

大直径高强螺纹钢筋锚固体系 在桥梁中的应用研究

甘国荣 付委 杨开壮

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要: 滚压螺纹钢筋锚固体系作为预应力体系的一种型式,其相关技术性能是预应力混凝土工程应用的重要因素。本文介绍了预应力滚压螺纹钢筋锚固体系具有钢筋直径大、强度高、低松弛以及回缩量小等特点。通过在港珠澳大桥、南宁英华大桥工程中 $\phi 75$ 和 $\phi 85$ 滚压螺纹钢筋及其锚固体系的成功应用,表明滚压螺纹钢筋锚固体系优异的使用性能,对于应用桥梁预制节段拼装技术形成流水作业线、加快工程施工进度,起到了很好的促进作用。

关键词: 预应力混凝土 螺纹钢筋 锚固 节段拼装

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.06.006

引言

桥梁结构预制拼装技术具有高效、安全、优质、快速、环保的特点,已成为当今世界桥梁建设的发展趋势。近年来,预制节段拼装技术已由桥梁上部结构的应用推广到了下部结构,在美国,如Viotory Bridge、Colorado River Bridge等多座桥梁采用了预制桥墩拼装技术;在国内,如东海大桥、杭州湾大桥、上海长江大桥、港珠澳大桥、澳门新澳函大桥等工程中该技术均得以推广应用^[1]。因此,桥梁结构预制拼装技术已成为桥梁建设减少环境影响的理想选择。

高强螺纹钢筋由于其安装、施工方便,耐腐蚀性较好,有较高的塑性储备,以其为主组成的预应力体系是桥墩节段拼接技术的重要组成部分^[2]。目前国内常用高强度精轧螺纹钢筋直径不超过 $\phi 40\text{mm}$,受生产装备和轧制工艺的制约,其公称直径一般不超过 50mm ^[3],而公称直径超过 50mm 的大直径高强螺纹钢筋在国际上已有广泛应用。

1 预应力高强螺纹钢筋—滚压螺纹钢筋

国内桥梁上使用的精轧螺纹钢筋锚固回缩达 $3\text{mm} \sim 6\text{mm}$,短预应力束张拉后的预应力损失高达 50% ^[4],成为了引起预应力混凝土结构开裂的主要原因,制约了其在桥梁结构中的推广应用。为了保证桥梁中短预应力束施加的有效预应力,

通过钢绞线低回缩锚具体系的二次张拉方式实现锚具的回缩量小于 1mm ^[5],但也存在二次张拉繁琐和钢绞线根数多时应力不均匀性的问题。

国际上高强螺纹钢筋较广泛地采用了滚压螺纹钢筋,因其生产方法先进成熟,且具有强度高、握裹力可靠和锚固回缩小的优点,为法国Freyssinet、英国BBR、Macalloy和美国Williams等广泛应用,与其相关的工程项目对锚固回缩量均有明确的低回缩要求,如在科威特,就要求螺纹钢筋锚固回缩量 $\leq 0.7\text{mm}$ 。因此,通过深入研究、借鉴和大量试验,针对桥梁结构等工程应用的特点,研发大直径滚压螺纹钢筋的生产方法及其配套体系是很有必要的。

与精轧螺纹钢筋(图1)相比,滚压螺纹钢筋(图2)利用冷挤压工艺对材料表面进行成形处理,通过冷挤压过程中钢材表面硬化作用,提高材料的抗疲劳性能,并使钢筋的加工长度不再受到长径比的限制^[6]。因此,滚压螺纹钢筋的直径规格较为灵活,除常用的 25mm 、 32mm 、 40mm 、 50mm 、 65mm 、 75mm 、 82mm 等直径系列外,还可很方便地根据工程需要进行定制。

滚压螺纹钢筋的外形参数中,螺距 l 一般为 $12\text{mm} \sim 28\text{mm}$,螺纹高 h 一般为 $1.8 \sim 3.8\text{mm}$,螺纹底宽 b 一般为 $5\text{mm} \sim 13\text{mm}$,长度一般不超过 12m 。滚压螺纹钢筋出厂时,其表面有临时的初

转自《特种结构》2016年第4期

级防护, 滚压螺纹钢筋成品力学性能可达到美国 A722/A 722M-2007 标准^[7]要求, 相关性能参数如表1所示。

从实测结果来看, 滚压螺纹钢筋的应力松弛

率 V_r 为0.8%, 远小于相关标准要求的3%, 据松弛曲线外推至100年, 其应力松弛率 V_r 小于10%。从滚压螺纹钢筋成品拉伸性能来看, 均满足国外相关标准的要求。



图1 精轧螺纹钢筋



图2 滚压螺纹钢筋

表1 滚压螺纹钢筋主要力学性能参数

级别	屈服强度 R_{el} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /(%)	最大力下 总伸长率 A_{gt} /(%)	应力松弛性能	
					初始应力	1000h后应力松弛率 V_r /%
PSB785	≥ 785	≥ 980	≥ 7			
PSB830	≥ 830	≥ 1030	≥ 6	≥ 3.5	$0.8R_{el}$	≤ 3
PSB930	≥ 930	≥ 1080	> 6			

2 滚压螺纹钢筋锚固体系的组成及主要性能

根据预应力混凝土工程的施工特点, 滚压螺纹钢筋锚固体系主要包括两个部分: 端部锚具系统和钢筋连接系统, 如图3所示。端部锚具系统的组件主要包括螺母、钢垫板组件、螺旋筋和灌浆罩, 其中钢垫板组件预留灌浆通道, 灌浆罩主要起到灌浆和封锚的双重作用。钢筋连接系统的组件主要包括止转连接器和连接套管, 其中连接套管需预留张拉时止转连接器随滚压螺纹钢筋伸长的位移量。

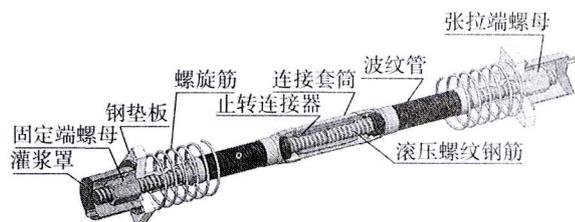


图3 滚压螺纹钢筋锚固体系基本结构示意图

端部锚具系统的张拉端螺母下端面通常设计为球面, 与钢垫板配对使用可以适应滚压螺纹钢筋的轴线安装偏差, 减少预应力损失。通过试验研究, 张拉端螺母可以控制与滚压螺纹钢筋螺纹的匹配精度, 通过配套的专用张拉装置, 可以达

到一次张拉锚固后滚压螺纹钢筋的回缩值 $\leq 1\text{mm}$ 的低回缩性能(图4)。

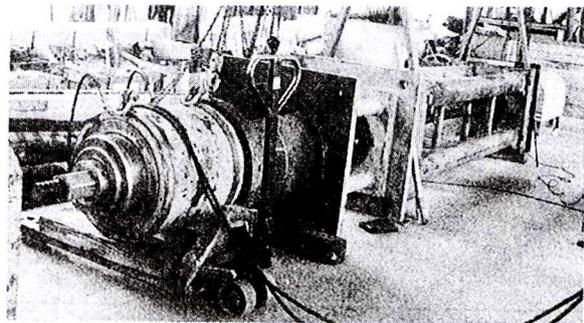


图4 滚压螺纹钢筋张拉端锚具回缩值试验

钢筋连接系统的止转连接器是两根滚压螺纹钢筋接长的关键部件, 是钢筋可靠连接的重要保障。常规的螺纹防松方法, 如双螺母、偏心平垫和环槽螺母等通过增强预紧力来消除螺纹副间隙^[8], 但不能克服连接的两根钢筋之间的整体转动, 容易使钢筋发生整体脱落。通过现场试验研究, 在止转连接器(图5)的两端设置止转键; 安装时, 通过止转螺母锁住连接器的止转键来达到对止转连接器和螺纹钢筋的双重锁定, 可以有效防止止转连接器和螺纹钢筋的单个或整体松脱。

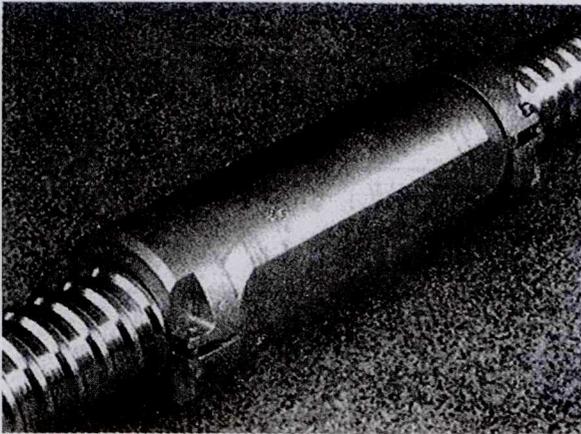


图5 止转连接器构造示意

滚压螺纹钢筋的螺纹为全螺纹，其螺纹面积比同规格的精轧螺纹钢筋大20%，因而滚压螺纹钢筋的锚固区接触应力相对较小，在锚具及连接器组装件的静载锚固性能试验中，其锚具效率系数接近1，延伸率大于2%。通过滚压螺纹钢筋混凝土立方体中心拔出试验^[9]，我们发现滚压螺纹钢筋的混凝土平均粘结强度为16.5MPa，比同规格精轧螺纹钢筋粘结强度高16.2%，远大于 $\phi 15$ 钢绞线平均粘结强度3MPa^[1]。

配套滚压螺纹钢筋的张拉和锁定的专用张拉千斤顶装置，如图6所示。该装置具有张拉及锁紧一体化功能，包含张拉螺母、张拉杆、连接螺母、可调式旋扭装置和千斤顶等主要部件。张拉到位后，通过可调式旋扭装置按额定扭矩锁定张拉端螺母，能有效避免人工操作不当及螺母旋不到位的影响，保证预应力施加的高效性。

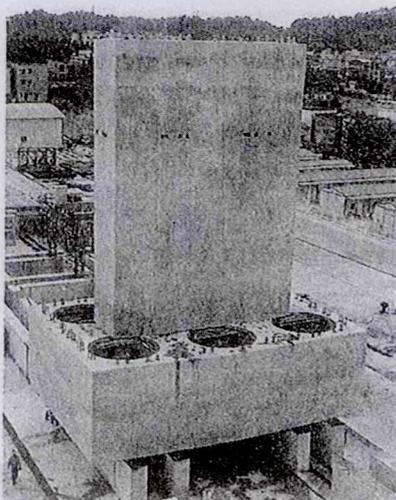


图6 一体式预制承台

3 工程应用

3.1 预制桥墩的拼装应用

港珠澳大桥跨越珠江口伶仃海洋域，是连接香港特别行政区、广东省珠海市、澳门特别行政区的大型跨海通道，大桥设计使用寿命为120年。大桥主体工程采用预制桥墩185座，中上节段拼装采用预应力大直径预应力高强螺纹钢筋+干接缝拼装的方案^[10]，预应力的施加采用 $\phi 75$ 大直径预应力滚压螺纹钢筋锚固体体系，其设计抗拉强度达到1100MPa以上，滚压螺纹钢筋总用量约2000t，如图7所示。

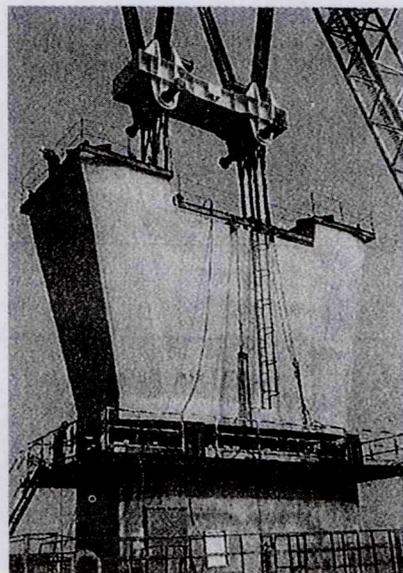


图7 上节段海上拼装连接

预制桥墩下部节段采用承台和部份墩身整体预制，根据预制墩的不同设计高度，中上部节段采用薄壁空心墩分1~2节预制节段于海上拼装，整体墩高15.4m~44.887m，承台为六边形，边缘顺桥向宽为10.3m，中心顺桥向宽11.1m，横桥向长14.8m，高4.5m，预制墩台高18.5m~26.95m，总重约2019t~3380t^[11]。每座预制承台与6根外径2m的钢管复合桩连接，横向三排，横向中心距为5m。

中墩下节段墩身采用36根 $\phi 75$ 预应力高强螺纹钢筋进行连接（图8），其中在墩身接缝处张拉锚固12根，其余24根通过止转连接器与上节段墩身内滚压螺纹钢筋连接接长，在墩顶张拉锚固。

高墩下节段墩身采用64根 $\phi 5$ 预应力滚压螺纹钢筋进行连接,其中在下节墩身接缝处张拉锚固24根,其余40根通过止转连接器与上中节段墩身内滚压螺纹钢筋连接接长,在上中节段墩身接缝处张拉锚固16根,其余24根在墩顶张拉锚固。每根滚压螺纹钢筋采用0VM.GLG75-ZLN.0专用张拉千斤顶装置施加预应力,张拉力为3300kN(图9)。

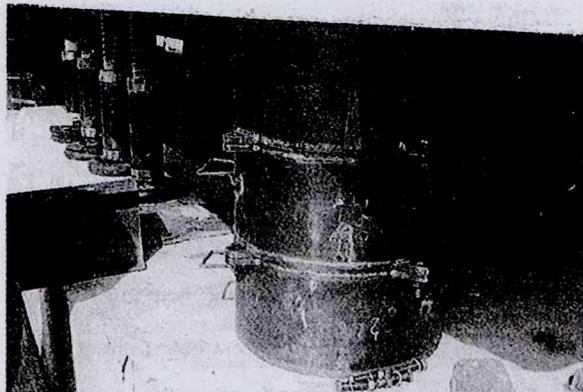


图8 与上节段高强螺纹钢筋接长

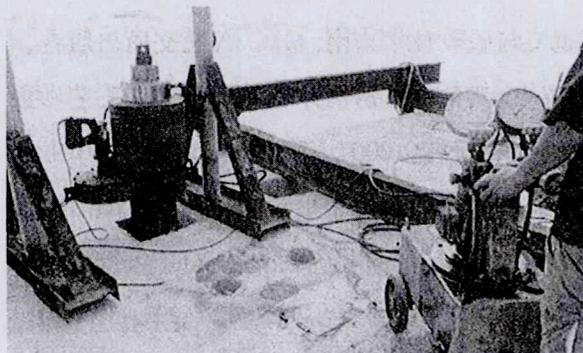


图9 与上节段拼接后张拉及锁定

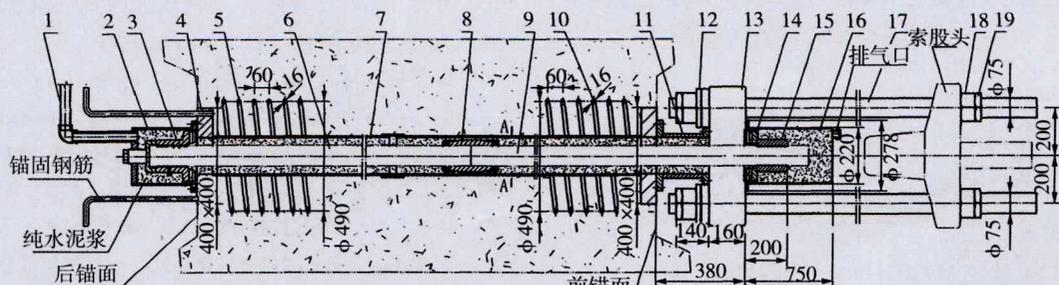
3.2 锚碇锚固系统应用

南宁英华大桥起于西岸凤亭路,上跨亭江路,向东跨越邕江后,在柳沙半岛接英华大桥与

半岛环线交叉口。该桥的建设对推进城市基础设施总体规划的实施、拓展城市空间具有十分重要的意义。英华大桥主线全长1017.763m,其中西岸引道长度为102.763m,宽度为51m,西岸引桥长度为277m,宽度为35.2m,主桥长度为500m,宽度37.7m,东岸桥长度为138m,宽度35.2m。西岸设两条匝道与亭江路相接,匝道全长490.34m,其中桥梁部分200m,路基部分290.34m,宽度均为18.5m。西岸下层辅道长度600.43m,宽度9.5m。

南宁英华大桥主跨410m三跨连续钢箱梁悬索桥,主缆由五跨组成,跨径组成为:20+150+410+150+20(m),由北向南依次为:北锚跨、北边跨、中跨、南边跨、南锚跨。全桥采用一根主缆,为预制平行钢丝索股(PPWS),共有91股,每根索股由127根抗拉强度为1670MPa的 $\phi 5.2$ mm高强度镀锌钢丝组成。南北锚碇系统均采用91套 $\phi 85$ 滚压螺纹钢拉杆锚固系统,索股锚固连接构造均为单索股锚固单元,单索股锚固单元由2根连接拉杆和单索股连接器构成, $\phi 85$ 锚固钢拉杆设计抗拉强度为1030MPa,采用滚压螺纹形式,其锚固系统构造如图10所示。

锚固系统由索股锚固连接构造和钢拉杆锚固构造组成。索股锚固连接构造由连接拉杆组件、连接器平板组成;锚固构造由锚固钢拉杆、后端锚固承压螺母、前端转换螺母等构成。索股锚固连接构造前端与索股锚头相连接,另一端与锚固钢拉杆连接。索股锚固连接构造均为单索股锚固



1. 注浆连接管 2. 密封罩 3. 固定端螺母 4. 钢垫板组件 5. 螺旋筋 6. $\phi 85$ 锚固钢拉杆 7. $\phi 159 \times 3$ 钢管
8. 止转连接器组件 9. $\phi 85$ 锚固钢拉杆 10. 螺旋筋 11. 支撑筒 12. 球面垫圈 13. 连接器平板
14. 球形垫板 15. 工作螺母 16. 保护罩 17. $\phi 75$ 高强度钢拉杆 18. 螺母 19. 锁紧螺母

图10 锚碇钢拉杆锚固系统构造示意

单元,单索股锚固单元由2根连接拉杆和单索股连接器平板构成,每根主缆共有91个单索股锚固单元(图11、图12)。锚碇锚固钢拉杆张拉后,分别对各预应力孔道进行真空灌浆,灌浆料采用泌水率为0、强度为50MPa的0VM.ZH-8.0成品灌浆料。

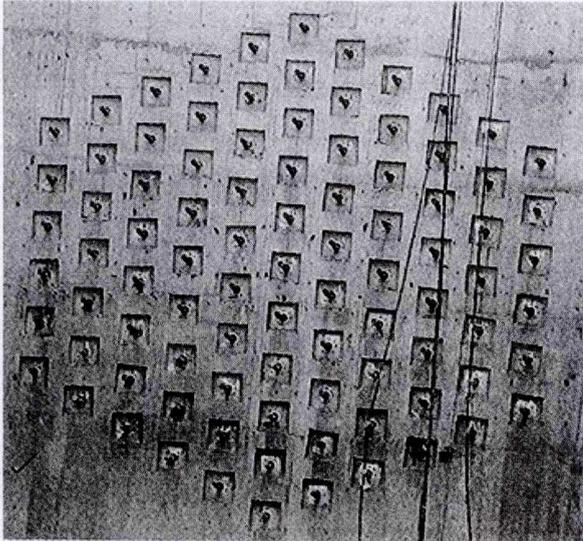


图11 前锚面钢拉杆平面布置

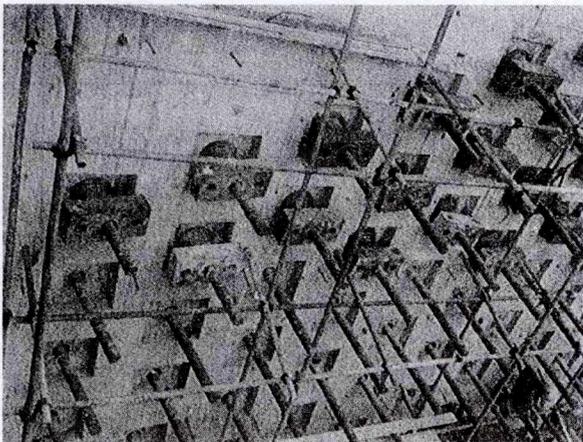


图12 锚碇钢拉杆张拉部件安装

4 结论

滚压螺纹钢筋作为预应力高强螺纹钢筋的一种型式,具有钢筋直径大、强度高、回缩量小、锚固性能可靠等特点,并经港珠澳大桥、南宁英华大桥工程的大量应用,满足预应力混凝土工程领域的使用要求。

通过成功研制抗拉强度达1100MPa、直径达85mm的预应力高强螺纹钢筋及其锚固体系,其

优异的使用性能对于应用桥梁预制节段拼装技术形成流水作业线、加快工程施工进度,起到了很好的促进作用。

参考文献

- [1] 姚晓飞,徐岳,刘士林. 预制节段拼装混凝土桥墩力学性能研究进展[J]. 公路, 2013(5): 59-64
- [2] 彭放. 新型预应力装配式桥墩在新澳函大桥中的应用[J]. OVM通讯, 1999(6): 3-6
- [3] GB/T 20065-2006 预应力混凝土用螺纹钢筋[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006
GB/T 20065-2006 Screw-thread steel bars for the prestressing of concrete[s]. Beijing: Standards Press of China, 2006
- [4] 黄豪,唐小兵,张开银,向木生. 竖向预应力作用效果的数值模拟与预应力损失的试验研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007, 31(5): 922-924
Huang Hao, Tang Xiaobing, Zhang Kaiyin, Xiang Musheng. Numerical simulation On vertical prestressed effect and experimental studies on prestressed loss[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering), 2007, 31(5): 922-924
- [5] 湖南大学. 二次张拉低回缩钢绞线竖向预应力短索锚固体系设计施工与验收技术指南[M]. 人民交通出版社, 2011
- [6] 卢秀春,金贺荣. 不锈钢棒表面滚压加工工艺参数设计与研究[J]. 机械设计, 2007, 24(2): 39-41
Lu Xiuchun, Jin Herong. Design and study on the technological parameters of surface-rolling processing for stainless-steel rod[J]. Journal of Machine Design, 2007, 24(2): 39-41
- [7] A722/A 722M-2007 Standard specification for uncoated high-strength steel bars for prestressing concrete[S]. ASTM, 2007
- [8] 胡凤奇,王瑞琳. 几种螺纹防松新方法[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2009, 19(1): 25-26
Hu Fengqi, Wang Ruilin. Some new methods in thread joining anti-looseness[J]. Journal of Anhui Vocational College of Metallurgy and Technology, 2009, 19(1): 25-26
- [9] 杜锋,肖建庄,高向玲. 钢筋与混凝土间粘结试验方法研究[J]. 结构工程师, 2006, 22(2): 93-97
Du Feng, Xiao Jianzhuang, Gao Xiangling. An overview of test methods on the bond behavior between concrete and steel-bars[J]. Structural Engineers, 2006, 22(2): 93-97
- [10] 邓科,吴伟胜,孟凡超,裴铭海. 港珠澳大桥深水区非通航孔桥下部结构创新设计[C]. 2014全国桥梁学术会议论文集,北京:人民交通出版社股份有限公司,2014: 55-60
- [11] 方明山. 港珠澳大桥非通航孔桥下部预制墩台设计与施工关键技术[C]. 2014全国桥梁学术会议论文集,北京:人民交通出版社股份有限公司,2014: 384-393