

大挑臂复合截面节段梁后装挑臂纵向预应力效应研究

严 搏, 郭 济, 卢永成

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 以 3×50 m 大挑臂复合截面节段梁为背景, 通过建立空间杆系及实体有限元模型, 针对复合截面节段梁特有的后装挑臂, 对其纵向预应力效应进行研究, 分析不同钢束类型及横向位置的后张拉效应, 并推荐了合理的后张拉钢束布置形式。

关键词: 大挑臂; 复合截面节段梁; 后装挑臂; 后张拉钢束; 纵向预应力效应

中图分类号: U441+.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)10-0110-04

0 引 言

目前国内常规节段拼装的预制混凝土大箱梁, 一般在桥面较窄时采用单箱单室断面, 当桥面较宽时, 受到运输宽度和重量的制约, 多采用分体式多箱断面, 工程设备投入套数多, 墩顶横梁施工难度大, 工期较长、造价高, 景观效果也难以令人满意。随着预制拼装桥梁技术的不断应用和发展, 采用横向分段拼装的大挑臂复合截面节段梁体系开始逐渐受到重视。

大挑臂复合截面节段梁由核心梁段和后装挑臂两部分复合组成, 两部分均为节段拼装的预制混凝土构件, 如图 1 所示。与常规节段梁相比, 此类横向分段的主梁断面, 具有节段尺寸小、重量轻的特点, 能够在不破坏传统优选断面构型的前提下, 实现宽幅桥梁的横向分段预制、运输及拼装, 有效降低了主梁施工对机具设备的要求。大挑臂复合截面节段梁在国外已有不少成功应用的经典案例, 如马来西亚的檳城双溪 Prai 桥引桥、捷克的 Vrsovice 桥、沙特阿拉伯利雅得的 Qurashiyah 高架桥等, 但国内对于此类桥梁的理论研究与试验研究还相对滞后。

大挑臂复合截面节段梁在施工中一般先形成核心纵梁体系, 张拉部分钢束, 随后在其基础上添加两侧挑臂, 再张拉剩余钢束, 即从张拉时间上来区分, 其预应力体系含有先张束与后张束两种。

核心纵梁的施工与常规节段梁类似, 基于预制拼装的施工效率、维修难度和工程造价, 一般采用混

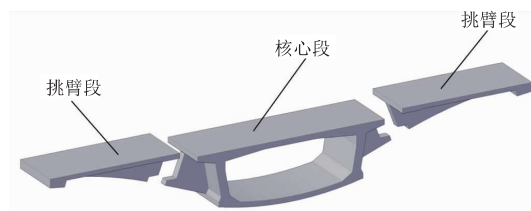


图 1 标准断面分解图

合配束预应力体系^[1-2]。大挑臂复合截面节段梁的设计重点之一在于如何保证后装挑臂的受力性能。由于后装挑臂常为肋板式结构, 顶板厚度不大, 且挑臂分段拼装过程中, 挑臂与核心梁段、挑臂与挑臂之间均有一定拼装误差, 叠加桥梁路线自身的纵坡、平曲线、超高等影响, 使得在挑臂节段顶板的钢束预埋管道很难精确对齐, 而现场穿束往往较为困难, 因此后装挑臂一般仅在最外侧小纵梁内设置一定纵向体内束。

常见的配束方式如图 2 所示。

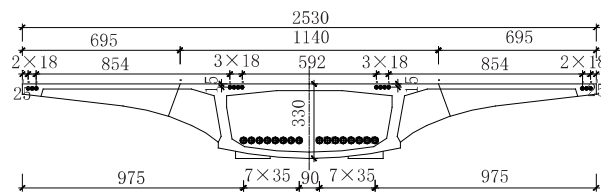


图 2 标准断面钢束图(单位: cm)

由于后装挑臂最外侧小纵梁的钢束布置空间有限, 挑臂的纵向受力性能大部分依靠于核心段纵向钢束所传递的预应力效应。考虑先张束张拉时挑臂未安装, 因此后装挑臂的纵向受力性能主要源于核心段后张束的预应力效应。

考虑核心主梁后张拉钢束的预应力效应是根据一定比例在核心主梁、后装挑臂之间进行分配, 在构造尺寸一定的情况下, 预应力效应分配的比例与钢束的传力路径有很大关系。不同钢束类型的传递路径有明显区别, 例如设于顶板的体内束直接通过顶板传递

收稿日期: 2021-04-21

作者简介: 严搏(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

预应力效应给挑臂,而体外束则先传递给核心梁的横梁与转向块节段,再进一步传递给挑臂部分。此外,钢束距挑臂的横向距离也对传力路径有影响。因此我们以钢束类型和钢束横向位置为参数,研究核心段后张束对挑臂预应力效应的影响。

1 钢束类型对挑臂预应力效应影响

1.1 评价指标确定

对于顺桥向挑臂各关键截面,我们用单位体积后张束产生的作用效应来反映预应力的传递效率,定义如下:

$$Q = F/V \quad (1)$$

式中: Q 为预应力传递效率, kN/m^3 ; F 为关键截面轴力, kN ; V 为钢束体积, m^3 。

参数 Q 越高,表示该类型的钢束作为后张束,对挑臂的预应力传递效率越高,更适合作为后张拉钢束。

1.2 有限元模型概述

利用 Midas Civil 建立全桥空间杆系有限元模型,整体坐标系 X, Y, Z 轴,分别代表纵桥向、横桥向和竖向。跨径布置 $3 \times 50 \text{ m}$,桥宽 25.5 m ,其中核心主梁、挑臂、挑臂肋板采用梁单元模拟,体外预应力钢束、体内预应力钢束采用桁架单元模拟。体外束在转向及锚固处通过刚臂与主梁节点连接,体内束在每道肋板处通过虚拟梁与挑臂和核心主梁连接,支座处采用弹性连接模拟支座刚度,如图 3 所示。主梁材料采用等级为 C55 混凝土。按照核心梁段先行,挑臂后装的施工方法,进行施工过程模拟,预制构件龄期均考虑 180 d。



图3 Midas 空间杆系有限元模型

1.3 钢束形式影响分析

为了研究钢束类型对后装挑臂预应力效应的影响,方便起见,钢束横向位置保持不变,分析后张拉顶板体内束、底板体内束、单跨体外束、多跨体外束对挑臂的预应力传递效率情况。

体内束采用 $\Phi_s 15.2-15$ 规格,张拉应力为 1395 MPa 。顶板体内束在墩顶负弯矩区布置,根据钢束长度分为 $T1, T1'$ 钢束;顶板体内束 $T2$ 通长布置,底板体内束 $T3$ 在各跨跨中布置。

体外束采用 $\Phi_s 15.2-27$ 规格,张拉应力为 1209 MPa 。钢束布置分为单跨体外束和多跨体外束, $W1$ 表示布

置在第一跨的体外束, $W12$ 表示布置在第一、二跨的体外束,以此类推。

各钢束布置简图如图 4~图 6 所示。

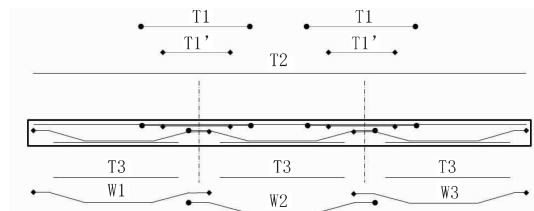


图4 钢束布置简图1

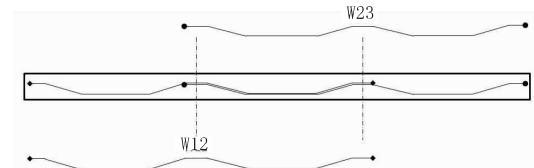


图5 钢束布置简图2

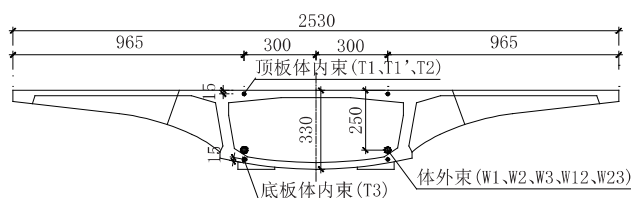


图6 钢束布置简图3

各钢束类型对后装挑臂的预应力效率对比如图 7 所示。

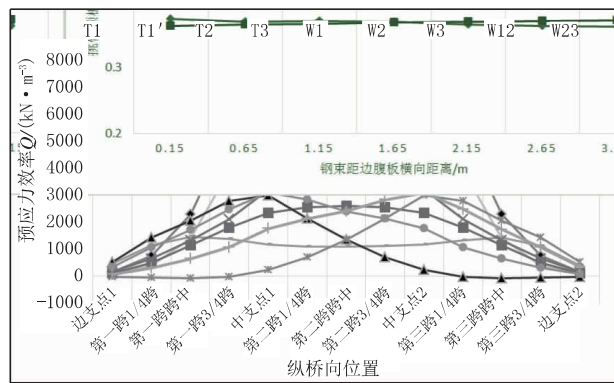


图7 钢束类型效率对比图

从图 7 可以看出,墩顶顶板体内束对后装挑臂大部分区域的预应力传递效率均最高,且长束 $T1$ 比短束 $T1'$ 效果更好;对于边支点到边跨跨中区域,通长顶板体内束 $T2$ 、单跨体外束 $W1, W3$ 及双跨体外束 $W12, W23$ 效率较高。

考虑张拉钢束一般在顺桥向对称布置,因此再次对比 $T1, T1', T2, (W1+W3), (W12+W23)$ 五种张拉工况,其预应力效率如图 8 所示。

从图 8 可以看出,对于边跨, $T2$ 钢束类型的预应力传递效率略高, $(W1+W3), (W12+W23)$ 工况基本一致;但对于中跨,除 $T1, T1'$ 类型钢束外, $(W12+W23)$ 的传递效率明显更优, $(W1+W3)$ 其次,

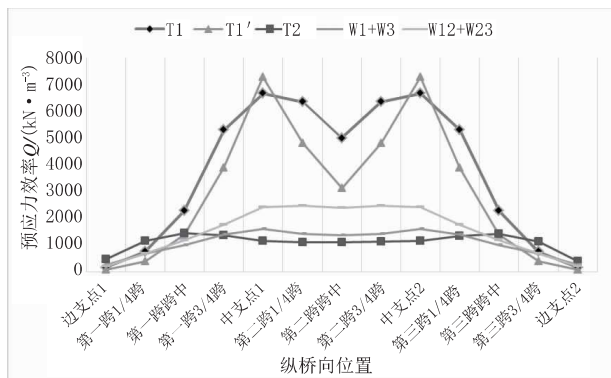


图8 预应力效率对比图

T2 最低。

综上所述,基于后张束对后装挑臂的预应力传递效率,可以认为设于墩顶的顶板体内束作为后张束是更有优势的,且长束效果优于短束,这种布置方式也能很好的匹配挑臂的成桥应力状况。由于墩顶体内束总量有限,当须进一步提高边跨后装挑臂纵向受力性能时,可考虑后张拉通长顶板体内束或双跨体外束作为补充。

2 钢束横向位置对挑臂预应力效应影响

2.1 有限元模型概述

由于设于墩顶的顶板体内束更适合作为后张束,为了更精确的模拟该类型钢束对挑臂的预应力效应,采用 Midas FEA 建立半联实体模型,核心主梁、挑臂、挑臂肋板均采用六面体实体单元模拟,中支点底板支座处进行固定约束,边支点底板支座处纵向放开,横向、竖向约束。主梁材料等级 C55 混凝土,如图 9 所示。

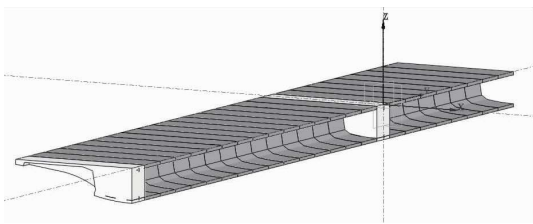


图9 FEA 实体模型

2.2 钢束横向位置影响分析

钢束在墩顶布置,采用 $\Phi_{s15.2-15}$ 规格,张拉应力 1 395 MPa,钢束横向距核心梁边腹板 0.15 m。其对挑臂的预应力效应如图 10 所示。

由图 10 可知,钢束对后装挑臂的预应力效应以一定角度扩散至挑臂上。在预应力效应扩散区域,如图示断面 1,后装挑臂外侧应力小,内侧应力大,内外侧应力不均匀程度较高;预应力效应扩散至整个挑臂后,如图示断面 2,挑臂内外侧应力较均匀;对于扩

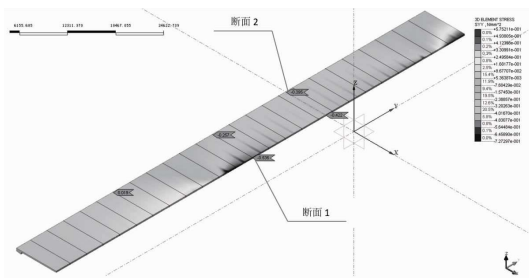


图10 挑臂纵向应力图(单位:MPa)

散角外的区域,挑臂顶板有一定的拉应力存在。

根据上述标准模型,我们通过改变后张拉钢束距边腹板的横向距离 D ,来研究钢束横向位置对后装挑臂预应力效应的影响,如图 11 所示。



图11 钢束布置示意图(单位:cm)

分别对断面 1、2,研究钢束不同横向位置的挑臂应力情况,如图 12 和图 13 所示,其中横坐标为钢束距边腹板横向距离,纵坐标为挑臂顶板应力。

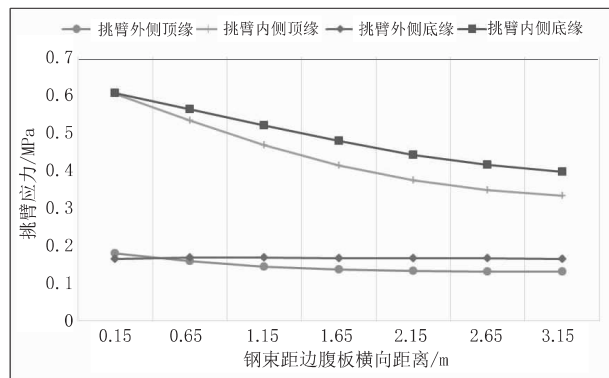


图12 挑臂应力对比图-断面1(单位:MPa)

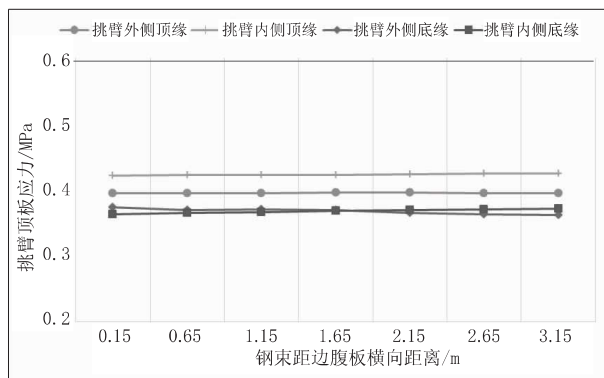


图13 挑臂应力对比图-断面2(单位:MPa)

从图 12 结果可见,钢束横向位置对挑臂内侧应力影响较大,外侧基本无影响。从钢束距边腹板 0.15 m 变化至 3.15 m,挑臂内侧顶板应力逐渐降低,其中顶缘约减小 45%,底缘约减小 35%。从图 13 结果可见,钢束的横向位置对支点附近的挑臂应力影

响不大。

综上,核心段墩顶体内束的预应力效应以一定角度扩散至后装挑臂。在预应力效应扩散区域,后装挑臂外侧应力小,内侧应力大,内外侧应力不均匀程度较高,钢束的横向位置主要影响挑臂内侧应力;预应力效应扩散至整个挑臂后,挑臂内外侧应力较均匀,钢束的横向位置对挑臂应力影响不大。因此建议后张束贴近后装挑臂布置并采用长束,能有效增加挑臂内侧应力,扩大预应力的有效影响区域。

对于预应力效应扩散角外区域,挑臂有一定的拉应力存在。为改善该区域的纵向受力性能,挑臂外侧小纵梁可设置一定纵向体内束。在标准模型的基础上,挑臂外侧小纵梁设置体内束,钢束采用 $\Phi_s 15.2-5$ 规格,张拉应力 1 395 MPa,应力情况如图 14 所示。

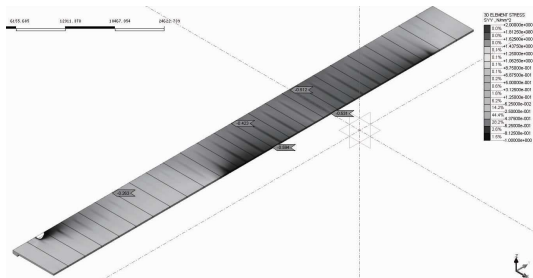


图 14 挑臂纵向应力图(单位:MPa)

可以看出,挑臂外侧小纵梁设置一定纵向体内束后,能有效增加挑臂外侧的压应力,使挑臂内外侧应力不均匀程度降低。

3 结 论

本文以 3×50 m 大挑臂复合截面节段梁为例,对复合截面节段梁后装挑臂的纵向预应力效应进行了一系列研究。研究结果表明:

(1)在多种钢束类型中,设于墩顶的顶板体内束预应力传递效率更高,更适合作为后张束;

(2)后张束贴近后装挑臂布置并采用长束,能有效增加挑臂内侧应力,扩大预应力的有效影响区域。由于墩顶体内束总量有限,当须进一步提高边跨后装挑臂纵向受力性能时,可考虑后张拉通长顶板体内束或双跨体外束作为补充;

(3)挑臂外侧小纵梁处设置体内束,能有效改善挑臂外侧的纵向受力性能,弥补核心段后张束的不足。

参考文献:

- [1] 袁爱民.体内体外混合配束节段预制箱梁受弯性能试验[J]. 长安大学学报,2015,35(5):73-81.
- [2] 徐海军.体外预应力混凝土桥梁弯曲性能非线性分析[J]. 上海公路,2003(S1):104-109.

《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