

# 中国公路桥梁的技术进步与建设管理

凤懋润

(中华人民共和国交通运输部,北京 100736)

[摘要] 过去30年,伴随着经济的持续发展,中国开展了大规模的公路桥梁建设。在“自主建设,自主创新”方针指引下,桥梁建设技术实现跨越式发展,技术水平跻身于世界先进行列。与此同时,公路建设管理体制实现从行政手段到市场机制的变革,在特大型工程建设中不断探索现代工程管理模式。笔者从工程技术创新、建设项目管理和可持续发展的角度对桥梁建设的工程实践和历史经验进行分析和探讨。

[关键词] 公路桥梁;自主建设;自主创新;现代工程管理;综合集成;耐久性;养护管理;社会管理  
[中图分类号] U44;C939 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)10-0093-06

## 1 前言

从1981年广州—珠海四座公路桥梁签署中国第一份“贷款修桥,收费还贷”的合同书起,50万座跨越江河湖海的公路桥梁逐年拔地而起。从不足百米的跨径起步,30年间取得了各类桥梁跨越能力位居世界前列的技术进步。

当2011年港珠澳大桥海中筑岛工程响起震动锤击声之时,中国桥梁建设走过了“学习与追赶、提高与紧跟、创新与超越”<sup>[1]</sup>的三个十年和珠三角、长江中下游、长三角的三大建桥“战役”后,珠三角又以世界最先进的技术迎来了跨越伶仃洋海湾和琼州海峡新一轮桥梁建设的挑战。

30年的公路桥梁发展,成就了一个不断进步的桥梁大国,也积累了宝贵的经验与教训。笔者从工程技术创新、建设项目管理和可持续发展的角度对大规模桥梁建设的工程实践和历史经验进行分析和探讨,以期对即将展开的若干超大型桥梁工程建设提供借鉴。

## 2 桥梁技术发展的自主创新之路

桥梁是架起来的路,“五纵七横”国道主干线路

网跨越江河湖海,为桥梁技术发展提供了历史性机遇。

### 2.1 解放思想,自主建设

当桥梁建设走完了第一个十年,跨径突破了200 m、300 m迈向400 m以上的时候,来自国内外的“中国人有没有能力自行建设”的质疑摆在了决策者和建设者的面前。

受上海桥梁建设者自主成功建设南浦大桥和杨浦大桥的鼓舞,在筹划建设跨越珠江口的虎门大桥时,以李国豪为首的老一代桥梁专家们也强烈呼吁自主建设这一坐落在鸦片战争国耻地的大桥,得到了政府的积极响应,终于拿回了建设的自主权。在国内桥梁界通力合作下,于1997年香港回归前夕建成了这座888 m跨径的我国第一座六车道高速公路全焊接钢箱梁悬索桥——虎门大桥。

几座世界级桥梁的建成揭示了:只有自主建设才能真正学到本事,才能积累起具有自主知识产权的关键技术。大桥的成功兴建,大大鼓舞了全国各省自主建设桥梁的信心和热情,同时保护了我国大跨径桥梁建设的市场。

### 2.2 长江公路桥梁会战

直到20世纪80年代末,长江上还只有三座桥

[收稿日期] 2011-08-05

[作者简介] 凤懋润(1941—),男,江苏苏州市人,中华人民共和国交通运输部教授级高级工程师,主要研究方向为桥梁工程与建设管理;  
E-mail: fengmr@mot.gov.cn

梁:武汉、南京长江公铁大桥和枝城长江铁路大桥。大江阻隔严重制约着南北经济的发展,长江成为了大桥建设的主战场。

20世纪90年代初,湖北黄石大桥(预应力混凝土五跨连续刚构)和安徽铜陵大桥(预应力混凝土梁斜拉桥)的同期建设,开始了跨江公路大桥建设的“第一仗”。

长江建桥的“第二仗”在上游峡江区段展开,1997年建成的重庆(原属四川)万县长江大桥是跨径420 m的钢筋混凝土箱型拱桥,迄今仍保持着混凝土拱桥跨径的世界纪录。

长江大桥建设的“第三仗”移师长江下游区段的江苏省,集全国建桥力量,开始了我国首座跨径超过千米的江阴悬索桥的建设。大桥以重力式锚碇深埋沉井基础成功解决了软弱地基承受6.4万t主缆力的关键性难题。1385 m的主跨径位居中国第一、世界第四。大桥于1999年建成通车,成为中国桥梁发展史上的里程碑。

蓬勃开展的长江公路桥梁的会战,提升了我国现代梁、拱、斜拉和悬索桥的建设技术,锤炼了建桥团队的整体实力,实现了“理念提升、技术进步、管理创新”的目标,为即将到来的新世纪跨越江海桥梁工程的技术和管理积累了充足的经验与信心。

### 2.3 博采众长,自主创新

由于江河的上、中、下游的建桥条件、内河与海湾海峡的建桥环境、跨越水域与沟壑的建桥关键技术有着显著的不同,尤其表现在对桥梁下部基础工程的技术挑战上;而随着跨径需求的不断增长,则又提出了对桥梁体系、结构形式等上部工程的技术挑战。

#### 2.3.1 桥梁下部工程拥有了一批具有自主知识产权的工法

我国深水桥梁基础采用最多的是钻孔灌注桩形式,施工也先后出现了双壁钢围堰平台、钢护筒与钢套筒组合刚性平台和钢护筒支撑平台等技术创新。

基于多座桥梁钻孔灌注桩施工经验积累,苏通大桥在40 m水深与270 m厚冲积层中完成了两座各有131根平均长度近120 m的大直径超大规模群桩基础的建设。

东海大桥、杭州湾大桥等超长跨海工程在强潮和台风侵袭的内海和海湾中,创造了近万根钢管桩、钻孔灌注桩的群桩基础精准定位、快速施打、预制装配等新技术。

在长江边透水的软弱深厚覆盖层中,润扬大桥成功地实现了敞开式锚碇深基坑开挖的矩形地下连续墙工法和排桩冻结工法的技术突破;阳逻大桥、黄埔大桥发展了圆形地下连续墙的施工工艺;南京四桥发展了双环型地下连续墙的施工工艺。

继江阴大桥陆域沉放巨型深沉井(70 m×59 m和58 m深)之后,泰州大桥创造了沉入19 m水深和55 m覆盖层的沉井工法新记录。

#### 2.3.2 桥梁上部工程技术取得了一批国际先进和领先水平的成果

我国已经拥有了50多座跨径200 m以上的预应力混凝土梁式桥梁,最大跨径达到270 m。石板坡新桥创新地采用钢混组合结构,实现了330 m世界纪录的跨越。

钢管混凝土拱桥实现了460 m跨越的新突破。我国第一座钢结构拱桥上海卢浦大桥以钢箱肋拱的型式创造了系杆拱桥550 m的世界第一跨径的纪录;四年后,重庆朝天门钢桁肋拱桥又实现了552 m的跨越。与此同时,钢拱与预应力混凝土刚构组合而成的菜园坝、新光两座桥梁也丰富着我国拱桥技术的百花园。

在索支撑桥梁中,斜拉桥的桥塔、斜拉索、主梁三大结构和悬索桥的锚碇、桥塔、主缆、加劲梁四大结构,在构造、工艺、材料等方面不断进步,索桥技术迅速发展:

1)在众多门型、钻石型钢筋混凝土桥塔之后,南京三桥以人字形钢塔建成中国第一座钢桥塔。苏通大桥高300 m的钢筋混凝土(钢锚箱芯)桥塔实现了高垂直精度的建设。

2)斜拉索及主缆索股材料走过了由进口到国产的发展之路,长达577 m的世界最长斜拉索就是由中国制造的;悬索桥主缆国产钢丝强度达到1770 MPa、股长突破3000 m,在平行丝股制作与架设方面取得了技术进步。

3)大跨径索桥的主梁结构积累了预应力混凝土梁、结合梁、混合梁和全焊接整体式、分离式钢箱梁的经验,全焊接钢箱梁长度达到2220.8 m的世界级纪录。

4)苏通大桥以1088 m的主跨在世界上首次实现斜拉桥的千米突破,双悬臂合龙实现高、宽、长度与合龙口梁段高、精、准对接;1650 m跨径的西堠门分体式钢箱梁悬索桥成为中国最大跨径的桥梁等。

### 2.3.3 桥梁建设实现全面技术进步

所有这些桥梁的建设都是建立在具有国际先进水平的全桥抗风、抗震、抗船撞以及基础防冲刷、材料防腐蚀、桥面铺装防早损等多项技术支持的基础上,提升了我国桥梁技术在国际上的地位,展示了在体系、结构、材料、工法、控制、装备等方面的技术进步,反映出中国桥梁工程勘察、设计、施工、科研等方面的综合能力已经与国际水平接轨。

21世纪前十年新建公路桥梁37.9万座,合计总长2万km,相当于2010年底我国桥梁总量65.8万座的57.6%和桥梁总长3万km的66%。

至2010年底,主跨400、600、800、1000m以上的桥梁各共有93、37、20、11座(数据不包括港、澳、台地区)。建成的梁、拱、斜拉桥和悬索桥的跨越能力分别达到330、552、1088m和1650m。这四类桥梁的世界跨径前十位工程中,我国建造的桥梁分别占有5座、6座、7座和5座。

中国公路桥梁技术跨越式发展的成功之处,就在于走出了一条既把握建桥自主权,又吸收国外建设先进技术与经验的自主创新之路。

## 3 桥梁建设的现代工程管理

世纪之交,桥梁建设领域曾经有过一场思想认识上的讨论:优质的工程是“做”出来的,还是“管”出来的?

从工程哲学的角度来看,“工程活动从来不是‘单纯技术活动’或‘单纯经济活动’,应该从‘自然—人—社会’的三元关系中认识和研究工程”<sup>[2]</sup>。随着现代工程活动的更加大型化、复杂化、集成化,呈现多学科、多领域、多地区的交叉渗透。随着工程规模的越来越大,工程与经济社会关系的越来越紧密,体现统筹、协调、配合、衔接的资源整合的现代工程管理作用越来越重要。

公路桥梁建设成绩中既有自然科学领域的应用技术进步,也包含着社会科学领域的管理科学进步。“科技进步”和“科学管理”始终是创造高质量、高效益工程的两个助推器。

### 3.1 公路建设管理体制的转变

30年前,从世界银行贷款高速公路建设项目中,逐步推行国际竞争性招投标、FIDIC(国际咨询工程师联合会)合同管理和工程监理制等国际通行的市场经济运作工程建设管理办法。

经过十几年的新旧体制的磨合和建设项目管理

实践,使工程管理从单纯依靠行政手段逐步向“重合同、守程序、讲科学”的依法管理方面过渡。1998年交通部推行了“四制”管理,即项目法人责任制、招投标制、工程监理制和项目合同制,确立了路桥建设的市场化运作模式。

当前,公路工程项目普遍采用“设计—招标—建造”下的“业主—施工—监理”的建设模式。近十年中,一些项目开始了“设计施工总承包”的试点工作。

建设中的港珠澳大桥对高科技和高风险含量的岛隧工程,采用了“设计施工总承包”的模式,有效融合设计和施工的各自优势,充分发挥承包商的技术、资源优势,统筹解决技术、质量、进度等难题。施工中大圆筒振沉筑岛的技术创新显示了总承包模式的优势。

### 3.2 特大型工程建设的顶层管理模式

国家重点桥梁工程是具有战略意义的民生工程,也是引领中国桥梁科技进步和管理创新的示范工程。从江阴大桥建设开始,建立了“省部协调指导、专家技术咨询”的工程建设顶层管理模式。

“省部协调指导”是由桥梁工程所在省与交通部共同组建领导班子,旨在代表国家行使建设指导、监督和协调工作。

“技术专家咨询”是由省部联合聘请国内外院士、大师和专家组建“建设技术顾问和专家组”,为工程重大技术方案担当起咨询把关的重任。

实践表明,这样的管理模式是符合现阶段国情的,有利于发挥国家执行力,搭建国家级科技创新平台,整合国内与国际两种资源,能够发挥出“集中力量办大事”的制度优势。

### 3.3 现代工程管理模式的探索与实践

20世纪80年代中期,公路工程建设适时开展了“全面质量管理(TQC)”,取得了积极的成果。从1999年起,全国交通系统开展了连续三年的“公路建设质量年”活动。质量年活动的宝贵启示之一是:从基础工作做起,抓住制度建设这一主要矛盾是搞好工程质量工作的有效途径。

从润扬大桥开始,特大型桥梁工程的建设成套技术研究中增加了建设管理软科学研究课题。理论与实践相结合,探索符合桥梁建设特点的现代管理模式。

#### 3.3.1 润扬大桥的“无缝隙管理”

润扬大桥是主桥跨径1490m的“中国第一、世

界第三”的悬索桥工程,总投资 58 亿元,工程建设历时五年,于 2005 年竣工通车。

润扬大桥建设确立了“润扬大桥无小事、无易事、无虚事”的“无缝隙管理”理念,致力于管理机制创新。在工程建设管理上逐步形成了“规划管理科学、决策论证充分、管理思路开阔、招投标工程严格、管理方式高效快捷、手段先进和以科技创新为后盾”等方面的特色。国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部等 8 部委联合检查组认为“润扬大桥工程是目前国内建设管理最好的项目之一”。润扬大桥实现了“工程质量、安全生产、造价控制全优”的业绩。

### 3.3.2 苏通大桥的“综合集成”

苏通大桥是主桥跨径世界第一的斜拉桥工程,工程总投资 82 亿元,工程建设历时 5 年,于 2008 年建成投入使用。

苏通大桥建设管理的核心是“综合集成”。建立的“全系统、全寿命、全团队”的“三全”思维充分体现了全面、协调、可持续发展的科学发展观。从管理学的视角出发,建设管理的研究与实践围绕着“工程哲学—工程认识论—工程方法论—工程管理体系设计—工程管理现场执行”的完整系统脉络展开。建设质量管理是综合集成管理的重心,系统建立质量计划和质量检验计划,实现网络化、单元化、精细化管理。跨江大桥各项质量指标均优于设计和规范要求,充分显示出质量管理的具体成果。

### 3.3.3 港珠澳大桥工程管理的全新挑战

港珠澳大桥是我国首座跨海长桥、海底隧道、人工筑岛的“集群”跨海工程,总长 30 km、总造价近 400 亿元的主体工程由粤港澳“三地共建共管”。“一桥两制连三地”的工程建设对项目管理提出了全新挑战。

建设管理要实现跨区沟通、工程与经济社会统筹协调,要实现多学科、多专业、多层次技术的融合、国内外上百支团队数万名建设者智慧的有效集成等,应该说,“系统整合”是工程项目管理的核心内涵。

大桥管理局作为项目法人以“项目管理制度文件体系”规范管理局与各参建单位的管理行为,以多级技术标准体系覆盖前期、设计、施工和营运等 4 个阶段的质量控制,以国际标准化组织最新的系统工程标准的“工程单元分解结构(OBS)”开展各项工程管理活动,并引进对“职业健康、安全、环境

(HSE)”的监督管理,开展了对通航安全保障、质量管理、投融资管理等系统研究。这些扎实的前期工作为推行标准化、规范化管理奠定了基础。

十几年来,桥梁工程建设管理实践的基本经验是:现代工程管理已不仅是传统的以成本、工期、质量为主要内容的“铁三角”式管理,而是将原有的以技术管理活动为主要内容转变为经济与社会的综合管理。

“面对着新世纪第二个十年,交通基建项目的工程管理围绕着‘五化’展开:一是发展理念人本化,将满足人的发展、调动人的积极性、突出人的创造性作为建设管理的核心理念;二是项目管理专业化,管理学原理阐明,组织机构决定组织行为。项目法人作为工程项目的组织者、协调者和集成者,对于工程建设的成败起着决定性作用;三是工程施工标准化,没有规矩不成方圆,标准就是规范建设行为和管理行为的规矩和尺度;四是管理手段信息化,搭建管理信息平台,实现管理过程的全控制,达到规范管理流程、提高管理效能、降低管理成本的目的;五是日常管理精细化。注重细节、立足专业、科学量化,是精细化管理的三大原则;精、准、细、严,是精细化管理的四大要求。”<sup>[3]</sup>

中国桥梁建设在取得众多国际先进的实体成果的同时,也成就着大型复杂工程管理科学的创新成果,这是桥梁大国走向技术强国的重要内涵之一。

## 4 正确把握工程管理中的几个辩证关系

在充分肯定已经取得的发展成绩的同时,我们也要理性地分析深层次存在着的影响质量与效益的问题。

一方面,大规模建设中,建设者技术素质参差不齐、建设管理粗放、合理工期得不到保证,致使部分工程(特别是中小型工程)质量存在欠缺:一些投入运营的工程过早地出现混凝土劣化、钢线材腐蚀、构造细部与附属设施病害等耐久性通病。“重建轻养”又导致病变扩散,使工程“健康恶化、寿命折损”;“大交通量、超重载车、高速行驶”的新形势,使桥梁轻型结构在动力效应下连接节点上出现薄弱环节,过早产生病变。此外,20 世纪 80 年代以前修建的较低荷载标准的桥梁工程(约占桥梁总数的 1/5)也面临重载交通的严峻考验。

另一方面,面对快速发展,带有共性的基础性课题研究薄弱、标准规范修订补充滞后于工程发展;面

对不断出现的新问题,缺少扎扎实实的科学研究成果支撑;面对新型结构,缺乏机理研究、风险分析和技术保障措施;设计移植和模仿较多、自主创新较少;施工工艺设备满足不了需求,养护机具设备落后等。

在抢抓战略机遇期开展新一轮大规模基础设施建设之时,要坚持可持续发展,转变发展方式,处理“又好又快”、建设与养管、基础设施硬件建设与安全服务软环境建设等辩证关系,以实现社会效益的最大化。

#### 4.1 坚持科学发展,正确处理“又好又快”的辩证关系

几十年来,桥梁建设的指导原则都是“安全、适用、经济、美观”,随着社会的进步和理念的提升,增加了“耐久”和“环保”的要求,突出了可持续发展的新内涵。

应该认识到,工程结构的安全耐久性工程品质的最基本的要素。有效服务期达不到工程设计寿命就是资源浪费,而提高工程结构耐久性则是最大的资源节约。

由于我国公路桥梁标准规范中此前没有工程使用寿命的要求,因而长期以来在材料选取、构造细节、施工工艺、养护管理等环节上没有相应的耐久性指标和质量保障措施。事实上,“结构耐久性”也正是20世纪90年代国际工程界的热门话题。

造成耐久性缺失问题的深层次原因之一就是盲目地抢工期。各级领导和项目业主都应该清楚地知道一个科学道理:你抢了三个月、半年、一年的工期(引发粗制滥造),却折了工程10年、20年、30年的寿!有的当时就要了工程的“命”,这无异于犯罪!我们决不能容忍“政绩工程”和“献礼工程”干扰工程建设的安全与质量管理,要坚决杜绝违反科学的“长官意志”和不规范的“业主行为”。

新的桥梁设计规范明确了“公路桥涵结构设计基准期为100年”的要求(国外也有120年或150年的要求),工程建设应该保障使用寿命的实现。

桥梁建设要实现可持续发展就要在“又好又快”上下功夫。“好”字应该体现在:高品质、长寿命和资源节约、环境友好;“快”是国家发展的需要,是抢抓战略机遇期的需要。在桥梁建设实践中,确保质量第一、安全为先,不仅要有严谨科学的态度,更要有实事求是的坚守,如此才能正确处理“又好又快”的辩证关系。

#### 4.2 坚持“全寿命”理念,正确处理“建设与养管”的辩证关系

外国同行在赞誉我国桥梁建设成就之时,也纷纷提醒“是否已为大量新桥投入运营做好了养护管理的准备?”

事实上,随着每年几万座新建桥梁陆续投入运营,养护管理的任务越来越重。“重建轻养”的错误倾向要坚决扭转。应该树立起:“建设是发展,养护管理也是发展;建设是生产力,养护管理也是生产力”的理念。长达数十年乃至百年的运营期中的养护管理能使工程品质随时间的衰减降到最低程度,从而确保工程长期处于良好的使用状况。

另一方面,桥梁开通运营后,中断交通的维修工作会给社会生活带来极大的干扰,必须提升“社会成本”的理念。

要建立起“全寿命成本优化”的概念,以工程建设、养护和运营管理的综合效益最优为目标。在设计阶段就应该一并考虑工程建成后养护和运营管理的问题,力求达到总体资源消耗最小的目的。降低初期建设成本不能以增加后期养护成本为代价。

总之,建设高品质的工程,只有充分考虑社会成本,做到全寿命成本最优,才能创造出最大的社会效益,实现成本效益比最优。

#### 4.3 强化“社会管理”,建立和谐的运营环境

运营管理保障工程构造物可持续服务的必不可少的重要环节。近些年来,不断出现严重超载车辆压垮桥梁、违规行驶密集重车压翻桥梁、船舶偏航撞塌非通航孔桥梁、非法采砂挖空桥墩基础导致坍塌等恶性事故。事故的深刻教训是:无论是路桥的使用者还是运营管理的执法者,都是有法不依、有章不循,法规成为一纸空文,运营处于“无序”状态,“乱象”丛生。

在社会不断进步、基础设施不断完善的情况下,“社会管理”是交通安全畅通、社会长治久安的根本保障。

从这个意义上说,硬件建设实现了跨越式发展,配套的软件环境也要超常规、跨越式发展,否则,软硬差距就会越拉越大,存在的矛盾和问题就会积重难返。而人的因素是软件环境建设的核心。社会人的科学素质、守法意识、社会责任感等综合素质的提高已经成为矛盾的主要方面。

“以人的素质保证工程质量!”是许多重大工程的宣传口号,说到了问题的根本,“以人的素质保证

社会生活质量”也应该成为科学发展的共识。

茅以升先生说：“桥梁是一国文化的一个特征。”加强全民文化和品德教育,提升工程建设者和使用者的科学素质同样是一项艰巨的“建设工程”,使“功德观、民族魂、使命感”成为桥梁文化的精髓。

## 5 结语

中国桥梁建设任重而道远,将在“三条战线”上继续展开:东中部江河上的通道工程、西部地区特殊环境下的桥梁工程以及跨越伶仃洋、琼州海峡、渤海湾、台湾海峡等通道工程。同时,“中国桥梁”作为一个品牌正在“走出去”,参与国际桥梁工程建设。

当前,建设者正面临着超大跨径、深水基础、特高桥墩、特长桥梁工程建设和“协作体系,组合结构,复合材料”新型桥梁的技术挑战;建设管理也面

对着深化精细管理、推进文化管理的新探索。

大规模的桥梁建设是我国桥梁技术创新和实现超越的难得历史机遇,也是实现技术强国战略目标的宝贵历史性资源。抓住历史机遇,提升理念,自主创新,精心建设,出桥梁工程的精品、出技术进步的成果、出过硬的人才队伍,最大效益地利用好这个历史资源,是桥梁建设者的历史责任。

## 参考文献

- [1] 项海帆,潘洪萱,张圣城,等.中国桥梁史纲[M].上海:同济大学出版社,2009.
- [2] 殷瑞钰,汪应洛,李伯聪.工程哲学[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [3] 冯正霖.加快推行现代工程管理,全面提高公路建设管理水平[R].安徽:在全国公路建设座谈会,2010.

# The research on the technology advancement and construction management of China's highway bridge

Feng Maorun

(Ministry of Transport of the People's Republic of China, Beijing 100736, China)

[Abstract] With sustained development of economy, large scale highway bridge construction has been undertaken in the past three decades in China. Guided by the policy of “independent construction, independent innovation”, bridge construction technology has developed in a big stride and reached world advanced level. At the same time, the highway construction management system has been transformed from relying on administrative means to market mechanism and modern project management mode has been continuously explored in extra-large project construction. This paper discussed and analyzed project cases and historical experience of the bridge construction from the perspective of technological innovation, project management and sustainable development.

[Key words] highway bridge; self-construction; self-innovation; modern project management; integration; durability; maintenance management; social management