



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 69—2024
代替 QX/T 69—2007

气溶胶光学厚度 太阳光度计法

Aerosol optical depth—Sunphotometric method

2024-08-16 发布

2024-12-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 太阳光度计反演计算方法 1

 4.1 方法原理 1

 4.2 参数计算方法 2

 4.2.1 日地距离校正因子 2

 4.2.2 大气光学质量 2

 4.2.3 大气分子瑞利散射光学厚度 2

 4.2.4 大气中吸收气体的光学厚度 3

参考文献 4

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 QX/T 69—2007《大气浑浊度观测 太阳光度计方法》，与 QX/T 69—2007 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 将“大气浑浊度”修改为“气溶胶光学厚度”；
- 删除了“辐射通量”“辐照度”“分光辐照度”“散射”“散射系数”“吸收系数”“消光”“消光系数”“光学厚度”“大气浑浊度”“埃斯特朗浑浊度系数”“许埃普浑浊度因子”等术语（见 2007 年版的 3.1—3.5、3.7—3.9、3.11、3.13—3.15）；
- 修改了“瑞利散射”“大气光学质量”“[大气]气溶胶光学厚度”等术语（见 3.1、3.2、3.3，2007 年版的 3.6、3.10、3.12）；
- 删除了测量仪器、仪器安装和观测、辅助观测、数据处理和质量控制、资料存档文件（见 2007 版的 4.2，第 5 章至第 8 章）；
- 增加了大气中吸收气体的光学厚度的计算方法（见 4.2.4）；
- 修改了大气浑浊度系数计算（见 4.2.4，2007 年版的 A.5）；
- 删除了太阳光度计的技术指标（见 2007 年版的附录 C）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国气候与气候变化标准化技术委员会大气成分观测预报预警服务分技术委员会（SAC/TC 540/SC 1）提出并归口。

本文件起草单位：中国气象局气象探测中心、龙凤山区域大气本底站、杭州市气象局、北京大学物理学院、中国气象科学研究院。

本文件主要起草人：荆俊山、颜鹏、于大江、齐冰、李成才、汤洁、吕珊珊、王炳忠、郑向东、贺晓雷。

本文件于 2007 年首次发布，本次为第一次修订。

气溶胶光学厚度 太阳光度计法

1 范围

本文件描述了使用太阳光度计对直接辐射观测时,反演气溶胶光学厚度的原理和计算方法。
本文件适用于晴空无云条件下使用太阳光度计对直接辐射观测时,反演气溶胶光学厚度。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

瑞利散射 Rayleigh scattering

辐射与尺寸远小于辐射波长的粒子相互作用引起的散射现象。

3.2

大气光学质量 optical air mass

斜程路径方向的大气质量与天顶方向路径上的大气质量之比。

3.3

[大气]气溶胶光学厚度 aerosol optical depth

大气气溶胶粒子消光系数在垂直方向上的积分,表示气溶胶对光的衰减作用大小。

[来源:QX/T 270—2015, 2.2]

3.4

太阳天顶角 solar zenith angle

太阳与天顶之间的夹角。

4 太阳光度计反演计算方法

4.1 方法原理

根据比尔-朗伯定律,可以通过太阳光度计对晴空无云情况下太阳直接辐射的测量信号来计算气溶胶光学厚度及其随波长的变化,计算方法见公式(1)。

$$\tau_{\text{aero}}(\lambda) = \frac{1}{m(\theta)} \ln \left(\frac{a V_0(\lambda)}{V(\lambda)} \right) - \tau_{\text{R}}(\lambda) - \tau_{\text{ab}}(\lambda) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\tau_{\text{aero}}(\lambda)$ ——气溶胶光学厚度值,无量纲;

λ ——太阳光度计测量波长值,单位为纳米(nm);

$m(\theta)$ ——大气光学质量值,无量纲,计算方法见 4.2.2;

θ ——太阳天顶角值,单位为度(°);

- a ——日地距离校正因子,无量纲,计算方法见 4.2.1;
- $V_0(\lambda)$ ——假想波长为 λ 的太阳光度计在大气上界进行测量时,传感器给出的信号值,无量纲;
- $V(\lambda)$ ——波长为 λ 的太阳光度计传感器给出的信号值,无量纲,可由太阳光度计直接测量得到;
- $\tau_R(\lambda)$ ——垂直气柱内由于气体分子的瑞利散射造成的光学厚度值,无量纲,计算方法见 4.2.3;
- $\tau_{ab}(\lambda)$ ——垂直气柱内由于气体分子[水汽(H_2O)、臭氧(O_3)、二氧化氮(NO_2)、二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)]吸收造成的光学厚度值,无量纲,计算方法见 4.2.4。

4.2 参数计算方法

4.2.1 日地距离校正因子

日地距离校正因子为日地平均距离与实际日地距离之比的平方,可由天文学上的近似公式计算,计算方法见公式(2)。

$$a = [1.000109 + 0.33494\cos X + 0.004172\sin X + 0.000768\cos(2X) + 0.000079\sin(2X)]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- a ——日地距离校正因子;
- X ——地球公转所对应的弧度值,按照公式(3)计算。

$$X = 2\pi \frac{D-1}{D_T} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- D ——观测日在一年中的日数(如 1 月 1 日, $D=1$);
- D_T ——当年的总日数。

4.2.2 大气光学质量

假设大气为平面平行分层时,大气光学质量与太阳天顶角的余弦成反比,可用公式(4)计算:

$$m(\theta) = 1/[\cos\theta + 0.15(93.885 - \theta)^{-1.253}] \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- θ ——太阳天顶角值,单位为度($^\circ$),按照公式(5)计算。

$$\cos\theta = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- φ ——观测地点的地理纬度;
- δ ——太阳赤纬,按照公式(6)计算;
- ω ——时角,每日 24 小时对应变化范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$,正午时为 0° 。

$$\delta = 0.006894 - 0.399512\cos X + 0.072075\sin X + 0.006799\cos(2X) + 0.000896\sin(2X) - 0.002689\cos(3X) + 0.001516\sin(3X) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中, X 同公式(3)。

4.2.3 大气分子瑞利散射光学厚度

垂直气柱内大气分子在波长 λ 处的瑞利散射光学厚度 $\tau_R(\lambda)$ 可按照公式(7)计算:

$$\tau_R(\lambda) = (P/P_0) \times 0.0088 \lambda^{-4.05} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- P ——实际地面气压值,单位为百帕(hPa);
- P_0 ——标准状态时的气压值, $P_0 = 1013.25$ hPa。

4.2.4 大气中吸收气体的光学厚度

对吸收气体,因其光学厚度与吸收气体在太阳光度计各波段的吸收系数有关,应分别计算不同波段上吸收气体的光学厚度。太阳光度计测量中主要的吸收气体为 H_2O 、 O_3 、 NO_2 、 CO_2 和 CH_4 。

对于 H_2O ,主要考虑 936 nm 波长的吸收作用,此波段水汽的光学厚度可通过太阳光度计测量的总光学厚度与非水汽(气溶胶和分子)光学厚度的插值获得,见公式(8):

$$\tau_{\text{H}_2\text{O}}(936 \text{ nm}) = \tau(936 \text{ nm}) - \tau_{\text{aero+m}}(936 \text{ nm}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

$\tau_{\text{H}_2\text{O}}(936 \text{ nm})$ ——936 nm 处的水汽光学厚度;

$\tau(936 \text{ nm})$ ——936 nm 处的太阳光度计测量的总光学厚度;

$\tau_{\text{aero+m}}(936 \text{ nm})$ ——936 nm 处的非水汽(气溶胶和分子)光学厚度,可通过相邻的非吸收波段估算,常选用 870 nm,见公式(9):

$$\tau_{\text{aero+m}}(936) = \tau_{\text{aero+m}}(870 \text{ nm}) \left(\frac{936}{870} \right)^{-\alpha} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

$\tau_{\text{aero+m}}(870 \text{ nm})$ ——870 nm 处的非水汽(气溶胶和分子)光学厚度,可通过太阳光度计直接测量。

α ——埃斯特朗波长指数,见公式(10):

$$\alpha = -\ln\left(\frac{\tau_{\text{aero+m}}(1020 \text{ nm})}{\tau_{\text{aero+m}}(870 \text{ nm})}\right) / \ln\left(\frac{1020}{870}\right) \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

$\tau_{\text{aero+m}}(1020 \text{ nm})$ ——1020 nm 处的非水汽(气溶胶和分子)光学厚度,可通过太阳光度计直接测量。

对于 O_3 和 NO_2 ,其光学厚度 τ_{O_3} 、 τ_{NO_2} 与吸收系数和总量有关。

$$\tau_{\text{O}_3} = a_{\text{O}_3} C_{\text{O}_3} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\tau_{\text{NO}_2} = a_{\text{NO}_2} C_{\text{NO}_2} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

a_{O_3} 、 a_{NO_2} —— O_3 、 NO_2 吸收系数,可查阅文献(Burrows et al., 1998; Burrows et al., 1999)获得;

C_{O_3} 、 C_{NO_2} —— O_3 、 NO_2 总量,可查阅卫星臭氧产品或地基测量数据获得。

对于 CO_2 和 CH_4 ,其光学厚度 τ_{CO_2} 、 τ_{CH_4} 分别按照公式(13)和公式(14)计算。

$$\tau_{\text{CO}_2} = (P/P_0) \times 0.0087 \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\tau_{\text{CH}_4} = (P/P_0) \times 0.0047 \quad \dots\dots\dots(14)$$

参 考 文 献

- [1] QX/T 270—2015 CE318 太阳光度计观测规程
 - [2] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003
 - [3] 中国气象局. 大气成分观测业务规范(试行)[M]. 北京:气象出版社,2012
 - [4] 中国气象局综合观测司. 大气成分观测业务技术手册:气溶胶分册(试行)[M]. 北京:气象出版社,2013
 - [5] BURROWS J P, DEHN A, DETERS B, et al. Atmospheric remote-sensing reference data from GOME: Part 1. temperature-dependent absorption cross-sections of NO₂ in the 231-794 nm range[J]. J Quant Spectrosc Ra, 1998,60:1025-1031
 - [6] BURROWS J P, RICHTER A, DEHN A, et al. Atmospheric remote-sensing reference data from GOME- Part 2. Temperature-dependent absorption cross sections of O₃ in the 231-794 nm range [J]. J Quant Spectrosc Ra, 1999,61:509-517
 - [7] CHE H, ZHANG X Y, XIA X, et al. Ground-based aerosol climatology of China: Aerosol optical depths from the China Aerosol Remote Sensing Network (CARSNET) 2002—2013[J]. Atmos Chem Phys, 2015,15: 7619-7652
 - [8] GILES D M, SINYUK A, SOROKIN M G, et al. Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 database—automated near-real-time quality control algorithm with improved cloud screening for Sun photometer aerosol optical depth (AOD) measurements[J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2019,12:169-209
 - [9] HOLBEN B N, ECK T F, SLUTSKER I, et al. AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization[J]. Remote Sens Environ, 1998, 66:1-16
 - [10] SMIRNOV A, HOLBEN B N, ECK T F, et al. Cloud-Screening and Quality Control Algorithms for the AERONET Database[J]. Remote Sens Environ, 2000,73:337-349
-

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
气溶胶光学厚度 太阳光度计法
QX/T 69—2024

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街 46 号
邮政编码:100081
网址:<http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:0.75 字数:22.5 千字
2024 年 8 月第 1 版 2024 年 8 月第 1 次印刷

*

书号:135029-6396 定价:20.00 元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301