

# 建筑中的物理学

甄开源

(南京东南大学建筑系,南京 210018)

建筑是人类衣、食、住、行四大基本需求中的一大方面。建筑的产生与物理学有着密切的关系。在科学技术高度发展的今天,建筑的发展更是与物理学的发展分不开。本文结合作者多年的研究和教学工作经验,从建筑力学、声学、光学及设备等方面对建筑中的物理学进行了详细的分析与阐述。

人们的日常生活中,无一不与物理现象有关。建筑领域中不少现象和规律也都和物理学关系密切。建筑的产生和发展离不开物理学。现就我们在生活中经常遇到的建筑中的物理问题介绍如下:

## 一、建筑物的支撑结构

一幢雄伟的建筑物拔地而起,甚至可以高耸入云端,如美国芝加哥的西尔斯大厦(Sears tower)是当今世界最高的建筑物,高达443m,地上110层,地下三层。

任何建筑物的基底、基础、柱、梁、板、墙体,直到屋顶,无一不是靠力学原理层层支撑着。一根梁放置在两根柱子上或一块楼板搁置在两道承重的墙上,就构成了简单的支撑结构,叫做简支结构。如果两个以上支点支撑着一个构件,则叫做连续梁。又如雨篷、跳台、阳台等,有时只有一个支撑点承担着其重量,这叫做悬臂结构。

支撑结构的两个支撑点(简称支点)之间的距离叫做跨度。跨度可小到几米,象普通家庭的住宅建筑;也可大到上百米或更大,如工业厂房和停放飞机的机库。

## 二、建筑物的重心与稳定

稳定的建筑物是该建筑物的重心铅垂线一定要落在作为支撑的基底面以内。世界七绝之物理

一的意大利比萨斜塔就是一个很好的例子。该塔能以斜而不倒著称于世界,就是由于该塔的重心铅垂线落在塔基底面以内,如图1所示。

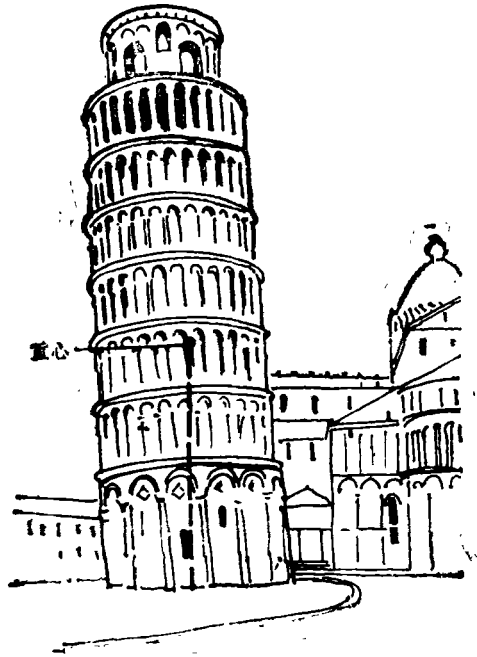


图1 比萨斜塔“斜而不倒”

前几年发现比萨斜塔的倾斜趋向日益严重,其重心铅垂线大有越出基底面之势。意大利政府将塔关闭,停止攀登,并组织了工程技术专家论证,经维修已恢复开放。

## 三、建筑仿生

土建工程师们反复研究一些生物,向大自

然学习,不断创造出千姿百态的建筑形式,最典型的有贝壳形、螺旋形和弧形。

建于公元二世纪的意大利罗马万神庙是一座十分著名的古典建筑。它是一座圆形建筑,直径43m,屋顶为火山灰水泥混凝土和砖砌,其厚度达2m。如今,这样跨度的圆屋顶,采用空间受力原理的薄壳结构,其厚度只需要4—5cm就已足够。现代化的大跨度结构如杂技场、体育馆建筑,大多数采用弧形的薄壳屋顶。此外,人们一直向往着具有鸡蛋壳性能的建筑材料问世,别看蛋壳的厚度大约只有0.3mm,但它却有七个层次,且各有不同的功能,如保温、增加强度、通风等。蛋壳的作用还类似植物的表皮,通过它,机体可以呼吸,以排除多余的水分和防热御寒。如果住宅能有类似的“呼吸”墙壁,那么一年四季的室内就会保持理想的小气候了。

#### 四、多层住宅分层供水

多层住宅(4—6层)的供水问题似乎是极平常的事。可是,一般城市自来水的水压是有限的,当用水高潮或水压不足时,城市的自来水便很难直接升高到住宅的较高的楼层。这样,在一个大的小区范围内,常利用水泵把城市自来水加压输送到水塔内贮存,再由水塔供应给各户。在较小范围(如4—6层楼的住宅单元)内,为了使住在高层次的住户获得足够的水压,常常在楼顶上设置贮水箱。当城市水压高时,由城市水源向水箱供水贮水;当城市水压较低时,水箱内贮的水仍能供应较高的层次,而比较低的层次(一般是1—3层)则由城市直接供水。这种供水方式叫做分层供水,也是多层住宅常采用的供水方式。

#### 五、抽水水箱

家庭厕所便器的水箱是籍浮体和杠杆原理工作的,其原理如图2所示。当水箱注满水后,拉动拉手1,则皮碗2被拉起,箱中水便从水箱孔3流到便器形成冲水。冲水时皮碗2因浮力

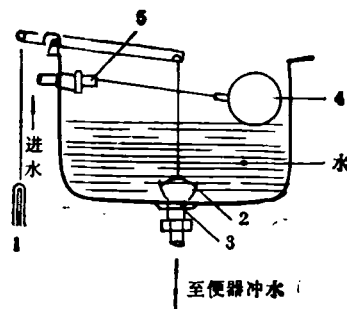


图2 抽水水箱

作用而浮在水面上,直至水全部泄光,皮碗才恢复到原来位置,将水箱孔3堵住,这时浮球4因失去浮力而下降,带动杠杆的另一端使进水管口的活塞5打开,水从进水管流至水箱中,水箱徐徐加水使浮球又受浮力作用而徐徐升起,到一定高度时,又通过杠杆活塞把进水口关闭,如此循环下去。

#### 六、断续虹吸自动水箱

公共厕所的自动冲水水箱与上述水箱完全不同。它是利用虹吸原理制成的,且更为简单。其原理如图3所示。

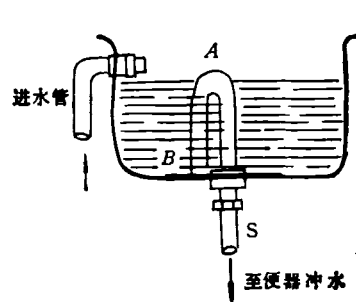


图3 自动虹吸水箱

这种水箱是把一个虹吸管S置于水箱中,进水管一直不断徐徐向箱中注水,当箱中水位达到虹吸管顶点A时,管S开始工作,箱中的水全部通过管S的开口处(B点)泄至便器内,直至水面降至B点管S内充进空气时才停止,如此往返不停。至于每两次冲水间隔时间的长短以及冲水量的多少,则由进水的速度、水箱的体积以及虹吸管的参数所决定。

## 七、冰的热缩冷胀致使水管冻裂

当天气寒冷时，室外空气温度在摄氏零度以下，暴露在空气中的进水管中的水便有可能冻结成冰块，这时不但阻塞管道不能正常出水，而且还会因空气温度再降低而使冻结了的冰继续降温。由于冰是热缩冷胀的，水管内膨胀的冰体积会越胀越大，其力量之大足以将铁水管胀裂。此类现象很容易发生，但处理起来却十分麻烦，所以在寒冷的季节应把水管包扎好以防冻裂。

## 八、建筑中的隔热与保温

建筑中的热学问题也很多。建筑热工学就是专门研究这方面的科学。北方房屋的外墙一般要比南方的厚很多。这不一定是由于结构上的原因，而是由于冬季保暖的需要。在我国南方，有的地方夏季非常炎热，住在用钢筋混凝土作屋面板的顶层楼时，人们会感到非常炎热。这多半是由于该屋面板热容量太大，吸收了大量的太阳辐射热而导入室内所致。反之，如果是两坡式屋顶或屋顶下设吊平顶来起隔热作用，那就好多了。此外，在屋顶上加设隔热层或砌筑通风屋面也可以隔热降温。

## 九、利用太阳能

太阳能的利用是节约能源、节约燃料的好办法。现代建筑有不少安装了利用太阳能进行加热的设施。其措施是在屋顶上装上金属质的集热器，靠太阳的直射使之加热，并将热量传给其间的介质如水等，水被太阳的热能加热后变成了热水，供给卫生间等使用。同样，太阳能也可以通过热化学压缩器制冷。此外，利用建筑物的实体(如墙体)作为集热器和贮热器，这种所谓的被动式太阳能系统的开发与利用，则具有简单易行和经济实惠的特点。

太阳能是最经济的能源，其特点是便于转

物理

换又无污染。美中不足之处是地表太阳辐射单位功率太小，且又受天气条件和昼夜季节的影响，因此最好要有一种能把变换了的太阳能储存起来的特殊装置。

## 十、建筑与光的关系十分密切

人们在室内无论是日光或是人工照明都应该舒适宜人，明亮适度。人所共知，白光是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光合成的。普通的白炽灯泡其光谱中蓝色的成分较少，所以在室内用于进行白色粉刷的白粉中，常添加一些蓝色的颜料就是这个原因，以求在晚上开白炽灯时室内觉得更为光亮。

## 十一、半身高的镜子可以照见全身

不少现代建筑中都有配套的家俱。关于大衣柜的镜子高度到底是多少才可以照得见全身？这是一个基本的平面镜成像的原理。图4

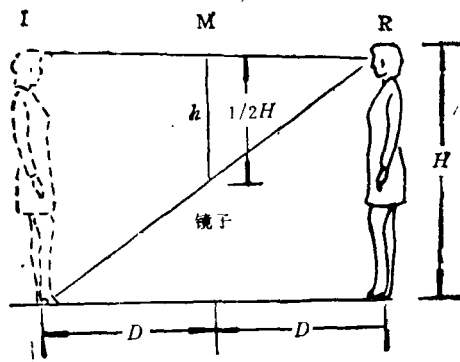


图4 镜子成像的高度

中  $M$  为镜面位置，真人  $R$  高为  $H$ ，距镜面距离为  $D$ 。根据平面镜成像原理，人像  $I$  的高度也等于  $H$ ，且距镜面也为  $D$ 。人眼在镜面上看到全身像的高度为由人眼到  $I$  之间的连接线与镜面位置  $M$  之间的距离  $h$ 。由平面几何得知

$$h = \frac{1}{2} H.$$

所以，要照全身的镜子有身高的一半就够用了。

## 十二、需要的声音要听好

建筑与声学的关系尤为密切,无处无声。建筑上的声学问题有两种:一种是要使想听到的声音听好,听清晰,这叫做室内音质问题;另一是不拟听见的声音尽量使其听不见,这叫做噪声控制问题。我们看电影,听音乐,在大礼堂开会,总希望声音清晰悦耳,这就要求有很好的音质设计。一个大厅的音质指标有很多个,其中最主要的叫做混响时间。它的物理定义是当声源停止后其声音衰减 60dB 所经历的时间。通俗地说,混响时间越长,则声音在室内“消失”就越慢,由于干扰,听起来就不易清晰。反之,混响时间短,声音“消失”快。语句之间干扰少,听起来就很清晰。一般说来,混响时间与体积成正比,且吸声材料越少,混响时间越长。不同功能的房间对混响时间要求是不同的,例如听音乐和听歌剧时,一般希望有点余音绕梁的韵味,所以混响时间不宜太短,因此这种厅堂室内各界面上的吸声材料就不宜太多。反之,如电影院或录音室,则要求声音非常清晰,这时,混响时间应适当地短,因此要适当多用吸声材料,所以这类房间内吸声界面较多。

人们经常会看到电影院的天花板和墙壁上装有很多不同的材料,其中有的是木板,有的是穿孔板,用手敲上去是中空的,即它们离背后的硬壁面有一段空腔距离。这些都是利用亥姆霍兹共振原理组成的吸声构造。

由于所听声音的频率范围很宽,要使室内音质条件好,对不同频率的声音都要达到理想的混响时间,所以吸声材料就要多种多样。一般说来,多孔吸声材料如玻璃棉、泡沫塑料、纤维材料等主要吸收高频声。使穿孔板与硬壁面之间有一段空腔距离,这样装置起来就可形成穿孔板共振吸声结构,主要用来吸收中频声。把平板与硬壁面距一个空腔装置起来,就形成了薄板共振吸声结构,用来吸收低频声。这些都是常见的处理方式。至于穿孔板或平板可用木

板、胶合板、硬质纤维板甚至金属板,但以木板为最好,很像小提琴的共鸣箱都是用木制成的。理想的做法是在建筑设计的同时进行音质设计,以免事后出许多麻烦。

## 十三、噪声控制

建筑中的噪声控制是一项十分重要的任务,特别是在居住建筑中尤为重要。噪声依其传播方式分为两种:一种是通过空气传播的叫做空气传声,如街道上行驶车辆的噪声通过门窗传至室内;另一种是通过结构等刚体传播的叫做固体传声,如敲打墙壁或在地上拖动桌椅时的噪声,通过墙壁或楼板传播出去。

空气声的隔绝主要是靠厚而重的障板,如墙壁,所以越厚越重越好,这叫做隔声的质量定律。但过厚的单层墙又不经济,所以有时做成双层墙,中间有一空气层。人们的住宅分户墙要求隔声很好。显然,如果用轻质墙做分户隔墙就不一定能达到隔声标准。现代的高层公寓住宅和高层旅馆中,多用一些高强轻质的材料。由于结构荷重的原因,隔墙也不可能太重,因此,目前国内外轻质墙普遍存在一个隔声较差的问题。当然,空气声是无孔不入的,比较难于隔绝,特别是低频声更不容易隔绝。在多室一厅的住宅中,当炎热的夏天大开外窗时,有人有趣地提出,睡在过厅走廊中要比居室安静得多。

固体声的特点是传声较远且衰减很少。例如一幢六层的公寓往往住上几十户人家,一旦有一户人家在打家俱,打击和摩擦声可以通过楼板及墙壁传至全楼,好像各户都感觉是在他家的楼上打家俱,其实并非如此。这个有趣的实例便可以说明这个问题。日常经验使人们懂得解决这类问题的办法,这就是变硬接为软接。例如对于拖动桌椅产生的讨厌的固体声,只要铺上软地毯或在椅脚加上橡皮套垫就解决了。

总之,建筑与物理学各个分支都有密切的联系。