

预应力碳纤维板加固支座优化及应用

区锡祥¹ 庞忠华¹ 王恒也¹ 周玲玲²

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006 2 柳州市工信委 柳州 545005)

摘要:随着技术的发展和社会的需要,预应力碳纤维板加固技术已经得到了越来越广泛的应用。加固支座是连接加固构件及预应力碳纤维板锚具的重要组成部分,其性能的优良与否将直接影响到碳纤维板预应力的张拉效果和结构的安全。本文采用有限元分析软件ANSYS模拟真实的构件,初步分析构件的受力情况并对加固支座进行优化设计,通过相关试验验证,并在实际工程应用中取得较好效果。

关键词:预应力碳纤维板 加固支座 有限元分析;

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.03.007

1 前言

采用体外加固的预应力碳纤维加固技术能显著提高被加固梁的开裂荷载、屈服荷载和极限荷载,能够增大其刚度,改善其内力分布,从而有效提升桥梁的运营能力^[1-4]。随着碳纤维原料成本的降低,碳纤维锚固技术的成熟,目前已大量

采用预应力碳纤维板用于旧桥加固工程,并得到越来越广泛的应用^[5-6]。加固支座是连接加固构件和预应力碳纤维板锚具的重要承力构件,现有的支座为适应碳纤维锚具的加固特点并结合桥梁底板结构,采用钢板及螺栓组装,(见图1),在使用中普遍存在以下问题:

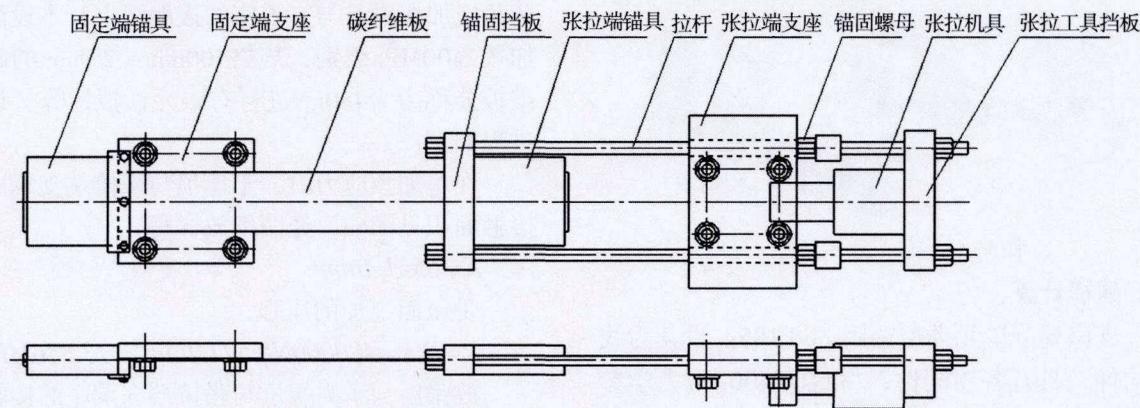


图1 现有碳纤维板加固体系及张拉装置示意图

(1) 固定端锚具承力的支板与固定在梁底的底板采用螺栓组合,受力一半依靠支座端面,另一半依靠安装底板的支承板传递至螺栓,螺栓承受抗剪力,当加工或安装不精确时,固定端锚具承力面不平,存在安全隐患。

(2) 张拉端支座板厚50mm,为安装拉杆,需要钻2个长210mm的通孔,增加了生产周期和制造成本。

针对上述问题,在现有的支座结构的基础上,将两端支座优化为整体铸造,这样的改进既增强支座的整体受力,又方便施工安装,有够有

效提高工程的安全性和降低施工成本。

2 加固支座优化设计

2.1 支座设计

支座分为固定端和张拉端,张拉端锚具通过锚固挡板和两根拉杆与张拉端支座连接,当张拉机具顶推张拉工具挡板时,通过两根拉杆及锚固挡板带动张拉端锚具移动,进而实现碳纤维板受力的目的,当受力达到设计要求时,锁紧锚固螺母。千斤顶直径 $\phi 110\text{mm}$,支座板厚只有50mm,为使千斤顶张拉时拉力较好传递到支座,在支座承力面设计一个凸台,结构见图2。

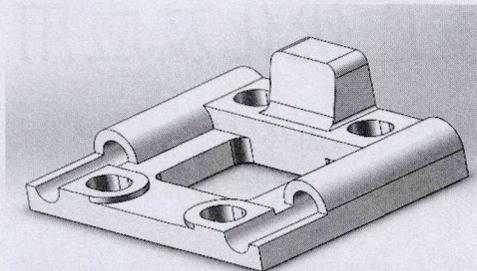


图2 张拉端支座示意图

固定端锚具张拉时不需移动,因此优化设计时需要考虑在固定端锚具受拉时,受力安全以及锚具不会滑动或倾翻两个主要因素。经优化后支座端面为U形,与锚具端面整体接触,受力较好,其上部设计挡板防止受力时倾翻,结构示意图见图3。

两端支座与被加固结构件采用的锚栓连接设计,符合GB 50367-2006《混凝土结构加固设计规范》的相关植筋规定。

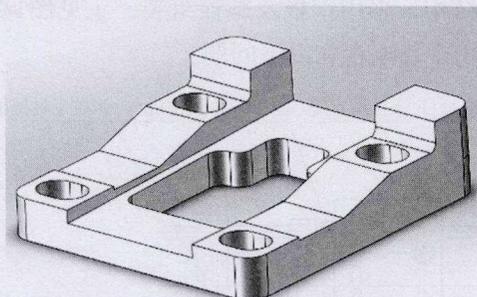


图3 固定端支座示意图

2.2 建模计算

支座划分单元类型选用solid 185, 设其为线性构件, 具有各项同性, 材料QT400-17力学参数: 屈服强度400MPa, 弹性模量取 1.54×10^5 , 泊松比为0.29。

支座是轴对称模型, 因此可建立1/2模型进行计算, 使有限元分析过程可使计算更加简单且节约计算时间。ANSYS软件中对实体的单元划分规则: 在任何一个实体中, 任何一条边必须有一条与之相对应的边。根据对实体的单元划分规则, 将已经建立好的模型用divide命令进行切割, 直至切割好所有的实体, 然后进行有限元网格划分, 划分单元之后的模型如图4、图5所示:

张拉端支座预应力碳纤维板在固定端是靠锚具夹持固定的, 张拉力通过锚具传递给固定端支承座; 采用有限元模拟真实构件的受力情况, 将

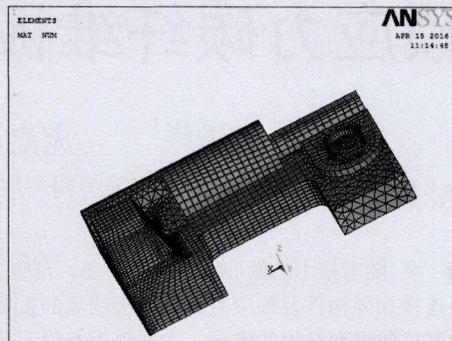


图4 1/2张拉端支座有限元模型单元划分

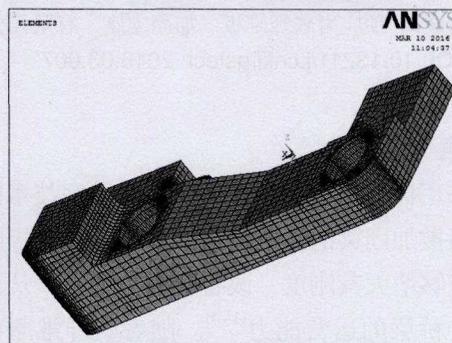


图5 1/2固定端支座有限元模型单元划分

荷载施加在锚具与支承座的接触面上, 本设计施加按2400MPa级别, 规格100mm × 2.0mm的碳纤维板公称力为480kN进行有限元模拟计算。计算过程如下:

在施加预应力时, 千斤顶与张拉端支承座的接触面积见图6a, 经图纸放样得

$$A = 6521.4 \text{ mm}^2$$

受压面施加的压强:

$$P = F/A = 480000 \text{ N} / 6521.4 \text{ mm}^2 = 73.846 \text{ MPa}$$

放张后, 承力螺母与张拉端支承座的接触面积为:

$$A = 989.6 \times 2 = 1979.2 \text{ mm}^2$$

受压面施加的压强:

$$P = F/A = 480000 \text{ N} / 1979.2 \text{ mm}^2 = 242.546 \text{ MPa}$$

分析得到的Mises应力见图6b、图7。

锚具与固定端支承座的接触面积:

$$A = 150 \times 55 - 105 \times (55 - 24.5) = 5047.5 \text{ mm}^2$$

受压面施加的压强:

$$P = F/A = 480000 \text{ N} / 5047.5 \text{ mm}^2 = 95.097 \text{ MPa}$$

分析得到的Mises应力见图8。

根据材料的性质分析, 从图6b可看出, 张拉端支座采用千斤顶加载过程最大Mises应力为512MPa, 锚固后的最大Mises应力为412MPa, 根

据预应力施工规范以及碳纤维板锚固体系的特点,结合国内碳纤维板的质量标准要求,为充分发挥碳纤维板的高强度性能,在参考体外索相关标准基础做出如下规定:张拉控制应力 σ_{con} 采用碳纤维板强度 σ_b 的K倍(一般K值取0.6)。查看构件沿各向的变形、应力,将计算的结果乘以系数0.6,则张拉过程支座最大应力值为307.2MPa,锚固后最大应力值为247.2MPa,小于所用材料的屈服强度,所以张拉端支座在张拉及使用过程中是安全的。固定端支座的最大Mises应力为328.6MPa,实际应用时的最大应力值为197.2MPa,小于所用材料的屈服强度,所以固定端支座在张拉及使用过程中也是安全的。

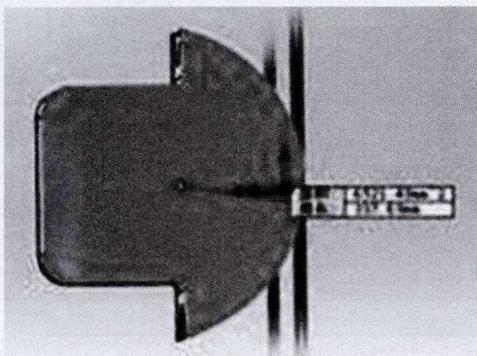


图6a 张拉端支座采用千斤顶张拉时承力面

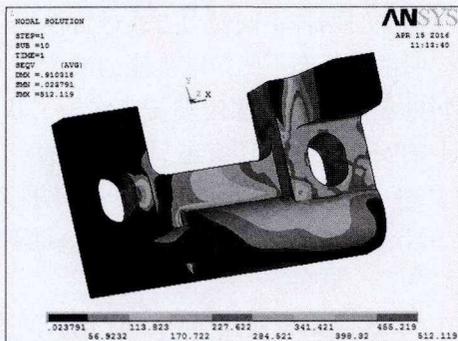


图6b 张拉端支座采用千斤顶张拉时 Mises应力图

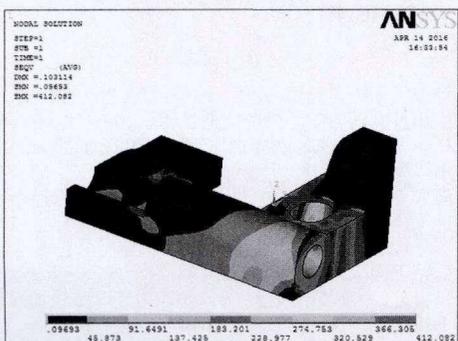


图7 张拉端支座锚固时 Mises应力图

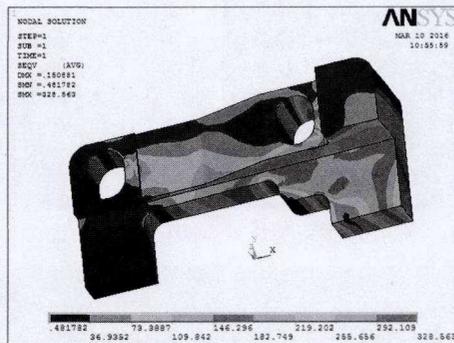


图8 固定端支座 Mises应力图

3 试验验证

应用上述加固支座,对6根试验索按GB/T 14370的静载试验要求进行加载。采用CFRP板尺寸规格:宽度为100mm,厚度分别为1.4mm和2.0mm分别进行3组试验,为方便操作及模拟实际工况,试验组件安装在梁的侧面进行,试验现场见图9、图10a和图10b。施加预应力按20% f_{ptk} 、40% f_{ptk} 、60% f_{ptk} 、80% f_{ptk} 、100% f_{ptk} 分级加载(f_{ptk} 为CFRP板的公称抗拉强度,按2400MPa),每级持荷5min,最后一级保压持荷1h后张拉至碳板破断。规格为1.4mm的3组试验组件张拉至100% f_{ptk} 后保压,继续加载至破断,受碳板破坏时的冲击力影响,支座无变形或开裂;规格为2.0mm的3组试验组件张拉至80% f_{ptk} ,将锚固螺母锁紧,持荷1h,继续加载至97% f_{ptk} 极限力时,碳纤维板呈粉碎性破坏,两端支座无变形、开裂或其他破坏,见图11a、图11b。

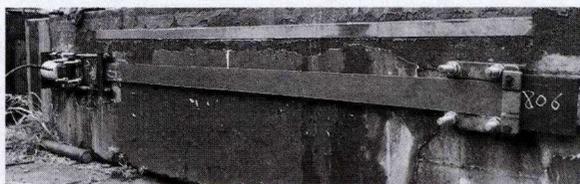


图9 试验现场

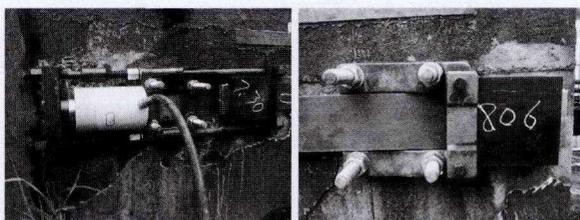


图10a 张拉端锚具、
支座及张拉设备

图10b 固定端锚具及支座

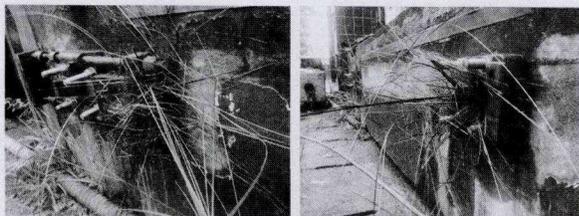


图11a 张拉端碳板破坏 图11b 固定端碳板破坏

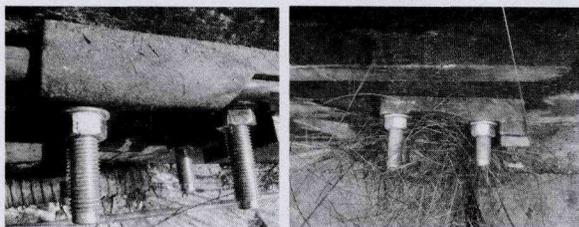


图11c 破断后张拉端支座 图11d 破断后固定端支座

4 工程应用

云南省保山至腾冲高速公路共有167座桥梁，其中主线及匝道桥中预应力混凝土T形梁桥有128座，2014年12月检测发现部分T梁存在竖向裂缝。裂缝均分布在T梁 $L/4\sim 3L/4$ 截面范围腹板上，裂缝在跨中附近为竖向，在靠近 $L/4$ 、 $3L/4$ 截面附近为斜向，裂缝大部分在腹板两侧对称分布。裂缝宽度大部分在 $0.06\text{mm}\sim 0.2\text{mm}$ 之间，个别裂缝最大缝宽达 0.32mm ，每条裂缝最宽位置一般位于裂缝的中点位置，裂缝长度大部分在腹板马蹄以上至翼板根部范围。

2015年6~7月对该高速公路桥梁进行检测及加固，对其中一竖向裂缝宽度超过 0.15mm ，长度较长、对称性较明显的T梁张拉碳纤维板进行加固以补充损失的预应力。加固方法为：先封闭裂缝处治，再张拉碳纤维板，最后粘贴芳玻韧布。工程使用碳纤维板规格为 $100\text{mm}\times 2.0\text{mm}$ 进行预应力张拉，采用优化后的铸造式整体支座修复T梁构件的变形和闭合裂缝；张拉力为 250kN 。采用优化后的预应力碳纤维板加固支座安装及张拉过程十分简便。

经现场施工应用反馈良好，此后陆续在云南元绿二级公路、蛮耗至金水河二级公路、云南潞梁二级公路、怒江州剑川至兰坪二级公路、河南连霍高速公路、四川内江桐梓坝大桥等的桥梁加固工程中得到了应用。工程现场见图12。

5 结论

经大量施工证明，优化后的加固支座，与传

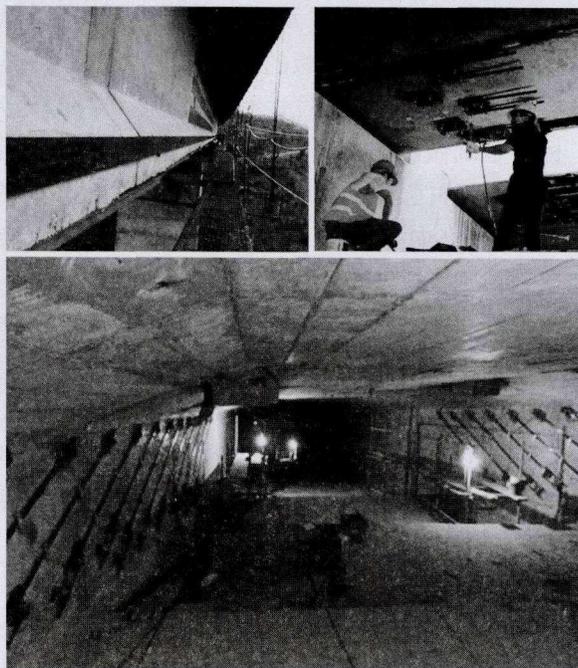


图12 桥梁加固施工照片

统的支座相比，具有如下优点：

(1) 将现有支座优化为整体铸造结构，解决了原结构由钢结构拼接受力不好的问题，提高了支座整体承力性能。

(2) 采用ANSYS软件对优化设计的铸造式整体支座进行有限元分析，并对张拉端支座施工张拉及锚固时两种不同受力方式进行模拟计算，结果表明两种状态下张拉端支座的最大应力远小于材料的屈服强度，固定端支座在施工状态有2倍以上的安全系数，还有进一步优化的空间。

(3) 通过锚固支座与碳纤维板锚具静载试验，结果表明锚固支座具有良好的承载能力，具有较高的安全储备。

(4) 实际工程应用证明，优化后的支座更便于施工，也更安全可靠，今后可在同类工程中进一步推广应用。

参考文献

- [1] 孙杰, 孙峙华, 胡荣根. 碳纤维复合材料在桥梁工程中的应用及其前景[J]. 公路交通技术, 2004(1): 46-48
- [2] 杜修力, 张建伟, 邓宗才. 预应力FRP加固混凝土结构技术研究与应用[J]. 工程力学, 2007(12): 62-74
- [3] 尚守平, 彭晖等. 预应力碳纤维布加固混凝土受弯构件的抗弯性能研究[J]. 建筑结构学报, 2003(5): 24-30
- [4] 贾廷跃. 碳纤维加固空心板试验研究与承载规律分析[J]. 公路工程, 2009(1): 30-34
- [5] 窦勇芝, 韦福堂, 甘科等. 预应力碳纤维板加固T梁桥施工技术[J]. 预应力技术, 2014(1): 35-38
- [6] 朱万旭, 吕娟娟等. 预应力碳板张拉端锚固支座的有限元分析及试验[J]. 建筑科学, 2015(11): 68-73