机车电传动 2018 年第 2 期 (2018-03-10)
ELECTRIC DRIVE FOR LOCOMOTIVES №2, 2018(Mar. 10, 2018)

文章编号：1000–128X(2018)02–0016–07

高速动车组紧急制动技术

罗飞平，孙环阳，王　群，张　磊，舒浩然

（南京中车浦镇海泰制动设备有限公司，江苏 南京　211800）

摘　要：紧急制动能够保证动车组在最短的距离内安全停车。按照故障导向安全的原则，提出了紧急制动的触发条件，介绍了列车安全环路的实现方法，分析了紧急制动施加需要考虑的因素以及紧急制动施加的方法，阐述了紧急制动相关诊断措施，并通过试验验证了紧急制动的有效性和可靠性。

关键词：高速动车组；紧急制动；安全环路

中图分类号：U266.2；U292.91^{+}4；U260.35　　**文献标识码：**A

doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2018.02.004

High-speed EMU Emergency Braking Technology

LUO Feiping, SUN Huanyang, WANG Qun, ZHANG Lei, SHU Haoran

(Nanjing CRRC Puzhen Haitai Brake Equipment Co.,Ltd., Nanjing ,Jiangsu 211800,China)

Abstract: Emergency braking ensures that the EMU stops safely in the shortest distance. This paper presented the triggering condition of emergency braking from the standpoint of fail-safe principle, and introduced the realization method of train security loop. Moreover, the factors of emergency braking implementation need to be considered and the method of emergency barking applied were analyzed, and the diagnostic measures of emergency braking were expounded. The validity and reliability of emergency braking were verified by means of the real tests.

Keywords: high-speed EMU; emergency brake; safety circuit

0　引言

高速动车组制动系统的安全性是列车安全运行的根本保障，为此，动车组需要有足够的制动能力，以保证动车组在规定的制动距离内安全停车。紧急制动是保证安全停车的最有效手段，使动车组能够以最快、最有效的方式紧急安全停车。

通常，紧急制动可以采用纯空气制动（简称紧急制动 UB），也可以采用空电复合制动（简称紧急制动 EB），均能满足动车组安全停车的要求，具备高度的安全性，能够可靠地保证车辆和乘客的安全。下面主要阐述其功能实现条件、措施、方法。

1　紧急制动的触发条件

中国铁路总公司组织设计的高速动车组遵循“故障导向安全”原则进行设计，在发生下列情况时将触发紧急制动。

1.1　紧急制动 EB 触发条件

当满足以下任一条件时，将触发紧急制动 EB。

1）司控器在紧急制动 EB 位

司控器采用牵引与制动一体形式，司控器在制动区设置常用制动 1 ~ 7 级与紧急制动 EB 位，当司控器置于紧急制动 EB 位时，将触发紧急制动 EB。

2）乘客触发乘客紧急制动设施

在动车组每节车的明显位置设置手动乘客紧急制动设施，当触发乘客紧急制动设施时，将在司机室中产生声光报警信号并可显示具体车辆位置，同时列车将自动触发紧急制动 EB。

3）停放制动意外施加

当制动系统检测到列车运行速度在 5 km/h 以上意外施加停放制动时，将触发紧急制动 EB 停车。

收稿日期：2017–05–27；修回日期：2017–10–31

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4）司机警惕装置触发紧急制动请求

列车运行速度大于 5 km/h 时，司机未有效地操作警惕状态，将触发紧急制动 EB 停车。

5）车载地震紧急处置装置动作

当车载地震紧急处置装置检测到地震预警时，将触发紧急制动 EB 停车。

1.2　紧急制动 UB 触发条件

当满足以下任一条件时，将触发紧急制动 UB。

1）按下紧急制动按钮

司机室设置的蘑菇头状紧急制动 UB 按钮被按下时，将触发紧急制动 UB 停车。

2）紧急制动 EB 制动力不足

当制动系统检测到列车施加紧急制动 EB 的减速度不能满足理论值要求时，将触发紧急制动 UB 停车。

3）被救援时 BP 救援转换装置压力开关动作

动车组被救援或救援其他车时，BP 救援转换装置内的压力开关检测列车管气压小于 400 kPa（机车触发紧急制动压力值）时，将触发紧急制动 UB 停车。

4）ATP 系统安全保护动作

ATP 系统检测到紧急情况的安全保护动作，如列车超过规定速度，将触发紧急制动 UB 停车。

5）列车失电

在列车分离、紧急制动 UB 安全环路断开或失电、列车失电时，将触发紧急制动 UB 停车。

1.3　安全环路

紧急制动的触发条件（在安全环路中简称中断源）串联在列车安全环路中，当任一条件满足时，将触发紧急制动安全环路断开；制动系统检测到安全环路断开时，施加紧急制动力。

为保障动车组安全运行，设置紧急制动 UB 安全环路、紧急制动 EB 安全环路、停放制动监控安全环路、制动缓解监控安全环路、火灾报警安全环路、乘客紧急制动安全环路和车门安全环路。

所有安全环路设计原理基本相同，如图 1 所示。

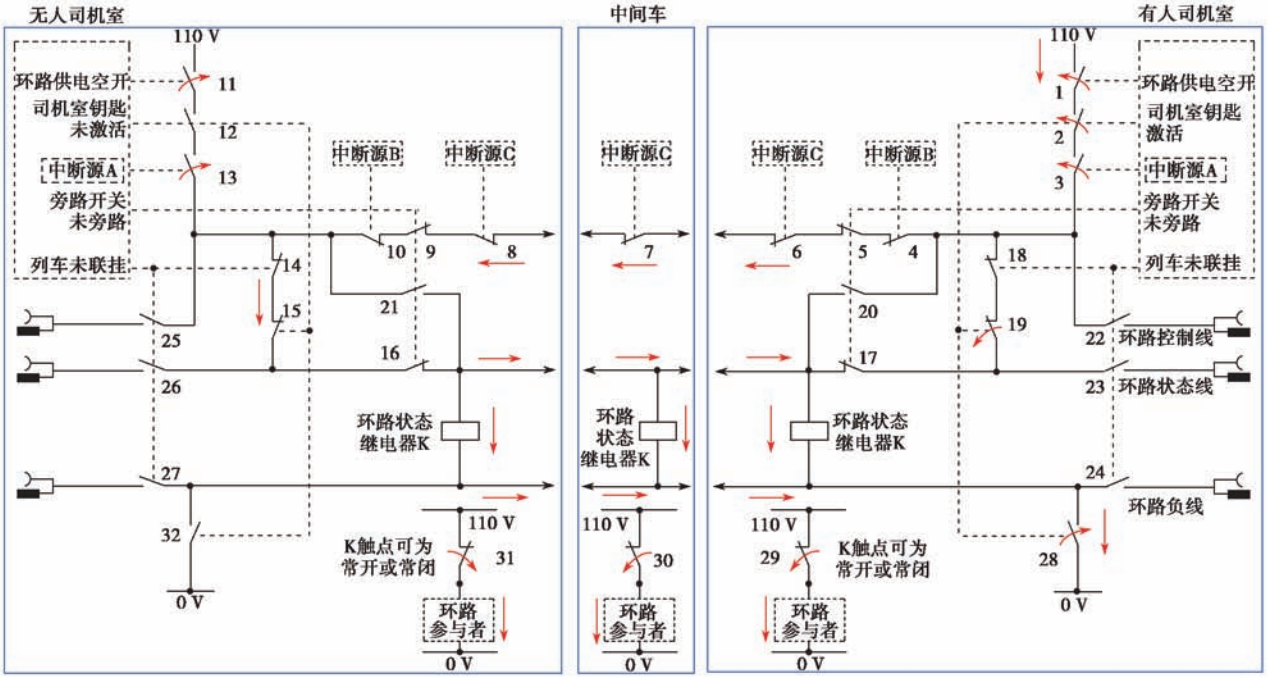

图 1　安全环路原理

安全环路由 3 根贯穿全列的线缆组成，分别为环路控制线、环路状态线、环路负线。

环路控制线为正线，包含环路各种中断源，从有人司机室出发，经过中间车到无人司机室，连接到环路状态线。

环路状态线为正线，从无人司机室经过中间车回到有人司机室。

环路负线贯穿全列车，环路状态线和环路负线之间连接环路状态继电器。

当环路控制线各种中断源正常连接时，环路控制线与状态线有电，环路状态继电器得电，此时为环路正常建立状态；当环路控制线任一中断源断开时，环路控制线与状态线失电，环路状态继电器失电，此时为环路失电状态，将触发导向安全的措施，施加紧急制动停车。

1.3.1　安全环路建立与断开

1）环路控制线

如图 1 所示，环路供电空开 1 正常处于闭合状态，给安全环路供电，环路才能建立；当列车失电以及列车分离时，环路均将断开。

在有人司机室，司机室钥匙激活时，触点 2 闭合，环路才能建立；当司机室钥匙拔出，环路将断开。

中断源 A、B、C 均正常时，触点 3、4、6、7、8、10 均处于闭合状态，环路才能建立；当中断源 A、B、C 任一个断开时，环路均将断开。

中断源根据能否被旁路与布置位置分为 A、B、C

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 种类型。通常，中断源 A、B 设计在司机室或头车电气柜中，中断源 C 设计在各车电气柜中，中断源 B、C 能被旁路开关旁路。

如司控器紧急制动 EB 位、紧急制动 UB 按钮、ATP 系统保护动作等属于中断源 A；紧急制动 EB 制动力不足、BP 救援压力开关等属于中断源 B；乘客紧急制动安全环路上的乘客紧急制动手柄、制动缓解安全环路上的制动不缓解状态等属于中断源 C。

2）环路状态线

列车未联挂时，触点 14 闭合。在无人司机室，司机室钥匙未激活时，触点 15 闭合。环路控制线经触点 14、15 连接到环路状态线，在环路控制线得电时，环路状态线得电。

3）环路负线

在有人司机室，司机室钥匙激活时，触点 28 闭合，环路负线连通，环路建立。

1.3.2　安全环路旁路

在安全环路中断源 B、C 故障时，能被旁路开关隔离，建立安全环路，使列车仍能正常行车。

在有人司机室将旁路开关切换至旁路位时，触点 5、17 断开，触点 20 闭合。环路控制线与后端车辆断开，直接经触点 20 连接至环路状态线，在环路控制线得电时，环路状态线得电，环路状态继电器得电，不会产生紧急制动。

1.3.3　安全环路联挂

在无人司机室列车联挂时，触点 14 断开，触点 25、26、27 闭合，本车将变为中间车，环路控制线、状态线和负线均连接到后面联挂的车辆，建立重联列车安全环路。

1.3.4　安全环路零速联锁

为防止紧急制动在停车前被人为地意外缓解，安全环路设置零速联锁功能。

1）紧急制动 EB 零速联锁控制

当司机控制器或乘客紧急制动设施触发的紧急制动 EB 指令解除后，紧急制动 EB 可以缓解。其他情况触发的紧急制动 EB，通过安全环路零速联锁功能，在列车完全停止前不能被缓解，见图 2。

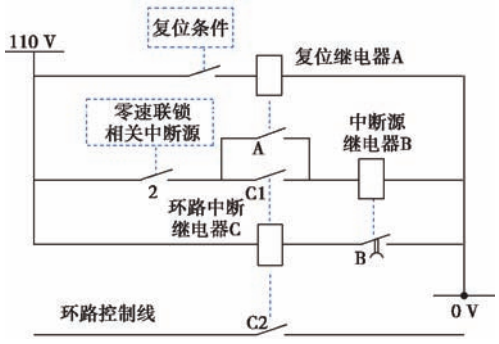

图 2 紧急制动 EB 零速联锁控制

中断源断开控制：当零速联锁相关中断源激活时，触点 2 断开，导致中断源继电器 B 失电，其触点 B 断开（该触点有延时断开功能，防止信号干扰意外触发紧急制动）。触点 B 断开时，将导致环路中断继电器 C 失电，其触点 C1、C2 断开。当触点 C2 断开时，环路控制线失电，环路在列车停车前将一直处于断开状态。

中断源复位控制：复位条件（共包括 4 个条件：①列车处于零速状态，②紧急复位按钮按下，③司控器处于制动位，④停放制动已施加）满足，其触点 1 闭合，则复位继电器 A 得电，触点 A 闭合。当触点 A 闭合时，且中断源恢复使触点 2 闭合，中断源继电器 B 得电，其触点 B 闭合。当触点 B 闭合时，环路中断继电器 C 得电，其触点 C1、C2 闭合。当触点 C2 闭合时，环路控制线得电，环路建立。

2）紧急制动 UB 零速联锁控制

紧急制动 UB 触发后，通过安全环路零速联锁功能，在列车完全停止前不能被缓解，见图 3。

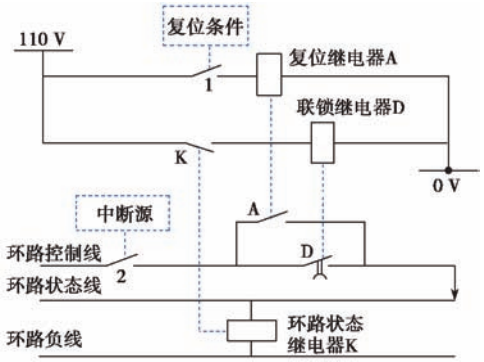

图 3　紧急制动 UB 零速联锁控制

中断源断开控制：当任一中断源激活时，触点 2 断开，环路控制线失电，环路中断。环路状态继电器 K 失电，其触点 K 断开。当触点 K 断开时，联锁继电器 D 失电，其触点 D 断开（该触点有延时断开功能，防止信号干扰意外触发紧急制动）。当触点 D 断开时，环路在列车停车前将一直处于断开状态。

中断源复位控制：复位条件（共包括 4 个条件：①列车处于零速状态，②紧急复位按钮按下，③司控器处于制动位，④停放制动已施加）满足，触点 1 闭合，则复位继电器 A 得电，其触点 A 闭合，若中断源恢复使触点 2 闭合，则环路控制线得电，环路建立。

2　紧急制动的施加控制

2.1　紧急制动指令的传递

每个车辆的制动控制装置（简称 BCU）均接收环路状态继电器 K 的状态，紧急制动 EB 设置为常闭触点（如图 1 中的触点 29、30、31）。环路失电时，BCU 接收到高电平，施加紧急制动 EB；紧急制动 UB 设置为常开触点，环路失电，BCU 接收到低电平，施加紧急制动 UB。

另外，列车控制系统也监测紧急制动安全环路状态，当安全环路失电时，BCU 通过网络接收列车控制系统发送的紧急制动命令，也将施加紧急制动。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2　紧急制动施加需考虑的因素

BCU 接收紧急制动指令后，将控制制动力的施加，使列车快速、安全停车。

但是，紧急制动力不是越大越好，因为紧急制动力受到轮轨粘着的限制，超过一定极限时，将引起列车滑行，影响列车安全；同时紧急制动力还受基础制动热容量的限制，即制动力不能超过基础制动所能承受的最大能力。

另外，紧急制动力也有一个最小限制值，即规定列车须在安全的距离内停车。

因此，BCU 需综合考虑上述因素来控制紧急制动力的施加，得出紧急制动施加时所需要控制的紧急制动减速度，如图 4 所示。

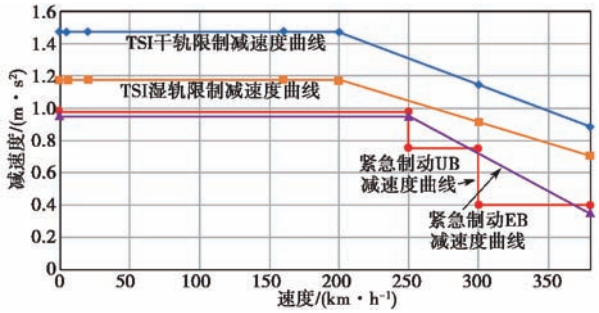

图 4　紧急制动减速度曲线

2.2.1　轮轨粘着限制

动车组的制动力主要为粘着制动力，其可利用的最大值受粘着系数限制，如果制动力超过粘着制动力，则会引起车轮滑行甚至抱死；如果制动力小于粘着制动力，则粘着未充分利用。

如图 4 所示，紧急制动曲线应小于湿轨限制减速度曲线，同时应尽量贴近该曲线，以保证列车制动时，充分利用轮轨粘着而又不容易产生滑行。

紧急制动 EB 为微机控制的空电复合制动，可随速度变化对制动力 / 制动减速度进行调节，因此，紧急制动 EB 减速度曲线随速度变化的趋势基本与湿轨限制减速度曲线保持一致。

紧急制动 UB 为机械阀类实施的纯空气制动，不容易实现随速度变化来调节制动力 / 制动减速度，因此，紧急制动 UB 减速度曲线设计成阶梯状态，其变化的趋势尽量与湿轨限制减速度曲线保持一致。

减速度最高限制的首要原则为轮轨粘着限制，同时需进一步考虑制动距离与基础制动热容量要求，进一步对减速度进行限制。

另外，在含非粘着制动系统的动车组上，减速度曲线可以在现有基础上，增加非粘着制动系统能提供的减速度。

2.2.2　基础制动热容量要求

空气制动施加时，基础制动装置通过制动盘与闸片的摩擦产生热量，耗散至大气，将列车动能转化为热能实现列车制动。根据制动盘和闸片的物理特性，过高的热负荷会引起基础制动装置的永久性损伤，产生列车运行中的不安全因素，尤其是纯空气紧急制动时，制动盘和闸片的热负荷更大，因此，减速度设计时需考虑基础制动的热容量要求。

一般通过热容量仿真计算与台架试验的手段来确认基础制动允许的正常热应力和温升下所能承受的最大制动力，计算得出基础制动能够提供的紧急制动减速度，并综合轮轨粘着与紧急制动距离限制，得到设计减速度。

特别地，对于紧急制动 UB 的阶梯状态减速度设计需考虑基础制动的配置与热容量要求，对紧急制动 UB 实行制动力分级控制。

如图 5 所示，拖车在 300 km/h 时进行切换，300 km/h 以上时输出低阶制动力，300 km/h 以下时输出高阶制动力；动车在 250 km/h 时进行切换，250 km/h 以上时输出低阶制动力，250 km/h 以下时输出高阶制动力。

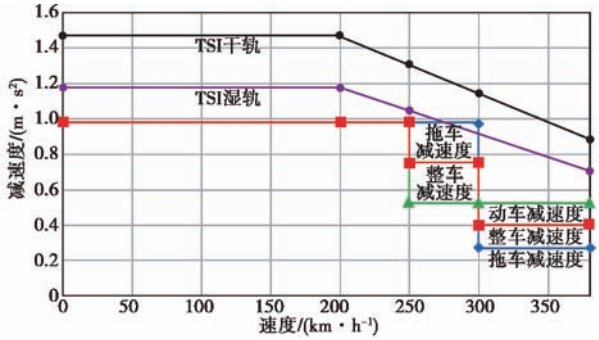

图 5　紧急制动 UB 减速度曲线

2.2.3　制动距离要求

在轮轨粘着和基础制动热容量的限制条件下，需保证列车在最可能短的距离内停车。同时制动距离是铁路通信信号系统和运输组织的重要依据。

制动距离要求如表 1 所示。图 4 所设计的减速度需保证列车制动距离在表 1 要求的制动距离之内。

表 1　紧急制动距离要求

紧急制动初速度 /（km·h^{-1}）	紧急制动距离 /m
350	6 500
300	3 800
250	3 200
200	2 000
160	1 400
120	800

2.3　紧急制动的施加方法

2.3.1　紧急制动力控制

1）紧急制动 EB

制动系统检测紧急制动 EB 安全环路处于断开状态，控制施加空电复合制动，即优先利用电制动，当电制动力不足时，补充空气制动。

紧急制动 EB 由主 BCU 进行整列车制动力管理，以保证部分车辆 BCU 故障时，其他车能补充该车损失的制动力。主 BCU 综合紧急制动 EB 指令、车辆速

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

度、车辆载重、各车制动能力（包含电制动能力和空气制动能力），计算制动设定值，通过网络传输到各车 BCU，各车根据该设定值以下列原则计算本车所需施加的制动力：拖车由空气制动承担本车制动力；动车在本车内最大程度地利用电制动力，不足的部分由空气制动补充。

网络故障或紧急牵引模式时，每个 BCU 通过接收的环路状态继电器 K 的状态，综合本车车辆速度、车辆载重、制动能力计算本车所需施加的制动力，施加原则与上面相同。

紧急制动 EB 由电子制动控制元（简称 EBCU）控制，对于电制动，其通过网络向牵引系统发送电制动设定值，牵引系统根据该设定值施加电制动力。

如图 6 所示，对于空气制动，EBCU 控制 EP 阀调节输出紧急制动 EB 对应的预控压力，经中继阀进行流量放大后，输出到基础制动装置，产生摩擦制动。

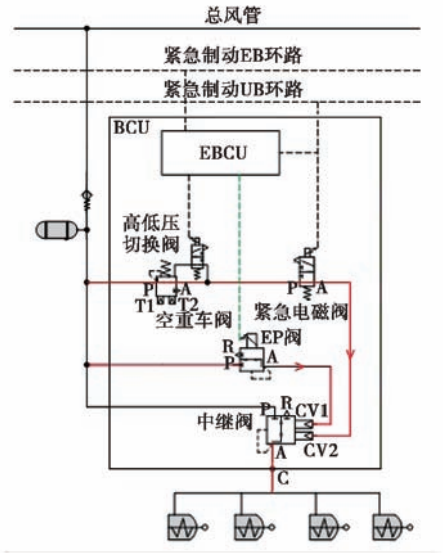

图 6　紧急制动施加

2）紧急制动 UB

当紧急制动 UB 安全环路断开时，制动系统中的紧急电磁阀失电，产生空气制动。牵引控制系统监测紧急制动 UB 安全环路处于断开状态，屏蔽电制动输出。

如图 6 所示，紧急制动 UB 安全环路失电时，紧急电磁阀失电，总风压力经空重车阀调整后输出到中继阀。同时，EBCU 控制 EP 阀冗余输出紧急制动 UB 对应的预控压力。中继阀对两路压力取大并经流量放大后，输出到基础制动装置，产生摩擦制动。

其中，空重车阀具有载荷调整与高低压切换功能，输出特性如图 7 所示。

载荷调整：空重车阀接收 2 路空气弹簧压力输入，根据空气弹簧压力的大小调节输出相应的预控压力，实现随车重变化输出对应的紧急制动力。

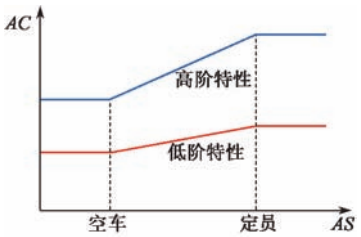

图 7　空重车阀输出特性

高低压切换：空重车阀上设置高低切换电磁阀，在低阶制动力阶段，电磁阀得电，空重车阀输出较低的预控压力；在高阶制动力阶段，电磁阀失电，空重车阀输出较高的预控压力，实现高速与低速输出不同制动力。

2.3.2　紧急制动缸压力控制

1）紧急制动 EB 与冗余的紧急 UB

① EBCU 根据减速度曲线、车辆速度、车辆载重、各车制动能力计算所需的空气制动力 F 后，依据存储在 EBCU 中的基础制动公式，计算出所需要的制动缸压力 P：

$$P=a\times F+b$$

式中：a 与 b 为基础制动特性参数。

② EBCU 根据中继阀特性公式，计算出所需的预控压力 $AC1$：

$$AC1=c\times P+d$$

式中：c 与 d 为中继阀特性参数。

③ EBCU 根据 EP 阀特性公式，计算电子制动控制单元 EBCU 所需输出的 EP 阀电流大小：

$$I=e\times AC1+f$$

式中：e 与 f 为 EP 阀特性参数。

EBCU 通过控制输出 EP 阀电流 I 来调节紧急制动缸压力预控压力 $AC1$，经中继阀放大后输出紧急制动缸压力 P。

2）紧急制动 UB

紧急制动 UB 由空重车阀实现制动缸压力 P 的控制，空重车阀控制特性（即图 7 中的斜线区域）设计方法如下：

①计算紧急制动 UB 所需要的制动力：

$$F=m\times\beta$$

式中：m 为该车车重；β 为各车紧急制动 UB 减速度。

②根据空气弹簧特性公式，车重为

$$m=g\times AS+h$$

式中：AS 为空气弹簧压力；g 与 h 为空气弹簧特性参数。

③根据基础制动特性公式，制动缸压力为

$$P=a\times F+b$$

式中：a 与 b 为基础制动特性参数。

④根据中继阀特性公式，预控压力为

$$AC2=j\times P+k$$

式中：j 与 k 为中继阀特性参数。

综合上述公式，得到输出压力 $AC2$ 与输入压力 AS 的关系，如图 7 所示为 1 个车的空重车阀输入输出特性，一般情况下拖车与动车的输入输出特性不一样。

空重车阀调节输出紧急制动预控压力 $AC2$，经中继阀放大后输出紧急制动缸压力 P。

3　紧急制动的诊断措施

为了保证紧急制动的可用性，制动系统需要时刻

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

诊断紧急制动的状态，确认紧急制动状态正常。

1）开车前的系统检查

动车组开车前，需对制动系统进行手动的制动试验，以检查列车制动系统的工作状态，包括直通制动试验、紧急制动 EB 试验与 EB 转 UB 试验、紧急制动 UB 试验、防滑系统试验、总风贯通试验。

直通制动试验检查常用制动施加功能是否良好；紧急制动 EB 试验与 EB 转 UB 试验检查紧急制动 EB 施加与紧急制动 EB 制动力不足触发紧急制动 UB 功能是否良好；紧急制动 UB 施加试验检查紧急制动 UB 施加功能是否良好；防滑系统试验检查防滑控制功能是否良好；总风贯通试验检查空压机工作是否正常与总风管是否正常贯通。

当做完前 3 项试验，BCU 检测车辆制动状态良好，则将判断紧急制动可用性状态正常，并通过网络上传给列车控制系统与司机屏。

如果一辆车或多辆车紧急制动不可用时，司机需根据限速表进行限速运行，以应对制动系统失效导致的紧急制动能力不足，保证列车一旦发生紧急制动，可以有效、安全和可靠地停车。表 2 列出了制动不可用的车辆数量与对应的列车限速运行速度控制表。

表 2　制动可用性限速表

制动不可用数量	350 km/h 线路限速	300 km/h 线路限速	250 km/h 线路限速
1/16	330	270	230
2/16	310	250	220
3/16	290	230	210
4/16	270	220	200
5/16	250	210	190
6/16	230	200	180
7/16	220	192	170
8/16	210	180	160
9/16	150	150	150
10/16	120	120	120
11/16	80	80	80
12/16	60	60	60
13/16 以上	救援	救援	救援

2）动车组运行过程中的实时诊断

制动系统在动车组运行过程中检测到空气制动被隔离、制动风缸压力低等条件时，将判断为制动不可用。

动车组在运行过程中，还需要将有关运行参数、过程数据、故障数据通过网络传输到列车控制单元。当检测到制动系统故障时，将根据故障等级进行“故障－安全”控制，保证列车安全运行。列车控制系统将故障原因功能限制提示操作等信息告知司机便于其采取相关的补救措施。

与紧急制动相关诊断有：安全环路空开断开、安全环路旁路、紧急制动施加、制动控制装置空开断开、紧急制动电磁阀故障、高低压力切换故障、摩擦制动施加故障、停放制动异常施加，紧急制动 EB 制动力不足等。

例如，制动系统检测到列车运行速度在 5 km/h 以上意外施加停放制动时，则会输出切断停放制动监控安全环路的控制信号，触发紧急制动 EB 停车。

当制动系统检测到列车施加紧急制动 EB 的减速度不能满足理论值要求时，将判断为制动力不足，输出制动力不足信号，触发紧急制动 UB 施加。

4　紧急制动的试验结果及分析

按照上述实现方式，进行了现车试验验证，验证了紧急制动的有效性和安全性。

试验时，测试了各种紧急制动触发条件，均能有效地触发紧急制动动作，同时测试了列车实际减速度与设计减速度的符合性，实际制动距离与制动距离要求的符合性。

1）紧急制动 EB

如图 8 所示，在初速度 350 km/h 紧急制动 EB 工况下，列车不含阻力的瞬时减速度曲线在整个速度区域均高于图 4 中的设计减速度曲线，紧急制动距离约为 5 300 m 左右，满足制动距离要求，制动性能良好。

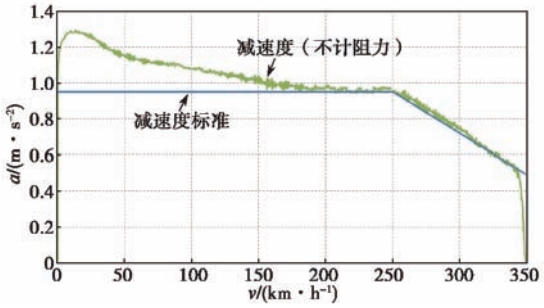

图 8　350 km/h 紧急制动 EB 试验

2）紧急制动 UB

如图 9 所示，在初速度 350 km/h 紧急制动 UB 工况下，列车不含阻力的瞬时减速度曲线在整个速度区域均高于如图 4 中的设计减速度曲线，紧急制动距离约为 5 800 m 左右，满足制动距离要求，制动性能良好。

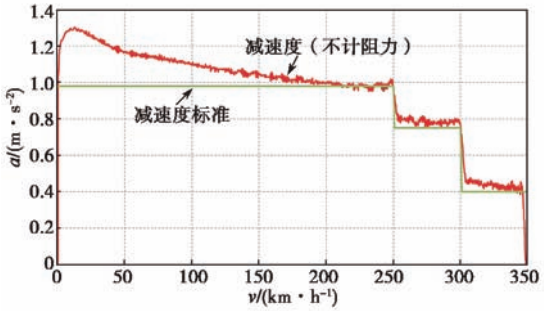

图 9　350 km/h 紧急制动 UB 试验

5　结语

高速动车组的紧急制动系统充分考虑了在运行过程中所有的不安全因素，当满足紧急制动触发条件时，将触发安全环路断开，产生紧急制动停车。并且，部分重要的中断源具有零速联锁功能，即在列车停车前不允许缓解。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

紧急制动施加时，以轮轨粘着限制、基础制动热容量要求、制动距离要求为基础，设计紧急制动减速度，以确保动车组以最短的制动距离停车。

紧急制动 EB 由主 BCU 进行整列车制动力管理，以保证部分车辆 BCU 故障时，其他车能补充该车损失的制动力，减少制动系统故障引起制动力不足的影响。紧急制动 EB 施加时，优先采用电制动，以减少闸片磨耗。

紧急制动 UB 施加时，空重车阀输出预控压力，同时 EBCU 控制 EP 阀输出冗余的预控压力，充分保证紧急制动 UB 施加的可靠性。并且，紧急制动 UB 具有载荷调整和高低压力切换功能。

制动系统对紧急制动功能有充分的诊断功能，当制动不可用时，列车限速运行，以保证列车在安全的距离内停车。

通过试验，验证了各种紧急制动触发条件，均能有效地触发紧急制动动作，同时验证了列车实际减速度与设计减速度的符合性，实际制动距离与制动距离要求的符合性。

参考文献：

［1］张洋，庞玉林，陈伟，等 . 和谐号动车组的紧急制动及安全制动措施［J］. 铁道机车车辆，2011，31(5)：28–31.

［2］管春玲 .CRH1 型动车组紧急制动安全回路分析［J］. 铁道机车车辆，2012，32(1)：42–44.

［3］杨伟君，李邦国，乔峰，等 . 高速列车制动系统减速度设计的综合分析与研究［J］. 铁道机车车辆，2011，31(5)：24–27.

作者简介：罗飞平（1986–），男，硕士，工程师，研究方向为高速动车组制动系统。

（上接第 11 页）是 21 世纪国内最受欢迎的轨道交通工具之一。有轨电车在国内迎来了建设热潮，在今后一段时间内将有巨大的应用市场，建议各城市应从本市特征和长远发展考虑，合理定位、科学规划、理性发展，尽量采用专用路权、信号优先策略，以提高旅行速度和运输效率，充分发挥有轨电车的优势和特性。此外还要根据城市规划、经济实力等综合因素来选择 70% 低地板或 100% 低地板 [8]，采用集成通信、运营调度智能系统，尽早建立完善的技术体系和运营维护管理体系，满足有轨电车对通信、信号、智能化交通的发展需求。

4 结语

通过分析我国有轨电车发展历程及特点，总结各企业产品特点及应用现状，得出以下结论：

①现代有轨电车作为 21 世纪新型环保交通工具的代表，符合城市发展需求，具有广阔的应用市场，为城市发展综合交通提供解决方案。

②国内企业研发了种类繁多的新型有轨电车，各城市要根据长远规划，科学合理地发展有轨电车，选择适宜的车辆类型和建设合理的线路。

③有轨电车作为中低运量的轨道交通工具，未来有望成为我国大城市的辅助交通和中小型城市的骨干交通。

参考文献：

［1］张海军 . 对我国现代有轨电车发展应用的思考［J］. 城市轨道交通研究，2015(7)：119–120.

［2］李元坤，苗彦英 . 国外现代有轨电车建设发展的启示［J］. 城市轨道交通研究，2013(6)：29–30.

［3］周淮 . 我国现代有轨电车发展现状与需要研究的若干问题［J］. 交通与港航，2017(1)：15–18.

［4］李 刚，李 芾，黄运华 . 100% 低地板轻轨车辆的发展与运用［J］. 机车电传动，2013(4)：51–55.

［5］臧 宇，许广鹏，关和宁，等 . 国内现代有轨电车车辆发展状况综述［J］. 现代城市轨道交通，2016(2)：1–4.

［6］周传河，马艳波，刘洪涛 . 长客现代有轨电车的发展［J］. 现代城市轨道交通，2013(5)：11–12.

［7］苗彦英 . 低地板有轨电车车辆技术特征［J］. 城市交通，2013，11(4)：39–40.

［8］陆锡明，李娜 . 科学理性地发展有轨电车［J］. 城市交通，2013，11(4)：20–23.

作者简介：韩志彬（1989–），男，硕士研究生，研究方向为城市轨道车辆设计与理论。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net