

基于桥式起重机主端梁连接优化

茹信涛

广州起重机械有限公司 广东 广州 510405

摘要: 本文综述了起重机钢结构集中应力形成、影响因素、优化方案。首先介绍了钢结构破坏的定义和重要性,然后分析了影响钢结构性能的关键因素,包括结构特性、应力集中等。接着,探讨了起重机钢结构出现应力的原因。最后,提出如何避免应力疲劳损坏的解决方案。

关键词: 钢结构; 应力集中; 设计优化

引言

金属结构损坏在设备损坏中是比较常见。起重设备属于特种设备,设备的安全尤为重要,《起重机械安全技术规程》^[1]相应规定。起重设备安全与钢构息息相关。计算钢结构强度,刚度是基本,疲劳值在重要及频繁使用设备上同样重要。钢结构在承受循环载荷作用下,因应力反复作用,会发生疲劳损坏,疲劳损坏是一种渐进性的破坏过程。通常发生在钢结构应力集中区域,如焊缝、连接件等。疲劳损害属于个不定向损害。即使按照计算公式计算出结构符合要求,因现场、使用等的因素,疲劳损坏出现问题往往慢慢凸显。总结以下以提供起重设备设计及处理参考,在计算符合要求的基础上,尽量采用各种不同的方式去避免疲劳损害的发生。

1 破坏的特点与过程:

1.1 循环载荷: 疲劳破坏是由循环或变动的载荷引起的,这些载荷的幅度和方向可能随时间变化。

1.2 低应力水平: 即使应力水平低于材料的静态屈服强度,只要循环次数足够多,也可能导致疲劳破坏。

1.3 局部性: 疲劳破坏通常首先在材料的局部区域发生,如应力集中区域。

1.4 渐进性: 疲劳破坏是一个逐步发展的过程,包括

裂纹的萌生、扩展和最终断裂。

1.5 不可预测性: 疲劳破坏往往难以预测,因为它与材料的微观结构、载荷特性和环境因素有关。

1.6 累积损伤: 疲劳破坏是累积损伤的结果,每次循环都会对材料造成一定程度的损伤。

1.7 破坏的过程通常可以分为三个阶段:

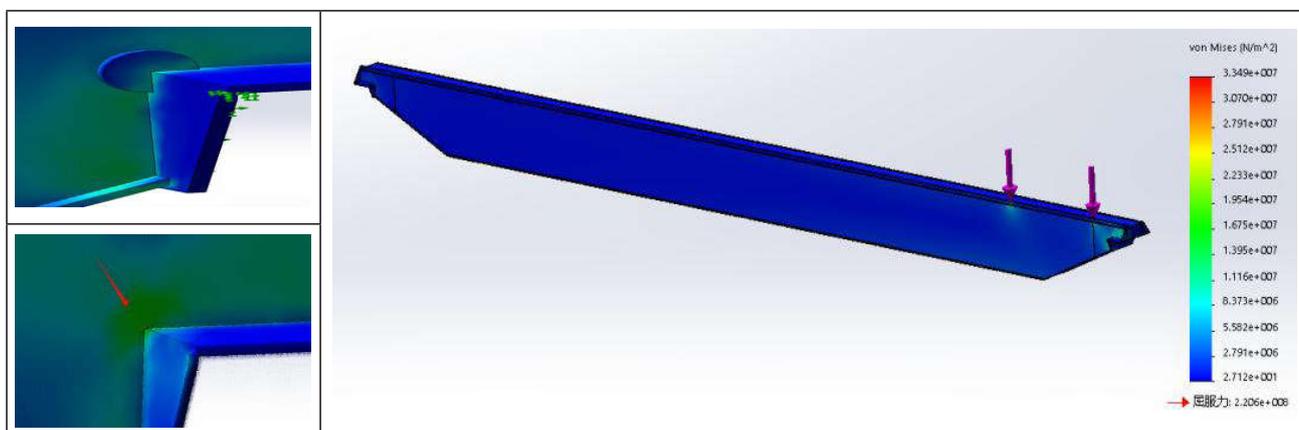
1.7.1 裂纹萌生阶段: 在这个阶段,由于应力集中和材料不完美性,材料表面或内部开始形成微观裂纹。

1.7.2 裂纹扩展阶段: 随着应力循环的继续,裂纹逐渐扩展,可能形成宏观可见的裂纹。

1.7.3 断裂阶段: 当裂纹扩展到一定程度,材料的剩余截面无法承受施加的载荷,最终导致断裂。

2 起重设备结构

起重设备一般为三、四梁结构的大型钢结构设备,因结构原因、方便制作、运输、现场安装,往往会把梁分为部件,方便现场拼接;在制作过程因工艺原因,往往需要开缺口等以满足螺丝等焊接工序。综合应力出现的位置一般为焊接、连接或过度较急的位置,结合有限元的分析见图,起重机疲劳位置一般在主梁与端量连接位置、过度不圆滑位置。有限原分析:^[2]



3 形成的原因

3.1 客户在选购设备时候没有对设备使用有足够的认识，统称机构使用等级不符；起重机的工作等级是根据起重机的使用频率和载荷状态来划分的^[3]，用以表明起重机的工作繁重程度。工作级别通常分为A1至A8，其中A1级最低，A8级最高。等级反映了起重机在设计寿命期间的工作循环总数，包括使用频繁程度和起重机承受载荷的大小。工作级别的选择非常重要，因为不同的工作级别对应不同的安全系数和报废标准。如果起重机的工作级别选择不当，可能会导致易损零部件过早报废，故障频发，甚至引发事故。

3.2 客户在生产过程中生产效率提升，旧设备不满新生产工艺频繁度；

使用频率决定了其工作级别的划分。使用频率越高，工作级别越高。例如，轻级工作制是指设备很少使用，只有在检修或偶尔用一次；中级工作制是指设备有时起升额定载荷，一般起升中等载荷；重级工作制是指设备经常起升额定载荷频、繁使用。随着生产线效率的不断提升，原设备不能无限适应生产效率的提升，且存

在不符现象。

3.3 设备选取的操作方式与设备使用时的野蛮操作；

设备有多种速度调速方式：变频与电阻。变频调速实现电动机可以实现平滑启动，减少启动时的电流冲击，对设备机构及钢构冲击较柔和，控制起重机的行走速度，使其在不同工况下都能平稳运行。电阻调速启动和制动性能较差，不能实现平滑的启动和制动，会引起机械较大冲击。甚至为提高影响，利用反向驱动作为刹车都存在。

3.4 运行轨道不能满足起重机轨道安装要求，厂房发生沉降，导致车辆在运行中发生啃轨，使设备在运行的时候产生较大水平力。因以上原因导致车轮与轨道发生摩擦引起冲击大，加剧起重机车轮与运行轨道之间的磨损，严重时甚至可能导致轮缘变形或轨道侧面的金属剥落，造成车轮和轨道报废，重机在运行中产生的水平侧向力使厂房结构受到附加的横向载荷，可能遭受不同程度的损坏。

4 应力计算方式

4.1 构件许用应力计算应该遵循以下列表公式^[4]

应力循环特性	需用应力计算公式		说明
$-1 \leq r \leq 0$	拉伸t	$[\sigma_r] = \frac{5}{3-2r} [\sigma_{-1}]$	x方向的为 $[\sigma_{xrt}]$ y方向的为 $[\sigma_{yrt}]$
	压缩c	$[\sigma_{rc}] = \frac{2}{1-r} [\sigma_{-1}]$	x方向的为 $[\sigma_{xrc}]$ y方向的为 $[\sigma_{yrc}]$
$0 < r \leq$	拉伸t	$[\sigma_r] = \frac{1.67 [\sigma_{-1}]}{1 - \left(1 - \frac{[\sigma_{-1}]}{0.45R_m}\right)}$	x方向的为 $[\sigma_{xrt}]$ y方向的为 $[\sigma_{yrt}]$
	压缩c	$[\sigma_{rc}] = 1.2 [\sigma_r] = \frac{2 [\sigma_{-1}]}{1 - \left(1 - \frac{[\sigma_{-1}]}{0.45R_m}\right) r}$	x方向的为 $[\sigma_{xrc}]$ y方向的为 $[\sigma_{yrc}]$
$-1 \leq r \leq 1$	剪切	$[\tau_{xyr}] = \frac{[\sigma_r]}{\sqrt{3}}$	本行中的 $[\sigma_r]$ 是根据剪切的r值计算的相应于 W_0 的值

4.2 连接件应力计算应该遵循以下列表公式（主要为 焊接）

连接内容	需用应力计算公式		说明
焊接连接	拉伸压缩	许用应力计算	—
	剪切	$[\tau_{xyr}]^a = \frac{[\sigma_r]}{\sqrt{2}}$	本行中的 $[\sigma_r]$ 是根据焊缝的r值计算的相应于 K_0 的值

5 优化方案

5.1 按照受力方式进行设计优化：

5.1.1 连接位置优先取用顶部螺栓连接方案，螺栓采用高强度螺栓组，梁面高度一般按照主梁高度1/3计算，因厂房尺寸影响，连接位置受限，可以选择降低连接高度，特定加强连接位置板件厚度；

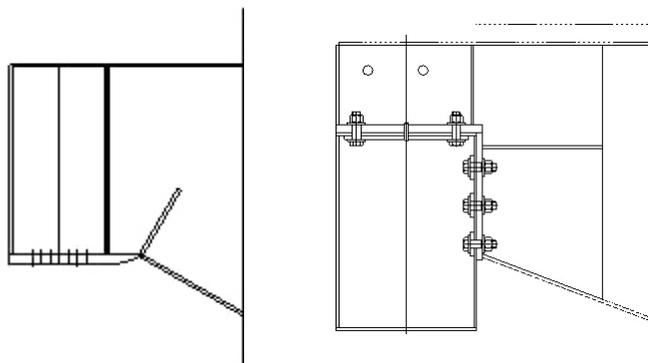
5.1.2 采用顶面+侧面双侧连接，根据端梁的腹板高度，尽量布置多螺栓组以便将端梁与主梁侧面连接；

5.1.3 梁侧板形成整体受力，简单的螺栓连接在设备低使用频率下可以承受，但在高频率的使用下会形成一个往复的应力集中点，疲劳便产生；

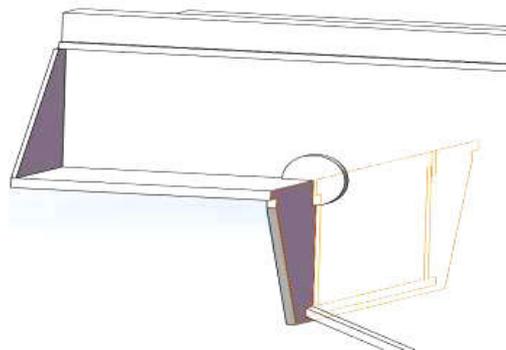
5.1.4 应力集中位置开孔，增加圆管，使集中在尺的

应力散发到整个圆孔，另外在腹板两侧增加较厚的圆形板件加固；

5.1.5 对于梁腹板位置不能做成30°斜角的，应该优先



考虑做成大于150mm半径的弧形弯板，以减少力在转角位置的集中。



5.2 从制作工艺进行优化：

5.2.1 多变截面往往需要使用焊接方式，应力集中位置应尽量减少焊缝数量集中，特别是具有横竖多方面的，因焊接角度与焊接引弧问题缺陷问题，更容易引起疲劳；

5.2.2 连接板为厚板时，应该对板件进行开剖口焊接，焊接时应该尽量保证平焊，保证焊缝的熔透；

5.2.3 下料圆角处理需要使用数控、等离子切割，并且对切割面进行毛刺打磨，禁止使用手工火焰切割，避免圆弧位置因切割产生不平整缺口产生应力集中；

5.2.4 如需要侧面贴板加固，两件板件的高度应该保持一致，并且板件内侧需要。

5.3 从选取控制方案，使用与选用，维护方面进行

优化：

5.3.1 《起重机械安全技术规程》要求使用单位应该对设备的使用选择负责，熟悉自我生产需求起重设备选择，对设备选型负责；

5.3.2 选取较为适应的控制方式，减少设备冲击提高钢结构使用寿命；

5.3.3 加强设备维保，使设备达尽量在最优的运行状态。

参考文献

- [1]《起重机械安全技术规程》TSG51-2023
- [2]《钢结构设计标准》GB/T50017-2017
- [3]《起重机设计规范》GB/T3811-2008
- [4]《机械装备金属结构设计》太原科技大学 徐格宁