

列车网络控制系统研究

程广洋, 王云飞, 周 洋, 刘力豪

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要:随着世界各国经济的发展,城市规模和人口规模的扩大,城市交通变得更加拥堵,许多发达国家在多年前就着手研究如何使用轨道交通解决城市的拥堵问题,地铁已成为当今城市交通的重要组成部分,地铁列车在运营过程中如何保证其运行状态能够实时受到监控,靠的就是列车网络系统;文章介绍了海外某项目的网络系统结构、硬件配置;阐述了列车级控制、牵引系统、车窗系统、辅助系统、制动系统、空调系统、烟火系统等子系统的关键控制功能,并对系统的故障诊断功能、PTU 功能进行了介绍;本项目网络系统的设计符合预期,系统硬件的性能完全满足功能需求,系统软件的可靠性、稳定性达到了列车运行要求。

关键词:地铁;监控;列车控制;网络系统;WTB;MVB

Research on Train Network Control System

CHENG Guangyang, WANG Yunfei, ZHOU Yang, LIU Lihao

(CRRC Qingdao Sifang Co., .LTD, Qingdao 266000, China)

Abstract: With the development of world economy, the expansion of city size and population, urban traffic is becoming more congestion, many developed countries in many years ago you set out to research how to use the rail transit solve the problem of congestion of the city, the subway has become an important part of today's urban traffic, subway trains in operation in the process of how to ensure its running state can be real-time monitored, It depends on the train network. This paper introduces the network system structure and hardware configuration of an overseas project. The key control functions of train level control system, traction system, window system, auxiliary system, braking system, air conditioning system and pyrotechnic system are described, and the fault diagnosis function and PTU function of the system are introduced. The design of the network system of this project meets the expectation, the performance of the hardware of the system fully meets the functional requirements, and the reliability and stability of the system software meet the requirements of train operation.

Keywords: subway; monitoring; train control; The network system; WTB; MVB

0 引言

城市轨道交通是一个国家的重要设施,是城市公共交通的骨干,具有节能、省地、运量大等优势^[1]。随着全球各地区国家经济、城镇区域、人口基数的增长扩大,各国家、地区的日常交通变得十分拥堵,越来越多的发达国家开始通过发展城市轨道交通来缓解各城市的交通紧张的问题^[2]。1863年1月,英国大都会地区铁路正式开始营业到现在,城市轨道交通行业已经有了近两百年的历史,世界各国基本都修建了城市轨道交通^[3]。本文针对公司生产的海外某项目的网络控制系统的硬件组成、软件功能进行简要分析介绍。

1 系统结构及原理

列车网络控制系统(TCMS)系统是一列车的神经中枢,负责完成与各个子系统之间的数据传输、逻辑控制、故障诊断等工作,是一列车能够安全运行的保障^[4]。现在世界各国轨道交通行业中,TCN网络无论是在动车组、地铁还是轻轨,都得到了广泛的应用^[5]。TCMS具有信息传

输、逻辑控制、画面显示、故障诊断和用户支持五大功能。

本项目采用符合 IEC61375 标准^[6]的 TCN 网络,拓扑结构由列车级 WTB 总线、车辆级 MVB 总线两级总线构成。整列车分为两个单元,每 4 节车为一个单元,单元内采 MVB—EMD 总线。主要组成设备为车辆控制单元(VCU)、人机交互接口(HMI)、远程输入输出模块(RIOM)、中继器(REP)。

连接到多功能车辆总线 MVB 上的各个子系统包括:旅客服务系统、制动系统、牵引系统、空调系统、广播系统、烟火系统、车门系统、信号系统等。TCMS 网络拓扑如图 1 所示。

列车编组为 4M4T,即 4 辆动车 4 辆拖车。VCU 负责组织所有数据的交换,并且进行车辆逻辑控制及车辆诊断;RIOM 模块采集车辆各系统模拟信号、数字信号,通过 MVB 总线、REP 中继器进行数据交互。HMI 负责显示各系统状态以及故障信息及处理方法,并进行车辆级及各个子系统的网络集控指令的输入。

收稿日期:2021-05-07; 修回日期:2021-08-19。

作者简介:程广洋(1989-),男,黑龙江齐齐哈尔人,工程师,主要从事海外城轨车辆调试方向的研究。

引用格式:程广洋,王云飞,周 洋,等.列车网络控制系统研究[J].计算机测量与控制,2021,29(9):121-127.

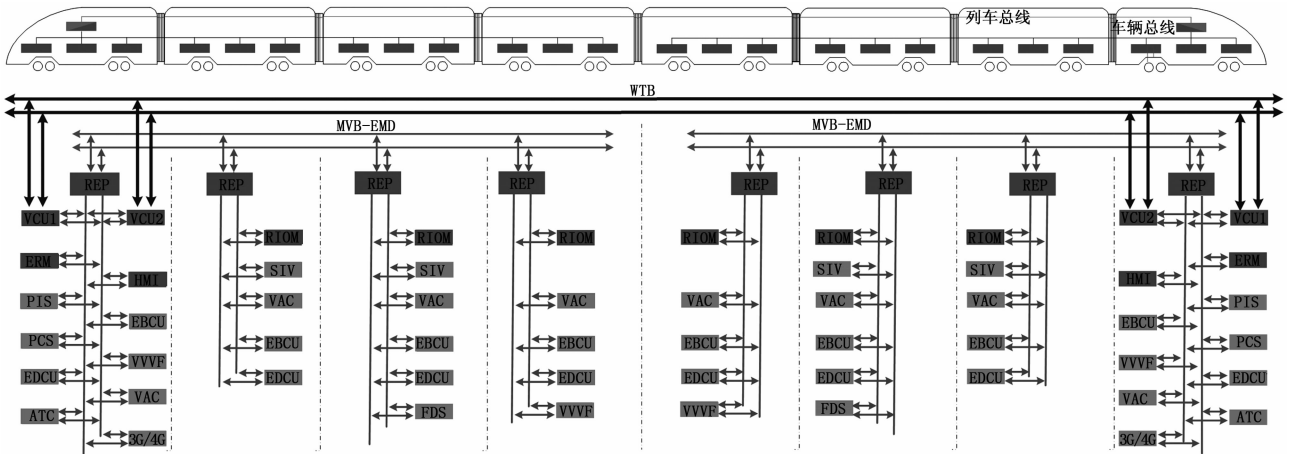


图 1 网络拓扑图

2 系统硬件分析

2.1 列车级通信

WTB (Wire Train Bus) 绞线式列车总线是专为铁路机车(车辆)重联而开发的高可靠和实时的现场总线,当列车进行连挂等需要改变车辆组成时,列车总线各节点执行初运行过程,连接并分配连续的地址给各节点^[7]。

1) 传输周期:

CPU 程序执行周期暂定为 50 ms,WTB 过程数据的特征周期设置为 50 ms,过程数据报文长度为 128 字节,即在 50 ms 内所有 WTB 节点的过程数据至少发送一次,WTB 过程数据通信时序示意图如图 2 所示。

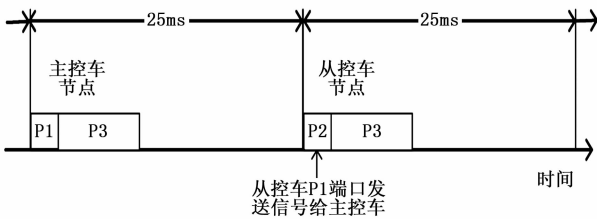


图 2 WTB 过程数据时序

2) 数据类型:

P1 端口数据由主节点编排发出,其中主节点发送控制指令,速度等数据,每个周期不分时发送;

P2 端口数据由从节点发送本单元关键信号给主节点,使主节点可进行列车级的控制。P1 端口与 P2 端口通过“主节点标志”信号进行区分。

P3 端口数据由编组中的所有单元编排发出,主要为车辆关键设备状态;端口传输示意图如图 3 所示。

消息数据采用分页方式,每 50 ms 发送一次,每 500 ms 数据更新一次。消息数据主要用来传输状态数据和故障数据及软件版本等。

2.2 车辆级通信

MVB 总线是 TCN 的重要组成部分,用于列车内各子系统之间的串口通信。传输距离的需求不同,选择的总线

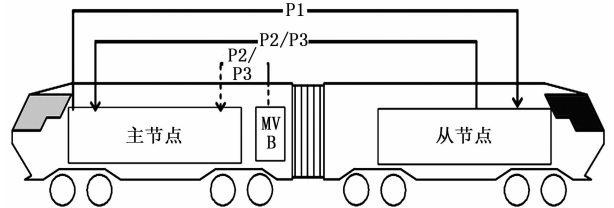


图 3 端口传输示意图

的物理层介质类型也有所不同^[8]。MVB 物理层介质类型根据传输距离可分 3 类:短距离电气介质 ESD、中距离电气介质 EMD、长距离光纤介质 OGF^[9]。本项目采用电气中距离 EMD 电介质。

它的拓扑结构是固定的,不能动态改变,4 辆车一起构成一个 MVB 单元。每辆车都有一个 MVB 分段,并通过中继器连接到整个 MVB 单元上,并且在每个分段的两端都接有终端电阻。

2.3 列车控制单元 (VCU)

VCU 是整个列车的控制中枢,与列车的运行安全息息相关。在列车网络控制系统中,每一列车上安装有 2 台 VCU,互为冗余^[10]。VCU 通过多功能车辆总线与 HMI、RIOM 等设备通信。列车控制单元主要包括电源模块、CPU 模块、WTB、MVB 模块、数字量采集模块、模拟量采集模块。各模块通过背板总线进行连接,集中式的设备总成大大减少了各模块间的连接器的数量,降低了设备的故障率。

2.4 输入输出模块 (RIOM)

RIOM 模块主要功能为采集列车数字量,并将该信号转换为 MVB 数据发送至 VCU,同时该模块还可以接受来自主 VCU 的控制命令,对外进行相应的输出指令操作。RIOM 将具有串行和数字输入和输入和输出通道(共计 24 路 DI+8 路 DIO),数量满足车辆设备的需要,并有 10% 的备用量。

2.5 中继模块 (REP)

每列车装有 8 个中继模块 REP,每节车配备一个中继

器设备。中继器用于连接 MVB 各区段, 完成信号转发功能^[11]。中继器 REP 还可以实现信号的中继放大, 以及传输通道的隔离, 将故障点造成的影响降到最低。中继器可以识别数据传输方向^[12]。每节车的所有设备通过 MVB 总线互连成车辆级通信网络并通过 REP 与列车级网络进行互联互通。

2.6 人机交互显示器

人机交互显示器 (HMI) 是司机与车辆之间的可视化界面。显示车辆状态和故障信息, 使司机能实时掌握车辆情况^[13]。HMI 根据从总线上的获取的数据对车辆所有设备状态进行监视, 同时可以根据画面的控制功能实现对子系统的控制, 例如空调、PIDS、牵引的复位等。HMI 可以为司机或检修人员提供故障帮助以及操作提示等信息。

3 软件功能分析

TCMS 软件系统十分复杂, 与外界环境以及操作者关系密切。是一个在功能、行为、结构上呈现出层次性、开放性、非线性的软件系统^[14]。

3.1 逻辑控制

3.1.1 列车级功能

实现的主要列车级主要功能项点如下。

- 1) 司机室激活端选择:
- (1) 只有一端“本车激活”信号有效, 则以本车为激活端, 输出激活端有效信号; (2) 两端“本车激活”信号都有效时, 输出激活端故障给 HMI, 以故障提示形式提醒操作人员同时做相应的处理。此时激活端默认上一次状态。
- 2) 列车方向信号:
- ATO 模式时, 方向指令选取激活端 ATO 输出; 在非 ATO 模式下, 方向指令选取主控端方向手柄的信号输出。
- 3) 方向控制:
- (1) 列车在零速状态时且激活端故障信号无效时, 可以更改方向; (2) 在零速时若有且仅有一个方向输入则认为方向可用, 以输入方向为列车方向; 同时接收到“前向”和“后向”指令信号, 输出“方向错误”信号给 HMI, 默认无方向; (3) 在非零速时, 默认上一次方向, 同时接收到“前向”和“后向”指令信号或前后向同时丢失时, 输出“方向错误”信号给 HMI。
- 4) 牵引制动状态:
- (1) 当紧急制动继电器失电时, TCMS 输出紧急制动状态; (2) 当司控器制动位或 ATO 模式下 ATO 制动指令有效或非紧急制动状态时, TCMS 输出常用制动状态; (3) 当司控器牵引位或在 ATO 模式下 ATO 牵引指令有效或非制动位时, TCMS 输出牵引状态; (4) 非 1~3 时, 默认为惰行状态。

- 5) 司控器牵引制动力大小:
- 司控器电位器输出理论值:
- $eb: 8 \pm 0.15 \text{ VDC}; bmax: 8 \pm 0.15 \text{ VDC}; n: 3 \pm 0.15 \text{ VDC}; pmax: 8 \pm 0.15 \text{ VDC}.$

无司控器牵引位、制动位、非紧急制动状态时, 牵引力大小、制动力大小为零。

6) 速度计算:

首先将 8 编组车分为 2 个单元: 计算每个单元的速度, 速度为拖车用制动速度, 动车用牵引速度, 计算方法: (1) 牵引时本单元车速度: 所有有效轴速中第二低轴速值; (2) 制动时本单元车速度: 所有有效轴速中第二高轴速值; (3) 惰行时按照上次列车牵引、制动状态执行计算。(4) 取两个单元的最高值作为整车速度。

7) 牵引封锁控制:

TCMS 通过通讯向 DCU、BCU 通讯牵引指令, 以下情况将封锁牵引: (1) 牵引命令无效; (2) 无激活端有效指令; (3) 无方向有效指令; (4) 制动不缓解反馈信号有效; (5) 门全关信号无效; (6) 停放制动不缓解反馈信号有效; (7) 紧急制动状态; (8) 列车超速; (9) 应急开关有效; (10) 所有高速断路器断开。

8) 时间设置、时间同步:

TCMS 检测到激活端侧显示器时间设置界面设置位高电平, 将设置命令及设定值发送给所有系统; TCMS 上电 1 分钟后自动发出时间设置命令以及系统时间值。时间控制流程如图 4 所示。

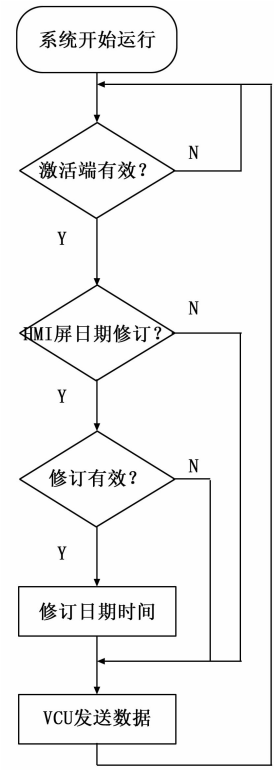


图 4 时间控制流程图

- 9) 通讯状态判断:
- 任一子系统所有的端口在连续 8 次通讯周期内内生命信号都没有变化则输出该系统与 TCMS 通讯故障。连续 3 次生命信号有变化输出通讯正常信号;

某个设备只要有一个端口通讯故障，就认定该设备通讯故障，该设备所有端口通讯正常，才认定该设备通讯正常。

TCMS 发送给子系统的生命信号从 0 到 65535，其每次增加计数值的周期为端口的轮询周期。子系统状态判断流程如图 5 所示。

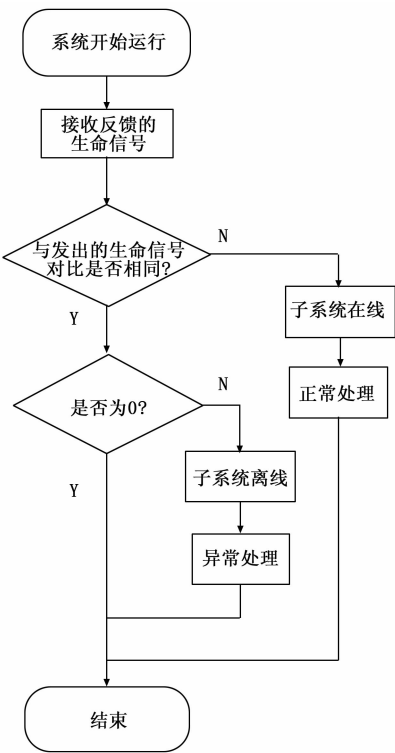


图 5 子系统状态判断流程图

10) 保持制动缓解：

以下条件只要有一条满足则输出保持制动缓解：（1）牵引使能有效，且有效牵引力值大于 $A=130\text{ kN}$ ；（2）牵引使能有效，且列车速度高于 1 km/h 。

3.1.2 牵引系统

1) 总牵引力：VCU 计算 4 个动车的实际力之和发个 DCU。

2) 总载荷：VCU 计算 8 个车的实际载荷之和发个 DCU。

3.1.3 辅助系统监控

车辆控制单元（VCU）通过 MVB 总线向本地牵引单元辅助控制单元传输指令信息，同时辅助控制单元通过 MVB 总线将辅助系统的状态信息、故障信息传递给本地车辆控制单元（VCU），非主控端 VCU 通过 WTB 总线将本单元内辅助变流器的信息传递给主控 VCU。从而实现列车控制与监视系统对整车辅助系统的监视、控制、诊断和记录。

3.1.4 制动系统监控

制动系统控制单元 EBCU 具有 MVB 通信功能并连接

车辆网，实现的制动监控项点如下。

1) EBCU 与 TCMS 通信状态监测：

列车控制与监视系统对制动控制单元（EBCU）与 TCMS 系统的通信状态进行监测，并在 HMI 上进行显示。

2) 制动指令监测：

网络系统通过网络输入输出模块对列车施加的制动指令进行实时的监测及诊断。列车制动指令包括：司控器发出的制动指令、ATC 发出的制动指令、停放制动指令等，并通过车辆总线 MVB 发送到本地的 VCU，VCU 通过逻辑判断后识别为列车所要施加的制动指令，结合 EBCU 反馈的制动状态进行诊断。

3) 制动指令传输：

司控器发出的制动指令通过硬线发送给主控车 EBCU，同时网络输入输出模块采集指令信号至 VCU，通过 MVB 总线和 WTB 总线传送到各车的 EBCU。EBCU 根据该信号和硬线信号对比后执行制动命令。车辆行驶过程的制动指令施加状态如图 6 所示。



图 6 制动指令施加波形图

4) 主风管压力监测：

制动控制单元（EBCU）可以通过压力传感器监测主风管压力，通过车辆总线 MVB 将压力信息发送到本地的 VCU，VCU 通过逻辑判断将计算后得到的准确压力值传送到列车总线 WTB，最终发送到显示屏用于显示主风管压力。主风管压力波形如图 7 所示。

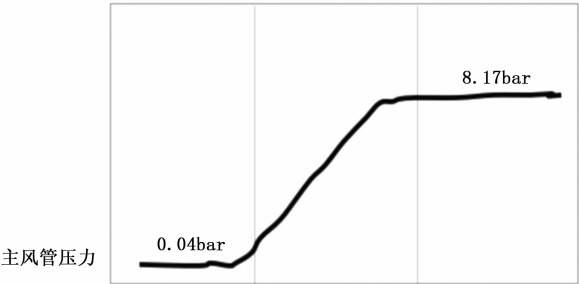


图 7 主风管压力波形图

5) 停放制动监测：

当停放制动施加或缓解时，停放制动缸压力开关会动作，停放制动压力开关控制车辆继电器，输入输出模块采集停放制动环路继电器的辅助触点状态，通过车辆总线 MVB 将信息发送到本地的 VCU；制动控制单元同时通过压力传感器监测停放制动状态，通过车辆总线 MVB 将停放制动是否施加的状态发给 VCU。

将牵引手柄推到牵引位, 由 TCMS 检测牵引状态后, 当列车速度大于 3km/h, 通过 WTB 总线将坡起制动缓解指令发给各车 EBCU, EBCU 进行停放制动缓解。行驶过程总的停放制动缓解状态波形如图 8 所示。

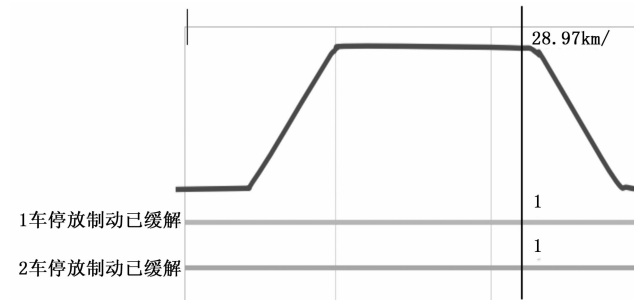


图 8 停放制动缓解波形图

6) 制动故障检测:

当 EBCU 检测到制动系统工作异常时, 对产生诊断信息通过车辆总线 MVB 发送至本地 VCU, VCU 将诊断信息发送至列车总线 WTB, 形成列车级诊断信息, 显示屏接收该信息实现报警提示。

3.1.5 空调监控

空调系统控制单元 (VAC) 具有 MVB 通信功能并连接车辆网。实现的空调监控项点如下。

1) 空调控制器与 TCMS 通信状态的诊断和显示:

TCMS 监视列车所有空调控制器的状态。在某一空调控制器由于通信故障而离线后, 本牵引单元的车辆控制单元 (VCU) 通过生命信号判断出与空调控制器的通信出现故障, 并判断发生故障的车辆号, 通过 WTB 总线将此诊断信息发送给其它牵引单元的车辆控制单元 (VCU)。

2) 客室空调控制:

通过激活端司机室的显示器可以将全列客室空调集控开启或关闭工作模式等控制指令通过 MVB 总线传递给本单元的 VCU, VCU 通过逻辑判断将客室空调控制信号通过 MVB 传递给本单元内的客室空调控制器, 同时主控端 VCU 通过 WTB 总线将控制指令发送给其它牵引单元的 VCU, 进而控制其它牵引单元内的客室空调的启动和关闭。

3.1.6 烟火报警

烟火报警主机通过 MVB 总线与 TCMS 进行通信。全车在司机室、客室、配电柜等区域设置烟火报警探测器。当车辆某部位发生火警时, 火警信息通过 MVB 总线发给本单元的车辆控制单元 (VCU), 车辆控制单元将火警信息通过司机台显示器、机械师室显示器及蜂鸣器通知司机及随车机械师。烟火报警主机通过 MVB 总线发送给 VCU, VCU 按照故障等级对火警系统的诊断信息进行报警和存储。

VCU 收到本网络单元 FAS 报警后, 进行预处理, 之后向本单元对应报警车厢的 HVAC 发送报警信息, 控制空调停机。

3.2 画面显示

1) HMI 布置:

每个司机室设置 1 个 HMI, 显示屏屏幕规格为 10.4 寸, 分辨率为 800 * 600, 操作方式为触摸式显示屏, 显示屏内置蜂鸣器, 出现故障时鸣动报警。

2) HMI 显示界面:

HMI 设置司机模式、维护模式, 司机和检修人员能观测整车运行状态, 或通过显示屏控制相关系统的运行状态, 如图 9 所示。

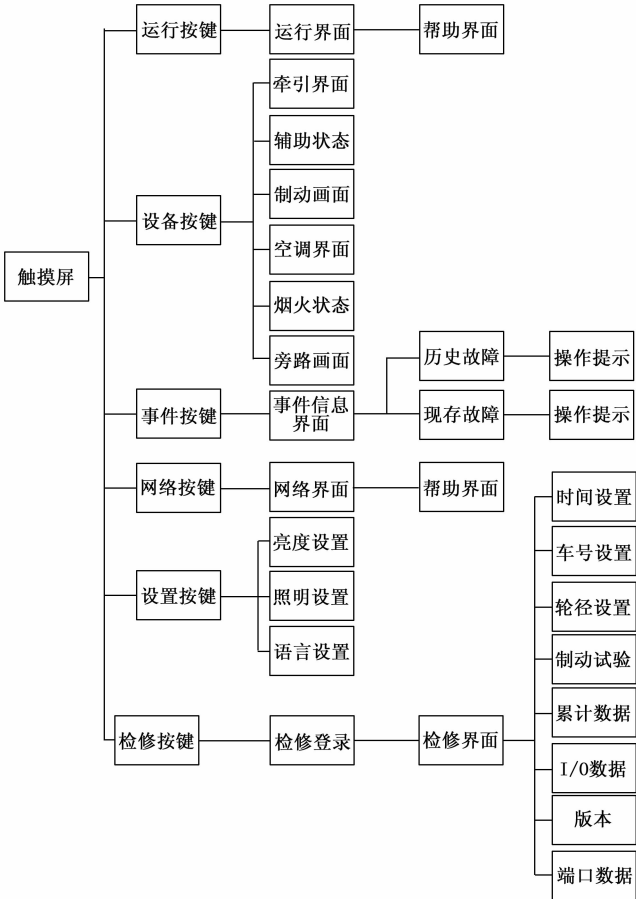


图 9 HMI 各界面关系图

3) 显示信息:

HMI 主界面内容如图 10 所示。

3.3 故障诊断

车载故障诊断系统是 TCMS 的一个重要组成部分, 完成车载各部件故障数据的采集、显示功能。故障信息在司机台上通过 HMI 显示, 并且通过车地无线系统上传到地面维修和服务系统中, 供长期的储存和深入的地面分析。

诊断功能可以协助司机和检修人员进行工作。当列车发生故障, 将以显示器的文本信息和蜂鸣器的鸣叫同时警示司机。故障等级和纯文本信息显示在 HMI 界面上。此外, 故障提示信息可以协助司机采取适当的操作, 并使维护人员更容易地查找并解决故障^[15]。

