



清华大学
Tsinghua University



State Key Laboratory of Tribology
SKLT

第十届内燃机可靠性技术国际研讨会

边界润滑的摩擦主动控制

Active Friction Control in Boundary Lubrication

田 煜

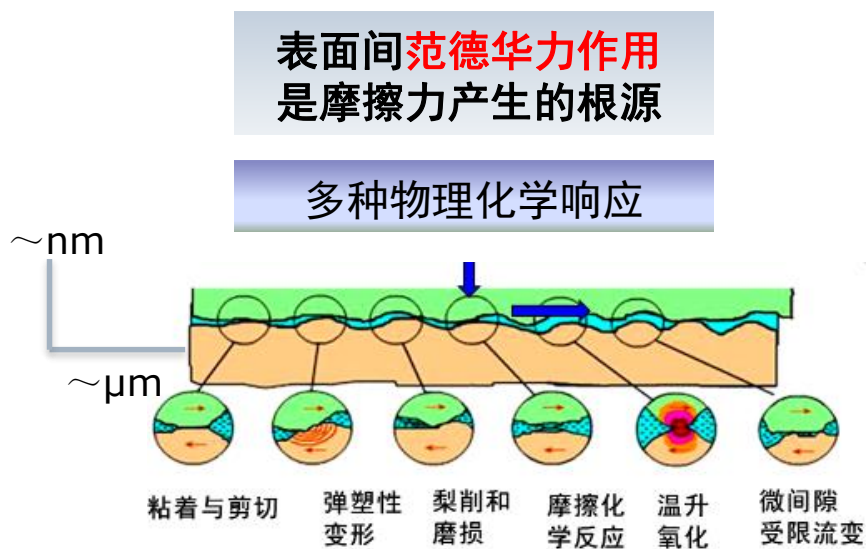
摩擦学国家重点实验室

清华大学

2021.4

1. 研究背景及意义

■ 摩擦学处于多学科交叉领域

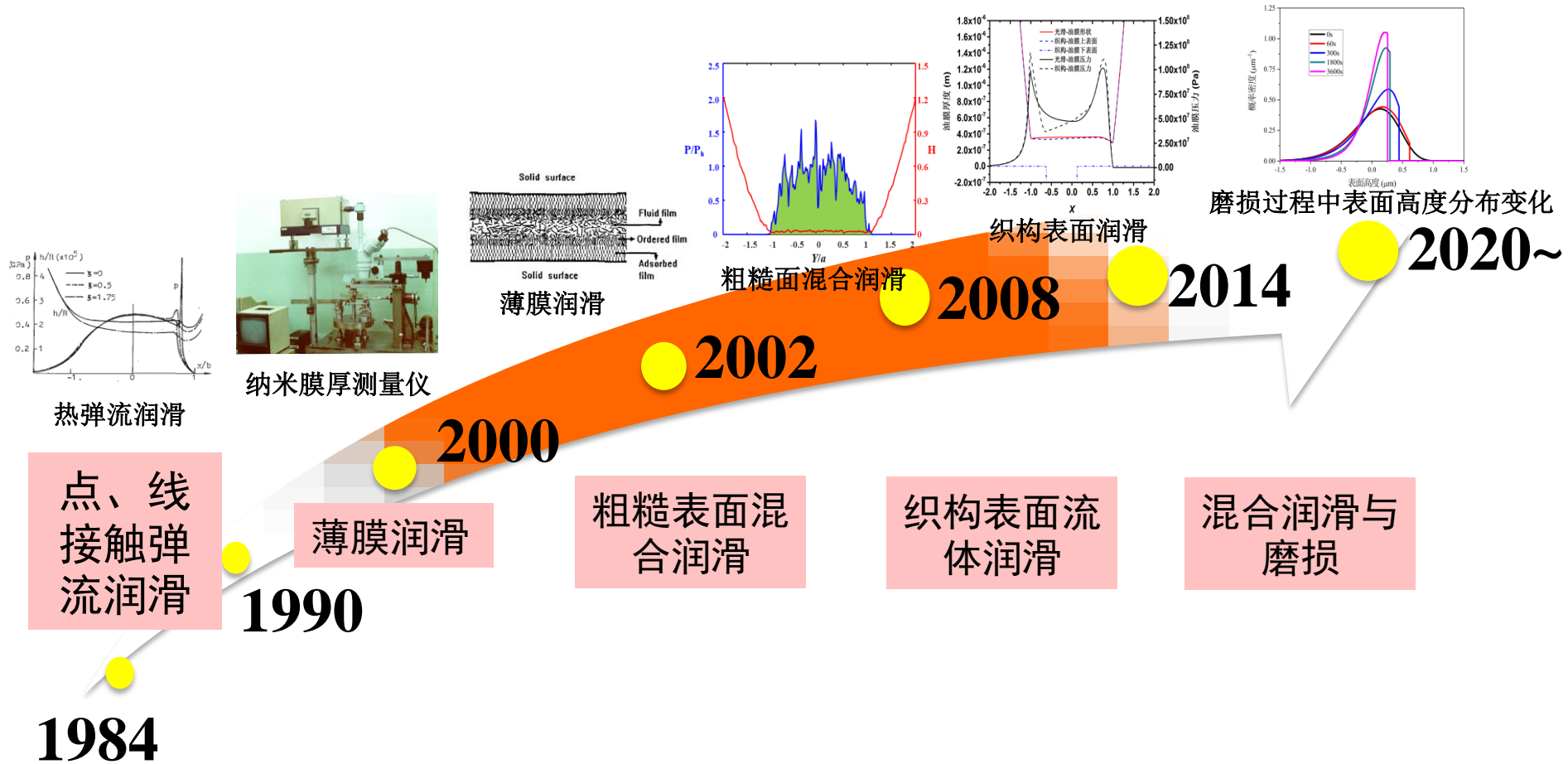


范德华力本质是**电磁相互作用**；
库伦相互作用，偶极相互作用，色散力、诱导力。



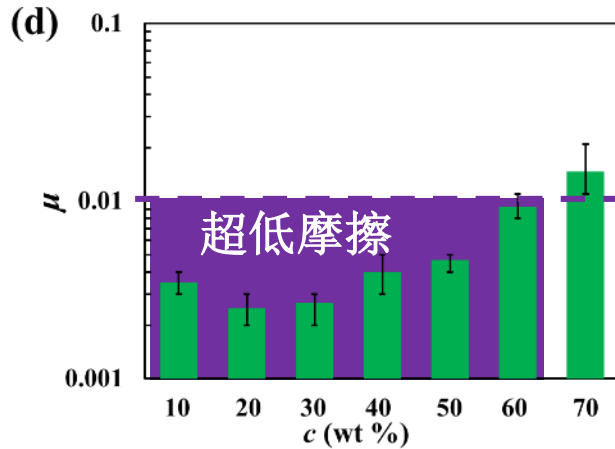
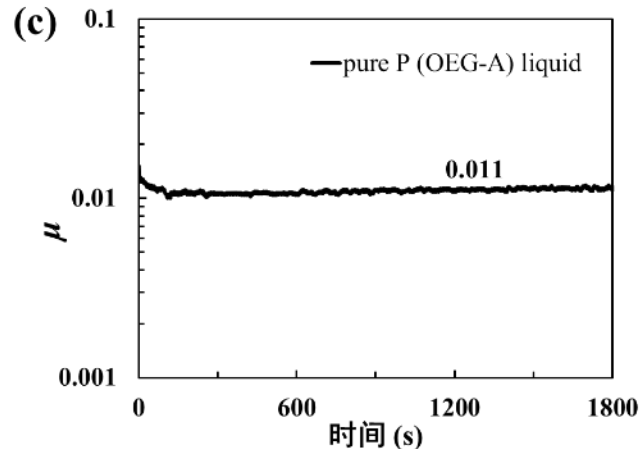
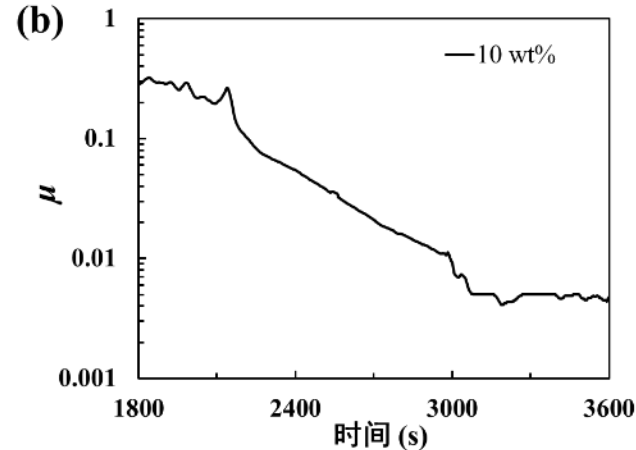
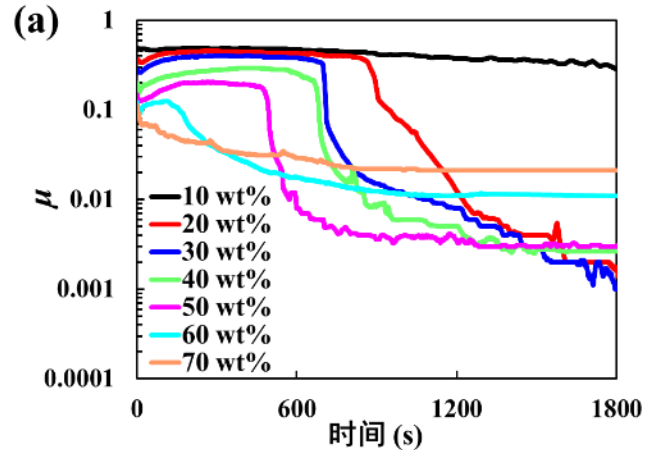
1. 研究背景及意义

SKLT的润滑研究历史



2. 界面吸附行为对润滑性能的调节

➤ 润滑性能 不同质量分数



不同浓度P(OEGMA)水溶液摩擦性能对比

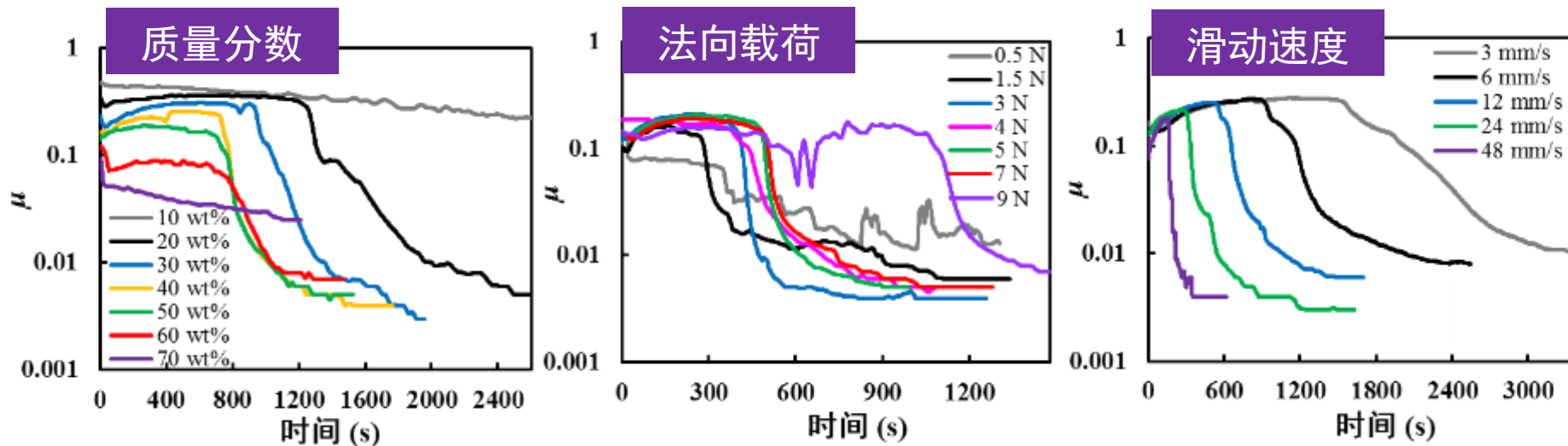
- 聚合物质量分数影响着磨合过程和稳定阶段的摩擦系数
- 10~60 wt%能够实现稳定超低摩擦，稳定期摩擦系数随着质量分数增加

3. 磨合过程润滑状态预测

➤ 提出问题

氮化硅球-氧化铝陶瓷片
P(OEGMA)水溶液
UMT-3点接触往复运动

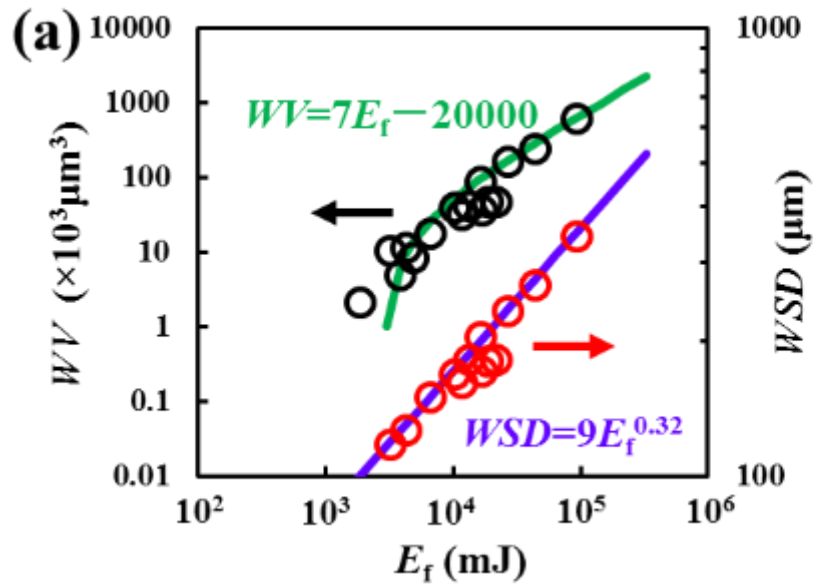
不同工况下摩擦曲线



- 外部机械作用是调节润滑的有效手段
- 不同磨合过程呈现不同演化规律
- 磨合过程 → 调节 + 预测 后续润滑状态?

3. 磨合过程润滑状态预测

➤ 摩擦功与磨损

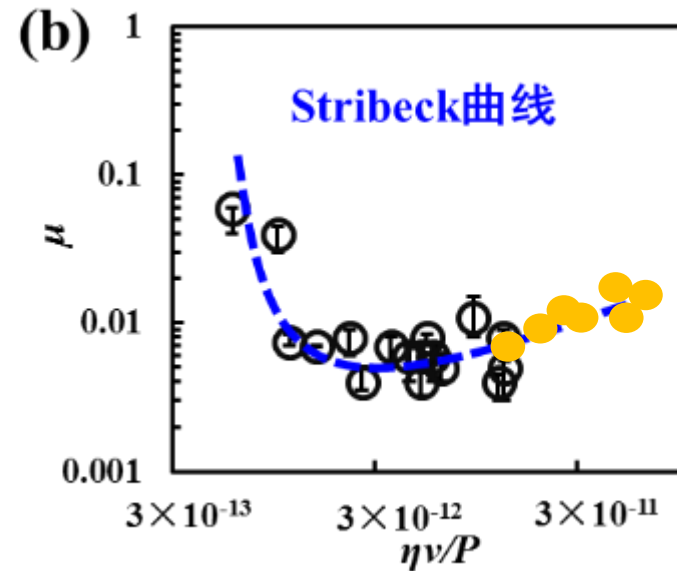


$$WV = 7E_f - 20000$$

线性形式与先前关于磨损量和摩擦功关系的大量研究结果一致

$$WSD = 9E_f^{0.32}$$

球冠的体积和直径具有立方的关系



轴承数

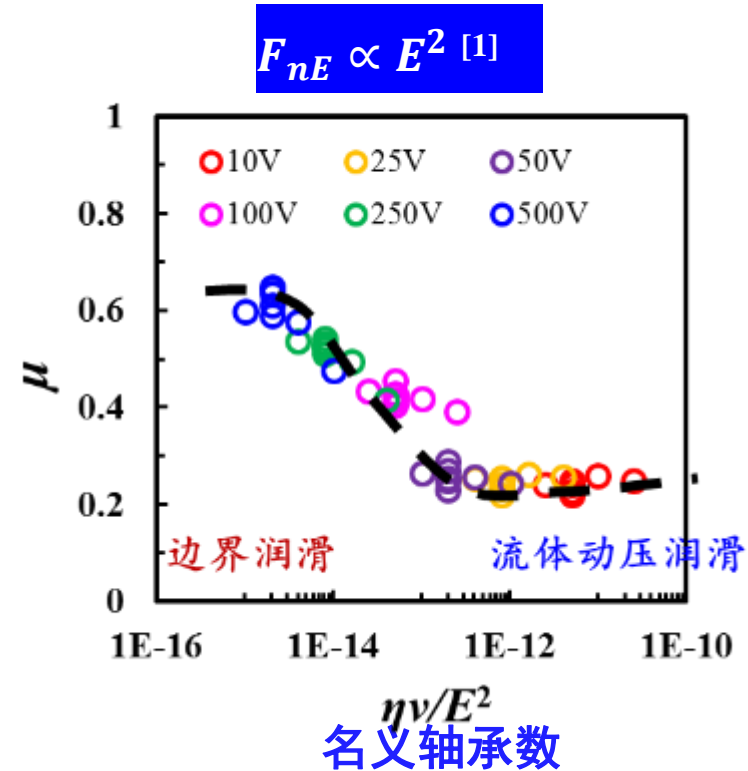
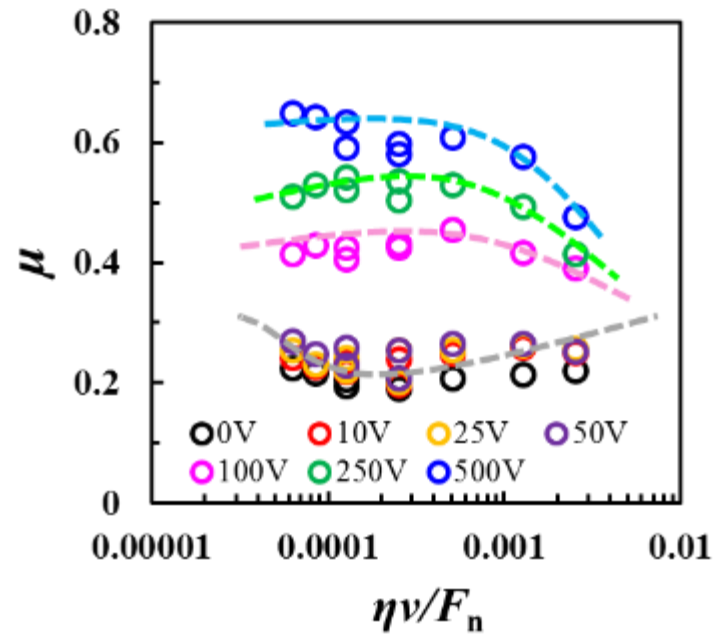
工作阶段工况

F_n, v

$$P = 4F_n / \pi WSD^2$$

4. 电/磁场摩擦主动调控

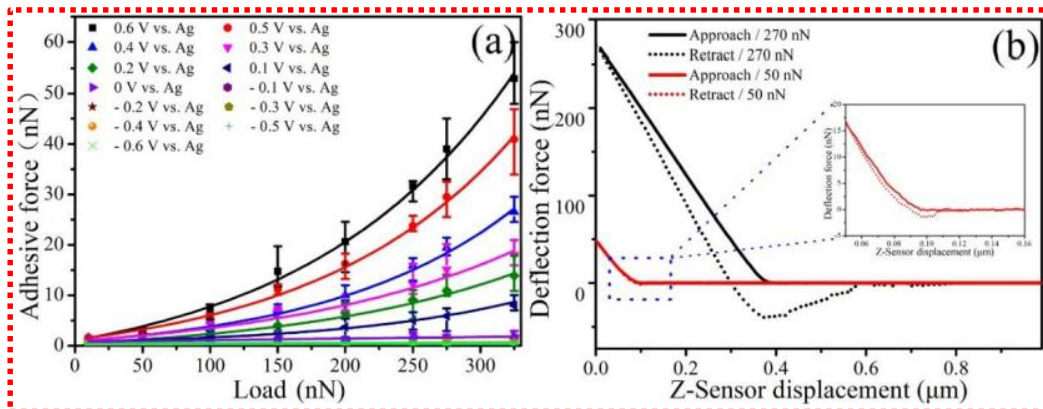
➤ 摩擦数据归一化整理



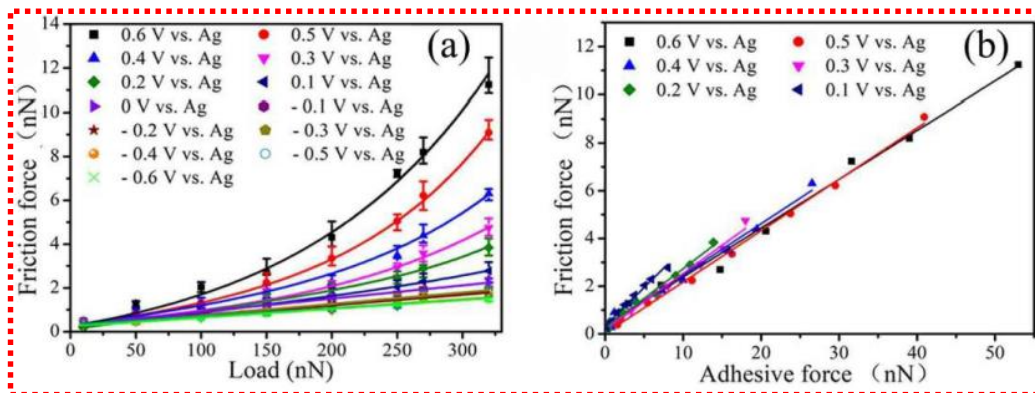
- 外电场增强了颗粒与金属界面的相互吸引作用，润滑状态向边界润滑移动

5. 盐溶液润滑的电场调控

界面摩擦与粘附状态



粘附力随载荷和电位的变化



摩擦力随载荷电位的变化以及与之对应的粘附力

摩擦二项式

剪切应力+载荷

$$F_f = \alpha A + \mu F_L$$

粘附强度+载荷

$$F_f = k\gamma_R A + \mu F_L$$

粘附力+载荷

$$F_f = C F_{adh} + \mu F_L$$

$$F_{adh} = B + a e^{b F_L} \quad (F_L \geq 0)$$

$$F_f = K \cdot \exp(b F_L) + \mu F_L$$

摩擦由载荷引起和内应力引起