

# 红外辐射大气透射率的计算

魏合理 宋正方

(中国科学院安徽光机所, 安徽 合肥 230031)

**摘要** 根据 LOWTRAN7 部分光谱数据, 编制了红外辐射大气透射率计算软件包. 介绍了该软件的计算原理、大气模式和特点, 并进行了计算, 其结果和我们的实测结果吻合得很好.

**关键词** 红外辐射, 大气模式, 大气透射率.

在红外遥感、红外辐射测量和红外工程的设计与性能评估时都必须考虑大气衰减的影响, 根据已有的红外光谱知识建立一种快速方便而又具有相当精度的红外辐射大气透射率计算软件是非常有意义的. 自 1970 年美国发表了低分辨率大气透射率计算程序以来, 现今最完整的一种计算低光谱分辨率透射率和辐射的程序 LOWTRAN7<sup>[1]</sup>. 但是, 该程序非常复杂, 非经专门训练很难正确使用. 我们编制了适合于一般 PC 机上使用的命名为 CIRTRAN 的红外辐射大气透射率计算软件包, 包括的波段为 1-14 $\mu\text{m}$ , 所用的大气模式除常用的 6 种标准大气外, 还初步建立了我国若干地点的标准大气.

本软件采用 LOWTRAN7 的单参数带模式方法来计算大气分子吸收, 它的基本计算公式为:

$$T(\gamma) = \exp(-W^A C^A(\gamma)),$$

式中  $W$  为等价吸收量, 是路径  $S_2 - S_1$  中分子吸收的总量, 它决定于吸收气体的总量、路径分布以及路径上的温度和压力的分布.

影响红外辐射在大气中传输的主要气体有水汽、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  以及一些微量气体 (如  $\text{NH}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{CO}$  等), 它们中有的 (如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  等) 含量随地域和高度变化不大, 叫做均匀混合气体, 有的 (如水汽、 $\text{O}_3$  等) 含量随地域和高度变化很大. 考虑到大多数情况下无法给出实际的各种气体浓度的高度分布情况, 故建立了若干种大气模式, 这种大气称为标准大气. 在 0-100km 高度范围内把大气分成 33 层, 每层分别给出大气的温度(K)、压强(hPa)、总密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )、水汽密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )和臭氧密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). 均匀混合气体的混合比假定不变, 它们的浓度(体积混合比)分别为:  $\text{CO}_2$ : 330ppm,  $\text{CH}_4$ : 1.6ppm,  $\text{N}_2\text{O}$ : 0.28ppm,  $\text{N}_2$ : 78.1%,  $\text{CO}$ : 0.14ppm,  $\text{SO}_2$ :  $3.0 \times 10^{-4}$ ppm,  $\text{NH}_3$ :  $5.0 \times 10^{-4}$ ppm,  $\text{NO}$ :  $3.0 \times 10^{-4}$ ppm.

常用的标准大气有 6 种, 大体上代表以下纬度和季节的气体含量和气象参数的平均值:

(1) 热带:  $15^\circ \text{N}$ , 7 月; (2) 中纬度夏季:  $45^\circ \text{N}$ , 7 月; (3) 中纬度冬季:  $45^\circ \text{N}$ , 1 月; (4) 副

极地夏季:60°N,7月;(5)副极地冬季:60°N,1月;(6)美国标准大气(1976年版).

虽然国家标准总局已将后者的30km以下部分选作为我国的国家标准(GB1920-80),自1980年5月1日起实施<sup>[2]</sup>,但实际情况表明我国地域辽阔,这些模式在具体应用时与我国的实际大气有相当大的出入,很难用哪一种模式来代表,因此我们整理了我国1960~1969年这10年期间若干个地点的1~12月和年平均的高空气候资料(包括温度、湿度和气压的高度分布),做成标准的数据格式,计算时可方便地使用.

除了上述大气模式以外,用户还可以输入当时的大气参数,包括温度、压强、相对湿度和能见度等,进行实时计算.

考虑上述各种气体在1~14 $\mu\text{m}$ 波段内的所有吸收带,利用LOWTRAN7的光谱参数和式(1)计算分子吸收.计算等价吸收量时考虑了地球曲率和大气折射的影响.对水汽和氮气4 $\mu\text{m}$ 带连续吸收也作了计算.

对气溶胶消光,在0-2km高度内,采用乡村型、城市型、海洋型以及沙漠型;在2-9km、9-30km、30-100km高度范围内,分别采用对流层、平流层和流星尘埃气溶胶模型.

我们用TURBO C语言编写了汉化下拉式菜单,可以方便地进行参数输入、计算、查看、绘图和打印,超出范围和不适当的输入参数都有出错提示.

为检验CIRTRAN的精度,采用12550-MK3型红外光谱辐射计(光谱分辨率为波长的2%)、1000°C黑体和 $\Phi 110\text{mm}$ 平行光管组成的系统进行了较长时间的大气光谱透射率的实际测量,与根据当时的气象条件计算的结果作了比较.结果表明:计算与实测的大气透射率吻合得很好(见图1).同时,还对若干个仰角和传输距离分别用CIRTRAN和LOWTRAN7作了计算,结果表明两个软件的结果几乎相当.

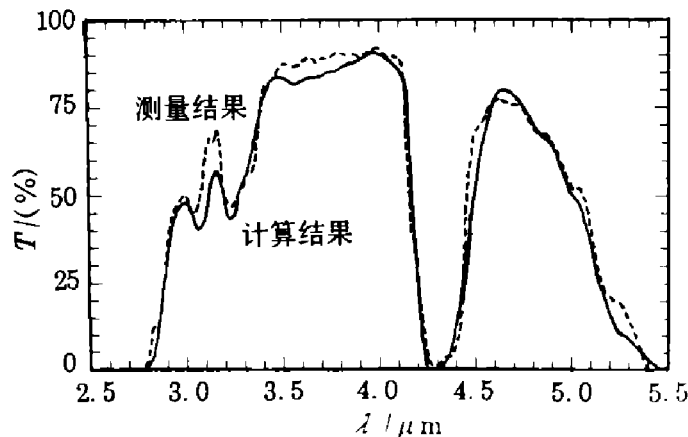


图1 测量结果与计算结果的比较

(温度:17.8°C,气压:1020,hPa,相对湿度:49.6%,能见度:3km,传输距离:500m)

**致谢** 参加本工作的还有饶瑞中、刘庆红两位同志,吴晓庆和王世鹏参加了大气透射率测量工作,在此谨致感谢.

### 参考文献

- 1 Kneizys F X, et al. Users Guide to LOWTRAN7, AFGL-TR-88-0177, Bedford MA, 1988
- 2 陆龙骅. 气象, 1980, (7):1