

# 中国古桥学



第十三期

北京茅以升科技教育基金会

中国古桥研究和保护委员会

2020.01

# 中国古桥的创造发明

## 目 录

### 前言

#### 一、纵联并列砌筑敞肩圆弧石拱桥的创造发明

##### 1、二小拱上大拱敞肩拱桥

##### 2、一小拱部分上大拱敞肩拱桥

##### 3、小拱不上大拱的联拱敞肩拱桥

##### 4、一小拱上大拱另一小拱不上大拱的敞肩拱桥

##### 5、一小拱上大拱另一小拱部分上大拱的敞肩拱桥

#### 二、榫卯结构折边石拱桥的创造发明

##### 1、七折边古石拱桥

##### 2、五折边石拱桥

#### 三、悬链线拱桥的创造发明

#### 四、榫卯结构圆弧拱桥的创造发明

##### 1、榫卯结构横联分节并列砌筑半圆拱桥

##### 2、链锁结构变幅拱桥

##### 3、榫卯结构横联分节并列砌筑马蹄形拱桥

##### 4、横向并列砌筑半圆拱桥

#### 五、多心圆拱桥的创造发明

#### 六、块石圆弧拱桥的创造发明

##### 1、单孔镶面横向分节并列砌筑半圆弧拱桥



- 2、单孔块石横向并列砌筑半圆弧拱桥
- 3、纵向分节横向并列砌筑半圆弧拱桥
- 4、上下全拱桥
- 5、多孔镶面横向分节并列砌筑半圆拱桥
- 七、圆弧折边拱桥的创造发明
- 八、长条石横向并列砌筑半圆拱桥的创造发明
- 九、悬链线三折边拱桥的发明创造
- 十、石梁桥的创造发明
- 十一、砖拱桥的发明创造
- 十二、铁索桥、竹索桥的发明创造
- 十三、开启式浮桥的发明创造
- 十四、贯木拱廊桥的发明创造
- 十五、“睡木沉基” 桥基技术创造发明
- 十六、伸臂梁桥技术的创造发明
- 十七、斜梁悬挂支撑技术的创造发明
- 十八、古桥部件的创造发明
- 十九、中国古桥的世界之最
- 二十、中国古桥创造发明与国外古桥创造发明的比较

## 前言

中国古桥有许多发明创造，称得上是人类天才的杰作，这些发明创造可以概括为“十大古桥群，世界称冠军”。这“十大古桥群”是：

一、敞肩圆弧拱古桥群：代表性古桥有赵州桥、小商桥、普济桥等。

二、悬链线拱古桥群：代表性古桥有迎仙桥、玉成桥等。

三、七折边拱古桥群：代表性古桥有广宁桥、宝珠桥、迎恩桥、谢公桥等。

四、马蹄形拱古桥群：代表性古桥有酒桥、泾口大桥等。

五、链锁薄拱古桥群：代表性古桥有泗龙桥、拱宸桥、双林三桥、观音桥等。

六、古代立交桥古桥群：代表性古桥有：广宁桥、太平桥、融光桥等。

七、五折边古桥群：代表性古桥有：古月桥、拜王桥等

八、桥闸组合古桥群：代表性古桥有：汤公桥、盘门桥等。

九、筏形礅石梁古桥群：代表性古桥有：洛阳桥、五里桥等。

十、砖拱古桥群：代表性古桥有：南京宏济桥等。

中国拥有这许多具有创造发明价值的古桥群，在世界上是绝无仅有的。

以上这些优秀的中国古桥群中，单体古桥雄踞世界之最的有：

1、世界上最古老的敞肩圆弧拱古桥——隋代赵州桥

2、世界上最古的原建的大型古代城市桥梁——宋代八字桥。

3、世界上最古的最长的筏形礅古石梁桥：宋代洛阳桥。

4、世界上最长的最古的特长型石梁桥——唐代百孔纤道桥。

5、世界上最古老的的五折边拱桥——宋代义乌衍架式五折边拱古月桥，宋代绍兴榫卯结构五折边拱拜王桥。

6、世界上仅见于中国的七折边拱桥——宋代重建的广宁桥、晋代始建的谢公桥、。

7、世界上仅见于中国的连续三孔马蹄型拱桥——清代泾口大桥、接渡桥。

8、世界上年代最古的悬链线拱桥——明代迎仙桥。

9、世界上最古的七折边拱立交桥——宋朝广宁桥。

10、世界上最长的古闸桥——明代汤公桥。

11、国内最长的、桥孔最多的三折边石拱桥——清代溪缘桥。

12、始建年代最早的并列砌筑半圆石拱桥——晋代始建的光相桥。

这些中国的古桥的世界之最是中国古桥的光荣。

中国古桥技术的发明创造有：水乡木桩密植软土改良地基桥基桥礅技术、古桥的超大部件运输和安装技术、几十种古桥隼卯结构技术、替梁木架桥技术、悬链线拱建造技术、海口桥基建造技术、石拱桥的厚墩、链锁薄拱薄墩等桥墩建造技术、浮运架桥技术、变幅拱技术、变截面拱技术、收分技术等等。这些古桥技术在古代处于世界领先地位。现存的中国名桥具有 70%以上的古桥完整率和原建率，在古城、古镇有相对集中，中国古桥在总数和密度上与国外相比，世界第一。这些都是中国古桥的亮点。

我们要通过研究认定，全面、系统地确立中国古桥的发明创造价值，确认中国古桥科技在世界古桥史的地位。

中国古桥技术是中国古代科技的集大成者。中国古桥发明创造的发掘和认定将在指南针计划中得到实现。我们坚信在世界上称得上是中国创造发明的中国古桥系列一定能成为世界历史文化遗产。

## 一、纵联并列砌筑敞肩圆弧石拱桥的创造发明

敞肩圆弧石拱桥是中国古桥技术的重大创造发明。敞肩圆弧石拱桥隋代从创建后，形成各类敞肩圆弧石拱桥的系列。中国敞肩圆弧石拱桥的发明创造比西方早 1000 多年。由著名匠师李春创造发明的赵州桥，距今已有约 1400 年的历史，是当今世界上现存最早、保存最完善的古代敞肩圆弧石拱桥。此桥位于河北省赵县洺河上，建于隋代（公元 581—618 年）大业年间（公元 605—618 年）。现存隋代建造的敞肩圆弧石拱桥还有河北省赵县小商桥。

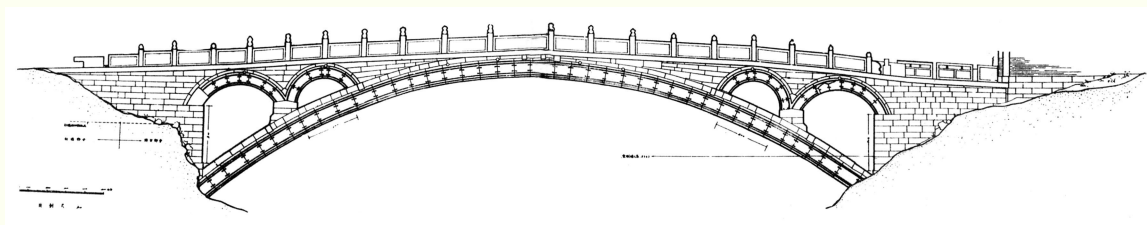
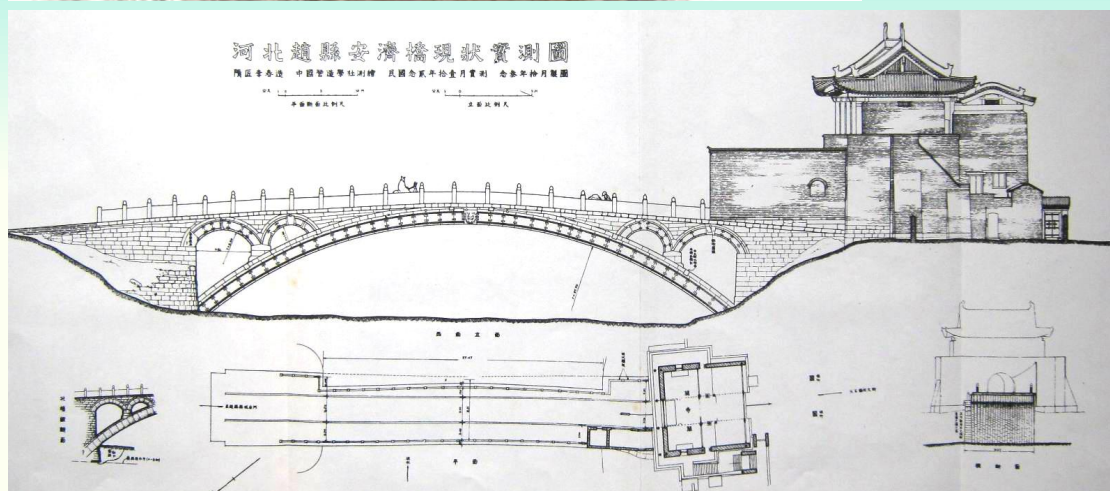


## 1、二小拱上大拱敞肩拱桥

赵州桥



赵州桥的纵向并列砌筑的拱券结构



赵州桥只用单孔石拱跨越洺河，由于没有桥墩，既增加了排水功能，又方便舟船往来，石拱的跨度为 37.4 米，连南北桥堍（桥两头

靠近平地处），总共长 50.82 米。采取这样巨型跨度，在当时是一个空前的创举。石拱跨度很大，但拱矢（石拱两脚连线至拱顶的高度）只有 7.23 米。拱矢和跨度的比例大约是 1 比 5。可见桥高比拱弧的半径要小得多，整个桥身只是圆弧的一段。这样的拱，叫做“坦拱”。坦拱降低了桥的坡度，方便往来的车马行人。而更为高超绝伦的是，在大石拱的两肩上各砌两个小石拱，从而改变了过去大拱圈上用沙石料填充的传统建筑型式，创造出世界上第一个“敞肩拱”，的新式桥型。这是一个了不起的科学发明，其优越性在于：第一、减轻桥体的重量，节省填腹的材料。经计算，四个小石拱留下的空洞，可以减少填料 180 立方米，合 700 多吨。这不但省工省料，还减轻桥身净重的 15.3%，从而降低了石桥对两岸地基的压力，相应增加了桥梁的安全系数 11.4%，延长了桥梁使用的期限。另外，充分利用小拱对大拱所产生的“被动压力”，从而大大增强了桥梁的稳定性。第二、四个小拱留下的四个空洞，增加排水面积 16.5%，在汛期季节。桥下过水面积增大、减轻了洪水对桥身的冲击。第三、大拱之上加两对小拱，均衡、对称，给人一种轻盈的美感。这个精巧的造型，使得赵州桥更加壮丽多姿。

再其次，赵州桥的施工方案的科学巧妙。砌筑拱洞有两种砌筑法，一是横向联式砌筑法，另一是纵向并列式砌筑法。横向联式砌筑的拱洞是一个整体，比较结实，但这种砌筑法要搭大木架，而且必须整个拱洞竣工才能拆除本架，施工期较长。纵向并列砌筑法是把整个大桥沿宽度方向用 28 道独立拱券并列组合起来。每道拱券单独砌筑，

合拢后自成一体。这样砌完一道拱后，移动承受拱券重量的木架，再砌相邻的一道拱，一道一道地砌筑。这种砌筑法优点是，既节省搭木架的材料，又便于移动木架分别施工，并且以后容易维修。因为每道拱券都能独立承受重压，28 个拱券拼成一个大拱券，如果某一道拱券损坏了，可以部分施工维修，不影响整个桥身安全。但是，纵向并列砌筑法，并列的拱券之间缺乏联系，整体结构并不结实。李春建造赵州桥的时候，所以大胆采用纵向并列砌筑法是由于他充分考虑到洹河水文情况和施工进度的矛盾。在当时的生产水平条件下，建造这座大石桥不可能短期竣工。而洹河冬枯夏涨，如果采取横向联式砌筑法，工程进行到一半，遇上洪水，木架和已砌成的部分就要被冲毁，可是采取纵向并列砌筑法即使遇上洪水，也不会太受影响，李春为了克服纵向并列砌筑法整体结为不结实的缺点，先用 9 条两端带帽头的铁梁横贯拱背，串连住 28 道拱券，加强横向联系，再对两块毗邻的拱石，用双银锭形的腰铁卡住，然后在桥的两侧各有长 1.8 米，外头向下延伸五厘米的钩石六块，勾住主拱券，拱券外还有护拱石，这样，整个桥身结合在一起。另外，利用拱脚比拱顶宽 0.6 米的少量“收分”来防止拱券倾斜。经过 1350 多年的考验，证明这种施工方案是极其科学，极有成效的。

赵州桥的故事非常感人可是桥身上为什么会凿上这些痕迹呢？据现代桥梁专家罗英先生按照工程原理推测，这些痕迹是行车指标和工程指标。由于赵州桥是采取纵向并列砌筑法修建的，两边如行重车，桥就容易损伤。桥面的驴蹄印都在东侧  $\frac{1}{3}$  的位置。这就是说，重载



过桥如果太靠边，石拱券容易变型外倾发生危险，应当走中间。桥腹上的手掌印应当是一种工程指标，表示万一桥发生裂痕，可在手掌印处暂时支撑，以免立刻坍塌，可以从容维修。

赵州桥这样古老的大型敞肩石拱桥。在世界上相当长的时间里是独一无二的。在欧洲，公元 14 世纪时，法国泰克河上才出现类似的敞肩形的赛雷桥，比赵州桥晚了 700 多年，而且早在 1809 年这座桥就毁坏了。隋代石匠李春的贡献在世界桥梁建筑史上永放光辉。

## 2、一小拱部分上大拱敞肩拱桥

### 小商桥



小商桥始建于隋开皇四年。小商桥位于河南省漯河市临颍县黄帝庙乡小商桥南小商河（颍河故道）上。小商河为古时商王经此而得名，桥因河而取名，河因桥而出名。小商桥原位于历代官道上。桥为敞肩单孔石拱桥，长 20.87 米，宽 6.67 米。大拱竞夸 11.6 米，矢

高 2.13 米，矢跨比为 1/5，拱券面厚 0.65 米，小拱净跨 2.13 米，矢高 1.2 米，两岸小拱脚间距 20.2 米，主拱和小拱均由 20 道拱石并列砌筑而成，主孔每块拱石间均由咬铁连接。券面石浮雕有天马，狮子，莲花和几何图案，拱之上端置有兽，伸出桥身。桥墩下部四角有高浮雕金刚力士像，双肩扛拱，双手上托，大小一尺左右，造型生动，风格古朴。据方志记载，小商桥始建于隋开皇四年（公元 584 年），但现桥主体结构属北宋建筑风格，元、明、清历代均有修葺。最大的一次修筑是元大德年间（公元 1297-1307 年）小商桥是一座时代较早的古石桥，造型优美，结构严谨，做工精致，是研究建筑和交通史的重要资料。1986 年小商桥被公布为省级文物保护单位。1994 年国家文物局拨专款进行了大修。2001 年 6 月 25 日，小商桥作为宋代古建筑，被国务院批准列入第五批全国重点文物保护单位名单。

小商桥因宋代抗金名将岳飞部下杨再兴牺牲于此而闻名遐迩，并因此次郾城大捷而名垂史册。附近有杨再兴陵园及岳飞用枪头刻的墓碑。

### 3、小拱不上大拱的联拱敞肩拱桥

恩波桥





恩波桥位于浙江省富阳城区苕浦河上，临近富春江。据清·光绪《富阳县志》载：今名“永济”，旧名“苕浦”。宋治平二年（1065）邑人孙道长重建，改名“通济”。绍兴四年（1134）县令王哀重修，更名“惠政”。嘉定间县令程琬于桥下放生，改名“恩波”。明嘉靖四十四年（1565）县令施阳得以石易木，改建为石桥。清顺治、康熙年间两度重修。恩波桥为东西向敞肩式三孔石拱桥，全长 57 米，宽 6 米，中孔净跨度为 18.4 米，边孔跨度各为 15.3 米。墩台上设小孔，下设分水尖，桥面用条石错缝铺设，桥面施以石栏杆，望柱雕刻垂莲、莲蓬及狮子等，形态各异。为浙江省级文物保护单位。

#### 4、一小拱上大拱另一小拱不上大拱的敞肩拱桥

登瀛桥



登瀛桥又名杜林桥，位于沧州沧县杜林镇中心，为横跨滹沱河故道的三孔敞肩拱形石桥。建于明万历二十二年（1594），耗白银 2 万两。清光绪二十年，滹沱河水大发，冲陷西畔大小二孔。光绪三十三年（1907）乡人王荫桐用了六年时间重修完工。桥由石料砌成，造型为三孔拱桥，下部为石墩台。全长 66 米，宽 7.8 米。高 9 米，每孔跨直径 11.3 米。拦板望柱上面有多种人物及猴、狮等浮雕，刻工细腻，形象逼真。为省级重点文物保护单位。

## 5、一小拱上大拱另一小拱部分上大拱的敞肩拱桥

普济桥





普济桥俗名南桥，位于山西原平市城北 20 公里的崞阳镇南门外河流上，创建于金泰和三年（公元 1203 年），以后历代曾予补修。至今仍保持了宋、金时期的石桥雄姿和瑰丽艺术。桥用行鑿石和雕刻石砌成。主桥全长 30 米，券高 7 米，宽 8 米，南北有普主桥全长 30 米。大小券口均为石料横旋，两端各有一引桥。桥整体呈马鞍型。引桥由单孔长券和四个小券口组成，大券口跨度 19 米，高 6.5 米。桥面通铺石板。引桥南长 28.5 米，北长 34.5 米。两端各有二小券，以分洪水。大小券口均为石料横旋，券口之边均有造型精美的石刻浮雕。大券口的两边，中间雕有石狮头，余者均匀分布雕有故事人物的浮雕组画 16 幅；小券口边上雕有蛟龙出水及九针图案。浮雕均典雅古朴，寓意深远，造型优美，精巧别致。远望普济桥，五道券眉错落有序，一道伏石曲线称平，柱、栏、板齐整参差，被列为山西省重点文物保护单位。普济桥的建筑结构与赵州桥相仿。

## 二、榫卯结构折边石拱桥的创造发明

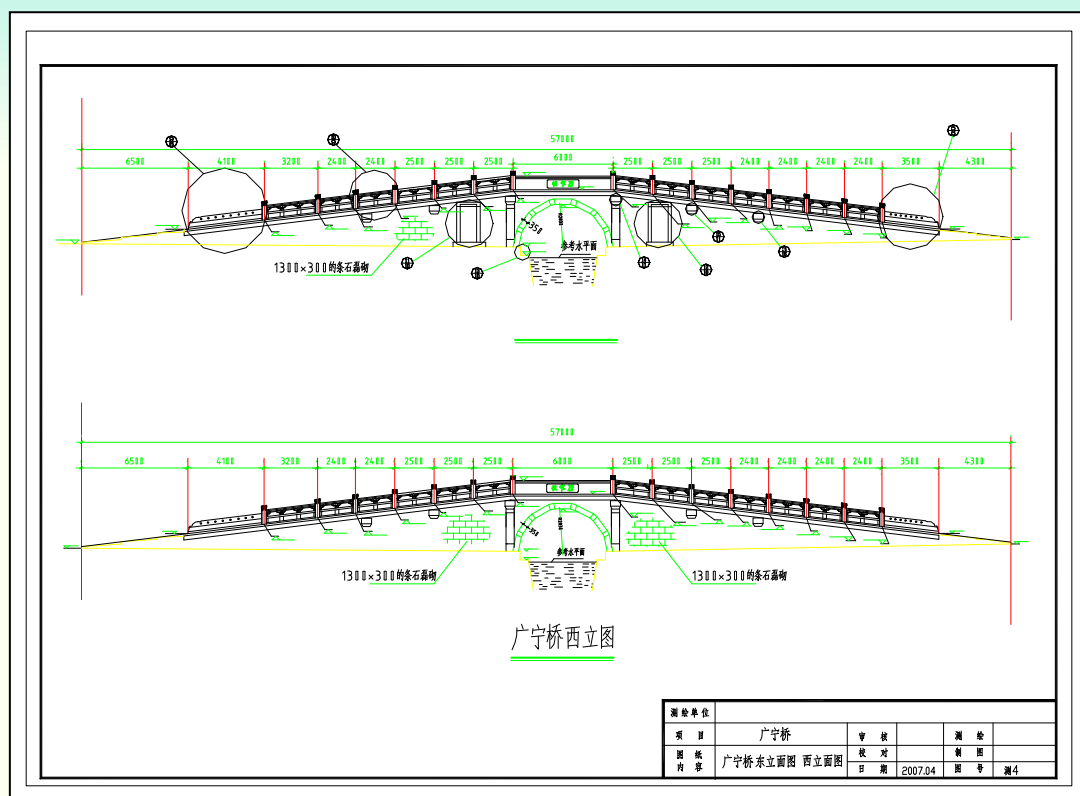
榫卯结构折边石拱桥是中国古桥技术的创造发明。目前世界上的

榫卯结构五折边古石拱桥、七折边古石拱桥仅存在于中国。中国现存的五折边古石拱桥和七折边古石拱桥是一个完整的榫卯结折边石拱桥系列。中国现存最早的五折边古石拱桥是重建于宋代的古月桥、现存最早的七折边古石拱桥是重建于宋绍圣四年的广宁桥。

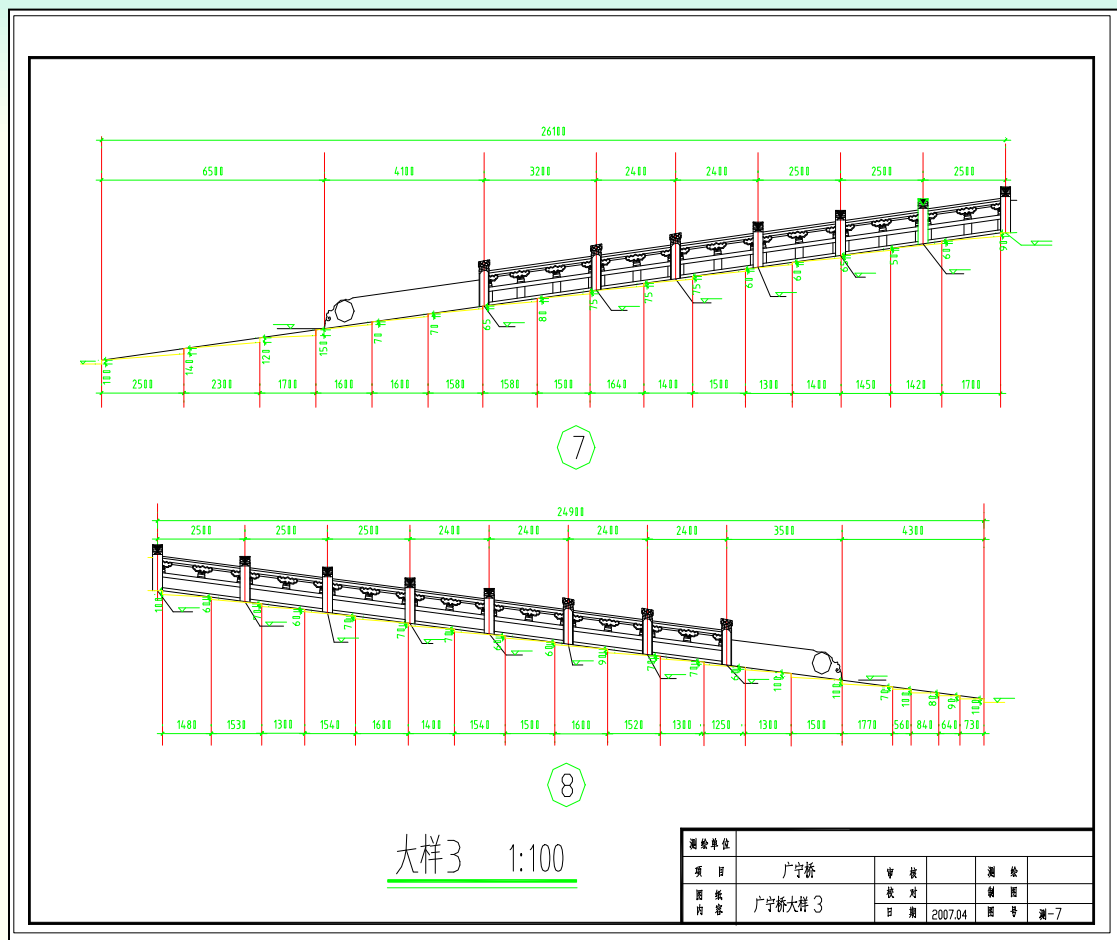
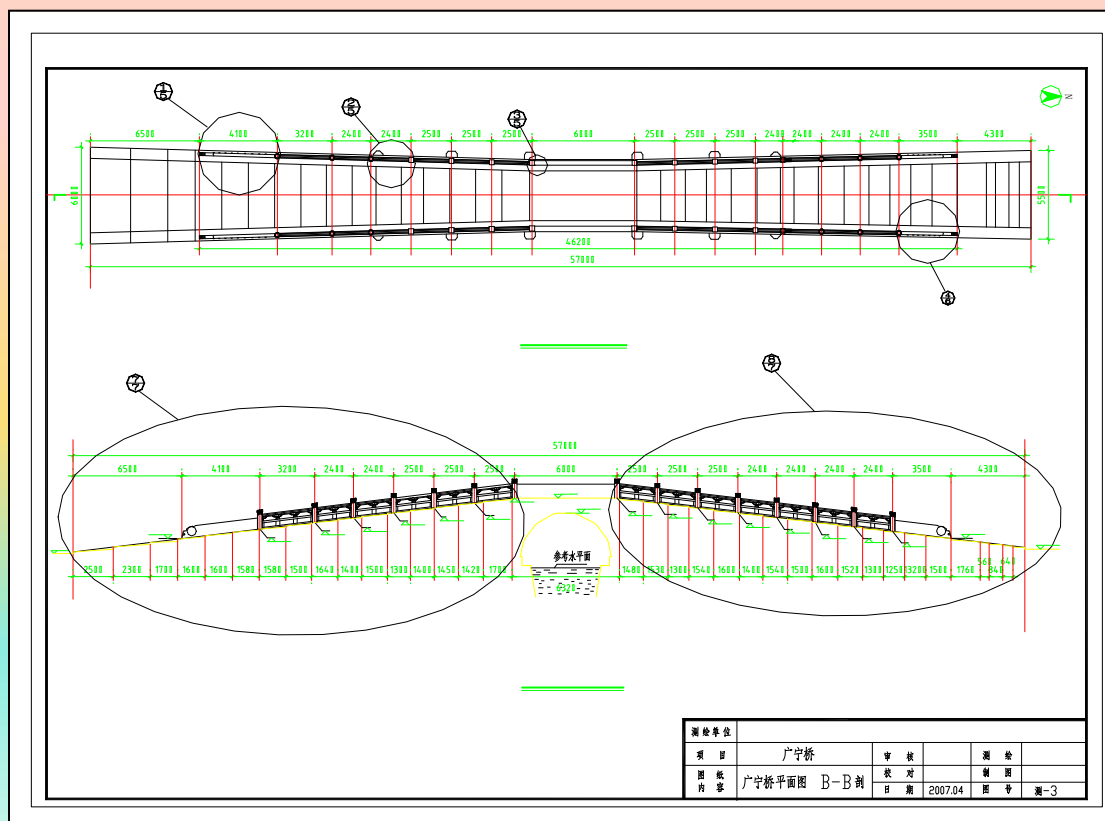
## 1、七折边古石拱桥

广宁桥









宝珠桥



宝珠桥拱圈局部





宝珠桥龙筋石突出拱圈部分

宝珠桥位于绍兴市区龙山后街。绍兴市级文物保护单位。七折边拱桥，原名火珠桥。宋嘉泰《会稽志》有载。此桥长 30 米，宽 3.95 米，高 12 米，拱高 4.9 米，桥栏高 0.5 米，桥栏石柱高 0.9 米。桥东坡 25 阶，西坡 26 阶。桥拱顶端有龙门石七块，上有仙桃和龙的浮雕图案。此桥现已成为城市广场的一大景观。宝珠桥重修后未改拱型，仍保持七折边原型，应定为宋朝以前的古桥。是世界上仅存于绍兴的 6 座七折边拱桥之一，是世界上仅存于绍兴城区的 4 座城市七折边拱古桥之一。

科技特点：

七折边拱（榫卯结构有铰拱、折边之间用横锁石（龙筋石）联结）。七折边夹角相等（二折边间在横锁石上的延伸线相交所成夹角相等，

144 度夹角相交点落在圆弧上)。

互通立交（拱脚有纤道穿过桥孔，此桥可称古代立交桥。）

长条石板叠压伸臂式拱墙

七折边拱结点在半圆弧线上，拱板分节并列砌筑。

拱卷和拱墙石质与八字桥相同，风化程度相似。大部分构件应是宋代以前原物。清乾隆时仅作局部重修，此桥应定为宋桥。

桥拱和金刚墙的石质风化程度与八字桥相同。



谢公桥

谢公桥位于绍兴城区西小路，鲤鱼桥与北海桥之间。谢公桥为七折边石拱桥。经考证，因南朝太守谢惠连建此桥，取名谢公桥。此桥当为南朝始建。该桥在清康熙时虽作重修，但拱卷未变，仍采用旧料，宋《嘉泰会稽志》有载，故可定为宋朝以前古桥。此桥拱顶石刻图案中的龙为三爪龙，宋朝以后才出现四爪龙和五爪龙，这也可傍证此桥



始建于宋朝以前。桥长 28.5 米，净跨 8 米，高 4.2 米。谢公桥北枕卧龙山，山色街景桥影，构成了水城古桥佳景。此桥收录于《中国科学技术史》桥梁卷。是世界上仅存于绍兴的 6 座七折边拱桥之一，是世界上仅存于绍兴城区的 4 座城市七折边拱古桥之一。

科技特点：

七折边拱（榫卯结构有铰拱、折边之间用横锁石（龙筋石）联结）。

七折边夹角相等（二折边间在横锁石上的延伸线相交所成夹角相等，144 度夹角相交点落在半圆弧线上）。夹角相等的七折边拱是标准的七折边拱桥。

拱卷石顶部内侧风化已近一半，说明拱石年代久远，很可能是原建。横联分节并列砌筑。

长条石板叠压伸臂式拱墙。

桥拱和金刚墙的石质风化程度与八字桥相同。

## 2、五折边古石拱桥



迎恩桥

迎恩桥位于绍兴市区西郭，又名菜市桥，在运河进城口子处。它是古代绍兴水路进城的西门户。古代皇上驾临绍兴，百官迎候在此，故取名迎恩桥。该桥为七折边石拱桥，是绍兴市跨度最大的七折边石拱桥。现桥为明天启六年（1626）重修，始建于何时待考。桥长 15 米，宽 3.4 米，净跨 10 米。此桥收录于《中国科学技术史》桥梁卷。是世界上仅存于绍兴的 6 座七折边拱桥之一。

科技特点：

七折边拱（榫卯结构有铰拱、折边之间用横锁石（龙筋石）联结）。

七折边夹角相等（二折边间在横锁石上的延伸线相交所成夹角相等，155 度夹角相交点落在圆弧上）。

长条石板叠压伸臂式拱墙。横联分节并列砌筑。





万安桥

此桥位于绍兴县夏履镇莲西村。系单孔七折边型石拱桥，建于明代，长 6.5 米，高 2.3 米，宽 2 米，跨径 5 米，拱高 2 米，纵联分节并列砌筑。这是罗关洲、劳福良在 2007 年新发现的七折边拱桥。是世界上仅存于绍兴的 6 座七折边拱桥之一，是绍兴县唯一的七折边拱桥。

科技特点：

七折边拱（榫卯结构有铰拱、折边之间用横锁石（龙筋石）联结）。

七折边夹角相等（二折边间在横锁石上的延伸线相交所成夹角自下而上分别为 155 度、150 度、145 度 65，夹角相交点落在圆弧上）。与桥基石相交的 2 列拱券石长度大于其它五列拱券石长度，自下而上第二列拱券与第三列拱券长度相等，顶边最短。



长条石板叠压伸臂式拱墙

七折边拱结点在椭圆弧线上。

桥拱下有钟乳石，可推断此桥始建原物。

横联分节并列砌筑。



祥麟桥

祥麟桥位于上虞市道墟长湊村。为陈国桢工程师发现的七折边拱桥，是世界上仅存于绍兴的 6 座七折边拱桥之一，也是上虞乡村平原上唯一的一座七折边拱桥。此桥建于明崇祯年代，是未经修理的原建古桥。

科技特点：

七折边拱（榫卯结构有铰拱、折边之间用横锁石（龙筋石）联结）。

七折边夹角相等（二折边间在横锁石上的延伸线相交所成夹角相



等，155 度夹角相交点落在圆弧上）。

横联分节并列砌筑。

## 2、五折边石拱桥

古月桥







古月桥，位于浙江省义乌赤岸雅治街村，始建于宋嘉定六年(公元1213年)，至今未重修亦未翻建。桥长30余米，高5米。衍架拱式五折边拱



拜王桥



建德西山桥





### 三、悬链线拱桥的创造发明

悬链线拱桥是中国始于明代的古桥技术的创造发明。在明、清时代形成了中国悬链线拱桥系列。现存的中国悬链线拱桥有迎仙桥、玉成桥、复初桥。

迎仙桥





迎仙桥位于新昌县桃源乡，为悬链线拱的古乱石拱桥。该桥在明万历《新昌县志》有载。清代道光时，丁天松重修。罗关洲在 1991 年首先发现了该桥型。此发现填补了中国古桥技术史的空白。悬链线拱桥是二十世纪六十年代世界先进桥梁科技。此项技术中国要早于国外 300 多年。此桥现已定为省级文保单位，在《中国科学技术史》桥梁卷有载。迎仙桥长 29 米，宽 4.6 米，净跨 15.6 米。

科技特点：拱脚为前倾式桥台，中段桥拱为悬链线。天然岩石桥基。乱石拱，块石镶边。



## 玉成桥



玉成桥位于嵊州市谷来砬头村，与迎仙桥同为悬链线石拱桥。桥长 12.15 米，宽 4.7 米，拱高 5.7 米。建成于道光丙申年（1836 年）。马正炫建。马氏家谱中载有建桥的记录。该桥是罗关洲发现的又一座古代优秀桥型，已被收入《中国科学技术史》桥梁卷。该桥经唐寰澄教授向嵊州市领导建议后，已定为县级文保单位。该桥在《中国科学技术史》桥梁卷中有专题论述。

科技特点：拱脚为前倾式桥台，中段桥拱为悬链线。天然岩石桥基。块石拱。此桥建成后没有经过修理，为原建态古桥。

## 四、榫卯结构圆弧拱桥的发明创造

### 1、榫卯结构横联分节并列砌筑半圆拱桥的发明创造

榫卯结构横联分节并列砌筑半圆拱桥的发明创造的技术特点是：  
以横联石（龙筋石、锁石）为卯构件，链石（纵向长拱板）为榫

构件组成拱券榫卯结构。

桥拱为半圆形拱。

联结方式和砌筑方式是：横联分节并列砌筑。

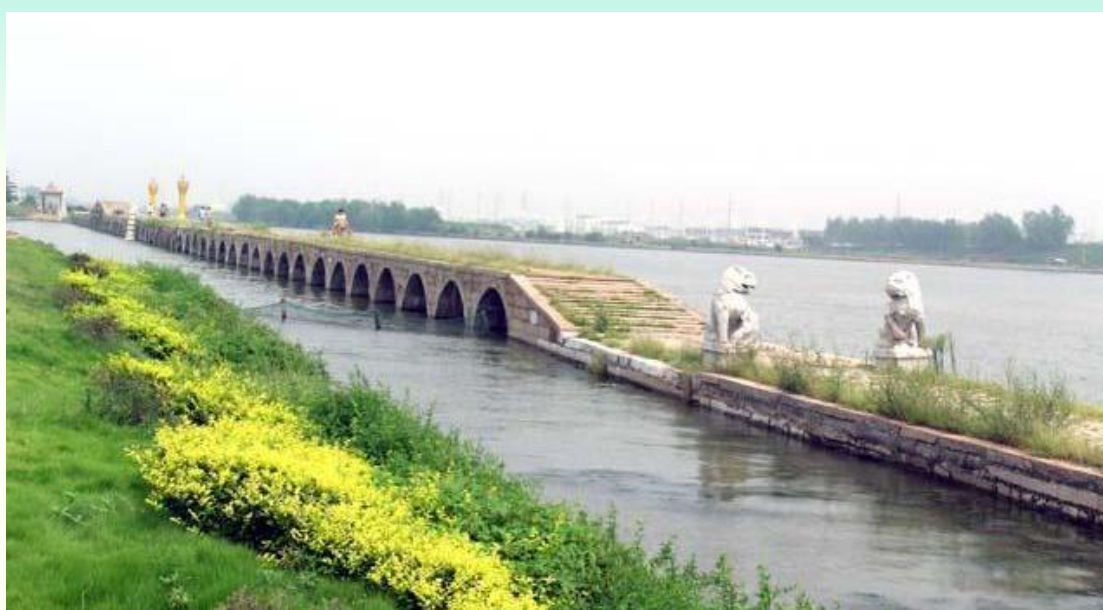
多孔榫卯结构横联分节并列砌筑半圆拱桥：

广济桥





宝带桥



宝带桥，又名长桥，为多孔薄墩联拱石桥。位于苏州市吴中区长桥镇京杭大运河边，跨澹台湖口玳玳河，为历代纤道所经。桥全长317米，宽4.1米，北端引道23.4米，南端引道43.06米。桥堍成喇叭形，下端宽6.1米，五十三孔。始建于唐元和十一年至十四年（816-819年），刺史王仲舒主持建造，为筹资金，王仲舒将宝带捐



出，宝带桥之名由此而来。又有说因桥似宝带而得名。后经历代多次重修，明代正统年间重新修建，建成 53 孔石拱桥，宝带桥用坚硬素朴的金山石筑成，桥长 316.8 米，桥孔 53 孔，是我国现存最长的一座多孔古石桥。其中三孔联拱可通大船，两旁各拱路面逐渐下降，形成弓形弧线。2001 年 06 月 25 日，宝带桥列入第五批全国重点文物保护单位名单。

每孔跨径除了第 14、15、16 三孔之外，平均为 4.6 米。依此三孔逐渐加大的跨径，桥面也逐渐的升高，自第 13 至第 17 孔间，桥面隆起而形成弓形弧线达 7.5 米，在第 15 孔处是为弓形弧线的最高点。而 53 孔桥洞中，有圆拱环孔、半圆孔，小半圆孔，大半圆孔之别，有做成一个整圆型的，也有在一半水面上，还有一半在水面下的，这种全圆孔的造型，使整座桥在结构上更加坚固，而整体桥面弧线也因此更形优美。桥的设计兼具实用和美观，更符合经济的特点。全桥各孔均可通航，在桥中段设计 3 个大孔净空较高，是为了能使大型船舶通航，其余均设小孔。53 个桥孔平坦宽阔，此连拱桥的建筑形式设计，可降低桥面，节省工程。既减轻了桥本身的重量，又便于拉纤挽舟，亦有利于泄水。可谓匠心独具的精心设计。桥墩的建造工程技术上也极富特色，为防止多桥孔连锁倒塌，采用了“柔性墩”和“刚性墩”两种形式。它的砌拱法，既不同于赵州桥的“单拱併合”砌法，也非蘆溝桥的“條石弧砌”砌法，而是结合两者优点的“多絞拱”砌法。是古代建桥史上极其罕见的，不但使桥的保存寿命延长，又能使古桥的形式轻巧秀丽。又桥址因地基松软所以采用木桩基，每个桥墩

用直徑 15～20 釐米粗的圓形木樁 60 根，樁與樁頭間以石塊嵌緊，既堅實又不阻礙洩洪。

在中國橋樑建築史上，寶帶橋的結構繁複但又輕盈、奇巧、多姿，是中國現存的古代橋樑中，橋孔最多，最長的一座 “多孔薄墩聯拱石橋”



### 泗龙桥

泗龙桥位于浙江省绍兴市鉴湖乡鲁东村。由三孔薄墩驼峰拱桥与二十孔石梁桥组成。全长 96.4 米，宽 3 米，三孔拱桥净跨为：5.4 米，6.1 米，5.4 米。此桥气势宏伟，景观秀美，是绍兴重要的水乡旅游景观。对照宋嘉泰《会稽志》，此桥当为古代鲁墟桥。该桥一侧有桥对：建近千年路达南北，名驰廿眼水通东西。说明该桥始建于宋朝。此桥在《中国科学技术史》桥梁卷有载。

## 拱梁组合桥——泗龙桥



泗龙桥位于绍兴市鉴湖乡鲁东村。由三孔石拱桥与二十孔石梁桥组成。全长96.4米，宽3米，三孔拱桥净跨为：5.4米，6.1米，5.4米。该桥一侧有桥对：建近千年路达南北，名驰甘眼水通东西。说明该桥始建于宋朝。此桥在《中国科学技术史》桥梁卷有载。

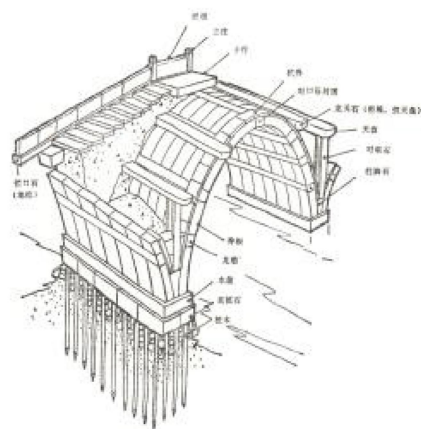
### 科技特点：

薄墩薄拱，为国内之最。拱梁组合。主桥为三孔驼峰拱桥，17孔石梁桥与主桥相接。高低孔拱高合黄金分割比例链锁分节并列砌筑

薄墩薄拱之最



联拱内部结构



对照宋嘉泰《会稽志》，此桥当为古代鲁墟桥。该桥一侧有桥对：建近千年路达南北，名驰甘眼水通东西。说明该桥始建于宋朝。





居敬桥

此桥位于浙江省奉化县。

云庆桥



此桥位于江苏常熟张桥镇卫浜村，又名钓渚渡桥、鸟嘴渡桥。明崇祯间范祚恬兄弟重建，清康熙嘉庆间重修，三孔，宽 2.50 米，长 39 米，矢高 10 米。市文物保护单位。



放生桥

放生桥位于朱家角镇，跨于漕港上,明万历年间（1573—1620）建。清嘉庆十七年（1812）重建，是上海地区最大的一座五孔联拱大桥。全长 70.8 米，宽 5.8 米，结构精巧，形状美观，是珠里（朱家角）十景之一。有诗云：“长桥架彩虹，往来便市井，日中交易还，斜阳乱人影”。

元代建慈门寺于漕港南岸，明隆庆五年（1571 年），寺僧性潮募款造桥，并规定桥下里许只能放生鱼鳖，不能撒网捕鱼，故名放生桥。清嘉庆十九年（1814 年）桥圯，寺僧又募银 1.1 万两重建。朱家角镇旧有十景，其中“井带长虹”即指此桥。





永济桥 此桥位于宁波市镇海区。



潮音桥 此桥位于浙江省湖州市。

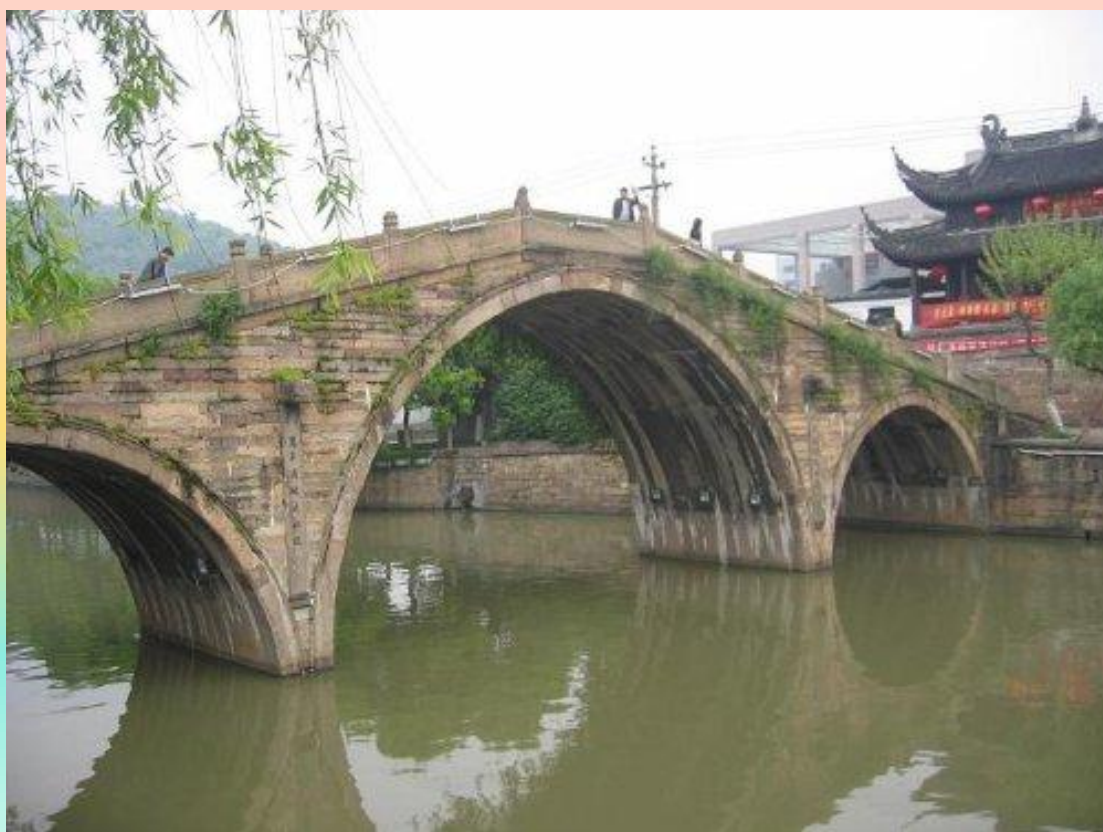




双林三桥之一



双林三桥之一——化成桥



通济桥

通济桥位于浙江省余姚市区，又名江桥、舜江桥，横跨姚江。始建于北宋庆历年间，原系木桥，叫德惠桥，后又改名为虹桥，屡建屡毁。到了元朝，和尚惠兴发起筑石桥，造到一半，去世了。道士李道宁主持继续造桥，到元至顺三年(公元 1332 年)终于建成，定名为通济桥。现桥是清雍正七年至九年(公元 1729 — 1731 年)重建，用木桩 2100 根，人工约 4 万，全长约 90 米，共 106 级。通济桥是一座三孔两墩石桥，桥面中心宽 5.61 米，主孔净跨 14.2 米。桥顶栏板里侧刻有对称的莲枝浮雕花纹。24 根望柱上都雕刻着形态各异的莲花座，其中桥顶 4 根望柱上雕刻着狮首石像。在主拱圈两侧边墙上，分别刻有对联，东联为“千时遥吞沧海月，万年独抵大江浪”，西联为“一曲蕙兰飞彩鹧，双城烟雨卧长虹”。（以上为第二十五图版）





### 当湖第一桥

当湖第一桥位于浙江平湖县当湖街道西小街安吉弄北口，为三孔半圆拱石桥，南北跨于市河上（即汉塘），始建于明，清咸丰重修。此桥全长 26.3 米，宽 3.35 米，中孔矢跨 8.6 米，拱矢高 5.2 米，边孔矢跨 4.7 米，拱矢高 2.75 米，两边桥额上“当湖第一桥”、“里人重建”等铭文。南北阶石各为 19 级，栏板齐全，均为素面，高 50 厘米，厚 20 厘米，无望柱间隔，拱券为分节并列砌置法。桥柱楹联有四，分别：东南柱“湖来柘水一声舻唱冠鳌举”、东北柱“影接梯云万里程开腾骧足”、西南柱“雄踞西关一水荣洄钟淑美”、西北柱“恩迎北阙群英次第践清华”。





## 安澜桥

安澜桥位于浙江湖州菱湖镇北栅，系3孔半圆石拱桥，长58.5米，宽4.55米，高5.7米。上下踏步各33级。明万历二十八年建，清康熙四十三年(1704)，菱湖镇祇园寺僧松岩，募化动工重建，三年后松岩去世，其徒继师志边募化边建桥，筑成石桥，取名“安澜”。乾隆四十二年(1777)，里人捐资改建。至今巍然屹立，为镇西北水陆路重要通道。



拱宸桥



太平桥

太平桥位于绍兴县阮社浙东运河上，为拱梁组合桥。此桥明代原



建古桥。此桥的技术特点是：主桥拱为微马蹄形拱；拱券为七锁八链拱脚不对拱券；主拱有纤道通过，为古代立交桥；拱桥与阶梯形梁桥组合。此桥微马蹄形拱拱梁组合立交桥创造发明的代表性古桥。

**单孔榫卯结构横联分节并列砌筑半圆拱桥：**

题扇桥



题扇桥

题扇桥位于绍兴城区萧山街，始建于晋代。因王羲之在此为老姬题扇而得名。此桥在东晋已存在。此桥在宋《嘉泰会稽志》中有载，说明现桥始建于宋朝嘉泰以前。现桥在道光八年重修。不能说道光时重修过，此桥就成了道光时新建的桥梁。该桥桥拱为纵联分节并列砌筑，弧型桥栏较少见。从该桥的风化程度可定其为宋朝以前桥梁。该桥长 4.95 米，宽 3.05 米。在清光绪年代的《策府统宗》一书中的《浙江古迹》条目里将题扇桥列为绍兴唯一的古桥古迹。可见此桥在外界



的知名度极高。东晋时，绍兴城区已存在光相桥、谢公桥等半圆拱、折边拱等先进桥型。题扇桥在当时应是半圆拱桥。所以，这座古桥这类古桥创造发明的标本之一。



### 融光桥

融光桥又名柯桥大桥，位于浙江绍兴柯桥镇古运河上，单孔石拱桥。此桥长 17 米，宽 6 米，高 7 米，净跨 10 米。宋嘉泰《会稽志》有载。柯桥始建于汉代。现桥桥拱为纵联分节并列砌筑，现桥为明重建，重建时仍按宋朝时原桥型，仍用原石料，现仍可视其为宋桥。桥下有道路通过，为古代立交桥。该桥在《中国科学技术史》桥梁卷中有载。此桥系横联分节并列砌筑，是这类古桥中始建年代最早的古桥之一。可以将此桥这类古桥砌筑方法创造发明的代表性桥梁。

## 枫桥



枫桥位于江苏苏州寒山寺北枫江之上，唐始建，同治六年重修。唐代诗人张继的《枫桥夜泊》的名篇使此桥成为名桥。为七锁八链的榫卯结构链锁半圆拱桥。枫桥位于寒山寺旁，横跨于古运河上，这是一座单孔石拱桥。它的名声是因为唐代诗人张继写了一首《枫桥夜泊》诗以后而起的，明代诗人高启的诗句也十分有趣：“画桥三百映江城，诗里枫桥独有名，几度经过忆张继，乌啼月落又钟声”。与张继原诗恰恰遥相呼应。此桥是这类砌筑方式始建年代最早的一座，可以将此桥作为这类古桥创造发明的代表性标本。

### 2、链锁结构变幅拱桥





三里桥

吴江三里桥位于吴江松陵北门外，跨古京杭运河。元泰定元年（1324）始建，明天顺六年（1462）、清嘉庆二年（1797）、光绪元年（1875）先后重建，光绪十一年（1885）二月重建。东西走向，单孔拱型，花岗石构筑。顶宽 4.65 米，堍宽 53.8 米，长 52 米，矢高 12.50 米，跨径 16 米。拱券除以横联分节并列式砌置外，还采用收分法，即把拱券做成拱顶较窄于拱脚的形式，即变幅拱形式。所以此桥为链锁结构变幅拱桥。这种拱形有利于高大桥梁拱券的横向稳定。东桥台建有宽约 50 厘米的纤道，以利船民纤夫通行。1986 年 7 月 1 日公布为市文物保护单位。链锁结构变幅拱桥是中国古石桥技术的一大发明创造。

### 3、榫卯结构横联分节并列砌筑马蹄形驼峰拱桥的发明创造

三孔榫卯结构横联分节并列砌筑超半圆马蹄形驼峰拱桥拱桥是我

国石拱桥的创造发明。新桥是这一创造发明的标本。

新桥位于绍兴酒的著名产地东浦镇，清代古桥。此桥为连续三孔马蹄型拱桥。中孔高，二边孔低。故称驼峰拱桥。桥拱高度符合黄金分割，桥型优美。此桥长 10.5 米，宽 2.5 米，高 4 米，主孔拱高 3.2 米，边孔拱高 1.7 米。主拱是由四条横锁石和五列纵向链石用榫卯结构砌筑成的横联分节并列链锁结构马蹄型拱。边拱为三条横锁石和四列纵向链石用榫卯结构砌筑成的横联分节并列链锁马蹄型石拱，这是这类石拱最基本的结构。



## 马蹄型驼峰拱桥——酒桥

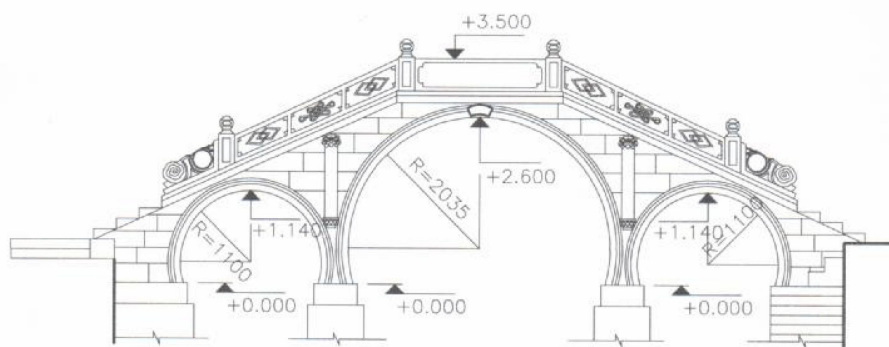


酒桥又名新桥，位于绍兴酒的著名产地东浦镇，名为新桥，实为古桥。此桥为连续三孔马蹄型拱桥。中孔高，二边孔低。故称驼峰拱桥。桥型优美。

**科技特点：**

三孔微马蹄形拱，典型驼峰拱桥。罗关洲最近发现驼峰拱桥拱脚相连二拱券可视为桥台，桥拱上半部实为圆弧拱，结构优于半圆拱，结构更趋合理。三孔拱高的高低之比合黄金分割。

链锁分节并列砌筑。与拱脚相联的拱券长于其它三块拱券石，起拱点较高。



驼峰拱桥结构图

## 泾口大桥

泾口桥位于绍兴县泾口村，跨浙东运河。桥重建于清宣统三年。

该桥由三孔马蹄型拱桥与三孔石梁桥组成。拱桥高 6 米，三孔等跨、等高。桥长 20 米。梁桥高 3 米长 10 米。有道路通过桥孔，这是一座古代立交桥。三孔拱桥孔为主航道通道，梁桥孔为小船通道。国内仅存的二座连续三孔马蹄形拱都在绍兴市，于是这是其中一座。三孔马蹄型拱桥与三孔石梁桥组合立交桥是古桥结构的发明创造。





## 接渡桥

接渡桥位接于绍兴县柯桥中泽村，东西向跨鸡笼江。桥由中间三孔等高马蹄型拱桥与二侧双孔石梁桥组成。三孔石拱桥全长 50 米，系纵联分节并列砌筑。二侧梁桥宛若拱桥伸出的手臂对称平衡。该桥桥墩为薄形墩，石级桥面，实体石桥栏，桥栏石柱 14 根，柱顶有石狮 12 只。该桥为市级文物保护单位。该桥在《中国科学技术史》桥梁卷中有载。国内仅存的二座连续三孔马蹄形拱都在绍兴市，这是其中一座。三孔等高马蹄型拱桥是古桥结构的发明创造。

## 4、横向并列砌筑半圆拱桥的创造发明



## 光相桥

光相桥在绍兴市区西北 104 国道越王桥侧，跨运河。此桥原建于



晋代，元代重修，为纵向并列砌筑的石拱桥。此桥在宋嘉泰《会稽志》有载。光相桥始建成于东晋。分节并列砌置的古桥一般出现在宋朝以前，说明光相桥在历次重修时均保留了原桥型。桥拱上部左右两侧面的一对怪兽并非石狮，狮兽桥饰一般出现在唐代以后。此桥饰与晋代越瓷狮型水注怪兽造型相仿。桥栏、桥柱纹饰为晋代风格。桥上有多种年代的石料，其中年代最早的桥柱，石质风化程度与八字桥、广宁桥相仿。此桥在每次重修都注重旧料原位保留，桥型保持了原型。《光相桥题记》中载有“古有光相洞桥”。说明此桥均始建时即为半圆拱桥。此桥在《中国科学技术史》桥梁卷中作了专题论述。此桥是现存中国古桥中始建年代最早的半圆拱桥。晋代的分节并列砌筑的半圆拱桥中国古桥技术的发明创造。



小江桥

古小江桥位于浙江绍兴市区萧山街口，大江桥侧，横跨运河。该

桥是古代山阴、会稽两县的重要分界桥。桥西侧立有“永作屏藩”碑。意为山阴、会稽二县分界标志。古小江桥木桥桩经炭<sup>14</sup>化验为距今850多年。桥桩应是桥重建或始建时打入。此桥在宋《嘉泰会稽志》有载，后代重修时在小江桥的桥名前加上了一个“古”。特别强调了小江桥不是重修时新建的。宋朝以前的分节并列砌筑的半圆拱桥是中国古桥技术的发明创造。松木作桩，千年不烂。小桩密植桥桩技术也是中国古桥技术的发明创造。



九狮桥

此桥位于浙江上虞市丰惠，又名等慈桥。跨街河。系横放并列砌筑的半圆拱桥。此种砌筑方法在古桥中少见。在绍兴仅此一座。宋嘉泰《会稽志》有载，当时已称等慈桥。说明此桥始建于宋朝嘉泰以前。元朝至正年间等慈寺僧永贻等人募捐重修。该桥全长26米，宽6米。桥侧有“宋嘉定七年重修”刻石，说明宋嘉定七年此桥曾作重修。此



类古桥的砌筑方法，在国外古桥中虽有发现，但从始建年代和重修年代比较，这类原生态古桥完整保存至今的，要数这座古桥。所以这座古桥是这类古桥创造发明的标本之一。

## 五、多心圆弧拱桥的创造发明



丰干桥

丰干桥位于浙江省天台县国清寺前。多心圆弧单孔乱石拱桥，长18米，跨径9米，高6米，宽5米。据传，此桥与隋代古寺同建。以神仙丰干名桥。国清寺藏宋代古画中有此桥，即为此桥型，说明此桥的桥型技术遗产保留至今。此桥画副本在日本有保存。乾隆时，此桥作重修，仍保持原形。多心圆弧乱石拱桥是中国石拱桥技术的一大创造发明。



## 丁公桥

此桥位于浙江新昌县丁公村。建于清道光年间。丁公桥又名如意桥,多心圆弧拱桥。桥拱近似于椭圆形。建造者为丁天松,即迎仙桥的建造者。丁公村与丁公桥的命名都是为了纪念这个村子的祖先丁天松。多心圆弧乱石拱桥是中国石拱桥技术的一大创造发明。此桥是丁天松创造悬链线的先期创作,是悬链线发展进程中的标本。





乐清桥在 104 国道老线乐清市境内。此桥利用当地的片石排列干砌成多心圆弧拱桥。这样的砌筑方式很少见。桥脚用大片石砌筑，可视为组成桥拱的前倾式桥台部分。多心圆弧乱石拱桥是中国石拱桥技术的一大创造发明。此类桥拱在山区多有发现，桥拱的拱曲线大多不很规则。但成功的桥拱，都是合理的。这是类近似椭圆形的多心圆弧拱桥是许多无名工匠的无意间的创造发明。



庵山桥

此桥位于嵊州市下王镇何村。单孔多心圆弧乱石拱桥，长 27 米，宽 4.4 米，高 4.6 米，拱高 3.7 米，跨径 12.5。建于明天启年间。多心圆弧乱石拱桥是中国石拱桥技术的一大创造发明。这座古桥的多心圆弧不是很规则。在这座古桥的上方，一座现代桥在山洪暴发时倒了，但这座古桥安然无恙，说明了它的结构还是科学合理的。这是又一座无名工匠的无意间的创造发明。





跳仙桥

此桥位于安徽省旌德，多心圆弧乱石拱桥。多心圆弧乱石拱桥是中国石拱桥技术的一大创造发明。这类古桥形态众多，自存系列。这是一座近似悬链拱的多心圆弧乱石拱桥。这也是一座无名工匠的无意间的创造发明。

## 椭圆形乱石拱桥——如意桥和庵山桥



绍兴市有二座椭圆形乱石拱桥，分别是如意桥和庵山桥，如意桥（丁公桥）位于新昌县桃源乡丁公村。罗关洲发现此桥为椭圆形拱桥。古桥建造者为丁天松。丁公村的村名就是为了纪念这位造桥能匠。此桥取名如意，当是匠人的得意之作。此桥是丁天松建造悬链线拱桥技术探索和技术准备过程。据作为丁天松后代的村民相告：先祖丁公建丁公桥时是按半圆拱设计施工的。桥成之时，发现桥拱已变形，桥拱压住拱架。丁天松不敢贸然拆架，他设案求神明保佑此桥成功。他拆除拱架后，椭圆型拱桥成功挺立。这为他有意识地建造悬链线拱拱迎仙桥作了成功的技术试验。

庵山桥桥位于嵊州市下王镇何村。罗关洲发现此单孔椭圆型乱石拱桥，长27米，宽4.4米，高4.6米，拱高3.7米，跨径12.5。建于明天启年间。此桥上方有一座现代桥梁，在一次山洪被冲跨，而这座古桥保持原状不动。说明此桥结构科学合理。

**科技特点：**  
**椭圆形桥拱。**  
**乱石成拱。**  
**天然桥基。**





绍兴县复初桥



广济桥

此桥位于奉化石泉乡岩头村，始建于明代，多心圆弧拱桥。光绪



初年由该村工匠毛和泰父子重建。是一座单孔石拱桥，全长 14.4 米，宽 4.9 米，孔高 5.6 米，桥上有石柱，高 1.2 米，设有望柱，柱头雕有狮子及荷花。多心圆弧乱石拱桥是中国石拱桥技术的一大创造发明。这座古桥是类近似椭圆形的多心圆弧拱桥，拱曲线十分规整。说明这座古桥的拱券技术不无意中的创造，而是经过设计，有意识的桥拱创造发明。



通州桥

通州桥位于浙江省兰溪市，五孔尖礅多心圆弧拱廊桥。此桥为古代州际要冲，故名通州桥。桥建在岩石上，桥基坚固。五孔尖礅多心圆弧拱廊桥是古桥技术的创造发明。这座古桥拱曲线十分规整。说明这座古桥的拱券技术不无意中的创造，也是经过设计，有意识的创造发明。

无意中创造的多心圆弧拱桥还有：





两叉河桥，位于湖南湘西。系块石并列。下图为湖南省郴州市的凸桥。



与半圆相连接的多心圆弧链锁拱桥





白云桥。此桥位于余姚市。桥高 8 米，桥跨 12 米，桥长 24 米，桥拱超过半圆，这是七锁八链与半圆相连接的多心圆弧链锁拱桥。





## 朱村桥

此桥位于桐庐县朱村。桥高 9 米，桥跨 11 米，宽 4 米。此古桥是九锁十链与半圆相连接的多心圆弧链锁拱桥。村志有记载，桥始建于宋代。此桥在宋代是朱村村口的桥梁。明代王姓进入此村，村名改为珠村。朱村桥改为珠村桥，这里仍用朱村桥的桥名，以示始建历史。



## 姚江源头桥

此桥位于宁波姚江源头，此古桥是九锁十链与半圆相连接的多心圆弧链锁拱桥。



富里桥

此桥建于明代永乐年，桥长 30 米，宽 5 米，高 10 米。

与半圆相连接的多心圆弧乱石拱桥

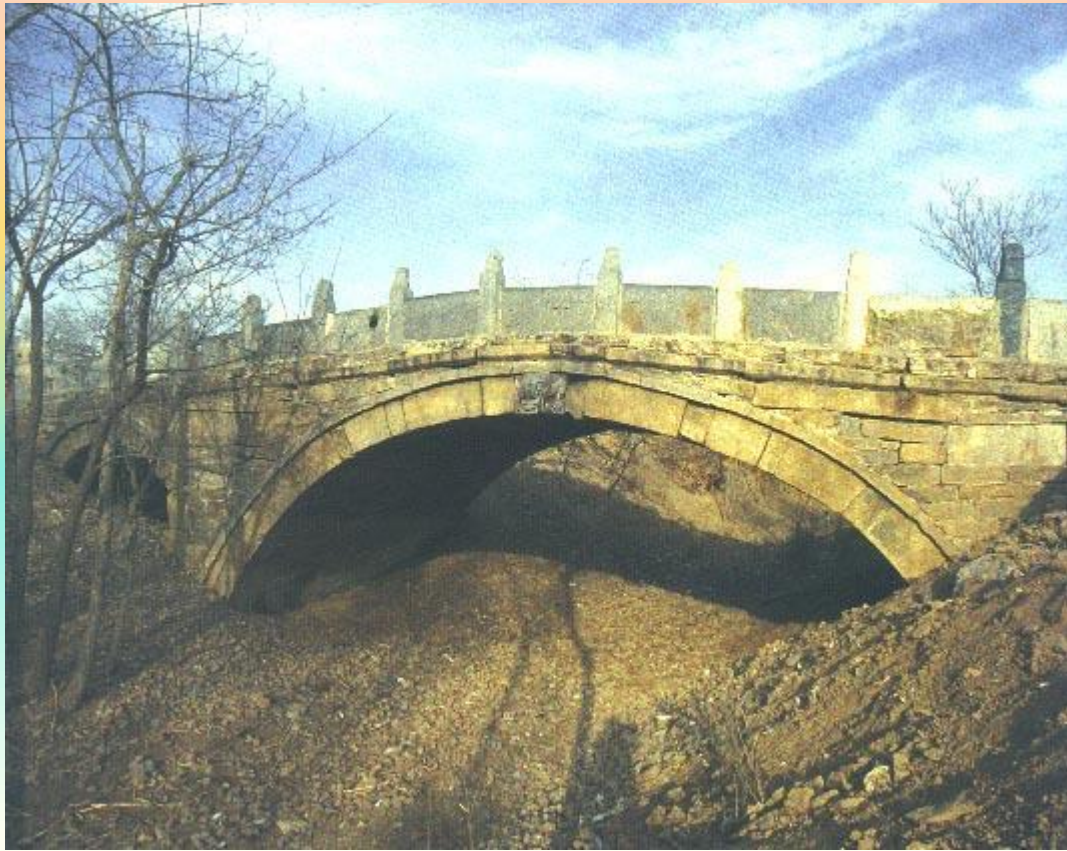


司马悔桥



## 六、块石圆弧拱桥的创造发明

### 1、镶面纵向并列拱桥



方顺桥

方顺桥始建于晋永嘉年间，明重修，位于河北省满城县南五十里，跨方顺河上，，长十五丈，单孔实腹圆弧石拱桥，两旁古栏，雕镂精工。方顺桥位于河北省满成县方顺桥村，跨越方顺河。由细石料砌成石拱形，共 3 孔。据传此桥无墩无台，石拱为一整圆体，现下部已埋在泥土中。长 50 丈(16.6 米)，高 1.6 丈(5.3 米)，宽 2.4 丈(8 米)，中孔跨径 4 丈(13.3 米)，两边小孔 1 丈(3.3 米)。隋开皇年间(公元 582—600 年)、金明昌七年(公元 1196 年)以及明嘉靖年间(公元 1522—1566 年)、清宣统二年(公元 1910 年)曾修缮。现拱顶石料已部分风化，岩层剥落。桥拱为块石横向并列砌筑。整圆体石拱圆弧石拱桥是

古桥技术的发明创造。

## 2、单孔镶面横向分节并列砌筑半圆拱桥



遇龙桥

遇龙桥位于广西阳朔，建于明朝永乐十年(公元 1412 年)年，桥长 36 米，宽 4.2 米，高 9 米，跨度 18 米，为块石横向并列砌筑半圆拱桥。桥用青石干砌，未用任何灰浆。块石错缝起拱。造型气势雄伟，古朴美观，极具民族特色，是广西历史上的名桥。



### 3、单孔块石横向并列砌筑半圆拱桥



后门桥

后门桥原称万宁桥，位于北京的中轴线上，在地安门以北，鼓楼以南的位置。桥始建于元代的至元二十二年（1285年），开始为木桥，后改为单孔石桥。元代在北京建都城大都后，为解决漕运，在郭守敬的指挥下，引昌平白浮泉水入城，修建了通惠河，由南方沿大运河北上的漕运船只，经通惠河可直接驶入大都城内的积水潭。而万宁桥是积水潭的入口，并且设有闸口，漕船要进入积水潭，必须从桥下经过。万宁桥在当时所起的作用是巨大的。万宁桥在元大都的建筑设施中具有重要的地位，它也是北京漕运历史的见证。这是闸桥组合这类创造发明的早期的标本之一。



圆明园残桥

此残桥展示出原桥的构筑结构，此桥系大块石横向并列砌筑半圆拱桥。采用清代官方规定的营造法则构建。此残桥可作此类结构创造发明标本。



#### 4、纵向分节横向并列砌筑拱桥



性田桥

性田桥为 5 孔拱桥，宽约 6 米、长 20 多米，古桥坚固耐久，主要采用了石料、青砖等建造而成。古桥由蔡兰桂一人出资而建。该桥为纵向分节横向并列砌筑拱桥。此类桥例不多，现将此桥作为纵向分节横向并列砌筑拱桥桥型创造发明的标本。

## 5、上下全拱桥



天盛号桥

此桥位于辽宁省凌源县天盛号村东，金定十年（1170 年）建。拱券上有石雕花纹，桥上栏板 8 块，栏柱 10 个，分列桥两侧。桥长 3.8 米，宽 3.4 米，跨度 2.9 米。上拱呈半圆形，下拱（倒拱）呈圆弧形。桥面用九十多块扇形石材砌成，白灰灌缝，束腰形铁链固定。拱两面的卷脸石浮雕莲花。桥拱中间嵌有建桥石记。这座单孔上下全拱桥，为当今国内仅见的桥型，保存完好。这是古桥拱形的创造发明。

多孔块石横向并列砌筑半圆拱桥





## 卞桥

此桥位于山东泗水县城东南 24 公里处，又名双月桥，金大定二十一年重建，全国重点文物保护单位，晚唐建筑。古时此地为卞国，桥就称为卞桥。中秋之夜，水中出现双月，故又叫双月桥。为“泗水十景”之一。卞桥在时间上比北京卢沟桥早，从重修算起，距今也已有 800 多年的历史。为我国现存为数不多的最早期石拱桥。卞桥“可能是全国罕见的晚唐建筑”。金大定二十一年(公元 1181 年)重修，明万历九年(公元 1581 年)曾对部分栏板、望柱进行过补配。桥为东西走向，三孔联拱券砌。桥身长 25 米，宽 7 米，高 6.5 米，两端各有引桥 35 米。3 孔拱形石桥洞，中间的大孔高约 5 米，东西两个小孔高约 4 米。3 孔跨径 4.5 米，拱脚厚 0.5 米，拱顶厚 0.4 米，桥面两边各有 14 根望柱和 13 块栏板。望柱顶部刻着方莲图案，栏板四周饰以云水花纹，中间是“太公钓鱼”、“卞庄刺虎”、“周处除

三害”、“松下问童子”等几组浮雕，形象逼真，大小适宜，是石雕中的精品。桥身两端各有一对石狮相向，蹲踞于须弥莲花座上，光光的狮头可以看出这桥的年份了。券孔两侧顶上均镶有透雕龙首向南北两面探出。拱脚处为莲花托石，桥墩下部为梭形迎水。卞桥拱脚处的莲花托石，花瓣圆润肥大，带有显明的晚唐风格，托石以下部分应为晚唐建筑。采用线雕、浮雕、透雕、整体雕等各种技法，集古代雕刻艺术之大成。特别是桥面两侧的栏板图案，内容丰富，雕刻精湛，具有很高的艺术价值和欣赏价值，组成了一条石刻艺术画廊。充分显示了古代劳动人民的聪明智慧和艺术才能。卞桥不仅造型美观，建造精工，而且布局巧妙，结构合理，经过精心设计，整座桥浑然一体，坚固异常。虽历经 800 多年的风雨沧桑，主体建筑除桥面、望柱、栏板外，基本完整无损，照常通行载重车辆，是将桥梁的实用价值和艺术价值完美结合的典型。它集数学、力学、美学于一体，是古代桥梁建筑特别是拱桥建筑史上的杰作。





## 朝宗桥

此桥位于北京昌平县城南沙河镇，明正统十三年建，俗称沙河桥。明朝迁都北京，在天寿山建陵墓，先后于明正统十二年(1447)拆掉南北沙河水上的木桥建石桥，北曰“朝宗”，南曰“安济”。朝宗桥为七孔石桥。全长 130 米，宽 13 米，中高 7.5 米，七孔联拱结构，桥两旁有石栏柱 53 对。为京师通往明陵的大型石桥，是明朝帝后、大臣谒陵北巡的必经之路，又是通往塞北的交通咽喉。它与卢沟桥、永通桥(俗称八里桥)，并称为“拱卫京师三大桥梁”。是市级重点文物保护单位。此桥是这类古桥创造发明的代表作。



## 颐和园十七孔桥

此桥位于北京颐和园昆明湖，是一座造型非常优美的拱桥。整体桥长 150 余米，桥面宽达 8 米。桥的两侧安有汉白玉的栏板，安放有望柱 124 根，雕有精美的石狮 544 只，各个都是形态异常生动，比那著名的卢沟桥还多上 59 只。最特别的是十七孔桥洞券设计，以中间

的券洞最为高大，由此向两侧逐渐缩小。并且从东端或西端分别向中间的这个洞券数的话，桥洞的数目都是九个，那是因为古代的人认为“九”是最大的数，含有吉祥平安的意愿。也就是因其有这 17 个桥洞得名十七孔桥，这也是园内最大的一座桥。它西连南湖岛，东接廊如亭，飞跨于东堤和南湖岛之间，不但是前往南湖岛的唯一通道，而且是颐和园的重要景点之一。十七孔桥把昆明湖的水面分出了层次，将千亩碧波尽收眼底的空旷感消弭无踪，这是设计者神笔。此桥是多孔渐变林圆弧拱创造发明的代表作。



太平廊桥

此桥位于江西龙南县杨村镇塘尾村，长 34 米，宽 4 米，嘉庆元年（1796 年）建。此桥是双孔半圆尖拱桥创造发明代表作。

此类古桥还有：





乐取桥



新昌大庆桥





温江桥，此桥位于湖南省温江。



联珠桥

此桥位于湖南省安化县。从大沙城沿东岸而下，过了胡公殿，再走二、三十步就可走到联珠桥。联珠桥是古山华溪上的第一座桥，来



往的人很多，桥面只有一米多宽，早年是用三块长石板拼成，有三、四十米长。据记载，是由孙宅族亲孙喜印独资建桥，乾隆壬午（1762）孟夏动工，不到一个月而告竣。桥建成后，曾多次被洪水冲毁，古山大宗又多加以修建，后来桥面增至四块长石板，桥面更宽，来往的人更方便了

## 七、圆弧折边拱桥



果盒桥

此桥位于温岭雁荡山景区。桥拱由微拱的五条折边与四条链锁石用榫卯结构连接而成。这一种介于折边拱与圆弧拱的过渡形式桥梁。

## 八、长条石横向并列砌筑半圆拱桥



寨口桥

寨口桥位于绍兴县夏履乡莲增村，系用 90 块长条石横向并列砌筑。桥长 30 米，宽 2.6 米，高 10 米。此桥在清嘉庆《山阴会稽志》中有载。桥重修建于清光绪十二年（1886 年）。此种桥型在国内仅此一例，是长条石横向并列砌筑创造发明的标本。



## 九、悬链线三折边拱桥的发明创造



竿桥

竿桥位于浙江天台九遮村。三折边石板拱古桥数浙江最多，但三条边的长条石均做成弧形曲线的三折边古拱桥，唯天台独有。唐寰澄先生在 1992 年 11 月 18 日的来信中称：“那张介于椭圆拱和八字拱之间的照片甚有价值（我没见过）。因为这是演变过程中的一个少见的实例”。桥型见图一、二。在“中国科学技术史·桥梁卷”一书中，唐老先生将它命名为“浙江天台弯板三折边拱”桥，我与绍兴罗关州两则称它为“浙江天台曲线三折边拱”，但现在我则称它为“悬连线三折边拱”，本地人仍叫“竿桥”，系当地桐桥村石匠何有开于清末创建。唐朝诗僧寒山子隐居的九遮山谷中，建有举世无双的“弯板三折边拱”竿桥群，两条溪坑上建有七座竿桥，全县共计八座，

天台县街头镇祥明乡的茶山溪上，自茶山口至明堂村九华里长的

沿溪古道上分布着五座单桥，由外至里分别叫同善桥、稻蓬岩桥、仙渡桥、桐桥桥、明堂桥。因机耕路建成，老弹石路废弃，当地村民为利用老桥石料，将废弃的桥头殿桥移建至稻蓬岩村，故叫稻蓬岩桥。茶山溪的支流济溪坑上建有王家岙桥和济溪单桥。另在相邻的祥坑乡上徐村前建有上徐村单桥。

曲线三折边拱桥是八字型三折边拱向弧形拱发展演变的中间一链，唐老专家称“极为有趣地填补了折边拱向弧形拱发展的另一途径”。故宫藏有唐·杨昇《雪山岗朝霁图》，图中有一座曲线三折边拱桥，说明唐朝时即有曲线三折边拱的桥型，但唐老对该桥型所在地理方位提出了疑问。这一型桥，目前仅在浙江天台发现有这一桥梁实物，可谓天下独一无二。这也印证了《雪山岗朝霁图》中桥型的客观存在。1990年因写交通志，在九遮山调查民桥时，恰巧碰上当地村民正在拆除桥头殿桥，移建至稻蓬岩村。当时感觉该桥型特殊，是另有特色的古桥，在省内尚未见过，讲不出桥型类别，其结构受力状况有别于三折边八字拱，更感觉造型清秀、柔和、美观，即意识到有一定的科学技术含量，可能有相当的文化价值，当即告知当地村民和乡、镇政府，要他们保护好这几座古桥，以待进一步考证研究，以对得起祖先的创造业绩。1992年把该桥型照片资料提供给唐寰澄先生，经唐老的研考，得出了科学的肯定，载入了《中国科学技术史·桥梁卷》一书，填补了桥梁发展史中的一段空白。2000年11月天台县人民政府将“九遮单桥群”列入县级文物保护单位。





五云桥

此桥位于诸暨应店街大马坞村，五孔三折边拱桥。桥台和四个方首石桥墩建于块平整砌筑的石堰上，三折边拱筑于四个方首石桥墩上。





## 溪缘桥

溪缘桥位于诸暨市五泄柱山乡方殿山，为国内最长的多孔三折边桥。全桥 15 孔，长 155 米，宽 2.5 米。跨五泄江。



宁海日升桥

日升桥 此桥位于宁海县。



2013 3 13



## 元宝桥

该桥又名云梯桥，位于绍兴县华舍镇张漓村。三折边联锁石横截面为梯形。



## 上新桥

此桥位于浙江诸暨市青山乡杨焕村，空腹式三折边拱桥，长 14.7 米，宽 2.8 米，高 3.6 米。





## 访友桥

访友桥位于嵊州市贵门乡白宅墅村，以朱熹访友到此得名。宋嘉泰《会稽志》有载，桥应建于宋代以前。三折边石拱桥，长 11 米，宽 2.9 米，高 4.2 米，拱高 3.85 米，跨径 5.3 米。县级文物保护单位。

## 十、石梁桥的创造发明





## 寿隆桥

此桥位于湖南省江永县古村落上甘棠村西南方向约 1 公里。甘棠村有一处宋代摩崖石刻，此桥就在摩崖石刻的下面有一座与寿隆桥结构一样的古小桥，通过此桥才能到达摩崖石刻，由此推断这条路、这座古小桥与摩崖石刻同为宋代的产物。再推论：寿隆桥与这座古小桥也可能是宋代产物。

寿隆桥的技术特色是在桥墩石柱、桥墩横梁、桥面石梁之间采用了榫卯结构组合。其做法是采用了平时老百姓做板凳做形式，由两根柱子支撑一块横梁相当于一个桥墩，横梁比较宽，类似于一块板（见图），横梁上面再支撑桥面板。而最重要的特点是两根作为桥墩的支柱采用木结构的榫卯做法，穿过较宽的横梁伸出来，露出一个长宽约 20 厘米的方头。在两块桥面板相交接的边缘凿出一个宽约 20 厘米的方形缺口，从下面伸上来的支柱的方头就正好插在这个方形缺口中把桥面板卡住。



## 八字桥

全国文物保护单位。目前已知的国内建造年代最早的城市桥梁。此桥桥礅石壁上刻有“时宝佑丙辰仲冬吉日建”字样。此桥在宋嘉泰《会稽志》中有载，在《中国科学技术史》（桥梁卷）中有载。



## 纤道桥

## 伸臂石梁桥





万缘桥 此桥位于绍兴县稽东镇馒头石村，五孔尖墩伸臂石梁桥。



品济桥

此桥位于嵊州马村，四孔尖墩伸臂石梁桥。



## 广济桥

此桥位于广东潮州东门外，是我国古代一座交通、商用综合性桥梁，也是世界上第一座开关活动式大石桥，有“一里长桥一里市”之说。



## 安平桥

此桥位于福建晋江安海镇。桥面由 7 条大石板铺成，桥头有六角五层砖构宋塔一座，为中国古代最长的梁式石桥，有“天下无桥长此桥”之誉。





## 洛阳桥

洛阳桥原名万安桥，位于福建省泉州东郊的洛阳江上，我国现存最早的跨海梁式大石桥。宋代泉州太守蔡襄主持建桥工程，从北宋皇佑四年（公元 1053 年）至嘉佑四年（公元 1059 年），前后历七年之久，耗银一千四百万两，建成了这座跨江接海的大石桥。桥全系花岗岩石砌筑，初建时桥长 360 丈，宽 1.5 丈，武士造像分立两旁。造桥工程规模巨大，工艺技术高超，名震四海。建桥九百余年以来，先后修复十七次。现桥长 731.29 米、宽 4.5 米、高 7.3 米，有 44 座船形桥墩、645 个扶栏、104 只石狮、1 座石亭、7 座石塔。桥之中亭附近历代碑刻林立，有“万古安澜”等宋代摩岩石刻；桥北有昭惠庙、真身庵遗址；桥南有蔡襄祠，著名的蔡襄《万安桥记》宋碑，立于祠内，被誉为书法、记文、雕刻“三绝”。洛阳桥是世界桥梁筏形基础的开端，为全国重点文物保护单位。

## 板堰桥

此桥位于浙江省缙云县仙都景区。





龙脑桥

泸县龙脑桥位于泸县县城福集镇以北的大田乡境，该桥始建于明代洪武(1368—1398)年间。该桥是艺术品位高，至今保存完好的全国罕见的古桥。全国文物保护单位。桥为石墩石梁式平板石桥，全长55米，高约2米，宽1.9米，整桥共15跨（含桥头堡各一跨在内），桥墩14座，桥墩由四层灰沙岩石条垒砌而成。龙脑桥为东西走向，东西两面各3座桥墩，均为素面无雕刻，中部跨河水面的8座桥墩首部（朝向上游一端），分别雕刻古代民间传说的吉祥走兽，有四条龙，两个麒麟，一只青狮和一只白象，气宇轩昂。





### 鱼沼飞梁

此桥位于山西太原晋寺，为独墩四梁通四方的十字相交式石梁桥，国内仅见。





## 咸宁桥

咸宁桥位于浙江省绍兴市区戴山街，这是一座以年号命名的古桥。此桥为二层石板的石梁桥，二层石板侧面都刻有桥名。底层桥名的宁字无丁，为宋朝以前的写法。咸宁为西晋的年号，此桥当为咸宁时建造的古桥。此桥石梁下置有替梁木。此桥长 5 米、宽 1 米。



## 汤公桥

汤公桥位于浙江省绍兴三江，此桥又称三江应宿闸，这是桥闸合一的古桥。现桥为明绍兴太守汤绍恩重建。这是绍兴三江古入海口的大型水利设施和交通设施。汤公此举世代代恩泽越北平原。此桥始建于唐太和七年。现桥长 108 米，宽 9.16 米，28 孔，为石墩石梁长桥。每孔以星宿命名，故称应宿闸。此桥气势雄伟，为古代少见的特大型工程设施。原桥现存一半，新老桥合一。为县级文物保护单位。





川南第一桥



栖鳧三接桥





## 中东门桥

此桥位于安徽省旌德市中东门。



## 腾冲桥

此桥位于广西腾冲。



台湾三板桥。天然岩基伸臂石梁桥，道光初年台北县同安人林永建。



## 十一、砖拱桥的发明创造



## 十二、铁索桥、竹索桥的发明创造



据文献记载，中国早在公元前五十年（汉宣帝甘露四年）就建成了跨度达百米的铁索桥，而欧美直到十七世纪尚未出现铁索桥。

1665 年徐霞客的《铁索桥记》详细描述了 1629 年在贵州境内建造的一座长约 122 米的铁索桥。法国传教士于 1667 年出版了一本《中国奇迹览胜》，书中也介绍了中国铁索桥。世界科技史家英国李约瑟博士指出：这两本书直接启发了西方人建造铁索桥的尝试。

### 泸定铁索桥

泸定铁索桥建于 1706 年的泸定铁索桥跨长约 100m，宽约 2.8M，由 13 条锚固于两岸的铁链组成,1935 年中国工农红军长征途中经 渡此桥，由此更加闻名。





## 安澜桥

安澜桥是我国著名的五大古桥之一，全长 320 米。最早称绳桥或竹藤桥，这与它修建的材料有关。到了宋代，改称“评事桥”，明朝末年毁于战火。古代又名“珠浦桥”、“许事桥”，明代末被毁，清嘉庆八年(1803)，何先德夫妇倡议修建竹索桥，以木板为桥面，旁设扶栏，两岸行人可安渡狂澜，故更名“安澜桥”；民间为纪念何氏夫妇，又称之为“夫妻桥”。它是勾通内、外江两岸的交通要道。桥的原址本来在鱼嘴处，1974 年因兴建外江水闸，经国务院批准，将索桥下移了一百多米，改用钢索建造。索桥是我国古代人民为征服高山峡谷，急流险滩，利用本地竹木资源创建的悬空过渡桥梁形式之一，是世界索桥建筑的典范。

安澜桥是名播中外的古索桥，位于都江堰鱼嘴分水堤之上，横跨内外两江，长 500 米。索桥在四川西部地区起源较早。安澜索桥修建具体年代已无从所考，但据《华阳国志·蜀志》记载李冰“能笮”。《水经注·江水》载“涪江有笮桥”，证明至少安澜桥的修建，不会晚于修筑都江堰的年代。“笮”意为竹索，这是川西古代索桥的主要建筑材料，故安澜索桥又被称为竹桥、绳桥、竹藤桥等。

二王庙前的安澜桥是我国著名的五大古桥之一，横跨在内江和外江的分水处，是一座名播中外的古索桥。最早称绳桥或竹藤桥，这与它的材料有关。到了宋代，改称“评事桥”。明朝末年毁于战火。清嘉庆八年（公元 1803 年），何先德夫妇倡议修建竹索桥，以木板面，旁设扶栏，两岸行人可以安渡狂澜，故更名“安澜桥”；民间为纪念

何氏夫妇，又称之为“夫妻桥”。全长约 500 米，在鱼嘴处建立外江水闸，把桥下移 100 多米，将竹索改为钢索，乘托缆索的木桩桥墩改为钢筋混凝土桩，桥身也缩为 240 米。远看如飞虹挂空，又像渔人晒网，形式十分别致。漫步桥上，西望岷江穿山咆哮而来，东望灌渠纵横，都江堰工程的概貌及其作用，更是一目了然。但据《华阳国志·蜀志》记载李冰“能笮”。《水经注·江水》载“涪江有笮桥”，证明至少安澜桥的修建，不会晚于修筑都江堰的年代。“笮”意为竹索，这是川西古代索桥的主要建筑材料，故安澜索桥又被称为竹桥、绳桥、竹藤桥等。

### 十三、开启式浮桥的发明创造



广东省潮安县广济桥（又称湘子桥）是我国最早的开合式桥梁，也是世界上第一座开、关活动式大石桥。桥位于广东潮州东门外，建于公元 1169 年到 1194 年。东段 12 段，长 283 米；西段 7 孔，长 137



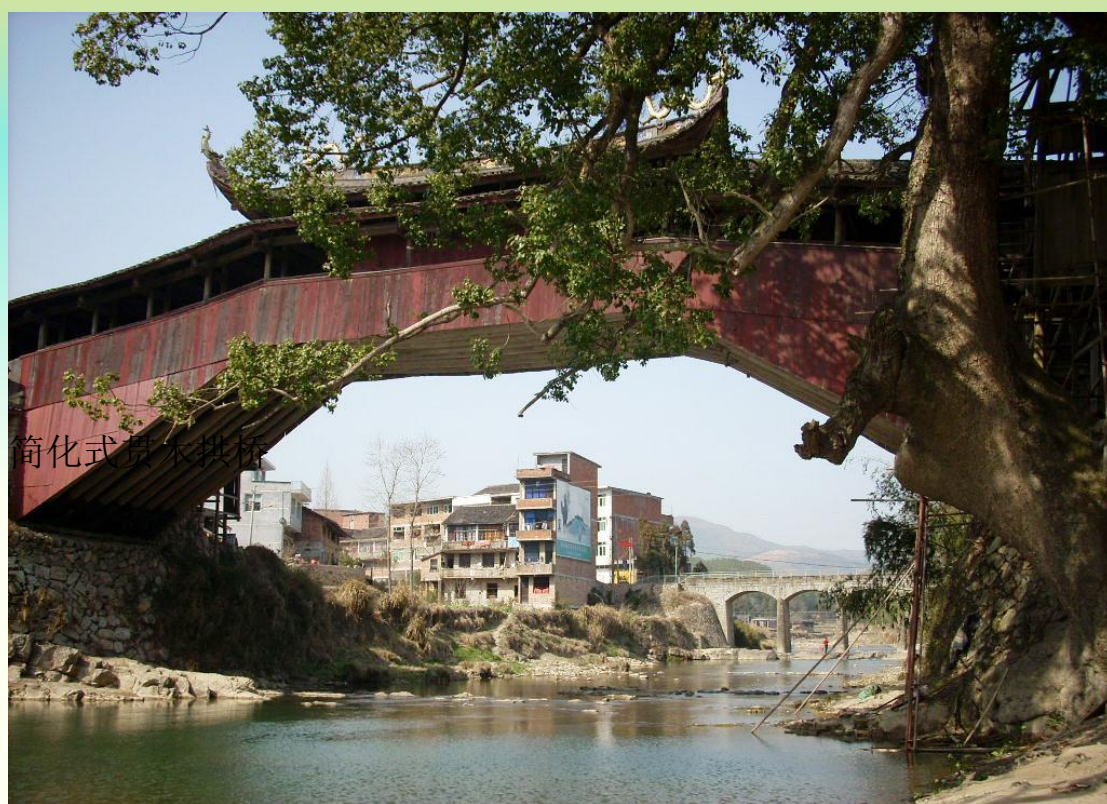
米，中间用 18 只木船搭成浮桥相连，中段的浮桥，当大船、木排通过时，可以将浮桥的浮桥解开，让船只、木排通过，再将浮船归回原外。也是世界上开合桥梁的先导。广济桥是我国古代一座交通、商用综合性桥梁，也是，有“一里长桥一里市”之说。

#### 十四、贯木拱廊桥的发明创造

##### 泗溪东

泗溪东桥位于浙江温州泰顺的泗溪镇下桥村，为叠梁式木拱廊桥。始建于明隆庆四年(1570)。清乾隆十年(1745)、道光七年(1827)重修。桥长 41.7 米，宽 4.86 米，净跨 25.7 米，离水面 9.5 米。处在“将军逗狮”风水模式中的溪东桥，“虹气临虚，影摇波月”。桥拱上建有廊屋 15 间，当中几间高起为楼阁。屋檐翼角飞挑，屋脊青龙绕虚，颇有吞云吐雾之势。此桥无桥墩，由粗木架成八字形伸臂木拱，颇为罕见。东溪早时以碇步渡水，津道多阻，林正绪倡首建造蜈蚣桥(即溪东桥)。林正绪生平端方正直，好行义举，乾隆癸亥年(1743)邑侯张考首书“达尊有二”匾相赠。此桥修建者是修北涧桥的人的徒弟，故而有人也将这两桥称为“师徒桥”。因此桥外型美观，号称“最美的廊桥”。

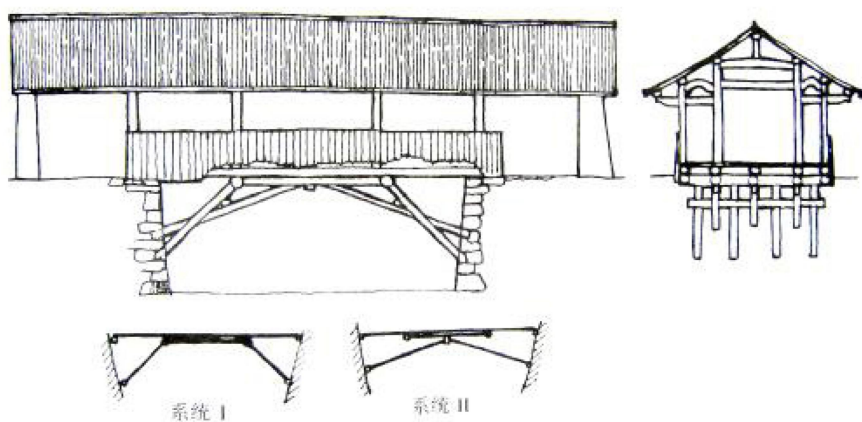
泰顺北涧廊桥



简化式景观木拱桥



## 国内仅见简化式贯木拱廊桥——风雨桥



普济桥位于新昌县上三坑村，又名风雨桥。此桥为宋《清明上河图》木拱桥的简化式，国内少见。此桥为清代原物。桥上建木结构桥廊。此桥收入《中国科学技术史》桥梁卷。

**科技特点：**

简化式木拱廊桥。

木材耐久

## 十五、“睡木沉基”桥基技术创造发明

### 永春东关桥

东关桥又称“通仙桥”，位于福建省永春县东关镇东美村的海洋溪上，历来是交通要冲，为闽中、南往返的必经之地。东关桥始建于南宋绍兴十五年(公元 1145 年)，是闽南绝无仅有的长廊屋盖梁式桥，全长 85 米，宽 5 米，共六墩五孔两台，桥基采用“睡木沉基”，船形桥墩以上部分为木材构造，技艺之精湛，构造之奇特，实属罕见。现为省重点文物保护单位，并被载入《中国名胜词典》。

### 虎渡桥

1240 年建造的福建潭州虎渡桥，也是最令人惊奇的一座梁式大桥，此桥总长约 335m，某些石梁长达 23.7m，沿宽度用三根石梁组成，每根宽 1.7m，高 1.9m，重达 200 多吨，该桥一直保存至今”历史记载，这些巨大石梁桥是利用潮水涨落浮运建设的，足见我国古代加工和安装桥梁的技术何等高超。

## 十六、伸臂梁桥技术的创造发明





## 广西三江程阳桥

程阳桥又叫永济桥、程阳风雨桥等，位于广西北部与湘黔两相接的三江县城古宜镇北面 20 公里砵林溪马安寨林溪河上，始建于 1912 年，历时 12 年。整座桥长 77.6 米，宽 3.75 米，高 20 米，桥下部分为青料石垒砌的二台三墩，桥墩为六面柱体，上下游均为尖形，迎水角 68 度；桥中间部分为密布式悬臂托间柱支梁木质桥面，共 19 间桥廊；桥上部分为木质梁柱凿榫衔接构成重檐翘角，桥的两旁镶着栏杆，桥中有五座塔阁式桥亭。飞檐高翘，犹如羽翼舒展；桥的壁柱、瓦檐、雕花刻画，富丽堂皇。整座桥梁不用一钉一铆，大小条木，凿木相吻，以榫衔接。全部结构，斜穿直套，纵横交错，却一丝不差。桥上两旁还设有长凳供人憩息。程阳桥是侗寨风雨桥的代表作，是目前保存最好、规模最大的风雨桥，也是中国木建筑中的艺术珍品。现为全国重点文物保护单位。

### 永春桥



永和桥（浙江省龙泉县）



广济桥（湖南省郴州市 石尖墩木伸臂木梁桥）



## 石桥台单孔单向伸臂木梁廊桥



永福桥（湖南省通道县 单向伸臂木梁廊桥）

## 木排架墩单向伸臂木梁桥



1971 年内蒙古和林格尔县新店子发掘出一座东汉墓有“七女为父报仇”壁画，画上有汉代渭水桥，在桥墩上梁下都有短托木。这也许便是木伸臂梁的雏型。

木伸臂梁桥是借伸臂作用，用短梁造成的长跨桥。最早记录的伸臂梁桥在西北循化（今青海省循化撒拉族自治县）的古什群口。汉代，吐谷（yù）浑族人民在这一黄河峡口上造木伸臂梁桥。宋代，段国《沙州记》称：“……两岸累石作基陞，节节相次，大木纵横，更相镇压。两边俱平，相去三丈，并大材，以板横次之。施钩栏，甚严饰。”桥跨总长约三十六米，就是两边单向向河心伸大约十五米。至今甘肃、四川、西藏等省、自治区仍有不少木伸臂梁桥。

## 十七、斜梁悬挂支撑技术的创造发明

巍山永济桥





永济桥又名巡检桥，位于巍山县永建镇巡检村村南巡检河之上，是茶马古道上的古桥。明万历元年（1573 年），由蒙化府通判薛希周建造，2004 年，由香港詹益邦先生捐资维修。桥头墙上镶砌一块大理石的《永济桥碑记》，为明代大文学家李元阳撰写。桥为古老的石礅木构廊桥，（因能遮风避雨，也称风雨桥）。桥身通长 15.6 米，宽 3.25 米，高 6.9 米，桥两端架“人”字型大圆木支撑，斜撑柱脚埋入桥墩，中部由一根圆木相连，两端二直木悬挂于中央“人”字型木架上，桥上建瓦屋面，两端礅上设亭，桥两边设栏杆并置长凳，供行人休息。整座桥结构严谨，造型独特美观。1987 年被巍山县人民政府公布为重点文物保护单位。桥呈南北走向，桥长 15.6 米，宽 3.25 米，高 6.9 米。其结构为用直径 0.4 米的五根大圆木架于两岸桥墩之上，再在两岸桥墩各安木斜撑二根以支木架，其上再铺木板。桥面下部为红沙石垒砌的桥墩，桥墩的上下游砌成尖形迎水角，桥中间为臂托架简支木梁和木质桥面，桥上部为木结构的单檐硬山屋面，构成了层次分明的廊、亭建筑体系。整座桥在三维空间中创造的视角形象，风姿纷呈，自成序列，表现出了各自不同的美感特征。墩台厚实、凝重，悬臂托架简支梁质朴，廊、亭典雅飘逸，构成了丰富多变、富于节奏的结构技术与造型艺术高度统一的建筑形象。该桥还在廊柱之间设置坐凳，凳的靠背就是桥的栏杆，一方面加强了桥架的整体性，另一方面又能满足过往行人休息、乘凉和避雨的功能，可谓是一举数得的建筑构造范例。值得提及的是，该桥的空间设计与力学的运用十分科学。整个空间设计上充分考虑到山洪水急，漂浮物多，墩台之间的距离必

须要畅通。力学方面，用斜梁悬挂支撑中点的方法，既解决了大跨径木桥受力问题，又保证了大梁的抗弯强度，从而也使上层梁架最大限度的拉开了间距，由于各方面处理得当，不但桥梁的线条有了变化，也使得该桥的抗洪能力得到了较大提高，充分体现了我国古代建筑师们的高超技艺和科学技术水平。

巍山是云南设置最早的郡县之一。春秋、战国时期属“哀牢夷”居地，西汉元封二年（公元前 109 年）始设邪龙县，属益州郡。东汉沿设邪龙县，改属永昌郡；蜀汉建兴三年（225 年），诸葛亮南征平定云南后，在滇西增设云南郡（郡治今祥云县的云南驿），此时邪龙县改属云南郡。唐代，巍山为南诏国发祥地。是古代从四川入西南，经滇西南昌宁、凤庆、云县、永德、镇康、临沧、耿马、双江各地和通往缅甸、印度等国的西南丝绸古道，同时也是为穿行在茶马古道上的马帮提供服务的一大重要基地。永济桥便是这条古道上的交通要津。有道必有桥。桥是沟通津途、方便交通的设施。明代万历元年（1573 年），为时任蒙化府通判薛希周募建。桥头山墙有明代著名学者大理李元阳书撰《永济桥碑记》一通，碑中载：“.....时河水深丈许，频年人马冒渡而死者，不知其数.....”。

2003 年，香港华南研究会詹益邦、马建雄两位先生应邀到巍山考察访问，在考察明代永济桥时，詹先生被其古人高超的造桥技艺所折服。同时，詹先生也为该桥因年久失修，岌岌可危的景况着急，随即提出愿意捐款由当地文物部门尽快对永济桥实施全面保护维修。

2004 年巍山县文物管理所按照“不改变文物原状”的文物维修原则，对



永济桥进行了全面保护维修。如今，永济桥的昔日风姿再现，现已成为红河源头的一大靓丽景观。

## 十八、古桥部件的创造发明

世界最早的软土地基小桩密植基础实例——绍兴湖塘出土的汉代湖塘桥的软土地基小桩密植基础的科学排列。

世界层数最多、最厚的桥基石板——广宁桥的石板桥基。此桥的桥基石板多 7 层，厚达 2 米。

世界最长最重的整条桥基石——东双桥的整条桥基石。此桥用了整块的长条条石作桥基石，此桥基石长 5 米，宽 0.75 米，高 0.55 米是目前世界最大的整条的古桥桥基石部件。

世界最长最重的桥名石——广宁桥桥名石，长 6.20 米，宽 0.20 米，高 0.81 公分，重约 26 吨。

世界最长的抱鼓石——广宁桥抱鼓石，长 2.67 米，宽 0.66 米，厚 0.20 米。

世界最高的抱鼓石——东双桥抱鼓石，长 2.68 米，高 1.10 米，厚 0.28 米，。

世界品类最多的龙门石雕——绍兴古桥 8 组龙门石雕，分别为：广宁桥、太平桥、广溪桥、大木桥、宝珠桥、茅洋桥、谢公桥、泗龙桥。

## (一) 古桥榫卯结构的发明创造

### 古桥榫卯构件

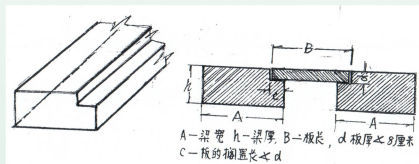
上虞市工程师陈国桢对绍兴古桥榫卯技术系统作了系统的归纳研究，榫卯结构图系陈国桢所作。



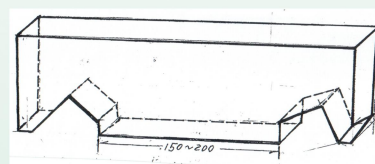
桥基榫卯构件



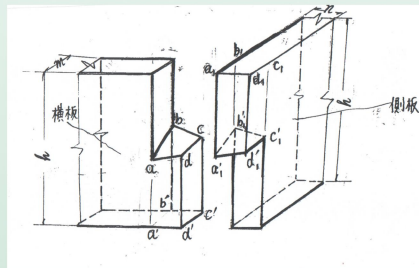
拱券榫卯构件



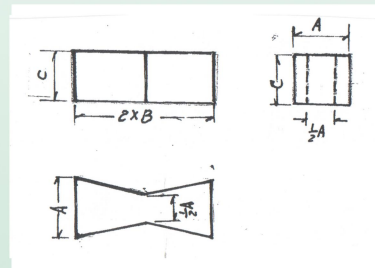
长止口槽



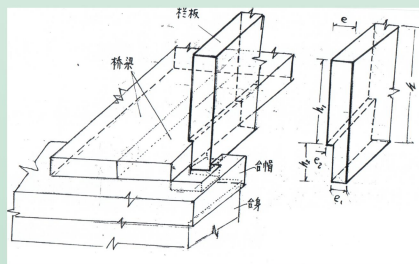
左右端设开口槽



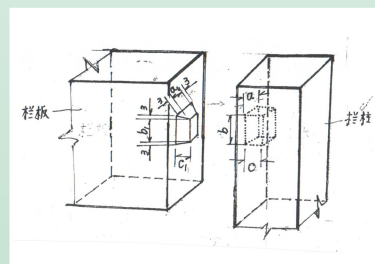
空箱式桥台榫结合结构图



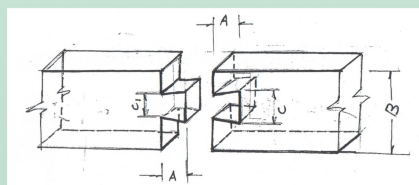
铁键结合图



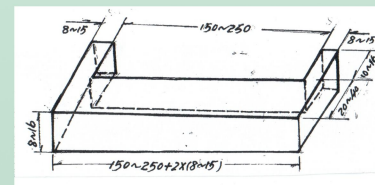
栏板（桥名板）与石梁结合的整长止口槽



桥栏构件间结合的抽展榫



舌榫结构图



开口槽



## 古桥榫卯结构与变型拱桥

### 变型拱桥——单江太平桥和咸安桥



上图为单江太平桥，下图为咸安桥

单江太平桥位于绍兴县齐贤镇山南村，咸安桥位于齐贤镇山南村。链锁分节并列砌筑。二桥为清代古桥。

#### 科技特点：

二桥都是由半圆拱变形为椭圆型拱的变形拱桥。榫卯结构可以使半圆拱桥的部件有一定伸缩余地，使变形控制在允许的范围内，使古桥在总体上处于相对稳定。这种变形后的相对稳定，对建筑物的防震设计有一定的研究价值。

## 十九、中国古桥的世界之最

### (一) 现存始建年代最早的半圆拱桥

#### 晋代始建半圆拱桥——光相桥



光相桥的并列砌筑桥拱

光相桥在绍兴市区西北 104 国道越王桥侧，跨运河。此桥为纵向并列砌筑的石拱桥。此桥在宋嘉泰《会稽志》有载。光相桥始建成于东晋。这种分节并列砌置的古桥一般出现在宋朝以前。吸水兽与晋代瓦当上怪兽造型相仿。桥栏、桥柱纹饰为晋代风格，桥柱上的石莲与晋代的莲饰相仿。桥上年代最早的桥柱，石质风化程度与八字桥、广宁桥相仿。当在宋朝以前。此桥在《中国科学技术史》桥梁卷有载。

#### 科技特点：

拱券为唐代以前的并列砌筑式。标准半圆桥拱。吸水兽式样与晋代瓦当纹样相似。拱券为榫卯构件。此桥的建造技术非物质文化遗产应属于晋代。桥拱和金刚墙的石质风化程度与八字桥相同



吸水兽



晋代瓦当



## （二）现存最早的三折边拱桥

### 宋代三折边拱桥——和尚桥



和尚桥位于嵊州市浦口边的小溪上。该桥在宋嘉泰《会稽志》有载。桥系三折边拱。因溪流在桥前有一弯道，水在桥前已形成一个小潭，流速变缓，减少了对桥的冲击力，此桥自宋朝以来得以保存。全市现存三折边古桥：26座。

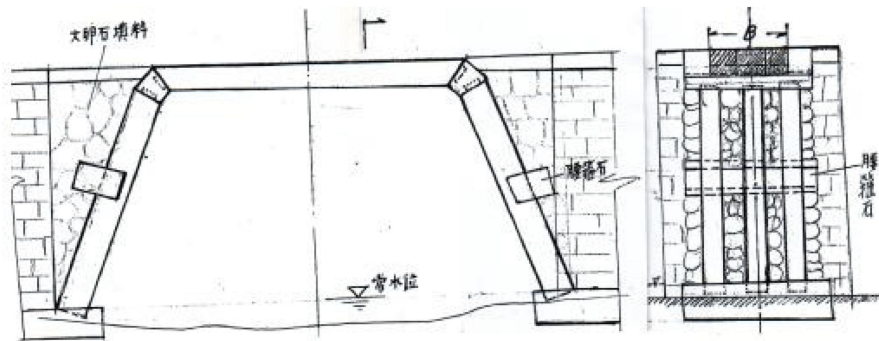
科技特点：

有史记载的最早的原建三折边拱桥。

桥址选择科学。

此桥没有经拆建，为宋代原建古桥。

上虞市下官双惠桥



设有开口槽的腰箍石，槽口卡住三柱式拱板的边柱通常在石柱高大时设置。

B——桥面宽度。通常与石排架拱板的顶端边柱中心距相等。底端的边柱中心距 $\geq B$ 。

桥面即顶板为多根石梁并实。

### (三)、现存最早的闸桥

#### 国内仅存的城市古闸桥——龙华桥



龙华桥位于绍兴市区。龙华寺始建于南朝元嘉年间，龙华桥可能与寺同时兴建。明崇祯三年重建。单孔石梁桥。桥长 5.5 米,宽 2.1 米,高 4.15 米,孔高 3.35 米,桥跨径 4.4 米。石条横砌的桥墩中夹有直立古闸桥的石闸槽。从风化程度比较,闸槽的年代远远早于重修的石梁桥。可见,重修时,没有更换古闸槽。此桥为绍兴城内仅存的闸桥。科技特点: 城市闸桥, 闸闸组合。



五眼闸与三眼闸桥是建于宋朝的出海桥闸组合。



#### (四)、国内仅存的镶边纵联纵向分节并列与顶部条石横向并列组合砌筑拱桥——府桥



府桥为古代绍兴府门前的一座大桥。此桥桥面已改建，桥拱仍为古桥拱。此桥拱宽 7.6 米。此桥拱结构是二种桥拱结构组合的拱券。此桥拱顶部为链锁砌筑式，其余部分为横式分节砌筑式。此种砌筑方式在绍兴仅此一例。此桥在宋嘉泰《会稽志》中有载。

**科技特点：**

二种拱券砌筑形式组合，国内仅此一例。

桥面与道路相平。

南宋时，由砖拱改建为石拱。

## （五）、拱梁组合桥薄墩薄拱驼峰拱桥之最



### 泗龙桥

泗龙桥位于浙江省绍兴市鉴湖乡鲁东村。由三孔薄墩驼峰拱桥与二十孔石梁桥组成。全长 96.4 米，宽 3 米，三孔拱桥净跨为：5.4 米，6.1 米，5.4 米。此桥气势宏伟，景观秀美，是绍兴重要的水乡旅游景观。对照宋嘉泰《会稽志》，此桥当为古代鲁墟桥。该桥一侧有桥对：建近千年路达南北，名驰甘眼水通东西。说明该桥始建于宋朝。此桥在《中国科学技术史》桥梁卷有载。

## 二十、中国古桥创造发明与国外古桥创造发明的比较

半圆拱桥：西班牙阿尔坎塔拉桥，为六孔半圆拱桥，建于公元



98 年。比中国赵州桥早 507 年。相当于中国东汉有永元十年。

祁英涛认为中国已知最早的拱券实例是，战国末年洛阳韩君墓的石门。在山东嘉祥与河南新野出土的汉画像砖上，刻有单孔裸拱桥

水经注·卷十六》引朱超石《与兄书》：“桥去洛阳宫六七里，悉用大石，下圆以通水，可受大舫过也。题其上云：太康三年（282）十一月初就功，日用七万五千人，至四月末止。”又引晋干宝《搜神记》：“太康末??。凡是数桥，皆累石为之，亦高壮矣，制作甚佳，虽以时往损功，而不废行旅。”这是可信文献记载最早的一批石拱桥。

古文献中的汉代古桥有东汉也有西汉的。所以中国的半圆石拱桥可能比国外早。