



2018年中国水利学会大禹奖

大型调水工程运行风险管控关键技术及应用

获奖等级： 一等奖

完成单位： 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 中国水利水电科学研究院
河海大学 华中科技大学 北京师范大学
安徽省（水利部淮河水利委员会）水利科学研究院

完成人员： 刘恒 耿雷华 赵勇 陈炼钢 姜蓓蕾 王慧敏 黄昌硕 王振龙 陆垂裕
秦长海 李美香 康玲 肖伟华 李爱花 张婕

1、关键问题

大型调水工程系统构成复杂，运行面临多方面风险。目前，国内外水利工程领域的风险研究主要集中在大坝与堤防两个方面。大型调水工程运行风险的研究还比较零散，缺乏针对性、深入性和系统性，主要存在以下问题：（1）尚未形成系统的大型调水工程运行风险管控理论，缺乏多类风险源对风险受体作用机理的深入分析；（2）缺乏高适性的大型调水工程运行风险解析技术，难以实现风险的定量化表征；（3）风险控制标准尚未建立，风险评价与风险管控实践存在脱节；（4）鲜见对南水北调东中线运行风险的深入完整研究，缺乏型调水工程运行风险的研究范式。

项目瞄准国家重大需求，围绕工程运行风险管控关键科学技术问题，历时十余年持续研究，提出了大型调水工程运行风险管控理论、定量解析技术、防控措施等成果，并在南水北调东、中线和引江济淮等工程中得到实际应用。

2、研究思路与内容

针对大型调水工程运行无法实现设计目标的风险，围绕风险源诊断、风险解析量化和防控措施预案，按照“数据挖掘—理论研究—方法融合—技术研发—创新应用”的总体思路，集成现场调查、原型观测、数值模拟等技术手段，对运行风险管控关键技术开展研究和应用实践。

首先，构建大型调水工程运行风险场，系统地对工程运行风险进行“高内聚、多耦合”的分解；其次，交叉融合多学科的理论方法模型，研发“多类多源”风险场定量解析技术，诊断受体的风险源结构及因子组成，量化各类风险及其对综合风险的贡献率，绘制风险谱；然后，制定运行风险的分类分级控制标准，编制“全过程、全要素”的风险防控方案；最后，在南水北调东中线和引江济淮调水工程中进行应用，预判三大工程运行风险的高风险源、高风险受体、高风险区域、高风险时域等“四高”风险，为调水工程的安全运行提供技术支撑。

具体研究思路见图

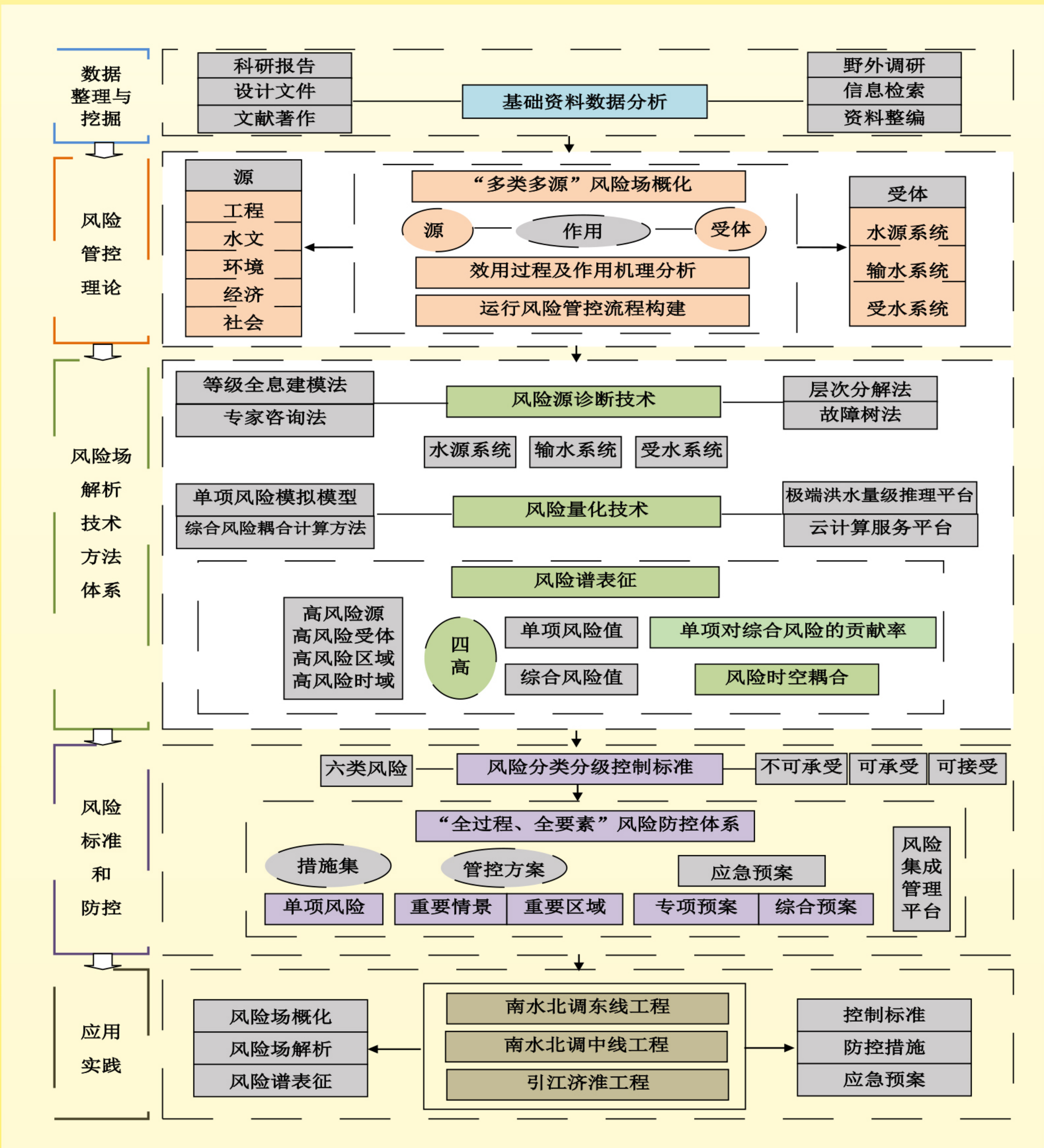


图1 总体技术路线



中国水利学会



2018年中国水利学会大禹奖

大型调水工程运行风险管控关键技术及应用

二、创新性成果

1、提出了大型调水工程运行风险管控的研究范式，创建了大型调水工程运行“多类多源”风险管控理论体系

在海量基础数据整理分析与知识挖掘的基础上，基于场论、系统动力学、效用理论等，分解了大型调水工程的风险受体类型，系统诊断了工程运行面临的风险源，以风险受体、风险源为节点，构建了大型调水工程运行“高内聚、多耦合”风险场，单一风险受体和单一风险源构成的子系统内部关系高度紧密，子系统之间耦联交织（见图2）。剖析了风险源之间驱动、传导、诱发和放大的效用过程，揭示了风险源对受体的作用机理（见图3）。以风险受体分析、风险源诊断、风险作用机理剖析、风险量化、风险控制、风险预案等为要素，系统地构建了由风险场概化、风险场解析、风险防控组成的管控流程。

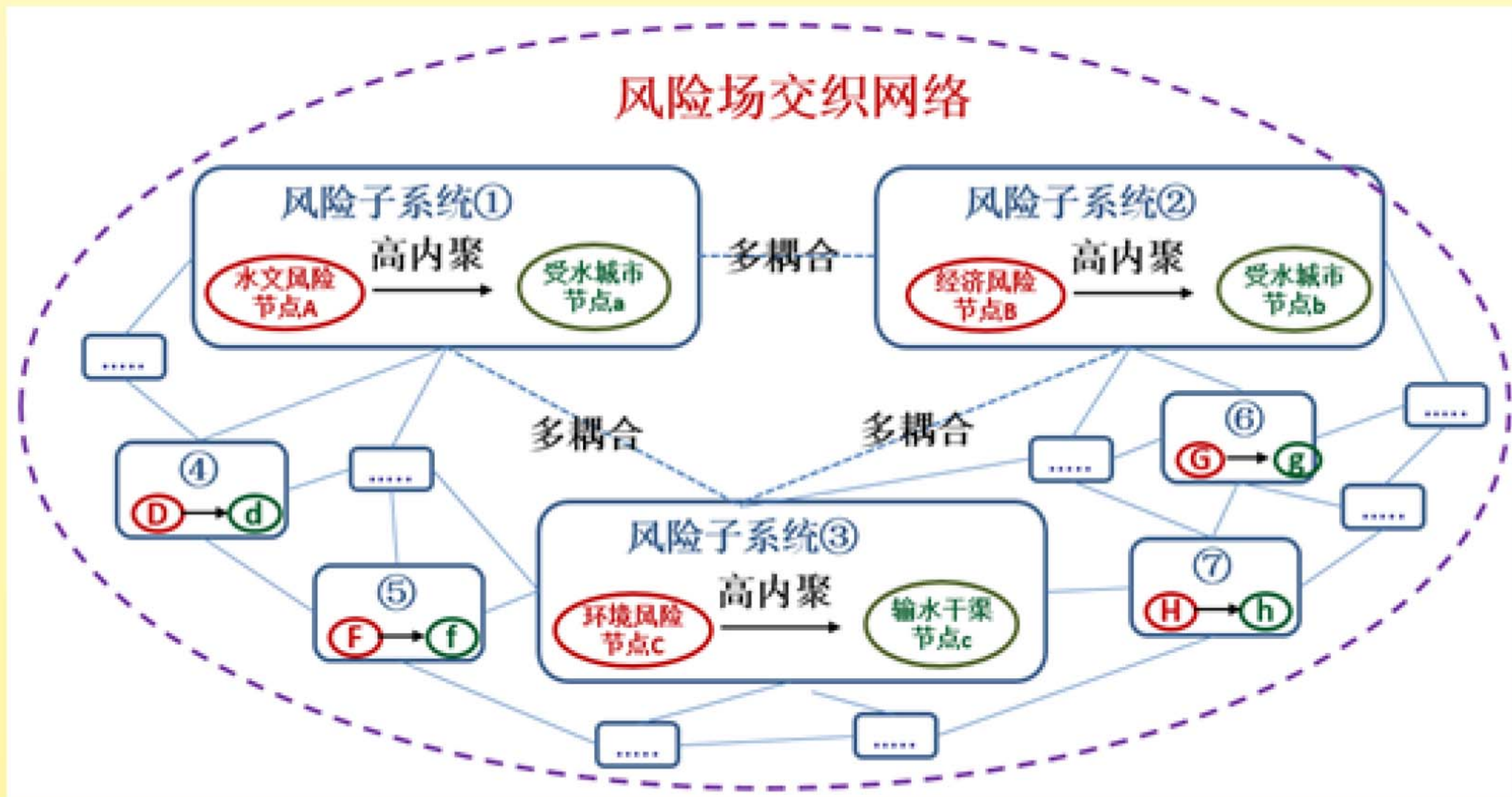


图2 “高内聚、多耦合”风险场示意图

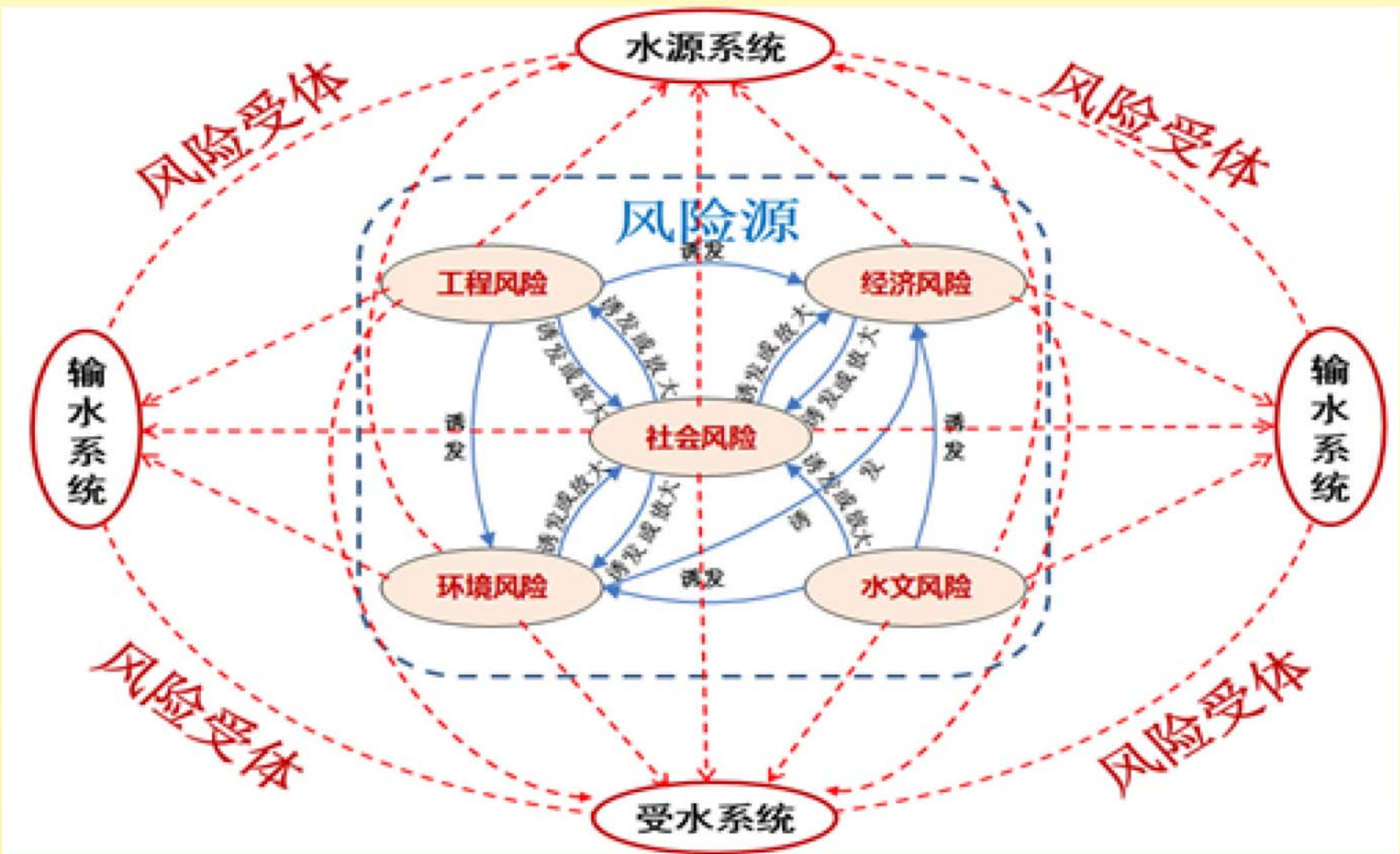


图3 风险源对受体的作用机理示意图

2、提出了大型调水工程运行的风险源诊断和风险量化方法，构建了风险场解析技术体系

针对大型调水工程运行风险存在的“多受体、多风险源、作用场交织、空间异质、时间波动”的复杂特性，研发了融合源诊断、风险量化和谱表征的风险场解析方法技术体系。集成改进层次分解、故障树、等级全息建模、专家咨询等方法，构建了大型调水工程运行风险源诊断技术，诊断了“多类”风险受体的风险源结构及因子组成；研发了基于分布式水文模型的水文风险预测、水质资料短缺地区环境风险概率计算、蒙特卡洛动态经济风险模拟等多个单项风险量化模型，改进了多元聚类、贝叶斯网络等综合风险耦合量化方法，开发了极端洪水量级推理、云计算服务等多个平台，构建了大型调水工程运行风险量化技术，定量计算水源系统、输水系统、受水系统运行的风险，量化了单一风险源对综合风险的贡献率，解析了综合风险的时空组成。绘制出“层次化、系统化、定量化”的风险谱，表征了大型调水工程运行风险。

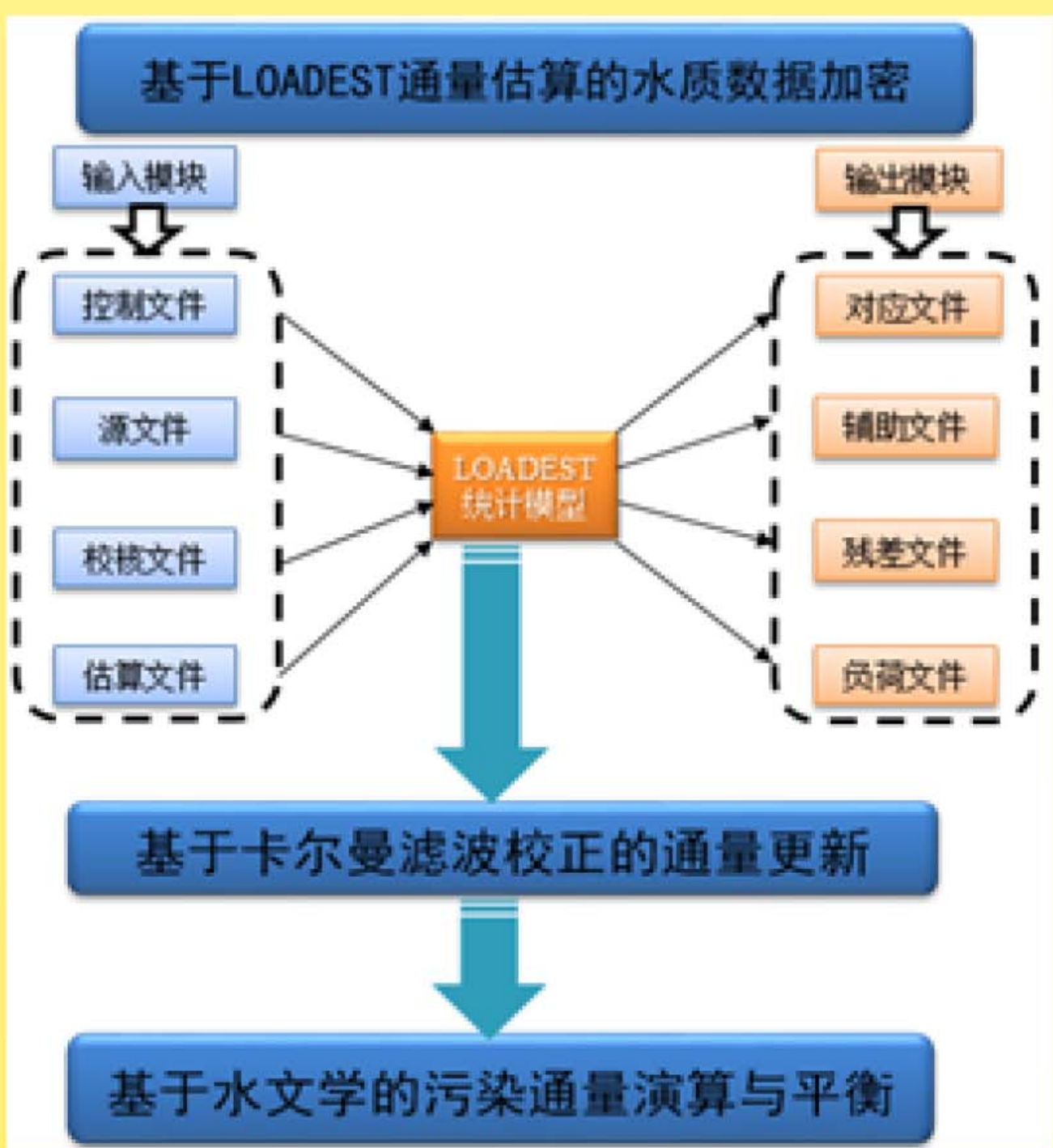


图4 水质资料短缺地区环境风险概率计算

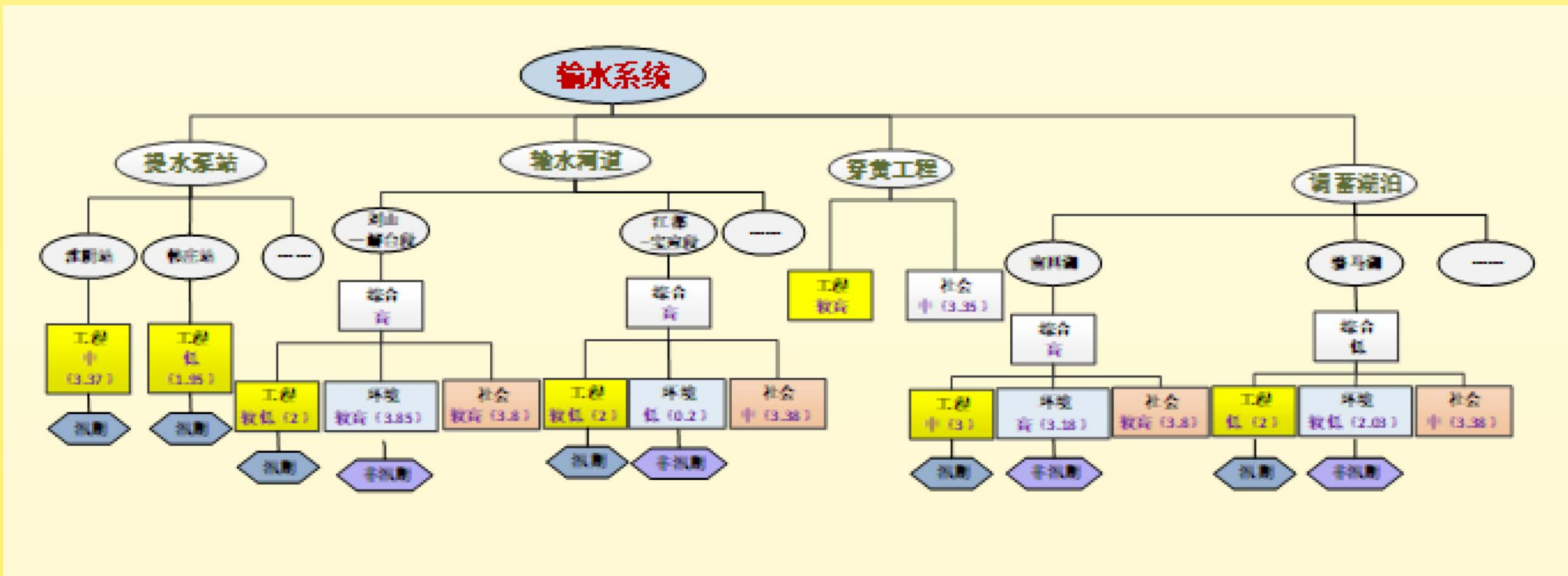


图5 东线输水系统风险谱结构层次图





2018年中国水利学会大禹奖

大型调水工程运行风险管控关键技术及应用

3、制定了大型调水工程运行风险分类分级控制标准，建立了风险防控管理体系

基于风险控制理论，针对大型调水工程特性，按照不可承受风险、可承受风险、可接受风险3个层次，制定了工程、水文、环境、经济、社会 and 综合等6个方面11项风险控制标准。建立了大型调水工程运行风险“全过程、全要素”防控体系：以前端控制为策略，分别提出了工程、水文、环境、经济、社会等单项风险防控措施，对重点情景、重点区域编制了风险防控方案；以末端控制为策略，针对应急管理需求，确定风险管理安全保障预案的制定原则，建立了大型调水工程运行安全保障的跨界水事纠纷、水质纠纷、移民纠纷、暴雨洪水等多个专项预案和综合预案集。

(4) 建立并解析了南水北调东、中线、引江济淮工程运行风险场，预判了高风险源、高风险区域、高风险时域、高风险受体（“四高”风险）

建立了“多类多源”风险场，深入剖析了子系统内和间的作用影响机制，分别识别了南水北调东、中线工程运行风险因子361个、227个，分别组建风险子系统163个、106个、59个，量化了各子系统及各类风险受体运行的综合风险，分别计算南水北调东、中线风险值215个、166个。绘制了三大工程运行“层次化、系统化、定量化”的风险谱，确定了高风险源、高风险区域、高风险时域、高风险受体。

图6是南水北调中线工程运行风险“四高”预判结果。

受体类型	高危风险源 (从高到低)	高风险区域 (从高到低)	高风险 时域	高风险 受体
水源系统	水文、社会	/	非汛期	✓
输水系统	河渠交叉建筑物	工程	黄河北~漳河南 漳河北~古运河南段	汛期
	公路交叉建筑物	环境（突发）	/	/
	控制建筑物	工程	/	汛期
	输水干渠	工程、社会	汛期：暴雨中心干渠段 非汛期：陶岔渠首—沙河南段	汛期 ✓
	穿黄穿漳工程	工程、社会	穿黄工程	汛期
受水系统	经济、水文	北京、新乡、周口 焦作、平顶山、郑州	非汛期	

图6 南水北调中线工程运行风险“四高”预判结果

三、推广应用。

成果直接支撑了南水北调东、中线的运行管理和引江济淮工程的规划设计，指导了沿线省市相关规划的编制。依托本项目提出的2项建议分获李克强总理批示和肯定、北京市政府采纳。指导了引汉济渭等其他调水工程在规划设计、运行管理中的风险预判及防控。成果在南水北调中线管理局、南水北调东线总公司、国调办政研中心、水利部调水局等16家单位得到应用，取得显著的社会经济及生态效益。

创建的“多类多源”风险管控理论及解析技术，丰富和发展了水利工程风险管理学科体系；提出的分类分级风险控制标准及防控体系，解决了风险评价理论与管控实践接口的难题；成果实用性强，弥补了国内外调水工程风险领域研究的不足。

