YLFX-ZD800 高频振动时效去应力仪设备介绍

一、引言

随着科技的不断进步，各行各业对产品性能的要求越来越高，对设备稳定性的需求也越来越严格。高频振动时效设备作为一种先进的工艺方法，在消除应力、提高材料稳定性和产品质量方面具有显著优势。本文将详细介绍由北京应力分析科技有限公司自主研发的 YLFX-ZD800 高频振动时效设备的原理、结构、特点和应用。

二、发展历程

振动时效技术来源于通过锤击可以消除金属工件残余应力的实践，其理论创始人 Stratt 于 1906 年在美国取得专利。但由于人们长期使用热效应，加上对振动时效机理认识的模糊及激振设备研究的不成熟等原因，使该技术一直未能得到发展和应用。直到 20 世纪 50 年代初，在能源紧缺的情况下，美国、英国、联邦德国、日本等国才又开始加强振动时效机理和工艺的研究。特别是 20 世纪 70 年代由于转速可调高速电机的出现，推动了振动时效消除残余应力装置的发展。振动时效技术于 20 世纪 70 年代被引进我国，在 30 多年的发展过程中，我国的振动时效设备已经达到世界先进水平。

三、技术原理

对于振动时效过程的机理，国内外已经进行了大量的研究工作，取得了以下共识：振动时效是对构件施加一交变应力，当交变应力力幅与构件上某些应力集中点所存在的残余应力之和高于材料的屈服极限，且小于抗拉强度极限时，产生残余应力的歪曲晶格得以慢慢地恢复平衡状态，使应力集中处的位错得以滑移并重新钉扎，尽管宏观上整体没有到达材料的屈服极限，也会产生微观的塑性变形，况且这些塑性变形往往是首先发生在残余应力最大的点上，因此，使这些点受约束的变形得以释放从而达到消除和均化残余应力的目的。

我们可以从以下两个方面来看：

从微观上看：只要温度在绝对零度以上，金属原子始终处于运动中，由于残余应力的影响，这些原子处于不平衡运动状态，但它们力求回复平衡位置，这就需要能量。振动时效就是给金属构件提供机械能，使得约束金属原子复位的残余应力释放，加快金属原子回复平衡位置的速度。

从金属物理学上看：振动时效的过程实质上是金属材料内部晶体位错运动、增值、赛积和缠结的过程。由于金属材料存在位错，所以在构件内部产生的交变动应力与内部的残余应力相互叠加，在应力较高的区域就可产生位错滑移，出现微小塑性变形。位错滑移是单向进行线性累积的，当微应变累积到一个宏观量，金属组织内残余应力较大处的位错塞积得以交替开通，局部较大残余应力得以释放，构件宏观内部应力随之松弛，使残余应力的峰值下降，改变了构件原有的应力场，最终使构件的残余应力降低并重新分布，使较低的应力达到平衡。位错赛积后造成位错移动受阻，从而强化了基体，提高了构件抗变形能力，使构件的尺寸精度趋于稳定。



YLFX-ZD800 高频振动时效去应力仪

四、与传统振动时效的差异

传统振动时效机理是由于周期性振动输入，金属位错发生滑移使晶体微观塑性变形，内部应力场改变，使残余应力得以重新分布，峰值下降。因位错塞积开通、滑动容易使晶粒破碎形成亚晶界，这一过程将导致位错密度升高，由此提高金属的临界切应力，从而使余下位错不再易滑动，工件尺寸稳定。

而高频振动时效与此不同，其高阶共振机理使得错位密度减小，晶粒本身回到几乎无应力的原始状态，消除残余应力效果更明显，也将获得更加可靠的尺寸稳定性；同时，根据机械振动模态分析理论，物体的高阶模态比低阶模态振型具有更多的节点及峰值与谷值。高频激振激发出的晶粒高阶模态，使得金属材料在整体上能量均匀分布，内应力也更加均化；再者，高频激振时效是一种微观激振，对于构件来说，振幅小，产生的宏观变形量也极小，振动时噪音也小，不易导致

因时效处理带来的工件破坏与损伤；此外，高频激振装置一般体积较小，不仅便于处理大型构件的微小结构处，更加能够适用于微型构件，使得振动时效技术的应用面得以拓展。

五、系统构成

下图为 YLFX-ZD800 高频振动时效去应力仪系统的主要构成示意图，共包含 7 部分：

主机：控制电机的启动及调速、信号的收集、处理、显示及打印参数；

激振器:强迫工件振动并将电机转速及激振频率反馈回主机；

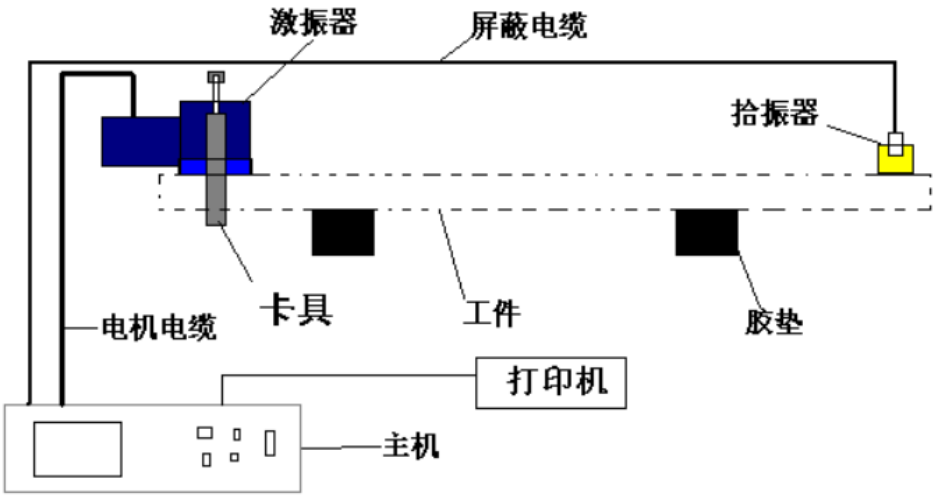
拾振器：把振动响应如加速度幅值等反馈回主机；

卡具：将激振器牢牢固定在工件正确位置上；

胶垫：隔振、降噪、防跑件；

屏蔽电缆：连接拾振器与主机；

电机电缆：连接激振器与主机。



振动时效系统构成示意图

六、技术特点

效果好，投资少，生产周期短，使用方便，适应性强，节约能源，降低成本，机械性能显著提高。符合环保要求，操作简单，易于实现机械自动化，可避免金属零件在热时效过程中产生的翘曲变形、氧化、脱碳及硬度降低等缺陷,特别适用于不宜高温时效的材料和零件的消除应力处理。表 1 为振动时效与热时效特点

对比表。

表 1 振动时效与热时效特点对比表

项目	热时效	振动时效
应力消除	40～80%	30～90%
能源消耗	高	比热时效节能 95%
环境保护	有烟气粉尘废渣排放	无污染
尺寸稳定性	较好	比热时效提高 30%以上
生产费用	150～300 元/吨	4～10 元/吨
时效周期	20～60 小时	20～50 分钟
抗变形	较差	比热时效提高 30～75%
时效氧化	较大	可忽略不计
时效变形	有	无
大型工件	无法进行炉处理	可方便就地处理

YLFX-ZD800 高频振动时效去应力仪设备具体特点如下：

1、真彩液晶动态显示各类曲线和数据，时效过程和曲线走势一目了然；

2、自动判定工艺参数合适与否，并给出修订方案，实现人机对话；

3、全自动功能完善，兼具半自动，手动功能；

4、动态跟踪功能可保证振动处理在标准要求的亚共振区进行；

5、依据先进的频谱分析技术，按优化工艺选择激振频率进行时效处理；

6、采用脉宽调制技术，具有强大的抗干扰能力；

7、在线打印，全中文显示各曲线标注，使打印曲线更易识别与判断；

8、强大的人机对话加上简单的操作方式，使操作者更易掌握振动时效工艺；

9、飞车提示，多重保护功能降低了现场操作危险性；

10、与传统振动时效相比，该设备在工作时产生的噪音很低。

上述提到了振动时效的各项优点，但不管是那种消除残余应力的手段都会有其各自的优缺点，振动时效去应力技术也不例外，以下为振动时效技术在工程中使用存在的问题：

1）振动时效必须是受过专业培训的人员操作，一般的工人即使受过培训也很难完全掌握这项技术；

2）不能替代以去应力为目的以外的热处理；

3）不能显著改变金相组织及机械性能（如强度，硬度）；

4）工艺效果在很大程度上取决于工艺员的振动时效工艺理论水平和经验，并非工件所有部位的时效效果都一致；

5）由于有效振型较少，经振动时效处理后达不到较高的精度要求；

6）许多工件由于刚性和固有频率太高，找不到共振峰无法共振。

七、操作流程

为保证振动时效去应力的效果，建议先通过有限元仿真软件对结构进行模态分析，得到结构的固有频率和振型；然后根据结构特点和模态分析结果，确定激振器、拾振器和支撑点的位置；最后再开始振动时效去应力操作。振动时效去应力基本操作流程如下：

1）将被振工件放置于橡胶垫上；

2）使用卡具将激振器和工件刚性固定；

3）通过电机电缆将激振器和主机进行连接；

4）通过屏蔽电缆将拾振器和主机连接；

5）将拾振器放置在远离激振器的工件表面；

6）连接主机电源开机；

7）进行振前扫描，系统自动判定工件的激振频率；

8）开始振动时效去除残余应力；

9）振动时效结束后，进行振后扫描，用于与振前扫描进行对比；

10）根据 GB/T25712-2010《振动时效工艺参数选择及效果评定方法》对本次振动时效的结果进行评定，如果未达到有效结果则可再次进行振动时效操作。

以下为 YLFX-ZD800 高频振动时效去应力仪对电炉厂设备，进行振动时效去应力过程的部分现场图片。



八、应用领域

通过对振动时效的原理、技术特点和设备的使用操作介绍，我们可以很清晰的认识到振动时效去除残余应力设备的使用范围广、去除应力效率高、时效周期短、现场使用方面等等优点，应用领域已从机械制造业扩展到汽车、轨道交通、重型机械、兵器、航空、航天、风电等与铸造、锻造、模具、焊接等相关的专业领域。

九、相关规范

关于振动时效技术的规范有很多，国内主要规范如下：

1）GB-T25712-2010《振动时效工艺参数选择及效果评定方法》；

2）JB/T10375-2002《焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求》；

3）WJ-2696-2008《装甲车辆振动消除应力技术要求》；

4）JB/T 5926-2005《振动时效效果 评定方法》。