

路面施工中机械伤害事故成因与防护措施研究

李忠国

平阳县交通投资集团有限公司 浙江 温州 325400

摘要：路面施工作为交通基础设施建设的关键环节，其作业环境复杂、参与机械种类繁多、人员流动性大，导致机械伤害事故频发，严重威胁作业人员生命安全与工程项目的顺利推进。本文旨在系统探究路面施工中机械伤害事故的深层成因，并据此提出科学、有效的综合防护措施。研究首先对路面施工中常见的机械类型及其作业特点进行梳理，明确事故高发场景；其次，运用事故致因理论，从人的不安全行为、物的不安全状态、管理缺陷及环境不良四个维度，深入剖析机械伤害事故的成因；最后，基于“人-机-环-管”协同治理的理念，从强化人员安全素质、提升机械设备本质安全、优化作业环境与流程、健全安全管理体系四个方面，构建了一套多层次、全方位的防护措施体系。

关键词：路面施工；机械伤害；事故成因；防护措施；安全管理；本质安全

引言

随着我国城镇化进程的加速和交通网络的持续完善，道路工程建设规模不断扩大，路面施工作为其中承上启下的关键工序，其重要性日益凸显。然而，路面施工具有露天作业、线性分布、工序交叉、人机混合作业等特点，加之施工机械（如摊铺机、压路机、平地机、装载机、自卸车等）体量庞大、操作复杂、作业盲区多，使得施工现场成为机械伤害事故的高发区域。据国家应急管理部及行业统计数据显示，机械伤害在建筑施工领域各类事故中占比居高不下，是导致人员伤亡的主要原因之一。机械伤害不仅造成无法挽回的生命财产损失，还会引发工程延期、成本超支、企业声誉受损等一系列负面连锁反应^[1]。因此，深入研究路面施工中机械伤害事故的成因，并制定行之有效的防护对策，对于保障一线作业人员的生命安全、提升工程建设质量与效率、促进企业可持续发展具有重大的现实意义和理论价值。本文将立足于工程实践，结合安全科学理论，系统性地展开分析与探讨。

1 路面施工机械作业特点与事故类型

1.1 主要施工机械类型及作业特点

路面施工机械多样，作业特性关联风险。摊铺机将混合料均匀摊铺，作业连续缓慢，但前方和两侧盲区大，熨平板高温高压，易引发卷入、挤压或烫伤事故。压路机压实材料，反复碾压使后方视野受限，且自重极大，碰撞或碾压后果严重。平地机精细整平路基，刮刀伸展范围广，刮碰和卷入风险高。装载机与自卸车转运物料，装卸料、倒车及转弯时，因视野盲区、警示不足或沟通不畅，易引发碰撞与碾压。这些机械体积大、重量重、机动性差，有显著视听盲区，作业环境嘈杂，人

机交互频繁，构成机械伤害事故的物理基础。

1.2 典型机械伤害事故类型

路面施工中，机械伤害事故类型多样。碰撞与碾压最常见，源于操作手视野盲区或人员违规进入作业半径。卷入与绞碾事故多因人员衣物、工具或身体部位被卷入机械部件，造成严重损伤甚至死亡。挤压与剪切伤害多发生在维修、保养或调整工作装置时，人员被活动部件与固定部件挤压或遭受剪切。物体打击由物料飞溅、吊装物坠落或工具滑脱等造成。此外，高处坠落也不容忽视，人员攀爬、检修或清洁高处设备时，若防护缺失或操作不当，易发生坠落。

2 路面施工机械伤害事故成因分析

2.1 人的不安全行为

人的因素是事故发生的直接导火索，涵盖了操作人员和现场其他作业人员的不安全行为。对于操作人员而言，违章操作是首要风险，具体表现为无证上岗、酒后驾驶、疲劳作业、超速行驶或在视线不清的情况下强行作业等。同时，部分操作手因技能与经验不足，对机械设备的性能、操作要领及潜在风险认识不清，应急处置能力薄弱，无法有效规避危险。更深层次的原因在于安全意识的淡薄，许多操作手抱有侥幸心理，认为“事故不会发生在自己身上”，从而忽视安全警示，对周边环境观察不仔细。在多机联合作业或人机配合作业的复杂场景下，沟通协调不畅也是致命因素，若未能使用标准手势或对讲机等有效沟通方式，极易导致信息传递失误。另一方面，现场其他作业人员的安全知识普遍匮乏，对机械作业的危险区域（如盲区、旋转半径）缺乏基本认知，随意在机械周边逗留或穿行。他们常常违反劳动纪律，不按规定穿戴安全帽、反光背心、防砸鞋等

个人防护用品，并且在嘈杂的环境中因注意力不集中，未能及时察觉机械的靠近或警示信号，从而将自己置于危险境地。

2.2 物的不安全状态

机械设备本身存在的缺陷构成了事故发生的物质基础。一些老旧设备或低价设备在设计上存在先天不足，例如驾驶室视野不佳、缺乏必要的安全防护装置（如倒车雷达、摄像头、声光报警器），或紧急制动系统响应迟缓，这些设计缺陷直接埋下了安全隐患。更为普遍的问题是设备维护保养不当，由于未能严格执行设备的日常检查、定期保养和维修制度，导致设备“带病”运行，诸如制动系统失灵、转向系统卡滞、灯光信号系统损坏、液压系统泄漏等故障，都可能成为事故的直接诱因^[2]。此外，设备原有的防护罩、联锁装置、限位开关等安全设施，时常因被拆除、损坏或未及时修复而失效，使得作业人员直接暴露在危险之中，失去了最后一道物理屏障。

2.3 管理缺陷

安全管理上的漏洞是导致人和物的不安全状态得以长期存在并最终酿成事故的根本原因。首先，安全责任制往往未能有效落实，项目部、分包单位、班组之间的安全责任边界模糊不清，形成“谁都管、谁都不管”的管理真空，使得安全压力无法有效传导至生产一线。其次，安全教育培训常常流于形式，培训内容缺乏针对性，未能紧密结合具体工种和机械设备进行实操演练，培训考核也多走过场，无法真实检验员工的安全知识和技能掌握情况。再次，安全技术交底工作不到位，在每道工序或使用新设备前，未能向作业人员详细、清晰地说明作业风险、安全操作要点和应急措施，导致一线人员对风险茫然无知。同时，现场安全监管存在明显缺失，专职安全员或因配备不足，或因专业能力欠缺，未能及时发现和制止违章作业，尤其对机械维修、夜间施工等危险作业缺乏有效的旁站监督。最后，应急预案与演练严重不足，许多项目缺乏针对机械伤害的专项应急预案，即便有预案也未组织有效演练，导致事故发生时现场人员手足无措，错失最佳救援时机。

2.4 环境不良

复杂的作业环境作为事故发生的催化剂，虽非直接原因，却能显著诱发和加剧事故风险。物理环境的恶劣是首要挑战，例如夜间施工时照明不足、雨雾天气能见度低、大风天气影响机械稳定性，以及极端的高温或严寒天气影响人员的判断力和操作精准度，都为事故的发生创造了条件。作业场地的混乱同样不容小觑，施工现

场物料堆放杂乱无章，常常占用安全通道；临时道路泥泞、坑洼不平，严重影响机械行驶的稳定性；作业区域若未进行有效隔离，非作业人员随意进出，将大大增加人机冲突的概率。此外，社会心理环境的影响也不可忽视，在工期压力巨大、赶工现象普遍的背景下，管理人员和作业人员往往倾向于牺牲安全来换取速度。加之分包队伍流动性大，团队凝聚力差，难以形成稳定、积极的安全文化氛围，使得安全规章制度难以深入人心。

3 路面施工机械伤害事故综合防护措施体系构建

针对上述成因分析，必须摒弃“头痛医头、脚痛医脚”的单一治理模式，转而构建一个覆盖“人-机-环-管”全要素的综合防护体系，从源头上预防和控制机械伤害事故。

3.1 强化人员安全素质

人是安全生产最活跃的因素，提升人员安全素质是治本之策。为此，必须实施精准化的安全教育培训。应针对管理人员、机械操作手、辅助工等不同岗位，设计差异化的培训内容。对操作手，重点强化设备性能、安全操作规程、风险辨识和应急处置能力的培训；对辅助工，则侧重于危险区域识别、避让规则和个人防护知识的普及。培训方式上，应大力推广实操与体验式教育，例如利用VR/AR技术模拟机械伤害事故场景，让员工身临其境地感受事故的惨痛后果；或组织在真实设备上进行盲区演示和应急演练，以增强培训的直观性和有效性。同时，必须建立严格的培训档案与考核机制，实行“一人一档”，将安全绩效与薪酬、晋升紧密挂钩，形成强有力的正向激励。在此基础上，还需规范作业行为与沟通，严格执行持证上岗制度，杜绝无证操作。应全面推广标准化的机械作业指挥手势，并为作业人员配备性能可靠的对讲通讯设备，确保指令传递清晰无误^[3]。此外，落实“呼唤醒答”制度至关重要，在启动机械、倒车、转弯等关键动作前，操作手必须鸣笛警示并确认周边无人后方可操作，以此形成一套严谨、可靠的行为规范。

3.2 提升机械设备本质安全

从设备源头入手，提高其固有的安全性能，是消除物的不安全状态的根本途径。当前，应积极引入智能化、信息化的安全技术。为所有大型施工机械强制加装360度全景影像系统、毫米波雷达、超声波传感器等主动安全防护系统，能够实时监测盲区动态，并通过声光报警及时提醒操作手和周边人员。更进一步，可以推广“电子围栏”技术，利用UWB或RFID技术在机械周围设定虚拟安全区域，一旦有佩戴定位标签的人员进入危险区域，系统会自动向双方发出警报，甚至在紧急情况

下触发自动减速或停车功能。同时，建立设备健康管理系（PHM），通过物联网传感器实时采集设备的运行数据，进行故障预测与健康管理，实现从被动维修到主动预防的转变。在管理层面，必须强化设备的全生命周期管理。在采购和租赁环节，严把设备准入关，将安全性能作为首要考量因素。在使用环节，健全维护保养制度，利用信息化手段对点检、保养计划进行跟踪管理，确保维护保养工作落到实处。对于安全性能不达标、故障率高的老旧设备，应坚决予以淘汰，从源头上彻底消除隐患。

3.3 优化作业环境与流程

通过科学的现场管理和工艺优化，为安全作业创造一个有序、可控的外部空间。实施精细化的现场管理是基础，应大力推行“5S”管理（整理、整顿、清扫、清洁、素养），保持施工现场整洁有序，确保物料分类堆放、通道畅通无阻，从根本上减少因环境混乱导致的意外。必须强化区域隔离与标识，使用围挡、警戒线、反光锥桶等对机械作业区进行硬隔离，并设置醒目的安全警示标志和风险告知牌，使危险区域一目了然。同时，要着力改善照明条件，确保夜间施工有充足、均匀的照明，并在遇恶劣天气时果断停止露天机械作业，以规避环境风险^[4]。在施工组织层面，应优化施工流程，尽量减少人机交叉作业的时间和空间，可采用“人停机不停”或“机停人不停”的错峰作业模式。更前瞻性地，可以应用BIM技术进行施工前的三维模拟，对机械作业路径和空间冲突进行预演和优化，提前发现并解决潜在的安全风险点，将风险管控关口前移。

3.4 健全安全管理体系

强有力的管理体系是各项防护措施得以有效执行的根本保障。首要任务是压实全员安全生产责任制，必须明确从项目经理到一线班长、作业人员的安全生产责任清单，通过签订安全责任书，做到“人人有责、层层负责”，确保安全责任无死角。在此基础上，应着力强化双重预防机制建设。一方面，要对路面施工各环节，

特别是机械作业环节，进行全面的风险辨识与评估，并根据风险等级采取差异化的管控措施；另一方面，要建立常态化的隐患排查治理机制，鼓励员工通过“随手拍”等方式主动上报隐患，并确保隐患整改形成闭环管理。对于分包队伍，必须将其纳入项目部统一的安全管理体系，实行“同标准、同要求、同考核”，坚决杜绝“以包代管”的现象。最后，必须完善应急管理体系，制定切实可行的机械伤害专项应急预案，配备必要的应急救援器材，并定期组织贴近实战的应急演练，确保在事故发生后能够迅速、有序、高效地开展救援，最大限度地减少人员伤亡和财产损失。

4 结语

本文剖析事故成因，构建了以“人-机-环-管”协同治理为核心的综合防护体系。研究表明，单一、碎片化的安全措施无法有效遏制机械伤害事故，需坚持系统观念，从提升人员素质、强化设备安全、优化作业环境、健全管理体系四个维度协同推进，形成全链条闭环。尤其要借助智能化、信息化技术，推动安全管理从“人防”向“技防+人防”升级。未来，智能施工装备广泛应用将改变人机交互模式，降低事故率。但过渡时期，加强传统人机协同作业安全管理仍是保障路面施工安全的关键。唯有深化安全理念、创新管理方法，才能实现“零事故”，为交通基础设施高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 国家安全生产监督管理总局.《企业职工伤亡事故分类标准》(GB6441-1986) [S].北京:中国标准出版社, 1986.
- [2] 王凯, 张飞.基于轨迹交叉理论的建筑施工机械伤害事故致因分析[J].安全与环境学报, 2019, 19(04):1325-1330.
- [3] 陈伟, 刘志强.智慧工地背景下施工机械安全监控技术研究[J].工程管理学报, 2021, 35(02):120-124.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.《建筑施工安全检查标准》(JGJ59-2011) [S].北京:中国建筑工业出版社, 2011.