



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

2021
4
总296期

美国西部水资源可靠性研究 一

美国垦务局做关于2021年 SECURE水资源法案的报告



执行摘要

美国垦务局(简称垦务局)是美国最大的供水机构,提供市政用水、农业用水、原住民用水和环境用水。其中就包括为美国西部五分之一的农民提供灌溉用水,灌溉农田面积达一千万英亩。这些农田贡献了全美蔬菜产量的60%,水果和坚果产量的25%。

2009年《综合性公共土地管理法案》第四卷第F分卷(《SECURE水资源法案》)认识到温度、降水量(降雨和降雪)、以及积雪量和径流的发生时间和数量的变化对水资源保护和利用构成重大挑战。根据《SECURE水资源法案》,垦务局每5年向国会提交一份报告,采用现有最佳科学知识来分析供水系统的预期风险,并重点介绍为减轻风险而开展的协作。《西部水资源可靠性——SECURE水资源法案2021年报告》(简称2021年报告)对整个西部的供水、水利用和用水需求的预期变化进行了评估;着重介绍了相关进展;并说明了自《2016 SECURE水资源法案报告》发布以来在增强水资源可靠性方面采取的行动。

垦务局为增强供水和供电系统的可靠性,广泛开展相关项目和工程。相关活动包括科学研究、规划、可持续基础设施建设、高效的水电生产以及为满足用水需求而采取的增加水源稳定供给的实地措施。

西部地区的农业、城市、部落、环境、娱乐、水力发电等竞争性用水需求存在潜在的冲突。干旱条件会进一步使冲突升级,而在气候变化的影响下,干旱天气将更加频繁和严重。增强与其他机构的合作关系对于垦务局的日常运营、开展长期规划和尽可能避免用水冲突至关重要。

垦务局的《2021西部气候和水文条件评估》(2021评估报告)建立在2011年和2016年针对西部未来温度和降水量变化开展的评估的基础上,后者采用了多项互补性方法(包括基于树木年轮的古水文学分析),可帮助解答例如“如历史上遭遇的干旱事件发生在今天,供水系统将如何应对?”等问题。



《SECURE水资源法案》

2009年出台的《SECURE水资源法案》认识到充足和安全的供水服务对于美国的卫生、经济、安全和生态环境至关重要。该法案进一步明确,温度和降水量的变化以及积雪和径流的发生时间和数量的变化对水资源保护和利用构成重大威胁。

《SECURE水资源法案》第9503节授权垦务局:

- 与其他机构协调合作,利用最科学的方法评估供水变化
- 评估气候变化对垦务局各主要流域的供水构成的风险
- 分析这些变化将如何影响不同的用水者和供水服务
- 制定适当的气候变化减缓措施
- 监测水资源数据,为上述分析提供支撑

《SECURE水资源法案》要求垦务局每5年向国会提交一份报告,以阐明第9503节第(c)小节中规定的各项内容:

根据《SECURE水资源法案》,垦务局此前已于2011年和2016年分别提交了一份报告。本2021报告将对整个西部的水资源供需预测变化进行评估,并着重介绍自2016报告发布以来在增强水资源可靠性方面实现的进展和采取的行动。

《SECURE水资源法案》明确了垦务局管理8个主要流域。《SECURE水资源法案》将萨克拉门托河流域和圣华金河流域确定为两个单独报告流域。这两个流域内的水管理问题关系密切,因此本报告将其作为一个整体进行讨论。

(c) (1)-全球气候变化对垦务局各个主要流域内的水资源量造成的影响和构成的风险

(c) (2)-全球气候变化对内政部在垦务局各主要流域内的工作的影响

(c) (3)-内政部为解决全球气候变化造成的各项影响而考虑和切实落实的各项气候变化减缓和适应措施

(c) (4)-内政部与美国地质调查局、美国国家海洋和大气管理局、美国农业部或任何州级水资源机构合作开展的各项协作活动

(c) (5)-内政部对根据第(b)小节第(5)款制定的监测计划的实施情况。



图例

■ 科罗拉多河流域	■ 密苏里河流域	■ 特拉基河流域和卡森河流域
■ 哥伦比亚河流域	■ 格兰德河流域	□ 州界
■ 克拉马斯河流域	■ 萨克拉门托流域和圣华金河流域	

垦务局如何利用相关信息获知条件变化

为满足调度水库、供水供电并制定水管理策略等需要,垦务局需了解水资源供需方面的观测和预测数据。这些数据基于温度、降水量(降雨和降雪)、积雪量、河道流量、用水需求和地下水等信息。气候变化会影响这些条件——进而增加规划过程中的不确定性。对水资源供需变化进行预测可以为水管理者决策提供依据。2021评估报告采用多元方法,充分利用了预测、水位尺和古水文学数据。这些分析共同体现出未来的情况。

温度:美国西部温度从上世纪后十年开始上升,在21世纪将持续上升。温度增幅预计将逐步增大。

降水量:美国西北部和中北部降水量将有所增加,而西南部和中南部降水量将减少。与未来温度预测相比,未来降水量预测更加多变,不确定性更高。

积雪量:美国西部绝大部分地区的积雪量都将减少。

河道流量(径流):随着温度和降水量的变化,河道流量的发生时间和水量也将相应改变。平均而言,融雪时间将提前,河道流量时间也将提早。

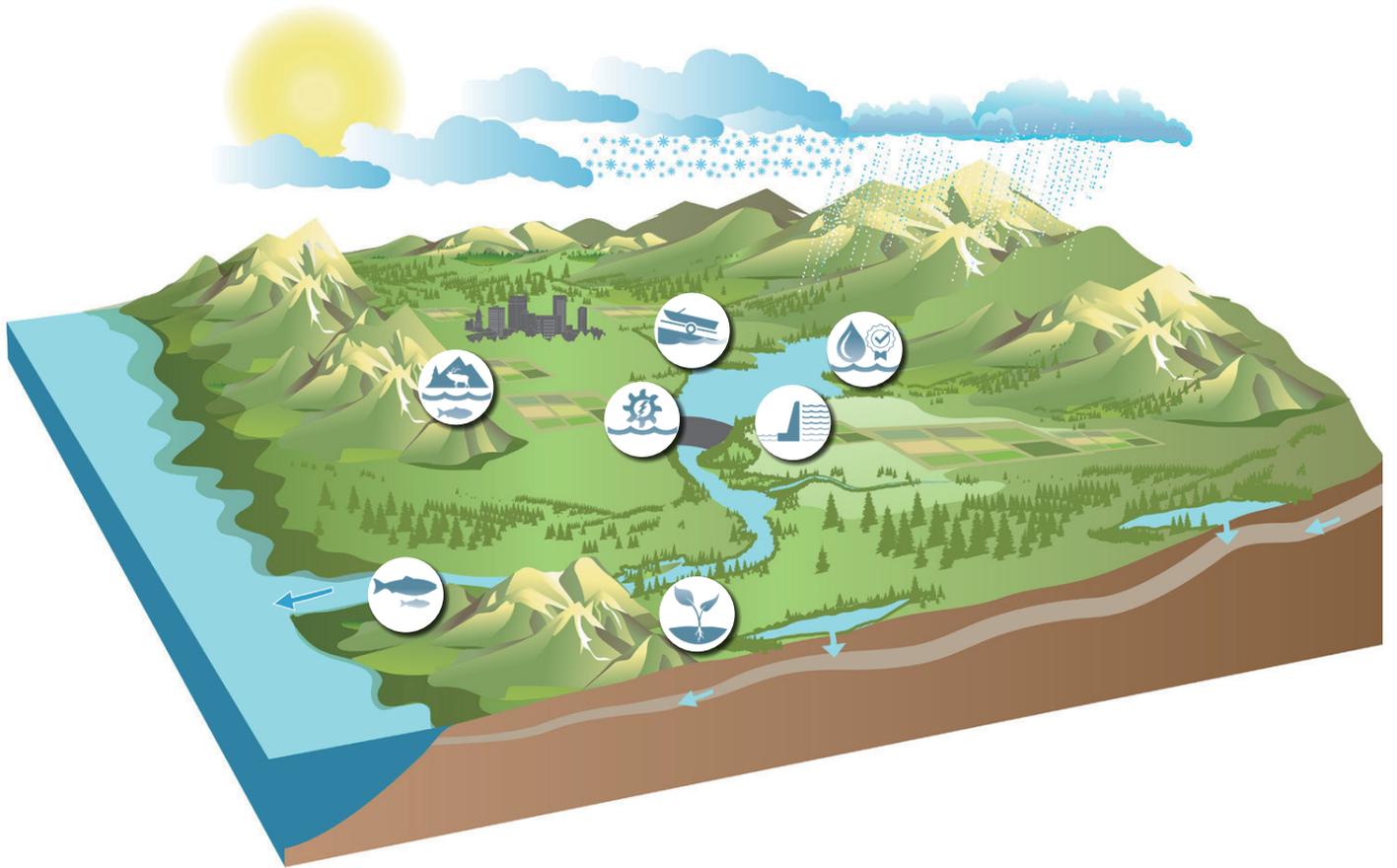
干旱:与更久远的过去干旱事件相比,干旱的持续时间、严重程度和发生频率预计都将增加。

用水需求:随着温度升高,植物生长期延长,植物的蒸腾作用和灌溉用水需求将增加。本2021评估报告对美国西部地区城市中心的草坪进行了研究。

地下水:渗入地下水系统的水量预计将体现降水量的变化,蒸散量增加也可能减少地下水补给水量。此外,当地独特的降水特征、地形、土地利用和含水层特性也对地下水量具有重大影响。

水资源高效利用是垦务局的核心使命。了解外部情况的变化给水资源利用带来的影响可以帮助相关决策者制定创新方法来解决挑战。本报告下文各节详细讨论了可能出现的气候变化影响(包括与气候变化预测相关的不确定性)以及在不断变化的条件下保障可靠供水和供电的创新技术和策略。

气候变化信息帮助水管理者了解水资源利用受到哪些影响。



温度上升、积雪量减少、降水以及径流发生时间和径流量的变化预计将从多个方面影响美国西部水资源管理：

- | | | | |
|---|------------|---|------------------|
|  | 供水 |  | 水力发电 |
|  | 水质 |  | 濒危、受威胁或即将面临威胁的物种 |
|  | 娱乐 |  | 防洪管理 |
|  | 鱼类和野生动物栖息地 |  | 生态韧性 |

合作和科学创新

与其他机构协调合作, 利用最先进的科学方法评估供水变化

不断变化的水文条件和人口变化以及竞争性用水需求对我们的供水配水系统造成日益严重的影响。根据《SECURE水资源法案》, 垦务局与联邦、州和地方机构、部落、非政府组织、客户以及利益相关者等各方协调合作, 确保其可以利用现有前沿科学来支持可靠的供水和供电服务。本节着重介绍了一些利用合作和科学来解决当前和未来水管理挑战的创新方法。

管理科罗拉多河流域的干旱天气

科罗拉多河流域自2000年起便进入了干旱期, 并一直持续到现在。这一流域的长期供水稳定性引人担忧。2000年至2020年是科罗拉多河流域有记录100多年来最干旱的21年, 而且古水文学数据表明, 这也是过去1200年里最干旱的21年之一。西南地区旱情仍未缓解, 而人口预计将继续增长。这一备受压力且条件极不稳定的流域在保障3500至4000万人的可靠供水、同时满足未来需求方面将面临更加复杂的挑战。

2019年5月20日, 内政部、垦务局和科罗拉多河流域内7个州的代表在胡佛水坝签署了《科罗拉多河抗旱应急预案》, 确保到2026年12月持续提高科罗拉多河系统可持续水资源调控的可能性。这就要求

该流域内的各州、部落、非政府组织和墨西哥开展大量合作、协调以及达成折中方案。

通过合作解决科罗拉多河流域的供水问题有很多显而易见的优势。垦务局、流域内各州、部落和墨西哥自2007年起开展的自愿节水和蓄水活动保护了近300万英亩英尺的米德湖湖水, 湖面高程提高了近35英尺。米德湖增加的蓄存水量已有效解决科罗拉多河流域下游的缺水问题。

2012年结束的“科罗拉多河流域水资源供需研究”指出, 如果不及时采取行动, 在未来数十年内, 科罗拉多河流域的用水需求将显著高于可用水资源量。此外, 由于旱情仍未得到缓解, 而且鲍威尔湖和米德湖的湖面高程仍然可能下降至临界水位以下, 仍需持续开展行动。

WaterSMART流域研究计划

维持和管理美国未来水资源((Sustain and Manage America's Resources for Tomorrow, WaterSMART)流域研究可帮助明确长期水资源供需不平衡问题, 并协助制定相应的解决策略。非联邦合作伙伴通过共担成本, 合作评估气候变化的影响, 并确定能够解决当前

和未来水资源短缺问题的广泛潜在策略。垦务局自2016年以来启动了3项新流域研究, 将该计划自2009年以来在15个西部州开展的流域研究增至27个。在这27项流域研究中, 17项已完成, 另外10项仍在进行中。垦务局与美国西部非联邦机构之间的强力关系构建了技术基础, 可直接推动诸多后续协作工作, 包括8项水管理试点项目, 2项研究更新以及其他工作。

协调联邦目标和研究;促进水电发展

水电是一种重要的可再生能源,可提升电网灵活性。为了协助联邦机构满足全美对可靠和经济实惠的水电服务的需求,垦务局、美国能源部水力技术办公室和美国陆军工程兵团(USACE)于2020年8月24日在胡佛水坝签署了一份联邦水电谅解备忘录。这三个机构通过这一谅解备忘录建立了协作关系,协调三个机构的持续和未来可再生能源开发工作。该谅解备忘录确定了上述机构应统筹多个主题领域:资产管理、水电价值、劳动力、供水可靠性和环境结果。在供水稳定性方面,上述机构通过合作共享信息、确定协作领域、了解并增强水能源系统的韧性。垦务局旨在利用这一谅解备忘录为电力系统的客户和利益相关者创造价值。



位于亚利桑那州和内华达州的胡佛大坝水电站。

减少水库开阔水域的蒸发量

开阔水域的蒸发是美国西南部水库最主要的水损失途径,尤其是在炎热干燥的夏季。随着温度升高,蒸发量将增加。垦务局阿尔伯克基区域办公室与地方合作伙伴合作,尝试用创新方法追踪并减少水量蒸发。项目活动包括,在七个蒸发损失对水调度造成影响的水库(新墨西哥州的科奇蒂湖、大象丘水库和卡瓦约水库,以及科罗拉多流域的鲍威尔湖)上安装了模拟水库条件的现代化、漂浮式蒸发皿以及涡度相关的通量塔。此外还在新墨西哥州西部的祖尼普韦布洛安装了一个漂浮式蒸发监测皿,以支持印第安水权协议。这些实时测量数据也为水库调度提供支撑,帮助制定措施减少总蒸发量。

改进预测工具,应对多变条件

优化水库蓄水,在满足特定需求的同时确保充足的防洪空间是水库管理的目标。历史上,一般基于当地和历史天气模式、以及过去数十年的洪水潜力估算来确定应当预留的防洪空间。然而这一方法并未考虑不断变化的水文条件。有些情况下,即便相关预测表明未来将迎来干旱天气,且洪水风险较低,但为了维持水库中的预留防洪空间仍会开闸泄水。而随着预测技术的进步,可以基于预测的水库调度来保持基础设施设计、管理目标和预测技术的一致性。例如,位于加州萨克拉门托附近的中央谷地的佛森水坝在先进的预测技术和新建辅助泄洪道的支持下,实现更灵活的、基于预测的水库调度。

2019年6月,美国陆军工程兵团和垦务局签署了更新后的《佛森水坝水库调控指南》,能够基于天气预测下达更准确的放水命令,提高辅助泄洪道的利用效率。该辅助泄洪道修建于2017年秋季,紧邻大坝主体,泄洪闸高度比大坝泄洪闸要低出50英尺。如此一来,无需等到水位达到佛森水坝主泄洪闸的高度便可进行大规模泄洪。

西部气候和水文条件概述

评估气候变化对垦务局各个主要流域的供水构成的风险。

垦务局《2021西部气候和水文条件评估》(2021评估报告)调查研究了美国西部气候和水文条件的变化。2021评估报告采用的方法与2011和2016报告一致,并采用了新的技术、数据和分析方法对未来变化进行了更全面的评估,以支撑美国西部水资源管理。该项工作由垦务局技术服务中心与美国地质调查局、亚利桑那大学、哥伦比亚大学、沙漠研究所、美国国家大气研究中心、阿斯彭全球变化研究所与垦务局区域和地区办公室合作开展。

未来预测

2021评估报告总结了西部未来温度、降水量、积雪量和河道流量的预测值。温室气体浓度较高情景下的温度增幅更大。在高低两种浓度情景中,整个西部的平均温度预计都将上升;西北部,尤其是哥伦比亚河流域和密苏里河流域的降水量预计将有所增加,而西南部的降水量预计将有所下降。在大部分流域中,随着冬季降水量中雨水所占比例增加,以及温度升高导致积雪融化时间提前,积雪量预计将有所减少。

在一些高海拔地区,冬季降水量增加预计将导致积雪量增加。整个西部的季节性河道流量的出现时间预计都将提前。

“降尺度”气候模型预测

针对未来温度和降水量的预测通常是在全球空间尺度上进行的,因此,在将其应用于局部影响评估之前,需要“降尺度”。垦务局、其他联邦机构、学术机构等现已开发出多种不同的降尺度技术。不同的降尺度方法将得出不同的未来气候预测。

在2021评估报告中,垦务局在2016评估报告采用的误差订正空间分解法(BCSD)的基础上添加了本地化构建类比模型(LOCA)这一统计降尺度方法。一般而言,使用这两种降尺度方法得出的美国西部气候和水文条件变异性的整体趋势是相似的。但是,使用LOCA和BCSD数据集得出的气候(例如,降水量和温度)和水文条件(例如,年径流量)预测存在地理差异。这些差异体现了与方法选择和数据集相关的不确定性;因此,不能认为一种预测比另一种预测的准确性更高。

LOCA和BCSD气候与水文条件预测结果的差异在很大程度上归因于误差订正的不同观测温度和降水量数据集;降尺度变量的空间分辨率差异;以及时间分辨率选择(例如,每日或每月)的差异。一般而言,水文建模方法的差异(包括模型配置选择、模拟的水如何流入河流以及是否进行额外后处理)也可能导致或加大模拟水文变量(河道流量)的差异。

LOCA和BCSD数据集均已在气候和水文建模领域得到广泛应用,包括《第四次气候变化国家评估报告》和之前的SECURE水资源法案报告。垦务局介绍了CMIP5 LOCA和BCSD预测结果。这一数据集描绘了模拟水文变量的不确定性,进而可用于评估水资源面临的风险和受到的影响,以及制定适当的适应策略。

坚持引入和测试不同的方法使得垦务局能够更深入地了解相关不确定性,并加强为风险评估过程提供的支持。为制定未来规划,水管理者必须开展风险评估。

针对具体流域的未来预测

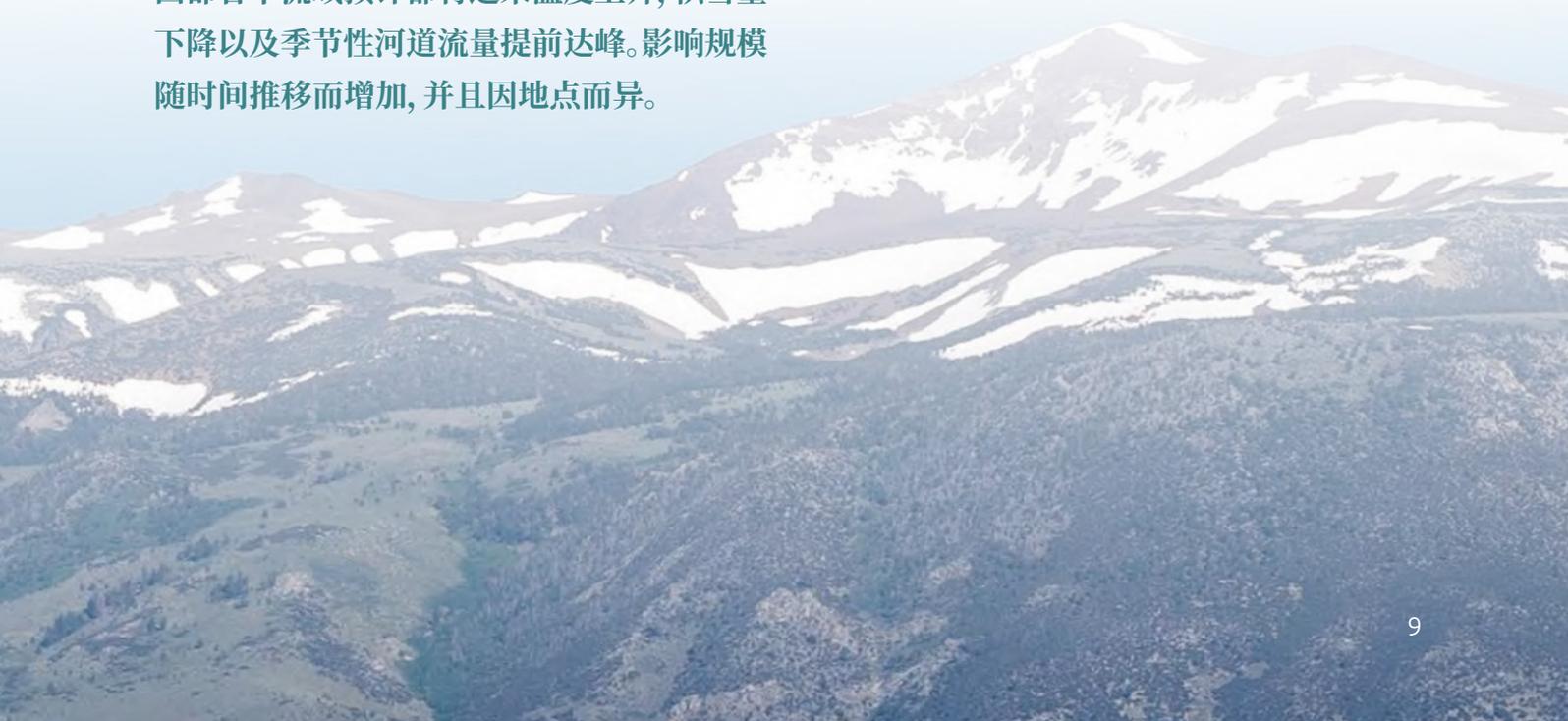
垦务局对多个具体位置在21世纪20、50和70年代的未来气候和水文条件预测进行了评估。这些变

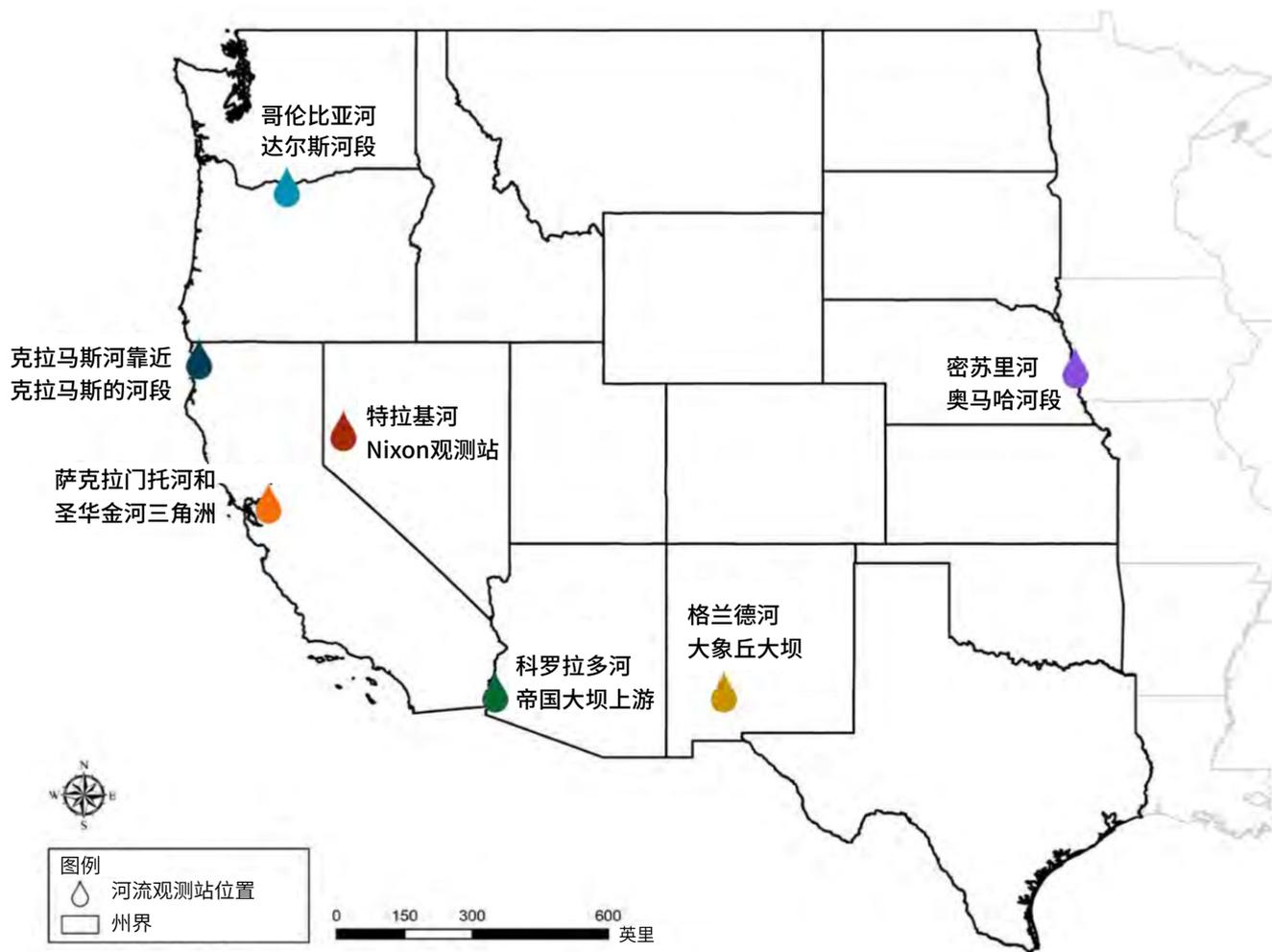
化与美国西部的变化一致,即温度上升,积雪量下降,河道流量提前发生。这一趋势在21世纪下半叶愈发显著。变化规模因地点而异。例如,到21世纪70年代,特拉基河Nixon观测站的降雪量预计将下降39%至74%,而格兰德河大象丘大坝的降雪量预计将下降7%至40%。

多地可能会在12月至3月(冬季)迎来河道流量增加,并在4月至7月(春季末)迎来河道流量下降。例如,特拉基河Nixon河段的冬季河道流量可能会增加104%至296%,而春季末径流量则可能下降21%至51%。格兰德河大象丘河段的冬季径流量可能会下降也可能增加(-4%至+25%),而春季末径流量则可能下降3%至28%。这些示例中的增减范围来自LOCA降尺度预测值,涵盖了针对未来数十年(以1990-1999为基准)的64种未来水文气候预测情景的预测值的第25至第75百分位数,并且可以与BCSD结果进行对比。

针对未来气候和水文条件预测的关键结果与2016报告中的结果一致。2020评估报告中使用的气候预测数据集也是《第四次气候变化国家评估报告》的主要数据源。

西部各个流域预计都将迎来温度上升,积雪量下降以及季节性河道流量提前达峰。影响规模随时间推移而增加,并且因地点而异。



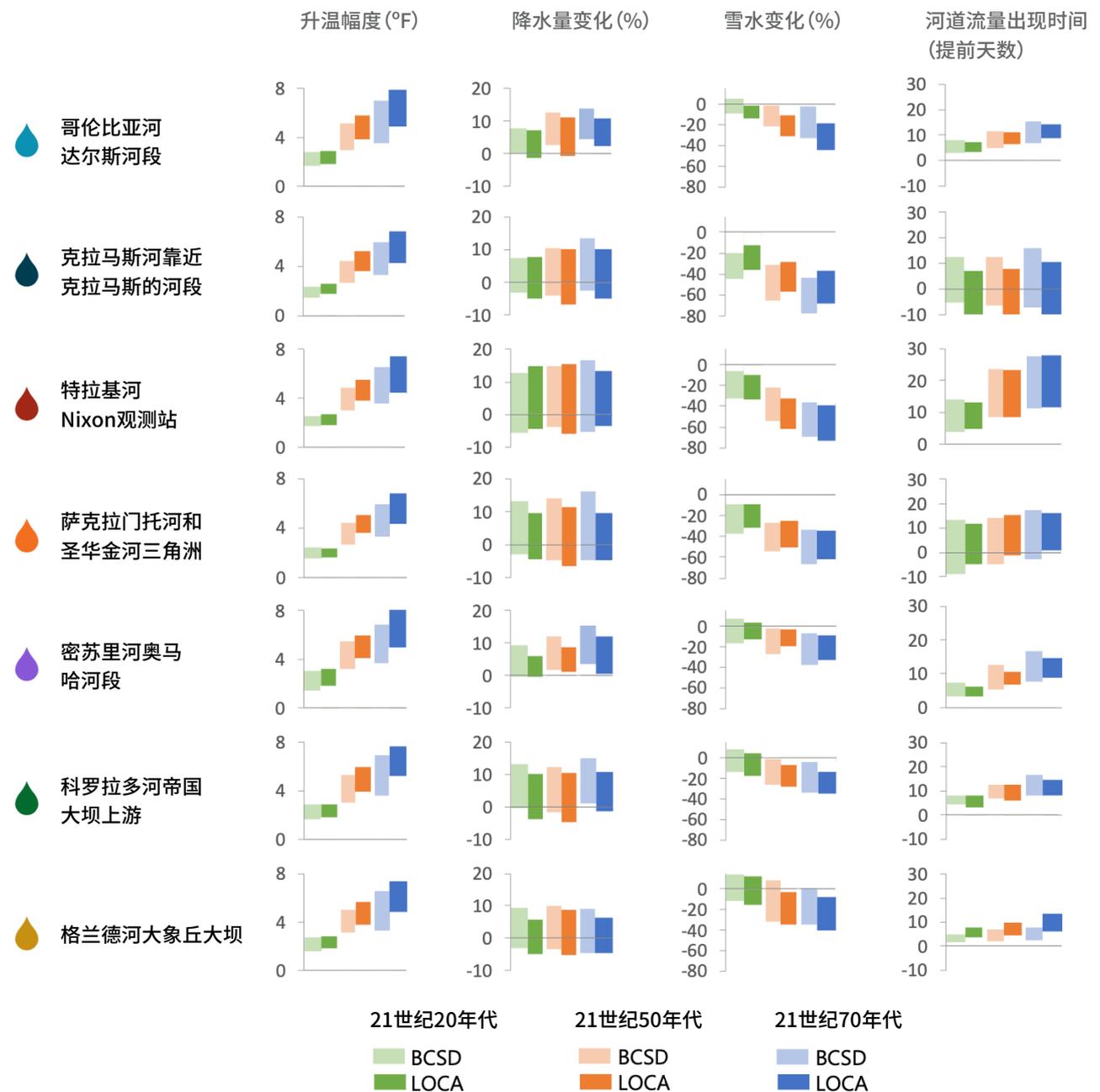


西部各地的水文监测站, 报告对其受到气候影响进行了概述。

注: 所有图标上采用的水滴颜色与用于划定垦务局主要流域的颜色相同。

美国西部各流域一段时间内气候变化预测的变化情况

下图中的数值为针对未来数十年的水文气候预测值(以1990-1999年为基准)的中程数(第25至第75百分位数)。其中包括2016报告中采用BCSD方法对RCP2.5、RCP4.5、RCP6.5和RCP8.5进行降尺度得出的数值(左侧浅色数值),以及采用LOCA方法对RCP4.5和RCP8.5进行降尺度得出的数值(右侧数值)。2021评估报告第3章介绍了针对这些地点以及另外36个地点的其他方面的预测结果(包括河道流量规模)。BCSD预测值在很大程度上与LOCA与预测值重叠,两种方法之间的差异因流域而异。



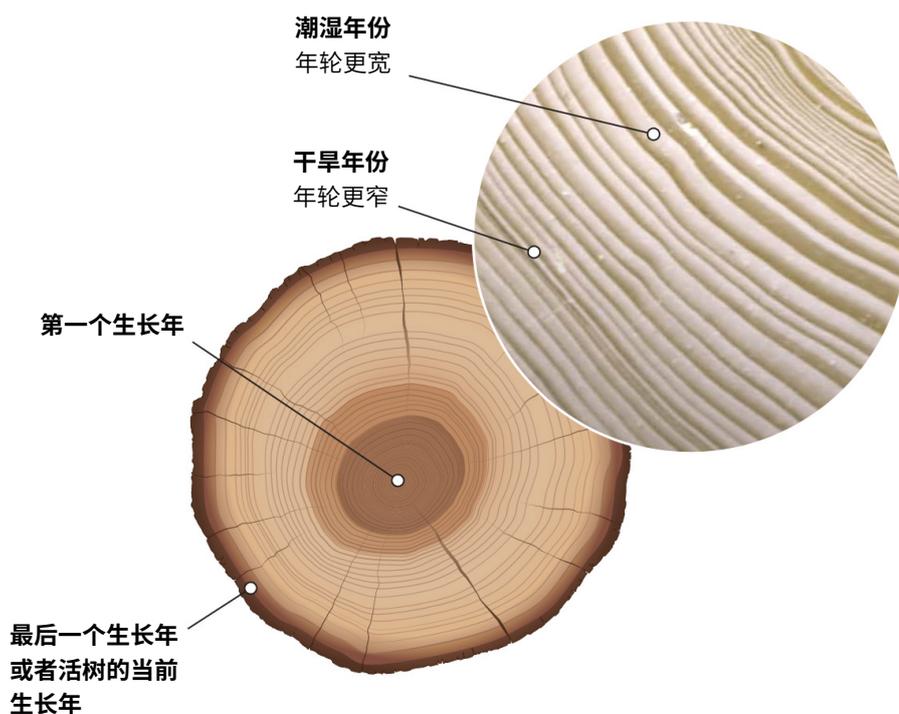
古水文学

在2021评估报告中,除了使用未来气候预测值之外,垦务局还利用古水文学领域为长期规划提供信息支撑。古水文学通过树木年轮重建揭示在安装水标尺几个世纪之前的潮湿和干旱条件。重建提供的信息能够对未来气候和水文条件的预测进行补充,更具说服力。

由WaterSMART流域研究计划支持的针对具体流域的研究利用古水文学来为水管理和规划提供信

息依据。这些历史悠久的记录能够揭示在遥远的过去发生的干旱事件与过去一个世纪发生的干旱事件是否类似,或者是否更加严重。在大多数情况下,观测设备(如水标尺)仅拥有一百多年的历史,记录的极端事件的数量十分有限,可能无法包含在过去数个世纪里出现的全部干旱和潮湿时期。因此,古水文学的贡献尤为突出。

通过将古水文数据纳入美国西部水资源分析之中,水管理者能够掌握更久远的历史信息并在区域内采用一致的方法更全面地评估未来风险。

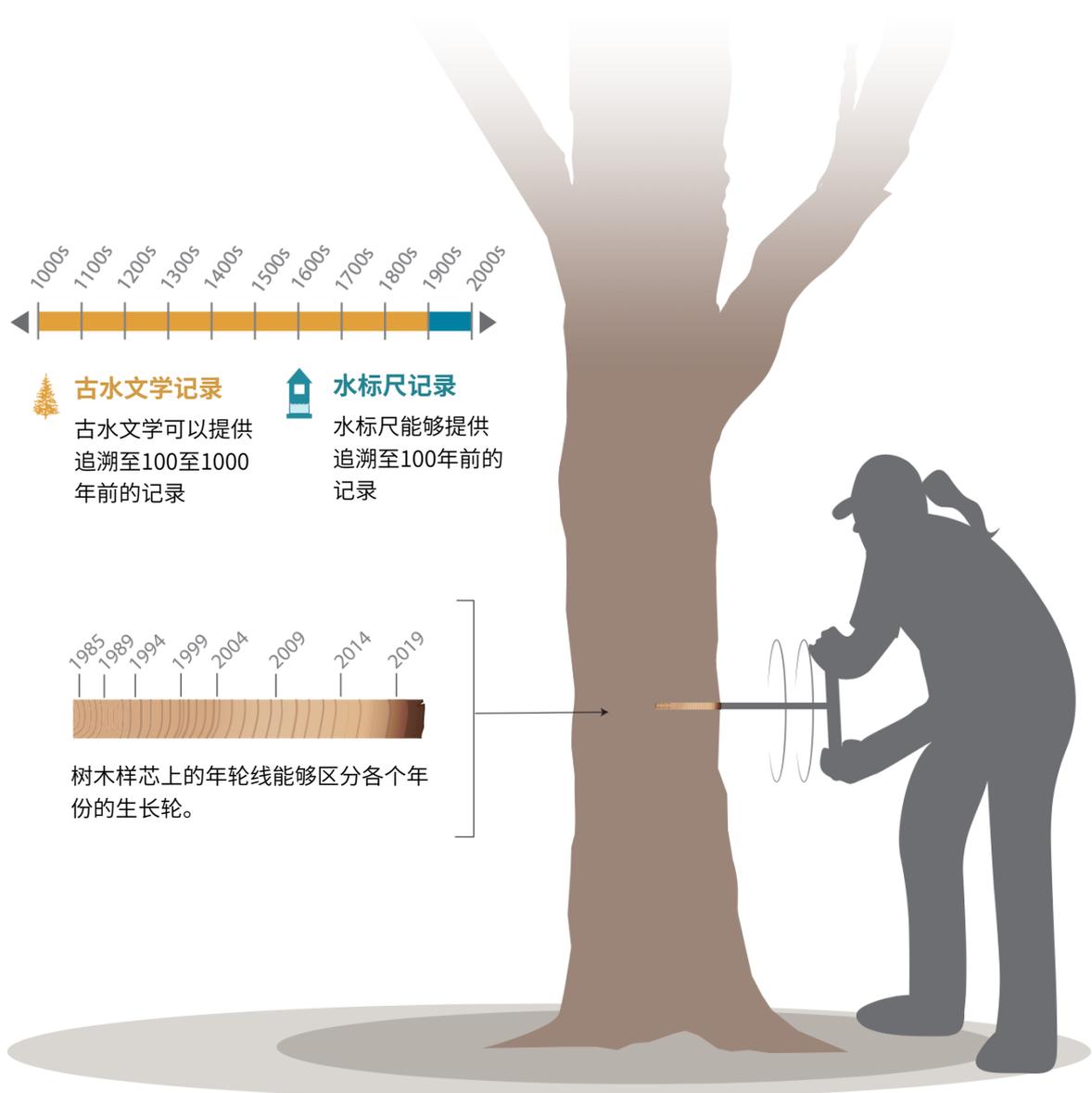


树木在潮湿年份增长更快(年轮更宽),在干旱年份增长缓慢(年轮更窄),因此可以记录关于其生长环境的信息。同一流域中的树木将呈现相似模式,科学家可以利用这一信息,基于年轮数据来重建历史河道流量。

什么是古水文学?

古水文学能够揭示过去1000年的水源变化,其记录的历史要远远长于水标尺记录(本分析中将水标尺记录时期称为观测历史时期)。通过树木年轮重建和其他方法,古水文学可以协助我们了解潮湿和干旱条件的历史变化,进而推导出河道流量变化。

在2021评估报告中,古水文学也是垦务局研究时所利用的一项补充工具,水管理者可利用其减轻水资源规划的固有风险。



美国西部干旱分析

了解干旱事件发生规律有助于农民、牧场主、市政府、企业和其他决策者做好准备,并适应不断变化的条件。垦务局的西部干旱分析是2021评估报告的新增内容,其中包括一个抗旱规划框架。垦务局和研究合作伙伴开发了基于古水文学重建的信息和工具,以评估干旱和潮湿时期的特点,分析预测潮湿或干旱状态之间转变的节点,帮助确定发生以上变化的可能情况。

此外,干旱持续时间和干旱严重程度这两个信息集(尤其是放在一起进行分析时)也可以为决策提供信息依据。本报告中指出,气候模型预测结果表明,未来干旱的持续时间和严重程度与遥远的过去相比都将增加。气候模型的预测结果也显示,西部大部分地区未来干旱的持续时间和严重程度将更加多变。

未来干旱的持续时间也受到气候情景的影响。高低两种浓度情景下的干旱严重程度预计都将出现增长,而多地(深橘色)可能已逐步逼近水资源的有限条件。此外,干旱的持续时间会影响其严重程度。因此,应当将这两项指标结合起来进行解读。

采用帕尔默干旱指数(PDSI)来确定干旱事件。历史干旱严重程度的PDSI指数介于-1至-2之间。这一指数范围表示“异常干燥”,代表“可延缓作物或牧草种植、生长的短期干旱天气”。部分地区的未来PDSI指数范围将增至-2至-3。这一指数范围表示“中度干旱”,代表“作物或牧草;河流;水库或浅层水井遭到损害;并可能发展为水资源短缺”。

定义干旱的方法有很多种。本报告中给出的两个定义可用于跟踪水文气象条件和供水,这对于干旱时期的水管理至关重要。

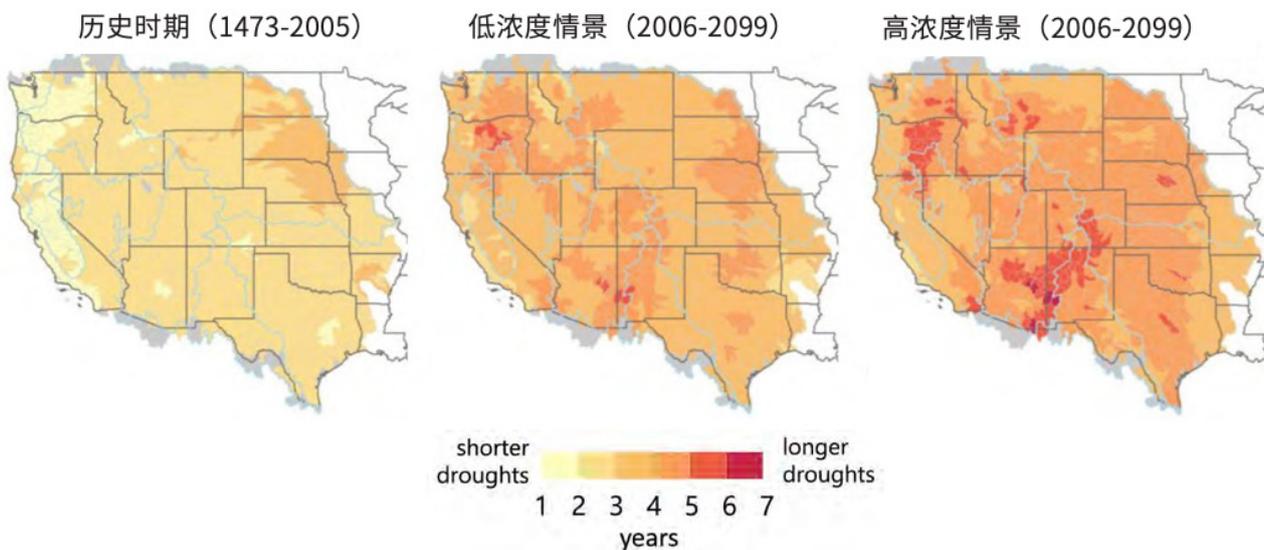
帕尔默干旱指数:

自20世纪60年代起,帕尔默干旱指数这一常用的水文气象干旱指标便被用来描述农业条件,也是《美国干旱监测报告》(2020)等报告分析的基础。PDSI指数整合了温度、降水量和土壤信息,能够用于评估古水文学和未来预测。2021评估报告利用PDSI指数来对1473年至今的干旱事件进行空间分析。垦务局还利用PDSI水平衡模型来制定2006-2099年的未来PDSI指数预测。

PDSI数据大致可以划分为两个时期:历史时期(1473-2005)和预测时期(2006-2099)。

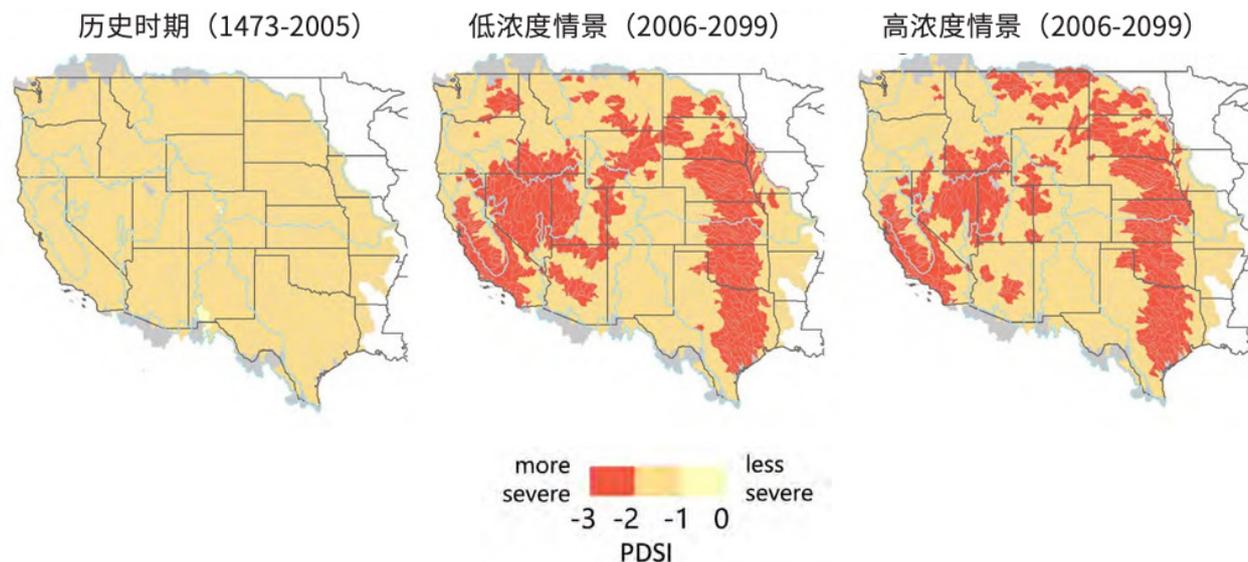
最大累积亏缺干旱:这一指标能够确定严重干旱事件,即累积水量与河道流量长期中值(第50百分位数)相比亏缺最严重的情况。这一指标被用来确定1685-1977年(所有可用河道流量重建的共同时期)期间发生的三个最严重干旱事件。

平均持续时间预计将延长



干旱指PDSI指数小于或等于零的情况，从历史上来看，干旱的平均持续时间为1至4年（黄色和浅橙色）。据预计，在高低两种浓度情景下，未来干旱条件的持续时间将更长（橙色和红色）。

平均严重程度预计将上升



历史干旱严重程度（包括古水文学和观测历史时期）的PDSI指数介于-1和-2之间。在高低两种浓度情景下，美国西部部分地区的未来干旱事件预计将更加严峻（深橙色）。

供水可靠性评估

如果遥远过去的干旱事件发生在今天,供水系统将如何应对?

2021评估报告使用古水文学重建河道流量,遵循现行调度方法来运行供水系统模型,以对供水系统进行压力测试。这一方法还可用于评估干旱对水力发电、滨水娱乐、鱼类和野生动物栖息地和物种、生态恢复力和防洪管理的影响。了解当前供水系统将如何应对更长历史记录中曾发生的干旱事件可协助水管理者确定是否需要供水系统进行升级改造,或提高经营者对当前调度方式的安全性和可靠性的信心。

在研究合作伙伴的支持下,垦务局分析了各个主要流域内各个位置受到的影响,包括特拉基河流域和卡森河流域、格兰德河流域、科罗拉多河流域和克拉马斯河流域,以及哥伦比亚河流域(博伊西河)内的多个子流域、密苏里河流域(佩克堡水库上游的密苏里河上游流域),萨克拉门托河流域和圣华金河流域(萨克拉门托河上的沙斯塔湖和圣华金河上的米勒顿湖)。此项评估工作重点关注利用可追溯至1685年的重建河道流量记录确定的三个最为严重的历史干旱事件。此外,还评估了未来干旱事件和古水文学重建的洪水事件。

观测历史(1990年至今)干旱事件与古水文重建时期(1685年至1900年前后)的干旱事件是否存在差异,以及存在何种程度的差异都因流域而异。此外,所评估的干旱的持续时间也因地点而异。在评估干旱影响时,必须同时考虑干旱持续时间和严重程度。

在整个美国西部地区,观测历史时期中的20世纪30年代与古水文学重建时期中的18世纪70年代都属于显著干旱时期,这两个时期也被纳入针对大多数模拟流域的分析工作中。

就古干旱事件是否比观测历史时期的干旱事件更严重而言,各个流域系统的表现各不相同。在哥伦比亚河流域(博伊西河),古干旱事件比观测历史干旱事件更严重,且持续时间更长。在科罗拉多河、格兰德河、特拉基河和卡森河以及密苏里河上游流域,古干旱事件与观测历史干旱事件不相上下。在克拉马斯河流域,20世纪30年代发生的干旱事件最严重,但三个古干旱事件的持续时间要比观测历史时期中确认的其他干旱事件更长,并且更加严重。在萨克拉门托河流域和圣华金河流域,观测历史干旱事件比追溯至1685年的古干旱事件的持续时间更长,并且更严重。西部许多地区在1685年之前可能曾发生更广泛的干旱事件,但这些干旱事件并不属于2021评估报告的评估范围。科罗拉多河流域水资源供需研究(垦务局,2012)和密苏里河上游流域影响评估(垦务局,2020)等研究对1685年前的古干旱事件进行了评估。

这两项研究采用一项结合干旱持续时间和干旱程度的指标,时间跨度更长。研究揭示,这些时期内的干旱事件与2021评估报告中分析的干旱事件类似或更严重。

2021评估报告评估了流域流入量、蓄水量、用水需求和调度政策之间的复杂相互作用。干旱事件对受

监管的流域系统的影响在一定程度上取决于干旱程度和持续时间,但也受到系统水库相对于其入流量的规模以及水库多年调节容量的影响。为了说明这些广泛影响,下文图表中显示了选定流域年末时水库的状况。例如,米德湖和鲍威尔湖的总容量约为其年流入量的三倍,因此,这两个水库可以在潮湿年份蓄水,以满足干旱年份的用水需求。

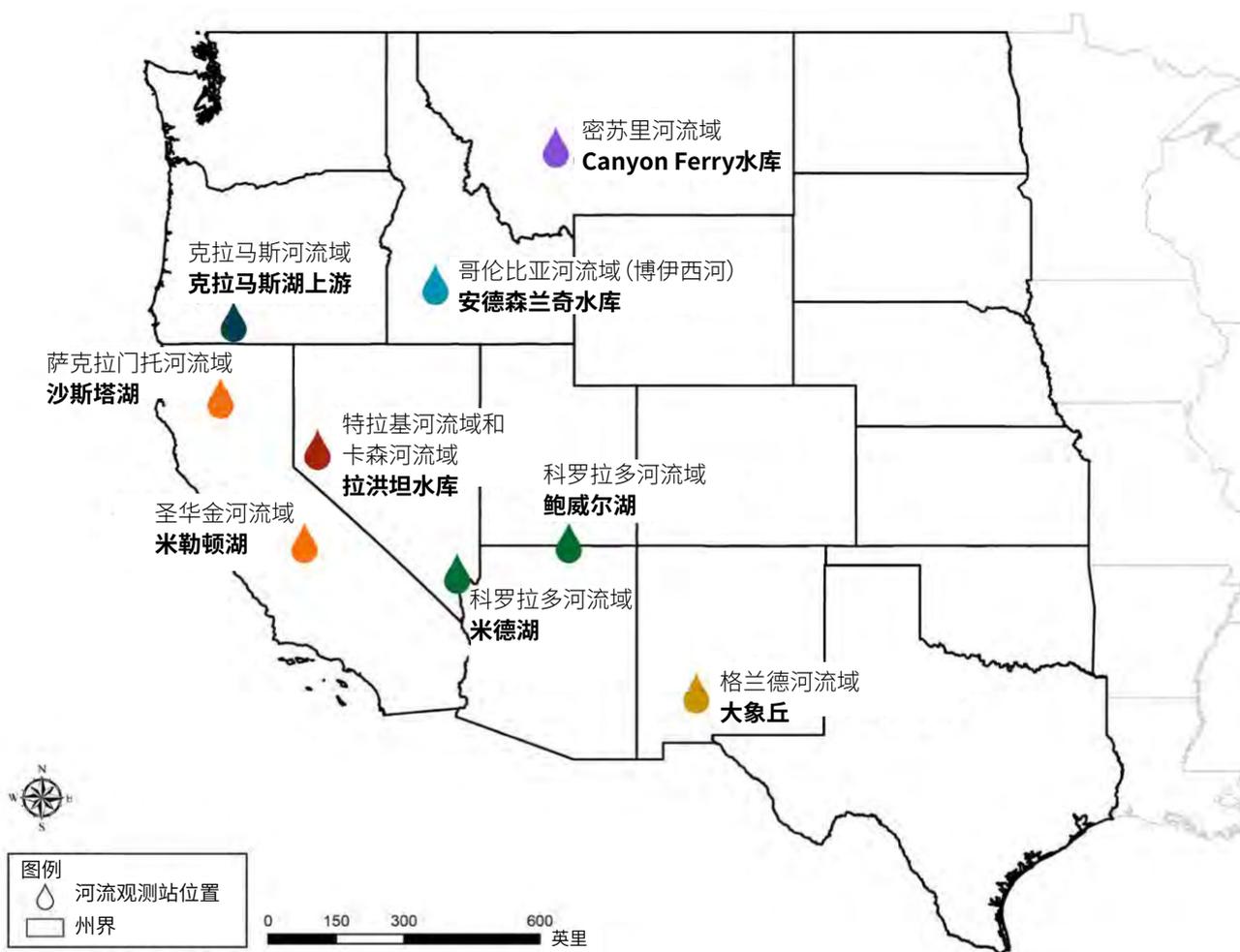
在另一个示例中,克拉马斯湖上游的多年调节容量有限,而且在其现行调度政策下,其有效蓄水量相对于其总容量而言有限。因此干旱条件可能不会对其蓄水量造成显而易见的影响。在密苏里河上游流域,Canyon Ferry水库11%的有效蓄水容量处于空置状态,可用于缓解干旱影响。

哥伦比亚河流域(博伊西河)安德森兰奇水库的蓄水量略低于其年均入流量,其蓄水量在古干旱事件期间受到的影响要高于观测历史干旱事件。对于萨斯

塔湖和米勒顿湖,与古干旱事件相比,观测历史干旱事件对其9月底蓄水量的影响更大,因此增加了对这些流域系统抵抗更多干旱事件的能力的信心。

如这些示例所示,可以对各个水库的9月底蓄水量等指标进行一致评估,但在解读各个流域的结果时,也必须充分考虑当地条件。

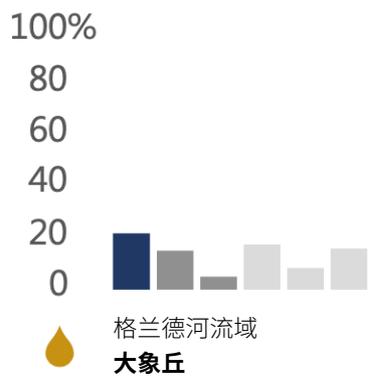
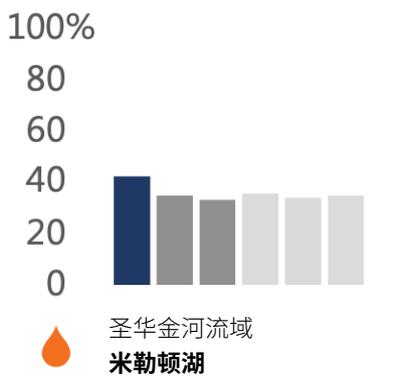
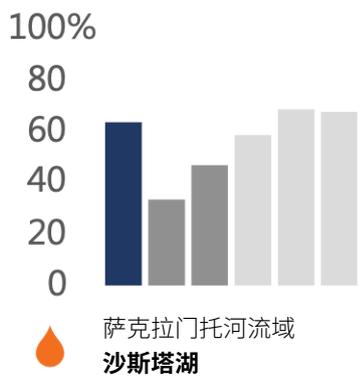
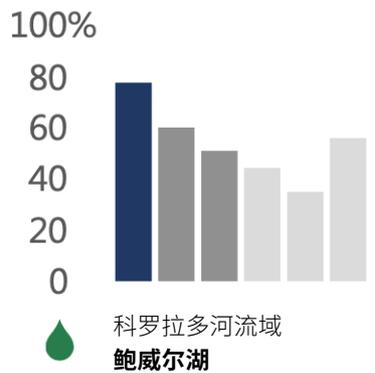
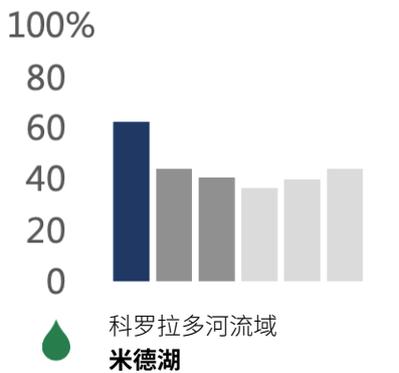
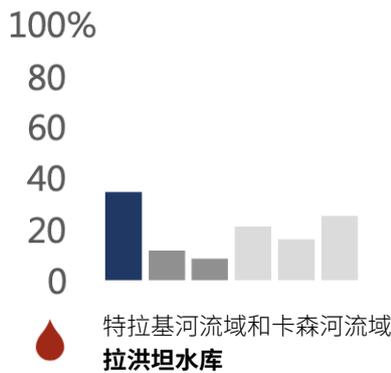
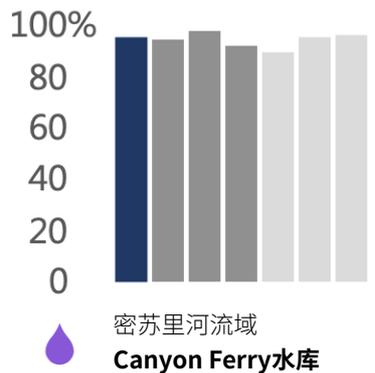
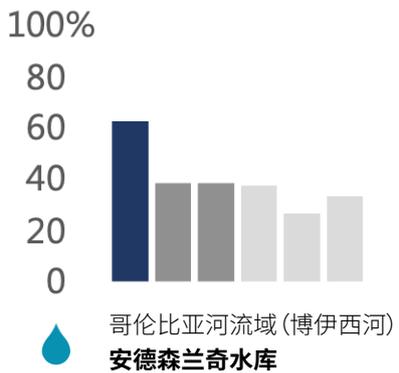
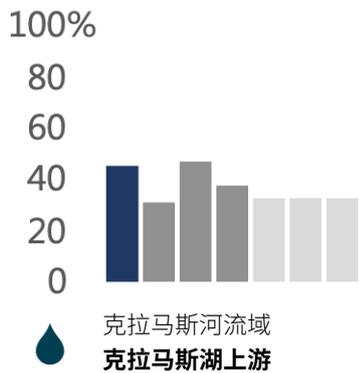
为了评估水库满足其管理目标的能力,2021评估报告中的另一项分析评估了水库的流入量、流出量和水库蓄水数据。该项研究重点关注5个水库,以确定古水文学和观测期间的严重程度、持续性和季节性干旱事件。分析结果表明,施加限制措施的最小有效蓄水池通常占有有效蓄水容量的约60%。可以在实施限制措施的同时维持相对较高的蓄水容量比例,以抵御干旱影响。



上图显示了美国西部各地的水库位置, 本报告将古干旱事件与观测历史时期的干旱事件对其造成的影响进行了对比。

美国西部水库水文年年末蓄水量

各流域在历史基线时期(实施水利规划的历史时期——深蓝色)、历史干旱事件(灰色)和古干旱事件(浅灰色)期间的9月30日平均水库蓄水量(相对于水库容量的百分比)。一些流域仅评估了两个观测历史干旱事件。而其他流域则评估了三个历史干旱事件。将古干旱事件(浅灰色)与观测历史时期(灰色)的干旱事件进行对比可以发现,部分流域的古干旱事件更加严重。



■ 基线 ■ 历史干旱 ■ 古干旱

城市用水需求

灌溉草坪是美国规模最大的灌溉植物之一。为了解灌溉草坪将如何应对未来变化,垦务局与合作伙伴开展了一项城市景观灌溉用水需求分析,补充了2016 SECURE水资源法案报告中开展的农业用水需求分析。垦务局采用一个涵盖百慕大草和肯塔基蓝草等多个草种的蒸散和灌溉用水需求模型,对西部68个城市区域的用水需求进行了评估。通过将历史值与预测变化进行比较发现,到21世纪80年代,草坪的预计蒸散量和每英亩净灌溉用水需求均出现显著增加,分别增加8%至36%和9%至54%。这一增加在很大程度上可归因于温度上升以及生长期延长,可能导致历史上一年中需水量较低的时期对供水系统造成压力。一些地区的降水量增加可能能够在一定程度上缓解这些压力——但通常并不足以补偿草坪用水需求的总增长。

地下水

地下水是一种深埋地下的水资源,对美国西部许多社区具有至关重要的意义。考虑到独特的含水层特性、当地降水量、地形和土地利用等诸多因素,针对任何特定地点的地下水资源评估工作都具有挑战性。在整个美国西部地区采用一致的分析方法是不切实际的,因此在过去5年里,垦务局通过与美国地质调查局和流域研究合作伙伴合作,开展了多个地下水项目来评估气候变化对地下水资源的影响。



水资源和规划办公室
科罗拉多州丹佛
303-445-2906
aomorgan@usbr.gov
<https://www.usbr.gov/climate/secure>



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@iwahr.com