

研究与应用

橡胶履带力学分析及优化设计

王克成

(临海金利隆橡胶履带有限公司, 浙江 临海 317000)

摘要:介绍橡胶履带的力学分析、结构设计和橡胶材料配方设计性能要求。橡胶履带的力学分析是橡胶履带设计的前提。橡胶履带的结构和橡胶材料配方设计应满足履带结构性能和使用性能的要求。

关键词:橡胶履带;力学分析;结构设计;配方设计

橡胶履带是由橡胶与金属或纤维材料复合制成的环形橡胶带(如图1所示),主要用于农业机械、工程机械、运输机械和军用车辆等的行走部分。

橡胶履带由芯金、强力层、缓冲层和橡胶材料四大部分组成(如图2所示)。橡胶材料将各部

件紧密地结合为一体,保证履带的行走能力和减震、降噪功能。

1 橡胶履带运行时的受力分析

橡胶履带运行时的受力分析是橡胶履带的设计基础。橡胶履带的运行状态不但受圆周力和离心力的影响,而且受带体经过机械齿轮时产生的弯曲应力以及带体自身重力的影响。

1.1 传递动力产生的拉应力(σ_1)

橡胶履带(轮齿式)是靠机械齿轮转动时产生的驱动力(由机械齿轮传递给履带带孔中的芯金)驱动行走的。当机械或车辆在静止状态时,机械齿轮上下两侧的橡胶履带所受的初始张力是相等的。

当机械或车辆运行时(如图3所示),机械齿轮上侧的橡胶履带为紧边状态,而机械齿轮下侧的橡胶履带则为松边状态,由橡胶履带中的芯

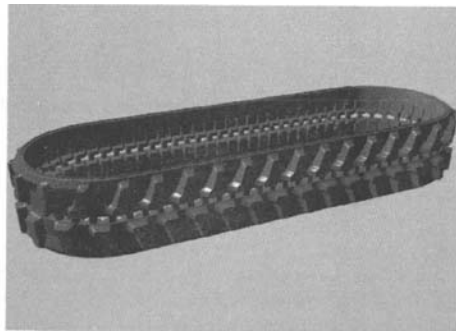


图1 橡胶履带

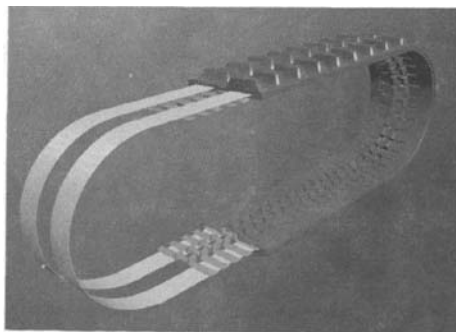


图2 橡胶履带剖析示意

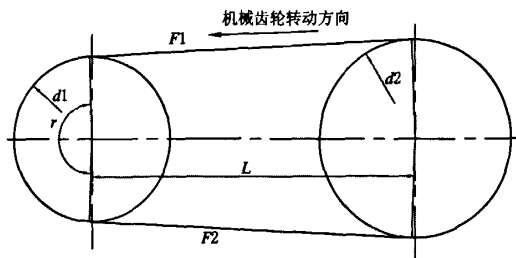


图3 橡胶履带转动示意

金排列组成的导轨来保证机械齿轮在行驶中不发生脱轨现象。

橡胶履带紧边拉力与橡胶履带松边拉力之差为:

$$F_0 = F_1 - F_2.$$

式中: F_0 ——橡胶履带转动时的有效圆周力, N;

F_1 ——橡胶履带紧边拉力, N;

F_2 ——橡胶履带松边拉力, N。

F_1 与 F_2 的关系可用欧拉公式表示:

$$F_1 = F_2 \cdot e^{fr}.$$

式中: f ——橡胶履带与机械齿轮的摩擦因数, 与橡胶履带速度的关系不大;

r ——橡胶履带与机械齿轮主动轮的接触弧度;

e ——自然对数的底。

r 与橡胶履带和机械齿轮主动轮的包角 α_1 关系为:

$$r = \alpha_1 \pi / 180.$$

α_1 与两端机械齿轮的中心距 (l) 和机械齿轮从动轮直径 (d_2)、机械齿轮主动轮直径 (d_1) 的关系为:

$$\alpha_1 = 180 - 60(d_2 - d_1)/l.$$

橡胶履带的 σ_1 (单位 MPa) 计算式为:

$$\sigma_1 = (F_1 - F_2)/S.$$

式中: S ——橡胶履带横截面积, cm^2 。

1.2 由离心力产生的离心应力 (σ_2)

橡胶履带具有一定的质量, 转动时离心张力为:

$$F_3 = qu^2/g.$$

式中: F_3 ——离心张力, N;

q ——橡胶履带自重, $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$;

u ——橡胶履带转动线速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

g ——重力加速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

橡胶履带的 σ_2 (单位 MPa) 计算式为:

$$\sigma_2 = F_3/S.$$

σ_2 随着橡胶履带速度增大而增大, 当橡胶履带线速度小于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 设计时 σ_2 的影响可以忽略不计, 当橡胶履带线速度超过 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时 σ_2 的影响就不可忽略不计。

1.3 弯曲张力产生的弯曲应力 (σ_3)

橡胶履带转过机械齿轮时应力集中于弯曲弧

度最大处, 机械齿轮的直径愈小, 橡胶履带带体强力层愈厚, 则弯曲张力愈大。橡胶履带弯曲张力为:

$$F_4 = ESh/d.$$

式中: F_4 ——橡胶履带弯曲张力, N;

E ——橡胶履带材料的弹性模量, MPa;

h ——橡胶履带厚度, cm;

d ——机械齿轮半径, cm。

橡胶履带的 σ_3 (单位 MPa) 计算式为:

$$\sigma_3 = F_4/S.$$

橡胶履带在一定负载和线速度下转动时, 其最大张力 ($F_{\max}$) 和最大应力 ($\sigma_{\max}$) 为:

$$F_{\max} = F_1 + F_3 + F_4;$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3.$$

2 橡胶履带结构的力学分析

橡胶履带是厚型制品, 在机械齿轮转动运行过程中, 橡胶履带经过机械齿轮时各部位 (如图 4 所示) 所受的应力是不相同的。

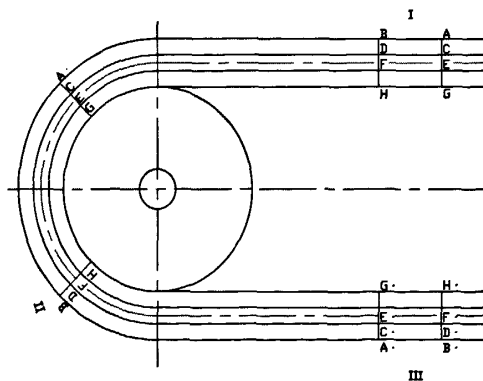


图4 橡胶履带转动示意

设橡胶履带在 I 位置时, 将橡胶履带带体分为 3 层剖面, 即 A-C, C-E, E-G 层剖面, 进行分析。当橡胶履带 AB 段从 I 位置运行到 II 位置时, A-C 层却呈弯曲伸张状态, 称伸张层; C-E 层既不受弯曲时的伸张应力, 又不受弯曲时的压缩应力, 此层为中性层; E-G 层呈压缩状态, 称压缩层。橡胶履带在 I 位置状态时, 各层受拉伸应力、压缩应力和离心应力的作用。橡胶履带在 II 位置时不但受拉伸应力、压缩应力和离心应力的作用, 还受压缩应力的作用 (中性层除外)。当橡胶履带 A'B'

段从Ⅱ位置运行到Ⅲ位置时,橡胶履带各层受力情况又恢复到Ⅰ状态,并加之机械自重。因此橡胶履带在Ⅲ位置时,各层除受拉伸应力、压缩应力和离心应力的作用,还承受着机械重力的作用。

若把伸张层、中性层和压缩层再分成若干层,进行如上分析,不难得出橡胶履带与机械齿轮接触处,愈是靠近机械齿轮底部的部位受弯曲压缩应力愈大,愈是在外层的部位受弯曲伸长应力愈大。故在橡胶履带橡胶材料和结构设计中必须考虑各层受力状况,以合理安排强力层在橡胶履带中的位置和设计适合的各层胶料配方。

3 橡胶履带的优化设计

橡胶履带橡胶材料可分为花纹侧胶、底胶、钢丝帘线胶、缓冲胶、布层胶、齿胶和轮侧胶等部分,如图5所示。骨架材料有钢丝帘线、锦纶帘布、锦纶帆布、芳纶帘布以及芯金等。

3.1 花纹侧胶与底胶(复合成橡胶履带行驶面)

花纹侧胶用来防止带体受机械损伤(穿洞和穿孔)和早期磨损,向路面传递车辆的牵引力和制动力,增大与路面(土壤)的抓着力,以及吸收与传递履带运动时的振荡。其行驶部分的花纹如图6所示。

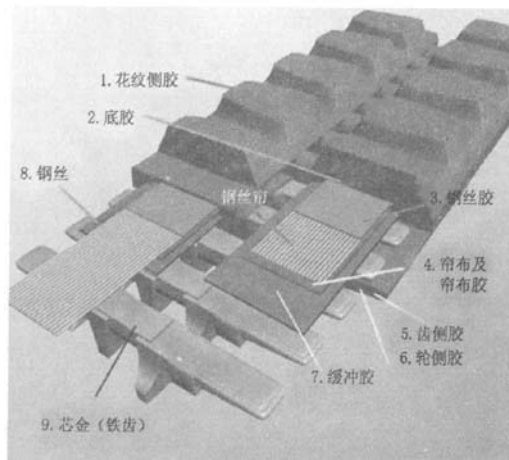


图5 橡胶履带结构示意图

花纹侧胶应具备良好的耐磨性能、抗刺扎性能、抗撕裂性能、抗崩花掉块性能、耐屈挠龟裂性能、抗裂口增长性能、耐氧和耐臭氧老化性能、耐日光老化性能、抗拉伸永久变形性能和耐动态疲劳性能等,同时未硫化胶的充模性、流动性和排气性好。

底胶作为基部胶位于花纹侧胶下层,用来缓冲振荡和冲击。在多次变形下,底胶因摩擦作用而放出大量的热。因此,底胶应具备生热低、导热性良好、弹性好、黏合性能佳的特点,同时其在带体中间,传热慢,硫化速度相对要快。

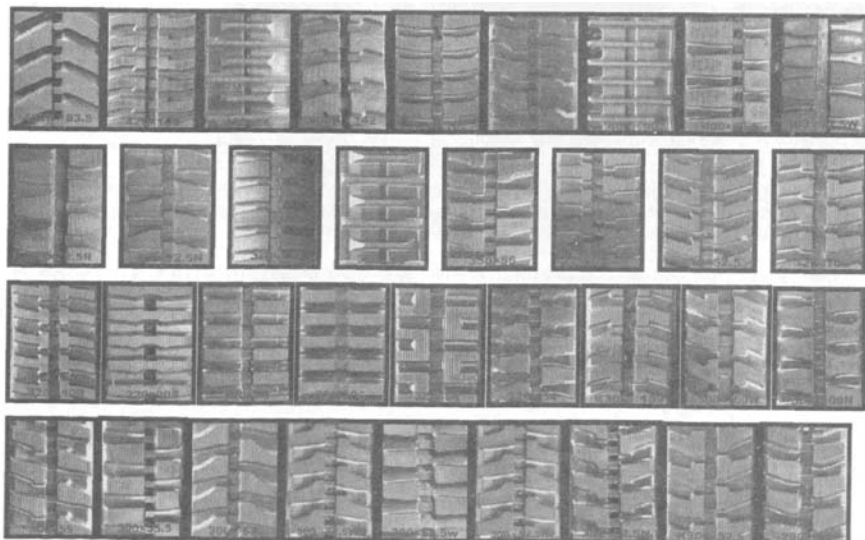


图6 橡胶履带花纹

3.2 强力层与缓冲层

强力层是牵引件,作为橡胶履带的纵向抗拉体,承受牵引力并保持履带节距的稳定性,由钢丝帘线、钢丝帘线胶构成,如图 7 所示。

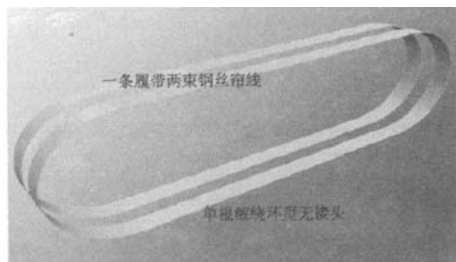


图 7 橡胶履带强力层

钢丝帘线胶应与钢丝帘线良好黏合,具有良好的弹性、柔韧性、导热性、气密性,在多次变形下生热性小,耐疲劳性能、耐热性能、耐多次剪切变形性能优异,缓冲性能较好。

橡胶履带带体的伸长主要是由钢丝帘线伸长所导致的。为了提高橡胶履带整体抗拉强度和保持履带节距的稳定性,使用高强度、预伸张钢丝帘线更好。

另外,在机械齿轮直径偏小时,应使用单丝直径较小的钢丝帘线,以改善钢丝帘线的柔韧性,减小作用于带体上的弯曲应力。

缓冲层是由缓冲胶与擦胶帘布构成的,承受带体强烈的振荡、冲击以及履带行驶中径向、侧向、切向力所引起的多次变形,同时也是强力层的保护层,保护强力层不受外力作用而破坏,防止强力层的钢丝与芯金磨损。

帘布胶应具有耐热性能、耐老化性能、耐变形性能、抗撕裂性能、抗永久变形性好,与帘布和钢丝帘线胶黏合性能优,压延工艺性能佳的特点。

帘布材料主要有锦纶帘布、锦纶帆布、玻璃纤维帘布、芳纶帘布以及其它高强度低伸长合成纤维帘布。

3.3 齿胶与轮侧胶(复合成橡胶履带轮侧面)

齿胶应与芯金和轮侧胶良好黏合,具有较高的强度和刚性、未硫化时不易流动、硫化时流动性好的特点。

轮侧胶应具有抗撕裂、耐空气中氧和臭氧、耐日光老化、耐屈挠龟裂、抗裂口增长、抗压缩永久变形和耐动态疲劳等特点以及良好的回弹性。橡胶履带硫化时轮侧胶首先受热,为了防止过硫,要求轮侧胶硫化平坦期长。另外,要求轮侧胶的充模性、流动性和排气性好。

齿胶与轮侧胶复合成的橡胶履带轮侧面要具有优异的耐机械齿轮碾压性能。

3.4 芯金

芯金是传动承载件(如图 8 所示),起动力传递导向与横向支撑作用,使用的材料主要为球墨铸铁、铸铁锻钢、铝合金与合金钢板冲压成的组合材料等,有些履带可使用聚酰胺或塑料做芯金。

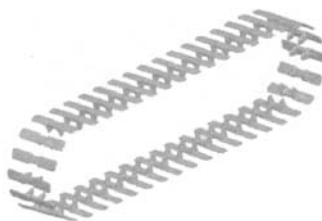


图 8 橡胶履带芯金结构示意图

芯金的硬度要适当,硬度偏低时容易发生弯曲,造成带体变形,缩短履带的使用寿命。硬度偏高时容易发生断裂,造成履带报废。芯金设计时应保证其抗弯、耐磨、抗剪切、抗扭转和横向支撑能力,不出现裂纹和断齿。

橡胶材料的配方随履带的生产和使用条件不同而有所差异。主体材料一般采用以天然橡胶(NR)为主的 NR/丁苯橡胶(SBR)、NR/SBR/顺丁橡胶(BR)、NR/溶聚丁苯橡胶(SSBR)/BR 和 NR/BR 并用体系以及聚氨酯弹性体;当采用环形体有接头硫化或无接头二段硫化时硫化体系一般采用后效性硫化体系;防老剂用量较大,采用多种物理和化学防老剂并用。橡胶履带橡胶材料不仅要有良好的物理性能、耐动态疲劳性能、抗应力集中性能和耐天候老化性能,还要与骨架材料和相邻胶层间良好黏合。对于某些特殊用途的橡胶履带,还要求橡胶材料具有耐盐、耐碱、耐油、耐寒、防火、阻燃等特殊功能;高硬度、高速度以及彩色橡胶履带对橡胶材料还有特别要求。

4 橡胶履带的室内测试

橡胶履带可以通过室内测试设备进行各种模拟试验与性能检测(如图9所示),测试项目主要有装配性能、与驱动轮啮合性能、弯曲疲劳性能、伸张性能、变速与加速性能、加载性能、温度场变化性能以及行驶里程等,试验数据自动采集,微机处理。

通过室内测试可以评价橡胶履带的设计性能,以便改进橡胶履带的结构和胶料配方。

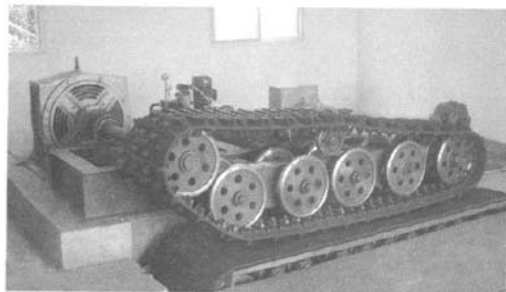


图9 橡胶履带室内测试设备

5 橡胶履带的性能

橡胶履带的牵引性能与其拉伸强度、剪切强度、带宽、横向刚性、节距和花纹块高度有关,也受路面状况和载荷的影响。直线型和侧面拉长间距型花纹橡胶履带使用效果较好。

橡胶履带的不脱轮性取决于驱动转轮直径

和配置、履带的导向长度。脱轮多发生在主动轮或张紧轮与转轮之间。橡胶履带保持一定的张紧度十分必要。橡胶履带的扭曲刚度、横向刚性、纵向柔顺性、节距和凸缘高度对不脱轮性影响很大。

消除震源是减震和降噪的最好办法。橡胶履带的减震性与其节距、转轮数量及配置、重心位置、胶料性能、花纹构形有关。

6 结论

橡胶履带各部件的性能设计至关重要。橡胶履带设计的前提是对机械或车辆类型、车轮结构、功率、速度、用途和工作条件全面分析,设计内容包括驱动方式的确定、承载能力和牵引力的计算、结构材料的选择、断面结构的布置、花纹设计、胶料配方设计等。

目前国内橡胶履带制造企业的橡胶履带结构设计一般采用实物测绘和解剖分析的方法进行。橡胶履带的理论力学和材料力学分析研究开展得较少,有限元分析方法的应用尚在起步阶段。积极开展这几方面的分析与研究工作,对于我国橡胶履带的技术进步、提高橡胶履带的制造水平十分重要。

参考文献:略

印度 2010~2011 财年天然橡胶产量将低于预期

印度贸易部官员日前表示,作为全球第二大橡胶消费国及第四大产胶国,2010~2011 财政年度(到 2011 年 3 月止)印度天然橡胶产量将下降至 86 万~87 万 t,而政府此前预估的产量为 89.3 万 t。据行业预测数据显示,印度本财年预计将消费 105 万 t 橡胶,而上一财年的橡胶实际产量为 83.14 万 t。市场供应缺口扩大引发了当地橡胶价格飙升。截至 10 月 18 日,印度 RSS 4 等级橡胶价格同比上涨 70%,达到每吨 182000 卢比。

印度喀拉拉邦为印度最大天然橡胶产区,橡胶产量占印度橡胶总产量的 90%。持续的强降

雨严重影响了割胶工作,橡胶产量将出现大幅削减,这将进一步抬高天然橡胶价格,迫使轮胎制造商加紧进口,以满足该国汽车制造业日益增长的需求。2010 年 4~9 月,印度汽车销售量同比增长 34%,达到 922281 辆。印度汽车制造商协会也将小车销售增幅预期调高到 18%~20%。

印度橡胶交易商联合会主席称,因为供应紧张,印度 2010~2011 财年天然橡胶进口量预计将打破之前 176756 t 的纪录。2010 年 9 月,印度天然橡胶进口量同比增长 54.3%,达到 28720 t。

明 月