

国能铁路机车长交路运用方案保障措施研究

苏璇^{1,2}, 丁怡³

¹中国神华能源股份有限公司煤炭运输部, 北京

²国能数智科技开发(北京)有限公司, 北京

³西南交通大学交通运输与物流学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年6月11日; 录用日期: 2026年7月16日; 发布日期: 2026年7月24日

摘要

机车长交路是提升国家能源集团铁路跨线重载运输效率、压缩枢纽技术作业时间、提高机车周转效率的重要组织方式。与传统短交路相比, 长交路具有跨公司、跨区段、运行距离长和作业协同链条长等特点, 规模化实施不仅取决于机车牵引能力, 还取决于设施设备兼容、安全制度衔接、机务整备保障、乘务组织和调度指挥等系统条件。本文借鉴“现状-问题-对策”的分析思路, 在梳理国家能源集团铁路长交路运用管理概况的基础上, 重点分析当前长交路开行在设备标准、行车规章、费用清算、机务资源、乘务休整和跨线调度等方面存在的制约因素, 并围绕“设施设备、安全制度、机务组织、乘务保障、调度指挥”五个维度提出保障措施。研究认为, 构建集团层面的统一技术标准、统一安全规范、内部模拟市场化清算机制、机车资源共享与异地整备体系、防超劳机制以及跨线一体化调度体系, 是支撑国家能源集团铁路机车长交路常态化、安全化和高效率运行的关键。研究方法上, 本文采用案例研究法, 以国家能源集团铁路机车长交路运用为典型案例, 综合运用专家访谈、内部文档分析、运行资料梳理和问题归纳等方法收集证据; 分析过程中引入供应链协同与网络组织理论, 将长交路保障理解为跨公司、跨专业、跨节点的协同治理问题, 以增强研究的理论解释力。此外, 本文进一步引入不披露原始数据的简化效益测算模型, 通过周转时间压缩量、接续时间改善率、枢纽通过效率提升率和机车运用效率提升率等相对指标, 对保障措施的潜在效益进行估算, 以增强方案的可验证性和说服力。

关键词

长交路, 重载铁路, 国家能源集团, 保障措施

Research on Safeguard Measures for the Long-Distance Operation Plan of State Energy Railway Locomotives

Xuan Su^{1,2}, Yi Ding³

¹Coal Transportation Department of China Shenhua Energy Company Limited, Beijing

²Guoneng Digital Intelligence Technology Development (Beijing) Co., Ltd., Beijing

文章引用: 苏璇, 丁怡. 国能铁路机车长交路运用方案保障措施研究[J]. 交通技术, 2026, 15(4): 537-550.

DOI: 10.12677/ojtt.2026.154047

Abstract

Long-haul locomotive operations are a key organizational approach for enhancing the efficiency of heavy-haul cross-line transportation on the National Energy Railway, reducing technical turnaround times at hubs, and improving locomotive turnover efficiency. Compared to traditional short-haul routes, long-haul routes are characterized by cross-company and cross-section operations, long running distances, and extended operational coordination chains. Their large-scale implementation depends not only on locomotive traction capacity but also on systemic conditions such as facility and equipment compatibility, the integration of safety regulations, locomotive maintenance support, crew organization, and dispatch command. Drawing on the “current status-problems-solutions” analytical framework, this paper first outlines the general management landscape of long-route operations on the Guoneng Railway. It then focuses on analyzing the constraints currently facing long-route operations in areas such as equipment standards, operating regulations, cost settlement, locomotive resources, crew rest and recuperation, and cross-line dispatching. Based on this analysis, the paper proposes supporting measures across five dimensions: “facilities and equipment, safety regulations, locomotive operations, crew support, and dispatch command.” The study concludes that establishing unified technical standards and safety regulations at the group level, an internal simulated market-based settlement mechanism, a system for shared locomotive resources and off-site maintenance, a rotation and anti-overwork mechanism, and an integrated cross-line dispatch system are key to supporting the regular, safe, and efficient operation of long-distance locomotive services on the State Energy Railway. Methodologically, this paper adopts a case study approach, taking the long-distance locomotive operation of the State Energy Railway as a typical case. Evidence is collected through expert interviews, internal document analysis, operating data review, and problem induction. The analysis further draws on supply chain collaboration and network organization theories to interpret long-distance locomotive operation as a cross-company, cross-functional, and cross-node coordination issue. In addition, a simplified benefit-estimation model without disclosing raw operational data is introduced to evaluate the potential effects of the proposed measures through relative indicators such as turnaround-time reduction, connection-time improvement, hub-throughput improvement, and locomotive-utilization improvement.

Keywords

Extended Routing, Heavy-Haul Railway, China Energy Investment, Safeguard Measures

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着“西煤东运”运输需求持续增长,国家能源集团铁路承担的煤炭外运任务呈现运量大、波动强、时效要求高等特征。以神池南站为代表的枢纽承担神朔线、准池线、朔黄线等多方向车流组织任务,传统短交路模式下机车摘解换挂、列检衔接、乘务接续和调度交接环节较多,容易形成枢纽通过能力紧张和机车周转效率偏低的问题。

机车长交路运用通过延长机车担当区段、减少跨公司交界处重复换挂和技术作业,可在一定程度上释放神池南等枢纽能力,提高重载列车直通化水平。但是,长交路并不是单纯延长机车运行距离,而是对设备兼容、安全制度、机务整备、乘务管理和调度指挥提出了系统性要求。若上述保障条件不完备,长交路可能带来跨线责任不清、设备故障处置不及时、司机超劳、异地整备困难和调度协同效率下降等风险。

因此,本文按照“运行概况-现存问题-应对措施”的逻辑,对国家能源集团铁路机车长交路运用方案的保障条件进行系统梳理,并在现有保障措施材料基础上进行整合提升,形成更加完备保障体系。同时,本文不再仅停留于经验性对策归纳,而是将长交路运用置于供应链协同和网络组织理论框架下,结合案例研究法对国能铁路跨公司运输组织中的协同关系、资源配置和制度保障进行分析。基于上述问题,本文进一步在引言之后增加文献综述部分,系统梳理重载铁路、机车长交路以及跨公司运营协同相关研究,在明确已有研究不足的基础上界定本文的研究价值与贡献。

2. 文献综述

2.1. 重载铁路运输组织研究现状

重载铁路运输组织研究主要围绕大宗货物运输能力提升、列车编组优化、机车牵引能力配置、枢纽通过能力释放以及运输组织效率提升等方面展开。国内研究多结合大秦铁路、神华铁路、朔黄铁路等煤炭运输通道,关注重载列车开行条件、机车牵引组织、列检作业衔接和关键枢纽能力利用等问题。相关研究表明,重载铁路运输效率不仅取决于线路基础设施和机车车辆技术水平,还受到车站作业组织、机务整备能力、调度指挥体系和上下游运输衔接关系的共同影响。

从国外相关研究来看,重载铁路和大宗货物运输更多被置于供应链运输系统和运输网络组织框架中进行讨论,强调运输计划、装卸节点、干线通道、港口疏运和终端需求之间的协同匹配。供应链协同理论认为,跨节点、跨组织的信息共享、资源互补和利益协调是提升整体效率的重要基础[1];网络组织理论则强调在复杂组织网络中,需要通过规则统一、信任机制和跨边界协调降低组织摩擦[2]。这为分析国能铁路跨公司长交路运行提供了理论借鉴。

2.2. 长交路运输组织与机车运用研究现状

机车长交路研究主要集中在延长机车担当区段、减少换挂机车作业、提高机车周转效率和压缩枢纽技术作业时间等方面。已有研究指出,长交路和轮乘制能够减少分界口作业环节,提高机车日公里和运输直通化水平,但同时会对机车信号设备、LKJ数据、乘务轮乘、整备检修和安全管理提出更高要求[3]-[5]。围绕神池南等关键枢纽的研究也表明,长交路条件下列检作业方式、乘务接续和机务组织均需要进行相应调整[6]。

总体来看,既有长交路研究多侧重于运输组织方案本身,重点分析机车担当区段延长、技术作业压缩和枢纽效率提升等问题,对长交路规模化实施背后的跨公司协同保障体系关注相对不足。尤其是在国家能源集团内部多家铁路公司共同参与运输组织的情境下,设备制式、规章制度、费用清算、异地整备和调度指挥之间存在复杂耦合,仅从单一机务或车务环节解释长交路运行难以揭示其系统性保障逻辑。

2.3. 跨公司运营协同研究现状

跨公司运营协同研究通常关注不同组织主体之间的资源共享、标准统一、流程衔接、信息透明和利益分配问题。在铁路运输领域,跨局、跨公司、跨专业运营协同往往涉及运输计划编制、调度命令传递、机车车辆运用、乘务组织、应急处置和费用清算等多个方面。相关研究虽然已经注意到跨局机车长交路

和轮乘制组织中的边界协调问题,但多数成果仍以单项制度或局部作业改进为主,尚未充分从复杂物流网络和组织协同治理角度构建综合性分析框架。

对于国家能源集团铁路而言,其运输组织具有“产运销”一体化、煤炭流向集中、关键枢纽高度耦合和多子公司分段管理并存等特点。长交路运行打破传统属地化机车运用边界,使机车、乘务、整备、调度和费用清算都呈现跨主体联动特征。因此,将长交路保障问题置于跨公司协同和网络化治理框架下分析,有助于从整体系统角度解释设备标准、组织规则、资源配置和调度指挥之间的内在联系。

2.4. 已有研究不足与本文贡献

综上,已有研究为重载铁路运输组织优化和机车长交路实施提供了重要基础,但仍存在以下不足:第一,重载铁路研究多关注运输能力、机车牵引和枢纽作业效率,对跨公司协同治理机制关注不足;第二,长交路研究多强调运行效率提升,对设备兼容、安全制度、费用清算、机务整备、乘务保障和调度指挥之间的综合保障体系研究不够;第三,现有研究多以规范分析或单项技术改进为主,较少结合典型企业案例、内部文档和专家访谈资料进行系统归纳。

基于上述不足,本文的贡献主要体现在三个方面:一是以国家能源集团铁路机车长交路运用为典型案例,分析跨公司、跨区段、跨专业重载运输组织中的保障需求;二是将供应链协同和网络组织理论引入长交路保障分析,增强研究的理论解释力;三是从设施设备、安全制度、机务组织、乘务保障和调度指挥五个维度构建保障措施框架,为类似复杂物流网络中的跨主体协同运行提供参考。

3. 研究方法 with 理论框架

3.1. 研究方法: 案例研究法

本文采用案例研究法开展研究。案例研究法适用于分析具有现实情境复杂性、组织边界交叉性和多主体协同特征的问题。国家能源集团铁路机车长交路运用涉及包神、新朔、朔黄等多个子公司以及机务、车务、电务、车辆、调度、安全管理等多个专业部门,具有跨公司、跨区段、跨专业协同的典型特征,适合作为解释重载铁路长交路保障机制的典型案例。

本文以国家能源集团铁路机车长交路运用方案为单案例研究对象,重点围绕“长交路为何需要系统保障、现有保障条件存在哪些约束、应如何构建跨主体协同保障体系”三个问题展开。研究遵循“案例背景识别-资料收集-问题编码-理论解释-保障措施提出”的逻辑,力求在实际问题分析基础上形成具有可推广价值的保障措施框架。

3.2. 数据收集过程

为提高研究结论的可靠性,本文采用多源数据收集方式。第一,开展专家访谈,围绕长交路开行条件、机车运用、乘务组织、调度指挥、安全规章、设备兼容和费用清算等问题,与铁路运输组织、机务管理、调度指挥、安全管理和设备维护等相关专业人员进行交流,提炼长交路实施过程中的关键矛盾与保障需求。第二,开展内部文档分析,收集和梳理国家能源集团及所属铁路公司有关机车交路、行车组织、机务运用、安全管理、应急处置、整备检修、费用清算和调度指挥等方面的管理资料。第三,结合公开资料、既有研究文献和典型线路运行资料,对长交路实施条件、现存问题和保障措施进行交叉验证。

3.3. 数据分析过程

在数据分析过程中,本文首先对访谈资料、内部文件和运行管理资料进行分类整理,将长交路保障问题归纳为设施设备、安全制度、机务资源、乘务组织和调度指挥五个维度;其次,采用主题归纳的方

法识别各维度中的核心制约因素,如设备标准不一致、规章制度衔接不足、资源属地化与跨线运用矛盾、乘务休整条件不足以及调度指挥一体化程度不高等;最后,将问题分析结果与理论框架相结合,提出对应的保障措施和制度安排。考虑到企业运输生产数据具有一定敏感性,本文在量化分析中不直接披露原始运行图数据、作业时间明细和成本单价,而是采用脱敏后的相对指标、公式推导和区间化结果表达。通过将既有交路方案作为基准方案、长交路保障措施完善后的方案作为改进方案,可在不展示原始数据的前提下计算时间节约量、效率提升率和综合效益指数。

3.4. 理论框架:供应链协同与网络组织

从供应链协同理论看,国家能源集团铁路运输链条涵盖煤炭装车、干线运输、枢纽通过、港口疏运和终端交付等环节,长交路运用的本质是通过机车资源、运输计划、调度指挥和作业标准协同,提高重载运输链条的连续性和整体效率。因此,设施设备兼容、费用清算、机车资源共享和信息协同可以被理解为运输供应链中不同节点之间的协同机制。

从网络组织理论看,国能铁路长交路并非单一企业或单一部门内部的局部优化,而是多个子公司、站段和专业部门组成的网络化组织协同。长交路常态化运行需要依靠统一规则、信任机制、资源共享、信息透明和跨边界协调来降低组织摩擦。基于这一理论视角,本文将长交路保障体系概括为以集团统筹为核心、以专业协同为支撑、以节点执行为基础的网络化治理体系。

4. 国家能源集团运行现状与分析

4.1. 国家能源集团交路现状

国家能源集团铁路网络是我国“西煤东运”的重要通道,现阶段机车交路主要以包神、新朔、朔黄等子公司管界和既有机务段管理范围为基础组织,整体呈现出分区段牵引、属地化管理和关键枢纽换挂的特点。包神铁路机型种类较多,既有SS4型直流机车,也有神8、神12等交流机车,不同线路采用半循环、环形运转或单肩回式交路。新朔铁路以电力机车牵引为主,围绕海勒斯壕南、点岱沟、神池南等节点组织机车周转。朔黄铁路承担下游外运任务,神池南至黄骅港区段以单肩回式交路为主。当前新朔—朔黄方向已开展长交路试点,实行“机车长交路、乘务区段化”模式,在神池南站减少换挂机车作业,有利于压缩技术作业时间。但总体来看,国能铁路既有交路仍存在机型复杂、整备标准不一、跨公司直通比例有限、神池南枢纽作业压力较大等问题。国家能源集团铁路路网示意图(如图1)。

4.2. 长交路运输组织变化分析

机车长交路不是简单延长机车运行距离,而是对既有运输组织方式的系统调整。传统短交路模式下,列车在神池南等关键枢纽站往往需要进行机车摘解、换挂、补机调整、乘务交接和列检衔接等作业,作业链条较长,占用到发线和咽喉能力。长交路开行后,部分列车可实现机车不摘挂或少摘挂,车站作业重点由“换挂机车”转向“乘务换班、列尾检查、排风试验和调度交接”,从而压缩在站停时,提高枢纽通过能力。从机车管理看,长交路使机车由属地折返转向跨线连续运用,有利于提高机车日公里和周转效率,但也对整备里程、异地整备和故障处置提出更高要求。从乘务组织看,长交路通常采用区段化轮乘方式,需要完善换班地点、待乘休息和防超劳制度。因此,长交路能够提升运输效率,但必须同步完善机务、乘务、调度和设备保障。

4.3. 长交路实施条件分析

结合国家能源集团铁路既有交路现状,长交路规模化实施需要具备设施设备、安全制度、机务资源、

乘务组织和调度指挥等多方面条件。设施设备方面, 应保证无线列调、机车信号、LKJ2000 数据、列尾装置、无线重联电话、过分相装置和车钩制式等能够满足跨线运行要求。安全制度方面, 应统一或互认各公司的《行规》《站细》及机务行车安全制度, 减少因规章差异造成的误操作风险。机务资源方面, 应具备足够的大功率交流机车、匹配车型和关键节点整备能力, 并建立异地整备互认机制。乘务组织方面, 应完善跨线培训、轮乘接续、待乘休息和防超劳管理[7]。调度指挥方面, 应加强集团层面的跨线统筹, 动态掌握机车位置、乘务状态和列车运行计划。只有上述条件同步完善, 才能支撑长交路由局部试点向常态化、规模化开行转变。

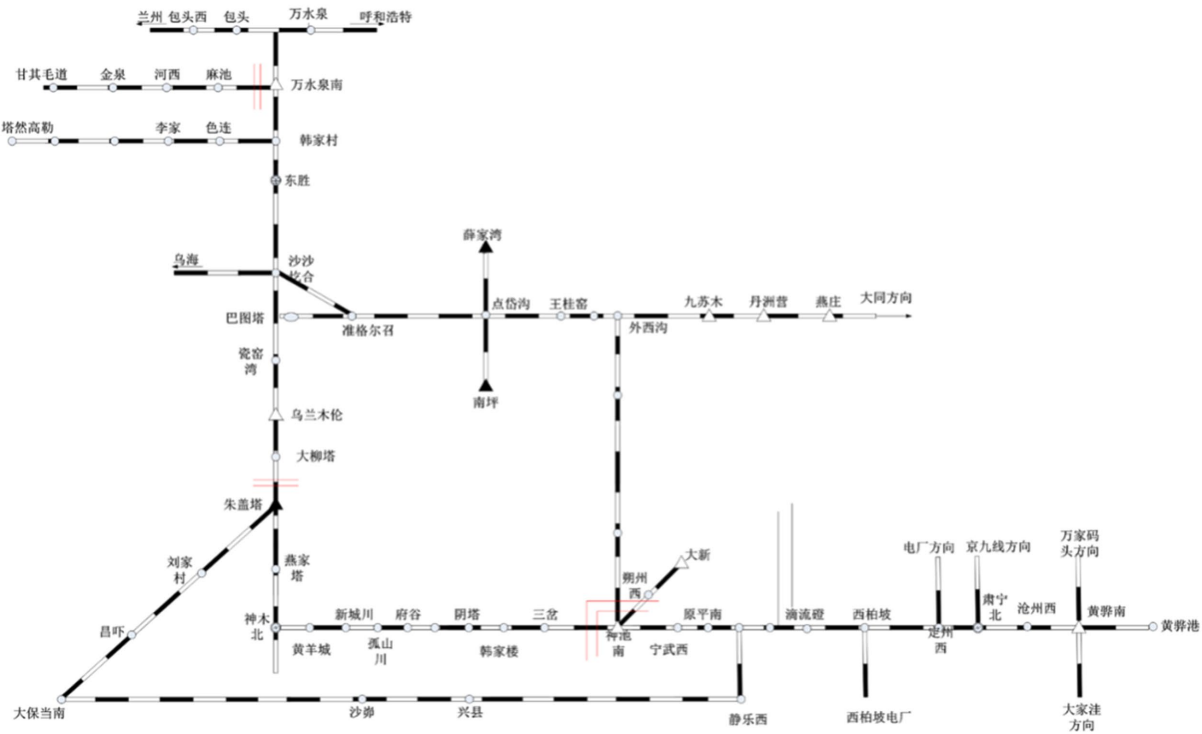


Figure 1. Schematic map of the state energy group's railway network
图 1. 国家能源集团铁路路网示意图

5. 长交路运用方案保障现存问题

5.1. 设施设备兼容问题

设施设备问题是限制长交路规模化开行的直接因素。调研显示, 三家子公司在无线列调、无线重联电话频段、LKJ2000 软件与数据管理、列尾装置规格、过分相方式以及车钩制式等方面存在差异。如果机车跨线运行时不能实现信号、通信和数据的连续匹配, 将直接影响行车安全和作业效率[8]-[11]。如下表 1, 表 2 所示:

Table 1. Equipment technology and standards of state energy group subsidiaries
表 1. 国家能源集团子公司设备技术与制式

线路	包神公司	新朔公司	朔黄公司
无线重联电话		扩频技术	400K 电台
机车信号	UM71	UM71	UM71

Table 2. Subsidiary vehicle-mounted equipment manufacturers and equipment standards
表 2. 子公司车载设备厂家与设备制式

线路	包神公司	新朔公司	朔黄公司
LKJ2000 厂家	河南思维	河南思维	株洲所
列尾厂家	北京中铁	北京中铁	成都畅通
过分相装置 设备制式	地面开关自动切换/车上自 动分相控制	地面开关自动切换	车上自动分相控制

资料来源：根据国家能源集团所属铁路公司设备技术资料、机车车载设备台账及相关访谈资料整理。

5.2. 规章制度、应急处置与清算机制不完善

长交路跨公司运行打破了既有安全管理边界，原有《行规》《站细》和机务行车安全制度多以属地管理为基础。不同公司在股道使用、无线对讲、重载编组、列车交接和非正常行车处置方面存在差异，若不进行统一修订或互认，将增加跨线作业的理解偏差和执行风险。

应急处置方面，传统短交路应急机制容易形成无人指挥、无人救援、无人承担的争议。长交路一旦发生故障、脱轨、设备异常或长时间延误，需要集团、属地公司、机车归属公司和机务段之间形成统一指挥链条。费用清算方面，简单按机力投入比例或里程比例清算，难以反映线路使用、机车牵引、网电、车辆服务、到达作业、轮乘劳务和救援支出等实际成本，容易影响各方参与积极性。

5.3. 机务资源统筹和整备检修保障不足

机务保障的突出问题在于资源属地化与长交路跨线化之间的矛盾。机车资产归属不同公司，若仍按“谁配属、谁使用、谁回送”的传统方式组织，容易在神池南等节点产生机力不均衡。例如部分重车到达后补机回送数量不足，可能导致装车端下一趟列车缺少牵引机力，形成“车等机”现象。

整备检修方面，三家公司现行整备里程不统一，包神公司交流机车、直流机车以及新朔、朔黄公司交流机车整备标准存在差异。长交路延长后，若整备周期、检测项目、异地整备权限和整备线能力不能统一，将影响机车连续运行能力。

5.4. 乘务组织、安全培训和休整条件不足

长交路运行里程长、时间跨度大，乘务员不仅要适应不同公司线路条件、坡道特征、信号设备和作业标准，还要面对长时间驾驶带来的疲劳风险。现有乘务组织以区段化管理为主，跨公司值乘、分段接续、轮乘组织和应急换班机制仍需进一步明确。

管外休整条件不足也是影响长交路常态化的重要因素。长交路规模扩大后，司机可能在神池南、黄骅港等非本公司管内节点休息，若员工公寓、叫班系统、食堂支付、卧具换洗、网络办公和驻寓管理制度不能同步配套，将影响乘务员恢复质量和后续值乘安全。

5.5. 调度指挥一体化程度不足

长交路需要跨公司、跨机务段、跨站场的连续协调，而现有调度模式仍以各子公司管内管理为主。各自为战的调度方式在普通短交路下能够满足局部组织需要，但在长交路条件下，可能造成分界口等待、机车回送不及时、机车与乘务计划不匹配、应急救援调度不统一等问题。

此外，长交路要求调度部门动态掌握机车位置、司机工作和休息时间、整备检修状态、救援列车动态以及重点列车开行计划。若缺乏集团层面的调度台和统一调度命令体系，长交路很难从局部试点转向规模化、常态化运行。

6. 长交路运用方案保障措施

6.1. 提高长交路保障工作认识, 构建“五位一体”保障格局

长交路保障工作应首先从管理理念上实现转变。长交路不是单一机务部门的机车运用调整, 而是设施设备、安全制度、机务组织、乘务管理和运输调度共同作用的系统工程。集团层面应将长交路保障纳入重载运输能力提升和枢纽能力释放的重要内容, 建立跨部门、跨公司、跨专业协同推进机制。

在组织推进上, 可形成“集团统筹、子公司落实、站段执行、专业协同”的工作格局。集团负责总体标准、调度规则、清算原则和考核机制; 子公司负责对既有规章、设备和资源进行对标整改; 站段负责落实作业标准、整备检修、乘务排班和应急响应; 通信信号、机务、车辆、电务、运输、财务等专业部门应同步参与, 避免单一环节成为长交路开行短板。从供应链协同视角看, “五位一体”保障格局应强调运输链条上计划、设备、机务、乘务和调度等环节的协同匹配; 从网络组织视角看, 集团总部、子公司、站段和专业部门之间应形成规则统一、信息共享、责任清晰和快速响应的网络化治理关系。基于上述理论框架, 后文保障措施分别从标准统一、制度衔接、资源共享、人员协同和调度一体化五个方面展开。

6.2. 完善设施设备保障措施

通过对国家能源集团各铁路公司安全管理制度的系统调研, 发现安全制度不统一、风险评估机制缺失、应急机制不完善、培训体系不健全等问题, 为确保长交路安全运行, 提出以下保障措施。

6.2.1. 统一机车行车安全装备

一是统一通信协议。应制定机车行车安全装备运用管理细则, 明确车载设备与地面设备之间的数据格式、通信接口、频段使用和切换标准。对无线列调、机车信号、无线重联电话等设备进行对标检查和必要升级, 确保机车跨线运行时通信连续、信号可靠、指令传递准确。

二是加强 LKJ2000 数据管理。针对系统软件不一致、线路数据衔接不充分等问题, 应制定 LKJ 数据管理细则, 完成跨公司线路数据对接、地面分析处理系统兼容、IC 卡芯片读写验证和临时数据换装复核。乘务员应开展实车操作培训, 熟悉不同线路 LKJ 操作差异, 避免因数据或操作不一致引发安全风险。

三是升级列尾与过分相装置。列尾装置应统一规格和充电匹配方式, 保障万吨及 2 万吨列车长距离运行条件下的通信稳定。过分相方面, 应结合长交路坡度和牵引需求, 优先推广牵引力损失较小的地面开关自动切换方式, 并根据需要增设车载自动分相控制装置。对万吨及长交路列车, 还应逐步统一车钩制式, 降低列车纵向冲动风险。

6.2.2. 强化行车安全装备管理与使用

各子公司应制定行车安全装备运用管理细则和运行记录数据分析管理办法, 明确数据下载、转储、传输、分析、归档和问题闭环要求。机务段应建立装备故障分析考核制度, 对因装备质量问题造成迟拨、临修等情况逐件分析、建立台账、落实责任。

机务段还应建立行车安全装备运用分析考核制度。运行中发生关机、LKJ 或列控车载设备紧急及常用制动、违章解锁等非正常信息, 应件件分析、明确责任并制定整改措施。列车出发前, 乘务员必须正确输入、设定或选择相关参数; 运行中, 安全装备必须全程运转, 严禁擅自关机或人为破坏运行记录数据。

6.2.3. 优化机型车型匹配

C64 车型通用性强但载重、轴重和装卸效率相对不足; C70 车型在承载能力、制动性能和标准化方

面有所提升; C80 车型更适合固定编组、快速装卸和重载直达运输。后续可在充分验证基础上增加适用于 2 万吨列车车型种类, 并逐步提高 C80 车辆保有量, 为 2 万吨长交路列车规模化开行提供车辆基础。

机型方面, 应逐步增加神 8、神 12 等大功率交流机车配置, 特别是提高牵引能力更强、编组更简捷机型的配属比例。对于 2 万吨列车, 可结合线路条件和牵引计算, 明确神 12 等机型在本务、补机或从控中的适用场景。在朔黄铁路中, 通过相关的动力学实验验证后, 可以作为从控机车。

6.3. 建立安全制度、清算和应急保障措施

6.3.1. 完善机务行车安全基本制度

集团应结合长交路特点补充完善机务行车安全基本制度, 主要包括安全例会制度、安全责任追究和日常考核制度、值乘人员一次乘务作业标准及确认呼唤应答作业标准考核制度、定期对规检查评比制度、行车安全装备及车载安全监测检测装备运用管理制度、运用车队安全管理制度、值乘人员劳动时间管理考核制度、待乘休息管理制度、人身安全及电气化铁路安全制度、事故通报和防止事故通报制度等。

上述制度应突出长交路跨线运行特点, 重点明确跨公司值乘、跨线机车使用、非正常行车处置、异地整备和属地应急指挥等内容, 确保长交路运行中有章可循、有据可查。

6.3.2. 统一行车规章与车站细则

针对三家子公司《行车组织规则》和部分车站《车站行车工作细则》存在差异的问题, 应编制《国家能源集团机车长交路安全运行规范》, 或对各子公司行车组织规则进行统一对标修订。在不改变必要属地差异的前提下, 对长交路共性作业标准进行统一, 明确股道管理、无线对讲、重载编组、跨线交接、非摘挂作业和应急处置等要求。

各关键站点应在《站细》中增设长交路作业板块, 明确长交路机车不摘挂条件下的进路办理、列检组织、乘务交接、整备作业、技检穿插、晚点处置和信息传递流程, 避免因站场执行标准不一致影响整体效率。

6.3.3. 建立精细化费用清算和利益分配机制

费用清算应由简单机力比例清算转向按工作量、按服务项目、按实际成本清算。结合国家铁路集团“产运销”一体化和内部协同运输特点, 可建立内部模拟市场化的网内结算机制: 承运或主导计费子公司按全程计费区段核算基础运输进款; 沿途提供服务的子公司根据实际承担工作量取得线路使用、机车牵引、车辆服务、到达作业等费用; 集团层面建立综合调剂资金池, 用于跨公司空车回行、核心编组站中转作业和公用资产统筹。

对于长交路产生的新型协作费用, 如跨公司接触网使用、网电费、长交路轮乘费、救援列车跨界出动费、材料费和人工工时费, 应按照实际完成工作量、耗电量和工时进行专项补偿。清算规则应公开透明、口径统一, 形成一一对应的运行机制。从供应链协同理论看, 费用清算不仅是成本分摊问题, 更是维持跨公司协作稳定性的激励机制。只有使沿线各主体的服务投入、风险承担和收益分配相匹配, 才能提高各节点参与长交路协同运行的积极性。长交路费用清算可按照运输服务项目分项核算见表 3。

6.3.4. 完善长交路应急保障制度措施

长交路应急保障应坚持“统一指挥、属地主导、就近救援、事后清算”的原则。发生突发事件时, 应明确集团级调度、属地子公司调度和机车归属地调度的指挥权限。无论机车和乘务员属于哪家公司, 只要险情发生在某公司管辖区段内, 均应服从事发地公司应急调度指挥, 先控制险情, 再厘清责任和费用。

应建立就近原则的应急资源共享机制, 明确救援列车、轨道车、起重机、抢修工具和易损件的跨界

调用规则。在神池南、黄骅港等关键节点，可建立三家公司互认互用的应急物资储备库。涉及两家及以上公司的事故，应由集团或指定第三方牵头成立联合调查组，明确责任认定和救援费用清算标准，避免跨界事故处置中的推诿扯皮。

Table 3. Statement of expenses for long-distance transportation services by service item
表 3. 长交路费用清算可按照运输服务项目分项核算表

清算项目	付费主体	收费主体	计量单位	适用说明
线路使用费	承运或主导计费单位	线路所属单位	元/辆公里	按实际径路和车辆通过工作量计费
机车牵引费	承运或主导计费单位	机车配属单位	元/万吨公里	区分电力、内燃机车并按实际牵引工作量核算
网电费	机车配属单位	线路所属单位	元/万吨公里	按跨公司接触网使用和电耗情况补偿
车辆服务费	承运或主导计费单位	线路所属单位	元/辆公里	按车辆服务和通过工作量核算
到达服务费	承运或主导计费单位	到达作业单位	元/吨或元/箱	按到达装卸、交付及相关服务核算
中转服务费	集团清算平台	编组站所属单位	元/辆	由综合服务费或调剂资金池支付
空车走行服务费	集团清算平台	线路/机车所属单位	元/千辆公里或元/万吨公里	用于跨公司空车回行补偿
长交路轮乘费	机车配属或承运单位	司机所属单位	元/万总重吨公里	按乘务跨界轮乘工作量补偿

资料来源：根据国家铁路集团铁路运输组织特征、内部清算需求及供应链协同理论归纳整理。

6.4. 强化机务组织与整备保障措施

6.4.1. 建立集团级机车资源池和动态调配机制

在保持机车资产产权归属清晰的前提下，应打破包神、新朔、朔黄之间传统运用壁垒，构建集团层面的统一机车资源池。通过实时掌握机车位置、技术状态、检修计划和担当任务，实行跨线共享、动态补充和统一调配，减少因分界口摘解换挂造成的车机错位。

针对部分区段可能出现的结构性机力亏空，应建立跨线机车补偿机制。例如，当重车到达神池南后回送机力不足以支撑装车端下一趟标准牵引编组时，应在神池南统筹调配，向缺口方向动态补充适配交流机车，避免“车等机”。对于因机车调配造成某一子公司收益不足或成本增加的，应通过内部清算机制给予补偿。

6.4.2. 制定长交路专用整备检修计划

长交路机车运行距离长、连续作业时间长，应制定专用整备检修计划，统一大修、中修、小修、辅修和日常整备的周期要求。针对不同公司整备里程不一致问题，应以长交路最大运行距离、机车技术状态和安全裕度为基础，确定统一或互认的整备标准。

同时，应推动异地整备互认。对跨线运行后难以及时折返本段的机车，可在神池南、黄骅港等主要干线枢纽和跨公司交接点开展异地整备，建设兼容多种机型的检测库位和整备线，避免机车为回本段整备产生无效走行。

6.5. 优化乘务组织和配套设施保障措施

6.5.1. 优化乘务组织与跨线培训

长交路乘务组织可根据线路条件选择两种路径：一是乘务不跨公司值乘，即列车运行至公司边界或固定接续点后由属地乘务组分段接续，便于区段化安全管控；二是乘务随机车跨公司值乘，即同一乘务组跟随机车跨越不同公司管辖区段，减少换班带来的时间损耗。具体模式应综合考虑运行时间、线路复杂程度、司机熟悉程度和公寓条件确定。

乘务培训应围绕长交路特点开展专项课程，包括长距离驾驶疲劳应对、不同区域线路特点、长大坡道操纵、跨公司规章差异、LKJ 数据操作、非正常行车处置和应急救援协同等。通过模拟长交路运行场景开展实战演练，提升乘务员跨线作业和突发处置能力。

6.5.2. 优化排班计划和防超劳排班

综合考虑列车运行图、乘务员出勤地点、休息时间等因素，制定科学合理的排班计划，提高排班效率和准确性。排班计划应明确交接班地点、交接内容、叫班时间、待乘时间和应急替班规则，尽量减少非生产时间，提高乘务资源利用效率。

防超劳是长交路乘务保障的底线。应严格控制连续工作时间和累计值乘时间，对接近上限的机班提前预警并安排交接；对列车晚点、设备故障、人员突发疾病等情况，应预留备用司机和应急调整空间，确保在非正常情况下仍能及时换班，避免疲劳驾驶。

6.5.3. 完善乘务指导组和公寓配套设施

可设立长交路乘务指导组，人员控制在合理规模内，由指导司机担任班组长，负责安全制度落实、一次乘务作业标准执行、技术业务指导、机车检查保养和班组建设等工作。指导组应定期分析司机技术业务和思想动态，推广安全正点、平稳操纵、节能降耗等经验。

针对管外休息需求，应在神池南、黄骅港等关键节点增建或改建标准化员工公寓。公寓应建立值班、叫班、备品交接、卧具换洗、卫生检查和干部检查制度，配备待乘休息管理系统、自动叫班系统、清洗烘干消毒设备和必要办公网络。跨公司人员入住时，应实现食堂、门禁、叫班和管理信息互通，保证乘务员休息质量。

6.6. 构建一体化调度保障措施

长交路调度应坚持集中统一指挥、分级管理、逐级负责的原则。集团调度指挥中心应设置机车调度台，统筹长交路机车工作计划、跨线机车供应、分界口协调、重点列车安排、机车回送和救援资源调动。各子公司应设置机车调度台和计划调度台，负责日班计划、机车周转图、管内机车运用和救援列车组织。机务段机车调度室应根据任务量设置计划、人事、检修、整备等调度岗位，负责机车出库、整备检修、运行揭示、LKJ 临时数据复核和人员安排。

在职责划分上，集团机车调度应监督指导子公司和机务段调度工作，维护调度纪律，组织长交路机车工作计划编制，协调分界口机车供应和回送，掌握重点列车机车及人员安排。子公司机车调度应编制和组织实施日班机车计划，掌握列车运行、司机工作休息时间、机车检修进度和救援列车动态，及时向集团调度报告异常情况。机务段调度室应执行机车运用集中指挥，掌握机车配属、运用、整备、检修和司机状态，及时处置非正常问题，并防止司机超劳。

通过上述三级调度体系，可实现长交路机车、司机、整备、检修和应急资源的全链条监控，减少跨公司交接等待，提高长交路运行的稳定性和可控性。

7. 长交路实施前后效率对比的简化测算

7.1. 简化测算思路

为避免披露原始数据, 本文采用单位化时间指数进行简化测算。将既有交路方案下的关键枢纽综合作业时间、机车平均接续时间和机车全周转时间均设为 100, 长交路实施后根据作业环节压缩比例计算优化后的时间指数和效率指数。该方法不展示原始数据, 只反映长交路实施前后的相对变化, 便于说明保障措施的潜在效益。

简化测算的核心公式如下:

$$T_1 = T_0 \times (1 - r) \quad (1)$$

$$R = (T_0 - T_1) / T_0 \times 100\% \quad (2)$$

$$E = T_0 / T_1 \times 100\% \quad (3)$$

式中, T_0 表示长交路实施前的单位化时间指数, T_1 表示长交路实施后的单位化时间指数, r 表示作业时间压缩比例, R 表示时间压缩率, E 表示效率指数。若 E 大于 100%, 说明单位时间内可完成的运输组织能力有所提升。

7.2. 长交路实施前后效率测算结果

根据长交路实施后减少重复换挂、压缩机车接续等待、优化乘务交接、加强异地整备和提升调度协同等作用路径, 本文采用保守比例进行单位化测算。测算结果见表 4。

Table 4. Comparative calculation table of time and efficiency before and after the implementation of long-distance routing
表 4. 长交路实施前后时间与效率对比测算表

测算指标	实施前 单位化值	简化计算	实施后 单位化值	效率变化
关键枢纽综合作业时间	100	$100 \times (1 - 15\%)$	85	作业时间缩短 15%
机车平均接续时间	100	$100 \times (1 - 22\%)$	78	接续等待缩短 22%
机车全周转时间	100	$100 \times (1 - 12\%)$	88	周转时间缩短 12%
机车周转效率指数	100	$100 \div 0.88$	113.6	周转效率提升约 13.6%
枢纽通过效率指数	100	$100 \div 0.85$	117.6	枢纽通过效率提升约 17.6%
综合效率提升水平	100	综合考虑作业、接续与周转 改善	约 115	综合效率提升约 15%

注: 表中“100”为单位化基准值, 表示长交路实施前的相对水平; 实施后数值为根据简化公式计算得到的相对结果, 不涉及原始生产数据披露。

7.3. 测算结果分析

由表 4 可知, 在不披露原始数据的前提下, 采用单位化模型能够直观反映长交路实施前后的效率变化。第一, 关键枢纽综合作业时间由 100 降至 85, 说明通过减少重复换挂、统一作业标准和强化调度协同, 枢纽作业时间可实现约 15% 的压缩。第二, 机车平均接续时间由 100 降至 78, 说明长交路配套的机车资源共享、异地整备和乘务接续优化能够明显减少非生产性等待时间。第三, 机车全周转时间由 100 降至 88, 对应机车周转效率指数提升至 113.6, 表明在完成相同运输任务的条件下, 机车周转速度和利用强度均有所提高。

从综合效果看,长交路实施后的综合效率指数约为 115,即在保障措施完善的条件下,运输组织综合效率可较实施前提升约 15%。该结果并不代表具体线路的实测公开数据,而是基于单位化模型得到的保守估算值,主要用于说明长交路保障措施对压缩作业时间、提高机车周转效率和释放枢纽能力具有明确的正向作用。

因此,本文所提出的设施设备统一、安全制度衔接、机务资源共享、乘务保障完善和一体化调度等措施,不仅能够从管理层面提升长交路运行的安全性和协同性,也能够通过时间压缩率和效率提升率进行简明量化。后续在实际应用中,可将企业内部脱敏后的作业写实数据代入上述公式,对不同线路和不同交路方案开展进一步测算。

8. 结论、研究局限与展望

8.1. 研究结论

国家能源集团铁路机车长交路运用方案是提高重载运输效率、缓解关键枢纽能力紧张和提升机车周转效率的重要举措。本文借鉴“现状分析-问题梳理-措施提出”的研究思路,围绕设施设备、安全制度、机务组织、乘务保障和调度指挥五个方面,对长交路规模化实施所需保障措施进行了系统分析。

研究认为,长交路常态化开行必须以设备标准统一为基础,以行车规章和应急制度统一为前提,以机车资源共享和异地整备为关键,以乘务轮乘、防超劳和公寓配套为支撑,以集团级一体化调度为统领。只有将上述措施形成闭环,才能有效减少跨公司管理盲区和技术障碍,支撑国家能源集团铁路构建安全、高效、经济的重载运输组织体系。与一般经验性对策研究不同,本文在案例研究法基础上,将长交路运用方案置于供应链协同和网络组织理论框架下进行解释,强调长交路保障的关键不只是机车运行距离延长,而是跨公司、跨专业、跨节点的资源协同和组织治理能力提升。同时,单位化测算结果表明,长交路实施后关键枢纽综合作业时间、机车平均接续时间和机车全周转时间均可得到压缩,综合效率指数可由基准值 100 提升至约 115,说明相关保障措施具有较明确的效率提升潜力。

8.2. 研究局限与展望

本文以国家能源集团铁路机车长交路运用为单一案例开展分析,能够较深入地呈现重载铁路跨公司长交路运行中的制度、资源和组织协同问题,但也存在一定局限。首先,单一案例研究具有情境依赖性,研究结论主要来源于国家能源集团内部铁路网络,其组织结构、运输品类、线路条件和管理模式具有一定特殊性,结论在其他铁路企业或综合物流网络中的适用性仍需进一步检验。其次,本文主要依据专家访谈、内部文档和运行管理资料进行归纳分析,对长交路实施前后的效率提升幅度、成本变化、机车周转改善和安全风险变化尚缺少更充分的定量测算。再次,本文提出的保障措施偏重制度和组织层面,对数字化调度平台、实时数据共享机制和智能决策支持系统的技术实现路径仍有待进一步深化。

未来研究可从三个方面进一步拓展:第一,可开展多案例比较研究,将国家能源集团铁路与其他重载铁路、跨局机车长交路或港口疏运铁路进行对比,检验本文保障框架的普适性与差异性;第二,可引入运输生产数据、机车周转数据、乘务工时数据和调度运行数据,构建长交路保障效果评价指标体系,对不同保障措施的效率贡献和风险控制效果进行量化评估;第三,可结合数字孪生、智能调度和供应链协同平台建设,研究长交路条件下跨公司机车资源、乘务资源、整备资源和应急资源的实时协同优化方法。

从更一般意义上看,本文关于“统一技术标准-衔接安全制度-共享关键资源-完善收益清算-强化一体化调度”的研究发现,不仅适用于国能铁路长交路组织,也可为港口铁路、煤炭物流通道、跨区域多式联运网络和大型企业内部物流网络提供借鉴。其推广应用需要满足若干条件:一是存在能够统筹

多主体协同的核心组织或平台;二是各节点具备基本兼容的技术标准和信息系统;三是能够建立透明的成本分担与收益补偿机制;四是应急救援、设备维护和人员组织具备跨边界共享基础。在上述条件具备的情况下,长交路保障体系可进一步抽象为复杂物流网络中跨主体协同治理的一种组织模式。

基金项目

中国神华能源股份有限公司科技创新项目“国家能源集团长交路规模化开行方案研究”(SHGF-25-9),国家自然科学基金——铁路创新发展联合基金项目“基于车地云一体化的重载列车群组智能开行规划与主动调度管控方法”(U2569210)。

参考文献

- [1] Lambert, D.M., Cooper, M.C. and Pagh, J.D. (1998) Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. *The International Journal of Logistics Management*, 9, 1-20.
<https://doi.org/10.1108/09574099810805807>
- [2] Powell, W.W. (1990) Neither Market Nor Hierarchy: Network Forms of Organization. *Research in Organizational Behavior*, 12, 295-336.
- [3] 张福田. 神华铁路机车长交路实施方案研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(8): 30-35.
- [4] 李红斌. 关于跨局机车长交路的一点思考[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(2): 79-81.
- [5] 徐忠, 袁双喜. 实施长交路、轮乘制机车交路方式的思考[J]. 华东交通大学学报, 2004(6): 30-33.
- [6] 宋宗莹. 基于机车长交路条件下的神池南站列检作业方式研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(S1): 18-23+39.
- [7] 邹红德. 繁忙干线区段防止机车乘务员超劳对策分析[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(7): 72-76.
- [8] 常栓定. 机车长交路引起机车信号设备变化及LKJ数据修改的思考[J]. 铁路通信信号工程技术, 2009, 6(1): 52-54.
- [9] 韩振文. 机车列尾装置的检测与故障防范[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(3): 68-69+72.
- [10] 谢亮. 朔黄铁路电力机车自动过分相装置优化研究[J]. 中国铁路, 2017(8): 73-77.
- [11] 李蔚. 重载列车机车无线重联同步控制关键技术研究与应用[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012.