

澜沧江流域与大香格里拉地区
科学考察丛书



澜沧江流域植被格局及 净初级生产力模拟研究

刘高焕 黄翀 李亚飞 张海龙 ● 著



科学出版社

澜沧江流域与大香格里拉地区科学考察丛书

澜沧江流域植被格局及 净初级生产力模拟研究

刘高焕 黄 翀 李亚飞 张海龙 著

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是在澜沧江流域与大香格里拉地区综合科学考察的基础上,以多源遥感探测为主要技术手段,结合野外调查采样和模型模拟,对澜沧江流域植被分布格局及其与自然环境的相互作用进行了详细分析。主要包括澜沧江流域复杂地形背景下的实际太阳辐射量模拟、流域气候因子的空间分异特征、流域植被格局现状及变化特征、流域植被-环境关系、潜在植被模拟、植被净初级生产力模拟等。

本书是针对澜沧江流域植被-环境关系较为系统的研究专著,可供从事地理学、植物学、生态学、遥感、测绘及相关专业的研究人员和高等院校相关专业的师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

澜沧江流域植被格局及净初级生产力模拟研究/刘高焕等著.

—北京:科学出版社,2015.6

(澜沧江流域与大香格里拉地区科学考察丛书)

ISBN 978-7-03-044708-1

I. ①澜… II. ①刘… III. ①澜沧江-流域-植被-研究 IV. ①Q948.15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 124796 号

责任编辑:李 敏 王 倩 / 责任校对:彭 涛

责任印制:肖 兴 / 封面设计:李姗姗

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张:10 插页:2

字数:300 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

科学技术部科技基础性工作专项
“澜沧江中下游与大香格里拉地区综合科学考察”
(2008FY110300)
第七课题
(2008FY110307)

《澜沧江流域与大香格里拉地区科学考察丛书》 编委会

主 编 成升魁

编 委 (按姓氏拼音顺序排列)

包维楷 陈 进 成升魁 崔明昆

封志明 黄 翀 姜鲁光 李九一

李丽娟 刘高焕 刘立涛 闵庆文

沈 镭 韦方强 谢高地 徐增让

张昌顺 张 玲

本书编写组

主 笔 刘高焕 黄 翀 张海龙 李亚飞

成 员 (按姓氏拼音顺序排列)

冯险峰 蓝永如 刘庆生 史 磊

宋创业 谢传节

“澜沧江中下游与大香格里拉地区科学考察” 项 目 组

专家顾问组

组长 王克林 研究员 中国科学院亚热带农业生态所

成员 孙鸿烈 中国科学院院士 中国科学院地理科学与资源研究所
李文华 中国工程院院士 中国科学院地理科学与资源研究所
孙九林 中国工程院院士 中国科学院地理科学与资源研究所
梅旭荣 研究员 中国农科院农业环境与可持续发展研究所
黄鼎成 研究员 中国科学院地质与地球物理研究所
尹绍亭 教授 云南大学
邱华盛 研究员 中国科学院国际合作局
王仰麟 教授 北京大学

参 与 单 位

负责单位 中国科学院地理科学与资源研究所

协作单位 中国科学院西双版纳热带植物园
中国科学院成都山地灾害与环境研究所
中国科学院成都生物研究所
中国科学院动物研究所
中国科学院昆明动物研究所
中国科学院昆明植物研究所
云南大学
云南师范大学
云南省环境科学研究院

项 目 组

项目负责人 成升魁

课题负责人

课题 1 水资源与水环境科学考察 李丽娟

课题 2 土地利用与土地覆被变化综合考察 封志明

课题 3 生物多样性与重要生物类群变化考察 陈 进

课题 4 生态系统本底与生态系统功能考察 谢高地

课题 5 自然遗产与民族生态文化多样性考察 闵庆文

课题 6 人居环境变化与山地灾害考察 沈 镭

课题 7 综合科学考察数据集成与共享 刘高焕

课题 8 综合考察研究 成升魁

野外考察队长 沈 镭

学 术 秘 书 徐增让 刘立涛

总 序

新中国成立后，鉴于我国广大地区特别是边远地区缺乏完整的自然条件与自然资源科学资料的状况，国务院于1956年决定由中国科学院组建“中国科学院自然资源综合考察委员会”（简称“综考会”），负责综合考察的组织协调与研究。之后四十多年间，综考会在全国范围内组织了34个考察队、13个专题考察项目、6个科学试验站的考察、研究工作，取得了丰硕的成果，培养了一支科学考察队伍，为国家经济社会建设、生态与环境保护以及资源科学的发展，做出了重要的贡献。

2000年后，科学技术部为了进一步支持基础科学数据、资料与相关信息的收集、分类、整理、综合分析和数据共享等工作，特别设立了包括大规模科学考察在内的科技基础性工作专项。2008年，科学技术部批准了由中国科学院地理科学与资源研究所等单位承担的“澜沧江中下游与大香格里拉地区综合科学考察”项目。项目重点考察研究了水资源与水环境、土地利用与土地覆被变化、生物多样性与生态系统功能、自然遗产与民族文化多样性、人居环境与山地灾害、资源环境信息系统开发与共享等方面。经过5年的不懈努力，初步揭示了该地区的资源环境状况及其变化规律，评估了人类活动对区域生态环境的影响。这些考察成果将为保障澜沧江流域与大香格里拉地区资源环境安全提供基础图件和科学数据支撑。同时，通过这次考察推进了多学科综合科学考察队伍的建设，培养和锻炼了一批中青年野外科学工作者。

该丛书是上述考察成果的总结和提炼。希望通过丛书的出版与发行，将进一步推动澜沧江流域和大香格里拉地区的深入研究，以求取得更多高水平的成果。



2013年10月

总 前 言

科学技术部于2008年批准了科技基础性工作专项“澜沧江中下游与大香格里拉地区综合科学考察”项目，中国科学院地理科学与资源研究所作为项目承担单位，联合了中国科学院下属的西双版纳植物园、昆明植物研究所、成都山地灾害与环境研究所、成都生物研究所、动物研究所，以及云南大学、云南师范大学、云南环境科学研究院等8家科研院所，对该地区进行了历时5年的大规模综合科学考察。

从地理空间看，澜沧江-湄公河流域和大香格里拉地区连接在一起，形成了一个世界上生物多样性最为丰富、水资源水环境功能极为重要、地形地貌极为复杂的独特地域。该地区从世界屋脊的河源到太平洋西岸的河口，涵盖了寒带、寒温带、温带、暖温带、亚热带、热带的干冷、干热和湿热等多种气候；跨越高山峡谷、中低山宽谷、冲积平原等各种地貌类型；包括草甸、草原、灌丛、森林、湿地、农田等多种生态系统，也是世界上能矿资源、旅游资源和生物多样性最丰富的地区之一。毋庸置疑，开展这一地区的多学科综合考察，对研究流域生态系统、资源环境梯度变化规律和促进学科交叉发展具有重大的科学价值。

本项目负责人为成升魁研究员，野外考察队长为沈镭研究员。项目下设7个课题组，分别围绕水资源与水环境、土地利用与土地覆被变化、生物多样性、生态系统功能、自然遗产与民族文化多样性、人居环境与山地灾害、资源环境信息系统开发与共享等，对澜沧江中下游与大香格里拉地区展开综合科学考察和研究。各课题负责人分别是李丽娟研究员、封志明研究员、陈进研究员、谢高地研究员、闵庆文研究员、沈镭研究员和刘高焕研究员。该项目的目的是摸清该地区的本底数据、基础资料及其变化规律，为评估区域关键资源开发、人居环境变化与人类活动对生态环境的影响，保障国家与地区资源环境安全提供基础图件和科学数据，为我国科学基础数据共享平台建设提供支持，以期进一步提高跨领域科学家的协同考察能力，推进多学科综合科学考察队伍建设，造就一批优秀的野外科学工作者。

5年来，项目共组织了4次大规模的野外考察与调研，累计行程为17 600km，历时共90天，其中：第一次野外考察于2009年8月16日至9月8日完成，重点考察了大香格里拉地区，行程涵盖四川、云南2省9县近3600km，历时23天；第二次野外科学考察于2010年11月3日至11月28日完成，行程覆盖澜沧江中下游地区的云南省从西双版纳到保山市4市13县，行程4000余千米，历时26天；第三次考察于2011年9月10日至9月27日完成，考察重点是澜沧江上游及其源头地区，行程近5000km，历时18天；第四次野外考察于2013年2月24日至3月17日在境外湄公河段进行，从云南省西双版纳州的景洪市磨憨口岸出发，沿老挝、柬埔寨至越南，3月4日至6日在胡志明市参加“湄公河环境国际研讨会”之际考察了湄公河三角洲地区的胡志明市和茶荣省，3月8日自胡志明市、柬埔寨、泰国，再回到磨憨口岸，行程近5000km，历时23天。

5 年来, 整个项目组累计投入 4200 多人次, 完成了 4 国、40 多个县(市、区)的座谈与调研, 走访了 10 多个民族、40 多家农户, 完成了 2800 多份资料和 15 000 多张照片的采集, 完成了 8000 条数据、3000 多张照片的编录与整理, 完成了近 1000 多个定点观测、70 篇考察日志和流域内 45 个县(市、区)的县情撰写。在完成野外考察和调研的基础上, 已经撰写和发表学术论文 30 多篇, 培养了博士和硕士研究生共 30 多名。

在完成了上述 4 次大规模的野外考察和资料收集的基础上, 项目组又完成了大量的室内分析、数据整理和报告的撰写, 先后召开了 20 多次座谈会。以此为基础, 各课题先后汇编成系列考察报告并陆续出版。我们希望并深信, 该考察报告的出版, 无论是在为今后开展本地区的深入科学研究还是在为区域社会经济发展提供基础性科技支持方面, 都将是十分难得的宝贵资料和具有重要参考价值的文献。



2013 年 10 月

前 言

植被是陆地生态系统的主体,在保持水土、调节大气、减缓温室效应、维持气候及生态系统稳定等方面都具有十分重要的作用。植被与其生存的环境相互协调并构成一个统一的系统,二者之间的关系是地理学和植被生态学研究的重要内容。植被分布受众多环境因子的影响,在水平或垂直的植被地带或生物群系尺度上,区域气候的基本状况是决定植物种、生活型或植被类型分布的主导因素。在同一气候区内,局地地形(如起伏等)的变化控制光、热、水和土壤养分等环境因子的空间再分配,进而对植被的分布及生物物理参数产生影响。

澜沧江-湄公河流域多样性的地貌和气候特征,使得该区植被类型丰富。流域从世界屋脊的河源到太平洋西岸的河口,涵盖了寒带、寒温带、温带、暖温带、亚热带、热带的干冷、干热和湿热多种气候;跨越高山峡谷、中低山宽谷、冲积平原等多种地貌类型;包括草甸、草原、灌丛、森林、湿地、农田等多种生态系统。前人在宏观尺度上对流域植被的地带性分布格局进行了较为深入的研究,但从流域尺度上系统地分析植被分布格局、生产力特征以及与环境因子关系的研究尚不多见。

以遥感为代表的空间信息技术的飞速发展,为深入研究澜沧江流域植被分布与环境因子的相互作用关系提供了可能。本书是在澜沧江流域与大香格里拉地区综合科学考察的基础上,以多源卫星遥感为主要数据源,结合野外调查采样和模型模拟,对澜沧江流域植被与环境的相互作用进行了详细的分析。

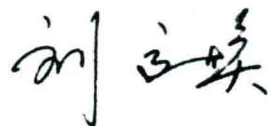
本书共分为7章。第1章对澜沧江流域的自然地理概况进行了介绍。第2章探讨了对澜沧江流域植被有重要影响的实际太阳辐射量的模拟方法。通过构建日尺度太阳辐射模型,以高时间分辨率的MODIS大气产品为基础数据源,实现了对澜沧江流域复杂地形实际太阳辐射量的模拟。第3章基于澜沧江流域及周边气象站点观测数据,利用GIS空间插值技术,分析了重要气候环境因子的空间分异特征。第4章在对MODIS土地覆被数据进行精度检验的基础上,分析了澜沧江流域植被分布现状及地带性特征。第5章利用最大熵模型,分别在植被型和植被群系尺度下定量分析澜沧流域不同地区典型植被分布的气候、地形及其他相关环境因子。在此基础上,第6章分别利用最大熵模型和GARP模型,从植被型和植被群系尺度模拟了澜沧江流域潜在植被分布。第7章从植被-环境关系出发,利用遥感器理模型,通过耦合碳水、热量、氮素等过程,对澜沧江流域生态系统植被净初级生产力进行了模拟。

全书章节安排由中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室刘高焕研究员设计,其他撰写人员包括中国科学院地理科学与资源研究所黄翀博士、中国科学院遥感与数字地球研究所张海龙博士、中国民航大学李亚飞博士。其中,第1章由黄翀、刘高焕撰写,第2章由张海龙、刘高焕、黄翀撰写,第3章和第4章由李亚飞、刘高焕、黄翀撰写,第5章和第6章由李亚飞、刘高焕撰写,第7章由张海龙、刘高焕撰写。在本书撰写过程中,课题组成员冯险峰、蓝永如、刘庆生、史磊、宋创

业、谢传节等也付出了辛勤的劳动，在此表示最诚挚的感谢！

本书的完成，得到科学技术部科技基础性工作专项项目“澜沧江中下游与大香格里拉地区科学考察(2008FY110300)”的支持，特别要感谢项目负责人成升魁研究员，野外考察队队长沈镭研究员，以及相关课题负责人封志明研究员、李丽娟研究员、谢高地研究员、闵庆文研究员、陈进研究员的指导。感谢澜沧江科考队全体队员的支持与帮助。

由于澜沧江流域植被-环境关系的复杂性，对植被格局模拟与净初级生产力模拟研究仍处在不断的探索中。由于时间仓促，并限于作者水平，疏漏错误难免，诚请同行专家和广大读者批评指正。



2015年5月于北京

目 录

总序
总前言
前言

第 1 章	澜沧江流域自然地理概况	1
1.1	地形地貌	2
1.2	气候	2
1.3	水系	2
1.4	土壤	3
1.5	植被	3
第 2 章	澜沧江流域复杂地形实际太阳辐射量模拟	5
2.1	概述	5
2.2	数据收集与处理	6
2.3	模型构建	8
2.4	模型验证及比较	18
2.5	澜沧江流域太阳辐射时空分布特征	20
2.6	小结	23
第 3 章	澜沧江流域气候因子空间分异特征	24
3.1	数据收集与处理	24
3.2	流域气候因子空间分异特征	29
3.3	小结	34
第 4 章	澜沧江流域植被格局及变化特征	35
4.1	概述	35
4.2	数据收集及处理	35
4.3	MODIS 土地覆被数据精度检验	36
4.4	澜沧江流域植被分布特征	39
4.5	澜沧江流域 2001 ~ 2009 年植被格局变化特征	42
4.6	小结	47
第 5 章	澜沧江流域植被-环境关系	48
5.1	数据收集及处理	48
5.2	模型方法	51
5.3	流域植被分布与环境关系	52
5.4	小结	87
第 6 章	澜沧江流域潜在植被模拟	88
6.1	概述	88
6.2	模型方法	89
6.3	澜沧江流域潜在植被模拟	91
6.4	小结	110

第 7 章 澜沧江流域植被净初级生产力模拟.....	111
7.1 概述	111
7.2 数据搜集与处理	112
7.3 叶片氮浓度模型	113
7.4 基于碳氮耦合模型的 NPP 模拟	122
7.5 澜沧江流域 NPP 时空分布特征	129
7.6 澜沧江流域 NPP 与环境因子的相关关系	138
7.7 小结	141
参考文献.....	142

第 1 章 | 澜沧江流域自然地理概况

澜沧江发源于我国青海省玉树藏族自治州，流经青海、西藏、云南三省（区）（图 1-1）。其支流在西藏自治区昌都县汇合后为“澜沧江”，从我国的云南省西双版纳傣族自治州勐腊县的南腊河口出境，之后被称为“湄公河”，并依次流经缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南，于越南胡志明市以南注入太平洋。

澜沧江干流全长 2161km，流域面积约 16.75 万 km²。西藏自治区昌都县以上为上游，昌都县至云龙县的功果桥为中游，功果桥以下为下游。澜沧江上游有东西两个支流，西支为昂曲，东支为扎那曲。中国科学院考察队于 2008 年 9 月进行了以确定澜沧江源头地理位置为目标的综合考察，发现扎那曲为澜沧江的正源。澜沧江由北向南流，所经流域纵跨 13 个纬度（图 1-1）。该流域几乎包括了世界上除戈壁和沙漠以外的所有自然景观和气候类型。在人文方面，流域为多民族聚居地区，仅云南段流域内就分布有 16 个少数民族。各少数民族的习俗风情、生活方式和宗教信仰各具特色，并多与当地的自然环境背景融为一体。

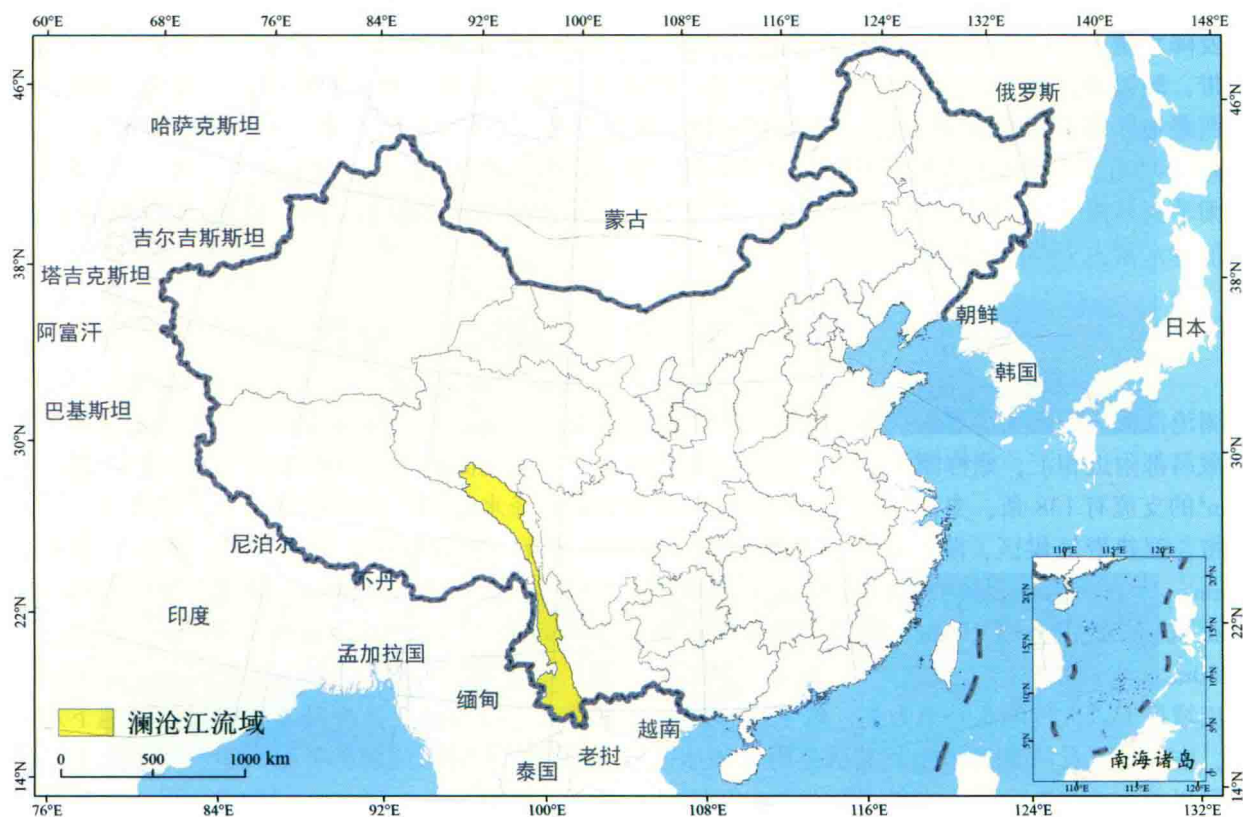


图 1-1 澜沧江流域地理位置

1.1 地形地貌

澜沧江流域地处 $93^{\circ}38'E \sim 101^{\circ}50'E$, $21^{\circ}09'N \sim 34^{\circ}15'N$, 地势北高南低, 自南向北呈条带状, 上下游较宽阔, 中游较为狭窄, 流域平均宽度约 80km, 流域内地形起伏剧烈, 地形复杂。上游属青藏高原, 海拔 4000 ~ 4500m, 山地海拔可达 5500 ~ 6000m, 区域内除高大险峻的雪峰外, 山势平缓, 河谷平浅。中游属高山峡谷区, 河谷深切于横断山脉之间, 山高谷深, 两岸高山对峙, 山峰高出河流水面 3000 多米, 河谷比较狭窄, 河床坡度大, 形成陡峻的坡状地形。下游分水岭显著降低, 一般在 2500m 以下, 地势趋平缓, 河道呈束放状, 出国境后河道比较开阔平缓。

澜沧江流域上中游坡度较大, 特别是中游地区, 下游地区坡度较小。在上游的大部分地区, 坡度均小于 25° , 部分山地坡度较大, 大于 30° , 但占整个上游面积较小, 小于 15%; 中游地区除河谷外, 大部分区域坡度大于 30° , 山地陡峭, 特别在澜沧江两岸, 山体坡度均较大, 且占中游地区面积较大, 大于 70%; 下游地区坡度较小, 约 80% 的地区坡度都小于 20° , 坡度大于 30° 的地区仅零星分布在部分高山。

1.2 气候

澜沧江流域由北向南纵跨 13 个纬度, 地势高亢, 山峦重叠, 起伏变化大, 导致流域内气候差异很大, 气温及降水量由北向南递增。同时随着海拔升高, 气温降低, 降水量减少。流域由北向南横跨寒温带, 中温带, 暖温带, 南、中、北亚热带, 北热带。源头地区属于高寒气候, 地势高, 气温低, 降水稀少; 上游西藏地区属于高原温带气候, 中游滇西北区属于亚热带, 并有明显的立体气候, 海拔每升高 1km, 气温下降 $5 \sim 7^{\circ}C$; 下游滇西南地区丘陵和盆地交错, 属于亚热带热带气候。流域干湿季分明, 5 ~ 10 月为雨季, 雨季受西南季风影响, 水汽来源充足, 大约 85% 的降水量集中在雨季。而又以 6 ~ 8 月为最集中, 3 个月的降水量占全年降水量的 60% 以上。

1.3 水系

澜沧江源头地区大小河流众多, 东西有两个主要支流, 西支为昂曲, 东支为扎那曲。东西两条支流在西藏昌都附近相汇, 始称澜沧江。在澜沧江众多支流中, 流域面积大于 $1000km^2$ 的支流有 41 条, 大于 $100km^2$ 的支流有 138 条, 支流落差大、水资源丰富。上中游降水量少, 有雪水补给, 水量稳定, 下游地处热带、亚热带气候区, 降水量大, 水量充沛, 较大的支流一般分布在上游和下游。澜沧江干流全长 2161km, 其中, 青海省境内河段长 454km, 流域面积 $3.87 \text{ 万 } km^2$, 落差 1548m; 西藏自治区境内河段长 480km, 流域面积 $3.85 \text{ 万 } km^2$, 落差 1255m; 云南省境内河段长 1227km, 流域面积 $9.02 \text{ 万 } km^2$, 落差 1780m。

流域径流以大气降水补给为主, 地下水和高山冰雪融水补给为辅。上游河段河川径流以地下水补给为主, 占年径流量的 50% 以上, 其次是雨水和冰雪融水补给。中游河段融雪补给减少, 随着降水量的增加, 河川径流补给主要为降水和地下水混合补给; 下游河段河川径流以降水补给为主, 降水占年径流量的 60% 以上, 其次是地下水补给。上中游冬季的年径流量一般不到全年径流量的 10%, 春季径流量占全年径流量的 10% 以上, 夏季占 50% 左右, 秋季占 30% 左右。最大流量一般出现在每年的 7 月或 8 月, 最小流量多发生在 1 月或 2 月。下游段每年 7 ~ 10 月都有可能出现最大流量, 其中以 8 月为最多, 最小流量以 5 月最多。流域径流年际变化不大, 比较稳定。由我国流往境外的多年平均年径流量 760 亿 m^3 , 只小于长江、珠江、雅鲁藏布江和黑龙江, 居全国第五位。