# 雾气 Fog

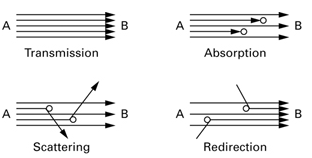
## 简介

雾气是指由水蒸气遇冷凝结而产生的大气现象，它会掩盖能见度。霾、雾和烟都是由空气中的悬浮粒子造成的现象，我们对它们的处理是相似的，所以统一用“雾气”这个术语来指代这类大气现象。

雾气能增加计算机图形场景的现实感与代入感，同时可以通过掩盖远处物体来提高渲染性能。

## 均匀雾气 Uniform Fog

光线从A点传播到B点时，有可能被雾气吸收、散射与重定向。光线移动的距离越远，被雾气粒子影响的概率越大，因此越远的雾看起来越厚。



## 雾气的属性 The Attributes of Fog

* 颜色
* 密度——密度越大，雾越浓
* 距离——距离越远，雾越浓

## 雾气的数学表达 The Mathematics of Fog

### 单位距离上的吸收、散射与重定向 Absorption, Scattering, and Redirection over a Unit Distance

当光线穿过一个均匀有雾的大气，雾气对光的吸收与散射会减小光强度，重定向会增大光强度，因此穿过雾气的光强度可以用如下公式表示：

Cleave = Center - Creduction + Cincrease

* Cleave是沿光线离开单位距离雾气的光颜色强度
* Center是沿光线进入单位距离雾气的光颜色强度
* Creduction是沿光线在单位距离雾气中被吸收与散射的光颜色强度
* Cincrease是沿光线在单位距离雾气中被重定向的光颜色强度

被吸收或散射的光强度不能大于入射光强度：

Creduction = h × Center

0 <= h <= 1

* h是取决于雾气浓度的缩放因子

假定雾气颜色均匀：

Cincrease = h × Cfog

* Cfog是雾气颜色

因此，离开单位距离雾气的光强度可以表示为：

Cleave = (1 - h) × Center + h × Cfog

令g = 1 - h，则公式变为：

Cleave = g × Center + (1 - g) × Cfog

### 将雾气推广到多个单位距离 Applying Fog over Multiple Units of Distance

假定雾气的浓度和颜色在各个单位距离中都是均匀的，则当光线在3个单位距离中传播时，离开的光强度为：

Cleave = g × (g × (g × Center + (1 - g) × Cfog) + (1 - g) × Cfog) + (1 - g) × Cfog

上面的公式可以简化为：

Cleave = g3 × Center + (1 – g3) × Cfog

由此可以推广出通过任意单位距离z进入眼睛的光强度公式：

Ceye = gz × Cobject + (1 – gz) × Cfog

* Ceye等价于Cleave
* Cobject等价于Center

根据对数公式，我们可以将gz表达为：

gz = exp2(log2(g) × z)

则最终的表达式为：

Ceye = f × Cobject + (1 – f) × Cfog

f = exp2(-d × z)

d = - log2(g)

* z为雾气的距离
* d为雾气的浓度
* f为雾气因子
* 你选择什么样的指数函数或对数函数是不重要的，只要它们的基一样。

**【注意】**

GPU能够高效地计算基为2的指数与对数函数，因此为了获得最佳性能，请使用exp2和log2标准库函数来进行计算。

### 雾气方程的直觉检验

#### 当雾气距离z = 0时，

f = exp2(-d × 0) = 1

表明此时眼睛能够观察到100%的对象色彩与0%的雾气色彩，符合真实场景。

#### 当雾气距离z = ∞时，

f = exp2(-d × ∞) = 0

表明此时眼睛能够观察到0%的对象色彩与100%的雾气色彩，符合真实场景。

#### 当雾气浓度d = 0时，

f = exp2(-0 × z) = 1

表明此时眼睛能够观察到100%的对象色彩与0%的雾气色彩，符合真实场景。

#### 当雾气浓度d = ∞时，

f = exp2(-∞ ×z) = 0

表明此时眼睛能够观察到0%的对象色彩与100%的雾气色彩，符合真实场景。