

钢材力学性能检验技术及质量控制研究

李 鹏 张玉南 赵雯雯
安阳钢铁集团有限责任公司 河南 安阳 455000

摘 要：钢材力学检验的精准程度，直接影响工程用材的适配性与使用安全性。本文梳理钢材力学检验的完整作业体系，从前置准备、现场作业、偏差成因等多个维度，系统拆解检验工作的运行逻辑，分析试样状态、设备工况、人工操作、环境条件对检验精度的干扰机制，依托各环节作业特征搭建全流程质量控制体系，细化前置管控、过程规范、偏差干预及收监管控的实施方式，有效规避各类试验偏差，持续规范钢材力学检验作业流程，提升检验数据的真实性与可靠性。

关键词：钢材；力学性能；检验技术；试验偏差；质量控制

引言：钢材作为工程建设的核心用材，力学性能是判定材料承载能力与使用稳定性的重要依据，检验工作的规范性直接决定用材质量管控水平。力学检验属于精细化试验工作，试验流程中的各类细微因素，均会干扰形变规律与力学参数的正常采集，造成检验数据出现偏差。通过梳理检验全流程的作业逻辑，厘清各类偏差的产生与传导规律，搭建系统化的质量管控模式，可有效规范现场作业行为，保障钢材力学性能检验工作稳定、有序开展。

1 钢材力学性能检验的前置体系构建

1.1 检验试样的制备逻辑与处理路径

试样是钢材力学性能检验的核心载体，制备与处理质量直接决定检验工作的整体精度。试样制备需要遵循统一的工艺逻辑，结合钢材品类与检验项目确定取样位置、加工尺寸与截面形式。加工过程保持工艺稳定，弱化裁切、打磨工序带来的表层损伤与形态偏差。完成制备后对试样外观进行细致筛查，剔除存在形变、划痕、缺损的不合格样品，保证试件形态均匀规整。后续处理工作围绕存放防护展开，选择干燥、无尘、无腐蚀的专属空间安置试样，隔绝外界介质对表层材质的侵蚀^[1]。规范完整的试样处理流程，能够最大程度保留钢材原始力学属性，为后续检验工作筑牢基础条件。

1.2 检验配套设备的状态调校维度

检验设备的运行状态是保障数据可靠的硬性条件，设备调校工作需要覆盖结构、参数、精度多个维度。正式开展检验前，全面排查设备传动结构、夹持部件与感应元件的运行状态，及时处理松动、卡顿、灵敏度偏移等各类隐患。结合不同力学检验项目的运行要求，完成设备参数复位与零点校准，修正长期运行积累的精度误差。根据试件规格与检验类型调整设备运行档位与加载

模式，匹配各类力学试验的作业需求。持续稳定设备运行工况，减少机械损耗与精度偏移带来的检验干扰，让设备工况完全适配检验作业标准。

1.3 检验作业人员的操作认知梳理

人员专业认知与操作素养，对检验流程规范性起到关键支撑作用。作业人员需要在试验开展前梳理完整检验流程，明确各环节操作重点与细节要求。熟练掌握试样装夹、设备调试、荷载控制、数据记录等基础作业内容，清晰认知不规范操作引发的各类质量问题。针对不同钢材的检验特点，提前熟悉专属操作细则与作业要点，补齐认知短板。强化细节把控意识，规范个人作业习惯，减少人为疏漏造成的检验偏差。系统化的认知梳理可以规范作业行为，保障检验流程有序推进。

1.4 检验作业环境的适配性调整方向

作业环境的各项参数变化，都会间接影响试样状态与设备运行精度，需要提前完成适配调整。重点管控试验室温湿度条件，弱化环境波动对钢材材质性能与设备精密构件的干扰。及时清理作业区域的粉尘、杂物与残留污渍，维持检验空间的整洁状态。稳定室内空气状态，减少气流扰动、湿度变化带来的隐性影响。针对高精度检验作业的特殊要求，优化空间环境条件，打造稳定、标准、统一的试验场景。科学的环境调整方式，能够有效规避外界环境干扰，提升钢材力学检验工作的整体规范性。

2 钢材力学性能检验的作业技术路径

2.1 试样装夹与对位的操作逻辑

试样装夹是检验作业启动阶段的核心工序，操作精细程度直接影响后续力学响应的真实性。作业开展过程中，依据试件尺寸、截面形态调整设备夹持结构，合理把控夹持间距与紧固力度。紧固力度保持适中状态，规

避过度挤压造成的试样前期形变,或是夹持松弛引发的滑移问题。完成固定后仔细校正试件位置,保证受力轴线与设备加载轴线保持一致,规避偏心受力带来的应力分布紊乱^[2]。严格遵循标准化操作逻辑完成对位校准,减少人为安装偏差积累,为力学检验开展提供稳定的初始作业条件。

2.2 荷载施加过程的节奏把控方式

荷载施加是获取钢材力学性能参数的核心步骤,节奏把控直接决定试验数据的完整度。结合钢材材质特性与检验项目设定合理的加载节奏,保持外力输出平稳均匀,杜绝骤然加速、中途停顿等不规范工况。加载全程保持匀速推进,适配钢材弹性形变、屈服形变、塑性延展的阶段性变化规律。根据试件受力反馈微调作业节奏,避免速率波动干扰力学参数的真实呈现。稳定有序的荷载控制模式,可以完整还原钢材不同受力阶段的性能特征,夯实数据采集的基础条件。

2.3 形变特征的观测与记录逻辑

钢材在外力持续作用下会产生阶段性形变变化,形变特征是判定材料力学性能的重要依据。检验全程持续跟进试件形态变化,精准捕捉不同形变阶段的状态特点,区分弹性形变与塑性形变的发展规律。依托专业检测设备持续收录形变位移数据,完整留存形变演化的全过程信息。重视试件屈服、变形加剧、断裂等关键节点的状态记录,杜绝关键信息缺失或漏记的情况。精细化的观测与记录模式,能够客观还原钢材受力形变规律,保障检验数据具备参考价值。搭配引伸计同步采集实时应变数据,自动生成完整的应力-应变曲线,避免人工读数带来的主观记录误差。

2.4 多类力学指标的采集衔接流程

钢材力学检验需要采集多项性能指标,工序衔接的有序性决定整体检验质量。各类指标采集依照试验推进逻辑有序开展,形变数据、荷载数据、极限性能数据依次完成收录,保持采集流程连贯顺畅。每组有效试验重复操作不少于3次,理顺不同指标的采集时序,杜绝工序倒置、数据漏采等问题,适配各类力学检验项目的作业要求。全程规范数据收录标准,统一采集细节与记录规范,减少流程混乱引发的数据离散问题。科学的流程衔接模式,能够完善检验作业闭环,提升整体检验工作的规整程度。

3 钢材力学性能检验的偏差生成逻辑

3.1 试样状态变化引发的偏差传导路径

试样自身状态的细微变化,会顺着检验流程逐步传导至试验数据,形成持续性检验偏差。试样加工阶段产

生的截面不均、端面不平整、表面划痕等问题,会改变受力接触面的接触状态,让局部受力出现不均匀分布。存放阶段出现的表层氧化、受潮污渍与轻微锈蚀,会改变表层材料的力学响应特性,弱化材质本身的形变稳定性。各类初始缺陷不会直接造成试验失效,会在荷载持续作用下不断放大,干扰弹性形变、屈服延展等关键阶段的变化规律^[3]。状态缺陷逐层影响受力表现,最终造成力学指标偏离真实区间,形成贯穿检验全过程的偏差传导链条。

3.2 设备工况波动引发的偏差演化规律

检验设备长期重复运转会积累机械损耗与精度偏移,工况波动会催生规律性检验偏差。传动构件磨损、夹持结构松动、感应元件灵敏度衰减,都会改变荷载输出与数据捕捉的精准程度。设备校准不及时会衍生零点偏移、加载节奏不稳等问题,让外力输出状态无法匹配标准试验工况。工况异常不会固定存在,会随着设备运行时长逐步加剧,偏差幅度呈现渐进增长的变化趋势。设备工况的动态变化,会干扰力学数据的采集精度,破坏试验过程的稳定性,让检验结果出现持续性偏离。

3.3 人工操作差异引发的偏差生成机制

人工操作覆盖检验全流程,作业精细度与操作习惯的不同,会催生随机性较强的检验偏差。试样装夹对位不够精准,受力轴线存在细微偏移,会改变试件内部应力分布结构,打乱正常形变发展节奏。加载节奏把控不够平稳、参数设定不够合理,会干扰钢材各阶段力学性能的正常呈现。观测记录环节的细节疏漏,会造成关键形变节点与力学信号漏采,破坏数据体系的完整性。不同人员的操作精细度、作业熟练度存在区别,偏差产生的位置与幅度具备不确定性,形成无规律的人为偏差来源。

3.4 环境条件变动引发的偏差作用方式

检验环境处于动态变化状态,温湿度浮动、洁净度不足、气流扰动等条件变动,都会间接干预检验质量。温度波动超出标准区间 $\pm 5^{\circ}\text{C}$,会改变钢材晶粒活性,影响材料韧性与形变敏感度,让同等荷载作用下的形变表现出现差异。空气相对湿度高于65%,会加速钢材表层氧化进程,改变表层结构受力特性,间接干扰整体力学响应。空间粉尘堆积会影响精密传感构件的灵敏程度,弱化数据采集精度。环境因素的干扰具备隐蔽性,通过影响试样状态与设备运行状态间接生成偏差,对检验工作形成持续性的隐性干扰。

4 钢材力学性能检验的质量控制体系搭建

4.1 检验前置阶段的状态管控方式

前置阶段管控是压制初始偏差、夯实检验质量的基础环节,围绕试样、设备与环境开展全方位标准化处理。试样管控贯穿加工、修整与存放全过程,统一加工工艺标准,优化裁切与打磨细节,保证截面尺寸、端面平整度及表面状态符合检验要求。妥善收纳制备完成的试样,选用干燥洁净的储存空间,隔绝氧化、潮湿与粉尘侵蚀,维持材料原始力学属性。设备管控聚焦前期核查与精度调校,细致检查传动结构、夹持组件、传感部件的完整度,及时处理磨损、松动等潜在问题。完成零点复位与精度校准工作,根据不同检验项目匹配对应的运行参数与加载模式^[4]。提前调试作业环境,稳定温湿度条件,清理检验区域杂物与积尘,构建稳定规范的试验作业场景,从源头减少初始质量缺陷。

4.2 检验运行阶段的操作规范路径

检验运行阶段是质量形成的核心阶段,标准化的操作流程可以有效规避人为偏差与流程漏洞。试样装夹过程严格遵循对位要求,微调夹持位置与紧固力度,规避偏心受力、夹持过紧或滑移松动等问题,保障试件受力状态均匀稳定。加载作业严格依照规范节奏推进,保持外力输出均匀平稳,杜绝急速加载、中途停顿、速率突变等不规范行为。结合钢材形变发展特点把控试验进度,细致观察各阶段形变趋势与力学变化特征。数据采集全程保持连续完整,规范记录各项力学指标与关键形变节点,杜绝随意删减、遗漏数据等不良作业行为。统一现场操作标准,规范作业细节,弱化个人操作习惯带来的作业差异,维持检验过程的稳定性与规范性。编制可视化现场操作流程图表张贴在试验区域,让所有作业步骤有迹可循,最大程度降低不同人员的操作差异。

4.3 检验偏差的动态干预调整逻辑

检验过程各类干扰因素会持续诱发偏差,建立动态干预机制可以及时修正异常工况,稳定检验质量。试验开展期间持续关注设备运行状态,发现荷载波动、信号异常、构件卡顿等问题,即刻终止试验流程,排查故障诱因并完成设备调校,工况恢复正常后再继续作业。密切跟测试样形变发展趋势,一旦形变规律偏离常态,逐层排查装夹精度、操作流程、环境状态,定位问题源头并做出针对性整改。结合试样属性、设备工况与环境变化特点,提前识别潜在干扰风险,落实前置防控手段。

对采集完成的试验数据开展甄别筛查,剔除异常扰动催生的失真数据,保留真实有效的力学参数,保障检验结果的可信度。

4.4 检验收尾阶段的流程衔接规则

收尾阶段的规范处理,能够完善试验作业闭环,实现检验质量的长效管控。单组试验结束后,有序拆卸试验试样,清理设备台面与夹持结构,规整试验场地,将设备参数与运行状态恢复至标准待机模式,保障后续试验有序开展。系统梳理全程采集的力学数据与形变记录,核对数据完整性与连贯性,筛选剔除无效、失真的异常信息。规整各类试验台账与原始试验资料,分类归档留存,保证检验全过程可追溯。复盘单次试验作业中的细节短板与流程漏洞,总结常态化管控要点,持续优化前置准备、现场操作、偏差干预等关键环节^[5]。通过常态化复盘优化各环节作业细节,持续补齐质控短板,不断完善全流程质量管控体系,从根本上提升钢材力学性能检验的规范化程度与试验精准性。

结束语

钢材力学性能检验是多环节衔接的系统性试验工作,各作业阶段的细节疏漏与外界干扰,均会引发数据偏差,影响材料性能判定效果。通过梳理检验前置构建、现场作业、偏差生成的完整逻辑,明确各流程的质量影响因素,搭建覆盖试验全阶段的标准化质量控制体系。全方位规范试样处理、设备调校、现场操作与环境管控流程,动态化解各类试验偏差,完善试验作业闭环,有效提升钢材力学检验的整体作业质量,为工程钢材质量管控提供可靠的技术支撑。

参考文献

- [1]马志杰.测量不确定度在钢材力学性能检验中的应用[J].冶金与材料,2022,42(3):57-58,61.
- [2]刘梦,孙健巍.建筑结构用高强度钢材力学性能研究[J].中国住宅设施,2023(5):133-135.
- [3]汪博昆,段瑞斌,许田富,等.不同种类建筑钢材力学性能检测技术差异性研究[J].广东建材,2023,39(2):46-49.
- [4]孙卫华,焦吉成,李率民,等.热连轧钢材力学性能在线预报的研究与应用[J].钢铁,2022,57(8):168-176.
- [5]高云鑫,陈基铭.不同温度条件下压力容器用钢的力学性能试验研究[J].冶金与材料,2025,45(10):31-33.