

低塔斜拉桥

乐鹏飞

一、低塔斜拉桥简介

1. 桥型由来

低塔斜拉桥(Extradosed bridge)是1988年法国工程师J. Matlivat提出的一种新的结构思维和桥梁结构形式。对目前常用桥梁结构设计思维来说,在中小跨径中一般采用PC梁结构,大跨径考虑采用斜拉索或悬索桥型结构。在利用、发挥PC梁桥与斜拉桥优势的过程中,我们感到PC桥梁存在随着跨度增加,梁高增大,自重增加的笨重感以及纤细的斜拉桥引起的稳定性及造价昂贵等诸多弊端。是否可以设想将这两种桥型的弊端限于最小范围而能充分发挥其利点的构思,从而产生了如今的低塔斜拉桥。从设计理论上来看,低塔斜拉桥是由PC桥变迁而来,应用PC桥体外索的概念,将钢索偏心量从PC梁的有效高度内的应用,扩展到PC梁的有效高度以外大胆组合应用。由此,该桥型的跨径较PC桥梁有较大的提高,PC低塔斜拉桥的经济跨度为100~200m,复合结构桥型主跨可以达到300m。由于这种新型结构桥型具有造型美观、景观协调、技术先进、低造价、施工简便等特点,目前在世界上已得到诸多国家的认同和应用。在日本国,已作为中、长桥梁的主流桥型之一被广泛应用。

2. 结构特点

低塔斜拉桥的特征,其结构特性是介于PC梁桥及PC斜拉桥两者之间。本文以跨径为74.0m+122.0m+74.0m的PC低塔斜拉桥梁为例,与刚构梁桥、斜拉桥三种桥型进行比较(见图1),从中得出的结论是低塔斜拉桥具有以下几方面的特点:

1)墩台支点的梁高约为PC梁桥的1/2(见表1),单位桥梁面积的砼和钢筋用量位于PC梁桥与斜拉桥的中间值。相比之下,有较好的经济性与

日本国主要低塔斜拉桥建设项目表 单位:m

| 桥梁名称 | 竣工年份 | 全长 | 跨径 | 梁高 | 塔高 | 桥面宽 |
|--------|----------|-------|---------------------|---------|------|-----------|
| 揖斐川桥 | 预计2001年 | 1,397 | 154.0+4@271.5+157.0 | 4.3~7.3 | 30.0 | 28.0 |
| 木曾川桥 | 预计2001年 | 1,145 | 160.0+3@275.0+160.0 | 4.3~7.3 | 30.0 | 28.0 |
| 土狩大桥 | 2000年 | 610 | 94.0+3@140.0+94.0 | 3.0~6.0 | 10.0 | 19.0 |
| 翔鹰大桥 | 1998年8月 | 380 | 99.3+180.0+99.3 | 3.0~5.6 | 22.1 | 9.7+2+3.5 |
| 保津桥 | 预计2001年 | 368 | 33+50+76+100+76+31 | 2.8 | 10.0 | 7.7+2+3.5 |
| 尾代南桥 | 1995年10月 | 340 | 65.0+2@105.0+65.0 | 2.5 | 12 | 12.8 |
| 尾代北桥 | 1995年10月 | 200 | 55.0+90.0+55.0 | 2.5 | 10 | 12.8 |
| 冲原桥 | 1998年5月 | 323 | 65.4+180.0+76.4 | 3.0~5.5 | 16 | 9.25+2 |
| 深浦大桥 | 预计2002年 | 294 | 62.1+90+66+45+29.1 | 2.5~3.0 | 9.1 | 20.8~11.8 |
| 鹿能新桥 | 1998年3月 | 285 | 74.1+140.0+69.1 | 2.5~3.5 | 12.0 | 8.7+15.4 |
| 小田原桥 | 1994年11月 | 270 | 73.1+122.0+73.1 | 2.2~3.0 | 10.7 | 9.0+16.43 |
| 都田川桥 | 预计2001年 | 268 | 33.0+133.0 | 4.0~6.5 | 30.0 | 16.0+2 |
| 佐敷大桥 | 2000年 | 225 | 60.8+105.0+57.5 | 2.1~3.2 | 12.0 | 9.3+12.7 |
| 羽地横渡水桥 | 2000年 | 200 | 109.3+89.3 | 3.5~6.0 | 26.4 | 6.0+1.5 |
| 三谷川第2桥 | 1995年2月 | 152 | 57.9+92.9 | 2.5~6.5 | 13.8 | 2+8.0 |

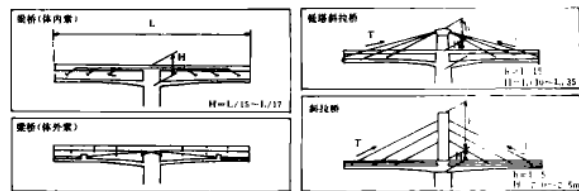


图1 桥型拉索概念图

施工性。

PC 桥梁、低塔斜拉桥及斜拉桥的构造要素比较 表 1

| 桥型 | 梁高(m) | | 塔高(m) |
|-------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | 支座点 | 跨中 | |
| PC 桥梁 | 7.0~7.5(1/18~1/16) | 3.5~3.0(1/35~1/40) | |
| 低塔斜拉桥 | 3.5(1/35) | 2.2(1/55) | 9.0~10.0(1/13~1/12) |
| 斜拉桥 | 1.5~1.2(1/80~1/100) | | 25.0~30.0(1/5~1/4) |

2)与斜拉桥相比有较好的刚度及拉索稳定性(见表 2)。在施工中拉索的挠度张拉管理比斜拉桥简单,不需进行二次张拉应力调整,且养护中无需使用拉索应力调整设备。

PC 钢索应力强度变动幅度例 表 2

| 桥型 | 跨径组成 | 种类 | $\Delta\sigma_p(\text{kg/mm})$ |
|-------|-----------------|------|--------------------------------|
| PC 桥梁 | 62+100+120+84 | 梁内索 | 0.9~2.9 |
| 低塔斜拉桥 | 74+122+74 | 梁内索 | 1.1~1.4 |
| | | 梁外拉索 | 1.5~3.8 |
| 斜拉桥 | 92.5+185.0+92.5 | 斜拉索 | 4.4~12.6 |

3)由于拉索的应力变化远小于斜拉桥,提高了对拉索的使用性(见表 2),斜拉桥拉索的容许张拉力为 0.40pu,低塔斜拉桥为 0.60pu。比斜拉桥有更好的抗震动稳定性经济性、及施工性等方面的优点。

4)由于拉索不产生较大的疲劳问题,不需要类似于斜拉桥那样配备抗高疲劳强度的锚固体。

5)由于塔高约在斜拉桥的 1/3 以下,对周围环境不产生压抑感,有较好的景观协调性。

6)施工简便,不需要斜拉桥那样的特殊复杂工艺,只要具备 PC 混凝土桥梁的施工经验即可施工。

二、低塔斜拉桥应用实例

1. 结构造型

木曾川桥是日本国道主干线第二名神高速公路中的一座大型桥梁。基于工程上需要采用先进技术、新工艺及降低成本的要求,在设计构思这座 1km 以上的长大桥梁时,对钢箱梁桥、钢桁架桥、钢斜拉桥、PC 斜拉桥、PC 低塔斜拉桥、PC 箱梁桥等诸多方案进行了比选,最终从技术性、经济性及

施工性等因素考虑,采用了世界上首座 PC 钢复合结构的低塔斜拉桥方案。

2. 选用复合结构低塔斜拉桥的理由

1)采用低塔斜拉桥,可以将大跨径的外力由主梁与斜拉索共同承担,与外力全部由斜拉索承担的斜拉桥相比,可降低成本,同时降低了作用于斜拉桥的应力变动值,使得斜拉索张拉强度容许值增大,进而可减少斜拉索的用量,比较之下低塔斜拉桥是多跨连续索桥中结构性较为稳定的斜拉索设计,并且可以降低建设成本。

2)支座附近采用变截面 PC 箱梁,中间部分采用钢箱梁,并使其一体化,有效地减轻了桥梁的恒载,使跨度进一步加大。这样无论对上部及下部工程都是可以取得较低成本的结构方案。

3)采用 PC 箱梁体外索与体内索的组合及悬拼施工方法,达到了构件轻量化,施工省力的目的,使降低工程建设成本成为可能。

3. 桥型方案

桥型 PC、钢复合 5 孔连续低塔斜拉桥

桥长 1145m

桥面宽 28m

主跨 275m

梁高 4~7m(变截面箱梁)

塔高 30m

下部 钢管板桩围堰基础(L=约 45m),
气箱沉井基础

4. 设计方针分析

1)结构

①斜拉索锚定部位均在 PC 箱梁内,跨中部分为减轻恒载采用钢桥面箱梁(约 100m)。横断面采用附有缘板的 1 箱 3 室变截面结构(图 2)。箱室采用 60N/mm² 高强砼。从景观设计考虑,跨中钢箱梁采用与 PC 砼同一外型构造尺寸,用 18mm 钢板制作。(图 3)。

②PC 箱梁与钢箱梁的结合部采用刚性连接结合段,以提高结合部的安全性。

③利用中央分割带设置独塔单面斜拉索,有利于降低成本。

④主塔高度为斜拉桥的 1/3 以下,降低了斜拉索的应力变动。

③由于外拉索与PC梁内索共同作用受力,有效地减小了PC箱梁的体积与自重,有利于降低上部及下部工程结构的成本。

5. 施工方案概况

1)上部采用预应力悬拼施工(图4),PC箱梁在加工厂制作完毕后由船浮运到工地,用架桥机悬拼安装。

2)斜拉索为通过主塔贯通方式,由主塔夹具固定(图5)。斜拉索张拉均在PC箱梁内进行,外部无锚头及锚座结点。

3)钢箱梁(图6)由船浮运到工地,整体吊装架设。

4)钢管、钢板桩基础,由打桩船进行水上施工。

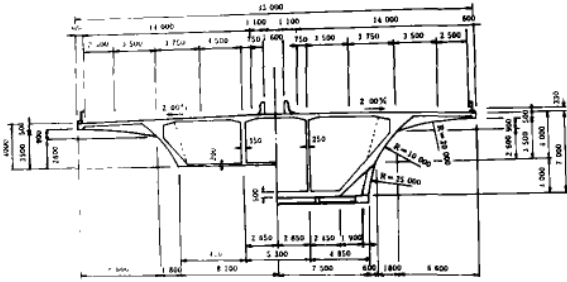


图2 PC混凝土箱梁横断面图

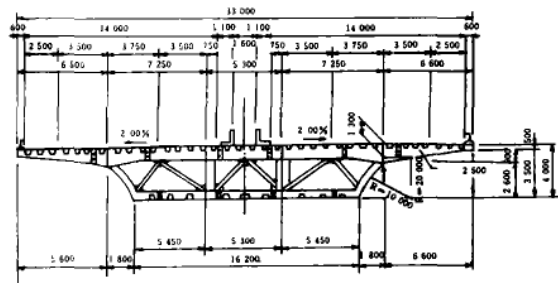


图3 钢箱梁横断面图

2)PC 钢索

①由于斜拉索的应力变动较小,可考虑在工地制作。

②考虑外拉索与PC梁内索共同作用受力和PC梁的变截面受力计算结果,采用支座上部的斜拉索分担率为50%设计。斜拉索的汽车荷重应力变动B荷载为11kgf/mm²,具有充分的安全性。斜拉索的设计荷载应力强度的限制值与一般PC梁一样采用0.6pu以内。斜拉索的张拉应力为550tf/根,采用与梁体同标号砼制作锚固体。

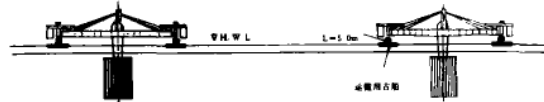


图4 PC混凝土悬拼施工



图5 主塔锚固索鞍结构图

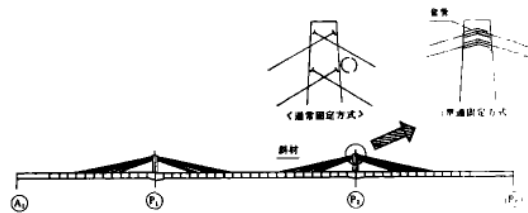


图6 钢箱梁浮运安装

三、结 语

低塔斜拉桥是介于PC梁桥与斜拉桥之间的力学构造。它集这两种桥型之优势,摒弃其缺陷,是近期发展起来的世界先进桥梁技术的综合表现之一。它在桥梁建设的应用中,以其经济性、大跨度、易施工、景观协调性等方面受到了好评。据有关方面预测,在100~300m跨度的中、长桥梁中,该桥型将有成为主流桥型之一的发展趋势。

在多跨连续的长大斜拉索桥中,索振及桥面振动、挠度管理尚未得到很好解决,因而限制了其在多跨连续的长大方向发展。而低塔斜拉桥恰好克服了这一不利因素,所以在多跨连续的长大桥梁方面也有着很大的发展前景。

我国的桥梁技术发展很快,建设规模也在大幅度地发展。不断创新是我们每一个技术工作者的职责,本文只是引进一个思路,敬请赐教为盼。

在本文的编写过程中,日本道路公团以及日本著名桥梁专家保田雅彦先生提供了宝贵的资料,在此一并表示谢意。

参考文献:

1. (城野)エクストラードードPC桥の計画と设计(桥梁与基础 92-12)
2. (小宫)エクストラードードPC道路桥の设计にかんにする考察(土木学会论文集,1995.6)
3. (角谷)木曾川桥、揖斐川桥の計画(特大/大偏心索PC桥 1997)

预应力产品耐久性计算机仿真分析项目 通过专家技术鉴定

“预应力产品耐久性的计算机仿真分析系统”项目是广西区科技厅、柳州市科委于1998年下达给柳州欧维姆建筑机械有限公司的广西区重点技术攻关项目,并列为国家建设部技术开发项目。为完成这一项目,我公司成立了技术攻关小组,引进了美国MSC公司的MSC/PATRAN、MSC/AFEA、MSC/FATIGUE等软件,配置了图形工作站,建成了工程分析及优化设计平台,并与清华大学工程力学系进行合作。经过两年多的努力,建立了HVM产品的数据系统。全面完成了开发任务,2000年12月24日,由广西区科技厅组织,柳州市科委主持,邀请了广西大学信息教研室、广西CAD技术服务及培训中心、广西汽车拖拉机研究所、广西工学院、柳州市自动化研究所、柳州工程机械机械有限公司等9名专家学者在柳州召开了该项目的技术鉴定会。广西区建设厅科技处代表应邀参加会议。

专家们一致认为:该项目是国内首次将有限

元分析和耐久性仿真分析技术应用于预应力锚固体系的优化设计之中,进行了包括夹片、锚板、锚垫板、螺旋筋和联结器等构件的分析研究,为HVM锚固体系锚具达到国际先进水平起到了技术支持作用,其中,“非对称齿形下的压痕项目分析”在理论上有所进步与创新。同时还进行了锚固件和混凝土共同作用的锚下应力分析研究,为预应力锚固体系的工程应用提供了依据,对保证预应力混凝土工程的可靠性具有很大参考意义,得到设计和施工单位的重视与好评。此外,为了扩大预应力配套产品的分析范围,还进行了液压千斤顶的应力分析研究,为液压机械的轻量化和可靠性分析提供了可靠的理论计算与定量分析的依据,已产生了显著的经济效益。为此,专家们一致认为本项目的研究开发是成功的,属国内首创,同意通过鉴定。并建议在已有成果的基础上,进一步研究预应力锚固体系与混凝土共同作用下的应力分析问题。

(叶日贵)