

# 基于WSR的岩溶区燃气管道灾害风险 管控措施研究\*

李乔楚

(西南石油大学 经济管理学院, 成都 610500)

**摘 要:** 岩溶塌陷极易导致燃气管道失效泄漏并诱发火灾、爆炸等次生灾害, 对管道安全平稳运行和沿线人民生命财产造成极大危害。辩证分析了岩溶区燃气管道灾害演化过程中物理-事理-人理 (WSR) 三者间的交互关系, 遵循“灾前-灾中-灾后”的演化逻辑构建岩溶区燃气管道灾害风险管控WSR模型, 并基于此提出WSR系统方法论视角下岩溶区燃气管道灾害的风险管控措施。研究表明: 物理是事理研究的基础, 只有全面掌握岩溶区燃气管道灾害的演化机理以及应对的理论方法等, 才能够开展高效及时的预测、防护、评价、控制、恢复等决策指挥; 事理是链接物理和人理的媒介, 人可以在灾害管控实践中发现问题, 结合物理知识利用事理手段探求最理性、最优化的应对措施, 并将事理实践过程中的经验教训上升为新的物理内容; 人理是物理和事理的行为主体, 更加关注文化、道德、法律、价值层面的内涵, 只有崇尚“以人为本”的理念和方针, 才能促使物理和事理落到实处。

**关键词:** 物理-事理-人理 (WSR) 方法论; 岩溶区; 燃气管道; 灾害; 风险管控措施

中图分类号: TE88

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2024.01.007

## Research on Disaster Risk Management and Control Measures for Gas Pipeline in Karst Area based on WSR

LI Qiaochu

(Southwest Petroleum University, School of Economics and Management, Chengdu 610500, China)

**Abstract:** Under the influence of karst collapse, gas pipelines are prone to failure and leakage, leading to secondary disasters such as fire and explosion, ultimately causing great harm to the safe and stable operation of pipelines and the lives and properties of people along the line. The interactive relationship among Wuli-Shili-Renli in the evolution process of gas pipeline disasters in karst areas is dialectically analyzed, and the WSR model for risk management and control of gas pipeline disasters in karst areas is constructed following the evolutionary logic of "pre disaster, during disaster, and after disaster". Research shows Wuli is the foundation of Shili research. Only by comprehensively grasping the evolution mechanism of gas pipeline disasters in karst area and the theoretical methods can decision-making and command work such as prediction, protection, evaluation, control, and recovery be carried out efficiently and timely. Shili is a medium linking Wuli and Renli. Problems can be identified in disaster management practices. Combined with Wuli's knowledge, Shili's tools are used to explore the most rational and optimal response measures, and upgrade the experience and lessons learned during Shili's practice to new Wuli content. Renli is the main actor of Wuli and Shili. The connotation of culture, morality, law, and value is focused on. Only by advocating the concept and policy of "people oriented" can Wuli and Shili be implemented effectively.

**Key words:** Wuli-shili-renli methodology; karst area; gas pipeline; disaster; risk management and control measures

\***基金项目:** 国家社会科学基金重大项目“能源革命驱动下的天然气产业高质量发展路径研究”(项目编号 22&ZD105); 国家社会科学基金西部项目“‘双碳’目标下我国城市群能源系统碳达峰预测及差异化减排路径研究”(项目编号 22XGL019)。

## 0 前 言

我国的岩溶塌陷主要集中在以贵州为中心的川、黔、滇以及与之毗邻的湘、桂、鄂等碳酸岩成片地区。与此同时，独具天然气资源优势的西南地区岩溶地貌广布，输气管网系统发达，燃气管道不可避免地穿越岩溶区域，在自然、人为因素耦合影响下若诱发岩溶塌陷则极易导致管道失效泄漏并进一步诱发火灾、爆炸等次生灾害<sup>[1]</sup>，对燃气管道的安全平稳运行和沿线人民的生命财产造成极大危害。

近年来，国内外学者针对输气管道灾害的风险管控措施开展了一系列研究。Li等<sup>[2]</sup>基于风险因素重要性（发生率、严重性和可检测性）评估结果，针对安全教育、警告标志、应急计划、腐蚀监测等方面提出老化输气管道的灾害风险管控措施。Muniz等<sup>[3]</sup>基于所构建的蝴蝶结图，针对管道威胁、后果、预防或缓解屏障、退化因素等不足提出风险管控措施。吴轩等<sup>[4]</sup>结合2013年“11·22青岛管道爆炸事故”调查结果，从法律规范、组织调度、运行机理、平台建设、抢险策略等维度提出输气管道重大突发灾害的风险管控对策。梁开武等<sup>[5]</sup>采用事故模型（Thornton模型、TNO多能法等）量化采取不同防护措施（砌筑防爆墙和加设套管）后的管道事故风险值，通过对标可接受准则，确定天然气长输管道典型灾害（喷射火、蒸气云爆炸）风险管控措施的实施效果。

现有研究针对岩溶塌陷这类特殊地质灾害的分析有待完善，且研究对象主要集中于长输管道，提出的措施大多属于局部防控措施，并未形成完整的灾害风险管控措施体系，缺乏立足于自然科学、社会科学、人文科学全领域，针对岩溶区燃气管道灾害全过程的风险管理控制措施研究。因此，本研究在准确把握岩溶区燃气管道灾害演化过程中“物理-事理-人理”（Wuli-Shili-Renli）三者交互关系的基础上，遵循“灾前-灾中-灾后”的演化逻辑提出基于WSR系统方法论的岩溶区燃气管道灾害风险管控措施，以期在系统性视角下深入剖析岩溶区域燃气管道灾害的安全管理问题。

## 1 WSR系统方法论概述

WSR（Wuli-Shili-Renli）系统方法论由学者顾基发和朱志昌共同提出<sup>[6]</sup>，该理论基于中国传统哲学思想，从“物理-事理-人理”三个相互关联的维度动态解构研究对象<sup>[7]</sup>，是一种解决复杂问题的系统工具。

WSR系统方法论提出后，各界学者对其理论与实践进行了积极探索<sup>[8-10]</sup>。“物理”是指客观事物及其遵循的物理规律，它强调客观性并对研究对象进行解释；“事理”是指人对客观事物的理性感知和处理机制，它强调如何面对事物并解释应对问题的方式；“人理”是指组织中人与人之间的联系以及人在处理问题中的作用，它强调人的主观能动性并提供解决问题的改进方法<sup>[11]</sup>。由于兼顾“工程”与“哲学”双重思想，并将协调理念贯穿于研究逻辑始终，WSR系统方法论在管理科学与工程领域得到学者的广泛应用。

## 2 岩溶区燃气管道灾害风险管控WSR模型构建

近年来，WSR系统方法论的应用拓展至油气工程管理领域<sup>[12-13]</sup>。WSR方法将复杂系统和事物分解为客观世界、管理系统和人类活动三个维度间的动态交互，具备分层和组织的优势，因此能够合理地协调事物之间的复杂联系，并实现成效最大化。岩溶区燃气管道灾害的风险管控是一个复杂的综合问题<sup>[14]</sup>，涉及自然、社会、人文方方面面，因此需要集成自然科学、社会科学、人文科学三个维度的知识、方法及手段，即与WSR理论中的物理、事理、人理一一对应。基于此，构建了岩溶区燃气管道灾害系统分析方法（见表1），并进一步建立了岩溶区燃气管道灾害风险管控WSR模型（如图1所示）。

### （1）物理层面

物理规律是灾害风险管控中的通用性“道理”，是灾害演化的规律和机理，以及风险应对、抢险救灾、恢复重建等依托的理论、方法、原则等。岩溶区燃气管道的不安全问题往往起始于自然和人为因素耦合作用下引发的失效，并在外部环境孕育下进一步演化为火灾、爆炸等危害，最

表1 岩溶区燃气管道灾害系统分析方法

方法	理论知识	研究方法	研究方法
物理	自然科学知识	理论解析法、数值模拟法、因果分析、故障树分析、可靠性分析等	明确灾害演化的规律和机理,以及风险应对、抢险救灾、恢复重建等依托的理论、方法、原则等
事理	管理科学知识、社会科学知识	层次分析、“一案三制”、决策支持系统、模糊决策法等	充分发挥系统的自组织能力来自救,或者借助应急处置、抢险救灾等外部干预,在信息的约束下探求最理性、最优化的灾害风险应对措施
人理	人文科学知识	问卷调查法、定性分析、博弈论、选择理论、社会网络分析等	提升个人或组织自身的安全意识和应灾能力,加强不同主体之间的协调合作,以及营造良好的外部环境

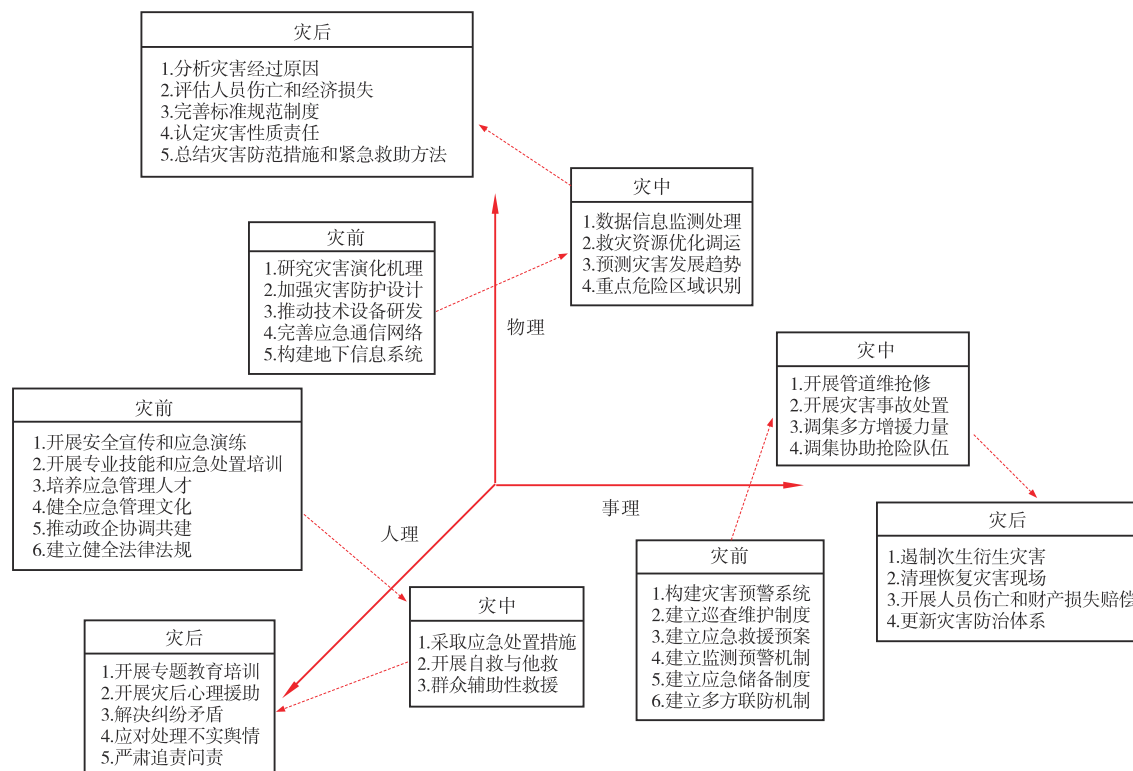


图1 岩溶区燃气管道灾害风险管控WSR模型

终造成沿线居民的生命财产损失。

### (2) 事理层面

岩溶区燃气管道灾害的风险管控主要取决于人对物的介入，人对物的问题属于事理的研究范畴。岩溶区燃气管道及其周边环境构成的自然-社会-经济系统随着风险事件的发生瞬间趋于混乱、无序，此时为了防止灾害势态进一步演化或者降低灾害危害程度，便需要发挥系统的自组织能力开展自救，或者借助应急处置、抢险救灾等外部干预的影响增加系统负熵，在资源、信息的约束下探求最理性、最优化的应对措施，使系统逐渐趋于新的稳态。

### (3) 人理层面

人的行为观念以及社会关系将对岩溶区燃气

管道灾害的风险管控产生重要影响。首先是人自身的问题，当风险事件发生后，人在生存需求驱使下会本能性地趋利避害，但在长期的防灾救灾实践中，管理者逐渐发现人的主观能动性对于切断风险隐患、控制危险传播及灾害演化的关键性作用，但与此同时，严重灾害引发的恐惧、焦虑等情绪将对当事人造成较大的心理阴影甚至创伤，即“人理”要求风险管控在着眼于灾害导致的身体损伤和财产损失的同时，还应重视人的精神需求。其次是人和人之间的问题，即关系问题，这里所指的人，既包括与作为个体的灾害当事人，也包括与灾害有关联的政府部门、企业、社会机构等，以及与上述主体发生物质、信息、资源交换的组织。同样在长期实践中发现，提升

个人或组织自身的安全意识和应灾能力、加强不同主体之间的协调合作以及营造良好的外部环境,是打好岩溶区燃气管道灾害风险管控“组合拳”的关键,而人与人之间关系的塑造主要受到法规、制度、文化、传统、价值、观念等的作用。

### 3 基于WSR模型的岩溶区燃气管道灾害风险管控措施

#### 3.1 物理——厘清灾害发生机理,夯实防灾救灾基础

##### 3.1.1 加强岩溶燃气管道灾害防护

(1) 根据JGJ8-2016《建筑变形测量规范》,并结合场地实际条件建立管周土沉降监测系统,主要监测对象为燃气管道两侧的地表移动情况,监测点逐日观测1次,结合监测结果和概率积分法对剩余地表移动变形进行预测分析,为明确岩溶塌陷发展趋势及其对管道危害程度提供数据支撑,并针对性合理选用土垫层法、桩基法等处理措施,建立岩溶区燃气管道失效预警与维修机制。

(2) 充分利用卫星系统、无人机、地质雷达、三维激光扫描、高精度传感器等先进仪器和技术手段,结合管道实际情况,建立全方位的岩溶区燃气管道灾害监测信息系统,增加灾害判别的准确性和及时性,并将重点区段纳入系统管理,安排专人全天轮班值守,着力提升灾害预警能力。

(3) 考虑到岩溶区地质环境复杂多变,在生产建设活动耦合影响下高后果区情况变化快,因此应当加强岩溶区燃气管道高后果区的识别周期管理;按照“一区一案”的原则,制定高后果区应急预案专篇;鼓励管道企业对高后果区建立风险管控和管道安全保护包保责任制度,并按照属地管理原则,由政府包保责任组负责督促管道保护和建设工作,协调解决岩溶区燃气管道高后果区的各项突出事项。

##### 3.1.2 推动技术设备研发应用

(1) 政府部门应组织有关单位、高等院校、科研机构积极开展岩溶区管道灾害应急防范与抢险方法等相关课题研究,加强灾害监测、评估、

趋势预测等技术研发,密切跟踪国际前沿科技,为岩溶区燃气管道灾害的科学决策、有效处置提供技术保障。

(2) 开展岩溶勘探、水动力监测、地面沉降及构筑物变形监测等技术研发,具体包括:①岩溶塌陷声波探测技术、岩溶塌陷光电传感监测技术、地质雷达隐伏岩溶土洞探测识别技术等岩溶勘探技术;②岩溶管道系统水(气)压力变化和第四系孔隙水压力变化监测技术、卫星光学/雷达遥感技术、无人机低空遥感技术等水动力监测技术;③精密水准测量技术、GPS技术、合成孔径雷达干涉测量技术等地面沉降及构筑物变形监测技术。

(3) 开展管道保护防控技术研发,具体包括:监控与数据采集(SCADA)系统、管道光纤预警技术、管道泄漏预警与监测技术、周界(视频)预警技术、岩溶地质灾害监测预警技术、管道内检测技术、杂散电流干扰防护技术、远程终端监控技术。

(4) 开展灾害探测技术研发,具体包括:复合传感(感温、感烟、感光等)探测技术、空气采样火灾探测技术、气体探测技术、图像火灾探测技术、可燃气体爆炸极限检测技术(半导体式、催化燃烧式、红外线式和热传导式)。

##### 3.1.3 推动信息化设施建设

(1) 推进地下空间资料的信息化建设,基于先进的地下探测设备与技术形成准确的区域地下管网资料,与地下岩溶信息系统形成数据链接,建立健全动态更新与联动响应的区域地下管网地理信息系统。

(2) 管道保护主管部门应当组织建立区域管道信息综合管理平台,健全管道信息数据采集、管理和共享机制,为灾害防护以及应急处置提供信息服务,提高岩溶区燃气管道保护的信息化管理水平。

(3) 鼓励管道企业高标准、高质量打造数据集成、安全预警和综合管理等多功能信息平台,对岩溶区管道安全生产情况进行动态实时监控,并与区域管道信息综合管理系统实现数据共享,以达到有效预防和控制灾害发生的目的。

(4) 推进管道数据信息化管理,要求企业按照区域统一的技术标准和要求定期向管道信息平

台报送信息，包括但不限于管道建设运行基本数据、隐患排查及治理情况、岩溶高后果区等。

#### 3.1.4 开展灾后评估、归纳和分析

(1) 明确灾后评估形式（组织专家评估、自我评估、相关机构鉴定或认定等）、评估方式（现场查验、情况汇报、技术手段等）和评估结果（损坏程度或损害级别，恢复重建要求和时间等），查明灾害发生的起因、经过，评估人员伤亡程度、建（构）筑物数量及受损率、受损管道长度及受损率、损失价值等。同时在“双碳”目标背景下还应开展环境受损评估，最终认定灾害性质和责任，总结灾害防范措施和紧急救助方法，提交灾害调查报告。

(2) 以恢复重建为契机，消减区域燃气发展瓶颈，提高燃气利用水平，按照区域总体规划远期目标，适当提高重建规模和水平，以保证区域社会经济持续发展；重新评估原有管道建设、灾害防护、应急救援、环境保护等要求的适用性，完善或调整标准规范内容，提高岩溶区燃气管道的灾害抗灾能力和应急能力，确保符合新的抗灾设防要求。

### 3.2 事理——加强灾害防治力度，做好灾后处置工作

#### 3.2.1 加强管道安全管理

(1) 针对所辖高后果区定期开展岩溶地质条件影响排查工作，形成高后果区地质条件影响排查列表，开展“治早治小”，并及时立项治理高风险、较高风险管段。依据风险排查结果和高后果区实际情况，针对潜在塌陷区域管段采取视频监控，安装地表位移和应力应变监测装置等措施<sup>[15]</sup>，确保岩溶区燃气管道灾害风险受控。

(2) 结合岩溶地貌特点，根据管线走向针对性开展分区管理，并合理委托村（居）民委员会、专业企业或者个人承担管道巡护、隐患信息收集等工作，建立专业队伍月巡查、巡线队周巡检、属地巡线工日报的“四位一体”巡护体系，采用人防、物防相结合的措施，确保巡线质量。

(3) 加强对第三方施工扰动、道路交通荷载等方面的监督与管控，协同建设管理部门严控在建地下工程（基坑、隧道等）对周边道路、管线等影响，协同交管部门严查区域道路超载超限现

象，减少岩溶塌陷人为诱因的出现。

(4) 设专门机构负责管道安全技术管理，同时配备专业技术管理人员。加强职工的日常安全教育和考核培训，包括燃气管道的工艺流程、设备结构及工作原理、岗位操作规程、设备日常维护及保养知识、消防器材的使用与保养等培训，做到应知应会。

#### 3.2.2 遏制灾害演化进程

(1) 严格控制引火源。基于火灾三要素原理，控制引火源能够破坏灾害发生的激发能量，是防范火灾爆炸危害的主要策略。在承载易燃介质的燃气管道附近，应严格管控引火源的存在，包括热源、雷电、电火花、静电火花、明火、动火作业、电器火花、铁制工具等产生的摩擦火花。

(2) 严格控制着火源，扑灭已有着火源，避免产生新的着火源。常见紧急处理措施包括关闭阀门、停止作业、倒罐、临时改变工艺流程、降低生产负荷、停止营业等。

(3) 严格控制可燃物。控制可燃物能够破坏灾害发生的基础，泄漏燃气一方面在遇到引火源后被直接点燃形成火灾，另一方面与空气混合形成蒸气云，当达到极限后遇到火源即可发生破坏性爆炸，因此应当定期开展管道完整性检测，实时开展管道泄漏监测以及燃气浓度监测等，在接收到报警信息后及时采取关阀堵漏、通风稀释等应对措施。

(4) 控制密闭空间。岩溶区燃气管道发生爆炸的前提是存在可供燃气聚集的密闭空间，由于燃气管网体系往往十分庞大，长度可达上千公里，日常巡查往往又是有周期性的，因此燃气泄漏具有隐蔽性，当聚集到临界浓度时遇到火源即易产生爆炸危害。为了减少或消除密闭空间危害，可从以下几个方面入手：①燃气企业应严格按规范施工，不应穿过密闭空间，当穿越不可避免时，应经过有资质的机构开展评估并采取有效的防护措施；②加强对第三方施工的监督巡查，防止施工作业将已铺设的燃气管道砌入密闭空间内。同时，采用高精度的燃气泄漏检测仪进行检测，并将检测范围扩大至管道附近的各种沟/井。

(5) 阻止灾害蔓延。阻止灾害蔓延能够限制新的燃烧条件产生，防止灾害影响扩大。首先，

应当确保管道与居民建（构）筑物、公路铁路、电力通信线路、河流、农田植物等的安全距离符合相关法律和标准规范要求；其次，当灾害已经发生时，现场公众和工作人员应当及时研判火灾、爆炸灾害蔓延路径，合理处置烟尘及有毒烟气，通过使用干粉灭火器以隔绝助燃物、加强通风以保持空气的流通性等，充分发挥主观能动性以控制灾害蔓延趋势。

（6）开展疏散转移。依据灾害规模、风向风速、蔓延方向、危险源分布、交通、周边情况、地势等确定疏散方案，遵循“先人后物，以人为本”的原则及时有效开展人员财产的疏散与转移，最大程度控制热辐射、冲击波直接危害时间。

### 3.2.3 构建灾害应急救援机制

（1）立足于岩溶区实际，根据可能发生的燃气管道灾害趋势及特点，制定切实可行的应急救援预案，包括救援组织、分工、报警、各种事故情景（如燃气少量泄漏、大量泄漏、火灾、爆炸等）、各类建筑伤情（玻璃结构、木制结构、塑料结构、合成材料、钢制结构等）、各类人员伤情（烧伤、听器损伤、脑震荡、软组织损伤、内脏损伤出血等）的处置方法等，并定期进行演练，适时组织专家进行观摩和交流，有效减小应急抢险响应时间，不断完善、修订预案并形成制度。

（2）加强消防设施管理，重点对消防水池（罐）、消防泵、干粉灭火设施、可燃气体报警设施定期检修。确保抢险队伍配备必要的应急设施、装备和物资，包括抢险设备、通讯设备、防护用具、消防器材、警戒交通管制器材、检测仪器、防爆工具等装备，以及标志明显的服装或标志、标识等，并处于完好待命状态。

（3）建立多方协作机制，推动区域燃气企业紧密合作，采用就近原则与有资质的灾害抢险队伍签订协议，同时依托管道沿线地区的消防、公安、供电、供水、医疗、电信、气象等力量，以数字化城乡管理指挥中心为信息平台，按照分工形成高效的多方主体联防、联控机制，实现部门衔接、资源协调、信息共享，发挥综合优势，携手推进岩溶区燃气管道灾害的应急救援工作。基于多方协作机制，建立完善岩溶区燃气管道灾害

应急救援程序。

### 3.2.4 开展灾后恢复处理

（1）委托第三方建筑工程质量检测中心，对灾害涉及建（构）筑物进行安全鉴定；尽快恢复区域燃气基础设施的功能，明确紧急恢复供气时间、基本恢复供气（原有能力的70%以上）时间、全面恢复供气时间，保证各阶段需要技术、材料和资金支援，积极、稳妥地恢复灾区人民生活、生产、学习和工作等条件。

（2）灾害发生地人民政府、有关部门和单位要及时调拨资金和物资，按照规定程序及生产工艺要求开展现场自然和社会环境的清理、检查和恢复；灾害伤亡人员按照国家有关规定给予治疗和抚恤；在抢险过程中紧急调用的物资、设备、运输车辆和占用的场地，由征用部门按照国家相关标准提出费用明细。

（3）灾害发生地人民政府统筹岩溶区燃气管道灾害社会救助工作，会同县民政局做好受灾群众生活安排等工作，保障群众基本生活；红十字会、慈善总会等群众团体、社会公益性组织，积极开展互助互济救灾捐赠活动；工会、共青团、妇联等群众团体协助开展心理咨询、抚慰等干预工作。

## 3.3 人理——发挥多方主体作用，营造良好外部环境

### 3.3.1 增强人员安全意识

（1）营造重视管道安全的良好社会环境。积极宣传有关法律法规和突发事件预防、避险、自救、互救常识，使公众树立强烈的管道保护意识，不断提高沿线居民防灾减灾意识和应对处置能力，并形成辅助性救援力量。

（2）加强基层燃气管道灾害认识、调查和处置队伍的建设。拓宽公众参与渠道，例如雇佣属地化巡线工，同时重奖举报管道周边乱建乱挖乱钻问题、破坏损害管道及其附属设施行为的，以及报告重大险情、重大隐患的有功人员，争取社会广泛参与管道保护工作，构建岩溶区燃气管道灾害多主体群防群策网络。

### 3.3.2 提升专业技能水平

（1）加快制定岩溶区燃气管道维护、抢修培训规程，积极开展燃气安全维修人员的职业技能测试工作，提升操作员、巡线员、维修员、信息

员的业务理论和实操水平，提高应对突发事件的决策和处置能力。培育企业应急管理文化，建立健全应急管理值班机制，完善人员奖惩制度并严格执行。

(2) 优选管道安全保护专业技术服务队伍，提高岩溶塌陷风险评价水平。服务队伍的业务水平决定评价工作的深度与效果，政府主管部门应该规范管道安全保护专业技术服务行为，加强第三方专业技术服务机构建设，建立岩溶区燃气管道第三方安全（风险）评价、审查项目清单，明确评价、审查依据、要求等具体内容；管道企业应该依托专业技术支撑单位，建立行业协会、专业学会和能源类高校科研院所参与管道灾害评价工作的长效机制，利用科技手段提高岩溶区燃气管道灾害的风险评价能力。

### 3.3.3 做好灾后人员安抚工作

(1) 构建经济高效的纠纷解决多元化机制。司法是解决纠纷的有效途径，但随着经济社会持续高速发展，利益主体更加多元化，由灾害引发的各种矛盾和纠纷层出不穷，从而造整体司法能力与公众司法需求之间的矛盾日益突出。因此，鼓励受灾主体结合实际收入水平和区域价格水平，以及伤亡赔偿、误工赔偿、房屋补偿等现行国家、行业、区域标准条例，在理性预估应得赔偿的前提下，自主与灾害责任方进行协商，或通过人民调解、仲裁的形式予以解决；对于大案难案，人民法院应当优先立案、优先审理、优先执行，以公正、高效地解决纠纷。

(2) 将心理救援融入整个救援体系。派遣专业的心理救援团队，及时针对灾害幸存者、遇难者家属及亲人，亲临灾难现场的一线救援人员，灾害事件相关从业者、耳闻目睹灾后画面的群众开展分类心理援助，并特别关注老年人、儿童和孕妇群体，通过对援助对象的全面评估和精准干预，持续开展危机干预（心理急救）、哀伤辅导、创伤治疗等工作，注重援助质量的细节提升，确保心理援助科学有效。

## 4 结 论

本研究在辩证分析岩溶区燃气管道灾害演化过程中“物理-事理-人理”三者交互关系的基础

上，遵循“灾前-灾中-灾后”的演化逻辑，通过多维重组和360°全方位分析最终提出WSR系统方法论视角下岩溶区燃气管道灾害的风险管控措施，使物理、事理和人理三者构成统一的、辩证的整体，在岩溶区燃气管道灾害安全管理领域发挥“1+1>2”的系统涌现作用。研究表明：

(1) 物理是事理研究的基础，只有理性、科学、全面地掌握地下岩溶发育、管道失效泄漏、火灾爆炸演化的规律和机理，以及全生命周期灾害应对的理论、方法、原则等，才能对岩溶区燃气管道灾害进行有效的预测、防护、评价、控制和恢复，并在突发紧急状态下进行高效及时的决策指挥。

(2) 事理是链接物理和人理的媒介，人可以从安全生产实践中发现问题，结合物理知识利用事理手段认识和解决问题，并将事理实践过程中的经验教训上升为新的物理内容。岩溶区燃气管道灾害的风险管控主要取决于人对物的介入，通过发挥系统的自组织能力开展自救，或者借助应急处置、抢险救灾等外部干预的影响增加系统负熵，在资源、信息的约束下探求最“理性”、最优化的应对措施。

(3) 人理是物理和事理的行为主体，也是两者的研究对象（例如心理学、社会网络分析、复杂适应网络等），人理的自然主观性与物理、事理的客观性相互补充，其更加关注文化、道德、法律、价值层面的内涵，对社会和谐稳定和高质量发展起到积极作用，是对灾害风险管理内涵的丰富和完善，只有规范燃气经营活动相关主体人的行为，加强不同主体之间的协调合作，营造重视安全、合理合法的外部环境，崇尚“以人为本”的理念和方针，才能促使物理和事理落到实处。

## 参考文献：

- [1] 李乔楚, 杨瀚匀. 土体塌陷作用下埋地管道力学分析研究现状[J]. 焊管, 2022, 45(7): 12-18, 31.
- [2] LI X, HAN Z, ZHANG R, et al. An integrated methodology to manage risk factors of aging urban oil and gas pipelines [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020 (66): 104154.
- [3] MUNIZ M V P, LIMA G B A, CAIADO R G G, et al. Bow tie

- to improve risk management of natural gas pipelines [J]. Process Safety Progress, 2017, 37(2): 169-175.
- [4] 吴轩, 李竞, 胡京民, 等. 油气管道重大突发事件应急响应对策[J]. 油气储运, 2019(12): 1338-1343.
- [5] 梁开武, 汪庆升, 蔡治勇, 等. 基于典型事故的天然气长输管道风险分析与防护评价[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(12): 21-24.
- [6] GU J F, ZHU Z C. Knowing wuli, sensing shili, caring for renli: Methodology of the WSR approach[J]. Systemic Practice and Action Research, 2000, 13(1): 11-20.
- [7] 顾基发, 寇晓东. WSR 方法论的提出、推广、应用分析与发展展望[C]//中国航天系统科学与工程研究院研究生管理部系统工程讲堂录(第二辑). 北京: 科学出版社, 2015: 156-185.
- [8] 高畅, 张玲玲, 熊奥, 等. 基于科学发展四阶段理论的 WSR 方法论国内外研究对比分析及未来展望[J]. 管理评论, 2021(5): 15.
- [9] 寇晓东, 顾基发. 物理-事理-人理系统方法论 25 周年回顾——溯源、释义、比较与前瞻[J]. 管理评论, 2021, 33(5): 3-14.
- [10] 陈进东, 刘琳琳, 杜雨璇, 等. 物理-事理-人理系统方法论演化发展及其影响[J]. 管理评论, 2021, 33(5): 30-43.
- [11] ZHU Z C. WSR: A systems approach for information systems development [J]. Systems Research and Behavioral Science, 2000, 17(2): 183-203.
- [12] 柳长森, 郭建华, 金浩, 等. 基于 WSR 方法论的企业安全风险管控模式研究——“11·22”中石化管道泄漏爆炸事故案例分析[J]. 管理评论, 2017, 29(1): 265-272.
- [13] WANG Q, LI S Q. Shale gas industry sustainability assessment based on WSR methodology and fuzzy matterelement extension model: The case study of China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019(226): 336-348.
- [14] 戴广秀, 朱耀琪, 李绍武. 我国浅埋岩溶地区地面塌陷实例及其防治[J]. 勘察科学与技术, 1984(5): 32-35.
- [15] 李乔楚, 何沙. 基于单元生死技术的岩溶区域 PE 管道应力分析[J]. 应用力学学报, 2021, 38(4): 1512-1522.
- 作者简介: 李乔楚 (1995—), 男, 汉族, 讲师, 博士后研究人员, 主要研究方向为油气安全与战略管理、能源低碳发展。
- 收稿日期: 2023-03-24  
修改返回日期: 2023-11-14  
编辑: 罗 刚

## 欢迎订阅2024年《焊管》期刊

《焊管》创刊于1978年,是中国焊管行业唯一国内外公开发行的技术期刊,是陕西省优秀科技期刊,被中国核心期刊(遴选)数据库、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、《中国期刊全文数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中国石油文摘》等多家数据库收录。

《焊管》始终以为我国焊管行业的科技进步服务为办刊方针,以传播科技知识、交流科研成果和先进技术经验为目的,提倡和鼓励创新。主要报道与焊管生产有关的新材料的开发应用、成型工艺与设备、焊接工艺与设备、无损检测技术、自动控制技术、防腐工艺与设备、安全与环保等方面的技术信息与技术成果。

《焊管》为月刊,大16开本,全彩印刷,每月28日出版,刊登彩色广告。国内统一连续出版物号:CN 61—1160/TE;国际标准连续出版物号:ISSN 1001—3938。邮发代号:52—89,每期定价18元,全国各地邮局均可订阅。如因故漏订,可直接与《焊管》期刊社联系补订。

欢迎访问《焊管》期刊网站,投稿网址 <http://www.hgqks.com>。

通讯地址:陕西省宝鸡市姜谭路10号 邮编:721008

传 真:(0917) 3398448 E-mail: hgqks@vip.163.com

编辑部电话:(0917) 3398448 3398447