DOI:10.14048/j.issn.1671－2579.2021.04.023

预应力混凝土盖梁开裂原因分析及加固方案研究

冯淑珍

（南京铁道职业技术学院，江苏 南京 210031）

摘要：某预应力混凝土连续梁桥的主墩采用预应力混凝土盖梁。运营后发现盖梁存在着两类典型的混凝土裂缝，且具有一定的规律性。根据墩顶盖梁的配筋及预应力布置情况，建立实体有限元模型进行分析，利用拉压杆原理计算理论裂缝宽度，从结构受力角度明确裂缝产生的原因。进一步分析病害的危害性并对主动与被动加固方案进行了比选。从限制裂缝发展、保证耐久性的角度出发推荐粘贴钢板的被动加固方案。

关键词：盖梁；裂缝；原因分析；加固

1 项目概述

南京某大桥为预应力混凝土变截面连续梁桥，跨径布置为(64＋112＋64) m。大桥于2010年4月竣工通车，左右分幅设置，单幅宽度为16.75 m，横断面布置为0.5 m(防撞护栏)＋15.25 m(行车道)＋1.1 m(中央带护栏)。

大桥上部结构采用单箱单室箱梁，中墩墩顶截面高为6.384 m，跨中梁高为2.584 m，梁底线形为抛物线。桥梁支座为球形支座，中墩支座型号为LQZ3500GD－θ0.05、LQZ3500DX－e±200－θ0.05，支座横桥向间距为6.25 m。

桥梁的中墩采用圆柱墩、预应力混凝土盖梁，盖梁结构如图1所示。圆柱墩直径4.3 m，盖梁横桥向总宽度9.15 m，顺桥向宽度4.7 m，高度4.0 m。在2018年检测中发现，中墩普遍存在开裂现象，分布具有一定的规律性。该类型裂缝为比较典型的结构裂缝，在同类型的结构中普遍存在。但是裂缝产生的原因涉及材料、设计、施工、养护等多方面，相对较复杂。

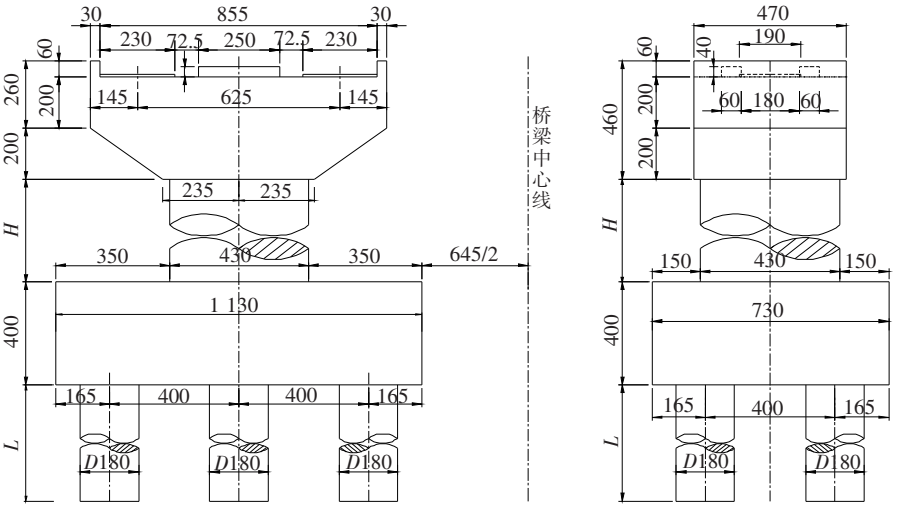


图1 桥墩及盖梁结构(单位：cm)

收稿日期：2020－06－16(修改稿)

基金项目：国家自然科学基金青年基金资助项目(编号：51608116)；江苏省青蓝工程项目(编号：RCQL8101，RCQL8209)；江苏省轨道交通控制技术研究开发中心开放计进重点课题(编号：KFJ2004)

作者简介：冯淑珍，女，博士，副教授. E－mail：437727006@qq.com

2　开裂现状及原因分析

盖梁混凝土典型裂缝分布如图 2 所示。裂缝分布于盖梁的立面，集中分布在横桥向两支撑垫石之间位置，裂缝基本上成竖直状态。中间的裂缝相对较宽、最宽达到 0.15 mm，最大长度 2.4 m。同时，裂缝具有上宽下窄的特征。根据结构类型推断，盖梁中部应有顺桥向通长裂缝，但是由于检测空间等限制无法检测，所以裂缝分布图中并未画出。

该盖梁为预应力混凝土结构，顺桥向共布置 5 束（每束 9 根）预应力钢束，横桥向呈曲线布置。中部预应力钢束中心线距离盖梁顶部 35 cm，张拉控制应力为 1 395 MPa。同时在盖梁的顶部配有 6 排直径 32 mm 钢筋，每排间距 10 cm，合计 257 根。盖梁预应力钢束及普通钢筋布置如图 3 所示。

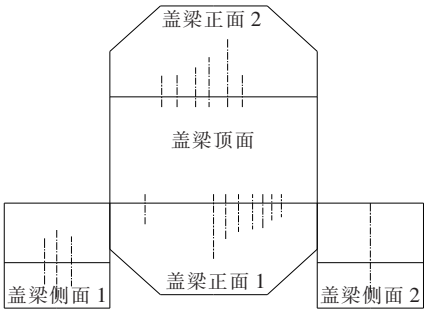
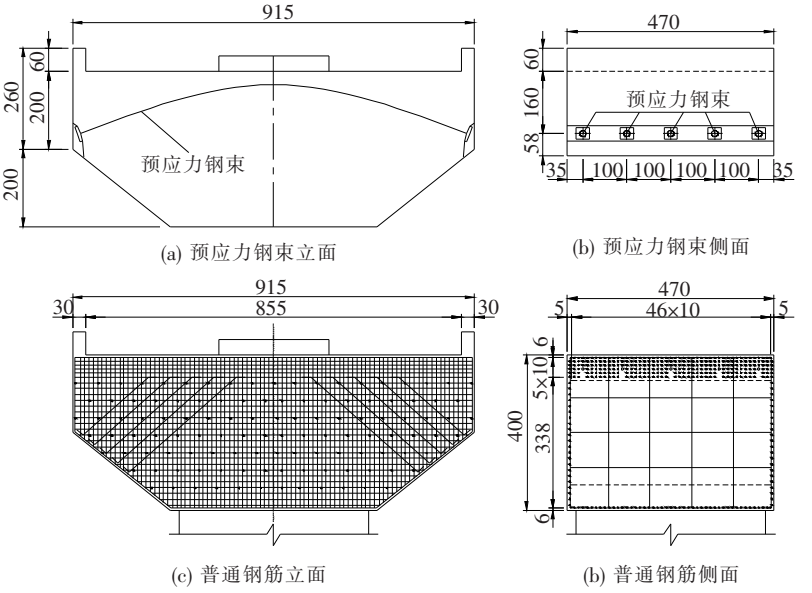


图 2　盖梁典型裂缝分布



(a) 预应力钢束立面　(b) 预应力钢束侧面

(c) 普通钢筋立面　(b) 普通钢筋侧面

图 3　盖梁预应力钢束及钢筋布置（单位：cm）

该结构悬臂长度和竖向高度之间比例较小，更倾向于牛腿构造。因此建立实体有限元模型以准确模拟其受力状态。在支反力作用下，盖梁顶部两个支撑垫石之间呈现明显的受拉状态，且中部大，靠近垫石方向逐渐降低。盖梁中部横桥向最大拉应力为 4.7 MPa，靠近盖梁边缘时降低至 2.6 MPa。在垂直方向，拉应力较大区域厚度约为 20 cm。盖梁横桥向应力分布与牛腿结构受力特征、盖梁混凝土裂缝分布区域基本一致。

盖梁为预应力结构，根据实体仿真分析模型，理论有效预应力约为 1 160 MPa，最小预应力损失约为 17%。预应力钢束对盖梁顶面中部提供压应力为 1.2 MPa。而在实际使用过程中，由于施工的复杂性、环境条件、安装偏差等多种原因，实际有效预应力大小难以判断。基于此，在不考虑预应力钢束作用的情况下根据 GB 50010—2020《混凝土结构设计规范》拉压杆作用原理对盖梁进行了承载能力及裂缝宽度计算。盖梁抗拉、抗剪承载能力均满足规范要求，理论裂缝宽度为 0.09 mm。

综合考虑上述分析推断，原设计盖梁应采用杆系模型计算及设计或为部分预应力混凝土 A 类构件，由于预应力钢束损失过大导致构件性能降低，基本上满足部分预应力混凝土 B 类构件要求。

根据实体有限元分析结果在盖梁的侧面中部存在一定区域的应力集中。顺桥向最大拉应力达到了 2.7 MPa。该应力集中区域处于盖梁侧面中心位置，部位及分布长度等与侧面竖向裂缝对应。同时，该区域为预应力钢束封锚区域，混凝土材料性能不一致且存在着龄期差，这也是盖梁侧面混凝土裂缝产生的主要原

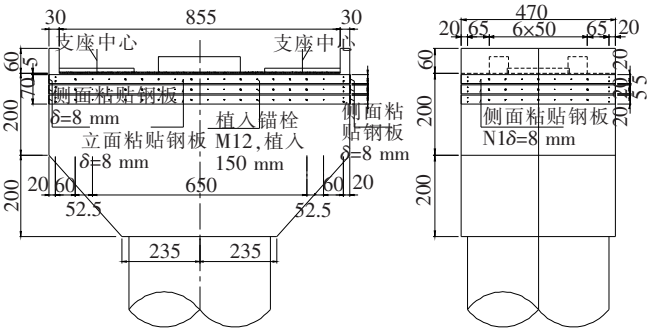
因之一。

3 加固方案研究及比选

考虑到该裂缝为结构性受力裂缝，加固方案采用体外预应力主动加固和粘贴钢板被动加固方案进行比选。

主动加固方案是在盖梁顶端横桥向施加体外预应力，以抵消或降低荷载效应。综合考虑盖梁结构特点，拟在盖梁的两侧横桥向各施加 1 束，每束 7 根，张拉控制应力为 1 209 MPa。经计算，加固后盖梁中心处拉应力降低 0.5 MPa。即盖梁顶部依然存在 4.2 MPa 的拉应力。根据该效应，若想将盖梁中部 4.7 MPa 拉应力全部消除则需要施加体外预应力 132 根，每侧 61 根。在构造上完全布置如此多的钢束十分困难。同时也可以看到，施加的钢束均为短束，预应力损失大，效果难以保障。

被动加固方案(图 4)指在既有结构中粘贴高强材料并与既有结构协调变形，粘贴的高强材料与既有结构共同承担后期荷载作用，通常选用钢板和碳纤维布。虽然碳纤维布材料性能优异，但是能够与既有结构及时有效地共同协调变形遭到质疑。所以选择粘贴钢板法进行加固。



(a) 粘贴钢板立面 (b) 粘贴钢板侧面

图 4 粘贴钢板加固构造(单位：cm)

该裂缝在使用过程中为活动裂缝，即在桥梁活载的作用下，裂缝始终处于不断的张合状态。根据计算，恒载约占支反力的 75%、活载占 25%。在恒载的作用下，混凝土表面拉应力已经达到 3.5 MPa，即结构已经开裂；在活载的作用下，裂缝始终处于张合状态。基于盖梁满足部分预应力混凝土 B 类构件的要求，以限制裂缝发展、保证结构耐久性为加固目标，采用粘贴钢板的加固思路也是可取的。加固方案兼顾盖梁侧面，采用环向粘贴的形式。粘贴钢板厚度为 8 mm，沿着侧面和立面分别锚固后焊接为环向整体。预留进出浆口后向钢板内压力灌注粘钢胶直至饱满，要求灌注孔隙率小于 5%。

采用该方案能够同时兼顾盖梁侧面裂缝的处治；粘贴钢板加固施工工艺成熟、施工质量可靠。但是施工前应加强对预应力钢束及主筋的探测，钻孔施工不得伤及预应力盖梁内钢束及主筋。

4 结语

对于类似盖梁结构采用预应力构件设计时，应充分估计长度短、曲线布置等带来的预应力损失。在设计阶段建议采用实体模型进行仿真分析以弥补杆系模型分析的不足。

对于结构加固，应在进行充分的病害原因分析、仿真计算分析、加固效果论证的基础上制定加固方案。经充分的分析、比选，在既有结构满足部分预应力混凝土 B 类构件的基础上采用粘贴钢板的加固方案，能够限制裂缝发展、保障结构耐久性。

参考文献：

[1] 赵巧燕，王琛. 双柱式钢筋混凝土盖梁竖向开裂标准化加固技术[J]. 公路交通科技(技术应用版)，2018(9).
[2] 王向锋，甘春燕. 盖梁在设计和施工中若干问题的探讨[J]. 交通世界，2018(36).
[4] 徐桂平，崔猛，张新国. 通车条件下盖梁重建支撑体系研究[J]. 中国市政工程，2016(S1).
[5] 李柏殿，欧阳罗. 某大桥盖梁悬臂端立面竖向裂缝的成因分析[J]. 公路交通科技(应用技术版)，2017(6).
[6] 肖金军，李传习. 小半径曲线箱梁非对称增大截面加固分析与试验研究[J]. 中外公路，2019(2).
[7] 毛建平，蒙方成，覃乐勤，等. 大跨径 SRC 拱桥拱肋裂缝分析及维修加固方案[J]. 中外公路，2018(6).
[8] 陈亮，林亚萍，张军雷. 某立交桥梁体偏位成因分析及维修加固[J]. 中外公路，2018(2).
[9] 韩亮，樊健生. 近年国内桥梁垮塌事故分析及思考[J]. 公路，2013(3).
[10] 吉伯海，傅中秋. 近年国内桥梁倒塌事故原因分析[J]. 土木工程学报，2010(S1).
[11] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京：人民交通出版社，2012.
[12] 邬晓光，白青侠，等. 公路桥梁加固设计规范应用计算示例[M]. 北京：人民交通出版社，2011.
[13] JTG/T J23—2008 公路桥梁加固施工技术规范[S].
[14] JTG/T J22—2008 公路桥梁加固设计规范[S].
[15] JGJ 145—2013 混凝土结构后锚固技术规程[S].
[16] GB 50010—2020 混凝土结构设计规范[S].