



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101214819 B

(45) 授权公告日 2011.04.20

(21) 申请号 200810056557.1

(22) 申请日 2008.01.22

(73) 专利权人 北京交通大学

地址 100044 北京市西直门外上园村 3 号

(72) 发明人 毛保华 李虎 丁勇 董成兵

柏赞 周方明 刘海东

(74) 专利代理机构 北京市商泰律师事务所

11255

代理人 毛燕生

(51) Int. Cl.

B61C 17/00 (2006.01)

F02D 29/02 (2006.01)

F02D 41/26 (2006.01)

审查员 李新刚

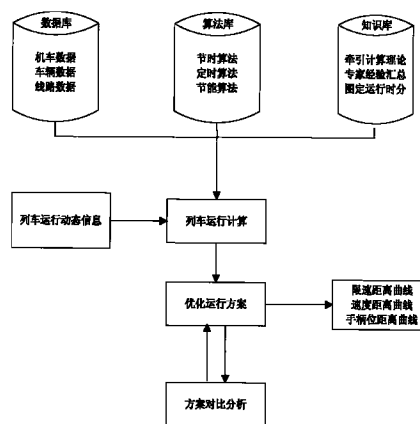
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 6 页

(54) 发明名称

内燃牵引机车优化操纵的方法和指导装置

(57) 摘要

一种内燃牵引机车优化操纵的方法和指导装置。装置采用 RS-485 串行通信方式每隔 50 毫秒动态采集列车当前时刻运行信息,结合基础数据库中的静态存储信息,采用以列车节能运行实时控制算法为核心的内燃牵引机车优化操纵方法,即通过设计依据平衡坡道与目标速度等参数对机车工况及手柄位初始判定、专家控制原则、列车运行前推计算、计算是否满足持续时间等多种方法相结合的实时控制算法,在线计算基于当前运行环境和条件的列车优化操纵指导方案,实时显示列车运行前方 5km 范围内的速度 - 距离操纵指导曲线、牵引转速 - 距离操纵指导曲线。在列车早晚点情况下,系统可通过动态调整操纵策略或目标速度以保证列车既能恢复正点又能节能运行。



1. 一种内燃牵引机车优化操纵指导装置，其特征是包括以下模块：

采用RS-485串行通信方式每隔50毫秒动态读取列车运行速度、位置、机车工况、柴油机转速、列车管压力、前方信号机信号以及列车编组当前时刻运行信息的通讯接口模块；

包括机车数据库、车辆数据库、线路数据库以及牵引计算操纵经验知识库的基础数据库模块；

其中机车数据库包括牵引特性曲线、制动特性曲线、燃油特性曲线、构造速度、计算质量、启动牵引力、计算启动阻力、阻力方程参数信息；

车辆数据库包括各类型车辆长度、自重、闸瓦类型、闸瓦摩擦系数、换算摩擦系数、阻力方程参数信息；

线路数据库包括线路坡道、曲线、桥梁、隧道、车站和信号机位置以及工程限速信息，系统根据上述线路数据自动生成区段的平纵断面图及车站平面示意图；

牵引计算操纵经验知识库存放的是列车图定运行时分、《列车牵引计算规程》与《机车操作规程》规定的列车操纵原则、方法以及优秀司机在给定线路上的操纵经验；

采用列车节能运行实时控制算法的运行计算模块；

通过显示和语音方式为司机实时提供列车运行前方优化操纵方案的系统输出模块；

通讯接口模块实时采集列车当前时刻运行信息，运行计算模块以校验后的列车当前时刻运行信息和基础数据库模块的静态存储信息为条件，计算基于列车当前运行环境的优化操纵方案，并将该方案送至系统输出模块输出。

2. 使用根据权利要求1所述的内燃牵引机车优化操纵指导装置的一种内燃牵引机车优化操纵的方法，包括所述列车节能运行实时控制算法，其特征是：

在安全、准点、平稳约束条件下，根据新提出的起伏坡道条件下尽可能地提高列车运行中惰行工况的比例与在适宜地段采用经济手柄位牵引运行方法相结合的机车节能操纵新策略，设计了一种依据平衡坡道与目标速度参数对机车工况及手柄位初始判定、专家控制原则、列车运行前推计算、计算是否满足持续时间多种方法相结合的实时控制算法；

机车工况及手柄位初始判定的原则主要包括：

①当列车加算坡道 i 大于坡道控制参数 a 时，按照节时模式进行列车运行控制；

②当列车加算坡道 i 小于等于坡道控制参数 a 、而大于等于平衡坡道 j 时，如果列车当前的运行速度 v 大于列车的目标速度 v_T ，当前工况为惰行时，保持惰行工况；当前工况为牵引时，降低手柄位。如果列车当前的运行速度 v 小于列车的目标速度 v_T ，按照节时模式进行列车运行控制；

③当列车加算坡道 i 小于等于坡道控制参数 a 、也小于平衡坡道 j 时，当前工况为惰行时，保持惰行工况；当前工况为牵引时，降低手柄位。

内燃牵引机车优化操纵的方法和指导装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种内燃牵引机车优化操纵的方法和指导装置，属于机车控制领域。

背景技术

[0002] 列车运行过程是一个典型的复杂、多输入、多目标、大滞后的非线性系统，充满了大量的随机性和不确定性因素，很难找到其精确的数学模型和最优解，如何准确、快速地计算出列车在各种不同条件下的运行效果，搜寻满意解以实现列车安全、平稳、准时、节能的行驶是列车优化操纵运行计算的主要任务。

[0003] 由于列车运行环境的复杂性，列车优化操纵运行的算法模型及其求解技术是一项十分困难的工作，而且有着严格的应用范围，国内外对列车优化运行的控制算法已经有一些研究。20世纪80年代，澳大利亚 SGG 研究所开发的 Mctromiser 计算机控制的列车司机辅助控制系统在短途运输中试运行，实验效果良好。我国对这方面的研究尚处于初期阶段。1989年，北京交通大学（原北方交通大学）研制了一套以单片机为主从结构的机车优化操纵的微机指导系统，以优化原理与模糊控制理论为基础，离线优化计算和在线模糊控制相结合，并在北京型内燃机车上进行实验。实验结果表明，该系统提高了列车正点率、节省了燃油消耗。1995年，结合国家“八五”重点科技攻关项目“减轻重载列车与线路相互作用及优化操纵的研究”，西南交通大学研制了新型车载微机系统“列车优化操纵指导装置”，采用了离线寻优建立优化操纵运行数据库再结合在线实时调整的方法。该系统也曾在两台 DF4 型电传动内燃机车上的试用，效果良好。

[0004] 以往的研究大多是在列车开车前如何计算优化的运行曲线，关于列车实际运行过程中的实时控制算法较少，尤其是多列车运行环境下列车优化运行的实时控制研究的更少。国外列车节能算法的研究侧重于理论，其计算模型复杂，须反复迭代才可得到优化解，对于运行环境复杂的国内大铁路运行区段来说，现行主流的计算机难以承受如此复杂的运算。而国内的研究基本上采用离线优化与在线控制相结合的方法，其给出的列车优化操纵方案多是列车运行工况的变化结果，这些算法更适用于无级调速模式的列车节能运行。而国内铁路运输使用的多是有级调速模式的机车，设有若干个牵引手柄位及电阻制动手柄位，不同的手柄位将直接导致不同的运行效果。所以在对驾驶员进行操纵指导时，既需要为驾驶员提供列车优化操纵的速度模式曲线，还应有工况、手柄位（柴油机转速）模式曲线。因此，研究开发出一套适用于国内大铁路实际运行环境条件下运行快速而准确有效的内燃牵引机车优化操纵的算法和指导装置具有重要的现实意义和广泛的应用前景。

发明内容

[0005] 为解决既有的列车优化操纵算法的上述问题，实现列车安全、平稳、准时、节能地行驶，本发明提供一种适用于国内各主要型号内燃机车的列车优化操纵方法和指导

装置。

[0006] 一种适用于国内各主要型号内燃机车的列车优化操纵方法和指导装置，是建立在列车节能运行实时控制算法的基础上，在线计算基于当前运行环境和条件的列车优化操纵指导方案，列车在晚点状态运行时，指导装置能实时提供恢复列车正点运行的优化操纵方案。装置安装在机车驾驶室中，可用于不同的运行线路和信号配置情况，系统不影响机车现有装备的布局和工作、不影响司机操作。

[0007] 一种内燃牵引机车优化操纵指导装置采用 4U 标准机箱结构，既符合开放式工作平台结构的要求，也便于装置的标准化、模块化，有利于装置的检测、维护、功能扩充和规范管理。

[0008] 一种内燃牵引机车优化操纵指导装置可外接 100-240 伏直流电或 220 伏交流电，其通讯单元采用 RS-485 通信方式通过三绞屏蔽线和 5 芯航空插头 YP21ZJ9uQ 连接到机车上既有的列车实时信息发送单元，实时获取列车当前运行时刻信息。通讯单元记录的信息以及计算单元记录的信息可以文本文件形式存储于装置磁盘中，亦可通过 USB 接口转存至外接存储设备。装置采用列车节能运行实时控制算法计算优化操纵方案，可通过曲线、文字、语音方式为司机提供推荐的操纵策略，曲线和文字显示于带控制按钮的 10.4 英寸 TFT 高亮度彩色液晶显示屏上。

[0009] 一种内燃牵引机车优化操纵指导装置，软件部分采用面向对象的程序设计方法，包括以下几个主要模块：通讯接口模块、基础数据库模块、运行计算模块以及系统输出模块，其结构如图 1 所示。

[0010] 通讯接口模块设计采用 RS-485 串行通信方式每隔 50 毫秒动态读取列车运行速度、位置、机车工况、柴油机转速、列车管压力、前方信号机信号以及列车编组等当前时刻运行信息，并对上述数据进行可靠性分析。该模块还包括人机交互界面，司机可在此界面设置列车目标速度、默认手柄位，选择运行方向和操纵策略等。

[0011] 基础数据库模块包括机车数据库、车辆数据库、线路数据库以及牵引计算操纵经验知识库。

[0012] 其中机车数据库包括牵引特性曲线、制动特性曲线、燃油特性曲线、构造速度、计算质量、启动牵引力、计算启动阻力、阻力方程参数等信息；

[0013] 车辆数据库包括各类型车辆长度、自重、闸瓦类型、闸瓦摩擦系数、换算摩擦系数、阻力方程参数等信息；

[0014] 线路数据库包括线路坡道、曲线、桥梁、隧道、车站和信号机位置以及工程限速等信息，系统根据上述线路数据自动生成区段的平纵断面图及车站平面示意图；

[0015] 牵引计算操纵经验知识库存放的是列车图定运行时分、《列车牵引计算规程》与《机车操作规程》规定的列车操纵原则、方法以及优秀司机在给定线路上的操纵经验，这些经验和策略可以在智能控制的框架下得到合适的表征和利用，能进一步丰富和完善系统算法，使之更适合实际的运行环境。由于系统要兼顾不同类型的铁路，基础数据的完备性是一个重要标志，基础数据库模块可以在使用中不断维护和扩充。

[0016] 运行计算模块是系统的核心模块，主要采用列车节能运行实时控制算法。

[0017] 通讯接口模块实时采集列车当前时刻运行信息，运行计算模块以校验后的列车当前时刻运行信息和基础数据库模块的静态存储信息为条件，计算基于列车当前运行环

境的优化操纵方案，并将该方案送至系统输出模块。

[0018] 系统输出模块通过专门的设计为用户提供多种输出手段。输出方式主要有屏幕输出、打印机 / 绘图仪输出两大类，根据要求，系统还提供将模拟结果以 AutoCAD 文件形式存盘的输出方式。该模块提供曲线显示和语音功能以提示司机如何改变操纵方案，列车运行过程中，装置显示器实时显示如下信息：

[0019] ①运行前方 5km 范围内线路允许速度、机车车辆构造限速以及临时限制速度三者的最低速度值曲线；

[0020] ②运行前方 5km 范围内列车控制模式限制速度曲线；

[0021] ③运行前方 5km 路程内的线路平面曲线、坡道、桥梁、隧道、信号机位置与显示状态、平交道口以及车站的平面示意图；

[0022] ④运行前方 5km 路程内的机车优化操纵的列车运行速度距离曲线、机车工况手柄位距离曲线；

[0023] 一种内燃牵引机车优化操纵的方法，包括列车节能运行实时控制算法，具体表述如下：

[0024] 1、列车运行限速的初始化计算

[0025] 传统的牵引电算采用试凑的方法，依据当前的列车速度和运行工况计算至目标点（如换坡点或停车点），如果计算结果不满足限速要求、停车要求等，则退回一个或几个计算点采用其它的工况进行重算，直到得到的数据满足要求为止。这种算法在一般的牵引计算或者自动编制机车操纵示意图是可行的，但因为需要频繁退回重算，试凑法并不适合于多列车运行模拟、对机车操纵进行实时指导或自动控制。

[0026] 本算法在模拟计算之前先进行初始化限速计算，尽量避免退回重算。当列车从高限速向低限速过渡时，必须在低限速的起点以前开始降低速度，否则就会出现超过限速的情况，这就是以前的牵引电算退回重算的原因。在保证安全运行的基础上，从高限速到低限速的变化，对于列车的节能运行也有着重要影响。因为列车节能运行的基本原则就是在运行过程中要尽可能避免不必要的制动调速，列车运行经过限速曲线从高限速到低限速的变化的地段，列车应该提前减速，惰行或者低手柄位牵引通过低限速区，否则就不可避免采用制动调速。本算法采用了在初始化阶段反推计算从高限速到低限速的过渡曲线，

[0027] 具体表述如下：

[0028] (1) 赋初值：初速度 $v_0 = v_{低}$ ， $s_0 = S_D$ 。其中 $v_{低}$ 、 S_D 分别代表低限速值、低限速起始点公里标；

[0029] (2) 计算惰行工况下列车加速度 a ，如果 $a > 0$ ，转 (3)，如果 $a \leq 0$ ，转 (5)；

[0030] (3) 如果内燃机车有电阻制动，计算电阻制动工况下列车的加速度 a ，如果 $a \leq 0$ ，转 (5)，否则转 (4)；如果内燃机车没有电阻制动，转 (4)；

[0031] (4) 计算空气制动工况下列车的加速度 a ，转 (5)；

[0032] (5) 步长末速度 $v = v_0 + a \cdot \Delta t$ ，运行距离 $s = v_0 \cdot \Delta t + \frac{a \cdot \Delta t^2}{2}$ ，如果 $v \leq v_{高}$ ， $m_$

$StartPos = s_0 - s$ ， $m_Length = s$ ， $m_Lspeed = v_0$ ，将限速对象存入限速对象数组，转 (6)；

如果 $v > v_{\text{高}}$, $v = v_{\text{高}}$, $s = \frac{v_{\text{高}}^2 - v_0^2}{2 \cdot a}$, $m_Length = s$, $m_StartPos = s_0 - s$, $m_Lspeed =$

v_0 , 将限速对象存入限速对象数组, 转 (7)。其中, $m_StartPos$ 、 m_Length , m_Lspeed 分别代表各步长起点公里标、长度以及限制速度;

[0033] (6) $v_0 = v$, $s_0 = m_StartPos$;

[0034] (7) 计算完成。

[0035] 2、列车运行目标速度的计算及早晚点时调整

[0036] 列车运行的目标速度计算步骤如图 2 所示, 可表述为:

[0037] (1) 根据给定运行距离、运行时间 T 计算出列车平均运行速度 V ;

[0038] (2) 以 V 为目标速度, 列车按照节能模式进行计算, 模拟运行时间为 T' ;

[0039] (3) 当模拟运行时间 T' 不满足设定的时间误差时, 根据给定运行距离、模拟运行时间 T' 计算出列车平均模拟运行速度 T' ;

[0040] (4) 以 $V + \frac{V - T'}{2}$ 为目标速度重新模拟运行, 直到模拟运行时间满足设定的时间误差为止。

[0041] 在多列车运行环境下, 列车在运行过程中经常会遇到早晚点的现象。由于运行环境的改变, 驾驶员很难做到既保证列车正点运行, 又节约能耗。本算法在保证列车在安全正点的基础上, 最大可能地节能运行。如果列车晚点较多, 系统采用节时策略模拟, 否则通过提高或降低列车运行的目标速度, 恢复列车正点运行。

[0042] 3、列车节能运行实时控制算法

[0043] (1) 确立机车的经济手柄位

[0044] 通过计算不同手柄位在同一速度条件下单位时间能耗的机车牵引力的大小, 可以判断出某种型号机车的经济手柄位。计算公式如下:

[0045]

$$\text{Max} \Psi_i = \frac{F_i}{\phi_i}$$

[0046] 式中, F_i 为 i 手柄位在某一速度下的牵引力, N ; ϕ_i 为 i 手柄位在同一速度下单位时间的燃油消耗量, kg/min 。

[0047] 内燃机车的燃油消耗率随手柄位 (主要指牵引手柄位, 下同) 的提高总体呈下降趋势, 即机车总效率呈上升趋势。由于机车总效率随手柄位变化的特性与其运行基本阻力特性在机车牵引运行耗油问题上是一对矛盾, 在适宜地段使用高手柄位牵引运行才有可能使列车操纵方案中具有较多的惰行工况, 而正是由于含有较高比例的惰行工况才可能实现列车运行节能。

[0048] (2) 根据坡道与目标速度确定机车手柄位的方法

[0049] 在此提出坡道控制参数 a 与平衡坡道两个概念, 它们都是系统在每个步长内判断手柄位变化的控制参数。坡道控制参数计算公式如下:

$$[0050] \quad a = \frac{H_2 - H_1}{S} \times 1000$$

[0051] 式中, H_1 和 H_2 为列车运行区段始点与终点的标高, 单位为米;

[0052] 平衡坡道是指根据列车当前运行速度计算出的平衡状态下坡道值。随着运行速度的提高，列车运行基本阻力会增大，平衡坡道也随之增大。

[0053] 根据上述描述的平衡坡道和坡道控制参数概念，本算法在每个步长内判断列车运行工况、手柄位及其节能操纵采用如下原则：

[0054] ①当列车加算坡道 i 大于坡道控制参数 a 时，按照节时模式进行列车运行控制。

[0055] ②当列车加算坡道 i 小于等于坡道控制参数 a 、而大于等于平衡坡道 j 时，如果列车当前的运行速度 v 大于列车的目标速度 v_T ，当前工况为惰行时，保持惰行工况；当前工况为牵引时，降低手柄位。如果列车当前的运行速度 v 小于列车的目标速度 v_T ，按照节时模式进行列车运行控制。

[0056] ③当列车加算坡道 i 小于等于坡道控制参数 a 、也小于平衡坡道 j 时，当前工况为惰行时，保持惰行工况；当前工况为牵引时，降低手柄位。

[0057] (3) 机车工况转换与手柄位确定的初始算法

[0058] 本算法首先根据节时模式下确定的机车工况与手柄位，依据定时算法、列车的节能操纵方法以及根据坡道与目标速度确定机车手柄位的方法，判断出在节能模式下列车应采用的工况及手柄位，其具体描述如图 3 所示，且机车工况转换需符合手柄位转换时间和持续时间要求。

[0059] (4) 列车运行过程中的前推计算

[0060] 列车运行的计算过程中，仅仅依据第 i 个时间步长初的信息判断第 $i+1$ 个时间步长初机车的工况及手柄位的算法并不完善。因此列车在每个时间步长判断工况及手柄位时，都应该进行一定的前推计算。设在第 i 个时间步长初，列车的速度 v_i 、工况及手柄位 C_i 、目标速度 v_T 、根据初始算法计算出的手柄位 C_{i+1} ，运行限速 v_{max} 。前推计算的计算流程此下：

[0061] 1) 如果当前列车的工况是牵引，根据初始算法计算出算出的手柄位 C_{i+1} ，如果降低手柄位 $C_{i+1} < C_i$ ，转 5)；如果提升手柄位 $C_{i+1} > C_i$ ，转 2)；如果维持原手柄位 $C_{i+1} = C_i$ ，转 3)；

[0062] 2) 以 C_{i+1} 为手柄位前推惰行计算，如果运行过程中没有出现 $v > v_{max}$ 、 $i < j$ 或者 $(j \leq i \leq a) \cap (v > v_T)$ 的情况，转 5)，否则转 3)；

[0063] 3) 以 C_i 为手柄位前推惰行计算，如果运行过程中没有出现 $v > v_{max}$ 、 $i < j$ 或者 $(j \leq i \leq a) \cap (v > v_T)$ 的情况， $C_{i+1} = C_i$ ，转 5)，否则转 4)；

[0064] 4) 第 $i+1$ 个时间步长初列车需要降手柄位，转 6)；

[0065] 5) 第 $i+1$ 个时间步长初列车手柄位为 C_{i+1} ，转 6)；

[0066] 6) 计算结束。

[0067] 其中 v_{max} 、 i 、 j 、 a 分别表示当前限速、加算坡道、平衡坡道和坡道控制参数。

[0068] 本算法在节时策略计算结果的基础上，根据平衡坡道、目标速度等参数对机车工况及手柄位初始判定、专家控制原则、列车运行前推计算、计算是否满足持续时间等多种方法结合以确定机车工况转换与手柄位。

[0069] 本发明的有益效果：提供一种适用于我国铁路现场环境的优化机车操纵的方法和指导装置，其优点是：(1) 算法运行快速而准确有效，适合于高实时性要求的计算机仿真计算；(2) 实效性，装置动态采集列车当前运行信息，实时显示列车运行前方 5km

范围内的速度 - 距离操纵指导曲线、牵引转速 - 距离操纵指导曲线等；(3) 采用人性化设计，可利用文字、语音提示司机如何改变操纵方案，并为晚点列车提供恢复正点运行的优化操纵方案；(4) 充分考虑现场环境，具有良好的实际应用价值。

附图说明

- [0070] 图 1 所示为系统结构示意图；
- [0071] 图 2 所示为目标速度的计算流程示意图；
- [0072] 图 3 所示为机车工况及手柄位初始判定方法示意图；
- [0073] 图 4 所示为装置人机交互界面；
- [0074] 图 5 所示为线路输入主界面；
- [0075] 图 6 所示为机车特性曲线输入界面；
- [0076] 图 7 所示为车辆信息输入界面；
- [0077] 图 8 所示为装置输出显示示意图。

具体实施方式

[0078] 结合附图对本发明的实施方式做如下详细描述：

[0079] 内燃牵引机车优化操纵指导装置主机接通电源即自启动进入内燃牵引机车优化操纵指导系统人机交互界面，如图 4 所示。系统自动打开串口通信单元，每隔 50 毫秒动态读取列车运行速度、位置、机车工况、柴油机转速、列车管压力、前方信号机信号以及列车编组等信息并显示于人机交互界面上。

[0080] 本系统具有一个较完整、可扩充的基础数据库体系，其基础数据库包括两大部分：一是线路数据库，用来输入与线路相关的数据信息：包括线路平纵断面、信号设备、里程变换信息和车站信息等。二是其它数据库，包括机车、车辆、列车定义等。根据需要，可以往基础数据库中添加新的线路数据、机车数据、列车数据等。

[0081] 当需要录入新的线路文件时，在系统自启动时弹出的人机界面上点击“取消”按钮进入主菜单，选择“基础数据”目录下的“线路数据”即进入线路数据录入主界面，如图 5 所示。

[0082] 系统已包含大部分机车和车辆计算信息，当出现新型机车或车辆时，也可录入新机车或车辆的相关信息，其录入界面如附图 6, 7 所示。

[0083] 司机依次确认列车车次、牵引重量、列车计长、重车辆数、空车辆数、目标速度、默认手柄位，并选择运行方向和操纵策略等信息后，点击“确定”按钮，系统自动完成计算初始化，在线计算基于当前运行环境和条件的列车优化操纵指导方案，实时显示列车当前操纵策略、前方 5km 范围内列车限速曲线（红线）、列车运行速度距离优化操纵指导曲线（绿线）、机车工况手柄位距离优化操纵指导曲线（黄线）和线路平纵断面坡道、桥梁、隧道、信号机位置等信息，如图 8 所示。当列车处于晚点状态时，系统通过自动调整目标速度以提供恢复列车正点运行的优化操纵方案，若晚点较多，司机可点击“操纵策略”按键选择“节时”操纵模式，以尽可能恢复列车正点运行。

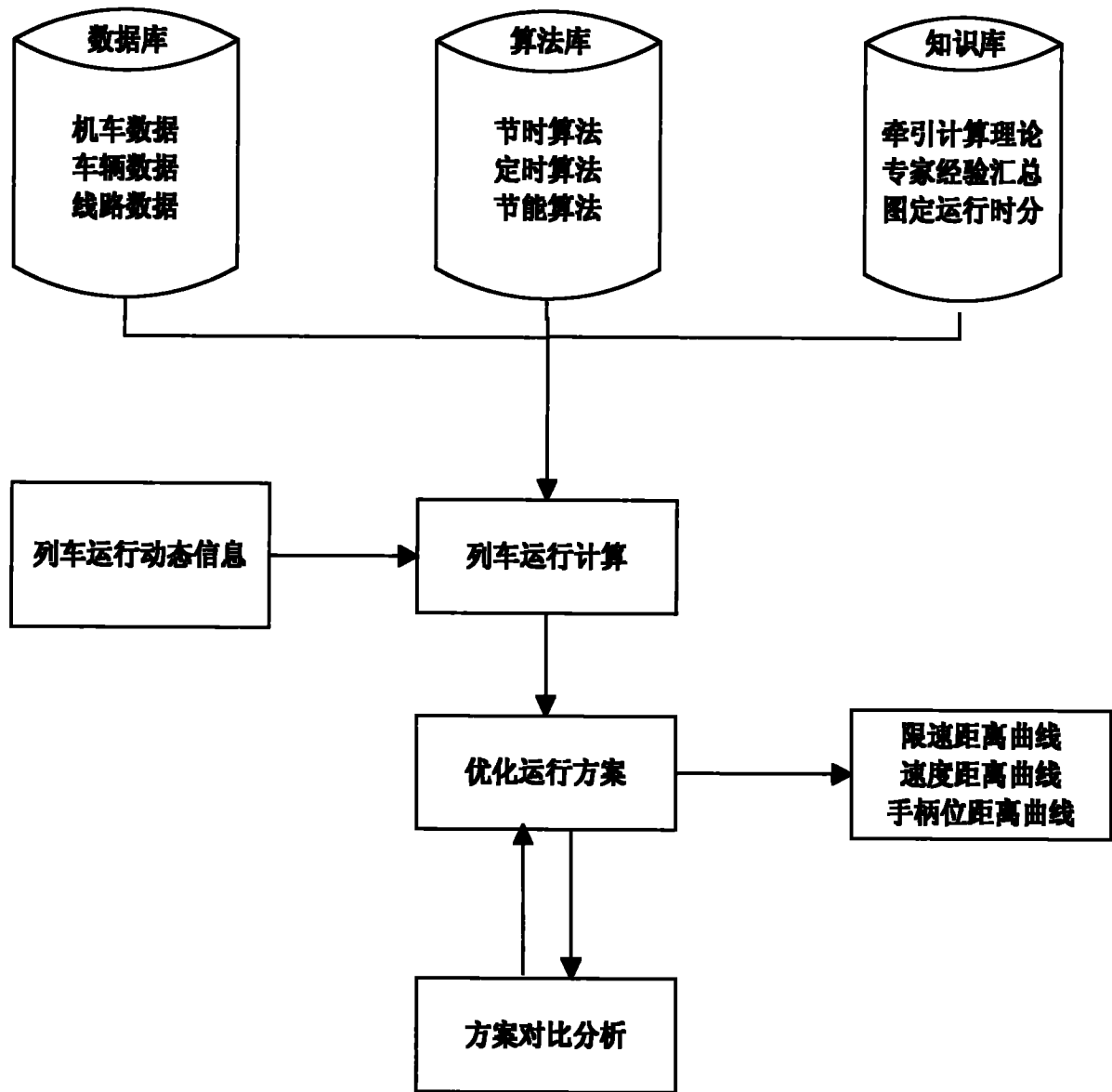


图 1

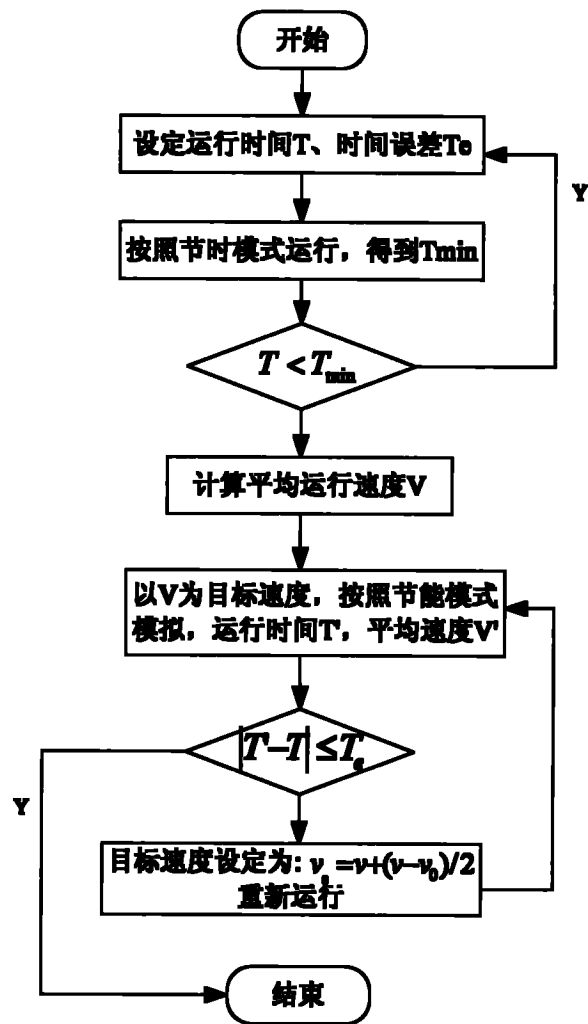


图 2

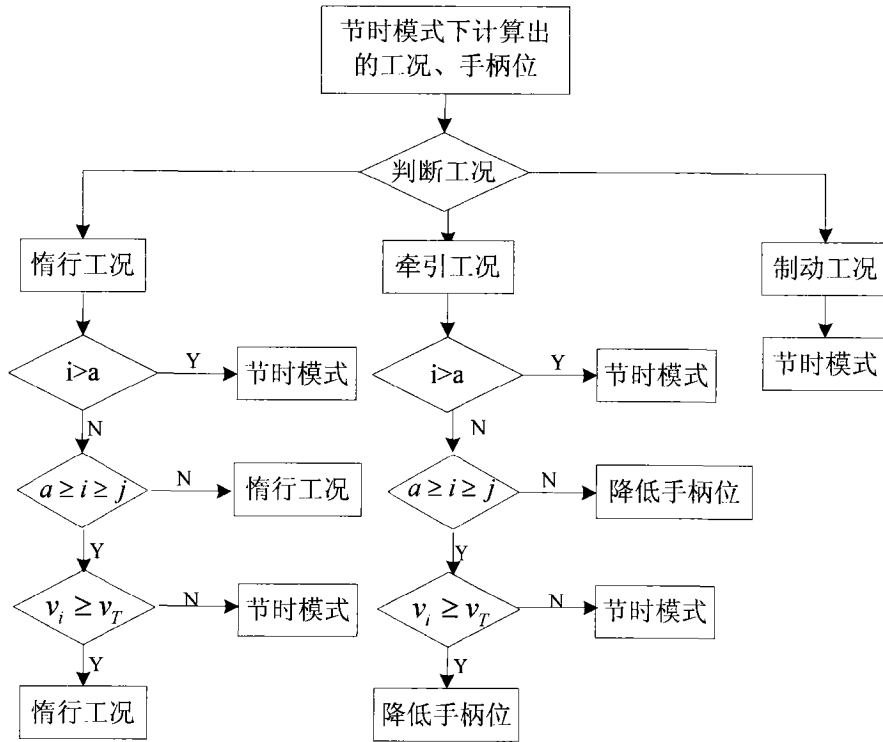


图 3

列车信息

列车车次	45311	运行方向	下行 ▼
牵引重量	2979	默认手柄位	920
换 长	69	目标速度	55
重 车	47	操纵策略	节能 ▼
空 车	4	天气状况	晴天 ▼

确定

取消

图 4

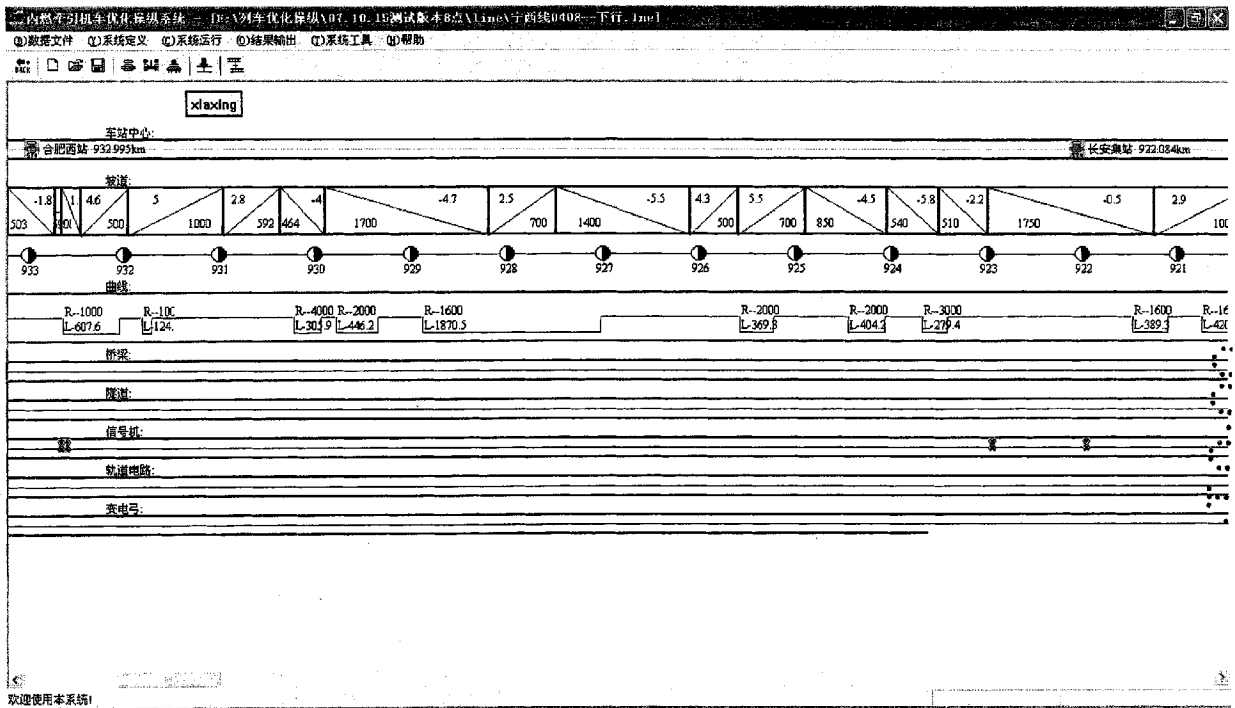


图 5

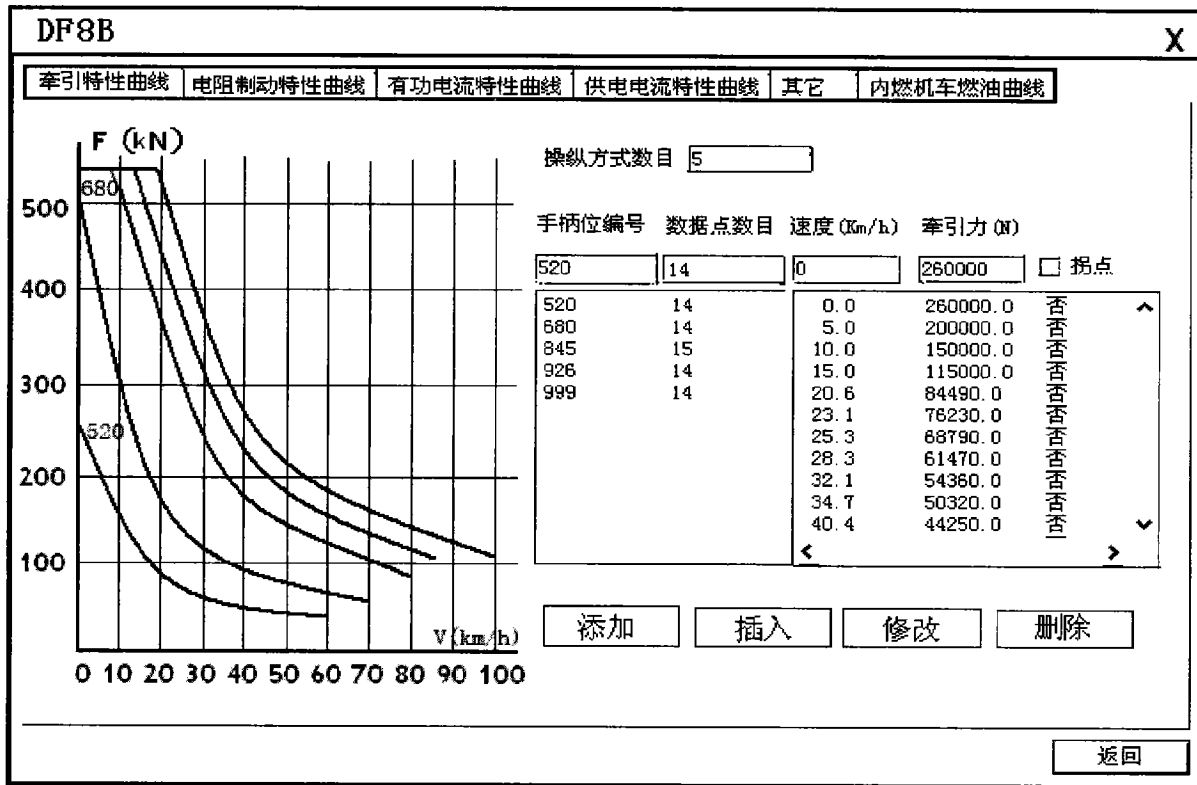


图 6

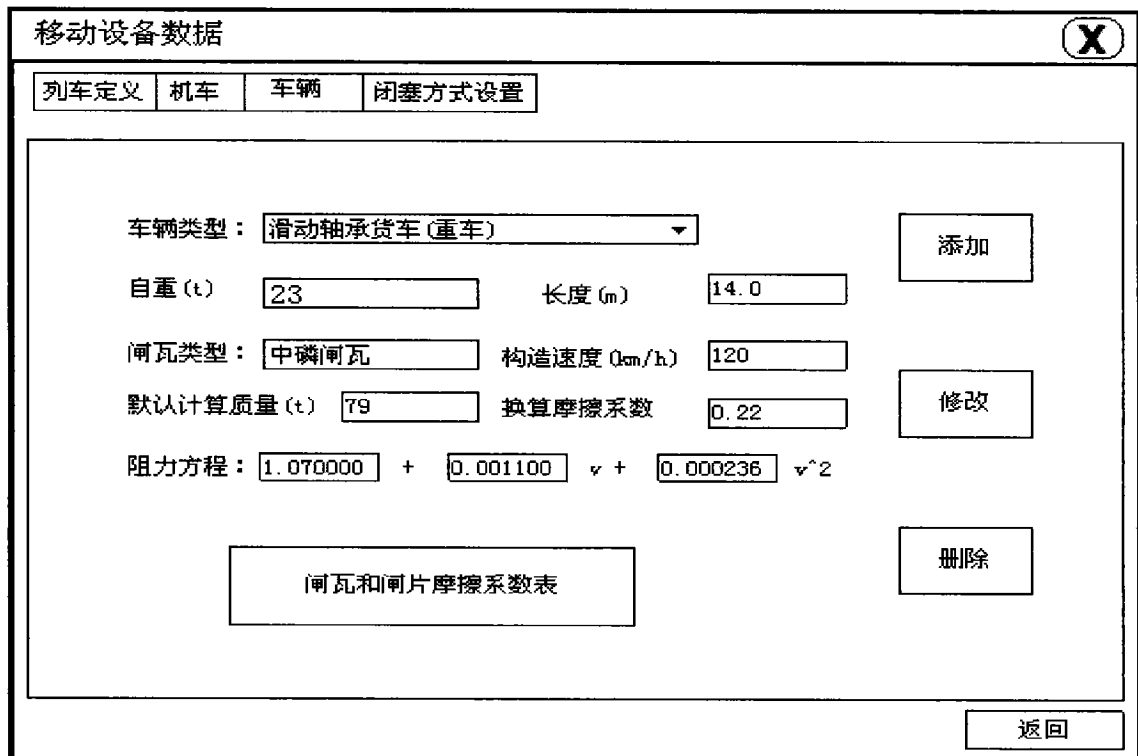


图 7

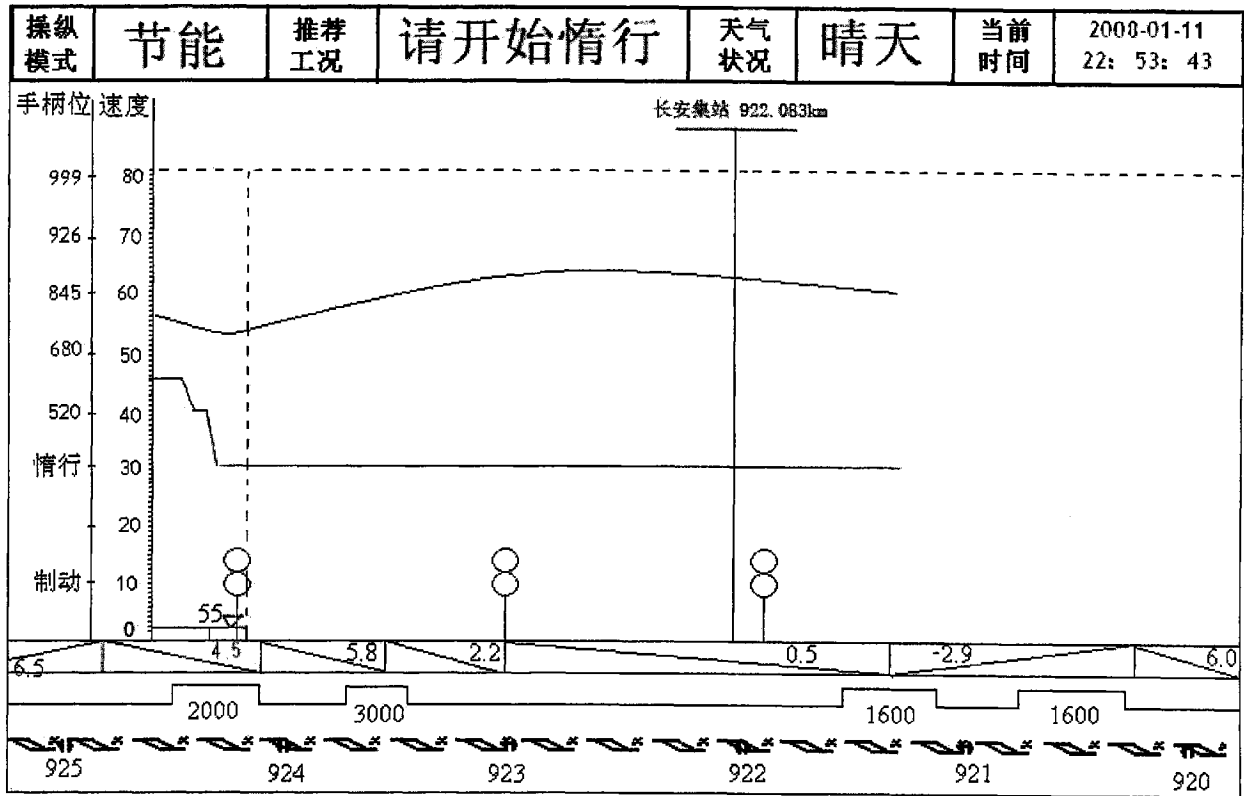


图 8