

**JB/T10375-2002 中华人民共和国机械行业标准**  
**——焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求**  
焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求  
2002-12-27 发布 2003-4-1 实施

## 1 焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求

### 1 范围

本标准规定了焊接构件振动时效工艺参数选择、技术要求和振动时效效果的评定方法。

本标准适用于碳素结构钢、低合金钢、不锈钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金 熔化焊焊接构件的振动时效处理。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。 JB/T5925.2 机械式振动时效装置技术条件

### 3 术语、符号

3.1 激振点 exciting point 振动时效时给构件的施力点称为激振点。

3.2 支撑点 support point 为了对构件进行振动时效而选择的支撑构件的位置。

3.3 动应力 dynamic stress 激振力引起构件谐振响应时，在其内部产生的应力称为动应力。矢量，符号为 $\sigma_d$ (幅值)，单位为(MPa)。

3.4 共振 resonance 当激振力提供的周期性激振力的频率与系统固有频率接近或相等时，构件的振幅急剧增大的现象为共振。

3.5 振型 vibration mode 共振时，构件表面上所有质点振动的包络线(面)，即为振型，包括弯曲、扭转、扭曲、钟振型和鼓振型。

3.6 节点(节线) node, node line 振动时效时，构件振幅最小处称为节点(节线)。

3.7 主振频率 principal vibration frequency 在激振装置的频率范围内，引起构件谐振响应的频率中，频率低、位移幅大的频率称为主振频率。

3.8 附振频率 additional vibration frequency 除主振频率以外的其他频率。

3.9 扫频 frequency sweep 固定偏心，将激振力的频率由小调大的过程，称为扫频。

3.10 扫频曲线 the curve 随着频率的变化，构件振动响应发生变化，反映振动响应与频率之间的关系曲线称为扫频曲线。

如  $A-f$  称为振幅—频率曲线， $a-f$  称为加速度—频率曲线；而振动时效装置绘制的是加速度—转速 ( $a-n$ ) 曲线。其中： $A$  表示振幅； $a$  表示加速度； $f$  表示频率； $n$  表示电机转速。

3.11 时效曲线 aging curve 在确定的振动频率和激振力下，对构件进行振动处理所得到的加速度—时间曲线，其标记为  $a-t$ 。其中： $a$  表示加速度； $t$  表示时间。

3.12 振动焊接 vibratory welding 在小激振力作用和亚共振频率下,引起构件微小谐振的同时,进行焊接的工艺操作过程。3.13 频率分析 frequency analysis 用激振器对工件做间隙式施振,获取工件频率分布的过程。

#### 4 振动时效装置的选择

进行焊接构件的振动时效处理时,所使用的振动时效装置应符合 JB/T 5925.2 的要求,并具备下述功能: — 稳速精度可保证控制在+1 r/min 以内; — 可以在线或最终绘出完整而细密的扫频曲线以及多条加速度时间曲线; — 加速度测量系统可以是振动时效装置的附属部分,也可以是一个单独的测量仪。5 工艺参数选择及技术要求

5.1 参数确定准则 一般情况下,振动参数应在针对具体焊接构件的工况条件,分析并判断出构件在激振频率范围内可能出现的振型基础上确定。对重要构件或关键构件,可做实际边界条件下的动应力有限元分析,求解出结构件在一定范围内(16Hz~200Hz)的固有频率和振型,以确定支撑点、激振点和拾振点的位置。

5.2 直接振动 构件在激振频率范围内,如能激起响应,可以直接振动。

5.2.1 构件的支撑 对于可以直接振动的构件,可根据分析、判断出的振型,在节点处放置弹性支撑。支撑点可为二点、三点或四点。特殊构件的支撑应以平稳为准。

5.2.2 激振器的固定 激振器应刚性地固定在主振频率共振振型的波峰处或附近,固定处应当平整。

5.2.3 拾振器的固定 拾振器应固定在远离激振器且能反映主振频率振型最大振幅处或附近,其方向应与振动方向一致。

5.3 非直接振动 对于无法直接振动的构件，应采取降频措施。主要的降频措施包括：悬臂、串联和组合 等方法。 5.3.1 悬臂振动 悬臂振动是将构件的一端刚性固定，激振器设置在另一端所进行的振动处理方法。

3 5.3.2 串联振动 串联振动是将两个或多个构件沿长度方向刚性连接，组成一个新的振动系统，并对此系 统进行振动处理。支撑点、激振器及拾振器的设置与直接振动时相同。

5.3.3 组合振动 组合振动是将多个构件装卡在振动平台上，按平台的振型确定支撑点、激振点和拾振点。

#### 5.4 构件的试振

5.4.1 通则 对其他材质焊接构件进行振动时效时，应首先进行类似材料及工艺的评定。缺陷尺寸超出规定限值的焊接构件或结构设计不合理的焊接构件不允许进行振动时效处 理。

5.4.2 激振器偏心设置 激振器偏心挡位的选择应当满足保证构件产生合适振幅且装置输出载荷不超过额定载荷 的 70%。

5.4.3 动应力方向 进行振动时效时，动应力方向应与构件主要焊缝的最大主应力方向相同或相近。

5.4.4 固有频率 工件的固有频率可以采用全程扫频的方法获得，也可通过频率分析方法获得。在寻找到 处理频率之后，在亚共振区内选择其振动峰峰值  $1/3 \sim 2/3$  处对应的频率开始振动工件。全程扫频时，应根据寻找出的谐振峰确定主、附频率，按主振频率的振型调整支撑点、激振点和拾振点。采用频率分析方法时，可用激振器对工件做间隙式施振从而获得工件的固有频率，并在多振型原则下，进行自动优化选择最佳频率组。

5.4.5 动应力 动应力幅值应达到构件工作应力的  $1/3 \sim 2/3$ 。

动应力可按下式估算： $(\sigma_b - \sigma_s) / 3 \leq \sigma_d \leq \sigma$

$b/3$ .....(1) 式中： $\sigma_d$  为动应力幅值； $\sigma_s$  为材料的屈服强度； $\sigma_b$  为材料的抗拉强度。动应力幅值控制与构件的应力集中情况有关，当构件几何形状均匀、接头应力集中系数较小时，动应力可取上限值  $(\sigma_b/3)$ ；当构件几何形状不均匀、接头应力集中系数较大时，动应力可取下限值  $(\sigma_b - \sigma_s) / 3$ 。5.4.6 振动时间 一般情况下，焊接构件的振动时效由如下三个阶段组成：

— 开始阶段 (开始振动的约 2min~3min)：主要参数变化很快，构件的残余应力亦随之 变化很快；

— 中间阶段：参数和应力变化趋缓；

— 结束阶段 (最后的约 2min~3min)：参数和残余应力基本上没有变化。根据焊接构件振动时效的规律及特点，振动时效的时间一般控制在 10min~45min 为宜。对于刚度较大、结构较为复杂的构件而言，其振动时效所需的时间相对较长。5.5 构件的振动时效 需要进行振动时效的构件应按自动或预定参数完成主振和附振，并在线或最终打印下述 曲线：

— 振前 a—n 曲线；

— 振中 a—t 曲线 (需要多阶谐振时，应打印出相应数量的 a—t 曲线)；

— 振后 a—n 曲线。

对于刚度大、结构复杂的焊接构件可考虑做多点多次振动，但累积时间不得超过 45min。振动焊接技术可用于构件的焊接修复，具体工艺应结合实际条件合理确定。5.6 振动时效的工艺文件 对焊接构件进行振动时效时，应由技术人员编制并下达相应的振动时效工艺卡。操作人员在完成振动时效操作后，应及时填写相应的操作记录卡。振动时效工艺文件应按有关规定管理、存档。

6 振动时效效果评定方法 6.1 参数曲线观测法 可根据振动时效过程中实时打印的  $a-t$  曲线的变化及  $a-n$  曲线振动前后的变化评估振动时效的实际效果。出现下列情况之一时，即可判定振动时效有效：

- $a-t$  曲线上升后变平；
- $a-t$  曲线上升后下降，最终变平；
- $a-n$  曲线振后共振峰发生了单项特征或组合特征的变化（出现振幅升高、降低、左移、右移）；
- $a-n$  曲线振后变得简洁而平滑；
- $a-n$  曲线振后出现低幅振峰增值现象。

## 6.2 实测法

6.2.1 残余应力测试法 推荐使用盲孔松弛法，也可使用 X 射线衍射法或在条件许可时使用磁性法。采用盲孔法测试时，测试点处材料厚度应大于钻孔直径的 4 倍。每个构件可选择 2~3 条主焊缝。每条主要焊缝的测试点不得少于 3 个。测试点应布置在焊缝中心或焊缝根部。用振前和振后的应力平均值计算应力降低率，降低率应大于 30%。用振前和振后的最大与最小应力差衡量应力的均匀化程度，振动后的计算值应小于振动前的计算值。最大及最小应力一般应以焊缝的主应力或纵向应力为准。

6.2.2 尺寸精度稳定性测试 以尺寸稳定为主要目的而进行振动时效处理的焊接构件，振动后应进行尺寸测试。尺寸测试具体方法如下：— 振后尺寸测试：— 加工后尺寸测试；— 长期放置，定期进行尺寸测试。如放置 15 天后做第一次测试，放置 30 天后做第二次测试，以后每 30 天测试一次，总放置时间在半年

以上； — 在动载情况下测试（具体时间间隔参照上述款项）。所有的测试结果应当满足要求。JB/T ××××—×××× 5 附录 A（资料性附录） 振动时效工艺的应用说明

A.1 其他类型焊接结构的振动时效 虽然本标准限定了振动时效的适用范围，但其他类型的接头或结构（如：采用低匹配接头的钎焊、扩散焊焊接构件）也可参照本标准规定进行振动时效处理。

A.2 焊接接头的应力集中系数 应用振动时效工艺的焊接结构应选用应力集中系数小的接头型式，应力集中系数一般不大于 2.8。采用应力集中明显的焊接接头设计，如点焊、塞焊、搭接焊及非全焊透等焊接构件，应按其应力集中系数增大倍率来限制最大动应力幅值。

A.3 构件的运行特征 由于振动时效无去氢及恢复材料塑性的功能，对有抗脆断要求的焊接构件，不建议把振动时效作为最终的时效工艺。

A.4 振动时效与其它工艺的组合 对加工周期较长，且残余应力对加工质量有影响的焊接构件，当振动时效不能完全满足消应力要求时，可将振动时效作为复合工艺之一： - 随振焊接+振动时效； - 振动时效+热时效； - 振动时效+焊缝锤击或焊缝超声冲击。

A.5 构件的振动矫形 变形超标的构件应先矫形到位后再进行振动时效，特殊情况下再考虑采用振动矫形。用预应力或用辅助工装将焊接构件做强制整形或反变形拘束后，对由构件和工装组成的系统做振动时效处理，以期通过增加局部材料蠕变速度，减少焊接变形的一种工艺。其预应力及反变形量的给定应考虑在振动工艺结束和预应力或辅助工装去除后必然出现的弹性回弹，以及局部拉应力增大给构件带来的不利影响。

A.6 振动时效的工艺评定 振动时效工艺评定是针对已确定采用振动时效工艺的重要焊接构件及批量生产构件,应用本标准指导建立正确的振动时效工艺规范、质量保证检验规定及相关技术文件的重要试验 措施。通过评定确定相应的振动时效工艺规程。振动时效工艺规程一般应包括:适合该构件的振动时效设备规格型号、振动工艺参数、实际打印量及内容、测点位置、测量方向、测量技术、抽检项目及抽检比例等内容。