



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 33696—2017

---

## 陆-气和海-气通量观测规范

Specification for land surface-atmosphere and air-sea flux observations

2017-05-12 发布

2017-12-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	2
5 观测仪器及其安装 .....	4
6 维护/校准 .....	5
7 数据采集与处理 .....	6
8 数据文件归档 .....	7
附录 A (资料性附录) 观测仪器技术性能 .....	8
附录 B (资料性附录) 湍流脉动数据处理方法 .....	10
附录 C (资料性附录) 湍流通量数据质量检验方法 .....	13
参考文献 .....	15

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国气象局提出。

本标准由全国气象仪器与观测方法标准化技术委员会(SAC/TC 507)归口。

本标准起草单位:中国气象局气象探测中心、中国气象局广州热带海洋气象研究所、云南省大理市气象局、北京市气象局、广东省茂名市气象局、国家气象中心。

本标准主要起草人:李翠娜、黄健、徐安伦、伍永学、吕卫华、薛红喜、王柏林、张鑫。



# 陆-气和海-气通量观测规范

## 1 范围

本标准规定了陆-气和海-气通量观测的一般要求、主要观测仪器、仪器安装、维护/校准、数据采集与处理、数据文件归档的技术要求。

本标准适用于陆-气和海-气通量的涡动相关观测方法。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14914—2006 海滨观测规范

GB/T 15920 海洋学术语 物理海洋学

QX 4—2015 气象台(站)防雷技术规范

QX/T 45—2007 地面气象观测规范 第1部分:总则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**陆-气通量** land surface-atmosphere flux

近地面由于湍流而引起的能量和物质的垂直输送,包括陆-气界面的动量、感热、潜热(水汽)和二氧化碳通量等。

### 3.2

**海-气通量** air-sea flux

海面由于湍流而引起的能量和物质的垂直输送,包括海-气界面的动量、感热、潜热(水汽)和二氧化碳通量等。

### 3.3

**动量通量** momentum flux

空气在运动过程中,单位时间内通过单位面积所传输的动量。

### 3.4

**感热通量** sensible heat flux

**显热通量**

在不发生物体和媒质的相态变化前提下,因湍流运动引起的单位时间内通过单位面积的热量。

### 3.5

**潜热通量** latent heat flux

空气中水汽发生相变时,因湍流运动引起的单位时间内通过单位面积的热量。

### 3.6

**水汽通量** water vapor flux

陆地(海洋)-大气界面因湍流运动引起的单位时间内通过单位面积的水汽垂直输送量。

### 3.7

#### 二氧化碳通量 $\text{CO}_2$ flux

陆地(海洋)-大气界面因湍流运动引起的单位时间内通过单位面积的二氧化碳垂直输送量。

### 3.8

#### 涡动相关法 eddy correlation method

#### 涡动协方差法 eddy covariance method

通过计算大气中某物理量(如水平风速、温度、水汽密度和二氧化碳密度等)脉动量与垂直风速脉动量的协方差,求算湍流输送通量的方法。

## 4 一般要求

### 4.1 观测项目

#### 4.1.1 湍流通量观测

应利用快速响应的传感器,同步进行以下四项要素的脉动量观测:

- 三维风速;
- 超声虚温;
- 水汽密度;
- 二氧化碳密度。

注:利用上述四项要素的脉动量观测值,采用涡动相关法分别计算动量、感热、潜热和二氧化碳通量。

#### 4.1.2 辅助观测

##### 4.1.2.1 辅助观测要素

应进行以下一项或多项观测:

- 气压;
- 风速;
- 风向;
- 气温;
- 相对湿度;
- 降水量;
- 大气长波辐射和地面长波辐射;
- 太阳总辐射和地面反射辐射;
- 净全辐射;
- 光合有效辐射;
- 土壤温度;
- 土壤体积含水量;
- 土壤热通量;
- 潮高;
- 潮时;
- 波高;
- 波向;
- 波周期;
- 表层海水温度;

——表层海水盐度。

注：用于监测环境条件的变化和分析通量变化的成因等。

#### 4.1.2.2 下垫面状况记录

从观测塔的东、南、西、北 4 个方位拍摄下垫面照片，定期记录观测塔周围下垫面变化情况；记录海岸线、水下沙丘等环境地形的变化。

#### 4.2 校时

观测时钟采用北京时，自动观测以采集器的内部时钟为观测时钟。以经过统一授时的计算机时钟为准来校对采集器时间。

#### 4.3 观测场地

##### 4.3.1 陆-气通量

陆-气通量观测场地应符合以下要求：

- 周边无污染源；
- 周围无明显建筑物和树木遮挡；
- 观测塔沿上风方向的距离至少大于观测高度的 100 倍。

##### 4.3.2 海-气通量

海-气通量观测场地宜符合以下要求：

- 海岸地势平缓，尽量避开陡岸；
- 海岸一侧无明显的高大地形、建筑物和树木；
- 上风方向的海面开阔，无岛屿、暗礁、沙洲等障碍物，或水产养殖、捕捞区。

#### 4.4 观测记录

通量观测记录包括站址信息、仪器信息、要素观测值、通量数据处理的元数据。

a) 站址信息宜包含以下内容：

- 站址名称；
- 经度、纬度、海拔高度；
- 通讯地址；
- 站址负责人；
- 观测人员；
- 站址周围环境；
- 下垫面特征；
- 站址信息的生成日期；
- 站址信息的记录人员；
- 站址信息的审核人员。

b) 仪器信息宜包含以下内容：

- 名称；
- 型号；
- 生产厂商；
- 标定项目和标定时间；

- 启用时间；
  - 安装位置(高度、传感器朝向)；
  - 仪器信息的生成日期；
  - 仪器信息的记录人员；
  - 仪器信息的审核人员。
- c) 要素观测值应包括以下内容：
- 观测时间；
  - 设备状态标识；
  - 湍流脉动观测数据；
  - 辅助观测要素数据；
  - 经数据处理和质量检验后的通量数据；
  - 数据质量标识符号。
- d) 通量数据处理元数据宜包括以下内容：
- 采样频率；
  - 平均周期；
  - 湍流脉动数据处理方法；
  - 湍流通量数据质量检验方法。

## 5 观测仪器及其安装

### 5.1 观测仪器

#### 5.1.1 一般要求

观测仪器应具备下列要求：

- 应有质量标识；
- 应有检定证书；
- 应有详细的技术及操作手册。

#### 5.1.2 技术性能

湍流通量观测仪器的基本技术性能参见 A.1,辅助观测要素仪器的基本技术性能参见 A.2。

#### 5.1.3 防雷装置

观测设施及附属建筑物的防雷应符合 QX 4—2015 要求。

### 5.2 仪器安装

#### 5.2.1 一般要求

##### 5.2.1.1 观测塔位置

陆-气通量观测塔宜安装于拟观测下垫面主导风向的中央位置,符合上风方向距离与仪器安装高度为 100 : 1 的经验法,周围无明显障碍物遮挡。无明显的主导风向或风向有明显季节变化时,宜安装在场地中央,或根据其他设备综合考虑安装位置。目标观测对象为农田、草地、湿地、荒漠、森林时,应安装在与观测目标对应的下垫面上。

海-气通量观测塔宜安装于上风方向开阔、无障碍物,靠近海岸的沙滩、浅水或浅水礁石区。



### 5.2.1.2 安装高度

陆-气通量观测应根据观测塔沿上风方向的距离与安装高度为 100 : 1 的经验法,确定湍流通量观测仪器的安装高度。农田和草地等低矮冠层植被区,仪器安装高度宜高于冠层 2 m;高大冠层植被区,仪器安装高度宜为高大冠层植被平均高度的 1.5 倍。

海-气通量观测应根据观测场地、当地潮汐和海浪状况,确定湍流通量观测仪器安装高度。一般宜位于距离平均海面 10 m 的高度上。

其他观测仪器的安装高度,可根据观测研究需要、当地下垫面植被条件、平均海面高度和海浪状况等因素确定。

### 5.2.1.3 安装层次

根据观测项目和观测目的进行一层或分层安装。湍流通量观测仪器通常安装一层,可根据需要多层安装。辅助观测要素仪器宜多层安装。

## 5.2.2 湍流通量观测仪器安装

### 5.2.2.1 三维超声风温仪

三维超声风温仪应按以下要求安装:

- 选择设备专用支架牢固安装,安装完成后设备应保持水平;
- 有方向性选择功能的设备,探头应朝向或垂直于主导风向;
- 有主机的设备,主机应安装在探头下方。

### 5.2.2.2 红外二氧化碳/水汽分析仪

红外二氧化碳/水汽分析仪应按以下要求安装:

- 选择设备专用支架牢固安装;
- 探头稍倾斜;
- 分离式红外二氧化碳/水汽分析仪的探头,应位于三维超声风温仪的侧后方,与三维超声风温仪探头的中心位置相距 20 cm~30 cm;
- 有主机的设备,主机应安装在探头下方。

## 5.2.3 辅助观测要素仪器安装

气压、风速、风向、气温、相对湿度、降水量、土壤温度、辐射要素的观测仪器,安装应符合 QX/T 45—2007 表 3 要求。

潮高、潮时、波高、波向、波周期、表层海水温度和盐度要素的观测仪器,安装应符合 GB/T 14914—2006 要求。

其他观测仪器宜按照相关操作手册安装。

## 6 维护/校准

### 6.1 维护

#### 6.1.1 总体要求

定期巡视观测场地,检查观测仪器和辅助设备运行状态、观测数据和数据文件的完整性,检查观测数据是否异常;定期下载和备份数据各类观测数据文件;定期对仪器维护过程作详细记录。

### 6.1.2 三维超声风温仪

三维超声风温仪应按以下要求进行维护：

- 应定期检查维护设备,保证设备符合安装技术要求；
- 应定期检查、清洁设备传感器,保证设备处于良好运行状态。

### 6.1.3 红外二氧化碳/水汽分析仪

红外二氧化碳/水汽分析仪应按以下要求进行维护：

- 应定期检查设备镜面是否清洁、光路有无异物；
- 镜面的尘垢和盐渍,应使用软棉签蘸取水或者酒精清除；
- 进行清除时,注意避免划伤镜面；
- 应定期更换设备的内部干燥剂。

### 6.1.4 其他仪器和辅助设备

其他仪器和辅助设备应按以下要求进行维护：

- 应定期维护设备；
- 应定期检查时钟误差；
- 应定期清洁采集器、传感器。检查电缆、信号线状况,检查供电设施,保证供电安全。

## 6.2 仪器校准

### 6.2.1 三维超声风温仪

按照三维超声风温仪技术手册的有关规定,返回生产厂家进行校准。

### 6.2.2 红外二氧化碳/水汽分析仪

仪器在陆地上运行,每半年标定一次;在海洋环境中运行,每3个月标定一次。标定包括零点标定和跨距(SPAN)标定。

### 6.2.3 辅助观测要素仪器

辅助要素观测仪器的标定应符合省级以上计量部门对该类仪器的标定规程。

## 7 数据采集与处理

### 7.1 数据采集

三维超声风温仪和红外二氧化碳/水汽分析仪的数据采集应同步进行,采样频率参见 A.1。辅助要素观测仪器的数据采集宜根据研究目的而进行,采样频率参见 A.2。

### 7.2 数据处理

#### 7.2.1 平均周期

湍流通量计算的平均周期一般为 30 min~60 min。辅助要素观测数据平均周期宜为 30 min。

#### 7.2.2 计算方法

动量通量、感热通量、潜热通量、二氧化碳通量的计算应符合涡动相关法。

动量通量按式(1)计算:

$$\tau = \rho_a \sqrt{(\overline{w'u'})^2 + (\overline{w'v'})^2} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $\tau$  ——动量通量,单位为千克每米二次方秒[ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$ ];
- $\rho_a$  ——空气密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $u'$  ——水平风速( $x$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ );
- $v'$  ——水平风速( $y$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ );
- $w'$  ——垂直风速( $z$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ )。

感热通量按式(2)计算:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T'} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- $H$  ——感热通量,单位为瓦每平方米( $\text{W}/\text{m}^2$ );
- $\rho_a$  ——空气密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $C_p$  ——干空气定压比热,单位为焦耳每千克开尔文[ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];
- $w'$  ——垂直风速( $z$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ );
- $T'$  ——气温的脉动量,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

潜热通量按式(3)计算:

$$LE = L_v \overline{w'\rho'_v} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $LE$  ——潜热通量,单位为瓦每平方米( $\text{W}/\text{m}^2$ );
- $L_v$  ——蒸发潜热,单位为焦耳每克( $\text{J}/\text{g}$ );
- $w'$  ——垂直风速( $z$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ );
- $\rho'_v$  ——水汽密度的脉动量,单位为克每立方米( $\text{g}/\text{m}^3$ )。

二氧化碳通量按式(4)计算:

$$F_c = \overline{w'\rho'_c} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $F_c$  ——二氧化碳通量,单位为毫克每平方米秒[ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ];
- $w'$  ——垂直风速( $z$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ );
- $\rho'_c$  ——二氧化碳密度的脉动量,单位为毫克每立方米( $\text{mg}/\text{m}^3$ )。

### 7.2.3 湍流脉动数据处理

湍流脉动量观测数据处理方法参见附录 B。

### 7.2.4 湍流通量数据质量检验

湍流通量数据质量检验方法参见附录 C。

## 8 数据文件归档

归档文件应包含下列数据中的一项或多项:

- 下垫面状况记录;
- 4.4 要求的观测记录。

附 录 A  
(资料性附录)  
观测仪器技术性能

A.1 湍流通量观测仪器的技术性能见表 A.1。

表 A.1 湍流通量观测仪器的技术性能

测量要素	范围	分辨力	最大允许误差	采样频率
水平风速( $x$ 、 $y$ 轴)	-60 m/s~60 m/s	0.01 m/s	±2%	10 次/s
垂直风速( $z$ 轴)	-8 m/s~8 m/s	0.01 m/s	±2%	
超声虚温	-50 °C~50 °C	0.01 °C	±0.15 °C	
水汽密度	0 g/m <sup>3</sup> ~42 g/m <sup>3</sup>	0.1 g/m <sup>3</sup>	±2%	
二氧化碳密度	0 mg/m <sup>3</sup> ~1 830 mg/m <sup>3</sup>	0.1 mg/m <sup>3</sup>	±1%	

A.2 辅助要素观测仪器的技术性能见表 A.2。

表 A.2 辅助要素观测仪器的技术性能

测量要素	范围	分辨力	最大允许误差	采样频率
气压	450 hPa~1 100 hPa	0.1 hPa	±0.3 hPa	6 次/min
风速	0 m/s~60 m/s	0.1 m/s	±(0.5 m/s+0.03V)	60 次/min
风向	0°~360°	3°	±5°	60 次/min
气温	-50 °C~+50 °C	0.1 °C	±0.2 °C	6 次/min
相对湿度	5%~100%	1%	±3%(≤80%) ±5%(>80%)	6 次/min
降水量	0 mm/min~4 mm/min (0.1 mm/翻斗)	0.1 mm	±0.4 mm(≤10 mm) ±4%(>10 mm)	1 次/min
	0 mm~400 mm(称重)	0.1 mm	±0.4 mm(≤10 mm) ±4%(>10 mm)	1 次/min
大气长波辐射	-250 W/m <sup>2</sup> ~250 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±5%(日累计)	30 次/min
地面长波辐射	-250 W/m <sup>2</sup> ~250 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±5%(日累计)	30 次/min
太阳总辐射	0 W/m <sup>2</sup> ~2 000 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	5%	30 次/min
地面反射辐射	0 W/m <sup>2</sup> ~2 000 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	5%	30 次/min
净全辐射	-200 W/m <sup>2</sup> ~1 400 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	15%	30 次/min
光合有效辐射	0 W/m <sup>2</sup> ~800 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±5%(日累计)	30 次/min
土壤温度	-50 °C~80 °C	0.1 °C	±0.3 °C	6 次/min
土壤体积含水量	0%~50%	0.1%	±5%	1 次/min
土壤热通量	-200 W/m <sup>2</sup> ~200 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±5%	6 次/min

表 A.2 (续)

测量要素	范围	分辨力	最大允许误差	采样频率
潮高	0 cm~1 000 cm	1 cm	±5 cm	1 次/3 s
潮时	—	1 min	±1 min	1 次/min
波高	0 m~10 m	0.1m	±15%	2 次/s
波向	0~3 600	10	±100	2 次/s
波周期	0 s~50 s	0.1 s	±0.5s	1 次/3 s
表层海水温度	-5 ℃~50 ℃	0.1 ℃	±0.2 ℃	1 次/3 s
表层海水盐度	2~42	—	±0.05	1 次/3 s

注：V 是实际风速。



**附录 B**  
(资料性附录)  
**湍流脉动数据处理方法**

本附录仅提供了常用的湍流脉动数据处理方法,应根据观测研究目的、站点的实际情况确定适宜的方法。

**B.1 异常值剔除**

按以下步骤对原始时间序列进行处理:

- 检查设备状态标识(diag),如  $\text{diag} \neq 0$ ,则为异常值;
- 检查各要素的瞬时值是否超出气候阈值,如超出,则为异常值;
- 方差检验,由原始时间序列  $x$  求相邻点之差  $\Delta x$  的总体标准差  $\sigma_{\Delta x}$ ,逐点检查,如某点满足  $\Delta x \geq n\sigma_{\Delta x}$  (一般  $n$  为 5),则为异常值;但当连续 3 点以上均超出上述范围,则不标记为异常值;
- 剔除异常值,并将该点值用其前后相邻实测值内插取代。

注:对 30 min 湍流脉动资料,一般异常值数小于 100,异常值数过多时,剔除该时次。

**B.2 倾斜修正**

**B.2.1 二次坐标旋转法**

对下垫面为均匀平坦情况,采用二次坐标旋转法进行修正,其方法如下:

利用每个平均周期(30 min)的三维风速( $u_0, v_0, w_0$ )资料进行旋转。第一次为  $x$ - $y$  平面绕  $z$  轴旋转,使平均水平风速( $x$  轴)  $\bar{v}$  为 0,其旋转角为  $\theta$ ,旋转后的三维风速( $u_1, v_1, w_1$ )分别为式(B.1)~式(B.4):

$$u_1 = u_0 \cos\theta + v_0 \sin\theta \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$v_1 = -u_0 \sin\theta + v_0 \cos\theta \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$w_1 = w_0 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$\theta = \arctan(\bar{v}_0 / \bar{u}_0) \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

第二次为新的  $x$ - $z$  平面绕  $y$  轴旋转,使平均垂直风速  $\bar{w}$  为 0,其旋转角为  $\phi$ ,旋转后的三维风速( $u_2, v_2, w_2$ )为式(B.5)~式(B.8):

$$u_2 = u_1 \cos\phi + w_1 \sin\phi \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$v_2 = v_1 \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

$$w_2 = -u_1 \sin\phi + w_1 \cos\phi \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

$$\phi = \arctan(\bar{w}_1 / \bar{u}_1) \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

**B.2.2 平面拟合法**

对下垫面复杂、非均匀,或设备安装在晃动平台,采用平面拟合法修正,其方法如下:

利用一段时间(一般选 5 d~10 d)的三维风速资料,设平均风场在一个与测站地面平行的平面( $x$ - $y$  平面)内,拟合该平面,然后将每一个平均周期的三维风速资料旋转到此平面上。

### B.3 频率响应修正

采用式(B.9)对通量高低频损失进行修正:

$$F = \frac{\int_0^{\infty} Co_{ws}(f) df}{\int_0^{\infty} TF_{HF}(f) TF_{LF}(f) Co_{ws}(f) df} \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

- $f$  —— 频率,单位赫兹(Hz);
- $Co_{ws}$  —— 垂直风速和某标量的理论协谱;
- $TF_{HF}$  —— 高通转移函数;
- $TF_{LF}$  —— 低通转移函数。

### B.4 超声虚温修正

采用式(B.10)进行修正:

$$H_a = \left[ H_s - 0.51 \rho_a C_p \frac{R_d (T)^2 LE}{P L_v} \right] \frac{T}{T_s} \dots\dots\dots (B.10)$$

式中:

- $H_a$  —— 经超声虚温修正后的感热通量,单位为瓦每平方米(W/m<sup>2</sup>);
- $H_s$  —— 超声虚温计算的感热通量,单位为瓦每平方米(W/m<sup>2</sup>);
- $\rho_a$  —— 空气密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $C_p$  —— 干空气定压比热,单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)];
- $R_d$  —— 干空气气体常数,单位为焦耳每克开尔文[J/(g·K)];
- $P$  —— 气压,单位为百帕(hPa);
- $LE$  —— 潜热通量,单位为瓦每平方米(W/m<sup>2</sup>);
- $L_v$  —— 蒸发潜热,单位为焦耳每克(J/g);
- $\bar{T}$  —— 气温的平均值,单位为摄氏度(°C);
- $\bar{T}_s$  —— 超声虚温的平均值,单位为摄氏度(°C)。

### B.5 密度效应修正

采用式(B.11)和式(B.12)进行修正:

$$LE_{WPL} = (1 + \mu\sigma) \left( \overline{w'\rho'_v} + \frac{\rho_v}{T} \overline{w'T'} \right) \dots\dots\dots (B.11)$$

式中:

- $LE_{WPL}$  —— 经空气密度效应修正后的潜热通量,单位为瓦每平方米(W/m<sup>2</sup>);
- $\mu$  —— 干空气与水汽分子量的比值;
- $\sigma$  —— 水汽密度与干空气密度的比值;
- $w'$  —— 垂直风速( $z$ 轴)的脉动量,单位为米每秒(m/s);
- $\rho'_v$  —— 水汽密度的脉动量,单位为克每立方米(g/m<sup>3</sup>);

- $\overline{\rho_v}$  ——水汽密度的平均值,单位为克每立方米( $\text{g}/\text{m}^3$ );
- $T'$  ——气温的脉动量,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\overline{T}$  ——气温的平均值,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

$$F_{\text{cWPL}} = \overline{w'\rho'_c} + \mu \frac{\overline{\rho_c}}{\overline{\rho_d}} \overline{w'\rho'_v} + (1 + \mu\sigma) \frac{\overline{\rho_c}}{\overline{T}} \overline{w'T'} \dots\dots\dots (\text{ B.12 } )$$

式中:

- $F_{\text{cWPL}}$  ——经空气密度效应修正后的二氧化碳通量,单位为毫克每平方米秒 $[\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ ;
- $w'$  ——垂直风速( $z$ 轴)的脉动量,单位为米每秒( $\text{m}/\text{s}$ );
- $\rho'_c$  ——二氧化碳密度的脉动量,单位为毫克每立方米( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- $\overline{\rho_c}$  ——二氧化碳密度的平均值,单位为毫克每立方米( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- $\overline{\rho_d}$  ——干空气的密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $\rho'_v$  ——水汽密度的脉动量,单位为克每立方米( $\text{g}/\text{m}^3$ );
- $\mu$  ——干空气与水汽分子量的比值;
- $\sigma$  ——水汽密度与干空气密度的比值;
- $T'$  ——气温的脉动量,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\overline{T}$  ——气温的平均值,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。



**附录 C**  
(资料性附录)  
**湍流通量数据质量检验方法**

**C.1 湍流平稳性检验**

将每个样本(时间长度为 30 min)的湍流脉动数据系列分割为几个短时间间隔(如 6 个 5 min)的数据系列,检验整个平均周期的总体协方差与各分时段协方差的平均值的符合程度,采用湍流非平稳指数 IST 来表示,见式(C.1):

$$IST = \left| \frac{\overline{w'_{30}c'_{30}} - \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (\overline{w'_5c'_5})_i}{\overline{w'_{30}c'_{30}}} \right| \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $w'$ ——垂直风速( $z$  轴)的脉动量,单位为米每秒(m/s);
- $c'$ ——某气象要素的脉动量。

**C.2 湍流充分发展性检验**

判别实测的无量纲标量方差与莫宁-奥布霍夫相似理论模拟值的符合程度,采用湍流总体特征指数  $ITC_\sigma$  来表示,见式(C.2):

$$ITC_\sigma = \left| \frac{(\sigma_x/x_*)_{\text{model}} - (\sigma_x/x_*)_{\text{measurement}}}{(\sigma_x/x_*)_{\text{model}}} \right| \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- $\sigma_x$ ——某气象要素的方差;
- $x_*$ ——某气象要素的特征尺度参数。

**C.3 数据质量标识**

对动量通量、感热通量、潜热通量和二氧化碳通量进行质量检验时,检验参数见表 C.1。

**表 C.1 各湍流通量检验参数**

湍流通量	湍流平稳性检验	湍流充分发展性检验
$\tau$	$\overline{w'u'}$	$\sigma_w/u_* \quad \sigma_u/u_*$
$H$	$\overline{w'T'}$	$\sigma_w/u_* \quad \sigma_T/u_*$
$LE$	$\overline{w'\rho'_v}$	$\sigma_w/u_*$
$F_c$	$\overline{w'\rho'_c}$	$\sigma_w/u_*$

根据湍流非平稳指数和湍流总体特征指数,对湍流通量数据的质量评价可采用“0,1,2”三级划分标识(划分标准见表 C.2),其中 0 级表示高质量数据,可用于基础研究;1 级表示中等质量数据,可用于长

期观测资料处理;2级表示低质量数据,需剔除。

表 C.2 各端流通量数据质量等级划分标准

数据质量等级	$IST$	$ITC_s$
0	$<30\%$	$<30\%$
1	$<100\%$	$<100\%$
2	$>100\%$	$>100\%$

注：表中等级划分标准为建议使用。

参 考 文 献

- [1] Foken (2008), *Micrometeorology*. Springer, Berlin. (320 pp)
- [2] Lee et al. (ed.), 2004, *Handbook of Micrometeorology: A Guide for Surface Flux Measurements*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [3] Foken, T. and Wichura, B., 1996: Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agric. Forest Meteorol.*, 78, 83-105.
- [4] Vickers, D. and Mahrt, L., 1997 : Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 14, 512-526.
- [5] World Meteorological Organization. WMO-No. 8 *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation 2008*(Seventh edition).
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
陆-气和海-气通量观测规范  
GB/T 33696—2017

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 32 千字  
2017年5月第一版 2017年5月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-55921 定价 21.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 33696-2017