

第二章 能见度

2.1 能见度与气象光学视程

定义：视力正常的人，在当时天气条件下，能从天空背景中看到和辨认目标的**最大水平距离**。可以用气象光学视程量化。

有效能见度：四周视野中二分之一以上范围里都能看到的最大距离

影响因素：观测者视觉性能、天气条件（大气透过率）、目标物与背景性质（对比度）

大气透明度

$F=F_0e^{-\sigma L}$ ，光强会被大气削弱。 σ 为大气消光系数。路径为 L ，前后的亮度分别为 F_0 和 F 。有 100 份光强，有四层大气，每一层大气消光系数为 0.1，最终还剩余 $0.9^4=0.6561$ 份。

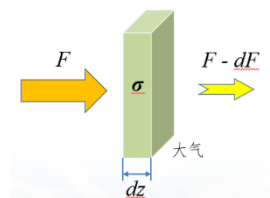
对比度：视亮度对比值

用来表示目标物和背景之间的**亮度差异**的指标。

C 在 0-1 之间， $C=0$ 则物体与背景融为一体， $C=1$ 则目标清晰可见

人眼视觉性能：

亮度对比感阈 ϵ ：人眼能够看到的最小的 C 值，最好的为 0.02



能见度量化：气象光学视程 MOR

白炽灯发出**色温 2700k（冷光）**平行光束的**光通量**（单位时间内通过单位面积的能量），在大气中削弱至**初始值的 5%**所通过的路径长度

可以使用比尔朗伯定律描述。 $F=F_0e^{-\sigma L} \rightarrow 0.05=F_0e^{-\sigma L}$

$$MOR=L_{0.05}=-\ln(0.05)/\sigma=3/\sigma$$

能见度观测以 km 为单位，取一位小数，不足 0.1 记为 0.0

2.2 能见度的人工观察

判断依据：白天能见度是指视力正常（亮度对比感阈为 0.02）的人，在当时气象条件下，能够从天空无云背景中看到和辨认出**地面黑色目标物**（大小适度，常取视场角为 $0.5^\circ \sim 5^\circ$ ）的最大水平距离。绘制**能见度目标物分布图**。

夜间：可以看到中等强度的灯光的最大距离

2.3 器测原理

原理：

方法一：**散射式** 测量 σ 由吸收和散射共同造成，但在短距离内吸收可忽略，则散射=消光

方法二：**透射式** 测量 T σ 测量的不太准（散射理论限制），消除 σ ，联立推导，得到 $MOR=L(\ln 0.05/\ln T)$ ， L 代表观测距离， T 代表**透过率**。该方式更趋近于定义。

透射式能见度仪

原理：要求有基线 L 、**测得透过率 T** ，则可确定 MOR。 $MOR=L(\ln 0.05/\ln T)$

组成：发射器提供经调制的定长平均功率光通量源，接收器由光检测器组成。需求基线长度应尽量长，通常在 1km 左右。

优点：采样体积大，测量精度高，是**标准仪器**：通常作为器测能见度的标准。

缺陷：仪器**占地面积大**，光源探测器间难以保持**准确的光轴**（大风所致仪器颤动误差大）

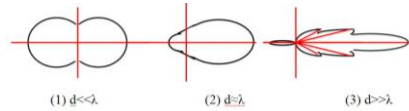
前向散射式能见度仪

原理：测量 σ 。光通过大气经历两个过程：吸收与散射 $\sigma=b+c, c \rightarrow 0$ ，散射在短距离内吸收可忽略，则**散射 \approx 消光**

$S \cdot \beta(\theta)$ ， S 为散射截面， $\beta(\theta)$ 为相函数，由**散射类型**决定

散射类型： **瑞利散射**（入射光波长 \gg 离子尺度，产生相对对称的散射光，**向前向后基本对称**，垂直最少，水平最大）【厘米波、分米波】

米散射（入射光波长 \sim 离子尺度，出现多方向散射，总体前向散射大于后向）【可见光、近红外】**【一般使用】**



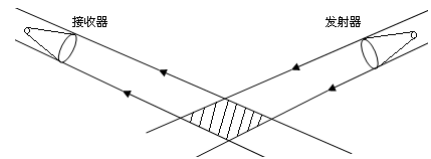
散射截面 S ：一个物体越大，其散射能力越强

组成：发射器、接收器成一定角度（30-50°）（透射光远大于散射光，所以需要避开正前方向），两束光交叉的地方即为**采样空间**（1L左右）。测量其**前向散射**。两者距离一般在1-1.5m之间。发射器与接收器前方有遮光板 *buffer*、遮光环（反射杂散光），避免杂光噪声背景光影响。

规格：输出间隔 60s，前向散射测量角 33°，光源波长 930nm

优点：体积小，占地空间小，成本低

缺陷：**代表性弱**（采样空间小）



侧向散射式能见度仪、后向式能见度仪：两者均没有前向式的优秀。

后向散射式安装最方便，仪器可以安装在室内，通过窗户向外发射并接收其回波信号，也可制成便携式
侧向散射式接收较宽视角的散射光，使它能具有较好的代表性

激光雷达

与**后向散射仪**类似。接受测量大气后向散射的光信号。

激光雷达发射激光脉冲，激光脉冲在大气中传输时，会因大气中的空气分子和气溶胶粒子而产生散射和吸收。通过**接收和测量大气后向散射的光信号**，便可以提取出不同距离处空气分子和气溶胶粒子光学参数的有关信息，进一步反演获取大气消光系数和大气水平能见度。激光雷达不仅能测量水平能见度，而且也能测量**倾斜能见度和垂直能见度**

$$P(R) = CR^{-2} \beta \cdot \exp(-2\sigma R)$$

P 为效率，能探测到不同距离上回来的能量值。 C 为一常数， R 为距离，与距离平方成反比， β 为散射系数，成幂指数变化

两边取对数，对 R 求导。 $P(R)$ 斜率即为 -2σ

探测距离近，成本昂贵

CCD 摄像式

高速公路上常用。实质上即为摄像机。在一端放置摄像机，另一端放置目标板

目标板为黑色，测量**黑板与天空的对比度**。 $V_h = (-3.912R) / (\ln(1 - B_t/B_s))$ B_t/B_s 为天空亮度与黑板亮度。受直射光影响大，准确度低，不能用于气象站。