

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—XXXX

锚杆材料动态拉伸力学性能实验室测试规 程

Test Rules for Dynamic Tensile Mechanical Properties of Anchor Rod Materials in
Laboratory

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试方法 2

5 仪器设备与技术要求 2

 5.1 落锤冲击试验机主机 2

 5.2 动态拉伸夹具系统 2

 5.3 测量系统 2

 5.4 安全防护装置 2

 5.5 校准 2

6 样品制备与处理 2

 6.1 样品类型 3

 6.2 样品数量 3

 6.3 状态调节与测量 3

7 测试步骤 3

 7.1 试验准备 3

 7.2 测试程序 4

 7.3 无效试验判定 4

8 数据处理与结果表达 4

 8.1 数据处理 4

 8.2 结果表达 5

9 质量控制与安全要求 5

 9.1 质量控制 5

 9.2 安全要求 5

附录 A（资料性） 锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果记录 6

附录 B（资料性） 锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果汇总表 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：武汉大学、湖南科技大学、珠江水利委员会珠江水利科学研究院、大同大学、东华理工大学、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国水利水电第七工程局有限公司。

本文件主要起草人：吴志军、翁磊、吴秋红、刘夕奇、卢海峰、杨东辉、黄志怀、储昭飞、张旗、王振华、刘学伟、罗冉、徐翔宇、叶洲元、陈正红、王世鸣、刘远景。

本文件为首次发布。

锚杆材料动态拉伸力学性能实验室测试规程

1 范围

本文件规定了锚杆在实验室进行动态拉伸力学性能测试的原理、仪器设备与技术要求、样品制备与处理、测试步骤、数据处理与结果表达、质量控制与安全注意事项。

本文件适用于测定金属材料（如碳钢、螺纹钢）及非金属复合材料（如玻璃纤维、玄武岩纤维）制成的锚杆在落锤冲击作用下的动态拉伸力学性能，包括但不限于动态峰值拉伸荷载、动态延伸率及能量吸收率等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 8363-2018 钢材 落锤撕裂试验方法

JJF1445-2014 落锤式冲击试验机校准规范

DB35/T 1412-2014 预应力锚杆（索）张拉及质量检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

落锤冲击动态拉伸试验 Drop hammer impact dynamic tensile test

采用落锤冲击试验机，通过集成的动态拉伸夹具系统，将垂直下落的锤体动能转化为对锚杆试样施加的轴向脉冲拉伸荷载的试验方法。

3.2

动态拉伸夹具系统 dynamic tensile fixture system

集成于落锤冲击试验机上，用于将下落锤体的垂直冲击动能，转换为施加于锚杆试样的轴向动态拉伸荷载的专用传力与夹持装置。

3.3

冲击速度 impact velocity

锤体撞击锚杆试样加载装置瞬间的瞬时速度。

3.4

初始冲击能 initial impact energy

锤体在释放高度所具有的重力势能。

3.5

动态峰值拉伸荷载 dynamic peak tensile load

试样受到的最大动态拉伸荷载。

3.6

动态延伸率 dynamic elongation rate

动态冲击下锚杆断裂后的总延伸率。

3.7

冲击吸收能 impact absorption energy

锚杆试样从开始加载至断裂过程中吸收的总能量。

3.8

能量吸收率 energy absorption rate

锚杆试样的冲击吸收能与初始冲击能的比值。

4 测试方法

- 4.1 应使用落锤冲击试验机对锚杆试样施加动态拉伸荷载。该方法通过提升并释放规定质量的锤体，将其动能经由动态拉伸夹具系统转换为沿试样轴向的脉冲拉伸力，并通过同步测量系统记录试样的力学响应。
- 4.2 试验中，冲击能量应通过设定锤体的质量与跌落高度来控制，锤体应沿导向装置垂直下落。
- 4.3 下落锤体的冲击动能，应通过动态拉伸夹具系统进行传递与转换。该系统应能将垂直冲击力有效地、同轴地转换为施加在试样的脉冲拉伸荷载。
- 4.4 试验过程中，应同步、连续地测量并记录轴向动态荷载 $F(t)$ 以及产生的拉伸位移 $D(t)$ 。数据采集系统的采样频率应能完整捕捉荷载与位移信号的动态变化过程。

5 仪器设备与技术要求

5.1 落锤冲击试验机主机

试验机主机应满足以下要求：

- 1) 提升与释放装置：应能平稳提升锤体至设定高度，高度标尺分辨率应不低于 1 mm。释放装置应迅速、无阻滞，确保锤体自由下落。
- 2) 导向装置：应为锤体提供垂直、低摩擦的下落轨道，垂直度偏差应小于 1/1000。
- 3) 冲击锤体：质量应可调或可更换，其质量值的允许偏差应小于 $\pm 1\%$ 。锤头撞击面应平整、坚硬。
- 4) 底座与框架：应具有足够的刚度和质量，应确保试验时机身稳定。

5.2 动态拉伸夹具系统

动态拉伸夹具系统应满足以下要求：

- 1) 砧座与传力机构：应具有高刚度，宜采用双侧对称连杆式结构，以将垂直冲击力转换为轴向拉伸荷载。
- 2) 试样夹具：应能牢固夹持试样两端。上、下夹具中心线应与加载轴线重合，同轴度误差应不大于 ± 0.5 mm。
- 3) 对中调节：应配备万向节或球面轴承等对中调节装置。

5.3 测量系统

5.3.1 动态力传感器：应选用固有频率应不低于 5 kHz，线性度应优于 $\pm 1\%$ F.S. 的动态力传感器，其量程宜覆盖预估最大冲击力的 20%至 80%。

5.3.2 位移测量装置：宜采用非接触式激光位移传感器测量上、下夹具间的相对位移，并应满足：

- 1) 测量范围应涵盖试样从初始状态至断裂的全过程位移；
- 2) 线性度不低于 $\pm 0.1\%$ F.S.；
- 3) 模拟输出频率响应不低于 10 kHz；

传感器的安装支架应具有足够的刚性，并确保激光光束与测量面垂直，在整个试验过程中保持稳定。

5.3.3 数据采集系统：应能同步采集力与位移信号，采样频率应不低于 100 kHz，ADC 分辨率应不低于 16 位，应具备预触发记录功能。

5.4 安全防护装置

试验区域必须设置坚固的封闭防护罩。设备应配备紧急制动装置。

5.5 校准

动态力传感器和位移测量装置应定期进行计量校准，校准周期不超过 12 个月。

6 样品制备与处理

6.1 样品类型

试验样品制备应符合以下要求：

- 1) 全尺寸锚杆组件：应包含规定长度的锚杆杆体段，以及配套的托盘、垫圈和螺母。
- 2) 锚杆杆体材料试样：应从锚杆上截取，并加工成适用于动态拉伸试验的试样。其标距段直径与长度应根据试验机夹具和测量能力确定，应按照 DB35/T 1412 的规定执行。

6.2 样品数量

同一测试条件下，每组有效试验的样品数量不应少于 3 个，应按照 GB/T 8363 的规定执行。

6.3 状态调节与测量

试验前，试样应在 23 ± 2 °C 温度下放置至少 24 小时。应使用精度不低于 0.02 mm 的量具，精确测量并记录样品的杆体直径、标距长度等关键尺寸。

7 测试步骤

7.1 试验准备

7.1.1 设备检查与状态确认

试验前，应进行以下检查与确认：

- a) 检查落锤冲击试验机各机械部件状态完好、润滑正常。
- b) 检查动态力传感器、激光位移传感器及数据采集系统的连接可靠性。
- c) 确认测量仪器在有效校准期内，并对数据采集通道进行调零与验证。
- d) 空载运行释放机构，确认设备动作与数据触发、记录功能正常。

7.1.2 试样安装

试样应按以下要求安装：

- a) 将选定的夹具安装到试验机上下加载头，并确保其对中性。
- b) 将试样一端牢固安装于上夹具，调整并对准下端与下夹具连接，确保试样处于自然伸直状态。
- c) 按规定的扭矩或夹紧力紧固下夹具。对于全尺寸锚杆组件，其托盘、垫圈、螺母等应按工程实际方式安装到位。

7.1.3 测量系统安装与校准

位移测量系统应按以下要求安装与校准：

- a) 将两个激光位移传感器分别牢固安装，对准上下夹具的平整测量面。
- b) 调整传感器，确保激光光束垂直、稳定地打在测量面中心有效区域。
- c) 应通过施加一个已知的静态微小位移，对位移测量系统进行校准验证。。

7.1.4 试验参数设定

试验前应设定以下参数：

- a) 设定冲击锤体的跌落高度。高度设定误差不应超过标称值的 $\pm 1\%$ 。应按照 JJF1445 的规定执行。
- b) 在数据采集系统中设置采样参数，其中采样频率不应低于 100 kHz，并应设置合理的预触发时间与触发阈值。

7.1.5 安全确认

试验前必须进行安全确认：

- a) 清理试验区域，应移除无关物品。
- b) 牢固关闭并锁紧全封闭防护罩。
- c) 确认紧急制动装置功能正常，处于待用状态。

7.2 测试程序

7.2.1 冲击试验

冲击试验应按以下步骤执行：

- 启动数据采集系统并使其进入等待触发状态。
- 将冲击锤体提升至设定高度并可靠锁定。
- 发出试验警示信号，执行释放命令，进行冲击试验。。
- 数据采集系统应自动触发并记录完整的荷载-时间和位移-时间信号。

7.2.2 试验后操作

冲击试验后应进行以下操作：

- 待设备完全静止后，方可打开安全防护装置。
- 取出试样残骸，观察并记录其失效模式，宜进行拍照记录。
- 保存所有原始试验数据，并按试样编号归档。

7.3 无效试验判定

若试验过程出现下列情况之一，该次试验结果应视为无效：

- 试样在夹持段内（距夹具夹持端一倍杆径范围内）或螺纹连接处发生断裂。
- 冲击时锤体明显偏离垂直轨道，或与导向装置发生卡滞、剧烈摩擦。
- 采集到的力-时间曲线出现异常双峰、严重振荡或信号中断。
- 位移信号异常，或与力信号明显不同步。
- 试样存在肉眼可见的、影响试验结果的原始缺陷（如裂纹、严重锈蚀）。

8 数据处理与结果表达

8.1 数据处理

8.1.1 原始信号处理

对采集到的原始信号应进行以下处理：

- 信号同步：应确保动态力信号 $F(t)$ 与位移信号 $D(t)$ 在时间轴上同步。
- 滤波：应对原始信号进行低通数字滤波，以消除高频干扰。滤波截止频率的选择不应损失信号的主要特征。
- 零点修正：应消除信号在加载开始前的基线偏移。
- 曲线合成：应以位移 D 为横坐标，力 F 为纵坐标，绘制试样的动态荷载-位移曲线。

8.1.2 参数计算

- 初始冲击能 (E_0)，单位为 J。应按照公式 (1) 计算：

$$E_0 = mgh \quad (1)$$

式中：

m —落锤的质量，kg；

h —落锤的跌落高度，m；

g —重力加速度， m/s^2 。

- 动态峰值拉伸荷载 (F_{max})，单位为千牛 (kN)。

- 动态延伸率 (A_t)，应按照公式 (2) 计算：

$$A_t = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ΔL —激光位移传感器测得的净断裂位移，即延伸量，mm；

L_0 —锚杆试样上、下夹具间的初始标距，mm。

- 4) 冲击吸收能 (E_a)，单位为 J。应按照公式 (3) 计算：

$$E_a = \int_0^{D_f} F dD \dots\dots\dots (3)$$

式中：

D_f —锚杆试样断裂时的位移，mm；

F —锚杆试样受到的动态荷载，kN。

- 5) 能量吸收率 (η)，应按照公式 (4) 计算：

$$\eta = \frac{E_a}{E_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

8.2 结果表达

试验结果应至少包含以下内容，并以报告形式给出：

- 1) 锚杆试样的详细信息（如型号、材质、尺寸）和试验条件（包括锤体质量、跌落高度等）。
- 2) 各有效试样的动态荷载-位移曲线图。图中应标明动态峰值荷载 F_{max} 和断裂时延伸量，见附录 A。
- 3) 所有试样测试条件与计算结果的汇总表，格式参见附录 B。对于同一条件下的有效试样不应少于 3 个，且应给出各性能参数的算术平均值和标准差。
- 4) 试验日期与人员。

9 质量控制与安全要求

9.1 质量控制

试验过程的质量控制应符合以下要求：

- 1) 操作与数据分析人员应经培训合格。动态力传感器、位移测量装置等关键仪器应定期校准，并在有效期内使用。
- 2) 试样应有唯一性标识，确保可追溯。试验前应确认冲击高度、采集参数等设置正确。试验中如遇设备或数据异常，应立即中断。
- 3) 试验数据应经复核，试验报告应由授权人员审核批准。所有原始数据应完整归档。

9.2 安全要求

试验安全应符合以下要求：

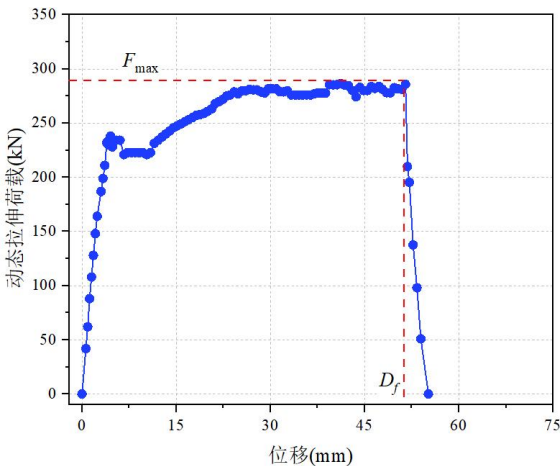
- 1) 人员应接受安全培训并正确佩戴防护装备（如安全帽、护目镜）。试验时应确保警戒区内无无关人员。
- 2) 严禁在防护罩未完全闭合时进行试验。提升锤体时，人体任何部位不得位于其正下方。释放前必须发出清晰警示。操作人员必须熟悉紧急制动装置的位置与操作方法。
- 3) 冲击结束后，须待设备完全静止方可打开防护罩。处理试样碎片时应使用工具并佩戴防护手套。

附录 A
(资料性)

锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果记录

表A.1 给出了锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果记录的表格。

表 A.1 锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果记录表格

样品信息	试样编号			
	型号		材质	
	直径(mm)		长度(mm)	
试验条件	锤体质量(kg)		跌落高度(m)	
动态拉伸荷载-位移曲线图	<div></div>			
测试结果	初始冲击能(J)		动态峰值拉伸荷(kN)	
	净断裂位移(mm)		上、下夹具间标距(mm)	
	动态延伸率(%)		冲击吸收能(J)	
	能量吸收率(%)			
测试单位：		测试人员：		
日期：				

附 录 B
(资料性)

锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果汇总表

表B.1 给出了锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果汇总表。

表 B.1 锚杆材料动态拉伸力学性能测试结果汇总表

试样编号	初始冲击能量(J)	动态峰值拉伸 荷载(kN)	动态延伸率(%)	冲击吸收能(J)	能量吸收率(%)
平均值					
标准差	—	—			
测试单位：测试人员：日期：					