

黄河下游防汛抢险中机械化施工设备的集成调度与效能评价

石小昊 苏振奎

郑州黄河河务局中牟黄河河务局 河南 郑州 451450

摘 要：黄河下游防汛抢险对机械化施工设备的依赖性日益增强，设备调度的合理性与作业效能直接决定抢险效率与工程安全。当前，设备管理存在底数不清、调度分散、效率参差及评价缺失等问题，难以满足现代抢险的快速响应要求。本文立足于黄河下游抢险实战需求，系统分析机械化设备类型与作业场景，揭示调度管理中的主要矛盾，引入集成调度理论构建“信息统一、指挥集中、资源统筹”的调度框架，并从时效性、经济性、安全性与可持续性四个维度建立效能评价指标体系，提出基于多源数据融合的评价方法。研究旨在为黄河下游防汛抢险设备管理提供科学决策依据与优化路径。

关键词：黄河下游；防汛抢险；机械化施工设备；集成调度；效能评价

引言

黄河下游防洪抢险虽已广泛采用挖掘机、装载机等机械化设备，其作业效率远超人力，成为控制险情的关键。然而，当前设备管理仍保留较强的计划经济色彩，存在诸多弊端：一是调度机制僵化，设备分属不同单位，调用需层层审批，现场指挥多头并行；二是决策缺乏科学依据，选型与匹配多凭经验；三是监管缺失，进场后缺乏对作业效能的实时监测与事后评价，难以判断配置合理性及操作高效性。这种粗放的管理模式导致设备闲置与紧缺并存，资源浪费严重，效能发挥不充分。面对日益复杂的险情和现代化的抢险要求，亟需改变现状，通过优化调度机制、引入科学评估手段，实现设备资源的精准配置与高效利用，以进一步提升防汛抢险的整体能力与响应速度。

1 黄河下游防汛抢险中机械化设备的类型与作业场景

1.1 主要设备类型与功能定位

黄河下游防汛抢险中常用的机械化设备按其功能可分为四大类。第一类为土方作业设备，包括挖掘机（用于开挖导渗沟、取土装车）、装载机（用于装料、平整场地）、推土机（用于堤顶道路修筑、土料摊铺碾压）和铲运机（用于远距离土方调运）。第二类为运输设备，以自卸汽车为主，承担土石料、块石、编织袋等抢险物料的短途及中长途运输，是物资投送的核心力量^[1]。第三类为起重与打桩设备，包括汽车起重机（用

于吊运大型构件和铅丝笼）、打桩机（用于堤坡加固和防浪林桩）等。第四类为辅助保障设备，包括发电机组（提供现场电源）、排水泵（排除积水）、照明设备（保障夜间作业）及空压机等。

1.2 典型抢险作业场景及设备需求

不同险情类型对设备的需求差异显著。在管涌抢护中，主要设备需求为挖掘机开挖减压井或导渗沟、自卸车运输反滤料、装载机辅助备料，设备配置重点在于精准度和快速响应。在堤防滑坡抢护中，需要推土机和挖掘机对滑坡体进行减载削坡，同时需要自卸车大量抛填块石或土袋压脚，设备需求量庞大且必须连续作业。在决口封堵中，需要大型起重机吊放钢木土石组合坝架，需要推土机和挖掘机进行双向进占，需要大量自卸车保证石料供应，设备种类最全、协同要求最高。在风浪淘刷抢护中，则较多依赖打桩机和吊车进行挂柳防浪作业。

2 当前设备调度管理的主要问题

2.1 设备底数与状态信息掌握不全面

黄河下游各级河务部门和抢险队伍所管辖的设备种类和数量虽有台账，但信息更新不及时，设备的技术状态（完好率、已使用小时数、维修记录）缺乏动态管理。在险情发生后的设备征调中，指挥人员难以迅速获知“哪里有什么设备、状态如何、是否可用”，往往依赖电话逐级询问，耗时且信息失真。尤其在汛期多点同时出险时，设备资源总量与实时分布的底数不清，导致调度的盲目性。

2.2 调度权限分散与响应链条过长

当前设备调度涉及使用权、管理权和指挥权的多权分离。地方河务部门的设备由本单位管理,省级专业抢险队的设备另属不同体系,社会租赁设备还需与租赁公司协商。险情现场指挥部往往没有直接的设备调用权限,需要逐级报批,审批环节多、时间长,严重拖慢响应速度。同时,调度决策缺乏集中统一的信息平台支撑,不同单位之间的设备协调主要靠人工沟通,效率低下且容易产生遗漏和冲突。

2.3 设备选型与工况匹配粗放

设备选型与作业条件的适配性是影响作业效率的核心因素,但实际调度中常出现“有什么用什么”的被动选择。例如,在狭小堤顶作业面上使用大型挖掘机反而施展不开,在需要精细开挖的导渗沟中使用过大的铲斗导致超挖;在远距离土方调运中未按运距匹配合理的自卸车吨位,导致运输成本大幅增加^[2]。这种粗放匹配不仅降低了作业效率,还增加了油耗和磨损,加速了设备疲劳损坏。

2.4 现场组织与协同作业不畅

当多种设备在同一抢险作业面同时作业时,若缺乏统一的现场调度指挥,容易出现机械相互干扰、作业面冲突、运输车辆排队拥堵等问题。例如,挖掘机取土位置与自卸车装车位置协调不当会导致挖掘机频繁回转等待;自卸车到达卸料点后与推土机摊铺作业节奏不一致,造成卸料堆积或车辆积压。这些协同不畅的情况,在缺乏经验丰富的现场调度员时尤为突出,严重制约了设备群的整体效率。

2.5 效能评价与反馈机制空白

目前,抢险结束后对设备使用情况的总结多停留在“投入设备台套数”的统计层面,缺少对设备利用效率、作业成本、故障损失和作业质量等更深层次指标的系统评价。没有效能评价,就无法判断本次抢险中设备配置是否合理、操作是否经济高效、维修保障是否及时到位,也就难以总结经验教训,为下一次抢险提供改进依据。这种评价缺失使得设备管理水平长期停留在经验主义阶段,难以实现螺旋式上升。

3 机械化施工设备的集成调度优化框架

3.1 集成调度的核心理念与原则

集成调度是指将分布于不同管理主体、不同地理位置的各类设备资源,通过统一的信息平台和指挥体系进行统筹规划、动态调配和协同作业的管理模式。其核心理念可概括为“全域感知、集中决策、动态调配、协同作业”。在黄河下游防汛抢险中,集成调度应遵循四项

原则:统一指挥原则——所有设备的调用权集中至现场最高指挥机构,避免多头指挥;就近优先原则——在满足作业需求的前提下,优先调用距离出险点最近、交通条件最优的设备;专业对口原则——根据险情类型和作业内容,匹配最适宜的设备型号和操作人员;安全高效原则——在确保作业安全的前提下追求最短响应时间和最大作业产出。

3.2 设备资源普查与数字化建档

集成调度的基础是全面、准确、动态的设备资源数据库。应在汛前完成黄河下游全区域抢险设备的普查登记,建立“一机一档”数字档案,记录每台设备的型号、规格、技术参数、车龄、累计运行小时数、最近维修记录、当前存放位置、所属单位及操作手信息。数据库应具备实时更新功能——设备状态(可用/维修中/已调出)和位置信息发生变化时及时录入^[3]。有条件的地区可在大型设备上安装 GPS 定位和运行状态监测终端,实现位置的实时跟踪和运行数据的自动采集,为调度决策提供准确的信息底图。

3.3 分级响应与动态调配机制

根据险情等级和设备需求规模,建立三级调度响应模式。第一级为属地自调——小型险情由所在河务段自行调用辖区内设备处置,无需向上级申请,响应时间控制在1小时以内。第二级为区域统调——中型险情或属地设备不足时,由县级或市级防指统一从邻近单位和储备基地调集设备,响应时间控制在3小时以内。第三级为跨区增援——大型或特大型险情,由省级防指乃至黄委统一协调全省或全流域设备资源实施跨区域支援。不同响应级别的启动条件、审批权限、调度流程和联系人均在预案中事先明确,险情发生后按级启动,避免临时无序请示。

3.4 现场集成指挥与协同作业优化

在抢险现场,应设立专门的设备调度岗,由经验丰富的机械管理人员担任,负责所有进场设备的接收、登记、任务分配和动态调整。调度岗应配备现场通信网络,与各设备操作手保持实时联系。在作业组织上,推行“设备编组作业法”——将挖掘机、装载机、自卸车、推土机按固定配比编为若干作业组,每组负责一个作业段的完整工序,组内设备的作业节奏相互匹配,避免上下游脱节。同时,制定设备避让规则和通行路线图,明确不同类型设备在堤顶狭窄通道上的优先通行权和会车避让方式,减少无效等待和交通堵塞。

4 设备作业效能评价体系构建

4.1 评价指标体系设计原则

效能评价是优化设备调度和改进现场管理的关键手段。指标体系的设计应遵循科学性（指标能真实反映作业效能）、可操作性（指标数据可采集、可量化）、全面性（覆盖设备作业的多维表现）和导向性（指标引导改进方向）四个原则。综合考虑防汛抢险的特殊性，将效能评价指标划分为时效性、经济性、安全性、可持续性四个维度，每个维度下设若干可量化子指标。

4.2 评价指标体系的构成

时效性维度反映设备到达和作业的速度，是抢险中最优先的评价尺度。子指标包括：响应时间（从接到调令到设备抵达现场的时间）、就位及时率（在规定时限内到达现场的设备比例）、作业完成进度（单位时间内完成的土方量或物资转运量）、设备运转率（实际作业时间占总在场时间的比例）。经济性维度反映设备使用的成本效益。子指标包括：单位土方油耗（完成每立方米土方作业的燃油消耗）、台班效率（每台班完成的工程量）、故障停歇损失（因设备故障导致的停工时间及修复费用）。安全性维度反映设备运行的安全保障水平^[4]。子指标包括：设备完好率（可用设备占总设备的比例）、安全事故率（每千台班发生的设备及人员伤害事件次数）、安全防护设施配备率。可持续性维度反映设备长期保持作业能力的状态。子指标包括：维修响应速度（从报修到修复的时间）、易损件库存满足率、操作人员技能达标率、设备残值变化率。

4.3 评价方法及数据采集

采用多指标综合评分法进行效能评价。首先通过层次分析法（AHP）确定各维度及各子指标的权重系数，然后对各子指标进行无量纲化处理（采用阈值法或 Z-score 标准化），加权求和得到综合效能得分。评价数据来源于三个方面：设备运行记录（由 GPS 和运行监测系统自动生成）、现场调度日志（人工记录）及维修保养台账。建议在每次较大抢险行动结束后两周内完成效能评价报告，对照预定的效能基准值（由历史数据统计确定）进行差距分析，识别薄弱环节，形成改进措施并落实到后续的调度预案和设备管理计划中。

5 集成调度与效能评价的联动改进

5.1 以评价结果反哺调度决策

效能评价的价值不在于打分本身，而在于将评价结果转化为调度优化的依据。通过分析历次抢险中不同型号、不同年限设备在不同工况下的效率数据，可以建立“设备-工况-效率”匹配模型，为后续调度中设备选型提供定量参考。例如，评价发现某型号挖掘机在粘性土中的作业效率远高于砂壤土，则在下次遇到类似土质时优

先调配该型号。同时，对响应时间过长的设备来源地和运输路线进行分析，优化储备点布局和预置方案。

5.2 建立设备准入与淘汰的良性循环

将效能评价结果与设备的采购、维护和报废决策挂钩。连续多次评价中效能得分偏低且无法通过维修改善的设备，应从抢险设备清单中淘汰；效能评价中表现优异的设备型号和技术参数，作为今后设备采购的优选参考。同时，操作手的技能水平对效能影响显著，评价中操作手的表现差异可用于人员培训和岗位调配，对效能持续偏低的操作手安排专项技能再培训，确保操作队伍的整体水平不断提升。

5.3 基于数字孪生的调度仿真验证

随着数据积累和建模能力的提升，可对黄河下游重点堤段和典型险情场景构建数字孪生模型，将历史调度方案和效能数据输入模型，模拟不同调度策略、不同设备配比、不同运输路线下的抢险效果，在虚拟环境中预演并优化调度方案。这种基于数字孪生的仿真验证，能够在无实际风险的前提下探索最优调度策略，使调度决策从“经验驱动”逐步迈向“数据驱动”。

结束语

黄河下游防汛抢险中机械化施工设备的集成调度与效能评价，是提升抢险效率、实现资源最优配置的关键抓手。本文系统分析了当前设备调度管理中存在的信息不透明、权限分散、匹配粗放、协同不畅及评价缺失等问题，构建了以资源数字化、分级响应、现场集成指挥为核心的集成调度框架，并从时效、经济、安全、可持续四个维度建立了可量化的效能评价指标体系。集成调度解决的是“如何快速把对的设备送到对的地方”，效能评价解决的是“如何知道送得对不对、好不好”，二者互为表里、形成闭环。未来应加快推进设备信息化建设，积累多场次抢险的效能数据，不断优化调度模型和评价标准，使黄河下游防汛抢险的设备管理实现从粗放式经验管理向精准化数据管理的根本转变。

参考文献

- [1] 张金良, 李超, 王明. 黄河防汛抢险机械化保障能力建设研究 [J]. 人民黄河, 2022, 44(10): 1-6.
- [2] 刘建平, 赵刚, 王强. 应急工程设备调度优化方法研究综述 [J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(5): 172-178.
- [3] 陈志刚, 杨磊, 孙伟. 基于多源数据的抢险施工设备效能评估模型 [J]. 水利水电技术, 2024, 55(2): 89-96.
- [4] 王建军, 李涛, 张华. 堤防抢险机械化作业组织与协同施工技术 [J]. 水利规划与设计, 2023(7): 112-117.