

· 施工工艺与技术 ·



# 直螺纹灌浆套筒钢筋连接技术的试验与应用\*

李武<sup>1</sup>, 于达<sup>2</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 连云港港口集团有限公司, 连云港 222000)

**摘要:** 针对码头工程中钢筋连接采用焊接、机械连接功效慢的问题, 本文研究灌浆直螺纹套筒钢筋连接技术, 通过室内拉伸试验, 对比不同套筒长度的钢筋锚固系统破坏强度。结果表明: 套筒长度与钢筋直径之比大于等于8且锚固系统破坏时, 钢筋应力可达360 MPa以上; 套筒可根据钢筋的设计拉力和灌浆材料的剪切强度确定。通过工程检验, 采用直螺纹套筒灌浆技术可满足码头工程使用要求, 提高钢筋连接效率, 降低施工期环境污染, 该技术可为绿色建造提供思路。

**关键词:** 直螺纹套筒; 钢筋连接; 破坏性试验

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0118-04

## Test and application of straight thread grouting sleeve reinforcement connection technology

LI Wu<sup>1</sup>, YU Da<sup>2</sup>

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China; 2. Lianyungang Port Group Co., Ltd., Lianyungang 222000, China)

**Abstract:** Regarding the problem of slow efficiency of welding and mechanical connection for steel bar connection in wharf engineering, this paper studies the connection technology of grouting straight thread sleeve steel bar, and compares the failure strength of the anchorage system with different sleeve length by indoor tensile test. The results show that the ratio of sleeve length to the diameter of the reinforcement is 8 or more, and the stress of the reinforcement can reach over 360 MPa when the anchorage system fails. The sleeve design can be determined according to the design tension of reinforcement and the shear strength of grouting material. Through the engineering inspection, the straight thread sleeve grouting technology can meet the engineering requirements, provide high steel bar connection efficiency, and reduce environmental pollution during construction. This technology can provide ideas for green construction.

**Keywords:** straight thread sleeve; reinforcement connection; destructive test

码头结构的平面尺度较大, 每个分段几乎均超过钢筋长度, 为保证其整体性, 各分段在建设过程中出现了较多钢筋接头。根据施工技术标准要求, 钢筋接头位置及数量明确规定: 受拉区内不允许设计接头, 同一截面接头数量不超过50%, 且不小于500 mm的区段内同一钢筋不应有一处以上接头等。常规的钢筋连接分为绑扎连接、焊接及机械连接, 直径超过20 mm的钢筋连接不允许使用绑扎。焊接和机械连接人工用量大, 施工时

间较长, 且焊接产生环境污染, 不符合国家倡导的节能减排、安全环保、提质增效的要求。因此, 借鉴工民建行业的灌浆套筒钢筋连接技术, 总结水运码头工程的结构特点和受力特性, 研究直螺纹灌浆套筒钢筋连接技术, 提高码头工程中钢筋连接的施工效率。

套筒灌浆连接技术起源于20世纪80年代, Lampert等<sup>[1-2]</sup>学者研究了钢筋与套管之间的弯矩、剪力键的相对位置; Hayashi等<sup>[3-4]</sup>对比钢筋屈服

收稿日期: 2022-11-15

\*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFB2600700)

作者简介: 李武 (1978—), 男, 博士后, 正高级工程师, 从事港口、航道工程设计及项目管理工作。

前后灌浆料强度变化；Zhao 等<sup>[5]</sup>研究地震荷载下灌浆套筒连接的力学性能；吴陶高<sup>[6]</sup>探讨了钢筋和套筒之间荷载的传递方式；Henin 等<sup>[7]</sup>研究套筒的尺寸影响。目前国内外研究以实验室拉拔、弯折及疲劳试验为主，多用于桥梁墩柱与梁的安装节点，基本未应用于水运工程。本文通过试验，探讨码头工程中运用钢筋套筒灌浆的连接技术。

1 工作原理

1.1 连接方式

直螺纹套筒连接节点包括：钢筋、直螺纹钢套筒及灌浆料。将 2 根钢筋插入钢套筒后压力灌浆，使得钢筋与套筒连为一体。其中直螺纹钢套筒采用钢管内套丝扣，丝扣深度根据钢筋直径大小确定，一般为 1.0~3.0 mm；直螺纹钢套筒中间设灌浆孔，直径约为 6~8 mm；直螺纹钢套筒的尺寸根据受力情况确定。直螺纹套筒连接方式见图 1。

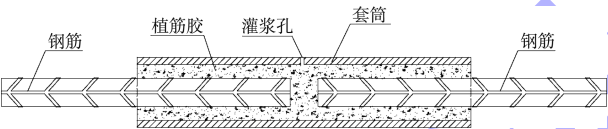


图 1 直螺纹套筒连接

1.2 传力机制

根据直螺纹灌浆套筒连接方式，得出钢筋受拉后出现的 3 种破坏模式：1) 钢筋拉断，但锚固系统未破坏；2) 钢筋未破坏，直螺纹套筒断裂；3) 钢筋未破坏，但是从套筒内被拔出。钢筋受力模型见图 2。钢筋受拉模型见图 2。钢筋拉断、直螺纹套筒断裂可根据材料强度计算确定。钢筋从套筒内被拔出，可按下式计算：

$$F=fS \tag{1}$$

式中： $F$  为外荷载拉力； $f$  为灌浆料与钢筋间的剪切力； $S$  为钢筋与灌浆料的接触侧面积。

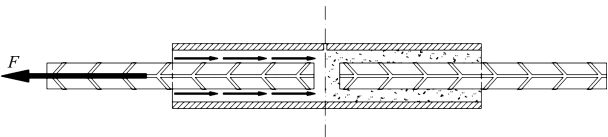


图 2 钢筋连接受力

2 试验研究

2.1 试验材料

试验选用直径为 12、14、16、20、25、28 mm，型号为 HRB400 的钢筋，直螺纹套筒为 45 号钢管内套丝扣，灌浆料为 A 级植筋胶。

2.2 试验方案

对不同规格的钢筋、不同长度的直螺纹套筒进行拉拔试验，寻找不同规格的钢筋需要的套筒连接长度。不同试验组数见表 1。

表 1 试验组数

钢筋直径/mm	直螺纹套筒长度/mm			
φ12	60	80	100	120
φ14	80	100	120	140
φ16	100	120	140	160
φ20	120	140	160	180
φ25	160	180	200	220
φ28	180	200	220	240

2.3 试件制作

将 2 根钢筋插入直螺纹套筒，每根钢筋端部距离套筒中心 3.0 mm 左右，套筒两端通过透明胶带密封，采用专用压力枪将灌浆料（植筋胶）压入灌浆孔，待灌浆料从套筒侧面空隙及灌浆孔溢出后，完成灌浆，制作过程见图 3。灌浆后 2 h 试件完成初凝，具备可移动强度，灌浆后 7 d 达到 100% 强度，具备拉伸试验条件。



a) 步骤1插入钢筋



b) 步骤2两侧密封



c) 步骤3压力灌浆



d) 步骤4拉拔试验

图 3 试件制作过程

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

根据钢筋直径及套筒长度的不同，试验共进行 24 组，每组 9 个样本，共计 216 组试验。每个样本经套筒灌浆连接完成并达到灌浆料的设计强度后进行拉力测试，以钢筋拉力由升高变为降低的转折点作为破坏标准，统计每个样本破坏时的拉力，通过与钢筋截面换算，反推破坏时的钢筋应力。各破坏点的统计数据见表 2。

表 2 锚固系统破坏点统计数据

试验组次	钢筋直径/mm	套筒长度/mm	套筒内径/mm	钢筋拉应力平均值/MPa	套筒长度或钢筋直径/mm
1	φ12	60	16	204.7	5.0
2		80	16	326.3	6.7
3		100	16	416.5	8.3
4		120	16	469.0	10.0
5	φ14	80	18	253.8	5.7
6		100	18	340.7	7.1
7		120	18	415.5	8.6
8		140	18	482.2	10.0
9	φ16	100	20	259.4	6.3
10		120	20	352.1	7.5
11		140	20	414.8	8.8
12		160	20	471.6	10.0
13	φ20	120	24	286.9	6.0
14		140	24	342.0	7.0
15		160	24	390.4	8.0
16		180	24	451.9	10.0
17	φ25	160	30	292.3	6.4
18		180	30	329.2	7.2
19		200	30	391.3	8.0
20		220	30	421.4	8.8
21	φ28	180	32	282.3	6.4
22		200	32	329.0	7.1
23		220	32	363.5	7.8
24		240	32	423.5	8.5

3.2 试验结果分析

由破坏试验可知，钢筋从套筒中拔出，破坏面发生在钢筋肋的轮廓面上，套筒内丝扣以及钢筋肋间均填满灌浆料，剪切面由套筒丝扣和钢筋肋错位剪切灌浆料形成。由表 2 的拉伸试验可知，直螺纹套头锚固系统的破坏强度随套筒长度增加



而增加,近似正比关系,当套筒长度与钢筋直径比相同时,锚固系统破坏强度的变异率在3%以内,即灌浆材料强度差异率较小,说明施工方法对连接强度的影响不大;随着钢筋直径的增大,锚固系统的破坏强度与套筒长度和钢筋直径比例关系稳定,当套筒长度与钢筋直径比 $\geq 8$ 时,锚固系统的破坏强度 $\geq 360$  MPa,保证了锚固系统强度大于钢筋设计强度,满足在水运工程中的使用要求。根据不同直径钢筋与套筒间富余空隙的大小,锚固系统的破坏强度变化不大。

#### 4 工程应用

灌浆套筒钢筋连接技术操作简便、连接速度快、对工种的要求低、无安全及环保风险,综合价格优于钢筋焊接及机械连接,通过实践工程统计,平均降低成本约20%,施工效率提高约300%。该技术应用于连云港港徐圩港区46#~47#泊位工程及48#~49#泊位工程,经检测,连接节点破坏时钢筋拉应力均达400 MPa以上,连接合格。墩台上的钢筋连接见图4。



图4 墩台上的钢筋连接

#### 5 结论

1) 套筒长度与锚固系统破坏强度近似成正比,

且受直螺纹深度的影响。当直螺纹表面积大于钢筋表面积时,套筒长度与锚固系统破坏强度完全成正比。

2) 根据材料强度公式计算套筒的有效壁厚,一般套筒有效截面积大于等于钢筋截面积。

3) 锚固系统的抗拉力近似等于灌浆料的剪切力与钢筋锚固段的侧表面积的乘积。

4) 根据使用处钢筋的最大拉力,结合灌浆料的剪切强度,设计直螺纹套筒长度和壁厚,保证钢筋连接的经济性。

#### 参考文献:

- [1] LAMPORT W B. Ultimate strength of grouted pile-to-sleeve connections[D]. Austin: The University of Texas at Austin, 1988.
- [2] LAMPORT W B, JIRSA J O, YURA J A. Strength and behavior of grouted pile-to-sleeve connections[J]. Journal of structural engineering, 1991, 117(8): 2477-2498.
- [3] HAYASHI Y, SHIMIZU R, NAKATSUKA T, et al. Bond stress-slip characteristic of reinforcing bar in grout-filled coupling steel sleeve[J]. Proceedings of Japan Concrete Institute, 1993, 15(2): 256-270.
- [4] HAYASHI Y, NAKATSUKA T, MIWAKE I, et al. Mechanical performance of grout-filled coupling steel sleeve under cyclic loads[J]. Journal structural and construction engineering, 1997, 469: 91-98.
- [5] ZHAO X L, GRUNDY P, LEE Y T. Grout sleeve connections under large deformation cyclic loads [C]// International society of offshore and polar engineers. The 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu: [s. n. ] 2002.
- [6] 吴陶高. 套筒类型和内表面形状对钢筋连接性能的影响[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2014年.
- [7] HENIN E, MORCOUS G. Non-proprietary bar splice sleeve for precast concrete construction[J]. Engineering structures, 2015, 83: 154-162.

(本文编辑 赵娟)