

预应力新技术在上海新浏河桥的应用

黄芳玮 朱万旭 刘显晖 闫云友 唐小萍

摘要 新浏河为上海市与江苏省的界河,嘉浏公路是连接上海市嘉定县至江苏省浏河镇的高速公路,二期工程全长16km。主桥新浏河桥采用了预制节段砼整体拼装法进行施工,并运用了多项预应力新技术。本文主要介绍该桥在设计、施工过程中所涉及的预应力相关的新技术。

关键词 预制节段梁 2000MPa级钢绞线 内卡式千斤顶 体外索 真空辅助灌浆

一、前言

新浏河桥位于嘉浏高速公路二期工程上海段的北端,南连上海嘉定,北接江苏太仓,全桥长412米,是一座分离式上下行桥梁。其中,主桥长146米,双向6车道,上部结构为三跨42米节段预制砼整体拼装工法施工的简支箱型梁。横断面为四箱单室结构,每跨箱梁划分为13个节段。设计与施工时,采用架桥机分块拼装预制节段混凝土桥梁,这在国内尚属首次,工程课题组在该工程采用了多项新技术:主要有预制节段混凝土桥梁设计技术与施工工艺、2000MPa级锚具及钢绞线的应用、C60高标号混凝土、在狭窄空间预应力张拉、体外索技术和真空灌浆工艺。

二、2000MPa级高强钢绞线及锚固体系

随着预应力钢绞线制造技术的不断进步,钢绞线极限强度增高。1998年,上海申佳金属制品有限公司成功研制成2000MPa级低松弛钢绞线,并提出2000MPa级钢绞线的标准。目前,已有江西新余、上海申佳金属制品有限公司等多家公司可以生产直径为 $\Phi 15.2\text{mm}$ 的2000级预应力钢绞线。2000级钢绞线在于强度上的提高,其它参数和性能,如截面积、极限延伸率与1860级基本一致(详见表1),造价稍有提高。

该项目选用C60混凝土,并首次在桥梁工程

中采用2000MPa级钢绞线,因此采用与该强度等级钢绞线相匹配的锚固体系是预应力新技术的关键之一。同时,通过该工程的应用,制定了适用于预制节段拼装式桥梁的预应力施工工艺。

2000级钢绞线与1860级钢绞线的比较 表1

标准	公称抗拉强度(MPa)	公称直径(mm)	直径偏差(mm)	公称面积(mm^2)	公称重量(Kg/km)	最小破断荷载(kN)	1%伸长率最小荷载(kN)	延伸率 $L_{0\geq 610\text{mm}}$	松弛率% 0.7G.U.T S1000h
ASTM A416-98 (Q/HYAN01-1998)	1860	15.2 4	+0.66 -0.15	140.0	1102	260.7	243.6	≥ 3.5	≤ 2.5
	2000	15.2 4	+0.66 -0.15	140.0	1102	280.0	252.0		

锚具的设计、试制和试验工作根据理论计算及计算机有限元分析的结果进行。试验采用江西新余市新华金属制品有限公司、上海申佳金属制品有限公司生产的2000级钢绞线和江阴厂生产的1860级钢绞线,进行了大量的静载、疲劳、低周、张拉工艺等试验。试验结果表明,新开发研制的2000MPa级钢绞线用HVM锚固体系完全符合国家标准GB/T14370-1993《预应力筋用锚具、夹具和连接器》和FIP1993《后张预应力体系验收建议》。

由柳州海威姆建筑机械有限公司(简称“柳州海威姆公司”)生产的HVM系列锚具有以下特点:

黄芳玮 柳州海威姆建筑机械有限公司 技术开发部部长 高级工程师
朱万旭 柳州海威姆建筑机械有限公司 副总工程师 高级工程师
刘显晖 柳州海威姆建筑机械有限公司 工程师
闫云友 柳州海威姆建筑机械有限公司 工程师
唐小萍 柳州海威姆建筑机械有限公司 副总经理 高级工程师

1. 适应性强,能可靠地锚固 2000 级及以下强度级别的预应力钢绞线。

2. 具有良好的放张自锚性能,不需顶压。夹片跟进平齐,预应力损失小。

3. 具有优异的静载性能和疲劳性能。国家建筑工程质量监督检验中心的检验结果表明, HVM15-1~12 孔的锚固效率系数均为 1.0。19 孔锚具配合 2000 级钢绞线的疲劳试验也在国家级检验中心顺利通过,且无钢绞线断丝现象。

4. 通过采用计算机有限元分析技术,锚具的结构尺寸得到优化,没有因为单孔承载力的增大而增加锚具的重量。

5. 锚具的关键部件——夹片经过优化设计,取消了弹性槽,减小了夹片碎裂的可能性。

工程课题组根据该桥预应力锚固段结构图,又单独进行了技术设计,建立了有限元分析模型,每跨箱梁采用 13 束 HVM15-12 体内预应力束、4 束 HVM. Tg15-9 体外索,按实际工况加上约束和支撑,箱梁和锚垫板作为三维八节点体单元加入,共 7115 个单元,9504 个节点。由于桥段实体对称,分析模型取桥段的二分之一,见图 1、图 2。

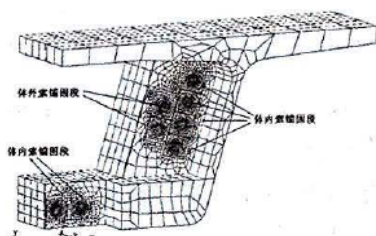


图 1 分析模型

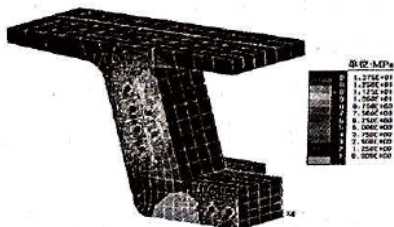


图 2 桥段最大主应力分布

该节段受到的应力和变形符合一般的定性分析,分析结果的准确性还经过了该桥实际检测的验证。

工程实践证明,锚具的锚固性能、工艺性能优良。图 3 为桥上张拉锚固后锚具的形貌。



图 3 HVM15A-2 锚固区形貌

三、内卡式千斤顶在预制节段桥梁预应力张拉施工中的应用

由于新浏河桥的锚索张拉吨位在 150t~230t 左右,但梁与梁之间的操作空间狭小,相邻箱梁之间端横梁的净距离,即张拉方向长度只有 800mm,采用常规的 YCW 穿心式千斤顶无法进行双向张拉。若 40 米箱梁采用单向张拉预应力工艺,管道摩阻损失值大。因此,采用了柳州海威姆公司研制的新产品 YDC2500N-100 内卡式千斤顶。该千斤顶的设计构思是将张拉用的工具锚及限位板均置于千斤顶内腔,结构紧凑、密封性能好,工具锚有夹片随动夹紧及放张顶开装置,配用不同孔数的内卡装置,可分别张拉 13 孔及以下不同孔数的夹片群锚,操作简易。特别适合狭小空间的张拉,有效地节省了千斤顶张拉所需的空間,也可大量节约预应力筋材料。

图 4 为内卡式千斤顶在上海新浏河桥工程施工应用情况。

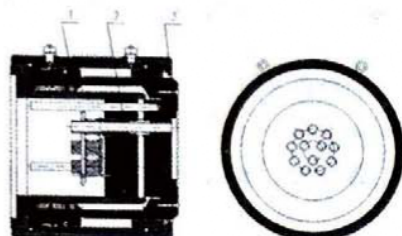


图 4 在张拉施工中的 YDC2500N-100 内卡式千斤顶

YDC2500N-100 内卡式千斤顶的结构见图 5,其性能参数见表 2。

YDC2500N-100 内卡式千斤顶技术性能表 表 2

1	公称张拉力	kN	2462	5	回程油压	MPa	<25
2	公称油压	MPa	50	6	质量	kg	217
3	张拉活塞面积	m ²	4.924×10 ⁻²	7	张拉行程	mm	100
4	回程活塞面积	m ²	2.922×10 ⁻²	8	外形尺寸	mm	Φ399×289



1—千斤顶主机 2—内卡工具锚 3—限位板

图5 YDC2500N-100内卡式千斤顶结构图

YDC2500N-100内卡式千斤顶的应用解决了新浏河桥上张拉空间狭小的问题,提高了工作效率。该千斤顶还可应用于先张和后张法的预应力混凝土结构、桥梁、电站、公路、高层建筑、岩土锚固等工程施工中。

四、体外索技术

随着预应力拉索锚固和防腐技术的提高,采用预应力体外索进行结构设计可有效地减轻混凝土的重量,减少大跨度结构的孔道摩阻损失,简化预应力施工工艺,预应力索便于安装、检查及更换,被广泛应用于各种结构。HVM拉索适用于采用体外索结构和预制构件工法的桥梁预应力工程施工,如混凝土箱梁内体外索、无推力拱桥系杆、体外索加固等。

HVM体外索原理与后张体系相似,锚具类型根据工程要求(如可调、可更换、可监测),以及结构空间的要求,分为永久锚固式或可换式。具有良好的机械特性、高抗疲劳强度、耐久性、易施工性。满足FIP后张预应力体系验收及建议(1993)要求。

锚具满足以下力学性能要求。

(1)锚具的静载锚固性能满足:

锚固效率 $\eta_a \geq 0.95$

总应变 $\epsilon_{apc} \geq 2\%$

(2)锚具的疲劳性能满足:

一应力幅 100MPa

应力上限: $0.65\sigma_b = f_1$

应力下限: $f_1 - 100\text{MPa} = f_2$

与钢绞线索锚固后经200万次反复载荷疲劳试验,锚具无损坏,钢绞线所产生的破坏面积不超过总面积的2%。

新浏河桥纵向预应力钢束采用混合束方案。

大部分为有粘结的体内束,小部分为无粘结的体外束。其目的是为今后在预制节段拼装法桥梁中更多的采用体外束,通过实践积累经验,加以推广。其体外索的布置如图6。

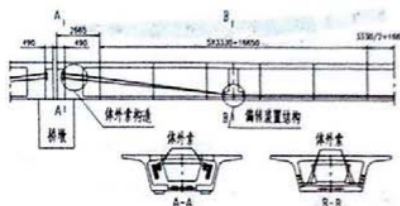
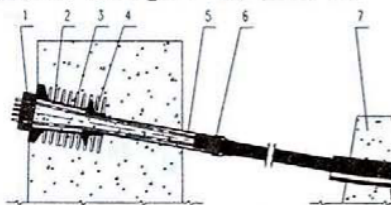


图6 新浏河桥体外索的布置

新浏河桥采用的体外索是永久式锚固形式,型号规格为HVM.Tg15-9。见图7。



1—工作锚具 2—锚垫板 3—螺旋筋 4—衬套 5—预埋钢管 6—防腐衬套 7—偏转鞍座

图7 新浏河桥体外索的构造

体外拉索索体是多根钢绞线经大节矩扭绞成束,用油脂涂覆,经增强聚酯带缠包后,外热挤高密度聚乙烯(HDPE),构成钢绞线成品索。通常为黑色单层PE,也有双层PE,即内黑外彩型。钢绞线成品拉索断面小,承受张拉力大,防腐性能、施工性能良好,并容易制作。新浏河桥采用黑色单层PE钢绞线成品索。形式如图8:



1—HDPE护层 2—增强聚酯带 3—防腐油脂 4—钢绞线

图8 体外索索体断面图

偏转装置是在预弯钢管内衬聚四氟乙烯(F4),钢管周围浇注钢筋混凝土的结构。转角器预弯半径与拉索的走向一致,出口处圆滑无棱角,避免拉索PE塑料套管受损,见图9。

图10展示了新浏河桥上某段施工完毕的体外索,这种体外索的结构特点是:

1. 锚固区由锚头、螺旋筋、锚垫板、衬套组成。
2. 预埋管段以水泥砂浆灌注密封,用于不需换索、调索的情况。

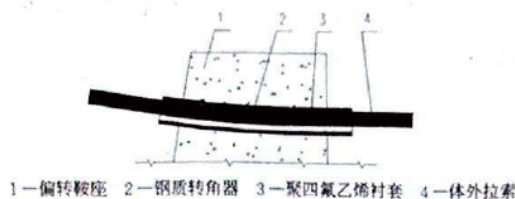


图9 偏转装置结构示意图

3. 拉索防腐性能好,便于检查维修。
4. 施工简易。
5. 结构简单,经济可靠。



图10 新浏河桥箱梁内的体外索形貌

五、真空灌浆工艺

为了防止预应力筋被腐蚀,提高结构的安全度和耐久性,确保工程质量,新浏河桥部分体内预应力管道采用了真空灌浆工艺。

1. 施工原理

真空灌浆是在孔道处于接近真空状态下,将浆体压入孔道。

主要设备有:

- (1)灰浆搅拌机
- (2)电动灌浆泵
- (3)真空灌浆用水环式真空泵
- (4)真空压力表、空气过滤器
- (5)连接头、阀、橡胶管等

施工原理如图11所示。

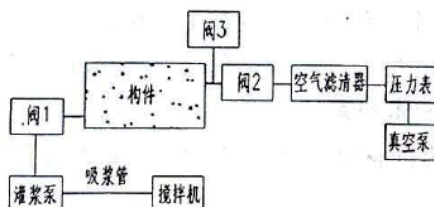


图11 真空灌浆工艺原理图

2. 真空灌浆优点

与普通压力灌浆相比,真空灌浆具有以下优点:

- (1)消除气泡的产生。在灌浆之前,孔道中90%的空气被抽出;
- (2)可消除混在稀浆中的气泡,减少工程隐患。
- (3)真空灌浆工艺总能提供连续、迅速的施工,同时提供均匀、密实的灰浆。
- (4)对于弯束、U型束、竖向束的孔道灌浆,则更能体现真空灌浆的优越性。

总之,由于真空灌浆施工工艺本身有较高水平的质量控制,加上合理配比混合料,采用真空灌浆技术能保证孔道灌浆的均匀性,形成一个密实、不透水的保护层,并能消除孔隙。因此真空灌浆技术是确保高质量灌浆的一个强有力的手段。

六、结论

上述预应力新技术在上海嘉浏公路新浏河桥预制节段拼装施工中的应用是成功的。上海新浏河桥预制节段施工与体外索预应力技术相结合是我国城市桥梁产业化发展之路。上海城建设计院的设计工作和工程实践促进了这种新技术、新材料、新工艺在我国的推广应用,从而缩短了我国桥梁建设在预应力领域内与国外的差距。

柳州海威姆建筑机械有限公司致力于提供高品质的产品及优质的服务,不断开拓预应力技术新领域。上海城建集团、上海城建设计院、上海联联市政工程有限公司在新浏河桥上首次大胆应用2000MPa级的钢绞线及锚固体系,采用内卡式千斤顶、无粘结体外预应力钢束和真空灌浆工艺进行设计及施工,取得了成功,同时取得很好的经济效益和社会效益,为今后更多的工程设计采用这类新技术、新工艺提供了实践经验,有力地推动了我国预应力行业向高新技术方向发展。

参考文献

- [1]王绍义. 体外预应力梁的试验研究与分析. 上海市建筑科学研究院. 1998年10月
- [2]U. Morfetal. Materials and Systems for External Prestressing. FIP Technical Report, July 1996.
- [3]牛斌. 体外预应力混凝土梁弯曲性能分析. 土木工程学报. 1999年8月