1．模型基本理论

（1）屈服面。

修正的 Drucker-Prager 帽盖模型的屈服面如图 2-15 所示。由图可见，屈服面主要由两段组成，Drucker-Prager 给出了剪切破坏面和右侧的帽盖曲面。注意，这里称为剪切“破坏面”意味着这一部分不会发生硬化，即是理想的塑性，在后面的流动法则中我们会看到该处的塑性变形增量方向指向左上方，即发生剪胀变形，造成体积增加，随着会造成帽盖的缩小（软化）。帽盖面是一个椭圆曲线，可以放大或缩小（与塑性体积应变有关）。在剪切破坏面和帽盖屈服面之间 ABAQUS 用渐变曲线光滑连接。

剪切破坏面为：

$$F_{\mathrm{s}}=t-p\tan\beta-d=0 \tag{2-55}$$

帽盖面为：

$$F_{\mathrm{c}}=\sqrt{\left(p-p_{\mathrm{a}}\right)^{2}+\left[\frac{Rt}{1+\alpha-\alpha/\cos\beta}\right]^{2}}-R\left(d+P_{\mathrm{a}}\tan\beta\right)=0 \tag{2-56}$$

式中，R 是控制帽盖几何形状的参数；α 是一个数值很小的数，其决定了过渡区的形状，我们会在后面讨论；p_{b} 是帽盖面与 p 轴的交点，称为压缩屈服平均应力（hydrostatic compression yield stress），其控制了帽盖的大小。p_{a} 是帽盖面与过渡面交点对应的 p 值，由下式确定：

$$p_{a}=\frac{p_{b}-Rd}{\left(1+R\tan\beta\right)} \tag{2-57}$$

过渡面为：

$$F_{\mathrm{t}}=\sqrt{\left[p-p_{\mathrm{a}}\right]^{2}+\left[t-\left(1-\frac{\alpha}{\cos\beta}\right)\left(d+p_{\mathrm{a}}\tan\beta\right)\right]^{2}}-\alpha\left(d+p_{\mathrm{a}}\tan\beta\right)=0 \tag{2-58}$$

这里的 α 通常为 $0.01\leqslant\alpha\leqslant0.05$。$\alpha=0$ 表示没有过渡区，此时由于帽盖面的法线方向都指向右侧（体积压缩），帽盖面上不会出现软化；α 取得越大其过渡面的曲率也就越大，有利于拟合剪切破坏数据点。

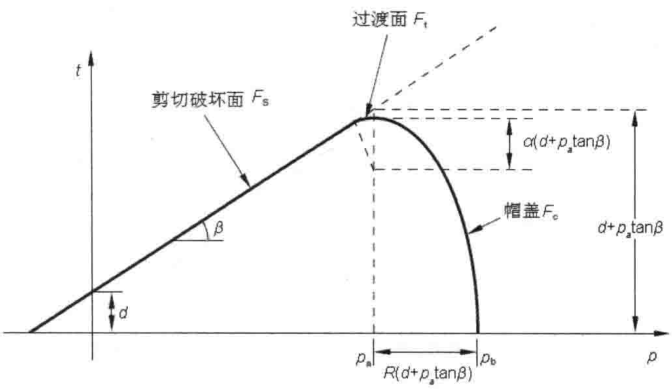

图 2-15 修正 Drucker-Prager 帽盖模型的屈服面

（2）塑性势面。

修正 Drucker-Prager 帽盖模型的塑性势面同样也采用几段组成（见图 2-16），其在帽盖面上是相关联的，而在剪切破坏面和过渡区是非关联的。

帽盖面上的塑性势面函数为：

$$G_{\mathrm{c}}=\sqrt{\left[p-p_{\mathrm{a}}\right]^{2}+\left[\frac{Rt}{\left(1+\alpha-\alpha/\cos\beta\right)}\right]^{2}} \tag{2-59}$$

剪切破坏面和过渡区的塑性势面函数为：