

## 中文摘要

**摘要：**城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件是针对城市轨道交通准移动闭塞制式下的闭塞信号设备布置辅助设计软件。该软件替代了闭塞设计工程师的繁重、复杂的设计工作。软件根据输入的线路数据和设计参数设置条件，在牵引计算和仿真计算功能接口的基础上，自动完成信号机、计轴设备和停车牌等闭塞信号设备的类型选择和布置条件检查计算，并在完成设计后交由仿真计算功能模块行车进行验证，以确保列车在该闭塞设备布置结果的线路上能够安全、高效的运行。

国内外目前的准移动闭塞 CAD 软件已经能够较完整的完成牵引计算功能和仿真行车验证功能，但是对于全线路闭塞自动的、系统的设备布置功能尚未完善，目前实际项目中的闭塞设计在牵引计算辅助软件和仿真辅助软件的支持下，仍需要闭塞设计工程师的设计、分析和大量修改。在这些繁杂的过程既影响了工程设计的工作效率，又增加了设计人员的人为失误导致的计算错误和设计错误。

本文针对系统化的自动闭塞设计功能尚不完善这一技术现状，研究了闭塞设计原理和规则，建立闭塞设计条件模型，并在牵引计算接口功能和仿真计算接口功能满足外部接口需求的条件下，编制了实现了全线路自动的、系统的准移动闭塞设计功能的软件，并以实际线路为背景进行了软件功能测试。

本文主要完成如下工作：

第一，分析了城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件的内部功能需求和外部接口功能需求，并完成了准移动闭塞 CAD 软件的总体设计，层次结构划分、外部接口数据与功能函数设计、系统流程设计和系统界面的设计工作；

第二，分析与研究了城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件的设备布置规则，建立了城市轨道交通准移动闭塞检查条件模型，并对线路上的正线无岔区域、道岔区域、站台区域和折返线路区域等不同条件情况下的区域进行了模块的划分和设计，从而提出了准移动闭塞设备自动设计的系统解决方案；

第三，编制了城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件，调试并实现了接口功能，得到预期的输出结果；

第四，对城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件功能模块进行了调试，并以实际线路为背景，完成了软件的功能测试。

关键词：城市轨道交通；准移动闭塞；信号布置；CAD

分类号：U231+.7

## ABSTRACT

**ABSTRACT:** Urban mass transit (UMT) quasi-moving block CAD software is a block design CAD which can dispose signal equipment automatically based on the quasi-moving principle. The software takes the place of the complicated block design by the engineers. It disposes signals, axles and stopping signs, and chooses their type automatically, based on the line data and configure data as input data of software, and the calculation function of traction and simulation. After the block design, it is verified by the simulation that as many trains as possible run on the line together. The simulation works out the performance result to verify the block design, in order to make sure the trains run safely and efficiently.

So far, quasi-moving block CAD software has accomplished traction and simulation calculation function. But it still needs to be improved that the software should dispose signal equipments automatically and systematically. Nowadays, block design based on traction and simulation calculation still need engineers design, analyze and modify it hard in practical project. These tasks may disturb the schedule of the project and increase the faults made by people.

This paper aiming at faultiness of block design function researches and analyzes the principles and rules of the quasi-moving block design, builds the model of conditions. At last automatic quasi-moving block design is accomplished with software based on the interface of traction and simulation calculation functions.

Main works:

- A. Do the requirement analysis, accomplish the overall software design, make the structure, design the function interface and the human-machine interface, design the process of the software;
- B. Research and analyze the rules that ~~how to~~ dispose signal equipment for the software, build the model of the conditions, design each module for different track condition as switch area, platform area, turnback area and mainline without switch area and propose the systematical solution;
- C. Develop the quasi-moving block CAD software;
- D. Do the function module test and run the quasi-moving block CAD software with actual project data to do the software function test.

**KEYWORDS:** UMT; quasi-moving block; signal disposition; CAD

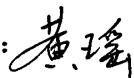
**ABSTRACT**

---

**CLASSNO:** U231+.7

### 独创性声明

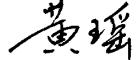
本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京交通大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名:  签字日期: 2008 年 6 月 6 日

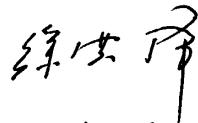
## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解北京交通大学有关保留、使用学位论文的规定。特授权北京交通大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名: 

签字日期: 2008 年 6 月 6 日

导师签名: 

签字日期: 2008 年 6 月 6 日

## 致谢

本论文以上海贝尔阿尔卡特股份有限公司的科研项目为背景，在导师徐洪泽教授的指导下完成的，徐洪泽教授严谨的治学态度和科学的工作方法给了我极大的帮助和影响。在此衷心感谢徐洪泽老师对我的关心和指导。

在上海贝尔阿尔卡特股份有限公司实习期间，在部门负责人吴昊的支持下、陈荣武、邹雷斌、黄润磊等工程师的指导下，完成了主要的软件设计及编制工作，在此对他们表示衷心的感谢。

郑伟副教授和岳强老师在学习和生活上都给予了我很大的关心和帮助，在此向他们表示衷心的谢意。

在实验室工作及撰写论文期间，周鹏、吴良坤、程梁等师兄和张阳、郑长宗、董任飞等同学给予了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情。

另外也感谢我的父母和朋友，他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。

# 1 绪论

## 1.1 研究背景

近年来，伴随着我国城市化进程的加快以及经济的高速发展，城市人口快速增长，城市规模日益扩大，许多大城市的地面交通已经无法适应日益增长的客运需求。由于城市轨道交通系统具有快速、便捷、大运量的特点，因此许多城市已经确定了以轨道交通作为公共交通骨干的战略。

随着对闭塞性能要求的不断提高和闭塞技术的不断发展，闭塞方法由最初的人工闭塞，经过了半自动闭塞发展到今天得到广泛应用的自动闭塞方法。

伴随通信技术和列车控制技术的不断发展，自动闭塞又分为了固定自动闭塞、准移动闭塞、虚拟闭塞和移动闭塞四种闭塞方式：

固定闭塞也被称为传统的自动闭塞，列控系统采用分级速度控制模式，运行列车间的空间间隔是若干个闭塞分区，闭塞分区数量依据划分的速度级别而定。固定闭塞的追踪目标点为前行列车所占用闭塞分区的始端，后车从最高速开始制动的计算点为要求开始减速的闭塞分区始端，这两点都是固定的，由于空间间隔长度也是固定的，所以称作固定闭塞。由于区间划分相对固定，列车追踪间隔相对较大。

准移动闭塞方式采用目标距离控制模型，根据目标距离、目标速度和列车本身性能确定列车制动曲线，不需要设定每个闭塞分区的速度等级，采用一次制动方式。准移动闭塞追踪目标是前车所在分区的始端位置后方一个安全距离处，后行列车的开始制动点根据目标速度、目标距离和列车性能计算决定。所以相对空间间隔长度是不固定的，介于固定闭塞和移动闭塞之间，所以称为准移动闭塞。其追踪间隔要比固定闭塞小，而且由于采用一次制动，且制动曲线相对平滑，列车运行的舒适度也大大提高了。

虚拟闭塞与准移动闭塞的原理相同，区别仅仅在于虚拟闭塞没有实际存在的闭塞分区和轨旁信号设备，信号和计轴设备均由计算机技术虚拟设定的，因此虚拟闭塞有能力把闭塞分区划分得很短，当单位区段短到一定程度，其性能将与移动闭塞非常接近。

移动闭塞也采用目标距离控制模式。根据目标距离、目标速度和列车自身性能确定列车制动曲线，与准移动闭塞不同的是，移动闭塞的追踪目标为前车的尾部以后再减去一段安全距离处，因此空间间隔长度的始端和终端都是不固定的，

所以称为移动闭塞。因此其追踪运行间隔较准移动闭塞更小一些，效率更高。

根据以上四种自动闭塞方式的比较，可以得出以下结论：

1 准移动闭塞的运行方式介于固定闭塞和移动闭塞方式之间，相同线路条件下，其运行效率在固定闭塞和移动闭塞效率之间；

2 准移动闭塞采用了一次制动，其目标距离控制模式需要灵活考虑列车性能和线路条件对列车运行的综合影响，因而其闭塞设备布置条件较固定闭塞复杂，需要加入列车启动、加速、制动、紧急制动等情况下的参数予以分析和检查，从而确定设备布置位置；

3 准移动闭塞的闭塞布置规则和方法仍沿用了很多固定闭塞布置方法和思想，布置过程中将线路中的车站、区间、折返点等地方独立进行分析，确定相应布置规则和衡量性能的计算方法；

4 准移动闭塞对性能仿真的计算要求更加精确，由于准移动闭塞本身已经加入的列车运行速度曲线的计算，闭塞设计的间隔与设计目标的间隔更接近，因而仿真中如果对于列车运行过程的计算出现了较大偏差，对仿真结果将产生较大影响。

目前国内外新建城市轨道交通项目的闭塞方式主要采用准移动闭塞和移动闭塞方式。准移动闭塞是目前地铁项目中广泛应用的闭塞方法之一。

本文所研究和设计的准移动闭塞辅助设计软件是基于 Alcatel 公司的 SelTrac 系列某 CBTC 系统进行设计的。该系统在上海和北京的多个地铁项目中得到应用，并且在项目阶段设计中进行了准移动闭塞设计工作。

系统的基本结构示意图如下：

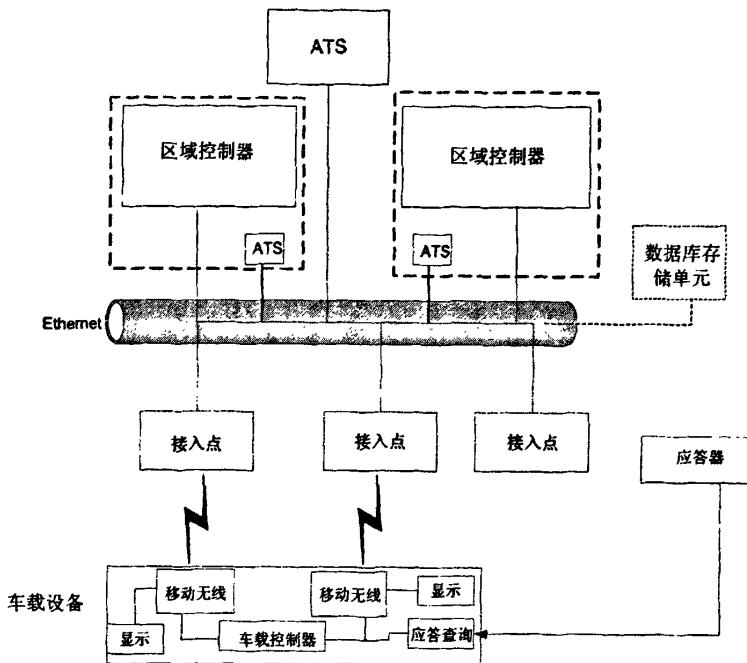


图 1.1 系统基本结构示意图

Figure 1.1 System Structure

该系统采用计轴设备进行闭塞分区，轨旁采用两显示区间信号模式，并在道岔处采用三显示信号机来区分前方道岔位置信息。系统具备地车双向无线通信能力，地车通信可采用应答器和无线通信方式来实现。

该系统可实现移动闭塞方式，但是在各个项目的一期均采用准移动闭塞方式运营和调试，并且在移动闭塞正式使用后，仍保留准移动闭塞轨旁设备，以作为移动闭塞的后备模式。

准闭塞设计的设备基础条件为：

- 1 基于 ATP/ATO 运行控制和监督；
- 2 具备地车通信功能；
- 3 由轨旁设备将线路上的信号状态传到列车上；
- 4 线路具备站台屏蔽门，并需要对其相关安全条件予以检查；
- 5 车载控制器根据前方线路信号状态确定列车运行速度和运行状态。

## 1.2 准移动闭塞设计的研究与应用现状

国内地铁线路准移动闭塞设计和仿真验证工作主要由国外公司进行计算和验证，国内地铁线路对于准移动闭塞设计的分析和计算，在计算机辅助工具计算的

基础上主要依靠人工设计来完成。目前国内具备对固定闭塞辅助设计工具，但是辅助设计工具主要面向配线等工程设计需求，更多的实现了自动配线管理和配线图表自动生成功能，还有一些针对个别安全参数自动计算的辅助工具。对于安全和效率方面的信号自动布置辅助设计系统研究和实现的相对较少。目前上海中越计算机仿真系统公司具备闭塞设备布置的软件产品，但该产品目前仅仅应用于上海若干既有线路的线路优化分析，从未对新建线路进行闭塞辅助设计实际应用。设计院也具备闭塞辅助设计的系统软件，但该系统更多注重于牵引计算方面的研究，对闭塞设计辅助设计功能尚不完善，仍需要大量的人工设计和调整，自动化程度不高。

国外公司准移动闭塞设备布置分析同样主要依靠设计人员的人工设计，再经过仿真系统的验证来检查设计结果是否满足要求。目前国外已具备能够计算安全距离等参数的软件工具。但主要的设计过程仍不能达到软件自动化高效布置并验证检查的水平。实际工程中仍以设计人员的经验设计和仿真检查为主，需要设计师根据经验，利用参数辅助计算工具对线路上的参数逐个计算，进行初始的线路信号设备布置。初始设计结束后，将人工布置的结果提交给仿真系统进行验证计算，并模拟行车以检查是否达到运营的性能设计目标。仿真设备反馈给设计师各个线路段的性能结果参数，报告最终全线仿真运营结果。设计师根据仿真反馈的数据，对线路上最影响效率的部分进行人工修改调整，修改过程中仍需要利用安全距离等参数的辅助计算工具不断的检查安全条件，调整后，设计师仍需要仿真工具验证设计结果是否满足要求，此过程反复进行，直到设计结果满足设计目标要求。此过程需要大量人工参与，并且设计过程中主要依靠设计师的经验，这给闭塞设计工作的效率带来很大制约。这给地铁项目闭塞设计进度和项目协调带来一定的影响。

目前已有的闭塞设计软件不但依赖人的设计和检查，而且闭塞设计软件具有系统局限性。每种闭塞自动设计软件都是基于某公司的一种闭塞系统设备和车辆设备进行设计，目前很难很好的实现该软件的通用性。

本文通过对准移动闭塞设计的方法和规则的分析与研究，针对 Alcatel 公司的 CBTC 系统，总结了城市轨道交通准移动闭塞设备布置方法，建立了闭塞设计中所要检查条件的模型，通过算法实现了准移动闭塞设计的设计规则和条件检查，并通过软件实现了对准移动闭塞设备的系统的、自动化的布置功能。

通过本文的方法和实现的软件，可以大大减少设计人员的工作量。设计人员输入设计目标参数，设定部分设计的要求的判断，就可以通过运行软件，自动实现准移动闭塞设备布置，布置过程中，软件将根据准闭塞设计规则，自动检查所有安全条件和效率条件，自动计算闭塞设计过程中需要的所有参数，并输出闭塞

设计结果数据,结果数据将自动通过闭塞设计与仿真计算接口,将结果数据提供给仿真软件进行仿真行车验证。仿真软件将提供闭塞设计仿真验证结果,并自动判断该自动布置是否满足设计人员的所有设计目标,如果设计结果仍有不满足条件的地方,系统会提供人工调整功能,对已有设计结果结合仿真结果进行人工调整,人工调整过程中,闭塞设计辅助软件仍不断提供安全条件和效率条件检查功能。如果人工调整不能满足该线路的设计目标时,闭塞设计辅助软件将通过界面提供给设计者相关提示,并限制设计人员的不合理操作。

通过使用本设计辅助软件,设计人员将有条件将主要精力集中在设计中的困难部分,集中对此进行分析和解决,而不需要将大量精力投入到繁杂的列车动力学模型计算、线路条件的检查、计算和安全条件和效率条件的检查。这样可以大大提高准移动闭塞设计效率,减少人工过程中由于经验限制造成的影响,也可避免设计中人造成的错误对结果产生不利影响。本辅助工具将提供设计参数设定功能,这样可以针对不同系统仅仅依靠修改参数就可以实现该系统的准移动闭塞设计功能了。在篇末的总结中,也提出了针对不同厂家提供设备进行针对性的设计解决思路。

### 1.3 论文主要内容

本文在借鉴国内外已有的准移动闭塞设计方法和工具的基础上,充分考虑到城市轨道交通项目的准移动闭塞设计需求和准移动闭塞的特点,在详细分析了车站、区间、岔区、折返点的信号布置的目标和影响因素的基础上,以列车运行模型和线路模型为基础,对自动布置闭塞设备的闭塞设计辅助系统的研究、设计和实现进行论述。

本文主要内容如下:

1 阐述研究背景和应用现状。结合当今城市轨道交通准移动闭塞的应用,分析准移动闭塞设计 CAD 软件的应用背景,说明当今准移动闭塞设计的应用与研究现状,从而提出可改进的内容,从而提出本文研究的意义。

2 准移动闭塞 CAD 软件的总体设计。分析了准移动闭塞 CAD 软件的功能需求分析,对准移动闭塞 CAD 软件进行了总体设计,其中包括系统结构设计、外部接口设计、系统流程设计和系统界面设计。

3 准移动闭塞 CAD 软件详细设计与实现。此部分主要工作有:

- 分析了准移动闭塞设备布置规则;
- 分析影响准移动闭塞设计的线路条件和列车动力学条件;
- 设计了准移动闭塞设计检查条件模型;

- 设计了数据结构与接口；
- 对软件模块进行详细设计。

4 软件测试与应用研究。本章根据前文的详细设计内容，进行了软件测试方案设计，并对模块和接口进行了测试工作，并且介绍了软件应用的输入输出方法和案例数据介绍。

5 总结本文研究工作，归纳研究成果，并且指出待解决的问题。

## 2 准移动闭塞 CAD 软件总体设计

### 2.1 功能需求分析

#### 1. 设计目标

##### (1) 安全目标

闭塞设计结果应能够保证列车在 ATP、通信设备、ATO 设备正常工作的条件下，列车确保不会发生正面、侧面冲撞或追尾事故，即使列车在最不利条件下进行制动，仍可以保证行车安全。

站台处，能够保证如下安全条件：

- 列车在进站红灯信号前超速时可以通过紧急制动，保证列车不冲过出站信号机；
- 站台处如遇险情，工作人员按压站台紧急停车按钮，列车能够保证在站台进站信号机外按标称制动率紧急制动，确保在站台外方停车，不冲入站台内；
- 信号满足双红灯防护显示方式，正线内所有进路都具备防护区段。

道岔处，能够保证如下安全条件：

- 列车第一轮对停在道岔前的拦截信号机对应计轴设备前时，能够保证列车的最前端不会与道岔另一方向运行列车产生侧向冲撞；
- 列车在经过反位道岔时，确保限制速度能够安全驶过该道岔而不会发生侧翻事故。

无岔正线区间处，能够保证如下安全条件：

确保列车在最不利停车条件下，列车紧急制动时不会驶出防护区段的终端信号机处，从而避免追尾事故发生：

折返点处，能够保证如下安全条件：

- 列车运行在较低速度，确保列车能够根据要求及时停车；
- 折返点处仍采用双红灯防护原则，每条进路需要防护区段，且列车最不利制动可保证不超过防护区段范围；
- 列车在折返线停车时，如列车失控，未能及时停车，确保列车能够在停车牌后的拦截信号灯前方停车（此处可能是线路终端）。

##### (2) 效率目标

闭塞设计前，操作员会确定该线路期望的效率参数，参数主要包括：线路运

行间隔、线路最多可运行列车数、列车旅行时间等。这些参数在闭塞设备布置时需要考虑到计算中，借助牵引计算提供的接口，确保全线每个部分线路都能够满足性能要求。

闭塞设计后，由仿真设备进行仿真运行，以验证是否达到效率目标，如果设计未达到目标，将提交给人工调整模块进行人工设计，在人工设计过程中，本软件仍提供条件检查接口，时刻为人工调整提供条件检查的制约和提示。

### (3) 经济目标

经济性是系统建设的一个重要标准，设备是需要投资的，在设备数量的考虑方面要有经济方面的考虑。本软件在设备布置过程中本着“最小间隔最大化，信号设备最少化”的原则进行设计。

## 2. 牵引计算接口需求分析

牵引计算将列车动力学过程进行数学模型建立，并且根据输入和输出的需要设计算法，实现与列车运行过程相关的牵引计算功能。该接口主要提供了速度距离曲线数据和时间距离曲线数据，并且在这两个主要数据的基础上添加了相关计算接口功能，主要的接口功能需求如下：

- (1) 已知时间求距离：根据间隔时间、延迟时间等时间参数，求得列车在该间隔下正常运行的距离；
- (2) 已知距离求时间：根据安全距离、制动距离等距离参数，求得对应距离下列车正常运行所用时间；
- (3) 制动距离的计算：根据列车不同制动模型下的制动过程，计算在所在线路的土建条件下，列车进行相应类型制动时所经过的制动距离长度与位置。

## 3. 仿真计算接口需求分析

仿真工具的主要功能是，将闭塞设计结果数据导入，并根据设备布置参数模拟线路情况，进行仿真行车，从而检查闭塞设计中应满足的安全和效率条件是否达到要求。

仿真工具主要包括如下功能：

### (1) 地面信号仿真

此功能主要仿真地面信号的变化，其中包括了的模块有：

- 联锁外部条件检查模块，仅从区段占用、道岔位置、敌对信号开放等仿真所需要的不完全联锁条件检查地面信号的开放条件，同时检查并控制道岔搬动过程与道岔状态；
- 自动调度模块，对 ATS 对线路上的自动调度功能进行仿真，根据线路运行的运营需要，根据信号开放条件检查结果，对线路上的信号显示与道岔转换进行自动控制，确保模拟行车的信号设备按着运营需要自动转换其状

态；

此功能主要仿真列车在地面信号显示和车载控制设备控制下的运行过程。列车运行仿真不但需要考虑列车根据地面信号显示下的加速、正常制动、紧急制动运行控制逻辑，还需要考虑列车自身动力学模型在牵引、惰性和制动过程中的速度变化过程。

### (2) 列车运行仿真

列车运行仿真功能主要包括以下功能：

- 根据线路土建信息自动计算并确定速度距离曲线；
- 根据线路土建信息和闭塞分区结果，自动计算得到时间距离曲线；
- 根据站台数据和列车参数，自动确定站台区域的限速范围和限速大小；
- 根据线路参数、列车模型和最不利停车计算模型，自动检查闭塞设计是否满足最不利停车距离的安全条件；
- 根据线路参数、列车模型和正常制动模型，自动检查闭塞设计是否满足正常制动距离的运营要求

### (3) 自动仿真验证

利用前面的信号仿真和列车运行仿真的基本功能，仿真工具能够根据线路拓扑数据和闭塞设计结果数据进行所有进路的遍历，在每个区段进行模拟仿真运行，并将各个信号机的间隔、各个区段的平均运行速度和全线的运行间隔与运行速度进行计算和存储，以备向闭塞设计软件反馈性能仿真结果数据，为闭塞设计模块的优化提供参考数据。

自动仿真验证模块共检查两种运行情况

- 单车全线运行，确保旅行速度达到要求；
- 全线根据设计间隔要求，连续发车实现满负荷运行，确保设计间隔在线路最繁忙状况下达到设计要求；

### (4) 人工手动仿真

利用前面的信号仿真和列车运行仿真的基本功能，仿真工具能够根据操作人员的特殊需要，在特定的线路上运行仿真。列车在任何线路部分进行仿真运行时都将符合地面信号显示的规则、列车运行逻辑与动力学模型。

此功能主要应用于设计人员的部分线路闭塞设备布置人工调整的结果检查，并且能够提供给操作员在线路条件苛刻的区域真实的行车过程和仿真数据以供设计人员分析解决问题时参考。

## 2.2 准移动闭塞 CAD 软件总体设计

## 2.2.1 系统结构划分与模块设计

### 1. 系统功能模块设计

城市轨道交通闭塞辅助设计软件的系统结构分为四层：

#### (1) 数据层：

为闭塞设计提供外部输入数据，和设计结果输出数据。具体数据种类如下：

##### A. 外部输入数据：

###### ● 线路拓扑数据：

线路拓扑数据为线路模型提供路径搜索和关联设备搜索的数据基础，拓扑数据主要通过节点和边的信息以及二者的关联达到了线路模型关联的目的；通过道岔与节点的关联信息和区段、信号机、车站等设备与边的关联信息从而达到了设备间的关联目的；再通过节点、边和道岔、坡道、曲线、隧道等土建数据关联从而达到了拓扑与土建信息间的关联目的。

###### ● 线路土建信息数据：

线路土建信息数据将土建专业提供的线路纵断面图和线路平面图中的所有土建信息按着软件需求的格式以规定表格的方式进行组织和整理，从而为闭塞设计、仿真和牵引计算功能提供线路土建条件数据。土建信息数据主要包括以下信息：

a) 坡道信息：包含坡道的 ID、起始点、重点、坡度值（有正负值区分）。

b) 曲线信息：包含曲线的 ID、曲线起点、曲线终点、曲线半径、曲线角度、曲线限速、缓和曲线参数等信息。

c) 车站信息：包含车站编号、车站名称、车站中心位置、站台长度、停站时间、站台限速等信息。

d) 道岔信息：包含道岔 ID、道岔长度、岔尖位置、道岔限速、道岔链接边、道岔定位链接边、道岔反位链接边等。

e) 隧道信息：包含隧道起点、隧道终点、隧道 ID 等信息。

f) 高架信息：包含高架起点、高架终点和高架 ID 等信息。

###### ● 闭塞设计规则配置参数数据：

闭塞设计因使用设备不同、闭塞模式的不同而会有不同的闭塞设计参数具体配置参数数据有如下几类：

a) 闭塞模式的划分：

此类数据主要划分设计对象所采用的闭塞模式，由于此软件

是面向 SelTrac 相应系统设计，且未来应用主要面向阿尔卡特的工程项目，根据需求分析确定，目前设计目标的闭塞模式主要为准移动闭塞，但是需要预留此接口以备固定闭塞或其他制式的需求。

b) 闭塞设备的划分：

闭塞设计划分主要区分轨道电路设备下的准移动闭塞和计轴设备下的准移动闭塞。

B. 设计结果输出数据：

设计结果输出数据主要包括如下信息：

- 道岔信息：记录道岔的位置、道岔的 ID、所在节点 ID、所在区段 ID 和道岔限速。
- 区段信息：记录区段的起点位置、终点位置、区段 ID、区段所在边 ID、区段上行设备、区段下行设备、所属车站 ID。
- 信号机信息：记录信号机 ID、信号机位置、信号机所在边、信号机类型（2 色灯或 3 色灯信号机）、信号机的上行链接设备、信号机的下行链接设备。
- 车站信息：记录车站 ID、车站位置、车站所在边 ID、站台进站区段。站台离去区段。

(2) 调度层

根据系统功能需求，集中控制调度各个模块的调度控制模块，并根据接口信息为人工调整模块提供条件检查等功能接口。调度层的主要功能为根据线路拓扑数据对线路进行逐段闭塞设计的模块流程控制，根据拓扑数据和线路土建数据，根据线路搜索的算法，逐段进行闭塞设备布置，并把布置设备的结果存入闭塞设计结果数据中，最终完成全线的设备布置，提供完整闭塞设计结果数据。

(3) 线路处理层

以线路数据为处理对象，将线路中分为若干种具体线路种类进行处理。线路主要包括以下几类：

- A. 道岔区域线路：道岔两侧最近的信号机布置；
- B. 车站区域线路：主要针对车站出站一侧的出站信号机的布置；
- C. 折返点区域线路：根据折返线路的需求，对车站到折返线之间的区域进行信号和计轴设备的布置；
- D. 固定参数设备之间按间隔布置的无岔区域线路：正线上的道岔与道岔之间、道岔与出站信号机之间、出站信号机与出站信号机之间的，有一定间隔条件限制的线路布置区域。

#### (4) 条件层

在处理没处线路情况时所要检查的各个条件的处理层，主要包括以下条件检查功能：

##### A. 间隔条件检查：

根据该段线路确定的设计间隔参数来检查布置信号机的位置是否满足列车运行间隔条件。详见 3.3.1 节内容；

##### B. 联锁条件检查：

根据站台与进站信号机的位置关系，为了优化防护区段解锁时间，而进行的过冲解锁优化设计条件；由于在间隔模型建立时考虑了联锁的因素，所以这里不需要再检查进路办理的联锁条件。详见 3.3.2 节内容；

##### C. 视距条件检查：

由于地铁中大部分为隧道路况，所以在曲线和坡道情况下，视距条件更加苛刻。这里的视距条件将根据分析得到的参数表对线路中的坡道和曲线下的视距情况进行判断，如果出现视距问题将自动布置复试信号机并提示操作员；

##### D. 安全距离条件检查：

该条件下考虑列车最不利得停车条件，计算列车超速后紧急制动，且路况和列车自身情况在非故障条件下的最不利情况时的停车位置是否保证在该进路的防护区段以内。

##### E. 土建限制条件检查：

当列车紧急制动时，由于在制动启动时列车超速，而后的制动曲线可能有一部分会超过土建限速。如果在坡道等其他路况，超过限速不会带来不利影响。但是当由于紧急制动造成的曲线部分超速，将可能引起列车侧翻。所以在紧急制动条件下需要检查列车制动曲线上是否有超过因土建条件为曲线的速度限制情况，如果出现，将调整设备位置以避开曲线上的超速情况。

##### F. 安全余量调整策略条件检查：

按着设计间隔进行布置设备时，由于线路采用双红灯防护，所以中间的一个信号机的位置只能根据安全距离和正常制动距离判断可布置范围，却不能确定具体的点。此处利用安全余量调整策略条件来确定中间的信号机的具体位置，该条件的具体描述见 3.3.6 节内容。

##### G. 无岔区域设计间隔计算条件检查：

为了防止线路上布置设备出现线路剩余，在布置每个无岔区域前预算如何完整分配线路，此计算提供最合理的设计间隔参数，及防止了线路余量的出现，也一定条件下节省了线路设备，且保证满足线路需要的运营性能条件。详见 3.3.7 节内容。

具体的功能模块划分情况见下图所示：

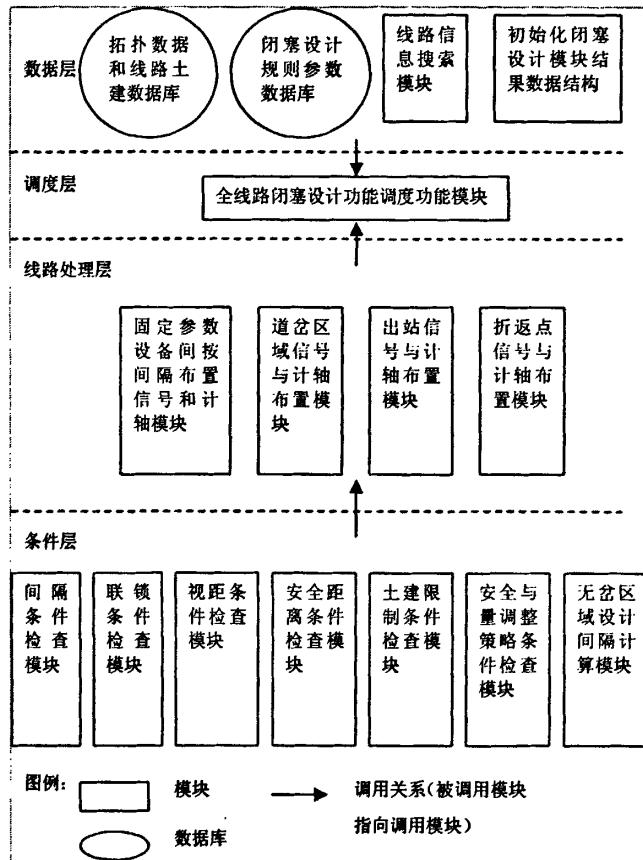


图 2.1 功能模块划分示意图

Figure 2.1 Function Modula Division

## 2. 系统功能模块间的关系

系统功能模块间的关系如下图所示：

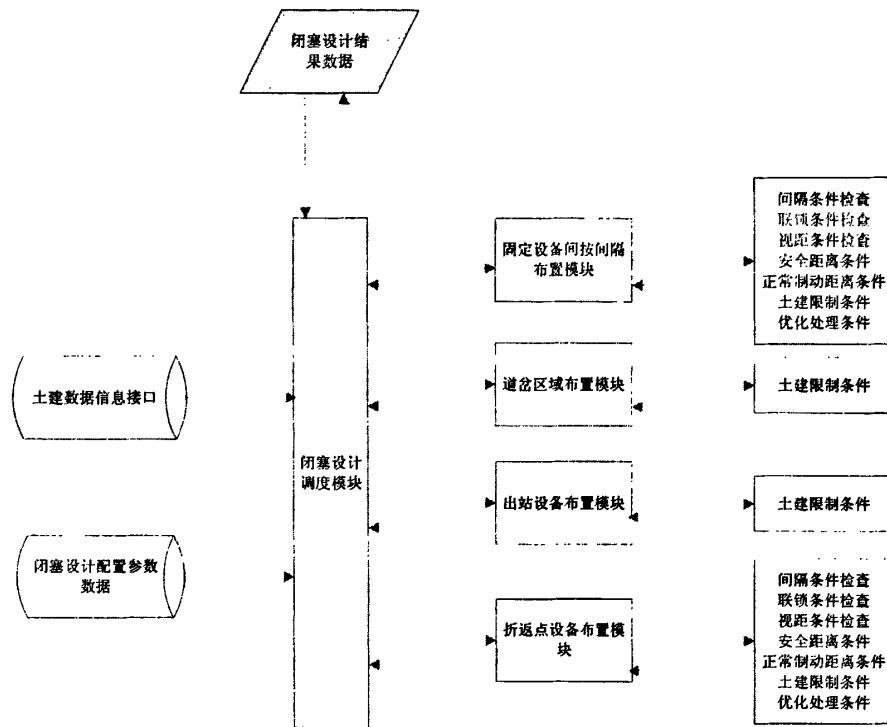


图 2.2 系统功能模块间的关系

Figure 2.2 Relationship among System Function Modula

## 2.2.2 系统流程设计

### 1. 塞设计系统外部流程

塞设计在外部接口的配合下主要实现了自动检查条件, 根据设计目标自动布置信号设备的功能, 塞设计功能与牵引计算和仿真部分的外部流程关系如下图所示:

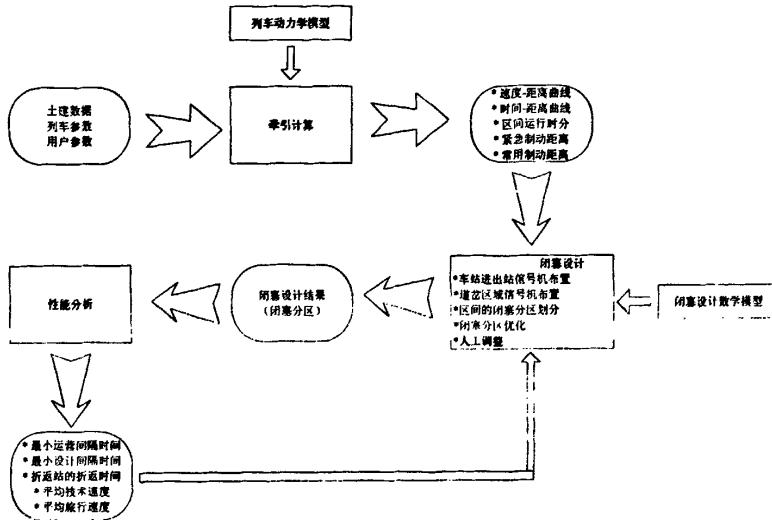


图 2.4 外部流程关系示意图

Figure 2.4 Process outside

闭塞设计系统将利用牵引计算系统提供的计算接口和数据接口，通过闭塞设计系统的功能模块支持和闭塞数学模型的支持，得到符合各种条件的闭塞设计结果数据，闭塞设计结果数据由性能分析模块获取并通过行车仿真计算验证是否满足性能参数，并反馈给闭塞设计模块性能计算的指标结果，用以供闭塞设计进行设计的优化。

## 2. 闭塞设计系统内部流程

闭塞设计系统内部流程如下几个流程图所示：

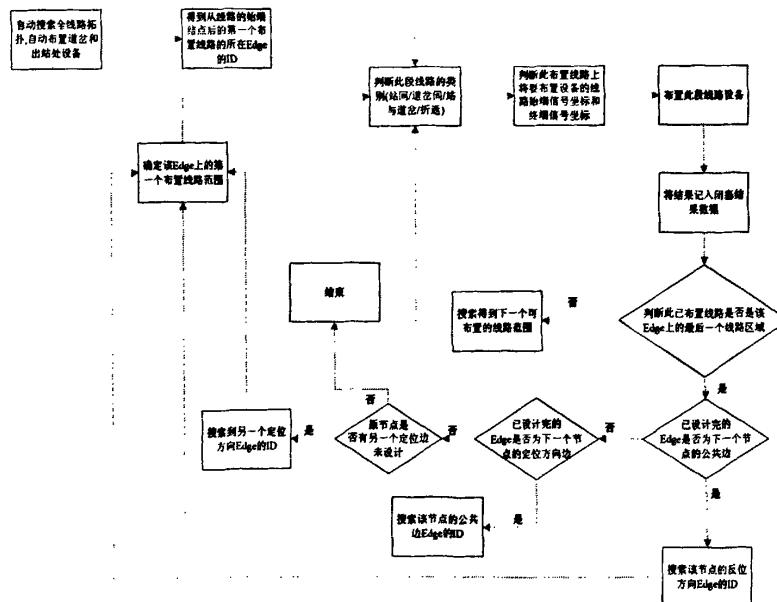


图 2.5 系统内部流程

Figure 2.5 Process Inside

该流程描述了闭塞设计系统中，如何根据线路拓扑数据进行全线的遍历线路并进行闭塞设计的流程。

该流程将自动从线路的各个始端搜索至终端，且不会造成线路的重复布置。

### 2.2.3 外部接口设计

外部接口示意图如下图所示：

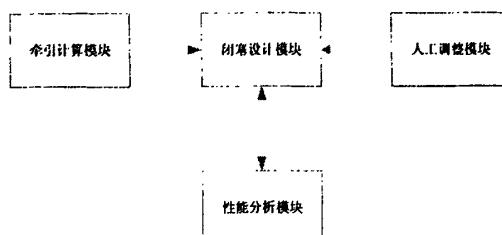


图 2.3 外部接口示意图

Figure 2.3 Interface Outside

#### 1. 牵引计算模块接口：

为闭塞设计提供牵引计算功能接口，主要包括：

- 最不利停车距离计算功能；
- 正常制动距离计算功能；
- 时间距离曲线数据计算和提取功能；
- 速度距离曲线数据计算和提取功能；
- 列车在某点的有效牵引力计算功能；
- 列车在某点的附加阻力计算功能；
- 列车在某点的基本阻力计算功能；
- 列车在某点的制动力计算功能；
- 列车在某点正常制动的速度距离曲线数据计算功能；
- 列车在某点紧急制动的速度距离曲线数据计算功能；

牵引部分的功能由闭塞设计系统外部的功能模块提供，牵引模块向闭塞设计模块提供以上的功能接口，关于列车的参数修改功能将在牵引模块配置文件中内完成，在闭塞设计中将不对列车参数做任何处理。

#### 2. 性能分析模块接口：

为闭塞设计结果提供行车仿真计算，并得到仿真的性能参数结果，反馈给闭塞设计。性能分析提供给闭塞设计的数据接口主要有：

- 全线实际运行间隔；

- 全线实际列车旅行时间；
- 每个信号机的设计间隔；
- 每个区段的列车运行平均速度；
- 折返线路的仿真行车间隔结果；
- 各个车站的仿真行车间隔结果

### 3. 人工调整模块接口：

在闭塞自动布置和性能分析后，如果仍不能满足设计目标要求，则需要人工调整模块来人为调整、设计，人工调整模块主要功能有：

- 设备调整功能：可以在布置结果输出示意图上直接搬移对应图形设备，从而设备的参数随着调整自动变化并记录在结果数据中；
- 设备调整的条件检查功能：人工调整要满足基本的安全条件，在人工调整过程中，软件不再动态检查效率条件，软件不断的针对人工调整部分线路进行安全距离检查，而在性能分析模块中来检查设备调整后的效率变化是否满足条件。

#### 2.2.4 系统界面设计

软件界面设计如图所示：

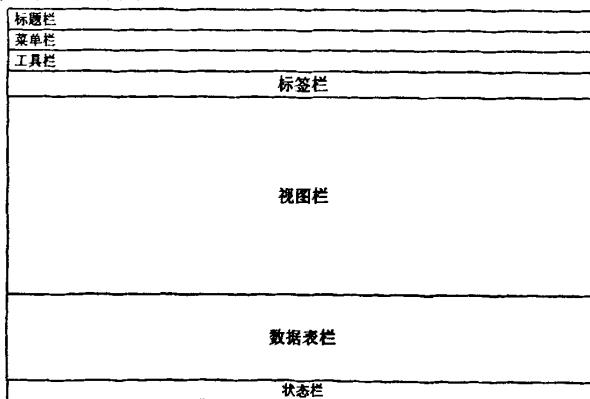


图 2.6 软件界面设计示意图  
Figure 2.6 Human-Machine Interface Design

本软件的界面设计参照 Windows 界面风格，利用 framework2.0 在 VS2005 下用 C# 开发完成。界面主要包含如下内容：

1. 标题栏：显示软件名称和最小化、最大化、关闭功能按钮；
2. 菜单栏：提供菜单选项，主要包括：文件、编辑、试图、设计、仿真结果和帮助选项下拉子菜单。
3. 工具栏：提供主要的工具选项，其中包括：新建、打开、保存、打印、系统参

数设置、列车信息设置、土建信息设置、牵引计算、闭塞自动设计、性能分析计算、输出结果为 AutoCAD 格式文件、输出结果为 Excel 表格格式文件和帮助工具。

4. 标签栏：提供不同输出结果的切换功能，其中包括：土建信息、牵引计算、闭塞设计结果和性能分析指标。
5. 视图栏：提供不同功能的输出结果试图，主要包括：
  - (1) 土建信息下的线路图型；
  - (2) 牵引计算输出的速度距离曲线和对应线路段的运行时间、起点终点信息；
  - (3) 闭塞设计设备布置结果图型和布置设备信息表；
  - (4) 性能仿真结果输出数据表。
6. 数据表栏，在输出结果具有数据表信息时自动出现并输出结果，输出信息主要包括：
  - (1) 牵引计算输出结果信息，包括计算始端、计算终端和运行时间；
  - (2) 闭塞设计结果设备信息表，包括设备名、设备种类和设备位置；
  - (3) 性能仿真结果输出数据表，包括速度指标结果、时间指标结果和间隔指标结果。
7. 状态栏：显示坐标位置信息、软件版权信息。

以上界面设计结果如下图所示：(为了保护版权，标题栏和状态栏已删除)

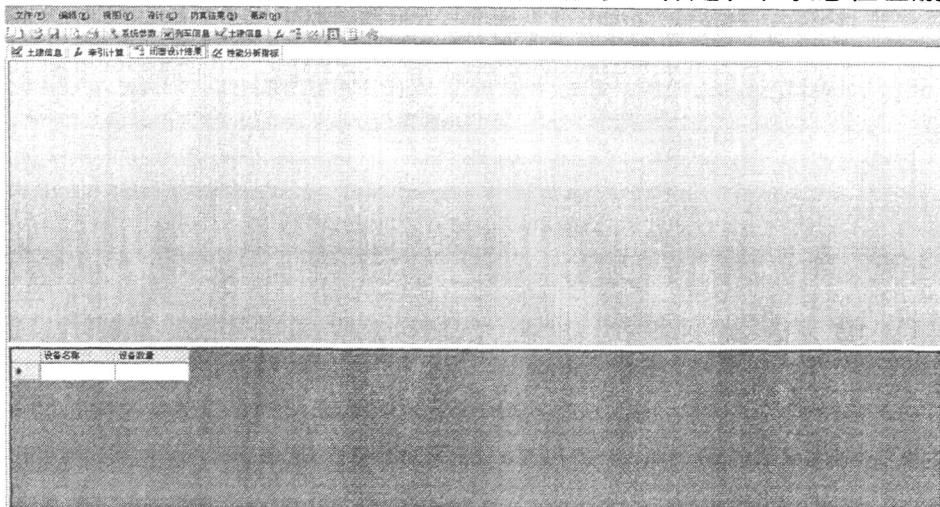


图 2.7 闭塞设计界面效果图

Figure 2.7 Block Design Interface

仿真验证后，性能分析结果输出如下图界面所示：

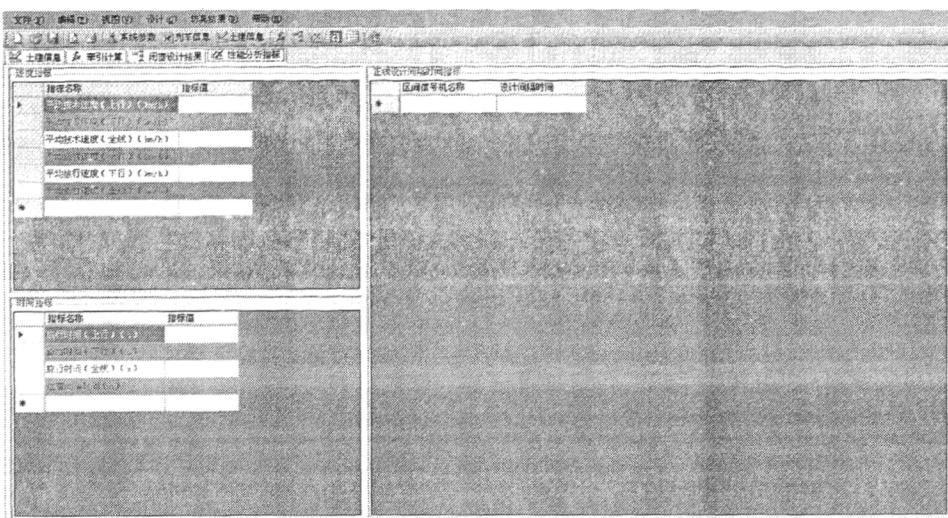


图 2.8 性能仿真界面效果示意图  
Figure 2.8 Performance Simulation Interface

牵引计算后得到的全线速度距离曲线由下图所示界面显示：

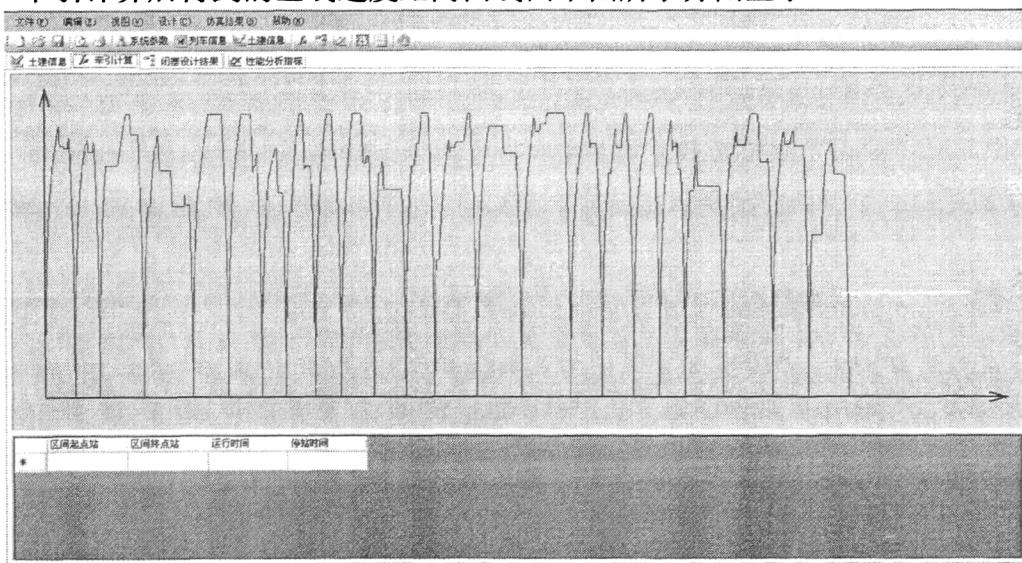


图 2.9 牵引计算界面效果示意图  
Figure 2.9 Traction Calculation Interface

上图所示为闭塞设计结果显示状态、性能分析结果显示状态和牵引计算结果输出的系统界面实现。

### 2.3 小结

本章主要介绍了准移动闭塞 CAD 软件总体设计情况，主要完成工作如下：

- 1 对准移动闭塞 CAD 软件的功能需求进行分析，其中包括设计目标需求分析、仿真接口需求和牵引计算接口需求；
- 2 对准移动闭塞 CAD 软件进行软件系统总体设计，其中包括如下设计内容：
  - 系统结构设计，划分系统层次和每个部分的主要功能；

- 外部接口设计，根据功能需求和系统结构设计，明确软件与仿真计算和牵引计算外部接口的具体接口数据设计和接口功能函数设计；
- 系统流程设计，介绍系统运行中的主要流程；
- 系统界面设计，介绍准移动闭塞 CAD 软件的界面布局、界面各个部分的主要功能。

以上内容为第三章准移动闭塞 CAD 软件的详细设计与实现打下基础，下一张将根据本章的总体设计内容进行各个模块和各种数据的详细设计，并介绍软件实现方法。

### 3 准移动闭塞 CAD 软件的设计与实现

#### 3.1 准移动闭塞设备布置规则

准移动闭塞设备布置规则根据线路组成分类，可分为如下四处线路的布置规则：

- 车站的闭塞设计规则；
- 折返点的闭塞设计规则；
- 站区的闭塞设计规则；
- 正线无站区的闭塞设计规则。

##### (一) 车站的闭塞设计规则

###### 1. 概述

在地铁正线线路中，车站作用单一，仅具有乘客乘降作用，个别线路具有小交路折返功能。车站信息在土建数据中包含所有相关信息，图纸中将会给出如下关于车站的信息：

车站中心公里标、车站长度公里标、车站的坡度的范围和大小、车站的曲线的范围和大小、站外道岔的公里标。

车站处需要布置的闭塞信号设备主要有：

出站信号机和计轴、进站信号机、计轴设备和接近盘设备。

###### 2. 设计目标：

###### (1) 行车安全：

- 保证列车在最不利停车条件下能够停在出站信号机以内；
- 保证列车在站台紧急停车按钮按下时列车能够及时制动停在站台外方；
- 列车车头进入站台一刻起，列车车速要满足站台限速条件；

###### (2) 行车效率：

- 车站的运行间隔时间要满足线路设计的间隔时间要求。

###### 3. 需要考虑的影响因素

站台处设备布置需要考虑的因素有：

- (1) 列车开始进站时，如列车动力失控导致超速，ATP 启动防护进行紧急制动，列车制动距离大于正常停站的距离；
- (2) 列车进站后，在车载设备速度曲线下运行过程中失控，导致列车紧急制动；
- (3) 列车停站后倒溜或向前滑行；
- (4) 接近盘和信号机间的最小距离要求；
- (5) 站外道岔距离站台出站侧的距离，如果距离过小，可能导致设备布置的位置

置冲突。

- (6) 在有站台门的情况下, 列车在标称制动力的制动操作下必须能够保证停在站台外方, 防止站台门错误打开故障造成的危险。

#### 4. 布置规则

- (1) 出站信号机和计轴设备布置在站台外 6m 处。

原理:

- 根据列车参数可知, 接近盘的位置在站台边缘内约 2.5m, 为了防止计轴设备和接近盘设备互相干扰, 取现场得到的经验值为信号布置位置。
- 防止列车停车后的滑行过程, ATP 防止停止车辆滑行的安全距离是 2m, 6m 距离条件满足此安全条件, 不至于因停止车辆滑行和超过前方红灯。
- (2) 进站信号机和计轴设备布置, 根据最不利停车条件距离、正常制动距离、间隔计算、站台内列车行走的限速和站台屏蔽门故障时, 列车在标称制动力下确保停在站台外方的距离计算得到。

原理:

- 以出站信号机为紧急制动终点, 计算最不利停车的紧急制动起始点, 以此满足列车在此点以前的失控和超速引起的紧急制动都会保证列车不会冲出站台, 进站信号机应当在计算得到的紧急制动起点的外方。
- 以站台进站一侧边缘向外计算得到标称制动力下列车刚好停在站台边缘外一个安全距离的位置, 信号机应当布置在这个位置以外, 以此保证列车能够在站台屏蔽门故障情况下及时制动停在站台外方。
- 根据列车在站内运行的速度限制值和列车的动力学模型, 确定列车在站外某点制动, 刚好列车能够在车头进入站台范围时满足该速度限制条件;
- 为了在满足设计间隔条件下达到信号设备最少的原则, 此处的信号布置在满足以上所有条件的基础上应尽量接近设计间隔, 以达到最小间隔最大化的目的。

取以上两个条件的并集, 当两条件都满足时, 信号设备布置点可以确定, 具体布置的示意图如下:

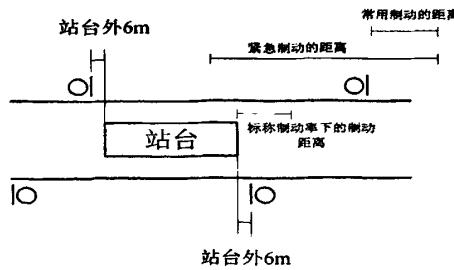


图 3.1 出站信号机布置示意图  
Figure3.1 Departure Signal Disposition

## (二) 折返点的闭塞设计规则

### 1. 概述

在地铁线路中，折返点在线路中多为尽头线路或站后的无岔区段，一些正线中的车站也可作为折返线。折返作业分为站前折返和站后折返。站前折返时站线为折返线，此过程不需要特殊的布置，按着站台布置原则就可以满足条件；站后折返时折返线为站后的一个区段，此区段的布置需要满足折返线路布置的要求。此处的折返点闭塞设计规则主要针对站后折返情况进行分析。

实现折返点布置功能的数据需求有：

- (1) 折返线路前方道岔岔尖坐标和道岔的景冲标坐标；
- (2) 折返线路道岔后的尽头线路终点坐标；
- (3) 列车转换方向所需时间；
- (4) 列车控制过程中的系统延时；
- (5) 列车折返过程中的运行限速。

### 2. 需要考虑的影响因素

折返线设备布置需要检查如下因素：

- (1) 列车失控冲过停车标，此时需要 ATP 进行紧急制动防护，且保证列车不会因此发生冲撞事故；
- (2) 列车折返全过程应尽量高效，列车行走时间和距离应尽量短；
- (3) 为了在列车出清道岔时尽快解锁道岔，使之可以搬动，道岔处的信号设备应尽量间距短小，保证列车尽快过岔。

### 3. 布置规则

- (1) 根据道岔区域的设备布置原则，布置站后折返的折返线与车站间的道岔区域信号与计轴设备，并以临近折返线的岔尖外 3.8m 距离信号机作为折返信号机；
- (2) 折返线长度从折返信号机开始向尽头计算，取一个车长加 40m 安全距离位置来布置拦截信号机（此参数由业主提供），并在一个车长后放置停车标志，以 B 型车 6 车厢列车为例，列车总长 118.12m，此处考虑为 120m 来计算实际长度为车长加 41.88m，列车驶入折返线时速度为刚刚过岔的速度，25km/h，则列车如果在停车标处未减速，以 25km/h 紧急制动，经计算，列车紧急制动距离为 77.66m。列车正常制动距离为 37.44，所以停车标后预留空间为 40.22m 即满足安全条件。具体情况如下图所示：

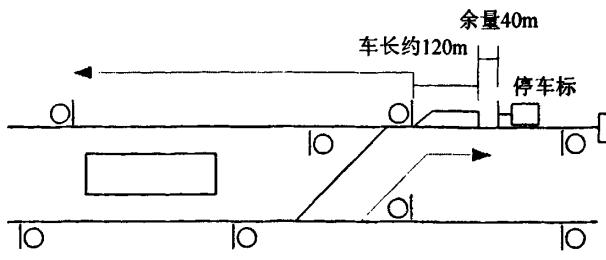


图 3.2 折返点信号机布置示意图  
Figure 3.2 Turnback Signal Disposition

### (三) 岔区的闭塞设计规则

#### 1. 概述

道岔区域信号主要功能有

- (1) 防护道岔，使行驶列车不会驶入未动作到指定位置的道岔。
- (2) 划分区间，提高行车间隔

为了让列车通过道岔时候尽快出清道岔区域，岔区应划分尽量短，而且考虑道岔处的轨道结构，应当避免把信号和计轴设备布置在轨缝处。

#### 2. 需要考虑的影响因素

道岔区域信号设备布置需要考虑以下因素：

- (1) 尖端轨缝位置不能布置设备；
- (2) 景冲标一侧的轨缝也不能布置信号设备和计轴设备；
- (3) 计轴和信号机要布置在景冲标外侧，考虑列车车身宽度，防止侧面冲撞；
- (4) 考虑列车第一车轴和列车外体最前端的距离。

#### 3. 布置规则

- (1) 道岔岔尖处信号和计轴设备布置位置在岔尖外 3.8m 以外；
- (2) 道岔景冲标一侧信号和计轴设备布置位置在景冲标外方 10m 以外。

布置示意图如下：

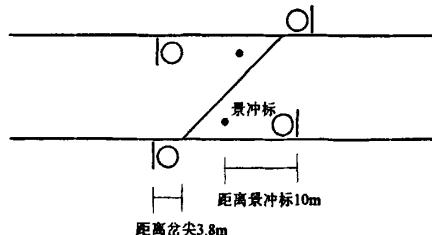


图 3.3 道岔信号机布置示意图  
Figure 3.3 Switch Signal Disposition

### (四) 正线无岔线路的闭塞设计规则

#### 1. 概述

正线无岔线路是指不包含道岔和车站的区域，在划分好道岔和车站的信号设备后，这些区域就产生在正线中。此类线路也是提高线路性能的主要设计区域。

正线无岔线路的主要功能有：

- (1) 保证行车安全，满足最不利停车条件等行车保护的条件；
- (2) 提高行车效率，减小了区间的行车间隔。

## 2. 需要考虑的影响因素

布置正线无岔线路需要考虑的影响因素有：

- (1) 坡道和曲线下，对列车行驶的限速因素和对信号设备视距的影响；
- (2) 间隔要求，根据设计的目标间隔大小来确定闭塞的设计长度；
- (3) 列车正常制动距离；
- (4) 列车最不利停车条件下紧急制动的距离。

## 3. 布置规则

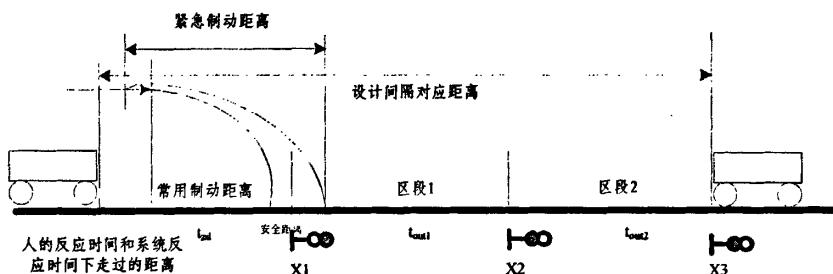


图 3.4 正线无岔线路信号机布置示意图

Figure 3.4 Mainline Without Switch Signal Disposition

- (1) 根据间隔时间和列车常用制动距离信息，确定 X3 的位置；
- (2) 根据正常制动条件和 X3 逆推的最不利停车距离，计算确定 X2 允许不知的位置范围；
- (3) 以间隔等分为原则，尽量把 X2 布置在 X1 到 X3 的时间间隔中点上。

每段无岔区域设计需要确定最小的设计间隔。

## 4. 检查条件

- (1) 土建条件：坡道、曲线下对速度的影响；
- (2) 联锁条件：在行车间隔确定时，需要满足双红灯防护的联锁条件；
- (3) 视距条件：如果因为坡道和曲线造成的信号设备的可视距离缩小，需要判断是否添加复试信号机，并确定布置位置；
- (4) 正常制动距离：判断开始计算最不利停车条件的紧急制动停车点；
- (5) 最不利条件下的紧急制动距离：判断信号机间的间隔是否满足安全条件；
- (6) 优化结果：如果线路没有被刚好分割完，需要确定剩余线路长度如何处理。

## 3.2 影响准移动闭塞设计的条件分析

### 3.2.1 线路条件分析

线路条件指线路的土建信息条件，线路条件主要包括如下信息：

- (1) 线路坐标信息：各个设备和土建条件的具体公里标位置；
- (2) 线路坡度信息：记录每个坡度情况的位置范围和坡度大小；
- (3) 线路曲线信息：记录每个曲线位置范围和曲线半径、长度、缓和曲线等；
- (4) 线路隧道信息：记录每个隧道位置范围和隧道空气阻力相关计算参数；
- (5) 线路桥梁信息：记录每个桥梁在线路上的位置范围；

### 3.2.2 列车动力学条件分析

列车动力学模型指在牵引计算中针对线路采用的列车所采用的计算公式和计算方法。列车牵引计算是专门研究铁路列车在外力作用下沿轨道运行及其有关问题的使用科学。它以力学为基础，以科学实验和先进操纵经验为依据，分析列车运行过程中的各种现象和原理，以此解决运营和设计上的主要技术问题和技术经济问题。

列车动力学模型主要研究以下内容：

- 根据列车自身质量、长度、牵引力、制动力、基本阻力和列车运行线路的土建限制，确定列车正常运行过程中的启动、加速、制动、紧急制动、惰性等基本运行过程计算；
- 根据线路的土建条件和列车自身特性，计算确定列车正常运行状态下的速度距离曲线，影响运行状态的条件主要有：坡道、隧道、曲线、道岔等；
- 根据线路土建条件和列车自身特性，计算确定列车的时间距离曲线；
- 根据列车自身特性和线路土建条件参数，确定列车在某点某运行状态下的受力情况。

在本系统的城市轨道交通地铁运输的背景下，列车动力学模型有如下特点：

- 列车不存在客货混跑和货运情况，全线按着客运要求进行设计；
- 列车的自身条件参数相同，不存在不同类型机车和不同列车组数运行的情况。所以确保每辆车组的动力性能相同，车长、外悬、动车数与动车位置等列车自身条件都是相同的，这样大大简化了计算难度；
- 线路长度较短，通常在十几公里到几十公里间，目前尚未考虑城际轨道交通情况，所以短小线路相对计算量和线路复杂程度较低；
- 由于地铁在土建方面和运营方面的限制，两站间距离较短，列车运行过程的启动、加速、制动、惰性过程变化相对较多，计算较复杂；
- 城轨交通列车内由于站立人数较多，在考虑加速度变化率，尤其是紧急条件下加减速速度变化的时候，需要考虑站立乘客的安全，需要有一个加速度

的大小和变化率的限制。

在闭塞辅助设计软件中，列车动力学模型主要功能是：

- 为计算闭塞设计中的安全条件提供计算方法，例如在检查紧急制动距离条件时，需要计算列车制动过程速度变化和走行的距离。
- 为计算闭塞设计中性能参数中的间隔参数和平均旅行速度，例如需要根据列车运行计算得到列车在对应土建条件下走过某线路区域长度的所用时间和平均速度。
- 需要利用列车动力学模型，根据车站的运营要求，确定列车进站的速度曲线变化和限速点、限速值，从而确定进站信号机的合理位置。
- 需要根据列车启动、惰性、制动过程来确定折返点的折返间隔与折返点安全距离。

### 3.3 准移动闭塞设计检查条件的模型研究

#### 3.3.1 基于安全的条件模型

基于安全的条件检查主要有：

- 安全距离条件：安全距离条件主要检查设备布置是否满足列车正常制动和紧急制动下，能够确保不发生列车冲撞事故。
- 土建限制条件：土建限制条件主要检查列车在最不利停车过程中，是否会因为紧急制动曲线在弯道处使列车超速而产生侧翻的危险情况。
- 视距条件：确保列车能够在制动起始点前保证司机能够看到下一个信号机的色灯。防止因为司机来不及看到信号而不能及时制动，产生危险。

各个条件的具体分析与说明如下：

##### (一) 安全距离条件

###### 1. 概述

安全距离指列车在 ATP 防护的条件下，如果列车速度超过 ATP 的防护速度曲线，则列车在最不利情况下开始紧急制动，从超速点到紧急制动停车点之间的距离称为该信号机处列车需要满足的安全距离条件。列车必须保证在安全距离长度重点停车后，车头仍在该进路的防护区段内，否则列车将可能与下一个区段内的列车相撞。

安全距离条件的计算需要考虑如下因素：

- (1) 系统反应时间；
- (2) 最不利的土建条件；

- (3) 紧急制动建立过程;
  - (4) 牵引切断延时;
  - (5) 列车惰性过程中行走的距离;
  - (6) 列车最不利的超速过程。

## 2. 设计原理

安全距离模型建立如下图：

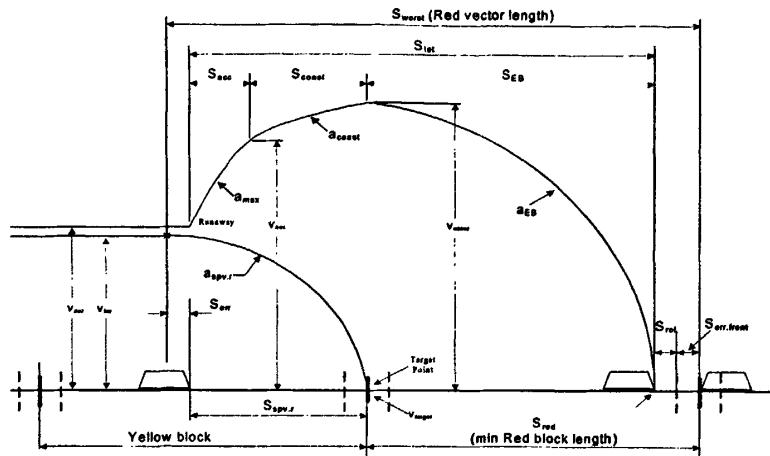


图 3.9 安全距离原理示意图  
Figure3.9 Safety Distance Principle

列车最不利停车过程主要有以下过程：

- (1) 列车运行速度在刚刚开始接触正常制动曲线时开始以该速度下的最大加速度超速；
  - (2) 列车超速过程的时间刚好到达列车允许超速的时间允许范围最大值；
  - (3) 列车牵引切断过程中列车惰性运行；
  - (4) 紧急制动（EB）建立过程采用紧急制动建立所允许的最长时间；
  - (5) 列车完成紧急制动的 90% 后开始按着紧急制动率制动直到列车停稳。
  - (6) 列车停车后应距离前方信号机仍保留一个安全距离，其安全距离长度为前车倒溜允许的最大长度加上本车的最大允许定位误差。

注意：此过程一直认为有最不利千分之三十坡道的土建信息，即认为列车在千分之三十的下坡道上紧急制动。

### 3. 检查流程

- (1) 确定紧急制动起始点的公里标和速度；
  - (2) 通过土建条件检查，检查是否有脱轨情况可能出现；
  - (3) 计算最不利停车距离；
  - (4) 确定列车前方第二个信号机的布置范围在最不利停车距离加安全距离长度以外。

#### 4. 计算过程

总的停车距离( $S_{tot}$ )：

$$S_{tot} = S_{acc} + S_{coast} + S_{EB} \quad (3-1)$$

其中： $S_{acc}$ ：失速期间的行驶距离； $S_{coast}$ ：惰行距离； $S_{EB}$ ：紧急制动距离； $S_{tot}$ ：从超速的时刻到列车速度为 0 过程列车行进的总长度。

最坏情况下停车距离( $S_{worst}$ )：

$$S_{worst} = S_{tot} + S_{rol} + S_{over} + S_{err} \quad (3-2)$$

其中， $S_{tot}$  总的停车距离； $S_{rol}$ ：最大倒溜距离； $S_{err}$ ：最大定位误差； $S_{over}$ ：最大列车外悬

#### (二) 土建限制条件

##### 1. 概述

在城际铁路中，有害坡道一直作为一个土建限制条件在闭塞设计过程中需要考虑，但是在地铁中，由于列车都是作为客运用途，且车长和车重与城际铁路比较都相差很多，经过计算论证，本系统的条件范围内是不存在有害坡道问题的。通常在土建建设中，限制最大坡道不超过千分之三十五，对于这个参数，在本系统所选列车满载时根据牵引计算的数据和模型，可以证明列车仍可以正常启动、加速，驶过坡顶。所以这里不考虑有害坡道限制条件。

虽然列车在最不利停车条件情况下，列车超速甚至超过土建限速是不可避免的情况，但是在土建限制下，有些超速是会导向危险的，而其他的则不会造成危险。具体分析如下：

- (1) 列车通过弯道时，如果因为紧急制动过程而大大超过弯道限速，列车有侧面颠覆的危险；
- (2) 列车通过反位道岔时，如果列车大大超过反位道岔限速，则也可能引起侧面颠覆。

##### 2. 设计原理

土建限制情况如下图中的距离所示：

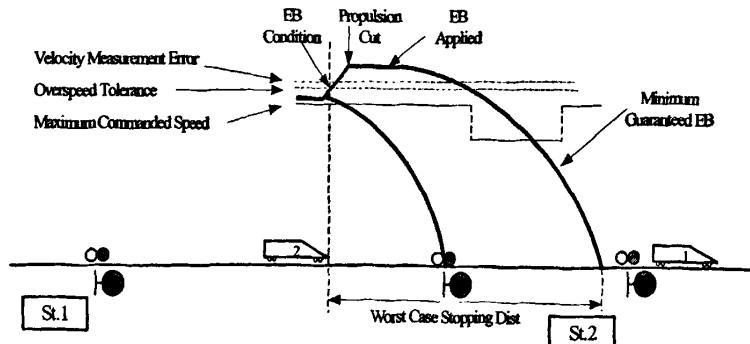


图 3.10 土建限制条件示意图  
Figure 3.10 Civil Limitation Condition

如果上图中，在紧急制动曲线上所经过的土建限速是由于曲线或道岔因素造成的，则此处设备布置不能满足土建条件限制，必须将中间的信号左移，直到紧急制动曲线与对应图件限速不相交为止，虽然这样缩短了本段的运行间隔，但是保证了行车效率，而且这里的间隔缩短并不影响全线的性能需求。

### 3. 检查流程

土建条件检查流程如下：

- (1) 确定列车的紧急制动曲线是否相交于因道岔或曲线导致的土建限速曲线上，如果不相交切不高于这些条件下的允许最大速度，则土建条件满足。否则需要进行过如下检查和调整过程；
- (2) 当出现土建条件不满足情况时，需要调整信号机位置（同时检查移动后的所有检查条件依然满足），或降低速度限制要求。

如果采用调整信号方法，则缩短前一到两个区段的间隔距离条件，使 EB 曲线不与土建限制凹陷部分相交或大于改限制速度。

如果采用调整速度限制的方法，则降低起始点的限制速度，直到该速度计算得到的 EB 曲线完全没有超过对应凹陷的土建限速条件为止。

注意：调整速度限制的方法需要修改相应的列车运行超速防护曲线，所以此处尽量不采用该方法进行调整。

### (三) 视距条件

#### 1. 概述

视距条件指由于地铁线路属于隧道线路，由于线路的曲线和坡道的原因，可能造成两信号机间的视距不能满足要求，当司机通过某信号机后，可能在下一信号机前正常制动距离到达时仍看不到下一个信号设备的色灯状态。则此时需要考虑挪动信号设备或添加复视信号设备以保证司机能够及时看到前方下一个信号机的灯位。虽然在ATO模式下，列车不需要司机的操作，而且车内有车载信号复示地面信号，所以司机是否及时看到地面信号并不会影响安全。但是考虑到车载和地车通信故障时，在备用模式下完全人工驾驶中，视距问题将变成与安全相关的条件。所以在线路设计中需要考虑该问题。

#### 2. 设计原理

- (1) 计算和布置信号机过程不考虑视距问题；
- (2) 在大坡道和大的曲线处虽然不做视距条件下的相应处理，但自动配置复视信号机，并提示操作员应注意视距问题（比如用特殊颜色线路来提示此信息等）。具体的调整设备的过程交给人工在后期去完成。

#### 3. 布置原则

此设备不影响线路性能，也不会影响线路的安全，只加大了线路的设备成本。具体设计中的参数值待定。计算中考虑满足下一个信号机前的正常制动距离限制。

具体方法如下：

情况 1：线路坡度由小变大情况。

以坡度 10 度为一个梯度，做一次信号视距限制条件计算，取值在-40~40 度之间。每次线路处理时采用对应表格里的范围所对应的布置限制距离来确定两坡交接处的复视信号的布置位置范围，从而安置复视信号设备。具体表格格式和示意图如下：

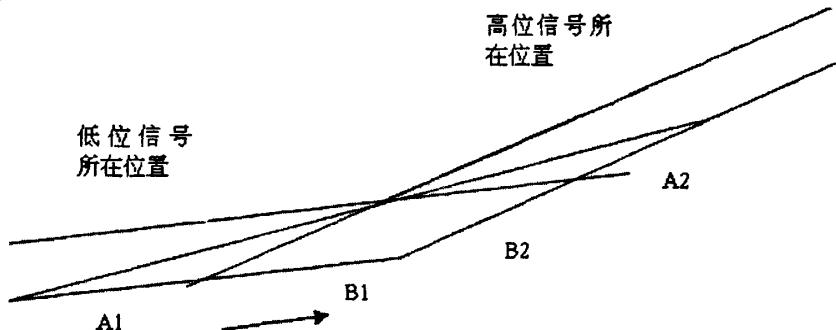


图 3.7 坡度增加处的视距判断原理示意图

Figure 3.7 Sight for Increasing Grade

默认隧道高度为 3 米

表 1 坡度增加条件下的复视信号机添加条件表

Table 1 Condition Table of Sight for Increasing Grade

坡度差范围	信号方向	低位信号位置范围	高位信号位置范围	结论
右侧线路坡度减去左侧线路坡度	左~右	A1	A2	如果某一行满足，则不用加复视信号，如左边条件都不满足则在坡度变化点加复视信号设备
		B1	NULL	
		NULL	B2	

解释说明：

低位信号在 B1 内时，高位信号任意位置都可见，不用复视信号；

高位信号在 B2 内时，低位信号任意位置都可见，不用复视信号；

高位在 A1 内且低位信号在 A2 内时候，二者一定可见，不用复视；当低位在 A1，高位在 B2 和 A2 外时，需要具体计算，但是由于计算比较复杂，我们可以在这个时候在 B2、B1 交界处放置一个复视信号，则可解决视距问题。

上图只是个例子，其他情况与此分析方法类似。关于具体的表格中 8 行（以坡度 10 度为一个梯度，做一次信号视距限制条件计算，取值在-40~40 度之间。）

里的参数的计算我会在详细设计中通过手工计算加入具体参数。

情况 2：线路坡度由大变小情况。（需要确定信号机离地面高度为一个确定参数）

默认隧道高度为 3 米

表 2 坡度减小条件下的复视信号机添加条件表

Table2 Condition Table of Sight for Reducing Grade

坡度差范围	信号方向	低位信号位置范围	高位信号位置范围	结论
右侧线路坡度 减去左侧线路 坡度	左~右	A1	NULL	如果某一行满 足，则不用加 复视信号，如 左边条件都不 满足则在坡度 变化点加复视 信号设备
		NULL	A2	

此线表示信号机视线所在高度线，在此线上的所有设备司机都可看到

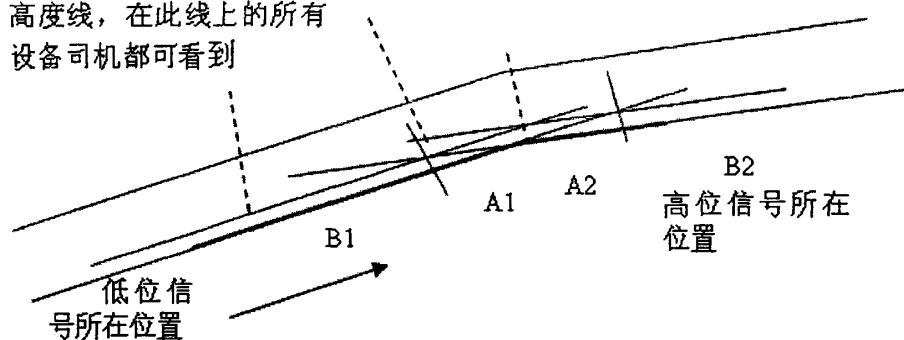


图 3.8 坡度减小处的视距判断原理示意图

Figure3.8 Sight for Reducing Grade

解释说明：

低位信号在 A1 内时，高位信号位置任意，都不需要复视；

高位信号在 A2 内时，低位信号位置任意，都不需要复视；

前两条件同时不满足时，需要在两坡度相连处添加复视信号。

此种计算方法同上面情况一，依然分 8 行进行处理计算得到参数。以坡度 10 度为一个梯度，做一次信号视距限制条件计算，取值在-40~40 度之间。里的参数的计算通过人工计算预先填入表格，以备检查条件时使用。

曲线的解决方法与坡道的检查计算方法类似，这里不再做详细阐述。

#### 4. 检查流程

视距条件检查流程如下：

- (1) 根据土建信息，确定坡度变化的点和曲线存在区域；
- (2) 根据坡度变化的值和曲线角度、半径值，查表确定对应逻辑区域的大小；
- (3) 根据之前按着间隔、安全距离、联锁等条件布置的设备来检查设备布置位置是否满足视距的逻辑要求。如果满足，则不做修改，如果不满足，则根据表格中提示的方法添加复示信号机。

### 3.3.2 基于效率的条件模型

基于效率的条件检查主要有：

- 间隔条件：间隔条件主要检查闭塞设计布置后，按着列车运行距离时间曲线来计算，确保该布置能够满足该闭塞区域的设计间隔要求。
- 联锁条件：当站线过长时，为了减少车站前方道岔区域的解锁时间，采用增加优化计轴设备方法来缩短站线长度，减少解锁时间；
- 安全余量调整检查：在间隔条件基础上，根据安全条件来检查一个间隔条件下，中间信号机的布置位置范围；
- 无岔区域设计间隔计算：为了防止根据间隔布置后，无岔区域最后出现剩余线路情况，需要在布置前计算设计间隔值，且刚好均分此无岔区域，这样既可以满足间隔条件，又可以避免线路剩余情况出现。

各个条件的具体分析与说明如下：

#### (一) 间隔条件

##### 1. 概述

间隔检查条件的目的是，根据提出的设计间隔要求来布置设备，保证列车正常行驶过程中按着最小间隔要求来运行。

间隔检查主要功能有：

- 检查对既有线路数据的设备布置最小间隔是否满足条件；
- 对未布置设备的线路，在满足安全距离和正常制动距离基础上，根据最小间隔要求和间隔平均原则进行设备布置范围的确定。

##### 2. 设计原理

间隔的定义如下：

列车间隔时间是指从运行列车组第一列车从区间某处经过之时起，至运行列车组第二列车由同一点经过时间止所经过的时间，且此过程后车与前车的在每个相同位置的运行状态完全相同。而最小列车间隔时间是刚刚能够满足前后辆车在同一位置运行状态完全相同的条件下的最短时间间隔值。

准移动闭塞根据其特点，结合以上间隔概念，可得其间隔定义如下：

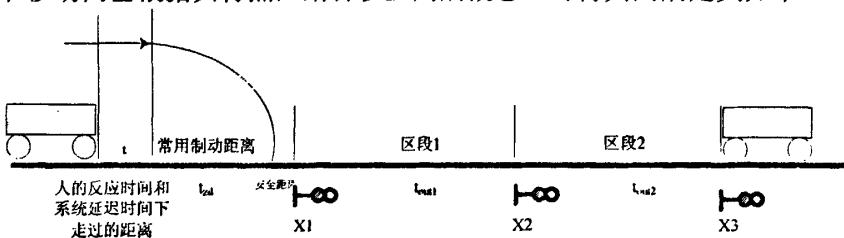


图 3.5 间隔示意图

Figure 3.5 Headway

在后续列车在前方信号机变为绿灯前，列车恰好即将但还没有开始正常制动时，前行列车刚好出清候车前方第二个区间，此时刚好满足  $X_1$  信号开放条件，则后车刚好不会制动。这个时间点上前后两车通过该时间点的时间差即为准移动闭塞中的间隔定义。

检查该条件需要的三个参数为设计间隔参数、列车运行的距离时间曲线、列车常用制动距离。

检查的内容有：

- 后车位置到  $X_3$  信号机在时间距离曲线上满足设计间隔要求；
- 后车距离到  $X_1$  信号的正常制动距离；
- $X_2$  到  $X_3$  应在满足车到  $X_3$  的安全距离的基础上，确保  $X_1$  到  $X_2$  的距离大于正常制动距离。

### 3. 检查流程

间隔检查的基本流程如下：

- (1) 确定间隔计算的起始信号机；
- (2) 确定起始信号机外方正常制动长度处为间隔计算开始点；
- (3) 根据时间距离曲线确定起点后刚好满足设计间隔时间参数的终点位置；
- (4) 确保起始信号机和终点信号机间有一个信号机，且该信号机的位置在起始信号机后方正常制动距离以外，且满足安全距离以内的位置。

### 4. 计算过程

$$t_{\text{间隔}} = t_{\text{司机反映}} + t_{\text{设备延迟}} + f_{\text{距离时间曲线}}(s_{\text{正常制动}}) + f_{\text{距离时间曲线}}(s_{\text{安全距离}}) + f_{\text{距离时间曲线}}(s_{\text{区段1}}) + f_{\text{距离时间曲线}}(s_{\text{区段2}}) + f_{\text{距离时间曲线}}(s_{X_3 \text{后车长距离}}) \quad (3-3)$$

#### (二) 联锁条件

##### 1. 概述

由于在间隔条件检查中，已经考虑了准移动闭塞中的双红灯防护和信号机开放检查的前方线路空闲信息，所以这里的联锁条件将不再重复检查。联锁条件检查的目的是：优化防护区段解锁条件。

防护区段解锁是指在列车驶入目标区段后，下一区段作为本进路的防护区段需要等待延时后才可解锁，延时时间与目标区段长度有直接关系。如果防护区段有道岔，为了列车在停在目标区段后，防护区段尽快解锁以允许道岔尽快搬动到下一个近路要求的位置，需要对目标区段长度进行优化，缩短其长度，从而减少防护区段解锁延时。

## 2. 设计原理

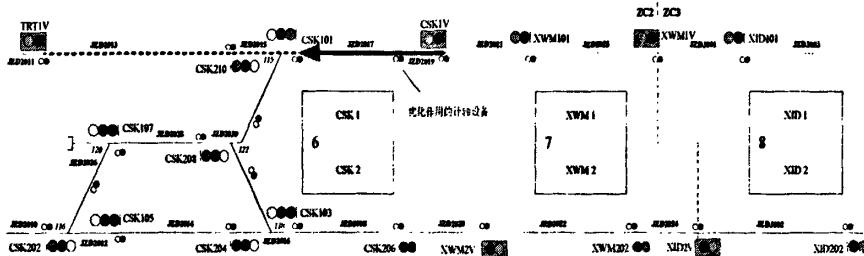


图 3.6 联锁优化示意图  
Figure 3.6 Interlocking Improvement

如上图所示，当今路防护区段有道岔时，在进站信号机和站台间添加了一个计轴设备，从而减少了目标区段的长度，则防护区段的解锁时间减少。

## 3. 检查流程

联锁条件检查的基本流程如下：

- (1) 确定站台前方有道岔的所有线路点公里标，并确定这些区段；
- (2) 计算这些区段的长度是否远大于 120m。

## 4. 计算过程

参考图 3.6 中符号表示，不加以优化时的过冲解锁时间计算：

$$t_{\text{过冲解锁}} = f_{\text{距离时间曲线}}(S_{\text{csk11v}-\text{csk101}}) \quad (3-4)$$

优化后的过冲解锁时间计算：

$$t_{\text{优化过冲解锁}} = f_{\text{距离时间曲线}}(S_{\text{优化计轴点}-\text{csk101}}) \quad (3-5)$$

根据时间距离曲线定义，可得如下结果，优化后过冲解锁缩短时间计算如下：

$$t_{\text{过冲解锁}} - t_{\text{优化过冲解锁}} = f_{\text{距离时间曲线}}(S_{\text{csk11v}-\text{优化计轴点}}) - f_{\text{距离时间曲线}}(S_{\text{csk11v}-\text{csk101}}) = f_{\text{距离时间曲线}}(S_{\text{csk11v}-\text{csk101}}) - f_{\text{距离时间曲线}}(S_{\text{优化计轴点}-\text{csk101}}) \quad (3-6)$$

## (三) 安全余量调整检查

### 1. 概述

安全余量指在满足安全条件和正常制动要求的基础上，由列车间隔确定的两信号间距离较大，在此距离间可布置中间信号的范围为一个区域。为了保证线路的间隔要求，且减小各个车辆运行时间波动为全线列车造成的干扰，需要人为确定中间信号机的具体位置。参考固定闭塞的布置方法，此处采用时间均分的方式进行信号设备的布置。

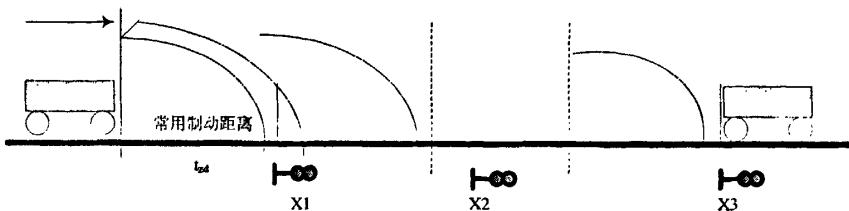


图 3.11 安全余量调整示意图  
Figure 3.11 Safety Margin Adjustment

在此布置中需要检查以下条件：

- (1) 紧急制动距离条件；
- (2) 正常制动和人的反应时间所需距离条件；
- (3) 列车间行车间隔条件；
- (4) 土建限制条件；

## 2. 设计原理

根据图 3.11 所示，举例说明安全余量产生的原因和布置方法：

假设条件：此段列车限速均为 80km/h；设计间隔 90s，土建无坡道和曲线；

根据列车模型计算，得到列车的紧急制动距离约为：492.13m，正常制动距离约为：332.76m。

则此时左侧列车距离 X1 信号机 332.76m，X2 的布置范围为 X1 右侧约 160m 以外即可满足安全距离条件，为了满足列车能够在区段 1 内正常运行和正常制动的条件，所以确定 X2 距离 X1 至少需要一个正常制动距离，从而计算得到 X2 距离 X1 为 492.13m，此时 X2 距离左侧列车距离至少为 824.89m，根据前面对于间隔的定义和计算方法，则 X3 距离左侧列车需要距离在  $22.22 \times 90 = 1999.8m$  以内才能满足间隔参数条件。考虑 X2 距离 X3 至少满足一个正常制动距离才满足 X2 到 X3 的安全距离和正常运行要求，所以，X2 的位置范围在距离 X3 左方至少 332.76m 可满足条件，即 X2 可以布置在距离目前左侧车头约 824.89m~1667.05m 之间即可（图中两虚线中间的公里标范围）。

如果把 X2 的位置取最左端，则闭塞设计将出现长短区段间隔的现象，虽然能够在正常运行条件下满足运营的安全和效率要求，但是一旦出现列车运行的波动，将可能会立刻影响该车以后的所有列车运行时刻表。为了提高闭塞设计结果的鲁棒性，对于线路上出现的所有安全余量进行如下处理：

- (1) 确定该无岔区域的时间间隔要求；
- (2) 根据间隔条件，从实践距离曲线上确定 X1 和 X3 的位置；
- (3) 根据安全距离和正常制动条件，确定 X2 可以布置位置的范围；
- (4) 计算 X1 到 X3 间的列车运行时间，确定其一半时间的位置；
- (5) 根据条件 3 和条件 4，确定在 X2 可布置范围内，距离条件 4 确定点最近

的位置为信号机 X2 的位置。

### 3. 检查流程

余量调整检查方法见下框图：

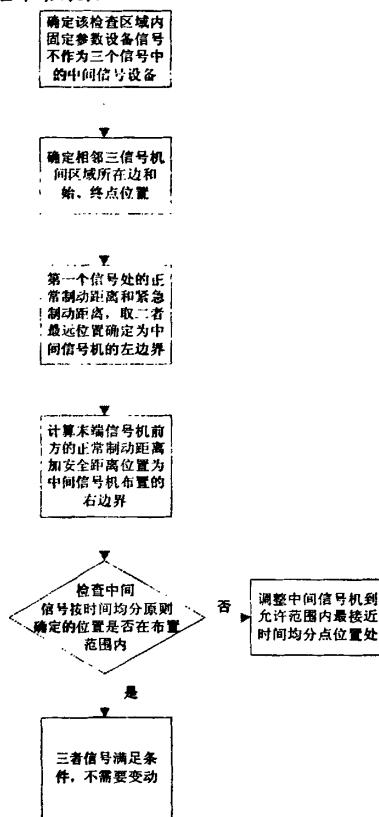


图 3.12 安全余量调整流程图  
Figure3.12 Safety Margin Adjustment

### 4. 计算过程

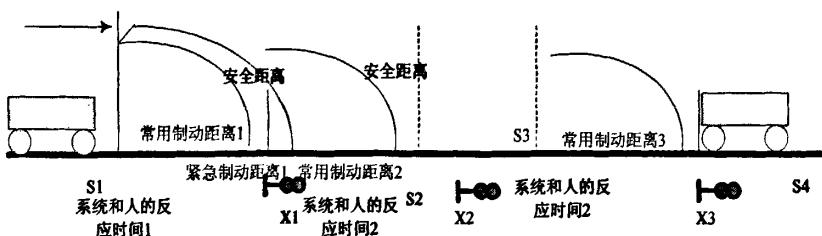


图 3.13 安全余量调整计算方法示意图  
Figure3.13 Safety Margin Adjusting Calculation

X2 信号可布置范围左界限位置计算：

$$\begin{aligned}
 S_2 - S_1 = & S_{\text{系统反应时间1}} + S_{\text{人的反应时间1}} + S_{\text{常用制动1}} + S_{\text{常用制动2}} \\
 & + 2 * S_{\text{安全距离}} + S_{\text{系统反应时间2}} + S_{\text{人的反应时间2}}
 \end{aligned} \tag{3-7}$$

$$s_2 - s_1 - (s_{\text{系统反应时间1}} + s_{\text{人的反应时间1}}) > s_{\text{紧急制动}} \quad (3-8)$$

X2 信号布置范围右界限位置计算：

$$s_4 - s_3 = l_{\text{车}} + s_{\text{安全距离}} + s_{\text{常用制动距离3}} + s_{\text{系统反应时间2}} + s_{\text{人的反应时间2}} \quad (3-9)$$

且满足 X2 信号机处的紧急制动距离终点未超过 X3 信号机位置。

### 3.3.3 基于经济的条件模型

基于经济的条件检查主要指，在满足安全和效率要求的前提下，使用设备尽可能短，即尽可能满足最小设计间隔下的最大间隔值，同时简化设计，这样可以尽可能减少设备。即无岔区域设计间隔计算的条件模型。

#### 1. 概述

无岔区域设计间隔计算是指在一段无岔区域内布置区间信号时，需要计算并确定所要划分的区域的间隔能满足全线的设计要求，切尽可能信号数量最少。为了达到这个要求，无岔区域设计间隔条件将计算该区域的可划分间隔为最接近全线间隔条件值，且刚好能够分割完该区域，不会留下剩余的线路。此方法考虑到效率与经济性，其结果避免了剩余线路的处理过程。

#### 2. 设计原理

##### (1) 设计区域的确定

无岔区域的始终端由信号机划分，区域内确保没有站台的出站信号机和道岔。划分区域的信号机为道岔处的防护信号机和站台的出站信号机（此两种信号机的布置由固定参数确定，不需要计算间隔）。

##### (2) 区域设计间隔值计算方法

- 根据该无岔区域的时间距离曲线，确定列车在其上的旅行时间；
- $t=T/n$ ,  $n=1, 2, 3, \dots$  直到所得  $t$  刚刚小于等于全线的设计间隔为止；
- 根据所得  $t$  划分该区域，划分结果应刚好分配完该区域，且没有剩余。
- 记录所得的各个信号机的位置信息，以备在检查安全条件和间隔条件时本着与间隔计算点就近的原则进行布置。

#### 3. 检查流程

- (1) 确定设计区域，找到相邻固定参数设备且作为始端和终端；
- (2) 确定该区域内正常行车所用时间；
- (3) 均分时间，分段数逐渐增加 1，直到均分时间刚好小于等于设计间隔值。

### 3.4 数据及其结构设计

### 3.4.1 线路拓扑数据设计

#### 1. 线路拓扑数据需求:

线路拓扑数据主要功能是为实现线路搜索提供数据基础, 线路拓扑数据应具备以下基本要素:

##### (1) 单向路径关联

此部分表示在没有道岔的情况下, 线路沿着一个方向可以沿着轨道一直延伸下去, 此部分关联功能中需要提供如下数据信息:

- A. 无岔单向路径上的连续的任意点公里坐标;
- B. 确定线路上的方向;
- C. 确定线路上的关联设备;
- D. 确定线路前后终点处与道岔或线路终点的关联。

##### (2) 方向选择关联

此部分用于区分在道岔处线路的 2 个方向, 且保证各个方向的公里坐标数值连续。方向选择关联数据应提供如下数据信息:

- A. 道岔点坐标;
- B. 道岔点和相连的各个线路的关系;
- C. 确定关联的设备;

线路尽头处同样纳入此关联, 确定线路终点公里标和与其关联的单向路径拓扑关联。

#### 2. 线路拓扑有向图结构:

线路拓扑有向图表示为一组节点和边线。所有线路分叉、汇合、走行方向变更的地方及线路的终点均为节点; 连接两个节点的线路则为边线。每条边线的默认运行方向为从起始节点到终点节点。每个节点和边线在系统中是唯一的。拓扑图描述了线路的连接方式和方向。

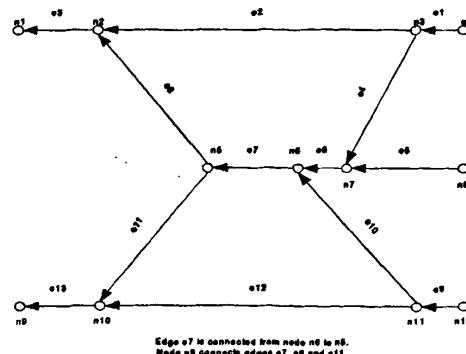


图 3.14 线路有向图拓扑结构示例  
Figure 3.14 Track Topology Figure

每个边线都被分为很小的位置单元（离散化），并通过预先确定的系统范围内单元的测量方法定义。一个边线内位置段的数量定义了这个边线的长度（如：距离）。

每个节点上可以通过的路径数受物理条件的约束。对相邻边线的定义为：从任意给定边线沿默认的运行方向，以及默认运行方向的反方向可以到达的边线。

线路可能会在某一边线或节点上的特定位置有物体。这些物体是一维的，并不占用线路区。它们可能是静止的（如道岔、信号机或应答器），也可能是动态的（如列车头或移动授权范围）。

线路的属性包括永久属性（如最大限速，坡度等）和临时属性（如列车临时限速），属性在线路不同的位置可能有不同的值。

### 3. (Edge, Offset) 有序对

线路图中的物体也可以看作是出于有向图的某一边线或节点上，这些物体是一维的，并不占用线路区，于是可以用基于有向图的一维表示方式(Edge, Offset)来表示，如下图。

设备的(Edge, Offset)坐标通过数据文件输入或闭塞设计计算后自动生成。

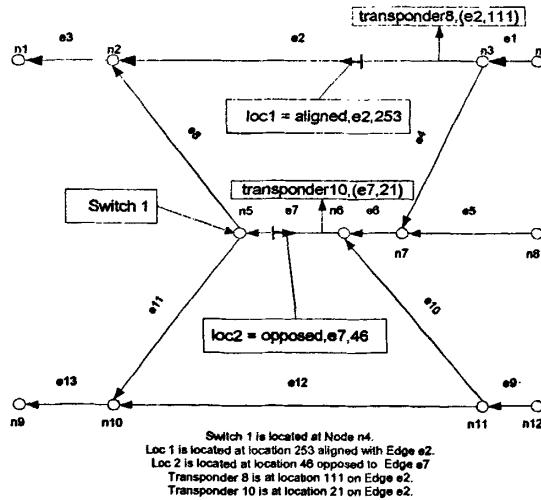


图 3.15 (Edge, Offset) 有序对  
Figure 3.15 (Edge, Offset) Array

具体的数据格式见以下格式描述：

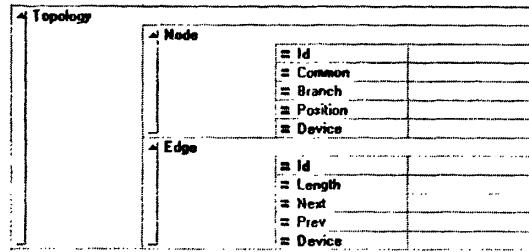


图 3.16 拓扑数据组织示意图  
Figure 3.16 Topology Data Organization

### 3.4.2 线路土建数据结构设计

土建数据是牵引计算、闭塞设计条件检查所需要的重要线路数据参数，在土建数据中主要包括以下需求：

- (1) 线路土建数据结构能够包含所有计算中可能需要的土建数据，和相应土建数据情况下的所有信息，具体需求如下所示：
  - A. 坡道信息：包含坡道的 ID、起始点、终点、坡度值（有正负值区分）。
  - B. 曲线信息：包含曲线的 ID、曲线起点、曲线终点、曲线半径、曲线角度、曲线限速、缓和曲线参数等信息。
  - C. 车站信息：包含车站编号、车站名称、车站中心位置、站台长度、停站时间、站台限速等信息。
  - D. 道岔信息：包含道岔 ID、道岔长度、岔尖位置、道岔限速等信息。
  - E. 隧道信息：包含隧道起点、隧道终点、隧道 ID 等信息。
  - F. 高架信息：包含高架起点、高架终点和高架 ID 等信息。
- (2) 线路土建数据结构能够与线路拓扑数据关联，为算法提供搜索的依据：此部分搜索数据主要放在拓扑数据结构中，在节点数据中包括了土建道岔 ID 数组，在边数据结构中包括了土建数据中的坡道 ID 数组、曲线 ID 数组、隧道 ID 数组和高架 ID 数组。

### 3.4.3 牵引计算数据

#### 1. 牵引计算模型分析

##### (1) 制动模型

列车制动模型有两种：正常制动模型和紧急制动模型。下图为列车的正常制动和紧急制动模型的具体说明。

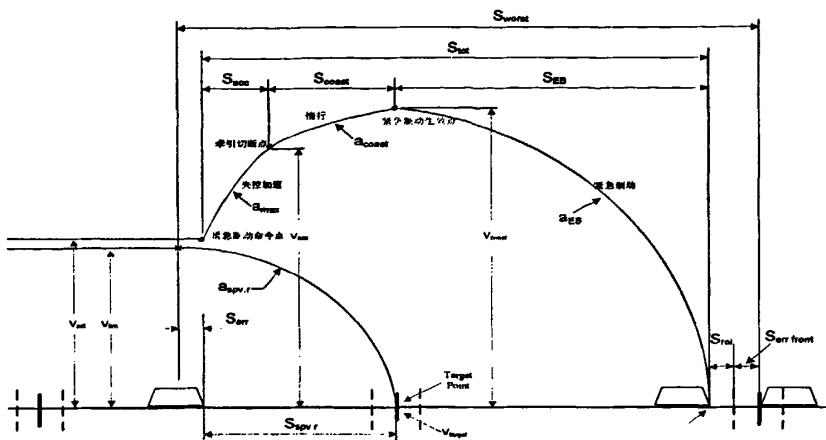


图 3.17 制动模型示意图

Figure 3.17 Braking Mode

如上图所示，列车自左向右行驶过程中，列车有两种制动方式，图中下方  $S_{spv.r}$  所示的距离即为正常制动所经过的距离，图中最上方  $S_{worst}$  所示的距离即为紧急制动下的最不利停车距离。

#### A. 正常制动停车距离

常用制动距离计算需要考虑的因素有：

- 系统反应时间：从命令发出到系统开始运行的延迟时间；
- 列车定位误差：列车定位系统可能产生误差的最大值；
- 常用制动建立过程中的速度变化和行走距离：常用制动建立过程中，为了保证乘客乘坐的舒适性，系统定义了加速度变化率限制（也称冲击值），在 Alcatel 的 CBTC 系统中，制动建立时间大约需要 1.1s 左右，此过程中列车的加速度在冲击值限制下逐渐变化到正常制动加速度，此过程行走距离计算需要独立计算得到。
- 常用制动建立后的运行距离：常用制动经过延迟的惰性和建立过程，达到常用制动加速度值后，列车继续制动到停车的行走距离。

综上所述，常用制动的模型如下式所示：

$$S_{sbr} = S_{err} + S_{coast} + S_{spv.r} + S_{delay} \quad (3-10)$$

其中： $S_{sbr}$  为常用制动总距离； $S_{err}$  为列车定位误差； $S_{coast}$  为常用制动命令到生效期间（常用制动建立）列车惰行的距离； $S_{delay}$  为系统反应时间列车惰性距离； $S_{spv.r}$  为常用制动生效后列车运行的距离。

#### B. 紧急制动最不利停车距离

最坏条件下停车距离的计算基于以下条件：

- 列车以允许的最大速度下接近红灯信号；

- b) 列车将以常用制动来使列车停车, 当列车开始制动, 正好发生牵引故障, 列车不是减速而是以最大可达加速度开始加速(失速加速度); 列车命令紧急制动并且同时命令牵引动力切断; 但是直到这些命令产生效果前列车将一直加速直到列车的牵引动力切断;
- c) 牵引力切断后接着惰行直到紧急制动开始生效, 紧急制动一旦生效, 它将保持直到列车完全停止。

最坏条件下停车距离计算考虑因素有:

- a) 系统反应时间: 从命令发出到系统运行的延迟时间;
- b) 列车定位误差: 列车定位系统可能产生误差的最大值;
- c) 牵引力供应尚未切断时间里, 列车超速行驶距离: 紧急制动建立前, 牵引动力尚未切断时, 列车将以最大超速值形式, 直到牵引力被切断, 才开始惰性过程, 停止超速。此过程列车运行的距离需要独立计算;
- d) 牵引力切断到紧急制动开始建立的时间里列车惰性距离: 由于考虑该过程为最不利行车条件, 所以紧急制动全过程假设列车在最大的下坡坡道上进行, 所以惰性过程中要考虑千分之三十下坡道的加速过程;
- e) 紧急制动从 0%~90% 的建立时间内列车行走距离: 考虑到列车在紧急制动建立过程中存在冲击值的限制, 加速度变化需要一定时间才能达到紧急制动的加速度, 所以这个过程列车行走的距离需要独立计算;
- f) 紧急制动建立后的运行距离: 经过紧急制动建立到 90% 后, 紧急制动加速度值基本达到了紧急制动加速度参数, 列车继续制动直到停车的行走距离。

综上所述, 紧急制动的模型如下式所示:

最坏情况下停车距离( $S_{worst}$ )

$$S_{worst} = S_{tot} + S_{rol} + S_{over} + S_{err} \quad (3-11)$$

其中,  $S_{tot}$  总的停车距离;  $S_{rol}$  最大倒溜距离;  $S_{err}$  最大定位误差;  $S_{ovr}$  最大列车外悬

$S_{tot}$  从超速的时刻到列车速度为 0 时, 总的距离。 $S_{tot}$  计算如下:

$$S_{tot} = S_{acc} + S_{coast} + S_{EB} \quad (3-12)$$

其中:  $S_{acc}$  失速期间的行驶距离;  $S_{coast}$  惰行距离;  $S_{EB}$  紧急制动距离。

## (2) 时间距离曲线

时间距离曲线如下图所示, 坐标系下横轴为时间, 纵轴为运行距离,

在牵引计算接口中将提供列车运行时间距离曲线中的计算信息，计算主要实现两个功能：

- 已知运行距离和起始位置求正常运行下的列车运行时间；
- 已知列车在某起点开始运行一段时间后经过的距离，求运行时间。

下图中，上面坐标内图型为速度距离曲线，下面为对应距离时间曲线：

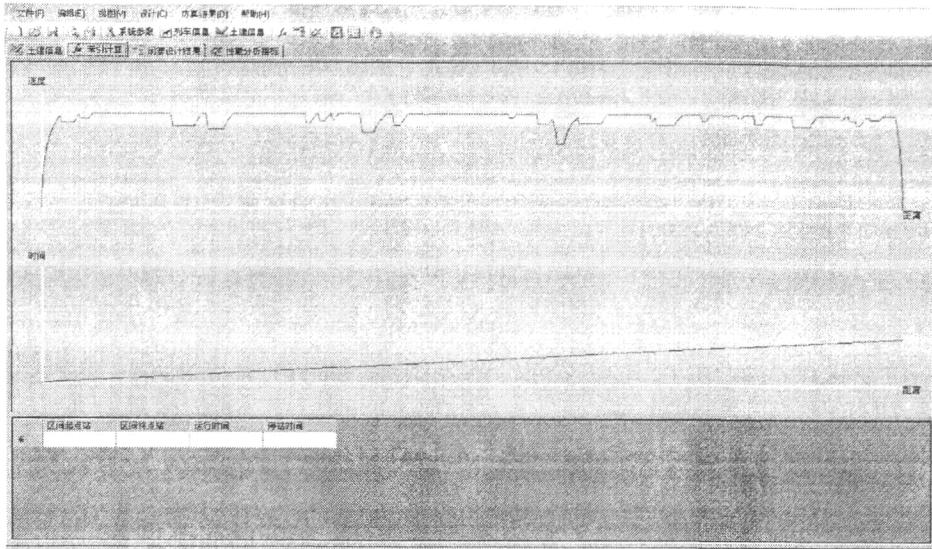


图 3.18 软件输出速度距离曲线与时间距离曲线截图

Figure 3.18 Speed-Distance Figure and Time-Distance Figure as software output

### (3) 速度距离曲线

速度距离曲线如下图所示，坐标系下横轴为距离，纵轴为运行速度，在途中土建限速的条件下，列车在土建允许速度以下以最大速度行驶。在牵引计算接口中将提供图中的土建限速值和正常运行下的列车速度距离曲线值。

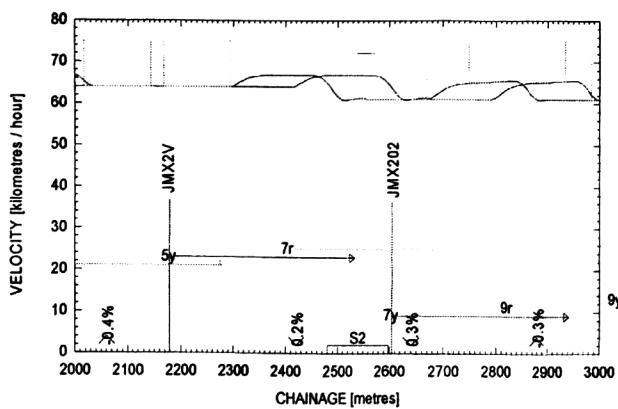


图 3.19 速度距离曲线和土建限速曲线信息  
Figure 3.19 Speed-Distance Figure and Civil Limited Figure

### (4) 坡道受力模型

在考虑坡度对列车加速度和制动率影响的时候, 根据力学原理, 分解列车车重, 在列车运行方向上获得一个分力。当上坡时, 这个分力表现为阻力; 下坡时, 表现为动力。下面以如图所示情况来说明坡度补偿加速度的计算, 图中所示为列车在坡度为  $k_{grade}\%$  时的受力情况:

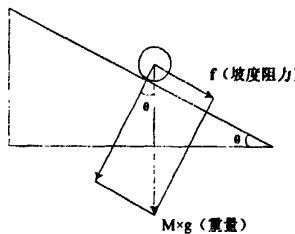


图 3.20 坡道列车受力分析  
Figure 3.20 Mechanics Analysis of Train on Grade

根据上图, 可以推导出坡度对列车运行产生的坡度补偿加速度计算如下:

$$a_{grade} = g * \frac{k_{grade}}{1 + \frac{Mz}{M}} \quad (3-13)$$

说明:  $a_{grade}$  上坡为负, 下坡为正;  $g$  为  $9.8m/s^2$ ;  $k_{grade}$  坡度大小, 如  $3\%$ ;  $M$  车辆的质量;  $Mz$ : 转动质量。

### (5) 曲线受力模型

曲线附加阻力计算模型采用计算公式如下:

$$\omega_r = g * \frac{600}{R} (N/t) \quad (3-14)$$

$$\omega_r = g * \frac{10.5a}{L_r} (N/t) \quad (3-15)$$

$L_r$  表示圆曲线长度;  $R$  表示圆曲线半径;  $a$  表示曲线转角。

### (6) 列车牵引力模型

根据车辆数据中提供的列车在各个速度范围内可用加速度值进行计算得到。格式如下表所示:

表 3 牵引模型数据表

Table 3 Traction Mode Data Sheet

速度	正常加速度	失速加速度
0	0.8	1.18
$v_m$	$a_m$	$A_m$
$v_n$	$a_n$	$A_n$
.....		
90	0.25	0.35

## 2. 牵引计算接口数据分析

闭塞设计软件中所用到的牵引计算功能由牵引计算软件以接口功能函数方式提供, 主要提供的功能函数需求如下:

### (1) 正常制动相关计算:

#### A. 正常制动距离计算接口

##### a) 已知起始点的正常制动距离计算接口:

根据正常制动模型, 输入正常制动起始点位置信息; 起始点的列车运行速度, 得到该条件下的列车正常制动距离返回值。

##### b) 已知终点的正常制动距离计算接口:

根据正常制动模型, 输入正常制动所停信号机前的位置, 得到根据速度距离曲线确定起始点位置和起始点速度返回值。

#### B. 计算正常制动过程中某位置的速度值接口

根据正常制动模型, 输入制动起始点、制动初始速度和需要计算速度的位置信息, 得到该位置在对应正常制动下的速度值。

### (2) 紧急制动相关计算:

#### A. 紧急制动距离计算接口

根据紧急制动模型, 输入紧急制动起点、制动初始速度, 得到该条件下的紧急制动最不利停车条件下的距离。

#### B. 计算紧急制动过程中某位置的速度值接口

根据紧急制动模型, 输入紧急制动起点、制动初始速度、需要计算速度的位置得到返回值为对应条件下的紧急制动最不利停车条件下的该点速度值。

### (3) 时间距离曲线的相关数据计算:

#### A. 正常运行下某时间段内的运行距离计算接口

根据列车正常运行下的时间距离曲线, 输入运行起点位置信息、运行时间, 得到列车运行时间后终点位置。

#### B. 线路上两点间的列车正常运行所用时间计算接口

根据列车正常运行下的时间距离曲线, 输入运行起点位置信息、运行终点位置信息, 得到列车运行所用时间。

### (4) 速度距离曲线相关数据计算:

#### A. 正常运行下线路中某位置处列车的运行速度计算接口

根据列车正常运行下的速度距离曲线, 输入列车所在位置信息, 得到列车正常运行下该点的运行速度。

### (5) 列车受力相关数据计算:

**A. 线路上某点的坡道阻力计算接口**

根据坡道条件下列车受力分析，输入列车所在位置信息，得到列车在正常运行下，该点在相应坡道条件下所受阻力。

**B. 线路上某点的曲线阻力计算接口**

根据曲线条件下列车受力分析，输入列车所在位置信息，得到列车在正常运行下，该点在相应曲线条件下所受阻力。

**C. 线路上某点的列车牵引力计算接口**

根据列车牵引力计算模型，输入列车所在位置信息和列车在该点正常运行的速度，得到列车在正常运行下，该点列车所能提供的有效牵引力。

#### 3.4.4 仿真行车数据

仿真接口主要完成将闭塞设计结果数据提供给仿真工具的功能，数据中需要包含仿真所需的完整设备位置信息和设备的自身属性。

仿真接口数据主要指闭塞设计结果，数据信息如下：

- A. 色灯信号机布置位置和类别信息与设备关联**
- B. 计轴设备位置信息**
- C. 复视信号机的建议布置位置信息**
- D. 道岔的设置位置和类别信息与设备关联**
- E. 车站位置信息与设备关联**

### 3.5 软件设计与实现

软件模块划分如下图所示：

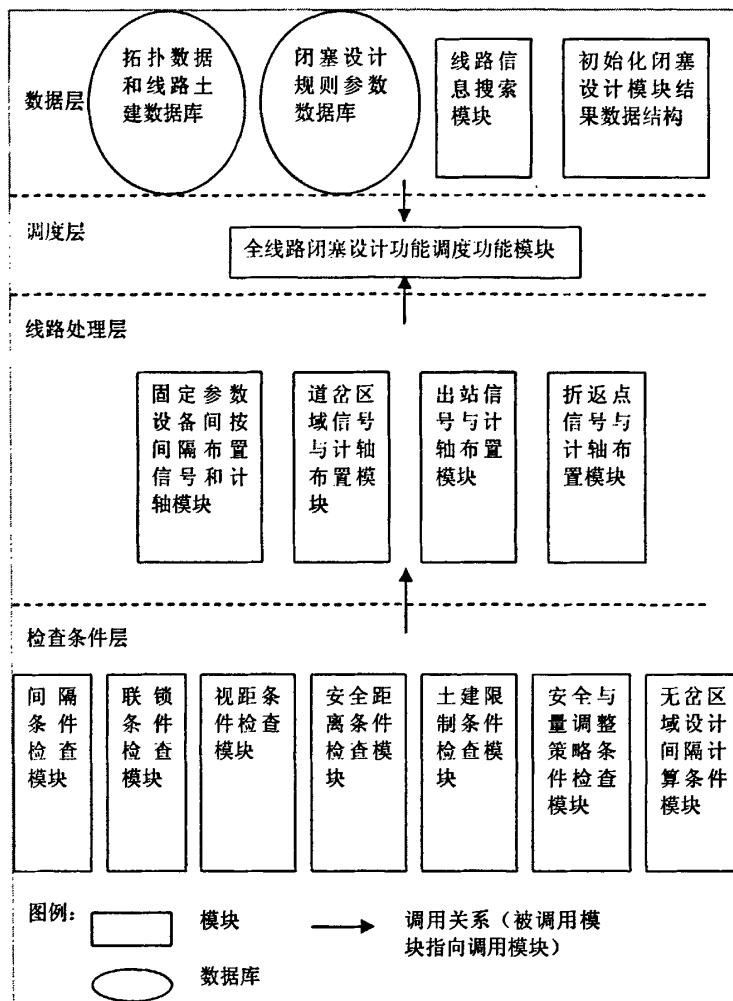


图 3.21 软件模块划分示意图  
Figure3.21 Software Modula Design

### 3.5.1 条件层各模块设计与实现

#### 1. 间隔条件检查模块

间隔定义的示意图如下所示：

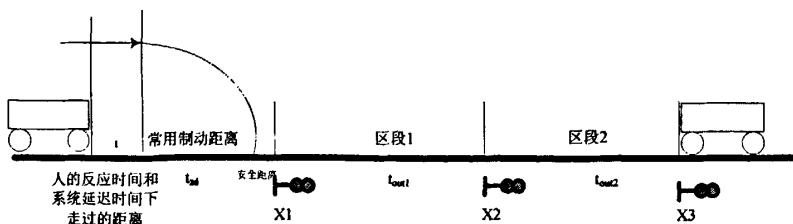


图 3.22 间隔示意图  
Figure3.22 Headway

间隔条件分为以下两种情况：

(1) 布置设备时，按设计间隔条件进行布置，确定初始布置点。

此时的模块调用条件是：

- A. 线路上只有道岔区域、折返线和出站信号机已经布置完成；
- B. 无岔区区域设计间隔计算模块可调用；
- C. 牵引功能接口中，正常制动距离计算和时间距离计算功能可调用。

此情况下的模块流程图如下所示：

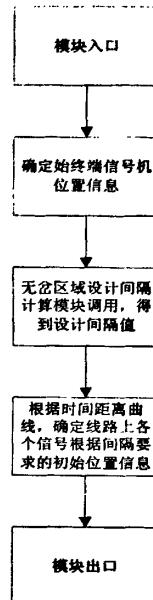


图 3.23 信号布置间隔条件检查流程图  
Figure3.23 Headway Condition of Signal Disposition

(2) 检查已有布置线路时，计算相邻三个信号机间的间隔是否满足设计要求。

此时的模块调用条件是：

- A. 线路上对应始端到终端之间的所有信号已经布置完成；
- B. 模块入口参数提供检查条件，即设计间隔值范围；
- C. 牵引功能接口中，正常制动距离计算和时间距离计算功能可调用。

此情况下的模块流程图如下所示：

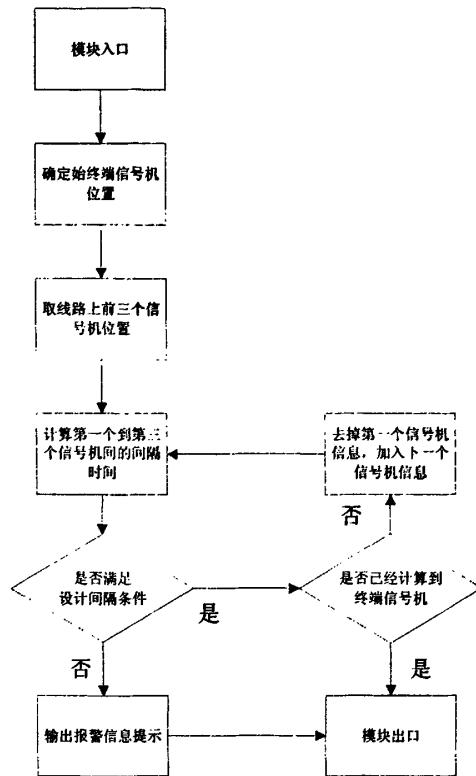
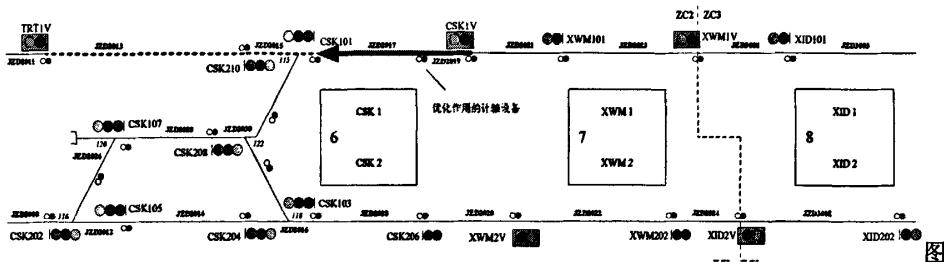


图 3.24 布置结果间隔条件检查流程图  
Figure3.24 Headway Check of the Block Design Result

## 2. 联锁条件检查模块

联锁条件定义的示意图如下所示：



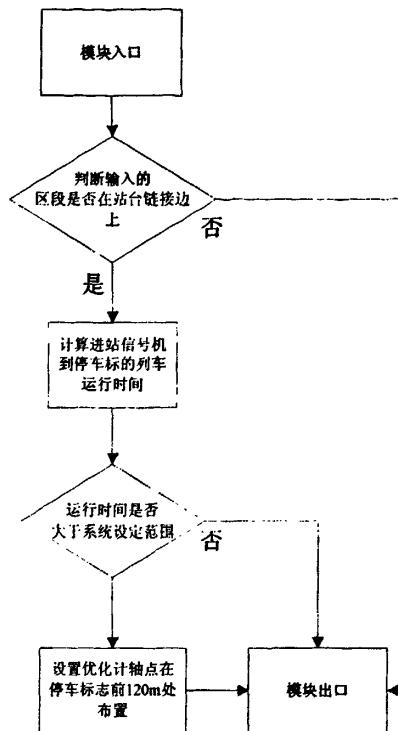


Figure 3.26 Interlocking Condition Check

### 3. 安全距离条件检查模块

安全距离条件检查示意图如下图所示：

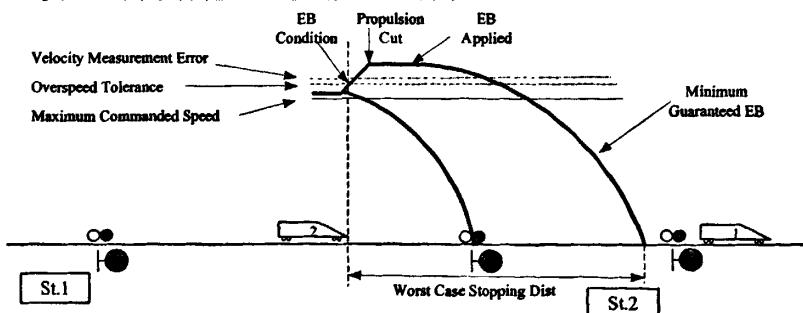


Figure 3.27 Safety Distance Check Principle

安全距离条件检查模块调用条件如下：

- 牵引计算外部功能接口具备正常制动距离计算功能和紧急制动距离计算功能；
- 牵引计算外部功能接口具备速度距离曲线计算功能；

安全距离条件检查模块输出结果为紧急制动距离后方可布置信号距离前方第一个信号的距离值。

安全距离条件检查模块的流程图如下所示：

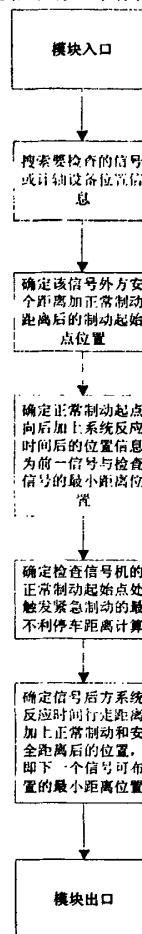


图 3.28 安全距离检查流程图  
Figure 3.28 Safety Distance Check Process

#### 4. 土建限制检查模块

土建限制检查条件如下图所示：

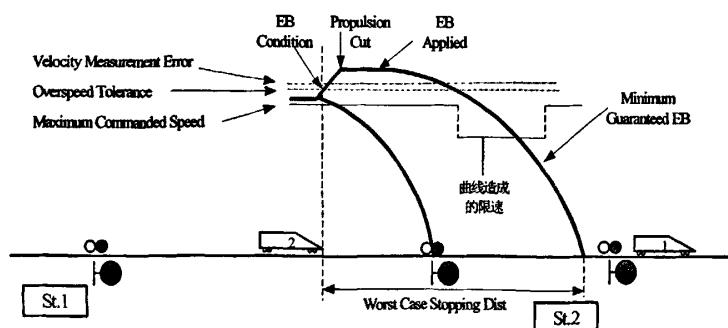


图 3.29 土建限制条件示意图  
Figure 3.29 Civil Limited Condition

土建限制条件检查模块实现功能需要具备以下前提：

- A. 牵引计算接口提供紧急制动距离计算功能和正常制动距离计算功能；
- B. 速度距离曲线能够提供紧急制动速度距离曲线上的任意点速度信息；
- C. 完整的土建信息，具备曲线限速部分参数；

土建限制条件检查模块输出结果为某一信号处的紧急制动过程的速度是否会超过曲线速度限制条件，如果出现制动过程中速度大于曲线限制速度情况时，此布置方法不符合安全条件，修改策略为将紧急制动曲线后移至刚好满足制动曲线与曲线限速刚好相交的边界条件上。

此功能模块应该在每次调用计算紧急制动时进行检查。切每次该模块进行了设备移动后，需要再次检查间隔条件、联锁条件、安全距离条件。

土建限制条件检查模块流程图如下图所示：

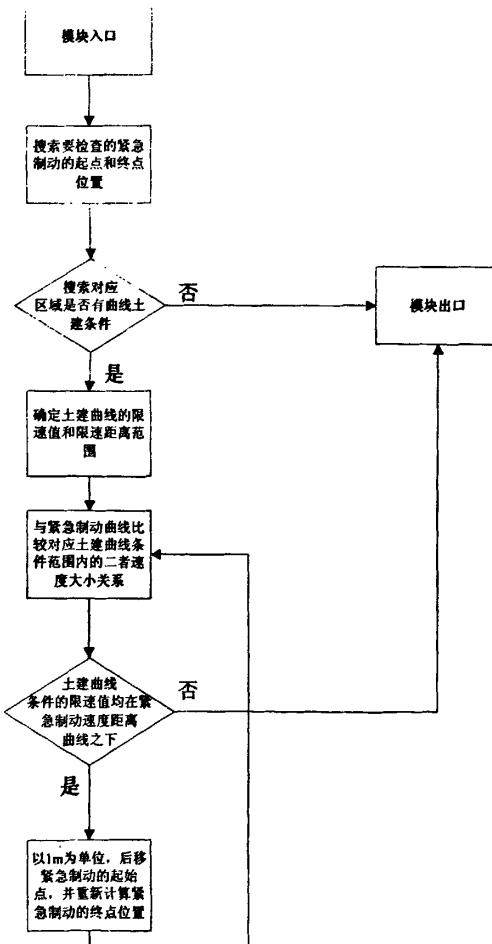


图 3.30 土建限制条件检查流程图  
Figure3.30 Civil Limited Condition Process

## 5. 无岔区域设计间隔计算模块

无岔区域设计间隔计算模块的主要功能是自动计算两个相邻固定参数设备信号机之间的无岔区域内设计间隔,其设计间隔为刚好能够完整分完区域中所有线路且没有剩余条件下得到的计算结果。此计算过程类似固定闭塞等间隔分配的原理,但是分配前需要计算设计间隔且设计间隔满足如下条件:

- A. 根据间隔布置的信号刚好完整分完所有线路,没有剩余;
- B. 最终的设计间隔值将尽可能接近线路设计的效率目标值,以达到设备尽可能最少的目的。

无岔区域设计间隔计算模块完成功能的前提条件为,具备牵引计算功能接口的时间距离曲线计算功能;

无岔区域设计间隔计算模块的流程图如下所示:

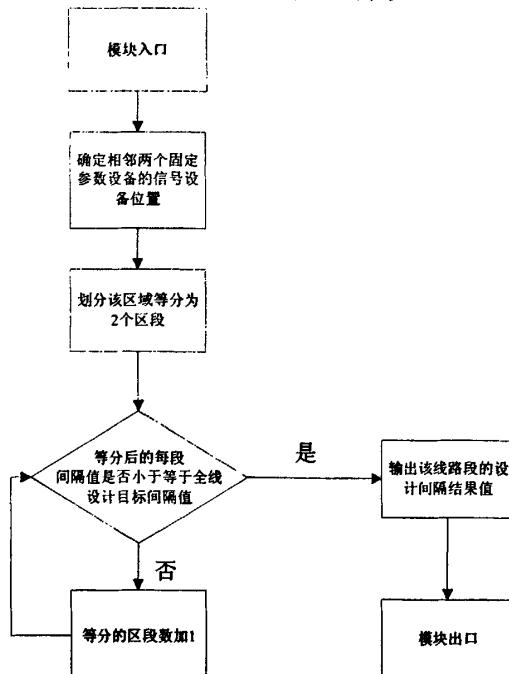


图 3.31 无岔区域设计间隔计算流程图  
Figure 3.31 Design Headway Calculation for Mainline Without Switch

### 3.5.2 线路层各模块设计与实现

#### 1. 固定参数设备间按间隔布置信号和计轴设备模块

固定参数设备间按间隔布置信号和计轴设备模块实现功能需要具备以下前提:

- 完成固定参数设备布置并记录结果;
- 具备时间距离曲线数据;

- 具备速度距离曲线;
- 具备完整的拓扑信息, 以提供可搜索遍历的数据结构;
- 各个条件检查模块能够提供所需功能;
- 设计结果数据结构能够记录布置设备的属性, 和其与拓扑结构数据的关联, 以备数据输出和仿真工具使用。

固定参数设备间按间隔布置信号和计轴设备模块输出结果:

- 满足所有检查条件的对应相邻两固定参数设备间各个信号机和计轴设备布置位置、设备种类信息。
- 提供布置结果的设计间隔参数;

固定参数设备间按间隔布置信号和计轴设备模块的具体流程见下图所示:

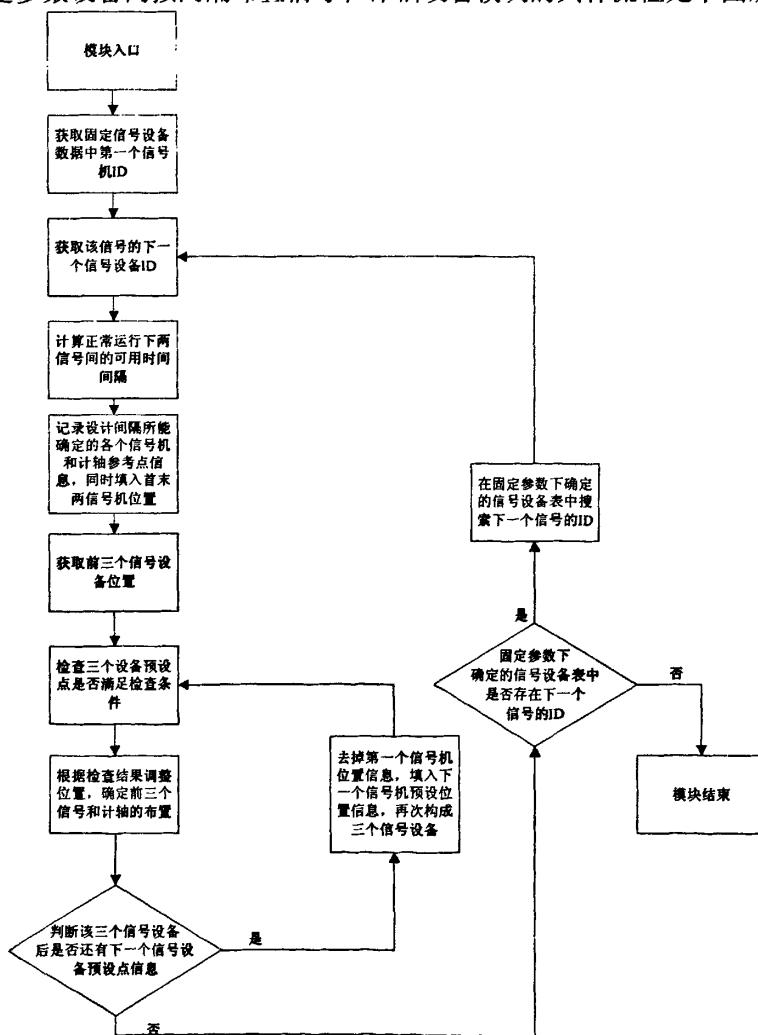


图 3.32 固定参数设备间按间隔布置设备模块流程图  
Figure3.32 Disposing Process as Headway Design between Fixed Equipments

## 2. 道岔区域信号与计轴设备布置模块

道岔区域信号与计轴设备布置模块实现功能需要具备以下前提：

- 具备完整的道岔土建数据信息数据，道岔的位置信息、道岔号信息、道岔朝向信息要具备；
- 具备完整的道岔拓扑信息数据，道岔的连接节点信息、主链接边信息、道岔的定位链接边信息和反位链接边信息要具备；
- 道岔的景冲标位置信息要具备；
- 设计结果数据结构能够记录所布置信号和计轴设备的属性，和其与拓扑结构数据的关联，以备数据输出和仿真工具使用。

道岔区域信号与计轴布置模块输出结果为道岔的岔尖侧所布置信号机和计轴设备的位置与类型。

道岔区域信号与计轴布置模块的具体流程见下图所示：

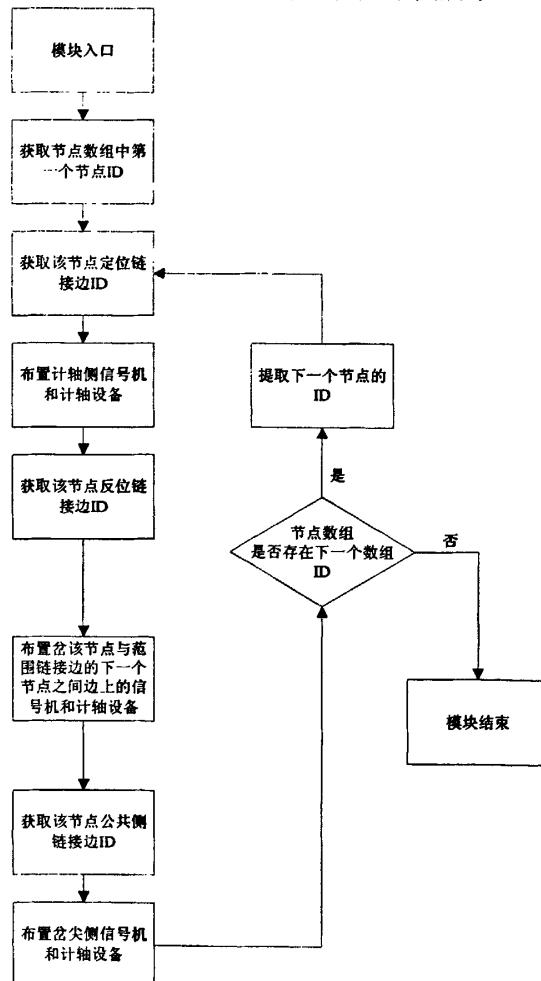


图 3.33 道岔区域信号与计轴布置流程图

Figure 3.33 Switch Area Signal and Axle Deposition Process

### 3. 出站信号与计轴布置模块

出站信号与计轴布置模块实现功能需要具备以下前提：

- 具备站台土建数据的完整信息，包括站台中心位置、站台长度信息，站台正常运行朝向等；
- 具备站台拓扑信息数据，主要包括站台所在链接边信息；
- 设计结果数据结构能够记录所布置信号和计轴设备的属性，和其与拓扑结构数据的关联，以备数据输出和仿真工具使用。

出站信号与计轴布置模块输出结果为站台出站信号机和计轴设备位置信息。

出站信号与计轴布置模块的具体流程见下图所示：

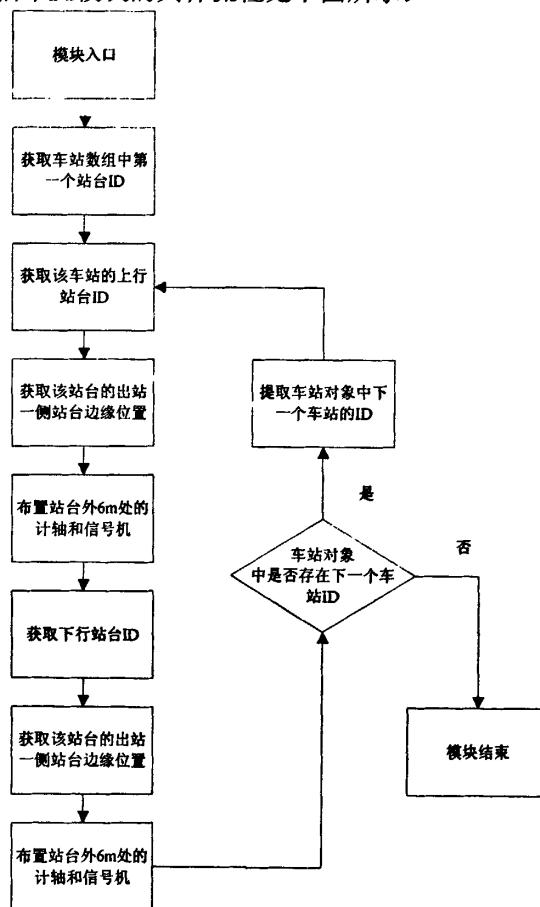


图 3.34 出站信号与计轴布置流程图  
Figure 3.34 Departure Signal and Axle Depositing Process

### 4. 折返点信号与计轴布置模块

折返点信号与计轴布置模块实现功能需要具备以下前提：

- 具备折返点信息，主要包括折返点位置信息和折返点的运行方式信息；
- 具备折返线处的拓扑信息数据，主要包括虚拟站台所在链接边信息；

- 设计结果数据结构能够记录所布置信号和计轴设备的属性，和其与拓扑结构数据的关联，以备数据输出和仿真工具使用。

折返点信号与计轴布置模块输出结果为折返点的折返停车标位置信息和折返线上的信号机与计轴信息。

折返点信号与计轴布置模块的具体流程见下图所示：

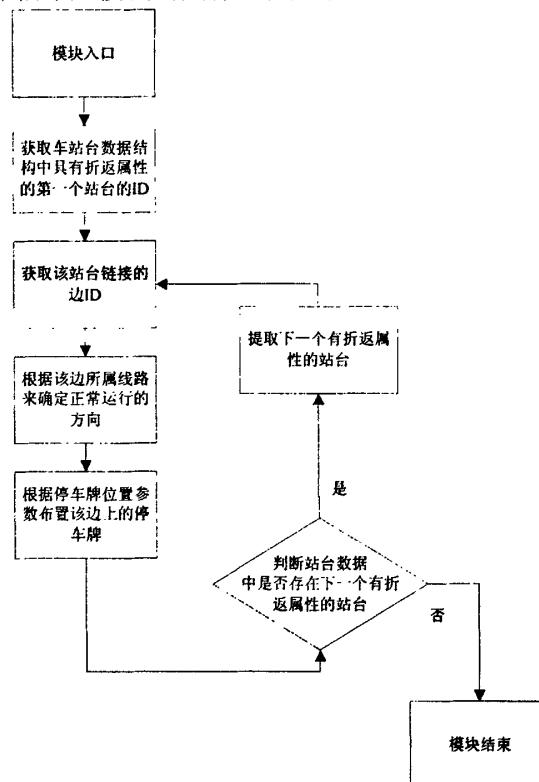


图 3.35 折返点信号与计轴布置流程图  
Figure 3.35 Turnback Signal and Axle Depositing Process

### 3.5.3 调度层模块设计与实现

#### 1. 全线路闭塞设计功能调度功能模块

全线路闭塞设计功能调度功能模块完成功能需要具备以下条件：

- 具备线路层针对全线各种线路种类下的设备布置模块功能；
- 具备条件层针对各种线路条件下的设备布置条件检查模块功能；
- 具备完整线路拓扑数据结构；
- 具备仿真计算功能接口和牵引计算功能接口功能；
- 具备完整的闭塞设计结果数据结构来保存最终布置结果数据提供给仿真计算功能、界面显示、结果输出等功能模块。

全线路闭塞设计功能调度功能模块输出结果为全线设备布置结果数据。

全线路闭塞设计功能调度功能模块的流程如下图所示：

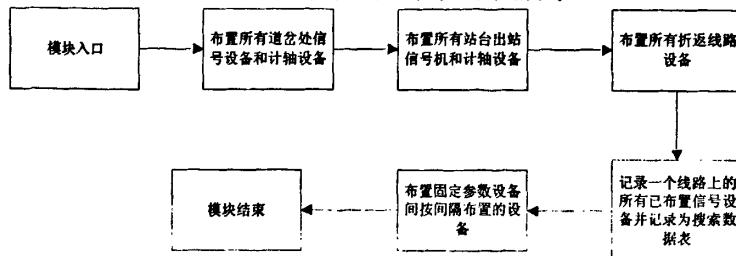


图 3.36 全线路闭塞设计功能调度流程图  
Figure3.36 Function Process Design For Whole Line

### 3.5.4 接口功能的设计与实现

城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件的外部接口主要有以下两个：

- 牵引计算接口；
- 仿真计算接口。

接口采用 CLR 下的混合编程，将外部数据通过功能函数入口参数的方式进行调用，在 VS2005 下，将闭塞设计建立为 CLR 的 C++ 工程，牵引计算和仿真计算建立为 CLR 下的 C# 工程，在公共框架下调用闭塞程序下的主函数时，以参数形式写入 C# 工程下建立并完善的数据，在 C++ 工程中通过结构函数和参数来实现数据的接口功能。编程举例如下：

```

public ref class Block_Design
{
private:
    array<Block_Result^>^ t_result;
    Caculate_trace^ t_trace;
    array<units::Node^>^ t_node;
    array<units::Edge^>^ t_edge;
    List<Train_result_inf>^ t_train_result;
    //Interface_CACULATION t_interface_caculate;
public:
    Block_Design(WIN::Caculate_trace^ t_trace, array<units::Node^>^ t_node,
        array<units::Edge^>^ t_edge, List<Train_result_inf>^ t_train_result)
    {
        this->t_trace=t_trace;
        this->t_node=t_node;
        this->t_edge=t_edge;
        this->t_train_result=t_train_result;
    }
    array<Block_Result^>^ Get_Result()
    {
        return t_result;
    }
};

```

其中：

Block\_Design(WIN::Caculate\_trace^ t\_trace, array<units::Node^>^ t\_node, array<units::Edge^>^ t\_edge, List<Train\_result\_inf>^ t\_train\_result) 为闭塞设计结构函数，其中各个参数为牵引计算和外部数据，在结构函数体内，将外部接口导入数据写入该功能函数的私有数据。这些数据将会在其他的功能模块中使用。

接口调试将针对每个接口的所有功能，逐一进行功能测试，软件将在界面显示相应测试结果，有些输出仅针对测试使用，在正式版本中不会出现类似结果。由于牵引接口和仿真接口利用了外部成型的模块，其正确性已经得到证明，在此仅对接口功能进行测试，不对二者的计算过程和计算结果做任何测试分析。

### 1. 牵引计算接口测试：

根据对牵引计算接口功能的分析和设计，牵引计算接口测试内容设计如下：

#### (1) 速度距离曲线的计算和功能接口：

速度距离曲线在牵引计算结束后，根据闭塞设计需要，通过功能接口将对应的数据传到闭塞设计中进行调用。本文通过设置断点的方法检查了接口提供数据的正确性，具体的测试解图和说明如下：

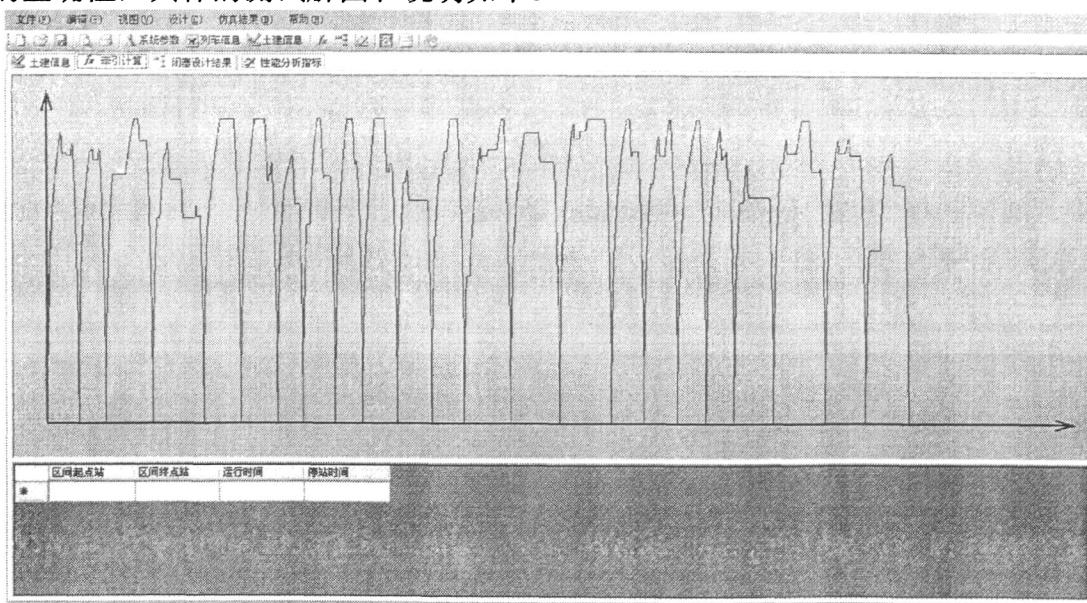


图 3.37 速度距离曲线计算测试输出截图

Figure 3.37 Speed-Distance Test Figure Calculation Output

#### (2) 时间距离曲线的计算和功能接口：

时间距离曲线在牵引计算结束后，根据闭塞设计需要，通过功能接口将对应的数据传到闭塞设计中进行调用。本文通过设置断点的方法检查了接口提供数据的正确性，具体的测试解图和说明如下：

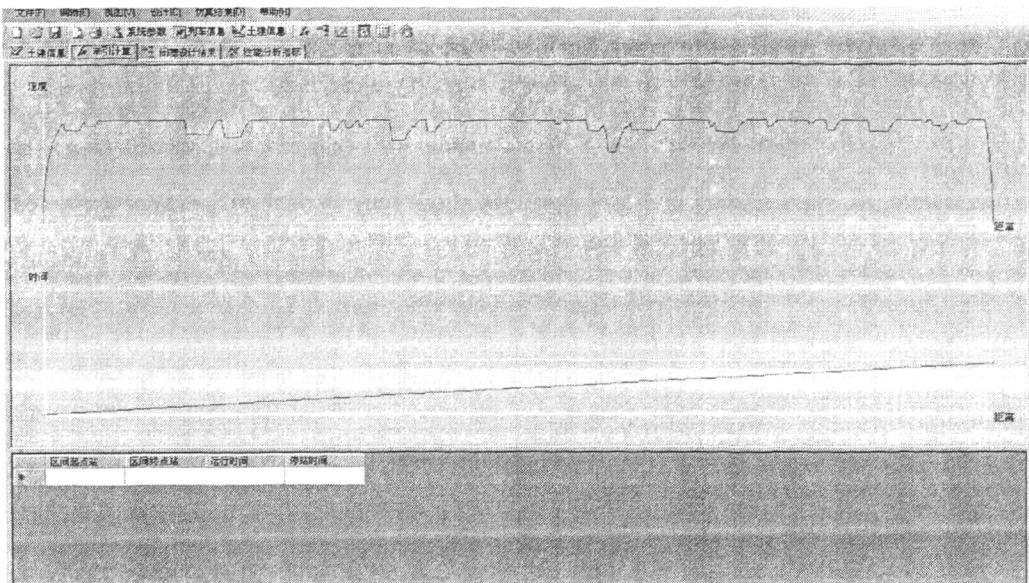


图 3.38 时间距离曲线测试输出截图

Figure 3.38 Time-Distance Test Figure Output

## 2. 仿真接口测试:

向仿真计算输出闭塞设计结果数据，仿真计算会根据输出数据自动计算出性能结果来。测试采用简单的线路数据作为测试用例，且先由人工计算得到仿真结果的范围，再与仿真计算得到的结果进行比较，如果结果一致，则认为仿真接口功能实现。

在编程中，通过设置断点的方法，利用 VS2005 编译工具也进行了数据的检查验证。经过人工确认，闭塞设计结果数据结构中的内容和仿真计算中得到的数据是完全一致的。

具体的测试解图及说明如下：

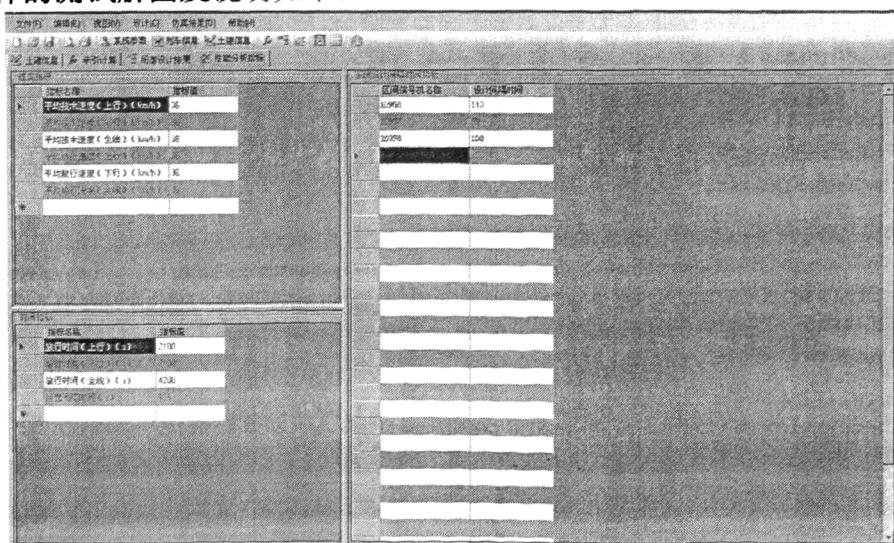


图 3.39 仿真计算测试输出截图

Figure 3.39 Simulation Calculation Test Output

### 3.6 小结

本章主要对准移动闭塞 CAD 软件进行了详细设计和软件实现，本章主要完成的工作有：

1. 分析设备布置基本规则，得到不同线路类型下的布置要求和方法；
2. 分析和归纳了影响准移动闭塞设计的线路条件和列车动力学条件；
3. 对闭塞设计的检查条件进行分析并建立数学模型；
4. 设计软件的数据结构和接口部分的数据和功能；
5. 建立了软件各个模块的实现方法；
6. 建立并测试了软件的主要外部接口。

下一章将描述软件的实际应用情况，并对软件进行测试方案的设计和实施。

## 4 应用研究

### 4.1 某线路条件数据

该线路参照北京某实际地铁建设项目简化的线路情况得到数据，线路概况如下：

正线线路全长约 28km，全线设正线车站 24 座，其中地下站 23 座，地面站 1 座，有道岔车站 10 座、无道岔车站 14 座。线路最小曲线半径正线 350m，正线最大坡度不大于 30‰，正线、折返线、停车线均采用 60kg/m 钢轨 9 号单开 AT 直线型尖轨道岔，侧向限速为 30km/h。

线路所有具体数据提取自实际工程的线路平面图和线路纵断面图纸，根据软件导入的数据组织要求，整理为输入数据表。输入数据采用 excel 表格方式组织，表格主要包括如下内容：

表 4 节点数据表

Table4 Node Data Sheet

Node ID	Location		customer chainage	Software chainage
6017	2	SK	10341.06	SKT
6018	2	SK	10341.06	SKT
6019	1	XK	10332.84	XKT

表 5 边数据表：

Table5 Edge Data Sheet

Edge ID	start node	end node
5122	6019	6029
5124	6019	6021
5125	6021	6024

表 6 站台数据表

Table6 Platform Data Sheet

platform		customer chainage		Software chainage
1	XK	204.00	XKT	1268.30
1	SK	204.00	SKT	1268.30
2	XK	1822.75	XKT	2892.23

表 7 坡道数据表

Table7 Grade Data Sheet

START	END	VALUE
0.000	308.702	-2.000
308.702	508.702	-3.000
508.702	868.594	4.002

表 8 车站数据表

Table8 Station Data Sheet

NAME	LOCATION
P1	0
P2	989.28
P3	1816.498

线路的主要设计目标参数如下：

平均旅行速度>30km/h; 正线设计间隔<165s;

## 4.2 外部接口数据

外部接口数据是指牵引计算提供的基础数据，其中主要包括速度距离曲线、时间距离曲线、正常制动速度距离曲线和紧急制动速度距离曲线。根据线路数据，由牵引计算提供的速度距离曲线数据，在软件界面上输出速度距离曲线如下图所示：

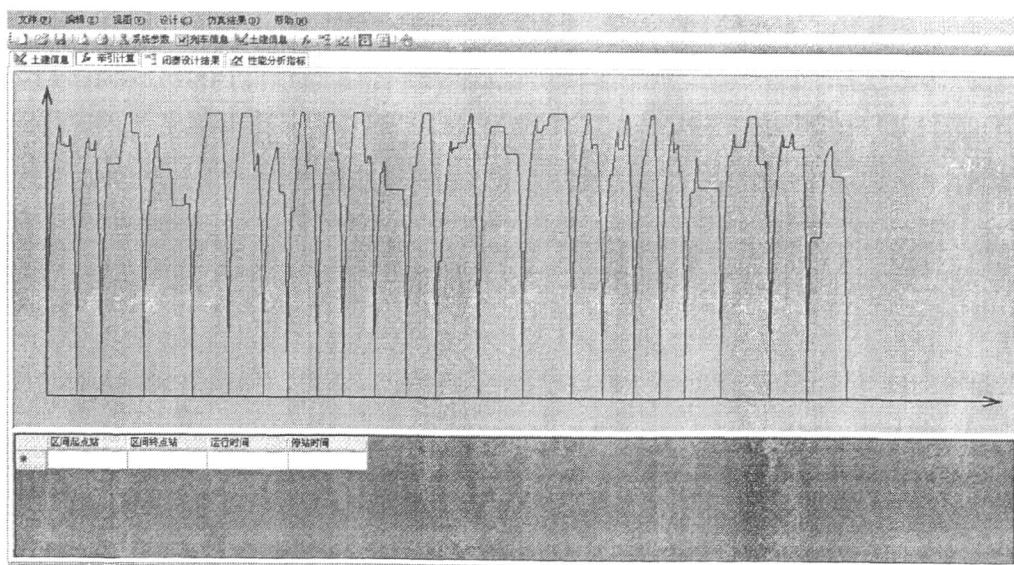


图 4.4 外部接口测试输出截图

Figure4.4 Outside Interface Test Output Figure

注：横轴为距离参数 (km)，纵轴为速度值 (m/s)

### 4.3 结果分析

实际线路数据输入软件后, 准移动闭塞 CAD 软件自动闭塞设计布置信号结果信息如下图所示:

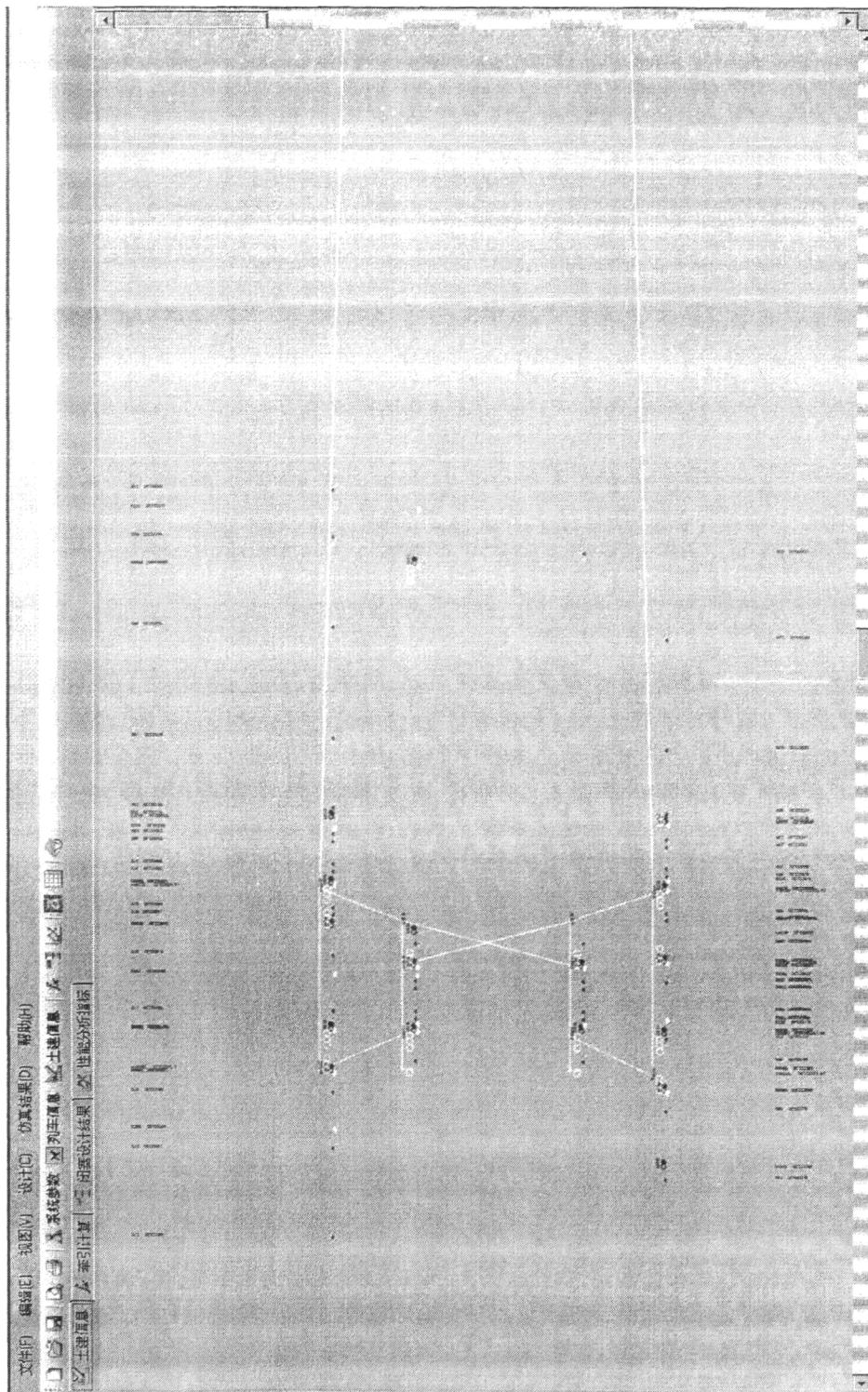


图 4.5 闭塞设计结果输出截图

Figure4.5 Block Design Result Output

闭塞设计结果仿真计算结果数据记录如下：

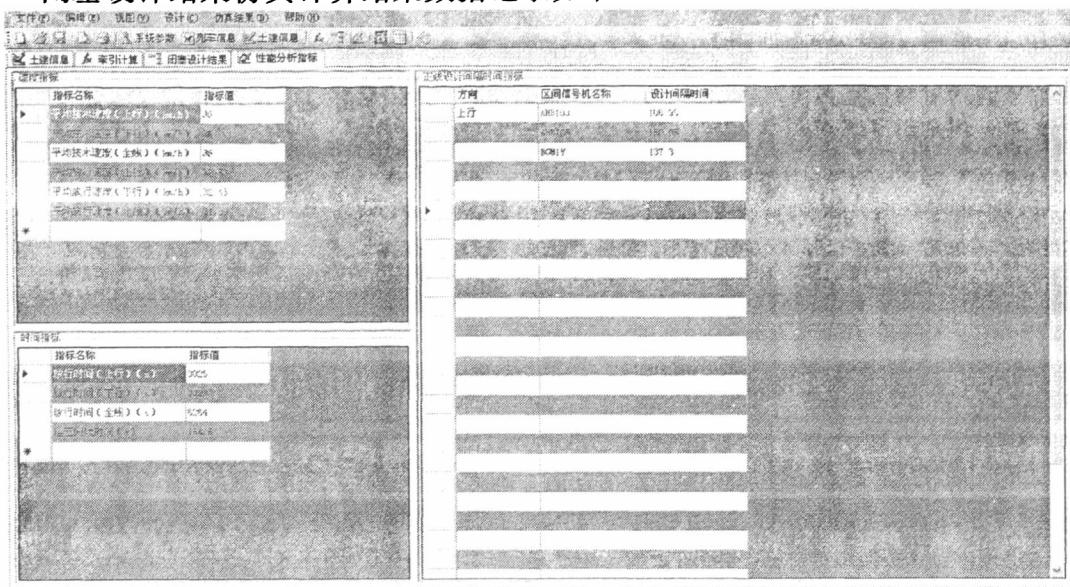


图 4.6 仿真计算结果输出截图

Figure 4.6 Simulation Calculation Result Output Figure

上行旅行时间 3025s；下行旅行时间 3029s；

全线旅行时间：6264s；

上行平均旅行速度：32.53km/h；下行平均旅行速度：32.43km/h；

全线平均旅行速度：31.39km/h

正线间隔：上行 164.6s；下行 164.6s

区间正线各个信号机间隔仿真结果部分数据：

表 9 区间正线各个信号机间隔仿真部分结果数据表

Table 9 The Result of Each Signal In Mainline

车站	信号名	轨道	公里标	最小列车间隔
S24	AH103	1	28773.05	108.95
	AH105	1	28197.41	150.95
S23	BG1V	1	27621.77	137.3
	BG101	1	27395.77	153.05
S22	XI1V	1	26684	163.55
	XI101	1	26148.85	105.8
	XI103	1	25507.92	140.45
S21	YM1V	1	24866.99	147.8
	YM101	1	24465.99	104.75
S20	BM101	1	24014.3	141.5

经过与之前输入的设计目标相关参数比较，线路自动设计达到了设计要求，软件得到的信号布置结果可以满足实际应用的需求。

#### 4.4 小结

本章对城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件测试和实际应用案例进行了介绍，通过对模块和接口的功能测试，验证了该软件能够按着设计需求完成指定功能，输出满足设计目标参数的结果。

## 5 结论

本文主要完成了对城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件的设计与实现。通过对准移动闭塞 CAD 软件的技术现状, 提出了城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件的设计重点, 即信号设备自动布置功能的完整实现。本文通过分析准移动闭塞布置规则, 对准移动闭塞 CAD 软件进行了需求分析和总体设计, 并且在检查条件建模的基础上完成了城市轨道交通准移动闭塞 CAD 软件的详细设计和实现工作。

通过对软件结果的测试和验证, 可知该软件实现了信号设备系统布置的功能, 并且能够按着设计目标进行自动设计和布置, 并能够利用仿真计算对结果进行验证, 经过实际线路数据的应用证明, 该软件能够满足设计需求。

实际应用中也发现了该软件的不足之处:

- (1) 数据输入方式尚需完善, 设计的输入数据中有些数据的处理依然依靠人工的方式进行计算和整理, 而这一部分是有条件利用软件自动计算得到的;
- (2) 设计目标相对单一, 仅仅在满足安全条件的基础上, 尽可能在信号数量最少的情况下满足设计效率。此处对于效率和经济两个因素没有进行独立的分析和研究, 软件的设计目标应该可以根据设计者需要有所调整, 相应的设计方法和规则也应有对应的算法;
- (3) 设计结果的输出界面仍需要完善, 输出结果应尽可能与工程设计中的线路布置图一致, 目前的软件中尚不能达到线路布置图的输出质量。
- (4) 视距条件功能目前暂时未能实现, 利用数学关系解决这个自动检查问题还需要完善数据结构, 并优化算法。

未来的可研究与改进的内容有:

- (1) 考虑作为移动闭塞的后备模式, 对准移动闭塞设计的规则与条件的改进和完善进行研究;
- (2) 考虑铁路运输中客货混跑等情况下, 准移动闭塞设计的规则、条件变化与自动布置的实现。
- (3) 准移动闭塞的优化设计研究。研究准移动闭塞布置中的设备布置最优方法和验证方法。

## 参考文献

- [1]傅世善.闭塞与列控概论.2006年3月第1版.北京.中国铁道出版社
- [2]Goddard E. Overview of signaling and train control systems. Electric Traction Systems. 2006. The 9th Institution of Engineering and Technology Professional Development Course on
- [3]刘剑.城市轨道交通移动闭塞系统后备模式的研究[学位论文].铁道科学研究院.2005年5月
- [4]徐洪泽、岳强.车站信号计算机联锁控制系统.2005年6月第1版.北京.中国铁道出版社
- [5]毛保华.列车运行计算与设计.2008年1月第1版.北京.人民交通出版社
- [6]张勇.新型列控系统移动自动闭塞条件下线路通过能力的理论分析及计算机仿真[学位论文].北京交通大学.1998年6月
- [7]汪希时.智能铁路运输系统 ITS-R.2004年10月第1版.北京.中国铁道出版社
- [8]孙中央.列车牵引计算使用教程.2005年2月第2版.北京.中国铁道出版社
- [9]Richhard Grimes.Visual C++.NET 托管扩展编程.2003年6月第1版.北京.清华大学出版社
- [10]曾小清等.基于通信的轨道交通运行控制.2007年5月第1版.上海.同济大学出版社
- [11]高继祥.铁路信号运营基础.1998年2月第1版.北京.中国铁道出版社
- [12]Takeuchi H Goodman C.J Sone S. Moving Block Signaling Dynamics: Performance Measures and Re-starting Queued Electric Trains. Electric Power Applications, IEE Proceedings. July 2003
- [13]KANAYAMA M. Development of Train Control Simulator. IEE conference publication . International conference on developments in mass transit systems. London. ROYAUME-UNI (20/04/1998)
- [14]韩恩索等.移频自动闭塞计算机辅助设计软件的开发.铁道通信信号.2004年7月.第40卷第7期
- [15]谢宏诚等.城市轨道车辆牵引仿真计算.电力机车与城轨车辆.2005年9月.第28卷第5期
- [16]Rail Transit Vehicle Interface Standards Committee of the IEEE Vehicular Technology Society. IEEE Std 1474.1-1999. Approved 16 September 1999
- [17]覃征.软件工程与管理.2005年6月第1版.北京.清华大学出版社
- [18]刘海东、毛保华等.不同闭塞方式下城轨列车追踪运行过程及其仿真系统的研究.铁道学报.2005年4月.第27卷第2期
- [19]罗丽云、吴汶麒.城市轨道交通移动闭塞列车安全间隔时间分析.中国铁道科学.2005年1月.第26卷第1期
- [20]路飞.移动闭塞条件下地铁列车的运行优化[学位论文].山东大学.2007年4月
- [21]R John Hill and Louisa J Bond. Modeling Moving-block Railway Signaling Systems Using Discrete-event Simulator. Railroad Conference.1995.4.4
- [22]路飞等.地铁列车的追踪间隔控制模型与仿真.信息与控制.2006年10月.第35卷第5期
- [23]Nazir A. Zafar. Formal Model for Moving Block Railway Interlocking System Based on

Un-Directed Topology. IEEE-ICET 2006 2nd International Conference on Emerging Technologies  
Peshawar, Pakistan, 13-14 November 2006

[24]施卫忠等.城市轨道交通闭塞设计优化系统.铁道通信信号.2004年4月.第40卷第4期

## 作者简历

### 教育经历:

2002.9~2006.7 北京交通大学电子信息工程学院自动化专业 获得学士学位  
2006.9 至今 北京交通大学电子信息工程学院交通信息工程及控制专业 攻读硕士学位

### 工作经历:

2007.7 至今 上海贝尔阿尔卡特股份有限公司交通事业部 实习研发工程师  
2007.11~2008.4 北京交通大学培训中心地铁大专自考部 计算机联锁技术任课教师