

城市轨道交通

西安地铁 2 号线车辆司控器级位错乱故障的原因分析及整改方案

张兴宝¹, 唐家龙², 李 涛¹

(1. 西安地铁运营分公司, 陕西 西安 710016;
2. 北京城市轨道交通咨询有限公司, 北京 100037)

摘 要: 对西安地铁 2 号线车辆上采用的有级司控器出现级位错乱故障的原因进行分析, 同时根据不同的故障原因制定相应的整改措施, 并将制定的方案在西安地铁 1 号线车辆上以及 2 号线增购车上进行验证, 效果良好, 各种原因引起的级位换乱故障从根本上得到了解决。

关键词: 地铁车辆; 司控器; 级位错乱; 传动比; 循环码

中图分类号: U231; U269.6 文献标识码: B
文章编号: 1000-128X(2015)05-0084-04
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.05.023

1 问题的提出

西安地铁 2 号线自 2011 年 9 月 16 日开通试运营以来, 车辆在检修时, 多次发现司控器级位有错乱的情况, 即司控器主控手柄所处的级位位置与 TCMS (列车控制及检测系统) 屏上显示的级位不一致, 主要体现在 B3 与 B4、B6 与 B5 之间切换时级位错乱。针对此问题, 厂家制定了整改方案, 并在 1 号线车辆司控器制造初期进行了整改, 类似故障未再出现。但 2013 年 9 月 16 日西安地铁 1 号线开通试运营后, 车辆在检修时, 又发现司控器在 B7 向 FB 拉动时, 级位也有错乱的情况 (在 TCMS 屏上显示级位不确定, 并且双针压力表上的 BC 压力值先降后升), 此现象在 2 号线车辆的司控器上也偶尔出现。

2 原因分析

2.1 司控器级位的实现原理

西安地铁 2 号线车辆上使用的司控器为有级司控器, 即 4 级牵引和 7 级制动。司控器的 4 级牵引级位通过 4 个凸轮来控制 4 个行程开关 (MC1/MC2/MC3/ MC4) 的开 / 闭组合来实现 (见图 1), 7 级制动通过 3 个凸轮来控制 3 个行程开关 (MC11/MC12/MC13) 的开 / 闭组合, 实现 B1 ~ B7 级位的控制。同时, 制动级位除 7 级制动外, 还设置了 FB 位 (快速制动位)。FB 位的实现是通过对应凸轮控制 MC14 行程开关的开 / 闭来实现的。

收稿日期: 2014-07-20; 收修改稿日期: 2015-06-02

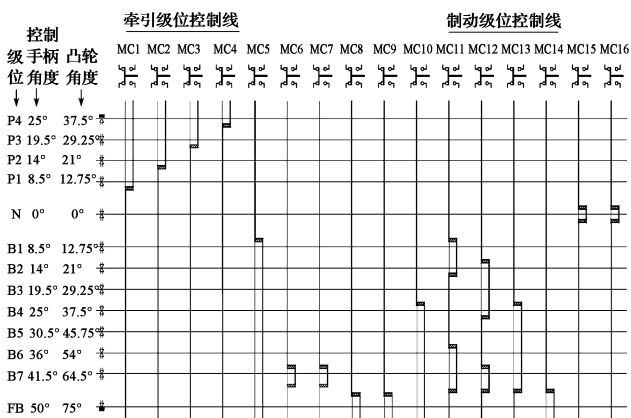


图 1 西安地铁 2 号线车辆有级司控器级位闭合表

为保证级位转换的准确性, P1~P4 和 B1~B7 级位设计分别采用循环码编码, 即相邻级位之间转换时有且只有一个行程开关状态发生变化。如表 2、表 3 所示。

表 1 司控器制动级位编码表

接线	行程开关	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	FB
2402	MC11	1	1	0	0	0	1	1	
2403	MC12	0	1	1	1	0	0	1	
2404	MC13	0	0	0	1	1	1	1	
2405	MC14								1
组合 (MC11/ MC12/MC13)		100	110	010	011	001	101	111	× × × 1
备注	根据故障导向安全的原则, FB级位独立实现, 即只要 MC14状态变为“1”, 就显示级位FB,此时与MC11/MC12/MC13状态无关。								

表 2 司控器牵引级位编码表

接线	行程开关	1级	2级	3级	4级
2111	MC1	1	1	1	1
2102	MC2	0	1	1	1
2103	MC3	0	0	1	1
2107	MC4	0	0	0	1
组合		1000	1100	1110	1111

无论是级有司控器还是无级司控器, 级位显示不准确都是其常出现且处理难度较大的故障, 但两者问题产生的原因又是不同的。

2.2 分析

通过现场试验, 认为级位错乱的原因主要有 2 类情况: 第一类是在级位切换时由于某些原因导致行程开关滚轮未完全运行至凸轮的凹面或凸面, 即行程开关爬坡, 最终使行程开关未按照要求充分动作; 第二类是由于司控器上相关行程开关动作不同步导致级位错乱。下面将结合现场实际对上述 2 种原因引起的司控器级位错乱现象逐项进行分析说明。

2.2.1 由于行程开关滚轮爬坡导致的级位错乱

如上所述, 司控器级位的转换是通过凸轮的凸面和凹面与行程开关滚轮的接触来控制行程开关的开闭来实现的, 但由于某些原因行程开关未按照设计要求充分运行至凸轮的凸面或凹面, 即行程开关运行至凸面与凹面的过渡处 (爬坡), 导致行程开关未按照要求动作, 如图 2 (c) 所示, 从而出现了主控手柄所处的级位与 TCMS 屏上显示的级位不一致的情况。

结合图 1, 当司控器手柄从 B3 拉至 B4 时, 此时 3 个行程开关 (MC11/MC12/MC13) 中只有 MC13 动作,

即行程开关滚轮从凸轮的凹面滚动至凸轮的凸面, 但当 MC13 滚轮未完全滚动至凸轮的凸面时, 此时滚轮停止在凸轮的坡上, MC13 未动作, 仍旧为“010”, 此时虽然控制手柄位置推至 B4 位, 但 TCMS 屏仍旧显示 B3 位。同样, 在从 B5 拉至 B6 时, 此时 TCMS 屏上显示 B5 也是此道理。通过对现场出现行程开关滚轮爬坡的原因进行分析, 概括出如下 3 种情况。

1) 由于凸轮与凸轮轴之间安装松动导致的行程开关滚轮爬坡

如图 3 所示, 司控器凸轮套在凸轮轴上, 凸轮轴为六角形形状, 同时凸轮轴为金属材料, 凸轮为树脂材料, 这样要保证凸轮在凸轮轴上安装紧固无松动是比较困难的, 并且司控器使用较长时间后, 此时凸轮与凸轮轴摩擦、振动, 这些都可能导致凸轮在凸轮轴上的安装出现松动, 导致凸轮在凸轮轴上有微小转动。当单个凸轮出现了微小转动就会出现司控器在级位转换时行程开关爬坡, 最终出现级位错乱。

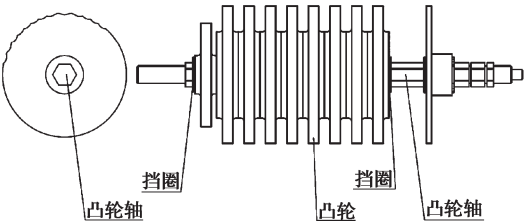
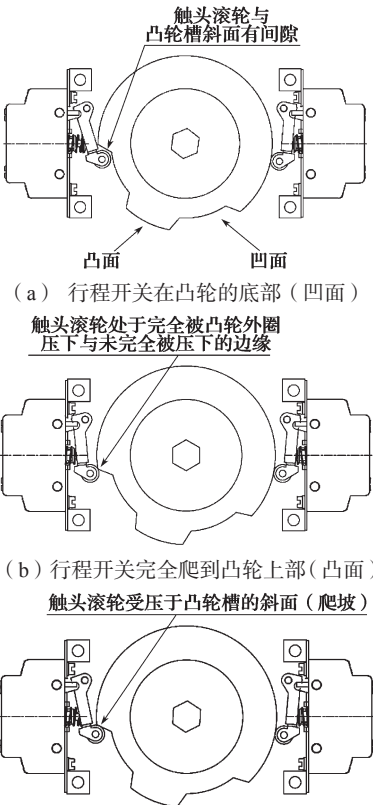


图 3 司控器凸轮与凸轮轴组成

2) 由于凸轮齿形异常磨损使行程开关不能正常动作导致的行程开关滚轮爬坡

如图 4 所示, 由于行程开关在凸轮上长时间动作, 尤其是当行程开关滚轮出现动作不灵活, 在进行级位切换时滚轮与凸轮面之间的滚动摩擦(静摩擦)变成了滑动摩擦(动摩擦), 从而使凸轮外形轮廓变形, 这样在级位转换时, 也会出



(a) 行程开关在凸轮的底部(凹面)
(b) 行程开关完全爬到凸轮上部(凸面)
(c) 行程开关爬到凸轮半坡处

图 2 行程开关与凸轮之间的相对位置

现行程开关滚轮爬坡的情况。

3) 由于在相邻级位之间行程开关在凸轮圆周方向运行的距离太小导致的行程开关滚轮爬坡

由于司控器的外形尺寸受司机控制台尺寸的限制, 司控器凸轮直径就受到了限制, 在这种情况下当司控器级位较多时, 就会导致在相邻级位切换时, 行程开关滚轮在凸轮上的圆周方向运行的距离变短, 这样就容易出现行程开关滚轮爬坡的情况, 尤其是当发生上述 2 种情况时, 就更容易出现此问题。

2.2.2 由于司控器上各行程开关动作不同步导致的级位混乱

为避免由于行程开关不同步导致级位错乱问题, 在进行级位组合时, 两相邻级位之间切换时采用循环码, 即两相邻级位之间切换时只有一个行程开关动作。但西安地铁 1、2 号线车辆司控器在 B1 ~ B7 之间采用循环码控制, 而 B7 与 FB 之间切换时, 未采取循环码(由于 3 根控制线高低电平组合已经用完)。如表 1 所示, 在 B7 与 FB 之间切换时 4 个行程开关均动作。同时, 为保证故障导向安全, 逻辑设计只要 MC14 行程开关动作, 就为 FB 级位, 此时与行程开关 MC11、MC12、MC13 无关。这样要保证切换准确, 必须保证 MC14 行程开关提前动作或 4 个行程开关同时动作。但实际行程开关动作是个范围值且由于行程开关的安装精度等问题, 4 个行程开关很难同时动作, 只要 MC14 行程开关后动作, 这样都会出现级位错乱的问题。表 3 列举出了控制手柄从 B7 位到 FB 位切换时, MC11、MC12、MC13 以及 MC14 可能出现的情况。

表 3 司控器级位从 B7 到 FB 级位混乱闭合表

先动作行程开关	行程开关	正常时B7/FB组合		B7→FB			
		B7	FB	MC11先动作	MC12先动作	MC13先动作	MC14先动作
2402	MC11	1	0	0	1	1	x
2403	MC12	1	0	1	0	1	x
2404	MC13	1	0	1	1	0	x
2405	MC14	0	1	0	0	0	1
编码组合(MC11/MC12/MC13)		1110	0001	011	101	110	xxx1
显示级位		B7	FB	4级	6级	2级	FB
备注		表格中的“x”表示此值可以是任意值, 不影响结果。					

从表 3 可以看出, 在控制手柄从 B7 位到 FB 位切换时, TCMS 屏上可能显示 2 级、4 级或 6 级制动级位, 这样当缓慢拉动控制手柄从 B7 位到 FB 位时, 此时从双针压力表看出制动缸压力先降低, 然后升高, 并且每次降低的制动压力不尽相同。这样就可以解释为何在西安地铁 1、2 号线车辆上司控器在从 B7 向 FB 拉时双针压力表压力先降后升。

3 现场问题的整改方案及建议

对于上述发生的几种司控器级位错乱问题, 制定如下整改方案。

3.1 由于凸轮松动导致的级位错乱的整改方案

关于凸轮与凸轮轴之间安装出现的松动问题, 通过调研发现, 部分城市地铁车辆司控器凸轮与凸轮轴均为金属材质, 并且为一体式结构, 这样凸轮与凸轮