

# 地铁环控与设备监控系统自动生成与 自动测试软件研究<sup>\*</sup>

黄力宁 邓 嫔

(北京和利时系统工程有限公司, 100176, 北京//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 传统地铁 BAS(环控与设备监控系统)的设计思路和方法已无法满足设计工期以及 ISCS(综合监控系统)对 BAS 功能的要求。利用计算机高级软件 VS 设计出一套高效的 BAS 自动编程软件和自动测试软件,并将其应用于 BAS 的设计中。该软件在提高设计效率、缩短设计周期的同时,提高了 BAS 系统的可靠性,保证了 BAS 系统的稳定运行。

**关键词** 地铁;环控与设备监控系统;可编程逻辑控制器;自动生成;自动测试

**中图分类号** U29-39

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2021.07.029

## Automatic Generation and Testing Software of Metro BAS System

HUANG Lining, DENG Pin

**Abstract** Conventional design ideas and methods of metro BAS system are insufficient to meet the demand of time limitation and what comprehensive monitoring system (ISCS) requires from BAS system functionality. A highly-efficient BAS automatic programming and automated testing software is designed using advanced computer software VS, and it is applied to the design of BAS, which can improve design efficiency and reducing design cycle, improve reliability of the system and ensure stable operation of the subway integrated monitoring system.

**Key words** metro; building automation system (BAS); programmable logic controller (PLC); automatic generation; automatic testing

**Author's address** Beijing Hollysys System Engineering Co., Ltd., 100176, Beijing, China

城市轨道交通 ISCS(综合监控系统)具有集成互联专业多、接口多、功能复杂、工期紧、任务量大等特点,而国内对于 ISCS 的设计仍停留在传统的

手工设计阶段。传统的设计方法效率低下、质量不高,已经难以满足日益发展的 GWQS-ISCS(绿色、智慧、品质、安全的 ISCS)的设计需求<sup>[1]</sup>,必须将一些高效的设计思路和方法引入到 ISCS 的设计中。BAS(环控与设备监控系统)是 ISCS 的重要组成部分,本文以青岛地铁 13 号线为例,对地铁 ISCS 设计阶段自动化软件进行重点研究,以满足 GWQS 设计对 ISCS 的品质和安全要求。

## 1 BAS 的特点分析

青岛地铁 13 号线是青岛市最长的地铁线路,包含 1 个运营控制中心、23 个车站、1 个车辆段和 2 个停车场,共计 27 个设计点<sup>[2]</sup>。作为 ISCS 中最大的专业,BAS 包含的设备最多、功能最复杂,需对车站和区间的通风系统、MCC(马达控制中心)、照明等 10 余个子系统的 33 个接口专业进行全面、有效的监控及管理,以确保设备处于安全、可靠、高效、节能的最佳运行状态<sup>[3]</sup>。在车站/区间发生火灾或阻塞的情况下,BAS 需要迅速转换为防救灾模式,配合 FAS(火灾报警系统)进行灾害联动,为站内乘客及机电设备的安全提供必要保障<sup>[4]</sup>。作为涉及到人身安全的重要消防联动工程,在工期紧、任务重的情况下,BAS 对设计的质量及效率要求非常高,应在传统设计基础上进行创新,提出简捷、高效的设计思路,以满足设计要求。

## 2 BAS 的整体设计方案

### 2.1 设计思路与框架

如图 1 所示,BAS 的整个设计流程包括点表设计、PLC(可编程逻辑控制器)程序编写和带平台测试 3 部分。本文提出 1 种高效的设计方法,利用计

<sup>\*</sup> 青岛市红岛-胶南城际轨道交通工程 ISCS 设备采购、集成及服务项目(2015-011809-0201-877)

算机 VS 编程软件设计出自动化软件,实现 BAS 的自动设计流程。该方法已应用到青岛地铁 13 号线 ISCS 设计的 3 个阶段中,并取得了良好的设计效果。

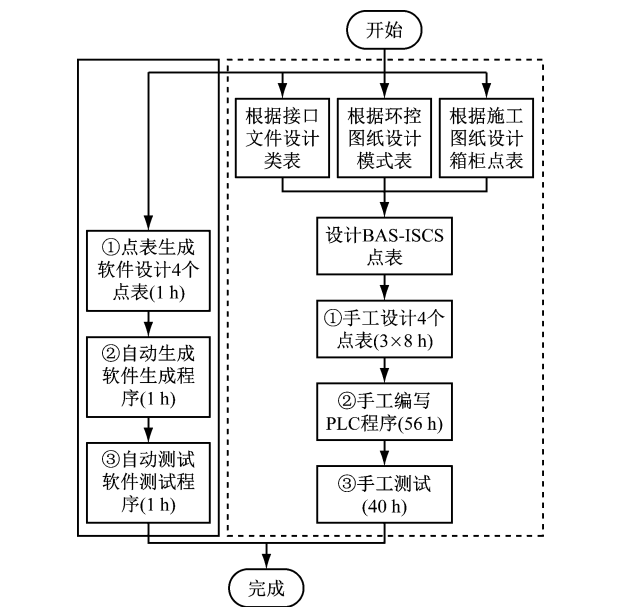


图 1 典型地铁站 BAS 设计流程对比图

2.2 借助 VS 软件高效设计监控点表

BAS 的 4 个监控点表是 PLC 程序编写和上位组态的基础,其中:箱柜点表包含设备的名称、通道、PLC 地址等信息,用于箱柜成套;模式表是各模式工况下设备目标动作信息的点表,用于模式控制;类表是 BAS 中接口设备的类码、点位地址信息的点表,用于设备分类;BAS-ISCS 点表是 BAS 与 ISCS 数据交互的设备、点位地址信息的点表。在这 4 个点表中,箱柜点表的设计最为复杂、费时。本文以箱柜点表的设计进行举例说明,剩余点表的设计不再赘述。

据统计,青岛地铁 13 号线共有 294 个箱柜表需要设计。传统的每个箱子中逐个设备填写的方式费时、费力、准确率不高,而且若有填写错误,这些错误会积累并传递到下个环节——PLC 程序编写中。所以,本文提出借助 VS 语言编写箱柜点表的生成软件来实现。

2.2.1 设计原理

首先,通过读取从设计院图纸中导出的设备列表,将包含设备类的点位、通道的类模板等信息复制对应的箱柜点表中;其次,调用设备通道填写

程序,从上而下逐行扫描、顺序填写,再调用通道检测程序对通道地址进行自检,确保同一设备的所有点位分布在同一个模块上,方便日后的检修与更换;最后,调用地址填写程序填写 PLC 地址,完成车站设计点的所有箱柜点表的自动生成工作。箱柜点表自动生成的原理如图 2 所示。

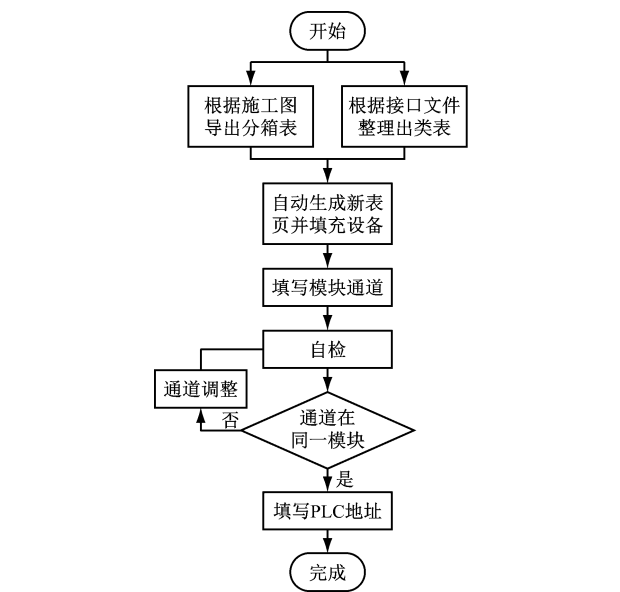


图 2 箱柜点表的自动生成原理图

2.2.2 工程应用

本软件的系统开销较小,符合 GB/T 13423—1992《工业控制用软件评定标准》中“开销特性”和“可靠性”准则,运行效率较高。据统计,与传统的设计方法相比,采用箱柜点表生成软件生成所有箱柜点表后,1 个车站箱柜点表的设计时间缩短了约 95%,错误率也由 15% 降至 0,达到了省时、高效的目的,且全线表格格式统一,为后续的 PLC 程序准确编写以及 HMI(人机界面)组态奠定了坚实基础。

2.3 高效设计 PLC 的编写程序

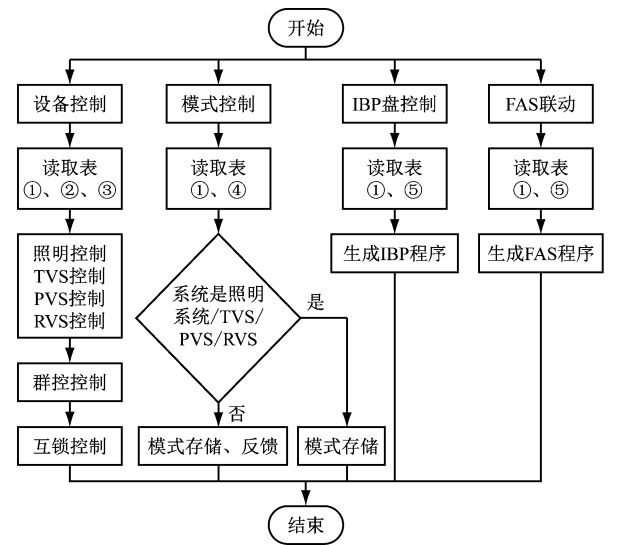
本项目采用了美国 AB 公司的大型热备冗余系列 PLC 控制器 Logix5561,编程和调试软件采用 RSLogix 5000。青岛地铁 13 号线的 41 套 PLC 程序编写是该线 BAS 设计的重中之重。以该线的典型车站积米崖站为例,主从端的 PLC 共包含 89 个子程序、8 877 行程序,由此预估全线需设计近 20 万行程序。这样庞大的工作量要求在不到半年时间内高质量地完成,传统逐行“搭梯子”的手工编程方式无法满足工期要求,且在重复冗杂的设计中容易发生纰漏和错误。考虑到 AB 品牌 PLC 编程语言的特点,利用 VS 高级编程语言设计 PLC 程序并生成

设计软件,以替代手工编程,可大大降低程序设计的难度与工作量。

2.3.1 设计原理

首先,根据接口专业的接口文件编写接口子程序、根据 BAS 用户需求书编写各功能程序、根据设计图纸编写各种工况下的控制逻辑程序等,最终实现典型站 PLC 程序设计;其次,在研究典型站 PLC 程序的基础上,利用 VS 语言设计 PLC 程序的自动生成软件,并根据程序功能将设备控制、模式控制、IBP(应急后备盘)、FAS 联动等 4 大部分的功能程序按步骤顺序生成;最后,结合典型站的 PLC 程序生成符合 PLC 编程规则的以 L5K 为后缀名的程序文件,并导入 PLC 程序中,最终实现自动编程目的。

在此过程中,特别将点位多、重复性大、容易出错的编程工作设计到自动生成软件中,依靠软件去检索和查询 4 个点表,大大减少了手工设计的工作量。此外,根据代码功能的不同,设计出 VS 语言类模板进行模块化设计,提高了程序代码的复用性及软件执行效率与程序生成速度。PLC 程序自动生成原理如图 3 所示。



注:PVS 为公共区大系统;RVS 为设备区小系统;TVS 为隧道系统;  
① 为 BAS-ISCS 点表;② 为 MCC 点表;③ 为 IO(设备)点表;④ 为模式表;⑤ 为 IBP 点表。

图 3 PLC 程序自动生成原理图

2.3.2 工程应用

本程序生成软件符合 GB/T 13423—1992《工业控制用软件评定标准》的“用户友好性”以及“可移植性”准则,操作简单、容易上手。而且,该软件对

系统要求不高,方便移植:复制 PLC 程序生成软件到本机并运行,点击按钮选择已设计好的 4 个监控点表以及 MCC 点表,点击运行按钮即可自动生成 xml 格式的 PLC 程序,并分功能单独输出。再将这些程序导入到 PLC 工程中,即可实现 PLC 程序的自动编写工作。

采用此方式编写 PLC 程序,简单快捷,省时高效,准确率高。以 13 号线的典型站嘉年华站为例,需要编写的 PLC 程序行数约为 7 000 行,采用此方式自动生成的程序可达 6 000 行,占程序总行数的 80%,大大降低了编程人员的编写难度,解决了在工程设计阶段耗时多、错误率高、精力需要长时间高度集中等问题,将编写 1 个车站 PLC 程序的时间缩短将近 90%,真正实现了从输入点表到输出 PLC 程序一键完成的功能。此外,该生成程序结构全线统一,方便调试及维护,非常适合地铁 ISCS 这类站点多、设备杂、工期紧的工程设计工作。

2.4 自动高效测试 PLC 程序的各项功能

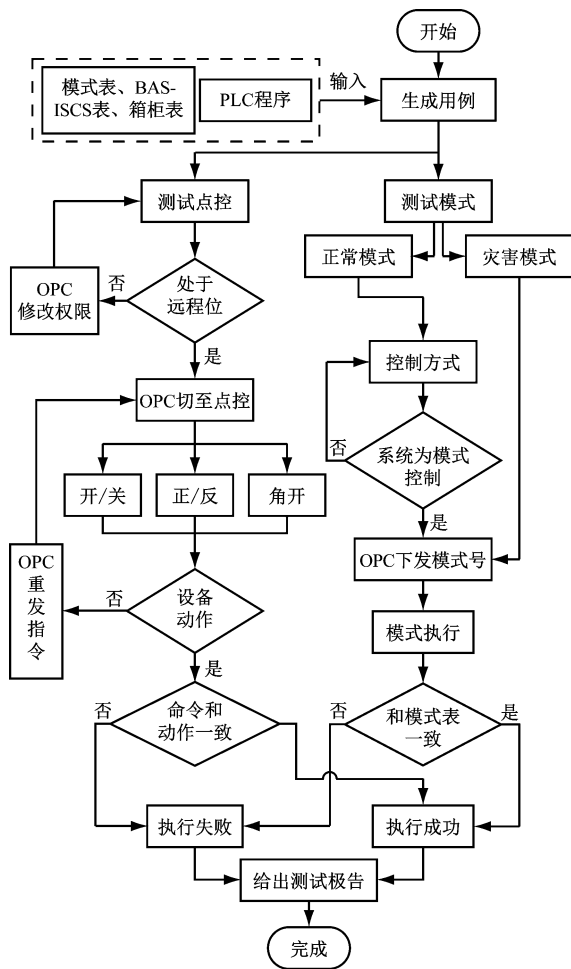
BAS 的 PLC 程序作为地铁车站火灾和阻塞灾害下的防灾救灾的关键系统,是 GB/T 12504—1990《计算机软件质量保证计划规范》规定的“故障会影响到人身安全”的重要软件,必须经过 V&V(软件验证与确认过程)环节的完全测试,才能应用到现场。传统的 V&V 测试环节只能满足单点对点和静态对比,采用手动方式进行功能测试,效率低下。以 13 号线的典型站嘉年华站为例,需要对 BAS 的 25 个大小子系统的 140 个可控设备、154 个模式、1 600 个点位逐个进行功能测试,需要耗时 1 周,且测试的准确率不高,无法满足现场对测试工期的要求。根据 GB/T 15532—2008《计算机软件测试规范》的要求,软件测试应采用测试软件,避免或减少人工操作,所以设计出 1 款可自动测试 PLC 程序功能的测试软件就显得尤为重要了。

2.4.1 设计原理

本项目 BAS 采用 AB 品牌 PLC 作为核心控制器,和 HMI 共同采用 CIP(工业互联网协议)网络通信,为保证测试软件的通用性,采用 OPC(用于过程控制的对象连接技术)通信协议。

如图 4 所示,以导入读取的 4 个监控点表数据、生成单点控制以及 4 种模式控制的测试举例说明。通过 OPC 协议连接 PLC 控制器并取得设备的控制权限,模拟 ISCS 下发设备的开关、角开、高低速、运行与停止等命令,通过查看设备输出的实际点位变

化,实现 PLC 点控控制逻辑的测试;正常通风和照明模式控制功能的测试是通过修改各子系统控制方式到模式控制,模拟 ISCS 下发模式号到 PLC,将当前模式下设备的实际输出情况和环控工艺图纸的预期工艺进行对比,实现正常模式的执行逻辑测试;对于靠模式号驱动的危害模式,则是模拟 ISCS 下发模式号,并对比设备输出指令与预期目标,用以判断灾害模式是否执行成功。



注:虚线框内为输入文件。

图4 PLC功能自动测试软件原理图

#### 2.4.2 工程应用

在工控机上运行 PLC 工程和 HMI 监控系统,再运行自动测试软件,选择 4 个监控点表,点击运行即可完成对 PLC 程序和 HMI 界面组态的带平台联合测试。基于 13 号线嘉年华站的测试工作量,与传统的设计方法相比,应用自动测试软件后可将测试

的时间缩短 90%,实现了对 PLC 程序的点位逻辑正确性、点控控制完整性、正常模式和灾害模式下的功能等测试,还可以检测出 HMI 界面中的组态问题,最终生成包含测试用例、测试结果、测试准确率的文档,供编程人员和界面组态人员参考。这不仅可以改正、完善 PLC 的程序和 HMI 系统,还可提高工程数据的鲁棒性,以及界面组态的准确性和完整性。

本软件采用 VS 编程平台开发并能够完全模拟 HMI 与现场设备的运行情况,测试过程属于动态测试方法中的黑盒测试方法。应用该测试方法可减少系统的初始故障数,大幅提升软件的 MTBF(平均无故障运行时间),进而提高软件的稳定性<sup>[5]</sup>,符合 GB/T 15532—2008《计算机软件测试规范》的要求。

### 3 结语

青岛地铁 13 号线应用了本文所述的自动生成与自动测试软件,与传统的设计方法相比,该线 BAS 的设计效率与质量显著提高,整体设计效率提升了 85%,设计耗时减少 90% 以上,为 BAS 现场的具体实施奠定了基础,保障了线路按时、高质量开通。该软件采用主流的 PLC 控制器,支持 OPC 通信方式,使得软件不仅可以应用到绝大多数的地铁 ISCS 项目中,极大地提高了 ISCS 设计阶段的自动化水平,还可应用到符合 IEC 61131-3《可编程语言标准》的其它 PLC 编程的行业环境中,其技术应用前景十分广泛。

### 参考文献

- [1] 卢萌萌,安俊峰.城市轨道交通 ISCS 顶层设计中的 GWQS-ISCS 理念[J].城市轨道交通研究,2018(11):104.
- [2] 青岛市西海岸轨道交通有限公司.青岛 13 号线地铁 ISCS 招标文件[G].青岛:青岛市西海岸轨道交通有限公司,2016.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014:1.
- [4] 魏晓东.城市轨道交通自动化系统与技术[M].北京:电子工业出版社,2011:289.
- [5] 宫云战.软件可靠性评估技术研究[J].装甲兵工程学院学报,2000(14):2.

(收稿日期:2019-04-15)