

面向防洪应急响应的工作段调度命令自动化管理分析

马健超 姜丽云

内蒙古工业大学 内蒙古呼和浩特市 010051

DOI:10.32629/ems.v8i5.20161

[摘要] 受极端降雨过程增多、山区铁路水害风险加剧等因素影响,传统依赖人工传递、经验判断和分散处置的工作段调度命令管理模式,已难以满足防洪应急响应中快速识别、精准下达和闭环管控的现实要求。围绕防洪场景下工作段调度命令自动化管理需求,文章构建了感知层、平台层和应用层相互支撑的系统架构,提出了风险评分模型、命令优先级模型及闭环时效评价指标等关键机制。研究认为,该模式能够提升命令生成效率、传达准确性、执行可控性和事后追溯能力,为工作段防洪调度管理提供系统化支撑。

[关键词] 防洪应急响应;工作段;调度命令;自动化管理

我国铁路线路穿越山区、河谷和复杂地貌区段较多,汛期降雨集中且变化迅速,极易引发边坡失稳、排水不畅、路基冲刷和落石侵限等险情。工作段承担着防洪巡查、险情处置和命令执行的重要职责,其调度命令管理水平直接关系到行车安全和应急处置效率。但在实际工作中,仍存在信息来源分散、标准不统一、审核链条偏长、现场反馈不规范和销令依据不足等问题。因此,有必要结合防洪业务流程,研究工作段调度命令自动化管理的实现路径。

一、面向防洪应急响应的调度命令自动化管理需求

(一) 险情分级与命令触发条件的标准化需求

面向防洪应急响应,调度命令自动化管理首先需要形成统一、可判定、可直接调用的命令触发标准。工作段应当围绕降雨量级、雨后巡查结果、设备状态变化、限速区段条件和封锁条件,细化不同险情等级下的命令下达门槛,避免同类水害在不同车间、不同值班人员之间出现处置尺度不一的问题。同时,命令内容应当预置对应的行车限制、检查范围、到岗要求和解除条件,使调度处置由经验判断转向规则约束。

(二) 命令审核链条压缩与岗位责任固化需求

防洪状态下调度命令管理还需要突出审核路径清晰、责任主体明确和流转环节收敛。工作段在实际处置中往往面临雨情发展快、现场变化快、处置时限紧的特点,因此自动化管理需求并不在于增加审批层级,而在于固化值班干部、技术人员、车间负责人和现场检查人员的职责边界,明确谁提出、谁审核、谁签认、谁反馈。对于限速、封锁、开通、延时巡查等不同类别命令,应分别建立简化而严谨的审核规则,减少重复请示和口头转达。

(三) 现场执行约束与命令闭环考核需求

调度命令进入执行阶段后,自动化管理更需要满足现场落地和全过程留痕的要求。工作段应将命令执行时限、到位检查项目、复查频次、销令依据和异常升级处置要求写入固定模板,确保一线班组接令后能够直接按项落实,避免出现执行内容笼统、反馈口径不一和销令依据不足的问题。对已下达命令,管理上还需要同步设定超时未反馈、复核不完整、

条件未满足即申请销令等约束规则,使命令从下达到解除始终处于可核对、可追责的受控状态。

二、工作段调度命令自动化管理系统架构设计

面向防洪应急响应的工作段调度命令自动化管理系统可划分为感知层、平台层和应用层三部分。

(一) 感知层设计

在工作段防洪应急响应体系中,感知层设计应紧紧围绕险情早发现、信息准采集和现场快上报三个关键环节展开,并将监测对象、巡查边界、报送口径与处所编码统一纳入既有防洪作业标准之中。具体实施时,工务部门应结合线路基础条件、历年水害分布规律及重点处所风险等级,对桥涵进出口、低洼路堑、易冲刷路基、边坡失稳敏感地段、临河临沟区段以及重复发生病害的薄弱处所实施分级布设,形成雨前排查、雨中盯控和雨后复核相衔接的感知单元体系。对于固定的观测项目,要围绕降雨量、水位变化、排水情况、边坡裂缝、护坡变形、涵洞淤塞、道床翻浆等主要指标制定统一的测量基准、记录格式、观测频度和异常评判准则,保证各个地方、各种工人之间的观测成果可以互相对比,也能被审核。对人工巡查作业进行更详细的巡守路径、检查时间、影像采集位置、病害描述术语及现场汇报程序的细化,防止由于上报的表述不一致、现场取证不到位、信息传递不及时造成的调度指令研判偏差。遇连续强降雨或者重点时段行车组织压力增大时,必须同步落实加密观测、交接复核和现场盯守制度,保证同一个观测点前后连续、互相印证的监测记录;一旦发现涵底淘空、坡脚冲沟扩大、挡护结构开裂、排水设施失效等异常征候,就应转为重点盯控。

(二) 平台层设计

在工作段防洪应急响应场景中,平台层为调度命令自动化管理系统的的核心,其设计要从模块化集成、标准化处理、分级协同三个方面着手来实现段、车间、工区三级信息传输稳定、业务流转顺畅。首先,将环境监测、巡检上报、历史病害台账等各个数据源的数据接入到清洗模块中,并对它们进行格式转换、时间同步、异常识

别以及缺失数据的修正，从而得到一个完整、准确并且可用的基础数据。其次，时空关联以及专题图层管理模块应当把监测点位、设备所在位置、巡检路线、重点隐患区段等都映射到地理坐标和线路里程系统上，生成可以分层展示、实时更新、分类调用的专题图层。再次，风险评价模型模块要将降雨、水位、排水状况、边坡变形、历史病害等特点综合起来，创建动态识别体系，输出隐患等级，风险区以及处置建议，给命令发出赋予量化的支撑。此外，规则引擎模块根据既定的防洪标准、处理流程和命令模板，对风险结果自动匹配、逻辑转化成可以直接下发的调度命令，可以和现有的 GSM-R 通信方式以及移动终端推送相结合。最后，日志审计以及权限管理模块应对数据接入，模型运算，命令生成，信息下发等全过程中实施留痕，依照岗位职责来实行分级授权，异常告警和访问控制，从而达到平台运行过程可以追溯，可以核查，可以管控的目的。

(三) 应用层设计

为确保防洪调度命令在工务段场景下能够形成可视、可审、可控的业务闭环，应用层设计应当围绕值班处置流程与现场执行流程同步展开。应用层应采用岗位化功能编排方式，面向段调度值班员、车间干部、工区负责人和现场看守人员分别配置作业界面，其中值班端重点集成雨量变化、重点处所状态、告警分布和线路区段态势展示功能，并按照时间、里程和风险等级进行联动排序，避免信息分散。命令办理界面内置限速、封锁、看守、复查和分段巡查等标准化模板，系统根据险情类型自动带出处所名称、影响范围、执行时限和回报要求，由人工完成最终核准后发布。现场终端应突出签收确认、到位打卡、图像回传、处置记录填报和异常追加上报功能，并通过北斗定位与时间戳校验作业真实性。销令环节应设置复查条件比对、解除依据录入和审批留痕功能，

表 1 调度命令优先级与处置建议映射表

优先级指数 P	风险等级	建议措施
$P \geq 0.85$	特急	立即封锁、现场拦停、启动应急抢险
$0.70 \leq P < 0.85$	紧急	先限速后复核，增设看守，组织添乘检查
$0.50 \leq P < 0.70$	重点关注	加密巡查、视频盯控、预置人员机具
$P < 0.50$	一般监测	常态巡查，持续采集数据

(三) 命令闭环时效评价指标

自动化管理不应只考核命令数量，更要关注响应效率。

可定义命令闭环时长 T_c ：

$$T_c = t_4 - t_0$$

其中， t_0 为风险事件触发时刻， t_4 为命令完成销号时刻。

同时定义闭环完成率 η ：

$$\eta = \frac{N_c}{N} \times 100\%$$

式中， N_c 为规定时限内完成闭环的命令数， N 为总命令数。通过对 T_c 与 η 的长期统计，可识别哪类命令、哪个环节、哪个单位存在响应瓶颈。

未满足复查项时不得直接结束流程。

三、自动化管理的核心模型与规则机制

(一) 防洪风险评分模型

为减少命令下达的随意性，可构建工务段防洪风险评分模型。设某区段综合风险值为 R ，则有：

$$R = \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

式中， x_i 为归一化后的风险因子， w_i 为对应权重。结合工务防洪业务，可取：

- x_1 : 小时雨强系数；
- x_2 : 24 h 累计雨量系数；
- x_3 : 水位超警系数；
- x_4 : 边坡/路基脆弱性系数；
- x_5 : 线路重要度系数；
- x_6 : 历史灾害频发系数。

例如可设置权重向量为：

$$W = (0.22, 0.18, 0.15, 0.20, 0.13)$$

当 $R \geq 0.80$ 时判定为红色高风险区段；当 $0.60 \leq R < 0.80$ 时为橙色较高风险；当 $0.40 \leq R < 0.60$ 时为黄色关注区段；低于 0.40 则进入常态监测。

(二) 调度命令优先级模型

风险高并不必然意味着采取同一种处置措施，还需考虑列车运行密度与灾害发展速度。设命令优先级指数为 P ，则：

$$P = \alpha R + \beta D + \gamma Q + \delta E$$

式中， R 为综合风险值； D 为险情发展速率系数； Q 为列车影响系数； E 为现场处置难度系数；且 $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$ 。

当 P 达到预设阈值时，系统自动匹配不同命令模板。其对应关系可见表 1。

四、自动化管理的应用场景与仿真测算

(一) 典型场景分析

以持续强降雨条件下山区边坡落石风险处置为例，工务段调度命令自动化管理的运行流程可概括为以下环节。

首先，沿线雨量监测点连续上报近 3 h 降雨强度偏高，且 24 h 累计降雨量达到预警控制范围，系统据此判定该区段已具备进一步研判条件。其次，结合线路空间位置关系，系统识别出本轮降雨过程覆盖某重点边坡处所，并将该处所自动纳入重点监测范围。再次，现场巡检人员同步回传坡脚排水不畅、局部碎石滚落等异常情况，进一步补充了现场险情特征。随后，系统依据既定风险判定规则，对区段综合风险

等级和命令优先级进行测算,形成限速、现场看守与复查确认相结合的处置建议。其后,值班人员结合现场资料和线路状态完成审核,向车间及现场责任岗位下达相应调度命令。命令执行后,现场人员按照要求反馈到位情况、处置结果及后续检查意见。最后,技术管理人员结合降雨变化、现场复查结论和设备状态恢复情况进行复核,确认满足解除条件后办理销令手续。该场景表明,调度命令自动化管理并非单纯

压缩传递环节,而是将雨情识别、处所判定、现场核查、命令下达、执行反馈与销令复核纳入连续衔接的业务流程。

(二) 仿真测算数据

为说明自动化管理的效能,可对某中等规模工务段进行流程仿真。假设该段管辖重点防洪区段 86 km,布设监测点 27 个,汛期单日需处理预警事件 20 起左右。将传统模式与自动化模式进行对比,结果见表 2。

表 2 传统模式与自动化模式效能对比(仿真测算)

指标	传统模式	自动化模式	改善幅度
单条命令平均生成时间/min	18.6	4.7	↓74.7%
平均传达确认时间/min	7.9	1.8	↓77.2%
命令字段完整率	84.3%	98.6%	+14.3 个百分点
规定时限内闭环率	81.5%	96.8%	+15.3 个百分点
信息重复上报率	22.4%	6.1%	↓72.8%
事后追溯可还原率	68.0%	97.2%	+29.2 个百分点

从表 2 可以看出自动化管理对快下达、能闭环这两个主要目标的改善最明显。其原因就是系统使用规则引擎取代了手工拼接命令的时间,也使现场的反馈出现漏报情况的几率大大降低。

五、工务段调度命令自动化管理的实施重点

(一) 构建统一的数据标准与命令编码体系

工务段应先统一雨量、水位、边坡状态、巡查上报、病害类型、处所名称、线路里程、设备编号等基础字段口径,解决不同车间、工区、系统之间名称不一、格式不一、阈值不一的问题。在此基础上创建调度命令分级分类编码规则,把限速、封锁、看守、复查、巡检加密等处置动作归入统一命令模板当中,规定命令编号、下达时间、作用区段、执行责任人以及销令条件等主要要素,从源头上提升命令产生速度和执行精确度。

(二) 建立模型、规则、人工复核的协同机制

自动化管理不能只靠算法判定,工务段要创建起“模型初判、规则核验、人工复评”三级合作体系。系统会依照雨情阈值,以往病害频次,现场图像以及区段危险程度来形成处置提议,规则引擎则会对命令的适用范围,时效条件以及权限边界的约束,从而避免出现越级下令,错发漏发等状况。值班员、技术干部主要复核高风险区段、特殊天气过程、现场反馈的异常信息等,保证系统建议、运输组织实际、设备状态实际一致。

(三) 强化移动终端与现场作业深度耦合

移动终端要同命令下达、签收确认、定位到岗、图像回传、处置记录和销令申请等环节相衔接,让现场作业从电话通知变为终端闭环。现场负责人接收到指令后可以查看区段的位置、风险类型、处置要求以及到达时限,用拍照、语音、文字或者定位信息的方式反馈自己的执行状况。对网络状况不好的山区地段应保持离线缓存和补传的功能,在洪水高发

期保证信息连续,责任不间断。

(四) 完善复盘分析与知识沉淀机制

工务段应把每一次的强降雨过程、险情上报、命令调整、现场处置、销令情况都录入到统一的复盘库当中,并且形成可以追溯的事件档案。系统需要可以自动提取出命令响应时长、签收及时率、处置完成率、重复险情发生率等指标,并从中找出薄弱处所、薄弱环节和常见误判场景。在此基础上不断更新典型险情处置模板、命令组合策略和现场作业指引,使分散的经验变为标准的知识,为后面防洪调度命令自动化管理提供稳定的支撑。

六、结语

从防洪应急响应角度推进工务段调度命令的自动化管理,核心就是打通感知、研判、下达、执行、销令各个环节,形成一个标准统一、流程清楚、责任分明、过程有迹可查的闭环体系。利用统一的数据标准、风险模型、规则引擎、人工复核、移动终端等要素,可以提高命令的执行速度以及准确性并做到可追溯。后续还要根据不同的线路条件以及现场通信环境继续改进系统的功能,使工务段防洪调度管理更加规范、可靠、实用。

[参考文献]

- [1]唐凤珍,张翎,王远见.基于小波神经网络的水库防洪调度效果预测模型及其应用[C]//2024 中国水利学术大会论文集(第一分册).2024.
- [2]肖志坚.大中型水库防洪调度常见问题分析及对策研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2023.
- [3]李磊,冯钧,直伟,等.基于人工智能技术的水库防洪调度决策模式研究[J].水利信息化,2025(6):1-5.

作者简介:马健超,1993年6月,男,满族,本科,内
蒙古自治区呼和浩特市,铁路防洪调度命令系统。