

空心板梁桥钢抱箍加固技术研究与应用

王宝红¹, 颜利², 张亮², 谢震瑜³, 赵健³, 张鹏³

(1.上海培宏公路养护技术有限公司,上海市 200082;2.上海市浦东新区道路运输事业发展中心,上海市 200129;
3.上海浦东公路养护建设有限公司,上海市 200137)

摘要:针对空心板梁桥铰缝病害研发了切实可行的钢抱箍法加固技术方案。在每跨内设置 2~3 道横桥向钢抱箍,将空心板梁捆绑在一起,增强横向联系。该加固技术科学可靠,施工方便快捷。并且对加固材料、施工工艺进行了系统研究。在开展工艺试验的基础上,应用于实桥加固。通过实桥试验检测看出,钢抱箍对于提高空心板梁整体性有显著效果。加固后的桥梁经过 2 a 的运营,状况良好,钢抱箍本身结构及注浆填筑都保持完整,桥面没有反射裂缝。证明该加固技术可实施性强、加固效果佳,是一项推广价值很高的加固技术。

关键词:空心板梁;铰缝病害;钢抱箍;加固技术;增强横向联系

中图分类号: U44

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)11-0139-06

0 引言

空心板梁由于构造相对简单、施工方便而被广泛应用于中小跨径桥梁中。2007 年之前修建的空心板梁桥多采用小铰缝连接,空心板之间横向联系薄弱的情况很突出。在施工缺陷、交通量和重载超载车辆不断增加等因素共同作用下,许多空心板梁出现了铰缝损坏,使得空心板梁间的联系进一步减弱,造成单片板梁受力增大甚至底板开裂,并伴随桥面铺装开裂破损的情况。铰缝损坏严重甚至失效时,出现了单板受力的情况。这些空心板梁病害严重影响桥梁使用性能,给桥梁运营安全带来严重隐患。

空心板铰缝病害具有普遍性,而且具有逐年增加的趋势,一旦出现就会迅速劣化,成了困扰养护行业的大问题。

由于空心板梁桥薄弱的小铰缝的先天不足,造成整个上部结构的整体性不强,是造成铰缝病害及桥面铺装破坏的主要原因。从既有的空心板梁桥加固方法来看,有仅加固每片板梁的纵桥向抗弯、抗剪能力的,可是如果不同时采取加强空心板梁间的横向联系的措施,随着铰缝状况的劣化,仍然会出现桥面开裂破损的病害。因此,如果要系统性解决上述问题,迫切需要采取有效措施增强空心板梁间的横向联系以提高其整体性,以达到延长桥梁使用

寿命、减少全寿命周期内的维修养护的次数和费用的目的。

国内开展了一些增加空心板梁间整体性的加固技术的研究和应用,比如横向预应力钢筋方法^[1-2]、梁底钢横梁法^[3]、横向预应力碳纤维板法^[4]、梁底增设横向钢板法^[5]、锚夹板拉杆法加固铰缝^[6]、增厚桥面铺装法^[7]等。这些加固方法取得了较多研究成果,部分方法也应用于实桥。

然而既有的加固方法也存在一些不足,有的加固构造的刚度不足、加固效果不显著;有的工艺复杂、实施难度大;有的施工工期长、对既有交通影响很大;有的造价昂贵。这些不足之处不利于加固技术的推广应用。因此,在既有加固技术的基础上,升级创新出一种加固效果好、构造简单、施工方便快捷的加固技术就显得尤为迫切。

1 钢抱箍加固技术要点

1.1 加固原理

《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22—2008)中对于简支梁(板)桥加固设计,第 10.2.1 条有规定“4 梁(板)横向联系不足时,可采用增强横梁、增设横向预应力或加强桥面横向联系等方法加固”。

钢抱箍法加固技术是以增强空心板梁横向联系为出发点,旨在提高空心板梁的整体性,消除单板受力现象,减少桥梁病害,是一种施工速度快、对交通影响小的能提高结构承载能力水平的加固方法。

具体方法是在每跨内设置 2~3 道横桥向钢抱箍,

收稿日期: 2023-04-10

作者简介: 王宝红(1971—),女,本科,高级工程师,从事桥梁设计和施工工作。

钢抱箍由上下钢箍和多道竖向对拉锚杆组成,通过抱箍效应将空心板梁捆绑在一起,增强整体性。

具体可结合桥梁跨径、桥梁宽度、汽车荷载等级、交通量等情况并结合计算分析来确定,小跨径的空心板梁桥每跨可布置2道,大跨径的空心板梁桥每跨可布置2~3道。钢箍本身的规格和板厚、对拉锚杆的规格和数量也可以根据需要进行调整。

对于已经出现铰缝损伤的空心板梁桥,钢抱箍承担横向分配的功能后,降低了铰缝的受力,阻止了铰缝病害恶化。而对于铰缝基本完好的空心板梁,钢抱箍可以承担一部分活荷载横向分配的功能,对铰缝起到保护的作用。因此这种方法既能治理病害,也能有效防止病害的发生。

1.2 加固原则

(1)从增强横向联系的角度出发,不改变空心板梁的简支受力模式,基本不改变桥梁外观,基本不增加自重。

(2)兼顾交通方案和施工方案。施工要能方便快捷,尽量减少拆除和新修的工程量。

(3)技术方案结合全生命周期成本,提高结构耐久性,减少维修频次。

(4)研究优化施工工艺,通过良好的工艺水平来实现技术要求,达到加固效果。

(5)针对结构特点、施工条件等,对材料指标提出明确的要求。采用有良好施工性能、高强早强、高韧性、抗冲击的材料。

1.3 加固方案

钢抱箍法加固技术采用增加横向联系提高空心板梁的整体性,空心板梁体的顶部设置上钢箍,梁底设置下钢箍,在每道梁缝处设置竖向锚杆将上下钢箍对拉形成一个整体。钢箍与空心板梁之间采用专用的高强无收缩灌浆料、高性能铰缝灌注料填充密实,形成一个套箍,将各片空心板梁刚接,相当于设置一道横梁,如图1、图2所示。

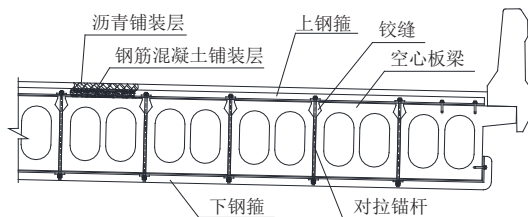


图1 钢抱箍立面图

(1)上、下钢箍:采用工厂制作,由主钢板和3~4道加劲肋组成。主钢板在梁缝处开孔(穿对拉锚杆)。

(2)竖向对拉锚杆:采用定制的对拉超长螺杆,

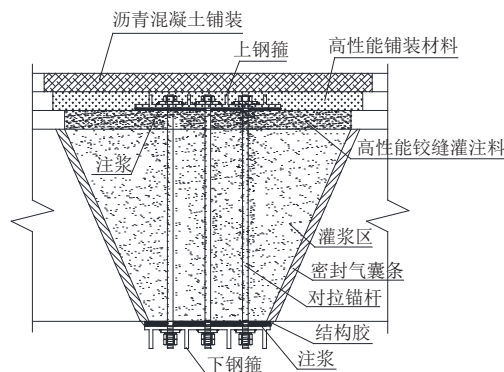


图2 钢抱箍横断面图

螺杆上端和下端采用螺母固定,螺帽与钢箍主钢板之间设小块垫板。

(3)钢箍与板梁之间注浆:下钢箍与梁底之间、上钢箍与梁顶之间、梁缝空隙处采用快硬型高强无收缩灌浆料注浆密实。使得钢箍与空心板梁密贴,确保抱箍效果。

(4)铰缝浇筑:钢抱箍施工前将钢箍所在位置(钢箍宽度加两侧各300 mm宽度范围)内铰缝原来的混凝土凿除,钢抱箍施工后采用高性能铰缝填筑材料进行填筑,该材料是为本方案研发的专用材料。

(5)钢筋混凝土铺装层沟槽填筑:钢抱箍施工前,将钢箍所在位置(钢箍宽度加两侧各350 mm宽度范围)内原来的桥面钢筋混凝土铺装层凿除(钢筋保留),钢箍施工完毕,恢复铺装层钢筋(纵向钢筋焊接在上钢箍上),将沟槽填筑与混凝土铺装层平齐。为保证沟槽填筑质量,采用高性能桥面铺装材料,该材料为本方案研发的专用材料。

(6)对承载力不够的板梁进行梁底加固:由于交通区划管理,第三、四车道的重车轮迹几乎是固定地作用在特定的几块板梁上,造成这几块板梁的损坏。对于损坏严重的、单梁受力的、承载力不满足的部分板梁,可采用梁底粘贴钢板或碳纤维板。纵向钢板或碳纤维板位于横向钢箍底钢板上方,用粘钢胶进行粘贴。

1.4 材料要求

对于加固工程,要求尽可能少的改变原来的恒载,所以要求用最少的材料来达到最佳的加固效果。同时应选择具有合适性能指标的材料,并严格执行。

(1)钢材:钢箍采用Q355D钢材,技术条件应满足《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2018)的要求。钢材应按正火、正火轧制或热机械轧制(TMCP)状态交货,钢板质量应符合I级要求,钢板尺寸偏差

应符合《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》(GB/T 709—2019)的规定。

(2)焊接材料:由钢结构加工单位根据母材钢板的技术要求和性能选取焊丝和焊剂,经过工艺评定试验和有关的专项试验评定后确定。

(3)注浆材料:下钢箍与梁底之间,梁缝、上钢箍与梁顶之间采用快硬型高强度无收缩灌浆料,该材料是以高强度材料作为骨料,以水泥作基料,辅以高流态、微膨胀、防离析等物质配制而成,在现场加入一定量的水搅拌均匀即可使用。材料具有早强、高强、微膨胀、流动性好、无腐蚀性、抗冲击、耐振动的特性,性能指标见表 1。料浆能自流,灌浆料能够在无震捣的条件下自动灌注狭窄缝隙,适应诸如复杂结构、密集布筋及狭窄空间的浇注与灌浆。

表 1 快硬型高强无收缩灌浆料性能指标

养护时间	3 h	5 h	1 d	28 d
抗压强度标准值	≥20 MPa	≥40 MPa	≥50 MPa	≥60 MPa
截锥流动度大于 380 mm				

(4)快硬型高性能铰缝填筑材料:由硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、可再分散乳胶粉、碳纳米管、石膏、复合外加剂、骨料和钢纤维等配合而成,具有良好的施工性能、高强度、高韧性、良好的界面性能。性能指标见表 2。

表 2 快硬型高性能铰缝填筑料性能指标

时间	3 h	5 h	1 d	28 d
抗压强度标准值	≥30 MPa	≥40 MPa	≥50 MPa	≥80 MPa
抗折强度标准值	≥8 MPa	≥9 MPa	≥11 MPa	≥15 MPa
截锥流动度大于 290 mm				
竖向膨胀率(3 h)0.2%~1.2%				

(5)快硬型高性能桥面铺装材料:由铝酸盐水泥、石膏、可再分散乳胶粉、调凝剂、促强剂、复合外加剂、骨料和钢纤维等材料配合而成,具有良好的施工性能、高强度、高韧性,与钢筋之间有很强的握裹力,与板梁混凝土之间有良好的界面性能。性能指标见表 3。

表 3 快硬型桥面铺装材料性能指标

时间	2h	3h	5h	1d	28d
抗压强度标准值	≥20 MPa	≥30 MPa	≥40 MPa	≥50 MPa	≥60 MPa
抗折强度标准值	≥5 MPa	≥6 MPa	≥8 MPa	≥10 MPa	≥15 MPa

1.5 施工工艺

1.5.1 施工工序

钢箍和对拉锚杆采用工厂制作,现场安装。现场根据施工工艺进行流水施工:沥青铣刨—钢筋混凝土铺装层及铰缝凿除—梁缝间钻孔—钢箍安装调平—对拉锚栓安装—焊接固定—密封、注浆—填筑铰缝和混凝土铺装层—桥面铺装系统恢复。

1.5.2 施工步骤及工艺

现场施工步骤如下:

(1)铣刨钢抱箍范围及两侧一定范围内的沥青混凝土铺装。凿除钢抱箍范围及两侧一定范围钢筋混凝土铺装和铰缝内混凝土。

(2)将钻机底座用化学螺栓固定在板梁顶上,调整钻头方向使其与梁缝方向一致。注意保证钻孔方向,如发现偏位要及时纠偏。

(3)将钢抱箍范围内混凝土表面凿毛,将铰缝、梁缝及沟槽内杂物、灰尘清理干净。

(4)吊装上钢箍,钢箍与板梁之间采用钢块垫实,每米至少设一对垫块。

(5)吊装下钢箍,调平,调节钢箍顶距离梁底最近处 2 cm(梁底不平时,最近处不小于 1.5 cm),在抱箍与梁底之间采用钢块楔紧。

(6)安装对拉锚杆,如果孔位不对需要在钢箍上重新开洞的,原来的洞需要等强度填补。拧紧螺母,分初拧和终拧,保证每个螺杆均匀受力。将对拉锚杆的上下端小垫板与钢箍主钢板焊接,采用四面围焊。将多余长度的锚杆截除、打磨。将螺母与小垫板焊接。

(7)施工上钢箍与边梁的化学锚栓。安装下抱箍侧边翻起部分,侧板用化学锚栓固定,保证主钢板、肋板连接平顺。

(8)将梁缝、沟槽、抱箍里外采用高压风枪将灰尘杂质清理干净,洒水湿润。

(9)封闭梁底与下钢箍之间的空隙,预埋注浆孔,孔距 800~1 200 mm。下钢箍与梁底采用压力注浆,从低的一端注,高的一端均匀冒浆,将注浆孔和冒浆孔迅速塞紧。必须切实保证灌浆的密实度。

(10)采用橡胶气囊封闭梁缝,采用快硬型高强无收缩灌浆料灌注梁缝至铰缝底,灌注面呈倒梯形。

(11)采用快硬型铰缝填筑材料将铰缝灌筑至与梁顶平。

(12)恢复混凝土铺装层钢筋,将其中桥面铺装的纵向钢筋拉直,与上钢箍双面焊接。

(13)封堵上抱箍与梁顶之间的空隙。上抱箍与梁顶采用压力注浆至饱满,要求同梁底灌浆。

(14)将整个沟槽采用高压风枪吹干净,湿润。采用快硬型高性能桥面铺装材料将沟槽、肋间灌筑至与原混凝土铺装层平齐。

(15)在下抱箍与梁底之间打结构胶。对拉锚杆的下锚板、锚杆端部、螺母进行防腐涂装,底漆两道、中间漆一道、面漆一道。对整个下抱箍裸露面涂面漆一道。

(16)桥面沟槽范围内做防水层,然后铺沥青铺装层。

1.5.3 施工注意事项

钢抱箍加固施工工艺复杂,工序多,要求非常高,一个工序的失误会导致整个结构作用失效。

(1)钢箍范围的梁板顶面和底面、铰缝及钢筋混凝土铺装层范围的板梁顶面都需要凿毛并清理干净,以利于新老混凝土的结合。

(2)钢箍加工后要平整顺直,矫正不可采用热矫正,需采用液压机械矫正。

(3)钢箍与空心板梁顶底面的预留间隙要控制好以利后面的灌浆工序,支垫钢块数量要足够、要垫紧以防止拉杆松动。

(4)梁缝钻孔深度大,精度要求高,板梁侧向钢绞线保护层 40 mm,钻孔必须采用切实可靠的手段使得钻后的混凝土保护层厚度仍然满足要求。确保钻头对准梁缝中心位置,方向与梁缝方向一致,钻机固定要牢固。

(5)必须采用切实的措施将灌浆空间密闭,采用压力注浆的方式以确保灌注的密实度,材料选用专用材料。

2 工程应用实例

2.1 项目加固情况

本加固技术首先在上海市浦东新区黄赵路跨线桥进行工艺试验。总结经验后已成功运用于上海浦东 S1 迎宾高速浦东运河桥和 S20 外环高速上南路跨线桥。

(1)黄赵路跨线桥

2021 年 3 月在浦东新区黄赵路跨线桥(断头路,没有交通)上对工艺和材料进行了现场实际操作,工艺试验施工照片见图 3。该桥桥面总宽 8.5 m,上部结构每跨均由 8 榀预应力混凝土空心板梁组成,试验跨的跨径为 22 m。



图 3 黄赵路跨线桥工艺试验施工照片

黄赵路跨线桥工艺试验顺利完成了完整工艺流程。整个方案合理,施工技术可行,可以运用于运营中的桥梁。结合该桥的工艺试验对加固方案提出细化建议,并进行了修改,如上抱箍的构造(增设剪力钉等)。对关键工艺如梁间钻孔、钢结构安装、灌浆、沟槽填筑等进行了进一步研究与改进,制定了标准化工艺。

(2)S1 迎宾高速浦东运河桥

2021 年 4 月对 S1 迎宾高速浦东运河桥南幅的 K2 跨进行加固。该桥单幅桥宽 17 m,每跨 16 块板梁,跨径 21 m。外侧第五块板梁两侧铰缝破坏严重,2018 年进行过梁底注胶加固,又发生破坏,铰缝渗水非常严重。本次加固安装了 3 道钢抱箍,对破坏明显的第 5 块板梁两侧的铰缝进行开挖修补。加固施工照片见图 4。

(3)S20 外环高速上南路跨线桥

2021 年 12 月对 S20 外环高速上南路跨线桥抢修加固。该桥每幅桥宽 16.6 m,跨径多为 22 m。加固方案将铰缝损坏严重桥跨的第三、四车道用钢抱箍(8.2 m 长)增加横向联系,共加钢抱箍 40 条,由于时间及费用的限制,没有对破坏的铰缝进行修复。加固施工照片见图 5。

2.2 加固效果

2.2.1 铰缝相对位移检测

S1 迎宾高速浦东运河桥 K2 跨进行了 4 次铰缝



图 4 浦东运河桥加固施工照片

图 5 上南路跨线桥加固施工照片

相对位移检测^[8],检测部位有 S2-5# 铰缝跨中与八分之三点。现场检测情况及结果见表 4、表 5。

表 4 现场检测情况表			
次序	时间	阶段	检测部位
第 1 次	2021.04.13	加固前	S2-5# 铰缝跨中
第 2 次	2021.06.23	加固后	
第 3 次	2021.12.15	加固后 6 个月	S2-5# 铰缝跨中 S2-5# 铰缝八分之三点
第 4 次	2022.06.08	加固后 12 个月	

从检测结果及评定来看,加固前 S2-5# 铰缝的相对位移很大,处于破坏状态。采用钢抱箍增强横向联系后,板梁整体性得到提高,S2-5# 铰缝的相对位移明显减小,且参数 α 值非常小,说明经增加钢抱箍加固后,该铰缝由破坏状态转为完好状态,桥梁横向整体性达到完好状态。

表 5 铰缝相对位移检测结果及评定表					
测点位置	次序	阶段	相对位移/mm		α
			最大值	最小值	
S2-5# 铰缝跨中	第 1 次	加固前	2.022	-0.383	0.963
	第 2 次	加固后	0.069	-0.135	0.064
	第 3 次	加固后 6 个月	0.131	-0.142	0.068
	第 4 次	加固后 12 个月	0.045	-0.179	0.085
S2-5# 铰缝八分之三点	第 2 次	加固后	0.092	-0.007	0.044
	第 3 次	加固后 6 个月	0.121	-0.043	0.058
	第 4 次	加固后 12 个月	0.037	-0.094	0.045

3.2.2 活荷载试验

上南路跨线桥选择典型桥跨,在板梁跨中底板贴混凝土应变片、在钢箍肋板和底板贴应变花、对拉锚杆上贴应变片。分别在加固前、钢抱箍加固后进行汽车荷载试验,(因为不能中断交通,本次动载利用运营车辆,测量一个时段,选择峰值),测量各个空心板梁底混凝土和钢箍、对拉锚栓的应变情况^[9]。

(1)空心板跨中梁底混凝土应变,统计结果见表 6。

表 6 空心板跨中梁底混凝土应变统计表		
加固前	两道抱箍加固后	三道抱箍加固后
150 $\mu\epsilon$	120 $\mu\epsilon$	70 $\mu\epsilon$

因为运营荷载的不同,加固后混凝土的应变数值虽有误差,但是也可以判断出加固后的跨中混凝土应变的减小趋势。

(2)钢箍本身的应变,统计结果见表 7。

表 7 钢箍应变统计表			
两道抱箍加固(3 L/8)		三道抱箍加固(跨中)	
加劲肋应变值	底板应变值	加劲肋应变值	底板应变值
53 $\mu\epsilon$	38 $\mu\epsilon$	38 $\mu\epsilon$	43 $\mu\epsilon$

钢箍底板和肋板在荷载作用下产生应变,证明钢箍在荷载作用下,对传递横向荷载起作用。

(3)对拉锚杆应变测试,范围是-38~17 $\mu\epsilon$,第三、四车道中间的锚杆应变值最大。

(4)环境振动试验,测试桥跨典型状态下的振型和频率,结果见表 8。

表 8 桥跨振型和频率			单位:Hz
阶段	一阶竖向	一阶扭转	
未加固	5.32	12.31	
施工中	5.37	12.31	
加固后	5.47	15.97	

可以看出加固后动力特性有所提高,说明钢抱箍对提高简支梁的整体刚度和改善动力特性有作用。

3 总 结

(1)钢抱箍法加固技术在每跨内设置2~3道横桥向钢箍,将空心板梁捆绑在一起,增强横向联系。该加固技术科学可靠,施工方便快捷。并且对加固材料、施工工艺进行了系统研究,在开展工艺试验的基础上,应用于实桥加固。

(2)通过实桥试验检测看出,钢抱箍对于提高空心板梁整体性有显著效果,可以提高空心板梁的横向传力能力。

(3)加固后的桥梁经过两年的运营,状况良好,钢抱箍本身结构及注浆填筑都保持完整,桥面没有反射裂缝。证明该加固技术可实施性强、加固效果佳,是一项推广价值很高的加固技术。

(4)需要注意的是,该方案有好多环节都是新技术,施工要求很高且很难检验。若控制不好,一个环节的失误就会大大影响加固效果甚至造成不良的后果。需要施工水平高的专业单位,并要求有高标准的管理水平。

(5)测试结果为计算分析、加固设计提供参考数据,在下一步的研究中进行进一步理论量化分析,使

该方法更加科学规范。例如可以将空心板梁铰缝的损伤程度作为分析因素。

(6)对运营后钢抱箍的工作状态进行定期观测等,不断改进该项加固技术,提高加固效果、经济性和标准化程度。

参考文献:

- [1] 陈淮,张云娜,葛素娟. 横向体外预应力加固装配式空心板桥的探讨[J]. 铁道科学与工程学报,2008,5(6):22-25.
- [2] 项贻强,邢聘,邵林海,等. 铰接预应力混凝土空心板梁桥的空间受力行为及加固分析[J]. 东南大学学报(自然科学版),2012,42(4):734-738.
- [3] 何弘. 钢筋混凝土空心板整体化加固试验[D]. 重庆:重庆交通大学,2013.
- [4] 宋洪雨. 既有空心板梁桥横向预应力碳纤维板加固技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- [5] 宋泽冈,邓旭东,殷继华. 空心板梁桥加固前后受力性能对比试验研究[J]. 公路,2008(6):84-89.
- [6] 马春辉. 预应力空心板铰缝抗剪加固技术研究[J]. 江西建材,2022(5):207-210.
- [7] 郭建民,徐飞萍,康良,等. 考虑整体化层作用的空心板梁桥横向分布计算与承载能力分析[J]. 结构工程师,2021,37(2):194-199.
- [8] 同纳检测认证集团有限公司. S1 迎宾高速浦东运河桥空心板梁铰缝技术状况评定报告[R]. 上海:同纳检测认证集团有限公司,2022:5-11.
- [9] 上海应用技术大学,上海培宏公路养护技术有限公司. S20 外环高速上南路跨线桥抱箍法加固空心板测试分析报告[R]. 上海:上海应用技术大学,2022:32-33.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com