

硬路面干沙层对车辆附着性能的影响

孔江生，吕海涛，王蕊

(华北水利水电学院 机械电子工程系, 河北 邯郸 056021)

摘要：沙尘暴发生时,沙漠公路的硬性路面往往会被沙层覆盖,导致轮胎表面不能与水泥或沥青表面相接触,使轮式车辆的附着系数由橡胶与路面的滑动磨擦系数,变为由轮胎、沙层、路面三者间相互作用形成的附着系数。笔者通过理论分析,得出了车辆在沙漠公路路面上行驶时驱动力与滑转率之间的关系。分析表明:只要存在干沙覆盖层,就存在轮胎相对于路面的滑转率,滑转率的增大进而影响到车辆驱动力的发挥。并提出了解决此问题的方法。

关键词：土单元体；应力圆；许用剪应力

中图分类号：TU 441

Effect of Layer of Road Sand on the Vehicle

KONG Jiang-sheng, LV Hai-tao, WANG Rui

(Department of Machinery and Electricity, North China Irrigating and Water Electricity Institute, Handan 056021, China)

Abstract: In the desert country, there would be a lot of sandstorm weather. With this, the tire would be separated by the sand, leads to the reducing of going efficiency. This article has discussed it by theory, getting the conclusion that the slide is occurring when the condition exists, and then affecting the driving force. How to solve this problem has also discussed in this article.

Key words: soil unit; most cut stress circle; permitting stress

随着交通事业的进步,穿越沙漠的公路得到了较好的发展。然而,当沙尘将公路路面覆盖后,会导致轮式车辆的附着性能降低,进而使车辆的驱动力得不到应有的发挥。到目前为止,对此现象还缺少必要的分析及提出合理的解决办法。笔者应用土力学理论分析的方法,对被干沙层覆盖的公路路面上车辆驱动力与附着力之间的关系进行了探讨。得出了驱动力与滑转率的关系式,并提出了解决此类问题的方法。

1 轮下土层受力分析

根据土力学的分类,可将土壤分为两类,即无粘性土壤和粘性土壤。对于无粘性土壤,土壤颗粒之间无粘聚力存在,颗粒之间是以相互摩擦发生作用的。沙漠地区的土壤基本不含有水分,并且缺少粘性土颗粒,因而符合无粘性土的性质。土壤在受到外力作用后,土层之间会受剪切力作用而发生破坏。剪切面上的极限剪应力与法向应力成正比,符合库伦定律^[1]: $\tau = \sigma \tan \phi$ 。式中: τ 为剪切面上的极限剪应力; σ 为受剪面上的正(法)向应力; ϕ 为土的内摩擦角。湿度为0%的干沙土内摩擦角约为28°,湿度为23%的沙壤土内摩擦角约为35°。硬路面所覆盖的干沙层湿度约为0%。土体内部是否发生破坏而出现土层的流动,取决于土层内剪应力 τ 是否超过土的极限剪应力 $\tau = \sigma \tan \phi$ 。在土层内 τ 即将超过但尚未超过 $\tau = \sigma \tan \phi$ 的状态,

称为极限平衡状态^[1].

在对硬路面上处于车辆驱动轮胎下的土层进行受力分析前,先作如下假设:① 轮式车辆使用的是光面驱动轮胎,轮胎表面上无花纹.② 硬路面在车辆驶过时,无塑性或弹性变形.在以上假设的前提下,硬路面、土壤、轮胎表面三者中只存在土壤和轮胎的变形.其中轮胎在载荷、硬路面的相互作用下,会在径向形成变形,从而形成一个平行于路面切线方向的轮胎变形面,该变形面即为被压实的土壤层.如设轮胎表面与地面的接触面积为 A ,驱动轮所受地面法向反力为 Y .则该土层所受到的与土层垂直方向的应力 σ_1 为

$$\sigma_1 = Y/A$$

如取变形土层内任一微单元进行分析,可知:由于土体被压实后形成的层体很薄,因而每一微单元土层都同时与轮胎和硬路面相接触.如设驱动轮对地面产生的驱动反力为 P ,则地面因该驱动反力,沙层所受的剪反力为

$$\tau_1 = P/A$$

则可得土体微单元的受力状态图 1.

为了确定土体内任一点的剪应力,可对土体内任一剖面的剪应力状态作如下分析.

如图 2 所示,任取土体 α 剖面,并建立与路面平行的 x 轴和与路面垂直的 y 轴坐标系.设 σ 为任意剖面上的主应力, τ 为任意剖面上的剪应力.

取 $\sum y=0$:

$$-\sigma ds \cos \alpha - \tau ds \sin \alpha + \tau_1 ds \sin \alpha + \sigma_1 ds \cos \alpha = 0$$

取 $\sum x=0$:

$$\sigma ds \sin \alpha - \tau ds \cos \alpha - \tau_1 ds \cos \alpha = 0$$

整理并联立方程,得

$$\begin{aligned} \sigma \cos \alpha + \tau \sin \alpha &= \sigma_1 \cos \alpha + \tau_1 \sin \alpha \\ \sigma \sin \alpha - \tau \cos \alpha &= \tau_1 \cos \alpha \end{aligned}$$

对上式求解可得

$$\begin{aligned} \sigma &= \tau_1 \sin 2\alpha + \sigma_1 \cos^2 \alpha \\ \tau &= (\sigma_1 \sin 2\alpha)/2 - \tau_1 \cos 2\alpha \end{aligned} \quad (1)$$

为求得最大、最小剪应力所处位置,可令 τ 对 α 求导,并令其等于零,得

$$d\tau/d\alpha = \sigma_1 \cos 2\alpha + 2\tau_1 \sin 2\alpha = 0$$

$$\tan 2\alpha_{\tau} = -\sigma_1/2\tau_1$$

式中: α_{τ} 为最大(小)剪应力所处的角度位置.

同理,为求出最大、最小主应力所处的位置,可令 σ 对 α 求导,并令其等于零,得

$$d\sigma/d\alpha = 2\tau_1 \cos 2\alpha - \sigma_1 \sin 2\alpha = 0$$

$$\tan 2\alpha_{\sigma} = 2\tau_1/\sigma_1$$

式中: α_{σ} 为最大(小)主应力所处的角度位置.可以发现,最大剪应力和最大正应力之间互为倒数,这就表明 $2\alpha_{\tau}$ 和 $2\alpha_{\sigma}$ 两角度间相差 90° .或者说 α_{τ} 与 α_{σ} 间相差 45° .

1.1 最大、最小剪应力

将 $\tan 2\alpha_{\tau} = -\sigma_1/2\tau_1$ 带回联立方程,得

$$\tau_{\max} = \frac{\sqrt{4\tau_1^2 + \sigma_1^2}}{2}, \quad \tau_{\min} = \frac{-\sqrt{4\tau_1^2 + \sigma_1^2}}{2} \quad (2)$$

1.2 最大、最小主应力

将 $\tan 2\alpha_{\sigma} = 2\tau_1/\sigma_1$ 带回联立方程,得

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_1}{2} + \frac{\sqrt{4\tau_1^2 + \sigma_1^2}}{2}, \quad \sigma_{\min} = \frac{\sigma_1}{2} - \frac{\sqrt{4\tau_1^2 + \sigma_1^2}}{2} \quad (3)$$

1.3 主剪应力分布莫尔应力圆

由 $\tan 2\alpha_\sigma = 2\tau_1/\sigma_1$ 替换式(1)中的三角函数项, 可以得出莫尔应力圆如图 3 所示. 用方程表示则为

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}\right)^2 + \tau^2 = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})^2}{4}$$

简化后可得

$$(\sigma - \sigma_1/2)^2 + \tau^2 = \tau_1^2 + \sigma_1^2/4 \quad (4)$$

又由莫尔应力圆表达式(4), 可以看出如以主应力 σ 为横坐标, 剪应力为纵坐标, 则应力圆的圆心位于横坐标轴上, 圆心坐标为 $\sigma_1/2$. 应力半径为 $\sqrt{\tau_1^2 + \sigma_1^2/4}$, 如图 3 所示.

1.4 应力圆与内摩擦剪应力的相互关系

由应力圆方程(4)和库伦剪应力方程 $\tau = \sigma \tan \phi$ 联立后, 可得两方程的交点为

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{[\sigma_1 \pm \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2(1 + \tan^2 \phi)}]}{2(1 + \tan^2 \phi)} \\ \tau &= \frac{[\sigma_1 \cot \phi \pm \sqrt{\sigma_1^2 \cot^2 \phi + 4\tau_1^2(1 + \tan^2 \phi)}]}{2(1 + \cot^2 \phi)} \end{aligned}$$

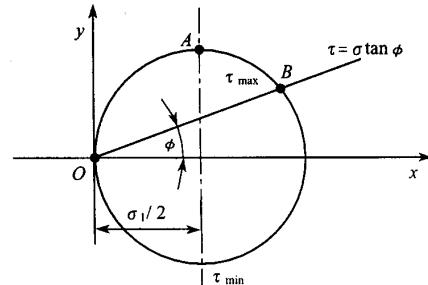


图 3 莫尔应力圆

Fig.3 M's stress circle

对上式中的两个交点进行分析可以发现, 其中一个交点对应的 σ, τ 为负值(负号后根项大于和项), 从线性库伦剪应力方程与应力圆的关系来看, 这个交点是不存在的. 因此上式可以写为

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{[\sigma_1 + \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2(1 + \tan^2 \phi)}]}{2(1 + \tan^2 \phi)} \\ \tau_1 &= \frac{[\sigma_1 \cot \phi + \sqrt{\sigma_1^2 \cot^2 \phi + 4\tau_1^2(1 + \cot^2 \phi)}]}{2(1 + \cot^2 \phi)} \end{aligned} \quad (5)$$

因而存在两个交点, 分别为: $\sigma_0 = 0, \tau_0 = 0$ 点以及 $\sigma = \sigma_1, \tau = \tau_1$ 点.

2 滑移状态分析

由库伦剪应力与应力圆关系曲线可以得出以下几点:

(1) 初始应力 σ_1 和 τ_1 的值决定了应力圆直径的大小, 该值越大, 应力圆也越大. 但应力圆的大小并不能说明土体受剪滑移的情况. 土体在剪应力作用下是否发生滑移的判断标准是应力圆是否与库伦剪应力线相切或相割. 相割区内的点都处于滑移状态(如图 3 所示的 OAB 弧线段).

(2) 在应力圆与库伦剪应力线联立的方程解中, 不论应力值 σ_1 和 τ_1 的大小如何, 都必定存在两个相交点, 相应地存在有滑移区段. 或者说, 不论应力圆是大或是小, 库伦剪应力线必定会切割应力圆线.

(3) 因滑移区段不固定, 因而滑移点与初始点的夹角($2\alpha_0$)也是不固定的.

(4) 在干性沙尘内摩擦角为 30° 左右时, 滑移区段占据了较大的应力圆区域. 虽然通过适当降低剪应力 τ_1 值(降低驱动力)能对应地降低应力圆的大小, 从而减少滑移区段, 但作用不大.

综合以上两点, 如轮式车辆使用的是光面轮胎. 则发生滑移就是不可避免的. 滑动率的大小不仅与车轮载荷所产生的应力 σ_1 有关, 还与车辆此时发挥出的驱动力值大小 $A\tau_1$ 有关.

3 在沙漠公路硬路面行驶车辆驱动能力的探讨

对于轮式车辆, 在洁净、干燥的公路硬路面上行驶时, 附着能力的高低主要取决于橡胶轮胎与地面间的相对滑动摩擦系数. 滑动摩擦系数越大, 车辆的附着性能越好. 而在沙漠公路上行驶的轮式车辆, 在路面上有干细沙覆盖层时出现滑移, 是因为薄细干沙的阻隔, 使车轮胎面与地面间的摩擦能力不能得以发挥.

因此要解决沙漠公路轮式车辆附着能力的问题,关键还是应使轮胎外表面与公路表面相接触。综上所述,在西部沙漠公路上行驶的车辆应使用具有容沙槽的花纹胎。

4 结论

(1) 提高车辆的行驶附着能力是工程人员的追求目标,笔者针对沙漠地区公路路面附着能力低的现象进行了一些理论性的分析和探讨,得出了一些确定性的结论:只要干性沙层将路面与轮胎隔断,车辆行驶时的附着能力就会下降,滑差就会增大。

(2) 不能采用普通提高附着能力的方法,如增大接地面积、增大附着荷载,又不能有效通过单、多桥驱动的方式加以解决,唯一有效而直接的方法是开发既能排沙又能保证胎面能与路面直接接触的容沙性沙漠地区轮胎。

参考文献:

- [1] 杨晋生. 铲土运输机械设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.

获奖项目“喷浆机器人”简介

喷浆即喷射混凝土,也称喷混凝土。喷浆机器人主要用于铁路公路隧道、水工隧洞、矿山巷道、地铁、各种军事和民用地下建筑等的建筑和支护。喷混凝土是这类工程快速施工作业线的关键设备之一。山东科技大学在“八六三”计划的支持下,研发出了具有国际先进水平的、有完全独立知识产权的喷浆机器人产品。现已形成防爆型与非防爆型、大中小型喷浆机器人系列产品,是国家“八六三”计划的机器人产业化基地。

本机器人在结构和控制两方面均做出了重要创新。其一,给出一种全新的、不同于现有机器人结构的“多重四连杆机构组合型”喷浆机器人结构。该结构的突出优点是:遥控方式下,为完成同样喷浆轨迹和姿态,所需的操作动作少而且简便,在大部分时间内无需操作就能保持所需轨迹和姿态,最佳工况率高;本结构比同类产品减少驱动部件近 $1/3$,大大简化了电液系统,并且本结构多为结构件,抗恶劣环境,有利于降低成本和提高可靠性。其二,本项目首次将全自动与主从遥控两种控制融为一体的控制系统成功用于地下工程类机器人。对主从遥控,加强了人性化设计,实现了主从手对应直观,符合人的习惯;对全自动轨迹控制,基于“学习式建模”的方法规划出喷枪运动轨迹和姿态。与同类产品相比,其自动化水平上了一个台阶。其三,本机器人按抗恶劣环境要求,对机械、液压,特别是电控系统做了硬软件加固,实现了在地下工程恶劣环境的可靠工作。可靠性是国产机器人的弱项和难点,作为产品用于生产现场难,而用于地下恶劣环境更难。采取电磁兼容、容错设计、抗高低温、“三防”、减振抗振、防爆等技术,成功解决了可靠性难题,确保了长期稳定工作,受到用户信任;价格是进口产品的 $1/3\sim1/4$ 。

本项目同时被评选为“2000年度山东省十大科技成果”和“2000年度煤炭工业十大科技成果”,2001年获山东省科技进步一等奖,2002年获国家科技进步二等奖。获专利2项。