

## 基于多源信息融合的火车快速定量装车系统期望给煤量模型研究

赵凯旋

中煤科工智能储装技术有限公司 北京

**【摘要】** 火车快速定量装车系统在 C70/C80 大标载车型装车作业时，缓冲仓煤量存在短时波动大、供需失衡的问题。针对此问题，提出一种基于多源信息融合的期望给煤量模型。该模型首次将缓冲仓煤量、带式输送机缓存煤量、装车进度、列车编组信息进行在线融合，构建了以时间为自变量、期望给煤量为因变量的分段解析函数，作为上游给料控制系统的实时跟踪目标。工业试验结果表明，期望给煤量模型较传统“仓位-阈值”策略，平均装车时间由 65 秒/节缩短至 58 秒/节，给煤机启停次数由 3 次/列降至 1 次/列，显著提升了装车效率与设备寿命。

**【关键词】** 快速定量装车系统；缓冲仓煤量；多源信息融合；期望给煤量模型

**【收稿日期】** 2025 年 11 月 6 日

**【出刊日期】** 2025 年 12 月 30 日

**【DOI】** 10.12208/j.jer.20250395

### Research on an expected coal feed rate model for train rapid quantitative loading systems based on multi-source information fusion

Kaixuan Zhao

CCTEG Intelligent Storage & Loading Technology Co., Ltd., Beijing

**【Abstract】** During the loading operation of C70/C80 large-rated-load freight cars with the rapid quantitative train loading system, the coal volume in the buffer bin suffers from large short-term fluctuations and supply-demand imbalance. To address this problem, an expected coal feeding rate model based on multi-source information fusion is proposed. For the first time, this model performs online fusion of the coal volume in the buffer bin, the cached coal volume on the belt conveyor, loading progress, and train marshalling information, and constructs a piecewise analytical function with time as the independent variable and the expected coal feeding rate as the dependent variable, which serves as the real-time tracking target for the upstream feeding control system. Industrial test results show that compared with the traditional "bin level-threshold" strategy, the expected coal feeding rate model reduces the average loading time per car from 65 seconds to 58 seconds and the number of start-stop cycles of the coal feeder from 3 times per train to 1 time per train, significantly improving loading efficiency and equipment service life.

**【Keywords】** Rapid quantitative train loading system; Coal volume in the buffer bin; Multi-source information fusion; Expected coal feed rate model

#### 引言

火车快速定量装车系统是现代煤炭运输的重要环节，其效率和精度直接影响到运输效益和安全性<sup>[1]</sup>。对 C70/C80 大标载敞车，系统存在缓冲仓煤量瞬时波动大、供需失衡的问题<sup>[2]</sup>，故需将仓内煤量控制在 30% - 70%额定区间以维持平衡。

在快速定量装车系统作业时，带式输送机向缓冲仓的煤量供给是一个连续过程<sup>[3,4]</sup>，而缓冲仓向下方定量仓的煤量供给是一个短时放量过程<sup>[5,6]</sup>，所以缓冲仓煤量的周期性波动是一种动态稳态表现。传统的“煤量-阈值”控制策略频繁启停给煤机和带式输送机，降低

设备使用寿命；煤量输送具有较大的时间滞后性，即给煤机的瞬时煤量变化一段时间后才能反映到缓冲仓的煤量变化。因此，考虑缓冲仓煤量的动态稳态特性和时间滞后性，以缓冲仓煤量作为控制目标是不可行的。

针对上述问题，本文提出了一种期望给煤量模型，首次融合缓冲仓煤量、带式输送机缓存煤量、装车进度及列车编组等多源信息，建立以时间为自变量、期望给煤量为因变量的分段解析函数，作为上游给料系统的实时跟踪目标。国家能源集团准东露天煤矿工业试验（2 组，共 6 列 C70 编组列车）证明，本文所提模型与传统的“缓冲仓煤量-阈值”控制策略相比，平均装

车时间由 65s/节缩短至 58s/节,给煤机启停次数由 3 次/列降至 1 次/列,缓冲仓煤量的短时波动性显著降低,显著提升了装车效率与设备寿命。

### 1 火车快速定量装车系统

火车快速定量装车系统主要由缓冲仓、定量仓、称重系统、装车溜槽及控制系统等组成<sup>[7]</sup>,如图 1 所示。缓冲仓用于接收上游带式输送机输送的煤料,起到暂存和调节煤量的作用,保证装车作业的连续性<sup>[8]</sup>。缓冲仓额定容量范围为 300-500 吨,其料位通过雷达料位计或称重传感器进行实时监测,配备多组液压闸门控制下料。

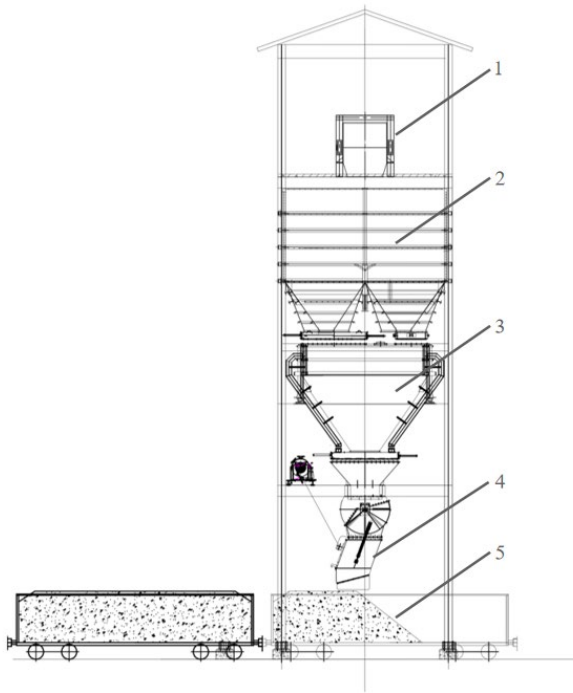


图 1 火车快速定量装车系统

1.带式输送机, 2.缓冲仓, 3.定量仓, 4.卸料溜槽, 5.火车车厢

在装车过程中,缓冲仓料位变化直接影响快速定量装车系统的稳定性与效率:

(1) 料位过高(>70%额定容量):易造成冒仓、洒煤事故,还可能损坏设备或引发安全事故。

(2) 料位过低(<30%额定容量):定量仓可能无法获得足够煤料,导致装车作业中断,严重时需要人工补料或重新装车,降低作业效率。

若缓冲仓煤量波动频繁,将导致给煤机和带式输送机频繁启停,造成设备磨损加剧、能耗上升和系统响应滞后等问题,影响下游装车节奏。因此,维持缓冲仓煤量在合理区间(通常为额定容量的 30% - 70%),是实现连续、高效、安全装车的关键前提。

### 2 期望给煤量模型

在本节中,按照火车快速定量装车系统的工艺流程,建立期望给煤量模型。模型将缓冲仓料位、带式输送机缓存煤量、装车进度、列车编组信息等多源信息融合,构建以时间为自变量、期望累积给煤量为因变量的分段解析函数。通过建立合理的期望给煤量模型,提前预测煤量需求,能够有效避免传统“煤量-阈值”控制策略带来的频繁波动问题。

以额定载重为 400 吨的缓冲仓为例,快速定量装车系统全流程作业过程中,缓冲仓料位的理想变化曲线呈周期升降变化的特点。按标准装车作业流程,将期望给煤量模型按照工艺流程分为三个阶段:

(1) 装车流程启动阶段,时间为 0- $t_1$  时刻。期望给煤量随时间线性增加,直至缓冲仓煤量达到 240 吨:

$$y_d(t) = kt \quad 0 < t \leq t_1 \quad (1)$$

其中,  $t$  为时间,  $y_d(t)$  为  $t$  时刻的期望给煤量,  $k$  为瞬时给煤量。在 0- $t_1$  时刻,实际给煤量计算公式为缓冲仓煤量和带式输送机缓存煤量的加和,即:

$$\begin{aligned} y(t) &= M_H(t) + Q(t) \\ &= M_H(t) + \sum_{j=1}^p x_j(t) \quad 0 < t \leq t_1 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $M_H(t)$  为  $t$  时刻的缓冲仓煤量,  $Q(t)$  为  $t$  时刻的带式输送机缓存煤量,  $p$  为带式输送机划分的离散单元数量,  $x_j(t)$  为  $t$  时刻第  $j$  个离散单元上的负载煤量,  $j=1,2,K,p$ ,计算方法详见文献[6]。

$t_1$  时刻的期望给煤量预计可完成前  $n_1$  节车厢的装载:

$$\sum_{i=1}^{n_1} M_i < y_d < \sum_{i=1}^{n_1+1} M_i \quad (3)$$

其中,  $M_i$  为第  $i$  节车厢的应装载重,  $i=1,2,K,n$ ,  $n$  为火车最大节数。

(2) 装车流程循环阶段,时间为  $t_1-t_2$  时刻。期望给煤量根据最优缓冲仓煤量、已装节数、当前车厢装车进度和  $t_1$  时刻期望给煤量对应的车厢数量  $n_1$ ,对  $t_1-t_2$  时刻的期望给煤量进行预测更新:

$$y_d(t) = 0.5M_{H\max} + \sum_{i=n_1+1}^{n_1+n_2} M_i + \omega_{n_2+1}(t)M_{n_1+n_2+1} \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (4)$$

其中,  $M_{H\max}$  为缓冲仓最大容量,  $n_2$  为列车已装节数,故障车厢的应装载重设置为 0,  $\omega_{m+1}(t) \in (0,1)$  为当前车厢装车进度,计算公式如下:

$$\omega_{n_2+1}(t) = \frac{l_{n_2+1}(t)}{L_{n_2+1} + d} \quad (5)$$

其中,  $l_{m+1}(t)$  为  $t$  时刻溜槽相对第  $n_2+1$  节车厢前绑的相对位置,  $L_{m+1}$  为第  $n_2+1$  节车厢长度,  $d$  为车厢间隙。

在  $t_1-t_2$  时刻, 实际给煤量计算公式可以表示为带式输送机缓存煤量、缓冲仓煤量、定量仓煤量和装车煤量的加和, 即:

$$y(t) = M_H(t) + M_D(t) + \sum_{j=1}^p x_j(t) + \sum_{i=1}^{n_2} M_i + \omega_{n_2+1}(t) M_{n_2+1} \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (6)$$

其中,  $M_D(t)$  为  $t$  时刻的定量仓煤量。

(3) 装车流程结束阶段, 时间为  $t_2-t_3$  时刻。当期望给煤量达到火车额定载重后, 期望给煤量将保持不变:

$$\begin{aligned} y_d(t) &= M_d \\ &= \sum_{i=1}^n M_i \quad t_2 < t \leq t_3 \end{aligned} \quad (7)$$

在  $t_2-t_3$  时刻, 实际给煤量计算公式同式 (6)。

根据式 (1)、(4)、(7), 期望给煤量的计算公式可以整理为:

$$y_d(t) = \begin{cases} kt & 0 < t \leq t_1 \\ 0.5M_{H\max} + \sum_{i=n_1+1}^{n_1+n_2} M_i + \omega_{n_2+1}(t) M_{n_1+n_2+1} & t_1 < t \leq t_2 \\ \sum_{i=1}^n M_i & t_2 < t \leq t_3 \end{cases} \quad (8)$$

根据式 (2)、(6), 实际给煤量的计算公式可以整理为:

$$y(t) = \begin{cases} M_H(t) + \sum_{j=1}^p x_j(t) & 0 < t \leq t_1 \\ M_H(t) + M_D(t) + \sum_{j=1}^p x_j(t) + \sum_{i=1}^{n_2} M_i + \omega_{n_2+1}(t) M_{n_2+1} & t_1 < t \leq t_2 \\ M_H(t) + M_D(t) + \sum_{j=1}^p x_j(t) + \sum_{i=1}^{n_2} M_i + \omega_{n_2+1}(t) M_{n_2+1} & t_2 < t \leq t_3 \end{cases} \quad (9)$$

在本节中, 根据火车快速定量装车系统的工艺流程, 通过融合多源信息的方式, 给出了期望给煤量模型的分段解析函数和实际给煤量的分段解析函数, 为给煤机、带式输送机的启停控制和频率调整提供了模型基础。

### 3 试验验证

为对本文所提的基于多源信息融合的火车快速定量装车系统期望给煤量模型进行试验验证, 依托国家能源集团新疆能源准东煤矿的火车快速定量装车系统, 搭建试验平台, 如图 2 所示。

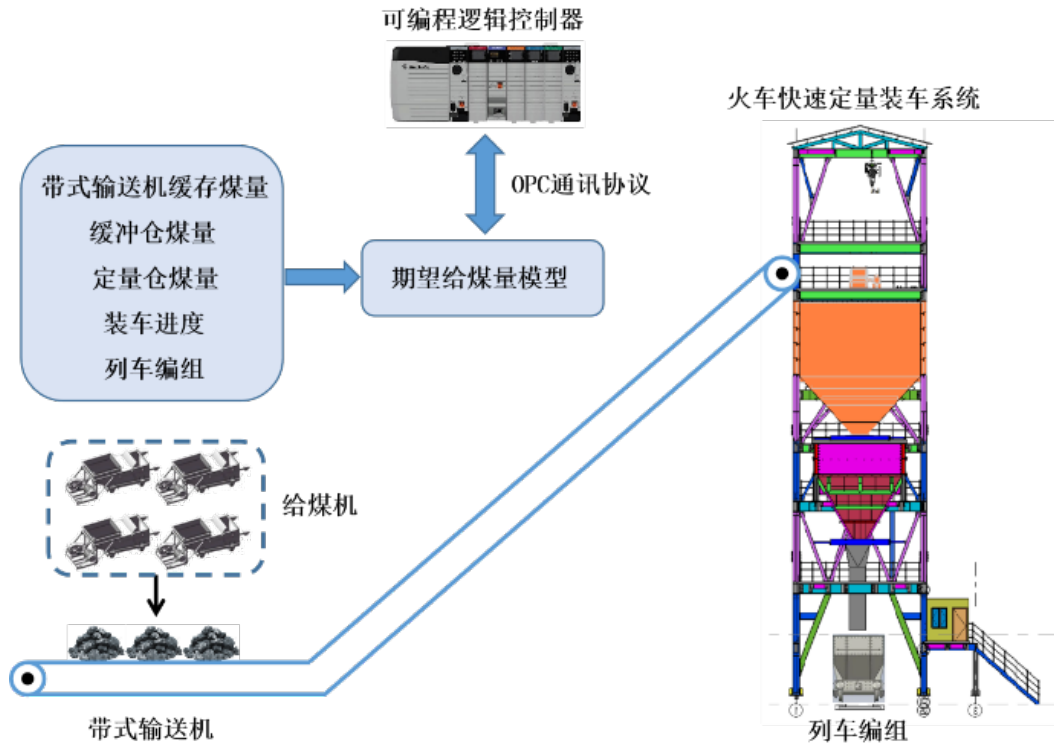


图2 实验平台框架图

该火车快速定量装车系统使用的可编程逻辑控制器型号为 Allen-Bradley 1756-L71，期望给煤量模型部署于专用服务器上，通过 OPC 通讯协议与 PLC 通信，以实时获取缓冲仓煤量、带式输送机缓存煤量、装车进度和列车编组信息，计算期望给煤量。

为验证本文所提模型的有效性，设置两组实验，分为对照组 A 和实验组 B。对照组 A 采用一种改进的“缓冲仓煤量-阈值”策略，利用以缓冲仓煤量和定量仓煤量之和近似缓冲仓最优煤量，以二者误差作为 PID 的输入，设计控制策略如下：

$$\dot{\Phi}(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (10)$$

其中， $\dot{\Phi}(t)$  为给煤机频率的一阶导数； $e(t) = 0.5M_{H_{\max}} - M_H(t) - M_D(t)$  为误差值，为缓冲仓最优煤量与缓冲仓煤量和定量仓煤量加和的差值； $K_p$  为比例增益； $K_I$  为积分增益； $K_D$  为微分增益。实验组 B 以期望给煤量和实际给煤量作为误差，参照式 (10) 部署 PID 控制策略，其中  $e(t) = y_d(t) - y(t)$ 。对照组 A 和实验组 B 使用同一组 PID 参数，比例增益  $K_p = 30$ ，积分增益

$K_I = 0.29$ ，微分增益  $K_D = 7.2$ 。为避免给煤机频率频繁变化，设置给煤机频率更新周期为 30s/次，每组运行 3 列 C70 整编列车，记录装车作业过程中缓冲仓煤量数据。图 3 为对照组 A 的缓冲仓煤量图，图 4 为实验组 B 的缓冲仓煤量图。

根据图 3 所示，对照组 A 采用的“缓冲仓煤量-阈值”策略，在 1 列 C70 整编列车装车过程中，缓冲仓煤量 3 次超过 280 吨（大于额定仓容的 70%），导致给煤机出现了三次启停；并且由于该策略仅依靠缓冲仓煤量和定量仓煤量之和作为调节依据，无法将带式输送机缓存煤量、装车进度和列车编组信息作为调节煤量的依据，因此对照组 A 的缓冲仓煤量整体波动较大，而且在装车作业结束时无法将缓冲仓排空。

根据图 4 所示，基于本文所提期望给煤量模型的实验组 B 在 1 列 C70 整编列车装车过程中，未发生煤量超出 280 吨的情况。实验组 B 缓冲仓煤量变化趋势基本符合标准装车作业流程，装车流程启动阶段缓冲仓煤量线性增加；装车流程循环阶段，期望给煤量模型根据多源信息调整期望控制策略，将缓冲仓料位维持在仓位 30%-70% 内周期性波动；装车流程结束阶段，停止上游给煤，仅依靠仓内余煤完成尾节车厢的装车作业。

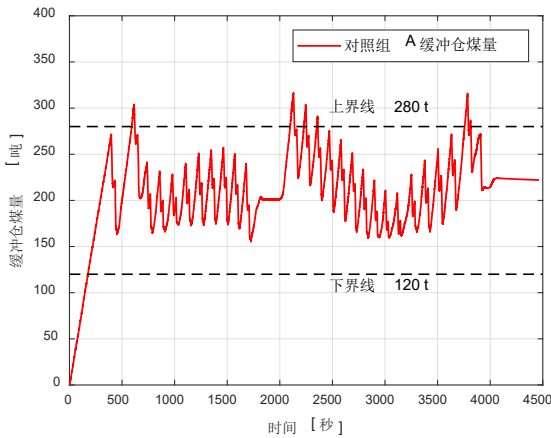


图 3 对照组 A 缓冲仓煤量图

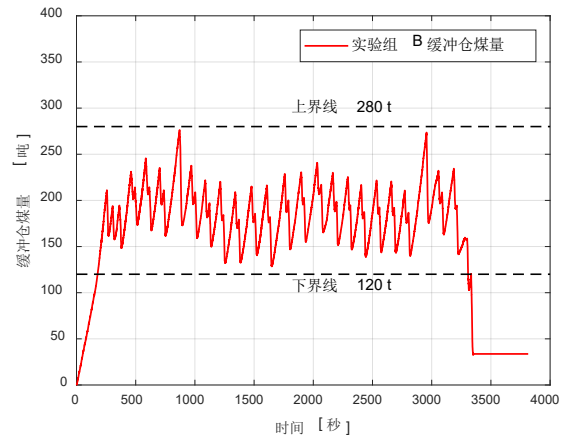


图 4 实验组 B 缓冲仓煤量图

以平均装车时间、给煤机启停次数、列车停车次数作为评价指标，实验结果对比如表 1 所示。平均装车时间为每节车厢装载的平均耗时，用于衡量模型的综合控制效果，对照组 A 的平均装车时间为 65 秒/节，实验组 B 的平均装车时间为 58 秒/节，证明本文所提的期望给煤量模型具有更好的煤量调节能力，能够适用于高上游瞬时给煤量的工况。给煤机启停次数代表

缓冲仓煤量超过设计容量 70% 的次数，列车停车次数代表缓冲仓煤量低于 30% 的次数，表 1 中数据表明期望给煤量模型能够更有效地将缓冲仓煤量维持在 30%-70% 的合理区间，期望给煤量模型对带式输送机缓存煤量、缓冲仓煤量、装车进度和列车编组信息进行了综合考虑，所以实验组 B 的实验结果要整体优于对照组 A。

表 1 实验结果对比表

指标名称	对照组 A	实验组 B
平均装车时间	65 秒/节	58 秒/节
给煤机启停次数	3 次/列	1 次/列
列车停车次数	2 次/列	1 次/列

4 结语

基于多源信息融合的火车快速定量装车系统期望给煤量模型的研究，是当前装车系统智能化发展的重要方向。通过融合多源信息，构建以时间为自变量、期望累积给煤量为因变量的分段解析函数，能够有效解决装车过程中存在的料位波动和煤料供需不均衡问题。未来的研究应进一步优化信息融合技术和模型构建方法，以提高装车系统的智能化水平和装车效率。

参考文献

[1] 韩峰,胡希鹏,张鹏,等.火车智能化快速定量装车系统研究[J].自动化应用,2025,66(03):214-216.

[2] 刘海瑞.选煤厂智能定量快速装车系统优化[J].机械研究

与应用,2024,37(03):181-183.

[3] 刘飞,张乐群,潘红光,等.带式输送机煤量检测技术及其发展趋势[J].中国煤炭,2023,49(09):77-83.

[4] 陈书航,王世博,葛世荣,等.综采工作面刮板输送机煤流时空分布研究[J].工矿自动化,2024,50(09):98-107.

[5] 希都日古,于昕,常文峰,等.煤炭快速定量装车站精准装料控制系统设计[J].煤炭工程,2023,55(05):14-19.

[6] 武徽,李旭.快速定量装车系统自适应配料控制研究[J].煤矿机械,2020,41(10):33-36.

[7] 吕玮,段明坤,王瑞,等.精确快速定量装车系统现状及发展分析[J].科技与创新,2023,(16):64-66.

[8] 尹瑞,张冬雪,倪强.基于数组的刮板输送机运载模型及煤量计算算法研究[J].工矿自动化,2024,50(08):84-90.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

