

文章编号:1671-6833(2007)03-0044-04

锚喷混凝土加固小铰缝板桥研究

邹兰林, 黄平明, 王 达

(长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要: 基于有限元理论,借助通用计算程序 ANSYS 对一实桥建立有限元模型,结合检测结果,分析了该桥在不同荷载工况下挠度、应力、自振频率以及振型特征的变化趋势,研究了加固前后桥梁结构的静、动力特性.结果表明:锚喷混凝土加固小铰缝板桥有效地降低板梁截面的应力和应变,提高桥梁结构的自振频率.由此可知,锚喷混凝土加固可提高结构的整体刚度,增强结构的抗弯及抗扭能力,改善桥梁整体受力特性,具有较高的推广应用价值.

关键词: 桥梁工程;锚喷;主应力;频率

中图分类号: U 445.7⁺2 **文献标识码:** A

0 引言

随着我国国民经济快速发展,行车密度和车辆载重都越来越大,许多早期修建的桥梁因此出现承载能力不足的问题,这不仅影响桥梁正常使用,而且威胁着桥梁结构安全^[1].对于预制安装的小铰缝板桥,一方面新的荷载等级提高了对其承载力的要求;另一方面小铰缝板桥普遍存在横向联结刚度不足而出现单片主梁受力情况,这更加重了桥梁结构的负担^[2].为使桥梁结构充分发挥其整体受力特性,提高其承载能力,对小跨径的预制小铰缝板桥可以采取锚喷混凝土方案进行加固.

1 锚喷混凝土加固原理

锚喷混凝土加固旧桥的方法是“新奥法”隧道施工技术桥梁加固中的应用.其原理是通过新增混凝土及受力钢筋与原结构紧密结合,形成喷射混凝土—锚杆—原混凝土的整体组合结构.它一方面能根治局部应力集中病害,阻止原结构继续变形和开裂,充分发挥原结构的作用;另一方面,加固增加了原结构的外形尺寸,增强其变形的协调性,使其承载能力得到提高^[3].

将锚喷加固法应用到小跨径预制板桥上,显示其特有的特点,不仅可以增大桥梁本身截面提高其承载力,还可以增强桥梁横向刚度,改善桥梁结构的整体受力特性.笔者通过有限元分析和实

桥试验证明,锚喷混凝土加固小铰缝板桥是一种比较理想的加固方案.

2 力学特性分析

2.1 静力分析

锚喷混凝土加固过程中,结构受力主要有2个阶段:第一阶段是原有结构受力阶段,第二阶段是复合截面受力阶段,结构加固过程中,新增混凝土强度形成以前,结构内力求解基本方程为

$$\{F\} = [K] \{\delta\} \quad (1)$$

式中: $\{F\}$ 为节点力矩阵; $[K]$ 为结构刚度矩阵; $\{\delta\}$ 为节点位移矩阵.对(1)式求解得出 $\{F\}$ 后,进一步按(2)式和(3)式求截面应力和应变.

$$\sigma = My/I \quad (2)$$

$$\varepsilon = \sigma/E = My/EI \quad (3)$$

式中: σ 、 ε 分别为截面应力和应变; M 为弯矩; EI 为抗弯刚度.

新增混凝土与原结构形成新的复合截面后,结构内力求解方程为

$$\{F\} = [K^*] \{\delta\} \quad (4)$$

$$[K^*] = \int [B]^T [D] [B] dx \quad (5)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n E_i A_i & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^n E_i A_i \end{bmatrix}$$

收稿日期:2007-03-26;修订日期:2007-06-07

基金项目:湖北汉宜高速公路沥青加铺工程指挥部资助项目(HYJP-技-003)

作者简介:邹兰林(1974-),男,湖北天门人,长安大学博士研究生,主要从事桥梁结构分析和桥梁加固研究.

式中: $[K^*]$ 为复合截面梁单元的单元刚度矩阵; $[D]$ 为弹性矩阵.

加固后的复合截面应力、应变的计算, 根据平截面假定确定, 截面中新增混凝土的应变即为新增应变, 截面中旧材料的应变由两部分组成: 初始应变和新增应变^[4]. 加固后复合截面应力、应变按(6)式和(7)式计算:

$$\sigma = My / \sum_{i=1}^n I_i \quad (6)$$

$$\varepsilon = My / \sum_{i=1}^n E_i I_i \quad (7)$$

2.2 动力分析

桥梁结构的动力特性是动力性能分析的重要参数, 主要包括结构自振频率、振型等, 取决于结构的组成体系、刚度、质量分布及边界支撑条件. 动力特性分析对于桥梁结构抗震设计、车振分析、抗风稳定性分析等有着重要的意义.

采用子空间迭代法计算结构的自振频率和振型^[5], 根据有限元法原理, 结合文献[6]所介绍方法, 结构的三维自由振动方程可表示为

$$[K]\{x\} - \omega^2[M]\{x\} = 0 \quad (8)$$

由(6)式可得

$$\omega^2 = \frac{\{x\}^T [K] \{x\}}{\{x\}^T [M] \{x\}} \quad (9)$$

$$\{x\} = [X]\{A\} \quad (10)$$

将(8)式代入(7)式, 得

$$\omega^2 = \frac{\{A\}^T [X]^T [K] [X] \{A\}}{\{A\}^T [X]^T [M] [X] \{A\}} \quad (11)$$

$$\text{令 } [K]^* = [X]^T [K] [X] \quad (12)$$

$$[M]^* = [X]^T [M] [X] \quad (13)$$

$$\text{于是 } \omega^2 = \frac{\{A\}^T [K]^* \{A\}}{\{A\}^T [M]^* \{A\}} \quad (14)$$

要所选的 $\{A\}$ 使得 ω^2 获得最小值, 故取

$$\frac{\partial \omega^2}{\partial \{A\}} = 0$$

$$\text{即 } [K]^* \{A\} - \frac{\{A\}^T [K]^* \{A\}}{\{A\}^T [M]^* \{A\}} [M]^* \{A\} = 0 \text{ 代}$$

入(12)式, 得

$$[K]^* \{A\} = \omega [M]^* \{A\} \quad (15)$$

由(15)式和(10)式求得 $\{x\}$, 并将其代入(8)式进行第一次迭代计算, 得到新的 $\{x\}$, 按上述计算过程重复计算, 达到足够精度, 即可求得理想的频率及振型. 其中, $[X]$ 为初始的振型; $\{A\}$ 为待定向量; $[M]$ 、 $[K]$ 分别为结构的整体质量矩阵及整体刚度矩阵.

加固前结构的自振特性值按(8)式进行计算, 加固后的计算方程与(8)式相似, 但须将结构的刚度矩阵 $[K]$ 替代为复合截面梁的单元刚度矩阵 $[K^*]$.

3 工程实例应用

3.1 概况

湖北(武)汉宜(昌)高速公路上一预制安装实心板桥, 桥梁单孔跨径 8 m, 单幅宽 11 m, 横向共 11 块板, 每块板宽 1 m, 板与板之间预留铰缝现浇形成铰传递剪力. 由于高速公路由原一级公路封闭形成, 桥梁设计荷载等级偏低, 经过长时间的营运, 原桥出现如下病害: 桥面大面积破损、铰缝混凝土脱落严重, 横向传力减弱, 主梁跨中出现横向裂缝. 加固前荷载试验检测结果显示该桥横向传力系数较小, 板与板之间横向联结基本破坏, 其承载能力严重不足, 需对其进行加固补强. 采取锚喷混凝土方案进行加固, 根据文献[6]的结论, 加固按单幅 3 车道进行锚喷成 3 片, 片与片之间设置铰缝, 加固方案如图 1 所示.

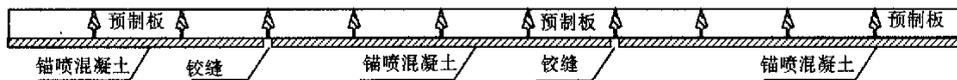


图 1 桥梁加固方案

Fig. 1 Strengthening scheme

3.2 计算分析

3.2.1 计算模型

借助通用程序 ANSYS 进行模拟计算, 以实体单元建立 2 组三维有限元计算模型, 对结构进行静、动力分析. 加固前模型如图 2 所示, 对铰缝处节点进行耦合形成横向铰结; 加固后模型按新增混凝土强度形成前后分 2 阶段进行计算, 第一阶段混凝土强度未形成时, 按原结构承受新旧混凝土方数据

土自重计算; 第二阶段新增混凝土强度已经形成, 按复合截面受力计算, 新增混凝土按实际刚度施加在加固板块上, 两道铰缝仍耦合自由度形成铰结, 模型如图 3 所示.

3.2.2 计算结果分析

(1) 静力计算结果分析

为对比加固前后结构受力状况, 按偏载和中载 2 种工况进行加载计算, 关于施工阶段计算结

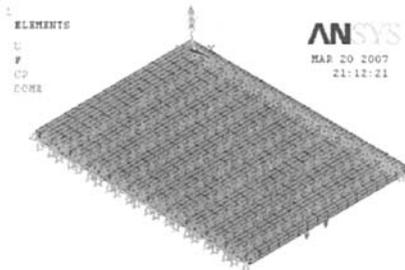


图2 加固前模型

Fig. 2 Model of primary structure

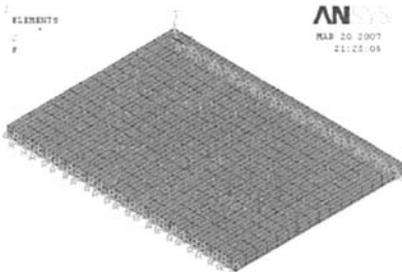


图3 加固后模型

Fig. 3 Model of strengthened structure

果不再列出。计算得加固前后偏载和中载作用下结构挠度如图4所示,结构主拉应力如图5所示。

图4显示结构在偏载作用下最大挠度分别为6.41 mm和3.25 mm,加固后挠度降低了49.3%;中载作用下最大挠度分别为5.01 mm和2.31 mm,加固后降低了53.9%。

图5显示结构加固前后在偏载作用下最大主拉应力为1.9 MPa和1.12 MPa,中载作用下最大主拉应力为1.54 MPa和0.79 MPa,分别降低了41.1%和48.9%。说明采用锚喷混凝土加固小铰缝板桥,能合理改善结构受力特性,有效降低构件截面应力。

(2) 动力计算结果分析

按加固前后建立的模型计算该桥动力特性值,其自振频率及振型特征列于表1,相应的典型振型如图6所示。从表1和图6中各项频率值及

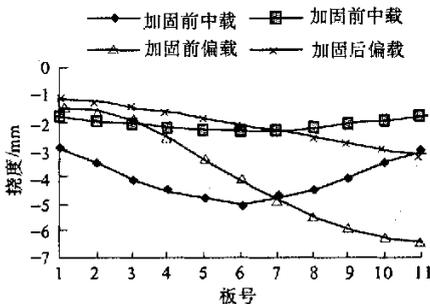


图4 加固前后挠度

Fig. 4 Deflection of structure

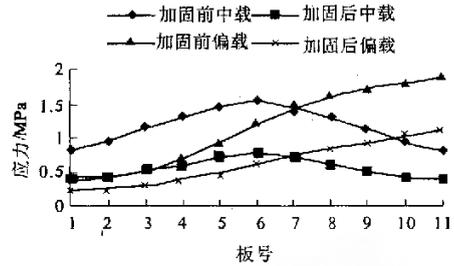


图5 加固前后主拉应力

Fig. 5 Principal tensile stress of structure

相应的振型特征可看出,加固后桥梁各阶主频相应提高,其中自振基频由8.75提高到10.78,提高幅度为23.3%,扭转振型的频率平均提高22.38%,竖弯振型的频率平均提高23.47%,扭转+竖弯振型的频率平均提高26.6%,这进一步说明锚喷混凝土加固增强了桥梁的整体刚度。

3.3 试验结果

对该桥加固前后分别进行荷载试验,试验采用2辆东风-30t(车重+货重)按双车道进行加载,在双号板跨中截面布置应变片和千分表采集

表1 自振频率和振型特征

Tab. 1 Structure's natural vibration frequency and vibration modes

阶次	加固前状态频率/Hz	加固后状态频率/Hz	提高百分比/%	振型描述
1	8.75	10.78	23.30	竖弯
2	13.51	16.70	23.60	扭转
3	23.43	29.02	23.90	扭转
4	33.48	41.77	24.80	反对称竖弯
5	38.34	49.96	30.30	扭振+反对称竖弯
6	41.28	50.17	21.50	扭转
7	51.29	64.61	26.00	扭转+反对称竖弯
8	59.31	72.56	22.30	正对称竖弯
9	68.34	82.33	20.50	扭转
10	70.38	86.94	23.50	扭转+反对称竖弯

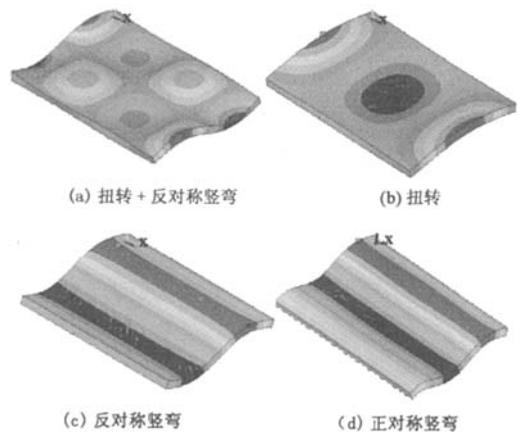


图6 典型的振型图

Fig. 6 Typical vibration modes of structure

数据进行分析,桥纵向在影响线上按最不利位置加载,横向考虑中载和偏载2种工况,加固前后各板跨中截面挠度变化如图7所示。由图7可以看出,加固后桥梁在偏载和中载作用下,其平均挠度分别减小53.1%和55.7%,与理论结果比较接近,但挠度值比理论计算结果偏小,主要是由于理论计算未考虑桥面铺装参与作用;加固后桥梁挠度横向变化更加均匀,说明加固增强了桥梁横向联系刚度,加固效果比较明显。

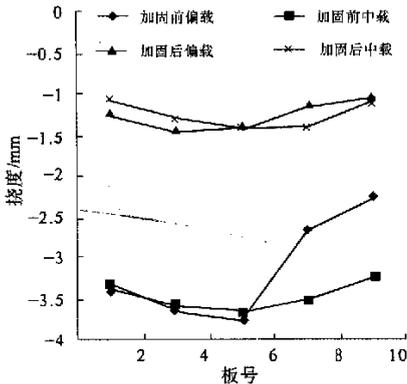


图7 加固前后挠度

Fig. 7 Deflection of structure

4 结语

(1)小铰缝板桥横向联结比较薄弱,采取锚喷混凝土加固可以增强其横向联结刚度,从而改

善桥梁结构的整体性能,避免出现单片板受力情形。

(2)锚喷加固可以大大提高板梁自身刚度和强度,其承载能力得到较大提高。

(3)加固前后的动力特性分析结论表明,锚喷加固法能有效地提高结构自振基频,提高结构横向、竖向及抗扭刚度,增强结构抗震性能。

参考文献:

- [1] 蒙云,卢波.桥梁加固与改造[M].北京:人民交通出版社,2004.1-3.
- [2] 王东科.高速公路装配式板桥上部结构早期病害分析[J].石家庄铁道学院学报,2004,5(17):62-65.
- [3] 湛润水,胡钊,帅长斌.公路旧桥加固技术与实例[M].北京:人民交通出版社,2002.8-10.
- [4] 何为,杨炳成.钢筋混凝土结构加固后的刚度分析[J].长安大学学报(自然科学版),2002,22(2):32-35.
- [5] 徐建国,陈淮,王博,等.连续箱梁桥力学性能分析[J].郑州大学学报(工学版),2004,25(1):28-30.
- [6] 李国豪.桥梁结构稳定与振动[M].北京:中国铁道出版社,2002.256-279.
- [7] 周旭东.喷射混凝土在板桥加固中的应用研究[D].西安:长安大学硕士毕业论文.2005.34-37.

Study on Slab Bridge with Small Hinges Strengthened by Anchored Rebar with Spraying Concrete

ZOU Lan-lin, Huang Ping-ming, WANG Da

(Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Based on the theory of finite-element, some models of a bridge are built with the large-scale finite element analysis software ANSYS. After analyzing the changing trend of deflection, stress, natural vibration frequency and mode of structure under different loads, comparing the measuring result of the real bridge, the mechanics characteristics of the structure are studied. The result shows that the stress and strain of bridge section reduce sharply after being strengthened, and the structure's natural vibration frequency is enhanced. Consequently, the structure's whole rigid, bending resistance and twisting strength are augmented, and capacity of bridge is remarkably enhanced, the strengthening method therefore is worth applying.

Key words: bridge engineering; anchored rebar with concrete; principal stress; frequency