

高速铁路列车速度 自动控制系统

毛俊杰 主编

中国铁道出版社

1994年·北京

干线，发展高速铁路，开辟大能力的客运通道是必然的选择。我们编写本书，系统介绍当前发达国家已在推广应用或拟应用的各种列车速度自动控制系统，以供领导和技术同行参考借鉴。

本书共分七章，分别叙述法国、日本、德国、意大利、原苏联、英国和瑞典铁路的列车速度自动控制系统。

在编写本书过程中，得到了中国铁道学会北京铁道学会、铁道部科学研究院通信信号研究所、铁道部科学技术情报研究所的大力支持，得到铁道部电务局领导胡耀华、彭朋、张连贵等同志的热情鼓励和指导，还得到许多朋友在资料方面的支持，在此表示衷心的感谢。

本书第一章由经应铸、赵自信编写；第二章由邹振民、冉茂盛编写；第三章由毛俊杰编写，卜长坤审；第四章由高虹秋编写；第五章由陈佳玲编写；第六章由魏京燕编译；第七章由张甫编写，杨悌惠审。

参加本书审校和提供资料的还有马荷云、丁丕功、高继祥、刘扬、牟传文等。

由于编作者的水平有限，书中可能有不当和错误，请读者指正。

1993年9月

(京) 新登字 063 号

内 容 简 介

本书是针对我国高速铁路正在起步发展这一背景而推出的。书中较详细地介绍了当代先进国家高速铁路各种制式的列车速度自动控制系统,从概述、地面设备、车上设备、系统的安全性和可靠性设计、今后的发展方向等五个方面,介绍了系统的技术发展过程、新区间信号制式所需特殊考虑的问题、地面-车上信息的传输与接收、列车间隔距离及速度控制等级、高速线和普通线的混用或连接、地面和车上及测速设备的工作原理等问题。其中重点介绍了我国引进的法国高速铁路 UM71-TVM300 系统及为适应中国国情所做的改进;日本铁路新干线 ATC 系统(1D、1G、1F 型);德国铁路 LZB 系统;意大利铁路九码机车信号系统;原苏联铁路 A.TC-EH 系统;英国和瑞典铁路的 ATP 系统等。

本书可供铁路电务、机务等部门的设计、管理、维修人员参考,也可作为大专院校师生教学参考。

高速铁路列车速度自动控制系统

毛俊杰 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 魏京燕 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 15.375 字数: 380 千

1994 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

ISBN 7-113-01689-8/TP·172 定价: 22.50 元

序

中国铁路上运行的机车，现在都已普遍安装了机车信号和自动停车装置，其功能是在红色地面信号前的一段时间内，向司机发出周期性的报警信号，警告司机注意在红灯前停车，经司机按压警惕按钮反复确认后，自动停车装置会自动失去作用，只有在司机失去警惕没有按规定按压警惕按钮、自动停车装置才会动作，采取紧急制动措施，保证将列车停在红色信号的前方。实践证明，这种装置可以有效地在司机失去警惕的情况下防止可能发生的列车追尾或冲突事故，对中国铁路的行车安全起了很好的作用。但在长期使用过程中，由于司机已形成一种习惯动作，在不清醒的状态下也能通过习惯动作按压警惕按钮而不采取制动措施，酿成冒进信号的危险事故。虽然这种现象的概率很小，但仍然是行车安全中的一个很大的隐患，因此研制开发适合中国铁路特点的行之有效的列车速度监控技术，已是中国铁路当务之急。

近年来不少单位根据上述需要，各自为战，相继开发了多种类型的根据机车信号显示检测列车实际速度，一旦超速就紧急制动的超速防护设备。在推广使用中遇到许多难点，其中除了系统本身技术问题之外，很重要的原因是与我国现行非速差式的信号显示制式，车站到发线有效长余量太小，进站、出站信号机及区间通过信号机均没有国际普遍规定的过走防护区段等有关，进而对速度控制过程与精度要求存在特殊难度。

《高速铁路列车速度自动控制系统》一书是针对我国高速铁路即将起步发展这一背景而推出的，书中较详细地介绍了当代高速铁路各种制式的列车自动控制系统及其发展过程，从整体看本书系统完整，内容丰富，结构紧凑，叙述详尽，是一部较好的技术参考书。

虽然这里介绍的是高速铁路的列车自动控制系统，但从各国实践来看，列车自动控制系统的应用范围远不限于高速铁路，列车密度的加大，列车重量的提高，加剧了司机操作的紧张程度，即使是瞬间的疏忽也有可能酿成追尾及冲突事故。因此密度大的客运或客、货混运的非高速铁路上也有不少装设了列车速控设备，最明显的例证是各国地铁和城市轻轨铁路，尽管行车速度不高（80km/h 以下），但行车密度达到 2min 间隔，故而普遍安装列车速控设备。因此本书的参考价值不仅在于高速铁路，而且在列车自动控制这一技术领域内具有普遍的参考意义。

当前摆在我们面前的紧迫任务是集中力量通过自行研制开发与引进国外先进技术消化吸收相结合的有效途径组织攻关，尽快建立起适合我国国情的列车自动控制体系，在我国铁路信号技术这一领域发展过程中，本书的出版必将开阔我们的思路为我们提供了有益的借鉴。特别是各国在研制开发各自的系统中，为提高系统的安全性和可靠性以及系统抗外界干扰能力所进行的周密设计和采取的有效技术手段，可能对我们的科研、设计工作者有所启示。

电务局 胡耀华

1993 年 8 月 28 日

编 者 的 话

高速铁路的崛起和发展给世界铁路的重新振兴带来了勃勃生机，使铁路装备技术水平跃上了一个新台阶，铁路信号系统从传统的方式，即以地面信号显示传递行车命令，机车司机按行车规则操作列车运行的方式，发展到了根据地面发送的信息自动监控列车速度且自动调整列车运行和追踪间隔的方式。实现这一方式的关键设备是列车速度自动控制系统。

列车速度自动控制系统是在机车信号和自动停车装置基础上发展起来的，人们根据系统的功能、人-机（机车司机-列车速度监控设备）的分工和自动化先进程度，把这种列车安全和运行控制系统分为三类，即 ATP、ATC 和 ATO 系统。

ATP 系统，也即列车速度监督系统，可对列车运行速度进行分级或连续监督，当列车实际速度超过允许值时，控制列车常用全制动或紧急制动，使列车停在显示红灯的信号机或停车标前方。这种系统以仪表指示方式，即车内信号方式向机车司机给出列车应有速度、目的距离和目的速度等显示，司机只要按车内数字式速度信号操作机车运行，就能可靠保证列车安全运行，不冒进信号。

ATC 系统，可实时监督列车的运行速度，并把它与允许速度进行比较，通过控制列车多级常用制动（或不同的制动机），自动降低列车速度，保证行车安全。

ATO 系统，可实现列车自动驾驶，自动加速、减速，使列车保持在保证行车安全和符合运行计划要求的最优化运行状态。

ATP 和 ATC 系统是目前各国铁路，特别是在高速铁路上大力发展的设备，本书把这些系统统称为列车速度自动控制系统。必须说明，各国铁路由于历史、传统术语、制式和原文意义不同等

原因，对上述各种列车安全和运行控制系统的名称不尽相同，如日本铁路新干线的 ATC (Automatic Train Control) 列车自动控制系统、法国 TGV 高速铁路的 TVM (Transmission Voie-Machine) 地面-机车信息传输系统、瑞典和英国铁路的 ATP (Automatic Train Protection)；德国铁路的列车自动控制系统使用了与列车自动停车装置几乎相同的名称，原文意义为列车感应系统，只是增加了表示“连续式”意义的前缀 (Linien-)，即 Linienzugbeeinflussung，简称 LZB；原苏联铁路的 АЛС-ЕН 系统，虽然具有分级速度监督和对司机警惕性检查的功能，但仍采用通用型连续式机车信号系统 (Автоматической Локомотивной Сигнализации Единого ряда с Непрерывным каналом связи, АЛС-ЕН) 这个名称。

这些系统虽然名称不同，但有一个共同点，即自动监控列车运行速度，其车内信号属于主信号，直接指示列车应遵守的速度。在人-机关系方面，系统能可靠地防止由于司机失去警惕或错误操作可能酿成的冒进信号或列车追尾等恶性事故。

列车速度自动控制系统，按人-机关系分，可分为设备优先的自动控制减速系统和司机操作优先的速度自动监督系统，前者以日本铁路新干线 ATC 系统为典型代表，后者以法国高速铁路 TVM300 或 TVM430 车内信号和速度监督系统为典型代表；按地面-机车之间的信息通道分，可分为连续式和点式。点式设备有查询应答器、感应环线；连续式设备有轨道电路、轨道电缆回线、漏泄同轴电缆和无线方式。在连续式系统设计中，两类设备相互结合、互为补充，实现信息的连续传输和特殊信息的点式传输。按速度控制模式分，列车速度自动控制系统还可分为分级控制和速度模式曲线控制方式。速度模式曲线控制方式最符合列车制动过程，能进一步缩短列车运行间隔距离，更好地发挥设备在提高线路运输能力方面的潜力，因此是各国系统发展的共同趋势。

我国铁路运能与运量的矛盾十分突出，客运、货运互争运能，旅客买票难、乘车难的情况非常严重，所以在客流量特大的主要

目 录

第一章 法国高速铁路列车速度控制系统	1
第一节 概 述.....	1
第二节 地面设备 (UM71 型)	17
第三节 车上设备 (TVM300 型)	84
第四节 ATEC160 型测速设备	140
第五节 UM71-TVM300 系统的安全性和可靠性 设计.....	157
第六节 TVM 系列机车信号今后的发展	163
第二章 日本高速铁路列车速度控制系统	168
第一节 概 述.....	168
第二节 地面设备 (1D 型)	195
第三节 车上设备 (1D、1G、1F 型)	220
第四节 测速设备.....	242
第五节 新干线 ATC 设备的安全性和可靠性	244
第六节 既有新干线最高行车速度和发展方向.....	261
第三章 德国铁路列车速度控制系统	268
第一节 概 述.....	268
第二节 LZB 区段的划分	289
第三节 地面设备.....	296
第四节 车上设备.....	309
第五节 LZB80 型测速测距设备	328
第六节 高速列车和一般列车混合运行的信号系统.....	339
第四章 意大利高速铁路列车速度自动控制系统	345
第一节 概 述.....	345
第二节 地面设备.....	347

第三节	车上设备·····	350
第四节	列车自动控制 (ATC) 系统 ·····	359
第五章	原苏联铁路的列车速度控制系统·····	362
第一节	概 述·····	362
第二节	地面设备 (ATC EI 型) ·····	371
第三节	车上设备·····	402
第四节	ATC-EI 系统的故障-安全设计 ·····	408
第五节	列车制动系统和自动控制制动机的方法·····	413
第六章	英国铁路列车速度控制系统·····	426
第一节	概 述·····	426
第二节	连续式和点式 ATP 系统 ·····	431
第三节	英国铁路的实用 ATP 系统 ·····	435
第七章	瑞典铁路列车速度控制系统·····	449
第一节	概 述·····	449
第二节	EBICAB 系列 ATP 系统工作原理 ·····	464
第三节	系统的安全性和可靠性·····	475

第一章 法国高速铁路列车 速度控制系统

第一节 概 述

一、发展简述

法国已运营的高速铁路有巴黎东南新干线和大西洋新干线。该两线采用基本相同的区间信号设备。东南新干线于1980年投入运营，大西洋线运营时间为1989年。

法国第一条高速铁路线——东南新干线位于巴黎至里昂间，自LIEUSAIN车站（距巴黎30km）至SATAHONAY站（距里昂10km），共长388km。列车间隔时分分为5min，巴黎至里昂的走行时间需2h。

新干线为双线区段，全线每隔25~30km的上、下行线间设有渡线，每隔80km左右设有数百米长的待避线。在一般情况下，列车按双线单方向运行，遇到特殊情况占用一条线路影响单方向运行时，通过巴黎调度控制中心的操作，改变地面信息发送的方向，可组织列车反方向运行，从而取得经济效益和服务质量。故障的列车可由干线退到待避线停留。

新干线的坡道最大为35‰，线路曲线半径约4000m。由电力机车双机牵引（列车前后各一台），每台机车为6400kW，接触网电压为25kV、工频50Hz，牵引电流最高可达1000A。

大西洋TGV线是在总结东南新干线经验的基础上根据发展需要而修建的。此线自巴黎的MONT-PARNASSE站至库勒达兰(COURTALAIN)站，计130.5km。在库勒达兰站又分为两线，一线是去西部的勒芒(LEMANS)站，长度为51.5km，另一线是去西南的CHATELLERAULT车站。该线坡道为15‰~25‰，曲线半径最小为4000m，和东南新干线一样，每隔20~25km，设一

处交叉渡线供反方向运行用，运行间隔时分设计值为 3min，按 4min 排运行图。

法国北部高速铁路，经里尔(LILLE)接通至英吉利海峡隧道，将采用微机控制的 TVM430 型机车信号及速度监督，采用编码制式取得更多的信息，这些信息除用于列车间隔的速度等级外，还可满足线路坡道、距离等不同速度的要求。

法国高速铁路是客运专用线，列车最高速度：东南新干线为 270km/h；大西洋铁路为 300km/h。由于列车速度高，司机难于确认地面信号，因此未设地面信号机，仅在闭塞分区的分界点处设停车标。司机驾驶列车完全根据机车信号的速度显示，视机车信号为主体信号。

二、采用的系统

法国高速铁路(TGV)区段均采用带速度监督的 TVM300 型机车信号，地面信息传输设备采用 UM71 型轨道电路。

机车信号带有列车速度监督是为保证行车安全，防止列车超速运行。速度监督为阶梯控制方式，在一个闭塞分区内只控制一个速度等级。列车的容许速度为该区段的入口速度，但机车信号显示器给出目标速度，要求列车在区段的出口端必须保持或降到此速度。本区段的出口速度就是下个闭塞分区的容许速度。如司机按照地面信息给出的速度值运行，速度监督设备不干预司机正常操作，当司机违章操作或列车速度超过规定的容许速度时，速度监督设备则将自动施行制动。

TVM300 型设备包括连续式机车信号，点式信息接收设备以及列车速度监督设备。速度监督设备分为两部分，一是测速单元，另一是对列车速度控制的电路，后者为连续式机车信号的一个组成部分。

TVM300 型设备主要用连续式机车信号为列车速度监督采集地面信息，给司机驾驶列车提供闭塞分区入口端的容许速度和出口端的目标速度。点式接收设备是连续式机车信号的辅助设备，

只采集地面个别点的速度信息。机车信号、点式接收器和列车速度监督为车上设备，连同地面信息设备及其传输部分构成完整的列车运行间隔调整系统，也就是自动闭塞。

UM71 型轨道电路是 1971 年为防止交流电气化牵引电流谐波干扰而研制的移频轨道电路。1971 年以前，法国采用通用型单频轨道电路（简称 U 型）。它分为 1700、2000、2300、2600Hz 四种类型，“线路 1”（类似我国下行线路）为 1700、2300Hz；“线路 2”（上行线路）为 2000、2600Hz。上述信号记做“ F_0 ”，频率记做“ f_0 ”。两相邻轨道电路间采用电气分隔接头，实现了无机械轨缝的电气隔离。

UM71 型轨道电路仍分为 1700、2000、2300、2600Hz 四种类型。“线路 1”为 1700、2300Hz，“线路 2”为 2000、2600Hz。只是该信号频率按上边频“ $f_0+10\text{Hz}$ ”，下边频“ $f_0-10\text{Hz}$ ”交替变换。控制该“交替变换”的低频调制信号简称低频信号，记做“TBF”，其频率记做“ f_{tbf} ”。

为解决地面向机车传递多种信息，实现速差式机车信号及带阶梯型速度控制曲线的速度监督，1982 年，法国在巴黎至里昂使用了 TVM300 型连续式机车信号设备。与此配合的地面发送设备具有 18 个“TBF”信息，“ f_{tbf} ”由 10.3Hz 起，按 1.1Hz 等差数列递增至 29Hz。

另外，地面还配有点式信息发送设备，它具有 14 个可供选择的单频信号，向机车传递“改变列车运行方向”、“速度控制”、“绝对停车”以及“驶出移频轨道电路区域”等信息。

机车上还设有 ATEC160 型测速设备。

三、对东南新干线区间信号制式所考虑的问题

1. 一般的技术原则

- (1) 信息量要考虑列车运行密度和制动特性的需要。
- (2) 能满足行车安全的要求。
- (3) 能适应环境影响（如干扰、温度、大气压和振动等）。

(4) 在 10 年内具有技术上的先进性。

(5) 如有可能, 应利用现有对运输有价值的信号设备。

2. 高速铁路区间信号的特殊要求

法国一般线路的行车速度为 160km/h 左右, 自动闭塞一般为三显示(部分线为 200km/h 及四显示), 司机凭借地面信号显示确认线路空闲或占用, 以人工操作驾驶列车, 用鳄鱼式或感应式自动停车装置作为行车安全的辅助设备。

在高速铁路区段, 列车速度达 270km/h, 并将发展到 300km/h 及其以上。由于速度高, 司机瞭望和确认地面信号的时间很短, 不能保证行车效率与安全, 根据法铁 (SNCF) 试验后确定, 安全确认地面信号的列车最高速度不得高于 200km/h,; 因此在东南新干线决定不设地面信号, 司机按机车上速度显示器指示的速度值驾驶列车, 同时要求比自动停车装置高一档次的列车速度监督防止列车超速运行, 确保行车安全。

3. 地面至车上传递信息方式

地面信息传递到车上有两种方式可供选择, 一种为连续式传递信息, 另一种为点式传递信息。前者能连续不断地把地面信息即列车间隔、线路所容许的速度等情况及时地向车上反应, 使司机随时掌握列车速度, 有利于保证行车安全和提高行车效率。点式传递信息方式多用感应器或应答器方式, 它只能在闭塞区段内设若干点, 通过感应点把地面信息传到车上, 在地面信号发生变化时, 列车只能在经过感应点时才能得到信息, 因此即时性较差, 与连续式传递方式相比, 在保证安全和提高行车效率方面稍逊, 所以在法国 TGV 区段未被采用, 最后选择了轨道电路连续传递信息, 以点式信息为辅助设备。采用轨道电路还具有断轨检测的优点, 法铁认为这是必须的。

4. 速度控制自动化程度的选择

法国铁路的宗旨是让司机在驾驶列车时作机车的主人而不选择自动减速, 就是要自动化设备监视人而不是用人监视自动化设备。法铁认为列车速度控制以人为为主的好处有:

(1) 发挥乘务人员的责任感，保持司机经常处于积极的工作状态，能及时处理异常情况，充分发挥出人的技术能力；而采用列车速度自动控制设备（ATC）则将有担心司机疏忽瞭望线路和信号的可能性。

(2) 人工控制列车减速比自动控制更为理想。

高速铁路列车速度监督的设计原则是在列车正常运行时设备不干预司机操作，列车超速运行时施行最大常用制动而不采用紧急制动。紧急制动将引起乘客恐惧甚至会发生人员创伤，紧急制动必须在停车后方可缓解，而最大常用制动 (0.7m/s^2) 是可逆的，一旦列车速度降低到线路容许值以下时通过按压确认按钮就可缓解，这有利于提高行车效率。最大常用制动冲击力小，对旅客列车的舒适感是必要的。

四、地面-车上的信息发送与接收

1. 连续式信息发送及传输

连续式信息发送的原理见图 1-1，它是利用 UM71 型轨道电路作为传输信息的通道，闭塞分区空闲时，发送器送电给轨道继电器使之吸起，列车占用时发送器迎向机车传递信息，同时轨道继电器落下，为改变后面轨道电路的信息提供条件。

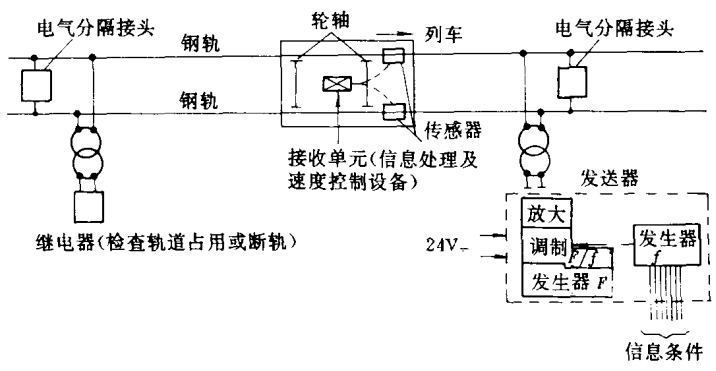


图 1-1 连续式信息发送

系统的信号采用移频键控制式，载频有 1700、2000、2300、

2600Hz 四种, 频偏为 10Hz, 调制频率即信息从 10.3Hz 到 29Hz, 每间隔 1.1Hz 取一个信息, 共有 18 个, 均作为速度信息, 东南新干线只用 11 个信息, 大西洋线用 14 个信息。

采用 1700Hz 以上的音频便于实现无机械绝缘节的轨道电路, 用电气分隔接头取代钢轨绝缘节可不锯长钢轨, 也有利于减少机车车辆轮缘的磨损和牵引电流的回归。此外 1700Hz 以上的信号受牵引电流谐波干扰量也小。但频率较高给信号在钢轨中传输带来了困难, 因此需在轨间并联补偿电容延长轨道电路长度。

轨道电路频率布置考虑了防止同一线相邻轨道电路和上、下行线间轨道电路等的横向和纵向干扰, 轨道中载频的布置见图 1-2。上行线路为 2000、2600Hz 相间隔排列, 下行线路为 1700、2300Hz 相间隔排列。

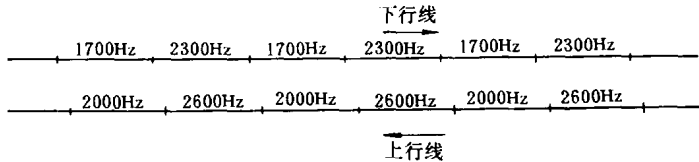


图 1-2 轨道中载频的布置

轨道电路电子设备集中设置, 便于各闭塞分区电路间的逻辑联系以及日常管理维修, 特别是容易实现双线双方向的改变方向电路。轨道电路现场设有电气分隔接头的调谐单元, 平衡牵引电流的空芯线圈以及匹配单元等。现场设备和集中室间用电缆连接, 为防止电缆芯线间串音影响, 轨道电路的同频率发送与接收不能合用同一根电缆。使用的电缆芯线直径为 1.2mm, 传输距离为 7km。

2. 点式信息发送

点式信息发送原理见图 1-3。为地面有源点方式, 向环线内发送信息给机车接收, 环线敷设在轨间, 法国高速线环线长度约为

10m。发送器放在集中室，通过电缆及匹配变压器连接到环线。发送器经常向环线内送检测信号，以检查环线的完整性。点式信息为单频率信号，自 1318Hz 开始，每间隔 140.8Hz 有一个单频信息，至 3712Hz 共 18 个，其中 4 个频率 1740、2022、2304、2585Hz 与连续式机车信号载频靠近未被采用，有效信息共 14 个。

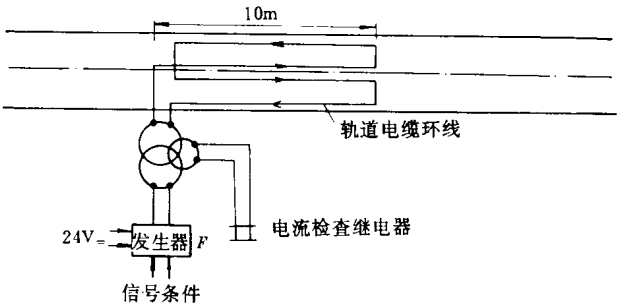


图 1-3 点式信息传输

点式信息用于接通或转换连续式机车信号接收上、下行线的载频率，在列车离开高速线路时，以点式信息断开连续式机车信号。线路需要限速的地方可用点式信息给出限速值的条件。地面绝对信号机处设点式信息，当显示红灯信号时，以点式信息向列车发送绝对停车命令。

在法国铁路高速线上，点式信息还可作其它用途，例如在接触网分相点两边适当地点（1km 左右）设环线给出信息给机车接收，开始进行测距，到分相点的前方切断机车动力，过分相点再接通供电。

3. 车上接收

车上设备的框图见图 1-4。主要设备包括连续式机车信号信息传感器及接收机、点式信息传感器及接收机、速度传感器及速度处理单元，其它有记录器、速度显示器、音响报警、制动阀、转换开关及辅助表示灯等。

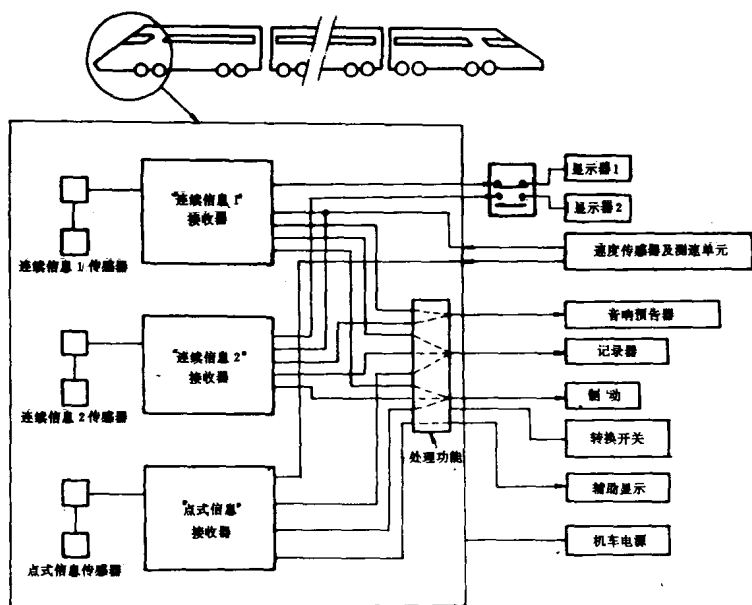


图 1-4 车上设备框图

车上电子设备放在司机室的电子柜内,有 6 层抽屉式组合,连续式机车信号设备双套占 4 层组合,点式信息设备占一层组合,测速单元及记录器占一层组合。组合为欧洲的 48.26cm 标准。

(1)连续式机车信号通过传感器接收地面轨道电路的信息,经过滤波器、放大器、解调器、选频器最后动作相应的信息继电器,以此给出速度监督的速度控制电路、目标速度显示器以及记录器工作的条件。连续式接收机为安全电路。

连续式机车信号包含速度控制电路,该电路一方面把信息继电器条件处理为动态的监控速度信息,另一方面把来自测速单元的列车实际走行速度和监控速度进行比较,检查列车是否超速,如果列车超速,则速度控制继电器落下,切断制动继电器的供电,施行自动停车。

连续式机车信号设有主辅两套完全相同的设备,每套从传感器、接收机到显示器都是分开的,两套连续式机车信号都同时接