

机轮动力滑水机理分析

余治国, 李曙林, 朱青云
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:应用动量定理,分别建立机轮在水膜较薄和较厚两种情况下的动力滑水临界速度公式。分析结果表明:在水膜较薄时充气压力决定滑水临界速度;当水膜较厚时充气压力对滑水临界速度已无意义,并讨论了水膜厚度对滑水临界速度的影响。

关键词:动力滑水;水膜厚度;滑水临界速度

中图分类号:V226+.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)05-0009-03

现代空战强调全天候作战,不管在战时还是在平时训练,飞机不可避免地会在有积水或半融雪等被污染的跑道上滑跑。这时飞机容易产生机轮滑水(亦称“机轮漂浮”)现象。此时,机轮与道面完全分离,轮胎与道面的接触性能恶化,摩擦系数急剧降低,导致飞机刹车失效,地面稳定性变差,最终造成起飞、着陆滑跑距离增长和滑跑方向难于控制等后果。

一般认为滑水临界速度决定于轮胎充气压力,而在实际使用过程中轮胎滑水现象的产生与道面水膜厚度是有关系的。本文从机轮动力滑水机理出发应用动量定理对滑水临界速度与轮胎充气压力和道面水膜厚度的关系进行分析讨论。

1 轮胎的滑水现象

当轮胎在湿的道面上以一定的速度行驶时,轮胎与道面之间的水通过胎面的接地压力和胎面花纹沟向侧方和后方排出。当速度提高以后,如果轮胎与道面之间的水超过了这一排水能力,楔形水膜就会逐渐浸入轮胎与道面之间,形成滑水现象^[1-2]。图1表示部分滑水现象的状态。此时,轮胎的接触长度内存在3个特征区域^[3],即完全滑水区I、部分滑水区II、完全接触区III。I区域在接触前部为完全上浮区,在此区域内水的流体压力足以把胎面举起,并使之与路面完全脱离,胎面与路面之间充有较厚的水膜;II区域表示水大量流散,但仍然留有一层水膜,为不完全接触区,胎面与路面部分的隔开;III区域在接触后部,为胎面与路面完全接触的区域。当然,随着速度的变化,上述3个区域的相互关系也会发生变化。例如,随着速度的进一步提高,I、II区域就会沿着接触长度扩展,III区域逐渐缩小,直到胎面与道面彻底分离,这时轮胎就将发生完全的“滑水现象”。此时的飞机滑行速度称为滑水临界速度。

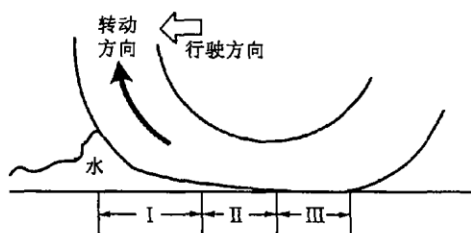


图1 发生部分滑水现象的状态

2 机轮的滑水临界速度

假设:轮胎接地压力均匀分布,且等于轮胎的充气压力;水为不可压缩流体,并略去水的粘性;将坐标固

收稿日期:2004-03-30

基金项目:空军科研基金资助项目

作者简介:余治国(1977-),男,湖南临湘人,硕士生,主要从事飞机结构疲劳寿命与可靠性研究;

李曙林(1959-),男,河北威县人,教授,博士生导师,主要从事飞机结构疲劳寿命与可靠性研究。

定于轮轴,则机轮在有水膜覆盖的道面上的滑跑可看成道面和厚度均匀宽度为 W (等于胎面宽度)的水膜以高速 V 冲击胎面。那么从前方进入的水被跑道表面和胎面拦住,从胎面的两侧流出。图2表示即将发生完全滑水现象之前后端部尚接触道面时的水的流线状态。由于流体各剖面都有大气压作用,由流体力学^[4]可知,各剖面处流速亦皆为 V 。

2.1 水膜较薄时

当水膜厚度小于 3 mm 时,很难出现滑水现象^[1],此时水膜与胎面的接触面积近似等于轮胎的接地面积。显然,只有当水膜对作用胎面的平均压力大于或等于轮胎的充气压力,水膜作用合力的垂直分量才可能大于机轮负载,将轮胎举起,从而发生滑水现象。因为水膜对轮胎作用面的平均压力大于或等于轮胎的充气压力,所以胎面不能恢复变形而呈平板状,机轮滑水的临界状态如图3所示。水膜变成楔子状,进入道面与胎面之间,这时胎面为平板状,并且倾角非常小。

对水膜作用胎面进行受力分析(见图4),沿 x 方向应用动量定理 $F_x = \rho HWV^2$ 。式中: ρ 为水的密度; H 为水膜厚度; W 为胎面宽度; V 为滑水临界速度。

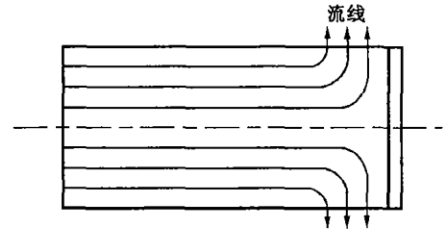


图2 即将发生完全滑水现象之前的状态

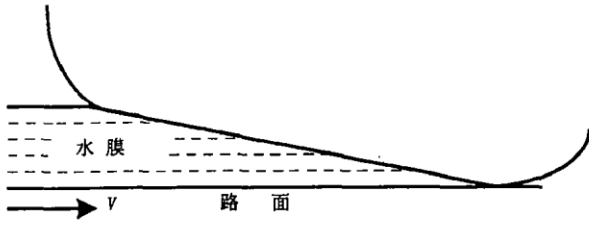


图3 水膜较薄时机轮滑水的临界状态

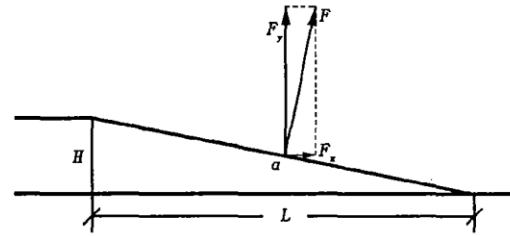


图4 水膜较薄时胎面受力分析图

道面干时轮胎的接地面积 $S = G/P$ 。式中: G 为轮胎负载; P 为轮胎充气压力。道面干时轮胎的接地长度 $L = S/W$; $\cot \alpha = L/H$; $F_y = F_x \cot \alpha$ 。当 $F_y = G$ 时,机轮处于临界滑水状态,联立以上公式得 $V = \sqrt{P/\rho}$ 。

2.2 水膜较厚时

当水膜较厚时(>3 mm),由于水膜与胎面的接触面积较大,此时水膜对作用胎面的平均压力无须大于轮胎的充气压力,水膜作用合力的垂直分量便可大于机轮负载,将轮胎举起,导致滑水现象发生。由于水膜对作用面的平均压力小于轮胎的充气压力,所以胎面能够恢复变形,机轮滑水的临界状态见图5。

对水膜作用的胎面进行受力分析(见图6),取微段 $d\theta$,沿 x 方向应用动量定理 $dF_x = \rho WV^2 R \sin \theta d\theta$; $dF_y = dF_x \cot \theta = \rho WV^2 R \cos \theta d\theta$ 。积分得 $F_y = \int_0^{\arccos(R-H)/R} \rho WV^2 R \cos \theta d\theta = \rho WV^2 R \sqrt{1 - (R-H)^2/R^2}$ 。

当 $F_y = G$ 时,机轮将处于临界滑水状态,代入上式可得 $V = G/\rho W \sqrt{2RH - H^2}$, ($H < R$)。

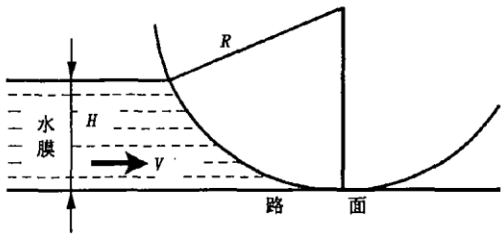


图5 水膜较厚时机轮滑水的临界状态

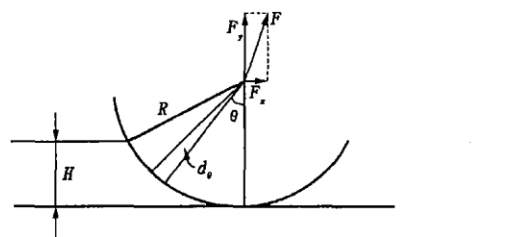


图6 水膜较厚时胎面受力分析图

3 分析及结论

- 1) 水膜较薄时,由 $V = \sqrt{P/\rho}$ 可知,充气压力越大,滑水临界速度越高;液体密度越大,滑水临界速度越小。
- 2) 水膜较厚时,由 $V = G/PW \sqrt{2RH - H^2}$ 可知,提高轮胎充气压力对提高滑水临界速度已没意义。水膜

厚度越大,滑水临界速度越小;液体密度越大,滑水临界速度越小。因为水膜厚度一定时,轮胎面越宽,单位时间内对轮胎面作用的流体质量越大,作用合力也就越大,轮胎越易被水膜抬起,所以轮胎面越宽,滑水临界速度越小。

3)水膜较厚时,由于水膜与胎面的接触面积较大,此时水膜对作用面的平均压力无须大于轮胎的充气压力,水膜对胎面作用合力的垂直分量便可大于机轮负载,将轮胎举起,导致滑水现象发生。从而解释了为什么轮胎滑水现象在水膜厚度较小时很难出现;而当水膜较厚时,轮胎滑水临界速度对水膜厚度非常敏感的原因。

4)本文假设轮胎接地压力均匀,忽略了胎面花纹排水能力的影响,把水膜流线理想化,得出临界滑水速度的计算公式。因此,按照 $V = \sqrt{P/\rho}$ 、 $V = G/\rho W \sqrt{2RH - H^2}$ 计算的结果要比实际值小。

参考文献:

- [1] 庄继德. 现代汽车轮胎技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001.
- [2] Seta E. Hydroplaning Analysis by FEM and FVM: Effect of Tire Rolling and Tire Pattern on Hydroplaning[R]. JSAE SYMPOSIUM No. 01 - 00,2000.
- [3] Allbert, B J. Tires and Hydroplaning[R]. SAE Paper 680140,1968.
- [4] 潘文全. 流体力学基础[M]. 北京:机械工业出版社,1983.

(编辑:姚树峰)

Mechanism Analysis of an Aircraft Tire Dynamic Hydroplaning

YU Zhi - guo, LI Shu - lin, ZHU Qing - yun

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: Hydroplaning velocity formulas are established respectively when the water film on road is shallow and the water film on road is deep by applying momentum theory. The result of analysis shows that the hydroplaning critical velocity lies on inflation pressure when the water film on road is shallow, and the inflation pressure is of insignificance to the hydroplaning critical velocity when the water film is deep. Moreover, how the thickness of water film impacts on the hydroplaning critical velocity is analyzed.

Key words: dynamic hydroplaning; thickness of water film; hydroplaning critical velocity