

研究报告

2018 年第 14 期

2018.2.28

课题组负责人：周月秋，殷红

课题组成员：周月秋，殷红，马素红，宋玮，张静文，乐宇，胡桂斌，罗宇

课题执笔人：张静文，乐宇

jingwen.zhang@icbc.com.cn

水风险视角下商业银行信用风险管理研究

——以干旱风险对商业银行信用风险的压力测试研究为例

要点

- 水压力本质上反应的是人类活动用水挤占生态用水从而造成水资源和用水之间的冲突。水风险通常泛指来自水资源相关挑战的不确定性与严重性。水压力通过转化为水风险影响企业和金融机构的生产和经营。
- 通过使用我行与 RMS（Risk Management Solution）公司共同研发的水风险压力测试工具，对我行 11 个行业、2512 家客户进行的测算，本文得出了在五个典型干旱场景下我行客户的信用等级迁移情况，并得出以下结论：首先，由于我行贷款在全国分布范围较广，对地区性特征突出干旱场景下的风险缓释效果明显；第二，发电业是受干旱因素影响最大的行业，其次是饮料与烟草制造业；最后，干旱对中小企业的影 响大于大型企业。
- 随着我国水资源形势的日益严峻，金融机构应高度重视水风险的影响，并将其纳入资产组合配置及风险管理的范围。高度关注发电、饮料及烟草制造、制造业、有色、化工以及部分新兴耗水行业（如煤化工）贷款的水风险；东部地区虽然降水丰富但人口密集、产业分布集中，水资源严重不足，中、西部地区降水量少，水生态环境较

为脆弱，但由于目前人口和产业分布较少，水风险尚不突出，我行应高度关注京津冀地区以及包括上海、浙江、福建在内的东南沿海地区企业的水风险，并对耗水企业向宁夏，新疆，河北，河南，山西等中西部地区迁移或新建分支机构做好风险评估；做好中小企业信贷资产的水风险管理，在贷款发放时关注水敏感行业的企业生产单位布局以及企业规模，重点支持生产单位地理位置较为分散的大型企业，密切关注水资源开发利用新技术及政策变化，择机进入相关产业。

关键词：

干旱，信用风险，压力测试，产业转移

重要声明：本报告中的原始数据来源于官方统计机构和市场研究机构已公开的资料，但不保证所载信息的准确性和完整性。本报告不代表研究人员所在机构的观点和意见，不构成对阅读者的任何投资建议。本报告（含标识和宣传语）的版权为中国工商银行城市金融研究所所有，仅供内部参阅，未经作者书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、上网、引用或向其他人分发。



目录

一、水压力与水风险.....	4
（一）水压力与水风险的定义、成因及相关关系.....	4
（二）水压力与水风险的相关研究.....	7
（三）全球及中国水资源短缺现状及展望.....	11
二、水风险对企业及商业银行的影响.....	14
（一）水风险对企业的影响.....	14
（二）水风险对商业银行的影响.....	16
三、干旱风险对我行信用风险的压力测试分析.....	19
（一）“干旱风险压力测试工具”及其特点.....	19
（二）干旱风险量化及压力测试模型设计.....	22
（三）干旱风险对信用风险的压力测试方法.....	26
四、干旱风险对我行信用风险的压力测试结论.....	27
（一）五个干旱场景下工商银行资产组合损失不大。.....	28
（二）发电业受干旱因素影响较大.....	28
（三）干旱因素对中小企业的影响高于大型企业.....	29
五、商业银行应对与管理水风险的相关建议.....	29
（一）应高度重视水风险的影响并将其纳入资产组合配置及风险管理.....	29
（二）做好重点行业的水风险预防和管理.....	30
（三）高度关注重点地区和城市的水风险.....	31
（四）加强防范中小企业因干旱导致损失造成的信用风险.....	32
（五）密切关注水资源开发利用新技术发展及相关政策.....	32

水是人类在生产 and 生活中广泛利用、不可或缺的自然资源，它不仅是生命之源、也是生产之要、生态之基，关乎人类的生存、经济的发展和社会的进步。但随着气候变化加剧和城市化的加速，水资源却变得越来越短缺。联合国公布的数据显示，目前世界人口的 40% 生活在严重缺水地区，且按现状推断水资源匮乏给全球 GDP 造成的整体损失将达 6%。世界资源研究所 (WRI) 的一项研究表明，全球 167 个国家中的 33 个国家在未来的二十年内将会面临极大的水资源压力 (Luo, Young, & Reig, 2015)。

我国是一个先天缺水的国家，人均水资源量不足世界平均水平的 1/3，耕地亩均水资源不足世界平均水平的 1/2，且时空分布不均，华北、西北、西南及沿海城市的水资源供需矛盾突出，正常年份全国缺水达 500 亿立方米。受气候变暖、环境污染加剧等因素的影响，目前，我国的水资源正在迅速减少，洁净水源的日益匮乏，严重影响了企业的运营，用水成本的提高将会导致企业成本增加、盈利下降，进而给向其提供贷款的商业银行带来信用风险。

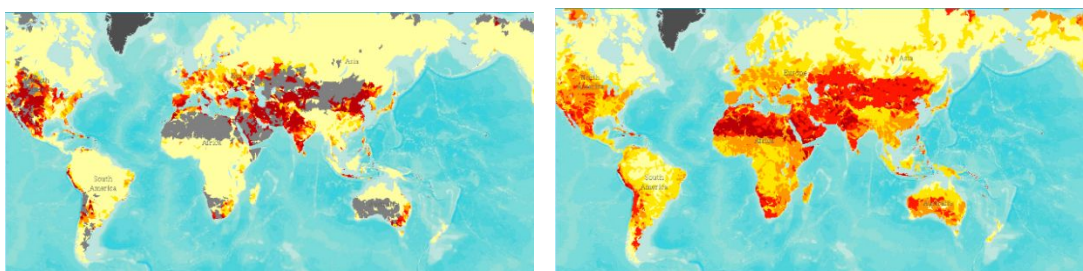
一、水压力与水风险

(一) 水压力与水风险的定义、成因及相关关系



水压力本质上反应的是人类活动用水挤占生态用水从而造成水资源和用水之间的冲突。狭义的“水压力”被定义为取水量占可用水量的百分比关系（经合组织（OECD），2009），多数情况下与“水短缺”的概念一致。而广义上的“水压力”不单指水量因素，还包括了水质、环境流量¹，以及更广泛的社会、经济和政策等因素。图1一定程度上反映了两种定义之间的差异。

图1 狭义水压力与广义水压力的比较



资料来源：世界资源研究所，水道全球水风险地图，2014

如图1所示，左侧和右侧分别为采用“基线水压力”和“整体水风险”指标时全球水压力分布情况。基线水压力是狭义的水压力，指每年的总取水量与每年可用水资源总量的比值。整体水风险综合了其他广义水压力涉及的指标²。图中由黄色至深红色依次表示风险从低到高，灰色代表缺乏数据。

¹ 环境流量指存在用水矛盾、流量受到调度的河流、湿地和沿海区域，维持正常生态系统和生态系统服务所需的水量（Dyson，2003）。因此环境流量体现了保证正常生态用水给人类活动用水带来的压力。

² 详情请参考：<http://www.wri.org/applications/maps/aqueduct-atlas>

从水压力的成因上来看，大体可以分为以下几个方面：

（1）洪水和干旱的发生、取水量的增长带来直接的水量变化；

（2）水质污染影响满足用水标准的水量；

（3）自然保护区、生态涵养区的存在一方面限制了人类用水和污染活动，一方面提供了储水防洪等生态系统服务；

（4）社会、经济和政策因素，如污染治理要求、水资源管理调配政策和水资源相关价格、费用的变化，都关乎人类活动水资源可获得性。

水风险通常泛指来自水资源相关挑战的不确定性与严重性。广义的水压力作为一个综合指标，是水风险的重要体现。世界自然基金会（WWF）和德国投资开发有限公司（DGE）将一个国家或地区面临的水风险定义为自然因素和人类活动行为引起的一些潜在的与水有关的风险，包括物理风险、监管风险和声誉风险。

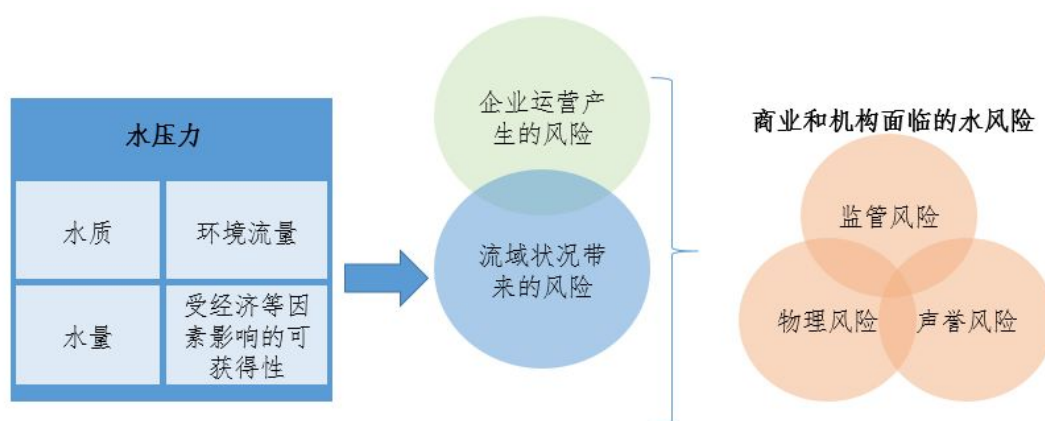
其中，**物理风险**是指某地区水资源稀缺程度、污染排放情况等；**监管风险**是指政府对涉水管理的执行情况，包括法律法规的一致性、公平性、透明性等；**声誉风险**是指负面的公众舆论带来的潜在风险。世界资源研究所（WRI）也将水



风险分为物理水量风险、物理水质风险、信誉和监管风险，并在此基础上编制了“水道水风险地图集”来帮助全球投资者评估其业务面临的水风险。目前，业界对水风险的研究主要集中在物理水风险（干旱、污染、洪水等）、与水相关的政策变化风险、与水相关的形象和信誉风险等几个方面。

水压力和水风险之间的关系如图 2 所示：

图 2 水压力与水风险间关系



（二）水压力与水风险的相关研究

目前对于水压力的研究，除对其定义的明确和扩充外，还涉及水压力的测量、分析和管理等。这包括了水压力测量评价方法构建、分析指数的设计，以及针对不同行业和主体的水压力管理工具开发。表 1 总结了商业和投资者基于水压

力的风险分析管理工具。

表 1 商业和投资者基于水压力的风险分析管理工具

测量分析	背景信息	弗肯马克水压力指数（Falkenmark WSI）、水资源开发利用指数（WEI+）、水贫困指数（WPI）、耶鲁大学环境保护绩效指数（EPI）、“水足迹”等
	风险识别	WBCSD 全球水工具及本地水工具、WRI “水道”全球水风险地图、WWF-DEG 水风险过滤器等
	财务量化	Trucost-Ecolab 水风险成本计算器（WRM）、GIZ 企业债券水资源信用风险分析工具（CBWCRT）、彭博水风险评价工具（WRVT）等
管理	信息披露和管理评价	全球报告倡议组织 GRI 标准、碳信息披露项目 CDP 水信息披露及问卷调查、道琼斯可持续发展指数（DJSI）、Ceres 水表（Aqua Gauge）等

基于狭义水压力定义，通过供需比值及其衍生方法进行测算，形成单一指标来服务于水资源及经济政策，是传统水压力研究普遍采用的办法。因为完全或几乎只关注水量，这种方法测算相对简单，更容易实现量化。比如弗肯马克水压力指数（Falkenmark WSI）³、水资源开发利用指数（WEI+）⁴等都属于此类。近年来，越来越多的研究开始强调从广义水压力定义出发，纳入来自多个角度的不同指标，设计开发水压力复合指数以达到指导水资源管理的目的。此类方法更加全面地刻画人类活动面对的水压力，但同时也增加了风险量

³ 由瑞典斯德哥尔摩国际水资源研究所(SIWI)科学家弗肯马克开发，采用人均水资源量衡量水资源的稀缺程度，该指数定义清晰，计算相对简单。联合国设定的“1700 立方米/人”用水警戒线就根据该指数确定。

⁴ 由欧盟环境署开发，通过测算流域年平均需水量与多年平均水资源量的比值来分析流域的水压力。



化的复杂性和难度。比如水贫困指数（WPI）⁵、耶鲁大学环境保护绩效指数（EPI）、“水足迹”⁶等就属于这一类。

关于水风险对企业和金融机构的影响，目前国内外已有较多研究成果及量化工具，例如，WBCSD 全球水工具及本地水工具、WRI “水道” 全球水风险地图、WWF-DEG 水风险过滤器等。如表 2 对上述几种工具进行了比较和分析。

表 2 几种面向商业和投资者的水风险识别工具比较

名称	输入数据	指标指数	分析方法	输出结果
WRI “水道” 全球水风险地图	外部数据、企业用水数据	含 12 项水风险指标，除水量指标外，还包括回流比、上游保护地 2 项水质指标和媒体报道率、水资源可获取性和濒危两栖动物 3 项监管与信誉风险指标。	分指标罗列、各指标加权形成风险指数	风险地图、企业与流域数据对照 ⁷
WBCSD 全球水工具及本地水工具	外部数据、企业用水数据	以水量指标为主，考虑水质与水的经济可获得性，环境流量因素采用生物多样性热点区域指标进行标识和厂区数量统计	分指标罗列	风险地图、企业与流域数据对照、行业对照、高风险区厂区统计、对应信息披露要求的报告
WWF-DEG 水风险过滤器	外部数据、企业用水数据、水管	7 项水量指标、1 大项（9 小项）水质指标、4 项环境流量指标和 8 项可获得性指标	分指标罗列、各指标加权形成风险指数	风险地图、企业与流域数据对照、行业对照

⁵ 由英国生态与水文中心开发，将水可用性（考虑生态需水量和人类基本需水量）、洁净水可得性、用水卫生水平以及生活用水取用时间四类指标加权平均，得到水贫穷指数。

⁶ 水足迹是评价水资源占用的综合指标，一种产品的水足迹指用于生产该产品的整个生产供应链中的用水量之和，体现消耗的水量、水源类型、污染量和污染类型等（Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2012）。

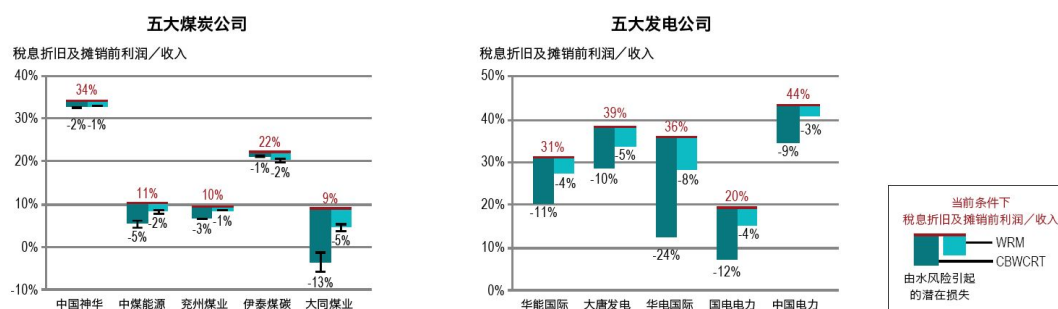
⁷ 属于工具适用部分，在线工具暂未提供此功能。

	理 信 息 (问卷)			
--	---------------	--	--	--

还有一部分水压力工具在上述工具进一步将商业和投资者的水压力用财务分析量化，内化为企业的用水成本及投资损益，从而将水压力映射到公司的盈利能力。比如 Trucost-Ecolab 水风险成本计算器 (WRM)、GIZ 企业债券水资源信用风险分析工具 (CBWCRT)、彭博水风险评估工具 (WRVT)⁸等就属于这一类工具。这一类工具通过将水压力的各要素货币化⁹，得到水的总经济价值 (TEV)，并结合企业用水数据进行财务分析、情景推导、预测投资损益。中国水风险 (China Water Risk) 使用 WRM 和 CBWCRT 两种工具分析了水风险对我国五大煤炭公司和五大发电公司利润率的潜在影响。结果显示水风险对五家煤炭公司税息折旧及摊销前利润率的不利影响范围为 1%~13%，对五家发电公司为 3%~24% (图 3)。

图 3 两种水风险财务量化工具的行业应用 (Thieriot & Tan, 2016)

⁸ 第三节二“(二) 案例与分析：彭博水风险评估工具”部分对工具做了更详细介绍。
⁹ 具体要素和指标选取各异，货币化过程中，多通过水的市场价格、替代水资源价格、污水处理费用、水质污染成本、污染的健康成本、生态成本等估算用水和排水的风险溢价，计入水的总经济价值。



除上述水风险测量与分析工具外，还有一些针对商业和投资者的水风险管理工具，从企业管理框架着眼，强调的是管理制度是否健全、措施是否到位。如 Ceres 水表（Aqua Gauge）和涉及水资源的信息披露标准、指南等，在拥有评估打分功能的同时提供与先进管理模式的比较。但以上工具以测算水风险对企业的影响为主，没有实现水风险压力对金融机构影响的量化分析。

（三）全球及中国水资源短缺现状及展望

全球水资源具有可用水稀缺以及地区分布不均的特征。据统计，全球水资源总储量中，淡水资源的储量仅为 2.5%，且 87% 的淡水资源被冻结在南极和北极的冰川中，难以利用，能够直接被人们生产和生活直接利用的淡水资源仅占全球总储量的 0.26%。从分布上来看，巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印尼、印度、哥伦比亚和刚果等九个国家的淡水资源约占世界淡水资源的 60%，约占世界人口 40% 的 80 个

国家和地区 15 亿人口淡水不足，其中 26 个国家的 3 亿人极度缺水。与此同时，水污染问题也在不断升级，据统计全球范围内有 80% 的污水没有经过处理就直接排放，每年被污染的水资源达到全球径流量的 14% 以上，这使得人类可利用的淡水资源更加稀缺。而随着经济发展和人口增长，淡水需求正在不断增加，尤其是工业领域、城市市政与卫生系统用水的需求增长更为迅速。联合国教科文组织预测，在未来数年中，淡水的供给和需求矛盾将呈现恶化趋势，预计到 2025 年，世界上将会有 30 亿人面临缺水，40 个国家和地区淡水严重不足。

中国水资源储量约为 2.8 万亿立方米，位居全球第六，但人均占有量仅为 2240 立方米，不到世界人均的 1/4，全球排名第 88。总体来看，我国水资源具有以下几个特点：**第一，时空分布不均。**长江流域及其以南的地区国土面积只占全国的 36.5%，水资源量却占全国总量的 81%，淮河流域及其以北的大部分地区，降水量仅为全国的 19%。中国 31 个省及自治区中，16 个省人均水资源量低于严重缺水线，6 个省（宁夏，河北，山东，河南，山西，江苏）人均水资源量低于 500 立方米，为极度缺水地区。此外，我国水资源年际分布不均，大部分地区年内连续四个月降水量占全年的 70% 以上，连续



丰水或连续枯水较为常见。**第二，水资源利用率低。**据统计，我国单方水创造 GDP 仅为世界平均水平的 1/5，单方水粮食增产量为世界平均水平的 1/3，工业万元产值用水量为发达国家的 5-10 倍，用水结构不合理，浪费现象严重。**第三，水污染日益加剧及水资源过度开发。**近年来，我国水污染及水环境破坏程度日益加剧，全国超一半地下水监测点水质较差，31 个大型淡水湖泊中 17 个污染严重，且水污染扩散速度不断加快，污染类型日趋复杂，对居民健康及经济发展的影响日益严重。此外，我国还存在由于水资源过度开发导致的环境恶化问题，例如西北内陆河流域因水资源过度开采呆滞荒漠化面积扩大，华北地区和部分沿海城市地下水超采形成地下水漏斗和地面沉降等。

随着水资源短缺对经济和社会的影响日益增加，以及我国生态文明建设的逐步深入，政策制定部门、社会公众以及企业对的关注程度也将不断上升。首先，一系列严格的水资源管理制度即将建立，水污染执法力度也将进一步加强；其次，在落实阶梯水价的基础上，企业和居民用水价格可能进一步上升；最后，包括水淡化、污水处理、农业节水、水资源循环利用等新技术和新产品有望得到政策支持，获得更大的发展空间。

二、水风险对企业及商业银行的影响

（一）水风险对企业的影响

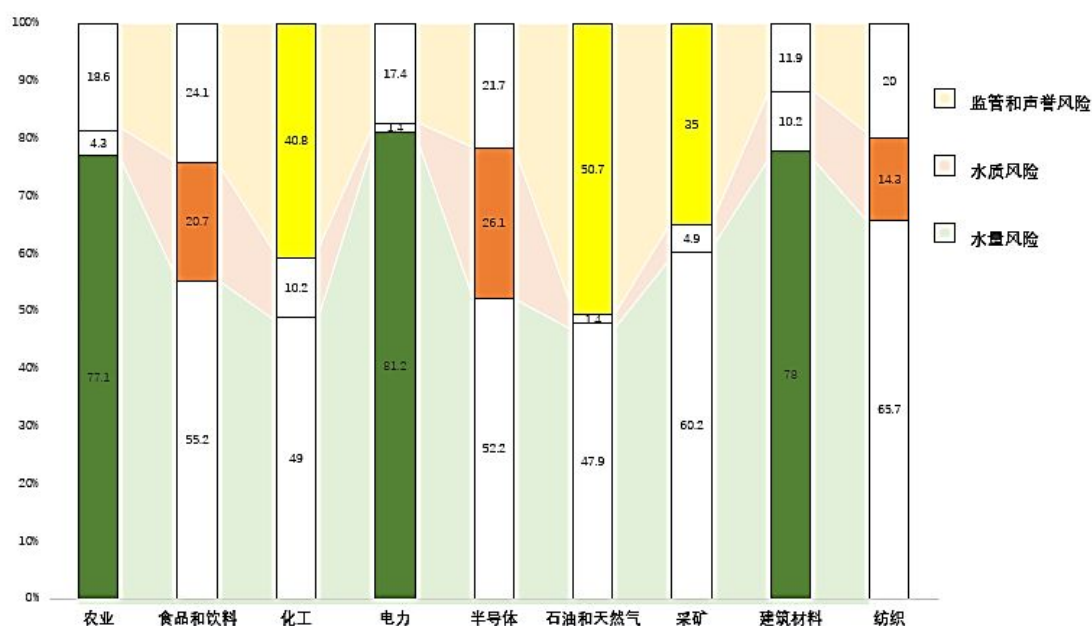
因为与水量、水质、环境流量、水资源可获得性的联系不同，各行业受水压力的影响的程度和表现也不同。一是有些行业属于水密集、水依赖型行业，受水量变化影响较大；二是有些行业生产原料、生产工艺过程等对水质要求较高，受水质影响大；三是一些行业如生态旅游、公路基础设施等，常处于或临近生态保护区，受到来自维持正常生态系统和生态系统服务的用水竞争大；四是另一些行业因排污严重或企业受到公众密切关注等原因，考虑社会经济等因素后水资源可获得性降低，监管和声誉风险上升。

因此在识别企业面临的水风险时，不同水压力指标的权重在不同行业需要做出调整，才能更准确地反映出企业的水风险并做出量化。以 WRI 全球“水道”水风险地图给出的 9 个行业指导权重为例，图 4 提供了水压力最为相关行业¹⁰的各自加权重。行业选定和加权模式根据企业水资源数据披露倡议和水资源专家给出的意见形成，分别体现了不同行业所面临的特定水风险和挑战。

¹⁰ 主要从用水密集程度考虑选取数据。



图4 九大行业水风险权重比较



来源：世界资源研究所，水道全球水风险地图，2014

如上图数据所示，农业、电力、建筑材料等行业用水量，且受短时期水量剧烈变化影响大，风险多来自水量短缺和旱涝灾害的影响。第二，食品和饮料、半导体和纺织业是受水质因素影响大的行业。食品和饮料生产加工依靠水作为原料和进行清洁，对水质有较高的安全要求。此外高质量的工艺给水对于很多工业生产系统，如半导体生产和加工等，都至关重要。第三，化工、石油天然气和采矿业通常面临较高的监管和声誉风险。一方面这些行业水污染比例高、污水排放量大，且一旦发生大规模水污染事故波及区域广，涉及

人口众多¹¹。另一方面这些资源采掘行业是早期海外投资中的主力行业，也是现在海外投资中经常引起与当地居民和社区矛盾的行业。由于油气资源常常存在于生物多样性地区，矿产采掘则对环境有更为直观的破坏，对地下水的污染给当地社区和居民带来直接健康影响，因此企业水污染常受到社会高度关注，企业项目审批时间往往更长¹²，监管和声誉风险更大。

（二）水风险对商业银行的影响

总体来讲，水风险可以通过四个渠道对商业银行产生影响：

第一，物理水风险会导致企业的经营成本提高，进而增加向其提供贷款的金融机构的信用风险，例如，干旱引发的水价上升会提高煤炭、发电等用水企业的生产成本；水污染会迫使饮料和食品加工类企业采用较为昂贵的净水设备和技术，进而增加企业成本；洪水的发生更会对企业本身及其供应链上的其他企业带来直接的经济损失。

¹¹ 在世界经济论坛 2016 统计的近年来八起全球最严重环境事故，就有一半来石油化天然气泄漏及采矿钻井（WEF，2016）。如 2010 年发生的美国墨西哥湾原油泄漏事件中，近 500 万桶原油泄漏至墨西哥湾，不仅对周边地区 4400 万人口带来直接和持续性健康影响，还给 15 万参与事故处理的工作人员带来安全**错误！未定义书签。**隐患。第三节二“（三）案例与分析：2010 年墨西哥湾漏油事故”部分对此例做了更详尽分析。

¹² 如我国神华集团在澳大利亚新州的水印煤矿项目，为达到保护矿区周围水源及土壤等要求，反复进行了多次评估、项目方案调整和社区意见咨询。从项目申请到获得当地规划评估部门批准历时 6 年，神华集团支付审批成本已超 7 亿澳元（新华社，2015）。



第二，由于水污染问题导致与交易相关的抵押品价值贬值，金融机构将面临市场风险，这将尤其给诉诸第二还款来源的金融机构带来更大风险。如果抵押资产受到污染，金融机构将有可能被要求必须动用内部资源来满足政府的治理要求或在出售资产前进行清理。

第三，随着“水十条”等一系列国家环保政策的推出，传统水污染企业一方面将会面临更加严厉的环境污染处罚，另一方面为了达到环保标准也会面临较大设备和技术改进的费用，这将对企业的现金流和资产负债表产生一定影响，从而增加金融机构的信用风险。

第四，随着全球投资者对水污染等环境问题的关注程度日益提高，银行客户的环境风险将会使得投资人对银行的风险管理能力产生质疑，影响银行的声誉。此外监管机构也正在考虑在贷款企业发生环境风险事件时，让金融机构等债权人承担相应责任。

图 5 水风险对商业银行经营风险的传导图



各类风险的案例及其传导机制分析如表 3 所示：

表 3 金融机构水风险案例与传导分析

类型	案例	风险传导分析
信用风险	湘江纸业位于湘江上游，因污水排放和废气废渣排放，于 2013 年被纳入湖南省湘江母亲河治理和源头保护的“一号工程”，并于 2015 年底关停，开始实行公司“搬迁并转”。	湘江纸业搬迁给母公司岳阳林纸股份有限公司收入产生了较大影响，同时因短期债务规模大，形成偿债压力。2016 年岳阳林纸作为发债企业，信用级别由 AA 下调至 AA-。
市场风险	1995 年有投资人在弗利特金融集团（Fleet Financial Group）抵押品拍卖中以 4.5 万美元购得一处位于新罕布什尔的房产。后因发现弗利特金融集团隐瞒了房产所在地地下水已受附近工厂污染的事实，向罗德州最高法院提起诉讼。	被告弗利特金融集团对抵押品估值为 12 万美元，拍卖准备期发现水质污染后在拍卖中减价 7.7 万美元。最终罗德州最高法院判定，该房产无法获得安全用水，且房产受此影响转售价值降低，原告经济利益受损。最终判弗利特金融集团给予投资人 514 万美元赔偿。
声誉风险	DAPL 公司达科他州输油管道项目由于经过立石印地安人保留区，对当地水源安全构成威胁。加拿大多伦多道明银行等 17 家银行为 DAPL 公司达科他州输油管道项目提供了	银行对污染项目的资金支持引起当地居民、非政府组织的强烈不满。在媒体对项目背后支持金融机构予以报导后，2016 年 9 月 12 日，道明银行温哥华支行遭到群众抗议，抗议者



	3 亿 6 千万美元的项目融资。	以举牌示威和办理账户关闭等形式，要求银行停止对此项目的支持。
--	------------------	--------------------------------

来源：（湖南省环境保护科学研究院，2015）（鹏元资信评估有限公司，2015）（State of Rhode Island, Superior Court, 2004）（Vancouverites occupy TD bank in support of Standing Rock pipeline standoff, 2016）

本文主要对物理水风险中的干旱因素进行分析，研究其对银行业金融机构信用风险的影响。

三、干旱风险对我行信用风险的压力测试分析

（一）“干旱风险压力测试工具”及其特点

目前，国际上有很多水风险评估工具，例如 Ecolab 和 Trucost 公司开发的“水风险成本计算器”、彭博的“水风险评估工具”以及世界资源研究所开发的 Aqueduct 全球水风险地图等。本文中使用的工具是由联合国环境规划署金融行动机构（UNEP FI）在 2017 年 3 月最新发布的“干旱风险压力测试工具”，工商银行也作为唯一一家中国的商业银行参与了这款工具的研发和测试。同现有水风险量化工具相比，它是第一个从商业银行角度构建的，测算干旱对贷款组合影响的工具，将量化干旱风险、计算其对企业的影 响、计算其对银行的影响等多个过程整合在一起，应用更加便捷。此外，该工具还经过了全球多家商业银行的真实数据验证，模型可靠性强。

为了呼吁全球机构共同关注水风险，并向金融机构提供量化和管理水风险的工具，UNEP FI 发起了一项名为“干旱因素对商业银行贷款风险影响的压力测试”的试点项目并委托德国国际合作机构(GIZ)和自然资本宣言(NCD)共同承办。该项目的水风险建模工作由 RMS (Risk Management Solution)¹³公司负责，模型的测试及运用由全球 8 家代表性的商业银行共同完成，包括美国的花旗银行(Citi Group)、瑞银集团(UBS)等。工商银行作为唯一一家中国的商业银行参与了此项目，在严格遵守客户数据保密规定的前提下，工行绿色金融团队参与了工具的模型设定、参数设置，并在模型测试后提供了定量的专家意见和结果分析意见。经过一年来多轮讨论和调整，目前基于干旱模型的应用工具已经开发完成，已于 2017 年 4 月在全球正式发布。

该工具是一项基于 excel 的应用工具，使用者可以通过导入其投资组合的相关信息，直接计算出在不同干旱风险场景下，贷款企业的信用等级变动情况。该工具主要思路是：首先，在对不同国家历史上发生过的干旱事件进行分析的基础上，设定 5 个不同的干旱场景；其次，根据各地区的水资源情况、各行业用水特征以及供应链的影响，计算出不同场

¹³ RMS (风险管理解决方案公司, Risk Management Solution) 一家世界领先的巨灾风险管理解决方案提供商，总部位于英国。



景下企业利润和成本的迁移情况；第三，修正企业财务报表；第四，代入商业银行信用风险评估模型；最后，计算出企业在不同场景下的信用等级迁移情况。

同已经发布的各种水风险量化工具相比，此工具具有三方面的优势：第一，此工具是目前全球首个将干旱因素直接压力到商业银行客户评级的量化工具，其余大部分工具多为风险评估、对地区及对客户的影响，因此，此工具具有一定的开创性。第二，此工具考虑了我国水资源分布的特殊性，在对我国过去120年中各地区干旱数据充分收集和分析的基础上，设置了5个干旱场景，具有一定的科学性和代表性。第三，该工具在全球不同区域选择了4个国家的8家银行进行了测算，通过实际测算验证和优化模型，提升了模型的可靠性和实用性。

此外，该工具仍然存在一定的可改进的空间，例如，目前该模型仅有5个场景，未来可以通过更加精细化的场景设置，反映同一地区随着干旱程度加强或减轻的情景下，该地区不同行业的成本和收入的变化，从而方便商业银行扩大此工具的使用范围。此外，还可以针对不同的国家设定不同的模型，这样不仅模型设计更加精确，而且能够减少程序的复杂程度，提高工具易用性。

（二）干旱风险量化及压力测试模型设计

1、建模方法论

干旱压力测试工具以保险业的巨灾风险建模为核心（如图 6 所示）并在此基础上进行调整，通过气候认知量化干旱危害，分析干旱灾害的直接、间接影响，将水资源短缺转化为对银行贷款组合中企业信用评级、违约概率和预期损失的影响（图 7 是改进后的模型示意图）。该模型与保险业做法的关键区别是以衡量违约风险对资产负债表的影响取代保险驱动模式中的直接财物损失。

图 6 传统巨灾风险建模框架示意图

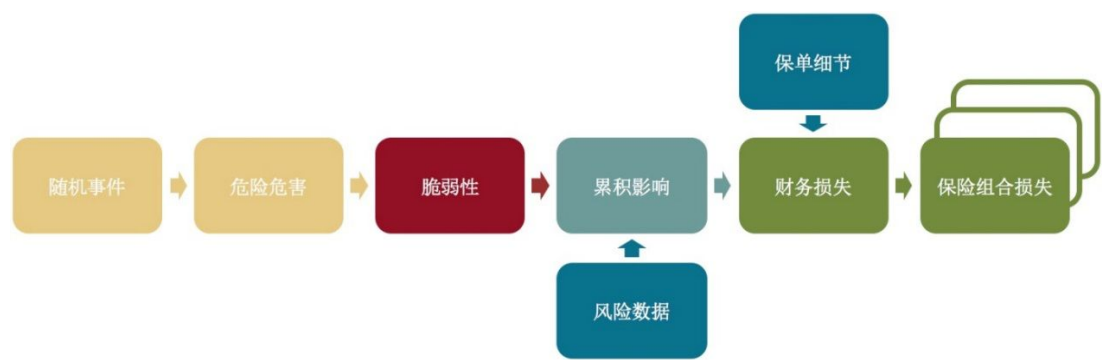
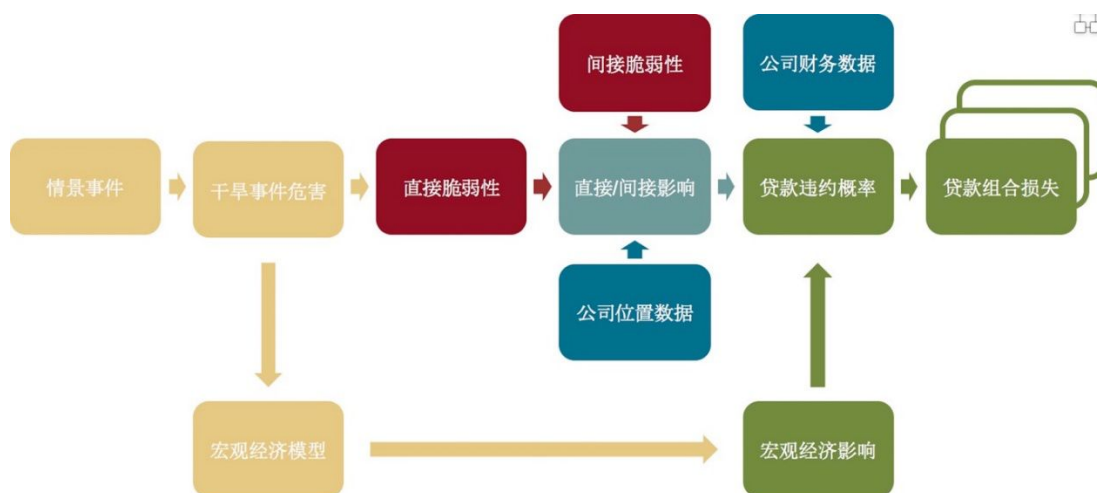


图 7 干旱压力测试模型框架示意图



2、干旱情景选择

通过采用标准降水指数 (SPI)，本模型在情景分析中为参与试点的四个国家分别设定了五个干旱情景。这些情景在干旱严重程度、持续时间和地域范围上有所不同，分别为每 50 年、100 年、200 年一遇、历时 5 年的事件，以及每 200 年、100 年一遇、历时 2 年的事件情景（见图 8）。模型展示了随着时间的推移，干旱事件的演变情况以及对各个地区产生的影响。项目与银行开展合作，收集和输入相关贷款组合中所有未偿贷款和企业客户的信息，以及可能获得的单个营运地点的详细资料，以评估这些干旱情景对实际贷款组合造成的影响。

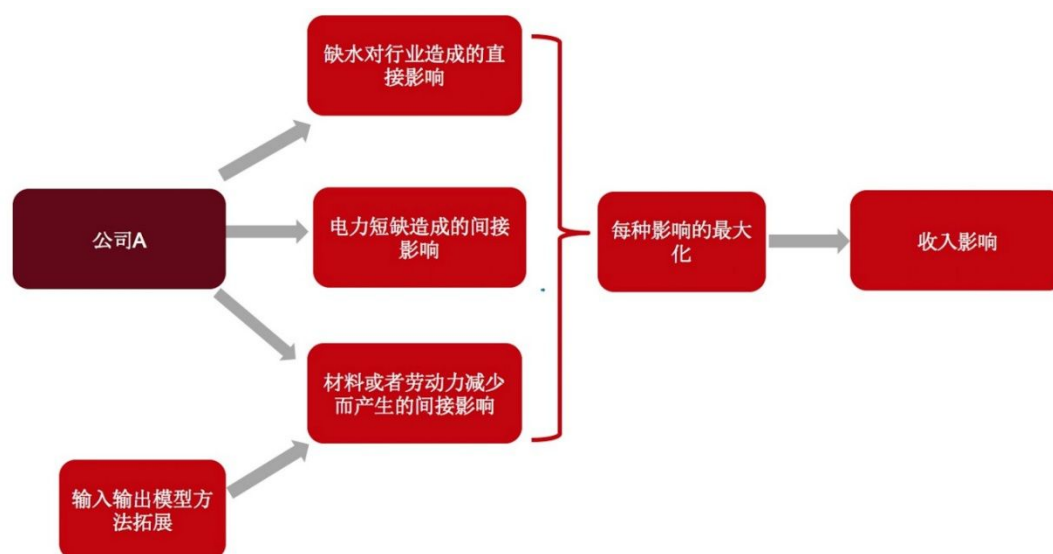
图 8 干旱测试工具模型使用的干旱情景



3、脆弱性模块的方法论

脆弱性建模考虑了直接脆弱性和间接脆弱性两方面影响，并通过评估三个关键因素将干旱灾害足迹转换为企业营业收入和营业成本（COGS）发生的隐性变化：一是水资源缺乏对行业的直接影响；二是水资源缺乏造成的电力短缺所产生的间接影响；三是供应链上下游材料或劳动力供应减少而产生的间接影响。

图 9 收入模型框架



如图9，最终的财务影响考虑了上述三种因素，反映为营业收入和营业成本上的变化。这个模块针对巴西、中国、墨西哥和美国单独构建，能够实现按行业部门、州/省划分，也能够覆盖所有行业部门。

此模型还包括一个宏观经济模块来分析干旱情景对宏观经济的影响。模块采用了全球矢量自回归（GVAR）模型，将干旱严重程度用作外生变量，模拟干旱冲击如何通过全球经济复杂的相互作用进行传导，预测关键宏观经济变量将如何受到干旱的影响。宏观变量包括：GDP、通货膨胀率、股价、汇率、利率、金属、农产品和石油价格等。

模型通过考虑宏观经济状况来修正基本违约率，进而确定每家公司的新的违约概率。模型在结合详细贷款信息时，

可以预测贷款损失。模型汇总所有公司的预期损失，从而确定每个干旱情形下银行贷款组合的总体预期损失。

（三）干旱风险对信用风险的压力测试方法

利用上述模型，以及我行的实际客户数据，进行干旱风险对信贷资产信用风险的压力测试分析流程及相关结论如下：

1. 设定压力情景

本文选择 SPI 指数¹⁴（标准化降水量指数）对各地区干旱程度进行量化。由于中国幅员辽阔，历史上的干旱多为局部性、地区性干旱，较少发生全国范围旱灾，甚至部分省份干旱，部分省份洪涝的情形也时有发生。为了有效衡量干旱因素对商业银行信贷风险影响，此模型根据我国过去 120 年的干旱数据，设定了 5 个具有代表性的场景，其中既包括了地区性严重干旱场景，也包括了全国范围轻度干旱场景。场景描述如下表所示，各场景干旱分布示意图见附件一：

表 4：5 个代表性干旱场景描述

	场景 1	场景 2	场景 3	场景 4	场景 5
--	------	------	------	------	------

¹⁴ SPI指数可以表征一段时间内一个地区降水量的缺乏程度，一般表示为SPI（测算市场长度），例如SPI(12)表示的是某地区12月内的标准化降水量指数值。SPI得分在-2.0以下，表示测算地区重旱，-1.9到-1.49为中旱，-1.49到-1.0为轻旱，-0.99到0.99为正常，1.0到1.49为中涝，1.5到1.99为中涝，2.0及以上为重涝。



发生概率	200 年一遇	100 年一遇	50 年一遇	200 年一遇	100 年一遇
持续时间	5 年	5 年	5 年	2 年	2 年
SPI(36)	-3.900×10^6 km ² ,	-3.477×10^6 km ²	-3.054×10^6 km ²	-4.686×10^6 m ² ,	-4.227×10^6 m ²

2. 选择测试的行业和客户

结合工商银行的实践经验，我们选择了 11 个水风险较为敏感的行业进行压力测试，主要包括制造业、建筑业、电力生产、能源、房地产、零售、交通运输、饮料与烟草制造和水供给及水利系统等 12 个行业，样本客户数共 2500 多户，样本客户贷款余额超过 1 万亿人民币。

3. 计算水压力

根据样本企业不同生产单位所在地区的水成本，计算出每个样本在不同场景下面临的水压力，这个过程主要可分为三个步骤：首先，将每个样本企业生产单位所处的地理位置映射到地图上，根据各地区在五个场景下面临的水的影子价格，计算出企业面临的水成本提升情况。接着，根据各场景下用水成本的提升更新企业财务报表，得出各个场景下企业新的成本和盈利。最后，代入银行信用风险评级模型（此工具中使用的是标普的评级模型）计算出企业的违约率（PD）和新的信用评级。

四、干旱风险对我行信用风险的压力测试结论

（一）五个干旱场景下工商银行资产组合损失不大。

虽然在多个极端场景下，干旱因素会给水敏感行业的企业带来较大经营压力，但由于工商银行的信贷地域分布广，有效的分散了风险，即有受影响的地区贷款也有不受影响地区的贷款，因此并未产生较大影响。研究还表明，干旱事件发生的地区比干旱的严重程度对银行贷款组合的影响更大。比如，尽管情景二的干旱程度低于其他情景，但是该情景的干旱灾害地区主要集中在北京、天津和上海等工业化水平高、贷款分布相对较多的地区，因此对银行贷款的影响最大。

（二）发电业受干旱因素影响较大

干旱风险会对用水量大企业的生产经营影响较大，以发电业为例，不仅水电企业需要大量的水资源来保证生产，火电企业的循环冷却系统用水量同样巨大。据统计，火电厂每年耗水量占我国工业用水量的20%左右，其中循环冷却水用量占火电厂用水总量的50%-80%。干旱迫使发电企业停开或少开机组来降低用水量，部分小容量电厂可能停产，而大容量电厂也将面临设备耗损增加，安全隐患升级等一系列问题，停产和设备耗损将影响企业的营业收入和生产成本，给向其提供贷款的商业银行带来信用风险。



在我行的投资组合中，发电业贷款受干旱因素影响最大，其次为饮料与烟草制造业、房地产业以及建筑业。

表 5：五个干旱场景下风险较大的行业

场景	行业
场景 1	房地产，制造业，发电业
场景 2	发电业，饮料和烟草制造业，房地产
场景 3	发电业、房地产、食品制造
场景 4	发电业、房地产、建筑业
场景 5	发电业、饮料和烟草制造业、房地产

（三）干旱因素对中小企业的影响高于大型企业

企业规模与企业生产单位的多少和地理位置的分散程度有着密切联系，因此，干旱风险对不同类型的企业影响也不同。测试结果显示，干旱风险对中小型企业的影响要大于大型企业，一部分原因是中小型企业的资产负债规模较小，另一部分原因是大企业的生产单位往往遍布全国各地，从而能够较好地分散由于局部地区干旱风险带来的集中的损失。

五、商业银行应对与管理水风险的相关建议

（一）应高度重视水风险的影响并将其纳入资产组合配置及风险管理

随着环境成本内部化的进程的不断加速，水风险对金融机构信用风险的影响也将日益增加。例如水费征收标准的进

一步提高，水污染处罚力度的不断增大，以及强制环境责任保险的推行都将带来企业成本的上升、盈利的下降，企业客户偿债能力的下降将增大银行的信用风险。

目前西方国家的一些保险公司已经开始将洪涝、飓风等气候变化因素纳入保费计算模型，我国保监会最新发布的第三套生命表中也加入了雾霾等环境因素对人民寿命和健康的影响，这将使得我国保险公司产品定价中也纳入了环境因素。考虑到未来环境风险将逐步从商业银行的隐性风险转变为显性风险，建议我行高度重视干旱、洪涝、企业水污染事件以及与之相关的诉讼情况，防范水风险向信贷资产的传导；加强环境风险量化方法的研究和探索，推广压力测试这一有效工具在研究和业务开展中的使用；此外，还可考虑将环境因素纳入客户评级和定价体系中。

（二）做好重点行业的水风险预防和管理

在我行的贷款客户中，部分行业在生产 and 经营过程中用水量较多，水风险敞口较大，应当重点关注。一方面，电力、饮料及烟草制造等行业均是用水大户，干旱会导致企业无法正常开展生产，尤其是持续性干旱将会给企业造成长期影响；另一方面，考虑供应链的影响，零售业、房地产等行业也会受到干旱因素的间接影响，例如，干旱导致农作物欠收



将会提高农产品售价，进而提高零售业经营成本等。

此外，有色、化工、以及部分新兴行业，如煤化工等，虽然由于目前在我行资产配置中所占比重较小，并未纳入此次压力测试测算范围，但此类行业耗水量大，水污染严重，一旦发生污染事件，容易引发声誉及诉讼风险，也应当纳入重点监控的行业范围。银行应重点关注上述行业的干旱风险，将水风险因素纳入政策制定及风险评估范围，及时分析企业经营财务状况，防范已发放贷款信用风险，并调整后续发放贷款的定价。

（三）高度关注重点地区和城市的水风险

压力测试结果显示，干旱事件发生的地区比干旱的严重程度对贷款组合的影响更大。重点关注京津冀地区以及包括上海、浙江、福建在内的东南沿海地区的资产风险，这些地区虽然降水量较西部地区充足，但人口众多，人均水资源不足，且产业分布较为集中，工业用水与居民生活用水压力较大，若上述地区贷款分布较多，干旱风险敞口将较大。

我国中、西部地区具有降水量少、水资源储备薄弱、水环境较为脆弱等特征，虽然目前由于人口和产业分布较少，水风险尚不突出，但随着我国产业梯度转移的步伐不断加快，东部地区的部分企业，尤其是生产型企业正在逐步向中、

西部地区转移，中、西部地区企业用水压力正在迅速增加，同时，企业污染事件的发生也可能造成声誉风险，甚至引发群体性事件。建议银行高度关注水敏感行业客户布局（或新设分支机构）在宁夏，新疆，河北，河南，山西等省份的情况，做好贷款的水风险评估和管理。

（四）加强防范中小企业因干旱导致损失造成的信用风险

中小企业规模较小，生产单位数量较少且分布集中，无法像大型企业一样通过分散化布局来缓释干旱风险。而我国降水量分布不均，干旱灾害的发生以地区性为主，全国性干旱发生概率较低。若中小企业生产单位所在地区发生持续性旱灾，将会对其带来毁灭性的打击。大型企业虽然能够较好的分散干旱风险，但由于其规模较大，一旦发生污染等环境风险事件将会产生巨大的社会影响，企业面临的水风险主要是与水相关的声誉及诉讼风险。建议在贷款发放时关注水敏感行业的企业生产单位布局以及企业规模，重点支持生产单位地理位置较为分散的大型企业，同时密切关注大型企业是否发生水风险事故，做好应急预案。

（五）密切关注水资源开发利用新技术发展及相关政策

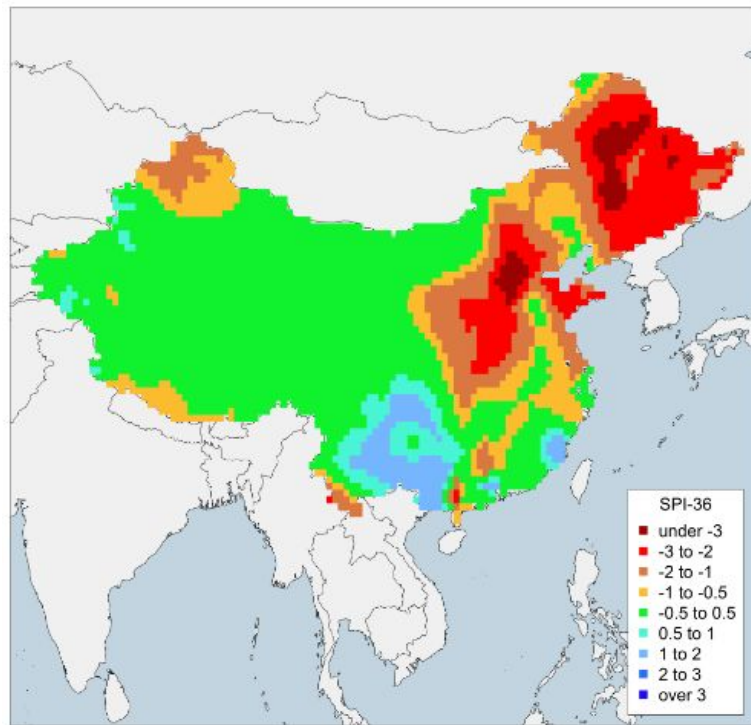
我国在《国家中长期科学与技术发展规划纲要



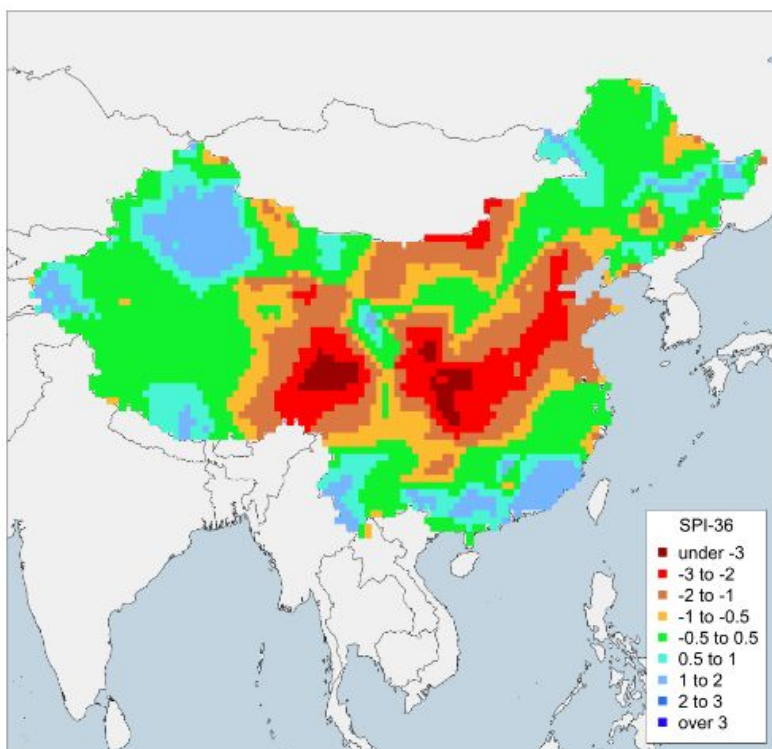
(2006-2020)》中提出，要重点研发大气水、地表水、土壤水和地下水的转化机制和优化配置技术，污水、雨洪资源利用技术，开发工业用水循环利用技术和节水型生产工艺。随着水资源供需缺口的进一步扩大，与水资源开发利用相关的新技术有望获得新的发展机遇。建议密切关注海水和苦咸水淡化、农业节水、雨洪利用等非常规水资源开发利用市场，并高度关注相关政策的变化，择机进入。

附件一：五个场景下干旱分布示意图

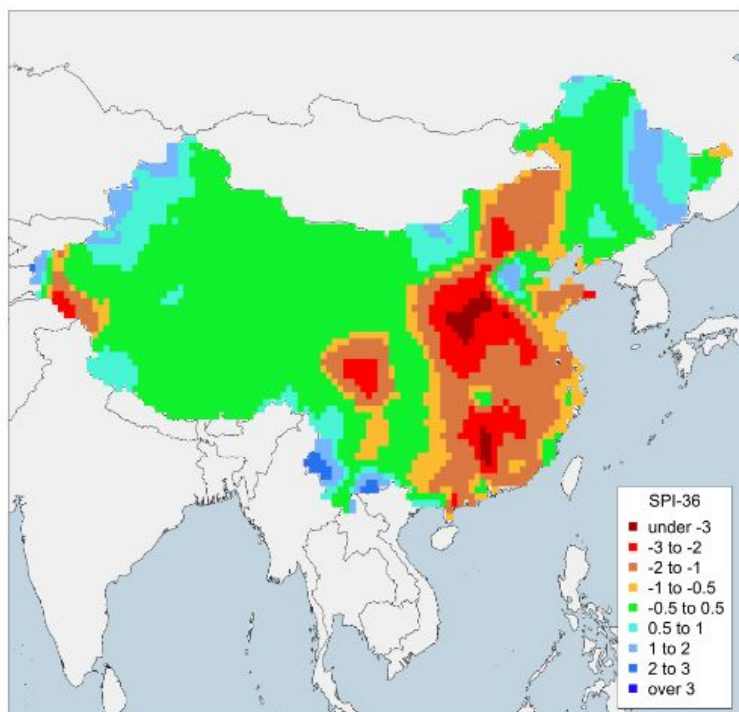
情景 1: 200 年一遇，持续时间 5 年，SPI-36 指数 $-3900 \times 10^6 \text{km}^2$;



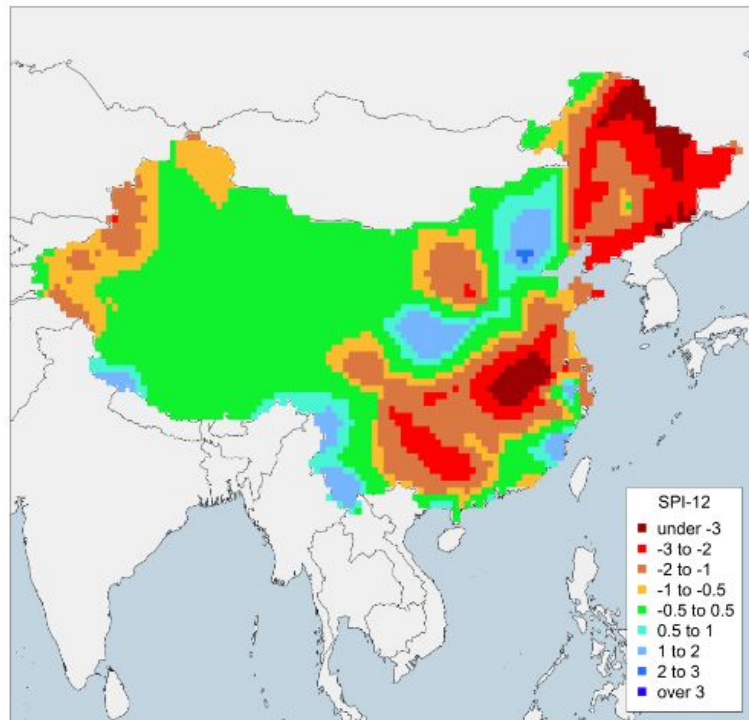
情景 2: 100 年一遇，持续时间 5 年，SPI-36 指数 $-3477 \times 10^6 \text{km}^2$;



情景 3: 50 年一遇, 持续时间 5 年, SPI-36 指数 $-3054 \times 10^6 \text{km}^2$;



情景 4: 200 年一遇, 持续时间 2 年, SPI-36 指数 $-4686 \times 10^6 \text{km}^2$



情景 5: 100 年一遇, 持续时间 2 年, SPI-36 指数 $-4227 \times 10^6 \text{km}^2$

