

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，是一种不朽的大自然杰作，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，悬挂在树梢，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，它口腔里能分泌出很粘稠的唾液，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，尤其是楮树，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编成的。

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，在岸边土崖啄穴为巢；啄木鸟以树洞为巢；老鹰、白鹳以大树顶为巢；苇莺在苇茎之间用长的草叶在高出水面 1~1.5 米处做巢；滑顶鸡在芦苇与蒲草丛中筑巢，将草茎弯折搭编而成饼状巢，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，鸛鹑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、美观而适用，欧美等各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·鲍契进行了大量皂膜系统试验，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 塑料薄膜，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连续力学之中。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的结构做过研究，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，只能长到高粱杆那样高。

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，头重脚轻杆软倒伏于地的缘故。

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偏移，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 个鸡蛋支承起了一辆大卡车。

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、最优美的形式竞相媲美，争放异彩。

要造出像鸡蛋那样的建筑确实不简单呀！人类在蛋形建筑史上经历过相当艰辛的过程。在文艺复兴时期建造的意大利佛罗伦萨大教堂，其跨度达到 42.2 米，主高度接近 91 米，当时的传记作家和建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，法国吐鲁士电子加速器实验站，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是最和谐、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《几柯原本》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比例关系，成年人的腰部是人体的黄金分割点。近代建筑大师勒·柯布西埃根据对人体的分析，创立了以黄金分割为依据的人体模度图。

根据勒·柯布西埃分析，高举左手，头顶至腰的距离与手指尖至头顶的距离之比正好是1.618与1的比值，即 $\phi = 1.618$ ，由腰至足底的距离与头顶至腰的距离之比也是1.618，对于人的脸来说，其高度与宽度之比以及两眼间的间距与嘴的大小之比都是1.618，在人体中，到处都充满着1.618。正如文艺复兴时期的数学家巴奇奥里所说那样：“……所有的度量和它们的名称都来自人体，而且在人体中可以找到上帝揭示自然最深邃的奥秘的全部的比和比例。”在古希腊，人们认为人体是最美的东西，毕达哥拉斯认为：“人体的美由和谐的数的原则统治着一切。”当时雕塑家费地也说：“没有比人类形体更完善的，因此我们把人的形体赋予我们的神灵”。

人体是美的数的集合体，建筑要美，当然会自然地模仿人体的各种数及数量之间的比例关系。在建筑上有两种有名的柱子式样，古希腊人以男人的脚掌长度是身高的 $1/6$ 应用到柱的高度与直径的比值上，创立了多立克柱，以女人的脚掌长度与身高的关系应用在柱子上，创立了爱奥尼柱。多立克柱比例粗壮，刚劲有力，恰如“塞外秋风骏马”，显出阳刚之气；爱奥尼柱比例轻快，秀美华丽，恰如“杏花春雨江南”，亭亭玉立如少女临风。柱式的创立，大大地推动了建筑艺术的发展。

古罗马建筑权威维特鲁威说：“建筑物必须按照人体各部分的式样制定严格的比例。”只有这样，建筑才会越来越美。

从古希腊人崇尚五角星，创立雅典帕提农神庙及柱式，到费地的雕塑品及伊特拉斯坎人的陶器，黄金分割一直为人们广为应用。达·芬奇应用黄金分割画出了世界名画《最后的晚餐》。意大利著名小提琴制造专家斯特拉迪瓦里精通黄金分割，制作了近千把音质优美的小提琴。数学家华罗庚将黄金分割应用于优选法，可以合理地安排实验和试验，以较少的试验次数找到合理的配方和合适的工艺条件。建筑师勒·柯布西埃以人体模度图，在长短、面积、体积等方面设计出一种比格，推动了建筑的标准化、工业化。

黄金分割在人脑中是怎样形成的呢？

根据国外资料，人脑具有精神意识、思维活动等功能，人脑中形成许多中子网格互相联系起来的结构，中子依靠电信号相互作用，中子的网格、网络的外形就是振荡电路；人脑在活动中不仅有固定的电振荡频带，而且人脑电振荡的摆幅和频率也不断地变化。

在人脑中 β 、 ϕ 、 γ （希腊字母）等脑电波中， β 波占主要地位， β 波的低频带频率（在电磁波中低波长范围内每秒振动的次数）为8.13赫兹（频

率的单位)，高频带的频率为 12.87 赫兹，高、低频率带频率之和为 21 赫兹，而高、低频率带频率之和与高频带频率之比正好为 $\varphi = 1.618$ ，高频带频率与低频带频率之比也正好为 $\varphi = 1.618$ 。

人脑中形成黄金分割的奥秘终于揭开，可见黄金分割并非简单模仿自然界中呈现出来的现象，而包含着更深的哲理。自然界中有许多形形色色的“谜”，而这许多“谜”，正是大自然送给人类的绝妙的产品。

蜘蛛织网与建筑工程

蜘蛛织网，一般利用三点，如墙角、挑出的树梢、石头尖处等，先由三点连成三角形组成网的边，并由一根特殊的丝通过未来的网中心，然后由边向网中心拉辐线，到网中心后在相邻的地点向边拉辐线，这样来回拉了几条辐线后，却跑到相对的那一边去拉辐线，很明显，它正利用静力学以维持网的平衡。

拉好了所有的辐线，蜘蛛由网中心以螺旋线向外盘旋拉丝线。蜘蛛到了最外圈后，沿着原路返回，返回时不时地抓起原有的网线聚成小球，固结在与辐线相交的点上形成很多的小点，在沿着原路返回过程中拉的丝线才是真正的蜘蛛网线。由外向里盘旋的螺旋线越来越密，形成数学上的对数螺旋线，这样，曲线由外向里虽然密度增加，但在理论上永远到不了中心点。

建造一所房子，一般有四个步骤：打基础，安置骨架，搭脚手架，拆脚手架。这与蜘蛛结网真是有异曲同工之妙。蜘蛛以三个固定的点形成三边的三角形，这与造房子打基础对应。蜘蛛在三角形的三边拉辐线如造房子的安置骨架。蜘蛛由里向外拉螺旋丝线只是为结真正的蜘蛛网做准备，正如造房子搭脚手架，只是为了施工时临时之用。蜘蛛由外向里拉螺旋丝线，并随时把原有丝线去掉固结在网点形成小点，正如造房子时，房子建成后拆去脚手架那样。蜘蛛真是一个聪明的动物，蜘蛛结网与人类建筑施工是何等的相似啊！

所有的柔性材料如藤、绳、索都具有极强的抗拉特性，由柔性材料组成的建筑结构称为悬索结构，它具有跨越大跨度的能力，而且特别节省材料。

蜘蛛网就是自然界中的悬索结构。蜘蛛网能承受很大的力，有的蜘蛛网上放上一个啤酒瓶也不会掉下地，古代还有人用它捕鱼、捉鸟呢！

我国是最早应用悬索结构的国家，我国利用竹索造的桥在《前汉书》中已有记载。北宋时期，四川灌县安澜竹索桥横跨岷江之上，长达 344 米，共分 8 跨，最大一跨为 65.6 米，用 10 根 16.5 厘米直径的竹索组成。我国云南景东附近兰津桥，建于公元 58~75 年，用铁链造成，横跨澜沧江，跨度达到 82 米，而西方最早出现的悬索桥是公元 1515 年，比我国落后 1000 多年哩！

悬索结构广泛应用于体育建筑。美国的阿拉美达体育馆，就是一张像蜘蛛网那样的圆形的钢索网，直径为 128 米，外环设置了 32 根钢筋混凝土支柱，内环直径为 13.8 米，内、外环设置了 96 根钢绞线的辐线，体育馆可容纳 15000 多人观看体育表演。北京工人体育馆的双层辐射式悬索结构，外形似平放的自行车的车轮，有上、下两张网，两张网之间有杆件相联，人类创造的“网”到底比蜘蛛网要高明，由蜘蛛的一张网变成两张网，承载能力也比一张网要大得多。

悬索结构，目前有单层的、双层的，有圆形平面的、椭圆形平面的、长

方形的、六边形的，有马鞍形的、双曲面形的、抛物线形的，真是五花八门，千姿百态。

人们在建筑时，总是自觉地追求美，按照美的规律来建造，随着社会生产力的发展和人类智能水平的提高，对美的追求和创造更丰富、更凝炼、更富有哲理、更强调美的综合效果，在认识自然、改善自然中，科学、技术和艺术的综合的趋势已经形成，正如加拿大学者米克教授指出：“现在，有了一种新的创造精神，开始重建一个包括艺术、科学和技术都在内的完整而统一的世界。”在这一方面，美籍华人林同炎成功地设计了一座曲线斜拉桥，它如众多的“蜘蛛丝”拉着一片细长的树叶一样，构思之独特、工程之巧妙、造型之优美受到全世界工程技术人员的好评，获得了全国第26届优秀建筑比赛一等奖，被誉为“结构工程与美的理想相结合”的典范。

林同炎设计的曲线斜拉桥位于美国加利福尼亚州的一条狭谷河流上，两岸山高陡峭，谷深流急，若是采用一般直线形桥，则两岸引桥要挖去大量山崖，假如采用抬高桥面的方案，虽然避免开挖山崖，但引桥很长，两者都会使工程造价昂贵。而林同炎先生设计的曲线形桥，很自然地与两岸线路联接，达到桥与路的有机结合，正如长虹卧波，复道行空，天堑变通途。这桥另一个特点是采用很多斜拉的索，直接固结于两岸山崖上，一根根斜拉索交叉网胜似蜘蛛网，奏出一曲美妙的“蜘蛛网”畅想曲。

奇异的螺旋形建筑

你知道江河湖海有多少螺吗？它们有滇螺、骆驼螺、天狗螺、万宝螺、马蹄螺、笔螺、凤凰螺……真是数不胜数。

你知道哪里有螺旋线吗？自然界中到处都有螺旋线：所有有回旋形贝壳的软体运动——螺，都有螺旋线；蜘蛛以螺旋形结网；牛角按螺旋形生长；向日葵的花子按螺旋形排列；人的内耳耳轮也是螺旋形的。

螺旋形往往是建筑造型的母体，而螺的外形也是建筑师构思的素材。海滩上各种各样的海螺、贝壳，在波涛汹涌的大海中为生存而搏击，自然的优化形成了它们优美的螺旋线。当前，“回归自然，崇尚自然”已成热门话题，所以，一批直接模仿螺的外形的建筑也应运而生了。

我国北国海滨旅游胜地北戴河，有一座可以登高观海的“碧螺塔”，塔的上部三层模仿海螺壳的十二瓣螺旋，形成层层起翘的挑檐，在海滩的“碧螺塔”上观看碧螺的家，不是更具有诗情画意吗？我国东南大学齐康教授设计的福建省长乐度假村小岛上的海蚌塔和大厅，虽然并非直接模仿海蚌，但却体现出艺术的“神似”，内涵之中蕴藏着海蚌、海螺的螺旋美。印度尼西亚雅加达泰曼公园有一座金蜗牛电影院，其外形像一只蜗牛，在“蜗牛壳”中看电影情趣盎然。

世界建筑大师赖特设计的美国古根海姆博物馆，它是倒置的圆锥螺旋线的外形，参观的人流由中央电梯直送至顶层，然后让他们由螺旋形的楼梯到各层参观，博物馆由上至下层层缩进，造成既连续又有变化的空间；参观过程中，博物馆建筑的本身就使参观者产生动态的韵律感。新加坡圣淘沙海上旅馆高15层，采用涡旋螺线的水螺形，整个旅馆像一个雕塑品，而且具有动态感，真是美极了。

1920年，前苏联建筑师塔特林曾设计了“第三国际纪念塔”，采用螺旋

形，曾轰动一时。80 年代，美国建筑师海蒙特设计了“太平洋之塔”，高达 548.6 米。高塔由螺旋形结构和中央桅杆组成，像一棵大树爬满了螺旋形上升的藤，象征着太平洋沿岸国家欣欣向荣、蒸蒸日上的气象。“太平洋之塔”是作为卫星通讯的地面接收站，意味着太平洋沿岸各国信息的交流、文化的交流。

随着高层建筑的崛起，在高层建筑中采用螺旋形也日益增多。在 1968～1972 年，意大利建筑师尼柯莱特和马斯曼塞设计了由三个涡旋螺丝组成的涡形螺旋摩天大楼，高达 540 米，其核心是由三个桅杆组成的筒状体，具有力度感和时代感，美学造型精美绝伦。

螺旋线，奇妙的曲线，优美的曲线，“生命的曲线”。它像对数螺旋线那样，盘旋扩大而上升至远方、更远方，以至无穷，向下盘旋而缩小，又无法找出其出发点。自然界的一切，都像螺旋线那样的美；自然界的一切，都像螺旋线那样呈现出无限宽广的图景。

“泡泡大楼”

气泡，在自然界里是很多的。蓝蜻蜓的翅膀由很细的薄膜肋构成，肋之间就是一张极薄而柔软的薄膜，那是不封闭的“气泡”，叫做不封闭的充气结构，类似的还有蝙蝠的翅膀。像青蛙的囊袋的“气泡”，叫做封闭的充气结构，其他还有，如鱼肚中的“气泡”，动物身上贮存尿的囊袋等。现在，封闭的充气结构在建筑上已广为应用。

充气的封闭薄膜有一个很好的受力性能，那就是各处的表面张力都相同，由于用材少、重量轻，因而是一种很好的建筑结构。

最早设想把充气结构用来建造房屋的是英国工程师兰切斯特，他在 1918 年取得了关于此事的一项专利，并设计了直径为 650 米的充气结构，但遗憾的是他过早地离开了人世，没有使理想成为现实。

1970 年日本大阪世界博览会上，博览会的游乐场采用在一根立柱上的充气结构，在立柱顶端有向四周布置的缆索挂着四周布置的一个个充气结构，充气结构的另一端支承在离顶端不远的立柱环上，当缆索收紧时，蘑菇状的充气结构就收拢，撑开时就像一个大圆盘，其最大直径可达 35 米，博览会上这种红黄相间、向不同角度撑开的一个个“蘑菇”，为游乐场增添了节日的欢乐。

充气结构还可以用来作水坝。由英伯逊设计的水坝在 1957 年建成，水坝高 1.5 米，长 40 米，充气薄膜用螺栓固定在水下的混凝土基础上，可以充气、放气以调整水坝的高度。目前，充气水坝已经发展到高可 4 米，长可达 600 米。假如给充气水坝定期地涂以海普隆（高级涂料），寿命可达 20 年以上。充气水坝造价便宜，比一般水坝可节省 75% 的造价，而且施工简单。

充气的帐篷千姿百态，由英国 M.L. 航空公司设计制造的一系列充气夹心板可以构成大小不同、形状各异的任何多边形的帐篷。

英国的军事工程试验处，1965 年设计制造了军用充气桥，桥跨度 5.5 米，桥本身很轻，只有 350 千克重，打仗时，遇到小河可随时充气让卡车通行，用完则放气缩小成一小团让卡车运走。

充气结构打破了传统的建筑结构形式，在有压气体压力的调整下，只要塑造出封闭的外形，任何形状都可以实现。它不存在梁、柱等构件，当充气

结构受力时，结构内受压气体把力传给整个结构，充气表面薄膜各处受力相同。

1970 年日本大阪世界博览馆中，日本的富士馆因其体量宏大、造型新颖而大出风头。它由 16 根直径为 4 米、长度为 78 米的充气管柱组成，把它们两头分别安置接地，于是中间拱起形成一个个拱门，由于圆形平面，两头接地的一个个拱门随着跨度的不同（最大的跨度为圆形平面的直径）拱起的高度也不同，造成马鞍形的外形，充气管由聚乙醇薄膜制成，外涂海普隆，内涂聚氯乙烯。

美国在 1959 年建造了波士顿艺术中心剧场，有 2000 多个座位，建筑平面为圆形，直径 44 米，采用气垫屋顶，层顶的中央高 7 米，飞垫式屋顶铆固在钢制多边形体的各个柱上。

气泡泡能盖成大楼，能盖成很大很大的“大楼”，甚至使你不敢想象。

德国充气结构专家奥托曾设计了充气薄膜与网壳相结合的巨大的罩，其直径为 2000 米，高为 240 米，可以覆盖拥有 15000~45000 居民的城市。在寒冷的北极，有了这样一个“罩”，就可以调节气候，就可以开发北极了。所以，奥托的设计又叫做“北极城设想”。

美国建筑师富勒，也是一位充满想象力的工程师，在 1962 年，他也设计了用充气薄膜与网壳结合的圆穹，直径为 3200 米，想把纽约的整个曼哈顿地区罩起来，这就是建筑中最著名的“乌托邦”充气结构。

树木参天高楼立

腹中空的竹子、麦秆，把材料尽可能分布在横截面的四周以增大抗弯、抗断的能力。

树，肉眼所见是实心的，但在显微镜下却到处布满着细孔，它同样地把有限的实体尽可能向四周扩展，也具有很大的抗弯、抗断的能力。

你去过泰山吗？你是否留意过泰山峡谷通风口的树长得怎么样？泰山峡谷通风口的树与众不同，它的树干横截面不是圆的，而是椭圆的。由于通风口风相当大，要生存必须提高迎风的抗弯能力，这种椭圆形树干是树木长期适应自然优化的结果，这种椭圆形树干的树不是很美吗？！不是很科学吗？！

建筑师吉奥·庆蒂设计的意大利米兰的皮尔利大楼，其构思是 4 棵并排的“树”。树与高楼之间，在具备抗弯、抗断能力方面是一致的，越是接近地面，其受力越大。从树的外形可知，树干由树梢向树根越来越粗，从树的外形联想高楼受力的核心部分，也必须从上到下越来越粗。把树干切片置于显微镜下，研究树的水分、养料的输送，会发现它与城市道路立交网系统又是何等的相似呀！

近几年来，出现了一批高技术建筑，这是一种表现技术美的建筑，正如芬·里德所说：“……探求、研究并且为建筑带来诗意般充满信心的愿望。在这种建筑中，科学——我们时代的‘上帝’——和技术也已富于人性。这种建筑物能够塑造和表现。”

高技术建筑一方面从新技术的产物如高速赛车、航天飞机等形式中寻求启示，一方面从自然界中寻求灵感。

伦佐·比阿诺在设计休斯顿曼尼尔博物馆时，集中精力研究屋面的形式和构造，他从采光调节、阳光辐射的控制、结构、细部四个方面来构思，以

树叶为原型设计屋面档板，既轻柔又完美。

进入树林，成排的树干构成了“竖向线条”，显示出高洁、希望，给人以紧张感、上升感。保罗·克利给线赋予了诗意，他说：“一条线就是一个点在散步。”那末，像树林那样的竖向线条，则是众多点在向青天进军了。日本建筑特色之一，就是有很多的竖向线条，如日本的法隆寺，它显示出像树林那样日新月异，天天向上。

城市用地的紧张，促使城市的规划向空中发展，日本建筑师矶崎新在1962年设计了空中城市，设想把建筑集中在一棵棵人工大树上，好像一个个果实，树干与树枝都是有效的交通系统，树与树之间也有交通之便。城市建在空中，充分享受了阳光和空气，而且还土地于绿化，人类的生活再次上了树，成了新的“有巢氏”，过着鸟儿般的生活了。

树，作为探索科学哲理的素材，具有着更宽更广的研究领域。树长得高，枝叶繁茂而“招风”。但仍然屹立于大地之上，关键是扎根于地下，见缝插针地深入、深入、再深入。再看看人类创造的房子地基，其中之一叫桩基，是一根根桩打入地下，房子建在桩的顶部。与树根相比，弯弯曲曲的树根要比直直的桩不知高明多少倍呢！

美的构想——对称建筑

在“天河夜转漂回星，银浦流云学水声”的茫茫宇宙有着奇妙的对称，在微观世界里的细胞、分子、原子……也有着奇妙的对称，凯库勒的苯环结构式，华森、克里克提出的DNA的螺旋结构，都显示出一种对称的科学美。在自然界中，飞禽走兽、草木花卉都显示对称的美。

对称被视为“和谐与美”的定义。一般对称的物体具有对称轴，在对称轴的两边等距离处具有大小、方向相同的物件，如常见互相垂直的十字轴线的对称形式：正方形，正圆形，正六边形，正八边形等；另外如“十”字，“田”字，“井”字，“亚”字等。这一类称为具有两个对称轴的对称物体。更普遍的是具有一个对称轴的对称物体，如人、虎、蝴蝶、鸽子……

在科学上，科学理论也有美与不美的问题，它决定于和谐、对称、简洁、新奇。和谐，即逻辑的正确性和构造的严密性。对称，即反映出自然形态和运动的广泛对称性。简洁，即丰富的多样统一。新奇，即科学思想的独创性和科学方法的新颖性。对称，作为决定科学理论美与不美的四大要素之一，含义是很广泛的，科学家维尔写了一本专著《对称》，书中说：“对称，无论广义或狭义，我们都不理解这个词。对称是一种思想。多少世纪来，人们希望借助它来解释和创造秩序、美和完善。”

对称，表现出一个整体的各部分和成分的配置的匀称和协调，给人带来优美和精确的感觉。对称的理论帮助了德国化学家凯库勒发现了芳香化合物分子结构，分子中的原子以对称形式组成闭合的环形联接的链，分子模型完美、漂亮。自然现象的对称原则启迪了狄拉克，使他预见了粒子的电性能能够转变。1979年美籍华人物理学家杨振宁谈道：爱因斯坦开辟的“对称性支配着相互作用”的原理，有力地促进了“规范场的对称性”、“超对称性”新理论的出现；对称性可以说是理论物理学的一个重要观点。

自然界的对称现象是如此强烈地影响着建筑，以致于所有的建筑和建筑群都包含着对称的原则。

1403 年，我国明朝永乐皇帝下令迁都北京，在元朝大都的基础上建立了北京城。1557 年，明朝嘉靖皇帝在城南外加筑外城，形成了今天的“凸”字形平面的北京城，从南端的永定门向北经皇宫、景山到钟鼓楼，直到北城墙结束，形成了一条 7.5 公里长的中轴线，这就是北京城的对称轴，它可谓世界上最长的对称轴了，宫殿建筑就在这轴线左、右对称的位置上。皇宫层层殿宇，错落有致，以太和殿、中和殿、保和殿为核心，由对称形成庄重、整齐、稳定的格局，充分显示皇权的精神作用。

我国古都西安，隋朝统一后模仿汉魏的洛阳城，南北长 8651 米，东西长 9721 米，唐朝定都后改名长安，和北京城一样以中轴线规划建筑，体现出对称的特色。

雨果的小说《巴黎圣母院》轰动了全世界，哥特式建筑（欧洲古典建筑风格之一）的巴黎圣母院也因此蜚声世界。经历了 72 年才建成的巴黎圣母院教堂是中世纪欧洲哥特式教堂的“元老”和典范，教堂西立面是典型的左右、上下三段式划分的建筑，底部是深深内凹的三座券门，券内侧的层层线脚中布满了雕像，教堂的东立面是一圈环形的圣坛和小礼拜堂。对称布局在其中处处可见。

对称往往与均衡联在一起。在视觉艺术中，以均衡中心作为中心点，就能感到均衡中心的左右两侧的吸引力相当，在均衡中心给予某种强调，当眼睛能满意地停留在均衡中心的瞬间，就能产生健康与平静的均衡感。对称是均衡的天然格局，在对称的情况下，在对称轴的两侧，彼此相当的对称必然导致均衡。

在建筑上还经常采用不对称但又均衡的做法，有人说是广义的对称。那是采用了杠杆平衡原理，当一侧小体量安排在离中心轴远距离处，与另一侧大体量安排在离中心轴近距离处，造成两侧对中心轴的均衡感。我国承德避暑山庄的烟雨楼就是采用这种做法使园林建筑灵活多变而更具有诗意的。

从视觉心理的角度看，实的建筑具有重的质感，虚的建筑（光明透亮玻璃组成的建筑）具有轻的质感，于是做成小而实的建筑与大而虚的建筑造成均衡感。

给建筑施以统一的变化，则会显现出反对称的效果，在视觉艺术上同样会产生富于变化的个性。反对称指的是在对称轴两侧等距离处，两个物体大小相等。但一个朝上，一个朝下。如果等距离处有两条竖向而同样长度的线段，一条在对应点的上部，另一条则在对应点的下部，这叫做两条线段的反对称。图形的反对称最典型的代表是“⚡”字。北京圆明园中有一建筑叫“万方安和”，它的反对称布局新颖而富于联想。

对称，是建筑的永恒主题，是自然界的普遍规律，彼得·柯林斯说得好：“从有机的躯体来看，一目了然，自然界是有意对称的，同理，建筑也应有意对称。”

水一样的透明建筑

水下的世界是透明的世界，梦幻的世界，光彩绚丽的世界，一切是那么清澈、纯洁！人们是多么地想要尝试一下过水下世界的生活呀！文人们于是设想出“孙悟空闹龙宫”，“落水相公与龙公主成亲”等等有趣的故事来，建筑师也想造一座水晶宫，让人们生活在既可以自由呼吸又处于晶莹透明的

宫殿之中。

世界上确实造了一批水晶宫，有英国伦敦水晶宫，美国迦登格罗芙蓉教堂水晶宫，美国纽约贾维茨展览中心水晶宫……自然界确实有透明的水晶，但价格昂贵，当然不可能作为建筑材料。当人们发明了玻璃，才使水晶宫成为现实。

1851年，英国帕克斯顿建造了伦敦水晶宫，帕克斯顿在非洲发现浮在水面的玉莲，让小孩坐其上也不会下沉，他研究了玉莲的叶脉结构，并作为水晶宫屋面结构的依据。伦敦水晶宫使用了86058平方米的玻璃，是当时英国全年玻璃产量的1/3，帕克斯顿的设计获得空前的成功，是当时世界上三大有名建筑之一。伦敦水晶宫作为世界上工商博览会会场，终于让世界各国的来宾享受了“水下世界”的乐趣。

由于建筑材料的限制，建筑总是为光线而苦恼，在一定程度上说，建筑在为了得到光线而斗争着，正如建筑大师柯布西埃所说：“建筑的历史就是为光线而斗争的历史，就是为窗子而斗争的历史。”按照建筑美学的观点，为使整个墙面所用材料、质感、色彩、光影获得和谐的统一，就应该使整个外墙成为全部玻璃墙，甚至使屋顶也全部成为玻璃的，这样，室内环境才能充分体现出“光、亮、热”。

1911年，德国建筑师格罗皮乌斯首先设计了法古斯鞋厂，拉开了建筑中采用玻璃幕墙的序幕。第二次世界大战后，著名建筑师凡·德·罗设计了美国芝加哥湖滨公寓和纽约西格拉姆大厦，色彩协调，典雅精美，新颖动人。著名设计师贝聿铭设计的波士顿汉考克60层大楼，玻璃墙采用反射玻璃，使周围环境、建筑、蓝天、白云、天光云影，交相辉映，显得虚无缥缈，若隐若现，建筑的实体与周围环境相呼应，但它又在自身无限的反射中消失，建筑的模糊形式和它形象的可变性，展示了无限性和不定性，让人们感到已置身于水下的水晶宫了。

美国达拉斯的海特摄政饭店，采用高低错落的多个几何体组成雄伟体景，全部采用玻璃幕墙，形象丰富。

最大的水晶宫是美国贾维茨展览中心水晶宫。建筑物正立面南北延伸305米，入口处中央布置了高达45.7米的大厅，整个建筑室内室外景色融合一起，不怕风雨侵袭，不怕烈日曝晒，却享受着自然的清新、自然的风光。

大自然为鱼儿造了水下的世界，建筑师为人们造了地上的“水晶宫”，通透的美、晶莹的美、反射的美、变色的美、交辉的美，让人们尝到了水下世界的美。

奇异宏伟的古今建筑

万里长城

举世闻名的“万里长城”，是中国古代一项最雄伟、最壮观的防御建筑工程。它像一条巨龙，跨越浩瀚的沙漠，穿越茫茫的草原，翻越巍巍的群山，绵延盘踞在祖国辽阔的国土上。它那恢宏的气势，艰巨的工程，显赫的功能，悠久的历史，深远的影响，不仅在我古代建筑工程中绝无仅有，即使在上世界上也寥若晨星，因而，它被人们公认为人类古代建筑史上的一大奇迹。据有关部门报道，宇航员从月球上回观地球的时候，用肉眼只能辨认出两大人工

建造物，一是荷兰的围海大堤，另一个便是我国的万里长城。

长城的修建，最早始于公元前 7 世纪，最晚终于公元 16 世纪，前后持续了 2200 多年。春秋战国时期，诸侯混战，列强兼并，各国之间为了互相防御，便在各自己的领土上修筑起长城来。最早修筑长城的是楚国。楚长城建在伏牛山两端，为南北走向，全长近 1000 里，称做“方城”。《左传》一书还记载过这样一则故事：公元前 656 年，齐国派兵前去攻打楚国，并把军队开到召陵那儿驻扎了下来。楚成王获得了情报，便命令屈完带了些人马前往迎敌。齐侯为了显示他的军威，让士兵们排好了战阵，请屈完同他一道驾车观看。齐侯原以为屈完会被那雄壮的气势吓倒，乖乖投降，没想到屈完却对他说：“君王如果用德行安抚诸侯，谁敢不服？君王如果用武力，楚国有方城可以作为城防，有汉水可以作为城地，您的军队即使众多，也用不上。”齐侯见楚国的防御工事坚固，自知打起来也没好果子吃，便同楚国订立了盟约，撤兵回去了。

继楚国以后，齐、赵、燕、秦等国，也都纷纷仿效楚国，开始修起长城来。然而，长城虽然在春秋战国时就开始修建，但由于各诸侯国的国境都比较小，所以长城的规模不大。最短的只有几百里，最长的也不过三四千里。只是到了秦始皇时代，长城才达到了万里之巨，也才有“万里长城”之名。

秦始皇统一中国后，为了防御北方匈奴的南侵，于公元 214 年起，将从前秦、赵、燕三国北方的长城修缮连结起来，筑起了一道西起陇西郡洮县（今甘肃岷县），东止辽东郡（约在今鸭绿江西岸）的万里长城。

秦以后，两汉、北魏、北齐、北周、隋、辽、金、明等各朝代，都先后修筑或增筑过长城，其中尤以明朝规模最大。

公元 14 世纪 60 年代，明朝灭掉了元朝，迫使原来的统治者元蒙贵族逃回了蒙古，但这些元蒙贵族的女真族势力又大为兴盛，他们也在窥视着大明的江山。明统治者为了防御这些贵族的侵扰，便效法前人的经验，开始修筑长城。从洪武到万历 200 余年间，明朝大规模修筑长城达 28 次之多，最终完成了这一项伟大的工程。明长城西起嘉峪关（今甘肃嘉峪关市），东至鸭绿江边。全长 12000 余里，通称“万里长城”。这就是我们今天所看到的长城。

修长城一方面给当时的劳动者带来了深重灾难，而在另一方面，却对中原农业文化起了一定的保护作用，同时，也充分表现了我国古代建筑工程的高度成就，表现了我国古代劳动人民的聪明才智。

如今，万里长城虽然已经失去了它原来的作用，但作为我国古代劳动人民创造的一项伟大的工程来说，却永远是值得珍视的遗产。它作为一种伟大的存在，已成为中华儿女的骄傲，已成为中华民族精神的象征。

秦始皇陵与兵马俑

陕西临潼县宴寨西杨村的几位农民，做梦也没有想到，他们的打井锹，竟挖出个世界第八奇迹——“秦始皇兵马俑”。

秦始皇姓嬴名政，出生于公元前 259 年，死于公元前 210 年。他是秦王朝的建立者，也是中国历史上第一个建立统一的中央集权制王朝的皇帝。

秦始皇建的阿房宫，是史无前例的庞大建筑群，而他的陵墓更是前无古人的浩大工程。就是在当今之世，也称得上世界之最。秦始皇陵在今陕西临潼县，它是秦始皇即位后不久动工营建的。初时，工程规模不大。待他统一

天下后，则征发了 70 万宫刑罪人，开始大张旗鼓地干了起来，前后一直干了 36 年。说来也巧，到他死的时候，陵墓刚好完工。

这陵墓深埋在地下，到底是什么样子，到今还是个谜。因而，我们只能根据近年来考古工作者初步勘测的结果，和一些史料记载，对它做一个大略的描述：

陵园的布局分为内外两城，内城呈南北长方形，周长 2525.4 米，有 5 个门；外城呈南北长方形，周长 6294 米，有 4 个门，总面积为 2 平方公里。在陵园的南部，有一座夯土筑成的陵丘，高 76 米。秦始皇的尸骸就埋葬在这高大的陵丘下。

墓室的设置豪华奢侈无比。墓底见水，铸铜加固，上置棺槨；墓中设有百官的牌位，筑有漂亮的宫观，无数的珠玉充斥其间。除此而外，还用东海产的四脚鱼膏做灯烛，并准备了充足的原料，使这灯烛能在墓中长久地燃烧，永不熄灭；又拿水银来做百川江河大海，用机械来灌输运转，上有日月星辰，下有山川湖泊，俨然一个完整的“世界”。为了防人盗墓，还特制了能自动发射的弩机暗箭，人一靠近，便会万箭齐发。

2000 多年来，有关秦始皇陵墓的建筑和保存情况，多有传闻。最早传说，秦始皇下葬后，项羽入关，不仅一把火烧了阿房宫，连陵园也一同焚毁。后来又传言，说有位牧童，放羊时丢了一只羊，他便举着火把，到秦始皇陵附近的一个地洞中寻找。谁知，他出来时，将火把丢弃在洞中，引起大火。而这洞竟是秦始皇陵的通道，结果火势祸及了陵墓。

始皇陵到今尚未挖掘，不知道地下的建筑究竟如何。不过，近年来从始皇陵附近出土了大量的文物，如青铜门楣、石雕、室内排水装置、直径达半米的巨型瓦当、铜马车等，尤其是兵马俑陪葬坑的发掘，足以显示出陵墓的奢华和规模的庞大。

秦俑坑位于陵园外城东门外，距始皇墓 1.5 公里。关于它，史书上没有记载，而是 1974 年 3 月宴寨西杨村农民在地里挖井时偶然发现的。目前，这里已经发现了 3 个俑坑，大约有 8000 个陶俑。最大的俑坑深约 5 米，东西长 230 米，南北宽 62 米，总面积为 14260 平方米，是一个长方形的地下土木建筑。坑里埋有 6000 余个陶俑，以及一些战车、铜釜、青铜剑、弩机等实战武器。为了有利于挖掘和修复，1976 年，有关部门在这个俑坑上盖了一座大厅，取名为“秦始皇陵兵马俑博物馆”。

在这博物馆里，数百个全副戎装的武士俑，威风凛凛地列队站在 5 米深的地下，这也是他们原来的位置。这些陶俑栩栩如生、神态各异。从他们的装束、衣饰和手势上，人们便能判断出他是将军还是兵卒。

法国前总理希拉克在参观了它之后说：“秦俑坑是世界的奇迹。不看金字塔，不算真正到过埃及；不看秦俑坑，不算真正到过中国。”而一个瑞典参观者遗憾地说：“真了不起！这么珍贵的兵马俑，你们中国有几千个，我们哪怕只有两个也好呀！”

宏大的秦始皇陵，给秦王朝统治下的黎民百姓带来了深重的灾难，但却显示出我国古代劳动人民高超的建筑技术，还为后人留下了大量的珍贵文物，使我们能对当时的社会有更深刻的了解。罪耶？功耶？显然前者有罪，后者有“功”。但这“功”绝不能记在秦始皇的头上。

建于隋代的河北赵县的安济桥（也被称为赵州桥，大石桥）是世界上第一座跨度最大的敞肩式单孔弧弓形石拱桥。它创造了很多建桥史上的带有划时代意义的新成就，故可以说它是中国古代最著名的、最有代表性的桥梁。

安济桥跨过的洺河，是华北一条较大的河流，其源头在大行山区，是一条山区的径流性河道，其水位落差可达七八米。

关于安济桥的建造，民间曾有不少神话传说故事。如京剧《小放牛》中的唱词有这样一段：“赵州桥来鲁班修，玉石栏杆圣人留，张果老骑驴桥上走，柴王爷推车压出一条沟。”传说，鲁班修好赵州桥后，张果老骑驴，柴王爷推车到桥头，二人问鲁班，桥能经得住他二人走吗？鲁班说当然可以。于是张柴二仙用仙法运来五岳名山之重量，压在驴和车上，把桥压得快垮了，鲁班驾云用手托桥，桥硬是没垮。因用力极大，桥上都留下了手印、车沟、驴蹄印呢。用神话来赞美赵州桥，说明人们对这一巨大工程的钦佩。其实鲁班是春秋时的木匠，后来民间凡有杰出的工程都归于他的功劳了。

其实赵州桥是隋代开皇末年到大业初年（595～605年）由工匠李春以及李通用了10年功夫创造的杰作。这座桥净跨度为37.02米，拱高和拱跨之比为1：5。赵州桥建成后，经历了1300多年的风雨、洪灾、地震等，也受到一些损害。赵县处于地震区，1000年内经历了12次强烈地震，周围的民房都倒塌了，但安济桥仍然屹立在洺河上。在1300多年中，洺河还发生了11次大洪水，安济桥也经受住了考验。当然，各朝各代的能工巧匠为修赵州桥也功不可没，他们使古桥焕然一新。

赵州桥创造了很多的建桥史上的奇迹，有的至今还没有满意的答案。撰写《中国科学技术史》这一巨著的英国教授李约瑟在评价赵州桥时指出：“弓形拱是从中国传到欧洲的发明之一。”“李春的敞肩拱桥的建造是钢筋混凝土桥的祖先。”虽然圆弧拱的运用，外国比我国早一些，如公元前62年意大利罗马时代建成的法勃利克斯桥，就是圆弧拱的，但它接近于半圆了，为非敞肩拱。1321年到1339年法国建造的赛兰特桥用了敞肩拱，但却是用在接近半圆的大拱之上的小拱。真正的敞肩圆拱，西方迟至19世纪才出现。另一个技术指标——矢跨比，到1567年意大利佛罗伦萨出现了圣三一桥才打破了赵州桥保持了近千年的世界纪录。

赵州桥的石工艺术也是独步天下的，造型既轻巧又稳重，正如桥头关帝阁一副对联所云：“船从碧玉环中过，人在苍龙背上行。”美国桥梁专家莫斯克在《桥梁建筑艺术》一书中说：“安济桥的结构如此合逻辑和美丽，使大部分西方古桥，显得笨重和不明确。”赵州桥的栏板浮雕，神态飞扬，雕刻生动，艺术造诣也极高。

安济桥的出现是一个划时代的产物。自它被建造出来以后，各地又出现了许多类似的拱桥。如赵县的水通桥，建于12世纪，其结构和布置都依照了安济桥。另外赵县还有洛美桥、沙河店桥，河北还有升仙桥，山西还有普济桥、来宣桥，它们都是在安济桥桥式影响下的产物，但都未超过的安济桥。

布达拉宫

号称世界屋脊的喜马拉雅山下，世代聚居着我国的藏族同胞。这里，是一片神秘诡异的土地，悠远而凝重，旖旎且浓郁，豪迈无羁却隐含悲伤。

拉萨，是西藏的首府。在拉萨盆地的玛布日山上，矗立着举世闻名的琼楼玉宇——布达拉宫。这座建筑在山峰上的宫殿无疑也是西藏建筑艺术的巅峰之作，它以浓烈夺目、气势磅礴的形象震撼着人们的心弦，同时成为拉萨，乃至整个西藏的重要象征标志。

布达拉宫的修建年代，相传始于公元 7 世纪的唐朝。松赞干布统一西藏定都拉萨后，由于娶了唐朝的文成公主和尼泊尔的拜木沙公主，开始信仰佛教，每天焚香静坐念佛。为了避免打扰和防御敌人，开始在他所住的山上修建宫寨、高墙以及壕沟，后代又屡有加建。到 17 世纪中叶达赖五世受清朝册封后，由当时的总管桑结嘉木错主持，开始了大规模的修建工程，整个工程历经 50 年之久，最终完成了我们今天所见的规模。

布达拉宫由红宫、白宫和宫前建筑三大部分组成，这三部分都布置在玛布日山的南坡上。整个宫殿四周有几米厚的石墙围绕着。

从山脚下开始，有一条曲曲折折的白色阶梯延伸至宫殿底，从大阶梯到达的白色大门到第六层房屋，全部涂着白色，称“白宫”。从第七层到第十三层殿堂，正中刷着红色，叫“红宫”。为什么会有红、白之分呢？原来这是根据喇嘛教义的规定，凡经堂和塔必须刷成白色，佛寺必须刷成红色，白墙面上必须用黑色的窗框、红色的木门和棕色的饰带；而红墙面上则必须用白色和棕色的饰带。屋顶和饰带上的重点部分必须镏金。

站在布达拉宫脚下赞叹、陶醉之余，如果我们走进这座宫殿，还会有不少新奇的发现。在白宫的最高处，有一座日光殿。清晨，它第一个迎来朝辉，迟暮，它最后一个送走晚霞，从早到晚，总是阳光灿烂。红宫内的灵塔殿可以说是最神秘、而又最华丽考究的地方。所谓灵塔，就是达赖喇嘛死后遗骸安葬的地方。几乎每世喇嘛死后，都要修一座灵塔，存放在灵塔殿中。最高的灵塔是五世达赖的，有 14 米高，塔身全部用黄金包裹，仅此一塔就用去黄金近 12 万两，此外还镶嵌有珍珠宝石 15000 多颗，塔的上方还悬挂着华盖和丝绸纬幔，真可谓极尽奢华了。

布达拉宫，是几千年藏族文化的缩影，就像那高原的雪山奇峰，就像那阳光下灿烂的金顶和长明的酥油灯，闪烁着永恒不灭的光辉。

宏伟的建筑宫群——北京故宫

明清时的北京城包括内城和外城两部分，而内城又包括皇城和宫城，处在森严壁垒之中心的宫城——故宫，就是我国明清两代帝王处理朝政和生活起居的地方。宫廷的四周绕以周长 3000 多米，高 10 米的红色围墙，称紫禁城，因此故宫亦称“紫禁城”。

故宫南北长 960 米，东西宽 760 米，占地面积 720000 平方米，有房屋 9000 多间（在民间则流传着 9999 间半的带有神奇色彩的说法）。设想一个人每天在一间房子里住一夜，一共要花 25 年时间才能把故宫的房子住遍，可见故宫有多么大，房子有多么多！它是世界建筑史上规模最大的宫殿群，被人们称做“殿宇的海洋”。

故宫的整体布局为“前水后山”型。“前水”指的是天安门前的外金水河及太和殿前的金水河。“后山”指的是人工堆成的土山万岁山（清朝改称景山）。

故宫的主体建筑皆坐北朝南沿中轴线排列，两侧建筑依次向左右展开。

这条中轴线向南引伸至天安门、前门及外城南门永定门，向北沿景山、钟鼓楼，至鼓楼结束，宫城的轴线与北京城的轴线重合，8公里长的轴线纵贯全城。城内除皇家建筑外，大多为青灰的四合建筑，所以，当人们登上景山南望，将会感到处在灰色背景中的金色海洋般的皇宫，是何等的气度恢宏，何等的华贵庄严。这是皇权的象征，是中国传统文化的标志，是古代无数能工巧匠智慧和汗水的结晶。

故宫总体上分为外朝和内廷两大部分，亦称“前朝后寝”。外朝是皇帝处理朝政和举行各种国家盛典礼仪的地方，内廷是皇帝及他的“三宫六院七十二妃”的生活地域。

午门，是皇城的正门，因其正处在子午线上而得名。午门由两大部分构成，一部分是砖砌的开有券洞门的巨大城墩，另一部分是建在城墩上的木构门楼。午门平面呈“凹”形，城台正中为一最高等级重檐庑殿顶的楼座，东西两侧前端各建重檐方亭一座，正中楼座与两端方亭之间联以庑廊，全部建筑高低错落，仿佛朱雀展翅，居高临下，威慑人心。城门正中开券洞三个，中央正门等级最高，供皇帝出入，此外皇后成婚入宫时经过一次，殿试后的前三名状元、榜眼、探花在放榜后可由此门出宫，被认为是极大的荣耀。在普通百姓的心目中，午门是皇宫的大门，是皇帝任意处置臣民的地方，于是在小说戏曲中常有“推出午门斩首”的说法。当然，如果哪位大臣进谏惹恼了皇上，就会被锦衣卫五花大绑，押到午门外用棍棒打屁股，叫做“廷杖”，自然，死在棍下的也不乏其人。

太和殿是外朝部分三大主殿之一，三大殿坐落在8.13米高的汉白玉基座上。台基分三层，每层都有精美的白石护栏，护栏的望柱雕以云龙云凤图案，柱下有用于排水的白石螭首1142个（螭首是龙的9个儿子之一），下雨时，呈现出仿佛千龙吐水的奇观。台基的南面有3座汉白玉石阶，正中央的石阶称“御路”，只有皇帝可以登临，御路上刻有海水、蟠龙、升龙、流云的形象，是皇帝神秘与高贵的象征。

太和殿是皇帝登基，宣布即位诏书的地方。皇帝生子、册立皇后、皇后大婚、宣战出征等，都在这里举行仪式。那仪式真可谓为壮观，届时，在殿前3000多平方米的广场上，旗幡招展，香火缭绕，鼓乐齐鸣，成千上万的军臣排列整齐，仆伏于皇帝的脚下，这就是皇帝的尊严。

太和殿，作为皇帝举行重大典礼的地方，是至高无上的代表。它是我国现存最大的木结构建筑，面积2377平方米。这里的一切都是建筑型制中最高等级的，黄色琉璃瓦重檐庑殿顶，屋顶上仙人走兽的个数，建筑的开间，以及以龙为主题，以金为用色特点的彩画，无可复加地渲染着豪华庄严的气派，在殿内中央，6根蟠龙金柱之间是一个7级台阶的华丽台子，台上为镂空楠木金漆雕龙宝座，宝座上方是金漆蟠龙藻井（藻井是天花的一种，等级较高），上下金光一片。皇帝在金光中高居宝座，接受文武百官的朝拜。在这里也会发生些滑稽的事情，比如清朝最后一个皇帝溥仪登基时才3岁，当人们把他抱上宝座，钟鼓齐鸣，百官拜伏，山呼万岁的时候，竟把这个小皇上吓得大哭大闹起来。

在太和殿前的大平台上，东侧设有古代计时用的日晷，西侧有度量谷物的容器“嘉量”。此外还有鼎式香炉、铜龟、铜鹤等，这些既是大典时的礼仪用具，同时也是江山永固的象征。

伟大的辛亥革命结束了中国2000多年的封建制度。1914年，故宫的前

朝部分改成了古物陈列所，内廷仍由被废黜的皇帝居住。1924 年，随着末代皇帝溥仪出宫，这座象征至高无上尊严的皇宫，作为我国最大最精美的博物院——故宫博物院，已成为全国人民和世界各国人民的游览胜地。

举世罕见的地下阴塔

在福建省长汀县，有两座深埋地下的罕见宝塔。它们的名字听起来也很奇异，一座叫“八卦龙泉”，建于唐代，另一座叫“府学阴塔”，建于宋代。

八卦龙泉塔上宽下窄，呈八角形，倒插入地。塔深 16 米，上部宽度近 2 米。塔身用条石垒砌而成，每层用石八块，自上而下，石块愈来愈少，而塔身愈来愈窄。最令人奇怪的是，塔的底部竟然是一口清泉。人若站在塔口，可以望见倒映在幽深塔底的人影，心中不免升起神秘的感觉来。

府学阴塔与八卦龙泉塔的造型正好相反，它上窄而下宽，平面圆形，亦置身于地下。塔身由砖块垒砌而成。在塔外的砖墙上镶有一块石碑，题刻“府学阴塔”四字。

为什么要在百余年间建两座阴塔于地下呢？确切的答案已无从考察，而民间则流传着一个久远的传说。汀州是福建闽西历代的政治、经济、文化中心，山灵水秀，人才辈出。相传有一位外籍人在汀州做官，本地一位退隐官员得罪了他，他见汀州城风水非凡，城中的卧龙山有如神龙腾飞之势，便在城东西各建一石塔以镇压龙的首尾，使之不得飞腾。后来人们为了解除卧龙之缚，使汀州多出人才，于是特意修建两座宝塔于地下，以解晦气。

武汉长江大桥

50 年代以前，只要翻开旧地图看一看，就会发现，在我国中部蜿蜒曲折、流经 9 省、全长 5590 公里的长江上没有一座桥。许多诗文把长江形容为“天堑”，不可逾越。50 年代建成了武汉长江大桥，实现了几代人的梦想。

长江是中国第一、世界第三大江，其灌溉面积和通航长度都排世界前列，可它却严重阻断了中国的南北交通。公路和铁路到这里就连不上了。沿海的京浦线和沪宁线在浦口与南京之间，中部大动脉京汉线和粤汉线在武汉隔江相望。客货要通过，只有靠迟缓而费力的轮渡。武汉是中国中南的交通枢纽、长江中游最大的城市，号称“九省通衢”，但在市内却因长江横卧，汉水分流而成三镇，即武昌、汉口、汉阳，交通极不方便。

民间有这样的歌谣：“黄河水，长江桥，治不好，修不了。”为此，几代人为了使长江天堑变通途而付出了多少心血。1913 年，北京大学桥梁系 13 名学生毕业前在德籍教授乔治·米罗指导下，到武汉进行勘测桥址、设计桥梁的实习。这是武汉长江大桥第一次测量。1930 年美国桥梁专家华达尔建议国民党政府修桥，后来他们用了半年的时间，在武汉长江上钻了 8 个孔，就无声无息地走了。1936 年，钱塘江桥工处的茅以升等工程师们又进行了武汉长江大桥的筹建工作，设计了一座“长虹卧波”式的桥梁，但因战争而搁浅。抗战胜利后，一些工程师又旧事重提，想建桥，但因资金无着而作罢。

在武汉建长江大桥可以说成为几代人的共识。1950 年，中国铁道部开始考虑这个问题，两年后成立了大桥设计事务所。1953 年 7 月，组织了武汉长江大桥初步设计赴苏鉴定小组，请 25 位苏联专家组成的鉴定委员会来鉴定。

这一宏大的工程也成为了中苏合作的技术项目。中方的总工程师是汪菊潜。铁道部为了使武汉长江大桥施工能有保障，还专门成立了武汉大桥工程局。

1954年2月，政务院通过《关于修建武汉长江大桥的决议》。其实，1953年11月，大桥的一部分——汉水铁桥就先期开工了。汉水铁桥的修建，使京汉铁路首先越过汉水，直通大桥的汉阳工地。1955年9月，大桥正桥主体工程正式开工。两年后，1957年7月13日，长江的第一座大桥——武汉长江大桥就通车了，结束了几千年来长江上没有桥的历史。后来，毛泽东在他的横渡长江的词中写道：“风雷动，龟蛇静，起宏图。一桥飞架南北，天堑变通途。”

武汉长江大桥为何择址于汉阳龟山与武昌蛇山之间呢？原来武汉距长江发源地4500公里，距入海口1100公里。长江流到武汉，受龟蛇二山的约束，形成天然的最狭窄河床地段，江面宽度仅1126米，并且长江两岸为堤墙所固定，宽度变化很小，形成龟蛇锁江之形势，真是一个天然的桥址。武汉长江大桥工程，包括从汉口玉带门东站到武昌南站间14公里内的一系列工程。它使武汉三镇形成了一个完整的铁路枢纽，三镇公路干道也被连通。铁路初从汉口爬升，以跨线桥跨过红寿路、解放大道、张公堤，通过汉水铁桥飞跃汉水后，过汉阳新站，爬上龟山，到长江边，从汉阳岸的引桥跨过沿江大道，从长江大桥正桥凌空飞跃长江，再从武昌岸的引桥跨过武昌沿江大道，劈蛇山而下，在武昌上空以跨线桥跨过解放路、武昌路，逐渐下降接至武昌新站，这一路，仅跨线桥就有10余座。

武汉长江大桥是一座铁路公路两用桥，下层铁路是双线，上层公路宽22.5米，全桥总长1670米，包括正桥8墩9孔，其钢梁为联平弦跨连续铆接钢桁梁，每联有3孔，每孔跨长128米，用3号桥梁钢制造的，梁高16米，用伸臂法从两岸相向架设，在6号墩上合龙。1到6号及8号桥墩，实验成功并首次应用了当时世界前所未有的新的结构和新的施工方法，即装配式大型钢筋混凝土管柱结构（直径155厘米）和大型管柱钻孔法。7号桥墩则采用了直径55厘米的旋制钢筋混凝土管柱。在其中下沉管柱，封底后抽水施工。另外，汉阳岸和武昌岸引桥分别为17孔和12孔，每孔约17米，形如长廊。全桥工程用混凝土95000方，钢梁21400吨。

在正桥和引桥交界处，有两座宏伟的桥台，并且两岸桥台完全对称。桥台共8层，高35米。桥台第一层大厅正中设有高的壁龛，中塑有一组建桥工人像，顶部悬挂花式大吊灯，与大理石镶嵌的屋顶相映生辉。在四层阳台以上，有一扇长窗，从这里眺望长江，更有一种雄浑的感觉。桥台顶部在公路路面两边各有两个桥亭。4个桥亭是具有民族风格的钢筋混凝土建筑。另外，引桥面混凝土栏杆和正桥的铸铁栏杆也有多种民族风格的花样栏杆装饰。这是设计师们广泛收集了民间窗花剪纸的各种花草鸟兽图案而设计的，当你走在桥面上，这些艺术品会给你一种美的享受。

在两岸的桥头处，种植了各种树木花草。武昌岸利用蛇山地形，在铁路面布置了一个平台。这个宽敞的平台可供游人上下游览观赏，遥望长江。沿宽阔的阶梯，下可通沿江大道的桥头花园，上可通公路路面。在平台中，有一座象征武汉长江大桥首次采用管柱钻孔法的建桥纪念碑，碑上有毛泽东手书“一桥飞架南北，天堑变通途”的题字。再向上，就是闻名于世的“黄鹤楼公园”和“张公祠故址”了。这些历史人文景观和现代化大桥糅和在一起，显得那么协调，那么相得益彰。

上海杨浦大桥

1993年10月23日，世界上最大跨径的斜拉桥——上海杨浦大桥正式通车了。中国改革开放的总设计师邓小平为这座象征改革开放、走向世界的大桥题写的“杨浦大桥”四个遒劲的大字，分别镶嵌在东西两座巍峨而高耸的桥塔上。

自1991年4月29日上海杨浦大桥打下第一根桩开始，7800多名建设者们开始了对一个个技术、科研难题展开攻坚战。在大桥进入关键设计阶段时，亚洲开发银行向杨浦大桥提供了两笔共1.64亿美元的贷款，显示对中国改革开放的信心。不到两年，1993年4月8日，杨浦大桥主桥钢梁就胜利合龙。屹立在黄浦江上的这座世界第一斜拉桥终于把黄浦江两岸的浦西宁国南路渡口与浦东的歇浦路连接了起来。杨浦大桥主桥安装工程量与南浦大桥相比要大一倍。南浦大桥只有中跨合龙，杨浦大桥不仅有中跨，还有两个边跨合龙。这三点合龙都比南浦大桥大。在边跨合龙中，建设者还大胆首创了尾段强制合龙法，为主桥钢梁合龙节省了一个多月时间。所以，大桥主桥从1992年6月29日开工以来，不到一年就完成了合龙。

作为联接上海浦东浦西的交通枢纽的杨浦大桥，全长7658米，其中主桥长1176米，为双塔双索面叠合梁斜拉桥结构，主跨径达602米。桥塔两侧各有32对256根彩色拉索将主桥面凌空拉起，蔚为壮观。主桥下净空48米，主桥面宽30.35米，设有6条车道，日通行能力达5万辆机动车。仅用两年零5个月就建成的杨浦大桥，建设时间比南浦大桥缩短了20%，工程质量却胜过了南浦大桥，创造了桥梁施工的奇迹。南浦和杨浦大桥的设计者是上海市政工程设计院的国家级设计大师林元培总工程师，亚洲开发银行专家组评价说：“杨浦大桥，代表了世界桥梁工艺的一个杰出的进步。”

斜拉桥，这是当今世界桥型中最新、建桥技术难度最大的一种。它是将桥面用许多根拉索直接拉在桥塔上的一种桥梁。自瑞典建成世界上首座斜拉桥（183米的跨径）之后，斜拉桥就以其造型美观，结构强度高，节约材料以及跨越能力大而受到各国建桥业的青睐。我国目前已建有70余座大小不等的斜拉桥，其中大跨径斜拉桥占了一半，且在品类和造型上多姿多采。因此，中国建设南浦和杨浦斜拉桥时，已经储备了领先于世界的跨世纪的技术能力。1989年12月，重庆市建成跨越嘉陵江混凝土单桥单索面斜拉桥——石门大桥，它不仅以桥塔两侧跨径分别达到200米和230米而闻名，更以它的单侧伸臂长度达到了226米而成为当时的世界之最。此前，上海还建成了第一座单塔单索面斜拉桥——上海恒丰北路立交桥，解决了桥梁抗扭等一系列理论问题。尔后，又在广州建成了世界最宽桥面的（35米）双塔双索面斜拉桥。故而，中国在短短5年中就建成了南浦、杨浦两座领先于世界的大桥是不奇怪的。

这样，世界叠合梁斜拉桥目前的排序，第一为杨浦大桥，第二为1986年加拿大弗雷塞河安娜雪丝桥，主跨465米，塔高154.3米，第三为印度胡格利河二号桥，它经历10年才合龙，主跨457米，塔高122米，第四为主跨423米，塔高150米的南浦大桥。世界上建造斜拉桥最多的中国，自1973年建成第一斜拉桥——主跨76米的四川云阳桥，到如今建成主跨602米的杨浦大桥，再一次把斜拉桥的世界纪录提高到一个新的数量级，这是一次全能型

的冠军纪录。

从杨浦大桥的桥塔形状上说，有许多独到的优势。杨浦大桥的桥塔是钻石形的，两臂上举合一，比南浦大桥的花瓶形（或称 H 形，世界上许多斜拉桥均用此形，如上面提到的加拿大的安娜雪丝桥，印度的胡格利河二号桥）两臂分开，更有利于抗风、抗震。从结构上说，杨浦大桥的“箱形”梁比南浦大桥的工字形，工艺要求高得多。另外，杨浦大桥的塔与索的预应力锚固方法，更是桥梁最先的成功实践，为今后斜拉桥塔和索的锚固树立了典范。

在此还值得一说的是杨浦大桥的斜拉索，它也可数第一。其中最长的斜拉索为 325 米，比南浦大桥斜拉索长 107 米，它也是中国最粗的斜拉索，由 301 根 7 毫米直径的高强度钢丝绞合而成，重约 33 吨。这种斜拉索预应力达 1200 吨，比南浦大桥的大 300 吨。它是上海浦江缆索厂的第四代优质产品，结束了我国大桥钢索依赖进口的历史。斜拉索装上了防震装置。斜拉索过长，在风的作用下抖动得很厉害。这种无休止的抖动，容易加速拉索的疲劳，缩短其使用寿命。为此，上海市政设计院高级工程师王心方研制出了高阻尼橡胶，安装后，有效地抑制了斜拉索的抖动。这一点，在国内桥梁界亦属首创。

另外，超长超重斜拉索的安装成功，是杨浦大桥主桥安装中的重点。全桥共有斜拉索 256 根，总长度 2 万多米，总重量约 2900 吨，并拥有世界最长最粗的钢索，其安装难度可想而知。建设者们大胆采用了卷扬机平稳牵引到塔顶的方法。

杨浦大桥的建成，无疑标志着我国的建桥技术已处于世界领先的地位，这一辉煌成就已载入我国的造桥史中。杨浦大桥建成通车前夕，南浦和杨浦两桥的总设计师林元培作为流派代表应邀赴美国参加了国际桥梁学术会议，这表明，中国的桥梁技术在国际上的地位已确立，成为当今世界桥梁一大流派。

布列塔尼半岛上的石阵

滨临大西洋的城镇卡纳克，是法国布列塔尼半岛上一块充满神秘色彩的地方，来此寻幽访古的人络绎不绝。除了巨石砌成的古墓，最引人入胜的是郊外一片片整齐排列的石阵。

卡纳克的石阵据说曾有 1 万根石柱，如今仅存 2471 根。石阵被农田、树林和农舍分为 3 片：位于卡纳克城北 1 公里半处的莱芒尼石阵，以 12 根一排向东延伸，最高的石柱露出地面部分达 4.2 米。再向北走，便进入卡尔马里石阵，比起前者，这片石阵像个小弟弟。与卡尔马里石阵相邻的凯尔斯堪石阵则更小些，长约 400 米。这些石阵远远望去，好像一队队正在接受检阅的士兵。

长久以来，卡纳克石阵一直默默无闻，直到 18 世纪 20 年代才引起人们的注意。从此各种推测纷拥而出，至今莫衷一是。

当地的人解释说，石阵诞生于公元前 56 年凯撒征服高卢时期。被罗马人打败的卡纳克守护神科内利逃到城北的山坡上，用魔法将追赶他的罗马士兵变成了一队队整齐排列的石柱。这一传说固然不足为凭，但在 18 世纪，不少学者的确相信石阵是凯撒时代的产物。19 世纪初，考古学家在卡纳克周围发现许多蛇崇拜的遗迹，这使人们产生新的联想：那一条条逶迤延伸的石阵或许是蛇的模拟图形？到了本世纪，则有人甚至宣称它们是外星人访问地球的

飞船基地。

1959 年，专家们利用放射性碳元素日期推算法，测定石阵的出现大约在公元前 4300 年前后，并确认卡纳克为世界上最大的新石器文化发源地之一。本世纪 70 年代中期，英国人亚历山大·汤姆宣布了一个惊人的发现：石阵是一个复杂的月亮望台。他说，古代天文学家每天在观测月亮时，随着月亮的出没不断变换自己的位置，每一次都在新的地方竖起一根石柱作为标记，用这种方法，他们掌握了月亮盈亏周期以及其他一些天文知识。80 年代初，英法学者联合对汤姆的学说进行了核证，结果表明，石器时代的人类并不具有这种高超的智慧。

尽管聪明的现代人绞尽脑汁，却始终难以了解古人思维的奥秘。卡纳克的石阵就像埃及的金字塔一样，为人类留下了永恒的不解之谜。

复活节岛上的石像

200 多年前，1722 年的复活节日，荷兰伟大的探险家雅可布·洛吉文正在大西洋海面航行。南美海岸远在 2000 英里之外，他们已经很久没有见过陆地的影子了。突然，地平线上出现了一座任何欧洲人从未见过的岛屿。当他们靠近这个荒芜的岛屿，一个奇怪的景观将所有人震惊了，“那儿竖立着高高的奇异巨石像，约 30 英尺高，头顶有冠帽，在石像四周是铺砌的石头”。“岛上的土著对这些巨像顶礼膜拜。”这是人类第一次目睹荒岛上的神秘巨像，因为是洛吉文在复活节日发现的，所以将小岛命名为“复活节岛”，现在，这个岛属智利瓦尔帕莱索省管辖。当地人称之为“拉帕努伊岛”，意即“石像故乡”，也有人说是“地球脐部”或“地球中心”的意思。

在岛的四周，共有近千尊巨大的半身石像，石像是用整块的火山岩雕成，一般高 7~9 米，重 90 吨左右。它们整齐地排列在 4 米多高的长条形石座上，每个石座上一般放 4~6 尊石像，个别的多达 15 尊。奇怪的是所有石像全部面朝大海。这些石头人都长着奇长的头，长长的高鼻子，深的眼睛，垂肩的长耳和突出的嘴唇，头顶戴帽子，一双手放在肚前，朝着无边的大海翘首遥望，一副茫然若失的样子。

在岛的东南部山区，还有 300 多尊尚未完工的巨像，最大的高达 22 米，重约 400 吨，光石像的帽子就有 30 吨重。附近拉诺拉拉库火山处，还有 40 多个神秘的洞穴和许多尚未完成的雕像。

岛上还有一尊奇怪的“鸟人像”，和一些被称为“说话板”的木板，由于殖民者的掠夺和岛上居民用木板生火，现在只剩下 21 块了。上面的文字由正反两行写成，或许是为了两个人共同阅读而作，所以叫“说话板”。据说这种文字是一种极其古老的文字，至今无人读懂。

当地的人为什么要雕刻石像？他们用什么方法开采巨石？又怎样将那些巨大沉重的石像竖起来？那些未完工的雕像为什么会突然被抛弃？这许许多多的疑问，有谁能猜得透呢？

七大奇迹中的唯一幸存者——埃及金字塔

在震惊世界的七大建筑奇迹中，埃及金字塔是唯一的幸存者，它经受住了时间的挑战和人类对它的破坏摧残，并且仍然以它的雄姿震撼着人们的想

象力。

金字塔的建造年代大约在公元前 27 世纪，距现在快 5000 年了。而仅仅在 500 年前，它还是完美无缺的，它的光滑整齐的大理石表面甚至连钢针都插不进去，如今的金字塔却已是满目疮痍。金字塔所遭受的摧残，主要来自于自中世纪以后人们对法老宝藏的疯狂挖掘；附近的居民为了图省事而将现成的石料搬走，也给金字塔造成一定的损失；现代旅游业的发展，也给金字塔带来可怕的污染；随着 1970 年阿旺水坝的竣工，尼罗河谷的地下水位陡然升高，使水得以渗入石灰石古迹内部，并以活化盐晶体摧毁它们。然而金字塔毕竟是伟大的，它仍然静静地屹立着，像它身下的岩石一般，以坚定伟岸的体量，默默地与山岳抗衡。在月光下，在玫瑰色的夕阳中，在夏日正午的烈焰或者清晨的迷雾中，金字塔从尼罗河的峡谷中像崇高的山岳一般冉冉升起，主宰着碧空黄土之间的这片风景，也许这就是为什么在古埃及语中，金字塔代表着“高大，升起的地方”。

巨大的金字塔其实是古埃及的统治者法老的坟墓。古埃及人相信人死之后逾千年可以复活，所以对死后的世界格外重视，每位法老一登基，就开始为自己修一座金字塔。目前埃及共有小小金字塔 70 余座，最大的一座是胡福的金字塔。

金字塔为三角尖锥的造型，因此在古希腊语中，金字塔意为“一种三角形面包”。最大的胡福金字塔占地 5.29 万平方米，正方形的底边长 23 米，相互之间误差最大为 20 厘米，小于 1/1000；塔的东南角与西北角高度的误差为 1.27 厘米；金字塔的倾角为 51 度 52 分，各倾角的误差亦是微乎其微。这一切使现代人不能不惊叹。胡福金字塔的高度为 146.59 米，相当于现在 40 多层楼的高度，在埃菲尔铁塔出现之前，直是世界上最高的建筑物。尤其令人惊奇的是，146.6 米的 10 亿倍正好是地球到太阳的距离，对于崇拜太阳的古埃及人来说，这个数字是否深具含义？还是纯属巧合呢？

金字塔的建造方法始终是个谜。科学家用现代工具研究表明，建造如此规模的金字塔需 5000 万人，而当时地球上的人口总和才 2000 万。就算当时真的有那么多人，那 230 万块平均每块 2 吨重的巨石又是怎样砌上去的呢？有人认为是利用杠杆原理，有人认为是用作坡法，每建一层修一个大坡，用滚木拉上去。最近有些学者宣布，这些石头根本不是从尼罗河东岸用船运来的，它们是用一种失传了的古代浇制技术创造出来的人造石，他们发现金字塔石块中有中空的气泡，并发现一段一寸长的头发。究竟谁的理论正确呢？

现在，还是让我们返回到胡福金字塔吧，它的入口在北坡离地 18 米的地方，往下走通往地下墓室，上行则是国王和王后的墓室。最上层的是国王的墓室，里面有一具石棺，但真正埋法老的地方却在地下墓室。皇帝墓室的位置不在中轴线上，也不在塔中心，它的位置一定是有意设计的，不对称的原因却不可知。皇帝墓室垂直上方有 5 个小墓室，据推测，它们的存在是为了减轻皇帝墓室上岩石的重量，在最上面的两个小墓室中，用红色颜料写着“胡福”的名字，这是目前从金字塔中和塔外能够找到的唯一文字记录。皇帝墓室和皇后墓室还有细长的通气道伸向金字塔的外表，据说，这便是灵魂出游的通道。

如果进入金字塔一游，那将是最令人难忘的：不可穿越的黑暗，终极的静谧，堆积的巨石充斥在你的四周，你仿佛感觉到尊贵的法老踩过这些地面，并且希望永远安息在这个建筑当中。所有的一切使大金字塔成为尼罗河中最

神秘最庄严的古代建筑。

比萨斜塔

在意大利半岛中部的比萨城内，一组罗马时期的建筑群，包括大教堂、斜塔、洗礼堂和公墓四部分，人们把它们叫做“奇迹区”，“奇迹区”中又以斜塔最著名，斜塔被称为世界建筑史上的奇迹。

1173 年，当时著名的建筑师博纳诺·皮萨诺开始建造作为钟楼的斜塔，动工五六年后，他发现塔身已经倾斜，于是不得不停工。90 年后，另一位建筑师迪·西蒙内接着建塔，并试图把斜塔的塔身调直，可惜没有成功，而他后来又战死沙场。到 1350 年，斜塔才由托乌索·皮萨诺最后完成。

该建筑的风格是在罗马建筑的基础之上，融合了拜占庭和阿拉伯的建筑艺术，有精致的柱廊、联拱和壁柱，并且广泛采用各色大理石的镶嵌艺术。

斜塔建成之时，塔顶中心点已偏离垂直中心线 2.1 米。600 多年来，它每年平均向南倾斜约 1 毫米。现在斜塔最高点为 56 米，顶部已南倾 5.3 米，斜度为 5 度 6 分，塔的总重为 1.45 万吨，平均每平方米地面要承重 50.7 吨。1972 年 10 月的一次地震，无疑是对这幢古老的建筑的严重威胁，幸运的是斜塔竟然“大难不死”。

斜塔倾斜的原因究竟何在呢？据科学家勘察，原来由于这里的地层是由淤泥冲积而成，土质松软，造成地基塌陷所致。人们也曾试着用先进的技术加固塔基，但收效甚微。在比萨城，不仅是斜塔，其他一些建筑也不同程度地向某一方向倾斜。

斜塔至今仍司钟楼之职，据说建造这个钟楼，还是意大利人从穆斯林那里受到的启示。伊斯兰教徒每次祈祷前，清真寺的阿訇便站在尖塔上大声呼唤，那呼声回荡荒野，撼人心魄。基督徒们见后为之心动，于是效仿尖塔建了钟楼，不同之处只在以钟声代替了人的呼喊。

关于斜塔还有一个著名的传说，那就是意大利著名物理学家伽利略，曾在 1590 年登上塔顶，将两个重量不同的铅球从塔顶同时掷落，其结果是两球竟同时落地。由此他建立了著名的“自由落体定律”，而推翻了长久以来被奉为权威的亚里士多德关于“物体落下速度与重量成正比”的理论。

许多学者对这一传说不予置信，而比萨斜塔却因为这一传说更加大名远扬，吸引着世界各地的游客争相而至，爬上塔顶，做模仿伽利略的试验。

比萨斜塔还能屹立多久？它会有倒塌下来的一天吗？会在哪一天呢？

圣华西大教堂

在原苏联莫斯科红场，克里姆林宫一侧，耸立着一座已有 400 多年历史的大教堂，这座教堂就是著名的华西里·博拉任内大教堂，又称圣华西大教堂。

这座教堂共两层，在一个舒展的平台上，高高矗立着 9 个形状奇异的尖塔，这些尖塔砌有各种纹样的图案，漆着明快艳丽的色彩，动荡旋转，看上去有如欢歌跃舞的俄罗斯少女，又好像一束束升腾的节日火焰，把神的威严和世俗的欢乐气氛紧密结合在一起，成为一座世界上独一无二的美丽的大教堂。

“圣华西”最杰出的成就就是它上面的9个塔，这9个塔由8个葱头形的拱顶围绕着中间一个最大的多边形尖塔组成，8个葱头形塔中，4个大的位于东南西北4个方位，另4个处于对角线方位，这些拱顶的造型虽然大体相近，实际上各不相同，每个拱顶都有自己的特色，无论是北边的大蒜形塔，东端的火焰形，南端的菠萝形，西边的葱头形，还是4个小塔，都各具妙处，美不胜收。也许正因为这些不同之处，才使我们不能将它们的美丽分出高下，而最后不得不得出一个结论，它们都太美丽了。与8个拱顶不同，中部的尖塔除了最顶端，其余完全出自俄罗斯民间形式，揭示了远古俄罗斯游牧的帐篷民族的面貌，使这座教堂成为一座真正的民族解放的纪念碑。

为什么这座教堂以如此丰富多彩不同一般的面貌出现在我们面前，我们已无从考证，但是，我们相信，只有具有聪明智慧、具有极大的激情和非凡技能的人，才能完成这种奇迹般的工作。在17世纪的一项记载中，首次发现了曾经提到过的两位建筑师——巴尔马和波斯尼克。

在19世纪，这座教堂的附属建筑几乎将它完全“掩埋”了，一直到1817年时才清除了所有“障碍物”，使这一美丽奇特的大教堂重见天日，使多年沉睡的“火炬”再次燃烧了起来。

儿童心目中的天堂——迪斯尼乐园

在世界各国的儿童心目中，美国动画片大明星米老鼠，也许比起世界上任何一位总统或影视红星，都要倍受青睐。

米老鼠这一形象，是由美国著名的动画片制作家沃尔特·迪斯尼，在1928年的《威利汽船》一剧中创造的。1955年，他又建起了名噪全球的迪斯尼大游乐园。那是个宛如仙境的地方。

迪斯尼乐园位于美国加利福尼亚州的洛杉矶郊区，占地30公顷。游乐园内，有芦苇夹岸的河流和藤萝交织的热带原始森林，有原始的小木筏和18世纪流行的画舫，有美国西部开垦时期的小镇，有溪流、雪山、瀑布等园林山水，有最著名的灰姑娘城堡。在这之间，则是吊车、马车、火车、双层公共汽车、飞机、火箭等游乐交通工具。

如果你走进迪斯尼先生借以发迹的卡通馆，那些熟悉的卡通片角色：米老鼠、白雪公主、小象顿波或者唐老鸭，就会跑过来热情地招待你。

或者，你还可以乘坐潜水艇游览海底，观赏海底沉船后散失的成箱珠宝和由于地震陷落的海底古城；或骑着飞象，随爱丽丝一起漫游仙境；或乘太空船遨游太空，一览银河。

在园中，还有模仿北京天坛兴建的中国馆，馆中的立体电影厅——“祈年殿”中，放映着中美合拍的圆周电影《中国奇观》。

在令人眼花缭乱的游乐园中，还有单纯追求刺激的“闹鬼之屋”。屋中鬼影憧憧，鬼哭狼嚎，令人毛骨悚然。

游乐园开始创建时，只有18个游乐点，1980年已发展到57个，各种设施一应俱全，俨然是一座卫星城。它被人们誉为“童话的王国”，“儿童心目中的天堂”。

提醒人们预防地震的建筑

栗板是一位喜欢标新立异的日本建筑师，1984 年，一位女主顾请他设计建造一幢形状奇特的住宅，于是他设计并建造了一幢价值 15 万美元，倾斜 45° 的三层小楼。小楼看来岌岌可危，仿佛一半已经陷进地下。其实，大家完全不必为它担心，因为它只是外形故意做出倾斜欲倒的样子，而房子内部仍然保持通常建筑的水平：竖直与平衡。这座楼房坐落在日本静冈城郊，附近居民和过往行人见此“危楼”无不为之震惊和担心，同时联想到地震的可怕和危险，以及预防的重要。日本是一个多地震的国家，据预测，静冈为下次日本地震的中心，但大震至今仍未爆发，人们思想渐渐麻痹大意，这座造型奇特的建筑的存在，则时时提醒人们，警觉随时可能发生的地震危险。

神秘的爱因斯坦天文台

我们都知道，爱因斯坦博士是一位伟大的科学家，他所创立的相对论使科学发展进入了一个崭新的天地。为了纪念爱因斯坦博士所做出的伟大贡献，并进一步发展对相对论的研究，1917 年，德国政府决定在柏林郊区波茨坦建立一座以爱因斯坦命名的天文台。

4 年之后，一座奇怪的建筑物矗立了起来。它有着弯弯曲曲的墙面，浑圆的线条，深深的黑洞一般的窗户，处处透出一种神秘感，似乎代表着宇宙中的什么神秘事物，又好像是一个带着圆盔的怪人注视着远方，在述说着爱因斯坦博士的有关天体物理学的一个梦……。什么梦？田野？大地？天际？亦或宇宙、星空？

建筑物上部的圆顶是一个天文观测室，下面则是若干个天体物理实验室，整幢建筑物的最初设计都是采用钢筋水泥建造，这样可以发挥水泥的可塑性用来完成一个巨型的纪念性雕塑，但后来由于材料供应发生了问题，只好改用砖砌，快到顶时，用水泥建造圆顶，并最终用水泥将整个建筑的外立面装饰一遍，给人一种浑然一体、都是用混凝土建造的假象。尽管如此，建筑物依然达到了它在设计时所具有的神秘感，并对后人运用混凝土造出各种曲线形造型起了深远的影响。

这幢著名建筑的设计师是一个德国犹太人门德尔松，当建筑物完成之后，他邀请爱因斯坦博士去天文台看一看，当然，他忐忑不安地想听到这位大科学家的看法。爱因斯坦慢慢地环绕建筑物走了一圈，又非常仔细地看了建筑的内部，但结果一个字也没说。一个小时之后，在大家一起参加的一个会议上，爱因斯坦博士突然站了起来，穿过房间走到设计师身边，俯身在他耳边小声低语道：“妙极了！”

的确，几乎没有更好的文字能够用来表述这幢建筑物了，这幢建筑物正如一幢有机的整体，它的每一个部分都同整体密不可分。看来，爱因斯坦博士非常满意，设计师一颗悬着的心终于放了下来。

戈壁滩上的甘露塔

濒临波斯湾西北端的科威特，是一个缺乏河流湖泊的沙漠之国。科威特的首都为科威特市，这里的年降雨量仅 1~37 毫米，真可谓“滴水贵如油”了。自古以来，这里人的饮用水，都是用帆船从 120 公里外的阿拉伯运河运来，然后用毛驴驮着羊皮袋挨家挨户地送水。自从 1936 年在科威特发现石油

以来，这里的人们一夜之间变成了富翁，人们在科威特市建立了世界上最大的海水淡化厂。居民用水和工业用水已完全自给了。为了给市内的高层建筑供水，全市建起了 30 多座耸入云端的水塔，它们几个一组，组成了一幅幅美丽的特异的景象。

最著名的一组水塔耸立在市区的东南海滨，独具匠心的设计师把它设计成既可贮水又可供游览的一座高 187 米、中部有大小两个球体的塔。大球离地 80 米，它的下半部是水库，上半球则是可容 400 人的餐厅和室内花园。步入这个花木丛生，轩敞明亮的空中花园，远眺苍穹，有恍然入仙境之感。小球离地 120 米，有可容 100 游人的旋转式赏平台，半小时旋转一周，游人可欣赏波斯湾风光，俯瞰科威特市容。第二座塔高 147 米，有一个球体，只用于贮水。这两座塔的三个球体的外壳，都用穆斯林喜欢的淡蓝和淡绿色的赛璐块镶嵌。两塔旁边还有一座用于照明的锥状塔，塔上有 96 盏聚光灯。入夜，灯光把各塔照得五彩缤纷。

在市区海滨还有一组很有趣味的水塔，它们像生长在沙漠中的蘑菇，白色与绿色的带子同时又使人联想起绿洲里高高的棕榈树。

科威特水塔美丽、静穆、庄严，它们是科威特人征服自然的象征，是对珍贵的活命之水的礼赞。

悉尼海港大桥

位于澳大利亚新南威尔士州的悉尼市，横跨杰克逊港湾两岸的公路铁路两用桥——悉尼海港大桥，是南半球最大的拱桥，也是世界上铁路钢拱桥中主跨最大的桥梁。它于 1923 年动工兴建，于 1932 年 3 月 19 日竣工通车。

悉尼，是澳大利亚最大的城市和港口，南威尔士州的首府，坐落在杰克逊港两岸。它是著名的羊毛出口港，有南半球的“纽约”之称。港阔水深，杰克逊港是世界少有的天然良港，从这里可以通达世界各地。悉尼海港大桥就跨越了这个大港口，它是一座中承式敞眉单孔双铰链钢梁拱桥，大桥全长 1149.1 米，其主跨长度为 502.9 米，拱矢高为 106.75 米。桥面高出海平面 134 米。大桥下可以允许万吨轮船出入。全桥宽 48.6 米。除了中间的拱桥部分外，大桥的两端还各修建了 5 孔钢梁引桥。这座桥共用了 52000 吨钢。此桥外形很像一个衣架，高悬在港口上，所以人们把它称为“大衣架”。

几乎与它同时，1931 年美国的纽约也建了一座钢拱桥，跨度为 503.6 米，比悉尼大桥长 70 厘米，但拱矢高小一些，为 81.1 米，它的形状同悉尼港桥非常相近，都是中承拱。它们都是模仿了本世纪初（1916 年）林登塔尔设计的狱门钢拱桥，只是跨度更大。1976 年美国又建成了更大的上承式钢拱桥、跨径达 518.3 米的西弗吉尼亚州的新河谷钢拱桥。但这两座都为公路桥，而在公路铁路两用的钢拱桥中，悉尼仍为第一。

悉尼拱桥的设计者是澳大利亚昆士兰州的工程师布雷施菲尔德和弗里曼等人。他们把这座桥的桥拱设计成弧形钢梁桁架和许多根钢铁吊索组成。施工时，钢拱用悬臂法拼装，拱架端部拉撑之一是用 129 根直径 70 毫米的，长约 366 米的钢缆临时锚于天然基岩上。钢拱支承于桥墩的硅钢支座上，每个硅钢支座承受的推力达 19700 吨。

对于这座世界上最宽的大桥来说，悉尼海港大桥的公路铁路几乎在同一平面。刚建成的时候，铺设了 4 条架高了的都市间铁路线，6 车道公路和两

条分列两旁的人行道。1959 年改造桥时，由于汽车通过量的日益增加，为满足需要，将 4 条铁路线中的两条改造为公路。在大桥的两端拱桥与引桥的分界外，还有 4 座高高的桥头堡。

海港大桥的建成，为杰克逊港增加了一大美丽的景点。白天，大桥在金色的阳光和碧蓝的海洋的映衬下，显得更加耀眼夺目；夜间，整个海港灯火通明，一艘艘巨大的海轮通过大桥，鸣笛放歌，让人更加激动不已。

在大桥的下面的罗克斯岬是 18 世纪英国流放囚犯等早期移民的登陆点。这里有古老的教堂和典雅的平台屋顶式建筑。在大桥的旁边还有泰隆加动物园，园里有 29 公顷自然森林，供珍禽异兽自由活动，这里面有澳大利亚特有的树熊、鸭嘴兽、袋鼠等。

在悉尼海港大桥的对面，背靠着植物馆的贝尼郎岬角上，屹立着世界著名的风帆形的悉尼歌剧院。这座 1973 年建成的建筑，已成为悉尼的标志。它是一件富有诗意的艺术品，它既像枚矗立在海滩上的洁白的大贝壳，又像一组扬帆出海迎风前进的船队。它与悉尼海港大桥、杰克逊港口周围的景色已溶为一体了。

“玻璃盒子”

“玻璃盒子”是指现代建筑中外墙全部用玻璃来替代的建筑，玻璃外墙在建筑上通常称做“玻璃幕墙”，它像舞台上的天幕一样，很轻又薄，上下整面都是。

玻璃幕墙外观上的特点是像镜子一样能把四周环境中的一切，一览无余地映射出来，高楼广厦、道路车辆、绿树红花、蓝天白云，反映到人视线中，像电视一样，十分诱人，成了再简单不过的玻璃盒子，却具有极为丰富的视觉观感，是它最成功的地方。这像我国古代园林设计中的高乘手法——“借景”，是最初设计幕墙的建筑师密斯悉心要达到的意境——“少即是多”。

1910 年，在一座工厂的局部墙面上第一次运用了较大面积的玻璃幕墙；1914 年德国科隆建筑展览会的一座工业馆楼梯间全部玻璃幕墙，1926 年包豪斯的校舍上采用大面积幕墙。这几座建筑都因此获得好评，被誉称为国际新建筑风的曙光，那时所采用的玻璃只是普通平板玻璃，还没有现代反射玻璃的特异性质，以致于在 1945 年有一位女医生在她的一幢“玻璃别墅”完成设计建造后，引起她对建筑师的责难，并提出控告。确实，用普通玻璃建造的幕墙，使生活在里面的人，因夏天炙热的阳光射入，使人酷热难当；冬天又由于墙身太薄，寒冷难受。普通砖墙导热系数低，又有相当厚度，在夏天能隔热、冬季能保暖，而比它薄几十倍的玻璃片，即使导热性能一样，这方面也比砖墙差许多倍，因为它和材料厚度成比例。

1952 年美国纽约建造的利华大厦是第一座玻璃幕墙高层建筑。这是一座 24 层的建筑，上部 22 层为板式建筑，下部 2 层呈正方形的基座形式，全部用浅蓝色玻璃幕墙，并获得 1980 年美国“25 年奖”。

带颜色的玻璃称做“染色玻璃”，是在玻璃原料中掺入一定比例的各种矿物质，使玻璃呈一定颜色，如蓝绿色、古铜色、灰粉红色等，还能够遮挡一部分太阳辐射的热，可以在夏季减免阳光的辐射热和眩光，但是它的导热系数和普通玻璃是相同的。它还不是反射玻璃。

1985 年纽约建造的西格拉姆大厦，着意追求反射效果而采用了灰粉红的

幕墙玻璃使立面色彩十分辉煌，被誉为纽约最讲究的大楼，造价、租费也昂贵。1962年，贝尔电话实验室才第一次采用“镜面玻璃”建造幕墙。这座建筑建造在湖岸上，是一座很长的建筑物，像宽银幕电影一样，映射出整个湖面的湖光水色，十分动人。镜面玻璃是真正的反射玻璃。

特异的效果产生了。在白天，从外面看只看到玻璃上反映的周围景色，看不到房间内部的情景，但是里面的人可以看到外面的一切。到了晚上，结果就完全倒过来。从里面看不到外面的情景，只看见墙面反射出室内陈设的情景，像镜子一样，这使人在晚上有安全感，但是在墙外的人可看清里面的一切，对于须要招引顾客的部门，如商店服务行业、文化娱乐场所是最好不过的。如果要保密的话，可以加上一道百叶窗。

更有利的是它能反射热量，从物理学里知道，热量是从热量高的地方向热量低的地方扩散，因此，夏季墙外的高温会通过外窗，向有冷气的、温度较低的室内扩散；冬季相反，从有暖气的室内向寒冷的室外散热，这就增加了冷气和暖气的需要量。使用反射玻璃把整个建筑物外墙覆盖起来后，热量扩散的途径受到很大的阻碍，夏季的高温只有少量能进到室内去；冬季，室内的热量也不容易跑出来。一般称这种墙面有良好的“热功能”，夏季可减少85%~92%的热量，冬季可减少55%~70%的热损失。如果用双层玻璃的话，效果就更好了。这种玻璃墙面，还能美化高楼大厦的外表，看上去像水晶宫一样，闪亮闪亮的，增加了趣味。

引人入胜的内院大厅

美国亚特兰大市的海亚特旅馆，是座平面为三角形的建筑物，三角形两边是两座竖直的建筑，中间形成一个巨大的三角形空间，类似一座三角形的帐篷。旅馆高19层，三角形空间从第三层开始到顶，占有16层的高度，称做“内院大厅”。设计海亚特旅馆的建筑师，在这内院大厅里，增添了许多有特色的内容，在大厅内部种植花草、树木，布置水池、喷泉，把自然园林景色引进室内；同时，在这大厅的下面几层内，布置各种内容丰富的商店、游乐场所、餐厅、小吃部、咖啡馆等等，既方便旅客，又吸引游人。再把自动扶梯、电梯、楼梯及挑廊连接成交通方便的一个整体，人们称它为“垂直广场”。除此之外，又在顶上挂了许多色彩缤纷的挂饰、照明灯具，顶上又有玻璃顶棚，天然光可以照到大厅内，使大厅又有和室外联系的感觉，光线柔和变化，产生异常丰富的光影效果。游客在大厅内休息、小吃、会谈、聚客，都有极好的气氛。

在内院大厅中还布置了一种很别致的“玻璃电梯”。一般的电梯是用钢板做成客厢，在钢筋混凝土的电梯井内行驶，电梯内的乘客是看不到外面景物的。玻璃电梯的客厢是用透明的玻璃做成的，样子像一只灯笼，它不在电梯井内行驶，而是在不封闭的电梯槽架内行驶，乘客可以清楚地看到外面的景物。当电梯在大厅上升时，里面乘客可以看到整个大厅内的色彩绚丽的灯火和挂饰，五光十色的商店橱窗、水池花草等等。当电梯从大厅内穿出屋面时，景色又豁然开朗，全市景色尽收眼底。乘坐这种电梯给人以新奇有趣的享受，这种玻璃观光电梯在大厅中有时分开在几个地方，有时又在一个地方布置两三架。

屋顶上还建造了一个“旋转餐厅”，这种餐厅装置在可以转动的轴上，

整个餐厅能缓慢地水平转动，旅客一边进餐，一边能欣赏慢慢地变换着的城市景色，当一餐饭结束时，不用移动座位，就能看到全城风景。

海亚特旅馆的这三项新颖内容，吸引了大量的旅游者，获得了巨大成功。内院大厅、玻璃观光电梯、旋转餐厅被称做现代旅游建筑中的“三大法宝”。

此后，其他旅游大楼也相继仿效，还发展了许多新的内容，有的在院内大厅周围上上下下布置了许多商店、餐厅、舞池，有的在空中布置了“船形小岛”，里面摆有餐桌，使人有悬在空中和漂在水面的感觉。大厅中到处摆着咖啡座、餐桌。

有的内院大厅不但有水池，还有喷水泉和瀑布，流水不但增加了生气和活力，还有潺潺流水声，增加了欢快的气氛，更增加了大厅的深度，像美国“桃树广场饭店”中的“反射池”，大厅的倒影反映出来，使本来已经十分高大的大厅，无形中高度又增加了一倍。

内院大厅的这些新奇内容，吸引着大量的旅客，有的旅客来过一次还要再来，有的旅客开业不久就预订完第二年的客房。它的成功，已经使内院大厅不仅仅用在旅游大厦中，其他像办公楼、图书馆、医院等建筑，也先后引用起这丰富多彩的内院大厅。因为在大城市的喧闹嘈杂、空气污浊的外界环境中，内院大厅无异是一个幽静舒适、景致动人的“小自然”环境，而且不受外面风雨影响。

除了旅游建筑，其他功能的建筑也相继仿效，也不只是用于高层建筑，任何建筑都可适用，购物中心、办公大厦、商业金融机构、行政中心、文化中心、娱乐中心，甚至像学校、图书馆、博物馆、高级公寓都增加内院大厅的布置，获得良好效果。

内院大厅大多位置在建筑物中心地位，既是综合服务中心，又是人们交往的中心，也是一座建筑的交通中心。这个大空间，大多是顶天立地，从地面到屋顶，周围是各种设施的房间，可休息、可娱乐、可购物，总之，几乎什么都可以享受到，因此人们称之为“共享空间”，在精神上更是有一种丰富的自由感，一个人从某个地方向外看时，能意识到其他活动正在进行，就会在精神上有一种自由感。

内院大厅又是一个大小多种空间组合在一起的“复合空间”，变化、运动着的空间感受，也使人感到乐趣。多数的内院大厅还都有一个花饰般的顶部天窗，有的也用玻璃幕墙把外界自然优美的景色引入室内，内外交融，变化无穷。

在阿拉伯地区，气候酷热干燥，新建筑中布置了内院大厅，可以遮蔽阳光，里面温度适宜，还有绿地、水池、瀑布，还能调节温度，真像是沙漠中的绿洲。医院中用“内院大厅”，更有利于病人的疗养休息。根据最近的研究，内院大厅还有利于节约能源，布置合理的内院大厅，可以减少冷气、暖气的消耗量，节约空气调节费，在能源紧张的情况下，内院大厅将会得到更大的发展。

智能化建筑

美国哈特福特市，在 1984 年首次出现了一座智能化建筑，它是以完善的计算机网控制并提供各方面的服务；对建筑本身提供设备自动化系统，如对供水、电、空气调节等实施监测、控制，对办公室用户提供完善的办公自动

化设施及软件，可以用符合通用国际标准或规程的通用型计算机和国际公共数据库联网，提供建筑物内外的通信联系等多功能服务。

智能化建筑能使各项客户业务活动得以展开，对建筑物实行高效管理，节约人员，降低成本，满足现代信息社会的技术要求。

美国第一次建成智能化建筑的第二年，日本在东京建成日本第一座智能化建筑，随后欧洲各国也相继建造。我国在 1991 年，在广州建造成我国第一座智能化建筑——“广州国际大厦”，它是目前我国最高的建筑物之一，63 层 197.14 米。智能建筑并不一定是新建的建筑，已有的建筑同样可以装备，改装成智能化建筑。

智能化建筑目前发展十分迅速，根据预测，到 1995 年，美国将完成上万座智能化建筑，而日本在新的建筑中，智能化建筑会占 60%。

智能化建筑的范围也将十分广泛，不只局限在商业贸易金融信息等建筑，还用在宾馆饭店、商场、住宅公寓等建筑上。例如日本的智能化住宅，计算机系统可以提据室外天气情况包括温度、湿度、风速等，来自动调节空调设备和窗扇的开合程度，保证所要求的室内温度及湿度。在法国，还设计了用电脑控制的自动跟踪太阳的建筑，使主要居住房间始终能有充分的阳光。还可利用电脑自动调控建筑的能源消耗，使之成为节能建筑。

智能化建筑会有无限广阔的前景。

空中楼阁

“空中楼阁”这几个字的意思原来是用来描写一些不可能实现的事情，或者形容一些幻想中虚构的房屋建筑，但如果用来描绘未来世界中的建筑物，看来是十分适当的。

地球表面的土地是有限的，许多可利用的土地，几千年来已被人类用得差不多了，将来增加的这许多人，还得要住在现在这有限的土地上。除了造房子居住以外，还要建设更多的工厂来生产更多的东西给人使用，大部分的土地还要用来种各种植物、粮食和饲养家畜，交通道路也是不可少的，公园绿化也非常需要，这样一来，真是没有更多的地方可用了。

但是，有一个地方还是很空很空的，现在还没有多少人在居住，也没有什么其他东西，这个地方就是天空。它空空旷旷，广大无边，确实还大有可为。事实上，它已经被用了一小部分，摩天楼就是用了一点天空。在大城市里，有些道路在另外一些马路的上面跨过，有时候甚至有三四层，一些小车、公共汽车和火车在各自的高度上互相不会干扰地走来走去，这叫做“立体道路”。在交叉口地方的立体道路称做“立交桥”，是解决地面不足的一种办法。未来建筑中有些设想也和“立交桥”相似，道路可以跨过道路，房屋也同样可跨过房屋，这是一种“天桥式城市”的设计，只要在地面上建造起一列一列高高的柱子，像造大桥那样在柱子上建造多层的楼房，联成一条长长的建筑物，也能扩大成一大片，可以很方便地越过任何地面建筑物，跨过现有房屋、工厂，越过田野、桥梁、河流，伸向远处。有的建筑师还提到利用这类方法，可以横越过海峡，跨过地中海，让欧洲的城市和非洲的城市联成一体。这种“空间网格”结构，建造起来并没有难以解决的技术问题，立体道路可以做到，立体房屋同样可以实现，除了柱子之外，并没有占用多少土地。

利用天空的设想很多，除上面的“天桥式城市”外，人们还设想建造一组倾斜式建筑，它是不稳定的，利用其倾斜的力来“拉紧”一组钢索网，就像两个人斜着身子拉紧一根绳子一样。被拉紧的钢索网上能够布置另外的房间、大厅，也可在上面布置人行道、绿地，两座倾斜的建筑之间形成的大空间，可布置商店、餐厅、公园，以及需要遮蔽的运动场地等。

如果在一张“拉得很紧”的网上挂着一些建筑，又成另一种挂式房屋，设想者称为“悬浮建筑”，是因为悬挂建筑的钢索紧拉在无数高塔顶上，结成大网，在网上悬挂起建筑物，如住宅、商店等等，钢索网在相当高的空中，从远处看去，只看见建筑物高悬在空中，像悬浮在空气中一样，因此称“悬浮建筑”。在将来，更高强度的钢索会不断研制出来，更大些的建筑物也是可能挂起来的。

利用空间建造超高层的高楼大厦，还会继续发展下去，建筑师曾预言，将来一二千米高的建筑物会普遍地修建，设想中，甚至许多高楼组合叠起来，成为超高层建筑，这种又高又大的多层叠合的建筑物，叫做“垂直城市”。“空中楼阁”的设想真是非常之多。

除了空间，还有地下和海洋，都是可以发展的地方。但是，无论是地下还是海洋，都要花费比在地面上建造房子许许多多倍的代价和时间。

建筑的变迁

远古人类的房屋

从什么时候开始，人类学会了造房子，学会为自己营建一个遮风避雨的窝居呢？那是很久很久以前的事了，距现在大概有 7000 年的历史。

人类的祖先一开始并没有真正盖房子，他们像鸟儿一样，在树上搭巢，或者像聪明的动物一样，住在天然的洞穴里。我国境内最早的人类居处是北京猿人所住的洞穴。至于巢居，没有留下什么遗迹，但在史书上有所记载，如《韩非子·五蠹》：“上古之世，人民少而禽兽众，人民不胜禽兽虫蛇，有圣人作，构木为巢，以避群害。”

随着人类的进化和劳动工具的发展，人类的祖先开始在地球的各个角落以各种各样的方式建造房屋。在中华民族的发源地黄河流域，有广阔而丰厚的土层，土质均匀硬实，适于挖掘洞穴，人们或者往地下挖竖穴，或者在坡地上向内挖洞。这样的居住方式至今遍布全球，如我国的陕西、河南等地就有大量的“窑洞”式住宅，不同的只是现有窑洞要比古老的洞穴豪华多了。

在石头资源丰富的国家，人们用石块砌筑房子，称“石屋”。人们也用树枝和茅草搭简易的窝棚，像我们在农村的田野上经常能够看到的那样。游牧部族的人为了迁徙的需要，创造了可以迅速灵活装卸的帐篷。而在地球最冷的地方——北极，那儿的居民爱斯基摩人一直采用一种原始的方式建造奇特的“冰屋”。当冬季来临，人们切下巨大的雪块，砌成圆圈，然后逐层向内砌筑，最终将雪块合拢在一起，然后用雪片将所有的缝隙填实，再在内部挂满兽皮。当外面的世界一片白雪冰封时，爱斯基摩人在屋子里燃起油灯，竟可以达到 20 度的室温，享受一个温暖的家。

除了建造居住性的建筑之外，人类的祖先出于巫术或崇拜的目的，也建造一些纪念性的建筑物。他们或者用木头做的，或者用泥土塑成，但都消

失了，只有用石头造的存下来一些。最著名的如法国的布列塔尼石阵，英国索尔兹伯里的石圈，以及德国的汉诺威石台。这些古老而神秘的巨石，默默无语地站立于旷野之中，没有文字可以追寻，只留下石头的史书，永远的迷惑。

内外一新的现代建筑

现代建筑如果和古典建筑并排放在一起，明显地可以看到，现代建筑在外观造型、立面装饰上，要比古典建筑简洁得多，而且建造的年代愈近，愈是简单，因而人们不无讽刺地称呼它们为“方盒子”、“骨牌”、“玻璃盒子”等等。这不仅符合现代人生活的快速节奏的心态，更重要的是建造房屋也像现代商品一样，需要工业化、工厂化。不难想象，要把一小块一小块的砖砌到几百米的高度，先不考虑这是不是可能，就是在时间上也是一种“慢动作”，这是不符合现代化生产速度的。更不用说古典建筑上那些精雕细刻的柱式、门楣、窗饰等等，不知要耗费掉多少时间。例如意大利文艺复兴时期修建的圣彼得大教堂，位置在罗马西北郊梵蒂冈城的圣彼得广场上，它的宏伟的穹顶建筑和内外金碧辉煌的装饰雕刻，被誉为是文艺复兴时期最伟大的纪念碑，当时一些著名的艺术巨匠和建筑师，如米盖朗琪罗、拉斐尔、勃拉孟特等，先后参加过教堂的设计和雕刻工作。这是一座拉丁十字形教堂，长 212 米，最宽处 140 米，穹顶上采光塔尖的十字架顶离地 138 米高。内部顶点高 123.4 米，穹顶直径 41.9 米。这巨大的内部空间，加上精美绝伦的装饰，确是动人心魄。大教堂始建于公元 1506 年，完成于 1626 年，历经 120 年之久，效果确实是十分辉煌。如果一些现代建筑也像它一样的造法，按照建筑体量作为比例，纽约的世界贸易中心建造起来大约需要二三百年时间了，这种速度下我们能造多少建筑来满足需要呢？这还不说一个企业家投资以后要过几代人才能收回资金。

为了要速度快，必须施工方便，一般把房子的各个组成部分如梁、楼板，设计成一定规格，而且尺寸的变化愈少愈方便，就容易在工厂中预先做好，运到工地上按照一定的程序安装一下就可以了，这就称做工业化、工厂化。那些装饰、墙面、门窗也一样要规格化，而且愈简化愈能提高速度。

另外，施工的场地，空间限制也是因素。例如上面提到的圣彼得大教堂，在广场上有一座纪念碑，是方尖碑形式，为把这块高 23 米、重 327 吨的石柱竖立到 11 米的基座上，曾动用了 40 个绞盘、140 匹马、800 个人同时施工才完成。这样的施工场地，在现代城市中是很难找到的，现在施工的话，只能把它分解成适当大小以后，才极可能用简易、少量的施工工具把它们组装起来。有时候连堆放预制构件的场地也没有，须把工厂运来的构件、配件马上安装上去。这在市中心区修建大体量的高层建筑是常常遇到的情况。因之，现代建筑愈来愈造得像“方盒子”“玻璃盒子”是很容易理解了。

