



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX

**LI-COR**

# 常见三维超声风速风向传感器的设计 和工作原理





# 主要内容



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX

1 三维超声风速仪基本测量原理简介

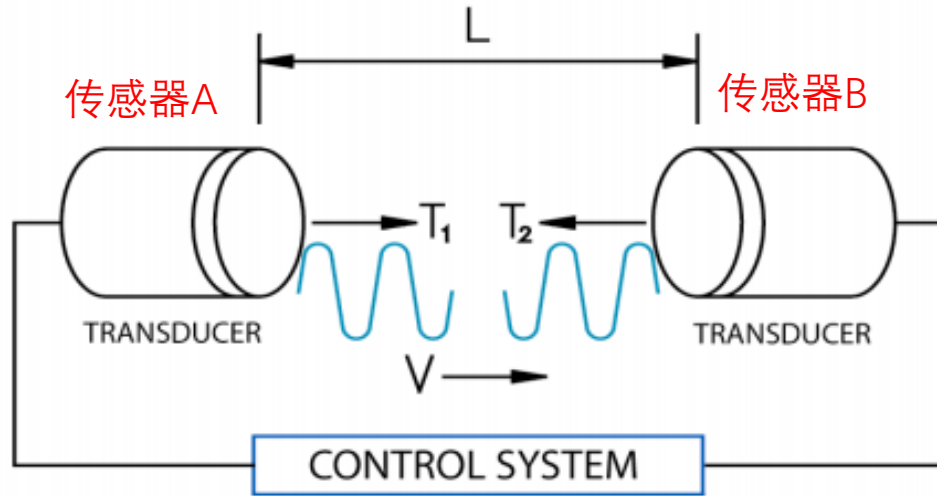
2 三维超声风速仪简介

- 单路径测量全向超声风速仪
- 单路径测量C型超声风速仪
- 多路径测量超声风速仪



LI-COR®

# 1 三维超声风速仪基本测量原理



超声风速 (C) 和空气温度和空气湿度相关, 存在以下关系

$$c^2 = \gamma_d R_d T_s \quad T_s = \frac{c^2}{\gamma_d R_d} - 273.15$$

$L$ : 传感器之间的距离

$C$ : 超声风速

$T_1$ : 超声信号从传感器A到B时间

$T_2$ : 超声信号从传感器B到A时间

$\gamma_d$ : 恒容、恒压下湿空气的比热比 (the ratio of specific heat of moist air at constant pressure to that at constant volume), 1.4

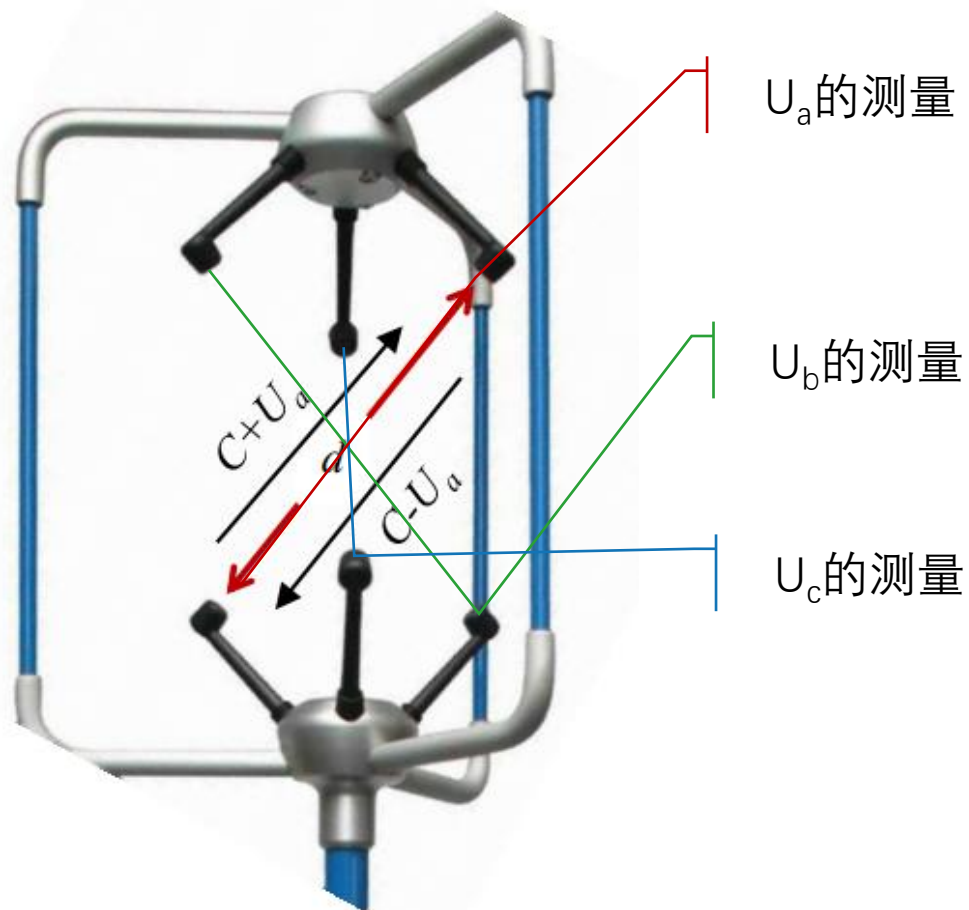
$R_d$ : 气体常数 (干空气),  $287.04 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$

$$T_2 = \frac{L}{C - V} \quad T_1 = \frac{L}{C + V}$$

$$C - V = \frac{L}{T_2} \quad C + V = \frac{L}{T_1}$$

$$V = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right\} \quad C = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right\}$$

# 1 三维超声风速仪基本测量原理

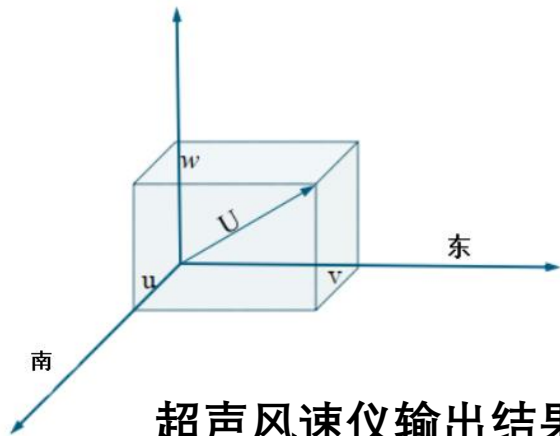


通过矩阵变换，变换到水平方向和垂直方向风速

$$\begin{bmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

# 1 三维超声风速仪基本测量原理

转换后的直角坐标系示意



## 超声风速仪输出结果

- 水平风速u, 南为正
- 水平风速v, 东为正
- 垂直风速w, 向上为正
- 超声温度Ts
- 超声仪器诊断值Diagnostic Value
- 间接: 风向

U	V	W	TS	SOS	AnemDiag
1.176	0.496	0.26	15.2	340.404	0
1.146	0.362	-0.581	15.91	340.823	0
-1.242	-5.3	0.667	21.47	344.085	0

## 关于几个温度的关系说明

$$T_v = T(K) \times (1 + 0.61q)$$

$$T_s = T(K) \times (1 + 0.51q)$$

$T_v$ : 虚温

$T_s$ : 超声温度

$T$ : 空气温度

$q$ : 比湿, g H<sub>2</sub>O/g 干空气





## 2 三维超声风速仪简介

### ➤ 单路径测量全向超声风速仪



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX



型号	Windmaster	WindmasterPro	R3-50	R3-100
风速范围	0-50 m/s	0-65 m/s	0-45 m/s	0-45 m/s
风速精度	<1.5% RMS (@ 12m/s) <1.0% RMS (@ 12m/s(可选))	<1.5% RMS (@ 12m/s) <1.0% RMS @ 12m/s (可选)	<1.0%RMS (@12m/s)	<1%RMS ( @ 12m/s)
风向范围	0-359°	0-359°	0-359°	0-359°
风向精度	2°(@ 12m/s) 0.5° (@ 12m/s(可选))	2°( @ 12m/s) 0.5° ( @ 12m/s(可选))	<±1.0° RMS	<±1.0° RMS
测量频率	20Hz (32Hz可选)	32Hz	50Hz	100Hz

## 2 三维超声风速仪简介

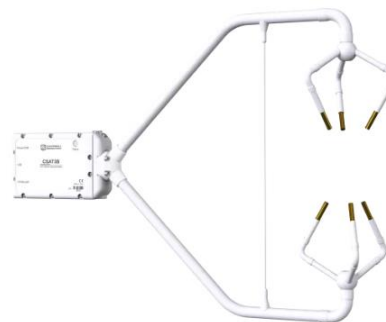
### ➤ 单路径测量C型超声风速仪



HS-50  
HS-100



CSAT3A

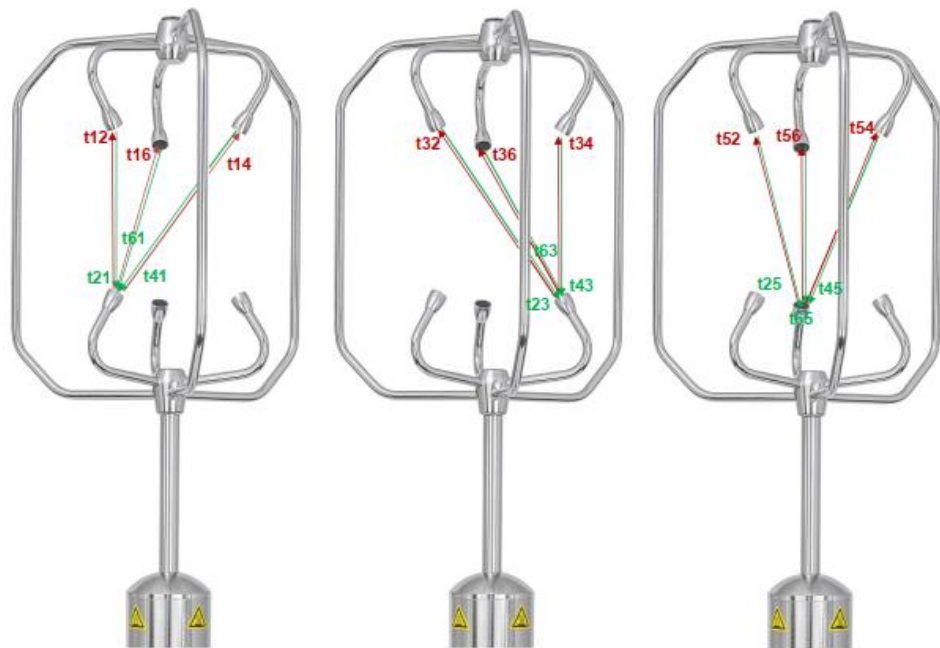


CSAT3B

型号	HS-50	HS-100	CSAT3A	CSAT3B
风速范围	0 - 45 m/s	0-45m/s	0 - 65 m s <sup>-1</sup>	0- 65 m s <sup>-1</sup>
风速精度	<1% RMS	<1.0% RMS	+/-2%-6% (<30m/s)	+/-2%-6% (<30m/s)
风向范围	0-359°	0-359°		2.5 - 357.5°
风向精度	<±1° RMS	<±1.0° RMS	+/-0.7° (@1m/s)	
测量频率	50Hz	100Hz	20Hz	100Hz

## 2 三维超声风速仪简介

### ➤ 多路径测量超声风速仪



每次完整测量周期包含了18个路径的测量

一个完整测量周期 $\Delta t \approx 25$  ms

输出:

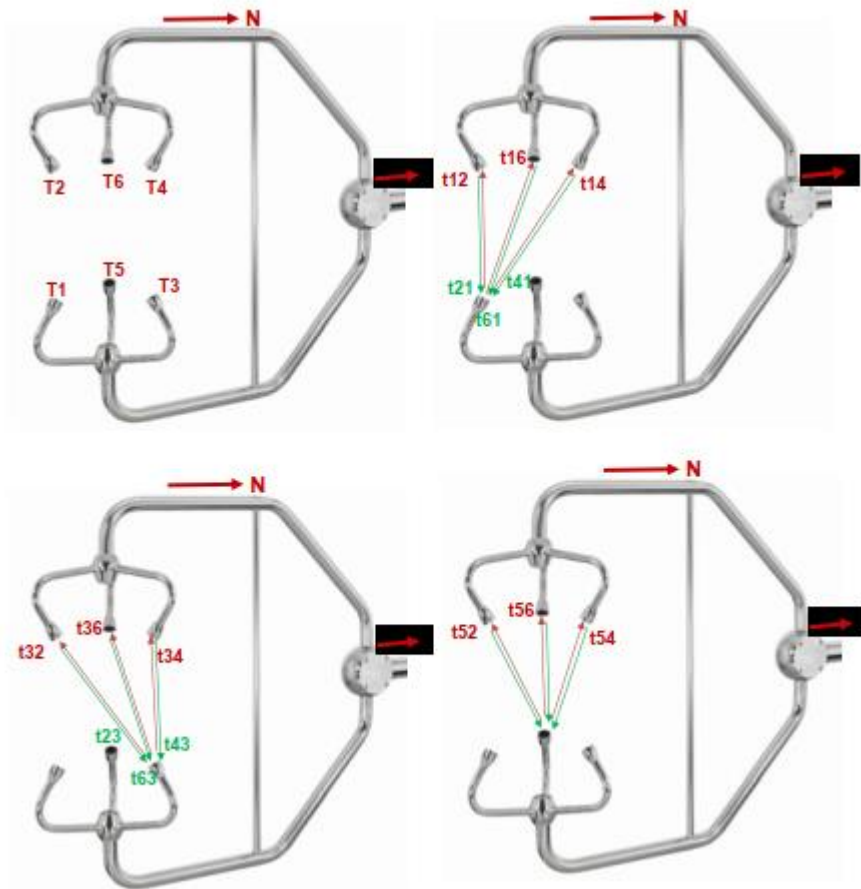
- 6个水平风速
- 3个垂直风速
- 9个超声温度 (6个水平, 3个垂直)

involved transducers	radial wind component (orientation / name)	radial temperature	path length $P_i$	nominal value of $P_i$	unit vector $\vec{e}_i$	nominal value of $e_{i,1}$	nominal value of $e_{i,2}$	nominal value of $e_{i,3}$
T1 and T2*	$R_{1 \rightarrow 2}$ $R_1$	$T_1$	$P_1$	130.9	$\vec{e}_1$	0	0	1
T1 and T4	$R_{1 \rightarrow 4}$ $R_2$	$T_2$	$P_2$	163.5	$\vec{e}_2$	0.299	0.518	0.802
T1 and T6	$R_{1 \rightarrow 6}$ $R_3$	$T_3$	$P_3$	163.5	$\vec{e}_3$	-0.299	0.518	0.802
T3 and T2	$R_{3 \rightarrow 2}$ $R_4$	$T_4$	$P_4$	163.5	$\vec{e}_4$	-0.299	-0.518	0.802
T3 and T4*	$R_{3 \rightarrow 4}$ $R_5$	$T_5$	$P_5$	130.9	$\vec{e}_5$	0	0	1
T3 and T6	$R_{3 \rightarrow 6}$ $R_6$	$T_6$	$P_6$	163.5	$\vec{e}_6$	-0.598	0	0.802
T5 and T2	$R_{5 \rightarrow 2}$ $R_7$	$T_7$	$P_7$	163.5	$\vec{e}_7$	0.299	-0.518	0.802
T5 and T4	$R_{5 \rightarrow 4}$ $R_8$	$T_8$	$P_8$	163.5	$\vec{e}_8$	0.598	0	0.802
T5 and T6*	$R_{5 \rightarrow 6}$ $R_9$	$T_9$	$P_9$	130.9	$\vec{e}_9$	0	0	1



## 2 三维超声风速仪简介

### ➤ 多路径测量超声风速仪



### Metek多路径测量三维超声风速仪

- 修正了阴影效应。
- 修正了尾流效应。
- 即使某一个探头故障或污染，仍可正常工作。
- 加热功能

型号	Cage	Class A
风速范围	0 - 40 m/s	0-40m/s
风速精度	+/- 1%-2% (@5m/s)	<1.0% RMS
风向范围	0-360°	0-359°
风向精度	±1° (@5m/s)	<±1.0° RMS
测量频率	50Hz	100Hz

# 感谢各位老师的聆听

Thank you for listening



中国通量观测研究联盟

ChinaFLUX



- 北京力高泰科技有限公司      电话：010-64093960
- 传真：010-66001652      邮编：100035
- 电子邮件：[hongming@ecotek.com.cn](mailto:hongming@ecotek.com.cn)
- 地址：北京市西城区西直门南大街2号成铭大厦A座22F