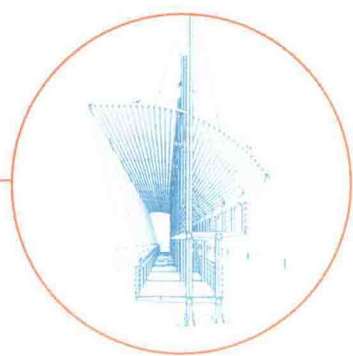


桥梁文化 与创新



Bridge Building-history
Development and Innovation

戴公连 于向东 编著

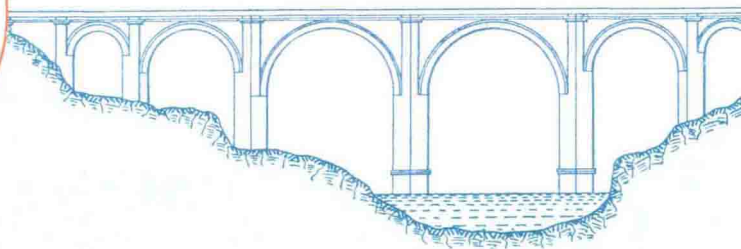
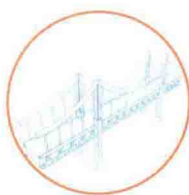
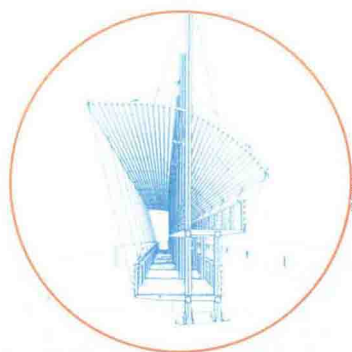


中南大学出版社
www.csupress.com.cn

桥梁文化 与创新

Bridge Building-history
Development and Innovation

戴公连 于向东 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

桥梁文化与创新/戴公连,于向东编著. —长沙:中南大学出版社,
2014. 7

ISBN 978 - 7 - 5487 - 1103 - 2

I. 桥... II. ①戴... ②于... III. 桥 - 文化 IV. K918

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 145393 号

桥梁文化与创新

戴公连 于向东 编著

☐责任编辑 周兴武

☐责任印制 易建国

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 湖南精工彩色印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 17.5 ☐字数 513 千字

☐版 次 2014 年 8 月第 1 版 ☐2014 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 1103 - 2

☐定 价 78.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

桥梁文化与创新是高等学校桥梁工程专业开设的一门专业选修课程，其主要目的是在技术的基础上，讲解桥梁历史、文化、创新与建设过程，启发读者的心智，加强专业忠诚度和美学理解，开拓视野，以设计与制造出更加优美的桥梁。本书特点是以桥梁的时代发展为主线，介绍桥梁建设的进步过程、失败教训、创新理念及建造者人物背景等。

本书从历史、人文、技术方面讲解桥梁的文化与创新，包括新理念产生的基础条件、优美桥梁产生的理念、典型桥例的要素、桥梁建设者的艰辛故事等。一方面是桥梁的技术，另一方面是人文和历史。因为桥梁作为一种建筑结构，不仅承担着交通功能，更是一种地标性建筑或城市的象征，成为了一种文化符号。

本书通过技术、历史和人文的结合，讲述桥梁的文化与创新，书中配有大量的世界各地经典桥梁的优美图片，可供作为高等学校桥梁工程专业的教材，也可供桥梁设计与制造工作者参考。

目录

绪论

第一章 人类建造桥梁的开端

- 1.1 独木桥——跨越的开端 / 5
- 1.2 天然索桥与猴子造桥的传说 / 7
- 1.3 天生石桥——拱桥几何学的样板 / 9
- 1.4 天然踏步桥——桥梁基础与墩台理念的起源 / 10
- 1.5 模仿自然、抗争自然 / 12

第二章 古代桥梁

- 2.1 木梁桥与木桁架梁桥 / 14
- 2.2 木拱桥 / 20
- 2.3 石梁桥 / 22
- 2.4 石拱桥 / 23
- 2.5 从竹索桥到铁链桥 / 31

第三章 现代桥梁工程的开端

- 3.1 结构基本理论的重大发明与应用 / 33
- 3.2 桁架结构的兴起 / 40
- 3.3 蒸汽机和铁路诞生——铁桥时代来临 / 43
- 3.4 铁桥向钢桥的转变——现代桥梁的重大革命 / 55
- 3.5 工程学科和工程师的产生 / 62

第四章 现代大跨度桥梁的先驱

- 4.1 詹姆斯·伊兹与伊兹大桥 / 71
- 4.2 罗布林家族和布鲁克林大桥 / 83
- 4.3 苏格兰福斯桥 / 102

第五章 混凝土桥梁——20 世纪桥梁建设的宠儿

- 5.1 混凝土桥的应用 / 109
- 5.2 瑞士工程教育的传奇和罗伯特·马亚尔的钢筋混凝土拱桥 / 113
- 5.3 尤金·弗雷西奈与预应力混凝土 / 119
- 5.4 乌里希·芬斯特瓦尔德将混凝土悬臂架设为现实 / 124
- 5.5 克里斯琴·梅恩的创新设计 / 128
- 5.6 预应力混凝土桥的新领地——中国的混凝土桥梁 / 132

第六章 大跨度拱桥

6.1 赫尔盖特桥	/ 137
6.2 悉尼港大桥	/ 141
6.3 安曼和贝永桥	/ 143
6.4 亨利·哈得逊大桥和斯坦因曼	/ 146
6.5 上海卢浦大桥	/ 148
6.6 重庆朝天门大桥	/ 150
6.7 九江长江大桥	/ 151
6.8 青藏铁路拉萨河桥	/ 153
6.9 北盘江大桥	/ 155
6.10 南京大胜关桥	/ 156
6.11 钢筋混凝土拱桥和钢管混凝土拱桥	/ 157

第七章 大跨度桁架桥

7.1 大跨度悬臂桁架桥	/ 161
7.2 连续钢桁架桥	/ 170

第八章 悬索桥

8.1 大飞跃——美国悬索桥的辉煌与经验	/ 189
8.2 欧洲悬索桥的崛起与革新	/ 210
8.3 日本悬索桥的跨越	/ 213
8.4 中国悬索桥——横空出世	/ 221

第九章 大跨度斜拉桥

9.1 现代斜拉桥的演进	/ 233
9.2 稀索体系向密索体系的过渡	/ 237
9.3 混凝土梁、结合梁截面的演变和结构体系多样化	/ 239
9.4 斜拉桥建设的成熟期	/ 250
9.5 公铁两用双层桥面斜拉桥	/ 257
9.6 迈向千米级斜拉桥	/ 265

后记	/ 273
----	-------

绪论

我们每个人，一生不知要走过多少座桥，在桥上跨过多少山山水水。有了桥梁这种人造构筑物，我们可以跨越河流、峡谷及各种障碍，到达想去的地方，创造更加美好的生活。桥梁的建造和人类的文明发展息息相关，它也是人类文明的重要组成部分。桥梁不仅代表有形的桥，其意义已有很大的延伸，各种无形的友谊桥梁加深了不同地区、不同种族人民之间的感情和理解，借助友谊的桥梁可以避免冲突、消除误解、化干戈为玉帛，可见桥梁在我们的生活中太重要了。

建造桥梁，跨越障碍，是人类不懈的追求与梦想。从最原始的将块石抛入河流或小溪形成的踏步桥（图0.1）到当代现代化的大跨度桥梁，其最基本的功能是跨越各种山川沟壑，克服前进道路上面临的障碍，为人们的出行提供交通便利。有了桥梁的连接作用，我们到达目的地的距离缩短了，出行便捷了，活动范围更大了。桥梁也是道路交通系统中的重要节点，有了架设在水上、峡谷或各种障碍上的空中道路，不仅行走在桥上的人员、车辆方便了，也使行驶在桥下河流中的船只、桥下道路上的车辆更加便捷。在我国青藏铁路上，为了让生活在草原上的动物能自由觅食，在很多区段设置了高架桥，动物就可以在铁路沿线活动而不受铁路运行的干扰。

桥梁常常是一个城市或一个国家的标志。泰晤士河上优美典雅的伦敦塔桥（图0.4），宏大刚劲的悉尼港大桥（图0.5），美国圣弗朗西斯科的金门大桥（图0.6），这些经常出现在电视画面的桥梁已经形成了所在地区或国家的名片与象征，代表了那个地区那个时代人们的生活激情和征服自然的能力；武汉长江大桥、南京长江大桥（图0.7）的建设，成了新中国独立自主、奋发图强的

象征。当代中国，经济高速发展，人们充满创新的渴望与激情，表现在桥梁建设上是追求更大、更长、更远。已经建成的上海卢浦大桥（图0.8）、润扬长江大桥（图0.9）、杭州湾跨海大桥及苏通大桥（图0.14）等大型桥梁工程更是成为我国进入现代化阶段的标志工程。

桥梁建设代表了一个国家的科学技术水平及综合国力。从古至今，桥梁的建设水平是衡量人类利用自然、战胜自然能力的重要标志。通常，哪里的桥梁科学与建设水平越高，哪里的文化及文明程度就越发达，经济就越繁荣。古代中国桥梁辉煌的建设成就，古代罗马的桥梁建设技术，对世界产生了深远影响；18世



图0.1 踏步桥



图0.2 纽约桥梁群



图0.3 大型立交桥



图0.4 伦敦塔桥



图0.5 澳大利亚悉尼港大桥



图0.6 金门大桥



图0.7 南京长江大桥



图0.8 上海卢浦大桥



图0.9 润扬大桥

桥下船只的通行；而在西南少数民族地区，又多以索桥为主，形成了不同的桥梁建筑风格。许多桥梁本身就是一件艺术品。如中国园林建筑中著名的扬州瘦西湖五亭桥（图0.17），为了迎接乾隆皇帝第二次下江南于1757年建造，这桥“上置五亭，下列四翼，洞正侧凡十有五”的特殊桥梁建筑技术相当细致，每当晴夜月满时，券洞中各衔一月，金色晃漾，情趣横生。无独有偶，建于1737年英国乔治二世年间的巴斯（Bath）的帕拉弟奥（Palladio）桥（图0.18）也有五个桥洞，虽然两桥相距遥远，造型上却异曲同工，反映了不同地区人们对美的共同追求。

几个世纪以来，桥梁一直激励着文人的创作激情，在文学与神话中占有一席之地。一座桥本身就是一个奇迹、一首诗。它是力与美的神秘结合，是高雅、飞翔的线条与狂野的力的神奇融

纪的工业革命带来的技术进步，以英国、法国为代表的欧洲国家将桥梁建设推进到过去几千年来前所未有的水平（图0.10）；19世纪末至20世纪中期，美国大跨度桥梁世界领先；二战后日本和德国在重建和经济复苏过程中也创造了辉煌的技术成就，德国在预应力混凝土悬臂施工、斜拉桥技术的发展与应用，日本本四联络线系列跨海大桥的建设，其中明石海峡大桥（图0.13）全长达4千米，跨度推进到了1991米；中国改革开放30余年，经济迅速发展、综合国力增强，人民生活水平逐步提高，对交通的需求非常强烈，高速铁路、高速公路建设方兴未艾，为桥梁的建设提供了极好机遇，可以说现代中国是桥梁建设最多的国家，仅长江上就已经建设了167座跨江桥梁，跨度、工艺、施工机械均有很大提高，举步进入桥梁大国和强国的行列，揭开了21世纪大跨桥梁建设的序幕。

桥梁是民族文化的表征。从古代原始社会开始，中国和西方对桥梁各有不同贡献，体现了鲜明的文化特征。古代交通虽然不便，但并不隔绝，桥梁建设互相影响借鉴，形成了独特的文化现象。就以中国桥梁为例，北方的桥梁桥墩宽厚粗大，桥孔较多，道路相对平坦，注重桥上车辆的通行；南方桥梁多以纤细柔美为特征，桥墩纤细，结构轻盈，桥面较陡，注重



图0.10 英国福斯桥



图0.11 布达佩斯伊丽莎白大桥



图0.12 丹麦大贝尔特桥

合。在落日的余晖或皎洁的月光下，当你放下繁重的工作，静下心来，会发现一座美丽的桥梁真是一首跨在河上的诗篇，一座登天摘星的阶梯。

从古至今，以桥梁为题材或背景的神话、传说、诗歌、戏曲、绘画、电影等作品非常多，留下无数著作。如北宋著名画家张择端的画卷《清明上河图》，呈现在我们面前的是一幅以汴河和跨越汴河的虹桥

为重点布局的汴京东郊的生动景象。在悠久的历史长河中，留下了许多与桥梁有关的优秀的诗篇。仅以扬州二十四桥为例，就有唐朝杜牧《寄扬州韩绰判官》“青山隐隐水迢迢，秋尽江南草未凋。二十四桥明月夜，玉人何处教吹箫”；宋代黄庭坚诗“淮南二十四桥月，马上时时梦见之。想得扬州醉少年，正围红袖写乌丝”；明代王世贞路过扬州访友，游览二十四桥，乐而忘返，写下诗云：“豪华自古让维扬，一水横江即异乡。二十四桥歌吹遍，不知何处觅周郎。”又如唐代诗人张继的《枫桥夜泊》：“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。”这些优美的诗篇，情景交融，意境深邃，令人向往，广为流传。国外和桥梁有关的影视作品如《魂断蓝桥》、《廊桥遗梦》等更是感人至深。

建造伟大的桥梁充满挑战性。建造优美的桥梁是展现最新科技的最佳场所，也充满了与自然环境斗争及与人类自身斗争的艰辛。桥梁是既有利于当代又惠及后人的造福工程，必须考虑它的安全性、耐久性、经济性及美观效果。桥梁建造的每一次跨越都是人们利用最新的材料、最新的结构体系、最新的工艺与自然抗争的结果。桥梁要经历各种自然环境的考验，包括不良地质，湍急河流，地震、风灾、温度变化及各种作用其上的荷载等；

桥梁的建设过程也是一个细致的未知的工作，结构体系的选择、施工方案的合理性、材料和工艺细节都直接和工程质量相关；每种新的桥梁体系的产生无一例外地经历了概念创新、应用成熟后带来的自满，由于推向极致或对未知的疏忽导致的结构垮塌，再走向保守的循环过程。从早期的泰桥垮



图0.13 日本明石海峡桥



图0.14 中国苏通大桥



图0.15 颐和园十七孔桥



图0.16 颐和园玉带桥



图0.17 扬州五亭桥



图0.18 帕拉第奥桥



图0.19 意大利威尼斯桥

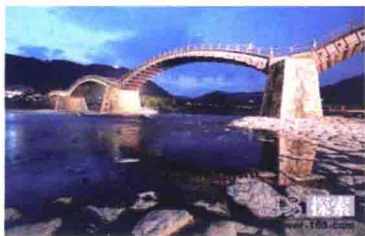


图0.20 日本木桥



图0.21 波斯尖拱桥



图0.22 清明上河图



图0.23 苏州枫桥



图0.24 《魂断蓝桥》中的滑铁卢桥



图0.25 《廊桥遗梦》中的木桥

塌到2007年世界数十座桥梁的垮塌事故可见一斑；建桥人也常经历希望、失望，甚至有可能身体受害、直至献出生命。

一座桥并不仅仅是由钢铁和石头建成的，它还是人类智慧和汗水的结晶。桥梁不是单个人创造的作品，它是设计者、建造工人，利用先进的科学与技术共同努力的结果。桥梁史记载了富有梦想和创新精神的建桥人取得的巨大成就，因此，从这一意义上讲，桥梁史是一首建设者光荣与荣誉的赞歌。每座桥的故事也是当时社会的一种展示，了解了一座桥，也就知道了产生这座桥的文明，了解了一个民族的科学进步，知道了他们的自然资源，熟悉了他们的技术发展，也就可以评判他们的艺术和美学素养，研究他们的经济和政治，探知他们的民俗和宗教，走进他们的社会生活。然而桥梁的历史还没有终结，当代的桥梁建造者依然进行着抗争，每天都有新的自然障碍和未知领域被征服。现代桥梁建造者，正在过去人类所有成就的总和之上谱写着新的篇章。

本书站在历史与人文的视角，介绍了桥梁的重大创新的过程和重要桥梁实例，透过一串串桥梁跨越的年代和跨度记录，展现了桥梁建设的历程和取得的成就。这里有桥梁的建设技术和艺术，也有和建桥相关的优美传说和动人故事；有建桥人的艰苦和奋斗，也有让我们倍感骄傲的成就；有过去的辉煌和失落，也有当今的努力和进

取。现在，就让我们一起走进丰富多彩的桥梁世界，了解桥梁的起源与发展，欣赏丰富多姿的基本形式，掌握关键的创新技术，领略架桥人的艰辛与成就，探索桥梁千年承载的奥秘。

第一章 人类建造桥梁的开端

自从地球上有人类活动开始，人们就渴望能通过桥梁跨越前进道路上的障碍到达目的地。人类什么时候开始造桥，很难查考，但可以肯定，从远古开始，有了人类活动就有了桥梁。也许第一座桥就是横跨河流上的一棵自然倒伏的大树，也许就是一块自然崩塌的石板或散落堆积在河中的乱石，也许是缠绕在一起的河谷两岸的藤萝，当然也可能是我们至今还能看见的大自然赐予人类的各类天生桥。人类就是从这些自然形成的简单“天然桥”启发下，学会了造桥。最早建造的桥梁还处在模仿自然的阶段，仅能根据自然界提供的原始材料及形式进行简单的创造，但不可否认，现代桥梁的雏形已基本形成了，进而有了现在的梁桥、索桥及拱桥体系。

1.1 独木桥——跨越的开端

自然建造了最早的桥梁，为人类提供了样板。

桥梁建设可以追溯到创世伊始。但是想要穿越数百万年时空找到人类第一次建造的跨过一段空间的桥梁是十分困难的也是不可能的，然而，我们却可以看到不太远的年代，人类是怎样从自然界里找到模型来建造最原始的桥。

1.1.1 独木成桥

第一批现代意义上的生活在旧石器时代后期或后来的石器时代的人们，他们住在开阔的、像印第安人帐篷一样的住处里，或许住在俄罗斯南部的没有树木的大草原上，房子是在地下挖出的洞，用木板和石头做成粗糙的屋顶，就像今天我们在电影《指环王》里看到的那样。然而很多年以来，这种洞是他们的宗教中心，是他们在灾难时期的避难所，有时又是他们的住处。这种房子似乎是自然界特意授予他们的。这种地下室由石头或黏土建造而成，不同的木材或石材有可能粗略地排列着，也有可能是都伸出向上，在顶端聚合。

旧石器时代晚期洞穴壁画中的男人基本上做着猎人和采集食物的工作，他们开挖陷阱，用掉入陷阱的猎物或者潜伏射杀的动物喂养他们的妻子和孩子。为了跟踪成群的马、野牛、鹿及其他动物，他们需要借助工具来穿过那些太宽跳不过去的地表峡谷裂缝、太湍急不能跨越的溪流。他们的生存和发展需要桥梁。

在寻找食物或猎物时，他们无助地漫游在溪流边，寻找一条安全可行的路。忽然，他们看到了一根倒在两岸之间的原木，这是一棵被风吹倒的死掉的大树，他们小心地踩上或爬上树干，绕过大的树枝，这样就有了一条到达对岸的路了。可能后来他们记起了这座偶然的桥，当再次来到河边，他们就会沿着河一直找，直到又找到了一棵倒下的树并将他们带到对岸；他们也有可能带上了坚硬的石斧或者鹿角镑子，将树干的周围用火烧成炭，然后将树干放倒，形成了一座桥，可以使他们穿过冬天冰冷涨水的溪流。

这种可供原始人类通行的桥梁可能很早就存在了。河边的大树被风吹倒，恰巧横于河两岸，于是一些动物和原始人类踩着树干过河，这便是自然界送给人类最早的桥——独木桥，它横跨在河流之上，形成了所谓的梁桥，梁的含义就是跨越的横杆。这种树倒伏成桥的现象并不是臆测，历史中确实有巧架树桥的记载。据《湖北通志》记载，巴东县西南480里的龙巢溪上，溪的两岸岩石陡峭，阻断了两岸人们的通行，根据当时的技术很难架设桥，明朝成化二年即公

元1466年，一次大洪水漂来一根大木横架在溪上，行人得以攀援而渡，故名“飞桥”。又如《畿辅通志》记载，河北保定县的柏村，河水环绕，人们的出行很不方便，要绕行很多冤枉路，岸边有棵古柏树，有一天忽然倒置在河中，如桥可渡。上述两个历史实例证明了大自然巧架梁桥确有其事（图1.1）。

在人类进化的漫长岁月中，大树虽然不会经常倒在深沟上，但也远不止一次、两次，原始人类通过这种偶然的自然现象意识到横在深沟上的大树会给他们的生活带来很大方便，于是人类产生了桥的概念。

这种天然的桥，很不牢固，大风或激流很容易将其掀翻带走，时间久了也可能腐朽折断。另外，这些天然桥未必就在原始人类居所附近，使用起来很不方便。后来，人类中有位聪明人有意识地将居所附近的大树砍倒，将其横架居所前的深沟两岸，这就是人类建造的第一座真正意义上的桥。这种独木桥虽然简单，但确实是桥梁的祖先，它不仅给当时的人类提供了交通方便，更重要的是它给人类带来了启示和信心，大河是可以逾越的，从而引起人们造桥的巨大兴趣。俗话说“独木难行”，独木桥简单，走起来不太容易，更别提过车了，局限性很大，随着人们经验的积累，将两根原木并排放在一起，或者更进一步在两根分开的原木上放上横向的原木，在上面铺些木板或树枝，在这种桥上通行就舒适安全多了。直至今天，在世界上的一些偏远地区，仍然可以看到这种原始的桥梁。

1954年，考古学家在中国陕西西安半坡村发现了新石器时代的氏族聚集的部落，位于河流边的台地上，有密集的圆形住房四五十座。在部落周围，挖了深宽各约5~6米的大围沟，这条沟里估计当时有水，用于防御其他部族的侵略和大型动物的侵袭。为了方便部落的人员外出生产，大沟上必然建造了桥梁，这个时期约在公元前4000年（图1.2）。

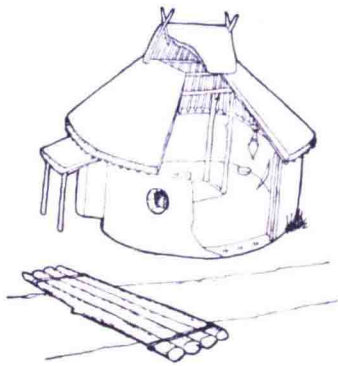


图1.2 半坡村遗址想象图



图1.1 原始人过独木桥

1.1.2 跨越宽阔河流——排架桥的发明

在跨越较宽的河流时，如果桥跨很长，原木梁会在中间产生很大的下挠，行人有种不安全感，人们想出了用另外一根原木垂直打进河床，用来支撑横向的木梁，因此，就创造出了木支架桥的雏形。不久，一个远远领先他们的同时代的天才在建造一座三根原木宽的桥时决定将三个树干分开，将它们水平交叉，而不是并排放置，并将许多树枝放在了两个纵向的原木上。这种简陋

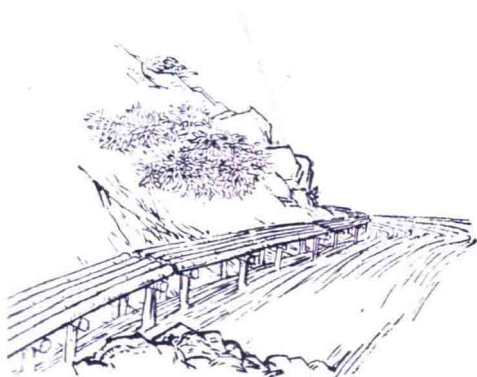


图1.3 多跨木排架梁桥

的桥面使桥梁建筑进化史向前发展了一大步。

最终，史前的人们发展出了第三种类型的桥——悬臂桥。几千年来他们一直在山洞的缝隙里跳来跳去，这个缝隙的两边都有石头突出来，但中间并没有连接起来。一天，一个人在漫步的时候，发现前面的缝隙太宽，跳不过去，从过去的经验中他总结了如何解决这一问题的方法。他找到了一根原木或一块石板架在了缝隙上来实现横渡。事实上他做的正是枕梁或悬臂顶部的建设工作。但其中所包含的原理对当时的他们来说太过于复杂，他们从来都没想过要建一个枕梁边，这种悬臂建筑还需要进一步的发展。

1.2 天然索桥与猴子造桥的传说

1.2.1 天然藤蔓桥和猴子造桥

在中国西南山区较窄的河谷两岸或南美的亚马孙河流域，天然生长的藤蔓植物伸向对岸，相互缠绕在一起，藤蔓植物纤维有一定的柔性和强度，宛如悬挂在空中的悬索，给原始人类攀援而过提供了可能。形式上这就是现代的悬索桥。从现代关于索桥发展的起源研究也表明，悬索桥这种结构形式最早确实出现在中国西南地区及南美地区，这里植物茂盛，藤蔓植物密布，在沟壑间相互交织在一起后，可供原始人类攀援而过。在温带气候里，藤本植物和其他热带藤可以作为抓手将人荡过去。世界上部分热带雨林，就像亚马孙雨林里一样，整个雨林的上部全是纠缠交错的藤和兰花，猴子们在其间穿行荡漾。一些具有观察力的原始人可能还会看到蜘蛛在风中扯丝，将丝线连接到不同的树枝上，来加固这一悬线从而支撑更沉重的网，或者原始人在寻找可吃的食物和昆虫时也可能看到挂在树叶和树枝间的蚕茧，从中受到启发，人们利用藤蔓或麻类植物，建造可供渡河的简易结构，这就是悬索桥的起源了。

关于悬索桥的起源，还有人认为是猴子最先采用并延续至今，在中国西南少数民族聚集地区流传着猴子造桥的故事。我们过去听说过猴子捞月的故事，可没听说过猴子架桥的事情吧！一群猴子过河，一个先上树，第二个上去抱着它，第三个又去抱第二个，如此一个一个上去首尾相连，形成一个长串，地面上的猴子将猴子串来回推动，就像荡秋千一样，最尾端的猴子趁势勾住对岸的大树，这就形成了一串“悬猴”桥，其余的猴子顺利从猴桥上通过，到达对岸觅食嬉戏，这可比坐在鳄鱼背上渡河安全多了（图1.4）。



图1.4 猴桥渡河



1.2.2 溜索桥和麻绳的出现

当居住在森林里的人用梁建桥,居住在多岩石地区的人用石板建桥时,居住在雨林地区的同时代人则创造了使用天然的葡萄藤的悬索桥。悬索桥所用的材料取材方便,都是些草和多纤维的枝干。原始的人类受到天然桥的启发,在需要建立他们自己的桥梁时本能地就会采用悬索桥。学会了编织与织网之后,他们收集藤类植物和攀缘植物并将它们做成绳子。将一端牢固地绑在树上和岩石上之后,就将自己荡到了对岸。随着经验的积累,慢慢开始采用野葡萄藤、麻纤维或竹子拧成一根大绳,将绳子捆在两岸的大树上就成了一座悬索桥,其过桥的难度与风险就像现在杂技表演中的空中走钢丝一样,为了克服恐惧,在大绳上套上一个竹筒或木筒,过河的人腰部用绳子系在可移动的竹筒上,靠手脚的动作,从绳上溜过河(图1.5)。也有的在竹筒上垂下一根绳索,绳索下系一横木,就像现在的一个小秋千,渡河时人坐在横木上面,从绳上溜过河去。这种桥式是中国西南少数民族人民首创的,至今在一些偏远的深山峡谷中还可以看到这种桥梁的应用。这种过河方法,人都是悬在大绳底下,手必须抓住大绳,局限性很大,虽然不至于摔下来,但不能随身带很多东西,过河也需要一定的勇气与技巧,老人和小孩过河很不方便,这对人类又提出新的挑战。

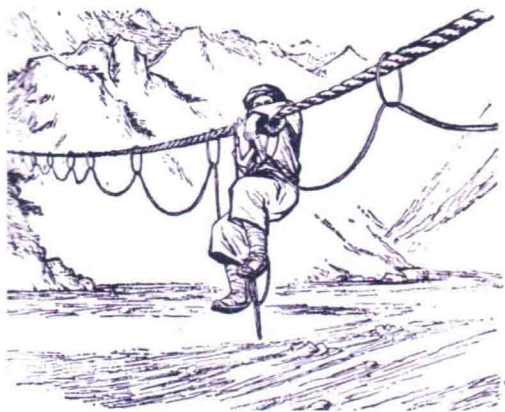


图1.5 溜索桥

1.2.3 多根绳索组成的悬索桥

下一步的追求就是在过河的时候能够更舒服安全些。人们想要提着箱子走过桥,而不是荡来荡去的。因此就产生了将两根绳子串在一起的想法。这两根绳子相互平行,在两根主绳索之间架设横向系索,在这些中间索上铺上树枝或织席,做完这些之后,人类已经构想并建成了一座真正的悬索桥了(图1.7)。

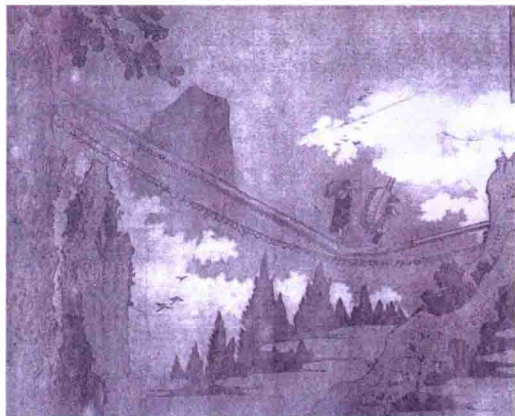


图1.6 日本木刻画中的桥

随着时间的流逝,人们想到了一些对悬索桥进行改良的办法。这种进化是人类在追求更舒适的过程中将两条索改为四条索,并将它们分上下两两配对,在下面两条索上铺上织席,然后将两对索用草或芦苇杆连接在一起——这是现代悬索桥吊杆的雏形。结果就是一个类似于吊床的建筑随着微风或人们的行走前后摆动。在一座桥上使用两根或多根绳索,而且在两根绳索之间,拴上密密麻麻的藤网,人们在过河的时候,脚踩藤网,手扶两边的藤网,既好走,又安全,所以这种桥梁又叫藤网桥(图1.8)。这种桥式就是现代悬索桥的祖先了。



图1.7 原始索桥



图1.8 藤网桥

1.3 天生石桥——拱桥几何学的样板

1.3.1 天然拱桥千年不垮的奥秘

在自然界中,有些岩石经过长时间的风吹雨淋,逐渐风化,或两山间的瀑布,中间为脊石所阻,水穿石隙逐渐成孔,渐渐扩大,孔上石层磨成圆孔,常年累月,风化裂解,形成千姿百态的天然拱桥,有的呈弯弓形横跨在河谷激流之上,有的镶嵌在峭壁悬崖之间,形成天然的拱,恰似一道道彩虹,蔚为壮观(图1.9)。这些天然拱桥为什么耐久不倒呢?其实它的工作原理就同现代拱桥,拱其实就是弯曲的梁,拱结构在自重作用下相互挤压,均匀分担外界的压力,这就是拱结构的特性,它有传递压力的特殊功能。我们在现实生活中,许多小朋友都做过手握鸡蛋的游戏,选一个没有裂纹的鸡蛋,把它握在手中,只要用力均匀,即便使出全部力气,也不能把它握破。实际上蛋壳并不是非常坚硬的东西,为什么可以承受那么大的力量呢?秘密就在于蛋壳是弧形的,它可以把表面上的力,分解为与蛋壳平行的力,并且沿着蛋壳传递到各个部位,使蛋壳均匀地分担了外来压力。拱结构也有这种特性,所以能承受很大的压力而不垮塌。除了这种天然拱,很多地区还有很多天然溶洞,其顶部也呈拱形,因为大的溶洞是空间结构,所以也成弧形穹顶,这种结构的受力同拱结构是同一个原理。

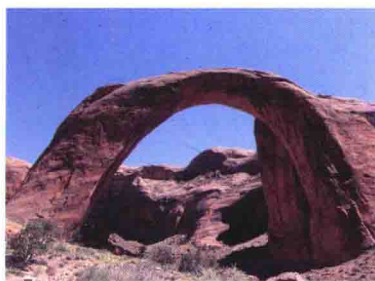


图1.9 天然拱桥

中国的天然拱桥不计其数,在许多风景名胜区内均可看到。四川奉节县龙桥是世界上最高的天然拱桥,全长83米,宽8米,高190米,高耸入云。贵州梨平县高屯镇东南2千米处的高屯天生拱桥横跨亮江,跨距118米,宽138米,距水面34米,拱上是40米厚的岩层,该桥的拱形对称规则,犹如神斧天工,是目前世界上发现的最大跨度的天然拱桥。

1.3.2 石材的应用

木桥建造方便,但美中不足的是木材容易腐朽,用不了多长时间就要维修,如何克服这个缺点呢?在欧洲大陆北方被冰川覆盖的国家缺少林木,那里的居民不得不寻找其他材料来满足他们的需求。他们用扁平的石板代替原木来连接桥墩。这一类型的石板桥后来被称为响板桥



(Clapper Bridges)，在一些原始的地区依然可以看到，中国的部分地区就存在着这样的桥。后来在许多石料较为丰富的地方，人们开始采用坚硬的长条石头来代替木梁，可以用很长的时间，这就是平常所说的石板桥。其实除了独木桥，自然界中还有天然的石梁桥（图1.10），浙江省雁荡山有座举世罕见的天然石梁桥，高200米，宽约20米，跨度达100余米。人类模仿天然石梁桥比木梁桥要晚，因为开采长条的石梁难度很大，要求掌握一定的工具及制造技术。



图1.10 天然石梁桥



图1.11 英国现存的最早石梁桥

1.3.3 师法自然，学会造拱

由于受到自然界天然拱桥的启发，人类学会了制造石拱桥，最早的拱桥也许就是依据天然拱的形状模拟建造的，经过师徒的口传心授，拱桥慢慢发展起来。拱桥这种结构据历史记载出现于公元前6000—前5000年，苏美尔人在富饶的底格里斯河和幼发拉底河流域用泥土烧砖，将平砌拱改为竖砌拱，形成拱桥的拱肋，不仅受力大而且美观，这是一个重要的发现！后来这种技术传入中国，拱桥得到全面应用，由于拱桥结构一般采用石材或砖建造，这种材料比木材或藤麻材料耐久，至今保存的古桥多为石拱桥。虽然拱桥公认在中国发展较晚，但中国古代人民在长期的生产实践中发现，在一些较为坚实的土坡上，可以挖掘出很深的洞穴，人们在里面生活十分舒服，既可以挡风避雨，又可以防止野兽袭击，这种洞穴只有在顶部挖成拱形时才不会垮塌。这种在北方土坡上广泛使用的居所就是窑洞，一直到今天，还在使用。由此可见，天然的拱式桥梁给人类提供了几何学上的极佳范例，让人类学习模仿，在此基础上人类通过经验积累和发明创造，学会了建造拱桥（图1.12）。

也许是雨后的七彩虹激发了人类建造拱桥的灵感，人类望着跨越天际的彩虹，是那么美丽，那么令人神往，如果能够沿着彩虹行走，就可以跨越河流、山川，走到山外的世界，有了这种理念，拱桥建设的实现就有了天然的基础，向自然界学习，改造自然，提高自身的生活水平，是人类社会永恒的主题。中国众多的诗词歌赋将桥梁形容为彩虹，唐代大诗人李白就有“采得七彩虹，架天作长桥”的浪漫诗句，至今很多桥梁还取名为虹桥。

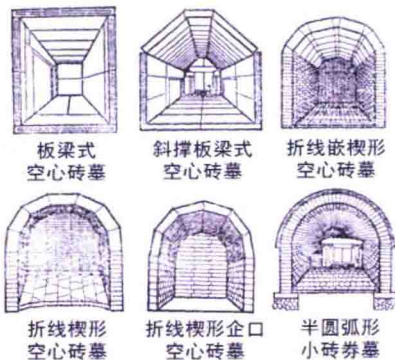


图1.12 拱的形式及过渡

1.4 天然踏步桥——桥梁基础与墩台理念的起源

1.4.1 抛石为桥——桥墩的建造

枯水季节在宽阔的河面上，我们经常可以发现河中直接裸露的岩石，借助这些间隔的石块，人们可以一步一跳地跨过河流，这种自然现象，启迪了人类的创造性思维，思想一闪，计上心来，沿岸寻找石块，抛石成堆，就成了蹚梁桥，这也许是建造桥梁基础与墩台的开端。

新石器时代的人发明的小型木梁桥或者悬着的藤桥无法让他们跨越更宽的河流，或者他们生活在一个没有大树干或藤类植物的地方。在焦急地沿着河岸向上游或向下游行走时，他们的目光落在了河中央突出的石块上，他们忽然想到自己可以在河边找到许多石头放到河中去，这样就可以让河流变成一个浅滩，可以有更多踏脚的石头，他们的思想大大跨越了一步。因此他们在河岸边收集大石头并把它们放到河里去，结果就建成了第一个桥墩。一段时间后，或许是在雨季，人们发现这些石头快被水淹没了，然后他们记起了他们的原木梁，并把它们放到石头与石头的中间，于是人类建成了第一座用石头做桥墩的多跨桥。一旦人们学会了建造两跨桥，就可以轻易地重复这一过程建造多跨桥。

1.4.2 鼃鼃为梁——踏步桥

爱尔兰和苏格兰之间海峡里突出的巨大天然石块被称为大堤道（Giant's Causeway），根据神话传说，它们形成了一座桥的桥墩，在史前，巨人们从这座桥上通过。

无独有偶，中国山东的蓬莱，一眼向大海望去，有许多裸露的礁石，相传就是当年东海龙王为秦始皇到东海寻找不死灵丹药时造桥留下的桥墩。因为龙王为秦始皇造了桥，皇帝想面见龙王，但龙王有言在先，自己比较丑陋，绝对不许画像传入人间，秦始皇食言，偷偷让画师画了龙王的像，龙王大怒，一时间狂风大作，桥梁被风浪卷去，无影无踪，只留下这些巨型的桥墩了。神话告诉人类，既要利用自然，又要按自然规律办事。

据《考工典拾遗》记载，在公元前2286年，“舜命禹疏川奠岳，济巨海，鼃鼃以为梁”。《竹书纪年》载，“周穆王三十七年（公元前965年）伐楚，大起九师，东至九江，架鼃鼃以为梁”。这两处记载均表明古人在跨越大海巨川时，常常聚集鼃鼃作为桥梁，鼃鼃是个什么东西呢？鼃是一种特别巨大的乌龟，卵大如鸭子，每次产一二百枚；鼃是爬虫类，性贪睡，潜在水中好像砾石。自然形成的浅滩溪涧中露出水面的大石块，就如一个又一个露在水面的乌龟背，古人形象地将它们称为鼃鼃。远古人类为了过河，用大小砾石在水中筑起一个接一个的石凳，形成一座踏步桥，这就是“鼃鼃以为梁”的来由，现代人将其称为踏步桥（图1.13）。筑桥的材料除石块外，还可以依据建桥地区的材料，采用草、苇、土甚至盐等。在不少山区至今还有这种古老桥式，如浙江泰顺县通过仕阳溪的双层踏步桥，较高的石块踏步供挑肩的人行走，低的供一般人通行，布置合理，非常人性化。在踏步桥的基础上，人们为了改善通行条件，将简单梁桥与踏步桥的理念结合起来，在踏步间架设木梁，这就形成了多跨桥，有了桥墩和梁的概念，人们可以开始在宽阔的河流上架设桥梁了。



图1.13 鸿尾溪源踏步桥