

U 型螺栓连接方式防松优化分析

刘加华 王永红 谭芝芝

(中联重科股份有限公司 湖南 长沙 410205)

摘要: 工程机械混凝土车辆上 U 型螺栓的连接方式应用较多, 且在使用工况下随着整车的频繁振动, U 型螺栓易出现松脱现象。本文针对混凝土泵车 U 型螺栓的连接方式进行分析, 优化为双螺母的防松结构, 同时对双螺母的扭矩要求进行合理分配, 最终达到最佳的防松效果。应用实例表明, 该标准可以解决 U 型螺栓松动的问题, 大幅降低返修成本。

关键词: U 型螺栓; 双螺母; 拧紧力矩; 预紧力; 防松

0 引言

工程机械混凝土泵车的泵料系统由若干节输送管组成, 每个输送管通过多个 U 型螺栓安装在与之相对应臂节的支架上。正常使用情况下, 输送管与臂架在固定之后是无法发生相对运动的; 但是在各种工况条件下使用后, 输送管在泵料过程中受到混凝土带来的冲击力及本身各臂节连接处输送管之间的相对运动 (例如扭转), 导致固定输送管的 U 型螺栓受力发生振动。在频繁振动下, 螺母产生的预紧力会随之发生变化, 预紧力减少后则螺母拧紧力矩也会随着发生衰减变化, 当衰减十分严重时, 螺栓将开始出现松动迹象。如果不及及时进行维修, 最终会导致输送管脱落, 泵车无法工作, 所以稳定的螺栓预紧力十分重要。为此, 本文对 U 型螺栓的连接方式和螺母受力情况进行分析, 优化为双螺母固定结构, 同时对双螺母的扭矩要求进行合理分配, 最终达到最佳的防松效果。

1 U 型螺栓连接形式现状

混凝土泵车的输送管通过 U 型螺栓固定在支架上, 为防止输送管在泵料过程中振动造成外径与固定结构发生摩擦损伤外观, 固定结构中 与输送管外径贴合的 U 型螺栓、连接座均采用聚氨酯材料。U 型螺栓采用螺母固定在支架上, 操作员通过工具进行拧紧固定, 以保证输送管与 U 型螺栓及连接座完全贴合。

在实际应用过程中, 输送管在泵料过程中存在振动。在频繁振动下, 螺母经常出现松动迹象, 最终脱出导致 U 型螺栓松开无法起到固定输送管的作用。久而久之, 当每一节输送管的固定 U 型螺栓大部分松脱时, 各节输送管之间对接出现错位, 导致泵车无法将混凝土泵送至高处。

2 U 型螺栓失效模式分析

螺纹连接本来就是使两个被连接件紧密接触, 并能承受一定的动载荷, 而且两个被连接件之间产生了足够的预紧力, 从而保证被连接零件的可靠性, 不会因振动产生松动现象。螺纹在拧紧过程中随着螺母的转动使螺母与螺栓头紧密贴合, 螺栓受拉时将产生拉力, 连接件受到挤压时从而产生夹紧力。

目前输送管固定结构中 与输送管外径贴合的 U 型螺栓、连接座均采用聚氨酯材料。聚氨酯受到输送管振动及在长期挤压下易发生塑性变形, 导致 U 型螺栓与输送管之间逐渐产生间隙。当 U 型螺栓上的固定螺母与支架存在间隙时, 则螺母和 U 型螺栓之间存在移动空间, 两者之间原先产生的夹紧力自行消失, 螺纹之间的摩擦力消失, 导致螺母在振动过程中滑动或发生位移。随着使用时间的增长, 螺母并自行退绕, 这就直接导致了 U 型螺栓松脱。

3 螺纹防松结构介绍

3.1 机械防松法

机械防松法是通过增加机械锁止的结构防止螺纹副之间发生相对的转动, 从而达到螺纹防松目的, 主要形式有开口销防松、串联钢丝防松、止动垫片防松等。

3.2 摩擦防松法

摩擦防松法是通过增大螺纹副之间的摩擦力, 降低螺纹副由于振动导致的松动。摩擦防松法具体的形式有弹簧垫片防松、对顶螺母防松、自锁螺母防松和弹性圈螺母防松等。

3.3 破坏螺纹副防松法

破坏螺纹副防松法是通过施加外力使螺纹副破坏从而达到螺纹防松的一种防松方法。

3.4 粘接防松法

粘接防松法是在螺纹副之间的间隙内填充厌氧液态

胶黏剂,厌氧液态胶黏剂在隔绝氧气的条件下延期固化,产生粘结力,确保螺纹连接部位不致因振动导致的相对转动而松动。

4 U型螺栓防松结构优化

解决U型螺栓松动问题最好是从结构上进行优化,根据上述螺纹防松结构介绍可以看出可优化的防松形式有很多种。但由于U型螺栓连接中存在软连接结构,久而久之U型螺栓螺母与支架之间会产生间隙,所以最终解决U型螺栓松动问题需改变目前依靠螺母与支架之间摩擦力进行防松的形式,最简易有效的防松方法是双螺母防松法。

5 双螺母防松原理介绍

通过上螺母上的拧紧力矩来克服下螺母所受的力,及利用双螺母相互对顶的作用完全补偿掉螺纹间隙,并使两螺母之间的螺栓部分存在一定的附加拉应力,以使上螺母与下螺母之间、上螺母与螺栓之间、下螺母与螺栓之间始终存在摩擦力,从而达到防松的作用。

在拧紧下螺母的过程中,下螺母螺纹的上表面与螺栓螺纹的下表面接触,从而产生接触应力,即螺栓在BC段所受接触应力的轴向分量为 f_1 (方向向上),在螺纹区域积分而形成轴向合力 F_1 ,如图1所示。

轴向合力 F_1 的计算公式如下:

$$F_1 = \int f_1 \cdot ds$$

式中: F_1 —下螺母对螺栓产生的轴向力。

在拧紧上螺母的第1阶段,上螺母螺纹的上表面与螺栓螺纹的下表面接触从而产生接触应力,螺栓在CD段所受接触应力的轴向分量为 f_2 (方向向上),在螺纹区域积分而形成轴向合力 F_2 ,此时 $F_r = F_2 + F_1$ 。如图2所示。

继续拧紧上螺母到第2阶段后,下螺母螺纹的下表面与螺栓螺纹的上表面产生接触, F_1 方向发生变化(方向向下),此时 $F_r = F_2 - F_1$ 。此阶段的双螺母连接状态被称为完全预紧状态达到最佳的防松效果,如图3所示。

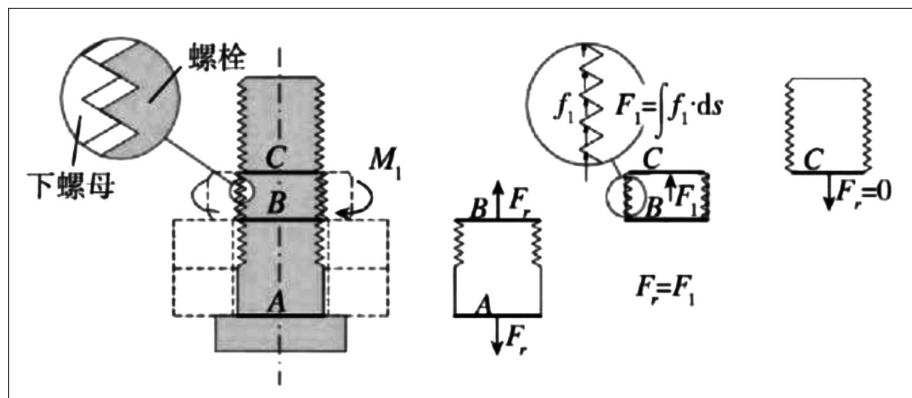


图1 拧紧下螺母时螺纹连接轴向受力分析示意图

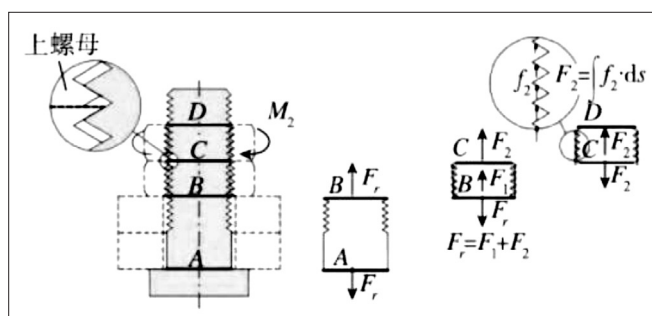


图2 拧紧上螺母的第1阶段的受力分析

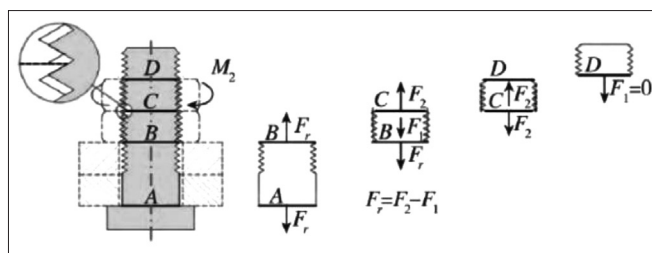


图3 拧紧上螺母的第2阶段的受力分析

6 双螺母轴向预紧力分析

根据双螺母防松原理可以得出,当双螺母轴向预紧力 $F_r > 0$ 时,即双螺母的防松结构处于第2阶段,上、下螺母之间的预紧力 $F_r = F_2 - F_1$ (方向向下),此阶段的双螺母连接状态被称为完全预紧状态达到最佳的防松效果。预紧力为上、下螺母之间产生的对顶力,不受U型螺栓与输送管之间是否存在间隙而影响。所以当聚氨酯发生塑性变形时,双螺母之间的预紧力不会发生衰减,且 F_r 越大即下螺母产生的预紧力越小、上螺母产生的预紧力越大时防松效果越佳。

6.1 下螺母预紧力矩分析

基于目前输送管固定结构上U型螺栓的聚氨酯在拆除螺母释放预紧力后可以立刻恢复至原有形状的情况下,对U型螺栓两端下螺母的预紧力矩与聚氨酯的拉伸量进行分析。

用U型螺栓将输送管固定在支架上,测量U型螺栓上聚氨酯在不同力矩下宽度的变化量。采用工具施加不同作用力对U型螺栓上的固定螺母进行拧紧后,再采用游标卡尺测量U型螺栓上聚氨酯的拉伸量(聚氨酯的宽度变化量)。测量完后松开螺母取出U型螺栓检查聚氨酯宽度是否可恢复成原来尺寸。

现场一共测量了24组U型螺栓上聚氨酯宽度在不同力矩下的变化值,在保证聚氨酯与输送管紧密贴合的情况下施加力矩范围在13.1~50.2Nm之间,测量聚氨酯宽度的拉

伸量,再松开螺母取出 U 型螺栓检查聚氨酯宽度。其中在作用力下,聚氨酯宽度拉伸量变化为 4.6mm、5mm、6.5mm 时,拆卸后聚氨酯未立刻复原发生微小变形(0.2mm、0.24mm、0.32mm),初步判断当聚氨酯宽度拉伸量 $\geq 4.6\text{mm}$ 时,聚氨酯已发生塑性变形,无法恢复原状。下螺母力矩值与聚氨酯拉伸量变化曲线如图 4 所示。

从数据总体趋势看来,聚氨酯宽度的变化量随着力矩的大小而呈规律性变化。当下螺母力矩最小为 13.1Nm,聚氨酯宽度增大值最小为 0.8mm;当下螺母力矩最大为 31.9Nm,聚氨酯宽度增大值最大为 4mm。根据以上变化曲线分析,选取聚氨酯拉伸量分布较为集中的中间值 2.4mm 作为聚氨酯宽度的合适变化量,得出下螺母力矩为 22.5Nm,既能够保证 U 型螺栓与输送管完全紧密贴合,聚氨酯又不会发生塑性变形失去弹性。

6.2 上螺母预紧力矩分析

根据现有设计结构要求和《常用螺栓力矩标准》(GB/T 1231-2006),U 型螺栓上螺纹在硬连接情况下的标准拧紧力矩为 220Nm。

6.3 螺母轴向预紧力计算

在工程设计中,螺纹连接件拧紧力矩一般按下式计算,其中拧紧力矩系数 K 与螺纹大小、螺纹升角、螺纹当量摩擦角、螺纹当量摩擦系数、螺钉头与被连接件支撑面的摩擦系数有关,可针对特定的工况条件按 GJB 715.15 规定的试验方法测出,当被连接件表面为氧化无润滑状态时,取 0.24。

$$M=KdF \times 10^{-3}$$

式中: M —拧紧力矩(Nm);

F —轴向力,即设计时确定的预紧力(N);

K —拧紧力矩系数;

d —螺纹公称直径(mm)。

忽略输送管本身重力对 U 型螺栓上螺母拧紧力矩的影响,通过公式计算各个螺母产生的预紧力,并对 U 型螺栓上同一端双螺母产生的预紧力进行分析。先拟定 U 型螺栓上双螺母的连接状态已达到最佳的防松效果,即下螺母的螺纹下表面与螺栓螺纹上表面产生接触, F_1 方向向下, $F_1=F_2-F_1$ 。

(1) 当下螺母的拧紧力矩为 22.5Nm 时,产生的预紧力 F_1 为 5859N;

(2) 当上螺母的拧紧力矩为 220Nm 时,产生的预紧力 F_2 为 57292N。

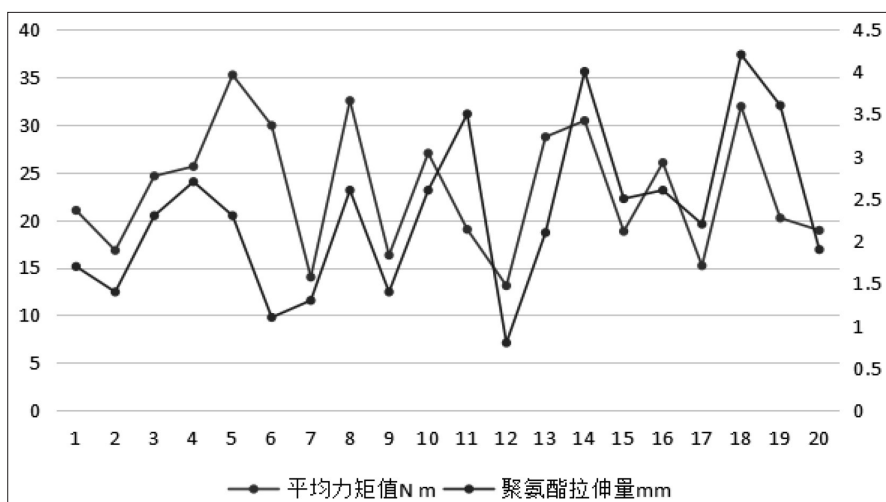


图4 下螺母力矩值与聚氨酯拉伸量变化曲线

即双螺母之间的轴向预紧力: $F_1=F_2-F_1=51432\text{N}$ 。

根据本次试验验证制定的力矩标准理论计算出来的双螺母之间的轴向预紧力可达到 51432N,为目前该螺纹连接结构中能够产生的最大预紧力。在保证螺纹连接不失效的情况下,能够达到双螺母最佳的防松效果。

7 结语

本文分析了 U 型螺栓在振动过程中的松动原因,并介绍了螺纹连接防松结构。对 U 型螺栓的防松结构进行了优化,重点介绍了双螺母的防松原理机制。同时,通过试验验证合理制定了双螺母结构中的力矩分配,在保证螺纹连接结构不失效的情况下,能够达到双螺母最佳的防松效果。但是,后续还需重点对双螺母的夹紧力进行合理设计,选择合适的拧紧工具,通过合适的拧紧策略获得相应的夹紧力,从而保证产品装配过程中的质量,提升产品的竞争力。

参考文献:

- [1] 李天雷,刘锴,孙文东,等.振动工况下的双螺母结构防松性能研究[J].宇航总体技术,2018(7):53-58.
- [2] 单长伟,杨琪,武庆.振动对高强度螺栓拧紧效果的影响[J].轻型汽车技术,2008(9):23-26.
- [3] 马涛.对顶螺母防松效果的分析[J].专用汽车,1999(2):31-33.
- [4] 刘东亚,姚金声.拧紧力对双螺母防松效果的影响[J].广西轻工业,2010,26(2):42-43.
- [5] 龚必强.双螺母拧紧原理及其应用[J].重庆重汽科技,2001(1):13-15.

作者简介:刘加华(1979.10-),男,汉族,湖南常德人,本科,中级职称,研究方向:机械设计制造。