

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0127-06

# 基于多因子优先级的应急通信指挥自适应调度系统设计

麦嘉宇<sup>1</sup>, 陈童<sup>2</sup>, 植蓝演<sup>3</sup>, 陈燕君<sup>4</sup>  
(广东电网有限责任公司茂名供电局, 广东 茂名 525000)

**摘要:**当前应急通信指挥过程中,竞争模式导致的空闲监听和碰撞问题限制了系统吞吐量。因此,提出基于多因子优先级的应急通信指挥自适应调度系统。在硬件方面,设计了系统运行主板和麦克风阵列。在软件方面,建立了预测预警逻辑结构,涵盖预测预警模块、异常预警模块和相应规则模块,以分析应急资源状态并确定指挥调度指令。该系统从网络部署、资源调配和辅助决策三方面构建应急指挥通信网络,并引入优先权切换算法优化调度指令传输。通过考虑重要程度、剩余执行时间、空闲时间、到达时间四个因子,计算并依据多因子优先级处理调度任务。结合动态调度架构,该系统实现了自适应的指挥调度操作。测试结果表明,新设计系统应用后,其正常运行状态下的吞吐量始终高于1 000 Mbps,满足了预期设计要求。

**关键词:**多因子;优先级;应急通信指挥;任务分配;切换技术;调度

中图分类号: TP18

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)01-0127-06

## Design of emergency communication command adaptive scheduling system based on multi factor priority

MAI Jiayu<sup>1</sup>, CHEN Tong<sup>2</sup>, ZHI Lanyan<sup>3</sup>, CHEN Yanjun<sup>4</sup>

(Maoming Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Maoming 525000, Guangdong, China)

**Abstract:** The idle monitoring and collision issues caused by competition mode in the current emergency communication command process limit the system throughput. Therefore, a multi factor priority based emergency communication command adaptive scheduling system is proposed. In terms of hardware, a system operating motherboard and microphone array are designed. In terms of software, a predictive warning logic structure is established, covering predictive warning modules, anomaly warning modules, and corresponding rule modules, to analyze the status of emergency resources and determine command and dispatch instructions. The system constructs an emergency command and communication network from three aspects: network deployment, resource allocation, and decision-making assistance, and introduces priority switching algorithms to optimize the transmission of scheduling instructions. By considering four factors, importance, remaining execution time, idle time, and arrival time, calculate and process scheduling tasks based on multi factor priority. Combined with the dynamic scheduling architecture, the system achieves adaptive command and scheduling operations. The test results show that after the application of the new design system, its throughput under normal operation is always higher than 1 000 Mbps, meeting the expected design requirements.

**Keywords:** multiple factors; priority; emergency communication command; task allocation; switching technology; scheduling

随着突发事件和灾害频发,应急管理需求日益迫切。应急通信指挥系统对保障公共安全至关重要<sup>[1]</sup>。在紧急情况下,快速、准确、高效的通信指挥系统是救援行动顺利进行的核​​心。因此,研究一种基于多因子优先级的应急通信指挥自适应调度系统,对于提升应急通信指挥的效能具有重要的现实意义和应用价值。

基于多分支深度 Q 网络,设计了一种基于深度强化学习的应急通信指挥调度方法<sup>[2]</sup>。该方法首先总结现有的调度要求,并将任务列表与当前资源池状态数据输入到网络模型中,以实现调度动作的自适应选择。然而,传统深度强化学习模型在应对未知或新任务环境时可能表现

不佳。为了解决这个问题,利用传感设备获取应急指挥现场数据,并应用基于图形用户界面的可视化软件,将调度现场地图和调度位置显示出来,基于此找到最佳调度方案。但是,由于应急现场环境恶劣,通信设施容易受到干扰,导致数据传输不稳定,影响系统的可靠性<sup>[3]</sup>。为提升系统的稳定性以云平台为核心,设计一种应急调度指挥系统。通过数据共享融合多源采集的调度资源监控数据,并结合云平台中的调度需求数据,生成最优的应急指挥调度方案<sup>[4]</sup>。然而,现有的系统在跨部门、跨层级的信息共享和协作方面仍存在障碍,导致自适应调度系统吞吐量受限。为解决此问题,应用实时传输协议和无线 Mesh 网络

收稿日期:2024-04-26;录用日期:2024-05-14

基金项目:广东省科技项目(GDKJXM20220831)

作者简介:麦嘉宇(1993—),男,本科,工程师,研究方向:应急装备管理。

引用本文:麦嘉宇,陈童,植蓝演,等. 基于多因子优先级的应急通信指挥自适应调度系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(1):127-131,151. (MAI Jiayu, CHEN Tong, ZHI Lanyan, et al. Design of emergency communication command adaptivescheduling system based on multi factor priority[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(1):127-131,151.)

获取并处理现场资源监测数据,同时实现现场环境参数和后台调度资源的可视化管理,以满足多任务的应急通信指挥调度要求<sup>[5]</sup>。实践表明,该系统架构设计可能不合理,没有充分考虑到高并发、大数据量处理的需求,导致系统吞吐量较低。

在系统设计时,结合应急通信需求,借鉴通信技术与调度算法,提出基于多因子优先级的应急通信指挥自适应调度系统设计方案。该系统根据通信请求的紧急程度、资源可用性和网络环境稳定性等因素,动态分配优先级并调整调度策略,以实现高效可靠的通信指挥。

## 1 系统硬件设计

### 1.1 运行主板设计

选择 RK3229 瑞芯微处理器芯片作为核心,在其上嵌入 4 核处理器,开发出应急通信指挥自适应调度系统运行主板。引入 60fps 电视屏显技术,配合 OpenGL 等图形编辑软件,实现调度信息的超高清蓝光显示。通过 RK3229 瑞芯微处理器芯片的数字音频接口,在屏幕显示调度内容的同时,音频输出通道传递对应的音频信息。

### 1.2 麦克风阵列设计

为了便于传输应急指挥调度指令,在系统硬件设计阶段应用多台 60so-P 带针驻极体咪头麦克风,按照几何结构排列,得到图 1 所示的麦克风阵列硬件结构。通过麦克风阵列采集实时应急通信指挥指令,完成高效的应急资源调度处理。

如图 1 所示,应急通信指挥调度语音指令输入麦克风设备后,经过前放大和后放大电路进行处理,再通过双路

模数转换器将放大后的语音信号变换为电流信号。缓冲和打包处理后,借助于 USB 总线将指挥调度信息转移到系统应用层内,作为自适应调度的依据。

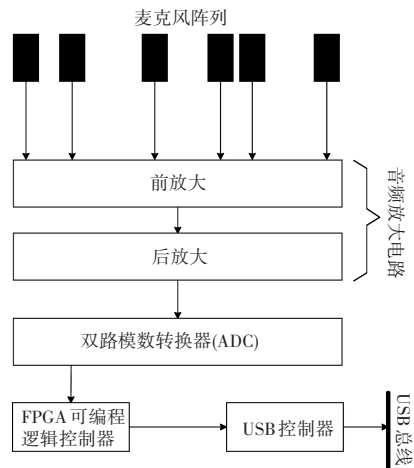


图 1 麦克风阵列结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of microphone array structure

自适应调度系统硬件设计结束后,运用多因子优先级思想,完成系统软件设计。

## 2 系统软件设计

### 2.1 建立预测预警逻辑结构

应急通信指挥自适应调度的初始环节,先建立一个预测预警逻辑结果,预测未来应急资源需求量,并跟踪当前物资余量变化,以便指导后续应急指挥工作的开展。建立包含三个关键模块的预测预警逻辑结构,如图 2 所示。

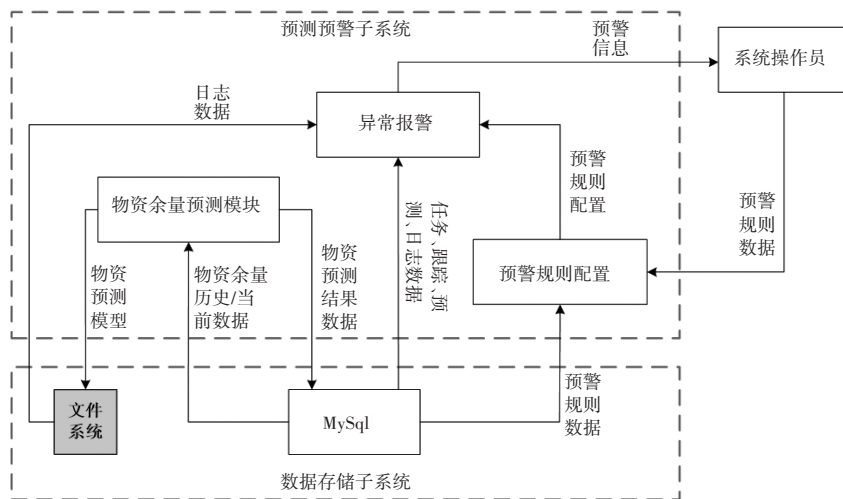


图 2 预测预警模块逻辑结构

Fig. 2 Logical structure of prediction and warning module

如图 2 所示,预测预警模块中的物资余量预测子模块,负责采集历史数据,建立数据训练样本,通过长短期记忆神经网络预测模型的不断学习,预测接下来一段时间应急资源变化情况,并将应急资源变化数据保存在数据库内,指挥应急物资生产工作<sup>[6]</sup>。而异常预警模块负责将应

急调度任务数据和应急资源预测数据结合起来,依据判断阈值发现异常调度状态,向操作人员发送预警信息。最后,在异常预警规则模块中,操作人员可以分析预警类型,实现异常预警规则的添加与删减。

### 2.2 搭建智能应急指挥通信网络框架

基于预测预警逻辑,获取应急资源状态变化,调整应急指挥任务<sup>[7]</sup>。经由麦克风阵列明确指令后,从网络部

署、资源调配和辅助决策等方面构建智能应急指挥通信网络框架,如图3。

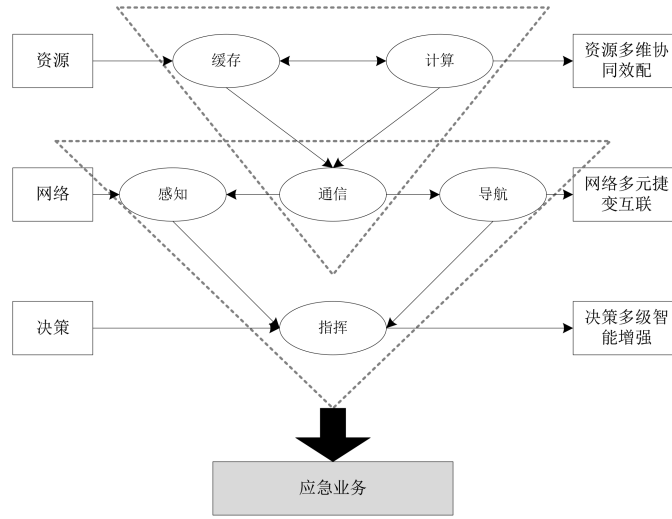


图3 应急指挥通信网络框架

Fig. 3 Emergency command communication network framework

从图3看出,智能应急指挥通信网络框架中,存在通信、导航、感知、计算、缓存等五方面的资源需求,将这几方面的资源需求联合起来,传递出优越的应急指挥通信信息。

考虑到同一时刻会发出多个应急指挥调度指令,若出现碰撞会造成服务信号强制中断的情况。因此,在智能应急指挥通信网络框架搭建中,引入优先权切换原则,实现有限信道资源的合理切换。若已知当前被占有的信道数量,则通过公式(1)计算出新呼叫请求被阻塞概率。

$$\alpha_i = \sum_{g=1}^G p(g) \quad (1)$$

式中,  $i$  表示呼叫请求编号,  $\alpha$  表示新呼叫请求被阻塞概率,  $g$  表示信道编号,  $G$  表示信道数量,  $p$  表示新呼叫请求被阻塞概率。

考虑呼叫请求发送给不同信道后产生的被阻塞概率,按照从大到小的顺序确定通信请求切换优先权,实现应急指挥信息的顺利传递<sup>[8]</sup>。

### 2.3 设计指挥调度任务多因子优先级

获取多个应急通信指挥调度指令后,为得到更加科学的调度方案,考虑每个调度任务的重要程度因子、剩余执行时间因子、空闲时间因子、到达时间因子,确定当前调度任务的多因子优先级。优先级设计过程中,可以将各个因子之间的层次关系为

$$\eta = \varepsilon_1 A_j + \varepsilon_2 B_o + \varepsilon_3 C_u + \varepsilon_4 D_k \quad (2)$$

式中,  $\eta$  表示优先级等级确定值,  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$  表示非负数参数,  $j, o, u, k$  表示编号,  $A$  表示重要程度评价值,  $B$  表示剩余执行时间,  $C$  表示空闲时间因子,  $D$  表示到达时间因子。

通常情况下,公式(2)计算结果取值越小,代表当前应急指挥调度任务的多因子优先级更高。假设四个非负参数的取值一致,则可以将公式(2)变换为公式(3)。

$$\eta = A_j + B_o + C_u + D_k \quad (3)$$

进一步简化处理后,可得公式为

$$\eta = j + o + u + k - 1 \quad (4)$$

在分配优先级时,四个因子互相之间也存在密切联系,以二维空间上的投影图为例,  $A - B$  和  $C - D$  之间的优先级关系如图4所示。

在满足预期设计条件的情况下,可以生成多个指挥调度任务多因子优先级分配组合<sup>[9]</sup>,最终可以形成的组合数量为

$$\psi = \sum_{\varphi=1}^4 H_4^{\varphi} \times \varphi^{(Q-\varphi)} \quad (5)$$

式中,  $\psi$  表示多因子优先级组合数量,  $\varphi$  表示符合条件的假设编号,  $H$  表示多因子优先级分配选择数量,  $Q$  表示优先级等级。

在优先级等级大于0小于4的情况下,可以将组合总数表示为

$$\psi = \sum_{\varphi=1}^Q H_4^{\varphi} \times \varphi^{(Q-\varphi)} \quad (6)$$

结合公式(5)和公式(6),即可推导出从0到目标优先级等级所需分配的应急指挥调度任务总数。

$$\delta = \begin{cases} 1, & Q = 0 \\ 1 + \sum_{\gamma=1}^Q \sum_{\varphi=1}^{\gamma} H_4^{\varphi} \times \varphi^{(\gamma-\varphi)}, & 0 < Q \leq 4 \\ 1 + \sum_{\gamma=1}^3 \sum_{\varphi=1}^{\gamma} H_4^{\varphi} \times \varphi^{(\gamma-\varphi)} + \sum_{\gamma=1}^Q \sum_{\varphi=1}^{\gamma} H_4^{\varphi} \times \varphi^{(\gamma-\varphi)}, & Q > 4 \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $\delta$  表示所需分配的应急指挥调度任务总数,  $\gamma$  表示关键程度因子典型取值数量。

明确待分配应急指挥调度任务总数后,依次按照递增的方式合理将其分配到各优先级级别上,从多因子优先级最高的应急指挥调度任务开始执行。

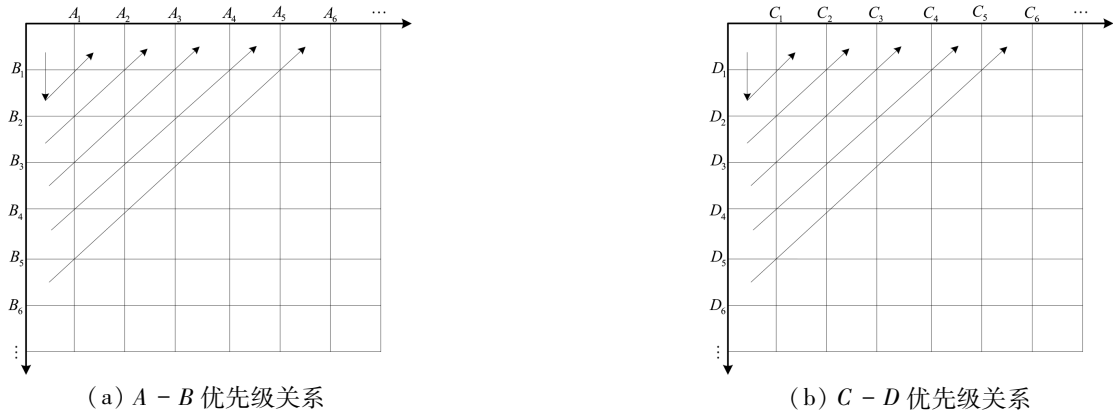


图4 优先级关系图

Fig. 4 Priority relationship diagram

### 2.4 生成应急指挥自适应调度策略

为实现系统自适应调度,在软件设计最终阶段定义图5所示的动态调度架构。工作节点上报应急资源和负载变化,将其反馈到主节点。主节点根据任务优先级指数后从高到低的顺序调度资源。

首先,主节点检测工作节点变化状态并计算静态因素指数;其次,根据优先级设定指数对工作节点排序;最后,控制器调用多因子优先级指数较高的节点,若当前节点内包含对应的应急指挥调度任务可以顺利执行,反之进入下一节点,实现应急通信指挥自适应调度<sup>[10]</sup>。

图5所示的自适应调度框架执行时,包括三个步骤。

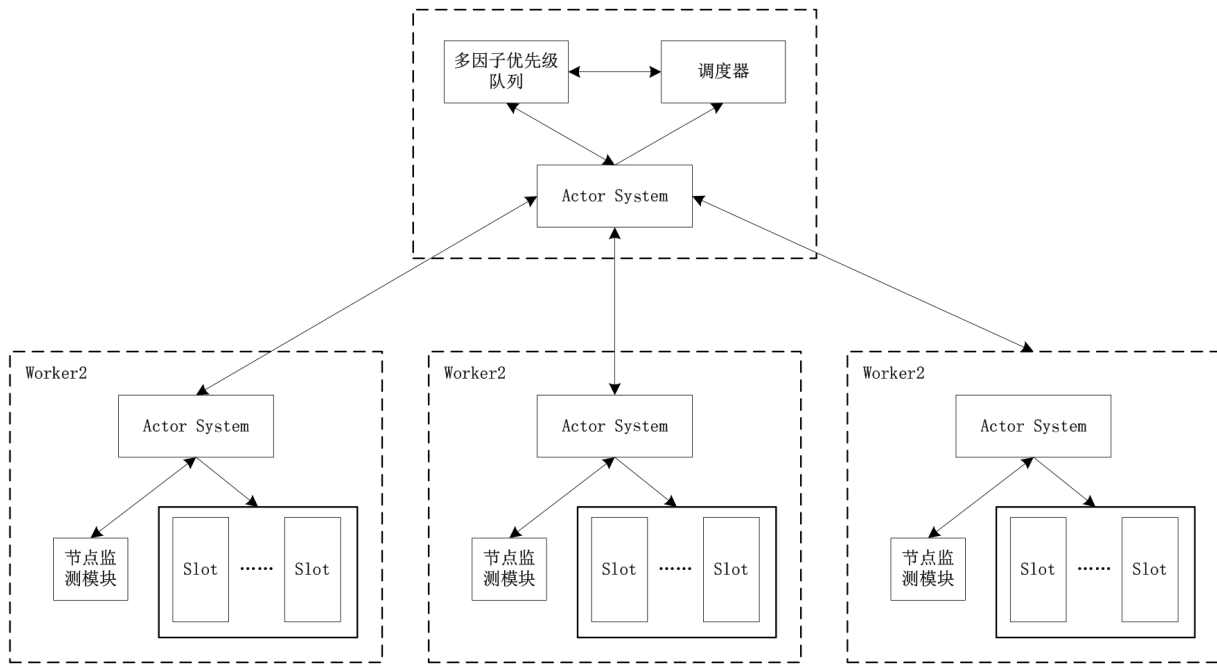


图5 自适应调度架构

Fig. 5 Adaptive scheduling architecture

## 3 系统测试

### 3.1 系统开发

依托于多因子优先级概念,探索出一种新型应急通信指挥自适应调度系统后,为测试设计思路的可行性,以某城市为研究对象,按照提出设计思路开发城市综合应急指挥中心系统,该系统以应急指挥业务为核心,并添加多媒体融合通信技术、大屏显示技术等手段,以便系统完成现场应急通信智慧调度。

考虑城市应急平台设计的标准规范要求,建立包含信

息接收发布、综合应用等多个子系统的城市应急通信指挥自适应调度系统整体架构,如图6。

由于该系统指挥命令的传输是依靠语音实现的,在系统测试环境部署阶段,针对应急调度指挥语音传递方面,设定的系统参数如表1所示。

在系统开发完毕且基本实验参数设置完成后,针对系统的各项功能进行现场调测,观察系统实际应用效果。同时,记录系统不同运行时刻下吞吐量变化,基于此来反映系统应用性能的优越性。

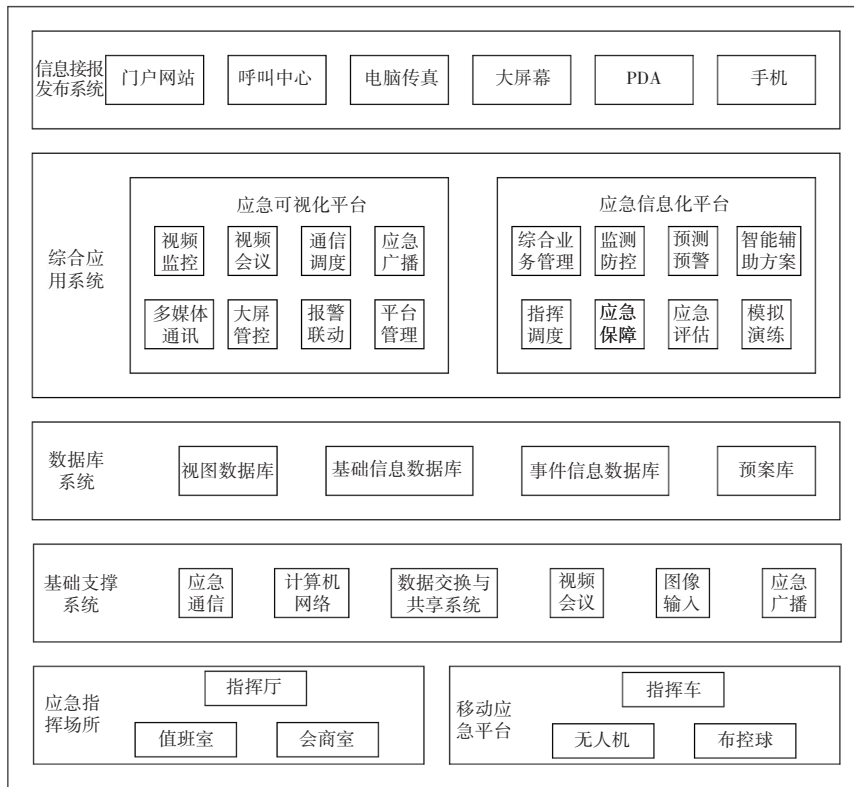


图 6 应急通信指挥自适应调度系统整体架构

Fig. 6 Overall architecture of emergency communication command adaptive dispatch system

表 1 系统参数

Tab. 1 System parameters

参数名称	数值	
	语音	数据
传输总带宽/MHz	5	5
传输速率(bit/s)	12.2	12.2
呼叫时间/ms	120	120
激活因子	0.5	1

3.2 系统应用效果

测试人员持管理员身份登录该系统,测试其应用性能时,第一个进入的页面是图 7(a)所示的登录页面,输入正确的用户名和密码,即可进入应急指挥自适应调度系统的主页面,执行各项功能。反之,若密码和用户名输入失败,则会给出系统登录出错的提示信息。另一方面,由于该系统的指挥调度指令是以语音的形式传递的,针对系统的呼叫功能进行同样的测试,得到图 7(b)所示的呼叫页面。

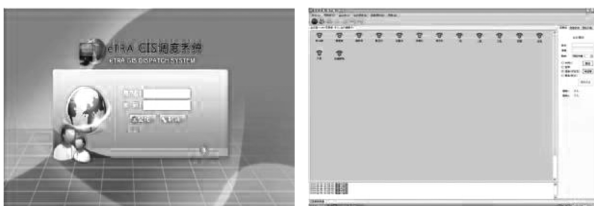


图 7 系统登录页面与呼叫页面

Fig. 7 System login page and call page

除了图 7 页面后,针对系统其它功能页面也完成依次点击,确定系统运行状态正常后。对该系统进行现场调测,得到现场实践效果如图 8。

图 8 的调测结果显示,系统终端通讯和监控巡查功能均正常,验证了该系统可以有效监控城市应急指挥环境,并与现场调度人员实现顺利沟通。同时,应急指挥自适应调度系统的其他功能也均符合设计要求,证明该系统的有效性。



图 8 系统各功能现场调测结果

Fig. 8 On site testing results of various system functions

3.3 系统应用性能分析

在系统正常运行状态下,记录不同时刻系统的吞吐量变化,并对标准状态下系统吞吐量要求,体现该系统的应用性能,测试结果如图 9。

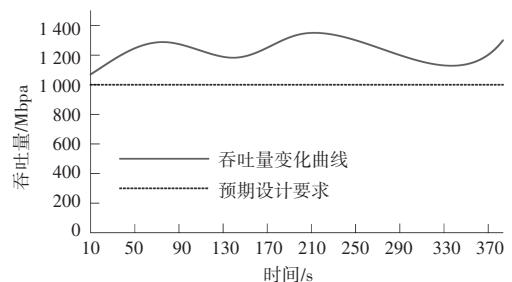


图 9 系统运行吞吐量变化测试结果

Fig. 9 System operation throughput variation test results

(下转第 151 页)