

钢托梁在混凝土箱梁牛腿加固中的应用及评价

伍永芳¹, 黄建初², 王大伟³

(1. 广西交通投资集团有限公司, 广西 南宁 530011; 2. 广西交投科技有限公司; 3. 广西桂海高速公路有限公司)

摘要:牛腿结构由于其连接平顺,不额外占用空间,多应用于净空受限的城市立交桥等桥梁,但由于牛腿截面高度削弱、承受复杂支座反力,是桥梁薄弱结构,在外荷载作用下容易开裂,是桥梁养护面临的难题。为解决箱梁牛腿开裂问题,该文以某城市立交桥匝道箱梁为工程背景,分析牛腿开裂原因,提出增设钢托梁加固牛腿的方案,总结钢托梁加固牛腿设计要点,对钢托梁加固设计进行计算分析,剖析加固存在的难点,评价钢托梁加固效果及应用,为箱梁牛腿加固积累工程经验。

关键词:钢托梁;箱梁牛腿;裂缝;加固;工程应用

混凝土箱梁由于其结构刚度大、造价低、养护成本低等特点,被广泛应用于中小跨径桥梁。在城市立交桥设计中,除需要考虑美观外,桥下净空、桥跨布置等设计均需要在有限的空间里完成,常在桥墩盖梁处采用牛腿结构进行连续和过渡。牛腿作为箱梁的重要连接结构,截面高度不到梁高的一半,传递较大的支座反力,是箱梁的薄弱结构,由于设计或施工的原因,运营期间在重载车辆等荷载作用下产生裂缝病害,如成都市三环路牛龙路立交桥、南宁市青竹立交桥等。

混凝土箱梁牛腿由于其结构的特殊性,倒角沿着斜向开裂较为普遍,牛腿开裂后截面削弱,承载力降低,影响牛腿耐久性及其结构安全,需对牛腿进行加固补强,该文结合某城市立交桥匝道箱梁牛腿开裂,提出增设钢托梁加固牛腿,并对加固应用进行分析评价。

1 工程概况

某城市立交桥匝道为7联梁桥,除第2联外,其余均为预应力混凝土连续弯梁桥,最小圆曲线半径为80 m,各联之间采用牛腿连接,桥墩处设隐形盖梁,设计荷载为城-A级,桥梁安全等级为一级。混凝土梁桥采用单箱单室箱梁,按部分预应力混凝土A类构件设计,采用C50混凝土,桥面总宽10 m,桥面铺装采用8 cm厚的C40混凝土+7 cm厚沥青混凝土,下部结构均采用柱式墩、桩基础。箱梁高130 cm,牛腿高62 cm,配B28骨架钢筋,两侧各配下弯束预应力钢筋,见

图1。桥梁运营多年后,检测发现桥梁存在牛腿开裂、梁体移位等病害,牛腿裂缝长0.77 m,最大缝宽0.27 mm,沿倒角约45°方向斜向开裂。

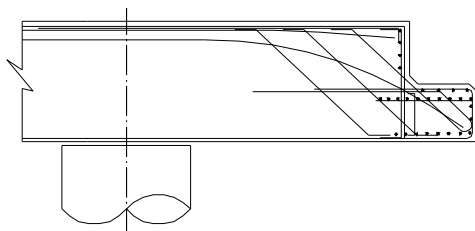


图1 箱梁牛腿钢筋构造示意图

2 牛腿开裂成因分析

箱梁牛腿开裂原因有多种,从牛腿结构来看,存在梁高偏小的结构缺陷,同时承担支座反力,受力较为复杂;从外在因素看,设计合理性、施工质量以及重载、偏载、支座脱空等均可能造成牛腿开裂。有关学者通过模型试验研究表明,预应力损失过大、车辆偏载及重车影响也是引起牛腿开裂的重要因素。针对该桥牛腿病害情况及结构特点,对其牛腿裂缝产生原因进行分析。

(1) 从图1可知,牛腿配置骨架钢筋和下弯预应力钢束,未配置箍筋。按原设计采用JTG D62-2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》对牛腿抗剪承载力进行验算,结果满足规范要求,但通过实体有限元分析发现,牛腿倒角处应力较不均匀,主拉应

力超过规范限值,说明牛腿预应力钢束配置偏少,牛腿开裂后,缺少箍筋抑制作用,裂缝将进一步发展。

(2) 牛腿处设置伸缩缝,容易造成跳车现象,车辆对牛腿产生较大冲击力,在反复冲击力作用下造成疲劳损伤,是牛腿开裂原因之一。

(3) 牛腿布置多个支座,匝道曲率半径较小,在偏载车辆作用下支座容易产生脱空,支座反力分配不均,牛腿同时承受剪扭作用,也是造成牛腿开裂的因素。

3 增设钢托梁加固牛腿方案

3.1 钢托梁加固设计要点

针对牛腿截面高度偏小、预应力配置不足的情况,采用增设钢托梁的加固方案,在箱梁牛腿底面增设钢托梁,同时张拉斜向预应力,整体上提高牛腿刚度,同时改善牛腿倒角应力,见图 2。

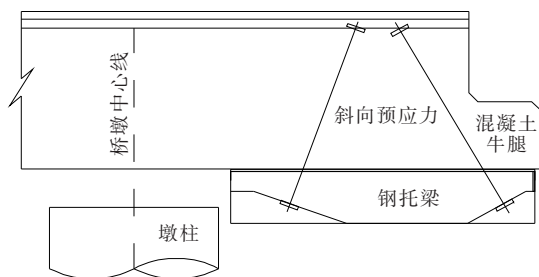


图 2 增设钢托梁加固示意图

钢托梁设计要点如下:

(1) 加固设计维持原荷载等级(城-A 级),结构安全等级一级。

(2) 钢托梁由上锚头、下锚头、斜向预应力钢筋、钢托梁梁体等主要部件构成,钢托梁通过斜向预应力钢筋、化学锚栓及胶黏剂与原结构连接,钢托梁内灌 C50 微膨胀混凝土,斜向预应力根据原结构构造特点进行布置,避开原结构预应力钢绞线,减少对原结构损伤。钢材采用 Q345 钢,预应力钢筋采用 1 860 钢绞线,为了消除松弛对有效预应力的影响,采用低回缩量锚固体系,要求钢绞线张拉后锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值不大于 1 mm。

(3) 钢托梁加固设计按混凝土牛腿完全开裂并退出工作考虑,承载能力极限状态下,钢托梁各构件应力满足 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》、JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》要求。

(4) 主要施工要点:顶升上牛腿,安装钢托梁并初张拉预应力,向钢托梁内灌 C50 混凝土,待混凝土达到设计强度后,二次张拉预应力,下放上牛腿,施加牛腿恒载及活载。

3.2 牛腿加固计算分析

增设钢托梁加固牛腿后,钢托梁与牛腿共同承担上部结构恒载及活载。该加固方案偏安全考虑,假定混凝土牛腿完全开裂,退出工作,仅以荷载形式施加于钢托梁上,支座荷载完全由钢托梁承担,加固分析计算对象主要为钢托梁。加固计算采用空间梁模型及实体有限元模型结合进行分析,考虑恒载和活载作用,根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》对荷载进行组合,由空间梁模型计算得到承载能力极限状态组合下牛腿支座反力,并以此分析钢托梁细部构造受力。

(1) 牛腿支座反力计算

牛腿共 5 个支座,针对支座存在脱空的情况,计算时按此种不利情况,假定中间 3 支座脱空,仅外侧 2 支座受力。采用 Midas/Civil 软件建立空间梁模型,计算弯桥横向空间效应,并按其支座线弹性刚度模拟支撑条件。承载能力极限状态组合下,计算得到牛腿外侧 2 支座反力分别为 3 261、1 879 kN,可见,支座偏载较为明显。

(2) 钢托梁加固实体有限元分析

钢托梁加固分析采用实体有限元模型,根据圣维南原理,从全桥截取牛腿部分结构进行局部分析。计算时假定混凝土、钢材均为理想线弹性材料,不同材料之间接触良好,支座反力以面荷载形式施加于牛腿上。钢托梁实体有限元计算结果表明:承载能力极限状态下,钢托梁各板件应力均满足规范限值,并有一定安全储备,各主要受力板件应力计算结果见表 1,板件主要应力云图见图 3~6。

表 1 承载能力极限状态下钢托梁各板件应力计算结果

板件	钢托梁各板件应力/MPa				
	Mises 应力	剪应力	压应力	压应力	拉应力
钢箱	230	—	—	—	—
腹板	—	104.0	—	—	—
锚管	126	59.5	—	—	—
锚垫板	209	—	218	—	—
钢绞线	—	—	—	—	828
钢箱内混凝土	—	—	—	22.7	—
规范限值	270	155.0	270	32.4	1 005

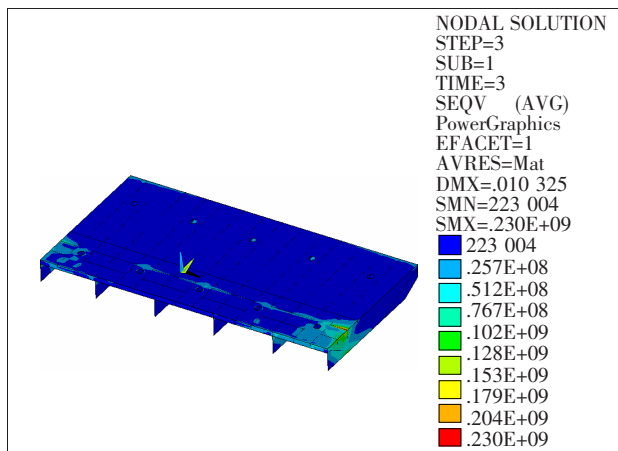


图 3 钢箱 Von Mises 应力云图(单位:Pa)

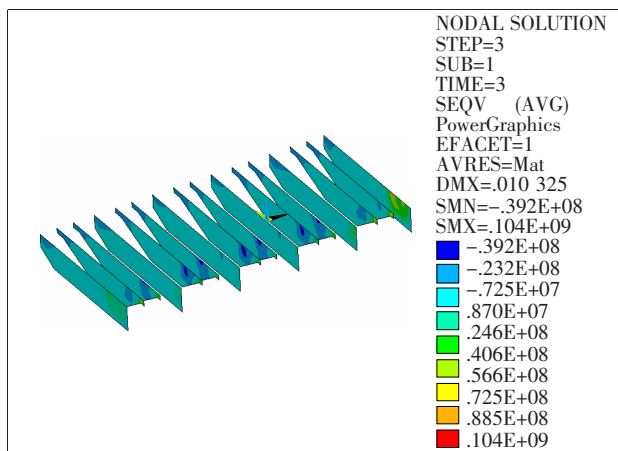


图 4 腹板剪应力云图(单位:Pa)

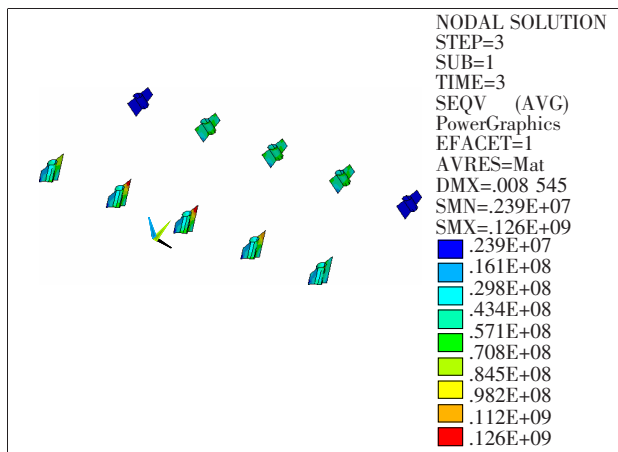


图 5 锚管 Von Mises 应力云图(单位:Pa)

4 钢托梁加固难点分析

(1) 经过计算,钢托梁需要布置一定数量腹板才能满足结构受力要求,在构造上需布置一些连接板件,

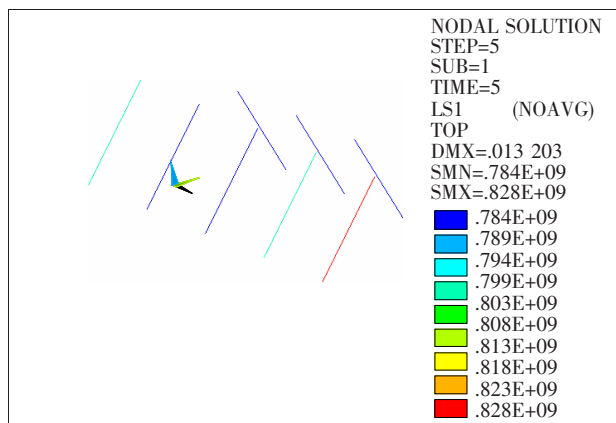


图 6 钢绞线应力云图(单位:Pa)

钢托梁箱内空间较为有限,箱内灌混凝土。在板件尺寸选择、板件布置时,需要考虑钢结构焊接便利性,内灌混凝土质量等方面的影响。

(2) 在钢托梁安装时合理分配工序,斜向预应力孔放样时需避开原结构预应力钢束,钻机的安装角度需与钢托梁锚管角度匹配,避免预应力钢束弯折造成损伤,同时,预应力钢束需从材料及构造上考虑防腐。

(3) 一般牛腿结构布置较密的骨架钢筋和构造钢筋,同时有预应力钢束存在,钢托梁锚栓施工时需注意避让原结构钢筋,放样时可采用钢筋探测仪探测出原结构钢筋,在空隙位置布置锚栓孔,现场放样好锚栓孔后,再对钢托梁顶板开孔放样。

(4) 上锚头施工需凿除桥面铺装和箱梁部分混凝土,为确保施工安全应分段施工,同时减少截断骨架钢筋,截断的骨架钢筋应采取有效措施进行连接,恢复原结构需要注意做好防水。

(5) 钢托梁加固完成后,需要定期对钢结构进行维护,防止钢结构、钢绞线腐蚀,后期管养可考虑针对此种加固结构编制专门养护手册。

5 结论

牛腿裂缝病害根据其严重程度,处理方式有封闭裂缝、粘贴钢板、增设斜向预应力,对于轻微裂缝,可采用封闭裂缝和粘贴钢板方法处治,防止空气、水分进入结构内部影响耐久性,对于裂缝有一定开展并有发展趋势的情况,可采用增设斜向预应力抑制裂缝开展,有一定的效果。

增设钢托梁加固混凝土箱梁牛腿处治方式,可以有效提高牛腿承载力,改善牛腿应力,加固效果良好。但加固工程量相对较大、加固成本提高,施工也存在一