

人间万古彩虹飞

世界桥梁趣谈

唐寰澄 著

中国铁道出版社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书作者以读万卷书、行万里路、上下求索、百折不挠之精神,潜心研究并着力推进中国和外国桥梁科技的创新与发展;采集古今中外桥梁科技奇花异草之精华,以通俗、幽默、苍劲、豁达之手笔及半世纪之底蕴精心酿制,始成一书;使中外桥梁古朴之美与近现代之美交相辉映。

本书将使初中以上文化程度的广大读者对桥梁科技产生更加浓厚的兴趣。

图书在版编目(CIP)数据

人间万古彩虹飞——世界桥梁趣谈/唐寰澄著. - 北京:中国铁道出版社,2000.11
ISBN 7-113-03875-1

. 人... . 唐... . 桥-世界-普及读物 . U448-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 43532 号

书 名: 人间万古彩虹飞——世界桥梁趣谈

著作责任者: 唐寰澄 著

出版·发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑: 刘启山

责任编辑: 刘启山

封面设计: 陈东山

印刷: 中国铁道出版社印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 6.5 字数: 162千

版 本: 2000年11月第1版 2000年11月第1次印刷

印 数: 1~2000册

书 号: ISBN 7-113-03875-1 TU·637

定 价: 25.00元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

作者简介

唐寰澄,教授级高级工程师,桥梁专家。上海市金山人,1926年出生。1948年毕业于上海交通大学土木工程系,曾在茅以升先生的中国桥梁公司工作。建国后进铁道部设计总局后转入大桥工程局工作。参加过武汉、南京、重庆、枝城、九江等长江大桥,以及济南等黄河大桥的设计与施工。

1955年荣获周恩来总理亲自批准的武汉长江大桥建筑方案首奖。

在长期工作实践中,作者在桥梁结构设计方面,提出过许多技术创新方案。1958年,作者提出了预应力钢筋混凝土桁架铁路桥一系列方案。1958年,作者针对南京长江大桥上部结构提出了250 m大跨度刚性桁梁柔性拱方案,对下部结构提出了锁口管柱沉井方案。1966年,作者针对枝城长江大桥上部结构提出了主桥主跨为300 m三孔连续电焊钢桁拱,无碴无枕正交异性板铁路公路桥面,对下部结构提出了双壁圆形钢沉井方案。80年代,获桂林雉山桥方案奖。

作者平生研究中国与世界古代与近现代桥梁设计与施工技术的发展,成为桥梁史学家,特别是中国古桥史专家。另一方面,由于工作的需要,作者从事桥梁美学研究,深入到美的哲学原理,成为桥梁美学专家。

作者著述丰富。《中国古代桥梁》一书,由文物出版社于1957年出版,因深受读者欢迎,于1987年再版中英文对照本。《桥》一书,由中国铁道出版社于1981年出版,并于当年获首届全国优秀图书奖,因早已售罄,为满足广大读者企盼,于2000年第二次印刷。在茅以升先生主编的《中国古桥技术史》一书中,作者任副主编,该书由北京出版社于1986年出版,获1986年中国图书奖。美国国家运输科学研究学会组织世界16个国家的著名桥梁和美学专家撰写,并于1991年出版了《Bridge Aesthetics Around the World》(《世界桥梁美学》)一书,作者代表中国参加撰写,该书获美国国家工程师学会特别奖。受茅以升先生之托,作者将罗英先生遗稿《中国石拱桥研究》整理、补充、改写,续笔成书,由人民交通出版社于1993年出版,1995年获全国优秀科技图书奖。作者与全国工程设计大师王序森先生共同编著的《桥梁工程》一书,于1995年由中国铁道出版社出版,1996年获全国优秀建筑科技图书奖,1997年获全国优秀科技图书奖,1998年获铁道部科技进步奖。在卢嘉锡先生任总主编的《中国科学技术史》中,桥梁卷为作者著,由科学出版社于

2000 年出版。作者撰写的《桥梁美的哲学》一书,由中国铁道出版社于 2000 年出版。作者正在撰写的还有几部专著,将陆续问世。

作者于 1990 年退休,现受聘为琼州海峡跨海工程可行性研究项目负责人。本书系作者应本社之请,专门写作的桥梁科普作品,以飨读者。

刘启山 撰写
于 2000 年 7 月

目 录

引 言

一、 什么叫桥	(1)
二、 早期桥梁科技	(3)
三、 近代的桥梁	(17)
四、 现代的桥梁	(31)
五、 未来的桥梁	(76)

引 言

人类从原始社会到今天,已经在地球上布满了道路,路过不去的地方架满了桥梁。我们天天走过它,使用它,或停下来欣赏它。仔细想一想,从前它是个什么样子?能达到今天的规模经过了多大的困难?将来又会变得怎样?有关桥梁的学问已经成为一门专门学科。研究、设计和建造桥梁是一项高尚的对社会有益的值得羡慕的职业,但是也是十分辛苦和需要付出高度智慧和辛勤劳动的事业。不过世界上哪一件对社会有贡献的事不是这样。许多献身于各门科学的人们都在为共同美好的生活架设“桥梁”。

桥梁这一门实用的学科,建立在坚实的科学和技术基础之上。科学技术有其相对性,高科技是从“低”科技上发展起来的。没有低就没有高,不了解低就不了解高。所以谈高科技的桥梁,一定要先说一说当年相对地简单的桥梁。

即使是看来很简单的桥梁结构,深入进去就发现内中包含着很深刻的值得探索的高深的科学技术,这就是低里面包含着高。所有的高科技,仔细分解开来是一件件非常简单的一般人都能做的技术。就好像现在在高科技生产工厂里,我们看到各个生产岗位上的生产工人所做的不过是高科技关节中的一个简单劳动的环节。这就是高里面有低。高和低有非常密切的辩证关系。

所以我们得从史前的桥和简单的桥一件件说起,方始能够了解高科技的桥梁。否则一上来就说得太深奥,不要说大家,就是有些专家们,隔行如隔山,也会丈二和尚摸不着头。

看起来桥梁似乎很简单,实际上它种类繁多,层出不穷。不论是小桥流水,或是跨海长龙,欣赏时情趣不同,深入进去学问无底。下面将慢慢道来。

一、什么叫桥

桥梁的历史是非常有趣的。已有大部头的著作讲到中外造桥的故事，可惜这本书容量太小，只能叙说一二。桥是一种跨越工程，遇到自然的障碍，譬如河流、峡谷，得想办法越过它。水浅好办，抛一行石头，踏步而过，称做为石工(Gong)，架一根独木梁，那就叫杠(Gang)。并列几根木料架空而过可走车马，此称梁。不但梁上要过人、马、车、轿，还可以在梁上造个凉亭。人停(人加亭)下来休息休息，观赏风景和过桥船只，那就叫桥。原来一字就是照这意思创造出来。桥头有树木()，桥上有亭()，桥下有船()。桥已是拱形()。不过造桥字的时候也许还没有石拱桥，而只是中间孔高，两头孔低的木梁桥。

不是说有路就有桥吗？其实还有相当长一段历史时期，甚至直到现今世界某些地方，路到水边还没有桥梁。春秋时候(公元前 841 ~ 485 年)有个小国掌权人，只能用他自己的马车，水涨时载人过齐腰深的河流。可是大水如长江黄河，那时无法造永久性的桥梁，只能用船摆渡。“黄河宽怕什么，用一根芦苇就可以渡过去了”这是当年一位想回娘家的后妃，说的一句豪言壮语。

人们想跨越障碍，就得想出办法怎样去跨越障碍。凭着观察自然，人们发现横过树木可以过河，这就是梁桥。山脚被河流掏空的山脊可以过人，这就是拱桥。牵挂着的藤萝也可以跨水，这就是索桥。还有靠连接能浮的东西架在两岸中间，就成为浮桥。

总名叫桥，实际上有四大类型：梁桥、拱桥、索桥、浮桥，或者其组合。变化无穷，成为桥梁的大系统。

说起浮桥还有些神话故事。

说是中国在春秋，周穆王(公元前 965 年左右)西到新疆去看西王母，在黄河上游弱水上，以及东到九江(现在江西省九江市鄱阳湖口长江)都叫大甲鱼(鳖，古时大者称鼃 Yuan)和猪婆龙(鳄鱼一属，古时称鼉 tuo)排浮在江河上，让他数万人的队伍过河，叫做“鼃鼉为梁”。好大的神通！其实是用整只牛羊去头，去骨去肉，囫囵剥皮，油浸晒制，可以卷起来携带。到河边吹气成皮囊，可以浮在水上，用索联起来，索两头系在两岸，在皮囊上架木板，军队过河。牛、羊皮囊名叫“浑脱 Yun tuo，此处“浑”字读古音 Yun)，现在甘肃还有。用“浑脱”架浮桥与“鼃鼉”同音而形状相似。于是误传使科学技术变成了迷信神话了。今天军用浮桥用橡皮船吹气拉索搭成，每只橡皮船上可装动力，自己对准定位，不就成了高科技了。最早的浮桥还出

在中国呢。浮桥一直就是临时性(包括军用)桥梁。

人们从形式上摹仿自然界,能够不违背客观规律,原因是有了技术。可是还不很明白所以会如此,这是不够科学。当人们了解到梁、拱、索桥内部的受力情况,就在科学上进了一步。能够计算和控制桥梁里面的力量和桥梁的变形,懂得如何利用天然或人工的材料去修桥,便称做技术。

我们从日常生活中理解到,任何物体受到外力后,内部会产生抵抗力。抵抗力主要分三种,那就是拉力、压力和剪力。支承物体的地方产生反力。反力分垂直反力和水平反力,即推力。内力里,拉力和压力的组合便是弯矩。图 1 表示:梁桥受外力后上压下拉承受弯矩。

图 1 梁、拱、索桥受力情况

拱桥受外力后拱内主要受压力,但对支承的基础产生垂直反力外,还有水平推力。

索桥受外力后主要由索的拉力来承担,索拉力传到桥台,产生上拔和向河中的水平力。

二、早期桥梁科技

前面已经说过,不能认为早期桥梁没有科技。从某种意义上来说,其科学和技术有相对的先进的发展和进步。科技进步的阶梯是一步一步跨上去的。

先说梁桥。

中国和国外的梁桥,利用的自然材料,只有木和石。所以梁桥也有木梁和石梁。

木料比较轻和容易加工,所以先出现的自然是木梁桥。又因为木料会腐朽,所以能保存到今天的木梁桥最早不过三四百年(已经很不容易了)。历史上木梁桥的记载,随着各个国家存在着历史记录开始,包括一切刻在砖石上和画在古画上的桥。

中国在这方面确是领先的。太早的木桥不去说它,因为实在太简单了。

六朝诗人说:“秦皇金作柱,汉帝玉为栏”。秦始皇、汉武帝时中国造桥的规模已经十分宏大。秦始皇时(公元前 246 年)在今陕西咸阳渭水上对着城门造了一座大桥,长约 525 m,宽约 13.8 m 共计 68 孔。记载中传说秦始皇还用铁做桥柱(金作柱)。到汉时渭水上有三座同样规模的木梁柱桥。传说中汉武帝用玉石来装饰栏杆(玉为栏)。那一个时代,桥梁以木梁为主。西方的古画中亦保存有木梁(图 3),画的是亚历山大王出征,和中国汉代石刻上将、士、车、马战争的场面(图 2),题材背景和桥梁何其相似!

图 2 汉画像石刻桥(公元前 250 年前)

中国北宋王希孟画的《千里江山图》上画的是在江苏吴江的利涉桥。桥大小 40 余孔,“木万计”桥中心部分加宽造亭,可以休憩(图 4)。

石梁桥在国外保存的已不多,都是一些偏僻小溪上的小桥。图 5 为英国英格

兰巴尔河上的老石桥。中国还保存有大量规模比较大的石梁石柱或石梁石墩桥。

图 3 欧洲亚历山大大王出征壁画(公元前 331 年)

图 4 北宋王希孟《千里江山图》木长桥(摹仿)

最长的如福建泉州安平桥,俗称五里桥,现在实有 331 孔,长 2 100 m,建于宋,太平兴国年(公元 976 ~ 983 年)是国家重点文物保护单位。

福建漳州虎渡桥(图 6),桥长 336 m,原来有 15 孔,每孔约 20 余米,三根石梁并列,每根石梁重 200 多吨。建于公元 1208 ~ 1223 年。即使在今天,安装 45 根 200 t 重的石梁还是需要较高的装吊技术。不知道古代是怎样解决的。在我国江南还有很多如图 7 那样的石梁石板墩桥。轻巧美观。据说虎渡桥是造在老虎浅水时涉河而过的河底石脊上,梁重,墩也笨重。江南石梁桥造在软土地基上,梁轻板墩也轻。十分科学,也需要技巧。

桥梁中比较美丽的是拱桥。

图 5 英国巴尔河老石桥

图 6 福建漳州虎渡桥

图 7 中国江南石梁柱桥

人们说,拱桥是学习自然界的溶洞式石脊。不过,经整块石梁开一个洞到人工石琢刻(或就取自然的石块、卵石)砌成拱桥是技术上进了一大步。世界上是谁先发明“拱”结构,现在已查说不清。认识到拱在垂直力作用下会发生推力,是实践中得出的宝贵经验,中国和外国都很早达到此水平。然而演变的过程

中外不一。外国的桥梁历史告诉我们,石拱桥是由假拱演变而成(图 8),在古希腊的建筑中只见假拱,不见真拱。拱最早于罗马时代。

图 8 国外拱的形成

中国石拱的形成有很多种说法最可靠和有地下墓葬和地上拱桥实物所证实的是由八字撑架演化为五、七、九折边,到半圆或圆弧拱(图 9)。若为不信,可到浙江绍兴去参观一下。那里是文化古城,还有不少在世界上独一无二的折边拱,以及演化中间过渡的弧形石板折边拱桥。

世界各国都有美丽的石拱桥,保存最早的是罗马时代。图 10 为西班牙锡果维亚的罗马时代水道桥。因为石块粗旷,石桥高大,怀疑是恶魔才能修建,即中国人称做“鬼斧神工”,不是一般人力所为。

图 9 折边形成拱

图 11 是现存法国加尔德地方罗马时代的水道桥。桥跨

较大,最大为21.4 m。下层现已照原样加宽,可通汽车。这两座桥都是公元前的作品,迄今已2200多年了。

图 10 西班牙“恶魔之桥”

中国没有保存得这样早的石拱桥。得承认西方在这一时期领了先。中国有历史记载的石拱桥,暂时定为东汉河北满城的石窦桥(公元54年)。所以称暂定,因为不断有桥梁的遗址在工程施工中被发掘、发现。而墓葬中的砖石拱西汉时就有了。

图 11 法国加尔德罗马时代水道桥
(公元前158~167年)

然而中国有世界上最古老完美的石拱桥,河北赵县安济桥,或称赵州桥。桥起建于隋代开皇15年,完成于隋大业2年(公元595~606年)一共修建了12年。是世界上第一座不是半圆拱的石拱上叠了四个小拱的敞肩拱桥。净跨37.02 m,全桥宽9.6 m。桥上雕刻精美,不但是中国自己的重点文物保护单位,同时是世界公认

的“国际历史土木工程里程碑”。1991年在桥头立碑作永久的纪念(图12)。

图12 河北赵县安济桥(赵州桥,公元595~606年)

同一时期还有二座隋桥,河北临颖小商桥和井陘桥楼殿,以及其他几座有大小孔的石拱桥。发现小拱要真正“走”上大孔,是摸索了好多年的科学认识和技术进步的。国外同类桥梁,晚于中国1000多年。

石拱桥独占鳌头的时间很长,约有2000年左右。即使到了铁路时代,早期的铁路桥也利用或建造石拱桥。石拱桥十分笨重,所以多数造在有岩石地基的地方。如图13意大利的马达兰那桥。

图13 意大利马达兰那桥

中国的很多石拱桥却修建在不是岩石的基础上。如赵州桥下面是砂质土壤。江南的石拱造于软土地基。当年桥工们的办法是打密集的小木桩加固河床。拱券十分薄,桥墩也十分薄,这样桥就很轻巧。江浙一带的石拱桥都是如此(图14)。广西

图14 中国江南典型三孔薄拱薄墩石拱

桂林七星岩一座四孔石拱桥脚很薄,俗称之为“小脚桥”。

石拱桥取材于自然开采。琢石、砌桥都是手工。桥上还凿刻非常精美的浮雕或圆雕,是规模较大的手工艺品。现代桥梁以工业生产为主,石拱桥已不再多修造了。然而天生的材料和科技进步之后现在用的混凝土和超强混凝土等相比较,花岗石不论在硬度、色彩、耐久性等各方面都比“高科技”的产品要好。主要的缺点是加工困难。有这么一天,加工石料的手段也配套起来,石拱桥或改良了的石料结构会重新走上历史舞台。

木杆件系统

木伸臂梁——河历、刁桥、折桥、鹊巢桥、花桥

利用自然材料造桥除了石料就是木料。

利用自然的树木杆件构成桥梁,除了简单地两头搁在桥柱或桥墩上成为梁桥外,还有比较复杂的构造。在东方,有把木梁一层层叠起来,从两岸向河心,后面用石块压住,向前一层比一层挑远。中间相隔一段距离,用木梁搁上。称做伸臂木梁桥,在中国称做“河历”,或叫刁桥。桥外形成折线形,所以又称折桥(图 15)。最早的记载是在公元 308~313 年西晋永嘉年间。造在甘肃省黄河的上游,跨度达到五六十米。在印度、不丹以及日本等邻国也有类似桥式,只是年代要晚得多。伸臂木桥有单孔的,大半造在山谷河流上。假如用木笼盛石做桥墩,或用石砌的桥墩,就可以造在比较宽大的河流上,成为多孔的折桥。使桥跨从简单支梁桥的 10 m 左右,一下增加到 30~50 m。中国广西、湖南还有很多修复保存得好的多孔木伸臂梁桥(图 16、图 17)。广西三江程阳桥是国家重点文物保护单位。民间喜欢替各种桥起些通俗的象征性的名称。多孔木伸臂梁,在桥墩上的层层叠木好像喜鹊窝,所以又称“鹊巢桥”。桥上多造重檐廊、阁,上加木雕彩绘。花里胡哨,所以又叫“花桥”。可惜此法所用木料太多,现在保护自然森林,爱惜树木不会再大量去造花桥。想不到伸臂造桥,是后世的一种重要桥式和“先进”的施工方法。

图 15 中国折桥(木伸臂梁)

图 16 湖南溆浦万寿桥

图 17 湖南通道普修桥

木拱桥

飞桥、虹桥、贯木拱

中国和外国都有木料拼搭成的拱桥,目的亦是加大桥梁的跨度。怎样拼法,巧妙不同。欧洲有两种古老的木拱桥式(图 18)。上图是起源于公元前 103 年一块残刻石雕,多瑙河上的木拱。下图是把两三层或更多层木料弯曲叠夹起来成为木拱。

图 18 欧洲两种拼装木拱桥

中国还是走自己的道路。

图 19 北宋张择端《清明上河图》汴水虹桥

中国有世界上绝无仅有的木拱桥—虹桥、飞桥、贯木拱桥。这是我在 1953 年首先发现和不断考证研究发掘出的。

900 多年前，公元 1042 年时宋朝都城汴京（现在河南开封）汴河上的木梁柱桥，每当发洪水时，运粮和载货的重船，往往撞折桥柱、船货亦受损坏，主管桥工的官吏受到处分。皇帝、宰相募人造无脚桥，鼓励新的创造发明。当年有个称为魏化基的人，用模型造了一座木拱桥，试造时费用高，不成，被罢黜职。这是第一次尝试。

大概在六七年后，安徽宿州的地方官陈希亮，也因为当地河道上经常发生船撞桥柱，两败俱伤，创造了一种用木料穿插搭架起来的木拱桥，用绳子捆绑，可能不用铁钉。桥上横铺木板加上栏杆，坚实可行，解决了河中不用桥柱的问题。受到皇帝下诏书、赐绸缎的奖励，并且推广到全国。到 1049 年时，山西、河南、江苏、山东的汾水、汴水、泗水、青水上到处建造称做“飞桥”。当年汴京开封城里城外就有上土桥、下土桥和虹桥三座。大概 62 年之后北宋画家张择端画了一幅长卷叫《清明上河图》，图中心便是那座虹桥的“飞桥”（图 19）。桥的结构可以用火柴梗自己搭架起来。不信照图 20 试它一试。桥总得有个学名。作者在考证此桥时见书上记这座桥是用“大木相贯”（穿插）而成，所以起名为“贯木拱”桥。

图 20 飞桥结构

这种杆件系统的木拱，世界上唯独中国有，并且成为系统。北宋败亡，朝廷搬到南方，北方这些木拱都毁坏不见。但是贯木拱的桥式流传到南方，有所改进。桥面平坦，上建桥屋（图 21）现今浙江、福建山区仍有好多座单孔和多孔的贯木拱，有些是国家的重点文物保护单位。

假如有兴趣，可以到浙江云和、青田、泰顺（此处最多），或福建古田、屏南、武夷，或甘肃渭源去看一看实在的古老桥梁。最近，由作者出主意，美国出资，在上海市青浦县、金泽镇造成了一座完全忠实于北宋《清明上河图》上虹桥式的木拱桥（图 22）。有机会大可一观。因为在世界上“唯我独有”，所以能引起诸多外国的重视，美国投资拍成科教电影，向全世界进行介绍呢！

在世界上的诸工种之中木工是最聪明的。中国古代桥梁工程的祖先是春秋时山东（鲁国）的木工，姓公输，名班。所以称鲁班。“班门弄斧”就是笑那些敢在行家门前卖弄自己的浅薄的人。

外国的木工一样聪明。瑞士木工葛鲁勃曼于公元 1757 年在下夫豪申地方跨莱茵河上建造了双孔有廊屋的木撑拱桥。结构相当复杂，也许比中国的贯木拱桥在技术上要略逊一筹。桥后来在战争中被法军焚毁了（图 23）。