

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (74)

跨江越河话桥梁

 **BOOK**
网络资源 中国风

飞悬的古桥

大渡桥

伟大领袖和导师毛主席的光辉诗篇《长征》中有“大渡桥横铁索寒”一句，极其生动地烘托出泸定铁索桥自然环境的险恶和红军战士藐视困难、夺桥飞渡时激烈悲壮的战斗场面。

泸定铁索桥座落在四川省甘孜藏族自治州泸定县城西的大渡河上。桥东是高达3000多米的二郎山，泸定城一半就在山坡上，另一半紧贴大渡河，桥西是海子山。桥头石碑上所刻“泸定桥边万重山，高峰入云千里长”，确是真实写照。高崖夹峙一水，由西面进城，必须过桥。大渡河水流湍急。尤其是在五、六、七、八月的夏秋季节，呈褐红色的流水犹如瀑布从上游山峡间倾泻下来，冲击着河底参差耸立的恶石，溅起丈余高的白色浪花。流水声淹没了这一切，甚至在河边附耳高声叫喊，都难以听见。据最近调查，河水流速高达6米/秒以上（冬天枯水季节亦达每秒1米以上），年洪水位与枯水位相差6米。在那时的大渡河里，徒涉毫无可能，船渡异常危险。

泸定桥净跨100米，净宽2.8米，桥面距枯水位14.5米。采用13根铁链作为承重索，其中底索9根，上面覆盖纵横木板，以通人畜。余下4根铁索，均分在左右两边，作扶手用。铁链悬挂空中，两头系于两岸桥台后，每根链条39.1丈多（127.45米）。东西桥台上均建有桥亭，在桥亭中还有统治阶级收取过桥税的小房。桥始建于清康熙四十四年（公元1705年），第2年4月“告竣”。当时分别在桥东和桥西铸造了铁牛1头及铁蜈蚣1条，表示了人们希望能镇住“水妖”、让桥悠久长存的意愿。

建桥以前，利用沈村、烹坝和子牛（有说咱威、通坝和子牛）3个渡口沟通内地与藏、彝等少数民族地区的联系。由于河中水急礁多，采用“皮船”或通过藤索、竹索“援索悬渡”，渡口与渡口相距均约30华里。该地区为川康通衢，少数民族所需的茶、布、米及蔬菜等不断运往康定（古称打箭炉）一带，而毛皮及大黄等药材，经过此地送到成都。由于泸定一带地处要冲，交通频繁，“舟楫行人援索悬渡，险莫甚焉”。

也许有人会问，铁索那么粗，那么重，是怎样从这边拉到对岸的呢？的确，二百年以前缺乏设备，要把每根重达1.5~2.0吨、粗如碗口的铁索拉过漩涡、礁石密布的大渡河，是件了不起的事情。据《小方壶斋舆地丛钞·云南略考》记载并参照当地年过七旬的老桥工介绍前辈修桥的经验，当时铁索拉过河的大致情形如下：他们先以小船载铁链由东岸运向西岸，由于链重水急，船还没有到达对岸就翻了身，总是不能成功。后来，人们从溜索攀附渡河中受到启示，先用如钓鱼线粗细的绳子，下悬铁锤，把它甩过河（据说，在西藏、新疆等地建造铁索桥时，是把细绳的一头扣紧在箭头上射过河去，这也是一种可能）；再把它换成粗的麻绳；通过粗麻绳把竹蔑箩绳（由青竹篾编结绞扭而成的粗绳）拉过河，并把它拉紧捆固在两头桥亭中的木横梁上。利用蔑箩绳有光滑、拉紧变细等特点，将带有长绳的绳圈或短竹筒套在它上面，再把铁索系在绳圈或短竹筒上，用七、八个人在河对岸拉动长绳，把铁索拉过河。

铁索是索桥的承重部分，如何把它拉紧和锚固牢靠是索桥成败的关键。泸定桥的铁索由扁环扣联而成，每根链子平均890个扁环，13根链子共有

11571个扁环。扁环长17~20厘米，外径9厘米，内径3厘米，几乎每个扁环上都刻有具体制作的工人的代号。铁索一端先在西岸固定，另一端围绕在东岸2个直径约为5.6米的大木辊上。木辊上面挖了很多交叉洞眼，用木棒插入，扳动木棒，使木辊滚动，铁索随之慢慢拉紧。拉紧一段，用插销插在重叠的扁环中，紧到不满一个扁环时，就用一些铁板条作为楔子插入隙缝中，到拉紧为止。这种工作需要七八十个劳动力。铁索拉紧后，把它锚固在桥台后面落井中的困龙上，困龙紧贴在地龙桩上（西桥台有八根地龙桩，东桥台有七根地龙桩）。困龙长4米，直径20厘米。地龙桩直径为14~20厘米不等，埋置在桥台中的深度估计有7米多，埋入部分的四周用灰浆块石胶固好。它们均由生铁制成。地龙桩埋置在离桥台顶面有5米多的地方，以便得到足够的压重。利用桥台自重作为压重，来承受铁索的巨大拉力，是我国古代桥工对索桥的一大贡献。

桥头2根铁桩有铸文说明，重达1800市斤的铁桩是由陕西汉中府金火匠马之常铸造的，还有17根铁桩未发现类似的铸文。铁桩、铁索是就地制造还是由外地运来？尚未查出。不过，由于当地无生铁材料，又地处边远，冶炼技术极差，就是在1934年12月修复该桥时，铁索也是由远离泸定百公里以上的地方运去的，因此，可以推断，当时的铁索与铁桩是由千百里以外的地方送到群山环抱的泸定城的。那时，一无良好的运输车船，二无起码的设备，三是处处有高山峻岭、急流险滩挡道，运送途中的艰苦险危我们是难以想象的。每前进一步，先代桥工都要付出血汗；一不小心，还会失去生命。

桥台由整齐的条石砌成。由于索链拉力大、各索受力大小不等以及地龙桩受多种因素干扰未能放置在一个水平面上等等原因，困龙曾断裂为3段，地龙桩垂直向上移动，如东岸左面第1根桩移了3~5厘米，右面第5根移了1厘米。桥台直接砌筑在岩石上，最近发现在台底与岩石接触处，铺了一层栖木夹块石，这种处理方法在四川的古桥梁中是常见的。大概是由于当时缺乏凿平岩石的设备和能力，为了把压力均匀地传到岩层上而采用的。桥址附近的河道主河床在东边，为了防止台下冲刷，在东桥台周围作了围堰。很可能在砌筑桥台时就作了围堰，桥台建成后，留下来防止冲刷。由于桥台修筑牢固，承受住了巨大的拉力（东桥台侧亦出现了一些近45°的斜向裂缝），加上铁索锚拉设备良好，因此，索桥使用了近300年，损坏较少，目前还担负着千百人次的日夜交通任务。

铁索缺乏刚性，上铺木板，人行其上，摇晃很大。过桥者，不少人感到目眩头晕，不能自持。为了减少晃动，泸定桥在铁索间用上下2根铁夹板把9根底索锁住，每头各有3处，间距为2~2.8米。上铺横板，用铅丝绑扎在索上，中央放人行道板，两边铺边走板。外边底索用扶手吊钩螺丝与扶栏索联系在一起。

链索上凿有印记，铭刻着建桥工人的血泪史。据一位75岁的老铁匠说，哪一个链扣断了，就凭着印记寻找制造的工人，有理无理先要挨200大板。泸定铁索桥的建成既是先代桥工聪明才智的结晶，同时也包含着他们无穷的血泪辛酸。

国务院在1961年3月4日颁布泸定桥为全国重点革命文物保护单位。

珠浦桥

凡是到过世界闻名的四川灌县都江堰的人，往往会被横跨岷江内外两江的珠浦桥所吸引。它是竹索桥的杰出代表，在二王庙西，杨泗将军庙前。

珠浦桥一带历来是岷江两岸的交通要道，江上早有“笮桥”，把两岸人民联系起来。桥始建于何时已查不到出处，据说在宋以前名“珠浦桥”。宋淳化时重修，不久改名“平事桥”。明末毁于战争，改为船渡。清“嘉庆八年（1803年）……仿旧置建立，名安澜桥”。桥分为八孔，全长340米，宽3米多，高近13米，最大一孔跨径达61米。全桥用细竹蔑编成粗5寸的竹索24根，其中10根作底索，上面横铺木板当桥面，压板索2根，还有12根分列桥的两旁，作为扶栏。绞索设备安放在桥两头石室内的木笼中，用木绞车绞紧桥的底索，用大木柱绞紧扶栏索。由于竹索太长，从两头绞紧非常困难，所以在桥梁中间的石墩上增添一套绞索设备，也置于石室木笼中。在木笼上面，修建桥亭。亭分2层，上层用木梁密排，装砌大石，以作压重；下层中空，以便行人。布置巧妙，煞费匠心。该桥为八跨连跨，稳定性较好，行走其上，摇晃不大。

珠浦桥桥墩一般用圆木筑成木排斜架，每墩用大木桩5根打入河底，中用横木1根连接，并堆砌石块围绕桩架，以防冲刷。墩中间1座石墩正位于内外江口分水嘴沙滩上，系用花岗石砌成，周围打设木桩，并于上游建筑石堤数丈。巩固墩基。

宋朝范成大曾数次经过此桥，赋下了这样一首诗：

织篔匀铺面，排绳疆架空；
染人高晒帛，猎户远张置。
薄薄难承雨，翻翻不受风；
何时将蜀害，东下看垂虹。

他还在《吴船录》中对珠浦桥作了详细记载：“绳桥，长120丈，分为5架桥，桥之广12绳，排连之，上布竹笆，攒立大木数十，于江中犇石固其根，每数十本作一架。挂桥于半空，大风过之，掀举幡幡然，略如渔人晒网，染家晾丝帛之状。”可见与清代所重修的桥梁型式不尽相同。

由于珠浦桥地处要冲，又与都江堰组成一体，使它名扬四方，关于它的桥碑、石刻众多。有一曲为它而写的《索桥歌》读来脍炙人口，这在古桥梁中甚为少见，特抄录如下：

江源之水始滥觞，济川似可一苇航，
细流不择渐湍急，惊涛汹涌何汪洋。
岷江在山数日，出峡乃觉回澜狂，
我立江南望江北，浩荡无涯天堑长。
临流太息难飞渡，谁跨虹腰驾鼉梁，
伟哉宋代梁评事，绳桥重建通永康。
千年竞斩西山竹，直与珠浦争辉光，
绳桥夭矫九九丈，宛若灵虬参翱翔。
怒涛奔进伏龙吼，晓雾明天犀牛望，
参差桥板鱼鳞缀，修短桥绳龙鬣张。
上下行人若鳧鹖，波光倒影蚊龙藏。
不时白沙有人渡，岂仅十月成徒杠。
今人追仿古人迹，天工补以人工良。
地险从此矜利济，东流逝水犹汤汤。

珠浦桥，又称夫妻桥，这与当地广为流传的民间故事有关。据说明朝末年，当地官府为了防阻张献忠，拆毁了珠浦桥，以后长期得不到修复，凭舟渡江，“屡有覆溺之患”，幸运安渡者，又受到勒索。到了清嘉庆年间，有个私塾教师何先德，关心民众疾苦，决心修复竹索桥。他详细观察桥头两边地势，测量江岸间的距离，制成桥的模型，确定建桥方案，一面上报官府，一面筹捐建桥款项，亲自参预修桥。官绅们以监造为名，暗中营私中饱，以朽木充当好料，以致在索桥即将完工时断毁于风雨之夜。官绅们怕何先德揭发他们在建桥中的弊端，以莫须有的罪名将他杀害灭口。何死后无子，其妻何娘子继夫遗志，出面负责施工。何娘子日夜苦思，按照丈夫的桥式，加设栏杆，并做了模型进行试验，终于将桥建成。从此“长亭安澜，无虞覆溺，利于薄哉”。人们为了纪念何先德夫妇，改桥名为夫妻桥。这一传说在《安澜桥碑》（马光型书）有反映，在民国《何先德传碑记》中作了详细的阐述。它还被编成川剧，搬上舞台。

国外不少桥梁专家认为索桥首创于我国。前苏联 C·A·查普林在他的《吊桥简史》中称“中国称大约在三千年以前已开始建造吊桥”，此时都以竹、藤等为建桥材料。《汉书·西域传》已有“以绳索相引而度”、“悬绳而渡笮”的记载。宋代的巨著《太平寰宇记》中说，自汉书以下至州郡图籍中的所谓“笮”者，“即此土夷人于天水之上置藤为桥”。西汉初期，西南还有个笮国。可见藏、彝等西南少数民族对首创索桥是作出了重要贡献的。至今，在西南少数民族地区仍可见到各种型式的索桥，高悬在深山险谷之中。

象珠浦桥一类的索桥，由于桥梁刚度很差，随着河谷中阵阵大风来回摇晃，过桥者不免有胆战心惊之感。唐僧智猛《笮桥赞》中说：“冰崖皓然，百千余仞；飞絙为桥，乘虚而过；窥不见底，仰不见天；寒气惨酷，影战魂栗。”较逼真地描写出一个人借笮桥渡河谷的情景。宋代爱国诗人陆游曾在当时成都府茂州一带活动，他用“度索临千仞，梯山蹑半空”的诗句勾勒出索桥的雄姿，又用 1 首《度笮》七绝“翩翩翻翻笮受风，行人疾走缘虚空；四观目眩浪花上，小跌身裹蛟龙中”，结合包括陆游自己在内的过桥人的亲身感受，生动地描绘出过桥时的惊险画面。

1965 年在修建新都江堰时，按照清代桥梁式样对珠浦桥进行了改建，以直径为 25 毫米的钢丝绳代替竹索，栏杆索锚等部分改用钢筋混凝土柱，用绳夹固定，底锚情况不变。

霁虹桥

霁虹桥在云南省永平县与保山县之间，横跨澜沧江，始建于明成化年间（1465～1487 年），是我国（也是世界）现存最古老的铁索桥，也是最宽、铁索最多的索桥之一。当时明朝副使吴鹏在桥西岸石壁上的题字“西南第一桥”，至今保存完好。该桥总长 113.4 米，桥面木板宽 3.7 米，由 18 根铁索组成，两头分别固定在博南山和罗岷山的峭岩上。桥头有飞阁桥屋，桥西石崖削壁上有众多的历代石刻、题字，诸如“悬崖奇渡”“人力所通”“霁虹桥”“西南第一桥”等等。

历史上有关描述霁虹桥的诗文、碑记甚多。明朝李元阳所作《霁虹桥》诗中有这样的描绘：

武皇蒞酱事苍茫，汉使轮蹄入永昌。

当日无桥惟缚筏，十人欲渡九彷徨。
当代车马四海一，蚤成危构接天潢。
人力所通无不服，华阳黑水称惟梁。
诸侯献玳亦贡象，普天牵土歌来王。

永昌（今保山）自西汉以来一直是我国内地通往西方和东南亚各国的商业重镇和交通枢纽，《史记》“永昌出异物”，就反映了它对外贸易活动的频繁。西汉初年，巴蜀商人曾经由现在的姚安、祥云、下关、大理至永平，再渡过澜沧江至保山从事贸易。这条路线是我国第2条丝绸之路，极可能早于西北的丝绸之路。因此汉武帝时就对永昌地区进行了开发，派遣了大批汉族移民开凿出1条经博南山（在今永平县境内）渡澜沧江通往永昌的道路，渡口名澜津，就在霁虹桥附近。著名的“蜀布”“邛竹杖”就是沿这条路运往印度、缅甸等国的。当时永昌地区就住着从事国际贸易的印度人（身毒之民）和缅甸人（僂）。东汉明帝时，接受当地哀牢王柳貌的请求，正式设立了永昌郡，派“汉使驻永昌”。那时，走这条路十分艰苦，特别是要渡过“远睇一沟悬，临流三峡泻”的澜沧江更为不易。《后汉书·西南夷列传》中记载过1首行者愁怨歌《兰津歌》：“汉德广，开不宾；渡博南，越澜津；波澜沧，为他人。”自东汉一直传诵至今。现博南山下有1块古碑，碑文上记录了《兰津歌》全文。

这一地区土地沃腴，物产丰富，有金、银、铜、铁等重要矿产，有琥珀、翡翠等珍贵玉石，还有孔雀、犀、象等珍禽异兽，因此历代对澜津古渡都十分重视。三国时渡口已有了以蔑绳为缆的吊桥，元元贞元年（1295年）改建木桥，题桥名为霁虹。明初“复以丹渡”，还铸铁柱于石以维舟。成化年间改为铁索桥后，岸北设官庭，以驻使节，派兵30名驻守。崇祯年间，徐霞客曾经过霁虹桥去保山，在他的滇游日记中曾对此桥作了详尽的描绘。

群桥竞妍

最早的楼殿桥

楼殿桥是一种特殊形式的桥梁，主要特点是在桥上建筑楼阁式殿宇，使桥与殿融为一体，故称楼殿桥。我国在先秦时代就有了桥上造屋设殿的桥梁，但桥上建楼却以河北省石家庄地区的桥楼殿为最早。

桥楼殿是河北省井陘县天然游览胜地苍岩山福庆寺主体工程之一。福庆寺建于隋朝，桥楼殿估计始建于隋末唐初，距今约有1300多年。欧洲造桥楼要晚得多，法国到1916年才开始建造桥楼用以经商。

河北桥楼殿由桥和造在桥上的楼殿两部分组成，以桥作为殿的承重结构。千余年来，殿已修整过多次，而桥却从未修理过，这足以说明我国古代造桥技艺之精湛及科学的发达。这座桥的型式与著名的河北赵州桥极为相似，也是单孔敞肩圆弧石拱桥，拱圈用纵向并列砌成，桥长15米，跨径10.7米，宽9米，无横向拉杆。桥宽拱脚处比拱顶处宽0.4米，以增强拱的稳定性。拱肩上对称伏踞着2个小孔，拱石至今尚好。桥横跨于两头对峙的断崖之间，距山涧底部约70米。桥楼殿高2层，面宽5间，进深3间，周围回廊，为9脊，重檐楼阁式建筑。坐西朝东，瓦顶平缓，飞檐翘角，具有清代早期建筑的特点。殿顶覆盖黄绿相间的琉璃瓦，飞脊为琉璃花脊，上面安置狮子

驮塔、仙人骑龙及飞鸟等琉璃饰件，造型生动逼真，上下檐的檐、檩、枋上均有彩绘。殿内有壁画和1佛2菩萨18罗汉的塑像，整个桥殿高耸险峻，构造精巧，金碧辉煌。从桥下仰望，桥楼拱跨，犹如彩虹高挂，似乎与蓝天白云齐飞，故有“千丈虹桥望入微，无光云彩共楼飞”的千古佳句。站在殿前凭栏俯视，沟底树木葱郁，临风远眺，重山叠嶂，更显出桥梁的雄伟和险峻。桥拱上还刻镌有怪兽、骏马和人物浮雕。

桥楼殿如此高耸，是怎样建成的已无法查证。据寺中1位80多岁的老道士说，是用木架顶木架，搭至70米相当于拱圈高度位置时，在木架上满铺树枝，抹上胶泥，然后再砌桥拱圈石的，其工程的巨大和建筑的艰难由此可知一斑。

第一座跨海石桥

我国古代第一座跨海石桥是福建的洛阳桥。

洛阳桥位于惠安县至泉州市交界处的洛阳江上，原名万安桥。洛阳江也叫乐洋江，因唐宣宗曾到此游幸，发出这里“类吾洛阳”的感慨，遂改称洛阳江。洛阳江汇入泉州湾。洛阳桥就建在江水和海湾的汇合处，所以是跨海大桥。

洛阳桥从宋仁宗皇祐五年（1053年）开始修建，到宋嘉祐四年（1059年）建成，整整花了6年时间，桥是由当时的泉州太守蔡襄领导修建的，如今在桥南头，还有1座叫做“蔡公祠”的祠庙，就是纪念蔡襄的。祠中有2块大石碑，上面铭刻蔡襄手写的碑文，记述了建桥经过和桥的有关资料。当时桥长1200米，宽5米，有44座桥墩，建桥耗银1400万两。

洛阳桥在建筑技术上有不少成就，主要有两个。

一是它首创了筏型桥基的造桥方法。所谓筏型桥基，就是造桥之先，沿桥址中心线集中抛填大石块，形成一道横跨江底的短石堤，然后以此为基础，叠砌桥墩，洛阳桥的石堤长达500多米，宽25米。为了使石堤相互连为整体，蔡襄采纳渔民的意见，在桥基上遍种牡蛎，利用这种海洋生物能把松散的石块粘接在一起的生物特性，把石堤和大桥的水下部分胶粘为一整体，这种办法也是在建桥史上的创举，这种创举只有建造像洛阳桥这样的跨海大桥才能实现。

二是它最早采用浮运法来架桥。具体方法是，造好桥墩后，把经过比量加工的石质桥梁搁放在木排上，待海水涨潮时，把木排划到桥墩跟前，当潮水涨到木排与桥墩平行时，就将木排上的石梁架放在预先计算好的桥墩之间，等潮水退下时，木排下落，而石梁就稳稳地架在桥墩上了。洛阳桥共有300多块大石梁，每一块10多米长，20~30吨重，都是用浮运法架上去的。另外，桥墩上的几万块石料，也是用这种办法搬运砌筑的。这种建桥办法，也只有海上架桥才有可能创造出来。

洛阳桥不仅在建筑史上占有重要地位，在雕刻和书法方面也很有名，“桥中亭”和蔡公祠内有蔡襄手书“海内第一桥”和“万安桥记”是研究宋代雕刻和书法艺术的珍宝。

洛阳桥建成以后，不仅沟通了洛阳江两岸的联系，促进了海上贸易的发展，而且为我国建筑石桥提供了许多经验。就在这座桥梁建成后不久，泉州一带曾出现过一段时间的造桥热。据不完全统计，这一带当时修建的石桥，

保留到今天的就有 100 座之多。1933 年，蔡廷锴以蔡襄的后人自居，将石桥改为水泥桥，增高加宽，可以通行汽车。目前桥长 834 米，桥面高 7 米，桥柱高 1.05 米。相传桥上原来还有 3 亭 1 阁、3 城 8 景、9 塔 28 宿、500 栏板等附件，但如今只剩一些石迹了。

最古老的浮桥

浮桥是一种实用性很强的桥梁建筑，我国最早的桥梁就是浮桥。《诗经·大雅·大明》中记载“亲近于渭，造舟为梁”，就是指的西周初年，文王姬昌 18 岁娶亲时，在渭河上造了一座以舟船为主体的浮桥，至今已有 3100 多年了，但浮桥牢固性差，很少能保留到现在。现存历史最早的，也是最有代表性的古代浮桥，是浙江省临海县的灵江浮桥。

灵江浮桥坐落在县城的南门外，原名中津桥。据《临海县志》记载，中津桥在兴善门外金鸡岭下，宋淳熙八年（1181 年）由郡守唐仲友创建，桥长 287 米，宽 5 米余，具有相当的规模。临海地区距海较近，在潮汐作用下，灵江水面一日涨落相差数米。为了建好浮桥，唐仲友采取 1:100 的桥梁模型在水池中进行试验，获取适应当地潮水涨落的浮桥型式，并向施工人员示范讲解浮桥结构原理，然后按模型修建。

在正式建造中，民工用每 2 船组成 1 节，共组成 25 节，用船 50 条。然后用缆索、地锚、锚碇等锚固设备把浮桥的所有船只联系成桥并固定起来。为了适应江水大幅度的涨落，浮桥的一端固定在岸边，另一端采用桥面可升降的栈桥与河岸衔接，这样，桥梁就可以随水势高低而变换坡度。这种作法与现代浮桥的架设方法十分相近。

解放以后的 1964 年，临海建成了 1 座公路大桥，有关部门把浮桥移到县城西门外上津浮桥原址。靠西门一侧的浮桥下设有过船孔，可以不拆断浮桥而让航船通过，形成了 1 座主体交叉式的桥型，过桥孔两侧的木船上竖有木排架，高 1.2 米，自水面至桥面有高 2.2 米的净空，使船只可以自由通航。这座浮桥现用 2 根铁链系住，铁链用 2 厘米直径的铁杆弯成，固定在岸边地锚上。地锚用直径 40 厘米的优质青石条制成，打入地中，非常牢靠。

开合式的桥梁

在广东省潮安县内，有一条名叫韩江的河流，由北向南穿流在名城潮州之间，把潮州分为东西两部分。横跨韩江，把潮州城的两部分连接起来的，是一座奇特的桥梁，叫做广济桥，这就是我国古代最早而且最著名的具有多种结构的开合式桥梁。

广济桥最初叫济川桥，西段始建于宋代乾道六年（1170 年），东段稍晚一些，始建于绍熙九年（1190 年），全桥完工于宋开禧二年（1206 年）一共用了 36 年时间。明代又进行续建，竣工后改名广济桥。因民间传说桥是八仙之一的韩湘子和其他七仙叠石造成的，因此，又称“湘子桥”，或简称“湘桥”。

广济桥全长 517.95 米，桥面很宽，约 5 米，在我国古桥梁中，这样宽的桥面还是很少见的。桥下的桥墩也很有特色，比一般的桥墩又宽又大，共有 24 座，其中大的长度在 14.4~21.7 米，宽度在 9.5~13.85 米，小的长度

也在 10 米以上，宽度在 5.7 米以上。全部桥墩的长度加起来达到 207 米，占了整个桥身长度的 40%。使大桥显得壮观、敦实。

广济桥是一座梁桥和浮桥相结合的开合式桥梁，东西两头是以石为墩，以石为梁的桥面，中间是一段浮桥。

从西岸上桥，走过 137 米长的石梁桥后，有一段石台阶，台阶之后，有 18 只并排的木船，用铁链与石阶相连接。船上搭上木板，成为浮桥。走过浮桥，再上一段石台阶，又是一长段石梁桥。在石梁桥的最后一个桥墩上，又修建了一个小型石拱桥，就到达潮州城东部了。

广济桥西边的石梁桥，桥面高度并不一样。西桥头的高度是 13.6 米，到第 4 个桥洞，桥面达到 15.37 米。东桥头的高度是 14.31 米。到第 8 个桥洞的地方，因为桥下要过船，高度又升为 16.5 米。

广济桥之所以采用梁桥和浮桥相结合的形式，主要是因为韩江中流的一段，水深流急，筑桥墩很困难，不得不采用浮桥。另外，由于桥墩面积大，虽然增加了桥身的稳定性，但都不利于排洪。采用浮桥，在遇到大洪水时，可以解开系船铁链，暂时撤掉浮桥，迅速排洪。

广济桥因桥面宽阔及位于潮州市中心，还在桥上形成了一个闹市。据古书记载，桥建成后，这里就形成了一个桥市，店铺摊棚，鳞次栉比，从早到晚，热闹非凡。有“一里长桥一里市”之称。由于这里的桥市，往往使外来人身到桥上还不知桥在哪里。当地流传说，曾有外地人来到广济桥上打问湘桥在哪里，因此留有“到了湘桥问湘桥”的笑谈。当地人往往以广济桥引为骄傲，有句民谣说：

到广不到潮，枉向广东走一遭；

到潮不到桥，枉向潮州走一遭。

解放以后，由于广济桥梁低孔小，行船不便。1959 年改为“高桩承台”双柱式桥墩的钢梁大桥。

最早的城市桥梁

在江南水乡绍兴的城东部，有一座造型奇特的八字桥。据《绍兴县志资源·八字桥提字》记载，这座桥“以两桥相对而斜状，如八字”，因此称为“八字桥”，这是我国现存最早的城市桥梁。

八字桥始建年代不详，在孔桥下西面第五根石柱上刻有“时宝祐丙辰仲冬吉日建”的字样，这是指的南宋理宗宝祐四年（1256 年），但据志书记载，这是“重建之书日”，实际修建还要更早。桥梁跨于南北流向的一条小河上，在主流两侧有 2 条小河，分别从东西流入。桥梁为东西走向，石梁跨径 4.5 米，净空 5 米，主孔石梁外侧，用 2 层石梁，略向上拱弯，净宽 3.2 米，梁搁于墩边的石柱壁，石柱略向岸边后仰，以增加其稳定性。

八字桥的坡道与一般桥梁不同，桥东端紧沿河道向南北两个方向落坡，桥西端又从西、南两个方向落坡。西端南面的坡道下还建有一个小孔，跨越小河。桥下还设有纤道。这样的布置，适应了八字桥从水陆两方面把城市和乡村联系在一起的需要。同时，这种布局又可以在建桥过程中不拆房屋，不改街道，达到了设计施工和实用的完美统一。这座桥已被列为浙江省的重点文物保护单位。

跨径最大的桥

我国目前跨径最大的公路桥，是山东省济南市的黄河公路大桥。

济南黄河公路大桥坐落在济南北郊路口渡口下游 4 公里处，全长 2022.8 米，宽 19.5 米。主桥长 488 米，共有 5 孔，其中最大的单孔跨径为 220 米，不但在我国是跨度最大的，在整个亚洲地区也是首屈一指的，目前在世界上名列第八位。

这座公路大桥是一座斜拉式桥梁，这是一种现代型桥梁，国外发展的较多，我国直到 70 年代才引进斜拉桥的建桥技术，相继建造了几座公路桥、铁路桥和管道桥。斜拉桥又叫斜张桥，与一般的桥型不同，它不是靠桥下部架桥墩来支撑桥体，而是用巨大的钢索从斜上方拉住桥体，原理类似于我国古代城门外护城河上的吊桥，不过现代斜拉桥一般都是双向斜拉，而不像古吊桥那样仍要放置在岸边才能进入使用状态。

斜拉桥由索塔、斜缆和主梁组成，索塔是固定斜缆的支撑物，视斜缆的不同而有不同的高度。斜缆是高强度钢索，其一端固定在索塔上，另一端固定在桥体主梁上，由于斜缆可以做成扇形、辐射形等多种形式，这样就能用多条缆索在桥梁上固定多处拉点，既增加了桥梁的稳定性，又能获得较大的跨度，还能加大桥梁的负载。济南黄河公路大桥采用的是世界先进的预应力混凝土斜拉型结构，载重量达到了国家规定的最高标准，可通过 210 多吨重的大型拖车。在设计大跨度桥孔的同时，该桥还采用了较高的桥身，在河水达到 9000 秒立方米流量时，桥下仍有 8 米高的净空，既保证了洪水安全通过，又能使船只正常航行。由于斜拉桥具有结构经济合理，造型轻巧美观，养护简便等特点，特别适用于水文和地质条件较差的地区建造，因此在我国发展很迅速。

奇特的双曲拱桥

我国的拱桥有 1000 多年的历史，在世界上有重要的地位。解放以后，我国又在总结古老拱桥建筑的基础上，发展了一种新型拱桥——双曲拱桥。

1964 年，江苏省无锡的建桥工人在无锡县东亭小河上建起了我国第一座双曲拱桥，这座拱桥是一座农桥，全长仅 9 米，采用了钢筋混凝土预制构件，在现场安装而成，采用三肋二波砖结构，可通行手扶拖拉机。从此以后，这种新型拱桥迅速发展起来。1967 年，跨长 150 米的河南嵩县前河桥建成，其后，跨度 116 米的湖南罗依溪大桥，跨度 110 米的泸定河大桥，全长 1250 米的长沙湘江公路大桥，长 1041 米的浙江溪县兰江大桥等双曲拱桥相继建成。举世闻名的南京长江大桥江南北两端共有 22 孔（南端 18 孔，北边 4 孔），总长 700 多米的引桥，就全部是双曲拱桥。到 80 年代初，这样的拱桥已经建造了几十万里。仅江苏一个省就建立了近万座双曲拱农用桥梁。我国目前最长的双曲拱公路桥是江苏省沐阳的新沂河大桥，全长 1267 米，有 39 孔，1969 年建成通车。河南省嵩县的前河桥是我国单孔跨径最大的双曲拱桥，孔距跨度达 150 米，矢跨比为 1/10，1969 年建成。在铁路工程中，也广泛采用了双曲拱型桥梁。我国第一座用于铁路双曲拱桥是位于湖南省长沙与韶山之间的东方红双曲拱桥，1967 年底建成通车。

所谓双曲拱是指桥梁有纵、横两个方向的桥拱。纵向拱的是指桥梁的主

拱圈，在外形上与一般拱桥完全一样，为弧度不同的拱圈。横向拱是双曲拱的主要奥秘，它是指在纵向的大拱圈上，并排砌筑几组小拱圈，就像是一排排向上鼓起的瓦垄，由于切面像波浪一样，所以称为拱波。这个波形的展开方向与纵向纵圈相互垂直，使桥梁整体表现为纵横两个方向的曲形，因此叫双曲拱。

双曲拱桥的最大优点是提高了桥梁的强度和稳定性，它克服了一般拱桥在重压下横向容易弯曲变形的弱点，使桥梁压力较好地分布于桥梁整体。另外，双曲拱还可以以同样的材料，获得比一般拱桥大得多的跨度。如跨度相同，则可以节约一半左右的钢材等建筑材料。在造型上，双曲拱桥由于二向曲形，更富于变化，更加美观、舒展。

长江第一桥

长江是我国第一大江，长达 6800 多公里，居世界第三位。在长江上架桥是我国人民数千年的愿望，早在 1000 多年前的宋代初年，赵匡胤征讨江南的南唐时，就曾采纳樊若水的建议，用大船竹绳，在采石江造了一座浮桥，这是见诸历史记载的长江上的第一座桥梁。而长江上第一座现代化的大桥，是位于武汉的长江大桥，号称“万里长江第一桥”。

武汉长江大桥位于湖北省武汉市的汉阳龟山和武昌蛇山之间。这座桥梁于 1955 年 9 月正式开工，1957 年 10 月建成，历时整两年。建桥之前，有关部门从多方面进行了测量，认为龟山和蛇山之间的江底情况较好，而且在建桥时，可以利用两山的高度，减少两岸引桥的工作量。

大桥全长 1670.4 米，其中正桥 1155.5 米。为铁路、公路两用的双层钢桁架桥，共有 8 墩 9 孔，每 3 孔为一联，每孔跨径 128 米，为连续梁组成。大桥上层为公路桥，车行道宽 18 米，能并行 6 辆大型客车，两侧也辟有各宽 2.25 米的人行道，下层是双线铁路桥，火车可以对开通过，两侧也辟有人行道。大桥两端都建有高 35 米的桥头堡，非常庄严雄伟。桥头堡建成民族形式，顶部四角攒尖，飞檐挑起，覆有琉璃瓦。内部为 4 层，有电梯和扶梯，供行人上下，墙壁上有各种图案的浮雕，装饰精美华丽。桥高从江底到公路桥达 80 米，相当于 30 多层的高楼。桥下净空较大，终年可通行巨轮。

大桥建成后，不仅使武昌、汉口、汉阳三镇连成一体，而且连通了我国铁路南北大动脉的京广铁路，毛泽东主席在他的一首诗词中评价武汉长江大桥：“一桥飞架南北，天堑变通途”。在修建武汉长江大桥的过程中，前苏联的一些专家参加了设计和施工。

黄河第一桥

在甘肃省兰州市白塔山下的黄河上，距兰州古城西北 1 公里，有一座贝雷式钢桁架公路桥，这是古老黄河上的第一座公路桥，号称“千古黄河第一桥”，也是仅迟于上海外白渡桥的全国第二座城市钢桥。

白塔山黄河铁桥始建于清光绪三十三年（1907 年）二月，宣统元年（1909 年）六月竣工。桥长 230 多米，宽 7 米多，平行弦杆贝雷式钢桁架为桥体，石墩石台，共有 5 跨。桥面上铺 2 层木板，两边有扶栏，“旁便徒行，中驰舆马”。桥的两端建有牌坊，上面横匾分别题有“三边利济”，“九曲安澜”

的字样。

白塔山铁桥建成以前，原址曾有一座镇远浮桥，是明代洪武元年（1368年）为军事目的首次建成的，成为西部和西北各省来往的要道。但由于冬天黄河结冰，浮桥难以常年使用，每年都要冬天拆掉，夏天再建，很不方便，清朝官员很早就商议请外国商人修建黄河铁桥，但因索价太高而未能实现。

光绪三十一年（1905年）夏天，泰来洋行的德国商人喀佑斯到甘肃游历，与有关部门签了合同，从国外购料，开始建造铁桥。当时，各式的桥梁材料由海路运来我国，在天津上陆，经铁路运到河南郑州，然后再用骆驼、大轴踏车等运输工具送到兰州。由于路途遥远，运费相当昂贵，据记载，造桥的工料共用银16.5万两，而运费则用了14万多两，这种高比例的运费在世界建桥史上是少见的事情。

桥建成以后，大大便利了两岸交通，但桥梁的承载能力较低，超过8吨重的汽车就不能过桥了。到解放时，两个桥墩已发生裂缝，危及大桥本身，不得不对过桥车辆限重、限速、限数。1954年，当地用了半年时间修好了开裂的桥墩，在原来钢桁架的水平肢上加了一根弯曲形的上肢，桥面改用钢筋混凝土板，使桥面的纵横梁变为组合梁，提高了承载能力，20吨重的汽车可以畅行无阻。1981年，大桥经受了黄河上游特大洪水的考验，安然无恙。

最大的交叉桥

三元立交桥是目前国内最大的一座城市道路立体交叉桥。它位于北京东北三环路上，与京顺路、机场路相交，组成为2层互通式组合立交。原路口是相距190米的双十字形路口，该地区平坦开阔，交通复杂，距市中心7.5公里，是进出京城的咽喉之地。

立交枢纽中三环路上跨，京顺路、机场路下穿，共有3座立交桥，5条匝道引桥、6条匝道组成。另有8座人行地道；9座人行楼梯；1座配电室；高杆组合灯11座；以及其他交通工程设施百余处。它是一处综合性的道路交通工程设施，占地26公顷。

该立交桥的3条相交通道路系北京市快速干道或主干道，6个方向交汇组成的路口，担负着联系城区、近郊区客货运交通的繁重任务，路口交通量日益增长。目前，立交桥路口的交通量已由建前机动车高峰小时的3000辆增加到8000辆，自行车已达17000辆。整个立交路口最大通行能力可达18000辆。

立交桥内道路纵横交错、曲直相映。主桥为V型墩钢架体系，其结构庄重，轮廓清新，气势宏大，跨越强劲。匝道引桥为简支体系，其排布有序、节奏鲜明、型式协调、对比适度，特别是其中两条匝道桥和引道组成的一条架空匝道，长达450米，是北京市最长的高架道路。

立交桥内设置开放式绿地7.5公顷，是北京市立交桥路口中最大的绿化用地。它设有四处街心花园，园内有供人休憩的桌椅和园林小品。园内的挡墙是北京市政建设上最早采用的混凝土蘑菇石砌块，与宏大的立交桥非常和谐。

三元桥1983年12月1日破土动工，1984年9月15日通车，历时9个半月。主要工程量是：铺装桥面11100平方米，修筑道路112300平方米，新建改建各种地下管线29公里，建挡土墙3.7公里，现浇混凝土24300万立方

米，预制混凝土构件 110 种，计 13200 立方米，挖填土方 710000 万立方米。工程量之大，速度之快，是非常罕见的。

工程完工后市有关部门按照国家质量鉴定标准，对三元桥进行了严格的检查验收，立交桥的 12 项单位工程均被评定为优良级工程。桥体钢筋混凝土外形美观，棱角清晰，平整光洁，强度满足设计要求。桥、路面层，在多弯道、坡道的情况下，平整度达到 1.818。经 12 家质量审定委员会批准，三元桥荣获 1985 年国家优质工程银质奖。成为第一座荣获国家银牌奖的立交桥。

最早的灞桥

陕西省西安市东面 10 公里远的灞河上，有一座古桥叫做灞桥，这是我国最早的梁桥。

灞桥具体的建造年代不详，按北魏时成书的《水经注》记载，“灞水古名滋水，秦穆公更名以显霸功。水上有桥，谓之灞桥”。秦穆公活动于公元前 600 多年，灞桥的历史也有 2600 年了。据专家考证，上述说法缺少根据，但至迟在汉代就已经有灞桥了。

灞桥建成以后，由于灞水的水文条件较特殊，历史上屡遭损毁。清代道光十三年（1832 年），陕西巡抚杨名颺征集了附近的官绅士民，桥匠民工重建灞桥，历时 9 个月完工。重建后的灞桥长近 400 米，共 67 跨，各跨长 6 米左右，桥面宽约 7 米，是一座多跨式桩基础石制排架墩筒支木梁桥。这次改建后的灞桥，经历了 100 余年的各种冲击和考验，到解放后仍然屹立在灞河上。

1957 年，西安市的有关部门鉴于灞水河道淤积，桥下净空不足，不利排水行船，对灞桥进行了改建。这次改建中，科技人员曾将原桥彻底拆开，进行科学鉴定，发现这座古桥之所以逾百年不毁，主要是桥的下部结构非常合理。它的桥墩是用护底、柏木桩、石盘、石柱和盖梁组成，相互间确保牢固的联系，每个桥墩有六根石柱，成纵排迎水而立。每根石柱用四层带轴的圆石墩叠砌而成，底部是平面较大的石盘，以扩大桥墩的承压面积。各层圈石墩和石盘都凿有阴阳卯口，卯中心均留有铁质柱洞。套接时，先用糯米汁、牛血拌石灰等填充在卯眼内，然后再套接，使石柱成为一个整体。

石盘下部是起支撑作用的 11 根柏木桩。木桩排列成梅花式，靠上游的一根比其他桩长一些，并穿在石盘预留的孔洞内，以防止石柱水平滑动。柏木桩的用料非常严格，取材于冬季，只选用色白质密的，削除枝杈，趁湿带皮使用。石盘底面紧贴桩群，不平的地方垫以铁片，周围还有八根护柱环卫，以求稳定。在各孔石盘间以及石盘上下游各 4 米宽的河床内，还建有厚约 1 米的白灰三合土护底，以防止河水冲刷桥基。为了减少河水对桥墩的冲击，各个石柱都建成圆形，石柱之间留有 50 厘米的空间。这种结构与实体墩相比，能减少湍流，利于泄洪，并能分散水流的冲击力。《陕西灞沪二桥志》说“石盘作底，石轴作柱，水不搏激，而沙不停留”。这种结构显示了我国古代精湛的造桥技艺。据一些日本朋友讲，日本有一些古桥曾仿照灞桥修建桥墩，至今仍可见到。

灞桥是我国历史上的桥，不仅由于它的科学合理的结构，而且由于许多古代诗文中都提到它。灞桥附近多栽柳，使灞桥成为著名的风景区。西安碑林中就有清代灞桥风景的石刻，乾隆年间编成的《关中胜迹图志》中也载有

灞桥风景画。历史上折柳道别的习俗即由灞桥而生，灞桥也因此被称为销魂桥。唐朝诗人李白《忆秦娥》诗作中有“秦楼月，年年柳色，灞陵伤别”的名句。1957年对旧桥改建时，利用了原来的桥墩，仅用钢筋混凝土把桥墩抬高2.4米。桥梁上部的木梁改为钢筋水泥桥梁，桥面也拓为10米。现桥共有64孔，长389米。

最重的虎渡桥

在福建省漳州，有一座我国、也是世界上最大最重的石梁桥，名叫虎渡桥，又名江东桥，它横跨于漳州东20公里的柳营江（九龙江）上，其石梁之巨大，在古今中外建桥史上是空前的。经文物等有关部门测得，一般的石梁长20米左右，1米多宽，1米多厚，其最大的一条花岗石石梁长23.7米，宽1.7米，高1.9米，重约207吨。这与宋代黄朴《虎渡桥记》中讲到的最大桥孔用3根巨大石梁跨过，每根石梁“长八十尽，广博皆六尺有奇”相符。根据现代强度理论验算，最大一根石梁在自重作用下，已达到自身抗拉极限强度的9/10，若石梁跨径再增大，它就会在自重作用下断裂，虎渡桥的石梁已接近它的最大允许跨度。在“材料力学”诞生前500多年，要找到这个数据是不容易的。

据历史记载，虎渡桥地处东西要口，是唐代特别是宋代以来泉州府通向漳州至广东的咽喉。这座桥建造以前，曾先架设了一座浮桥，后来改建为木板桥。宋嘉熙元年（1237年）木板桥被焚毁后，开始建造虎渡桥，用了4年时间才建成。据史籍记载，桥长200丈，高10丈，有25个桥孔。

虎渡桥名的由来，颇有传奇色彩。明代陈让在《虎渡桥记》中称：这座江南第一的桥梁在修桥时，有只猛虎负子渡江；“息于中流，探之有石如阜，循其脉沉不绝江，隐然若梁，乃因垒址为桥，故名虎渡”。它的桥基采用了“筏形基础”，即造桥前，先在江底沿桥梁中线抛撒石块，形成一条横跨江底的矮石堤，作为桥墩的基础。虎渡桥自建成后一直使用了700多年，到1933年才在老桥墩上架起钢筋混凝土桁架，改建为公路桥。现桥长285米，25孔，桥高约15米，石梁只剩下5孔了。

最长的安平桥

在福建省晋江县安海镇和南安县水头镇之间的海面上，有一座著名的石梁桥，叫做安平桥，这就是我国目前最长的石梁桥。因桥长约合5华里，因而又称为五里桥。

安平桥建于800多年前的南宋时期。当时，安海镇边的海湾是我国对外贸易的重要港口，同对面的水头镇贸易往来很频繁，靠船运货很不方便，人们遂决定在两镇之间架桥。南宋绍兴八年（1138年），大桥开始动工兴建，历经14年，于绍兴二十二年（1152年）正式完工。

安平桥不仅是我国最长的石梁桥，也是世界上最长的石梁桥，据1957年调查，桥长2070米，宽3~3.8米，建有桥墩314座。80年代初，人们又对这座全国文物保护单位的古桥进行大规模维修，现桥长2251米，比横跨长江的南京长江大桥正桥还长数百米。为了美化桥型和供人休息，桥上还建了五座亭子，自东向西分别叫水心亭（桥头亭）、中亭、宫亭、雨亭和楼亭。

在水心亭上，有 1 副对联，上联是“世间有佛宗斯佛”，下联是“世上无桥长此桥”，道出了安平桥的最大特点。五座亭中，中亭最大，面宽 10 米，周围保存有历代重修碑记 13 座；亭前立有两尊宋代石刻武士像，手执长剑，风格古朴。西端的桥亭，也留有清代重修碑刻。桥东头 250 米处，建有 1 座 6 角 5 层木结构白塔，建造年代与桥约略同时，桥上原有扶栏望柱，因长年山洪、台风及地震的影响，现已严重损坏。

安平桥全部由闽南开采的花岗石筑成的。每两座桥墩之间用 6~7 条大石板铺就，石板长 8~11 米，宽 0.6~1 米，厚 0.5~1 米，每块重达 3 吨左右，其中最大的石板重达 25 吨，工程十分浩大。安平桥的桥墩很有特色。设计者们在不同的位置选择了不同的桥墩形式。在水深流急而且较宽的主要航道中，采用船形墩，两端都成尖状，减少流水的阻力。在一边水急，一边水缓的航道中，采用鞋形墩，向上游的一边为尖状，向下游的一端为方形，利于泄水。大浅流缓的地方，则采用长方形桥墩，增加桥的稳定性。桥墩之间，一般相距 6~8 米，最长的 11 米。

安平桥建成以后，对促进我国古代对外贸易起了重要作用。800 多年来，由于泥沙淤积，靠近岸边的海滩已经变为陆地，被辟为农田。1962 年，郭沫若同志参观安平桥时，曾专门赋诗表达了人们的感慨：

五里桥成陆上桥，
郑藩旧邸纵全消。
英雄气魄垂千古，
劳动精神漾九霄。

孔数最多的石桥

我国孔数最多的石桥是苏州的宝带桥。它共有桥洞 53 个。

宝带桥位于苏州东面 15 里，横卧在大运河和澹台湖之间的玳玳河上。宝带桥是桥梁建筑史上一大杰作。它是用坚硬素雅的金山石筑成。大桥两端拱脚之间的距离长达 249.8 米，北端引道长 23.2 米，南端引道长 43.6 米，桥面宽 4.1 米。宝带桥虽然是江南水乡常见的石拱桥，但设计粗巧，结构奇特。它不用既高又陡的形式，而建成平坦宽阔的长桥，以便于挽舟拉纤，因而古来纤夫皆受其利。古代澹台湖是渲泄太湖之水的，并是往吴淞出海的重要水口，在此建桥宜大忌小，因此，设计者不用冗长繁复的实体墩，却建成了 53 孔的连孔桥。这种建法不仅减轻了桥的自重，有利于大桥的长久保存，而且增加了净空，洪水可以畅流无阻。桥的结构，跨径最大的有 6.95 米，最小的也有 3.9 米，除第 14~16 孔外，跨径平均为 4.6 米。桥从 13 孔开始逐渐隆起，到 15 孔为最高点。达 7.5 米，用以通行大船，也使桥形富有变化。大桥上还设置了“横向长铰面”，运用“柔性木质墩”筑造了“单向推力墩”，使长桥显得格外匀健秀美。我们现在见到的宝带桥已不是唐代的作品，而是明代正统七年由工部右侍郎巡抚周忱与当地知府朱胜主持，历经四年而重建的。桥南北两端原来各有石狮子 1 对，北端 1 对仍然蹲着迎接来往的客人，南端的一对已沉入河底。北端离桥约 2 米处有 1 座石塔，高 3 米。在 27 孔和 28 孔之间，也有同样的石塔 1 座，这些附属物为宝带桥增添了姿色。北端建有石质碑亭 1 座，单檐歇山顶，据民国《吴县志》记载，碑亭建于清代同治十一年（1872 年），内置有清代张树声（振宪）的碑记，据此可以知晓宝带

桥的历史。

宝带桥不只是为桥梁建筑提供了可资研究的实物，而且以其奇巧多姿、玲珑剔透的造型而成为可资欣赏的古代建筑艺术品，大桥本身又与当地的奇山翠湖相映衬，构成一幅图画般的美景。

宝带桥自修成以后，至今已有 1160 多年了，在这漫长的岁月中，它饱经沧桑，受尽了磨难，据资料记载曾因毁坏而 7 次重修。其中，既有洪水等自然灾害的原因，也有维修不善的人为原因。清咸丰十年（1860 年）9 月 29 日，洋枪队头子戈登为了使他的座船“飞而复来号”通过宝带桥镇压太平天国起义军，竟毁坏了桥身达 26 孔。抗日战争时期，日本侵略军也曾用飞机炸毁了南端 6 孔。

解放以后，宝带桥得到了妥善的保护。能工巧匠仍然按照明代的规模和形制进行了修缮。1972 年，国家又在古桥西面 30 米处新建了 1 座公路大桥，与古桥并卧在澹台河上，古桥被作为文物而供人游览。

十字形桥

十字形的桥是极少见的桥梁形式，我国的古籍中有过记载，古画中也偶有所见，但实物流传下来的仅有一座，这就是山西晋祠中的“鱼沼飞梁”。

晋祠是西周晋国开国君主姬虞的祠堂，位于太原西南的悬瓮山下，这里是晋水的发源地，一年四季清泉淙淙，潺流不断已历千年。李白曾有诗赞曰“晋祠流水如碧玉”，“微波龙鳞莎草绿”。现有“难老泉”也称“晋阳第一泉”，是北齐时取《诗经》中“永锡难老”的诗句而得名。

晋水因晋祠而有名，晋祠又因晋水而更盛。晋祠中的水是祠中一大胜景。有水必有桥，“鱼沼飞梁”就是泉水之上一座飞桥。

“鱼沼飞梁”位于晋祠的圣母殿前。圣母殿是一座重檐大殿，殿前就是泉水。一般的殿堂都有宽阔的月台，圣母殿因背山，如果也建月台，势必填掉泉眼。为了把泉水和建筑巧妙地结合起来，当年的建筑者除了加大圣母殿的前廊外，还把水源打凿扩大，形成近似方形的水池，池上架设十字形梁桥，这就是“鱼沼飞梁”。

鱼沼，即方形鱼池，沼上架十字桥，取名飞梁。此桥建于北宋天圣年间（1023~1032 年），与圣母殿同时。沼中立有 34 根八角形石柱，是抗酸性较强的铁青砂石做成的，柱顶上用斗拱与横梁支撑住松木板梁，梁上用由半圆松木板、灰土、灰色方砖等组成桥面。桥面呈标准的十字形，东西长 15.5 米，宽 5 米；南北长 18.8 米，宽 3.3 米。桥面连接圣母殿和献殿。由献殿而上登五级台阶，有一个扁长的小平台，再上 4 级就是桥面，桥面是水平的，跨越池沼，再上三级，就是圣母殿的前廊，这样就使殿廊与飞桥融为一体，既增加了殿廊的开阔感，又使桥梁富于变化。南北向的桥面做成斜坡，直接与两边的地面相接。为了增加桥的稳定感，十字桥面的四隅适当扩大，成为方形。从整体看，东面桥面隆起，就像鸟的身躯，南北向的桥面舒展下斜，就像鸟的两翅，整个桥梁就像展翅的飞鸟。用“飞梁”来命名真是太恰当了。桥面上还有桥栏、望柱等装饰，增加了典雅大方的气氛。

最著名的廊桥

广西侗族人民擅长于建筑，特别是桥梁建筑，凡有侗族居住的地方，村前寨后的交通要道上都建有桥。其中一种上覆屋顶的长廊式“风雨桥”，以它独创的造型艺术和高超的建筑技巧而久负盛名。

风雨桥因其可兼避风雨而得名。在侗族地区有近百座。1982年3月经国务院批准列为全国重点文物保护单位的程阳永济桥，是其杰出的代表。永济桥是1座4孔5墩的伸臂木梁桥，位于三江侗族自治县北部林溪乡程阳寨的林溪河上，离县城20公里。

永济桥建于1916年，四孔，每孔净跨长14.2米，全长64.4米，桥宽3.4米，高16米，石砌桥墩，木制桥面，灰瓦盖顶。桥的正梁由直径0.5米左右的八根连排杉木分上下3层迭合而成，犹如古建筑中的斗拱一般，两边层层向河中挑出，在桥孔中间相接。上面排板、竖柱、盖瓦，构成一条空中长廊，故又称它作“廊桥”。

程阳永济桥的2个墩台上都建有1座楼亭，中间一亭是4层6角形塔亭，两边为四层四角形塔亭，再两边两座是四层殿形楼亭。这些富有民族形式的塔型、殿型桥亭，亭檐层层向上，如翼欲飞。一眼望去，楼亭重领联阁，既雄伟壮观，又玲珑秀丽，在桥亭和桥廊的板壁上，还雕刻着许多构图精美的侗族图案。长廊两旁设有长凳，宛如游廊，供行人观赏和休憩。长廊和楼亭的瓦檐、柱头都雕花刻画，有龙凤花草等等。

永济桥的桥梁、桥面栏杆、楼亭、屋顶均用三江盛产的杉木制成，全桥没用一颗钉子或一块铁件，所有木构件的连接全是巧妙的卯榫接合，纵横交错，斜穿直套，精细严谨，构件之间的联系十分牢固，这也是侗族建筑的一大特色。

永济桥为什么要建“屋”呢？主要是因为该桥净跨达14.2米，正梁不够长，桥工们就在桥墩上放3层逐渐伸长的杉木为墩柱挑梁，正梁架在挑梁上。挑梁是以桥墩为支撑点的杠杆，五座桥亭各自起着重力平衡作用，使负载近10万公斤重的正梁安然不动。另外，我国南方地区雨水丰沛，木梁桥上造桥屋，既可供远行的人们借此歇脚避雨，又能增强桥梁的稳定性，防止雨水直接渗入导致木梁腐烂，并能给山水之间增添诗情画意，收到了实用、坚固、美观的全面效益。这种装饰与功能有机地结合在一起的形式，是我国古代桥梁艺术上的一个突出特点。

永济桥是侗族建筑艺术的创造性实物，国家对它十分重视，先后于1962年与1974年几次拨专款进行整饰，现已成为各族人民憩息、游览的好地方。

第一座斜拉桥

于1991年12月1日正式建成通车的上海南浦大桥，是我国第一座大跨径叠合梁斜拉桥。其规模之雄伟、工艺之严格、技术之复杂、施工难度之高，建设周期之短，是我国桥梁建造史上少有的，在世界建桥史上也不多见，是一座代表我国桥梁建造水平的现代化大桥。

在市中心的黄浦江上建桥，是上海几代人的夙愿。同时数万吨级巨轮要进出黄浦江，又要求桥必须一跨过江，桥面必须高出水面45米以上。为此上海市的决策者们决定，要在黄浦江上建桥，就要建造刚刚兴起于80年代初期世界上最新潮的一跨过江的叠合梁斜拉桥。

叠合梁斜拉桥兼有钢斜拉桥和预应力混凝土斜拉桥的优点，而且造价适

中，施工速度快。这种桥全世界只有 2 座，一座是加拿大的安娜西斯桥，另一座是印度的胡各利桥。对上海的桥梁设计师来说，其模式是完全陌生的。

上海要建造叠合梁斜拉桥，消息传出后，外国桥梁专家纷至沓来。造过安娜西斯桥的加拿大人宣称，没有他们，中国人是造不出这样的大桥的；日本人提出，可以免费设计大桥，还可提供贷款，但建桥工程要由他们承包，开出来的造价差不多可以造两座南浦大桥……

面对外国人的傲慢和要挟，中国桥梁设计大师、上海市政设计院总工程师林元培和他的同行再也憋不住了，他们打心底里发出呼喊：黄浦江大桥，我们中国人一定要自己设计，自己建造！1988 年仲春的一天，当几位市长专门找林元培研究大桥问题时，林元培十分肯定地回答朱镕基同志的提问：“我有 80% 的把握，20% 的风险就是叠合梁桥。这 20% 的风险我们一定会用 120% 的努力去战胜它”。林元培与 110 位设计师共同立下誓言，要设计出世界第一流的桥。他们夜以继日奋斗一年半，拿出了一份满意的答案。“徐变”是设计中维护混凝土桥面结构稳定的一个关节点，林元培凭借着扎实深厚的数理功底，推导出了“徐变”的正确计算公式。叠合梁在设计理论、施工工艺和构造上都采取了新的措施，从而使南浦大桥避免了结构性裂缝的产生，比国外叠合梁结构更可靠。主塔的断面设计为空心，可将锚头置于其内，使塔与索的造型对称而优美。钢索的制造应用电缆生产工艺，使成品工厂化，可运到现场安装，既降低了造价，又缩短了工期。大桥还是国内第一座采用自动监控系统桥梁，通过计算机统计，监控系统能及时准确获悉桥面车速、车流、密度等情况，为大桥交通安全畅通和正常营运提供科学管理手段，保证大桥交通运行达到最佳状态。

南浦大桥按常规工期要 3~4 年完成。造桥部指挥朱志豪上任不久，一场围绕主塔基础采用钻孔灌注桩还是钢管桩的重大争论就展开了。主张钻孔灌注桩的专家们认为，这不但能降低造价，而且还有成功的经验。朱志豪是主张钢管桩的。他算了一笔账，如果按打 1 根灌注桩需 5 天完成计算，150 根桩用 4 台设备同时作业需 180 天；而打 196 根钢管桩工期只要 84 天。大桥是借外债造的，每天银行利息合人民币 16.4 万元，而大桥早建成一天，光车辆过桥费每天就有 26.5 万元。朱志豪强调，主张钻孔灌注法的专家不是没有道理，但时间工期不允许，对大桥的造价，不能光看投入，更要看产出。实践证明了这一主张的正确，采用钢管桩不仅抢回了时间，而且强度超过设计要求。

南浦大桥投资 8.2 亿元人民币，主孔跨度为 423 米，这个跨度规模在当时已建成的世界斜拉桥中位居第三（第一是挪威的斯卡恩圣特桥，跨度为 530 米；第二是加拿大的安娜西斯桥，跨度为 465 米），全长 8346 米，引桥全长 7500 米，其中浦西引桥长 3754 米，采用复曲线成螺旋型，上下 2 环分别衔接中山南路和陆家浜路；浦东引桥长 3746 米，采用复曲线成长圆型，与浦东南路相连并直通杨高路，是上海内环线的过江枢纽。主桥长 846 米，桥面宽 30.35 米，设置 6 条机动车道，日通车能力达 4.5~5 万辆次。主桥选用双塔双索面钢—混凝土叠合梁斜拉桥结构，邓小平同志亲笔题写的“南浦大桥”4 个大字，镶嵌在 109 米高的大桥横梁上。主桥两侧各设两米宽的观光人行道，只需 30 秒钟，观光电梯就可将观光者送到近 50 米高的主桥上观光。桥下通航净空高 46 米，可通行 5.5 万吨级巨轮。

雄伟的南浦大桥如巨龙般横卧在黄浦江上，把浦东浦西连成一体，使浦

东土地获得了增值效益，迎来了世界各地的许多投资者和企业家，同时也使我国斜拉桥一跃而进入世界先进水平。

名桥掠影

卢沟晓月照古桥

远在战国时代，卢沟桥一带已是燕蓟交通要冲。当时至唐代的数百年中，人们沿着太行山（燕山为太行山的支脉）东麓通往华北平原时，都要渡过水势汹涌的卢沟河（今永定河）的卢沟渡口。这里是永定河自官厅以下。水流已趋安定的隘口。

卢沟石桥自 1192 年建成至今近 800 年中，曾屡次成为古战场。诸如金废帝（完颜永济）大安三年（1211），金朝与蒙古成吉思汗（铁木真）在卢沟桥发生了争夺战，持续了近 4 年。元天历初“上都兵入紫荆关，游兵遍都城南，大都兵战于卢沟桥，败之”。元至正二十八年（1368 年）朱元璋的大军打到卢沟桥，经过了一场血战。明朝末年再次沦为战场。古桥虽然屡受战祸，但仍然屹立在永定河上，仅明清时稍作过一些修缮。至于《管董琐记》中所讲的卢沟石桥造于万历年间的说法，已为解放后大量的文献资料与文物所否定。

美丽的传说

几百年前，民间就流传着卢沟桥上有“斩龙剑”的故事。说是有一天卢沟桥边，忽然天昏地暗，乌云滚滚，霎时雷电交加，大雨滂沱。人们看见卢沟桥的上游，有十条凶猛的恶龙，簇拥洪水排山倒海而下。正当人们担心桥毁地淹时，殊不知恶龙到了桥下顷刻不见，洪水也驯服的从桥孔中流了过去。于是，卢沟桥上有斩龙剑之说就传开了。

人们常常把汹涌的洪水作比凶恶的蛟龙。永定河发源于山西马邑县的雷山，流经北京西北卢师山西面，故名卢沟。现以怀来为界，怀来以上称桑干河，以下名永定河。河水夹着上游泥沙，经怀来而下，途经高山峡谷，水流十分湍急，“水雷奔云泄，意左趋左，意右趋右”，势不可当，经常泛滥成灾，改变河道，所以永定河实为无定河。卢沟桥下的河流，屡次决口，仅从金代到解放前的 800 年间，留有记载的就达 100 多次。特别是每年春夏之交（3~4 月），上游冰雪融化，水位猛涨，河面上又有大量冰块浮游，夹着白冰的浑浊河水奔泄而下，犹如万马奔腾，比十条恶龙翻腾还要可怕。可是，数百年来，石桥仍安然无恙。

斩杀蛟龙、驯服洪水的秘密何在呢？原来建桥者早在建桥前就摸清了永定河的水情，根据水情，砌筑了 10 座长达 5 米左右的特殊的桥墩，比一般古代石桥都要长大。自拱券脚以上垒砌 6 层厚达 1.83 米的石板，压着分水尖。在每个分水尖的头上安设了一根约 26 厘米长的三角形铁柱，以其锐角迎水。传说的斩龙剑就是这 10 根三角形铁柱。这些巨大锋利的三角铁柱，能斩冰分水，使洪水或冰块冲到桥前时很快从桥孔中流过去。桥墩顺水的一面砌成利于泄水的型式，好像船尾一样，向内微微收进，使水流一出桥洞即可分散，减少了桥洞内的水的压力。

卧虹千尺

全长 266.5 米的卢沟桥，为我国北方现存古桥中最长的石拱桥。它不仅

“石工鳞砌，坚固莫比”，而且桥上的装饰艺术、华表、桥栏、石狮等，雕刻精美，造型生动。卢沟桥长期以来为中外人士所称颂。元朝文学家张楚在过桥时所作的一首《满江红》词中写道：“凡几度，马蹄平踏，卧虹千尺。”元·卢亘的《卢沟桥即事诗》中赞曰：“苍龙北峙飞云低。”在元朝做过 20 多年官吏的世界著名旅行家意大利人马可·波罗，在卢沟桥建成百年左右畅游了石桥，并在后来写成的《马可·波罗游记》一书中，对它作了细致的描绘：

自从汗八里城（即元朝首都大都的皇城）发足以后，骑行 10 里，抵一极大河流，名称普里桑干（卢沟桥也称作桑干桥）。此河流入海洋，商人利用河流运输商货者甚夥。河上有一美丽石桥，各处桥梁之美鲜有及之者。桥长 300 步，宽逾八步，十骑可并行于上。……桥两旁各有一美丽栏杆，用大理石板及石柱结合，布置奇佳。登桥时，桥路较桥顶为宽。两栏整齐，与用墨线规划者无异。桥口（两方）初有一柱甚高大，石龟承之，柱上下皆有一石狮。上桥又别见一美柱，亦有石狮，与前柱距离一步有半。此两柱间以大理石板为栏，雕刻种种形状。石板两头嵌以石柱，全桥如此。此种石柱相距一步有半，柱上亦各有石狮。既有此种石栏，行人颇难落水。此诚壮观，自入桥至出桥皆然。

他称赞卢沟桥是“世界上最好的独一无二的桥”，从此“汗八里的美丽石桥”的美名就在欧洲传开了。

除了旅行家、诗人留下了不少文字和诗词之外，古代许多画家也以卢沟桥为题，画下了不少动人的画幅，最有价值的要算是现藏中国历史博物馆的一幅元朝画《卢沟运筏》图了。它以卢沟桥为中心，描绘了 600 多年前的桥景。桥下本筏成排，顺卢沟河而下，运木匆忙，桥上车骑往来，传递文书的差人急马奔驰，桥的两头客舍林立，酒帘高挂，展现出一派闹热景象。尤其是卢沟桥本身画得逼真，11 个连拱，桥墩的形状，桥上的华表、栏杆、石狮，均与今天的卢沟桥完全一致。

卢沟桥上的石狮子，是著名的艺术品。《载司成集》记载：“桥上两旁皆石栏，雕刻石狮，形状奇巧。望头上的 281 个大石狮，姿态各异。有的昂首挺胸，仰望云天；有的双目凝神，注视桥面；有的侧身转首，两两相对；……桥南边栏杆东部有一只石狮子，高竖起一只耳朵，好似在倾听着桥下潺潺的流水和过往行人的说话。这 200 多个狮子均有雌雄之分，雌的大都在戏弄小狮子，雄的在滚弄绣球。在大狮子身上，还刻了许多小狮子，大的 10 多厘米，小的只有几厘米。它们三三两两，有的爬在大狮子身上，有的伏在大狮子的头上或是背上，有的在大狮子的怀里戏斗，有的在大狮子身上奔跑，有的只露出了半个头一张嘴，有的正在戏弄着大狮子身上的铃铛或绒球，真是千姿百态，神情活现。它们数目众多，隐现无常，如不仔细观察就很难发现它们，难怪会有“卢沟桥的石狮子——数不清”的说法和歇后语了。

早在四五百年前，明朝的书籍中就有关于卢沟桥的石狮子数不清的记载。《长安客话》上说：“左右石栏刻为狮形，凡一百状，数之辄隐其一。”《帝京景物略》上也说：“数之辄不尽”。这是因为桥上石狮子种类多，大小不一，位置又变化无常，不易数清的缘故。特别是小狮子，有的在大狮子脚下，有的蹲在大狮子膝上，有的藏在大狮子腿腋间，有的隐在大狮子腹侧，更是难以发现。1962 年有关单位采用登记编号，来回复查的办法，数出桥上有大小石狮 485 个。按它们的位置可分为四种：一是在栏杆望柱头上的大狮

子，281个；二是栏杆望柱头上大狮子身上的小狮子，189个；三是桥东端顶着栏杆作为抱鼓石用的大狮子两个；四是桥两头华表柱头上的石狮于4个。近年来，又在河中靠中心墩处发现一个大狮子，并复数小狮子为214个。这样，大小石狮子总数应为502个。

桥栏板东西尽头，东端为伏地石狮，西边为垂首古象，均属罕见的金代原物。它们又是桥梁的砥石，景意相浑，构思超群，堪称桥梁局部装饰中的佳品。

卢沟晓月

从金代卢沟桥建成后，“卢沟晓月”就被列为燕京八景之一。700多年来，它一直作为元朝大都，明清北京的重要名胜。明朝王绂以他纵横洒落的笔法，画了《卢沟晓月》图。桥东头的碑亭内有“卢沟晓月”碑，为清朝乾隆皇帝所题。碑后有“御诗”，四周有四根龙抱柱。以“卢沟晓月”作为一处胜景，并非卢沟桥早晨的月色格外妩媚清亮，而是因为它是燕京门户，“密迩京师，八方通衢”，许多过往行人有机会看到五更的月色。正如《图书集成·考工典》所记：“桥东筑城，为九馗咽喉，五更他处不见月，惟卢沟桥见之。”桥距金、元、明、清的京城还有约30华里路程，来往商旅，传递文书的差人，以及赴京赶考的考生等等，大都要在这里留宿一夜，第二天黎明再赶路进京。“士宦往还，冠盖云集”“未晚先投宿，鸡鸣早看天”“金鸡唱彻扶桑晓，残月娟娟桂林纱”，恰似一幅风情画，描绘出卢沟古桥当时的繁忙景象和桥头晨曦景色。

迢迢远行的人们，总是为了各种不同的事情，怀着各种不同的心情而进京的。“轻看一线卢沟水，来到燕门桥上看”，他们立马桥头，背靠西山，近看月下河水，波光闪动，远望京师城郭，一片朦胧，心情总会是不平静的。“卢沟晓月”也形象地概括了人们的这种感受。

卢沟桥还是京华送别的所在。元人赵秉文有诗云：“落日卢沟桥上柳，送人几度出京华。”元代杰出的戏剧家关汉卿被朝廷逐出大都（北京），王实甫等人到卢沟桥送行。惜别声中，关汉卿迈着刚毅的脚步走上了卢沟桥。此情此景感人至深。

拂晓，晨霭苍茫，一抹远山隐现于晓雾里，疏落的铃声传来，一队队车马骆驼从桥上经过，极富有诗情画意。元代诗人尹廷高《卢沟晓月》诗写道：“阑干滉漾晨霜薄，马度石桥人未觉：滔滔流水去无声，月轮正挂天西角。千村万落荒鸡鸣，大车小车相间行；停鞭立尽杨柳影，孤鸿灭没青山横。”明代杨荣《卢沟桥》诗云：“河声流月漏声残，咫尺西山雾里看；远树依稀云影淡，疏星寥落曙光寒。”

这些诗句，也都生动地描绘出了“卢沟晓月”的迷人景色。

伸臂木梁桥

文县古称阴平，山势特别险峻。相传三国时魏国大将邓艾领兵偷渡阴平，很容易地夺取了蜀国土地，就是经过此桥的。这样的古木桥要保存1700多年是没有可能的，不过，这座古木桥向我们展示了一种特殊型式的桥梁——伸臂木梁桥。这种桥梁遍布于西藏、青海、四川、宁夏、甘肃、广西、湖南、

浙江、福建等省木材丰富的地区。这种奇特的桥梁，至今在藏族、彝族、侗族等聚居区还常可见到，它仍在为人们的交往和运输事业服务。在浙江某些山区，这种古桥还是拖拉机行驶的通道。广西侗族地区的三江程阳桥还被列为省级重点保护文物。

我们知道，用木、石做成的简支梁桥，受到木、石材料抗弯强度的限制，单跨不能做得大，一般只能达到七八米。遇到宽度在 10 米以上的河谷，势必在河谷中砌筑桥墩，做成多跨简支梁桥。少数民族地区的河谷，常常是谷深水急，很难砌筑桥墩。而在一些水运繁忙的较大河流中，七八米为跨径的木梁桥不能满足船只航运和筏排通过的要求。多筑桥墩也不利于排泄洪水。因此，古代桥工为了增大木梁桥的跨径，在河谷中少建甚至不建桥墩，在实践中创造出伸臂木梁桥。

伸臂木梁桥的建造方法是用圆木或方木，纵横相间迭起，层层向河中心挑出，每层挑出数市尺至丈余，每层纵木（几乎全用圆木）的前端均稍向上昂，以便桥梁受荷载变形后，桥能平直而不向河心凹曲。两头向河中靠拢到只留下五六米空缺时，用简支木（竹）梁搭接成桥。《四川通志》卷 31 记载了用这种方法修建跨越文井江的榻水桥，还说，榻水桥俗称刁桥，桥高数丈，宽只有数尺，行走者感到惊恐，而当地少数民族过桥如走平地一样。“层层递出”的建筑方法，很像古代房屋建筑中的层层“斗拱”一样，至于哪个受到哪个的启发，或是互相启发，还待考查。

伸臂木梁桥起源于何时呢？据查到的资料看，最迟在公元 3 世纪初。当时在甘肃与新疆交界地区（现今甘肃安西县到新疆土鲁番县），由羌族人民在河上造起了“两岸垒石作基陛，节节相次，大木纵横更相镇压，两边俱来，相去 3 丈丛木材，以板横次之”的伸臂木梁桥，“长 150 步”，当地人称其为“河厉”。因桥中无墩柱，在险谷陡崖处走过伸臂木梁桥，好似飞渡，故有飞桥之称。东晋义熙（405~418 年）时，在袍罕（现今甘肃临夏县）附近阔达 40 丈的河上筑过飞桥，桥高竟达 50 丈，建造了 3 年才完成，规模是极为宏大的。在南北朝时，飞桥盛行于我国西北一带。从东汉墓中发掘出的梯桥石浮雕像看来，梯桥是一种伸臂木结构，是否伸臂木梁桥的前身，有待进一步研究。日本、巴基斯坦等国的古桥中，亦有伸臂木梁桥的桥型，不过年代较晚。据曾在塔什库尔干工作过的人讲，经过架在叶尔羌河上的伸臂木梁桥时，胆战心惊，难以迈步有时不能不爬行过桥，而当地少数民族牵牛过桥，泰然自若，如履平地。伊力喀什河上曾有这种伸臂木梁桥一座，主孔跨径为 23 米，一端支承在岩石上，一端悬插在木笼中，用穿梁梢木串插并配用少量铁件，该桥于 1956 年拆除，改建为下承式木桁架桥。

浙江鄞县鄞江桥，位于鄞江桥镇中心，建于清道光十四年（1834 年），6 跨总长 79.8 米，其中中间 4 跨为 9 米，2 个边孔各为 6 米，桥宽约 7 米，通行拖拉机。桥台用石梁挑出，挑出长度约 40 厘米（离鄞江桥不远的悬慈桥石梁挑出竟达 85 厘米），桥墩是单层圆木挑出，挑出长度近 3 米。浙江武义熟溪桥，桥墩上挑出多层圆木。鄞江桥上有桥屋 58 间，屋内设有鄞江区供销社图书租阅部、还存储镇消防第一分会的消防器材，足以说明伸臂木梁桥防火的重要。

兰州的握桥，又名西津桥，俗称卧桥，是伸臂木梁桥的一个代表。它座落在兰州城西 2 里，跨越阿干河。传说它创建于唐代，屡坏屡修，最后一次修建是在清光绪三十年（公元 1904 年）。解放初年，西津路拓阔，握桥已影

响交通，若保存老桥，另选新桥址，则需拆迁众多的居民房屋。加上桥木朽腐，损坏严重，因此就把握桥拆除。拆除时，做了一个模型，存放在兰州博物馆里。

根据 1952 年兰州市建设局拆除握桥时的实测结果，桥净跨度为 22.5 米，全长 27 米，桥高 4.85 米，桥宽 4.6 米。

握桥的修建方法是，先砌两岸石堤，堤砌到一定高度时，在堤岸边横放大木 1 根，再把七根纵列的大木向上斜置在横木上，纵列大木挑出堤岸 2 米多，俗称它为挑梁。在挑梁顶端，用 1 根小横木把 7 根挑梁贯栓一起。挑梁上又横压大木 1 根，空隙地方用木块塞紧。这样就垒好了第 1 层，按同样步骤垒第 2 层。垒至第 4 层两端相隔近 7 米时，就在两边挑梁上安放木筒支梁，再铺上横板桥面，桥就建成。在挑梁顶端的横压木两头竖立柱，用榫接联成一体。在立柱与立柱中间，嵌进挡水板，减少风雨对挑梁的侵蚀。桥面上建桥屋，桥台上修楼阁，使这座城市桥梁美观雄伟。桥阁压在挑梁的底部，使桥更加稳固，挑梁挑出的长度与木材允许承受的力量很相适应，这些都说明当时的建桥者已有了明确的力学概念。握桥之称最形象地揭示了伸臂的木梁桥，层层向河中挑出，中间相握的特点。

伸臂木梁桥的挑梁挑出的长度愈长，挑出的层次愈多，桥的跨度就愈大，而桥台上受的力亦愈大，就必须用大量的石木块在挑梁底部填实压住，以免挑梁在跨中受力后，如翘翘板一样，在另一头翘起。为了使桥中荷载逐层传递到桥台（墩）上来，须用铁条或立柱等构件，把上、下排挑梁及横压木扎紧固牢成为一个整件。对以上两点稍有疏忽，桥梁就可能产生过大的倾向河心的变形，或局部损坏，甚至全桥倒塌。先代桥工采用桥台上修阁，桥墩上建亭（如程阳桥）的办法，既起到重力平衡的作用，又增添桥梁的美观。

伸臂木梁桥放工十分费事，木料花费多。桥的刚度甚差，变形较大，难以通过较重荷载。为了克服以上缺点，在实践中又创建了木撑架桥。即把撑木一头插入桥台（墩）两侧的预制孔眼里，一头托在挑梁的顶端。这样一来，本来只有一个承托的挑梁，增加了一个承托，挑梁受力减轻，变形减少，结构稳定性增加。撑架桥的跨度就可做得更大些。湖南澧陵渌江桥，它在第 4 层挑梁处加了斜木撑，这是伸臂木梁与撑架相结合的形式，说明挑梁相送做成 4 层以上就十分困难了。在《云南通志》等一些明清古籍上对不同的桥梁提出“骈木为梁”与“构木为梁”的不同做法。“骈木为梁”即是把木梁一根根纵向排列搁置在两端墩台上，或是把 2 根以上的木梁迭拼成一根梁，后种骈木法是前一种的发展。“构木为梁”很可能是指撑架桥。明朝时，在云南曾把大量“构木为梁”，“骈木为梁”的木桥改建为石桥。

现在是不会再去建造伸臂木梁桥了。但是它正是我国现代各种型式的悬臂梁桥的先驱，这点是不应忘记的。

宝带桥的沧桑

苏州宝带桥，又名小长桥。它始建于 816～819 年（元和十一年至十四年）的唐代，是驰名中外的多孔古石拱桥，现列为江苏省一级文物保护单位。

宝带桥在苏州市东南，葑门外门 6 里，位于运河西侧澹台湖口上。它与运河平行，是过去苏州至杭、嘉、湖陆路的必经要道，又是太湖通往运河及吴淞江的一个溢口。全桥总长近 317 米，有 53 孔，共长 249.8 米，北端砌驳

引道 23.2 米，南端砌驳引道 43.8 米。桥宽 4.1 米。桥墩为喇叭形，桥端宽 6.1 米。桥墩两端原各有石狮 1 对，现北端仅存 1 只。北端有石塔和碑亭各 1 座，塔高约 3 米，亭内有清张松声的碑记。27 与 28 孔间的桥墩上亦有 1 座相同的石塔，已毁坏，部分断塔存于苏州博物馆内。宝带桥孔数之多，桥之长，结构之精巧，在中外建桥史上是少见的。

宝带桥兴建的历史，要远溯到千年以前的隋唐时期。隋皇朝为了大规模发展漕运，于公元 610 年（大业六年）开凿运河南段，自镇江经苏州到杭州，全长 800 多里，名江南河。唐都长安，地处号称沃野的关中，然而耕地有限，所产粮食不足以供应京师庞大的皇室和官僚集团的需要，必须经常由运河转漕东南大量的稻米，“去养活一大群的国家官吏和主要地是为了镇压农民之用的军队。”最多的时候，漕运量年达四百万石。漕粮的产地，主要是江浙地区，即今江苏省南部和浙江全省。可是，自从军阀安禄山、史思明叛乱之后，漕运时常受地方军阀割据势力的阻扰，不能畅通，造成京师粮食紧张。有一次，太仓（皇家仓库）存粮竟不足十天的食用。禁军因为缺粮要哗变，恰好传来从江、淮运到 30000 石米的消息，德宗喜极欲狂，走到东宫对太子李诵说：“米已至陕，吾父子得生矣！”可见，东南漕运对于唐皇朝是多么生命攸关的大事！宪宗元和年间，漕运情况有所好转，每年从东南运抵京师的粮食约在 40 万斛左右（十斗为一斛），保证了

供应。为了改善江南漕运，广筑纤道刻不容缓。特别是由苏州到嘉兴的一段运河，是南北方向的，满载皇粮的漕船，在秋冬季节要顶着西北风行进，不背纤很困难。而由于“自澹台诸湖而来众水”经运河“并入淞江”，使沿运河的纤道在澹台湖与运河交接处出现一个宽约三四百米的缺口。开始，填土作堤，“以为免舟之路”，成为“东南之要道”。可是这样一来，就切断了诸湖经吴淞江入海的通路，路堤常为汹涌湍急的湖水所冲决。以桥代堤就势在必然。宝带桥正是为适应这种需要而兴建起来的。主要作为运河“挽道”的宝带桥，不宜建成同常有的如驼峰隆起的石拱桥，宜于采用跨径小的多孔、狭长和平坦的桥型。为了宣泄诸湖之水，桥墩也筑得较窄狭。这样，玉带浮水之姿的宝带桥就呈现在水乡河面上。我国古代桥工就是在当时的生产条件下，经过不断的实践，因地制宜地建成了这座美如长虹的名桥，体现了我国劳动人民的勤劳、勇敢和智慧。

宝带桥地处要冲，它连接的堤岸不仅是纤道，也是重要的驿道，故为历代统治者所重视，千年以来，根据需要屡修屡建，据查阅到的资料记载，唐元和年间建成的桥，维持了 400 余年，到了南宋末年的绍定五年（1232 年）才重建。重建后 100 年，由于维修不继，桥又倒坍，用木搭桥以渡，过桥者“每有覆溺之患”。后又重建。元朝僧人善住经过此桥，曾用诗来描绘说：“借得他山石，还将石作梁。直从堤上去，横跨水中央。白鹭下秋色，苍龙浮夕阳。涛声当夜起，并入榜歌长。”诗中“石作梁”说明，元朝是长石桥。“涛声当夜起，并入榜歌长”，使人宛如目睹当时过桥的纤夫络绎不绝，挽舟破浪前进的景象，纤歌声声，低沉悲愤，可以想象漕运夜航也是很为繁忙的。到了明朝正统七年（1442 年）再度重建。经过 4 年的努力，于正统十一年（1446 年）冬 11 月落成。“桥长 1225 尺，洞其下可渡舟楫者，凡五十有三，而高其中之三，以通巨舰。用材为石两万两千丈，木四万两千五百株，灰二十四万三千六百斤，铁一万零四百斤，米二千六百石。”由此看来，当时的桥形就是现存的形式了。桥落成后 200 年，到了康

熙九年（1670年）为“大水冲圮”。3年内修复。道光十一年（1831年），由林则徐主持修理，费“工料银六千六百两有奇”。到了同治二年（公元1863年），又被英国侵略者戈登所毁。“同治十一年工程局重建”。抗战初期，南端一段6孔被日本帝国主义炸毁。解放前已破旧不堪。1956年春由苏州市人民政府修复，面貌焕然一新。

扭曲的历史

1863年（同治二年）9月29日，宝带桥突然一拱接一拱地崩塌了。经过大修仅隔30年余的宝带桥怎么会突然倒塌呢？

这要从太平天国农民革命军同清朝封建统治者和外国侵略者的斗争说起。1860年（咸丰十年）6月初，太平军从无锡挥戈东下，势如破竹，大败清军，一鼓作气而占领苏州，引起了清皇朝的极大震动。于是加紧拼凑反对武装，伺机反扑。3年后，当时的江苏巡抚大卖国贼李鸿章派出他的军阀武装——淮军，勾结英国强盗戈登所统领的“常胜军”洋枪队，恶狠狠地向苏州一带的太平军猛扑过来，太平军为了加强保卫，在苏州外围筑了许多营垒，宝带桥附近就是当时一组重要营垒的所在地，它同娄、葑两门外所筑的炮垒形成犄角之势，守卫着苏州城的东南。清军几次攻打娄、葑两门不下，吃了苦头，才意识到宝带桥地势的重要。李鸿章在1863年10月的奏章里这样写道：“该逆（指太平军）于娄、葑两门外筑石垒，甚坚，并有火炮炸炮各数尊，日夜对营轰击，我军碍难猛扑，必得先攻东南塘之宝带桥贼垒（指太平军营垒），进步方宽。”于是，在1863年9月28日凌晨，中外反动派合伙对宝带桥的太平军营垒发起了突然袭击。他们分兵五路，水陆合攻，先集中攻打宝带桥以东太平军的3座土营。太平军官兵顽强作战，英勇抗击，但终因寡不敌众，被迫弃营后撤。清军又乘势窜犯宝带桥以西太平军的1座石垒。

戈登这个曾在公元1860年参与英、法联军进攻北京，干过焚劫圆明园勾当的英国强盗，凶神恶煞般地坐在“飞而复来”号轮船上指挥洋枪队作战。为了使他的坐轮得以通过宝带桥去进攻桥西的太平军营垒，于9月28日悍然下令将桥的大孔拆去。结果，造成全桥一半桥孔的连续倒塌。倦圃野志的《庚癸纪略》对此事有明文记载：“（农历八月）十九日，捉民夫拆宝带桥两拱，坍去25拱，压死兵勇五人。又令打捞水草，开河道，通火轮船。”

腐朽没落的清朝封建统治者对于外国侵略者的这一罪行，不仅有意隐瞒，而且存心嫁祸于太平军。《苏州府志》、《吴县志》对公元1863年宝带桥被毁只字不提，却这样写道：“……咸丰十年毁，同治十一年工程局重建。”重建不同于一般的修理，只有桥梁受到严重破坏后才有这个需要。而咸丰十年正是太平军占领苏州的时候。根据史料，当时宝带桥并未大毁，志书将宝带桥的大毁记载提前3年，含沙射影地将此事归罪到太平军头上。更有甚者，封建地主分子姚济在他的《小沧桑记》中这样写道：公元1863年10月4日，“闻宝带桥被贼（指太平军）拆去”。这是明目张胆地将此事硬记在太平军的帐上。两枝秃笔，所记“史实”有异，目的则一，都要庇护外国侵略者，污蔑太平军。

关于宝带桥塌倒的事，戈登在公元1863年9月30日寄回英国的信中曾写道：“宝带桥是一座长三百码、有五十三个拱洞的大桥，可惜这桥的二十六个拱洞突然在昨天崩塌了，有两人跌死，另有十人在桥拱一个随着一个倒下时拚命奔跑才幸免于难。桥崩塌时发出震人的响声，我的小船险些被碎片击沉。……这桥的崩塌恐怕应归咎于我，因为我曾拆去它的一个拱洞让汽船

驶入太湖，这桥的拱洞是一个重迭在另一个上面，拆去一个拱洞，自然其余的便随推倒塌了。”戈登的自供和《庚癸纪略》的记载，尽管在细节上略有出入，但基本事实相符。戈登怕自己在中国犯下的滔天罪行被揭露，严嘱家人不要把他写回有关太平天国的信件向外发表，并串通他的同伙，也不把作战的日记向外公布。有人看了他的日记，根据日记写了一本太平天国史，已经付印而尚未出版，也被戈登强行毁掉。只是由于有一个叫贺翼柯的英国人，有机会抄录到戈登的一些家信，并择要加以发表，戈登破坏宝带桥的罪行，才被捅了出来。但是，即使在此以后，贺翼柯的透露仍未引起人们的重视，使戈登的罪行长期隐而不彰。现在该把颠倒的历史再颠倒过来了。

宝带桥的凌波

历经沧桑的宝带桥，像一条长龙踞卧于碧波荡漾的运河侧畔、澹台湖口，不仅肩负南北通衢，古来纤夫旅客深蒙其利，且造型精致，为祖国河山增妍添媚。我国古代的能工巧匠曾为建造这一座具有江南风格的名桥惨淡经营、苦费匠心。

桥南北两端立脚于岸边的巨大桥台之上，52座桥墩屹立于水中，支撑着河上各孔。建桥者没有砌筑宽而且厚的庞然大物——实体墩，因为这样做会阻碍泄洪，同时势必费工耗料，并增大墩自身的自重，对地基不利。宝带桥的桥墩采用了木桩，桩顶置基础石，其上安放墩身，拱圈的下端即嵌在墩上预留的沟槽里。桥址接近湖口，河底土壤较弱，采用打入众多的木桩，挤实桥墩下的土壤，提高基础的承载能力。同时，木桩又把桥梁的重量传到较深较坚实的地基上，保证桥墩的可靠性。

宝带桥采用的这一类桥墩易于变形，属于柔性墩之列。只要一孔的拱圈上有荷载，就要牵动两边的桥墩产生变形，从而把力和变形传到其他各孔上去。一孔受力波及全桥，连续拱桥（简称连拱桥）的名称即由此而来。在正常的情况下，连拱的桥墩两边都受到从拱脚传来的水平推力，两者方向相反，大小相等或相差甚微，不致将柔性墩堆倒。但在意外的情况下，如有一孔坍塌，和它相连接的两个桥墩就要失去均衡，有倾毁的危险，并酿成连锁反应，严重时甚至引起全桥尽毁。连拱桥的建造者为了减少株连的孔数，将一个或若干个桥墩修筑得比其他各墩坚强得多，在某些孔因故倒塌时，这些墩能抵抗单向推力，对其他若干孔起保护作用。今天建造连拱桥就常常设置这种刚性（单向推力）墩，也可称制动墩。极为难能可贵的是：建造宝带桥的古代工匠早已掌握了连拱的特性，采用了这种科学的方法。宝带桥从北端起的第27号桥墩是由2个桥墩并立而成的，上面还放置着“镇妖”石塔，它就是刚性墩。戈登在与太平军作战时，拆掉了宝带桥最大的一孔，结果使北部26孔全部坍塌，造成严重损毁，但在刚性墩以南的26孔却安然无恙，未受波及。原来，刚性墩成了南部26孔的可靠屏障。从这个事实充分看出宝带桥刚性墩的重大功能，更重要的是可以看到刚性墩的建造者——我国古代能工巧匠的惊人智慧。

宝带桥各孔拱形都属圆弧，接近于半圆形，孔高与孔径之比（称为矢高比）接近于1/2，属于陡拱。陡拱的拱脚对桥台桥墩所施的水平推力较小，对桥台桥墩有利。不仅如此，陡拱的桥孔下净空较大，便于行舟，也利于流水。从造型方面说，桥孔本身与水中倒影均为半圆，虚实相接，合为整圆，波光粼粼，秀丽异常。

宝带桥各孔的孔径、孔高互有参差。从北端起的第1孔至第13孔和第

17孔至其南诸孔的孔径自3.9~41米不等，孔高各约为孔径之半。第14、第15与第16孔高于群孔之上，其中第15孔孔径6.95米，孔高3.5米，为全桥之颠。此3孔的设置，为便于官船通行。这样处理，比之全桥皆用高宽之孔也要合乎经济原则，且使桥形变化多姿，无单调之感。

从拱圈的构造来看，宝带桥也反映了中国古代桥工的杰出创造。拱圈是由一条条弧形的板拱石并列砌筑而成，板拱石的端点之间设有横向长铰石，板拱石两端各琢有石榫，插入长铰石上预留的榫眼，互相结合，榫眼铰石榫略大，榫在眼中容许有微小的移动和转动。这种长铰石的作用可以近似地比为铰链，板拱石之间可看成铰链式的连接。宝带桥这一类拱圈，后人将它归类到多铰拱。多铰石拱桥有一种独特的优点。当拱桥发生温度变化、基础沉降或承受不对称的活荷载（车、马、人群等）时，各条板拱石的石榫能在长铰石的榫眼里作微小的运动，自动对拱圈的形状作微小的调整，使拱圈的受力有所改善。多铰石拱桥的力学特点在一定程度上好似倒置的悬索，悬索是能随荷载而变化其形状的。边墙、填料除了能起支托路面的作用外，还多少有助于增加多铰石拱桥的刚度。

历史上留下来的珍贵的宝带桥，今天已不能满足祖国蓬勃发展的社会主义交通事业的需要了。老宝带桥现在主要是作为省一级的历史文物保留下来供人游览、参观。1971年9月江苏省革命委员会交通局在老宝带桥近旁动工建造1座新宝带桥，翌年1月竣工通车。建桥工人、技术人员看到宝带桥为江南水乡习见的半圆拱桥，多孔联翩，狭长如带，倒映水中，虚实交映，分外多娇，在造型上有所借鉴，故确定新桥型为我国建桥工人新创的富有民族特色的双曲拱桥，由9孔（每孔24米）连缀而成，矢高比为1/6。从此新老宝带桥骈卧于明镜之上，相互衬托，并增秀态。今天行人过此，观览“双桥落彩虹”的丽景，内心不禁深赞古今桥工前后媲美的聪慧匠心。

姑苏石桥拾零

苏州别称姑苏，自古以来一直以桥梁之盛闻名于中外，素有“东方威尼斯”之称。据地方志书记载，姑苏桥梁建筑可上溯春秋，下及明清。春秋时吴王阖闾造定跨桥，吴王夫差葬女舞鹤于鹤舞桥，吴王（是阖闾或夫差不详）曾屈驾承天寺天桥，故该桥又名屈架桥，等等。唐朝白居易有“红栏三百九十桥”的诗句，宋朝杨备说有“画桥四百”，南宋《平江图》——当时苏州城的实录——上有桥359座，《中吴纪闻》上记有桥名的有360座，都说明唐宋时桥梁之多。宋至和二年（1055年）的一年中，就修建桥梁52座，为建桥史上所少见。据《宋平江城坊考》记载，自宋朝以来，已逐渐把木桥改为石桥。姑苏数遭战祸，其中以南宋建炎年间受祸最烈，苏州街道里巷几乎全被金兵破坏，桥梁也遭危难。元明清各代，桥梁有毁有建。迄于清末，苏州府治所的吴县、元和、长洲，城外桥数在700座左右，城内309座。当时苏州城内面积约21平方公里，平均每平方公里就有桥15座之多，而以水城称著的意大利的威尼斯，每平方公里仅有桥梁0.66座，可见姑苏的桥梁是何等稠密了。

苏州的桥多水多，自古以来就是“泽国环城，内外皆水”。吴郡号为泽口，“东接五湖，又东注入城闾，纵横交流，居民赖以灌濯，凡舟楫輿贩，悉由是而旁通焉……”。城内主要河道，东西向有3条，南北方向有4条，

俗称“三横四直”，还有环城河和几条较短的城内河。从宋《平江图》、明《苏州府城内水道图》及清嘉庆《苏郡城河三横四直图》来看，自宋至清“三横四直”的基本格局未变。明水道图还说明：“内城河流三横四直之外，如经如纬者尚以百计，皆自西趋东，自南趋北，历唐宋元不湮。”这些河道能千年不湮的原因，是因苏州河道是城市的骨架，它对生产、商业以及人们生活等各方面均起着重要作用。河流与街巷交叉点甚多，一般交叉点上都需建桥。

历代文人学士面对这秀丽的水乡景色，吟赋了众多的诗句。范文正公登观凤楼看到“山川千里色，语笑万家声；碧寺烟中静，红桥柳际明”的迷人风光时，顿感“满目是诗情”。唐人杜荀鹤在“送人游吴”的诗中说：“君到姑苏见，人家尽枕河。古宫闲地少，水巷小桥多。夜市卖菱藕，春舫载绮罗。”维妙维肖地描绘了姑苏水乡风貌。《姑苏志》载

诗：“雾敛江澄月满船，扶桥人影踏青天；看从三五团圞月，一道长虹上下圆。”勾画了月下拱桥的景色。唐朝诗人陆龟蒙曾写过“横绝春流架断虹，凭阑犹想五噫风”的诗句。他死后葬在吴县甫里镇保圣寺附近，明朝时里人在他的坟墓两侧各建小砖拱桥一座，以期增加祥瑞之气，影响本地文风。白居易也有“乌鹊桥红带夕阳”的诗句，乌鹊桥虽数度重建，而乌鹊桥名仍存。

苏州有许多古石桥，历经数代，至今仍完好无损，其中最有代表性的当首推阊门外7里的枫桥了。明初高启曾有“诗里枫桥最有名”的诗句，这指唐朝诗人张继题咏的《枫桥夜泊》诗：“月落乌啼霜满天，江枫渔火对愁眠；姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船。”据《豹隐纪谈》记载，枫桥原名封桥，因张继诗题故，乃改“封”为“枫”。寒山寺大门西侧尚有江村桥，两桥都是单孔石拱桥，始建年代不详，但均为清同治年间重修。枫桥一端还紧连铁岭关，下桥即进关。该关建于明嘉靖三十六年（1557年），因明代枫桥一带市面极盛，倭寇经常前来窜扰，为防御而建了这座关。这种为抗倭寇而采取的关桥结合的建筑，在明嘉靖年间曾造过数座，目前仅存这一座了。

盘门是苏州仅存的古城遗迹，也是全国绝无仅有的水陆城门。盘门外的吴门桥，建于宋元丰七年（1084年），桥券跨径14米，高4米。桥的宽度不一，顶狭下宽，顶部宽4.95米，底部约宽五点七米，这样做是为了求得桥的稳固。吴门桥是苏州市内最大最高的柘孔石拱桥，桥门正中刻“吴门桥”3字，桥两侧间壁上刻“同治十一年壬申夏四月，苏省水利工程总局重建”字样。吴门桥原名新桥，建在河道转弯处。这里河道深广，是至木渎的要隘。宋绍定中重建，“环以三石洞”。明正统、弘治以及清顺治、雍正、同治时相继重修重建。它与我国古城遗址盘门和古瑞光塔，构成苏州城西南的风景游览区，称为“盘门春秋”3景。

觅渡桥（一名灭渡桥）在东南城郊，跨越运河，桥跨近20米，是江南一带现存古桥中最大的一座。建桥以前这里是一个繁忙渡口，旅渡者常遭水患之苦，昆山僧人敬修偕一些里人募捐钱款，于元大德二年（1298年）10月动工建桥，经一年零五个月建成，费银3000余两。建桥中为保证运河通行，采用了河道改道的施工法。造成后全长28.8丈，高3.6丈，宽1.8丈，民众腾跃欢庆“志平横暴”，名桥为灭渡。该桥宽长，拱圈薄（仅30厘米），采用了4个间壁，这样可以和边墙一起，与拱圈上的填料联系起来，能在一定程度上限制石拱变形，增强主拱圈的强度。该桥自清同治年间重修后，今天拱脚石基一角虽已被轮船冲走数年，但仍屹立未坏，与这项技术措施不无关系，

是我国古石拱桥突出的技术成就之一。

现代化的阊门吊桥，西跨官河，桥上桥下，车来舟往，倍加热闹。谁知道，这座新式桥梁却是安放在 600 余年前的老桥台及其基础上的呢！元泰定二年（1325 年）时，该桥名虹桥，是当时苏州 3 座虹桥之一，“水至桥下，汇为回渊，折而东行，势用慄悍”。大水冲毁了旧木桥，使县吏一筹莫展。郡民邓文贵捐家产一半改建石桥。泰定六年十月桥成，耗费以缗计 15 万贯。该桥“石款密链固累，起拱合理无间，下通圜空，涵水象月，引重过之，坚逾实地”。明洪武初改建为石台木梁的护城吊桥，吊桥之名从此沿用至今。1927 年与解放后相继改建为现代的钢筋混凝土桥梁，桥台桥基仍为原作。

乐桥今仅见其名，不见其踪。其实它仍在人民路下，承受着过往车辆和密集的人群，只是被埋在路面之下而已。乐桥建于南宋，是净跨 6 米的单孔石拱桥，拱圈厚 30 厘米，分节并列砌筑。桥基有 3 层条石，桥基下为直径 18~20 厘米、长 2 米左右的密集松木桩。很多桥石上还刻有云纹等花纹，十发好看。乐桥在 1979 年因筑路暴露在外的，龙门石下曾发现相当数量的宋代铜钱。这是因为苏州地区有一习俗，把拱桥合龙当作一件大喜事。合龙这天，龙门石必须由技能最高的老匠师放置，周围民众都前来请桥匠喝酒，并烧纸、放钱。这些铜钱极可能是造乐桥时放下的。

苏州现存石拱桥中，较有名的有还有行春桥、五龙桥、普济桥、莲花桥等。网师园中引静桥，是长仅 2 米许，宽仅一米的石拱桥，为姑苏最小的石拱桥。桥上的石栏精美，姿态苗条秀丽，称得上是这幅园林画中的点睛之笔。除石拱桥外，还有众多的石梁桥，有的还与庙宇相伴，俗称“庙挑桥”、“桥挑庙”。庙挑桥，即庙之前后皆临河，各建一桥通向对岸。桥挑庙，是两庙对门，隔河相望，筑一桥连通起来。城内崇真宫大门外的崇真宫桥，北寺前的香花桥都是实例。行人上桥就仰见殿宇矗立当前，为寺庙制造庄严气氛。

苏州的石梁桥，每一条石梁衬有一根木梁。这样做的原因，据《吴门表隐》载，说是吕祖曾站在纯用石梁的崇正宫桥上，预言石梁性烈，此桥不加托木必然断裂。桥中一石梁不久就在声如雷震中断裂。这才使得民众悟其意而在石梁下部加托木。这虽是神话，可石梁性脆，加托木以保险还是符合科学道理的。据说，加托木还有一条原因，是因过去苏州城内多官僚、地主、富商等人物，他们常乘船行乐，或航出城外游山玩水，或乘坐张篷挂灯的快舟招摇过市，犹如明朝文人袁宏道所记：“箫鼓楼船无日无之。”如若石梁脆断压坏了官船，砸死砸伤了达官贵人，谁也担当不了。

吴县是苏州的郊县，在春意浓郁的乡村中，一桥如带，水光山色，片帆轻橹，相映成趣。该县车坊乡的大党教寺桥，建于宋庆历七年（1047 年），是江苏省现存较早的石拱桥。桥上刻有宋元两代的浮雕和人兽画像，栩栩如生。吴淞江畔的角直镇是江南桥乡的佳例。该镇被喻作“青龙”，龙首即为镇东的正阳大桥。正阳大桥又名青龙桥，桥堍原有城隍庙和关帝庙各一座，象征“龙目”。另有竹、本行各一家，算是“龙角”。镇上 3 里长街为“龙骨”，70.5 座桥是“骨节”。成千家青瓦房为“龙鳞”，各条港汊乃“龙爪”，镇西的西美大桥系“龙尾”。无论从水路或陆路进入镇界，就如到了石桥历史博物馆。只见三步两桥，五步一桥，回转相接，桥桥遥望。角直镇不单是风景优美，这里的桥更美、仅是以美字为桥名的，就有东美、西美、中美、南美等桥。南美桥最古老，建于宋代，椭圆拱形，石刻雄狮守护桥头，两侧为红砖镶砌的兽形栏板。东、西美桥都是单孔石拱桥，均建于明成化年间。

据说是为了承受更大的载重，东美桥特地将桥洞设计为全环形，半个拱圈在水底，不用一根桥桩，恰如“一道长虹上下圆”。石桥与佛教及商业有关。如香花桥坐落在始建于梁天监二年的保圣古刹的山门前，东美桥桥面上有刻着“莲座”“轮回”“宝幡”等的精美佛教浮雕。江南城镇的桥头两端常常是商业及农副产品的集散地，四面环水的角直镇更是如此，有些桥往往是商人们为赚钱而建的。如清代镇上沈姓富商，原先在沿河街上开了一爿店，为与本街同业竞争，出钱在店旁修了一座通向对河另一条街的“进利桥”，得到地理之利，招徕了顾客，压倒同业，获利发财。于是，店主人又改桥名为“金店桥”。正阳桥是半圆形石拱桥，它的建造据《吴郡甫里志·重建南里正阳桥碑记》记载说，明朝时这里许多世代豪吏达官大都寥落衰败，风水先生说是因为狭长河流的东出水口日渐宽广，已“汪洋浩淼”，财气和福泽被大水渲泻带走所致，宜用桥梁加以封锁。为此，崇祯九年把镇东首旧有小桥改建成“高大稳固”之桥，更名正阳。此后，镇东就开始兴盛，发家致富者累累。这当然纯属无稽之谈，可是正阳桥确属高大，站在桥顶，可俯瞰全镇，饱赏千姿百态的碧波桥影。观桥下长虹漾月，确有“玉虹横锁市东头，月与波连上下流；倒影半湾圆似许，翻疑人在镜中游”之感。

浮桥

浮桥古时称为舟梁，可说是大型桥梁的先辈。它是用船渡河的一个发展，又是向建造固定式桥梁的一个过渡，成为介于船和桥之间的一种渡河工具。我国古代文献资料中最早提到的大型桥梁，是诗经中的“亲迎于渭，造舟为梁”。据传是周文王为娶亲而在渭水上架设的一座浮桥，离现在大约已有3000年时间。据后人考证，当时这种“大型桥梁”是稀贵物品，根据以后周礼制规定，只有大奴隶主的头子——“天子”才能使用，用过即予撤除。这可能和当时用来联结和固定浮桥的材料还很不牢固有关。

战国时期，“礼崩乐坏”，只准“天子”上浮桥的规矩也崩坏了。公元前541年，秦公子鍼投奔晋国，在临晋关附近的黄河上建造了一座大浮桥，通过的队伍“车重千乘”。而且，从秦开始，架起的浮桥不再用过就撤，成了相对永久式的桥梁。说明桥的规模和水平都有了相当的进步。

汉唐以后，浮桥的运用日趋普遍。公元35年东汉光武帝时，在与四川割据势力作战中，于现在的宜昌和宜都之间，出现了架设在长江上的第一座浮桥。隋大业元年（605年），在河南洛阳洛水上建造的天津桥，第一次出现了以铁链联结船只、架设浮桥的记载。

唐太宗李世民作过1首诗，其中4句：“暂低逢鞚度，还高值浪惊，水摇文鹢动，缆转锦花萦”，描绘他乘坐御车渡越浮桥时，船头上善于搏击风浪的鹢鸟图形和缆索上的朵朵锦花，在江河波涛上摇曳动荡的景象。皇帝的车队能从容通过浮桥，说明浮桥的载重量、桥面宽度和整桥结强度都已达到较高水平。

浮桥的架设因具有简便、快速的特点，常被用于军事，亦称战桥。974年宋太祖时，在长江中下游架设的第2座浮桥（相传在安徽当涂县采石矶），就是为宋兵讨灭南唐，统一全国，向江南进军开辟的水上通道。元始祖时，为统一西南地区，遣军入川，在白马河、合江、培江、清江（均长江上游支流）等激流上，架设过20余座军用浮桥。有些写史的人认为这些浮桥为忽必

烈统一西南立下了大功。

军用浮桥的架设，作为一种临时性的交通工具，一般是为了通过军队、辎重。有时亦用来阻隔对方水军的行动，浮桥上驻守有军队，利用浮桥和对方水军作战。这时，浮桥就成了一道水上战壕。

我国历史上浮桥架设规模最大，并在军事上发挥了重要作用的，要算是太平天国起义军在武汉战役中所架设的一组浮桥。

飞桥越天堑

1851年1月，我国历史上最大一次农民革命战争——太平天国起义爆发了。以洪秀全为首的起义队伍，势如暴风骤雨，迅猛异常，只用了2年时间，就由广西攻入湖南、湖北，于1852年12月下旬逼近武汉三镇，揭开了武汉战役的序幕。

当时的省城武昌、府城汉阳及汉口市，濒临长江、汉水交汇口上，是清皇朝在中原腹地的重要营垒。清军主力集结于省城武昌，由巡抚、提督两名大员坐镇指挥。另外由提督向荣统带的一支队伍，正尾随太平军由湖南赶来，企图救援武汉三镇。在此前后，清朝反动政府又从陕西、甘肃、山东、山西等地纠集“救火队”，向河南、湖北交界处集结。根据当时敌我双方兵力部署状况，在即将来临的这场恶战中，对双方都极关重要的一条，是如何掌握住武汉三镇之间的交通联系，保持自己力量机动调度的主动权。掌握住这一条，就能在整个战役中处于主动和优势地位，失去这一条，就必然陷于分隔孤立、被动挨打的局面。而就当时条件来说，克服长江、汉水的阻隔，保持其间交通畅达，是一项有极大困难的课题。

战云密布，激浪滔天。在困难的任務面前，太平军以其革命军的无比锐气，迅速果断的行动，作了回答。据史料记载，太平军“千舸健将，两岸雄兵，鞭鼓金镫响，沿途凯歌声，水流风顺”，于12月22日赶到武汉地区。北岸一路立即攻占汉阳，南岸一路则把武昌重重围困起来。2天以后（即12月24日）的一个晚上，太平军在汉阳至武昌的江面上，架设起2座浮桥。又在12月29日攻克汉口后，于硃口架设了汉阳至汉口间的浮桥。3座浮桥，为分驻在武汉三镇地区的10万太平军，克服了长江、汉水的险阻，联结成为一支强大、机动的打击力量。困守在武昌城内的清军，则顿成瓮中之鳖，处境艰危。

对太平军架设的几座浮桥，当时描述：“艨艟大舰，排齐江心，……浮桥数座，直贯武昌城下”，人马往来，如履坦途，显出一派威武雄壮态势。清方反动官将深知局势严重，认为太平军方面“武汉两地来往自如”，自己则困守城内，水泄不通，因此“必烧其浮桥，使其不能往来，以分其势”，企图把太平军的力量加以分割。正驱策队伍向武昌挣扎靠近的向荣，在其给清皇帝奏折中写道：太平军“攻陷汉阳，占据江面，搭造浮桥，围扑省城，势甚猖獗”，“奴才筹思至再，……必须水陆四面夹攻”，断绝太平军的联络，“方可易于得手”。蜷伏于武昌城内的巡抚和提督们，更是惶急万状，于12月29日悬出赏格：“无论士庶，能毁江上一浮桥者，赏银5000两，上下流出二浮桥全毁者，赏银万两”，“烧一船者，赏银20两”。然而，据当时一儒生记述：“并无一人出应。”

1853年1月12日，白云黄鹤起狂飚，激浪舟桥齐努力，太平军迅速集结起优势兵力，一举攻下武昌城，赢得了武汉战役的辉煌胜利。三镇军民，凯歌声声，充溢着一片革命胜利的喜悦。

太平军攻下武昌以后，为了进一步加强长江两岸联系，恢复武汉三镇生产和生活供应，又在汉阳武昌间架起一座大浮桥，供城乡人民贸易、交往之用。这座桥正好与现在武汉长江大桥的桥位相一致，横跨于龟山蛇山之间一段较狭的江面上。还应补述的是，太平军于汉水上架设的浮桥，也与现在的汉水铁桥桥位大体吻合。根据当时观测条件，能在极短时间内选定这样好的桥位，说明太平军中架桥工匠的才能很高。

战桥史上光辉的一页

浮桥的构造和架设，一般比较简单，用几十或几百只船艇，间隔一定距离，横排于河中，用船身做桥墩，上铺梁板做桥面，岸与桥用跳板连接，以适应河水涨落。整座桥以棕、麻、铁、竹各种缆索相联结，并固定于两岸；需要时，另用铁锚或石锚将船定于江底。这套架桥方法，很长时期里变化不大。然而军用浮桥的架设，尤其是当军事行动正在桥位附近展开的条件下，仍是一项复杂的任务，需有周密的规划。从这次太平军于武汉战役中架设的几座浮桥看，我们觉得有点值得注意。

首先是架桥方案应符合作战要求。

翻阅战史，可以看到利用浮桥作战，有些并不成功，原因之一是架桥方案与作战要求不够符合。有的桥位选择不当，易遭对方破坏，难以实现军事目的。有的桥面通过量不足，影响进军速度，以致贻误战机，甚至在运兵过程中遭受对方截击，损兵折将。亦有只考虑进兵需要，未顾及意外情况下后撤的需要，结果后撤时拥塞挤渡，给敌方提供了进击的机会，使自己吃了大亏。

此次太平军在武汉战役中，共架设浮桥3座，2座在长江江面上，其中1座由鹦鹉洲至白沙洲，1座由南岸嘴至大堤口，桥位选择在现在的武汉长江大桥上下游不远处，两座桥同时架设，同时完成，可见是事先做过周密考虑的。这方面的具体资料没有留存下来，但从太平军《行军总要》中的有关条文，可以见到一个大概：“凡出兵诛妖，以地利为先；譬如水境深阔，不便进兵退兵，则先架浮桥，或二三座，要宽阔坚固，以便进兵。”其中值得注意的是，太平军不仅一般地考虑了通过量的需要，而且对于进兵退兵两种情况，都早有预计。从他们架设的需要，而且对于进兵退兵两种情况，都早有预计。从他们架设浮桥后，在进攻武昌和以后撤回汉阳、汉口，拆毁浮桥，继续东征的全过程看，三座浮桥基本上保证了军队辎重的顺利通过和作战行动的迅速展开，说明架桥方案充分满足了作战要求。于长江上架设的2座军用浮桥，桥位处江面比后来搭建的民用浮桥处要宽，前者大约各宽1500米，后者约宽1200米。在军情倥偬情况下，反而选择在较宽的江面，用较多的工料架设浮桥，主要是由于作战的需要。技术服从于军事，这是此次架桥获得成功的重要原因。

二是要求快速架桥，争取时间。

“兵贵神速”。太平军在一夜之间架成2座浮桥，共长约达3000米，根据当时条件，很不简单。前面提到宋初在当涂县境长江上所筑的一座府浮桥，花时3天，而太平军只用1个晚上。从根本上说，这是由于革命战争的性质，能充分调动广大起义战士积极性。并获得人民群众支持的缘故。据当时人记载，架桥那天晚上，汉阳江边鹦鹉洲一带，火炬如龙，光耀烛天，彻夜不灭。可见施工现场规模之大，参与人员之多，情景极为壮观。在架桥方法上，采取分单元预先联结，做成一段段浮桥，然后在江中就位拼装成整桥。这种方

法，能使众多人员同时操作，并使大量作业得以利用江岸有利条件，保障施工安全。架桥的材料，是“以鸚鵡洲的木条，汉阳城的板障”，就地取材而用之。浮桥固定的办法，开始仅采取在两岸固定，以后因一度被大风浪冲断，修复时又加用铁锚在江中固定，两法兼用，比起只用一种方法固定，可以尽量利用当时较易得到的各种锚缆材料，少用甚至不用难以取得的大型缆索。这些措施，都有利于快速架桥。

三是要加强对军用浮桥的保卫。

浮桥作为军用工具，敌人要想方设法进行破坏，自己要千方百计加以保卫，这个矛盾必然相当突出。过去浮桥多用竹木材料制作，毁桥一方因此往往利用火攻烧桥。抵御火攻的方法，一般采用在上流或上风方向设置各种障碍，或用战船加以拦截、防卫。唐时史思明叛乱，唐名将李光弼和他战于河阳，对于唐军当时在战区所架浮桥，史思明就是采用了火攻的办法。唐军事先用大木、长竿、铁叉等组成拦截工事，待纵火船即将靠近浮桥时，将叛军船只统统叉住，使“船不得进，须臾自焚尽”，浮桥得以保存完好。破坏浮桥有用潜水凿船的方法。如南宋绍兴年间，金兵南犯，筑浮桥于淮河上，企图由此渡河。宋兵挑选了一批熟谙潜水技能的战士，潜游到浮桥船底，将船凿沉，破坏了金兵的浮桥和原定的渡河计划，金兵被迫转移他处寻渡。利用陆军破坏对方浮桥的战例，那就更多了。

太平军在武汉战役中的浮桥，清朝反动官军、谋士虽然屡谋破坏，终未得逞，固然是由于反动军队的无能和胆怯，不敢下手，而太平军对于浮桥的保卫，也不会是无所筹谋的。前面提到的太平军《行军总要》中述及：“浮桥之头，预点司炮兄弟在彼埋伏，预备兄弟胜兵，有妖跟后，开放炮火，以阻妖魔（指清军）来路。”这是预防清军从陆上破坏浮桥，和保障行军安全过桥的措施。另外，从清方所搜集有关太平军的军事情报材料中，列有“夹江为营”、“夹河为营”等部分，附有图例，说明太平军在营寨的布置、防御工事的构筑和江面设置拦截工具等各个方面，对保卫浮桥安全都会有周密措施的。

武汉战役中的浮桥架设者，主要是太平军水营部队的战士，另有工兵营中部分木工、铁工和当地群众参加。

太平军水营是在起义部队进军湖南、湖北、于益阳、岳州、蒲圻一带，由洞庭湖畔、长江两岸广大水手、渔民、码头工人、以放竹木工人的踊跃参加而创建、发展起来的。他们饱受反动政府的压迫和剥削，生活在水深火热之中；参加起义部队后，砸掉身上的铁锁链，翻身求解放的革命积极性空前高涨，使这支新建的水营队伍，为太平军增添了强劲的一翼。他们根据革命战争的需要，迎风破浪，架桥“铺路”，把自己在长期水上作业中练就的一身本领和能耐尽情地发挥了出来。架桥工程的领导人中，有做了半辈子木工的宾福寿，有出身于农村铁匠的陈国良，二人原籍广西，都是起义队伍中的老战士。水营领导人唐正财，原来是依靠水路贩运为生的小商人，在洞庭湖畔参加了革命。就是这些平凡的工匠、商贩，组织和领导着千万苦难弟兄，在桥梁架设的历史舞台上演出了有声有色的一幕。他们在执行任务中所表现的英勇、魄力、智慧和才能，使我们无限敬仰。他们在架桥史上写下的光辉篇章，值得我们很好学习。

历史上劳动人民在祖国的江河上建造过无数的桥梁，但那些桥都是在劳动人民被剥夺了一切权利的情况下建造的。太平军的水营战士和其他工匠

们，是第一次为着千千万万劳动人民自己的解放事业，进行了规模如此巨大的架桥工程，这是架桥史上的第一声春雷。在这个意义上，他们的英雄业绩，更是值得我们永远纪念。

南京长江大桥

1958年，我国建桥战线的一部分职工、干部，刚刚经过建造武汉长江大桥和白沙沱长江大桥的锻炼，又投入了建造南京长江大桥的战斗。他们在党中央、毛主席和周总理的亲切关怀下，经过近9个年头的艰苦奋斗，终于在1968年12月28日胜利建成了大桥。

南京长江大桥是一座铁路、公路两用双层桥梁。铁路桥面全长6772米，公路桥面全长4588米，江面正桥十孔，长1576米。桥身从水下最深基础的基底到桥头堡顶端，高140余米。10孔钢梁中有9孔跨径各长160米。是我国当时规模最大、跨径最长的一座大型桥梁。下层可供两列火车对开，上层可供4辆大型汽车平行行驶，桥下可通航长江上最大的轮船，构成一个东西南北四达的、大交通量立体组合体系。

南京长江大桥的建成，是我国桥梁史上光辉的一页。它说明：我国人民从此可以完全依靠自己的技术力量和材料、设备，担负起在祖国的任何大江大河上建造大型现代化桥梁的任务。

在长期的封建社会中，桥梁工程受到政治、经济和科学技术各方面条件的限制，一直停留在主要利用人力、简单设备和天然材料进行架桥的水平，只能在较浅的水域建造较小跨径的和承载能力较低（石拱桥除外）的桥梁。南宋时期始建的漳州虎渡桥，造桥者想在扩大石梁的跨径方面有所突破，在最大的桥孔上架设约6尺宽、5尺厚（当地人称一扁担厚）的3根大石梁，每根石梁估计重达200吨，实属前所未有的，因而曾有“江南桥梁，虎渡第一”的称誉。但它的跨径，也只达到23米左右，而且因为自重过大，其静重弯矩所产生的拉应力估算达每平方公分50公斤，已接近极限强度。经过较长时间的风雨浸蚀，就由于自重大将石梁折断。在基础工程方面，古代桥工所受到的条件限制更其严酷。广东潮安的广济桥，根据解放后勘探部分桥址，在水下25米深处发现有桥基残石，这可能是古桥中最深的桥基了，但因为桥墩基础深，墩身势必肥大，以致在东西两端部分桥墩建成后，阻水面积就达到40%以，使中间一段的水中墩再也无法建造起来，长期以来只能靠浮桥济渡。在这种情况下，我国如像长江、黄河这样的大江大河上，就一直未能建成过永久式的桥梁。直至近代，黄河上架起了几座“洋桥”，但长江天堑仍未被突破。新中国成立后，于1957年建成了武汉长江大桥，从此天堑变通途，为我国架设大桥工程积累了宝贵的经验，而南京长江大桥，则是我国第一座完全依靠自己的技术力量和材料、设备建成的特大型现代桥梁。

在南京长江大桥工程中，我们的建桥技术有了很大提高，特别是在基础工程方面。南京长江大桥建造之前，钱塘江大桥的桥墩基础最早达到了近50米的深度。而南京附近的长江，水深限有三四十米，水下的泥沙覆盖层则更厚，江底岩层情况又极复杂。过去，有些国家的桥梁专家曾经断言：在南京长江上造桥，基础工程这一关就过不了。但这过不了的一关，我国的建桥工人和科学技术人员终于闯过来了。9座桥墩基础，根据不同的水文地质情况，分别采用了几种类型的管柱基础和沉井基础。其中一种浮运薄壁钢筋混凝土

沉井基础，平面大小为 400 余平方米，高 55 米，相当于一个篮球场那样大，1 座 14 层楼房那样高，有 20000 多吨重，下沉的深度达到水下 70 余米。这样一个庞大的结构物，除它的底节是在铁驳船上制作外，其余部分都要在墩位附近的江水中，在始终保持半浮半沉的状态下，进行拼装浇筑工作。在基础浇固于岩层之前，还须进行大量清基工作，一个基础清除的风化岩和新鲜岩石达 1400 余立方米，用吸泥机吸出的最大石块重达 60 余公斤。根据过去经验，要在深水下进行这样大量的清基工作，一般要采用沉箱基础（因在沉箱内可用人工操纵清岩机械进行清岩），但沉箱基础的深度，在一般情况下只能达到 40 米左右，再深就要危及工人操作安全。我们现在所采用的这种新颖巨型沉井基础，是这一类型基础工程的一项重大突破，当时在国外尚属少见，在我国桥梁工程中，则是一个创举。

大桥工程对我国架桥设备、材料的制造、生产，也是一个促进。例如，在建造武汉长江大桥期间制成的震动力 120 吨的打桩机，当时在世界上是最大的。在南京长江大桥工程中，为了下沉更大的管柱基础，又设计制成了震动力为 250 吨的打桩机。为凿岩用的大型钻机，在武汉长江大桥工程中，用的是 3~4 吨重的钻头；在南京长江大桥工程中，则装备了 7 吨重的大钻头，这在当时国内也是第一次制造使用。特别应该提到的是，我国鞍钢工人为南京大桥炼制出了一种高强度合金钢。这种钢每平方毫米能经受 33~35 公斤的拉力，强度比武汉长江大桥用的钢材提高了 30%，为我国架设大跨径钢梁奠定了坚实的物质基础，使我们彻底摆脱了大型钢梁用材依赖国外供应的局面。

某年 9 月，长江秋洪暴涨，江面刮起了六七级大风，风吹浪打，使大桥工程顿时处于极困难的境地。这时，某一个桥墩的浮运薄壁钢筋混凝土沉井基础刚拼装完第五节，已筑 10 余米的高度（入水深 14.2 米），为固定沉井位置而设置的部分边锚（多为 25 吨重的混凝土锚）突然被湍急的江水破坏，总重近 7000 吨的沉井开始连续不断地摆，摆动的最大幅度达 30°。在摆动过程中，先后拉断了十几根锚索和一根钢丝绳缆索。沉井随时都有被颠覆淹没的危险。

桥梁工程、尤其是跨越大江大河的桥梁工程，在风浪侵袭下出现不同程度的险情是常有的。因此古代一位诗人曾在诗中写道：“世无刚者桥难成”，用来赞美造桥者和大自然作斗争的刚强性格。南京长江大桥工程中这种巨型沉井的施工，正常条件下，已是困难重重，现在出现这种中外造桥史上罕见的险情，对广大桥工人员确是一场严峻的考验。

这时，在领导机关的紧急部署下，全国各地有关单位也都动员起来，把抢险所急需的各项物资，通过火车专列、运输船舰、军用民用飞机等，源源运到工地，迅速加强抢救的物质力量。工地上，各级领导亲临第一线，广大工程人员甚至职工家属也都积极投入抢险战斗。抛锚工人风雨无阻，夜以继日地为沉井补锚固定。沉井顶部的吊装工人，冒着被抛入江水的危险，坚持在吊机上紧张操作。当为沉井施工输电的水中电缆被扭断的一瞬间，电力工人划着小划子，顶风钻浪驶近水上配电房，及时接通电源，保证供电。技术人员根据工程险情的发展变化，不断改进抢险技术措施。工地上下，真正做到了力往一处使，心往一处想，齐心协力抗秋洪。

对于沉井的摆动，开始曾试图用绞紧锚绳的办法制止它，但锚绳随紧随断，说明单纯依靠绞紧锚绳不能制止沉井的剧烈摆动。后来又用 2 艘数千吨

的船只制摆，也未奏效。经过研究改进，最后采用平衡重止摆，才逐渐制止了沉井的摆动。平衡重止摆的方法是：在沉井两侧的浮船上放置平衡重，用钢丝绳把平衡重与沉井联系起来；沉井在摆动中提升平衡重，使沉井摆的动能转化为平衡重的位能，再用卷扬机将平衡重重新放回船面；这要反复操作，让摆动的动能逐渐消耗在无数次地对平衡重的提升中。经过一段时间，沉井摆幅显著减小，再配合逐步绞紧锚索，沉井开始稳定下来。

沉井下沉到岩面后，必须首先清除风化岩和部分新鲜岩块，使沉井嵌进新鲜岩层，才能浇灌封底混凝土，把沉井和岩层连成坚实的整体。这个清基工作应做得很彻底，因而，在使用各种机械设备完成清基工作后，还需通过潜水员下潜进行检查。这里，又遇到了深潜水的难题。

根据过去的潜水资料，用普通潜水设备，下潜到 45 米是一条警戒线。潜水深了，在深水的高压作用下，将引起潜水员各部分器官机能的不适应，产生高压病。同时，供应潜水员吸入的高压空气中氮气含量的增加，又会产生氮气麻醉。潜水员出水时，需进行工人减压，如减压不当，又要引起关节酸痛等减压病。高压病、氮气麻醉、减压病，这是用普通潜水设备深潜水时的 3 大难题。下潜超过 45 米，甚至会导致潜水人员知觉失灵，危及生命安全。

我们建桥队伍中的潜水工班同志，在深潜水之前，他们进行了加压和减压锻炼。加压和减压是在一个密封舱内进行的。进行这种锻炼时，密封舱内温度有时从 40℃ 以上骤然下降到 0℃ 以下，就像从炼钢炉旁突然进入到冷冻库。忽冷忽热，加上氮气麻醉的作用，使人极其难受。经过一段时间的锻炼，终于为深潜水作好了充分准备。

同时，领导部门进行了一系列组织工作和物质准备，规定各项安全技术措施和医疗保障措施。要求此次潜水作业除必须遵守常规操作规程外，还按现场具体情况，制订了各种补充规定，使全部工作处于严密的科学管理之下。例如，对潜水人员，他们每次下潜的部位、任务和操作方法，在水底停留的时间，上升出水的速度，出水后 12 小时内的活动范围，以至下潜前和下潜期间的生活习惯（忌烟、酒和浓茶）、饮食营养等等，都有周密的规定，要求严格遵守。

在这样周密准备和严密的技术操作管理下，潜水英雄们在深潜作业中，安全突破了 45 米“警戒线”，在水深 60~70 米范围的江底，摸遍 400 多平方米沉井基础底部的每一寸的地方，用特制的钢尺测量了 370 多个测点，查清了基岩清除情况。同时，总共有 207 人次下潜，在江底停留时间累计达 2291 分钟，却未发生过一起减压病事故或其他危害潜水员身体健康的事例。他们用普通的潜水设备，创造了潜水史上的奇迹。

大桥通车以后，经过了大自然的初步考验。1974 年 6 月，南京地区发生了一次 40 年来少有的台风，台风中心风力在 12 级以上，持续了 1 个多小时。又经历了一次地震余震。台风和地震过后，对大桥作了一次全面检查，检查结果证明，大桥的工程质量是经得起考验的。现在，在大桥上已安置了 12 套先进的强震加速度仪，用来观测地震时的地面运动和各类建筑物的地震反应。

南京长江大桥使津浦、沪宁、宁芜铁路连成一体，南来北往的客运列车通过长江天堑的时间，由过去用火车轮渡的 1.5 小时左右，缩短为 2 分钟；货运列车在以往用火车轮渡时，需要先后在南京站和浦口站两次编组，共需 9 小时以上，现在只需在南京站一次编组，时间仅 3 小时左右。它还把长江

南北的公路网贯通起来。这就大大加强了华东沿海各省、上海市与首都北京、华北、西北、东北的交通运输联系，加强了华东各省长江南北地区的联系，有力地促进了城乡经济发展和物资交流，对加强我国无产阶级专政的物质基础起了明显的作用。

直布罗陀海峡大桥

直布罗陀海峡是地中海通向大西洋的唯一出口，最窄处 13 公里，平均深达 310 米；北为西班牙，南为摩洛哥，将欧、非两洲隔开。目前海峡两岸每年过往旅客 400 万人，货物 1 亿多吨。

人们长期梦想架一座桥梁，将两个大陆联结起来。先后提出海底隧道、桥梁两种方案。隧道凿在海峡西端，长度包括出入口坡道为 32 ~ 47 公里，海底部分 26 公里，深在海平面之下 350 ~ 900 米，设行驶火车、汽车的主隧道各一条，应急辅助隧道一条。施工中将遇到复杂的断裂地层，特别是难以克服的惊人的深水压力，建成后还有意想不到的渗水、通讯问题。同已建成的日本青函隧道相比，长度要短得多，但深度超过 50% 以上，无法克服压力问题。

隧道方案难以实施，架桥方案代之而起。1986 年国际机械工程师伦敦会议，肯定了瑞士工程师迈尔的悬索桥方案。此桥全长 14964 米。在两岸筑起高高的钢筋混凝土桥塔，海中再立几座桥墩（塔），塔上拉起高强度含碳纤维塑料缆索，铺上同样材料桥身，共需特种塑料 15 万吨。以塑料代钢，大大减轻了桥身重量。桥分 2 层，上层为 6 车道公路，下层为双轨火车道。在深海中筑墩，拉起几千米跨度的桥身，将遇到难以想象的困难。即使施工顺利，也须 20 年才能建成。其战略、经济意义可与苏伊士运河、巴拿马运河相媲美。

中国石桥

石桥撷趣

古老的绍兴，物产丰富，雨量充沛，临近大海，分布着大量的湖泊与河流。全城面积仅 6 平方多公里，而纵横河道面积就达 29800 平方米，有 29 条河流，总长度超过 60 公里，是江南水乡泽国的代表。

绍兴的石桥古老、众多，式样齐全。相传早在越王勾践时就造了灵汜桥，在绍兴府城东 2 里。《汉书》讲山阴灵文园中的桥就是此桥。唐朝李绅还赋了《灵汜桥》诗：“灵汜桥边多感伤，水分湖派达回塘；岸花前石闻幽鸟，湖月高低映绿杨。能促岁华惟白发，巧乘风马是春光；何须化鹤归华表，却数凋零念越多。”根据历史记载，汉顺帝永和五年（140 年）会稽郡太守马臻在主持筑鉴湖湖堤时，建造了“三大斗门”把水闸与桥结合在一起，是我国最早的闸桥。千百年来，在绍兴究竟造了多少石桥是难以估算的。从清光绪癸巳（1893 年）的《绍兴府城衢路图》上看，已是桥梁处处，遍布全城。当时绍兴城市面积为 7.4 平方公里，城中共有桥 229 座，平均每平方公里就有 31 座桥，远远超过了世界闻名水城意大利威尼斯的桥梁数。威尼斯面积为 567 平方公里，第二次世界大战前有桥 378 座，平均每平方公里仅有桥 0.66 座，绍兴桥梁的密度为当时威尼斯城的 45 倍，稠密程度令人惊叹。

近几十年来，由于建设事业的蓬勃发展和交通的现代化，绍兴城内河流

已从过去的 29 条减为 13 条，很多古桥也被拆毁，数量大为减少。虽然如此，至今还是保留了不少古石桥。据初步调查，市与县还有 3000~4000 座石桥，始建年代自宋开始，历代都有。桥型众多，千姿百态，仍可算是我国古石桥的博物馆。

现存绍兴石桥中最古老的要数城东的八字桥了。桥石柱中刻有“时宝丙辰（1256 年）仲冬吉日建”，是南宋石梁桥，距今已有 700 多年。八字桥平面布置很有特色，桥东端紧沿河道由南北两个方向落坡，桥西端又从西南两个方向落坡，西端南面的坡道下还建一小孔，跨越小河。桥高 5 米，桥面条石并列，微微拱起，桥下设有纤道。这样布置，适应南去五云，北通泗门，从水陆两方面把城府与农村联系在一起的需要；同时，在桥梁建造中还可以不拆房屋，不改街道。布局如此巧妙，结构又十分简单，不愧为城市古桥中的佳例。

城西北角环公路旁的光相桥，因桥畔原有光相寺而得名，始建于东晋，是座单跨石拱桥。桥拱圈采用纵向并列砌筑，莲花瓣望柱，似属宋元建筑。桥头望柱上刻着“隆庆元年（1627 年），吉日重修”。桥下拱石上有莲花座图案，刻有“南无阿弥陀佛”等字样，说明桥与佛教有关。桥长 20 米，宽 6 米，两端桥面各有 21 级台阶。

八辽桥北面几十米的广宁桥，始建于南宋时期，至明万历二年（1574 年年）重修。全长 60 米，宽 5 米，是浙江省特有的七边形石桥。桥心正对大善寺塔，为极好的“水上”对景，在桥上还可看城南诸山的山景。民谚云：“大善塔，塔顶尖，尖如笔，写尽五湖四海；广宁桥，桥洞圆，圆如镜，照见山会两县。”自南宋以来，广宁桥一直是纳凉、观景、聚谈之处。明修洁士朱亢宗曾作诗：“河梁风月故时秋，不见先生浅杖游；万叠远青愁对起，一川涨绿泪争流。”该桥属市级文物保护单位。

绍兴城内的七边形石桥，除广宁桥外，还有吕府（江南最大的明朝宰相府，共有 13 厅）边上的谢公桥、迎恩桥、宝驹桥；五边形石桥有昌安桥、拜王桥等。它们均始建于后晋与宋朝，现存多属明清石桥。这种桥型介于石梁桥与石拱桥之间，是一种特殊梁桥。这种梁桥跨越能力比石梁桥大，用料比石拱桥少，石料加工也比石拱桥简单，但远远不及石拱桥坚固。中国已故桥梁专家罗英先生认为，正是这种桥型的出现，才使石梁桥逐步发展为石拱桥。到目前为止，在世界其他地方尚未发现过这种桥型和有关记载，可以说是浙江古代桥工的独创。

萧山至绍兴运河上的太平桥，是拱桥和高低石梁桥相结合的多跨桥梁的代表。桥离柯桥镇不远，始建于明天启二年（1622 年），清乾隆六年、咸丰八年两次重建。桥头原有石牌坊等附属建筑，现已毁圮。桥由一孔净跨径 10 米的石拱桥和九孔净跨径 3~4 米的石梁桥组成。拱桥供大船航行，纤道沿拱脚贯穿而过；靠拱桥的 3 孔石梁桥较高大，可通较大的木船；低的石梁桥可让脚踏手划的乌篷船通行。这种桥型省工省料，利于排洪和兼顾众多的大小船只通航。桥边还设有船码头，以便水运与陆运较好的衔接，是绍兴等地江南水乡的特点。

太平桥西不远处，有一座建于清同治年间（1862~1874 年）的百孔官塘桥，是国内外所罕见的。它跨萧绍运河，而与运河平行。全长达 386.2 米，共有 115 跨，每跨净跨径 2 米左右。桥面用三根条石拼成，宽 1.5 米。这座桥的建造，是因为运河河面甚宽，常受风涛，逆水行舟就需拉纤前行，所以

专为拉纤修建了这座桥梁，俗称纤道桥。遇到较大风浪，船只还可通过桥孔进入浅水区躲避风浪，故有“避塘”之称。

除以上所介绍的桥型外，还有桥闸两用的“三江闸”。它始建于唐大和七年（833年），明嘉靖十六年重建。闸高3.3丈，长46丈，下有28个洞闸，上面可以通行。在丁字、丫字或十字形交叉的河道上，修建一种互通式的三接桥、四接桥，可以使一座桥跨越三段或四段河道，原来要造三四座桥的地方，造一座桥就够了。县城昌安门外和栖凫均有一座这种互通式的三接桥，昌安门外的一座，已在修筑公路时拆除。在人流、航行频繁的主要交通道上，还有“亭桥”、“廊桥”，以方便行人在亭廊中憩息，如绍兴西郊的望日亭桥及虹桥廊桥等均是。

绍兴名人辈出，晋代的大书法家王羲之，唐代诗人贺知章，南宋诗人陆游，明代书画家徐渭，直至近代的鲁迅和“鉴湖女侠”秋瑾等，他们的活动不少都与古桥有关。如兰亭桥是王羲之修禊处，题扇桥相传是王羲之为一老妇题扇处，春波桥是陆游与唐琬重逢的地方，等等。

有些古桥名与历史条件、传说、建桥过程有关。府山街道的五边形拜王桥，是因吴越王平董昌之乱后得胜回朝，文武官员在该桥朝拜迎接而得名。斗门花浦桥，相传是农民为方便卖布而集资修建的，因浦是布的地方谐音，故名花浦桥。柯桥镇的柯桥则因汉朝朱买臣在附近山上砍柴到桥上来卖的传说而得名，因绍兴方言柯是砍的谐音。

由于绍兴石桥众多，五步一登，十步一跨，所以多少也和当地风土民俗的形成有着一定的联系。过去绍兴民众迎亲时，花轿要先过桥、杀鹅，然后再拜堂。花轿过桥还要有一定的路线。城东北要经过“万安”“福禄”“长安”“宝祐桥”；城西北要经过“万安”“谢公”桥；城南要经过“五福”、“大庆”桥。

石拱桥技术

在1000多年的漫长历史年代中，石拱桥一直是我国特别重要的一种桥型，遍布全国各地城乡，其中不乏世界知名的佳构。值得注意的是：古桥之苑的这株娇艳的名花不仅怒放于神州本土，而且已结实于隔海邻邦。日本书刊的文章记述了1634年中国僧侣如定设计眼镜桥的事。该桥是二孔半圆拱，影映水中，虚实相连，酷似眼镜，故得此名，日本的史书赞美为“日本最古、最有名的石拱桥之一”。中岛川是长崎县内一条不大的河流，古代有20座桥雁列栉比，彼此相距不足百米，彼邦人士称此为“长崎石桥群”。当时长崎有唐人街。中国人侨居于此，多从事贸易及通译事务。上述20座桥中半数是中国人的出资构筑的，眼镜桥还是中国人建造的。20年前发生大水灾，附近冲毁了钢筋混凝土桥梁，而眼镜桥安然无恙。当地掌管桥梁事务的官员大为“吃惊”，认为“不可思议”，甚至感到是“一次不得了的冲击”，从此，这座眼镜桥就作为国家重点文物得到修理、复原。长崎石桥群及眼镜桥的史事是我国古代人赞助邻国桥梁建设的一例，也是关于两国古代邦交敦睦、人民友好的一段佳话。

我国拱桥始建于何时是一个使人很感兴趣的问题。据早年的史籍记载，晋朝太康三年（282年）建造于洛阳七里涧上的旅人桥是已发现的我国历史上最早的一座石拱桥。到了1965年，河南省新野县出土的汉代（东汉中期或

晚期)的画像砖刻有单孔拱桥图,桥上有骑马的、驾驷马车的和拿弓箭的人,桥下有船。由此证明,我国至迟在东汉已有拱桥。图上的这座拱桥只是裸拱,既无桥面也无栏杆,结构极为粗陋,当时的车马行人不得不直接在高耸陡曲的拱背上通过。为了保障车辆安全过桥,车上桥时有3个力士用绳索在前挽拽,下桥时则又有3个力士在后牵制。这幅图画可贵地提供了汉朝拱桥的实际形象。当时西方拱桥已相当发达,而我国拱桥还带有原始性,这有助于说明,石拱桥是我国土生土长的产物,不像是对一种已相当成熟的外来桥型的移植。

多年来出土的两汉古墓中有大量的拱结构,也为今人研究古拱桥提供了很有价值的旁证,可以看到后来石拱桥的雏形。略举数例。

1956年在洛阳车站发现的西汉墓中有斜腿拱式刚架和曲线拱,此墓已移至洛阳市劳动人民公园内。

1976年6月洛阳发现卜千秋墓,考古工作者定为西汉昭帝—宣帝年间(公元前86~49年)的古墓。墓道顶部呈“∩”圈,是折线形的拱结构,耳室是拱形土洞,托以小砖砌成的拱圈。

一些地方的东汉墓内已用阴阳榫作为拱砖之间的联结物。汉墓中有并列式的拱圈与纵联式的拱圈,从前者可以看到隋朝赵州桥并列拱圈构造法的萌芽状态。

四川省德阳县黄许镇的汉墓在拱圈之上砌有拱伏,这也是其后的石拱桥常用的砌法。

四川重庆市江北区70中学的校园中发现了一座东汉墓,拱圈是并列式的,相邻两列之间凭伸臂悬砌,以加强联系,由此可以看到后世的拱圈悬砌法的滥觞。

古石拱桥中联拱桥(即多孔拱桥)甚多,在汉墓中已能找到这种联拱结构。例如武威雷台的一座东汉墓是多室拱墓,结构是多孔联拱。

在特定的情况下,也有采用高耸拱圈的,其矢跨比大于 $1/2$ 。在不宽的河面筑拱,如要满足充裕的通航净空要求,可采用这种形式,桃子形的尖顶拱即是常见的一种。但也有不陡之拱采用尖顶式的。关于为什么构筑成尖顶的问题,众说纷坛。一说,为了筑成陡于半圆的拱,每半拱仍以取圆弧线为便,这样,两圆弧线在拱顶相交点就不可能有公切线,势必形成尖顶。二说,尖顶比平顶美丽,优于椭圆形之类的陡拱。即便并非陡拱,尖顶仍较别致。三说,尖顶是从外国古建筑和石拱桥吸取来的艺术风格。此问题还难作定论。矢跨比大于 $1/2$ 的拱桥也有采用大于半圆的圆弧线的,建于清同治年间(1862~1874年)的绍兴阮社桥就是这样。

偶而也有椭圆形拱桥。苏州有这样的例子。

据前人流传下来的说法:古石拱桥中不有拱圈是整个圆环的。江苏甬直镇东美桥,明朝成化廿一年(1485年)建,据说该桥属于这一类。

拱圈石的连接方式大致分为下面3种:无铰链接;多铰链接——无铰石的和有铰石的;双腰铁连接。

石拱桥拱圈是由若干块折扇面形的拱(圈)石拼合而成的。拱石间的连接方式有多种。

拱石两端用榫卯拱石而没有榫卯类似于铰链的叫做无铰链的拱石,依靠各块拱石相互挤紧形成完整的拱圈。与相邻的拱石连接起来的称为多铰式。

无铰式与多铰式相比,各有千秋。当万一墩台发生一定的位移时,无铰

式的各拱石不复相互挤紧，此时拱圈的整体性将成问题。与之对比，多铰式的拱石间有榫卯联系，情况要好一些。在墩台发生不大的位移时，多铰式的拱圈呈现出几何可变结构的特点，用榫卯连接起来的拱石能发生微小的移动和转动，直至达到新的平衡为止。在温度有显著变化和桥上有沉重车辆驶过时也出现这样的情况（各拱石连接处有足够大的接触面，且相互间存在着压力，榫卯的作用并不等于理想的铰链，各拱石的移动和转动是受到牵制的）。有人说：“多铰式的拱桥好似倒置的悬桥，拱圈石好似悬索。”这个说法是有道理的。悬索是能够大大调整外形以保证只受拉力的可变结构，多铰式拱是能够稍微调整外形以保持与外力平衡的微变结构。两者在自动调整外形以求适应外力这一点上确有相似之处。

至于在墩台无位移和单纯随恒载的情况下，无铰式的拱石全部横断面都能承受压力，而多铰式的拱石由于卯孔削减了有效面积，就不及前者。再说，琢制多铰式的拱石是一件很精细和烦难的事，费工较多，对技术的要求也较高，因此它的使用范围受到客观限制。

赵州桥是由 28 列拱圈并立而成，拱圈上各拱石的端部和侧面都用两块腰铁相互连接起来。无铰式的拱石属于无联系的挤紧，多铰式的拱石端部的一个榫卯只相当于赵州桥的一个腰铁，而赵州桥却有 2 个腰铁。这种双腰铁的连接法基本上能使每圈全部拱石形成整体，整个拱圈差不多等于一根并非拼接而成的原来就相当完整的曲杆。何况，拱石的侧面也有腰铁，将各圈连接为一个整体。赵州桥拱圈的高度整体性应是该桥经历 1300 余载而岿然不动的重要原因之一。

多铰式的拱又可分为两种：一是无铰石的，也就是将相邻的拱石直接榫接起来的；二是用长铰石作为中介的。有铰石的多铰式拱，拱石的两端被琢成榫头，插入铰石的卯槽内，铰石是一条长度与桥宽相等的长石，两侧都有卯槽，以便连锁上下两排拱石。苏州一带的石桥工称长铰石为龙筋。龙筋除了能使并列的各条拱石沿横向形成整体，有利于石拱桥的侧向稳定性外，且能使桥上的重车荷载较均匀地分布到并列的各拱石，以免轻重悬殊。现代桥梁的横隔梁，其作用与此相似。多铰式的拱从无铰石的发展到有铰石的，应该说是一个进步。宋朝名画汴京繁华图上的石拱桥是没有铰石的。从上海郊县和苏州的石拱桥看，宋桥也是无铰石的，而明清石拱桥大多是有铰石的，大致可以看出这种发展变化的趋势。

诸拱石是否能形成具有整体性的全桥，这不仅决定于榫卯、腰铁而且还决定于砌置的方式。

最基本的砌置方式有两种：一是并列砌置；二是纵联砌置，其他还有多种派生的砌法。按纵联砌置的，拱石纵列交错，较易保持全桥的整体性，但在施工时须有满堂脚手架。这种砌置法最为普遍，如清代重建的江西抚州文昌桥即属此类。

介乎上述两法之间，后来又出现有其他砌法，较简单的有分节并列和纵联分节并列。看来，由于错缝的存在，在横向整体性这一点上说，分节并列优于全拱并列，由于联石的存在，纵联分节并列的横向整体性又优于分节并列。这里略见古桥工砌拱技术的精益求精。

由于艺术上的需要，也有在纵联砌置的拱桥两外侧用高级石料镶嵌成一个独立拱圈的，如北京颐和园玉带桥等。此外还有框式纵联砌置法，如卢沟桥即属于此类。

清朝《文昌桥志》在叙述砌筑拱圈的工序时说：“空其中一石以待合龙，一石紧而全瓮之石皆紧矣。”这种建拱传统技术至今仍在使用，称为尖拱法。

尖拱法是压紧组成拱圈的各块拱石，使能形成整体，脱离支架，悬空腾起，达到独立承载的一种施工方法，也是检查拱圈石有无缺点，试验拱圈石强弱和稳定性的特殊方法。刹尖是与拱圈的合龙和封顶密切相关的。古代筑拱都有拱架，在拱架上从两端拱脚处开始自下而上放置拱石，最后在拱顶预留空档以待合龙。尖拱是在空档内反复打入木楔，使整个拱圈处于受压挤紧状态，然后以石代楔。在尖拱以前各块拱石松散地和放置在拱架的曲拱形支托面上，支托面须略低于施工完毕石拱圈底面所保持的高度。成功的尖拱能使拱石挤密、离架隆起，实现拱的作用。然后就能在其上砌筑拱上建筑了。如虽经尖拱，各块拱石仍脱离不开拱架的支持，形成不了独立承载的结构，则证明这次尖拱是失败的，须重新砌筑。尖拱的成败主要决定于尖拱力的大小及其着力点的位置。古时要凭丰富的实践经验和熟练的操作技巧。分批加楔和以石代楔的过程都是很难的。先在甲乙空档打楔（木制），紧密后再在丙空档打楔，当丙处之楔更紧时，甲乙楔必松，再加紧之，如此类推，交替进行。然后采用紧此松彼的方法分批以石代楔，达到拱顶处的合龙。

上述的尖拱法只适用于不大的跨度。因为尖拱力大致等于主拱圈既成之后拱上建筑未砌之时的拱脚水平推力，倘是大跨度，所需要的尖拱力甚大，难以用上述方法获致。在此情况下通常采用的方法是在拱架上预先垫高各拱石，挤紧到一定程度，然后卸架使拱石下降，达到充分挤紧而合龙。

古石拱桥施工采用的尖拱法是将拱石有效地装配成拱的方法，至今尚在使用。尤为可贵者，它是调整拱圈内力的一种科学方法，有许多高明的桥工善于巧妙地控制尖拱力的大小及着力点的位置，以求调整主拱圈内力，使之尽量合理，这里利用了预应力的概念。尖拱法是我国先代桥工发明的一种砌拱的极有价值的方法。现在拱桥工程中利用埋置在拱内的千斤顶进行内力调整，虽所用机具大为精巧，但其基本原理仍与尖拱法相同。

在拱背上两边砌筑边墙，两墙之间填以碎石灰土之类，其上铺设桥面，这是大多数古石拱桥的砌法。拱上的边墙、填料、桥面等统称拱上建筑。由于填料充满拱背之上桥面以下的空间，故称这一类拱上建筑为实腹式的，以区别于赵州桥那样的空腹式拱上建筑。拱上建筑能支承平坦的桥面避免车马行人直接在弯曲陡峻的拱背上通行，这固然是拱上建筑显而易见的功能，但古代桥工并不满足于此，他们还设法使拱上建筑对主拱圈兼起巩固和加强的作用。

以创建于元朝的苏州灭渡桥为例。在两拱脚处桥台之上，与边墙垂直的方向上用石料各砌间壁一道，横贯全桥的宽度。填料被包围在拱背之上、边墙和间壁之中，而且构筑边墙的石块有若干长短不一的，伸入填料之中，好似钉靴踩入泥土一样。又在边墙中段与拱跨中心对称之处，再设置长度等于桥宽的长系石，用以联系两侧的边墙。这样，本来松散的填料就与边墙、间壁形成一定的联系，遇石拱受载变形时能在一定程度上限制石拱变形，能增大主拱圈的强度与刚度。也有的石拱桥，间壁代之以明柱，虽不如间壁那样横贯桥宽，但柱之上下都有横贯桥宽的长系石，一对明柱加一对系石即对拱上建筑形成一个矩形的框箍。尚有其他措施，不胜枚举。古代桥工不仅考虑到主拱圈对拱上建筑的支持作用，而且有意识地利用拱上建筑对主拱圈的支持作用。这是一种令人赞赏的构思。福建省长汀县的宋庆元年间（1195～1200

年)所建的古石拱桥名水东桥,现时可通汽车,而拱圈厚度仅40厘米,比同跨度、同荷载的现代标准石拱桥的拱圈还要薄得多。这样薄的拱圈而能承受重荷,其原因就是拱上建筑帮助了主拱圈。如何很好地利用拱上建筑对主拱圈的支持作用,仍是今天的桥梁设计者精心思考的问题。例如,正在推广中的桁架拱桥就是能充分发挥拱上建筑对主拱圈的支持作用的一种桥型。

据苏州的老桥工谈:清朝的拱架主要有满堂的和空心的两种:一般在宽度小、通航量少的河道上施工,用满堂式的支架;而在河道宽度大、通航量大的情况下,采用空心式的支架,以便在施工时仍能维持航运,这个原则至今仍未过时。可惜古拱架的实物已无法看到,但因为基本特点未变,从现在重建古石拱桥时所用的两种拱架中,还可以今推古。现在我们在苏州一些古石拱桥的桥台临水的襟边上,偶尔还能发现成行的方形卯孔,宋朝建筑的新造桥即为一例。据老桥工考据;这是当年用来插置拱架支柱的。古拱桥施工拱架的立柱一般是支承在桩顶之上的,但也有支承于横梁之上的做法。清朝光绪年间修建江西万年桥时所用的拱架即属此类,有古人当时所绘的示意图可考。若干横梁,两端插在墩台的预留孔内,称为过江梁,拱架的长柱立足于此梁之上。在长柱之间又架有短的横梁,横梁之上又竖立短柱。柱顶高低不一,恰形成拱圈下缘的曲线,以便支托各块拱石,构筑拱圈。

