

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.019

关于钢-混组合斜拉桥辅助墩设置分析研究

刘 鹏^{1,2}

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092;2.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司天津分公司,天津市 300042]

摘 要: 阐述了斜拉桥的受力体系和边跨辅助墩的设置机理,并以江苏某主跨 300 m 的钢-混组合斜拉桥为研究背景,采用主梁应力幅、主梁竖向变形幅和主塔水平位移幅为指标,设计了与不同辅助墩设置位置相对应的 6 种工况;对不同工况下的计算结果进行分析研究后,给出了合理的辅助墩设置区间。
关键词: 斜拉桥;钢-混组合桥;辅助墩;参数;合理区间
中图分类号: U448.27 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2024)12-0087-03

0 引 言

斜拉桥是由塔、梁、索组合而成的空间结构,其结构体系是决定斜拉桥受力的主要因素,影响了上下部的传力途径和内力分配,并决定了桥梁的整体规模。从约束条件可将斜拉桥分为刚构体系、塔梁固结体系、漂浮体系和支承体系^[1],见图 1。

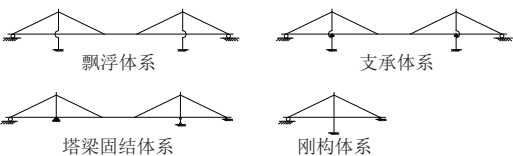


图 1 斜拉桥基本体系

斜拉桥根据主梁材料的不同,可以分为钢梁、混凝土梁、组合梁和混合梁。混凝土梁刚度大,耐久性好,抗风性能优异,后期养护费用少;不足之处是跨越能力相对受限。钢梁跨越能力大,施工速度快,但抗风性能差,造价和养护费用均比较高。混合梁适用于边中比较小的情况,其主跨采用钢梁,边跨采用混凝土梁,但混合梁的连接段比较复杂。钢-混组合梁延续了钢梁的性能,且混凝土桥面板自身抗压性能优良,耐久性好,其防水效果和日常维护都优于钢桥面板。

1 边中比和辅助墩设置机理

假设斜拉桥中孔跨径为 L ,塔高为 h ,边孔跨径为 L_1 (见图 2)。近几十年来,斜拉桥的跨径和塔高维持着一定的比例范围, h/L 约为 $1/4 \sim 1/2$, L_1/L 约为

0.250~0.288,这个比例主要是经济上的要求而非力学上的要求^[2]。

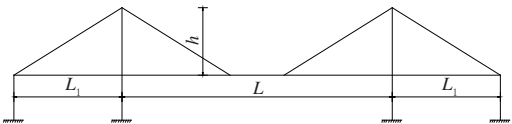


图 2 斜拉桥整体布置

对于绝大部分斜拉桥,中孔跨径 L 取决于跨越河道或者现状构造物宽度,边跨跨径则依据经济边中比和周围环境而定。

斜拉桥的主跨由于要跨越河道、线路等障碍物,其跨径都很大,而在边中比一定的情况下,边跨的长度也较一般结构要大很多。但是一般斜拉桥对边跨立墩位置并无过多限制,所以为了改善边跨的受力状况,会在边跨设置辅助墩。辅助墩可以改变整个斜拉桥的刚度,使边跨主梁内力重新分配。在主塔刚度不强的情况下,全桥刚度的增加,可以有效约束主塔的变形,降低活载下中跨的下挠。反之,如果主塔的刚度较大,则辅助墩对中跨的受力状态就没有明显的影响。但辅助墩的位置却是不确定的,视具体情况而定。

江苏某地斜拉桥主跨跨径为 300 m,边跨跨径为 135 m,双塔双索面斜拉桥,主梁为钢-混组合梁结构,采用半漂浮体系。本文以该桥为工程背景,研究该种类型斜拉桥辅助墩的设置参数,以期同类型桥梁设计提供参考。

江苏某地斜拉桥立面图、横断面图见图 3、图 4。

2 影响辅助墩位置的参数指标

斜拉桥的结构体系确定之后,整个桥梁的恒载受

收稿日期: 2024-01-24

作者简介: 刘鹏(1987—),男,硕士,高级工程师,主要从事道路交通设计工作。

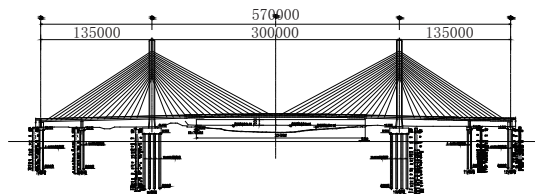


图3 大桥立面图(单位:mm)

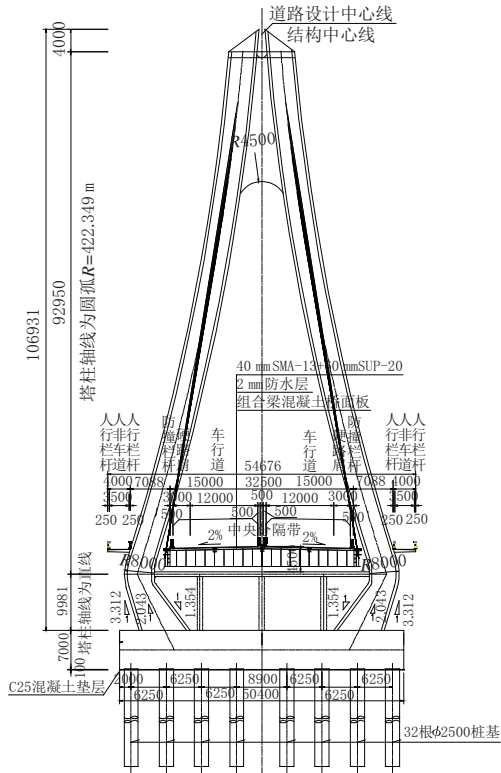


图4 大桥横断面图(单位:mm)

力可通过斜拉索的索力来调整,活载内力则不会随着索力调整而发生变化。桥梁设计的合理与否主要取决于活载作用下的结构受力和变形。因此,笔者选取主梁应力幅、主梁竖向变形幅和主塔水平位移幅3个指标,通过调整辅助墩位置,对这几个指标进行比较分析,以进一步确定关键指标的合理取值范围及其对整个桥梁受力的影响程度。

本文设计6种工况对应6种辅助墩位置,如表1所示;相应的辅助墩布置见图5,其中 L_1 为边跨跨径, L_2 为次边跨跨径。

表1 不同工况下辅助墩位置表

序号	工况	位置
1	工况一	不设置辅助墩
2	工况二	$L_2 / L_1 = 0.1$
3	工况三	$L_2 / L_1 = 0.2$
4	工况四	$L_2 / L_1 = 0.3$
5	工况五	$L_2 / L_1 = 0.4$
6	工况六	$L_2 / L_1 = 0.5$

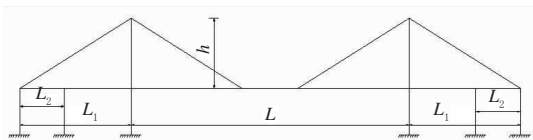


图5 辅助墩布置示意图

3 不同辅助墩位置对受力指标的影响

本文桥梁模型采用 MIDAS Civil 软件进行分析计算,其中下部结构采用梁单元,主梁采用联合截面梁单元,拉索采用仅受拉的桁架单元。

主桥为半漂浮体系,主塔与主梁连接处采用活动支座和横向抗风支座,边墩采用活动支座和横向限位。成桥阶段斜拉桥整体结构计算模型见图6。

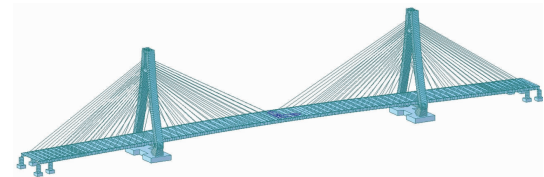


图6 斜拉桥整体结构计算模型

3.1 组合梁应力幅

合理成桥状态下,组合梁斜拉桥的钢梁下缘是主梁应力控制的重点^[3]。6种工况下,斜拉桥主梁的应力幅值见图7。本文选取1/2主桥进行统计。

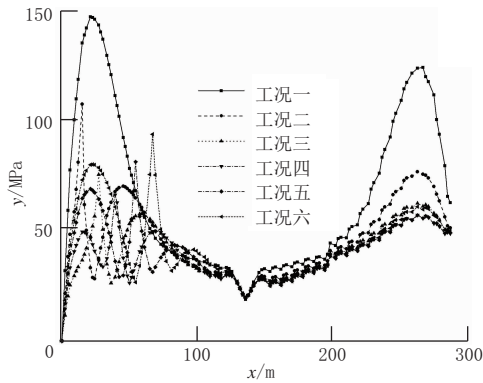


图7 斜拉桥主梁应力幅

图7中,活载作用下应力幅 $\Delta\sigma$ 为:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (1)$$

式中: $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 分别为最大、最小应力值。

图7水平坐标轴为主梁与梁端的距离 x 。0点为边跨起点,横坐标 $x=135\text{ m}$ 处为主塔位置,285 m处为主梁跨中位置。

由图7可见:在不设置辅助墩的工况一之下,桥梁刚度较高,对边跨和主跨的应力影响均比较大;在工况二至工况六之下,辅助墩设置的位置对主跨范围内主梁应力变化影响较小,但对边跨范围影响较大,应力幅较低的辅助墩位置在 $L_2/L_1=0.2\sim 0.4$ 范围内。

3.2 组合梁竖向变形幅

图 8 为 6 种辅助墩位置对应的 6 种合理成桥状态下组合梁竖向变形幅。0 点为边跨起点,横坐标 135 m 处为主塔位置,285 m 处为主梁跨中位置。每种工况下主梁在边墩、辅助墩和主塔位置为变形幅为 0 的 3 个点。表 2 为各跨主梁最大位移幅值,其中 y_1 表示边墩与辅助墩之间的主梁竖向最大位移幅, y_2 表示辅助墩与主塔之间的主梁竖向最大位移幅, y_3 表示中跨竖向最大位移幅。

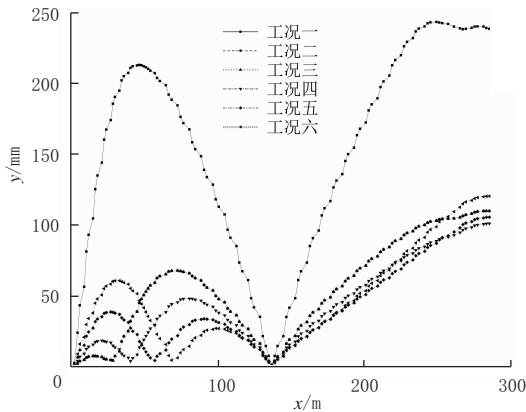


图 8 斜拉桥主梁竖向变形幅

表 2 斜拉桥主梁最大位移幅值

工况	L_2 / L_1	y_1 / mm	y_2 / mm	y_3 / mm
工况一	0		212	240
工况二	0.1	2	103	137
工况三	0.2	8	68	110
工况四	0.3	19	49	101
工况五	0.4	39	34	106
工况六	0.5	61	28	120

由图 8 可见：辅助墩的位置影响主梁的竖向变形。在工况一不设置辅助墩的情况下,主梁在边跨和主跨处的竖向变形幅是最大的,约为设置辅助墩时的 2 倍。说明辅助墩提高了斜拉桥体系的整体刚度。

当辅助墩从边墩逐渐向主塔方向移动时,边墩与辅助墩之间的主梁竖向变形幅增加;辅助墩与主塔之间的主梁竖向变形幅降低;主跨的竖向变形幅逐渐降低,但变化幅度较小。

由表 2 可知,当辅助墩从边墩逐渐向主塔方向移动时,辅助墩与主塔之间的主梁竖向最大位移幅 y_2 按照 30%左右的幅度递减。

3.3 主塔水平位移幅

图 9 为活载作用下的主塔水平位移幅。横坐标为主塔塔高(约 100 m),纵坐标为主塔各位置水平位移幅。

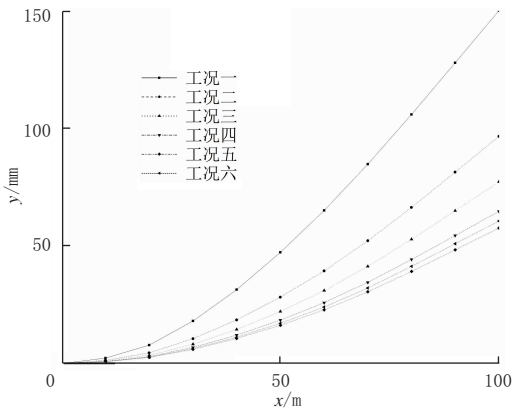


图 9 主塔水平位移幅(单位:mm)

由图 9 可知:与不设置辅助墩的工况一相比,设置辅助墩能降低塔顶位移 50%左右;随着次边跨跨径与边跨跨径之比的增大,主塔水平位移逐渐降低;当次边跨跨径 L_2 与边跨跨径 L_1 之比为 0.5(工况六)时,主塔水平位移又逐渐增大,塔顶开始向相反方向变形。

4 国内已建同类桥梁辅助墩设置情况

目前国内已建成的主梁为钢-混组合梁或者钢箱梁的斜拉桥辅助墩设置情况见表 3。

表 3 国内已建斜拉桥辅助墩设置情况

序号	桥梁名称	跨径 /m	主梁类型	L_2 / L_1
1	上海杨浦大桥	99+144+602+144+99	组合梁	0.407
2	哈尔滨松浦大桥	63+145+268	组合梁	0.304
3	济南黄河三桥	60+60+160+386	钢箱梁	0.428
4	杭州湾南航道桥	318+160+100	钢箱梁	0.385
5	南京长江三桥	63+257+648+257+63	钢箱梁	0.197
6	珠江黄浦大桥	383+197+63+62	钢箱梁	0.388
7	上海长江大桥	92+258+730+258+92	钢箱梁	0.263

由表 3 可知,国内组合梁和钢箱梁斜拉桥在边跨布置的时候,为了改善桥梁整体受力,大多会设置辅助墩^[4]。除个别桥梁条件受限的情况,辅助墩设置的范围大多为 $L_2 / L_1=0.2\sim 0.4$ 。

5 结 语

(1)设置辅助墩能提高桥梁的整体刚度,大大降低主梁应力水平,降低主梁跨中最大下挠,减小主塔水平位移值。

(2)在移动荷载作用下,辅助墩设置的位置对主跨范围内主梁应力变化影响较小,但对边跨范围影响较大。

(3)在移动荷载作用下,随着次边跨跨径与边跨跨径比值的增大,主桥的竖向变形逐渐减小,主塔水

(下转第 96 页)

埋规定,目前的相关装配式规范仍然存在缺项情况。在此情况下,对于套筒及外露主筋的定位应参考梁厂内的制作方法精确定位,采取必要的卡具或专用装置以保证套筒或连接钢筋的相对位置准确。

5.2.5 管桩

对管桩安装的平面位置、垂直度、承载能力等关键指标的检验方法比较成熟,然而对于桥梁上采用的超长桩基,相关收锤标准普遍缺乏试验与经验支撑。

6 结 语

本文通过对目前国内关于预制装配式桥梁结构的检验标准的研究分析,得出以下结论:

(1)我国目前关于预制装配式桥梁结构的检验规范的行业标准较少,对其局部构件的细节参数规定较少;地方标准较多,并且补充规定了大量行业标准中未有涉及的参数。

(2)目前对于预制装配式桥梁的结构预制和成品验收在外观尺寸等方面的标准制定均已系统完善,但面对无损检测技术的发展,对应的相关检测标准还尚未进行系统化的补充和修订。

(3)通过研究我国对于装配式桥梁的安装标准,发现对桥梁管桩的检测标准一直存在一定缺失,这主要与我国各地区的地质条件差异较大有关。

参考文献:

- [1] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准—第一册—土建工程[S].
- [2] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] JTG/T 3365—05—2022,公路装配式混凝土桥梁设计规范[S].
- [4] JTG/T 3654—2022,公路装配式混凝土桥梁施工技术规范[S].
- [5] JGJ/T 406—2017,预应力混凝土管桩技术标准[S].
- [6] T/CECS 728—2020,装配式城市桥梁工程技术规程[S].
- [7] JTG F80/1—2017,公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程[S].

- [8] JTG F80/1—2017,高速公路预制装配式桥墩施工技术规范[S].
- [9] DG/TJ 08—2160—2015,预制拼装桥墩技术规程[S].
- [10] DG/TJ 08—2250—2017,公路工程装配式施工质量验收评定标准[S].
- [11] DG/TJ 08—2345—2020,轨道交通预制拼装桥墩技术标准[S].
- [12] ZJ/ZN 2020—09,公路桥梁混凝土构件工厂预制技术指南[S].
- [13] DB33/T 2385—2021,预制拼装桥墩设计与施工技术规范[S].
- [14] DB 33/T 1201—2020,装配式混凝土桥墩应用技术规程[S].
- [15] DB 63/T 1985—2021,公路预制装配式桥梁下部结构施工技术规范[S].
- [16] DB 63/T 1986—2021,公路预制装配式桥梁下部结构质量检验评定规范[S].
- [17] DB J51/T 120—2019,四川省城市桥梁预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术标准[S].
- [18] 安徽省交通建设工程质量监督局.关于规定公路工程电磁感应法检测钢筋保护层厚度允许偏差值的通知[Z].合肥:皖交质监局,2014.
- [19] 南京市公路事业发展中心.装配式混凝土桥梁专用质量检验评定标准[R].南京:南京市公路事业发展中心,2020.
- [20] 成都市城乡建设委员会.成都市预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术导则[Z].成都:成都市城乡建设委员会,2018.
- [21] 绍兴市住房和城乡建设局.绍兴市预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术导则[Z].绍兴:绍兴市住房和城乡建设局,2018.
- [22] Q/CJGY 001~003—2019,预制混凝土立柱、预制混凝土盖梁、预制混凝土小箱梁[S].
- [23] T/CECS 10098—2020,钢筋锚固用灌浆波纹管[S].
- [24] DG/TJ 08—2255—2018,节段预制拼装预应力混凝土桥梁设计标准[S].
- [25] 无锡市住房和城乡建设局.无锡市预制拼装桥墩施工质量验收标准[Z].无锡:无锡市住房和城乡建设局,2019.
- [26] 周焕强,李丹,李明,等.粗骨料活性粉末混凝土预制桥面板湿接缝受力性能研究[J].交通科技,2023(5):34—39.
- [27] 宋守坛.高速铁路预制拼装箱梁桥抗弯及接缝抗剪试验研究与理论分析[D].南京:东南大学,2016.
- [28] 刘四德,甘露,干继红,等.灌浆套筒预制拼装桥墩施工质量监督研究[J].施工技术(中英文),2023,52(20):129—133.
- [29] 陈项南.新型灌浆变形钢套筒连接技术研究[D].南京:东南大学,2016.

(上接第89页)

平位移逐渐降低。当次边跨跨径与边跨跨径比值为0.5时,位移值开始反向增加。

(4)辅助墩的设置要考虑整体受力、桥梁配重、斜拉索配置以及周围环境等多方面因素。对主跨300 m左右的钢—混组合斜拉桥,次边跨跨径与边跨跨径比值为0.3~0.4的区间比较理想。

参考文献:

- [1] JTG/T 3365—01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [2] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 颜东煌,戴明禹,陈常松.组合梁斜拉桥辅助墩合理位置的优化研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2022(12):70—76.
- [4] 盛春红,吴宏业.鸭绿江界河公路大桥主桥辅助墩位置参数分析[J].北方交通,2021(4):21—25.