

现代建筑的结构构思 与设计技巧

•
布正伟 著

天 津 科 学 技 术 出 版 社

现代建筑的结构构思 与设计技巧

•
布正伟 著

天 津 科 学 技 术 出 版 社

现代建筑的结构构思
与设计技巧

布正伟 著

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津宝坻县马家店印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/20 印张11.6

一九八六年九月第一版

一九八六年九月第一次印刷

印数：1—21,000

书号：8212·25 定价：4.10元

内 容 提 要

本书从现代建筑设计与创作的实际出发，密切联系国内外建筑工程实践，系统地研讨了现代建筑结构构思的意义、原理、思路、手法及其想象力与意图表达等内容。全书共分五章，附有丰富插图，可供建筑师、结构工程师和高等院校建筑专业、工民建专业或结构专业的师生阅读，同时也可作为广大建筑工作者的自学参考读物。

“结构与科学技术有更密切的关系，然而，却也在很大程度上涉及到艺术，关系到人们的感受、情趣、适应性，以及对合宜的结构造型的欣赏…”

——M.E.托罗哈

“结构就是建筑物中尚未修饰的物质材料，而建筑师则正是建筑物的营造家。不懂得结构的内在含意，盲目地去运用结构，这是浅薄无知的，必然会导致毫无道理的形式主义，从而造成本来是可以避免的那些浪费。”

——H.W.罗森迟尔



作者简介

布正伟 1939 年 8 月生于湖北。1957 年入天津大学建筑系学习。1962 年考取该校建筑学专业研究生，在导师（建筑系系主任）徐中教授指导下，完成了“在建筑设计中正确对待与运用结构”的专题研究。1966 年以后，先后在纺织工业部设计院、湖北工业建筑设计院（原中南建筑设计院）、中国民用航空机场设计院从事民用与公共建筑设计及建筑创作理论研究。1985 年 3 月任副总建筑师。

自序

现代建筑，是凝结着人类科学技术与文化艺术非凡智慧的复杂综合体。建筑学的发展正处在一个深刻的变革时期，这突出地表现在它的各门学科的构成及其相互关系上。而其中，建筑学专业的基本技能训练，怎样才能与结构技术的巨大进步相适应，已成为我们正在探索的新领域。

在漫长的古代和中世纪，从事于建筑营造活动的工匠，既是建筑师，又是结构工程师。随着社会生活和大工业生产的发展，科学技术的进步，结构工程日趋复杂，建筑学与结构工程学的区分才应运而生。在人类建筑实践的总进程中，这是合乎事物发展规律的。然而，长期以来，由于建筑师们并没有消除旧的手工业生产方式的影响，没有彻底摆脱由此而产生的传统建筑观念的束缚，所以，在处理结构与建筑功能、建筑艺术以及建筑经济之间的关系问题时，往往处于消极、被动的地位。即便是在工业技术、现代物质文明最先发达起来的西方国家，直到本世纪初，绝大部分建筑师也仍然是革新结构技术、开创建筑设计新局面的落伍者。

正确对待与运用结构技术，乃是现代建筑师出色完成其历史使命的一个先决条件。这一点，在本世纪六十年代就已比较普遍地为国外建筑界所公认，并十分明显地体现在他们的建筑创作实践中了。由于种种原因，在我们的建筑教学、生产设计以及学术研究方面，仍然存在着建筑与结构相互脱节的现象。特别应当指出，传统的教学思想体系和教学方法，越来越不适应现代建筑及其结构技术的发展。我们可以看到，被培养的建筑学专业人材，在学完了材料力学、理论力学、结构力学、钢筋混凝土结构学等一整套庞杂的教程内容之后，一般来说，却不善于根据建筑功能、建筑艺术以及建筑经济等诸方面的要求，运用工程结构的基本原理，去综合地考虑建筑设计中的结构问题。有的甚至错误地认为，建筑师只管“空间”的创造，至于如何实施，如何在结构上作文章，那都是结构工程师的事。

目前，国外和国内出版了一些从某一个范围或角度来论述建筑设计中有关结构问题

目 录

自序

第一章 结构构思——综合创造力的体现	(1)
一、双重空间中的结构——结构在建筑中的作用	(2)
二、对建筑骨骼的摹想——结构构思的特殊意义	(3)
三、综合地处理各种信息——结构构思的中心问题	(3)
四、对传力系统的推理判断——结构构思的力学意识	(4)
五、由把握总体到调整局部——结构构思的发展层次	(10)
六、来自思维序列的灵活性——结构构思的辩证思维	(13)
七、思路与手法的统一——结构构思的敏感力	(14)
第二章 结构构思与合用空间的创造	(16)
一、建筑物的使用空间与结构的覆盖空间	(16)
二、建筑物的使用要求与结构的合理几何体形	(26)
三、建筑物的空间组合与结构的静力平衡系统	(35)
四、建筑物的空间扩展与结构的整体受力特点	(51)
五、建筑物的空间扩展与结构传力的定向控制	(65)
第三章 结构构思与视觉空间的创造	(70)
一、结构构成与空间限定	(71)
二、结构线网与空间调度	(84)
三、结构形式与空间造型	(98)
第四章 结构构思与经济价值的创造	(158)
一、结构线网的布置与建筑平面布局	(159)
二、结构传力的全过程与建筑剖面设计	(161)
三、结构传力系统的组织与不同结构部位的用材	(171)

四、结构的经济尺寸范围与结构的合理几何形状.....	(175)
五、结构方案的创造性与结构工程的具体实施.....	(180)
第五章 结构构思的想象力与意图表达.....	(185)
一、结构构思的想象力.....	(185)
二、结构构思的意图表达.....	(187)
 结束语.....	 (214)
参考文献.....	(216)

第一章 结构构思——综合创造力的体现

信息化社会（INFORMATION SOCIETY）对现代建筑的巨大冲击，迫使我们要急速地扩大自己的知识范围，并使这些知识转化为进行现代建筑设计与创作所必需具备的那种综合创造力。“结构构思”，就是此综合创造力的一种重要体现。

早在本世纪初（1922年），一贯注重结构逻辑的建筑大师密斯·凡·德·罗就曾这样地谈论过摩天楼：“摩天楼大胆的结构构思，随着施工的进展而呈现出来，巨型的钢铁网架给观者以强烈的印象。”但他又紧接着批评道，由于加上去的外墙掩盖了结构骨架，因而失去了这一结构构思的艺术表现力。所以，他认为采用玻璃外墙是适应摩天楼结构形式的一种创新。【注1】

六十年代以来，在现代建筑的设计与创作中，建筑师应当怎样去掌握和运用结构原理，引起了国际建筑界学者们的关注。以研究这一课题而著称的H·W·罗森迟尔，在1962年出版了专为建筑师而写的“结构的确定”（Structural decisions）一书。这本著作不仅对建筑师必须掌握的结构力学原理作了深入浅出的系统阐述，而且，还在字里行间的夹叙夹议中，提出了精辟的理论观点。他明确指出：“量的分析是为实践之目的所需要的。但计算不能认为就是目的，而且这应当留给专家们去做。对于建筑师来说，至为重要的，乃是导致这些计算、且体现着结构原理的构思过程（thought processes）。 ”

进一步把“结构构思”这一概念同建筑师的基本技能训练联系起来的，是蜚声国际建筑界的意大利建筑师兼结构工程师P.L. 奈维。他在专门论述建筑师的训练时，创造性地提出：“问题的核心是如何在学生中发展一个作为结构构思不可缺少的、以直观为基础的力学意识...”【注2】。他认为，现代建筑设计所要求的宏伟的结构方案，“使得建筑师必须要理解结构构思，而且应该达到这样一个深度和广度：使其能把这种基于物理学、数学和经验资料之上而产生的观念，转化为一种非同一般的综合体，转化为一种直觉和与之同时产生的敏感力”【注3】。

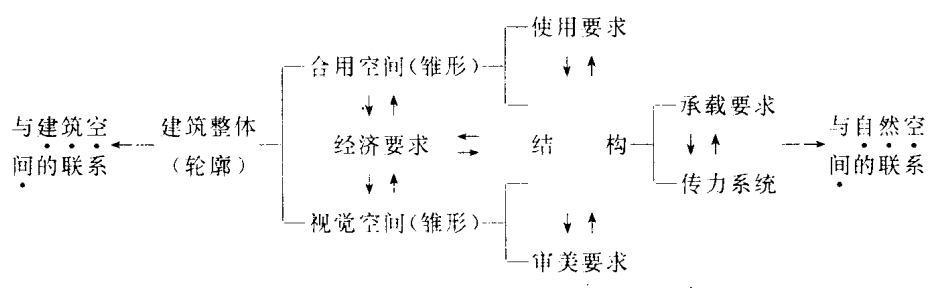
以下，我们将从七个方面来阐述有关结构构思理论的基本观点。

一、双重空间中的结构——结构在建筑中的作用

当任何一幢房屋还没有任何设施的时候，却有了支撑着房屋的“骨骼”——即采用一定材料，按照一定力学原理而营造的结构。

房屋的结构，既处于自然空间之中，又处于建筑空间之中。发展至今，建筑空间又可分解为受功能要求制约的合用空间和受审美要求制约的视觉空间。

房屋在自然空间中要抵抗外力的作用而得以“生存”，首先要依赖于结构；而合用空间与视觉空间的创造，也要通过结构的运用才能实现。这样，结构在建筑中的地位，便可作如下表示：



正由于结构处于自然空间之中，故要考虑“力场”对结构的作用（图1）；又由于结构处于建筑空间之中，因而又深受功能、经济与艺术诸方面要求的制约和影响。在现代建筑的设计与创作中，结构运用的复杂性与难度，无不发端于此。

结构处于两个空间之中，它所涉及的面很广，因而较之于其它专业，它同建筑的关系更为密切。如果说，人物画家或外科医生必须熟练地掌握人体骨骼的话，那么，建筑师就必须很好地懂得“建筑骨骼”！

二、对建筑骨骼的摹想——结构构思的特殊意义

对于结构工程师来说，他的工作可以概括为三个阶段：

1. 提出结构方案；
2. 进行结构分析和应力分析；
3. 确定结构形式及其几何尺寸。

结构分析和应力分析是结构设计中的计算阶段，在现代，电子计算机已经能够承担这一任务。但是，必须强调指出，结构的计算并不能代替结构的设计。良好结构设计的重要前提，乃是合理组织与综合解决结构的传力系统、传力方式。换言之，良好的结构方案，就是良好结构设计的重要前提——这正是结构构思的特殊意义所在。

一个成熟的建筑师，从建筑设计方案阶段一开始，就会在脑子里不断地考虑这样一些问题：这座房子的“骨骼”是什么样子的？用什么材料和方式来构成它？这样的“骨骼”构成形式是否能满足建筑功能方面的各种要求？它本身是否经济合理？对建筑空间、体形及其建筑风格的艺术表现又会带来什么影响？如此等等。这正如马克思指出的那样：“使最劣的建筑师都比最巧妙的蜜蜂更优越的，是建筑师以蜂蜡建筑蜂房以前，已经在他脑筋中把它构成了”（《资本论》一卷），不论我们自觉地意识到了与否，在建筑方案阶段，对建筑物的“骨骼”就已经轮廓式地“把它构成了”，结构构思，就已经是客观地存在着了。

现代建筑学是一门整体性和综合性很强的学科。作为建筑师，他在考虑结构问题时，不仅要同时涉及到功能、技术、经济以及艺术等诸方面的因素，同时，还要统筹处理其它各专业的技术要求与结构之间的矛盾。因此，尽管建筑师在结构专业的理论深度上，可以远远不及结构工程师，但在思考结构问题的广度上，却应当处于领先的地位。

三、综合地处理各种信息——结构构思的中心问题

在现代建筑的设计与创作中，结构的运用会遇到来自各个方面的许多具体矛盾。诸如：与建筑物使用空间的大小、形状、组合方式之间的矛盾；与建筑物采光、通风、排

水、排气、音响、开启面等要求之间的矛盾；与建筑物采暖、空调、给排水、电照、工艺等设备布置之间的矛盾；与建筑材料、施工条件及其技术水平之间的矛盾；与建筑工程投资、建筑经济要求之间的矛盾；与建筑体系及其工业化生产方式之间的矛盾；与建筑构图中对空间、体量、比例、尺度等美学要求之间的矛盾等等。归根结底，结构的运用影响到建筑工程的各个方面。这些来自建筑功能、建筑技术与经济以及建筑艺术诸方面的具体矛盾，都作为“信息”而不断地输入到建筑师的大脑里。结构构思，就是要在结构运用的过程中，来综合地处理这些信息。

结构既要把建筑空间及其实体支撑起来，又要将作用于建筑物上的一切荷载传递到地基上去。荷载传递问题的解决，不仅直接决定着结构自身的安全与经济，而且，也会对建筑功能、建筑技术和建筑艺术带来莫大的影响。这就要求我们，必须在考虑如何组织和解决结构的传力系统、传力方式问题上下一番功夫。在现代物质技术条件下，解决这一问题的结构方案是多种多样的，其中，总可以探求到与建筑功能、建筑经济以及建筑艺术等诸方面要求比较相适应的结构系统和结构形式。

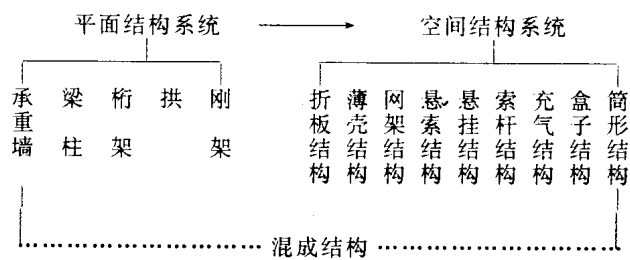
由此可见，如何从客观物质技术条件的实际出发，把满足建筑功能、建筑经济以及建筑艺术等诸方面的要求，与合理组织和综合解决结构各个部分的传力系统、传力方式有机地结合起来，以达到物尽其用、用得其所之目的，这乃是现代建筑结构构思所要抓住的中心问题。

四、对传力系统的推理判断——结构构思的力学意识

现代建筑的空间概念是与其结构的力学概念密切相关的。正如西格尔（Curt Siegel）指出的那样：“我们必须打破旧习陈见，更系统更广泛地深入到结构形式所据以发展的力学、静力学以及一些物理的自然规律中去”。【注2】这也就是奈维常常说的那种“力学意识”（static sense）。

现代结构技术的理论基础是力学中的一个分支——建筑力学，其中包括理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学与塑性力学等多种独立课目。然而，如前所述，结构设计的重要前提在于构思，计算只是作为验证的手段。在结构构思的过程中，更为重要的是运用建筑中的基本力学概念来进行概略的推理和初步的判断。

从力学观点来看，现代建筑的结构体系及其形式可以分为：



许多结构专著都对上述这些结构形式的受力性能和受力特点作了具体分析，这是我们所应当熟知的，以免在运用这些结构形式时出现原则性的错误。然而，在现代建筑的设计与创作中，仅仅停留在对已有的结构形式的力学原理的认识上是不够的，还必须进一步去揭示和掌握反映在这些结构力学原理中的普遍规律。这样，不仅可以提高对结构方案进行推理判断的直观能力，而且，还可以引导我们去探索那些既能满足建筑功能需要，又能适应材料力学性能的更加经济有效、先进合理的结构体系与结构形式。

通过对建筑实践的长期考察和分析，我们可以总结出以下一些结构传力中的普遍规律。

1. 在荷载作用下，只有当结构具有足够的抵抗破坏的能力、抵抗变形的能力和维持原有平衡状态的能力时，才能安全可靠地进行力的传递。换言之，结构的安全可靠性或结构的承载能力是由它的强度、刚度和稳定性这三个方面综合决定的。

现代轻质高强建筑材料的出现，使得满足结构强度的要求，与满足结构刚度和稳定性的要求之间的矛盾日趋尖锐。采用轻质高强材料的结构断面，若按强度计算可以大大减小，但是，在荷载（主要是受压或受弯）作用下，结构则极易产生挠曲或失稳而破坏。为了保证结构的刚度和稳定性来加大结构断面是很不经济的。因此，如何充分而巧妙地运用以受拉传力方式为主的结构系统，这已成为现代建筑结构构思中广泛引起人们兴趣与关注的问题。

2. 在荷载作用下，结构的传力路线越短，越直接，结构的工作效能就越高，所耗费的建筑材料也就越少。

一个又好又省的结构设计，应当根据最短的传力路线来组织其结构部件，这是必须铭记的一个原则。当然，实际上结构中力的传递总是要走一定的弯路的。力在普通的梁构件中走的是最坏的弯路（图 2），所以从力学观点来看，这种梁构件是很不理想的结构形式。

在许多情况下，我们可以通过对结构传力路线的分析比较，来判断结构形式或结构受力状况是否合理，图 3、4、5 便是几个典型的例子。

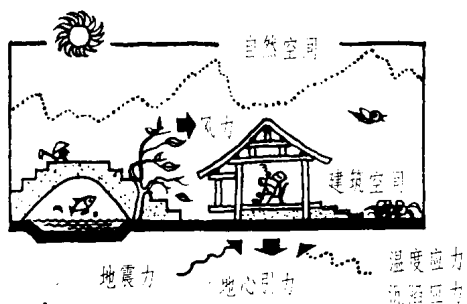
结构所承受的来自上部的荷载越大，就越应当注意简捷的传力路线的组织。有趣的是，在这一点上，我们从工程仿生学和古生物学那里也可以得到很好的启示。图 2b 说明，古代恐龙躯干的巨大重量，就好像是按照拱结构的形式，通过支腿而径直传递到地面上来的，因此这种极其庞大、沉重的走兽才能在陆地上得以活动和生存。

3. 在荷载作用下，结构处于承受直接应力（即轴向压应力或拉应力）状况，比处于承受弯曲应力或混合应力（即偏心受压或受拉时所产生的应力）状况时，能更好地发挥和利用材料的力学特性和承载能力。

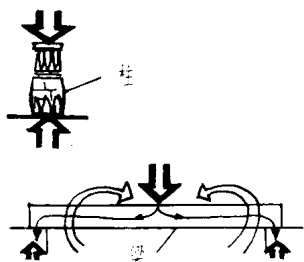
图 7 表示了同样大小一块材料在轴向受压受拉、偏心受压受拉以及受弯时，其截面上应力分布的情况。显然，应力分布的阴影面积在轴向受压受拉时最大，在偏心受压受拉时次之，而以受弯时最小。这就说明了，材料力学特性与承载能力得以发挥和利用的程度，是随着结构受力性能的不同而有显著差异的。这也正是为什么应使结构尽量避免处于受弯工作状态的原因所在。

一般来说，在荷载作用下，结构中总会有弯矩产生，只是在某些情况下量值很小而已。因此，弯矩不仅是结构力学计算中的一个极其重要的因素，而且，也是结构构思中进行推理判断的一个基本力学概念。罗森迟尔（H. Werner Rosenthal）在“结构的确定”一书中特别指出：“对设计者而言，弯矩图形及其含义比一些孤立的弯矩数值更为重要。”

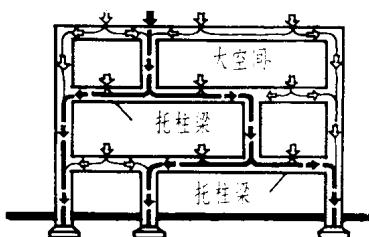
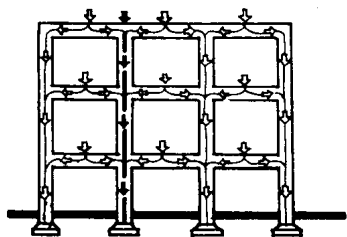
借助于弯矩概念和弯矩图形分析，可以启发我们考虑结构方案的基本思路，进一步去探求尽可能减小结构中弯曲应力的各种途径（图 8、9）；可以比较不同结构形式的工作原理，以深入了解和掌握各种结构形式赖以演进、发展的力学根据（图 10、11）；可以研究不同结构方案的受力性能及其受力特点，以确定与建筑要求相适应的合理结构形式（图 12）；可以判断结构体形的基本特征，以确定结构的哪些部位应当加强，结构断面乃至建筑体形应当如何处理（参见第三章图 213、215、225），等等。总而言之，



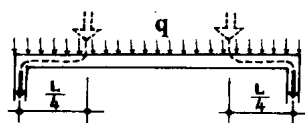
1. 房屋的结构既处于自然空间之中，又处于建筑空间之中，房屋要在自然空间中得以“生存”，首先就要考虑“力场”对结构的作用。



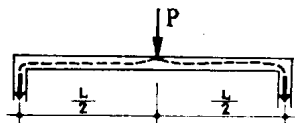
2. 以最短的传力路线来组织结构部件，这是结构构思的一个重要原则。中心受压的柱传力直接，而在受弯的梁中，力走最坏的弯路。



4. 在同类型的多层框架结构中，由于设置大空间而出现“托柱梁”时，结构中传力路线就要曲折、迂回得多。显然，这种空间布局是由于缺少结构构思的力学意识而造成的。



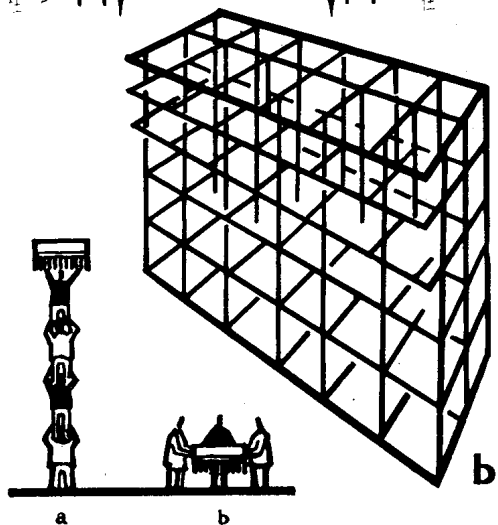
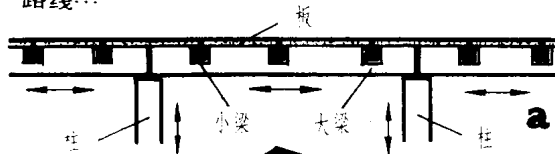
传力路线短



传力路线长

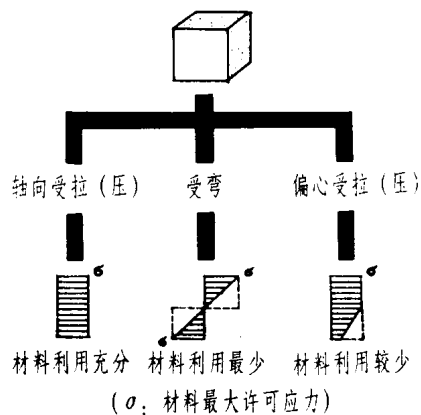
5. 在均布荷载和在集中荷载作用下，结构中的传力路线也是不同的。可以看出，尽可能使结构部件承受均布荷载，这将有利于提高结构的工作效能。

3. 在钢筋混凝土空间框架结构 (b) 中，结构的各部分共同受力，改变了传统骨架结构 (a) 中荷载经由板 → 小梁 → 大梁 → 立柱 → 基础的“叠罗汉”式的传力方式，大大缩短了结构传力路线...

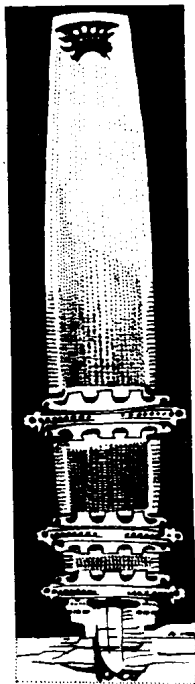




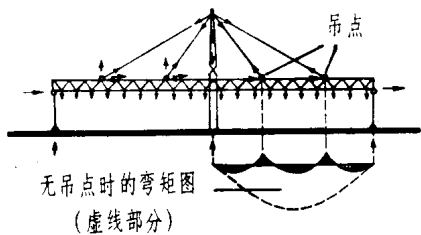
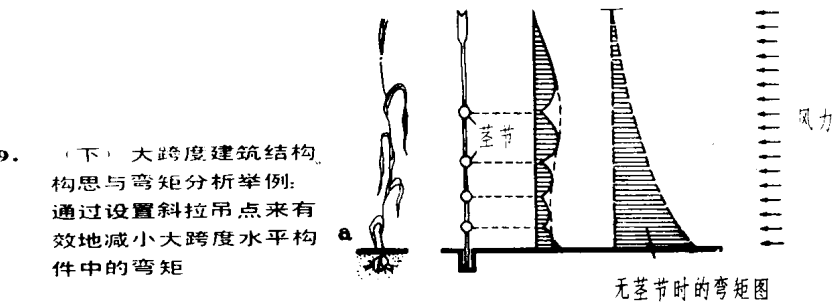
6. 古生物学的启示：恐龙的“支撑结构”及其躯体中力的传递——上面象拱桥，下面象吊桥



7. 同样大小的一块材料在不同受力情况下，材料截面上应力分布的情况。从阴影面积比较中可以看出，材料的力学性能在结构受弯时利用最差



9. (下) 大跨度建筑结构构思与弯矩分析举例：通过设置斜拉吊点来有效地减小大跨度水平构件中的弯矩



8. 高层建筑结构构思与弯矩分析举例：小麦杆上“茎节”分布的距离向下依次缩短，这些“茎节”起着减小弯矩的作用。苏联建筑师A·拉查列夫根据这一力学原理，提出了带“茎节”的高层公寓方案的设想。