

# 课题10期中汇报

俸昊嵘 丁森 谢思思

# Pulling glasses apart

Put a thin layer of water between two sheets of glass and try to separate them. Investigate the parameters affecting the required force.

在两片玻璃间加一薄层水，然后用力分开玻璃。

试分析影响所需施力的因素。

# 几种假设（线性叠加？）

- **大气压强**（水内没有空气——>没有气压）
- **表面张力**（多篇ref的指向——capillary bridge “毛细纽”）
- **分子间作用力**（微观、复杂，暂未在这方面探究）

# 初期的探究

- 未购入测力计前粗糙地测力
- 在“先放很多水”的建议中发现所用拉力与液膜厚似成负相关
  
- 观察拉脱时的现象
- 在某个已超过临界值的拉力(不再增加)下，空气从某个角落“侵入”水膜
- 初期“侵入”过程是缓慢的，达10s量级
- “侵入”达一定程度后明显加快，然后迅速拉脱

# 大气压？

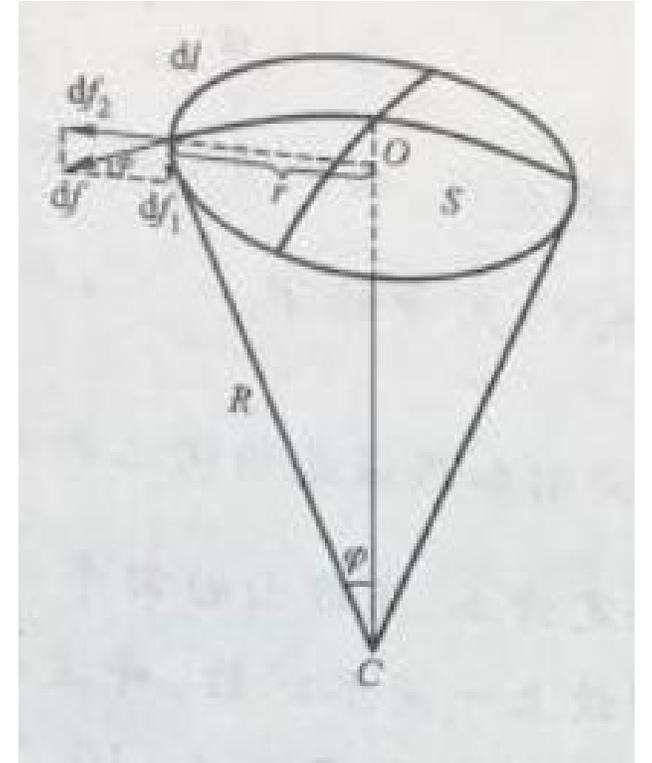
- 那岂不是吸盘先拉脱？  
倍数上起码相差吸盘/玻璃面积比
- 我们用的玻璃大小 $10*10\text{cm}$  ( $10^{-2}\text{m}^2$ )  
算得单面受大气压力 $10^3\text{N}$   
与实际 $9.8*(0.1\sim 10)\text{N}$ 相差1~3数量级
- 查阅资料——压强的可传递性  
绝对压强应加入大气压  
Pascal Law——瞬时传递、要求流体不可压缩 (实际成立吗？)

# 表面张力——附加压强理论

- 表面张力——> 弯曲液面有附加压强
- Laplace 公式：

$$\Delta P = \gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

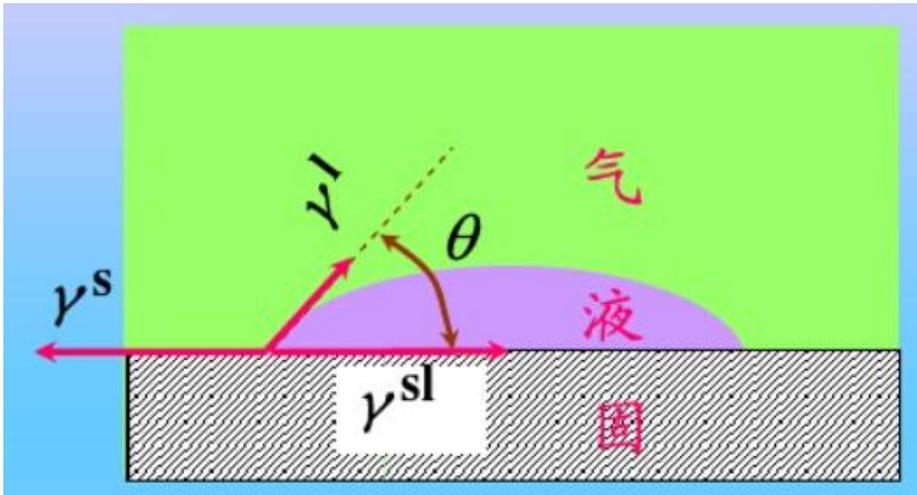
( R定向：凸液面为正；  
p定向：液体内部比外界大为正 )



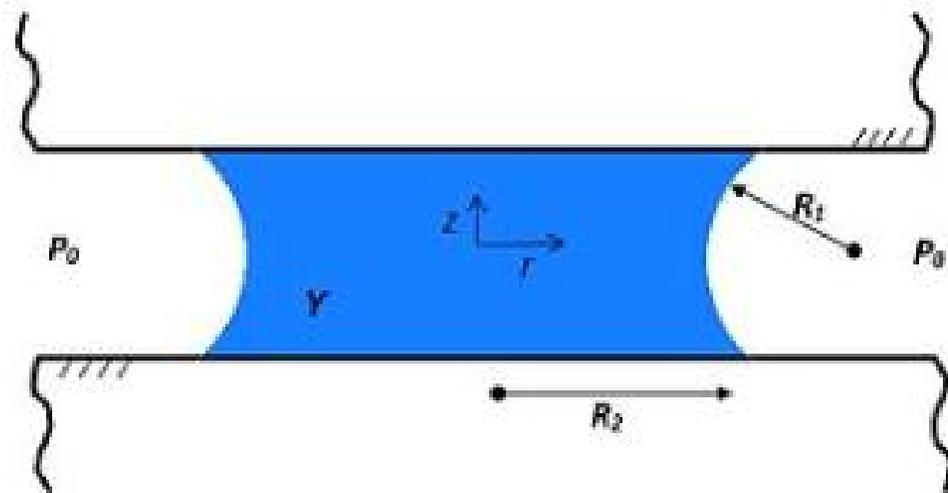
# 接触角

Young's Equation:

$$\cos \theta = \frac{\gamma^s - \gamma^{sl}}{\gamma^l}$$



固体玻璃的 $\gamma$ 本身不便  
测量.....  
一般直接测出接触角 $\theta$



# 附加压强计算

对厚为 $d$ 的液膜：

- 平行玻璃面上方向上 $1/R_1=0$
- 垂直方向 $R_2= -d \csc \theta/2$  （ $\theta$ 为接触角）

得 $p= -2\sigma \sin \theta/d$       负号表示附压方向指向液内

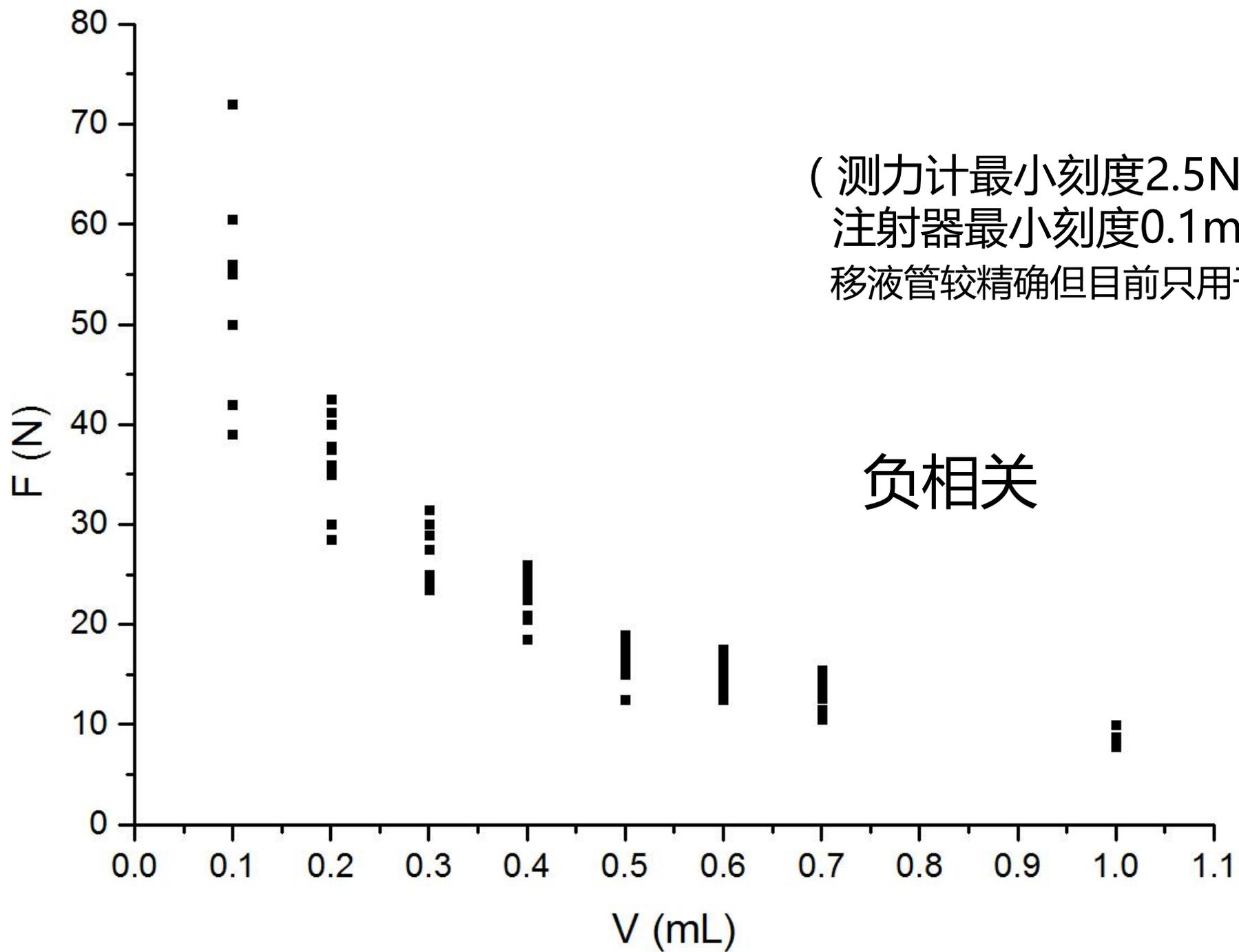
$$\sigma_{\text{H}_2\text{O } 23^\circ\text{C}} \approx 72 \cdot 10^{-3} \text{N/m}$$

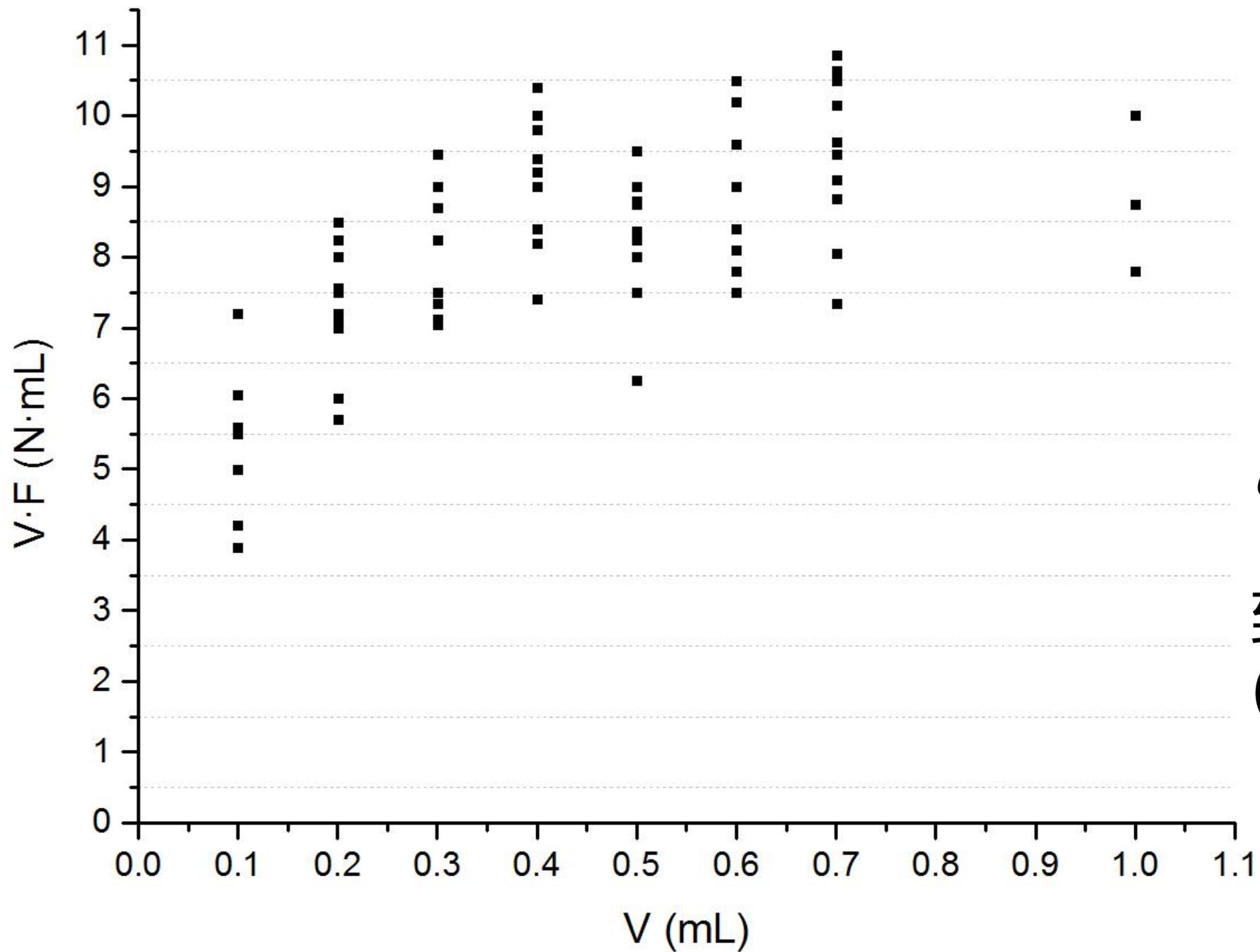
$$\begin{aligned} \text{得 } FV = pA \cdot Ad &= 2A^2 \sigma \sin \theta = 14.4 \sin \theta \cdot 10^{-6} \text{N} \cdot \text{m}^3 \\ &= 14.4 \sin \theta \text{N} \cdot \text{mL} \end{aligned}$$

$\theta$ 很不好测..... $30^\circ \sim 7.2 \text{N} \cdot \text{mL}$  ;  $35^\circ \sim 8.3 \text{N} \cdot \text{mL}$  ;  $40^\circ \sim 9.3 \text{N} \cdot \text{mL}$  ;  
 $45^\circ \sim 10.2 \text{N} \cdot \text{mL}$  ;  $50^\circ \sim 11.0 \text{N} \cdot \text{mL}$

# 测力

- 里程碑式的进展：购进测力计（类似体温计，指针停在最大值）
- 用注射器/移液管向干燥过的下玻璃表面加入定量水，合上10\*10cm小玻璃，避免气泡，使水扩散到整个面，也不能到边界之外
- $V=0.1\text{mL}$ ，太难扩至整个面
- $V=1.0\text{mL}$ ，玻璃重力容易将较多水压出，且很容易滑动，滑动所至之处留有水，几乎无法正常测量
- 即测量用  $V$  大致在两者之间，0.1mL量级，即 $d$ 在 $10\mu\text{m}$ 级





$d < 30 \mu m$ 时  $V \cdot F$  随  
 $V$  增大, 然后大致  
稳定在  
(7~10)  $N \cdot mL$

# 测力

( 可能是整个实验最受人诟病的一点qaq )

直接用手拉着测力计.....

方向垂直：可通过控制不滑动大致做到 ( 对不太厚的液膜是可以的 )

力缓慢增加：观察到空气的“侵入”就暂不加力

以及把自己的每一次测力都看作对意志力与耐力的锻炼 ( 玄学? )

用力不够缓慢的后果：**测力偏大**

( 其实为这个我们已经舍弃了很多早期数据..... )

现在不同的人在不同的时间段测得的力亦是有总体上的区别的.....

不过至少已经能比较好地展现负相关与大致上的反比关系了

( 嗯其实我们貌似已经想到了似乎比较好的测力方案..... )

# 玻璃厚度的不均匀

螺旋测微器取玻璃上8个点： $d_{\max}=3.536\text{mm}$ ， $d_{\min}=3.518\text{mm}$   
得 $\Delta d=18\mu\text{m}$  与液膜厚等数量级！

剪切应变：玻璃切变模量  $G$  在10GPa级

对10N级的  $F$ ，用简化模型算得 $\Delta d$  在1 $\mu\text{m}$ 级，影响稍小

大概就是导致液膜厚较小时  $F$  偏小地偏离反比例关系之原因  
(局部厚度最大值与平均厚度的偏离)

# 施力中心偏移

( 用一个简单化的模型来大致推导 )

对玻璃边长 $x$ ，施力点在面上投影离中心距离 $\Delta x$ ，所测力比实际 $F$ 偏小 $\Delta F$ ：

$$\Delta F/F \sim 3\Delta x/x$$

即使吸盘中心严格对准玻璃中心，施力点投影也并不一定在这点  
若 $\Delta x=5\text{mm}$ ，产生的误差可达约20%

# 对其他种类液体的尝试

- 本希望通过变化表面张力系数 $\sigma$ 与接触角 $\theta$ ，进一步验证表面张力对所需拉力影响
- 用油与乙醇，遭遇与过厚水相同的问题：很容易滑动，滑动所至之处留有液体，几乎无法正常测量
- 乙醇易挥发，接触角又较小，在玻璃上铺开面积较大，雪上加霜
- 油的黏性太大，且清洁成问题
  - （现发现拉开油所需力反常地很大，可能就与黏性有关！  
在临界力附近拉开时用时可能更长，测力时未意识到而继续施力？  
黏性会不会甚至影响大气压在液体中的传递，使气压差一说成真？）
- 现兑洗洁精溶液，不便测表面张力系数（拉脱法拉出一堆泡沫）

# 展望

- 完善测力方式
- 较好地测出接触角
- 进一步积累数据，尤其补上较厚液膜厚的欠缺
- 变化所夹液体种类重复实验
- 分析并解决施力点偏移误差问题
- 分析施力角度微偏的影响
- 换用几种表面参数不同的玻璃来进一步探究
- 研究液体黏度的影响
- 研究液体可压缩造成的影响
- 研究玻璃粗糙程度的影响
- 研究微观的分子间作用力的影响(“粘连”)