

建筑施工安全风险智能预警与防控技术研究

张磊

武汉巨成结构集团股份有限公司, 湖北武汉, 430223;

摘要: 建筑施工场景工序繁杂、人员设备流动频繁, 传统安全管理依赖人工巡查, 存在风险识别滞后、预警精度不足、防控措施针对性弱等问题, 难以适配施工安全管理的高效化需求。本文围绕建筑施工安全风险管理痛点, 先分析当前安全风险智能预警与防控面临的核心障碍, 再系统阐述风险智能感知、多维度预警、动态精准防控三类关键技术的核心原理与应用逻辑, 最后总结技术应用价值与未来发展方向, 为提升建筑施工安全管理水品、降低安全事故发生率提供技术参考。

关键词: 建筑施工; 安全风险; 智能预警; 风险防控; 智能感知

DOI: 10.64216/3080-1508.26.01.015

引言

建筑施工要做高空作业、机械操作、临时搭架子等很多高风险工作。这些工作里的风险会跟着施工进度变, 而且容易受工人操作、现场环境影响。所以, 建筑施工的安全管理, 比其他行业难很多。过去的安全管理, 主要靠人工去查、按固定时间去检查。这种方式有两个大问题: 一是查不到所有风险点, 总有漏的; 二是常因为工人判断不准、消息传得慢, 导致风险发现晚, 错过最好的防控时间, 严重时还会出安全事故。现在, 要靠智能技术打破过去管理的不足, 建一套“看风险-发预警-防风险”连在一起的安全管理体系。这套体系能提前找到风险、准确发预警、高效处理风险, 这是提高建筑施工安全管理能力的关键办法, 也能帮建筑行业的安全管理往数字化方向升级。

1 建筑施工安全风险智能预警与防控面临的核心障碍

建筑施工的现场又活又杂——工人、设备、工序老在变, 很多工作还交叉在一起。这种特点让安全风险的智能预警和防控, 在“看风险”“发预警”“防风险”三个步骤里, 都遇到了障碍。这些障碍直接影响智能管理的效果, 让智能技术发挥不出作用。

1.1 风险感知不全面、不实时

建筑施工的风险点到处都是, 不是集中在一个地方。这些风险分好几种: 工人操作不规范、设备转着出问题、临时搭的设施有隐患等。而且, 随着施工一步一步推进, 比如从挖地基到盖房子, 再到装修, 风险点的种类和位置也会跟着变, 更难找到。过去看风险, 主要靠两样:

一是固定装在那儿的监测设备, 比如某些地方装的传感器; 二是工人到现场看, 然后记下来。但这两样都有缺点: 高空作业、深基坑这些藏得深的高风险地方, 根本覆盖不到, 成了“看不到的死角”。另外, 设备收集的数据和工人记的消息, 没法马上合到一起, 中间总有时差。这样一来, 有些风险就没法及时发现, 比如工人没按规矩戴安全装备、机械零件有点磨坏了, 这些没被发现的风险, 就成了安全隐患。

1.2 风险预警精度低、时效性差

现在建筑施工常用的预警方式, 大多是“一个指标到线就预警”。比如机械转的时候温度超了设定值, 就自动报警, 根本不管其他相关风险。但实际施工里, 安全事故很少是一个原因造成的, 大多是好几个风险凑在一起。比如刮大风、下大雨的时候, 工人操作不规范, 再加上架子不稳, 这三样凑在一起, 出事故的概率会大大增加。但只看一个指标的预警, 根本发现不了这种多风险凑在一起的情况, 容易出两个问题: 一是不该报警的时候报了, 浪费管理资源; 二是该报警的时候没报, 留下安全漏洞。还有些预警, 要靠工人把各种数据收齐, 再人工分析要不要报警。收数据、分析数据都要花时间, 导致预警消息出来得慢。等预警消息传到现场管安全的人手里, 原来的小风险可能已经变大了, 这时再预警, 已经没用了, 没法起到提前防控的作用。

1.3 风险防控措施碎片化、联动弱

建筑施工的安全防控, 不是一个部门的事, 要好多部门一起配合: 管现场干活的班组、管设备修的部门、管技术支持的部门等, 每个部门都有自己的责任。但过

去的防控方式，大多是“发现一个问题，只找一个部门解决”，不用其他部门帮忙。比如查到设备转着出问题，只通知管设备的部门来修，不管这个设备坏了会不会影响其他工序、其他地方；看到工人操作不规范，只在现场说两句，不让他再错，不找管技术的部门教大家正确操作，也不告诉班组负责人多盯着点。这种方式没考虑风险会影响多大范围，也没预判风险会怎么发展，所以定的防控办法很零散，不系统。而且，这些防控办法定下来后，就很少改，不能跟着情况变。比如施工到了新阶段，或者风险从“一般”变成“较大”，原来的防控办法没法跟着调整，和实际风险不匹配，防控效果时好时坏，没法从根本上阻止风险扩散、变大。

2 建筑施工安全风险智能预警与防控关键技术

针对上面说的建筑施工安全风险智能预警和防控的障碍，要从风险管控的整个流程出发，打破过去技术各管各、功能单一的问题，建一套“到处都能看风险、准确发预警、一起防风险”的技术体系。靠这套体系，解决“看、报、防”各环节的问题，提高安全管理的效率和可靠性，其中三类关键技术很重要。

2.1 多维度风险智能感知技术

多维度风险智能感知技术，主要有两个目标：一是建筑施工里所有风险点都能看到，没有看不到的死角；二是和风险相关的数据，能马上收集到，不滞后。做到这两点，就能给后面的预警提供全面、准确、及时的数据，让预警更准。这套技术要一步步做，主要分“装感知设备-合多类数据-传数据”三个步骤，每个步骤都有具体的事要做，一起保证能看好风险。第一步是装感知设备，思路是“固定设备+移动设备+工人带的设备”一起用，互相补不足，保证到处都能看到。其中，固定设备包括高清智能摄像头、红外传感器、测应力的仪器等，这些设备专门装在施工的高风险地方，比如深基坑旁边、架子的关键地方、塔吊转的区域。它们的作用是一直盯着这些地方的关键情况：设施稳不稳、设备转的参数正常不正常，确保关键地方的风险能一直被盯着。移动设备主要是智能巡检平板，这些平板给现场巡检的工人带。工人去查那些藏得深的地方，比如地下铺管线的地方、设备里面的零件，查到风险后，能马上用平板记下来，比如管线铺得有问题、设备里面不对劲，这样就补上了固定设备看不到隐蔽地方的缺点。工人带的设备，比如智能安全帽、定位手环，所有现场施工的工人都要带。

这些设备能一直盯着工人的情况：工人在哪个位置、心跳正常不正常、安全装备戴没戴，确保工人自身的安全能被实时管着，让风险覆盖范围更全。第二步是合多类数据，主要靠“清数据”和“配数据”的算法，把前面收集的各种数据整理好、连起来，解决数据孤立、不准的问题。首先，用清数据的算法，处理固定设备、移动设备、工人带的设备收集的各种数据，比如设施的应力数据、工人的位置数据、设备的温度数据。清数据的目的，是把那些因为环境干扰，比如电磁影响、天气影响，导致不准的数据去掉，留下能真实反映风险的信息，不让不准的数据影响后面的分析。然后，用配数据的算法，把清好的有效数据连起来，建立数据之间的联系。比如把“工人的位置”和“高风险区域的边界”配在一起，看看工人有没有走进高风险区；把“设备的温度”和“设备转的时间”配在一起，看看温度变高是不是因为转太久，判断设备有没有过载。这样一来，原本零散的数据就变成了完整的风险数据链，给后面分析风险提供更全的信息。第三步是传数据，主要靠5G技术和边缘计算技术，建一个传得快、延迟少的数据网，解决过去传数据慢的问题。在这个网里，各种感知设备收集的风险数据，靠5G传得快的特点，马上传到提前建好的边缘节点。边缘节点会先对这些数据做简单处理，挑出里面关键的信息，再把关键信息传到施工安全管理的核心平台。这种“边缘节点先处理，核心平台再管”的方式，能大大减少数据从收集到传到平台的时间，也能减轻核心平台处理数据的压力，确保风险数据能在平台上实时更新，为后面快速发预警做好准备。

2.2 多因素协同风险预警技术

多因素协同风险预警技术，主要目标是“准确找风险、及时传预警”。它要结合建筑施工里多风险常凑在一起的特点，建一个多方面的预警模型，解决过去预警不准、传得慢的问题，给后面定防控办法提供准确的依据。这套技术主要分两部分：评风险等级、传预警消息，两部分一起配合，保证预警又准又快。第一部分是评风险等级，要建一个“多因素风险等级评估模型”。这个模型的好处是，不只用一个指标评风险，而是把影响施工安全的关键因素都算进去。具体来说，主要算四类指标：一是工人有没有违规操作，二是设备转的状态好不好，三是现场环境怎么样，比如风多大、雨下得急不急，四是当前在做哪一步施工，不同施工步骤的风险不一样。

模型运行的时候，先根据每类指标对安全的影响大小，定好每类指标的重要程度；再用专门的算法，把每类指标的实际数据算一遍，得出总的风险值，清楚算出每类指标对风险的影响有多大。比如遇到“刮台风（环境不好）+塔吊没锁好（设备有问题）+工人在高空干活（操作和工序都有风险）”，这三类情况凑在一起，模型会通过算重要程度和总风险值，自动把风险等级定为最高，不用只看一个指标，能准确发现这种多风险凑在一起的情况，减少误报、漏报。第二部分是传预警消息，要建一个“分级传预警的机制”。这个机制的思路是，风险等级不一样，用的预警方式、传消息的路径也不一样，确保预警消息能准确、快速传到对应的管理人员手里，让预警更及时。首先，把建筑施工的风险分成三级：一般风险、较大风险、重大风险，每级风险的紧急程度、影响范围都不一样。然后，给每级风险配对应的预警方式和传消息路径：一般风险，预警消息主要靠两种方式传：一是安全管理平台弹窗口提醒，二是现场的声光设备报警，确保消息能快速传到现场班组负责人手里，让他组织人先处理。较大风险，在一般风险的预警方式基础上，再加两种：发短信、发语音通知，把消息一起传到项目管安全的部门，让这个部门统筹安排，加大处理力度。重大风险，在较大风险的预警方式基础上，再联系施工总包单位，同时打开现场的应急广播，通过广播告诉现场工人赶紧撤离，确保消息传到最高层管理人员手里，也保证工人的生命安全，让预警消息传得准、传得快。

2.3 跨部门动态联动防控技术

跨部门动态联动防控技术，核心是做好两件事：一是让各部门的防控措施互相配合，二是让措施能跟着风险变。围绕这两点，建一套“风险-措施-部门”连在一起的机制。这套机制能让防控资源用得更高效，也能让措施随时优化。技术主要包括两部分：防控措施智能匹配、跨部门一起处置。做防控措施智能匹配时，先看两件事：一是风险等级评出来的结果，二是风险的类型，比如设备有隐患、工人违规操作、结构有风险。再建一个防控措施数据库，里面存着各种风险该用的措施。然后用智能匹配的方法，给不同风险自动挑出合适的措施。

比如查到“脚手架应力超标”，就自动推荐“先停脚手架作业、再加固结构、最后重新测应力”，同时说清楚谁来做，比如技术部门、施工班组，还要定好做完的时间，不让措施定得随便、定得晚。做跨部门一起处置时，靠云端管理平台，建两个通道：一个用来共享信息，一个用来传指令。风险预警响了之后，平台自动给相关部门发处置指令和风险数据，各部们要随时说自己做了多少、做到哪一步。如果风险变严重，比如结构应力一直升，平台就自动改处置方案，让多部门一起加强防控，比如让施工班组撤人、技术部门做加固方案、设备部门调加固设备。确保风险能及时被控制，不扩大影响，保障施工人员安全。

3 结语

建筑施工安全风险智能预警与防控技术，是突破传统人工管理局限、提升安全管控水平的核心手段。多维度风险智能感知技术解决了“风险如何全面捕捉”的问题，为管控提供数据支撑；多因素协同风险预警技术回答了“风险等级如何判定、预警如何传递”的问题，实现风险的精准预判；跨部门动态联动防控技术则解决了“风险如何高效处置”的问题，确保防控措施落地见效。三类技术相互衔接，构建起全流程、智能化的安全风险管控体系，有效降低建筑施工安全事故发生率，保障施工人员生命与财产安全。未来，随着人工智能、数字孪生技术与建筑施工场景的深度融合，安全风险管控技术需向“风险预判”“自主处置”方向升级，通过构建施工场景数字孪生模型，提前模拟不同工序下的风险演化趋势，实现风险的“预判式防控”，进一步推动建筑施工安全管理从“被动应对”向“主动预防”转变。

参考文献

- [1]白梅,石海伟.建筑施工高处作业安全风险度量及应用研究[J].中国住宅设施,2022,(09):85-87.
- [2]余能跃.建筑施工高处作业安全风险与控制研究[J].居业,2021,(11):125-126.
- [3]张立宁,安晶,张丽华,范良琼.一种建筑工程施工安全智能预警模型研究[J].数学的实践与认识,2019,49(17):196-202.