

IC 卡液碱自动定量装车系统的设计与调试

纪波峰 上海同欣自动化仪表有限公司 (上海 200070)

刘庚 上海华谊信息技术有限公司 (上海 200032)

摘要: 汽车定量装车系统的案例已经不少, 但不同的设计以及不同的设备选型能达到的效果也各不相同。本文所阐述的是个每年定量装车发货百万吨液碱的部门, 将原来的静态容积法定量装车发货改为动态质量法定量装车发货, 尽管没有花高价采用科里奥利质量流量计, 而是采用相对廉价的智能电磁流量计, 但经频率信号传送以及数字量计算质量, 并配以温度补偿, 也能得到优于 $\pm 0.1\%$ 的装车精度。系统采用二级组网, 将风险彻底分散, 上位机实时监控并记录每一个车位每一次装车发货的全过程, 使装车和发货过程透明化, 从而从根本上杜绝作弊现象。完善的逻辑设计和可靠性设计, 使系统具有高度的安全可靠, 从而使系统能长周期安全、可靠、精准、高效地运行, 五年的观察期内未发生过故障和大小事故。

关键词: 液碱; 定量装车; IC 卡; 静态容积法; 动态质量法; 安全可靠; 防作弊

Design and debugging of the automatic quantitative loading system for liquid caustic soda by IC card

Ji Bofeng Shanghai Tontion Automation Instrumentation Co., Ltd.(Shanghai 200070)

Liu Geng Shanghai Huayi Information Technology Co., Ltd (Shanghai 200032)

Abstract: There are already many cases of car quantitative loading systems, but different designs and different equipment selections can achieve different effects. This article describes a department that quantifies and ships millions of tons of liquid caustic soda every year. Change the original static volume method of quantitative loading and delivery to dynamic quality method. Although the Coriolis mass flowmeter was not used at a high price, it was a relatively inexpensive intelligent electromagnetic flowmeter. However, after frequency signal transmission and digital quantity calculation quality, coupled with temperature compensation, the loading accuracy will be better than $\pm 0.1\%$. The system adopts secondary networking to completely disperse risks. The computer monitors and records the whole process of every loading and delivery of each parking space in real time. Make the delivery process transparent, so as to fundamentally eliminate cheating. Perfect logic design and reliability design, so that the system has a high degree of safety and reliability. So that the system can run safely, reliably, accurately and efficiently for a long period of time, no failures or accidents occurred during the five-year observation period.

Key words: Liquid caustic soda; Quantitative loading; IC card; Static volume method; ; Dynamic quality method; Safety and reliability; Anti-cheating

1. 概述

本文所讨论的项目是在上海的一家于上世纪五十年代建厂的氯碱厂完成的。该厂液碱发货工段共有 11 个车位, 承担着每年百万吨液碱的装车发货任务。液体产品品种有 30%碱、32%碱、48%碱及次氯酸钠。每个产品使用 2~4 个车位。槽车额定载重量 5 吨到 30 吨不等。以 20 吨和 30 吨居多。由于历史的原因, 定量装车发货采用静态容积法, 计量槽用液位定量。由于这种方法的固有缺陷, 多年的使用中暴露出四大问题:

① 发货效率低。提货车辆经常排长队。这是因为计量槽在充灌的同时不允许卸料。从而延长了装车时间。

② 计量误差大。尤其是在液碱充入计量槽时, 有时会激起泡沫, 产生虚假液位, 导致缺量。

③ 发货过程对操作人员的依赖性太强, 一时疏忽就会酿成安全事故。

④ 操作人员权力无约束和操作方法不完善为作弊留下缝隙。该工段曾先后两次发生群体盗窃

案件，国家财产受损，相关人员受到法律制裁。

为此，厂方投资对发货系统进行改造，用现代化方法解决上述问题。

2. 系统的组成

考虑工业控制系统有关安全可靠性的需要，本系统采用分级组网的方式，最大程度地使风险分散。即上位机负责集中管理，下位机每个车位一台，用于定量控制和操作显示。而且下位机可以脱离上位机独立运行，完成定量发货任务^{[1][2]}。系统图如图 1 所示。

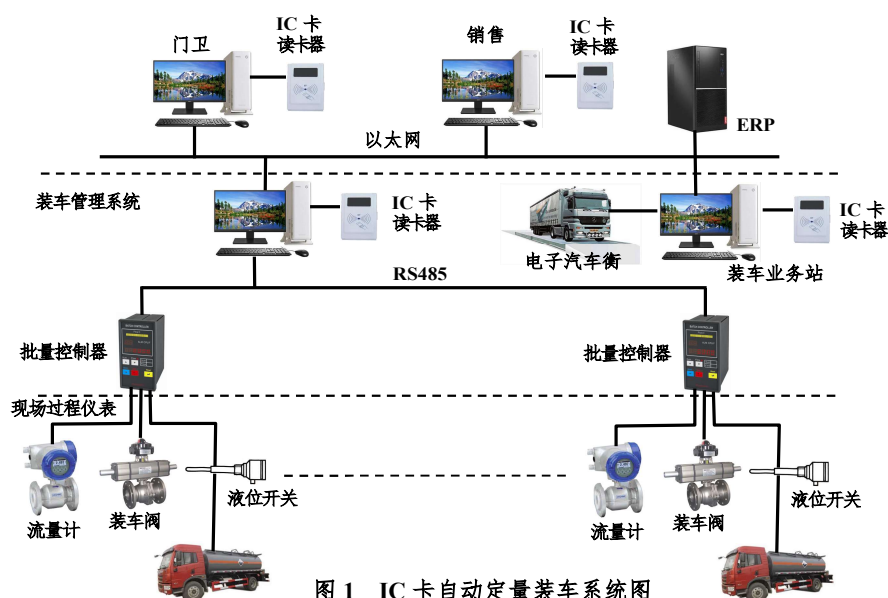


图 1 IC 卡自动定量装车系统图

定量装车发货系统由 IC 卡制卡售卡子系统、IC 卡读卡管理子系统、现场定量控制子系统、汽车衡管理子系统、门卫放行管理子系统以及电控子系统组成。所有子系统都是公司局域网的组成部分。各子系统正常工作时，在各个终端都能显示发货的各个重要数据，从而将整个发货过程置于透明状态，进而从根本上杜绝作弊现象。

3. 定量控制子系统

定量控制子系统如图 2 所示。其核心是批量控制器，其接受来自电磁流量计代表瞬时体积流量的频率信号，与内置的液碱密度值、流量系数相乘得质量流量，由于这些计算都是数字量运算，所以不损失精度。因为密度是温度的函数，在控制器中进行了温度补偿^[3]。

控制器的 RS485 口与读卡子系统相连，接受本次发货预设值信号，并将状态信号、瞬时流量及累积值信号送上位机，进行与企业物流管理系统或者 ERP 系统进行数据交互、对接。

控制器的 DI1、DI2、DI3 口接受来自操作台及就地控制箱的起动、停止及复位信号、灌装鹤管防溢信号、现场车辆静电接地信号等。

气动二阶段控制阀能有效地提高控制精度^[4]。

控制器对阀和泵的控制采用阀泵联动方式，不仅可节约能源而且可削弱水锤效应。

IC 卡发货操作过程如下：

提货车辆在空车过磅后由司磅员通过称重系统将预发货信息（如提货品种、提货量）通过 IC 卡读卡器写入 IC 卡。车辆到发货点后工作人员根据发货车位实际情况在发货控制软件的空闲发货车位读取 IC 卡内信息，软件自动比对提货品种、提货量、车牌号及车辆额定装载量等信息，核对无误后，软件自动将 IC 卡中的“提货量”转化为发货控制器“待发量”，并在对应位号的批量控制器预设量窗口显示。车辆进入车位，放下鹤管并插上插销，由跟车人员按下就地控制箱上的“准备

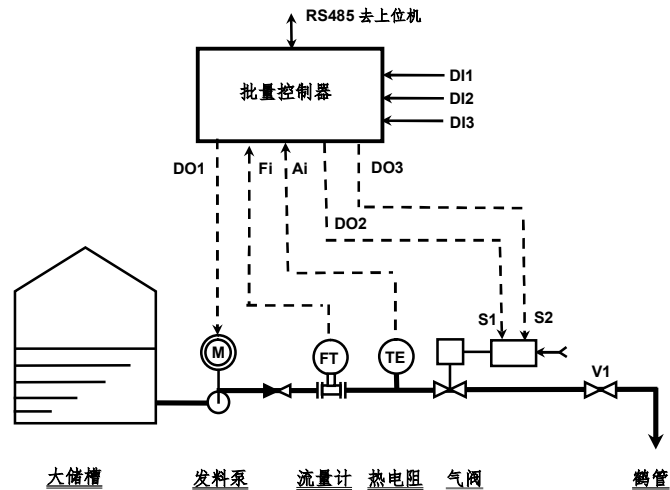


图2 定量控制子系统

就绪”按钮，操作台上对应位号蜂鸣器发出声光信号，操作员按下“起动”按钮，于是开阀开泵，“正在发货”指示灯亮，待发量递减，直至待发量递减至零，阀门关闭。装车过程中发货控制器相关数据都可在发货控制软件上实时显示，如瞬时流量、累计发货量、就地控制箱信号是否良好等，上位机显示的画面如图3所示。装车完毕，在IC卡读卡器上刷卡将实发量写入卡中。本车发货完毕，“正在发货”指示灯熄灭，按一下复位按钮，等待下一批发货指令。如果不按“复位”按钮，则控制器不接受新的发货任务。



图3 上位机显示画面

完成定量装车后，跟车人员完成罐体的封装动作，检查车辆无异常状态后，上汽车衡由称重系统进行重车称量、三单检验等计量工作，所有流程完毕之后离开装卸区域，驶离厂区。

4. 关于几个问题的研究

4.1 为什么要选电磁流量计（EMF）

在很多定量装车系统中，采用科里奥利质量流量计（以下简称CMF）测量物料质量流量，能得到较高的测量准确度，但是在本项目中并不适用，原因有三：

- ① CMF价格太高，11台0~200 t/h的CMF，光是流量计一项就得几百万，而该项目全部预算

只有几十万元。

② CMF 压力损失太大, 大大降低装车速度。这一点对于老装置改造而言, 缩短装车时间提高装车效率是一个重要目标, 因为在主要设备和场地面积不变的情况下, 由于年年增产而使生产能力达到饱和状态, 而若在原有的管道上因加装流量计而导致阻力大增, 延长装车时间, 这是与目标背道而驰的。而若选择 EMF, 因完全不增加阻力而具有绝对优势。

③ CMF 名义精度为 0.05 级, 但因零漂大的缺点^{[5][6]}, 使系统精度大打折扣。而 EMF 虽然只有 0.3 级精度, 但因装车系统的特点, 流量计是在接近恒定流量的条件下使用, 实际上对控制精度起决定作用的是流量计的重复性^[7]。

4.2 关于提高定量控制精度的分析

① 流量测量准确度的影响

因为流量计是在接近恒定值条件下工作, 所以其误差可以用汽车衡称重结果的反馈信息予以校正, 但其重复性误差还会起作用, 运行实践表明, 对于准确度等级为 0.3 级的电磁流量计来说, 此因素对装车精度的影响, 大约为万分之几。

② 对液碱密度的温度影响进行补偿

液碱定量装车的精度要求是用质量总量表示的。每批次发货量大多为 10t、15t、20t 和 30t 等 4 种, 但偶尔也有一次发 5t 的任务。而电磁流量计属速度式流量计, 其输出代表的是体积流量, 将其换算到质量流量, 需乘上当时的流体密度, 其间关系如式 (1) 所示。

$$q_{mf} = \rho_f q_{vf} \quad (1)$$

式中: q_{mf} —— 质量流量, kg/h;

ρ_f —— 当前工况条件下的液碱密度, kg/m³;

q_{vf} —— 当前工况条件下的液碱体积流量, m³/h。

在液碱浓度为常数的情况下, ρ_f 又是其温度的函数, 即

$$\rho_f = \rho_d [1 + \alpha(t_f - t_d)] \quad (2)$$

式中: ρ_f —— 当前工况条件下的液碱密度, kg/m³;

ρ_d —— 设计条件下的液碱密度, kg/m³;

α —— 液碱密度的温度系数, $\alpha = -0.000556/^\circ\text{C}$;

t_f —— 当前液碱温度, $^\circ\text{C}$;

t_d —— 设计条件对应的液碱温度, $^\circ\text{C}$ 。

而在定量装车发货过程中, 液碱从储罐底部被抽出, 液碱有可能是生产流程中注入的在罐中停留时间不长的产品, 温度很高; 也可能是滞留时间很长的产品, 温度很低, 因此, 温度变化较大, 所以需要对液碱温度进行在线测量, 然后按 (2) 进行实时补偿^[8]。其中 ρ_d 和 t_d 为常数, t_f 由铂热电阻温度传感器测量, 测量结果送控制器按式 (2) 计算 ρ_f , 并按式 (1) 计算 q_{mf} , 从而完成质量流量测量。

按式 (2) 进行液碱密度的温度补偿并非天衣无缝无瑕可击, 因为模型精度、温度传感器精度都会有些许误差, 温度传感器还会因响应滞后引入动态误差, 这几个因素都会使最终实发量与预定发货量之间出现偏差, 从现场运行数据统计, 此偏差最多达万分之几。

③ 液碱浓度的影响

液碱浓度总是在合格的范围内有微小的变化, 对定量精度来说是不确定因素, 但此变化值在大储槽中经混合后变化量变得极其微小, 而且极其缓慢, 可以通过该车位上一次实际称量误差的反馈数据予以校正。

④ 过冲量变化的影响

控制阀的动作总是有一定的滞后, 控制器的运算时间和继电器的渡越时间等也会引起一定的滞后, 该滞后导致实发量多于预设的待发量。此差值可通过控制器中预先设定的“提前量”予以校正。

但是此过冲动作所引起的误差与关阀前瞬时流量成正比。由于大储槽中液位变化会引起瞬时流量变化，所以“提前量”应随当前的瞬时流量值计算出一个合理的“提前量”。在控制器中不停地计算“提前量”除以瞬时流量得到“提前时间”，并付诸实施，就很好地解决了这一问题^[9]。每一个发货车位由于配用控制阀和机泵的不同，液碱的密度也可能不同，使其理想的“提前量”各不相同，系统投运后需逐个车位进行调试，依据的是控制器上显示的实发总量与预定发货量之间的偏差。“提前量”设定偏小，将导致实发总量过量；“提前量”设定偏大，将导致实发总量缺量。一般经过两次修正，就可使实发总量与预定发货量基本相等。

⑤ 关于流量信号的选择问题

电磁流量计输出送控制器的流量信号有两种制式可供选择，其中一种为 4~20.0mA，另一种为频率，通常选 0~1000Hz。由于电磁流量计和控制器内的运算均为数字量，所以在选定用模拟信号传送流量信号时，在电磁流量计内须进行 D/A 转换，而在控制器内须进行 A/D 转换，每次转换大约要损失 0.05%FS 的精度，两次转换最多损失 0.1%FS 的精度，换算到常用流量点，最多损失 0.14% 的精度，这对于定量装车系统来说，是个不小的数字。虽然系统是在定流量条件下运行，但模拟信号免不了存在漂移，对定量控制来说，终究是件坏事，而用频率信号传送，属数字量运算，完全不损失精度，所以具有显著的优越性。因此本项目中选用频率信号传送流量信号。

5. 系统的安全可靠性设计

设备发生故障无法做到完全避免，但是发货作业不能耽搁时间太长，因此必须设计各种后备及冗余手段。

5.1 IC 卡发货到无卡发货的切换

当 IC 卡读卡器或配套计算机故障而又短时处理不好时，发货系统就应及时切换到无卡发货方式，否则提货车辆很快就会排成龙。这种发货方式的切换可由掌握密码的责任人，通过面板操作将控制器中的控制方式选择开关从“远程”切换到“本机”。

5.2 全手动发货

当某台或多台批量控制器失效，而又不得不进行装车发货时，可将控制器的手—自动切换开关从“自动”位置切换到“手动”位置，利用操作台上的“启动”、“停止”、“复位”按钮和泵电流指示计时发货。而此切换开关被安装在带锁的开关箱内，钥匙由责任人工段长掌控。

除此之外，工艺上还配置了备份车位、备份泵及备份手动阀，切实做到万无一失。

5.3 温度补偿的冗余设计

温度补偿部分的薄弱环节是温度传感器，当控制器的自诊断系统发现温度传感器故障时，CPU 自动将预先设定的“常用温度”值代替实测值，参与运算并发出报警信号。

5.4 溢料联锁

安装在鹤管放料管末端的液位开关接入控制器实现液位联锁，从而杜绝溢料事故（控制器上还有备用 DI 口，可接静电接地夹）^[10]。在控制逻辑中，当出现溢料信号时通过立即关闭气动阀、关闭泵的联动安全措施，确保溢料出现时得到有效控制，杜绝现场安全隐患。

5.5 拒绝重复发货的功能

控制器接受来自 IC 卡的一次发货指令后，控制器的逻辑设计使之具有拒绝重复发货功能。即：如果因紧急停止而未达到预设发货量，则按“启动”按钮，可继续发货，如果规定发货量已达到，则按“启动”按钮无效。

5.6 按钮的误操作问题

完善的逻辑设计，使得控制器、操作台上的所有按键、按钮如果出现误操作都不会发生事故。

5.7 关于防止液碱凝固问题

由于液碱温度低于 8℃ 后，就容易出现凝固现象，所以电磁流量计前后管道采取保温措施。

5.8 车辆发货位置核验和排队问题

由于现场发货往往是多个车位发同一品种的货品，或者由于工厂分为多期建设，有多个不相连的发货车位可以发同一品种的货品。在 IC 卡发货刷卡时将检验车辆所在位置的发货品种是否正确，以免错发、误发，减少不必要的差错，提高发货的准确率。

同时通过上位机可以与称重系统协同，对车辆进行厂内的排队叫号管理，自动分发当前车辆该发货品种应该到哪个车位进行发货。完成某个发货口的灌装之后自动通知电子屏下一辆车进行就近等候。通过排队的方式，优化车辆的排队顺序，压缩等候时间，提升发货效率，实现企业高效的物流管理能力。

5.9 现场环保问题

由于液碱发货现场会有微量的刺激性气体，如管理不当会造成一定的危险，因此可以通过批量控制仪的 DO 口外接尾气吸收器，在完成发货后控制器 DO 口仍持续三分钟的尾气吸收，将现场微量的刺激性气体收集到小型储罐，确保现场环境不受污染。

6. 系统的调试

6.1 逻辑控制功能的调试

经 IC 卡下达一个预设值为 1 吨的指令，按操作顺序操作，直到本批操作任务完成，每一个阶段的表现，应与工艺专业的要求相符。

6.2 发货量控制精度的调试

发货量控制精度的调试包括过冲量调试和称量误差调试。在控制器中由两个提前量窗口用于过冲量调试，即大阀提前量和小阀提前量，仔细调试使过冲量减小到 $\pm 1\text{kg}$ 范围内。

所谓称量误差就是汽车衡称得的发货净质量与预设量之差。通过控制器中的“流体密度”设定值进行修正，工艺专业规定，误差在 $\pm 10\text{kg}$ 范围内，不予修正，否则予以修正，例如预设量为 20000kg ，误差 -20kg ，则将密度设定值减小 0.1% 。这一调试方法的依据是认定称量结果为代用真值。

小功率继电器接点增设灭弧电容。中功率继电器直流绕组，增设灭弧二极管，以延长接点使用寿命，提高可靠性。

7. 系统运行情况

系统经调试合格投入发货作业后，一直运行安全可靠，在五年的观察时间内，除了投运初期有三台进口智能电磁流量转换器同时出现黑屏，后由厂方更换三根电缆外，设备未发生过大小故障，系统也未发生大小事故。每车装车时间缩短三分之一，发货精度提高一个数量级，从上位机提供的报告可看出，每一车称重结果误差在 $\pm 10\text{kg}$ 以内的占 95% ，从而得到操作人员 and 货主的好评，并彻底杜绝了作弊现象。

8. 结束语

① 将原来的静态容积法定量装车发货改为动态质量法自动定量装车发货。尽管没有花高价采购科里奥利质量流量计，而是采用相对廉价的智能电磁流量计，但经温度补偿和频率信号传送以及数字量计算质量，也能得到优于 $\pm 0.1\%$ 的装车精度。符合液体化工产品计量交接计量器具 0.2 级准确度的要求，所以选用电磁流量计是合理的。

② 二级组网将风险彻底分散。上位机实时监控每一个车位每一次装车发货的全过程，使发货过程透明化。从而从根本上杜绝作弊现象。

③ 流量批量控制是专门用途的 PLC，是专为液体定量发货而设计的自带显示器和操作键的 PLC，使用时无需组态，只需在几条菜单中填上相关数据即可，因而简单实用，操作方便^{[3][11]}。

④ 完善的逻辑设计和可靠性设计，使系统具有高度的安全可靠，从而使系统能长周期安全、可靠、精准、高效运行。而且控制器、操作台上的每一个按键、按钮如果出现误操作都不会引发事故。

⑤ 该项目的实施，既提高了发货效率又提高了定量精度，多年的运行结果表明，系统设计合理，安全可靠，所以是成功的。

参考文献：

- [1] 单新云. 定量装车控制系统的设计与应用. 石油化工自动化. 2020, (56).3.
- [2] 李景玉. 定量装车计算机控制系统的实现. 石油化工自动化, 2001, (2): 73~74.
- [3] 纪纲. 流量测量仪表应用技巧[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社, 2009.
- [4] 陈昕, 李琼. 浅析石化行业中两阶段气动切断阀的使用. 天津化工. 2015 (29) 01.
- [5] 肖素琴, 韩厚义, 质量流量计[M]. 北京: 中国石化出版社, 1999: 14-15.
- [6] 王池, 王自和, 张宝珠, 孙淮清. 流量测量技术全书. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [7] 蔡武昌, 马中元, 瞿国芳, 王松良. 电磁流量计. 中国石化出版社, 2004.
- [8] 王森, 纪纲. 仪表常用数据手册 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [9] 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [10] 任艳庆. 汽车定量装车系统的集成和应用. 数据技术与应用, 2011(7).
- [11] 黄金荣. 可编程控制器在油品装车中的应用. 自动化仪表. 2004, (12): 65~67.

（本文源自《氯碱化工》2022 年第 12 期）