

· 红外技术 ·

## 不同垂直高程大气红外吸收透过率的计算

宋伟<sup>1</sup>, 邵立<sup>2</sup>, 汪亚夫<sup>2</sup>

(1. 电子工程学院, 安徽 合肥 230037; 2. 光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 燕郊 065201)

**摘要:** 基于大气中水蒸气和CO<sub>2</sub>的分布特性, 在传统计算大气吸收透过率的基础上, 分析了不同垂直高程大气吸收透过率的计算方法, 给出了大气吸收透过率的计算模型, 以及算法流程, 并以CO<sub>2</sub>吸收透过率为例, 计算了CO<sub>2</sub>在波长2.7 μm处垂直传输时的大气吸收透过率, 并给出了仿真分析, 得出了大气中CO<sub>2</sub>吸收透过率与空间目标高度的关系。

**关键词:** 高程; 红外; 吸收透过率

中图分类号: TN215; TJ765

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)03-0014-03

## Calculation of Atmospheric Infrared Absorption Transmittance in Different Vertical Heights

SONG Wei<sup>1</sup>, SHAO Li<sup>2</sup>, WANG Ya-fu<sup>2</sup>

(1. *Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China;*

*2. Science and Technology on Electro-optical Information Security Control Laboratory, Yanjiao 065201, China)*

**Abstract:** Based on the distribution characteristic of the vapor and CO<sub>2</sub> in the atmosphere, and the traditional calculation method of atmospheric absorption transmittance, the calculation method of atmospheric infrared absorption transmittance is analyzed. The calculation model, calculation steps are provided. Moreover, taking the CO<sub>2</sub> as an example, the CO<sub>2</sub> atmospheric absorption transmittance in 2.7 μm is calculated. By simulating, the relations between atmospheric absorption transmittance and target height are obtained.

**Key words:** height; infrared; absorption transmittance

传统计算大气透过率的模型, 对于垂直高程适用性不是很好, 特别是大气吸收透过率的计算, 没有充分考虑空中目标高度对大气透过率计算带来的影响, 基于大气中水蒸气和CO<sub>2</sub>的分布, 详细分析了大气吸收透过率的计算方法与过程。

### 1 传统大气吸收透过率计算模型

大气对红外辐射的衰减作用与大气层的结构、组分、气象条件、温度、压强、湿度等密切相关, 在红外波段, 计算大气吸收透过率时, 一般只考虑两个主要成分引起的大气吸收衰减作用, 即水蒸气和

CO<sub>2</sub>。

大气吸收所导致的衰减遵循比尔-朗伯定律, 考虑到吸收作用主要由水蒸气和CO<sub>2</sub>引起的, 所以有<sup>[1,2]</sup>

$$\tau_{\alpha}(\lambda) = \tau_{\text{H}_2\text{O}}(\lambda) \cdot \tau_{\text{CO}_2}(\lambda) \quad (1)$$

式中,  $\tau_{\alpha}(\lambda)$  为大气吸收透过率;  $\tau_{\text{H}_2\text{O}}(\lambda)$ 、 $\tau_{\text{CO}_2}(\lambda)$  分别为水蒸气和CO<sub>2</sub>引起的透过率。

#### 1.1 $\tau_{\text{H}_2\text{O}}(\lambda)$ 的计算

在海平面水平传输时, 水蒸气对红外传输的影响, 可通过计算传输距离上的可凝结水量  $W$  来计算。

收稿日期: 2011-04-08

基金项目: 光电信息控制和安全技术重点实验室资助项目(20100713-003)

作者简介: 宋伟(1987-), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 研究方向为红外探测技术。

$$W = \rho_s \cdot RH \cdot X \quad (2)$$

式中,  $\rho_s$  为在一定温度下饱和水蒸气密度, 单位为  $g/m^3$ , 知道空气温度  $T$  后, 可通过查表获得,  $RH$  为相对湿度,  $X$  为水平传输距离, 单位为  $km$ 。

计算出可凝结水量  $W$  后, 可通过查海平面上水平路程水蒸气的光谱透过率表, 得到在某一波长处水平传输时水蒸气的光谱透过率。

在某一高度  $h$  处水平传输路程  $X$  时

$$W = \rho_s \cdot RH \cdot X \cdot e^{-\alpha \cdot h} \quad (3)$$

式中,  $\alpha$  为常数, 通常取值为 0.065 4。

倾斜传输时

$$W = \rho_s \cdot RH \cdot \frac{e^{-0.5154 \cdot h_1} - e^{-0.5154 \cdot h_2}}{0.5154 \cdot \cos \theta} \quad (4)$$

式中,  $h_1$  为目标高度;  $h_2$  为探测器高度;  $\theta$  为天顶角。

### 1.2 $\tau_{CO_2}(\lambda)$ 的计算

$CO_2$  对红外传输的影响, 计算方法与水蒸气类似, 只要知道红外辐射水平传输的距离  $X$  ( $km$ ), 就可以通过查海平面上水平路程二氧化碳的单体透过率表获得某一波长的透过率。

同样, 计算  $\tau_{CO_2}(\lambda)$  时, 同样需要考虑高度修正。在某一高度  $h$  处水平传输路程  $X$  时, 修正后等效的传输距离为

$$X_e = X \cdot e^{-0.313 \cdot h} \quad (5)$$

倾斜传输时

$$X_e = \frac{e^{-0.313 \cdot h_1} - e^{-0.313 \cdot h_2}}{0.313 \cdot \cos \theta} \quad (6)$$

式中,  $h_1$  为目标高度;  $h_2$  为探测器高度;  $\theta$  为天顶角。

## 2 修正的大气吸收透过率计算

实际上, 在上面所描述的传统计算大气吸收透过率的模型中, 虽然模型中各参数的含义非常明确, 但应用到垂直高程计算时, 还有一些不妥, 特别是对于空中运动目标, 需要充分考虑探测设备、目标的空间位置以及大气中水蒸气和  $CO_2$  的高度分布。

如图 1 所示, 设探测器的高度为  $H$ , 水蒸气和  $CO_2$  分布的上限高度分别为  $H_{H_2O}$ 、 $H_{CO_2}$ , 目标在某一时刻的高度为  $h$ , 假设  $H_{H_2O} < H_{CO_2} < H$ 。

大气中水蒸气的分布主要在 30  $km$  以下,  $CO_2$  的分布主要集中在 50  $km$  以下, 所以模型中,  $h_1$ 、 $h_2$  的含

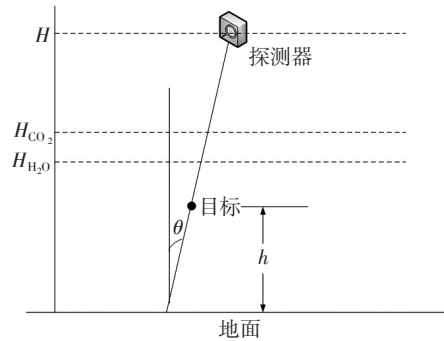


图 1 大气吸收透过率计算时空间分布示意图

义需重新定义, 另外在计算  $\tau_{H_2O}(\lambda)$  时, 饱和水蒸气密度和温度有关, 而在空间中, 温度又与高度有关系, 模型中再简单地用  $\rho_s$  表示, 已不再合适<sup>[1,3]</sup>。

### 2.1 $\tau_{H_2O}(\lambda)$ 的计算

当  $H_{H_2O} \leq h \leq H$  时, 空间目标不在水蒸气的分布高度范围内, 此时传输路程上的可凝结水量  $W = 0$ ,  $\tau_{H_2O}(\lambda) = 1$ 。

当  $0 \leq h \leq H_{H_2O}$  时, 目标辐射将受到大气中水蒸气的吸收衰减, 此时目标高度为  $h$ , 探测器高度应为  $H_{H_2O}$ , 传输路程上的可凝结水量  $W$  的计算模型为

$$W = \rho_s \cdot RH \cdot \frac{e^{-0.5154 \cdot h} - e^{-0.5154 \cdot H_{H_2O}}}{0.5154 \cdot \cos \theta} \quad (7)$$

但是, 公式中的饱和水蒸气密度  $\rho_s$  与温度有关系, 大气的温度又与高度有关系, 根据参考文献[1]中的相关数据, 进行曲线拟合可得  $\rho_s$  与温度、大气温度与高度的关系示意图分别如图 2、图 3 所示。

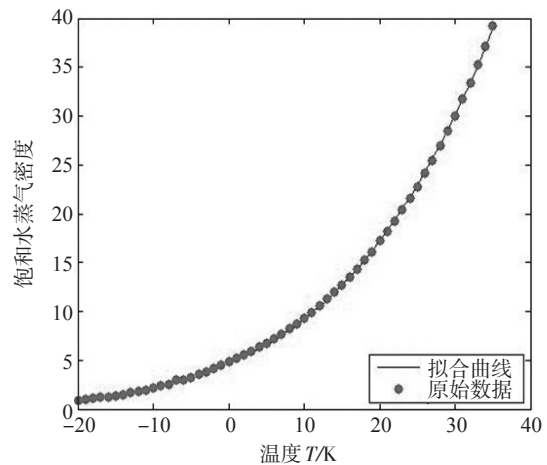


图 2 饱和水蒸气密度与温度关系示意图

所以在式(7)中,  $\rho_s$  应该也为高度  $h$  的函数  $\rho_s(h)$ , 在具体的计算过程中, 可以查表, 也可以根据拟合

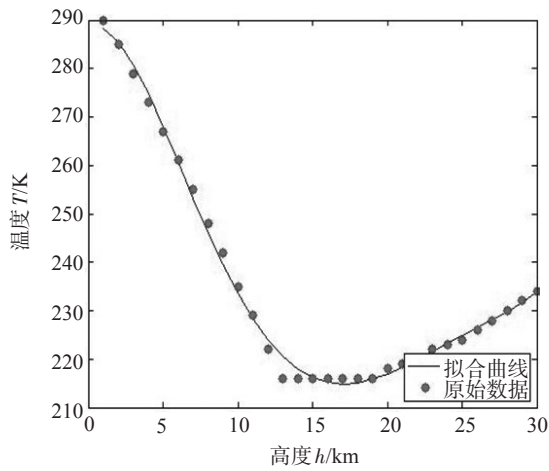


图3 大气温度与高度关系示意图

的函数关系进行粗略估算。

### 2.2 $\tau_{CO_2}(\lambda)$ 的计算

当  $H_{CO_2} \leq h \leq H$  时,目标不在  $CO_2$  分布的高度范围内,此时  $X_e = 0, \tau_{CO_2}(\lambda) = 1$ 。

当  $0 \leq h \leq H_{CO_2}$  时,目标辐射将受到大气中  $CO_2$  的吸收衰减,此时目标高度为  $h$ ,探测器高度应为  $H_{CO_2}$ ,此时等效海平面水平传输路程  $X_e$  为

$$X_e = \frac{e^{-0.313 \cdot h} - e^{-0.313 \cdot H_{CO_2}}}{0.313 \cdot \cos \theta} \quad (8)$$

总结水蒸气与  $CO_2$  对大气吸收透过率的影响,可得

$$\begin{cases} \begin{cases} W = \rho_s(h) \cdot RH \cdot \frac{e^{-0.5154 \cdot h} - e^{-0.5154 \cdot H_{H_2O}}}{0.5154 \cdot \cos \theta} \\ X_e = \frac{e^{-0.313 \cdot h} - e^{-0.313 \cdot H_{CO_2}}}{0.313 \cdot \cos \theta} \end{cases} & 0 \leq h < H_{H_2O} \\ \begin{cases} W = 0 \\ X_e = \frac{e^{-0.313 \cdot h} - e^{-0.313 \cdot H_{CO_2}}}{0.313 \cdot \cos \theta} \end{cases} & H_{H_2O} \leq h \leq H_{CO_2} \\ \begin{cases} W = 0 \\ X_e = 0 \end{cases} & H_{CO_2} < h \leq H \end{cases} \quad (9)$$

根据高度  $h$ ,分别计算出  $W$ 、 $X_e$  后,便可根据表格法计算大气的吸收透过率。

### 3 算法流程及分析

综上所述,可以总结出大气吸收透过率的计算流程,如图4所示。

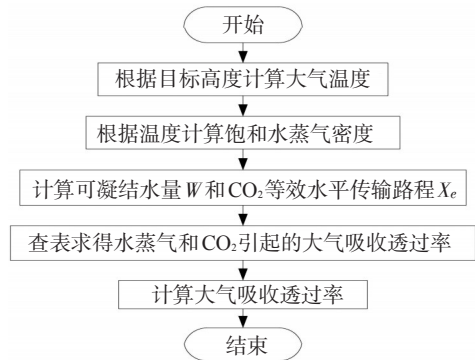
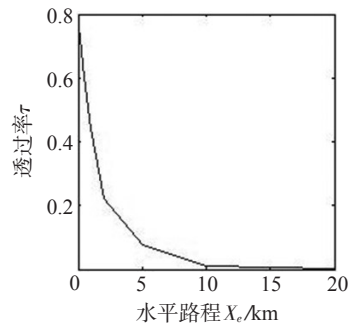


图4 计算大气吸收透过率流程示意图

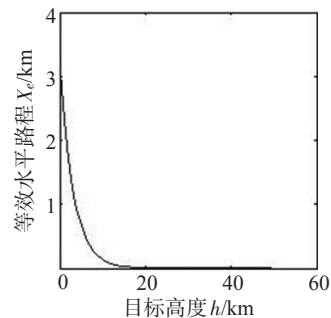
根据算法流程,可以分别计算大气中水蒸气和  $CO_2$  引起的吸收透过率,从而获得大气的吸收透过率,以计算  $\tau_{CO_2}(\lambda)$  为例,分析在  $\lambda = 2.7 \mu m$  处的大气吸收透过率与目标高度之间的关系。为了简化,假设天顶角  $\theta = 0^\circ$ 。

利用插值与曲线拟合,可以得到大气  $CO_2$  吸收透过率的计算如图5所示,其中图5a为海平面上水平传输距离与透过率的关系,图5b为目标高度与换算后等效水平路程之间的关系,图5c为目标高度与大气  $CO_2$  吸收透过率的关系示意图。

由图5可以看出,随着目标高度的增加,大气  $CO_2$  吸收透过率实际上在不断的增大,当目标高度超过  $CO_2$  的分布高度后,大气的吸收透过率即为1。



(a) 海平面上水平传输距离与透过率的关系



(b) 目标高度与换算后等效水平路程之间的关系

(下转第20页)

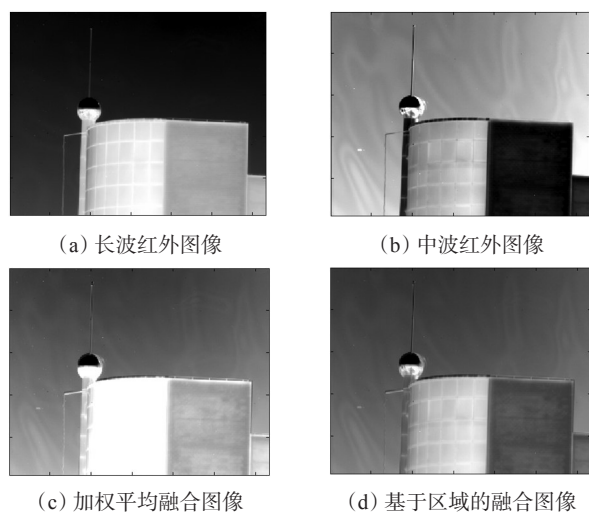


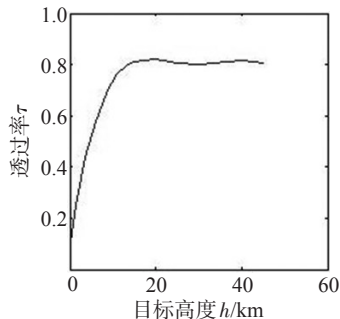
图5 多传感器图像融合试验2

表1 多传感器图像的客观数据统计

	图像	标准差	互信息	熵
图4	长波红外	2.211 8	3.96	5.051 9
	中波红外	1.975 6	4.895	6.375 9
	加权平均融合图像	1.745 1	5.176	6.599
	基于区域融合图像	1.628 7	5.874	6.934 7
图5	长波红外	2.175 4	3.96	5.051 9
	中波红外	1.845 7	4.895	6.375 9
	加权平均融合图像	1.697 2	5.244	6.617
	基于区域融合图像	1.574 9	5.874	6.934 7

表1是对上述图像的客观数据统计,采用基于Region的图像融合算法融合后的图像,其熵、空间频率、平均梯度相对源图像都有提高。从视觉上也可以看出采用基于区域的方法融合后的图像融合了2幅图像的细节信息,取得了很好的效果。这表

(上接第16页)

(c) 目标高度与大气CO<sub>2</sub>吸收透过率的关系图5 大气CO<sub>2</sub>吸收透过率的计算

## 4 结论

大气吸收透过率的计算,需要综合考虑目标高

度与大气中主要吸收气体水蒸气和CO<sub>2</sub>的分布高度之间的关系,而不能简单的根据探测器与目标之间的关系来衡量,而且在目标不断运动的过程中,三者之间的相对位置也在发生着变化,实际应用过程中,需要综合实时的考虑运用。

## 4 结束语

针对双波段红外图像的特点,采用基于区域的图像融合算法得到的实验数据和图像都表明,该融合算法能有效地保留图像信息。不过分裂合并算法的关键是如何对区域进行初始化划分和分裂合并准则的设计。该算法对复杂图像的分割效果较好,但算法复杂,计算量较大,分裂还可能破坏区域的边界。

## 参考文献

- [1] Piella G. A general framework for multiresolution image fusion: from pixels to regions[J]. Information Fusion, 2003, 4(4): 259-180.
- [2] Zhang Z, Blum RS. A categorization of Multiscale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(8): 1315-1326.
- [3] 陈浩,王延杰.基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合算法研究[J].激光与红外, 2009(4): 439-442.
- [4] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 67-74.
- [5] 张雷,高桦,杨风暴.双波段红外图像辐射特性分析及在图像融合中的应用[J].光电技术应用, 2006, 21(5): 54-57.
- [6] 敬忠良,肖刚,李振华.图像融合——理论与应用[M].北京: 高等教育出版社, 2007: 47-83.

## 参考文献

- [1] 张建奇,方小平. 红外物理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [2] 吴晗平. 红外辐射大气透过率的工程理论计算方法研究[J]. 光学·精密工程, 1998, 4(6): 35-40.
- [3] 王海晏. 光电技术原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.