

# 城市轨道交通车辆制动系统的零速信号和非零速信号方案选用及安全性分析

吴英帅 李 惠 王 鹤

(中车大连机车车辆有限公司城铁开发部,116021,大连//第一作者,正高级工程师)

**摘 要** 详细阐述了制动系统提供零速信号或非零速信号的串联及并联使用特点,根据信号真值表,深入讨论了不同组合方式的安全性及弊端,以及给列车运行带来的安全隐患。综合分析了各组合方案的安全性。根据分析结果,并联使用非零速信号方案是安全性最高的制动控制单元信号方案,建议城市轨道交通车辆在电气原理设计时应选用制动系统提供的非零速信号作为车辆的控制信号。

**关键词** 城市轨道交通车辆;制动系统;零速信号;非零速信号

**中图分类号** U270.35

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.12.017

## Scheme Selection and Safety Analysis of Zero Speed and Non-zero Speed Signals of Urban Rail Transit Vehicle Braking System

WU Yingshuai, LI Hui, WANG He

**Abstract** Series or parallel operation characteristics of zero speed and non-zero speed signals provided by braking system are expounded in detail. According to the signal true table, the safety and concerns of different combination are discussed in-depth, as well as safety hazards brought about to train operation. The safety of each combination scheme is analyzed comprehensively. According to analysis results, the scheme of non-zero speed signal in parallel operation is the brake control unit signal scheme with the highest safety. It is suggested to adopt the non-zero speed signal provided by braking system as the vehicle control signal in the electrical principle design of urban rail transit vehicle.

**Key words** urban rail transit vehicle; braking system; zero speed signal; non-zero speed signal

**Author's address** CRRC Dalian Co., Ltd., 116021, Dalian, China

零速或非零速信号是车辆的重要控制信号,应用于车辆的车门控制、牵引使能、紧急制动环线建立等多个重要控制回路,也是保证车辆运行安全的

重要信号<sup>[1]</sup>。速度信号主要来源于信号系统和制动系统。当车辆处于信号控车模式时,车辆所有的输入信号都由信号系统提供,包括零速信号;当信号系统发生故障,车辆退出信号控车模式后,车辆的速度信息由制动系统提供。本文主要讨论制动系统提供的零速信号,具体是车辆应该要求制动系统提供零速信号还是非零速信号用于车辆控制,制动系统提供的该信号应该串联使用还是并联使用。怎样的组合和设计对车辆控制来说安全系数是最高的,能在最大程度上保证车辆运行安全。

## 1 城市轨道交通车辆制动系统结构

以编组形式为+Tc(带司机室的拖车)-Mp(有受电弓的动车)-M(无受电弓的动车)-M-Mp-Tc+的6节编组城市轨道交通(以下简为“城轨”)车辆为例,其制动系统一般分成2个独立的控制单元。每个控制单元由Tc-Mp-M等3节车组成。通常在Tc车和M车会各安装1个制动系统控制主机,用于采集车辆信号,并提供车辆需要的控制信号或者监控信号。制动系统采集的车辆信号主要有制动指令、快速制动指令、强迫缓解指令、紧急运行指令等;提供给车辆的信号主要包括零速或非零速信号、制动不缓解信号等<sup>[2]</sup>。制动系统控制单元的结构示意图如图1所示。

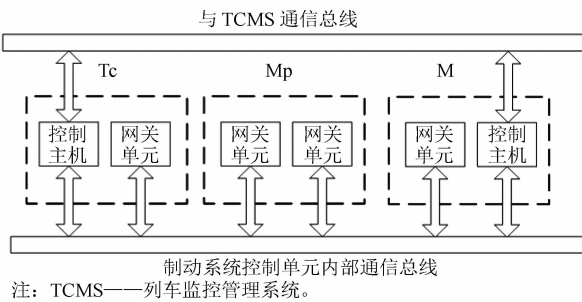


图 1 制动系统控制单元结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of braking system control unit

每个制动控制单元内的 2 台控制主机互为冗余。其中,1 台为主控主机,以主控模式工作,负责与 TCMS 通信;另 1 台为备用主机,以从机模式工作。2 台控制主机间可内部通信。

## 2 零速信号与非零速信号的选用

制动系统提供的零速信号或非零速信号,用于控制车辆的零速或非零速继电器线圈,进而通过继电器触点作用于车辆的相关控制回路。相关的控制回路包括:①在车辆静止时才能进行操作的控制回路,如车辆开关门控制、紧急制动安全环线建立,车钩的解钩控制,信号系统的 ATC(列车自动控制)切除模式控制等回路;②在车辆运行时才需要动作的控制回路,如警惕保护、轮缘润滑等回路。

### 2.1 制动系统提供零速信号

若制动系统提供零速信号,则一般制动系统 2 个控制单元的主控主机会在车速小于 0.5 km/h 时,输出零速信号高电平信号,并控制车辆的零速继电器得电<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.1 并联使用零速信号

当 2 个制动控制单元的零速信号并联使用时,零速信号的真值表如表 1 所示。

表 1 零速信号并联使用时的真值表  
Tab.1 True table of zero speed signal in parallel operation

状况	零速信号真值		车辆状态
	制动控制单元 1	制动控制单元 2	
状况 1-1	1	1	零速
状况 1-2	1	0	零速
状况 1-3	0	1	零速
状况 1-4	0	0	非零速

注:1 表示输出的零速信号为高电平,0 表示输出的零速信号为低电平。

从表 1 可以看出:当并联使用制动控制单元提供的零速信号时,只有在 2 个制动控制单元输出的零速信号均为低电平时,车辆才会判断自身处于非零速状态(运行状态);在其他状况下,车辆都将判断自身处于零速状态(静止状态)。

并联使用零速信号存在 2 个弊端:

1) 弊端一:当车辆静止、制动系统处于断电状态时,制动控制单元因无电而无法输出零速的高电平信号,会使车辆误判断自身处于非零速(运行)状态。这时,制动系统无法发出反映真实状态的零速信号,所发的低电平零速信号为假信号,应在车辆设计时予以避免。

2) 弊端二:在车辆运行过程中,如果有 1 个制动控制单元发生触点粘连故障,一直输出高电平零速信号,则车辆将误判断自身处于静止状态,允许司机进行打开客室门的操作。此时所发的零速信号为假信号,对于运行中的车辆而言非常危险,应在车辆设计时极力避免。

#### 2.1.2 串联使用零速信号

为了提高零速信号的可靠性,车辆可串联使用制动控制单元输出的 2 个零速信号,以保证车辆零速信号的可靠性。串联使用零速信号时的真值表如表 2 所示。

表 2 串联使用零速信号时的信号真值表  
Tab.2 True table of zero speed signal in series operation

状况	零速信号真值		车辆状态
	制动控制单元 1	制动控制单元 2	
状况 2-1	1	1	零速
状况 2-2	1	0	非零速
状况 2-3	0	1	非零速
状况 2-4	0	0	非零速

注:1 表示输出的零速信号为高电平,0 表示输出的零速信号为低电平。

由表 2 可见,只有 2 个制动控制单元都输出零速信号高电平时,车辆才会认为自身处于零速状态;其他状况下,都会认为自身处于非零速状态。

串联使用零速信号提高了零速信号的可靠性。若有 1 个制动控制单元发生触点粘连故障,一直输出高电平零速信号,则只要另 1 个制动控制单元正常,车辆得到的零速信号就是真实可靠的。这就避免了危险的假零速信号,提高了列车运行安全性。

然而,当车辆静止、制动系统断电时,零速信号串联也会为车辆提供非零速的假信号。

此外,零速信号串联还存在新的弊端:当 1 个制动控制单元发生故障,无法输出高电平零速信号时,车辆会误判断自身处于非零速状态,即使车辆到站也不能执行打开车门的命令。可见零速信号串联虽避免了提供危险的假零速信号,却也降低了车辆的可用性。

### 2.2 制动系统提供非零速信号

若制动系统提供非零速信号,则制动系统的 2 个控制单元会在车速大于 1 km/h 时输出非零速信号高电平信号,控制车辆的非零速继电器得电。

#### 2.2.1 并联使用非零速信号

当 2 个制动控制单元的非零速信号采用并联方式时,非零速信号的真值表如表 3 所示。

表 3 并联使用非零速信号时的信号真值表  
Tab.3 True table of non-zero speed signal in parallel operation

状况	非零速信号真值		车辆状态
	制动控制单元 1	制动控制单元 2	
状况 3-1	1	1	非零速
状况 3-2	1	0	非零速
状况 3-3	0	1	非零速
状况 3-4	0	0	零速

注: 1 表示输出的非零速信号为高电平,0 表示输出的非零速信号为低电平。

由表 3 可见:只有 2 个制动控制单元都输出低电平非零速信号时,车辆才会判断自身处于零速状态;其他状况下,车辆都会判断其处于非零速状态。

当车辆静止、制动系统处于断电状态时,车辆根据制动系统的零速信号所得判断与车辆的实际状态一致,避免了制动系统提供零速信号的弊端一。

在车辆运行过程中,如有 1 个制动控制单元发生触点粘连故障,一直输出高电平非零速信号,则车辆就会一直误判断自身处于非零速状态,即使车辆到站也不能执行打开车门的命令<sup>[4]</sup>。这降低了车辆的可用性,是非零速信号并联使用的主要弊端。

2.2.2 串联使用非零速信号

当 2 个制动控制单元的非零速信号采用串联方式时,非零速信号的真值表如表 4 所示。

由表 4 可见:只有 2 个制动控制单元都输出高电平非零速信号时,车辆才会判断自身处于非零速状态;其他状况下,车辆都会判断其处于零速状态。

表 4 串联使用非零速信号时的信号真值表  
Tab.4 True table of non-zero speed signal in series operation

状况	非零速信号真值		车辆速度状态
	制动控制单元 1	制动控制单元 2	
状况 4-1	1	1	非零速
状况 4-2	1	0	零速
状况 4-3	0	1	零速
状况 4-4	0	0	零速

注: 1 表示输出的非零速信号为高电平,0 表示输出的非零速信号为低电平。

当车辆静止、制动系统处于断电状态时,车辆根据制动系统的零速信号所得判断与车辆的实际状态一致,避免了制动系统提供零速信号的弊端一。

在车辆运行过程中,如有 1 个制动控制单元发生故障不能输出高电平非零速信号,则车辆就会一直误判断自身处于零速状态,允许司机进行打开客室门的操作。这是非常危险的,是串联使用非零速信号的主要弊端。

3 零速信号和非零速信号串并联使用的安全性分析

零速信号和非零速信号的串、并联使用,各有利弊。按制动控制单元提供的信号类型及连接方式组合,可得到不同的制动控制单元信号方案。各方案的安全性分析见表 5。

由表 5 的安全性分析可知:方案三的安全性最高,方案二的安全性次之,方案一的安全性最低;方案三仅在制动控制单元发生触点粘连故障时会输出非零速的假信号,进而影响车辆到站时的开关门操作,降低车辆的可用性,但该方案不会影响车辆的行车安全;方案一会在两种状况下出现假信号,

表 5 各制动控制单元信号方案的安全性分析  
Tab.5 Safety analysis of each brake control unit signal scheme

方案	信号类型	连接方式	制动控制单元的输出	制动系统工作状态	制动系统提供的信号类型	车辆真实状态	安全性分析
方案一	零速信号	并联	无故障	正常	零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	非零速	信号真实,安全
				断电	非零速	零速	假非零速信号,影响维护
			故障,输出“1”	正常	零速	零速或非零速	假零速信号,危险
				正常	零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	非零速	信号真实,安全
方案二	零速信号	串联	无故障	正常	零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	非零速	信号真实,安全
				断电	非零速	零速	假非零速信号,影响维护
			故障,输出“1”	正常	零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	非零速	信号真实,安全
				正常	零速	零速或非零速	假非零速信号,影响运营

(续表 5)							
方案	信号类型	连接方式	制动控制单元的输出	制动系统工作状态	制动系统提供的信号类型	车辆真实状态	安全性分析
方案三	非零速信号	并联	无故障	正常	零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	非零速	信号真实,安全
			故障,输出“1”	断电	非零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	零速或非零速	假非零速信号,影响运营
			故障,输出“0”	正常	零速	零速	信号真实,安全
					非零速	非零速	信号真实,安全
方案四	非零速信号	串联	无故障	正常	零速	零速	信号真实,安全
				正常	非零速	非零速	信号真实,安全
			故障,输出“1”	断电	零速	零速	信号真实,安全
				正常	零速	零速	信号真实,安全
			故障,输出“0”	正常	非零速	非零速	信号真实,安全
					零速	零速或非零速	假零速信号,危险

注: 输出“1”表示输出高电平信号;输出“0”表示输出低电平信号。

其故障率高,因而不可取;方案四会出现影响车辆运行安全的假零速信号的状况,也不可取。

由此可见,车辆在电气原理设计时,应要求制动系统提供非零速信号,采用并联的方式控制车辆的非零速继电器。当制动系统不能提供非零速信号时,可退而求其次,选择串联使用零速信号的方式控制车辆的零速继电器。

## 4 结语

随着城市轨道交通的迅速发展,对车辆设计和功能的要求,特别是对车辆信号的安全性和可靠性要求也越来越高。因此,在车辆电气原理设计时,应全面考虑车辆信号的安全性和可靠性,并要慎重考虑设备故障给车辆带来的影响,全面分析各种状况,权衡利弊,选择相对最安全可靠的信号方案来控制车辆,以保证车辆的安全运行。

## 参考文献

[ 1 ] 张潜,何玉琴,张文文. 零速信号在地铁列车电气控制中的应

(上接第 88 页)

## 参考文献

[ 1 ] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 地铁设计防火标准:GB 51298—2018[ S ]. 北京:中国计划出版社,2018.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development, State Administration for Market Regulation. Standard for fire protection design of metro: GB 51298—2018[ S ]. Beijing: China Planning Press,2018.  
[ 2 ] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[ S ]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarant-

ine. Code for design of metro: GB 50157—2013[ S ]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.  
[ 3 ] 西安市轨道交通集团有限公司. 西安地铁三期建设规划项目换乘站专题研究[ R ]. 西安:西安市轨道交通集团有限公司,2019.  
Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd. Special study on transfer station of Xi'an Metro third phase construction and planning project[ R ]. Xi'an: Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 2019.  
[ 4 ] 中国地铁工程咨询有限责任公司. 西安地铁换乘站动态客流模拟评价研究[ R ]. 西安:西安市轨道交通集团有限公司,2020.  
China Metro Engineering Consulting Co., Ltd. Evaluation study on dynamic passenger flow simulation of Xi'an Metro transfer station[ R ]. Xi'an: Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 2020.

(收稿日期:2020-06-20)

(收稿日期:2021-08-12)