
問 題 討 論

評“1960 年的 Elsasser 輻射图与山本輻射图”
兼对“几个輻射图解的比較”一文的意見

大气长波輻射的图解法最早由 Mügge 和 Möller (1932) 研究^[1]。Elsasser (1942)^[2] 則提出便于使用的 Elsasser 輻射图解。此后,大量作者提出了許多新的图解,其中比較成功的为山本图解^[3]。1960 年, Elsasser 等^[4] 根据最新的吸收光谱实验資料重新給出了輻射图解。在山本^[3]与 Elsasser (1960)^[4] 的論文中,用了很多篇幅討論了广义吸收系数随温度的变化,并指出广义吸收系数随温度的变化对大气长波輻射传输起着重要作用。他們认为在他們的輻射图中已經考虑其温度效应,但是,事实上,在他們的图中并没有完全考虑其温度效应。为了便于討論起見,我們简单地介紹一下他們輻射图解的基本原理:

对某一层吸收介質而言,其向上和向下长波輻射由文献[3]得:

$$v = \int_0^\infty v_\nu d\nu = \int_0^\infty B_\nu(T_z) d\nu + \int_0^{T_0} \int_{T_z} \frac{dB_\nu(T)}{dT} \tau_f(l_\nu, u) dT d\nu. \quad (1)$$

$$D = \int_0^\infty D_\nu d\nu = \int_0^\infty B_\nu(T_z) d\nu - \int_0^\infty B_\nu(T_\infty) \tau_f(l_\nu, u_\infty) d\nu - \int_0^{T_\infty} \int_{T_\infty} \frac{dB_\nu(T)}{dT} \tau_f(l_\nu, u) dT d\nu. \quad (2)$$

所有的符号意义与文献[3]中的相同。山本令:

$$\int_0^\infty \frac{dB_\nu(T)}{dT} \tau_f(l_\nu, u) d\nu = \frac{dB(T)}{dT} \overline{\tau_f[u(T)]}. \quad (3)$$

这样山本^[3]将(1)式与(2)式改写为:

$$v = B(T_z) + \int_{T_z}^{T_0} \frac{dB(T)}{dT} \overline{\tau_f[u(T)]} dT = B(T_z) + \int_{B(T_z)}^{B(T_0)} \overline{\tau_f[u(T)]} dB. \quad (4)$$

$$D = B(T_z) - \int_0^{B(T_\infty)} \overline{\tau_f[u_\infty(T_\infty)]} dB - \int_{B(T_\infty)}^{B(T_z)} \overline{\tau_f[u(T)]} dB. \quad (5)$$

Elsasser 等則令:

$$\int_0^\infty \frac{dB_\nu(T)}{dT} \tau_f(l_\nu, u) d\nu = Q(u, T). \quad (6)$$

这样 Elsasser 将(1)式和(2)式改写为

$$v = \int_0^{T_z} Q(0, T) dT + \int_{T_z}^{T_0} Q(u, T) dT. \quad (7)$$

$$D = \int_0^{T_z} Q(0, T) dT + \int_{T_\infty}^0 Q(u_\infty, T) dT + \int_{T_z}^{T_\infty} Q(u, T) dT. \quad (8)$$

山本与 Elsasser 认为在(1), (2)式轉变为(4), (5)式以及(7), (8)式时沒有作任何假定。事实上,在(2)式右端第一項和第三項,根据(3), (6)两式即可轉化为(5), (8)两式右

端第一項与第三項,而(2)式中第二項并不等于(5),(8)式中右端的第二項,我們可以將(2)式第二項改寫为:

$$\int_0^{\infty} B_{\nu}(T_{\infty})\tau_f(l_{\nu}, u_{\infty})d\nu = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{dB_{\nu}(T)}{dT}\tau_f(l_{\nu}, u_{\infty})d\nu dT + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} B_{\nu}(T) \frac{d\tau_f(l_{\nu}, u_{\infty})}{dT} d\nu dT. \quad (9)$$

与(5),(8)式相比,不論在(5)或(8)式中都忽略了(9)式右端第二項,这只有在假定 τ_f 不随温度而变即广义吸收系数 l_{ν} 不随温度而变的情况下才能成立,由此可以看出,在Elsasser图与山本图中,虽然在其它項内考虑了温度效应,但作为总的向下辐射而言,它还是部分地忽略了广义吸收系数的温度效应.由于 $\frac{\partial \tau_f(l_{\nu}, u)}{\partial T} = \frac{\partial \tau_f(l_{\nu}, u)}{\partial l_{\nu}} \cdot \frac{\partial l_{\nu}}{\partial T} < 0$ ^[5],所以图解計算的向下辐射会过大一些.

根据(9)式,不难看出,文献[6]应用文献[4]的(83)式来計算放射率 ϵ_f 看来是有問題的,因为文献[4]中(83)式丢掉了(9)式右端的第二項,也就是应用了广义吸收系数不随温度变化的假定.这样計算出来的 ϵ_f 显然要过小一些,一般比正确的計算放射率 ϵ_f 要小10%左右,甚至更大一些.正确的計算放射率公式应为:

$$\begin{aligned} \epsilon_f &= \frac{1}{B} \int_{u=\text{const}} [1 - \tau_f(l_{\nu}, u)] B_{\nu} d\nu = \frac{1}{B} \int_{u=\text{const}} [1 - Q(u, T)] dT - \\ &\quad - \frac{1}{B} \int_0^T \int_0^{\infty} B_{\nu}(T) \frac{d\tau_f(l_{\nu}, u)}{dT} d\nu dT \\ &= \frac{1}{B} \int_{u=\text{const}} R dT - \frac{1}{B} \int_0^T \int_0^{\infty} B_{\nu}(T) \frac{d\tau_f(l_{\nu}, u)}{dT} d\nu dT. \end{aligned} \quad (10)$$

或者現在常用的公式:

$$\epsilon_f = [1 - \overline{\tau_f(l_{\nu}, u)}] + \frac{1}{\frac{dB}{dT}} \int_0^{\infty} B_{\nu} \frac{d\tau_f(l_{\nu}, u)}{dT} d\nu. \quad (11)$$

看来,目前所有的图解,除了都作了极端簡化的強綫近似假定外,还都假定了广义吸收系数不随温度变化.而1960年的Elsasser图和山本图由于部分地考虑了广义吸收系数随温度的变化,这样它只是在計算向下辐射时有些誤差,就这个意义上讲,它比其它辐射图在原理上略好一些.至于利用文献[4]中(83)式来計算放射率 ϵ_f 那显然是有問題的,它实际上同Robinson等人計算 ϵ_f 时犯了同样的毛病.

参 考 文 献

- [1] Mügge, R 和 Möller, F., *Zeits. f. Geophys.*, **84** (1932), 53.
- [2] Elsasser, W. M., *Harvard. Met. Studies.*, No. 6, 1942.
- [3] Yamamoto, G. (山本义一), *Sci. Rep. Tôhoku. Univ.*, **4** (1952), 9—21.
- [4] Elsasser, W. M. 和 Culberston, M. F., *Met. monographs*, **4** (1960), 1—43.
- [5] Yamamoto, G. (山本义一), *Sci. Rep. Tôhoku. Univ.*, **4** (1952), 98—99.
- [6] 周允华,李玉海,左大康, *气象学报*, **34** (1964), 135—145.

陈隆勛、龔知本

(中国科学院地球物理研究所)