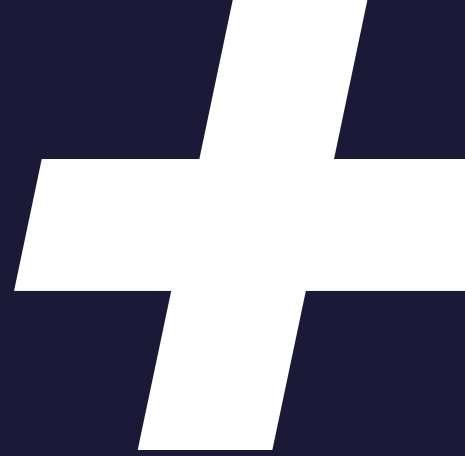




# 应对气候风险

消除气候风险的不确定性，以低成本有效适应气候变化

**dss<sup>+</sup>**  
顶世智汇



## 引言

气候风险不再遥远——它已成为一种重大商业风险。当前管理层面临的挑战不在于识别气候风险本身，而是找出气候风险对公司运营、资产和长期增长的实际影响。许多企业的气候风险评估往往停留在概念层面，缺乏清晰的行动指引，使管理层难以据此作出决策。

极端天气事件已对企业运营造成实质性冲击，保险市场不断收紧，而监管压力的推进速度也远超许多企业的预期。与此同时，气候模型精确性大幅提升，让几年前尚不可见的风险敞口无处遁形。在此背景下，依赖粗放定性评估的企业正频繁遭遇资产贬值、计划外停机以及恢复成本激增等问题。如今，各公司董事会和投资者提出了更尖锐的问题：企业是否充分了解 and 量化气候风险，并据此指导其资本配置和运营规划？

为回答这一问题，本文提供了一套实用的分步式解决方案。该方案通过科学量化资产和运营层面的财务风险敞口，将物理风险转化为清晰的风险价值（VAR）框架，并指出最可能发生气候相关故障的环节、故障的潜在严重程度，以及采取哪些干预措施能以最低成本降低风险敞口。该方案不再将气候适应视为开放性难题，而通过聚焦最关键措施，为领导层提供了确定优先事项、制定投资决策和建立问责制的明确依据。

“

气候变化不应归入低价值可持续发展议题范畴，而应被视为可管理的战略性风险，应与其他风险一样，用严谨的经济学原理加以管理。

框架包含三个不同的阶段：计算风险价值（VAR）、确定气候适应措施的优先级，以及将选定的风险缓解措施落地实施。我们设计了各阶段和具体实施步骤，以确保管理层可在每个阶段判断是否有必要推进至下一阶段。图 1 概述了整体的气候风险缓解 workflow。

## 气候韧性实现路径

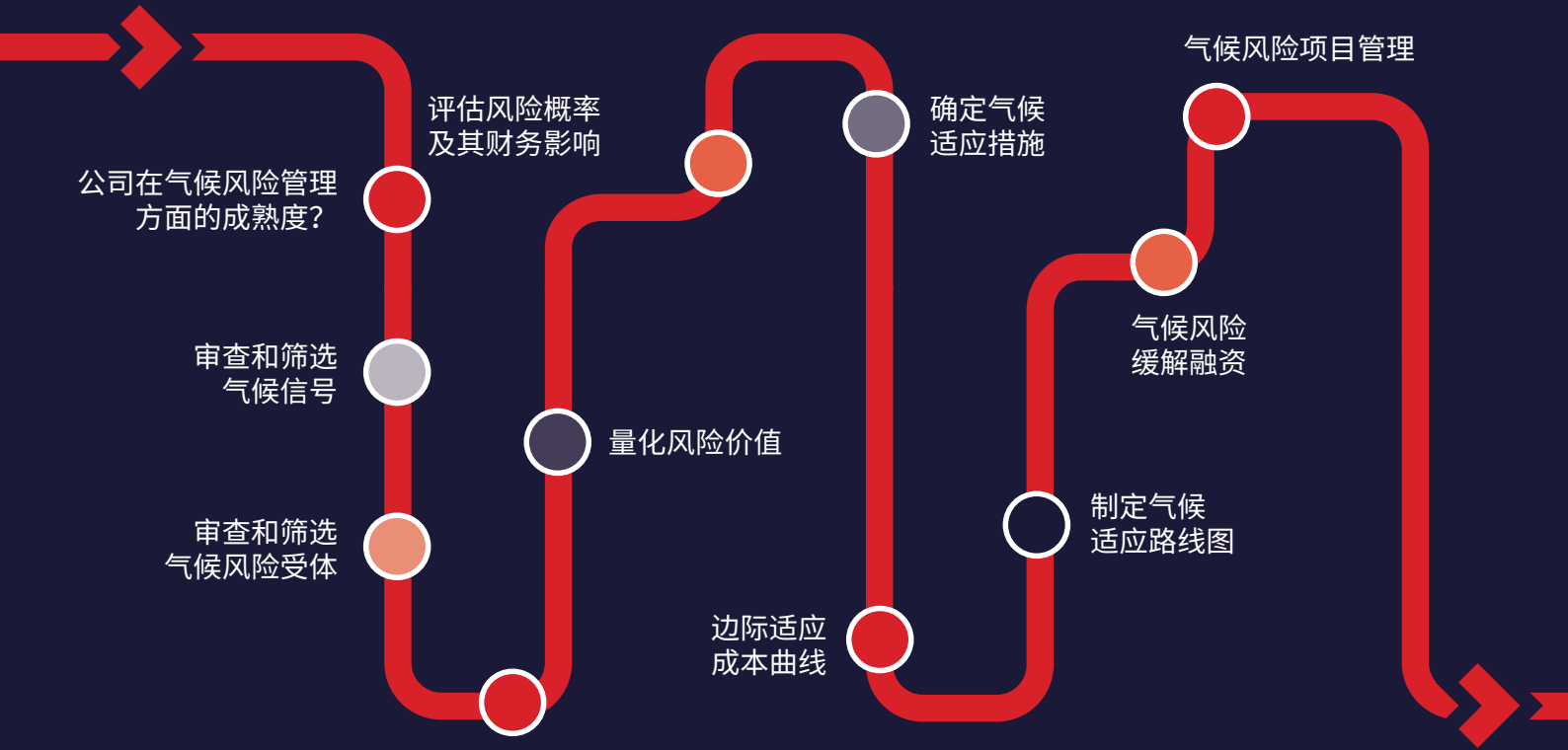
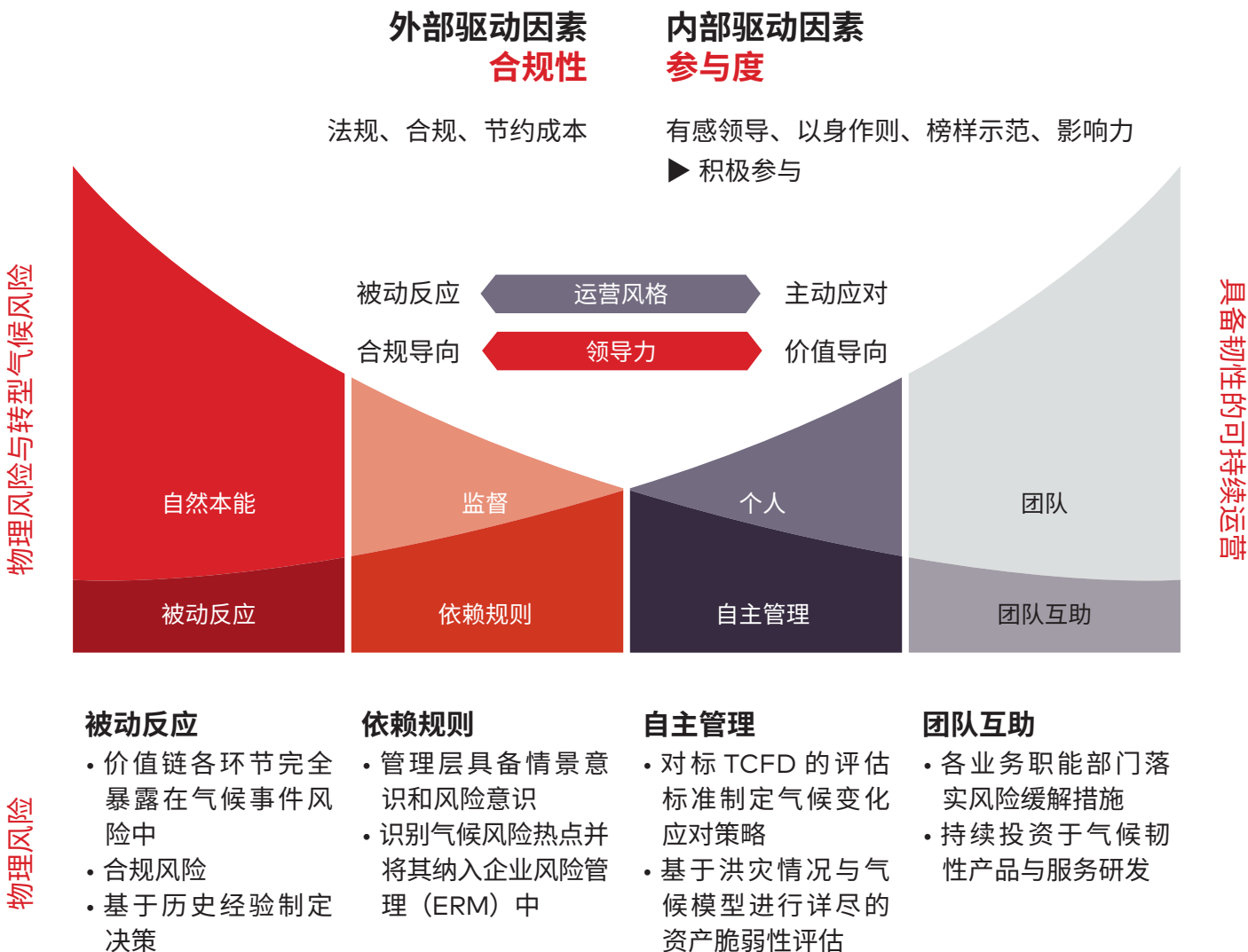


图 1：气候风险缓解 workflow

workflow 展示了清晰的气候韧性实现路径：  
首先提出基本要求并建立可靠的风险评估框架，  
然后对最具成本效益的气候适应措施进行优先级排序并落地实施。

# 第 0 步

## 实现气候风险管理所需的企业成熟度



在采取行动前，必须充分了解贵公司当前在气候物理风险管理和机遇管理的成熟度。

dss+ 采用**布莱德利曲线**评估企业成熟度，成熟度通常是一个演进过程，从被动反应阶段（主要基于合规要求和过往事件作出应对）逐步发展到团队互助阶段（即通过主动协作与创新文化，将气候韧性系统性地融入各个职能部门）。

此评估揭示了贵公司现有风险水平与“将气候风险降至合理可行最低水平”之间的差距。要提升成熟度，企业应摆脱各自为政的合规驱动型模式，转而采取综合性战略，通过预判未来气候风险影响和实施风险缓解措施来推动持续改进。总之，认清现状是构建可持续韧性运营路线图的前提。

# 第 1 步

## 审查并筛选气候风险

首先要识别可能影响运营或供应链的气候风险，如极端高温、野火、强风和热带风暴。《欧盟可持续金融分类方案》（EU Taxonomy）中列出的气候风险可供参考。

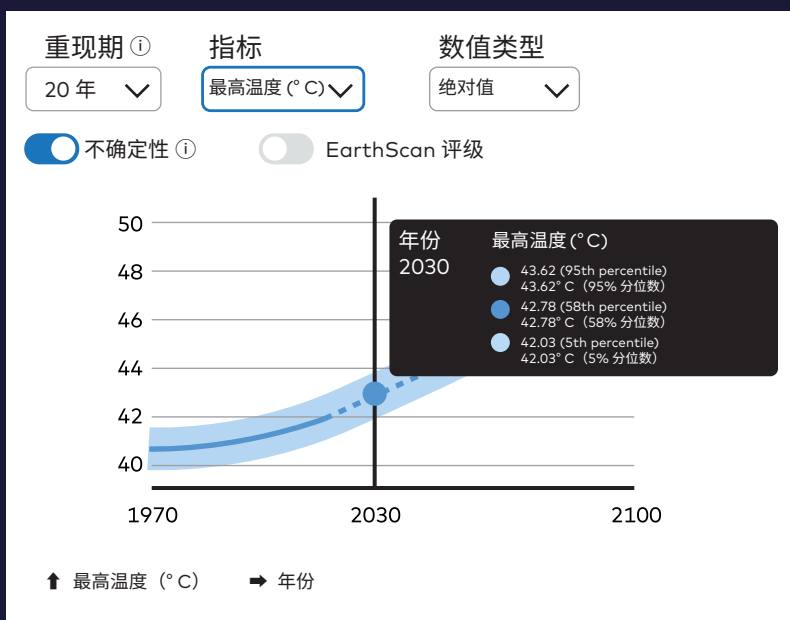
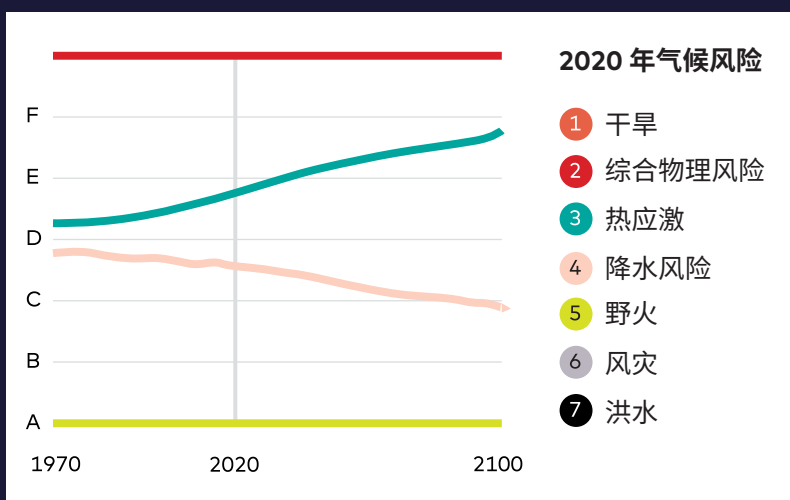


图 2：气候情景数据

“

企业应根据历史事故、保险数据、学术研究和特定行业的趋势来筛选气候风险，仅关注那些可能随时间推移发生明显变化的气候风险。

dss+ 依托 Mitiga Solutions 的 Earthscan 平台，对 1970-2100 年间低、中、高排放情景下不同时间段的气候风险预期演变进行了建模分析。图 2 展示了多种气候信号的风险指数随时间的变化趋势以及详细的最高气温估算值。

为确保分析切合实际，我们将建模的气候风险数量控制在 10 个以内，以降低气候信号 - 受体对应关系之间的复杂性。若贵公司预计自己的工厂或物流网络不会发生重大变更，则无需进行进一步分析，以节省时间和成本。

企业应重点关注历史干旱区，因为这些地区降水更不稳定且更容易发生洪灾。智利干旱区便是一个典型案例，该地区的尾矿坝可能面临最大降水量（PMP）超过坝体设计最大容量的情况。一旦溃坝，可能对当地社区和环境构成重大威胁。

## 第 2 步

### 审查并筛选气候风险受体

在确定气候风险后，需进一步确定可能受影响的系统或组件（即气候风险受体）。该环节应在工厂或运营层面开展，并覆盖价值链中所有可能出现显著的气候信号变化的场址。

我们的解决方案包括：



■ **行业扫描：**

查阅同行年报，识别已披露的气候物理风险及适应策略。



■ **文献研究：**

研究文献以了解矿厂常见受体系统及已知的气候风险脆弱性。



■ **工厂文件审查：**

分析现有的风险评估报告——如危险源辨识 (HAZID)、重大事故风险控制 (COMAH) 以及危险与可操作性分析 (HAZOP) 报告——以识别风险节点、危险源和设施组件。



■ **选择系统进行深入研究：**

通过实地考察和关键组件专项审查，绘制核心系统要素与产品流动路径。

这一结构化解决方案可提供一份全面的气候风险重点受体清单，供后续风险分析。

# 第 3 步

## 分析潜在气候脆弱性

### 受体与气候风险组合

在确定气候风险及其受体后，需进一步将其纳入气候脆弱性矩阵。该矩阵可评估各项气候风险对关键系统、运营环节、价值链组件或其他任何已知受体的潜在影响。

我们首先通过 AI 辅助文献综述，识别已知或预期气候脆弱性——例如温度升高引发的冷却和通风能耗增加，或极端降雨带来的雨水基础设施升级需求。然后派主题专家进行实地考察，在预期气候变化条件下对相关设备、系统和流程进行韧性压力测试，以验证上述案头研究的结果。

通过与维护工程师、设施经理、工厂管理层、原始设备制造商及采购团队沟通，获取有关运营限制和故障模式的切实洞察。然后根据潜在的基础设施损坏情况、增加的腐蚀维护次数、生产损失情况以及人员安全风险，初步标记高风险区。

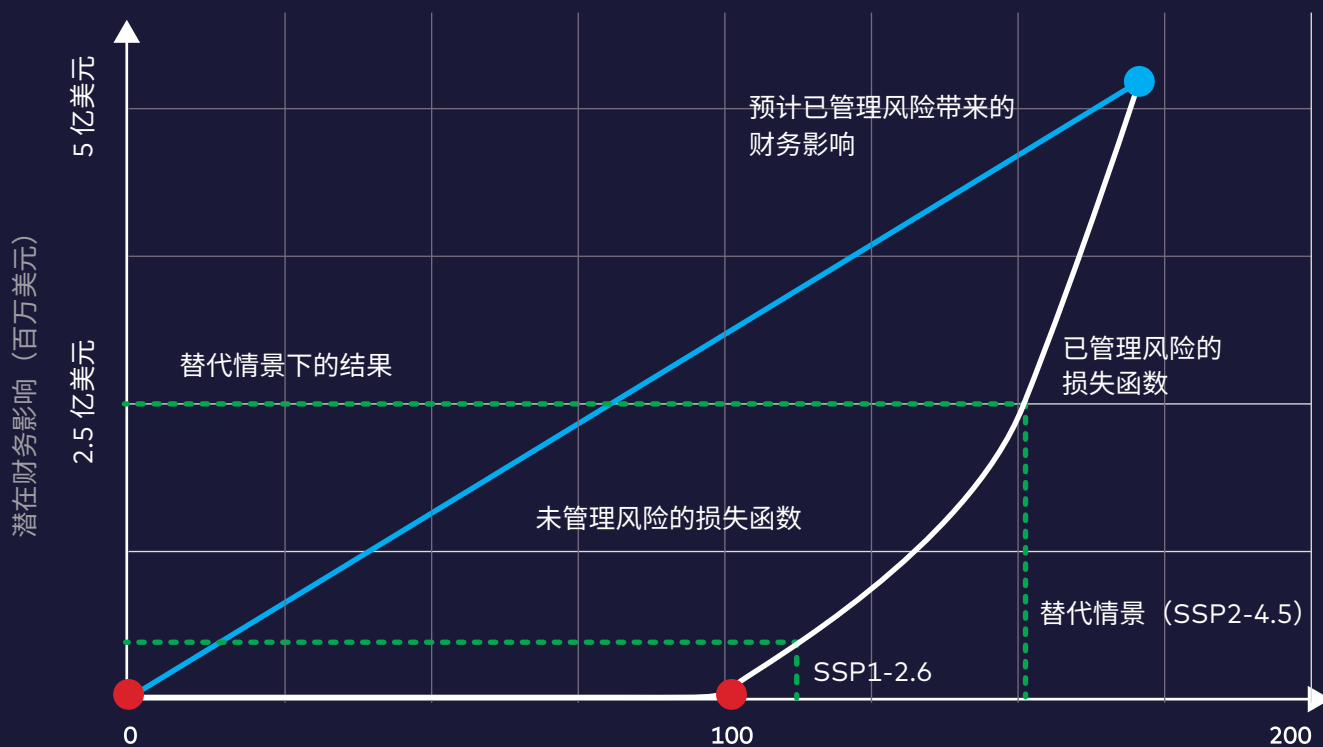
这些研究结果为后续步骤中量化风险价值和确定气候适应措施的优先级奠定了基础。

关键系统	气候风险			
	热浪	洪水	极端大风	极端降水
尾矿坝	→ 蒸发增加导致水平衡问题；衬垫热应力	水分渗入引发结构失效风险；尾矿坝侵蚀	风浪可能破坏裸露表面的稳定性	漫顶风险；滑坡；泄洪道侵蚀
露天采矿作业	工人热应激；设备效率降低	矿坑积水；运输道路被冲毁	沙尘暴和飞散碎片影响能见度与安全	滑坡加剧；岩土不稳定性增加
地下矿井巷	通风系统承压加剧；冷却成本上涨	矿井被淹没；水泵过载	井架和提升系统遭受风损	水分渗入导致设备损坏和生产延迟
运输道路与物流路线	沥青软化；车辆爆胎	道路被冲毁；桥梁坍塌	架空电线和运输结构遭受风损	进出道路侵蚀与塌陷
加工厂	破碎机和输送机过热；冷却效率降低	厂房淹水；电气线路短路	屋顶和结构受损；物料流中断	破碎机和输送机进水；腐蚀加速
供水与泵送系统	→ 蒸发加剧导致水资源短缺	泵站淹水；水源污染	外露管道和泵送设备遭受风损	泵送系统过载；水渠泥沙淤积
供电与电气系统	变压器过热、效率降低	变电站淹水；短路	输电线路和变电站遭受风损	水分渗入引发电气故障
料堆与废料场	煤堆自燃风险	废料场饱和与坍塌	风蚀与扬尘扩散	废料场液化与滑坡
人员安全与应急响应	工人热应激；生产力下降	疏散路线受限；滑倒风险增加	碎片坠落；结构不稳定	能见度低；事故风险增加

表 1：气候脆弱性矩阵

## 第 4 步

### 量化风险价值



气候风险敞口：连续降水天数 (<2mm)

在识别气候脆弱性后，需进一步将其转化为财务指标。这一过程可通过构建损失函数来实现。损失函数是一种数学模型，用于估算特定气候情景下，不同“受体 - 气候风险组合”可能产生的潜在经济损失。

例如，如果 SSP5-8.5 情景预计 2030 年将出现极端降水（日降水量达 500mm），而某尾矿坝设计的标准容量仅为 400mm。一旦溃坝，可能导致数百万美元经济损失甚至矿山关闭。反之，若该尾矿坝满足设计阈值要求，则其风险价值将为零。图 3 展示了另一个案例，即连续干旱天气可能导致加工厂因水资源短缺而中断运营，从而造成经济损失。

损失函数亦可反映不太严重的影响，如因气温上升而造成的通风系统能耗成本上涨。我们通常以保险单中的资产价值、气候风险对营收的影响，以及企业生产力损失为依据校准损失函数，同时也考虑了现有控制措施和应对计划对风险的缓解作用。

最终得出的损失函数可清晰呈现整个价值链的风险价值，有助于企业高管识别财务风险热点并制定具备成本效益的气候适应策略。

大多数企业往往基于原始设计标准和设备投运时的状态来构建损失函数，忽略了因资产完整性或维护次数不足而导致的气候风险价值上涨。老化的设备与基础设施对洪水、热浪和极端降水等气候灾害的抵御能力更弱，因此故障发生率和相关成本更高。企业在进行气候风险评估时应将资产状况与维护情况纳入损失函数，以确保准确算出风险价值并制定有效的气候适应计划。

## 第 5 步

### 评估风险概率及其财务影响



我们采用一个简单的 5×5 风险矩阵来识别最重大风险。该矩阵纳入了风险概率和财务影响，概率范围从“可能发生”到“在工厂多次发生”，影响程度则从“轻微”到“特大”。通过对每项气候脆弱性指标进行评分，然后用风险等级乘以风险价值，即可清晰呈现整个价值链的财务风险敞口。该方法凸显了可能对运营和营收产生重大影响的气候相关风险，为下一步确定气候适应措施优先级排序奠定了基础。

在较高排放情景（如 SSP5-8.5）以及更远的时间尺度（如 2050 年及以后）下，风险价值通常呈上升趋势。矿企必须确定在何种情景下做规划，并计算短期、中期和长期风险价值。审慎的做法是设定气候适应目标，以最大限度地降低当前气候风险，同时兼顾 2050 年的潜在风险敞口。鉴于排放情景与时间尺度组合众多，企业必须建立一个能随全球气候模型演变或风险偏好变化而更新计算结果的灵活系统。

“

将气候相关严重伤亡事故（SIF）风险动态纳入风险矩阵，可确保领导层决策同时反映财务与人员风险敞口，从而更全面地揭示企业的气候脆弱性。

气候变化还改变了企业的运营风险及 SIF 风险特征。某些气候相关风险会增加现有 SIF 风险的发生率或严重程度——例如极端高温会提升受限空间作业、动火作业和人工搬运重物作业的风险；强风会增加高空作业或起重机作业的危险性；强降雨和洪灾则会导致车辆移位、电气作业和应急通道通行变得更加复杂。

在其他情况下，还可能出现许多全新的 SIF 风险敞口，如强降雨会导致岩土不稳定性增加，野火风险升高会影响疏散路线和就地避难程序。虽然这些影响比设备损坏或生产损失更难以量化，但其严重程度同样不容小觑。

将气候相关 SIF 风险动态纳入风险矩阵，可确保领导层决策同时反映财务与人员风险敞口，从而更全面地揭示企业的气候脆弱性。

高风险		风险概率				
中等风险		可能发生	在其他场址发生过	在该区域发生过	在工厂发生过	在工厂发生过多次
低风险		A	B	C	D	E
特大	5	①				
重大	4					③
严重	3		⑤		④ ⑥	
微小	2		②			
轻微	1					

表 2：风险矩阵

## 已识别的气候物理风险：

- ① **滑坡**  
(已造成人员死亡，且尚未发现这些事故具有明显的气候风险相关性或敏感性)
- ② **矿坑排水**  
(已知风险领域。已配备冗余泵组，较长时间内不构成运营风险)
- ③ **生产用水压力**  
(已知风险。已实施多项适应 / 应对措施，但风险依然存在)
- ④ **工厂洪灾**  
(曾发生过，事件起因是后勤管理不善。近期洪灾已影响运营但企业仍未投保)
- ⑤ **尾矿坝溃坝**  
(已知风险，已按全球尾矿管理行业标准 (GISTM) 管理)
- ⑥ **供应链中断**  
(2024 年曾发生过，但港口管理局尚未采取明确的适应措施或建立冗余机制)



## 第 6 步

### 确定气候适应措施

本步骤旨在针对风险价值最高的领域，优先制定一套完善的气候适应措施——包括结构性措施、基于自然的解决方案、政策性措施以及行为层面的措施。企业应与客户和利益相关方共同设计这些措施，以确保其可行性和认可度。

首先应采取能迅速见效的措施（如早期预警系统、应急响应计划以及风险投保），然后逐步过渡至资本密集型解决方案（如基础设施升级、防洪设施建设以及耐高温设备改造）。所有措施均应与国家气候适应计划和行业战略接轨。

本步骤的重点在于打破成本与复杂性的束缚，制定一份包含所有潜在措施的“理想方案”，以确保不遗漏任何可行措施。在这一全面视角的基础上，企业可在下阶段综合权衡这些措施的风险缓解效果与成本效益，从而合理确定其优先级。

## 第 3 步

### 边际适应成本曲线

类似用于减排分析的边际减排成本曲线 (MACC)，边际适应成本曲线 (Adaptation MACC) 按照适应措施在降低风险价值方面的成本效益，对其进行优先级排序。该曲线根据各项措施的实施成本及其财务风险敞口削减量进行绘制，为措施的优先级排序提供清晰的直观依据。

边际适应成本曲线以整个价值链为分析对象（而非局限于个别工厂），并涵盖针对同一气候脆弱性的多项适应措施。每项措施都会修正该气候脆弱性对应的损失函数，而措施的风险缓解效果与适应成本正是这一曲线的核心信息。借助这一实用工具，决策者可找出成本最低、风险缓解效果最大的干预措施。

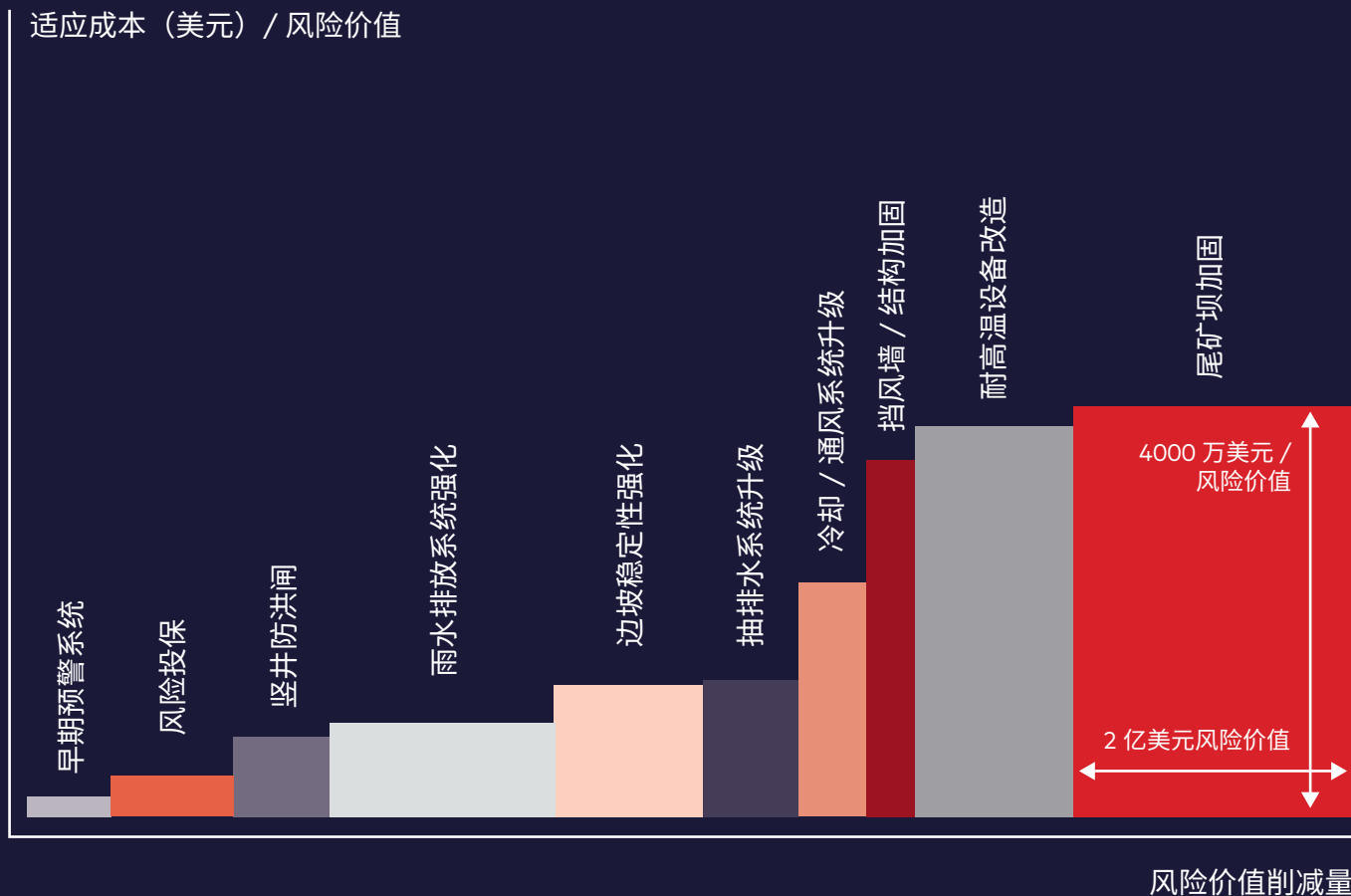


图 4：适应成本曲线

### 制定气候适应路线图并将其融入业务中

要在运营和资本限制条件下最大限度地降低风险价值，需进一步将分析结果转化为切实可行、优先级明确的气候适应路线图。该路线图综合考虑技术可行性、成本、社会影响和机构能力，利用多准则决策分析（MCDA）来权衡各项措施，并设定明确的实施节点。

然而，仅靠技术方案无法确保企业韧性。大多数气候适应措施未能得到有效落实的原因，并非在于风险或解决方案不明确，而在于企业缺乏相应的治理、能力或流程支持。基于第 1-7 步提供的洞察，我们从思维模式与行为、治理与管理流程、能力与技能水平，以及使能技术等四大方面评估了企业在实施气候适应路线图方面的准备度。

在此基础上，我们可以确定成功适应气候变化所需条件，并为企业设计针对性的干预措施，包括明确决策权与问责制，将气候因素纳入预算周期，制定维护策略，以及开展资产完整性审查、工厂绩效对话和内部健康安全审计。

最终形成的气候适应路线图兼具技术可靠性与可执行性——既符合资本分配流程，经得起投资委员会审查，又能融入企业日常运营与长期规划中。



### 气候风险缓解融资

融资规模决定了气候风险缓解的速度与规模。利用前几步提出的量化风险价值、边际适应成本曲线和气候适应路线图，企业可获得科学的投资决策分析依据，并优先实施成效最高、成本最低的干预措。



在此阶段，企业可选择**两种融资路径**。

**其一是自筹资金，即通过将气候适应措施纳入资本分配框架，并依据其风险缓解成效和经济回报进行竞争性投资。**边际适应成本曲线可精确显示各项措施对财务风险敞口的削减效果，为投资委员会和首席财务官在既有运营和资本限制条件下开展项目审批提供了典型依据。

**其二是气候融资，即通过优惠贷款、赠款、混合融资机制及韧性债券等渠道获取外部资金。**这些外部资金包括绿色债券和气候韧性债券、多边基金（如绿色气候基金）、灾害风险融资和生态系统服务付费机制，可显著降低企业的前期资本需求。要获取此类资金，企业通常要对标国家气候适应计划，展示可量化的气候韧性成果，并与公共机构或私营金融机构开展集合融资或合作融资。若能有效利用气候融资，企业不仅可降低其气候适应成本和投资风险，还能实施更具雄心或资本密集型的韧性措施。

通过这两条融资路径，企业可根据风险优先级选择融资方案，确保高价值气候适应措施兼具经济合理性与财务可行性。

### 气候风险项目管理

气候风险管理不可一蹴而就，它是一项旨在不断降低风险价值的持续改进计划——类似净零排放路径。要成功落实气候风险管理，必须将韧性融入企业的各个层面，包括思维方式、员工行为、治理结构、管理流程、能力建设以及使能技术。

我们的经验表明，企业不能适应气候变化的原因不在于风险认知不足或技术方案缺失，而是因为理解 and 识别风险后仍存在准备度缺口，导致其难以有效落实气候适应计划。

主要缺口包括：

- 职能与职责分工不明确，缺乏问责制；
- 汇报路径、监控路径和流程缺失或不符合要求；
- 决策流程未将气候适应机制明确纳入财务规划；
- 应急预案的覆盖范围不合适；
- 企业未确定和培养所需能力。

成功的企业往往会建立跨职能项目管理办公室，以监控项目进展、扫除项目落地过程中必然出现的障碍，同时确保组织层面的关键成功要素和技术方案都得到落实，还会以持续改进的思维逐步提升企业成熟度和标准流程的整合水平。我们可支持企业进行关键人员培训和辅导，以确保其理解并履行新职责。

企业必须实现自动化评估，以便在年度预算周期内，高效利用更新版全球气候模型（通常每五年更新一次）重估气候风险。系统与流程设计应具备可扩展性和整合性，以确保企业能快速重算风险价值并调整气候适应优先级。通过制度化气候风险治理和团队能力建设，企业可将气候适应措施纳入核心业务规划，并保持长期韧性。





图 5：成功落实气候适应措施的关键组织要素

# 结论

气候风险不再是抽象的可持续发展议题——它已成为需要用数据驱动型结构化解决方案化解的重大商业风险。本文提出的 10 步解决方案通过量化风险价值、确定气候适应措施的优先级以及将韧性融入核心业务流程，将不确定性转化为清晰的行动路径。该方案通过识别气候信号和受体、构建损失函数、评估财务风险敞口，以及利用边际适应成本曲线对干预措施进行优先级排序，可确保企业制定出兼具科学依据和经济效益的决策。

尤其重要的是，该路线图将气候适应机制融入企业战略、治理和融资体系，使其能在运营和资本限制条件下采取行动，同时把握外部气候融资机遇。通过实现制度化持续改进与自动化评估，企业不仅可保持良好的发展势头，还能借助不断演变的气候模型来高效重估气候风险，从而满足监管要求。

**这不仅关乎合规性，更关乎气候变化背景下的企业资产、运营和业务增长保障。通过采用这一结构化解决方案，企业不仅能降低风险，还能增强韧性、提升成本效益和利益相关方信心，从而获得竞争优势。**

## 作者



Gerhard Bolt 博士  
dss+ 气候和可持续性负责人  
邮箱: gerhard.bolt@consultdss.com  
电话: +2782 937 3337

## 合著者



**Kathrine Vad**  
dss+ 高级经理  
邮箱: kathrine.vad@consultdss.com  
电话: +41 79 454 6951



**Walter Booyesen 博士**  
dss+ 高级经理  
邮箱: walter.booyesen@consultdss.com  
电话: +2783 381 7879

## 关于 dss+

dss+ 作为一家领先的运营管理咨询服务提供商，以拯救生命和创造可持续发展的未来为宗旨。

dss+ 有着多年的咨询经验，勇于创新，以满足客户不断变化的需求。我们帮助企业建立组织和人员能力，管理风险，实现可持续发展和 ESG 目标，并更负责地运营。

dss+ 凭借深厚的行业和管理专业知识以及多元化的团队，通过将企业发展与可持续发展目标紧密结合，不断开发符合中国市场需求的解决方案，提供包括企业运营风险管理、卓越运营管理、创新与研发、环保以及数字化等解决方案，帮助合作伙伴实现一流的安全业绩和卓越的可持续运营。

更多信息请访问网站 [www.consultdss.com](http://www.consultdss.com)

**dss+**  
顶世智汇



更多关于 dss+ 解决方案, 欢迎联系我们

021 5068 2805  
info.cn@consultdss.com  
www.consultdss.com

