

编组驼峰自动化系统

牟广森 汪德模 陈龙甫 陆福如 朱槐之 杨廉琬

(铁道部科学研究院)

摘 要

本文介绍了编组驼峰自动化系统的必要性和工作原理。实践说明,它有明显的经济和社会效益,各主要环节的设计思路是可行的,便于推广使用。

铁路编组站作业繁忙,需将到站的货物列车按各自的去向,分别送到不同方向的编组线里,待车辆集结到够一列车的长度和重量后,重新挂上机车开往要去的方向。通常把这个分送的过程叫做列车解体。

列车解体,现在多采用驼峰的形式,即将编组站的咽喉部分做成一个适当的斜坡。当车列被推到坡顶时,排好进路道岔,将车钩提开,利用重力作用使车辆自动溜放到所需的编组线里。不需用机车一钩一钩的顶送,这样就大大地提高了解体速度。

但这样有相当的危险性,即溜放的速度不易控制,如溜放快了容易和编组线中已停的车辆高速相撞发生事故;溜放慢了要中途停车,使后面的解体作业不能进行。特别在道岔咽喉区,车组一钩紧跟一钩,速度掌握不好就会出事故。因此,提出了用计算机自动控制溜放速度,以达到保持间隔并和编组线里停留车辆自动安全连挂的目的(简称驼峰自动化)。

一、工作原理

实现驼峰自动化,可在溜放进路上设四组减速器和测量车组走行阻力、重量、编组线空闲长度的测定器,测量车组实际速度的雷达装置,以及各种测车组实时走行位置和时间的轨道电路、传感器等设备。计算机根据这些检测数据,按预先设计的数学模型计算出每个减速器出口应保持的速度,并发出控制减速器的命令。

二、控制车组速度的计算

驼峰溜放过程近似符合下述模型:

$$V_{末}^2 = V_{初}^2 + 2gL(W - i)10^{-3}. \quad (1)$$

式中, $V_{末}^2$ 为末速度,通常设定为连挂速度; g 是考虑了转动惯量后的重力加速度; L 为

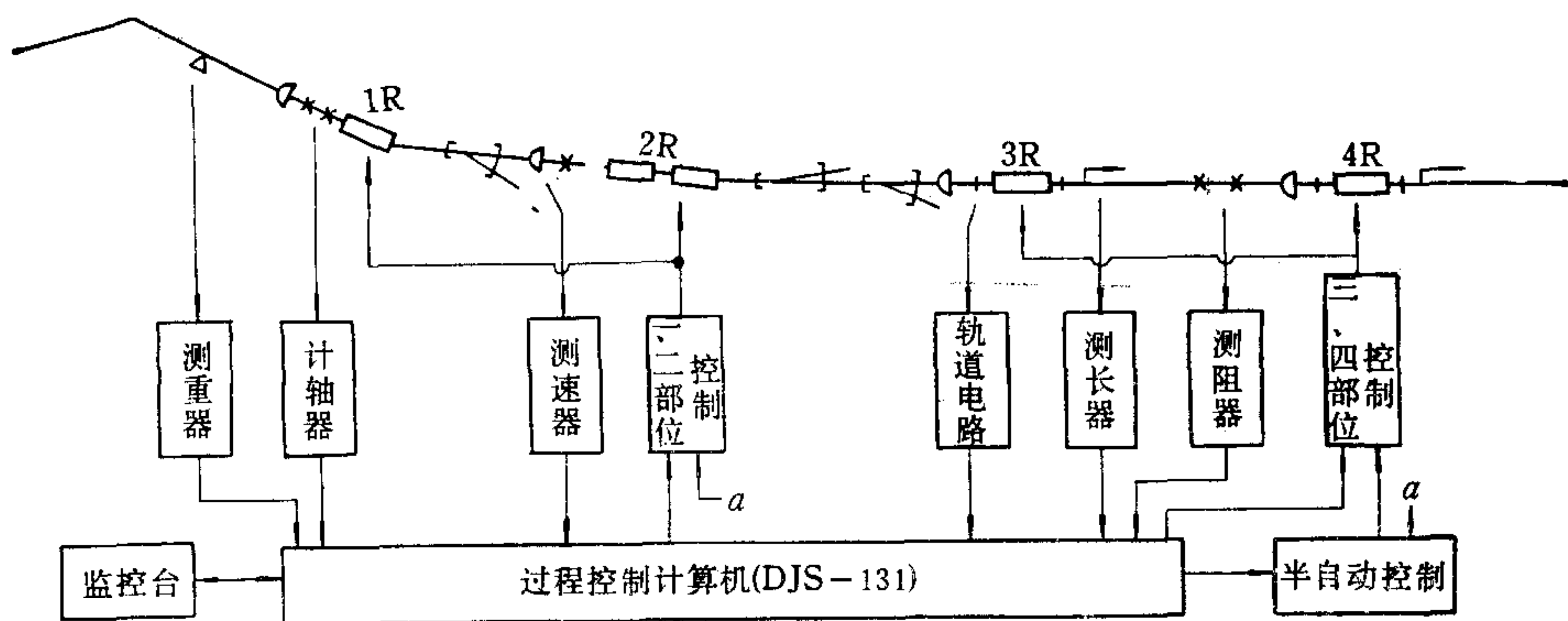


图1 驼峰自动化结构原理

编组线空闲长度; W 为车组的走行阻力; i 为线路坡度。

1. 车组走行阻力的测定。 当车组在某一不太长的区段内自由溜放, 且速度变化不大时, 模型(1)可成立, 也就是说在某特定区段内车组阻力是常数。对不同车组阻力的测定就是基于这一原理。有

$$V_1 = \frac{l_{TP}}{t_1}, \quad V_2 = \frac{l_{TP}}{t_2}. \quad (2)$$

$$W(\text{车组走行阻力}) = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2gl} \cdot 10^3 + i. \quad (3)$$

式中 l_{TP} 为两个传感器的间距; t_1, t_2 分别为车轮经过第一、二对传感器的时间; V_1, V_2 分别为车轮经过第一、二对传感器的速度; l 为两对传感器之间距; i 为测阻区坡度。

车组在测阻区段的阻力由模型(2)、(3)测定。在减速器前的测阻区段中所测得的 W 是这个车组的一个特定值。它是在高速状态下测得的。车组经减速器调速后速度减小很多, 用这个较小的速度自由溜放直到停止。它的阻力将随着速度的减小而减小, 并与所测得的阻力特定值有些差异, 因此应按式(4)将阻力加以转换。

$$W(V) = A + BV + CV^2. \quad (4)$$

式中, 系数 A, B, C 可根据站场的情况由大量阻力曲线中统计得到。

2. 减速器出口速度的计算。 应用公式(1)、(4)求减速器出口速度时, 采取了迭代法综合求解, 即根据式(4)由速度求阻力, 再根据式(1)由阻力求速度, 这样逐次重复求解最终得到减速器的出口速度。具体算法是

暂取 $V^{(1)} = \frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}}{2}$ 第一次迭代值。据式(4)有

$$W[V^{(1)}] = W\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}}{2}\right] = A + B\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}}{2}\right] + C\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}}{2}\right]^2,$$

再代入(1)得, $V_{\text{出}}^{(1)} = \sqrt{V_{\text{挂}}^2 + 2gL(W[V^{(1)}] - i) \cdot 10^{-3}}$ 。

第一次迭代值 $V^{(1)}$ 中的 $V_{\text{出}}$ 可以取比 $V_{\text{挂}}$ 稍大的一个数值。第二次迭代值取

$V^{(2)} = \frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(1)}}{2}$, 代入各式计算, 即

$$W[V^{(2)}] = W\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(1)}}{2}\right] = A + B\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(1)}}{2}\right] + C\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(1)}}{2}\right]^2,$$

$$V_{\text{出}}^{(2)} = \sqrt{V_{\text{挂}}^2 + 2gL(W[V^{(2)}] - i) \cdot 10^{-3}}.$$

$$\text{一般情况是 } V^{(n)} = \frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(n-1)}}{2},$$

$$W[V^{(n)}] = W\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(n-1)}}{2}\right] = A + B\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(n-1)}}{2}\right] + C\left[\frac{V_{\text{挂}} + V_{\text{出}}^{(n-1)}}{2}\right]^2,$$

$$V_{\text{出}}^{(n)} = \sqrt{V_{\text{挂}}^2 + 2gL(W[V^{(n)}] - i) \cdot 10^{-3}}. \quad (5)$$

三、减速器出口速度的控制

出口速度的控制是系统的执行环节,控制精度与控制时机是否合宜直接关系到运营效果.为此需对雷达采集的车组速度进行滤波,使滤波后的车组速度与实际运行速度变化相符合,并掌握好减速器的制动、缓解时机.

1. 对雷达采样值的处理. 由于驼峰的坡度曲线大,雷达的采样值跳动较大,因此使用卡尔曼滤波对雷达采集的脉冲进行处理,当采样周期为 100 ms 时,一个脉冲相当于 0.288km/h.

设采样周期为 T ,第 m 步的滤波速度和加速度分别为 V_m 和 A_m , Y_m 为第 m 步采样值,则滤波公式为

$$\left. \begin{aligned} V' &= V_{m-1} + T \cdot A_{m-1}, \\ \Delta V &= Y_m - V'_m, \\ V_m &= V'_m + K_1 \Delta V, \\ A_m &= A_{m-1} + K_2 \Delta V. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中 K_1 ; K_2 为滤波系数,可由下列公式得到:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 1 - \frac{(n-1)(n-2)}{n(n+1)}, \\ T \cdot K_2 &= \frac{K_1^2}{2 - K_1}, \end{aligned} \right\} \quad (n > 3, \text{自然数}).$$

K_1 , K_2 的选取主要取决于模型噪声协方差与量测噪声协方差之比.根据车组在减速器上速度变化的具体情况, K_1 , K_2 由以下因素具体确定.在减速器减速度变化较大时(如制动和缓解时),采用变数;由于车组的辆数与减速器对它制动时的减速度成反比,对不同辆数采用不同的滤波系数,一辆车时最大.

由滤波公式(6)可知 K 值小,速度曲线平滑性好,但跟随性较差; K 值大,平滑性差,但跟随性好.实际测试的数据说明,咽喉和峰下各处车组速度变化范围和雷达采样值跳动情况差别很大,因此在选取 K_1 , K_2 时根据车组辆数,从开始制动(或缓解)到全制动(或全

缓解)采用了不同的数值,各减速器采用的值也不同。

选择好门限值是搞好滤波的另一个关键。门限值就是本次雷达速度采样值 Y_m 与上次滤波速度值 V'_m 之差的允许值 ΔV_{\max} ,也就是说在 $|Y_m - V'_m| \leq \Delta V_{\max}$ 时,雷达速度的采样值 Y_m 才算合格,否则是不合格的,属于跳动引起的超限值。门限值的大小也与车组的辆数和减速器的状态因素有关,特别对单个车尤为突出。门限值取得过大、过小均影响滤波效果,这与不恰当的选择滤波系数 K 一样,其结果是滤波速度与实际车组走行速度差别逐渐扩大,严重影响控制精度。

门限值要根据各个减速器雷达跳动的实际情况,分析大量的试验数据分别确定。对于在控制中出现的 $|Y_m - V'_m| > \Delta V_{\max}$ 情况,在滤波公式(6)中的本次采样速度与本次预估值速度之差 ΔV ,是根据车组辆数与减速器的不同状态取不同的值,然后代入公式进行计算的。

2. 控制减速器的原理。 减速器的控制是按下列公式发布制动命令的:

$$V_{\text{实}} > V_{\text{计}} - at_1 - a_i t_2. \quad (7)$$

直到 $V_{\text{实}}$ 等于或小于右侧的数值时发缓解命令。式(7)中 a 为实测的减速度, a_i 为因加速坡影响的加速度; t_1 为减速器从发缓解命令至减速器失去制动力的时间间隔; t_2 为减速器缓解后到车组出清减速器之间的时间间隔。实践说明, a 值往往是不稳定的,如采用该台减速器的平均减速度,即 \bar{a} 与 a 的平均值 $\left(\frac{a + \bar{a}}{2}\right)$ 作为缓解补偿用,效果较佳,

根据上述思路,设计了计算机的硬、软件系统和现场的测试、传感设备。计算机及外围通道采用了国产的 DJS-131 和 TQD-1 型。管理软件采用了实时操作系统 (RTOS), 软件系统能与 DESKTOP 型微机兼容。

四、运营效果

南翔站是我国第一个实现驼峰自动化编组的车站。1983年初正式昼夜连续运营后,显示出明显的经济与社会效益,1984年通过了铁道部技术鉴定。几年来从未发生过事故,安全情况大为好转,解体能力提高约 25%,安全连挂率已达到 90%,取消了原来的铁鞋制动,大量减少了人员和钢轨磨损。计算机系统的利用率达到 99.45%,平均故障间隔在 3000 小时以上,在提高解体效率和控制距离方面高于国外现有指标。

参 考 文 献

- [1] 牟广森,编组站实时控制系统的优化设计,中国铁道科学,第7卷,第2期,1986年。
- [2] 周正新,陆杏兴,牟广森,南翔驼峰计算机控制系统使用两年:安全好、效益高,铁道科技动态,第8期,1985年。

AN AUTOMATIC CLASSIFICATION HUMPING YARD SYSTEM

MOU GUANGSEN, WANG DEMO, CHEN LONGFU,
 LU FURU, ZHU HUAIZHI, YANG LIANLONG
 (Academy of Railway Sciences)

ABSTRACT

The indispensability and principle of the automatic classification humping yard system is introduced in this paper. Practical results show that this system has obvious economical and social benefits, and that the idea and the design of every link are practical and feasible. It is convenient for application.

更 正

对本刊 Vol. 13, No. 5 “属性语法中变元间关系”一文作如下更正。

第 323 页 14 行定义二的第 (2) 点, 改为: 如果与起始符对应的产生式为 $S \rightarrow N_1 N_2 \dots N_m$, $N_i \in V_N U V_T$, 对应的属性分别为 $\Phi(S), \Phi(N_1), \dots, \Phi(N_m)$. 给定一组规定的限制条件 $f_i(\Phi(S), \Phi(N_1), \dots, \Phi(N_m)) = 0$.

第 324 页倒数 16 行作如下更正: 控制连接图在图 2 的基础上加以简化而得到与起始符对应的产生式为 $A \rightarrow aBC$, 考虑 $\Phi(A) = |A|$, $\Phi(B) = |B|$, $\Phi(C) = |C|$, 规定限制条件为 $|A| = 3n, n = 1, 2, \dots, |B| = |C| + (n - 1)$.

第 324 页倒数第 5 行改为: 把以上条件归纳作一图, 以产生式右端变元作为结点, 以相应的连接关系作为图中弧的标号, 得到图 2. 在此基础上按所要生成的句子的形式得到控制连接图(从略). 需要注意的是 $|A| = 3n, |B| = |C| + (n - 1), n = 1, 2, \dots$, 这些条件起到对文法产生的句子加以控制的作用。