

城市轨道交通站台屏蔽门
中央控制盘的研制

贺 文, 王 飞, 陈 庆, 林 磊

(宁波南车时代传感技术有限公司, 浙江 宁波 315021)



作者简介: 贺 文 (1969-), 男, 高级工程师, 长期从事机车控制系统的研发工作。

摘 要: 针对城市轨道交通站台屏蔽门与信号系统的接口和功能需求设计了一种基于插件箱结构的中央控制盘。介绍了该系统的构成、功能及软硬件设计和实现方法, 分析了其在可靠性、可维护性及安全性方面所采取的措施。

关键词: 城市轨道交通; 站台屏蔽门; 中央控制盘

中图分类号: U231.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2011)04-0044-04

Development of Urban Rail Traffic Platform Screen Doors
Central Interface Panel

HE Wen, WANG Fei, CHEN Qing, LIN Lei

(Ningbo CSR Times Transducer Technique Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315021, China)

Abstract: A subrack-based platform screen doors central interface panel (PSC) was designed according to the interface between urban rail traffic platform screen doors and SIG. The configuration and function of PSC system were introduced, as well as its software and hardware implementation. Measures adopted to guarantee reliability, maintainability and safety were also analyzed.

Key words: urban rail traffic; platform screen door; PSC

0 引言

站台屏蔽门^[1]是安装于城市轨道交通沿线车站站台边缘, 用以提高运营安全系数、改善乘客候车环境、节约运营成本的一套机电设备系统。中央控制盘(PSC)^[1]是屏蔽门控制系统的主要接口设备, 是屏蔽门控制系统的核心, 同时为车站信号室内的信号系统设备(SIG)、车站控制室内的环境与设备监控系统(BAS)和紧急控制盘(IBP)、就地控制盘(PSL)、门控器(DCU)等设备提供接口连接, 因此其对可靠性和安全性的要求较高。

目前, 国际上掌握地铁屏蔽门控制系统核心技术的公司主要有英国西屋、瑞士卡巴等几家公司。西屋的PSC的核心部件单元控制器PEDC采用密封箱体式结构, 两块控制电路板通过螺钉连接固定于箱体内, 拆装非常麻烦, 故障时需整体更换; 卡巴的PSC主要由监控主机PLC和导轨式安装的安全继电器模块构成, 其安全性能得到有效的保证, 但当出现故障时故障点难

以定位。另外, 两家公司的PSC为了提高系统运行的可靠性, 对其监视部分皆采用了热冗余设计, 但实现控制功能的关键部分却只设置了一套硬件, 没有采用冗余备份策略, 一旦PSD系统故障就无法正常工作。本文基于模块化的设计思想, 设计了一种新的基于插件箱结构的PSC控制柜, 对其系统构成及其各模块的功能、软硬件设计进行了详细的介绍, 讨论了其在硬件架构和软件算法设计方面所采取的可靠性和安全性策略及实现。与上述几家公司目前的产品相比, 该系统在保证可靠性和安全性的基础上, 对整个硬件电路进行了完全冗余冷备份, 可用性更好、可维护性更强。

1 系统互连与接口

由图1给出的系统互连关系图可知PSC是整个屏蔽门控制系统的核心单元, 是整个屏蔽门系统对外、对内的控制枢纽。

1.1 与信号系统(SIG)控制接口

如图1所示, PSC与信号系统通过硬线进行连接, 共有4个关键安全信号^[2]: 开门命令、关门命令、关门且锁紧信号和互锁解除信号。

收稿日期: 2011-03-14

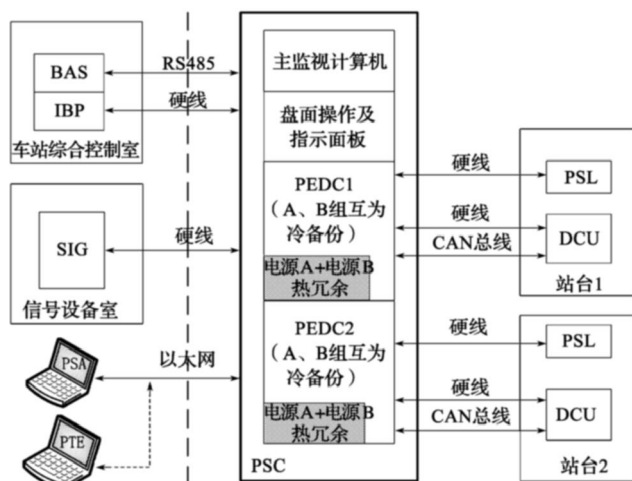


图1 PSD系统互连示意图

1.2 与门控器（DCU）接口

PSC与DCU的接口类型包括硬线连接和CAN总线通信连接2种方式。硬线控制信号包括开门信号、主电源使能信号和ASD/EED门已关闭信号。非关键的控制/状态信息通过2路互相冗余的CAN总线传递，另外上述所有硬线关键信号的一个“软”拷贝也在监控过程中通过CAN总线进行传输，以实现关键命令的审查。

1.3 与环境及设备监控系统（BAS）的通信接口

PSC与BAS之间采用双路RS485串行总线进行连接，由BAS系统实现对屏蔽门运行状态的监视、故障报警及查询运营记录等功能。

1.4 与紧急控制盘（IBP）接口

PSC通过硬线连接实现与IBP盘的接口，在IBP盘上设置手动开关门按钮，实现对屏蔽门的开关控制，同时站台屏蔽门的开/关状态可在IBP盘上的指示灯显示。

1.5 与就地控制盘（PSL）接口

PSL通过硬线连接实现对屏蔽门的开关控制，还可通过互锁解除开关向SIG发出1个互锁解除和1个模拟的关闭锁紧信号。站台屏蔽门的开/关状态可在PSL的指示灯显示。

1.6 与远方监视报警盘（PSA）接口

远方报警盘（PSA）设在各站台的站台监控亭内，PSC通过以太网接口与PSA实现连接，用户通过PSA能够实时地监视所有DCU、电源设备、控制设备的工作运行状况，监视各重要控制回路的动作状态。

1.7 与便携测试设备（PTE）接口

PTE通过以太网接口与PSC进行连接，用户通过PTE可实现对PSC的现场或远程调试，实现诸如程序寄存器显示、修改，程序更新等操作。

2 PSC系统构成

中央控制盘外形尺寸图如图2所示，其主要由单元控制器（PEDC）、主监视计算机和盘面操作及指示面板构成。

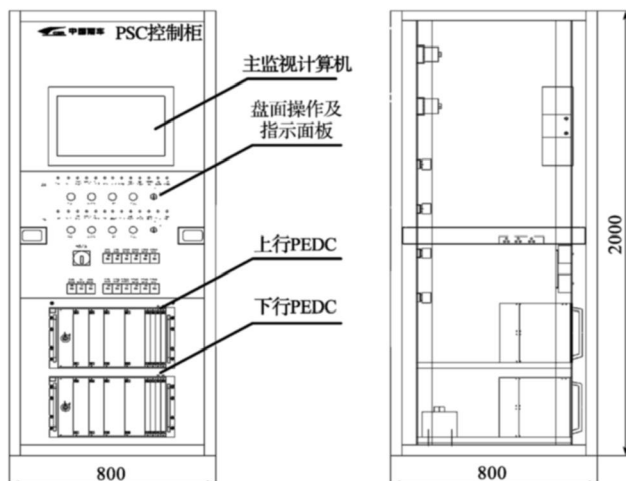


图2 PSC外形尺寸

2.1 单元控制器（PEDC）

每个PSC中包含2个PEDC分别控制两侧站台的屏蔽门，每个PEDC采用标准的6U插件式工业机箱结构，包含2组相同的硬件实现了冷备份冗余，每组硬件由电源插件、继电器插件、CPU插件构成。通过转换面板的钥匙开关可在2组硬件来回切换。外观如图3所示。



图3 单元控制器

电源插件主要为PEDC其他各插件提供所需的工作电源。继电器插件主要由具有故障导向安全机构的安全继电器构成，接受信号系统开门、关门命令控制门控器，将关闭锁紧信号反馈给信号系统。CPU插件负责管理各种通信接口以及监视PSD运行的状态和故障，并将这些信息发送至相关的监控点（如主监视计算机、PSA、BAS等）。

2.2 主监视计算机

主监视计算机是整个总线网络的主设备，内置的人机界面监视软件可将整个车站的屏蔽门系统的各种状态及故障信息以动态图像和详细状态数据的形式显示出来，界面直观、形象、友好。同时，对重要数据通过数据库进行存储，用户可轻松实现各类数据的查询、分析、显示等操作；另外，通过软件还可以实现对PEDC、DCU等设备进行参数配置、固件更新等操作。

2.3 盘面操作及指示面板

屏蔽门系统运行的状态和故障信息可通过PSC盘面的指示灯显示，同时通过PSC盘面相关的开关和按钮可实现对屏蔽门的模拟控制。PSC盘面设置如下：①指示灯，门开启、PSL操作允许、ASD/EED关闭且锁紧、ASD/EED互锁解除、IBP操作、CAN总线故障、ASD开启故障、ASD/EED关闭故障等；②按钮，故障复位、指示

灯测试、开门测试、关门测试；③模式运行开关，“自动”位——PSC接收SIG信号实现门的自动控制；“测试”位——结合“开门测试”按钮和“关门测试”按钮可实现对屏蔽门的模拟开关控制。

3 PEDC设计及实现

PEDC是PSC的核心，因此其硬件与软件设计水平的高低直接影响整个PSC盘的可靠性和安全性。

在本设计中，每个PEDC皆采用冷备份方式进行冗余设计，当一组硬件故障时可通过转换开关切换到另外一组硬件保证PSD系统的正常运行。故障组硬件完全失电，可以安全将其更换、维修，保证了系统运行的连续性。

3.1 PEDC硬件设计

3.1.1 电源插件

电源插件采用了高可靠性的DC/DC模块以产生稳定可靠的电源，同时设计了输入过压、欠压保护及过流保护电路，另外对每路输出也设置了过压保护电路，确保屏蔽门系统能长期安全、稳定、高效地运行。

为提高整个PEDC的可靠性，在电源插件设计时采用热冗余设计，使PEDC的A、B 2组硬件的电源插件并联以热冗余的方式工作，从而使电源插件具有可不断电维修功能；另外还对电源进行了实时监控，以及时发现故障。当出现故障需要维修时，可随时切除故障组的电源插件，轻松实现系统不断电更换维修，且不影响系统的正常运行。具体方案见图4所示。

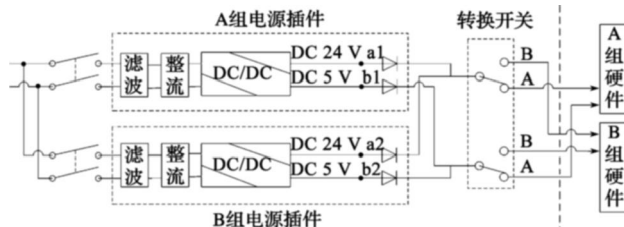


图4 电源冗余方案框图

在正常情况下2组电源插件同时给PEDC其他插件供电，这样不但改善了电源的均流特性，并且当有一组电源产生故障时，另一组仍然可以使系统正常运行。同时CPU插件通过监测a1、b1、a2、b2的电压情况可获得故障位置，并通过指示灯显示电源故障，提醒及时更换故障电源模块，确保系统持续正常运行。

3.1.2 继电器插件

继电器插件以干接点方式在信号系统与门控器间传递的开门命令、关门命令、关闭且锁紧信号均为关键安全信号，电路须达到GB/T 16855.1—2005^[3]安全等级3的要求。

安全等级3要求：无论在哪个安全性相关部分中发生单独的故障，都不会导致安全功能下降，在任何合理的情况下都可检测到单独的故障；故障积累可能导致安全功能的丧失。通常，满足安全等级要求的电

路具备冗余性、多样性：通过部分或整体配备的冗余性（重复性），可将电气电路的1个故障发生危险的概率控制在最小限度。由于冗余的同一种类设备在同样条件下可能同时发生故障，因此，可通过使用各种动作原理的控制电路和各种类型的装置或零件，形成具有冗余性的结构，降低共同故障的概率。

安全电路须由安全部件构成。安全继电器属于安全部件，和一般继电器不同，它具有强制导向接点结构（EN50205），即使在接点熔接时也能确保安全功能。它的主要特点：接点间隔不仅在通常运行状态而且在发生故障的状态也达到0.5 mm以上；接点负载开关符合AC15、DC13（IEC60947-5-1）；机械的寿命为1 000万次以上。强制导向接点结构保证：有1个a接点熔接时，在线圈无励磁状态下，所有b接点至少保持0.5 mm以上的间隔；或者有1个b接点熔接时，在线圈励磁状态下，所有a接点至少保持0.5 mm以上的间隔。图5、图6比较了a接点熔接、线圈无励磁时，一般继电器与带强制导向接点继电器的区别。

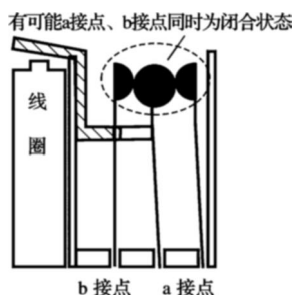


图5 一般继电器

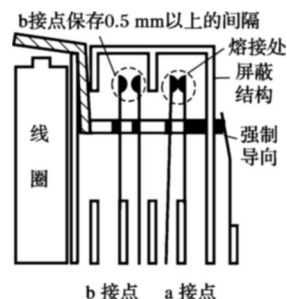


图6 带强制导向接点继电器

关键安全信号电路均由安全继电器构成，通过对触点的安全冗余、检测，保证了单独故障不会导致安全功能下降。以图7开门命令电路为例分析。

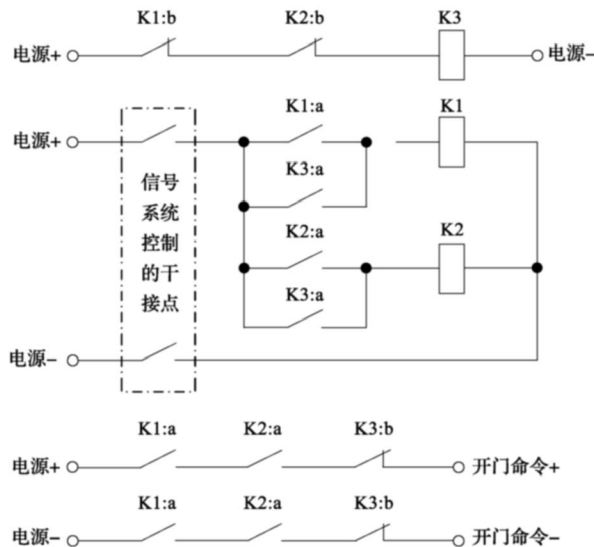


图7 开门命令电路

① K1~K3正常时：上电后，K3有励磁，K3:a闭合，K3:b断开；若信号系统控制的干接点闭合，K1、K2有励磁，K1:a、K2:a闭合，K1:b、K2:b断开，K3无励磁，K3:a断

开, K3:b 闭合, 输出开门命令。

② K1:a 熔接时: K1:b 始终断开, 故障被 K3 检测出来, K3 始终无励磁, K3:a 始终断开, K2 始终无励磁, K2:a 始终断开, 始终无法输出开门命令。

③ K1:b 熔接时: K1:a 始终断开, 始终无法输出开门命令。

④ K3:a 熔接时: K3:b 始终断开, 始终无法输出开门命令。

⑤ K3:b 熔接时: K3:a 始终断开, 故障被 K1、K2 检测出来, K1、K2 始终无励磁, K1:a、K2:a 始终断开, 始终无法输出开门命令。

关键安全信号电路符合安全等级 3 要求外, 还以正、负线双切方式安全冗余。

继电器插件状态受 CPU 插件监视。

3.1.3 CPU 插件

CPU 插件通过数字量光电隔离输入接口监视屏蔽门系统状态; 通过数字量光电隔离输出接口显示屏蔽门系统状态、报警; 通过丰富的通信接口满足对外信息传递, 可实现不同通信协议之间的相互转换。

主要电路由 DSP 芯片 TMS320F28335 与外围电路构成。提供了 12 路数字量光电隔离输入接口和 18 路数字量光电隔离输出接口; TMS320F28335 自带 2 路 UART 接口模块, 方便地实现 RS485 接口对 BAS 等外部系统通信; 具有 2 路增强的 eCAN 2.0B 接口模块, 满足对 DCU 的 2 路 CAN 接口冗余通信要求; 通过芯片 LAN9218i 实现 10M/100M 自适应工业以太网接口, 将故障、状态显示至上位显示终端; 另外, 通过 TMS320F28335 的外设扩展接口(XINTF)扩展了 1 块 NVSRAM, 以备系统掉电时保存重要的数据。硬件框图如图 8 所示。

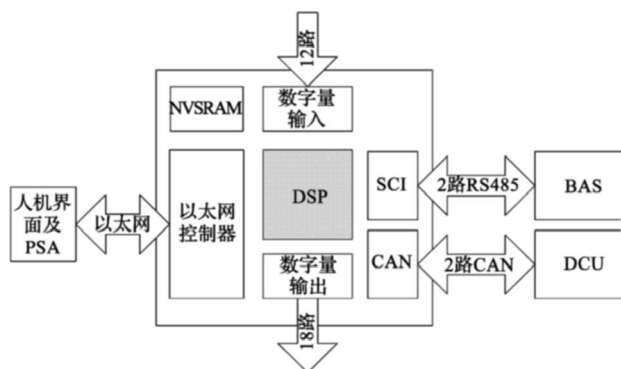


图 8 CPU 插件硬件框图

3.2 PEDC 软件设计

软件采用层次化设计, 各层之间只能通过公开的 API 进行接口。软件总体结构框图如图 9 所示。

硬件驱动层和硬件完全相关, 主要实现各硬件接口的初始化和配置的功能, 包括 GPIO 驱动、RS485 驱动、以太网驱动和 CAN 驱动。所有驱动基于硬件接口抽象的数据结构, 进行了层次化设计, 即: 所有驱动程序在设计时都被划分成了功能函数层和应用程序接口

层, 前者提供各种功能实现函数, 对各控制器的寄存器进行操作以实现各自所能提供的功能; 后者主要提供 3 个接口函数, 即初始化控制器、发送数据、接收数据。

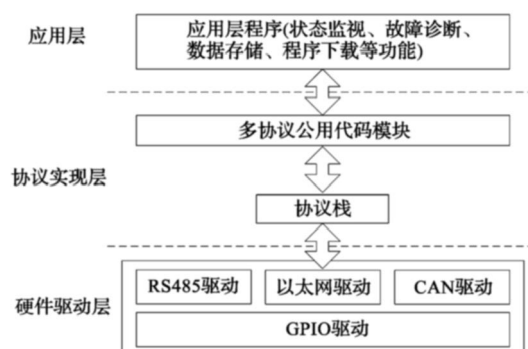


图 9 软件总体结构框图

协议实现层主要完成协议数据段打包与解包等功能的实现, 即对各驱动获得的数据按制定的协议进行解包以提供给应用层使用, 同时将用户的数据打包供驱动层发送。由于设计了一个共用的包结构, 不同通信接口的解包和打包程序共用同一个模块, 提高了代码的重用性和可维护性。

应用层实现各功能应用模块, 主要包括如下软件模块: 通信模块, 主要完成对 CAN、RS485、TCP 通信; 监视及控制模块, 主要完成状态监视、指示等; 记录诊断模块, 主要实现状态分析、故障数据波形记录等; 远程维护管理模块, 主要负责完成远程程序下载、参数配置等。

程序的主流程如图 10 所示。

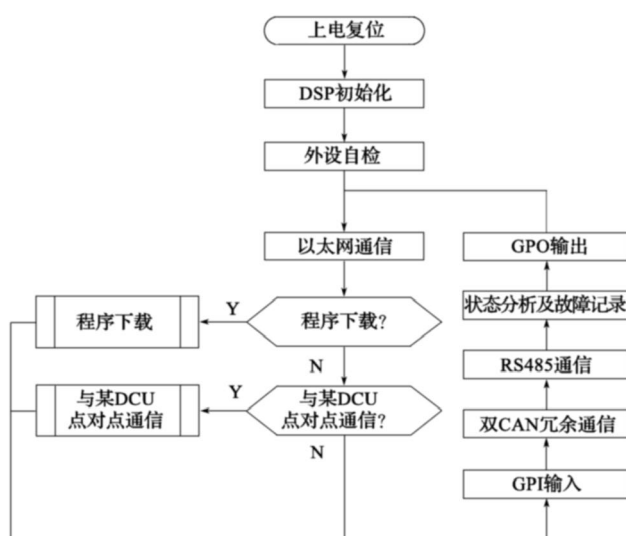


图 10 插件程序主流程图

4 主监视计算机软件的设计与实现

软件功能结构如图 11 所示。

软件采用 C/S 分布式模式, 人机界面部署为客户端, 数据采集、分析、存储、转发等功能部署为服务端, 客户端与服务端通过 TCP 链路进行(下转第 54 页)

联系起来,不同应力之间的耦合作用及相互影响十分复杂。为简化问题,常只考虑对其影响最大的几种情况。

目前,铁路电子产品常利用三综合(温度、湿度和振动)试验箱开展加速可靠性试验研究。下面就温度与湿度、温度和振动展开讨论。

2.3.1 温度和湿度应力寿命模型及加速系数

Peck提出了描述温湿度的加速模型:

$$L = A(H)^{-m} \cdot e^{\frac{E}{KT}} \quad (7)$$

式中: H ——相对湿度; T ——绝对温度; K ——波尔兹曼常数; E ——激活能; m 、 A ——常数。

对式(7)两边取对数得:

$$\ln L = a + b/T + \ln(H)^{-m}$$

$$K_{th} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{A(H_2)^{-m} e^{\frac{E}{KT_2}}}{A(H_1)^{-m} e^{\frac{E}{KT_1}}} = \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{-m} \cdot e^{\frac{E}{T_2} - \frac{E}{T_1}}$$

式中: K_{th} ——温湿度加速系数。

2.3.2 温度和振动应力加速模型和加速系数

温度和振动应力的加速模型:

$$L = Ae^{\frac{E}{KT}} \cdot K_a^m \cdot T_1$$

温度寿命关系为: $L = Ae^{\frac{E}{KT}}$

振动寿命关系为: $L = K_a^m \cdot T_1$

则温度和振动多应力加速系数为:

$$K_{tv} = e^{\frac{E}{T_2} - \frac{E}{T_1}} \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

利用三综合(温度、湿度和振动)试验箱开展多应力加速系数的分析还存在一些不完善的地方,首先是模型的确定方法;另外,忽略了各种应力之间的相关性,而只是简单地认为各个应力之间是相互独立的。因此其正确性及广泛应用性都值得进一步研究,评估方法也有待不断完善。

3 结语

加速可靠性试验技术突破了环境模拟试验技术的思路,首次应用于铁路电子产品的可靠性试验中,它的应用大大缩短了铁路电子产品的研制费用,提高电子产品的可靠性,必将为铁路运输的安全可靠运行起到十分重要的作用。

参考文献:

- [1] IEC61373—2010, Railway applications-Rolling stock equipment-shock and vibration tests[S].
- [2] 李晓阳,姜同敏. 加速寿命试验中多应力加速模型综述[J]. 系统工程与电子技术, 2007(5).
- [3] GJB 899, 可靠性检定和验收试验[S].
- [4] GJB 1407, 可靠性增长试验[S].
- [5] 康劲松,景诗毅. 多应力加速模型及加速系数研究[J]. 机电一体化, 2009(6).

(上接第47页)

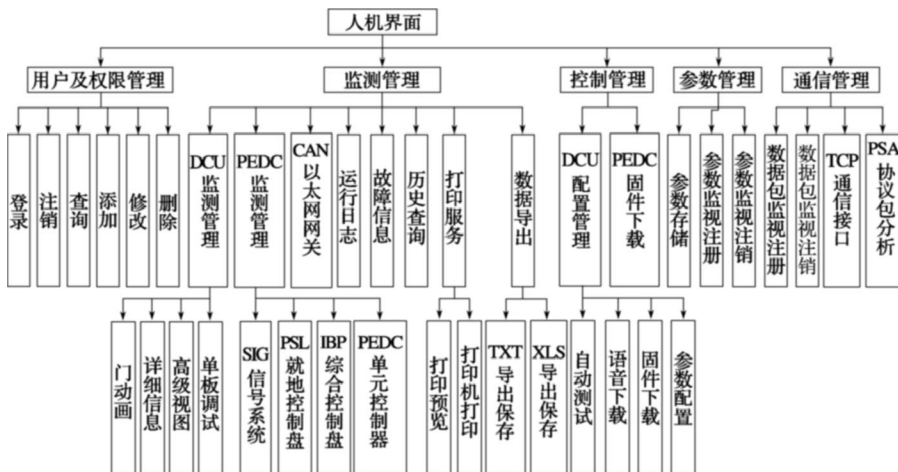


图11 软件功能结构

连接,支持多机和远程监控模式。服务端与被监控硬件设备的通信链路同时兼容以太网、串口及USB通信方式,使用统一的应用层协议来屏蔽不同的链路产生的差异。数据的存储采用SQLite进行开发。

软件框架采用面向接口的设计,总体上自上而下分成界面显示层、逻辑处理层、通信层3个层次,层与层之间严格遵守上层调用下层,下层不允许操作上层,并且上下层的关系使用面向接口的技术,而不允许面向实现,以达到层间极低的耦合度和良好的扩展特性。同时为解决层次结构中性能问题,抛弃查询方式来管

理下层状态,利用Windows的消息机制和接口机制,使上层能及时地去处理下层信息。另外,为达到并行对多个硬件设备同时操作,使用多线程处理和线程同步保证其可行性和安全性。

通过应用严格的框架模式,使上位机支持多机监控界面、多被控设备、并行通信处理等功能。

5 结语

本文设计了一种基于插件箱结构的站台屏蔽门的中央控制盘,目前已完成了各项功能及电磁兼容实验并正在配合系统做100万次开关门加速寿命试验。结果表明该系统具有可靠性高、可维护性强等优点,完全能满足城市轨道交通站台屏蔽门规范的要求。

参考文献:

- [1] CJ/T 236—2006, 城市轨道交通站台屏蔽门[S].
- [2] 何泳斌,周剑斌,张大华. 信号系统与屏蔽门系统接口控制的设计分析[J]. 城市轨道交通研究, 2005(2): 46-49.
- [3] GB/T 16855.1—2005, 机械安全 控制系统有关安全部件第1部分:设计通则[S].