

Doi:10.3969/j.issn.1672-0105.2014.04.016

缆索清障类机器人橡胶履带的优化设计及模拟*

蔡承宇,徐临超,郑道友
(浙江工贸职业技术学院,浙江温州 325003)

摘要:设计了一种耐低温可拆卸橡胶履带结构,针对缆索清障类机器人橡胶履带与钢缆的接触面进行了有限元分析,并根据结果对橡胶履带的结构进行了改进,分析结果可为今后生产实践中清障机器人的橡胶履带设计提供依据。

关键词:清障机器人;橡胶履带;优化设计;有限元

中图分类号:TH145:O242.21

文献标识码:A

文章编号:1672-0105(2014)04-0061-03

Optimization Design and Simulation of a Cable Robot's Rubber Track

CAI Cheng-yu, XU Lin-chao, ZHENG Dao-you
(Zhejiang Industry & Trade Vocational College, Wenzhou, 325003, China)

Abstract: A low temperature resistant removable rubber track structure was designed, the contact surface between cable robot's rubber track and cable was analyzed by finite element method, and the structure of rubber track are improved according to the study results. The analysis results can provide the basis for the manufacture of cable robot's rubber track in the future production and practice.

Key words: cable robot; rubber track; optimization design; finite element

0 引言

橡胶履带最早由日本普利司通公司于60年代末研制成功,主要用于农业机械、工程机械和部分车辆的行走机构,具有轻便,牵引力能力强,转向灵活,复杂地形通过能力强等优点,目前已经在许多特种作业场合广泛应用。但由于橡胶履带的耐久性、耐低温性不好等原因,在使用过程中容易发生龟裂和碎裂,存在着易损坏、寿命短等问题。

作为保证清障类机器人在缆索或轨道上进行安全可靠作业的重要部件^[1],由于长期处在高空、低温的工作环境,其橡胶履带的结构设计要求相对常规橡胶履带较高,必须在保证机器人在爬行过程中有足够的牵引力的前提下,具备较好的抗振性,耐用性,耐低温性^[2]。因此在选取具有较好的耐寒、耐老化性的由天然橡胶与合成橡胶制成的耐低温橡胶作为缆索机器人的履带材料的基础上,本研究针

对传统缆索机器人履带的结构进行了优化设计,并对其中与缆索接触部分进行了有限元模拟分析,还根据计算结果对结构进行了改良。

1 橡胶履带结构的优化设计

常规的橡胶履带通常由一履带底板和均布于履带底板上的若干橡胶条构成,为一体注塑成型,由于在实际应用中,橡胶条直接与缆索接触,在清障机器人自重及夹紧机构的作用下,与缆索键的摩擦力较大,通常磨损较快,而履带底板由于受到传动轮的作用,长期处于张紧状态,在低温环境和拉应力的作用下,容易出现老化、龟裂现象。为增加橡胶履带的耐用性,降低损耗成本,我们对常规一体成型的橡胶履带结构进行了改进。详见图1,图中1为履带底板,2为可拆卸式橡胶条,3为橡胶条夹套,4为定位夹紧螺栓。

采用上述结构安装时,可先将橡胶夹套底板通

收稿日期:2014-05-25;修回日期:2014-09-28

基金项目:2012年浙江工贸职业技术学院教师科技创新活动计划项目资助(G120103)

作者简介:蔡承宇(1981—),男,浙江瑞安人,讲师,硕士,主要研究方向:复合材料,机电一体化。

过铆钉固定到履带底板上,再将橡胶条一一对应插入橡胶夹套内,最后再使插入的橡胶条与左、右侧板之间通过螺栓进行定位夹紧。在本设计中,每一条橡胶条均是通过对应的一个橡胶夹套可拆卸安装固定于履带底板上,因此当某一条橡胶条损坏时,可对该橡胶条进行拆卸式更换,无须将整个橡胶履带舍弃,从而有效地降低了橡胶履带的使用成本,并避免造成资源浪费。由于直接与缆索接触并长期暴露在低温环境下,可拆卸橡胶条的材料可考虑选用耐寒性、耐磨性和弹性较好,动负荷下发热少,并具有一定的耐老化的顺丁橡胶^[3]。而履带底板由于长期受到传动轮引起的应力作用,为了增强其抗拉性能,可采用类似于同步带的结构,以编织钢丝或玻璃纤维为内层,外层覆以聚氨酯或氯丁橡胶,底板的内周制成齿状,使其能与传动轮啮合,提高其传动的可靠性。

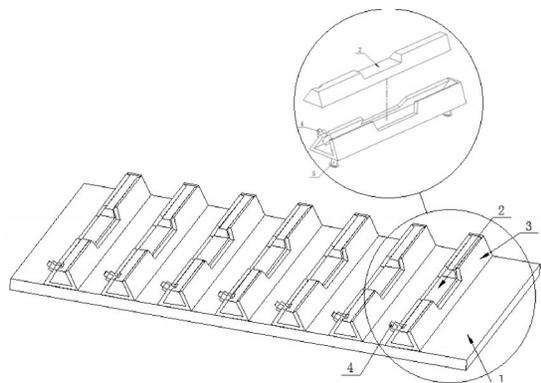


图1 一种耐低温可拆卸橡胶履带结构

2 橡胶履带的有限元分析

基于以上对橡胶履带结构的改进,可以发现在这种履带结构中,由于可拆卸橡胶条在机器人自重及夹紧力的作用下与缆索直接作用,所受应力较大,在长期工作的情况下最易发生断裂与磨损,为了进一步改善其性能,我们对其进行了有限元模拟^[4],并对其应力分布状态进行了分析。

2.1 模型建立

2.1.1 几何模型

橡胶履带结构较为复杂,断裂失效也较为常见,这主要是因为结构设计不合理造成的。目前对橡胶履带的结构优化基本上依赖于经验数据和定性分析,而橡胶履带与缆索的接触形变及接触应力分布状态是影响橡胶履带寿命的重要参数。为了对其结构进一步优化,提高其耐用性,根据郑道友、欧

长劲^[4]提出的履带结构,对其优化设计和合理化,在有限元软件ansys中建立了可拆卸橡胶条与缆索接触的几何模型如图2所示,针对可拆卸橡胶条与钢缆间进行接触分析。

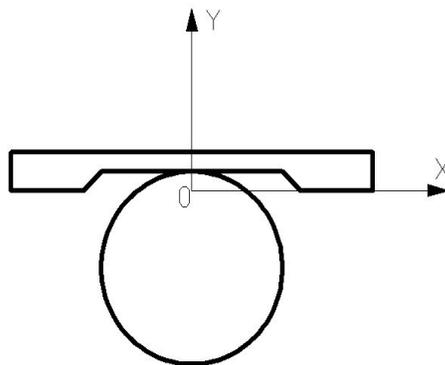


图2 可拆卸橡胶条与缆索接触的几何模型示意图

2.1.2 物理模型

橡胶是一种超弹性材料,并具有很好的伸缩性及复原性,因此在假设材料各向同性及体积近似不可以压缩的前提下,可用Mooney-Rivlin模型对其进行描述,其函数可表示为:

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \quad (1)$$

其中W为应变能密度, C_1 、 C_2 为材料系数; I_1 、 I_2 为第一、第二应变张量不变量。其应力应变关系可以表示为:

$$\sigma = \partial W / \partial \epsilon \quad (2)$$

根据GB/T528-1998规定的橡胶标准试样的拉伸试验确定C1取1.87,C2取0.47,橡胶条的弹性模量及泊松比如表1。

表1 橡胶条的弹性模量及泊松比

T1/℃	A ₁ /MPa	A ₂ /MPa	T1/℃	A ₁ /MPa	A ₂ /MPa	PRXY
0	40	40	-40	120	30	0.5

2.2 有限元计算及结果分析

对于可拆卸橡胶条,我们选用超弹性单元HYPER56,橡胶条与缆索间的接触单元选用CONTA172及TARGE169,缆索单元类型选用PLANE42,缆索弹性模量及泊松比分别取 $E=2 \times 10^5$ MPa, $\nu=0.3$,并对图2的几何模型进行网格划分,划分情况如图3所示。

从郑道友、欧长劲在《履带式缆索机器人系统的研制》^[4]中提及的履带式缆索机器人爬升机构可知,机器人在执行爬行任务的过程中,除了与缆索

间的必要的摩擦力外,履带分别受到驱动轮张紧力作用和由机器人自重及夹紧机构共同引起的压力作用,这两者是引起履带断裂的主因。由于在对橡胶履带结构优化的过程中,我们采用了可拆卸橡胶条,因此,在不考虑摩擦力的前提下,对于橡胶条而言,只受到由机器人自重及夹紧机构引起的压力的作用。故根据可拆卸橡胶条与履带接触的特点及受力分析,我们在建立的有限元模型中,对可拆卸橡胶条的上表面施加了大小为40 MPa的均布载荷,并在钢缆下半部边缘处施加了位移约束,工作环境温度假设为零下10℃。图4中应力分布曲线1为通过有限元计算得到的可拆卸橡胶条与钢缆接触面上沿X方向的等效应力曲线,从图中可知,在不考虑爬行期间橡胶条与钢缆之间的摩擦力引起的应力的情况下,由于机器人自重及夹紧力的共同作用,最大等效应力出现在可拆卸橡胶条与钢缆接触部位,这种情况是由橡胶条与钢缆接触面部位橡胶产生的形变较大引起的,为了改善橡胶条上的应力分布情况,进而延长橡胶条的使用寿命,我们对橡胶条的结构进行了如下改造,具体见图5。这种结构增加了橡胶条与钢缆的接触面积,经有限元分析计算,橡胶条与钢缆接触部分的最大等效应力相对改造前大幅减小,具体见图4中应力分布曲线2。由于本设计中的橡胶条与履带底板之间是可拆卸的,因此这种带有弧度的橡胶条可以根据机器人工作的钢缆的不同进行定制,具有成本低,更换方便,可靠性高,适应性强的特点。

3 总结

设计了一种耐低温可拆卸式橡胶履带,选取耐低温性能较好的顺丁橡胶作为可拆卸橡胶条的材料,并为履带底板的结构改进和选材提出了初步方案,这种复合型的橡胶履带结构不仅降低了清障机器人履带的损耗与维修成本,而且降低了其在低温

参考文献:

- [1] 郑道友,欧长劲.履带式缆索机器人系统的研制[J].浙江工贸职业技术学院学报,2011(3):72-75.
- [2] 刘玉田.严寒地带使用的环形橡胶履带[J].世界橡胶工业,2007(5):22-26.
- [3] 余惠琴,刘晓红.低温改性天然橡胶剪切性能研究[J].固体火箭技术,2006(29):222-224.
- [4] 翟峰,张英,郑慕侨.实心橡胶轮胎温度场有限元分析[J].轮胎工业,2003(4):200-203.

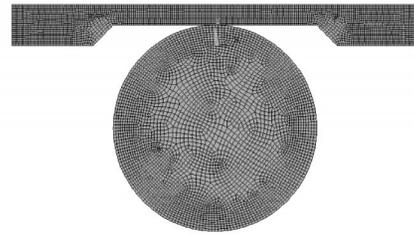


图3 模型的网格划分

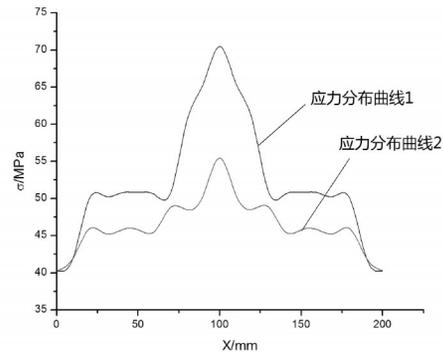


图4 可拆卸橡胶条与钢缆接触面上沿X方向的等效应力图

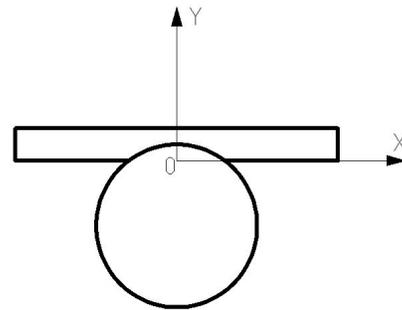


图5 改进后的拆卸橡胶条与缆索接触的示意图

环境高空作业时发生断裂,脱落的可能性。此外还利用有限元的方法对其上可拆卸橡胶条进行了应力分布分析,并根据分析结果对可拆卸橡胶条的结构进行了改造,增加了橡胶条与钢缆间的接触面积,进而改善了接触面上的应力分布状况,增强了橡胶条的耐用性。