DOI:10.3969/j.issn.1001 - 4551.2020.03.014

基于安全自锁的扇形结构的摆锤式冲击试验机安全销系统研究*

王贵勇[1,2],朱林茂[1,2],祝铁柱[1,2],王海舟[1,2],王 蓬[1,2],赵 雷[1,2],李冬玲[1,2]
(1.钢铁研究总院,北京 100081;2.钢研纳克检测技术股份有限公司,北京 100081)

摘要:针对摆锤式冲击试验机弹出式安全销的不足,以及冲击试验过程中摆锤意外释放可能对试验人员及设备带来伤害的问题,提出了一种具有安全自锁功能的扇形结构安全销系统。采用 SolidWorks 对安全销结构进行了设计,建立了冲击试验机控制系统的软件流程,设计了基于该扇形结构安全销系统防护的摆锤式冲击实验机,并进行了大量摆锤与安全销之间的破坏性撞击试验和冲击试验机的系统稳定性试验。研究结果表明:基于安全自锁功能的扇形结构安全销系统能有效防止摆锤意外释放及承受摆锤的反复撞击;研究结果可为开发与构建更高安全防护性能等级的摆锤式冲击试验机提供设计参考。

关键词:摆锤;冲击试验机;安全销
中图分类号:TH871.4;TH131.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1001 - 4551(2020)03 - 0298 - 05

Safety pin system of pendulum impact testing machine based on sector structure and safety self-locking

WANG Gui-yong[1,2], ZHU Lin-mao[1,2], ZHU Tie-zhu[1,2], WANG Hai-zhou[1,2], WANG Peng[1,2], ZHAO Lei[1,2], LI Dong-ling[1,2]
(1. Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081, China;
2. NCS Testing Technology Co., LTD., Beijing 100081, China)

Abstract: Aiming at the problems that the deficiency of pop-up safety of pendulum impact testing machine and the accidental release of pendulum can cause some potential harm to the tester and the equipment during the pendulum impact testing process, a safety pin system with sector structure and safety self-locking function was researched. The structure of safety pin was designed by using SolidWorks. The software flow of control system of pendulum impact testing machine was established. The pendulum impact testing machine based on the protection of the safety pin system was designed. A large number of destructive impact tests of between pendulum and safety pin and system stability tests of impact testing machine were conducted in the presented machine. The results indicate that the safety pin system based on sector structure and safety self-locking function can not only effectively prevent from the accidental release of the pendulum but also withstand the repeated impact of the pendulum, which can provide a reference for the development and construction of pendulum impact testing machine with a higher level of safety protection performance.

Key words: pendulum; impact tester; safety pin

0 引 言

摆锤式冲击试验机是一种用来对材料进行冲击的力学性能测试仪器[1],主要测定金属材料在动负荷下抵抗冲击性能的大小[2]。在冲击试验过程中,冲击试样被冲断后断块飞出,会对试验人员的安全构成威胁[3],

收稿日期:2019 - 07 - 04
基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFB0704100)
作者简介:王贵勇(1985 -),男,贵州兴仁人,硕士,工程师,主要从事高通量材料性能测试装备方面的研究。E-mail:guiyong_w16@163.com

其安全性是必须首先考虑的问题[4]。冲击试验的危险性一方面来自试验时冲击试样被冲断后,断块飞出对试验人员的安全构成的威胁,另一方面来自试样放置操作过程中摆锤意外释放对试验人员造成的威胁。

针对摆锤式冲击试验机的安全防护问题,国家标准明确要求,试验机应有适当的防护装置[5-6];美国国家标准也明确指出,冲击试验机应采取安全预防措施,以保护人员免受摆锤摆动、试样碎片、样品加温和冷却介质潜在的相关危险[7-8]。冲击试验机安全防护装置的重要性显而易见。

经调研,针对冲击试验机的安全防护,国内外冲击试验机厂家主要采取全封闭防护罩、电气互锁及弹出式安全销等措施。封闭式防护罩及其电气互锁装置虽然可以防止断裂试样飞溅及试验人员在试验时进入试验机内部,能够对试验人员及周围人员起到一定的安全防护作用,但是对试验人员的保护作用却有限,尤其是试验人员在放置试样时如果摆锤释放就会对试验人员及设备造成伤害,弹出式安全销虽然可以有效阻止摆锤意外释放对试验人员及设备造成伤害,但是弹出式安全销也有其自身结构的缺点,即安全销被摆锤撞击之后,容易弯曲,导致安全销不能弹出,只能重新更换零件才能继续工作。因此,研究一种既能有效阻止摆锤意外释放又能抗击摆锤撞击的安全销系统显得十分必要。

NI500 摆锤式冲击试验机现有的安全防护装置为全封闭式防护罩及弹出式安全销防护,本研究将在其现有安全防护装置的基础上,通过机械结构优化和电气改进,研究一种既能有效阻止摆锤意外释放又能承受摆锤反复撞击的安全销系统。

1　结构设计

NI500 摆锤式冲击试验机主机及弹出式安全销示意图如图 1 所示。

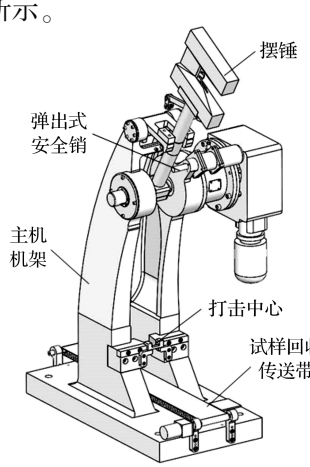
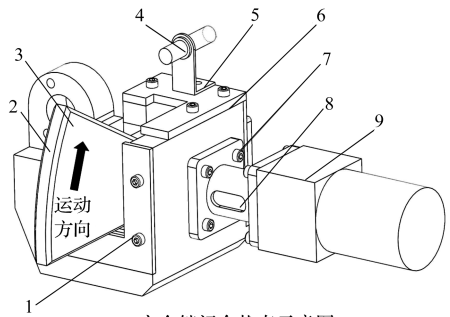


图 1　NI500 摆锤式冲击试验机主机及弹出式安全销示意图

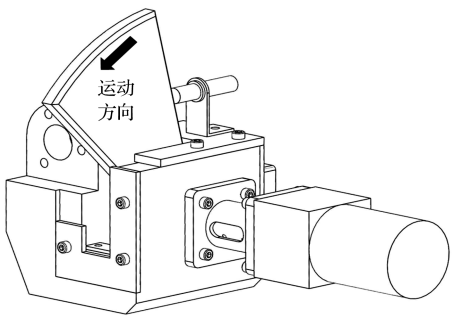
试验机的主机主要由主机机架、摆锤、弹出式安全销系统、试样打击中心及试样回收传送带系统等组成。

本研究基于前述弹出式安全销的不足,设计了一种基于安全自锁的扇形结构的摆锤式冲击试验机安全销系统,采用商业软件 SolidWorks 对其结构进行了设计。

扇形结构安全销示意图如图 2 所示。



(a) 安全销闭合状态示意图



(b) 安全销打开状态示意图

图 2　扇形结构安全销示意图

1—支撑板;2—底座;3—扇形结构安全销;4—光电开关;5—光电开关支架;6—限位板;7—电机固定座;8—主轴;9—步进电机

安全销截面采用扇形结构,运动方式为旋转运动。安全销系统由步进电机、电机固定座、扇形结构安全销、底座、光电开关及限位装置等组成。

底座由金属加工而成,底座上有轴承孔及螺钉固定孔,中间的凹槽状结构可以使扇形结构安全销在凹槽内来回旋转。底座通过螺栓与冲击试验机主机连接。

安全销安装到主轴上,步进电机通过电机固定座安装到底座上,电机驱动主轴带动扇形结构安全销作向上的旋转运动。

支撑板安装到底座的下侧,用于支撑闭合状态下的扇形结构安全销。限位板安装到主机底座的上侧,光电开关支架与限位板通过螺栓连接,当电机驱动安全销打开时,安全销旋转到光电开关附近,安装到光电开关支架上的光电开关检测到安全销靠近的信号,并向电机发送停止指令,此时安全销保持不动,处于打开

状态。

扇形结构安全销阻止摆锤释放示意图如图 3 所示。

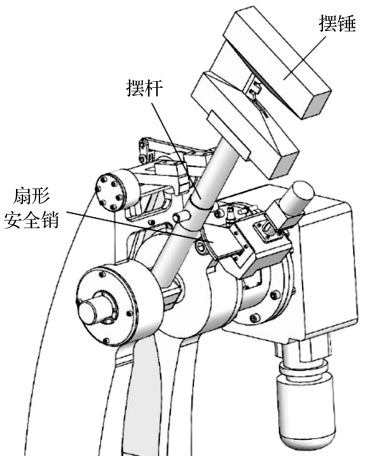


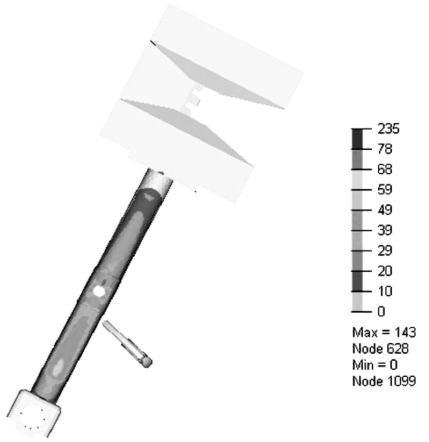
图 3 扇形结构安全销阻止摆锤释放示意图

扇形结构安全销系统的工作原理为:在闭合状态,即不给安全销任何工作指令的情况下,扇形结构安全销因自重回到支撑板上。在该状态下,如果摆锤从冲击初始位置释放,扇形结构安全销将把摆锤的摆杆接住,阻止其下落。当进行冲击试验时,扇形结构安全销在步进电机的驱动下向上旋转到光电限位开关附近并停止。冲击试验过程结束,当试验机摆锤回到初始位置后,步进电机断电,扇形结构安全销将自动回到支撑板上。

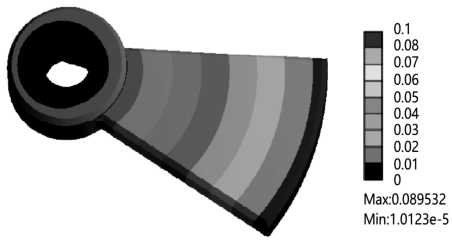
扇形安全销结构特点为:采用了独特的扇形结构设计,使其拥有更强的抗摆杆撞击能力。相对于前述的弹出式安全销,在冲击试验机主机结构不变的情况下,扇形结构的安全销降低了摆锤摆杆与安全销接触面之间的距离,即降低了摆锤释放时与安全销撞击时产生的动能,可以较大程度地降低摆杆与安全销撞击时对彼此造成的损伤。同时,由于扇形结构安全销的运动方式为旋转运动,当摆锤在试验机上来回摆动时,如果摆锤的摆动幅度足够高,摆锤摆杆可能会与扇形结构安全销的下端面碰撞接触,此时,如果是弹出式安全销结构,一旦安全销被摆锤摆杆撞击,巨大的冲击能量可能会造成弹出式安全销弯曲,导致弹出式安全销不能正常工作。而扇形结构安全销旋转运动的工作方式可以很好地解决这一问题,即当摆锤摆杆与扇形结构安全销下端面碰撞接触时,扇形结构安全销将做向上的旋转运动,将碰撞产生的能量给卸掉,不会对安全销造成任何伤害,同时也避免了撞击对摆杆的损伤。

受力分析:摆锤摆杆和扇形安全销采用的材质均为 45 号钢,其弹性模量:210 GPa,泊松比:0.3,屈服强度不小于 355 MPa。摆锤从初始位置(仰角 150°)释放,撞击扇形安全销,摆锤摆杆与扇形安全销支撑面接触时的冲击合力为 998 N,在 ANSYS 软件中对碰撞情况进行模拟分析,网格划分采用四面体结构,接触时间为 0.1 s。

摆锤摆杆撞击扇形安全销模拟分析图如图 4 所示。



(a) 应力图



(b) 扇形安全销应变图

图 4 摆锤摆杆撞击扇形安全销模拟分析图

从图 4 中可以看出:撞击过程中最大的应力为 143 MPa,远小于材料的屈服强度 355 MPa;撞击过程中安全销的最大位移变形约为 0.089 mm。

综上所述,结合 45 号的材料特性可知,撞击过程中扇形安全销产生的应变属于材料弹性阶段的变形,当摆锤摆杆离开后安全销的位移变形将恢复到原始状态。

2 控制系统设计

摆锤举摆步骤示意图如图 5 所示。

冲击试验开始前,摆锤通常处于垂直位置,因此进行冲击试验时,需要将摆锤从垂直位置举到冲击初始位置。

摆锤式冲击试验机的冲击试验过程逻辑图如图 6 所示。

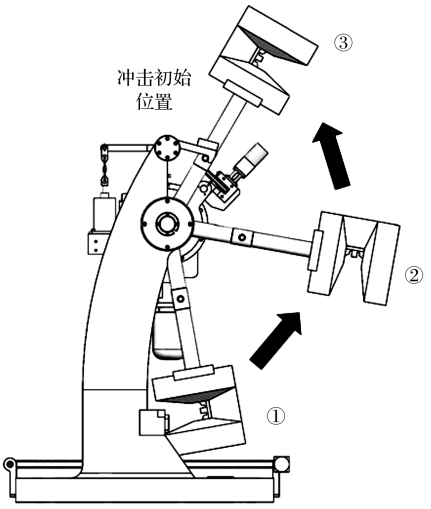


图 5　摆锤举摆步骤示意图

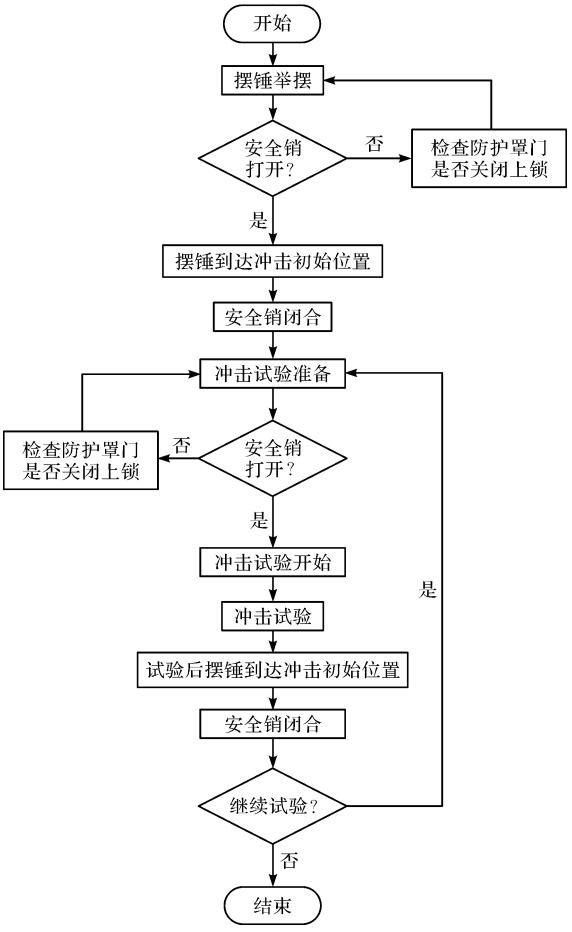


图 6　冲击试验过程逻辑图

其原理为:首次进行冲击试验时,需要把摆锤从垂直位置向上举摆到冲击初始位置。扇形结构安全销在不给电、摆锤处于冲击初始位置及防护罩门打开的情况下,均处于闭合状态。因此摆锤从垂直状态向上举摆之前,控制系统需要向安全销发送指令让其打开,然后摆锤在电机的驱动下从垂直状态向上举摆,到达冲击初始位置,之后安全销闭合,开启保护作用。此时试验人员可以进行放置试样、关闭防护罩门等冲击试验准备。冲击试验准备结束后,准备进行冲击试验时,需要将安全销打开,然后摆锤释放进行冲击试验,试验结束后摆锤在电机的带动下再次回到冲击初始位置,之后安全销闭合,开启安全保护作用。如果需要继续进行冲击试验,则返回到冲击试验准备阶段,进行下一次的冲击试验准备。如果不需要继续试验,则将摆锤放到垂直位置并结束整个试验。

为提高安全销系统的可靠性和安全防护性,笔者在控制系统设计时对安全销系统进行了安全自锁设计,即安全销系统与防护罩门的电气互锁设计及安全销系统自身的自锁设计。

安全销系统与防护罩门的电气互锁设计中,如果安全销系统通过安装到防护罩门上的传感器检测到防护罩门没有关闭或者关闭不到位,在实验人员执行安全销打开命令时,安全销系统将拒绝打开安全销,试验机控制系统检测到安全销拒绝打开的指令后,将不再执行下一步操作指令。

安全销系统自身的自锁设计中,考虑了两种情况,一是如果试验机处于待机或者断电状态,扇形安全销在自身重力作用下始终处于闭合状态;二是在试验操作中,只要试验人员不执行安全销打开指令,则扇形安全销也始终处于闭合状态,即开启防护作用。

由于扇形结构安全销采用上述安全自锁设计,在试验操作中,试验人员向安全销系统发送打开的命令时,如果安全销没有打开,则需要检查防护罩门是否关闭到位,或者试验机控制系统是否处于通电状态。

任何情况下,在不给安全销系统指令的情况下,扇形结构安全销始终处于闭合状态,此时如果摆锤从冲击初始位置落下,闭合状态下的扇形安全销将会把摆锤接住,阻止其继续下落,达到保护试验人员及相关设备的目的。在给安全销系统指令的情况下,扇形结构安全销在步进电机的驱动下向上旋转打开,到达指定位置后停下。在摆锤进行大角度摆动测试中,即使摆杆与扇形结构安全销发生接触碰撞,扇形结构安全销将在摆锤作用下作向上的旋转运动,将碰撞产生的能量卸掉,因此不会对安全销造成伤害,同时也保护了冲击对摆杆的损伤。

3　实验及结果分析

扇形安全销与弹出式安全销破坏性撞击试验数据统计如表 1 所示。

表 1 扇形安全销与弹出式安全销破坏性撞击试验数据统计

安全销类型	撞击次数	
	摆锤向下撞击	摆锤向上撞击
弹出式安全销	56	72
扇形结构安全销	312	500

从表 1 中可以看出:在相同的试验条件下,摆锤向下撞击安全销时,弹出式安全销经过 56 次的撞击之后,就会发生弯曲导致无法工作,而扇形结构安全销经过 312 次的撞击后,除了与摆杆的接触面有一点轻微损伤外,安全销并没有发生明显的变形,依然能够正常工作;摆锤向上撞击安全销时,弹出式安全销经过 72 次的撞击之后就会发生弯曲导致无法工作,而扇形结构安全销由于其工作结构特点,在被摆锤 500 次撞击后,并没有发生明显损伤和变形。

上述试验结果表明,扇形结构安全销系统能够对摆锤式冲击试验机摆锤的意外释放起到很好的阻止作用,能够有效避免摆锤因为误操作或其他原因意外释放对现场试验人员及设备带来的安全隐患。

自锁系统试验表明,当任一防护罩门处于打开状态或关闭不到位时,扇形安全销处于安全防护状态,此时,试验机的一切冲击试验操作将被禁止。

为验证集成了扇形结构安全销系统及安全自锁功能的摆锤式冲击试验机的系统稳定性和可靠性,本研究进行了标准样品冲击能量对比试验。进行标准样品冲击能量对比时,选择了低能量级(27.9 J)、中能量级(81.7 J)、高能量级(127.8 J)及超高能量级(234.9 J)的标准样品,采用锤刃半径为 *R*2 的冲击刀对每个能量级的样品进行 3 次冲击试验。

标准样品冲击试验能量对比如表 2 所示。

表 2 标准样品冲击试验能量对比

标称值/J	*R*2 冲击值/J		
	1	2	3
27.9 ±2.3	26.8	27.5	26.4
81.7 ±4.9	83.5	80.9	79.7
127.8 ±7.6	124.4	123.8	124.9
234.9 ±14	230.6	231.5	232.5

从表中 2 可以看出:冲击能量的示值结果均在标准样品的能量误差范围内。

4 结束语

本研究基于弹出式安全销的不足,提出了一种具有安全自锁功能的扇形结构的摆锤式冲击试验机安全销系统,用于防止摆锤意外释放可能对试验人员及设备带来的伤害,达到保护试验人员及设备安全的目的。

研究结果表明,基于安全自锁功能的扇形结构安全销系统不仅能有效阻止摆锤的意外释放,也能有效承受摆锤的反复撞击,且集成了该安全销系统的摆锤式冲击试验机性能稳定,在提高整机安全防护性能的同时,也提高了整机的使用寿命。

相关研究成果已应用到钢研纳克检测技术股份有限公司摆锤式冲击试验机的生产当中,可为冲击试验机的安全防护提供设计参考。

参考文献(References):

[1] 常德功,田成成,周 烨,等. 冲击试验机摆杆结构设计分析与优化[J]. 机械与电子,2016,34(1):20-23.

[2] 类成华,杨雷岗,孙继松,等. 冲击试验机双冲击吸收能量指示系统的对比[J]. 物理测试,2016,34(3):24-27.

[3] 庞建召. 冲击试验机保护装置[J]. 理化检验-物理分册,1999,35(2):87.

[4] 陈 伟,郭孔辉,陈 曦,等. 冲击试验机安全保护的设计[J]. 振动与冲击,2008,27(10):87-89.

[5] JJG145—2007. 摆锤式冲击试验机检定规程[S]. 北京:中国计量出版社,2017.

[6] JJF1300—2011. 摆锤式冲击试验机型式评价大纲[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

[7] ASTM E23-18. Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials[S]. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials,2018.

[8] ASTM E604-08. Standard test method for dynamic tear testing of metallic materials[S]. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials,2008.

[编辑:程 浩]

本文引用格式:

王贵勇,朱林茂,祝铁柱,等. 基于安全自锁的扇形结构的摆锤式冲击试验机安全销系统研究[J]. 机电工程,2020,37(3):298 - 302.

WANG Gui-yong, ZHU Lin-mao, ZHU Tie-zhu, et al. Safety pin system of pendulum impact testing machine based on sector structure and safety self-locking [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020,37(3):298 - 302.