

中国古桥学



北京茅以升科技教育基金会

中国古桥研究与保护委员会

2020.06

目 录

谈谈古桥考证—罗关洲、陈树尧

中国古代石拱桥的形成与发展考—吴齐正

谈谈古桥考证

罗关洲 陈树尧

古桥考证学是古桥学的一个重要组成部份。古桥考证要有专业知识，要有正确的方法，要能抓住考证机遇。

一、 考证对象：具有古代原建材料，用古建技艺修建的古桥，不含仿古桥梁。

二、 考证内容： 1、考证古桥始建、重建、重修年代始建年；2、考证古桥始建、重建、重修时的结构；3、考证古桥建造的方法和工艺；4、考证桥型设计和选址的原由；5、考证古桥始建、重建、重修时材料（桥桩材料、主体材料）；6、考证古桥建造的工匠；7、考证古桥的周围环境；8、考证古桥人文资料；9、考证古桥的作用；10、考证古桥建造和维修的管理制度。

三、考证方法

1、有意寻找——在古代桥梁中寻找现代桥梁技术。

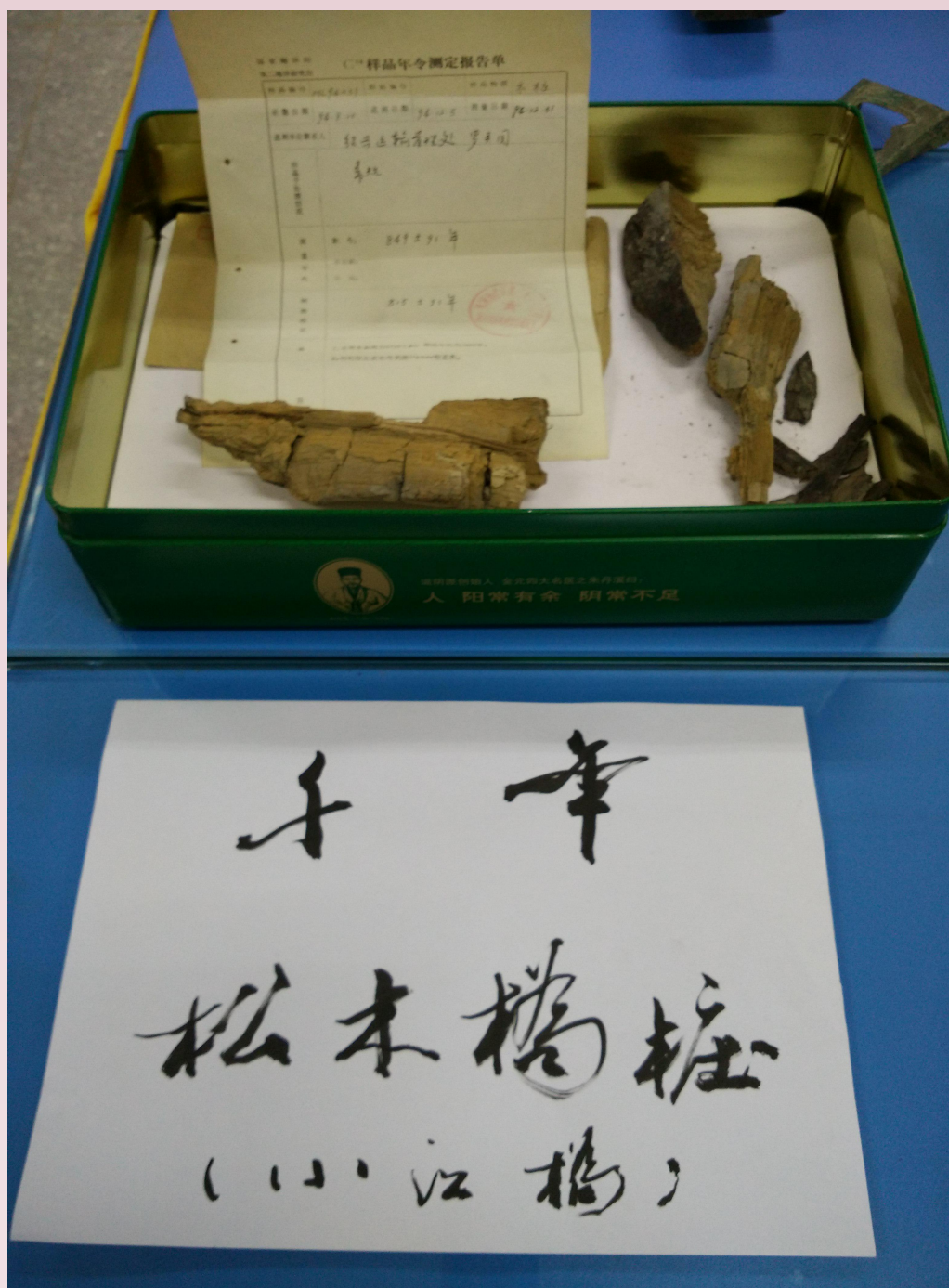
茅老说过：“中国古代存在超时代的桥梁科技”。多年来我一直有目的地在寻找这种超时代的桥梁科技。1990年，我发现了悬链线拱古桥——新昌迎仙桥。继而发现了又一座悬链线拱古桥——嵊州玉成桥。这是二座现存的优秀古桥桥型，这就是我的贡献。1990年我在浙江省交通厅编志学术会议上发表关于发现新昌迎仙桥的论文后，省厅总工程师黄湘柱请我与他合作写迎仙桥的论文。黄总说“光有一座这类古桥写论文，说服力不足，你再去找找，还有没有这类古桥。”后来

我又找到嵊州的玉成桥。我在二桥实地作了多次考察。在桥拱下拉一根水平线，再在桥拱曲线上每隔 50 公分选一个点，再测量出这个点与水平线的距离。有了这样的几十个数据，黄总和我就认定这是二座近似悬链线拱的优秀古桥。论文题目就定为“古代优秀桥型的新发现”。论文发表在《浙江交通科技》1991 年第一期。后来我又发现新昌岩泉桥、王坛下王复初桥、旌德跳仙桥、乐青西坑桥、天台丰干桥、岩头广济桥、德化登龙桥、建德苦竹岭桥、观音桥等悬链线拱、椭圆形拱古桥系列，填补古桥技术史的空白。有目的地寻找古桥是古桥考察的重要方法。有几个搞古桥商品开发的朋友来找我，我教他们在拍摄古桥照片时，不要放过每一座古桥。他们将各种古桥照片拿来叫我评论，我惊喜地发现他们寻到了三座五折边拱古桥，一座七折边拱古桥。可惜的是有一座五折边拱古桥，等我到现场考察时，已被当地村民折掉了。陈国祯为了编写上虞古桥专著，有目的地跑遍上虞，新发现了 200 多座上虞古桥，其中发现了五折边拱古桥、七折边拱古桥等珍贵古桥多座，新增为古桥文保单位。屠剑虹同志为了编写绍兴古桥专著，有目的地跑遍全绍兴市，新发现了几百座古桥，为绍兴的古桥事业作了贡献。夏祖照发现了天台坦头镇高桥桐桥等悬链线古桥。我在雁荡山景区发现了悬链线三折边桥果盒桥。

2、C14 化验——用现代科技手段考证古桥

石桥很难用化学检验的方法确定年代。但木桥桩可以用 C14 化验的方法确定年代。1996 年，绍兴小江桥基在整修，有部分古木桩抛在河边，我一看这是个机遇。取了木桩的木片送到杭州经过 C14 化验，

得到数据证明小江桥桥桩有 1000 多年历史。这也是知识、方法、事业心与机遇的结合的成果。



3、用对比方法考证古桥

我看到光相桥的吸水兽很特别，它是一只怪兽，而不是常见的狮子，于是产生了研究的兴趣。我在搞古玩中，看到三国二晋时代的瓦

当上的怪兽与光相桥上的吸水兽形态相似，就联想到光相桥始建于晋代，这只吸水兽应为晋代风格，同时可以用这对吸水兽的风格证明光相桥部件保留着晋代风格。这种怪兽应称为晋代僻邪。每个时代的桥梁构件都有其它时代不可能有的时代特征。用对比法考证古桥是一种科学方法。

4、从古画中考证古桥

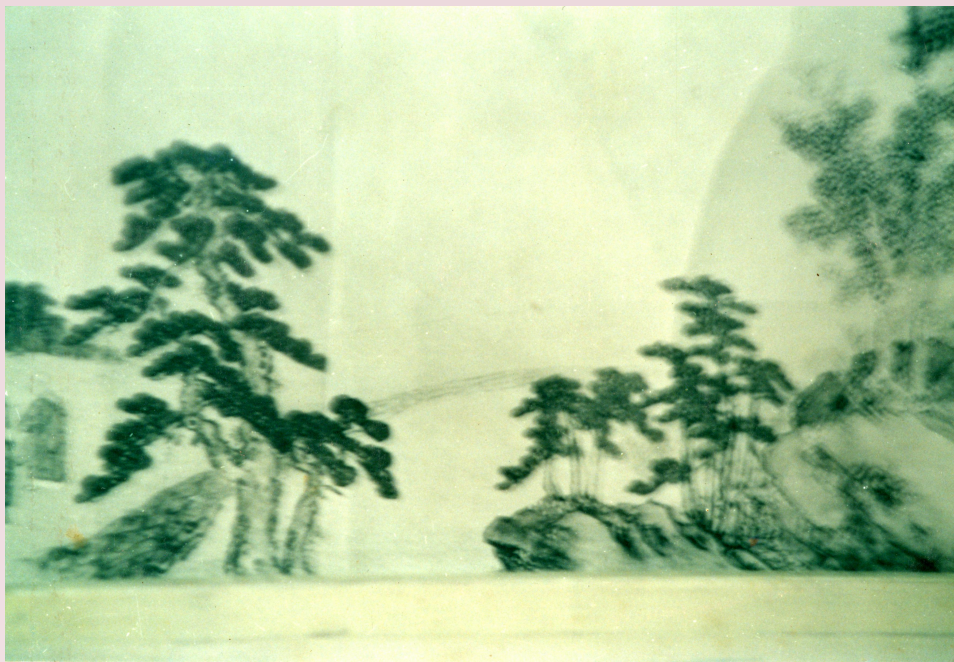
《清明上河图》，大家都很熟悉。画中的贯木拱桥证明我国在宋朝已掌握这项技术，这是举世公认的。除此之外，还有没有其它古桥技术成就呢。好象没有人说起过。最近我又仔细地观看了《清明上河图》，突然在桥下有了一个新的发现：这座贯木拱桥下有一通道，通道上有人在活动。这说明桥下有道路，这应称为古代立交桥。这样就可以得出一个结论：中国至迟到宋代《清明上河图》成画之时已经有了立交桥。虽然《清明上河图》为大众熟知，但无人点明这是立交桥，我点出来了，这就是我发现，我的贡献。再如绍兴八字桥在许多权威的书籍上都说它是中国最早的立交桥是错误的。因为纤道没有穿过桥孔。

再举例子：去年我在看一本《夏履桥镇》的画册，发现封面上一座七折边拱桥上标着“夏履桥”三字。我知道真正的夏履桥早已折，这座七折边拱桥是一个新发现。我立即打电话到夏履镇政府询问，得知此桥不叫夏履桥，不知何名，只知在莲西村。我立即驱车到莲西村现场拍照考察。得知此桥叫万安桥，是一座建于明代的七折边拱古桥。村民告知：此桥建成后没重修过。我看到桥拱下有钟乳石，有3公分

长。这是因为桥拱用石灰浆砌，石灰演变成为钟乳石。这点钟乳石成长要几百年时间。可以推断此桥是一座几百年未重修的古桥。

我看了不少仿建古桥，总觉得形体上不象。仔细一观察不少古桥的侧面成圆弧形。桥拱的曲线与桥侧的曲线组合成一种综合的曲线美。仿建古桥的桥拱与桥阶的侧面象刀切的一样平，就显得十分呆板。

下面这张浙江天台国清寺收藏的唐代寺前的桥画，证明唐代寺前的丰干桥就已存在。日本的佛教天台宗是唐代从浙江天台国清寺传过去的。日本也仿建了天台国清寺，也有此画临本收藏。日本的佛教天台宗僧人从1969年开始，每年有几百辆小车一起去朝圣浙江天台国清寺，朝圣这座传说为和合二仙建造的丰干桥。



5、古籍考证法

从古籍中考证古桥是一种直接的方法。关于古桥的古籍专著还没见过。但古籍中关于古桥的记载也不少。如历代志书中关于古桥有专门的条目加以记载。如宋朝嘉泰《会稽志》记载当时绍兴府有桥梁座，

经实地调查，现还存在 23 座。绍兴市是国内有记载的宋朝古桥保护最多的地区。我从志书的寺庙条目中也找到了几座没列入桥梁条目中的古桥。唐总通读了二十四史，寻找古桥记录的研究精神难能可贵。

宋朝《宝庆续会稽志》的桥梁条目中记载：“府桥在镇东军门外，蓬莱馆前。旧以砖瓮，不能坚久，守汪纲乃命更造，尽易以石。”这里“旧以砖瓮”四字传递了二个重要信息：一是“砖”字说明府桥在绍兴太守汪纲之前是一座砖桥。二是“瓮”字说明这座砖桥是一座圆拱桥。这四个字提示了中国古桥史上存在过宋代以前的《砖拱桥》时代。这个时代至少是从汉代到南宋。2004 年绍兴城区府直街发掘出宋代砖拱桥遗址。此桥下半部分已回填在府直街名为“星期八”商店对面的这段街道下。将来可发掘考证。

绍兴宋代志书中记载《兰亭序》在唐代时收藏在灵汜桥边的王羲之七世孙王法极（僧人智永）的弟子辩才手中，李世民御史萧翼从辩才偷得《兰亭序》的故事。这一故事证明春秋灵汜桥和晋代《兰亭序》都存在于李世民时代。

6、问题求证法

在学术研究上要多问个为什么？在绍兴古桥研究时，我纠正了八字桥是中国最早的立交桥的错误。我请教了多位业内人士，都说此桥是立交桥结构。我追问：何处是立交？结果无人能回答。我看不出有立交的要素。于是我断定八字桥不是立交桥。我后来追查八字桥是立交桥这个遍布绍兴的这个错误命题是谁创造的？只见所有说到八字桥的地方都这样说，查不出谁再先说。现在每一个地方出现这个错误，

我都会去纠正一次，实在太费力了。这说明一个错误的学术结论流传容易，纠正是多么困难。后来，我了解到《绍兴石桥》一书中写有“八字桥下有纤道”（此书没说八字桥是立交桥）。可能有人据此就断定八字桥是立交桥。其实八字桥边的纤道没有穿过桥孔，所以八字桥不能称为立交桥。我考察了广宁桥、太平桥、融光桥下有纤道从桥孔下穿过，这些桥可称为古代立交桥。丁大钧教授对我的观点表示肯定。

对古桥现场进行深入考察，能发现不少有价值的资料。我对古桥上桥饰图案进行时代认定，对古桥修建年代有一定的判断价值。如三爪龙早于五爪龙。并列砌筑的古桥保存至今的较少。这类古桥在重修时已不清楚始建的年代，只有在桥名上加上“古”字。如古小江桥。重修时加上“古”字，距今已有1000多年，可见始建年代肯定在宋朝以前了。

我们考察了谢公桥七折边拱内侧的信士石刻是重修时加刻的。说明了重修时没有改变七折边拱的桥形。说明此桥始建时就是七折边拱。

在广宁桥的桥拱石上的发现有：僧管司、传管司的官职名称和官员姓名。这说明当时此桥由宗教界的僧管司和交通驿传界的传管司共同负责建造的。这种官职名称填补这类史料的空白。

古桥结构细节一定要到现场考察才能有准确的结论。例如：绍兴的寨口桥在《绍兴石桥》一书中被称“拱圈用小块石按纵联砌筑，”作者可能是从照片上观察得出这一结论。我到寨口桥的桥孔下面现场察看，发现这一结论不对。此桥是整块长条石并列横砌结构。这种结构十分少见，它填补了古桥结构类型的空白。

7、桥碑考察法

对桥碑进行考察，能发现许多有价值的信息。广宁桥碑从居民住房中露出来了。我到现场发现碑面在文革时涂上了水泥、石灰，看不出文字。经请示文物局后，我清理了上面的水泥、石灰，文字清晰可见。全文一读，喜出望外。得知广宁桥重建于宋朝绍兴四年，明万历三年重修。这就将此桥原定的明桥可上推为宋桥。桥碑文中记有“桥梁，王政之一事也”。点明在古代桥梁建设是当政者的大事。

附：

重修廣寧橋記

重修廣寧橋記

賜進士出身大中大夫行太僕寺卿邑人商廷試撰文。

中憲大夫太常寺少卿管尚寶司事謝敏行書丹。

賜進士出身中憲大夫知西楚郎郡事前刑部雲南清吏司郎中葉應春篆額。

嘗聞橋梁：王政之一事也。老怯溪橋，不惜千金之費，窮臨野渡，應遣一生之愁。昔人所詠，良有以也。矧作邑建邦，必標山川之會；行人利涉，每當水陸之沖。廢隧允藉於作新幹濟，必資于才力。是故垂虹應星，有光與圖，迴瀾障川，式增形勝，而可不務者乎！吾越古稱澤國，城環四十里，列爲九門，水門居其六，皆水道之所經也。其地枕江面山，千巖萬壑，溪澗溝渠之水，滙於鑑湖，而北注于江，其間蕩爲巨浸，分爲支流，皆經行城堙闡之中，勢不得不爲橋梁，以通往來。廣寧橋在邑城最爲衝要，南北數百尺，上聯八字橋，東西與長安、寶祐對峙而起，遂以雄壯甲於越中。自創以來，凡幾修築，吾不能記其詳。而重建于宋紹聖四年，則廬普安之誌石尚存，迄今將五百祀矣。橋之傾圮殆甚，行道者危之，維時謝蘭阜氏、時鎮山氏、成省白氏，相與倡其議。擇僧之有戒行才幹，如性賢等者，使董其役，則以聞於郡邑之賢士大夫。適紹坪彭公蒞郡事政，先大體惠存兼列。爰及寮屬龍石王公、儉齊伍公、半野陳公、理齊張公、孺東徐公、星泉楊公皆銳意修舉，各捐俸有差，以爲民倡。顧自筮日以至落成，諸大夫咸親蒞之，而士民之好義者，亦知所感發而樂於輸。故財不衰而集，工不督而勸，盡撤其舊，而一新之。下盤基石，旁築埠塘，罔不堅緻鞏固，可垂長久。其工益倍於昔，而費亦不下千金，逾年而告成，亦可謂難矣。橋在予交界，當泗水之會，凡經畫規度多遍訪而行。事成，諸公以記相屬。顧昔人言惟作新之幾振於上，而效勞之力競於下。登是橋者，其無忘所自而已，抑予重有所感焉？廣寧之基址舊矣，宋時福邸於是地即也。爲水晶宮行樂其間，朝出廣寧，暮歸長安，遂爲貴遊繁華之地，若韓處士抱德而隱時，曳杖納涼其上，萬疊遠青，一川漲綠，河梁風月之詠。今繁華之迹銷歇泯滅而不可追矣，而風月之景固在也。好修之士，亦有續前賢之遊者乎！則此橋將以名勝聞於天下，豈徒以利涉而已耶？故爲之記。

萬曆三年己亥冬十一月至日立石

(附记：此碑文系罗关洲发现并加标点。)

8、民间走访考察法

到民间考察古桥，可以得到许多关于古桥的有价值信息。我在新昌县丁公村听了老村民讲如意桥的故事：他们说：建造迎仙桥的丁天松是他们的老祖宗。为纪念古代这一造桥工匠，后人将村名定为丁公村。当年丁天松要在村边小溪上建半圆拱如意桥。到拆拱架时发现桥拱有些变型，卡住了拱架。丁天松担心拆了拱架，石桥要倒。于是设案上香，求神明保佑。拆了拱架后，石桥竟然不倒，半圆拱变成了椭圆形拱。建成后未加修理，至今坚固如初。我认为这个民间传说可能有一定的事实基础。我估计：丁天松建成如意桥后，掌握了椭圆形拱桥的建造技艺。然后在建造迎仙桥时，大胆创造，建成了悬链线拱古桥。

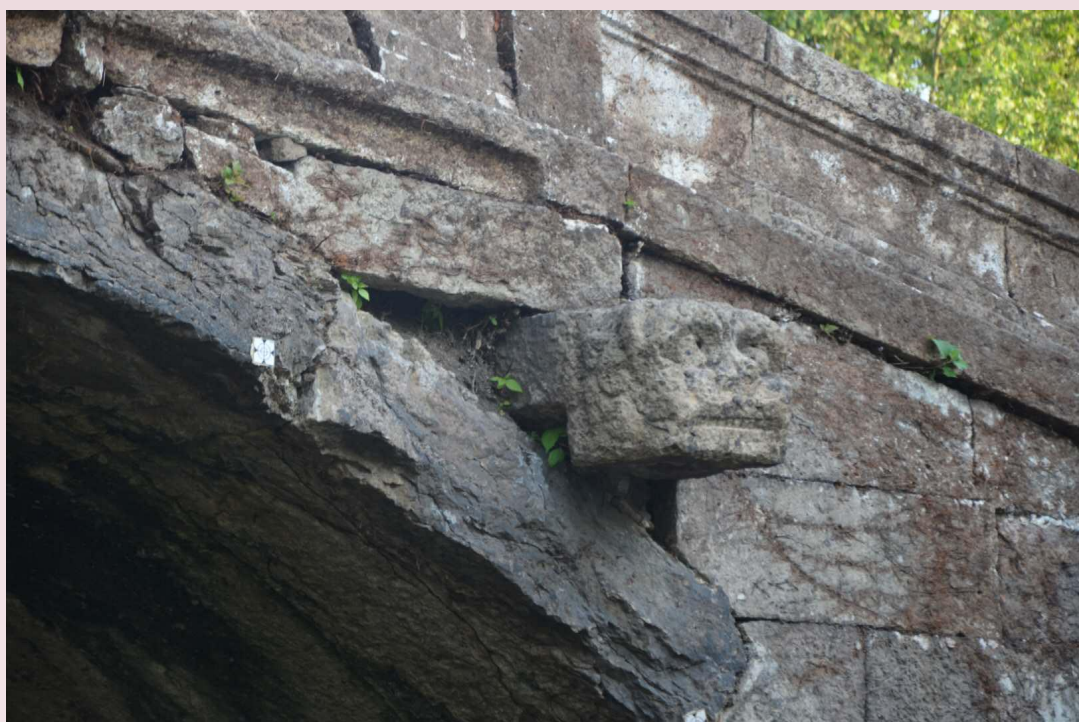
9、标本参照法

古桥年代考证可采用标本参照的办法。绍兴八字桥的桥墩第五根石柱上有石刻文字：“时宝佑丙辰仲冬吉日建”。将八字桥认定为宋朝宝佑时代重建的古桥是准确无误的。八字桥就可以作为绍兴考察宋朝古桥的参照物。参照考察可以多方面结合。如石质参照、风化程度参照、抱鼓形式参照、桥馆图案参照、桥上石刻文字参照。经过这几方面的综合参照，结合志书记载，我认为绍兴城区还有四座古桥应与八字桥属于同一时代。在宋朝同时代存在的这五座桥是：八字桥、广宁桥、题扇桥、谢公桥、宝珠桥。

八字桥石材和风化程度



光相桥石材风化程度和晋代吸水兽



谢公桥石材和风化程度



广宁桥石材和风化程度



古桥考证在技术上是一个难题。有望科技进一步发展，破解这一难题。古桥考证要把专业知识，正确的方法，事业心结合起来，要将偶然机遇和主动研究结合起来，将专业人才与业余人才结合起来，中国古桥考证事业一定会有可喜的成果。

（本文待续）

中国古代石拱桥的形成与发展考

吴齐正

一、前言

桥梁的起源，就像我们人类的起源一样根本就是一个谜。我国第一座桥为何物？何时诞生？这是谁也说不清也无法考证的事情。第一座“桥”可能就是一株倒伏于河上的树木，也许是一根过涧的野藤，一条崩塌的石板，或许是散落在河中的乱石，我们的祖先走出丛林时就利用它们来跨越水流和障碍。

桥梁是渡河或跨越其它沟谷障碍的建筑物。人类开始有意识地架设桥梁，在原始社会早就存在。我们的祖先，为求生存，繁衍生息，由原始游牧而进入定点聚居，形成了氏族部落社会。据考古研究，从浙江河姆渡遗址和西安半坡遗址中，发现有新石器时代的木构建筑遗迹，我国真正意义上的桥梁诞生于氏族部落时代，距今 6000 多年以前。在浙江，有文字记载最早的桥梁可追溯到五帝尧、舜时上虞的舜桥。据六朝方志中的《会稽地志》载：“上虞舜桥，舜避丹朱于此，百官候之，故亦名百官桥。”之后的历代志书中也多有记载，距今有 4000 多年历史，堪称全国最早的桥梁。据《史记》记载，河北曲周县的钜桥，建于商代（前 1122 年），距今也有 3000 多年历史了。惜在历史的长河中已消失无踪。

随着社会的发展和进步，历经千年，到了东汉时期，我国桥梁已基本形成了梁、拱、索、浮四大基本体系。进入隋、唐、宋时期，古代桥梁建筑技术达到了巅峰。随后的元、明、清三代，将前代的造桥

技术进行了全面总结，初步形成了各种桥型的规范，使桥梁建筑技术发展到了一个新的阶段。

二、石拱桥的形成

中外桥史学者都曾探索拱的起源，众说不一。目前研究有五种说法。一是天生桥说；二是土穴说；三是陶瓮说；四是叠涩演进说，国外对石拱的起源，大多主张由“天生桥”得到启发，和在古希腊建筑及埃及金字塔内发现的“假拱”演变而来的学说。何谓“假拱”？即多层的叠石，层层挑出，左右相接，在中国称为“叠涩”，国外称“假拱”。然而叠涩不是拱，不产生拱的推力，因此这一说是不成立的。叠涩和拱结构现今仍并存在中国古今建筑和桥梁领域；五是折边演进说。

一般认为，中国石拱桥的历史记载不早于晋（265~420），最早有记载的是《水经注》中的旅人桥，建于西晋太康三年（282）。存在的实物不早于隋（581~618）。因地上建筑不易长期保存，我们可以从地下建筑推见拱桥的起源。

研究成果表明，考古专家们根据历史记载和考古发掘，发现了墓葬中存在的拱形结构。最早在春秋战国末期，发现空心砖墓，盛行于西汉前期。先是平空心砖椁墓，由于顶砖在土压作用下易于折断，改为两砖斜搭成尖顶空心砖椁墓。在西汉和东汉相接时期（25年前后），出现了三、五、七或更多的折边空心砖墓。

西汉中叶已盛行小砖（或楔形或扇形）筒拱墓，并列砌筑。

东汉中叶以后，出现石室墓，一般称为画像石墓，从墓室本身的

构造提供了拱发展的线索。

六朝、唐、宋时代，和东汉晚期相似，以砖墓室为主，方锥为流形形式。墓室四壁从直线形改为弧形，即起横向拱的作用，以抵抗土压力，对拱的认识已趋于成熟。唐、宋代墓室平面已有四角、六角、八角、圆形等，往往内部能雕砌成仿木结构。墓顶则叠涩和拱式薄壳并用。

明、清时，墓室大多为半圆筒形拱室。帝王为石墓，民间用砖墓。



图1 五代吴越国时王族墓室（摄自博物馆图片）

介绍一个实例。据 1997 年考古发掘，五代吴越国二世王钱元瓘之王后马氏墓室（图 1），分前、中、后三室，前室为砖砌，中、后

室为双重墓壁，外壁用砖砌成拱券，内壁为石板结构，内层存石椁。墓室壁上和顶部有雕刻四神、十二生肖造像及天文星象图等图案。

综上所述，西汉和东汉之间是砖拱由平板、三、五、七等折边拱演变为圆拱的时期。折边拱是真正一步一步进入人工砌筑拱形结构的时代。我国著名桥梁专家唐寰澄先生在《中国科学技术史·桥梁卷》中指出：“折边拱才是一步步走进了人工砌拱的堂奥”。

从现存地面建筑看，在社会发展和生产实践中也留下了其形成的轨迹。

在各类古代桥梁中，梁桥以其结构简单、建造方便，在桥梁史上最早出现。折边拱是一种特殊的桥梁类型，是梁桥向圆弧拱桥演进的一种过渡形式，是桥梁史上的一个发展阶段。唐寰澄、唐浩编著《中国桥梁技术史·古代篇》指出：“拱有由折边演进一说，由折边拱而演进为曲线拱。”折边形石拱桥国内很少见，集中分布于浙江，绍兴居多，为研究折边形拱桥向圆弧形拱桥演进发展提供了重要实物。下面以现存古桥图片来说明其形成轨迹。

1、三折边拱

三折边拱是梁桥向折边拱桥过渡的雏形，继而演进为五折边拱、七折边拱等，发展成圆弧拱。

诸暨溪缘桥：此桥为 15 孔三折边石拱桥，全长 146.30 米，桥宽 2.25 米，净跨 7.80 米左右。桥墩为重型厚墩，上游设分水尖。该桥始建年代不详，现桥为民国十年（1912）建造。溪缘桥是我国现存最长的三折边石拱桥。（图 2）



图2 诸暨溪缘桥

2、五折边拱

绍兴拜王桥：此桥为单孔五折边石拱桥，桥长 14.00 米，桥宽 3.70 米，净跨 5.70 米，矢高 3.25 米，桥高 3.55 米。该桥建于唐乾宁三年（896）以前。明万历称此桥为登赢桥。清康熙二十八年（1689）重修，更名为丰乐桥。拜王桥是我国始建年代最早的一座五折边石拱桥。（图3）



图3 绍兴拜王桥

3、七折边拱

绍兴迎恩桥：此桥为单孔七折边石拱桥，桥长 19.00 米，桥宽 2.70 米，净跨 9.30 米，矢高 3.77 米。现桥建于明天启六年（1626），清代虽经重修，但仍保持明代原貌。迎恩桥为目前现存七折边石拱桥中跨径最大的一座。（图 4）



图4 绍兴迎恩桥

4、单折边拱

天台贤投桥：此桥为单孔单折边石拱桥，拱桥由块石与长条石共同砌筑成拱。现桥建于清嘉庆年间，桥长 9.00 米，桥顶宽 1.62 米，拱脚宽 1.95 米，净跨 4.00 米，桥高 2.00 米，两端为块石干砌拱，中间长条石接砌（长 1.76 米），拱脚直接砌筑在岩层上。该桥顶部长条石实为一过渡段，若改用块石干砌，即成为完整的拱券了。这是一种特殊的桥型，提供了新的实证，桥梁书籍中未见有记载，发现者天台夏祖照将其暂且称之为“单折边拱”。（图 5）



图 5 天台贤投桥（夏祖照提供）

5、弯板折边拱

当折边拱桥的长拱石改用弯形板时，则七折边的石拱桥便成为现今分节并列砌筑的圆弧拱了。近年在浙江天台已发现弯板三折边拱桐

桥，提供了重要的实物（图6）。若为多折边拱，就逐渐形成曲线形了。采用多块弧形拱石砌筑拱券，便成为目前普遍存在的石拱桥了。



图6 天台桐桥桥

三、石拱桥的发展

拱桥在桥梁史上出现的时间最晚，石拱桥的出现使中国古代桥梁进入了一个新纪元。在社会发展进程中，随着人类文明进步，石拱桥也产生了繁多的类型。从拱券的拱轴线形分析，石拱桥大致可分为折边拱、圆弧拱、半圆拱、马蹄拱、尖拱、蛋圆拱、椭圆拱、准悬链线拱等类型。现以图片示例分述如下：

1、折边拱

前已论及，不再赘述。

2、圆弧拱

(1) 德清寿昌桥：此桥为单孔圆弧形石拱桥，桥长 35.20 米，桥顶宽 2.80 米，桥墩宽 3.50 米，净跨 17.20 米，矢高 7.19 米。现桥建于宋咸淳年间（1265~1274）。（图 7）



图 7 德清寿昌桥

(2) 河北赵州桥：此桥为单孔空腹（敞肩）式圆弧形石拱桥，桥长 50.82 米，主拱净跨 37.02 米，拱顶宽 9.00 米，拱脚宽 9.60 米，矢高 7.23 米，桥高 8.65 米，主拱券上设有 4 个小拱，两端第一小拱净跨 3.81 米，第二小拱 2.80 米。该桥建于隋开皇十五年至大业元年（595~605），由隋朝匠师李春设计建造，距今已有 1400 多年历史。这是世界现存最早跨度最大的空腹式单孔圆弧形石拱桥，这一创造在石桥建筑史上具有划时代的意义，欧洲直到 1883 年才出现此类拱桥，比我国晚了 1200 多年。1991 年，美国土木工程师学会选定赵州桥为“国际土木工程历史古迹”，并赠送铜牌和树立纪念碑。（图 8）



图 8 河北赵州桥

3、半圆拱

(1) 嘉兴秀城桥：此桥为单孔半圆形石拱桥，桥长 37.20 米，桥顶宽 3.65 米，净跨 12.10 米，矢高 6.30 米。秀城桥始建于明景泰初年（1450），后经多次修缮。（图 9）



图 9 嘉兴秀城桥

(2) 金华通济桥：此桥为 13 孔半圆形石拱桥，桥全长 217.00 米，桥宽 7.00 米，净跨 10.85~12.06 米，桥高 11.80 米。新中国成立后将桥拼宽至 26.00 米。现桥建于清嘉庆年间（1809~1815），目前仍在通行汽车。（图 10）



图 10 金华通济桥

4、马蹄拱

所谓马蹄形拱，是指圆拱的圆心夹角大于 180 度的拱桥。

(1) 绍兴融光桥：此桥为单孔马蹄形石拱桥，桥长 24.00 米，桥宽 4.30 米，净跨 10.00 米，矢高 6.15 米。融光桥始建于南宋嘉泰元年（1201）以前，现桥为明代重建。（图 11）



图 11 绍兴融光桥

(2) 杭州拱宸桥：此桥为 3 孔马蹄形石拱桥，桥全长 98.00 米，桥顶宽 5.90 米，桥堍宽 12.20 米，中孔净跨 15.80 米，矢高 9.80 米，两边孔净跨 11.90 米。拱宸桥始建于明崇祯四年（1631），现桥为清雍正四年（1726）重建。该桥是京杭大运河南端终点的标志性建筑，被列入世界文化遗产名录中国大运河的遗产点。（图 12）



图 12 杭州拱宸桥

5、尖拱

贵州葛镜桥：此桥为3孔尖拱形石拱桥，其特点之一是变截面、不对称，拱券为块石干砌，突破传统，创造了一个前不见古人、后不见来者的奇迹。桥全长51.41米，桥宽8.50米，桥高29.86米，净跨为19.62+12.30+6.26米，拱顶厚为1.21+0.83+0.70米，拱脚厚为1.89+1.14+0.80米。葛镜桥建于明万历四十六年（1618），建桥者葛镜积30年心血建成。我国著名桥梁专家茅以升先生赞誉：北有赵州桥，南有葛镜桥。著名桥梁专家罗英先生在《中国石桥》一书中将其列为“中国十大名桥”之一。（图13）



图13 贵州葛镜桥

6、蛋圆拱

北京颐和园玉带桥：此桥为单孔蛋圆形石拱桥，净跨11.38米，矢高7.50米。全桥用汉白玉石琢成，宛如玉带飘扬，线形优美，雕镂精致，显得富丽堂皇。该桥建于清乾隆年间（1736~1795）。（图14）



图 14 北京颐和园玉带桥

7、椭圆拱

天台丰干桥：此桥为单孔椭圆形石拱桥，桥长 14.40 米，桥宽 3.40 米，净跨 10.70 米，矢高 4.00 米。全桥用块石干砌。椭圆拱很少见。丰干桥建于北宋景德三年（1006），但据《中国科学技术史·桥梁卷》的资料分析考证，现存桥应为唐代的建筑物。（图 15）



图 15 天台丰干桥

8、准悬链线拱

(1) 新昌迎仙桥：此桥为单孔准悬链线石拱桥，桥长 29.00 米，桥宽 4.60 米，净跨 15.60 米，矢高 6.12 米。桥为块石干砌。拱券上部呈悬链线形，悬链线是与拱券静载压力线相吻合的拱轴线形，是当今世界上一种先进科学的线形，上世纪 50 年代开始传入中国的。迎仙桥拱轴线虽具有悬链线特征，但因其仅部分线段为悬链线形，全部拱轴线并未完全符合，故称之为准悬链线拱更为妥切，亦可称之为近似悬链线拱。此类桥型国内罕见。该桥始建年代不详，明万历《新昌县志》有载，现桥为清道光二十四年（1844）重建。（图 16）



图 16 新昌迎仙桥

(2) 嵊州玉成桥：此桥为单孔准悬链线石拱桥，桥长 37.05 米，桥宽 4.70 米，净跨 12.15 米，矢高 5.70 米。现桥为清道光十六年（1836）

建造。玉成桥与新昌迎仙桥相同，不再赘述。（图 17）上述二桥均为绍兴罗关洲于 1991 年发现的。准悬链线拱桥的发现填补了我国古桥技术史的空白。



图 17 嵊州玉成桥