

2003–2005 年中国通量观测研究联盟 (ChinaFLUX)

碳水通量观测数据集

ISSN 2096-2223

CN11-6035/N



张雷明^{1,2}, 罗艺伟^{1,2}, 刘敏³, 陈智¹, 苏文¹, 何洪林¹, 朱治林¹,

孙晓敏¹, 王艳芬², 周国逸⁴, 赵新全⁵, 韩士杰⁶, 欧阳竹¹,

张宪洲¹, 张一平⁷, 刘琪璟⁸, 郝彦宾², 闫俊华⁴, 张德强⁴,

李英年⁵, 王安志⁶, 吴家兵⁶, 李发东¹, 赵风华¹, 石培礼¹,

张扬建¹, 何永涛¹, 林露湘⁷, 宋清海⁷,

王辉民¹, 刘允芬¹, 于贵瑞^{1,2*}

文献 DOI:

10.11922/csdata.2018.0028.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.600

文献分类: 生物学

收稿日期: 2018-05-18

开放同评: 2018-07-09

录用日期: 2018-10-17

发表日期: 2019-01-11

1. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100190
3. 华东师范大学, 上海 200062
4. 中国科学院华南植物园, 广州 510650
5. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008
6. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016
7. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐仑 666303
8. 北京林业大学林学院, 北京 100083

摘要: 基于微气象学理论的涡度相关通量观测技术实现了对生态系统尺度的生产力、能量平衡和温室气体交换等功能和过程的直接测定, 其观测数据为陆地生态系统碳水循环过程的机理研究以及碳源/汇和水分利用的时空分布评价提供了重要的观测数据。本数据集为中国通量观测研究联盟 (ChinaFLUX) 首批观测站点的生态系统通量观测数据, 包括森林、草地和农田在内的 8 个典型生态系统, 并基于 ChinaFLUX 数据处理体系形成了标准化的生态系统碳水通量和关键气象要素数据集。本数据集可以为分析我国典型陆地生态系统对全球变化的响应及其机制提供重要的科学知识和数据基础。

关键词: 涡度相关技术; 通量观测; 气象要素; 碳水循环; 陆地生态系统

* 论文通信作者

于贵瑞: yugr@igsrr.ac.cn

数据库（集）基本信息简介

数据库（集）名称	2003–2005 年中国通量观测研究联盟（ChinaFLUX）碳水通量观测数据集				
数据通信作者	于贵瑞（yugr@igsnr.ac.cn）				
数据生产者	观测研究单元	观测人员	原负责人	现任负责人	所属研究所
	内蒙古站	郝彦宾	王艳芬	王艳芬	中国科学院大学
	鼎湖山站	张德强	周国逸	周国逸	中国科学院华南植物园
	海北站	张法伟	赵新全	李英年	中国科学院西北高原生物研究所
	长白山站	吴家兵	韩士杰	王安志	中国科学院沈阳应用生态研究所
	禹城站	李发东、赵风华	欧阳竹	欧阳竹	中国科学院地理科学与资源研究所
	当雄站	何永涛	张宪洲	张扬建	中国科学院地理科学与资源研究所
	西双版纳站	宋清海	张一平	林露湘	中国科学院西双版纳热带植物园
	千烟洲站	戴晓琴	刘琪璟	王辉民	中国科学院地理科学与资源研究所
	数据中心	张雷明、苏文	于贵瑞	于贵瑞	中国科学院地理科学与资源研究所
数据时间范围	2003–2005年				
地理区域	中国区域8个陆地生态系统				
数据量	78.94 MB				
数据格式	*.xlsx				
数据服务系统网址	http://www.cnern.org.cn/data/meta?id=40572; http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/600				
基金项目	国家重点研发计划（2017YFC0503801、2016YFA0600104），中国科学院战略性先导科技专项（XDA19020302），中国科学院科技服务网络计划（STS，KFJ-SW-ST-169）。				
数据库（集）组成	本数据集由长白山、千烟洲、鼎湖山、西双版纳、内蒙古、禹城、海北和当雄8个台站的观测数据子集组成，每个子集分为半小时、日尺度2个数据产品表格，其中半小时数据集包含缺失数据插补前和插补后两类。 每个数据子集的指标包含生态系统CO₂通量、潜热通量、显热通量、空气温度、土壤温度、土壤湿度、降水、总辐射和光合有效辐射。				

引言

陆地生态系统 CO₂ 和水热通量的长期观测研究一直是国际上关注的热点问题。基于微气象学理论的涡度相关法是测定大气与群落碳水交换通量最直接的方法，实现了对生态系统尺度的生产力、能量平衡和温室气体交换等功能和过程的直接测定^[1-3]，成为目前国际通量观测网络（FLUXNET）的主要技术手段^[4]。涡度相关通量观测数据已经被广泛用于各种模型及遥感观测的检验和验证之中，并且多过程、多要素的长期协同观测将为陆地生态系统碳氮水循环过程的机理研究以及碳源/汇的时空分布评价提供重要的观测数据^[5-6]，特别是全球尺度通量观测网络的联合观测是实现从生态现象观察和生态要素观测跨越到全球尺度生态系统功能状态变化观测的重大突破^[7]。

在中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”的资助下，依托中国生态系统研究网络（CERN），2001 年中国陆地生态系统通量观测研究网络（ChinaFLUX）开始科学论证和启动建设，2003 年正式实现 8 个观测站点（长白山、千烟洲、鼎湖山、西双版纳、内蒙古、海北、当雄和禹城）碳水通量的联合观测研究^[8]，填补了亚洲季风区通量观测研究的空白，开始积累中国典型生态系统碳水交换通量的科学观测数据。2014 年，通过联合国内行业部门及高等院校观测站点，共同组建了中国通量观测研究联盟（ChinaFLUX）。

本数据集为 2003–2005 年 ChinaFLUX 首批 8 个观测站点的碳水通量和常规气象要素观测数据集，也是我国获取的首套多站点的联网协同通量观测数据，包含生态系统 CO₂ 通量、潜热通量、显热通量、摩擦风速、空气温度、土壤温度、土壤湿度、降水、总辐射、净辐射和光合有效辐射等观测指标，形成了半小时和日尺度两类数据产品。虽然本数据集已于 2013 年 10 月发布共享，并且受到了国内外相关研究机构和人员的广泛关注，但尚缺乏对本数据集的系统性描述。同时，作为推动数据共享和规范数据使用的重要途径，ChinaFLUX 将在充分保障数据产权的基础上，加强与观测台站的沟通和协调，以数据论文形式进一步推动后续更长时间和更多台站观测数据的开放共享。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据来源

基于顶层设计和科学论证，结合我国陆地样带的空间分布，依托 CERN 的台站网络，经过观测系统设计、观测台站和通量观测塔选址、观测仪器选型等技术方案的反复论证，以及野外工程实施和观测系统安装与调试，ChinaFLUX 于 2002 年底之前完成了长白山、千烟洲、鼎湖山、西双版纳、海北和禹城 6 个通量观测研究站点的建设，于 2003 年 5 月之前完成了内蒙古和当雄 2 个通量观测研究站点的建设，形成了 ChinaFLUX 的首批观测台站网络（表 1、图 1 和表 2）。

表 1 生态站名称及经纬度信息

代码	站名	台站全称	经度	纬度	植被类型
CBS	长白山站	长白山温带阔叶红松林通量观测研究站	128°06'E	42°24'N	森林
QYZ	千烟洲站	千烟洲中亚热带人工常绿针叶林通量观测研究站	115°03'E	26°44'N	森林
DHS	鼎湖山站	鼎湖山南亚热带季风混交林通量观测研究站	112°30'E	23°09'N	森林
XSBN	西双版纳站	西双版纳热带季雨林通量观测研究站	101°16'E	21°54'N	森林

代码	站名	台站全称	经度	纬度	植被类型
NMG	内蒙古站	内蒙古温带典型草原通量观测研究站	116°18'E	44°08'N	草地
HBGCT	海北站	海北高寒草地通量观测研究站	101°20'E	37°40'N	草地
DX	当雄站	当雄高寒草甸通量观测研究站	91°03'E	30°29'N	草地
YC	禹城站	禹城温带农田通量观测研究站	116°38'E	36°58'N	农田



图 1 观测研究台站的空间分布 (审图号: GS (2018) 4935 号)

表 2 生态站植被和土壤的基本特征

代码	优势树种	冠层高度 ¹⁾ (m)	叶面积指数 ²⁾ (m ² m ⁻²)	土壤类型
CBS	红松 (<i>Pinus koraiensis</i>)、椴树 (<i>Tilia amurensis</i>)、蒙古栎 (<i>Quercus mongolica</i>) 和水曲柳 (<i>Fraxinus mandshurica</i>) 等	26	6.1	山地暗棕壤
QYZ	马尾松 (<i>Pinus massoniana</i>)、湿地松 (<i>Pinus elliottii</i>) 和杉木 (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) 等	12	3.5	红壤
DHS	锥栗 (<i>Castanopsis chinensis</i>)、荷木 (<i>Schima superba</i>)、厚壳桂 (<i>Cryptocarya chnensis</i>)、马尾松 (<i>Pinus massoniana</i>) 等	17	5.6	赤红壤

代码	优势树种	冠层高度 ¹⁾ (m)	叶面积指数 ²⁾ (m ² m ⁻²)	土壤类型
XSBN	千果榄仁(<i>Terminalia myriocarpa</i>)、番龙眼(<i>Pometia tomentosa</i>)、云南玉蕊(<i>Barringtonia macrostachya</i>)、大叶白颜树(<i>Gironniera subaequalis</i>)、山焦(<i>Mitrephora maingayi</i>)、云树(<i>Garcinia cowal</i>)、假广子(<i>Knema erratica</i>)、细罗伞(<i>Ardisia tenera</i>)、蚁花(<i>Mezzettiopsis creaghii</i>)及毒鼠子(<i>Dichmpetalum gelonioides</i>)等	36	6.0	砖红壤
NMG	羊草、优势种为冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)、大针茅(<i>Stipa grandis</i>)、糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)和寸草苔(<i>Carex duriuscula</i>)等	0.5	1.4	暗栗钙土
HBGCT	金露梅(<i>Potentilla fruticosa</i>)、矮嵩草(<i>Kobresia humilis</i>)、羊茅(<i>Festuca ovina</i>)、异针茅(<i>Stipa aliena</i>)、紫羊茅(<i>Festuca rubra</i>)、麻花艸(<i>Gentiana straminea</i>)、线叶嵩草(<i>Kobresia capillifolia</i>)、银莲花(<i>Anemone cathayensis</i>)、藏异燕麦(<i>Helictotrichon tibeticum</i>)、珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)等	0.3	2.8	高山灌丛 草甸土
DX	高山嵩草(<i>Kobresia pygmaea</i>)、丝颖针茅(<i>Stipa capillacea</i>)、窄叶苔草(<i>Carex montis everestii</i>)等	0.15	1.8	高山草甸 土
YC	冬小麦-夏玉米	冬小麦: 0.9 夏玉米: 2.5	冬小麦: 6.5 夏玉米: 4.6	潮土和盐 化潮土

注：1) 草地和农田植被的冠层高度是指生长季内的最大高度；

2) 叶面积指数为生长季内的最大叶面积指数。

1.2 数据采集方法

各台站采用了相同的观测设备开展通量和气象数据的采集，数据的测定和采集均为自动化完成。

观测设备组成与型号：各测定要素所采用主要仪器设备的传感器和分析仪及制造商分列于表3。

表3 各测定要素所用关键设备的传感器和分析仪及其制造商

观测系统	测定要素	传感器和分析仪	制造商
常规气象要素	空气温度	HMP45C	VAISALA
	降水量	5220 或 TE525MM	RM YOUNG
	总辐射	CM11	KIPP&ZONEN
	光合有效辐射	LI190SB	LI-COR
CO ₂ 和水热通量	三维超声风速	CSAT3	CAMPBELL
	CO ₂ 、H ₂ O 密度	LI7500	LI-COR

观测系统	测定要素	传感器和分析仪	制造商
数据采集与通讯	常规气象要素	CR10X/CR23X	CAMPBELL
	碳水通量要素	CR5000	CAMPBELL

观测设备的安装和配置：根据各观测站点下垫面情况和植被冠层高度，在观测塔上安装不同要素的测定传感器（表 4），开展植被–大气界面 CO_2 、 H_2O 和能量通量以及气象要素在线、连续观测。

表 4 各测定要素所用关键传感器的安装高度 (m)

测定类别	测定要素	CBS	QYZ	DHS	XSBN	NMG	HBGCT	DX	YC
常规气象系统	空气温度 1*	32	39	27	42	2	2	2	2
	空气温度 2*	28	31	24	38	1	1	1	1
	天空短波辐射	32	39	36	42	2	2	2	2
	光合有效辐射	32	39	36	42	2	2	2	2
	雨量	61	42	36	72	2	2	2	2
碳水通量系统	碳水通量	40	39	27	48.8	2	2	2	2
植被冠层高度		26.0	12.0	20.0	40.0	0.40	0.60	0.15	0.8(冬小麦) 3.0(玉米)

*注：空气温度 1 和空气温度 2 表示不同的测定高度。

观测数据采集与传输：本数据集中植被–大气界面 CO_2 、 H_2O 和能量通量系统的原始测定频率为 10Hz，利用数据采集器获取和存储高频测定数据。常规气象要素的测定记录频率为 30 分钟，由相应的数据采集器获取和存储数据。根据站点条件的不同，通量和气象测定数据采用有线网络方式下载（长白山站、千烟洲站、鼎湖山站、西双版纳站和禹城站）和直接读取数据采集器内的存储卡（内蒙古站、海北站和当雄站）两种方式获取，然后开展后续的质量控制、标准化处理和产品加工。

1.3 数据处理和产品加工方法

基于获取的生态系统碳水通量原始观测数据，利用 ChinaFLUX 技术体系完成标准化的质量控制和数据处理（图 2）。

数据质量控制：采用国际上普遍认可的涡度通量数据质量控制方法，主要包括原始数据分析^[2]、超声虚温校正^[9]、坐标轴旋转^[10]、WPL 校正^[11]、频率损失校正^[12]、冠层储存项校正^[13]、稳态测试与湍流积分特性^[14]、夜间摩擦风速阈值筛选^[15]和异常值剔除^[16]，以及能量闭合评价^[17]。其中需要说明的是，农田和草地台站采用二次坐标旋转，森林台站采用平面拟合；冠层存储项采用 CO_2 浓度的单点估算方式，并且仅考虑植株高大的森林台站。

缺失数据插补：对于短时间（小于 2 小时）内缺失的通量和气象观测数据，采用内插的方式完成插补；对于长时间缺失的气象数据，利用各观测站气象站观测资料（土壤湿度和降水数据除外）开展插补；如未能完成插补，则利用平均日变化法完成数据插补。

对于长时间缺失的 CO_2 通量数据，采用非线性回归的方式^[18–19]。其中夜间缺失数据利用 Arrhenius 方程插补^[20]，并且对于易受水分胁迫的台站，如千烟洲、内蒙古和当雄，方程中的 Q_{10} 表达为土壤温度和土壤水分的线性方程^[21]。白天缺失数据利用直角双曲线方程插补，最小插补时间窗口为 7 天。

对于长时间缺失的能量通量数据, 采用边际分布采样法^[15]完成缺失数据插补。

CO₂ 通量数据拆分: 采用边际分布采样法^[15]完成数据拆分。首先, 基于夜间观测数据, 采用和缺失数据插补时相同的回归方程, 确定生态系统呼吸方程中的系数, 然后估算夜间和白天的生态系统呼吸; 其次, 利用插补完成的白天 CO₂ 通量数据和估算的同时刻生态系统呼吸, 求和得到总生态系统生产力。

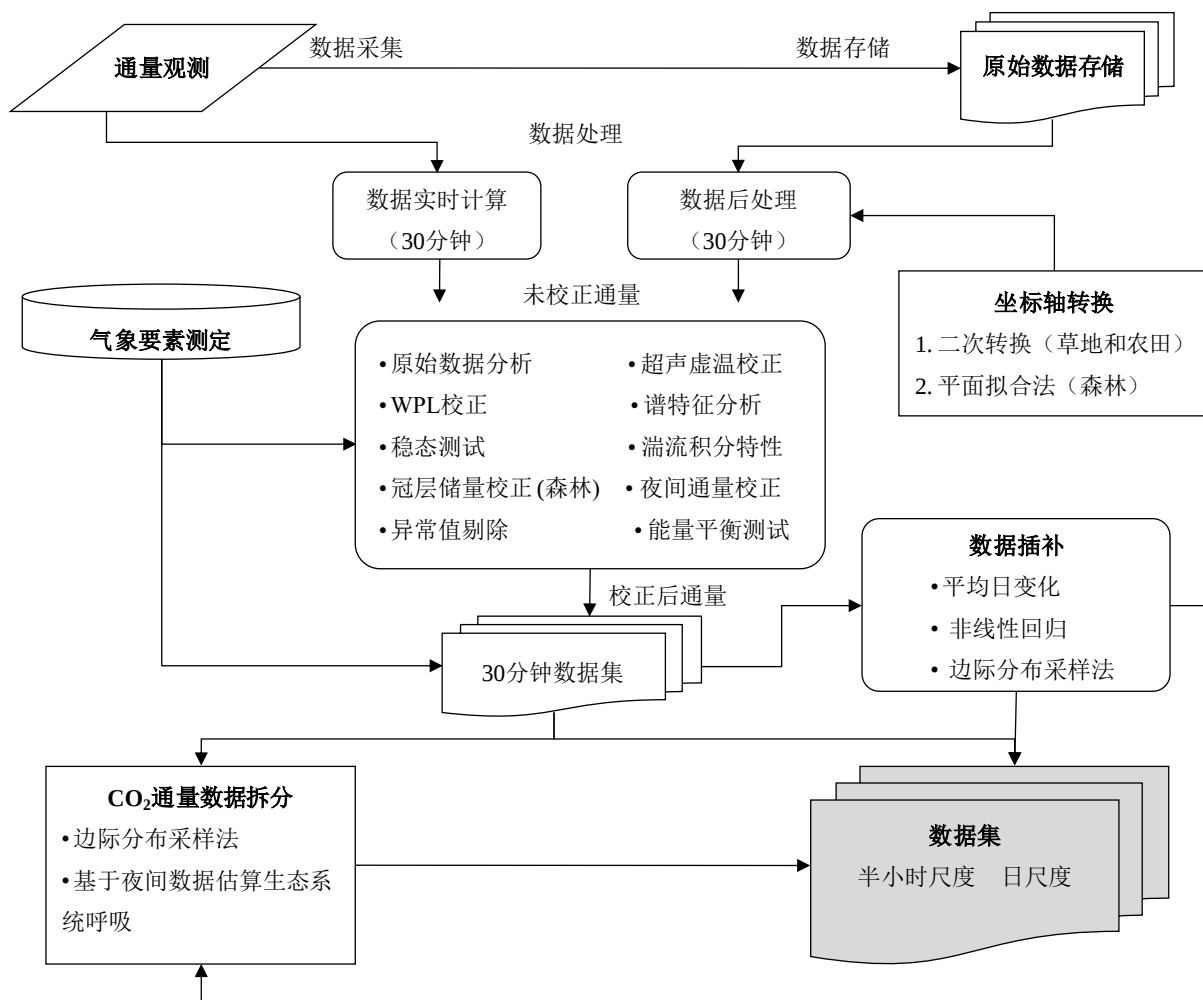


图2 ChinaFLUX 通量数据质量控制与处理技术体系 (改自文献[8])

2 数据样本描述

2.1 数据子集命名规则与数据量

本数据集包括 8 个台站产生的观测数据, 因此分为 8 个数据子集, 共计 66 个 EXCEL 数据文件, 总数据量为 78.94 MB (表 5)。在半小时尺度上, 根据数据要素不同, 数据文件 (数据子集) 的名称格式为 “年份+台站+类型+时间尺度.xls”, 如 “2003 年长白山通量 30 分钟数据” 和 “2003 年长白山气象 30 分钟数据.xls”。数据代码为 “AAATL30MIN_GFYY.xls” 和 “AAAQX30MIN_GFYY.xls”。其中, AAA 表示站点缩略名 (见表 1); TL 表示通量, QX 表示气象; 30MIN 表示数据的时间分辨率为 30 分钟; GF 表示插补 (Gap-filling); YY 表示数据产生年份的后两位, 如 2003 表示为 03。

表 5 数据集各子集名称与数据量

台站	年份	30 分钟尺度	数据量(MB)	日尺度	数据量(KB)
内蒙古站	2004	NMGTL30MIN_GF04	1.700	NMGTLDAILY_GF04	67
		NMGQX30MIN_GF04	1.853		
	2005	NMGTL30MIN_GF05	1.715	NMGTLDAILY_GF05	67
		NMGQX30MIN_GF05	1.834		
当雄站	2004	DXTL30MIN_GF04	1.645	DXTLDAILY_GF04	67
		DXQX30MIN_GF04	1.957		
	2005	DXTL30MIN_GF05	1.702	DXTLDAILY_GF05	67
		DXQX30MIN_GF05	1.967		
海北站	2003	HBGCTL30MIN_GF03	1.718	HBGCTLDAILY_GF03	67
		HBGCTQX30MIN_GF03	2.055		
	2004	HBGCTL30MIN_GF04	1.689	HBGCTLDAILY_GF04	67
		HBGCTQX30MIN_GF04	1.951		
	2005	HBGCTL30MIN_GF05	1.703	HBGCTLDAILY_GF05	67
		HBGCTQX30MIN_GF05	1.970		
禹城站	2003	YCTL30MIN_GF03	1.668	YCTLDAILY_GF03	67
		YCQX30MIN_GF03	1.872		
	2004	YCTL30MIN_GF04	1.724	YCTLDAILY_GF04	67
		YCQX30MIN_GF04	1.859		
	2005	YCTL30MIN_GF05	1.681	YCTLDAILY_GF05	67
		YCQX30MIN_GF05	1.880		
长白山站	2003	CBSTL30MIN_GF03	1.728	CBSTLDAILY_GF03	67
		CBSQX30MIN_GF03	1.853		
	2004	CBSTL30MIN_GF04	1.707	CBSTLDAILY_GF04	67
		CBSQX30MIN_GF04	1.873		
	2005	CBSTL30MIN_GF05	1.722	CBSTLDAILY_GF05	67
		CBSQX30MIN_GF05	1.831		
千烟洲站	2003	QYZTL30MIN_GF03	1.682	QYZTLDAILY_GF03	67
		QYZQX30MIN_GF03	1.793		
	2004	QYZTL30MIN_GF04	1.869	QYZTLDAILY_GF04	67
		QYZQX30MIN_GF04	1.680		
	2005	QYZTL30MIN_GF05	1.802	QYZTLDAILY_GF05	67
		QYZQX30MIN_GF05	1.666		
鼎湖山站	2003	DHSTL30MIN_GF03	1.671	DHSTLDAILY_GF03	67
		DHSQX30MIN_GF03	1.709		
	2004	DHSTL30MIN_GF04	1.591	DHSTLDAILY_GF04	67

台站	年份	30 分钟尺度	数据量(MB)	日尺度	数据量(KB)
		DHSQX30MIN_GF04	1.740		
	2005	DHSTL30MIN_GF05	1.701	DHSTLDAILY_GF05	67
		DHSQX30MIN_GF05	1.767		
西双版纳站	2003	XSBNTL30MIN_GF03	1.622	XSBNTLDAILY_GF03	67
		XSBNQX30MIN_GF03	1.710		
	2004	XSBNTL30MIN_GF04	1.620	XSBNTLDAILY_GF04	67
		XSBNQX30MIN_GF04	1.727		
	2005	XSBNTL30MIN_GF05	1.598	XSBNTLDAILY_GF05	67
		XSBNQX30MIN_GF05	1.723		
合计		文件数量	66 个	数据量 (MB)	78.94

在日尺度上，数据文件（数据子集）的名称为格式为“年份+台站+类型+日统计数据.xls”，数据代码为“AAATLDAILY_GFYY.xls”。其中，AAA 表示站点缩略名（见表 1）；TL 表示通量；DAILY 表示数据的时间分辨率为日；GF 表示插补；YY 表示数据产生年份的后两位，如 2003 表示为 03。

2.2 数据文件示例

以长白山站 2003 年数据文件为例，表 6–7 分别为 CBSTL30MIN_GF03.xls、CBSQX30MIN_GF03.xls 和 CBSTLDAILY_GF03 的数据表头。

表 6 半小时通量观测数据

数据项	数据类型	计量单位	数据项说明	示例
年	数字		年份	2003
月	数字		月份	1
日	数字		日期	1
时	数字		小时	7
分	数字		分钟	0
CO ₂ 通量	数字	mgm ⁻² s ⁻¹	经过质控和异常值剔除后的 CO ₂ 通量	0.03017
潜热通量	数字	W m ⁻²	经过质控和异常值剔除后的潜热通量	-0.28914
显热通量	数字	W m ⁻²	经过质控和异常值剔除后的显热通量	-9999

数据表头说明：（1）“CO₂ 通量”表示经过质控和异常值剔除后的 CO₂ 通量（mg m⁻² s⁻¹）；（2）“潜热通量”表示经过质控和异常值剔除后的潜热通量（W m⁻²）；（3）“显热通量”表示经过质控和异常值剔除后的显热通量（W m⁻²）。

表 7 半小时气象观测数据

数据项	数据类型	计量单位	数据项说明	示例
年	数字		年份	2003
月	数字		月份	1

数据项	数据类型	计量单位	数据项说明	示例
日	数字		日期	1
时	数字		小时	9
分	数字		分钟	30
四层空气温度	数字	°C	植被冠层下方的空气温度	-18.53
五层空气温度	数字	°C	植被冠层上方的空气温度	-18.81
天空短波辐射	数字	W m ⁻²	总辐射平均值	277.2
光合有效辐射	数字	μmol m ⁻² s ⁻¹	光合有效辐射平均值	483.2
降水量	数字	mm	降水量累计值	0.2

数据表头说明：（1）四层平均气温表示植被冠层上方的空气温度（°C）；（2）五层平均气温表示植被冠层上方的空气温度；（3）平均天空总辐射表示冠层上方接受的太阳总辐射（W m⁻²）；（4）有效辐射平均值表示冠层上方的光合有效辐射（μmol m⁻² s⁻¹）；（5）总降水量表示降水量的累计值（mm）。其中剔除后的数据以“-99999”表示。需要说明的是，对于农田和草地台站而言，空气温度表示为一层空气温度和二层空气温度，前者的观测高度低于后者。具体安装高度参见表 4。

表 8 日尺度通量观测数据

数据项	数据类型	计量单位	数据项说明	示例
年	数字		年份	2003
月	数字		月份	1
日	数字		日期	1
NEE	数字	g C m ⁻² d ⁻¹	日尺度的 CO ₂ 通量累计值	-0.03325
GEE	数字	g C m ⁻² d ⁻¹	日尺度的 GEE 累计值	-0.52953
Re	数字	g C m ⁻² d ⁻¹	日尺度的生态系统呼吸累计值	0.49628
LE	数字	Kg H ₂ O m ⁻² d ⁻¹	日尺度的潜热通量累计值	0.02922
H	数字	Kg H ₂ O m ⁻² d ⁻¹	日尺度的显热通量累计值	0.46578

数据表头说明：（1）NEE 表示日尺度的 CO₂ 通量累计值（g C m⁻² d⁻¹）；（2）Re 表示日尺度的生态系统呼吸累计值（g C m⁻² d⁻¹）；（3）GEE 表示日尺度的总生态系统生产力累计值（g C m⁻² d⁻¹）；（4）LE 表示日尺度的潜热量累计值（Kg H₂O m⁻²d⁻¹）；（5）H 表示日尺度的显热量累计值（Kg H₂O m⁻²d⁻¹）。其中无法统计日值的数据以-99999 表示。

3 数据质量控制和评估

3.1 数据质量控制

ChinaFLUX 有严格的数据质量保证和质量控制规范，以支撑长期、连续的联网观测的开展和运行。本数据集从观测、采集、质控、处理和存储方面均遵循了 ChinaFLUX 的技术体系（图 2）。该技术体系是基于全球通量观测研究领域普遍采用和认可的技术流程建立起来的^[8]，包括数据质控、缺失数据插补和通量拆分等方面。同时，亚洲通量观测网（AsiaFlux）组织日本通量网（JapanFLux）、韩

国通量网（KoFlux）和 ChinaFLUX 基于同一站点数据开展数据处理与质量控制的综合比较，结果表明，不同网络的计算结果表现出很好的一致性^[22]。

3.2 数据质量评价

基于全球通量观测研究领域普遍使用的质量评价方法，对数据集的数据质量开展系统评价。谱分析结果表明，三维风速、CO₂、H₂O 和温度的功率谱在惯性子区内基本符合 -2/3 定律，而 CO₂、H₂O 和温度与垂直风速的协谱在惯性子区内也基本符合 -4/3 定律^[23]。能力闭合分析表明，8 个台站的能量平衡比率为 0.57–0.95，平均为 0.73^[24]，处于全球通量观测台站能量平衡比率变化范围之内^[17]。数据质控的不确定性分析表明，摩擦风速阈值是影响 CO₂ 通量年总量的主要因素，数据处理方法不确定性引起的总生态系统碳交换量和生态系统呼吸年总量估算相对偏差分别为 3.88%–11.41% 和 6.45%–24.91%^[25]。

在半小时尺度上，不同台站和年份之间 CO₂ 通量、潜热通量和显热通量的有效观数据比例分别为 42.6%±4.6%、54.1%±8.8% 和 54.7%±9.0%，在仅考虑白天数据的情况下，CO₂ 通量有效观测数据的比例可以达到 60%–70% 以上（表 9）。数据缺失的原因可以分为两类，一类是个性原因，主要为供电故障、仪器故障和干扰（如设备维护、雷击等），特别是 2004 年鼎湖山站由于观测系统返厂维修导致数据缺失明显；另一类是共性原因，主要是数据质量控制中出现的数据缺失，包括异常数据剔除、夜间通量数据筛选等，特别是夜间数据的质控和筛选是引起有效观测数据降低的主要因素。

表 9 半小时尺度上不同站点通量数据质控后的有效数据比例（%）

站点名称	年份	CO ₂ 通量	潜热通量	显热通量
当雄	2004	35.2	48.9	49.2
	2005	43.3	60.3	60.6
鼎湖山	2003	46.7	50.3	50.9
	2004	33.4	36.4	36.5
	2005	49.1	56.4	57.0
海北	2003	44.5	63.5	64.1
	2004	39.7	57.6	58.4
	2005	41.2	61.4	62.4
内蒙古	2004	39.5	60.1	61.2
	2005	41.4	63.5	65.4
千烟洲	2003	47.8	52.9	52.8
	2004	46.7	51.7	51.6
	2005	45.5	49.9	49.8
西双版纳	2003	40.4	41.2	41.5
	2004	38.9	40.2	41.1
	2005	35.9	37.2	38.1
禹城	2003	39.1	54.2	54.5
	2004	45.6	63.6	63.7

站点名称	年份	CO ₂ 通量	潜热通量	显热通量
	2005	41.4	56.1	56.6
长白山	2003	50.2	62.9	63.6
	2004	44.9	58.8	60.4
	2005	46.7	62.4	64.2

4 数据使用方法和建议

本数据集由 CERN 综合研究中心和 ChinaFLUX 综合研究中心提供数据共享资源, 用户可登录数据资源服务网站 (<http://www.cnern.org.cn>), 在首页打开碳氮水通量数据集进入相应的数据浏览、在线申请页面。也可登录 Science Data Bank (<http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/600>) 访问数据集信息。

通量观测数据的质量控制与处理是国际通量观测研究的基础性内容, 同时也是目前尚未得到很好解决的重要议题。因此, 本数据集在使用中需要注意以下 5 个方面:

(1) 由于受到观测台站下垫面、植被特征和气候条件等因素的影响, 涡度相关通量观测数据的处理技术与方法目前还没有全球普遍公认的一套技术体系。

(2) 为了避免不同方法处理结果之间的差异, 并便于不同站点之间开展比较分析, 本数据是基于目前 ChinaFLUX 技术体系开展数据的质控和处理, 因此计算结果可能与部分单台站自行计算结果之间存在一定的差异。

(3) 随着数据综合处理技术的发展, ChinaFLUX 也会更新和完善现有的技术体系, 其结果也可能与现有方法之间存在一定差异。

(4) 受观测系统运行状态 (如供电、仪器故障和外界干扰) 和数据质量控制 (如异常数据剔除和夜间通量数据筛选) 的影响, 导致数据出现不同程度的缺失。考虑到数据插补可能引起的不确定性, 如果是基于日尺度数据开展模型验证和改进, 建议查看半小时尺度数据有效性, 优先选择数据缺失较少的日尺度累积数据开展相应的研究。如果是基于半小时数据开展碳水交换过程研究, 则优先选择未插补数据, 以减少不确定性。

(5) 本数据集的质量控制和处理方法的详细信息可参考于贵瑞等^[3]、Yu 等^[8]和 Wen 等^[23]发表的文献。

致 谢

ChinaFLUX 的运行和数据积累离不开所在 CERN 台站的大力支持, 长白山站、千烟洲站、鼎湖山站、西双版纳站、内蒙古站、海北站、当雄 (拉萨站) 和禹城站承担了通量和气象观测设备的野外维护和原始数据采集工作, 为本数据集的生产做出了不可缺少的贡献, 特此致谢!

数据作者分工职责

张雷明 (1974—), 男, 副研究员, 研究方向为生态系统碳水循环过程与全球变化。主要承担工作: 碳水通量数据综合处理方法和技术途径。

罗艺伟 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生态系统碳水分配模式。主要承担工作: 数据

处理和论文撰写。

刘敏 (1980—), 女, 讲师, 研究方向为模型数据融合与数值模拟。主要承担工作: 数据质量和质量控制。

陈智 (1981—), 女, 助理研究员, 研究方向为生态系统碳通量时空格局。主要承担工作: 数据质量分析。

苏文 (1968—), 女, 高级工程师, 研究方向为数据库开发与运行。主要承担工作: 数据集格式规范化、数据管理和服务。

何洪林 (1971—), 男, 研究员, 研究方向为生态信息学。主要承担工作: 数据库的总体构架。

朱治林 (1963—), 男, 副研究员, 研究方向为生态系统通量观测与数据分析。主要承担工作: 数据集的质量控制。

孙晓敏 (1957—), 男, 研究员, 研究方向为地表通量的区域遥感反演。主要承担工作: ChinaFLUX 技术体系构建。

于贵瑞 (1959—), 男, 研究员, 研究方向为生态系统与全球变化。主要承担工作: ChinaFLUX 的总体运行与科学发展。

此外, 王艳芬、周国逸、赵新全、韩士杰、欧阳竹、张宪洲、张一平、刘琪璟、郝彦宾、闫俊华、张德强、李英年、王安志、吴家兵、李发东、赵风华、石培礼、张扬建、何永涛、林露湘、宋清海、王辉民、刘允芬等人主要承担各台站数据观测、整理、初级质控及上报。

参考文献

- [1] BALDOCCHI D D, HICKS B B, MEYERS T P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods[J]. *Ecology*, 1988, 69: 1331-1340.
- [2] AUBINET M, VESALAT, PAPALED, et al. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis Series[M]. Netherlands: Springer, 2012.
- [3] 于贵瑞, 孙晓敏. 《陆地生态系统通量观测的原理与方法》(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [4] BALDOCCHI D, FALGE E, GU L, et al. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, 82(11): 2415-2434.
- [5] BALDOCCHI D. Breathing of the terrestrial biosphere: Lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems[J]. *Australian Journal of Botany*, 2008, 56: 1-26.
- [6] YU G R, CHEN Z, PIAO S L, et al. High carbon dioxide uptake by subtropical forest ecosystems in the East Asian monsoon region[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111: 4910-4915.
- [7] YU G R, CHEN Z, ZHANG L M, et al. Recognizing the scientific mission of flux tower observation networks—Lay the solid scientific data foundation for solving ecological issues related to global change[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2017, 8 (2): 115-120.
- [8] YU G R, WEN X F, SUN X M, et al. Overview of ChinaFLUX and evaluation of its eddy covariance measurement[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 137: 125-137.

- [9] SCHOTANUS P, NIEUWSTADT F T M, DEBRUIN H A R. Temperature measurement with a sonic anemometer and its application to heat and moisture fluxes [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 1983, 26: 81-93.
- [10] WILCZAK J M, ONCLEY S P, STAGE S A. Sonic anemometer tilt correction algorithms[J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 2001, 99: 127-150.
- [11] WEBB E K, PEARMAN G I, LEUNING R. Correction of the flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1980, 106: 85-100.
- [12] MOORE C J. Frequency response correction for eddy correction systems[J].*Boundary-Layer Meteorology*, 1986, 37: 17-30
- [13] HOLLINGER D Y, KELLIHER F M, BYERS J N, et al. Carbon dioxide exchange between an undisturbed old-growth temperate forest and the atmosphere[J]. *Ecology*, 1994, 75: 134-150.
- [14] FOKEN T, LEUNING R, ONCLEY S P, et al. Corrections and data quality. In: AUBINET M et al. (eds) *Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis*[M]. Dordrecht: Springer, 2012: 85-131.
- [15] REICHSTEIN M, FOGLE E, BALDOCCHI D et al. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm[J]. *Global Change Biology*, 2005, 11: 1424-1439.
- [16] PAPAIE D, VALENTINI R. A new assessment of European forests carbon exchanges by eddy fluxes and artificial neural network spatialization[J]. *Global Change Biology*, 2003, 9: 525-535.
- [17] WILSON K, GOLDSTEIN A, FALGE E, et al. Energy balance closure at FLUXNET sites[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 113: 223-243.
- [18] FALGE E, BALDOCCHI D, OLSON R, et al. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001a, 107: 43-69.
- [19] FALGE E, BALDOCCHI D, OLSON R, et al. Gap filling strategies for long term energy flux data sets[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001b, 107: 71-77.
- [20] LLOYD J, TAYLOR J A. On the temperature dependence of soil respiration[J]. *Functional Ecology*, 1994, 8: 315-323.
- [21] REICHSTEIN M, TENHUNEN JD, ROUPSARD O, et al. Severe drought effects on ecosystem CO₂ and H₂O fluxes at three Mediterranean evergreen site: revision of current hypotheses?[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8: 999-1017.
- [22] TAKAGI K, HIRATA R, WEN XF, et al. Inter-comparison of eddy flux calculation and QC/QA procedures of three flux networks (ChinaFLUX, JapanFlux and KoFlux) under AsiaFlux[J]. *AsiaFlux Newsletter*, 2008, 26: 8-11.
- [23] WEN X F, YU G R, SUN X M, et al. Turbulence flux measurement above the overstory of a subtropical Pinus plantation over the hilly region in southeastern China[J]. *Science in China Series D*, 2005, 48(Supp.I): 63-73.
- [24] LI Z Q, YU G R, WEN X F, et al. Energy balance closure at ChinaFLUX sites[J]. *Science in China Series D*, 2005, 48(Supp.I): 51-62.

- [25] LIU M, HE H L, YU G R, et al. Uncertainty analysis in data processing on the estimation of net carbon exchanges at different forest ecosystems in China[J]. Journal of Forest Research, 2012, 17(3): 312-322.

论文引用格式

张雷明, 罗艺伟, 刘敏, 等. 2003–2005 年中国通量观测研究联盟 (ChinaFLUX) 碳水通量观测数据集 [J/OL]. 中国科学数据, 2019, 4(1). (2018-12-29). DOI: 10.11922/csdata.2018.0028.zh.

数据引用格式

于贵瑞, 郝彦宾, 王艳芬, 等. 2003–2005 年中国通量观测研究联盟 (ChinaFLUX) 碳水通量观测数据集 [DB/OL]. Science Data Bank, 2018. (2018-07-06). DOI: 10.11922/sciencedb.600.

Carbon and water fluxes observed by the Chinese Flux

Observation and Research Network (2003–2005)

**Zhang Leiming^{1,2}, Luo Yiwei^{1,2}, Liu Min³, Chen Zhi¹, SuWen¹, He Hongling¹,
Zhu Zhilin¹, Sun Xiaomin¹, Wang Yanfen², Zhou Guoyi⁴, Zhao Xinquan⁵, Han Shijie⁶,
Ouyang Zhu¹, Zhang Xianzhou¹, Zhang Yiping⁷, Liu Qijing⁸, Hao Yanbin²,
Yan Junhua⁴, Zhang Deqiang⁴, Li Yingnian⁵, Wang Anzhi⁶, Wu Jiabing⁶, Li Fadong¹,
Zhao Fenghua¹, Shi Peili¹, Zhang Yangjian¹, He Yongtao¹, Lin Luxiang⁷,
Song Qinghai⁷, Wang Huimin¹, Liu Yunfen¹, Yu Guirui^{1,2*}**

1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P. R. China
2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190, P. R. China
3. East China Normal University, Shanghai, 200062, P. R. China
4. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, P. R. China
5. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, P. R. China
6. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, P. R. China
7. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun 666303, P. R. China
8. College of Forestry of Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China

*Email: yugr@igsnr.ac.cn

Abstract: Based on micrometeorological theory, eddy covariance technique (EC) is considered as the unique approach for direct measurement of ecosystem-scale productivity, energy balance and greenhouse gas

exchange. The EC flux data provide important support for the study on the mechanism of ecosystem carbon & water coupling cycles, the spatio-temporal patterns of carbon sink capacity, and water use strategy. As the first batch observed by the Chinese Flux Observation and Research Network (ChinaFLUX), this dataset collected field measurements from of eight sites during 2003–2005 after the founding of ChinaFLUX in 2002, including 4 forests, 3 grassland and 1 cropland. The data products of this dataset have been standardized following the ChinaFLUX data processing protocols, and they provide important scientific knowledge and data basis for analyzing responses to environmental changes.

Keywords: eddy covariance technique, flux measurement, meteorological factors, carbon and water cycling, terrestrial ecosystem

Dataset Profile

Title	Carbon and water fluxes observed by the Chinese Flux Observation and Research Network (2003–2005)				
Contact	Yu Guirui (yugr@igsnr.ac.cn)				
Data producers	Station	Observer	Former Director	Current Director	Affiliate
	Inner Mongolia	Hao Yanbin	Wang Yanfen	Wang Yanfen	College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences
	Dinghushan	Zhang Deqiang	Zhou Guoyi	Zhou Guoyi	South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences
	Haibei	Zhang Fawei	Zhao Xinquan	Li Yingnian	Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences
	Changbaishan	Wu Jiabing	Han Shijie	Wang Anzhi	Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences
	Yucheng	Li Fadong Zhao Fenghua	Ouyang Zhu	Ouyang Zhu	Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences
	Dangxiong	He Yongtao	Zhang Xianzhou	Zhang Yangjian	Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of

					Sciences
	Xishuangbanna	Song Qinghai	Zhang Yiping	Lin Luxiang	Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences
	Qianyanzhou	Dai Xiaoqin	Liu Qijing	Wang Huiming	Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences
	Data Center	Zhang Leiming Su Wen	Yu Guirui	Yu Guirui	Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences
Time range	2003–2005				
Observation target	Eight terrestrial stations from ChinaFLUX in China				
Data amount	78.94 MB				
Data format	*.xls				
Data service system	http://www.cnern.org.cn/data/meta?id=40572 ; http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/600				
Sources of funding	National key research and development program (2017YFC0503801, 2016YFA0600104), the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19020302), Science and Technology Service Network Initiative of Chinese Academy of Sciences (STS Plan, KFJ-SW-ST-169).				
Dataset composition	The dataset consists of the flux and meteorological measurement of eight stations from ChinaFLUX, including Changbaishan, Qianyanzhou, Dinghushan, Xishuangbanna, Inner Mongolia, Yucheng, Haibei and Dangxiong. The dataset from each station consists of half-hour and daily data products. The half-hour dataset of flux measurement includes CO₂ flux, latent flux and sensible flux after quality control and quality assurance, the meteorological data includes air temperature, precipitation, global radiation and photosynthetic active radiation. The daily dataset includes the integrated daily CO₂ flux, latent flux and sensible flux.				