第6卷 第2期　　自 动 化 学 报　　Vol. 6, No. 2
1980 年 4 月　　ACTA AUTOMATICA SINICA　　April, 1980

铁路驼峰自动化的车辆速度控制系统*

李周槐　刘道华
(铁道部科学研究院)
朱　蕾　　朱伯华
(铁道部电化工程局)　(北京铁路局)

摘　　要

本文介绍了铁路驼峰自动化的车辆速度控制系统的方案概要及特点．提出用数理统计方法，寻找车辆走行阻力在减速器工作前后的变化规律以及用回归线法预计车辆在编组线上的走行阻力．

该系统在北京丰西编组站进行了运行试验，取得了预期的效果，实践证明它是一种简单、经济、安全、可靠的溜放速度自动化制式．

一、方 案 概 况

铁路编组站是货物列车集结的场所．到达的列车在编组站进行解体，编组成新的列车，驶向新的方向．所以提高编组站作业的能力，对提高铁路运输能力具有重要意义．

驼峰是进行列车解体的场所．车辆利用自身的重量，沿着设定的线路坡度，溜放至指定的股道，并与已经停留在股道上的车辆以安全速度连挂．驼峰溜放速度自动控制的任务，就是通过自动控制系统对车辆的溜放速度进行调整，以达到安全连挂的目的．

驼峰自动化是铁路运输现代化的重要组成部分，国内外都把这个课题放在重要位置上．自50年代初出现以来，取得了很大进展，内容也逐渐丰富，现在已经形成了包括速度自动控制，数据处理，进路自动控制等综合性自动化的系统．

本文只讨论溜放速度自动化。现在国内外正在使用与研究的溜放速度自动控制系统，有以下三类:

1. 采用缓行器为主要调速工具．只能在某些固定地点(设有缓行器的地点，通称制动位)，调整车辆速度的所谓“打靶式”控制系统[1,2]．这是目前各国铁路驼峰采用最广泛的主要制式．

2. 采用推送小车，或减速单元为主要调速工具．能在编组线上连续调速的所谓“连续式”控制系统[3,4]．这是目前许多国家正在试用或积极研究的制式．

3. 具有以上二种制式特点的混合式系统．

我国铁路驼峰自动化研究工作已经走过了一段路程．测速雷达，测长器，缓行器等基础设备已经研究成功并投入使用．系统的研究工作，近年来有几种方案分别在北京，上

* 本文曾在1979年10月无锡全国计算机应用交流会上报告，修改稿于1979年12月10日收到．

海，哈尔滨等铁路局进行试验，并取得了进展．但是，我国铁路车辆允许安全连挂的速度低，按铁道部规定，5公里/小时及以下为安全连挂速度，其安全连挂率应有85%以上．最高连挂速度不得超过7公里/小时．而且，我国编组线路的长度较长，车辆的走行阻力离散度比较大，这些特点，使我国铁路驼峰溜放自动化增加了难度．

本文提出的采用专用速度控制机系统，属于"打靶式"控制方案．目前，已在北京铁路局丰西编组站进行试用，取得了预期效果．

本方案的特点：

1）用数理统计的方法，掌握车辆的走行特性．针对每股道的具体情况，求得车辆在缓行器前后阻力的相关关系．并在误差允许的范围内，将常用阻力及长度分成若干个等级．

2）分散控制．每台缓行器都有自己的独立控制系统，以提高系统的可靠性．

3）确定出口速度采用"查表"方法．即事先把速度计算好，放在"只读存储器"中，溜车过程中按照不同的长度及阻力，从中选出一个速度，不采用在控制过程当时计算的方法．

4）在电路设计上采用模拟方式运算，用数字式测量及记忆．这样既简化了电路设计，又保证了必要的精度，同时采用抗干扰能力强的集成电路 HTL 为主要元件．

众所周知，所谓"打靶式"方案，是属于开环控制系统，其方框图见图1．

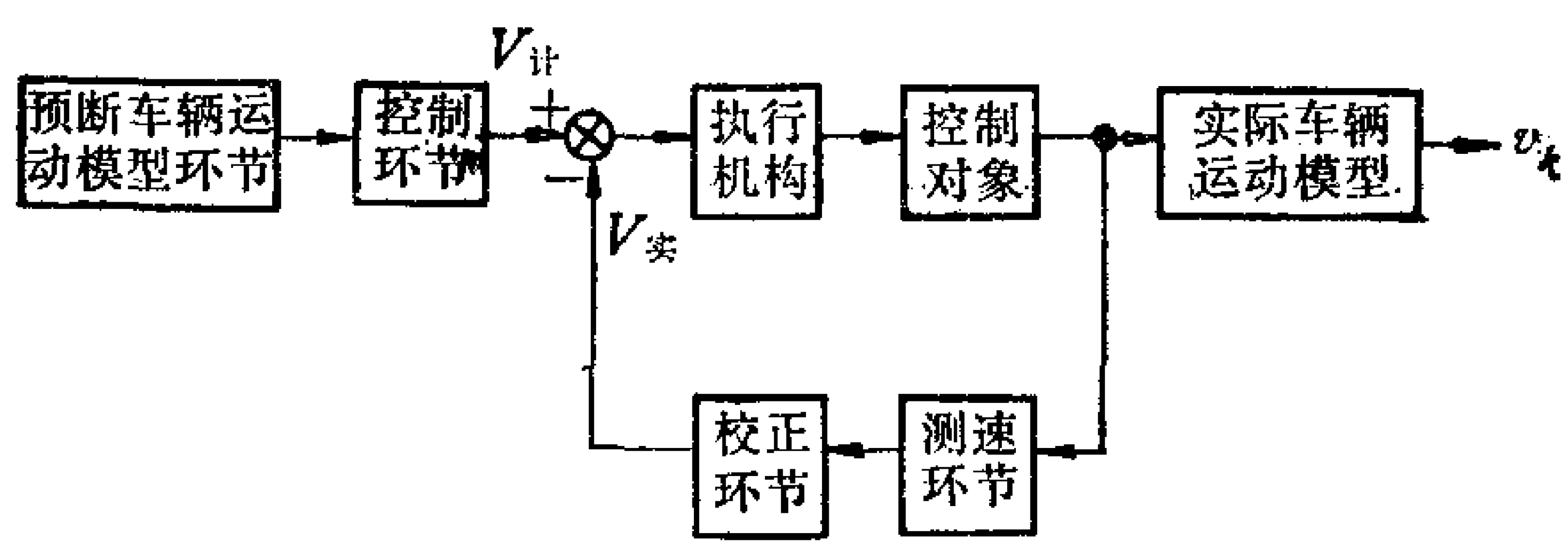

图1 驼峰溜放自动化系统原理图

系统动作开始后，首先对车辆走行阻力及要求停留的地点即溜放距离进行预测．以这些预测值为依据，由控制机确定车辆的速度给定值，经比较后，发出控制命令，使执行机构（缓行器）工作，开始调整车辆的速度．同时，由测速计不间断地测量车辆的速度，不间断地进行比较，当达到给定值时，调整过程结束；车辆以给定的速度继续自由溜放．如车辆在此后的走行阻力在预测值的允许误差范围内，即所给定的速度值是在允许误差范围之内，则车辆最终以安全连挂速度到达终点，否则就会产生超速，或者到达不了终点．可见系统的控制效果，关键是预计车辆阻力和溜放距离以及它们的精确度，从而得出精确的速度给定值．

以下将进一步进行分析．

1．误差分析

车辆经过调整后的实际速度，与给定值之间会有误差，称为出口速度误差．其允许值是由允许安全连挂速度，溜放距离，阻力等因素决定的，可按下式求得：

$$\Delta V_+ \doteq \frac{V_{K\max}^2 - V_K^2}{2\sqrt{V_K^2 + 2g'(w-i)l \cdot 10^{-3}}} \tag{1}$$

$$\Delta V_{-} \doteq \frac{-V_K^2}{2\sqrt{V_K^2 + 2g'(w-i)l \cdot 10^{-3}}} \tag{2}$$

式中：w——车辆的走行阻力平均值(公斤/吨)；i——编组线的平均坡度(‰)；l——溜放距离(米)；g'——考虑到转动惯量引起重力加速度 g 的变化值.

$$g' = \frac{g}{1+\rho},\ \rho = K\frac{N}{Q}.$$

其中：N——车辆轴数. Q——勾车重量. K——系数.

分析式(1)及式(2)，我们可以得出以下几点结论：

1) 允许最高连挂速度 $V_{K\max}$ 的值越大，出口速度的允许误差越大，越容易控制.

2) 溜放距离越远，出口速度的允许误差越小，有效控制距离将受到限制.

3) 车辆的阻力越大，出口速度的允许误差越小. 因而难行车控制比易行车困难.

出口速度的允许误差与控制距离，车辆阻力的关系曲线见图 2.

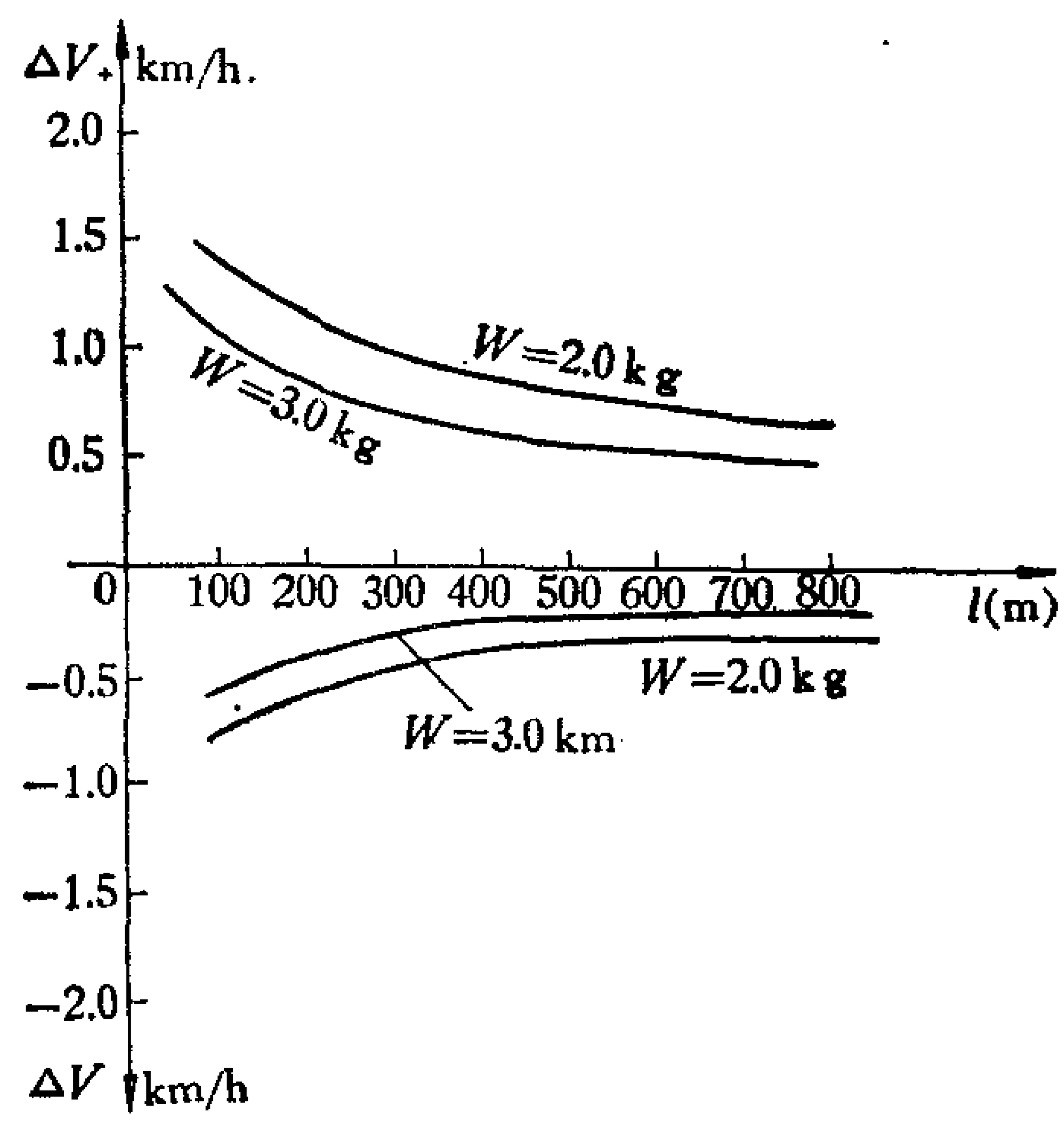

图 2　出口速度误差-长度关系曲线

出口速度的允许误差，就是系统的允许误差. 各环节误差的综合结果. 其大小不得超过以上所计算值的范围.

$$|V + \Delta V_+| \geq V_c \geq |V + \Delta V_-|$$

影响出口速度的精度有多方面的原因，如输入的股道空闲长度、勾车阻力信息本身的误差、计算误差、测速雷达误差、控制环节产生的误差、缓行器缓解后仍有剩余制动力等等. 在这些原因中，输入信息本身的正确性是基础. 下面将着重分析一下由于长度、阻力信息本身的误差所引起的出口速度的误差，从而推导出阻力的允许误差范围.

已知车辆出口速度给定值按下式计算：

$$V = \sqrt{V_K^2 + 2g'(w-i)l \cdot 10^{-3}}.$$

将上式对 w, l 进行偏微分，求得 V 的全微分式：

$$dV = \frac{\partial V}{\partial l}dl + \frac{\partial V}{\partial w}dw$$

$$= \frac{g'}{V}[ldw + (w-i)dl] \cdot 10^{-3}. \tag{3}$$

从(3)式中可以得出以下几点结论：

1) 阻力误差对出口速度误差的影响与溜放距离有关. 距离远，影响显著，距离近，影响少.

2) 长度误差对出口速度误差的影响与阻力大小有关. 阻力小，影响少；阻力大，影响显著. 在反坡的情况下长度误差的影响尤其显著. 阻力与坡度相等时，长度误差将不对出口速度产生影响. 因为此时车辆以等速运行，长度发生误差与否均无作用. 所以，合理

的坡度设计对提高控制效果是很重要的.

3）在控制距离远的情况下，阻力误差对出口速度的影响比长度误差对它的影响大.

用式(3)求出的 dV 值必须大于用式(1)，式(2)求出的允许值，即必须满足不等式:

$$|\Delta V| > dV.$$

将式(1)，式(3)代入不等式，整理后即可求得阻力的允许误差计算式:

$$dw_+ \le \frac{-2g'(w-i)dl \cdot 10^{-3} + V^2_{K\max} - V^2_K}{2g'l \cdot 10^{-3}}. \tag{4}$$

将式(2)，式(3)代入不等式，整理后即可求得阻力的正负允许误差计算式:

$$dw_- \le \frac{-V^2_K - 2g'(w-i)dl \cdot 10^{-3}}{2g'l \cdot 10^{-3}}. \tag{5}$$

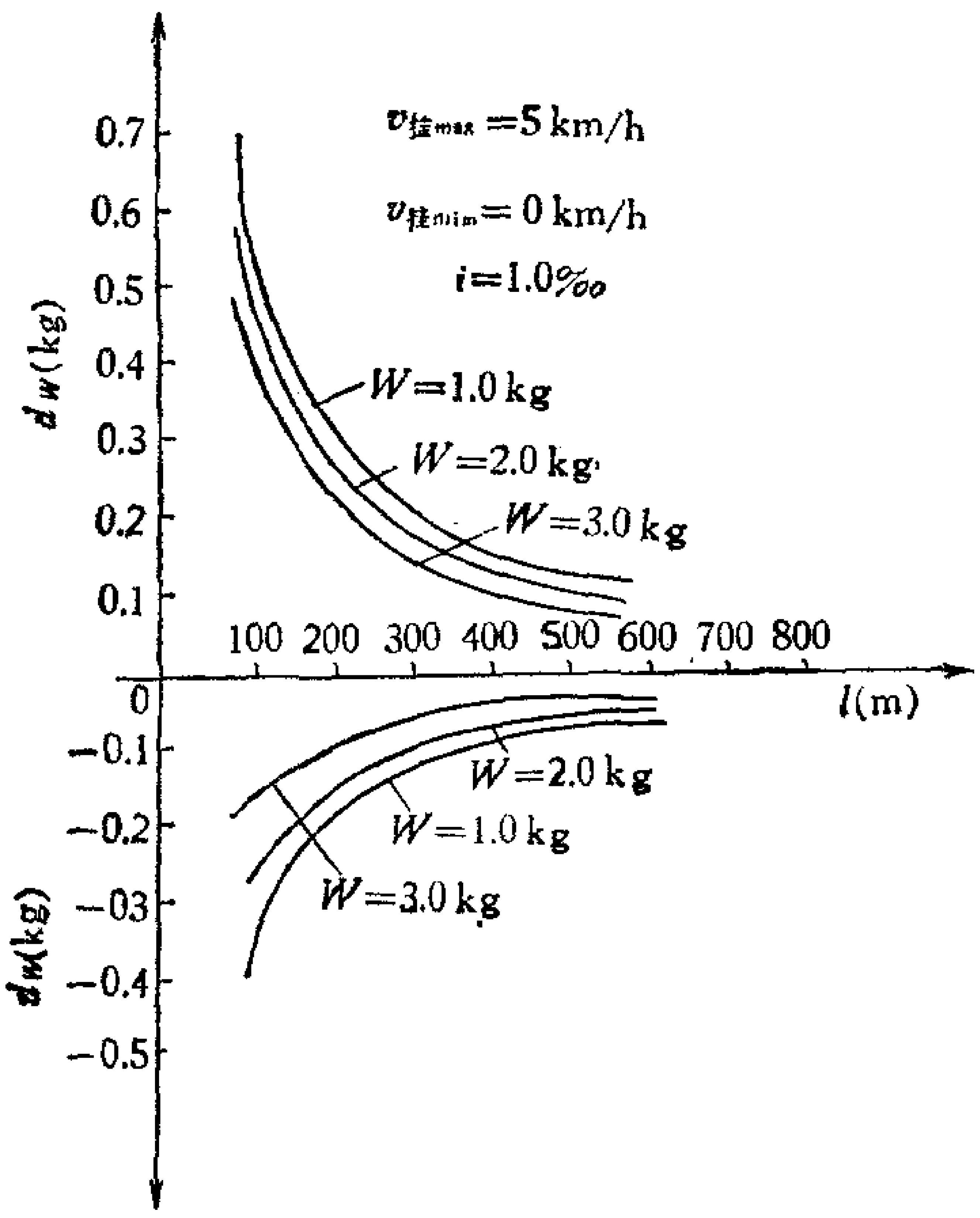

图 3　阻力允许误差-长度关系曲线

在计算 dw_+ 时，dl 取正值；在计算 dw_- 时，dl 应取负值.

阻力允许误差与控制距离的关系如图 3 所示.

车辆在编组线上运动，其速度是受多方面的因素影响的．有车辆自己内部因素，如车辆的闸瓦状态，轮距尺寸等等；还有一系列的外部因素，如风速、风向、气温、坡度、轨距、道床情况等等．诸因素相互作用的结果，影响车辆的走行速度，这些因素的总和构成了车辆走行特性，也就是车辆的阻力.

可以设想，在这样一个多因素相互作用的事物中，且有许多因素是事前难以预计的随机事件，而且又必须在勾车进入缓行器前就确定它才有意义．在缓行器前后，对同一勾车来说，许多条件是相同的．所以，前后之间的关系有着一定的相关性，可以从前面测到的阻力，大致估计出后面的阻力．然而，缓行器前与后毕竟有许多条件是改变了，所以，要精确地定出是困难的．象这样二个变量之间存在着密切的关系，但又不能由一个（或几个）变量的数值精确地求出另一个变量值，像此类问题，我们认为采用数理统计方法，求出它们之间的相关关系，比用其它方法更适合一些．采用数理统计方法来分析与预计车辆的走行特性，是本方案的主要特点之一.

我们在丰西测试的方法，是在编组线内的缓行器前面，按装了两组接触器，当勾车自峰顶溜下以后，通过两组接触器测得两个速度 V_1，V_2．它们之差 $V_1 - V_2 = \Delta V$ 即为缓行器前测阻区段的速度降，它的大小反映该勾车在缓行器前的走行特性，车辆经过缓行器制动之后，在缓行器的出口，测得这勾车的出口速度 V_3，该勾车溜至目的地，测得连挂速度 V_4，以这组速度，可求得该勾车在缓行器出口至停车点整个距离的平均阻力 w．这就是该勾车在缓行器后的阻力．以自变量 ΔV 为 X 辐，相应的变量 w 为 Y 轴，记录下一批数据后，作出回归线如图 4，图 5 所示.

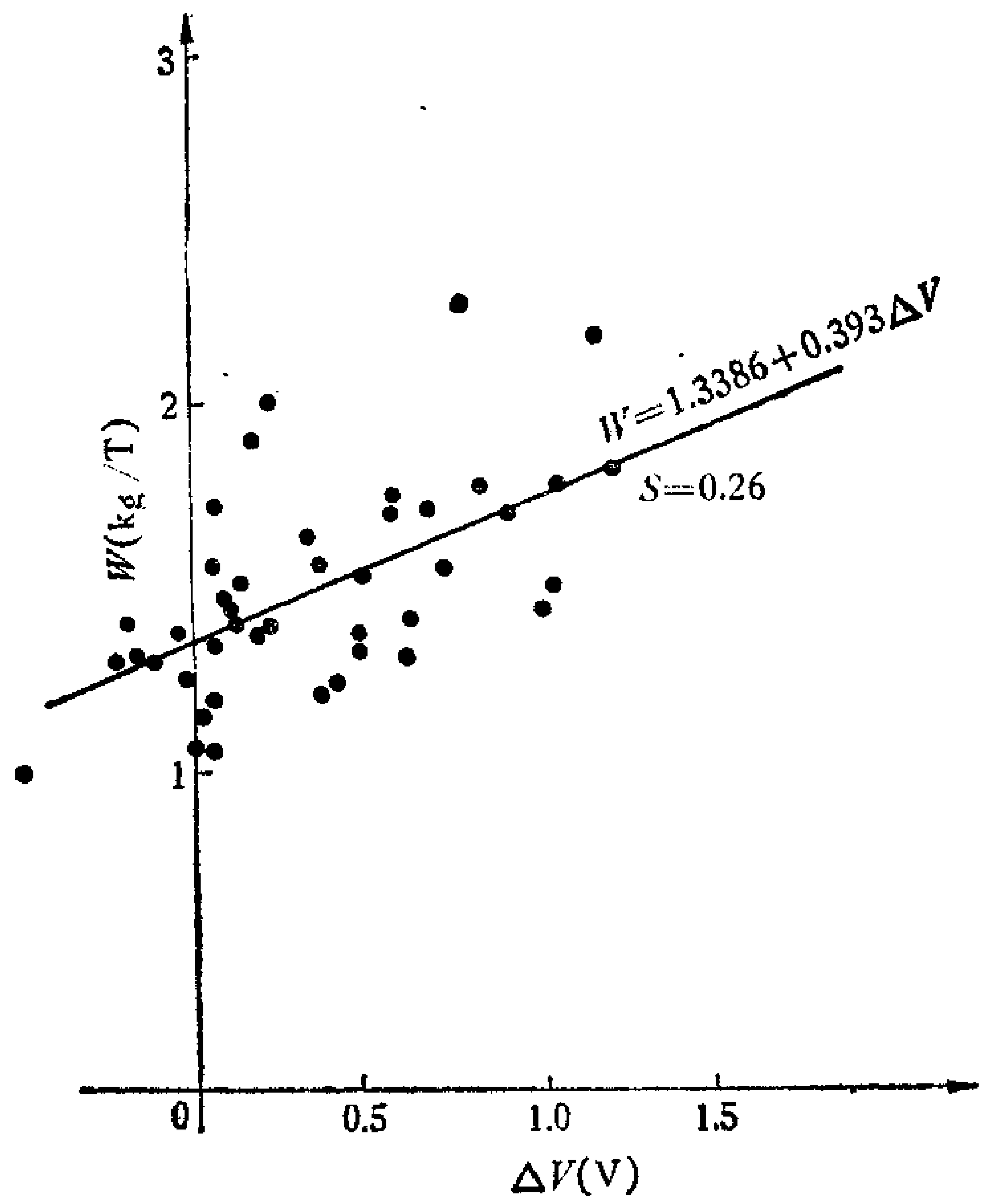

图 4　回归线(三部位)

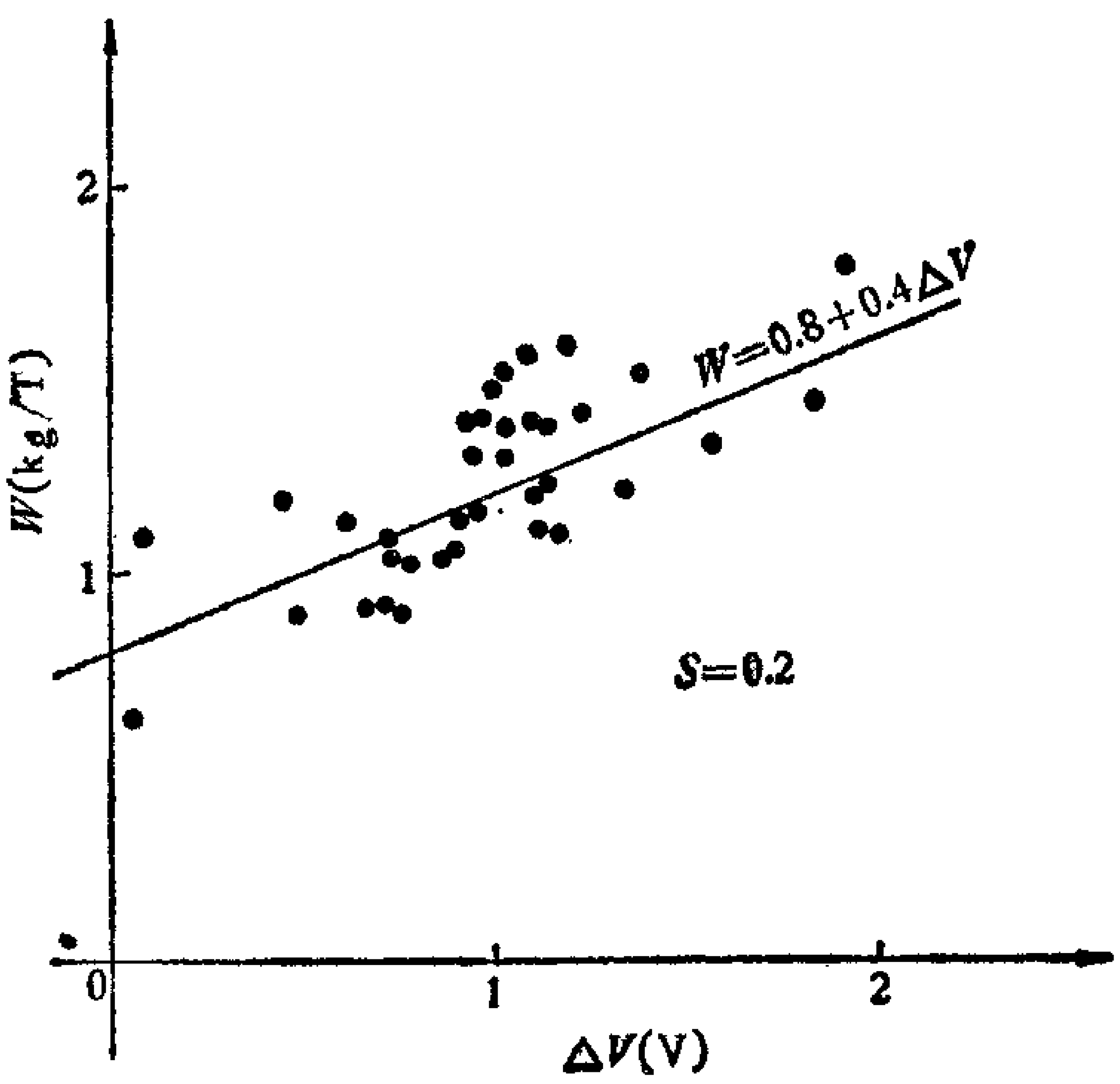

图 5　回归线(四部位)

从图上可看出：ΔV 与 w 之间大体是成线性关系，我们可以用一个一元线性回归方程来表示：

$$Y = A + BX.$$

该方程的 A、B 系数常用最小二乘法原理定出：

$$A = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} Y_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} X_i^2\right] - \left[\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} X_i\right]}{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left[\sum_{i=1}^{n} X_i\right]^2},$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} X_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} Y_i\right]}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} X_i\right]^2}.$$

从图 4，5 中所列的数据分别求得三、四部位的 A、B 系数：

三部位　$w = 1.3386 + 0.393\Delta V$,

$S = 0.26$;

四部位　$w = 0.8 + 0.4\Delta V$,

$S = 0.2$.

我们认为每一股道，因为情况不尽相同，回归方程中系数 A、B 的值是不相同的，而 A、B 系数值定的好坏，将影响预计阻力的精度，直接影响控制效果．在工程上实际应用时，只要在缓行器前测得速度降 ΔV，就可以按这股道的回归方程所预计的阻力值去确定出口速度．

用这种方法预计的车辆阻力，落在合格范围内的概率，可采用求已知总体遵从正态分

布(它的均值是 μ，标准离差是 S)落在某区间(a, b)中的概率，这个概率可由下式给出:

$$P(a<X<b)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,S}\int_a^b e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2S^2}}dX.$$

仍以图 4，5 中所列的数据，阻力的均值 $\mu=1.2\mathrm{kg/T}$. 在控制距离分别为 200 米(三部位)及 250 米(四部位)时，由式(4)及式(5)计算得出阻力允许误差分别为 +0.36，−0.19 及 +0.28，−0.16 公斤/吨.

由此可求得在三部位缓行器前(均是少于三个车的短组车)用回归线预计阻力所能合格的概率为:(在 200 米距离时)

$a=1.2-0.19=1.01,$

$b=1.2+0.36=1.56,$

$$P(1.01<X<1.56)=68\%.$$

四部位用回归线预计阻力所合格的概率为:(在 250 米距离时)

$a=1.2-0.16=1.04,$

$b=1.2+0.28=1.48,$

$$P(1.04<X<1.48)=71\%.$$

由于第三部位缓行器前的测阻区段条件不如第四部位缓行器前好，所以，合格的概率较四部位低.

应该强调，掌握车辆的走行特性，是解决以缓行器为主要调整工具的“打靶式”系统的关键，也是最困难的问题. 其困难是多方面的，特别是要用在短的测量区段测得的阻力，去代表长距离的走行平均阻力，而阻力本身又受很多因素的影响而改变. 故测量方法不作根本改变，仅仅想提高计算精度是不能解决问题的. 关于车辆的走行特性，今后宜作更深入的研究.

二、方案的实现

实现上述方案，是多途径的. 可采用通用数字计算机，也可采用专用的控制机来完成. 目前，我国数控技术已得到广泛的应用，且本方案的逻辑关系比较简单，速度低，为经济，可靠，尽快地把驼峰溜放自动化投入运用，并为今后采用微处理机多级分散控制系统积累经验，我们推荐采用后者，即专用速度控制机的分散控制方案. 其方框图见图 6.

整个框图共分五个主要部分，测阻部分，动态测长部分，速度选择部分，比较控制部分及显示部分.

测阻部分包括车轮接触器电路，计时电路，时间寄存电路，速度差值计算电路，及阻力换算电路. 它的主要功能是记录车辆第一个轮对通过接触器的时间并将它计算成速度，求差，然后，按照回归方程换算出车辆在缓行器后的平均阻力.

动态测长部分(包括长度寄存器)，它的功能是在车辆还在编组线上运动情况下，预计出该勾车停住后的股道空闲长度. 待该勾车停下后及时修正所预计的长度.

速度选择部分，是存放出口速度的“只读存储器”. 此部分电路由“与”门及“线或”门组成，能够寄存 104 个 (8 个阻力×13 个长度) 出口速度. 当勾车进入缓行器区段后，根

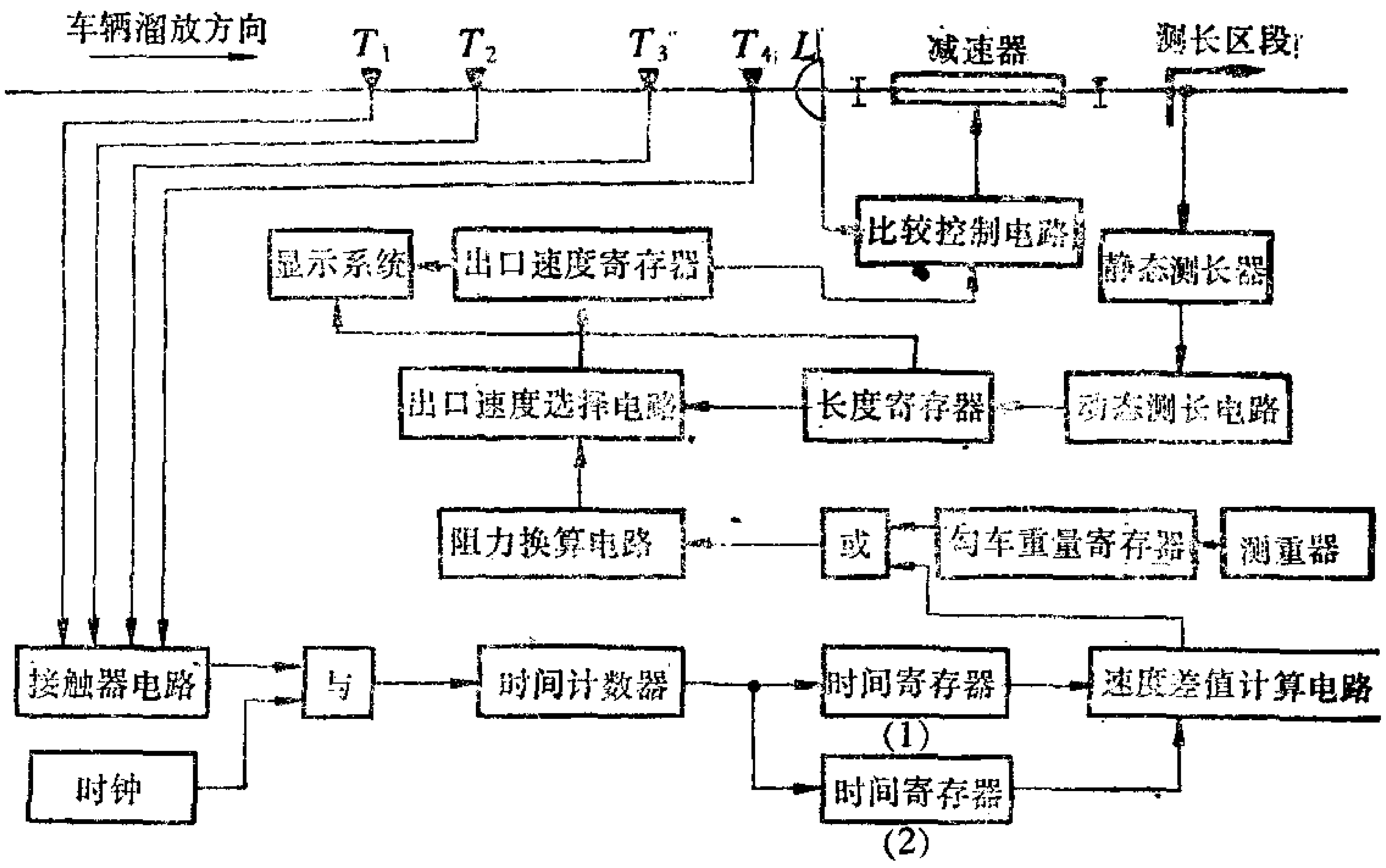

图 6　车辆速度控制系统方框图

据所测的阻力和长度，从"只读存储器"中选择出相应的出口速度．存储器中的数，可以按每股道的坡度情况及连挂效果，在实践过程中加以调正修改．因而比较灵活，可以发挥分散控制的优越性．另外，采用这种事先计算的办法，将计算的功能从电路设计中删去，简化了电路提高了可靠性．

比较控制部分，它的功能是比较速度的计算值与实际值，决定缓行器制动或缓解，并发出相应的控制命令．构成此部分的电路是一个所谓 PID 电路．保证绝大部分车辆在缓行器区段出口速度误差不大于±1.0 公里/小时．

显示部分，采用数字显示，内容可视工程要求而定．

三、实际控制试验情况

我们于 77 年 3 月份开始，在丰西编组站进行了一股道的一般性能试验．77 年 10 月份开始了一线束的扩大试验．78 年底又扩大到整个西半场，预计 80 年初扩大到丰西全场．在对大量勾车进行自动控制试验的基础上，从 79 年 2 月 5 日开始，在西半场编组线有效控制距离 520 米范围内，取消了铁鞋制动员．这是我国驼峰第一次没有铁鞋的情况下，进行自动化作业．实践证明，采用数控技术，设计出专用速度控制机方案，实现溜放自动化后，在提高驼峰的作业效率，保证安全，节省人力，改善劳动条件等方面收到了效果．

兹将最近一次测试（79 年 9 月 8 日至 9 月 11 日）车辆连挂速度分布情况整理出来如图 7 所示．

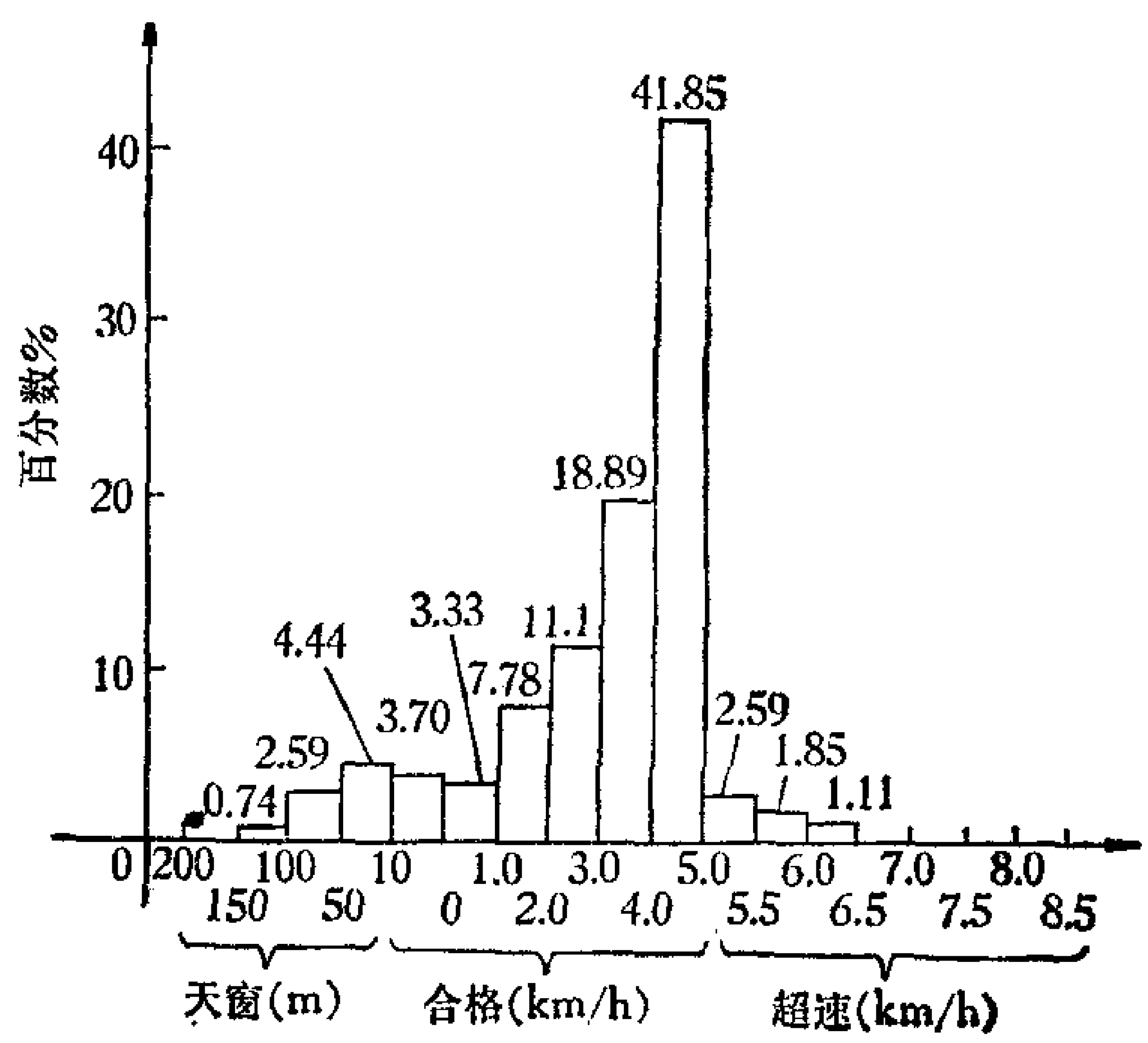

图 7　连挂速度分布图

由图 7 可以看出 5 公里/小时以下连挂的占 86.67%，天窗占 7.78%，5 公里以上连

挂占 5.55%. 最大连挂速度没有超过 7 公里/小时[1].

四、初步结论

1. 从分析及实际溜车试验的结果看，采用速度控制机方案，基本上达到了预期效果. 可以作为一种制式应用.

2. 采用分散控制方式，有利于提高驼峰作业的安全可靠程度. 例如某股道的设备发生故障时，不会影响到其它股道继续工作. 这一优点，目前在我国计算机的稳定性尚不足的情况下，更显得突出更具有现实意义.

3. 速度控制机可以为今后采用微处理机多级分散控制系统积累经验，创造条件.

4. 速度控制机方案比较经济. 它的造价以丰西工程预算为例，仅为小型通用计算机的 20%，特别是在股道数较少的中，小驼峰，更显得经济实用. 符合我国的经济条件.

5. 速度控制机本身生产，维修，使用均比较容易，适应我国目前的技术水平，便于推广.

6. 在目前已经达到的效果基础上，还有一些工作；例如深入探讨车辆阻力，摸索车辆阻力在缓行器前后变化规律等. 有待继续研究.

参 考 文 献

[1] Jean HUET et René VALLET, Freinage des Wogons dans les Triages par la Méthode du "Tir au But" les Premieres Réalisations de la S. N. C. F., Sotteville et Hourcade, *Revue Générale des Chemins de Fer* (1976), No: 1, 2—18.

[2] 中川顺三郎、细渊清、武藏野操车场自动化システム概要，信号保安，**28**(1973)，No. 4, 186—190.

[3] 高山雅幸、山路正弘等，リニアモータ方式 L_4 形货车加减速装置，日立评论，**57**，(1975)，No. 6, 71—76.

[4] 道蒂液压有限公司 (Dowty Hydraulic Units Ltd.)，铁路货车用的道蒂 (Dowty) 连续式速度控制装置，第 221176 号资料，(1978)，(中文).

1) 该试验工作在北京铁路局主持下进行，得到傅宗良、王福文、吴孝时等同志大力支持.

A CAR SPEED CONTROL SYSTEM OF THE AUTOMATIC MARSHALLING YARD SYSTEM

LI ZHOU-HUAI　　LIU DAO-HUA

(*Academy of Science of Railway Department*)

ZHU LEI

(*Railway Electrification Construction Bureau*)

ZHU BO-HUA

(*Beijing Railway Administration*)

ABSTRACT

A car speed control system of the automatic marshalling yard is described in this paper. The authous propose to search the varying laws of the rolling resistance in front and behind of the retarder by means of method of mathematical statistics as well as to estimate the rolling resistance of cars on marshalling track by the equation of linear regression.

A trial run for the control system has been carried out at the Fengxi marshalling yard near Beijing and desired results have been achieved. Practice shows that it is a simple, economical, safe and reliable automatic control system.