



水利水电国际资讯摘要

IWHR International Digest

中国水利水电科学研究院 主编: 孟志敏 责编: 孟圆 刘一帆

2023
1
总334期

非常规水资源及相关可再生能源
全球观察站可行性研究

洪水和干旱
对科学和社会构成的挑战

河流改道的地方

大展鸿兔





2023 年新年寄语

值此新春佳节之际,《水利水电国际资讯摘要》编辑组向各位领导、专家和同事致以美好的新年祝福,衷心感谢您对本摘要一直以来的关心和支持!

2022,我们总结了过去10年的辉煌历程。党的二十大胜利召开,为全面建设社会主义现代化国家擘画宏伟蓝图,党和国家事业发展迈向新征程。

2022,我们与艰难抗疫的3年做了告别。街上车水马龙,城市繁华喧嚣,生活正慢慢恢复如初。

我们也为难忘的2022年画上了句号。这一年里我们见证北京冬奥赛场上的冰雪奇迹,仰望中国空间站遨游苍穹,欢呼白鹤滩水电站全面投产发电,迎接世界最大清洁能源走廊全面建成。

这一年,中国水利持续贯彻“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路,完善流域防洪工程体系、加快构建国家水网、复苏河湖生态环境、推进数字孪生系统建设。摘要也紧跟中国水利事业发展方向,以服务新阶段水利高质量发展为目标,立足全球视角,奉送57篇前沿科技文章和8期专刊,助力促进水利发展前沿的分享与交流。

辞旧迎新,吐故纳新。2023年,迎接我们的不仅是全新的一年,更是充满生机活力的新日子、新机遇,当然还有新挑战。摘要将不负使命,紧跟水事热点,聚焦全球水利科技新成就,力求为读者献上精品内容。在大展鸿“兔”的2023年,摘要将一如既往与您并肩出发、携手前行!

佳节临近,摘要编辑组祝福您和家人万事顺遂、平安喜乐!



摘要编辑组

非常规水资源及相关可再生能源全球观察站 可行性研究



太阳能海水淡化厂——Ksar Ghilène (突尼斯)

研究总结报告 (2022年3月)

概要

为何研究此类观测站？

世界水理事会(WWC)长期以来密切关注水资源及其利用的变化,防患于未然,重视平衡开发海水淡化或污水回用等新的水资源与减少各种活动碳足迹的矛盾。世界水理事会委托地中海水研究所(IME)研究建立非常规水资源与相关可再生能源观测站的可行性,研究以萨赫勒地区和地中海地区为试点。

到2040年,各国在水资源和能源资源领域所面临的情况会呈现出较大差异。

事实上,这一地区所有国家的目标都是将可再生能源占能源消费总量的比重提高至30%或40%,这需要将当前可再生能源份额提高一倍,甚至某些国家要提高九倍。萨赫勒地区国家目前的高可再生能源比重可能会随着能源消费发展而逐步下降。就用水需求而言,假设采取了所有节水措施的情况下,部分国家可能拥有充足的可持续自然资源,而另一些国家则需要调动大量资源保障供水:已建立完善卫生设施系统的国家污水回用的潜力巨大;另一方面,对于不得不提高水产量,将非常规水资源占比

提高至50%(马耳他、突尼斯、以色列、约旦)、70%(阿尔及利亚、埃及)、甚至90%(利比亚)的国家来说,这些措施还远远不够。以上国家不得不大力发展海水淡化产业,进而导致能耗显著增加,因此他们将面临巨大挑战,必须在非常规水资源和可再生能源两个领域实现共同发展。

观察站可发挥支撑作用

研究、规划、投资和治理等方式多措并举,是应对以上多重挑战的关键。而这些支撑措施所需的数据信息目前仍尤为匮乏。

· 参与者翘首以盼

整合关于非常规水资源和可再生能源一体化的信息和国际经验交流不仅是研究区域内大部分国家的官方机构的期待,也是不同的潜在用户的关注重点。这包括非常规水资源项目业主、负责饮用水、工业供水、污水处理和灌溉的相关人员、公共和私人水处理和灌溉设施的管理者、包括城市、实业家、灌溉农民、消费者协会在内的再生水的终端用户、建筑公司、工程办公室、专业机构等水务部门的私营企业、研究人员、大学、学术机构、专家和培训机构、水或能源等可持续发展领域的规划者和监管机构、项目融资组织与区域或国际合作组织等众多利益相关者。

· 促进信息获取和经验分享

领域的相关人员希望获取关于水资源、环境、能源(粮食和碳足迹)、非常规水资源(现有或规划中)设施、各类用水者的联系方式等真实有效的信息。但最重要的是,他们期待通过国际交流的方式分享讨论关于海水淡化或污水回用设施的信息反馈,推进联合研发项目或与非常规水资源和可再生能源领域的卓越中心、国际组织或网络开展积极合作,为主管部门提供咨询或协助决策者制定国家和区域政策,支持技术和职业培训计划和能力建设,提高公共意识,提供简单明了的实际数据信息以及回应公民社会提出的各类开放式问题。

时机成熟:在作出承诺的国家开展观察站的全面测试。

为满足大家的期望,本研究不建议建立数据库或设立一个新组织,而是设置简单的结构框架来调度现有数据库和组织:观察站将搭建一个网站并组建团队跟进相关需求,实现以下两项目标:(i)定期收集和验证全球信息,或将特定数据的申请人指引至其他信息系统,以及(ii)针对普遍关注的专题,成立国际工作组或组织相关培训。

研究并未直接从全球层面开展观察站可行性研究,而是建议先在萨赫勒-地中海地区进行试点工作,开展一项为期两年的项目。该试点地区范围内有多个有意愿的国家和国际组织。项目的经费需求预计为40万欧元,项目所有人需从利益相关者和融资机构等渠道获取经费,尽快启动项目。

建立观察站的提议与世界水理事会主席在达喀尔第九届世界水论坛上强调的优先行动契合,目的是实现“更少、更高效的消费”。事实上,此项目直接帮助合理调动非常规水资源和可再生能源,推动实现水安全,并且能够与水权、混合融资和水外交等其他优先目标产生协同效应。

1. 研究背景和目标

长期以来,利用海水、微咸水或再生水而非河水、地下水等常见水资源来满足各种用水需求的供水项目已实现长足发展。这些项目往往需要大量能源支持,用来淡化海水或者将水输送至需水地区。

除人口和经济变化之外,使用这些非常规水资源耗费大量能源,久而久之,必然导致气候变化进一步加剧,只有减少能源消耗才能减缓气候变化。因此,负责管理水资源和能源的主管部门面临着一个就算不矛盾,至少也十分复杂的问题,更不用说还有创新举措所带来的技术和社会组织问题。相关部门内目前正在搜集关于这些问题的信息、技能或经验。

世界水理事会认为,建设一个国际非常规水资源与相关可再生能源观察站可能对这两个领域的利益相关者颇有助益。因此,世界水理事会希望

开展一项可行性研究来确认利益相关者是否对建立观察站感兴趣,以及感兴趣的利益相关者对观察站的作用或形式有何期望或想法,以便最终确定预期的服务效果是否与建设和运营观察站的工作量相称。

研究秉持客观立场,不会对是否建设此类观察站的决定做出预先判断,且研究将基于利益相关者的提案和期望协助完善成熟这一想法,是一项开放性研究。

2. 研究实施方法

2.1 工作组织

签署协议后,地中海水研究所立即为此项研究组建了专门的内部指导委员会,成员包括地中海水研究所主席Alain Meyssonier、地中海水研究所科学技术委员会主席Mokhtar Bzioui、两位副主席François Guerber 和Nicolas Roche,以及项目管理负责人Malika Roussel。委员会为地中海水研究所内部交流提供平台,可用于规划工作、采取必要措施和验证内容。

指导委员会在其合作伙伴网,包括撒哈拉和萨赫勒观察站、蓝色计划和联合国粮农组织的支持下,发挥专业优势执行此项任务。此外,地中海水研究所还与来自北部和南部的两组专家(每组两名)签订协议,开展针对海水淡化和污水回用的调查研究。

研究范围

萨赫勒-地中海地区包括地中海沿岸的二十一个国家或地区(约旦位于这一地区附近,因此通常也被计入其中)和八个萨赫勒国家。根据与CME签订的协议,少数几个国家因其特殊情况在研究启动时未被列入;研究涵盖16个地中海沿岸国家和6个萨赫勒国家。

方法论

用于评估非常规水资源和可再生能源专门观察站的可行性的信息通过以下多种方式收集:

- 征求试点地区内各国主管部门的意见;
 - 与粮农组织合作举办一系列污水回用研讨会¹,以及举办以海水淡化和可再生能源为专题的研讨会;
 - 在于2021年10月1日在法国马赛举行的第四届地中海水论坛的开幕式上成立非常规水资源工作组;
 - 在于2021年12月在马耳他举办的地中海水论坛中组织一场专门针对观察站的边会²;
 - 相关专家与海水淡化或污水回用领域的国家或区域组织联系,明确现有倡议和项目,以及普遍期望;
 - OSS提供关于信息系统专题和化石燃料问题的要素;
 - 马耳他能源与水利管理部为地中海水论坛上的讨论提供的后勤保障和便利;
 - Plan bleu机构提供的地图分析支持;
 - 在于2022年3月24日在达喀尔召开的第九届世界水论坛期间,促成举办一场关于观察站项目的特别会议;
- 为收集信息和意见采用的方法如下:
- 设计关于污水回用的调查问卷并在网络上广泛发放;
 - 与重点机构访谈,大多数情况下通过视频会议进行;
 - 在研讨会或活动等商务会议期间收集论文;
 - 借助网络进行相关书目研究;
- 以介绍信方式向IME/CME中心、中心专家的个人联系地址以及在网上找到的研究区域内各国的当地专家发放污水回用网上调查问卷。问卷的目的是收集关于以下信息:

¹ 粮农组织和地中海水研究所组织的污水回用网络研讨会,地中海水研究所于2021年6月和10月组织的两场海水淡化网络研讨会,地中海水研究所于2022年1月组织的可再生能源网络研讨会

² 于2021年12月6日至8日举办。

- 联系人的联系方式和专业领域,
- 联系人所在国家的污水回用技术水平,
- 联系人所在国家的监管框架,
- 现有观察站和区域污水回用计划的信息,
- 联系人对建设污水回用观察站的态度。

调查希望对观察站感兴趣的受访者填写第二份调查问卷。第二份调查问卷旨在收集关于当前污水回用项目的具体信息,包括对现有污水处理场址的反馈意见等。

关于海水淡化的访谈已在情况说明书中报告,标明了受访者、组织名称和目标、关于观察站的意见和可能承担的作用。

考虑到污水回用和海水淡化这两个领域的形势和信息共享需求十分相似,首先由各组专家单独对收集到的信息进行分析,再对信息整合处理。

3. 含非常规水资源在内的水资源与可再生能源等相关能源的需求

本章分析研究区域内各国在水资源和能源领域面临的不同情况,以便将观察站项目有效与当地具体环境和经济发展相结合。

附录A3汇总了目前网上显示的关于各国水资源与能源的信息。阿尔巴尼亚的情况说明表(附录A3.1)与其他国家相比更完整,且信息更新及时。这主要归功于该国联络中心在地中海海水研究所制定的版本的基础上开展的工作。丰富完善的信息也表明观察站借助其专家网络可以在为公众提供信息方面实现增值价值。下文分析也是基于联合国、国际能源署以及粮农组织分别提供的可持续发展目标、能源和水资源领域的信息。

3.1 试点地区在包括非常规水资源在内的水资源领域面临的问题

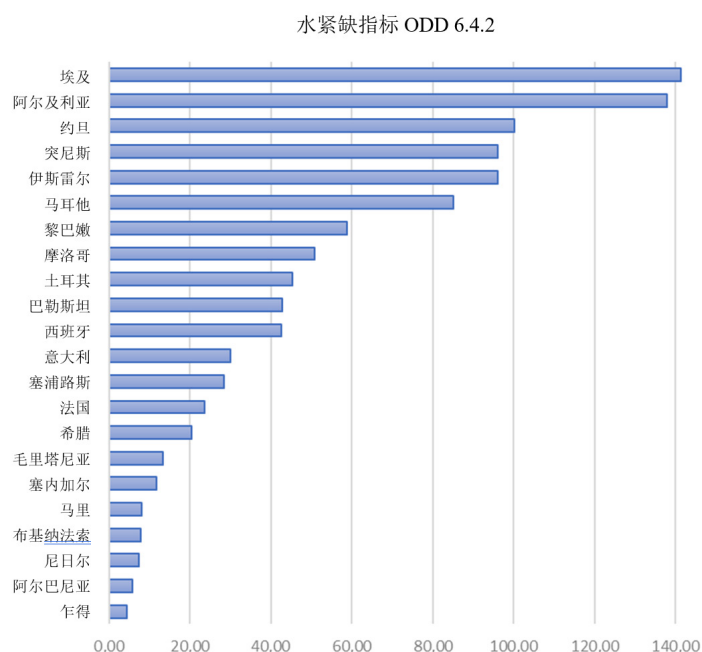
全球许多地区,随着人口数量和密度增长以及经济活动发展³,人们利用各种水利设施,例如引水

设施、钻井、水泵、储水箱,从自然环境(地表水或地下水)中抽取的淡水量越来越多。一个地区的水资源紧缺程度可表示为每人每年可用的可再生淡水量(Falkenmark指数,1989):如果低于每位居民每年1700立方米,则表示该国处于水资源短缺状态;如果低于每位居民每年1000立方米,则表示该国面临严重缺水危机。

联合国最近制定了一项水紧缺指标,直接计算淡水抽取量与考虑环境需水量之后的可再生水资源总量之比。这一指标被用于制定可持续发展目标和跟踪完成进度(SDG 6.4.2)。

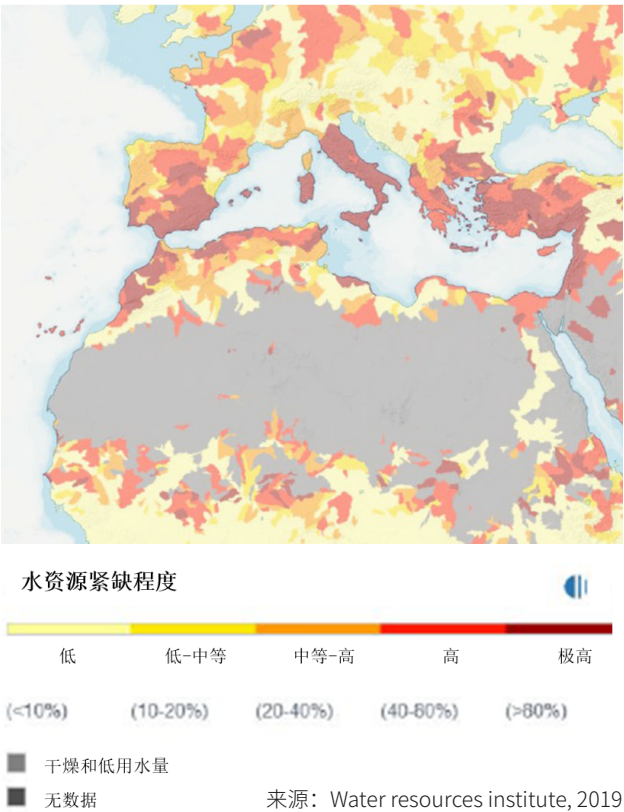
考虑到水量因季节而异且各国国内不同地区也存在差异,如果一年内的指标值不超过40%的阈值,则视为供水有保障。

下图中,利比亚由于指数值过高(水资源紧缺指数超过800%)而未被列入。从图中可以看出,研究区域内超过一半的国家的淡水抽取量超出了40%的理想阈值。



下图中的黄色或橙色区域也表示超出阈值的流域,也体现出同一国家内部存在的差异。

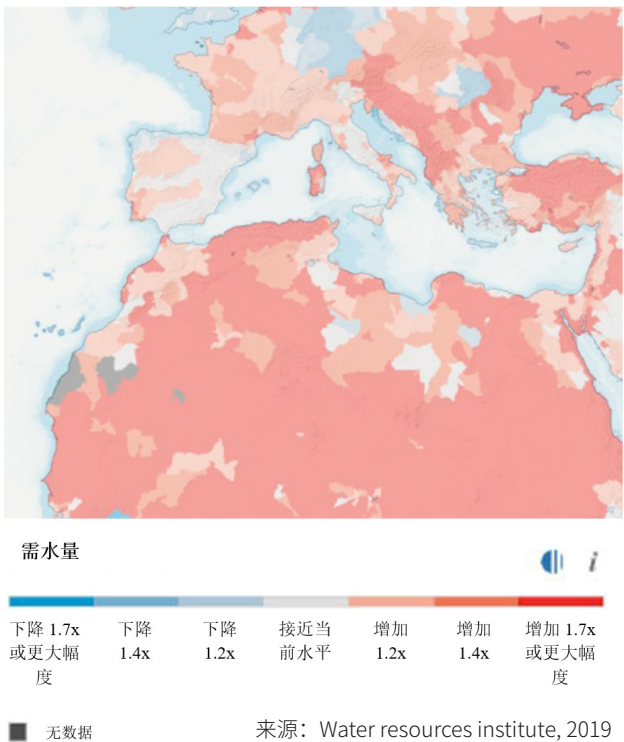
³ 尤其是农田灌溉,灌溉用水占研究区域总淡水抽取量的80%。



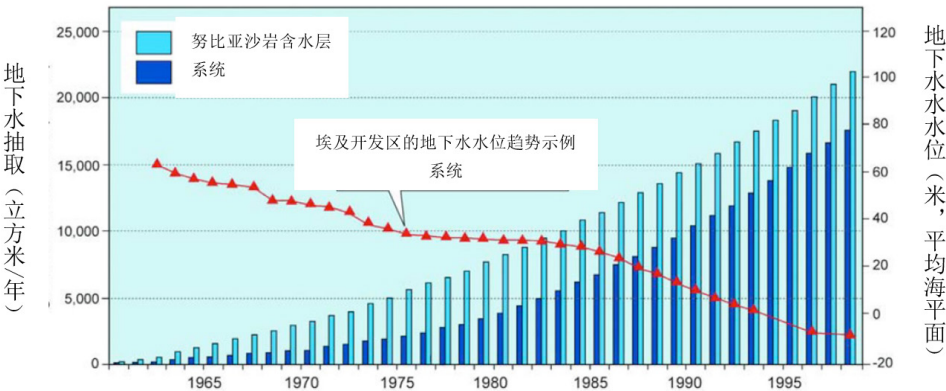
如果淡水抽取量经常达到甚至超过常规水资源更新的自然极限,就会导致水资源过度开采,进而造成地下水水位下降——如下文关于努比亚沙岩含水层和后努比亚沙岩含水层的示例所述,或者导致河川径流减少,直至永久干涸。

在这种情况下,水领域的行动者实施了一系列优化措施,即所谓的“水需求管理”或“可持续生产和消费”,并与减少漏损(如配水管网泄漏)和节水(如改变工业过程、灌溉模式或改种节水作物)等

措施结合。但是,在研究区域内的大部分国家中,这些优化措施仍无法解决人口增长和南部国家生活水平提高带来的用水需求激增问题。用水需求增长如下图所示,该图基于对多个集水区2040年用水需求的预测。



在实施所有水需求管理措施后,各国还可以开发调动所谓的非常规水资源,例如海水或污水。然而,应当指出的是,目前借助非常规水资源获取的额外水量十分有限,往往不超过研究区域内各国常规水资源的3%(马耳他、利比亚和阿尔及利亚除外)。



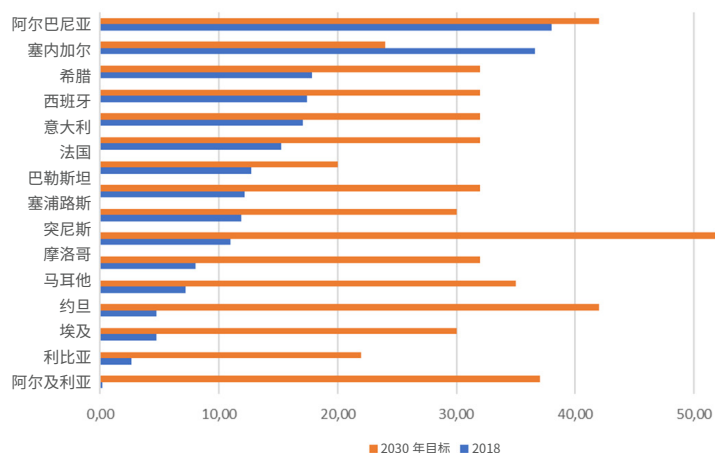
(上图基于《不可再生的地下水资源——水政策制定者的社会可持续管理指导手册》的数据,有联合国教科文组织-国际水文地质学家协会-世界银行地下水管理咨询小组编写)

3.2 试点地区在包括可再生能源再内的能源领域面临的问题

全球能源消费持续近一个世纪的指数级增长是导致气候变化的根本原因。目前气候变化虽已在全球造成不可忽视的重大灾害,但其程度依然有限。从长期来看,我们对气候变化造成的毁灭性影响的预测也越来越准确。因此,能源部门目前正在制定一项深度转型计划,以期在《巴黎协定》框架下实现更具可持续性的生产和消费水平。

从下图可以看出,这一转型目标转化为各个国家的共同目标和自主贡献,旨在减少能源部门本身以及所有其他能源消费活动排放的温室气体,即使在人口或经济增长的情况下也要降低排放量。

可再生能源占最终消费总量比重——SDG 7.2.1



用水循环包括集水、生产、配水和处理等多个阶段,而这些阶段都需要能源支持。假设常规城市供水方案的平均能耗为1.2千瓦时/立方米,那么在增设污水三级处理或净化设施,并将处理后的污水用于灌溉周边农田或其他用途的污水回用方案中,平均能耗可能增加1到2倍,而在进行海水淡化或长距离输水(200至500千米)的情况下,平均能耗可能增加3到4倍。

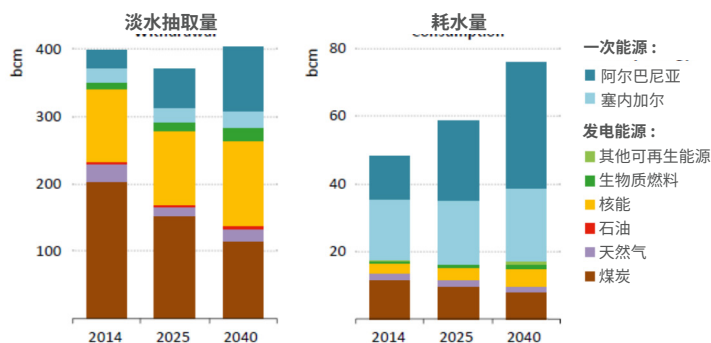
这种现象在研究区域的大部分地区越来越普遍。我们发现,这些能耗数据考虑了加强净化性能和将水输送或配送至用水地点,也考虑了反渗透膜海水淡化等技术进步因素。反渗透膜海水淡化的能耗可降低至3.5千瓦时/立方米。

为满足这一基本能源需求,须增加现场能源产量或者将设施连入可用的互联电网。即便能够接入电网,也需要加强配电网建设,并且在一些情况下仍然需要提高产量。

因此,本研究所涉及的与非常规水资源设施有关的可再生能源不限于专门为水处理厂供电的可再生能源,还包括为其他用户供电的互联电网。

能源部门也充分认识到,应对气候变化须实现重大变革,而这也将使部门用水需求显著增加。事实上,发电厂冷却水系统的耗水量取决于所采用的发电技术,且不同技术间存在显著差异。例如风力涡轮机的耗水量甚微,太阳能光伏发电低于0.1立方米/兆瓦时,聚光太阳能发电厂介于1至10立方米/兆瓦时,核电站的耗水量则取决于冷却方式。

到2040年,发电设施的进步让全球能源部门的淡水抽取量趋于稳定,但耗水量将增加近60%。然而,这些水不会回归到自然环境中,也就无法实现用于下游:



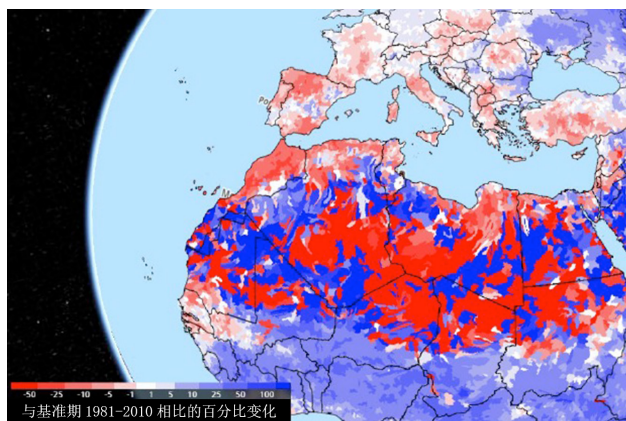
来源: 国际能源署《2016年世界能源展望》

研究区域内的水能资源蕴藏量几乎已经被充分利用,而可再生能源发展潜力依然巨大。例如,摩洛哥的风能潜力估计为2.5万兆瓦;是当前水电装机容量的6倍,而目前由于各种场地或经济限制,这些潜能尚未完全发挥。

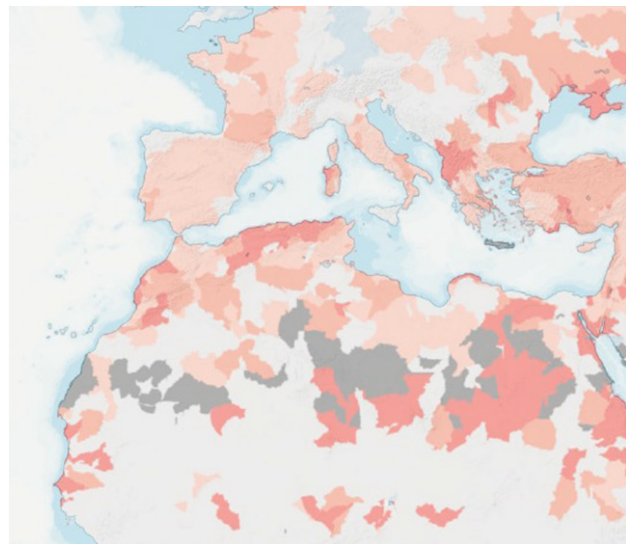
3.3 展望未来

气候变化对未来水资源形势造成的影响难以估计:一方面是全球变暖与降雨量,以及降雨量与地表水和地下水资源之间的关联关系因季节而异,且须在更精确的地理尺度上进行分析;另一方面是全球气候变暖的背景本身仍然存在诸多不确定性。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的RCP 4.5情景假设碳排放在2040年左右达峰,全球气温升幅控制在1.1至2.6℃之间。就算在这个乐观假设下,下面两张地图表明研究区域也会出现不利的变化:即非洲部分地区的地表水径流量将减少一半,而马格里布或埃及的一些盆地面临的水资源压力将增加一倍以上。



来源: 气候信息 (Climate information, 世界气象组织气候数据访问平台)



水资源紧缺程度



■ 无数据

来源: Water resources institute, 2019 年

各国都在着手制定如国家水资源战略(national water strategies)、流域或含水层计划(basin or aquifer plans in the field of water)、能源供应战略(energy supply strategies)、国家自主贡献⁴(nationally determined contributions)和气候变化适应计划(climate change adaptation plans)等各类水资源或能源规划。这些计划的制定过程较为复杂,因为各计划间并非相互独立,须由水务部门和能源部门⁵共同设计制定,且通常还需要农业等其他部门参与进来。

联合国为落实《2030年可持续发展议程》制定的可持续发展目标和相应行动计划应促进此类合作,尤其是围绕地中海盆地开展的合作。地中海盆地已制定一项地中海可持续发展战略,并在联合国环境规划署-地中海行动计划框架下重新启动了可持续发展战略的监测工作。

研究表明,近期的非常规水资源项目推动建设了越来越多的新可再生能源生产设施,其中包含:

- 标准化模块化自主能源解决方案,依靠太阳能电池板而无需工程建设,可用于独立和小容量设施(不到1,000立方米/天);
- 可再生能源发电厂在重要供水项目框架下开发建造。但这些发电厂的服务对象不局限于水利设施。主要为风力涡轮机场和太阳能发电厂。

我们注意到,即使存在技术上可行的非常规水资源和可再生能源解决方案,还须确保它们在经济和社会上易于被接受:如果水的生产和运输成本过高,项目就会遇到阻力,对环境影响的补偿实际上已包含在项目中(尤其是在海水淡化厂的废水直接排放到海洋中的情况下),或者导致部分用水者(居民、实业家或农民)无力支付水费。

与此同时,为推进非常规水资源和可再生能源领域的发展,正在搭建专门的实验平台,开展多学科研究项目。这一方面的典型示例包括摩洛哥的太阳能和新能源研究所(IRESN)、塞浦路斯的塞浦路斯研究所,以及法国的Tergys等中小企业。

⁴在《巴黎协定》下作出的承诺。

⁵关于这一主题,请参见国际能源署发布的《2016年世界能源展望》

合理的储能价格是发展可再生能源必须解决的关键问题之一,而在这一方面的技术进展预计要比前几年快出许多。

在欧盟的推动下,部分国家正在进一步深化在非常规水资源和可再生能源领域的战略承诺,或者制定国家战略,例如摩洛哥已推进机构改组并建立了与私营部门公私联动的太阳能和新能源研究所(IRESEN),水务和能源服务的国家水利电力局(ONEE)完成整合。摩洛哥采用了新发展模式,制定目标,承诺到2030年将可再生能源占比提高至40%,同时将污水回用和海水淡化在总用水量中的比重提高至15%。

3.4 形势类型

各国整体及其国内不同地区的水资源(由水资源紧缺程度确定,SDG 6.4.2)及其能源(由可再生能源占最终消费总量比重确定,SDG 7.2.1)可持续发展形势差异显著。

下表将研究区域内各国的两项指标的当前数值进行排列组合,得出四种典型情况,即:

- A区表示水资源短缺问题可控,可再生能源占比符合控制全球变暖的全球目标。这是所有国家必须努力实现的目标。目前,在研究区域内,只有阿尔巴尼亚和撒哈拉以南非洲国家符合这一标准。阿尔巴尼亚拥有丰富的水电资源,而撒哈拉以南非洲

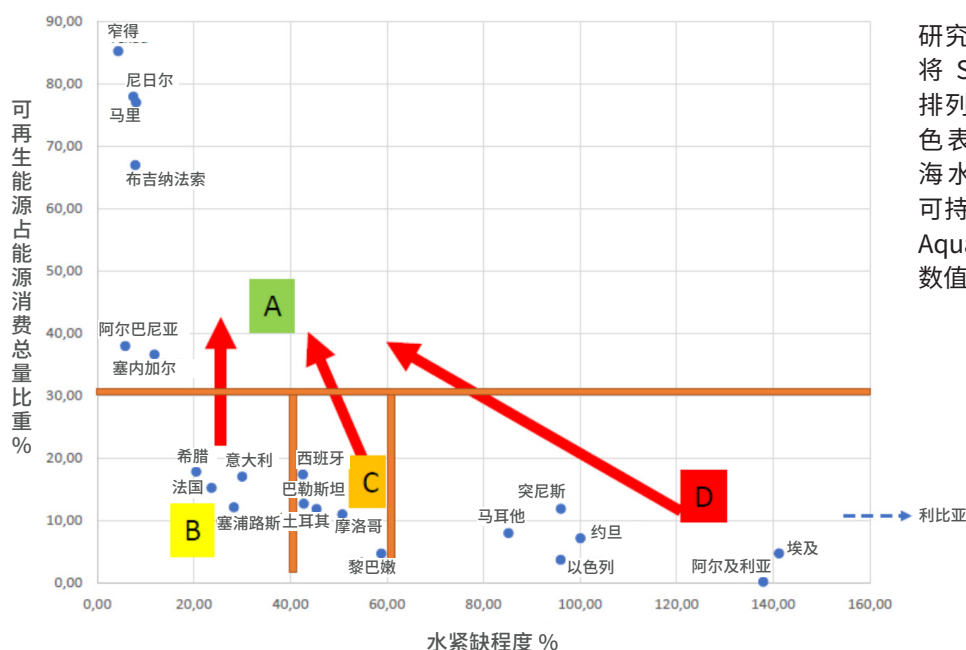
国家则是因为其资源消耗水平较低。到2040年,这些国家面临的主要挑战是在不增加人均碳足迹的前提下,走具有经济效益的发展模式,满足不断增长的人口需求。

- B区代表水资源量令人满意但人口增长率较低的国家,它们必须推进重要能源转型,以实现遏制全球变暖的目标。图中的垂直箭头表示转型轨迹。这类国家包括意大利或希腊等欧洲国家。

- C区代表必须与B区国家一样推进能源转型,且与此同时必须确保供水可持续发展的国家。因此,由C指向A的略微倾斜的箭头也代表了这些国家到2040年的转型轨迹。除了西班牙之外,摩洛哥、土耳其和黎巴嫩等一些国家也将面临显著人口和经济增长问题。

- D区代表水资源紧缺程度非常严重(>60%)且可再生能源占比较低(<10%)的国家,例如约旦或埃及。这些国家正在计划为实现气候目标作出巨大努力,但从图中倾斜角度极大的箭头可以看出,除了增加可再生能源的使用之外别无他法,因此这些国家必须实现比其他国家更高的可再生能源占比。

由此看出,研究区域内的各国家对观察站项目的敏感度存在差异是正常现象:A区和B区国家须在局部范围调动非常规水资源或者采用特定污水回用技术(能耗低于海水淡化),而C区和D区国家则不得



洪水和干旱 对科学和社会构成的挑战



洪水、干旱和其他与水有关的自然灾害让加拿大和世界各地付出了沉痛代价。全球在科学和基础设施方面取得了重大进展,能够帮助预测和管理这类极端灾害,即便如此,一旦遭遇自然灾害,许多社区的社会和经济仍然受到严重影响。

在《自然》杂志上发表的一篇新论文中,萨斯喀彻温大学牵头的一个国际研究团队展示了一项全球调查成果,明确了为更好地保护世界免受干旱和洪水的影响,当前的科学和政策差距。

萨斯喀彻温大学环境和可持续发展学院、全球水安全研究所(GIWS)和工程学院土木、地质和环境工程系副教授Saman Raza表示,洪水和干旱风险

管理模式仍然基于过去代表未来这一假设。而这个假设并不成立,原因包括两点:首先,由于气候变化,极端事件增多,如更严重的风暴、热浪或干旱规模前所未有;其次,由于人口显著增长、城市化、洪泛区人类定居和地下水开采,更多的生命和财产正面临洪水或干旱威胁。

研究人员利用世界各地的45个案例研究,评估当前风险管理策略可能在何时、何地不能取得成效、失败的原因,以及可加以改进的地方。研究小组评估了一段时间内发生在同一地区的洪水和干旱现象,用以帮助分析第一次事件的发生如何影响第二次事件的管理。

研究发现,如果两起洪水或干旱事件发生在同一地区,但发生时间点不同,即使在第一次事件后就做出了基础设施和政策的调整,第二起事件通常还是要比第一个事件造成的影响更严重。

研究人员表示,如果第二次事件比第一次事件更危险或者更极端,就会得出这一违反常理的结论。然而这就是当今世界所要面对的现实,而造成这种境况的罪魁祸首就是全球变暖和气候变化。

在案例研究的过程中,研究人员发现在西班牙的巴塞罗那、德国和奥地利多瑙河流域,当地有着减

轻第二次事件影响的成功战略。这些地区大刀阔斧改革风险管理,增强治理和协作,使用预警和应急系统,并大量投资结构性和非结构性保护措施,有效减轻了第二次水灾害的影响。

在《自然》上发表的研究成果,是萨斯喀彻温大学全球水安全研究所关于水资源建模和管理的多年研究项目的一部分结晶。萨斯喀彻温大学全球水安全研究所致力于改善加拿大和全球的洪旱管理实践。

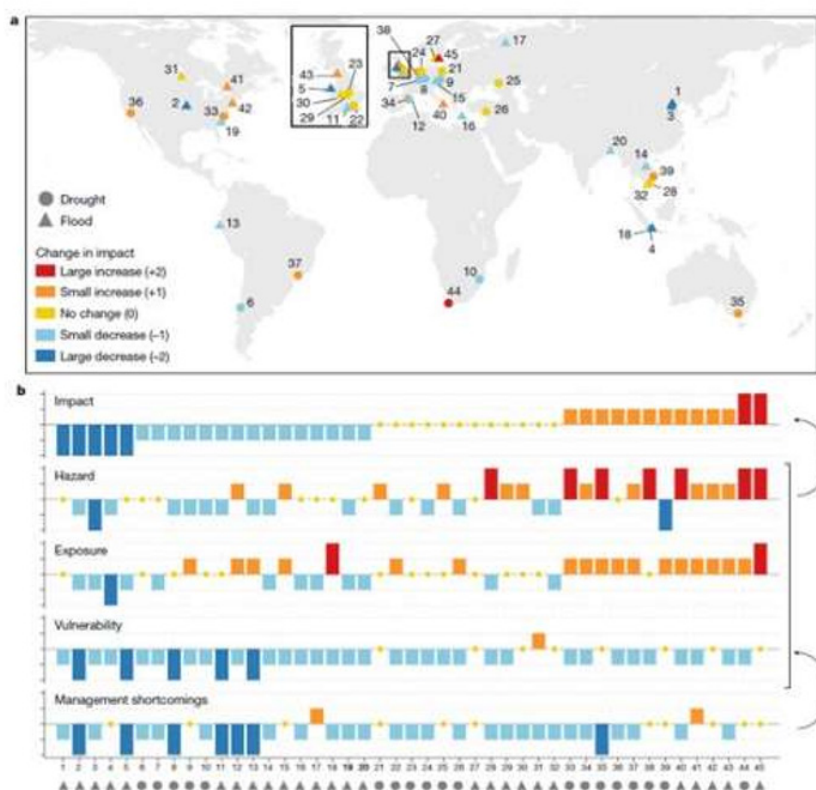


Fig. 1 | Location of flood and drought paired events coloured according to changes in impact and their indicators of change, sorted by impact change. a, Location of flood and drought paired events. Numbers are paired-event IDs. b, Changes in impact and their indicators. Impact is considered to be controlled by hazard, exposure and vulnerability, which are exacerbated by risk management shortcomings. Maps of the paired events coloured according to drivers and management shortcomings are shown in Extended Data Fig. 1.

来源:《自然》(2022年)。DOI: 10.1038/s41586-022-04917-5

本文摘译自:

<http://www.usask.ca/>

河流改道的地方

首个全球河流冲裂数据集发布, 历时十年的建模和理论发展终得验证



印度尼西亚珀马利三角洲地带河流冲裂现象符合回水区冲裂机理。这里是研究团队数据库中 113 个例子之一。

一直以来, 人类与河流的关系可谓错综复杂, 河流既能促进文明, 又能对文明构成威胁。譬如古埃及神话中与尼罗河每年洪水泛滥有着千丝万缕的联系的奥西里斯, 就既掌管着死亡、又执掌重生。

大洪水有时会迫使河流突然改道, 在大地上冲出一条新的河道, 这种罕见的灾难性事件被称为“

河流冲裂(river avulsions)”。坐落在最大冲裂路径上的城市可能会被彻底摧毁, 但由此创造出的肥沃的三角洲却又孕育了许多人居社会。

加州大学圣巴巴拉分校一个研究团队近期在《科学》杂志上(Science, 27 MAY 2022, Volume 376 Issue 6596)发表了首个河流冲裂现象全球

汇编成果。这项研究证实了该小组大约历时十年的理论和实验工作,丰富了河流冲裂这一“小众”研究的内容。

研究团队表示,该数据集首次明确检验了河流冲裂理论,证明在扇形地带和三角洲地带三种不同的冲裂机理。而早在十年前该团队刚开始从事这项研究时,河流冲裂被认为是混乱无序的,具有随机性且不大可能预测。

冲裂现象极为罕见又发生得毫无征兆,导致有关研究一直所获甚少。在这篇论文发表之前,科学界观察到的冲裂现象屈指可数。该论文的研究人员根据这些为数不多的案例研究,利用实验和计算模型开始构建冲裂现象为何发生在某个地方的理论。

一条河流有可能十年才会改一次道,也有可能是一百年甚至更久。因此,对河流的监测时间跨度必须足够长,才有可能获得有用的数据。不过,得益于卫星成像,该研究用空间尺度来弥补了时间尺度的不足,进而发现,尽管冲裂现象非常罕见,但如果对地球上几乎每一个三角洲地带进行观察的话,还是能够发现一些冲裂现象存在的。研究团队梳理了1973年至2020年的卫星数据和历史地图,幸运地发现了113次冲裂现象。也就是说,研究获得了过去50年全球范围内具有代表性的冲裂案例。

扇形地带冲裂现象

冲裂现象呈三种机理。在该研究的所有案例中,有33个河流冲裂发生在河流从陡峭、狭窄的河道过渡到平坦开阔的地形时。这些扇形地带通常出现在山脚下,河流从峡谷中流出,进入了平坦的谷地或开阔的海洋。这类冲裂现象要满足的条件是,河谷斜坡至少为3层断裂,中位数为6.5。

回水区三角洲冲裂现象

第二类冲裂现象仅限于河流的回水区。研究团队认为,回水区是受下游尾部海平面的影响,流动异常的河道部分。回水区能够向内陆延伸非常之远,例如,密西西比河的回水区就大约延绵300英里(约483公里)。

该研究记录了50起发生在回水区的河流冲裂现象,有许多发生在世界大江大河较为低洼的三角洲地带,如奥里诺科河、黄河、尼罗河和密西西比河。

高含沙河流三角洲冲裂现象

第三种冲裂机理占到了全球数据集中三角洲冲裂现象的40%,有30个案例属于最后这一类。在这些案例中,大洪水和大量的泥沙输移导致冲裂现象发生在很远的上游。

在第三类冲裂现象中,冲裂长度平均为河流回水长度的14倍。在一些最极端案例中,冲裂可能达到回水长度的50倍以上。

动态河床

河流冲裂与泥沙输移密不可分。当泥沙含量过高以至阻塞河道,河流就不得不改道,冲裂就有可能发生。在扇形地带,坡度变化是冲裂发生的主因:流速减慢,水流携带的泥沙沉积到河床上。

在第二和第三类情形下,冲裂发生在相对平坦的河流三角洲地带。因此,泥沙沉积导致河流冲裂的促发因素与第一种不同。在平坦地带,当河流流向下游的大海或湖泊时,流速会减慢,导致沉积物堆积。洪水会使沉积物沉积过程中断,导致侵蚀像多米诺骨牌效应一样向上游蔓延。日积月累,低流量时期的沉积与洪水期间的侵蚀作用共同作用,导致某个地点泥沙含量过高,进而引发冲裂。在第二和第三类情形中,河流的主要区别在于洪水期间侵蚀波及的范围。

研究团队早期的研究显示,洪水期间的侵蚀作用通常局限于河流的回水区,导致回水规模大小的冲裂现象,即第二类冲裂现象。然而,如果侵蚀波流速足够快,洪水过程持续足够长,那么一条河流可以在内陆非常远的地方出现沉积物增多现象,导致形成第三类冲裂现象。

该团队的数值模型表明,第三类机理下的河流冲裂是存在的,但数年来一直没有找到实例。过去他们把重点放在密西西比河和黄河等大型河流上,像这样的河流,洪水的侵蚀波可能需要历经几个世纪

才能贯穿整个回水长度。而在马达加斯加一些陡峭的淤泥质河流中,侵蚀波走完整个回水长度可能只需要几天到几周的时间。该研究的全球数据集显示,马达加斯加的极端案例绝非异类:三角洲地区五分之一的冲裂现象属于这一类别。

气候变化影响人与河流

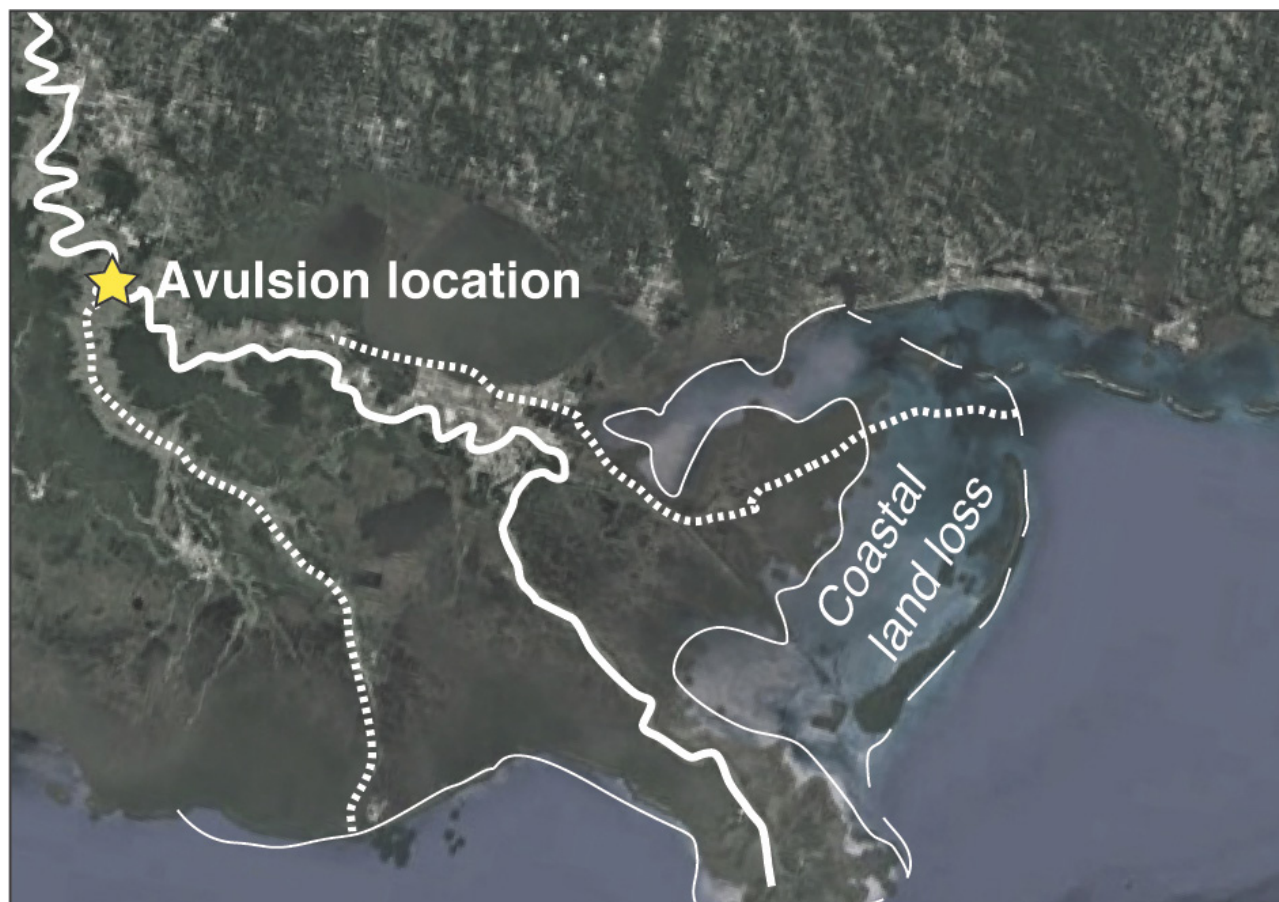
无论是数据集还是该团队的研究结果不仅仅具有学术意义。全世界大约有3.3亿人生活在河流三角洲地区,生活在河流廊道沿岸的人还要更多。因此有必要了解河流流向因气候变化和人为干扰会如何变化。

该研究的一项重要成果,便是可以利用其最新理论来预测冲裂现象发生的地点。曾经,无论是科学界还是决策者都可能认为回水区的上游位置安

全无虞。然而三角洲地带第三种类型的冲裂现象真实存在,也就意味着回水区的上游并非毫无风险。

更重要的是,气候和土地使用的变化促使两种本发生在三角洲地带的河流冲裂向内陆地区延伸。海平面上升和较长的洪水过程会使冲裂现象发生的地点向其历史位置的上游移动。这就意味着,即使是局限在回水区范围内的冲裂现象也可能发生在上游更遥远的地方。问题是,遥远有多远?像密西西比河这样的河流,仅“上游一点点”就可能意味着几十到几百公里,不可等闲视之。

农业、开发和资源开采也会影响冲裂现象发生的地点。如果土地用途发生变化,某些河流的泥沙输入量就会发生变化。那么原来发生过回水区冲裂的河流,下一次就有可能因为泥沙沉积过载而发生新的冲裂,而后者可以发生在上游很远的地方。



密西西比河三角洲的卫星图像。冲裂位置大约在巴吞鲁日以南 20 英里（约 32 公里）。

研究团队认为, 这项研究清楚地表明, 三角洲地带冲裂现象的发生地点对海平面、泥沙量、洪水持续时间和强度变化非常敏感.....而由于气候变化的演进、河流的开发强度增加, 这些因素都存在很大的变数。这个新的研究框架能够帮助预测一条河流最有可能向内陆发生迁移的冲裂地点。

研究团队目前正在利用全球卫星记录的观测结果, 试图拟定表征河流流向的新指标, 判断除冲裂现象之外是否还有导致河流流向改变的其他因素。他们还计划调查冲裂现象发生频率。此外, 研究人员认为仅仅解答冲裂现象会发生“何地”还不够, 还应该能够判断冲裂现象会发生在“何时”。

本文摘译自:

<https://www.news.ucsb.edu/2022/020645/where-rivers-jump-course>



欢迎关注中国水科院微信公众号
地址: 北京市海淀区复兴路甲一号
本刊联系方式: 中国水科院国际合作处
联系邮箱: dic@iwhr.com
2023年1月16日