

Assessment and Measurement method of
the GHG Status of Freshwater Reservoirs

淡水水库温室气体状 态的评价和测量方法

联合国教科文组织
国际水电协会 著



马智杰 译

光明日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

淡水水库温室气体状态的评价与测量方法 / 马智杰译著. —北京:
光明日报出版社, 2014.1

ISBN 978-7-5112-5864-9

I. ①淡… II. ①马… III. ①淡水—水库—温室效应—评价
②淡水—水库—温室效应—测量方法 IV. ①TV62②X16

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第019041号

淡水水库温室气体状态的评价与测量方法

著 者: 马智杰 译著

责任编辑: 庄 宁

责任校对: 张 翀

封面设计: 三鼎甲

责任印制: 曹 净

出版发行: 光明日报出版社

地 址: 北京市东城区珠市口东大街5号, 100062

电 话: 010-67022197 (咨询), 67078870 (发行), 67078235 (邮购)

传 真: 010-67078227, 67078255

网 址: <http://book.gmw.cn>

E - mail: gmcbbs@gmw.cn zhuangning@gmw.cn

法律顾问: 北京天驰洪范律师事务所

印 刷: 北京紫瑞利印刷有限公司

装 订: 北京紫瑞利印刷有限公司

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社联系调换

开 本: 880mm × 1230mm 1/32

字 数: 200千字 印 张: 7

版 次: 2013年12月第1版 印 次: 2013年12月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5112-5864-9

定 价: 28.00元

版权所有 翻印必究

前 言

地球生命已经经历了无数个气候冷暖交替变化的巨大考验，即使进入人类文明的几千年中也出现了几个显著的冷期和暖期，而且不少时候其温变幅度接近或超过了最近 100 年全球发生的 $0.4 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 的变暖幅度，显著影响了人类社会的繁荣和衰退，人类是在经受痛苦甚至灾难和死亡的过程中被动地适应着过去的气候变化。目前的全球气候变暖是近 100 年气候变化的最显著特征，被普遍认为是由人类活动产生的温室气体排放的增加所引发的气候效应。即使刚过去的 100 年已经发生的气候变暖幅度还没有超过历史的极值幅度，但已经引起了全球的高度警觉。

虽然全球气候变暖趋势明显，但水库引起的新增温室气体排放占人类造成的温室气体排放比例是很小的，世界上绝大多数水电站与化石燃料发电相比都有明显的减排优势。水库由于多功能的特性和所处环境的不同，水库温室气体排放情况可能差别较大，需要采用科学的态度对各类水库进行全面的测量和评价，不能以个别非典型的例子否定水库对人类发展的巨大贡献。

联合国教科文组织分别于 2006 年（法国，巴黎）和 2007 年（巴西，伊瓜苏市）主办了两次关于淡水水库温室气体状态的科学研讨会，该研讨会是联合国教科文组织国际水文计划第六阶段（2002 年 ~ 2007 年）的一部分，其主题是应对全球气候变化和水资源，编写了《淡水水库温室气体状态评价导则》草案。此次研讨会之后又于 2008 年召开了两次研讨会，编写了《淡水水库温室气体状态测量评估规范》草案。在世界范围内，首次对淡水

水库温室气体状态的评价和测量提供了科学的方法。这两份草案2008年已在网站上公开，鼓励科研人员下载、使用、推广和提出修改意见。

国内已经开始水库温室气体排放的测量和评价等相关研究工作，水库温室气体进入大气是一个动态变化的生物化学工程，影响水库温室气体排放的因素很多，这些因素直接导致了水库温室气体排放的不确定性，长期的现场排放监测是研究水库温室气体最直接和最有效的方法，不仅技术难度高，而且目前国内没有统一的测量方法和评价标准。《淡水水库温室气体状态评价导则》和《淡水水库温室气体状态测量评估规范》的翻译对于国内的科研人员进行淡水水库温室气体状态的测量和评价具有重要的指导意义。

本书是一种公开的科学研究方法，在翻译中严格按照原文进行，没有任何的歪曲和偏移。本书由马智杰翻译，参加审译的还有鲁仕宝、赵云、黄真理、汪群、黄德春、张长征、李道亮、陈英义、查同刚、张承明和王伊琨。本书在翻译过程中，得到了国家国际科技合作专项《小水电代燃料的气候变化影响评价与生态监测智能技术合作研究（2012DFA60830）》，水利部水电局、武汉理工大学资源与环境学院、国家水电可持续发展中心，国家能源水能高效利用与大坝安全技术研发（实验）中心、北京市水利学会，中国水利学会城市水利专业委员会、中国水利水电科学研究院的大力支持，在此一并表示衷心感谢！

由于时间有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

马智杰

2013年11月8日

目 录

上 篇 淡水水库温室气体状态评价导则	1
前 言	3
1. 背景	6
2. 评价的意向、输出和目标	7
3. 概念	8
4. 以往工作	11
5. 关键过程和参数	13
自然流域的碳循环	13
水库途径	15
关键过程	17
关键参数	18
6. 测量	20
水库关键参数和过程	20
库存量的变化	21
水库输出	21
时间和空间分辨率	22
单位标准化	23

7. 预测和建模	24
8. 进一步的工作	26
9. 参考文献	30
技术附录	44
下 篇 淡水水库温室气体测量评估规范	49
前 言	53
I. 简介	55
I.1. 背景	55
I.2. 规范的目标和适用范围	56
II. 一般原则和数据	59
II.1. 以往工作	59
II.2. 关键过程和参数	62
II.2.1. 自然流域的碳循环	62
II.2.2. 水库途径	64
II.2.3. 关键过程	66
II.2.4 关键参数	67
II.3. 总排放量的测量	68
II.3.1. 水库关键参数和过程	68
II.3.2. 水库存量的变化	69
II.3.3. 水库输出	70
II.3.4. 时间和空间分辨率	71
II.3.5. 单位标准化	72
II.4. 考虑净排放量的重要性	72
II.4.1. 净排放量定义	72

II.4.2. 蓄水前测量	73
II.4.2.1. 流域和水库 – 陆地动植物	76
II.4.2.2. 流域和水库 – 水生动植物	76
II.4.2.3. 库址下游	77
II.4.2.4. 碳储量计算	77
II.4.3. 蓄水后测量	78
II.4.3.1. 流域	78
II.4.3.2. 水库	78
II.4.3.3. 库址下游	79
III. 空间和时间变化	80
III.1. 测量地点	80
III.2. 测量时间	82
IV. 水库选址	84
V. 方法和设备	87
V.1. 测量温室气体排放的过程	87
V.1.1. 陆地生态系统	88
a. 培养箱	88
b. (土芯取样) 培养箱	89
c. 涡流协方差塔	90
d. 估算排放量的其他方法	91
V.1.2. 水生生态系统	91
V.1.2.1. 水和大气之间的表面扩散流量	91
a. 表面浮动箱	91
b. 涡流协方差塔	94
c. 薄边界层 (TBL) 扩散过程模型	94

V.1.2.2. 鼓泡（或沸腾） 95

V.1.2.3. 下游排放 98

V.1.2.4. CO₂、CH₄ 和 N₂O 浓度 100

V.2. 沉积物中碳质量流量和碳储存 101

V.3. 水质和物理参数 103

VI. 数据分析 105

VII. 数据库 110

VIII. 本规范的更新 112

IX. 参考文献 114

附录 1：联合国教科文组织和国际水电协会温室气体
测量调查表 126

附：

Assessment of the GHG Status of Freshwater Reservoirs / Page1-Page26

Measurement Specification Guidance for Evaluating the GHG Status of
Man-made Freshwater Reservoirs / Page1-Page55

上 篇

淡水水库温室气体状态评价导则

淡水水库温室气体状态工作组

2008 年 7 月

本文所采用的术语和对材料的描述，并不意味联合国教科文组织对任何国家、领土、城市及其当局持有任何观点，也不意味对边界或界限划分的任何意见。

研讨会与会者对本文所包含的材料和事实的描述方式，以及对本文所载的观点和 / 或陈述负责；不代表联合国教科文组织的观点和 / 或陈述，联合国教科文组织对此并不负责。

前 言^[1]

在联合国教科文组织关于全球变化和水资源国际水文计划第六阶段（2002 年至 2007 年）的框架下，在 2006 年和 2007 年组织了两次关于淡水水库温室气体状态的研讨会。在此背景下，联合国教科文组织了一次关于淡水水库温室气体排放的论坛。2006 年 12 月 5 日至 6 日在法国巴黎召开的研讨会的结论之一是对导致热带水库的甲烷排放的关键参数和过程开展更多的研究，并提高对此的理解。

2007 年 10 月 4 至 5 日在巴西伊瓜苏市召开的研讨会建议：“将开发一个分析过程确定未来水库选址的温室气体排放是否有可能成为一个重大课题。这个过程将使用少量关键指标，例如水文、水库类型、气候和有机负荷。在分析过程表明温室气体排放量可能显著增加的地方，将采用更详细的分析。为了支持这个过程，需选择至少 20 个有代表性的热带、亚热带水库。在每个库址，采集基于过程模型的开发数据，包括一些需进行更密集的过程测量分析的坝址。”

[1] 工作组成员起草了本文件，联合国教科文组织对这里提出的观点不持立场。

为了完成本报告，于 2008 年 1 月 10 日到 11 日巴黎的正式会议召开之前，工作组（WG）通过书信的方式准备了两个草案。在这次会议中，工作组讨论和更新了报告及其内容，为了更广泛地传播，任命工作组主席和协调员准备了这份草案。本草案将作为参加巴黎和伊瓜苏市研讨会的与会者，以及与此相关的其他组织包括研究机构、政府、非政府组织和行业组织进一步讨论的依据。

工作组成员表：

姓名	机构	国家
Antenucci, J.	西澳大利亚大学	澳大利亚
Cimbliris, A./Brum, P.R.	FURNAS Centrais Eléctricas S.A.	巴西
Guerin, F.	马普学会陆生微生物研究所	德国
Harby, A.	科学与工业研究基金会能源研究所	挪威
Kemenes, A.	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia	巴西
McGinnis, D./Schmid, M.	Eawag	瑞士
Melack, J.	美国加利福尼亚大学圣巴巴拉分校	美国
Roland, F.	茹伊斯－迪福拉联邦大学	巴西
Aurélio dos Santos, M.	里约热内卢联邦大学 /COPPE	巴西
von Borstel Sugai, M.	Assoc. Empresas Geradores de Energia Eléctrica	巴西
Taylor, R. (协调员)	国际水电协会	英国
Tremblay, A.	魁北克水电公司	加拿大
Tucci, C. (主席)	南里奥格兰德联邦大学	巴西

除编写本文最终定稿的草案之外，还起草了另外一个草案，

供从 2008 年 2 月到 4 月的外部咨询之用。收到了下列人员的评论:

评论人员表：

姓名	机构	国家
Abril, Gwenael.	波尔多大学 1	法国
Fearnside, Philip.	Instituto Nacional Geradores de Energia	巴西
Krauskopf Neto, Ricardo.	Itaipu Binacional	巴西
Scanlon, Andrew.	塔斯马尼亚水电	澳大利亚
Sikar, Elizabeth.	Costrumaq - SC	巴西
Wagner, Christian.	国际铝业协会	英国

1. 背景

淡水水库可基于多种目的调节流量，包括：供水、灌溉、防洪减灾、抗旱、航运和水电。陆地表面积转换形成水体，和相关水面气体流量测量已经表明二氧化碳 (CO₂) 和甲烷 (CH₄) 排放可能和温室气体 (GHG) 交换的全球清单有关。研究表明寒冷和温和气候条件下的排放水平普遍较低，而较高的排放量似乎和持续缺氧的热带系统有关。然而，改进可用的信息和工具对于支持已有水库和新建水库的温室气体状态以及采取必要缓解措施的明智决策非常重要。

为了量化在流域建设水库造成的温室气体交换的净变化，有必要考虑水库建设前后的交换量。整个流域建库前后排放量的区别将会表明水库的温室气体的状态。排放量的研究期按 100 年计算（政府间气候变化专门委员会，2006 年）。热带水库已经发布的有限数据表明甲烷排放量不仅在不同水库间有差异，而且涉及多方面因素，如水淹植物的类型和密度、水生植物生长、风速、温度、氧饱和度和水位等，在每个水库内也处于动态变化中。

2. 评价的意向、输出和目标

评价的总体目标是评价淡水水库建设和采取潜在的缓解措施而引起的温室气体交换^[1]。

对于作为温室气体来源的水库对大气的直接或潜在影响，需要解决的主要问题如下：

- 水库主要温室气体通量（二氧化碳和甲烷）的观测范围是多少？
- 水库累积沉积物和净初级生产力的碳储量观测结果是多少？
- 建设水库造成的温室气体通量和碳储量的比例是多少，即水库的净“碳足迹”是什么？
- 如果有必要，是否可能从已有或计划中的水库中减少排放？

本导则规定范围内未来工作的预期成果包括：

- (i) 满足目标所需的工具研发，包括测量方法和模型。
- (ii) 基于为了缓和温室气体排放的水库规划和管理方法的代表性数据开发指导方法。

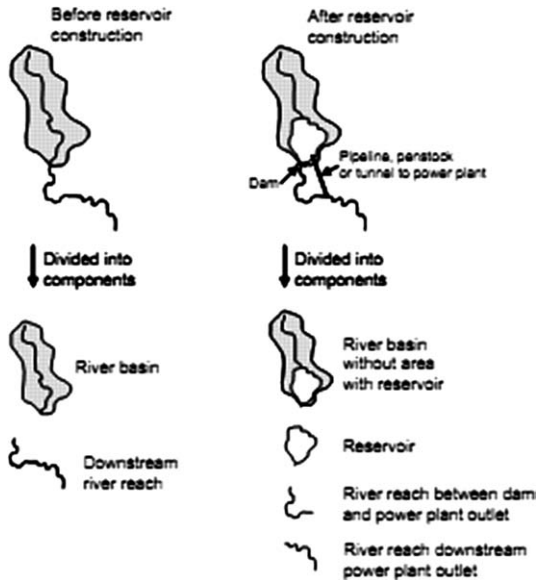
预计这些成果能在一个 2 到 3 年的时间内完成。

[1] 这通常被称为碳足迹或温室气体净排放量，本文的目标是水库建设引起的河流域温室气体排放的积极或消极的变化。

3. 概念

为了确定水库引起的温室气体交换的数量，有必要研究水库建设前后的排放量。排放期应按 100 年计算。整个流域水库建设前和建设后排放量的差异为真实的温室气体净排放量。从流域到下游河道、湖泊或海洋的碳输送过程必须结合水库和河流的碳储量变化综合考虑。评估建设一个水库可能引起排放量的变化，综合考虑水库的总地理面积非常重要。图 1 显示了可行的地理研究单元。

温室气体排放量的测量、研究和模拟必须考虑所有类型土地利用的排放或摄取，包括水库、河段的范围和陆地土地利用。这些地理单位或分单位的输送过程和储量变化必须包括在内。向该系统的输入数据可以来自测量、文献资料或模型。控制排放、输送和存量变化的主要因素必须包括在所有单元之内。这些因素可能为驱动因素如空气和水体温度、降雨或光照，或为关键参数如溶氧量、碳负荷、驻留时间或初级生产量等。图 1 显示了可能用于测量、计算和建模的地理单元。图 2 显示了对这些地理单元建模的一般概念。图 2 中所有代表通量和输送的箭头必须考虑在内。



Before reservoir construction	水库建设前
Divided into components	分成不同部分
River basin	流域
Downstream river reach	下游河段
After reservoir construction	水库建设后
Pipeline, penstock or tunnel to power plant	通往电厂的管道、压力管道或隧道
Dam	大坝
Divided into components	分成不同部分
River basin without area with reservoir	无库区流域
Reservoir	水库
River reach between dam and power plant outlet	大坝和电厂出口之间的河段
River reach downstream power plant outlet	电厂出口下游的河段

图 1. 流域建设水库的净排放量模型的地理单元