



智慧港口能耗管理系统设计与可视化研究

钟晓晖¹, 陈琪炜², 王细远², 唐道贵^{3,4}, 张乾能¹, 董明望⁴

(1. 宁波北仑第三集装箱码头有限公司 浙江 宁波 315100;
2. 舟山鼠浪湖码头有限公司 浙江 舟山 316000; 3. 浙江省海港投资运营集团有限公司 浙江 宁波 315100;
4. 武汉理工大学交通与物流工程学院 湖北 武汉 430073)

摘要: 针对当前港口的能源消耗以及用能设备的动态监测与管理问题, 进行港口能耗管理系统的建设与可视化研究。在分析设计需求和原则的基础上, 采用基于 C# 和 .Net 平台下 B/S 架构, 设计智能港口能耗管理平台。经长时间上线运行, 验证了该系统可对港区能源消耗及用能设备进行动态监控和数字化管理, 多维度分析港区用电消耗特征, 为港区合理的能耗管理决策提供支持。设计的智慧港口能耗管理系统满足分析港口能耗的需求, 有利于实现港口节能减排的目标。

关键词: 智能港口; 能耗管理; 数据可视化; 碳减排

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)06-0185-07

Energy consumption management system design of intelligent ports and visualization

ZHONG Xiaohui¹, CHEN Qiwei², WANG Xiyuan², TANG Daogui^{3,4}, ZHANG Qianneng¹, DONG Mingwang⁴

(1. Ningbo Beilun Third Container Terminal Co., Ltd., Ningbo 315100 China;
2. Zhoushan Shulanghu Terminal Co., Ltd., Zhoushan, 316000 China;
3. Zhejiang Provincial Seaport Investment & Operation Group Co., Ltd., Ningbo 315100, China;
4. School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430073, China)

Abstract: Regarding the dynamic monitoring and management of energy consumption and equipment in ports, this paper studies the design and visualization of port energy consumption management systems. Based on the analysis of design requirement and principles, an intelligent port energy consumption management platform is designed using a B/S architecture based on C# and .Net platform. After operation for a long time, the system is proved to be able to provide dynamic supervision and management of the energy consumption and equipment states, multi-dimensional analysis of the energy consumption characteristics and decision support to energy consumption management. The proposed intelligent port energy consumption management system can analyze energy consumption data and help achieve carbon reduction in ports.

Keywords: intelligent port; energy consumption management; data visualization; carbon emission reduction

航运业在世界经济发展中起着至关重要的作用, 货物贸易运输中水运占比较高, 港口又是连接水陆交通运输的关键节点之一, 是航运业不可忽视的环节。据统计, 世界各地的港口管理着全球约 80% 的贸易量和 70% 的贸易额^[1]。随着我国对碳排放与能源的日益重视, 港口的能源消耗与

污染排放受到越来越多的关注。对港口的能耗进行系统性的分析、减少能源消耗、提高能效、降低碳排放成为当前双碳战略下港口行业的紧迫任务。

目前, 国内外针对港口能耗的分析已有较多研究。Song 等^[2]提出集成港口能源系统 (IPES),

综合需求响应和能源互联，建立能源枢纽模型，经对比确定了总成本最小的方案，通过仿真证实了 IPES 中多能源基础设施能量枢纽的有效性。Boile 等^[3]为减少港口能源消耗，提出基于制定港口能源计划的结构化方法，分析港口能源管理面对的问题、挑战和前景。为建立强有力的港口能源管理系统提供了针对性的建议和结论。Li 等^[4]以港口减排为背景，通过港口移动机械能耗试验，研究港口典型机械的主要能耗影响因素，最终得出相关指标以及能耗分级评估方法。

国内亦有许多相关研究，廖益波^[5]根据软件工程相关设计原理，利用 Java、T-SQL 等语言，针对港口开发具有实时数据监测、历史数据分析展示、系统管理功能的能耗监管系统，实现能耗数据的采集、存储、实时监测、分析统计等功能，使港口企业的能耗监管工作更高效。郭旭等^[6]研究了港口能耗数据的采集方法，利用物联网、互联网等技术构建港口能耗检测数据库和动态分析系统平台，实现港口机械能耗和运行状态的同步监测，实时监控能耗情况并及时响应能耗变化。

港口能源数据监管和分析对绿色港口的发展有重要意义，通过建立智能港口能耗管理系统，远程监测主要用能设备的能耗，并对监测数据进行处理，分析负荷特征，针对港口能耗管理提出合理的建议，有助于港口进行能源管理。

可视化技术在当今数据分析领域中发展迅速，通过该技术可清晰有效地传达、沟通并辅助数据分析。数据可视化技术将采集或模拟的数据变换为可识别的图形、图像、视频或动画，以此呈现对用户有价值的信息。通过数据可视化技术让使用者理解数据背后隐藏的信息，作出合理的管理决策。本文以宁波舟山鼠浪湖港区为例，设计港口能耗管理系统，并通过可视化技术对港口能耗进行呈现与分析。

1 港口能耗管理系统设计与可视化实现

1.1 系统架构需求分析与设计原则

在设计可视化能耗系统架构时，应遵循一定的设计模式和规范。要求可视化能耗系统架构具备相应的灵活性和可扩展性。因此对系统架构的需求包括：1) 层次性：要求各层之间实现低耦合，尽量减少层次之间的依赖性，层与层之间除部分输出函数和接口外，各层只对相邻的层可见。2) 扩展性：层与层之间采用公共函数与数据接口，方便后续系统扩展或二次开发。3) 适应性和稳定性：弱化系统架构的风险，提高架构的安全性、稳定性。4) 灵活性：系统可提供实时显示、查询等功能，减轻能耗管理工作的负担，使能耗管理更加高效、方便、快捷。

根据上述系统架构需求，在设计可视化能耗系统架构的过程中需满足整体性、层次性、可扩展性和可维护性以及可靠性和稳定性设计原则。

1.2 系统架构设计

根据系统架构设计原则，可视化能耗系统大体上分为 3 部分：客户端、服务器端和数据采集存储端，见图 1。

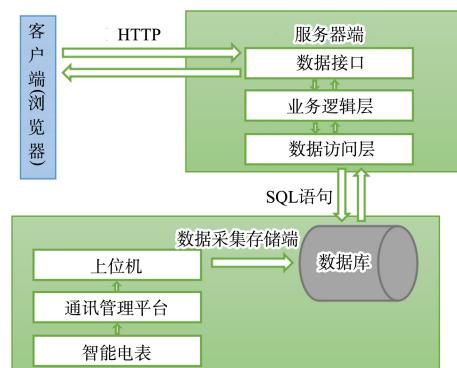


图 1 系统总体架构

1) 客户端主要实现数据请求、数据可视化以及简单的查询操作。所有的数据访问、业务操作等均放在服务器端，使客户端更加轻便。客户端只作为数据展示和用户交互操作平台。

2) 服务器端分为数据接口、业务逻辑层和数据访问层。当用户进行查询等操作时, 客户端将请求发送给数据接口, 通过接口连接服务器端。并将服务器端反馈的数据转换为客户端所需数据格式进行可视化展示。业务逻辑层主要负责处理内部的数据和业务逻辑。当客户端提交请求时, 可根据客户端的操作进行业务逻辑的处理。业务逻辑层的设计对客户端完全独立、透明, 改变其中的业务逻辑, 不影响客户端, 可降低客户端与服务器端的耦合度。数据访问层主要通过 DAL(调试助手库)对数据库进行的 SQL 语句等操作, 实现 Select(查询)、Insert(插入)、Update(更新)、Delete(删除)等功能。数据库访问层主要负责读取和传递数据。

3) 数据采集存储端, 使用智能电表相应电量规约采集电表读数, 通过 Modbus_TCP 通讯协议传递采集到的数据, 最终按照规定的数据格式存储到数据库。

按上述能耗系统划分, 将系统架构继续分层设计, 包括表示层、应用服务层、业务层、数据层、数据采集层以及运行环境。在无需过多了解其他层次的基础上, 系统架构分层设计可将某层作为一个整体理解, 还可将层次间的依赖性降到最低。系统架构分层设计模型见图 2。



图 2 系统架构设计模型

1.3 系统功能设计

能耗系统中功能设计见图 3。主要包括首页、电量监测、流程管理、设备管理、船舶管理、工班汇总。具体功能为:

- 1) 首页: 包括电表、流程、设备、船舶等综合能耗统计。如当天用电、一周流程能耗分析、船舶泊位能耗统计分析、当天设备能耗统计分析等。
- 2) 电量监测: 统计电表电量情况, 根据用电时间和类型等条件进行电量能耗趋势统计分析。
- 3) 流程管理: 根据流程作业情况, 关联相关作业设备, 统计流程作业、用电量情况。根据时间、流程类型等条件进行流程能耗趋势统计分析。
- 4) 设备管理: 根据设备作业情况, 统计设备作业量、用电量情况; 根据时间、设备类型等条件进行设备能耗趋势统计分析。
- 5) 船舶管理: 根据船舶作业情况, 关联相关作业流程、设备, 统计船舶作业量、用电量情况; 根据时间、泊位、船舶类型等条件进行船舶能耗趋势统计分析。
- 6) 工班汇总: 主要统计工班作业的用电情况, 通过交接班时间划分时间段, 按照天、月、年统计用电情况。

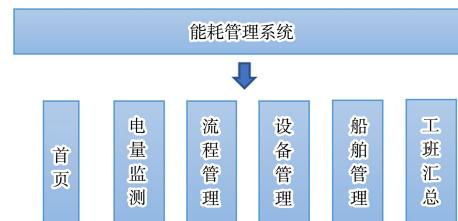


图 3 系统功能设计

2 鼠浪湖港区能耗可视化

宁波舟山港鼠浪湖港区位于宁波北仑港区以北 70.38 km, 是我国南北航线和长江水道的交汇枢纽。港区主要经营矿石装卸中转以及混配等业务。截至 2020 年底, 鼠浪湖码头共完成混配矿 5 312.64 万 t, 成为国内最大的混配矿基地。

2.1 系统开发环境

可视化能耗系统整体采用 B/S 架构(浏览器和服务器架构模式), 前端使用了大量开源框架与控件, 如 HTML5(标准通用标记语言下的应用)、CSS(层叠样式表)、VUE.JS(构建用户界面的渐进式框架)、AXIOS(网络请求库)、WEBPACK(模块打包器)、Echarts(数据可视化图表库)、SPA(路由控制和视图转换框架)等。系统后台采用 Asp. Net 平台技术, 开发环境采用微软集成 Visual Studio 2010, 开发语言选择 C#。数据库采用 Oracle 11g(数据库软件)进行数据存储。数据获取采用组态软件 Intouch 与通用通讯平台 GCP, 通过 Modbus_TCP 通讯协议、DL/T645 通讯规约、97/07 电量规约读取和传输智能电表数据。

cle 11g(数据库软件)进行数据存储。数据获取采用组态软件 Intouch 与通用通讯平台 GCP, 通过 Modbus_TCP 通讯协议、DL/T645 通讯规约、97/07 电量规约读取和传输智能电表数据。

2.2 系统可视化实现与分析

宁波舟山港鼠浪湖港区能耗数据可视化平台首页, 见图 4。其上部左侧和右侧分别为电量监控和流程管理的概览, 上部中间为整个港区的情况; 图片下部为设备和船舶管理的概览, 以及对每个功能的分析。



图 4 鼠浪湖港区能耗数据可视化平台首页界面

鼠浪湖港区可视化能耗系统电量监控功能页面, 见图 5。其中部标示了鼠浪湖港区 6 个变电站的分布; 能耗管理系统对每个电站的每个智能电表用电数据进行统计, 支持查询每小时的电量实时与历史使用量, 以及对单个电表的实时与历史电量统计信息的查询。图 5 为能耗管理系统对 2022 年 6 月 30 日的实时数据和本月历史数据的呈现与分析, 包括日用电量统计、用电分布、电表实时数据和历史数据、月用电分布及趋势。由图可知, 当日电量消耗主要分布于进场和出场, 分

别占总用电量的 63.78% 和 36.20%。在月度用电分布中, 6 月 6—15 日、21 日、25—27 日用电量较高。

鼠浪湖港区可视化能耗系统流程管理功能页面, 见图 6。该功能可对实时和历史流程的负荷时间、消耗的电量、作业量以及单位电量进行查询。如图中右侧是编号为 J111 的流程实时电量使用信息, 开始于 00:07:43, 结束于 04:18:21, 作业量为 2.31 万 t, 用电 2.12 万 kWh, 能耗为 0.91 kWh/t。在当目的流程作业中, 2—5 时及 14 时的作业量较大。



图5 鼠浪湖港区可视化能耗系统电量监控功能页面



图6 鼠浪湖港区可视化能耗系统流程管理功能页面

鼠浪湖港区可视化能耗系统设备管理功能页面, 见图7。其中部展示了各个设备的空间位置分布, 左侧为当天主要设备的作业量、耗电量以及不同设备的能耗分布情况。由图可知, 在1—4时、10—13时的作业量较高, 相应地此时段的能耗较高; 皮带机为耗能最高的设备, 约12.47万kW·h,

占总设备能耗的64.12%。图中右侧可对单台设备的能耗进行查询, 如对斗轮机SR2进行查询, 得其历史能耗, 在6月20日单耗最高, 约6.5 kW·h/t。对2022年SR2的月单耗统计可知, 其单耗总体较平稳, 在1、2、5、6月的单耗略高。



图 7 鼠浪湖港区可视化能耗系统设备管理功能页面

鼠浪湖港区可视化能耗系统船舶管理功能页面, 见图 8。可查看当前停靠进、出场码头以及历史停靠出场码头, 详细记录每艘船舶的入港和出

港时间, 计算每艘船的负荷时间。统计每艘船的作业量及电量消耗, 得出每艘船舶的单耗。

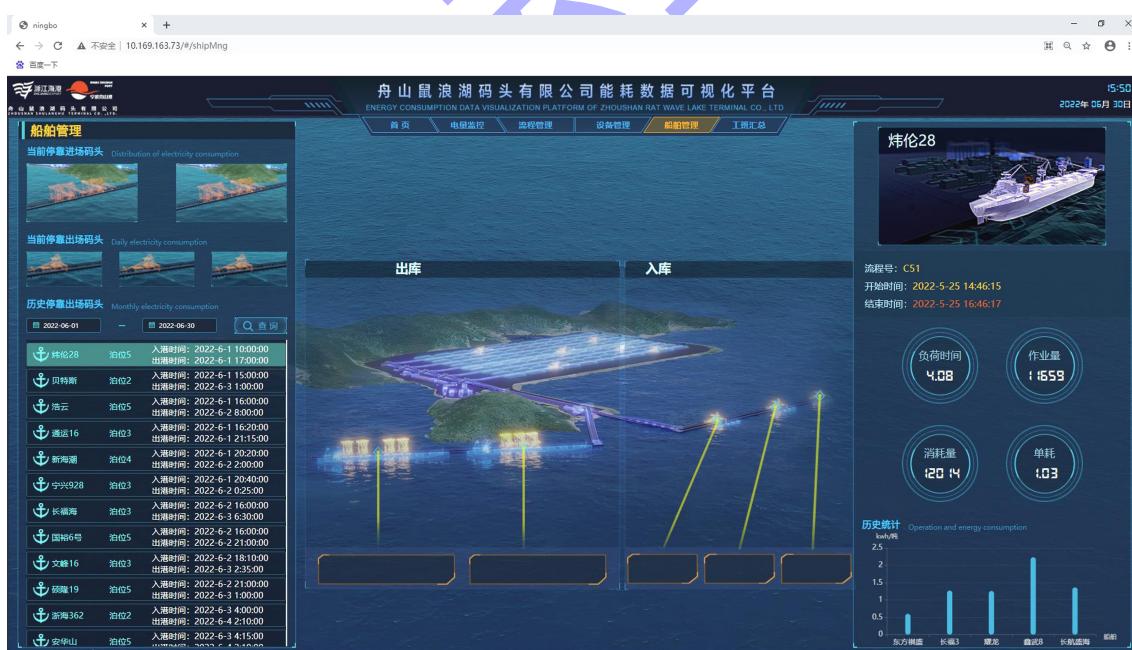


图 8 鼠浪湖港区可视化能耗系统船舶管理功能页面

工班汇总功能界面, 见图 9。该界面可查询当月用电的峰值、谷值和尖值的总用电量。例如, 在 2022 年 6 月, 峰值用电总计 274.55 万 kW·h,

占总用电量的 41%; 谷值用电总计 334.88 万 kW·h, 占总量的 50%。统计日、夜工班的能耗信息, 可知没有明显的能耗差异。



图 9 鼠浪湖港区可视化能耗系统工班汇总功能页面

2.3 港口减碳策略分析

在当前的双碳战略下, 减少碳排放已经成为港口的主要任务之一。在可视化能耗管理系统的支持下, 港口减碳可从 4 个方面着手: 1) 构建港区新能源发电系统, 包括太阳能、风能等多能源发电系统, 有效减少碳排放。由于港区日、夜班耗电均较高, 因此, 目前单独使用光伏发电系统不满足夜晚电量需求, 采用风光氢能互补发电是减少碳排放的策略之一。2) 降低设备的单耗。通过可视化能耗管理系统可查阅设备单耗, 在某时间段部分设备的单耗较高, 因此需要提升设备, 降低单耗。3) 降低工艺流程的能耗。由图 5、6 和 9 可知, 进、出场工艺占绝大部分的能量消耗, 因此, 需对这两种工艺流程进行重点优化, 减少能耗。4) 增加靠港船舶岸电的使用。由图 8 可知, 靠港船舶的负荷时间较长, 靠港期间如使用船舶辅机, 则增加港口碳排放, 因此鼓励靠港船舶连接岸电。

3 结论

1) 为实现港口能耗的直观感知和智能管理, 需对港口能耗管理系统进行可视化设计。本文以

.NET 技术为开发环境, 基于实际需求和设计原则, 设计智慧港口能耗管理系统可较好地满足此需求。

2) 基于可视化能耗管理系统, 分析鼠浪湖港区的能耗特征, 如日、夜班均有较高的能耗, 说明日班和夜班的工作量大体一致; 且在工艺流程中, 进、出场的耗能占比较高。

3) 能耗可视化系统的应用可为港区提高能效、降低碳排放提供决策支持。鼠浪湖港区可从应用清洁能源、降低设备单耗以及为靠港船舶接用岸电等方面进一步提高能效。

参考文献:

- [1] JOSE G R, JERONIMO E P, BLAS Z. Implementing onshore power supply from renewable energy sources for requirements of ships at berth [J]. Applied energy, 2019, 255: 113883.
- [2] SONG T L , LI Y, ZHANG X P, et al. Integrated port energy system considering integrated demand response and energy interconnection [J]. International journal of electrical power & energy systems, 2020, 117: 105654.