

悬臂浇筑连续箱梁病害分析及加固对策研究^{*}

毛铮

(苏州市公路管理处, 江苏 苏州 215004)

摘要: 对某悬臂浇筑连续箱梁桥上部结构的主要病害进行归纳和分析, 利用桥梁博士 V3.5 和 MIDAS/Civil 2015 建立模型对其进行受力分析和结构验算, 针对其结构特点提出相应加固方案, 并对局部结构建立 ANSYS 有限元模型进行验算, 为类似桥梁加固改造提供参考。

关键词: 桥梁; 连续梁; 箱形梁; 病害; 加固维修

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0130-04

悬臂浇筑连续箱梁桥具有整体性能好、结构刚度大、变形小、伸缩缝少、行车平顺舒适、养护简单、抗震能力强等优点, 无论是公路或城市桥梁、高架道路, 还是跨越宽阔河流的大桥, 其均是首选桥型方案之一。但随着使用年限的增加及超载现象的加重, 许多连续箱梁桥出现跨中下挠、腹板斜向裂缝、底板纵向裂缝等病害。该文以某小跨径悬臂浇筑连续箱梁为例, 针对其主要病害进行加固设计。

1 工程概况

该桥建成于 2004 年。全桥长 421 m, 正交, 桥跨布置为 $(6 \times 25) \text{ m} + (38.5 + 60 + 38.5) \text{ m} + (5 \times 25) \text{ m}$, 设计荷载为汽车—超 20 级、挂车—120。主桥为变高度预应力砼连续箱梁, 引桥为预应力砼组合箱梁。桥面全宽 26.5 m, 单幅行车道宽 11.75 m, 两侧设 0.5 m 防撞护栏, 中间设 0.75 m 波形护栏。该桥在 2015 年桥梁定期检测中评分为 70.72 分, 为三类桥梁; 2016 年被评为四类桥梁。

2 主要病害及结构计算

2.1 主要病害

(1) 腹板斜向裂缝。全桥变截面现浇箱梁中, 39 个块段腹板存在斜向裂缝, 斜裂缝在腹板上的整体分布呈正八字形, 判断为受力裂缝。裂缝大多从腹板中下部延伸至腹板上部, 部分裂缝下缘与底板斜缝相连。缝宽 0.05~0.3 mm, 典型裂缝在腹板中间高度上的深度为 50~70 mm(见图 1)。

(2) 腹板竖向裂缝。全桥变截面现浇箱梁中, 部分跨中块段腹板存在竖向裂缝, 竖向裂缝大多从

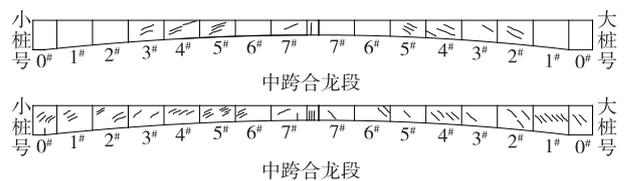


图 1 某跨左右腹板斜向裂缝展开图

腹板底延伸至腹板中上部, 并与底板横向裂缝相接, 缝宽 0.05~0.2 mm。

(3) 主跨跨中下挠。根据桥面线形及梁底线形实测结果, 结合桥梁目前产生的大量受力裂缝, 判断主桥线形相对于原设计线形总体呈主跨下挠趋势(见图 2)。但桥梁自振频率实测值大于理论计算值, 桥梁整体刚度满足要求。

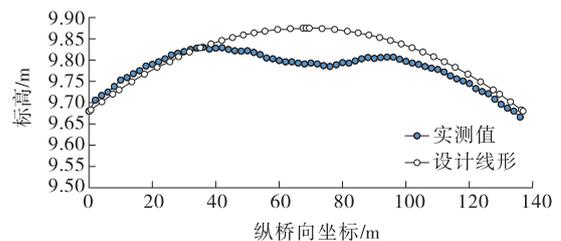


图 2 桥面线形示意图

2.2 结构计算

利用桥梁博士 V3.5 建立平面杆系模型(共离散为 78 个单元、79 个节点, 见图 3)、MIDAS/Civil 2015 建立三维杆系模型(共离散为 82 个单元、83 个节点, 见图 4)进行结构计算, 并相互校核。



图 3 平面杆系计算模型

^{*} 基金项目: 江苏省交通运输科技项目(2017T28)



图4 空间杆系计算模型

采用原设计依据规范 JTJ 023—1985《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行承载能力评定,同时根据现行规范 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行复核验算。综合考虑桥梁结构或构件表观缺损状况、材质强度和桥梁结构固有模态等,确定承载能力检算系数 Z_1 为 1.0,承载能力恶化系数 ξ_c 为 0.026,截面折减系数 ξ_s 为 1.0,钢筋截面折减系数 ξ_r 为 1.0,活载影响修正系数 ξ_q 为 1.05。

2.2.1 依据 JTJ 023—1985 的结构计算复核

根据 JTJ 023—1985 对桥梁进行计算,主桥抗弯承载能力满足规范要求,中跨跨中处作用效应值与结构抗力的比值为 1.2 左右。

根据规范对法向应力、正截面抗裂、斜截面抗裂和变形进行验算,均符合规范要求。由于该桥未配置腹板束,主拉应力主要由竖向预应力控制,对不同竖向预应力损失情况下的主拉应力进行分析,结果见表 1。由表 1 可知:不考虑竖向预应力参与受力时,该桥最大主拉应力(组合 II)由 1.7 MPa 增至 2.7 MPa,达到规范限值 2.7 MPa,为原设计的 1.6 倍,安全储备大大降低。

2.2.2 参照 JTG D62—2004 的结构计算复核

参照 JTG D62—2004 对结构的正截面抗弯

表1 竖向预应力损失对主拉应力的影响分析 MPa

工况	荷载组合	截面最大主拉应力
原设计(竖向预应力损失 40%~55%)	组合 I	-1.5
	组合 II	-1.7
	组合 III	-1.4
不考虑竖向预应力	组合 I	-2.5
	组合 II	-2.7
	组合 III	-2.4

极限承载能力进行验算,由于荷载组合系数的区别,边跨最大正弯矩截面与中跨跨中截面都不满足要求,其中中跨跨中截面作用效应值与结构抗力的比值仅 0.86。主桥中支点附近至 $L/4$ 截面(边跨 4[#]~0[#] 块及主跨 0[#]~4[#] 块范围内)的抗剪承载能力不满足 JTG D62—2004 的要求,其中主跨 1[#] 块端截面结构抗力与作用效应值的比值仅 0.79。

根据规范对桥梁正常使用极限状态抗裂进行验算,正截面、斜截面抗裂均不符合规范要求。

2.2.3 不同工况及参数的敏感性分析

考虑竖向预应力失效、纵向预应力损失及实际通行荷载偏大等可能情况,按照 JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力检测评定》及 JTJ 023—1985 的要求,分 5 种工况对桥梁结构进行敏感性分析:工况 1 为原设计;工况 2 为竖向预应力损失 100%;工况 3 为竖向预应力损失 100%,纵向预应力损失 10%;工况 4 为竖向预应力损失 100%,纵向预应力损失 10%,活载影响系数取 1.05;工况 5 为竖向预应力损失 100%,纵向预应力损失 10%,活载影响系数取 1.2。结果见表 2。

表2 不同工况及参数的敏感性分析

MPa

工况编号	依据 JTJ 023—1985 组合 II 的敏感性分析		参照 JTG D62—2004 短期组合的敏感性分析		
	跨中截面最大法向拉应力	最大主拉应力	跨中截面最大法向拉应力		最大主拉应力
			$\sigma_{st} - 0.8\sigma_{pc}$	$\sigma_{st} - \sigma_{pc}$	
1	-0.7	-1.7	-2.2	-0.1	-1.6
2	-0.7	-2.7	-2.2	-0.1	-2.5
3	-1.9	-2.7	-3.2	-1.3	-2.6
4	-2.2	-2.8	-3.4	-1.5	-2.6
5	-2.8	-2.9	-3.9	-2.0	-2.7

由表 2 可知:该桥斜向裂缝与活载和竖向预应力损失成正相关关系,与纵向预应力损失的相关性不显著,这主要是由于纵向预应力未下弯布置。

3 病害主要成因

(1) 抗弯及抗剪承载能力储备不足。该桥设计

截面尺寸偏小,抗弯及抗剪承载能力储备不足,主梁跨中截面梁高 1.7 m,跨中截面腹板厚 40 cm,墩顶附近截面腹板厚 50~56 cm,同时箍筋配筋率不高,相较于同类型桥梁,其结构尺寸偏小。

(2) 竖向预应力损失过大。该桥采用三向预应力体系,未配置腹板弯起钢束,截面主拉应力由竖向预应力控制,而竖向预应力由于施工控制(锚具变形)、收缩徐变等原因,预应力损失常超出设计要求,导致截面主拉应力过大,砼开裂,进一步引起截面抗弯、抗剪承载能力及截面刚度下降。

(3) 车辆超载。该桥连接某港口,车流量极大,存在大量集装箱车辆及施工满载渣土车通行。同时桥梁前后设有交通信号灯,大量重车集中过桥,导致梁体受力过大。

4 加固维修设计

4.1 加固设计方案

针对桥梁缺陷和病害采用不同维修加固措施,主要为腹板增大截面、粘钢,主要目的在于提高结构抗弯、抗剪承载能力,改善箱梁腹板尺寸较小的问

题,通过在底板外贴钢板及碳纤维布等限制底板裂缝发展,并在箱内增设体外束,抑制箱梁的进一步下挠,增大结构的压应力储备。

(1) 腹板增大截面结合粘钢加固。在主桥中跨 0#~4# 块、边跨 0#~4# 块箱室内腹板采用 C55 自密实砼增加厚度 15 cm,并增设双层钢筋网,与原结构所植钢筋焊接成整体。为进一步增加箱梁腹板抗剪强度,腹板加宽后在斜裂缝密集位置粘贴钢板。钢板粘贴方向与裂缝垂直,即由跨中向支点 45° 斜向粘贴,设置螺栓钻孔锚固。

(2) 增设体外预应力束。该桥主要病害为主跨下挠及腹板斜裂缝等,增设体外预应力束能抑制结构下挠及结构裂缝的进一步发展。结合计算及箱梁内部构造,在箱梁边跨布置 4 根 $19\phi^{j}15.24$ 钢束、主跨布置 6 根 $19\phi^{j}15.24$ 钢束,张拉控制应力为 $0.6f_{pk}$,采用 19-15 环氧喷涂钢绞线及配套可复张锚具、集束式转向器。利用中墩横隔板及钢转向块等作为体外预应力束的转向支点,通过植筋固定钢锚固块。为避免索体产生较大振动,在自由段设置减振装置(见图 5)。

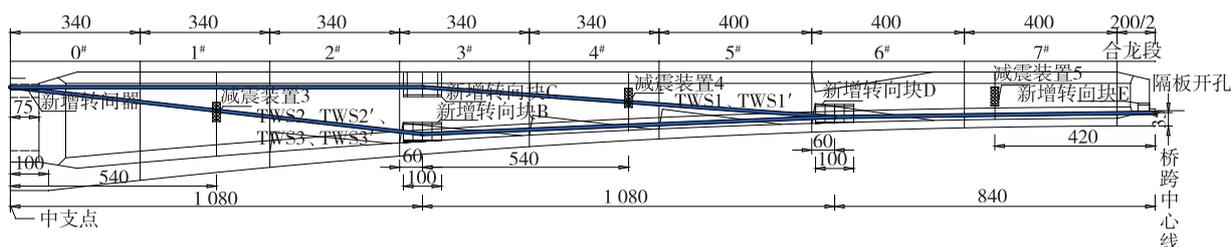


图 5 主跨体外束布置示意图(单位:cm)

(3) 底板粘贴钢板及碳纤维布加固。

(4) 桥面铺装改造。将原 10 cm 沥青砼改为 5 cm SMA-13 薄层铺装。

(5) 对可见裂缝进行封闭或灌缝。

(6) 表观病害处治及防护。

4.2 转向块设计

转向块是体外预应力加固中使用的传力构件,可调整预应力筋的线形和转角,使结构受力更合理。当体外预应力筋的巨大压力作用于转向块时,容易造成应力集中现象,是控制设计的关键部位。

受原桥齿板位置的限制,该桥转向器只能在底板中部设置,使用的转向块构造见图 6。利用 ANSYS 建立有限元模型,该模型采用 shell63 单元,节段模型共计约 1 084 113 个单元(见图 7)。施加于模型上的荷载包括体外索径向力、转向块自重。

通过转向块的 4 根体外预应力筋 TWS2 及

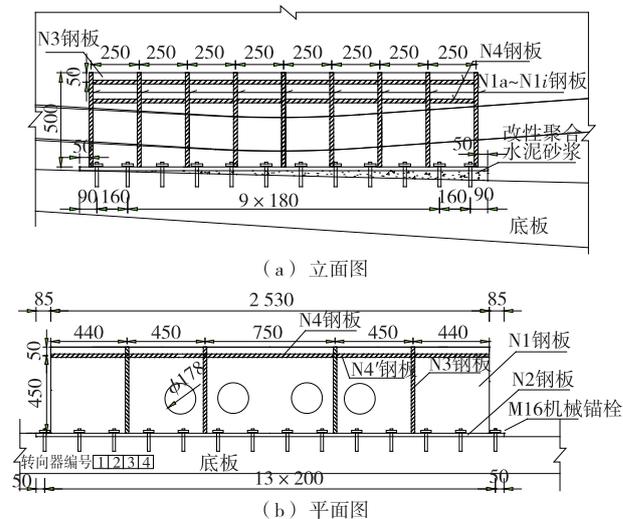


图 6 转向块构造示意图(单位:mm)

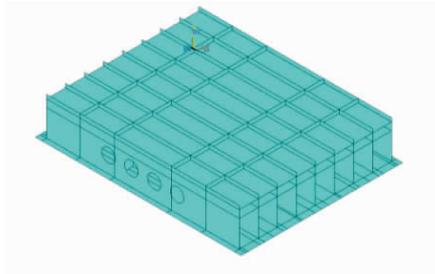


图7 转向块计算模型

TWS3的张拉力取为2 968.6 kN,其中钢束的竖向弯起角度为8.26°,故体外预应力筋的竖向分力为426.5 kN;TWS2的横向弯起角度为6.98°,水平分力为360.8 kN;TWS3的横向弯起角度为7.57°,水平分力为391.1 kN。

转向块的最大等效应力为108.30 MPa(见图8、图9),小于Q420钢材的设计屈服强度380 MPa;最大变形为0.07 mm,结构变形较小。转向块局部验算结果满足规范要求。

5 结语

预应力砼连续梁桥一般在运营几年后会出现腹

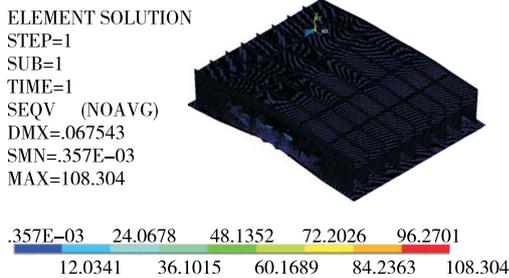
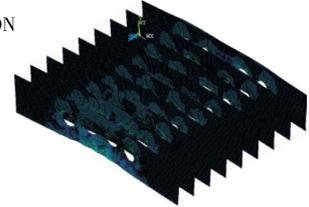


图8 转向块模型等效应力(单位:MPa)

ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB=1
TIME=1
SEQV (NOAVG)
DMX=.052358
SMN=.357E-03
MAX=34.6652



.357E-03 7.70366 15.407 23.1103 30.8136
3.85201 11.5553 19.2586 26.9619 34.6652

图9 转向块钢板等效应力(单位:MPa)

板斜向裂缝、底板纵向裂缝、跨中下挠等病害,已成为桥梁维护管理中的典型问题。该文针对某连续箱梁的病害进行维修加固对策研究,提出了腹板增大截面结合粘钢和增设体外束的加固方案,可为相似桥梁的加固维修提供参考。

参考文献:

- [1] 章世祥,李波.悬臂浇筑PC连续箱梁桥顶板纵向裂缝成因综述[A].江苏省公路学会学术年会论文集(2015年)[C].2015.
- [2] 余振,曹新垒,邢彩凤.某大跨度混凝土连续梁桥病害分析及加固处理[J].安徽建筑,2017(2).
- [3] 李邦映.预应力混凝土连续梁桥病害分析及维修加固设计[J].工程设计,2015,29(3).
- [4] 殷新锋,王成煜,黄屿,等.体外预应力桥梁转向块的受力性能分析[J].中外公路,2017,37(5).
- [5] 欧阳潮.预应力连续箱梁桥病害分析及加固方法研究[J].公路与汽运,2016(4).
- [6] 程健,田俊,尹晓文.悬臂浇筑连续箱梁的临时固结受力分析研究[J].重庆建筑,2013(10).

收稿日期:2017-12-25

(上接第100页)

吊机作用,在桥面吊机前支点处出现部分钢板凹陷现象,导致桥面板应力发生突变。施工时应对该处进行处理,避免发生应力集中现象。

(2) 起吊工况下,桥面板横向位移由桥面中心线到桥面边缘变化较大。进行桥面线形控制时应引起注意,应对其理论值进行适当修正。

(3) 在钢箱梁施工及成桥阶段,桥面板最大应力为63.8 MPa,远小于设计所用钢材的容许应力,具有较大安全储备;桥面板最大应力均出现在斜拉索锚固区域,设计时应应对拉索附近钢板进行加强。

(4) 对于钢箱梁横向应力,尤其是单索面宽幅

箱箱梁,应采用空间有限元方法进行计算。

参考文献:

- [1] JTG/T D65-01-2007,公路斜拉桥设计细则[S].
- [2] TB 10002.1-2015,铁路桥涵设计基本规范[S].
- [3] 吴讯,董洁.超宽单索面组合梁斜拉桥桥面板横向应力研究[J].石家庄铁道学院学报:自然科学版,2009,22(4).
- [4] 万信华,冯鹏程,杨耀铨,等.鄂黄长江大桥主桥施工阶段横向应力研究[J].华中科技大学学报:城市科学版,2002,19(3).

收稿日期:2017-11-06