

# 混凝土梁弯剪试验加载装置及试验梁设计

张 涛

(武汉大学 土木建筑工程学院 湖北 武汉 430072)

**摘 要:** 混凝土梁弯剪试验是土木工程类专业试验教学的基本内容之一。混凝土梁弯剪试验的试验工况多,梁的布置和支撑方案多变,现有的常规单轴试验机无法满足混凝土梁弯剪试验的试验要求。为此,本文设计了一套适用于混凝土梁弯剪试验的加载装置,结合常规单轴试验机,实行一体化控制与操作,可大大减少混凝土梁弯剪试验中的安装工作量,提高试验效率。此外,还设计了一组可用于混凝土弯剪试验教学的试验梁,试验结果表明,试验梁均表现出理想的破坏形态,试验效果良好。

**关键词:** 弯剪试验; 加载装置; 混凝土梁; 破坏形态

中图分类号: TU317

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-3407.2021.03.021

## Design of Loading Device and Test Beam for Bending and Shear Test of Concrete Beam

Zhang Tao

(School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

**Abstract:** Bending and shear test of concrete beam is one of the basic teaching content of civil engineering experiment teaching. There are many bending and shear test schemes in bending and shear test of concrete beam, and the layout and support scheme of beam are changeable. The existing conventional uniaxial testing machine cannot meet the test requirement of bending and shear test of concrete beam. In this paper, a set of loading device which is suitable for bending and shear test of concrete beam is designed. Combined with the conventional uniaxial testing machine, the loading device can implement integrated control and operation, which can greatly reduce the installation workload and improve the test efficiency. A group of test beams which can be used in the teaching of bending and shear test are designed. The test results show that the test beams show ideal failure mode, and the test effect is very good.

**Keywords:** bending and shear test; loading device; concrete beam; failure mode

### 1 引言

土木工程专业是一门理论与实践密切结合的专业,很多专业知识都来源于试验结果的归纳和工程经验的总结。学生在课堂所学的专业知识将应用到工程实践中,其应用能力将在实践中得到提高,专业素养也在实践中得到培养。试验教学是高校教学体系的重要组成部分,在激发学生兴趣、夯实基础、强化实践及引导创新等方面有着理论教学无法替代的作用,对于学生的实践能力培养尤为重要<sup>[1-3]</sup>。

混凝土梁柱试验是土木工程专业基本试验教学内容之一。其中,混凝土梁的试验有钢筋混凝土梁正截面抗弯承载力试验和钢筋混凝土梁斜截面抗剪试验。钢筋混凝土梁正截面抗弯承载力试验分少筋梁、适筋梁和超筋梁的正截面抗弯承载力试验,钢筋混凝土梁斜截面抗剪试验有斜压破坏试验、剪压破坏试验和斜拉破坏试验<sup>[4,5]</sup>。

混凝土梁弯剪试验的试验工况较多,在试验中需要不断调整支座位置和加载点的位置,试验的布置和准备工作量大,试验准备需要花费很多的时间和精力。混凝土梁弯剪试验的加载可采用手动加载和自动加载两种方式。手动加载方式通过手摇千斤顶给试验梁加载,是以前教学中常用的加载方式,但是手动加载无法控制加载速率,加载荷载值有限且荷载稳定性较差。自动加载通过试验仪器自动给试验梁

加载,加载速率可调可控、荷载值稳定,但是现有的常规单轴试验机仅能提供竖向一个加载点,混凝土梁的支撑需要再单独布置,梁的布置和试验准备比试验加载花费更多的时间,导致试验效率低下。

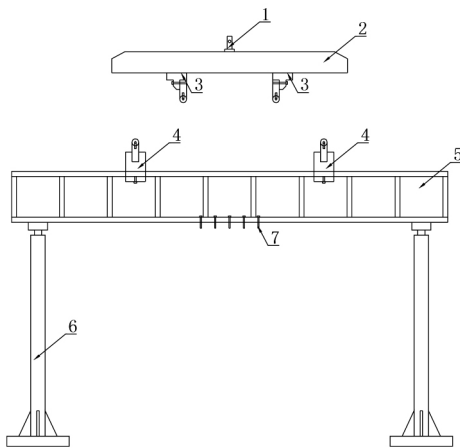
### 2 加载装置设计与制作

混凝土梁弯剪试验加载装置包含可调节分配梁和可调节型钢支座两部分。可调节分配梁由连接杆、分配梁和可调节加载头3部分组成;可调节型钢支座由可调节支座、型钢托梁、防倾覆支架和连接螺杆4部分组成,加载装置如图1所示。加载装置长2000mm,宽300mm,高900mm,重量约400kg。

分配梁2内有T形滑道,可调节加载头3可拆卸和安装,也可沿分配梁2内的T形滑道移动,调整集中荷载的作用点数量和位置,快速实现不同跨度和不同试验剪跨比的梁的集中荷载作用点的调整。可调节支座4可在型钢托梁5上滑动并固定,以此来提供不同的支座间距,避免在试验中由于梁跨度或剪跨比变化而频繁调整支座。防倾覆支架6通过螺纹固定在型钢托梁5的两端,避免型钢托梁和试验梁倾覆。试验加载过程中,防倾覆支架6需与地面脱离,加载装置可试验的最大梁长可达2.0m,分配梁可实现80mm~800mm的调节范围。

[收稿日期] 2021-06-25

[作者简介] 张涛(1987-),湖北潜江人,工学硕士学位,工程师,主要研究方向:结构检测与加固技术,实验室管理与试验技术。



1. 连接杆 2. 分配梁 3. 可调节加载头 4. 可调节支座  
5. 型钢托梁 6. 防倾覆支架 7. 连接螺杆  
图 1 混凝土梁弯剪试验加载装置

混凝土梁弯剪试验加载装置荷载的传递部分<sup>[6]</sup>主要包括分配梁 2、可调节加载头 3 和可调节支座 4，力传递过程如图 2 所示。

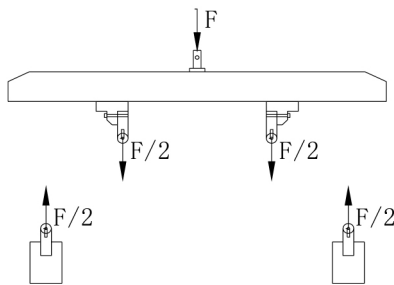


图 2 力传递示意图

混凝土梁弯剪试验加载装置可与常规单轴试验机相结合，分配梁通过设置在顶部的连接杆 1 与单轴试验机的加载横梁相连，型钢托梁通过设置在底部的连接螺杆 7 固定在单轴试验机的底座上。此加载装置与试验机形成自平衡加载体系，整套体系实行一体化控制与操作，可大大减少混凝土梁弯剪试验中的安装工作量，提高试验效率和荷载施加的精度。

### 3 试验梁设计与制作

目前，国内高校土木工程专业试验教学中采用的混凝土试验梁均为自己设计和制作。根据自身试验条件设计适合的试验梁，没有统一的参考标准。梁的宽度通常取 100mm、120mm、150mm、180mm、200mm、220mm 及 250mm，此后按 50mm 模数递增。梁高在 200mm 以上时，按 50mm 模数递增<sup>[7]</sup>。试验梁设计时，应能呈现混凝土梁典型的破坏形态，便于试验数据采集和试验现象观察，同时应兼顾制作和安装方便。因此，混凝土梁弯剪试验的试验梁应设计得尽量轻巧、尺寸尽量统一。

本文以《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)<sup>[8]</sup>为基础，设计了一组适用于混凝土梁弯剪试验的教学试验梁。试验梁长度统一为 1.1m，矩形截面宽度为 100mm，高度为 150mm。通过调整试验梁内纵向受力钢筋和箍筋的配置，设计出用于正截面抗弯承载力试验的少筋梁、适筋梁和超筋梁。通过控制加载点位置，实现斜截面抗剪试验中斜压破坏、剪压破坏和斜拉破坏等不同的破坏形态。制作试验梁的混凝土强度等级为 C30，纵向受力钢筋和箍筋采用的钢筋为 HPB300 钢筋，每根试验梁重量约 43kg。

在界限情况下，考虑矩形截面上力的平衡条件：

$$\alpha_1 f_c b x_b = f_y A_s$$

故 
$$\rho_b = \frac{A_s}{bh_0} = \alpha_1 \xi_b \frac{f_c}{f_y} \quad (1)$$

式中  $\rho_b$  为界限配筋率； $f_c$  和  $f_y$  分别为混凝土轴心抗压强度设计值和钢筋强度设计值； $A_s$  为受拉区纵向受力钢筋面积； $x_b$  为界限受压区高度； $b$  为矩形截面宽度； $h_0$  为截面有效高度， $\alpha_1$  取 1.0。

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (3)$$

式中  $E_s$  为钢筋的弹性模量； $\varepsilon_{cu}$  为正截面的混凝土极限压应变，取值不大于 0.0033； $\beta_1$  取 0.8。

将式(2)、式(3)代入式(1)，得界限配筋率  $\rho_b$  为 3.1%。同时，受弯构件的最小配筋率  $\rho_{min}$  不应小于 0.2% 和  $0.45 \frac{f_t}{f_y}$  中的较大值，适筋梁的配筋率应大于  $0.45 \rho_{min} \frac{h}{h_0}$ 。式中  $f_t$  为混凝土轴心抗拉强度设计值。由此可得适筋梁的最小配筋率为 0.3%。

试验梁的设计参数见表 1，试验梁的配筋示意图见图 3。

表 1 试验梁设计参数

试件编号	L/mm	b/mm	h/mm	配筋/mm	$\rho/\%$	a/mm	备注
W-LJL	1100	100	150	1 × d6	0.24	/	少筋梁
W-SJL	1100	100	150	2 × d12	1.9	/	适筋梁
W-CJL	1100	100	150	2 × d16	3.4	/	超筋梁
J-XY	165	500	4.25	2 × d12	1.9	100	斜压破坏
J-JY	165	500	4.25	2 × d12	1.9	200	剪压破坏
J-XL	165	500	4.25	2 × d12	1.9	400	斜拉破坏

注：(1) 试验梁编号的第一个字母表示试验类型(W 表示正截面抗弯承载力试验，J 表示斜截面抗剪试验)。

(2) 1 × d6 表示配筋为 1 根直径为 6mm 的钢筋。

(3) a 为斜截面抗剪试验中集中荷载作用点至支座边缘的距离。

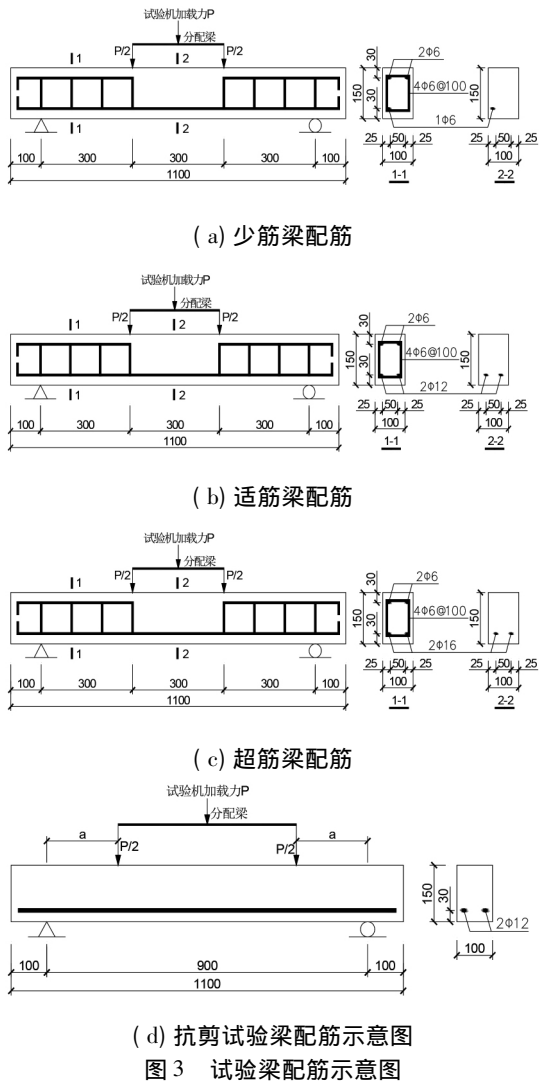


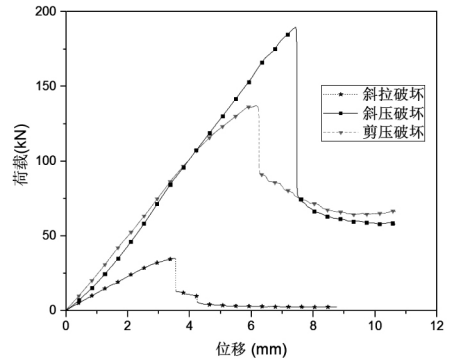
图3 试验梁配筋示意图

### 4 试验结果分析

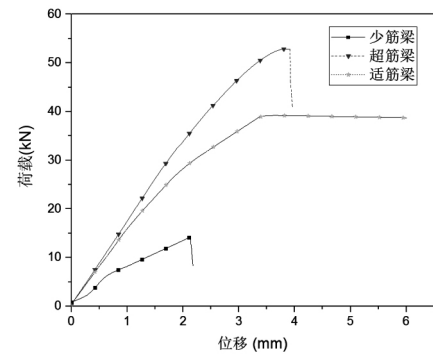
采用本文设计的混凝土梁弯剪试验加载装置对设计的试验梁进行加载,图4所示为所有试验梁的荷载-位移关系曲线,图5所示为所有试验梁的破坏形态。可以看出:

(1) 在斜截面抗剪试验中,斜压破坏时斜截面承载力最大,剪压破坏时斜截面承载力次之,斜拉破坏时斜截面承载力最小。荷载在达到顶峰后都会迅速下降,均呈现脆性破坏特点。3种斜截面破坏试验的破坏形态均比较典型。

(2) 在正截面抗弯承载力试验中,超筋梁正截面抗弯承载力最大,适筋梁正截面抗弯承载力次之,少筋梁的正截面抗弯承载力最小。少筋梁和超筋梁在荷载达到顶峰后迅速下降,呈现脆性破坏的特点;适筋梁在受压区混凝土被压碎时荷载达到顶峰,随后平缓下降,破坏时梁的跨中挠度较大,呈现延性破坏的特点。3种梁的破坏形态均比较典型。

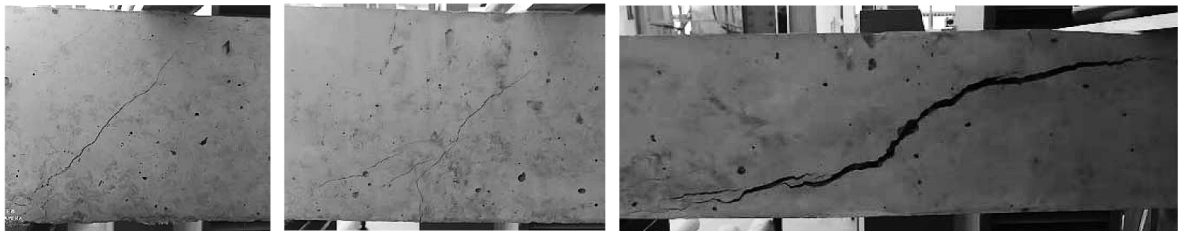


(a) 抗剪试验梁的荷载-位移曲线



(b) 抗弯试验梁的荷载-位移曲线

图4 试验梁的荷载-位移关系曲线



(a) 抗剪试验梁的破坏形态



(b) 抗弯试验梁的破坏形态

图5 试验梁的破坏形态

## 5 结 论

本文设计了一套用于混凝土梁弯剪试验的加载装置,此加载装置与单轴试验机形成自平衡加载体系,实行一体化控制与操作,可大大减少试验中的安装工作量,提高试验效率和荷载施加的精度。此外,本文设计了一组可用于混凝土弯剪试验教学的试验梁。试验梁设计轻巧,尺寸统一,制作安装方便,试验中均表现出理想的破坏形态,取得良好的教学效果。

## 参考文献

- [1] 勾红叶, 蒲黔辉, 李小珍, 等. 土木工程专业实验教学改革与探讨[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(1): 133-139.  
[2] 杨松, 董坤, 杨树桐. 《土木工程结构试验》实验教学改革与实践

[J]. 工程与试验, 2020, 60(3): 89-91.

- [3] 许英, 汪宏. 钢筋混凝土结构设计原理课程教学探讨[J]. 高等建筑教育, 2010, 19(6): 81-83.  
[4] 王志鑫. 普通本科院校混凝土结构原理实验教学改革[J]. 四川水泥, 2021, 15(1): 15-16.  
[5] 常鸿飞, 夏军武, 李富民, 等. 结构设计原理实验教学探索[J]. 土木建筑教育改革理论与实践, 2008, 10: 393-395.  
[6] 张伟平, 刘伟, 顾祥林, 等. 基于二次杠杆作用的受弯构件持续加载装置[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(10): 4-7.  
[7] 薛维培. 《钢筋混凝土结构设计基本原理》课程教学改革探讨[J]. 教育教学论坛, 2019, 33: 118-119.  
[8] 混凝土结构设计规范: GB50010-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

(上接第 43 页)

号合格审定试飞安全计划》(AP-21-AA-2014-31R1) 中规定的试飞风险管理程序来控制风险。

## 6 涡桨运输机最小离地速度审查风险点

### 6.1 最小推重比

$V_{MU}$  试飞需覆盖整个推重比范围, 一般在小推重比时得到的  $V_{MU}$  会更保守。也就是说, 在最小推重比时确定的  $V_{MU}$  对飞机的使用最安全。

对于涡桨运输机而言, 在推重比的确定时需考虑的因素相对于其他类型运输机较多, 如果在最小推重比的确定时对影响因素考虑不全面或者分析不充分, 就会导致给出的飞机的最小推重比不准确, 出现偏大或偏小的情况。采用偏大的最小推重比开展的飞行试验, 得到的  $V_{MU}$  相对较小, 不是最安全的  $V_{MU}$ ; 而采用偏小的最小推重比开展飞行试验, 可以得到一个较大的  $V_{MU}$ , 但是却会导致试验风险的叠加。因此, 最小推重比的确定要慎之又慎。

### 6.2 尾橇的改装

在尾橇的改装审查时, 需特别关注尾橇的改装设计。尾橇在改装设计时必须至少考虑以下因素:

应能有效保护试验中飞机可能与地面摩擦的区域, 且能避免机体与跑道的硬性撞击而损伤机体;

所选的材料应耐磨性好且具有阻燃特性<sup>[10]</sup>;

尾橇上易损坏的零部件应便于更换;

尾橇与跑道的接触面应平滑;

尾橇与机体衔接处要牢靠, 以防止脱落的零部件损伤飞机结构, 或遗留在跑道上;

飞机安装尾橇后应确保最大俯仰角的减小量尽可能小(一般不超过  $0.5^\circ$ );

尾橇应能给飞行员提供准确、连续的预触地信号和触地信号。

如果以上因素考虑不全面, 就会增加试验的风险, 甚至导致试验结果不准确或试验无效。

### 6.3 试验方法

由于试验时要求飞机在尽可能接近最大升力系数时使飞机离地, 且飞机的俯仰角需在机动期间保持稳定, 这对试飞员的驾驶技术提出了很高的要求, 因此需要在试飞方法的制定时给出详细的驾驶操作要求, 应至少包括对驾驶员动作

的详细描述、机组之间的配合要求、试验过程中异常情况的处置方法等信息。

## 7 结 束 语

本文根据运输类适航规章对于最小离地速度的要求, 对最小离地速度的特点进行了分类, 根据涡桨运输机动力装置的特点, 给出了涡桨运输机最小离地速度的符合性方法, 并对该速度审查时的关注点和风险点进行了详尽分析, 为涡桨运输机最小离地速度的适航审查提供了很好的参考。但由于本文篇幅有限, 文中未对试飞方法和试飞数据处理方法进行详细描述, 后续可继续开展该方面的研究。

## 参考文献

- [1] 中国民用航空局. CCR-25-R4 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.  
[2] Federal Aviation Administration. Amendment Nos. 1-6, 4a-0, 4b-0, 25-0, 91-40, Final Rule, Recodification and new Part 25[S]. U. S: U. S. Department of Transportation, 1964.  
[3] Federal Aviation Administration. Amendment Nos. 1-29, 21-46, 23-21, 25-42, 27-14, 29-15, 91-145, and 121-138, Final Rule, Airworthiness Review Program [S]. U. S: U. S. Department of Transportation, 1978.  
[4] Federal Aviation Administration. Amdt. No. 25-135, Final Rule, Harmonization of Various Airworthiness Standards for Transport Category Airplanes-Flight Rules [S]. U. S: U. S. Department of Transportation, 2011.  
[5] Federal Aviation Administration. AC25-7D Flight Test Guide for Certification of Transport Category Airplanes [S]. U. S: U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2018.  
[6] 张建, 屈飞舟, 刘静. 受结构限制的运输类飞机最小离地速度试飞技术[J]. 飞行力学, 2012, 30(5): 458-462.  
[7] 屈飞舟, 成婷婷. 民用运输类飞机最小离地速度试飞风险控制[J]. 科技创新与应用, 2008(15): 19-21.  
[8] 屈展文, 张彤, 揭裕文. 最小离地速度合格审定飞行试验优化方法研究[J]. 飞行力学, 2016, 34(6): 90-94.  
[9] 屈飞舟, 刘静. 运输类飞机最小离地速度试飞设计与风险控制[J]. 航空科学技术, 2019, 30(1): 44-50.  
[10] 陈明太, 刘立苏. 民用飞机最小离地速度试飞实施方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2013(3): 12-14.

欢迎投稿

欢迎订阅

投稿邮箱: bianjibu@ccss.com.cn 或 etbianjibu@163.com

联系人: 王暖春

联系电话: 0431-85117100