

浅谈部分斜拉桥

陈亨锦 王 凯 李承根

【摘要】结合漳州战备大桥的设计和施工情况,浅析部分斜拉桥的受力原理、桥式特点及设计要点。

【关键词】部分斜拉桥 力学分析 桥梁设计 综述

1、前言

部分斜拉桥又称矮塔斜拉桥,为国外新兴的一种桥型,日本及其它一些国家这几年修建了多座这种桥梁,由于它优越的结构性能,良好的经济指标,越来越显示出巨大的发展潜力。我国在这种桥型上起步稍晚,已建成的漳州战备大桥,据了解为国内第一座真正意义上的部分斜拉桥。

2、部分斜拉桥名称由来

日本的屋代南桥与屋代北桥为两座轻载铁路桥,初看起来象斜拉桥,因而日本的桥梁界对其笼统地称为斜拉桥。小田原港桥是一座公路桥,日本桥梁界没有把它称为斜拉桥,而是起了个复杂的名称——“超预应力混凝土桥”(Extradosed Prestressing),实际上小田原港桥与屋代南、北桥其结构体系非常相似,两个名称都不够确切。1995年,我国著名桥梁专家严国敏先生首次把它定义为“部分斜拉桥”,其含义是:在结构性能上,斜拉索仅仅分担部分荷载,还有相当部分的荷载由梁的受弯、受剪来承受,“部分斜拉”即源于斜拉索的斜拉程度。后来,国内一些文章根据这种桥型塔高较矮的特点,又把这种桥型定义为矮塔斜拉桥。

笔者认为,矮塔仅仅是部分斜拉桥众多特点中的一个特点,若据此把这种桥型定义成“矮塔斜拉桥”似乎不够确切,若从桥梁的受力特点和结构行为来看,“部分斜拉桥”这一名称更为准确,因此,本文仍称这种桥型为“部分斜拉桥”。

3、部分斜拉桥的发展

部分斜拉桥起源于日本,它的特点是塔矮、梁

刚、索集中布置。1994年日本建成了第一座部分斜拉桥——小田原港桥,其跨度为(74+122+74)m,桥面宽13.0m,其后在日本得到迅速发展,先后建成了屋代南、北铁路桥、冲原桥、蟹泽大桥、新唐柜大桥、木曾川桥等,至2001年,在近7年时间内,日本已建成了这种桥梁近20座,桥梁跨度从初期的122m发展至275m,桥宽从13m发展到33m。除日本外,菲律宾于1999年建成了第二曼达——麦克坦大桥,其主跨为185m,桥面宽21m,老挝也于2000年建成了巴色桥,其跨度为143m,桥宽11.8m。

我国虽然起步稍晚,但发展势头迅猛,已建成的部分斜拉桥——漳州战备大桥,其孔跨径布置为(80.8+132+80.8)m,桥面宽27.0m,单索面,在厦门、兰州亦有该桥型即将动工修建。

4、部分斜拉桥受力原理

从总体上说,连续梁是以梁的直接受弯、受剪来承受竖向荷载,斜拉桥是以梁的受压和索的受拉来承受竖向荷载,部分斜拉桥则是以梁的受弯、受压和索的受拉来承受竖向荷载,因此三者的最大差别在于梁的受力行为不同。研究梁的受力行为是研究部分斜拉桥的本质。

图1为三跨连续梁结构及弯矩图,其中支点及跨中弯矩较大,梁的轴力为0。若要使梁体所受弯矩减小,最有效的办法是减小梁的跨度,即增加支点。设想在图1中增加4个支点,把三跨连续梁变成七跨连续梁,则梁体弯矩大大降低,见图2。若所增加的4个支点用斜拉索来代替,把单根较大的索分成若干较小的索布置在附近,则形成

部分斜拉桥，见图 3。为了进一步减小梁的弯矩，可继续增加支点，减小梁的跨度，当支点增加至一定数量时，则梁的弯矩相当小，见图 4，此时，把支承用斜拉索来代替则形成斜拉桥，见图 5。

比较图 1~5 可知，从连续梁、部分斜拉桥到斜拉桥，主梁承受的弯矩逐渐减小，而轴力却逐渐增加。连续梁的主梁以受弯为主，斜拉桥主梁以受压为主，而部分斜拉桥的主梁则以受弯、受压为主。

部分斜拉桥由于梁受较大弯矩，梁内需配置较多的预应力，为了充分发挥斜拉索的作用，使斜拉索提供竖向力的同时，还要对梁体提供较大的轴向压力，斜拉索的倾角宜较小，因此塔高较小，根据日本的经验，塔高一般为主跨的 1/8~1/12。

根据部分斜拉桥梁受弯、受压和索受拉共同

承受竖向荷载的特点，可以理解为部分斜拉桥的索对梁起加劲作用，超过梁体承载力部分的荷载效应由索来承当，因此可人为限制二者的分配比例，当梁体较刚，承载力大时，可减少斜拉索，弱化斜拉索的作用，反之，梁体较柔，承载力较小时，可增大斜拉索，强化斜拉索的作用。这样，可根据实际情况，合理选择各部尺寸使设计自由度更大。

就结构特性而言，部分斜拉桥是介于连续梁与斜拉桥之间的一种新桥型，如果说连续梁属于刚性桥型，斜拉桥属于柔性桥型，部分斜拉桥则为一种刚柔相济的新桥型。从连续梁、斜拉桥到部分斜拉桥，其发展过程与混凝土结构的发展极为相似，混凝土结构从普通钢筋混凝土、预应力混凝土最后到部分预应力混凝土。部分预应力混凝土的出现，填补了普通钢筋混凝土与全预应力

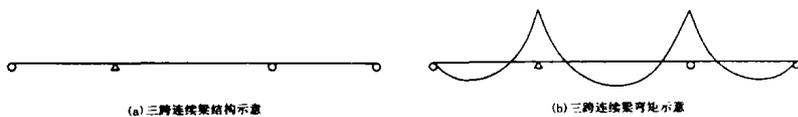


图 1 三跨连续梁

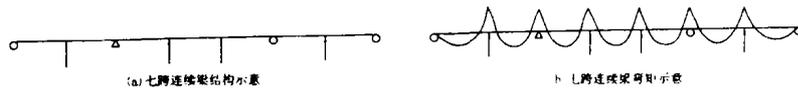


图 2 七跨连续梁

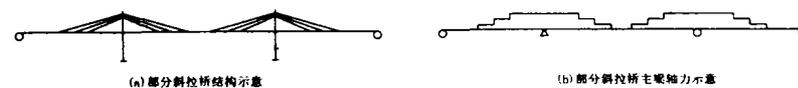


图 3 部分斜拉桥

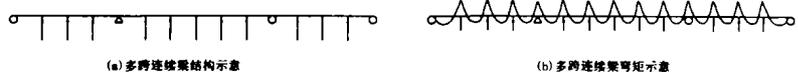


图 4 多跨连续梁

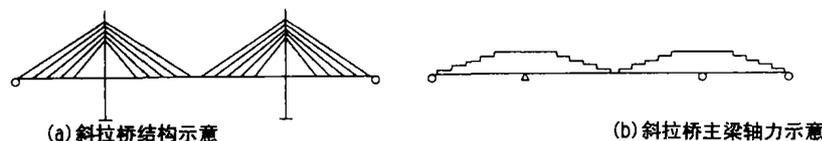


图 5 斜拉桥

混凝土之间的空白。同样,部分斜拉桥的出现,将填补刚性桥型与柔性桥型之间的空白,为桥梁的发展提供了更广阔的空间。

5、部分斜拉桥桥式特点

如前所述,部分斜拉桥是一种新桥型,它的结构形式与行为具有显著的特点:

(1) 桥跨布置上,主边跨的比例更接近于连续梁。

(2) 塔高较矮。拉索倾角较小,拉索为主梁提供较大的轴向力。

(3) 主梁刚度大。

(4) 斜拉索较为集中,通常布置在边跨中及 1/3 中跨附近。

(5) 斜拉索在塔上多以索鞍形式通过。

(6) 主梁的施工方法更接近于梁式桥。

部分斜拉桥是介于连续梁和斜拉桥之间的半柔性桥梁,因而它兼有连续梁与斜拉桥的优点。与连续梁相比,它有如下优点:①跨越能力较连续梁大,当中支点梁高相同时,部分斜拉桥的跨度可比连续梁大 1 倍以上;②对于大跨度梁而言,相同跨度的部分斜拉桥比连续梁经济。

与斜拉桥相比,它有如下优点:①塔高较矮,塔身结构简单,施工方便;②斜拉索应力变化幅度小,可采用较高的应力,一般情况下,斜拉桥拉索的应力为标准强度的 0.4~0.45 倍,而部分斜拉桥可用至 0.5~0.6 倍,从而减少钢材用量;③主梁抗弯刚度大,可采用梁式桥施工方法,而无需象斜拉桥那样采用大型牵索挂篮,极大地方便了施工;④整体刚度大,变形小,尤其适用于荷载大、标准高的铁路桥梁。

此外,部分斜拉桥尚可人为地确定索与梁所承受的荷载比例,设计较灵活。但部分斜拉桥毕竟比连续梁多了塔、索结构,较连续梁复杂。它的跨度达不到斜拉桥那么大。

6、PC 部分斜拉桥设计要点

6.1 部分斜拉桥的适用跨径

由于部分斜拉桥的特性决定,它的适用跨径宜在 100~300m 之间,若主梁采用钢与混凝土混合结构,跨径有望突破 400m。

6.2 结构体系选择

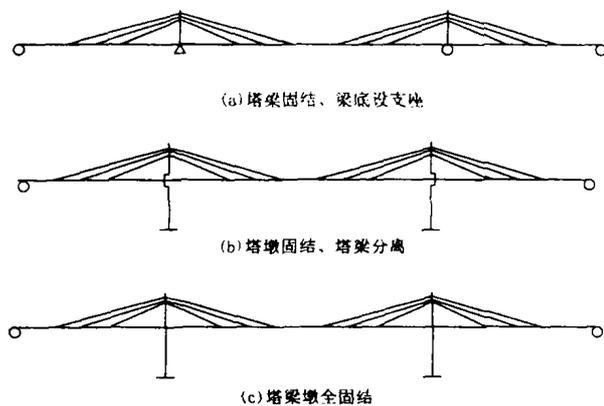


图 6 部分斜拉桥的 3 种结构体系

结构体系可选用塔梁固结、梁底设支座;塔墩固结,塔梁分离;塔梁墩固结的 3 种形式,见图 6。图 6 (a) 形式适用于跨度不太大的桥梁,支座吨位不致于过大,它的特点是塔根弯矩较小,塔两侧索力差较小,结构的整体刚度较小。图 6 (b) 形式适用于跨度稍大,墩高较矮的桥梁,它的特点是塔墩弯矩较大,塔两侧索力差较大,结构的整体刚度较第一种形式大。图 6 (c) 形式适用于跨度稍大,墩高较大的桥梁,结构体系类似于连续刚构,它的特点接近于第二种形式。

进行桥梁设计时,应对结构体系的选择作慎重考虑,选择最合适的形式。

6.3 跨径比例选择

部分斜拉桥刚度比斜拉桥大,跨径比例接近于连续梁,其边、中跨比值常采用 0.52~0.65。在特殊情况下,边、中跨比值亦可小于 0.5,这时,边跨需采取措施,解决负反力问题。

6.4 主梁截面形式选择

部分斜拉桥由于其主梁要承受相当大的弯矩,主梁截面形式与斜拉桥有很大不同,而更接近于连续梁。一般情况下,大部分连续梁采用的截面形式,都能适用于部分斜拉桥,但选择截面时尚应注意以下几点:

(1) 部分斜拉桥更适宜采用变高度截面。其塔墩处梁高可采用相同跨度连续梁高的一半左右。在特殊情况下,主梁亦可采用等高度,此时梁高与跨度之比可采用 1/35~1/45。

(2) 在选择主梁截面形式时,需注意斜拉索的布置及锚固要求。

6.5 斜拉索设计

根据桥面布置及景观要求,可采用单索面及双索面,各斜拉索可采用相同的索截面。斜拉索在梁上宜布置在边跨中及 1/3 中跨附近。索距不宜太大,宜为 3~5m,以适应受力及施工要求,主、边跨的索应对称于塔布置。这一点与斜拉桥有很大不同。

塔上拉索宜采用鞍座形式通过,每根索对应 1 个鞍座,鞍座的设计应考虑换索的需要,位于塔两侧拉索出口处应设计锚固装置,克服索的不平衡拉力。

斜拉索的应力可采用较高值,最大可达 $0.6 R_y^b$,由于梁的刚度大,斜拉索倾角小,斜拉索一般宜采用一次张拉。

6.6 塔设计

由于部分斜拉桥的拉索具有主梁体外索的特征。索对梁提供竖向分力的同时,也对梁提供较

大的轴压力,以使梁能承受弯矩,因此索的倾角较小,塔高不需太大,其高度可采用主跨的 1/8~1/12,相当于斜拉桥塔高的 1/2~1/3。由于塔高较矮,一般不存在失稳问题,主塔可采用实心截面,以方便设计和施工。

7、部分斜拉桥的前景展望

部分斜拉桥虽然出现较晚,但由于其刚柔共济的特性,符合结构受力特点,因此具有经济、美观、刚度大、施工方便的优点,其发展具有很大潜力,尤其适合于对刚度要求较高的铁路桥。由于主梁具有足够大的刚度,可容易设计成三塔或多塔桥梁,这一点是斜拉桥所不具有的优点,可以肯定,不久的将来,在我国将会有越来越多的部分斜拉桥屹立于大江大河之上。

注:本文原载于《桥梁建设》2002 年第 1 期

★ 信息窗 ★

上海同济大学桥梁新馆揭牌

2002 年 5 月 17 日上午,上海同济大学内桥梁新馆广场上隆重举行了“上海市重中之重的学科基地——桥梁馆、海洋与地球科学学院”揭牌仪式。上海市教委的有关领导,同济大学吴启迪校长、周家伦书记,同济大学名誉校长、两院资深院士李国豪教授,中国工程

院院士项海帆教授、范立础教授,上海市政设计院的领导、OVM 柳州市建筑机械总厂厂长陈谦等作为贵宾出席了揭牌仪式。柳州市建筑机械总厂与同济大学合作成立的“同济 OVM 预应力研究中心”也设立在新建的桥梁馆中。

(陆绍辉)

液压提升系统进军电建行业

我厂具有完全自主知识产权的 LSD 液压提升系统自 2001 年 2 月在深圳月亮湾电厂锅炉加热模块的吊装中使用后,凭借其良好的产品质量、性能和完善的售后服务深受用户好评,短短一年时间,该系统就分别用于深圳

月亮湾电厂、深圳西部电厂、深圳南山电厂、上海外高桥电厂的工程建设中。随着更多的电建企业对 OVM 产品的认识和应用, LSD 提升系统将为电建行业的建设作出更多更大的贡献。

(甘秋萍)