

关于林克浑浊因子 T_L 的计算方法

王炳忠 刘庚山

(气象科学研究院)

提 要

通过对文献中所用的几种林克浑浊因子的查算表格和计算公式的分析,发现以往的方法大多对大气中的臭氧、二氧化碳和氮等气体对太阳辐射的吸收考虑不周,从而使得用这些方法求出的结果系统偏大。

文中给出了利用最新科研成果资料所得到的计算公式和查算表,可供使用。

一、引 言

在表征大气浑浊状况的气象参数中,最具代表性的是借助太阳光度计或绝对直接日射表加专用滤光片测得数据,再按有关公式计算出来的 $\text{Angstr\ddot{o}m}$ 浑浊系数 β 了。

但是由于上述仪器并未普及,因此,不仅面上的情况无法知晓,历史演变状态更无从了解。日射观测站点尽管较一般气象要素的观测站稀疏得多,但毕竟在全国范围内有均匀的分布,且已积累了近30年的资料,其中包括法向直接日射辐照度。因此,利用这些资料借以了解我国大气的浑浊状况,还是十分有意义的。

利用林克浑浊因子表示大气浑浊状况,尽管有将水汽消光混于其中的不足之处,但是,由于它计算简便,无需专门设备,又可以充分利用已有资料了解其近代的演变态势,因而得到了广泛的应用,特别是西欧、日本等国(1、2)。早在举办国际地球物理年之际,就曾出版过指导手册,其中给出了林克浑浊因子的查算表。但是,这张表过于简化了,以致在多数情况下还需用户内插。

1980年Kasten为了便于查算,推导出经验计算式(3)。1986年Louche等人根据新的大气透射资料得到了另一经验计算式(4)。通过对比发现, Kasten的公式系统偏低,但作者并未分析原因。应当指出, Louche的计算结果,客观上与我们在1982年编制的查算表的结果接近(5)。因此产生了到底应如何计算林克浑浊因子的问题?本文试图做一探讨。

二、林克浑浊因子 T_L 的定义

根据 Bouguer-Lambert定律,单色太阳辐射通过大气可表示为

$$E_{\lambda}(m) = E_{0,\lambda} e^{-a_{\lambda} m} \quad (1)$$

式中, $E_{\lambda}(m)$ 为透过大气到达地表被观测到的波长为 λ 的法向直射光谱辐照度, $E_{0,\lambda}$ 为地外法向直射光谱辐照度, a_{λ} 为大气消光系数, m 为大气光学质量。

由于大气由多种成分组成,各种成分对日射的影响是不同的,其中包括空气分子散射(以下标 R 表示)、臭氧吸收(O)、 CO_2 、 N 等气体的吸收(X)、水汽吸收(W)和气溶胶散射(A)等。

对于一般大气来说, a_λ 可以写做:

$$a_\lambda = a_{R, \lambda} + a_{O, \lambda} + a_{X, \lambda} + a_{W, \lambda} + a_{A, \lambda} \quad (2)$$

相对于积分辐照度, 则有

$$\bar{a} = \bar{a}_R + \bar{a}_O + \bar{a}_X + \bar{a}_W + \bar{a}_A \quad (3)$$

这样, (1)式就可写做

$$E(m) = E_0 e^{-\bar{a}m} \quad (4)$$

根据定义, 林克浑浊因子, 就是在干洁大气中, 若达到与实际大气相同的浑浊程度时要求增加干洁大气的倍数。所谓干洁大气, 即无污染的大气, 不含水汽和气溶胶, 其余成分则与实际大气相同。这样, 对于干洁大气来说, (3)式就变为

$$\bar{a}_L = \bar{a}_R + \bar{a}_O + \bar{a}_X \quad (5)$$

这时, 林克浑浊因子 T_L 可以表达为

$$T_L = \frac{\bar{a}}{\bar{a}_L} = \frac{\lg E_0 - \lg E(m)}{\lg E_0 - \lg E_L(m)} \quad (6)$$

式中 $E_L(m)$ 为干洁大气中地表法向直射辐照度。它的计算, 由于不涉及水汽、气溶胶等随机变量, 问题就简单得多, 具体的计算方法可参阅文献[6]。

为了便于应用, T_L 一般不按 (6) 式计算, 而是引入

$$p(m) = 1/[\lg E_0 - \lg E_L(m)] \quad (7)$$

并列不同 m 时的 $p(m)$ 查算表。

这时

$$T_L = P(m) \lg [E_0 / E(m)] \quad (8)$$

关键是不同作者给出的 $p(m)$ 查算表互有出入。

三、几种 $p(m)$ 值的比较

根据我们所能收集到的资料, 参与比较的有如下几种:

1. 国际地球物理年指导手册提供的查算表⁽¹⁾, 以IGY表示;

2. 日本地面气象观测常用表中所附的查算表⁽²⁾, 以JMT表示;

3. Kasten 提出的 \bar{a}_L 计算公式⁽³⁾

$$\bar{a}_L = (0.9m + 9.4)^{-1}$$

以KAS表示;

4. 我们在1982年提供的查算表⁽⁵⁾, 以WBZ表示;

5. Louche等提供的 \bar{a}_L 计算公式⁽⁴⁾

$$\bar{a}_L = (6.5567 + 1.7513m - 0.1202 m^2 + 0.0065 m^3 - 0.00013 m^4)^{-1},$$

以LPI表示。

由于不同作者给出的并非同一参数值, 为了比较, 我们都将其换算成若干固定 m 值的 $p(m)$ 值, 结果列于表1。

从表1可以看到, 在数值上, 前3种为一组, 后两种为另一组。组内差距不大, 组间则差异明显。

表 1 几种 $p(m)$ 值的比较

m	IGY	JMT	KAS	WBZ	LPI
1	23.2	23.7	23.71	18.92	18.87
2	12.9	12.9	12.89	11.36	11.09
3	9.35	9.36	9.29	8.55	8.36
4	7.55	7.52	7.48	7.04	6.92
5	6.46	6.44	6.40	6.10	6.00
8	4.77	4.99*	4.78	4.59	4.51
10	4.19	4.77*	4.24	4.06	3.97

* 原表中无此值, 系推算值。

何以出现这样的差异? 日本气象常用表并未说明其附表制做的依据, 因而无从讨论。而国际地球物理年指导手册中, 曾明确给出

$$\bar{a} = \bar{a}_R + \bar{a}_W + \bar{a}_A$$

甚至将 \bar{a}_R 称为瑞利大气的积分光学厚度, 并给出了 Moller 的计算式⁽⁸⁾

$$\bar{a}_R = 0.00897 \lambda^{-4.09}$$

显然, 这里忽略了臭氧和其他气体对日射的吸收。

在Kasten的文章中, 虽然提到了臭氧吸收, 但作者将其并入 \bar{a}_R 中考虑。至于具体是怎样考虑, 也未交待, 只说所用资料取自文献[7]。文献[7]系30年代作品, 显然过于陈旧了。

Louche等在文章中明确提到了应考虑

臭氧和其他气体的吸收作用,并指出数据采自文献[9、10]。这显然优于Kasten的。

我们在1982年计算中所依据的是Сивков的资料[11],它对各种气体的吸收做了较全面的考虑。

对这个问题我们的看法是,首先,对臭氧和其它气体的影响是必须考虑的,若不予考虑,而在实际大气中又客观地存在着这些气体,势必人为地扩大 T_L 公式分子、分母间的差距,使结果值系统地偏高。其次,严格地讲,Bouguer-Lambert定律只适用于单色辐射,因此波段取得越窄,计算结果越准确。Сивков在计算中总计划分为44波段,显得粗放了些,并且其他气体的吸收值用的是1928年的资料[12],也过于陈旧了。再次,太阳常数的取值对 $p(m)$ 值也是有影响的。旧太阳常数偏高,宜取最新值 1367W/m^2 。另外,由于 T_L 是我国日射观测规范中新列的项目,不必顾虑资料前后的可比性问题。总之,有必要根据现代科研最新成果重新计算 $p(m)$ 值。

四、 $p(m)$ 值的最新计算结果

我们所取的波段总数共计120个。具体的计算方法和步骤,参见文献[6]。气体散射和吸收数据取自美国现代科研成果[13]。

为了说明考虑大气中各种成分的重要性的必要性,我们采用了依次省略成分的办法,计算出 $p(m)$ 值来,结果如表2所列。

表2 不同大气成分对 $p(m)$ 值的影响

m	$\bar{a}_R + \bar{a}_O + \bar{a}_X$	$\bar{a}_R + \bar{a}_O$	\bar{a}_R
1	18.01	20.83	23.77
2	10.69	12.36	13.79
3	7.96	9.20	10.29
4	6.51	7.52	8.45
5	5.60	6.47	7.31
8	4.16	4.81	5.49
10	3.65	4.22	4.83

从表2不难看出, $p(m)$ 值有随成分省略

增多而增长的趋势。更重要的是,如将表1中前3种 $p(m)$ 值与表2中最后两列的值进行比较可以发现,当 $m=1$ 时,表1前3列与表2最后1列相近;当 m 为其它值时,与表2中的第2列相近。这进一步证明前3种 $p(m)$ 值确实没有考虑其他气体的吸收作用。对臭氧的作用也考虑得不够充分。这与 T_L 的定义是不相符的。

为了便于应用,我们将 $p(m)$ 值的计算结果列于表3。

此外,为了便于微机操作,将表3所展示的 $p(m)$ 与 m 之间的关系,利用高次曲线拟合技术,得到下列计算式:

对于 $2.0 \geq m \geq 0.5$ 段

$$p(m) = 18.026m^{-0.7582} \quad (9)$$

对于 $6.4 \geq m > 2.0$ 段

$$p(m) = 24.90251 + 11.75731m + 2.99189m^2 - 0.37277m^3 + 0.01807m^4 \quad (10)$$

(9)式的误差是:在 $0.65 > m \geq 0.5$ 的范围内,随着 m 值的下降,从0.03增至0.06,在其余范围内 $\leq \pm 0.02$ 。(10)式的误差为 $\leq \pm 0.02$ 。

五、几点结论

1. 国际地球物理年指导手册、日本气象常用表和Kasten提供的 $p(m)$ 查算表或 \bar{a}_L 计算式,由于历史的原因,与林克原拟定的 T_L 定义不完全相符。

2. 我们在文献[5]中给出的 $p(m)$ 查算表以及Louche等提供的 \bar{a}_L 计算式,没有上述弊病,但仍不够精确。

3. 干洁大气中的消光作用,不仅限于瑞利散射,臭氧和其他气体的吸收作用不容忽视。

4. 文中所列的 $p(m)$ 值查算表,反映了当代的科技成果,可供使用。

表 3

p(m)值查算表

p(m)值查算表											p(m)值查算表										
0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09		
0.50	30.55	30.09	29.65	29.22	28.81	28.41	28.02	27.65	27.28	26.93	3.50	7.14	7.13	7.11	7.10	7.09	7.07	7.06	7.04	7.03	7.02
0.60	26.59	26.28	25.93	25.62	25.31	25.01	24.72	24.44	24.17	23.90	3.60	7.00	6.99	6.98	6.96	6.95	6.94	6.92	6.91	6.90	6.88
0.70	23.64	23.38	23.14	22.89	22.66	22.43	22.20	21.98	21.76	21.55	3.70	6.87	6.86	6.85	6.83	6.82	6.81	6.80	6.78	6.77	6.76
0.80	21.35	21.15	20.95	20.76	20.57	20.38	20.20	20.02	19.85	19.68	3.80	6.75	6.73	6.72	6.71	6.70	6.69	6.67	6.66	6.65	6.64
0.90	19.51	19.35	19.19	19.03	18.88	18.72	18.58	18.43	18.29	18.15	3.90	6.63	6.61	6.60	6.59	6.58	6.57	6.56	6.55	6.53	6.52
1.00	18.01	17.87	17.74	17.61	17.48	17.35	17.23	17.10	16.98	16.86	4.00	6.51	6.50	6.49	6.48	6.47	6.46	6.45	6.44	6.42	6.41
1.10	16.75	16.63	16.52	16.41	16.30	16.19	16.09	15.98	15.88	15.78	4.10	6.40	6.39	6.38	6.37	6.36	6.35	6.34	6.33	6.32	6.31
1.20	15.68	15.58	15.48	15.39	15.29	15.20	15.11	15.02	14.93	14.84	4.20	6.30	6.29	6.28	6.27	6.26	6.25	6.24	6.23	6.22	6.21
1.30	14.75	14.67	14.59	14.50	14.42	14.34	14.26	14.18	14.10	14.03	4.30	6.20	6.19	6.18	6.17	6.16	6.15	6.14	6.13	6.12	6.11
1.40	13.95	13.88	13.80	13.73	13.66	13.59	13.52	13.45	13.38	13.31	4.40	6.10	6.09	6.08	6.08	6.07	6.06	6.05	6.04	6.03	6.02
1.50	13.25	13.18	13.11	13.05	12.99	12.92	12.86	12.80	12.74	12.68	4.50	6.01	6.00	5.99	5.98	5.98	5.97	5.96	5.95	5.94	5.93
1.60	12.62	12.56	12.50	12.44	12.39	12.33	12.28	12.22	12.17	12.11	4.60	5.92	5.91	5.91	5.90	5.89	5.88	5.87	5.86	5.86	5.85
1.70	12.06	12.01	11.95	11.90	11.85	11.80	11.75	11.70	11.65	11.60	4.70	5.84	5.83	5.82	5.81	5.81	5.80	5.79	5.78	5.77	5.77
1.80	11.56	11.51	11.46	11.41	11.37	11.32	11.28	11.23	11.19	11.14	4.80	5.76	5.75	5.74	5.73	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.69
1.90	11.10	11.06	11.02	10.97	10.93	10.89	10.85	10.81	10.77	10.73	4.90	5.68	5.67	5.66	5.66	5.65	5.64	5.63	5.63	5.62	5.61
2.00	10.69	10.65	10.61	10.57	10.53	10.49	10.46	10.42	10.38	10.35	5.00	5.60	5.60	5.59	5.58	5.57	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54
2.10	10.31	10.27	10.24	10.20	10.17	10.13	10.10	10.06	10.03	10.00	5.10	5.53	5.52	5.52	5.51	5.50	5.50	5.49	5.48	5.47	5.47
2.20	9.95	9.93	9.90	9.86	9.83	9.80	9.77	9.74	9.71	9.67	5.20	5.46	5.45	5.45	5.44	5.43	5.43	5.42	5.41	5.41	5.40
2.30	9.64	9.64	9.58	9.55	9.52	9.49	9.46	9.44	9.41	9.38	5.30	5.39	5.39	5.38	5.37	5.37	5.36	5.35	5.35	5.34	5.33
2.40	9.35	9.32	9.29	9.27	9.24	9.21	9.18	9.16	9.13	9.10	5.40	5.33	5.32	5.31	5.31	5.30	5.30	5.29	5.28	5.28	5.27
2.50	9.08	9.05	9.02	9.00	8.97	8.95	8.92	8.90	8.87	8.85	5.50	5.26	5.26	5.25	5.25	5.24	5.23	5.23	5.22	5.21	5.21
2.60	8.82	8.80	8.77	8.75	8.73	8.70	8.68	8.65	8.63	8.61	5.60	5.20	5.20	5.19	5.18	5.18	5.17	5.17	5.16	5.15	5.15
2.70	8.59	8.56	8.54	8.52	8.50	8.47	8.45	8.43	8.41	8.39	5.70	5.14	5.14	5.13	5.13	5.12	5.11	5.11	5.10	5.10	5.09
2.80	8.36	8.34	8.32	8.30	8.28	8.26	8.24	8.22	8.20	8.18	5.80	5.09	5.08	5.07	5.07	5.06	5.06	5.05	5.05	5.04	5.04
2.90	8.16	8.14	8.12	8.10	8.08	8.06	8.04	8.02	8.00	7.98	5.90	5.03	5.02	5.02	5.01	5.01	5.00	5.00	4.99	4.99	4.98
3.00	7.96	7.94	7.92	7.91	7.89	7.87	7.85	7.83	7.81	7.80	6.00	4.98	4.97	4.97	4.96	4.96	4.95	4.94	4.94	4.93	4.93
3.10	7.78	7.76	7.74	7.73	7.71	7.69	7.67	7.66	7.64	7.62	6.10	4.92	4.92	4.91	4.91	4.90	4.90	4.89	4.89	4.88	4.88
3.20	7.61	7.59	7.57	7.56	7.54	7.52	7.51	7.49	7.47	7.46	6.20	4.87	4.87	4.86	4.86	4.85	4.85	4.84	4.84	4.83	4.83
3.30	7.44	7.43	7.41	7.40	7.38	7.36	7.35	7.33	7.32	7.30	6.30	4.82	4.82	4.81	4.81	4.80	4.80	4.80	4.79	4.79	4.78
3.40	7.29	7.27	7.26	7.24	7.23	7.21	7.20	7.19	7.17	7.16	6.40	4.78	4.77	4.77	4.76	4.76	4.75	4.75	4.74	4.74	4.73

参 考 文 献

- (1) IGY Instruction Manual, Part V, Radiation instrument and measurements, Annals of the International Geophysical Year, Vol. V, 1958.
- (2) 地上气象观测常用表, 日本气象庁, 1977.
- (3) Kasten F., A simple parameterisation of the pyrheliometric formula for determining the Linke Turbidity Factor, Meteorologische Rundschau, 33, 124—127, 1980.
- (4) Louche A., G Peri and M. Iqbal, An analysis of Linke turbidity factor, Solar Energy, 37, 393—396, 1986.
- (5) 王炳忠, 潘根娣, 我国大气混浊因子的计算及其分布, 气象, 1982年, 第1期, 6—8.
- (6) 王炳忠, 太阳辐射在理想大气中的衰减, 太阳能学报, 第3卷, 第4期, 374—387, 1982.
- (7) Feussner, K., Dubois, P.: Trubungsfaktor, precipitable water Staub. Gerlands Beitr.

Geophys. 27, 132—175, 1930.

- (8) Möller, F., Strahlung in der unteren Atmosphäre. Handbuch der Physik, Vol. 48, 1956.
- (9) Iqbal, M. An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, 1983.
- (10) Bird, R., and C. Riordan, Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the earth's surface for cloudless atmosphere. SER/TR-215-2436 SERI, 1984.
- (11) Сивков С.Н. Методы Расчета характеристик Солнечной радиации Гидрометиздат, 1968.
- (12) Кастров В.Г., Прозрачность абсолютно чистой и сухой атмосферы для солнечной радиации, Известия крымского педагогического института, 1928г. г. т. 2.
- (13) McClatchey, et al, Optical properties of the Atmosphere (Third Edition). AFCRL-72-0497, AD-753075, 1972.

A method of calculating the Linke turbidity factor (TL)

Wang Bingzhong Liu Gengshan
(Academy of Meteorological Science)

Abstract

In this paper, based on several tables and computing formulas of the Linke turbidity factor suggested in the literatures, it is found that the absorptions of solar radiation by some gases, such as O₃, CO₂, N, etc. in atmosphere, haven't carefully been considered in the most old methods, thus producing the greater systematic errors compared with the real values. Here, the computing formulas and tables obtained from the most recent research progress could made their contributions to the applications.