

DOI: 10.7672/sgjs2025100045

我国钢筋机械连接技术若干问题的探讨

徐冰¹, 阳少天², 刘炎³

(1. 中建研科技股份有限公司, 北京 100013; 2. 湖南省遥感地质调查监测所, 湖南 长沙 410015;
3. 中国核工业华兴建设有限公司, 江苏 南京 210019)

[摘要] 建筑工业化和智能建造是我国建筑业高质量发展的必由之路, 建筑行业对质量、效率和安全的要求不断提高。在此背景下, 针对我国钢筋机械连接技术和行业现状, 对功能性钢筋机械连接、钢筋工程工业化、标准制定与修订等问题进行了相关讨论, 在基于技术质量的前提下, 促进我国钢筋机械连接技术的发展与完善。

[关键词] 钢筋; 机械连接; 接头

[中图分类号] TU755.3

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)10-0045-05

Discussion on Several Issues of Rebar Mechanical Splicing Technology in China

XU Bing¹, YANG Shaotian², LIU Yan³

(1. CABR Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. Hunan Remote Sensing Geological Survey and Monitoring Institute, Changsha, Hunan 410015, China; 3. China Nuclear Industry Huaxing Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210019, China)

Abstract: Industrialization of construction and intelligent construction are the necessary path for the high-quality development of China's construction industry. The requirements for quality, efficiency and safety of construction industry are constantly increasing. In this context, this paper discusses the current status of China's rebar mechanical splicing technology and industry, including functional rebar mechanical splicing, industrialization of steel reinforcement engineering, and standard formulation and revision. Based on the premise of technical quality, it promotes the development and improvement of China's rebar mechanical splicing technology.

Keywords: rebar; mechanical splicing; splice

0 引言

改革开放以来,我国钢筋机械连接技术取得了巨大成就,应用于工程中钢筋机械连接的最大钢筋直径达 50mm,应用机械连接技术的钢筋达到 600MPa 级。近年来,钢筋混凝土结构形式、施工技术日新月异,钢筋机械连接技术虽在不断创新发展,但仍不断面临新课题、新任务,相关产品、技术还需开发和完善,针对我国钢筋机械连接技术和行业现状,本文对功能性钢筋机械连接、钢筋工程工业化、标准制定与修订等问题进行讨论。

1 功能性钢筋机械连接

作为功能性钢筋,如耐腐蚀性钢筋(不锈钢钢筋、环氧涂层钢筋、耐蚀钢筋、热轧碳素钢-不锈钢复

合钢筋等)、低温钢筋等应用的基本问题,特别是机械连接技术还未得到充分研究,相应的连接件产品亟待完善与开发,需提出相应的质量控制指标与检测制度,以适应功能性钢筋的发展与应用。

1.1 耐腐蚀性钢筋

目前,有关耐腐蚀性钢筋的标准有 GB/T 33953—2017《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》、GB/T 33959—2017《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》、GB/T 34206—2017《海洋工程混凝土用高耐蚀性合金带肋钢筋》、GB/T 36707—2018《钢筋混凝土用热轧碳素钢-不锈钢复合钢筋》、T/CECS 1150—2022《耐腐蚀性钢筋应用技术规程》等。所有上述耐腐蚀性钢筋的国家标准均推荐或规定使用机械连接。在港珠澳大桥的建设中,耐腐蚀性钢筋如不锈钢钢筋、环氧树脂涂层钢筋均使用了直螺纹连接技术,如图

1所示。

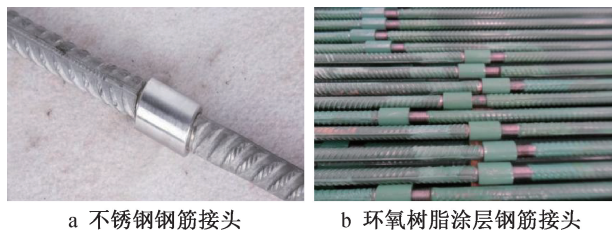


图1 港珠澳大桥中不锈钢钢筋、环氧树脂涂层钢筋的连接
Fig.1 Connection of stainless steel bars and epoxy resin coated bars in Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

1.2 耐低温钢筋

目前, YB/T 4641—2018《液化天然气储罐用低温钢筋》中, 对于低温钢筋的连接推荐使用机械连接, 并要求机械连接接头应使用低温性能要求等级相同或更好的合金材料。

对于 LNG 储罐专用耐-165℃的低温钢筋, 其配套钢筋连接接头也应具备良好的耐低温能力, 防止在-165℃低温环境下接头处发生脆性破坏, 并满足承载力、变形等性能要求, 保证钢筋的可靠连接。目前, 低温钢筋主要采用绑扎搭接连接, 对耐-165℃的低温钢筋机械连接接头的研究仍处于空白阶段, 国内尚无满足耐-165℃低温要求的低温钢筋机械连接接头产品及相关标准。

低温钢筋机械连接接头常温性能应满足 JGJ 107—2016《钢筋机械连接技术规程》中相应等级接头的性能要求。对于低温钢筋机械连接接头的低温力学性能, 我国尚无相关标准给予明确规定。英国标准 BS EN 14620—3—2006 中第 6.3.2 条规定, 在低温环境, 机械连接接头应在设计温度下进行(与常温)同样的检验, 并将检验结果与常温规定值进行比较, 如果低温检验结果与常温规定值的偏差在 5% 以内, 则视为机械接头合格。机械接头低温检验项目至少包括抗拉强度试验和延展性试验。检验结果应达到设计师规定的适当标准。参照该标准和现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》, 并考虑机械接头低温试验条件, 建议的低温钢筋机械连接接头低温性能要求如表 1 所示。

表 1 低温钢筋机械连接接头低温性能要求

Table 1 Low temperature performance requirements of low temperature steel bar mechanical connection joint

性能	接头等级		
	I 级	II 级	III 级
抗拉强度	$f_{mst}^0 \geq 0.95f_{stk}$, 钢筋拉断; 或 $f_{mst}^0 \geq 1.05f_{stk}$, 连接件破坏	$f_{mst}^0 \geq 0.95f_{stk}$	$f_{mst}^0 \geq 1.20f_{stk}$

2 钢筋工程工业化

钢筋工程近年来虽在了加工配送、成型钢筋制品等方面有所发展, 但总体的工业化水平较低, 亟待提升。钢筋工程工业化是通过标准化设计、成型钢筋专业化加工、装配式施工和信息化管理进行的钢筋工程; 在施工上具有工艺工业化、装备机械化的特点, 是一种节约劳动力、降低劳动强度、提高生产效率和产品质量、保护环境的钢筋加工和制造方式, 并向智能化和数字化方向发展。就钢筋连接工程而言, 传统的钢筋直螺纹加工面临单机生产效率不能满足重大工程项目进度需要的问题, 迫切需推进钢筋加工工厂化、机械化, 通过改进工艺和迭代技术、提升单机生产效率、应用模块化钢筋连接技术、配置专业螺纹自动化生产线等方式, 有效提高螺纹加工设备生产和接头安装效率。

2.1 工艺工业化

在钢筋端部加工直螺纹并与连接件连接, 在较长一段时间内仍是我国钢筋连接与锚固技术的主要工艺和形式。目前, 直螺纹加工对劳动力的消耗较大、操作人员劳动强度较大、生产效率有时满足不了重大工程需要, 有时会受钢筋材料、尺寸波动影响造成质量不稳定。

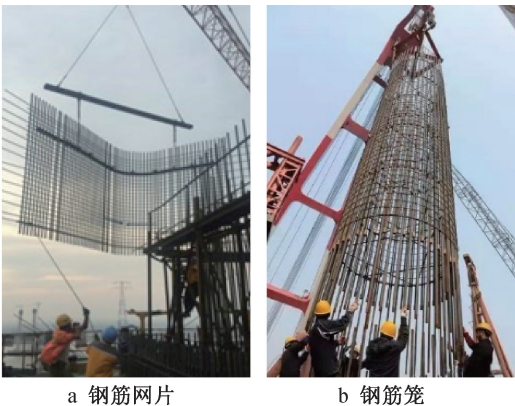
加强工业化水平更高的钢筋机械连接技术研发, 主要以工艺工业化为目标, 以质量和效率为原则, 可优先考虑大力推进摩擦焊技术、扣压技术、夹片技术等钢筋机械连接与锚固中的应用研究, 这些技术除能解决上述问题外, 无需在钢筋端部加工螺纹, 工业化水平较高, 是钢筋连接工程发展的新趋势。

2.2 模块化钢筋应用

长期以来, 工程领域的钢筋连接方式即使采用机械连接, 通常也是采用单根钢筋连接的方式。以框架柱钢筋连接为例, 待连接钢筋吊装到位后, 需保持吊持状态或由人工辅助支撑, 一般需 2~3 人完成 1 根钢筋的连接, 花费 5~10min, 施工效率低, 且存在机械浪费、高空作业、质量不易保证等问题。

模块化钢筋应用是提升钢筋工程工业化水平的路径之一。模块化钢筋依据混凝土结构设计中的钢筋配置, 并按照施工图纸规定的形状、尺寸和要求, 将钢筋制品采用机械连接、焊接连接或绑扎连接形成整体的三维钢筋制品构件。如图 2 所示, 钢筋模块化应用是指将混凝土结构中的钢筋模块化, 将钢筋笼、钢筋网片、不规则的钢筋模块及预埋件等在地面上整体预制或钢筋骨架, 将工程现场施工部位的钢筋连接、绑扎作业大部分在钢筋预制加

工车间内完成,运输至施工现场后,利用起重设备将钢筋骨架整体吊装至施工作业面并进行钢筋骨架间的对接安装。模块化钢筋应用通过钢筋模块预制化、工厂化生产,大幅提高钢筋工程施工质量;大量减少现场作业量,缩短钢筋工程施工时间,大幅提高施工效率;现场机械化安装,大幅降低劳动力使用和劳动强度,减少场地占用、起重机使用频率;减少高空作业,大幅提高钢筋工程施工安全性。特别是以大体积混凝土施工为特点的桥梁工程、水利工程、核电工程等,采用模块化钢筋施工意义重大。



a 钢筋网片

b 钢筋笼

图2 模块化钢筋应用

Fig. 2 Application of modular reinforcement

2.3 加工设备升级

传统的直螺纹钢筋机械与锚固技术采用的工艺如镦粗、滚轧等,基本上采用单机加工模式,存在劳动力消耗大、劳动强度高、生产效率不能满足重大工程项目进度的需要等问题,且安全隐患多、管理难度大、场地占用多。

随着建筑市场劳动力资源的紧缺、施工工期和工程质量要求的提高,进行加工设备升级,提高设备稳定性和生产效率,以实现钢筋螺纹加工的工业化升级,实现智能化、自动化。

以智能化、自动化为特点的钢筋加工机械实现钢筋上料、下料、喂料、加工及统计,生产效率大大提高。提高螺纹加工设备的生产效率,一方面可对传统单机进行工艺改进和升级,提高单机加工效率;另一方面,可发展钢筋螺纹自动化生产加工,如图3所示。

3 标准制定与修订

近年来,新品种和更高强度的钢筋持续得到应用,连接件新材料不断出现,建筑工业化特别是装配式混凝土结构蓬勃发展、模块化钢筋施工技术实施(钢筋笼、钢筋网片、钢筋骨架等整体连接),工程



图3 钢筋螺纹自动化生产线

Fig. 3 Automated production line for rebar threading

建设对钢筋机械连接接头性能提出新的要求,新型钢筋机械连接接头不断涌现。同时,面对国内钢筋机械接头的巨大市场,近年来涌现出了大批从事钢筋机械连接业务的公司及个人,并有不少技术力量薄弱的单位和个体经营者从事相关业务。面对激烈的市场竞争和成本压力,部分产品生产开发者挖空心思无底线地降低成本,仅靠低廉的价格冲击市场,迎合了相当一部分施工企业重成本、轻质量的现状。这些情况的出现,迫切需要及时制定和修订相关标准,并进一步完善标准体系,以适应工程建设形势的发展和需要,标准制定、修订者还应与从业者、使用者和监管部门充分沟通,引导和促进行业高质量发展。

3.1 标准体系与协调

目前,指导和规范我国钢筋机械连接与锚固技术应用的标准主要有《钢筋机械连接技术规程》、JG/T 163—2013《钢筋机械连接用套筒》,存在涉及面广或过窄问题,且已实施多年。如《钢筋机械连接技术规程》属建工行业标准,无法全面适应其他行业的需求和发展。《钢筋机械连接技术规程》只纳入了直螺纹钢筋接头和径向挤压钢筋接头,在新工艺、新技术、新的应用场景出现时,常令使用者无所适从。当新工艺、新产品经过研发和工程实践成熟并具备批量推广应用时,经常要等国家行业标准修订,错失了最佳的市场应用时机。

对于我国钢筋连接标准,建议相关部门进行科学规划,形成国家、行业、地方、团体、企业各层级工程技术、分类、试验方法、产品等有机结合的标准体系。国家标准确定钢筋接头与钢筋锚固板的性能要求,再根据不同地域、行业特点制定相应的工程技术标准,确定设计、施工及验收基本要求。工程技术标准应重点解决钢筋接头和钢筋锚固板的性能要求实现问题,不宜涉及具体的产品工艺。国家标准层面制定钢筋接头分类标准、试验方法标准、产品标准,规范各类钢筋接头的适用范围、工艺、试验方法和生产。行业、地方、团体、企业标准可在国家标准的基础上进行引用和补充。近年来,有关组

织制定发布的相关标准,如 T/CNIDA 017—2024《核电工程钢筋机械连接技术规程》、T/CCTAS 34—2022《带肋钢筋轴向冷挤压连接技术规程》、T/CECS 1282—2023《轴向冷挤压钢筋连接技术规程》、YB/T 4503—2015《钢筋机械连接件 残余变形量试验方法》、T/CECS 10115—2021《钢筋机械连接接头认证通用技术要求》等,就是很好的尝试。

有关部门在科学规划标准体系的同时,还应注意标准的完善和标准间的协调。《钢筋机械连接技术规程》于 2016 年修订后,《钢筋机械连接用套筒》未及时跟随修订,出现了一些不一致或不协调的地方,如型式检验问题,应明确《钢筋机械连接技术规程》与《钢筋机械连接用套筒》的边界并保持协调一致,区分套筒的型式检验与钢筋接头的型式检验,避免混淆重复;钢筋丝头采用 6f 级、套筒采用 6H 级精度的要求,对建筑用钢筋接头而言要求过高且存在工程实践中不易实施、矛盾较大等问题。基于 Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 1: Requirements ISO 15835-1 : 2018, Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 2: Test methods ISO 15835-2 : 2018, 2023 年我国发布了 GB/T 42796—2023《钢筋机械连接件》和 GB/T 42901—2023《钢筋机械连接件试验方法》,出现了大量对钢筋机械连接技术的新要求。在进一步推动我国钢筋机械连接技术与世界接轨的同时,也将对钢筋机械连接行业长期的要求和习惯造成较大的冲击。

3.2 加强新型接头的研判

伴随着工程建设新的需求,新型钢筋机械连接装置与应用技术不断涌现,如模块化钢筋机械连接技术、核电工程抗飞机撞击用钢筋机械连接技术等。目前,钢筋接头质量良莠不齐,局面让人担忧。部分产品开发和使用者仅考虑钢筋接头抗拉强度和操作性要求,忽略了《钢筋机械连接技术规程》对残余变形、保护层厚度、接头面积百分率等的应用规定。耐火、耐疲劳、耐低温等应用场合需要的钢筋接头性能常常被忽略,部分产品型式检验与实际工程应用场合不符,存在质量不确定性。新型钢筋机械连接技术对应的连接件除设计、施工和验收外,材料、生产、试验及检验等存在不同程度的缺失,带来了极大的质量安全隐患。相关标准在制定或修订时,在完善原有标准的基础上,还应特别加强对新型钢筋机械连接接头的研判,对上述情况应予以充分重视,避免有缺陷的新型钢筋机械连接接

头使用不当带来重大质量和安全问题。应彻底扭转只重视接头强度、忽视残余变形的局面,消除接头型式检验与见证取样检验脱节的现象。

3.3 高强钢筋的机械连接

《钢筋机械连接技术规程》《钢筋机械连接用套筒》等现行标准发布实施时,500MPa 级及以上的高强度钢筋应用尚不普遍,当时积累的钢筋接头性能数据较少。随着 GB/T 1499.2—2018《钢筋混凝土用钢 第 2 部分:热轧带肋钢筋》的实施,500MPa 级钢筋的应用逐步规模化并取得大量的工程实践经验,600MPa 级钢筋开始逐步应用,完善 500MPa 级及以上钢筋机械连接技术、修订机械连接相关标准迫在眉睫。

3.4 钢筋机械连接接头的分类与分级

《钢筋机械连接技术规程》虽在正文中未明确对钢筋接头进行分类,但在条文说明中指出常用的钢筋机械接头包括套筒挤压接头、锥螺纹接头、镦粗直螺纹接头、滚轧直螺纹接头、套筒灌浆接头及熔融金属充填接头。其中,套筒灌浆接头分为套筒半灌浆接头和套筒全灌浆接头,半灌浆套筒的非灌浆端虽采用机械连接方式,但随着 JGJ 355—2015《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》、JG/T 398—2012《钢筋连接用灌浆套筒》、JG/T 408—2013《钢筋连接用套筒灌浆料》、T/CCIAT 0004—2019《钢筋套筒灌浆连接施工技术规程》等标准的编制和完善;同时,《钢筋机械连接技术规程》在正文中也未提及套筒灌浆接头和熔融金属充填接头,部分条款也不适用于这两类接头,与《钢筋机械连接技术规程》配套使用的《钢筋机械连接用套筒》只字未提这两类接头。在后续对《钢筋机械连接技术规程》的修订中,建议删除这两类接头的有关内容。鉴于此,可专门制定钢筋接头的分类标准,并对其适用范围进行更加明确的规定,以更科学地指导工程应用。

长期以来,《钢筋机械连接技术规程》对钢筋接头的分级是基于强度和变形性能的,导致工程界普遍采用性能最高的 I 级接头,几乎未听说过接头产品技术开发者按 II 级或 III 级接头进行型式检验,也几乎未见过设计文件中的标准使用 II 级或 III 级接头。工程实践的现实是:II 级或 III 级接头仅在施工现场接头抽检不合格时设置,可按不同等级接头的应用部位和接头面积百分率限制确定是否降级处理,未真正达到对接头分级的另一个目的,即有利于降低套筒材料消耗和接头成本。我国有抗震区和非抗震区,抗震区中还有不同的地震设防烈度要

求,均按 I 级接头要求和使用,是偏安全的,但会造成经济浪费;有时,也会制约一些新产品的研发与应用,如有些新型接头达不到目前规定的 I 级接头要求,但用于非抗震条件下是有足够安全保障的。在这一方面,目前部分国外和国际标准是值得借鉴的,ACI 318 对接头的抗震和非抗震性能分别进行要求,且不考虑接头的变形性能。ISO 15835 对接头进行了细致的性能划分,用户可根据工程的具体情况对接头进行选择。这些考虑一方面使接头在基于安全的情况下得到最合理的使用,另一方面促进钢筋机械连接和施工技术的发展。建议对我国钢筋机械连接相关标准的后续修订中,考虑钢筋接头分级原则的调整,建议基于工程应用场合(抗震/非抗震、不同设防烈度、疲劳、低温、耐火)进行分类,工程可根据实际要求进行接头选择和使用。

4 结语

钢筋连接技术是混凝土结构工程的一项基础性技术,本文对耐腐蚀性钢筋、耐低温钢筋等功能性钢筋机械连接技术展开了讨论,对钢筋工程工业化提出了工艺工业化、模块化钢筋应用、加工设备升级等具体措施,对标准制定与修订中涉及的相关问题,如标准体系与协调、加强新型接头的研判、高强钢筋的机械连接、钢筋机械连接接头的分类与分级等提出了相关建议。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院,荣盛建设工程有限公司. 钢筋机械连接技术规程:JGJ 107—2016[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
China Academy of Building Research, Rongsheng Construction Engineering Co., Ltd. Technical specification for mechanical connection of rebar: JGJ 107—2016 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [2] 中国建筑科学研究院. 钢筋机械连接用套筒:JG/T 163—

2013[S]. 北京:中国标准出版社,2013.

China Academy of Building Research. Sleeves for mechanical connection of steel bars: JG/T 163—2013 [S]. Beijing: Standard Press of China, 2013.

- [3] 中国建筑科学研究院. 钢筋连接用直螺纹套筒:T/CECS 10287—2023[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2023.

China Academy of Building Research. Straight thread sleeve for steel bar connection: T / CECS 10287—2023 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023.

- [4] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构设计标准:GB/T 50010—2010(2024年版)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2024.

China Academy of Building Research. Concrete structure design standard: GB/T 50010—2010 (2024 edition) [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2024.

- [5] 中冶建筑研究总院有限公司. 钢筋混凝土用钢 第 1 部分:热轧光圆钢筋:GB/T 1499.1—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

China Metallurgical Building Research Institute Co., Ltd. Steel for reinforced concrete Part 1: Hot rolled plain steel bar: GB / T 1499. 1—2017[S]. Beijing: Standard Press of China, 2017.

- [6] 中冶集团建筑研究总院有限公司. 钢筋混凝土用钢 第 2 部分:热轧带肋钢筋:GB/T 1499.2—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.

China Metallurgical Group Building Research Institute Co., Ltd. Steel for reinforced concrete Part 2: Hot rolled ribbed steel bars: GB/T 1499. 2—2018[S]. Beijing: Standard Press of China, 2018.

- [7] 丛茂林,屈兴涛,李智斌. LNG 储罐工程用低温钢筋机械连接接头研发初探[J]. 建筑科学,2015,31(7): 114-118.

CONG M L, QU X T, LI Z B. Preliminary study on the research and development of mechanical connection joints of low temperature steel bars for LNG storage tank engineering [J]. Building science, 2015,31(7):114-118.

- [8] 李智斌,许慧,吴广彬,等. 对法国钢筋机械连接技术标准的应用研究[J]. 建筑科学,2012,28(7): 67-70.

LI Z B, XU H, WU G B, et al. Research on the application of technical standards for mechanical connection of steel bars in France [J]. Building science, 2012,28(7): 67-70.