

# X 射线应力测定原理

## 图解

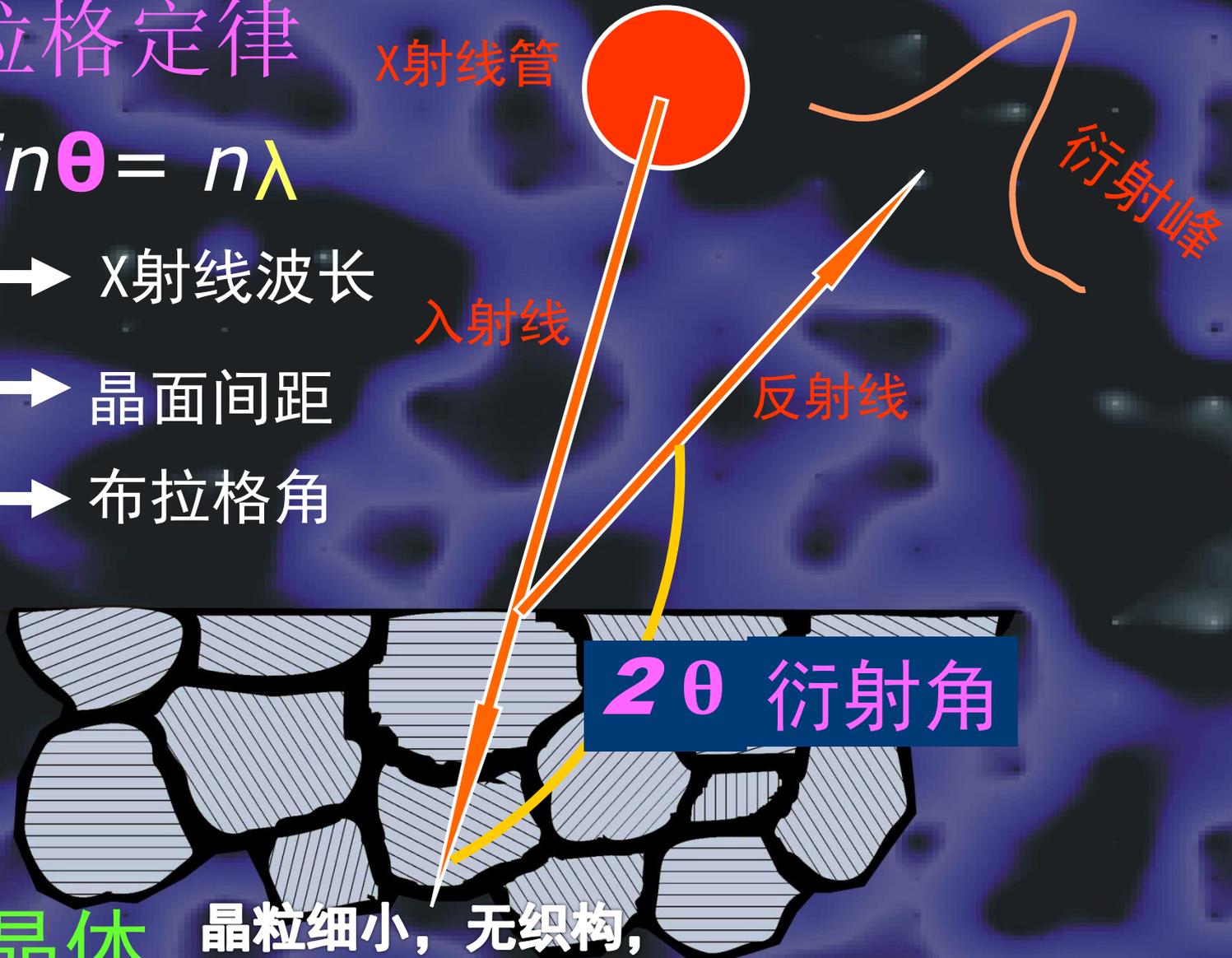
# 布拉格定律

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

$\lambda$  → X射线波长

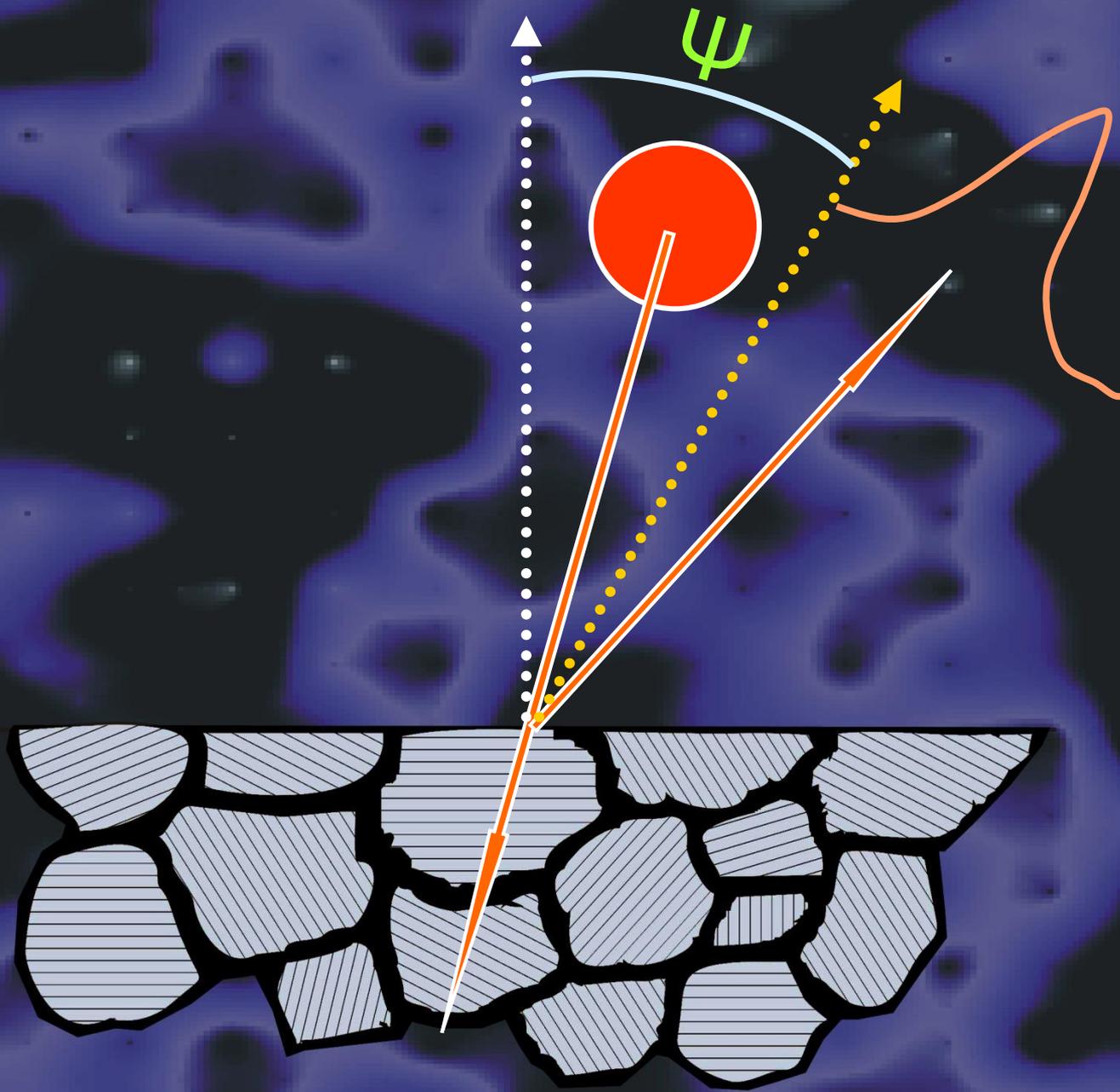
$d$  → 晶面间距

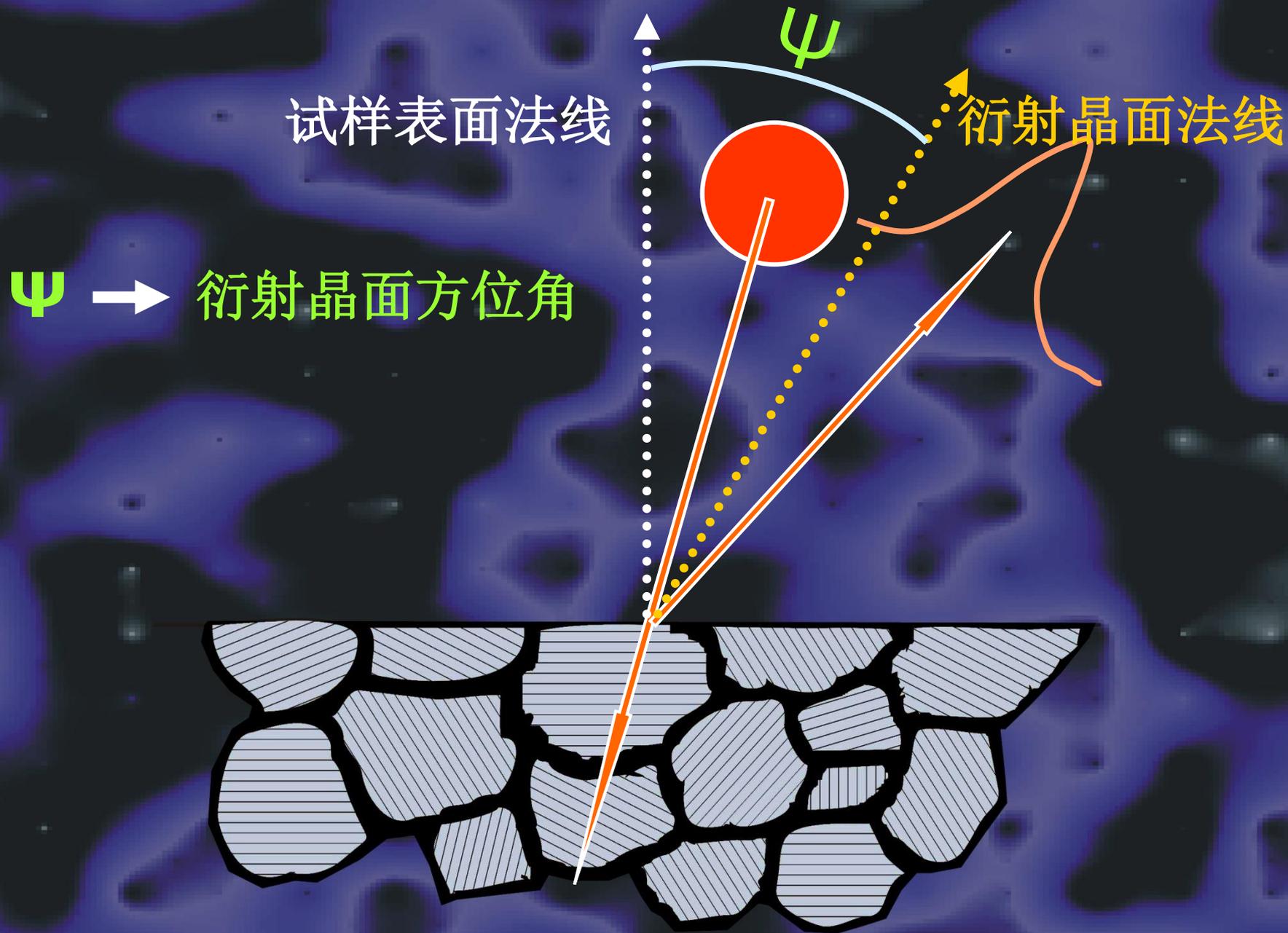
$\theta$  → 布拉格角



多晶体

晶粒细小，无织构，在一束X射线的照射范围内有许许多多晶粒。

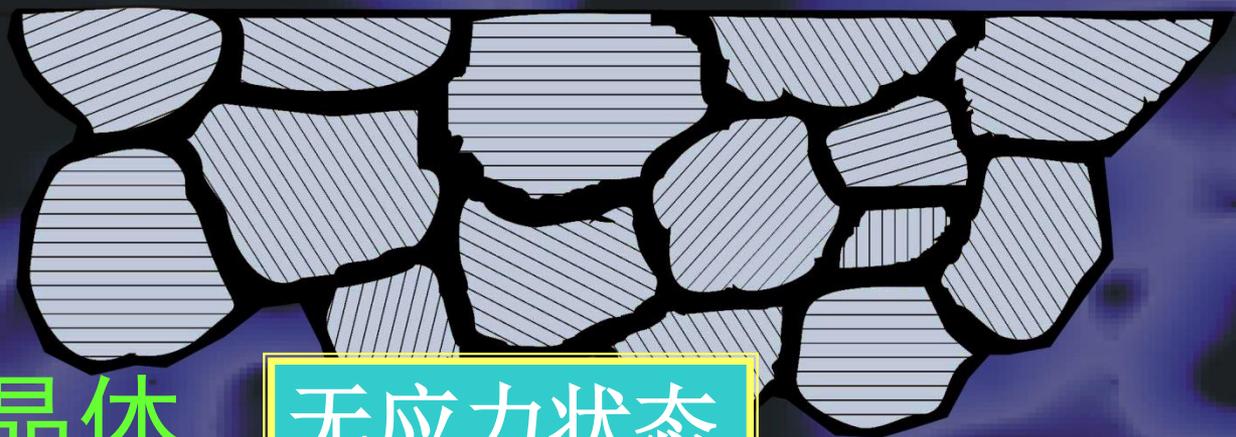




在无应力状态下

在各个晶粒当中

所选  $(hkl)$  晶面间距  $d$  均相等



多晶体

无应力状态

在无应力状态下

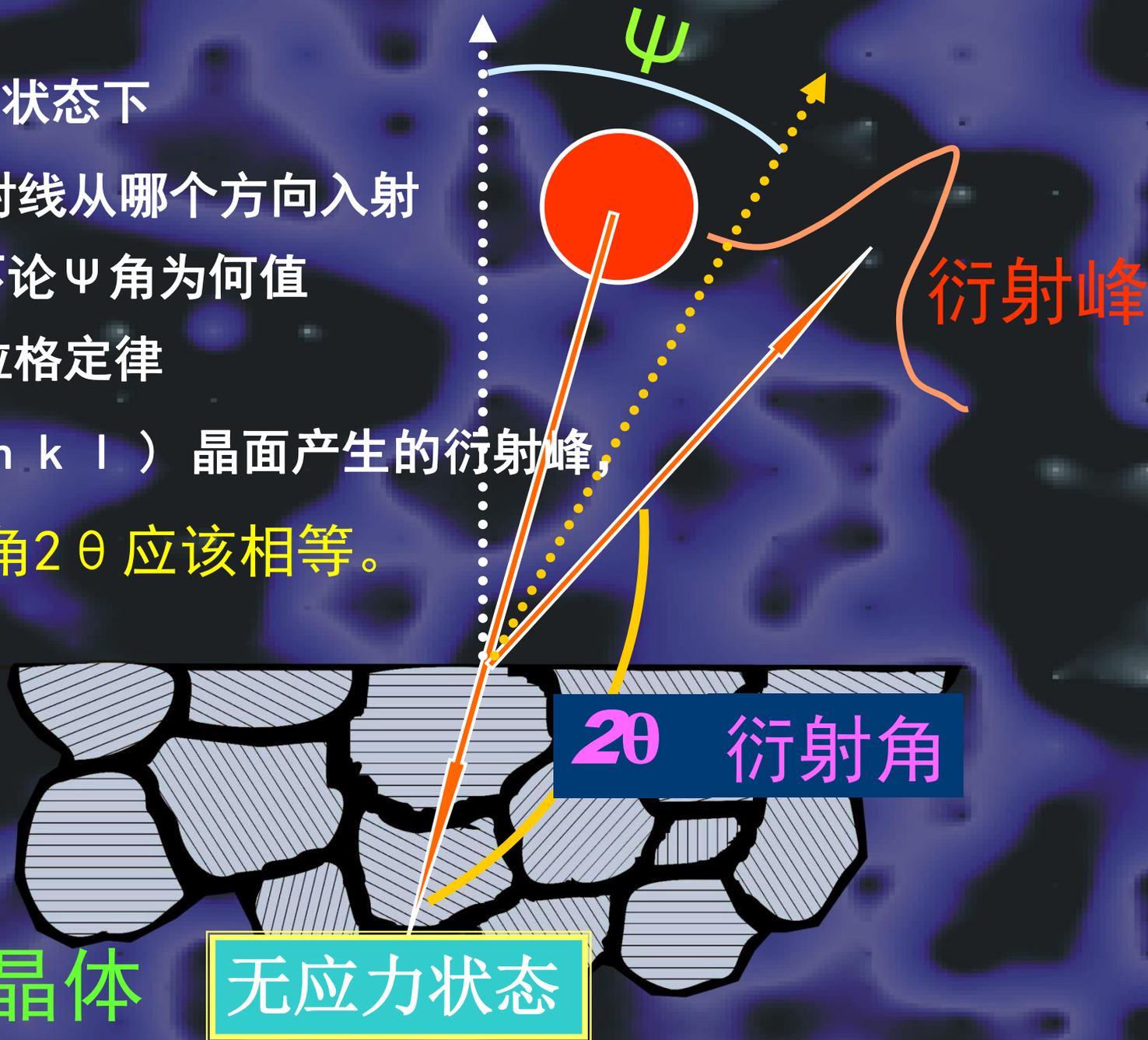
不论X射线从哪个方向入射

即不论 $\psi$ 角为何值

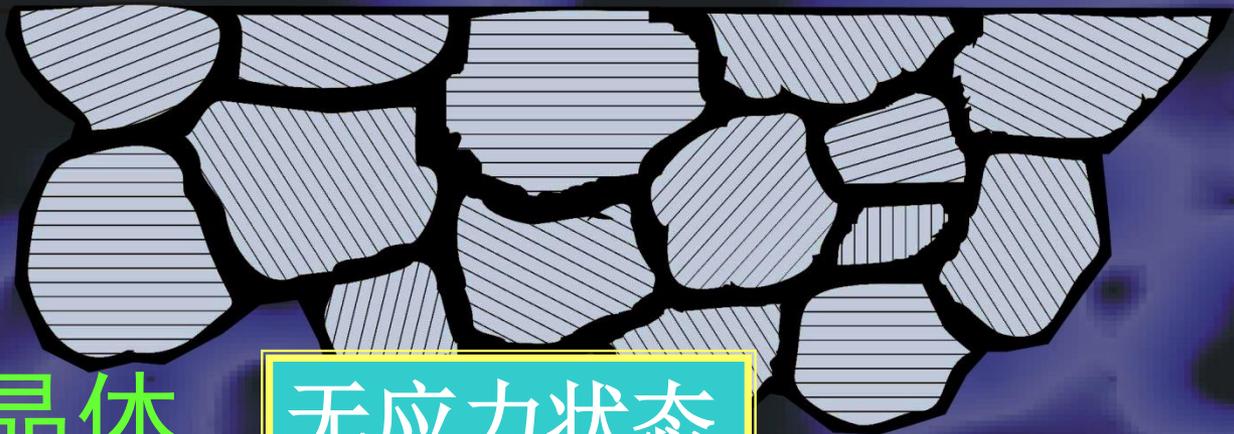
根据布拉格定律

同一 $(hkl)$ 晶面产生的衍射峰，

其衍射角 $2\theta$ 应该相等。



同一组  $(h\ k\ l)$  晶面，在各个晶粒当中，不论处于什么方位，其晶面间距是相等的。



多晶体

无应力状态



多晶体

拉应力状态

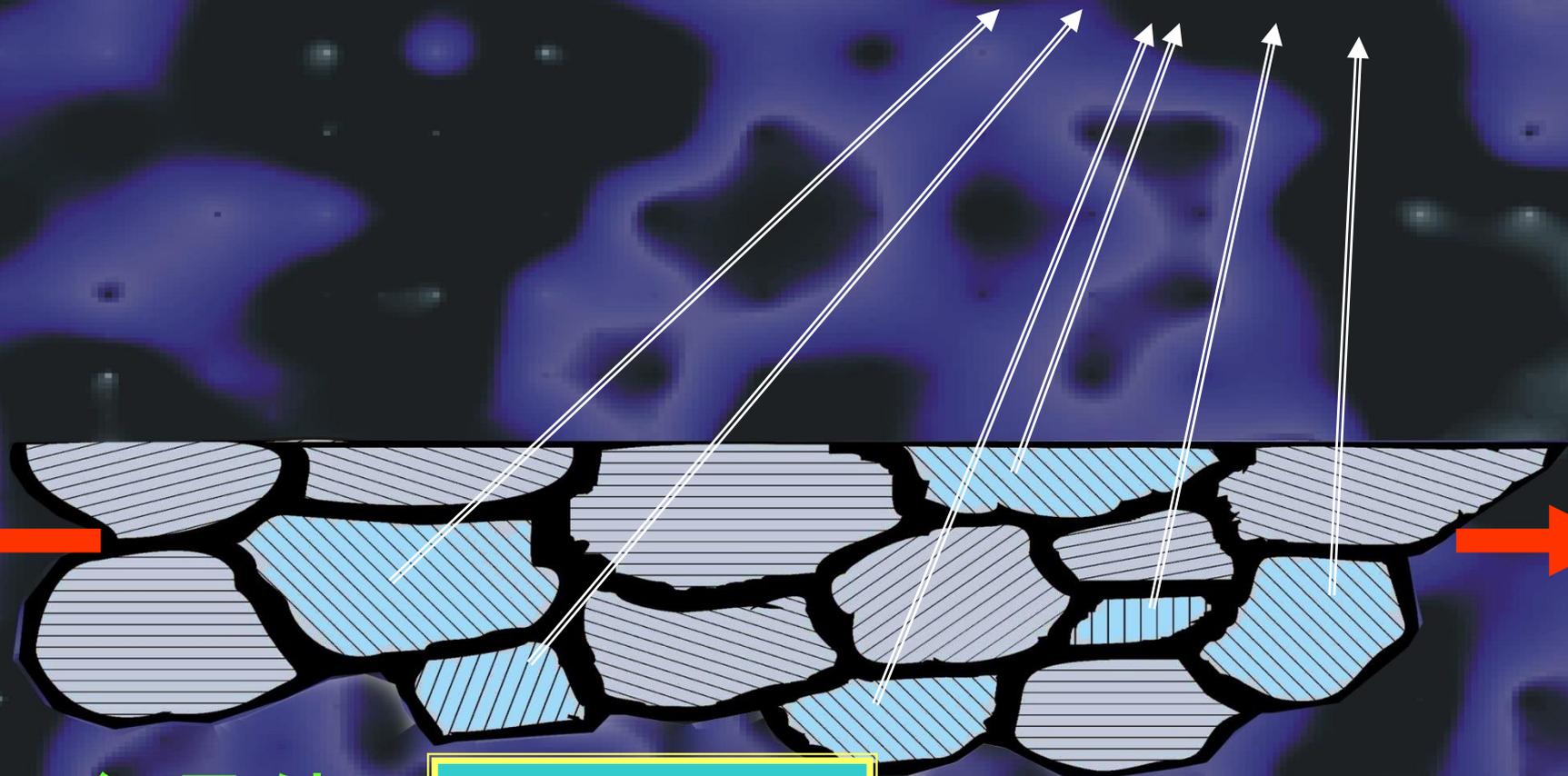
晶面间距 $d$ 变小



多晶体

拉应力状态

晶面间距 $d$ 变大



多晶体

拉应力状态

确定衍射晶面法线 使之与试样表面法线重合 即 $\psi=0^\circ$

确定衍射晶面法线

衍射峰

计数管扫描

根据布拉格定律

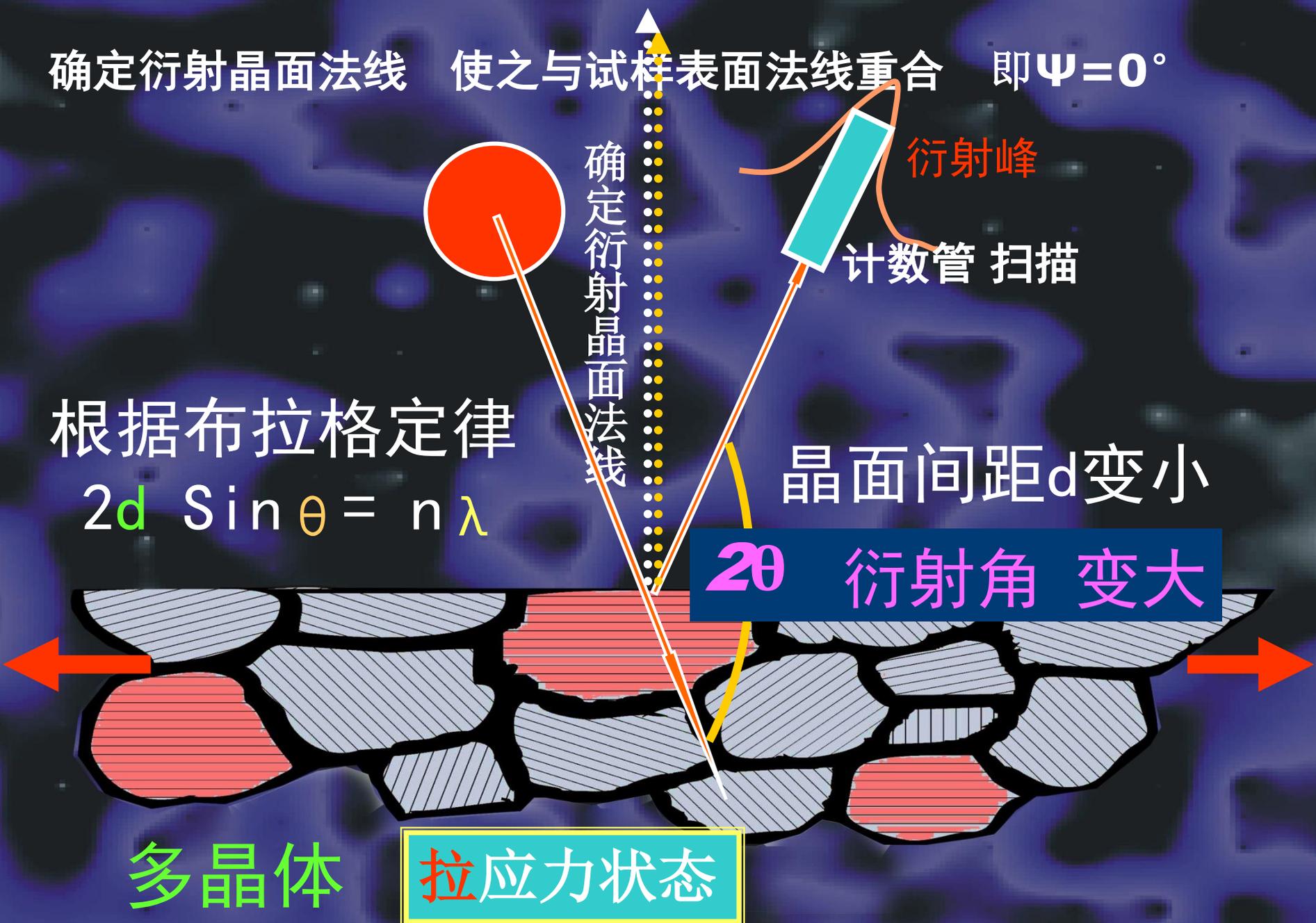
$$2d \sin \theta = n \lambda$$

晶面间距 $d$ 变小

$2\theta$  衍射角 变大

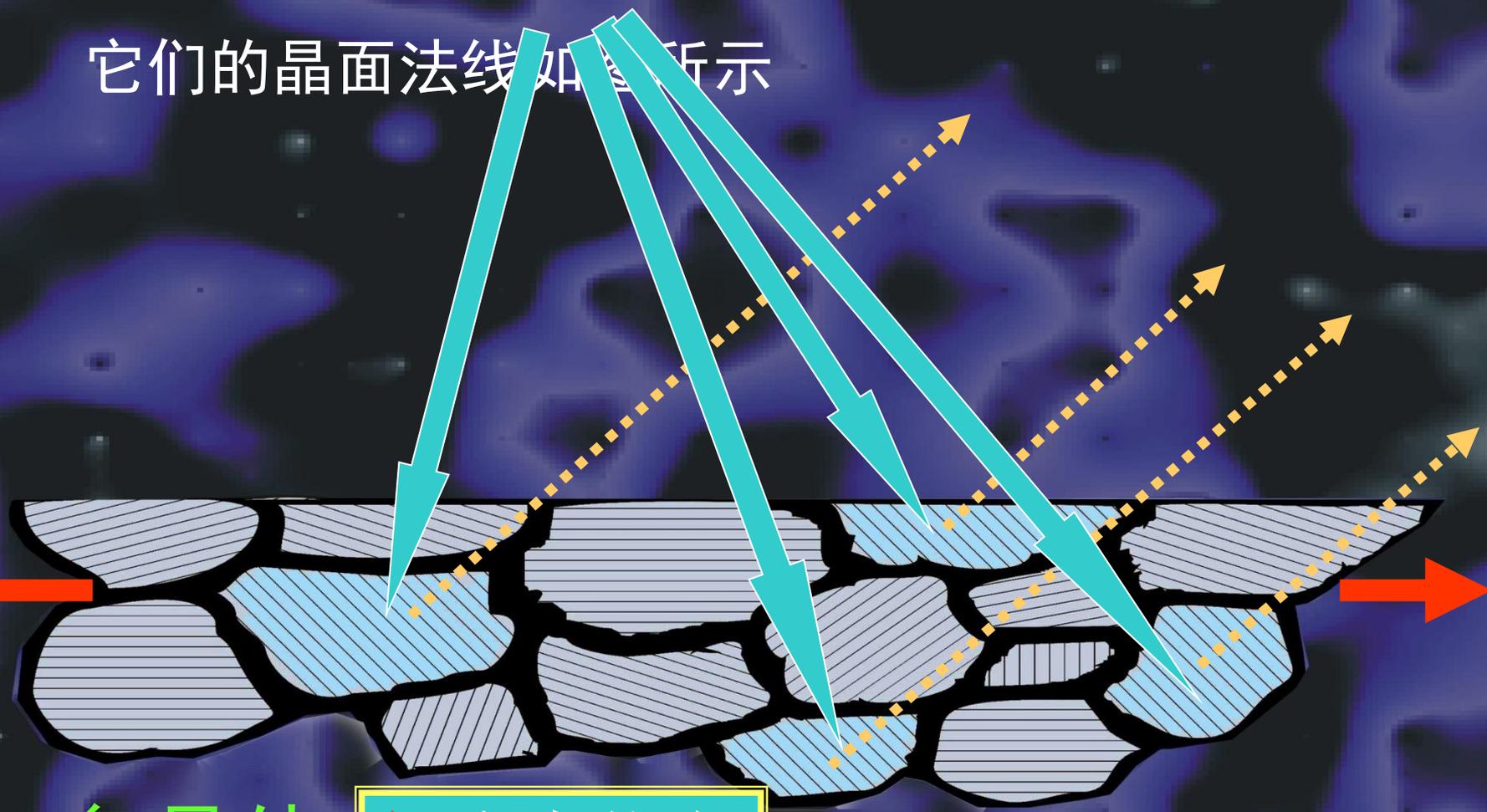
多晶体

拉应力状态



接下来，选取  $(hkl)$  晶面间距被拉大的晶粒  
(示意图中被涂上淡蓝色)

它们的晶面法线如图所示



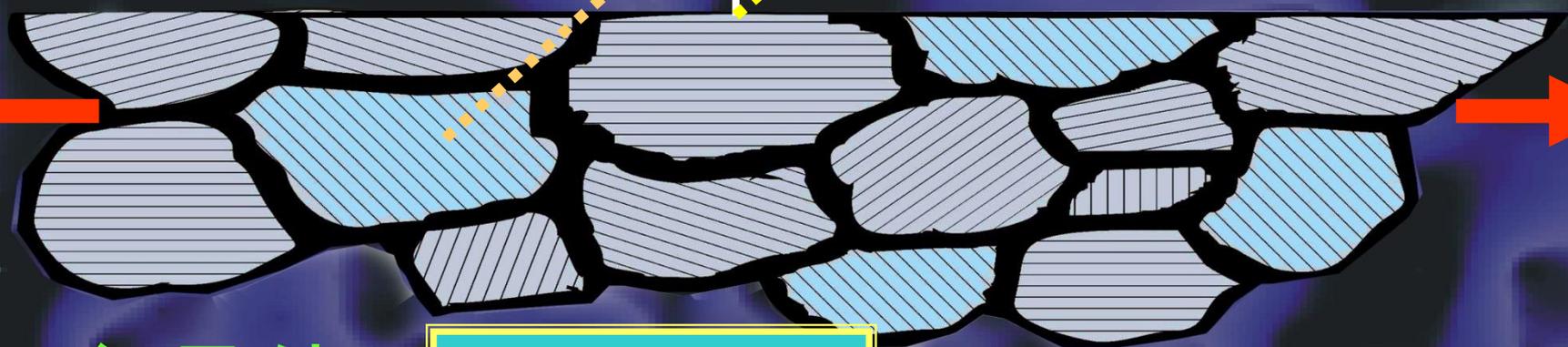
多晶体

拉应力状态

如果从宏观上确定一条晶面法线  
它必然对应有许多多晶粒

试样表面法线

晶面法线



多晶体

拉应力状态

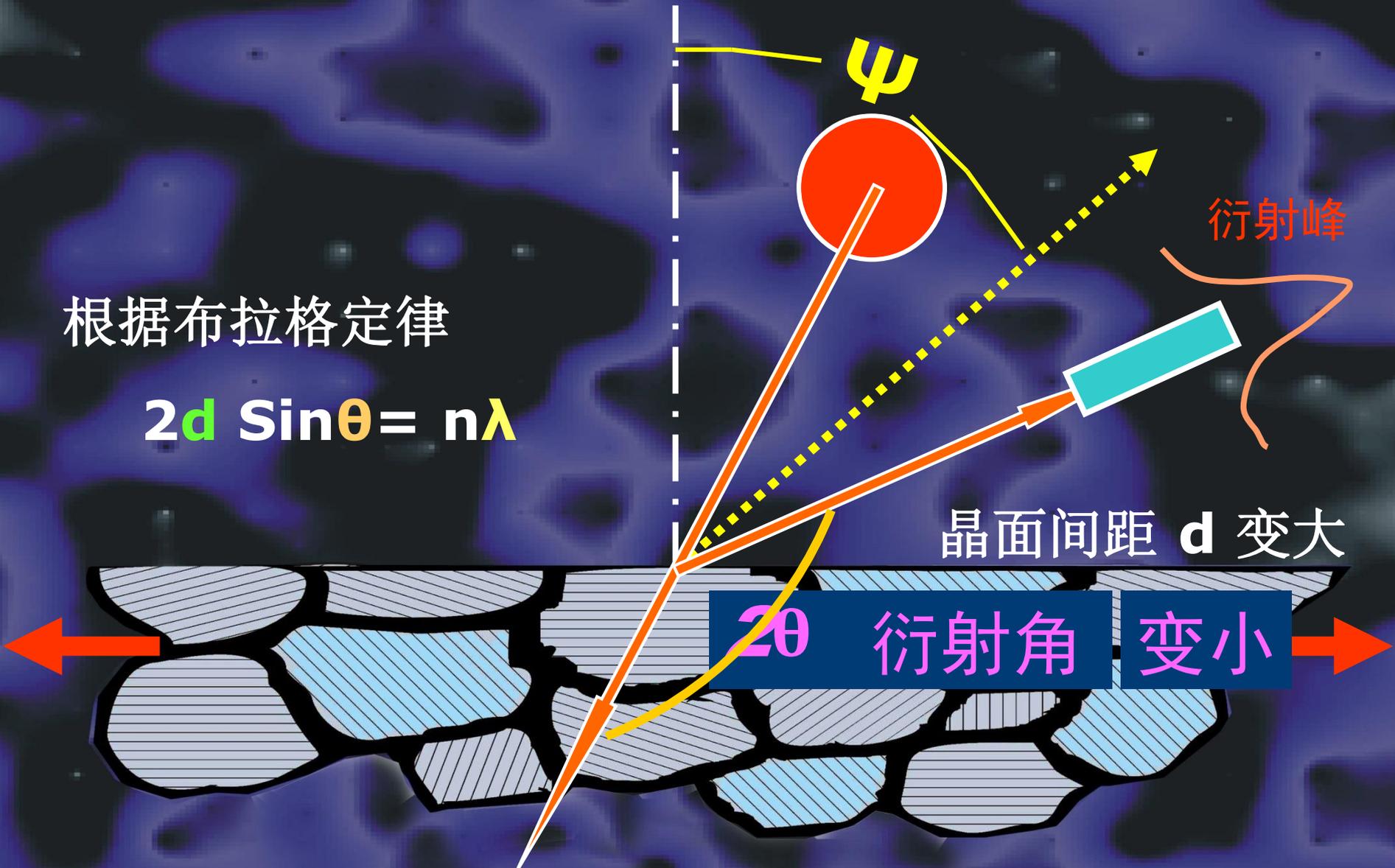
根据布拉格定律

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

晶面间距  $d$  变大

$2\theta$  衍射角 变小

衍射峰



- 在无应力状态，衍射角 $2\theta$ 不随晶面方位角 $\psi$ 变化而变化；
- 在拉应力状态，晶面方位角 $\psi$ 越大，晶面间距 $d$ 也越大，依据布拉格定律，衍射角 $2\theta$ 就越小；
- 相反，在压应力状态，晶面方位角 $\psi$ 越大，晶面间距 $d$ 也越小，相应地，衍射角 $2\theta$ 就越大；
- 可以推想，衍射角 $2\theta$ 随晶面方位角 $\psi$ 变化而变化的快慢程度，直接反映出应力值的大小；
- 根据布拉格定律和弹性理论，可以推导出：

$$\sigma = K \cdot \frac{\partial (2\theta)}{\partial \sin^2 \psi}$$

- 式中  $K$  为应力常数。

测定应力的可操作过程 就是

选定若干  $\psi$  角

分别测定对应的衍射角  $2\theta$

# 测量原理

## 简明示意图

# 布拉格定律

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

通过衍射得到衍射角  $2\theta$

依据布拉格定律可以求出晶面间距 **d**

$N_0$

每条法线

$N_0, N_1, \dots, N_4$

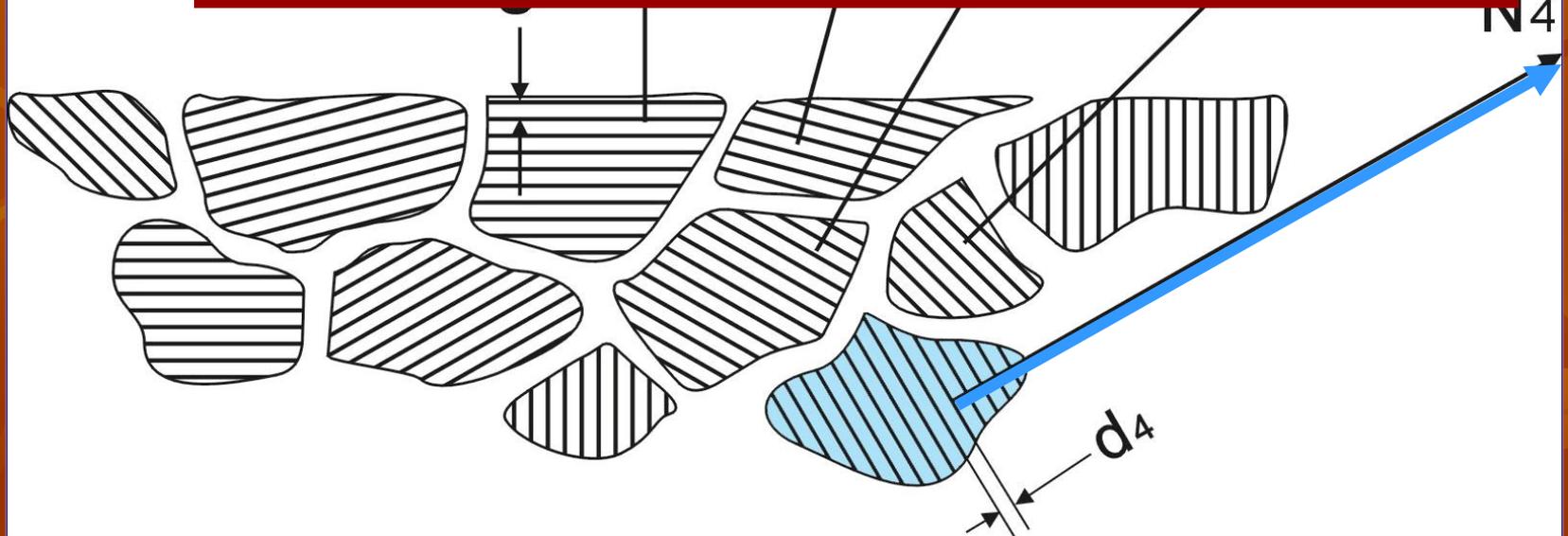
分别对应的晶面间距为  $d_0, d_1, \dots, d_4$

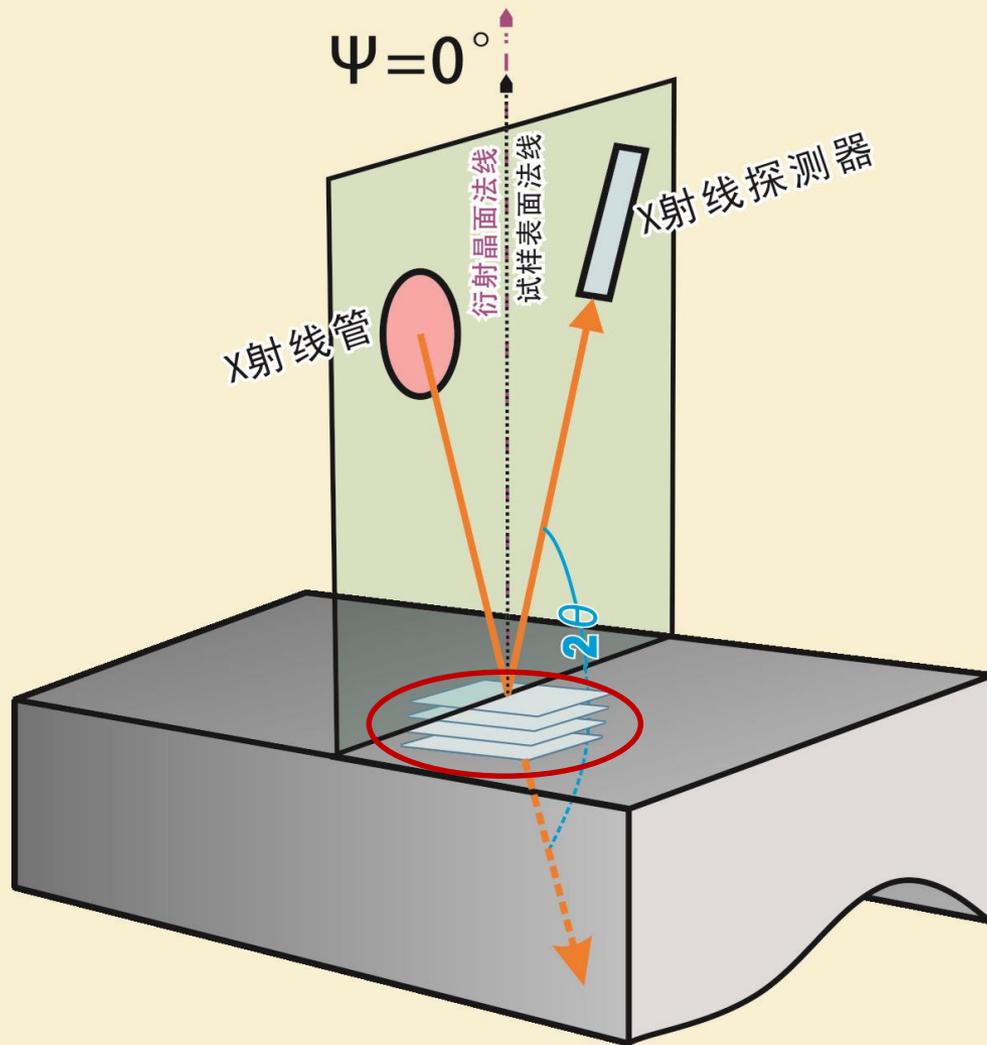
如果测得晶面间距从  $d_0$  到  $d_4$  大体相等

· 如未测得晶面间距从  $d_0$  到  $d_4$  依次减小

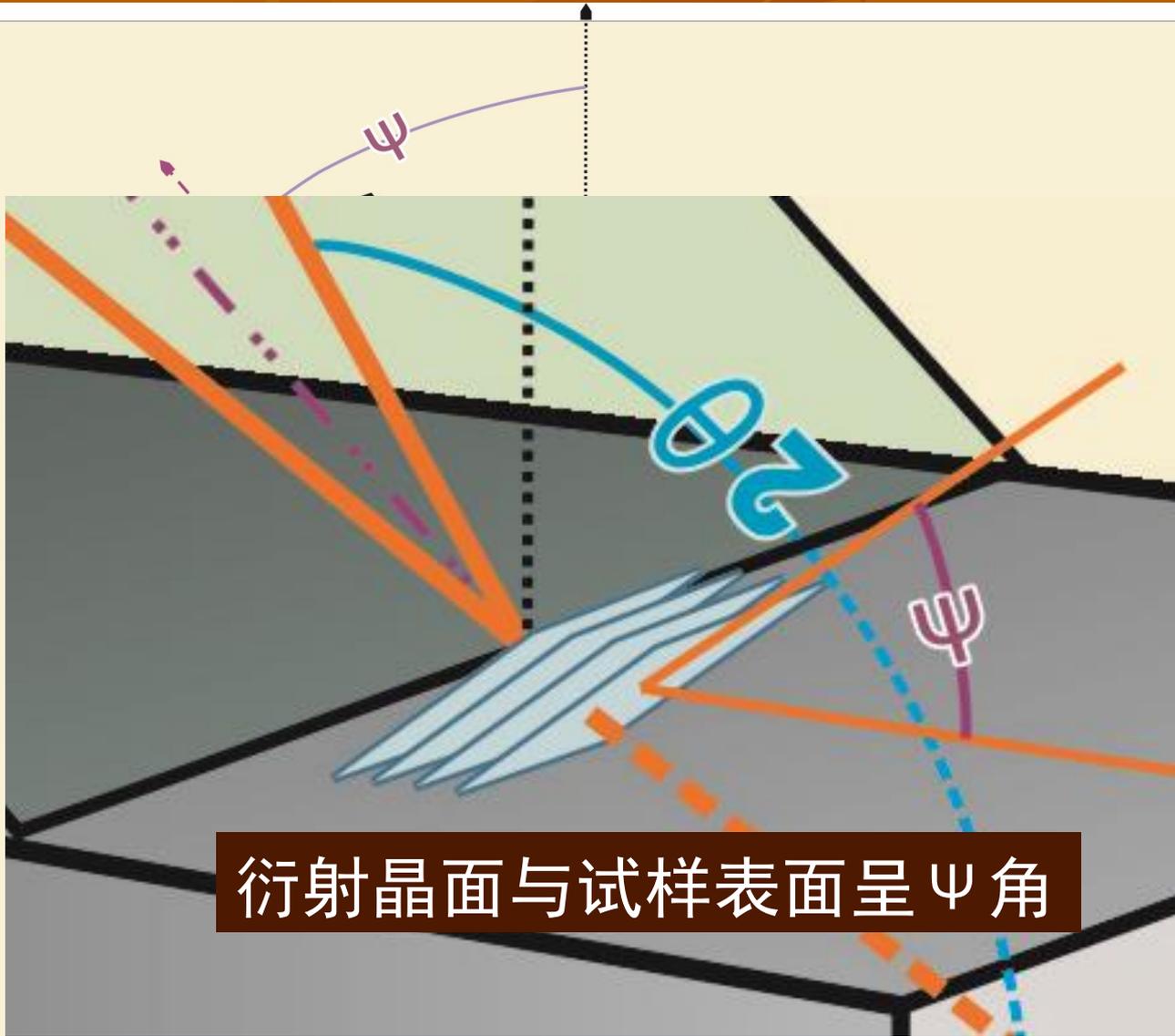
可以推断材料中基本无应力;

可以推断材料中存在压应力;





衍射晶面平行于试样表面



衍射晶面与试样表面呈  $\psi$  角

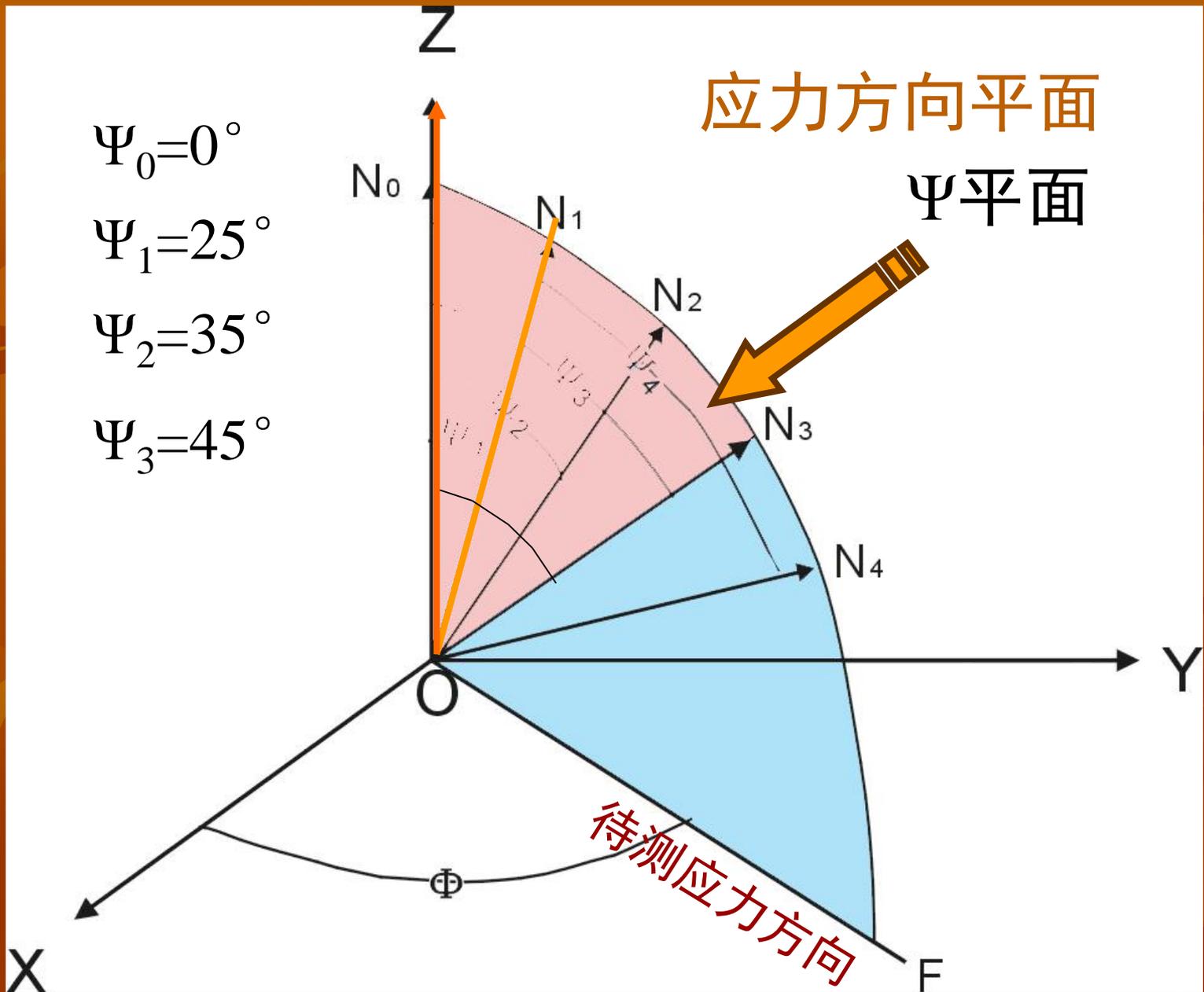
角

测定应力的可操作过程 就是

选定若干  $\psi$  角

分别测定对应的衍射角  $2\theta$

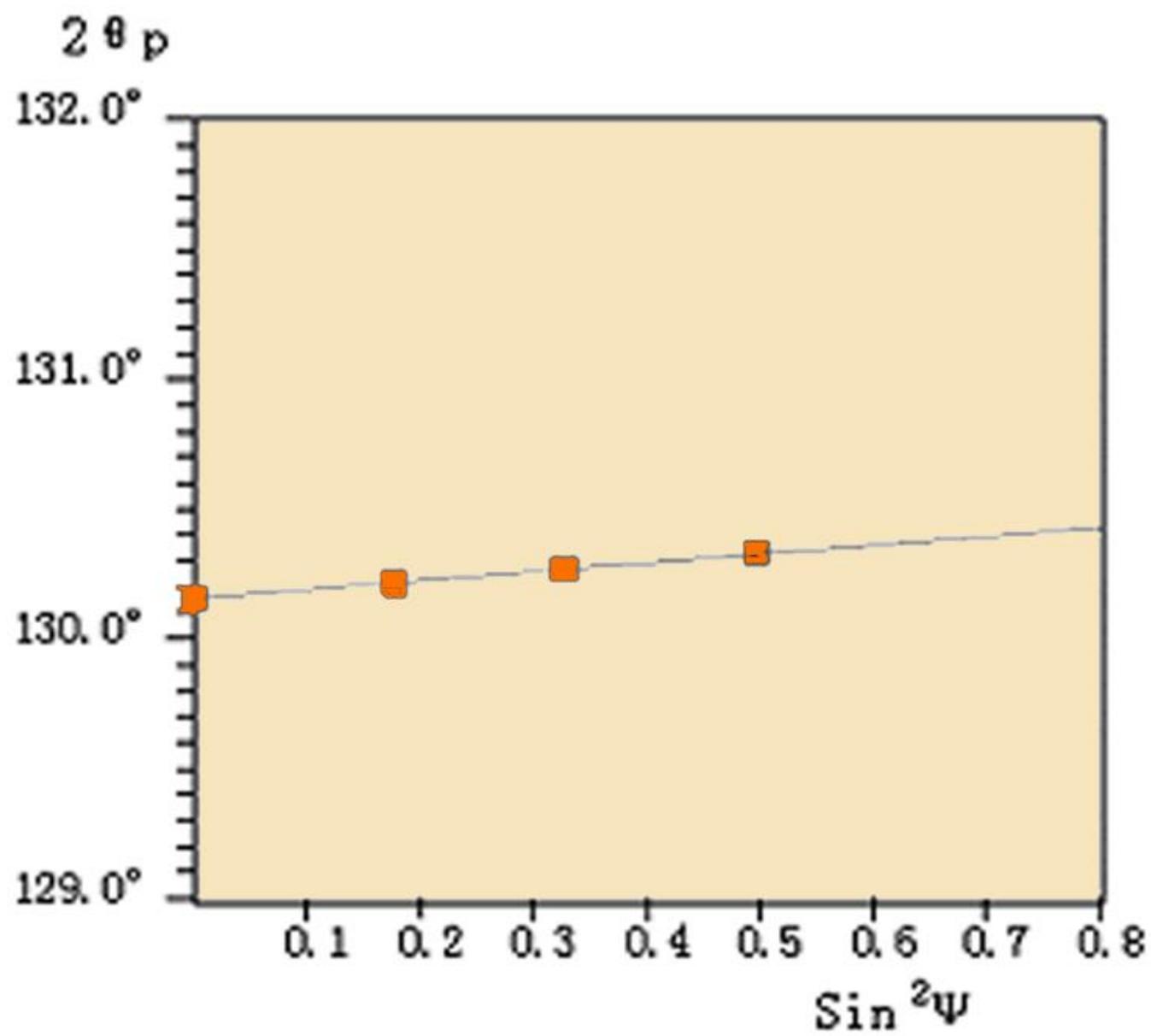
亦即分别测定对应的晶面间距  $d$



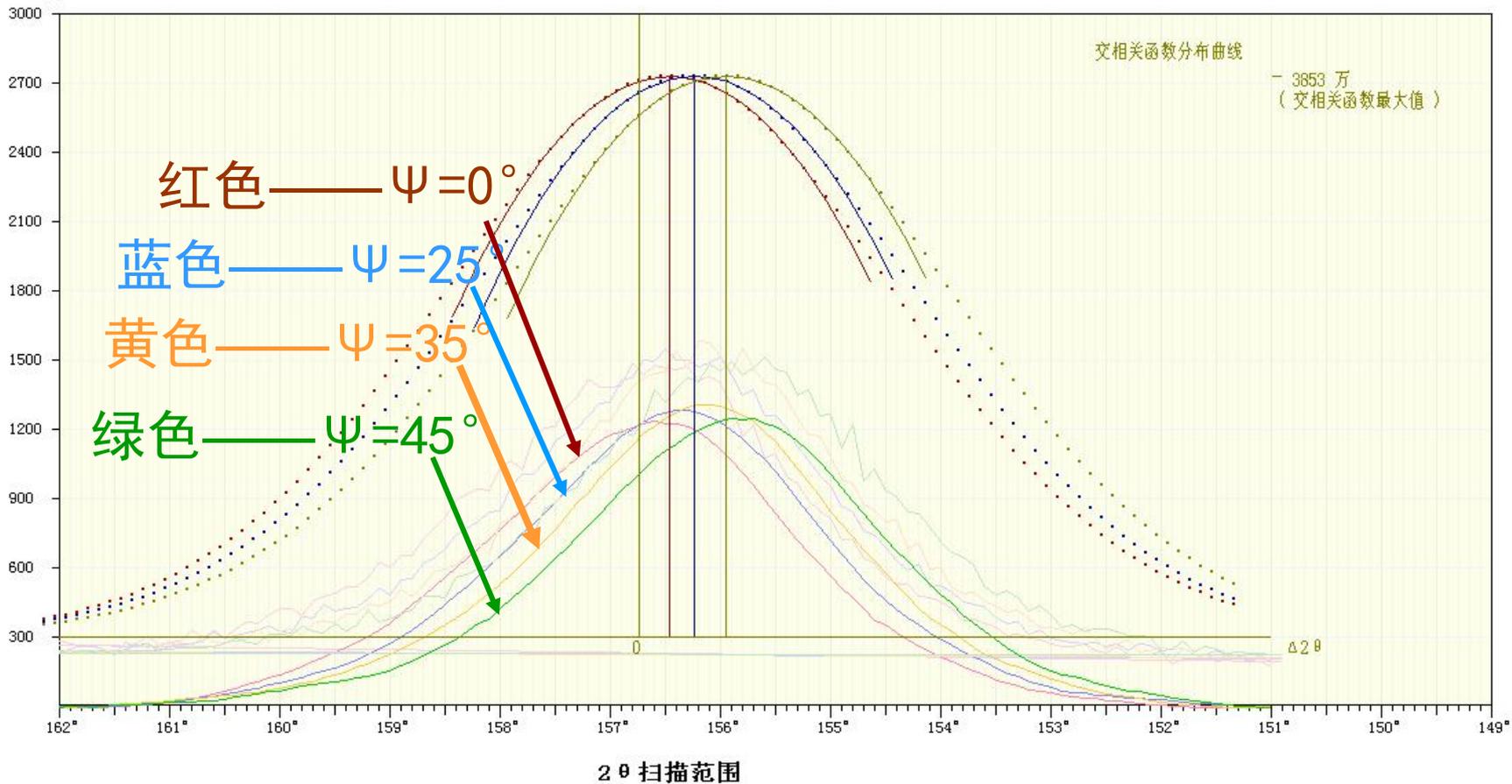
$$\sigma = K \cdot M$$

$$M = \frac{\partial 2\theta}{\partial \sin^2 \Psi}$$

$$K = \frac{E}{2(1 + \mu)} \cot \theta_0 \frac{\pi}{180}$$



计数



$2\theta_p$

158.0°

157.0°

156.0°

155.0°

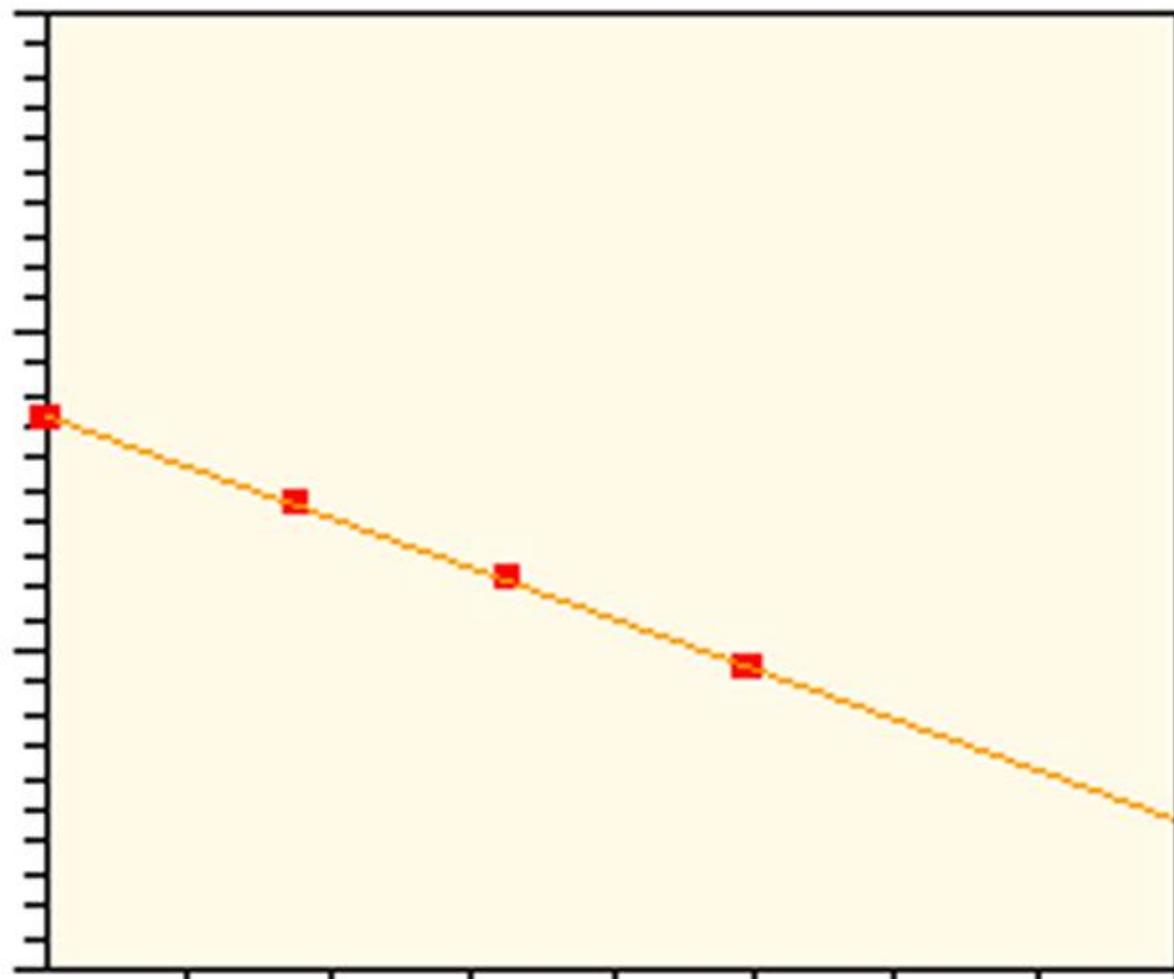
峰

半

积

积

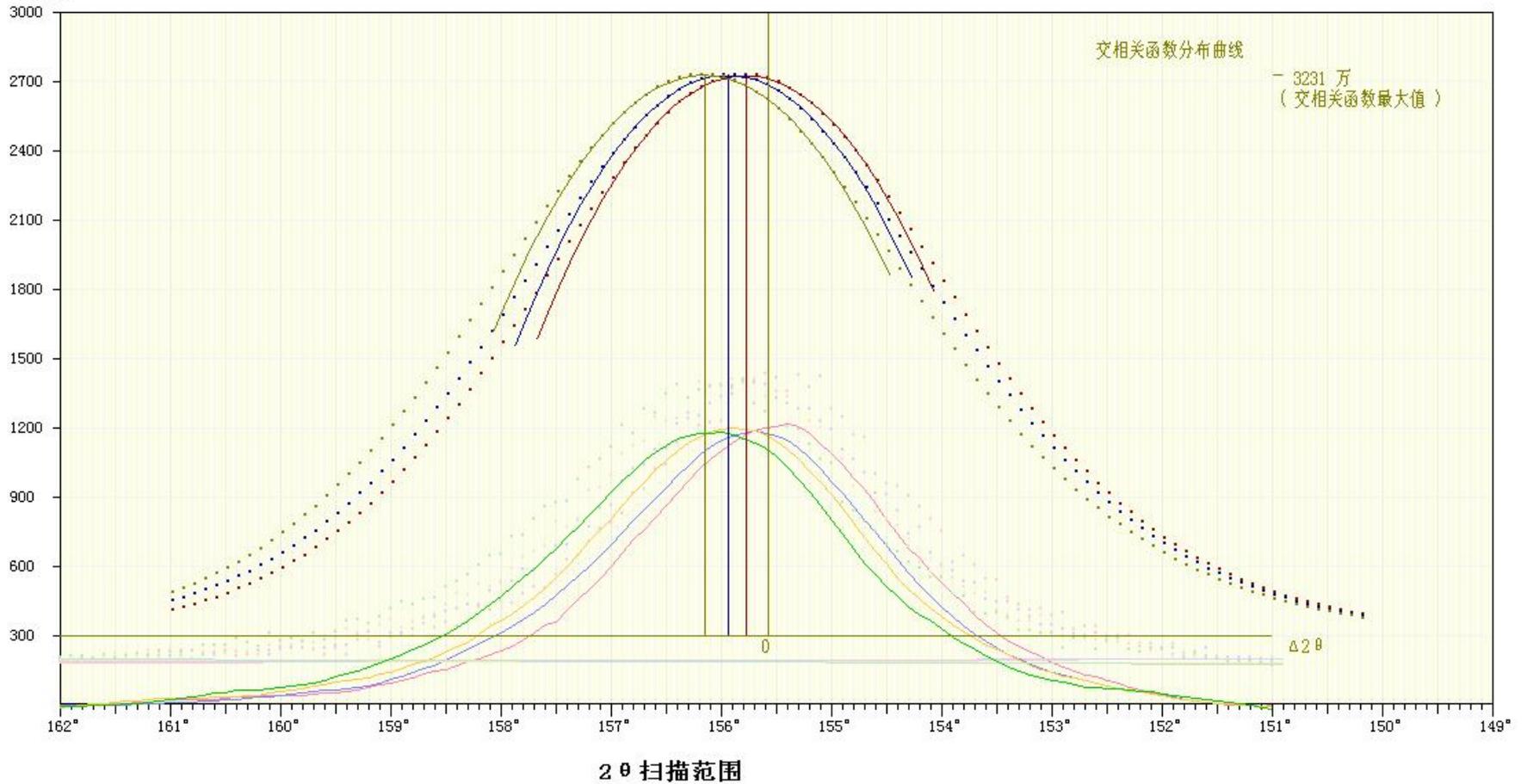
应



0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8

$\text{Sin}^2 \Psi$

计数



应力值  $\sigma$

-369 MPa

误差  $\Delta \sigma$

± 6 MPa

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8

$\text{Sin}^2 \Psi$