

自锁式预应力混凝土立柱安装施工技术

刘应欢

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200072]

摘要: 装配式多节段预制立柱在结构性能方面存在刚度不足、延性较低和抗震能力较弱等问题,而施加自锁式预应力是一种有效的增强手段。然而,该类立柱在实际施工中面临拼装工艺复杂、安装精度难以控制等挑战。为此,结合某实际工程,详细介绍了自锁式预应力立柱的具体施工流程和关键控制要点。工程实践表明,该施工方法合理且可靠,在缩短施工周期、提高施工安全性和优化结构受力性能等方面均具有显著优势,可为类似工程提供有益参考。

关键词: 桥梁工程; 预制拼装; 自锁式预应力; 预制立柱; 施工技术

中图分类号: U445

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)03-0322-05

Installation Construction Technology of Self-locking Prestressed Concrete Column

LIU Yinghuan

[Shanghai Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200072, China]

Abstract: Prefabricated multi-segment columns have problems such as insufficient rigidity, low ductility and weak seismic resistance in terms of structural performance. And applying self-locking prestress is an effective means of reinforcement. However, this type of column faces challenges such as complex assembly techniques and difficulty in controlling installation accuracy during actual construction. Therefore, combined with a practical project, the construction process and key control points of self-locking prestressed columns are introduced in detail. The engineering practice confirms that this construction method is feasible and reliable, and has the remarkable advantages in shortening the construction period, improving the construction safety and optimizing the structural force performance, which provides a valuable reference for similar projects.

Keywords: bridge engineering; prefabricated assembly; self-locking prestress; prefabricated column; construction technology

0 引言

为优化城市交通空间布局,提升土地利用效率,高架桥梁已成为现代城市交通体系中的重要组成部分。然而,随着交通流量的持续增长,现有高架桥梁的高度和跨度逐渐难以满足实际交通荷载的相应需求,亟须进行改、扩建施工。

在改、扩建施工中,高架桥梁采用的预制立柱通常具有较大的截面尺寸和高度,整体重量较大,使得运输和吊装极为困难,因此,需采用分节段的预制拼装工艺^[1-2]。然而,多节段预制立柱在拼接后,其接缝节点处往往成为结构中最为薄弱的环节,极易发

生开裂,进而影响结构的整体承载能力和耐久性,制约了结构的长期服役性能^[3-4]。

针对上述问题,现有研究提出一种在多节预制立柱内部施加自锁式预应力的施工方法^[5],以提升结构的整体稳定性和抗震性能。该类预制立柱可实现标准化设计与工厂化生产,现场装配速度快,有效缩短施工周期,提高施工效率,降低了工程成本。

对于自锁式预应力预制立柱,现有研究主要集中于该类立柱构造的结构设计,以及与其他预制立柱的生产工艺的对比方面。谢正元等^[5]系统地分析了自锁式预应力锚固体体系的研究背景与结构特性,强调其锚固性能可靠、施工工艺简便、成本较低,能够有效满足竖向预制立柱的工程需求。张兴志等^[6]探讨了该体系的预制生产流程。研究表明,该技术可优化墩身的内腔结构,提高墩身连接的施工质量

收稿日期: 2025-05-19

作者简介: 刘应欢(1985—),男,专科,工程师,从事桥梁施工工作。

与效率,同时降低施工安全风险。程健等^[7]以某跨海桥梁的预制墩柱为例,全面阐述了竖向自锁式预应力施工技术的研究与应用,并将其与其他预应力体系进行对比。结果表明,该技术具有显著的社会和经济效益,推广价值较高。

结合以上研究发现,针对该类立柱在实际施工过程中的工艺应用的研究相对匮乏。为此,本文以上海市沪嘉高速—嘉闵高架联络线新建工程 1 标为工程背景,系统阐述自锁式预应力预制立柱的现场施工流程,并详细阐述工序控制的要点,以期类似工程提供参考。

1 自锚式预制立柱概况

沪嘉高速—嘉闵高架联络线新建工程 1 标位于嘉定区南翔镇,西起嘉闵高架,以高架形式跨越德园路、古猗园路,东至沪嘉高速,长约 1 km,规划红线宽 45~53 m。全线设置 2 座 Y 形互通立交,分别为嘉闵高架立交和沪嘉高速立交。同时,沪嘉高速设置 2 对上、下匝道,分别为陈翔路南、北向匝道。

本工程中的自锚式预应力立柱截面尺寸为 2.5 m×2.2 m,采用双节预制。混凝土等级为 C40 自密实高性能混凝土。每节立柱预埋 56 个 GTQZ4-40 灌浆套筒。

立柱采用 4 孔竖向预应力张拉工艺,采用自锁式锚具体系 OVM-ZSM15 型,每孔共计 15 束钢绞线,公称直径为 15.20 mm,每束采用低松弛预应力混凝土钢绞线 1×7—15.20—1 860,抗拉强度标准值 $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$,张拉控制应力为 $0.7f_{pk}=1\ 300\text{ MPa}$,弹性模量 $E=1.95\times10^5\text{ MPa}$ 。

2 自锁式预应力锚固体系

自锁式预应力锚固体系型号为 OVM-ZSM15,具体包含固定端自锁式锚具、张拉端锚具、索体和预埋管(孔道)。具体结构如图 1(a)所示。

固定端自锁式锚具设于下端并预埋于承台内,包括固定端锚垫板、螺旋筋、保护罩和自锁结构。具体结构如图 1(b)所示。保护罩通过螺栓与锚垫板连接,自锁结构安装于保护罩内,确保索体张拉后可被锁定。

张拉端锚具设于上端,包括张拉端锚垫板、螺旋筋、锚板和夹片。具体结构如图 1(c)所示。锚垫板与螺旋筋预埋于立柱顶部,以便承受张拉反力并传递预应力。

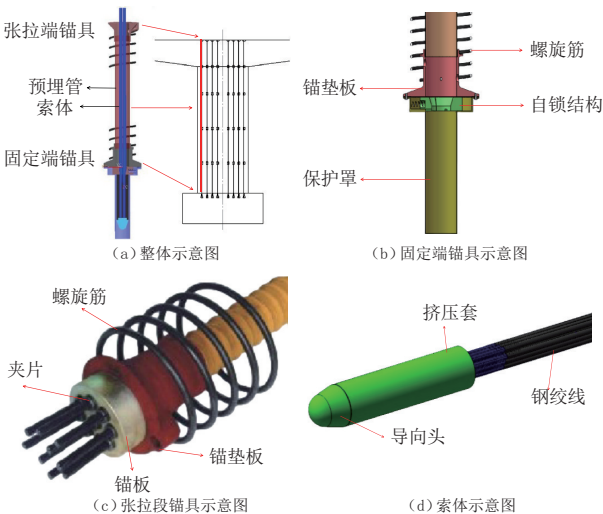


图 1 自锁式预应力锚固体系

索体由钢绞线、挤压套和导向头组成,主要承担拉力作用。具体结构如图 1(d)所示。

预埋管(孔道)预先埋设或预留,以确保索体顺利穿设并减少摩擦损失,提高预应力的传递效率。

自锁式预应力锚固体系具有以下 5 个主要特点。一是结构简洁,受力明确。系统构造合理,力学传递路径清晰,有助于提高锚固体系的可靠性,同时简化安装流程。

二是无需预先安装索体。固定端锚具采用自锁设计,使得钢绞线索体可在立柱预制或现场施工阶段灵活安装,提高施工效率。

三是索体预制化。钢绞线索体可在工厂精确下料并预制,确保加工质量,减少现场施工误差。

四是现场安装便捷。索体可直接穿入预埋孔道,自锁锚具自动锁定后即可进行张拉,简化施工操作。

五是灌浆工艺优化。张拉完成后,可从锚固端向上一次性注浆,提高灌浆饱满度,增强锚固体系的耐久性和整体性能。

3 施工工艺流程

自锁式预应力锚固预制立柱主要施工流程为“下节立柱预制—上节立柱预制—承台现浇施工—立柱分节安装—预应力束穿索—锚具安装与张拉—灌浆与封锚”。

以下结合各施工步骤进行详细说明。

3.1 下节立柱预制

将预应力管道(钢管)安装至设计位置,待其余钢筋安装完成后进行混凝土浇筑。

3.2 上节立柱预制

将张拉端锚垫板和螺旋筋安装至设计位置;将预应力管道插入锚垫板止口并焊接密实。待其余钢筋安装完成后进行混凝土浇筑。

3.3 承台现浇施工

将固定端锚具整体预埋于承台内;将预应力管道插入锚垫板止口并焊接密实,管道端部伸出承台

端面约 120 mm 并安装阻浆环。具体操作如图 2(a) 所示。注浆管与锚固端锚垫板和保护罩采用密封胶连接,确保连接牢固且密封性良好;将注浆管引出至承台表面。待其余钢筋安装完成后进行混凝土浇筑。在承台与立柱拼接面清理干净后进行预拼装和测量,设置调节垫块找平;铺设 C60 高强无收缩砂浆。

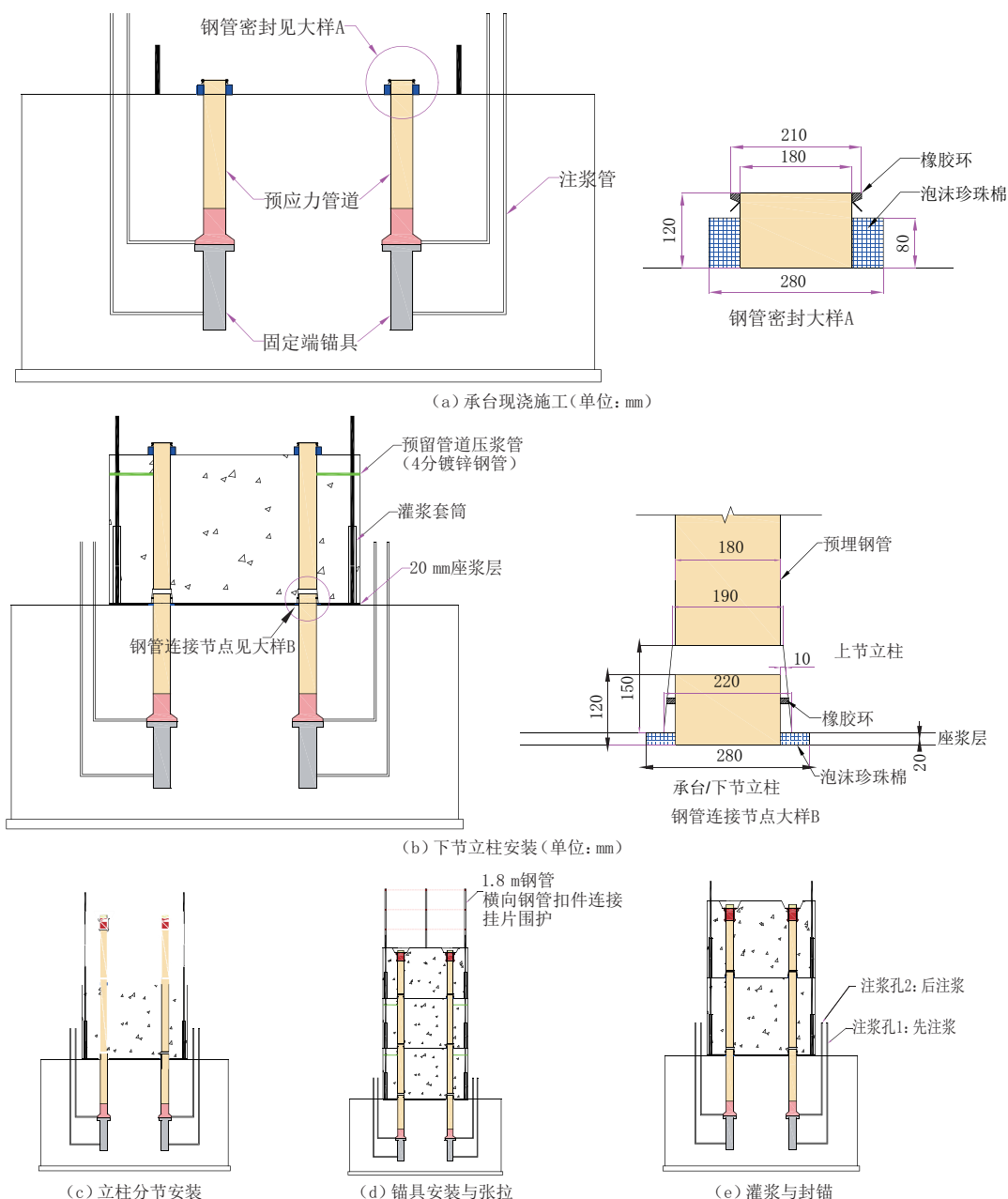


图2 施工工艺流程

3.4 立柱分节安装

先拼装下节立柱,待承台表面坐浆料初凝后再进行下节立柱灌浆套筒的灌浆施工,最后用胶带封堵预埋预应力管道口。具体操作如图 2(b) 所示。

拼装上节立柱。在下节立柱安装完成后,待下节立柱顶面环氧黏结剂初凝后再进行上节立柱灌浆

套筒的灌浆施工。具体操作如图 2(c) 所示。此外,若因现场条件,无法立即进行索体穿束施工,则柱顶钢管应采用防水布进行遮盖,以防雨水等杂物进入管道。

3.5 预应力束穿索

待上节立柱灌浆套筒灌浆料强度达到设计强度

要求后进行索体穿束。

穿索前须核对索号准确性,并在每根钢绞线尾部标记编号,使其与工作锚板锥孔一一对应。去除索体外包装后,采用1台25 t汽车吊吊装索体并使锚头朝下,确保其自柱顶沿上节立柱、下节立柱和承台体内预埋预应力管道,匀速缓慢下穿,直至顺利到达承台内部的固定端锚具,实现自锁。

待4束索体均完成穿束并自锁后再进行张拉。张拉前,须在柱顶布置操作平台。张拉顺序采用对角依次张拉。

3.6 锚具安装与张拉

在立柱上部进行张拉,具体操作如图2(d)所示。安装工作锚板和工作夹片,并配备张拉设备。锚下控制张拉应力设定为 $0.68f_{ck}$,在张拉过程中,先施加张拉应力至控制应力的10%,确认无异常后再张拉至100%,持荷5 min后放张锚固。张拉过程遵循“双控”原则。

3.7 灌浆与封锚

采用由下至上的灌浆方式,完成后于上端凹槽内封锚。待张拉完成72 h后,先利用注浆管1,对固定端锚具里的索体导向头进行压浆作业;然后利用注浆管2,对立柱预应力管道进行压浆作业,直至柱顶连续均匀冒浓浆,即证明灌浆完成。注浆管1、2结构如图2(e)所示。灌浆结束后,采用混凝土封锚。

4 工序控制要点

自锁式预应力锚固预制立柱各施工工序中的关键控制要点包括以下3个方面。

4.1 承台现浇施工

4.1.1 预应力锚固端埋深控制

预应力锚固端的埋深由底部支撑控制,并采用锚固钢筋从水平与竖向2个方向进行固定,以防止混凝土承台在浇筑过程中发生错位,确保锚固端的精确定位。

4.1.2 压浆管固定和标识标注

采用架立筋对压浆管进行固定,并在压浆管上清晰标注注浆顺序,避免后续施工过程中发生操作错误,确保注浆工序正确执行(见图3)。

4.1.3 固定端安装与密封

在固定端安装和校核完成后,安装“L”形注浆管1、2,两者均采用丝口与固定端锚具连接,并在丝口处缠绕止水带,以增强注浆管的密封性能。2个注浆管的管口均须高出承台顶面,并明确标注注浆顺序,



图3 注浆管固定和标识标注

以保证注浆施工的规范性和可控性。

4.1.4 固定端锚具定位

固定端锚具的平面位置由立柱插筋定位板控制,具体操作如下:首先,固定端锚具在标高复核完成后,连接长预埋管道,预埋管道采用 $\phi 180 \times 5$ mm无缝钢管,并通过丝口与固定端锚具连接;其次,当预埋管道伸出承台顶面40~45 cm时,将其穿入定位板预留孔道,并同步与插筋进行定位,以确保定位精度(见图4)。



图4 固定端锚具定位

4.1.5 锚固端密封性检测

采用注水检测方法对锚固端进行密封性测试,确保其密封性能良好且无渗漏,避免施工后期因渗水导致结构的耐久性下降(见图5)。



图5 锚固端注水密封检测

4.1.6 预埋管道定位误差控制

承台混凝土浇筑完成后,预埋钢管的最终定位误差需严格控制在 ± 2 mm以内,以保证管道的精准对接,确保后续施工顺利进行。

4.2 立柱节段拼装

4.2.1 预埋管道切割

承台面和上、下节立柱顶预埋钢管的外露长度依据立柱底部的槽口尺寸确定。

4.2.2 预埋固定端检测

立柱安装前,应检查锚具内滑块的复位情况,并使用特制的配套检验工具进行试穿,确保滑块复位良好后方可使用。

4.2.3 预埋管道密封

为防止承台与立柱拼接面的坐浆垫层(厚度为20 mm)或立柱间拼接面的环氧黏结剂(厚度为3 mm)被挤压进入预应力管道和固定端锚具,影响后续穿索和固定端自锁结构的闭合,本工程采用“泡沫棉+密封圈+胶带”的组合密封方法(见图6)。



图6 预埋管道密封和拼接面坐浆

4.2.4 立柱拼装

为确保下节立柱的安装精度,轴线偏位应不超过 ± 3 mm,倾斜度不超过 $\pm 0.1\%$ 且 ≤ 6 mm。将其作为基准,用以调整上节立柱的平面位置和倾斜度,确保整体拼装的精度。

4.2.5 密封圈效果检测

橡胶密封圈位于预留钢管顶部,当立柱调整下放时,密封圈顺利受压变形,实现弹性挤压密封,与立柱槽口紧密贴合,确保密封效果。

4.3 预应力束穿索

4.3.1 孔道异物防护

为防止异物进入孔道,立柱顶部孔道口采用木板覆盖(见图7)。作业人员到达立柱顶后,需检查木板是否发生移位,若未发生移位,则可视为孔道内无异物侵入。

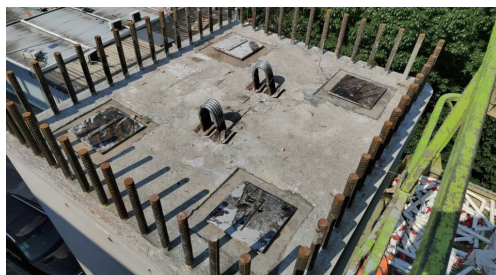


图7 预应力孔道覆盖

4.3.2 索体穿束

索体自由端采用锚夹具或其他专用吊点扎紧固定。索体导向头由缆风绳控制,以确保穿束过程中

自由端可控。采用汽车吊吊起索体,使锚头朝下,依次穿入上节立柱、下节立柱和承台,锚头在固定端实现自锁。最后1~1.5 m依靠自由落体方式穿入固定端锚具(见图8)。



图8 索体吊装穿束

4.3.3 锚夹具固定与锁定检测

钢索尾部固定端采用锚夹具,在夹片安装完成后,利用吊车与吊带,将索体从尾部提升并穿入孔道。在地面靠近承台处听到明显的弹簧锁定声音后,通过吊机进行反拉试验。若反拉力满足要求且索体无滑移,则证明固定端锁定正常。

5 结 论

依托上海市沪嘉高速—嘉闵高架联络线新建工程1标工程项目,本文系统阐述了自锁式预应力预制立柱的现场施工流程,并结合实际施工情况,分析了该技术的应用特点和施工关键环节,得到以下主要结论。

其一,自锁式预应力锚固体系具有结构简明、受力明确、施工便捷等优点,可有效提高分节预制立柱的强度和耐久性。

其二,自锁式预应力预制立柱的施工流程主要包括立柱预制、承台现浇、承台立柱拼装、索体穿束、锚具安装与张拉,以及灌浆封锚等关键环节。各步骤在实际施工时须衔接紧密,以确保施工质量与结构整体性能。

其三,各施工工序控制要点主要围绕确保定位精度、提升预应力体系可靠性,以及保障整体结构质量展开。关键控制要点则主要涉及承台现浇、承台立柱拼装和索体穿束3个核心环节。

参考文献:

- [1] 叶以挺,吴刚,汪建群,等.某混凝土桥梁上下部结构全预制拼装施工关键技术[J].公路工程,2019,44(3):117-122;142.
- [2] 方伟太.桥梁墩柱分节段预制拼装技术研究[J].工程建设与设计,

(下转第331页)