

团体标准

T/CAMET XXXX—XXXX

城市轨道交通 CBTC 信号系统 灵活编组 技术规范

Urban rail transit—CBTC signaling systems—Technical specifications for train
flexible coupling

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 基本概念 2

 5.1 灵活编组的基本概念 2

 5.2 灵活编组控制的自动化等级 3

 5.3 灵活编组协同系统基本要求 4

6 总体要求 5

 6.1 一般要求 5

 6.2 自动化等级 5

 6.3 联挂解编区域 5

 6.4 安全设计原则 5

7 功能要求 5

 7.1 机械灵活编组功能要求 5

 7.2 虚拟灵活编组功能要求 7

8 接口要求 9

 8.1 信号系统与车辆系统的接口要求 9

 8.2 信号系统与广播系统、无线通信系统的接口要求 9

 8.3 信号系统与 PIS 的接口要求 9

 8.4 信号系统与站台屏蔽门系统、间隙探测系统的接口要求 9

9 性能要求 9

10 人机交互要求 10

 10.1 ATS 人机交互要求 10

 10.2 车载人机交互界面要求 10

11 测试与验证要求 10

 11.1 室内集成测试 10

 11.2 多专业现场测试 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会通信信号分技术委员会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：北京市轨道交通建设管理有限公司、北京交通大学、北京市地铁运营有限公司、北京市轨道交通运营管理有限公司、北京全路通信信号研究设计院集团有限公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、交控科技股份有限公司、通号城市轨道交通技术有限公司、卡斯柯信号有限公司、浙江众合科技股份有限公司、北京地铁车辆装备有限公司、北京轨道交通技术装备集团有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、北京城市轨道交通咨询有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、交铁检验认证（北京）有限公司、湖南中车时代通信信号有限公司、北京纵横机电科技有限公司、重庆轨道交通运营有限公司。

本文件主要起草人：王征、李晓刚、陈卓、张传琪、吕文龙、赵川宇、张宝、杜薇、王翥、刘宏杰、宿帅、柴铭、陶宇龙、马龙、文乾、宋远、杨艳艳、李金峰、弓剑、刘伟兵、杨安玉、范礼乾、李旭、白雪明、严业智、夏庭锴、赵晓宇、吴苏娇、毕素楠、尹铎、姜波、冯明、赵越、邹洪伟、刘浩源、刘畅、徐鼎、刘晴、王亚龙、薄云览、孙华平、吕浩炯、谢星、孟红芳、王乐、朱绍文、郑再静

引 言

城市轨道交通灵活编组技术是提升车辆等资源利用率、降低运营成本、优化乘客出行体验的关键手段，其由信号系统、车辆系统、通信系统、乘客信息系统、站台屏蔽门系统等多专业深度协同实现。本文件在既有CBTC/FAO等系统标准/规范的基础上，结合北京、上海等地研究应用灵活编组技术的经验，重点突出CBTC信号系统灵活编组运行控制技术相关的内容，总结灵活编组运行控制相关的研究和应用成果，形成适用于中国国情的城市轨道交通灵活编组技术规范，指导国内灵活编组产品的研制和工程建设，促进我国城市轨道交通装备技术进步。

城市轨道交通 CBTC 信号系统 灵活编组技术规范

1 范围

本文件规定了城市轨道交通CBTC信号系统灵活编组的基本概念、总体要求、功能要求、接口要求、性能要求、人机交互要求、测试与验证要求。

本文件适用于城市轨道交通CBTC信号系统灵活编组的设计、开发、测试、使用和维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12758 城市轨道交通信号系统通用技术条件

GB/T 46097 城市轨道交通全自动运行系统通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

车辆 vehicle

在轨道线路上可编入列车运行的单节（台、辆）车。

3.2

列车 train

编组成列，可载客运行的若干城市轨道交通车辆或列车单元的组合。

3.3

列车单元 train unit

构成灵活编组列车的基本单元，具备独立运行能力，可以是一节车辆或者两节及以上车辆的组合。

3.4

领头列车单元 leader train unit

在由多组（含两组）列车单元组合形成的灵活编组列车中，按照列车运行方向，位于最前方的列车单元称为领头列车单元，简称领头车。

3.5

跟随列车单元 follower train unit

在由多组（含两组）列车单元组合形成的灵活编组列车中，除领头列车单元以外的其他列车单元均称为跟随列车单元，简称跟随车。

3.6

机械联挂 mechanical coupling technology

基于机械连接装置，通过人工或自动控制将多列（含两列）列车实现机械、电气、气路和信息联接并一体运行的技术。

3.7

虚拟联挂 virtual coupling technology

不依赖机械连接装置，通过基于无线通信的信息交互和自动控制等技术将多列（含两列）列车虚拟联接并一体运行的技术。

3.8

编组联挂 coupling process

借助机械联挂或虚拟联挂技术，将多列（含两列）列车联接成一体运行的灵活编组列车的过程。

3.9

编组解编 decoupling process

将一列灵活编组列车按列车单元解列形成多列（含两列）独立运行列车的过程。

3.10

固定编组 fixed formation

列车在线运行过程中均保持自身编组固定不变的轨道交通列车运行组织方式。

3.11

灵活编组 flexible formation

至少一列车可在在线运行过程中根据运营需要通过机械联挂或虚拟联挂技术改变列车编组的轨道交通列车运行组织方式。

3.12

机械灵活编组 dynamic mechanical coupling

采用机械联挂技术实现列车编组在线改变的一种灵活编组列车运行组织方式。

3.13

虚拟灵活编组 virtual coupling

在全自动运行系统控制下采用虚拟联挂技术实现列车编组在线改变的一种灵活编组列车运行组织方式。

3.14

灵活编组列车 virtually coupled train set

多组(含两组)列车单元使用机械联挂或者虚拟联挂技术编组后形成一体运行的列车。

3.15

相对制动列车安全分隔 relative braking based safe train separation

两列车/两组列车单元前后追踪运行时，以前车实施紧急制动作为预测其位置变化的基本条件，后车以此为目标实施安全防护，从而避免发生追尾事故的列车安全分隔原则。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AM: 列车自动驾驶模式 (Automatic Train Operating Mode)

ATO: 列车自动运行 (Automatic Train Operation)

ATP: 列车自动防护 (Automatic Train Protection)

ATS: 列车自动监控 (Automatic Train Supervision)

CBTC: 基于通信的列车控制 (Communications-based Train Control)

CI: 计算机联锁 (Computer Interlocking)

CM: 受控人工驾驶模式 (Coded Train Operating Mode)

FAM: 全自动运行驾驶模式 (Fully Automatic Train Operation Mode)

FAM-V: 全自动运行驾驶模式-虚拟编组 (Fully Automatic Train Operation Mode-Virtual formation)

GOA: 自动化等级 (Grade Of Automation)

GOC: 列车灵活编组自动化等级 (Grade Of Automation for Train Flexible Coupling)

MMI: 人机交互界面 (Man-Machine Interface)

PIS: 乘客信息系统 (Passenger Information System)

PSL: 就地控制盘 (Platform Screen Doors Local Control Panel)

SPKS: 人员防护开关 (Staff Protection Key Switch)

TCMS: 列车控制与管理系统 (Train Control and Management System)

5 基本概念

5.1 灵活编组的基本概念

5.1.1 灵活编组列车的基本运行场景应包含“独立运行”、“编组联挂”、“编组运行”及“编组解编”。灵活编组的基本运行场景转换关系见图 1。

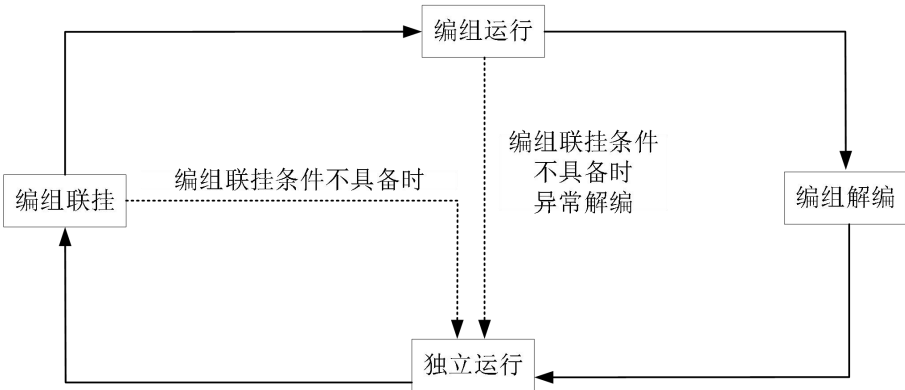


图 1 活编组列车的基本运行场景转换关系示意图

- 5.1.2 灵活编组列车的各个基本运营场景需要符合下列规定：
- a) 独立运行场景下，列车应在编组联挂前或编组解编后作为固定编组列车在线路上独立运行；
 - b) 编组联挂场景下，多列（含两列）独立运行的列车应按照规定流程在联挂解编区域利用机械联挂或虚拟联挂技术，组合为一列灵活编组列车；
 - c) 编组运行场景下，灵活编组列车应作为一个整体在线路上运行；
 - d) 编组解编场景下，灵活编组列车应按照规定流程在联挂解编区域利用机械联挂或虚拟联挂技术，分解为多列独立列车。
- 5.1.3 灵活编组的基本场景转换应符合以下方式：
- a) 独立运行时，列车在收到编组联挂指令后转入编组联挂场景；
 - b) 编组联挂完成后转入编组运行场景；
 - c) 编组运行的列车在收到编组解编指令后，转入编组解编场景；
 - d) 解编完成后转入独立运行场景。
- 5.1.4 灵活编组列车基本运行场景转换关系见图 2。

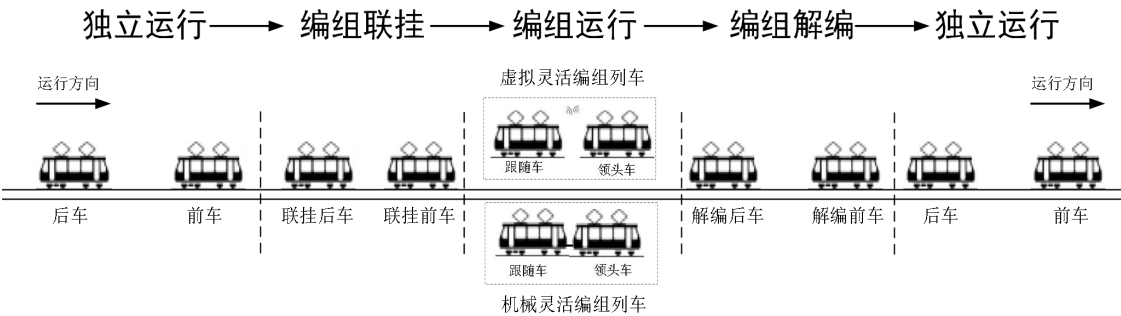


图 2 灵活编组列车基本运行场景转换示意图

5.2 灵活编组控制的自动化等级

5.2.1 按照灵活编组过程中自动化技术的作用，可将灵活编组列车控制划分为以下自动化等级，见表 1。各自动化等级下各个灵活编组过程的基本控制功能中运营人员和系统之间的责任分配应符合表 1 的规定。

表 1 灵活编组控制的自动化等级

灵活编组过程	基本控制功能	人工机械灵活编组	半自动机械灵活编组	全自动机械灵活编组	虚拟灵活编组
--------	--------	----------	-----------	-----------	--------

		GOC0	GOC1	GOC2	GOC3
编组联挂	列车编组驾驶安全防护	人工	系统	系统	系统
	列车编组驾驶控制	人工	人工和系统	系统	系统
	列车编组的联挂防护及控制	人工	人工	系统	系统
编组运行	编组内列车单元间安全防护	—	—	—	系统
	编组内列车单元追踪控制	—	—	—	系统
编组解编	列车单元间解编控制	人工	人工	系统	系统
注1：“系统”表示基于相对制动列车安全分隔防护行车安全，从而使相邻列车单元间距足够小。					

5.2.2 灵活编组列车控制的各个 GOC 等级应符合下列规定。

a) 人工机械灵活编组（GOC0）：

- 1) 人工机械灵活编组等级下，列车编组联挂、解编过程由人工完成；
- 2) 列车编组联挂时，“联挂前车”在指定的联挂解编区域处于停车状态；人工驾驶“联挂后车”接近“联挂前车”，并低速碰撞“联挂前车”，实现列车单元间的机械联挂；人工确认机械联挂结果后，实施列车单元之间的气路、电气和信息联接，完成列车编组联挂。各列车单元的牵引/制动、TCMS、车载 PIS 应实现网络贯通和一体化控制；
- 3) 当待解编列车在指定的联挂解编区域停车后，人工断开列车单元之间机械、气路、电气和信息的全部联接，由人工分别驾驶各列车独立运行。

b) 半自动机械灵活编组（GOC1）：

- 1) 半自动机械灵活编组等级下，列车编组联挂由人工和系统共同完成，编组解编过程由人工完成；
- 2) 列车编组联挂时，联挂后车”接近“联挂前车”过程中的安全防护和驾驶控制均由自动化系统负责，列车编组联挂防护及控制、列车单元之间机械连接结果的确认和气路、电气和信息联接的控制可由人工完成；
- 3) 列车编组联挂时“联挂前车”在指定的联挂解编区域处于停车状态；联挂完成后由领头车的信号车载设备对灵活编组列车进行统一控制，不需要灵活编组列车内列车单元间进行安全防护和追踪控制；
- 4) 当待解编列车在指定的联挂解编区域停车后，人工断开列车单元之间机械、气路、电气和信息的全部联接，由人工分别驾驶各列车独立运行；
- 5) 半自动机械灵活编组应兼容人工机械灵活编组功能。

c) 全自动机械灵活编组（GOC2）：

- 1) 全自动机械灵活编组等级下，列车编组联挂、解编过程均由自动化系统完成，包括车钩对中状态确认、机械连接结果确认以及列车单元之间气路、电气和信息的联接；
- 2) 列车编组联挂时，“联挂前车”在指定的联挂解编区域处于停车状态；联挂完成后，由领头车的信号车载设备对灵活编组列车进行统一控制，不需要灵活编组列车内列车单元间进行安全防护和追踪控制；
- 3) 列车编组解编时，待解编列车在指定的联挂解编区域停车后，由系统控制自动断开两车之间的机械、气路、电气和信息的全部联接，各列车单元转换为独立运行状态；
- 4) 全自动机械灵活编组应兼容半自动机械灵活编组和人工机械灵活编组功能。

d) 虚拟灵活编组（GOC3）：

- 1) 虚拟灵活编组等级下，具备列车的全自动联挂、编组运行及解编功能；
- 2) 虚拟灵活编组等级下，列车编组联挂和编组解编过程可在列车动态运行中完成，且均由自动化系统完成。采用相对制动列车安全分隔防护行车安全，避免列车单元追尾；
- 3) 编组运行过程中，各个列车单元之间由信号车载设备通过无线通信实现信息联接进行协同控制。列车单元间的牵引/制动、TCMS 和 车载 PIS 系统无直接联接。

5.3 灵活编组协同系统基本要求

5.3.1 满足灵活编组运营组织要求的相关协同系统应包括车辆、广播系统、无线通信系统、PIS、站台屏蔽门系统、间隙探测系统，协同系统需要具备以下基本要求：

- a) 机械灵活编组列车运行时，车辆系统应具备可碰撞车钩及全自动控制的电气车钩，车辆 TCMS、车载 PIS 系统应具备联挂/解编状态自动识别功能，并根据识别结果自动进行网络结构调整；
- b) 虚拟灵活编组列车运行时，车辆系统应能提供可保证的最大和最小紧急制动率，并应具备紧急制动率调整功能；
- c) 广播系统应根据灵活编组运营情况进行广播；
- d) 无线通信系统应根据灵活编组运营情况进行紧急呼叫；
- e) PIS 系统应根据灵活编组运营情况进行信息提示；
- f) 站台屏蔽门系统 PSL 箱的位置设置、开关门按钮类型及对位隔离、间隙探测功能应满足灵活编组列车停车及站台作业需求。

6 总体要求

6.1 一般要求

- 6.1.1 运行过程中，灵活编组列车应作为一列车统一实施监督与管控。
- 6.1.2 具备灵活编组控制功能的信号系统应符合 GB/T12758、GB/T46097 的规定。
- 6.1.3 信号系统的性能参数及地面设备布置应满足线路上运行的所有编组类型列车中最不利的列车参数要求。
- 6.1.4 信号系统应具备在 FAM、AM、CM 模式下实现机械灵活编组的联挂及解编功能。在 FAM 模式下应实现虚拟灵活编组的联挂、运行及解编功能。
- 6.1.5 对于全自动运行线路，信号轨旁设备布置应满足固定编组列车、灵活编组列车休眠唤醒的要求。

6.2 自动化等级

- 6.2.1 当灵活编组控制的自动化等级为 GOC1 级时，其列车运行控制的自动化等级应达到 GOA 1 级和 GOA 2 级。
- 6.2.2 当灵活编组控制的自动化等级为 GOC2、GOC3 级时，其列车运行控制的自动化等级应达到 GOA 3 级和 GOA 4 级。

6.3 联挂解编区域

- 6.3.1 机械灵活编组列车联挂解编区域宜包括站台区域、折返轨、停车线、车辆基地库线及牵出线。
- 6.3.2 机械灵活编组列车联挂解编区域线路应满足以下要求：
 - a) 定圆曲线半径不小于 110 m；
 - b) 曲线入直线半径不小于 650 m；
 - c) S 型曲线入口半径不小于 2500 m；
 - d) 竖曲线半径不小于 2000 m；
 - e) 线路坡度不大于 3‰。
- 6.3.3 对于交流牵引供电的工程，机械灵活编组列车联挂解编区域的设置应确保编组联挂和编组解编后能正常通过分相区。
- 6.3.4 虚拟灵活编组列车联挂解编区域应包括正线、配线和车辆基地的自动化区域。

6.4 安全设计原则

- 6.4.1 具备灵活编组控制功能的信号系统中涉及行车安全的设备、电路应满足“故障—安全”原则。
- 6.4.2 虚拟灵活编组跟随车与领头车之间的运行安全防护应采用相对制动列车安全分隔的原则，当发生影响安全的故障或者外界环境不满足安全防护原则时，系统的处置应符合“故障—安全”原则。

7 功能要求

7.1 机械灵活编组功能要求

7.1.1 机械灵活编组列车的编组联挂控制

- 7.1.1.1 ATS 系统应根据运行计划自动或人工下发机械灵活编组联挂指令，指令包含待联挂列车车组号、联挂解编区域。应具备检查编组联挂指令正确性的功能。
- 7.1.1.2 收到 ATS 系统下发的编组联挂指令后，待联挂列车信号车载设备应持续检查机械灵活编组联挂条件，检查的条件应至少包括：车辆反馈的允许联挂信号、本车车钩处于对中状态，联挂前车还应检查本列车停稳状态及施加了紧急制动或保持制动的条件。
- 7.1.1.3 联挂后车移动授权中应包含移动授权终点、障碍点、联挂限速点的位置以及限制速度信息。
- 7.1.1.4 联挂后车信号车载设备应根据移动授权计算安全防护曲线，防护联挂时速度不高于车钩允许碰撞速度。
- 7.1.1.5 GOC2 级机械车钩连挂后进行自动试拉作业时，联挂后车信号车载设备应能与车辆系统协同完成试拉作业，并防护试拉安全。试拉成功后，联挂后车信号车载设备应释放激活状态，自动下发电气车钩连挂指令。GOC1 级下试拉及状态确认由人工完成。
- 7.1.1.6 信号车载设备及车辆应在电气车钩连挂完成后自动完成跨车组网。
- 7.1.1.7 信号系统应识别和检查列车联挂完成状态，检查的条件包括信号跨车组网成功，以及车辆牵引/制动、TCMS、车载 PIS、车载广播系统组网成功。
- 7.1.1.8 列车联挂完成后，ATS 系统应将各列车单元车次窗合并为一个车次窗，并采用同一个车次号。灵活编组列车按整车进行计划分配、运行监控及调整。
- 7.1.1.9 机械灵活编组列车车次号显示宜与固定编组列车车次号显示进行区分。
- 7.1.1.10 信号系统应具备在中心及车载设备上显示列车编组联挂状态的功能，包括：编组联挂指令下发、编组联挂中、编组联挂成功。应具备机械灵活编组联挂过程实时监控及报警功能。
- 7.1.1.11 信号系统应具备人工撤销编组联挂指令的功能。
- 7.1.1.12 列车联挂时，信号系统应监督相应区域范围内的 SPKS 激活状态、站台紧急关闭按钮激活状态及站台屏蔽门关闭且锁紧状态。当 SPKS 激活、站台紧急关闭按钮激活或站台屏蔽门关闭且锁紧状态丢失时，应暂停机械灵活编组联挂，状态恢复后，可继续执行机械灵活编组联挂指令。
- 7.1.1.13 列车联挂时，当待联挂列车发生车辆火灾、紧急手柄拉下或车门状态丢失时，信号车载设备应向中心报警，可退出机械灵活编组联挂流程。
- 7.1.1.14 列车联挂时，待联挂列车信号车载设备应对试拉、电气车钩连挂、跨车通信建立的执行情况进行判断，若执行失败，应判断联挂失败、退出联挂流程并报警。

7.1.2 机械灵活编组列车的编组运行控制

- 7.1.2.1 信号系统应分别向机械灵活编组列车各列车单元下发唤醒指令，实现机械灵活编组列车的唤醒。列车单元各端均应进行静态测试，可进行动态测试。信号系统判断各列车单元均完成唤醒后，整列车唤醒成功。
- 7.1.2.2 信号车载设备应监督机械灵活编组列车各列车单元的轮径校准结果，机械灵活编组任意一列车单元轮径校准失败，宜判断机械灵活编组列车轮径校准失败。
- 7.1.2.3 机械灵活编组列车应由领头车信号设备向车辆发送控制命令，控制列车运行。
- 7.1.2.4 领头车和跟随车信号车载设备宜分别建立并维护列车位置信息，ATP 系统应根据灵活编组列车整体位置信息对灵活编组列车进行控制及防护。
- 7.1.2.5 信号系统应识别列车编组数量及类型，实现对应各列车车门与站台屏蔽门联动开关功能，应具备灵活编组列车车门与站台屏蔽门故障对位隔离功能。
- 7.1.2.6 信号系统应具备机械灵活编组列车的折返控制功能，应具备领头车与跟随车角色转换及各列车单元头尾换端功能，全部列车单元完成折返后，判断机械灵活编组列车折返完成。
- 7.1.2.7 信号系统应实时监测每列车单元联挂端的机械车钩连挂状态、电气车钩连挂状态，状态丢失时应按照列车完整性丢失功能处理。
- 7.1.2.8 在 GOC2 级别下，领头车与跟随车的车辆 TCMS 跨车通信中断，应进入蠕动模式。
- 7.1.2.9 ATS 系统界面上显示的机械灵活编组列车的车组号应与列车单元在线路上运行的实际相对位置关系保持一致。
- 7.1.2.10 当跟随车发生信号车载设备与地面 ATP 通信中断、ATP/ATO 设备故障、与 TCMS 通信中断、测速无效、位置丢失故障时，应能维持运行至终点站。

7.1.3 机械灵活编组列车的编组解编控制

- 7.1.3.1 ATS 系统应根据运行计划自动或人工下发机械灵活编组解编指令，指令包含待解编列车车组号、联挂解编区域。应具备检查编组解编指令正确性的功能。
- 7.1.3.2 信号车载设备应根据 ATS 系统下达的解编指令，控制列车在相应的联挂解编区域停车且施加保持制动或紧急制动状态。
- 7.1.3.3 GOC2 级下应具备自动控制列车单元联挂端依次完成电气车钩解钩以及机械车钩解钩的功能。GOC1 级下，电气车钩解钩以及机械车钩解钩均由人工完成。
- 7.1.3.4 编组解编完成后，ATS 系统应将机械灵活编组列车的车次窗分离为多个（含两个）与解编后列车数量及相对位置对应的车次窗。
- 7.1.3.5 信号系统应具备人工撤销机械灵活编组解编指令的功能。
- 7.1.3.6 信号系统应具备显示列车编组解编过程状态的功能，包括编组解编命令下发、编组解编过程中、编组解编完成状态，并应对机械灵活编组解编过程中的异常状态进行提示。
- 7.1.3.7 编组解编过程中，当发生相应区域范围内的 SPKS 激活、站台紧急关闭按钮激活、站台屏蔽门异常打开时，应立即施加紧急制动并在控制中心进行报警提示，在满足条件后可继续执行编组解编命令。
- 7.1.3.8 编组解编过程中，待解编列车信号车载设备应对电气车钩解钩、机械车钩解钩的执行情况进行判断，若执行失败，应判断解编失败、退出解编流程并报警。

7.2 虚拟灵活编组功能要求

7.2.1 虚拟灵活编组列车的编组联挂控制

- 7.2.1.1 ATS 系统应根据运行计划自动或人工下发虚拟灵活编组联挂指令，指令包括待联挂列车车组号、联挂解编区域。应具备检查编组联挂指令正确性的功能。
- 7.2.1.2 收到 ATS 系统下发的编组联挂指令后，待联挂列车信号车载设备应分别持续检查虚拟灵活编组联挂条件，检查的条件应至少包括：列车信号车载设备状态、列车通信状态、列车运行方向、列车运行模式。
- 7.2.1.3 联挂后车移动授权计算中应考虑联挂前车位置、联挂前车速度、联挂前车最不利紧急制动下的停车距离。
- 7.2.1.4 联挂前车与联挂后车建立列车间通信后应相互传送速度、位置状态信息。
- 7.2.1.5 联挂前车与联挂后车应将单车独立运行的安全防护模型转换为相对制动列车安全分隔的防护模型。
- 7.2.1.6 编组联挂完成后，领头车与跟随车的驾驶模式均应转换为 FAM-V 模式，各列车单元的激活端应与运行方向一致。
- 7.2.1.7 信号系统应与车辆系统协同实现紧急制动率调整功能，并应具备紧急制动率调整失败报警功能。
- 7.2.1.8 列车联挂完成后，ATS 系统应将各列车单元车次窗合并为一个车次窗，并采用同一个车次号。灵活编组列车按整车进行计划分配、运行监控及调整，区段占用状态按照整列灵活编组列车占用光带显示。
- 7.2.1.9 虚拟灵活编组列车车次号显示宜与固定编组列车车次号显示进行区分。
- 7.2.1.10 信号系统应具备在中心及车载设备上显示列车编组联挂状态的功能，包括：编组联挂命令下发、编组联挂中、编组联挂成功。应具备虚拟灵活编组联挂过程实时监控及报警功能。
- 7.2.1.11 信号系统应具备全线禁止、取消虚拟灵活编组联挂的功能。
- 7.2.1.12 信号系统应具备人工撤销虚拟灵活编组联挂指令的功能。
- 7.2.1.13 信号系统应按照运行计划分别向计划中以虚拟灵活编组方式发车的处于休眠状态的各列车下发唤醒指令，实现列车唤醒。列车唤醒成功后应根据计划在满足虚拟灵活编组联挂条件后自动形成虚拟灵活编组列车。
- 7.2.1.14 列车联挂过程中，信号系统应监督相应区域范围内的 SPKS 激活状态、站台紧急关闭按钮激活状态及站台屏蔽门关闭且锁紧状态；当 SPKS 激活、站台紧急关闭按钮激活或站台屏蔽门关闭且锁紧状态丢失时，应暂停虚拟灵活编组联挂。状态恢复后，可继续执行虚拟灵活编组联挂指令。
- 7.2.1.15 列车联挂过程中，当待联挂列车发生车辆火灾、紧急手柄激活或车门状态丢失时，信号车载设备应向中心报警，可退出虚拟灵活编组联挂流程。

7.2.1.16 列车联挂过程中,当待联挂列车发生信号车载设备与地面通信中断、车载 ATP/ATO 设备故障、与 TCMS 通信中断、测速无效、位置丢失、完整性丢失故障时,虚拟灵活编组列车应终止联挂并报警。

7.2.2 虚拟灵活编组列车的编组运行控制

7.2.2.1 信号系统应实时监测虚拟灵活编组运行条件,当虚拟灵活编组任一列车单元发生不满足虚拟灵活编组联挂条件的故障时,应根据故障情况按故障导向安全侧的原则制动停车或维持运行至站台停车。

7.2.2.2 领头车和跟随车信号车载设备宜分别建立并维护列车位置信息,轨旁 ATP 应根据相对制动列车安全分隔的防护模型根据各列车单元位置信息对灵活编组列车进行控制及防护。

7.2.2.3 信号系统应识别列车编组数量及类型,实现对应各列车车门与站台屏蔽门联动开关功能,应具备灵活编组列车车门与站台屏蔽门故障对位隔离功能。

7.2.2.4 虚拟灵活编组列车应具备跳跃功能。两列车单元应禁止对向跳跃。

7.2.2.5 信号系统应根据虚拟灵活编组列车整体的运行计划和状态执行进路锁闭和解锁作业,虚拟灵活编组列车整车出清进路前信号系统不应解锁和重新锁闭进路。

7.2.2.6 信号系统应与车辆系统协同,控制虚拟灵活编组列车单元区间同步运行。领头车根据虚拟灵活编组列车运行计划协同控制跟随车的运行,控制整体运行速度;跟随车根据本车状态和领头车的运行趋势控制列车速度。

7.2.2.7 信号系统应具备虚拟灵活编组列车的全自动折返控制功能,应具备领头车与跟随车角色转换及各列车单元头尾换端功能,全部列车单元完成折返后,判断虚拟灵活编组列车折返完成。

7.2.2.8 ATS 系统界面上显示的虚拟灵活编组列车的车组号应与列车单元在线路上运行的实际相对位置关系保持一致。

7.2.2.9 信号车载设备应监督虚拟灵活编组列车各列车单元的轮径校准结果,虚拟灵活编组列车任意一列车单元轮径校准失败,应判断虚拟灵活编组列车轮径校准失败,编组解编。

7.2.2.10 列车运行过程中,当发生列车客室门状态丢失、车辆紧急手柄激活、车辆火灾、站台火灾应急场景故障时,应采用故障影响范围最小化原则进行处理;当领头车故障时,宜按照整车不解编的方式统一处理;当跟随车故障时,宜主动解编后,领头车继续运行。

7.2.2.11 列车运行过程中,当领头车发生信号车载设备与地面通信中断、车载 ATP/ATO 设备故障、与 TCMS 通信中断、测速无效、位置丢失、完整性丢失故障时,虚拟灵活编组列车应立即解编并报警,领头车应立即施加紧急制动并降级,跟随车应根据移动授权确认是否施加紧急制动,并转为单车安全防护模型独立运行。

7.2.2.12 列车运行过程中,当跟随车发生信号车载设备与地面 ATP 通信中断、ATP/ATO 设备故障、与 TCMS 通信中断、测速无效、位置丢失、完整性丢失故障时,虚拟灵活编组列车应立即解编并报警,领头车应转为单车安全防护模型独立运行,跟随车应立即施加紧急制动并降级。

7.2.3 虚拟灵活编组列车的编组解编控制

7.2.3.1 ATS 系统应根据运行计划自动或人工下发虚拟灵活编组解编指令,指令包含待解编列车车组号、联挂解编区域。应具备检查编组解编指令正确性的功能。

7.2.3.2 编组解编过程中,信号系统应与车辆系统协同将各列车单元的紧急制动率恢复为默认值,并应具备紧急制动率恢复失败报警功能。

7.2.3.3 编组解编过程中,信号系统应将灵活编组列车单元信号系统安全防护模型由基于相对制动列车安全分隔的防护模型转换为单车独立运行时的安全防护模型。

7.2.3.4 编组解编完成后,ATS 系统应将虚拟灵活编组列车的车次窗分离为多个(含两个)与解编后列车数量及相对位置对应的车次窗。

7.2.3.5 信号系统应具备人工撤销虚拟灵活编组解编指令的功能。

7.2.3.6 信号系统应具备显示列车编组解编过程状态的功能,包括编组解编命令下发、编组解编过程中、编组解编完成状态,并应对虚拟灵活编组解编过程中的异常状态进行提示。

7.2.3.7 编组解编过程中,当相应区域范围内的 SPKS 激活、站台紧急关闭按钮激活、站台屏蔽门异常打开时,应立即施加紧急制动并在控制中心进行报警提示,在满足条件后可继续执行编组解编流程。

7.2.3.8 编组解编过程中,当虚拟灵活编组列车单元发生车辆火灾、车门状态丢失、紧急手柄激活时,应继续执行虚拟灵活编组解编流程并报警,在解编完成后,按照固定编组列车处置流程执行。

7.2.3.9 编组解编过程中，当领头车发生信号车载设备与地面通信中断、车载 ATP/ATO 设备故障、与 TCMS 通信中断、测速无效、位置丢失、完整性丢失故障时，虚拟灵活编组列车应立即解编并报警，领头车应立即施加紧急制动并降级，跟随车应根据移动授权确认是否施加紧急制动，并转为单车安全防护模型独立运行。

7.2.3.10 编组解编过程中，当跟随车发生信号车载设备与地面 ATP 通信中断、ATP/ATO 设备故障、与 TCMS 通信中断、测速无效、位置丢失、完整性丢失故障时，虚拟灵活编组列车应立即解编并报警，领头车应转为单车安全防护模型独立运行，跟随车应立即施加紧急制动并降级。

8 接口要求

8.1 信号系统与车辆系统的接口要求

8.1.1 机械灵活编组运行的线路，信号系统与车辆系统的接口需要满足以下要求：

- a) 信号系统应能向车辆系统发送机械车钩解钩、电气车钩连挂/解钩指令；
- b) 车辆系统应能向信号系统实时提供机械车钩的连挂/解钩状态、电气车钩的连挂/解钩状态、车钩对中状态。

8.1.2 虚拟灵活编组运行的线路，信号系统与车辆系统的接口需要满足以下要求：

- a) 信号系统应向各列车单元的车辆系统提供灵活编组状态信息；
- b) 信号系统可向车辆系统提供紧急制动率调整命令；
- c) 车辆系统可向信号系统提供紧急制动率调整状态信息；
- d) 车辆系统应向信号系统提供用于编组运行的牵引及制动系统实时状态。

8.2 信号系统与广播系统、无线通信系统的接口要求

8.2.1 信号系统应向无线通信系统提供灵活编组列车车组号、列车编组状态信息。

8.2.2 机械灵活编组运行的线路，信号系统应向广播系统提供的信息至少包含灵活编组列车的编组数。

8.2.3 虚拟灵活编组运行的线路，信号系统应向广播系统提供的信息至少包含灵活编组列车的编组数、领头车与跟随车的目的地、站台屏蔽门开门位置。

8.3 信号系统与 PIS 的接口要求

8.3.1 机械灵活编组运行的线路，信号系统应向 PIS 系统提供的信息至少包含灵活编组列车的编组数。

8.3.2 虚拟灵活编组运行的线路，信号系统应向 PIS 系统提供的信息至少包含灵活编组列车的编组数、领头车与跟随车的目的地、站台屏蔽门开门位置。

8.4 信号系统与站台屏蔽门系统、间隙探测系统的接口要求

8.4.1 当信号系统与站台屏蔽门系统、间隙探测系统的接口类型采用以太网接口时，应使用安全协议。

8.4.2 信号系统应向站台屏蔽门系统提供灵活编组列车对应的开门、关门指令和车门故障隔离信息。

8.4.3 站台屏蔽门系统应向信号系统提供灵活编组列车对应的站台屏蔽门关闭且锁紧状态、互锁解除状态和站台屏蔽门故障隔离信息。

8.4.4 当信号系统与间隙探测系统直接接口时，信号系统应根据列车编组类型和数量向间隙探测系统提供灵活编组列车对应的间隙探测设备启动探测、停止探测指令。

8.4.5 当信号系统与间隙探测系统直接接口时，间隙探测系统应根据列车编组类型和数量向信号系统提供灵活编组列车对应的间隙探测设备障碍物探测结果及间隙探测设备旁路状态。

9 性能要求

9.1 全自动机械灵活编组的编组联挂过程中，从机械车钩连挂至整车编组联挂完成并具备动车条件的时间不应大于 30 s。

9.2 全自动机械灵活编组的编组解编过程中，从机械灵活编组列车在联挂解编区域停稳至解编完成并具备动车条件的时间不应大于 20 s。

9.3 在正常情况下，领头车与跟随车在站台乘降作业时，因灵活编组列车的编组形式和停车位置不打开的站台屏蔽门数量不宜超过 1 个。

- 9.4 虚拟灵活编组列车在进站停车时，领头车与跟随车进站停稳的时间差不宜大于 4 s。
- 9.5 虚拟灵活编组列车在站台开关门作业时，领头车与跟随车同步开/关客室门的时间差不宜大于 2 s。
- 9.6 虚拟灵活编组列车在站台发车时，领头车与跟随车同步启动的时间差不宜大于 2 s。
- 9.7 灵活编组信号系统的可靠性、可用性、可维护性、安全性指标应满足 GB/T 12758 和 GB/T 46097 的要求。

10 人机交互要求

10.1 ATS 人机交互要求

- 10.1.1 列车编组联挂完成后，ATS 系统应按照整列车对灵活编组列车提供相应的操作界面，实现对灵活编组列车的操作命令。
- 10.1.2 列车编组联挂完成后，ATS 系统应按照整列车对灵活编组列车进行车次窗显示。
- 10.1.3 ATS 系统应提供人工下达编组联挂、编组解编命令的操作界面。编组联挂命令操作界面应具备联挂后车及联挂前车车组号、联挂解编区域信息显示；编组解编命令操作界面中应具备待解编列车车组号、联挂解编区域信息显示。
- 10.1.4 ATS 系统应具备全线或单车禁止虚拟灵活编组联挂、取消灵活编组联挂和取消灵活编组解编的指令下发功能。
- 10.1.5 ATS 系统应具备编组联挂失败、编组运行故障、解编失败报警显示功能。

10.2 车载人机交互界面要求

- 10.2.1 机械灵活编组列车车载人机交互界面需要符合下列规定：
 - a) 具备全自动机械灵活编组功能的线路，车载 MMI 应显示车钩的对中状态；
 - b) 车载 MMI 应显示联挂后各列车单元的工作状态；
 - c) 车载 MMI 应提示待联挂列车、待解编列车进入联挂解编区域；
 - d) 车载 MMI 应显示机械灵活编组联挂过程及状态，包括列车收到机械灵活编组联挂命令、仅机械车钩连挂状态、机械灵活编组列车联挂完成状态、机械灵活编组列车联挂失败状态；
 - e) 车载 MMI 应显示机械灵活编组解编过程及状态，包括列车收到机械灵活编组解编命令、机械灵活编组列车解编过程中、机械灵活编组列车解编完成状态、机械灵活编组列车解编失败状态；
 - f) 车载 MMI 应支持司机手动输入“被联挂命令”、“去联挂命令”、“取消被联挂命令”、“取消去联挂命令”、“解编命令”、“取消解编命令”。
- 10.2.2 虚拟灵活编组列车车载人机交互界面需要符合下列规定：
 - a) 车载 MMI 应具备虚拟灵活编组联挂条件检查、紧急制动档位测试界面；
 - b) 车载 MMI 宜具备虚拟灵活编组列车运行信息显示功能，并具备显示当前紧急制动档位、相邻列车单元之间的距离、相邻列车单元的速度；
 - c) 车载 MMI 应显示虚拟灵活编组联挂过程及状态，包括列车收到虚拟灵活编组联挂命令、虚拟灵活编组列车联挂完成状态、虚拟灵活编组列车联挂失败状态；
 - d) 车载 MMI 应显示虚拟灵活编组解编过程及状态，包括列车收到虚拟灵活编组解编命令、虚拟灵活编组列车解编过程中、虚拟灵活编组列车解编完成状态、虚拟灵活编组列车解编失败状态；
 - e) 车载 MMI 应区分显示领头车与跟随车；
 - f) 车载 MMI 应具备虚拟编组故障原因信息显示功能，例如通信中断、车辆故障；
 - g) 车载 MMI 应具备虚拟灵活编组驾驶模式显示功能。

11 测试与验证要求

11.1 室内集成测试

11.1.1 环境组成

室内集成测试应至少搭建一个包括两个灵活编组列车单元的行车核心设备最小测试环境,最小测试环境包括信号、综合监控、车辆TCMS、地面视频监视系统、地面PIS、地面广播系统、车载视频监视系统、车载PIS、车载广播系统、站台屏蔽门。多专业测试真实设备间接口应均与工程中的接口一致。最小测试环境需要包含以下内容:

- a) 信号应包含地面 ATP、CI 设备各 1 套, 2 个灵活编组列车单元车载设备; 室内集成测试线路应包括两个控区、三个车站以及两个区间、一个车辆基地的搭建要求;
- b) 综合监控应包含中心、1 个车站、1 个车辆基地;
- c) 列车控制与网络应包含 2 个灵活编组列车单元车载设备;
- d) 地面 CCTV 应包含中心、1 个车站、1 个车辆基地;
- e) 地面 PIS 应包含中心、1 个车站;
- f) 地面广播系统应包含中心、1 个车站、1 个车辆基地;
- g) 车载 CCTV 应包含 2 个灵活编组列车单元各 1 套设备;
- h) 车载 PIS 应包含 2 个灵活编组列车单元各 1 套设备;
- i) 车载广播系统应包含 2 个灵活编组列车单元各 1 套设备;
- j) 站台屏蔽门应包含 1 套站台设备。

11.1.2 室内集成功能测试

灵活编组室内集成功能测试方法和判定标准应符合表2的规定。

表 2 室内集成功能测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	机械灵活编组功能要求	7.1	被测系统上电接入测试环境, 检查机械灵活编组列车功能	判定结果是否符合7.1结果
2	虚拟灵活编组功能要求	7.2	被测系统上电接入测试环境, 检查虚拟灵活编组列车功能	判定结果是否符合7.2结果

11.1.3 室内集成接口测试

灵活编组室内集成接口测试方法和判定标准应符合表3的规定。

表 3 室内集成接口与通道测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	信号系统与车辆系统的接口	8.1	被测系统上电接入测试环境, 检查信号系统与车辆系统的接口反馈信息	判定结果是否符合8.1结果
2	信号系统与广播系统、无线通信系统的接口	8.2	被测系统上电接入测试环境, 检查信号系统与广播系统、无线通信系统的接口反馈信息	判定结果是否符合8.2结果
3	信号系统与PIS的接口	8.3	被测系统上电接入测试环境, 检查信号系统与PIS的接口反馈信息	判定结果是否符合8.3结果
4	信号系统与站台屏蔽门系统、间隙探测系统的接口	8.4	被测系统上电接入测试环境, 检查信号系统与站台屏蔽门系统（含间隙探测）的接口反馈信息	判定结果是否符合8.4结果

11.1.4 室内集成性能测试

灵活编组室内集成性能测试方法和判定标准应符合表4的规定。

表 4 室内集成性能测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	性能要求	9	被测系统上电接入测试环境，检查灵活编组功能的性能反馈信息	判定结果是否符合9结果

11.1.5 室内集成人机交互测试

灵活编组室内集成人机交互测试方法和判定标准应符合表5的规定。

表 5 室内集成人机交互测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	ATS人机交互要求	10.1	被测系统上电接入测试环境，检查ATS人机交互反馈信息	判定结果是否符合10.1结果
2	车载人机交互界面要求	10.2	被测系统上电接入测试环境，检查车载人机交互反馈信息	判定结果是否符合10.2结果

11.2 多专业现场测试

11.2.1 多专业现场功能测试

灵活编组多专业现场功能要求测试方法和判定标准应符合表6的规定。

表 6 多专业现场功能测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	机械灵活编组功能要求	7.1	检查现场测试设备功能	判定结果是否符合7.1结果
2	虚拟灵活编组功能要求	7.2	检查现场测试设备功能	判定结果是否符合7.2结果

11.2.2 多专业现场性能测试

灵活编组多专业现场性能要求测试方法和判定标准应符合表7的规定。

表 7 多专业现场性能测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	性能要求	9	检查灵活编组功能的性能反馈信息	判定结果是否符合9结果

11.2.3 多专业现场人机交互测试

灵活编组多专业现场人机交互要求测试方法和判定标准应符合表8的规定。

表 8 多专业现场人机交互测试

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
----	------	----------	------	------

序号	测试项目	技术要求对应条款	测试方法	判定标准
1	ATS人机交互要求	10.1	检查灵活编组ATS人机界面反馈信息	判定结果是否符合10.1结果
2	车载人机交互界面要求	10.2	检查灵活编组车载人机交互界面反馈信息	判定结果是否符合10.2结果
