## 等离子体柱Model

#### 标准圆柱型Model

目的：将火工品爆轰产生的等离子体流场抽象为圆柱，基于菲涅尔原理，将其抽象为凹透镜，并计算获得焦距。



图1 火工品爆轰等离子体柱状图

假设火工品爆轰产生的等离子体柱水平切面等离子体是对称的圆形，并且切面内部是均匀折射率。此时等离子体柱可以等效为近轴近似的透镜。

假设在光线进入等离子体柱的入射角度*α*和出射角度*β*很小，根据折射定律：折射介质折射率与折射角正弦之积等于入射介质折射率与入射角正弦之积。得到:



也即：



其中，*α*为与光轴平行的光线入射等离子柱的入射角，*β*为对应的出射角，*n*(air)为爆轰环境中空气的折射率，*n*(plasma)为火工品爆轰产生的离子体的折射率，其中*n*(air)≈ 1>*n*(plasma)。标准状态下空气对可见光的折射率*n*(air)约为1.00029。等离子体的折射率是小于1的。

根据三角形角度知识，可得角度*γ*为：



出射等离子体柱的光线与等离子体柱的交点距离等离子体柱切面的光轴线高度*x’*可以表示：



当角度*γ*很小的时候，高度*x’*为：



其中，R为火工品爆轰产生的等离子体柱半径。

根据三角形角度知识，可得出射等离子体柱的光线与等离子体柱切面的光轴线夹角*δ*为：



综上，可以得到*Z’*为：



基于三角形公式，可以得到*Z’ ’*为：



此时，我们将整个等离子体柱看成一个透镜，可以得到其焦距*f*相对于中间为:



联立角度*α*和*β*与折射率n(air)和n(plasma)的关系：



并且假设空气折射率n(air)=1，可以得到：



所以，我们可以知道等离子体柱的焦距只取决于等离子体柱的折射率和直径。并且此时的焦距是负的，属于一个发散透镜，即凹透镜。由于圆柱并不是一个完美的透镜，实际中会观察到大量的球面相差。

#### 模糊圆柱形model

讲粗换过模糊圆柱形的区域，进行数值计算，分为三个区域。

#### 圆柱形透镜model

分为两个区域，

### Lensmaker’s equation

