



# 水道水风险框架

## AQUEDUCT WATER RISK FRAMEWORK

PAUL REIG, TIEN SHIAO, 和 FRANCIS GASSERT 著

### 执行摘要

由于企业及投资者对与其业务相关的水风险（包括物理性、监管性以及信誉方面的风险）的认识正在不断提高，帮助其评价与水风险相关的可靠的、可比的以及综合性的数据信息就成为需要。为了满足这种需要，世界资源研究所（WRI）市场和企业项目组编制了“水道水风险地图集”，这是一个综合性的、可供公众使用的全球数据库和交互式绘图工具，提供了全球范围的与水有关的风险信息。“水道水风险地图集”设置了一系列指标，包含多种变量，并通过水风险框架把这些变量和数据集合在一起，计算综合风险评分。借助这些信息，企业及投资者可以采取合理措施，优化财务收益，完善水管理；政府则可以与私营机构合作，找到合理的、可持续的水管理解决方案。本文介绍了水风险框架和其所包含的指标，以及数据汇总、计算综合评分的方法。

### 目录

前言 .....	1
水风险框架 .....	3
复合指数 .....	3
框架 .....	4
水风险指标 .....	4
物理水量风险 .....	4
物理水质风险 .....	6
监管和信誉风险 .....	6
数据选择 .....	7
数据集成和风险评分 .....	7
阈值的设定 .....	8
结果的标准化和评分 .....	8
指标权重的设定 .....	8
指标数值的集成 .....	9
结果显示 .....	9
结论 .....	9

**免责声明：**“工作论文”包括初步的研究、分析、结果和意见。“工作论文”用于促进讨论，征求反馈，对新事物的争论施加影响。多数工作论文最终将以其他形式发表，内容可能会修改。

**引用建议：**Reig P.、T. Shiao和F. Gassert。2013。  
“水道水风险框架”工作论文。华盛顿特区：世界资源研究所。可从以下网址获得：<http://www.wri.org/publication/aqueduct-water-risk-framework>。

## 前言

水道水风险地图集（水道）是一个综合性的、可供公众使用的全球数据库和互动式绘图工具，提供了全球范围的与水有关的风险信息。“水道项目”选取了12项全球可比的指标，向企业及投资者和其他读者展示各地区面临的与水有关的风险。借助水道水风险地图，企业可以评估它们面临的外部水风险，综合考虑用水量信息；投资者可以识别出威胁到投资利益的水资源问题；公共部门的决策者可以更好地理解水资源安全问题，以及水资源在经济发展中的作用。

本工作论文的第一部分讲述了如何把12项全球指标进行分组，并建立水风险框架。第二部分定义了框架的各个类别和对应指标。第三部分重点介绍如何将多项指标整合为综合风险评分的方法。论文的结尾还列举了经验教训，以及对以后研究提出的建议。

## 研究背景

上个世纪，全球用水量的增长速度是人口增长速度的两倍以上<sup>1</sup>，水资源短缺已经影响到了每个洲。根据联合国估计，到2025年全球将有18亿人口生活在水资源绝对短缺的国家和地区；世界三分之二的人口将面临水资源压力；发展中国家的取水量将增加50%，发达国家将增加18%<sup>2</sup>。对于企业来说，水资源的可获取性将对企业发展造成限制，特别是用水密集型行业的企业，以及运营、市场和供应链处于水资源压力区域的企业<sup>3</sup>。水资源短缺已经限制了中国、澳大利亚、印度和美国部分地区的经济发展。

根据碳信息披露项目的《CDP全球水资源报告2012年》调查，在做出回应的全球500强企业中，超过一半（53%）的企业业务受到水资源造成的不利影响，有些企业用于这方面的财务费用高达2亿美元<sup>4</sup>。

企业与水有关的信息少有披露，也很少有企业能够获得其供应商的水资源信息<sup>5</sup>。这方面的数据缺乏特别令人担心，因为对于很多企业来说，它们大部分的水足迹源于它们的供应链<sup>6</sup>。最近出现了很多新的工具帮助企业了解水风险的复杂性质，但是，这些工具在衡量和报告各地区的水风险时，仍然存在显著的不一致和差距。例如，在公开的水供应和需求信息中，很多局限于大型汇水流域和国家层面，缺乏细化的数据，难以准确地判断特定地点的水资源情况。另外，各地区的水风险数据经常以原始数据方式提供，缺少解释，非专业读者难以理解。为了解决这些问题，世界资源研究所（WRI）市场和企业项目组（MEP）开发了水道水风险地图集，为公众提供了一个便于使用的全球数据库和绘图工具，包括高度细化的水风险信息。通过对水风险进行量化、绘图和展示，本项目希望：

- 帮助企业及投资者评估和了解各地区的水风险；
- 帮助公共部门人员更好地理解水资源安全问题；
- 为水管理以及其他信息分析人员提供高质量的指标和地图。

## 水风险框架

全球水资源短缺是一种新出现的重要风险；但是，它对于各利益相关方的威胁性存在差异，这取决于各方受风险影响的程度，以及各方对于风险的抵抗能力。例如，在非洲的奥卡万戈河流域，不同城市对于干旱的抵抗能力有所不同，这跟它们为了缓解自然风险而采取的应对措施不同有关（如采取水资源保护激励措施和建设基础设施）。与此类似，在相似地区运营的两家用水密集型企业在，在水资源短缺期间所面临的信誉风险可能有所不同，这取决于企业对水资源监管的重视程度。例如，一家企业通过回收利用废水，减少了对当地水源的依赖性，为当地的农民保留了更多的水资源，这可能会获得更好的信誉。不过，无论对于可持续用水的重视程度如何，附近的企业均面临相同的外部水资源条件，通过了解和评价与水有关的风险，这些企业均可以受益。

水资源短缺、水质问题、与气候有关的影响、淡水需求不断增加，以及淡水竞争加剧等问题，让企业界越来越担心。为了帮助企业界解决这些问题，WRI根据当前的文献资料和研究成果，把水道水风险地图集中的12项全球指标进行分组，建立水风险框架（参见图1）<sup>7</sup>。这个框架把各项指标归纳到不同的风

险类别中，以便创建一项综合指数，把多方面的与水有关的风险组合在一起，形成综合性的总评分，并通过建立适用于全球的、统一的评分体系，水道水风险地图集可以快速地对不同方面的水风险。

## 复合指数

多年来，人们在水资源和经济政策中广泛使用单一指标<sup>8</sup>。但是，人们越来越需要更好地了解与水有关的各种风险之间的相互作用，因此需要一种复合指标，在一项指数中可以纳入多种不同的变量。例如，人类发展指数出现后，促使人们在2001年制定了水贫穷指数（WPI），这就是一个水管理综合指数<sup>9</sup>。随后，WPI成为加拿大政府制定水资源可持续性指数<sup>10</sup>的依据，也成为制定气候脆弱性指数<sup>11</sup>和水资源脆弱性指数的依据<sup>12</sup>。其他与水有关的复合指数还包括环境绩效指数<sup>13</sup>、水资源管理适应能力指数<sup>14</sup>、流域可持续性指数<sup>15</sup>与人类水安全和生物多样性累积事件威胁指数<sup>16</sup>。这些指数从不同的角度表征了水资源或环境的可持续性。不过，在水道水风险框架制定出来前，已有的公开资料中尚没有用于评估企业及投资者面临的水风险指标。

图 1 | 水道水风险框架



## 框架

水道水风险框架希望通过提供各地区的水风险信息，并整合最新的研究、数据和水文学建模方法来填补这一空白。“水道”项目补充了现有工具的不足，建立了其他与水有关的指数，体现了有关水风险的最前沿的指标和最新的思考。具体来说，这个框架通过提供综合性的、集成的水风险评分，并把结果绘制成地图，让企业及投资者便于理解，补充了其水资源工具的不足，并根据数据可利用性、试验研究和专家咨询意见，选择水风险框架中的指标。共有20多名来自私营和公共部门，以及学术和非政府组织的专家组成顾问组，对水风险框架进行指导和审查。

借助水道水风险框架，使用者可以采用单独的指标或者综合指标来研究，也可以对多个指标进行量化和比较分析。根据环境责任经济联盟提供的定义，企业面临的水风险指标分为三类别。<sup>17</sup>

- **物理水量风险：**与水量有关的物理风险是指，水量变化（例如干旱或洪水）会影响企业的直接运营、供应链和物流。物理风险还包括由于水资源问题造成电力中断，因为很多电力生产过程需要水进行冷却（例如核电或火电）或者需要水来发电（水电）。
- **物理水质风险：**与水质有关的物理风险是指，水质变化会影响企业的直接运营、供应链和物流。
- **信誉和监管风险：**信誉风险是指，因水资源问题与公众发生矛盾，企业形象会受到损害，甚至导致企业失去在这一地区运营的资格。信誉风险在发展中国家特别常见，因为那里的基础设施和法规不完善，无法让所有的用水者都能获得安全、可靠的饮水供应。监管风险是指，与水有关的法规会影响到特定的企业。随着物理水压力和信誉水压力的增加，很多当地政府和国家的对应措施是实施更严格的水管理政策。如果估计不足，这些监管变化会让企业付出高昂的代价，有时候，甚至会限制企业在特定地区的工业活动。

借助本框架，使用者可以获得综合水风险的评分，也可以获得上述三种风险类别各自的评分。因此，本框架提供的信息适用范围广泛，不仅适用于关注物理、监管和信誉风险的用水密集型用户，也适用于希望更好地了解 and 评价复杂地区水资源情况的其他用户。

框架中所选取的指标纳入了每种水风险的代表性参数，指标选择的依据为：（1）与大型用户的相关性；（2）在公开资料中的数据可获得性；（3）是否能够绘制出全球次流域层级的详细地图。

本论文中讨论的框架、指标和方法都经过了流域专家的联合测试，包括六个主要的河流流域：澳大利亚的墨累-达令河流域、中国的黄河和长江流域、南部非洲的奥林齐派森曲河流域、美国的科罗拉多河流域与东南亚的湄公河流域。这些测试的结果和元数据可以从项目网站上下载（[www.wri.org/aqueduct](http://www.wri.org/aqueduct)）。

## 水风险指标

在水风险框架的很多指标中，需要使用两项基本的供水参数：总水资源量和可用水资源量。总水资源量与天然水径流量相当，包括流域内的产水量和上游累积的径流量。可用水资源量是地表水资源可利用性的估测，通过总水资源量减去所有上游消耗性用水量计算得来。

本节将详细介绍各类别水风险和其中包含的指标。

### 物理水量风险

与水量有关的物理风险定义为，如果水量变化（例如干旱或洪水），就会影响企业的直接运营、供应链和物流<sup>18</sup>。在全世界的企业界中，拥有充足的、可靠的供水已经成为越来越受关注的问题；这个问题会直接影响企业的供应链、运营、生产率和总体发展。例如，2011年，巴基斯坦的洪水和中国的干旱造成作物损坏，导致棉花价格飞涨，使李维·斯特劳斯公司很快意识到与水的可获得性有关的风险<sup>19</sup>。同样是在2011年，东南亚的洪水迫使本田公司和丰田公司停止了在泰国的所有生产<sup>20</sup>，导致丰田汽车公司在日本工厂生产的汽车数量比原计划减少30%<sup>21</sup>。同一年，美国的干旱造成盖普等企业把利润预测值下调22%<sup>22</sup>。“水道”采用以下七项指标，纳入了与水量有关的水风险参数：基线水压力、年际变化、季节性变化、洪水发生率、干旱严重性、上游储水量和地下水压力（图2）。

#### 基线水压力

基线水压力等于每年取水量除以可用水资源量的平均值。基线水压力体现了可用水资源的竞争程度，并用于估算受关注的淡水资源的可获得性<sup>23</sup>。

基线水压力和其他类似的评价取水量与可用水资源量关系的指标，被广泛用于科学和政策研究文献中，用于判断承受水压力的地区<sup>24</sup>。这个指标以总取水量为分子，体现了当地需要的实际水量，进而表征在供水不足时，水资源的竞争程度和对替代水源的需要程度。分母采用可用水资源量，代表消耗性取水量对于水资源可获得性的累积影响。基线水压力数值超过20%的区域，会开始面临环境<sup>25</sup>、竞争性用水和供水天然变化等风险。用水量与供水量之比的阈值为40%时，代表严重的水压力<sup>26</sup>，在这种情况下，会导致企业面临以下水风险：与竞争性用户之间的矛盾增加；难以及时获得供水和用水许可；由于出现新的用水限制条件或需要新的、替代性的、费用更高的水源，造成费用增加。例如，世界最大的铜、金和钼生产商之一自由港迈克墨伦公司，正在投资3亿美元在太平洋沿岸修建海水淡化工厂和输水管道，用于满足其中一个矿场的长期供水需要<sup>27</sup>。

#### 年际变化

年际变化是每年总水资源量的变化系数。变化系数等于标准偏差值除以平均值，这是一种常用的计算方法，用于衡量河流经

图 2 | 物理风险：水量指标



流量的波动性。年际变化参数体现了供水的不可预测性，这是一项重要的解释性变量，用于从经济和国际关系的角度分析跨边界的河流流域中的共用水量<sup>28</sup>。

年际变化的数值越大，意味着不同年份之间的可再生淡水供应的变化越大。如果缺乏足够的储水量和管理机制，较大的年际变化会威胁到企业运营，因为在干旱年份会出现供水不充足或不可靠。2012年，为了降低由于降水量大幅变化造成的环境风险和生产时间损失，英美资源集团受到了大约8300万美元的财务影响<sup>29</sup>。

### 季节性变化

季节性变化是一年12个月的各月份之间的平均总水资源量的变化系数。通过提供一年之内的供水变化信息，季节性变化指标补充了年际变化指标的不足。

在季节性变化较大的区域（例如同时存在季风雨季和较长旱季的区域），通常已经形成了适应当地气候的用水方式。但是，随着需求增加，用户需要在一年中的干旱时期找到替代性水源。如果缺乏足够的储水量和管理机制，在干旱月份的取水会导致地下水消耗，甚至在用水户之间产生矛盾。这种情况的发生会威胁企业的运营，与水有关的工艺（例如生产、冷却和配送），会出现预料之外的中断。为了满足额外的储水和回收利用要求，往往会造成企业运营费用的增加。例如，马来西亚居銮的季节性干旱导致生产缩减，造成金佰利公司损失200万美元<sup>30</sup>。

### 洪水发生率

洪水发生率是在一定的时期内，大型洪水发生的次数。洪水次

数这项参数体现了与水量过多直接相关的物理风险和停产可能性。

如果在特定的汇水流域内，水管理机构不能充分地预防或控制洪水的影响，则频繁发生的洪水会加大停产的可能性<sup>31</sup>。如果缺乏天然储水容量、防洪基础设施或合适的洪水管理响应计划，洪水会造成人员、运营和供应链中断，进而造成企业运营中断。例如，2010年，由于萨索尔合成燃料工厂的部分区域发生洪水，萨索尔有限公司遭受了大约1560万美元的生产损失<sup>32</sup>。另外，发生洪水后，由于保险费用、财产损失或补救费用较高，造成费用进一步增加。

### 干旱严重性

干旱严重性用于估算平均的干旱严重程度。干旱严重性等于某一区域在一段时间内，发生的所有干旱的平均时间长度乘以干燥程度。干旱的定义是，土壤含水率持续异常偏低的一段时间；干燥程度指的是土壤含水率低于规定的阈值时，相差的百分点平均值；时间长度指的是干燥的持续时间，以月计。

在频繁发生干旱的区域，可能严重依赖管理制度和基础设施帮助缓解供水的大幅变化。在缺乏管制制度或基础设施的地区，或者干旱的持续时间和严重性超出管理机构的解决能力时，大型用水户会更加脆弱。例如，在2008年美国干旱期间，南方公司因为水力发电量下降50%而承受了2亿美元的损失<sup>33</sup>。严重干旱会中断生产、冷却和配送等工艺，中断供应链和农业生产，削弱经济，影响企业。

### 上游储水量

上游储水量等于总上游储水容量除以平均总水资源量。上游储水量体现了对供水变化的缓冲能力和地区的供水适应性<sup>34</sup>。

上游储水量体现了某区域是否装备良好，可以缓冲供水变化，提高供水的可靠性。上游储水量也用于学术文献，作为地区经济社会水资源压力指标<sup>35</sup>和由供水造成的脆弱性指标<sup>36</sup>。比值越大，说明对于水资源可利用性变化的适应性越强，对于水资源短缺和洪水的脆弱性越低。目前，工业取水量占全球水需求量的大约16%，预计到2030年达到22%<sup>37</sup>。由于水需求量快速增长，对于很多对水依赖性较高的企业，特别是位于年际变化和季节性变化较大的区域的企业，获取储水已经成为优先考虑的事项。因此，在评估某区域的与水有关的总体业务风险时，必须考察是否存在无法获取储水的风险。应注意，这项指标没有考虑水库建设对于水文和生态系统的不利影响。

### 地下水压力

地下水压力指的是地下水资源面临的大面积压力。地下水压力的计算方法是，地下水足迹（GF）除以含水层的面积。GF等于每年平均地下水抽取量与补水量的比值，减去地下水对环境河流

的贡献率，乘以相关区域的面积<sup>38</sup>。因此，通过把GF除以含水层面积，我们得到了含水层流入量和流出量之间的差值，以及地下水需求量和可持续供水量的比值。

地下水为数十亿人供水，同时也为灌溉农业和大型工业用户供水，对于很多生态系统的健康具有重要影响。研究表明，人类正在过量开采很多大型含水层中的地下水，特别是在亚洲和北美。很多地区的地下水资源和与地下水相关的生态系统受到威胁。据估算，大约17亿人生活在这样的地区<sup>39</sup>。

如果地下水压力比值大于1，表明地下水消耗不可持续，会影响地下水的可利用性，并影响与地下水相关的地表水和生态系统<sup>40</sup>。如果用水密集型产业依赖处于压力下的含水层，在取水问题上，很可能面临更激烈的竞争和更严格的监管。而且，如果出现此类情况，会促使企业寻找替代性水源，通常花费更高。由于当地地下水源可获得性的数据有限，人们了解不多，因此在评价地区的水资源时，这方面的数据至关重要。

## 物理水质风险

与水质有关的物理风险定义为，如果水质变化，会影响企业的直接运营、供应链和物流<sup>41</sup>。高质量的工艺给水对于很多工业生产系统来说十分重要。2012年，根据CDP全球水资源报告，在做出回应的全球500强企业中，20%的企业表示它们的直接运营面临与水质下降有关的风险。有些流域水质较差，处于这些流域的企业需要更多的投资和运营费用，对进水进行预处理和监测。另外，水质较差会导致企业运营和生产的中断。例如，2007年，英特尔公司和德州仪器公司需要超过110亿加仑的超纯水，用于生产硅芯片<sup>42</sup>。因为依赖高质量的给水，摩根大通银行估算，如果英特尔公司或德州仪器公司的生产设施因为水的问题而停工，会导致一个季度损失收入1亿到2亿美元<sup>43</sup>。整个饮料行业均需要获取高质量的淡水，以保持产品的质量和安全性<sup>44</sup>。“水道”项目采用回流比和上游保护地两项指标衡量无法获取高质量的给水风险（图3）。

图 3 | 物理风险：水质指标



## 回流比

回流比等于所有上游非消耗性用水量除以可用水资源量的平均值。回流比体现了可以利用的回用水的百分比，这些水从上游作为废水排放过来。

某些地区依靠废水处理基础设施确保水质合格。回流比指标体现了这些地区对于处理设施的依赖性。如果缺少足够的处理设施，企业和其他大型用水户因为需要进行更多的水处理而将面临更高的运营费用；需要对进水和出水水质进行更严格的监测；需要找到替代性水源。较高回流比带来的较高风险可以通过建设污水处理厂和有效的自然保护系统得到缓解。

相对于依赖地下水资源的用水者，这个指标更适用于依赖地表水源的用水者。

## 上游保护地

上游保护地指的是来源于保护区的总水资源量的百分比。保护区包括大面积的未经改造的，或改造很少的区域，这些区域被隔离出来，以便保护自然条件、生物多样性、地质/地貌特性、生态系统，以及特定的物种和栖息地<sup>45</sup>。很多此类自然保护区具有生态系统服务功能，包括淡水储存、洪水防护和营养物质循环再生。来源于保护区的径流很少受到人类活动的污染，因此有助于保持下游的良好水质。

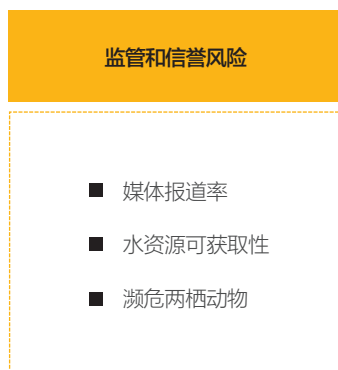
数值越低，说明在上游汇水流域中，受保护的区域比例越小。如果企业和其他大型用户处于上游保护地数值较低的区域，它们必须认识到潜在的水质问题和上游人类活动造成的污染问题。

## 监管和信誉风险

企业在稳定的监管环境中会发展得比较顺利，但是，如果法规或政策出现预料之外的变化，企业就会付出高昂的代价。当与水有关的法律或法规出现预料之外的变化时，往往会导致企业运营费用的增加，降低投资吸引力，改变竞争地位。在这种情况下，就会出现监管风险的升高<sup>46</sup>。监管变化会影响水资源分配、水价、选址或取水许可与污水排放要求等，这将会影响企业的战略发展计划，因为这些改变意味着成本费用的增加，甚至导致运营和供应链的中断。例如，南非煤矿控股公司声明，该公司计划关闭位于Umlabu的运营业务，部分原因是获得取水许可证的时间被推迟，而没有取水许可证就无法进行开采工作<sup>47</sup>。与此类似，爱克斯龙公司最近声明，该公司位于美国新泽西州的核电厂将提前停止运营，比原计划提早了10年，原因是核电厂在剩余的8年寿命时间内，如果要满足更严格的取水许可条件，需要花费8亿美元以上<sup>48</sup>。

与监管风险不同，信誉风险是指企业受到批评的程度。如果它们在淡水资源、生态系统和社会等方面的决策、行动或影响受到

图 4 | 监管和信誉风险指标



批评，就会导致客户或投资方受到潜在的损失<sup>49</sup>。信誉是企业最重要的资产之一，也是最难以保护的资产之一<sup>50</sup>。2012年，在对CDP全球水资源报告做出回应的企业中，有15%的企业表示在直接运营中存在信誉损失的风险。这种风险很容易引起社会反对意见和用水不平等状况的发生，从而对企业运营造成严重的影响。另外，新兴经济体国家的政府越来越重视社会公众的需求。这类情况会对企业造成重大的影响，有时会导致企业丧失运营许可，例如百事公司和可口可乐公司装瓶厂在印度喀拉拉邦丧失了运营许可，曼哈顿矿业公司和Meridian黄金公司在拉丁美洲丧失了运营许可<sup>51</sup>。“水道”采用以下三项指标，纳入了监管风险和信誉风险参数：媒体报道率、水资源可获取性和濒危两栖动物（图4）。

#### 媒体报道率

媒体报道率指的是有关某地区水短缺和水污染的所有媒体文章的百分比。内容涉及水污染和水短缺问题的媒体报道的数量，体现了媒体和公众对于水资源的重视程度，以及对于企业水资源管理方式的重视程度<sup>52</sup>。了解公众对于水问题的重视程度，有助于估计潜在的社会矛盾和公众担忧，这些矛盾和担忧会转化为企业和其他大型用户的信誉风险。

文献和专家普遍认为，信誉风险是企业的主要风险之一，这种风险来自于企业与水的关系。这种风险的表现形式为由于难以获取水资源或水资源退化引起的公众紧张和社会矛盾<sup>53</sup>。媒体报道率越高，说明社会对于水资源的重视程度越高，如果企业以不平等或不可持续的方式使用水资源，造成社会紧张和反对的可能性也越大。当地矛盾会损害企业形象，转化成法律费用，并导致雇员危机和发生供应链中断<sup>54</sup>。

#### 水资源可获取性

水资源可获取性是指不能获取洁净饮水水源的人口的百分比。洁净饮水水源的定义是，凭借天然构造或者通过主动干预，

防止外部污染，特别是粪便物质污染的水源<sup>55</sup>。

该数值越高，表明这个地区的居民越难以获取安全的饮用水源以及维持水资源的公平利用。在水资源可获得性较差和使用不公平的地区，企业面临当地社会或国际社会反对的风险可能会更高。此类风险在发展中国家特别常见，因为那里基础设施和法规往往不完善，难以向所有的用户提供安全可靠的饮水<sup>56</sup>。

#### 濒危两栖动物

濒危两栖动物指标是根据国际自然保护联盟（IUCN）的分类，衡量淡水环境中被归类为“濒危”淡水两栖动物物种的百分比。因为两栖动物对于自然生态系统的破坏比较敏感，所以可以作为表征生态系统健康和脆弱性的指标。

某地区的淡水生态系统面临的威胁越大，越脆弱，则这个地区越有可能对于淡水使用加强监管，特别是取水量和废水排放量较大的地区，监管会更加严格。濒危两栖动物的数值越高，说明淡水生态系统越脆弱，监管风险也越高。

## 数据选择

为了计算各指标的数值，并确保结果的正确性，WRI坚持采用公开资料中的最可靠的全球数据库。同时，WRI考虑到全球数据库存在的局限性，通过咨询相关专家，获得了关于数据库选择的建议，并形成严谨、可行的选择流程。该流程包括以下步骤：

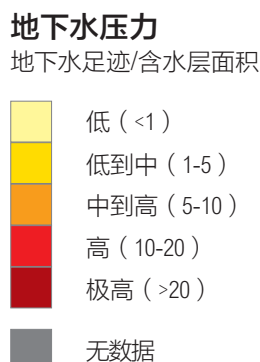
- 第1步：对相似的计划、研究和项目进行文献综述。
- 第2步：根据专家推荐意见，在全球范围的公开资料中确定数据来源。
- 第3步：对所有识别出来的数据源进行比较分析，并根据详细程度、时间范围、发表日期和来源进行评估。
- 第4步：根据比较分析和专家反馈的结果最终确定数据来源。

## 数据集成和风险评分

确定数据来源之后，WRI对12项全球性指标进行了计算分析和绘图。不同指标的计算和绘图流程不同，这取决于空间分辨率、数据规范和工作方法。

计算好指标后，用户可以单独观察结果，或者把结果集成成综合风险评分，把各项指标集成成综合风险评分的方法如下。

图 5 | 地下水压力阈值



## 阈值的设定

指标集成的第一步是把所有指标置于可比较的尺度下。选定一系列阈值，把指标分为5个类别，对指标进行标准化。例如，根据地下水抽取量与补水量的比值，地下水压力指标被分为五个类别(图5)<sup>57</sup>。

对于每项指标，根据现有文献、政府或政府间准则，指标数值分布范围以及专家判断来确定阈值。例如，对于基线水压力的阈值确定，WRI采用了科学文献中已有的相关阈值建议<sup>58</sup>。

## 结果的标准化和评分

把所有指标数值与阈值进行匹配，并进行数据标准化，评为0-5分，0-1分对应于最低的类别，4-5分对应于最高的类别。采用以下通用函数，把阈值处于同一对数尺度上的指标(例如基线水压力)匹配在一起：

其中， $r$ 是原始数值， $t_1$ 是最低类别的上限阈值， $base$ 是阈值之间的增加率。如果数值大于5或小于0，则截去超出部分，保持在0-5的范围内。采用以下通用函数，把阈值处于同一线性尺度上的指标匹配在一起：

$$\min(5, \max(0, \left(\frac{\ln(r) - \ln(t_1)}{\ln(base)} + 1\right)))$$

其中 $diff$ 是阈值之间的差距。对于不规则的阈值，可以使用不同的函数。

$$\min(5, \max(0, \left(\frac{r - t_1}{diff} + 1\right)))$$

采用阈值对指标进行标准化的这种方法具有多项优点，但也有一个明显的缺点。最主要的优点是，可以形成清楚的类别，以便根据准则进行评分。与纯粹的数学或统计学方法相比，阈值法不会受到极端数值的影响。即使采用新的数据来源，也可以进行比较。但是，缺点是指标的评分无论是根据准则评分还是统计学分布，都是一种主观的判断。通过设定阈值，WRI为具体的指标数值赋予了含义。为了保持流程的透明度，WRI清楚地解释了原始数值和类别之间的关系，使用户可以获取标准化之前的数据。

## 指标权重的设定

设定了指标阈值和分数之后，必须根据重要性和相关性为每项指标设定权重。由于不同风险的程度不一样，用户可以自行修改每项指标的权重。同时，WRI认为提供权重设定的指导方法有利于用户，因此除了权重预设值以外，还为用户提供了不同的选项，以方便用户根据自身需求调整每项指标的权重值。

每项指标有五种不同的权重，通过权重设置可以将某些指标从计算中去除并完全忽略。这些权重，或者说是重要性的描述值被转化为指数用于计算(表1)。指数计算优于线性计算，因为人们习惯于按照数字顺序对强度进行分类<sup>59</sup>。

表 1 | 指标加权尺度

重要性	商业利益相关方	政治利益相关方
非常低	2 <sup>0</sup>	1
低	2 <sup>1</sup>	2
中	2 <sup>2</sup>	4
高	2 <sup>3</sup>	8
非常高	2 <sup>4</sup>	16

表 2 | 预设定的指标加权模式

加权模式	
默认	农业
食品和饮料	化工
电力	半导体
石油和天然气	采矿
建筑材料	纺织



通过对指标进行加权，用户可以自定义风险模式。为了增加透明度，用户可以查看体现特定风险程度的综合评分。如果用户不需要权重设置的细节信息，也可以直接采用预设的某行业默认权重值。水道水风险地图集根据企业水资源数据披露倡议和水资源专家的意见，提供了10种预设的加权模式（表2），分别体现了不同用水密集型行业所面临的特定风险和挑战。

## 指标数值的集成

为了估算与水有关的风险程度，水道水风险地图集把各单项指标的结果集合在一起，对水风险框架中的三个类别以及综合水风险进行了综合风险评分。

综合风险评分的计算是通过加权平均把每个类别的所有指标数值组合在一起。具体来说，每个特定类别的结果等于该类别的各单项指标乘以各自权重后的加和，并除以这些指标的权重加和。与此类似，总体水风险的评分等于所有单项指标乘以各自权重后的加和，除以所有权重的加和。如果某个地区的某些指标没有数据，则计算该地区的加权平均值时，应排除这些指标。

也就是说，对于每个地区j：

$$a_j = \frac{\sum x_{ij} w_i}{\sum w_i} \text{ for } i \text{ in } \{ \text{all indicators where } x_{ij} \neq \text{null} \}$$

其中， $a_j$ 是加权平均值， $x_{ij}$ 是指标评分， $w_i$ 是指标权重。

由于加权平均值计算了所有指标数值的平均值，所以汇总评分被重新设定尺度，延伸到全范围的数值（0-5）。通过这种标准化处理，可以展现全范围的相对风险数值，这些数值采用用户选定的加权方法计算。最终显示的分数 $S_j$ 的计算方法如下：

$$S_j = \left( \frac{a_j - \min(a)}{\max(a) - \min(a)} \right)$$

## 结果显示

得到的各指标、各类别和总水风险数值保存在地理信息系统（GIS）平台上，各单项指标和汇总水风险评分均可以采用颜色标记，并可以绘制全世界的地图。用户可以根据预设的或自定义的权重，设置水道水风险地图集，对单项指标或多项指标进行绘图。然后，用户可以导出和共享自定义的风险地图，并下载数据表。数据表包括各地点的指标、类别和综合水风险评分以及绝对数值。

## 结论

随着企业及投资者对于物理、监管和信誉风险的重视程度不断提高<sup>60</sup>，需要可靠的、可比较的和综合性的数据，用以帮助评价这些与水有关的风险。水道水风险框架提供了一系列参数，纳入了多种变量，并把复杂的结果汇总形成综合评分。

本工作论文讲述了指标和方法的选择，这是一种具有主观本质的流程，通过对复杂的现象进行简化，得到数值。尽管我们尽了最大努力想制定可靠、客观性框架，但是仍然存在一些学术性和专业性的问题，并没有一种最好的方法可以组合和比较多样化的参数，形成一个复合指数。因此，从某种意义上来说，这些结果体现了作者和专家顾问的判断。不论得到的结果有多么地丰富和严谨，但过程不可避免地存在局限，难以用单一的数值描述复杂的与水有关的风险。

尽管水风险地图集尽量发挥了现有水资源数据的最大价值，但是，通过加入有关水质、监管和信誉风险的更多信息，框架仍有改进的空间。目前仍然存在一些障碍，例如获取不到可靠的、可比较的数据，以及政府不愿意共享水资源数据等。这些障碍阻碍了全球水质信息的收集。<sup>61</sup> 与此类似，监管和信誉风险因素比较复杂，只能定性描述，使研究者难以制定准确的、可靠的参数。我们正在进行研究，希望为这些与水有关的风险制定新的参数。

最后，水道水风险地图集可以进行全球比较，并突出显示了需要重点关注的区域。这些全球性参数和相关的地图有助于识别与水有关的风险，并直观地展示了风险在各地区、各国家或各大洲的空间分布情况。但是，为了了解全面的、实地的情况，在以后的研究中，必须评估各区域的基础设施、政策和管理措施，它们可能降低与水有关的风险。

WRI将继续完善指标和评价方法。我们欢迎各方提出意见和建议。如果要了解有关水道水风险框架和相关地图的更多信息，请访问网站：[www.wri.org/aqueduct](http://www.wri.org/aqueduct)。

## 注释

<sup>1</sup> 联合国，“统计：用水量图表和地图”，联合国水资源组织，2012年，[HTTP://UNWATER.ORG/STATISTICS\\_USE.HTML](http://unwater.org/statistics_use.html)，2013年1月4日获取。

<sup>2</sup> 同上。

<sup>3</sup> SHIRLEY MORGAN-KNOTT、JULIE HUDSON和HUBERT JEANEAU，企业的水风险，UBS投资研究Q系列<sup>®</sup>（UBS，2011年4月7日）。

<sup>4</sup> 碳披露项目，共同应对不断增加的水资源挑战，CDP全球水报告（碳披露项目，2012），[HTTP://WWW.CDPROJECT.NET/CDPRERESULTS/CDP-WATER-DISCLOSURE-GLOBAL-REPORT-2012.PDF](http://www.cdproject.net/cdpreresults/cdp-water-disclosure-global-report-2012.pdf)。

<sup>5</sup> BERKLEY ADRIO，让水体变清：SEC文件中的企业水风险披露的审查（环境责任经济联盟，2012年6月），[HTTP://WWW.CERES.ORG/RESOURCES/REPORT/CLEARING-THE-WATERS-A-REVIEW-OF-CORPORATE-WATER-RISK-DISCLOSURE-IN-SEC-FILINGS/VIEW](http://www.ceres.org/resources/report/clearing-the-waters-a-review-of-corporate-water-risk-disclosure-in-sec-filings/view)。

<sup>6</sup> BROOKE BARTON，“水体脏吗？企业水风险报告”（环境责任经济联盟，2010年2月），[HTTP://WWW.CERES.ORG/RESOURCES/REPORTS/CORPORATE-REPORTING-ON-WATER-RISK-2010/VIEW](http://www.ceres.org/resources/reports/corporate-reporting-on-water-risk-2010/view)。

<sup>7</sup> JASON MORRISON等，“水资源短缺和气候变化：企业及投资者风险不断增加”（环境责任经济联盟和太平洋研究院，2009年2月），[HTTP://WWW.PACINST.ORG/REPORTS/BUSINESS\\_WATER\\_CLIMATE/FULL\\_REPORT.PDF](http://www.pacinst.org/reports/business_water_climate/full_report.pdf)。

<sup>8</sup> CA SULLIVAN，“水资源脆弱性量化：一种多维度方法”，随机环境研究与风险评价，25（2010）：675-640。

<sup>9</sup> 同上。

<sup>10</sup> 政策研究倡议（PRI），加拿大水资源可持续性指数（CWSI）项目报告（加拿大政府，2007年11月），[HTTP://WWW.HORIZONS.GC.CA/DOCLIB/SD/SD\\_PR\\_CWSI\\_WEB\\_E.PDF](http://www.horizons.gc.ca/doclib/sd/sd_pr_cwsi_web_e.pdf)。

<sup>11</sup> CAROLINE A. SULLIVAN和J.R. MEIGH，“采用综合指标方法关注当地脆弱性：气候脆弱性指数举例”，水科学与技术，51，第5号（2005）：69-78。

<sup>12</sup> SULLIVAN，“水资源脆弱性量化：一种多维度方法”。

<sup>13</sup> 耶鲁大学，“环境绩效指数”，环境绩效指数，2012年11月27日获取，[HTTP://EPI.YALE.EDU/](http://epi.yale.edu/)。

<sup>14</sup> V.P. PANDEY等，“尼泊尔河流域水资源系统适应性容量评价框架”，生态学指标，11（2011）：480-488。

<sup>15</sup> HENRIQUE CHAVES和SUZANAALIPAZ，“根据流域水文、环境、生物和政策制定的综合指数：汇水流域可持续性指数”，水资源管理，21，第5号（2007年5月）：883-895。

<sup>16</sup> C.J. VOROSMARTY等，“人类水安全和河流生物多样性的全球威胁”，自然，467，第7352号（2010）：555-561。

<sup>17</sup> ADRIO，让水体变清：SEC文件中的企业水风险披露的审查。

<sup>18</sup> ADRIO，让水体变清：SEC文件中的企业水风险披露的审查。

<sup>19</sup> LESLIE KAUFMAN，“石墨水洗蓝色牛仔服（减去水洗）”，纽约时报，2011年11月1日，纽约版。

<sup>20</sup> 环境领导者，“泰国洪水造成丰田、本田等数百家工厂关闭”，2011年10月18日，[HTTP://WWW.ENVIRONMENTALLEADER.COM](http://www.environmentalleader.com)。

<sup>21</sup> 东京局，“泰国洪水严重冲击丰田日本产量：报告”，市场观察，2011年11月7日，[HTTP://WWW.MARKETWATCH.COM/STORY/THAI-FLOOD-TO-HIT-TOYOTA-JAPAN-OUTPUT-HARD-REPORT-2011-11-07](http://www.marketwatch.com/story/thai-flood-to-hit-toyota-japan-output-hard-report-2011-11-07)。

<sup>22</sup> 环境领导者，“水资源困境冲击盖普、卡夫、雀巢、米勒康胜等公司”，2011年10月27日，[HTTP://WWW.ENVIRONMENTALLEADER.COM/2011/10/27/WATER-WOES-HIT-GAP-KRAFT-NESTLE-MILLERCOORS/](http://www.environmentalleader.com/2011/10/27/water-woes-hit-gap-kraft-nestle-millarcoors/)。

<sup>23</sup> ISCIENCES，“淡水可持续性分析：解释性准则”（ISCIENCES，2011年11月），[HTTP://DOCS.WRI.ORG/AQUEDUCT/FRESHWATER\\_SUSTAINABILITY\\_ANALYSES.PDF](http://docs.wri.org/aqueduct/freshwater_sustainability_analyses.pdf)。

<sup>24</sup> 相似的指数包括相对水压力指数和相对水需求量。分别请见：联合国教科文组织，“世界水资源发展报告指标”，2011，[HTTP://WWW.UNESCO.ORG/WATER/WWAP/WWDR/INDICATORS/WWDR\\_INDICATORS.SHTML](http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/indicators/wwdr_indicators.shtml)。C.J. VOROSMARTY等，“全球水资源：气候变化和人口增长造成的脆弱性”，科学，289，第5744号（2000）：284-288。

<sup>25</sup> 尽管多个团队试图为健康的淡水生态系统制定最低的环境流要求，但是，由于世界各地的生态系统和水文结构各不相同，阻碍了制定有意义的全球标准。

<sup>26</sup> VOROSMARTY等，“全球水资源：气候变化和人口增长造成的脆弱性”。

<sup>27</sup> 碳披露项目，共同应对不断增加的水资源挑战。

<sup>28</sup> A DINAR等，“供水脆弱性对于国际双边河流域沿岸国家之间的条约合作的影响”。（世界银行，2010）。

<sup>29</sup> 碳披露项目，共同应对不断增加的水资源挑战。

<sup>30</sup> 碳披露项目，在水资源有限的世界中获得竞争优势，CDP美国水资源报告（碳披露项目，2012）。

- <sup>31</sup> GUY PEGRAM, “企业的全球水风险和挑战” (世界自然基金会英国分会和劳埃德公司的360风险观察, 2009), [HTTP://ASSETS.WWF.ORG.UK/DOWNLOADSWATER\\_SCARCITY\\_AW.PDF](http://assets.wwf.org.uk/downloads/water_scarcity_aw.pdf)。
- <sup>32</sup> 碳披露项目, 共同应对不断增加的水资源挑战。
- <sup>33</sup> 碳披露项目, 在水资源有限的世界中获得竞争优势。
- <sup>34</sup> SULLIVAN, “水资源脆弱性量化: 一种多维度方法”。
- <sup>35</sup> MEISSA E. LANE、PAUL KIRSHEN和RICHARD M. VOGEL, “全球气候变化对于美国水资源影响的指标”, 水资源规划和管理期刊, 125, 第4号 (1999): 194-204。
- <sup>36</sup> SULLIVAN, “水资源脆弱性量化: 一种多维度方法”。
- <sup>37</sup> 世界经济论坛, 水安全: 水-食品-能量-气候相互关系 (华盛顿特区: 岛屿出版社, 2011)。
- <sup>38</sup> TOM GLEESON等, “地下水足迹展现的全球含水层的水平衡”, 自然, 488, 第7410号 (2012年8月8日): 197-200。
- <sup>39</sup> 同上。
- <sup>40</sup> 同上。
- <sup>41</sup> ADRIO, 让水体变清: SEC文件中的企业水风险披露的审查。
- <sup>42</sup> MORRISON等, “水资源缺乏和气候变化: 企业和投资商的风险不断增加”。
- <sup>43</sup> 同上。
- <sup>44</sup> BARTON, “水体脏吗? 企业水风险报告”。
- <sup>45</sup> NIGEL DUDLEY, 保护区域管理类别应用准则 (瑞士: IUCN, 2008), [HTTP://DATA.IUCN.ORG/DBTW-WPD/EDOCS/PAPS-016.PDF](http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/paps-016.pdf)。
- <sup>46</sup> STUART ORR、ANTON CARTWRIGHT和DAVE TICKNER, “了解水风险” (世界自然基金会英国分会和汇丰银行, 2009年3月), [HTTP://ASSETS.WWF.ORG.UK/DOWNLOADS/UNDERSTANDING\\_WATER\\_RISK.PDF](http://assets.wwf.org.uk/downloads/understanding_water_risk.pdf)。
- <sup>47</sup> “南非煤矿控股有限公司—计划暂停开采运营”。
- <sup>48</sup> 碳披露项目, 共同应对不断增加的水资源挑战。
- <sup>49</sup> ORR、CARTWRIGHT和TICKNER, “了解水风险”。
- <sup>50</sup> 同上。
- <sup>51</sup> MORRISON等, “水短缺和气候变化: 企业及投资者的风险不断增加”; BARTON, “水体脏吗? 企业水风险报告”。
- <sup>52</sup> STRUART ORR等, “水风险评价。金融机构实用方法” (世界自然基金会德国分会, 2011年1月), [HTTP://AWSASSETS.PANDA.ORG/DOWNLOADS/DEG\\_WWF\\_WATER\\_RISK\\_FINAL.PDF](http://awsassets.panda.org/downloads/deg_wwf_water_risk_final.pdf)。
- <sup>53</sup> PEGRAM, “企业的全球水风险和挑战”。
- <sup>54</sup> MORRISON等, “水短缺和气候变化: 企业及投资者的风险不断增加”; PEGRAM, “企业的全球水风险和挑战”; ORR等, “水风险评价。金融机构实用方法”。
- <sup>55</sup> 世界卫生组织/联合国儿童基金会, “定义和方法”。
- <sup>56</sup> ADRIO, 让水体变清: SEC文件中的企业水风险披露的审查。
- <sup>57</sup> GLEESON等, “地下水足迹展现的全球含水层的水平衡”。
- <sup>58</sup> VOROSMARTY等, “全球水资源: 气候变化和人口增长造成的脆弱性”。
- <sup>59</sup> EVANGELOSTRIANTAPHYLLOU, 多标准决策方法: 一项比较研究。(KULWER: DORDRECHT, 2000)。
- <sup>60</sup> 碳披露项目, 共同应对不断增加的水资源挑战。
- <sup>61</sup> SULLIVAN, “水资源脆弱性量化: 一种多维度方法”。

## 关于世界资源研究所

WRI关注环境与社会经济发展的相互关系。我们不只是研究，而且把想法转化为行动，与全世界的政府、企业和民间组织合作，制定改革性的解决方案，保护地球，改善人民生活。

### 对于紧急的可持续性挑战的解决方案

WRI采用改革性的思路，保护地球，促进发展，推进社会平等，因为只有实现可持续性，才能满足人类当今的需要，达成人类未来的理想。

### 实用的变革战略

WRI采用使用的变革战略和有效的变革工具，促进变革进程。我们衡量成功与否的方式是，是否制定了新政策，采用了新产品，采取了新措施，改变了政府的工作方式、企业的运营方式和人们的行为方式。

### 全球行动

我们的活动遍及全球，因为当今的问题没有边界。我们渴望交流，因为世界各地的人们均需要思想的激发，知识的启迪，通过相互了解，积极做出改变。我们通过准确的、公平的、独立的工作，为地球可持续发展提供了创新性的路径。

## 关于作者

**Paul Reig**是WRI市场和企业项目组的研究员，负责领导水道项目的设计和开发。联系方式：[preig@wri.org](mailto:preig@wri.org)

**Tien Shiao**是WRI市场和企业项目组的高级研究员，负责水道项目在企业 and 投资机构的应用。联系方式：[tshiao@wri.org](mailto:tshiao@wri.org)

**Francis Gassert**是WRI市场和企业项目组的助理，负责水道项目的GIS分析和数据收集。联系方式：[fgassert@wri.org](mailto:fgassert@wri.org)

## 致谢

本文的编写得到了世界资源研究所市场和企业项目以及水道联盟的大力支持。作者感谢下列人员，他们提供了非常有价值的观点和协助：Piet Klop、Jeff Rodgers、Charles Iceland、Robert Kimball、Kirsty Jenkinson、Betsy Otto、Katalyn Voss、Yushuang Wang、Alison Carey、Naiying Peng、VansaChatikavanij、Tianyi Luo、YalamberRai、Matt Luck和Thomas Parris。同时感谢Laura Draucker、Cy Jones、Mindy Selman和Tom Damassa，他们审查了本工作论文。作者还要感谢水道设计工作组，在制定水道水风险框架的过程中，他们提供了大量的技术指导和反馈意见：

Peter Adriaens, 密歇根大学Ann Arbor校区  
Berkley Adrio, 环境责任经济联盟  
Anne-Leonore Boffi, 世界企业可持续发展委员会  
Jun Bi, 南京大学  
Julia Bucknall, 世界银行  
Joppe Cramwinckel, 世界企业可持续发展委员会  
Jay Emerson, 耶鲁大学  
Angel Hsu, 耶鲁大学  
Charles Kovatch, 美国环境保护局  
Upmanu Lall, 哥伦比亚大学  
Gerry Learmonth, 弗吉尼亚大学  
Francesca McCann, 全球水资源战略  
Marcus Norton, 碳披露项目中的水披露项目  
Ankit Patel, 世界企业可持续发展委员会  
Jeff Plank, 弗吉尼亚大学  
Lesley Pories, 北卡罗来纳大学Chapel Hill校区  
Sandra Postel, 国家地理  
Diego Rodriguez, 世界银行  
Brian Richter, 大自然保护协会  
Bruno Sanchez-Andrade, 全球适应性研究院  
William Sarni, 德勤咨询  
Peter Schulte, 太平洋研究院  
Guoping Zhang, 水足迹网络

## 支持机构

水道联盟：

高盛	通用电气
斯科尔全球威胁基金会	彭博
塔里斯曼能源公司	陶氏化学公司
荷兰皇家壳牌	荷兰政府
联合技术公司	杜邦
约翰迪尔	宝洁公司



Copyright 2013 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivative Works 3.0 License. To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>