

力学与梁柱的造型*

孟庆波

(郑州工学院数力系)

摘 要: 梁和柱是建筑中的承重构件, 它们的造型和力学有着密切的关系。本文用一些典型实例和图片阐述了梁柱造型和力学是统一的综合体, 并且说明了力学往往是建筑造型灵感的源泉, 力学应为建筑艺术拓宽范围, 以便创造出更新更美的建筑。

关键词: 力学, 梁, 造型

中国图书分类号: TU205

梁和柱是建筑物中很重要的构件, 在建筑物中起着象人体骨 一样的承重作用, 另一方面又能表现自身的形式美, 从而影响整个建筑物的艺术效果。例如古希腊的“帕特农”神庙, 就是利用了大量的梁柱, 这些柱子本身非常完美, 比例匀称、刚劲雄健, 使整个建筑成为世界公认美丽的建筑。

力学和梁柱造型有着密切的关系, 这实际上是力学和建筑造型艺术的关系。就力学和建筑造型的关系而言以著名的意大利建筑师奈尔维 (Pier Luigi Nervi) 阐述的最为精辟。他讲:“建筑是, 而且必须是技术和艺术的综合体, 而并非技术加艺术”。“力学原则本身已经提供了艺术上的表现力”。这里有两个含意, 其一是建筑造型应当符合力学原则。不符合力学原则的建筑, 要想得到良好的艺术效果是很困难的, 或者是不坚固的。例如图 1 中⑥、⑦所示的绞缠柱和麻花形柱, 只是单纯的装饰, 承受竖向荷载的能力小。而图 1 中①、②、③、④和⑤有的粗壮, 有的秀丽, 表现了承受竖向荷载的能力, 因而艺术效果也是好的。再如西柏林会议厅见图 2, 因为只有两个支点, 两侧悬挑结构处于极不稳定的平衡之中, 终于在 1980 年被大风掀塌。一般来讲, 符合力学原则是良好建筑的必要条件, 但不是充分条件; 在满足力学原则的基础上, 还要经过建筑师的艺术加工才能得到满意的造型。第二个含意是, 力学原则本身对造型艺术有很大的启发意义, 力学本身又是艺术的源泉。下面用几个例子来进一步说力学和梁柱造型的关系。

* 收稿日期: 1990.02.11

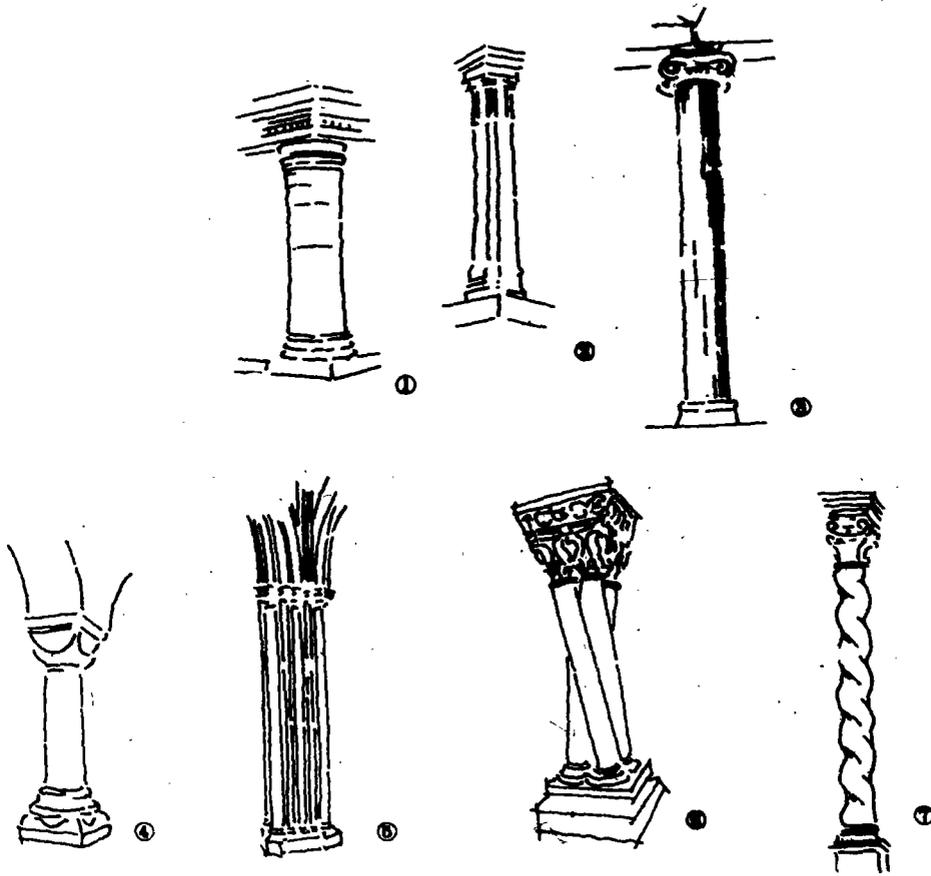


图1 简单的柱身最能表达承载的柱的功能

① 柬埔寨的吴哥; ② 印度式; ③ 爱奥尼克式; ④ 罗马式; ⑤ 哥德式; ⑥及⑦ 绞缠柱和麻花柱

1 古典柱子和梁

古希腊创造两种柱式——多立克柱式和爱奥尼柱式最有影响。前者刚劲有力，后者柔和端丽。其柱身断面为圆形，柱径与柱高之比有个演变过程，早期多立克柱式为 $1/3.92 \sim 1/3.96$ ，爱奥尼柱式为 $1/8$ ；成熟期多立克柱式为 $1/5.55 \sim 1/5.75$ ，爱奥尼柱式为 $1/9 \sim 1/10$ 。我国早期多为木园柱，秦代有方柱，汉代石柱又增加了八角柱、束竹、凹楞、人像柱等式样。宋代以园柱为多，另有八角形及楞形断面柱。柱径与柱高之比也有个过程。东汉崖墓中石柱比值为 $1/2 \sim 1/5$ 之间；唐佛光寺大殿木柱为 $1/9$ ；清代北方在 $1/10 \sim 1/11$ 左右，而南方民居由于屋面荷载小，一般为 $1/15$ 左右。

由上可见，古典柱子的造型和力学有如下几点关系。第一，柱子断面形状为圆形、方形、八角形……，在各方面的惯性矩都相等，因而在各方向抗弯能力相同，失稳机会也相

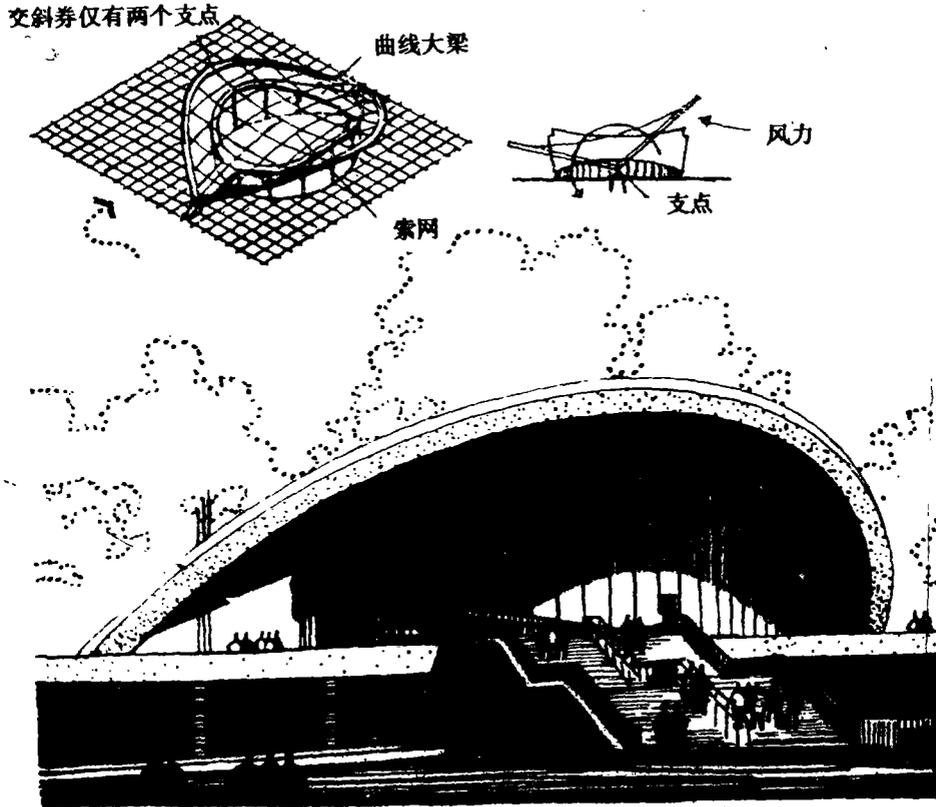


图2 西柏林会议厅

等，这是符合现代力学原则的。第二，柱子长细比的演变过程都是从小到大，即由短粗逐渐变得细长。这是符合人们对材料的力学性能认识过程的。然而用现代材料力学观点分析它们仍是属于比较粗壮的造型，不属于细长柱子。例如，我国清代北方柱径与柱高之比为 $1/10$ ，柱子的长细比为：

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{1 \times l}{d/4} = 4 \times \frac{l}{d} = 40$$

而木材划分细长柱子的界线 $\lambda_p = 80$ ， $\lambda < \lambda_p$ ，所以它们不属于细长柱子。这说明当时人们受材料及力学知识所限，只能创造短而粗的造型。只有当新的材料、稳定理论、予应力学理论……的出现，才能创造出更多的更轻巧的柱型。第三，古典柱子大多都有柱头、柱身及柱础之分。柱头、柱础正是柱身断面合乎逻辑的必要扩大，它们是额枋与柱身、柱身与基座的过渡，以便支承额枋并把荷载较好地传给基座，避免了过度的应力集中。我国古代木柱虽然没有柱头，但有斗拱和雀替。斗拱支承上部挑出的屋檐，将荷载直接或间接地传给柱子起到很好的过渡作用。雀替除缓和了应力集中外，还减少了额枋的跨度。这些都是符合力学原则的。

梁的形式和力学关系更为密切。在这方面我国古代有着突出的成就。北宋时期（公元1100年）李诫主编的“营造法式”中规定“凡梁之大小，各随其广分为三分，以二分为其

厚”，即高宽比为 3：2，比值为 1.5，这是很科学的。根据材料力学理论，从园木中锯出一个抗弯强度最大的矩形截面，其高宽比为 $\sqrt{2} : 1$ ，比值为 1.414，和 1.5 相比其差甚微。因此，北宋时期采用 3：2 的比例从园木中锯出的矩形截面梁既是强度最大，又是整数比值，便于记忆和应用，是非常理想的。再如，“营造法式”规定椽条的跨高比为 14.29，也是符合材料力学的。因为跨高比小于 10 时，梁的正应力分布已不是直线而且要考虑剪应力的影响。北宋时期的这些成就和欧洲相比，在时间上大约要早六个世纪。欧洲是十七世纪上叶才由意大利科学家伽利略通过试验得出矩形梁的抗弯强度与截面宽度成一次方、和高度成二次方的比例关系。即他求得的矩形截面梁的截面模量为 $bh^2 / 2$ ，在数值上比正确值大三倍。这说明我国古代劳动人民的高度智慧，值得大力弘扬。

2 奥林匹克体育场变截面柱

柱子造型非常轻巧、优美、新颖（见图 3）。但它不是凭空想出来的，而是和力学有密切关系。

古典柱子比较粗壮，一般只会因强度不够而破坏，用不着考虑屈曲应力引起的失稳破坏。随着轻质高强及钢筋混凝土材料的出现，柱子变得越来越细长，稳定性也就成了主要问题。

根据材料力学中欧拉理论对图 4a 所示两端铰支、中部加粗的柱子进行计算，可得其临界压力为：

$$P_{Lj} = \frac{1.68\pi^2 EI}{l^2}$$

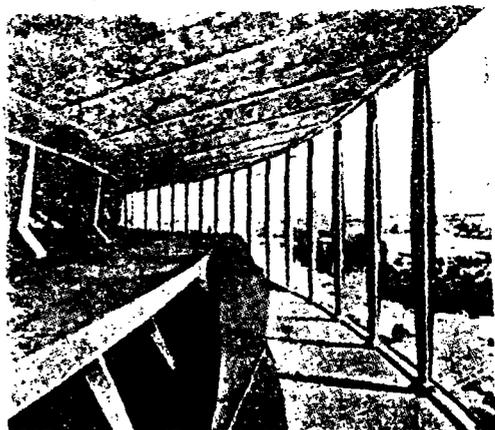


图3 奥林匹克体育场变截面柱(具有最大屈曲抵抗力)

而中部未加粗的柱子图 4b，其临界力为： $P_{Lj}^{\prime} = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$

全部加粗为 2I 的柱子图 4c，其临界力为： $P_{Lj}^{\prime\prime} = \frac{2\pi^2 EI}{l^2}$

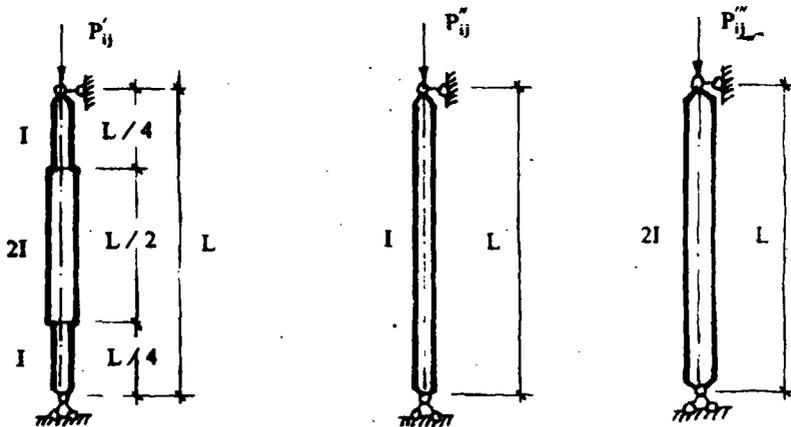
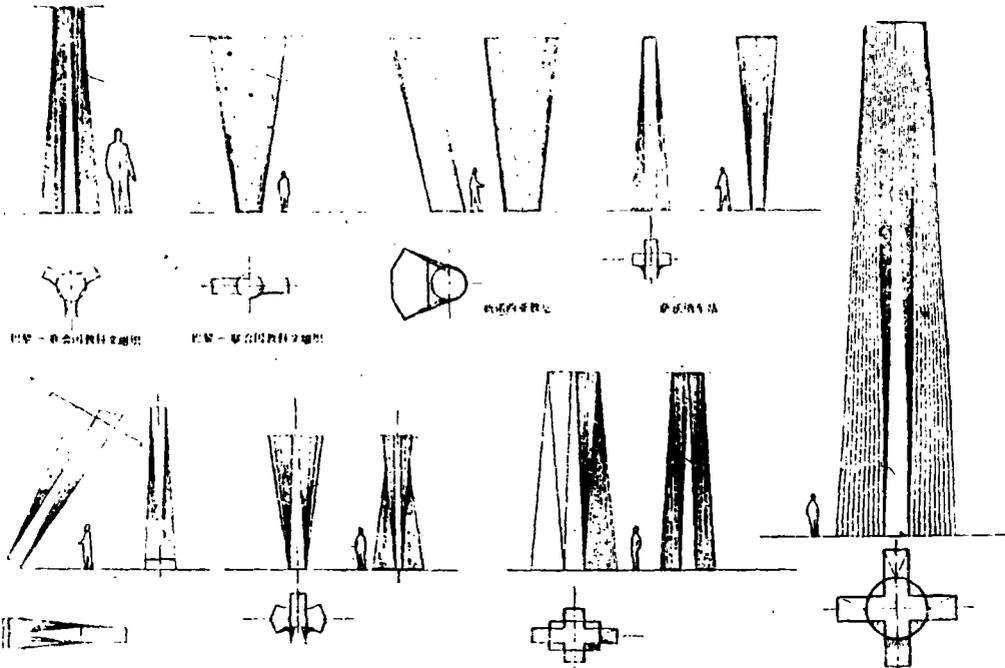


图 4 柱型影响临界力

三种情况比较一下，可知中部加粗的柱子比中部未加粗的柱子临界力增大 68%，而比全部加粗为 2I 的柱子临界力只减小 16%。显然，这种中部加粗的柱子比较合算，它增强了稳定性，节约了材料。再经建筑师构思，就出现了如图 3 所示之轻巧而优美的柱型。这种柱子显然是抗拉材料时代的产物，因为这种柱式与那种短粗的，不考虑屈曲应力的古典柱式的构思完全不同。

3 都灵劳动宫中大柱

奈尔维根据实际情况，兼顾均衡、力学、施工各方面要求，创造出许多有趣的柱子如图 5。它们的大小截面过渡都是以直线联接截面的相应点来完成的；这样的直线易于用平板支模施工。下面以都灵劳动宫中支撑蘑菇顶的钢筋混凝土大柱（图 5d）为例说明其造型和力学的关系。



(a) 罗马体育馆 (b) 纽约汽车终点站 (c) 科隆·弗朗西亚高架公路 (d) 都灵劳动宫

图 5 变截面柱，用于下列工程：联合国教科文组织（UNESCO）总部，新诺西亚教堂（the New Norcia Cathedral），萨活纳火车站，罗马体育馆，纽约港务局汽车终点站，罗马科萨·弗郎西亚高架公路，都灵劳动宫

此柱高 66 英尺（20.13 米），形似一棵大棕榈树，造型独特，给人以大自然的感觉。这种造型是怎样构思出来的呢？奈尔维自己讲：“为了承受由风力作用在玻璃面上所引起的弯矩，柱脚受力很大，而柱顶只是集聚了蘑菇顶盖的悬臂，受力较小，为了满足这一力学要求，我们想出了一种十字形柱脚，它以直线和圆形断面的柱顶相联”。我们知道抵抗风力产生的弯曲变形当然是惯性矩 I 值越大越好，窄而高的矩形截面惯性矩是比较大的，又

为了在两个互相垂直的方向（实际上是各个方向）具有相同的惯性矩 I 值，所以就设计成十字形断面。它要比同等面积的实心圆截面惯性矩大的多，即用较少的材料得到较大的抗弯强度。

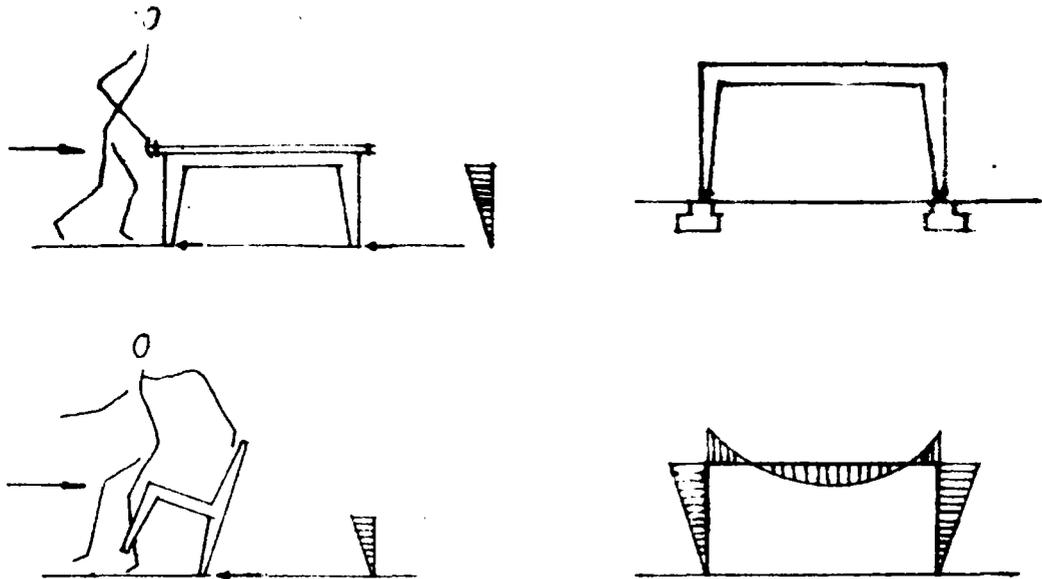


图 6

(a) V 形的桌与椅的腿是受力状况的直接反映，最宽的部分在上面

(b) 两铰刚架及其在竖向荷载下的弯矩图

现代刚性框架中常用上大下小的 V 形支座，其原理和桌椅的腿相同。如果桌子是固定不移动的，桌面可以支承在支架上，支架锚固在地上，底部宽大稳定性好，就如同古典柱式和树木一样。但是家具是要移动的，最好将桌腿设计成上端和桌框固定而下端可以自由滑动，这样最大弯矩在桌腿的上端，结果就形成了 V 形支柱如图 6。刚架的水平构件相当于椅子的座板，竖向构件相当于椅子的腿。水平构件和竖向构件相交的刚性接点合乎逻辑地形成刚架的 V 形支柱。虽然刚架不需要移动，但我们对一切能够移动的轻巧的似乎自由地停放在地上的刚架有一种不知不觉的好感。V 形支座有向上浮动的效果，比古典的笨重的柱子更合乎我们的口味。具有 V 形支柱的刚架为一个崭新的造型世界起了开端。

4 弯矩图和梁的造型

梁是以弯曲变形为主的构件，因此，根据弯矩图的形状将梁设计成变截面梁是合乎力学原则的。众所周知，鱼腹式吊车梁、薄腹梁的形状就是大致符合弯矩图形的。这说明力学原则本身提供了艺术上的表现力，是造型艺术的源泉。著名建筑师罗森达尔在“结构的确定”中指出：“对设计者而言，弯矩图形及其含意比一些孤立的弯矩数值更为重要”。

意大利佛罗伦萨运动场大看台是悬臂梁的最好例子如图7。这是一个钢筋混凝土梁板结构,雨篷挑梁伸出17米,它的弯矩图是二次抛物线,建筑师奈尔维把挑梁的外形与其弯矩图统一起来,但又不是简单的统一,而是利用混凝土的可塑性对挑梁的外轮廓进行了艺术加工,在挑梁的支座附近将梁挖空,这样既减轻了结构自重,受力也合理了,获得了极好的艺术效果。它

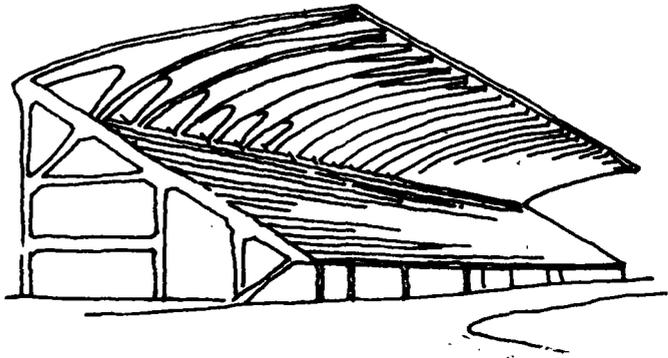


图7

直接地显示了结构的自然形体进行了恰如其份的艺术加工,使结构形式与建筑空间艺术形象高度的融合起来,形象优美,轻巧自然,给人们以建筑美的感受。

参 考 文 献

- (1) P.L.奈尔维著. 建筑的艺术和技术. 中国建筑工业出版社
- (2) 柯特·西格尔著. 现代建筑的结构与造型. 中国建筑工业出版社
- (3) 刘健行等编译. 建筑师与结构. 中国建筑工业出版社
- (4) 陈志华著. 中国建筑史. 中国建筑工业出版社
- (5) 潘谷西等. 外国建筑史. 中国建筑工业出版社
- (6) 布正伟著. 现代建筑的结构构思与设计技巧

The Relationship Between Mechanics and the Modelling of Beams and Columns

Meng Qingbo

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: Beams and columns are the bearing members in building. Their plastic arts have a great deal to do with mechanics. This article, through some typical examples and pictures, expounds that the plastic arts of beams and columns and mechanics are the unity synthesizer. It also shows that mechanics is often the source of inspiration of building plastic arts. Therefore mechanics is made to play a role of opening up the range of building arts, creating even newer and more beautiful buildings.

Keywords: mechanics, beam, mouldings