

Literature review on the analysis of climate change risks in the environmental impact assessment of dams

关于大坝环境影响评价中气候变化风险分析的文献综述

Ana Rita Arnaud Loza^a and Teresa Fidélis^b

^aDepartment of Environment and Planning, University of Aveiro, Aveiro, Portugal;

^bGOVCOPP, Department of Environment and Planning, University of Aveiro, Aveiro, Portugal

^a阿威罗大学环境与规划系, 阿威罗, 葡萄牙; ^bGOVCOPP, 阿威罗大学环境与规划系, 阿威罗, 葡萄牙

摘要: 气候变化是当前社会关注的一个问题, 其后果在全球范围内的感知日渐强烈。除了国家领土和社区外, 水坝等大型基础设施也可能容易受到气候变化的影响, 且需要能够抵御相关影响。因此, 在批准这些大型基础设施项目时, 应对与其相关的气候变化风险进行全面评估。一些国际指南建议将气候变化风险评估纳入环境影响评价(EIA)过程。若干国家相应更新的EIA法规也体现了这一点。基于对过去20年发表的文献的系统回顾, 本文探讨了科学界如何将气候变化风险纳入大坝环境影响评价中。调查结果表明, EIA在应对气候变化风险方面的潜力得到了广泛认可。然而, 针对风险评估分析如何被纳入大坝EIA当前实践的系统研究却很少。这一差距表明围绕该主题具有研究潜力和研究机会。

关键词: 气候变化; 水坝; 环境影响评价

1 引言

气候变化对人类健康、生态系统以及经济有着各种影响(European Environment Agency, 2017), 其后果在全球范围都有体现(European Commission, 2013)。这些后果包括平均气温的广泛变化和极端气候的增加, 导致海平面上升以及更强烈的热浪、洪水、干旱等灾害(European Environment Agency, 2017)。根据气候、地理和社会经济条件的不同, 这些影响在不同地区变化各异, 且一些地区面临更大风险(Climate-Adapt, 2020)。因此, 我们必须了解各地具体的薄弱点和面临的威胁, 并结合其他环境、社会、经济因素来处理气候变化的影响问题(McCallum, 2013)。

学术界已从不同角度对气候变化和大坝之间的

联系进行了研究。其中一方面是关于未来气候变化情景的可变性及其对大坝影响的评估(Kite, 2001; Christensen和Lettenmaier, 2007; Palmer等, 2008; Zhai和Tao, 2017)。另一方面涉及对与水库相关的温室气体排放的评估, 以及它们对加剧气候变化的影响(Samiotis等, 2018; Arias等, 2019)。另有文献关注在这些复杂情况下设计缓解措施的问题(Samiotis等, 2018; Arias等, 2019)。大坝可以提供适应气候变化的机会, 尤其是在世界的某些地区(Jenkins等, 2011; Watts等, 2011; Kingsford, 2011; Moore等, 2012)。与领土和社区一样, 大坝也容易受到气候变化的影响。因此, 新大坝的影响评估和审批程序必须确保它们能够应对气候变化的挑战(European Commission, 2013)。

大坝在各地区的社会和经济发展中都发挥着重要作用, 特别是对于发展中国家。大坝的建设以水安全、能源供应和防洪为目的(Barbarossa等, 2020)。它们还对河流生态系统和栖息地、

This article is a translation of an article published in *Impact Assessment and Project Appraisal* 2021 © IAIA, available online: <https://doi.org/10.1080/14615517.2021.1893928>

本文是一篇发表于《影响评价与项目评价》杂志2021©IAIA的文章的译文, 在线浏览地址: <https://doi.org/10.1080/14615517.2021.1893928>

环境影响评价

Environmental Impact Assessment

流态、水质、大气中的温室气体以及人类社区的社会经济特征等产生重大影响。尽管大坝的环境影响引起了相关争议，且反对大坝的运动越来越多，大坝的规划和建设却仍在继续。当前预估显示，全球大约有58 700座大坝（ICOLD General Synthesis, 2020），估计累计储存量为7000~8300 km³（Mulligan等，2020）。

大坝的结构寿命长，通常是根据以往的气候条件设计的（Rydgren等，2007）。大坝在使用期间可能会暴露在与设计初期不同的各种气候条件下。气候变化导致的水流增加会加大沉积和侵蚀，威胁大坝的使用寿命，增大洪水风险以及大坝的损坏或崩溃（Palmer等，2008）。减少水流可能会升高水温并恶化水质（Van Soesbergen, 2013）。因此，气候变化会损坏大坝的性能和使用寿命，增大其崩溃的风险，也会改变周围环境，影响大坝产生环境影响的性质和程度（Wentz, 2015）。

大坝的敏感性取决于其物理类型、水库的运行功能（Van Soesbergen, 2013）以及其地理位置当前和可预见的气候条件（Engineers Canada, 2016）。面对气候变化，大多数大坝可能会面临与溢洪道安全（超过设计流量的极端流量的增加，碎片和植被的增加）、水库的产量和可靠性（水流模式的改变和极端降雨—径流事件的发生）以及侵蚀和水库沉积有关的问题。这些问题可能会减少大坝的寿命、加剧洪水风险、导致大坝崩塌和损坏。此外，侵蚀的增加、水体波动和长期干旱相结合可能会加剧大坝主体结构的现有缺陷并挑战其设计和施工方式。在这种情况下，堤坝可能比混凝土和砖石坝更容易受到气候变化的影响（Atkins, 2013）。如果在项目设计时没有考虑到气候条件的变化，未来溃坝的可能性就会增大。因此，新建大坝的脆弱性分析和风险评估至关重要。此外，还需要对世界各地的大坝进行重新评估（Bates等，2008），因为这些大坝的初始设计可能是基于目前已经失效的参数，或者已经达到了使用年限。然而，在项目开发初期进行这些评估可能是一项挑战。

环境影响评价是评估各类活动项目潜在环境后果的系统性过程。它最早由美国在1969年通过《国家环境政策法》（NEPA）引入，被认为是20世纪较为成功的政策创新之一（Sadler, 1996），

在全世界范围内使用。环境影响评价有助于理解项目的环境和社会后果（Byer等，2018），提高潜在效益（Sok等，2012），是许多政府用于为环境决策发展提供信息的工具（Wood, 2003）。环境影响评价在项目规划过程中的作用已牢固确立，其过程的适应性在近年来也有了很大的发展，纳入了新的角色和责任，以及新的“实践舞台”。目前，科学界已有与环境影响评价结构有关的讨论，包括其适用于特定可再生能源发展的监管框架，如海上风电场（Salvador等，2018；Hall等，2020）、水力发电（Hamududu和Killingtveit, 2012）或海洋可再生能源（Soria-Rodriguez, 2020）。此外，对于环评监管框架将如何演变以包括新的政策条件（Elvan, 2018）或适应气候变化（Enriquez-de-Salamanca等，2016；Jiricka-Pürerer等，2018；Gao, 2018），学界也进行了大量讨论。环境影响评价是否适合处理气候变化的影响也仍是一个令人关注的问题。

环境影响评价被视为是评估气候变化风险的一个有用工具（Sadler, 1996），可以提高新项目的复原力（Agrawala等，2010, p.33；Sok等，2012；Byer等，2018）。在此环境下，关于如何将气候变化风险纳入环境影响评价的准则和建议已在一些国际和国内背景下发布，对这一程序的潜在优势表示支持（FPTCCCEA, 2003；CARICOM和SPREP, 2004；Nova Scotia Environment, 2013；Montgomery等，2015）。在欧盟（EU）范围内也发布了一份将气候变化纳入环境影响评价的指南，其具体要求包括在一份指令（2014/52/EU）中，由各国成员执行。因此，环境影响评价的国家法律框架也在不断发展以反映这些要求。

然而，有学者指出在具体项目上实施这些准则存在的困难（Agrawala等，2010），并表示将气候变化风险纳入环境影响评价过程这一做法仍需完善成熟（Yi和Hacking, 2011）。在这种情况下，一些学者认为环评可能不是帮助适应气候变化的正确手段，因环评的主要目的是提供信息而不是影响决策（Weston, 2000）。另有人提出，环评薄弱的概念基础会限制它实践的有效性（Cashmore等，2004；Lawrence 1997 in Smart等，2014）。还有人提到，环评的规划阶段依赖的意识形态和行为可能使其过

程具有内在政治性 (Nilsson和Dalkmann, 2001)。然而, 潜在的知识差距和透明度的缺乏使该过程变得非常主观, 导致决策的不一致或偏颇 (Bond和Pope, 2012)。此外, 气候变化科学本身的不确定性 (Smart等, 2014) 和气候变化信息对用户不友好的特点 (Agrawala等, 2010), 也可以用于解释专业人士在项目中处理气候变化的困难。

鉴于大坝在气候影响和脆弱性方面的复杂性, 以及各国采用的指南和法规印证出的对将气候变化纳入环境评价过程的日益关注, 揭露科学界如何将气候变化风险纳入大坝的环境影响评价由此变得很重要。为此, 本文揭示了科学界对此问题的关注点。本文还突出显示如何将气候变化纳入大坝的环境影响评价、如何跟进国际准则和法规的实施以及所达到的结果这些问题。本文系统回顾了过去20年发表的科学文献, 以梳理关于将气候变化风险纳入大坝环评的系统研究。本文还分析了文章数量的变化、其关注的地点和地区, 以及作者和他们研究课题的关联。

以下部分为本文采用的研究方法, 包括识别、选择、分析论文的标准, 第三部分为本文的研究结果, 第四部分根据本文的目的和方法对结果进行讨论, 第五部分为文章总结, 并对进一步研究的主题提出建议。

2 方法

本文对2000~2019年发表于科学期刊并在Scopus中引用的一组同行评审文章进行了综述。本文假定该文献样本能作为在该研究主题下发表文章的代表。本文综述按以下步骤进行:

(a) 选择文章: 搜索Scopus数据库引用的文章 (2020年1月), 关键词包括“环境影响评价”“气候变化”以及“大坝”或“水库”。仅搜索2000年1月至2019年12月发表在期刊的英文论文。在文章标题、摘要以及内容栏中对以上关键词进行搜索。该步骤确定了106篇文章。

(b) 筛选文章: 对文章的标题和摘要进行筛选, 去除与研究主题无关的文章。该步骤选中了82篇文章。

(c) 初步阅读: 对文章的内容进行检查, 以确定其与本研究的相关性, 从而剔除第二批不相关的文章。在该步骤下, 63篇文章被选中进行全

面内容分析。

(d) 分析所选文章: 将文章导入Mendeley (2014) 创建的数据库, 并核实其书目信息, 然后对文章的全部内容进行分析, 包括:

论文在本文选定的时间跨度内发表的频率, 以评估学界的研究兴趣是否随时间有所增加;

作者的大致位置, 以了解世界上关注该研究课题的地区;

文章间的共同引用 (使用VOSviewer软件), 以评估作者是否构成一个相互联系的集群或分散的群体;

研究的主题, 以了解学界将气候变化纳入大坝环评过程的角度。

以下部分为该系统性文献回顾的结果。

3 结果

如上部分所述, 本系统性文献回顾的重点是所选的63篇文章。对这些文章按时间顺序进行的分析表明, 除2001年发表的1篇文章外, 其他文章都发表于2006年之后 (见图1)。在2007年至2014年, 发表的文章数量有些许变化, 而在2015年以后, 其数量有明显增长, 在2016年后达到每年8~9篇。发表文章最多的是美国 (USA) 和中国 (见图2)。其他值得一提的文章则来自澳大利亚、巴西、加拿大和英国 (UK)。

被引用最多的文章来自Palmer等 (2008), Christensen和Lettenmaier (2007), 以及Brown等 (2009), 全部来自美国组。这些作者主要利用气候和水文模型来模拟不同气候条件下气候变化对水资源的影响。中国被引用最多的有Xu等 (2013), Hu等 (2016), 以及Zhai和Tao (2017) 的文章。这些文章主要是关于气候变化对中国河流集水区管理的影响以及中国河流的水文状况。澳大利亚被引用最多的文章来自Kingsford (2011) 和Watts等 (2011), 他们都提到了重新评估大坝运行以协助适应气候变化并帮助恢复生态系统的重要性。在巴西, Cactano De Souza (2008) 的文章利用环境指数评估了水电大坝的环境影响, 将其作为环评研究的重要手段, 以优化未来的大坝设计和运行。来自加拿大的Brandão等 (2013) 提出, 关于如何在影响评估工具 [如生命周期评估 (LCA) 和碳足迹 (CF)] 上考虑气候变化的共识仍需达成, 建议进一步研究

环境影响评价

Environmental Impact Assessment

这一问题。在英国，Kite (2001) 的文章建立了一个模拟湄公河及其支流水文循环的模型（在有大坝的情况下），并提出该模型对尝试评估气候变化对水资源影响的环评研究是有用的。

本文使用VOSviewer软件工具1（见图3）对选中的文章进行了共同引用分析。为此，本文在这些特定的文章中建立了一个反映引用数量和它们间关系的地图。大体来说，该图显示，由于文章间的引用量较低，选中的文章与作者间的相互联系较弱。

如图4所示，主要有连接关系的组与Palmer等（2008）的文章有关。Kingsford（2011）、Jenkins等（2011）和Watts等（2011）的文章（见图4中的红线）以及Moore等（2012）、Fu等（2015）和Danner等（2017）的文章（见图4中的绿线）都引用了《气候变化与世界河流流域：预测管理方案》（Palmer等，2008）这篇文章。第一组与Palmer等的文章有关的作者主要关注澳大利亚的河流流域，并同意将调整大坝运营以应对气候变化作为一种适应战略的重要性。第二组文章着

重于对受大坝影响的河流流域的气候变化评估，这些评估能对受气候变化驱动的影响如何改变这些结构的运行性能做出解释。

通过对文章内容的分析，可以确定该领域的四个主要关注的主题，即：

（1）气候变化影响分析：包括对有大坝的河流集水区的气候变化影响进行一般性分析和案例分析的研究；

（2）影响评估方法：讨论使用不同的影响评价方式来评估和管理气候变化的影响；

（3）水坝和水库对气候变化的影响：探讨了一些水坝及其影响的案例研究；

（4）气候变化适应战略：探讨大坝提供的可能性，并将优化大坝运作作为应对气候变化的适应性战略。

这些主题是相互关联的，并存在一些重叠。表1总结了该文献综述中确定的重要作者的贡献，以及他们对将气候变化纳入大坝影响评价的相关建议。以下段落系统地介绍了他们关于本文研究问题的内容。

表1 重要作者及相关建议概要

作者，日期， 案例研究和方法	地点	气候变化 影响分析	影响评 估方法	大坝对气候变 化的影响	适应气候 变化战略	建议
Ulibarri和Scott（2019）分析了水电大坝许可的环境影响评估过程，以评估加州干旱是否对气候复原力的分析产生了转变	美国		√			要使大坝结构适应气候变化，就必须进行体制改革，并在规范和做法上进行重大转变
Moser等（2019）研究了亚马逊森林中气候变化和巨型水坝之间的相互作用，预测大型洪水的影响会加剧	巴西		√			大型基础设施项目的环评监管框架中应包括气候变化和大坝之间的相互作用
Nauman等（2019）使用RCP情景下的多模型方法来量化Khanpur大坝的气候变化影响	巴基斯坦	√				介绍了大坝未来在气候变化情况下的管理策略
Ver á n-Leigh和Vázquez-Rowe（2019）使用LCA方法来评估水电站大坝的影响，并计算水库的温室气体排放量	秘鲁		√			LCA的使用有助于能源部门的决策和气候变化政策的制定
Zhao等（2018）回顾了用于研究黄土高原内沉积物负荷变化的6种定量方法	中国	√				用不同方法评估气候变化和人类活动对沉积物负荷变化的影响
Rungee和Kim（2017）使用多模型方法评估Norris大坝对气候变化情景的反应行为	美国	√			√	不应忽视水库/大坝运行的管理和固有的预测不确定性
Chilkoti等（2017）使用多模型方法评估气候变化对Ochlockonee河水电的影响	美国	√				由于气候变化和能源生产的水供应边际增加的季节性变化
Danner等（2017）研究了Cougar大坝的案例，模拟了未来水文和气候情景下的水库运行情况	美国	√			√	影响评估中的情景分析提供了关于气候变化如何影响大坝运行性能的信息

IAPA文摘

Abstracts of IAPA

续表

Aslam等（2018）使用气候模型评估选定的适应战略的性能，以减少气候变化——旁遮普省南部地区	巴基斯坦	√			√	脆弱性评估和发展防洪大坝是适应气候变化的相关战略
Kayo和Noda（2018）使用LCA计算温室气体排放，并量化木质土木工程结构中存在的减缓气候变化潜力	日本		√			利用LCA进行温室气体排放影响评估，为建筑业的决策提供启示
Zhai和Tao（2017）对中国7个典型集水区的气候和径流做了模型分析，以检查气候变化和人类活动对径流的贡献	中国	√				尽管有气候变化，但水的使用和管理仍然对未来的水资源状况起着重要作用
Fazel等（2017）研究了乌尔米耶湖流域主要水坝建设和灌溉项目前后水文站的流量变化情况	芬兰	√				与气候变化相比，人类活动的影响，如取水量的增加，可能是河流流态变化的主要力量
Fu等（2015）开发了一个工具，考虑到气候变化和水资源开发的不同情况，模拟对生境条件的影响（如水坝、堰塞湖）	澳大利亚	√				这个新工具可以作为一个评估气候变化对湿地生态系统影响的综合工具
Grumbine和Pandit（2013）探讨了印度喜马拉雅水电大坝建设计划的例子，以提供不良规划和环境影响评估不当的例子	印度		√			提出了环境影响评估中的一些低效率问题，如对累积影响的分析效率低下，或缺乏对私人顾问的认证
Xu等（2013）讨论了1992年三峡大坝工程的环评情况	中国		√			对未来大坝环评的改进建议
Watts等（2011）讨论了干旱气候下的大坝再运营策略	澳大利亚				√	大坝重新运行可以帮助适应气候变化
Kingsford（2011）分析了湿地的保护—管理策略	澳大利亚				√	大坝的重新运行是适应气候变化的一个机会
Jenkins等（2011）探讨了不同河流和湿地对气候变化的威胁和适应机会	大洋洲				√	大坝管理业务可以扩展，以适应气候变化
Brown等（2009）使用一个建模工具（IDAM）将不同的观点整合到大坝影响的成本/效益分析中	美国			√		IDAM在大坝评估方面迈出了重要的一步
Gaetano De Souza（2008）通过使用环境指数评估了巴西水电站大坝造成的影响	巴西			√		环境指数是对更可持续的大坝进行环境影响评估的重要工具
Fujihara等（2008）将全球大气模型和流域水文模型的输出连接起来，探讨气候变化对塞罕河流域的影响	土耳其	√				尽管有气候变化，用水和管理仍然对未来的水资源状况发挥着重要作用
Christensen和Lettenmaier（2007）采用多模型方法评估气候变化对科罗拉多盆地的影响——格伦峡谷大坝	美国	√				在所有时期和排放情景下，水库储存量和平均水电产量普遍下降

3.1 气候变化影响分析

涉及气候变化影响分析的文章往往侧重于使用气候模型，这些模型与水文模型相结合，模拟河流流域在水文系统和径流方面的反应行为（Kite，2001；Christensen和Lettenmaier，2007；Palmer等，2008；Zhai和Tao，2017）、沉积负荷（Zhao等，2018）、生态（Fu等，2015）、灌溉（Fazel等，2017）和水电能力（Majone等，2016）在不同未来气候情境下的反应行为。

被引用最多的文章来自Palmer等（2008）。他们利用包括被围困河流、大坝影响以及预计河流排量的数据的水文气候模型来创造不同的情景，并研究世界几个主要河流流域（受大坝影响和不受影响的流域）的气候和人口变化结果。Christensen和Lettenmaier（2007）也使用多模型方法和全球气候模型的输出信息来研究气候变化对科罗拉多流域的影响。Kite（2001），Fujihara等（2008）、Tung等（2009），Peel等（2015），Anandhi等（2016），

环境影响评价

Environmental Impact Assessment

Danner等(2017), Rungee和Kim(2017), Lee和Huang(2017), Liu等(2018)和Gorguner等(2019)作者应用同样的方法在全球不同地区进行研究。Hu等(2016)提出了一个能够模拟水动力过程直至三维异质环境的模型(FABM-PCLake), 支持了该模型在气候变化影响评估研究中的应用。

Majone等(2012)使用6个区域气候模型的集合, 得出降水和温度的预测变化, 其在水文模型中的使用能助力研究西班牙Gállego河流域(Ebro河的支流)的气候变化情况。作者在阿尔卑斯山东南部地区使用了同样的方法(Majone等, 2016)来推断气候变化对该地区水电潜力的潜在后果。其他使用区域气候模型的作者包括Kara和Yucel(2015), Chilkoti等(2017), Sarzaeim等(2017), Aslam等(2018), Liu等(2018), Forrest等(2018), Nauman等(2019)。

3.2 影响评估方法

涉及该主题的文章主要确定了两类正式的影响评估方法, 即生命周期评估(Brandão等, 2013; Gracey和Verones, 2016; Kayo和Noda, 2018; Verán-Leigh和Vázquez-Rowe, 2019)和环境影响评估(Boyer-Villemaire等, 2013; Xu等, 2013; Grumbine和Pandit, 2013)。Thorne和Fenner(2011)文章中还提到了用于评估气候变化影响的其他方法。作者开发了一个气候变化影响评估“工具”(SCIAT)将“气候变化预测转化为‘现实世界’的影响”, 并评估气候变化对水库水质和水处理厂运行的影响。

在讨论将环评作为一种影响评估的方法时, 一些作者突出了这一工具对解决气候变化影响的好处, 称其作为一种有价值的预防手段, 并强调需要将气候变化风险和大坝之间的互动纳入现有的环评监管框架(Moser等, 2019; Ulibarri和Scott, 2019)。然而, 两位作者提出的案例显示环境影响评价仍有改善空间, 并对其应对气候变化风险的有效性提出质疑:

(a) Xu等(2013)讨论了1992年三峡工程的环境影响报告, 并对未来大坝的环境影响评估提出了以下改进建议: ①对于单个环境影响评估无法提供全面累积影响分析的项目, 应首选战略环境评估; ②需调整国家规划政策; ③需确定长期监测系

统和大坝间气候变化的交叉影响。

(b) Grumbine和Pandit(2013)讨论了印度政府的喜马拉雅水电大坝建设计划, 并强调了以下问题: ①累积影响和跨界影响; ②冲突和国家机构问责制的缺乏; ③国际标准的低效使用; ④公共和利益相关者的参与不足; ⑤私人顾问缺乏执行环境影响评估的认证。

3.3 大坝和水库对气候变化的影响

涉及这一主题的文章通常讨论大坝造成的具体环境影响, 以及大坝通过水库排放的温室气体对气候变化的贡献。这组文章中被引用最多的是Brown等(2009)。该文章对大坝建设阶段产生的影响进行了全面的分析, 并提出了一个将所有影响整合到成本效益分析的工具[综合大坝评估模型工具(IDAM)], 使决策过程更加明智和公开。作者提出: “……IDAM工具使决策者能够评估替代方案并阐明与大坝项目有关的优先事项”, 使大坝的决策过程更有依据和公开透明, 体现了“大坝评估的一个重要进化步骤”。Caetano De Souza(2008)使用环境心理指数评估了巴西水电站造成的影响, 根据作者的说法, “可以作为环境影响评估的重要工具”。在这一主题下, 其他作者讨论了大坝的影响和水库在不同背景下对温室排放的贡献, 如湄公河洪泛区(Arias等, 2019)、地中海地区(Samiotis等, 2018), 或水库对中国汉江的水流和泥沙负荷的影响(Qian等, 2016)和中国涅尔基水库造成的气候变化下的径流(Men等, 2019)。

3.4 适应气候变化的策略

涉及这一主题的文章强调了大坝和水库对气候变化的敏感性。一些文章明确了重新设计新的有复原力的大坝的需要, 认为这些大坝可作为全球一些地区的重要适应机会(Jenkins等, 2011; Watts等, 2011; Kingsford, 2011; Moore等, 2012)。关于这个问题, 被引用最多的是Kingsford(2011)的研究报告。作者强调, 大坝的定期维护为评估这些结构是否仍然符合其目的提供了机会, 并在某些情况下, “鉴于气候变化影响的不确定性, 改变大坝的运作可能是主动控制河流的明确机会”。Watts等(2011)关注干旱气候、高水需求下的大坝重运营战略, 并提到现有基础设施提供了“广泛的适应战略”, 可以通过调整来缓解气候影响。Jenkins等

(2011) 利用大洋洲（澳大利亚、新西兰和太平洋岛屿）的一些河流和湿地来探索不同生态系统中气候变化的主要威胁和适应机会，其结论表明大坝管理操作可以扩展到适应气候变化。

4 讨论

本文分析了国际学界是如何研究将气候变化风险纳入大坝环境影响评价的，特别是与环境影响评价相关的实践。为此，本文对在Scopus数据库中引用的科学期刊上发表的同行评议文章进行了文献综述。本文选择了足够广泛的关键词以识别出有代表性数量的文章。然而，这可能构成了本次综述的局限性，因为从其他关键词的组合中可能会获得更多的文献。其余平台的使用，例如Web of Science，可以增加所选文章的数量。纳入书籍和会议文章也可以扩大样本，但由于同行评审过程不一定覆盖这些来源，本文没有将其考虑进来。

对所选文章按时间顺序的分析表明，文章的发表数量自2015年起达到了一个高峰。文章的地理分布表明，讨论这些问题的主要作者群体来自美国和中国，巴西、澳大利亚和英国也有文章发表。尽管有一些重叠，但本次综述确定了与本文研究问题有关的文章所涉及的四个主要议题，分别为气候变化影响分析、影响评估方法、大坝和水库对气候变化的影响以及气候变化适应战略。

在“气候变化影响分析”和“影响评估方法”这两个主题下提到的问题主要集中在研究有大坝的流域在不同气候情景和影响下的行为，以及对使用不同方式评估这些影响的重要性并提出相关的缓解措施。在第一个主题下，最重要的贡献来自Palmer等（2008），他们提供了一个概括性的但基本的结论，即受大坝影响的流域比自由流动的流域需要更多的管理行动来缓解气候变化的影响。在第二个主题下，Brandão等（2013）指出，正式的影响评估方法，如生命周期分析和成本效益分析，是评估气候变化影响的有效工具。Moser等人（2019）也认为环评是评估气候变化影响的有用工具。然而，有少数作者提到了相关程序缺乏客观性或需要改进（Xu等，2013；Grumbine和Pandit，2013）。

“大坝和水库对气候变化的影响”这一主题包括了通过对全球范围内的具体案例研究对大坝和水库对气候变化的影响分析。在此值得概述的是，正

如Brown等（2009）所建议的那样，使用建模来整合与大坝建设相关的各种观点，从而提供一个视觉方案来表示与其相关的各种成本和收益。该作者主张在气候变化情况下考虑大坝的成本和效益时，该工具可使决策过程更加明智和公开透明。

最后，在“气候变化适应战略”的主题下，作者承认大坝对气候变化的敏感性，并强调气候变化也可能对大坝产生影响，同时可能有必要重新评估大坝结构以使它们为应对未来气候变化的不确定性做好准备。因此，大坝也可能会因为最初设计条件的改变而对气候变化呈现一定程度的脆弱性。同样，当前的设计参数在大坝的使用寿命结束时可能也不再有效。在这个主题下作者通常得出的结论是，全球范围内对大坝设计和运作活动进行潜在重新评估的要求可增加其适应性（Jenkins等，2011；Watts等，2011；Kingsford，2011；Moore等，2012）。

本文综述显示，2010年以前发表的文章主要集中在研究气候变化的影响及其缓解情况，即气候变化对有大坝的河流的影响，以及大坝的存在会如何加强气候变化的影响。2010年后，关于适应战略的文章开始出现，从脆弱性和风险的角度分析与大坝有关的影响也开始被提及。在这种情况下，大坝和气候变化之间的关系，结构对气候变化的脆弱性，大坝在不断变化的气候情况下所面临的挑战，如何应对风险、克服其不确定性并成功适应，都有被探讨。因此，将重新评估大坝的设计、运行和管理作为适应气候变化战略的重要性被视为是实现未来社会经济和环境效益的必要条件。这一目标有可能通过环境影响评价程序下的全貌气候变化脆弱性和风险分析来实现，但很少有作者在研究中探索使用环境影响评估方法来应对气候变化。在这种情况下，Tormey（2010）探讨了如何在影响评估系统方法中处理气候变化引起的不确定性和危险。Moser等（2019）补充到，气候变化和大型基础设施项目之间的互动应该成为环境影响评估的法律程序中的一项要求。Ulibarri和Schott（2019）进一步提出，结构对气候变化的成功适应需要制度上的改变以及规范和实践上的重大转变。

尽管人们对环境影响评价作为应对气候变化的工具的潜在作用抱有期望（国际指南的发布和随后

环境影响评价

Environmental Impact Assessment

国家环境影响评价条例的更新都证明了这一点），但本文综述表明，在以科学文章的形式发表的系统研究中，没有针对环境影响评价的后续做法以及在大坝的环境影响评估中如何考虑气候变化问题的批判性分析。因此，文献综述的结果显示研究空白的存在。该现象可由一组质疑环评作为适应气候变化分析的有效工具的能力的文献，或者在应用于复杂的项目级环评时有关气候变化科学的不确定性解释（Smart等，2014）。然而，考虑到：（i）在不同的决策层广泛采用指导方针和法规，强制将气候变化问题纳入环评；（ii）大坝在对气候变化的脆弱性和加剧气候相关影响的可能性方面的复杂性；（iii）经常使用大坝项目来评估和传播环评的做法，本文综述中发现的空白为提出值得进一步关注的新研究问题提供了途径。一个问题是要进一步了解这一研究空白背后的原因。另一个问题是国家环评监管框架如何纳入气候变化，以及它们如何适用于大坝。此外，环评研究是如何解决，并在哪个阶段解决大坝的气候变化风险的也是一个问题，包括哪些是主要的数据和方法上的关注和实践；哪些是从业者对纳入大坝环评的气候变化的理解，以及他们面临的障碍。还应该研究利益相关者对大坝环境影响评估的范围的理解。

5 结论

除了领土和社区，大坝等大型基础设施也可能容易受到气候变化的影响，并需要对相关的影响有一定的适应力。因此，它们的设计和批准应要求对相关的气候变化风险进行全面评估，以评估脆弱性并防止大坝崩溃。一些国家间的准则建议将气候变化风险评估纳入环境影响评估过程以克服困难，国家环境影响评价条例也相应地进行了更新，这些准则都涉及这一问题。然而，在项目开发阶段纳入气候变化风险和适应战略可能具有挑战性。要面临的许多挑战包括气候变化科学的不确定性、数据的复杂性、世界不同地区的可用性的不平等，以及实践者在大坝等复杂项目的

环评中使用它的能力。在这种情况下，可以提供一些建议，如审查环评立法、培训从业人员、专门的指南和关于如何将气候变化纳入大坝环评的实践守则。然而，如前所述，这些建议需要进一步研究，这也是本文作者研究的后续阶段。本文研究了学界对将气候变化风险纳入大坝项目的环境影响评估的分析。为了回应这个问题，文章对过去20年中在Scopus中引用的科学期刊上发表的同行评议文章进行了系统回顾。虽然在文献审查中发现的第一个问题集中在评估气候变化的影响和缓解措施上，我们注意到学界的关注已转向与气候变化的脆弱性和适应性有关的问题。此外，现有的分析显示，环境影响评估在解决气候变化风险方面的潜力得到了学界的广泛认可。然而，在发表于科学论文的系统研究中，极少有评估气候变化风险是如何被整合到大坝的环评过程中，即环评的现行做法的。这种将气候变化纳入大坝环评的系统研究的缺乏是令人惊讶的。一方面，环评学界对气候变化的日益重视，促进了指南和法规的通过，应该引起人们对它们的实践和重要局限的关注。另一方面是由于大坝在与气候变化相关的影响和脆弱性方面的复杂性，以及它们被用作环评发展的案例研究的频繁度。本文的发现表明了一个科研空白的存在，或是仍处于初始阶段的研究课题，并强调了进一步研究的必要性。值得进一步关注的研究问题包括以下几个方面：为什么科学界没有调查和提出关于在大坝环评中处理气候变化风险的做法的案例研究？国家环评监管框架是如何纳入气候变化问题和大坝对气候变化的脆弱性的？大坝的气候变化风险是如何在环评研究和过程中被解决的？在哪个阶段？由哪类型的数据支持？在处理这样一个复杂的问题时，从业人员的主要挑战是什么？

参考文献及图：请见原文

译者：三捷环境工程咨询（杭州）有限公司
吴成志，刘芷舟