

文章编号: 1674—8247(2024)03—0081—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.03.015

高速铁路引入枢纽(地区)电分相缓坡设置方案研究

王希元 张光源

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:为解决川中浅丘地形高速铁路引入枢纽(地区)时电分相合理设置的难题,本文以成达万铁路引入资阳西站为例,针对电分相涉及上下游多专业的特点,构建了“多因素分步研究、多维度综合比选、多工况行车验证”的研究方法,对电分相缓坡设置方案进行研究,得到了满足功能需求、技术可靠、经济合理的技术方案。研究表明:(1)新线合场引入车站时,通常由同一相电源对车场内多线供电,末端分区所(电分相)应尽量靠近车站,减小牵引负荷;(2)分相区反向断电标边界里程=车站最外侧信号机里程-(一离去区段长度+三接近区段长度)-0.2 km-0.5 km;(3)列车限速40 km/h通过六跨短分相的最大上坡度为5‰;(4)川中浅丘地形下,分区所选址不作为控制电分相设置的主要因素;(5)枢纽(地区)内,电分相设置应统筹考虑规划线路的引入,避免规划线路实施时对既有铁路相关工程造成严重影响。研究成果可为类似工程提供借鉴和指导。

关键词:高速铁路;枢纽(地区);电分相;缓坡;多因素

中图分类号:U223 文献标志码:A

Study on Setting Scheme of Phase Break Gentle Slope for Leading High-speed Railway into Terminal (Area)

WANG Xiyuan ZHANG Guangyuan

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

Abstract: To address the challenge of rational setting of phase break when leading high-speed railways into terminals (areas) in shallow hilly terrain in central Sichuan, this paper took leading Chengdu-Dazhou-Wanzhou Railway into Ziyang West Station as the case for study, constructed a method of “multi-factor step-by-step study, multi-dimensional comprehensive comparison and selection, and verification by train operation under multiple working conditions” according to the characteristics of phase break involving upstream and downstream disciplines. It also studied the setting scheme of phase break gentle slope, and obtains a technical scheme that meets functional requirements, is technically reliable and economically reasonable. Key findings include: (1) When a new railway line is led into a station, the same phase of power supply usually supplies power to multiple lines in the yard. The end section post (phase break) shall be as close as possible to the station to reduce the traction load. (2) Boundary chainage of reverse power-off sign in neutral section = chainage of outermost signal at the station - length of first departure and third approach sections - 0.2 km - 0.5 km. (3) The train passes through the six-span short neutral section at a speed limit of 40 km/h, and the maximum up gradient

收稿日期:2023-05-29

作者简介:王希元(1992-),男,工程师。

基金项目:中铁二院工程集团有限责任公司科技开发计划(KSNQ201010)

引文格式: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.

is 5%。 (4) Under the shallow hill topography in central Sichuan, zoning site selection is not the main factor controlling the setting of phase breaks. (5) In the terminal (area), leading planned lines shall be considered as a whole for the setting of phase breaks, so as to avoid serious impact on related works of existing lines during the construction of planned lines. These findings can provide reference and guidance for similar projects.

Key words: high-speed railway; terminal (area); phase break; gentle slope; multi-factor

在国内国际双循环新发展格局与“一带一路”倡议的推动下,国内外基础设施尤其是高速铁路进入了蓬勃发展的新时期,铁路电分相设置成为建设与运营过程中不得不面对的新问题。从电分相概念上看,电气化铁路相邻供电臂上电压相位不同,需在供电臂的末端和变电所的出线端设置电分相^[1]。若电分相位于长大上坡地段,对列车过分相的入口速度及上坡坡度等有较高要求,可能会造成列车惰行时速度下降过快,如不充分研究设置方案,极易引起运营事故。例如,某高速铁路2010年12月、2011年3月、2011年5月发生动车组在分相无电区停车等待救援的事故;某客运专线2014年9月联调联试动车组在车站动走线上停车;某联络线2021年9月既有电分相距离增设动走线道岔较近,无法通过行车检算。因此,电分相已经逐渐成为影响列车运营与行车安全的主要因素之一,针对电分相合理设置的研究已迫在眉睫。

在线路设计规范中,柳世辉^[2]基于TB 10098-2017《铁路线路设计规范》修订的主要内容,解析了“连续长大坡道的设置应结合工程条件、行车组织和电分相设置等因素合理确定”的新增规定;在高速铁路中,有学者分析了不同运行条件、不同设置位置和纵断面对列车速度及时分的影响,提出高速铁路电分相设置及检算原则。在车站附近,杜珩^[3]等采用动态仿真,基于出站状态,提出在5‰、10‰、15‰、20‰的上坡,电分相应分别距离出站信号机3 km、5 km、5 km以上、7 km以上。既往研究发现,缓坡设置电分相是解决分相优化布局最有效和最根本的手段,虽然该领域目前已取得一系列成果,但缺乏引入枢纽(地区)电分相设置的系统性研究。枢纽(地区)既是单独线路联通成网、辐射四方的中枢,也是不同线路牵引供变电系统交会的节点^[4],当多条线路同时引入时,不同方向径路互联互通、列车跨线运行的需求必然使得研究更为复杂。在这种情况下,需根据枢纽(地区)的特点,提出影响因素,分步开展研究,逐步缩小范围^[5],最终得到满足功能需求、技术可靠、经济合理的电分相缓坡设置方案。本文以成都至达州至万州铁路(以下简称“成达万铁路”)引入资阳西站为例,结合在建成自铁路与规划成都外环铁路,提出多条铁路同时引入时

电分相缓坡设置方案的研究思路和方法,旨在为今后类似工程提供借鉴和指导。

1 资阳西站引入方案

资阳西站位于资阳市,衔接成自铁路、成达万铁路与成都外环铁路3条线路。依据TB 10621-2014《高速铁路设计规范》^[6],引入方案主要技术标准如表1所示。

表1 主要技术标准表

铁路	成自铁路 天府至自贡段	成达万铁路 成都至达州南段	成都外环铁路 资阳西至眉山北段
铁路等级	高速铁路	高速铁路	高速铁路
设计速度	350 km/h	350 km/h	250 km/h
最大坡度	一般20‰ 困难30‰	一般20‰ 困难30‰	一般20‰ 困难25‰
牵引种类	电力	电力	电力
列车类型	动车组	动车组	动车组
列车运行 控制方式	CTCS-3级	CTCS-3级	CTCS-2级

因此,成达万铁路引入资阳西站的站位方案将统筹考虑成自铁路与成都外环铁路。

1.1 线路方案

成达万铁路走行于鲤鱼水库饮用水源保护区北侧,下穿成渝客运专线,上跨遂资眉高速公路后于南津驿电站大坝下游约800 m处跨越沱江。尔后,线路跨越成渝铁路,沿遂资眉高速公路南侧向西行进,于高速公路迎接枢纽南侧通过后,限速250 km/h跨越成自铁路折向北引入在建资阳西站,如图1所示。

1.2 站场方案

资阳西站采用分场布置,成自铁路设成自车场(成达万铁路近期设联络线引入成自车场),成达万铁路与成都外环铁路在站房对侧预留规划车场(成达万铁路远期正线与外环铁路东部新城方向贯通)。两车场规模均为2台6线,车站总规模为4台12线。此外,成达万铁路在资阳西站万州端区间预留迎接线路所,与规划成都外环铁路实现互联互通,即规划成都外环铁路可利用成达万近期联络线衔接成自铁路;成自铁路在资阳西站成都端设机场外绕联络线衔接成都外环铁路,如图2所示。

基于以上分析,成达万铁路近期设联络线引入成

自行车场,远期规划车场与成都外环铁路东部新城方向贯通。迎接线路所作为“闸站”,承担了成达万与成都外环铁路跨线车流疏解的功能,既避免新建联络线、节省投资,又实现了跨线运行。

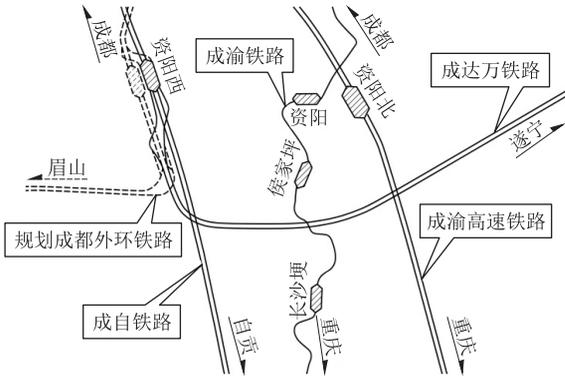


图1 线路方案示意图

2 电分相缓坡设置方案研究

电分相是铁路工程中涉及上下游多专业的综合性难题,基于成达万引入资阳西站的线站位特点,电分相设置涉及牵引供变电、信号机布设、线路坡度、所亭选址、工程投资等因素,应分步开展研究,逐步缩小范围。首先应全面、系统地分析电分相设置的主要控制因素,对电分相设置范围进行初步判断;然后结合自然特征与重点工程,围绕初步确定的范围,进行缓坡设置方案的多维度综合比选;最后通过多工况检算,验证行车条件,得到满足功能需求、技术可靠、经济合理的电分相缓坡设置方案。

2.1 电分相设置的主要控制因素

决定电分相设置的主要控制因素为牵引供变电、

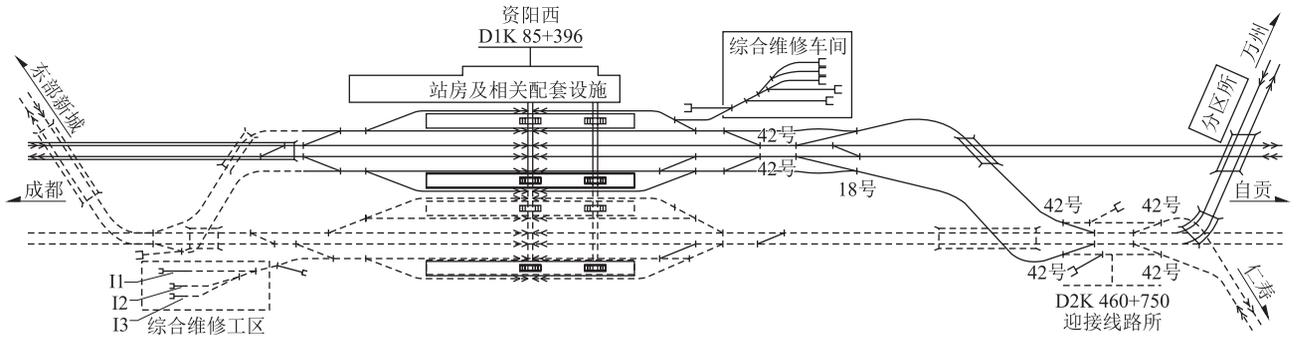


图2 资阳西站平面布置示意图

信号机布设、线路坡度和所亭选址。因此,本节对主要控制因素进行全面系统地分析,初步判识电分相的设置范围。

2.1.1 牵引供变电

(1) 与电分相相关的枢纽(地区)供电原则

枢纽(地区)供电应综合考虑各铁路引入供电要求,合理设置电分相。枢纽(地区)供电宜由同一相电源供电;枢纽(地区)由同一相电源供电困难时,应保证枢纽主体部分由同一相电源供电,并将电分相设置

在股道数量少、坡度平缓的区段。

(2) 电分相设置的初步范围

资阳西站是由成自铁路罗家湾牵引变电所(DK 74+400)供电,基于以上设置原则,成达万铁路的末端分区所至资阳西站段是由成自铁路罗家湾牵引变电所供电,如图3所示。

成自铁路罗家湾牵引变电所将为成自、成达万铁路列车同时供电。因此,分区所(电分相)位置应尽量靠近资阳西站,从而缩短供电段落,减小牵引负荷。

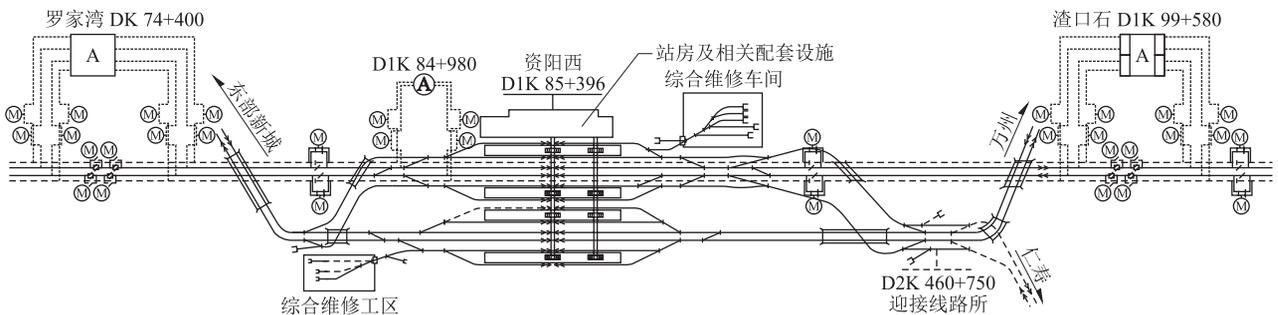


图3 供电方案示意图

2.1.2 信号机布设

(1) 与电分相相关的布设原则

① 车站—离去、三接近区段不设电分相^[7]。

② 列车过分相断电区距最近信号机不宜小于550 m。

③ 正向运行时,分相区反向断电标运行前方500 m 范围内不宜设置应答器组^[8],如图4所示。

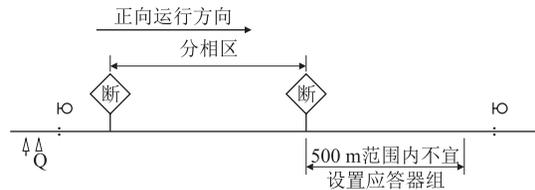


图4 分相区不宜设置应答器范围示意图

④ 区间应答器组(含区间定位应答器组)距绝缘节距离不宜小于200 m,如图5所示。

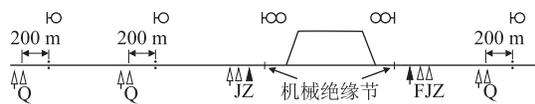


图5 区间应答器组Q设置示意图

(2) 电分相设置的初步范围

根据以上原则,预留迎接线路所最外侧信号机里程为D2K 460 + 995,电分相设置位置需在D2K 458 + 395之前,即D2K 458 + 395 ~ D2K 460 + 995区段不宜设置电分相(2.6 km = 一离去、三接近区段1.9 km + 应答器距离绝缘节0.2 km + 电分相距离应答器0.5 km)。

2.1.3 线路坡度

(1) 过分相最不利工况

线路坡度直接影响列车能否通过电分相区段,与行车组织密切相关,需通过检算合理确定。高速铁路电分相检算工况主要有正常运行、车站端限速40 km/h、区间限速40 km/h及80 km/h、反向运行等。其中,成达万铁路引入资阳西站的最不利工况为车站端限速40 km/h 过分相检算。

(2) 电分相坡度设置要求

高速铁路电分相有长、短分相等不同形式(六跨、十二跨、十三跨、十四跨等),列车过分相困难段落通常采用六跨短分相方案,如图6所示。

检算参数 a_0 取最小值80 m,断、合标间距离680 m,断电惰行距离855 m,出口速度按不低于20 km/h考虑。通过调整电分相所在坡度反复试算,限速40 km/h通过电分相(出口速度不低于20 km/h)的最大上坡

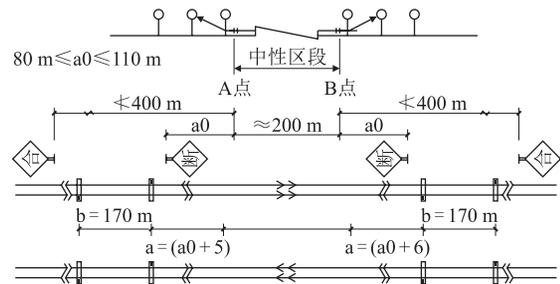


图6 六跨短分相结构示意图

度为5‰,检算结果如图7所示。

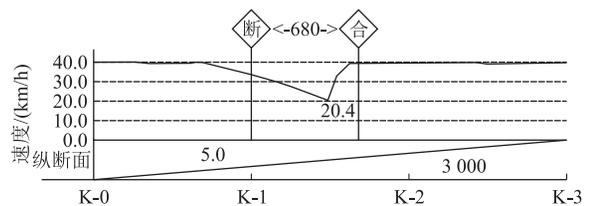


图7 检算示意图

2.1.4 所亭选址

(1) 选址原则

① 电分相宜设置在牵引所亭附近,有利于供电线路的运营维护。

② 所亭选址应具有适宜的地质条件及地基承载力,避开不良地质,尽量避免高填深挖。

③ 分区所室外地面高程应符合国家现行标准中相关洪水位和内涝水位的相关规定。洪水位或内涝水位重现期为50 ~ 100年^[9]。

(2) 电分相设置的初步范围

资阳西站地处四川盆地中部浅丘区,地形起伏不大,工程地质条件较简单,不控制线路纵坡及工程设置。因此,分区所所亭选址不控制电分相设置位置。

对牵引供变电、信号机布设、线路坡度、所亭选址进行系统性分析,得到电分相的初步设置范围,即电分相需设置于D2K 458 + 395以前,且尽量靠近资阳西站,缓坡坡度 $\geq 5\text{‰}$ 的段落。

2.2 电分相缓坡设置方案研究

基于初步确定的电分相设置范围,对缓坡设置方案进行多维度综合比选。成达万铁路引入资阳西站段落主要控制工点为上跨成自铁路(主跨88 m连续梁)、上跨遂资眉高速公路(主跨100 m连续梁)、D2K 458 + 512 ~ D2K 459 + 371路基段(山脊宜挖不宜填)。在不影响主要控制工点的前提下,针对电分相缓坡设置方案,重点研究了凸形坡方案与凹形坡方案,如图8所示。

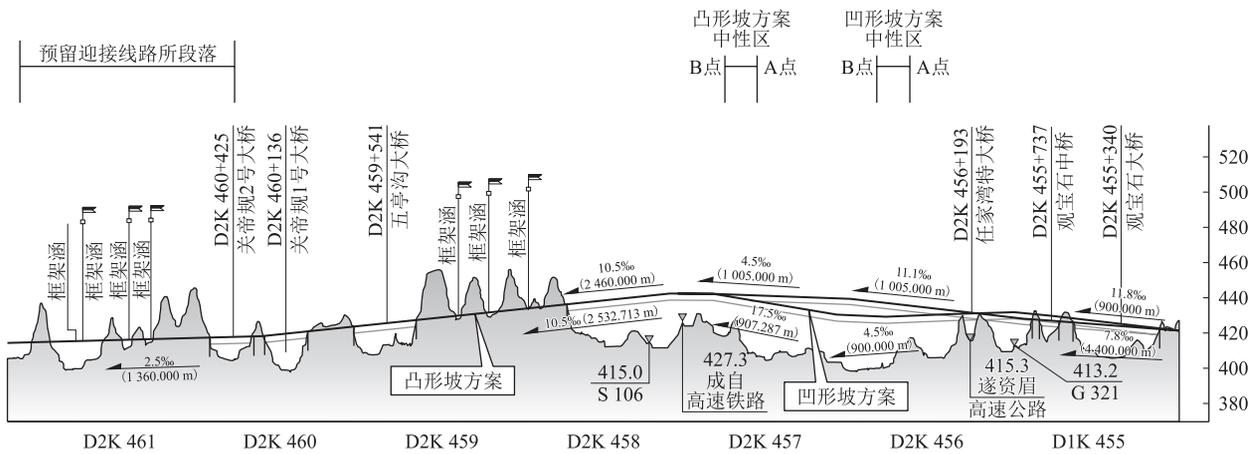


图8 纵坡方案示意图

2.2.1 多维度综合比选

结合纵断面设计特点,缓坡设置方案主要从分区所及电分相设置、纵断面线型条件、工程投资3个维度进行综合比选。

(1) 从分区所及电分相设置分析

两种方案电分相设置总体相当,但凸形坡方案因分区所(电分相)位置更靠近资阳西站,使得成自铁路罗家湾牵引变电所供电区段较凹形坡方案短0.774 km,有利于减小牵引负荷。两种方案的分区所及电分相设置如表2所示。

表2 分区所及电分相设置对比表

方案	焦柏村分区所里程	电分相中性区				成自铁路罗家湾牵引变电所供电长度/km	
		A点里程	B点里程	中性区长度/m	坡度/‰	供电长度/km	差值
凸形坡方案	D2K 457 + 300	D2K 457 + 419	D2K 457 + 600	181 m	4.5	7.04	-0.774
凹形坡方案	D2K 456 + 527	D2K 456 + 542	D2K 456 + 731	189 m	-4.5	7.814	

两种方案分区所选址的地形地质条件基本相当,但凸形坡方案分区所紧邻既有道路,交通通行条件较好,有利于施工建设与运营管理。

综上所述,尽管两种方案电分相设置总体相当,但凸形坡方案分区所(电分相)位置更靠近资阳西站,使得成自铁路罗家湾牵引变电所供电区段较凹形坡方案短0.774 km,有利于减小牵引负荷。同时,凸形坡方案分区所选址紧邻既有道路,交通通行条件较好,有利于施工建设与运营管理。故从分区所及电分相设置分析,凸形坡方案较优。

(2) 从纵断面线型条件分析

两种方案坡段长度设置基本相当,但凸形坡方案无上下坡较大起伏,坡度代数差较小,列车运行较平稳,运营舒适度较好。故从纵断面线型条件分析,凸形坡方案较优。两种方案纵断面线形条件对比如表3所示。

(3) 从工程投资分析

① 四电工程投资

凸形坡方案分区所远端采用架空线上网,近端采用高压电缆上网;凹形坡方案近端与远端均采用高压电缆上网。凸形坡方案四电工程投资节省约98万元。

表3 纵断面线型条件对比表

方案	坡度使用情况/‰	坡长使用情况/m
凸形坡方案	坡度: +7.8 → +11.1 → +4.5 → -10.5 坡度差: (3.3) (6.6) (15)	1005 → 1005 → 2460
凹形坡方案	坡度: +11.8 → -4.5 → +17.5 → -10.5 坡度差: (16.3) (22) (28)	900 → 907.287 → 2532.713

② 站前工程投资

凸形坡方案较凹形坡方案,约1.6 km桥梁平均墩高抬高约4.66 m(投资增加约370万元),分区所通所道路长度减少约240 m(投资节省约50万元)。因此,凸形坡方案站前工程投资增加约320万元。

综上所述,结合四电投资和站前工程投资,凸形坡方案的工程投资比凹形坡方案高约222万元。

在不影响控制工点的前提下,从分区所及电分相设置、纵断面线型条件、工程投资3个维度对缓坡设置方案进行综合比选,尽管凹形坡方案投资略省,但凸形坡方案纵断面线型条件较好,无上下坡较大起伏,列车运行较平稳,同时成自铁路罗家湾牵引变电所的供电区段短约0.7 km,有利于减小变电所的牵引负荷,便于列车运营与维护管理,故推荐采用凸形坡方案。

2.3 多工况行车检算

对上述推荐缓坡设置方案进行检算,旨在验证行车条件。电分相采用 CRH380BL 型与 CRH3 型动车

组检算,断电位置为 1 号磁枕,合电位置为动车合,惰行距离为(255 + 中性区 + 400)m,其检算结果如表 4 所示。各种工况条件均能通过电分相。

表 4 电分相检算结果表(km/h)

分相	行别	A点里程	B点里程	坡度/ ‰	车型	站停			信号机前起车			限速 80			限速 40		
						入口 速度	出口 速度	变化	入口 速度	出口 速度	变化	入口 速度	出口 速度	变化	入口 速度	出口 速度	变化
焦柏村分区所	下行	D2K 457 + 600	D2K 457 + 419	4.5	380BL	245.1	239.1	-6.0	52	40	-12	80	71	-9	40	23	-17
					CRH3	156.2	150.3	-5.9	54	44	-10	80	72.7	-7.3	40	25.8	-14.2
	上行	D2K 457 + 419	D2K 457 + 600	-4.5	380BL	215.7	212.5	-3.2	92	90	-2	80	77	-3	40	38	-2
					CRH3	144.1	142.5	1.6	94	94	0	80	79.5	-0.5	40	40.3	0.3

3 结论

为探究川中浅丘地形高速铁路引入枢纽(地区)时电分相合理设置的难题,本文以成达万铁路引入资阳西站为例,对电分相缓坡设置方案进行研究,得到主要结论如下:

(1) 构建了“多因素分步研究、多维度综合比选、多工况行车验证”的电分相缓坡研究方法。

(2) 新线合场引入车站时,通常是多线统筹考虑供电方案,由同一相电源对车场内多线供电。因此,新线的末端分区所(电分相)应尽量靠近车站,缩短牵引变电所的供电段落,减小负荷。

(3) 新线合场引入车站时,分相区反向断电标边界里程 = 车站最外侧信号机里程 - (一离去区段长度 + 三接近区段长度) - 0.2 km - 0.5 km。

(4) 列车限速 40 km/h 通过六跨短分相(出口速度不低于 20 km/h)的最大上坡度为 5‰。

(5) 川中浅丘地形下,分区所选址不作为控制电分相设置的主要因素。

(6) 枢纽(地区)内,电分相设置应统筹考虑规划线路的引入,避免规划线路实施时对既有铁路相关工程造成严重影响。

参考文献:

[1] 刘雨欣,张景景. 机车过分相过电压分析与研究[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(5): 39-42.
LIU Yuxin, ZHANG Jingjing. Analysis and Research of Overvoltage when Electric Locomotive Passes the Electrical Sectioning [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(5): 39-42.

[2] 柳世辉. 《铁路线路设计规范》主要修订内容解析[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(10): 1-4, 43.
LIU Shihui. Interpretation of Main Amendments of Code for the Design of Railway Lines [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(10): 1-4, 43

[3] 杜珩,石修路. 高速动车组出站状态下电分相设置研究[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(6): 66-70.
DU Heng, SHI Xiulu. A Study on the Neutral Section Configuration for Outbound High-speed EMU [J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(6): 66-70.

[4] 许佑顶,高丰农,吴学会,等. 现代铁路枢纽规划设计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2022.
XU Youding, GAO Fengnong, WU Xuehui, et al. Planning and Design of Modern Railway Hub [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2022.

[5] 王诗,曾榜荣. 重庆至昆明、自贡至宜宾高速铁路引入宜宾铁路枢纽方案研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(6): 1-7.
WANG Shi, ZENG Bangrong. Study on Scheme of Introducing Chongqing-Kunming, Zigong-Yibin High-speed Railway into Yibin Hub [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(6): 1-7.

[6] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway [S].

[7] 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.

[8] Q/CR 769-2020 列控系统应答器应用技术条件[S].
Q/CR 769-2020 The Balise Application Technical Conditions for the Train Control System [S].

[9] Q/CR 9146-2017 铁路房屋建筑设计标准[S].
Q/CR 9146-2017 Standard for Design of Railway Building Architecture [S].