

运用综合规划法解决沿海洪涝风险

兰德公司为制定路易斯安那州总体综合性规划出谋划策

据 美国人口普查局披露，美国沿海市县在 1970 年至 2010 年期间人口增长率超过 45%，新增沿海居民达 5,000 万，社会资产（家庭和企业）增加了数十亿美元。¹ 沿海的居民通常要承受许多潜在风险，包括风暴潮带来的生命和财产损失。而随着沿海地区的人口、财产以及其他活动日趋集中，湿地、堰洲岛、以及其他有助缓冲风暴的天然障碍正变得越来越少甚至消失殆尽。

近几十年来，大部分海岸风暴带来的损失都集中在墨西哥湾沿海地区。例如，2005 年的“卡特里娜”和“丽塔”飓风以及 2008 年的“古斯塔夫”和“艾克”飓风，共计给路易斯安那、密西西比及墨西哥湾沿海各州造成约 1,500 亿美元的损失。² 然而，这些沿海风险在其他地区也很普遍，超级飓风“桑迪”就给美国东海岸地区的人民、房屋、企业及基础设施造成了巨大的破坏。

随着气候变暖，沿海的风险可能会上升。如今，地球的海平面比一个世纪之前升高了 6 至 12 英寸，而且还在以每十年一英寸的速度继续上升。据目前的预测，因为海洋变暖和冰川融化，海平面上升的速度会不断加快，预计到 2100 年海平面将比 1990 年的水平高出最少 8 英寸，最大可达 4-6 英尺。³ 结合沿海的潮汐和风暴潮来看，海平面上升很可能会显著增加沿海居民和财产所面临的洪涝风险。而海面温度上升和气候规律的不断演变也可能带来更强的热带风暴和飓风，或者使大型飓风和超级飓风变得更常见。⁴

要减少沿海社区面对的上述威胁充满了挑战，因为这个问题涉及的区域甚广且具体的风险性质不确定。美国的一些修复工作已开始采取更全面的规划方法来应对这些挑战。近期值得注意的案例莫过于佛罗里达大沼泽地、切萨皮克湾及旧金山湾三角洲等地区。但是，上述

内容提要

沿海洪涝风险是伴随气候变化而来的一个全球性问题。气候变化正导致全球海平面不断上升，也可能使灾难性风暴变得日益频繁，并且加剧风暴潮的破坏力（例如，席卷美国东海岸的超级飓风“桑迪”）。要全面治理这种风险极具挑战性，因为这需要充分评估未来的不确定风险，评估各种备选方案，在各方利益相关者之间达成共识。《关于路易斯安那州沿海可持续发展的总体综合性规划》，创造了一个通过综合、客观、以分析为基础的规划来解决最紧迫的环境挑战的成功案例。该州海岸保护与修复管理局（CPRA）采用了一种由兰德公司参与开发的全新分析方法，将通过最先进的预测模型得出的结果输入决策工具，以制定和比较各种备选方案，并利用可视化工具把结果及权衡因素演示给政策制定者和利益相关者。在此基础上，当局制定了路易斯安那州沿海地区第一份综合性解决方案，得到当地民众乃至从事墨西哥湾沿海保护工作的联邦、州和地方各级机构的广泛支持。该总体规划于 2012 年 5 月在路易斯安那州议会获得一致通过，目前正在实施中。

工作尚未总结出一种广泛适用于确定和降低沿海气候影响的方法。

路易斯安那州沿海地区的综合规划

尽管路易斯安那州沿海面临的挑战不是独特的，但却是一个亟待全面解决沿海规划挑战的典型例子。在路易斯安那州，密西西比河在过去一个世纪的管理方式过于陈旧，造成土地流失的问题，这加剧了风暴潮引起的洪涝风险。路易斯安那州沿海地区处于土地逐渐流失的境

地。自二十世纪三十年代以来，已有 1,800 平方英里的土地流失到开放水域，未来 50 年还会有更多土地流失。2005 年“卡特里娜”和“丽塔”飓风带来灾难性的影响，美国路易斯安那州海岸保护与修复管理局（CPRA）遂决心制定一项《路易斯安那州沿海可持续发展总体综合性规划》，旨在系统性地同时解决沿海地区面临的洪涝风险和湿地逐渐消失问题。⁵

该总体规划界定了一系列将于未来 50 年实施的沿海抗风险项目和修复项目，旨在降低沿海社区面临的飓风洪涝风险并修复路易斯安那州海岸。抗风险项目指防洪堤等结构工程，以及通过抬高建筑物等措施降低洪水对住宅和商业设施的破坏的非结构工程；修复项目指河岸加固、泥沙改道、堰洲岛修复等工程。

兰德协助制定了路易斯安那州的综合规划法

鉴于有大量的潜在项目要审议，各方利益相关者为了不同的利益和目标竞相角逐，种种不确定因素充斥其中，兰德公司应邀参与总体规划的制定工作。于是，兰德公司协助制定了一套科学、客观的分析方法，用以确定开展抗风险项目和修复项目等不同投资的综合性策略，最终解决沿海问题。

图 1 描绘了兰德公司协助制定总体方案的简化流程图。该方法运用一组七个相互关联的预测模型，来估计数百个拟建项目在未来 50 年可能对预期年度损失（EAD）、地面建筑或土地流失以及生态系统服务构成的影响。通过预测模型评估各个项目在两种未来情景下的影响，即对未来海平面上升，沉积物压实作用等因素造成沿海土地下沉的速度，以及其他主要的不明朗因素作出不同假设：乐观假设预测海平面上升和土地下沉速度处于中低水平，而较悲观假设则预测各项数值处于较高水平。

兰德公司开发了其中一个预测模型，即路易斯安那州沿海风险评估模型（CLARA），用于估计大型风暴产生的洪水深度和灾害（参见下页方框处）。

为了确定或构成 50 年期总体规划的备选方案（多组项目），兰德研究人员开发了一项规划工具，其中将预期项目效果作为一项输入要素。该规划工具运用一个优化模

型，在未来可用资金、泥沙可用性、以及密西西比河流等相关规划限制下，确定了既可以通过抗风险项目使经济资产面临的沿海风险最小化，又可以通过修复项目使沿海土地再造规模最大化的备选方案。

兰德研究人员运用规划工具制定了数百套备选方案，其研究依据是项目效果和路易斯安那州海岸保护与修复管理局高层及来自工商业界、联邦、州和地方各级政府、非政府组织以及海岸管理机构的 33 名各界代表组成的利益相关群体代表团的偏好。

规划工具的一个关键部分（如图 1）是交互式可视化单元，其显示了关于备选方案如何实现或不能实现既定目标的预测情形。这些可视化单元让路易斯安那州海岸保护与修复管理局和利益相关者可以在审议期间考察和了解各种备选方案之间的权衡。例如，借助于规划工具，利益相关者和决策者可以应用不同的输入变量（如环境情景，对生态系统服务结果的偏好，以及具体的融资制约因素）来了解这些变化对长期减灾或土地再造等主要输出成果造成的影响。

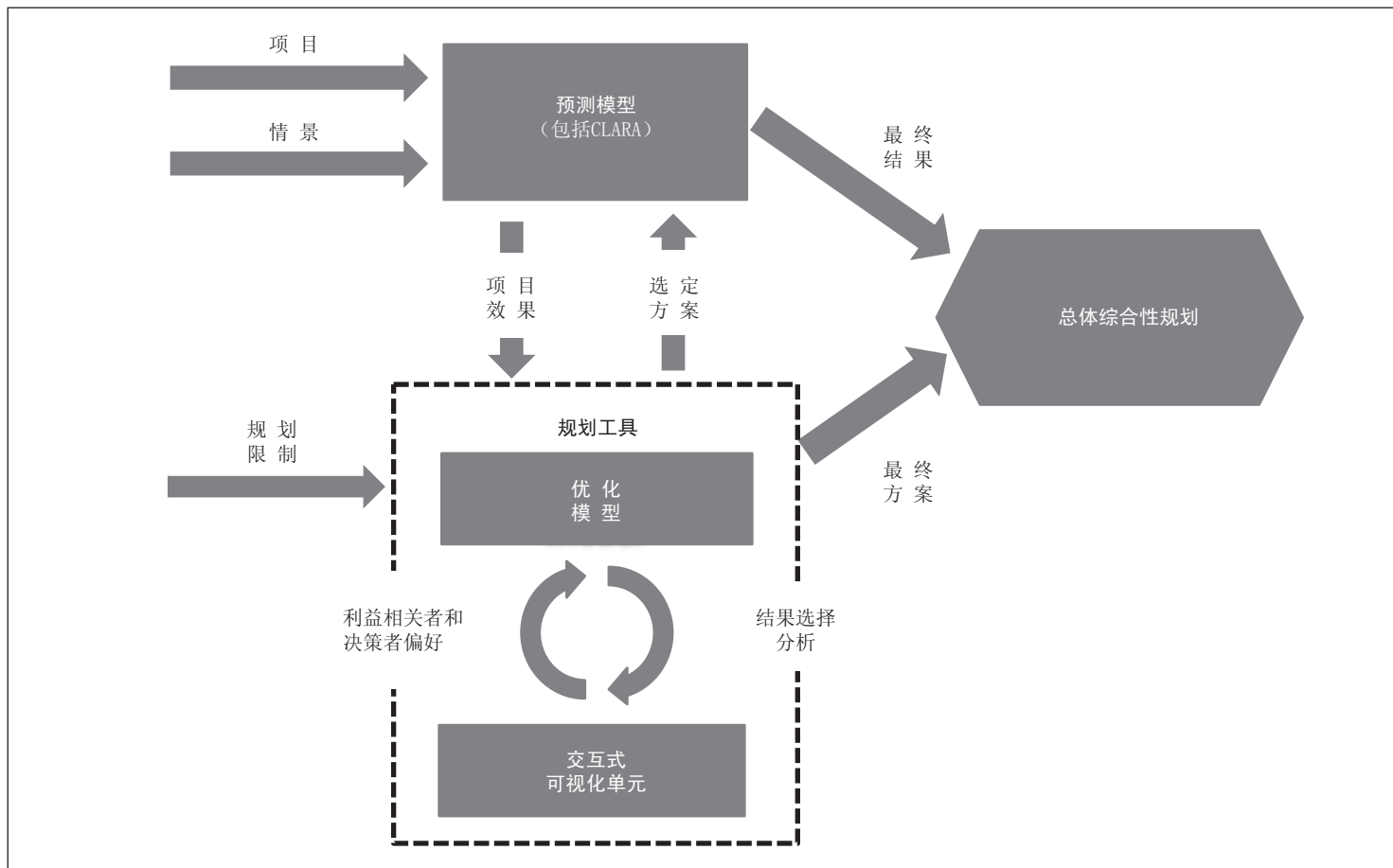
运用规划工具来确定最终的备选方案，其要旨是在不同项目类型的投资、沿海各地区、短期和长期抗风险和土地再造的不同效果、以及预期未来生态系统服务之间达成适度平衡。然后，使用预测模型重新评估该组项目，以便更好地了解入选项目之间的协同作用或权衡情形。

兰德公司协助路易斯安那州制定一项适用于未来不同情景的计划

在制定总体规划的时候，路易斯安那州的决策有一个关键特征，那就是存在极大的不确定性。特别是，未来 50 年最终选定的总体规划在两种不同情景下（即对于海平面上升和其他不明朗因素的不同假设）的抗风险表现究竟会如何？

据路易斯安那州沿海风险评估模型估计的洪灾结果显示，风暴潮带来的洪灾是该州沿海地区面临的主要威胁，如果坐视不理，这种灾害在未来可能会愈发严重（图 2）。然而，在不同情景下，洪水灾害变大的幅度又有明显差异。例如，如果坐视不理，2061 年的预期年度灾害有可能增加到 70 亿至 210 亿美元，具体数字视不同情景（紫色条）有所不同。而如果总体规划到位，两种情景

图 1. 制定总体规划的分析框架



当局如何运用路易斯安那州沿海风险评估模型 (CLARA) 制定总体规划

如图 1 所示，这套预测模型在路易斯安那州海岸保护与修复管理局制定总体规划的过程中发挥了关键作用。而兰德研究人员创建的路易斯安那州沿海风险评估模型正是其中之一，用于估计大型风暴产生的洪水深度和灾害。该模型可以系统地评估总体规划下的拟建项目对于减少风暴潮给路易斯安那州沿海地区带来的洪灾所产生的作用。

结果显示，如果没有总体规划制定的保护和修复项目，风暴潮带来的洪灾会对路易斯安那州沿海构成重大威胁。总之，路易斯安那州沿海风险评估模型从细节层次上适合对许多选项进行严格的比较评估，同时又考虑到未来的各种不确定性，包括由气候变化引起的不确定性。除了帮助制定目前的总体规划，该模型还可以作为今后评估路易斯安那州沿海和其他沿海地区洪水灾害或减灾的路线图。

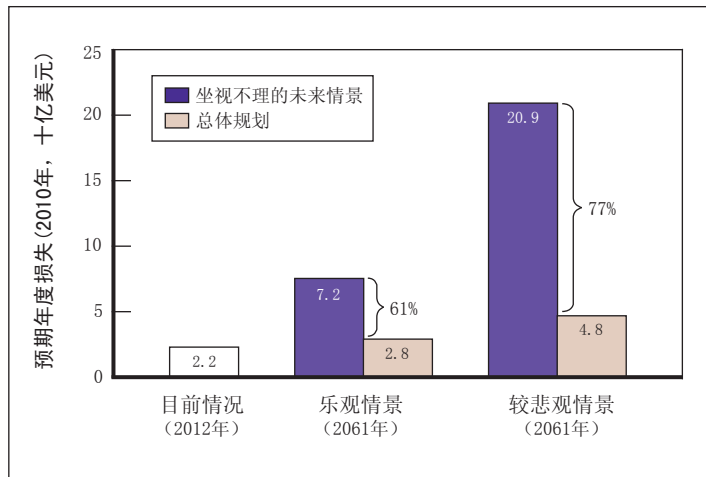
(浅褐色条) 的灾害水平有望下降到 30 亿至 50 亿美元之间。与坐视不理导致的未来洪灾水平相比，这相当于减少了约 60% 到近乎 80% 的灾害。

兰德公司协助路易斯安那州评估不同修复方法之间的权衡

路易斯安那州的总体规划法有一个关键的优点，即在一个定量分析框架内应用客观、科学的信息（例如，根据 CLARA 等预测模型得出的结果），可以制定与比较不同的策略并支持相互之间的审议。交互式可视化单元可以确保决策者了解不同策略之间的权衡。

例如，因为土地再造是一项重要的目标，规划工具还确定了一系列的泥沙改道、湿地填造和其他最有可能带动未来 50 年规划期限内最大规模土地再造的修复项目。这些备选方案包括几个大型的泥沙改道工程。但是，政

图 2. 最终选定的总体规划对沿海洪涝风险有何影响

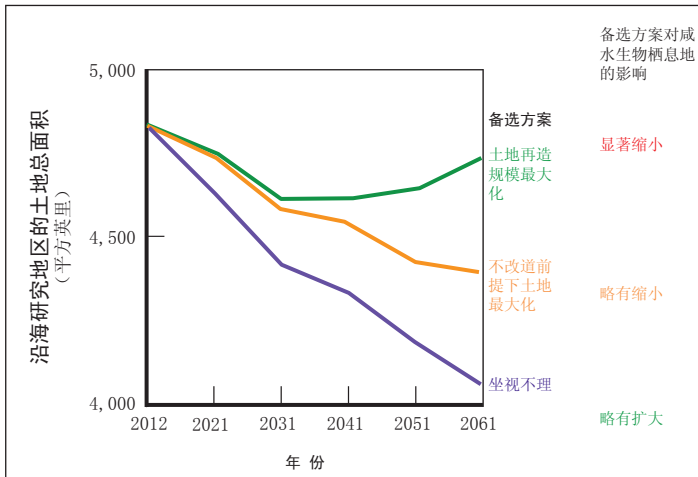


策制定者还面临除土地再造规模最大化之外的其他决策标准。一项关键标准是要维护墨西哥湾地区各种水生生物的栖息地，而大规模的泥沙改道可能会对这片栖息地造成影响。究其原因，这些项目长期来看对土地再造非常有效，但同时导致许多水生生物种栖息的浅滩湿地的盐度降低。

如图 3 所示，这种权衡反映为 2012 年至 2061 年期间土地面积的变化趋势及其可能对咸水生物栖息地造成的影响。“坐视不理”将导致大约 700 平方英里的土地流失，而咸水生物栖息地只是略有扩大。与此相反，“土地再造规模最大化”的备选方案，加以时日将使沿海土地面积趋于稳定，但咸水生物栖息地会显著缩小。规划工具还设计了另一种方案：“不改道前提下土地最大化。”虽然该方案只会导致咸水生物栖息地略有缩小，但却达不到路易斯安那州稳定沿海土地面积的目标。经过上述权衡分析，该州转而考虑其他的备选方案（本文未提及），即通过相对减少泥沙改道工程，在土地再造与争取保留所有的水生生物栖息地之间取得适度平衡。

可视化工具不会告诉政策制定者该选择哪一种方案，只是帮助其在取舍备选方案时可以直观地权衡利弊。在总体规划的决策过程中，政策制定者实际上需要了解在可持续发展这一最终目标的框架下平衡多种决策标准（而不只是咸水生物栖息地）的含义。

图 3. 对土地再造与咸水生物栖息地之间的权衡进行可视化分析



兰德公司的规划方法解决了路易斯安那州的问题，对其他地区也颇有裨益

这项工作创造了一个通过综合、客观、以分析为基础的规划来解决沿海紧迫挑战的成功案例。借助兰德公司的分析方法，路易斯安那州海岸保护与修复管理局制定了耗资达 500 亿美元的 50 年期总体规划。经过一番规划过程，当局和利益相关者从“硬件”（基础设施）和“软件”（修复和非结构性疏导）两个角度艰难权衡，探索有关沿海地区的适应力和可持续性发展的应对之道。同时，上述方法有助于当局思考未来的不同情景会对不同方法的效果产生何种影响。

此番制定的总体规划是路易斯安那州沿海地区第一份综合性解决方案，得到当地民众乃至从事墨西哥湾沿海保护工作的联邦、州和地方各级机构的广泛支持。该规划于 2012 年 5 月在路易斯安那州议会获得一致通过，目前正在实施中。此外，如果分析的基础架构到位，这种方法还可以帮助当局采取措施寻求长期融资，完善其短期实施策略，并随有关情况的发展变化适时调整总体规划。

本项研究还得出以下几项关键原则，或对其他的沿海规划工作有所助益：

- 确定旨在减少未来灾害和灾后恢复费用的一体化抗风险策略。
- 运用以最佳科学资料为基础的定量分析模型，评估未来多种不确定情景下的风险。
- 确定主要弱点，评估以软硬件基础设施为基础的策略以弥补这些弱点，并探索可应付未来不确定性的可靠策略。

- 向决策者和利益相关者提供关乎关键决策的实时信息，运用交互式可视化单元演示各种不确定性、成果、以及权衡因素。

路易斯安那州沿海只是美国要应对上述挑战的许多地区之一。举例来说，大西洋中部各州目前正面临类似的挑战，其在飓风“桑迪”过后亟待制定更加坚韧的海岸线规划。应用这种方法和相关原则，该地区可以将不同的目标或观点乃至可能相互冲突的技术分析吸收于一个框架之下，找出应付恢复工作和未来抵御风险的可靠策略。其他沿海地区也可以受益于该方法的应用，譬如，加利福尼亚州正试图解决其易受海平面上升影响以及萨克拉门托 - 圣华金河三角洲面临的其他威胁。

附注

- ¹ 《美国沿海流域市县的居住人口》修订本，美国国家海洋与大气管理局，2012年8月14日。截至2013年1月17日：
<http://stateofthecoast.noaa.gov/population/welcome.html>
- ² 《1851年至2010年期间美国最致命、代价最高、最强烈的热带气旋（附其他常用飓风文献）》，Eric S. Blak、Christopher W. Landsea 和 Ethan J. Gibney，佛罗里达州迈阿密：美国国家气象局、国家飓风中心和国家海洋与大气管理局技术备忘录，NWS NHC-6，2011年8月。截至2013年1月17日：
<http://nhc.noaa.gov/pdf/nws-nhc-6.pdf>
- ³ 《美国国家气候评估专用全球海平面上升情景》Adam Parris、Peter Bromirski、Virginia Burkett、Daniel R. Cayan、Mary Culver、John Hall、Radley Horton、Kevin Knutti、Richard Moss、Jayantha Obeysekera、Abby Sallenger 和 Jeremy Weiss，马里兰州银泉市：美国商务部、国家海洋与大气管理局、海洋与大气研究中心、气候项目办公室、国家海洋与大气管理局技术报告，OARCPO1，2012年12月。截至2013年1月17日：http://docs.lib.noaa.gov/noaa_documents/OAR/CPO/TR_OAR_CPO/CPO-1.pdf
- ⁴ 《全球气候变化对美国的影响：新知报道》，全球变化研究项目，英国剑桥：剑桥大学出版社，2009年。截至2013年1月17日：<http://www.globalchange.gov/usimpacts>
- ⁵ 《关于路易斯安那州沿海可持续发展的总体综合性规划》，美国路易斯安那州海岸保护与修复管理局，路易斯安那州巴吞鲁日，2012年5月22日。截至2013年1月17日：
<http://www.coastalmasterplan.louisiana.gov/2012-master-plan/final-master-plan/>

This is a Chinese translation (simplified) of “*Addressing Coastal Vulnerabilities Through Comprehensive Planning*” (RB9696)

本研究简报记述了兰德司法、基础设施及环境部门开展的研究工作，并收录于《关于支持路易斯安那州沿海保护和修复决策的规划工具：技术说明》，David G. Groves、Christopher Sharon 和 Debra Knopman，TR-1266-CPRA（可点击查看 http://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR1266.html），2012 年；以及《路易斯安那州沿海风险评估模型及 2012 年沿海总体规划分析结果》，Jordan R. Fischbach、David R. Johnson、David S. Ortiz、Benjamin P. Bryant、Matthew Hoover 和 Jordan Ostwald，TR-1259-CPRA（可点击查看 http://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR1259.html），2012 年。兰德公司是一家致力于通过研究与分析来改善政策和决策的非营利性研究机构。兰德公司的出版物未必代表其研究客户和赞助商的观点。RAND® 是兰德公司的注册商标。



OBJECTIVE ANALYSIS. EFFECTIVE SOLUTIONS.

兰德公司是一家致力通过研究与分析来改善政策和决策的非营利性研究机构。

作为兰德公司的一项公共服务，本电子文档可在 www.rand.org 下载。

更多信息

请浏览兰德公司网站 www.rand.org

浏览 [文件详情](#)（英文）

有限电子版发行权

本文件和文中所载商标受后文通知中所提及法律的保护。本电子文档的知识产权归兰德公司所有，不得用于商业用途。未经授权，严禁在非兰德公司所属网站发布兰德公司的电子文档。兰德公司的电子文档受版权法的保护。未经许可，不得复制或以其他形式将兰德公司的任何研究文献用于商业用途。有关翻印和链接授权的信息，请查询兰德公司涉及 [授权许可](#) 的网页。