

高速铁路信号工程设计风险识别与控制措施研究

冷 理

国家能源集团新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：高铁信号工程设计是保障轨道交通行车安全与系统稳定的核心前置环节，设计阶段的各类隐患极易引发后续施工与运营故障。本文结合高铁信号工程设计的工作架构与内外风险诱因，系统划分各类设计风险类型，梳理当前风险管控体系存在的覆盖局限、流程松散、协同不足、校核单一等现存问题，依托工程实际场景，搭建全流程风险识别模式，完善标准化管控、多专业协同及闭环整改机制，全方位提升高铁信号工程设计质量与安全管控水平。

关键词：高速铁路；信号工程；工程设计；风险识别；风险管控

引言：高速铁路行车速度快、运营密度高，对信号系统的精准性、稳定性与安全性具备严苛标准。信号工程设计作为工程建设的源头环节，设计质量直接决定后续施工落地效果与线路长期运营安全。受现场复杂环境、技术迭代更新、多专业交叉施工等多重因素影响，设计过程易滋生各类隐性与显性风险，造成系统适配性不足、专业衔接错位等问题。规范设计风险管控体系，细化风险防控举措，是保障高铁信号系统平稳运行的关键。

1 高速铁路信号工程设计工作整体架构与风险诱因

1.1 信号工程设计主要工作内容

高速铁路信号工程设计贯穿项目前期各项核心建设环节，涵盖规划统筹、方案编制、细节深化、专业对接等完整工作链条。设计范畴包含信号系统整体架构排布、各类信号设备选型配套、线路关键点位布设以及多维度接口统筹设计，搭建起完整的信号专业设计体系^[1]。设计推进过程中，工作人员结合高铁线路实际走向、站场整体布局以及常态化行车组织特点，合理规划信号设备安装位置，梳理设备运行适配逻辑，完成各项功能匹配设计。重点统筹信号系统与通信传输、电力供给、土建施工等关联专业的交叉衔接内容，明确各专业衔接区域的设计标准与施工规范。严控每一处设计细节，为后续现场施工、设备调试、系统稳定运行夯实前期设计基础。

1.2 设计阶段风险形成的内部诱因

高铁信号技术迭代速度较快，全新的系统架构与智能设备体系，和传统铁路信号设备存在较大差异。部分设计人员对新型技术体系掌握不够扎实，专业积累难以匹配高铁高精度、高稳定性的设计标准。日常设计工作中，仍会沿用普速铁路固有设计思路与成型模板，忽视

高铁高速运行、车流密集的专属运行特征，设计内容缺乏针对性优化。整体设计流程精细度不足，各分项工序衔接较为松散，诸多细节内容缺少反复核对与专项校验。设计工作多聚焦基础方案成型，对系统兼容性能、多设备联动稳定性考量不够周全，容易造成设计方案和实际运行条件不匹配。持续规整设计思路，细化各分项校验流程，从内部环节杜绝各类设计隐患。

1.3 设计阶段风险形成的外部诱因

高速铁路建设场景环境复杂，沿线地形起伏多变，站场结构形式各不相同，现场施工条件存在诸多不确定性。各类动态变化的现场环境，会对既定设计方案产生多重约束，干扰设计内容的实际落地效果。高铁工程建设涉及多个平行专业，各专业独立推进设计工作，工作进度、技术标准存在天然差异。多专业交叉协作的模式下，容易出现衔接偏差、参数不统一、施工范围交叉冲突等问题。轨道交通智能设备保持常态化更新，设备运行参数、适配工况以及对接标准不断调整升级。设计工作需要跟随设备变化完成调整，才能符合当下设备配置以及工程建设的客观条件。

2 高速铁路信号工程设计阶段风险类型识别

2.1 系统方案设计类风险

高速铁路行车工况具备较强特殊性，对信号系统的运行精度、安全冗余以及整体稳定性有着极高要求。现阶段多数系统排布沿用通用化设计思维，没有结合高铁高速行驶、车流密集、不间断运营的运行特点完成专项优化。整体架构规划缺乏合理性，各子系统多为独立设计，相互联动逻辑梳理不够缜密。系统衔接位置存在管控盲区，部分交互场景缺少对应的运行处置机制。系统预设功能覆盖维度有限，面对特殊天气、临时调度、区

间特殊行车等复杂工况,调控逻辑存在明显欠缺,无法适配多样的行车组织需求^[2]。这类设计漏洞会造成系统运行容错率偏低,难以应对各类复杂行车场景的安全管控需求。

2.2 设备选型与布设设计类风险

信号设备的综合性能直接左右高铁信号系统的运行状态,设备选型与现场布设是设计阶段风险把控的关键环节。设备选型往往依托常规行业标准完成,没有结合线路地形特征、行车时速标准、区间环境差异展开综合研判。选定设备的运行参数难以匹配线路实际承载需求,长期投入运行后会出现性能下滑、工况适配不足等各类问题。室外设备点位规划缺乏细致考量,忽略周边构筑物遮挡、区域电磁干扰等客观环境影响。设备安装间距、施工管控标准规划不够细致,无法满足高铁信号工程的精细化建设要求。不合理的选型与布设方案,会持续降低信号设备野外运行的稳定性与可靠性。

2.3 专业接口衔接设计类风险

高铁信号工程属于多专业集成的交叉体系,接口设计的精细程度直接影响整套系统的运行效能。信号与通信系统的交互接口设计不够规整,数据传输逻辑梳理不够周密,信号交互协议留存漏洞。数据传输过程容易出现数据丢失、信息错传、指令匹配紊乱等情况,干扰行车指令的正常传递。信号设备与电力供电系统的对接设计存在偏差,供电负荷配比、电源切换逻辑规划不够科学,弱化设备供电的稳定程度。信号专业与土建、轨道专业的预埋预留设计存在错位问题,孔洞位置、构件尺寸参数规划存在偏差。各专业接口的设计缺陷,会引发系统交互紊乱、施工对接错位等一系列工程问题。

2.4 图纸与细节深化设计类风险

施工图纸是现场施工落地的核心指导资料,图纸深化的精细度直接决定工程建设质量与施工精准度。部分施工图纸深化程度达不到现场建设要求,设备加工工艺、线缆敷设走向等关键施工细节缺少清晰标注。不同分项图纸的参数标注存在出入,数据规范难以统一,很容易让现场施工出现尺寸与工艺偏差。细节设计侧重主体设备布局搭建,轻视管线排布、接地处理、设备防护等配套附属设计。附属设计内容不完善,会导致现场施工出现缺项、漏项问题,大幅增加后期整改与调试的工作量。图纸细节缺失与标注混乱,会直接拖慢施工进度,埋下后续系统调试的诸多隐患。

3 高速铁路信号工程设计风险管控现存短板

3.1 风险识别覆盖范围存在局限

现阶段信号工程设计风险排查工作存在明显的侧重点偏移,排查视线大多集中在图纸参数、设备排布等直观显性问题。隐藏在系统逻辑、专业交互、场景适配中的深层隐患,很难通过常规排查方式完成挖掘与甄别。风险识别模式偏向碎片化核查,仅针对单个设计环节开展单点检查,没有串联整体设计流程开展系统性梳理。各个设计阶段潜藏的隐性问题得不到全面捕捉,长期积攒形成结构性设计缺陷。行业针对新型智能信号系统的风控积累较为薄弱,缺少成熟的识别思路与排查体系支撑。工作人员难以精准甄别新型架构、新型接口衍生的潜在隐患,无法提前化解新式设计带来的风控难题^[3]。这种重表面、轻深层、碎片化的排查模式,无法适配新型信号系统的整体风控需求。

3.2 设计流程管控严谨度不足

高速铁路信号设计完整流程缺少系统化的分段管控体系,各作业环节的约束力度参差不齐。方案编制、细节深化、图纸校对等关键工序管控尺度偏于松散,规范化约束力度不足。设计变更环节的管控流程不够规整,变更内容缺少严谨的技术研判与全域校核步骤。单次局部调整容易引发配套参数、接口逻辑、设备适配出现连锁偏差,破坏整体设计完整性。各设计岗位的工作边界与责任划分不够清晰,交叉作业区域存在管控空白。部分设计疏漏缺少专人复核校验,问题遗留概率大幅提升。流程管控缺乏刚性约束与闭环校验,各类细微设计偏差会持续累积并影响系统整体稳定性。

3.3 多专业协同风控机制不完善

高铁信号工程涉及多领域交叉配合,各类设计团队大多独立推进自身设计任务,工作开展相对割裂。行业缺少常态化的跨领域对接校核渠道,不同板块之间产生的设计冲突无法第一时间察觉与修正。专属的跨领域风险联动研判体系处于缺失状态,单一板块的设计调整无法传导至关联板块。各板块设计内容出现脱节错位,细小偏差逐步累积演变为系统性设计风险。不同领域沿用的风控标准各不相同,管控尺度松紧不一。整体风控体系难以形成统一合力,交叉领域隐患管控始终处于薄弱状态。不同领域风控工作相互割裂、标准不一,大幅削弱了整体设计风险的治理效能。

3.4 设计校核风控手段较为单一

目前设计成果校核工作过度依赖人员从业经验,主观判断占据校核工作主要比重。标准化、精细化、智能化的校核方式运用较少,风控手段整体偏传统。校核工作大多聚焦图纸尺寸、参数标注等表层内容,审核维度

较为单一。对于系统运行逻辑、多接口联动关系、特殊场景适配能力等深层核心内容,校核力度存在明显不足。固定的阶段性复核制度未能全面落地,各阶段成型的设计成果大多以单次校核为主。缺少二次复检与交叉核验环节,细微偏差难以彻底清除,容易留存隐性设计隐患。传统校核模式覆盖维度有限,难以彻底排查深层设计漏洞,无法充分保障信号工程的设计精度。

4 高速铁路信号工程设计风险精准控制措施

4.1 构建全流程系统化风险识别体系

高速铁路信号工程设计工序繁杂,传统风控模式大多聚焦局部环节,很难实现全域风险管控。工作人员需要全盘梳理整套设计作业流程,按照工作属性拆分出方案规划、设备选型配置、接口对接调试、施工图纸深化等独立风控单元,让风险排查覆盖所有设计工序。结合不同作业板块的技术特点与施工要求,整理专属风险排查清单,清晰界定各环节隐患排查的核心方向与关键内容。紧跟高铁信号设备技术升级节奏,针对全新系统架构与设计模式调整排查思路,拓展风险识别的覆盖范围^[4]。加大对隐性缺陷、跨工序关联隐患的排查力度,弥补原有排查方式存在的短板漏洞。持续迭代风险排查架构,搭建覆盖全流程、兼顾显性与隐性问题的识别体系。

4.2 规范设计全流程标准化管控模式

设计标准模糊、流程约束不足,是引发高铁信号设计偏差的主要诱因之一。项目开展期间,需要细化各个设计阶段的作业规范,明确方案编制逻辑、参数设定标准、图纸绘制精度等精细化作业要求,杜绝粗放随意的设计作业方式。优化升级设计变更管控流程,在变更作业前期增设技术研判,搭配跨工序联动校核与最终成果复核流程,有效规避设计调整衍生的连锁偏差问题。清晰划分各设计岗位的工作边界与职责范围,落实分段作业、分段核验的管控机制,将校核责任落实到岗位人员。逐一填补流程运行中的管控空缺,实现设计全流程的标准化、制度化管控。

4.3 搭建多专业协同风控工作机制

高铁信号工程属于多学科交叉工程,不同技术板块独立作业容易产生衔接偏差与设计矛盾。项目建设阶段需要建立常态化跨专业校核机制,定期组织信号、通信、电力、土建等技术团队开展联合核查,及时甄别

并整改交叉设计产生的各类问题。统一各专业的风控执行尺度,规整设计参数、设备接口、施工标准的统一规范,消解跨专业设计矛盾。搭建专属的跨专业信息交互通道,打破各板块的技术壁垒。任意板块完成设计调整后,通过专属渠道推送更新内容,推动关联板块主动完成配套优化。打通专业间协作壁垒,构建统一联动的工程风控作业格局。

4.4 优化设计校核与风险整改机制

单一的人工校核方式很难满足高铁信号工程高精度的设计要求,需要丰富多元的成果核验手段。将标准化制度核验与精细化人工复核相互结合,提升设计成果的精准度与完整度。拓宽校核工作的核查维度,跳出图纸表层参数的核查局限,重点针对系统联动运行逻辑、设备接口匹配状态、复杂行车场景运行性能等核心内容开展深度校验。搭建完整的风险闭环管理流程,对排查出的隐患问题分类存档,结合隐患危害等级制定专项整改方案。逐项落实整改举措,完成整改内容后组织专项验收销项,彻底根除设计阶段留存的安全隐患。通过闭环管控模式,从设计源头筑牢信号工程安全质量根基。

结束语

高铁信号工程设计风险具备复杂性、隐蔽性与关联性特征,各类设计漏洞会层层传导至施工与运营环节,影响轨道交通运行安全。通过梳理设计工作中的风险成因与风险类别,剖析现有风控工作的短板缺陷,从流程规范、专业协同、风险校核、闭环整改多个维度完善防控体系。全方位落实精细化设计与常态化风控,能够有效规避设计隐患,夯实高速铁路信号工程建设的安全与质量根基。

参考文献

- [1] 李超. 高速铁路信号工程设计风险识别与控制措施研究[J]. 铁道建筑技术, 2025(5): 192-197.
- [2] 张芸鹏, 朱志强, 王子维. 高速铁路行车调度作业风险管控信息系统设计研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(3): 47-52, 59.
- [3] 李洪赭, 闫连山, 陈建译, 等. 基于威胁分析的高速铁路信号系统风险评估方法[J]. 西南交通大学学报, 2022, 57(6): 1334-1341.
- [4] 郝亮亮. 高速铁路四电施工中的安全风险与防范措施研究[J]. 中国公共安全, 2024(8): 103-105.