

· 信息技术 ·



港口物流枢纽危险品监控与预警系统*

赵 恺^{1, 2}, 初秀民², 王耀兵¹, 陈宗伟¹

(1. 交通运输部科学研究院, 北京 100029;

2. 武汉理工大学水路公路交通安全控制与装备教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430063)

摘要: 随着港口信息化基础建设的不断发展, 以及无线传感、无线网络、视频监控等技术手段的成熟应用, 结合港口物流枢纽危险品作业特点, 构建危险品监控与预警系统已经具有可行性。在分析港口物流枢纽危险品监控与预警系统功能需求的基础上, 提出系统的五层框架, 即: 信息采集层、信息传输层、信息管理層、支撑平台层和信息应用层, 同时分析信息采集和处理的关键技术, 并展望今后的研究方向。

关键词: 港口物流枢纽; 危险品; 监控; 预警

中图分类号: U 115

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0130-06

Dangerous goods monitoring and warning system of port logistics hub

ZHAO Kai^{1, 2}, CHU Xiu-min², WANG Yao-bing¹, CHEN Zong-wei¹

(1. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China;

2. Engineering Research Center for Transportation Safety of Ministry of Education, Wuhan 430063, China)

Abstract: With the rapid development of port information-based construction, and mature using of wireless sensor, wireless network, and video surveillance, it is feasible to construct dangerous goods monitoring and warning system combining port logistics hub dangerous goods operating features. On the basis of analyzing the function requirement of dangerous goods monitoring and warning system of port logistics hub, this paper proposes the five-storey system frame, i.e. information collection layer, information transmission layer, information management layer, support platform layer and information application layer. Meanwhile, this paper analyzes the key technology of information collection and processing, and prospects the follow-up research direction.

Key words: port logistics hub; dangerous goods; monitoring; early warning

近10年来, 港口物流枢纽作为危险品运输的重要集散地, 危险品吞吐量和种类迅速增加。据分析, 我国危险品吞吐量以年近20%的速度增加^[1]。由于港口物流枢纽生产作业是多工种、多环节的联合作业, 具有作业点多、线长、分散、受自然因素影响大的特点, 加之港口物流枢纽生产作业的高度连续性和复杂性, 致使港口物流枢纽生产作业中潜藏着比一般行业更大的危险性和不安全因素。因此, 港口物流枢纽危险品运输在促进沿

海、沿江地区经济发展的同时, 也给港口物流枢纽安全生产带来严峻考验。

国内外学者应用监控与预警相关的基础理论, 通过各种信息化技术手段, 开发了一系列用于动态监控和实时预警的系统, 实现了对危险品不安全状态的有效控制^[2-3]。但目前针对港口物流枢纽危险品监控与预警的研究尚处于起步阶段, 相关的资料还很少, 大部分研究内容还很不完善, 缺乏全面、系统的关于港口物流枢纽危险品

收稿日期: 2012-10-20

*基金项目: 西部交通建设科技项目(011 328 345 550)

作者简介: 赵恺(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为交通工程信息化。

监控与预警的研究。

本文通过分析港口物流枢纽危险品监控与预警需求, 提出系统整体构架, 系统地剖析危险品监控与预警的关键技术, 为港口物流枢纽安全监管提供信息化支撑。

1 港口物流枢纽危险品监控与预警系统构架设计

1.1 系统功能分析

1.1.1 系统功能需求

目前, 港口物流枢纽危险品监控与预警的主要功能需求有以下几个方面:

1) 危险品安全状态监测。为保障港口管理部门、企业等能够随时掌握危险品作业时的安全状态, 系统需获得港口物流枢纽危险品作业时的各类动态、静态数据。

2) 危险品异常状态分级预警。为保障港口管理部门能够及时、准确地发现并排除事故隐患, 提高港口安全预警能力, 系统需根据危险品所处于危险状态, 实现动态预警。

3) 危险品位置跟踪和状态查询。系统能够实时地将危险品、作业机械、作业车辆的地理位置信息、危险品作业状态的相关信息等传输给远程监控管理平台, 货主、货代、港口管理部门等可以通过Internet登录远程监控管理平台, 实时地跟踪危险品位置、查询危险品状态等信息。

4) 与远程监控平台进行数据交互。系统不仅能上传自身状态信息给远程监控平台, 也能够实时接收它下达的指令, 实现信息交互。

1.1.2 系统功能描述

港口物流枢纽危险品监控与预警系统是一个典型的多源信息融合, 异构网络支撑的现场监测与远程监控并存的信息系统。通过对系统功能的需求分析, 该系统应具有危险品作业状态信息动态采集、信息远程传输、远程监控、预警预报等功能。

1) 信息动态采集。

本系统采集的信息主要包括危险品理化特性信息, 危险品作业机械、设备、车辆、船舶的状态信息, 危险品作业人员的状态信息以及危险

品作业环境的信息等。信息采集设备的结构和安装形式需要满足既确保系统自身的安全性, 又不影响危险品正常作业。同时在港口物流枢纽特殊环境下, 传感器本身需要耐腐蚀、耐振动、耐高温、低温等。

2) 信息远程传输功能。

利用无线通信技术和互联网技术, 实现监控数据稳定、可靠、低功耗传输。

3) 远程监控与预警功能。

在GIS平台上动态跟踪危险品位置, 并提供查询服务, 实现危险品作业的透明化、可视化。

1.2 系统网络拓扑

港口物流枢纽危险品监控与预警系统总体结构框架如图1所示。系统总体上包括3部分: 前端信息采集子系统实现危险品状态的实时感知与信号的本地处理、报警等功能, 无线传输子系统利用无线网桥和Zigbee技术实现前端数据的传输, 最后将前端采集数据最后汇集到远程监控管理平台。另外, 监管部门、货主、货代等能够通过Internet访问系统, 获取相应的服务。

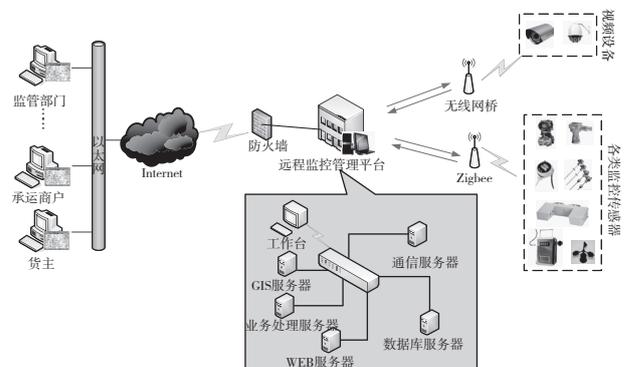


图1 港口物流枢纽危险品监控与预警系统网络拓扑

1.3 系统整体架构

本文设计的港口物流枢纽危险品监控与预警系统的总体框架由信息采集层、信息传输层、信息管理层、支撑平台层和信息应用层组成(图2)。

1.3.1 信息采集层

在港口物流枢纽危险品作业过程中, 系统主要采集的信息包括: 港区危险品作业机械、设备、车辆、船舶的位置信息、危险品状态信息和

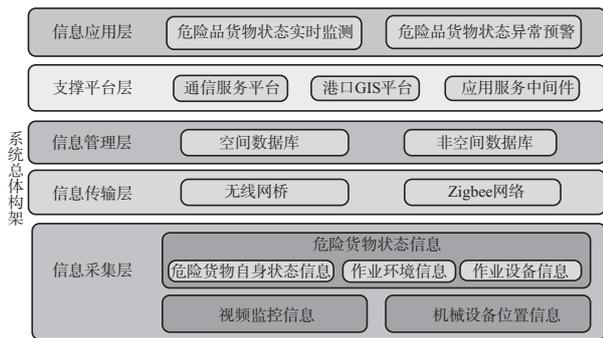


图2 港口物流枢纽危险品监控与预警系统总体框架

港区视频信息。

位置信息通过设备上安装的GPS定位装置，以统一的标准数据格式输出并进行储存、调用。

危险品状态信息主要包括危险品自身的理化信息、危险品作业环境信息和危险品作业机械、设备、车辆、船舶的状态信息，其中：

1) 危险品自身的理化信息、作业环境信息可以通过相应的传感器设备进行采集。根据港口危险品燃烧、爆炸、毒害、腐蚀的主要事故类型，主要采集的信息包括：危险品的温度、湿度、压力、放射性等信息，货物释放的有毒、可燃气体（或粉尘）浓度信息，港区的气象、水文信息，以及管道运输过程中的温度、压力、流量信息等。这些数据可以通过独立的、采用多种数据接口模块设计的数据采集单元，将基于模拟信号的数据转换为数字信号，以标准数据格式输出和存储。

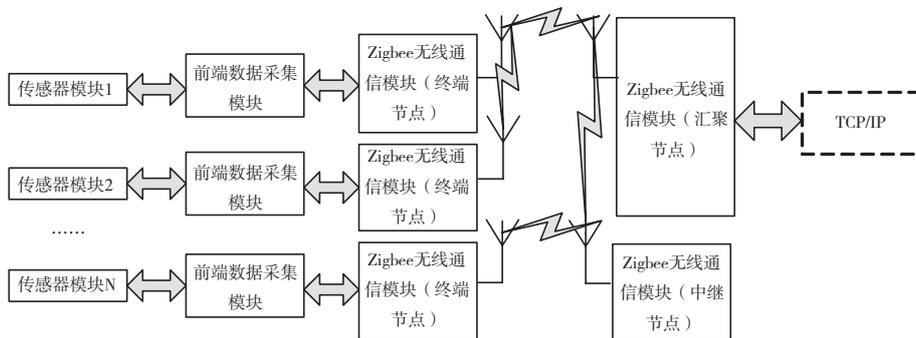


图3 Zigbee网络数据传输结构框图

3.3 信息管理层

危险品信息管理可分为空间数据管理和非空间数据管理两大类。空间数据包括危险品的空间、时间和属性特征，空间数据库建库时为了满足数据的时效性，采用现实性强的数据。非空

2) 危险品作业机械、设备、车辆、船舶的状态信息可由设计单位提供标准数据接口并制定数据通信方式，通过串口或网口解析后存储到本系统的数据库中。

港区视频信息通过数字视频监控系统进行采集，数字视频监控具有失真小、精度高、传输特性好、抗干扰性能强等特点。通过视频主要采集危险品装卸、运输、堆存过程中，人、机、物的图像信息。视频数据通过压缩与格式转换存储到数据库中。

1.3.2 信息传输层

通常情况下，港区面的较大、监控点分散、利用有线传输方式，光缆铺设成本高、建设周期长。因此，现场监控信息的传输采用无线网桥技术和Zigbee技术相结合的模式，即降低了网络建设成本、又增强了监控系统的灵活性和可扩展性。

Zigbee无线传输系统由安装在各监测点的终端节点、中继节点、收集信息的汇聚节点以及网关组成。为了降低能耗，感知节点采用休眠机制，经过一定的时间间隔唤醒后采集数据，将采集的数据传输给汇聚节点，如图3所示，最终通过网关传到远程监控管理平台。为了具有通用性，感知节点采用标准的输入、输出接口，输入端采用4~20 mA的模拟量输入，输出端采用标准的RS-485输出。

间数据主要以各种文档、报表和多媒体等形式存在。港口物流枢纽危险品监控与预警系统数据库的功能架构如图4所示。

1.3.4 支撑平台层

支撑平台层包括GIS应用信息平台、通信服务

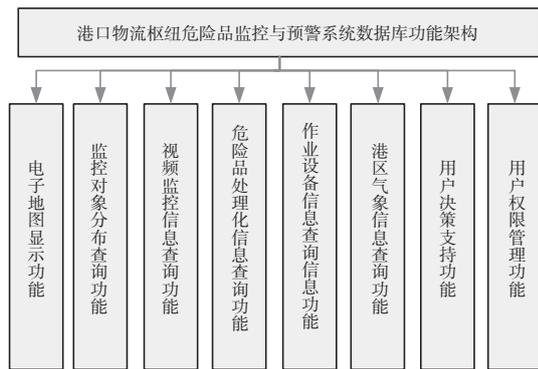


图4 数据库功能架构

平台和应用服务中间件。支撑平台层为应用系统提供后台支撑、数据更新等服务, 保证各项事务在异构环境下能够正常运行。

1.3.5 信息应用层

信息应用层主要实现危险品安全状态的预警管理。应用系统集成人、机、物、环的多态数据, 通过信息融合处理, 实现可视化地动态监控和预警。应用系统提供监控任意历史时段的危险品作业状态再现, 能够利用历史数据, 进行相关的研究分析, 包括故障与报警信息分析、港区气象信息分析等。

在应用层系统构架方面, 采用B/S模式, 为货主、承运人、船东、不同辖区的监管部门提供服务, 授权用户能在网页上实现阈值设定、报警、

主动监测触发、信息查询、信息追溯及直观地图指示等功能。

2 港口物流枢纽危险品监控与预警关键技术

2.1 危险品安全状态影响因素分析

港口物流枢纽危险品作业是由参与港口生产的各类作业人员、各种装卸和转运机械、装卸货物以及人、机、物所处的环境构成的。根据危险货物作业事故相关资料的统计分析, 引起危险品货物事故的原因主要有危险品货物自身的特性、环境的因素、人为的因素、设备的因素和管理的因素。五类因素中的一个或多个因素出现异常状况以及它们之间的相互作用都有可能引发事故征兆。事故征兆是事故发展处于初始阶段、萌芽状态的表征现象。因此, 本研究的重点之一就是针对事故征兆采用有效的监控手段和合理的预警预报方法, 防止事故的最终发生。事故征兆的表现形式主要是人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不良程度这3类^[4]。对于港口物流枢纽危险品作业, 这3种表现形式的具体内容如表1所示。

本研究中, 人的不安全行为的监控主要以视频监控方式为主; 物的不安全状态和环境的不良程度的监控采用传感器设备信息采集和视频监控相结合的方式。

表1 港口物流枢纽危险品作业事故征兆表现形式

| 事故征兆形式 | 具体表现 | 备注 |
|---------|-------------|---|
| 人的不安全行为 | 操作失误、忽视警告 | 违反操作规程、未按指令进行操作、忽视了港口区域内的警示警告标志等 |
| | 置身于不安全空间 | 在起吊物下作业、停留, 在大型机械轨道线上停留, 攀、坐不安全位置等 |
| | 防护用品使用不当 | 不使用安全防护用品, 或安全防护用品使用不恰当等 |
| 物的不安全状态 | 危险品本身的不安全状态 | 不安全的理化特性(主要指易燃、易爆、剧毒、腐蚀等)、包装不符合安全要求等 |
| | 作业设备的不安全状态 | 防护、保险、信号等装置缺乏或者有缺陷, 设备故障, 车辆未按指令运行, 管道运输条件异常等 |
| 环境的不良程度 | 作业现场环境不良 | 照明条件不符合要求, 粉尘浓度超标, 振动、噪声污染严重等 |
| | 自然环境不良 | 不良的气象、水文、地质等条件 |

2.2 传感器信息采集与处理

传感器信息采集与处理模块是由传感器模块与信息处理模块所组成。传感器一般是由敏感元件、转换元件、信号调理元件、微处理器所组成。信息处理模块由信号转换单元、电源单元、

串口通信单元、微处理芯片所组成。将传感器模块通过相应的接口电路与数据处理模块结合就能够实现对港口物流枢纽危险品作业状态信息的采集和处理。危险品数据采集与处理模块的原理如图5所示。

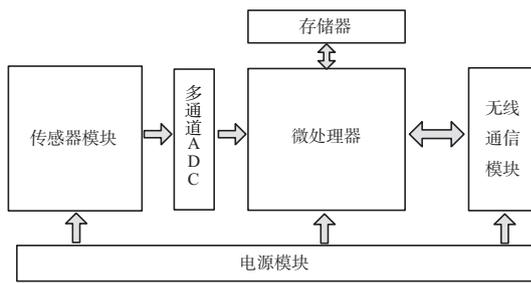


图5 数据采集与处理模块的原理

2.3 分级预警决策

根据港口物流枢纽危险品安全管理的需求，有必要对危险状态进行分级预警。分级预警的目的是为了使作业人员在事件可能发生时，及时进入预警状态，为可能出现的应急行动做好充足的前期准备工作。依据危险品的内在特性，系统将根据不同的危险状态采用不同的分级预警方法，包括指标分级预警、因素分级预警、综合分级预警3种形式^[5]。

2.3.1 指标分级预警方法

指标预警根据预警指标数值大小的变动来发出不同程度的警报。要进行警报的指标为 X ，设它的安全区域为 $[X_a, X_b]$ ，其初等危险区域为 $[X_c, X_a]$ 和 $[X_b, X_d]$ ，其中等危险区域为 $[X_e, X_c]$ 和 $[X_e, X_d]$ ，其高等危险区域 $(-\infty, X_e]$ 和 $[X_f, +\infty)$ ，如图6所示。

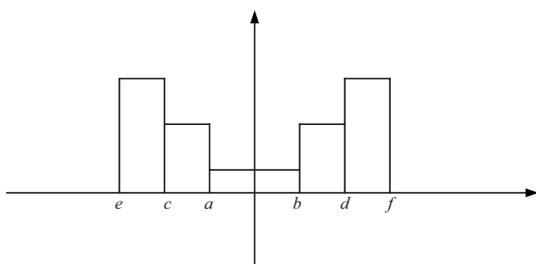


图6 预警信号分级

当 $X_a \leq X \leq X_b$ 时，不发生报警；

当 $X_c \leq X \leq X_a$ 或 $X_b \leq X \leq X_d$ 时，发出一级报警；

当 $X_e \leq X \leq X_c$ 或 $X_d \leq X \leq X_f$ 时，发出二级报警；

当 $X \leq X_e$ 或 $X \geq X_f$ 时，发出三级报警。

2.3.2 因素分级预警方法

因素预警当某些因素无法采用定量指标进行

报警时，可以采用因素预警。该预警方法相对于指标预警是一种定性预警，如视频信息的预警。则预警准则如下：因素 X 出现时，发出报警；因素 X 不出现时，不发出报警。这是一种非此即彼的警报方式。当预警指标 X 属于不确定（随机）因素时，则须用概率的形式进行报警。

2.3.3 综合分级预警方法

综合预警即根据事故发生机理，把诸多因素综合进行考虑，利用描述安全状态的数学模型或决策模式得到危险态势的动态数据，不断给出危险向事故临界状态转化的指示信息，得出一种综合报警模式。

由于港口物流枢纽危险货物作业环境较为恶劣，信息采集设备长期处于不间断的工作状态，各种干扰都会对传感器的可靠性和稳定性产生影响。为了降低单一传感器的问题产生的影响，提高预警预报的准确性，本文将对不同类型、非线性的传感器信息进行模糊数据融合，提出一种基于模糊评判的综合预警模型，从而提高系统预警的置信程度。

本文中预警模型基本原理是：首先确定被评判对象的因素集和评判集；再分别确定各因素的权重及隶属度向量，经过模糊变换，得到模糊评判矩阵；最后将因素的权重和模糊评判矩阵进行模糊运算并进行归一化，最终得到模糊综合评判结果^[7]。具体的数学模型如下：

1) 建立因素集 C 。

根据研究的对象，确定影响对象，组成因素集。

$$C=(c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (1)$$

式中： $C_i(i=1,2,\dots,n)$ 为影响评价对象的各种因素。

2) 确定评价集 V 。

评价集是评判人员对评价对象做出的各种可能的评价结果的集合，用 V 表示。

$$V=(v_1, v_2, \dots, v_m) \quad (2)$$

其中， v_j 代表第 j 个评价结果， m 为评价结果数。

3) 建立模糊关系矩阵 R 。

首先从单个因素 c_i 进行评价，以确定评价对象对评价集元素 $v_j(j=1, 2, \dots, m)$ 的隶属度 r_{ij} 。对第 i

个元素评价的结果为 R_i 单因素模糊评价集。

$$R_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) \quad (3)$$

4) 确定权重集 A 。

在模糊综合评价中, 使用层次分析法确定评价因素的权向量 A 。

$$A=(a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (4)$$

式中: $\sum_{i=1}^n a_i=1(a_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n)$ 。应用层次分析法确定因素之间相对重要性, 从而确定权重系数, 并且在合成之前进行归一化运算。

5) 构建模糊综合评价结果矩阵 B 。

综合评价集 B 可由模糊关系矩阵 R 与因素权重集 A 相乘得到, 即 $B=A \times R$, 由于 $M(\cdot, \oplus)$ 算子模糊矩阵利用程度充分, 属于加权平均型, 因此综合评价时采用该算子。

3 结论

港口物流枢纽危险品监控与预警系统研究, 是保障危险品安全生产的有效途径, 是实现港口物流枢纽本质安全的重要举措。本文设计了泛在网络支持下的多元信息融合的港口物流枢纽危险品监控与预警系统构架, 并探讨了信息采集、信息管理以及预警分级中的关键技术。在后续将开展如下几方面的研究:

1) 港口物流枢纽危险品监控与预警指标研究。通过对危险品自身特性, 港区危险品流转位

置, 堆放、装卸、转运过程中的安全状态进行系统分析, 确定重点监控区域, 筛选出危险品安全状态监控与预警指标。

2) 基于无线传感网络的危险品监控系统的开发与布局优化研究。在本研究基础上, 提出传感器集成方案, 开发危险品监控系统, 并研究监控设备布设优化方法。

参考文献:

- [1] 孙国庆. 港口危险货物安全监管问题探讨[J]. 中国港口, 2012(4): 50-52.
- [2] Sergio C, Furio B, Michalis D C. The use of geographic information systems in major accidents risk assessment and management[J]. Journal of Hazardous Material, 2000, 78(2): 223-245.
- [3] 夏伟玲, 钟毅. 基于GIS技术的重大危险源信息监控系统[J]. 测绘与空间地理信息, 2004, 27(5): 47-50.
- [4] 李波. 港口安全生产预警管理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- [5] 余廉. 水运交通灾害预警管理[M]. 河北: 河北科学技术出版社, 2004.
- [6] 孙金凤, 陈国华. 重大危险源事故风险预警技术研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(2): 44-50.
- [7] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

世界最大尺寸隧道沉管管节成功横移到位

4月21日, 港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部顺利完成E3管节的横移和系泊施工, 横移距离约150 m。

E3管节是岛隧工程项目首个完成横移的世界最大尺寸隧道沉管管节, 管节长度为180 m, 宽37.95 m, 高11.4 m, 吃水深度约为11.1 m, 总质量超过76 000 t。

此次E3管节的横移和系泊施工, 项目总经理部周密组织、高度重视, 组成9个工作小组分别负责灌水、监测、检漏、管节监控等工作, 日夜监控管节内部情况, 全程记录施工过程。目前, 港珠澳大桥沉管预制、舾装等工作推进顺利, 正在准备E4管节的横移施工。

摘编自《中国交通建设网》