

文章编号: 1002-0268 (2003) 05-0118-03

轮式车辆水滑现象的初始条件

王建民, 吕海涛, 孔江生
(华北水利水电学院机电工程系, 河北 邯郸 056021)

摘要: 轮式车辆在积水路面行驶时会发生水滑, 从而给行驶安全造成危害, 已为驾驶人员所共知。工程技术人员对此作了一些实验性工作, 并得出实验公式。该公式虽体现了车轮胎压的影响, 但对于另一个主要参数——水深的影响缺少合理的表述。本文结合实验公式并考虑到水深、胎压、车速等条件, 应用动量转换原理和液流斜楔动压理论对此现象进行分析, 得出理论公式, 该公式对水滑现象作出比较合理的解释。

关键词: 斜楔; 内压; 端泄; 动量

中图分类号: U461.5⁺3 **文献标识码:** A

Initial Condition of Wheel Motor Water Slip

WANG Jian-min, LU Hai-tao, KONG Jiang-sheng
(Department of Machinery and Electricity, North China Irrigating and Water Electricity Institute, Hebei Handan 056021, China)

Abstract: When motor running on the pavement covered by a layer of water, the driver must be careful to avoid Hydvoplaning which would cause serious accident. The engineers have done a lot of experiments to study this and achieved a fomula based on experiment. Although this fomula has indicated the effect of tire pressure, it takes no consideration of the effects caused by water depth. This article analyze the Hydvoplaning through the experiment taking into account of water depth, tire pressure, motor speed and so on, making use of the theory of momentum and liquid wedge principle, educed the theoretical fomulae. The fomula has explained the Hydvoplaning logically.

Key words: Water wedge; Inner pressure; Side discharge; Momentum

现有对水滑现象的分析是基于实验基础上的完全水滑理论, 完全水滑指的是车轮胎面完全被水托起而离开地面时的状况。所给出的公式是依据实验得出的经验公式, 实验条件为在一块平坦的玻璃路面上, 车辆装配普通车用橡胶弹性轮胎, 当车辆在该路面上以某一速度行驶时, 不断从玻璃反面观察胎面与玻璃路面的接触情况, 并以拍照方式加以纪录。结果显示: 车辆发生水滑的条件不仅与车辆的胎压有关, 而且随水深的增加, 车辆水滑时的行驶速度也同时降低。实验证明, 当车速达到 $V=6.34P^{\frac{1}{2}}$ (式中, V 为车辆的行驶速度, km/h; P 为车辆轮胎的充气压力, kPa) 时, 车辆发生水滑现象。在实际可能发生水滑的场合, 如飞机起降、汽车在平坦路面上行驶等情况下对水滑速度进行试验, 试验结果证明该公式是正确

的。但该公式对水滑现象产生、发展的过程以及发生的初始条件缺少合理的解释。

图 1 所示为水滑发生前, 车轮与路面积水间相互接触的情况。 θ_1 为胎面接地变形所对应的变形角, θ_2 为胎面与水深对应的高度角, H 为水的深度, r 为车胎的自由半径, b 为轮胎接地宽度。由图 1 可以看出, 水在车轮胎面接地线 AA 前端形成一个弧形斜楔。在车辆行驶时, 因胎面在接水弧段 (AB) 的水平速度与车辆的行驶方向相反, 水由胎面不断地带入。水在流到轮胎接地线 AA 后, 水流从胎宽的两端泄流而出, 称之为端泄。在假设流入量等于流出量, 且端泄主要发生在轮胎接地线 AA 附近时, 就形成入水口端的面积大于出水口(端泄)的面积, 从而在斜楔内形成正压力。当正压力达到一定值时, 就达到了车轮被托起的条件, 在

此, 暂称其为临界水滑初始条件。

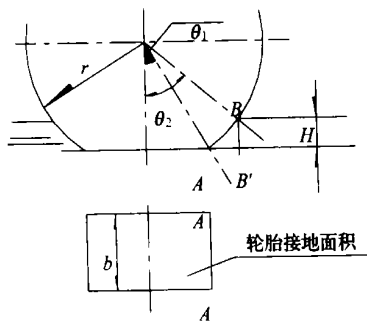


图 1

1 临界水滑初始条件理论分析表达式的建立

斜楔内的水流是由大端开口处流向轮胎接地线 AA 处的。水在流入、流出的过程中对轮胎接地线前端造成冲击, 冲击值大小与水流量、水流速、端泄等情况有关。现以动量转换定理对此现象进行分析。

1.1 水流的流速

在斜楔内, 水流在水平方向上的最大流速等于车轮胎面接水点在水平方向上的绝对速度, 如图 2。

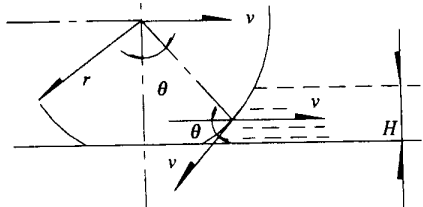


图 2

设: v 为水流在水平方向的最大流速

则 $v = V(1 - \cos \theta)$

式中, θ 为胎面各点径向相对垂线的角度, 其区间在 $\theta_1 \sim \theta_2$ 的范围内; V 为轮胎面外缘相对于车架回转中心的线速度。

在不考虑行驶滑差及胎面接地点变形时, 该速度亦可看作是车辆的行驶速度。因而, 水流在水平方向的最大流速 v 在 $V(1 - \cos \theta_1) \sim V(1 - \cos \theta_2)$ 之间变化。

由上式得出, 胎面各点水平速度并不是衡定的。在水深较小时, v 的变化范围并不大。为方便分析计算, 设胎面接水区间的水流在水平方向上速度不变, 且为平均水深处的流速, 即

$$v = V \left[1 - \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right]$$

由于水粘性的作用, 水在斜楔内接地点处的水平流速为零。故: 水平流速在高度方向上是逐渐增大的。在假设流入斜楔和流出斜楔水量相等的前提下, 因入口面积大于出口处端泄面积, 致使入口端的水流速在高度方

向内凹。又因为接地线 AA 附近的端泄口面积小于入口端面积 (经实验验证, 在水流速度达到 8km/h 以上时, 端泄主要发生在轮胎接地线的附近), 故: 出口端水流速在高度方向外鼓。根据斜楔内压理论, 在斜楔内水流速由内凹向外鼓的变化过程中, 会出现某一个高度为 h_0 的断面, 其水流流速在高度方向呈线性变化。

按照斜楔内压理论, 在高度为 h_0 的断面上, $\frac{dp}{dx} = 0$ 。式中的 x 为斜楔由小端到大端的水平坐标线, p 为斜楔内水流的内压^[1], 见图 3 所示。

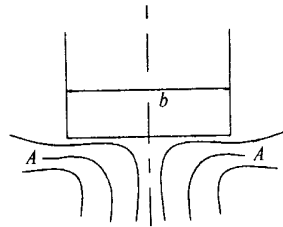


图 3

因而, 在斜楔内断面高为 h_0 上的流量为

$$q_0 = \frac{vh_0}{2} = Vh_0 \frac{1 - \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}}{2} \quad (1)$$

1.2 接地线中部比压分析

根据动量方程, 在液体的流动过程中, 作用在物体上的外力的总和等于物体在单位时间内的动量变化量, 即

$$\sum F = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

式中, $v_1 = v$; v_2 为水流纵向冲击胎宽表面后的流向与流速; Δt 表示单位时间。

因 v_2 的流动方向与 v_1 的方向成 90° 角, 所以 v_2 在车辆行驶方向上的投影为零。因此得水流在行驶方向上所受到的冲量为

$$\sum F = -m \frac{v}{\Delta t}$$

作用在车胎接地线 AA 前断面的冲量为

$$\sum F' = m \frac{v}{\Delta t}$$

又因为

$$m = \rho q \Delta t = \rho v h_0 \frac{\Delta t}{2} = \rho V h_0 \Delta t \frac{1 - \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}}{2}$$

式中, ρ 为水的密度。

所以得

$$\sum F' = \rho h_0 \frac{v^2}{2} = \rho h_0 V^2 \left[\frac{1 - \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}}{2} \right]^2 \quad (2)$$

由于接地线 AA 两端水压为零, 因此 $\sum F'$ 主要作用在轮胎接地线 AA 的中部区域。

设: 在胎宽对称中心线与接地线交点附近, 宽为 $k_1 b$, 高为 δ 的区域内比压基本一致, 则, 轮胎接地线中部区域在行驶方向上的比压

$$p' = \frac{\sum F'}{k_1 b \delta} = \frac{\rho h_0 V^2 \left[1 - \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right]^2}{2 k_1 b \delta}$$

式中, k_1 为比压一致区系数, $k_1 < 1$; δ 为比压一致区高度。

1.3 临界平衡条件

处于临界平衡状态的胎面, 轮胎的内压 P 应大于或等于 p' 。此时, 处于接地线前端的轮胎表面不会产生任何变形, 这种情况称为临界平衡。反之, 当 P 小于 p' 时, 轮胎表面将产生变形, 导致斜楔水平边长增大, 斜楔斜边倾角减小, 斜楔区域扩大。随着斜楔区的扩大, 由接地线 AA 端部及斜楔内压产生的合反力, 就会将车胎表面托离地面。

故轮胎内压 P 应大于或等于 p'

$$p' = \rho h_0 V^2 \left[\frac{1 - \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}}{2 k_1 b \delta} \right]^2$$

又因为, 在忽略胎面变形的条件下 (与水深相比, 胎面变形较小)

$$r \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \approx r - \frac{H}{2}$$

所以

$$\cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \approx 1 - \frac{H}{2r}$$

代回 p' 表达式

$$P \geq p' = \frac{\rho h_0 V^2 H^2}{8 r^2 k_1 b \delta} \quad (3)$$

在式 (3) 中, $0 < h_0 < H$, 为便于分析、比较, 可设:

$h_0 = k_2 H$ 。此外, 设: $\frac{H}{r} = U$, 称为相对水深。

$$P \geq p' = \frac{\rho k_2 V^2 U^2 H}{8 k_1 b \delta}$$

$$V \leq \frac{1}{U} \sqrt{\frac{8 k_1 b \delta P}{\rho k_2 H}} = \frac{1}{U} \sqrt{\frac{8 k_1 b \delta}{\rho k_2 H}} \sqrt{P} \quad (4)$$

2 对表达式的分析

在表达式 (4) 的建立过程中, 按照函数的最大值理论, 斜楔内最大比压断面位置并不在接地线前端宽为 kb 、高为 δ 的区域, 而应在斜楔内 $\frac{dp}{dx} = 0$ 处或高度为 h_0 的断面^[1]。此断面由于不等于接地线 AA

所在断面, 其作用会使与之接触的胎面及其附近区域发生局部变形, 使原有的弧形斜楔变为直线形斜楔。但此时斜楔区域尚小, 不足以将车轮抬起, 而对斜楔起扩大作用的主要因素是水流动量造成的冲击。

此外, 在水流从接地线端部泄流的过程中, 胎宽两端侧的水压为零。且水在横向流动的过程中, 不仅与地面接触点的水流速度为零, 与胎面接触点的水流速度亦为零。因此, 接地线中点的水压最大, 随着向两侧的延伸水压逐渐降低。故, 接地线前端宽为 kb 、高为 δ 的区域可看作是与胎压平衡或临界平衡的区域。随着临界平衡的打破, 动量冲击将向纵深发展, 直至将车轮抬起。

3 结论

由表达式 (4) 可以看出, 在车胎宽度、车胎直径、水深等因素中, 各参数的影响如下:

(1) 车胎宽度 b 越大, 允许的车速 V 也越高。这是因为胎宽越大, 抗冲击动压的能力也越强。

(2) 水深 H 与轮胎半径 r 的比值 U 越大, 或者说相对水深越大, 则允许的车速 V 越低。这是因为相对水深越大, 斜楔的高度也越大, 由车胎表面回转带入的水也越多, 也越易于在车胎接地线前端形成冲击压。

(3) 绝对水深 H 越大, 许用车速 V 越低。其原理同上所述。

(4) 车胎内压 P 越大, 许用的车速 V 也越大。这是因为内压越高, 车胎接地线正面抗动压能力也越强。

(5) 其它影响系数, 如: k_1 , k_2 , 动压一致区高度 δ 等与胎面花纹形状, 道路情况等多种因素有关, 需作进一步的研究才能得以解决。

分析所得出的临界平衡表达式 (4) 虽然类似于本文开始提到的由实验确定的完全水滑表达式, 但它们的意义是不同的。式 (4) 是由临界水滑条件推导出来的, 而 $V = 6.34 P^{\frac{1}{2}}$ 则是经实验总结出来的车辆发生完全水滑的条件。

综合水滑发生时的各种影响因素, 起决定性作用的是相对水深 U 和车胎内压 P 。对于雨天在高速路面行驶的轿车, 因其车轮半径相对较小, 胎宽相对较窄, 故极易发生水滑现象。

参考文献:

- [1] 曹仁政. 机械零件 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985
- [2] 丁树模, 等. 液压传动 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992
- [3] [日] 自动车技术会, 小林明, 等. 汽车工程手册第二分册 [M]. 机械工业出版社, 1984.