

文章编号: 1674—8247(2024)06—0064—08

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.011

## 动车组中压保持策略对低速过电分相的影响分析

张南

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 高速铁路电分相设置关系到列车行车秩序和安全,应在设计阶段统筹考虑电分相设置方案,为运营创造良好条件。本文在系统介绍电分相结构、动车组惰行过电分相原理和动车组中间直流电压保持策略的基础上,详细分析了动车组“中压保持”策略对低速过分相的影响,采用牵引仿真软件模拟不同坡度下列车过分相情况,提出基于“中压保持”策略逻辑下电分相设置要求,并针对西南地区某高速铁路联络线进行实例分析,为高速铁路电分相设计和行车组织提供参考。

**关键词:** 电分相;中压保持;高速铁路;动车组过分相

中图分类号: U266 文献标志码: A

## Analysis of the Impact of Medium-voltage Hold Strategy on the Low-speed Neutral Section Crossing of EMUs

ZHANG Nan

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The setting of neutral sections in high-speed railways is crucial to train operation order and safety. Therefore, the neutral section setting scheme should be comprehensively considered during the design phase to create favorable conditions for operations. Based on a systematic introduction to the structure of neutral sections, the principle of coasting through neutral sections for EMUs, and the medium-voltage hold strategy for EMUs, this paper provided a detailed analysis of the impact of the “medium-voltage hold” strategy on low-speed neutral section crossing. By using traction simulation software to simulate train operations crossing neutral sections on different gradients, this paper proposed requirements for neutral section settings based on the logic of the “medium-voltage hold” strategy. Additionally, a case study was conducted on a high-speed railway connecting line in Southwest China, providing references for the design of neutral sections and train operation organization in high-speed railways.

**Key words:** neutral section; medium-voltage hold; high-speed railway; EMU neutral section crossing

列车通过电分相需要断电惰行,若电分相设置于陡坡区段,则有可能出现列车动力不足以支撑惰行过分相的情况,从而导致区间停车,造成行车事故<sup>[1]</sup>。在西南山区高速铁路的运营过程中,动车组列车运行工况复杂,常常需要低速过分相,加上部分动车组受变

流器中间直流电压保持控制策略影响,列车通过电分相后不能及时恢复牵引供电,存在区间停车风险。电分相的设置对铁路正常运输秩序影响较大,在高速铁路设计之初就应该充分论证,系统优化布置方案,为动车组运营创造良好条件<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2024-05-28

作者简介: 张南(1995-),男,工程师。

引文格式: 张南. 动车组中压保持策略对低速过电分相的影响分析[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(6): 64-71.

ZHANG Nan. Analysis of the Impact of Medium-voltage Hold Strategy on the Low-speed Neutral Section Crossing of EMUs[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6): 64-71.

# 1 动车组过分相机理

## 1.1 高速铁路电分相结构

我国铁路采用 25 kV 单相工频交流供电方式,交流牵引供电系统将三相电网电压经牵引变压器降压后为牵引网供电。为使电力系统三相尽可能平衡,接触网采用分段换相供电,每隔一段距离设置 1 个分相区<sup>[3]</sup>。接触网电分相结构主要分为器件式和锚段关节式两种。

### 1.1.1 器件式电分相

器件式电分相装置采用分相绝缘器实现,具有结构简单、列车不可取电区短等优点。然而,由于安装时需要截断接触线安装分段绝缘器,接触导线上会产生硬点,列车高速通过时会出现打弓甚至导线烧蚀现场,不适用于高速铁路,仅适用于速度 120 km/h 及以下线路<sup>[4-5]</sup>。器件式电分相平面布置如图 1 所示。

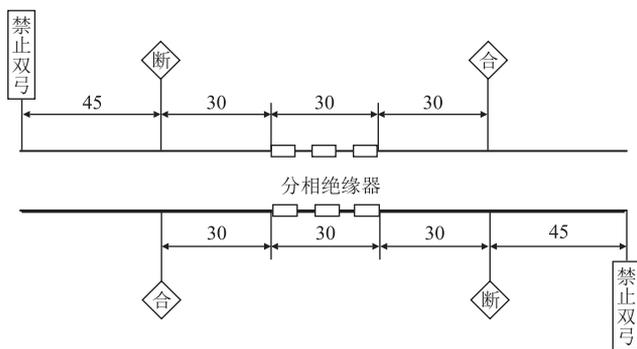


图 1 器件式电分相平面布置图(m)

### 1.1.2 锚段关节式电分相

锚段关节式电分相在两侧供电臂间的锚段与两供电臂通过开关进行连接,该锚段无电源供电<sup>[6]</sup>。锚段关节式电分相克服了器件式电分相的硬点问题,在高速铁路中得到广泛应用。我国电气化铁路常见的锚段关节式电分相形式主要有六跨、七跨、八跨、九跨、十跨、十二跨等,160 km/h 及以上速度的线路中,主要采用七跨锚段关节式电分相<sup>[7]</sup>。关节式电分相平面布置示意如图 2 所示。

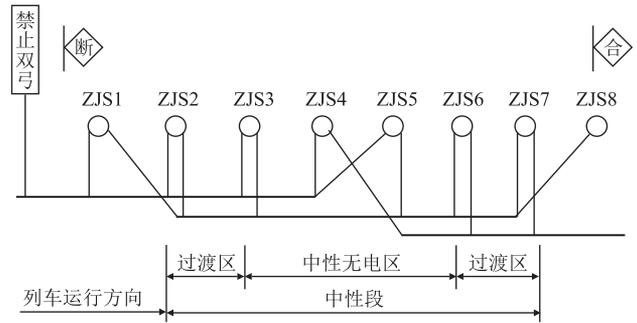


图 2 关节式电分相平面布置示意图

## 1.2 动车组过分相机理概况

我国复兴号与和谐号动车组均具备列控过分相、磁缸过分相和手动过分相 3 种过分相模式,列控过分相由列车超速防护系统(以下简称“ATP”)向列车网络控制与监视系统(以下简称“TCMS”)输出过分相信号;磁缸过分相由自动过分相装置采集地面磁缸信号向 TCMS 输出过分相信号;手动过分相则由司机通过“断”“合”标位置判断过分相时机,手动操作过分相按钮向 TCMS 输出过分相信号<sup>[8]</sup>。关节式电分相结构如图 3 所示。

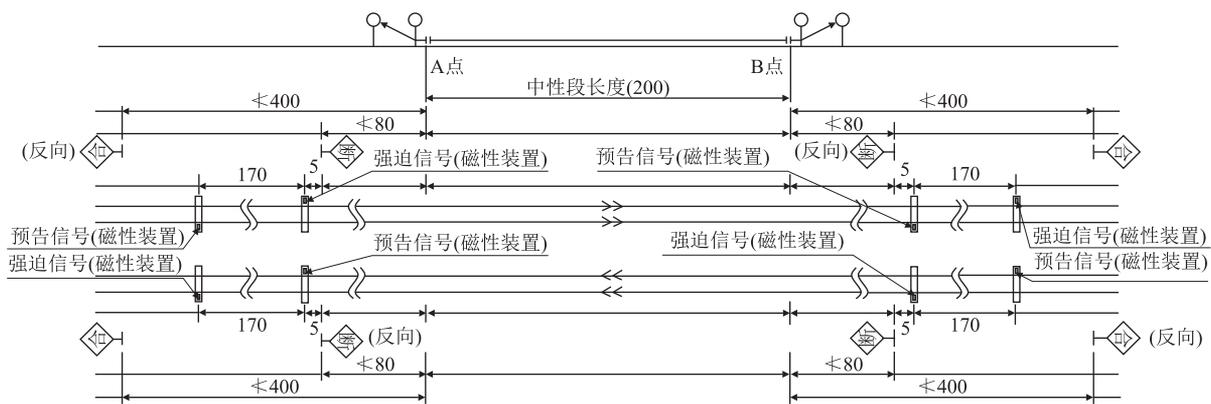


图 3 关节式电分相结构示意图(m)

### 1.2.1 列控过分相

列车处于完全监控模式下,在距离分相区前一定时间时,ATP 向 TCMS 输出“过分相指令”信息,在满足一定延时或距离条件后主断路器断开。通过分相区后,当满足列车网压恢复条件或行驶满足一定距离后,

ATP 发出撤销过分相指令,主断路器闭合,列车恢复牵引。

### 1.2.2 磁缸过分相

通过装载在司机室的自动过分相装置探测地面感应器,并向 TCMS 提供过分相预告,1 号磁缸为预告断

标信号,2号磁缸为强迫断标信号,3号磁缸为预告合标信号,4号磁缸为恢复合标信号。列车感应到地面磁缸后,在满足一定延时或距离条件时断开主断路器。列车通过分相后,当满足列车网压恢复条件或行驶满足一定距离后,主断路器闭合,列车恢复牵引。

### 1.2.3 手动过分相

手动过分相主要依靠司机目视分相区标志判断列车过分相时机,通过按下司机操作台上的过分相按钮,向TCMS发送过分相信号或撤销过分相信号。通常司机需要在“断”标前完成主断路器断开,在列车越过“合”标后完成主断路器闭合。

### 1.2.4 过分相模式优先级

列控过分相、磁缸过分相属于自动过分相模式,当ATP正常工作时,列车优先采用列控过分相,自动屏蔽磁缸过分相设备;当ATP失效或被隔离时,采用磁缸过分相模式。手动过分相原则上不受列控过分相或磁缸过分相模式限制,部分车型需要隔离列控和磁缸过分相设备才能使用手动过分相,在实际运营过程中,司机通常不采用手动过分相。

## 2 动车组中压保持策略对低速过分相的影响研究

### 2.1 动车组变流器中间直流电压保持控制逻辑

动车组列车从接触网取流后,先通过牵引变压器将高压交流电转变为中压交流电,而后经过牵引变流器和辅助变流器完成“交-直-交”变化,为列车牵引电力和辅助设备提供电源。动车组变流器由四象整流器、中间直流环节和牵引逆变器组成,具体结构如图4所示。

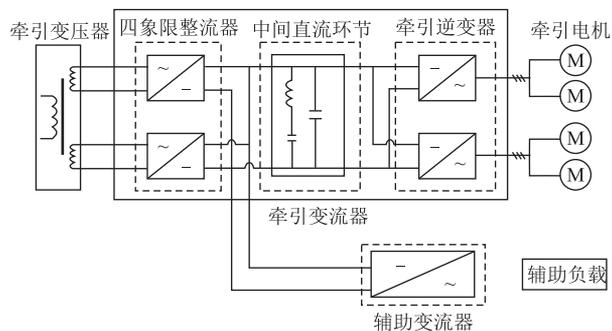


图4 动车组变流器系统拓扑结构图

四象整流器主要完成单项交流与直流电之间的变换,中间直流环节主要起到储能和稳定中间直流电压的作用。牵引逆变器主要为牵引电机提供驱动电源,可使牵引电机处于牵引或再生制动工况;当列车处于牵引工况时,牵引逆变器处于逆变状态,电能从中间

直流环节流向牵引电机;当列车处于再生制动工况时,牵引电机处于发电状态,牵引逆变器处于整流状态,可将牵引电机制动产生的电能回馈至中间直流环节。辅助变流器输入侧并联到牵引变流器中间直流环节获取电能,将中间直流电压变换成三相380V/50Hz正弦交流电压,提供给各类辅助负载,如控制系统、照明、空调、空压机、冷却装置、蓄电池等。

中压直流电压保持模式指在列车过分相、无动力回送等特殊工况下,动车组失去接触网对牵引系统的供电,四象整流器停止工作,为保证车载控制系统、空调、照明、冷却等辅助设备的正常工作,利用再生制动,牵引变流器将能量反向传输至直流电容器向中压直流环节供电,保证辅助变流器及必要负载设备的持续正常工作,中压保持状态下每次通过无电区后,变流器不需要重新激活。

### 2.2 不同车型中压保持控制逻辑对列车过分相的影响

列车经过电分相时,仅依靠中间直流电容储能难以维持中间直流电压稳定和辅助系统持续工作。因此通常采用中压直流保持控制策略,使牵引变流器切换至中压直流保持模式,经过分相后,重新激活对四象整流器的控制,使牵引逆变器退出中间直流电压保持模式,恢复到正常牵引或电制动运行状态<sup>[9]</sup>。

由于要实现中压直流保持模式,需要将牵引电机切换至发电状态,列车运行阻力增加;若列车正处于低速运行状态,则有可能为了维持中压而导致速度加速下降,引起列车区间停车。因此,不同型号动车组均为中压保持设置了临界速度,低于此速度过分相时,不再维持中压保持状态,采用蓄电池向辅助设备供电,以减少再生制动带来的速度下降。但丢失中压保持后,主断路器闭合时,需要重新激活变流系统,此时变流器启动故障保护机制,需要进行自诊断后重启,待牵引变流器和辅助变流器均完成重启后恢复牵引力。根据现场试验统计,根据车型不同,变流器重启时间为5~39s。

动车组列车的中压保持控制逻辑若导致列车过分相时速度低于中压保持临界值,将丢失中压保持并启动蓄电池供电,中压丢失后需要变流器重启方能恢复牵引这一过程导致列车恢复牵引力时机较晚,在此情形过程中加大了列车区间停车风险。

据《动车组过分相控制功能逻辑规范(V1.0)》,结合铁路现场试验数据,统计不同型号动车组保持中压的临界速度和变流器重启时间,如表1所示。

在主流动车组中,CRH3C、CRH380B、CRH380C、CR400AF、CR400BF过分相受中压保持策略影响较大。一方面列车保持中压的速度较高,实际运营过程中容

表1 动车组中压保持临界速度及变流器重启时间表

动车组型号	是否具备中压保持功能	结束中压保持速度/(km/h)	变流器重启时间/s
CRH1A	是	分相入口速度 $\leq 45$ 或运行速度 $\leq 30$	未搜集到
CRH2A	否	-	-
CRH2C	否	-	-
CRH3A	是	运行速度 $\leq 55$	8
CRH3C	是	分相入口速度 $\leq 80$ 或运行速度 $\leq 55$	30
CRH380A	否	-	-
CRH380B	是	分相入口速度 $\leq 80$ 或运行速度 $\leq 55$	14
CRH380C	是	运行速度 $\leq 70$	未搜集到
CRH380D	是	分相入口速度 $\leq 50$ 或运行速度 $\leq 45$	5
CRH5A	是	运行速度 $\leq 45$	未搜集到
CR400AF	是	分相入口速度 $\leq 78$ 或运行速度 $\leq 55$	32
CR400BF	是	分相入口速度 $\leq 78$ 或运行速度 $\leq 55$	39

易触发中压保持丢失,另一方面触发中压保持丢失后,变流器重启时间较长。

### 2.3 动车组低速过分相情况分析

动车组优先采用列控过分相模式,根据不同车型参数和列控逻辑,低速过分相时,对于无中压保持控制

逻辑或过分相过程未触发中压保持丢失的动车组,在“断”标前10s内断电,在“合”标处或车尾出清反向断标后取电并立即恢复牵引。对于有中压保持控制逻辑且在过分相过程中丢失中压保持的动车组,在“断”标前10s内断电,在“合”标处或车尾出清反向“断”标后取电,取电后不能立即恢复牵引力,需要在变流器重启完成后恢复牵引。统计主流动车组中低速过分相困难的车型分析断合电及恢复牵引时机,如表2所示。

由表2可知,不同车型分相控制信号输出时机最长为“断”标前10s,最短为“断”标前3s,收到分相控制信号后列车断开主断路器,分相控制信号撤销时机大多为车头越过分相区130m。收到分相撤销信号后,满足一定网压或运行距离条件后主断路器闭合,运行距离条件通常为走行距离超过重联列车长度;若过分相过程中触发中压保持终止信号,主断路器闭合后需等待变流器重启方能恢复牵引力。

表2 动车组过分相断合电及恢复牵引时机表

动车组型号	列控	分相控制信号输出/s	分相控制信号撤销	合电后恢复牵引时间(丢失中压保持时触发)/s
CRH2C	300T,300S	分相区前3	车头越过分相区130m	-
CRH3C	300T	分相区前10	车头越过分相区130m	30
CRH380A	300T,300H,300S	分相区前3	车头越过分相区130m	-
CRH380B	300T,300H	分相区前10	车头越过分相区130m	14
	300S	分相区前10	车头越过分相区135.5m	
CRH380C	300H	分相区前10	车头越过分相区130m	未搜集到
CRH380D	300S	分相区前3	车头越过分相区130m	5
CR400AF	300T,300S	分相区前3	车头越过分相区130m	32
	300H	分相区前3	车头越过分相区135.5m	
CR400BF	300T	分相区前10	车头越过分相区130m	39
	300S	分相区前10	车头越过分相区161.1m	

## 3 中压保持策略下动车组低速过分相对电分相设置的要求

### 3.1 低速过分相方案概述

动车组高速通过电分相时,由于列车速度高、动能大,通常不会出现困难。过分相困难情况主要针对列车低速通过,尤其是具有中压保持控制逻辑的车辆,低速通过电分相时容易触发中压保持终止信号,导致列车主断路器闭合,进而造成变流器重启后才能恢复牵引力,惰行距离变长,易引起列车区间停车。

我国开行动车组线路的列车最高允许速度通常不低于200km/h,动车组低速通过分相通常存在于一些特殊工况,具体为:

(1)正常行车限速。部分高速铁路联络线受限于线路平面条件,需要限速80km/h。

(2)故障行车限速。TG/01A-2017《铁路技术管

理规程(高速铁路部分)》<sup>[10]</sup>第十八章《设备故障行车》中规定了15种设备故障情况下的行车组织方法,在第98条、第108条规定了CTCS-3和CTCS-2级列控设备的7种工作模式,结合第298条规定,与列车通过电分相相关的故障工况主要有目视行车模式、引导模式和隔离模式<sup>[11]</sup>。目视行车模式由司机控车,限速40km/h;引导模式是在进站或出站建立引导进路后,列控按最高限速40km/h控车;隔离模式是列控车载设备控制功能停用的模式,限速40km/h,过分相困难情况下,司机可请求调度命令后以限速80km/h通过分相。

综上所述,低速过分相情况分为正常行车和故障行车两种情况,主要限速工况分为限速80km/h和限速40km/h。

### 3.2 电分相检算参数设置

电分相检算采用仿真软件,对列车通过电分相过

程进行模拟,以此检算电分相设置的合理性,电分相检算为理论计算,检算参数设定应遵循保守原则,确保各种车型均能正常通过。

### (1) 电分相结构

关节式电分相设置困难线路主要在西南山区,目前西南山区高速铁路常用电分相结构为六跨电分相,如图3所示。电分相中性段约200 m,“断”标至中性

段长度不低于80 m,通常取80 m;中性段至“合”标长度不低于400 m,为2个车组长,国内重联动车组最长约430 m。

器件式电分相中性段取200 m,“断”标至中性段长度取30 m,中性段至“合”标长度不低于400 m,为2个车组长,国内重联动车组最长约430 m。器件式电分相结构如图5所示。

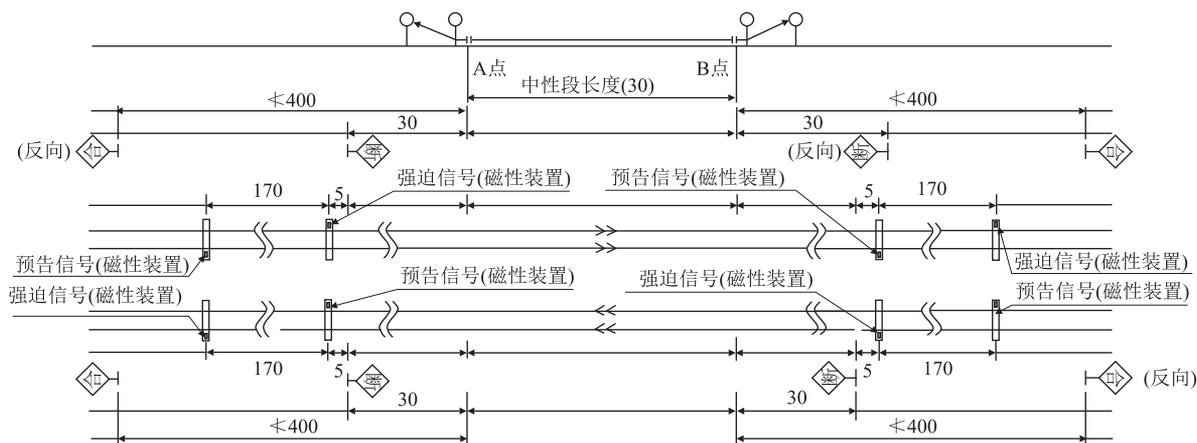


图5 器件式电分相结构示意图(m)

### (2) 速度

考虑低速过分相工况分为限速80 km/h和限速40 km/h两种情况,结合现场实际情况和司机操作,限速80 km/h时列车入分相实际速度为75 km/h,限速40 km/h时列车入分相实际速度为38 km/h。

### (3) 车型

考虑过分相最困难的车型,选择CRH380BL、CRH3C、CR400BF长编组进行检算,变流器重启时间统一取最大值39 s。

### (4) 惰行距离

按电分相“断”标前10 s断开主断路器,车头越过“合”标后走130 m接受出分相信号,再走行430 m闭合主断路器,闭合主断路器后39 s恢复牵引力计算。

关节式电分相:限速80 km/h工况下列车惰行距离约为1 130 m + 39 s,限速40 km/h工况下列车惰行距离约为1 030 m + 39 s。

器件式电分相:限速80 km/h工况下列车惰行距离约为860 m + 39 s,限速40 km/h工况下列车惰行距离约为760 m + 39 s。

### (5) 过分相判定

参考GB/T 36981-2018《轨道交通客运列车断电过分相系统相互匹配准则》<sup>[12]</sup>第5.2条规定,故障工况下列车过分相出口速度不得低于5 km/h,结合理论检算和现场情况的差异,考虑到轨面条件的差异性和司机操作的冗余度,低速条件下列车惰行掉速较快,出

口速度在5~15 km/h间时,列车仍有区间停车风险,因此本次研究列车正常通过分相判定原则为:

列车恢复牵引时速度 $\leq 5$  km/h,列车不能通过电分相;列车恢复牵引时速度 $> 5$  km/h且 $< 15$  km/h时,列车有区间停车风险;列车恢复牵引时速度 $\geq 15$  km/h时,列车正常通过电分相。

### 3.3 满足80 km/h通过的电分相设置要求

根据上述边界条件,考虑电分相惰行范围为均匀缓坡,对不同坡度条件下列车通过电分相情况进行检算,限速80 km/h时检算结果如表3、表4所示。

根据检算结果,当关节式电分相设置于不大于15‰坡道、器件式分相设置于不大于18‰坡道时,限速80 km/h列车可以正常通过电分相。

### 3.4 满足40 km/h通过的电分相设置要求

限速40 km/h时检算结果如表5、表6所示。

根据检算结果,当关节式电分相设置于不大于3‰坡道、器件式电分相设置于不大于4‰坡道时,限速40 km/h列车可以正常通过电分相。

## 4 西南山区某高速铁路联络线动车组低速过分相实例研究

### 4.1 线路条件及分相设置情况

线路为西南山区某高速铁路联络线,线路小里程端接某车站,大里程端与某高速铁路正线接轨,受限于地形条件,线路出站后即以30‰足坡爬升,在与正线

表3 关节式电分相限速 80 km/h 检算情况表

车型	坡度/% $\epsilon$	入口速度 $v_0$ / (km/h)	出口速度 $v_1$ / (km/h)	过分相判定
CRH380BL	12	75	27	分相通过
	13	75	22	分相通过
	14	75	18	分相通过
	15	75	15	分相通过
	16	75	8	存在停车风险
	17	75	4	分相不通过
	18	75	0	分相不通过
CRH3C 重联	12	75	29	分相通过
	13	75	25	分相通过
	14	75	21	分相通过
	15	75	16	分相通过
	16	75	11	存在停车风险
	17	75	6	分相不通过
	18	75	0	分相不通过
CR400BF 重联	12	75	29	分相通过
	13	75	25	分相通过
	14	75	20	分相通过
	15	75	16	分相通过
	16	75	11	存在停车风险
	17	75	5	分相不通过
	18	75	0	分相不通过

表4 器件式电分相限速 80 km/h 检算情况表

车型	坡度/% $\epsilon$	入口速度 $v_0$ / (km/h)	出口速度 $v_1$ / (km/h)	过分相判定
CRH380BL	16	75	23	分相通过
	17	75	18	分相通过
	18	75	15	分相通过
	19	75	12	存在停车风险
	20	75	8	存在停车风险
	21	75	3	分相不通过
	22	75	0	分相不通过
	CRH3C 重联	16	75	25
17		75	21	分相通过
18		75	17	分相通过
19		75	14	存在停车风险
20		75	9	存在停车风险
21		75	5	分相不通过
22		75	0	分相不通过
CR400BF 重联		16	75	25
	17	75	21	分相通过
	18	75	17	分相通过
	19	75	13	存在停车风险
	20	75	10	存在停车风险
	21	75	6	分相不通过
	22	75	0	分相不通过

表5 关节式电分相限速 40 km/h 检算情况表

车型	坡度/% $\epsilon$	入口速度 $v_0$ / (km/h)	出口速度 $v_1$ / (km/h)	过分相判定
CRH380BL	1	38	28	分相通过
	2	38	22	分相通过
	3	38	16	分相通过
	4	38	8	存在停车风险
	5	38	0	存在停车风险
	6	38	0	分相不通过
CRH3C 重联	1	38	30	分相通过
	2	38	25	分相通过
	3	38	19	分相通过
	4	38	12	存在停车风险
	5	38	3	存在停车风险
	6	38	0	分相不通过
CR400BF 重联	1	38	30	分相通过
	2	38	25	分相通过
	3	38	19	分相通过
	4	38	12	存在停车风险
	5	38	2	存在停车风险
	6	38	0	分相不通过

表6 器件式电分相限速 40 km/h 检算情况表

车型	坡度/% $\epsilon$	入口速度 $v_0$ / (km/h)	出口速度 $v_1$ / (km/h)	过分相判定
CRH380BL	2	38	25	分相通过
	3	38	21	分相通过
	4	38	16	分相通过
	5	38	11	存在停车风险
	6	38	5	存在停车风险
	7	38	0	分相不通过
	CRH3C 重联	2	38	28
3		38	24	分相通过
4		38	19	分相通过
5		38	14	存在停车风险
6		38	8	存在停车风险
7		38	0	分相不通过
CR400BF 重联		2	38	27
	3	38	23	分相通过
	4	38	19	分相通过
	5	38	13	存在停车风险
	6	38	7	存在停车风险
	7	38	0	分相不通过

接轨前设置了长 343 m 的缓坡,最小曲线半径 500 m,列车限速 80 km/h。

为获得足够的加速距离,原设计电分相位于线路中段,处于 30‰ 大坡道上。为减少过电分相惰行距离,电分相采用器件式,中性段长 30 m。西南山区某高速铁路联络线电分相设置如图 6 所示。

#### 4.2 存在问题及实车验证情况

设计阶段未考虑列车中压保持控制逻辑,检算电分相时按列车车头到达“合”标处恢复牵引,未考虑低

速过分相导致中压保持终止带来的变流器重启时间。设计阶段检算限速 80 km/h 工况能正常通过,限速 40 km/h 不能通过。

联调联试阶段通过采用 CRH380A、CRH3C、CR400AF 等车型实车试验,试验结果如表 7 所示。

试验证明,对于具备中压保持的车型,如 CRH3A、CRH3C、CR400AF 等,低速过分相触发中压保持后,变流器需要一定时间进行重启,重启完成后方能恢复牵引力,长时间惰行导致列车区间停车或恢复牵引速度

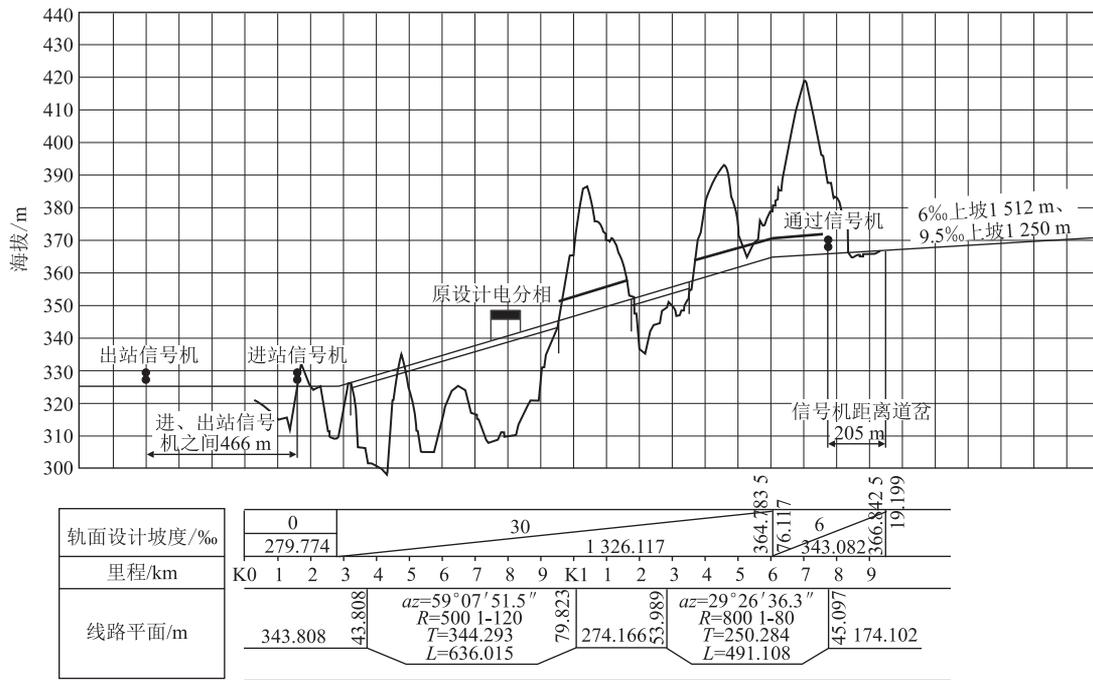


图 6 西南山区某高速铁路联络线电分相设置图

表 7 电分相实车验证表 (km/h)

车型	编组	控车模式	发车模式	断电速度	合闸速度	恢复牵引速度	备注
CRH2A	重联	C2	正常	78	50	47	无中压保持
CRH3A	重联	C2	正常	77	48	11	合闸后 25 s 变流器启动完毕
	重联	C3	目视	76	57	51	未触发中压保持终止
CRH380A	单组	C2	正常	70	37	30	无中压保持
	单组	C3	目视	74	40	33	
CRH3C	单组	C2	正常	67	0	0	出分相速度低于 50 km/h 不自动合闸, 停车后手动合闸, 用时 16 ~ 23 s 变流器启动完毕
	单组	C2	引导	66	0	0	
	重联	C2	正常	78	0	0	
	重联	C3	目视	77	0	0	
CRH380D	重联	C2	正常	76	34	30	未触发中压保持终止
CR400AF	单组	C2	正常	72	30	10	合闸后 22 s 变流器启动完毕
	单组	C2	引导	71	28	8	合闸后 23 s 变流器启动完毕
	重联	C2	正常	78	25	0	变流器启动过程中坡停
	重联	C3	目视	78	0	0	不自动合闸

极低, CRH3C 甚至在低于 50 km/h 的速度时不启动自动合闸程序, 需要司机手动合闸。

对于不具备中压保持的车型 (如 CRH2A、CRH380A), 低速过电分相后, 合闸即能恢复牵引力, 列车惰行距离短, 出分相速度较低, 能正常通过电分相。

### 4.3 采用的解决措施

为解决部分车型不能正常通过此电分相的情况, 研究了调整列车控制逻辑、取消电分相、改移电分相等解决措施。中压保持策略是动车组的基础控制逻辑, 轻易不能调整修改, 需要车辆厂商深入研究, 取得中国国家铁路集团有限公司同意后方可实施。取消电分相

改为电分段方案列车经过时容易产生拉弧, 有造成烧网的风险, 安全性较差。改移电分相方案经建设、运营、设计单位研究, 为了不影响相邻线路的供电方案, 仅能在联络线范围内改移; 经理论检算和实车模拟, 最终决定将分相改移至大里程端靠近通过信号机布设; 分相设置于此可充分利用接轨点缓坡, 改移后的电分相所处坡道平均坡度约为 18‰, 但需要突破电分相距离最近信号机不宜低于 550 m 的规范要求, 需制定规章制度不能在前方通过信号机前停车。改移后各型列车均可正常通过电分相, 与前述研究结论一致。

西南山区某高速铁路联络线电分相调整如图 7 所示。

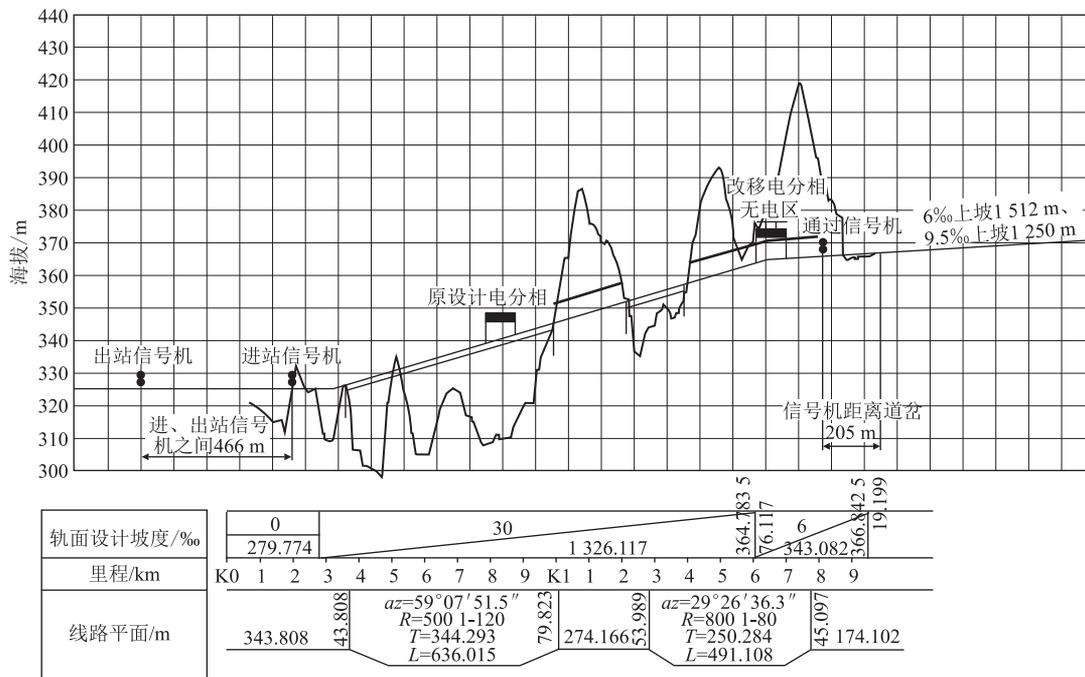


图7 西南山区某高速铁路联络线电分相调整图

## 5 结论

电分相是高速铁路牵引供电系统的重要设备,列车通过电分相时需要提前断开主断路器惰行,通过电分相后满足一定条件时恢复供电及列车牵引。本文基于动车组中压保持控制策略,对适应限速 80 km/h 和 40 km/h 时列车能正常通过的电分相设置坡度条件进行了检算,并结合西南地区某高速铁路联络线进行案例分析,得到主要结论如下:

(1)中压保持策略导致动车列车过电分相时,容易因降速触发中压保持丢失,造成变流器重启,延长列车恢复牵引力时机,导致列车区间停车,不同车型因控制逻辑和变流器重启时间不同,影响程度也不同。高速铁路设计中应根据本线行车情况,按最不利原则确定电分相设置方案。

(2)经理论检算,采用锚段关节式电分相结构时,满足动车组限速 80 km/h 通过的电分相设置要求为不大于 15‰ 的缓坡道,满足动车组限速 40 km/h 通过的关节式电分相设置要求为不大于 3‰ 的缓坡道,缓坡长度不应小于列车惰行长度加车身长度。

(3)对于设计速度不高于 120 km/h 的高速铁路联络线,为减少列车惰行距离,可采用器件式电分相,此时满足动车组限速 80 km/h 通过的电分相设置要求为不大于 18‰ 的缓坡道,满足动车组限速 40 km/h 通过的关节式电分相设置要求为不大于 4‰ 的缓坡道,缓坡长度不应小于列车惰行长度加车身长度。

(4)不同铁路的设计原则和工程条件均不同,应结合线路实际平纵断面进行仿真检算,合理确定电分相设置方案。

## 参考文献:

- [1] 王希元, 张光源. 高速铁路引入枢纽(地区)电分相缓坡设置方案研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3): 81-86.  
WANG Xiyuan, ZHANG Guangyuan. Study on Setting Scheme of Phase Break Gentle Slope for Leading High-speed Railway into Terminal (Area) [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3): 81-86.
- [2] 杨佳, 杨洋, 鲁小兵, 等. 复杂艰险山区铁路接触网设计技术思考[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(6): 35-38, 61.  
YANG Jia, YANG Yang, LU Xiaobing, et al. Reflections on the Design Techniques for the Railway Overhead Contact System in Challenging Mountain Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(6): 35-38, 61.
- [3] 胡家喜, 周方圆. 电气化铁路列车过分相技术现状及发展[J]. 机车电传动, 2019(3): 1-5.  
HU Jiayi, ZHOU Fangyuan. Status and Development of Neutral Section Passing Technology for Electrified Railway Trains [J]. Electric Drive for Locomotives, 2019(3): 1-5.
- [4] 耿敬春. 基于CTCS-3级列控系统动车组列车自动过分相运行检算[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(10): 93-98.  
GENG Jingchun. Checking Calculation of Auto-passing Phase Splitting by CTCS-3-based EMU [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(10): 93-98.
- [5] 郑景文, 刘明光, 崔玮辰, 等. 铁路隧道电分相结构参数与中性线过电压研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(9): 146-150.

(下转第83页)

## 参考文献:

- [1] 聂超. CTCS-3 列控无线闭塞中心研究与仿真[D]. 成都: 西南交通大学, 2010: 25-36.  
NIE Chao. Research and Simulation on CTCS-3 Train Control Radio Block Center [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010: 25-36.
- [2] 刘中田, 孙伟亮. CTCS-3 级列控系统无线闭塞中心功能需求研究[J]. 铁路计算机应用, 2011, 20(6): 4-7.  
LIU Zhongtian, SUN Weiliang. Research on Functional Requirements for Radio Block Center in CTCS-3 [J]. Railway Computer Application, 2011, 20(6): 4-7.
- [3] ZHAO Jingjing, ZHENG Wei. Research on Automatic Test Method of Radio Block Center Based on Script Technology [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1948(1): 012112.
- [4] 李嘉懿, 王长林. 基于 SPN 的无线闭塞中心切换过程中的故障分析[J]. 铁路计算机应用, 2011, 20(8): 43-46.  
LI Jiayi, WANG Changlin. Failure Analysis in Process of RBC Switching Based on Stochastic Petri Nets (SPN) [J]. Railway Computer Application, 2011, 20(8): 43-46.
- [5] 孙鸣蔚. 高铁列控设备故障仿真培训系统的设计与实现[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016: 12-32.  
SUN Mingwei. Research and Design of Fault Simulation and Training System for High-speed Train Control Equipment [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2016: 12-32.
- [6] 王亭岭, 赵君, 查园园, 等. 高速铁路列控车载设备故障诊断的研究及应用[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3): 55-61.  
WANG Tingling, ZHAO Jun, ZHA Yuan Yuan, et al. Study on Fault Diagnosis for On-board Equipment in High-speed Railway Train Control Systems and Application [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3): 55-61.
- [7] 徐强, 崔龙, 黄琨. CTCS-3 无线闭塞中心工程化数据生成方法与实现[J]. 铁路计算机应用, 2019, 28(8): 52-56, 74.  
XU Qiang, CUI Long, HUANG Kun. Engineering Data Generation Method and Implementation of CTCS-3 Radio Block Center [J]. Railway Computer Application, 2019, 28(8): 52-56, 74.
- [8] 宋沛东. CTCS-3 级列控系统仿真测试平台——无线闭塞中心仿真子系统研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007: 33-45.  
SONG Peidong. The CTCS-3 Simulation and Testing Platform-research on RBC Simulation Subsystem [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007: 33-45.
- [9] 刘子英, 尹楠, 张利华. 高速铁路无线闭塞中心(RBC)核心单元安全评估[J]. 华东交通大学学报, 2016, 33(4): 61-66.  
LIU Ziyang, YIN Nan, ZHANG Lihua. Security Assessment of Key Unit of Radio Block Center for High-speed Railway [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2016, 33(4): 61-66.
- [10] 夏进波, 王勇. 高速铁路联锁调度一体化实训方案研究与应用[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(4): 93-98.  
XIA Jinbo, WANG Yong. Research and Application of Training Scheme for Integrated Interlocking & Dispatching of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 93-98.
- [11] TB/T 3330-2015 无线闭塞中心技术规范[S].  
TB/T 3330-2015 Technical Specification of Radio Block Center [S].
- [12] TB/T 3535-2018 无线闭塞中心测试规范[S].  
TB/T 3535-2018 Test Specification for Radio Block Center System [S].
- [13] 马文晖, 杨斐, 冯国斌. 高速铁路 CTC 仿真培训系统的设计与应用[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(1): 26-28, 69.  
MA Wenhui, YANG Fei, FENG Guobin. Design and Application of Simulation Training System of CTC for High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1): 26-28, 69.
- [14] 林建平. 铁路 GSM-R 系统国际互联互通技术方案研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(3): 6-10.  
LIN Jianping. A Study on International Interoperability Technical Scheme of Railway GSM-R System [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3): 6-10.
- ZHENG Jingwen, LIU Mingguang, CUI Weichen, et al. Research on Structure Parameter of Phase Insulator in Railway Tunnel and Over-voltage of Neutral Line [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(9): 146-150.
- [6] 黄沁悦. 地面自动过分相技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.  
HUANG Qinyue. Research on Automatic Ground Crossing Phase Technology [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [7] 刘雨欣, 张景景. 三断口八跨锚段关节式电分相过电压分析[J]. 电气化铁道, 2017, 28(3): 67-70.  
LIU Yuxin, ZHANG Jingjing. Analysis of Over-voltage of Eight-span Overlap Section Type Phase Break with Three Breaks [J]. Electric Railway, 2017, 28(3): 67-70.
- [8] 动车组过分相控制功能逻辑规范(V1.0) [S].  
Logic Specification for Neutral Section Passing Control Function (V1.0) [S].
- [9] 蒋威. 动车组变流器中间直流电压保持控制策略研究[J]. 机车电传动, 2019(2): 35-40.  
JIANG Wei. Research on DC-link Voltage Hold Control Strategy for E-MUs Converter [J]. Electric Drive for Locomotives, 2019(2): 35-40.
- [10] TG/01A-2017 铁路技术管理规程(高速铁路部分) [S].  
TG/01A-2017 Railway Technical Management Regulations (High Speed Railway Part) [S].
- [11] 崔衍渠. 复杂运营条件下高速铁路电分相设计及运营建议[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(4): 65-68.  
CUI Yanqu. Suggestion for Design and Operation of Phase Break of High-speed Railway under Complex Operating Conditions [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4): 65-68.
- [12] GB/T 36981-2018 轨道交通客运列车断电过分相系统相互匹配准则[S].  
GB/T 36981-2018 Railway Applications-Technical Criteria for the Co-ordinations in the Passenger Train Neutral-section Passing System with No Power Consumption [S].

(上接第71页)