

针对一新型吊环的试验过程组织及结果分析

韩帅帅

上海建设结构安全检测有限公司

摘要：吊环在很多场合都有应用，其质量好坏密切相关到施工安全、作业安全和人身安全等。本文针对一新型吊环进行了破坏性抗拉试验，发掘此吊环的使用极限，指导其施工应用。此种吊环作为一种非标产品，特根据其特点进行试验组织和夹具设计。在对检测结果进行分析，发现此种吊环受抗拉荷载作用破坏与金属材料抗拉试验破坏的相关性。下文将介绍检测试验中的组织过程，梳理思路，并为以后解决类似的问题提供参考。

关键词：检测；吊环；夹具；抗拉试验；抗拉破坏荷载

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.112

一、前言

在实验室的日常检测活动中，我们接触的大多是各类标准化产品。这些产品已经形成了完善的产品标准，并在社会面上得到了广泛的应用。产品标准化是社会进步的重要特征，它是全球各地分工协作无碍交流的纽带。然而，客户的需求是丰富多变的，尤其是在万众创新的今天，随着个性化和定制化需求的日益增长，非标产品逐渐进入我们的视野，越来越多的登上人们生产生活的舞台。

非标产品因其小批量、个性化定制的特点，很难按照国家、行业乃至地方颁布的统一的标准和规格等进行管理。其次产品质量同样是非标产品开发生产过程中的重中之重，是满足客户的需求和期望的基本要求。检验检测活动作为把关质量的重要环节，标准化产品的质量检测已形成一套成熟的流程和方法。这些建立在统一标准之上的检测活动，确保了产品性能的可靠性和一致性。非标产品的日益增多和对产品质量检验检测的诉求，对实验室形成新的挑战。从事检验检测业务的实验室需要紧跟客户的脚步，对非标产品的性能检验检测形成快速响应能力。

对于有准备的实验室来说，在实验室的质量管理体系的建立时就考虑到此类问题，并通过实验室质量手册、程序文件乃至相关预案对此类实验的过程组织和实施进行了详细规定，在人员的培训和能力考核上都会予以关注。从而建立高效的响应机制，以及一支技术精湛、经验丰富的检验检测团队。

本处就以我所参加的一次非标产品的检测过程为例进行过程阐述：某建筑装配式领域预制构件生产单位的客户中标项目涉及大吨位预制构件，设计单位选用了一种新型平板式吊环作为大吨位预制构件的吊装转运的连接预埋件。在设计图纸中给出了此种吊环的尺寸和材质信息，无具体的承载力设计值和其他信息。客户虽然有丰富的预制构件生产经验，熟悉生产过程中常用的各类材料的性能，仍不能很好的把握此种非标吊环产品的

极限承载能力。为了保障预制构件各环节吊装转运的安全，需要摸底此种吊环的承载能力。在经过多方咨询，找到我单位表明需求，希望我方达成其期望，通过科学的检测试验找出此种吊环的极限承载能力。

二、试验对象分析

此种平板式吊环如图1所示，主要由两大部分构成：底板和吊环。其中底板采用的是200mm×200mm×30mm规格的钢板，材质为Q235B，这种材质具有良好的综合机械性能和焊接性能，确保了底板的稳定性和耐用性。板面上分布有4个直径为25mm的连接孔，这些孔用于与预制构件基体的锚固螺栓相连接，从而将吊装荷载有效传递至整个结构上。连接孔到邻边距离为35mm，这样的设计考虑到了力学分布的均匀性和实际安装时的便利性。吊环部分为直径20mm的圆钢制成，同样选用Q235B材质，保证了与底板的材质一致性和整体结构的强度。圆钢被弯曲成U型设计，其弯曲部分的中心线直径为90mm，可以优化受力分布与传递。吊环的两端通过穿孔塞焊工艺与底板牢固地焊接在一起，这种焊接工艺能保证连接的高可靠性，防止在承受较大外力时发生断裂或脱落。

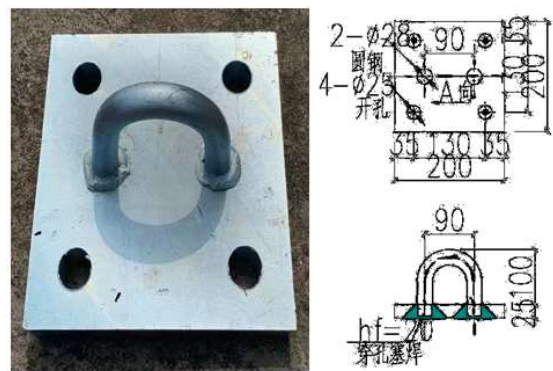


图1 新型吊环成品与详图

三、试验过程组织

(一) 检测方案制定

此种吊环作为非标产品，首先由于其特殊性，往往没有现成的产品检测标准，客户也未指定检测方法。通过与客户的深入沟通，了解到此种吊环的使用环境、负载情况、尺寸规格等关键信息，对试件的特性有了深刻的理解，进而凝练成选择合适的检测标准的依据。我们提出采用国家推荐标准GB/T 228.1-2021《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》^[1]作为检测方法。该标准适用于金属材料的拉伸试验，是金属材料拉伸试验的基础性标准，该标准中对拉伸试验过程做出了具体的规定，包括设备选用、试样试验速度、数据记录等。这些要求既可以评估吊环的力学性能，也有助于确保试验结果的准确性和重复性。在对客户进行了详细沟通，向

客户解释了该标准中与本次试验相关的规定，采纳客户的合理建议写入检测方案，形成最终文本并征得客户同意后，确定使用该标准用于此种吊环的拉伸试验。

（二）装夹方案

然后还需要解决此种吊环与拉力试验机的连接传力问题，以便拉力试验机将荷载传递到吊环上。试件与实验设备的连接一般是通过各种夹具实现的，所谓夹具即是用于固定试件位置，传递荷载作用于试件的辅助工具。实验室会根据自己的业务需求常备满足建筑工程相关原材料检测的夹具，可以满足建筑工程中各类常用金属原材料的检测需求，如钢筋、焊接件、钢板、螺栓等棒状或条状材料，该类试样几何特征简单，配套夹具多为单体结构，制作方便。常备夹具且对试件的尺寸也有要求，有部分试样还需要进一步通过机械加工的方式获取满足试验要求的试件，比如冲击试件、大尺寸棒状金属材料或板类材料。作为本次试验对象的新型平板式吊环的几何特征相比较而言结构复杂，根据其使用场合的受力情况，又不能进行机械加工改变其几何特征，故无法直接使用实验室常备的夹具对此种吊环进行破坏性拉伸试验，为此需要针对此种吊环重新设计夹具。

夹具设计的核心在于保持试件在试验过程中的状态稳定性、精确性和力的有效传递。这就要求夹具必须具备以下几个基本要素：

- （1）连接可靠：夹具必须能够稳定地连接试件，避免在试验过程中发生移位或松动。
- （2）刚度足够：夹具应具有足够的刚性，以抵抗传力过程中的变化对试验结果的影响。
- （3）结构简单：简单的结构有助于减少故障点，便于维护和清理，同时也能降低制造成本。
- （4）便于使用：夹具的设计应考虑到操作者的便利性，包括易装夹、调整和拆卸等。

基于此种吊环的形状和受力特点，需要新设计的装夹夹具分为两套，分别用于连接吊环部分和固定底板部分。将与吊环部分进行连接的夹具命名为夹具1，与底板进行固定的夹具则命名为夹具2。

此种吊环弯曲部分在实际使用中是与吊钩相连，理论上接触位置近似一个点，实际情况是类似于一条线，因此受力集中，荷载作用效果近乎剪切力。在进行夹具1的设计时应保证夹具1有足够的强度和刚度，保证实验过程中连接处不发生形变，影响实验结果。在过往的检测活动中，为解决装配式构件上的预埋吊环承载力的现场检测，公司组织人员研制了一款U型夹具，已在多个装配式项目上使用的多个规格的预埋吊环进行了试验，取得良好表现。此U型夹具的受力特点和外形都满足对夹具1的要求，对此U型夹具在用于此种吊环的受力进行验算，结果显示良好，可以直接应用到此种吊环上。使用时将M24 10.9S大六角高强螺栓依次穿过U型夹具一侧、吊环弯曲部分、U型夹具另一侧，拧紧固定螺母，高强螺栓的光杆部分同吊环接触传导拉力，夹具1另一端也使用M24 10.9S大六角高强螺栓连接到螺栓抗拉强度检测夹具，再连接到拉力试验机。

夹具2的设计相对简单，形制与此种吊环的底板基

本一致。选用Q345B材质的钢板，保证夹具的刚度。于四角加工出直径25mm的通孔，与邻边间距35mm。另外在中心位置开直径30mm的通孔用于穿入传力螺栓。使用时先对夹具2进行组装，将4个M20的螺栓依次穿过夹具2底板、垫圈、吊环底板，拧紧螺母，其中垫圈选用大规格的螺母，起到保持夹具2底板与吊环底板等间距的作用。在夹具2中心孔穿入M27 10.9S大六角高强螺栓，连接到螺栓抗拉强度检测夹具，再连接到拉力试验机。组装后整体效果如图2所示：



图2 吊环与夹具组合安装示意图

（三）试验过程与结果

在制定了详尽的检测方案，并完成了试件的装夹安装后，对首个试件进行了预拉试验，观察夹具状态正常后继续加荷，试件在拉力的作用下发生变形，原U型结构逐渐变成三角形，实时“时间—荷载图”中试件经历屈服阶段后，达到最大破坏荷载后发生断裂，试件破坏，荷载值急剧下降试验停止。拆卸夹具和试件，观察试件变化并拍照记录，检查夹具情况，无肉眼可见变形，可继续用于剩余试件的拉伸试验。重复上述过程直至完成所有试件的破坏性拉伸试验。本次试验中，我们严格遵循了基于GB/T 228.1-2020制定的检测方案开展试验，从试验准备到执行再到数据记录的每一个环节，都确保了操作的标准化和规范化。这不仅保证了试验结果的准确性，也使得试验数据具有了更高的可比性和可重复性。三个试件的破坏位置都在吊环顶部与夹具1连接的位置，我们对吊环顶部与夹具1的连接进行了仔细检查，确保了高强螺栓的光圆螺杆没有发生变形，从而排除了因夹具形变可能对试验结果造成的影响。三个试件的抗拉破坏荷载数值基本相近，具体的抗拉破坏荷载数据见表1，三个试件的破坏图示见表2。

表1 试验数据

品种	直径/mm	材质	
吊环	20	Q235B	
破坏荷载/kN			
1	2	3	平均值
221.4	221.9	217.3	220.2

表2 吊环受拉破坏图示

序号	俯视图	侧视图
1		
2		
3		

根据产品标准GB/T 700-2006 《碳素结构钢》^[2]表2的数据和GB/T 3274-2017《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》^[3]计算的理论抗拉破坏荷载见表3，翻查过往其他同类型金属棒材检测委托的试验数据，类似规格和材质的送检样品的抗拉破坏荷载也基本在表3所示的数据范围内。

表3 理论抗拉破坏荷载

直径/mm	材质	破坏荷载/kN
20	Q235B	116.2-157.0
20	Q345B	147.6-197.8

四、试验结果分析

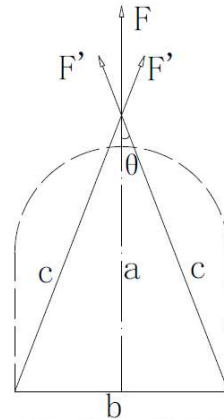
从试验数据上来看，在不考虑材料质量和焊接质量影响的前提下，此种吊环在承受拉力荷载时，结构的薄弱点在于吊环的弯曲部分，当底板与吊环弯曲部分所用材料相同时，或底板所用材料强度不低于吊环弯曲部分材料强度时，此种吊环的极限承载力与吊环所用材料的强度等级息息相关。

从表2的试件破坏后的图片中，可以清晰看到吊环在与夹具1的高强螺栓光圆螺杆的连接处，因受力产生的塑性变形，将夹具1的高强螺栓光圆螺杆包裹住，此种吊环受力发生经历屈服后，产生塑性变形，其结构薄弱处的截面积逐渐缩小，同时拉力试验机自动采集的数据显示施加荷载的大小在小范围内上下跳动，材料发生屈服过后，受力增大，到抗拉极限荷载发生破坏，受力断崖式下降。

虽然吊环弯曲部分受力集中，拉力试验机施加的荷载类似于剪切力，吊环应发生剪切破坏，破坏面沿拉力方向变形破坏。根据表2的两方向视图，可以明显观察到破坏面不是沿拉力试验机施加荷载的方向，反而与外加荷载的角度接近垂直。通过对破坏面进行仔细观察，可见断口呈杯椎状，并有明显的塑性破坏引起的明亮的倾斜表面，近似于抗拉试验破坏形式，完全不同于金属材料的抗剪试验破坏面的微观构造。

结合表2受力破坏后吊环形状，其材料发生屈服后至破坏前的结构受力关系可以简化为图3，根据力的合成与分解关系计算出此种吊环弯曲部分破坏时的受力如表4。换算后吊环弯曲部分抗拉破坏荷载亦在表3的理论抗拉破坏荷载范围内，且贴近下限值，进一步证明此种

吊环在抗拉荷载作用下破坏形式与金属材料抗拉试验破坏形式的相近性。



说明：虚线为变形前轮廓，实线为受力变形后轮廓

图3 吊环受力简图

表4 吊环弯曲部分抗拉荷载计算

试件序号	吊环变形后尺寸/mm			cos θ	破坏荷载/kN	换算后吊环杆身荷载/kN
	a	b	c			
1	106	85	114.20	0.93	221.4	119.27
2	110	85	117.92	0.93	221.9	118.94
3	98	85	106.82	0.92	220.2	120.01

结论

通过对实验过程的精心组织和对检测结果的多角度分析，我们认为此种吊环破坏位置的形状虽然是环状，但在抗拉荷载作用下的发生的破坏与金属材料抗拉试验的破坏是存在相关性的。也是材料在沿轴心方向的拉力作用下，随着力的增大，材料发生屈服，截面发生颈缩，受力继续变大直至达到破坏荷载，发生断裂。夹具1螺杆对此种吊环弯曲部分的挤压虽改变了弯曲部分的截面形状，对其抗拉性能影响不大。

本次试验尚有诸多不足之处，其一是缺少吊环原材料的力学性能实验数据，不能评估与理论计算的数据的偏差大小。其二是试验规模太小，只有针对客户委托的直径为20mm材质为Q235B的吊环的三组试验数据，首先不好确定是否可以通过原材料的力学性能实验数据推导吊环的抗拉破坏荷载值。其次无法验证这种关系是否适用于其他规格或材质的吊环。

最后通过本次对客户非标产品委托的试验组织、夹具设计、数据分析。加强了检测团队解决问题的能力，提升了检测团队运用所学专业知识和经验，最后也加深了检测团队对此种吊环在抗拉荷载作用下破坏机理的认识。同时也扩展了本实验室的业务领域，提高了本实验室解决客户难题的能力，更是提升了客户对本实验室的认可与满意度。

参考文献

- [1]GB/T 228.1-2021.《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》
- [2]GB/T 700-2006.《碳素结构钢》
- [3]GB/T 3274-2017.《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》