

1.1. 等极孔可用缠绕角

早期的缠绕工艺制品，主要用于航空航天气瓶、固体火箭发动机壳体的生产制造。随着 1980 年以后，数控缠绕设备、数控系统、计算机辅助缠绕编程软件的长足发展，纤维缠绕工艺得到快速普及应用。当今，缠绕制品应用扩展到缠绕管道、储罐、发电机叶片、钓鱼杆、高尔夫球杆、火灾消防气瓶等各种复材制品生产领域；也从轴对称缠绕制品扩展到弯管、T 形件等非轴对称缠绕制品。纤维缠绕工艺类型包括环向缠绕、螺旋缠绕、平面缠绕、非测地线缠绕等；一般情况下，螺旋缠绕外都是非测地线缠绕，尤其不等极孔的非测地线缠绕。本文主要讨论等极孔压力容器螺旋缠绕时的可用缠绕角范围。如下图所示，

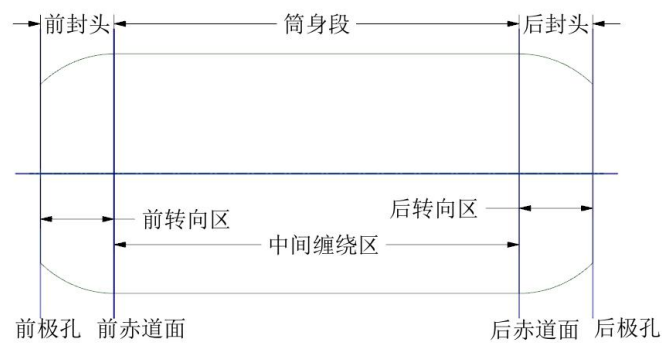


图 15-1 几何芯模的几何结构分区示意图

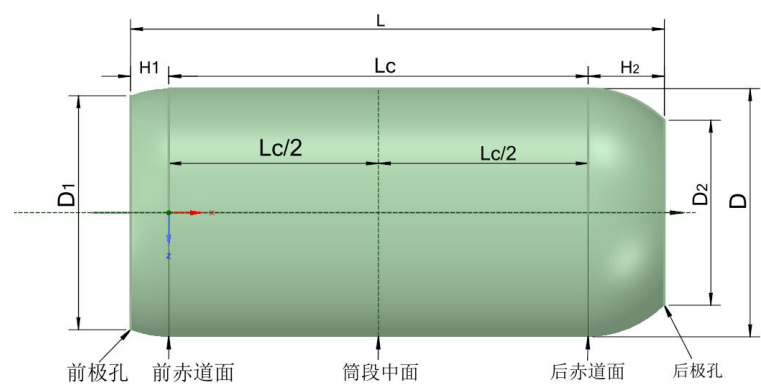


图 15-2 几何芯模的结构尺寸参数图

1.1.1. 可用缠绕角度

基于稳定偏差角值和摩擦系数影响的纤维快速转向和扩孔直径增大问题,对于等极孔纤维缠绕制品的非测地线缠绕角最大值为理论测地线缠绕角,其最小值为理论测地线缠绕角减去稳定偏差角。

$$\alpha'_{\max} = \alpha, \alpha'_{\min} = \alpha - \Delta\alpha$$

$$\alpha' = (\alpha - \Delta\alpha) \sim \alpha, \alpha - \Delta\alpha < 0$$

式中, α'_{\max} 非测地线稳定缠绕角的最大值, 测地线缠绕角为 α , α'_{\min} 非测地线稳定缠绕角的最小值, 稳定偏差角为 $\Delta\alpha$ 。当稳定偏差角大于测地线缠绕角时, 可用非测地线缠绕角将处于零度缠绕角与测地线缠绕角之间。

1.1.2. 实际应用算例

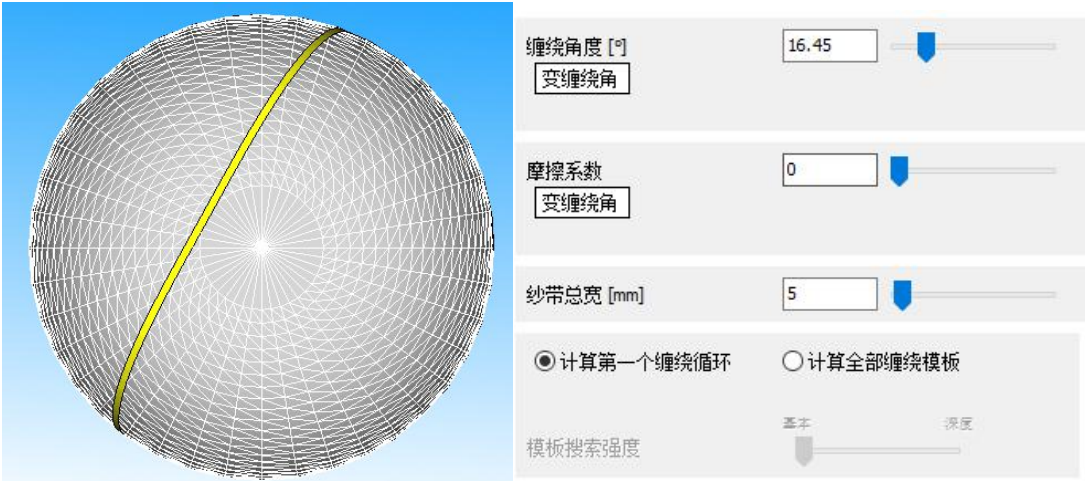
举例说明, 假设芯模直径 300mm, 筒身长度 1200mm, 前后封头极孔直径 80mm, 前后封头高度 100mm, 工艺纱宽 5mm。根据螺旋缠绕角公式, 可知:

$$\sin \alpha_1 = \frac{D_1 + b_p}{D}, \sin \alpha_2 = \frac{D_2 + b_p}{D}$$

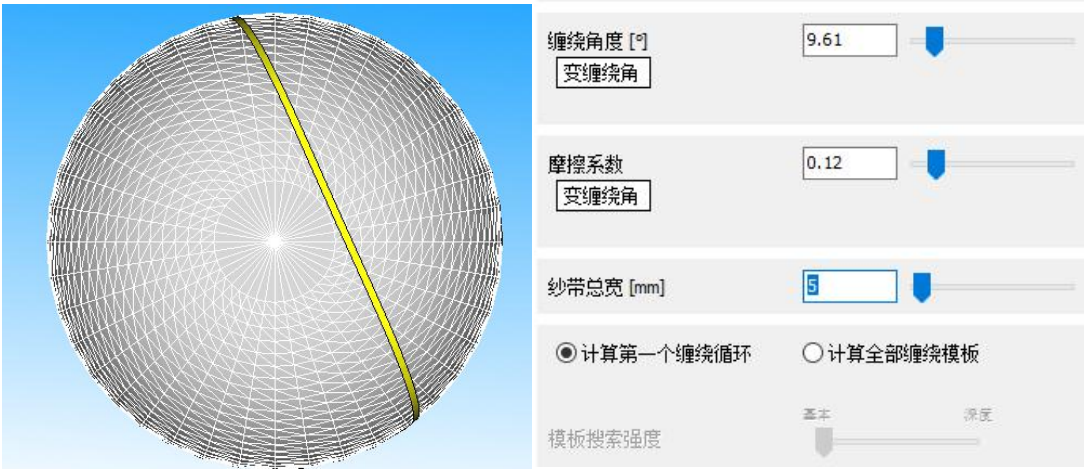
式中, α_1 为前封头赤道面的测地线缠绕角, D_1 为前极孔直径, D 为筒身段直径, α_2 为后封头赤道面的测地线缠绕角, D_2 为后极孔直径, 缠绕纱带的落纱宽度 b_p , 湿法缠绕摩擦系数 0.12 (摩擦角 6.84)。

基于上式计算可知, 湿法缠绕等极孔的的可用缠绕角范围如下:

$$\alpha_1 = 9.61 \sim 16.45 (f = 0.12, \Delta\alpha = 6.84)$$



非测地线稳定缠绕角的最大值（摩擦系数=0）



非测地线稳定缠绕角的最小值（摩擦系数=0.12）

