

城市轨道交通车辆

浅析西安地铁2号线车辆
停放制动原理及整改方案

张兴宝

(西安市地下铁道有限责任公司 运营分公司,
陕西 西安 710018)

摘 要: 介绍西安地铁2号线车辆停放制动施加/缓解时的机械动作及控制原理,通过分析停放制动缸的内部结构,阐述2号线车辆停放制动的特点及施加/缓解的必要条件。最后对2号线车辆在联调时2次发生带停放制动走车的事故进行深层次分析,并对所存在问题制定出的几种整改方案进行探讨。

关键词: 西安地铁2号线; 地铁车辆; 制动不缓解; 停放制动; 压力检测阀

中图分类号: U266.2; U231

文献标识码: B

文章编号: 1000-128X(2012)05-0082-05

西安地铁2号线车辆上有一半单元制动缸带有停放制动功能,并在每个转向架上成对角分布。其停放制动在全球首次采用自锁式结构,这种结构和传统的独立式结构相比最大限度地减小了体积,解决了B型

车转向架上安装空间小的问题。

停放制动是一种充气缓解,排气施加的机械制动。西安地铁2号线车辆停放制动施加后,能保证列车在超员、30‰坡道上或空载、列车在35‰坡道上不溜车。同时列车因长时间停放,总风压力不断释放,当总风压力下降至500 kPa以下时,停放制动会自动施加,保证了列车的停放安全。

1 2号线车辆停放制动的结构及工作原理

1.1 机械结构及施加原理

车辆在正常运行、空气制动以及停放制动工况时停放制动缸内各结构的运动情况如图1。

1) 行驶位置(停放制动缓解)

向停放制动缸内充入缓解压力(700~900 kPa),则停放制动活塞(308)压缩停放制动弹簧(306、307)向上移动至停止位置,离合器转盘(334)与离合器(339)脱开。同时,由于门(318)与离合器箱(335)啮合,因此被导向至离合器箱的离合器不旋转。当空气制动缸的BC压力被排除,在活塞弹簧(122)的作用下,活塞(126)向上移动,制动得到缓解。

2) 空气制动位置

向空气制动缸充入BC压力,则活塞(126)克服活塞弹簧(122)的弹簧力向下移动,施行制动。此时,离合器转盘(334)与离合器分开,离合器转盘可以自由旋转。

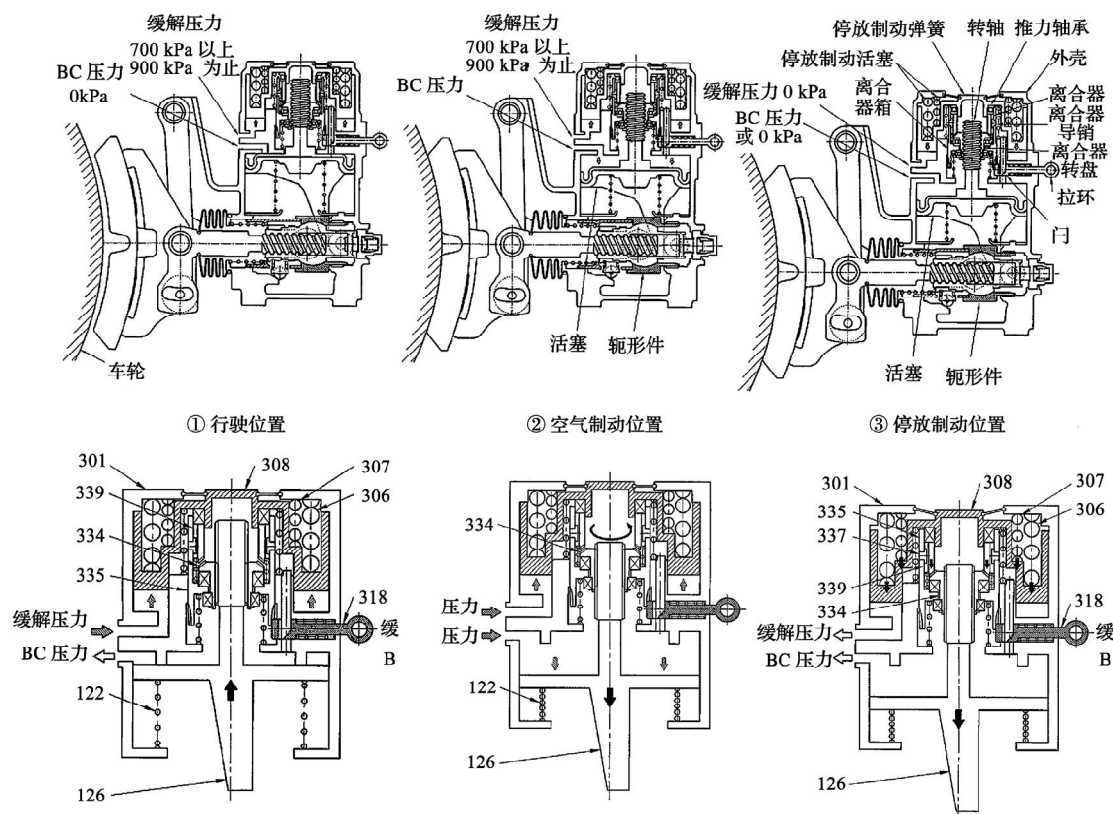


图1 停放制动施加/缓解时的单元制动缸内各部件状态

收稿日期: 2012-02-21; 收修改稿日期: 2012-06-14

3) 停放制动位置

空气制动施加后排出停放制动缸的缓解压力,则离合器在被离合器导导向于门啮合在一起的离合器箱(335)中的同时,与停放制动活塞(308)一起向下移动。然后,离合器转盘(334)与离合器啮合,离合器转盘将变得不能旋转。因此,停放制动弹簧(306、307)的弹力被传递给活塞(126),停放制动被施加。停放制动施加后,即使释放了空气制动缸的BC压力,停放制动也不会缓解。

1.2 停放制动控制及检测原理

如图2所示,通过控制停放制动电磁阀PBMV的得失电来控制停放制动的施加/缓解,同时在停放制动电磁阀与停放制动缸之间的气路上安装一压力检测阀来检测停放制动缸的压力,并将此状态传给ATI屏(司机室监控列车状态的屏)来显示停放制动的施加/缓解。

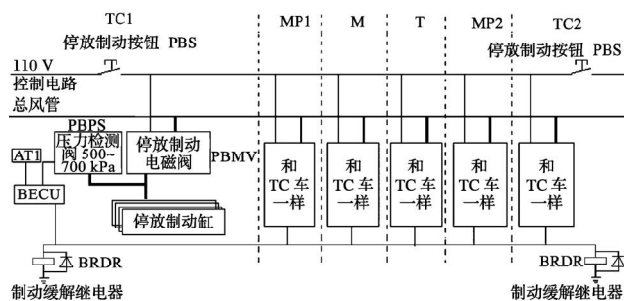


图2 停放制动施加/缓解时的控制原理图

当压下司机台上的停放制动按钮PBS,此时每节车的停放制动电磁阀PBMV得电,这时电磁阀PBMV断开主风管与停放制动缸之间的气路,同时将停放制动缸内的气压通过电磁阀PBMV排向大气,当停放制动缸内的气压下降到小于500 kPa时,停放制动缸内的弹簧克服停放制动缸内的压力,从而施加停放制动。当将PBS按钮恢复后,每节车的停放制动电磁阀PBMV失电,此时电磁阀将主风管与停放制动缸之间的气路导通,当制动缸压力上升到大于700 kPa时,停放制动缸内的空气压力克服停放制动缸内的弹力,从而缓解停放制动。同时压力检测阀PBPS将采集到的压力信号传给制动控制单元BECU,一方面BECU将此信号传给ATI,在ATI显示屏上显示停放制动的施加/缓解,另一方面制动系统将此信号作为车辆制动缓解的一个必要条件。

2 现场出现的问题

2011年3月17日,0202车在正线调试回库进行日检时发现6车带停放制动单元的轮对轴及车轮均变黑、高温并伴有异味。

2011年3月20日,0205车正线再次发生列车带闸走车,回库后检查发现2车、3车、6车带停放制动闸瓦踏面变黑、高温伴有冒烟情况。

2011年3月21日,将列车调到试车线进行模拟试验,发现如下6种“异常”现象:

未施加空气制动,而按下停放制动按钮,此时

ATI显示屏上显示停放制动施加,但车下检查发现所有车停放制动未施加。

当施加B1级制动,然后按压停放制动按钮,此时ATI显示屏显示停放制动施加,但缓解常用制动后,车下检查发现部分车停放制动未施加。

当施加B2~FB、EB制动,然后按下停放制动按钮,此时ATI显示屏显示停放制动施加。缓解空气制动后,车下检查发现所有车停放制动施加。

按照步骤 施加停放制动后,在不施加常用制动的情况下缓解停放制动,此时ATI屏主界面上显示停放制动缓解,但司机室制动缓解灯亮,同时车下检查发现所有车停放制动未缓解。

按照步骤 施加停放制动,并施加B1~B5制动,然后缓解停放制动,此时ATI屏主界面上显示停放制动缓解。缓解常用制动,此时司机室制动缓解灯亮,同时车下检查发现部分车停放制动未缓解,部分停放制动缓解。

按照步骤 施加停放制动,并施加B6、B7、FB、EB制动,然后缓解停放制动,此时ATI屏主界面上显示停放制动缓解。缓解常用制动,此时司机室制动缓解灯灭,车下检查发现所有车停放制动缓解。

通过上面的试验现象总结如下:

施加空气制动是施加/缓解停放制动必须条件。同时,要想充分缓解或施加停放制动,必须首先施加足够的空气制动。

ATI屏主界面上显示停放制动状态仅仅与停放制动按钮的状态有关,它不能反映停放制动的真实状态。

制动缓解灯的状态不但与停放制动按钮状态有关,而且和施加停放制动前所施加常用制动力的大小密切相关。

3 事件分析

自锁式结构的停放制动装置最大的特点是停放制动缸体积变小,从而使停放制动活塞行程变短,如图3中自锁式结构的停放制动活塞只能移动a距离,而独立式结构的停放制动活塞可以移动c距离。因为这个原因,自锁式结构的停放制

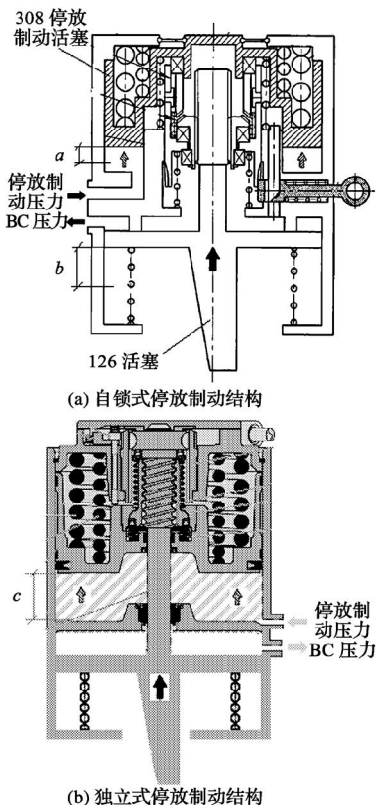


图3 自锁式与独立式结构对比

动在施加/缓解时必须要有空气制动协助才能完成。

当不施加空气制动就直接施加停放制动时,停放制动活塞308下移 a 距离,同时如图4,此时闸瓦前移 s_1 ,停放制动不能施加。

首先施加空气制动,活塞126下移 b ,然后施加停放制动,此时停放制动活塞308下移 a ,这2次动作使活塞126下移 $a+b$ (其中 $a+b=c$),从而使闸瓦向前移动 s_2 ,停放制动施加。同时,由于离合器转盘(334)与离合器啮合,离合器转盘将不能旋转,所以此时即使缓解空气制动,停放制动也不能缓解。

首先施加空气制动,但空气制动力不大时,接着施加停放制动,此时活塞126下移的距离小于 b ,然后施加停放制动,此时停放制动活塞308下移 a ,2次动作使活塞126下移小于 $a+b$,从而使闸瓦前移的距离介于 s_1 到 s_2 之间。同时由于单元制动缸内部设备自身的差异,导致部分停放制动施加,部分停放制动缓解。

如图5,当施加停放制动后,离合器转盘1与离合器2啮合,离合器转盘将不能旋转。要想缓解停放制动,必须首先将离合器转盘与离合器分离。由于轮对与闸瓦之间不是刚性接触,在施加停放制动后,轮对给活塞一个向上的反作用力,这时如果在缓解停放制动时未施加足够的常用制动来克服轮对传给活塞的反作用力,这时离合器转盘与离合器不能分离。因为这2个原因要想缓解停放制动,首先必须通过外力将离合器转盘与离合器分离,即通过施加足够的常用制动力来实现。

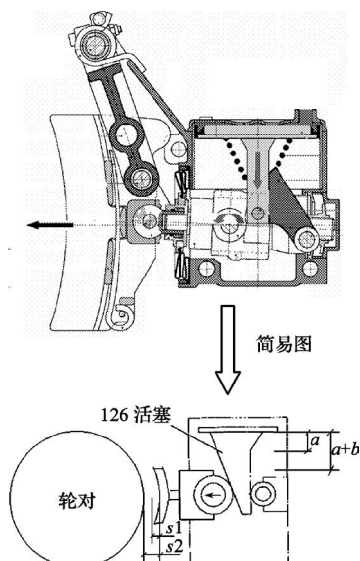


图4 停放制动施加的结构简图

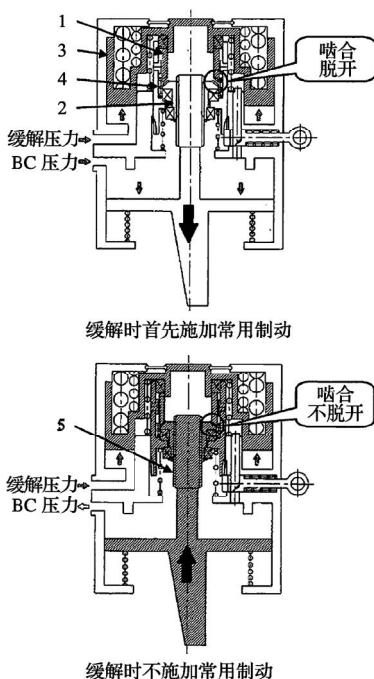


图5 缓解停放制动的前提条件

通过上面的分析,可以理解试验时总结的第一条规律,即施加空气制动是施加/缓解停放制动的必要条件。同时,要想充分缓解或施加停放制动,必须首先施加足够的空气制动。

通过查相关资料及现场核图,发现ATI屏上显示停放制动的状态采集的是电磁阀PBMV后的风管压力,所以它的状态只与停放制动按钮的状态有关,正如试验时总结的第二条规律,即ATI屏主界面上显示的停放制动状态仅仅与停放制动按钮状态有关,它不能反映停放制动的真实状态。

从厂家了解到在进行缓解停放制动时需要施加的常用制动力必须大于在施加停放制动时所施加常用制动力的50%。为避免现场人员在施加/缓解停放制动时需要进行计算等带来的麻烦以及安全起见,厂家在BECU内进行设定(当常用制动压力 $>40\text{ kPa}$ 时停放制动方可正常施加,当常用制动压力 $>180\text{ kPa}$ 时停放制动方可缓解),这样只有PBPS检测的压力和BECU检测到的BC压力同时满足要求,系统才能认为停放制动正常施加/缓解。系统将停放制动正常缓解作为制动缓解的一个必要条件。可以理解试验时总结的第三条规律,即制动缓解灯的状态不但与停放制动按钮状态有关,而且和施加停放制动时施加常用制动的大小有密切相关。

通过上面的分析以及根据2次带停放制动走车的情况,可以推断2次列车发生带停放制动走车,当时司机是这么操作的:

第1种情况:列车在正线停车后,司机在B1级位时施加了停放制动,然后在N位缓解了停放制动(0202车发生带停放制动动车极有可能是这样操作所致)。

2号线车辆制动分7级,1级制动时的BC压力大概为 40 kPa ,每增加1级,BC压力上升 40 kPa 。由于同一列车的不同车辆重量不一样,同时由于设计及调整误差,不同列车同一种车型的重量也不一样,导致B1级时的BC压力不一致。对于重量比较重的车辆,制动1级的BC压力大于 40 kPa ,此时在1级常用制动下施加停放制动时可以正常施加,重量比较轻的车辆,1级制动BC压力小于 40 kPa ,所以停放制动未能施加。缓解时,由于在N位缓解,所以正常施加停放制动的就不能缓解。同时由于在ATI显示停放制动缓解,所以司机带停放制动走车,导致此次事件。

第2种情况:首先列车正常施加停放制动,然后进行缓解停放制动时,此时施加的常用制动力小于在施加停放制动时所施加的常用制动力的50%(0205车发生带停放制动动车极有可能是这样操作所致)。

当按照第2种情况操作,同样由于车辆停放制动装置的个体差异,部分停放制动缓解,同时司机室制动缓解灯亮,但ATI显示屏上显示停放制动缓解,司机以ATI上显示的为准,所以司机带停放制动走车,导致此

次事件。

4 整改方案

通过对2次事件进行分析,找出事故发生的原因,概括起来主要包括下面3点:

由于厂家未提供关于停放制动施加/缓解的操作说明书,从而导致司机未正确施加/缓解停放制动,这是导致此次事件的根本原因。

ATI屏上显示的停放制动状态不能如实反映停放制动真实状态,从而给司机错误的信息,这是导致此次事件的直接原因。

停放制动与列车牵引没有设计互锁关系,这是

导致此次事件的主要原因。

为防止此类事件的再次发生,厂家针对上面3点原因先后提出不同的整改方案,具体方案及分析如下:

1)将停放制动按钮串入列车的启动联锁电路中

如图6,为实现停放制动与牵引联锁,厂家将停放制动按钮的常闭触点串入牵引指令线中,这样当按下停放制动按钮后,列车就不能发出牵引指令。表面看这样改造杜绝了列车施加停放制动走车,但当某些原因司机未按要求缓解停放制动,即使停放制动按钮恢复了,同时ATI显示停放制动也缓解了,但实际列车停放制动未缓解,此时列车牵引指令可以发出,上面事件未能避免。此方案治标不治本,不可取。

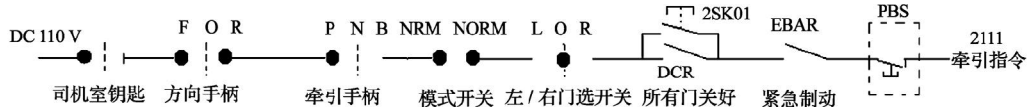


图6 停放制动整改方案一

2)将制动缓解继电器BRDR串入列车的启动联锁电路中

如图7,将制动缓解继电器BRDR一常闭触点串入牵引指令线中,这样当检测出列车施加制动(包括施加停放制动)时,BRDR继电器得电,常闭触点断开,此时牵引指令不能发出,列车启动联锁,这种整改方案可以防止列车带停放制动走车。但由于2号线车辆设有坡道启

动功能(坡道启动的作用是当列车在坡道上启动时,为防止溜车而施加的相当于3级的常用制动),当列车在坡道启动时,施加坡道启动,然后推牵引手柄,当系统检测出牵引力大于施加的坡道启动动力时,坡道启动功能自动解除。如果将BRDR一常闭触点串入牵引指令线中,然后施加坡道启动时,牵引指令不能发出,制动也不能缓解,列车进入死循环。此方案顾此失彼,不可取。



图7 停放制动整改方案二

3)将停放制动的施加作为制动不缓解的一个充分条件

制动系统有制动不缓解检测功能,当系统检测出某一节车制动不缓解时,此时EBCU发出指令让“制动不缓解”继电器NRDR得电,从而给所有车VVVF发出“制动不缓解”指令,封锁牵引,如图8所示。

有车VVVF接受到“停放制动施加或制动不缓解”指令,进而封锁牵引。

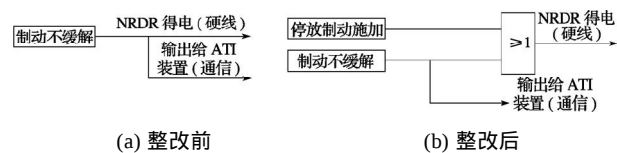


图9 停放制动最终整改方案

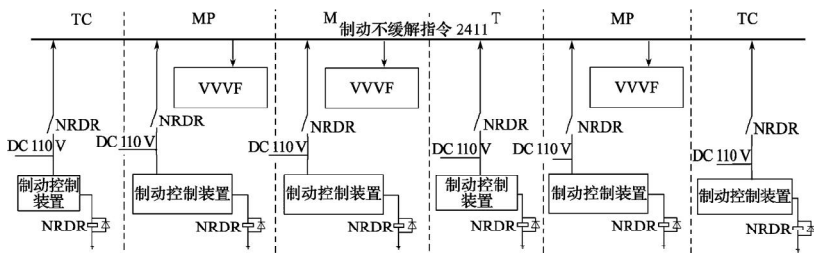


图8 车辆制动不缓解启动联锁电路

Nabtesco厂家在处理停放制动与牵引系统的互锁关系时正是利用了这个关系,将停放制动作为制动不缓解的一个充分条件,如图9中整改后的逻辑图,此时NRDR不再是之前所谓的“制动不缓解”继电器,制动系统只要检测到任何一节车停放制动施加或制动不缓解时EBCU就发出指令让NRDR继电器得电,从而使所

同时,厂家将ATI屏上显示停放制动的状态采集点进行变更,从原来的只采集PBMV后的压力变为除了采集PBMV后的压力外,还采集EBCU发出的停放制动施加/缓解信息的必要条件(施加停放制动时,必须首先施加BC压力 $>40\text{ kPa}$ 的常用制动,缓解停放制动时,必须首先施加BC压力 $>180\text{ kPa}$ 的常用制动),从而避免了ATI屏上显示停放制动的状态与实际不符合的情况。

5 结语

通过西安地铁2号线车辆停放制动的设计以及厂

家对系统存在问题制定的几种整改方案等暴露出的问题,给运营人员如下启示:

能通过人为设计让设备自身具有保护措施,一定通过设计让设备自身进行保护,而不是通过规章制度来规范。例如2号线车辆停放制动起初的设计,通过编制停放制动施加/缓解的操作说明书以及制定相关措施可以防止司机带停放制动走车,但人毕竟会存在失误。改造后,将停放制动设计作为列车启动联锁的一个条件,然后编制停放制动施加/缓解的说明书,这样当司机由于某些原因未按要求操作时,导致的结果是不能正常施加/缓解停放制动,但此时系统自身进行启动联锁保护,这样系统对人为因素导致的操作失误进行了弥补。

在今后对车辆进行技术改造时,应该对问题分

析透彻、考虑周全,而不能治标不治本或顾此失彼,导致技术改造只处理了一些表面问题,但带来更大的隐患。

参考文献:

- [1] 齐俊岩. 北京地铁车辆的停放制动[J]. 现代城市轨道交通, 2001(1).
- [2] 刘进华, 胡宇峰. 机车单元制动器技术标准的探讨[J]. 电力机车与城轨车辆, 2003(3).
- [3] 韩晓辉, 田继森, 等. 带有停放制动的制动单元力的作用原理及运用分析[J]. 铁道机车车辆, 2003(5).
- [4] 谢启明, 王俊勇. BFC F型踏面制动单元原理分析[J]. 机车电传动, 2010(3): 30-32.
- [5] 刘进华, 彭海清. 铁道机车的停放制动系统[J]. 电力机车城轨车辆, 2003(5).

(上接第49页)

绝缘等级 定子/转子) F/H
转向 从传动端看为顺时针

1)发电工况参数

额定功率 80 kW
额定电压 110 V
额定电流 728 A
额定转速 1 051 ~ 2 728 r/min
励磁方式 他励
励磁电流 ≤ 8 A
励磁电压 96 V
工作制 80 kW 5 min, 30 kW 5 min

2)启动工况参数

励磁方式 串励
最大启动电流 1 900 A

启动电流为1 900 A时,电磁转矩 $\geq 2\ 842\ \text{N} \cdot \text{m}$;在48DG420-96 V蓄电池启动下,转速为324 r/min时,电磁转矩 $\geq 1\ 088\ \text{N} \cdot \text{m}$ 。

启动时间:每次 $\leq 15\ \text{s}$,允许连续启动6次,相邻两次应间隔至少15 s。

3 轨道车牵引特性

计算得出轨道车牵引特性如表3。

表3 轨道车牵引特性

电机转速 / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	1 611	1 162	736	535	298
车速 / $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	71.7	51.7	32.7	23.8	13.2
机车牵引力 / kN	37.1	51.4	81.3	111.8	200.7

轨道车具体牵引曲线见图3。

4 结语

GCD-1000型电传动轨道车电传动系统于2010年8

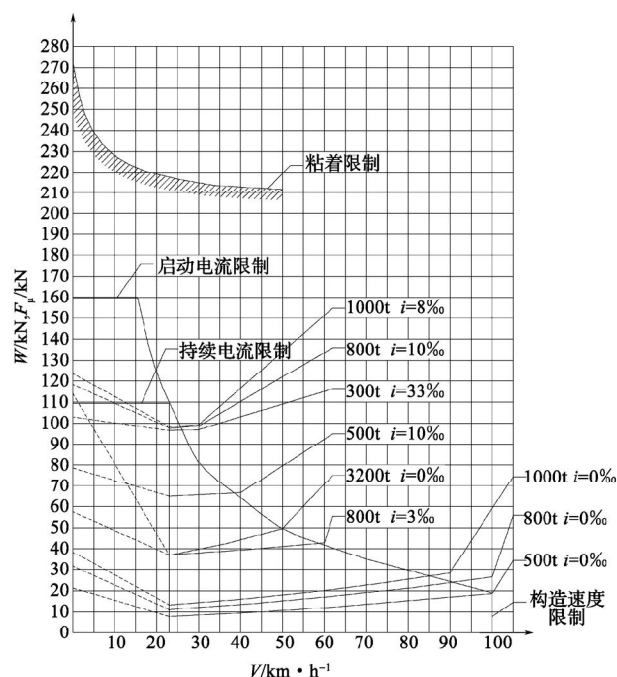


图3 牵引性能曲线和阻力曲线

月完成设计,至2011年3月16日成功试制出2套并交付轨道车整车厂家装车调试,于2011年4月23日完成水阻试验,同年4月底完成路试。

试验表明,轨道车电传动系统符合设计规范,完全满足客户要求,现整车已交付最终用户使用,反映良好。

参考文献:

- [1] 刘达德,等. 东风₄型内燃机车结构和原理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1986.
- [2] TB/T 1407—1998, 列车牵引计算规程[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [3] 陈世坤. 电机设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.