



支持中国气候适应型试点城市建设项目： 威海市2035议程关键建议



GLOBAL
CENTER ON
ADAPTATION



Ministry of Infrastructure
and Water Management
of the Netherlands



支持中国气候适应型试点城市建设项目： 威海市2035议程关键建议



GLOBAL
CENTER ON
ADAPTATION



Ministry of Infrastructure
and Water Management
of the Netherlands



作者 & 致谢

本报告来自以下单位：

鹿特丹伊拉斯姆斯大学住房与城市发展研究所 (IHS)

全球适应中心 (GCA)

荷中商务促进有限公司

作者

柯茜 | 张雅京 | 张玉佳

致谢：

谨向威海市政府致以诚挚感谢，感谢他们在整个项目中对我们的支持与合作。他们的独特的见解为塑造我们的研究与建议增添珍贵价值。

同时向全球气候适应中心(GCA)表达衷心谢意，感激他们慷慨支持与指导。他们的专业知识与资源对本研究的成功发挥了重要作用。

另外，特别感谢中国生态环境部出色的支持和指导，生态环境部在处理气候变化适应问题和加强城市韧性方面的领导和参与至关重要。

感谢所有参与者针对提升山东威海市城市韧性方面所付出的奉献与协助，这也是中国2035战略愿景的一部分。



关于鹿特丹伊拉斯姆斯大学住房与城市发展研究所

住房与城市发展研究所 (Institute for Housing and Urban Development Studies, IHS) 是鹿特丹伊拉斯姆斯大学的城市管理国际研究所。IHS拥有多学科的教师团队，包括经济学家、规划师、工程师、建筑师、社会学家、地理学家、治理与管理专家等，他们致力于应对城市中的复杂挑战，并与合作伙伴紧密合作，以实现综合性和全面的解决方案。



关于全球适应中心

全球适应中心 (GCA) 是一个由荷兰领导的国际组织，它作为解决方案的中介，与公共和私营部门合作，加快从国际到地方的适应解决方案的行动和支持，以确保我们相互学习，共同建设具有气候适应能力的未来。该中心通过伙伴关系运作，旨在整合资源和智慧，推动全球范围内的气候变化适应策略，确保所有社会都能有效应对气候挑战，保护自然环境与人类福祉。

目录

序言	10
执行摘要	11
1. 介绍	12
1.1. 背景	12
1.2. 中国的气候适应经验	13
1.3. 威海市特征	14
1.3.1. 地理	14
1.3.2. 气候模式和环境风险	15
1.3.3. 水文特征	16
1.3.4. 自然和经济资源	16
1.3.5. 气候适应规划	17
1.4. 报告目标	17
2. 城市气候韧性路线图	18
2.1. 气候风险评估	18
2.1.1. 气候预测	19
2.1.2. 气候灾害评估	20
2.1.2.1. 快速评估	20
2.1.2.2. 高级评估	22
2.1.3. 气候影响评估	23
2.1.3.1. 财产	24
2.1.3.2. 人口	26
2.1.3.3. 服务	26
2.2. 战略发展、规划和优先次序	27
2.2.1. 指南和原则	27
2.2.1.1. 灾害风险管理	27
2.2.1.2. 韧性规划	28

2.2.2.	战略发展	28
2.2.2.1.	目标和战略	28
2.2.2.2.	利益相关方参与及合作	30
2.2.3.	战略选择和优先级	33
2.3.	实施、监测和融资	35
2.3.1	制定行动计划	35
2.3.1.1	制定潜在行动	35
2.3.1.2	利益相关方责任	35
2.3.1.3.	行动时间安排	39
2.3.2.	监测与评估	42
2.3.2.1.	利益相关方参与	42
2.3.2.2.	行动结果	42
2.3.3.	融资机会	44
2.3.3.1.	公私合营伙伴关系	44
2.3.3.2.	保险与再保险考虑	44
2.3.3.3.	其他资源	45
3.	建议和总结	46
	参考文献	47
	附录	48
	术语	51

图例

图 1 威海市环翠、文登、荣成和乳山的行政边界	14
图 2 威海市数字高程 数据来源	15
图 3 1993年至2023年期间威海的平均温度和降水量	15
图 4 从气候风险到气候韧性发展：交叉与趋势	19
图 5 威海未来关键气候因素：气温、降水、海平面上升和台风	20
图 6 威海市雷电易发区域分布图	22
图 7 威海市基于海拔高度的风险等级空间分布图	23
图 8 风暴潮事件期间的脆弱性结果	25
图 9 利益相关方权益网格	32

表格

表 1 气候风险评估中的拟议影响类别	24
表 2 威海气候适应战略提议	30
表 3 战略选择和优先级标准	33
表 4 根据抗灾能力和资源强度确定战略的优先次序	34
表 5 与气候适应战略相关的拟议行动，以及被指定发挥主导或支持作用的相应利益相关方	36
表 6 短期、中期和长期行动安排	40
表 7 根据时间表采取行动的适应指标	42

缩写

CBA	成本收益分析
CCDMF	中国清洁发展机制基金
CDM	清洁发展机制
CEA	成本效果分析
DDF	深度-持续时间-频率
DRM	灾害风险管理
DSM/DEM	数字地表/高程模型
EAD	预期年损失
FPMs	基于全物理过程的模型
GCA	全球适应中心
GIS	地理信息系统
IoT	物联网 (IoT)
KPIs	关键绩效指标
LID	低影响开发
MCA	多标准分析
MEE	中国生态环境部
MOHURD	中国住房和城乡建设部
NDRC	国家发展和改革委员会
RCPs	代表性集中途径
RP	回归期
RPMs	约化物理模型
SSPs	共同社会经济路径
NCCAS	国家适应气候变化战略

序言

气候变化乃人类未来之极大威胁。其所带来之风险在世界三角洲扩大，其中栖息着全球近十分之一的人口。

海平面上升、风暴加剧和洪水增加威胁着这些地区的基础设施、农业和生计。为警惕这些风险，中国于2017年发起了一项开创性的倡议，将试点城市转变为城市气候复原力的典范。

目前，已有39个试点城市参与此重要适应性倡议，这表示中国韧性城市网络正在全面扩展，抵御气候风险的能力不断增强，并为城市可持续发展树立全球榜样。

我对全球适应中心能够为我国制定出色的《国家适应气候变化战略2035》提供技术支持深感荣幸。随该战略的制定，中国正在采取必要措施，为保护人民生活 and 生计不受气候影响进行重要投资。

更使我感到喜悦之事，我们正在支持山东省威海市制定城市气候适应建设路线图，以指导威海制定适应城市规划，希望该路线图也能惠及中国气候适应型试点城市建设项目下其他试点城市。

气候适应是一项增长议程，亦为一项促进可持续发展的议程。通过创建韧性城市，我们将为全人类创造更安全、更繁荣的未来铺平道路。

中国领导力是全球气候适应成功的关键。依照本报告所示，GCA将持续作为中国坚定的合作伙伴与支持者，积极应对气候变化对中国沿海地区的影响。



Patrick Verkooijen

帕特里克·费尔科延教授
全球适应中心
首席执行官

执行摘要

2022年，中国发布了《国家适应气候变化战略2035》。并于2023年发布了《关于深化气候适应型城市建设试点的通知》，其鼓励各省份和城市基于各自的具体情况，制定针对性的气候适应行动计划。选定的试点城市将在积极探索气候适应型城市建设路径和模式方面发挥积极示范。威海市正是2024年最新确定的39个试点城市之一。

本报告旨在为威海市2025 - 2035年期间的气候适应型城市建设以及开展气候适应行动提供战略指导，以支持和推动威海市在适应气候变化方面的工作。

本报告特别指出气候风险评估的重要性，并概述了开展评估的具体步骤。首要应进行气候预测，关注极端气温、海平面上升、极端降水、台风和降雪等关键气候因素。为绘制有效未来气候风险图，建议建立气候风险数据库并提高数值建模技能，以模拟各种气候风险情景。除灾害评估之外，报告还建议威海在脆弱性评估中重点考虑财产、人口和服务等对威海市影响最大的领域，例如根据历史数据或全球数据制定脆弱性曲线和建筑清单，并根据专家意见进行调整。

此外，空间规划应与城市气候适应规划相协调。建筑规范和新开发区土地利用规划的规章制度，可以成为有效的气候变化适应措施。

最后，《威海市气候适应型城市建设试点实施方案》并未突出灾后恢复规划，本报告建议增加分部门的灾后恢复规划内容，且资金支持是该规划的重要组成部分。对于高风险地区个人和行业，保险可以增强恢复能力，巨灾保险可以减轻政府在灾后恢复方面的财政压力。

通过策略建议的综合实施，威海能够增强应对气候相关挑战的能力，实现可持续发展并居民生活水平提升。此外，威海市的措施经验不仅可以保护其基础设施和经济，还可以为其他地区提高气候适应能力的城市提供借鉴。

1. 介绍

1.1. 背景

气候变化已成为人类面临的重大挑战之一。自1880年以来，全球每十年平均气温约上升 0.07°C ，而自1981年以来，上升速度更是加倍，达到每十年约 0.18°C 。由于我们经济系统和基础设施固有的排放模式，全球变暖已对气候系统产生难以逆转的影响。从1955年至1990年的35年间，全球平均每年发生五次与气候相关的灾害事件，造成的损失约为100亿美元。目前，每年与气候变化相关的经济损失已超过2500亿美元。

气候变化对水资源的影响日益显著，而水资源一直是支撑人类文明和经济发展的关键因素。水不仅是地球生态系统的核心，也是经济增长和人类进步的基石，对人类健康、食品生产、发电、环境保护和创造就业至关重要。随着气候变化加剧，我们将面对更多极端天气事件，如洪水和干旱，伴随着一系列直接影响水资源数量和质量的变化的。

三角洲是河流和海洋交汇处的肥沃地带，在全球经济中扮演着不可或缺的角色。在这里居住着5亿多人口，约占全球人口的8%，是许多人口稠密城市的所在地。这些三角洲不仅是人口中心，也是全球经济重要推动力，贡献约全球GDP的14%；然而，三角洲的这些特征使其易受气候变化的影响。

中国的三角洲和沿海地区对社会经济发展至关重要。中国幅员辽阔，拥有山东半岛、长江三角洲和珠江三角洲等重要沿海和三角洲地区。这些地区居住着数亿人口，对中国经济做出了重大贡献。例如，长江三角洲地区，以上海、杭州和南京等城市为代表，经济实力雄厚，约占中国国内生产总值的20%。同样，以广州、深圳和香港为核心的珠江三角洲也是全球重要的制造业和贸易中心。

由于城市化和经济快速发展，中国沿海和三角洲地区面临气候变化的高风险。由于海平面上升、极端降水和洪涝频繁等因素，这些地区的基础设施、农业和民生面临巨大风险。为了积极应对这些气候挑战，中央政府发起了一项开创性的倡议，着眼于将选定的试点城市发展成为适应和抵御气候变化的示范区。

自2017年以来，中国政府积极推动气候适应型城市试点建设，促进气候适应领域革新方法和最佳实践的发展。这一过程中，中国不断深化和完善各类城市的气候适应模式，显著提升了城市适应气候变化的理念和能力。截至2023年9月，中国生态环境部与其他七部委联合发布通知，鼓励更多城市积极应对和参与气候适应行动。该通知重点强调应对极端天气事件、海平面上升和水资源短缺等多样气候风险的措施，旨在设计可在全国范围推广和复制的有效解决方案。

本项目得到了国际三角洲和沿海地区小组（IPDC）的大力支持。IPDC由荷兰基础设施和水资源部创建，并与Deltares和GCA等组织合作。IPDC的核心策略是推动三角洲、沿海地区和小岛屿的气候适应性发展。为此，IPDC积极促进国际合作和伙伴关系建立，发展和分享关于气候风险和建设气候韧性的尖端知识和技术。此外，IPDC还向决策者提供科学意见和专家指导，分享最佳实践、投资机会以及融资策略。

1.2. 中国的气候适应经验

中国将气候变化的适应和减缓工作放在同样重要的地位，高度关注气候适应工作，自2007年起便提出了积极应对气候变化的国家战略。例如，中国在“十二五”规划（2011-2015年）中将适应气候变化纳入国民经济和社会发展规划。此外，中国还发布了《国家适应气候变化战略》（2013年）和《国家适应气候变化战略2035》（以下简称《适应战略2035》），旨在推动重点领域和地区加强适应行动，不断提升适应气候变化的能力。

《适应战略2035》基于对气候变化风险和适应工作的深入评估，规划了基本原则，包括“主动适应、预防为主；科学适应、顺应自然；系统适应、突出重点；协调适应、共同治理”。其主要任务包括：加强气候变化监测、预警系统和风险管理；提升自然生态系统适应气候变化能力；增强经济和社会系统适应能力；建立地区适应气候变化框架。战略规划了2025年、2030年和2035年三个阶段的全面适应计划，为未来气候适应行动提供了战略基础和指导。

在《适应战略2035》中，有四个本报告着重提及的关键点：1)提升早起预警及监测系统，以及风险管理；2) 将“城市 and 人类居住区”维度纳入经济和社会系统；3) 将适应气候变化纳入国家空间规划；4) 促进跨部门协作。《中国落实国家自主贡献成效和新目标新举措》（联合国气候变化框架公约，2022年）指出，中国将在关键地区（城市、海岸侵蚀区、青藏高原等生态区）和重点领域（农业、森林、草原、水资源、基础设施和公共卫生）采取行动以积极适应气候变化。

为实施《国家适应气候变化战略》（2013年），中国于2016年印发《城市适应气候变化行动方案》，并于2017年确定了28个第一批气候适应型城市试点名单。然而，中国仍面临气候风险意识不足、工作机制不完善、资源投入和行动力度有待加强、适应能力提升等挑战。因此亟须进一步深化气候适应型城市试点工作，探索总结适应型城市建设路径和模式，以提升城市气候变化适应能力，为推动全球气候变化适应进程做出中国应有贡献。

2024年，中国生态环境部联合国家有关部委公布了39个试点城市（区），旨在强化气候风险评估，完善实施行动计划，细化重点任务和措施。威海市因其在适应气候变化领域较好的工作基础，以及具有代表性的沿海地理位置，被选为试点城市之一。

1.3. 威海市特征

本节概述威海与气候变化相关的自然条件，涵盖地理、气候、环境和水文条件，以及经济特色，并介绍威海的气候适应规划。

1.3.1. 地理

威海地处我国大陆海岸线山东半岛最东端，北、东、南三面被黄海环抱，拥有5,822平方公里的总面积以及291万人口（威海市统计局，2023年）。城市中心占地2607平方公里。威海西面与烟台接壤，东侧与朝鲜半岛和日本列岛隔海相望。

威海拥有长达968公里的海岸线，这里是渔具、轮胎、地毯、医用制品、印刷机器和新材料等重要产业的中心，繁忙的威海港在贸易和海事活动中也占据重要战略地位。就经济而言，威海城区人口密度大，建筑密度高，市辖环翠区、文登区、荣成市和乳山市（图 1）（威海市统计局，2023年）。

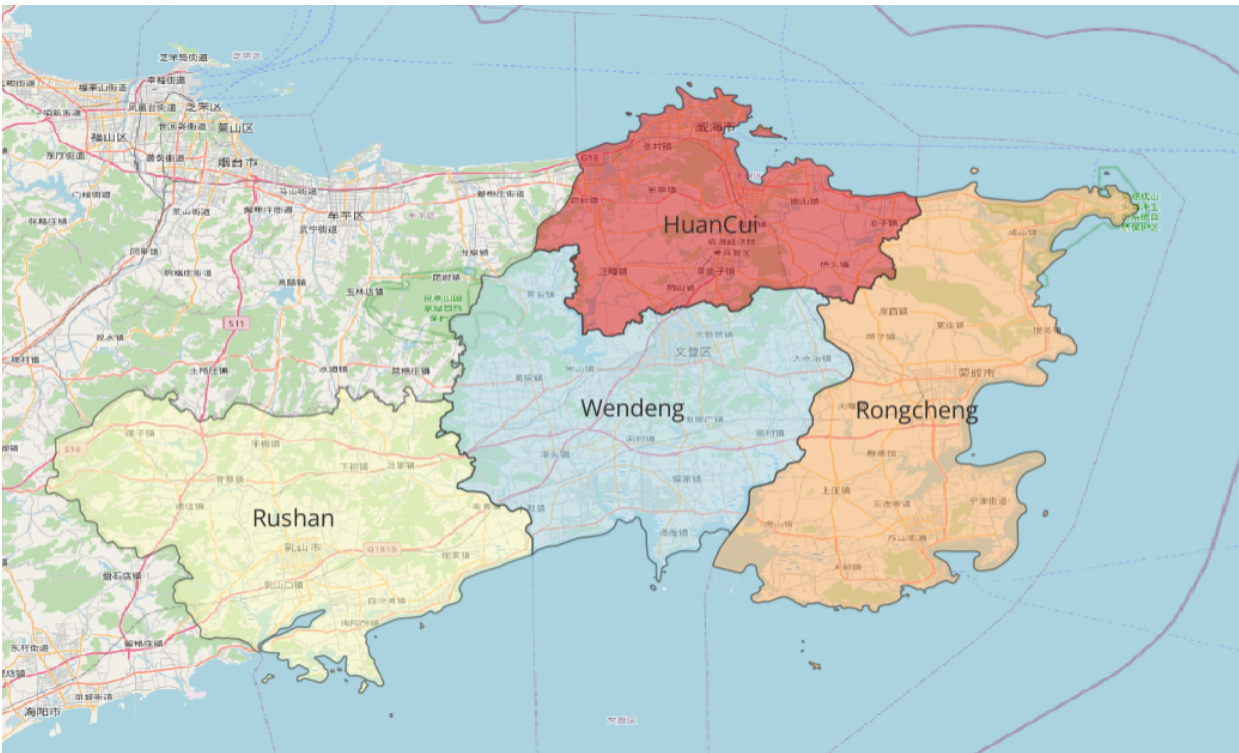


图 1威海市环翠、文登、荣成和乳山的行政边界

威海市的海拔平均在1.58米至912米之间（图 2）。海岸线内陆2公里范围内地势较平坦，平均海拔在10-15米左右。地势海岸低，向内陆逐渐过渡为多山区域，海拔可达200米。其中，海岸线内陆2公里范围内的海岸平原由于地势低洼，特别容易受台风风暴潮的影响。

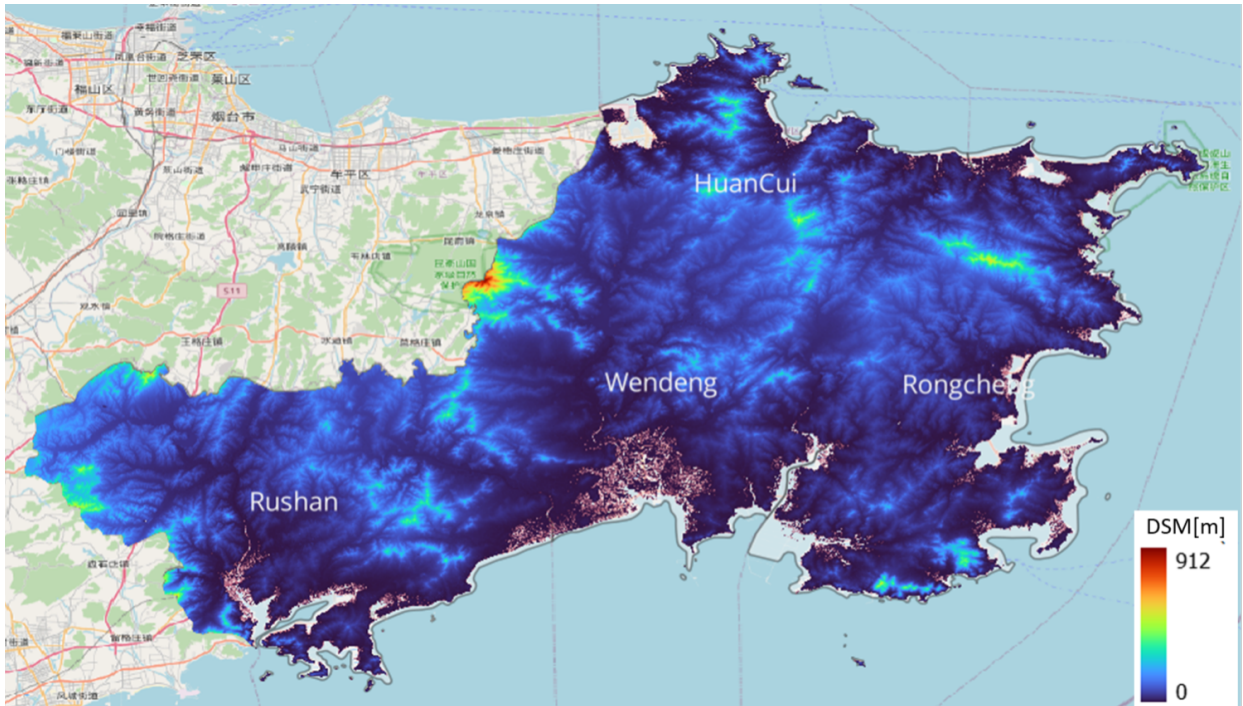


图2 威海市数字高程 数据来源：ALOS World 3D - 30m (AW3D30) 版本3.5.

1.3.2. 气候模式和环境风险

威海市地处中纬度，属于北温带季风型大陆性气候，四季变化和季风进退都较明显。与同纬度内陆地区相比，具有雨水丰富的特点。另外，受海洋的调节作用，具有春冷夏凉等海洋性气候特点。秋季随着北方地区冷空气活动频繁，降雨量也呈现出明显的季节性差异（图 3），并且偶尔受台风的影响；冬季受蒙古高压和极地大陆团控制，多偏北风，且天气寒冷干燥。

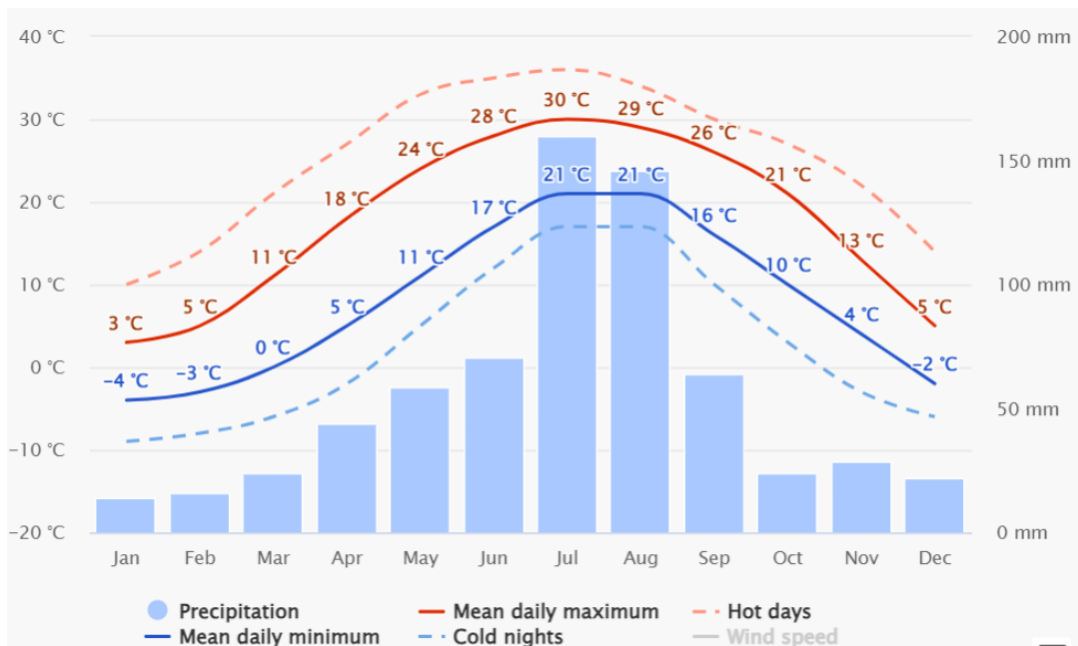


图 3 1993年至2023年期间威海的平均温度和降水量（数据来源：meteoblue）

自1970年代以来，威海市年平均气温呈显著上升趋势，线性拟合增长率为 $0.26^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ，其中2011年至2020年是有记录以来最热的十年，同时降水量呈现下降趋势。预测这一趋势将持续到21世纪中叶，气候变化对经济社会发展和人民生活安全造成的风险将日益增加。

2023年6月26日的极端天气事件凸显了威海的脆弱性。强降水引发大面积洪涝，是威海市有史以来的最强降水，全市24小时内平均降水量达到77毫米，累计降水185.7毫米，远高于历年同期。尽管累积降水量较去年略有下降，但地势低洼的地方易发内涝等挑战，亟须加强气候适应措施，减少气候风险和脆弱性。

1.3.3. 水文特征

根据山东省水文地质分区，威海地区属鲁东低山丘陵松散岩、碎屑岩、变质岩类水文地质区。根据水文地质条件差异，分为胶北隆起北坡水文地质亚区和胶南、胶北隆起南坡水文地质亚区，每个亚区各包含一个小区，分别为威海低山丘陵裂隙水水文地质小区和乳山—荣成低山丘陵水文地质小区。

根据该地区的地下水、岩性和水文特征等文地质条件，含水层可分为松散岩类孔隙含水层和基岩裂隙含水层 (Liu, 2021)。多孔含水层主要分布在丘陵和谷地边缘，由约5米的粘土砾石层组成，地下水水位高度约为1.8米。单井的出水量不超过100立方米/天。地下水水质通常较好，属重碳酸钙、氯化物、钙、镁型，矿化度小于1克/升。

1.3.4. 自然和经济资源

- **海洋资源：**海岸线长达968公里，是中国重要的渔业生产基地。威海还是国家级船舶出口基地，拥有强大的造船和港口吞吐能力。
- **旅游资源：**拥有刘公岛、成山头国家重点风景名胜区等众多旅游景点，每年吸引超过2800万游客，推动当地旅游产业的发展。
- **土地资源：**土地总面积为582200公顷，主要用于农业（约占78%）和建设（约占22%）。全市实际耕地为16.27万公顷，其中永久基本农田面积为16.27万公顷。
- **水资源：**威海域内没有大江大河，水资源主要来源于大气降水，地表水供水量10.68亿立方米，地下水总储存量约6.29亿立方米。
- **矿产资源：**拥有丰富矿产资源，包括能源矿产、金属矿产、非金属矿产以及水气矿产，支持威海市的经济和工业发展。
- **生物资源：**威海市具有丰富的海洋生物资源，特别是在浅海和潮间带，各种生物资源种类繁多、分布广泛、资源量大。
- **自然保护地：**威海市不断优化自然保护地，现共有自然保护区、地质自然公园、湿地自然公园、海洋自然公园等19处，保护生物多样性和生态平衡。
- **农业经济：**威海的农业在经济中发挥着重要作用，全市实有耕地总面积为16.38万公顷（威海市统计局，2023年），农村劳动力大多从事农业生产，威海市实施了保险等各种农业支持政策，促进农民收入持续稳定增长。

1.3.5. 气候适应规划

近年来，气候变化已成为威海面临的重大挑战之一，对与水相关的灾害、经济增长和城市化产生深远影响。为有效应对这一系列挑战，威海市已展开连续五轮城市规划，专注于增量空间开发和城市安全韧性。2022年12月16日，威海市应对气候变化领导小组发布《威海市“十四五”应对气候变化规划》（威海市，2022年），旨在引领城市提升自然生态系统，促进经济社会适应气候变化。该计划强调优化水资源管理，加强农业和卫生部门的适应能力，提升城市气候保护能力，并强化气候预测、预警和应急响应能力。另外，《威海市国土空间总体规划（2021—2035）》明确突出水安全和基础设施发展，旨在实现在气候变化背景下的可持续发展和社会稳定。尽管在灾害管理和气象观测方面取得一定成就，但依然面临挑战，例如责任划分不明、工作机制低效，以及气象预测和预警系统准确性有待提升。威海市致力于实现对气候变化的有效适应，通过提升城市韧性减少气候变化对城市发展的影响。2023年，威海市申报气候适应型城市建设试点，在《威海市气候适应型城市建设试点实施方案》中，明确提出实现2025年整体气候适应目标的20项指标，主要涵盖治理体系、气候监测和预警、风险评估和灾害应急机构管理，以及气候风险意识教育、降低气候风险、应急管理和生态恢复等关键行动。

1.4. 报告目标

本项目的总体目标是积极支持中国城市适应气候变化，以及《适应战略2035》的有力实施。在具体层面上，项目旨在向威海市提供技术支持，努力增强城市对气候变化的韧性，促进城市在规划、设计和实施方面具备气候韧性的政策和项目，有效提升城市的韧性、适应性和应对能力，为迎接未来气候挑战做好充分准备。

此外，通过为2025年至2035年期间适应气候变化工作提供战略指导，进一步丰富《威海市气候适应型城市建设试点实施方案》，聚焦于气候风险评估和城市韧性规划领域的指导。

2. 城市气候韧性路线图

城市气候韧性路线图是一项战略计划，概述了在特定时间框架内提高一个地区或一个系统韧性的目标、预期成果和活动。路线图应概述拟议任务和优先行动事项，并允许对进展情况进行监测和评估。本路线图报告将就如何规划气候适应行动并确定其优先次序提供操作指导，并明确威海市不同部门在2025-2035年时间框架内的职责。此外，报告还将为面临类似气候风险的中国其他城市提供气候适应建议。

气候适应指南和行动计划应建立在气候风险评估的基础上，进而制定全面的、覆盖全市的、多灾害适应战略。尽管《适应战略2035》强烈建议为气候适应进行气候风险评估，但缺乏详细的实施说明，尤其是这项任务需要跨部门合作。下文将概述进行气候风险评估的步骤。

2.1. 气候风险评估

需要注意的是，本报告不会对气候风险进行评估；相反，它将为在数据可用时如何进行气候风险评估提供指导。附录概述了气候风险评估所需的数据清单。

首先，必须了解风险的概念，它通常被描述为三个要素的组合：危害、暴露和脆弱性（Br ü ndl 等人，2009 年；经合组织，2021 年）。根据 IPCC 报告：

- **危害**是指可能造成生命损失、伤害或其他健康影响，以及对财产、基础设施、生计、服务提供、生态系统和环境资源造成破坏和损失的自然或人为物理事件或趋势的可能性（IPCC，2021 年）。
- **暴露**是指在可能受到不利影响的地方和环境存在人员、生计、物种或生态系统、环境功能、服务和资源、基础设施，或经济、社会或文化资产（IPCC，2021 年）。
- **脆弱性**是指受到不利影响的倾向或趋势。脆弱性包含各种概念和要素，包括对损害的敏感性、易感性，以及应对和适应能力（IPCC，2021 年）。

通过综合考虑这三个要素，我们可以更好地理解和管理风险，制定有效的战略来降低风险的可能性或影响，并提高系统和社区的整体恢复能力。

另一个概念是气候风险，它指的是由于气候（由内部和外部迫使）多变性而对社会、经济或环境造成损害的可能性，涵盖各种危害，从恶劣天气事件到气候模式的逐渐变化。这些风险可以通过多种方式表现出来，干扰企业、供应链、基础设施和更广泛的经济。气候风险是分析潜在损失和损害的重要起点。本报告采用政府间气候变化专门委员会（IPCC）对气候风险的定义，即气候风险是与气候相关的危害、人员和资产的暴露程度以及对这些危害的脆弱性的函数（IPCC，2022 年）（图4）。当灾害、暴露和脆弱性相互交织时，气候风险后果就会凸显，影响生命、生计、健康、福祉、生态系统、社会和文化资产、服务（包括生态系统服务）和基础设施（IPCC，2018 年）。虽然这些影响正负皆有，但本报告主要于负面影响。

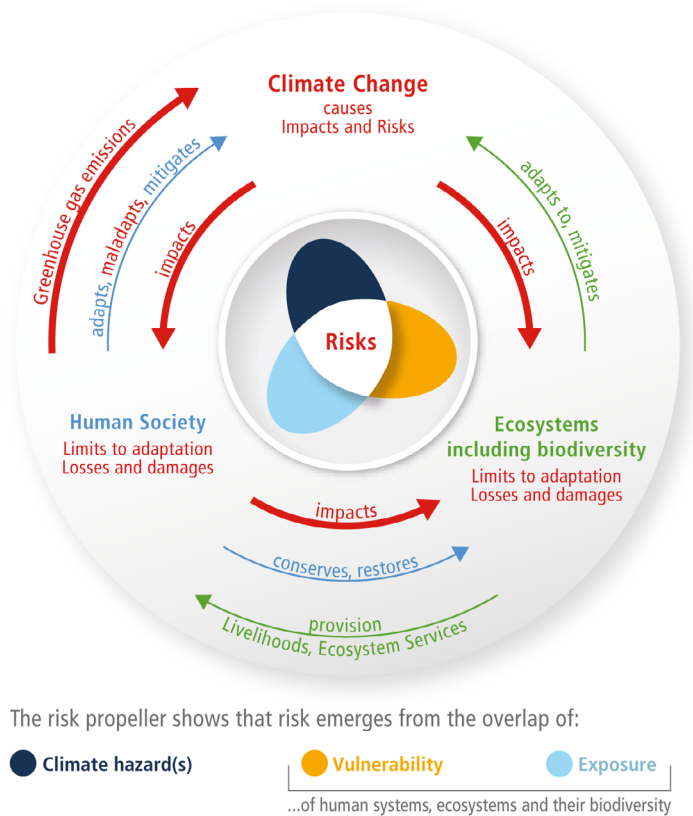


图4 从气候风险到气候韧性发展：交叉与趋势（IPCC，2022年）

此外，除准确了解气候风险之外，开展多种灾害风险评估也是制定气候适应和城市抗灾战略的关键步骤。评估过程主要包括两个主要步骤：（1）危害识别和评估；（2）影响评估。危害识别和评估包括识别可能影响被评估地点或系统的所有潜在危害。影响评估则是通过综合脆弱性和暴露程度，分析这些危害可能造成的不利后果。此外，气候风险评估还涉及制定假设情景，因为随着时间的推移，气候变化、技术进步、政策变化和社会经济发展的不确定性是未来不可预见的固有因素，这将在下一节中讨论。

2.1.1. 气候预测

本节旨在强调威海市气候预测发展的紧迫性。在编制本报告时，未能获取关于威海气候预测的官方报告，但已发现威海市平均气温在过去50年间每十年上升0.26摄氏度，海平面每年上升2.9毫米。据预测，到2050年，山东省气温将持续以每十年0.3摄氏度的速度上升。

气候变化的动态进程充满不确定性，正如社会经济发展和人类对气候变化的反应。在预测未来的气候风险时，必须考虑相关动态因素及其对风险结果不同程度的影响，而制定和利用情景可以帮助我们了解未来的可能情境。IPCC 根据温升和社会经济发展趋势，提出了不同的代表性浓度路径 (RCP) 和共享社会经济路径 (SSP) 情景。由于技术进步、政策变化和社会经济发展本身具有不可预见性，因此很难估计威海未来气候风险的变化模式，例如气候风险转移、再分配和演变均存在很大的不确定性。因此，未来情景分析应侧重于将本地数据与全球预测相结合，以制定既有效又切合实际的应对措施。

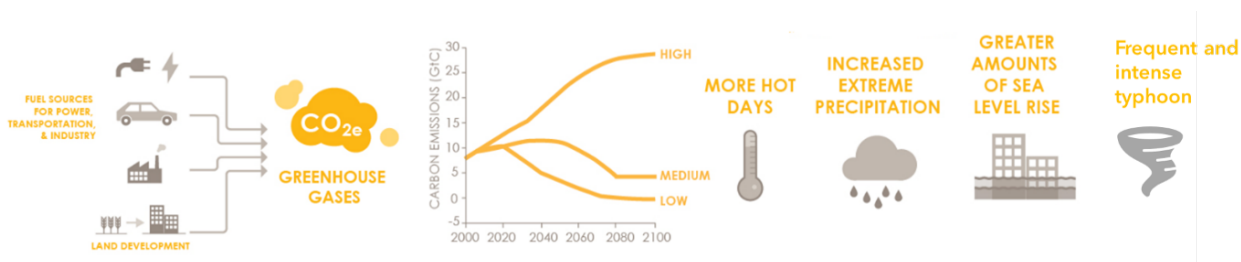


图5威海未来关键气候因素：气温、降水、海平面上升和台风

2011年至2020年间，威海气温以2.6摄氏度的速度上升，预计威海市变暖趋势将持续到21世纪中叶。台风在气候尺度上的变化会导致风速、风暴潮水位和海浪高度增加，严重威胁海堤等沿海基础设施。

在全球范围内，Knutson等（2010年）预计距热带气旋中心100 km区域内的降雨率增加约20%。此外，研究发现自1949年以来，热带气旋的移动速度已减慢10%，造成了降水事件的强度增加（Hall和Kossin，2019年；Kossin，2018年）。因此，预计威海市的台风降水量也呈上升趋势。

尽管气候变暖不会直接导致降雪量增加，但在气候较暖的情况下，大气的持水能力增加，可能导致以降雪形式出现的额外降水量。根据Quante等人（2021年）的研究，在未来数十年内，极端降雪事件很可能成为气候变化的重要影响因素。尽管这类事件发生的频率可能会减少，但在本世纪后半期仍可能呈现高强度。

因此，为更全面地了解气候变化对本地区的影响，当务之急是达成威海气候预测共识，重点关注极端气温、相对海平面上升、极端降水、台风和降雪等因素对威海可能造成的内涝、沿海洪水、冰雹和暴风雪等气候灾害的主要驱动因子。

2.1.2. 气候灾害评估

气候灾害评估综合考虑城市的历史趋势、现状和未来预测情景，以确定主要灾害的概率、强度和时空分布。本报告主要聚焦于预计会对威海市造成严重风险的主要气候灾害，包括内涝、台风引发的复合洪水、冰雹和暴风雪等（威海市，2023年）。

2.1.2.1 快速评估

在气候变化风险定量评估中，因可用数据和资源有限，建议采用快速方法估算特定事件的发生概率和强度。

可以考虑以下步骤：

1. 确定相关气候灾害

与城市潜在相关的气候灾害。如前所述，威海主要气候灾害是**内涝、台风引起的复合洪水、冰雹和暴风雪**。其他气候灾害如干旱、热浪、雷暴、滑坡等在威海被视为次要灾害。

特别注意：

- **内涝**：由于强降雨或连续性降雨超过某一地区的排水能力导致该地区内产生积水灾害的现象。
- **台风引发的复合洪水**：天文大潮、风暴增水和强降雨的同时出现致使沿海潮位增高，潮位顶托作用阻碍洪水下泄，导致排水不畅，引起洪涝灾害。
- **冰雹**：从雷雨云中降落的坚硬的球状、锥状或形状不规则的固体降水，大小不等。空气中水滴被强大上升气流形成的雷暴带到高空，遇冷凝结成冰雹粒子，吸附空气中水分形成冰雹。
- **暴雪**：降水量超过一定阈值的降雪。2023年12月，威海文登区积雪深度达到突破极值的74厘米，打破山东全省最大积雪深度纪录。

2. 评估频率与强度

概率是指以数学方式衡量灾害事件发生的可能性。它根据对历史统计数据 and 资料的公式计算和量化处理，衡量估算特定区域发生灾害事件的概率。年发生频率可视为逆概率，代表特定灾害每年发生的可能性，可以科学数据、历史资料，或政府记录为评估基础。年化频率可计算某个地理区域（如：威海市）在已知记录周期内（如：每年）气候相关灾害的发生次数，计算公式如下（FEMA, 2023年）：

$$\text{年化频率} = \text{记录危害事件数量} / \text{记录周期}$$

强度表征灾害发生时的严重程度，通常根据承灾体（人口、建筑物、基础设施、土地利用类型等）暴露图，或者科学数据、历史资料或政府记录进行估算。例如，威海市沿海洪水可能由台风引起的风暴潮和海浪灾害造成，漫堤和防洪御系统失效的严重影响社会和农业系统。短时间内的降水量造成的内涝，给社会生活带来不便，可能导致商业和交通中断，从而形成重大事件。

建议分析各城区易发气象灾害的发生频率，分别绘制空间分布图。此外，为更精确地识别灾害区域，可缩小比例尺（如：街道级别）。图6展示了威海雷电频发地区的空间分布。红色代表高频、橙色代表中频、黄色代表低频，绿色代表极低频区域。理想情况下地图还应包含强度分布，闪电强度可用地闪密度或频率等指标来衡量。闪电数据可作为冰雹和风切变的替代数据，也可用于降水估算或雷暴预报等衍生产品中（《气象学》，2015年）。

威海市雷电易发区域分布图

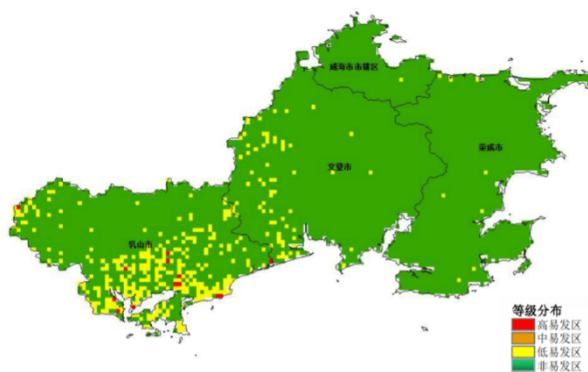


图6威海市雷电易发区域分布图(威海气象局, 2024年)

威海应绘制与气候相关事件的频率和强度地图，特别是内涝、台风引发的复合洪水、冰雹和暴风雪。

2.1.2.2. 高级评估

内涝：可以借助水力模型（如 SOBEK1D2D、HEC-RAS、MIKE1D2D、Inforworks）模拟威海市内/郊区的洪水流量、水位和流速，生成洪水淹没区域图。将根据现有的 DEM 和河流断面开发 1D-2D 和/或全 2D 组合模型。水力模型的主要输入数据包括：1) DEM/DSM 和河流剖面的几何形态（若 DEM 不包括河床）；2) 区域内桥梁、堤坝、闸门、涵洞等水利结构（若有）；3) 河床粗糙度信息；4) 上游边界（流入量）将从水力模型中导出，模型将根据站点观测的水位进行校准。

在模拟内涝的过程中，可结合一维河网水流模型与二维地表水流模型，根据威海市 GIS 信息建立一维排水管渠系统模型。建模需要收集沙井位置、井深、管道布局，一维排水模型还可通过结合地表 DEM/DSM 与二维地表水流模型进行耦合。输入数据将是研究区域内作为回归期（RP）函数的降水强度。在模拟降雨的过程时，可参照《威海市城市排水（雨水）防涝综合规划（2013-2035年）》中的水文模型生成深度—持续时间—频率（DDF）曲线。以降水持续时间为3小时为例，降雨事件的 RP 将设定为2、5、10、25、50、100至200年。

对于**台风引起的复合洪水**，淹没模拟的对象是降水、径流、风暴潮、天文大潮和波浪等极端或综合灾害造成的高水位结果。Leijnse 等（2021年）提出了沿岸洪水淹没模拟的三种方法：简单模型、简化物理模型（RPMs）和基于过程的全物理模型（FPMs）。简单模型将大尺度水动力模型（如全球模型；Verlaan 等，2016年；Kirezci 等，2020年）和静态浴缸法（也被视为基于地理信息的方法）相结合，根据内陆海拔高度与水位极值（如：潮汐、风力浪涌和波浪潮高）的叠加计算水深和淹没范围。该方法计算成本低，但因忽略动态水动力过程而导致精度欠佳。相反，FPM 和 RPM 可以捕捉（所有）相关的水动力过程，更准确地描述洪水特征，但需要详细的数据和资深建模专家进行设置和校准，从而在很大程度上增加计算成本（Van Dongeren A. 等，2013年；Giardino A. 等，2018年）。

上述深度模型需要复杂数据，气候风险评估所需详细数据清单见附录。该表根据 C40 气候风险评估数据核对表，以及威海的具体情况做出了相应调整。

图 5显示了基于威海地形信息的风险等级空间分布 (J. Liu等, 2016年)。蓝色阴影区域表示最高风险等级, 是最易受台风引发洪水影响的区域, 这些区域主要位于沿海低洼地区。

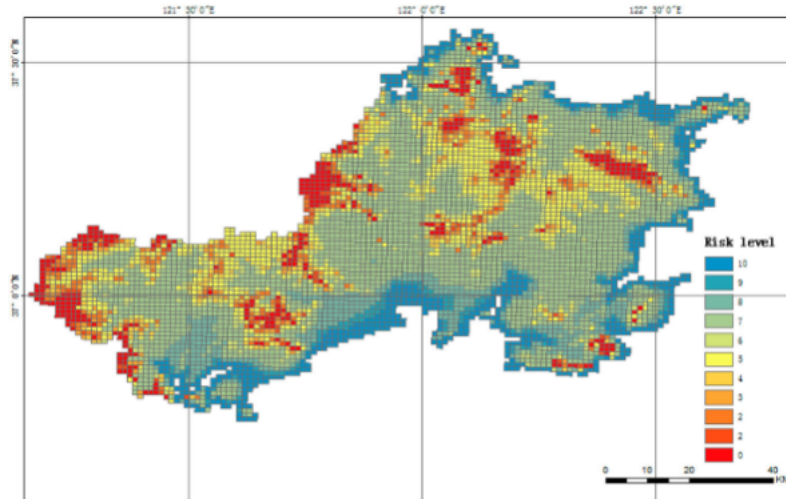


图 7 威海市基于海拔高度的风险等级空间分布图 (其中0表示高海拔低风险区域, 10表示低海拔高风险区域) (刘杰等人, 2016)

Level	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Height/m	1.58 - 7	7 - 16	16 - 35	35 - 60	60 - 81	81 - 100	100 - 116	116 - 135	135 - 157	157 - 180	>180

2.1.3. 气候影响评估

气候影响评估审查与气候相关的灾害事件对**财产、人员和服务**的潜在影响。表 1 列出了气候风险评估应考虑的影响类别建议清单。影响评估应确定: (1) 不同财产 (如建筑物、基础设施和农业) 的有形损失和经济损失, (2) 对人类的潜在影响, (3) 对社会便利和经济的间接影响。建议结合风险要素的暴露资产和脆弱性曲线, 以风险要素的损失来评估影响。公式 (1) 可用于影响评估。

$$Impact = \sum_{i=1}^n (E \times V)$$

公式1

其中, impact 代表风险要素的损失; E 代表暴露资产; V 代表不同灾害严重程度下的承灾体损失率, 例如洪水事件的淹没深度间隔或速度间隔, i代表暴露地图栅格的网格单元编号, 承灾体的累积损失将通过该公式估算。

最后, 风险可以用曲线来表示, 该曲线绘制出所有情况的RP或概率及相关损失, 用来计算预期年损失。

表 1 气候风险评估中的拟议影响类别

气候影响大类	小类	项目	描述
财产	建筑	结构损坏	直接物质损失包括因沿海洪水、强风和冰雹造成的建筑物和基础设施的毁坏和退化，可量化为货币损失。
		内容损坏	
	基础设施	结构破坏	
	农业	耕地、果园	
人口	伤亡事故	死亡人数	与气候有关的灾害（如风暴潮）造成人员伤亡
		受伤人数	
服务	商业服务中断	就业损失	业务中断是指由于灾害影响导致企业运营中断或房地产（包括出租和出售房产）退出市场而造成的相关收入损失。
		产出损失	
	社会服务中断	社会不便	定性描述流离失所的代价、日常生活被打乱、健康风险和获得基本服务的障碍，从而影响社区的整体福祉。

2.1.3.1. 财产

洪水和其他与气候相关的灾害（如强风和冰雹）对财产造成的损坏是物理损失的重要组成部分。承灾体大多按照土地利用或建筑物类别进行分类（Klijn、Baan 等，2007 年），常规影响评估主要包括结构和内容层面上的破坏（Kok、Huizinga 等，2004 年；Ke，2014 年）。

威海构建了风暴潮灾害的自然脆弱性评估指数（Liu 等，2016 年）。威海的风险等级计算结果表示，威海市区和荣成市中心城区（图 4）均为主要沿海城区，空间价值密度高，平均海拔相对较低，易受风暴潮灾害的影响，因此该地区面临较高风险等级。虽然文登县与荣城县郊区（图 4）台风频繁登陆，但两地危险等级并不高，因为该地区的入海河流让风暴潮沿河直驱内陆地区。由于该地区易受台风灾害影响，该区规划以海洋养殖和滨海湿地为主，因此其空间价值密度较低。

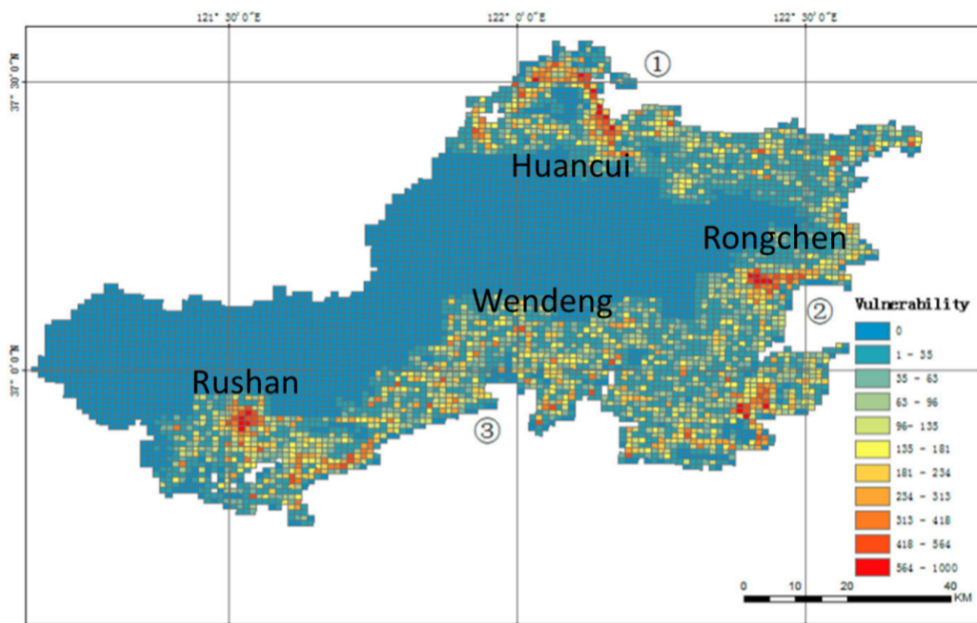


图 8 风暴潮事件期间的脆弱性结果 (改编自 (Liu et al, 2016))

- 建筑

然而，上述脆弱性评估未包含不同类型建筑物的详细信息，虽然潜在损失与建筑密度正相关，但因为未考虑建筑物的抗灾能力，可能会大大影响评估结果的准确性。例如，非正规住房比高层建筑物更易受洪水影响。因此，建议威海编制一份建筑物汇总表，包括建筑物的位置、占地面积、用途、层数和市场价值等详细信息，以便分析人员据此估算建筑的建造和重置成本、一次性破坏成本、内部装修设施及使用情况、租金，以及为了解洪水等气候事件的潜在损失所需的其他信息。建筑物洪水位应与淹水深度—损失函数相互参照，该函数可提供预期损失比率和位移时间（建筑物预期空置天数）。

- 基础设施

基础设施是指为城市及其居民提供公共服务的设施和资产。基础设施可由公共或私人拥有和运营，可以包括以下内容（波士顿市，2016年）：

- 关键设施：如水处理设施和发电厂；
- 交通基础设施：如道路、桥梁和公共交通；
- 必要设施：如医院和应急中心；
- 公共设施：如学校和市政建筑；

基础设施的脆弱性评估也至关重要，年限、设计、维护、位置，以及现有气候韧性设施均应予以考虑。除结构性破坏外，关键基础设施故障还会造成连锁反应，例如服务大面积中断、经济损失、公共安全以及关联系统的恢复力下降。脆弱性评估有助于确定与改善薄弱环节，提高关键基础设施的整体韧性和可靠性。

• 农业

考虑到威海市未来洪水、冰雹和暴风雪等灾害可能加剧，建议开展耕地脆弱性评估。洪水严重威胁农业生产，暴雨和风暴潮会导致农作物淹没、土壤侵蚀和长期肥力下降；冰雹对农作物叶茎等造成直接物理损害，导致作物减产和疾病易感性增加；暴风雪的积雪掩埋农作物，导致农作物受损并阻碍生长。因此，建议因地制宜地推广耐水耐寒作物，主动适应气候变化。识别易感区域，通过作物保护、种植对极端天气条件具有高度抵抗力的作物及其他针对性适应措施保粮减损，推动威海农业的长期可持续发展。

2.1.3.2. 人口

除财产损失外，居民还易受洪水和其他气候相关事件的影响，遭受无法用货币衡量的无形损失。弱势群体包括 65 岁以上的老人、12 岁以下的儿童和残疾人，尤其是行动不便的人，并且包括沿海地区居民和在渔业工作者，因为台风期间的风暴潮或漫堤坝洪水对其安全构成重大威胁，决堤导致的长时间高水位（如超过 1.5 米）或者高流速会加剧这些威胁。洪水事件中的电击或台风期间被倒下的树木砸伤也会危及人员安全，冰雹和暴风雪造成路面湿滑、能见度降低的恶劣路况，影响驾驶安全，增加交通事故的隐患。

2.1.3.3. 服务

业务中断是造成间接经济损失的一个主要考量。与气候有关的灾害（如洪水和雪灾）造成的业务中断主要存在两个来源：停产导致产业无法满足供应商和客户的要求；交通网络中断导致供应商或客户无法方便地进入产业，间接造成生产力下降。若某个生产商受洪灾影响，该生产商的供应商和消费者均会受到牵连。若受灾地区的经济边界有限，连带效应会导致该地区遭受巨大损失，因为供应商和客户可能会放弃或推迟原有选择，转移至其他资源。2011 年泰国洪灾的案例证明，商业中断是洪灾损失的重要组成部分，该地因长时间遭受洪灾，导致业务中断损失超过财产损失——是后者的约 125%。

间接损失的另一个重要影响是公共汽车、地铁和火车站故障或机场停运造成的服务中断。近年来，多起暴雨淹没地铁的报道愈发凸显出地下空间和基础设施在洪水面前的脆弱性。

2017 年，威海市启动《威海市综合交通网中长期发展规划（2018-2035年）》，旨在加强与青岛、烟台和省内其他城市地铁、铁路等交通方式的互联互通，鉴于这些基础设施易受气候相关事件的影响，将这些脆弱性纳入未来的城市规划至关重要。

威海市可以积极打造韧性交通网，抵御气候变化带来的挑战，这不仅能保护基础设施，还能确保在极端天气事件中基本服务的连续性。

2.2. 战略发展、规划和优先次序

本节阐述如何根据灾害风险管理和抗灾规划原则制定威海的气候适应战略，该战略符合威海市《威海市气候适应型城市建设试点实施方案》，旨在实现主要的气候适应目标，并且开发了相关标准，以便为向决策者提供优先级参考，文末对拟议措施根据长期效益进行排序。

2.2.1. 指南和原则

2.2.1.1. 灾害风险管理

根据联合国减少灾害风险办公室（UNDRR）的定义，灾害风险管理（DRM）是指“使用行政指令、组织以及操作技能和能力落实战略、政策和已提高应对能力，以减小危害不利影响及灾难可能性的系统过程。”灾害风险管理旨在通过**备灾、防灾、减灾和恢复**活动和措施，来避免、减轻或者转移致灾因子带来的不利影响。

将灾害风险管理纳入威海适应气候变化战略，能够产生多重效益，尤其在建设城市抗灾能力和对气候相关事件的综合响应方面。

- **综合框架**：灾害风险管理提供了一个结构化框架，不仅注重准备和预防等积极措施，还大力强调有效应对和高效恢复战略的重要性。这种综合方法至关重要，因为它能确保将包括恢复在内的灾害管理的所有方面都纳入规划过程。
- **恢复作为规划的组成部分**：虽然威海已采取积极措施来提高适应力和抗灾能力，但现有规划缺乏对恢复的重视。恢复是灾害风险管理的关键阶段，因为它不仅覆盖服务和基础设施的重建，还涉及社区和环境的长期可持续发展。通过实施灾害风险管理，威海可以制定包括重建、再开发和重新安置战略在内的系统性恢复计划，从而确保城市在气候事件中的幸存与永续发展。
- **不确定性中的适应性**：气候变化为未来的风险和影响带来极大的不确定性。灾难恢复与风险管理指南的设计必须具备灵活性，以便在获得新信息或情况发生变化时进行调整。这对威海至关重要，能够确保威海市根据不断变化的气候条件和社会经济动态调整战略。
- **增强社区抗灾能力**：有效灾害风险管理需要社区参与灾害管理周期的每个阶段，包括让社区做好应灾准备、参与救灾以及在为社区恢复提供支持。以灾害风险管理作为指导方针，不仅可以保证威海市的适应战略能够保护硬性基础设施，而且还能增强社区抗灾能力。
- **对标全球最佳实践**：采纳灾害风险管理指导方针，接轨国际最佳实践和标准，提高威海市获得全球支持网络、资金机会和合作伙伴关系的能力，推进气候适应措施的有效实施。

总之，通过实施灾害风险管理指导方针，威海适应气候变化战略能够实现统筹兼顾，涵盖灾害管理的所有关键节点。该方针强调灾害恢复规划，对动态环境的适应能力，以及社区抗灾能力建设，从而为建立起应对气候变化的有力框架。

2.2.1.2. 韧性规划

韧性规划须综合考虑多重因素。社区由自然环境和工程环境塑造而成，许多因素都会影响其长期抗灾能力。在制定战略和优先次序时，确定驱动因素、现有韧性规划以及韧性提升机会至关重要。韧性系统的常见特征（Hotchkiss 和 Done, 2019 年）包括：

- **避免**：采取主动或被动措施，降低对系统的潜在威胁或影响。
- **多样性**：避免单点故障或依赖单一解决方案。
- **冗余**：在系统发生故障时加入额外的组件（如备用发电机、设备备件、为一个场所或建筑物配备两条电缆）。
- **分布式**：以能源系统为例，增加与传统大电网相连的小型发配电系统，最大限度地利用当地可再生能源。
- **透明度**：针对问题或挑战进行有效沟通，以便坦诚交流，精准定位问题，共享规划与准备工作，帮助他人明确韧性方面的潜在差距。
- **协作**：生产或创造有效、有益成果的合作过程。就韧性而言，协作有助于资源共享与整合创新性解决方案。
- **灵活性**：不预期稳定性，城市时刻准备好在系统或关键基础设施失灵时作出迅速调整。
- **前瞻性**：包括预测变化、监测条件并灵活应对、分析趋势和识别新生脆弱性。

2.2.2. 战略发展

2.2.2.1. 目标和战略

威海市在《威海市气候适应型城市建设试点实施方案》中明确界定了适应气候变化的主要短期目标，重点是最大限度地减少直接经济损失和死亡人数。在制定 2035 年之前的气候适应新目标时，必须确保这些目标具体、可衡量、可接受，并符合相关时间框架。这些目标还应符合威海市第十五个五年计划（2026-2030 年）和第十六个五年计划（2031-2035 年）的战略方向。在《山东省适应气候变化行动方案2035》中，明确提出了短期（2025 年前）、中期（2030 年前）和长期（2035 年前）的定性目标，具体包括气候变化监测预警、风险管理、气候适应型社会建设等方面，见下框。

报告建议以最大限度减少直接经济损失和死亡人数为出发点制定目标，例如：

- 到 2025 年，将气候灾害造成的年平均死亡率控制在每百万人 0.5 人以内；
- 到 2025 年，将气候灾害造成的年均直接经济损失控制在威海市 GDP 的 1% 以内。
- 到 2035 年，每年因气候灾害造成的死亡人数控制在每百万人 0.5 人以内；
- 到 2035 年，气候灾害造成的年直接经济损失控制在威海市 GDP 的 0.8% 以内¹。

1 根据《威海市重大突发事件应急保障体系建设规划（2021-2030年）》制定的目标：
<http://www.shandong.gov.cn/jpaas-jpolicy-web-server/front/info/detail?iid=ed01241819ec4a5286e49ede3727b7e3>

山东省适应气候变化行动方案2035 主要目标

到2025年，适应气候变化政策体系和体制机制基本形成。气候变化观测网络实现天地空全覆盖，气候变化和极端天气气候事件监测预警能力持续增强。气候变化不利影响和风险评估水平进一步提升，气候相关灾害防治体系和防治能力现代化取得阶段性进展。自然资源、水资源、农业、能源、交通、基础设施等重点领域及城市、沿海、沿黄等重点区域适应气候变化行动有效开展。适应气候变化区域格局基本确立。气候适应型城市建设试点取得显著进展。先进适应技术得到应用推广。全社会自觉参与适应气候变化行动的氛围初步形成。

到2030年，适应气候变化政策体系和体制机制基本完善。气候变化观测预测、影响评估、风险管理体系基本形成，气候相关重大风险防范和灾害防治能力显著提升。各领域和区域适应气候变化行动全面开展，自然生态系统和经济社会系统气候韧性明显增强。全社会适应气候变化理念广泛普及，适应气候变化技术体系和标准体系基本形成，气候适应型社会建设取得阶段性成效。

到2035年，气候变化监测预警能力达到同期国内领先水平。气候风险管理和防范体系基本成熟，干旱、暴雨、风暴潮等重特大气候相关灾害风险得到有效防控。适应气候变化技术体系和标准体系更加完善，全社会适应气候变化能力显著提升，气候适应型社会基本建成。

表 2列出了为实现目标而遵循灾害风险管理原则的拟议战略。**备灾**策略包括利用物联网 (IoT) 收集和监测数据、利用高分辨率地图进行风险识别 (包括气候预测)、提高预报准确性、建立预警系统、模拟演习，以及风险意识教育。

防灾工作需要工程与非工程措施双管齐下。工程措施包括提高排水能力、加固海堤，以及海绵城市措施等基于自然的解决方案；非工程措施包括落实建筑标准以降低风险。注意不建议依靠单一解决方案，应工程和非工程措施两者兼备。

减灾重点是有效应急管理，包括制定疏散计划和路线，提高救援能力，确保充足的应急资源供应。

恢复策略包括建立个人和集体保险等资金机制，支持恢复工作，提升灾后恢复能力。

表 2 威海气候适应战略提议

气候适应	策略建议
备灾	<ul style="list-style-type: none"> • 物联网 (IoT) - 数据收集和监测 • 风险测绘和识别 (气候预测, 利用高分辨率地图识别风险区域) • 预测 (提高预测和预报的效率和效果) • 早期预警系统 (与预报系统相关) • 模拟演习 • 风险意识教育
防灾	<ul style="list-style-type: none"> • 工程 (基础设施和生态系统为基础) 提高排水能力 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 加固海堤 ◦ 基于自然的解决方案 (海绵城市措施) • 非工程 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 建筑标准 ◦ 空间规划
减灾	<ul style="list-style-type: none"> • 应急管理 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 疏散计划和路线 ◦ 救援能力建设 ◦ 应急资源保障
恢复	<ul style="list-style-type: none"> • 资金机制 (如: 个人和集体保险) • 恢复能力建设

2.2.2.2. 利益相关方参与及合作

利益相关方之间的协作是有效灾害风险管理和抗灾规划的关键因素之一。主管单位、社区、非政府组织及其他主要行动者开展合作, 能够促进包容性决策, 加强资源调动, 并推动可持续解决方案的实施。通过建立沟通渠道、信任措施及能力建设等方式加强跨部门协作, 与利益相关方共同制定策略, 增强社区抗灾能力, 减少社区受灾害的影响。

• 确定关键利益相关方及其兴趣、关切和优先级

确定并覆盖各部门的利益相关者, 包括政府机构 (如: 生态环境部门)、威海市政府 (如: 市长)、区级领导、社区代表、地方应急管理部门、非政府组织、学术机构和私营部门。

除国际机构和大型项目等合作伙伴之外, 适应行动所需的技术、知识和资金还可以通过其他多种渠道获得。国家发展和改革委员会作为中央监督机构, 全面负责国家气候变化战略的执行。住房和城乡建设部及生态环境部则在政策实施方面发挥关键作用。威海市政府与市环保局和规划局紧密合作, 主导环境监测和管理工作, 积极将适应措施纳入地方发展规划。此外, 企业、行业协会和研究机构也在威海市的气候变化适应项目中贡献其专业知识、技术和资金。

利益相关方包括但不限于：

- **国家政府单位**
 - ▶ **国家发展和改革委员会**：作为中国的中央经济规划机构，发改委负责制定和实施适应气候变化的国家战略、政策和计划。
 - ▶ **住房和城乡建设部**：与国家发展和改革委员会共同制定和实施与城市发展、建设标准和基础设施适应气候变化相关的政策。
 - ▶ **生态环境部**：负责环境保护，包括气候变化减缓和适应战略，以及与其他部委和机构的协调工作。
 - **市级政府单位**
 - ▶ **威海市政府**：在实施国家政策、制定地方战略和行动计划，提高地方气候灾害备灾、防灾、减灾和适应能力方面发挥关键作用。
 - ▶ **生态环境局**：负责监测和管理水资源、生态系统和空气质量等环境资源，以提高抵御气候变化影响的能力。
 - ▶ **市规划部门**：如威海市规划设计研究院、威海市自然资源和规划局等。
 - ▶ **区级领导**：监督适应气候变化项目的实施，协调区内和跨区部门合作。
 - ▶ **社区代表**：动员当地社区参与规划，保证充分倾听社区诉求与建议，鼓励基层参与韧性工作。
 - ▶ **地方应急管理部门**：协调备灾和减灾工作，确保在紧急气候事件中果断行动，提高社区韧性。
 - **研究机构和专家**：非政府组织、研究机构和行业专家在提升适应气候变化意识、开展研究和知识投入方面发挥作用。
 - **企业和行业**：威海市企业（尤其是农业、渔业、旅游业和制造业等易受气候风险影响的领域）是气候韧性和适应行动的利益相关方。
 - **国际合作伙伴和组织**：外国政府、国际发展机构和投资者可通过资金、技术转让和知识分享支持威海市的气候适应行动。全球适应中心和亚洲开发银行等组织为威海市的气候适应项目提供技术支持。
- **参与方分组：**

根据利益相关者的偏好、可用性和参与程度对其进行分组，按照不同参与程度需求，建立电子邮件群、聊天群或在线会议等沟通渠道和机制，进行持续互动和反馈交流。



图 9 利益相关方权益网络

• 量身定制参与计划:

◦ 国家政府:

- ▶ 组织高层论坛和圆桌讨论，邀请相关部委和机构的主要利益攸关方参加，促进有关气候适应和抗灾战略的知识交流和能力建设研讨会。
- ▶ 以政策简报、专家咨询和培训计划的形式提供技术援助，支持国家政府制定强有力的气候抗御政策框架和监管机制。
- ▶ 支持建立国家级筹资机制，包括气候融资机制和风险分担机制，为气候适应项目和举措调动资源。
- ▶ 合作开展联合研究项目和数据共享倡议，以加强对气候变化影响和适应战略的科学认识，并与《巴黎协定》等国际标准和承诺保持一致。

◦ 地方政府:

- ▶ 与地方政府机构和学术机构合作，通过参与式研讨会、利益相关方磋商和气候影响评估，对威海市的气候脆弱性和气候风险进行全面评估。（所有相关部门）
- ▶ 根据脆弱性评估和利益相关方磋商的结果，共同设计和共同创建威海市量身定制的气候抗御行动计划和战略，确保与国家 and 省级适应优先事项保持一致（所有相关部门）。
- ▶ 通过培训计划、技术研讨会和知识共享平台，为地方政府官员提供能力建设支持，重点关注气候风险管理、基于生态系统的适应和具有气候抗御能力的基础设施规划等主题。（市政府部门、地区负责人、社区代表和应急委员会）。
- ▶ 促进与面临类似气候挑战的其他城市和地区的多方利益相关者伙伴关系和知识交流倡议，利用城市对城市学习网络和同行交流等平台，分享气候适应规划和实施方面的最佳做法和经验教训。

◦ 私营部门和研究机构:

- ▶ 建立公私合作伙伴关系和创新中心，促进国际企业、当地产业、研究机构和威海市初创企业之间的合作，重点开发和推广创新气候适应方案和技术。
- ▶ 探索联合研究和技术转让项目的潜力，以应对农业、旅游业、沿海基础设施和水资源管理等重点部门的关键气候韧性挑战，充分调用公私部门的资金。
- ▶ 开发气候保险计划和绿色债券等市场工具和融资机制，激励私营部门投资威海市的气候适应项目和措施。
- ▶ 建立知识共享平台和实践社区，促进研究、创新和能力建设活动方面的合作，包括网络研讨会、工作坊和线上会议，交流气候适应方面的最佳实践和经验教训。

2.2.3. 战略选择和优先级

从适应气候变化策略出发，根据优先级进行排序，常用参考方法包括成本效益分析 (CBA)、成本效果分析 (CEA) 和多重标准分析 (MCA) 及对应具体措施 (F. Giordano 等, 2022 年)，排序标准通常包括有效性、效率、接受度、公平性、灵活性和紧迫性 (F. Giordano 等, 2022 年) (表 3)。理想情况下，利益相关方应参与评估，确保评各方价值关切得到充分体现，并与各利益相关方就优先级达成一致。

表 3 战略选择和优先级标准

标准	描述
效果	风险最小化潜力，即降低危害发生的概率和严重程度，最大限度地减少负面影响 从该战略中获得的（经济和非经济）收益超过
效率	经济和非经济成本
公平	适应战略的收益在全社会均等 有助于公平分配社会风险
灵活性	该战略可以低成本进行调整、修订或升级
接受度	在文化、社会、环境和政治上可以接受
紧迫性	在不久的将来出现重大影响的高风险时需要采取适应战略

为进一步细化表 4 中适应策略的优先排序和管理，可选择“效率”标准作为“韧性能力”及“资源强度”的对立值。表 4 根据不同策略在降低风险和资源强度方面的潜力进行了排序，方便决策者快速确定优先倡议和/或战略、战略投资、次要策略。

表 4 根据抗灾能力和资源强度确定战略的优先次序

韧性能力/ 资源强度	相对有限的资源强度	高资源强度
高韧性能力	优先级（成本效益）	战略投资
	土地利用规划和建筑标准法规	物联网(IoT)
	早期预警与预测	气候风险测绘（包括气候预测共识）
	应急管理	工程建筑与维护
	提升风险意识教育	生态环境修复
	模拟演习	
相对有限的韧性能力	常规维护	次要
		恢复计划和恢复能力建设
		恢复财务计划

- **优先项1:** 可在现有适应过程中实施的战略，可视为**成本效益优先项**；
- **优先项2:** 实施前需要额外信息、知识和资源的战略，如施工和维保、生态环境修复、气象/水文监测基础设施建设，该工作也可以纳入城市当前规划，可视为**战略投资**。
- **优先项3:** 虽韧性能力有限，但适应战略需要资源相对有限，可视为**常规维保**。
- **优先项4:** 在最差情况下产生隐性影响的战略（例如，极端事件造成的巨大损失）可视为**次要项**。

多重效益战略能够集中资源，突出共同效益产出大于投入，从而激励相关战略的投资。在实践中，不同适应战略各有所长，须在标准产生冲突时在决策中进行评估和整合。

就利益相关方参与而言，包容性和公平性对于建设具有抗灾能力和可持续的未来至关重要。把包容性作为优先项，意味着在气候韧性决策中积极寻求边缘或弱势社区的意见，打造包容不同视角和观点的多元环境，确保所有社区成员的需求和关切都得以倾听和解决，从而促进社会公平，增强社区的认同感和主人翁意识，提升韧性行动的群众基础和实施效果。

2.3. 实施、监测和融资

2.3.1 制定行动计划

2.3.1.1 制定潜在行动

25项行动提议：根据表 4战略列出。表 5 代表与气候适应战略相关的行动建议，明确了主导和支持相关行动的利益相关方，并对战略（如：物联网、风险测绘与识别、预报改进、预警系统等）进行分类。每个战略都包括具体行动（如：升级气象观测系统、提高排水能力和加强预警系统）及其针对的潜在气候相关灾害。

降低洪水风险不能仅依靠以海绵城市减洪措施和基于自然的解决方案为主的低影响开发（LID），因为研究表明以上措施对短时强降雨事件中的效果有限，因此源头减排、排水管渠和排涝除险等工程措施对于应对极端天气事件而言至关重要。尽管如此，低影响开发措施能够带来净水、水资源调节，以及改善社会福祉等多重效益。

此外，表 5还列举了主导和支持各项行动的具体单位，例如，气象局和海洋发展局常担任主导单位，水务局则主要提供支持。本表还总结了各项行动的现状（存续或新行动），便于决策者和利益相关方能够明确各自在实施适应战略中的角色和责任，并评估相关行动的进展情况。

2.3.1.2 利益相关方责任

清晰有效的适应气候变化路线图须明确以下四点：

1. 必须做什么（行动）

2. 谁做（市级主管单位）

- 市气象局
- 市应急管理局
- 市科技局
- 市大数据局
- 市自然资源和规划局
- 市生态环境局
- 市教育局
- 市住房和城乡建设局
- 市水务局
- 市民政局
- 市发展和改革委员会
- 市工业和信息化局
- 市财政局
- 市水务局
- 市农业农村局
- 市海洋发展局

3. 什么时间（短期、中期或长期）

4. 什么资源（根据战略确定其他参与方）

表 5 与气候适应战略相关的拟议行动，以及被指定发挥主导或支持作用的相应利益相关方

战略	行动	气候相关灾害	主管单位		状态
			主导	支持	
(A). 物联网	A.1更新气象观测和监测站、网络和系统	闪电/热浪/暴雨/强风	气象局	大数据局	存续
	A.2海洋气象站	风暴潮/海浪	海洋发展局	大数据局	存续
(B). 风险地图与识别	B.1 气候风险评估数据库	洪涝/强风	气象局	生态环境局,大数据局	新
	B.2 计算气候风险和绘制风险图 (包括气候预测)		应急管理局	气象局, 水务局 自然资源和规划局, 住房和城乡建设局	新
(C). 提升预测	C.1提高数据质量/共享和建模技术	洪涝/滑坡/暴雪/强风/冰雹	气象局	水务局 自然资源和规划局, 住房和城乡建设局, 大数据局	新
(D). 早期预警系统	D.1 建立威海市气象预警与发布中心	洪涝/滑坡/暴雪/强风/冰雹	气象局	大数据局, 水务局	存续
(E). 模拟演练	E.1公众和救援队频繁模拟演习	沿海洪水/台风引起的强风	应急管理局		存续
(F). 提高风险意识教育	F.1公众、学生和专业人员的气候风险和气候适应教育	所有气候相关灾害类型	应急管理局	教育局	存续
(G). 排水能力	G.1提高市区天然河流和管道系统的排水能力	冲击与河流洪水	水务局 住房和城乡建设局		存续
(H). 加固海堤	H.1六道镇防潮堤工程、宁津街道东岸防潮堤工程、乳山市海堤工程	沿海洪水/风暴潮	海洋发展局		存续
(I). 河流和水库管理	I.1水库加固工程	河流洪水	水务局		存续
	I.2 生态保护与恢复工程		生态环境局		存续
	I.3引调水工程		水务局		存续
(J). 低影响开发	J.1海绵城市改造、排水系统建设	河流洪水/热浪	住房和城乡建设局		存续
(K). 生态修复	K.1修复和保护受损山体	野火	生态环境局, 气象局		存续
	K.2恢复海洋生境	沿海洪水	海洋发展局		存续
(L). 建筑标准	L.1制定建筑规范和标准	洪涝/暴雪/强风/冰雹	住房和城乡建设局		新
(M). 空间规划	M.1 合理规划新开发区的土地利用	洪涝/暴雪/强风/冰雹	自然资源和规划局	住房和城乡建设局, 气象局	新
(N). 疏散计划与路线	N.1制定疏散计划, 包括沿海公众疏散路线	洪涝	应急管理局		新

战略	行动	气候相关灾害	主管单位		状态
			主导	支持	
(O). 救援能力建设	O.1培训专业救援人员	所有气候相关灾害类型	应急管理局		存续
(P). 应急资源供应保障	P.1 建立移动应急指挥平台	所有气候相关灾害类型	应急管理局		存续
	P.2更新、改造和维护应急设备		应急管理局		存续
	P.3保障当地应急物资供应		应急管理局		存续
(Q). 资金机制	Q.1考虑保险、再保险以及公私伙伴关系	所有气候相关灾害类型	财政局		新
(R). 恢复能力建设	R.1制定不同部门（水、交通、能源、废物处理等）的应灾和恢复计划	所有气候相关灾害类型	应急管理局		新

每项行动都指定了牵头单位和支持单位，确保威海各部门之间的通力合作。

• 升级气象观测和监测站、网络和系统

气象局作为主导单位，科技局和发展改革委员会作为支持单位。升级陆地和海上观测研究站，改进与气候风险评估相关的数据收集。此外，在低洼地区（如隧道）建立监测站，测量洪水淹没水位，获得精确及时数据，对于预测洪水、分析洪水过程以及制定科学的防洪措施至关重要。

• 升级海洋气象站

海洋发展局作为支持单位，并得到了世行数据中心的支持，重点是提高海洋气象站的能力，以更好地监测风暴潮和海浪。这项行动对于易受这些特定气候威胁的沿海地区至关重要。

• 开发气候风险评估数据库

由大数据局、科技局和生态环境局支持，气象局担任主导单位，开发和维护针对洪水、暴风雪、冰雹和台风的气候风险评估综合数据库。该数据库包括气象、地球物理、水文和形态数据，用于脆弱性评估的土地利用、建筑和社会经济数据，以及气候风险评估所需的气候预测。该数据库是绘制风险地图和提高预测能力的基础。

• 计算各种洪水、暴风雪和其他气候灾害的气候风险

由气象局主导，大数据局、水务局、自然资源和规划局和住房和城乡建设局支持，详细评估和计算与内涝、沿海洪水、河洪及暴风雪有关的风险，为制定针对性减灾战略奠定基础。

• 提高数据质量、数据共享和建模技术

由气象局主导，由大数据局、水务局、自然资源和规划局和住房和城乡建设局的支持，旨在通过改进共享协议和先进的建模技术，提高气候数据的质量和可获取性。这将大大有利于洪水、山体滑坡、冰雹、强风和暴风雪的预报和规划。

• 威海市气象预警发布中心建设项目

由气象局主导，由水务局和大数据局支持，重点是建设一个专业预警中心（特别是针对洪水和滑坡事件），及时发布险情，预防或减轻灾害影响。

- **公众和专业人员频繁模拟演习**
在应急管理局的领导下，这项行动包括定期模拟演习，让公众和救援队做好准备，以便在沿海洪水和台风引起的强风造成的紧急情况下做出有效反应。
- **对公众、在校学生和专业人员进行气候风险和适应教育**
由应急管理局主导这项现有工作，提高不同群体对气候灾害适应战略的意识和教育。教育局作为支持单位协调学校，针对在校学生开展宣传教育。
- **提高天然河流和管道系统的排水能力**
由水务局和住房和城乡建设局主导，重点是加强市区河流的天然排水能力，以更有效地管理内涝和河道洪水。
- **加固海堤**
由海洋发展局主导，包括六都镇防潮堤、宁津街道东岸防潮堤、乳山市海堤等重大工程，旨在防止海堤在台风引发的洪水中出现溃决（如决口和结构坍塌）。
- **水库加固项目**
由水务局主导，旨在加强水库的结构完整性，防止河道洪水，通过加固水库降低漫堤风险，确保下游社区安全。
- **生态保护和恢复项目**
由生态环境局支持，旨在保护和恢复具有减洪和提高生物多样性能力的生态系统，促进维持生态平衡和增强自然抵御气候影响的能力。
- **引调水项目**
由水务局支持，包括建立基础设施，在流量高峰期有效地引水和调水，有效调节河流水位，降低脆弱地区的洪水风险。
- **增加绿地面积，对旧住宅区进行海绵化改造，修建排水渠**
由住房和城乡建设局主导，聚焦通过低影响开发提高城市韧性。打造公园绿地、对老旧住宅进行“海绵城市”改造，建设排水管网，有效应对内涝和热浪灾害。
- **恢复和保护破损山体**
自然资源和规划局和气象局主导恢复和保护因野火或其他环境因素而受到破坏的山体，有效保护山体防洪和自然集水区生态系统。
- **恢复海洋栖息地**
由海洋发展局支持，旨在恢复对生物多样性至关重要的海洋栖息地，修复栖息地抵御风暴潮和海岸侵蚀的天然屏障功能。
- **制定建筑规范条例**
这项新行动由住房和城乡建设局主导，涉及制定严格的建筑规范，确保建筑物能够抵御洪水、冰雹、强风和暴风雪，从而降低生命和财产风险。
- **合理规划新开发区的土地利用**
由自然资源和规划局主导，并得到了住房和城乡建设部以及农业局的支持，其重点是合理规划新开发区的土地利用，以最大限度地减少洪水、冰雹和暴风雪灾害对农田、重要基础设施和人员造成的潜在损失。

- **制定疏散计划，包括公众疏散路线**
由自然资源和规划局主导、住房和城乡建设局和气象局支持的新举措包括制定有效的疏散计划，明确规定疏散路线，以确保易受台风影响的沿海地区的公众安全。
- **培训救援专业人员**
由应急管理局主导这项现有行动，重点培训救援专业人员掌握有效应对各类气候相关灾害所需的先进技能和技术。
- **建设移动应急指挥平台**
由应急管理局主导，旨在建设一个移动指挥平台，以便灵活、快速地协调不同地区和社区应对不同类型灾害的应急行动。
- **应急设备的升级、改造和维护**
由应急管理局主导，确保所有应急设备都是最先进的，得到良好维护，并可在任何与气候有关的灾害情况下立即部署。
- **确保当地的应急物资**
由财政局主导，确保当地有充足的应急物资（如食物、水、救援工具包），以迅速满足与气候有关的灾害发生时的需要。
- **考虑保险和再保险计划以及公私伙伴关系计划**
由财政局主导，拟议的财务战略包括探索保险、再保险和公私伙伴关系的备选方案，以提供抵御与气候有关灾害的经济影响的财务复原力。
- **分领域制定灾备和恢复计划**
由应急管理局主导，重点针对水、交通、能源和废物管理等关键部门制定全面的灾备和恢复计划，确保从与气候灾害事件中迅速、有效地恢复。水管理领域旨在保护水基础设施，防止污染，并在灾后恢复供水系统；交通领域应保证紧急情况下的服务供应与灾后恢复；能源领域旨在保护基础设施与迅速恢复供电；垃圾管理领域增加废墟和有害物质处理能力，以及设施修复。另外，行动还覆盖通信协调系统、定期培训和演习、社区参与备灾以及资源调度，以全方位支持相关计划的实施。

2.3.1.3. 行动时间安排

为适应气候变化和提高城市韧性，威海市采取一系列综合行动，覆盖短期、中期和长期战略，通过具体行动切实加强适应气候变化的适应能力。短期目标旨在 2025 年（“十四五”规划）实现，包括升级气象基础设施、应急演练，为备灾和降低风险奠定基础。中期目标旨在 2030 年（“十五五”计划）实现，包括气候风险数据库开发、基础设施项目和社区教育活动，重点是在未来十年内建设适应能力和提高抗灾能力。远期目标（2035 “十六五”规划）聚焦生态系统恢复、基础设施升级和政策制定等方面的承诺，为威海应对未来气候挑战做好准备。此外，所有行动举措相互关联，例如数据质量改进（C.1）等举措是风险评估（B.2）和基础设施建设（D.1）等后续步骤的先决条件。通过综合实施各阶段行动，威海市努力营造可持续的城市环境，以应对复杂多变的气候挑战，保证子孙后代的福祉和永续发展。

表 6 短期、中期和长期行动安排

行动	时间	依赖
<p>A.1 升级气象观测和监测站点、网络和系统</p> <p>提高气象数据的准确性和可靠性，为有效气候风险评估和早期预警系统奠定基础。</p>	短期	
<p>A.2 海洋气象站</p> <p>将气象监测能力扩展到沿海地区，因为海平面上升和极端天气事件等气候影响在这些地区尤为明显。</p>	短期	
<p>B.1 气候风险评估数据库</p> <p>为了解和量化气候风险奠定了基础，为适应规划中的知情决策奠定了基础。</p>	中期	C.1
<p>B.2 计算气候风险和绘制风险图（包括气候预测）</p> <p>包括分析 B.1 中的气候数据，以评估脆弱性并确定高风险地区，为有针对性的适应战略提供信息。</p>	中期	B.1
<p>C.1 提高数据质量/共享和建模技术</p> <p>对于提高气候数据的准确性和可靠性至关重要，有助于进行更有力的风险评估和适应规划。</p>	短期	
<p>D.1 建设威海市气象预警与发布中心</p> <p>建立在气象监测基础设施更新（A.1）的基础上，为极端天气事件期间发布预警和传播重要信息提供了一个集中枢纽。</p>	长期	A.1, A.2
<p>E.1 模拟公众和救援队应急管理演习</p> <p>旨在提高准备和响应能力，确保在与气候有关的紧急情况下进行有效的协调和沟通。</p>	中期	O.1
<p>F.1 对公众、在校学生和专业人员进行气候风险和气候适应教育</p> <p>聚焦利益相关方的认识和能力建设，以培养抗灾和主动适应的文化。</p>	中期	
<p>G.1 提高城市地区天然河流和管道系统的排水能力</p> <p>这项长期行动旨在降低洪水风险，提高社区应对气候灾害的能力。</p>	长期	
<p>H.1 六都镇防潮堤工程 宁津街道东岸防潮堤工程。乳山市海堤工程</p> <p>这些行动涉及基础设施项目，以保护沿海地区免受海平面上升和风暴潮的影响，降低易受气候影响的脆弱性。</p>	中期	
<p>I.1 水库加固项目</p> <p>旨在提高水库容量，确保在降水模式发生变化的情况下保障供水。</p>	中期	
<p>I.2 生态保护和恢复项目</p> <p>旨在恢复自然生态系统，提升生物多样性和生态系统服务，以支持气候韧性。</p>	长期	
<p>I.3 引水和调水项目</p> <p>涉及基础设施的长期行动项目，可以应对因气候变化而加剧的缺水和配水挑战。</p>	长期	

行动	时间	依赖
J.1 公园绿地、旧住宅区海绵改造、排水渠建设 通过绿色基础设施和改进排水系统来提高城市的抗灾能力。	中期	B.2
K.1 修复和保护受损山脉 旨在解决受损山脉带来的水土流失和滑坡风险，增强生态系统的稳定性和抵御气候影响的能力。	中期	
K.2 恢复海洋生境 保护和恢复沿海生态系统、支持生物多样性和减轻海岸侵蚀的保护工作。	长期	
L.1 制定有关建筑规范的条例和规则 确保基础设施和建筑物的调整和设计能够抵御与气候有关的灾害，从而降低易受极端天气事件影响的程度。	长期	B.2
M.1 合理规划新开发区的土地利用 确保可持续发展实践最大限度地减少气候风险，提高抗灾能力。	长期	B.2
N.1 制定疏散计划，包括沿海地区公众的疏散路线 根据 B.2 计算结果，该行动包括确定疏散路线和步骤，以确保沿海社区在与气候有关的紧急情况下的安全。	中期	B.2
O.1 培训救援专业人员 提高应急人员在与气候有关的灾害中有效管理和协调应对工作的能力。	短期	
P.1 移动应急指挥平台 为协调应急工作提供了一个集中平台，加强了危机期间的沟通与协调	长期	
P.2 更新、改造和维护应急设备 确保应急基础设施的可靠性和功能性，支持在与气候有关的紧急情况下开展有效的应对工作。	中期	
P.3 保障当地应急物资 储备基本用品和资源，以支持地方应急工作。	中期	
Q.1 考虑保险和再保险计划以及公私伙伴关系计划 旨在通过探索创新融资机制和伙伴关系来支持适应和恢复工作，从而提高财务复原力。	长期	B.2
R.1 制定不同部门（水、交通、能源、废物等）的灾难计划和恢复计划 涉及具体部门的规划，以确保水、交通、能源和废物管理等关键服务在与气候有关的灾害期间和之后的恢复能力和连续性。	long-term	B.2

注: 短期-2025年; 中期-2030年; 长期-2035年

2.3.2. 监测与评估

2.3.2.1. 利益相关方参与

监测和评估参与结果，对于衡量威海市利益相关者参与效果至关重要。定期监测与评估结果有助于掌握工作进展情况，及时确定需要改进的领域。利益相关者参与人数、参与程度、满意度和反馈意见等关键绩效指标（KPI）可用来量化参与成效。征求利益相关方对参与过程的反馈意见，了解参与者的体验和角度，为提升未来参与策略提供依据。采用系统化的监测和评估方法，确保利益相关者参与的回应度与适应性，在威海市打造更具复原力和包容性的社区。

2.3.2.2. 行动结果

评估与监测各有不同，但两者必须齐头并进，旨在确保持续的反馈-修正循环，帮助城市和社区调整适应战略和计划，使其日益有效。适应行动采用一系列适应指标（表 7）来衡量目标的实现情况。

为评估气候适应行动而提出的指标与 2.2.2.1 目标和战略中概述的总体目标密切相关。这些指标以应对当前挑战为重点，旨在跟踪实现具体、可衡量目标的进展情况，以最大限度地减少与气候相关的灾害所造成的经济损失和人员伤亡。这些目标是衡量适应工作成效的重要基准，可确保各项行动在规定时限内取得切实成果。此外，各项行动与路线图的目标相一致，突出了气候适应的战略方法，即有目的地选择每项活动，以促进实现增强威海的抗灾能力和最大限度地减少对气候风险的脆弱性这一总体目标。通过利用这些指标，决策者可以精确地确定与路线图目标相一致的行动，从而最大限度地提高威海乃至更远地区气候适应工作的成效和影响。

表 7 根据时间表采取行动的适应指标

行动	指标
A.1&A.2	新安装站点数量 更新的站点数量 旨在更新气象观测和监测基础设施的行动的进展情况（A.1 和 A.2），深入了解气象网络的扩展和现代化情况，提升数据收集的准确性。
B.1	建立数据库 该指标评估建立气候风险评估综合数据库的情况，反映系统分析和量化气候风险工作的进展（B.1）。
B.2	不同气候相关风险，特别是沿海洪水和内涝的风险图绘制结果 评估气候风险地图绘制结果，尤其侧重于沿海洪水和内涝，为了解脆弱地区和有针对性的适应战略提供重要信息（B.2）。
C.1	数据共享活动的数量 跟踪数据质量、共享和建模技术的措施的实施情况，反映为提高气候数据的可用性和可获取性以促进知情决策所做的努力（C.1）。
D.1	创建平台 评估威海市气象预警与发布中心的建设情况，以及集中预警系统在极端天气事件期间在信息发布方面取得的进展（D.1）

行动	指标
E.1	<p>演习次数</p> <p>评估公众和救援队应急管理模拟演习的实施情况，反映出为提高准备和应对能力所做的努力（E.1）。</p>
F.1	<p>学生培训天数</p> <p>参与学生人数</p> <p>衡量旨在提高在校学生对气候风险和适应战略的认识和能力建设的教育工作的程度（F.1）。</p>
G.1	<p>排水能力[m³/s]或重现期的大小</p> <p>评估提高河流排水能力行动的效果，从而深入了解社区对洪水风险的复原力的提高情况（G.1）。</p>
H.1	<p>加长海堤</p> <p>跟踪实施防潮堤项目的进展情况，以保护沿海地区免受海平面上升和风暴潮的影响，表明在沿海地区恢复能力方面取得的进展（H.1）</p>
I.1	<p>正在加固的水库数量</p> <p>跟踪加固潜在风险水库的数量和具体进展情况。</p>
I.2	<p>生态保护和恢复面积 [km²]</p> <p>衡量生态保护和恢复工作的覆盖范围和程度，表明在恢复自然生态系统以支持生物多样性和生态系统服务以提高气候适应能力方面取得的进展。</p>
I.3	<p>引水和调水项目数量</p> <p>评价旨在应对气候变化加剧的水资源短缺和分配挑战的引水和调水项目的数量和实施进展</p>
J.1	<p>海绵城市“项目的数量</p> <p>绿色屋顶面积[平方公里]</p> <p>不透水路面面积[平方公里]</p> <p>评估绿色基础设施项目和海绵城市倡议的实施情况，表明在提高城市抵御洪水和热压力等与气候有关的灾害方面取得的进展（J.1）。</p>
K.1	<p>恢复的山脉面积[km²]</p> <p>评估为解决水土流失和山体滑坡风险、增强生态系统稳定性和抵御气候影响能力而专门修复受损山脉的覆盖范围和工作。</p>
K.2	<p>恢复的海洋生境面积[km²]</p> <p>该指标评估恢复海洋栖息地的覆盖面积和进展情况，重点关注保护和恢复沿海生态系统、支持生物多样性和减轻海岸侵蚀的保护工作。</p>
L.1	<p>批准建筑规范条例和细则</p> <p>衡量在制定法规和标准以确保基础设施和建筑物能够抵御与气候有关的灾害方面所取得的进展（L.1）</p>
M.1	<p>批准关于气候适应的土地利用规划</p> <p>评估将气候适应因素纳入土地使用规划的进展情况，确保可持续发展做法最大限度地减少气候风险（M.1）</p>
N.1	<p>制定疏散计划</p> <p>跟踪沿海地区疏散计划的制定情况，表明在加强社区抗灾能力和应对气候相关紧急情况的准备工作方面取得的进展（N.1）。</p>

行动	指标
O.1	参与人数 评估救援专业人员培训计划的参与情况，反映出为提高应急人员有效管理气候相关灾害的能力所做的努力（O.1）。
P.1	创建平台 评价建立应急指挥平台的进展情况，该平台为在与气候相关的紧急情况下协调应急响应工作提供了一个中央枢纽。
P.2	应急设备数量 衡量升级、翻新和维护应急设备工作的增加和扩展情况，以确保应急基础设施的可靠性和功能性，从而支持有效的应急工作。
P.3	应急物资（食品、水壶等）的数量 跟踪在改善食品和水壶等基本应急物资的配备、储备关键物资以支持地方一级应急工作方面取得的进展。
Q.1	实施保险和再保险计划 该指标评估在探索创新融资机制以支持气候适应和恢复工作方面的进展情况，从而提高财政复原力（问题1）。
R.1	制定和批准供水链中断灾难计划 该指标跟踪制定具体部门灾害计划的进展情况，确保在与气候有关的灾害期间和灾后关键服务的复原力和连续性（R.1）。

2.3.3. 融资机会

气候适应措施的有效实施需要大量财政资源支持，融资机会包括：

2.3.3.1. 公私合营伙伴关系

公私合作伙伴关系对于调动公共和私营部门的资源和专业知识至关重要。这些伙伴关系可以利用政府资金和私营部门投资，为气候适应项目提供资金。公私合作伙伴关系促进了政府、企业和非营利组织之间的合作，使创新解决方案和共同风险管理成为可能。举例说明：威海可与私人投资者合作开发适应气候的基础设施项目，如防洪系统或可再生能源设施。

2.3.3.2. 保险与再保险考虑

保险和再保险机制是气候适应战略的重要组成部分，为气候相关灾害发生后的恢复提供重要的财政支持。对于位于高风险地区个人和行业来说，保险单可以通过对损害和损失提供赔偿，从而加快重建和恢复，从而大大提高他们的恢复能力。巨灾保险在减轻大规模灾害的经济影响方面发挥着关键作用。通过分散与严重事件相关的金融风险，巨灾保险可以大大减轻政府的财政负担，使公共资金能够更有效地分配给各种恢复和抗灾能力建设。此外，这些机制还能激励人们采用降低风险的做法，如提高建筑标准和积极备灾，最终促进社区更具抗灾能力。

2.3.3.3. 其他资源

除公私伙伴关系和保险机制外，气候适应的其他资金来源包括：

- **国家政府赠款：**中国政府通常通过各种赠款和补贴为气候适应项目提供资金。例如：中国清洁发展机制基金是一项支持中国低碳增长和气候适应能力的国家气候基金，该循环基金定期通过清洁发展机制项目获得资金，并以赠款形式资助项目。 (<https://www.cdmfund.org/jjgk.html>)
- **国际气候基金和倡议：**威海市可从绿色气候基金或全球环境基金等国际气候基金获得资金。例如：绿色气候基金向中国提供资金。 (<https://www.greencclimate.fund/countries/china>)
- **多边开发银行：**亚洲开发银行或世界银行等多边开发银行为气候适应项目提供资金援助。
- **气候融资工具：**探索绿色债券或气候保险等气候融资工具，为适应工作提供其他资金来源。例如山东省青岛市通过发行绿色债券，为环保和减缓气候变化项目融资，凸显地方政府通过创新机制获得气候融资的能力。
- **双边合作和资助机构：**与其他国家签署双边合作协议，或与资助机构建立伙伴关系，为气候适应提供资金支持。例如中英两国政府、金融监管机构和多家金融机构共同发起中英绿色金融中心（UKCGFC）。该机构主要围绕绿色“一带一路”倡议、绿色资本市场、绿色银行与监管、ESG与可持续投资、数据与披露、绿色技术与创新六个方面开展交流与对话。

3. 建议和总结

为响应《适应战略2035》的发布以及随后发布的《关于深化气候适应型城市建设试点的通知》。威海市作为入选的 39 个最新试点城市之一，拥有得天独厚的优势，为面临类似气候风险的其他城市的适应气候变化行动之设计、规划和实施提供示范。

本报告旨在为威海 2025 年至 2035 年的城市气候适应能力规划提供战略指导，突出强调通过气候风险评估以适应气候和社会动态变化的重要意义，以极端气温、海平面上升、极端降水、台风和降雪为重点论述来了气候预测的必要性。为准确识别未来气候风险，必须建立一个全面的气候风险数据库，并增强数值建模技能。

除灾害评估外，报告建议威海在脆弱性评估中重点关注财产、人员和服务等主要承灾领域，并制定详细的建筑物汇总表，利用历史数据和专家意见制定脆弱性曲线。

此外，空间规划应与城市气候适应工作保持一致。以气候风险评估结果为基础制定法规和建筑标准，并对新开发区进行科学合理的土地利用规划，从空间层面实现有效气候变化适应。

报告还建议分领域制定灾后恢复规划，优先重建功能性基础设施。至关重要。强化保险等市场机制的积极作用，发展巨灾保险，加强高风险地区个人和行业的恢复能力、减轻政府在恢复工作中的财政负担。

综合上述战略措施的全面实施，威海市将进一步提升其应对气候挑战的能力，推动可持续发展，提升居民生活品质。威海市的积极探索不仅在本市基础设施和经济发展方面发挥关键作用，同时也为其他城市在提高气候韧性方面提供了有益借鉴。

参考文献

1. Hall TM, Kossin JP (2019) Hurricane stalling along the North American coast and implications for rainfall. *Npj Clim Atmos Sci* 2(1):1–9. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0074-8>
2. Hall, T.M., Kossin, J.P. Hurricane stalling along the North American coast and implications for rainfall. *npj Clim Atmos Sci* 2, 17 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0074-8>
3. Hotchkiss. E., and Dane. A. Resilience Roadmap: A Collaborative Approach to Multi-Jurisdictional Resilience Planning. U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Technical Report: NREL/TP-6A20-73509. June 2019
4. IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
5. Knutson TR, Sirutis JJ, Zhao M, Tuleya RE, Bender M, Vecchi GA, Villarini G, Chavas D (2015) Global projections of intense tropical cyclone activity for the late twenty first century from dynamical downscaling of CMIP5/RCP4.5 scenarios. *J Clim* 28(18):7203–7224
6. Knutson, Thomas R. et al. “Tropical Cyclones and Climate Change.” *Nature Geosci* 3.3 (2010) : 157-163.
7. Kossin JP (2018) A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. *Nature* 558(7708):104–107. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0158-3>
8. Kossin, J.P. A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. *Nature* 558, 104–107 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0158-3>
9. OECD (2021), *Managing Climate Risks, Facing up to Losses and Damages*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/55ea1cc9-en>.
10. Quante, L., Willner, S.N., Middelani, R. et al. Regions of intensification of extreme snowfall under future warming. *Sci Rep* 11, 16621 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95979-4>
11. Shandong Province. Shandong Province Climate Adaptation Strategy 2035. 2021. In Chinese.
12. The city of Boston. *Climate Ready Boston, Final Report*. 2016. https://www.boston.gov/sites/default/files/file/2023/03/2016_climate_ready_boston_report.pdf
13. Weihai Municipality. *Weihai City Climate Adaptive City Construction Pilot Implementation Plan*. 2023. In Chinese.

附录

气候风险评估的数据要求

威海市可要求不同部门在数据共享前签订数据共享协议。建议尽早确认所需的法律安排，以便在政府机构之间以及与外部机构交流数据。

数据可能具有敏感性和机密性，此类数据集应及早标明，以便采取适当的安全措施保证对重要数据集的访问。

类别/灾害指标	偏好数据示例	数据类型	数据提供方
		若可得请勾选 3类: - 城市级的地理信息系统数据、 - 气候变化预测数据 - 包含地图或气候变化预测的其他信息（如报告） 注意：并非所有类别都适用于每类灾害，请仅选中可用的类别。	确定: - 掌握数据的机构 - 联络人 注意访问数据所需的步骤，并注意任何敏感或机密数据。
洪涝			
(极端) 降雨	如：(极端) 降雨量统计、年降雨总量、极端降雨强度 (XX 毫米/小时/天)，最好是30多年的数据，并包括未来气候预测。	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式 (如形状文件/栅格) <input type="checkbox"/> 气候变化预测 (首选: 参考期/RCP8.5/2050) <input type="checkbox"/> 出版物	气象局
季风	如：季风开始/结束日期、总降水量、降雨分布、季风期占全年降水比例	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式 (如形状文件/栅格) <input type="checkbox"/> 气候变化预测 (首选: 参考期/RCP8.5/2050) <input type="checkbox"/> 出版物	气象局
台风	如：历史台风轨迹、台风频率/强度数据 (建议包括趋势/未来预测)	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式 (如形状文件/栅格) <input type="checkbox"/> 气候变化预测 (首选: 参考期/RCP8.5/2050) <input type="checkbox"/> 出版物	气象局

闪电	如：闪电频率（例如每年每平方公里的闪电次数）	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	气象局
内涝	<p>如：内涝模型图，显示容易被极端降水淹没的区域。</p> <p>如没有可用数据，则根据专家判断提供指示性风险区域。</p>	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	气象局 水务局
河流洪水	<p>如：河流洪水模型图，显示容易被淹没的区域（例如，由于河堤溃决）。</p> <p>如没有可用数据，则根据专家判断提供指示性风险区域。</p>	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	水务局
滑坡	如：不稳定土壤、陡坡、易侵蚀地区地图	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	地质局
海平面上升和风暴潮			
海岸洪水	如：风暴潮数据（频率/强度）、高水位线地图（如 1:10 年）、海平面上升记录/预测	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	海洋渔业局
海岸侵蚀	如：沉降率、沉降易发区地图	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	海洋渔业局
海水入侵	如：地下水和河流盐碱化地图、高盐碱化水平的记录/预测频率	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	海洋渔业局

高温			
热浪	如：热浪天数、每月/每年平均热浪严重程度。	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	气象局
(极端) 热日/夜	如：极端高温日、最高气温、每年超过 30 °C 的夜晚数、显示城市热岛效应 (UHI) 的地图、平均气候表面温度、水温。	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	气象局
干旱			
干旱	如：干旱年数、干旱期长度/次数、干旱度（实际蒸散量与降水量之比）、土壤湿度/缺墒。水库大坝水位。	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	气象局 水务局
野火	如：活火探测、火险地图	<input type="checkbox"/> GIS 数据格式（如形状文件/栅格） <input type="checkbox"/> 气候变化预测（首选：参考期/RCP8.5/2050） <input type="checkbox"/> 出版物	林业局

其他数据

- 基础设施
 - 防洪系统（海堤、泄洪闸、屏障等）
 - ▶ GIS信息
 - ▶ 水力设施构造
 - 排水系统
 - ▶ 管道和检查井布局
 - ▶ 管道材料
 - 交通网络
 - 学校和医院
- 其他
 - 土地利用图（栅格）
 - 土壤地图（栅格）
 - 未来海平面上升、风暴潮或台风强度预测（风速、气压和登陆地点等）

术语

气候灾害是具有威胁性的气候事件，有可能对人类、资产和自然系统造成损害或伤害。

气候风险与气候变化造成不利影响的概率有关。它是由对全球城市造成负面影响的有害气候事件引起的。风险由危害、风险暴露和脆弱性的相互作用决定。气候风险对每个城市的影响各不相同，取决于地理、社会经济和人口背景。

气候影响是指极端天气和气候事件对自然和人类系统的影响。这种影响可能会影响生命、健康、经济、基础设施和生态系统。

危害是指可能造成生命损失、伤害或其他健康影响，以及对财产、基础设施、生计、服务提供、生态系统和环境资源造成破坏和损失的自然或人为物理事件或趋势的潜在发生。

暴露是指在可能受到不利影响的地方和环境存在人员；生计；物种或生态系统；环境功能、服务和资源；基础设施；或经济、社会或文化资产。

脆弱性是指受到不利影响的倾向或倾向性。脆弱性包含各种概念和要素，包括对伤害的敏感性或易感性以及缺乏应对和适应能力。

适应能力是指系统调整以应对潜在损害、利用机会或应对气候变化后果的能力和意愿。系统可以是自然系统、个人或机构，如政府。

适应是指人们为应对或预期预计或实际的气候变化而采取的行动，以减少气候变化带来的不利影响或利用气候变化带来的机遇。

减缓是指通过减缓或停止温室气体在大气中的积聚，采取预防、减少或减缓气候变化的行动。

韧性是指自然系统承受干扰而不会崩溃到由不同过程控制的质的不同状态的能力。一个具有韧性的系统可以承受极端事件等冲击并自我重建。一旦系统失去韧性，便易受此前可吸收的变化的影响。对于脆弱系统而言，即使是微小的变化也可能具有毁灭性。即使在没有干扰的情况下，气候、土地利用和政策等逐渐变化的条件也可能超过阈值水平，引发系统的突然反应。



**GLOBAL
CENTER ON
ADAPTATION**

ANTOINE PLATEKADE 1006
3071 ME ROTTERDAM
THE NETHERLANDS
+31 (0) 88-088-6800
WWW.GCA.ORG