

输电线路跨越高速公路施工的安全风险评估与防护策略

王坤

云南送变电工程有限公司，云南 昆明 650216

DOI:10.61369/WCEST.2025090002

摘要：输电线路跨越高速公路施工是一项风险较高的工程项目，涉及带电操作，高空作业等多重挑战，对于施工安全防护提出了较高的要求。尤其是随着电网建设发展，输电线路跨越高速公路施工规模日益扩大，精准评估、有效防护施工中的安全风险，对于保障电网稳定运行、维护施工人员生命安全具有重要意义。文章围绕输电线路跨越高速公路施工安全风险评估进行分析，总结一系列防护策略以供参考。

关键词：输电线路；跨越高速公路；安全风险；风险评估；防护策略

Safety Risk Assessment and Protection Strategies for the Construction of Transmission Lines Crossing Expressways

Wang Kun

Yunnan Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650216

Abstract : The construction of transmission lines crossing expressways is a high-risk engineering project that involves multiple challenges such as live-line operations and high-altitude work, posing stringent requirements for construction safety protection. Especially with the development of power grid construction, the scale of transmission lines crossing expressways is expanding increasingly. Accurate assessment and effective protection against safety risks during construction are of great significance for ensuring the stable operation of the power grid and safeguarding the lives of construction personnel. This paper analyzes the safety risk assessment for the construction of transmission lines crossing expressways and summarizes a series of protection strategies for reference.

Keywords : transmission lines; crossing expressways; safety risks; risk assessment; protection strategies

引言

我国电网建设规模持续扩大，输电线路与高速公路的交叉跨越需求随之增长。由于高速公路属于我国重要交通基础设施，车流量大、车速快，输电线路跨越高速公路施工往往涉及带电作业、高空作业以及临时设施搭建等环节。操作不当可能诱发导线坠落、人员伤亡或交通中断等事故，其风险管理水平高低很大程度上决定了工程项目的成败。现阶段国家级行业已经颁布了多项政策和技术标准，但实践中仍然存在落实不到位，安全管理措施不合理等问题，如何实现安全风险的精准识别与防护，成为学术领域的一项热门课题。

一、输电线路跨越高速公路施工的风险分析

输电线路跨越高速公路施工场景伴随着多重风险，这些风险具有多元性、突发性等特点，具体表现在以下几点。

1. 机械设备器具风险。施工现场作业中需要涉及吊车、牵张机、旋挖钻、卡线器、绝缘子串等设备器具，这些设备器具性能不合理或检修不到位，容易诱发安全事故，导致现场停工^[1]。

2. 人员操作风险。施工人员作为施工活动的执行者，自身安全意识，技能水平等高低很大程度上影响着总体施工安全。部分施工人员在高空作业时未按规定系安全带，或带电作业时绝缘防护不到位，均可能诱发安全事故。

3. 环境风险。高速公路沿环境复杂多变，伴随着一系列不可控的因素。部分输电线路跨越点地形陡峭，材料输送困难，基坑

开挖可能造成公路边坡失稳；在极端恶劣天气下诱发跨越架导特倒塌、雷击跳闸等安全事故^[2]。

4. 设计和施工方案风险。前期设计图与施工方案缺陷，可能导致后期风险进一步扩大。如跨越角度较小，后期容易出现磨损或断线；施工方案未针对高速公路车流量制定合理的交通疏导方案，或是临时设施不完善，伴随严重的车辆碰撞风险^[3]。

二、输电线路跨越高速公路施工安全风险评估体系构建

(一) 风险识别

风险识别是评估的基，需要工作人员系统梳理工程项目施工全生命周期可能存在的安全风险。具体可采用现场调研+文献分

析+专家德尔菲法组合方法，系统梳理施工现场风险源，编制结构化清单，如表1。具体风险识别中，根据 GB 50545—2010、DL/T 5106等标准以及行业事故案例库，确定该项目施工中高峰风险环节；选择几个典型工程，观察施工过程的操作行为、管理措施以及环境条件，补充标准规范外的隐性风险；邀请10名行业专家，匿名问卷调查，对初步识别风险源的重要性打分评估，最终形成具体风险清单^[4]。

表1 典型风险源识别

维度	风险源	事故类型
人员	高处未系安全带、绝缘防护缺失、疲劳作业	触电、高空坠落、机械损伤
设备	卡线器滑脱、吊车支腿未伸展倾覆、工器具超出检修时限	机械损伤、导线坠落
材料	绝缘子机械强度不足、导线隐性损伤	绝缘子脱落、断线、工具断裂
方法	跨越角度小、交通疏导方案不合理	交通碰撞、社会影响
环境	雷电、保育等恶劣天气、山区地形陡峭	断线、坍塌、坠落

（二）评估方法

结合输电线路跨越高速公路施工风险的多样化特点，采用定性、定量相结合的方法进行评估。采用层次分析法分析多风险因素的重要性，搭建构造判断矩阵，计算各风险源的权重值；采用模糊综合评价法，分析风险严重程度和发生概率等模型指标，定性描述转化为定量评分。

评估指标包括目标层（施工安全综合风险）、准则层（机械风险、人员风险、材料风险、环境风险、方法风险）、指标层（具体风险源），并运用 AHP 法计算各层级指标权重^[5]。

（三）评估流程

为规范评估过程，保障评估结果可操作，需遵循标准化步骤进行评估：①准备阶段：该阶段主要负责收集高速公路运营数据、施工图纸以及气象记录等资料；设立安全评估小组，集合了高速公路管理者，第三方评估机构，电网安全工程师以及现场负责人等成员，明确各自的职责分工，协同开展工作。②风险识别阶段：根据工程实际情况动态定制风险源清单。③风险量化阶段：构造判断矩阵计算权重，针对三级指标确定隶属度，最终综合评分。④风险分级阶段：根据综合得分将风险划分为4级，I 级需要立即停工整改；II 级采取专项管控措施；II 级日常监测；IV 级日常管理。⑤反馈更新阶段：根据评估结果编制报告，由交管部门与施工单位审批，若后期设计变更，则需要重新评估和更新风险源，保证最终评估结果与工程实际相契合^[6~9]。

三、输电线路跨越高速公路施工安全防护策略

（一）完善安全防护设施

结合输电线路跨越高速公路施工安全风险管理需要，应精准识别施工中的交通干扰、机械碰撞以及导线坠落等高风险场景，设计多层次的安全防护措施^[10]。

1. 跨越架与封网系统。在跨越两端设置独立的耐张塔，耐张

段长度150m ~ 200m范围内，避免导线张力过分集中于跨越点，最大程度上降低后期断线几率。跨越档悬垂绝缘子串设计为双联串结构，单联机械强度至少在设计值2倍以上，220kV线路单联设计荷载20kN，双联串总荷载不小于40kN，避免绝缘子破损诱发安全指数。跨越架适合选择直径不小于12mm的钢丝绳主材以及钢管立柱，布设间距不超过2m，顶部采用双层尼龙绳封网，与公路路面垂直距离在6m以上。

2. 导线与金具强化。跨越档内导线禁止接头展放期间，借助张力控制装置保持张力，避免导线破损^[11~15]。导线与跨越架接触位置需要包裹一层橡胶皮，转角区域设置滑轮组降低摩擦系数，金具连接区域则涂抹一层导电膏降低接触电阻，避免线路过热烧蚀绝缘层^[16]。

3. 临时接地与防雷保护。跨越架周围区域设置接地极，使用扁钢与跨越架牢固连接，接触电阻控制在0.1Ω以下，降低雷击事故几率。

（二）优化施工方案与技术

施工方案与技术优化，是规避风险保障作业效率与安全的重要环节。在设计阶段，选择正交跨越或锐角45°以上的跨越方案，若地形条件限制跨越角度不超过30°，可适当的增加中间锚塔平衡张力；结合跨越点地形动态调整档距，一般山地区在300m以内，平原区在400m以内，使用 BIM 模拟分析不同温度和覆冰等工况下导线张力变化，保证跨越档最大张力始终处于导线破断力的25%以内^[17]。

架线工艺优化改良，引入牵引机和张力机辅助作业，并安装视频监控系统，实时监控导线张力以及放线速度，若现场施工条件不便，可使用无人机航拍技术辅助监测跨越架与导线的间距，避免碰网碰撞诱发事故。在具体跨越时，施工人员可使用大疆 M300 RTK 无人机试飞，鞋带直径3mm的轻质尼龙绳跨越高速公路，随后逐步提升至导引绳、牵引绳以及导线，可大幅度减少吊车等特种设备在现场作业时间。封网作业活动则需要架线前进行，采用螺栓加固封网固定点与跨越架立柱，避免导线坠落影响封网施工质量^[8]。

（三）现场硬质隔离警示

由于高速公路的车流量大，车速通常在80km/h以上，因此施工期间可设置物理隔离和警示标志，降低行驶车辆误入施工区域的风险。在跨越点两侧延伸50m范围内设置彩钢瓦围挡，高度2m以上，在围挡顶部安装旋转式警示灯，底部则使用沙袋，避免被风吹倒。与交管部门联动，施工期间封闭外侧1~2条车道，具体需要结合工程的跨越架宽度确定，剩余车道则保持双向通行；道中间采用反光锥筒引导车辆变道，并在封闭区域点设置电子情报板，告知来往车辆施工区域限速40km/h。

跨越顶部设置施工现场禁止靠近的警示牌，并采用反光材质，确保来往行驶车辆能够远距离识别；夜间配备照射范围20m以上的LED投光灯，覆盖跨越架区域，保证施工现场设备设施可被来往车辆识别。封闭车道入口配备2名工作人员，经过专业培训后手持荧光棒引导车辆通行，雨雾天气则采用扩音器提醒“前往道路施工、减速慢行”^[18]。

(四) 加强人员管理

为了保证现场施工人员生命安全，规避施工风险，应加强人员准入和分层培训工作。高处作业人员需要持证上岗，如吊车司机持有特种设备操作证Q2，电工则需要持有高压电工证，并且出具近三年内无重大事故记录。施工作业前组织人员进行全面体检，重点排查有恐高症、高血压、糖尿病等人员，禁止疲劳作业或酒后作业^[20]。现场所有人员需参加统一的安全培训活动，丰富知识储备，学习如何精准识别风险源、如何防护、个人防护装备使用方法等；针对封网搭设、张力放线等高风险工序，组织工作经验丰富工程师现场实操培训，工作人员考核通过后方可上岗操作。除此之外，加强作业全过程监管，对于吊装、高处作业等环节配备专门的监护人员，督促工作人员规范系安全带和安全装备，一旦发现违规操作，则及时制止和纠正；设立安全积分制度月末对于积分考核符合标准者即可予奖励累计积分超出标准，则禁止其作业，需要重新培训、考核通过后方可上岗。

(五) 编制应急预案

即便施工单位制定了一系列安全措施，但仍然可能出现高速连环碰撞或是导线突然坠落等安全事件，因此需要编制应急预案。

案，最大程度上减轻安全事故带来的损失。针对评估中的极高风险场景编制专项应急预案，并确定一旦出现紧急事故的全流程动作；设立应急指挥部，下辖交通组、医疗组、后勤组、抢险小组。同时加强现场应急物资的储备，如急救箱、封网绳、对讲机等，并与周围的施工单位建立合作关系，一旦出现安全事故，可紧急调拨其挖掘机、吊车等设备；与高速公路管理部门和属地消防等部门合作开通直通热线，定期组织联合演练，以便提高部门之间的协同效率。如果发生安全事故，需要在事故后24小时内设立调查组，分析事故原因，并形成事故调查报告追诉责任人。

四、结论

综上所述，输电线路跨越高速公路施工过程中，风险源来源于各个环节，若风险识别不准确、安全防护不到位，可能诱发严重安全事故。因此，施工前完善配套安全设施，优化施工方案与技术，现场设置安全警示标志，并组织现场人员参加安全培训，多措并举下全面保障施工现场作业安全，将安全风险消灭在萌芽状态。

参考文献

- [1] 赵浩杰. 高压输电线路施工作业风险和安全技术措施分析 [J]. 张江科技评论, 2024(5):70-72.
- [2] 向世聪. Y-G220千伏架空输电线路工程跨越施工安全风险研究 [D]. 中国矿业大学, 中国矿业大学(江苏), 2023.
- [3] 邱秀珍. 110kV架空输电线路重要跨越封网施工工艺研究 [J]. 电力设备管理, 2024(21):231-233.
- [4] 杨念. 输电线路架设跨越高速公路施工技术分析 [J]. 建筑设计与研究, 2024, 5(10).
- [5] 谢宽. 500 kV高压线路跨越施工技术的实践与优化 [J]. 标准生活, 2025, (06): 155-157.
- [6] 田森, 杨晗. 输电线路架设跨越高速公路的施工技术探析 [J]. 越野世界, 2021(11):181.
- [7] 任宇浪, 肖德芳. 输电线路架设跨高速公路的施工技术探析 [J]. 电工技术, 2024(11):114-116, 119.
- [8] 汤向东. 输电线路跨越高速公路的施工技术分析 [J]. 集成电路应用, 2025, 42 (07): 198-199.
- [9] 杨易, 苏敏, 何孔荣. 输电线路跨越改造项目措施费用取费现状及偏差分析 [J]. 工程与建设, 2023, 37 (05): 1643-1646.
- [10] 张德强. 110 kV架空输电线路跨越高速公路的施工工艺 [J]. 农村电气化, 2023, (10): 102-104.
- [11] 李镇豪. 架空输电线路跨越高速公路更换导地线施工方法的研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64 (10): 135-136+140.
- [12] 李会强. 超高压输电线路架设跨越高速公路施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2021, (21): 38-40.
- [13] 田红羽. 超高压输电线路架设跨越高速公路施工技术 [J]. 数字通信世界, 2020, (07): 263+265.
- [14] 黄琛, 王志强, 鲍威. 输电线路跨越高速公路架线的施工方法 [J]. 中国新技术新产品, 2020, (05): 104-105.
- [15] 王永刚, 张佑军, 陈建, 等. 浅谈输电线路架设跨越高速公路的施工技术 [J]. 中国新技术新产品, 2020, (05): 119-120.
- [16] 雷京津, 张佑军, 陈建, 等. 浅谈超高压输电线路架设跨越高速公路施工技术 [J]. 中国新技术新产品, 2020, (04): 104-105.
- [17] 叶修锋, 王永刚, 陈海峰, 等. 特高压输电线路跨越高速公路施工方案要点 [J]. 中国新技术新产品, 2020, (04): 114-115.
- [18] 黄小浪. 超高压输电线路架设跨越高速公路施工技术 [J]. 农村电气化, 2020, (01): 43-44.
- [19] 丁政中, 王炳文, 包权宗, 等. 输电线路“三跨”工程跨越补偿费用计列原则研究 [J]. 项目管理技术, 2019, 17 (11): 108-114.
- [20] 吴应天. 探析高压输电线路跨越高速公路施工对公路安全的影响因素 [J]. 甘肃科技纵横, 2019, 48 (07): 53-55.