

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.05.019

自锚式悬索桥锚固段合理总体布置研究

许 骏

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 锚固段是自锚式悬索桥的关键受力部位。结合某 336 m 跨径自锚式悬索桥的锚固段总体布置设计, 对自锚式悬索桥的锚跨设置、散索鞍 / 套设置、锚固段重心调整等问题进行分析研究, 建议主梁竖向刚度不控制设计时取消锚跨, 边跨主缆入射角适中时优先采用散索套, 提出了锚固段合理重心的调整思路。上述结论可为今后同类型结构的设计提供参考。

关键词: 自锚式悬索桥; 锚固段; 锚跨; 散索鞍; 散索套

中图分类号: U448.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)05-0073-03

0 引言

自锚式悬索桥结构造型优美, 对地形和地质状况适应性强, 近年来在城市桥梁中应用越来越多^[1-3]。不同于地锚式悬索桥, 自锚式悬索桥主缆直接锚固于主梁两端, 主梁锚固段体量大, 构造复杂, 是全桥结构的关键受力构件, 如何确定其合理的总体布置具有重要意义。

本文以一座在建自锚式悬索桥为工程背景, 阐述其合理总体布置的设计研究过程, 以期对同类型桥梁提供参考。

1 工程概况

某桥桥型采用双塔双索面钢箱梁自锚式悬索桥, 跨径布置为 130 m+336 m+130 m=596 m, 主桥平面位于直线段, 桥宽 36.6 m, 见图 1、图 2。

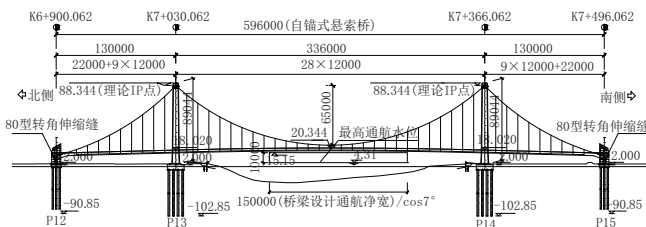


图 1 主桥总体布置图(单位:mm)

主桥加劲梁采用钢箱-混凝土混合梁。主跨及边跨采用 P-K 断面形式的钢箱梁, 梁高 3.2 m, 上设 6 cm UHPC 层与钢桥面组成正交异性钢桥面板。主缆锚固区采用混凝土结构, 锚固段梁高由标准段

收稿日期: 2022-12-20

基金项目: 上海市“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目(21DZ1202900)

作者简介: 许骏(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

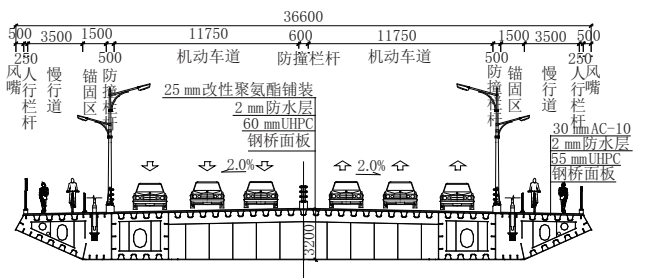


图 2 主桥标准横断面布置图(单位:cm)

3.2 m 增加到 6.0 m。钢-混凝土结合段采用有格室的后承压板连接方式。

主桥主缆中跨理论跨径 336 m, 理论垂跨比 1/5.17; 主缆采用平行双缆面, 中心距 26.6 m, 分别通过主塔塔顶的主索鞍绕至边跨, 边跨主缆通过散索套分散锚固在混凝土梁上。主缆采用 PPWS 平行钢丝, 每根主缆中含 37 股平行钢丝索股, 每股含 127 丝直径为 5.3 mm 的镀锌铝镁合金钢丝。

吊索上端与主缆索夹采用销铰连接, 下端与加劲梁采用锚箱连接。吊索采用垂直吊索形式, 每个吊点共 2 根吊索, 吊索钢丝采用直径为 $\phi 7.0$ mm 的镀锌铝高强度钢丝。

主桥桥塔采用钢筋混凝土桥塔, 设置窗花形横撑, 在加劲梁下方设置牛腿。桥塔承台采用哑铃型, 钻孔灌注桩。

2 锚跨设置

将自锚式悬索桥主缆锚固区向外延伸的桥跨定义为锚跨。目前已建 / 在建的自锚式悬索桥中, 设置和不设置锚跨均有较多工程实例。设置锚跨的代表桥梁有:

佛山市平胜大桥, 350 m 主跨侧布置有锚跨, 锚

跨跨径 30 m+29.6 m;

美国奥克兰海湾大桥,385 m 主跨侧布置有锚跨,锚跨跨径 49.385 m;

重庆市鹅公岩轨道专用桥,210 m 边跨侧布置有锚跨,锚跨跨径 50 m;

广州市万龙大桥,220 m 边跨侧布置有锚跨,锚跨跨径 50 m。

不设置锚跨代表桥梁有:

杭州市江东大桥,主桥跨径布置为 83 m+260 m+83 m;

舟山市小干二桥,主桥跨径布置为 150 m+370 m+150 m;

桃花峪黄河大桥,跨径布置为 160 m+406 m+160 m。

自锚式悬索桥设置锚跨之后,在荷载作用下,锚墩支点通过支反力变化可有效降低边跨加劲梁弯矩幅值,使结构竖向刚度得到提高、梁端转角减小。重庆市鹅公岩轨道专用桥主桥在设计时曾对比分析了有无锚跨两种情况下结构的竖向刚度指标^[4],见表 1。

表 1 鹅公岩轨道专用桥锚跨设置对结构竖向刚度的影响

分项	边跨挠度 /cm	梁端转角 /rad
不设置锚跨	57	8.3‰
设置锚跨	20	0.7‰
减小百分比	64.9%	91.6%

表 1 数据可以看出,设置锚跨非常明显地减小了边跨挠度和梁端转角,提高桥梁结构整体刚度。考虑到轨道交通运营对结构刚度的要求,最终,鹅公岩轨道专用桥采用设置锚跨的结构布置方案。

对于本桥,受现场地形及道路影响,南岸边跨外有一条河流和一条公路,考虑到引桥跨径布置,锚跨需要采用 55 m 跨径。锚跨若采用混凝土结构,由于跨径较大,混凝土梁高较高,桥下净空很低,显得十分压抑,景观性差;对于本桥桥位所处的软土地基,混凝土连续锚跨结构对不均匀沉降也很敏感。锚跨若采用钢结构,增加主桥面积较大,造价相对较高,且边支点还需设置可观的压重或采取支座顶升等额外措施避免出现负反力。

对本桥有无锚跨时结构响应进行了对比分析,设置 55 m 锚跨后,主梁最大挠度减小约 13%。考虑到本桥不设置锚跨时竖向刚度已能满足公路规范要求,并从经济性、景观性等方面综合考虑,最终确定不设置锚跨,采用三跨结构。锚固段端头设置牛腿,

利用过渡跨支点反力提供免费的压重。

3 散索套 / 鞍设置

地锚式悬索桥中的散索鞍 / 散索套是主缆进入锚碇前的最后一个支承主缆的构件,通过散索鞍 / 散索套后,主缆的许多钢丝束索股在水平与垂直方向散开,随后引入锚碇。大部分地锚式悬索桥采用散索鞍作为主缆散索装置,因为散索鞍除了分散主缆外,还可起到主缆转向的作用。当边跨设置吊索时,主缆入射角通常较小,采用散索鞍进行主缆转向,可以显著地减少主缆边跨的计算长度,从而提高全桥结构的整体刚度。此外,由于主缆需在散索鞍处转向,主缆索股安装时也相对便利。

而自锚式悬索桥情况则有所不同,一般认为,自锚式悬索桥选用散索套散开主缆更合适一些^[5],这是因为:

(1)自锚式悬索桥主缆的锚固点和理论散索点距离很近,采用散索鞍对边跨主缆计算长度的影响并不显著;

(2)采用散索鞍时,将使得锚固段处的局部受力复杂化;

(3)自锚式悬索桥主缆索股数相对较少,因采用散索套而增加的施工不便是可控的。

基于上述原因,与地锚式悬索桥相反,自锚式悬索桥大多选择散索套作为主缆在梁上锚固点前的散索装置。但也有反例——建于上海嘉定的澄浏南路蕴藻浜大桥(见图 3)。

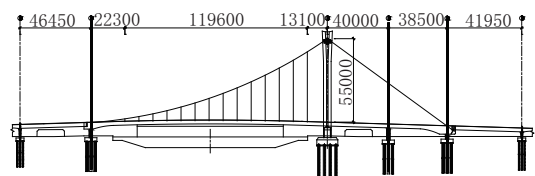


图 3 嘉定蕴藻浜大桥总体布置图(单位:mm)

蕴藻浜大桥是一座独塔自锚式悬索桥,主跨跨径相对塔高偏大,整体线形上类似于将一座常规双塔三跨自锚式悬索桥沿跨中取半的效果。因此,蕴藻浜大桥主跨主缆在近主梁锚点处的入射角很小,仅为 5.7°(与之对照,鹅公岩轨道专用桥虽然因景观要求考虑采用了与北侧地锚式悬索桥相同的 1/10 的矢跨比,主缆在近主梁锚点处的入射角仍有 12.3°)。如此小的入射角,仍采用散索套将导致主梁边吊索索长过短,或出现较长的无索区,从而对吊索或主梁受力不利。

自锚式悬索桥采用散索套时,考虑到主缆散索

段长度一般较短,通常将散索套与主梁在主缆径向固结,以减少风致振动引起的索股疲劳,同时便于散索套及主缆索股的安装;散索套与主梁在主缆轴向应保持自由,以适应主缆在施工过程中及成桥活载下的轴向变形。

本桥边中跨比适中,根据总体计算结果,在近主梁锚点处的入射角为 15° ,故最终确定采用散索套作为散开主缆的构件。散索套与混凝土横梁之间设置抗拉支座以适应施工中和成桥后主缆的滑移、转动。主缆张拉至空缆线形后合上套体,上紧高强螺栓。

4 锚固段重心的调整

设计合理的自锚式悬索桥锚固段应该具有以下特点:

- (1)满足主缆分散索股锚固的受力与构造要求;
- (2)具有合理的构造以平衡主缆上拔力^[6];
- (3)局部受力基本平衡,避免向吊索区传递过大的剪力与弯矩(对于具有钢混结合段的自锚式悬索桥主梁尤为重要)。

一般来说,悬索桥总体布置初定后,主缆型号、主缆力、锚固段入射角就可以确定。根据主缆型号和锚固段入射角,锚固段的构造可参照类似工程开展设计构思。根据主缆力与锚固段入射角,可大致确定主缆在锚点处传递的上拔力,从而确定锚固段合适的重量范围;而局部受力的平衡性,则是需要对锚固段脱离体进行内力分析,合理设置重心位置才能够保证的。锚固段受力简图见图4。

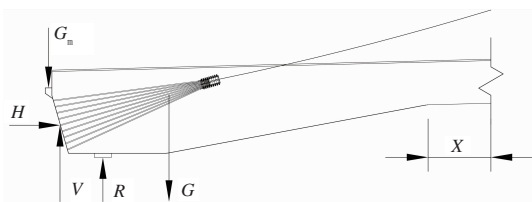


图4 锚固段受力简图

采用钢结构锚固段时,压重配置较为自由,可以结合主缆竖向分力及其水平力相对标准段主梁偏心大小进行灵活布置,以实现受力的基本平衡,避免对主梁产生过大的附加弯矩。对于混凝土锚固段结构来说,竖向配重总量比较容易满足要求,而锚固段结构的重心则应综合考虑、精心设计。

为了便于说明问题,给出本桥锚固段的受力简图(在结合段中心处切开),并叙述确定锚固段重心的工作路径:

(1)初定大桥的跨径布置、矢跨比、吊索布置、主梁的荷载集度等参数;初定过渡跨传来的恒载 G_m ;

(2)初步计算主缆力、主缆锚固段入射角,初定主缆型号;

(3)开展锚固段结构设计,根据初定主缆竖向分力 V 、过渡跨恒载 G_m 确定合适的锚固段总重 G ;

(4)以竖向力平衡为条件,确定边支点反力 R ;以结合段中心处弯矩为0为条件,确定边支点 R 的顺桥向位置;

(5)由(4)确定的 R 的位置通常会造成边跨发生跨径变化,可通过调整 G_m 的位置(即调整牛腿大小和过渡跨支点位置)、调整锚固段平段长度 x ,使 R 的位置与边跨设计跨径对应时,锚固段脱离体能够基本满足(4)的平衡条件。注意当牛腿大小或锚固段平段长度发生变化时,锚固段总重 G 也应相应调整。

由于 G_m 位置、锚固段平段 x 与锚固段总重 G 的耦合关系,(5)一般需要迭代2~3次来获得满意的结果。

5 结 语

(1)自锚式悬索桥锚固段设置锚跨与否主要影响主梁的竖向刚度,在满足使用要求的前提下,取消锚跨可以简化结构体系,节约造价。

(2)自锚式悬索桥散索鞍/套的选择主要取决于锚固段主缆的入射角;入射角很小时采用散索鞍对主梁、吊索受力有利,其他情形时采用散索套则可简化锚固段受力。

(3)通过脱离体分析,合理确定锚固段重心,尽量减少对主梁产生的附加弯矩,这在采用混凝土锚固段时尤为重要。

参考文献:

- [1] 臧瑜,戴建国,邵长宇.重庆鹅公岩轨道大桥设计关键技术[J].桥梁建设,2020,50(4):82-87.
- [2] 孙海涛,张德明,邵长宇.银川滨河黄河大桥主桥设计[J].桥梁建设,2017,47(5):95-100.
- [3] 常付平.舟山市小干二桥工程主桥设计[J].桥梁建设,2016,46(4):83-87.
- [4] 陈多.大跨径自锚式悬索桥主缆新型锚固结构[J].上海公路,2016(4):33-36.
- [5] 张洪金.自锚式悬索桥主缆锚固方案的比选[J].中国市政工程,2011(2):24-25.
- [6] 邵旭东,邓军,李立峰,等.自锚式悬索桥主缆锚固结构研究[J].土木工程学报,2006,39(7):81-87.