



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

2021 年本科生课程
《车站与区间信号控制》期末大作业
普速铁路计算机联锁软件设计报告

小组成员：1853609 陈康捷

1852432 李星颖

1850582 李梓豪

1851560 王泽楷

1852835 夏昊莹

1852184 谢远翔

1854084 徐晨龙

1851876 姚永锐

1853099 张毅

1852127 赵冠华

（按姓名首字母排序）

二〇二一年七月

目录

1. 设计基础.....	4
1.1 联锁与联锁表	4
1.2 联锁设备及硬件实现	6
1.3 联锁软件框架	7
1.4 “故障导向安全”的设计原则	9
1.4.1 安全相关的通用性条款概述.....	10
1.4.2 设备结构的安全要求:	10
2. 面向对象和场景描述.....	10
2.1 设计对象	11
2.1.1 其它计算机联锁系统.....	11
2.1.2 普速铁路联锁系统.....	11
2.2 场景描述	12
2.2.1 站场图.....	12
2.2.2 联锁表.....	13
3. 计算机联锁系统软件的需求分析与设计.....	14
3.1 系统的基本需求	14
3.2 输入输出软件的需求分析和功能分析	15
3.3 联锁逻辑软件的需求分析和功能分析	16
3.3.1 联锁逻辑软件的联锁数据.....	16
3.3.2 联锁逻辑软件的功能分析.....	18
3.4 操作表示软件的需求分析和功能分析	28
3.4.1 信号机.....	28
3.4.2 区段.....	29
3.4.3 道岔.....	29
3.4.4 部分按钮功能.....	30
3.5 系统结构和设计	31
4. 实现方法.....	32
4.1 进路逻辑关系	32

4.1.1	接车进路.....	32
4.1.2	发车进路.....	33
4.1.3	引导进路.....	34
4.1.4	通过进路.....	37
4.1.5	调车进路.....	38
4.2	按钮设计	40
4.2.1	轨道相关.....	40
4.2.2	信号机.....	41
4.2.3	初始化.....	41
4.2.4	道岔.....	43
4.2.5	其他.....	43
5.	总结.....	44
5.1	软件现存的不足及后续改进	44
5.2	联锁技术的发展	44

1. 设计基础

1.1 联锁与联锁表

联锁是指，为了保证行车安全,防止发生列车或调车车列迎面相撞、追尾、侧面冲撞、脱轨等危险,在进路、信号机、道岔、轨道电路区段之间建立的一种互相制约的关系。进路、信号机、道岔、轨道电路这四个对象相互之间产生了八对联锁关系。

进路与进路之间联锁；

进路与信号机之间联锁；

进路与道岔之间联锁；

进路与轨道区段之间联锁；

信号机与信号机之间联锁；

信号机与道岔之间联锁；

信号机与轨道区段之间联锁；

道岔与轨道区段之间联锁。

对于进路与进路之间的联锁，任意两条进路如果有重叠部分，即两条进路都包括同一个或几个区段或道岔，那么这两条进路就称为敌对进路。互为敌对进路的两条进路，如果一条进路已经建立，则另一条进路就不能再建立。防护敌对进路的信号机成为敌对信号机。

对于进路与信号机之间联锁，只有进路空闲并且锁闭后，防护此进路的信号机才能开放。信号开放后，如果进路锁闭或空闲条件不满足时，信号机必须立即关闭。如果要解除进路，则必须先关闭其信号机。防护进路的信号机因进路故障关闭后，不能自动重复开放。如果某进路的敌对信号开放，则该进路不能建立，该联锁关系还可以用该进路与其敌对进路之间的联锁关系来描述。

对于进路与道岔之间联锁，只有当进路范围内的全部道岔位置正确，没有被其他进路征用或锁闭，则道岔锁闭后，进路才能建立。进路建立后，进路范围内的道岔被锁闭在规定位置，不能扳动。当进路解除后，才能扳动。有时，进路与该进路范围意外的道岔也存在联锁关系，比如防护道岔和带动道岔。

对于进路与轨道区段之间联锁，进路是由多个轨道区段互相连接而构成的一条路径。只有当该进路所包含的全部轨道区段空闲、侵限绝缘相邻区间空闲且没

有被其他进路征用或锁闭时，进路才能建立。当调车进路的最后一个区段是股道或足够长的无岔路段，即使不空闲，该调车进路也能建立。

对于信号机与信号机之间联锁，其联锁关系与其所防护的进路与进路间的联锁关系等同。如果两条进路敌对，则两个防护信号机就构成了敌对信号机。防护某进路的信号机开放时，其敌对信号机就不能再开放；如果敌对信号机已经开放，则该信号机不能再开放。

对于信号机与道岔之间联锁，是指信号机与其所防护进路的相关道岔（包括进路中的道岔和进路外的防护道岔）之间的联锁关系。如果与进路相关的道岔没有被锁在规定位置，则防护该进路的信号机不能开放。

对于信号机与轨道区段之间联锁，如果进路中的轨道区段被占用，或者已经被其他进路征用或锁闭，则防护该进路的信号机不能开放。

对于道岔与轨道区段之间联锁，如果道岔所在轨道区段被占用或出于锁闭状态，则道岔不能被扳动。如果道岔不再进路规定的位置，则该轨道区段不能锁闭。轨道区段进路锁闭时，区段中的道岔不能解除进路锁闭状态；轨道区段解除进路锁闭后，区段中的道岔随之解除进路锁闭状态。

联锁表是描述铁路车站信号设备联锁关系的图标，表内逐条罗列了车站所有可能的的基本进路和部分变更进路，并表示出了进路、道岔、信号机和轨道区段之间的基本联锁内容，是车站联锁系统设计和联锁试验的主要依据，具有十分重要的作用。

车站信号平面图确定后，各设备间的基本联锁关系就确定了，作为车站设备联锁关系的静态表示，联锁表也就随之确定。联锁表所包括的主要内容和相应编制规则如下。

①进路方向

说明进路的性质和运行方向。进路的性质包括通过进路、接车进路、发车进路、转场进路、调车进路和延续进路等。运行方向根据信号平面图的上下行方向而定。

②进路序号

将全站的列车进路和调车进路顺序编号，每条进路都给出一个序号。通过进路由通过方向的接车和发车进路组成，将包含的接车进路和发车进路号码以分数

形式填写在进路序号栏内，不另编号。

③进路

进路栏内填写对该条进路始终端的基本描述。当列车进路的同一个始端和同一个终端间存在两条或两条以上的进路时，除了列车基本进路外，还要列出一条主要变更进路作为第二种进路方式。在进路方式栏中用“1”表示基本进路，“2”表示变更进路。调车进路只填写基本进路。

④排列进路

顺序填写排列进路时应按下的按钮名称以及排列变更进路时按下的变更按钮名称。

⑤确定运行方向的道岔

区别基本进路和变更进路的对向道岔为关键道岔，当有两条以上的进路时，把开通基本进路的对向道岔应列入表中。仅有一条进路时可以不填写。

⑥信号机及显示

填写排列进路时应开放的信号机名称及其显示灯光。

⑦道岔

顺序填写与所排列进路相关的全部道岔的编号和位置，包括进路范围内的道岔、进路的防护道岔和带动道岔。

⑧敌对信号

站内联锁系统中，敌对进路要相互照查，不得同时开通，防护敌对进路的信号机不得同时开放。为此，要把有敌对关系的信号机名称填写在敌对信号栏内。

⑨轨道区段

逐一填写排列进路时要检查空闲的轨道区段的名称，与进路有关的侵限轨道区段，也要填入其中。

⑩其他联锁

包括 BS、F₁、F₂、T、Y 等。

1.2 联锁设备及硬件实现

计算机的联锁系统硬件，从功能上可以划分为操作表示设备、联锁运算设备、室内外接口电路和室外设备及部分。其中，联锁运算设备是计算机联锁系统的核心。

操作表示层的硬件设备主要有操作表示计算机、操作命令输入设备、表示信息输出设备组成。其中，操作表示计算机是操作表示层的核心设备，负责接受输入设备的操作命令，将操作命令通过数据通信设备发送到联锁运算层，同时接受来自联锁层数据信息，实现数据的实时更新。

联锁运算层硬件设备则包括联锁主机、输入板、输出板、通信板等部分。其中的联锁主机也称为联锁机，是联锁逻辑运算的核心机构。联锁软件就运行于联锁机内。

室内外接口电路包括一些信号点灯控制电路、道岔启动与表示电路、轨道电路等现场设备测控电路。在当前应用的计算机联锁系统中，这些电路都继承自6502 电气集中联锁系统，由安全型继电器组成，我们称这部分电路为联锁系统的继电输入输出接口，简称继电接口。联锁计算机通过对继电接口电路中相应继电器接点状态的采集和相应继电器线圈的驱动来实现对现场设备的检测和控制功能的如图 1-1 所示。

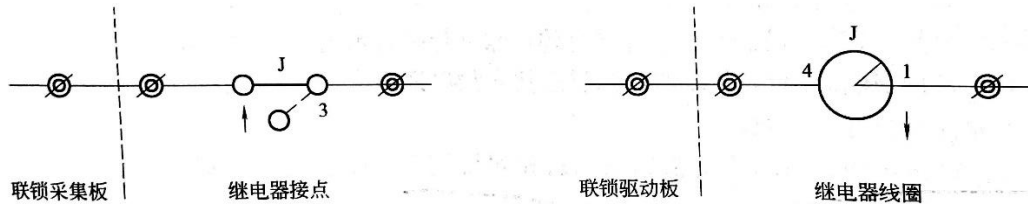


图 1-1 采集、驱动电路

室外设备则主要指三大基础设备——信号机、道岔和轨道电路。

联锁数据是指在联锁软件中，所有参与连锁逻辑运算的数据，其作用是描述进路、道岔、信号机、区段等设备属性及其相互关系。分为静态数据和动态数据。

静态数据是指在联锁运算过程中不能被改变的数据。静态数据在程序中的组织形式称为静态数据结构，这种组织形式对连锁程序的结构、执行效率等都有很大的影响。静态数据包括描述设备属性的静态数据、联锁表型静态数据和个别辅助静态数据。

动态数据主要包括信号设备状态数据，操作输入数据，驱动控制数据和连锁程序调度控制数据等。动态数据参与联锁逻辑运算和联锁模块调度，是一类重要的联锁数据。

1.3 联锁软件框架

计算机联锁系统就是以计算机为主要技术实现车站联锁控制的系统，该系统

应保证行车安全，提高运输效率，改善劳动条件，并为管理、服务现代化创造条件；应能满足各种站场规模与运输作业的需要。因此，系统软件的纂本结构应设计成实时操作系统或实时调度程序支持下的多任务的实时系统。综合分析国内外研制的计算机联锁系统，其软件的基本结构可归结如下：

- 按照系统层次结构分类按照软件的层次结构，可分为三个层次，即人机会话层、联锁运算层与执行层，其结构如下图所示。

人机对话层完成人机界面信息处理；联锁运算层完成联锁运算，执行层完成控制命令的输出与表示信息的输入。

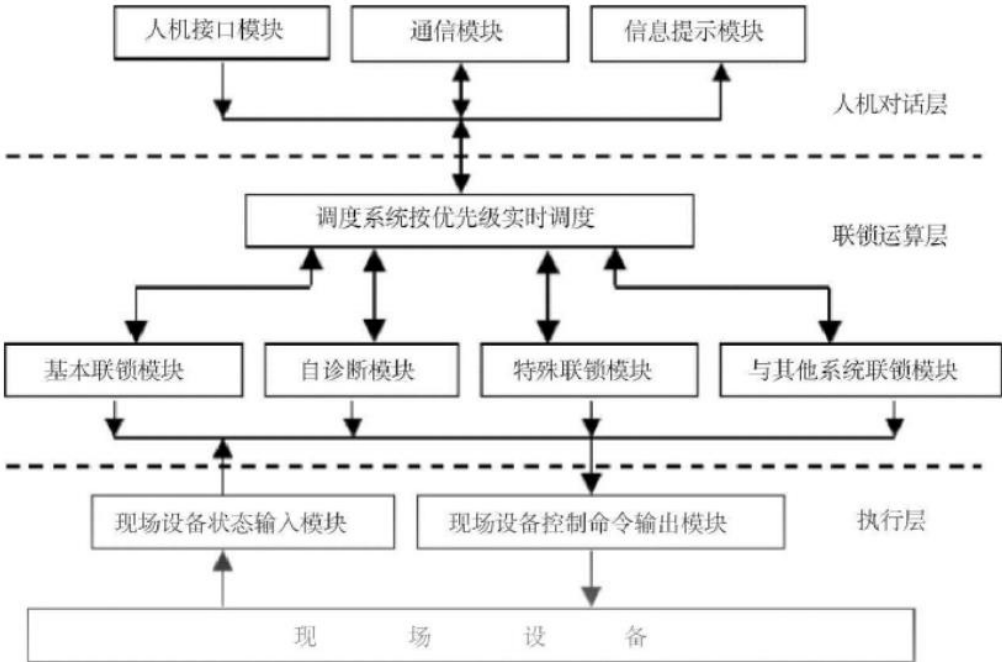


图 1-2 计算机联锁系统软件结构

- 按照冗余结构划分按照冗余结构，可分为三取二系统的单软件结构与双机热备制式的双版本软件结构。其中双版本软件结构，如下图所示。

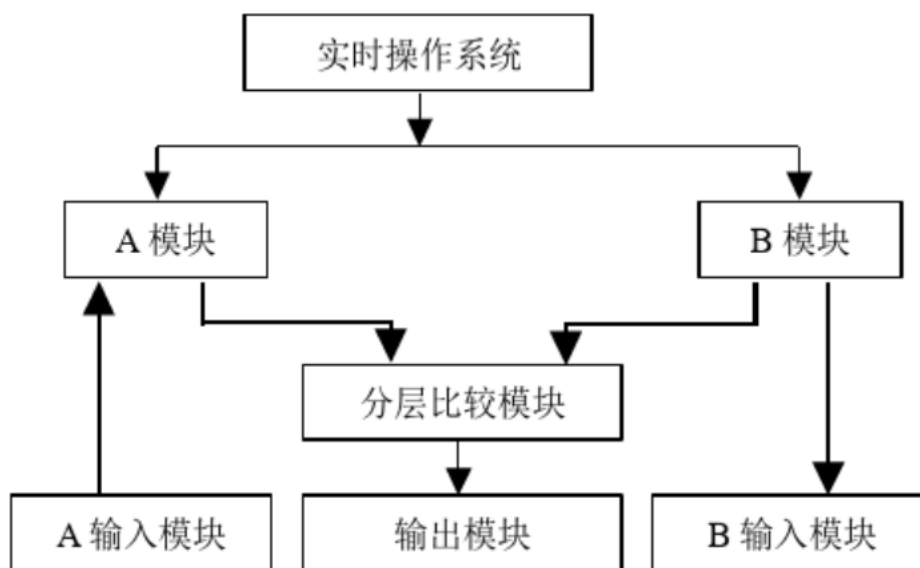


图 1-3 双版本软件结构示意图

- 按照联锁数据的组织形式划分，可分为小站规模的联锁图表式软件结构与中站以上规模的进路控制式的软件结构。其中进路控制式的软件结构（即模块化结构）如下图所示。在图中，各个模块之间相对独立，只有数据交换，没有程序上的联系，使得系统结构清晰，设计、编程均可实现标准化。

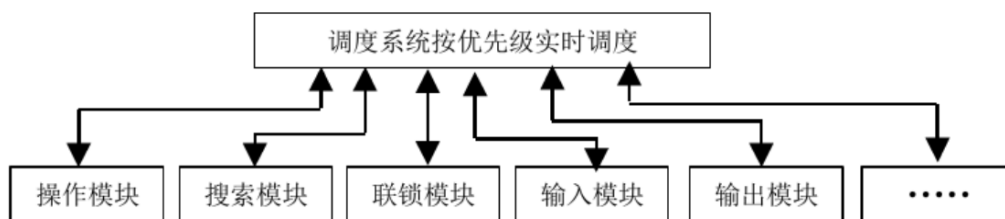


图 1-4 进路控制软件结构

1.4 “故障导向安全”的设计原则

铁路行车要求铁路信号设备在发生故障、错误、失效的情况下，应具有导致减轻以至避免损失的功能，以确保行车安全，这一要求被称为铁路信号故障—安全原则。

实现故障—安全原则的具体措施主要有：①防止人的错误操纵而出现的各种联锁及闭塞技术等；②故障后使功能软化或降级使用技术，如自动闭塞中绿灯烧坏改亮黄灯的技术；③应急顶替技术，如电源故障时利用蓄电池供电的技术；④检测、报警和预防性养护的技术；⑤冗余技术，如多重设备；⑥器件的降额使用

技术，如信号灯泡的降压使用等。电子设备的故障—安全要考虑使用故障-安全逻辑。

1.4.1 安全相关的通用性条款概述

- 可靠性、可用性、可维护性和安全性（RAMS）

我国高铁信号系统的设计、研制及生产均执行现行国家标准 GB/T 21562—2008《轨道交通 可靠性、可用性、可维护性和安全性规范及示例》的相关规定。

- 安全完整性等级（Safety Integrity Level）

我国铁路行业标准 TB/T 3027—2002《计算机联锁技术条件》总则中明确我国铁路计算机联锁软件的安全完整性等级的划分等同于 EN 50128 和 EN 50129 的规定；TB/T 10007—2006《铁路信号设计规范》中规定，联锁系统硬件结构安全等级应符合现行国家标准 GB/T 21562—2008《轨道交通可靠性、可用性、可维护性和安全性规范及示例》中规定的安全完整度等级 SIL4 级的要求。

- 故障-安全原则

TB/T 10007—2006《铁路信号设计规范》中规定，涉及行车安全的铁路信号系统及电路设计，必须满足故障导向安全的要求。我国铁路信号系统针对故障-安全原则专门制定了行业标准 TB/T 2615—1994《铁路信号故障-安全原则》。系统电路的设计主要应考虑出现下列故障时导向安全：室内线路断线，室外线路混线、断线、短路、接地；轨道电路瞬间分路不良、强电线路（高压输电线路、电力牵引接触网）对信号设备的电磁影响及迷流、雷电感应过电压的影响等。

- 硬件结构

车站联锁设备应采用硬件安全冗余结构。硬件和软件结构实现模块化和标准化。车站联锁设备的安全性完整度等级满足 SIL4 级，有关电源、电磁环境、人机接口（考虑操作失误）、外部接口等环境条件和使用条件的设计与安全性完整度等级相适应。

1.4.2 设备结构的安全要求：

我国计算机联锁设备采用硬件安全冗余结构，在制定的系统标准中规定达到国家标准 GB/T 21562—2008 中规定的安全等级 SIL4 级；计算机联锁平均故障间隔时间（MTBF）不低于 10^6 h；平均危险侧输出间隔时间大于或等于 10^{11} h。

2. 面向对象和场景描述

2.1 设计对象

本次设计目标为普速铁路计算机联锁系统。

2.1.1 其它计算机联锁系统

常见的轨道交通计算机联锁系统包括普速铁路联锁系统、地铁联锁控制系统与客专联锁系统。在本节中，我将分析后两个类型联锁系统的特点。

客专是以客运为主的快速铁路。客运专线是高速、高密度的行车区段，车站调车作业少，列车按计划运行，以集中控制为主，并且以保证行车绝对安全为前提，以最大限度地提高列车正点为重点。客专联锁系统的特点包括：

① 采用区域计算机集中联锁方案，主要作业集中在中心站办理，车站不需人工办理行车作业，采用程序进路控制装置避免了人工控制的误操作，提高系统安全性和可靠性；

② 运用区间空闲/占用检查设备，采用一个联锁逻辑部件监控整个区域轨道电路条件，实现自动站间闭塞，车站值班员无需预先办理闭塞手续，就可以办理发车进路，提高区段和站间自动闭塞防护功能，以及区间通过能力。

城市轨道交通列车运行密度大、控制精度高、安全要求苛刻，对于线路控制的灵活性大。同时，地铁正线中的联锁特殊技术要求多。因此，地铁计算机联锁系统的特点包括以下几个方面：

① 由于运行线路短、车站信号设备少、各个车站需要控制的点数有限，联锁系统将几个车站作为一个联锁控制区，仅设置一套联锁设备来实现整个联锁区域内的联锁控制功能，实现区域一体化控制；

② 具有特殊的进路办理需求，包括自动进路与自动折返进路；

③ 具有特殊的命令，包括跳停功能（与国铁中的通过进路相似）、扣车功能（扣住列车使其不能出站，此命令可由 ATS 遥控发出，为遥控模式；也可以由车站本地联锁系统的操表机发出，为站控模式）与强扳道岔功能（当区段故障、扣车操作、紧急关闭之后，只要确认道岔区段确实无列车占用、区段已经解除锁闭、道岔位置表示正常，则可以通过特殊的破铅封操作来扳动道岔，此时不再检查单操道岔要检查的其他联锁条件）。

2.1.2 普速铁路联锁系统

普速铁路联锁系统是本次的设计目标。由于国铁车站间距大、车站设备较多

且联锁关系比较复杂，一般一个车站设一套联锁系统。联锁系统的功能主要包括轨道电路信息处理、进路控制、道岔控制、信号显示等，同时联锁和其他系统接口交换信息。以下就从这几方面对国铁联锁系统技术进行介绍。

轨道电路信息处理指接受并处理轨道区段的“占用、空闲”状态等信息，并将该状态信息转发给其他相关设备。国铁中轨道电路只传递占用、空闲信息，为进路锁闭和构成闭塞提供依据。与此相比，地铁联锁系统同时传递列车安全防护等报文信息。

进路控制包括进路建立、进路锁闭、进路解锁和进路防护。对于进路建立，国铁联锁只建立普通列车进路。它没有自动进路与自动折返功能，列车驶入进路，信号关闭，列车出清进路，进路解锁。对于进路锁闭，国铁在建立联锁进路时需要检查轨道区段空闲、道岔位置、敌对条件等因素，才可以锁闭进路开放信号。这一点与地铁“通过 ATC 系统进行间隔防护，不用检查进路空闲，只要保证道岔位置正确，敌对条件满足即可锁闭进路开放信号”不同。从进路解锁上讲，国铁运用三点检查法进行解锁，在接近锁闭情况下，根据列车最高速度及线路信息来决定延时解锁时间。为了防止列车因制动不当而冲出接车线的意外情况，设置延续进路防护，国铁的延续防护进路需要人工办理，地铁的 OVERLAP 进路防护解锁则是根据进路的办理而自动锁闭相关保护区段。

道岔控制包括道岔的解锁、转换与锁闭，计算机联锁系统中道岔控制原理基本相同，道岔控制均可以实现单独操纵和进路操纵控制，区别仅在于道岔设备类型的合理选用上。

普速与客专联锁系统中信号机一般设置于列车运行方向线路左侧，地铁中信号机一般设置于列车运行方向右侧。同时，国铁中列车的运行速度取决于信号显示，地铁中列车的运行速度靠 ATP/ATO 系统来控制，CBTC 系统中由于列车根据移动授权进行运行，处于移动闭塞模式，通过 ATO/ATP/ATS 系统的综合控制来实现列车的安全防护和自动运行，此时轨旁信号处于灭灯状态。

国铁联锁系统与监测、CTC、列控等系统之间交换信息。地铁系统中联锁与 ATS、ATC 等系统之间交换信息。

2.2 场景描述

2.2.1 站场图

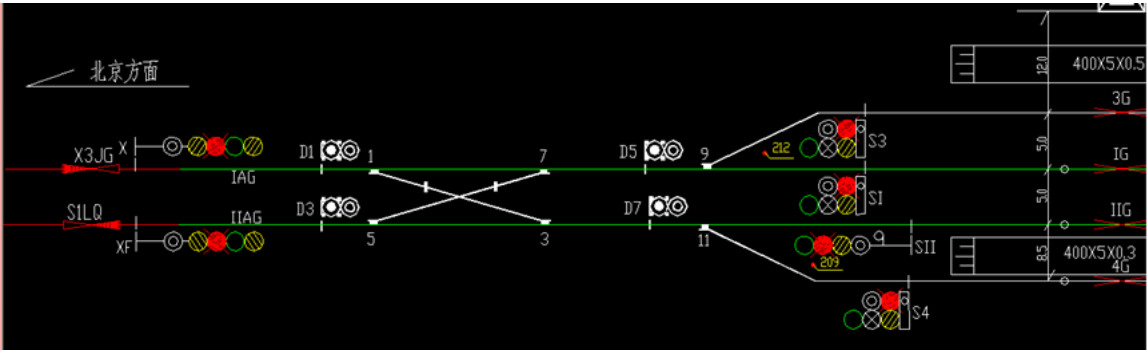


图 2-1 本次软件设计的基础站场图

如图所示为复线铁路中间站的部分站场图。

站场设有 4 个股道，I G、II G 为车站正线，3G、4G 为到发线。在与两回
合轨道中心各相距 2m 的地方设置了编号分别为 212 与 209 的两个警冲标。

图中共有 6 个道岔，其中 1 号和 3 号道岔、5 号和 7 号道岔为双动道岔，9
号与 11 号道岔为单动道岔。由于道岔 1、3、5、7 处能够构成平行进路，因此分
别在道岔 1、3 之间的渡线上与道岔 5、7 之间的渡线上设置绝缘节。

X 为下行进站信号机，XF 为设置在双线自动闭塞区间反向进站口的进站信
号机。D1、D3、D5、D7 为下行咽喉区的调车信号机，是从车站两端进站方向向
股道顺序编号而得到的。其中，D5、D7 是设置在咽喉区折返道岔岔尖前面的调
车折返信号机，用于指挥调车折返作业。同时，S I、S II、S3、S4 是设置在股
道头部调车起始信号机。

以防护信号机为始端，也多以同方向的阻拦信号机为其终端，在进路的终端
无信号机时，以车挡、站界标或警冲标（不设出站信号机的车站）为其终端，该
站场分别形成了 8 条接车进路、8 条发车进路与 8 条调车进路。

接车口处因为设置了调车信号机而形成线路区段，其分别衔接 I、II 股道，
并且处于下行咽喉区，因此命名为 I AG、II AG。

2.2.2 联锁表

观察站场图，讨论基本联锁关系，并基于进路建立实现车站信号联锁控制的
数学模型——联锁表。表内逐条罗列了车站内所有可能的进路，并表示出了进路、
道岔、信号机与轨道区段之间的基本联锁内容，具体如下表所示。

表 2-1 依据站场图生成的联锁表

方向			进路	进路方式	排列进路 按下按钮	确定运行 方向道岔	信号机		表示器	道岔	敌对 信号	轨道区段	迎面进路		其他联锁	进路号码
							名称	显示					列车	调车		
北京方面	列车进路	正方向接车	至3股道		XLA、S ₃ LA		X	U、U		1/3、5/7、 (9)	D ₁ 、D ₃ 、 S ₃	IAG、1- 7DG、9DG、 3G	3G	3G		1
			至Ⅰ股道		XLA、SLA		X	U		1/3、5/7、 9	D ₁ 、D ₃ 、 S ₃	IAG、1- 7DG、9DG、 IG	IG	IG		2
			至Ⅱ股道		XLA、S ₁ LA		X	U		(1/3)、 [5/7]、11	D ₁ 、D ₃ 、 S ₁	IAG、1- 7DG、3- 5DG、11DG、 ⅡG	ⅡG	ⅡG		3
			至4股道		XLA、S ₄ LA		X	U、U		(1/3)、 [5/7]、(11)	D ₁ 、D ₃ 、 S ₄	IAG、1- 7DG、3- 5DG、11DG、 4G	4G	4G		4
		反方向接车	至3股道		X ₄ LA、 S ₃ LA		X ₄	U、U		[1/3]、 (5/7)、 (9)	D ₃ 、D ₃ 、 S ₃	ⅡAG、1- 7DG、3- 5DG、9DG、 3G	3G	3G		5
			至Ⅰ股道		X ₄ LA、SLA		X ₄	U		[1/3]、 (5/7)、 9	D ₃ 、D ₃ 、 S ₃	ⅡAG、1- 7DG、3- 5DG、9DG、 IG	IG	IG		6
			至Ⅱ股道		X ₄ LA、 S ₁ LA		X ₄	U		1/3、5/7、 11	D ₃ 、D ₃ 、 S ₁	ⅡAG、3- 5DG、11DG、 ⅡG	ⅡG	ⅡG		7
			至4股道		X ₄ LA、 S ₄ LA		X ₄	U、U		1/3、5/7、 (11)	D ₃ 、D ₃ 、 S ₄	ⅡAG、3- 5DG、11DG、 4G	4G	4G		8
		正方向发车	由3股道		S ₃ LA、 X ₄ LA		S ₃	L		(9)、 (5/7)、 [1/3]	D ₃ 、D ₃ 、 X ₄ 、S ₃ D、 X ₄	9DG、1- 7DG、3- 5DG、Ⅱ AG、3G			BS	9
			由Ⅰ股道		S ₁ LA、 X ₄ LA		S ₁	L		9、 (5/7)、 [1/3]	D ₃ 、D ₃ 、 X ₄ 、SD、 X ₄	9DG、1- 7DG、3- 5DG、Ⅱ AG、IG			BS	10
			由Ⅱ股道		S ₁ LA、 X ₄ LA		S ₁	L		11、1/3、 5/7、	D ₃ 、D ₃ 、 S ₁ D、 X ₄	11DG、3- 5DG、Ⅱ AG、ⅡG			BS	11
			由4股道		S ₄ LA、 X ₄ LA		S ₄	L		(11)、1/3、 5/7、	D ₃ 、D ₃ 、 S ₄ D、 X ₄	11DG、3- 5DG、Ⅱ AG、4AG			BS	12
		反方向发车	由3股道		S ₃ LA、XLA		S ₃	L		(9)、5/7、 1/3	D ₃ 、D ₃ 、 X ₄ 、S ₃ D	9DG、1- 7DG、IAG、 3G			BS	13
			由Ⅰ股道		S ₁ LA、XLA		S ₁	L		9、5/7、 1/3	D ₃ 、D ₃ 、 X ₄ 、SD	9DG、1- 7DG、IAG、 IG			BS	14
			由Ⅱ股道		S ₁ LA、XLA		S ₁	L		11、(1/3)、 [5/7]	D ₃ 、D ₃ 、 X ₄ 、SD、 X ₄	11DG、3- 5DG、1- 7DG、 IAG、ⅡG			BS	15
			由4股道		S ₄ LA、XLA		S ₄	L		(11)、 (1/3)、 [5/7]	D ₃ 、D ₃ 、 X ₄ 、SD、 X ₄	11DG、3- 5DG、1- 7DG、IAG、 4G			BS	16
	调车进路	D ₁	至D ₃		D ₁ A、D ₃ A		D ₁	8		1/3、5/7	X、S ₁ 、S ₃	1-7DG				17
			至D ₇		D ₁ A、D ₇ A		D ₁	8		(1/3)、 [5/7]	X、S ₁ 、S ₄	3-5DG、 1-7DG				18
		D ₃	至D ₁		D ₃ A、D ₁ A		D ₃	8		[1/3]、 (5/7)	X ₄ 、S ₃ 、S ₁	3-5DG、 1-7DG				19
			至D ₇		D ₃ A、D ₇ A		D ₃	8		1/3、5/7	X ₄ 、S ₃ 、S ₄	3-5DG				20
		D ₃	至3股道		D ₃ A、S ₃ A		D ₃	8		-9	X、 <(5/7)>X ₄ 、 S ₃	9DG、3G	3G			21
			至Ⅰ股道		D ₃ A、S ₁ A		D ₃	8		9	X、 <(5/7)>X ₄ 、 S ₁	9DG、IG	IG			22
		D ₇	至Ⅱ股道		D ₇ A、S ₁ A		D ₇	8		11	X、 <(5/7)>X ₄ 、 S ₁	11DG、Ⅱ G	ⅡG			23
			至4股道		D ₇ A、S ₄ A		D ₇	8		-11	X、 <(5/7)>X ₄ 、 S ₄	11DG、4G	4G			24

3. 计算机联锁系统软件的需求分析与设计

计算机联锁有多种实现方法，常见的两种：一种是根据 6502 电气集中联锁系统的继电联锁电路，写出每个继电器电路的布尔逻辑表达式，用计算机软件来模拟每个继电器的动作过程来实现联锁功能；另一种是根据车站信号联锁的功能需求来设计联锁数据结构和软件框架，利用计算机软件来实现联锁逻辑运算功能。本次大作业主要采用第二种方式。

3.1 系统的基本需求

计算机联锁软件是计算机联锁系统中用以支撑系统运行和实现联锁功能控制的软件的总称，本次大作业我们开发的主要是计算机联锁应用软件。

首先根据计算机联锁系统软件结构来分析需求：



图 3-1 计算机联锁系统软件

输入输出软件，主要完成对室外信号设备状态的采集并传送给逻辑运算软件，接收联锁逻辑运算软件输出的控制命令并转化为对硬件的控制指令，进而驱动接口电路实现对室外设备的控制。

联锁逻辑软件是整个联锁软件系统的核心，其作用是基于现场设备的状态信息和上位机的操作命令，按照联锁技术条件要求进行联锁逻辑运算，生成信号设备控制指令，发送给输出软件模块，同时将来自输入软件模块的信号设备状态信息传递给操作表示软件。

操作表示软件的作用是接受操作员的操作命令输入和来自联锁层的设备状态信息，并以图形、文字或者语音方式表现出来，使得值班员对俩检索系统工作状态以及室外信号设备状态有直观的了解。

3.2 输入输出软件的需求分析和功能分析

通常输入输出软件需要对站场内所有设备包括信号机、道岔、轨道的状态进行采集并采用通信方式如 CAN 发送给联锁机，并接受从连锁机发送过来的经过处理的信息来模拟设备状态信息。

由于本次软件的编制过程完全是处于计算机的状态，因此联锁过程中的列车、信号机、道岔和轨道电路等输入输出均由手动的软件操作来对实际情况进行模拟，

这里不做阐述。

3.3 联锁逻辑软件的需求分析和功能分析

联锁逻辑软件主要分为联锁数据和功能模块。

3.3.1 联锁逻辑软件的联锁数据

针对联锁数据中，数据安全性可以从信源编码和信道编码两方面来进行考虑，数据的编码为符号故障—安全需要采用多元编码，同时为了设计安全的逻辑量，通常需要取码据较大的间距。信道编码是在距离传输教员是需要采用串行数据传输方式同时利用可靠的信道和差错控制技术来进行编码。

$$\sigma = 1/(2^n - 1)$$

由于本次实验中的环境均为软件中，因此均采用较为简单的编码方式。

联锁数据在计算机联锁系统中，参与联锁运算的数据称为联锁数据，在这些数据中，有些数据由于受到网络或者硬件的干扰而发生错误，所以需要相关的数据编码和出错控制技术来提高系统的可靠性和安全性。联锁数据主要包括操作表示软件传输过来的控制命令信息，输入输出软件层传来的站场实时状态信息。

联锁数据的静态数据部分可以分为描述设备属性的静态数据、联锁表型静态数据和按钮型静态数据。由于静态数据在前一部分已经做过讨论，这里主要方式相关表格数据，并做出相关简化。

表 3-1 信号机相关静态数据

信号机编号	SignalID	信号机设备编号
信号防护区段号	SigProtectTrackID	信号机内方第一区段号

**针对我们的联锁表具体分析*8

表 3-2 道岔和轨道区段相关静态数据

道岔编号	SwitchID	道岔的设备编号
所属轨道区段	AtTrackID	道岔所在轨道区段编号

**针对联锁表具体分析

表 3-3 区段相关静态数据

区段编号	TrackID	区段的设备编号
区段类型	TrackType	区段的类型
左相邻区段号	LeftTrackID	前相邻的区段编号

右相邻区段号	RightTrackID	后相邻的区段编号
--------	--------------	----------

**针对不同区段具体分析

动态数据主要包括信号设备状态数据，操作输入数据，驱动控制数据和联锁程序调度控制数据。主要分为信号设备状态数据，其他动态数据在本次作业使用较少，不做讨论。

表 3-4 信号机相关动态数据

信号机编号	SignalID	S
信号状态	SignalStatus	[1,0,0]
灯丝状态	FilamentStatus	111
锁闭标志	SignalControl	111
信号控制	SignalControl	1

其中信号机编号的数据类型为采用的常规编号的 string 类型

信号状态标识信号灯的颜色，包含的颜色主要有红色灯光，黄色灯光，绿色邓庄，蓝色灯光

颜色表数组为：

[[1,0,0]; [1,1,0]; [0,1,0]; [1,1,0]]

灯丝状态标识灯丝的显示状态，1 表示正常状态

锁闭标志标识信号机是否锁闭，1 表示锁闭

信号控制为外界对信号机的操作，默认点击为显示绿灯，其他操作用软件输入，编号

[1, 2, 3, 4]

表 3-5 道岔相关动态数据

道岔编号	SwitchID	D3
道岔状态	SwitchStatus	1
锁闭标志	LockFlag	1
道岔控制	SwitchControl	改变道岔状态锁闭标志

道岔编号为常规的 string 类型编号规则

道岔开通状态利用 0 表示定位，1 表示反位

锁闭标志利用 1 表示锁闭

道岔控制位外界对于道岔的操作，在选定的前提下点击道岔改变道岔状态

表 3-6 区段相关动态数据

区段编号	TrackID	IAG
区段状态	TrackStatus	1
区段锁闭标志	LockFlag	1
区段控制标志	LockControl	改变区段状态

区段编号为常规的 string 类型编号规则

区段状态利用 1 表示被占用，0 表示出清

区段锁闭利用 1 表示锁闭

区段控制表示外界对于区段控制标志，在选定的前提下点击区段表示区段被占用或者出清

3.3.2 联锁逻辑软件的功能分析

联锁软件的基本控制原理如图所示：

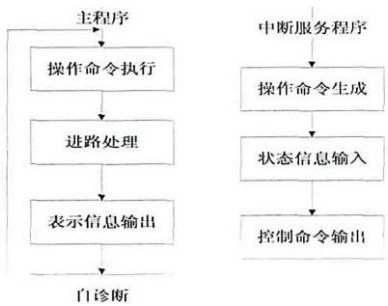


图 3-2 联锁系统基本控制原理

可以看出基本控制流程由主程序模块和中断服务模块组成，在中断服务模块中包括操作命令生成、状态信息输入、控制命令输入灯中断方式执行，之后是操作记录生成流程，如下图所示：

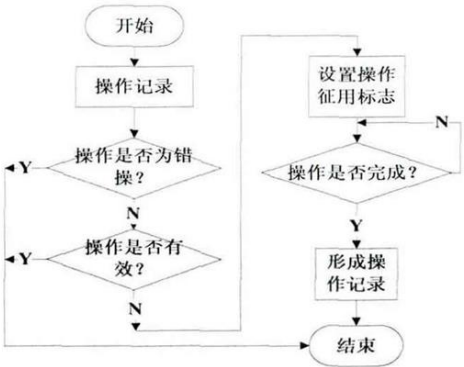


图 3-3 操作记录生成流程

本次主要针对车站进路控制分析其六个基本模块---选排进路、锁闭进路、开放信号、关闭信号、正常解锁进路、取消进路进行分析其功能需求和额外的道岔单独操纵、进路引导总锁闭等方面进行考虑。

① 进路建立模块

进路建立阶段是指从车站操作人员开始办理进路，进路锁闭，直到防护该进路的信号机开放的过程，进路建立过程一般可分为五个小阶段，分别是人工操作阶段、进路选排阶段、进路锁闭阶段、开放信号阶段和信号保持阶段。

● 选排进路功能模块

联锁控制系统根据按压的始端按钮和终端按钮确定进路范围，检查进路选排联锁条件是否满足，确认进路是否可用，当相应联锁条件满足时则设置进路中设备征用标志。如果进路可用但道岔位置与进路要求位置不符，联锁系统将控制道岔转换到规定位置。

由功能需求可知，选排进路一般有三个阶段：

- （1）根据接收到的始终端按钮，从进路表中找到相应的进路；
- （2）确认进路可用性；
- （3）征用进路中的设备。

如果前三个阶段皆已完成，只是部分或全部道岔不在规定位置，则进入第四阶段——转换道岔位置。各阶段需要检查的联锁条件如下表所示。

表 3-7 各阶段需要检查的联锁条件

阶段 编号	阶段 名称	联锁条件			备注
		信号机	区段	道岔	
1	选路	无	无	无	
2	确认	未被征用	①空闲（相邻超限区段也空闲） ②未被征用 ③未锁闭	①未被征用 ②未进路锁闭 ③未被封锁 ④未被单锁在相反位置	选排调车进路时，不检查最后一个无岔区段的占用情况
3	征用	敌对信号未开放	①空闲（相邻超限区段也空闲）	①未被封锁或进路锁闭	选排调车进路时，不检查最后

			②未锁闭	② 未被单锁在相反位置	一个无岔区段的占用情况
4	转换道岔	无	道岔所在区段空闲	① 未被封锁或进路锁闭 ② 未被单锁在相反位置	规定时间内未转换到位，则认为道岔故障

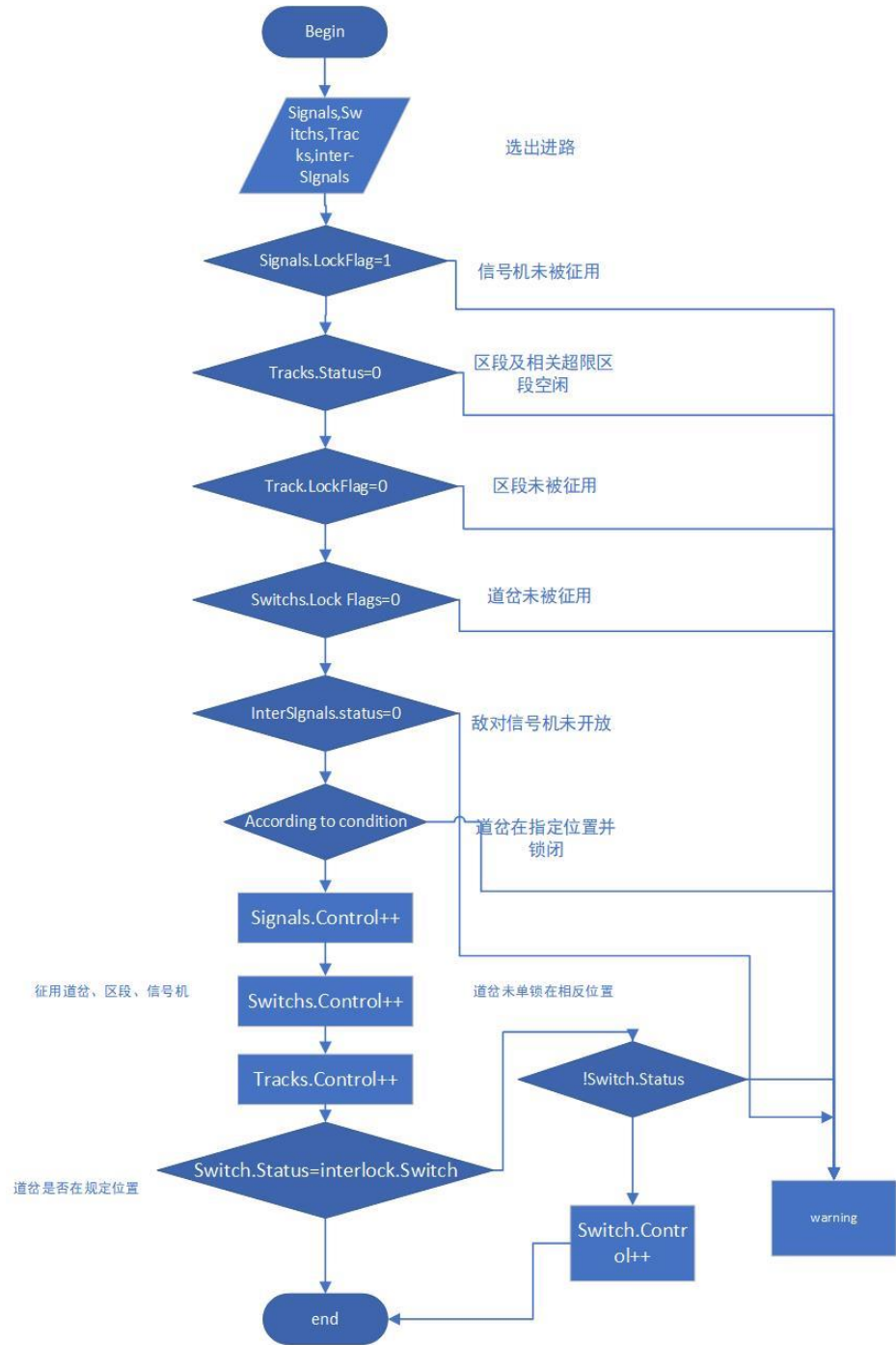


图 3-4 选排进路功能模块流程图

● 锁闭进路功能模块

进路选排完成后，联锁系统检查进路锁闭的技术条件是否满足。满足相关条件后，联锁系统锁闭该进路。锁闭进路即锁闭进路中的道岔与轨道区段，使道岔不能再转换位置、轨道区段不能再被其它进路使用。进路锁闭后清除其征用标志。

本功能模块只有锁闭进路一个阶段，检查联锁条件如下。

表 3-8 锁闭进路阶段检查的联锁条件

阶段 编号	阶段 名称	联锁条件			备注
		信号机	区段	道岔	
1	锁闭	敌对信号 未开放	①空闲（相邻超限区段也空闲） ②未锁闭	①位置正确 ②未锁闭 ③未被封锁	调车进路时，不检查最后一个无岔区段的占用情况

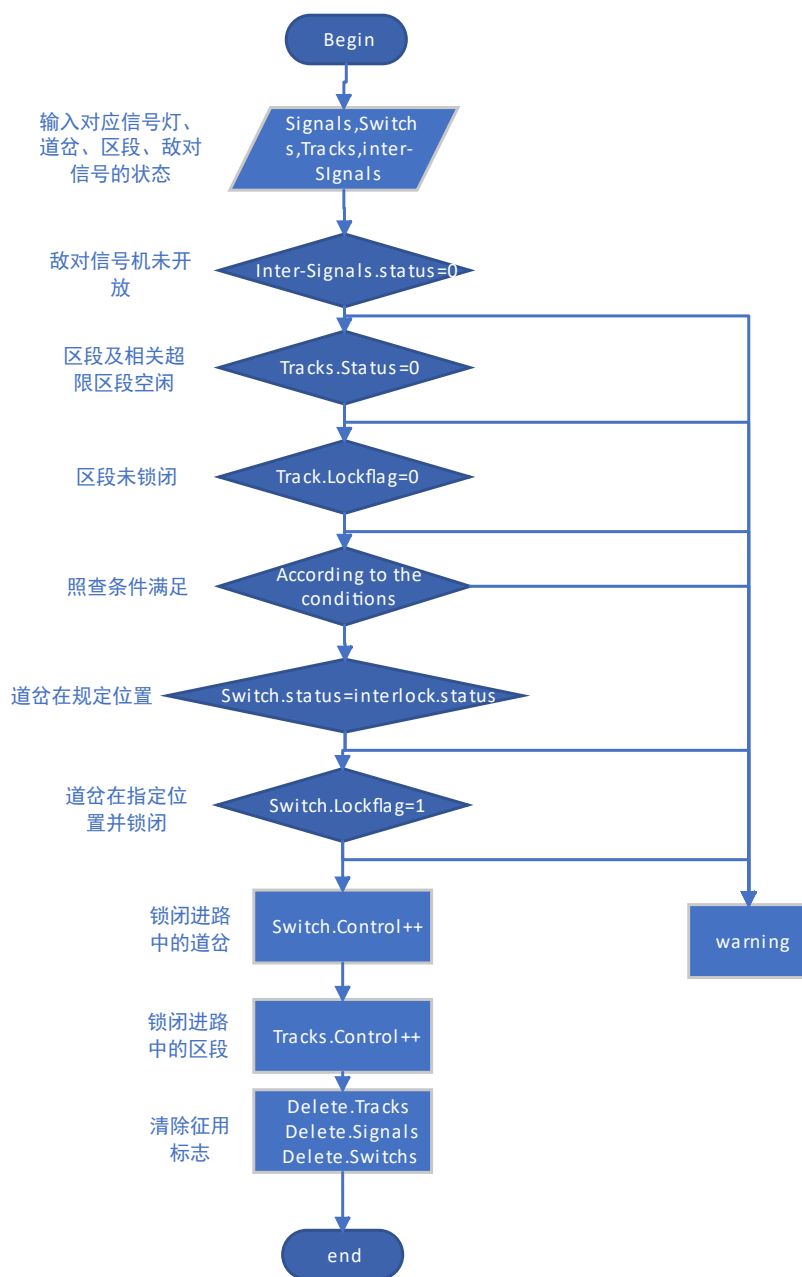


图 3-5 锁闭进路功能模块流程图

● 开放信号功能模块

进路锁闭，信号开放的技术条件满足时，开放其主体信号机。信号开放后，如果进路的接近区段处于空闲状态，则称进路处于预先锁闭状态；信号开放后，如果接近区段有车占用或故障，则称进路处于接近锁闭状态。当接近区段未设轨道电路时，信号机开放后立即构成接近锁闭。

本模块也只有开放信号机一个阶段，检查联锁条件如下。

表 3-9 开放信号阶段检查的联锁条件

阶段 编号	阶段 名称	联锁条件			备注
		信号机	区段	道岔	
1	开放 信号	①敌对信 号未开放 ②灯丝状 态良好	①空闲（相邻超 限区段也空闲） ②锁闭	①位置正确 ②锁闭	调车进路不检查 最后一个无岔区 段的占用情况

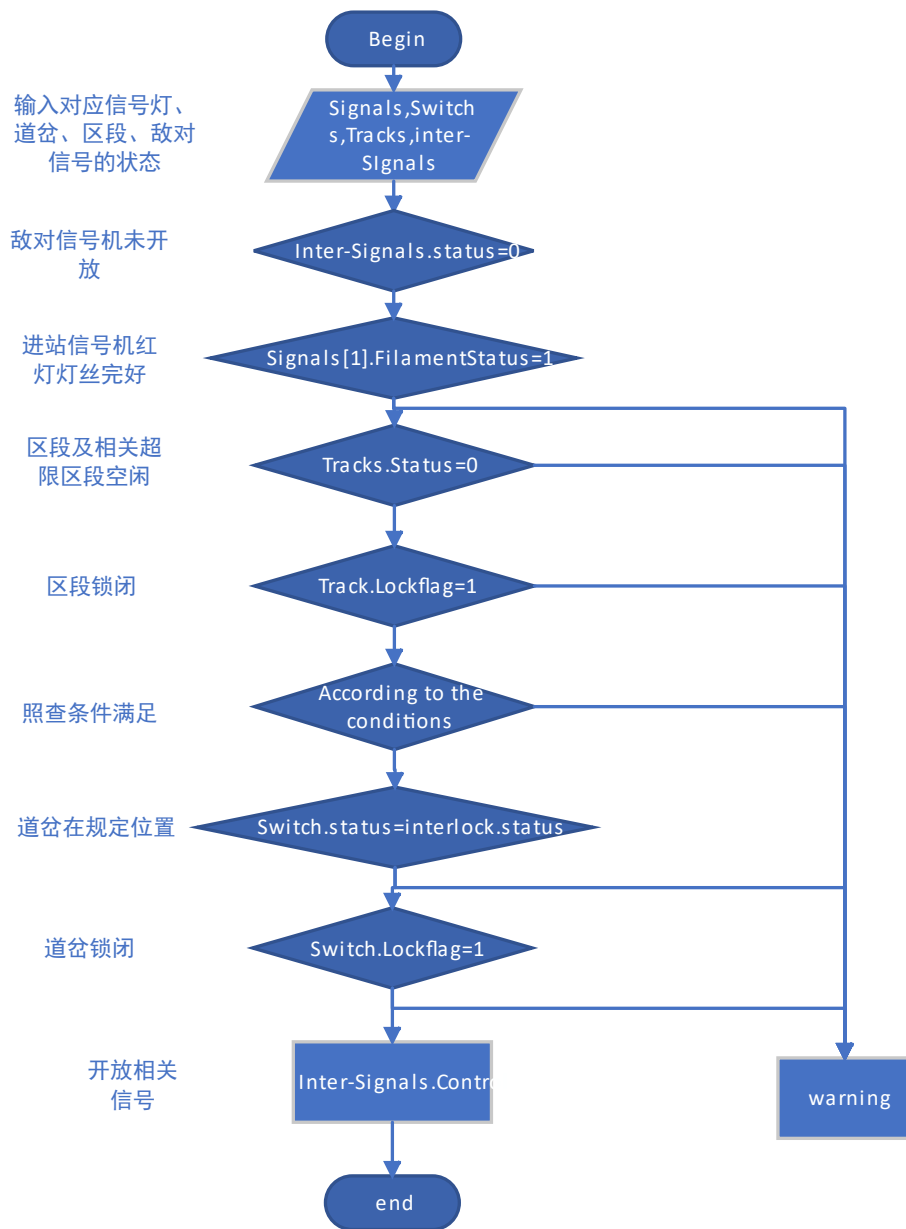


图 3-6 开放信号功能模块流程图

● 关闭信号、信号开放保持功能模块

信号机开放后必须不断检查信号保持开放的技术条件是否满足，一旦条件不能满足，信号机应立即关闭。关闭信号机，有两种情况：一种是车列驶入进路，信号机正常关闭；另一种是允许灯丝断丝、区段被非正常占用、道岔位置异常等异常情况，信号机非正常关闭。

检查联锁条件如下。

表 3-10 关闭信号、信号保持阶段检查的联锁条件

编号	分类	联锁条件		
		信号机	区段	道岔
1	正常	列车正常驶入列车信号机内方第一区段		
2		调车车列正常驶入进路且全部越过防护信号机		
3		调车进路的接近区段留有车辆或未设轨道电路时，调车车列正常驶入进路且出清信号机内方第一区段		
4		进行总取消/总人工解锁操作时		
5	异常	允许灯丝断丝	——	——
6		——	非正常占用	——
7		——	非正常解锁	——
8		——	——	不在规定位置
9		——	——	非正常解锁

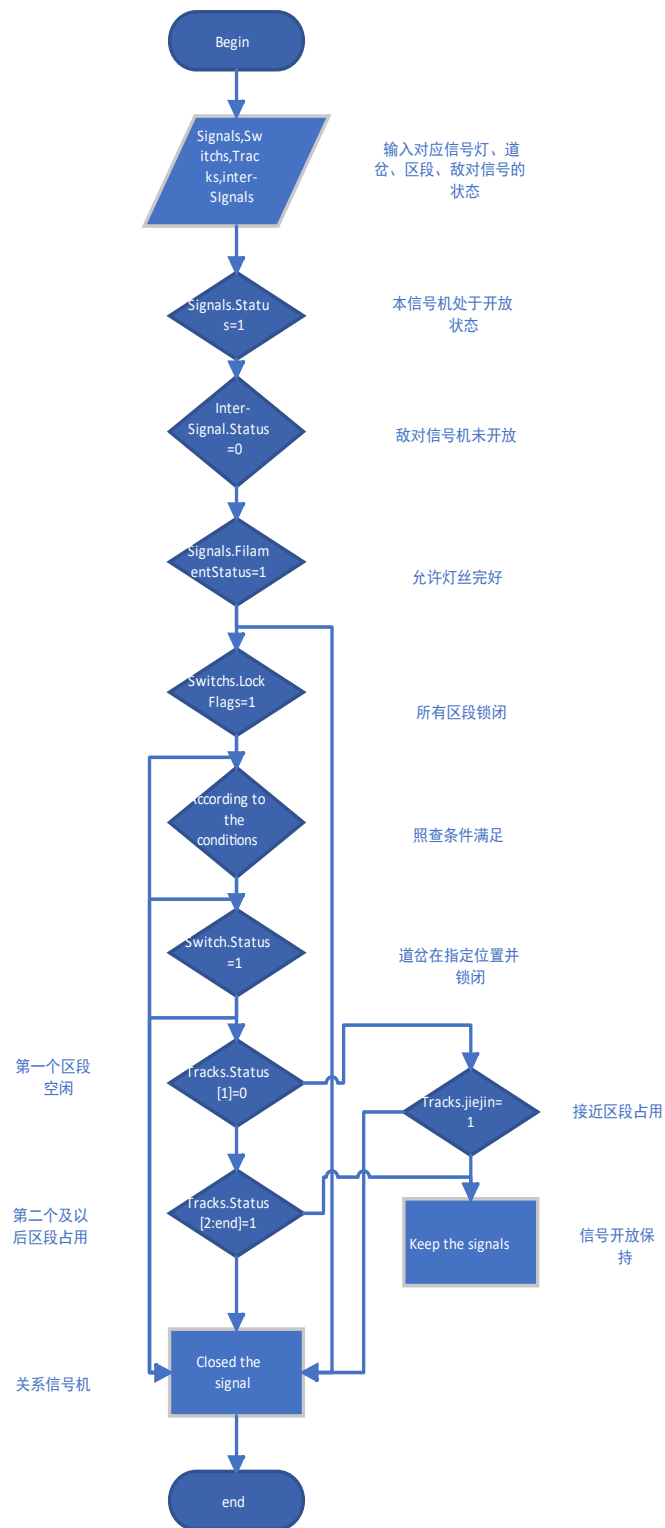


图 3-7 调车信号机关闭模块流程图

② 进路解锁模块

进路接车也称为进路解锁，就是解锁已建立进路的锁闭状态，包括解除对道岔、敌对进路和轨道区段的锁闭，根据进路解锁的条件和时机，有五种解锁方式，即正常通过解锁、调车中途折返解锁、取消进路、人工解锁和区段故障解锁。

● 正常通过解锁

正常通过解锁进路建立、信号机开放后，列车或调车车列可进入进路。列车或调车车列顺序驶过该进路后，进路应自动解锁。通常有两种自动解锁方式：一次性解锁和逐段解锁。一次性解锁是指当列车或调车车列顺序驶过了进路中的全部轨道区段后再一次性解除锁闭，而逐段解锁是指随着列车或调车车列顺序压过进路，顺次出清的轨道区段和道岔逐个解除锁闭。一次解锁方式在技术上容易实现，但道岔不能及时解锁，影响作业效率。逐段解锁方式虽然技术实现较为复杂，但能提高效率，因此我们设计分段解锁的流程图。

正常通过解锁必须具备三个条件：

- (1) 防护进路的信号机因列车或调车车列进入进路而自动关闭
- (2) 保证列车或调车车列确已按照顺序压入并出清进路区段
- (3) 列车或调车车列出清某轨道区段后，该区段应及时自动解锁

解锁进路需检查的联锁条件如下。

表 3-11 进路解锁阶段检查的联锁条件

编号	分类	联锁条件			备注
		信号机	区段	道岔	
1	分段解锁	信号已关闭	满足三点检查条件	所在区段解锁	
2	一次解锁	信号已关闭	所有区段按进路方向被顺序占压并出清	所在区段解锁	

无论是列车进路还是调车进路，解锁的基本原理都是一样的，都有上述两种解锁方式，分段解锁的模块流程图如下图所示：

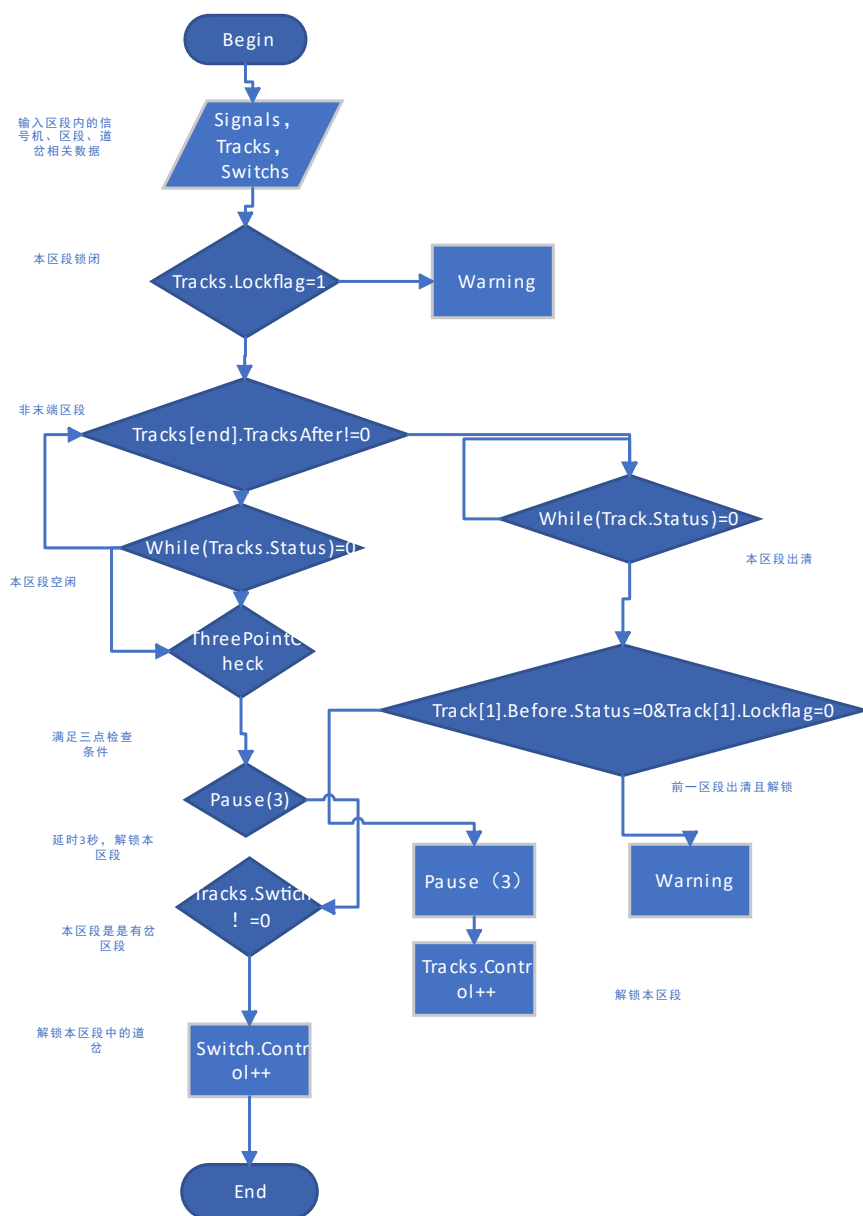


图 3-8 分段解锁进程流程图

● 取消进路功能模块

进路建立，信号机开放之后，如果列车或调车车列未进入进路的接近区段，可以采用总取消方式取消已建立的进路，系统后弦关闭信号机，满足取消进路的联锁条件之后，一次性解除进路中各种设备的锁闭状态。

取消进路应检查的联锁条件包括信号机已关闭，进路处于预先锁闭状态，进路空闲且完整锁闭。

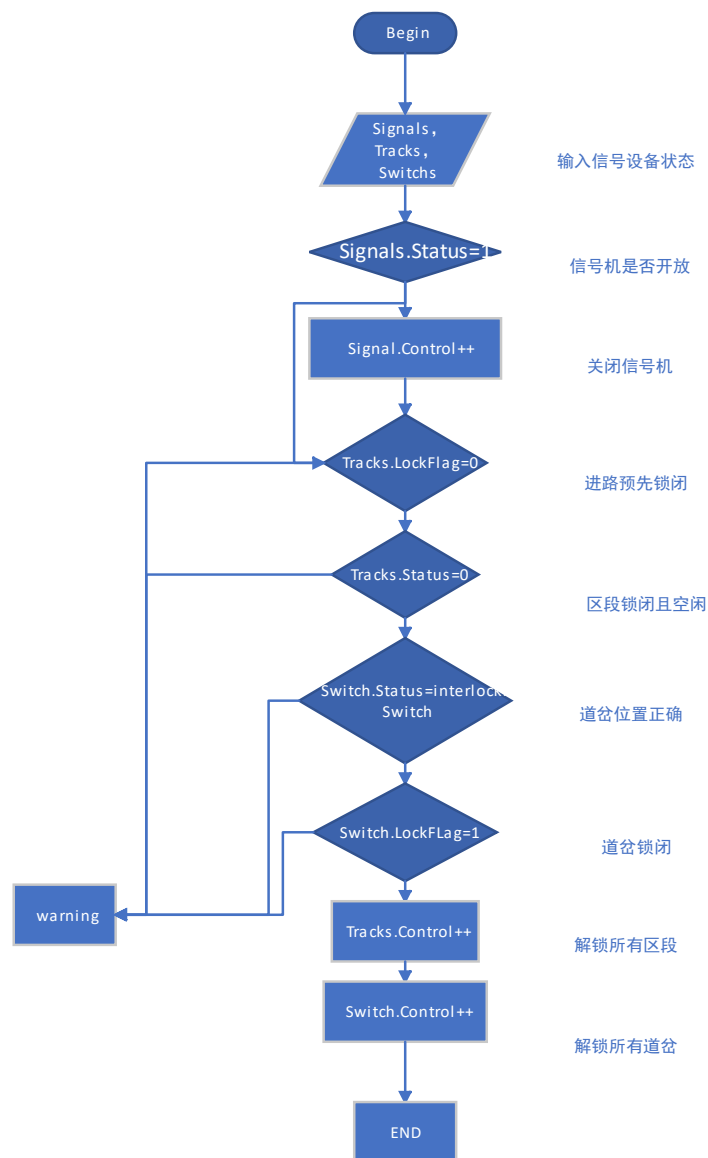


图 3-9 取消进路流程图









3.4 操作表示软件的需求分析和功能分析

操作表示软件主要涉及站场的显示、控制按钮的命令实现和站场设备状态的实时显示。

3.4.1 信号机

信号机的位置处于防护进路的末端，信号机的类型以及在界面上的显示形状如表格所示。

表 3-12 信号机类型及在界面上的显示形状

信号机名称	形状	作用
调车矮柱		一般采用矮型色灯调车信号机
调车高柱		在工业企业线入口及牵出线等处
出发单灯矮柱		防护区间，指示列车可否由车站进入区间
出发单灯高柱		防护区间，指示列车可否由车站进入区间
出发双灯矮柱		防护区间，指示列车可否由车站进入区间
出发双灯高柱		防护区间，指示列车可否由车站进入区间
进站信号机		防护车站，指示列车可否由区间进入车站
区间信号机		指示列车可否进入它所防护的闭塞分区

信号机的显示米用下面的几种颜色：红色、绿色、黄色、白色和蓝色。信号机的开放和关闭条件分别如下：当正常办理排列进路后，保证该进路安全的所有信号机必须检查其进路规定的区段是否空闲、进路上道岔位置是正确、进路是否已经锁闭、进路上敌对信号没有建立，方可开放信号：当列车驶入进路后信号机自动关闭，或者出现故障的时候应该人工关闭信号机的信号。





3.4.2 区段

区段分为有信号直区段、有信号弯曲段、无信号直区段和无信号弯曲段四种。当轨道处于空闲状态时其对应区段颜色在上位机上显示为灰色，当轨道被占用时其对应区段颜色显示为红色，当轨道锁闭时其对应的区段颜色显示为白色。

3.4.3 道岔

道岔的表示：当道岔定位时表示道岔定位的线条处于连通状态，表示道岔反位的线条处于断开状态；道岔反位时表示道岔反位的线条处于连通状态，表示道岔定位的线条处于断开状态。道岔的类型以及不同状态位在上位机图形界面的显示。

表 3-13 道岔类型及在界面上的显示形状

道岔名称	形状	说明
小道岔定位为直		小道岔定位方向为直线方向
小道岔定位为弯		小道岔定位方向为弯线方向
大道岔定位为直		大道岔定位方向为直线方向
大道岔定位为弯		大道岔定位方向为弯线方向

道岔的显示：当道岔无表示时，道岔显示为白色并不停的闪烁，道岔的名称闪烁；当道岔挤岔时，道岔显示为红色并不停的闪烁，道岔的名称闪烁；当道岔位于定位时，定位显示为灰色，道岔名称绿色显示；当道岔位于反位时，道岔反位显示为灰色，道岔名称显示为黄色；当道岔定位操作时，道岔名显示为绿色并且不停的闪烁；当道岔反位操作时，道岔名显示为黄色并且不停的闪烁。

道的操作主要包括两种：一是进路排列的时候道岔按照进路排列的要求转换到定位或者反位；二是人工操作道岔定位或者反位

道岔的锁闭主要包括道岔单锁、道岔单封和进路锁闭等。不管道岔处于何种锁闭状态，此时都不允许操作道岔。

3.4.4 部分按钮功能

故障解锁：实现进路故障解锁和区段故障锁。调车或列车进路因故障而未能自动解锁、区段因故障未能自动解锁时，使用此按钮实现故障解锁

排列进路：直接单击站场图上始端列车信号机或调车信号机，再单击末端信号机，可排列进路。

取消进路：取消已经排列的进路。单击取消进路按钮，再单击已经排列好的进路始端信号机，可取消排列进路。

占用出清：进路建立后，单击占用出清按钮可实现对进路中的轨道区段依次占用、出清。

总取消：排列进路后，若接近区段空闲，未构成接近锁闭，可点击总取消按钮对进路进行人工解锁。

总人解：进路建立且接近区段有车占用构成接近锁闭时，可点击总人解按钮对进路实施延时解锁。

信号重开：不满足三点检查法时信号关闭不能重新开放，可点击信号重开按钮办理信号重开手续重新开放信号。

灯丝断丝：点击灯丝断丝按钮可模拟信号机故障。

引导按钮：接车进路无法正常办理时，点击引导按钮开放引导信号办理引导进路。

引导总锁：当道岔失去表示无法恢复时，点击引导总锁办理“引导总锁闭”手续开放引导信号。

功能按钮：初始化操作平面功能按钮状态。

控制区域：选择控制车站区域。

道岔总定：单操道岔由反位解锁转换为定位锁闭。

道岔总反：单操道岔由定位解锁转换为反位锁闭。

道岔单锁：单操道岔锁定后不能自动转换。

道岔单解：对被实施道岔单锁操作的道岔解锁。

挤岔：模拟道岔发生挤岔故障。

溜放：模拟驼峰调车溜放操作。

区故解：区段故障解除。

3.5 系统结构和设计

联锁控制软件的结构要求是实时操作系统或实时调度程序支持下的多任务的实时系统，基本结构分为为系统层次结构分类、冗余结构分类。

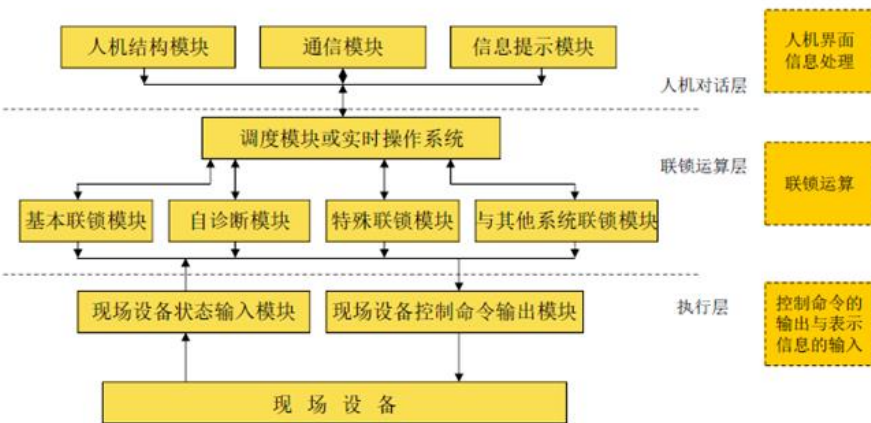
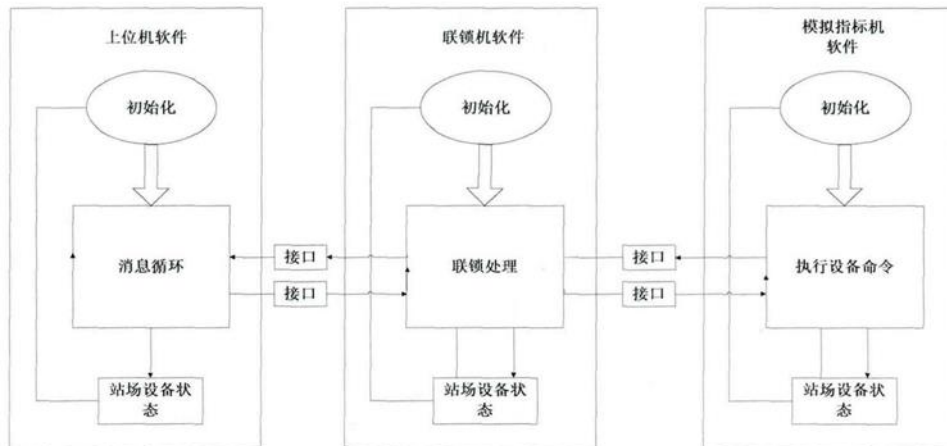


图 3-10 联锁软件控制结构

系统层次结构即将整个联锁过程分为人机界面信息处理、联锁运算、控制命令的输出与表示信息的输入。其中第一部分主要包含人机结构模块、通信模块、信息提示模块，在第二部分联锁运算中主要包含调度模块或实时操作系统，分为基本联锁模块、自诊断模块、特殊联锁模块和与其他系统联锁模块；第三部分的执行层主要包含现场设备状态输入和控制命令输出模块。

本次大作业中的软件操作基本流程为，通过键鼠操作操作表示软件的上位机来下发命令，控制联锁机软件循环输出控制命令，之后利用输入输出来执行设备命令。系统结构主要如图所示。

图 3-11 上位机软件、联锁机软件和模拟指标机软件之间的系统结构图



4. 实现方法

4.1 进路逻辑关系

4.1.1 接车进路

① 接车进路概念

接车进路指列车进站所经由的路径，由进站信号机进行防护。

② 接车进路的始/终端信号机选择

接车进路的始端是进站信号机，其终端则为所接入股道上与进站信号机同方向的出站信号机。由于列车要进股道停车，因此进路的范围包含要接入的股道。

③ 接车进路的建立与取消

车站值班员按动车站的接车进路始端按钮和接车进路的终端按钮，联锁系统根据按压的按钮情况确定进路范围，并检查进路选排的联锁条件是否满足。如果该进路上所有的道岔均开通直向且接车联锁条件都满足，则接车进路建立成功。当列车按顺序占用并出清接车进路的轨道区段时，接车进路会逐段解锁。

④ 接车进路建立与解锁的算法流程为：

- 点击始端按钮和终端按钮，判断两个按钮组合是否在已经存储好的数据库中；
- 若在，则程序自动建立接车进路并锁闭；若不在，判断是否能够建立其他进路类型；
- 当接车进路的终端信号因故障无法正常显示或关闭时，始端信号机（进站信号机）显示黄灯；
- 当列车顺序占用并出清轨道区段后，接车进路轨道区段自动解锁。

⑤ 接车进路软件操作情况参考说明

表 4-1 接车进路软件操作说明

操作情况分类	参考说明
正常办理	参考国铁接车进路和延续进路
进路上道岔挤岔、区段故障或有车	参考国铁接车进路和延续进路
侵限区段有车	参考国铁接车进路和延续进路
股道存车	参考国铁接车进路和延续进路
紧急关闭信号	参考国铁接车进路和延续进路
灯丝断丝（只针对点灯进路）	参考国铁接车进路
人工解锁	参考国铁接车进路
正常解锁	参考国铁接车进路

4.1.2 发车进路

① 发车进路概念及信号机显示

发车进路指由车站发往区间所经由的路径，由出站信号机进行防护。对于区间信号机不设置通过信号机的客运专线，正向发车进路在灭灯状态时，出站信号机按四显示自动闭塞显示；点灯状态时，信号开放需检查整个区间轨道空闲，信号开放只有绿显示。对于反向发车进路，无论是灭灯状态还是点灯状态，信号开放都需检查整个区间轨道空闲，信号开放只有绿显示。

② 发车进路的始/终端信号机选择

发车进路的始端是股道头部发车方向的出站信号机，其终端则为出站口处的进站信号机（方向相反），也即站界标。发车股道不包含在发车进路范围内。

③ 发车进路的建立与取消

车站值班员按动车站的车发车进路始端按钮和发车进路的终端按钮，联锁系统根据按压的按钮情况确定进路范围，并检查进路选排的联锁条件是否满足。如果该进路上所有的道岔均开通直向且发车联锁条件都满足，则发车进路建立成功。当列车按顺序占用并出清发车进路的轨道区段时，发车进路会逐段解锁。

④ 发车进路建立与解锁的算法流程为：

- 点击始端按钮和终端按钮，判断两个按钮组合是否在已经存储好的数据库中；
- 若在，则程序自动建立发车进路并锁闭；若不在，判断是否能够建立其他进

路类型；

- 当发车进路的终端信号因故障无法正常显示或关闭时，始端信号机（出站信号机）显示黄灯；
- 当列车顺序占用并出清轨道区段后，发车进路轨道区段自动解锁。

⑤ 发车进路软件操作情况参考说明

表 4-2 发车进路软件操作说明

操作情况分类	参考说明
正常办理	参考国铁接车进路
进路上道岔挤岔、区段故障或有车	参考国铁接车进路
侵限区段有车	参考国铁接车进路
紧急关闭信号	参考国铁接车进路
灯丝断丝（只针对点灯进路）	参考国铁接车进路和发车进路
人工解锁	参考国铁接车进路和发车进路
正常解锁	参考国铁接车进路

⑥ 发车进路线路说明

由于客运专线速度高，道岔一般都采用 18 号及以上道岔，故在客专车站中对弯进弯出（接车进路上的部分道岔开通侧向，发车进路上的部分道岔开通侧向）也做了接近延长。在弯进弯出情况下，发车进路的接近区段统一延长到接车进路内方第一区段。而在直进直出和直进弯出两种情况下，发车进路的接近区段需延长到接车进路的区间接近轨，具体延长到进站信号机外方第几个区间轨道区段，要看设计需求。

4.1.3 引导进路

① 引导功能：

因**进站信号机**自身故障或轨道电路故障不能正常开放接车信号，以及在道岔失去表示或向非接车线路接车，导致接车进路无法正常办理时，可采用将接车进路上的道岔实行锁闭，或对全咽喉所有道岔实行总锁闭，然后开放引导信号的方式，将列车以低速引导入站。

引导信号**开放**应检查如下技术条件：

- 引导进路中道岔位置正确；

- 未建立敌对进路；
- 引导进路在锁闭状态或者对道岔进行了引导总锁闭；
- 主体信号机必须为红灯显示。

引导信号机在下列情况应及时**关闭**：

- 列车未驶入引导进路之前信号保持开放的条件不能满足时；
- 信号机内方第一轨道区段无故障的情况下，列车第一轮对进入该区段时；
- 信号机内方第一轨道区段故障，未能在 15s 内进行维持开放信号的操作时；
- 办理引导进路解锁时；
- 解除道岔总锁闭时；
- 人工关闭信号时。

② 引导执行模块的设计

(1) 引导锁闭

引导锁闭主要有以下两种方式：

1) 引导进路锁闭：

当信号机故障无法开放允许灯光或进路内方区段故障时，一般选择引导进路锁闭，因为它按进路方式锁闭道岔，相对安全。

2) 引导总锁闭：

当道岔失去表示无法恢复后，我们只能通过引导总锁闭开放引导信号，将全咽喉的道岔锁闭。引导总锁闭下开放引导信号不提供进路锁闭，只开放引导信号，故这种情况是十分危险的，只有紧急情况下才会办理。

引导总锁闭的办理过程为：

- 值班员需通过手摇把将失去表示的道岔手摇至规定位置；
- 通过道岔单操命令将其他道岔操纵至规定位置；
- 办理“引导总锁闭”手续；
- 按压“引导按钮”开放相应引导信号。

(2) 引导进路解锁

引导进路的解锁方式跟正常进路有所区别。列车通过引导进路后，引导信号关闭，但进路并不按逐段解锁的方式解锁，而是保持进路锁闭状态。人工按压“总

取消”按钮后，可以关闭引导信号；人工按压“总人工解锁”按钮后，按压进路的时段按钮和终端或相应的引导按钮后，引导进路一次性解锁。

引导进路锁闭和解锁的过程如下图所示。

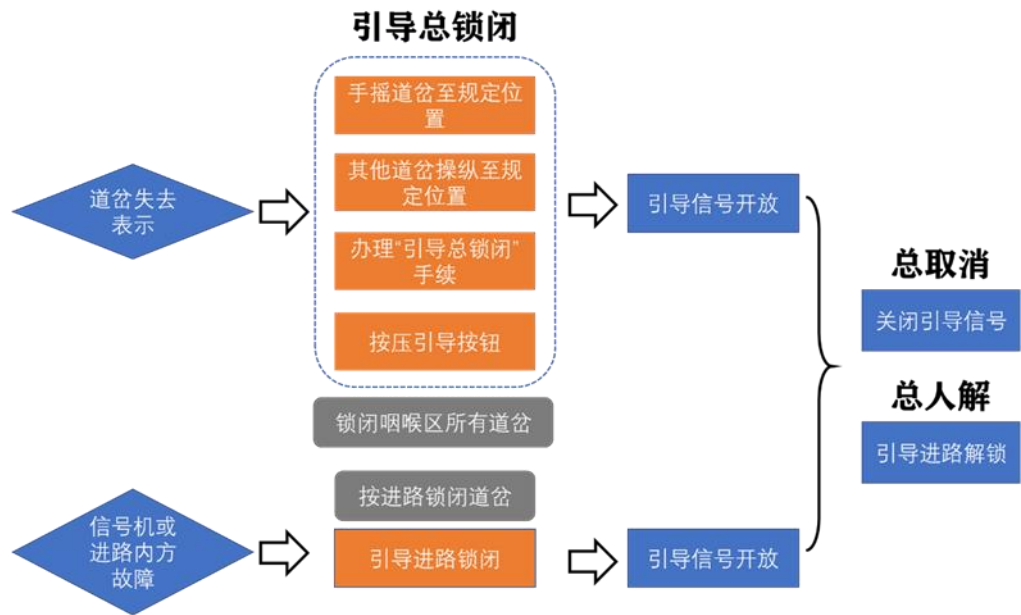


图 4-1 引导进路办理至解锁过程流程图

(3) 引导进路建立过程实例化

对报告中所使用的站场图的接车进路进行实例化，列出其所有可能诱发引导进路建立的条件，如下表所示。

表 4-3 接车进路可能诱发引导进路建立的条件

接车进路	进站信号机	可能发生故障的轨道电路区段	可能失去表示的道岔
X→S3	X	IAG、1-7DG、9DG、3G	1/3、5/7、9
X→S1	X	IAG、1-7DG、9DG、IG	1/3、5/7、9
X→SII	X	IAG、1DG、3DG、11DG、IIG	1/3、11
X→S4	X	IAG、1DG、3DG、11DG、4G	1/3、11
XF→S3	XF	IIAG、5DG、	5/7、9

		7DG、9DG、3G	
XF→SI	XF	IIAG、5DG、 7DG、9DG、IG	5/7、9
XF→SII	XF	IIAG、3-5DG、 11DG、IIG	5/7、1/3、11
XF→S4	XF	IIAG、3-5DG、 11DG、4G	5/7、1/3、11

算法基本原理：

- 点击始端按钮和终端按钮，依据表 1，检查三个条件：防护进路的信号机是否发生故障、进路内方的轨道区段是否发生故障、道岔是否失去表示；
- 若无上述故障，则可以正常建立进路；若有上述故障，则只能通过办理引导进路的方式接车；
- 若为信号机或进路内方轨道区段故障，则只有“引导进路锁闭”按钮有效；若为道岔故障，则只有“引导总锁闭”按钮有效；
- 按下“引导进路锁闭”按钮后，接车进路上所有道岔锁闭，不能用“道岔单操”转换，引导信号机开放；
- 按下“引导总锁闭”按钮后，整个咽喉区所有道岔锁闭，不能用“道岔单操”转换，引导信号机开放；
- 在通过“占用”、“出清”按钮模拟列车正常走行后，引导进路不能正常解锁；当按下“总取消”后，引导信号关闭；按下“总人解”后，引导进路解锁。此时若接近区段有车，则延时 30s 解锁。

4.1.4 通过进路

(1) 通过进路功能：

通过进路时列车正线通过车站经由的路径，由接车进路和发车进路两条进路组成，并要求接车进路和发车进路上的道岔都开通直向，通过进路是为提高效率，简化值班员办理手续而设置的。

(2) 通过进路模块的设计

1) 通过进路的建立与取消

车站值班员按动车站的接车进路始端按钮和发车进路的终端按钮，如果该进

路上所有道岔都**开通直向**，接发车联锁条件都满足，则通过进路会成功办理，接车和发车进路都锁闭并开放信号。

进路正常办理后，进站信号机显示绿灯，但前方出站信号机关闭后，进站信号机应显示黄灯。

当列车按顺序占用并出清通过进路轨道区段时，通过进路会逐段解锁。

2) 通过进路建立实例化

对报告中所使用的站场图的接车进路进行实例化，该站场进路两条通过进路，如下表所示。

表 4-4 站场图通过进路

	始端按钮	终端按钮
通过进路 1	XA	X3JG 线路上车站对向出站信号机
通过进路 2	XFA	S1LQ 线路上车站对向出站信号机

通过进路建立与解锁的算法流程为：

- 点击始端按钮和终端按钮，判断两按钮组合是否在表 2 中；
- 若在，则程序自动建立通过进路并锁闭；若不在，判断是否能够建立其他进路类型；
- 当通过进路的终端信号机因故障无法正常显示或关闭时，进站信号机显示黄灯；
- 当列车顺序占用并出清轨道区段后，通过进路轨道区段自动解锁。

4.1.5 调车进路

(1) 调车进路的组成和功能：

调车是车辆解体和编组的重要作业任务，调车进路是指调车车列所经由的进路，是咽喉区域内的进路，并不发往区间。调车信号的常态禁止灯光为蓝色，允许灯光为白色。

调车进路分牵出进路和折返进路，分别用于牵出作业和折返作业，如下图所示。

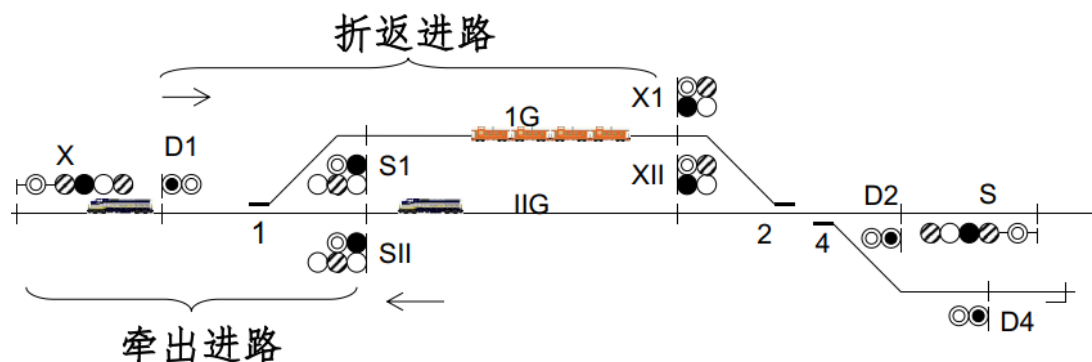


图 4-2 牵出进路和折返进路示意图

1) 调车进路的办理

调车进路的办理与接车和发车进路相同，车站值班员按下始端按钮和终端按钮，调车进路建立，道岔转动至规定位置，调车进路锁闭，调车信号开放。不同的是，调车进路的始端为起始调车信号机，终端为同方向起阻拦作用的信号机。

2) 调车进路的解锁

调车中途折返解锁是为了满足调车转线作业时中途折返的需要，提高作业效率而实现的一种自动解锁方式。调车牵出作业时往往不必走完整个牵出进路就按最近的反向折返调车信号机的显示进行折返，这就可能使原牵出进路的部分区段或全部区段不能正常解锁。调车中途折返解锁就是为了使该部分区段在满足相关联锁条件后，能够自动解锁。

该解锁方式主要包括：牵出进路上所有区段都没有解锁和牵出进路上部分区段解锁、部分区段没有解锁两种情况。

3) 长调车进路

长调车进路又叫复合调车进路，由两条或多条调车基本进路所构成，即多条相互连接的短进路组成长进路。长调车进路类似于通过进路，也是为了提高效率和简化值班员办理手续而设置的。长调车进路检查的联锁条件是其包含的调车进路所检查的联锁条件总和，所包含的基本调车进路始端信号由远及近开放。

(2) 调车建立过程实例化

该站场图中有如下调车进路。

表 4-5 调车进路表格

	起始按钮	终端按钮
牵出进路	D1A	D5A

	D5A	SI
	D3A	D7A
	D7A	SII
折返进路	D1A	D7A
	D3A	D5A
	D5A	S3A
	D7A	S4
长进路	D1A	SI
	D3A	SII

算法基本原理：

- 点击起始按钮和终端按钮，若两按钮处为**调车信号机或出站兼调车信号机**，则办理调车进路；如为长调车进路，则办理长调车进路；
- 查看轨道区段的相关道岔转换到规定位置，检查进路的联锁条件。若联锁条件满足，进路锁闭，开放调车信号；若为长调车进路，始端信号由远及近开放；
- 列车按顺序占用、出清牵出进路，若列车走行完毕，而牵出进路上部分区段没有解锁，则自动解锁；
- 折返进路按占用、出清顺序，逐段解锁。

4.2 按钮设计

4.2.1 轨道相关

① 进路建立

办理基本进路、变通进路、调车进路等列车进路。在办理不同的进路时，需要配合不同的按钮。在办理基本进路时，顺序按压进路始端信号按钮和终端信号按钮或通过按钮。办理变通进路时，顺序按压进路始端信号按钮、可以确定进路走向的一个或多个变通按钮和终端信号按钮。办理通过进路时，顺序按压通过按钮和发车进路终端信号按钮。办理带有 6‰下坡道延续进路的列车进路时，顺序按压进路始端信号按钮、终端信号按钮和处于延续进路终端的信号按钮。办理组合调车进路时，顺序按压第一段进路的始端调车信号按钮和最后一段的终端调车信号按钮。

② 总取消

用于办理进路总取消，为取消预先锁闭的进路而设置的按钮。当防护信号机已开放其接近区段未被列车或机车车列占用时，若要解除已锁闭的进路，则须办理进路取消手续。为此，需设总取消按钮(总取消)。它需要与进路始端按钮配合使用。

③ 总人解

办理进路总人工解锁。当信号机开放后，其接近区段被列车或机车车辆所占用，这时要解除已锁闭的进路，须办理进路的人工解锁(限时解锁)手续。为此对应全站(或每一咽喉区)设一个带“铅封”的总人工解锁按钮(总人解)。所谓带铅封是一种习惯称法。操作这类按钮时，需输入口令码(相当于破封)后才能生效。它需要与进路始端按钮配合使用。

④ 占用出清

模拟轨道区段的占用和出清。列车驶入某一轨道电路区段时，这一区段的轨道电路处于占用状态。列车驶离本区段后，使这一区段的轨道电路空闲，区段出清是有车占用到区段空闲的过程，表现为轨道电路由占用状态转换为空闲状态。它需与区段名配合使用。

4.2.2 信号机

① 信号重开

进行信号重开操作。当信号机开放后，如果由于轨道电路瞬间分路或其他原因导致故障而关闭，但是进路仍然处于锁闭状态，故障恢复以后，信号机开放条件满足，此时可使用“信号重开”按钮使信号机重新开放。需要与进路始端信号按钮配合使用。

② 灯丝断丝

模拟信号机的灯丝因故熔断和断丝恢复。在信号未开放前，通过操作命令栏的“灯丝断丝”按钮模拟信号机的灯丝断丝。信号机灯丝断丝后，通过点击“灯丝断丝”按钮再次点击该信号机，可恢复灯丝。需要与始端、终端信号机等配合使用。

4.2.3 初始化

① 引导按钮

当进站信号机或接车进路信号机因故障不能开放或开放后又因故障而关闭时，可按引导方式接车。为了办理引导进路和开放引导信号，在每个接车信号复示器的前方设一个白色引导信号按钮。

② 引导总锁闭按钮

当道岔失去表示或无法办理进路时，需将所在咽喉中的全部道岔锁闭后才能引导接车，为此，对应每一咽喉设置一个带灯的按钮。

③ 列车信号按钮

在每一架列车信号复示器的前方，紧靠复示器处，设置一个绿色列车信号按钮，也称做列车进路按钮。主要供进路排列、解除或重复开放信号使用。

④ 列车通过按钮

排列列车通过进路时，把正线直股接车进路和正线直股发车进路视为一条进路，只须按压个通过进路的始端按钮和一个双线发车口处的列车终端按钮或单线进站口处的信号按钮即可。为此在每进站信号复示器的前方靠近信号按钮处，设一个绿色列车通过按钮。

⑤ 引导进路

(1) 引导进路锁闭

● 办理操作：

引导按钮+输入口令+接车股道入口处的列车信号(或终端)按钮。在此操作下，无故障道岔轨道电路区段中的道岔自动转换到引导进路所需的位置，并实现引导锁闭，非故障轨道区段显示白光带，引导信号开放。若引导信号内方第一轨道区段故障，则需断续地点击“引导信号”按钮。重复点击的间隔时间应不大于 14s。否则引导信号将自动关闭。

● 引导锁闭的解锁操作：

信号机内方非第一轨道电路区段故障情况下的解锁操作：总人解+输入口令+“列车信号”按钮；

信号机内方第一轨道电路区段故障，列车尚未驶入接近区段情况下的解锁操作：总人解+输入口令+“列车信号”按钮；

信号机内方第一区段故障，列车已驶入接近区段，必须在列车到达股道后，才能办理解锁：总人解+输入口令+“列车信号”按钮。

(2) 引导总锁闭

● 办理操作:

须确认道岔位置正确、进路空闲、未建立敌对进路(敌对信号未开放)后,采取操作为“引导总锁”按钮+输入口令+“引导”按钮+输入口令。经过以上操作,对全咽喉道岔实现引导总锁闭,引导信号开放。若进站信号机内方第一轨道区段电路故障,必须断续点击“引导”按钮。点击间隔时间不应大于 14s,直到列车驶入信号机内方为止。

● 引导总锁解除操作:

列车到达股道后,点击“引导总锁”按钮才能解除引导总锁闭。

4.2.4 道岔

① 道岔按钮

对应每组道岔(公用同一控制电路)设置一个带显示的按钮。“道岔”按钮需要与道岔的一系列功能按钮配合操作才能控制道岔。

② 道岔总定

为了将道岔操纵到定位,对应全站(或每一咽喉区)的道岔设置一个共用的带灯按钮。顺序按压“总定”按钮和“道岔”按钮,可将道岔操到定位;

③ 道岔总反

为了将道岔操纵到反位,对应全站(或每一咽喉区)的道岔设置一个共用的带灯按钮。顺序按压“总反位”按钮和“道岔”按钮,可将道岔操作到反位。

④ 道岔单锁

在特殊情况下将道岔单独锁闭的按钮,顺序按压“单锁”按钮和“道岔”按钮。按压单锁按钮后该按钮呈绿闪,线路上相应道岔处出现红圆点,道岔名称呈红色,单锁按钮恢复原来的颜色。

⑤ 道岔单解

解除道岔单锁的按钮。顺序按压“单解”按钮和“道岔”按钮。

4.2.5 其他

① 溜放

模拟驼峰调车作业。调车时,调车机车先将车列从到达场推上峰顶,车辆到必要的驼峰高度,并使车钩压紧,便于摘钩;摘开车钩后利用车辆自身的重力车

辆就自行溜放,进入驼峰下调车场,完成车列的解体作业,在这段范围内设有调速设备(车辆减速器),以便调整钩车溜放速度,保证前后车组之间间隔,并且设有分路道岔以控制钩车的溜放进路。点击溜放按钮,再点击推送线的始端和溜放线的终端按钮,模拟驼峰调车作业。需要与始端信号按钮和终端信号按钮配合使用。

② 区故解

办理轨道区段故障解锁。当计算机联锁系统上电,交流停电恢复或列车通过进路后,因轨道电路故障而使部分乃至全部轨道电路区段未正常解锁时,为解除上述轨道区段的进路锁闭,设置个带铅封的区故解按钮。它需与区段名配合使用。

5. 总结

5.1 软件现存的不足及后续改进

本组开发的联锁仿真软件实现了输入输出软件、联锁逻辑软件、操作表示软件等功能的设计,并对进路逻辑关系以及按钮进行分析设计,从而实现了普速铁路计算机联锁软件的基本结构,并能实现简单的功能。

然而,本软件目前仅实现了单个车站的的仿真,考虑在后续研究中实现某区段上的多个车站的联合仿真,便于区段的协同控制与效率提升;在发生突发性紧急事件时,软件难以推出预案实现故障预警与风险评估,提前对可能发生的险情进行排除;软件仅对轨道基本设备如信号机、道岔、轨道电路进行仿真,未考虑重要铁路辅助设备如应答器、毫米波雷达、视频、计轴等硬件进行全局感知与信息交互,从而实现轨道基础设施的智能互联互通,更加提升各设备的可靠性与安全性。

以上的不足均可通过后续的进一步研究进行解决,本软件依然基于故障导向安全原则进行设计,在发生故障时使得列车停止运行,具有简明的设计逻辑与较高的可行性,希望能够在相关领域有一定的参考价值。

5.2 联锁技术的发展

车站联锁控制系统是车站信号的基础设备,基于布线逻辑的继电联锁装置自1927年问世以来已整整统治了80余年。社会在发展,技术在进步,随着电子技术和计算机技术的不断发展,一场信息技术大革命正在世界范围内迅速展开。目

前主要对可靠性和冗余容错技术进行深入研究，车站信号联锁安全技术也正在不断地更新、发展。而随着微电子技术、计算机技术、通信技术的升级换代，基于布线逻辑的继电联锁将被计算机联锁逐步取代，亦是科学技术进步的必然结果。

本次软件设计中，小组成员也遇到了许多困难，但在报告撰写完毕后，对区段设置、进路建立、道岔转换都有了更具象化的认知，也对联锁系统在车站的重要性有了更为深刻的理解。