

毕节腾龙煤矿溃水事故功能共振分析

邵星云

贵州工程应用技术学院矿业工程学院, 贵州毕节, 中国

【摘要】为深入剖析毕节腾龙煤矿溃水事故的致因机理, 提升煤矿安全管理水平, 本研究以2022年6月19日发生的溃水事故为研究对象, 运用功能共振分析方法(FRAM), 从技术与管理双重视角系统解析事故的成因。通过构建技术系统(S1)与管理系统(S2)的功能网络模型, 识别关键功能失效链接与共振路径。研究进一步揭示, 技术与管理功能的交互共振是导致事故发生的核心机制。本文为煤矿水害事故的预防与安全管理提供了理论依据与实践参考, 旨在减少类似事故的发生。

【关键词】煤矿安全; 事故致因分析; 功能共振分析方法; 安全管理

【基金项目】贵州工程应用技术学院2023年大学生创新创业训练计划项目(编号: S202310668036)

1. 前言

煤矿溃水事故作为煤矿“五大灾害”之一, 对煤矿安全生产和职工生命安全来说存在着非常严重的威胁[1]。2022年6月, 毕节腾龙煤矿溃水事故发生, 造成1人死亡、1人失联、1人受伤, 当即引发了社会广泛关注。本项目旨在通过功能共振分析方法对该事故的深入分析, 希望提高煤矿安全管理水平, 为事故致因分析提供思路。

2. FRAM 理论及方法介绍

2.1 FRAM 理论介绍

功能共振分析方法(FRAM)是一种用于分析较于复杂的系统中功能交互作用的方法。它认为系统的行为和结果是由多个功能相互作用而导致的, 这些功能的各个性能可能会因为各种因素而发生变化。当多个功能的变化在时间和空间上相互叠加时, 就有可能引发所谓的功能共振, 从而导致系统出现突发的行为或是故障[2]。

在FRAM中, 每个功能都被描述为具有输入、输出等六个功能属性(如时间、性能、可靠性等)。通过分析这些功能属性的各种变化, 以及它们之间再空间和时间上的相互关系, 就可以识别出可能导致功能共振的因素[3]。

2.2 FRAM 的分析过程包括以下几个步骤

(1) 识别系统中的功能: 确定系统中存在哪些功能, 以及这些功能之间存在哪些相互关系。

(2) 描述功能的属性: 对每个功能的输入、输出和功能属性进行详细的描述。

(3) 分析功能的变化: 研究并记录各个功能的性能可能会如何因为内部和外部的因素改变而导致发生了变化。

(4) 识别功能共振: 通过分析功能之间的相互关系, 确定哪些功能的变化可能会相互叠加, 从而引发功能共振。

(5) 评估风险和制定对策: 根据功能共振的分析结果, 结合实际情况, 评估系统可能会面临的风险, 并制定与之相应的对策来降低风险。

现有研究资料已对FRAM模型的理论框架和实施流程进行了系统阐述[4-8]。本文将该分析方法应用于毕节腾龙煤矿透水事故的实证研究, 通过整合事故调查报告中的关键证据链, 特别针对煤矿透水灾害的独特性, 构建了包含技术失效和管理漏洞的双维度共振分析模型。研究重点探讨功能共振机理在矿井水害事故中的演化路径, 旨在验证该方法在煤矿安全管控及事故成因追溯中的适用价值, 从而为FRAM方法体系的完善提供新的实证支持。

3. 利用 FRAM 模型对事故进行分析

3.1 从技术角度进行功能共振分析

3.1.1 识别系统基本功能

构成S1系统的基本功能包括: 下达生产任务(F1)、检查生产设备(F2)、掘进巷道(F3)、开采煤炭(F4)、运输煤炭(F5)。针对每个环节的工艺流程, 分析其5个功能要素, 绘制功能网络图, 建立功能共振模型, 如图1所示。

3.1.2 识别耦合变化, 确定功能共振

表 3.腾龙煤矿事故 S2 系统功能输出变化

功能名称	类型	变化可能来源	精确度相关输出变化	时机相关输出变化
F21: 煤矿企业	组织	内部、外部	违法组织生产；对抗政府部门监管；隐瞒事故情况	擅自组织生产、出现顶板垮落溃水溃沙事故后进行二次冒险作业
F22: 设备、工艺	技术	外部		
F23: 委托机构	组织	内部、外部	未向政府相关部门提出国土封闭不符合要求相关意见	违规交付相关报告
F24: 安全管理机构及监察人员	组织	内部、外部	企业主体责任不落实，安全管理机构和人员缺失；违章在重大隐患工作面进行作业，甚至二次危险作业	
F25: 施工作业人员	人员	内部、外部	心存侥幸，冒险蛮干，顶水作业	
F26: 安全监管部	组织	内部、外部	自然资源部门、煤矿安全监管部等部门等政府监管工作不到位；火工品审批和管理把关不严	
F27: 法规、标准	组织	外部		

依据事故调查资料，构建功能变异动态分析矩阵即表 3。从变异形态、潜在诱因、执行精度偏移及作业时序错位四个维度，系统评估工业系统的功能波动特征，定位事故过程中具有显著变异特征的关键功能共振节点。对应的 S2 子系统故障关联路径详见表 4 数据呈现。

表 4.腾龙煤矿事故 S2 系统失效功能链接

功能	影响因素	失效链接
F21	F22(C)	F21(0)-F22(C)
F21	F24(R)	F21(0)-F24(R)
F21	F25(C)	F21(0)-F25(C)
F23	F21(R)	F23(0)-F21(R)
F24	F26(R)	F24(0)-F26(R)
F24	F21(C)	F24(0)-F21(C)
F26	F21(C)	F26(0)-F21(C)
F26	F22(C)	F26(0)-F22(C)
F26	F23(C)	F26(0)-F23(C)

图 2 和表 4 可以从系统结构的角度出发，直观简明表现出上、下游功能之间的耦合关系，一项功能如若在事故中表现出较大变化，那么则认为在生产系统正常运行中该功能可能出现了较大问题，导致事故发生。F21“煤炭企业”非法组织开采，其输出导致 F22、F24、F25 都发生失效，这说明煤矿企业对于生产工艺、设备、企业内部安全监管和从业人员施工作业都因为发生了变化而导致出现较大问题。

3.3 事故分析结论

从技术和管理两个角度，结合毕节市腾龙煤矿溃水事故实际情况在系统结构的角度体现上、下游功能之间的耦合关系，一项功能若在事故中表现出较大变化，则认为在生产系统

正常运行中该功能出现问题，从而导致事故发生。

4.事故防范的对策建议

4.1 地质勘探体系强化建设

(1) 在矿山全生命周期实施精密地球物理勘探（三维地震成像、瞬变电磁探测）与定向钻探技术集成应用，系统掌握含水构造、断层带及历史采空区等地质特征的空间展布规律。构建地质信息动态平台，实现水文地质参数的实时更新与灾害风险智能评估[11]。

(2) 建立多参数水文监测网络，集成水位传感阵列与水动力分析模型，对涌水异常特征（温度梯度突变、裂隙流量异常等）实施智能诊断预警。针对邻近废弃巷道及地表敏感水体（河道、蓄水设施）构建立体化监测体系。

4.2 强化探放水监管执行体系

建立差异化监管机制，重点审查防治水工程布局合规性、作业流程规范性及技术资源配置完备度。着重核查技术资质缺位情况下第三方服务有效性、应急预案可操作性及防治措施落地实效。基于隐蔽灾害普查数据，实施开采分区动态管理：禁采区执行刚性管控；缓采区需完成隐患探查方案论证与治理效果验证后方可调整开采等级；风险不可控区域永久纳入禁采名录，严禁任何采掘作业。

4.3 多维度应急能力建设

(1) 实施安全素质提升工程：周期性开展水害辨识、避险路径优化及应急装备操作专项培训。

(2) 构建情景化演练机制：通过突水过

程数值仿真与实战演练提升应急协同效能。

(3) 完善应急响应程序: 制定溃水事件处置规程, 明确人员疏散、动力切断及涌水封堵的时序控制节点。

(4) 配备模块化应急装备: 部署高扬程应急排水系统、抗灾通信中继站及井下避险舱室。

(5) 推进防治水专业人才梯队建设。

4.4 监管机制优化升级

(1) 构建动态化监管机制: 强化水害防治执法检查, 建立违规行为信用惩戒制度

(2) 推行企业主体责任清单: 实施第三方安全审计结果公示制度

(3) 建立季节性防控机制: 汛期前实施水患专项整治行动, 提升井下巡检密度

(4) 构建气象联动响应机制: 建立极端天气井下作业熔断机制

5. 研究结论

通过构建多系统耦合分析框架, 研究揭示腾龙煤矿溃水事故存在双重失效路径: 技术系统(S1)表现为非法生产链传导、设备监测失效及采掘工序失控; 管理系统(S2)存在主体责任缺失、监管失效及应急功能失能等复合型漏洞。研究证实技术管理功能的多向度共振是事故演化的深层致灾机理。据此提出涵盖地质保障强化、探放水标准执行、应急体系重构及监管模式创新等要素的跨维度防控体系。

参考文献

[1] 李芳玮. 煤矿水害事故分析与防治对策研

究[J]. 中国煤炭, 2022, 48(5): 14-19.

[2] 李芳玮. 基于功能共振的煤矿透水事故分析[J]. 中国煤炭, 2022, 48(07).

[3] 王仲. 功能共振分析方法在事故分析中的改进应用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.

[4] 张晓全, 吴贵锋. 功能共振事故模型在可控飞行撞地事故分析中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 704: 65-70.

[5] 崔铁军, 马云东. 考虑人因失误和状态检修的事故链式模型研究[J]. 中国安全科学报, 2014, 24(8): 37-42.

[6] 段钊. 基于FRAM的国家安监局安全监管职能研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.

[7] 冯珺妍, 蔡爽, 吴弘飞等. 基于FRAM的轨道交通系统调度岗位安全职责分析[J]. 安全, 2021, 42(8): 57-64.

[8] 张靖雯, 马晓雪, 刘阳等. 基于FRAM-FAHP法的船舶碰撞事故致因分析[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(1): 29-34.

[9] 樊运晓, 李冰怡, 云霞皓月. 基于FRAM的天津港“8·12”事故致因分析[J]. 安全, 2019, 40(9): 51-55.

[10] 李冰怡. 基于功能共振分析方法的我国近年特重大事故致因分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.

[11] 武玉梁, 侯建明. 煤矿透水事故抢险救援战术研究[J]. 中国安全生产, 2023(11).