

试析双向侧弯输送链销轴结构的改进设计

程国东, 邵 坚, 程移风

(安徽黄山恒久链传动有限公司, 安徽 黄山 245300)

摘要: 本文将围绕传统双向侧弯输送链销轴结构存在的问题以及断裂形成原因开展分析,并以某工厂输送链销轴为研究对象,实施理化分析,计算其结构强度,以此提出针对性的改进设计措施。经设计后发现,笔者提出的改进方法可实现销轴铆接后的轴向止锁,优化铆接定位精确性,减少铆接压力,延长链条使用寿命。

关键词: 外链板; 双向侧弯输送链; 塑板; 压力机; 销轴结构

中图分类号: F272.9

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2023.26.033

双向侧弯输送链常用于往复运动的场合,可实现双向二维运动,负责各类箱、托盘等件货的输送,可承受较大的冲击荷载。相较于传统侧弯输送链,双向侧弯输送链的弯曲半径更小,能够满足大角度转弯要求。但根据实际调查显示,双向侧弯输送链长期处于高强度运行作业时,链条两侧销轴结构经常与导轨发生滑动摩擦,长此以往,必然会导致铆合量削减,最终造成链条失效。因此,研究此项课题,具有十分重要的意义。

1 案例分析

1.1 案例概况

本文以某地方机电企业生产的传统双向侧弯输送链作为研究对象,其组成部分主要包括内外链板以及销轴结构,其中外链板的结构表现为四周带有倒角的锻造平板,而内链板则属于锻造而成的块状结构,并且内外链板存在较大间隙,从而使链条左右两侧产生弯曲半径。此类链条可在两个平面上完成运转,结构较为特殊,也能在轨道上完成传动输送。至于销轴铆合机构则位于外链板外,其主要作用在于避免链板掉落,在使用过程中需要预先对销轴实施铆头处理。现阶段,使用频率较高的铆头以球面铆、井字铆为主。借助铆头处理的方式,可进一步提高销轴头部直径,产生轴向止锁效果,避免外链板脱出销轴。但由于传统双向侧弯输送链销轴结构露出外链板,为了最大程度增大销轴头,选择设计八字侧铆。在使用时发现,外链板经常脱出销轴,造成链条失效。最初,工作人员经分析认为是销轴铆头量较低,造成轴向止锁效果不佳,因此采用井字铆等方式进一步改善铆头直径,从而强化铆接作用。但得到的反馈信息是设备使用一年后,销轴断裂^[1]。为准确找出输送链销轴存在的问题,需要开展金相分析以及强度计算。

1.2 理化分析

首先要进行化学成分分析,销轴的化学成分主要包括:0.4%的碳、0.2%的硅、0.4%的锰、0.8%的铬以及余量的铁。销轴断裂部位集中在中部,且销轴与外链节接触部分存在轴向划痕,证明销轴在工作期间受到较大应力,且存在轴向转动与移动。在转动与移动的过程中,会改变弯曲应力产生区域,使

断裂部位与销轴中部产生一定偏离,也会使此处裂纹在不同方向上的扩展速率保持一致,从而加快销轴疲劳断裂,提高裂纹扩展速度,缩短其使用寿命。

其次要开展断口形貌分析,断口左侧颜色较为灰暗,断面平整,断口右侧表面凹凸不平,且存在大量摩擦碰伤。根据研究显示,销轴断裂源于左侧表面,右侧属于失稳瞬断区,且断口中频感应淬火层具有大量弧形小断面,此类区域位于疲劳主裂纹前沿,在扩展前便已存在。销轴在交变应力的影响下,使裂纹不断汇合,最终形成疲劳主裂纹。由此可见,在淬火时出现的弧形断面会加剧疲劳裂纹的发展,使局部应力更加严重,加大塑性变形的概率。

再次要实施金相分析,评定销轴杂物,具体表现为:球状氧化铝,硫化物。而在淬火层组织则由马氏体与针状马氏体组成,伴有少量托氏体,硬化深度在2.4mm左右。而销轴心部的金相组织则表现为:粗大的托氏体与少量条状铁素体,金相组织等级为5级。

最后要进行裂纹分析,失效销轴存在较浅裂纹,其起始端平直,两侧未发现脱碳现象,但裂纹内包含大量氧化物。至于超出淬火层的裂纹,则呈曲折状蔓延,尾部较为尖锐,究其原因在于裂纹沿奥氏体晶界扩展,而裂纹两侧同样不存在脱碳现象,但具有少量氧化物。通过对销轴心部与表面硬度进行测试发现,心部硬度大约在HRC33,高于技术要求标准,而表面中频淬火层硬度则为HRC56,同样超出技术要求。

1.3 结构强度计算

利用信息技术、系统软件打造输送链销轴力学模型,完成其强度计算,其中销轴两端长度为60.5mm,中心区域长度为141mm,为了简化计算流程,将销轴承受的载荷分布为载荷 q_1 、 q_2 的计算方法分别为:

$$\begin{aligned} q_1 &= F_1 / a \\ q_2 &= F_1 / b \end{aligned}$$

其中 F_1 、 F_2 分别表示销轴不同位置承受的应力大小,在实际工况当中,销轴剪切剖面在承受剪切应力的基础上,还要承受弯曲应力。而剪切应力最大的位置位于销轴中心位置与两

侧接触的部位，至于弯曲应力最大的位置则位于中心区域的中心点。因此需要对销轴心部与表面开展剪切强度与弯曲应力的计算。

第一，销轴剪切应力强度计算，销轴材料为铬钼钢，其屈服强度大约在 835mpa，抗拉强度则在 925mpa，疲劳强度为 432mpa，剪切强度为 740mpa，当链条处于运行阶段，单边重量在 15.5t。此时，销轴心部的载荷大小可依照下述公式计算：

$$\tau_{\max} = \frac{1.3 \times 1.1 \times Q}{\pi / 4d^2}$$

在链条运行时，销轴心部剪切应力低于剪切强度，由此可见，剪应力并非造成销轴断裂的诱因。

第二，销轴弯曲应力计算。对于销轴来说，最大弯矩 M_{\max} 的计算方法应为：

$$M_{\max} = \frac{q_1}{2} a^2 + q_1 a \left[\frac{b}{2} - \frac{q_2}{2} \left| \frac{b}{2} \right|^2 \right]$$

而销轴表面的最大弯曲应力计算方法则为：

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z}$$

根据计算结果显示，销轴表面的最大弯曲应力不超过强度极限，因此在静载荷作用下不会产生破坏问题。但设备在工作状态下，位于销轴的剪切力、弯曲应力并非静荷载，本质属于循环作用下产生的交变应力，甚至夹杂因物料装载与卸载产生的振动荷载。且该弯曲应力数值较高。综上所述，当销轴处于交变载荷作用时，实际寿命无法满足原有设计条件下使用寿命的实际要求。且由于此时应力处于最大值，加上工件加工过程中也难免会对表面产生裂纹、划痕等缺陷，最终萌生疲劳裂纹，进而在局部应力集中时使销轴发生疲劳破坏。这也是上文在理化分析时发现失效销轴断裂区域集中在销轴中部。最终可确定，造成本次销轴断裂的原因为，双向侧弯输送链在轨道内运行过程中，暴露在外链板外的销轴端部磨损严重，导致外链板脱落，且销轴表面的弯曲应力较高。若想尽可能延长销轴的使用寿命，需要以降低弯曲应力数值，控制初始裂纹作为改进设计方法。

2 双向侧弯输送链销轴结构的改进设计研究

2.1 改进方法

为了尽可能降低销轴两端的磨损，确保外链节框架性能好，提高链条的使用寿命，需要充分考虑锻粗，并设计好适合的塑性成形方式。锻粗是使坯料高度降低而增大横截面的锻造工序，可有效提升锻件力学性能，降低坯料力学性能各向异性，改善金相组织形成，保证其均匀分布。通过对多种变形方式进行比对后发现，圆柱体闭式锻粗的效果最为显著，且此类锻造方法实施较为简易。为此，链条在设计时对外链板与销轴接触结构开展改进设计，对节距孔口外侧进行倒角（如图 1 所示）处理，使销轴埋于孔内，借助锻粗方式，使金属材料完全填充在倒角空间内，起到零件轴向止锁作用。以往销轴端部被设计

为实心结构，但此类结构在生产销轴时，经常出现端部锻粗时，材料流动阻力较高，不利于变形，造成流动的材料无法填充倒角空间，削弱了销轴轴向止锁效果。并且，锻粗操作需要在相对较高的压力环境下进行，容易造成销轴中部锻粗变大，影响销轴中间部分的正常传动，最终导致铰接位置转动不灵活，也难以有效调控链条长度^[2]。

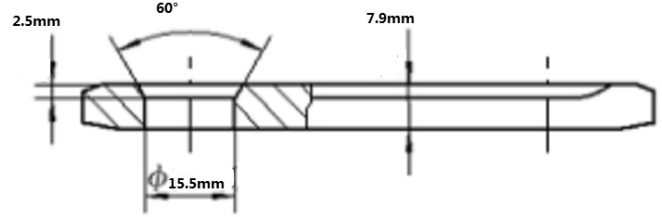


图1 外链板节距孔口倒角

同时为了确保销轴在高压环境下仍具有一定的流动性，最大程度降低铆接压力，避免销轴出现外径变化，还要充分结合弱区先变形的理论，使销轴在铆接部位的变形区成为弱区，以便后续将金属塑性形变控制在弱区范围内，防止传力区出现塑性变形，进而将销轴端部变形转变为弱区。

此外，还要对锻粗位置的接触面积进行优化设计，适当降低锻粗时的变形。在锻粗过程中，由坯料边缘至中心的压力处于逐渐增加的状态，且平板锻粗时，摩擦系数数值较低，则变形则愈发均匀，因此需要在设计时尽可能降低摩擦系数。将此作为设计依据，需要在销轴横截面中心去除一定接触面积，简单来说，便是在销轴端部加工凹坑，并控制好深度与锥度，将销轴在锻粗变形的过程中成为弱区，简化变形难度，且不会对其他传力区产生不良影响。达到销轴区金属材料流动性能优良，且体积可刚好充满倒角区域的目的。改进后的销轴结构如图 2 所示。

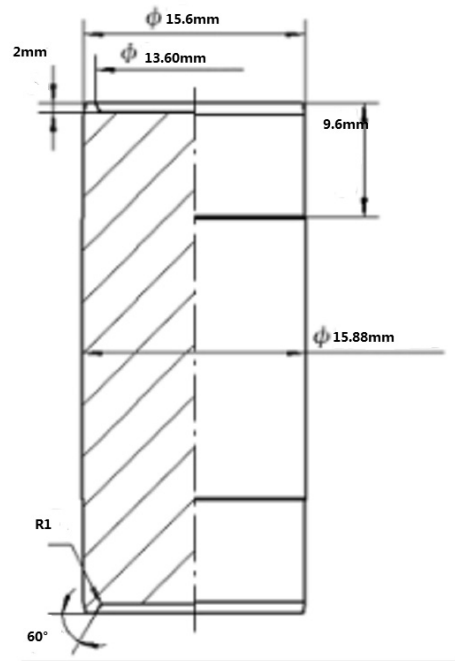


图2 改进后的销轴结构

2.2 销轴变形抗力对比

采用下述公式完成镦粗变形抗力的计算, 具体内容为:

$$P = Fp = F\sigma(1 + \mu d/3h)$$

其中 F 代表销轴镦粗接触面的投影面积, 单位为 mm^2 , p 表示接触面单位面积压力大小, 单位为 N/mm^2 , σ 表示应力值, μ 表示摩擦系数, d 代表坯料直径, 单位为 mm , h 表示坯料高度, 单位为 mm 。根据研究后发现, 在实施改进设计后, 无论是销轴材质与硬度, 还是销轴直径与长度均未产生显著变化, 只有销轴投影面积出现一定改变, 至于改进前、改进后的投影面积的计算方法则为:

$$F_{\text{前}} = \pi \times 15.6^2 / 4$$

$$F_{\text{后}} = \pi \times [15.6^2 - (13.6 - 2 \tan 30^\circ)^2] / 4$$

$$F_{\text{后}} / F_{\text{前}} = 36\%$$

根据公式显示, 改进后的销轴投影面积只有改进前的 36%, 如果销轴在改进后的接触面单位面积平均压力保持恒定, 则可依照镦粗变形抗力计算方法, 确定改进后镦粗胀柳所需压力大小。同时还要考虑到压力机安全载荷, 最终判定, 结构改进后镦粗胀柳所需压力相较于改进前减少约 50%^[3]。

2.3 销轴头部长度计算

因为塑性变形所引发的体积改变几乎可以忽略不计, 因此实际计算环节, 需要假设物体在形变前后的体积恒定不变。之后依照塑性变形过程中, 物体体积恒定不变的原理, 保证倒角空间体积完全填充, 计算销轴头改进后的长度。其中倒角空间填充体积的计算方法为:

$$V_1 = \pi \times (15.5 + 2.5 \tan 30^\circ)^2 / 4 \times 2.5$$

销轴头凹坑体积计算方法为:

$$V_2 = \pi \times [15.6^2 - (13.6 - 2 \tan 30^\circ)^2] / 4 \times 2$$

经计算后, 需填充体积的销轴长度为 2mm, 结构调整后, 销轴长度计算为 9.6mm。

2.4 工艺验证

在开展改进优化后的双向侧弯输送链销轴结构批量生产前, 还要对销轴尺寸的精确度开展工艺验证, 并确定柳头质量是否达标。为此, 需要预先加工多件用于检测试验的销轴与链板, 利用模拟链条结构的方式完成工艺验证。

根据验证结果显示, 在压力机吨位调整至原有压力的 50% 后, 进行镦粗柳接, 此时销轴头容易产生变形, 且变形后的材料可充满倒角空间, 而链条的定位也较为准确, 柳接外观优良。由此可见, 实施改进优化设计后, 销轴尺寸计算准确, 符合工艺标准。至于在分析双向侧弯输送链销轴结构时可发现, 在实施改进前, 销轴实心结构镦粗时, 链条需要借助链板外形完成定位, 但因为链板本身的外形尺寸存在较大的散差, 所以定位准确性不足。且链板孔内部空间较为狭小, 而柳头模直径又较大, 因此在镦粗作业时经常出现链板擦伤的问题, 造成链板表

面出现大量划痕, 破坏链条外观美感, 不利于生产作业的有序进行。而在改进设计后, 销轴投影面积明显降低, 对镦粗胀柳压力大幅度减少, 在镦粗时可适当调整柳头模直径, 扩大模具容纳空间。此外, 采用链板外形实现粗定位, 在模具上设置导向钉, 依靠销轴凹坑定位, 可大幅度提高定位准确度, 以此达到提高链板表面质量的目的。之后, 通过对车间产量与加工耗时等数据进行统计分析后发现, 销轴结构在实现改进设计后, 生产效率提升近 3 倍^[4]。

由此可见, 在改进销轴端部结构后, 其投影面积降低为原有的 36%, 此时销轴更容易产生变形, 所需镦粗胀柳压力则减少为 50%。而在镦粗胀柳的过程中, 销轴流动材料也更容易填满倒角空间, 进一步增强了销轴与链板的止锁能力。且改进设计后, 柳接压力明显减少, 链条定位精度更高, 无论是在表面质量上, 还是在生产效率方面, 都取得了大幅度提升。根据实际调查显示, 改进后销轴柳接所需压力吨位降低, 在一定程度上延长了柳头模具使用寿命, 实现了控制生产成本的目标。且改进后, 双向侧弯输送链销轴结构始终未出现外链板失效的情况, 用户使用效果优良^[5]。

3 结论

综上所述, 通过对传统双向侧弯输送链销轴结构的断裂问题开展分析讨论, 阐述理化分析结果, 以及结构强度的计算方法, 探究问题形成原因, 以此提出针对性的优化改进设计策略, 之后通过对比销轴变形抗力, 计算销轴头部长度, 利用工艺验证, 评估改进结果。最终发现, 笔者提出的双向侧弯输送链销轴结构改进对策可有效延长链条使用寿命, 降低销轴承受柳接压力, 保持更高的定位精确性。

参考文献:

- [1] 王军, 李琳, 侯旭. 液压支架试验台中梁插拔销轴结构优化[J]. 矿山机械, 2023, 51(04): 1-5.
- [2] 梁艳彬, 万一品, 周宇杰. 大型挖掘机销轴力传感器结构有限元仿真分析[J]. 机械研究与应用, 2022, 35(06): 1-3.
- [3] 王永胜. 某型隧道施工装备臂架销轴断裂失效分析与解决[J]. 工程机械, 2021, 52(04): 109-113, 12.
- [4] 郭成良. 关于矿用液压支架顶梁销轴结构强度的分析[J]. 机械管理开发, 2019, 34(11): 76-77, 108.
- [5] 王仲衡, 罗斌, 张旻权. 建筑索结构销轴耳板连接节点承载力试验研究和有限元分析[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(11): 150-159.

作者简介: 程国东(1968-), 安徽绩溪人, 工程师, 主要从事链传动产品制造工艺及装备研究。