

# 交换机包装随机振动试验中的 EPE 缓冲参数适配分析

毛阿梅

深圳市共进电子股份有限公司 518122

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18516

**[摘要]** 通信设备物流运输随机振动易致交换机损伤, EPE 缓冲参数与防护效果适配性不明, 需开展试验研究以优化包装设计, 本文聚焦交换机包装随机振动试验中 EPE 缓冲参数适配问题。通过分析 EPE 材料特性, 结合交换机包装特点与随机振动试验要求, 探讨 EPE 缓冲参数适配的关键因素, 旨在为交换机包装设计提供科学依据, 提升包装对交换机的保护效果, 降低运输过程中的损坏风险。

**[关键词]** 交换机包装; 随机振动试验; EPE 缓冲材料; 参数适配

交换机运输时产生的随机振动是造成产品损坏最主要的原因, 为了保证交换机运输过程的安全性, 需要对包装进行随机振动试验来对其防护性能进行评价。EPE (发泡聚乙烯) 作为一种广泛使用的缓冲材料, 由于其出色的缓冲特性和成本效益, 已经在交换机包装领域得到了广泛的应用。但 EPE 缓冲参数是否适配, 直接关系到包装防护效果。因此, 对交换机包装在随机振动试验中 EPE 缓冲参数的适配性进行深入探讨, 对于提高包装设计的质量和确保产品的高品质是至关重要的。

## 一、EPE缓冲材料特性分析

### (一) 物理结构特性

EPE (发泡聚乙烯) 是一种具有闭孔结构的泡沫塑料, 其内部是由许多独立的气泡构成的, 这一特殊的构造使其具有许多优良特性<sup>[1]</sup>。外观方面, EPE 材质柔软、有弹性, 用手按一下可以很快恢复到原来的状态, 这要归功于内部气泡对它的弹性支持, 其密度比较小, 既能确保一定的缓冲性能, 又不增加包装太多的重量, 利于运输成本的降低。此外, EPE 材料的外观相当平滑, 当与其他材质接触时, 能够紧密地结合, 从而减少了缝隙, 并增强了包装的整体封闭性和稳定性。另外, 其色彩种类繁多, 可以根据不同的需要染色以达到包装对外观的要求。

### (二) 缓冲性能的特点

EPE 缓冲材料缓冲性能优异, 能够有效地吸收并分散外部冲击力, 当其受外力作用时会使内部气泡产生形变, 并通过气泡压缩、膨胀及互相挤压等作用使冲击能量转变为热能及其他能量的消耗形式, 以降低向被包装物品传递的冲击力。该缓冲性能可作用于各种频率及振幅的振动中, 对随机振动

这一复杂多样的振动形式 EPE 可以提供更稳定的缓冲保护。同时 EPE 在缓冲性能上有一定可调节性, 可通过改变密度和厚度来调节缓冲效果来满足不同重量和外形交换机封装要求。

### (三) 环境适应性特性

EPE 缓冲材料对环境有很好的适应性, 对温度变化具有一定耐受能力, 物理性能及缓冲性能在某一温度区间内基本稳定, 不受温度增减影响性能显著改变, 能对交换机在各种气候情况下进行可靠包装保护。另外 EPE 还有一定防潮、防霉等特性, 可以有效地阻挡水分及湿气入侵, 以免交换机被潮湿破坏。而且, 化学性质稳定, 不易与常见的化学物质发生反应, 不会对交换机产生腐蚀等不良影响, 保证了交换机在运输和存储过程中的安全性。

## 二、交换机包装特点与随机振动试验要求

### (一) 交换机包装的特点

交换机作为一种网络通信设备, 其电子元件精密, 内部结构复杂, 对于包装提出了更高要求, 其包装要求有很好的保护性能, 既要防止运输中由于碰撞、振动等原因而引起物理损坏, 又要避免由于静电、潮湿等环境因素而引起电子元件失效。与此同时, 交换机外形及大小也是千变万化, 对不同类型交换机进行封装时需充分考虑外形特点并设计出合理封装结构才能保证封装紧凑稳定。另外, 为提高封装效率、降低封装成本, 对交换机进行封装也要求操作方便、储存方便、能做到快速封装、拆包、占用仓储空间小。

### (二) 随机振动试验目的

随机振动试验通过模拟交换机运输途中可能遭遇到的多种复杂振动环境, 评价包装保护交换机的能力, 通过本试验可了解交换机受随机振动时内部结构及电子元件受力状况及

包装材料对振动时缓冲效果。试验旨在找出包装设计上的不足,并为完善包装结构及优化缓冲材料参数奠定基础,以保证交换机能在实际运输过程中安全、可靠地达到目的地,降低运输损坏带来的经济损失及影响。

### 三、交换机包装随机振动试验中的EPE缓冲参数适配

#### (一) 密度参数适配分析

交换机封装随机振动试验中 EPE 材料密度是影响缓冲防护性能最核心的参数,且不同密度 EPE 衬垫对振动能量的吸收和传递呈现明显区别,在本次试验中,选择了密度在  $20\sim 40\text{ kg/m}^3$  范围内的 EPE 材料来制造具有相同厚度和结构的缓冲衬垫,并根据相关的运输包装随机振动试验标准来构建试验平台,将组装 EPE 缓冲衬垫后的交换机试样固定于振动台台面上,设置振动频率区间  $50\sim 2000\text{ Hz}$ ,加速度功率谱密度与典型物流运输振动环境谱一致,并进行了多组比较试验<sup>[2]</sup>。试验时通过将加速度传感器设置于交换机外壳关键位置和内部核心电路板上,对不同密度 EPE 衬垫下振动响应数据进行了实时采集和记录,着重研究了振动传递率与 EPE 密度之间的变化规律,试验结果表明:当 EPE 密度小于  $25\text{ kg/m}^3$  后,材料内泡孔组织疏松,随机振动中容易发生过度压缩变形,由于无法有效地吸收振动能量,交换机的振动传递率会偏高,特别是在  $200\sim 500\text{ Hz}$  的共振敏感频段,振动传递率超过 80%,这极易导致内部元件发生共振损伤;EPE 密度为  $30\sim 35\text{ kg/m}^3$  范围内,该材料泡孔结构均匀分布,致密性中等,受到随机振动冲击后,通过对泡孔进行压缩和回弹,可以有效地耗散振动能量。在这种情况下,交换机的振动传递率可以被控制在 30% 以下,从而显著地减少了共振的峰值;但 EPE 密度大于  $38\text{ kg/m}^3$  后材料刚性显著提高,缓冲性能却有所降低,振动能量很容易直接通过衬垫传递到交换机本体上,造成设备振动响应增大。同时综合试验后交换机外观和内部元件试验结果可知, $30\sim 35\text{ kg/m}^3$  密度 EPE 衬垫所对应交换机样品没有发生外壳变形现象、元件松动等现象进一步证明此密度区间 EPE 材料对交换机随机振动保护要求适配性。另外,利用试验数据进行拟合分析可以构建 EPE 密度和振动传递率量化关系模型,从而为下文缓冲参数精准选型提供数据支持。

#### (二) 对厚度参数进行适配分析

EPE 缓冲衬垫的厚度被视为核心的结构参数,直接决定了其在随机振动条件下的形变范围和能量吸收性能,这对交

换机的防护性能有着决定性的影响,为了深入了解 EPE 厚度参数的适应性,在本次试验中选择了经过初步验证的  $32\text{ kg/m}^3$  密度的 EPE 材料,并制造了 15 mm、20 mm、25 mm、30 mm、35 mm 厚度的平板状缓冲衬垫,剩余的试验条件和密度参数试验结果一致,对交换机包装进行随机振动比较试验<sup>[3]</sup>。试验时着重监控了不同厚度 EPE 衬垫振动时形变量和交换机共振频率及振幅的变化规律,试验数据显示,在 EPE 衬垫厚度达到 15 mm 的情况下,由于缓冲层的厚度不足,在随机振动载荷的影响下,衬垫的最大形变仅为其自身厚度的 20%,变形空间有限,缓冲作用不能完全发挥,交换机  $180\sim 450\text{ Hz}$  波段发生了显著共振现象且振幅峰值达 0.8 g,高达设备容许振动阈值,当 EPE 衬垫的厚度逐渐增加到  $20\sim 25\text{ mm}$  时,衬垫的变形范围得到了进一步的扩大,其变形范围可以达到其本身厚度的 30%~40%,吸收振动能量效率逐渐增加,交换机共振频段幅度减小,振幅峰值减小到 0.4 g 以内,振动防护效果得到显著改善,EPE 衬垫厚  $25\sim 30\text{ mm}$  时形变量和能量吸收能力匹配最好,交换机振动响应在整个试验频率区间内均平滑,没有明显共振峰值出现,振动传递率基本保持在一个较低的水平,并且试验后装置内部元件连接状况良好,没有出现损坏的痕迹,且 EPE 衬垫的厚度大于 35 mm 后,尽管材料变形空间得到进一步扩大,但是过厚缓冲层将使衬垫产生振动时局部屈曲变形,却导致振动能量不均匀分布,振动传递率在某些区域发生回弹,而衬垫过厚又会使包装总体积和重量增大,这并不满足轻量化包装设计原理。从振动防护效果和包装经济性两方面考虑,得出  $25\sim 30\text{ mm}$  是该种交换机包装用 EPE 缓冲衬垫最佳厚度范围。另外,对不同厚度衬垫试验数据进行比较,也可以归纳 EPE 厚度对交换机振动响应的影响趋势,从而对不同规格交换机缓冲包装设计起到一定的参考作用。

#### (三) 结构形式适配分析

EPE 缓冲衬垫结构形式的优劣直接决定了和交换机贴合程度及振动能量分散路径的优劣,与传统平板结构相比,差异化结构设计可进一步提高缓冲防护针对性和有效性,在本次试验中,选择了密度为  $32\text{ kg/m}^3$ 、厚度为 28 mm 的 EPE 材料,并为其制造了平板、蜂窝、凹凸槽和围框式四种不同设计的缓冲衬垫,根据交换机外形结构特征,定制凹凸槽结构及围框式结构衬垫,保证衬垫准确贴合交换机关键受力部位,

然后根据同一试验标准,进行随机振动对比试验。在试验过程中着重研究了不同结构 EPE 衬垫对于交换机振动传递路径优化效果和关键部位振动响应的差异性。试验结果表明:平板结构 EPE 衬垫和交换机接触面呈平面贴合状态,振动能量容易在传输过程中集中分配,造成交换机边角部位振动传递率较高,试验结束时局部边角外壳有微小磨损,蜂窝结构 EPE 衬垫内含有大量六边形空腔,随机振动时空腔结构可通过变形和坍塌达到多级耗散振动能量,蜂窝结构不仅可以有效地分散振动应力,还能使交换机的各个部分的振动响应更为均匀,振动传递率比平板结构降低了 25%以上,从而显著提高了防护效果,凹凸槽结构 EPE 衬垫与交换机外壳凹凸部位准确配合以达到限位固定装置的目的,从而有效地避免装置在震动时相对衬垫发生位移,降低了摩擦碰撞带来的破坏,特别是高频振动段这种结构衬垫防护优势更显著,EPE 衬垫的围框式设计为交换机的四周和顶部提供了全面的保护措施,这有助于有效地抵御来自多个方向的振动冲击,特别适合在复杂的运输环境中进行设备的保护,然而,这种结构的衬垫制造工艺比较繁琐,并且其成本稍微超过了其他类型的结构,综合比较 4 种结构 EPE 衬垫在振动防护效果、制作成本和适配性等方面的差异,蜂窝结构和凹凸槽结构 EPE 衬垫层更加适合该类交换机运输包装。另外,对不同结构衬垫进行试验和分析也可以得出 EPE 缓冲结构设计要点,也就是要结合装置结构特点通过衬垫接触形式和内部结构优化来实现,达到了对振动能量高效分散和吸收的目的,并对 EPE 缓冲衬垫结构的创新设计提出了一些设想。

#### (四) 多参数耦合的适配特点

交换机封装随机振动保护中 EPE 材料密度、厚度和结构形式参数并不单独起作用,但具有明显耦合效应,多参数协同匹配,以达到最佳缓冲防护效果,根据之前的单参数试验确定的最佳参数范围,在本次试验中使用了正交试验设计策略,选择了 EPE 密度 ( $30 \text{ kg/m}^3$ 、 $32 \text{ kg/m}^3$ 、 $35 \text{ kg/m}^3$ ) 和厚度 (25 mm、28 mm、30 mm) 作为主要参数、结构形式(平板,蜂窝,凹凸槽结构)三个因素,每个因素设置三个水平,构建 L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>) 正交试验表,开展多参数耦合随机振动试验。试验时,将交换机振动传递率、共振峰值和试验结束时设备损伤程度作为综合评估指标,运用极差分析和方差分析方法进行分析,探讨各项参数及交互作用对于缓冲防护效果之影响

显著程度。极差分析结果表明:结构形式在防护效果中所占权重最高,其极差达 12.5,密度参数次之,其极差 8.3,厚度参数所占权重较低,其极差 5.7,方差分析进一步证实了结构形式和密度参数相互作用对防护效果影响达极显著水平 ( $P < 0.05$ )。具体试验数据显示,在使用密度为  $32 \text{ kg/m}^3$ ,厚度为 28 mm 蜂窝结构 EPE 衬垫的情况下,各个参数达到最优耦合匹配,在这个阶段,交换机的振动传递率达到了最低水平,仅为 22%,并且没有出现明显的共振峰值,试验结束后,设备没有受到任何损害,在参数组合与最优区间偏差较大的情况下,例如使用密度为  $30 \text{ kg/m}^3$ ,30 mm 厚平板结构衬垫因其密度较低,结构分散能量效果较差,即使厚度处于合理区间,交换机的振动传递率仍高达 65%,出现明显共振损伤,利用正交试验数据进行多元回归分析得到多参数耦合作用下 EPE 缓冲性能和交换机振动响应预测模型,可基于所设 EPE 参数准确地预测交换机振动防护效果。同时试验也发现不同参数组合适配性对工况依赖性显著,且不同振动强度运输环境中最优参数组合均有一定程度偏移,如高强度振动环境中需要适当增加 EPE 密度和选用蜂窝结构来提高衬垫抗振能力等。对多参数耦合适配特性的深入研究,突破了单一参数优化的限制,为交换机的 EPE 缓冲参数系统优化提供了坚实的科学理论和试验基础。

#### 结束语

在交换机包装的随机振动试验中,EPE 缓冲参数的适当调整被视为确保产品运输安全性的核心步骤。通过对 EPE 材料特性、交换机包装特点及随机振动试验需求进行深入剖析,确定 EPE 缓冲参数的关键适配因素,进而提出相关优化策略。今后随着材料科学和包装技术的发展,EPE 缓冲材料会被越来越多地应用于交换机包装,对其参数适配的研究会越来越深入,从而为交换机包装设计奠定了更科学合理的基础。

#### [参考文献]

- [1] 苟建国,董昌智,李琳琳.交换机 QoS 策略配置一致性检查系统研究[J].信息技术与信息化,2025(11):119-122.
- [2] 李建强.高可靠小规模光纤网络拓扑设计与分析[J].河北省科学院学报,2025,42(06):20-26.
- [3] 阮翔,牛文举,蒋辰浩,刘诗畅,谢龙兵.国产高性能无阻塞 RapidIO 交换机设计与实现[J].兵工自动化,2025,44(12):46-50.