

文章编号: 1000-8055(2001) 04-0355-05

燃烧产物二氧化碳高温辐射 的窄谱带模型参数

董士奎, 余其铮, 谈和平, 贺志宏
(哈尔滨工业大学 能源学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 窄谱带模型法与 CG 近似及 LS 近似结合能够很好处理非灰、非等温、非均匀介质的辐射传输问题, 在飞行器发动机燃烧室及尾喷焰高温辐射传输问题研究中多被采用。二氧化碳是含碳类推进剂主要的燃烧产物, 其辐射特性的研究一直受到国内外重视, 但其现有的窄谱带模型数据不完整或分辨率太低。本文利用最新的高分辨率高温燃气光谱数据库 HITEMP (序列号: 3153), 并将其中的谱线光谱参数外推到 300~3000 K 的温度范围内, 计算得到了一个新的、完整的、分辨率较高的二氧化碳窄谱带模型参数库。以本文计算的模型参数为基础, 采用窄谱带模型计算了各种光学路径下的发射率、穿透率, 其结果与实验值符合很好。

关键词: 高温辐射; 二氧化碳; 窄谱带模型参数

中图分类号: V231.2⁺

文献标识码: A

1 前言

二氧化碳是一种常见的红外活性气体, 其辐射特性的研究在航天科学, 大气科学, 热能动力, 化学工程等领域有重要的应用^[1~4], 故一直受到重视。20 世纪 90 年代后, 国内外大多采用窄谱带模型法结合 CG 近似、LS 近似研究非灰、非均匀、非等温介质辐射传递^[5~8], 例如高速飞行器发动机燃烧室、锅炉炉膛、化学反应炉内传热传质, 航天航空发动机尾喷焰的红外辐射特征。但现有的文献给出的窄谱带模型数据多数是由实验数据拟合而来^[9], 光谱分辨率不高, 没有全覆盖近、中、远红外光谱区, 低温段精度较差, 特别是大于 2000 K 的高温段数据较少^[10], 这对研究高速飞行目标、背景的红外辐射特性和传输特性是不够的。本文以最新的高分辨率气体分子光谱数据库 HITEMP 提供的 296 K, 1.01325×10^5 Pa 下的光谱数据为基础(参见 J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 1998 年 60 卷第 5 期的系列文章、美国 Ontar 公司 2000 年出版的 HITEMP 光盘), 结合原子分子辐射理论, 并将其光谱参数

外推到 300~3000 K, 计算得到二氧化碳的窄谱带模型参数。

2 理论方法

HITEMP 数据库是美国空军地球物理实验室建立的高分辨率大气分子光谱参数数据库 HITRAN^[11] 的增补版。HITRAN 只包含基频谱线, 考虑“热线”的影响较少; 而 HITEMP 数据库中除了含有 HITRAN 数据库的基频谱线外, 还含有大量的“热线”。每一条基频谱线或“热线”均给出 14 个光谱参数, 包括: 谱线中心波数、谱线跃迁几率、谱线积分强度、自增宽半宽、空气增宽半宽等。这对于发动机燃烧室和尾喷焰、锅炉炉膛和化学反应炉内高温辐射强度的计算是非常重要的, 因为高温时有较多的气体分子跃迁到高激发能级上去, 气体的光谱中将会出现大量的泛频“热线”。但是 HITEMP 数据库中包括 100 万根以上二氧化碳的谱线(基频谱线和“热线”)数据, 这样大的数据库使用起来非常不方便, 计算费时, 工程上需要简单而又能准确描述其辐射特性的参数。

根据光谱学理论, 准确地描述一个气体的谱

收稿日期: 2000-11-05; 修订日期: 2001-01-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50076010)

作者简介: 董士奎(1972-), 男, 哈尔滨工业大学能源学院博士生

带需要 3 个参数, 即平均吸收系数 $\bar{\kappa}$ ($1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$)⁻¹ · cm⁻¹, 平均谱线密度(谱线平均间距 [cm⁻¹]) 的倒数) $1/\bar{d}$ [cm], 谱线平均半宽 $\mathcal{Y}$ [cm⁻¹]. 某一波数 w 附近 $[w - \Delta w/2, w + \Delta w/2]$ 区间内的平均穿透率 $\bar{\tau}_w$ 由下式给出:

$$\bar{\tau}_w = \exp \left[- \frac{2\mathcal{Y}}{\bar{d}} \left(\frac{1}{1 + \frac{u\bar{\kappa}\bar{d}}{\mathcal{Y}}} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中: $u = P_{\text{co}_2} L (296/T)$ 为标准态下的压力行程; P_{co_2} 为气体分压力; L 为行程长度; T 为温度。根据 Young 的非等温窄谱带模型理论^[12], (1) 式中各参数的计算公式如下:

$$S(T) = \frac{8\pi^3 10^{-36} I_{a0} \exp \left[- \frac{G_v'' + E_R''}{kT} \right] \left[1 - \exp \left[- \frac{hcw_0}{kT} \right] \right] |R_v|^2 L(J'', l) F(J'')}{3hc g_j Q_v(T) Q_R(T)} \quad (3)$$

式中: h 为 Planck 常数; c 为光速; I_a 为同位素丰度; w_0 为谱线位置; E_R'' 为低态转动能; k 为 Boltzmann 常数; g_j 为统计权重; $|R_v|^2$ 为振动态跃迁矩阵元; $L(J'', l)$ 是 Hnl-London 因子; G_v'' 是

$$S(T_0) = \frac{8\pi^3 10^{-36} I_{a0} \exp \left[- \frac{G_v'' + E_R''}{kT_0} \right] \left[1 - \exp \left[- \frac{hcw_0}{kT_0} \right] \right] |R_v|^2 L(J'', l) F(J'')}{3hc g_j Q_v(T_0) Q_R(T_0)} \quad (4)$$

公式(3), (4) 中的 $|R_v|^2 L(J'', l) F(J'')$ 跃迁矩阵元只与能态(频率, 波长)相关而与温度无关。设计算区间气体可按理想气体处理, 则气体的分子数

$$S(T) = S(T_0) NL \left[\frac{T_0}{T} \right] \left[\frac{P}{P_0} \right] \frac{Q_v(T_0) Q_R(T_0)}{Q_v(T) Q_R(T)} \exp \left[- \frac{E}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \times \frac{1 - \exp(-hcw_0/kT)}{1 - \exp(-hcw_0/kT_0)} \quad (5)$$

式中: NL 为标准态下单位体积(cm³) 内的分子数, $NL = 2.479 \times 10^{19}$ 。

HITEMP 数据库中给出了自增宽和空气增

$$\mathcal{Y}_m(P, T) = (T_0/T)^n (P/P_0) \{ \mathcal{Y}_{m, \text{self}}^0 (P_{\text{self}}/P) + \mathcal{Y}_{m, \text{air}}^0 [(P - P_{\text{self}})/P] \} \quad (6)$$

式中: $\mathcal{Y}_{m, \text{self}}^0$ 为自增宽半宽; $\mathcal{Y}_{m, \text{air}}^0$ 为空气增宽半宽; P_{self} 为自增宽分压; n 为温度指数。

3 计算结果及与 HITRAN、实验数据的比较

本文以 HITEMP 光谱数据为基础, 将公式(5)、(6) 带入(2) 式中得到窄谱带模型参数 $\bar{\kappa}$, $1/\bar{d}$ 和 $\mathcal{Y}$ 。计算参数: 压力取 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$; 温度区间 $300 \sim 3000 \text{ K}$, 间隔 100 K ; $15 \mu\text{m}$ 谱带的计算光谱区间从 $8 \sim 25 \mu\text{m}$ (对应波数 $400 \sim 1250 \text{ cm}^{-1}$), $4.3 \mu\text{m}$ 谱带($2000 \sim 2500 \text{ cm}^{-1}$); $2.7 \mu\text{m}$ 谱带($3000 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$), 间隔均为 5 cm^{-1} 。计算结果均已收录在我们建立的高温燃气分子窄谱带模型标准参数数据库中, 本文只给出 $2.7 \mu\text{m}$ 谱带部分模型参数, 见表 1。以本文计算的参数和由

$$\bar{\kappa} = \frac{1}{\Delta w} \sum_{m=1}^M S_{w_0^m}, \quad \mathcal{Y} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \mathcal{Y}_m \quad (2)$$

$$\frac{1}{\bar{d}} = \left[\frac{1}{\Delta w} \sum_{m=1}^M \frac{1}{S_{w_0^m} \mathcal{Y}_m} \right] \left(\bar{\kappa} \cdot \mathcal{Y} \right)$$

式中: $S_{w_0^m}$ 为 Δw 内第 m 条谱线积分强度; $\mathcal{Y}_m$ 是 Δw 内谱线的半宽; M 是 Δw 内谱线总数。HITEMP 数据库中给出的 $S_{w_0^m}$, $\mathcal{Y}_m$ 均为标准态 ($1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$, 296 K) 下的参数, 其它压力、温度下需经合理的外推。由原子、分子辐射理论^[13], 对单个原子、分子的谱线积分强度 $S(T)$ 仅与温度有关

振动谱项(能量); $Q_v(T)$, $Q_R(T)$ 分别为振动、转动配分函数; $F(J'')$ 是 Herman-Wallis 因子。由此可得标准状态下的谱线强度值

密度是温度和压力的函数 $N(P, T) = NL(T_0/T)(P/P_0)$, 将(3) 式除以(4) 式, 可得其它温度压力

下强度表达式:
宽(即认为外增宽气体为空气)的半宽, 同样也是标准态下的参数, 同理其它温度、压力下的半宽, 可以外推得到:

HITRAN 数据库计算的参数为基础计算了不同谱带、不同工况下的吸收光谱或穿透光谱, 并与实验值做了比较, 如图 1 至图 4 所示。

图 1 是 290 K 时 $4.3 \mu\text{m}$ 谱带穿透率光谱比较图。因为 290 K 下绝大多数气体分子处于振动基态, 位于第一、第二激发态等高能级的分子数很少, 只占基态分子数的 10^{-6} , 即由高激发能级跃迁产生的‘热线’影响非常小; 因此由图 1 可见, 本文的计算值和以 HITRAN 为基础的计算值与 Scutaru 的试验值^[14] 在整个光谱区间吻合的非常好。至于在 2360 cm^{-1} 附近产生的误差, 应是计算值比试验值分辨率高所致。

图 2 是 750 K 时 $4.3 \mu\text{m}$ 谱带穿透率光谱比较图。图中本文的计算结果与试验值符合的很好, 但 HITRAN 的计算结果已与试验值有较大误差,

表 1 二氧化碳 2.7 μm 谱带窄谱带模型参数 $\bar{\kappa}$ ($1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$) $^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$], $\mathcal{Y}(\text{cm}^{-1})$, $1/\bar{d}(\text{cm})$

波数	1000 K			1250 K			1500 K			1750 K		
	$\bar{\kappa}$	$\mathcal{Y}$	$1/\bar{d}$	$\bar{\kappa}$	$\mathcal{Y}$	$1/\bar{d}$	$\bar{\kappa}$	$\mathcal{Y}$	$1/\bar{d}$	$\bar{\kappa}$	$\mathcal{Y}$	$1/\bar{d}$
3450	0.040	0.083	140.449	0.159	0.084	160.256	0.275	0.084	149.477	0.339	0.084	128.866
3455	0.044	0.081	137.363	0.158	0.082	168.919	0.248	0.082	172.712	0.283	0.082	161.551
3460	0.052	0.082	129.534	0.180	0.082	154.799	0.309	0.082	143.062	0.395	0.083	119.904
3465	0.058	0.080	119.332	0.180	0.081	152.439	0.279	0.081	154.083	0.328	0.081	139.276
3470	0.068	0.081	117.233	0.201	0.081	149.031	0.333	0.082	138.313	0.428	0.082	113.766
3475	0.074	0.080	105.932	0.204	0.080	139.665	0.326	0.080	135.135	0.410	0.080	114.679
3480	0.086	0.078	104.712	0.225	0.078	140.647	0.380	0.079	129.032	0.505	0.079	104.712
3485	0.102	0.079	92.593	0.255	0.079	129.702	0.455	0.079	116.009	0.642	0.079	91.743
3490	0.110	0.077	95.238	0.259	0.077	141.844	0.452	0.077	133.156	0.626	0.077	109.649
3495	0.124	0.076	93.458	0.282	0.076	140.056	0.501	0.077	127.877	0.700	0.077	103.842
3500	0.127	0.075	96.154	0.290	0.075	142.857	0.566	0.075	122.699	0.848	0.075	95.238
3505	0.135	0.074	84.034	0.292	0.074	131.752	0.570	0.075	114.679	0.854	0.075	90.909
3510	0.147	0.073	85.470	0.306	0.073	135.870	0.616	0.074	116.279	0.955	0.074	90.090
3515	0.175	0.071	84.746	0.357	0.071	140.056	0.787	0.072	114.416	1.290	0.072	86.207
3520	0.162	0.071	80.645	0.315	0.072	145.985	0.619	0.072	135.870	0.921	0.072	113.507
3525	0.177	0.070	78.125	0.324	0.070	148.368	0.645	0.070	138.696	0.973	0.071	115.875
3530	0.188	0.071	68.493	0.339	0.072	133.511	0.676	0.072	125.786	1.020	0.072	106.157
3535	0.218	0.071	66.225	0.369	0.071	139.276	0.723	0.071	136.054	1.070	0.071	117.233
3540	0.205	0.071	66.225	0.354	0.071	139.276	0.689	0.072	137.174	1.000	0.072	120.482
3545	0.232	0.071	59.172	0.367	0.071	133.690	0.692	0.072	136.240	0.987	0.072	121.803
3550	0.225	0.072	62.893	0.370	0.072	145.349	0.708	0.072	150.602	1.010	0.072	136.612
3555	0.233	0.073	58.140	0.390	0.073	135.318	0.789	0.073	134.048	1.170	0.073	117.786
3560	0.267	0.072	53.476	0.390	0.072	142.248	0.733	0.073	151.057	1.040	0.073	136.986
3565	0.239	0.073	51.282	0.347	0.074	143.062	0.641	0.074	156.740	0.896	0.074	145.349
3570	0.242	0.074	54.054	0.356	0.075	149.925	0.643	0.075	166.113	0.883	0.075	154.799
3575	0.260	0.076	50.000	0.359	0.076	148.368	0.632	0.076	168.350	0.853	0.077	158.983
3580	0.234	0.075	53.763	0.350	0.076	159.744	0.615	0.076	184.843	0.817	0.076	177.620
3585	0.258	0.078	43.290	0.336	0.078	142.045	0.556	0.078	170.068	0.717	0.079	165.563
3590	0.289	0.079	43.290	0.352	0.079	140.449	0.544	0.079	169.779	0.666	0.079	167.224
3595	0.286	0.080	43.668	0.342	0.080	146.199	0.503	0.081	181.818	0.591	0.081	183.150
3600	0.257	0.082	43.860	0.316	0.082	143.266	0.466	0.082	175.747	0.547	0.082	175.747
3605	0.225	0.084	46.729	0.306	0.084	138.122	0.441	0.084	170.358	0.505	0.084	172.712
3610	0.189	0.083	57.143	0.320	0.083	147.059	0.485	0.083	174.825	0.570	0.083	173.310
3615	0.205	0.083	57.803	0.328	0.083	143.472	0.465	0.084	173.611	0.524	0.084	174.520
3620	0.203	0.085	62.893	0.365	0.085	144.509	0.560	0.085	162.866	0.657	0.085	158.228
3625	0.227	0.086	58.824	0.358	0.086	149.254	0.527	0.086	169.492	0.605	0.086	164.204
3630	0.239	0.087	50.761	0.320	0.087	140.647	0.404	0.087	175.131	0.403	0.087	185.874
3635	0.247	0.087	50.505	0.325	0.088	136.986	0.396	0.088	173.010	0.393	0.088	182.815
3640	0.288	0.087	51.282	0.373	0.087	129.366	0.423	0.087	167.504	0.396	0.088	181.818
3645	0.281	0.086	57.803	0.381	0.086	139.665	0.423	0.086	186.567	0.393	0.087	206.612
3650	0.280	0.086	64.935	0.402	0.086	145.560	0.440	0.086	197.239	0.409	0.086	220.264
3655	0.268	0.085	72.993	0.409	0.086	149.925	0.452	0.086	197.239	0.425	0.086	215.054
3660	0.248	0.086	74.074	0.374	0.086	150.830	0.407	0.086	193.798	0.371	0.086	210.970
3665	0.276	0.084	67.568	0.376	0.084	150.150	0.405	0.084	198.020	0.375	0.084	215.054
3670	0.358	0.082	60.606	0.417	0.083	150.376	0.435	0.083	206.612	0.412	0.083	223.214
3675	0.348	0.084	58.140	0.389	0.084	139.470	0.378	0.084	194.175	0.331	0.084	217.391
3680	0.426	0.083	51.813	0.422	0.084	129.702	0.388	0.084	182.815	0.328	0.084	207.039
3685	0.413	0.082	50.251	0.405	0.083	119.190	0.365	0.083	165.837	0.306	0.083	185.874
3690	0.477	0.079	50.761	0.443	0.080	126.263	0.412	0.080	174.825	0.363	0.080	191.571
3695	0.479	0.079	52.356	0.435	0.079	124.844	0.400	0.079	168.919	0.348	0.080	183.486
3700	0.404	0.078	58.480	0.393	0.078	129.199	0.373	0.078	170.068	0.329	0.079	182.815
3705	0.386	0.078	51.282	0.359	0.078	104.603	0.321	0.078	133.156	0.263	0.078	144.718
3710	0.302	0.076	64.516	0.337	0.076	118.624	0.330	0.076	142.653	0.284	0.077	150.150
3715	0.285	0.072	62.893	0.322	0.073	115.875	0.333	0.073	136.240	0.306	0.073	138.122
3720	0.334	0.071	56.497	0.325	0.071	112.867	0.324	0.071	139.276	0.302	0.072	143.062
3725	0.424	0.069	39.370	0.351	0.069	82.645	0.297	0.070	112.233	0.245	0.070	125.628
3730	0.511	0.068	29.499	0.380	0.068	64.103	0.301	0.068	89.286	0.239	0.069	100.705
3735	0.547	0.070	23.981	0.406	0.070	49.020	0.308	0.070	68.027	0.233	0.070	77.519
3740	0.601	0.068	21.786	0.437	0.068	43.668	0.320	0.068	60.606	0.236	0.069	69.444
3745	0.515	0.067	19.380	0.408	0.067	38.610	0.305	0.067	54.945	0.227	0.068	64.103
3750	0.418	0.066	18.553	0.372	0.066	34.247	0.288	0.067	48.309	0.216	0.067	56.818

因此时第一激发态的分子数已占基态分子数的 10^{-2} 量级, 在此温度下不考虑“热线”会引起误差。

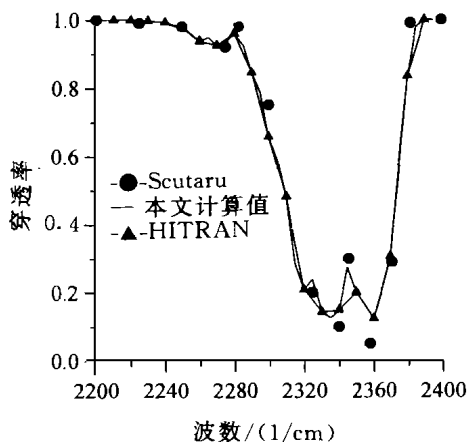
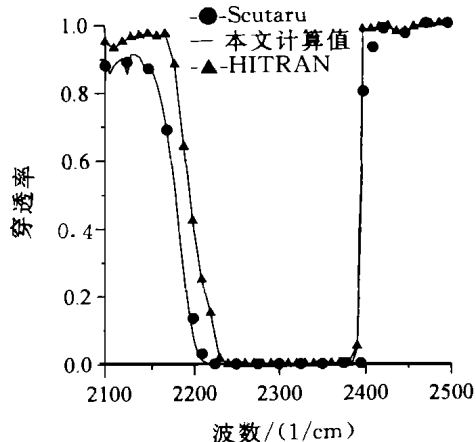
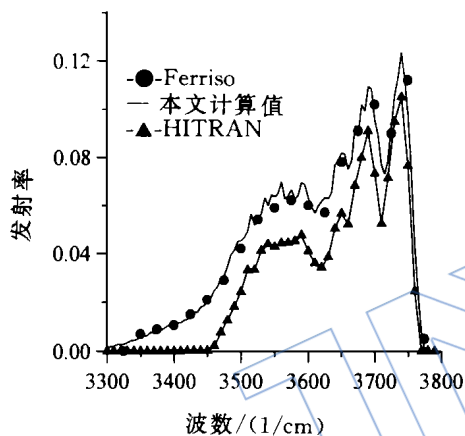
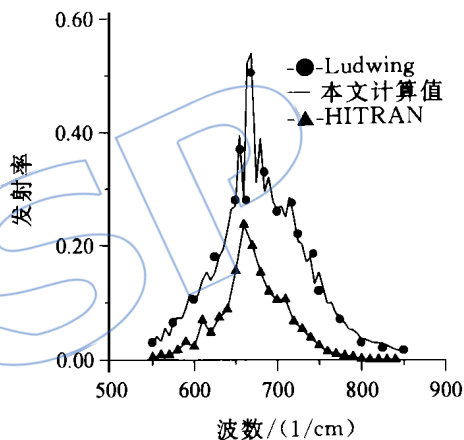
图 1 290 K 时谱带透射率与 *Scutaru* 值^[14] 比较图 2 750 K 时谱带透射率与 *Scutaru* 值^[14] 的比较图 3 1200K 时谱带发射率与 *Ferriso* 值^[15] 的比较图 4 1950K 时谱带发射率与 *Ludwig* 值^[16] 的比较

图 3 和图 4 分别是 1200 K 时 $2.7 \mu\text{m}$ 谱带和 1950 K 时 $15 \mu\text{m}$ 谱带发射率光谱比较图。图中本文的计算值与试验值均吻合的很好, 而 *HITRAN* 的计算值与试验值偏差越来越大。因为高激发态的分子数随温度升高而明显增加, 结果是使泛频谱带的“热线”效应增大, 甚至达到与基频谱带的发射、吸收能力相同的量级甚至更大 (见图 4, 认为 *HITRAN* 中主要是基频谱线)。

4 结 论

(1) 本文以 2000 年版 *HITEMP* 数据库为基础, 利用原子分子辐射吸收理论, 将二氧化碳光谱参数外推到 300~3000 K 的温度范围, 计算得到了二氧化碳 3 个主要谱带: $15 \mu\text{m}$, $4.3 \mu\text{m}$, $2.7 \mu\text{m}$ 谱带的窄谱带模型参数 $\bar{\kappa}$, $1/\bar{\alpha}$ 和 $\bar{Y}$ 。

(2) 本文的结果充分考虑了高温情况下“热线”的影响。经与实验结果比较表明, 由于 *HITRAN* 中仅计及少量的“热线”, 随着温度的

升高, *HITRAN* 数据的计算结果与实验值偏差越来越大, 因此 *HITRAN* 数据库仅适用于 750 K 以下中、低温辐射传输。本文以 *HITEMP* 数据库为基础得到的模型参数的计算结果在整个温度区间内与实验值符合很好, 说明本文的计算结果可信, 可应用于高温场合如火箭发动机燃烧室、尾喷焰辐射强度的计算等。

(3) 本文结果用于辐射传输计算比直接利用 *HITEMP* 数据库的逐线计算大大节省计算时间, 例如: 在尾喷焰红外辐射场计算中若网格数为 5520 ($46 \times 6 \times 20$), 每个网格计算 3 种组份 (CO_2 , H_2O , CO), 在 P III 450 微机上直接利用 *HITEMP* 数据库逐线计算每个网格点的吸收系数或穿透率, 并完成光线在尾喷焰内的传输计算, 最快需要 20 分钟; 而利用本文方法得到所需的谱带模型参数后, 采用窄谱带模型只需不到 5 秒。所以当辐射场与流场耦合求解需迭代多次时, 利用

本文的结果有很大的优势。

(4) 本方法的数据量远比 *HITEMP* 的少, 使用起来也十分方便; 且比文献[9, 10] 提供的数据有较大得改进: 覆盖的温度、光谱区间更宽, 光谱分辨率更高(5 cm^{-1}), 更具工程实用性。

参考文献:

[1] Vitkin E I, et al. Engineering procedure for calculating the transfer of the selective radiation of molecular gases[J]. Int. J. Heat and Mass Transfer, 2000, 43: 2029– 2045.

[2] Kim O J, Song T H. Data Base of WSGGM-Based Spectral Model for Radiation Properties of Combustion Products [J]. J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2000, 64: 379– 394.

[3] Khan Y U, Lawson D A, Tucker R J. Simple Models of Spectral Radiative Properties of Carbon Dioxide[J]. Int. J. Heat and Mass Transfer, 1996, 40(15): 3581– 3593.

[4] 徐南荣, 朱谷君. 热空腔—喷气流组合辐射[J]. 航空动力学报, 1995, 10(3): 295– 298.

[5] Pierrot L, Souani A, Taine J. Accuracy of Narrow-Band and Global Models for Radiative Transfer in H₂O, CO₂, and H₂O-CO₂ Mixtures at High Temperature [J]. J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 1999, 62: 523– 548.

[6] Liu F, Gulder L, et al. Non-Grey Gas Radiative Transfer Analysis Using the Statistical-Narrow-Band Model[J]. Int. J. Heat and Mass Transfer, 1997, 41(14): 2227– 2236.

[7] 徐南荣. 喷气流红外辐射场的数值计算[J]. 航空学报, 1995, 16(6): 647– 653.

[8] Liu J, Tiwari S N. Investigation of Radiative Transfer in Non-Gray Gases Using a Narrow Band Model and Monte

Carlo Simulation[J]. ASME J. of Heat Transfer, 1994, 116 (1): 160– 166.

[9] Ludwig C B, Malkmus W, Reardon J E, et al. Handbook of Infrared Radiation from Combustion Gases[S]. NASA– SP – 3080, 1973.

[10] Phillips W J. Band-Model Parameters for 4.3 μm CO₂ Band in the 300~1000 K Temperature Region[J]. J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 1992, 48 (1): 91– 104.

[11] Rothman L S. The HITRAN Molecular Spectroscopic Database and HAWKS (HITRAN Atmospheric Workstation): 1996 Edition[J]. JQSRT, 1998, 60(5): 665 – 710.

[12] Young S J. Nonisothermal band model theory [J]. J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 1976, 18: 1– 28.

[13] 王福恒, 王嵩薇. 原子分子辐射理论[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991.

[14] Scutaru D. Measurements and Calculations of CO₂ Absorption at High Temperature in the 4.3 μm and 2.7 μm Regions[J]. J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 1993, 50(2): 179– 191.

[15] Ferriso C C, et al. Spectral Emissivities and Integrated Intensities of the 2.7 μm CO₂ Band between 1200 and 1800 K[J]. J Optical Society of America, 1964, 54(5): 657– 662.

[16] Ludwig C B, et al. High-Temperature Spectral Emissivities and Total Intensities of 15 μm Band System of CO₂[J]. J Optical Society of America, 1966, 56(12): 1685– 1692.

(责任编辑 杨再荣)

Narrow Band Model Parameters of High Temperature Radiation for Carbon Dioxide of Combustion Products

DONG Shi-kui, YU Qi-zheng, TAN He-ping, HE Zhi-hong

(Harbin Institute of Technology, School of Energy Science and Engineering, Harbin 150001, China)

Abstract: CG approximation and LS approximation associated with narrow band model can be utilized to deal with radiation heat transfer problem in non-gray, non-isothermal and inhomogeneous media. Therefore, they are broadly adopted in studying high-temperature gas radiation transfer problem in engine combustor and plume of high speed flying vehicles. Carbon dioxide is a primary combustion product of carbonaceous propellant and the close attention has been paid on studying its radiative properties. But some of today’s narrow band model parameters are obtained by fitting to experimental data and the spectral resolution is too low; some could not overlay near, middle and far infrared spectral region, or precision of some parameters is too bad; particularly high temperature data of over 2000 K are lacking. In this paper, by making use of the up-to-date high resolution and high temperature flame gas spectral database-HITEMP (serial number: 3153), and parameters such as line strength, self-broadened half-width, and air-broadened half-width in HITEMP database being extrapolated to 300~3000 K, new carbon dioxide parameters, such as mean absorption coefficient, line density and mean half-width are obtained. Based on these parameters and narrow band model, the emissivity and transmissivity are evaluated under different temperature, pressure and optical path conditions. Results show a good agreement with Scutaru, Ferriso, Ludwig’s experimental values.

Key words: high temperature radiation; carbon dioxide; narrow band parameters