



林元培,福建莆田人,桥梁专家,中国工程院院士,现为上海市政工程设计研究院资深总工程师。长期从事桥梁理论研究及桥梁工程设计。主持设计的工程有上海的南浦大桥、杨浦大桥、徐浦大桥、卢浦大桥、东海大桥,重庆的嘉陵江石门大桥、李家沱长江大桥、鹅公岩长江大桥等所有桥型。目前从事桥梁体系理论及大跨度风、车、桥联合振动理论研究。

## 卷首语 Foreword

科技导报 2015, 33(22)

# 中国桥梁的发展

人类自有交通即有桥梁,它不仅是交通工具,亦是建筑物,它蕴含着当代科学与艺术的成就,历经千年传承和发展,形成独特的桥文化。桥梁的型式大体有4种:梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥。下面就这4种桥型的特点和技术进步的方向作阐述。

### 梁桥

钢梁桥国际上有跨度548 m的加拿大魁北克桥,我国有跨度192 m的宜宾金沙江铁路桥。预应力混凝土桥国际上有跨度301 m的挪威斯托尔马桥,我国有跨度330 m的重庆石板坡桥。在跨度上我国处于国际先进水平。

梁桥以预应力混凝土梁桥较为经济,但这种材料具有徐变收缩的特点,施工前很难预测其参数,导致预拱度很难正确预留。其解决的途径是在构造上预留张拉体外预应力位置和锚头位置。当过量的徐变发生时,即张拉体外预应力使其下垂挠度回升。同样,在软土地基上建造连续梁时须预留顶升构造,一旦沉降过量即调整支座标高,保证结构不开裂。这种桥型经济跨度在300 m以内,优点是造价低、刚度好,可以大规模机械化施工。若要超过这跨度,必须与同跨度的其他桥型作经济比较后再定案。

### 拱桥

钢拱桥国际上有跨度518 m的美国新河谷桥,我国有跨度550 m的上海卢浦大桥。混凝土拱桥国际上有跨度390 m的原南斯拉夫克尔克桥,我国有跨度420 m的重庆万县长江大桥。在跨度上我国拱桥处于国际领先水平。

这种桥型刚度好,是其他桥型所不及,在高速铁路上行驶平稳,不易脱轨。但由于施工阶段受力状态与运行阶段受力状态不一致,导致施工措施费较高,所以拱桥技术进步的方向首先是降低其施工措施费。

在结构分析方面应注意到由于近代桥梁允许采用电焊工艺,可以制造巨型闭口箱型断面,其单元刚度为 $14 \times 14$ 矩阵,而一般开口断面其单元刚度为 $12 \times 12$ 矩阵,二者计算结果相差较大。

拱桥具有刚度和美学上的优势,应扩大其应用范围。首先在跨度上推进,目前可行的跨度在550 m左右,其跨度的潜力尚未完全发挥,应向800 m推进,与斜拉桥在刚度上进行竞争。

### 斜拉桥

斜拉桥国际上有2012年建成1104 m的俄罗斯拉斯基岛桥,而我国在2008年就建成1088 m的苏通大桥,跨度上我国处于国际领先水平。

在结构分析方面应该注意到大跨度斜拉桥在结构形成时,其初始恒载内力已经相当大,在计算活载引起的内力和变形时其初始内力存在与不存在的单元刚度矩阵完全不一样,计算结果有较大的差别。

由于高强钢丝出现,它能在较大跨度情况下钢丝垂度较小,致使其表观弹性模量较大。但如今斜拉跨度已达1000 m以上,其垂度已较大,致使其表观弹性模量降低。若再不采取构造措施,斜拉桥刚度和悬索桥相差不多,斜拉桥刚度优势将逐渐失去。为此应在斜拉桥中最长索的中点设置支承,支承该钢索和其他钢索,提高刚度与悬索桥刚度再竞争。

这种桥型造型挺拔,线条流畅,结构为自锚式不需锚锭,在同等跨度下与悬索桥相比刚度好、造价低。因此应扩大其使用范围,要在跨度上进行推进。目前可行的跨度仅在1100 m左右,其跨度潜力仍未充分发挥。应争取在1500 m跨度内斜拉桥取代悬索桥。

### 悬索桥

悬索桥国际上有跨度1990 m的日本明石海峡大桥,我国有跨度1650 m的舟山西喉门大桥,在跨度上我国处于国际先进水平。

在结构分析上应解决好风、车、桥共同振动问题。斯堪伦教授曾通过风洞试验解决桥梁的颤振风速问题,但结构会在小于颤振风速情况下,风、车、桥联合振动亦能使桥梁的应力和变形超过规范允许值,这问题已经开始研究。

这种桥型目前跨度最大,非其他桥型所能及,且造型优美,但每平方米造价最高。传统的悬索桥有两个缺点:一是钢缆不能更换,影响使用寿命。二是大跨度时横断面转角较大,影响行车速度。今后在构造上应将传统的两根钢缆左右布置改成上下布置,每根钢缆用两根斜吊杆各与桥面左右端连接,形成等腰三角形的横断面布置,这样钢缆可以更换,横断面转角较小。

以上谈了4种桥型,但在一个工程中只能有一个桥型。往往是做了几个桥型方案,从中优选一个。主要从风险、造价、美观三者之间反复权衡。其中的风险主要来自于创新,若不创新,按老办法去做,就没有什么风险。但创新能带来效益,所以桥梁创新就是永恒的主题。风险的背后必有几个创新者不放心的问题,这些问题必须要有解决预案。这些预案没有先例,是否可靠先在实验室或中小桥中去试验,直到成功为止。然后用在创新工程中,使风险大为降低。但最关键的问题是这些不放心的问题是否已充分提到,不要在工程实施过程中出现的是没有提到的问题,致使工程因没有预案而蒙受重大损失。这种事在桥梁史中已出现多次。创新能否成功同创新者的经验、素质有很大关系。

关于造价,只要桥型一定,即可量化。另外美观也是重大问题,每座桥梁都要经得起百年欣赏。风险、造价、美观三者既独立,总体上又相互制约。几种桥型方案往往是各有利弊,最后经各方面推敲,选出一种桥型。

中国桥梁历史悠久,长期在自力更生条件下吸收国外先进技术再创新,对世界桥梁作出重大贡献。我们将不断创新,在国际上多参与竞争,多参加投标、承包,作出新贡献,从桥梁大国走向桥梁强国。

林元培

(上海市政工程设计研究院,上海,200092)

(责任编辑 李娜)