

体外预应力技术在连续钢箱梁桥中的应用

孟凡良

[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:以上海市某连续钢箱梁桥为依托,分析了体外预应力技术在连续刚箱梁桥中的作用,介绍了为确保锚固和传力构件强度和稳定所采用的钢锚箱和转换器构造;同时采用 Midas /Civil 建立有限元模型,分析了体外预应力技术在降低支点负弯矩区段钢箱梁上缘应力的作用。所得结论可为大跨径钢桥设计提供参考。

关键词:体外预应力;钢结构;大跨径桥梁;有限元分析;连续钢箱梁

中图分类号:U441+.5

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2023)03-0117-03

0 引言

体外预应力结构技术是后张预应力体系的重要分支之一,它与体内预应力即传统的布置于混凝土截面内的有黏结或无黏结预应力结构技术相对应。体外预应力是指对布置于主要受力结构之外的钢束张拉而产生的预应力,钢束仅在锚固区域设置在结构本体内。体外预应力结构一般由体外预应力筋、管道及防腐材料、转向块、锚固系统和体外预应力受力结构等部件组成^[1]。由于转向块与锚固区受力较大,构造复杂,比较笨重,目前大多采用高强度高性能混凝土结构。

上海市某连续钢箱梁桥受现状边界条件制约,跨径组合为 63 m+107 m+70 m=240 m,边跨与中跨之比达到 0.65,墩顶连续段上缘应力较大。为此,考虑在墩顶张拉体外预应力以有效控制墩顶上缘应力,并为将来可能提升的交通荷载提供安全储备。由于桥梁为连续钢箱梁桥,大体积混凝土锚固结构及转向块并不适用。本文通过介绍钢锚箱及钢转向器,结合有限元模型分析体外预应力技术在连续刚箱梁桥中的作用。

1 工程概况

某连续钢箱梁桥位于上海市,桥梁位于直线+平曲线段,曲线半径为 1 200 m,跨径组合为 63 m+107 m+70 m=240 m,桥梁整幅设置,桥面宽度 16 m。

桥墩采用墙式墩。横向设双支座,支座间距 6 m。主墩基础采用 8 根 $\phi 1.2$ m 钻孔灌注桩,梅花状布

置。承台采用矩形承台,顺桥向长 6.8 m,横桥向长 10.2 m,厚度 2.3 m。桥台采用轻型埋置式桥台,基础采用 5 根 $\phi 0.8$ m 钻孔灌注桩。桥梁横断面布置图见图 1。

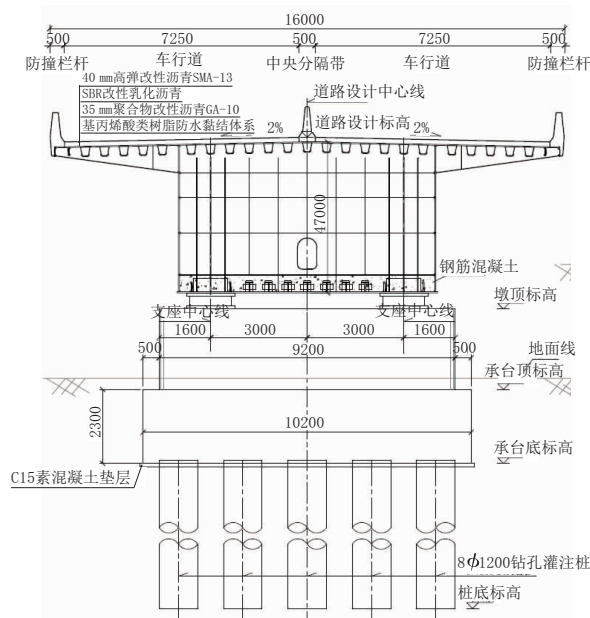


图1 桥梁横断面布置图(单位:mm)

上部结构采用 63 m+107 m+70 m 变高连续钢箱梁结构,梁高 2.5~4.7 m,正交异性钢桥面板。顶板厚 22~28 mm,腹板厚 18~30 mm,底板厚 25~40 mm,顶板设置 U 型纵向加劲肋,腹板、底板设置 I 型纵向加劲肋。

2 体外预应力构造

2.1 体外预应力体系

体外预应力体系由体外预应力孔道管(高密度聚乙烯管 HDPE 或钢管等)、浆体(防腐油脂或水泥浆体)、锚固体系和转向块等部件组成^[2]。随着桥梁技术的发展,体外预应力体系目前有体外预应力与结构有

收稿日期:2022-06-16

作者简介:孟凡良(1992—),男,学士,工程师,从事桥梁设计工作。

黏结(体系一)和体外预应力与结构无黏结(体系二)这2种体系。

体系一:预应力采用钢绞线,通过锚固部件和转向块部件与结构形成黏结,灌浆后形成整体。

体系二:通常使用设置预埋钢管和 HPDE 管双管道以隔开与结构的联系,或采用单根无黏结钢绞线,水泥灌浆以固定钢索。

相较于体系一,体系二更加灵活,预应力钢束可整体拆除更换,确保了桥梁使用寿命内预应力的有效性,且体系二在旧桥加固处理、现有桥梁承载力提高中也有一定应用,因此目前使用范围较广。

2.2 体外预应力构造

本桥在每个墩顶支点断面附近设置6束体外预应力束,钢束型号为 $\phi 15.2-31$ 集束式钢绞线,体外预应力束的锚下张拉控制应力为 $0.6 f_{pk}$,其中体外束2、3、5、6为远期预留,待远期交通荷载提升或桥梁挠度逐渐增加并超出设计预期时再逐束对称张拉。体外预应力布置示意图见图2。

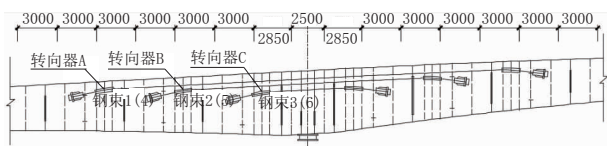


图2 体外预应力布置示意图(单位:mm)

体外预应力束一般锚固于横梁或横隔板的锚固块上,锚固块起局部承压作用,将预应力传递至箱梁腹板、顶板和底板。本桥为连续刚箱梁桥,考虑到设置混凝土横隔梁会施加较大的集中荷载,且混凝土与钢箱结合不稳,横隔梁顶部与箱梁顶U肋也会产生一定冲突,参考陈宇伦在钢锚箱方面的研究成果^[3],本桥采用钢锚箱作为体外束锚固块。钢锚箱主要由锚箱底板N1、锚垫板N2、锚箱腹板N3构成,箱内还设有定位板等次要构件(见图3)。钢锚箱通过钢箱梁腹板传递预应力,为保证梁腹板稳定,腹板应设置竖向加劲、横向加劲。加工钢锚箱时,应采用工艺措施确保锚箱底板、锚垫板密贴,采用较厚的锚垫板($t=65\text{ mm}$)与较薄的锚箱底板($t=50\text{ mm}$),既避免了厚钢板的焊接问题,也解决了锚箱底板抗弯不足的问题^[4]。索导管出口处内侧应打磨光滑,形成圆弧倒角以保护钢绞线。

体外预应力转向装置是体外预应力结构满足受力要求的必要措施,是体外预应力除锚固端外在跨内与梁体联系的特殊构造,一般由转向结构构造(转向块)和转向器组成。体外预应力转向时,转向块为钢

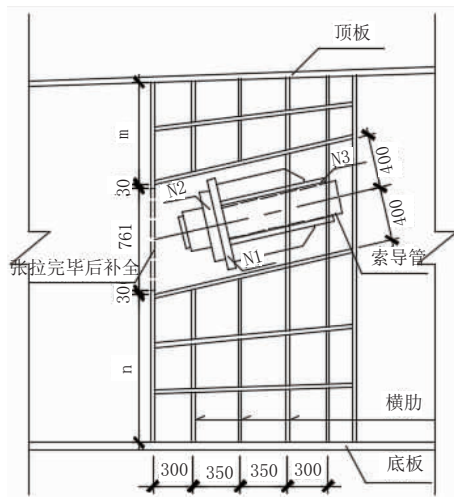


图3 钢锚箱构造示意图(单位:mm)

束提供转向支承,使其能顺利转向和传递预应力。转向器是设置在转向装置内的弯曲弯管,为体外预应力束转向提供通道。本桥中转向器主要由转向器节点板、无缝钢管等构成,与钢箱梁腹板相连(见图4)。钢管壁厚及长度都对钢管应力和变形有显著影响,当钢管壁厚大于 12 mm 且长度大于 1 000 mm 后,进一步增加钢管构造规格获得的收益逐渐减少^[5],设计时既要确保钢管应力满足设计需求,也要合理节省材料。

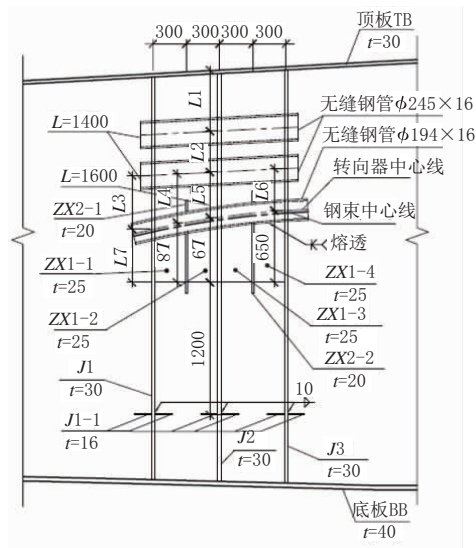


图4 转向器构造示意图(单位:mm)

3 全桥有限元分析

3.1 有限元模型建立

采用Midas/Civil建立梁单元模型,全桥分为186个单元,201个节点,单元基本节段长度为 1.5 m 。全桥有限元模型及支座布置见图5。

主桥钢结构箱梁中支点附近设有6束 $\phi 15.2-31$ 集束式钢绞线成品体外预应力索,全桥共12束,采用桁架单元模拟。中支点 14.2 m 范围内梁底浇筑厚

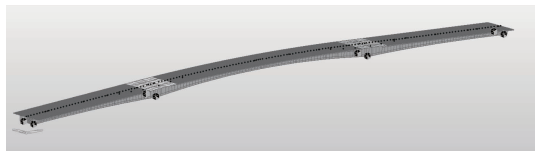


图5 全桥有限元模型及支座布置

500 mm 钢筋混凝土板,采用施工阶段联合截面进行模拟。主梁采用梁单元模拟,材料为 Q420qD。本桥边跨在满堂支架上焊接拼装,为一次落架,中跨为节段悬拼,建立全施工阶段进行模拟。

3.2 数值分析

由于本桥边跨与中跨之比达到 0.65,墩顶连续段上缘应力较大,因此负弯矩区梁上缘应力是本模型分析的重点。通过有限元模型对桥梁各施工阶段进行计算。负弯矩区梁上缘最大应力见图 6,图 6 中施工阶段的含义为:阶段 1,边跨一次落架;阶段 2,中跨悬臂阶段 1 悬浇;阶段 3,中跨悬臂阶段 2~4 悬浇;阶段 4,中跨悬臂阶段 5~8 悬浇;阶段 5,中跨悬臂阶段 9~12 悬浇;阶段 6,中跨悬臂阶段 13~16 悬浇;阶段 7,合拢并张拉体外预应力束;阶段 8,施加桥面铺装、栏杆等二期恒载;阶段 9,成桥。

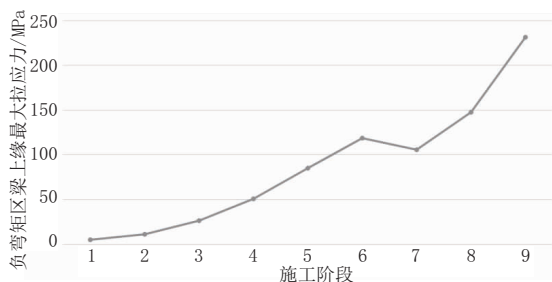


图6 负弯矩区梁上缘最大拉应力

由图 6 可知,边跨一次落架时,墩顶支点断面承受负弯矩,边跨跨中承受正弯矩;随着悬臂节段拼装,边跨正弯矩逐渐减小,墩顶支点截面负弯矩不断增大,成桥后在基本组合下墩顶联合截面钢材部分上缘应力达到最大值 232 MPa。考虑钢结构桥梁第 2

体系,基本组合下上缘应力为 $232+52=284$ MPa,相比规范限值还留有一定安全储备。

通过张拉体外预应力束,显著控制了负弯矩区梁上缘应力,降低了连续钢箱梁顶底板厚度,有效控制了桥梁造价,且对于钢桥面铺装耐久性也有一定好处^[6]。本桥部分预留体外预应力束,在减缓桥梁下挠、应对车辆荷载增长等方面也会起到重要作用。

由于体外预应力技术在连续刚箱梁桥中应用的实例不多,本工程中体外预应力张拉力控制较为保守,如有更深入细致的研究,体外预应力应发挥更大作用。

4 结 语

结合上海市某连续刚箱梁桥,对体外预应力技术在连续刚箱梁桥中的应用进行了分析,介绍了为确保锚固和传力构件强度和稳定所采用的钢锚箱和转换器构造;同时通过 Midas/Civil 建立有限元模型,分析了体外预应力技术在降低支点负弯矩区段钢箱梁上缘应力的作用,为大跨径桥梁设计提供了一定参考。

参考文献:

- [1] 廖放明,李德慧,王国安.体外预应力技术及其在桥梁工程中的应用综述[J].中外公路,2005(1):74-77.
- [2] 孙宝俊,周国华.体外预应力结构技术及应用综述[J].东南大学学报(自然科学版),2001(1):109-113.
- [3] 陈宇伦.体外预应力在钢结构加固工程中的设计和施工[J].福建建筑,2010(9):22-23.
- [4] 丁雪松,熊刚,谢斌.大跨度钢箱梁斜拉桥索梁锚固结构的发展与应用[J].世界桥梁,2007(4):70-73.
- [5] 方淑君,聂念从,王涛,等.体外预应力加固钢转向装置参数分析[J].铁道科学与工程学报,2020,17(6):1446-1452.
- [6] 聂建国,陶慕轩.体外预应力钢-混凝土组合梁受力性能的研究现状与展望[J].工程力学,2011,28(增刊2):129-141,156.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com