

关于帕斯奎尔稳定度类别的云量判别 及入射太阳辐射量判别方法的研究

徐大海

(气象科学研究院)

提 要

本文给出了有云天空入射太阳辐射量计算式,将Pasquill稳定度类别的Turner(或Gordon)判别法与Smith判别法直接联系起来。说明按有效云量即总云量与低云量之和的一半所判别的太阳辐射强度指数,将使Turner方法更简单、准确。

一、引言

局地大气扩散问题的处理常常基于高斯模式,相应的扩散参数估计一般都用Pasquill分类法。在我国近20年来Pasquill分类法得到了极其广泛的应用,特别是用云量与太阳高度角给出太阳辐射指数的Turner法,在实际工程中应用更为广泛。随着日射测量技术的发展,以入射太阳辐射量直接分类的Smith方法在我国也日益受到关注。目前这两种分类方法之间的关系尚未有较清晰的分析,从而产生了许多实际应用问题。本文就此作出一些定量的分析并提出改进意见。

二、分类方法分析

Pasquill于1961年正式发表了使用10m高地面风速、日射状态、天空状态,进行大气湍流参数化分类的方法^[1]。该方法将大气湍流分为6个类别(A, B, C, D, E, F),分别给出各类扩散特征,这就是Pasquill大气稳定度分类法。具体分类见表1,其中太阳辐射状态一栏仅定性分强、中、

表 1 Pasquill稳定度分类法(1961)

地表风速 (m·s ⁻¹)	(白天) 日射状态			夜 间	
	强	中	弱	全天薄云或 低云≥4/8	≤3/8 云量
< 2	A	A-B	B	*	*
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

弱三级。所谓强日射是指英格兰盛夏阳光充足的中午时的日射状态,按当地纬度(50—60°N),所对应的太阳高度角在63.4°—53.4°之间。而弱日射是指英格兰隆冬中午晴朗天空的日射状态,其太阳高度角仅为16.6°—6.6°。因此,中等日射所对应的平均太阳高度角应为上述数字的均值即35°,这些基本量就成为后来分类的基础。在表1使用时还规定日出后及日落前一小时(以下称此时日射状态为‘微日射’),不论天空云量多少,稳定度级别均为D类。表中A为强不稳定状态、B为不稳定、C为弱不稳定、D中性、E弱稳定、F稳定。表中*处有人用G表示强稳定,这时垂直扩散能力很差,

表 2

由云量、太阳高度角确定的辐射指数

云 被 状 况 (8分制云量) Gordon.1971.	总云量/低云量 (n _T) (n _L) (10分制云量) GB3840-83)	净 辐 射 指 数				
		夜 间	太 阳 高 度 角 h ₀			
			≤15°	15°-35°	35°-65°	>65°
<3/8	≤4/≤4	-2	-1	+1	+2	+3
任一高度为3/8或 4/8,16000ft以上云裂④	5-7/≤4	-1	0	+1	+2	+3
16000ft以上④, 7000 ft与16000ft之间⑤	≥8/≤4	-1	0	0	+1	+1
7000ft以下⑥	≥5/5-7	0	0	0	0	+1
7000ft以下⑦	≥8/≥8	0	0	0	0	0

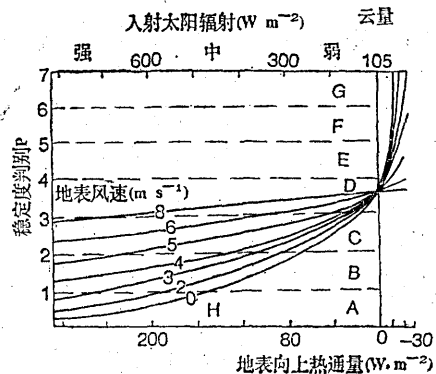
表 3 由辐射指数及地
面风速确定的稳定度级别

地面风速 m·s ⁻¹	净辐射指数 (见表1)					
	3	2	1	0	-1	-2
<2	A	A-B	B	D	(E)*	(F)*
2-3	A-B	B	C	D	E	F
3-5	B	B-C	C	D	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D	D

注: * 为Pasquill规定, 括号内字母为Gordon规定

但水平大尺度“湍流”即所谓meander现象明显, σ_z 可达C级甚至更高。表1中日射状态在有云覆盖的天空是难以掌握的。Turner^[1]在1964年用不同高度云量及太阳高度角定义了入射辐射指数, 1到4级分别对应表1中微、弱、中、强4类日射状态。但规则繁多难于应用。1971年Gordon·A·Beals^[2]将Turner方法更具体化, 详见表2、表3。在表2中的Gordon云量分组与我国云量记录配合不便, 经过对比分析后, 国家标准^[3]将Gordon云量分组改为总云量、低云量混合分组, 以适应我国气象观测记录。这种分组法因国家标准^[4]的采纳而在我国得到广泛应用。该法见表2。但是我们仍然很难定量地将这两种云量分组的效果与Pasquill原来的分类法相比较。另一方面, 1973年F·B·Smith进行数值计算模拟了扩散, 使用

湍流向上热通量作为指标, 配合风速确定稳定度级别, 同时又用太阳辐射量作为标尺, 以便在没有湍流热通量时使用。他给出的分类图如附图。后来国际原子能机构IAEA就使用太阳辐射量及夜间长波净辐射作为指数来进行分类。



附图 估计Pasquill稳定度级别的列线图
(Smith.F.B.1973)

说明: $Z_0=10\text{cm}$, 稳定度级别 $P=1\cdots7$ 相当于字母表示A---G, 无热通量时可用白天太阳辐射及夜间云量作标尺, 它大致与英国地势及天气一致

为了便于对比, 将表1、表2及附图中的Pasquill辐射状态、Gordon指数和Smith辐射量列于表4, 同时也列上了IAEA的指标。表4上前两类是定性分类, Smith是按太阳入射辐射S来分类。此外从附图还可见Smith的湍流热通量H与入射辐射S有如

表 4

各 类 辐 射 指 数 关 系

分 类 方 法	白 天 辐 射 状 态			日 出 后 及 日 落 前 一 小 时 辐 射 状 态	夜 间 状 态
Pasquill	强	中	弱	微	云量 $\geq 4/8$ <4/8
Gordon指数	+3	+2	+1	0	-1 -2
Smith入射辐射量 $W \cdot m^{-2}$	≥ 600	600-300	300-100	<100	云量 $\geq 4/8$ <4/8
IAEA (1980) 净辐射量 $W \cdot m^{-2}$	≥ 580	580-290	290-145	<145	-20 -40

下关系

$$H \approx 40 \left(\frac{S}{100} - 1 \right) W \cdot m^{-2} \quad (1)$$

夜间向下湍流热通量与云量关系近似为:

$$H \approx 28(n-10)/10 W \cdot m^{-2} \quad (2)$$

n 为云量(已换为10分制)。

由表4还可见IAEA的分类指标几乎与Smith一样,它的净辐射指标约略等于入射辐射减去长波射出辐射。

为了进一步使Pasquill与Gordon指标具有定量的概念,以便于与Smith及IAEA方法比较,必须分析天空太阳辐射与云量、太阳高度角的关系。

二、有云层天空太阳辐射的计算

K. Я. 康德拉捷夫指出[5],若大气层顶太阳常数为 S_0 ($W \cdot m^{-2}$),设经过大气光学质量 m 到达地面与光线相垂直的平面上的辐射为 S_m ($W \cdot m^{-2}$),那么有

$$S_m = S_0 (1 + C_m) \quad (3)$$

其中

$$C = \frac{1}{m} (P_m^{-m} - 1) \quad (4)$$

P_m 为大气质量为 m 时单位质量的透明度,满足下式

$$P_m = \left(\frac{S_m}{S_0} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (5)$$

P_m 由测量 S_m 及 S_0 而给出,一般干洁大气可取 $P_2 = 0.85$,即大约15%的太阳辐射消耗于散射及大气吸收,此时 C 为0.192。随着 m 改变 C 值也有所变化。例如,当 m 从1增到4(相当于太阳高度角为 15°)时, C 变化量为 ± 0.01 左右,因此可直接将 C 看成是

常数。此外大气光学质量可近似用太阳高度角 h_0 表示为

$$m = 1 / \sinh_0 \quad (6)$$

再将 S_m 投影到地平面上,那么地表面实际所受太阳辐射为 S_{m_h}

$$S_{m_h} = (S_0 \cdot \sinh_0) / (1 + C / \sinh_0) \quad (7)$$

(7)式对应于晴朗无云天空。当天空存在云层时上式不再适用,因各种云层必然反射或吸收部分太阳辐射。为了处理这种天空状态,C.И.西夫科夫使用天空晴朗函数表达云层遮光效果,该函数为

$$f(n) = 1 - n/10 \quad (8)$$

n 为有效低云量,有效低云能全部反射和吸收掉射入的太阳辐射,若假设高云与中云的遮光效果仅为有效低云的 $1/q$,而低云遮光效果同于有效低云,那么

$$n = \frac{1}{q} [n_t + (q-1)n_L] \quad (9)$$

n_t 为总云量, n_L 为低云量,都取10分制。经过统计分析后发现,若取 $q=2$,则

$$\begin{cases} f(n) = 0.97 - n/10 & n \leq 9 \\ f(n) = 0 & n > 9 \end{cases} \quad (10)$$

能与实测结果一致。根据上述结果就有

$$\begin{aligned} S &= S_{m_h} \cdot f(n) \\ &= S_0 \cdot \sinh_0 \cdot (0.97 - n/10) / \\ &\quad (1 + 0.192 / \sinh_0) \end{aligned} \quad (11)$$

S 表示当太阳高度角为 h_0 ,有效云量为 n 时地表面(水平面)上所接受的太阳辐射, S_0 为太阳常数取 $1.98 \text{ cal} / (\text{cm}^2 \cdot \text{min})$,约为 $1381 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。有效云量 n 为

$$n = \frac{1}{2}(n_L + n_T) \quad (12)$$

太阳高度角 h_0 为

$$h_0 = \arcsin [\sin \phi \sin \delta + \cos \delta \cos \phi \cos (15t - 180^\circ)] \quad (13)$$

ϕ 为当地纬度, t 为当地地方时, δ 为太阳倾角, 可用下式计算

$$\begin{aligned} \delta = & [0.006918 - 0.399912 \cos \theta_0 \\ & + 0.070257 \sin \theta_0 - 0.006758 \cos 2\theta_0 \\ & + 0.000907 \sin 2\theta_0 - 0.002697 \cos 3\theta_0 \\ & + 0.001480 \sin 3\theta_0] \times 180^\circ / \pi \quad (14) \end{aligned}$$

式中 $\theta_0 = 360dn/365$, dn 为一年中日期顺序, $0, 1, \dots, 364$ 。至此任一地区白天任意云层情况下的地面所接受的太阳辐射 S 可用 (11) 式计算。这里将上述 Pasquill 分类辐射强度及 GB3840-83 辐射指数所对应的 S 值列于表 5。

表 5 各类辐射指标所对应的值

Pasquill	强	中	弱	微
$S(W \cdot m^{-2})$	≥ 860	~ 570	225—56	< 195
GB3840-83	+3	+2	+1	0
$S(W \cdot m^{-2})$	≥ 430	(994—247) 338—279	(635—75) 382—76	< 160
Smith	强	中	弱	微
$S(W \cdot m^{-2})$	≥ 600	600—300	300—100	< 100

表 5 中 Pasquill 强 S 值由英国夏至晴空中午太阳高度角给出, 弱 S 由冬至晴空中午太阳高度角给出, 微 S 由 $h_0 = 15^\circ$ 给出, 中 S 由 $h_0 = 35^\circ$ 给出。GB3840-83 中 S 值由各组平均云量算出, 加括号者表示有可能出现的范围值。从表中可见三者差异都比较大。GB3840-83 的平均 S 值与 Smith 值虽相近, 但可能变化幅度很大, 从而使得弱辐射指数出现频率估计偏高, 这可能是 GB3840 指定选取扩散参数需提级的原因之一。若直接使用有效云量 n (12 式定义) 及太阳高度角来确定辐射指数, 则能完全避免档次混淆的问题。例如使用 (11) 式计算值定义的辐射指数 (表 6), 就十分明确, 无含混的类别出现,

表 6 有效云量 $n = \frac{1}{2}(n_L + n_T)$ 与 h_0 所确定的辐射指数 (计算结果)

n	太阳高度角 h_0 (度)											夜间			
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65		70	75	80
0	n=0											$n \leq 4$			
1	+3 $s \geq 600, W/m^2$											-2			
2															
3	n=3														
4	+2														
5	600 > $s \geq 300, W/m^2$											$5 \leq n < 7$			
6	n=5											-1			
7	+1											$n \geq 7$			
8	300 > $s \geq 100, W/m^2$											0			
9	s < 100, W/m^2														
10															

* $h_0 < 15^\circ$ 时, 辐射指数取为零

高指数的频率有所增加。

表 6 事实上就是云量分类法与 Smith 分类法合成的方法, 它有二者的优点, 克服了 GB3840-83 中判别混淆及 Smith 法中太阳辐射量较难求取的弱点。但考虑到和传统的简洁形式相一致, 表 6 缩简成表 7, 由表 7 代替表 2 配合表 3 以求取稳定度类别, 在物理意义上及数量上不严格成份将有较大幅度的减少。表中 $h_0 < 15^\circ$ 时, $n \leq 3$ 的辐射指数为 -1, 这是因为考虑到云量少时, 地面长波向外辐射量较大, 超过太阳直接辐射几率较大。按表 7, 高辐射指数出现几率较表 2 为多, 因为出现高指数的太阳高度角有所下降, 但比表 6 略少, 因为考虑到太阳高度较低时, 阳光所通过的大气层中的长波吸收系数比较大,

表 7 有效云量和太阳高度角 (度) 所决定的辐射指数 (修正)

有效云量* ($n_L + n_T$) /2	夜间	太阳高度角 h_0			
		$\leq 15^\circ$	$15^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 55^\circ$	$> 55^\circ$
≤ 3	-2	-1	1	2	3
4—6	-1	0	1	2	2
7	0	0	1	1	1
8	0	0	0	1	1
9—10	0	0	0	0	0

* 云量取十分制, n_L 为低云量, n_T 为总云量
因此大气光学质量中除 $\sin h_0$ 的增加外, 还应增加一部分以补偿长波吸收系数的增加, 因此表 7 的取值介于表 6 与表 2 之间。

一般情形下, 可用公式 (11) — (14) 直接计算日射量再根据风速分组由表 3 或附图确定稳定度级别, 相应选取 Pasquill-Gifford

参数或Smith参数为好。

当然,更进一步的工作还有很多,如大气透明度 P_m ,高云、中云遮光效应 q 等等都需要进行野外观测给出更有根据的结果,因为日射量的准确计算不仅对稳定度的划分具有意义,而且在近地层大气湍流扩散、热量输送等许多方面也具有很大意义。鉴于未来Pasquill分类法主要用于处理历史气象数据,因此即使只有平均意义的 P_m 及 q 值在统计意义上也是合理可用的。

三、结论

使用非晴朗天空太阳辐射量公式分析了目前通用的云量太阳高度角划分日射指数的分类表后,发现该方法与Smith方法或Pasquill原法相比,尽管在平均上相似,但在具体个例上会有较大出入,总体偏向小指数值。同时还应指出,用上述有云日射公式求

算日射量或使用有效云量与太阳高度角给出日射指数(表6),将会兼备云量法及Smith日射法二者优点且方法简便科学性强。

为了使此方法得到发展,进一步研究适合我国地理气候条件的大气透明度及低、高云遮光效率比 q 将有重要意义。

参 考 文 献

- (1) Pasquill, F and F.B Smith, Atmospheric Diffusion, Third Edition, Ellis Horwood Limited 1983, PP 336—337.
- (2) Gordon, A. Beals, Guide To local Diffusion of Air Pollutants, A. W. S., Scott A F B, Illinois, AD 726 984. May 1971, P85.
- (3) 徐大海等,我国大气稳定度频率的分布,环境科学学报, Vol. 3 No. 1, 1983.
- (4) GB3840—83, 制定地方大气污染物排放标准的技术原则和方法,中国国家标准出版社, 1983, P40.
- (5) K. Я. 康德拉捷夫著,李怀瑾等译,太阳辐射能,科学出版社,1962年.

A study on the relationship between cloud amount and incoming solar radiation in Pasquill stability categories

Xu Dahai

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

In this paper, the formulas calculating the incoming solar radiation through cloudy sky are given to connect Turner's (or Gordon's) approach and Smith's approach to Pasquill stability categories. It is also pointed out in the paper that the effective cloud amount defined as a half of the sum of total cloud cover and low-level cloud amount may simplify the cloud criteria and improve the accuracy in Turner's approach.