

城市轨道交通关键技术丛书

城市轨道交通综合监控及系统集成

李国宁 刘伯鸿 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

全书由“技术基础篇”“系统集成篇”和“应用案例篇”三部分组成。“技术基础篇”重点介绍综合监控系统的基本技术基础；“系统集成篇”重点介绍城市轨道交通综合监控及系统集成的基本原理、基本方法和实现技术；“应用案例篇”主要介绍基于大型 SCADA 平台的综合监控系统、地铁主控系统的应用案例。

本书可作为高等学校城市轨道交通相关专业的教材，也可作为城市轨道交通专业技术人员的参考用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通综合监控及系统集成/李国宁,刘伯鸿编著. —成都:西南交通大学出版社,2022.1

(城市轨道交通关键技术丛书)

ISBN 978-7-5643-8542-2

I. ①城… II. ①李… ②刘… III. ①城市铁路—交通监控系统—高等学校—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 275874 号

城市轨道交通关键技术丛书

Chengshi Guidao Jiaotong Zonghe Jiankong ji Xitong Jicheng

城市轨道交通综合监控及系统集成

李国宁 刘伯鸿 编著

*

责任编辑 黄淑文

封面设计 原谋书装

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 21

字数: 523 千字

2022 年 1 月第 1 版 2022 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-8542-2

定价: 49.80 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第二版前言

城市轨道交通系统是一种高密度、大运量的交通系统，必须保证其高度的安全性和可靠性。城轨交通综合监控系统的建立，一方面可以实现各系统信息资源共享，提高决策水平，确保相关系统间自动进行业务关联和事件联动功能，快速应对突发事件；另一方面，通过综合监控信息平台，提供设备档案管理、系统维护管理的基础信息，保证设备的使用和维护，提高设备完好率，降低运营成本，为智能运维、智慧城轨保驾护航。无论从现实还是长远来讲，城市轨道交通综合监控系统的实施都具有重要的意义。

为了适应新工科和城市轨道交通综合监控及系统集成教学新要求，作者对第一版进行了全面修订：一方面，对全书内容进行了优化；另一方面，重新编写了大部分章节。

第二版修订的一个重要思想是：把握学科发展方向，努力把教材打造成精品。力求反映学科本质特征，体现学科发展方向、行业发展方向；站在全局的高度，从综合监控系统集成的视角组织教材的内容；揭示综合监控系统的复杂性和技术内在的系统性关系。

本书由三部分组成。

第一部分为技术基础篇，分6章介绍与城市轨道交通综合监控系统有关的基础技术。内容包括绪论、可编程控制器、SCADA系统、I/O接口与采集技术。计算机通信网络与现场总线，计算机监控技术等。

第二部分为系统集成篇，分9章介绍城市轨道交通综合监控及系统集成，是本书的重点。内容包括系统集成技术基础、系统集成接口技术、综合监控系统综述、电力监控子系统、机电设备监控子系统、火灾报警子系统、自动售检票系统、其他相关系统、信号系统等，它们是综合监控系统集成及互联的核心。

第三部分为应用案例篇，分2章介绍城轨交通综合监控的应用案例。内容包括基于大型SCADA平台的综合监控系统、地铁主控系统，它们属于城市轨道交通综合监控系统的典型案例。

本书具有如下特点：

1. 延续了第一版的总体框架，本书共分3篇17章。这样的系统框架既反映了城轨综合监控系统的内在关系，也符合教与学的逻辑思维规律。
2. 调整内容和篇幅的同时，在这次修订中，也积极吸收了新技术、新观点。
3. 为了便于读者学习，各章都相应增加了复习思考题。

本次修订工作由兰州交通大学刘伯鸿负责并统稿，李国宁审阅了本书。

此次修订过程中，兰州交通大学陈光武、汤旻安、陈永刚、林俊亭、张雁鹏、左静、林海香、许丽、杨扬等同志给予了大力支持和帮助并提出了宝贵的意见，兰州交通大学信号系同仁也给予了关心和支持，作者在此一并致谢。

在本书的编写过程中，参考、引用了许多行业内同仁的文章与著作，在此一并表示感谢。

由于作者的水平和能力有限，加之时间仓促，书中疏漏和错误之处在所难免，恳请广大读者批评、指正。

作者

2021年7月

第一版前言

城市轨道交通系统是一种高密度、大运量的交通系统，必须保证其高度的安全性和可靠性。城轨交通综合监控系统的建立，一方面可以实现各系统信息资源共享，确保相关系统间自动进行业务关联和事件联动功能，快速应对突发事件；另一方面，通过综合监控信息平台，提供设备档案管理、系统维护管理的基础信息，保证设备的使用和维护，提高设备完好率，降低运营成本。

在城市轨道交通中，综合监控系统具有包含的系统多、监控的对象多、处理的数据量大、涉及的专业面广等特点。在实际运营中，由电力监控子系统、环境与机电设备监控子系统、火灾报警子系统等构成的综合监控系统是整个轨道交通系统安全可靠运行的基本保障。在技术发展水平方面，综合监控系统不但是实现国内轨道交通调度自动化管理更上一层楼的重要工具，也是我国城市轨道交通系统的主要发展方向之一。

随着城市轨道交通的蓬勃发展，对轨道交通相关人才的要求急剧增加。为了适应新时期城市轨道交通建设的需求，我们在从事轨道交通相关课程教学及科学研究的基础上，参考了有关城市轨道交通自动化系统与技术的一些丛书及研究、设计院所的技术资料，编写了这本教材。

本书由三部分组成。

第一部分，技术基础篇：分为 6 章介绍与城市轨道交通综合监控系统有关的基础技术。城市轨道交通综合监控系统是一个工业自动化系统，它奠基在工业控制系统、监控与数据采集、计算机通信网络与现场总线等技术基础上。

第二部分，系统篇：分为 6 章介绍了城市轨道交通综合监控系统及集成，是本书的重点。内容包括系统集成技术基础、系统集成接口技术、综合监控系统及集成、信号系统、自动售检票系统、信息通信系统及其他系统，它们是综合监控系统集成及互联的核心。

第三部分，应用篇：分为 2 章介绍城市轨道交通综合监控的实际应用。包括基于大型 SCADA 平台的综合监控系统、地铁主控系统，它们都是城市轨道交通综合监控系统的典型案例。

本书由李国宁和刘伯鸿共同完成，李国宁统稿并编写第 1 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 11 章、第 12 章，刘伯鸿编写第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 10 章、第 13 章、第 14 章。

由于作者的水平和能力有限，且时间仓促，书中疏漏和错误之处在所难免，恳请广大读者批评、指正。

作者

2011 年 10 月 1 日

目 录

第 1 篇 技术基础篇

第 1 章 绪 论	1
1.1 城市轨道交通发展综合监控系统的起源	1
1.2 城市轨道交通监控系统的发展历程	1
1.3 城市轨道交通综合监控系统的对象和任务	6
1.4 城市轨道交通综合监控系统的架构理念	9
1.5 城市轨道交通综合监控系统的技术	12
1.6 城市轨道交通综合监控系统的应用特点	16
1.7 系统集成概述	20
复习思考题	23
第 2 章 可编程控制器	24
2.1 PLC 与 PLC 系统概述	24
2.2 PLC 应用举例	29
复习思考题	31
第 3 章 SCADA 系统	32
3.1 概 述	32
3.2 SCADA 系统组成	33
3.3 SCADA 系统的结构	38
3.4 大型 SCADA 系统	40
3.5 大型 SCADA 系统的软件平台	43
复习思考题	49
第 4 章 I/O 接口与数据采集技术	50
4.1 I/O 接口概述	50
4.2 过程 I/O 接口	50
4.3 基于 PC 的数据采集技术	54
4.4 基于 PC 的数据采集系统编程	58
4.5 基于 PLC 的数据采集系统编程	59
4.6 基于虚拟仪器的数据采集技术	60
4.7 基于 Web 的远程数据采集与监控	62

4.8 I/O 接口划分	64
复习思考题	65
第 5 章 计算机通信网络与现场总线	67
5.1 数据通信基础	67
5.2 计算机通信网络	87
5.3 以太网	92
5.4 现场总线技术	96
复习思考题	113
第 6 章 计算机监控技术	114
6.1 概 述	114
6.2 综合监控系统软件目标和策略	115
6.3 综合监控系统软件需求分析	117
6.4 综合监控软件平台	122
复习思考题	127

第 2 篇 系统集成篇

第 7 章 系统集成技术基础	128
7.1 系统集成商与系统集成	128
7.2 系统集成的基本问题	130
7.3 开放系统应用集成框架	134
7.4 系统集成相关技术介绍	140
复习思考题	149
第 8 章 系统集成接口技术	150
8.1 概 述	150
8.2 集成系统接口框架	151
8.3 接口通信技术	155
8.4 接口描述规范	165
复习思考题	174
第 9 章 综合监控系统综述	175
9.1 综合监控系统的功能	175
9.2 综合监控系统的组成	176
9.3 综合监控系统的技术要求	176
9.4 综合监控系统的网络结构	181
9.5 综合监控系统调度管理	186
9.6 综合监控系统的构建方式	188

9.7 综合后备盘	195
9.8 综合监控系统的设计原则	196
复习思考题	200
第 10 章 电力监控子系统	202
10.1 概 述	202
10.2 电力监控系统控制流程及管理系统体系结构	203
10.3 电力监控系统的基本组成	205
10.4 电力监控系统的设备配置	207
10.5 电力监控系统的功能	211
10.6 电力监控系统接口	216
复习思考题	217
第 11 章 环境与设备监控子系统	219
11.1 概 述	219
11.2 环控系统控制流程及管理系统体系结构	223
11.3 BAS 系统构成	226
11.4 BAS 系统功能	231
11.5 BAS 系统接口处理	243
复习思考题	244
第 12 章 火灾报警子系统	245
12.1 概 述	245
12.2 FAS 控制流程及管理系统体系结构	246
12.3 地铁 FAS 的组成	249
12.4 地铁 FAS 系统功能	250
12.5 FAS 的接口	253
复习思考题	254
第 13 章 自动售检票系统	255
13.1 概 述	255
13.2 AFC 系统的结构	255
13.3 AFC 系统的功能	258
13.4 软件系统	261
13.5 AFC 系统接口	263
13.6 售检票系统支付数字化	264
复习思考题	265
第 14 章 信息通信系统及其他系统	266
14.1 信息通信系统	266

14.2	屏蔽门系统	269
14.3	门禁系统	271
14.4	数字视频监控系统	272
14.5	乘客信息系统	273
14.6	广播系统	276
14.7	时钟系统	277
14.8	电源系统	277
	复习思考题	277
第 15 章 信号系统		278
15.1	概 述	278
15.2	城轨列控系统分类	280
15.3	CBTC 系统	283
15.4	新一代列控系统的相关技术	287
	复习思考题	289
第 3 篇 应用案例篇		
第 16 章 基于大型 SCADA 平台的综合监控系统		290
16.1	案例 1	290
16.2	案例 2	297
	复习思考题	311
第 17 章 地铁主控系统		312
17.1	案例 1	312
17.2	案例 2	320
	复习思考题	324
参 考 文 献		325

第 1 篇 技术基础篇

第 1 章 绪 论

1.1 城市轨道交通发展综合监控系统的起源

城市轨道交通是一个庞大的系统工程，它涉及面广、技术复杂、专业繁多，需要各系统、各部门的协调配合，才能完成整个项目的建设、运营和管理，才能确保行车安全，为乘客提供安全、快捷、舒适的乘车环境。

早期的城市轨道交通监控系统多是按控制功能、对象、范围的不同划分为若干个子系统，各子系统之间是独立建设和运营维护，彼此是孤立的，从而形成了一系列孤岛系统。这些孤岛系统各自封闭，相互间联络困难，而且成本高、层次低，不利于实现轨道交通运营管理的互通、资源共享，降低了系统的可靠性、响应性和运营效率。尤其在突发事件时，各子系统之间的协调性差，费时率高，重复性工作多。

基于这种现状，为了提高城市轨道交通运营管理水平，20 世纪末提出了城市轨道交通综合监控的思想，将车站和调度指挥中心具有相关功能的系统设备进行集成与互联，达到多专业系统之间互联互通、信息共享、数据融合、提高运营管理效率的目的。

综合监控系统的概念是从国外引进的，简称 ISCS，英文表述为 Integrated Supervision and Control System。顾名思义，是将彼此孤立的各类控制系统设备通过网络和集成软件有机地连接在一起，建成一个共享信息平台。该系统集成或互联了各相关子系统，监控和协同这些子系统的功能，充分提高各系统的运行效率、降低城轨运营成本、提高计算机辅助决策水平，为乘客提供一个便利快捷舒适的乘车环境；并在灾害发生的情况下最大限度地保护人员和财产安全，实现“高安全、高效率、高品质服务”的智能型城市轨道交通。

1.2 城市轨道交通监控系统的发展历程

高起点、高水平的监控系统是城市轨道交通安全、高效运行的重要保证。随着城市轨道交通的不断发展，与之相应的监控系统大致经历了 4 个发展阶段：人工监控系统、分立监控

系统、综合监控系统、智慧城轨 + 综合监控。

1.2.1 人工监控系统

最早期的地铁运营管理，是以人工为主的监控系统。由于特定时代的技术局限性，供电、通信、信号等专业的监控管理主要依靠人工进行，操作者与管理者之间的通信联系，多以电话方式进行。早期地铁的运营管理起点水平较低，效率较差，运营、站务和设备运转还没有实现自动化。

1.2.2 分立监控系统

19 世纪末 20 世纪初，电气工业发展较快，地铁的供电、信号和通信专业建立了自动控制系统，但那时的自动化技术多以半导体电路、分立组件为主的设备来实现，一般是继电器控制。所有设备的继电器集中安装在继电器控制盘上，构成继电器控制系统。那时，还没有计算机控制系统，地铁的自动化监控管理水平较低。

20 世纪中期，城市轨道交通自动化系统的发展局限于个别设备或装置的技术进步，系统的发展变化不大。20 世纪末，随着计算机技术和自动控制技术的进步，地铁的各专业按照自身的技术特点，不同程度地应用计算机技术、网络技术，建立了各专业计算机自动化系统。城市轨道交通自动化系统有了较大的发展。

供电计算机自动化系统也称为电力 SCADA 系统，在车站的设备间隔层，采用 RTU（远端子单元）采集处理数据。在车站的变电所，通过低速数据传输通道，将车站交流、直流及其保护装置的信息汇集并经骨干网传到 OCC 的电力监控系统前置通信机。前置通信机汇集各车站电力所的信息到电力 SCADA 的中央服务器，中央服务器支持 OCC 的电力监控工作站，实现对各车站电力所设备的运动控制，实现遥测、遥控和遥信三遥功能。

环控系统在这一时期称为楼宇自动化系统，即 BAS。因此，有的环控系统采用简单的 DDC 控制器，实现较简单的功能；有的系统则采用 PLC 系统和 PLC 网络，通过骨干网将各车站 PLC 控制系统的信息传至控制中心。一般机电设备的监控与环控系统往往成为一个系统，采用同一个网络。防灾报警系统因为消防行业的特殊性，独立地组建网络，发展了一套独立的自动化报警和具有较高响应性的控制系统；AFC 也有自己独立的网；而信号系统更是发展了自己强大的 ATC（列车自动控制）系统，包括顶层的 ATS（列车自动监管）系统和底层的 ATO（列车自动驾驶）系统及 ATP（列车自动保护）系统。这一阶段，地铁自动化监控系统发展成为一种分立监控系统。这些分立监控系统在中央监控中心（OCC）都有本专业的服务器、操作站及外用设备，都有自己不同结构的通信网络，采用的是各不相同的监控软件；在车站也有本专业的监控网络及监控站。例如，上海地铁 1 号线，广州地铁 1 号线、2 号线采用的就是这种分立的监控系统方式。这种分立的监控系统方式在计算机控制系统理论上称为“多岛控制系统”或“分岛控制系统”，一个网络称为一个自动化孤岛（Automation-island）。分立系统的技术发展主要由这一时期的通信技术水平和计算机技术水平决定。

这一时期的自动化监控系统，一般都按照系统的控制功能、控制对象、控制范围、控制特点或根据操作管理上的分界，将全线系统划分为若干子系统，每个子系统使用一套计算机

实现控制，各个计算机控制系统之间是互相独立的。显然，在多岛控制方式下，各个控制系统独立运行，互不干扰。但同时也不能共享资源，包括宝贵的信息资源。在多岛控制系统中，要对不同子系统之间的数据进行比较，并得出它们之间的相互关系是很困难的，尤其是需要实时得到结果时更是困难。地铁自动化工程的多岛系统设计如图 1.1 所示。

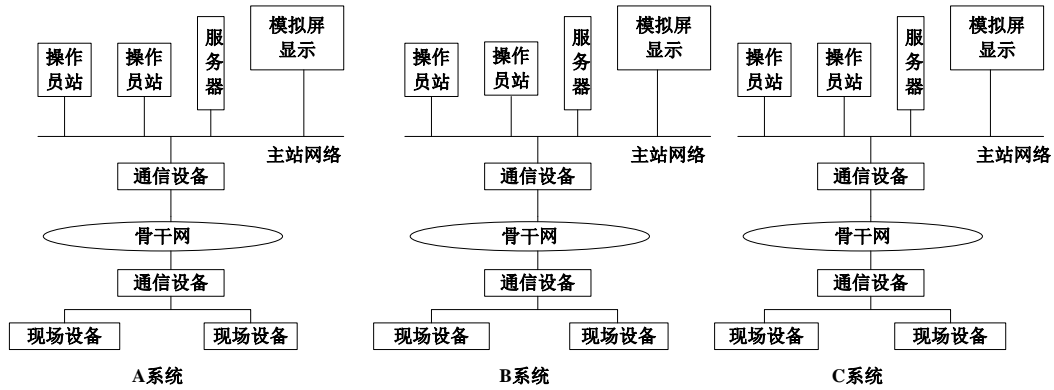


图 1.1 地铁自动化工程的多岛系统设计

在多岛系统设计中，各个系统均配备自己的现场数据采集/控制设备、远程通信设备、实时数据库和历史数据库服务器、操作员/调度员工作站和大屏幕显示设备。由于各个系统都要通过骨干网传送信息，因此需要各自配备骨干网的接入设备。这种接入方式将造成网络带宽被分割，不能集中使用。为了满足多个系统分享骨干网带宽。例如，电力专业，一般给系统分配若干条 64 Kb/s 低速数据通道，而电力的各个子系统的主站端和变电站端之间则采用 64 Kb/s MODEM 实现远程数据通信。

同时，多岛系统的每一个子系统，可能采用了不同厂家的设备，不同设备厂家又采用各自专用的远程通信规约；即使同时采用音频 MODEM 的远程通信，不同厂家也有上百种远程通信规约。这些规约之间没有互通性，要实现互相通信，就必须开发专门的规约转换软件，有时甚至需要开发专门的硬件。为了方便系统间的通信和信息交换，国际标准化组织制定了各种规约标准，如电力 SCADA 的 IEC60870-5/101 标准，但是它仅适于电力，其他系统又会有其自己的规约，因此这种多岛系统之间的通信是极为困难的。

当然，地铁分立监控系统的各个子系统在实际运营中也不完全是自动化孤岛，一些重要的信息还是有联系的。例如：防灾报警信号会传到各系统，触发各系统的灾害模式；列车位置阻塞信息，也会触发各系统的阻塞模式。但是分立系统的硬件平台与软件平台是分立的，它们之间的联络既困难成本又高，有些系统之间甚至难以沟通。这种分立的系统难以实现信息互通、资源共享。往往要实现地铁运营的协调统一管理，不得不加入人工干预，不得不用电话沟通，不得不手工进行某些工作。这样就降低了可靠性、响应性和运营效率。我国大多数地铁还处于这种分立监控的技术水平上，如广州地铁 1 号线和 2 号线，上海地铁 1 号线和 2 号线。

分立监控系统遵循中央和车站两级调度，中央、车站和就地三级控制的原则。在实际运营中，发现分立监控系统存在以下缺陷：

(1) 分立系统模式按专业分为行调、环调和电调等各个子系统。每个子系统分开建设，运行操作平台都不一样，造成各个自动化系统操作平台与管理软件彼此独立而且数量多，全面掌握难度较大；不仅在运营中要投入大量的系统维护、管理人员，增加了运行与维护成本，而且使得各子系统之间缺乏联系，资源不能共享。

(2) 各子系统均为分离的独立系统，之间的联锁关系仅限于简单的数据接口或继电器接口，传输的信息量有限；所有子系统之间不能完全实现联锁关系，且可靠性差，尤其要实现突发事件或灾害情况下各专业之间复杂的联动非常困难，降低了运营效率和救灾水平，不能完全满足现代运营的需求。

(3) 在围绕正常运营的行车调度和灾害情况下的救灾调度所进行的综合规划方面，缺少一个综合管理系统来进行信息收集和综合处理，影响了行车和救灾调度的效率。

1.2.3 综合监控系统

由于计算机、自动控制系统、计算机通信网络特别是大型计算机监控系统技术的长足进步，多岛控制的自动化孤岛被打破，分立的监控系统逐步地走向综合自动化监控。通信网络的带宽增强、高速交换以太网技术的成熟、数据库技术特别是实时分布式数据库的广泛应用，为开发地铁综合自动化监控平台打下了基础。所谓地铁综合自动化监控系统，就是地铁各专业自动化系统采用统一的计算机硬件和软件平台。无论是电力监控还是设备监控，无论是行车调度监控还是通信监控，它们都建立在一个统一的计算机网络平台上，由一个统一的软件体系支持。

因此，多岛的结构变为综合的结构。在 OCC，全线监控系统由高可靠性工业监控网支持，采用一套冗余配置的全局服务器（高端、增强型），几个相关专业共享统一的监控平台，外围设备全系统共享，共享一个统一的软件平台。在车站，监控系统由高可靠的工业监控网支持，车站建立综合监控室，配有冗余操作站集成管理车站各个专业的信息。这样就可以实现地铁全线各专业资源共享，信息互通，全线系统在一个平台上运行。

图 1.2 给出了综合监控系统的基本框图。虽然在实际工程应用中，综合监控系统又有各种类型，但从发展历程看，它是最新的轨道交通自动化系统，称为集成系统或综合监控系统。

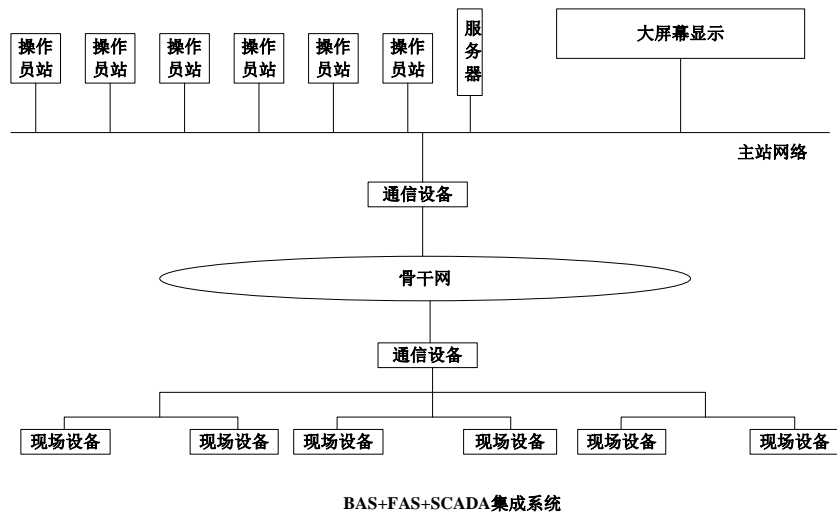


图 1.2 综合监控系统的基本框图

从图中可以看出，集成系统仍然保留了各自的现场数据采集/控制设备和各自的操作员/调度员工作站，而将远程通信、实时数据/历史数据服务器和大屏幕显示设备合并成为统一的系统。这样使得各个子系统可以共享骨干网的带宽，所有的实时数据/历史数据也实现了共享。

由于分立系统的模拟屏在集成系统中被合并为一个超大屏幕，因此每个专业的操作员/调度员的观察视野更加开阔了，他们不仅可以通过超大屏幕了解到本专业所关心的系统状态，还可以同时了解其他专业的相关系统状态，这为操作/调度人员全面了解情况、及时做出正确判断提供了有力的支持。另外，大屏幕合并后就要求各个专业的操作员/调度员集中在同一间调度室内，这也利于各个专业之间及时沟通情况，在紧急工况下共同商讨对策，以做出快速反应。

共享骨干网的带宽所带来的直接优越性，是使系统彻底摆脱了采用低速数据通信手段所造成的限制。在集成系统中，由于整个系统采用统一的通信途径，因此只要为每个车站配备一条（或两条主备冗余）带宽足够的通信端口，即可满足各个子系统的远程通信要求，其带宽和利用效率远高于分立系统的通道。更重要的是采用网络连接后，车站和控制中心之间的通信已走上了标准网络规约 TCP/IP 的开放道路，无论是互操作性还是可扩充性都是分立系统无法比拟的。

虽然，IEC 已发布了电力远动规约新标准 IEC60870-5/104，该标准采用了 IP 链路（而不是音频话路）传送 IEC60870-5/101 远动规约。新标准在数据链路上有了很大的改进（业内称之为“101 远动规约 over IP”），但在数据内容方面仍然局限在传统远动规约之内，因此并不能以此规约为基础形成集成系统。

集成系统和传统的多岛系统（包括常规 SCADA 系统和 PLC 系统）的比较见表 1.1。

表 1.1 传统的多岛系统与集成系统的比较

项目	系统		
	常规 SCADA	PLC	集成系统
现场设备	RTU	PLC	现场控制站
现场控制	无现场控制功能	逻辑控制为主	逻辑控制及回路控制

编程方式	不可编程	IEC61131-3	IEC61131-3
事件顺序记录	SOE lms	无 SEO 功能	SOE lms
直接交流采样	有	无	有
远程通信	音频话路	Data Hiway, 网络	网络
带电拔插	不可	部分产品有此功能	可以
现场通信	无	部分产品支持	支持多种现场总线通信
信息传输内容	仅实时数据	实时数据和编程下载	实时数据和编程下载, 支持各类网络数据交换
GPS 对时	支持	需要专门开放	支持
开放性	主站端具有开放性	主站端具有开放性	主站端和子站端均具有良好开放性

综合监控系统具有以下特点:

(1) 采用统一的软硬件平台, 维护人员只要维护一套系统, 大大降低了运营维护工作量; 各类调度员使用同一套系统, 人机界面和操作方式等相同, 运行人员的培训也变得容易。

(2) 调度操作与地理位置无关。综合监控系统采用分布式结构, 任何一个位置在授权下都可完成所集成专业的调度操作。

(3) 可以进行跨专业的联合调度。发生紧急情况时, 各个专业的子系统要相互联动; 综合监控系统使整个系统的信息得到最大程度的共享和综合, 实现不同专业的联动功能。综合监控系统仍按两级调度构成系统, 中央和车站可定义不同的联动逻辑。

(4) 是一个开放式系统, 扩展性好。

(5) 子系统众多, 接口复杂, 数据量大, 技术要求高, 需要一套先进而成熟的面向轨道交通特定行业的软件平台, 以满足轨道交通运营可靠性、安全性和实时性的要求。

在实际的轨道交通工程应用中, 综合监控有网络化的集成系统和信息化的集成系统。这两种结构的系统集成是目前解决轨道交通控制系统一体化问题的有效方案。网络化的集成系统是具有完善的网络结构和强大处理数据能力的服务器系统, 适用于控制监测对象多、投资规模大、分多期建设的地铁工程。而信息化的集成系统是结构简单、使用冗余方式的主 PLC (可编程逻辑控制器) RTU (远程传输单元) 系统, 适用于控制和监视对象少、要求设备智能化程度高、投资规模不特别巨大的轻轨工程。

综合监控系统代表了当今国内外地铁监控的最高水平, 是轨道交通监控系统的技术发展方向。目前, 香港的机场快线、将军澳支线、西部铁路均建设了综合监控系统, 并已投入运营; 广州地铁 3、4 号线也建设有综合监控系统。

1.2.4 智慧城轨 + 综合监控

智慧城轨内涵: 应用云计算、大数据、物联网、人工智能、5G (第五代移动通信技术)、卫星通信、区块链等新兴信息技术, 全面感知、深度互联和智能融合乘客、设施、设备、环境等实体信息, 经自主进化, 创新服务、运营、建设管理模式, 构建安全、便捷、高效、绿色、经济的新一代中国式智慧型城市轨道交通。

智慧城轨的显著标志为: 实现“智慧乘客服务便捷化”“智能运输效率效益最大化”“智

能资源环境绿色化”“智能列车运行全自动化”“智能技术装备自主化”“智能基础设施数字化”“智能运维安全感知化”“智慧网络管理高效化”“城轨云与大数据平台集约化”和“智慧城轨技术标准系列化”。

现阶段，以数字化为基础，以新兴信息技术与城轨交通深度融合为主线，推进城轨信息化，发展智能系统，建设智慧城轨，实现城轨交通由高速发展向高质量发展的跨越，助推交通强国的崛起。采用大数据、人工智能、物联网、5G、云计算等技术，提升综合监控系统技术水平。

智慧城轨+综合监控是今后城轨综合监控系统发展的方向。

1.3 城市轨道交通综合监控系统的对象和任务

1.3.1 城市轨道交通综合监控系统的对象

从轨道交通运行管理角度来讲，城市轨道交通监控的对象包括移动设备监控管理和固定设备监控管理两大类。

1. 移动设备监控管理

对移动设备监控管理，就是对城市轨道交通的移动体——列车的监控管理。实现的技术手段是城市轨道交通信号系统。

在城市轨道交通信号中，目前几乎都采用列车自动控制（Automatic Train Control, ATC）系统控制列车运行。

列车自动控制系统包括三个子系统：列车自动监控（Automatic Train Supervision, ATS）子系统、列车自动防护（Automatic Train Protection, ATP）子系统、列车自动运行（Automatic Train Operation, ATO）子系统。ATS子系统主要实现对列车运行的监督和控制，包括时刻表编辑、列车运行监视、列车自动调整、自动排列进路等功能，辅助调度人员对全线列车进行管理。ATP子系统是城市轨道交通列车运行时必不可少的安全保障，对列车运行进行超速防护。ATO子系统则是提高城市轨道交通列车运行水平的技术措施，优化列车运行曲线，实现列车自动折返和车站程序精确停车等功能。

2. 固定设备监控管理

对固定设备监控管理，就是一般所指的自动化综合监控系统。

由于城市轨道交通使用的固定设备种类繁多、专业性强，为了保证这些设备的安全和高效运行，必须为这些设备设置监控系统，包括BAS（环境与设备监控系统）、PSCADA（变电所综合自动化系统）、FAS（火灾自动报警系统）、PSD（屏蔽门监控系统）、AFC（自动售检票系统）、ATS（自动监控系统）、ACS（门禁系统）、PIS（旅客信息显示系统）、TIS（车载信息系统）、SIS（车站信息系统）、通信系统（包括公务通信、调度通信、无线通信、广播系统、闭路电视系统、数字传输、时钟系统）等；如果有防淹门的话，还必须设置防淹门监控系统（FG）。

1.3.2 城市轨道交通综合监控系统的类型

自动化监控系统按照信息的实时响应性要求来分，可分为实时监控系统和事务数据管理系统两大类。

1. 实时监控系统

在地铁自动化系统中，较多、较重要的一类系统是实时监控系统。这类系统要求全系统具有实时响应能力，在车站一级，底层基础自动化层设备的状态信息到车站监控室操作工作站上显示出来的响应时间在 1 s 之内。从底层到中央监控中心（OCC）操作员工作站上的响应时间在 2 s 之内。控制指令从顶层（OCC）到底层设备的输出端子的传输时间也在 2 s 之内。

这类系统必须建立相应的功能强大的实时数据库，底层和车站监控层的重要数据都要求带有实时时标。地铁实时监控系统实时数据库的容量较大，实时数据在网络的传输量也较大，数据库结构必须特殊设计。

实时监控系统车站一级的子系统是实时控制系统，它们一般采用 DCS 分散型控制结构，最紧急的控制响应时间为几十毫秒，PLC 每千条指令周期为亚毫秒，SOE 的分辨时间为数毫秒。

地铁实时监控系统的特殊点还在于它是跨越广域网的实时监控系统，车站的实时数据还需经过骨干网传输到全线中央实时数据库中，这样一来，对车站监控网的实时性的要求更高，对骨干网的传输特性的要求也更高，实时数据经骨干网传输对骨干网也有了综合接入的新要求。地铁实时监控系统与传统的实时监控系统相比有了许多的特殊点，要加以考虑。

地铁实时监控系统无论是结构、性能、设计和组建都有其自身的特点，特别是软件结构有特殊的要求，在为地铁设计自动化系统时应该首先判定它的这种类型。

地铁的电力监控系统、信号系统、机电设备监控系统和防灾报警系统都属于实时监控系统。

2. 事务数据管理系统

事务数据管理系统以事务性数据的处理传输为主，系统对数据的实时性无苛刻要求，数据的响应时间在数十秒到分钟级水平。事务性数据处理主要解决数据的准确采集处理、大数据量的可靠传输、数据的统计处理和管理。

事务数据管理系统涉及地铁的 MIS 系统、办公自动化、设备 ERP 等，它的技术基础是管理软件。管理软件在实际工作中的适应性成功应用是事务数据管理系统的核心。事务数据管理系统往往由于包括财务数据而变得异常重要，要求系统带有安全保护功能，系统会设计有严格的保密措施，数据处理也将采取更为可靠和准确的手段。

地铁的自动售检票系统（AFC）属于事务处理系统，地铁的运营管理系统也属这一类。

地铁自动化系统中还有将上述两类系统集成在一起的系统。但可以看出，上述两类系统集成在一起，实时信息和事务信息必须严格分开，这已成为系统集成的重要原则。

1.3.3 城市轨道交通综合监控系统的任务

综合监控系统的系统设计和工程实施主要应满足地铁运营“调度管理”和“维护管理”两个层面的需求。这两个层面所面对的服务对象不同，“调度管理”面向的是地铁控制中心调度人员及车站值班员；“维护管理”所面对的服务对象是综合监控系统各专业维护工程师和维

护人员，包括供电维护人员、机电设备（环控、屏蔽门、电扶梯、事故电源等）维护人员、火灾报警维护人员等。由于所承担的工作职责不同，因此对系统功能的目标要求也不同，“调度管理”侧重于对系统设备的状态监视、操作控制、工况模式选择、事故工况处理等工作；“维护管理”侧重于系统设备是否正常工作，是否出现报警，是否需要派员到现场维护等信息。在综合监控系统设计时，应针对上述两类服务对象有区别地设计人机界面、报警分类、报表服务等功能，有效避免不同类型报警信息对操作人员的干扰，最大限度地发挥综合监控系统对运营的支持作用。

从运营管理角度来讲，综合监控系统应实现的功能主要是：运营所需的机电设备监控功能和系统联动功能；保证建立全线路的综合维修中心、实现综合维修的全部功能；同时，要保证综合监控系统的强大的可扩展功能，既要保证实现当前功能需求的变化，又要保证随着运营实践的推进实现新要求的功能。

在系统中央级，地铁规范要求以行车指挥为中心设立行调、电调、环调、维调和总调，要求这些调度站信息沟通。综合监控系统必须保证实现这些要求。

综合监控系统必须具有支持车站一站务监管的功能，支持车控室对车站站务的协同监管。综合监控车站级软件的服务对象是车站值班员和值班站长及相关维护人员。

在目前的经济环境下，综合监控系统必须进行能源管理，为运营制定节能降耗措施，提供数据参考，有力支持地铁各专业大型设备和耗能系统的节能措施。

综合监控系统通过发挥信息共享平台的功用，在系统整个生命周期内不断地扩展功能，为地铁运营管理的进步服务。

1.4 城市轨道交通综合监控系统的架构理念

1.4.1 系统总体目标

城市轨道交通作为大运量、高密度的快速交通方式，对城市交通的重要作用日益显现。近年来，我国城市轨道交通建设飞速发展，其技术装备水平已经迈入国际先进水平，但是，随着运营的巨大压力和需求的不断增长，对于轨道交通的运营自动化水平有了更高要求。因此，如何提高城市轨道交通的综合自动化水平，已成为新的课题。

目前，城市轨道交通中装备了复杂多样的机电设备和相应的监控设备，包括通信、信号、供电及电力监控、自动售检票、通风空调、低压配电及照明、给排水及消防设备、环境与设备监控、火灾自动报警、屏蔽门、导向和电扶梯等。在相当长的时间，轨道交通中对各类机电设备的管理和监控是相对独立的，属于分立系统，信息之间基本不能互通互享，是信息孤岛，无法实现更高智能化水平的协同管理。为解决这个问题，广州、北京、深圳都逐步尝试设置综合监控系统，到目前为止，已经在多条轨道交通线路上成功设置了综合监控系统，并取得了丰富的建设和运营经验。

综合监控系统旨在实现地铁智能化管理的总体目标，建立一个信息共享和监控的综合自动化平台，将城市轨道交通中各自动化子系统有机结合，实现系统联动和快速反应；并将多个自动化系统的独立平台和操作界面统一在一个共用的硬件平台、操作和维护界面上，为地

铁运营调度人员的监控操作和系统维护提供方便，提高运营操作和维护的自动化管理程度，减轻调度员的工作强度，提高调度管理效率；从整体上发挥更大的作用，改善环境、提高安全和对乘客的服务水平。综合监控系统在国际上已有多个成功运用的案例，但是国内外轨道交通的建设模式和运营管理模式都有一定差别，随着该系统在我国多条线路的实施，已经逐步发展形成了相对稳定的系统构成和功能应用需求。

1.4.2 系统集成方案

各线线路在建设综合监控系统时，应考虑实际情况，根据地铁线路机电系统的构成要求和技木、管理与运营水平，以及资金、资源等情况综合决定集成规模。

综合监控系统一般有 2 种方案：一是以行车指挥为核心的集成方案；二是以电调、环调为核心的集成方案。目前为止，国内大多综合监控系统采用以电调、环调为核心的集成方案。主要是将原属于监控范围的系统（电力监控系统、环境与设备监控系统、火灾自动报警系统）的车站和中心级的功能进行集成，统一到一个监控平台上，对屏蔽门、防淹门的信息进行集成，并将通信系统中的闭路电视监视系统、广播系统、乘客信息系统中直接面对调度员的人机操控功能进行集成。

1.4.3 系统架构

综合监控系统采用 2 级管理 3 级控制的分层分布系统结构，即中央级、车站级（含车辆段）2 级管理；中央级、车站级和现场级 3 级控制。

综合监控系统是由设置于控制中心的中央级综合监控、车站和车辆基地的综合监控、网络管理（NMS）、培训管理（TMS）和维修管理（MMS）等系统组成。综合监控系统的总体网络由局域网络层和主干网络层组成。中央级通过全线主干网络将各车站级局域网络汇聚的监控信息传送到控制中心，从而实现多系统多层次的综合监控。综合监控系统逻辑架构示意图如图 1.3 所示。

综合监控系统的软件系统是核心，一般从功能逻辑上分为 3 层。

- ① 数据接口层：采集数据并进行协议转换。
- ② 数据处理层：对收集的数据进行分析、处理和存储。
- ③ 人机界面层：提供工作站上的人机操作界面，完成信息显示及监控操作。

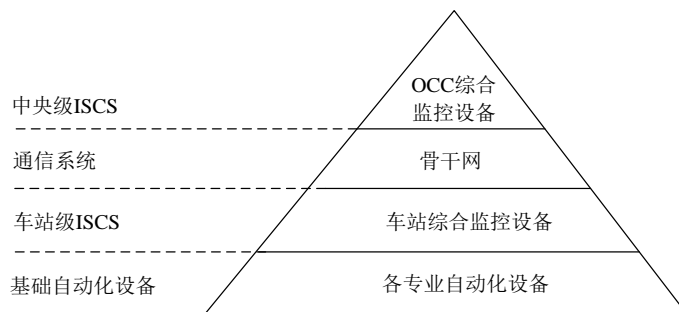


图 1.3 综合监控系统逻辑架构示意图

1.4.4 系统主要功能

1. 中央级功能

中央级对全线电力、通风空调、照明、给排水及消防设备、电扶梯、屏蔽门、信号、AFC等重要监控对象的状态和性能等数据进行实时收集处理。

通过行调、电调、环调和维调等调度员工作站，以图形、图像、表格和文本的形式显示出来，供调度人员控制和监视。通过自动或人工方式向分布在各站点的被监控对象或系统发送控制命令，从而完成对全线环境、设备和客流信息的集中监控。

2. 车站级功能

车站、车辆基地的综合监控系统对管辖范围内的监控对象进行监控管理，并在各车站控制室内设置综合后备盘（IBP）。在出现特殊故障时，保证车站控制室具有手动操作与表示功能的紧急后备装置。一般包括信号系统的紧急停车、扣车和放行；环控通风排烟系统的阻塞模式和消防联动控制；屏蔽门紧急开门控制和 AFC 闸机释放控制等。

3. 培训功能

培训系统将模拟系统的行为，模拟的行为不但能与综合监控系统中作业程序的实际运转情况一致，还与教练加入的外部事件以及通过在模拟环境中运转的综合监控系统发出的控制命令一致。具有对操作人员、运行维护人员进行上岗培训的功能，使这些人员掌握综合监控系统的运行管理、操作、日常维护和故障排除等业务。

4. 网络管理功能

全线设置一个网络管理系统（NMS），对综合监控系统的全部设备进行配置、监视和控制。NMS 能进行网络管理、配置管理、网络监控、故障报告、事件记录、参数调制、创建、编辑和删除数据库等操作。

5. 维护管理功能

设备维护管理系统（MUS），具有对综合监控系统所管辖的集成与互联系统设备（含现场基础设施）进行维修调度的功能，可以保存 OCC、车站内各类基础设施技术资料和维护历史记录，收集保存设备运行状态信息，统计设备运行时间和次数。实现运营管理的自动化，提高维护响应时间和维护水平，节省运营成本投资。

1.4.5 集成与互联

综合监控系统对子系统的无缝接入在实践中产生了两类方式，一类称之为对子系统集成，一类是对子系统互联。

所谓对子系统集成，是指开放系统将被集成子系统完全融入系统之中，被集成子系统成为综合监控系统的一部分，被集成子系统的全部功能都由综合监控系统实现，除了管理意义外，被集成子系统构成了综合监控系统主体。

为保证被集成子系统的性能不因集成而受损，国内创新出了对被集成子系统深度集成方式。所谓深度集成是指综合监控软件平台从顶到底将被集成子系统集成，中央层与车站层采用同一软件平台，同时，被集成子系统的性能特别是运动性能指标不低于原来系统。

所谓对子系统互联，是指被互联子系统是一个独立运行的系统，具有自身的完整结构，综合监控系统通过外部接口与互联子系统进行必要的信息交互，以支持信息共享平台的构建。此时，被互联的子系统是完全独立的系统，与综合监控系统在中央或在车站接口，实现与运营相关信息的交互。综合监控系统可向被互联的系统提供共享信息工作站。被互联的系统在信息共享平台支持下，实现全新功能。

1.4.6 联动功能

综合监控系统的联动功能是真正发挥系统作用、提高运营指挥效率的重要功能，可以减少人为手工误操作，提高操作效率和准确性。综合监控系统的实际联动模式应结合运行管理需求，与运营部门共同确定。

联动可以通过系统的序列控制功能来实现，引导和帮助操作员进行序列操作。联动可根据情况分为全自动、半自动和人工操作，为加快系统响应时间，与安全相关的操作功能采用半自动方式。综合监控系统实现的联动模式较多，具体联动模式应根据运营实际需要设置，分为正常操作和紧急操作联动（包括火灾模式、阻塞模式和故障模式）等。以下是“一列/多列车在隧道中阻塞”时的联动操作：

- (1) 启动方式：检测到 ATS 阻塞报警信号后自动触发。
- (2) 在中央操作员工作站 HMI 弹出报警窗口。
- (3) 建议操作员通过信号系统联动后方车站将列车扣留在车站。
- (4) 建议操作员启动相关的环控设备进入列车阻塞模式。
- (5) 自动触发 CCTV 切换到相关站台图像。
- (6) 建议在操作员确认后，通过 PA 对受到影响的车站发出相关广播信息。
- (7) 建议在操作员确认后，通过 PIS 对受到影响的车站发出相关显示信息。
- (8) 建议操作员通知相关的列车驾驶员和车站操作人员。
- (9) 对于区间阻塞时间过长的情况，建议前一列车牵引阻塞列车驶入前方车站后，疏散车上人员，或采用就地疏散。
- (10) 列车在区间阻塞采用就地疏散时，要求阻塞区间的三轨断电。

1.5 城市轨道交通综合监控系统的技术

综合监控系统支撑技术主要有计算机过程控制系统、接口技术、通信技术、计算机监控技术和系统集成技术等，在此，先介绍计算机过程控制系统，其他技术见后续相关章节内容。

1.5.1 计算机过程控制系统

1.5.1.1 过程控制系统的基础——给定值控制系统

应用于流程工业的自动控制系统称为过程控制系统，此类控制系统的被控参数主要是温度、

压力、流量、物位（液位）等工艺参数（过程参数）。对工艺参数的控制原理如图 1.4 所示。

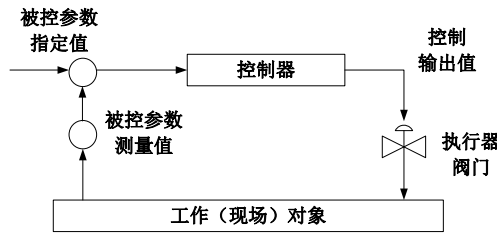


图 1.4 过程控制系统

按照具体流程工业的工艺要求，将要求对某工艺参数进行控制，使其达到某个定值，称为被控参数给定值。自动控制系统的控制器根据此给定值与此工艺参数的工业现场实测值的比较结果进行运算，输出给控制执行器或阀门，从而对这一流程调节，使被控的工艺参数达到要求。图中仅画出一个参数被控的情形，实际的一个流程也许要控制成千上万个这样的参数。这样的控制称为给定值控制，它是过程控制系统的基础。实际的过程必然受到干扰而使工艺参数偏离给定值，给定值控制系统的主要作用是通过控制器的作用使过程被控参数始终保持为给定值。给定值控制系统抵抗干扰，牢牢控制参数保持为给定值的这种能力，可理解为自动控制系统的“鲁棒性”。

过程控制的这一基本控制可用标准的控制方框图表示，如图 1.5 所示。

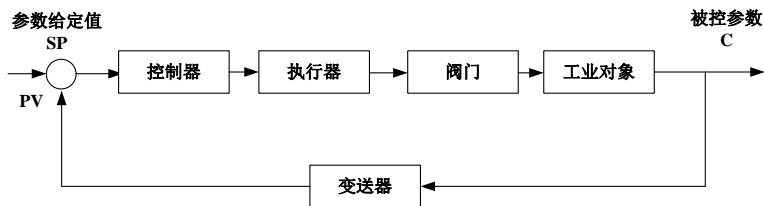


图 1.5 控制方框图

图中，安装在现场的参数变送器将被控参数（C）的实测值送至控制器。在过程控制中将参数实测值称为过程变量，一般称为 PV（Process Variant）值。控制器根据给定值（SP，Set Point）与 PV 值比较的差值，按一定控制策略输出一控制输出值（MV），控制执行器（或阀门）调节控制参数达到给定要求。

若反映控制的动态过程，可用传递函数的方框图表示如图 1.6 所示。

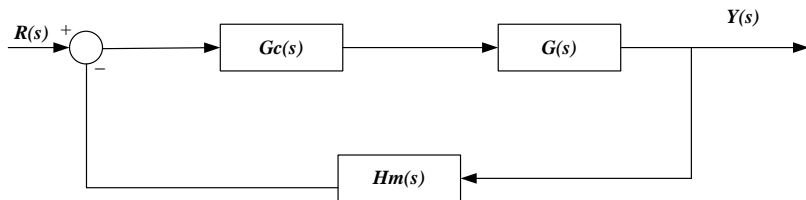


图 1.6 传递函数方框图

其中， $R(s)$ 为给定值的拉氏变换式； $G(s)$ 为过程对象动态特性的拉氏变换式； $G_c(s)$

为控制器算法的拉氏变换式； $Y(s)$ 为输出参数的拉氏变换式； $H_m(s)$ 为变送器测量特性的拉氏变换式。

因此，给定值控制系统的传递函数为：

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)H_m(s)} \quad (1.1)$$

给定值控制系统的反馈控制闭环在过程控制中称为回路，过程控制系统由一个个模拟量的回路组成，实现回路控制是其主要任务。

给定值控制系统的关键点也是难点在于对过程对象的动态特性的分析，根据对象的动态特性再解出相应的控制算法。过程控制系统的主要工作在于解出最优的控制算法。

一般工业对象的传递函数为典型的一阶惯性加纯滞后，如式 (1.2) 所示。

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s} \quad (1.2)$$

因为，动态特性为高阶环节的对象可简化为一阶惯性环节，而纯滞后则普遍存在于工业对象中，所以式 (1.2) 具有一般性，是分析对象动态特性的基础。当纯滞后时间较少时，采用 PID 算法，适当配置 PID 参数可较好地实现给定值控制；对纯滞后则可加入 Smith 预估算法。在过程控制中，已经有了一整套对应各种对象的控制算法和经验。

轨道交通自动化系统里面，BAS 子系统涉及过程控制系统，涉及 DCS 技术，因此有必要了解 DCS 的技术。

1.5.1.2 过程控制系统——DCS 系统

BAS 系统需要实时监测、控制的设备种类多、数量大，而且分布在线路的各个车站。现场计算机完成设备的控制功能，管理计算机完成操作显示、报警、打印等功能，管理计算机与现场计算机的数据传递由通信网络完成。而集散控制系统 (DCS) 充分体现了集中操作管理、分散控制的思想，因此集散控制系统完成被控设备的实时监测、控制和保护功能。进一步讲，严格的过程工业控制对计算机控制系统的选择是 DCS，计算机控制系统在过程工业的最好实现也是 DCS。

1. DCS 的结构

DCS 的发展历程较长，经过几代的技术进步，虽然产品纷繁，但系统结构都由 4 大基本部分组成：① 现场控制站即分散过程控制装置；② 操作员站和功能管理站；③ 工程师站；④ 系统通信网络。随着计算机技术和通信技术的进步，上述 4 部分的技术不断进步，其结构也不断地发展，以 4 个基本部分为基础发展成为多级的综合控制系统。

图 1.7 是一个典型的 DCS 体系结构。

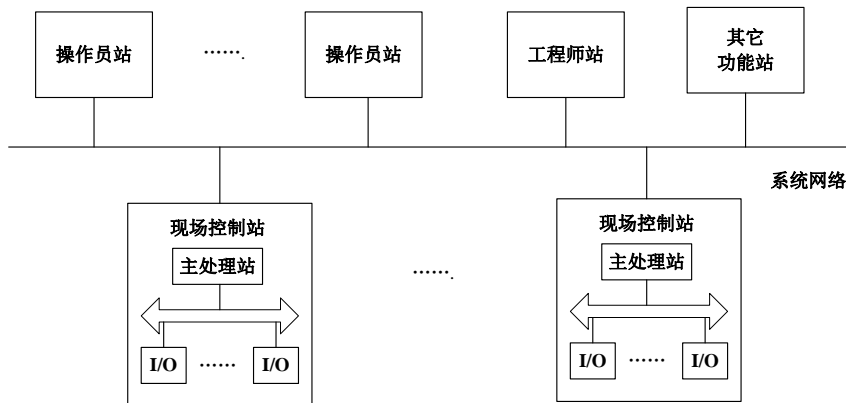


图 1.7 典型的 DCS 体系结构

操作员站主要完成人机界面的功能，一般采用桌面型通用计算机系统，如图形工作站或工业 PC 等。

现场控制站是 DCS 的核心，系统主要的控制功能由它来完成。系统的性能、可靠性等重要指标也都要依靠现场控制站保证，因此对它的设计、生产、安装都有很高的要求。

DCS 工程师站一般采用工控机，与操作员站的配置水平相同。它承担系统组建时的组态任务和日常的维护工作站的功能。

DCS 的系统通信网络是连接系统各个站的桥梁。由于 DCS 是由各种不同功能的站组成的，这些站之间必须实现有效的数据传输，以实现系统总体的功能，特别是网络的通信规约，关系到网络通信的效率和系统功能的实现，因此都是由各个 DCS 厂家专门精心设计的。

随着数字技术的进步，现场成百上千的模拟信号双绞线被数字通信电缆取代，这便是现场总线。现场总线技术使 DCS 成为一种全数字化的系统。现场总线技术进入 DCS 后的系统体系结构如图 1.8 所示。

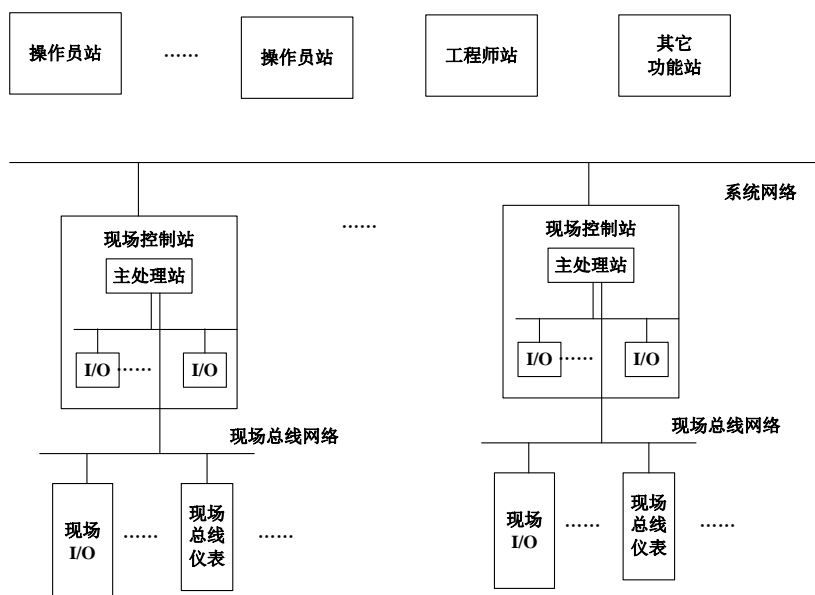


图 1.8 现场总线技术进入 DCS 后的系统体系结构

2. DCS 特征

DCS 有如下特征：① 以回路控制为主要功能的系统；② 除变送和执行单元外，各种控制功能及通信、人机界面均采用数字技术；③ 以计算机的 CRT、键盘、鼠标/轨迹球代替仪表盘形成系统人机界面；④ 回路控制功能由现场控制站完成，系统可有多台现场控制站，每台控制一部分回路；⑤ 人机界面在操作员站上实现，系统可有多台操作员站；⑥ 系统中所有的现场控制站、操作员站均通过数字通信网络实现连接。

此外，在现代的 DCS 结构中，除了现场控制站和操作员站以外，还可以有许多执行特定功能的计算机，如完成组态及系统运行期间维护功能的工程师站；专门记录历史数据的历史站；进行高级控制运算功能的计算站；进行生产管理的管理站等。这些站也都通过网络实现与其他各站的连接，形成一个功能完备的、复杂的控制系统。

1.5.2 综合监控系统技术的显著趋势

城市轨道交通的建设由于科学发展和技术进步的推动正走向全自动化、全数字化和高智能化，其中自动化技术扮演了重要的角色。一个重要的趋势是：在为城市建设一条轨道交通线路的同时，要求为这条线路建设一个信息共享平台，也就是为该条线路建设一个综合监控系统。

对这个信息共享平台的要求是：① 全数字信息。② 信息平台是开放系统。③ 信息平台是高可靠性系统。④ 信息平台具有良好的扩展性。⑤ 信息平台可无缝接入地铁各子系统。⑥ 信息平台具有良好的易用性。

有了这个信息共享平台，与线路运营有关的信息、与乘客有关的信息、与机电设备有关的信息互联互通，全线的各类资源可以为经营者共享。当一个城市的轨道交通发展为交通网，组成一个轨道交通运输体系时，将各条线路的信息共享平台互联起来，可支持构建城市轨道交通指挥中心，对各条线路进行统一指挥、协调管理，将会有力地支持地铁运营管理走向科学化和现代化。

1.5.3 互联互通

城市轨道交通管理体系需要构建集中监控管理中心，监控管理多条线路甚至整个城市的所有轨道交通线路。构建集中监控中心目前有两种做法：

① 在各条线路综合监控系统的基础上，将各线的 OCC 联网，形成集中监控中心网络，在此网络的支持下，建立一个集中监控管理中心，使各条线路与运营相关的信息共享，实现各条线路的协调管理，实现整个城市轨道交通的统一调度指挥。这种方法是构建集中监控中心的主流方法，适用于正在形成轨道交通网络的情况，也适用于对整个城市轨道交通网进行综合改造的情况。

② 在各条线路分立系统的基础上，先将多条线路的同一子系统连接起来，在集中监控中心设立各专业的总调度中心，实现对各条线的协调管理。这种方式多用于旧线改造。

现代城市轨道交通体系的形成，依赖于单条线路的综合自动化，而综合自动化系统的建

立又为整个城市轨道交通体系的自动化、智能化管理奠定了基础。

1.5.4 智慧城轨

城市轨道交通互联互通，以及综合化、信息化、数字化、智能化、智慧化是未来城市轨道交通自动化系统的发展方向。

智慧城轨采用大数据、人工智能、物联网、5G、云计算等技术，中国智慧城轨 2.0 正在研究和实施之中。

1.6 城市轨道交通综合监控系统的应用特点

城市轨道交通综合监控系统（或称自动化监控系统，下同）具有下列的特点。

1.6.1 城市轨道交通综合监控系统是一个地理上分散的 SCADA 系统

城市里的地铁或轻轨线路都按地理分布于整个城市之中，有的线路绵延数十千米，甚至超过百千米；有的直线走向，有的构成环线，有的按地理地貌蜿蜒曲折。线路上设立相距距离不同的车站，还有车辆段、中间站以及停车场和交通枢纽。这些车站、车辆段、中间站和停车场都有各专业的设备在运行，需要监控管理。每条线路或几条线路有或共有有一个中央控制中心（OCC），要把各车站、各不同地理位置的信息采集并管理起来。这样的应用环境必然要求监控系统是一个按地理分散分布的监控系统。线路走向哪里，系统就伸向哪里；车站建在哪里，车站监控系统就建在哪里，自动化监控系统的网络也就建在哪里。

地理上分散引起了监控系统一系列大变化：首先，自动化系统的监控网络不再是局域网（LAN），而是一个广域网；监控系统不再是局域网内的监控系统而是广域网内的监控系统。其次，地铁和轻轨系统中，车站是监控管理的基础单位。在车站，各专业必须建立起车站一级的设备监管分系统，然后在 OCC 建立全线的监管中心，因此，城市轨道交通自动化监控系统又必然是一个大型分层分级的监控系统。

地铁和轻轨的自动化监控系统的主要功能是通过通信网络，利用数字通信，监控管理车辆运行、电力运行、机电设备的运行。系统需要对各专业的现场各类信息进行采集并处理，通过操作员站，监视这些信息的显示和记录。同时，操作员站上又通过远程通信控制单元（RTU）控制现场设备。在此基础上对全线各子系统和全线各类设备进行监控管理。这类自动化监控系统被称为 SCADA（Supervision Control And Data Acquisition）系统，IEEE/PES 在 1987 年就给出了 SCADA 的定义。此定义为：SCADA 系统是利用通信通道上的编码信号控制 RTU 设备的系统；又是将数据采集功能和通过通信通道获得 RTU 设备状态的显示或记录信息功能结合在一起的监管系统。SCADA 有两个主要特点：

① 远程通信。中心调度与数据采集现场相离很远，以千米来计算。

② 所有的控制为开环控制，即监控。由此可见，城市轨道交通自动化监控系统的监控管理层是一个 SCADA 系统（基础自动化层一般是具有闭环控制的分散型控制系统）。

还需指出，按 SCADA 系统的定义，系统具有 RTU。地铁早先的各专业监控系统都具有

RTU,但近年来,RTU的实体形式已发生变化,它们演变成成为 I/O 站和远程 I/O 站或者是 DCS 和 PLC 系统的子单元,但实质还是 RTU 的概念。

地铁轻轨应用中,在日常运营时,要求系统稳定运行,系统正常地监视着车站和车站底层的设备状态。一旦运营出现异常,例如,车站或隧道发生火灾或发生堵塞,则要求监控系统迅速处理这些事件,具有应急响应能力。运营要求迅速进入火灾模式或堵塞模式。SCADA 系统应用时具有一个主要特点也正是如此:当一切正常时,系统稳定地运行,进行着日常的数据处理,一旦监控对象发生异常,系统迅速响应,全系统的功能调动起来,进入相应的系统工作模式,协调处理监控对象引发的问题,使被监控对象回到正常的状态中来。地铁自动化监控系统所要求的是一个事件驱动的监控系统,SCADA 系统正是一个事件驱动的监控系统。

城市轨道交通的特点决定了它的自动化监控系统即综合监控系统是一个大型 SCADA 系统,在研究城市轨道交通综合监控系统的过程中,始终要把握这一基本点;阐明城市轨道交通综合监控系统时,要从本质上阐明 SCADA 系统。

1.6.2 城市轨道交通自动化监控系统是一个多专业关联的大型监控系统

地铁和轻轨的实际运营中,有多个专业:地铁和轻轨安全、正点运送旅客是其根本目的,车辆调度、行车信号是核心的专业,称为信号专业;车辆靠直流电牵引,因而涉及供电专业;车站里有各种机电设备为旅客上下车服务,为车站的正常运营秩序服务,因而有机电设备监控专业,也称为 BAS 专业;在地铁的车站有保证车站环境温度和湿度的环控专业(大风机既做环控大系统的风机又在防灾情况下做防灾风机);还有防灾报警专业(包括气体灭火)、自动售检票专业;通信专业包括 CCTV、广播、有线电话和无线通信;为旅客提供信息服务的乘客资讯服务专业等。此外,地铁和轻轨还要与当地的交通系统联络,还要管理车站的建筑和附属建筑,还要有维持治安的公安系统。所有这些专业都是地铁和轻轨运营过程中不可缺少又互相关联的。城市轨道交通自动化监控系统,面对的正是这样一个多专业相互关联运行的监控管理对象。

自动化监控系统的特点和其所监控的对象与实现自动化监控的专业特征密切相关。尽管如前面所述,城市轨道交通自动化监控系统是大型 SCADA 系统,但是对地铁和轻轨的各专业系统,其自动化监控系统的构成形态和内涵却不相同。信号系统、供电系统、环控系统在实现自动化监控过程中都有各自的特点,而自动售检票系统、乘客咨询服务系统更与这些系统不同。在地铁和轻轨各专业自动化监控系统中,有的以实时信息监控为主,有的以事务信息服务为主,相应的自动化监控系统也不一样。因此,总体上讲,城市轨道交通自动化监控系统是一个处理各种信息与事务的、包含了各类型自动化监控系统的特殊自动化监控系统。

地铁轻轨各专业系统主要围绕车辆运行和旅客服务并彼此相关联。管理水平越高,这种关联越强。轨道交通自动化监控系统在其整个发展过程中,就是既要构建适应各专业特点的自动化监控系统,又要解决多专业系统之间的相互关联,保证运营目标的实现。保持各个自动化监控子系统相互关联的方式是随着技术的进步而发展的,各子系统间的互动功能也越来越广泛,越来越高级。形态各异的自动化监控系统间的关联和互动是较为复杂的技术,特别是实时系统和事务系统、时间有苛刻要求(Time Critical)的系统和时间无苛刻要求的系统间的关联更为复杂。城市轨道交通自动化监控系统正是这样一个多专业协调运转、多专业相互关联、子系统形态各异的大型复杂的综合自动化系统。这种大系统,在技术上对自动化监控

系统提出了更高要求。自动化监控系统的网络、系统结构、软件体系、数据库结构以及子系统接口技术等都面临新的考验，系统容量达到新的数量级。

1.6.3 设备种类繁多，自动化程度高

城市轨道交通的实际运营需要多个专业的协调配合，综合监控系统可以统一、高效地管理和监控多种系统及设备。

目前，城市轨道交通综合监控系统包括电力监控系统设备、环境和机电设备监控系统设备、火灾报警系统设备、自动售检票系统设备等，多达 13 个专业门类。各专业的设备也多种多样，如远程传输单元（RTU）、可编程逻辑控制器（PLC）、阀门、风机、接触网、直流屏、排流柜等，而且自动化程度也很高。

1.6.4 城市轨道交通综合监控系统以满足运营要求为根本目标

城市轨道交通综合监控系统由地铁和轻轨运营需求所催生，由运营需求的推动而发展。

地铁和轻轨的供电系统必须完全适应运营的要求，保证城市供电系统安全地、不间断地对地铁供电，地铁供电系统尽可能地不对市电造成大的干扰；要求将交流市电转变为牵引地铁车辆所需的直流电；要求对交流和直流进行自动保护；要求在火灾情况下，供电系统自动切掉三级负荷，事故电源自动补进；供电自动化系统的设计和构建必须与电力系统运行要求相适应；供电自动化系统的技术性必须随运行要求的提高而相应提高，自动化监控系统完全适应着运营的要求。

行车调度自动化系统必须监控车辆行驶的全过程；必须测定车辆在轨道的位置；必须保证运行车辆之间具有自动的保护闭塞；必须实现车辆自动驾驶；必须既保证整个车辆行驶安全、正点，又保证车辆的时间可以调整。在满足上述车辆运营需求时，需求的高低不同，侧重不同，有不同的行车调度自动化系统，而运营管理水平的不断提高，又促进新的行车调度系统的产生。

其他自动化子系统的情况与电力和调度子系统相同，都以满足本专业的需求为根本目标。地铁特殊的环境，对自动化监控系统提出了特殊要求，地下车站的电磁干扰较大，特别是直流牵引的起停短时电流更大，可达上千安培，各自动化监控子系统必须解决环境带来的问题。地铁主要是安全运送旅客，自动化监控系统的工作范围也以车辆行驶安全、旅客上下安全，发生灾害和堵塞时可以防灾报警、安全疏散旅客为重心。监控系统的构建以安全、可靠为第一设计准则，监控系统的功能以满足安全运送旅客为根本。

轨道交通自动化监控系统与地铁的运营相互依从，按照各专业运营需求设计自己、改造自己，提高监控水平。监控系统监控水平的提高促进了运营管理水平的提高。当新的管理模式出现时，又会促进新型监控系统的诞生。所以，城市轨道交通综合监控系统的根本就是适应地铁和轻轨的运营要求。在设计、构建城市轨道交通综合监控系统时必须立足于这一根本点之上。

地铁涉及几个较为特殊的专业，如防灾报警、信号和自动售检票等专业，它们都有自己的特殊行业规范，监控系统必须遵循这些行规。地铁的运营要遵循各专业的行规，监控系统

也要遵循各专业行规。目前，国家已制定了地铁规范的国家标准，轨道交通自动化监控系统的特殊性也反映在遵循地铁的国家标准上。国内地铁发展的初期，对一些专业的监控系统要求较低，规范的要求也低，随着技术的进步和自动化水平的提高，专业规范也有了新要求。这方面地铁环境与机电监控系统（注：英语简称为 EMCS，我国地铁规范称为 BAS）较为典型。早期，国内将地铁环控系统称为 BAS 系统，即楼宇自动化系统。对环控系统要求规范参考一般的楼宇自动化规范，如此设计出的地铁环控系统，并不是真正适应地铁环控实际的监控系统。例如，采用楼宇自控系统中的 DDC 控制器构建地铁 BAS 系统，无论可靠性、响应性还是系统的监控性能都不能满足工程的要求。因此，目前环控系统和机电设备监控系统称为 BAS 系统，对地铁 BAS 系统的规范不再认为它是楼宇自动化系统，而认为它是集散控制系统。规范要求变了，系统的构建准则也就变了，地铁专业监控系统必须完全按照该专业的技术规范来构建。

轨道交通综合监控系统的构建往往是按照用户需求来定制开发，用户需求主要是运营的需求。运营需求决定了自动化监控系统应具有的性能、功能，从而决定了系统软硬件的构成。轨道交通综合监控系统一定是一个适合运营需求的系统。

1.6.5 城市轨道交通综合监控系统正在走向以人为本

地铁和轻轨作为城市交通的重要工具，发挥着越来越显著的作用。近年来，在全世界范围内，城市轨道交通自动化监控系统发展正走向新趋势，这就是运营管理的人文化和与此相适应的自动化监控系统的以人为本。

地铁发展过程中，世界上许多地铁都重视了地铁建设以人为本。莫斯科地铁建筑被公认为世界上最漂亮的，并享有“地下的艺术殿堂”的美誉，地铁站的建筑造型各异，华丽典雅，铺设的大理石就有几十种，不同艺术风格的壁画、浮雕、雕刻和灯饰装饰其中，像富丽堂皇的宫殿，如此奢华就是为旅客的舒服和观感服务。现在的巴黎地铁已经形成了一个地下的网络，人们几乎不用上到地面，就能到达巴黎城近郊区的所有你想去的、能说出名字的地方。

自动化监控系统的发展应特别考虑人的安全、旅客乘车的安全，旅客乘车过程的舒适，车站环境适于旅客乘车、换车，整个地铁的旅客输送体系能为旅客周到服务。如果说过去地铁的各功能系统以考虑车辆运行为中心，那么以后的各功能系统则应考虑以人、以旅客、以为旅客服务为中心。

信号系统正在发展更为安全可靠的行车调度指挥系统，例如，广泛使用的 CBTC 技术和方兴未艾的无线通信技术使车辆的定位精度更高，对车辆调度管理更安全可靠。还有无人驾驶系统，排除了人为的不安全因素，提高了对车辆和相关环境的高精度检测和控制。

自动化监控系统发展趋势的另一表现是环境与设备监控系统得到了重视，对环境与设备监控系统要求更加提高。不仅车辆造得愈来愈舒适，整个车站及辅助设施也更加让旅客感到舒适，空调大系统、小系统特别是隧道通风系统极大地加强，并不断引入新技术（例如，采用更先进的环境控制策略，采用变频调节等）。让地铁的环境舒适是监控系统要实现的重要目标。自动售检票系统的发展也更适应旅客乘车方便，换乘快捷。票制、票务、售检票自动化管理系统更加以服务旅客为中心。目前地铁以人为本的监控管理要求，大大促进了地铁乘客

信息系统的发展，一些新开工的线路，对乘客信息系统有了较为广泛的要求。乘客信息系统（Passenger Information System, PIS）包含了较为广泛的内容，它利用现代多媒体显示技术、视频广播技术、多媒体广告制作技术等全方位地为旅客服务。在地铁出入口、站台、站厅的旅客所到空间，在电梯、扶梯的上下端口设置等离子屏、LCD 显示器，单行、多行 LED 显示终端，彩色 LED 显示屏，投影墙等；在列车上设置 LED 显示屏、LCD 彩色电视终端。在这些终端上播放必要的报警信息，包括车辆运行信息、公众信息（时间、新闻、气象、股票等信息）、让旅客休闲的娱乐性节目；同时，也向旅客提供紧急情况下的通行信息，导引旅客疏散；向旅客指引出入的方向，提供车站周围的地理、商业分布、医院等信息。所有这些信息都是由 PIS 自动提供，清晰地呈现在乘客面前并可与乘客交互。

PIS 的发展趋势以及售检票系统支付数字化，展示了地铁自动化监控系统以人为本的方向，随着自动化技术的进步，地铁自动化监控系统会越来越受到乘客的欢迎，也会因为对乘客的周到服务成为地铁运营增加效益的主要手段。

1.7 系统集成概述

1.7.1 系统集成的概念

集成（Integration）是由部分构成整体、由单元构成系统的主要途径。集成一般包含两层含义：一种是将分散、异构的部件联合在一起，形成一个协同的群体，从而实现更强的功能，完成各个部分独自不能完成的任务；另一种是通过提高组成整体的不同功能子系统之间的通信与协调效率、精简冗余功能或过程，达到实现系统整体最优的目的。

系统集成（System Integration），是按照用户的需求，对众多的技术和产品进行合理地选择，最佳配置各种软件和硬件产品与资源，组合成完整的、能够解决客户具体应用需求的集成方案，使系统的整体性能最优，在技术上具有先进性，实现上具有可能性，使用上具有灵活性，发展上具有可扩性，投资上具有受益性。

也可以将系统集成定义为：根据应用的需求，将硬件平台、网络设备、系统软件、工具软件及相应的应用软件等集成为具有优良性能价格比的计算机系统的全过程。

从以上定义可以看出：系统集成是为实现某一应用目标而进行的，基于计算机、网络、数据库系统、大中型计算机应用信息系统的建设过程；是针对某种应用目标而提出的全面解决方案的实施过程；是各种技术的综合实现过程；是各种设备的有机组合过程。这个过程由技术咨询、方案设计、设备造型，到网络建设、软硬件系统配置、应用软件开发、维护支持和培训等一系列活动组成。

1.7.2 系统集成解决的问题

系统集成需要解决的问题很多，归纳起来主要包括以下几类关键问题。

（1）跨平台问题。现在和将来的软件实际上是分布在各种机型的平台上的，包括大型机、小型机、PC 机、笔记本电脑、带程序的电视机、录像机、传感器、报警器等，系统集成必须解决多平台的应用问题。

（2）跨语言问题。目前编程使用的程序设计语言各式各样，没有一种通用的、万能的计

计算机编程语言供人们使用，如何解决跨语言编程也是系统集成面对的实际问题。

(3) 跨操作系统问题。在 Internet 上连接了无数的计算机。这些计算机的操作系统多种多样，系统集成必须考虑如何能够把它们有机地联系起来，以实现软件、硬件和信息资源的共享和分布式处理。

(4) 跨协议问题。Internet 是一个异构的网络，在不同的区域可能具有不同的网络结构、传输协议。为了使软件运行时具有资源和方法共享性及互操作的透明性，集成时必须解决由于协议的不同带来的不便。

(5) 跨版本问题。用户对软件功能的需求总是在逐步增加，每次变化都会要求开发者改变程序模块，分布式软件开发必须考虑软件版本的变化，Internet 上集成软件必须实现版本的透明性等。

1.7.3 系统集成的标准

2003 年国际标准化组织 (ISO) 发布了 ISO15745 标准。这一标准为现代系统集成技术制定了规范，成为当前系统集成的指导文件，成为规范系统集成商进行系统集成活动的规约。

“工业自动化系统和系统集成—开放系统应用集成框架”是 ISO/FDIS15745 标准的名称，分为四部分。第一部分：ISO15745—1 “通用参考描述” (Generic reference description)，ISO15745-2；第二部分：“以 ISO11898 标准为基础的控制系统的参考描述” (Reference description for ISO11898-based Controlsystems)；第三部分：“以 IEC61158 标准为基础的控制系统的参考描述” (Reference description for IEC61158-based control systems)；第四部分：“以太网标准为基础的控制系统的参考描述” (Reference description for Ethrenet-based control systems)。

最新一代 DCS 的显著特点是信息化和集成化，系统集成已经成为构建新型工业自动化的主要手段。系统集成的核心是构建接入多厂家设备并满足最终用户需求的自动化系统。对系统集成的应用需求和接口两个基本问题，新的国际标准 ISO 15745 有新的条款说明。要求系统集成商应用开放系统作具体项目的应用集成时，按照国际标准进行应用需求的确定、进行接口开发。

系统集成是应用开放系统将多厂家设备连在一起，实现应用要求的全部功能的过程；是应用共享的信息平台接入各个子系统，为用户实现从顶层到底层的自动化监控管理功能的工程活动。

系统集成不再是单专业自动化的工程行为，不再是自动化孤岛中的系统组建，而是工程所包含的全系统的自动化的实现；是为工程项目构建综合自动化系统、构建该项目的信息共享平台。

系统集成既包含了对工程项目的全面解决方案，又包含了这一解决方案的全面实现。

系统集成商进行系统集成面临 3 个基本问题：

(1) 采用一个成熟的开放系统作为系统集成的平台。

(2) 实际项目（即实际应用系统）的系统集成必须按照实际项目的应用需求进行，满足最终用户的需求是系统集成的主要目标。

(3) 系统集成的关键是将各个子系统通过接口无缝地接入开放系统，构成可实现用户需求的自动化系统，为用户提供一个信息共享平台。

开放系统、应用需求和接口是系统集成的 3 要素，也是构建新一代 DCS、新一代工业自

动化系统、新一代大型工业应用系统的关键问题。

1.7.4 集成的层次

无论是以什么样的软、硬件产品为基础，采用何种技术手段，也无论实施的是何种技术手段、何种系统开发方案，综合监控系统集成的核心只有一个实现资源共享，即通过实现系统内设备之间的数据共享，以达到“在正确的时间，将正确的信息以正确的方式传给正确的人（或机器）以做出正确的决策或操作”的目的。从结构上，可以将系统集成划分为若干层次。这里，根据系统集成理论及方法的发展，可以将整个系统集成按照网络集成、数据集成和应用集成 3 个层次划分。

在系统集成的层次上，网络集成位于底层，解决网络的互联问题；数据集成解决的是数据共享，即互通问题；应用集成位于最上层，解决的是互操作问题，如图 1.9 所示。

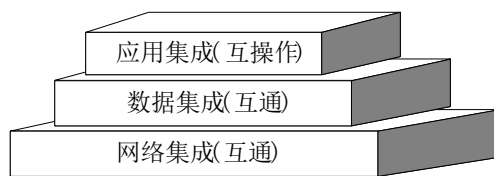


图 1.9 系统集成的逻辑层次

(1) 网络集成包括系统运行的硬件环境、软件环境，解决如何利用客观环境条件为应用系统提高统一的支撑环境来支持应用系统的运作。

网络集成主要解决异构和分布式环境下，网内和网间的设备互联、传输介质互用、网络软件互操作和数据互通信等问题。

(2) 数据集成将监控系统从各种渠道获得的数据集中管理，减少数据冗余度，提高数据的完整性、准确性、一致性，达到数据的高度共享，从而使监控系统发挥数据资源丰富的最大优势，为企业的决策提供及时、丰富的可靠信息。

数据集成是监控系统集成的核心，也是创建集成的监控系统的一个难点。

(3) 应用集成指用户的应用需求功能在监控系统中的实现，是监控系统的真正实现和其真实含义的具体体现。

应用集成属于高层集成，它主要解决应用间的互操作问题。通过应用集成应能实现应用间的互操作性、分布式环境中应用的可移植性以及应用分布的透明性。

复习思考题

1. 城市轨道交通综合监控系统的含义是什么？
2. 城市轨道交通综合监控系统的组成是什么？
3. 城市轨道交通综合监控系统的特点是什么？
4. 城市轨道交通综合监控系统技术有哪些？
5. 城市轨道交通综合监控系统的对象和任务是什么？
6. 城市轨道交通综合监控系统的子系统有哪些？

7. 画出综合监控系统基本构架框图并简要说明。
8. 试比较传统的多岛系统和集成系统。
9. 系统集成的含义是什么？