

# 部分斜拉桥索鞍锚固区设计探讨

刘 钊 孟少平 臧 华 张宇峰 黎兆亮 谢正元

**【摘要】**出于斜拉索的更换要求,部分斜拉桥普遍采用双套管鞍座构造。在阐述索塔鞍座区的构造设计要求和受力特点的基础上,提出了索塔鞍座区设计中应当完善的研究内容和一些改进意见,可供设计参考。

**【关键词】**部分斜拉桥 矮塔斜拉桥 索鞍 锚固区 设计

## 1、概述

Extradosed Bridge 是 1988 年由法国人 Mathivat 提出的一种新的桥梁结构形式。在我国有“部分斜拉桥”的称谓,也有“矮塔斜拉桥”的称谓。目前,这种介于“斜拉桥”与“体外预应力箱梁桥”之间的新桥型,已在我国得到了初步的认同和发展。

在日本,部分斜拉桥已得到了广泛的应用,而我国目前正处于起步阶段<sup>[1]~[7]</sup>(见表1),在许多方面还有待探索与完善。鞍座锚固区是部分斜拉桥的重要组成部分,既有别于斜拉桥的塔上锚固区,也有别于悬索桥的塔顶鞍座,有其独特的构造与设计的要求,为此,本文将对部分斜拉桥

鞍座锚固区构造设计进行探讨。

## 2、索塔鞍座区的构造设计要求

### 2.1 鞍座区外形设计

部分斜拉桥的“塔高/跨度比”较小,一般为斜拉桥的 1/3 左右,斜拉索一般为连续穿越塔顶索鞍,塔上不设锚固端。这是因为部分斜拉桥的塔柱较矮,为最大限度地利用塔高使拉索水平倾角变大,则希望拉索通过塔顶的位置尽可能密集地布置在塔柱上部区段。

部分斜拉桥鞍座区的水平截面一般为实心矩形,考虑斜拉索在索鞍出口处必须局部垂直于塔壁外墙(方便安装索夹等),时常在侧立面边壁上增设小翼墙,以遮挡拉索出口处的“锯齿”状构

表1 我国建造的部分斜拉桥概况

桥名	跨径布置 m	索塔高度 m	索塔/拉索布置	通车时间
漳州战备大桥	80.8+132+80.8	16.5	双塔/扇形单索面	2001.10
厦门同安银湖大桥	80+80	30.25	独塔/竖琴单索面	2002.9
兰州小西湖黄河大桥	81.2+136+81.2	17	双塔/扇形单索面	预计 2003.9
常澄高速常州运河桥	70.15+120+70.15	31	双塔/竖琴单索面	预计 2003.12

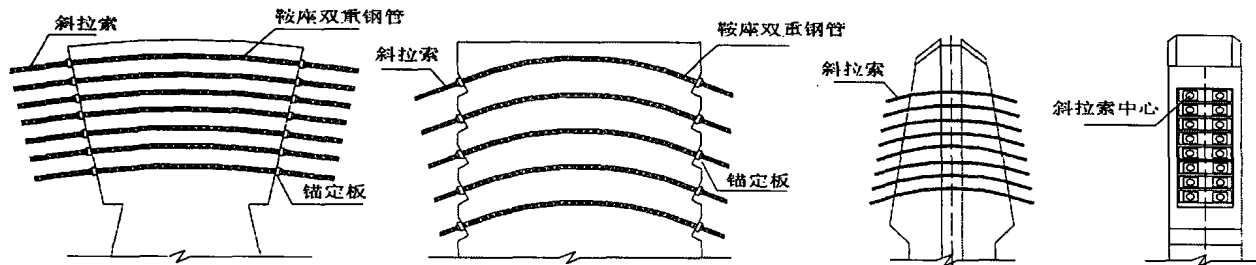


图1 鞍座区外形立面

刘 钊: 东南大学

造。从索塔立面外观上看,综合考虑美观要求,可以将锚固区设计成与下塔柱直上直下的简洁外形;也可以设计成上大下小的正梯形,或下大上小的倒梯形(图1)。

### 2.2 斜拉索与鞍座区双套管设计

从目前的情况来看,平行钢绞线拉索是最适宜鞍座区“穿索”和“换索”的。为长期运营后的换索方便,要求每根拉索能够独立地更换,于是,双套管结构的鞍座得到普遍采用(图2),即:外钢管埋设于混凝土塔内,内钢管套在外钢管中,斜拉索穿过内钢管,在两侧出口处,设抗滑锚头顶紧内管口,阻止内管滑移。同时,要求内外双套管具有相同的圆曲线半径,以便在需要换索时,内管能够同心地从外管“旋转”出来。

### 2.3 鞍座区拉索的抗滑移设计

穿越索鞍的平行钢绞线拉索在工作状态不允许有任何滑移。为此,可以有不同的抗滑移措施。

在日本建造的部分斜拉桥中[7][8],一般采用在内管中填充高强水泥浆,将注浆孔和排气孔从内外管之间引出,在内管口设预埋栓和抗滑锚头,

以阻挡内管的滑移倾向,见图3。

我国目前几座部分斜拉桥较典型的做法是[5][6]:在鞍座区,将作为斜拉索的无粘结钢绞线的护套剥去并清洗表面油脂,使得位于锚具内和索鞍处的钢绞线为裸索,然后在索鞍内钢管和减振防护区内灌注高强环氧砂浆,注浆孔设在套筒上(图4)。常州运河桥虽在内管口设置了抗滑移索夹,但仍要求将浆体灌注到减振防护区内(图5、图6)。

## 3、索塔鞍座区的受力特点

### 3.1 施工阶段抗滑移要求

部分斜拉桥有条件利用斜拉索进行挂篮悬浇施工,考虑到悬臂工序和合龙后调索等因素,在施工阶段常常要求在拉索与内管之间不能灌浆。为此要求评价钢绞线拉索与内管间的干摩擦,能否满足在平衡悬臂施工中的不平衡索力,保证钢绞线拉索不产生滑移。

### 3.2 运营阶段抗滑移要求

运营阶段鞍座区的抗滑移能力与钢绞线拉索的抗滑移构造密切相关。一般来说,鞍座区运营

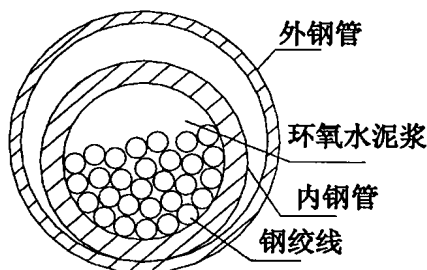


图2 双套管剖面

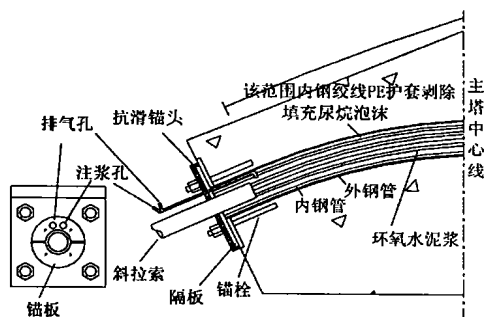


图3 在鞍座内管中灌浆

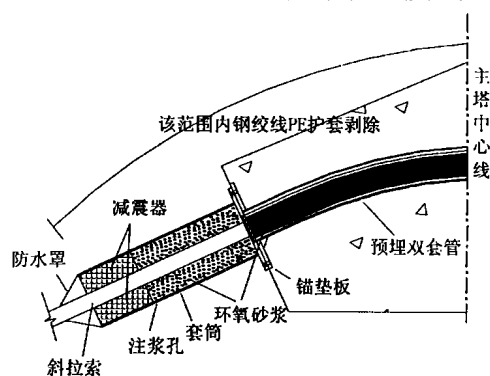


图4 在鞍座内管与套筒区均灌浆

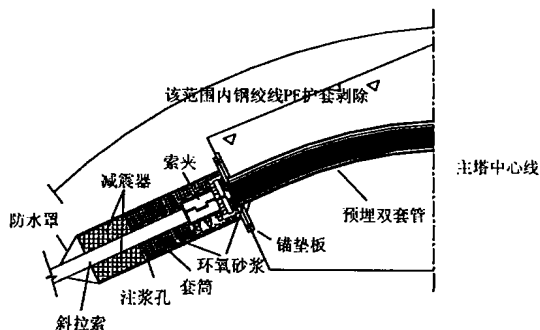


图5 在鞍座内管与套筒区(包括索夹)均灌浆

阶段的抗滑移能力由三道防线构成：一是，钢绞线拉索与内管间摩擦及与浆体间粘结；二是，在内管中填充的浆体与内管壁之间的粘着力；三是，抗滑锚头对管口的滑移阻力，根据具体构造，或有套筒区填充的浆体或索夹等对钢绞线拉索的粘着力或夹持力。

运营阶段鞍座区抗滑移能力目前尚没有规范要求，但一般应满足设计计算最大索力差的 2.5 倍。日本屋代南、屋代北桥和三谷川二桥均通过静载应力幅循环 [2] [3]，模拟汽车动载和地震作用下的索力差。

内管中填充的浆体是钢绞线拉索抗滑移能力的主要组成部分，浆体可以是高强水泥砂浆，也可以是环氧水泥砂浆等。钢绞线拉索的粘结传递长度设计值，可以简化地取为“拉索与浆体”和“浆体与内管壁”之间的粘结长度之和：

$$L = L_1 + L_2 = \frac{\Delta P}{s_1 f_{bond}} + \frac{\Delta P}{s_2 f_{bond}} = \frac{\Delta P}{f_{bond}} \left( \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} \right) \quad (1)$$

式中： $\Delta P$ 为索力差， $s_1$ 为钢绞线拉索与浆体间的握裹周长， $s_2$ 为钢管内壁周长， $f_{bond}$ 为钢材与浆体间的粘结强度（这里忽略钢绞线与钢管的差异），最好通过粘结力基础性试验确定。此外，



图 6 鞍座管口索夹

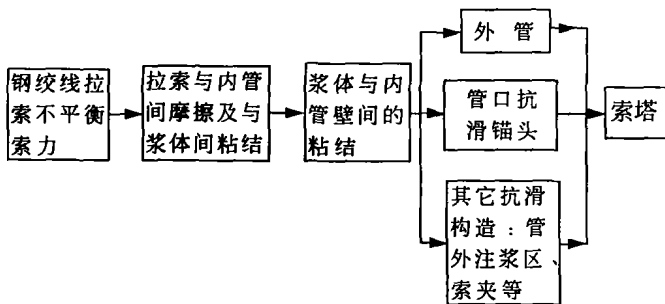


图 7 钢绞线拉索不平衡索力传递路径

浆体弹性模量对粘结传递长度也有一定的影响。

### 3.3 索鞍下的受压与劈裂

部分斜拉桥的索塔较矮，索塔的总体稳定性一般不控制设计，但在双管鞍座下的局部受压与劈裂在索塔结构设计中受到关注。

一般地，忽略拉索与管壁间的沿程摩擦力影响，将作用于外管内侧壁的径向压力（面荷载）表达为：

$$q = \frac{F}{Rb} \quad (2)$$

式中： $F$ 为斜拉索的索力； $R$ 为外管底缘的圆弧半径； $b$ 为内、外管间的接触宽度，可初步按弹性力学关于圆弧接触问题解析公式求解。

当内外管之间的接触面宽度  $b$  不同时，鞍座下的局部受压应力 ( $\sigma_z/q$ ) 与劈裂应力 ( $\sigma_x/q$ ) 峰值有较大的变化，但衰减的很快，图 8、图 9 为我们计算的常州运河桥鞍座双套管下方的应力衰减情况。因此，即使拉、压应力峰值超过规范限

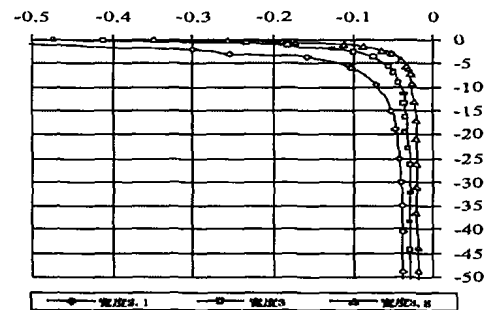


图 8 鞍座下竖向压应力  $\sigma_z/q$  随深度  $y/b$  衰减

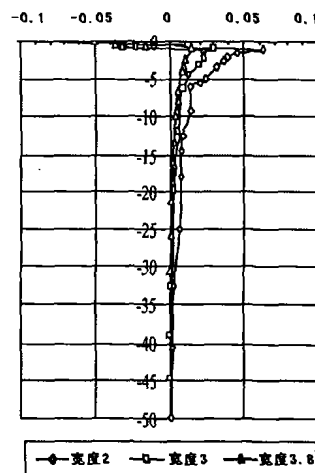


图 9 鞍座下横向拉应力  $\sigma_x/q$  随深度  $y/b$  衰减

值,其实也不足为虑。

#### 4、结语

部分斜拉桥的索鞍应满足斜拉索的可更换性、抗滑要求和鞍座受力等要求,应明确其设计指导思想:

##### (1) 满足斜拉索的可更换性

双套管设计是利用内外管在同曲率条件下,内管可以从外管中旋出的原理实现换索的。为此,在设计中要考虑在内外管之间留有足够的间隙(内外管的直径差)以方便安装与更换;而目前我国有些桥的内外套管最大间隙不足2cm,致使现场套入施工就比较费劲,如果考虑钢管加工偏差和在长期运营后内管的变形,要想使内管从外管中旋出将十分困难。

此外,目前几座桥均采用“在套筒区灌浆”的做法,会给后期换索带来很大麻烦。我们认为应该推广标准化的带有预埋栓的抗滑锚头,以简化设计、施工和后期维护。

##### (2) 满足斜拉索的抗滑移要求

明确抗滑移传力途径(图7),当内管中的浆体与钢绞线拉索间有足够的粘结力时,可以通过抗滑移锚头抵住内管口,保证在最大索力差不产生滑移,避免采用“在套筒区灌浆”的做法。

在鞍座区灌浆材料的选择上,日本推荐高强度水泥浆,而不主张采用高分子的环氧砂浆<sup>[2]</sup>。目前我国缺乏对适宜的浆体材料的选择性试验,也没有开展钢绞线(包括可能采用的环氧涂层钢绞线)拉索与相应浆体间的粘结和传递的基础性试验,而这些研究对于完善部分斜拉桥鞍座区的双套管设计是必不可少的。

##### (3) 满足鞍座的受力要求

双套管设计由于接触面狭小带来了管下应力集中,但管下较大的局部应力消散很快,通过设置管外螺旋箍筋,和索孔端部镶嵌预埋钢板,使混凝土处于侧向约束状态。所以一般不会对索鞍

下出现有害裂缝,而危及结构耐久性。

最后,本文认为双套管鞍座方案的设计施工有其繁琐的一面,从理论上讲,部分斜拉桥塔上锚固区也可以有另外的形式,比如,尝试在矮塔上部设置密集的斜拉索锚固段(将拉索在塔上断开);或在塔上设预埋接口连接斜拉索。随着部分斜拉桥的推广应用,拉索过塔方案也应该有多种合理的选择。

#### 参考文献

- [1] 严国敏. 试谈部分斜拉桥—日本屋代南桥、屋代北桥、小田原港桥, 国外桥梁, 1996(1): 47~50
- [2] 刘海燕, 陈开利编译. 低塔斜拉桥斜拉索锚固装置的足尺模型试验, 国外桥梁, 2001(3): 27~32
- [3] 刘海燕, 陈开利编译. 三谷川二桥索鞍结构的足尺模型试验, 海威姆预应力技术, 2002(3): 33~37
- [4] 陈亨锦, 王凯, 李承根. 浅谈部分斜拉桥; 桥梁建设, 2002, (1): 44~47
- [5] 王凯, 郑宏扬, 李敏. 漳州战备大桥主桥斜拉索设计. 桥梁建设, 2002, (1): 8~10
- [6] 欧阳永金, 刘世忠, 石占良. 同安银湖大桥斜拉索体系, 世界桥梁, 2003, (1): 24~26
- [7] 张多平, 康炜. 兰州市小西湖黄河大桥设计分析. 兰州铁道学院学报, 2002(6): 69~72
- [8] Masaru Nishimura, Hidetugu Mochizuki. Design and Construction of Sntanigawa Bridge; Proceedings of the 1st FIB Congress, Session 2: 35~44, Japan
- [9] Norio Terada, Toshiaki Mochizuki. The Design and Construction of the Miyakodagawa Bridge in the 2nd Tomei Expressway; Proceedings of the 1st FIB Congress, Session 2: 71~80, Japan