

## 不同版本 HITRAN 数据库中红外波段上行传输透过率的计算

刘丹丹<sup>1,2</sup>, 黄印博<sup>1</sup>, 戴聪明<sup>1,2</sup>, 魏合理<sup>1</sup>, 饶瑞中<sup>1</sup>

- (1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所 中国科学院大气成分与光学重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为比较不同版本数据库对透过率计算精度的影响, 利用逐线积分辐射传输模式, 对比分析了 HITRAN 2k、HITRAN 04 和 HITRAN 08 数据库在中红外波段(2~12  $\mu\text{m}$ )、四种初始高度(1、10、15、20 km)上行大气传输分子透过率的差异。结果表明, 在 4 种初始高度上, 04 版本的平均绝对偏差均比 2k 版本小, 而且在某些波段上对应的绝对偏差均较大: 在  $1\text{ cm}^{-1}$  分辨率时, 仅考虑  $\text{CO}_2$  吸收, 04、2k 版本对应的最大绝对偏差为 0.338(2.696  $\mu\text{m}$ )和 0.394(2.749  $\mu\text{m}$ ); 在  $0.1\text{ cm}^{-1}$  分辨率时, 考虑 7 种分子吸收, 04、2k 版本对应的最大绝对偏差达到了 0.95(4.191  $\mu\text{m}$ )和 0.936(3.568  $\mu\text{m}$ )。在计算中红外波段不同初始高度上行大气传输透过率时, 采用旧版本的 HITRAN 数据库在某些波段会产生相当大的误差。

**关键词:** LBLRTM; 大气透过率; HITRAN 数据库; 绝对偏差

**中图分类号:** O432.1; P427.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)07-1776-07

## Effect of changes of HITRAN database on transmittance calculation in mid-infrared region along vertical uplink

Liu Dandan<sup>1,2</sup>, Huang Yinbo<sup>1</sup>, Dai Congming<sup>1,2</sup>, Wei Heli<sup>1</sup>, Rao Ruizhong<sup>1</sup>

- (1. Key Laboratory of Atmospheric Composition and Optical Radiation, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The mid-infrared atmospheric transmittance and the absolute deviation were calculated with three different HITRAN databases using LBL software. Results show that the average absolute deviation of HITRAN2k and HITRAN04 decreases with the increase of initial height, the absolute deviation of HITRAN2k and HITRAN04 increases as the resolution increases. The average absolute deviation of HITRAN04 was less than the HITRAN2k at the four initial height. For example, the maximum absolute deviation of HITRAN04 and HITRAN2k was 0.338 and 0.394 with  $1\text{ cm}^{-1}$  spectral resolution only considering the absorption of  $\text{CO}_2$ . The maximum absolute deviation of HITRAN04 and HITRAN2k was 0.950 and 0.936 with  $0.1\text{ cm}^{-1}$  spectral resolution considering the absorption of all kinds molecules. The deviation caused by old versions of the database should be considered for calculating infrared atmospheric transmittance. The difference caused by different versions of the database and spectral resolution should be considered for calculating infrared atmospheric transmittance.

**Key words:** LBL software; atmosphere transmittance; HITRAN database; absolute deviation

收稿日期: 2012-11-02; 修订日期: 2012-12-07

基金项目: 国家自然科学基金(40905009)

作者简介: 刘丹丹(1986-), 女, 硕士生, 主要从事激光大气传输数值计算方面的研究。Email: baobaoldd@126.com

导师简介: 黄印博(1976-), 男, 研究员, 博士, 主要从事激光大气传输理论及实验方面的研究。Email: ybhuang@aiofm.ac.cn

## 0 引言

近、中红外光谱区间(2~12  $\mu\text{m}$ )是地面和大气热辐射的主要区间,也是众多光电系统工程的应用范围,该光谱范围内的大气分子吸收特性尤为重要。 $\text{H}_2\text{O}$ 和  $\text{CO}_2$  是最主要的吸收气体, $\text{H}_2\text{O}$  吸收带位于 1.38、1.87、3.2、6.3  $\mu\text{m}$  的波段, $\text{CO}_2$  吸收带位于 2.7  $\mu\text{m}$  和 4.3  $\mu\text{m}$  波段,以及  $\text{O}_3$  吸收带位于 4.8  $\mu\text{m}$  和 9.6  $\mu\text{m}$  波段,这些吸收带之间是透过率相对较高的光谱区,被称为大气窗口(2~5  $\mu\text{m}$ 、3~4  $\mu\text{m}$ 、4.5~5  $\mu\text{m}$  和 8~12  $\mu\text{m}$  等)<sup>[1]</sup>。当然,即便是在这些大气窗口内,仍然存在一定的精细结构。目前,无论是实验室中进行的相关分子透过率的实验还是高空背景下分子透过率的研究均需要利用辐射传输软件进行理论计算。国际上常用的辐射传输软件主要包括:适用于中低光谱分辨、带宽光学工程应用的 LOWTRAN<sup>[2-4]</sup>及 MODTRAN<sup>[2-4]</sup>,适用于高光谱分辨率、单色波长激光等应用的 FASCODE<sup>[4]</sup>以及逐线积分辐射传输模式 LBLRTM 简称为 LBL)等<sup>[5-8]</sup>。这些辐射传输软件计算大气分子吸收的基础是 HITRAN 数据库, HITRAN 数据库自 20 世纪 70 年代推出后,不断地进行完善和更新,先后发布了 7 个版本(目前最新版本是 HITRAN08 版本)。大量分析发现不同版本 HITRAN 数据库在计算大气分子吸收时存在一定的差别,主要来源有 4 种:吸收线强和线宽的变化;吸收线强和线宽变化同时有谱线位置偏移;谱线忽略;谱线多余。参考文献[9]利用 LBL 和 HITRAN96、HITRAN2k、HITRAN04、HITRAN08 4 个版本的数据库对比计算了中红外波段水平传输 1 km 的透过率,发现 HITRAN04 与 HITRAN08 两个版本计算的结果最为接近,HITRAN2k 与 HITRAN08 计算的结果相差较大, $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  分子在不同数据库计算的透过率差异最大,并两者的分子谱线进行了统计,HITRAN2k 记录的  $\text{H}_2\text{O}$  的吸收谱线为 35 635 条,HITRAN04、HITRAN08 记录的分别为 39 094 和 39 164 条;HITRAN2k 记录的  $\text{CO}_2$  吸收谱线为 42 098 条,HITRAN04、HITRAN08 记录的为 42 808 和 246 522 条。参考文献[10]主要分析了在 4 种版本数据库下计算 6 种标准大气模式的热辐射的差异。

上述传输辐射软件并不能与任意版本 HITRAN

数据库相兼容,例如:FASCODE 只能与 2000 年以前的 HITRAN 数据库相兼容。文中拟针对中红外波段不同初始高度上行传输的场景,开展不同版本 HITRAN 数据库大气分子吸收透过率的计算及其对光电系统应用影响的研究。由于 LBL 是国际上公认的精确辐射传输算法,而且与任意版本的 HITRAN 数据库兼容。为此,笔者利用 LBL 及 HITRAN2k、HITRAN04、HITRAN08 3 个版本数据库对比计算了中纬度夏季(45°N,7 月)<sup>[9]</sup>在中红外 2~12  $\mu\text{m}$  波段、不同初始高度下上行大气传输分子吸收透过率(未考虑气溶胶的影响),将其单谱线光谱结果平滑到  $1 \text{ cm}^{-1}$ ,比较了不同版本 HITRAN 数据库的平均绝对偏差。同时,将计算结果平滑到  $0.1 \text{ cm}^{-1}$ ,并以常用窗口 3~5  $\mu\text{m}$  波段为例进一步分析了 3 个版本数据库计算的差别。结果表明,在中红外波段不同初始高度上行大气传输透过率的计算中,采用旧版本的 HITRAN 数据库在某些波段会产生相当大的误差。

## 1 大气透过率的基本理论<sup>[1]</sup>

当强度为  $I(\lambda, \rho)$  的入射辐射经过距离  $d1$  后,受到路径上密度为  $\rho$  的介质的衰减和发射后引起的强度改变为:

$$dI(\lambda, 1) = -I(\lambda, 1)\rho k(\lambda, 1)d1 + j\rho d1 \quad (1)$$

式中: $k$  为质量消光截面; $j$  为源函数。当不考虑大气发射时,上式可以写为:

$$I(\lambda, 1) = I(\lambda, 0) \exp \left[ - \int_0^1 \rho k(\lambda, 1) d1 \right] \quad (2)$$

大气透过率  $T$  的表达式为:

$$T(\lambda, 1) = \exp \left[ - \int_0^1 \rho k(\lambda, 1) d1 \right] \quad (3)$$

对分子吸收,上式中的吸收系数  $k$  可表示为多条分立谱线在波数  $\nu$  的吸收系数之和:

$$k(\nu, z) = \sum_i \sum_j S_{ij} f(\nu - \nu_{ij0}) \quad (4)$$

式中: $i$  表示对计算波长点上有吸收贡献的各种分子的求和; $j$  为所考虑的带宽范围内所有的吸收谱线; $S$  为线强; $\nu_0$  为谱线的中心波长,谱线线型函数  $f(\nu_0)$  在不同高度取不同的线型。

对于中、低光谱分辨率,大气透过率用带宽范围内的平均透过率来表示,即:

$$\langle T_{\Delta\lambda}(\lambda, l) \rangle = \int_{\Delta\lambda} T_{\Delta\lambda}(\lambda, l) d\lambda \quad (5)$$

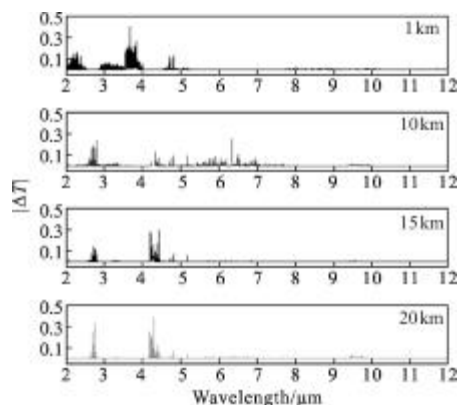
## 2 不同数据库的对比分析

### 2.1 分子吸收透过率的计算分析

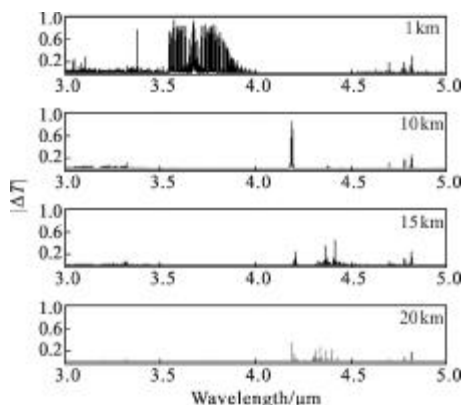
首先, 利用逐线积分辐射传输模式软件 (LBLRTM, 修订版 5.15) 及 HITRAN2k、HITRAN04 和 HITRAN08 3 个版本数据库计算了中纬度夏季、2~12 μm 波段上行传输时的大气分子吸收透过率的偏差。图 1 是 HITRAN2k 相对 HITRAN08 数据库的绝对偏差。在 2~12 μm 波段、不同的初始高度上 HITRAN2k 的绝对偏差数值较大对应的波段范围有所不同, 且平均绝对偏差随着初始高度的增加而减小, 例如: 在 1 km 初始高度时, 绝对偏差主要集中在 2~5 μm 波段, 在整个波段上的平均绝对偏差为 0.012 5, 而最大绝对偏差接近 0.40; 当初始高度为 10 km 时, 主要集中在 2.5 μm 及 4~6.5 μm 波段, 其

平均值仅为 0.003 78, 但最大绝对偏差却接近 0.25; 而在 15 km、20 km 高度时, 绝对偏差主要集中在 2.5 μm 及 4~5 μm 波段, 且在整个波段上的平均值均较小, 均不超过 0.0026, 而最大绝对偏差分别接近 0.31 和 0.39。当分辨率提高到 0.1 cm<sup>-1</sup>, 在 1 km、10 km、15 km 及 20 km 四个初始高度时, 3~5 μm 波段上的平均绝对偏差均小于 0.025, 平均值分别为 0.025 4、0.004 0、0.002 0 和 0.001 2; 但最大值绝对偏差均高于 0.30, 且随着初始高度的增加最大绝对偏差逐渐减小。

图 2 是 HITRAN04 相对 HITRAN08 数据库的绝对偏差, 在 2~12 μm 波段, HITRAN04 在 1 km、20 km 初始高度时的绝对偏差均很小, 在整个波段的平均值均不超过 0.002。最大绝对偏差(除了 1 km 初始高度上的值为 0.081 5) 在四个高度上最小也达到了 0.35, 而最大绝对偏差在 15 km 初始高度时达到了 0.63。当分辨率提高到 0.1 cm<sup>-1</sup>, 在 3~5 μm 窗口区, 初始高度为 1 km、10 km、15 km 及 20 km 时的平均绝对偏差均较小, 尤其是 10 km、20 km 初始高度上的



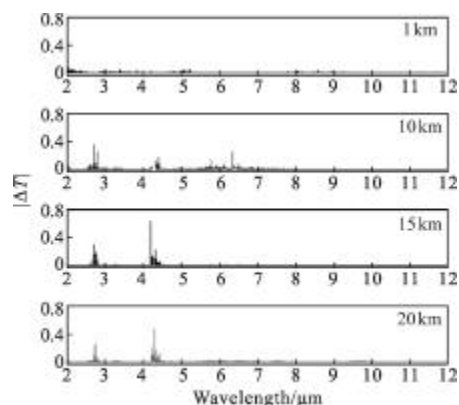
(a) HITRAN00-08 1 cm<sup>-1</sup>



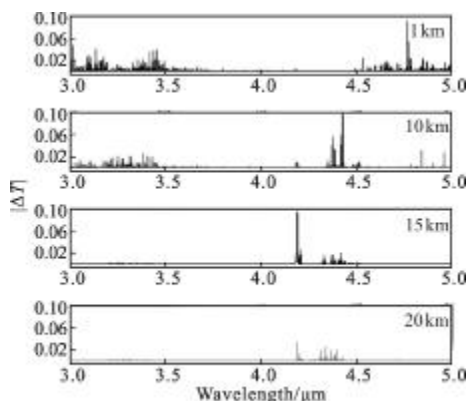
(b) HITRAN00-08 0.1 cm<sup>-1</sup>

图 1 HITRAN2k 相对 HITRAN08 的绝对偏差

Fig.1 Results of HITRAN 2k compared with HITRAN 08



(a) HITRAN04-08 1 cm<sup>-1</sup>



(b) HITRAN04-08 0.1 cm<sup>-1</sup>

图 2 HITRAN04 相对 HITRAN08 的绝对偏差

Fig.2 Results of HITRAN04 compared with HITRAN08

平均绝对偏差的数量级仅为  $10^{-4}$ , 1 km 和 15 km 两个初始高度上的平均值均较小, 分别为 0.001 1 和 0.003 6, 最大绝对偏差在 1 km 初始高度上最小(仅为 0.091 5), 在 15 km 初始高度上时最大(达到 0.945)。与分辨率为  $1\text{ cm}^{-1}$  的相比较, 除了在 15 km 初始高度、 $4.2\text{ }\mu\text{m}$  的绝对偏差稍有增加, 其余高度上几乎没有变化。

表 1 列出了 HITRAN2k、HITRAN04 相对 HITRAN08

的绝对偏差。在  $2\sim 12\text{ }\mu\text{m}$ , HITRAN2k、HITRAN04 的平均绝对偏差不超过 0.0125 和 0.00257; 当分辨率提高到  $0.1\text{ cm}^{-1}$  时, 两个版本的平均绝对偏差不超过 0.025 4 和 0.003 6; 在相同的初始高度上, 两个波段上的 HITRAN04 的平均绝对偏差均小于 HITRAN 2k 的绝对偏差; 相同分辨率, HITRAN2k、HITRAN04 的平均绝对偏差随着初始高度的增加而减小(除了 HITRAN04 在 15 km 高度上的情形)。

表 1 四个初始高度上 HITRAN2K、HITRAN04 的平均绝对偏差及最大绝对偏差

Tab.1 Results of HITRAN2k and HITRAN04 compared with HITRAN08

Altitude/km	1-100		10-100		15-100		20-100		
	Wave/ $\mu\text{m}$	2-12	3-5	2-12	3-5	2-12	3-5	2-12	3-5
$\overline{ \Delta T_{00} }$		0.012 5	0.025 4	0.003 78	0.004 0	0.002 6	0.002 0	0.001 98	0.001 2
$\overline{ \Delta T_{04} }$		0.001 91	0.001 1	0.002 57	6.899E-4	0.002 36	0.003 6	0.001 52	9.710E-4
$ \Delta T_{00} _{\text{max}}$		0.399 57	0.936 35	0.249 86	0.841 4	0.302 61	0.440 85	0.381 04	0.335 54
$ \Delta T_{04} _{\text{max}}$		0.081 46	0.091 4	0.356 12	0.106 0	0.635 61	0.949 5	0.472 61	0.335 5

2.2 水汽、二氧化碳单一分子吸收透过率的计算分析

水汽和二氧化碳是最主要的吸收分子, 为此下文进一步比较了两种分子在不同版本 HITRAN 数据库、不同初始高度上的结果。图 3 是针对  $\text{H}_2\text{O}$  分子 HITRAN2k 相对 HITRAN 08 的绝对偏差, 在  $2\sim 12\text{ }\mu\text{m}$  波段, 初始高度为 1 km、10 km 时的绝对偏差较大, 在 1 km 初始高度时, 主要集中在  $2\sim 4\text{ }\mu\text{m}$  波段, 绝对偏差的平均值仅为 0.011 2, 而最大值达到了 0.74; 在 10 km 初始高度上, 数值较大的偏差主要集中在  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  和  $5\sim 7.5\text{ }\mu\text{m}$  波段, 绝对偏差的

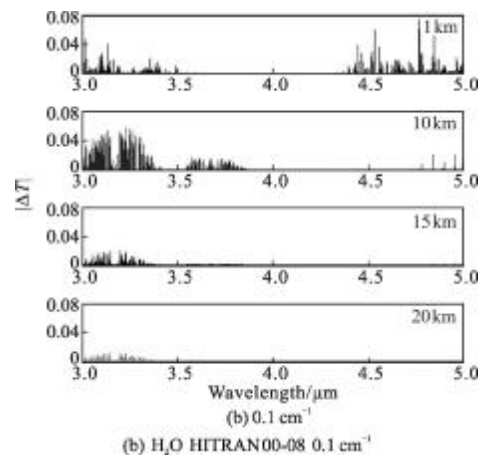
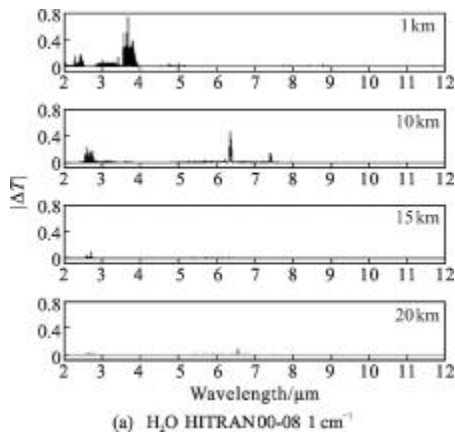


图 3 HITRAN2k 相对 HITRAN08 的绝对偏差

Fig.3 Results of HITRAN2k compared with HITRAN08



平均值仅为 0.004, 但最大值却达到 0.457; 在 15 km、20 km 初始高度上的平均绝对偏差均较小(数量级仅为  $10^{-4}$ ), 且最大偏差也仅为 0.096 3 和 0.097。当分辨率提高到  $0.1\text{ cm}^{-1}$  时, 在窗口  $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$  波段, 在 4 个初始高度上的平均绝对偏差很小, 且随初始高度的增加而减小, 在近地面层 1 km 和对流层顶 10 km 时的平均绝对偏差数量级在

$10^{-4}$ , 在对流层顶 15 km 和 20 km 的平均绝对偏差数量级为  $10^{-5}$ 。且四个初始高度上绝对偏差的最大值均很小, 最大不超过 0.076。

图 4 是 HITRAN04 相对 HITRAN08 的绝对偏差, 在 2~12  $\mu\text{m}$  波段, 4 个初始高度上的绝对偏差集中的主要波段也不同, 例如: 1 km 时主要集中在 2~4  $\mu\text{m}$ 、4.5~5.5  $\mu\text{m}$  和 7~9  $\mu\text{m}$  波段, 而在 10 km 时, 主要集中在 3.5  $\mu\text{m}$  和 5~8  $\mu\text{m}$  波段; HITRAN04 在 4 个高度上的平均绝对偏差均较小, 在 1 km、10 km 及 15 km 3 个高度上平均绝对偏差的数量级仅为  $10^{-4}$ , 在 20 km 初始高度时平均绝对偏差仅为  $6.4\text{E}-5$ ; 4 个初始高度上的最大绝对偏差也很小, 最大仅达到 0.049。当分辨率提高到  $0.1\text{ cm}^{-1}$  时, 在窗口 3~5  $\mu\text{m}$  波段, 在 4 个初始高度上的平均绝对偏差均很小, 数量级均在  $10^{-4}$  以下, 在 20 km 初始高度时的平均绝对偏差的数量级仅为  $10^{-7}$ , 而 4 个初始高度上的最大值也很小, 分别为 0.007 55、0.03 32、0.002 46 和 0.001 13。

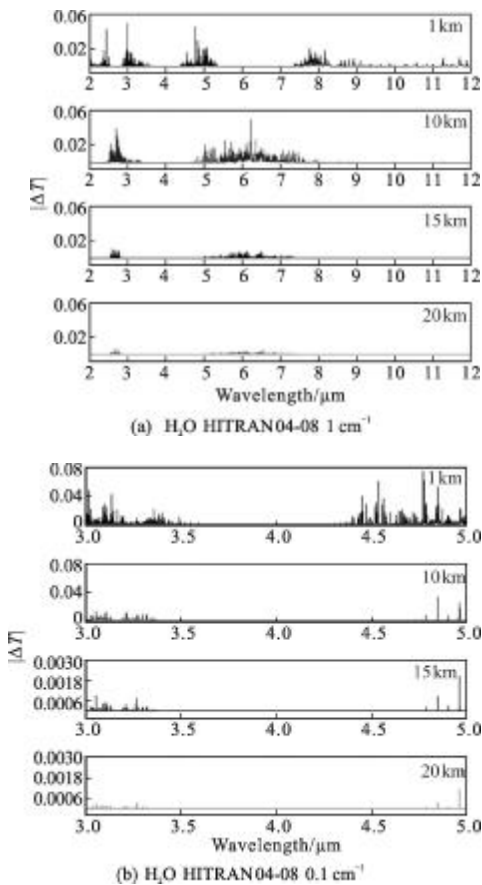


图 4 HITRAN04 相对 HITRAN08 的绝对偏差  
Fig.4 Results of HITRAN04 compared with HITRAN08

图 5 是  $\text{CO}_2$  分子的 HITRAN2k 相对 HITRAN08 绝对偏差图。在 2~12  $\mu\text{m}$  波段, 偏差较大的部分仍然主要集中在少数波段, 如: 在 1 km、10 km 高度时, 主要集中在 4.5  $\mu\text{m}$  波段附近, 在 15 km、20 km 高度时, 主要集中在 2.4  $\mu\text{m}$  附近波段和 4~5  $\mu\text{m}$  波段; 但在 4 个初始高度上的平均绝对偏差均很小, 尤其是 1 km、10 km 和 20 km 3 个初始高度上的平均绝对偏差的数量级仅为  $10^{-4}$ , 最大值绝对偏差在四个高度上最小为 0.16, 最大达到 0.40; 当分辨率提高到  $0.1\text{ cm}^{-1}$  时, 窗口 3~5  $\mu\text{m}$  波段, 4 个初始高度上的平均绝对偏差在 1 km、15 km 和 20 km 3 个初始高度上的值很小, 仅达到  $10^{-4}$  数量级。相比较而言, 在 10 km 初始高度上相对较大, 达到了 0.002 27。最大绝对偏差在 4 个高度上最小达到了 0.21。最大竟达到了 0.96。

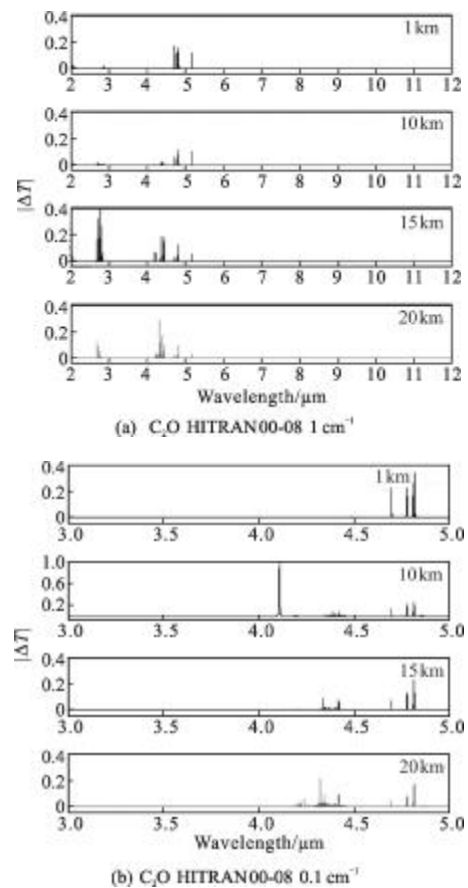


图 5 HITRAN2k 相对 HITRAN08 的绝对偏差  
Fig.5 Results of HITRAN2k compared with HITRAN08

图 6 是 HITRAN04 相对 HITRAN08 绝对偏差图。在 2~12  $\mu\text{m}$  波段, HITRAN04 在 1 km 和 10 km 初始高度上的绝对偏差均很小, 两个高度上的平均

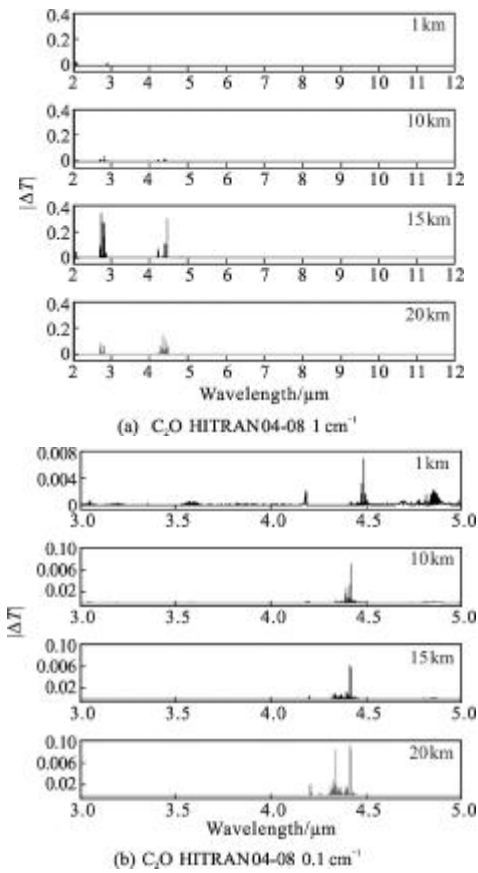


图 6 HITRAN04 相对 HITRAN08 的绝对偏差

Fig.6 Results of HITRAN04 compared with HITRAN08  
值的数量级仅为  $10^{-4}$ , 最大绝对偏差也很小。相比较

而言,在 15 km 和 20 km 高度时绝对偏差较大,且主要集中在  $2.4 \mu\text{m}$  和  $4.3 \mu\text{m}$  附近,而最大绝对偏差相比较 1 km 和 10 km 的增大了 1 个数量级。当分辨率提高到  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  时,在窗口  $3\sim 5 \mu\text{m}$  波段,四个高度上的平均绝对偏差均较小,在 10 km、15 km 及 20 km 三个初始高度上的平均绝对偏差的数量级仅为  $10^{-4}$ 。在 1 km 初始高度上的平均绝对偏差仅为  $6.54\text{E}-5$ 。四个初始高度上的最大值也均很小,最大不超过 0.091,最小仅为 0.006 29。与分辨率为  $1 \text{ cm}^{-1}$  的相比较,相同高度、波段上的绝对偏差变化较小,但少数波段处出现绝对偏差减小的情况,例如:在 10 km、15 km 初始高度上的  $4.4 \mu\text{m}$  左右。

表 2 给出了四个初始高度上  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  分子 HITRAN2k、HITRAN04 的绝对偏差,只考虑  $\text{H}_2\text{O}$  分子,HITRAN2k、HITRAN04 的平均绝对偏差随着初始高度的增加而减小;不同分辨率时 HITRAN04 版本数据库的平均绝对偏差均小于 HITRAN2k 版本;当只考虑  $\text{CO}_2$  分子,HITRAN2k、HITRAN04 的平均绝对偏差在 15 km 初始高度上值最大,其它三个初始高度上值的数量级相同,当分辨率提高到  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  时,HITRAN2k 的平均绝对偏差在 10 km 初始高度最大,在其他三个初始高度上的值的数量级相同,而 HITRAN04 的平均绝对偏差在 1 km 时最小。

表 2 四个初始高度上  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  分子的 HITRAN2k、HITRAN04 的平均绝对偏差及最大绝对偏差  
Tab.2 Average absolute deviation and maximum absolute deviation of HITRAN2k and HITRAN04 compared with HITRAN08 at four initial height

	Altitude/km	1-100		10-100		15-100		20-100	
		2-12	3-5	2-12	3-5	2-12	3-5	2-12	3-5
$\text{H}_2\text{O}$	$\overline{ \Delta T_{00} }$	0.011 12	9.468 82E-4	0.004	7.343E-4	3.274 1E-4	5.662 16E-5	2.136 67E-4	2.976 43E-5
	$\overline{ \Delta T_{04} }$	7.675 7E-4	9.468 82E-4	9.460 29E-4	8.362 82E-5	1.410 77E-4	2.574 49E-6	6.419 86E-5	7.844 16E-7
	$ \Delta T_{00} _{\text{max}}$	0.74	0.075 56	0.457 34	0.057 98	0.096 31	0.019 75	0.097 65	0.011 54
	$ \Delta T_{04} _{\text{max}}$	0.049 29	0.075 56	0.049 01	0.033 22	0.010 14	0.002 46	0.006 2	0.001 13
$\text{CO}_2$	$\overline{ \Delta T_{00} }$	6.873 08E-4	8.090 9E-4	4.660 42E-4	0.002 27	0.001 91	4.901 66E-4	7.598 29E-4	5.007 7E-4
	$\overline{ \Delta T_{04} }$	3.995 8E-4	6.542 92E-5	3.400 5E-4	1.286 62E-4	0.001 64	1.491 16E-4	5.937 92E-4	2.472 94E-4
	$ \Delta T_{00} _{\text{max}}$	0.165 89	0.341 11	0.118 35	0.961 87	0.393 64	0.228 92	0.282 71	0.212 01
	$ \Delta T_{04} _{\text{max}}$	0.027 34	0.006 88	0.044 53	0.071 72	0.338 46	0.061 56	0.139 65	0.091 62

### 3 结论

文中利用 LBL 及 HITRAN2k, HITRAN04, HITRAN08 3 个版本数据库对比计算了中纬度夏季(45°N, 7月)在中红外 2~12  $\mu\text{m}$  波段、不同初始高度上行大气传输分子吸收透过率, 将其结果平滑到  $1\text{ cm}^{-1}$  比较了不同版本 HITRAN 数据库的平均绝对偏差, 并将 3~5  $\mu\text{m}$  窗口的结果平滑到  $0.1\text{ cm}^{-1}$ , 比较分析了不同版本 HITRAN 数据库的差别, 主要结果如下:

HITRAN2k、HITRAN04 在大部分波段的平均绝对偏差随初始高度的增加而减小, 如: 在 3~5  $\mu\text{m}$  波段, 仅考虑  $\text{H}_2\text{O}$  分子吸收, HITRAN2k 在 10 km 初始高度上的平均绝对偏差比 1 km 初始高度时小 1 个数量级。其次, HITRAN2k、HITRAN04 数据库在大部分波段的绝对偏差随着分辨率的提高而增大, 如: 在 1 km 初始高度, 光谱分辨率由  $1\text{ cm}^{-1}$  提高到  $0.1\text{ cm}^{-1}$  时, HITRAN2k 的最大绝对偏差增加了 0.54。最后, HITRAN04 的平均绝对偏差在 4 个初始高度上均比 HITRAN2k 对应的值小, 且两个版本数据库在某些波段的绝对偏差较大, 如: 分辨率为  $0.1\text{ cm}^{-1}$  时, 在 3~5  $\mu\text{m}$  波段, HITRAN04、HITRAN2k 的绝对偏差最大分别为 0.95 和 0.936。出现绝对偏差较大的原因可能是 HITRAN2k、HITRAN04 的主要吸收分子在某些波段内的谱线存在缺失或多余, 或者是某些谱线的位置偏移。如: HITRAN2k 中的  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  谱线相对 HITRAN08 分别减少了 3 529 和 204 424 条, HITRAN04 中的  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  谱线相对 HITRAN08 分别减少了 70 和 203 714 条。在进行相关大气透过率计算时, 建议采用最新版本数据库 HITRAN08。

文中的分析着重说明在计算中红外波段不同初始高度上行大气传输分子吸收透过率时, 采用旧版本的 HITRAN 数据库在某些波段存在相当大的偏差, 但造成较大绝对偏差的具体原因需要进一步的深入分析。

#### 参考文献:

- [1] Rao Ruizhong. Modern Atmospheric Optics[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)  
饶瑞中. 现代大气光学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [2] Liu Hao, Dong Yanbing, Wang Yahui, et al. Real-time atmospheric transmission software [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(S): 404-407. (in Chinese)  
刘浩, 董雁冰, 王亚辉, 等. 实时大气传输计算软件的研制 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(S): 404-407.
- [3] Berk A, Anderson G P, Acharya P K, et al. MODTRAN4 User's Manual [M]. Hanscom AFB MA: Air Research Laboratory Space Vehicle Directorate Air Force Materiel Command, 1997.
- [4] Yao Mei, Lei Ping, Zhang Le. Application and comparison of two kinds of atmospheric radiative transfer software in performance simulation of infrared detecting system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(S): 389-394. (in Chinese)  
姚梅, 雷萍, 张乐. 两种大气辐射传输软件在红外探测系统性能仿真计算中的应用及其比较 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(S): 389-394.
- [5] Chen Xiuhong, Wei Heli. Variation of Infrared atmospheric transmittance based on atmospheric models in typical regions of China [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(11): 1090-1093. (in Chinese)  
陈秀红, 魏合理. 基于中国典型地区大气模式的红外透过率变化特征 [J]. 激光与红外, 2008, 38(11): 1090-1093.
- [6] Chen Xiuhong, Wei Heli, Xu Qingshan. Infrared atmospheric transmittance calculation model [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(5): 811-817.  
陈秀红, 魏合理, 徐青山. 红外大气透过率的计算模式 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(5): 811-817.
- [7] Feng Xuan, Zhao Fengsheng, Gao Wenhua. Effect of the improvement of the HITRAN database on the radiative transfer calculation [J]. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer Calculation, 2007, 108: 308-318.
- [8] Feng Xuan, Zhao Fengsheng. Effect of changes of the HITRAN database on transmittance calculations in the near-infrared region [J]. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer Calculation, 2009, 110: 247-255.
- [9] Chen Xiuhong. Development of the Combined Atmospheric Radiative Transfer Software [D]. Hefei: Anhui Institute of Optics & Fine Mechanics the Chinese Academy of Sciences, 2010.  
陈秀红. 通用大气辐射传输软件 CART 研制 [D]. 合肥: 中科院安徽光学精密机械研究所, 2010.
- [10] Lu Peng, Zhang Hua, Jing Xianwen. The effects of different HITRAN versions on calculated long-wave radiation and uncertainty evaluation [J]. Acta Meteor Sinica, 2012, 26(3): 389-398.