

体外预应力技术在桥梁加固中应用的思考*

朱正伟, 刘东燕, 彭文轩

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要: 自体外预应力技术产生并应用于桥梁加固以来, 现已逐渐成为对既有桥梁上部结构进行加固的一个重要的方法, 本文在简要介绍了它的优缺点后, 着重阐述了这种方法在应用中的发展和思考。

关键词: 体外预应力技术; 桥梁加固; 应用; 思考

中图分类号: U445.7+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7329(2005)02-0046-05

Consideration of External Prestressing Technique Applied to Bridge Reinforcement

ZHU Zheng-wei, LIU Dong-yan, PENG Wen-xuan

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The external prestressing technique has become an important method since it was used in the reinforcement of the upper structure of existing bridge. In this paper, the advantages and disadvantages of this method in brief are introduced and emphasis is put on the consideration and progress of its application.

Keywords: external prestressing technique; bridge reinforcement; application; consideration

对既有桥梁的加固是桥梁建设可持续发展的重要举措, 有资料^[1]表明对旧桥加固所需的费用约为新建桥梁的 10% ~ 30%, 这就为旧桥加固的经济性和实用性提供了可行性的保障。运用体外预应力技术对既有桥梁上部结构进行加固作为众多加固方法^[2,3]的一种, 虽然起步较晚, 但由于其显著的优势而脱颖而出, 成为很多加固设计的首选方法。

1 体外预应力技术及其加固

1.1 体外预应力技术

体外预应力^[4-7]的概念和方法最早产生于法国, 1979年, E. C. Figg 和 Jean Muller 首次在美国佛罗里达建造了第一座体外预应力混凝土桥 Long Key 桥^[8]。体外预应力是指对布置于承载结构本体之外的钢束张拉而产生的预应力。体外预应力技术是后张预应力体系的分支, 是无粘结预应力结构技术的一种。体外预应力经过 20 余年的发展和工程应用, 目前已形成有粘结体外预应力和无粘结体外预应力两种应用体系^[4], 有粘结体系的管道的铺面质量及其水密性容易检查和控制, 预应力摩阻损失小; 无粘结体系的单根无粘结筋的摩阻损失极小, 可采用单根张拉工艺, 张拉设备体积小, 容易操作; 预应力筋有多层防护, 因此, 其耐腐蚀性和防护性安全可靠; 另外, 在使用期间可重调预应力值, 更换预应力筋。

体外预应力结构的优点^[4-7]: (1) 能够调校和控制体外索的应力, 便于检查腐蚀情况保证在必要时能够替换钢绞线束; (2) 在箱梁的壁内不存在预应力管道, 使得混凝土容易浇筑, 不会因为预留孔的存在而减低承压能力, 因此能尽可能地减小箱梁壁厚, 减轻结构自重; (3) 对于某类型的结构, 如预制箱梁

* 收稿日期: 2004-12-08

作者简介: 朱正伟(1975-), 男, 重庆合川人, 硕士生, 主要从事桥梁与隧道工程研究。

结构,使用体外索可以简化及加速桥梁的建设速度,降低建造成本;(4)简化了曲线预应力筋,减少了摩擦损失。

体外预应力技术的适用范围:体外预应力结构的适用范围非常广泛,既可用于预应力混凝土桥梁(特别是采用节段施工的桥梁)、特种结构和建筑工程结构等新建结构、既有的钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构的重建、加固和维修,也可用于结构中无法放置预应力筋的结构(如钢结构、复合结构等),还可以用于临时预应力混凝土结构或施工临时性钢索。

1.2 体外预应力加固

对既有建筑上部结构的加固,一般都不得不在原结构砣的外部进行,这就使体外预应力技术成为一种主要的也是最积极的加固方法。体外预应力索加固法就是应用体外预应力索通过后加在原结构上的锚固块和转向装置,并张拉体外索使原结构产生后加预应力的方法,如图1示。

体外预应力加固方法的优点是:

(1)可平衡卸掉部分恒载;(2)能够较大幅度地提高结构的承载能力和结构刚度;(3)体外索变化幅度小,无疲劳问题;(4)能够有效的控制原结构的裂缝和挠度,使裂缝部分或全部闭合,使挠度大幅度减小;(5)能够控制和调校体外索的应力;(6)便于更换体外力筋。

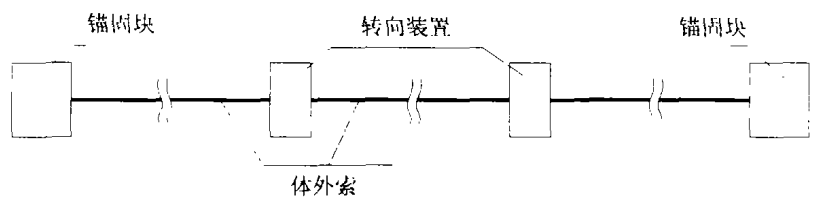


图1 体外预应力加固体系简图

它的缺点是:锚固块和转向装置有时不便于设置;转向装置处设计不当会造成大量的预应力损失,并导致施工复杂;结构外露面不平整;需注意体外索的防火和防腐等耐久性问题。

2 体外预应力技术在桥梁上部结构加固中应用的思考

体外预应力加固技术在桥梁上部结构加固中的应用也在近十年内逐渐兴起的,就目前国内外在体外索加固的成果^[9-15]来看,研究的重点主要是放在了简支的、截面形式为矩形或T形的桥梁加固上,对于现在应用日益广泛的箱形截面、连续的公路桥梁研究成果却很少。虽然箱形与矩形和T形、简支与连续的一些原理和方法在一定程度上存在相似相通之处,但由于剪力滞后、二次效应等影响,在锚固块和转向装置的设置及其受力机理、加固效果的评价和具体的施工工艺上还是有很大的差异。

2.1 转向装置

转向装置是实现体外索加固的重要构件,其传载方式和自身性能也是影响预应力施加效果的关键。转向装置的设计要求:(1)预应力筋在转向点的位置必须高度准确,避免产生附加应力;(2)转向装置在结构使用期内也不应对预应力索有任何的损害。

转向装置的结构形式可以用:(1)钢板、钢管等材料的组合构成;(2)后加钢筋砣转向块。对于矩形和T梁,用形式(1)是合理、经济的,但对于箱梁则应该采用形式(2)。

转向装置的传载模式根据其作用形式的不同有两种形式:一是承压型,主要以压力形式将体外索的荷载传给原结构,一般用于矩形、T梁和箱梁的横向加固;二是剪切型,主要以剪力形式将体外索的荷载传给原结构,一般用于箱梁纵向加固。

对于承压型,在转向装置与预应力筋的接触区域,由于摩擦力和横压力的挤压作用,如果转向装置设计不合理或构造措施不当,预应力索就容易产生局部硬化和摩擦损失过大,以及与原结构接触面的局部应力过分集中,从而导致:第一、原结构局部压坏;第二、预应力筋在接触点处剪坏而失去加固作用。因此,对体外索的传载方式和自身性能的研究是重要的。对于承压型转向装置的研究,可以采用计算机模拟的方法进行研究。

对于剪切型,转向装置与原结构在连接处的接触面将承受体外索张拉引起的剪力。但是对于这个接触面的研究还不多,而这个问题也是影响加固效果的重要因素。在以往的很多设计中一般都采用近似的方法,即将接触面的应力视为均匀分布,但事实是,接触面处的应力分布是相当不均匀的。如果设

计不合理,造成要么材料的浪费,要么连接处安全储备不足,将为结构的正常使用带来隐患。因此建立这个接触面的模型对其加以研究就显得非常重要。

目前国内外采用了两种方式^[16-22]研究剪切型转向装置的传载方式及自身传载性能。第一:模型试验。模型试验是通过调整转向装置的尺寸及形状,应用现场测试,检测预应力损失及对桥梁的加固效应。但模型试验的成本高,且仅能选取有限的转向装置尺寸和形状进行试验,并不能得到最优的效果。第二:模拟分析。模拟分析国内外一般有这几种方法:①Goodman 1968年提出的零厚度接触面单元及后来在此基础上开发的有厚度接触面单元;②常规的薄层单元(也即普通的空间八结点六面体单元)及简化的薄层单元(即根据薄层特点,略去一些高阶微量简化计算);③除此之外还有 Katona 1983年提出的采用不用劲度系数的简单接触摩擦单元,该接触摩擦单元的几何和静力约束是作为补充方程包含在劲度方程中的,这样会引起劲度方程带宽增大及方程的病态、不对称等,同时对于接触面开裂问题也还没有有效的解决办法,因而实用中用得较少,一般采用 Goodman 模型进行模拟研究。

2.2 锚固块与原结构连接处的受力情况及分析

对于矩形截面和薄腹 T 梁的锚固块,普遍做法就是在需要锚固的地方凿洞,用钢管、钢轴等作为锚固块,这是非常简便,也是行之有效的方法,这种锚固块的受力分析也很简单,其重点是钢管、钢轴自身的强度及其与原结构砣处的局压应力分析。一般用于加固荷载较小的结构。

对于箱梁,由于其横截面和荷载均较大,再采用矩形和 T 梁的处理方法显然是不合适宜的,这就必须采用新加砣锚固块的方法来处理。这种锚固块的受力机理与传载方式就与剪切型转向装置类似,这里不再赘述。

2.3 加固效果

加固效果是评定加固方法好坏、成功与否的重要指标。对桥梁在使用体外预应力进行加固后其横截面的正常使用极限状态和承载能力极限状态抗弯承载能力的计算方法,国内外一些学者也做过一些研究^[23-27],也总结出了一些比较适用的方法。但是对箱梁在横向加固情况下的受力分析和整体加固效果研究并不多。

对于体外索在极限状态下的极限应力问题,国内外学者大多是将普通钢筋的影响用总配筋指标 q_0 来反映,通过试验结果建立经验公式或半理论的经验公式来进行计算,没有从结构本身的力学性能及材料性能出发去研究预应力筋的极限应力问题,这样得出的结论往往具有局限性^[24]。因此应该建立箱梁的整体模型,采用极限分析的方法来实现预应力索加固体系的整体研究,从而分析桥梁的加固效果。

对于抗弯能力的提高,体外索有着很大的优势,也可以比较便利地从力学的角度分析出来。但是对于抗剪能力的提高,这种加固方法似乎没有那么方便。从结构分析的角度,当不考虑原结构能够承担的剪力,可以分析出:结构受到预应力后可以延迟截面砣的开裂,增加砣对钢筋的握裹力,增强纵筋的销栓作用,抵消部分斜截面的剪应力,从而提高截面的抗剪承载能力。若体外索在支座附近转向弯起,截面抗剪承载能力的提高就应该包括体外索的贡献。但是国内外目前关于体外索弯起和预应力这两部分的贡献的研究成果相当少见。因此,研究分析这两部分的贡献率,从而使抗弯和抗剪能力同时得以较大幅度的提高,从整体上增强加固效果,将是一个重要的研究课题。

2.4 施工工艺

合理的施工工艺是实现设计的基础和保证。如前所述,体外索预应力的准确保持以及体外索不因转向而老化、损伤是体外预应力体系对结构加固的关键;加之体外预应力体系对结构的加固从准确、牢固地安好锚固块锚板,到转向装置的正确施工,以及预应力索的张拉等过程都对施工工艺要求较高。通过对锚固块及锚下应力和转向装置的分析,主要从减小预应力索的应力损失出发,如何对转向装置和锚固块的施工以及张拉预应力钢筋的工艺提出具体的要求,并建立一套合理的预应力加载与锁定方式以及检测与评价标准,以实现设计的初衷,达到经济、合理的设计要求也是一个重要的环节。

3 体外预应力在桥梁工程中的应用前景

体外预应力技术在 20 余年的发展和应用中已日臻成熟,体外预应力加固方法在矩形和 T 形梁中应

用的机理和措施也逐渐完备。尽管体外预应力结构的钢束用量比体内预应力的要多,但由于它大幅度地减薄了占恒载较大比重的箱梁腹板尺寸,减少了混凝土的用量,节省了下部结构的工程量;更重要的是,采用体外预应力结构的桥梁的施工方法、施工速度、管理费用以及成桥后的维护、更换费用能真正反映其经济性,体外预应力最大限度地发挥了节段施工的优点。采用预制节块组拼,上部结构与下部结构同时施工;节块间利用接缝,使施工速度快捷、而且方便,保证了施工质量和工期。成桥后能够方便地进行检测和维护体外索,能较明确地掌握桥梁的使用情况,节约了后期费用;采用体外预应力的逐跨施工法,对周围环境的影响仅局限在桥墩位置及正在施工的一个跨径范围内。施工场地清洁,城市污染较小,对现有交通影响小,预制块件运输方便,这对于城市高架道路和轻轨交通有着重要意义。因此,体外预应力技术已成为新建桥梁的重要形式。

我国地域广阔,地形复杂,是世界上建筑桥梁较早的国家,建桥的历史也很悠久,拥有桥梁的数量也很多。在全国20余万座公路桥梁中,早在1998年时就被鉴定为危桥的就达到4000多座,而在美国,FHWA统计了1950~1994年美国新建的跨度大于6m的桥梁,其结构缺陷率占桥梁总数的2.82%,德国的桥龄在20~30年的预应力混凝土桥梁有50%以上都有中等以上的损伤^[2]。这就使得桥梁加固显得紧迫而重要。尽管有锚喷砼、增大截面、粘钢、CFRP等加固方法^[2,3],但由于体外预应力加固技术的众多优点而成为很多加固设计的首选,加之该技术的应用密切结合着新材料、新工艺的发展方向,其运用正方兴未艾,具有非常广阔的应用前景。

4 结论

随着国家西部大开发战略的深入,广大的西部地区正处于道路、桥梁和城市建设的高峰时期,由于体外预应力技术的针对性和独特优势使得它在桥梁建设中有巨大的应用前景。但从现有资料看,由于体外预应力技术在我国的应用相对滞后,对剪切型和承压型转向装置的传载方式和自身性能的模拟研究、锚固块的锚下应力、抗剪承载能力的提高以及预应力加载与锁定方式及其检测与评价标准等问题就是该法在箱梁加固中面临的新课题;而且现有的模型试验或计算软件主要是针对民用建筑的无粘结部分预应力混凝土结构的,还没有符合我国常用材料和规范荷载条件的试验或计算程序。只有在解决了这些问题之后,才能真正意义地体现加固设计的最优化、加固施工的最简化和加固效果的最大化,为该方法在桥梁加固中的可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] 卢文良. 预应力体外索加固既有铁路桥梁[J]. 铁道标准设计, 1997, (10): 4-5.
- [2] 徐学东, 朱瑞龙等. 既有钢筋混凝土桥梁加固与修补技术综述[J]. 铁道标准设计. 2000. 20(6~7): 39-41.
- [3] 梁建. 公路旧桥的加固与管理[J]. 公路, 2001(4): 40-43.
- [4] 孙宝俊, 周国华. 体外预应力结构技术及应用综述[J]. 东南大学学报(自然科学版). 2001. 31(1): 109-113.
- [5] Jean Muller. Some Recent International Projects with External Prestressing[J]. AFPC External Prestressing in Structures, France. 1993: 71-83.
- [6] Godart B. Strengthening prestressed concrete box girder bridges: the French experience[J]. Structural Engineering International. 1995(2): 81-84.
- [7] Virlogeux M P. External Prestressing - From Construction History to Modern Technique and Technology, External Prestressing in Bridges[S]. ACI sp-120, 1990.
- [8] Muller J. Construction of Long Key bridge[J]. PCI Journal, 1980(6): 97-111.
- [9] Azez Hindi, Robert Macgregor, etc. Enhancing the Strength and Ductility of Post-Tensioned Segmental Box Girder Bridge [J]. AFPC External Prestressing in Structures, France. 1993: 153-162.
- [10] American Concrete Institute. External prestressing in bridges[M]. ACI Special Publication SP2120. Detroit, MI, 1990.
- [11] Straninger W, Wicke M. Bridge strengthening with additional prestressing[J]. Structural Engineering International. 1995 (2): 78-80.

- [12] Falkner H, Huang Z, Teufsh M. Strengthening bridges with unbonded prestressing[J]. *Structural Engineering International*. 1995(2):76-77.
- [13] 李晨光, 刘航. 体外预应力技术在工程加固改造中的应用[J]. *施工技术*, 1999(2):30-32.
- [14] 蔡国宏. 国外桥梁建设发展的新动态[J]. *国外公路*, 1998(2):9-15.
- [15] 艾军, 史丽远. 公路梁桥体外预应力加固设计与施工方法研究[J]. *东南大学学报(自然科学版)*. 2002, (32)5:771-774.
- [16] 陈开利译. 桥梁中后张体外筋用的转向块的试验研究[J]. *国外桥梁*, 1994, (1):44-51.
- [17] Tan K H, Ng C H. Effects of deviators and tendon configuration on behavior of externally prestressed beams[J]. *ACI Structural Journal*, 1997, 94(1):13-22.
- [18] Takebayashi T, Leung Y W. Full-scale destructive test of a precast segmental box girder bridge with dry joint and external tendons[A]. *Proceeding of Institute of Civil Engineering[C]. Structure and Building*, 1994, 11(3):297-315.
- [19] P. Srinivasa Rao, George Mathew. Behavior of Externally prestressed Concrete Beams with Multiple Deviators[J]. *ACI Structural Journal*, 1996, 93(4):387-396.
- [20] 潘龙, 易建国等. 新型大吨位锚头锚体系及其锚下应力分析[J]. *同济大学学报*, 1999, (2):220-223.
- [21] Stone W C, Breen J E. Behavior of Post-Tensioned Girder Anchorage Zones[J]. *PCI Journal*, 1984, 29(1):64-109.
- [22] David H. Sanders, John E. Breen. Post-Tensioned Anchorage Zones with Single Straight Concentric Anchorages[J]. *ACI Structural Journal*, 1997, 94(2):63-72.
- [23] Hindi. Enhancing strength and ductility of post-tensioned segmental box girder bridges[J]. *ACI Structural Journal*. 1995, 92(1):33-44.
- [24] 徐栋, 项海帆. 体外预应力桥梁的力学性能及其影响因素分析[J]. *桥梁建设*, 1999, (3):1-4, 7.
- [25] Rabbat B G, Sowlat K. Testing of segmental concrete girders with external tendons[J]. *PCI Journal*, 1987, 32(2):86-107.
- [26] Ramos G, Aparicio A C. Ultimate behavior of externally prestressed concrete bridges[J]. *Structural Engineering International*, 1995, (3):172-177.
- [27] Roberts - Wollmann C L. Field measurements of prestress losses in external tendons[J]. *ACI Structural Journal*, 1996, 93(5):595-601.

(上接第40页)

5 结语

在山地城市的景观建设中,可资利用的设计原理和方法很多,本文讨论至此只是想说明,以同构堆积的方式在山地地形上形成的景观重叠是其中的一条有效途径,以此作为设计过程中明确清晰的指导性思路,有可能营建出高质量的现代山地城市特色景观。

参考文献:

- [1] 李葱葱. 寻找现代景观规划设计之文化归属[J]. *重庆建筑大学学报*, 2002, 24(6):13-16.
- [2] 欧阳桦. 山地风貌与建筑形态——重庆近代西洋建筑特色[J]. *重庆建筑大学学报*, 2003, 25(4):1-5.
- [3] 魏皓严. 从家院到城市——中国古代城市空间中心谈[J]. *重庆建筑大学学报*, 1999, 21(3):56-60.
- [4] 赵修渝. 自然辩证法概论(修订版)[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2001.