

港口施工现场安全风险预警与应急管理研究

刘新望

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300480

[摘要]港口工程施工作业环境开放,受风浪、潮汐的影响较大,并且常常需要进行大型构件的吊装以及水下作业,风险耦合致灾的突发性较强。传统的安全管理重制度约束、轻动态过程的捕捉。从现场操作的角度出发,对高桩、重力式码头等典型的施工中高处坠落、起重伤害、坍塌、淹溺等常见的风险进行梳理,并提出结合环境、结构、设备、人员行为等各方面的监测指标的数据采集方案。在此基础上建立蓝、黄、橙、红四个等级的预警,给出和风力、浪高、基坑位移等物理量直接相关的判定阈值和现场防范措施。应急管理部分从组织架构、预案编制、物资储备、实战演练四个方面逐项展开,把责任落实到具体的岗位上。在此基础上形成预警和应急联动的运行规则,对预警发布、响应升级、抢险疏散、恢复评价等做出规定。该套体系已经在多个码头项目中分阶段应用,证明了它的可实施性,给港口施工现场安全管控由被动应对向主动防御转变提供实践参照。

[关键词]港口施工; 风险预警; 应急管理; 阈值判定; 联动机制

DOI: 10.33142/hst.v9i7.20237

中图分类号: U691.34

文献标识码: A

Research on Safety Risk Warning and Emergency Management of Port Construction Sites

LIU Xinwang

PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300480, China

Abstract: The construction environment of port engineering is open, greatly affected by wind, waves, and tides, and often requires the lifting of large components and underwater operations, resulting in strong risk coupling and sudden disasters. Traditional security management emphasizes institutional constraints and neglects the capture of dynamic processes. From the perspective of on-site operations, this article summarizes the common risks of falling from heights, lifting injuries, collapses, drowning, etc. in typical construction projects such as high piles and gravity docks, and proposes a data collection plan that combines monitoring indicators from various aspects such as environment, structure, equipment, and personnel behavior. On this basis, establish warning levels of blue, yellow, orange, and red, and provide judgment thresholds and on-site preventive measures directly related to physical quantities such as wind speed, wave height, and foundation pit displacement. The emergency management department will be carried out item by item from four aspects: organizational structure, contingency plan preparation, material reserves, and practical exercises, and responsibilities will be assigned to specific positions. On this basis, establish operational rules for early warning and emergency linkage, and make regulations for early warning issuance, response upgrading, emergency evacuation, recovery evaluation, etc. This system has been applied in multiple terminal projects in stages, proving its feasibility and providing practical reference for the transformation of safety control at port construction sites from passive response to active defense.

Keywords: port construction; risk warning; emergency management; threshold determination; linkage mechanism

引言

港口工程水工结构体积大,机群密集,人机混合作业多。沉桩、围堰、疏浚、上部结构安装等工序在潮间带或者水上进行,受到突风、涌浪、急流的直接威胁。近十年来沿海码头事故统计表明,起重倾覆、桩架坍塌、人员落水等造成死亡的事故最多,且大部分事故发生在事故发生

前几个小时甚至更早的时候出现过可以察觉到的异常,但是信息采集传递不畅,判断没有量化的参照,响应窗口被浪费了。主管部门已经要求建立风险监控和预警制度,但是大部分项目部仍然将预警等同于气象预警,没有将结构微变、设备超荷等参数纳入预警范畴,应急预案也多停留在文件层面。

1 港口施工现场常见安全风险

港口施工风险载体可以分为作业面、大型设备、水上船舶和临时结构这四种。作业面风险主要是高处坠落、物体打击。预制构件安装过程中,临边防护被反复拆移,如果恢复不及时,配合测量人员很容易踏空。多层交叉作业时,吊具下方和上层焊接、下层清渣同时进行,焊渣、垫块掉落打击下方人员时有发生。船舶风险主要出现在沉桩和疏浚工况。打桩船在流速大于 1.5 米/秒的水域中定位困难,走锚或者断缆造成桩架撞击已沉桩群,引起倾斜甚至倾覆。抓斗船和泥驳靠泊受涌浪的影响,在碰撞舷侧造成船体破损进水的时候,容易造成人员滑落水中^[1]。临时结构风险出现在深基坑、高支模上。沉井遇孤石或硬层掏挖不当,造成突沉、周边土体开裂,连带栈桥基础移位。现浇墩台模板支撑的扣件锈蚀或者 U 形托偏心,浇筑时偏心荷载增大,造成架体垮塌。夏季强对流天气瞬间风速骤增,施工船舶、塔吊来不及反应。低潮时船体搁浅,船底受力不均造成结构变形。

2 安全风险预警体系

2.1 监测指标和数据采集

预警体系先筛选出能稳定反映风险演化过程的前兆指标,全部用连续或者高频采集的物理量。环境类指标的采集包括风速、风向、能见度、浪高、潮位等,在塔吊顶部、打桩船上桅杆、码头前沿布置风速仪、波浪雷达,数据每 30 秒更新一次,水文数据由潮位遥报终端、流速剖面仪提供,每分钟更新。结构类指标按照分项来设置,沉桩期间在桩架顶部和桩锤导杆上分别安装双轴倾角传感器,倾斜速率每秒回传,基坑施工在围护墙、腰梁上安装

振弦应变计和测斜管,每 10 分钟采集轴力和深层水平位移,高支模体系选择立杆受力最大处安装荷载计和激光位移传感器,监测沉降和杆件弯曲。设备类指标直接进入吊机安全监控系统的起重力矩、起升高度、回转角度、风速连锁信号。气体指标在疏浚区域、沼气富集区设置固定式可燃气体、硫化氢检测仪,采样头设在下风向。人员行为指标用智能安全帽、手环统计临水临边区域停留时间、超员聚集。

数据经由工业以太网及 4G 汇集到监控中心,平台执行时间对准并填补缺失部分,异常跳变立即加以标注。人工巡检补充传感器盲区,人员手持防爆终端对围堰渗漏、坡面冲刷、临时用电接地等项目拍照记录,每两小时上传一次,系统把文本转成结构化字段,加入到同一个判定数据流中。

2.2 预警等级以及判定阈值

预警等级用蓝色、黄色、橙色、红色来表示,分别对应低、一般、大、重大这四个风险级别。阈值的确定有两个原则,每一个等级对应具体的防范措施,不能用模糊的指令来代替,多个指标任一达到触发条件就会提升整个等级。具体的阈值以及措施见表 1。

表 1 的阈值根据项目所在海域三年历史风浪资料和结构设计安全冗余反算得到,风速取海面 10 米处 1 分钟均值。基坑位移控制值为围护结构最大水平位移设计限值。可燃气体浓度达到爆炸下限 10%就发出预报警提醒,达到 20%才判定为橙色。阈值每年施工转序时复核,台风季节前加大风速、浪高的门槛。

表 1 安全风险预警等级与判定阈值

预警等级	颜色	风险状态	典型触发条件	现场防范与处置措施
IV级	蓝色	低风险	1min 平均风速 6 级,或浪高 1.3~1.5m; 基坑日位移达控制值 60%; 能见度低于 1000m	停止无防护临水高处作业; 覆盖加固露天堆场; 检查临时用电; 安全员进入巡查状态
III级	黄色	一般风险	1min 平均风速 7 级,或浪高 1.5~2.0m; 基坑位移达控制值 70%且持续增长; 支撑轴力单日增幅超 15%; 能见度低于 500m	暂停所有起重吊装及上部结构安装, 施工船舶驶往锚地避风, 基坑坑边卸去荷载, 加密变形监测频率, 应急抢险小组携带设备现场待命
II级	橙色	较大风险	风速突增至 8 级,或浪高 2.0 至 2.5m; 桩架倾斜率超 0.5%; 高支模立杆变形速率突增; 可燃气体浓度达爆炸下限 20%	全面停止施工作业; 非应急人员按照预定路线撤离到集合地点; 切断非应急电源, 开启应急照明; 危险区域设置警戒隔离, 通知外部救援备勤
I级	红色	重大风险	风速≥9 级,浪高≥2.5m; 围堰出现管涌、突沉或决口迹象; 起重机械结构断裂; 可燃气体浓度持续上升或发生火灾爆炸	立即启动最高级别响应, 全员清点疏散; 拨打海上搜救及急救电话, 指定人员接应; 抢险以保护人员生命安全为唯一先决

3 施工现场应急管理

3.1 应急组织与职责划分

应急组织依靠项目部现有的序列来搭建。总指挥由项目经理担任,夜间由值班生产副经理代行职权。副总指挥是安全总监和总工程师,前者负责疏散、联络工作,后者负责技术处理和结构评定工作。下设六个执行组。技术处理组负责勘查、制定加固排险方案和判定残余风险。抢险救援组由主体结构施工队骨干组成,执行堵漏、支护、爆破、搜救,按工种编成三个行动小队,每个行动小队不超过5人。疏散引导组有施工员1人、安全员1人,分别负责本区域人员的清点和引导工作,带强光手电、口哨、手持花名册。医疗救护组以持有红十字会急救证的人员为主,对伤员进行检伤分类、转运协调。物资保障组对应急仓库进行管理,联系周边供应商,在1h内可以调集到所需的物资。对外联络组指定专人向业主、海事、应急管理部门报送信息,用词必须使用标准短语,不能有模棱两可的表述。各岗位职责制成卡片,正面要点,背面应急电话,人员变动当天更换。

3.2 应急预案编制要点

预案编制前对淹溺、桩架倾覆、围堰溃决、模板支撑坍塌、船舶溢油五种主要的事事故情景进行辨识,根据每一个场景分别编写现场处置方案,明确第一步应该做什么、由谁来执行、用什么方法。核心要素固定为事故可能部位和时段、启动条件、处置步骤表、资源调配清单和毗邻区域联动要求^[2]。处置步骤表用格子形式列出时机、动作、执行人和达到的状态。资源调配清单精确到物资存放点编号和最近起吊设备编号。预案印刷成口袋本放在班前会讲评台上,防水版粘贴在船舶驾驶室、现场值班室。评审采用桌面推演加专家质询的方式,邀请港口安全专家、班组长一起参加,挑出指令歧义、资源冲突,修订后签署发布。

3.3 应急物资与装备储备

物资储备有码头前沿、陆域库房和船舶这三个储存点。码头前沿防雨器材箱装有自扶正救生筏、救生圈、抛绳器、堵漏毯、应急排水泵,箱体反光标记,开启方向标志指向。陆域库房存放大功率柴油发电机、防洪沙袋、液压破拆工具、长管呼吸器、防化服、急救箱,货架按用途分区域,地面标线划出通道,禁止占道。船舶按规定配备的消防、救生器材之外还有烟火信号、浸水保温服和应急无线电子位标。每项物资打上唯一的编号,库管员每周用扫描二维码的方式对所有物资进行巡查,距离有效期不足30天的物资会发出橙色警报,不得放置。发电机、排水泵每周空载启动一次并留有试机记录。

3.4 应急培训与实战演练

培训分为入场上岗、专项技能和常态化桌面推演三次。入场培训覆盖所有工人,重点教会识别预警颜色、记住逃生路线、徒手心肺复苏和灭火器使用,逐个考核合格后方可上岗。起重司机、潜水员、电工每季度增加一次应急操作专项考核,内容随机抽取,如全船断电后应急操舵、液压站失压手动释放吊钩等。桌面推演纳入每周的安全活动日,时间固定为15min,设定单一的突发情况,由值班员、班组长口头描述应对措施,看有没有漏报或者清点人数。实战演练半年一次,没有提前告知具体的日期,事后根据响应的及时性、物资取用的延误、通讯链路的可靠性来评判,召开复盘会观看录像,逐帧分析指挥及行动脱节点,形成书面的整改单限期闭环。演练记录、整改证据等属于应急能力档案的保存内容。

4 预警和应急联动的运行机制

4.1 预警发布与防范措施启动

预警发布由监控中心值班员来执行。传感器数据达到阈值时,平台弹出确认窗口,值班员排除误报之后,选择等级一键发布。发布渠道有工地广播、对讲机、短信,广播使用统一短语。显示屏同步切换对应颜色警示画面。各班组长按照表1所列措施逐项落实,班长将执行后的现场照片发到调度群里,安全员15min内复验确认。执行不达标的区域不能恢复作业。预警升到橙色时,除值班和应急人员外全部撤离,值守人员穿救生衣、防滑鞋,值守点设在经过结构安全评估确定的房屋上。预警解除由总指挥确认风险指标回到IV级以下且持续稳定后签署指令,再次广播通告。全过程数据以及指令流自动生成的日志是不可被篡改的。

4.2 应急响应启动与指挥协调

当结构失效、人员落水、火灾爆炸等事件发生时,即使参数没有达到预警阈值,也会立即进入应急响应。第一发现人原地高声报警,拨打应急电话报告事故类型、地点、伤情。总指挥接到报告后发出启动命令,启用应急指挥部帐篷以及备用通信频道。指挥协调采取任务单派发、受令复述、完成回报三个闭环。技术处理组调取事故区域图纸及监测记录,提出禁区及初步控灾意见^[3]。抢险救援组严格按照技术指令执行。疏散引导组按照网格逐区清人,每5min向指挥部报告清点人数及失联人员姓名。对外联络组在初报时限内报送已完成的动作及待支援的事项,之后每20min续报一次。指令下达用短句,所有的通话、指令录音的时间轴和监测数据同源对时,保证事后可以复原。

4.3 现场抢险及疏散组织

抢险时首先考虑保护人员的安全。溺水救援先抛掷带

索救生圈,拖带至低舷侧,用救生吊带提升,严禁非持证人员下水。构件掩埋场景先用液压支撑杆建立稳定空间,再破拆,破拆点避开受力钢筋。船舶进水立即执行冲滩或者搁浅程序,同时开启水泵排水,用堵漏毯从外侧包裹破损水线以下部位。火灾初起时由现场受训员工用就近灭火器扑灭,如果火焰在 30s 内没有明显降低,人员立即后撤,交由专业消防队。疏散时引导员手持高亮指挥棒,沿上风向、安全侧引导队伍到集合点,集合点设在距码头前沿 200m 以上的混凝土铺装区。各班列队逐一点名,发现缺员立即通报搜救分队,搜救分队戴自给式呼吸器、防爆手电进入失联区域搜寻。警戒线隔离无关人员,主要通道口设专人引导应急车辆。

4.4 事后恢复和总结评价

应急状态解除要经过技术组对现场结构、气体、电力安全状况重新勘验,确认无二次灾害风险之后,由总指挥签字解除。恢复阶段对临时用电、给排水管线进行测试,清除作业面散落的构件、杂物,检修损坏的设备,对回收的溢出油污进行检测。事故调查组将封存下来的监测记录、指令日志、音视频资料等进行整理,用事件树法还原出导致事故发生的因果链条,把触发事件、扩大条件和管控缺失区分开来^[4]。评估会由项目经理主持,各个工作组汇报行动时间表以及所碰到的困难,参照预案设定值,对各项差异作出说明并剖析原因。讨论的内容有应急灯具不足造成照度不够的改进、某班组响应时间超标准的针对性强化训练。评估报告和修订后的预案报送给公司,并分发给新开工项目部,预警阈值和响应措施一起修改,形成一个动

态的闭环。

5 结束语

港口施工现场风险管控的成效在于预警指标能否被一线人员直接感知,应急指令能否无歧义传达到最小微作业单元。文章把四级预警阈值和风速、浪高、位移这些物理量联系起来,让判断有依据、动作有规律。应急管理以项目实体架构为依托,把预案任务细化成单步指令,物资设置具体到编号和有效期,演练采取突袭式形式,并且用作方案的迭代。预警和应急联动规则是指标出现异常之后,经过无中断的一系列处理后所要达到的目的。整套做法已经得到多个沿海大型码头项目的证实,可以被类似工程所借鉴使用。之后采用 BIM 轻量化模型以及无人机快速巡检,预警的空间精度和响应速度还存在提升空间,现场的安全防线会更加可靠。

[参考文献]

- [1]揭育冲.三峡库区港口码头施工安全技术管理实践与创新[J].建筑安全,2026,41(7):33-37.
 - [2]田晓亮.大连港口溢油应急设备库施工建设的安全风险管理研究[J].工程建设与设计,2025(14):204-206.
 - [3]郭恩华.港口码头施工安全生产问题及措施分析[J].运输经理世界,2025(18):142-144.
 - [4]范常艳.基于 PDCA 循环理论的港口航道施工企业安全标准化建设与实施[J].珠江水运,2026(3):56-58.
- 作者简介:刘新望(1992—),男,汉族,河南南阳人,中级工程师,本科毕业,吉林大学,土木工程专业,目前从事港口与航道工程施工及研究。