

U 套钢筋螺纹连接件在石化项目中 钢筋偏心连接中的应用

程亮 祝岩

北京思达建茂科技发展有限公司

摘要：U 套钢筋螺纹连接件是一种新型的钢筋连接技术，特别适用于装配式钢筋连接中存在偏心连接工况，能够实现钢筋偏心工况下高效安装，并增强装配式结构的整体受力性能。本研究基于试验方法，系统分析了不同顶杆锥台倒角、外 U 套倒角及内挡套结构对偏心连接性能的影响。试验结果表明， $3 \times 45^\circ$ 顶杆倒角在偏心 3 mm 连接情况下较 $3 \times 30^\circ$ 顶杆倒角表现出更好的插入力矩适应性，而采用对中凸台的内挡套在一定程度上可优化连接精度。外 U 套倒角增大至 $5 \times 45^\circ$ 对连接效果影响不显著。通过试验测定不同工况下的连接力矩、抗拉强度及残余变形情况，本研究为 U 套钢筋螺纹连接件在装配式钢筋连接施工中的应用提供了理论依据，并证明了该技术在实际施工中的可行性。

关键词：U 套钢筋螺纹连接件；偏心连接；外 U 套倒角；装配式钢筋连接

随着建筑工业化的快速发展，装配式施工技术已成为提高施工效率和质量的关键手段。钢筋连接作为建筑结构的重要环节，其施工质量直接影响到结构的稳定性和安全性。传统的钢筋连接方式，如直螺纹套筒连接、焊接等，均存在一定的局限性，例如对钢筋轴线对中要求高、施工工序复杂以及受焊接质量影响较大，另外，传统的钢筋连接方式无法应用于装配式构件、钢筋部品的钢筋连接。

U 套螺纹连接技术通过采用特殊的结构设计，提高了钢筋连接的适应性，特别是在装配式结构中钢筋存在一定偏心误差的情况下，仍能实现可靠连接。该技术特别适用于装配式建筑中工业厂房、高层建筑及桥梁工程等，对提升施工效率、降低劳动强度具有重要意义。

本研究通过试验方法，分析不同顶杆锥台倒角、外 U 套倒角及内挡套结构对连接性能的影响，并探讨其在工程应用中的可行性。

1 U 套钢筋螺纹连接件的偏心连接试验研究

1.1 U 套钢筋螺纹连接件的结构组成

U 套钢筋螺纹连接件由内接套、顶杆、外 U 套及内挡套构成，其核心功能是为钢筋提供可靠的连接方式，同时适应一定范围内的轴线和径向偏移，如图 1 所示。内接套与钢筋螺纹连接，顶杆的一端与内接套通过螺纹配合，另一端内挡套与钢筋连接，外 U 套与内接套螺纹连接，实现轴向力的有效传递。在偏心连接条件下，顶杆与内挡套内孔顶紧可补偿钢筋轴线错位，从而提高安装精度并减少受力不均现象。顶杆的

设计允许 0 ~ 50 mm 的轴向间距调整，使连接过程更加便捷，同时保持良好的受力性能。通过这种创新设计，U 套钢筋螺纹连接件不仅适用于传统的钢筋连接，还能在具有轴向及径向偏差工况下保持较高的承载能力和稳定性，为复杂施工条件下的钢筋连接提供了新的技术方案。

1.2 偏心连接试验设计

在实际施工中，钢筋连接往往存在一定程度的轴线偏移，影响整体受力性能。本研究针对 U 套钢筋螺纹连接件在偏心连接状态下的受力表现进行了系统性试验分析。试验过程中，外力首

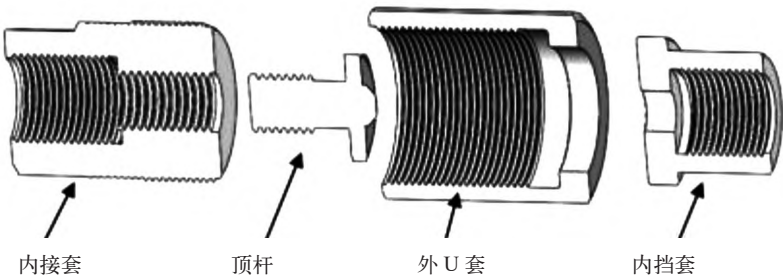


图 1 U 套钢筋螺纹连接件的组成和结构示意图

先作用于顶杆,使其受力传递至内挡套,并最终作用于钢筋。由于顶杆与内挡套之间非螺纹连接,偏心状态下的连接方式可能导致受力不均匀,影响极限承载力、刚度并产生变形。为深入分析这些影响因素,本研究设计了 35 mm 偏心的 U 套螺纹连接试验,研究其受力性能,并优化结构设计,如图 2 所示。

1.2.1 试验装置与测试参数

本试验的核心目标是分析 U 套钢筋螺纹连接件在偏心连接情况下的受力性能,并研究顶杆锥台倒角、外 U 套倒角及内挡套结构对连接质量的影响。试验装置由钢筋、U 套钢筋螺纹连接件、顶杆、内挡套及测力系统组成,并通过试验台架进行固定,以确保数据的准确性和可重复性。测试参数涉及钢筋自由段长度、顶杆锥台角度、内挡套结构、润滑处理以及连接过程中的力矩变化。

试验共设计 2 组方案:项目 2A 采用 $3 \times 45^\circ$ 顶杆锥台倒角,不使用内挡套对中凸台及润滑处理;项目 2B 采用 $3 \times 45^\circ$ 顶杆锥台倒角,并使用对中凸台及润滑处理进行优化。

试验过程中,分别测试了初始拧紧力矩、中段力矩、最终力矩及顶杆力矩,具体数据,见表 1。

1.2.2 试验步骤

试验主要包括安装准备、加载试验及数据采集 3 个环节。在试验台架上固定连接试件,确保钢筋两端轴线对齐,并记录初始状态。采用静力拉伸试验进行加载,加载速率设定为 0.5 mm/min,以测定极限承载能力及刚度特性。进行疲劳加载试验,循环次数设定为 50 万次,加载范围为极限承载力的 40% ~ 80%,以评估连接件在长期使用中的稳定性。整个试验过程中,使用高精度测力仪、应变片及位移传感器进行数据采集,确保试验数据的准确性。

1.2.3 试验方案

在实际施工中,钢筋连接往往存在一定程度的轴线偏移,影响整体受力

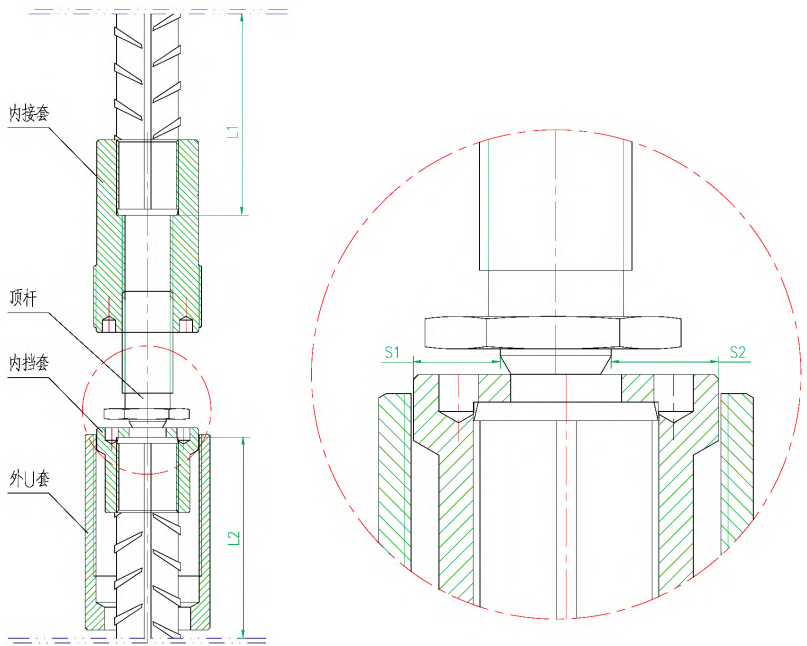


图 2 U 套钢筋螺纹连接件偏心 3 mm 连接示意

注:此时顶杆锥台应该刚好能顶入内挡套的矫正孔内,当顶杆顶紧后,调整距离为 50 mm。

表 1 顶杆锥台 $3 \times 45^\circ$ 倒角、内挡套含对中凸台, 偏心 3 mm 试验记录表

试验项目	接头编号	钢筋自由段长度 L_1 、 L_2 /mm	顶杆锥台	内挡套	内挡套	所用力矩 / N · m			
						初段	中段	末段	顶杆
项目 2A	UCS-40-1 [#]	$L_1=120$	$3 \times 45^\circ$	无	无	60	110	150	200
项目 2B	UCS-40-2 [#]	$L_2=110$	$3 \times 45^\circ$	有	有	56	112	148	198

表 2 顶杆锥台倒角、外 U 套倒角调整, 偏心 3mm 试验记录表

试验项目	接头编号	钢筋自由段长度 L_1 、 L_2 /mm	顶杆锥台	内挡套	内挡套	所用力矩 / N · m			
						初段	中段	末段	顶杆
项目 3A	UCS-40-3 [#]	$L_1=70$ $L_2=130$	$3 \times 30^\circ$	无	无	56	98	140	190
项目 3B	UCS-40-4 [#]			有	有	54	96	138	185
项目 3C	UCS-40-5 [#]	$3 \times 45^\circ$	$3 \times 45^\circ$	无	无	60	110	150	200
项目 3D	UCS-40-6 [#]			有	有	58	108	148	195

性能。本研究针对 U 套钢筋螺纹连接件在不同偏心率下的受力表现进行了系统性试验分析,见表 2。

1.2.4 试验结果分析

项目 2 试验:试验数据记录在表 3 中,测试结果显示,在项目 2A 试验中,使用 $3 \times 45^\circ$ 倒角顶杆进行连接时,需要较大力矩才能拧入内挡套矫正孔,相较于偏心 25 mm 连接时,力矩明显增大。拧入后仍需要更大力矩继续顶紧,最终拧紧力矩达到 200 N · m,但试验结束后,

外 U 套出现松动。相比之下,在项目 2B 试验中,虽然顶杆拧入矫正孔仍然需要较大力矩,但使用润滑脂处理后,初段拧入更容易,中段拧入力矩有所减小。在 300 N · m 力矩拧紧后,试验架卸载时外 U 套未松动,表明润滑处理有助于改善连接质量,提高稳定性。

项目 3 试验:在项目 3 的试验中,涉及不同组合的连接方式,包括不同的顶杆倒角、外 U 套倒角及是否使用对中凸台的内挡套(见表 4)。

1.3 试验结论

本试验分析了不同顶杆倒角、外 U 套倒角及内挡套结构对钢筋螺纹连接性能的影响，得出以下结论：

1) 顶杆倒角 $3 \times 30^\circ$ ，偏心 3mm 连接时，若不依靠矫正工具，则顶杆无法拧入矫正孔，表明此角度的顶杆在偏心工况下不易操作。

2) 顶杆倒角 $3 \times 45^\circ$ ，偏心 3 mm 连接时，不依靠矫正工具亦可拧入矫正孔，但需要的顶紧力矩较大，连接操作难度较高。

3) 外 U 套倒角增大至 $5 \times 45^\circ$ 对连接影响不大，但可略微改善初段拧入难度。

4) 带对中凸台的内挡套在 3mm 偏心连接试验中，对连接性能的影响不明显，但对初段对中矫正效果有一定帮助。

5) 钢筋刚性（可矫正性能）及顶杆对中矫正能力对连接接头的性能影响较大，刚性较好的钢筋在连接时更容易保持轴线一致性，减少应力集中问题。

本研究结果为 U 套钢筋螺纹连接件在偏心连接工况下的优化设计提供了理论依据，并对实际工程应用具有指导意义。

表 3 顶杆锥台 $3 \times 45^\circ$ 倒角、内挡套含对中凸台，偏心 3 mm 连接试验数据

试验项目	接头编号	钢筋自由段长度 $L_1、L_2/mm$	顶杆锥台	内挡套	润滑脂	连接所用扭矩 $N \cdot m$			
						初段	中段	末段	顶杆
项目 2A	UCS-40-1 [#]	$L_1=70$ $L_2=130$	$3 \times 45^\circ$	无	有	120	146	200	$< 100 N \cdot m$
项目 2B	UCS-40-2 [#]			有	有	手拧	62	142	$< 100 N \cdot m$



图 3 项目施工现场

2 U 套钢筋螺纹连接件在现场偏心连接中的应用案例

在某石化新材料产业集群项目中，U 套钢筋螺纹连接件被成功应用于立体包装仓库的预制柱连接安装如图 3 所示。该项目共涉及 224 件预制柱，采用 U 套钢筋螺纹连接技术，实现了高效、安全的现场施工。该技术在施工过程中发挥了重要作用，不仅提高了钢筋连接的精度，还大幅缩短了工期，提升了施工效率和安全性。

2.1 项目背景及施工工艺

该立体包装仓库是亚洲最大的立

体包装仓库，建筑面积达 $21\,550\text{ m}^2$ ，其建设采用了工厂化预制、装配式安装的混凝土柱施工工艺，如图 4 所示。由于仓库的特殊功能需求，对钢筋连接方式提出了更高的技术要求，必须确保连接的强度和稳定性，同时满足快速安装的需求。施工过程中，预制柱采用两层布置，每根柱体尺寸长 1.5 m、宽 1.5 m、高 13 m，纵向布置 40 根 HRB400 钢筋（直径 $\phi 40\text{ mm}$ 、 $\phi 32\text{ mm}$ ）。这些钢筋分别采用 JM-U40 和 JM-U32 规格的 U 套钢筋螺纹连接件进行连接。在装配过程中，整个预制柱吊装总重量达 17 920 t，施工难度大，对钢筋连接的精准度要求极高。为满足这一需求，U 套钢筋螺纹连接技术被采用，有效解决了现场施工中钢筋对接的诸多难点，提高了安装质量和整体结构稳定性。

2.2 U 套螺纹连接技术的优势

U 套钢筋螺纹连接技术在本项目中展现了显著优势，该技术的连接性能

表 4 顶杆锥台倒角、外 U 套倒角、内挡套调整后，钢筋偏心连接试验数据

试验项目	接头编号	自由段长度 $L_1、L_2/mm$	顶杆锥台倒角	内挡套对中凸台	内挡套润滑脂	连接所用扭矩 $N \cdot m$			
						初段	中段	末段	顶杆
项目 3A	ULCS-40-3 [#]	$L_1=70$	$3 \times 30^\circ$ (偏心 2 mm)	无	---	60	130	240	稍大
项目 3B	ULCS-40-4 [#]	$L_2=130$		有	有	---	---	---	---
项目 3C	ULCS-40-5 [#]	$L_1=70$ $L_2=130$	$3 \times 45^\circ$ (偏心 3 mm)	无	有	手拧	79	162	< 100
项目 3C'	ULCS-40-7 [#]			有	有	手拧	48	159	< 100
项目 3D	ULCS-40-6 [#]			有	有	手拧	56	146	< 100

可靠, 检验直观。U 套钢筋螺纹连接件具有良好的机械性能, 连接后可直观检查, 进一步提高施工安全性。该技术对钢筋位置偏差的容错能力高, 允许钢筋轴向偏差最大 50 mm, 径向偏差可调整, 并且当偏差调整至 3 mm 时, 连接件自身可实现精调, 大大降低了因施工误差导致的连接问题。与传统直螺纹连接相比, U 套连接不受两端螺纹轨迹线是否完全重合的影响, 使钢筋对接更加灵活。

在施工现场如图 5 所示, 工人利用 U 套钢筋螺纹连接件对钢筋进行精准连接, 并借助扳手等工具进行快速紧固, 整个施工过程高效且可控, 确保了连接质量符合设计标准, 提高了整体结构的稳定性。在施工过程中, 由于 U 套钢筋螺纹连接件具备可调节性, 使得钢筋对接更加顺畅, 有效减少了重复调整的时间。施工人员可以在现场快速完成安装, 大幅减少钢筋对接时间, 提高施工速度, 同时减少了高空作业时间, 提高了施工安全性。该技术在节省工期, 提高经济效益方面具有突出优势。整个预制柱吊装施工仅用 53 天完成, 比计划工期提前 15 天, 与传统施工方式相比, 工期节约 1/6, 用工需求减少近 1/2, 从而大幅提升了施工效率, 降低了施工成本。

2.3 结论

U 套钢筋螺纹连接技术在本次超大



图 5 施工现场

型立体仓库建设中表现出高可靠性、高效率和高适应性, 不仅提升了连接质量, 还显著缩短了施工周期。作为一种适用于工业化施工的先进钢筋连接技术, U 套螺纹连接技术能够广泛应用于预制构件、钢筋笼等结构主筋的连接, 为装配式施工和大规模工业项目提供了一种高效、可靠的技术方案。

3 结语

本研究针对 U 套钢筋螺纹连接件在偏心连接工况下的受力进行了系统实验分析。通过试验测定不同工况下的连接力矩、抗拉强度及残余变形情况, 验证了该技术在钢筋偏心连接情况下的可行性。研究表明, $3 \times 45^\circ$ 顶杆倒角较 $3 \times 30^\circ$ 顶杆倒角更适用于偏心 3 mm 连接, 而外 U 套倒角增大至 $5 \times 45^\circ$ 对连接效果影响不显著。采用对中凸台的内挡套有助于改善连接精度, 但对连接强度的提升作用有限。

本研究结果可为 U 套钢筋螺纹连接件在装配式施工中的应用提供理论依据, 在实际项目应用过程中证明该技术能够有效减少施工调整时间, 提高连接可靠性, 降低施工难度。未来研究可进一步优化 U 套钢筋螺纹连接件的结构设计, 探索更大偏心率下的受力特性, 并结合数值模拟方法对其长期耐久性及抗震性能进行深入研究, 以推动该技术在复杂工程中的更广泛应用。

参考文献:

- [1] 陈秀萍. 钢筋工程直螺纹套筒连接施工质量控制要点[J]. 民营科技, 2012(07):345.
- [2] 贺最荣, 杨林. 浅谈钢筋直螺纹套筒连接施工质量控制[J]. 安徽建筑, 2012(05):98-99.
- [3] 王卫东, 王皓. 建筑工程中钢筋加工及连接施工技术简述[J]. 中国新技术新产品, 2018(02):87-88.
- [4] 张士军, 王良, 辛振宇, 等. 建筑施工中钢筋连接技术研究进展[J]. 山东建筑大学学报, 2014(06):62-66.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢筋机械连接技术规程: JGJ 107—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [6] 韩超, 郑毅敏, 赵勇. 钢筋套筒灌浆连接技术研究与应用进展[J]. 施工技术, 2013(21):118-121.
- [7] 彭丹. 桥梁施工中钢筋螺纹连接新工艺的运用[J]. 南方农机, 2017(16):88-89.



图 4 实际应用案例