

(6) 转辙机。车辆段内每组道岔设一台电动转辙机或电动液压转辙机。

(7) 轨道电路。车辆段内轨道电路多采用 50 Hz 相敏轨道电路，检查列车的占用和空闲。

(8) 电源设备。车辆段信号楼内设置适合于联锁设备、ATS 设备的 UPS 及蓄电池。

#### 4. 试车线设备

试车线上设若干段与正线相同的 ATP/ATO 地面设备，用于对车载 ATC 设备的试验。试车线设备室内设置用于改变试车线运行方向和速度的控制台。试车线设备室配备一套适合于 ATP/ATO 设备的 UPS，不设蓄电池、电源屏。

#### 5. 车载 ATC 设备

车载设备包括 ATP 和 ATO 两部分，用来接收轨旁设备传送的 ATP/ATO 信息，计算列车运行曲线，测量列车运行速度和走行距离，实行列车运行超速防护以及列车自动运行，保证行车安全和为列车提供最佳运行方式。

### 三、CBTC 系统结构

20 世纪 80 年代以后，在通信技术快速发展的前提下，阿尔卡特、西门子、阿尔斯通等公司相继推出了基于通信技术的列车控制(简称 CBTC—Communication Based Train Control) ATC 系统，如图 1-2 所示。该系统不依靠轨道电路向列车运行控制系统车载设备传递信息，而是利用通信技术实现“车地双向通信”并实时地传递“列车定位”信息。通过车载设备、轨旁通信设备实现列车与车站或控制中心之间的信息交换，完成速度控制。系统通过建立车地之间连续、双向、高速的通信，使列车命令和状态可以在车辆和地面之间进行实时可靠的交换，并确定列车的准确位置及列车间的相对距离，保证列车的安全间隔。列车安全间隔距离是根据最大允许车速、当前停车点位置、线路等信息计算得出的，信息被循环更新，以保证列车不间断收到即时信息。

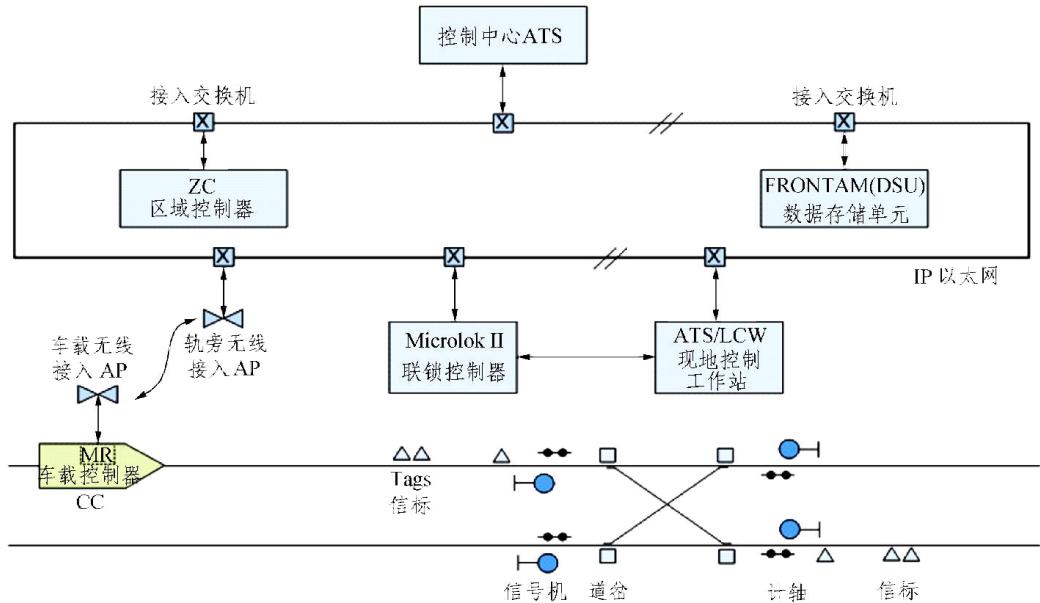


图 1-2 CBTC 系统结构图

### 1. 中央列车自动监控子系统 ( ATS )

列车自动监控子系统设备负责执行各种功能，如确认、跟踪和显示列车等，它有人工和自动进路设置功能以及调整列车的运行以保证运行时间。

### 2. 区域控制器 ( ZC )

区域控制器安装在轨旁，是基于处理器的安全控制器。每个区域控制器通过数据通信子系统和车载控制器连接。区域控制器通过运用 CBTC 的移动闭塞概念，确保列车的安全运行。临时速度限制 ( TSR ) 储存在区域控制器中。

区域控制器基于已知的障碍地点和列车位置，确定预定义的地区 ( 区域 ) 内所有列车的移动权限。区域控制器接收临时限速 ( TSR ) 指令以及该区域内列车发出的位置信息。区域控制器与 MicroLok II 接口，以控制和表示轨旁设备。每个区域控制器都是以“3 取 2”表决配置为基础。临时限速 ( TSR ) 储存在 ZC 中。

### 3. 数据存储单元 Frontam

数据存储单元给区域控制器 ( ZC ) 和车载控制器 ( CC ) 提供轨道数据描述。另外，也采集区域控制器 ( ZC ) 和车载控制器 ( CC ) 维护信息。数据存储单元传递维护信息给中央维护服务器 ( CMS )。数据存储单元也提供允许从 ATS 到区域控制器 ( ZC ) 和车载控制器 ( CC ) 通信的接口。

#### 4. 联锁控制器 MicroLokII

MicroLokII负责安全执行传统联锁功能。MicroLokII从辅助列车检查计轴系统中获得列车位置信息。MicroLokII与轨旁设备接口，诸如转辙机、LED 信号机等。为保证正确的 CBTC 运行，MicroLokII还与区域控制器（ZC）接口。

如果区域控制器、数据通信系统或是车载控制器出故障，MicroLok 将提供列车的安全运行条件，并用轨旁 LED 信号机来实现。如果数据通信子系统或车载控制器出现故障，列车以地面信号显示作为主体信号运行。另外，如果只有数据通信子系统出故障，系统提供超速防护功能并防止列车冒进红灯信号。

#### 5. 集成了 ATS 车站工作站和本地控制工作站功能的工作站

集成了 ATS 工作站/本地控制工作站功能的工作站位于设备集中站的本地调度室。该工作站通常用于监督列车运行，也可用于联锁的人工控制。集成后的 ATS 工作站/LCW 本地工作站提供两种控制功能和操作界面。原 LCW 本地工作站和原 ATS 工作站的所有功能将各自保留在集成后的工作站中。涉及 ATS 工作站/LCW 本地工作站的其他章节，ATS 和 LCW 的功能替换方法亦如此。

如果中央和本地 ATS 功能均不可用，MicroLok 自动设置正线追踪的直通进路，并在终端站自动提供折返进路。MicroLok 会自动建立列车进路，直到调度员使用本地控制工作站（LCW）进行干预或是 ATS 重启才会停止。在正线上 MicroLok 会建立接近进路。当列车接近信号机，MicroLok 会检查直向通过进路并在进路已设置时开放信号机。一旦列车越过信号机，直到下一列车接近此信号机前信号机都保持红色显示。对于 CBTC 列车，ZC 将提供 MicroLok 建立的进路的移动授权。对于终端站折返，MicroLok 定义了默认的进路。在此终端站上，所有折返都采用该默认进路。还可从 LCW 上选择另一条替代的进路。

#### 6. 车载控制器（CC）子系统

车载控制器（CC）包括基于微处理器的控制器、相关速度测量及位置定位传感器（在轨旁信标的辅助下）。车载设备与列车的各子系统接口，并通过 DCS 与区域控制器接口。车载控制器负责列车定位、允许速度执行、移动授权以及其他有关的 ATP 和 ATO 功能。CC ATP 采用“3 取 2”表决方式。每端的 ATO 有一套冗余的设备。如果一个 ATO 单元故障，同一端的另一个 ATO 单元将接替工作。切换是自动的（不影响列车运行），不需要人工干预。

#### 7. 数据通信子系统 DCS

数据通信子系统 ( DCS ) 使用 UDP/IP 协议，在信号系统各设备之间提供双向的安全的数据交换。用户数据包协议是一个非连接协议。在应用层，有另一种称为 Reliable P 的协议，给事件驱动消息提供点到点的转发机制。DCS 系统采用有线 IEEE 802.3，无线 IEEE 802.11 g 的通信标准，提供开放式的接口。它是一个非安全的系统，但是通过其传送的消息受安全算法的保护。系统设计能够消除单个独立故障或多个相关故障对系统的影响，通信系统对列车控制操作是透明的。

#### 四、CBTC 系统控制等级

CBTC 系统提供 3 个列车控制等级：CBTC，点式 ATP 和联锁控制。每一个等级基于各个列车控制子系统的运行状态提供相应的操作和性能，如图 1-3 所示。

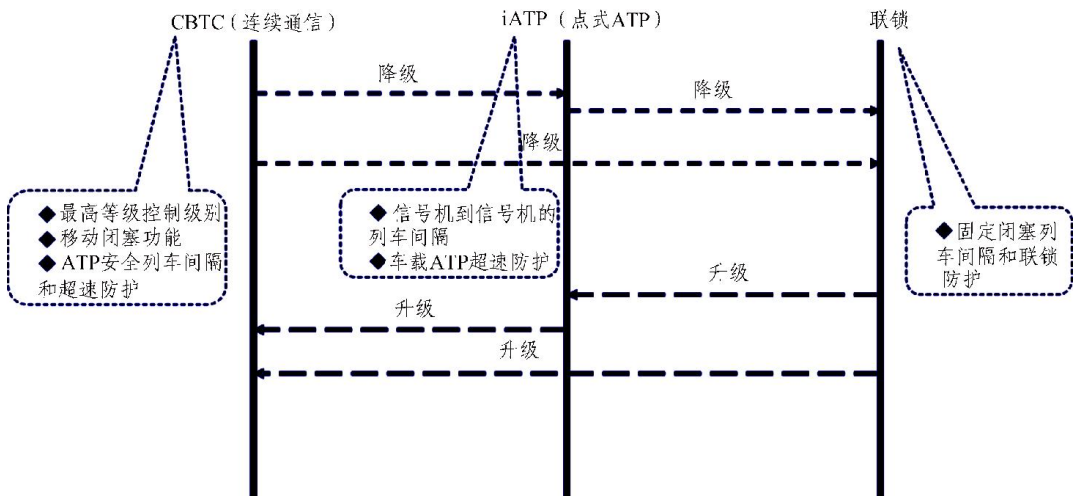


图 1-3 CBTC 列车控制等级

##### 1. CBTC——完整的系统操作和性能

CBTC 要求所有列车控制子系统，包括轨旁、中央、车载和通信子系统，都完备并工作。CBTC 提供最高等级的系统操作和性能。CBTC 提供移动闭塞安全列车间隔和保护，全功能的车载 ATP/ATO。支持所有定义的 ATC 驾驶模式。其中某些提供完整的系统操作和性能 [ 自动列车运行 ( AM ) 模式和 ATP 监控下人工驾驶 ( ATPM ) 模式 ]。其他模式在降级条件 [ 受限人工 ( RM ) 和非限制人工模式 ] 下提供降级操作。

##### 2. 点式 ATP——降级的系统操作和性能

点式 ATP 提供正方向的车载超速防护 ( 根据预先设定的最大限速 )，信号灯冒进防

护和 300 s 的运行间隔。点式 ATP 要求车载 ATP ( 包括所有的传感器 ) 都在工作 , 并且轨旁联锁控制系统 ( MicroLokII 和计轴设备 ) 和定位信标 ( 包括动态和静态信标 ) 也工作。区域控制器、DCS ( 骨干网除外 ) 和 OCC 不需要工作。点式 ATP 提供单一的操作模式。

### 3. 联锁控制——最低等级的系统操作和性能

联锁控制提供固定闭塞列车间隔和联锁防护 , 不能提供其他的 ATC 功能。联锁控制需要联锁系统工作。不提供其他的 ATC 功能 , 提供 ATP25 km/h 限速。除联锁外 , 不需要其他 ATC 子系统存在或工作。

### 4. CBTC 控制级转换到点式 ATP

一旦某列 CBTC 列车失去与地面 ZC 的无线通信达 5 s ( 暂定 ) , CC 发出 EB 命令使列车停车。联锁系统根据计轴设备确定本列车的位置。系统根据前行列车的位置 , 自动确定本列车前方各信号机的显示。列车驾驶模式转为 iATPM , 由司机根据地面信号显示按站间闭塞行车 , 系统提供点式 ATP 防护。

### 5. CBTC 控制级转换到联锁控制级

当 CBTC 其他子系统均故障时 , 系统自动转换到联锁控制级。联锁系统根据计轴设备确定各列车的位置 , 并据此确定各信号机的显示。联锁系统可自动设置自动进路及折返进路 , 也可由值班员人工设置进路。列车停车后 , 将驾驶模式转为 NRM , 由司机根据地面信号显示行车。

### 6. 点式 ATP 或联锁控制级转换到 CBTC 控制级

故障消除后 , 系统自动确定列车的准确位置并自动进入 CBTC 运行环境。列车转换到 CBTC 正常驾驶模式后 , 系统恢复正常 CBTC 运行。

## 典型工作任务 2 ATP 系统结构及功能

### 【工作任务】

1. 掌握 ATP 的基本概念及功能。
2. 掌握车载 ATP 系统的硬件组成及作用。

3. 掌握轨旁 ATP 系统的硬件组成及作用。
4. 了解 ATP 系统的技术要求。

## 【知识准备】

CBTC 系统的特点是以实时的双向无线通信来实现车地信息交互，传输信息量大且快速，区间通过能力强，列车速度较高、运行间隔小，在此情况下保证信号系统的安全性和可靠性尤为重要，在 CBTC 系统中，我们将实现这一特性的系统叫做 ATP 系统。ATP 负责全部的列车运行保护，是列车安全运行的保障。ATP 系统执行以下安全功能：速度限制的接收和解码、超速防护、车门管理、自动和手动模式的运行、司机控制台接口、车辆方向保证、永久车辆标识。

### 一、ATP 的基本概念

ATP 即列车运行超速防护或列车运行速度监督。ATP 系统的功能是对列车运行进行超速防护，对与安全有关的设备实行监控，实现列车位置检测，保证列车间的安全间隔，保证列车在安全速度下运行，完成信号显示、故障报警、降级提示、列车参数和线路参数的输入，与 ATS、ATO 及车辆段联锁系统接口并进行信息交换。

ATP 系统不断将来自联锁设备和操作层面上的信息、线路信息、前方目标点的距离和允许速度信息等从地面通过轨道电路等传至车上，从而由车载设备计算得到当前所允许的速度，或由行车控制中心计算出目标速度传至车上，由车载设备测得实际运行速度，依此来对列车速度实行监督，使之始终在安全速度下运行。当列车速度超过 ATP 装置所指示的速度时，ATP 的车上设备就发出制动命令，使列车自动地制动；当列车速度降至 ATP 所指示的速度以下时，可自动缓解。而运行操作仍由司机完成。这样，可缩短列车运行间隔，可靠地保证列车不超速、不冒进。

ATP 是 ATC 的基本环节，是安全系统，必须符合故障-安全的原则。

### 二、ATP 系统的主要功能

ATP 系统应具有下列主要功能：检测列车位置、停车点防护、超速防护、列车间隔控制（移动闭塞时）、临时限速、测速测距、车门控制、记录司机操作。

以数字音频轨道电路方式的 ATP 系统为例，ATP 系统功能可分为 ATP 轨旁功能、列车检测功能（负责根据各轨道区段的“空闲”或“占用”情况，检测列车的位置）、ATP 传

输功能和 ATP 车载功能。

## 1. ATP 轨旁功能

ATP 轨旁功能负责列车安全间隔和生成报文，完成对列车安全运行授权许可的发布和报文的准备，这些报文包括安全、非安全和信号信息等。ATP 轨旁功能又分为列车安全间隔功能和报文生成功能。

### 1) 列车安全间隔功能

列车安全间隔功能负责保持列车之间的最小安全距离，还负责发出运行授权。只有在进路已经排列，联锁功能中才发出列车运行授权，准许列车进入进路。当前方列车仍在进路中时，可为后续列车再次排列进路。

由 ATP 轨旁功能发出的运行授权根据相应的安全停车点的选择和激活而定。这些安全停车点的选定依赖于进路内轨道区段的状态。安全停车点的位置在信号系统的设计中确定，这方面的信息保存在 ATP 轨旁设备中。位置的选定是为了在各安全停车点以外提供一安全的距离。在列车控制中，安全距离提供了差错的限度。这样，在 ATP 监督下，列车绝对不可能发生通过危险点的情况。

### 2) 报文生成功能

从各种 ATP 轨旁功能里接收请求，完成整理数据、准备和格式化要传送到 ATP 车载设备的报文，并决定传输方向。这样，生成经由每个轨道区段传输的报文，然后向车载设备发出报文。传输的报文总是与受 ATP 控制的接近列车运行相反的方向馈入轨道电路。

报文由变量和包含在各变量中的数据结合而成，每个变量由下列 3 个来源编辑而成：编入 ATP 轨旁单元的固定数据，包括速度限制；可依据进路排列和轨道区段占用状态等，从有限的预设选项中选择的可转换数据；ATS 功能的可变数据，若没有该可变数据，可使用编入到 ATP 轨旁单元的缺省值。报文的长度和内容会随环境状态的不同而变化。

列车进入一段轨道区段后，立刻会生成一连串专门报文。除其他信息以外，报文还提供列车进入该区段的时间。这个信息必须对距离同步。这些报文由轨道区段的状态变化而引发，并持续数秒时间。

整理完所需数据，准备完报文之后，就会将报文转换为 ATP 车载设备要求的一种格式。报文转换采用了必要的编码保护协议，它确保 ATP 车载设备能检测到报文的错误。报文一旦完成格式化，就被传送到 ATP 传输功能。

## 2. ATP 传输功能

ATP 传输功能负责发出报文信号，包括报文和 ATP 车载设备所需要的其他数据。音频轨道电路电流以二进制编码顺序调制。当音频轨道电路显示轨道区段空闲，二进制编

码顺序为音频轨道电路设备内预设的顺序。当音频轨道电路显示轨道区段占用，二进制编码顺序为 ATP 报文产生功能生成相应的报文。对于每个占用的音频轨道电路产生单独的报文。

就地对车传输而言，音频轨道电路电流必须由轨道区段末端，迎着列车运行的方向注入。对双向运行的线路，送电点及传输方向必须根据列车的运行方向转换。转换传输方向所需的信号由 ATP 轨旁功能中的报文发生功能发出。

在每个要求本地再同步化的地点，提供同步定位环线。由未调制载波连续向环线供电，载频由单独的传送器发出。同步定位环线发出感应信号在列车经过环线时可由 ATP 天线接收到。环线在预定的间隔距离后交叉，感应信号以预定的模式发生相位变化，这种变化能被车载 ATP 车载设备识别。这种模式用于 ATP 车载设备识别时间，即为车载接收天线经过已知环线点的时间。以这种方式就能够达到满意的再同步。

ATP 传输功能的输入是来自 ATP 轨旁功能的要传输的报文和相应选择传输方向的控制信号。

ATP 传输功能的输出：感应信号沿着整个轨道区段连续地传输信息；信号利用钢轨作为传输天线，以合适的传输方向发出，且只包括报文数据；感应信号利用同步定位环线作为传输天线传输间歇的信号，这个信号提供本地再同步的精确位置信息。这些感应信号共享一个共同的传输媒体（即轨道同列车之间的空隙），因此它形成了一个在 ATP 车载设备内接收的单一信号组合。

### 3. ATP 车载功能

ATP 车载功能负责列车安全运行，并提供信号系统和司机间的接口。车载功能由下列子功能组成：ATP 命令解码、ATP 监督功能、ATP 服务/自诊断功能、ATP 状态功能、速度/距离功能，以及司机人机接口（MMI）功能。

#### 1) ATP 命令解码

轨旁音频轨道电路将格式化的数据传送到车上，车载 ATP 设备要将报文解码，以实现各种 ATP 功能。

#### 2) ATP 监督功能

ATP 监督负责保证列车运行的安全。各监督功能管理列车安全的一个方面，并在它自己的权限内产生紧急制动；所有的监督功能，在信号系统范围内提供了最大可能的列车防护。各种监督功能之间的操作是独立的，且同时进行。

ATP 监督包括：速度监督、方向监督、车门监督、紧急制动监督、后退监督、报文监督、设备监督等。



### 3 ) ATP 服务/自诊断功能

ATP 服务/自诊断功能负责采集、存储、记录、调用列车数据、状态信息，为 ATP 监督提供服务，完成 ATP 车载设备的自诊断。

### 4 ) ATP 状态功能

ATP 状态功能负责根据主要情况选定正确的状态和模式。

在列车有电的情况下，ATP 车载单元可能处于 3 种状态中的 1 种：激活的、待用的、备用的。其中备用状态是暂时的状态。

在 ATP 车载单元负责监督列车时，使用激活状态。ATP 车载单元监督列车的责任，取决于其中一个相关驾驶控制台的状态（“关”或“开”）。如果两个驾驶控制台的其中一个是“开”的状态，那么 ATP 在 RM、3 M 或 ATO 模式中进行的操作取决于 ATP 状态功能。

当 ATP 车载单元不负责监督列车时，使用等待状态。在列车得到电源但却没有插入钥匙的情况下，即刻出现待用状态。

备用状态只是暂时的状态，当钥匙插入任何一列列车的驾驶室时，立即执行启动自检，完成后更换为激活或待用状态。

### 5 ) 车门释放功能

车门释放功能保证当显示安全时允许打开车门，在所有的信号模式中连续使用此功能。

在满足下列条件时可得到车门释放指令：

- ( 1 ) 列车已停在带非安全停车点的预期停车窗内；非安全停车点对应于列车长度。
- ( 2 ) ATP 车载单元接收到许可打开车门的报文。

根据站台的布置，车门释放可以在列车的任意一侧或两侧。

在特殊情况下（例如列车停在预期停车窗以外），列车停稳时司机可按下车门紧急按钮，不用考虑上述条件就可得到车门释放命令，允许列车车门的打开。当以这种方式得到车门释放时，司机必须完全负责车门的安全操作。

在特定条件车门释放功能不再适用，或在紧急开门按钮给出释放的情况下，当从车门接点接收到“全部车门关闭”信号，列车开始起动（例如列车速度超过 ATP 零速度），车门释放终止。

车门释放功能的输入源于：车载速度/距离功能的现行速度和位置、列车长度、ATP 传输功能的许可车门打开的报文、紧急车门按钮。

车门释放功能的输出向 ATO 功能和司机人机接口功能发出车门释放指示，向车门控制发出车门释放许可。

### 6 ) 速度/距离功能

速度/距离功能基于测速单元的输入，负责测定列车的运行速度、运行距离和运行方向。

对于采用数字音频轨道电路的 ATC 系统，距离是根据各轨道电路的始端来测量的，并通过使用测速单元的输入和固定数据（车轮直径）来确定。计算距离准许车轮直径、脉冲发生和车轮黏着/打滑而造成的误差。

速度/距离功能接收测速单元的输入，将当前读数的脉冲计数与先前读数和部分计算出的运行距离进行比较。这些部分距离被累加后提供一个确切的运行距离。通过对特定时间间隔距离部分的累加，测速功能可以确定列车的实际运行速度。在系统设计中根据要求可提供更高的速度灵敏度，累加距离部分的时间间隔是可设置的。

从测速单元的输入提供一个渐增或渐减的脉冲计数，这个脉冲计数是测速单元根据列车移动的方向给出的。通过对当前读数与先前读数的比较，速度/距离功能可以确定列车的运行方向。

速度/距离功能的输入：从测速单元中获得的读数，从安全数据入口功能中获得的的车轮直径数据。速度/距离功能的输出通过列车总线用于其他 ATP 车载功能，ATO 功能和司机人机接口功能中。

#### 7) 距离同步功能

ATP 轨旁功能记录音频轨道电路的占用情况（这个信息由列车检测功能提供），然后 ATP 轨旁功能向列车传送有关在报文中音频轨道电路占用经过时间的信息。这个时间考虑到包括允许检测、列车检测功能相关的传输延误、地对车传输相关的处理和传输延误在内的余量。

一接收到 ATP 轨旁功能的同步化信息，距离同步化功能就通过计算在报文中消逝时间内列车运行的部分距离来计算列车前方的位置。计算包括列车前方位置相对于第一个轮轴的调整、检测报文中延误的偏离值。

距离同步功能的输入来自 ATP 轨旁功能的同步化信息。

距离同步化功能的输出通过列车总线送至其他 ATP 车载子功能和 ATO、司机人机接口功能中。

#### 8) 本地再同步化功能

对于列车位置高精度要求，提供本地再同步化（例如停车窗和车门释放监督）。这是通过使用预定的同步基准点（同步定位环线的交叉点）实现的。由列车检测的同步基准点，预计位于列车已知的距离窗内，并假定列车距离的测量误差在规定限制范围以内。一旦达到第一个同步基准点，就会精确地知道列车的位置。在某种程度上，交叉模式的选定是由于停车点已足够地接近交叉点因而达到了所需的精度。

本地再同步功能的输入来自报文接收/同步定位环线检测功能的同步定位环线检测。

本地再同步功能的输出提供当前音频轨道电路内再同步当前位置，使得至其他 ATP 车载子功能和 ATO 功能成为可能。

#### 9) 报文接收/同步定位环线检测功能

报文接收/同步定位环线检测功能的一个作用是从 ATP 轨旁功能接收、解码报文信号。通过安装在前方列车驾驶室底部的接收天线接收报文。当 ATP 车载单元一打开，此功能对各有效传输频率进行搜索，直到它识别出基于接收信号幅值的、当前列车所在的音频轨道电路使用的频率。一旦该频率形成且接收到报文，下一音频轨道电路的音频就会从报文数据中确定。

如果报文接收功能确定在传输中出现错误，会以无效而拒收报文。在特定时间/距离之内若没有接收到有效报文，就会触发紧急制动功能。

报文接收/同步定位环线检测功能的另一个作用是在轨道中检测同步定位环线。

检测到同步定位环线的时间很重要，它用于列车定位本地再同步中。

报文接收功能的输入来自折返功能的当前轨道电路频率以及 ATP 轨旁功能的报文。

报文接收功能输出报文数据，同步定位环线检测功能的输出至本地再同步功能。

#### 10) 司机人机接口 (MMI) 功能

MMI 提供信号系统与司机的接口。借助于 MMI，司机可以按照 ATP 系统的指示运行。MMI 向司机显示实际速度、最大允许速度，以及 ATP 设备的运行状态。另外显示列车运行时产生的重要故障信息，在某些情况伴有音响警报(例如超过了最大允许速度)。显示信息的类型和范围取决于设备的操作规程和 ATP 设备的配置。

司机人机接口功能包括司机显示功能和司机外部接口。

##### (1) 司机显示功能。

司机显示功能向司机提供驾驶列车时所需的全部信息，包括：实际速度；允许速度(只在 SM，ATO 和 AR 信号模式中)；从最大限制的 ATP 功能条件下推算出的目标距离/速度；“驾驶状态”(即在牵引、惰行和制动方式下的移动)；“运行模式”(RM，SM，ATO 或 AR 模式)；列车折返运行(在 AR 模式有效时显示，也在 AR 按钮按下时显示确认)；列车停在预定停车窗以外；车门状态显示；向司机提供列车车门打开一侧的显示；关门指令；出站命令；车辆段显示(列车在车辆段时的车辆段识别显示)；实施紧急制动；ATP/ATO 故障等。

司机显示功能的输入来自 ATP 和 ATO 功能的当前状态。

##### (2) 音响报警功能。

当列车速度/位置超过警告速度曲线时发出音响报警。允许速度由制动曲线确定，警告速度曲线是允许速度加上一个特定速度余量来表示的。计算出警告速度曲线用于给出

一个固定的司机反应时间，以触发紧急制动。

音响报警功能的输入是 ATP 速度曲线、列车实际速度和位置、ATP 功能紧急制动实施的显示。音响报警功能的输出对司机进行音响报警。

司机外部接口用于司机驾驶操作。

#### 11) 折返/改换驾驶室功能

在列车进行折返的情况下，要求司机改换驾驶室。

ATP 车载设备必须考虑到使用不同的驾驶操作台，保存有关相对轨旁位置、列车前部和后部的信息。改换驾驶室引起列车前部和后部的互换，ATP 车载设备必须相应地调整位置信息。

折返发生故障，会导致在司机改换驾驶室且打开在列车的前头的驾驶操作台时，ATP 设备不能进入 SM 模式。

列车停稳后 ATP 车载设备收到要求折返报文以后自动生成 AR 模式。此类报文可通过 ATS 功能发出的命令给出，也可当列车进入在全部列车需要折返地点的相应轨道区段时自动生成。

使用 AR 模式的方法是当列车停在站台、车站后的折返轨或可接收到相关报文的任何位置时，执行折返。

当列车停在折返轨，会自动选定 AR 模式，并接收到相应的报文。这时，安装在司机操作控制台上的 AR 按钮会亮，并显示可以执行折返处理。司机通过按压 AR 按钮表示接受，AR 按钮闪亮。司机关闭驾驶控制台，并在没有司机的情况下实施自动折返。司机离开原驾驶室，如果需要的话可走到列车另一端的驾驶室。在折返有效时，列车另一端驾驶室里的 AR 按钮闪亮，表示该驾驶室已经可以使用。同一或另外的司机打开先前驾驶室的司机操作控制台，ATP 车载单元进入 SM 模式并准备列车的返回运行。

### 三、ATP 系统的组成

ATP 系统主要由车载 ATP 和轨旁 ATP 组成。车载 ATP 设备由车载控制器、速度传感设备、应答器读取设备、无线通信设备组成，负责列车的通信传输、实时定位、精确计算、指令发布以及安全防护功能的实现。轨旁 ATP 设备由区域控制器和线路控制设备组成，具有计算移动授权、管理线路数据、传输指令等功能。ATP 系统提供列车运行间隔控制及超速防护，对线路上的列车进行安全控制。ATP 系统确保与安全相关的所有功能，包括列车运行、乘客和员工的安全。

#### 1. 车载 ATP 系统

基于通信的 CBTC 系统的车载 ATP 系统车头、车尾各一套，头尾两端通过通信线缆相连，用以实现头尾两端设备之间的通信以及车地无线通信的双路冗余。车载 ATP 系统通常采用“3 取 2”的安全冗余技术，确保了车载系统的安全性、可靠性及可用性。

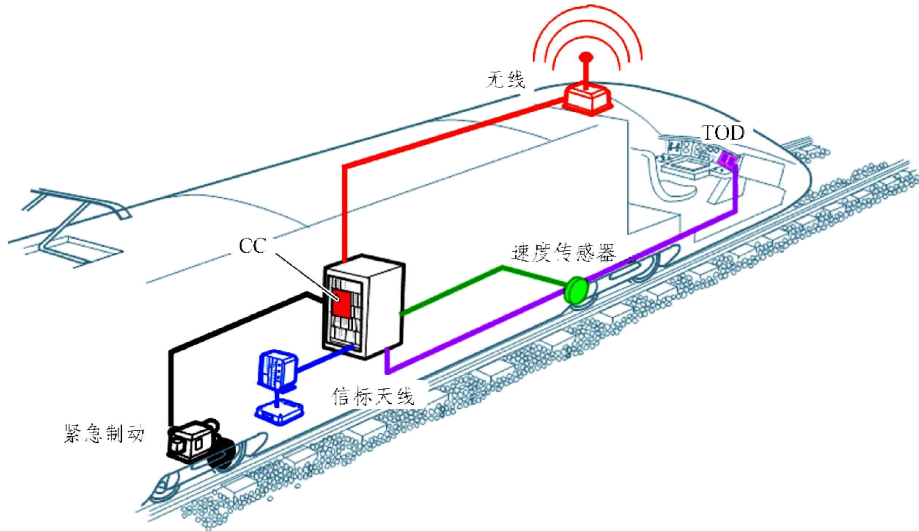


图 1-4 车载设备配置图

车载 ATP 系统的组成主要包括：CC 机架、速度传感设备、信标读取设备、车载无线通信设备、人机交互设备、加速度计等，如图 1-4 所示。

### 1) CC 机架

每个 CC 机架安装在带锁的柜子中。该单元安装在开放的支架里，与框架相配。CC 机架包括一个 ATP/ATO 机箱，两个外围设备机箱，一个与安全继电器和连接器接口的面板。

### 2) 速度传感设备

随着车轮轮齿的转动，当传感器经过轮齿的时候会输出数字脉冲。这些脉冲由硬件计数器来计数，从而可以在给定周期内测试速度。速度传感器经过多次现场使用并且被证明是非常可靠的。设备的配置和传感器的数量针对不同应用可能不同，并且车轮每转一圈的能够输出脉冲数量也与速度传感器的通道数量有关，与输出通道之间的相移（如何把各个通道的输出整合在一起来提高分辨率）也有关系。

### 3) 信标读取器

信标读取器天线安装在转向架上。信标读取器使用两个不同的通道来提供信息给车载控制器：一个指示开/关状态的磁场强度信号和一个数据的串口连接。串口连接也提供

诊断信息通道以便 CC 能够监视信标读取器的状态。除此之外，车载控制器将会关联来自读取器的诊断信息、磁场强度信号和关于信标正在读取的信息来判断是否是信标读取器故障。

#### 4) 车载无线通信设备

车载数据通信系统 (DCS) 由移动通信系统 (MR) 和 MR 天线构成。在列车每端，安装有一个 MR 和两个 MR 天线。MR 是车载无线设备，用来在车载设备(如 ATP 和 ATO) 和轨旁设备间传输数据。车载 ATP 和 ATO 子系统通过两个独立的以太网连接到 MR。CC 的以太网扩展设备 (集成在以太网延长器板上) 利用双绞线彼此连接，实现车厢之间的网络通信。

#### 5) 人机交互设备

列车司机显示器的报警器在超速时发出持续的声音。显示器实际布局在设计联络阶段完全按运营需求设置。列车司机显示器包含部分冗余-双以太网端口。

列车司机显示器显示信息包括但不限于：

- 停站时间结束。
- 车载设备状态。
- 当前驾驶模式。
- 超速。
- 速度表。
- 目标距离 (至限速点或停车点)。

#### 6) 加速度计

加速度计分为两套，每套有两个不同的加速度计。两套设备提供高可用性。必须对每套加速度计做一个比较，以确认输出的有效性。空转/滑行开始时，列车使用空转/滑行开始前的速度，利用加速度仪进行补偿，来计算当前的速度和位置。一旦空转/滑行结束，速度和位移的测量将切换回速度传感器。

## 2. 轨旁 ATP 系统

轨旁 ATP 系统主要由位于线路上不同车站的一个或者多个区域控制器 (ZC)、线路管理器及轨旁电子单元 (LEU) 组成。

### 1) 区域控制器 (ZC)

ZC 是地面基于通信的 CBTC 系统的 ATP 系统核心控制设备，是车-地信息处理的枢纽。ZC 根据各厂商的不同，通常采用“2 乘 2 取 2”或“3 取 2”冗余结构的安全计算机平台。

ZC 接收由其控制区内列车发出的位置信号，它负责根据所有已知障碍物的位置和运行权限来确定其区域内所有列车的运行权限，障碍物包括其他列车、封闭区段、失去状态的道岔以及任何外部因素，从而为其控制范围内的 CBTC 列车计算生成移动授权，确保在其控制区域内 CBTC 列车的安全运行。ZC 也回应相邻 ZC 的授权申请。

## 2) 线路管理器

线路管理器是 CBTC 系统中的地面重要控制设备，主要负责全线临时限速，以及数据存储和数据库版本管理等功能。线路管理器根据各厂商不同，使用与 ZC 子系统相同的基于“2 乘 2 取 2”结构或者双机设备冗余机构的硬件平台。

## 3) 轨旁电子单元 (LEU)

轨旁电子单元 (LEU) 是与有源应答器直接连接的设备，是在 CBTC 降级，采用后备模式下使用的 ATP 地面设备。LEU 向有源应答器发送点式级别下的列车移动授权信息，列车通过读取有源应答器获得运行权限。根据各厂商的系统特点，部分厂商轨旁 ATP 未配置 LEU。

# 四、ATP 系统的技术要求

## 1. ATP 系统的基本要求

(1) ATP 系统应由列车自动防护的轨旁设备、车载设备和控制区域内的联锁设备组成；联锁设备属于安全系统并纳入 ATP 系统。但在系统阐述时，可将联锁设备列为子系统独立论述。

(2) 城市轨道交通必须配置 ATP 系统，其系统安全失效率指标应优于  $10^{-9}/h$  (信号系统安全失效率指标通常定义为  $10^{-11}/h$  或  $10^{-9}/h$ )。

ATP 系统内部设备之间的信息传输通道也必须符合故障-安全原则。

(3) 闭塞分区的划分或列车运行安全间隔，应通过列车运行模拟确定，并经列车实际运行校验。为保证行车安全，在安全防护地点运行方向的后方应设安全防护距离或防护区段，安全防护距离应通过计算确定。安全防护距离涉及信号系统控制方式及其技术指标、列车速度、车辆性能和线路状态等多种因素，主要决定于一定的速度条件下，设定的紧急制动距离和有保证的紧急制动距离之差。在列车跟踪运行的情况下，安全防护距离应增加列车尾车后部车轴可能未被检出的附加距离。

(4) 城市轨道交通的 ATP 系统应采用连续式控制方式。连续式控制方式主要是指安全输入信息连续采集，并实现连续控制。宜采用速度-距离制动模式。列车位置检查可采用轨道电路、轨道环路等方式实现。

(5) 城市轨道交通宜采用计算机联锁设备，也可采用继电联锁设备。

## 2. ATP 车载设备的技术要求

ATP 车载设备在满足 ATP 系统基本要求外，还应符合下列规定：

(1) ATP 系统导致列车停车为最高的安全准则。地车连续通信中断、列车完整性电路断路、列车超速、列车的非预期移动、车载设备重要故障等均应导致安全性制动。

(2) ATP 车载设备的车内信号应是行车的主体信号。车内信号至少包括列车实际运行速度、列车运行前方的目标速度；在两端司机室内均应装设速度显示、报警装置和必要的切换装置。

(3) ATP 执行强迫停车控制时，应切断列车牵引，列车停车过程不得中途缓解；ATP 执行的强迫停车控制，包括常用制动或紧急制动控制等不同方式，但最终控制模式应为紧急制动控制。考虑到行车的安全，要求停车过程不得中途缓解，并应在列车停车后，司机履行一定的操作手续，列车方能缓解。

(4) 车载信号设备与车辆接口电路的布线应与其主回路等环节的高压布线分开敷设并实施防护；与车辆电器的接口应有隔离措施。

## 3. ATP 地面设备的技术要求

ATP 地面设备在满足 ATP 系统基本要求外，还应符合下列规定：

(1) ATP 地面设备宜采用报文式无绝缘轨道电路或适用于其他准移动闭塞、移动闭塞 ATC 系统的地面设备，也可采用模拟式移频轨道电路。

(2) ATC 控制区域宜采用无绝缘轨道电路，道岔区段、车辆段及停车场线路可采用有绝缘轨道电路。区间轨道电路应为双轨条回流方式；道岔区段、车辆段及停车场轨道电路可采用单轨条回流方式。相邻轨道电路应加强干扰防护。轨道电路利用兼作牵引回流的走行轨时，装设的横向均流线应不影响轨道电路的正常工作。

(3) ATP 地面设备向 ATP 车载设备传送的允许速度指令或线路状态、目标速度、目标距离等信息，应满足 ATP 车载设备控制方式和控制精度的需要。

# 典型工作任务 3 ATP 系统分类及工作原理

## 【工作任务】

1. 理解点式 ATP 系统的工作原理。
2. 理解连续式 ATP 系统的工作原理。
3. 理解 ATP 系统车地双向通信原理。



## 【知识准备】

ATP 主要用于对列车驾驶进行防护，对与安全有关的设备或系统实行监控，实现列车车间隔保护、超速防护等功能。由于城市轨道交通列车车间隔时间短，目前在大城市修建的地铁与轻轨，根据系统分类的不同，运行间隔可达到一般为 90 s 或 210 s，在如此短的列车车间隔条件下，作为确保行车安全的信号系统，已不能单纯地依靠地面信号显示行车，而必须有一个高可靠的、能够实现速度实时显示和监督、防护的系统，因此 ATP 系统在城市轨道交通中承担着确保行车安全的重要职责，是 ATC 系统中最关键的一环。

ATP 系统根据车地信息传递方式和运营等级的不同，可划分为点式和连续式两类。前者是在线路上的固定位置安装应答器，当列车驶过该应答器时，安装在列车底部的应答器读取设备接收到来自应答器的地面信息，由车载计算机实时计算得出列车位置信息及 ATP 信息。后者则是通过沿线路敷设线缆、利用多信息轨道电路或者用无线通道来实现车、地的信息联系。显然，后者因信息的连续性而具有较佳的控制性能，而点式系统也因其成本低廉、安全可靠、维修方便等优点深受欢迎，且特别适合在客流量较低，对行车效率要求不高的情况下采用。

### 一、点式 ATP 系统

点式 ATP 是一种点式传递信息，用车载计算机实现信息处理，最后达到列车自动防护目的的系统。系统在结构上分为地面设备（主要是地面应答器）和车载设备两部分，如图 1-5 所示。

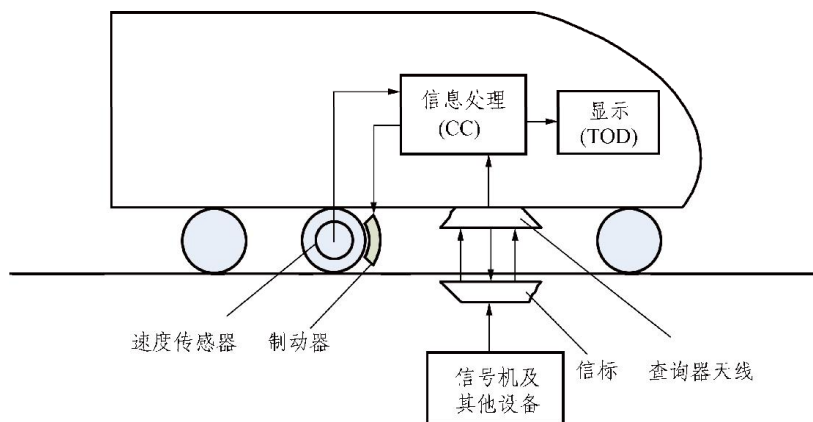


图 1-5 点式 ATP 系统结构图

系统利用动态应答器可以向列车传递地面不同信息条件，可以构成简单的点式 ATP 甚至点式 ATO 防护系统。点式 ATP 系统主要由动态应答器、计轴设备、信号机、地面

联锁设备、车载应答器查询设备、车载轨道数据库、车载速度传感器、车载计算机等设备组成。地面联锁设备根据控制中心 ATS 指令或人工办理的指令，排列相关进路、锁闭相关道岔、检查进路空闲、开放相应信号机显示，同时将进路锁闭开放条件等信息传送到动态应答器，在列车接近动态应答器时通过查询器天线读取应答器信息，并将信息传送给车载计算机，车载计算机接收到地面控制信息后，结合车载轨道数据库信息，计算生成一次制动模式曲线，指导车载信号设备或司机驾驶列车运行，确保行车安全。

任何列控系统均需车-地信息传输通道，点式系统也不例外。点式系统是利用静态和动态应答器向列车传递控制信息，静态应答器向列车传递线路曲线、坡度、线路坐标、线路长度等固定的特定信息。列车检测到两个相邻的静态应答器后会完成初始化定位，一旦被初始化，列车的位置会根据静态应答器的检测结果逐步更新。静态应答器通常由列车上的查询器天线发出的信号提供电力。当列车经过一个静态应答器时，列车接收到一个数字信息，识别该应答器并且输入一个数据进入轨道数据库，确定该应答器在轨道数据库中的地理位置，同时结合速度传感设备计算列车所走行的距离，便可以确定列车所在的具体位置。因速度传感设备存在测量误差，故每读取到一个静态应答器时，列车会结合应答器提供的位置坐标信息进行列车位置误差校正。

动态应答器一般向列车传递进路变化条件或信号开放条件的变化信息。点式系统利用动态应答器向列车传递前方信号开放条件和道岔开放位置，同时利用速度传感设备计算列车运行速度，结合车载轨道数据库，包括进路长度、曲线、限制速度等条件，车载计算机即可计算出一次制动模式曲线，指导车载信号设备或司机驾驶列车运行，如图 1-6 所示。

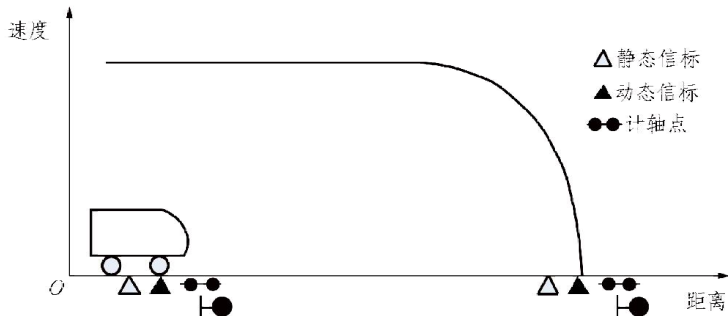


图 1-6 列车运行一次制动模式曲线示意图

动态应答器设置在信号机前方适当距离。MicroLok 与动态应答器的接口采用继电器方式，成都地铁一、二号线的安全输出继电器采用 USSI 公司生产的与其 MicroLokII 联锁设备配套使用的安全型继电器 PN150B。接点数量不够时，采用国产 JWXC-1700 型安全继电器进行复用。

MicroLok 对动态应答器的控制是通过检查信号机相应的开放条件来实现的，动态应答器通过与信号设备室中对应的信号机的相关信号继电器组成一个回路。

如果在 CBTC 状态下，室外信号机处于正常灭灯状态，则通过灭灯继电器切断动态应答器电源。

如图 1-7 所示，以蜀汉路东设备集中站为例，应答器 DT1002 的信息由其对应的信

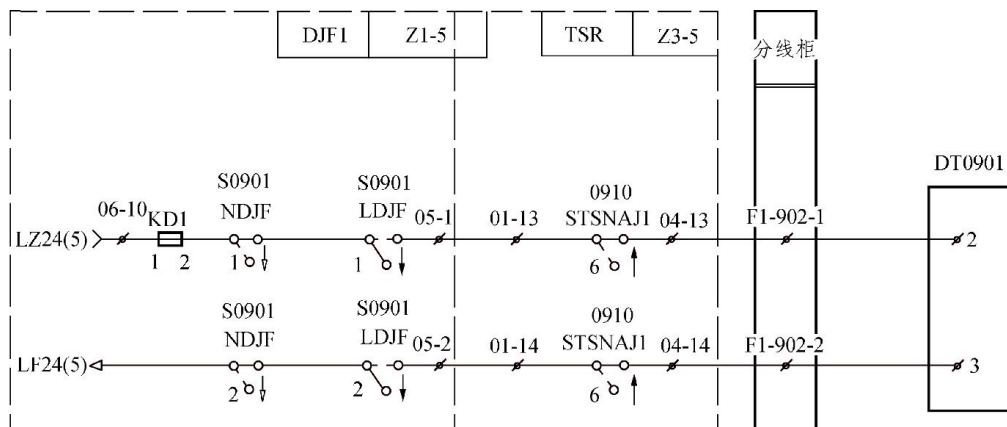


图 1-7 应答器与信号机信息交换

号机 S1002 提供。信号机 S1002 的灭灯信号继电器 MDJ，当接近列车运行模式为点式时落下，信号机 S1002 处于点灯状态。当直向进路建立后，相应的 LDJ 继电器励磁吸起，相应的信号机点亮绿灯。此时接口电路接通，动态应答器 DT1002 给出信号机 S1002 的状态信息供车载查询。

点式 ATP 系统采用符合“故障-安全”原则的计算机系统，安全性较高，能有效地实现列车自动防护功能。同时能给司机充分、确切的显示，包括推荐速度、目标点距离等，远比地面信号机给出的显示详细，这有利于司机最优地驾驶列车。而该系统的主要缺点是信息传递是间断的，即当列车从一个信息点获得地面信息后，要到下一个信息点才可更新地面信息，若其间地面情况发生变化，就无法立即传递给列车。要克服这个缺点，只有采用连续式列车防护系统。

## 二、连续式 ATP 系统

根据目前主流市场 ATP 系统的应用，连续式即为 CBTC 系统，其通信方式主要有自由无线和波导管两种。

车载 ATP 周期性地将列车的位置信息和速度信息发送至区域控制器 ZC，供 ZC 完成 CBTC 级别下移动授权的计算，如图 1-8 所示。

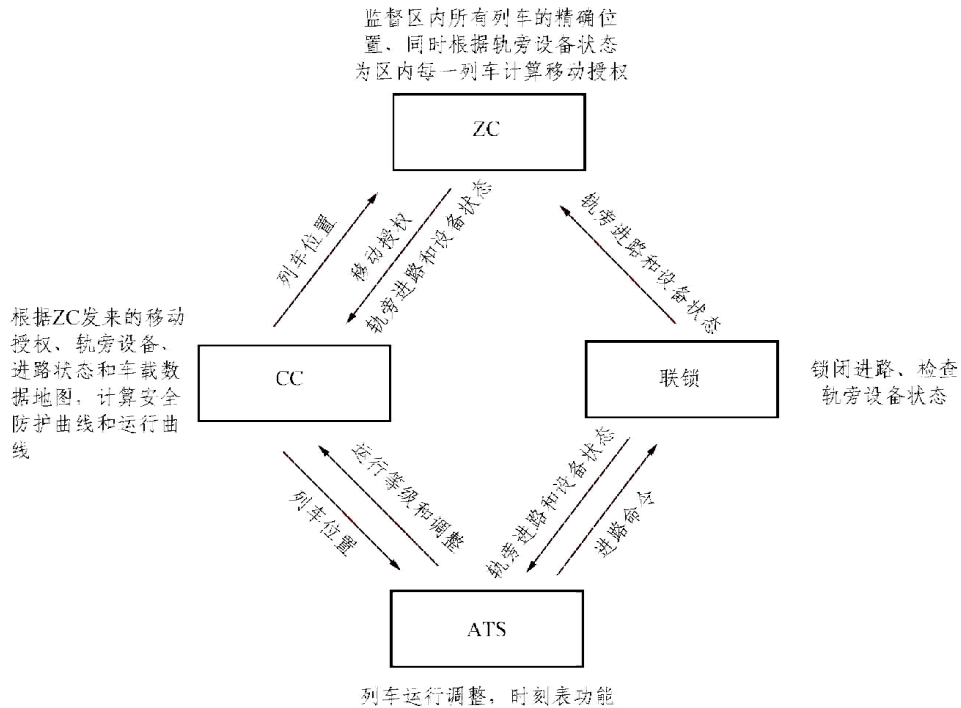


图 1-8 系统工作框图

ZC 根据列车汇报的位置信息和 CI 汇报的进路信息和区段占用/空闲信息，为 CBTC 级别列车计算移动授权后，通过无线通信设备发送至车载 ATP，控制列车在 CBTC 级别下运行。

车载控制器负责列车安全定位。CC 通过速度传感器和加速度传感器来确定列车的安全位置，该安全位置通过数据通信子系统（DCS），传输到区域控制器（ZC）以及列车自动监控（ATS）系统。CC 通过检测安装在轨道中间的静态应答器来修正列车的位置误差。

区域控制器基于该区域内所有列车的位置和方向，发出移动权限（MAL）指令，并持续更新和传输。计算移动权限，以保证列车安全隔离，并达到最小的列车运行间隔。车载控制器利用 MAL 信息来执行 ATP 和 ATO 功能。为了达到该目的，车载控制器装了一个描述列车运行所在线路的轨道数据库。

每个区域控制器通过 DCS，与区域内的轨旁 MicroLokII 单元接口。每个设备集中站都配备 MicroLokII。MicroLokII 控制和监测轨旁设备，诸如站台屏蔽门、转辙机、计轴器和信号机。MicroLokII 还与这些设备接口，将状态信息传递到区域控制器。

CBTC 控制级转换到点式 ATP：一旦某列 CBTC 列车失去与轨旁 ZC 的无线通信达

5 s ( 暂定 ), CC 发出 EB 命令使列车停车。此时, 联锁系统根据计轴设备确定本列车的位置。系统根据前行列车的位置, 自动确定本列车前方各信号机的显示。当通信故障时, 司机转换驾车模式到 iATP 模式。列车驾驶模式转为 iATPM, 由司机根据轨旁信号显示按站间闭塞行车。在 iATP 模式, 系统提供点式 ATP 防护。

### 三、车地双向通信原理

DCS 用于 CBTC 各子系统之间的通信以及全线轨旁设备与车载设备的无线信息传输。

DCS 数据传输系统由有线网络与车-地无线网络组成, 其中车-地无线网络基于 IEEE 802.11 标准构建无线局域网 ( WLAN ), 信号系统无线局域网采用 802.11 g 协议所处的 2.4 GHz 标准开放频段, 在隧道区段利用空间无线自由波进行车地双向通信, 如图 1-9 所示。

在隧道区段采用天线进行无线覆盖, 两台相邻 AP 点的覆盖区域具有一定的重叠, 以保证没有盲区。

列车的红色和蓝色无线单元分别与红色或蓝色的轨旁接入点通信。

默认情况下, 列车红色无线电台与它的主无线网络的红色接入点相连, 列车蓝色无线电台与它的主无线网络的蓝色接入点相连。在红色或蓝色接入点其中一个发生故障的情况下, 不影响另外一个接入点的正常工作。

当列车到达两个无线单元之间的重叠处时, 它将在接入点之间进行漫游切换。

