

港口与航道工程安全风险识别与防控研究

潘 飞

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300480

[摘要]港口和航道工程施工受到开放水域、潮汐波浪、多工种立体交叉作业等众多因素的叠加作用,安全风险具有突发性、强致灾性的特点。文章从现场管理难点入手,对以作业活动为单元的危險源辨识方法进行系统的阐述,并形成重大风险源判定清单。提出风险发生可能性和后果严重程度的分级标准,用风险矩阵法评定综合风险等级。从防控角度出发,针对危险性较大的工程专项方案、临水临边防护、人员行为控制、应急保障等各方面给出具体的实施途径。研究内容来源于码头、航道工程的实践,希望给类似工程的安全管理提供直接的参照。

[关键词]港口与航道工程;安全风险识别;风险评估;风险防控

DOI: 10.33142/hst.v9i7.20239

中图分类号: U615

文献标识码: A

Research on Safety Risk Identification and Prevention of Port and Waterway Engineering

PAN Fei

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

Abstract: The construction of port and waterway engineering is subject to the superposition of many factors such as open water areas, tidal waves, and multi-level cross operation of multiple trades, and the safety risks have the characteristics of suddenness and strong disaster causing. Starting from the difficulties of on-site management, this article systematically elaborates on the hazard identification method based on homework activities, and forms a list of major risk source judgments. Propose grading standards for the likelihood of risk occurrence and the severity of consequences, and use the risk matrix method to assess the comprehensive risk level. From the perspective of prevention and control, specific implementation approaches are provided for high-risk engineering special plans, water and edge protection, personnel behavior control, emergency support, and other aspects. The research content comes from the practice of dock and waterway engineering, hoping to provide direct reference for safety management of similar projects.

Keywords: port and waterway engineering; safety risk identification; risk assessment; risk prevention and control

引言

港口和航道工程属于典型的临水露天作业,其安全状态受自然力支配的程度远远大于一般的土建工程。潮位涨落、波浪掏刷、突风过境等都会使施工过程中危险源处在不断变化的状态中。近几年来,沉箱倾覆、打桩船沉没、水上碰撞等事故仍然时有发生,事后调查大多会指向风险辨识不清、措施悬空等管理上的问题。怎样把风险识别细化到每一个工序、每一个岗位上,这是现场安全管理的中心问题。

1 港口与航道工程安全风险特征和现场管理难点

港口与航道工程风险是建立在特有的施工环境和工艺之上的。开敞水域没有遮挡物,波流直接作用于围堰、模板和起重船,使临时结构在不同时段受到不同的受力。基槽开挖揭露的岸坡常常夹杂着软弱层,在动水压力和渗

流的作用下,从坡面淌泥到大面积滑坡一般只有几个小时。风险具有很强的耦合性,在起重船在涌浪中吊装大型构件的时候,船舶横摇、吊臂变幅、索具冲击载荷叠加,单靠限位器不能保证安全,一旦某一个环节失效,就会造成物体打击、溺亡等事故。

现场管理存在着一些难以根治的难点。第一,施工战线长且工序转换快。5万吨级泊位施工区长度可达数百米,基床整平、沉箱安装、后方棱体抛填等工序同时进行,安全巡查不能在同一个时段内覆盖所有工点^[1]。第二,人员构成复杂。疏浚、爆破、潜水等专业分包队伍进场、出场频繁,部分人员对潮汐规律、船舶避碰规则掌握不够,加大了水上交通风险。第三,防护设施易遭破坏。临水钢管护栏由于工作船碰撞变形而修复时间滞后,孔洞盖板由于布线或者排水原因临时掀开,但是没有人进行复位,从而

使原本可以控制的风险上升到较高等级。第四,技术方案和现场执行之间没有建立量化的联系。方案虽然规定了风力限制和水位条件,但是作业面缺少风速仪和潮位实时显示,班组长靠经验判断,经常出现边缘条件依然冒险施工的现象。

2 安全风险识别

2.1 作业活动危险源全面辨识和分类

辨识要联系具体的施工活动。将码头工程分解为基槽挖泥、水下炸礁、基床抛石夯实、沉箱预制、出运溜放、浮游安装、棱体回填、胸墙现浇、护舷安装、面层混凝土等。每项活动再拆为若干步骤,梳理异常可能。从人、机、环、管四个方面入手,分别从资质疲劳、设备安全装置、潮流流速雾况、方案审批与交底落实四个方面进行分析。以沉箱浮运安装为例,辨识出吃水和航道水深不匹配造成的搁浅、拖缆受力过大、拖轮故障、突遇大风、压载操作错误、潜水员提前进入箱底等二十余项危险源。对每一种事故类别和部位做出详细的记载,根据淹溺、起重伤害、物体打击、坍塌、碰撞、爆破、触电等进行分类统计。辅助作业、临时工程同步纳入,不留死角。辨识结果形成危险源登记表,随工序变化而不断更新。

2.2 重大安全风险源的判定和清单的建立

重大风险源是指会造成群死群伤或者重大损失的项。判定依据分为直接判定和量化预估两种。直接判定参照危大工程范围,包括一定起爆药量的炸礁、水下爆破防护、千吨级沉箱出运安装、深度超过 5m 且底在潮位以下的基坑、大跨度钢桁架整体吊装等。量化预测组合的可能和后果,等级高度以上列入。清单必须具体,写出部位、事件、后果、责任人和初步控制思路。如某工程清单中记载,3 号沉箱浮运安装水深富裕偏低,异常低潮可能触底倾斜倾覆,造成沉箱报废和人员伤亡,责任人为项目副经理,要点为潮位窗口计算、加密测深、控制横倾角小于 2° 。清单由企业安全总监签字确认后上墙公示,每月动态修改。

3 安全风险评估

3.1 风险发生可能性分级标准

为了统一评价标准,把风险发生的可能性分成五级。第一级是频繁的,施工周期内几乎一定会发生多次,比如潮汐往复造成的缆绳反复磨损。第二级,施工期间大概率发生的,临边没有及时防护时出现的人员滑倒危险。第三级为可能,施工期间会存在吊具钢丝绳由于疲劳而断丝的情况^[2]。第四级为较少可能,正常情况下不容易发生,但是施工周期延长或者工况变坏时偶尔会发生,例如栈桥在受到外力撞击的时候局部变形。第五级是极不可能,只有

在非常罕见的极端条件下叠加才会出现,例如结构整体垮塌。分级时要参照同类码头工程事故统计以及当地水文气象记录,不能凭主观臆断来确定。

3.2 风险后果严重程度等级评定标准

后果严重程度也分为五级。灾难性是指造成 3 人以上死亡、船舶沉没或者永久性结构垮塌、直接经济损失大于 1000 万元的。严重:造成 1~2 人死亡,或主要结构严重损坏,经济损失 500 万到 1000 万元。较大:造成人员重伤,局部结构受损,需要一段时间才能修复,损失在 100 万元到 500 万元之间。一般造成轻伤、少量工作日损失,或者设备轻微损坏,经济损失在 10 万元到 100 万元之间。轻微指人员只需简单处理,设备不需要修理,经济损失小于 10 万元。定级时以人员伤亡为主判据,结构安全、环境损害程度也考虑进去。

3.3 综合风险等级评定

把发生可能性级别和后果严重程度级别结合起来,用风险矩阵法来确定综合风险等级。等级划分有 I 级极高风险、II 级高度风险、III 级中度风险、IV 级低度风险。具体对应关系见表 1。

表 1 综合风险等级评定矩阵

可能性\后果	轻微	一般	较大	严重	灾难性
极不可能	IV 级	IV 级	III 级	III 级	II 级
较少可能	IV 级	III 级	III 级	II 级	II 级
可能	III 级	III 级	II 级	II 级	I 级
很可能	III 级	II 级	II 级	I 级	I 级
频繁	II 级	II 级	I 级	I 级	I 级

由上表 1 可知,当某一个危险源可能性为很可能,后果为严重的时候,它的风险等级就是 I 级极高风险,必须立即停止施工,召开专门会议制定削减措施,把风险降到 III 级以下才能恢复施工。对 II 级高度风险要编制专项防控方案,并由专人负责全过程旁站。III 级中度风险要靠每天的班前交底、现场目视化管理来控制。IV 级低度风险用日常巡查就可以。评定工作由项目总工程师主持,安全、工程、船机等部门共同会商,必要时邀请有经验的船长和潜水队长参加,保证评定符合现场实际情况。

3.4 验收结果确认及风险告知

第一份报告必须经过项目安全生产领导小组的审定后,由项目经理签字才有效。根据不同的风险等级,在项目部所辖的各个工点入口以及作业面上分别设置风险告知牌。告知牌用图例、文字说明风险源、事故类型、风险等级、控制措施、应急联系方式和疏散方向。每日班前会施工员对当班面临的主要危险源及等级进行口头交底,在交底书上逐项签字。安全员巡场时随机提问工人对于当天

风险的了解程度以及自救要点,发现不清楚的,立即要求补充交底。反复告知的机制可以把抽象的风险概念变成每个人心中具体的警戒线。

4 员工培训与考核体系

4.1 危险性较大工程专项方案与安全技术交底

危险性较大的分部分项工程开工前必须编制内容完整的专项施工方案。方案的核心就是计算并匹配工况。沉箱浮运安装时,根据沉箱外形尺寸、质量、重心位置来计算定倾高度和干舷,确定不同的航速下拖轮的马力要求,规定允许作业的波高、风速和能见度限值,指定压载和排压顺序^[3]。水下炸礁方案要论证单段最大起爆药量、起爆网路的可靠性,确定警戒船位及飞散物覆盖范围。深基坑方案要根据地质剖面 and 潮汐曲线进行验算,保证渗流稳定、踢脚隆起安全系数满足要求。所有的计算参数都是根据实际的勘察和观测数据来取的,并没有使用异地默认值。方案经过内部审批之后,对于超过一定规模的组织专家进行论证,根据论证意见修改完善。

安全技术交底的对象是当班操作者。项目技术负责人把方案要点拆解成面向管理人员的任务单,然后由施工员在作业现场用通俗的语言向班组长和工人逐条说明。交底时对照实物,指认沉箱顶部的临时围栏缺口、电缆穿越处,要求电工固定线槽、遮盖防溅;叮嘱起重工确认卸扣的螺栓已拧到规定的扭矩,不能用焊接修复的吊耳。交底内容记入专用表单,参培人员签字、日期均需注明,不得事后补签。

4.2 临水、临边及洞口安全防护设施设置

临水作业面防护一律使用钢管扣件式栏杆。立杆埋入混凝土基础内或者用膨胀螺栓固定,上杆高 1.2m,下杆高 0.6m,立杆间距 2m,横杆外侧满挂密目式安全平网,杆身涂红白警示漆。每段防护栏杆的两端装设踢脚板,防止小工具踢入水中。每隔 30m 设置一个救生圈,浮索长度不小于 30m,救生圈上附加自亮浮灯,利于夜间识别。码头前沿系泊区由于船舶停靠需要临时断开栏杆的,断开处用直径不小于 10mm 的钢丝绳做柔性防护,悬挂警示旗。

预制场洞口、码头面层预留的系船柱坑、排水沟坑用厚度不小于 4mm 的花纹钢板封闭,盖板四角用螺栓与基面连接,板面喷涂“危险勿动”字样及黄黑相间漆块。因管线穿入必须开启的洞口而设专人监护,设置移动式护栏,作业中断立即复原。后场钢筋加工区及施工便道临边处设置不低于 1.2m 的围栏,立杆下部设斜撑以防止倾倒。

安全员对每天的巡检路线进行检查,对护栏节点的扣件是否松动、密目网有无破损、救生器材有无丢失等情况

进行检查。潮水涨落冲刷到立杆根部处,及时填筑碎石并用混凝土包封。台风预警开始前,拆除密目网减小风阻,加固所有临建设施防止次生灾害。

4.3 作业人员安全培训和行为过程管控

进场三级安全教育中,企业级注重法规和权利责任,项目级加入近几年本航道水域事故案例,比如某工程运石船在能见度不足 200m 时冒雾航行造成碰撞翻沉等,班组级由班组长在手工作业区域示范救生衣穿脱、灭火器使用、紧急集合点位置。每周用工后半小时时间对船员进行一次船舶系缆方法、触电急救、溺水心肺复苏等实操技能的培训。安全体验区设高处坠落、安全帽撞击、密闭空间逃生三类实体模拟,新入场工人必须逐项体验并通过测试。

现场行为控制以消除人的不安全行为为主。实行安全观察卡制度,班组长、安全员每天对违章行为进行记录,包括临水作业未戴救生衣、起重臂下穿行人、气瓶无防倒链等。项目部每月对同类违规的重复发生率进行统计,并选择出下个月的重点纠偏对象。推行作业许可制度,动火、进入密闭舱室、水下作业、高大模板拆除等环节必须办理书面许可,许可单注明作业时间、监护人、应急处置步骤,未经签认不得启动。水上施工船舶每天做动态申报工作,调度室统一安排船舶进出航道的时间点,防止出现航道被占用的情况。对多次违章人员实行离岗再培训、考核合格后再上岗的方式进行管理。

4.4 应急预案编制、演练与应急物资保障

应急预案体系有防台防汛、人员落水、船舶碰撞搁浅、沉箱倾斜进水、基坑涌水坍塌、火灾等专项。预案对应急组织机构、信息报告途径、疏散集合点、应急停车区域、外部救援单位的联系电话等都作了具体规定^[4]。与项目所在地海事部门、消防站、协议医院、拖轮公司签订应急联动协议,保证外部救援力量接到报警后 30min 内到达现场。

演练每半年至少组织一次,主要选择风险等级最高的类型。演练前制定详细的脚本,确定具体的情境,例如“在起重船上吊装引桥箱梁的时候,液压系统突然失灵,梁段落下撞到作业船,造成一人落水、船体破漏进水”。过程记录响应启动时间、信息传递准确率、现场搜救效率,演练结束后形成评估报告,对预案中不符合实际的条款进行修订。防台演练在每年台风季节来临之前单独进行,内容为船舶疏散、设备绑扎加固、人员撤离、生活物资储备检查。

应急物资库设在施工现场的中部以及预制场。储备物有自扶正救生艇、气胀式救生筏、救生圈、救生衣、堵漏木楔、堵漏伞、轴流抽水泵、应急柴油发电机、防爆对讲机、急救箱。每类物资贴附明细卡,注明规格、数量、有

效期。安全部每月盘点,过期的及时更换,消耗性物品及时补充。台风预警期间,再派出大马力拖轮驻守在码头前沿,保证码头前 72h 用量的柴油、饮水和食品的供应。

5 结束语

港口与航道工程安全风险依靠的是不断变化的自然环境以及密集的船机交叉,没有固定的防控模式。实践证明,将危险源辨识分解到各个工序,用量化分级代替模糊的感觉,把防控措施写成可以直接执行的作业指令,可以大大缩小管理盲区。利用位移监测、船舶定位、环境感知等信息化手段,可以使风险信息同施工调度更加紧密地结合在一起,提高预警的及时性。但是技术工具最终还是要依靠一线人员的严格执行才能发挥作用。只有持续关注每一个孔洞、每一条缆绳、每一个作业指令的执行情况,才

能把风险控制在可以接受的范围内。

[参考文献]

- [1]郭奇,耿小曦.港口航道疏浚工程 AI 安全监控系统设计与应用[J].工程机械,2026,57(6):6-9.
- [2]顾焱华.南通沿海港口与航道工程施工安全影响因素及管理措施[J].工程技术研究,2022,7(6):156-158.
- [3]田晓亮.港口与航道工程施工及其安全管理研究[J].中华建设,2025(2):45-47.
- [4]徐玲.智能监测技术在港口航道工程监理安全管理中的应用[J].珠江水运,2025(10):118-120.

作者简介:潘飞(1992—),男,汉族,山东德州人,工程师,本科,国家开放大学水利水电工程专业,现从事安全管理工作。