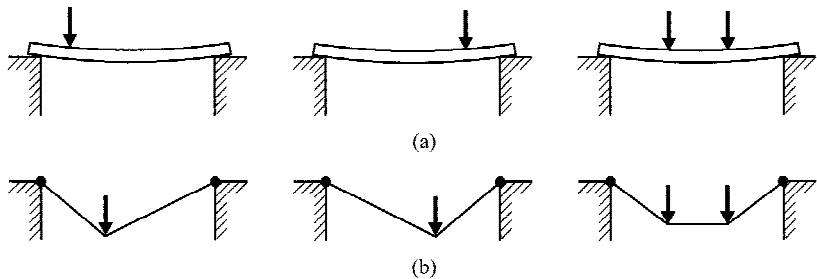


图 1-2 非刚性和刚性结构

- (a) 刚性结构(例如一根梁)。该结构呈刚性,在荷载条件变化时没有显著的形状改变
- (b) 非刚性或柔性结构(例如一条钢缆)。该结构在荷载条件变化后,形状发生变化

与一个构件是刚性还是柔性通常联系在一起的是建造它们所用的材料。许多材料本身就是刚性的,如木材。其他一些材料既能做成刚性构件,也能做成柔性构件,如钢材。刚性钢构件的最好例子是钢梁(一种在变换荷载作用下没有显著形状改变的构件);而一

^① 这里列出的是普通英语中“刚性”(rigid)和“柔性”(flexible)两个词的内涵。在一些更现代的结构理论应用中,这些词的意义和它用文字表述的不尽相同。它们间的区别不如说更在于其刚度、强度和稳定性的不同。

根钢缆或钢链无疑是柔性构件，因为它们在荷载作用下的形状就是所承受荷载量及其型式的函数。一根钢缆的形状就是随所承受荷载的变化而改变的。因而可以认为，一个结构是刚性的还是柔性的，不是取决于它所采用材料固有的特性，就是取决于结构构件中材料的用量和它的微观构造。

不少通常被列为刚性的结构，只是在某种给定的荷载条件下，或者在给定荷载只有少量变化的条件下，才实际上是刚性结构；一旦荷载发生急剧变化，它就会变成不稳定结构，有倒塌的可能。一些结构，例如由许多小型刚性构件（例如砌块）砌垒成大尺度的拱结构，往往就属于这一类型。

4. 单向系统和双向系统

另一种很基本的结构分类法是按照结构支承系统的空间构成，以及结构和其支承点的关系来区分的。这里有两种基本情况很重要，它们是单向系统和双向系统。在一个**单向系统**中，结构将外荷载输送给地基的传递路线只是沿一个方向的；而在一个**双向系统**中，荷载的传递路线复杂一些，但却包括至少两个方向。一根在两个支承点间跨越的直线形梁，是单向系统的例子（图 1-3 顶部的图）。一个安置在两组不同支承点上（它们并不在一条直线上）的正交构件是双向系统的例子，作用于该系统的任何外荷载都将由两个相正交的构件分担传递。安置在四个连续边支承上的刚性正方形平板也是双向系统；作用在它上面的任何外荷载都不能简单地认为只是在一个方向上传给两边支座。

在设计时，区分单向结构的作用和双向结构的作用是重要的。就像本书后面将讨论的那样，在某些情况尤其在某些支承条件下，采用双向结构系统通常会比采用单向结构系统有着一定程度的优越性（就有效地利用材料而言），而采用其他支承系统却往往导致相反的结果。正因为这个理由，在这里较早将单向和双向两种系统区分开来是有益的。

5. 材料

结构还有一种极为普遍的分类法，就是直接按所采用的材料分（例如木结构、钢结构或钢筋混凝土结构）。然而严格按材料分类多少会使人误解，这里不采用它；这是由于不同材料做成的类似构件（例如一根木梁和一根钢梁），它们受力性能的原理是不变的，它们间存在的差异也只是表面上的。在这个阶段里，进行更为一般性的叙述更有内在价值。

而当人们开始要进一步考察结构的细节时，材料的重要性就会显示出来。其原因之一是结构在外荷载作用下的变形性能与材料以及材料在结构中采用的构造方法密切相关。钢材实际上在各种条件下都能应用。素混凝土只能应用在荷载作用时结构只产生压缩或缩短的场合；当承受有将材料拉长趋势的作用力时，混凝土就会断裂。而加了钢筋的混凝土就能够在有拉力的场合应用，因为混凝土中的钢筋能够设计成可以承受这种拉力。本书的后续部分将对这些情况以及其他材料的受力情况进行讨论。

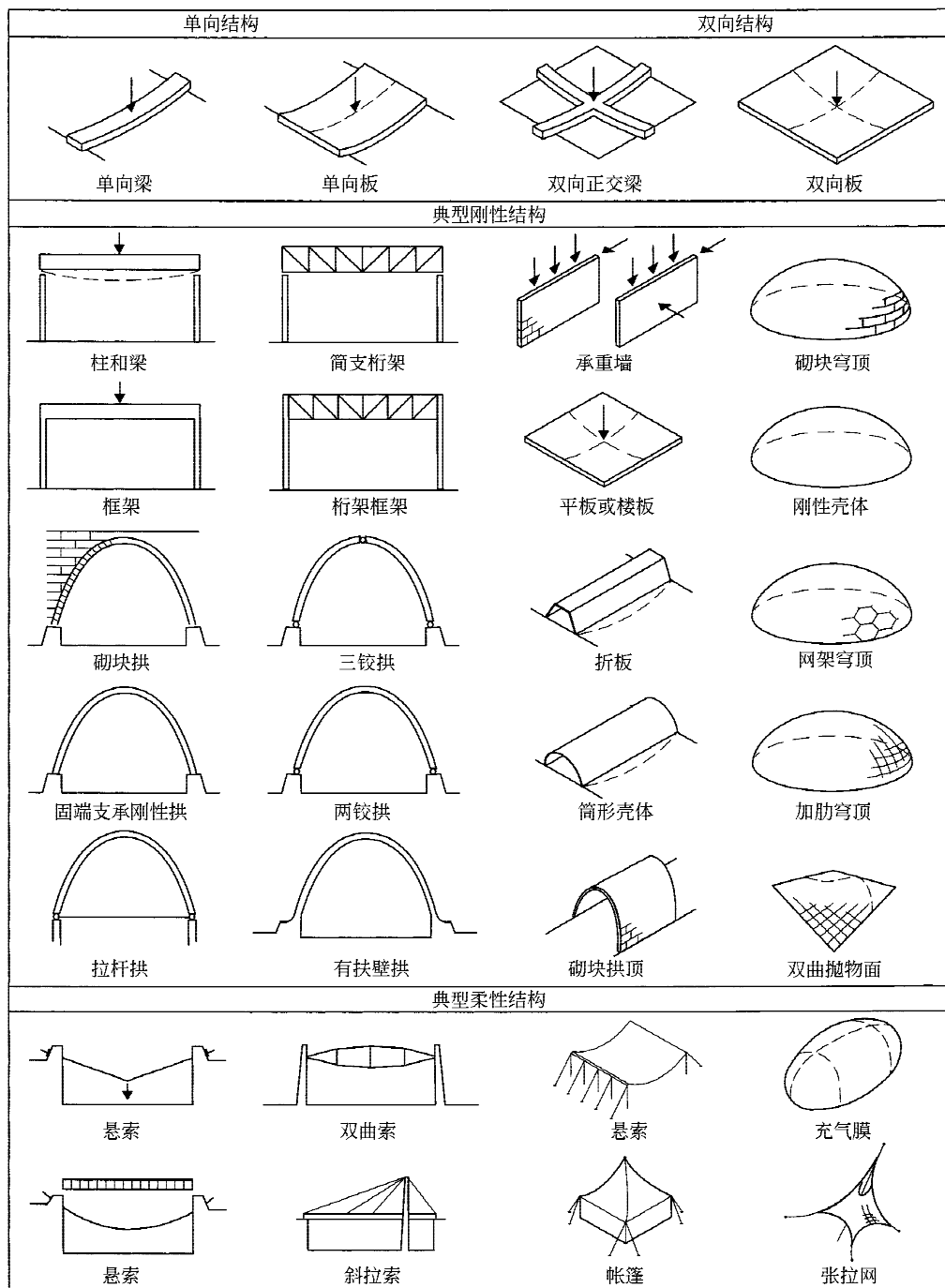


图 1-3 典型结构构件

1.2.2 主要结构构件

1. 构件

一般刚性构件包括梁、柱或支杆、拱、平板、单曲板以及有各种不同曲率的壳体。柔性构件则包括钢缆(直线的和悬挂的)和薄膜(平面的、单曲面的和双曲面的)。此外还有许多从这些构件中派生的其他类型结构(例如框架、桁架、网架穹顶、网格等)。给一种具有某种几何和刚性特征的构件命名一个名称,大概并不难,何况在历史传统上已经有了这一基础。然而用这种方法命名构件会使人有所误解,因为这样做太容易了,以致使人难以确定两个有不同名称的构件在承受荷载的方式上是否一定不一样;而恰恰不一定是。实际上,本书后面部分将要弄清楚并详加说明的结构基本原理之一是所有结构承受荷载的基本机理是相同的。正是因为这样,在这里保留和采用这些已被人们熟悉的传统名称,仍然是有用的。

2. 梁和柱

将刚性的水平构件安放在刚性的竖向构件上形成的一些结构,是常见的现实情况。这种结构通常称为柱-梁结构,其水平构件(梁)直接承受着横向作用在沿梁长度方向上的荷载,并将它们传递给支承的竖向立柱。再由轴向承受梁传来荷载的柱将这些荷载传递给地基。梁由于承受着横向施加的荷载(见图 1-3)而发生弯曲,它们通常被称为受弯承载构件。而在这个梁和柱组合系统中的柱却由于只承受轴向压力而并不弯曲。在一个建筑物中,梁和柱可能达到的实际长度,与其他结构构件(如钢缆)相比,往往是被限定的,因而它们(梁和柱)一般都按照重复排列的模式应用。本书的第 6 章和第 7 章将分别广泛地讨论单跨梁和单独柱。有多支承点的连续梁将在第 8 章中讨论。连续梁和仅有两个支承点的单跨简支梁相比,往往显示出较优越的结构性能。

3. 框架

图 1-3 中的框架,外表上和柱-梁结构相似,但由于其水平构件和竖向构件之间为刚性连接,它的结构作用与柱-梁结构不同。这个连接处的刚性,给予该结构在承受侧向力时一种稳定性的尺度,而这恰恰是柱-梁结构所没有的。在一个框架结构中,荷载作用在结构上的结果是使梁和柱都受弯曲。框架结构中各种构件可能达到的长度也是被限度的,它们在一幢建筑物中一般也可以做成可重复排列的模式,这一点和柱-梁结构一样。在第 9 章中,我们将讨论框架的细部问题。

4. 桁架

将短直杆组合成一些三角形图形所构成的结构构件就是桁架。这样形成的结构是刚性的,其效果和用同样方式将单独的线形构件相互联系所形成的结构是一样的。但有些形状(例如正方形而不是三角形)则不能形成一个刚性的结构(除非将它们杆件间的连接处做成像框架那般的刚性节点)。虽然当有横向荷载作用在桁架的个别杆件上时,这些杆

件也会像梁一样地受弯曲,但从总体上说,桁架的各个杆件基本上只是受压缩或拉伸,不是受弯曲。在第4章中将对桁架进行深入的讨论。

5. 拱

拱是一种跨越在两个支承点之间的曲线形结构构件。在一般人的印象中,拱结构是由楔状块体组成的,在荷载作用下这些楔块互相挤压地保持着它们的位置,形成一个结构。拱的曲线形状和施加荷载的性质是拱的组构件是否稳固的决定要素。当拱结构的形状是由刚性块体作为元件简单堆砌形成的话,它只能在使结构产生均匀内压力的平面内荷载作用下,才会有承重功能并且是稳定的。这类拱结构是不能够承受任何可能引发结构拉长,或使构件产生显著挠度的荷载的(这时那些刚性块体会分离,导致结构倒塌);但若能正确地加以使用,它的承载能力却可以非常高,这已为大量的历史资料所证实。砌块拱结构的承载能力仅仅与各个砌块的**定位**有关,这是由于这些砌块一般都是紧挨着布置或者只是用砂浆砌合的缘故(砂浆并不能相应地增加结构的强度),而砌块的定位又与该拱结构承受荷载的类型有关。所以这一类拱结构只是在一定条件下才是刚性的。这个问题将在第5章中进行详细讨论。

在现代建筑物中应用的往往是**整体拱**。它和砌块拱一样是曲线形的结构,但却是用可形成任意形状的刚性材料做成的一个连续的整体(图1-3);当它具有一定的形状时,它能在某种荷载作用下只产生轴向内压力,没有弯曲发生。在设计中,选用整体拱比采用砌块拱更便于承受变化的荷载。常用的整体拱类型很多,它们通常以其支承条件(固定端支承、两铰支承、三铰支承)为特征。在第5章中将更详细地讨论这种拱的类别。

6. 墙和板

墙和板都是刚性面形结构。一片承重墙在它的沿长度方向一般都既能承受竖向作用的荷载,又能承受侧向作用的荷载(风、地震)。但砌块墙抵抗平面外作用力的能力是有限的。平板是沿水平方向搁置的,它通过自身的弯曲将布置在它表面上的荷载传递给它的支承。板结构一般用钢筋混凝土或钢材做成。

水平方向的平板也可用短而小的刚性线形构件组合而成,并用三维格构桁架的形式赋予它刚性。在第10章中将对板结构作详细讨论。

还可以将长而窄的刚性板沿长度方向彼此连接起来,用来像梁一般地越过水平方向的跨间。这种结构称为**折板**,它有着跨越很长距离的能力。在第10章中将对折板进行讨论。

7. 筒形壳和拱顶

筒形壳和拱顶都是**单曲面板**结构的实例。圆筒形壳是在长度方向跨越的,它的曲线段与跨度方向相垂直。当跨度方向很长时,圆筒形壳的性能就像一个具有曲线形截面的梁一样。圆筒形壳可以用各种刚性材料(例如钢筋混凝土或钢材)做成。对比起来,拱顶只是一个横向跨度的单曲面结构。但拱顶基本上都可以想像成连续的拱结构。