

第一章 现代桥需要科学地对待

1.1 古代桥和现代桥

就功能讲 桥只是驮着路、跨越洼地 保持住路的功能连续不断的一种设施。桥 它是服从于路的需要的。在历史上 路是从小路、大路 再发展为铁路、公路及现代城市街道的 它的功能则是从通行人、畜、大车(非机动车)再发展为通行火车、汽车的。所能跨越的洼地 其初是小沟、小河 进而为中等河流 然后发展到大河、峡谷、海峡、海湾 乃至其他线路。

就需要讲,这就要联系到社会的发展来讲。在封建制社会,小封建主为了保护其领地不受别人侵犯,对于路和桥的建造,并无兴趣。大国则为巩固其统制和商旅贸易(当时的贸易只是为了少数富贵人家服务,商品主要是丝绸、瓷器、珠宝、饮食珍品等),那才需要大路,以及当时所能兴建的桥。从资本主义社会开始 市场经济兴起 货物及旅客的交通量急剧增加。从 19 世纪起 兴建了不少铁路 在 20 世纪 又发展了各级公路 于是 为了铁路和公路的畅通 桥方才大量地兴建。

关于造桥的可能和其实施,这又不得不联系到全社会的文明程度,以及社会分工。在封建制社会及其以前,所能供应的材料,曾经长期地限于天然材料(例如 木材和石材)后来则有铸铁和熟铁 工艺则是靠人工操作 造桥的知识仍是处在经验积累阶段;当时,社会分工较为简单,每一座桥的兴建总是交由一名匠人去总管,造桥所需的财力是由公家或私人负担,而造桥所用时间则有时被拖得很长。从资本主义社会开始,材料逐步地改为混凝土和钢材,工艺也不断改进;自然科学 包含力学在内 迅速发展 经验上升为各种理论 出现了设计和施工规范 桥梁与其相邻工程学科互相渗透、互相促进、得到提高 设计和施工一般地分属于两个单位 随后又出现了监理 财力一般由社会负担 业主应负责筹款 并选择设计、施工和监理单位;而造桥时间一般可以按计划办理。

就每一具体的桥的成就讲,主要是看它对当时社会所能提供的资源的利用,是否充分。还应注意到:业主或决策人的主观意图,设计者的业务水平和偏见,往往在历史名桥上留下了各种烙印,使它们一般地并非十全十美。

古代桥的主要特点是凭借经验(或称之为萌芽阶段的科技)办事。现代桥的主要特点则是依靠科学(指达到较高水平,且仍在发展之中的系统的科技)。在当今,我们所讲的桥都是现代桥。要将一座现代桥造得好,必须对它的各个方面

(桥渡、桥式、设计、施工、质量乃至造桥的人)都科学地对待。

1.2 现代桥在国外的的发展

兴建铁路,曾经对现代桥的出现起了促进作用。一方面,铁路列车重量不断增长(至20世纪40年代方才稳定下来),对桥的承载能力有更高的要求;另一方面,铁路必须全线畅通方才有巨大经济效益。所以,桥梁的工期必需短,并要求其在同时完成。在其初期,曾用木桥(特别是在俄国、美国等森林资源丰富国家)石拱桥、铸铁梁或拱、熟铁桥来应付,曾经出了不少事故。到19世纪80年代,钢桥在铁路上的地位方才奠定。到20世纪30年代,用混凝土桥在中小跨度领域代替钢桥的趋势,方才形成。在20世纪50年代之后,公路交通有很大发展。汽车的重量比铁路列车为轻,没有轨道所要求的桥面宽度较大,而公路所需通达的区域又比铁路为宽广。因此柔性较大的大跨公路桥、平面形状特殊的城市桥(或则曲率半径小,或则桥墩位置不规则)因数量众多而需其经济并耐久的中小跨度公路桥,应运而生。

事物的发展总是不平衡的。有些国家暂时走在前面,随后就停滞了。有些富裕的国家有所偏好,长期坚持,不想改变,在某些方面便落后了。另一些后进的小国结合其具体条件,对某些问题下功夫钻研,取得重要进展,但因传播区域不宽广,容易被人忽略。惟有博学深思,才能科学地对待它们。

1.2.1 欧洲的巨大成就及其创新

(1)在重型钢梁和钢拱方面

在19世纪,大英帝国业已成为世界最富最强的殖民国家。世界第一条铁路是在她的国内兴建。铸铁、熟铁、结构钢基本上是最先从她这里批量供应。在1880年之前,许多新型桥的设计依据还是依靠模型试验的结果。1847年5月,其Dee河桥垮塌。这是 3×29.9 m简支的双柱式桁梁,上弦是铸铁梁段,下弦是熟铁。失事后经专家讨论,曾将失事原因归咎于列车冲击力。在事隔若干年之后,大家才比较一致地认为:该桥的上弦在成桥时便因当时工艺水平而有初始旁弯,其垮塌当是由于上弦失稳。其后,英国便有不少成功的例子。本书现用“重型”一词,泛指其活荷载及自重都较大者。

钢实腹梁在1845年,铁路熟铁梁桥最大跨度只是9.6 m。但在不列坦尼亚却有建造 $70 \text{ m} + 2 \times 140 \text{ m} + 70 \text{ m}$ 连续梁桥的需要。设计人只好根据模型试验,决定给每一线铁路建造一根巨大的矩形钢管,让火车从管中行驶。使用的是熟铁板材和角铁,铆接。从试验中发现:板在其面内受到压应力时会鼓曲失稳(局部失稳),于是设置了不少加劲肋。1850年建成了这一座史无前例的箱管桥。因其很成功,潜在的超载能力很强(实际行驶的列车重量曾达其设计值的12倍),随后在另一些铁路上也建造了几座。直到1970年5月23日在该桥

成功运营 120 年之时，有两个小伙子偷偷地进入该桥箱管内，放了一把火，将注有防腐油的木枕烧着，该桥因此而毁坏报废。只因箱管桥用料过多，它还是早就被淘汰了。但因在兴建它们时所做的许多模型试验证明了实腹铁板梁承载能力可靠 在结构钢于 1877 年在英国开禁之后（注 因为结构钢的延性在其开始生产的年代不如熟铁，英国曾一度禁止铁路桥使用结构钢），铁路钢板梁桥就被广泛应用起来。^{[2]:3}

钢桁架梁 桁架梁比实腹梁省料，这是容易理解的。1859 年 英国建成了 Saltash 桥 在其基础中开始引用了圆管形气压沉箱 跨度为 $2 \times 138.6 \text{ m}$ 简支的桁架梁。上弦用拱形的椭圆状铸铁管，下弦用悬索形状的熟铁板，让拱的推力和悬索的拉力平衡；在上弦和下弦之间则用交叉式铁腹杆相连。这桥至今健在。1890 年，英国建成了福思海峡双线铁路桥；用气压沉箱基础。这是钢的悬臂静定桁架梁 分跨为 $208.7 \text{ m} + 44.2 \text{ m}$ （塔）+ $521.3 \text{ m} + 61.0 \text{ m}$ （塔）+ $521.3 \text{ m} + 44.2 \text{ m}$ （塔）+ 208.4 m 。荷载 活荷载 风荷载 是给定的 杆的内力是用计算理论求出的，杆的强度也是给定的，连接全用铆钉，施工采用悬臂安装法。在这几个方面 它已经具备了现代桥的特点。可以认为 在这个时期 即 1890 年前后），现代桥确实是诞生了。^{[2]:4-5}

钢桁架拱 1932 年，澳大利亚在悉尼港建成了一座活载及自重都很大的钢拱桥 跨度 503 m 。使用了英国人的设计、钢材和施工技术。^{[2]:8-9}

（2）在轻型钢箱梁方面

20 世纪 50 年代，联邦德国的桥梁因第二次世界大战而被毁者有几千座，亟需恢复。钢材紧缺，技术工人工资低廉。这时，出现了用钢正交异性板做桥面，并让桥面充当矩形钢箱梁上翼缘的轻型桥。1951 年的杜塞尔多夫——诺伊思桥是一著名例子 主跨 206 m 。这种钢箱梁，优点是自重轻。但对于大跨度梁桥，因为梁的弯矩过大、翼缘板将过厚，并不合适（这种梁现今的世界最大跨度是 300 m ）。^{[1]:131-132} 现在，主要是将它用作悬索桥的加劲梁和斜拉桥的刚性梁。

（3）钢筋混凝土梁和拱

小跨度梁数目众多 需要其经济耐久 大致从 20 世纪 20~30 年代开始 钢筋混凝土梁已经在小跨度范围逐步取代钢梁（工字梁及板梁）。对于大跨度，钢筋混凝土拱则是一重要的桥式。1930 年，法国在普卢加斯泰勒的埃隆河上，建成一座三跨上承拱桥 净跨均 171.7 m 双层 上层为车道宽 6.0 m 的公路、下层为单线轨道）拱均用箱形截面 只用一套支架 系杆拱式木支架 轮流灌注各该拱。1939 年，西班牙在内战所造成的物资匮乏条件下，建成了埃斯那上承拱桥，双线铁路 净跨 192.4 m 。^{[1]:125-126} 在 1943 年 瑞典建成桑独桥 跨度 264 m 是一公路桥 原是用系杆拱式木支架 但因受湿而强度降低 在 1939 年坍塌 以致延误了工期。^{[1]:134}

（4）预应力混凝土梁类桥

1946~1950年法国在马恩河上接连修建了5座预应力混凝土刚架桥。梁段均预制在用力筋串连后吊装就位，跨度均在74m左右。^{[1]:134}1952年德国用悬臂灌注法修建了有铰的预应力混凝土三跨刚架桥（沃尔姆斯桥），主跨达114.2m。^{[1]:157}1998年挪威建成了New Stolma公路桥，预应力混凝土直腿连续刚架，主跨达301m，这是当今世界混凝土梁类桥之最。^{[3]:224}

(5)斜拉桥

1955年在瑞典修建了世界第一座斜拉桥，主跨183m。对于梁类桥由于跨度过大而不适于采用的场合，这种桥很有优势。1995年法国的诺曼底桥建成，其斜拉桥的主跨达856m，为现今世界第二。^{[3]:221}

(6)悬索桥

在第二次世界大战之后，公路交通飞速发展。英国因战后经济困难，直到1964年和1966年，方才建成了福思和塞文两座悬索桥（跨度分别是1006m和988m）。在其中引进了焊接、高强栓纵连（将栓身置在顺杆件方向，凭栓的预拉力使杆件接头在顶紧面上产生预压力，提高杆件接头对弯矩的抗力，且省去拼板）及预应力技术。并且让塞文桥采用钢扁箱加劲梁，减轻了风的静压力，提高了它在风致振动下的稳定性。在改善悬索桥的经济指标方面作出了巨大贡献。1998年丹麦建成了大贝耳特东桥（悬索桥）主跨1624m，让其钢扁箱加劲梁三跨连续，并在加劲梁两端各置一对纵向水平缓冲千斤顶。对于提高桥的运营质量，这又是一重要贡献。^{[3]:220}

(7)各种理论及设计规范

桥梁基本计算的理论（包含桁架的杆力分析、梁的各种应力、连续梁、拱、悬索桥及斜拉桥的内力分析，桁架因节点刚性所致的二次应力，考虑大缆变形二次影响的悬索桥分析、正交异性板内力分析等）都是在19世纪中叶之后在欧洲开创起来的。随后在20世纪60年代，欧洲钢结构协会ECCS组织了钢压杆试验（一千多根），确立了钢压杆承载能力理论。70年代，英国使用动态松弛法，计算了板件在各种面内作用力之下的承载能力。70~80年代英国出齐了桥梁规范BS5400（共10篇）。一方面，这是全世界第一部采用极限状态法的桥梁设规；另一方面，给出了从活载谱推算应力谱、直至进行疲劳验算的基本方法。在80~90年代，英国又对正交异性板的疲劳做了试验，提出了有价值的报告。

1.2.2 北美洲的重大贡献

美国是一个年轻的大国，其文明来自欧洲。国土辽阔、人口相当多、物产丰富、海上交通便利，其发展是很快的。1861~1865年在美国曾发生南北战争，代表资本主义的北方胜利了。于是其工业化乃大踏步前进。在造桥方面，英国Rankine, WJM所编的《应用力学手册》、《实用土木工程手册》等书对当时的美国真是“雪中送炭”。到1896年，美国的工业产值跃为世界第一。美国人的闯劲很

大 敢想敢干 在许多方面都要在当时的全世界争个“第一”。另外 其市场机制发育得较为完备 精打细算 在桥梁施工期间 虽然桥还不能提供经济效益 但对投资者所已投入的资金必须付给利息。因此，其造桥所用的工期较短。

(1) 钢桁梁桥

北美洲确是取得了三个在跨度方面的当时世界第一。简支梁，这是 1916 年，在美国伊利诺州密特罗普利斯建成的跨度 219.5 m 的铁路桥。连续梁，这是 1917 年 在美国俄亥俄州的塞欧托维尔桥 跨度为 2×236.3 m 的铁路桥。悬臂静定桁梁 这是 1918 年 在加拿大建成的魁北克桥 主跨 548.6 m 需要指出：在 1914~1918 年 第一次世界大战在欧洲剧烈地进行 而在这次大战的前三年 美国保持中立。其财力所以丰裕，盖亦与此有关。

(2) 钢拱桥

1916 年 美国在纽约建成了鬼门钢拱桥 四线铁路 跨度 298 m。^{[2]:6} 因其活载巨大，这确是一巨大成就。但在获悉英国在澳大利亚所建的跨度 503 m 的悉尼港钢拱桥将于 1932 年开通之后，美国就迫不急待地在贝永修建了一座公路钢拱桥 跨度 503.6 m (仅是比悉尼桥多出 25 in) 并是赶在 1931 年开通。从其荷载显然较轻、架桥显然较易 (可在水中建一临时墩架 使伸臂长度大为减短) 并 它在技术上的建树并不大。

(3) 悬索桥

美国有不少河流、港湾需要建设大跨桥。他们早就看中了悬索桥。在 1855 年 就在尼亚加拉河上 用石砌的塔、木桁加劲梁、熟铁丝大缆 辅以斜拉索 因陋就简 建成一跨度 250 m 的悬索桥。^{[1]:128} 据称该桥造价只是当时用欧洲桥式样者的 $1/10$ ，但也能通行总重 368 t 的铁路列车 (机车重 28 t)。1883 年 建成了举世闻名、至今仍在使用的布鲁克林悬索桥，主跨 487 m。20 世纪初期 他们将欧洲悬索桥理论 (考虑大缆变形者) 实用化，完全掌握了悬索桥承受静荷载的行为。于是 1931 年 建成了华盛顿桥 主跨超过 1 000 m 达 1 067 m)。1940 年虽然发生了塔可马桥风振致毁事故 (见本书 4.3.2)，但在用风洞试验及理论初步查明原因之后 1950 年重建了该桥。1964 年，又建成了韦拉扎诺桥，主跨 1 298 m。可以说 从 1883 年算起，全世界在大跨悬索桥领域内，美国独占鳌头者有 80 多年 (英国 1964 年建成的福思桥方才打破了美国垄断地位)，其世界跨度第一的纪录则保持了将近 100 年 (到 20 世纪 80 年代，才被英国亨伯河桥 1 410 m 所超过)。

(4) 在混凝土用于桥梁方面

在相当长时间内，北美洲只将钢筋混凝土用于小跨度梁；偶尔用于拱桥，也只是在现今视为中等跨度的范围内 (例如，100 m)。在第二次世界大战之后，美籍华人林同炎到欧洲去考察预应力混凝土的实用及研究情况。从 50 年代开始，在美国提倡 并有创新。到目前为止 梁类桥跨度 250 m 斜拉桥之用混凝土梁者

跨度400 m¹弱)其用结合梁者跨度达465 m,便是北美洲的最高记录。

(5)在试验研究和设计规范方面

在1909~1933年,曾两次组织大型钢压杆试验,肯定了“正割公式”在20世纪40~60年代,曾对轧制及焊接钢压杆残余应力进行了量测,提出了一个只考虑残余应力的压杆稳定理论;70年代,接受了欧洲钢结构协会所提倡的钢压杆承载力理论,进行了计算,提出了自己的规范条文。40~50年代,一则因塔可马悬索桥风毁事故进行了风洞试验和风振理论研究,提出一套解决方案,为1964年的韦拉扎诺桥和1998年建成的日本明石大桥抗风设计奠定了基础;再则为焊接船舶脆断问题进行了不少试验研究,提出了用夏比试件(V形缺口)的冲击能量来检验钢的脆断性能。60~70年代,用长度3 m左右的焊接梁进行了500多根疲劳试验,证实了:①钢号对疲劳强度的影响很小;②焊接构造的疲劳强度指标乃是 σ_R [每一应力循环中的应力差值,见式(9-10)]。1994年,用极限状态观点制订了一套适用于公路桥的设计规范(与老规范平行使用)。

1.2.3 日本的成就

日本是一个岛国。人口较多(约1.24亿人)资源匮乏。1868年,明治天皇方才有了实权,进行维新,实行军国主义,以掠夺邻国财富并占领其土地为务。对于本国之内的交通建设,铁路是用窄轨,公路的车道宽度也窄。1945年,在第二次世界大战结束时,是战败国,被美国占领。但在美国的扶植下,在美国侵朝、侵越的战争中发了横财。到1968年,其国民生产总值一跃而为资本主义世界第二,仅次于美国;而在前苏联解体之后,日本在全世界就是第二。在交通建设方面,修建了2000 km以上的客运专用铁路(称为“新干线”,采用标准轨距)和5000 km以上的高速公路。就桥梁技术讲,主要是按美国的思路,只是在细节方面有增益。从20世纪70年代以来,由于其财力充沛,且政府对市场的控制很紧,似乎存在着三个“不在乎”:

(1)不在乎线路偏多

例如,其本州四国联络桥,一共修建了三条,且在其中央一条之上,客运专用铁路有4线(暂铺2线),但是桥和路都是为了交通运输(属于服务性质,第三产业)而四国岛人口仅425万人。不知这三条联络桥,到什么时候才能取得重大经济效益?

(2)不在乎用钢偏多

在20世纪70年代,自称每年用于造桥的钢为50万t。不知其是否全属必要?

(3)不在乎工期较长

每座悬索桥的工期动辄是8年至10年。同别的国家相比,不免是多了一些。就基本国情讲,日本的国民生产总值是我国的4倍,而人口数目则是我国的

1/10。他们有这样一些“不在乎”，是负担得起的。对我国讲，则千万要慎重。

主要成就是：

(1) 悬索桥

数目有十几座。其构造主要是：用加劲钢桁梁、正交异性板钢桥面、预制平行丝股的大缆、钢塔、块体结构的锚碇。1998年所建成的明石海峡大桥主跨1991 m，是现今世界第一。

(2) 斜拉桥

跨度300 m以上者的数量有十多座。1999年建成的多多罗大桥，主跨890 m，这是现今世界斜拉桥的第一。

(3) 钢桁梁桥

1974年建成的港大桥主跨510 m是现今世界悬臂桁梁桥跨度第三。1991年建成的生月桥主跨400 m，是现今世界连续桁梁桥的第一。

(4) 钢箱梁和混凝土箱梁桥

数目相当多。其跨度都是不大于250 m。

(5) 各种技术成就

在抗风方面，曾为明石大桥进行了全桥风洞试验，并为它配备了抑振装置。在抗地震、抗海水冲刷以及海上施工方面有不少经验。在控制施工误差方面，也创造了不少纪录。

1.3 我国在 20 世纪的现代桥

1.3.1 奠 基

奠基就是指在一片空白条件下提出一座现代桥设计组织人力物力将它建成并保证其安全、适用、经济、美观同时还要带出一批造桥人由他们来完成随后更多的现代桥。

我国的现代桥奠基工作，是由茅以升先生和他的同事们完成的。他们在1937年建成了钱塘江一桥。其主桥的基础都落到基岩。主桥为 16×65.84 m简支钢桁梁双层上层为公路下层为单线铁路。施工仅用两年半时间。在1991年建成钱塘江二桥之前在54年之中除战争将它破坏之外它一直单独担负着这里繁重的运输任务。

而茅先生在钱塘江桥工程处、交通部桥梁设计工程处、中国桥梁公司的同事和后辈，以及他在高等学校所教过的学生们，则在建设我国的武汉大桥、南京大桥、九江大桥以及公路桥乃至从事教学和科研、译介国外资料、培养造桥接班人的宏伟事业中发挥了重要作用（见附录一）

1.3.2 发 展

在钱塘江一桥建成的那一年(1937年)抗日战争开始 接着便是解放战争。1949年 中华人民共和国成立 在“一穷二白”的基础上进行建设。穷 表现在钢材全部依赖进口 森林资源不丰富、木材必须节约 水泥产量也不多 在当时也应该节省。白,表现在为数不多的技术人员虽然有些书本知识,但并不丰富;其多数还缺乏生产经验,不能立即发挥很大作用。但是,经过 50 多年的艰苦奋斗 局面业已大为改观。在钢铁和水泥年产量方面,我国已成为世界第一。在桥梁方面 也取得了很大成绩 积累了不少经验。

(1)桥渡设计

已经注意到不同的河段有不同的表现。必须注意桥位选择,对于桥孔大小、桥面高程、基础埋深、跨度大小、飘浮物及流冰撞击 均应妥善处理。

(2)桥梁基础

已经掌握了许多基础设计和施工方法。浅平基、沉井、沉箱、打入桩、钻孔桩、管柱、各种围堰(钢板桩围堰、双壁钢围堰)都能有效地使用。

(3)钢桁梁

九江长江桥 其主桥为 180 m + 216 m + 180 m 连续钢桁梁 用牛腿及柔拱加强 荷载为公铁两用 业已在 1995 年建成通车。

(4)拱桥

混凝土拱桥用转体法施工者 净跨达 200 m 其施工设备十分轻便 在桁拱两端接以预应力混凝土桁臂者 用料十分节约 跨度达 330 m 其以劲性骨架法施工者 跨度达 420 m 成为当今世界之最。钢拱桥因其耗钢量大,在我国曾长期未予发展 但 2003 年开通的上海卢浦大桥 跨度达 550 m 立即为世界第一 而钢管混凝土桥则跨度已达 360 m。

(5)斜拉桥和悬索桥

公路斜拉桥,2001 年建成的南京长江二桥跨度 628 m,名列世界第三。公铁两用的重载斜拉桥 2000 年在芜湖完成 跨过长江 跨度为 312 m。悬索桥,1999 年建成的江阴长江公路桥 跨长 1 385 m,名列世界第四 而在建的润扬长江大桥 跨度 1 490 m 行将为世界第三(预期 2005 年建成)。

(6)混凝土梁类桥

铁路桥简支梁跨度达 64 m 连续梁跨度达 104 m 连续刚架跨度达 168 m(攀枝花市金沙江桥);只因它只能用于上承桥,无法普遍推广。公路桥连续梁跨度已达 165 m 连续刚架跨度达 265 m 及 270 m。虽然我国的钢产量业已世界第一,但从经济上考虑 提倡混凝土 并在施工中保证其质量及耐久性 仍是正确的。

(7)高墩

铁路桥墩的高度已达 110 m;设计和施工的主要问题业已解决。

1.3.3 所存在的问题

(1) 总的理论水平不高，缺乏系列的桥梁专著

就单项指标或对某一研究的深度讲，在世界范围内可以认为并无逊色。但是，对于桥梁总体，或其某一重大问题的研究，至今深孚众望的学术专著还是比较少，也缺乏权威性见解。在许多评审会议上，评审人对所涉及的问题时常缺乏深刻认识，不能抓住要害，认真讨论。对于桥梁事故，时常是“大事化小，小事化了”，很少能科学对待，认真总结。对于已完成的桥，即使明显地有值得改进之处，一般都不再深究，领导层往往只想到歌颂成就，形成欢乐气氛，似乎缺乏鼓励大家在技术上精益求精、争取更上一层楼的思想。

对于设计和施工规范，只是将就着使用。对于极限状态观点、数理统计观点，结构可靠度理论，在工程界至今还未形成某些应有的基本的共识。

(2) 缺乏通才和全才，经济建设仍处在粗放型阶段

工科大学毕业生（包含研究生）出学校，往往就担任设计工作，有一些则是在不同岗位，勘测、施工，锻炼了几年，再调到设计单位的。由于新技术、新理论不断涌现，国内还没有什么图书或期刊能进行正确的介绍，设计单位如若缺乏足够的经验、见识和进行探索的韧劲，对于新事物就只能停留于肤浅的理解。因此，在设计书所提的方案比较中，时常将某些有现实可行性的重要方案漏掉；对各方案的优缺点很难讲到点子上，对施工中的风险及对策时常缺乏深入考虑。不讲求经济效益。业主则往往提一些空泛的口号，企图鼓舞士气。

(3) 缺乏有竞争力的工程实体

在经济全球化的大形势下，工程承包单位必须“走出去”。这就要有竞争力。为了有竞争力，不仅技术人员需兼具其它知识（法律、外语、国际知识）还需有其他人员配合（涉外商务、法律等），为树立国家形象，我们只能凭技术高超、经济实惠、诚信服务，同外国承包者竞争。不能走歪门邪道。这是艰巨的。但因这是国家和人民的利益所在，我们又必须克服困难，努力做到。

1.3.4 三点建议

我国桥梁方面所存在的问题，是在经济快速发展、知识来不及系统化、人才供应赶不上的情况下所难于避免的。若要克服这些缺点，似仍应抓住根本，坚持一段时间，方能奏效。爰提建议三点如下。

(1) 广积信息，提高业务水平，计划编写若干部桥梁专著

这是对有志于做专家的广大技术人员讲的。主要内容是三点。

收集国外有用信息，应该承认：尽管我国的桥梁事业已经很有成绩，但国外现代桥值得我们学习的有用知识仍然很多。在刊物上，在学会论文集里，虽然有报道，但一般是皮相之谈。对我们更为有用的，应是第一手资料，例如，工程主要

当事人所讲的实况或心得，实验研究单位的原始报告，专家应对重大问题的各种方法。对广大技术人员（包括情报人员）讲，这是不容易得到的。但我们应该认识其重要性，向有关方面反映（争取选派技术人员出国，在外国公司内工作一段时间）。读书或见闻，可以不求其多，但必需注意其为有用的（包含其在培养自己阅读和交流能力方面为有用者），这是广积信息的一条原则。

重视技术档案的完整性 在档案内，除了设计书、设计图、施工图、竣工文件、竣工图，应该齐备之外，还应该载明重大决策的主要理由（要有关键人物的原话，不宜只保存记录人员的笔记）。对于重大变更设计、重大工程措施、各种事故，都应有准确记录，并有原始文件作证。施工场地布置，机具、材料情况（原始证明、强度等试验报告），委托加工构件情况，均应将有关文件分类保存。如果档案有遗漏，这是无法弥补的。以往由于技术人员少，一座桥刚建好，其主要负责人就被调去担任另一座桥的领导。平时该归档的文件没有归档，这就容易散失。希望订个制度，写明应归档的文件名称，应该由哪一级的主管负责其归档事宜，让档案人员可以据之以催，借使信息较为完整，后人可用以编写出符合事实的各桥总结和各桥史实（见附录二）。

编写大量的有价值的论文和总结，并择优输入计算机 这是指述评（对国内外成就的介绍及评价）总结（对国内各大桥、或某一方面）论文（介绍个人的研究、心得、体会或见解者），这都是公开发表的。对于繁荣学术，为亟需解决生产所遇问题者提供技术支援，为培养新一代人才，这都是不可缺少的。对于撰写专著，这也是其前期工作。为了扩大交流范围，应该择优输入计算机，逐步做到信息共享。希望这一工作得到各方面各级领导支持，使其能够实现。

(2) 找出大事 议论关键 求得共识

对于能参与决策的智囊型干部，这些工作尤其重要。

找出大事 大事，指影响深远的事。例如，为了跟上世界形势，应该将其内容许应力法的桥梁设计规范改为用极限状态法者。否则，我国的工程实体是很难昂首阔步、“走出去”的。又如，为了培养工程博士，能不能将某些既有的非常著名的大桥让他们来“优化”，用当前的各种新技术来变更原设计，算出其技术经济指标，论证其可行性，写成论文，在学会中宣读、讨论。可以认为：尽管这些名桥曾是院士、大师所经手，但院士、大师的学术、思想并不是凝滞的；为适应早先情况而作出的决定，也需与时俱进，不断提高。这项工作好比是军事演习，对于总结经验、培养人才、提高桥梁总体水平和竞争力，十分必要。

议论关键 对于一些大事的停滞不前，应该下功夫找出其关键所在，认真解决。例如，在桥梁设计规范修订方面，关键问题是不是没有抓住新观点、没有让新观点被广大技术人员所接受、所支持，没有讲明白新设计规范与老设计规范的关系（主要是继承，在必要处更新），以致新规范 and 老规范总是处于分离的对立状态？什么是关键问题，应该找专家议论清楚，提出一个初步的解决方

案，在领导层的意见基本统一之后再交付广大群众议论。真理可以越辩越明，而这一个过程则是无法躲避的。

求得共识 为了发动多数人，齐心协力地办好一件大事，必需让大家有共识。为了赢得社会支持，还需要社会与我们有共识。在要求智囊型干部提出好主意之前，一定要发动群众议论关键，让群众在正确观点上有共识，使干部感受得到。

(3)重视知识、重视人才 提倡民主、科学决策

对于各级领导和决策者讲，这是极端重要的。就实践“三个代表”重要思想讲，这是一项必须贯彻的根本要求。

重视知识 有益于学术繁荣的事，其只靠群众的努力不易办到的（例如，购置国外专业有用图书、举办跨行业学术交流、改善资料工作；又如，对于年老，但有学识、有经验 愿意写书 而亟需有助手者）领导只需支持一下 知识界就可受到实惠了。对于繁荣学术，这是很有益的。

人才 需要合理培养、选拔、任用 领导要具有慧眼 依靠群众 在青年中选好苗子，有计划地放在不同岗位锻炼并培养，然后，通过考察，按程序委以重任。为了培养数目众多的桥梁专家、桥梁通才和全才、组成有竞争力的工程实体，这个“十年生聚、十年教训”的精神是少不了的。人才，一般是各有所长 而且 其长处还总在不断变化。其所在单位应该给每一位人才保存一份齐全的技术档案，载明其各项技术成就，在自己使用外，还可提供给需用单位参考；这样，在任用或聘请人才时就可以减少盲目性了。

提倡民主、科学决策 这两者的关系非常密切对于决策者讲，尤其重要。决策者对于主办单位的领导若有任命权，一定要选用最适当的人去充当，并让他提出最好的方案，还要他能接受正确意见、不断改进，不断提高。对于主办单位所提方案，决策者可以邀人评审或咨询，形成一个建议，再据之作决定。民主，体现于所邀的专家是称职的、负责的、有代表性的，讨论是认真的。科学决策，体现为实事求是；在现实可行的较好方案中选出其最优（the most better one）而不是企图一个无懈可击的最优（the best one）。决策者毕竟最终负责人，他可以在听取智囊型干部意见后，自行作决定，也可以委托评审或咨询人员代为作决定。重要的，是遵循科学规律，不掺杂个人感情。在历史上，清朝的康熙帝总的讲来算得上是英明的，然而也有决策失误之处。在其纪元 16 年 任命靳辅为河道总督，任务是：既应减轻黄河决口所造成的水灾，也应保证运河不因黄河挟泥沙侵入而淤高，以致断航。靳辅随即用减水坝以削弱黄河洪峰，并整治堤防，颇见成效。但在 23 年，康熙帝却叫靳辅为治黄提出一个“一劳永逸”之计。这是一个不合科学的想法，因为在当时的物质条件下，根本无法做到。在 24~27 年 对于运河在高邮、宝应段所形成的湖水、在洪水时如何疏导入海问题一事上，靳辅主张给减水河修建河堤，但另一派以“天下廉吏第一”、巡抚于成龙为首的则主张仅疏

浚其入海口。朝廷大臣分成两派，康熙帝让他们辩论。但辩论最终流为互相攻讦。于成龙甚至讲“河道已为靳辅大坏”江南百姓恨靳辅，欲食其肉。康熙帝业已从双方辩论中知道于成龙的确不懂河务。但是他仍然认为靳辅“浮躁”，且在堵塞减水坝一事上同康熙帝意见不同。在 27 年将靳辅革职。^{[4]:516~538} 这便造成了一个既不民主、又不科学，感情用事的后果。这事似可引以为鉴。随着发展，人才增多了，制度必然要创新。主办单位领导人的任命，决策人很有可能无权过问。但民主和科学，这两个在 1919 年五四运动时期从先进国家所拿来的法宝，我们一定要学会、用好，让它发挥巨大作用，让我们的决策更接近于正确。

参 考 文 献

- [1] 钱冬生，钱冬生教育及桥梁文集，北京：中国铁道出版社，1991。
- [2] 钱冬生，夏建国，铁路钢桥——设计和制造，成都：西南交通大学出版社，1994。
- [3] 铁道部建设司，铁路工程建设科技动态报告文集·2002 铁路桥梁工程分册，北京：人民交通出版社，2002。
- [4] 白寿彝总主编，周远廉，孙文良主编，中国通史第十卷·中古时代·清时期（下），上海：人民出版社，1996。

第二章 桥 渡 设 计

对桥渡的要求是：安全排泄洪水（包括水中飘浮物、流木、流冰等）；②通航或通筏。

桥渡设计的内容包括：

决定桥位——河岸，主河槽要尽可能稳定；水流方向也要尽可能稳定；还应远离不良地质之处。

决定孔径——孔径是指桥下泄洪时各个净跨度之和；若孔径过小，则桥头路堤及桥台、锥形护坡将浸于洪水中，易被冲断，形成水害。同时，在其上游将形成较高的拥水，对当地形成灾害。

决定主要跨度——考虑通航、通筏、流冰、各种飘浮物通过的需要，不让它们被桥墩挡住。

决定梁底高程——考虑通航、通筏安全，不让流冰、飘浮物触及梁部，以致将梁推落。

决定桥墩基础埋深——保证桥墩安全。

决定导治结构物——当孔径较小时，设导流堤，将河滩的水流导入桥孔。当河岸和桥头路堤易受冲刷时，设护岸、挑水坝或顺坝，以资保护。当河床易被冲刷时，设护底。

河流的特性，可以分为河段来描述。对于不同性质的河段，桥渡设计各有特点。从上游往下，按地形可以分为山区，山前区，平原区和滨海区。在每区之中，河段各有不同的表现。今且由上而下，在 2.1 至 2.4 举例说明之。

2.1 宝天、宝成、成昆三条线的山区和山前区河段

山区河段有峡谷段和开阔段两种，另有泥石流。这三条线的山前区只限于成昆线成都至峨眉之间，河流流出峡谷，河床突然变宽，但成股的水流速度大，洪水所挟带的大小卵石滚动前进，造成冲刷；这属于山前区变迁型河段。

2.1.1 山区河段

宝天铁路开始兴建于 1942 年。限于当时的财力及技术条件，孔径一般偏小，桥梁只用小跨，且尽量用泄水洞及涵洞代替小桥。宝成铁路建于 1953～1956 年，技术人员对于山区河流的特点还缺乏认识。于是：①桥位每不与水流正交，误认为导流堤能随人们的意图改变水流方向；②凭有限资料所推出的计算

洪水流量偏小，误将孔径订得过小；③对于山区河流流速高、飘浮物多、拥水高度大、考虑得不够，将梁底高程订得较低，使洪水易于将梁推走；④基础埋深较浅，使桥墩易于被洪水冲倒。

到 1965 年，成昆铁路全线施工时，吸取了过去的经验教训，提出下列原则^{[1]:453}：

桥长一般均延伸至填挖方交界处（这就加大了孔径）；

用矮桥台、小锥体护坡，或取消锥体，将桥台尾伸入挖方，或接以挡墙；

锥体护坡一般不伸入河沟之中，以免遭受冲刷。

似乎还应补充两点：①桥轴应与水流方向正交，否则，应按相交斜角增大桥下水流面积，且让桥墩墩身取圆形截面；②位于主槽内的桥墩，当用深基础。实践证明，这些原则较能适合山区情况。对于峡谷河段，完全应该这样办理。对于开阔河段，那就是在有河滩之处（洪水时，河底有砂、砾、卵石、漂石滚动处是主槽，没有这些河床质滚动之处是河滩），如果经济合理，可以在河滩上修建桥头路堤。

1981 年，这三条线以及阳平关、安康线都因特大暴雨发生洪水。宝成等线桥涵遇灾较重。宝成线断道达 61 d（8 月 21 日至 10 月 20 日），以其嘉陵江 11 号桥为例，桥全长原为 160 m，梁部为 4×32 m 钢板梁，1×12 m 混凝土梁。三个水中墩为沉井基础，圆形墩身。特大洪水（因有拥水）浸到梁的腹板 1.5 m，比历史洪水位三百年一遇高出 7 m，且挟带飘浮物，于是，3 个桥墩冲断，墩身上部倒在河中，4 孔钢梁落水被冲走；成都台后的路堤也有 3 000 m³ 被冲走。当时用万能脚手杆件及拆装梁进行抢修，仅仅这一抢修就用了 11 d。^{[1]:407} 在随后的重建工作中，将上承钢板梁全改为下承，以增加桥下净空，并且增加了 1×32 m，以扩大孔径。在宝天线，有些小桥连同路基成段地被冲走。铁道部成立了宝天、宝成铁路抢修总指挥部，管理该两线以及阳平关、安康线的抢修及重建工作。在这年抢修完成之后，对损毁桥梁重新设计，一般是加大孔径、加深基础、提高梁部，并适当调整桥位。重建工作历时 4 年，在 1985 年 12 月完成。总指挥部编写了《宝天、宝成、阳安铁路水害抢建工程技术总结汇编》，于 1987 年 3 月印行。

2.1.2 泥石流

泥石流现象具有间隙性。当它不发作时，人们会视之若无害。但当它发作时，巨砾（即大漂石）、碎石、粘土，在水的驱动下，沿着陡坡奔袭而来，破坏性极大。形成泥石流的条件，一是有巨量松散的石砾和土，二是坡度很陡（纵坡在 10% 以上），三是暴雨。仔细察看当地情况，判定泥石流的存在是不难的。

就一条泥石流的全长讲，最上是形成区，中间为流通区，下游是洪积扇沉积区。

对于巨大泥石流，在铁路选线时应该是绕避。绕避的方法，一是让线路改走

对岸，一是用隧道在泥石流之下穿过（成昆线在浮漂和莲地之间，就是用隧道穿过不少泥石流，^{[1]:473}一是修建明洞，让泥石流在洞顶之上越过（例如：成昆线大塘河明洞。^{[1]:478}若用桥跨越泥石流，跨越地点最好选在流通区，优点是沟岸稳定，无改道之虞，桥梁梁下净高与跨度较易掌握；缺点则是流速大，桥墩极容易被冲毁。其次是选在扇缘（洪积扇下边缘），这里的泥石流是强弩之末，冲击力较小；在高程方面受下游大河侵蚀基面限制，淤积速度相对较小，桥梁所需净高较易控制（例如，成昆线白沙沟及上格达桥^{[1]:474~475}）。最次是在洪积扇的中部，这里的泥石流所占宽度大，流势多变，但在地方对泥石流有规划进行综合治理的情况下，也可以做得成功。例如，成昆线黑沙河，从选线的总体考虑讲，需让桥位布置在洪积扇中部，经在其 7 条有明显沟槽处布置了 7 座桥梁，并各在桥下预留了足够的净空；由于地方上不断治理，这桥在通车后情况良好。^{[1]:476}

但成昆线利子依达桥 1981 年的巨大事故则应视为惨重教训来汲取。^{[1]:424~425}该处被判定为一古泥石流沟。流域面积有 248 km²。经在其流通区布置为一桥分跨为 32 m + 44 m + 32 m。墩高 12~15 m。用沉井基础，埋深 14 m。沟谷纵坡 10%~30%。沟内巨砾遍布，尺寸一般为 3 m，个别达 8 m。1981 年 7 月 9 日凌晨，爆发了该沟近百年来最强烈的一次泥石流。流量为 2 700 m³/s，流速达 9.9 m/s。固体物质排出量约 70 万 m³。强大泥石流挟带直径 7~8 m 巨砾奔腾而下，响声如雷。将 2 号墩撞断，相邻两梁一齐被推走，掉进该沟下游的大渡河。桥毁后不久，从昆明驶来的 442 次列车在毫无准备的情况下进入这桥。殉难的司机虽紧急刹车，但最前 6 节机车 2 节行李车 1 节客车 3 节）坠落桥下，损失惨重。事后分析，该桥在设计方面有下列缺点：桥位不正对流向，成都台为主流所顶冲；不应在主流范围内设置桥墩，只应该使用更大跨度；对于泥石流密度大（估计在该处达 2.35 t/m³），能浮托巨砾，以致对梁底高程有很高要求，未曾考虑。就工务管理讲，对于泥石流未免是麻痹大意。如果有一值班看守工看到桥已被冲毁，用紧急措施制止列车过桥，还是有可能的。在抢修通车之后，几经研究，最终还是采用绕避法，变更线路，绕至原桥址上游，用长约 1.5 km 的隧道通过这一泥石流。

2.1.3 成昆线的山前区变迁河段

峨眉县的峨眉河桥是一典型。^{[1]:405}河流从峡谷进入宽约 500~800 m 的河谷，纵坡为 0.3% 至 0.5%。砂、卵石、砾石在河谷冲积。河槽窄而浅，异常弯曲，且摆动不定。按 1958 年设计采用 4×16 m 钢筋混凝土梁。但 1959 年及 1961 年，该河均有洪水，2 号桥墩处冲刷深度达 2.9 m。经过水文复查，扩大孔径。到 1964 年，将 7×16 m 混凝土梁改为低高度，以提高梁底高程，并加强导治结构，以控制水流，保护农田。随后就未再出事。

夹江县的青衣江桥是另一典型。^{[1]:403~404}桥位是在千佛岩峡谷之下游。

1958年所定的桥位是在峡谷之下约2 km处,采用总长约550 m的三桥:主桥居中跨度为32 m者9孔,16 m者13孔,南桥及北桥分别用12 m及16 m跨度,共计7孔。1959年桥墩建成,就发现在基础处有岩石冲刷(河床为页岩,水流带着卵石刮去页岩表层),而主桥处的波浪冲击高度直漫墩顶。经将墩顶加高。在1960年将桥建成。1961年洪水,南桥桥墩冲倒一个,路基冲开缺口,北桥上游拥水淹没农田,下游河岸坍塌,河床普遍冲深。随后进行水文复查,将北桥扩孔。在1965年竣工。1966年,设计单位从水文测绘中查明了这桥有“地形水拱”现象:洪水时,河流横截面的水面不是水平线,而是在中央部分上拱,这样既增加了主桥处的波浪冲击高度,又增加了边桥所分配到的流量。1967年组织了较大规模的水文调查,认识到其各河槽是摆动不定的。1969年,设计单位对这桥的改建提出了8个方案。1970年,业主召开了这桥的改善方案鉴定会议。会议决定在现桥上游610 m处,另建新桥。新桥包含跨度64 m下承桁梁桥3孔,32 m预应力混凝土梁49孔,总长1 817 m,以取代原来总长仅550 m的三桥。基础主要用沉井及钻孔桩,部分用扩大基础。新桥于1972年6月开工,1974年8月建成。见图2-1。至今未再出现水害。

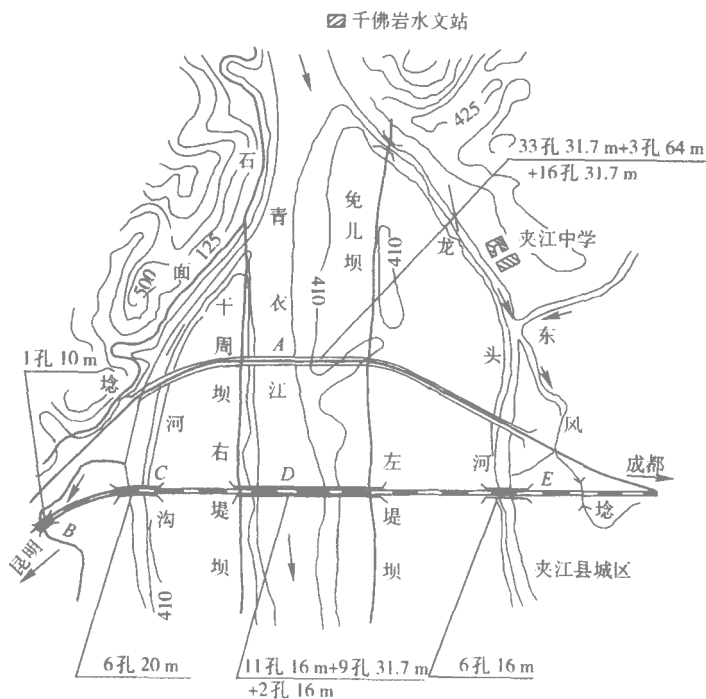


图 2-1 成昆线青衣江桥平面简图

2.2 兰新线山前区冲积扇上的三种不同河段

冲积扇上的河流,从上至下,可分三种河段:

(1) 上游狭窄河段

河道较窄，水流畅顺，河床质多为卵石或圆砾。只需一河一桥，导流及防护工程很少。造价较低，养护工作较简便。张玉段的丰乐川、洪水河、北大河，桥位都是选在这一河段。通车以来，桥渡情况一直良好。^{[1]:447}

(2) 下游收缩河段

下游每收缩为一股或几股稳定的河槽，水流平稳，河床变形小。河床质多系细砂、粉砂、淤泥互层，河滩则往往有沼化和盐碱地。桥梁基础每较复杂，河滩路堤有时需特殊处理。但能减少导治结构。张玉段的黑河桥和大沙河桥是其成功的例子。黑河的中游泛滥宽度达 6.3 km 但下游成为 5 股 经采用一河五桥方案（一座大桥 两座中桥 两座小桥 桥孔总长仅 200 m）。大沙河的中游泛滥宽度为 3.5 km 但下游汇成一股 宽 160 m），经采用一座大桥（桥孔只 100 m）跨过。通车以来，桥下河床变形微弱，运营情况良好。^{[1]:447}

(3) 中游扩散河段

泛滥宽度很大。洪水时，水流分散为一股或几股，在泛滥宽度内摆动；流速大，所挟带的砂砾也多，由此而使拥水高度、淤积厚度、冲刷深度均无法控制。设计单位每称之为宽河漫流。设桥时，一般需设长的导流堤，但导流堤越长，越易冲出决口，洪流在冲出堤的决口后直奔桥头路堤，极易造成断道。桥位选在这一河段 后患较多。张（掖）玉（门）段的马营河桥 泛滥宽度 5 km；1957 年及 1958 年的洪水均曾因导流堤及路堤被冲断而断道，桥下河床不断淤高，使人感到难于根治。^{[1]:448} 哈（密）乌（鲁木齐）段的大河沿河桥在遭受水害后，不得不拆除原桥（8×16 m 混凝土梁）改建新桥（17×16 m 混凝土梁）提高梁底高程 加强导流堤；虽然费了不少财力物力，但病害并未彻底解决。不过，哈乌段内的坎几其河桥及西柯柯亚河桥，在水害后均从一河一桥改为一河二桥，且提高桥位，扩建后的使用情况尚属良好。^{[1]:402}

2.3 京广和京沪两线北段平原区游荡河段

这种河段的特点是纵坡较大（0.12%~0.23%）洪水时含沙量也大 沙粒较细（0.1~2.0 mm）。^[3] 全宽都是主槽（河床底沙都能下移），洪水时的主溜为一股或几股，流速较大，位置则不断变化，在主溜处形成“集中冲刷”。河岸往往不稳定。一般是只在夏秋有洪水，枯水季节长。在这种河段上造桥，重要的是：让孔径较大 梁底高程较高 河岸要有防护 基础深度一般需 20 m 以上 并需与沿河水利工程相配合。

2.3.1 京广线滹沱河桥 1956 年冲倒桥墩事故^{[1]:163~166}

滹沱河在桥位处分为南北二支。由于河流业已演变为专走北支，原来的北支老桥必须改建。1954 年为北支老桥所作的设计是沉井基础，下沉 25 m 当时