

素质教育

主编：刘以林

中华学生百科全书

必备的参考书



ZHONG

HUA XUE SHENG

BI XUE QUAN SHU

建筑科学



9.
FX

中华学生百科全书

建 筑 科 学

总 主 编 刘 以 林
本 册 主 编 冯 小 卫

北京燕山出版社

京新登字 209 号

中华学生百科全书

刘以林 主编

北京燕山出版社出版发行

北京市东城区府学胡同 36 号 100007

新华书店经销

北京顺义康华印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 250 印张 5408 千字

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5402-0491-5

印数:6000 册

定价:320.00 元(全 100 册)

《中华学生百科全书》编委会

主编 刘以林 北京组稿中心总编辑

编委	张 平	解放军总医院医学博士
	冯晓林	北京师范大学教育史学博士
	毕 诚	中央教育科学研究所生物化学博士
	于 浩	北京师范大学物理化学博士
	陶东风	北京师范大学文学博士
	胡世凯	哈佛大学法学院博士后
	杨 易	北京大学数学博士
	袁曙宏	北京大学法学博士
	祁述裕	北京大学文学博士
	章启群	北京大学哲学博士
	张同道	北京师范大学艺术美学博士
	赵 力	中央美术学院美术博士
	周泽旺	中国科学院生物化学博士

建筑仿生学原理

- 鸟巢与建筑..... (1)
- 青竹受力的启示..... (5)
- 仿蛋建筑..... (8)
- 绝美的黄金分割 (10)
- 蜘蛛织网与建筑工程 (14)
- 奇异的螺旋形建筑 (16)
- “泡泡大楼” (18)
- 树木参天高楼立 (20)
- 美的构型——对称建筑 (22)
- 水一样的透明建筑 (25)

奇异宏伟的古今建筑

- 万里长城 (28)
- 秦始皇旋与兵马俑 (31)
- 赵州桥 (33)
- 布达拉宫 (35)
- 宏伟的建筑宫群——北京故宫 (37)
- 举世罕见的地下阴塔 (40)

武汉长江大桥	(40)
上海杨浦大桥	(44)
布列塔尼半岛上的石阵	(47)
复活节岛上的石像	(48)
七大奇迹中的唯一幸存者——埃及金字塔	(50)
比萨斜塔	(53)
圣华西大教堂	(54)
儿童心目中的天堂——迪斯尼乐园	(55)
提醒人们预防地震的建筑	(57)
神秘的爱因斯坦天文台	(57)
戈壁滩上的甘露塔	(58)
悉尼海港大桥	(60)
“玻璃盒子”	(62)
引人入胜的内院大厅	(65)
智能化建筑	(68)
“空中楼阁”	(69)

建筑的变迁

远古人类的房屋	(72)
内外一新的现代建筑	(73)

建筑仿生学原理

鸟巢与建筑

鸟是春天的使者、人类的朋友，它不但有鲜艳的羽毛，婉转的歌声，还有被誉为“天然艺术品”的巢。在法国民间流传着这样一句谚语：“人类除了鸟巢之外什么都能制造出来。”可见，这个天然艺术品不但漂亮，而且巧夺天工，是一种不可磨灭的自然杰作，是人类建筑构思时取之不尽的创作源泉。

那么，什么鸟的巢最精美呢？

鸟巢精美之最要首推织布鸟编织的瓶状巢了。它撕取长条的树皮纤维，像织布工人那样用它那灵巧的嘴和脚，穿针引线，并不时地打结打扣而成坚固的编巢。编巢时，一般先由雄织布鸟编织巢的主体，并以此作为向雌鸟求爱的资本，经炫耀求偶成亲后，由雌织布鸟编织巢的细部。织布鸟的瓶状巢像一个曲颈瓶，最挂在树梢，出入口在旁边。织布鸟就住在随风飘荡、逍遥自在的“家”里生儿育女。编巢时有时遇到大风，织布鸟还会衔一些泥团来“镇风”呢！

什么鸟的巢又最大呢？

鸟巢容积之最要首推秃鹫。美洲有一对秃鹫共同生活了36年，在一场大风暴中，筑巢的大树被掀倒，人们才有幸见到了它们的“家”，经测量得知：鸟巢直径2.74米，深6.1米，

整个鸟巢共重两吨哩！

什么鸟的巢最科学？

鸟巢科学之最要首推澳大利亚、新几内亚和东南亚一带的营冢鸟了，它们的巢能产生恒定的温度 $34^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ，是雌鸟孵化蛋的理想产房。

营冢鸟用粗壮的两腿挖掘一个大深坑，在坑内填上落叶，又填上泥土和砂，有的竟高达 5 米，土丘周边长 50 米，为了造巢得花上几个月的时间哩！过了一段时间，树叶腐烂，温度开始升高。那时雄营冢鸟经常来测量巢内温度，它挖开表层，把翅翼下部无羽的部分贴近腐土堆，或者把头部和上半身都钻进洞穴内，啄出土堆深处的砂子测量温度。当巢内温度达到 35°C 左右，它们挖一个深洞，雌鸟就在深洞里产下第一枚蛋，雄鸟使蛋大头朝上，以便雏鸟容易出壳，并用砂子盖好第一枚蛋。经过 2~4 天，雌鸟又产下第二枚蛋。这样一直下 16~33 枚蛋。然后雄鸟连续 10 个月精心守护着这个特别的产房。当温度超过 35°C 时，雄鸟就挖通风洞降低温度，但到了晚上又匆匆把通风洞堵塞以防止热量散失；当温度低于 35°C 时，就向土冢琢敷砂土。

鸟巢有如下几大特点：

鸟巢结构巧妙。鸟巢结构巧妙的可多啦。缝叶莺生活在我国最南部的山林中，它选取芭蕉、葡萄藤的大型叶片，将叶片卷拢，雌鸟用嘴在叶缘相距 1~2 厘米处，钻上一个个小孔，然后用树枝纤维、蜘蛛丝和细茎等，从一个小孔穿出，又从另一个小孔穿入，并随时在孔外打结以防松扣。缝叶莺这样嘴、脚并用缝成了窝，又用绒毛、棕毛等柔软的东西垫底，舒适的鸟巢就这样建成了。

“衔泥两椽间”的燕子，在田间地头湿地处啄出湿泥丸，双双衔回椽间，逐一堆积，又配置干草、草根、羽毛等，经一周左右而成“泥碗”巢。有一种燕子叫金腰燕，它能筑成长颈瓶那样的泥巢。还有一种燕子叫楼燕，它口腔里能分泌出根粘稠的唾液，与泥丸、草根掺合，筑成表面透明的巢。楼燕的近亲金丝燕，它纯粹用自己的唾液筑巢，那就是高档宴席上的“燕窝”。

鸟巢用材巧妙 鸟巢用材之巧妙也不胜枚举：燕子用泥做巢；麻雀以干草做巢；鹰用粗大的树枝做巢；黄莺用树皮、麻以及草做巢；寿带鸟以树皮和草外面缠蜘蛛丝做巢。

红尾伯劳为了得到细如毛发的树皮纤维筑巢，要花很长时间侦察森林中理想的树，然后一条条撕下成一束运回，尤其是梧桐，由于树皮质地细致而纤维长，嫩枝又多而易于剥皮，是红尾伯劳筑巢的理想材料。

鸟类筑巢，一般就地取材，有时还采用人类使用的材料，在郑光美所著《鸟之巢》中，记载着1957年作者在吉林省桦皮厂火车站附近大树上发现的4个喜鹊巢，其外壁几乎全是用粗铁丝堆成的。

鸟巢选址巧妙 猫头鹰和野鸽在岩石缝内筑巢；翠鸟以吃小鱼为生，在岸边上崖啄穴为巢；啄木鸟以树洞为巢；老鹰、白鹤以大树顶为巢；苇莺在苇茎之间用长的草叶在高出水面1~1.5米处做巢；骨顶鸡在芦苇与蒲草丛中筑巢，将草茎弯折搭缠而成饼状巢，巢随水浮沉。

鸟巢一般筑在地面或草丛中，往往极为隐蔽。柳莺的巢选择地表有枯枝落叶的地方，或选在山间小溪旁，以苔藓、树皮伪装。据国外资料，鸬鹚的雄鸟建造很多的巢，而与雌鸟

成婚后一个也没有用上，用的是雌鸟的巢，这也可能是为了安全的疑兵之计吧！

鸟巢的选址，巢口是有讲究的。郑光美先生对吉林省 21 个喜鹊巢做了观察，发现绝大多数朝向西南，与当地背风向一致。日本某地喜鹊巢的巢口，多数朝北或东南，很少朝西，这不但有风向问题，还有日照问题。

鸟是天才的建筑师。织布鸟会编织树皮成巢，缝叶莺会缝叶成巢，燕子会用泥丸垒成巢，营冢鸟能造出恒温的巢，骨顶鸟会造浮巢……鸟为人们展现了无与伦比的建筑艺术品。在科学发展一日千里的今天，建筑的造型、设计、计算、用材、施工、选址等都有待于创新与发展，鸟巢不正是我们模仿、借鉴、学习的好榜样吗？

中国古代书载“有巢氏”，说明人类最早也曾像鸟那样巢居树上，后来由树上下来定居，在地面上造起了房子。而建筑的发展，跨度越来越大，高度越来越高，说不定人类又会像鸟儿一样，重新居住在人工造成的“大树”上呢！

鸟巢真是一个大自然的谜，而这个谜正有待于科学家去揭开。大自然存在着多少个谜呀！它正如希腊神话中的大神使者赫尔墨斯，变化无穷。美国学者瓦尔特·麦勒斯说：“自然正如生命一样创造了各种形式。她美妙地把样式和协调赋予她亲手创造的各种元素，赋予她使之生气盎然的各种力量中。因此世世代代的人类总是喜欢把她看做是神性的艺术创造，是一位不可捉摸的、变化多端的赫尔墨斯。”

建筑，正面临着困境，时代的要求是大跨度、大高度，安全、经济、美观面适用，欧美等地的学者正转向对大自然结构形态的研究。德国斯图加特大学著名工程师、学者 F·奥

托出版了《自然—知识—建筑》、《自然建筑》、《建筑师的自我修养》三本专著。德国学者收集贝壳、海螺、蛛网、龟背、骨骼、头颅、叶脉、树枝以及昆虫标本等，并考察山川地形、原始建筑、山洞蚁穴、细胞构造后，提出的专题报告有最小网格、生物学与房屋、自然界和技术领域中的网格、自然和技术领域中的薄膜与薄壳、形态与力的性质的基础、藻类植物结构等。

一门仿生建筑学正在兴起。近几年来，德国学者 K·鲍契涅得许多大量电膜系统试验，为薄膜结构提供了合理外形的根据。美国女建筑师 A·卡苏巴仿造野居山穴，采用 PVC 版料薄膜，它的造形形态万千而又新颖、离奇、别开生面。美国学者 W·斯法特里研究自然的优化并应用于分析建筑的天然力学之中。美国学者 M·哥尔斯密斯综合分析了 166 个已经建成的大跨度钢结构（其中最大跨度为 230 米），从自然的优化中得出，不同的跨度应采用不同的空间结构，为合理采用建筑结构的形式闯出了一条新路。

青竹受力的启示

文人墨客喜欢竹子的虚心，科学家喜欢竹子的“腹中空”。竹子的节节上升而成材，成功的秘诀正是竹子的“腹中空”。

力学的奠基人——意大利科学家伽利略曾经对中空 of 固体做过研究，他在《关于两门新科学的对话与数学证明对话集》说道：

“我想再谈几句关于空中或中空的固体的抗力方面的意

见，人类的技艺（技术）和大自然都在尽情地利用这种空心的固体。这种物质可以不增加重量而大大增加它的强度，这一点不难在鸟的骨头上和芦苇上看到，它们的重量很小，但是有极大的抗弯力和抗断力，麦秆所支持的麦穗重量，要超过整株麦茎的重量，假如与麦秆同样重量的物质却生成实心的而不是空心的，它的抗弯和抗断力就要大大减低。”

“实际上也曾经发现并且用实验证实了，空心的棒以及木头和金属的管子，要比同样长短同样重量的实心物体更加牢固，当然，实心的要比空心的细一些。人类的技艺就把这个观察到的结果应用到制造各种东西上，把某些东西制成空心的，使它们又坚固又轻巧。”

一般竹子的横向截面，直径为6厘米，壁厚为0.5厘米，假如把竹子做成实心的，则其抗弯能力是原来的1/10，由于竹子是细长的承受自身重量的受压杆件，假如把竹子做成实心后，在自身重量的压力下它会摇摆不定而失去平衡。由于竹子品种的不同，生长的高度也不一样。毛竹可以参天，但把毛竹做成实心的，经科学计算，只能长到高粱秆那样高。

根据力学原理，一根杆件在其横向截面，应尽可能把材料向周边分布，正由于这样才形成了中空，而且，越是优质材料越是向边缘布置。竹子就是这样，竹子的表面呈现出青色的叫竹青，往往是竹编的好材料。

竹子的“腹中空”，增大了抗弯和抗断能力，而且降低了自身重量。任何植物，除了抗风以外，主要是抗衡自身重量。德国有一句谚语：“大自然很关心，不让树木长到天顶。”树木之所以长不到天顶，是受风力和自重的制约，竹子之所以有现在的高度，功劳完全归于“腹中空”。仔细观察自然界，

像竹子那样“腹中空”的植物还真不少哩，如麦子、高粱、玉米、芦苇等。

文学家歌颂竹子的气节，从力学的角度来说，竹子的竹节是抵抗横向剪切的关键，是竹子强度有机的部分。农业上小麦减产主要原因之一是“倒伏”，那是小麦返青拔节时，由于雨水过多，生长迅速而拔节快，形成节与节之间间距大，减低了麦秆的抗剪能力，头重脚轻秆软倒伏于地的缘故。

一个建筑，都是由很多杆件组合而成的，有的杆件承受压力，有的杆件承受拉力，有的杆件承受弯曲，有的杆件承受剪切，有的杆件承受扭转，有的杆件承受以上几种情况的组合受力。对于长而细的承受压力的杆件，它的破坏并不是由于强度不够而折断，而是由于不能保持原来的直线而倒移，虽然没有折断，但偏移而离开了原来直线位置，同样会导致整个建筑的破坏，这种现象在科学上称为“压杆失稳”。

压杆失稳在建筑上产生过很多严重事故：

1907年加拿大魁北克的圣劳伦斯河上的钢桥，当时正在架设中间跨桥梁时，由于悬臂钢桁架中个别受压杆失去稳定产生屈曲，造成全桥坍塌；1925年，前苏联的莫兹尔桥在试车时，也是受压杆件失稳而破坏；1940年，美国的塔科马桥，刚完工4个月，在一场大风中，由于侧向刚度不足而失去稳定，使整个桥梁扭转摆动而破坏；美国东部康涅狄格州哈特福市中心体育馆，能容纳12500人的大跨度网架结构，于1971年施工，1975年建成，在1978年的一场暴风雪中倒塌，事故的原因也是个别压杆失稳。

面对着自然界中的狂风暴雨，青竹节节上升，自然优化，适者生存，合理受力，给人们带来了众多的启示。

仿蛋建筑

鸡蛋能承受多大的力？

人们有时会打赌——谁能用一只手把鸡蛋捏碎？血气方刚的小伙子急着上阵，但总是一个个败下阵来。人们不得不承认，鸡蛋能承受很大的力。

鸡蛋受力，原来为业余科学家所青睐。

英国消防队员为了试验鸡蛋的受力，把一辆救火用的消防车停在草地上，伸直救火梯子，消防队员从离地 21 米高的救火梯顶端向草地扔下 10 个鸡蛋，出乎意料的是只破了 3 个。

英国皇家空军飞行员也对鸡蛋能承受多大的力产生了兴趣，他们把直升飞机停在离草地 46 米高的空中，向草地扔下 18 个鸡蛋，结果也只破了 3 个。英国《每日快报》的工作人员，干脆租了一架军用飞机，以每小时 241 公里的速度向飞机场俯冲，在俯冲中投下 60 个鸡蛋，结果破了 24 个。

以上是用鸡蛋所做的动力冲击试验。在静力作用下，鸡蛋可以承受更大的力。

记得有一年中央电视台春节联欢会上，有一女孩表演踩蛋，女孩两手各提一桶水，双脚踩在 4 个鸡蛋上，鸡蛋安然无恙。

1989 年，日本爱知县的春日井市先生，在汽车前轮各用 34 个鸡蛋，后轮各用 52 个鸡蛋，总共只用 172 个鸡蛋支撑起了一辆大卡车。

根据国外资料介绍，当鸡蛋均匀受力时，可以承受 34.1

千克的力呢！

鸟类的蛋具有如此大的承受力，是与它特有的蛋形曲线和科学的结构分不开的。蛋的结构有三层，外层为表皮层，又称闪光层，中层为海绵层，内层为乳头层，不同的鸟类具有不同的三层显微结构。

蛋壳中，主要成分是碳酸钙，约占 89%~97%，另有少量的盐类和有机物。

应该说，真正的蛋壳成分仍然是一个谜，还需人们进一步探索。在蛋壳的成分中，只要加入或减少某一成分都会影响蛋壳的强度，而且各种成分的比例更是至关重要的。根据国外资料，在美国已经发现有 20 多种鸟类的蛋由于受农药的影响，而变薄变脆、降低了强度。

奇妙的鸡蛋为我们展现了以最少的材料造出最大的空间，并承受很大的力的大自然的杰作。一个鸡蛋长为 4 厘米，而蛋壳厚度只有 0.38 毫米，厚度与长度之比为 1:130，以其特有的蛋形曲线塑造了它的外形。

具有曲线的外形，厚度又很薄，主要承受压力的结构在建筑上叫薄壳结构。在“山光物态弄春晖”的自然界中，像鸡蛋那样的薄壳结构是如此的丰富多彩而变化万千，有禽蛋、贝壳、蚌、螺、蜗牛、蟹、鱼子、眼球、头颅、豆荚、种子、果核等等，它们以最合理、最自然、最经济、最有效、最进步、是优美的形式竞相媲美，争放异彩。

要造出像鸡蛋那样的脆筑确实不简单呀！人类在蛋形建筑史上经历过相当艰辛的过理。在文艺复兴时期建造的意大利佛罗伦萨主教堂，其跨度达到 42.2 米，主高度接近 91 米，当时的传记作家和脆筑师瓦萨里热情地歌颂它与四周的山峰

一样高，连老天爷看了也嫉妒。但它的厚度却只在 61~78.6 厘米之间，厚度与跨度之比为 1:60，它并不是薄壳结构而是厚壳结构，而且它仅是由八瓣组合成的并非球形的建筑。在文艺复兴末期，意大利罗马建成了圣彼得大教堂，圆圆的球形建筑，像竖放的鸡蛋，圆顶直径 41.9 米，内部高 123.4 米，但厚度竟达 1~3 米，厚度与跨度之比为 1:40。直到 1924 年，德国的蔡斯工厂天文馆才建成第一个半圆球形的薄壳结构。1925 年德国耶拿斯切夫玻璃厂厂房采用了球形薄壳，直径为 40 米，壳厚只有 60 毫米，采用钢筋混凝土为建筑材料，厚度与跨度之比为 1:667。

现在，像鸡蛋那样的仿蛋建筑已经很普遍了。美国通用汽车公司技术中心水塔，法国吐鲁士电子加连器实验站，我国新疆某机械厂的金工车间里像水珠似的储罐，它们都是绝好的仿蛋建筑。

绝美的黄金分割

1509 年，意大利威尼斯人卢卡·帕契奥里在《上帝规定的比例》一书中，阐明了 1.618 与 1 的比值（即 $\varphi=1.618$ ），他的好友达·芬奇是当时文艺复兴的巨人，是一位物理学家、生物学家、地质学家、生理学家、力学家、工程师、机械师、军事家、画家、雕塑家、歌唱家，被誉为集科学与艺术于一身的人物，他对“上帝规定的比例”爱用另一个名称，即黄金分割，又称黄金律。黄金律被认为在构图中最和谐、最完美的表现，是“神圣的比例”。德国杰出天文学家开普勒说：“几何学中有两件珍宝：一是勾股定理，二是中外比。如果第

第一件是黄金，那第二件就是宝石。”（黄金分割又称中外比。）

15 世纪，意大利数学家帕契奥里为黄金分割列出了一大堆优点，他写道：“黄金分割对我们的作用是：一、实质性的，二、特殊的，三、无法表达的，四、无法解释的，五、……最后，十七、是宝贵的。”

公元前 300 年，古希腊几何学之父欧几里德在几何学上首先提出 $\varphi=1.618$ 值，他在《几何原本》第五卷中说：“所谓量中第一与第二之比等于第三与第四之比，是指第一与第三的任何等倍数同第二与第四的任何等倍数有如下关系：前者的等倍数必相同地大于、相同地等于，或相同地小于相应所取的后者的等倍数。”这个比例法为 φ 值的导出奠定了基础。

古希腊在公元前 447 年至前 431 年，建成了举世闻名的雅典帕提农神庙；柱高与柱顶至屋顶距离之比也是 $\varphi=1.618$ 。

文艺复兴时期的“上帝的比例”，事实上是由我国经印度、阿拉伯传入欧洲的，印度传给阿拉伯之前称为“三率法”，它在我国古算术书上均有记载，《九章算术》“粟米”章一开始，就列举了各种米的出米率：“粟米之法：粟率五十，粳米三十，稗米二十七……”即 5 斗谷去皮，可得糙米 3 斗，又可白得稗米 2 斗 7 升等等。类似的问题在《九章算术》“衰分”、“均输”、“勾股”诸章及其他古算书中均有记载，这些内容就是正比例、反比例、复比和比例分配等，由于这类问题都以“今有”二字起首，在我国古算书中统称为“今有术”。

一般认为，黄金分割来源于自然界，如鹦鹉螺的螺曲线，其构成与 1.618 相关。在人的身上，广泛存在着黄金分割的