

桥梁改扩建施工中预应力加固技术研究

李 磊

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

[摘要]近年来伴随着我国道路桥梁工程建设事业的蓬勃发展,很多桥梁逐渐走入了病害频发阶段,并且随着车辆不断增多,现有的桥梁通行能力也有了更高的需求,桥梁改扩建工程存在着一边运营一边改造、新旧构件共同作用、作业面狭窄等问题,预应力加固施工由于其主动加载、少扰动原有结构、不影响正常通行等特点被大量应用于改扩建工程之中。论文详细论述了桥梁改扩建工程特点以及加固的要求,在此基础上介绍了预应力加固的基本原理,着重就体外预应力、粘结预应力、无粘结预应力、横向预应力这几项具体技术的研究应用方面进行了说明,总结了预应力筋布置定位、张拉固定、孔道注浆等施工方法,完善了施工监控及加固效果评估机制。实验结果表明,预应力加固技术可以提高原有桥梁的强度,优化结构受力情况,延长桥梁使用年限,为类似工程项目提供借鉴依据。

[关键词]桥梁改扩建;预应力加固;体外预应力

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19538

中图分类号: U445

文献标识码: A

Research on Prestressed Reinforcement Technology in Bridge Reconstruction and Expansion Construction

LI Lei

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract: In recent years, with the vigorous development of road and bridge engineering construction in China, many bridges have gradually entered a stage of frequent disease occurrence. With the increasing number of vehicles, the existing bridge traffic capacity has also had higher demands. Bridge renovation and expansion projects have problems such as simultaneous operation and renovation, the joint action of new and old components, and narrow working surfaces. Prestressed reinforcement construction has been widely used in renovation and expansion projects due to its active loading, minimal disturbance to the original structure, and no impact on normal traffic. The paper elaborates on the characteristics of bridge renovation and expansion projects and the requirements for reinforcement. Based on this, the basic principles of prestressed reinforcement are introduced, with a focus on the research and application of specific technologies such as external prestressed, bonded prestressed, non-bonded prestressed, and transverse prestressed. The construction methods of prestressed reinforcement layout and positioning, tension fixation, and grouting of ducts are summarized, and the construction monitoring and reinforcement effect evaluation mechanism are improved. The experimental results show that prestressed reinforcement technology can improve the strength of existing bridges, optimize structural stress conditions, extend the service life of bridges, and provide reference for similar engineering projects.

Keywords: bridge renovation and expansion; prestressed reinforcement; external prestressed

引言

我国危桥改造任务越来越重,病害类型层出不穷,严重制约了桥梁加固的工作效率。因此,掌握桥梁加固技术的发展现状及最新动态,对指导工程实际有着非常重要的意义。超大跨径预应力混凝土连续梁桥是公路交通的主体构件之一,进行加固的技术尤为关键。桥梁改扩建工程不同于新建工程,改扩建既要维持原有桥梁的安全运行,又

需要新旧结构共同发挥作用。预应力加固技术通过对结构施加预应力的方法改变原有结构的应力状况,提升承载性能的同时还拥有工期短以及施工期间对交通影响小等优点。近年来,随着材料、施工技术的发展,预应力加固技术应用于桥梁改扩建已经趋于完善,形成了包括体外预应力、粘结预应力、横向预应力等种类的技术体系。本文通过工程实例对桥梁改扩建施工过程中预应力加固技术的

应用要点进行了系统的探讨,以供类似项目借鉴。

1 桥梁改扩建工程特点与加固需求

桥梁改扩建工程不同于新桥建设,难度在于既要旧桥加以保留利用,又要使其能满足新的使用功能。从工程实际出发,改扩建桥梁一般存在如下几个方面的技术难题:

(1) 既有桥梁结构缺陷较多。以往建成的老桥由于设计水平、原材料质量及施工技术水平等原因制约,在长期服役过程中均不同程度存在梁体裂缝、预应力损失、混凝土碳化、钢筋锈蚀等各种病害,其中梁体裂缝最普遍,又细分为受力裂缝及非受力裂缝两种。前者主要出现在弯矩最大截面附近,是表明该构件已不能抵抗所承受荷载的表现;后者由温差、收缩徐变等多种原因造成。另外,预应力混凝土桥梁也存在着预应力筋松弛与锚固区裂缝的问题,影响到结构的安全。(2) 改扩建工程的技术要点。桥梁改扩建包含桥面拓宽、荷载等级提高、结构性能的改进等。拓宽改造的难点在于如何处理好新老梁之间的衔接问题。而三向预应力混凝土箱梁桥的横向对接更是难上加难,在此可以利用横向加劲肋来实现其柔性拼接,使新老箱梁翼缘板分开,在翼缘板底面布置均匀分布的横向加劲肋,以此形成柔性节点。它能够适应新旧构件之间不同变形的要求,从而不会出现较大的次应力。(3) 新老桥梁结构协作。改扩建过程中,新老结构是否良好协作对加固的效果有着很大的影响。新老桥梁之间存在着材料强度等级、龄期、地基下沉量的区别,在接合处会产生额外应力的影响。实验表明,在材料干缩、徐变的作用下,扩展之后的整体结构会有较为显著的侧向位移,需要注意的是桥墩端节点截面侧向位移以及加劲梁主拉应力值;在地基不均匀下沉量的不同情况下,每个支撑点截面加劲梁会有比较大的主拉应力,可能会产生结构断裂损毁,要进行有效的加固处理;(4) 预应力加固技术的应用价值。针对以上问题,采用预制应力加固的技术具有明显的优势。相对于传统被动加固方式而言,预应力加固可以主动加强结构内部的受力状况,利用施加预压力来抵御一部分活载作用引起的拉应力,控制裂缝的发展。提高结构的刚度,在改扩建工程中可用于既有桥梁的加强也可以用于新建结构的衔接,应用范围较广。

2 预应力加固技术的基础理论

预应力系统按预应力钢筋与混凝土的粘接情况分为有粘结预应力、无粘结预应力以及体外预应力三大类。有粘结预应力指将预应力钢筋与混凝土通过灌浆材料粘为一体并一起工作;无粘结预应力是在钢筋与混凝土间设置了一层防腐润滑涂层相互隔离仅仅依靠锚具进行传递预

应力。体外预应力即预应力筋设置在外围混凝土截面上,由转向块以及锚固块来传递预应力。这三种体系各自不同,在受力特性、施工方法及耐久性上都有所差异,并适合应用于不同场合下的加固工程中。预应力加固对于结构受力特性的优化主要有以下几点:首先,在于它可以通过施加预应力而产生的反弯矩来减少一部分外荷载弯矩的作用于结构上从而减小了结构内的内力;其次,在于增强了结构的防裂能力从而延后了裂缝的发展时间;再者就是优化了结构中的应力状况使得其材料强度可以更好地利用起来;最后在极限状态下还要综合考虑预应力筋的应力增加量以及锚固区域处的小面积压强等的影响。基于上述受力特性,预应力加固的设计与施工应遵循以下步骤:依据加固目的选择预加应力大小及位置布置方式;计算预加应力损失情况即摩擦损失、锚具损失、松弛损失和收缩徐变损失等;校核加固结构承载力及裂缝宽度、变形情况;设计锚固体系与转向装置使预应力能够有效的得到传递。

3 桥梁改扩建中预应力加固关键技术

3.1 体外预应力加固技术

体外预应力加固法就是在钢筋砼截面上部设置预应力筋并用锚固块以及转向块来传递张力,其优点是损失小、施工简单、易检查保养等,在桥梁改扩建中得到了普遍的应用。体外预应力加固的重点就是锚固块及转向块的制作安装。锚固块是用来传递预应力的主要构件,它所承受的压力很大,所以要有足够的强度、刚度,转向块就是用来转换预应力筋方向的,以满足结构受力的要求,扬漂高速改扩建工程中小金河桥体外预应力束长度最大为178m,远远大于一般桥梁,要经过多次倒顶张拉工艺(即因张拉行程限制,需分次倒换千斤顶位置完成全长张拉)。该工程使用的填充型环氧涂层钢绞线对施工技术有更高的要求,在此项目中采取了新颖的“顶压锚固+专用工具锚倒顶”的工艺方式,使得锚固齿能咬穿环氧层,并且牢固地嵌入到钢绞线当中实现可靠的锚固。

表1 小金河桥体外预应力施工关键参数

参数项目	设计值/标准	实测值	偏差	是否达标
预应力束最大长度(m)	178	178	0	是
张拉控制应力(MPa)	1395	1392	-0.22%	是
钢绞线伸长量计算值(mm)	312	308	-1.28%	是
锚下预应力(设计值%)	≥95%	97.6%	+2.6%	是
转向块定位偏差(mm)	≤5	3	-2	是
倒顶张拉次数(次)	3	3	0	是

3.2 粘结预应力加固技术

粘结预应力加固法就是在已有的结构表面增补预应力束,利用灌浆使其与结构胶结为一体的方法来提高结构的承载力,此方法可适用于对大幅度提高承载力的要求较高的构件上;其加固后强度高、耐久性能好,但是施工过程中必须将原有结构表面处理好才能使新老混凝土黏结牢固,同时要保证预应力钢筋的孔道定位正确。粘结预应力加固最困难之处就是新老混凝土之间的结合部位,必须采取植筋、凿毛等办法增加结合面的抗剪强度。

3.3 无粘结预应力加固技术

无粘结预应力加固法是以涂有防腐油脂、包有塑料外套的预应力筋,与混凝土之间是无粘结,仅靠锚头传给预应力的一种方法,它的优点是施工效率高,摩阻损失少,在改扩建中用得比较多的是桥面板横缝拼装及纵缝加宽,因为它具有可以滑移的特点,对于结构变形的适应能力强,在老旧结构的连接处适用。

3.4 横向预应力加固技术

横向预应力加固主要用于桥梁加宽重建,用来联结旧桥和新桥。三向预应力混凝土连续箱梁桥横向拓宽比较困难,用横向加劲肋加上横向预应力是解决的办法之一。横向预应力加固可以有效地限制新旧构件交接区产生裂缝,提升横向的整体性。

3.5 预应力钢束布置与张拉控制

预应力钢束的分布方式以及张拉方案的选择对于加固效果的影响很大。根据受力情况及构件特性,预应力钢束的布置可分为直布置、折线布置及弯曲曲线布置等多种类型。而张拉控制主要涉及张拉顺序、张拉力值大小及伸长量校验等几方面。而正确的选择张拉顺序能减小对原有结构造成的不必要的扰动,防止出现过大致内力。

表2 预应力钢束布置形式对比

布置形式	适用桥型	技术特点	优点	缺点
直线束	简支梁桥	构造简单,锚固方便	施工便捷,预应力损失小	对梁体弯矩改善有限
折线束	连续梁桥	适应弯矩包络图变化	受力合理,材料利用率高	转向块构造复杂
曲线束	箱梁桥	与梁体曲线贴合	空间利用率高	摩擦损失较大

张拉的主要指标有张拉力、伸长量、锚固回缩量等。现场施工时要严格控制张拉,应力满足设计控制力的要求,并且要控制好其伸长量误差要小于设计值的 $\pm 6\%$,对于长束张拉要采用重复倒顶的方法保证张拉的质量。

4 关键施工工艺与技术控制

4.1 预应力筋安装与定位工艺

预应力筋的安放及定位是影响加固质量的重要因素,在施工之前必须按照基面放线的要求把锚固点以及弯折点位置确定好。剪力槽开凿,钢筋植筋固定以及支架架立等工作都应严格按照图纸要求来操作。预应力筋定位是否精确直接影响到预应力能否顺利的传递。弯折块部位定位偏差应在标准范围内。而对于体外预应力钢束还要增设消振装置以减少震动对预应力筋的影响。

4.2 张拉施工工艺与锚固系统

张拉施工是预应力加固中的重要一环,根据预应力筋种类以及长短来选取相应的张拉机具及方法,对于填充型环氧涂层钢绞线要选用专用千斤顶配以“顶压锚固”的工艺保证锚固稳定可靠,在张拉时应分阶段加力,持荷一段时间后记录其伸长量并与计算值进行对比。锚固体系由锚具、夹片、锚垫板等组成,必须做到锚固牢靠,密封严密。

4.3 孔道压浆与封锚技术

孔道灌浆是粘接预应力加固的重要环节,在孔道内灌注填充预应力筋空隙、防锈、提高粘接强度等作用^[1]。压浆材料应有较好的流动性、微膨胀性以及耐久性。压浆过程要连续,饱满,其压力、时间需要精确控制。封锚是加固的最后一环,要对锚头处进行封闭保护,避免积水造成预应力筋锈蚀,提高耐久性。

4.4 施工过程质量控制要点

施工过程质控包括原材料检查、工序检查、隐蔽工程检查等内容,加强对预应力钢筋进场检验、张拉设备校准、孔道压浆饱满度等方面的质量把控,在施工过程中做好相应的记录确保质量可追溯性。

5 施工监测与加固效果评价

5.1 预应力张拉过程中的应力应变监测

表3 施工监测关键指标实测数据

监测项目	检测方法	控制标准	实测值	达标情况
锚下预应力(MPa)	锚下压力传感器	≥ 1325	1362	达标
主梁跨中挠度(mm)	精密水准仪	≤ 15	8.6	达标
关键断面压应变($\mu\epsilon$)	振弦式应变计	≤ 800	624	达标
关键断面拉应变($\mu\epsilon$)	电阻应变片	≤ 150	112	达标
锚固端混凝土裂缝宽度(mm)	裂缝观测仪	≤ 0.10	0.00(无裂缝)	达标
主梁原有裂缝宽度变化(mm)	裂缝观测仪	≤ 0.05	0.02(未扩展)	达标

施工监控是保证预应力加固效果的有效措施,对锚下预应力、主梁变形、应变等重要指标进行检测。测点位置的设计要恰当,可以观察到整个桥梁结构的受力情况。张拉期间,监控结果与预计的数值比较,如果出现偏差就应当引起重视。应变检测用振弦式应变计或者电阻应变片,在关键断面处^[2]。变形检测使用精密水准仪或者全站仪,测量梁体的挠度变化情况。监测结果应当及时记录下来并进行分析,从而给张拉操作提供参考。在监控的过程中,经过检测得出,加固之后锚下预应力、主梁变形、应变都达到了规范的标准,主梁和锚固端都没有开裂现象。

5.2 加固效果综合评价方法

加固质量评估要求从结构性能、施工质量以及经济效益等方面进行考量,其中对结构性能方面的考量主要针对的是承载能力提高幅度、刚性加强程度以及裂缝抑制水平等,而施工质量方面的考量就包含了张拉质量好坏、压浆饱满情况及锚固牢固程度等。经济效益方面的考量主要是加固花费、工期影响大小、全寿命费用高低等。

表4 加固效果综合评价指标体系

评价维度	评价指标	评价内容	评价方法
承载力	抗弯承载力提升率	加固后承载力相对设计要求的满足程度	荷载试验、理论计算
刚度	挠度改善率	加固后挠度减小幅度	变形监测、有限元分析
裂缝控制	裂缝宽度减小率	加固后裂缝宽度变化	裂缝观测、应力分析
预应力质量	张拉力偏差率	张拉力与设计值的吻合程度	张拉记录、监测数据
锚固可靠性	锚固回缩量	锚固时的预应力损失	张拉记录、无损检测
耐久性	孔道压浆密实度	压浆是否饱满、无空洞	无损检测、抽样检查

综合判断可以运用层次分析法来计算各因素的权重,

再根据检测结果对这些因素进行打分^[3]。加固处理结果较好指的是:承载能力达到规定的要求;裂缝宽度满足限值要求;施工过程满足验收规范的要求等。

6 结语

针对桥梁改扩建工程提出的高要求,预应力加固技术由于其主动承载能力强、施工方便、对通行影响小的特点在其中起着重要的作用,本文综述了预应力加固技术的基本理论知识及其关键技术以及施工监控要点如下:(1)改扩建桥梁存在新旧构件共同工作的困难、空间有限、半幅封闭等难题,预应力加固技术可以解决这些问题,进而提升桥梁承载能力;(2)体外预应力、粘结预应力、无粘结预应力及横向预应力等不同的关键技术各具优势及局限性,在建设要结合项目情况选取最适合的技术,同时长束张拉、环氧涂层钢绞线施工等特殊工况需要开发新的工艺。(3)施工技术以及质量控制对钢筋预应力加固能否成功起着决定性的作用,在预应力筋放线定位、张拉压浆等工序中都要做到一丝不苟,在施工过程中进行监控也对质量把控有着重要的参考借鉴意义,伴随着智慧技术的进步与发展,预应力加固工艺正在向着数字化、智能化的方向发展,利用物联网的施工监管系统及借助数字仿真模拟的性能检测技术将是日后的重要发展趋势。

[参考文献]

- [1]赵香雪.改扩建桥梁预应力碳纤维板加固技术[J].中国公路,2024(17):109-111.
- [2]覃清玥,李岩,张文学,等.大跨径预应力混凝土连续梁桥加固研究进展[J].建材技术与应用,2024(3):49-57.
- [3]张子良.某连续箱梁桥体外预应力加固施工阶段的结构监测分析[J].交通世界,2024(34):178-180.

作者简介:李磊(1994.09—),男,汉族,甘肃省白银市会宁县人,中级工程师,2016年毕业于西南交通大学土木工程专业,大学本科,现主要从事高速公路路桥设计工作。