

澜沧江－湄公河合作专项基金支持项目

湄公河水资源未来变化趋势 预测分析



生态环境部对外合作与交流中心
Foreign Environmental Cooperation Center



澜沧江－湄公河环境合作中心
Lancang-Mekong Environmental Cooperation Center



中国－东盟环境保护合作中心
China-ASEAN Environmental Cooperation Center

目 录

第一章 背景	4
第二章 澜沧江－湄公河流域概况	5
2.1 地理特征	5
2.2 气候特征	6
2.3 水文特征	7
2.4 典型洪旱灾害事件	7
2.5 流域各国水资源开发利用现状及需求	8
2.6 流域水域相关区域组织	12
第三章 澜湄流域水资源数据统计分析	13
3.1 方法	13
3.2 流域水资源数据收集情况	13
3.3 水资源趋势性变化及相关性分析	13
第四章 澜湄流域水资源未来变化趋势预测分析	19
第五章 澜湄流域水资源管理政策分析及技术合作能力建设	20
第六章 总结与展望	22
6.1 工作总结	22
6.2 局限与不足	23
6.3 工作展望	23

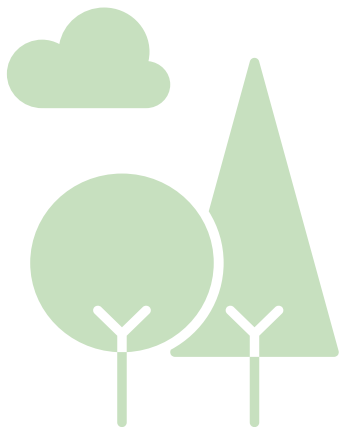
第一章 背景

澜沧江—湄公河是东南亚乃至全球重要的跨界河流，拥有丰沛的水资源以及良好的水生态环境。澜湄山水相连、文化相通，因水而生、因水而兴；水资源是各个国家保障发展的重要物质基础。

为促进全流域社会经济的可持续发展，落实“一带一路”倡议，中国、柬埔寨、老挝、缅甸、泰国、越南等六国于2016年3月共同建立澜湄合作机制。水资源、环境保护均属澜湄合作的五大优先领域，对统筹推进澜湄整体合作具有特殊重要性。在两次澜湄领导人会议和三次外长会上，湄公河流域各国均对水资源合作表达强烈意愿，希望通过上下游互利合作，以水资源可持续利用支撑社会经济可持续发展，维护区域生态安全，推进落实联合国2030年可持续发展议程涉水目标和东盟共同体2025年愿景。

近年来，受气候变化和人类活动等多重因素影响，澜沧江—湄公河流域的水文及水环境情势呈现异质性变化，降水、径流和水质等水资源要素的时空分布及变化规律均产生改变。总体上，气候变暖强化了该流域降水变化趋势的分异程序，导致近年来极端天气事件的频率和程度增加，引发的洪涝灾害严重损害了该流域人民的生命财产安全。与此同时，全流域水资源和水能资源开发利用逐年上升，其中，老挝将加快水电开发节奏，其规划水电装机总量约占湄公河总装机容量的70%；泰国对湄公河水资源的开发利用主要是农业灌溉，其未来引水需求有增加趋势；柬埔寨和越南分别在湄公河干支流有水电规划，柬埔寨用水主要为保证其洪泛区土壤肥力，对湄公河雨季洪峰流量有较大需求，越南是湄公河流域灌溉面积最大的国家，旱季湄公河三角洲灌溉需水较多。因此，澜沧江—湄公河上下游之间水资源供需矛盾日益凸显，流域水资源未来变化趋势将对本地区经济社会发展和澜湄合作总体外交形势产生重要影响。为进一步深化澜湄水资源和环境领域合作，有必要对澜沧江—湄公河流域近10年来的降水、水量、水质等水资源数据进行收集和整理，为进一步开展分析和预测澜沧江—湄公河水资源情势和未来澜湄流域上下游国家之间的数据共享打下坚实基础。

本研究主要采用数据源辨识、数据统计分析等方法，收集湄公河委员会、世界银行、亚洲开发银行等国际组织/机构、以及湄公河五国水资源公报和相关数据库信息，对澜湄流域近10年的水资源和水环境数据进行趋势分析及相关性分析，并结合文献综述预测流域水资源未来变化趋势，分析区域管理政策变化，最终根据流域的水资源情势变化及管理政策提出相关建议。



第二章 澜沧江－湄公河流域概况

澜沧江－湄公河发源于中国青海省玉树藏族自治州，其干流自北向南流经中国、缅甸、泰国、老挝、柬埔寨和越南 6 个国家，最后于越南胡志明市西部入海。澜沧江－湄公河可划分为两部分：澜沧江位于中国西藏、云南境内，湄公河从中国云南出境至入海口。澜湄流域具有广袤的地理和气候区域，是世界上生物多样性最丰富的地区之一，能够为沿岸各国的社会经济发展提供自然资源，对湄公河流域 6000 万居民的生存、生活、生产至关重要。

2.1 地理特征

澜沧江－湄公河是典型的南北河流，包括有除沙漠之外所有的自然景观。流域形状和水系展布在经向和纬向构造体系控制下，呈现复杂多变的特性。澜沧江流域包括中国青海省南部、西藏东部、云南省西南部。整个流域由北至南走向，地势北部最高，渐向南部下降，水系呈帚状分布。湄公河流域包括北部高原、呵叻高原、洞里萨湖流域和湄公河三角洲四个地理区域。澜湄流域地理高程图如下所示。

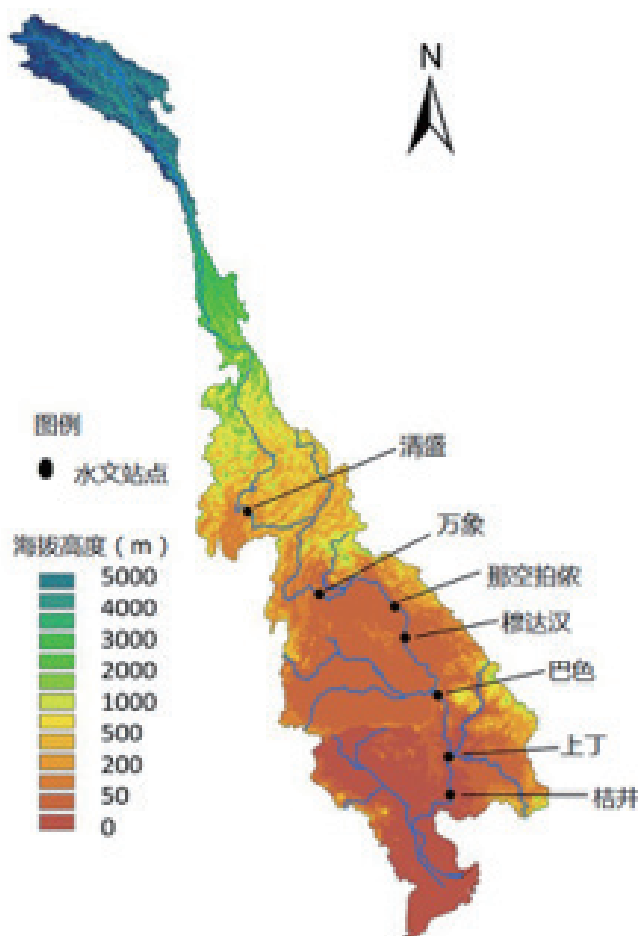


图 1 澜沧江－湄公河流域地理高程图

2.2 气候特征

澜沧江—湄公河流域位于亚热带/热带季风区，主要受季风气候的影响，干湿两季分明，降雨年内分布极为不均。同时湄公河流域降雨空间分布也极为不均，受到地形、西南季风走向和穿越中国和越南而来的东北部热带气旋的影响，老挝北部中心区域年降雨量超过 3000mm，而泰国东北干旱地区年降雨量却少于 1000mm。降雨的时空分布不均导致洪旱灾害频繁发生。具体的降雨空间分布情况见下图。

湄公河流域年内气温变化较为均匀，年均气温在 25 ~ 27℃ 范围内变化。大气平均相对湿度 9 月份最高，略大于 80%；3 月份最低，60% 左右。流域蒸发量年内变化很大，7 月为 80mm，6 月达 160mm。

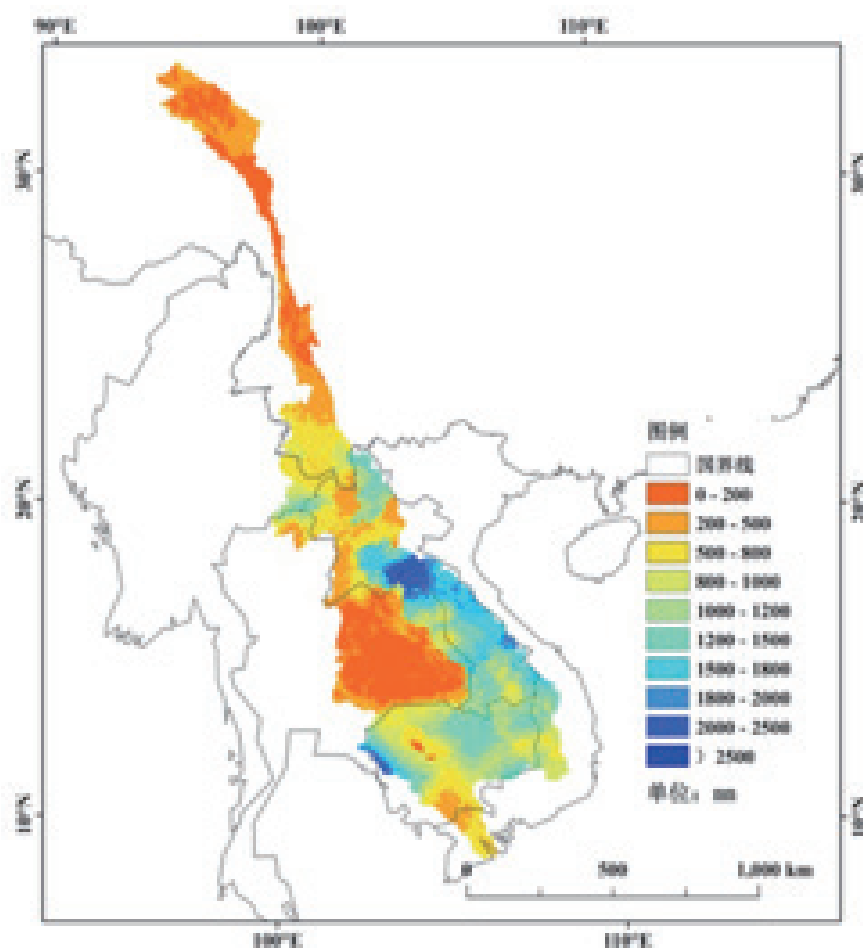


图 2 澜沧江—湄公河年均降雨空间分布图

2.3 水文特征

澜沧江流域面积 16.44 万 km²，占全流域面积的 20.7%；澜沧江—湄公河约一半（57%）的河长（4884km）位于中国境内。但多年平均径流量约 640 亿 m³，仅占澜沧江—湄公河多年平均径流量（4750 亿 m³）的 13.5%。该流域水资源利用率不到整个流域的 1%，地表径流主要来自于降雨，融雪和地下水，雨季和枯季十分明显，其中 11 月至次年 4 月为枯季，水资源利用主要依赖融雪和地下水。各湄公河流域国所占湄公河水资源情况见下表。

表 1 各流域国所占澜湄流域水资源情况

国家	流域面积 / 万 km ²	占流域总面积的比例 / %	多年平均集水量 / 亿 m ³	占流域总集水量的比例 / %	领土面积 / 万 km ²	流域面积占国家领土面积的比例 / %
中国	16.5	21	760	16	960	1.72
缅甸	2.4	3	94.6	2	67.7	3.60
老挝	20.2	25	1661.9	35	23.7	85.23
泰国	18.4	23	807.3	18	51.3	35.87
柬埔寨	15.5	20	901.9	18	18.1	89.34
越南	6.5	8	523.5	11	33.0	19.70
合计	79.5	100	4749.2	100	—	—

2.4 典型洪旱灾害事件

因为澜沧江—湄公河流域特殊的地理及水文条件，降水的时空分布极不均匀，加上沿岸各国的水库、堤坝等水利相关的基础设施建设发展不平衡，流域的洪旱灾害事件频发，对沿岸居民的生产和生活，甚至是生存带来很大的威胁。洪涝及干旱灾害目前已经是澜湄流域面临的主要水问题。

1、典型年份洪水事件

1996 年 9 月洪水造成廊开、穆达汉、巴色、上丁、桔井等 5 个水文站的最高日均水位超保证水位，为湄公河下游区域性大洪水，上丁站洪峰流量 69800m³/s，为 10 ~ 20a 一遇洪水。

2008 年 8 月，老挝、泰国和柬埔寨等国部分地区遭遇洪水侵袭。洪水主要发生在琅勃拉邦、万象至廊开河段，为 20 ~ 50a 一遇的大洪水。

2011 年 9 月末，湄公河流域发生大洪水，造成下游持续几周被淹。柬埔寨，越南和泰国部分地区受灾严重，共有约有 1000 人死于洪水。世界银行估计，泰国的经济损失总计约为 450 亿美元，其中约 70% 为制造业。

2、典型年份干旱事件

2004 年发生的干旱事件对流域内越南、柬埔寨和泰国的影响非常严重。三角洲

干旱总损失大约为 4200 美元。柬埔寨 2004 年的干旱事件是近年最严重的，它造成 50 万人面临食物短缺的问题。泰国的干旱尤其严重，全国 76 个省份中有 63 个受到影响，约 900 万人的生活受到影响。

2016 年初，湄公河流域遭遇严重的干旱。其中，越南遭遇 90 年来最严重的干旱，旱灾影响到越南 63 个省中的 39 个省。农业和水产业的总损失约 5.2 万亿盾（约合 2.3 亿美元），占此区域 GDP 总量 2.3%。

2.5 流域各国水资源开发利用现状及需求

由于澜沧江—湄公河流域内各国的经济发展水平和自然地理环境存在差异，各国对澜沧江—湄公河水资源的开发利用水平、方式等均有不同。

1. 水资源开发利用现状

（1）中国

澜沧江峡谷深切，河床陡峭，交通极为不便，自然资源匮乏，但水电资源蕴藏量丰富，高达 5060m 的落差使得澜沧江水能资源可开发量高达 2737 万 kW，水资源开发利用方式主要是水电开发和航运。在水电开发方面，现已在干流规划建设的大型水电站共有 8 座（见下图），但实际开发程度较低，平均水力资源开发利用率（定义为河道外供水量和多年平均水资源量的比值）仅为 8.7%。

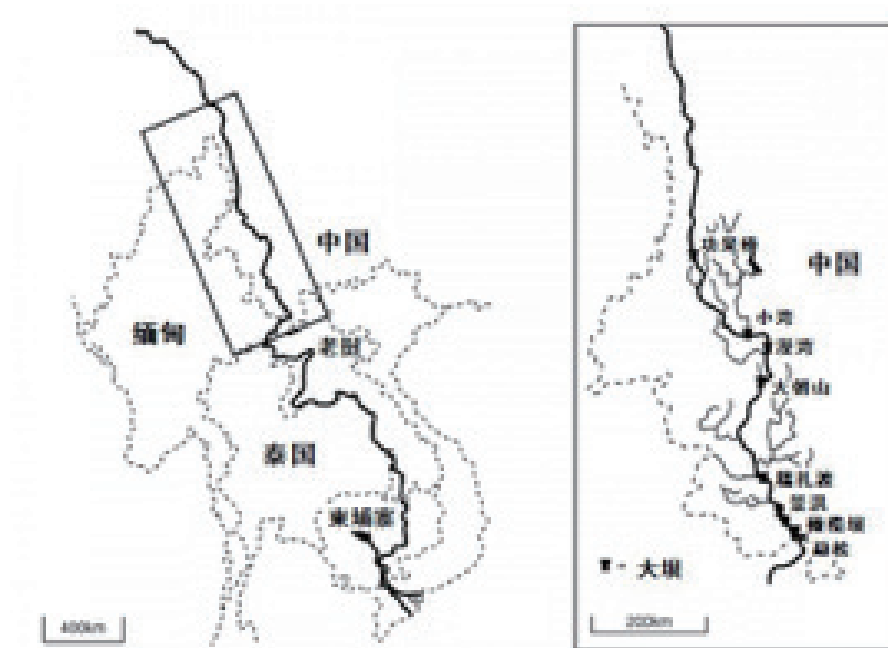


图 3 澜沧江梯级水电站分布图

（2）缅甸

缅甸境内部分的湄公河水资源可开发量极少，其仅有 3% 的流域面积以及 2% 的湄公河径流量贡献率，缅甸主要利用湄公河的航运和水电开发效益，近年来正在积极推进国际合作并加速水电开发进程，现仅有少量小型农业灌溉工程。

（3）老挝

老挝拥有湄公河大部分水力资源，水能储量十分丰富，97% 的领土位于流域内，其对湄公河水资源的利用主要侧重于水电开发，但利用率不高，现开发水平仅占据水电能源蕴藏量的 4%。最早建成的水电站是南俄河 1 号水电站（Nam Ngum 1 Dam），装机容量为 155MW，大部分发电量供给泰国使用。现在在湄公河干流共有两个水电站在建设，分别为沙耶武里水电站和栋沙宏水电站，预计在 2019 年年底完工。在农业供水方面，老挝虽有充足的地表水资源，但农业灌溉工程少，目前农业用水量占总用水量的 84.7%，全国现有超过 70 万公顷耕地，丰水期最大灌溉面积约为 15 万公顷，枯水期则仅有 4% 的耕地能得到灌溉。

（4）泰国

湄公河流域在泰国的部分主要是呵叻高原，高原中主要的河流为蒙河（Mun River）和栖河（Chi River）。泰国现状开发利用方式主要为水电和灌溉，其水电站总装机容量超过 20 万 kW，最大的水电站是南鹏河工程，装机容量为 4 万 kW，水电站分布见下图。从图中可以看出，湄公河泰国段已经建成了众多大坝工程，主要用于灌溉；区域现有灌溉面积约为 50 万公顷，实际耕地灌溉率不足 6%。为了解决东北地区的农业灌溉问题，泰国提出 Khong-Loei-Chi-Mun 调水计划，预计将用 42 年建设 13 座大坝用于灌溉工程，每年调水 40 亿 m^3 ，将扩大东北地区的灌溉面积近 50000 km^2 。但是这项计划也引起了下游国家柬埔寨及越南的抗议，甚至引起了当地居民对于环境安全的担忧。

（5）柬埔寨

柬埔寨的水利工程数量相对较少，且对支流的开发程度大于干流，水电站总装机容量为 20 万 kW，列入湄公河委员会开发规划的主要是支流水电开发项目，预计有效库容可达 136 亿 m^3 ，装机容量为 92 万 kW，灌溉面积为 58 万公顷。

（6）越南

越南境内湄公河流域水能蕴藏丰富，年平均径流量达 4750 亿 m^3 ，可通航 3000 吨级轮船。理论水能蕴藏量可达 925 万 kW，现状年发电量为 34.23 亿 kWh，总装机容量约为 120 万 kW，有效库容为 38 亿 m^3 。水电站主要位于“3S”流域（西公河 Sekong River、塞桑河 Sesan River、斯雷博克河 Sre Pok River），如下图所示，其主要用途包括水力发电和灌溉。

流域内水资源开发利用条件较好，水流平稳、地势平缓，流域面积为 6.5 万 km^2 ，约占湄公河总流域面积的 8%，占越南国土面积的 18%。一方面由于资金缺乏导致利用率低，另一方面；由于越南存在较为严重的海水入侵问题，需要消耗大量淡水资源，剩余可用水量较少，因此越南主要利用湄公河水资源进行农业灌溉，现有耕地约有 240 万公顷，可灌溉面积仅有 50 × 10 万公顷。由此可知，澜沧江－湄公河流域的水资源主要用于航运、水电开发、农业灌溉、渔业养殖等，但是不同的利用方式对水资源带来的影响各不相同，如航运属于非消耗性用水，水电开发改变了水资源的时空分配和水动力特征，农业灌溉对水资源消耗程度最大，渔业次之。具体的湄委会四国的水电项目、灌溉项目和灌溉面积分别见下表。

表 2 湄委会四国水电项目统计

国家	干流		支流		
	在建	规划	已建	在建	规划
柬埔寨		2	1		11
老挝	2	7	11	9	71
泰国			7		
越南			7	5	3
合计	2	9	26	14	85

表 3 湄委会四国灌溉项目和灌溉面积统计

国家	项目数量	总灌溉面积	2030 年		2060 年	
	/ 个	/ 万公顷	灌溉面积 / 万公顷	增加比例 / %	灌溉面积 / 万公顷	增加比例 / %
柬埔寨	2091	50.4	77.2	53	83.8	66
老挝	2333	16.6	21.3	28	21.5	29
泰国	6388	141.2	141.2	0	141.2	0
越南	608	192	192	0	192	0

2、水资源需求分析

由于各国经济发展方式和发展水平各不相同，在澜沧江－湄公河流域的水资源开发利用需求差异较大，见表 4。中国境内的澜沧江流域干流主要用于航运和水电开发，支流主要用于灌溉和工业用水。作为世界最不发达国家之一，老挝十分重视水电资源的开发利用，为了摆脱贫困，老挝政府计划将大力发展水电，在湄公河干支流上新建多个水电站，以满足现代化和工业化的需求。农、渔业方面也是老挝未来重点发展行业，农业产值占国民生产总值的 26.7%，农用地占国土面积的 10.11%，约 6 万公顷土地需要引湄公河的水灌溉。湄公河水对泰国的农田灌溉至关重要，其农业（含渔业）年用水量约为 93.52 亿 m^3 ，仅次于越南。泰国还是大湄公河次区域五国中经济最发达的国家，但由于电力匮乏，经济发展受到了制约，水电需求存在较大缺口。柬埔寨内战和冲突之后，一度处于贫困之中，有巨大的水力资源有待开发，政府也已经将水电开发列入大力发展项目中，由中国投资的 6 个水电站项目于 2015 年前后建成投产，投产后年平均发电量共 39.98 亿 kWh。越南对湄公河的用水需求主要体现在生态安全和农业灌溉方面，湄公河水量补给对该地区的农业生产和经济发展至关重要。由于湄公河主要以老挝和缅甸界河的形式流经缅甸，且流程较短，因而缅甸水资源可利用量较少。根据世界粮农组织公布的数据，各国对来自澜沧江－湄公河的外部水资源需求总量和依赖程度上差异均较大，如表 5 所示。

表 4 各国对澜沧江－湄公河流域的水资源开发利用及需求概况

国家	开发条件	开发利用概况	水资源需求情况
中国	良好	水能丰富，侧重水电和航运，实际总体开发程度较低，航运功能开发较好，灌溉利用较少	利用干流开发水电和航运，支流用于灌溉和工业用水，灌溉和生活用水需求较小
缅甸	较差	可开发量极少，侧重航运和水电开发，但开发程度低，灌溉利用水平低	航运和水电开发方面有一定需求
老挝	较好	水能丰富，侧重水电开发，但利用率较低，农业灌溉利用率低	水电和航运需求较大，农、渔业需水量较大
泰国	一般	水能较丰富，侧重水电和灌溉，并实施跨流域调水计划，总体开发程度一般	水产养殖和农业灌溉需水量较大，水电开发需求较低
柬埔寨	一般	侧重水电和农、渔业开发，水电和灌溉利用率较低，渔业开发水平较高	洞里萨湖维持蓄水量需求较高
越南	良好	水能丰富，水电开发水平较高，航运功能开发水平较高，灌溉利用率较低	生态和农业灌溉用水需求较大

表 5 澜湄国家水资源占有和依赖状况

国家	国内可持续水资源总量(km ³)	外部流入的可持续水资源总量(km ³)	对外部水资源的依赖度(%)
中国	2840	27.32	0.96
缅甸	1168	165	14.13
老挝	33.5	143.1	42.91
泰国	438.6	214.1	48.81
柬埔寨	476.1	355.5	74.67
越南	884.1	524.7	59.35

2.6 流域水域相关区域组织

澜沧江—湄公河流经中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南六国，涉及多种国家政治体制和文化宗教理念，流域各国家的水资源管理制度和法律法规也因此存在一些差异。以下重点介绍流域地区现有的水资源相关区域组织。

（1）湄公河委员会

湄公河委员会（Mekong River Commission，简称：湄委会）前身为联合国亚洲及太平洋经济社会委员会（ESCAP）于1957年发起的“湄公河下游调查协调委员会”。1995年4月，泰国、老挝、柬埔寨和越南四国在泰国清迈签署《湄公河流域发展合作协定》，决定成立湄委会，重点在湄公河流域综合开发利用、水资源保护、防灾减灾、航运安全等领域开展合作。1996年，中国和缅甸成为湄委会对话伙伴。

中国十分重视与湄委会的关系，自1996年以来，中国与湄委会连续举行了22次对话会。为帮助流域各国防灾减灾，中国自2003年起连续15年向湄委会无偿提供澜沧江汛期水文数据。

（2）澜沧江—湄公河合作机制

2014年11月，国务院总理李克强在第17次中国—东盟领导人会议上提出建立澜沧江—湄公河合作（简称“澜湄合作”）机制（Lancang-Mekong Cooperation）。2016年3月，澜湄合作首次领导人会议在海南三亚举行，全面启动澜湄合作进程。2018年1月，澜湄合作第二次领导人会议在柬埔寨金边举行，标志澜湄合作从培育期迈向成长期。

澜湄合作机制的成员国包括：中国、柬埔寨、老挝、缅甸、泰国、越南，其宗旨在于深化澜湄六国睦邻友好和务实合作，促进沿岸各国经济社会发展，打造澜湄流域经济发展带，建设澜湄国家命运共同体。增进各国人民福祉，助力东盟共同体建设和地区一体化进程，为推进南南合作和落实联合国2030年可持续发展议程作出贡献。

在澜湄合作机制推动下，澜湄水资源联合工作组和澜湄水资源合作中心相继建立，为进一步促进澜湄水资源合作，区域内各国水资源高层互访、技术交流、人才培养等奠定良好基础。



第三章 澜湄流域水资源数据统计分析

本章基于收集到的澜沧江—湄公河流域 22 站 2009–2018 年逐日降雨数据和水位数据，8 站 2006–2016 年逐月流量数据，及 2011、2013–2017 年水质数据（各站点各年份有部分数据缺失），选用合理的数据统计分析方法，针对澜湄流域的降雨、水位、流量和水质的变化趋势以及降雨与水位、降雨与流量等要素间的相关关系进行分析。

3.1 方法

本文使用线性倾向估计、Mann-Kendall 变化趋势分析方法和皮尔逊相关系数法对数据进行分析。

3.2 流域水资源数据收集情况

本次数据收集主要采用数据源辨识、数据统计分析等方法，收集相关组织机构如湄公河委员会、各国水资源部门等发布水资源公报和数据库信息，以及全球权威机构的研究报告，识别、整理近十年来的水资源相关数据。报告中主要的数据来源于湄公河委员会官网（<http://www.mrcmekong.org>）下载得到的数据报告。

3.3 水资源趋势性变化及相关性分析

通过上述所介绍的分析方法，本章对流域的历史水文及水环境情势的变化趋势，要素间的相关关系进行分析。分析结果如下。

1、趋势性分析

（1）降雨量

湄公河年内降雨分布不均，降雨量主要集中在汛期。而在汛期时间内，降雨量又呈现上下游分布不均的现象，上游多年汛期平均降雨量明显多于下游多年汛期平均降雨量。同时，流域汛期内降雨量时间分布不均，中上游的汛期雨量多集中于 7 月，10 月降雨量较少，而下游的雨量多集中于 10 月。2009 年至 2016 年，上游站点多年汛期平均降雨量呈上升趋势，下游站点多年汛期平均降雨量呈下降趋势。但在所有 22 个站点中，仅有 5 个站点的变化趋势通过了 M-K 检验。这是因为此次数据资料太短，不符合 M-K 检验要求的 30 年数据长度，且部分数据有缺失造成，检验结果仅作参考。

（2）水位

从时间上来看，湄公河流域 8 个主要站点 2011 年水位都处于极大值，2011 年是典型的丰水年，且洪水偏多。2015 年是枯水年，各站水位极低，同时中国开始对湄公河进行应急补水，8 个站点水位不断回升，2018 年恢复至 2009 年的水位。与上游站点相比，下游站点汛期最高水位的出现时间明显较晚。从汛期和非汛期水位对比的角度来看，上游和下游站点多年汛期平均水位与多年非汛期平均水位相差较少，中游站点相差较大。水位变化趋势上，流域各站点水位变化趋势的 r^2 都接近于 0，表明各站汛期水位随时间的变化趋势不明显。M-K 检验结果并不理想，没有检验值超过 1.28。M-K 检验要求数据长度不低于 30 年，因此检验结果仅供参考。

(3) 流量

各观测站点 2006-2016 年年平均流量都呈现减少的趋势，但在八个主要站点中，仅有两个上游站点拟合线的相关系数平方 (r^2) 值略大，表明湄公河上游流量的下降趋势明显。但其余站点的 r^2 值都接近 0，表明其他各站点流量的增减趋势随时间变化并不明显。

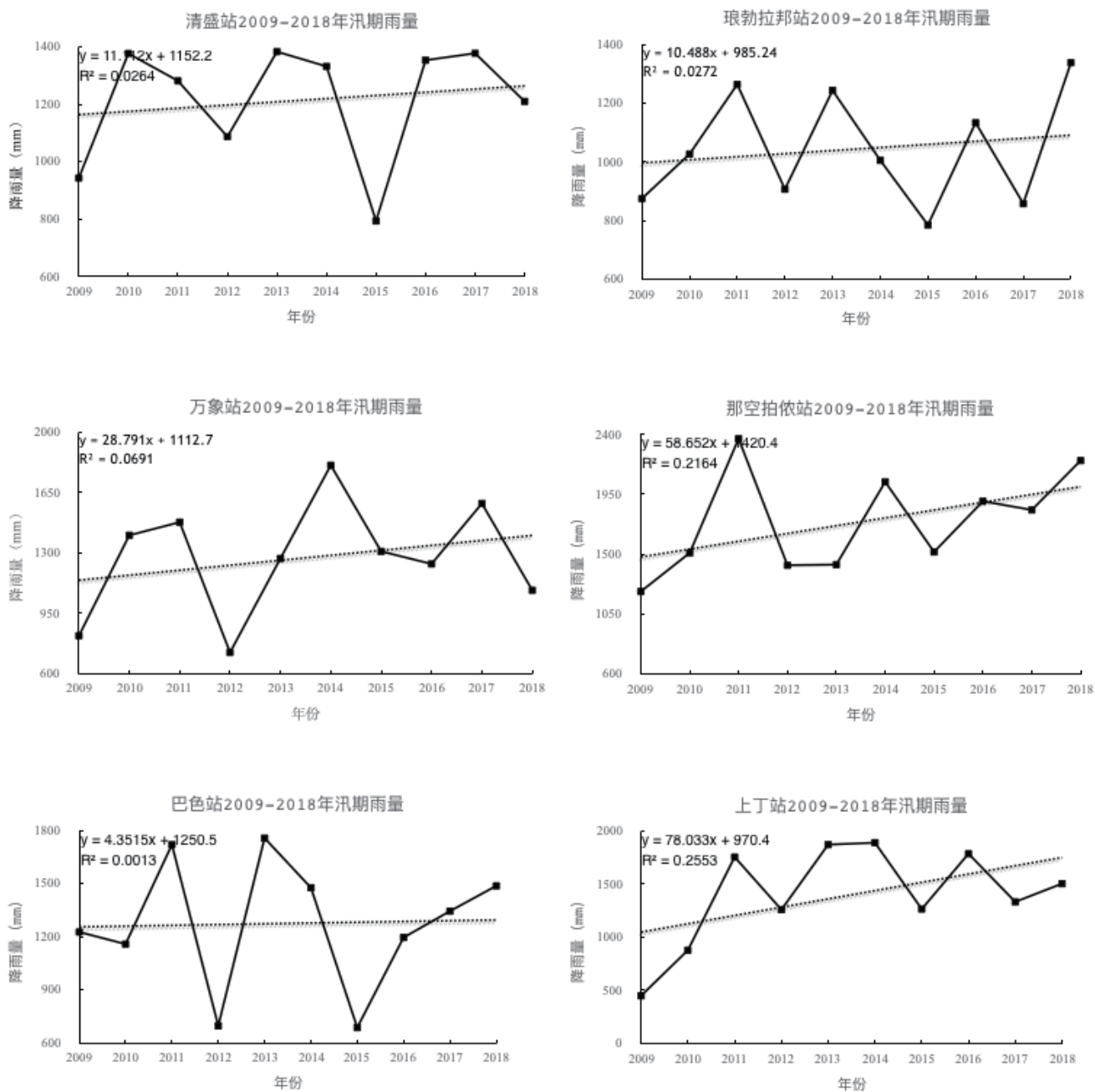
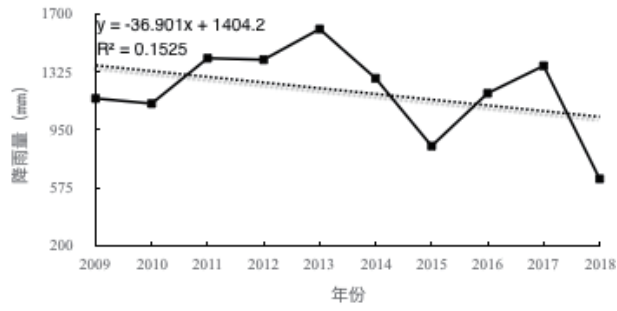


图 4 湄公河主要站点 2009-2018 年汛期雨量线性拟合结果图

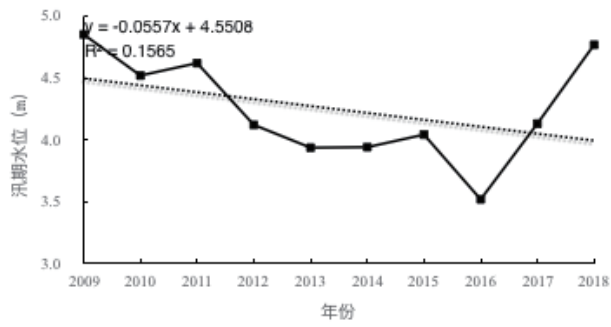
桔井站2009-2018年汛期雨量



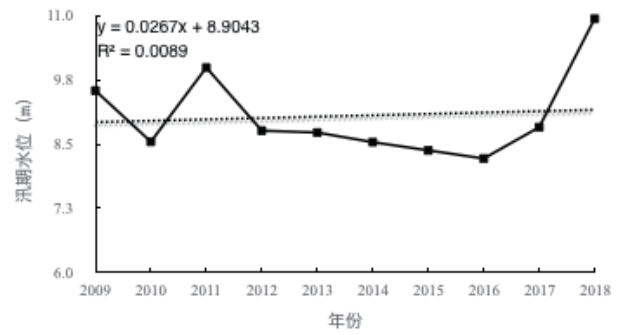
新洲站2009-2018年汛期雨量



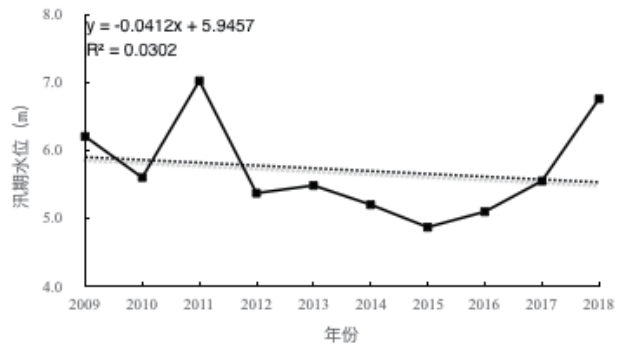
清盛站



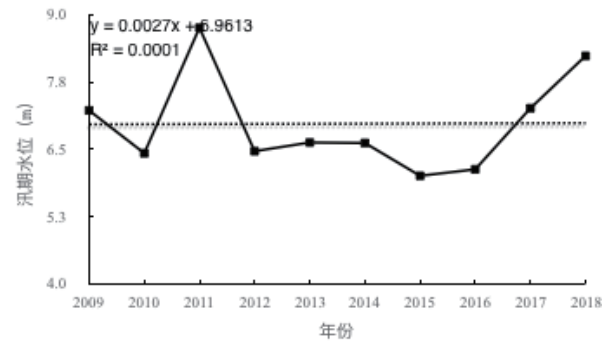
琅勃拉邦站



万象站



那空拍依站



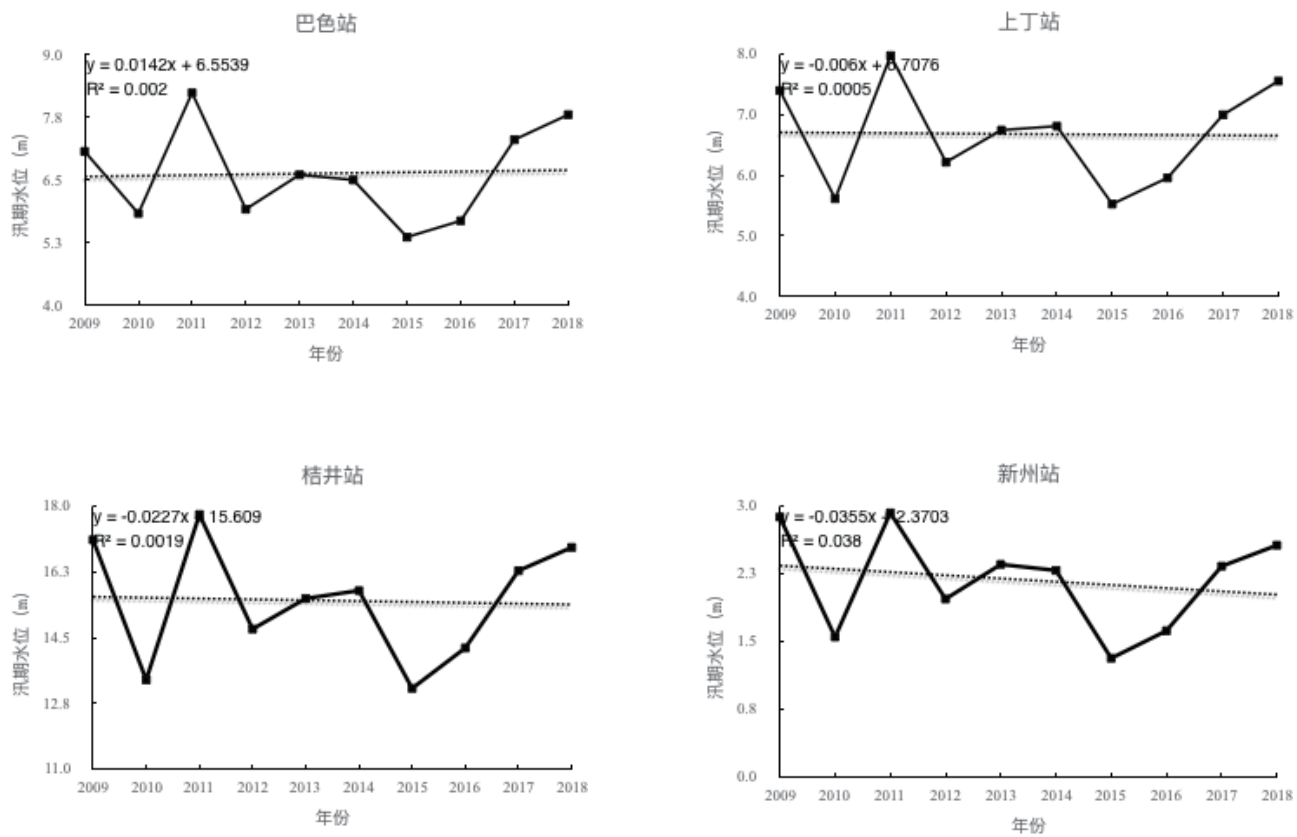


图 5 主要站点 2009-2018 年汛期水位变化趋势图



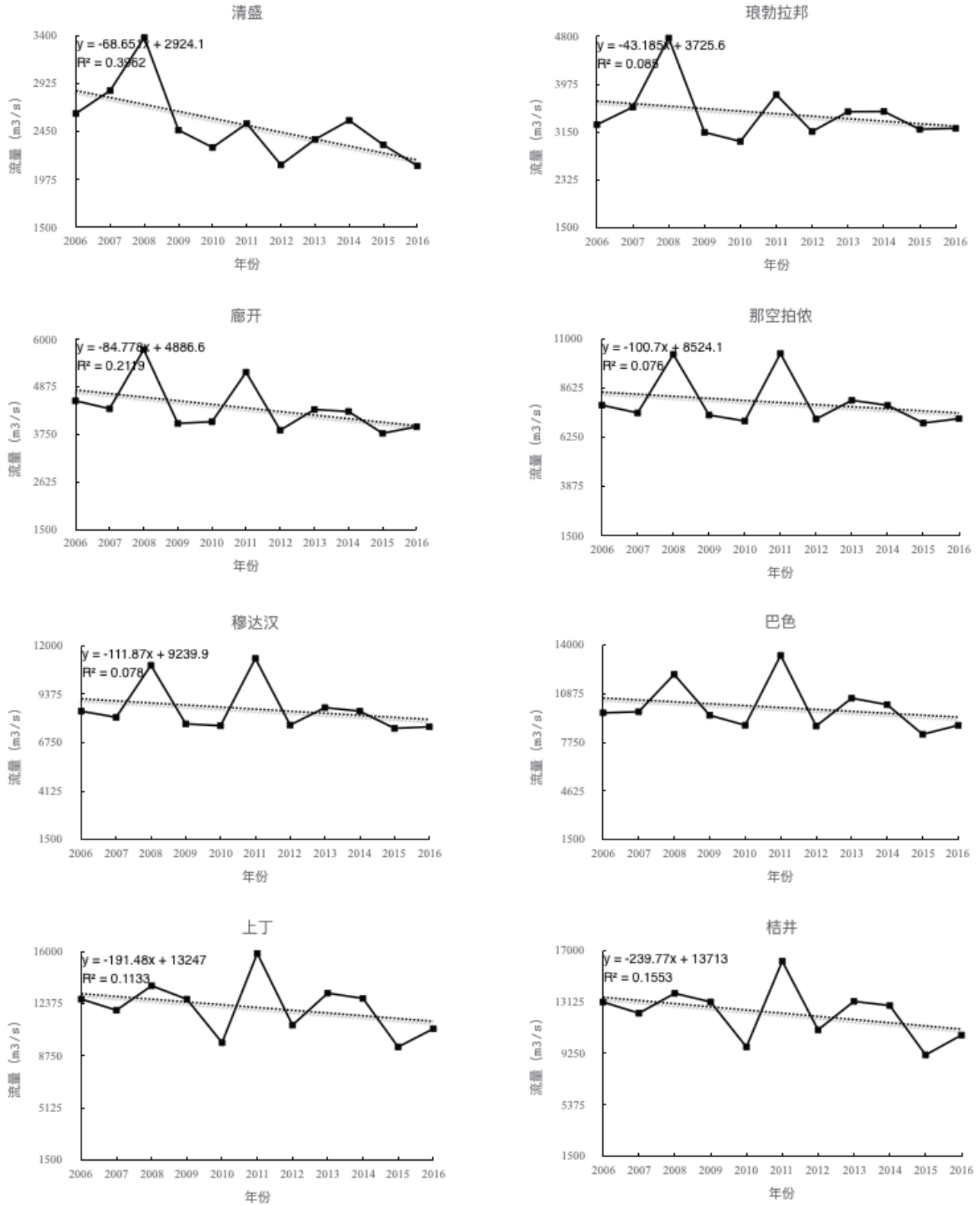
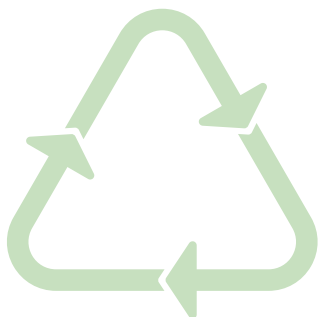


图 6 各站 2006–2016 年流量线性拟合结果图



(4) 水质

湄公河沿岸各国针对干流及支流 22 个站点，于 1985 年开始测定 pH 值、总悬浮固体和电导率等水质指标来评价湄公河的水质情况。报告针对每个水质指标的时空变化进行分析。

① pH 值

1985 年至 2014 年湄公河 pH 中值呈下降趋势，2014 年后略有上升，但都在 MRC 保护人类健康和水生生物水质指南的标准之内（6~9）。

湄委会水质报告表明，pH 整体下降的趋势可能反映了湄公河下游地区工业发展和城市化进程的加快导致其对湄公河的影响增加，降低了湄公河的 pH 值。

②总悬浮固体（TSS）

总悬浮固体含量从 1985 至 1991 年显著下降，平均值从约 300mg/L 降至约 80mg/L，2017 年上升至 103.1mg/L。湄委会水质报告显示，总悬浮固体浓度年内变化较大，雨季浓度明显高于几乎无雨的旱季（11 月到 4 月）。

③电导率

可以看出，2000-2017 年湄公河电导率中值趋于稳定，呈小幅增加的趋势。根据湄委会 2015 至 2017 年水质报告表明，上游和下游站点电导率较高，中游站点相对较低。

④硝态氮（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）

2000-2017 年湄公河硝态氮中值呈增加趋势，但变化不大，由 2000 年的 0.218mg/L 增加至 2017 年的 0.315mg/L。随着上游向下游流动，各站点硝态氮浓度呈 u 型分布趋势，三角洲地区的浓度最高，表明含硝酸盐-亚硝酸盐的污染废水可能增加，这可能是由于农业活动密集和城市化影响。

⑤氨态氮（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）

1985-2017 年湄公河氨态氮浓度中值整体呈增加趋势，波动较大，由 1985 年的 0.02mg/L 增至 2017 年的 0.036mg/L。

⑥总磷（TOT-P）

1985-2002 年湄公河总磷中值呈小幅下降趋势，2002 年后总磷浓度迅速增加，1985 年总磷中值为 0.063mg/L，2002 年总磷中值为 0.041mg/L，2017 年总磷中值为 0.079mg/L。

⑦溶解氧（DO）

湄公河溶解氧中值在 1985-2017 年间变化不大，趋势平稳，在 7.0mg/L 附近波动。

⑧化学需氧量（COD）

1985-1990 年湄公河 COD 中值变化不大，1990 年后 COD 中值不断大幅波动，呈现增长趋势，1985-2003 年 COD 中值在 1.6mg/L 左右波动，2004-2017 年在 2.0mg/L 左右波动。

2、相关性分析

考虑到降雨、水位和流量数据的时间长度和完整性，相关性分析选取 2009-2016 年汛期（6-10 月）月尺度数据。同时，2015 年 11 月至 2016 年 5 月为中国向湄公河应急补水阶段，因此也选取此时间段的月尺度数据。

（1）降雨－径流

汛期湄公河多数站点7月降雨最多，而8月流量最大，且湄公河流域的雨季为5-10月，汛期为6-11月。因此尝试将降雨对应次月流量数据进行相关性分析，发现不同时间段的站点相关系数多呈现出更显著正相关性，表明流量对降雨的响应确实具有滞后性。但仍有部分时间段，部分站点的相关性并不明显甚至是负相关。这是因为径流对降雨具体的滞后时间并不确定，且此次受数据源限制，降雨数据并不能准确的代表流域整体的降水量。

（2）降雨－水位

同样将当月降雨对应次月的水位。和降雨对应一个月后流量的结果相似，降雨对应一个月后水位的结果显示，更多的站点在更多的时间段呈现出明显的正相关性，表明水位对降雨的响应确实具有滞后性。但仍有部分时间段，部分站点的相关性并不明显甚至是负相关。这是因为水位对降雨具体的滞后时间并不确定，且此次受数据源限制，降雨数据并不能准确的代表流域整体的降水量。

（3）流量－水位

除桔井站部分时间流量－水位呈弱相关以外，其余时间段、各站点的流量与水位都呈现出高度的正相关性。

第四章 澜湄流域水资源未来变化趋势预测分析

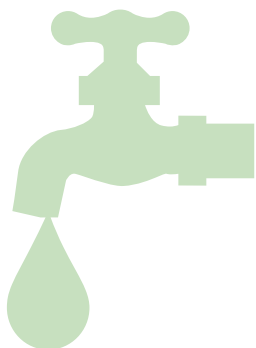
通过对澜湄流域水资源和水环境历史数据的数据统计分析，目前已基本掌握流域的水文、水资源和水环境现状。但是受气候变化和人类活动的影响，未来水资源和水环境情势将会进一步发生变异。因此亟需针对流域未来的水文和水环境情势进行预测分析。本次报告采取文献综述的方式，阅读分析期刊论文（SCI）和权威机构报告，最终整理得出学术界和政府机构较为认可的澜湄流域未来水文和水环境情势演变趋势。

综合水文气象要素变化及水质变化预测等方面研究，我们得出：澜湄流域的降水年内分配不均的程度加剧；流域年均径流的变化趋势并不显著，年际变化幅度较小。未来流域的降水和径流的变化趋势在不同区域和站点的增减存在差异，流域平均降水呈增加趋势。气候变化使得水循环过程加快，流域的水资源量更多地向雨季集中，容易引起极端洪涝灾害。

澜湄流域内水利工程的建设对其下游径流过程的年内分配有显著的影响，汛期平均流量呈下降趋势，非汛期平均流量呈上升趋势，但水库带来的影响沿下游逐渐减弱。

未来澜湄流域所遭遇的干旱的强度和峰值会显著提高，干旱风险增加。在气候变化的影响下，上游流域的洪水强度和频率均呈增加趋势，未来增加幅度会越来越大；下游流域的洪水特征受气候变化主导，未来发生极端洪水的可能性增加。

根据云南省2018年环境状况公报指出，澜沧江大部分控制断面的水质都在Ⅲ类及以上，整体水质良好；湄委会沿湄公河设立了22个水质监测站点，根据2011-2017年的水质报告表明湄公河绝大部分河段水质良好。但随着流域城市化、矿产开采、农药施放等人类活动加剧以及管理不到位，澜沧江—湄公河的水体污染存在恶化趋势。



第五章 澜湄流域水资源管理政策分析及技术合作能力建设

水资源是澜沧江—湄公河沿岸各国最为重要的可开发资源之一。澜湄各国都处于经济社会高速发展阶段，对水资源的开发利用需求日渐增多，也面临着诸多亟待解决的水资源问题，各国非常重视流域内的水资源开发利用与保护。但是，流域各国的需求因发展阶段、地理区位等差异而有所不同导致澜沧江—湄公河流跨境水资源开发利用、水生态环境保护和洪旱灾防治关系复杂，需进行高度互信和务实的合作，才能有效协调和促进区域水资源开发、利用和保护的合作。

5.1 原有水资源管理相关机制在支持水资源发展合作方面存在缺陷，澜湄各国水资源发展矛盾日益突出，合作成效有限。

过去很长一个时期（2016年之前），澜沧江—湄公河流域区域合作机制无法有效协调各国水资源开发利用中的分歧，存在域内国家主导权缺失，合作模式、项目内容、资金和技术受域外国家和组织限制等问题。同时，更缺少由流域各国共同参与和成立的符合各国实际发展需求的合作机制。总体来看，澜沧江—湄公河流域水资源管理存在以下几方面缺陷：

第一，合作机制主要由域外国家主导，且利益矛盾突出。

在澜湄区域过去的合作机制中，除大湄公河次区域经济合作（GMS）和东盟—湄公河流域开发合作（AMBDC）等少数合作机制外，多数都由域外国家或组织机构主导，但域外国家主导的合作机制存在突出的利益矛盾。一方面，域外行为主体之间存在利益矛盾。不同行为主体间在本区域的利益诉求有所不同，各利益主体为确保自身利益时常进行博弈，影响流域的整体合作效果。国际组织注重贷款、人力资源开发及跨境基础设施项目建设，非政府组织热衷于环境保护和公民社会的建设，西方发达国家则积极推广倡导自己的流域治理模式，增强自身政治、科技与文化软实力，扩大本国影响力。各行为主体的不同利益和关注点导致各合作机制之间存在竞争和缺乏信任，影响了实际合作效果。

另一方面，西方发达国家的环保至上主义与域内社会经济发展需求之间存在矛盾。域外国家主导的合作机制会更多地体现发起者的理念和意图，本地区合作者的实际需求易被忽视和弱化。受外国资金和技术支持的合作机制，在关注领域、合作模式和项目内容等方面都受其影响和限制。域内国家主导权的缺失导致澜湄区域合作机制存在“水土不服”的问题。

第二，过去合作机制中涉及水资源合作的领域缺少上游国家参与，且权威性和有效性不足。

澜沧江—湄公河流域是一个整体，需要流域各行为主体共同参与才能实现全流域水资源整体利用和保护的目的。2016年之前，区域内由于缺乏澜沧江—湄公河沿岸六国共同组建或参与的水资源合作机制，尤其是缺乏上游国家（中国和缅甸）的参与，导致湄公河流域目前制定的各类保护湄公河水质、珍惜鱼类等水生态环境安全政策、措施缺乏全面性，仅限于“头痛医头、脚疼医脚”式的分散治理手段，没有形成系统的，全流域的合作开发和综合治理框架。以当时合作水平较高的澜沧江—湄公河区域合作机制GMS和MRC为例，GMS主要聚焦于经济和互联互通领域，水资源合作缺位，成效有限；MRC虽然聚焦于水资源领域，尤其是跨界水资源的开发利用与保护合作，但中国和缅甸并未加入，只以对话伙伴身份有限参与，导致其缺乏区域认同，权威性和有效性削弱。



第三，合作机制多聚焦于经济领域，缺乏有效的水资源合作机制。

澜沧江—湄公河区域过去的合作机制主要关注经贸和交通领域，在跨区域公共卫生和环境保护等领域上的合作水平较低；为了规避不必要的麻烦和冲突，通常不涉足利益主体多元、分歧矛盾复杂的水资源领域，而跨界水资源合作程度更低。例如，美国主导的湄公河下游倡议等重点关注的是推行“民主改造”和一些环境、气候等方面的功能性合作，日本主导的日本与东盟经济合作伙伴协议主要偏向于经济领域的政府开发援助，韩国主导的“韩国—湄公河国家外长会议”机制合作的重点是基础设施、绿色增长、农业和农村开发、培养人才等领域，印湄合作着重于旅游、教育、文化、交通等领域，东盟湄公河流域合作开发计划和东盟一体化倡议倾向于交通、能源领域。

MRC 是域内成立最早的水资源合作机制，且专注于湄公河流域的水资源开发利用与保护，但存在以下问题阻碍其发挥协调水冲突和矛盾等功能：一是该机构属于区域性政府间国际组织，对成员国缺乏约束力和强制执行权；二是该机构未能囊括流域所有国家，从而限制了其实际成效；三是该机构单纯的“以水论水”，将水资源领域的合作与政治、经济和安全等其他领域的合作进行割裂。

5.2 澜沧江—湄公河合作机制为该区域水资源发展合作提供有效补充，推动区域各国实现澜湄水资源合作共商共建共享。

当前，澜湄地区各国皆处于经济社会高速发展阶段，对资源和能源需求迫切。未来区域内国家围绕澜沧江—湄公河在跨界水资源开发利用、农业灌溉、航运建设、水电开发利用、生态环境保护等领域的合作将会更加频繁紧密，同时也将面临更多的分歧与矛盾。但由西方国家和国际组织主导的区域合作机制在协调和解决水资源争端上的效果并不显著。因此，十分有必要构建域内所有国家真正参与和主导的、具有一定约束力的、符合各国实际发展需求的跨界水资源合作机制。

基于澜湄区域合作的现实必要性和当前合作机制的不完善，我国于 2016 年倡议成立了由流域六国共同参与的澜沧江—湄公河合作机制（简称“澜湄合作”），并将水资源管理、生态环境保护作为澜湄合作的优先和重点领域。自 2016 年澜湄合作机制启动以来，流域六国共同推动澜湄水资源合作取得重大进展。第一，成立了澜湄水资源合作联合工作组，在中国组建了澜湄水资源合作中心。第二，共同制定了《澜湄水资源合作五年行动计划》。第三，举办了澜湄水资源合作部长级会议和首届澜湄水资源合作论坛，加强了水资源政策对话。第四，开展了广泛的技术交流和人员往来。第五，促进了澜湄流域水文信息数据共享。第六，共同准备和实施了一批务实的合作项目，造福了各国民生，取得了显著成效。

2019 年 12 月 17 日，澜湄水资源合作部长级会议在北京举行，水利部鄂竟平部长为澜湄流域制定未来的水资源管理政策提出建设性意见。第一，澜湄水资源合作应当充分尊重各国合理开发利用水资源的权益；第二，澜湄水资源合作应当充分照顾彼此的重大关切；第三，澜湄流域只有坚持合作，才能实现六国共赢；第四，澜湄水资源合作事务应当由澜湄国家自己商量着办。鄂部长提出，澜湄合作中应当坚持一个原则，就是澜湄流域哺育的是澜湄六国，澜湄流域是澜湄六国的流域，而不是其他国家的流域。澜湄水资源合作大计要由我们六国，也只能由我们六国自己来主导。澜湄流域合作的事务应该由我们六国自己来商量，澜湄六国的发展之路要由我们自己来选择。

在此基础上，就下一步合作提三点建议：第一，围绕“共商”，加强合作机制建设；第二，围绕“共建”，推动合理开发利用；第三，围绕“共享”，打造高水平信息平台。

第六章 总结与展望

本报告基于收集到的澜湄流域近十年水文、水资源和水环境数据，对流域基本水文与水环境情势的变化趋势进行了数据统计分析，并基于文献阅读整理，运用文献数据源辨识及文献统计分析，总结出流域水文及水环境情势近几十年来的变化趋势。

6.1 工作总结

利用所收集到的水位、流量、降雨和水质数据，报告利用线性倾向估计、Mann-Kendall 变化趋势分析法等，分析了澜湄流域整体的水位、流量、降雨和水质的变化趋势。再利用皮尔逊相关系数法分析了降雨-径流、降雨-水位、流量-水位三者之间的相关关系。

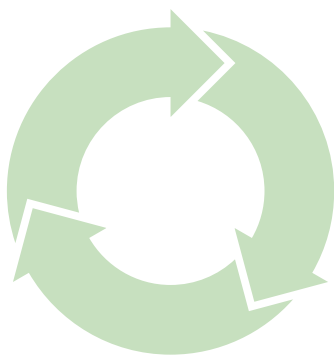
结果表明，湄公流域 2009-2018 年降雨年际波动较大，年内分布不均，雨量主要集中在汛期（6-10 月），上游站点雨量明显多于下游站点，中上游站点的汛期雨量多集中于 7 月，而下游站点雨量多集中于 10 月。2009-2015 年湄公流域水位呈下降趋势，应急补水后 2018 年水位回升至 2009 年水平。各站点最高水位多出现于 2011 年，最低水位基本都出现于 2015 年，受汇流时间影响，与上游站点相比，下游站点最高水位的出现月份明显较晚。湄公流域 2006-2016 年流量整体呈减少趋势，2012 年和 2015 年流量都相对较少，由上游至下游，各站流量逐渐增加，站点流量年内分布不均，流量最大值多出现于 8 月。降雨-径流，降雨-水位有明显的滞后关系，但具体滞后时间不明。

2011-2017 年湄公流域水质略有恶化，pH 呈下降趋势，各站点中值总体集中在 7.5 左右；总悬浮固体含量下降明显，雨季浓度明显高于几乎无雨的旱季（11 月到 4 月）；电导率中值趋于稳定，上游站点略高于下游站点；溶解氧变化不大，上中游站点实测值相对较高；氨态氮呈增加趋势，随着上游向下游流动，各站点硝态氮浓度呈 u 型分布，三角洲地区的浓度最高；总磷也呈增加趋势，从上游到下游浓度不断增加，最低值都出现于上游站点。COD 不断大幅波动，呈现增长趋势，从上游至下游 COD 浓度增加，与总磷、总氮的变化趋势相一致。每年多个站点均有监测值超过湄委会保护人类健康的水质指南中规定的 5mg/L。

此外，报告还通过文献综述，总结归纳了 2010-2019 年期间发表的湄公河水文水环境情势的有关文章，对于历史几十年以来澜湄流域的降雨、流量和水质的变化趋势进行了整合，并基于文献结论整理其所预测分析的未来不同气候和人类活动情景模式下的降雨、流量和水质情况。

总的来说，澜湄流域的水循环过程加快，降雨呈增加趋势，并更多地集中于雨季，极端的水文事件（如洪涝事件）发生的可能性加大。受人类活动影响，旱季的水位和流量增大，但是干旱的发生和量级仍有增加的趋势。澜湄流域的水质情况目前相对较好，但是采矿、采砂、滥伐森林等过度的人类活动会对水质带来很大的威胁，使得澜湄流域的水质情况存在恶化的趋势。

针对原有的澜湄水资源管理机制，目前的湄委会等流域组织机构虽然在一定程度上促进了澜湄流域水资源的合理、可持续发展，但是随着发展层次的不断提升，湄委会呈现“疲态”，无法很好地协调、解决湄公河流域各国之间的水资源发展矛盾，以及上下游之间的协调合作关系。



6.2 局限与不足

报告所得到的澜湄流域水文及水环境情况的分析结果基本是符合相关事实，并能够为学术界认可。但目前仍有一定的局限：

分析方法与数据序列长度不匹配，如 Manner-Kendall 法需要较长的数据（>30 年）才能够较好地反映数据序列的演变趋势，并且能够判定数据序列的突变点。目前收集的数据序列较短，只能反映大致的变化趋势。

文章综述结论存在一定矛盾，由于不同文章所采用的数据来源，站点位置，数据序列长度不一，导致在文章的分析方面存在一定的误差，进而造成不同文章的研究成果不同。因此本报告一方面选取权威期刊（中文核心及 1 区、2 区期刊）作为文献引用对象，另一方面选取绝大多数（80%）期刊相似或共同的结论作为文献综述成果，存在一定的误差，但是可以保证一定的可信度。

6.3 工作展望

未来的工作过程当中可以有以下工作来进一步完善：一是延长数据序列，从而减少数据代表性误差以及方法使用误差；二是加入模型模拟的工作，在未来有较长数据序列的情况下进行模型模拟，由于模型当中有众多相关参数，可以通过参数调节，来反映出课题重点关注的内容，更为直观地反映澜湄流域水资源情况。





联系我们

澜沧江—湄公河环境合作中心
中国—东盟环境保护合作中心
生态环境部对外合作与交流中心
北京市西城区后英房胡同 5 号
邮编: 100035
电话: +86-010-82268221
电子邮箱: li.xia@fecomee.org.cn
网址: <http://www.mepfeco.org.cn>



澜沧江 - 湄公河环境合作中心: 澜沧江 - 湄公河环境合作中心是李克强总理在 2016 年 3 月召开的澜沧江 - 湄公河合作首次领导人会议上提出的倡议。2017 年 11 月澜沧江 - 湄公河环境合作中心在北京正式成立。中心旨在推动澜湄国家生态环境保护合作, 为澜湄国家提供环境与发展对话平台, 提升区域环境管理能力, 推进区域环保产业合作, 共同推动区域可持续发展。