

文章编号: 1674—8247(2022)02—0080—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.02.016

## 成都至自贡高速铁路引入天府机场方案分析

牛建青 金旭炜 杨吉忠 王 甦 林 奎

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**成都至自贡高速铁路以时速 350 km 斜向下穿同步建设的天府国际机场航站区并在航站区负二层设站,引入方案复杂,控制因素众多,且诸多方面尚无工程经验可供借鉴。本文从两个方面对高铁引入机场方案进行了分析,一是宏观到局部逐步比选了高铁引入机场线路方案,梳理了高铁引入机场线路方案的主要控制因素和边界条件,总结了高铁引入机场线路方案比选的思路、方法和原则;二是从振动、隧道结构安全、空气动力学效应及电磁干扰等方面对高铁引入机场方案的关键技术进行了分析,验证高铁引入机场方案合理性,并对工程措施的设置提出了指导性意见。

**关键词:**高速铁路;天府机场;方案;分析;控制因素;关键技术

**中图分类号:**U212.32 **文献标志码:**A

## Scheme Analysis of Introducing Chengdu-Zigong High-speed Railway into Chengdu Tianfu International Airport

NIU Jianqing JIN Xuwei YANG Jizhong WANG Su LIN Kui

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

**Abstract:** Chengdu-Zigong High-speed Railway underpasses the terminal area of Chengdu Tianfu International Airport at a speed of 350 km/h in an oblique direction, with a station set up on the second basement floor of the terminal area. The introduction scheme is complicated and there are many control factors, and there is no engineering experience in many aspects for reference. This paper analyzes the scheme of introducing the high-speed railway into the airport from two aspects. Firstly, the schemes are compared and selected from macro to local, the main control factors and boundary conditions of the schemes are sorted out, and the thoughts, methods, and principles of comparison and selection of schemes are summarized; second, it analyzes the key technologies of the schemes from the aspects of vibration, tunnel structure safety, aerodynamic effect, and electromagnetic interference, verifies the rationality of the schemes, and puts forward guiding opinions on the setting of engineering measures.

**Key words:** high-speed railway; Tianfu Airport; scheme; analysis; control factors; key technologies

### 1 项目概述

新建成都至自贡高速铁路(以下简称成自高铁)是一条长途客流与城际客流并重的区域性快速客运干

线,线路从既有成都东站引出,终点接绵泸高速铁路自贡东站,设计速度 350 km/h<sup>[1]</sup>,正线长约 177 km,新建天府、天府机场、资阳西、球溪和威远等 5 座车站<sup>[2]</sup>。线路在 DK 56+250~DK 64+090 段下穿天府机场,

收稿日期:2022-03-16

作者简介:牛建青(1978-),男,高级工程师。

引文格式:牛建青,金旭炜,杨吉忠,等.成都至自贡高速铁路引入天府机场方案分析[J].高速铁路技术,2022,13(2):80-85.

NIU Jianqing, JIN Xuwei, YANG Jizhong, et al. Scheme Analysis of Introducing Chengdu-Zigong High-speed Railway into Chengdu Tianfu International Airport[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2):80-85.

并在负二层设天府机场站<sup>[3]</sup>,采用明挖法与机场跑道综合体工程联建。天府机场为4F级国际机场,位于成都市东南部,是“国家十三五”规划建设的我国最大民用机场项目,定位为中西部门户枢纽机场、国家级国际航空枢纽和中西部地区国际货运口岸。

目前,国内外铁路引入机场的运行速度一般为160 km/h或200 km/h,最高不超过250 km/h,目前尚无设计速度350 km/h高速铁路引入机场的工程案例,故本项目在诸多方面无经验可供借鉴,尤其是在高铁引入机场的方案确定上。重点体现在以下两个方面:一是成自高铁引入天府机场线路方案,需结合项目特点、坚持“空铁一体化”、“旅客零换乘”理念,分层次、综合各项因素从宏观到局部开展方案比选;二是高铁引入机场后,需对振动、结构安全性、空气动力学效应及电磁干扰等多项关键技术开展分析,对引入方案的合理性进行验证,并对工程措施设置提出指导性意见。

## 2 成自高铁引入机场线路方案

成自高铁项目宏观走向方案是引入机场方案研究比选的基础。根据成都铁路枢纽总图规划、沿线经济据点和地形地貌等因素比选线路宏观走向方案。根据线路宏观走向方案,比选成自高铁引入机场线路方案,包括成自高铁引入机场线路走向方案和局部方案。

### 2.1 线路宏观走向方案

线路宏观走向比选了东线、中线和西线3个方案。

#### (1) 东线方案

正线直接进入机场,线路自成都东站引出后,经天府、天府机场、资阳、资中、威远县至自贡,通过自贡至宜宾铁路到达宜宾。正线建筑长度177 km,投资370亿元<sup>[4]</sup>。

#### (2) 中线方案

通过支线进入机场,线路自成都东站引出后,经天府、天府机场、仁寿、威远县至自贡,通过自贡至宜宾铁路到达宜宾市。正线建筑长度185 km,投资411亿元。

#### (3) 西线方案

支线引入机场,线路自成都东站引出后,经天府、天府机场、仁寿、荣县至宜宾。正线建筑长度249 km,投资498亿元。

中线和西线方案工程投资高,且正线不进入天府机场,与天府机场国际性综合交通枢纽定位不相符,故推荐采用东线方案。

### 2.2 引入天府机场线路方案

同步规划引入天府机场的交通项目众多,根据项

目特征,理清项目相互间的径路关系是引入机场线路方案研究比选的边界条件。

天府机场近期建设T1、T2航站楼及配套GTC和3条跑道;远期预留T3、T4航站楼及配套GTC和3条跑道。总规模为6条跑道、4座航站楼、2座GTC,满足旅客吞吐量1亿人次/年。

引入天府机场的高铁项目有成自高铁和规划的成遂城际铁路,根据项目运量预测,近期建设成自高铁,预留远期成遂城际铁路建设条件。因成遂城际铁路建设标准及建设时机均不确定,采用近、远期结合方案,即成自高铁引入机场,成遂城际远期从机场外侧通过。引入天府机场轨道交通项目有地铁18号线、13号线。引入天府机场公路主要有新机场高速公路及穿场公路。

由于地铁换乘客流较大,考虑旅客换乘的便捷性,确定各引入项目之间的空间敷设关系为地铁位于机场负一层,成自高铁位于机场负二层。

### 2.3 引入机场方案比选原则

(1) 分层次开展引入机场方案比选,由宏观到局部逐步推进。先确定项目宏观走向方案,再进行引入机场线路方案比选,然后根据机场具体布置、旅客换乘需求及工程条件等开展局部方案比选,最终确定引入机场线路平面及标高。

(2) 根据区域交通项目规划情况,明确引入机场内的项目,结合客流换乘、工程布置等因素确定各项目之间的线路敷设空间关系。

(3) 遵循“先定点、后定线、点线结合”的原则,先开展GTC方案研究,再综合其他因素进一步对引入线路方案进行比选,综合确定最终方案。

(4) 充分考虑民航行业对高铁引入的相关规定及机场建设方要求,包括机场范围内允许穿越的区域和设备间距要求等。

(5) 充分考虑工程结构合理性。

(6) 充分考虑近、远期工程的结合,保证工程可实施性。

#### 2.3.1 引入机场走向方案

##### (1) 综合交通换乘中心(GTC)方案

综合交通换乘中心(GTC)是构建天府机场综合客运交通体系的关键性节点,也是成自高铁引入天府机场线路上的关键点。遵循“先定点、后定线、点线结合”的原则,先开展GTC方案研究,在此基础上进行引入机场线路走向的方案比选,综合其他因素确定最终引入方案。

GTC是实现综合交通枢纽功能的载体,其核心是坚持系统集成理念,把“空、铁、公”三者有机结合在一起。从区位上看,天府国际机场大致为南北向,高铁、

城市轨道交通线路走向大致呈东西向,GTC主要有零换乘斜穿、零换乘平行、分离式布局3种布置方案,如图1所示。

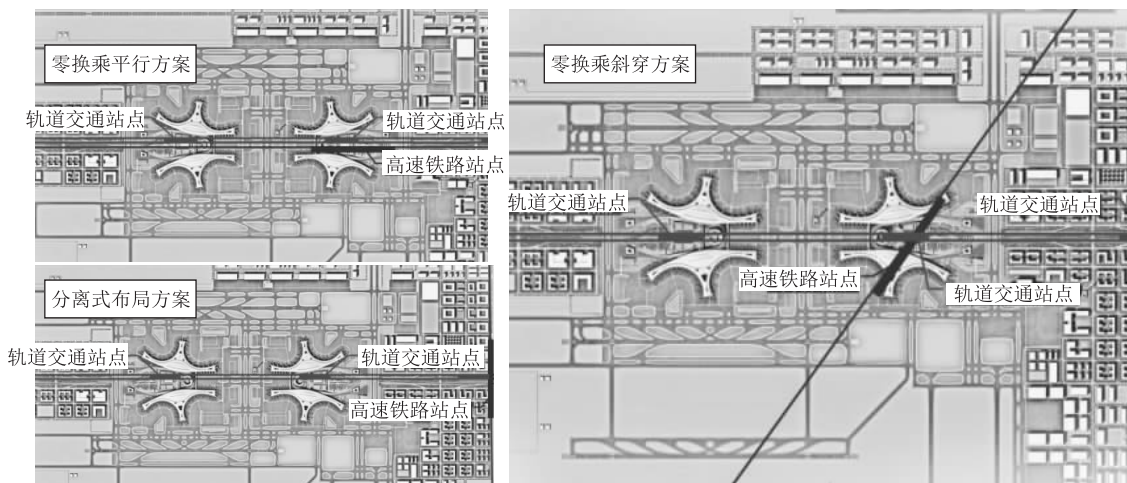


图1 综合交通换乘中心(GTC)方案示意图

从图1可以看出,零换乘斜穿和零换乘平行方案的航站区、高铁及地铁车站位于同一点,可实现“旅客零换乘”及快捷、高效、方便的目标;分离式布局方案车站远离航站区,需利用大巴或地铁二次换乘,换乘不便<sup>[5-6]</sup>。在条件允许的前提下,GTC设置应优先采用零换乘方案。

## (2) 线路走向方案

根据综合交通换乘中心(GTC)设置方案、天府机场总体布置等,线路走向比选了斜穿机场、正穿机场及平行机场跑道3个方案,如图2所示。

### ① 斜穿机场方案

线路避开西二、西一跑道,由西北-东南向斜穿 T1、

T2 航站楼进入 GTC 设站,后下穿东二跑道。地铁 18 号线与 13 号线分别由南、北侧平行跑道引入 GTC 设站。

### ② 正穿机场方案

线路正穿天府机场西一(近期)、西二(远期)跑道进入 GTC 设站。地铁 18 号线与 13 号线分别由南、北侧平行跑道进入 GTC 设站。

### ③ 平行机场跑道方案

线路平行机场跑道进入 GTC 下设站。地铁 18 号线、13 号线与铁路并行进入 GTC 设站,地铁与高铁站点重叠布置。

## (3) 综合比选

3 个方案的综合比选分析如表 1 所示。

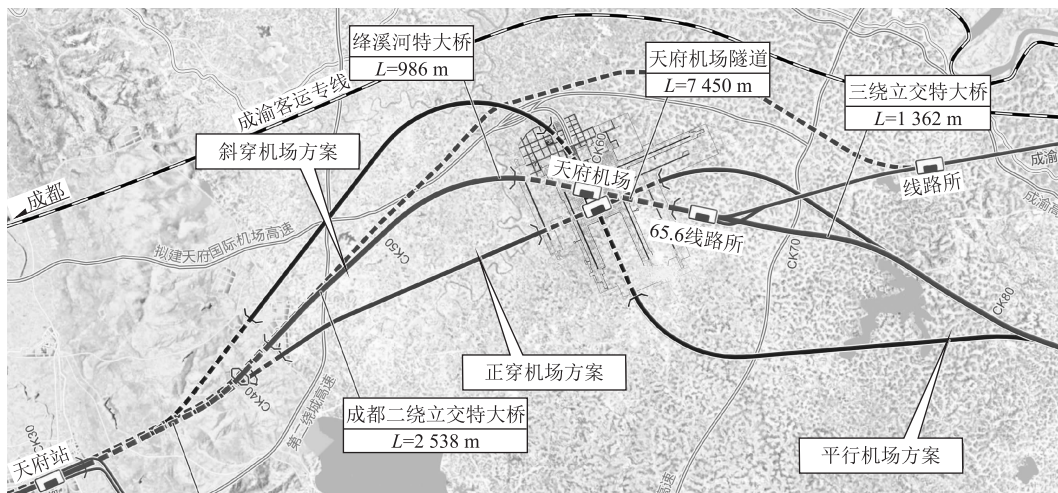


图2 引入机场走向方案示意图



表1 方案比选分析表

比选内容	方案		
	斜穿机场方案	正穿机场方案	平行机场方案
线路长度及投资	投资适中	线路最顺直,投资最省	线路长度最长,工程投资大,较前者分别多9.1亿、9.9亿元
与机场规划相结合	线路仅穿越近期航站区,远期航站区具有较大灵活性,对机场安全影响较小	隧道埋深大,施工难度大,对机场干扰较大	轨道交通穿越远期航站区,远期航站区发展灵活性被限制
旅客出行便捷性	车站位于近期综合交通枢纽下方,与机场结合好,方便旅客换乘	车站距综合交通较远,旅客换乘不便	车站位于近期综合交通枢纽下方,方便旅客换乘
机场建设方意见	同意,但穿越位置距东一跑道端头不能小于900 m	线路正穿机场西一(近期)、西二跑道(远期),两条跑道飞机起降量都很大,不同意穿越	下穿远期T3、T4航站楼及附属配套设施,轨道交通上方部分飞行区和交通中心远期工程需先期实施,工程协调难度较大,可实施性差

由表1可知,正穿机场方案虽然投资最省,但因机场建设方不同意下穿西一、西二跑道,方案实施性较差;平行机场跑道方案投资增加9亿多元,且需先期实施存在一定不确定性的机场远期部分工程,风险较大;斜穿机场方案从工程投资、旅客换乘、工程结构及与机场规划结合等方面均较为合理,故推荐采用斜穿机场方案。

2.3 引入机场局部方案

引入机场走向方案确定后,根据机场跑道分布、T1、T2航站楼GTC位置及机场建设方意见等,对斜穿方案进一步细化,比选了穿远期东二跑道不限速、绕避跑道限速方案及GTC北侧设站不限速3个方案(如图3所示),方案比选分析如表2所示。

由表2可知,绕避跑道限速方案限速217 km/h,不符合项目功能定位;GTC北侧设站不限速方案符合项目功能定位,且投资省,但旅客换乘不便,机场建设

方反对;穿东二(远期)跑道不限速方案满足各项条件,故建议推荐采用穿东二(远期)跑道不限速方案。

表2 方案比选分析表

内容	方案		
	穿远期东二跑道不限速方案	绕避跑道限速方案	GTC北侧设站不限速方案
方案特点	于T1、T2航站楼GTC下负二层(-22 m)设站,在距东二(远期)跑道北端900 m处穿过	绕路设小半径绕避跑道,于T1、T2航站楼GTC下负二层(-22 m)设站,限速217 km/h	完全避开了跑道,于T1、T2航站楼GTC北侧700 m处负2层(-22 m)设站
与GTC结合方面	结合较好,布置合理,旅客换乘方便	结合好,布置合理,旅客换乘方便	车站距GTC较远,旅客换乘不便
机场及地铁建设方意见	同意	同意	反对
投资差/亿元	0	0.17	-1.24

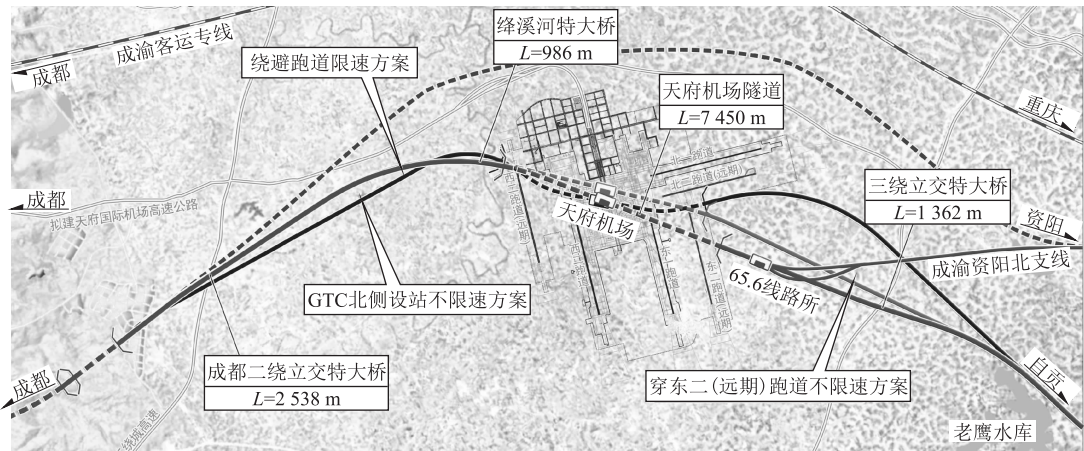


图3 引入机场局部方案比选示意图

3 成自高铁引入天府机场关键技术

成自高铁是世界上首条下穿机场起降跑道、航站楼、综合交通中心和工作区的高速铁路,下穿跑道对导

航设备的振动影响、飞机起降荷载对高铁隧道结构安全的影响、列车以350 km/h速度通过地下车站的空气动力效应、高铁与机场电磁干扰的耦合机理等是高铁引入机场方案的关键技术,既可验证引入方案的合理

性,也可指导工程措施得合理设置。

### 3.1 成自高铁下穿东二跑道对导航设备的振动影响分析

为研究列车振动对航空导航设备的影响,对天府机场的导航天线进行现场和室内模态测试。

利用锤击法对导航天线进行现场测试,得到垂向固有频率为 23.579 Hz、39.009 Hz、42.841 Hz 和 45.811 Hz,横向固有频率为 3.772 Hz、37.299 Hz、40.383 Hz 和 46.742 Hz,纵向固有频率为 4.962 Hz、36.823 Hz、46.893 Hz 和 57.811 Hz。

对导航设备进行有限元模态分析,利用实验结果对模型进行修正;为获取真实的列车振源激励,建立轮轨系统的精细化模型,更为真实地模拟列车运行引起的动力学响应;构建列车-轨道-隧道-大地-设备机房/导航天线三维相互作用模型,对振动沿地面传递至导航设备的特性进行研究。成自铁路以时速 350 km 通过天府机场时,设备机房  $x$ 、 $y$  和  $z$  向的峰值振动加速度分别为  $0.0196 \text{ m/s}^2$ 、 $0.0109 \text{ m/s}^2$  和  $0.0235 \text{ m/s}^2$ ,峰值振动位移  $0.00188 \text{ mm}$ 、 $0.00117 \text{ mm}$  和  $0.00142 \text{ mm}$ 。该结果满足《天府国际机场空管设施电磁防护及振动防护标准的函》垂向位移不大于  $0.15 \text{ mm}$  或加速度小于  $19.6 \text{ m/s}^2$  的要求,同时也满足 GB 50174-2017《数据中心设计规范》机房地表面垂直及水平向的振动加速度不应大于  $500 \text{ mm/s}^2$  要求。因此,成自高速铁路下穿东二跑道对导航设备的振动无影响。

### 3.2 飞机起降荷载对高铁隧道结构安全的影响分析

利用 ABAQUS 软件建立跑道-围岩-隧道-轨道耦合动力计算模型,分析并探讨了飞机在不同机型、

起落方式、着陆位置和载客数量时的隧道衬砌结构动力响应规律。结果表明,着陆位置越靠近交叉点,着陆方式越粗暴,载客数量越大,隧道衬砌结构动力响应越强烈。敏感性分析结果表明着陆方式为主要影响因素,载客数量和着陆位置均为次要影响因素,利用正交试验方法可对各个因素影响程度进行排序<sup>[7]</sup>。

利用 Fe-safe 软件研究衬砌结构在循环飞机荷载作用下的累积疲劳损伤规律,分析了不同因素下隧道衬砌疲劳寿命,并预测了最不利工况下衬砌混凝土的掉块特性和衬砌开裂破坏的大致时间。结果表明:拱顶位置的损伤最突出,其次为边墙部位;拱顶开始发生开裂的时间大致为 2.45 年(循环  $5.01 \times 10^6$  次),之后损伤范围持续扩大,裂缝贯通掉块的危险性增大,边墙开始发生开裂的时间大致为 488 年(循环  $10^8$  次)。故建议及时对衬砌裂缝进行补强和修复。

根据以上分析,成自高速铁路天府机场隧道设计应计入飞机冲击荷载,冲击系数按 1.2 考虑,衬砌结构进行加强。

### 3.3 列车以 350 km/h 通过地下车站的空气动力效应分析

高速列车以 350 km/h 通过地下车站诱发的瞬变压力、列车风等气动效应将严重影响乘客的舒适性、站内设施及建筑物的使用寿命以及列车的运行安全。

采用数值仿真方法,对高速列车下穿天府机场车站隧道时所产生的空气动力效应进行分析,空气动力学模型如图 4 所示。两列车以 350 km/h 的速度在地下车站交会时,车内压力在静态气密性指数为 36 s 时均满足人耳舒适性要求,屏蔽门表面的压力变化幅值最大值为  $3945 \text{ Pa}$ ,隔离墙表面的压力变化幅值最大

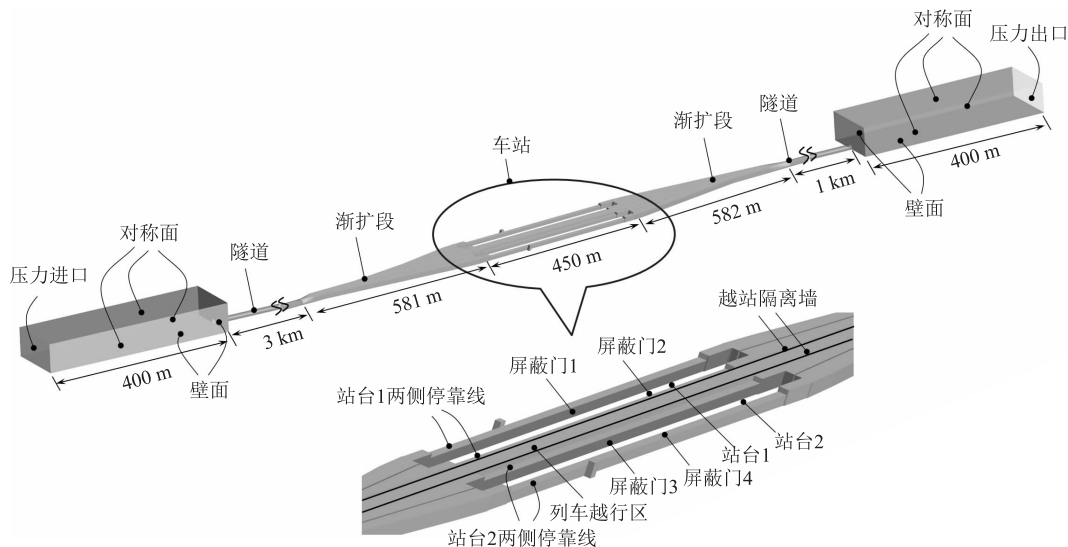


图4 地下车站空气动力学模型图

值为 6 022 Pa。竖井面积对屏蔽门及隔离墙表面的压力变化影响甚微。隔离墙长度对列车表面测点的压力变化规律和幅值影响较小,压力变化幅值随隔墙长度的增加而减小,隔离墙长度改变了隧道进出口、屏蔽门表面及隔离墙表面的压力波动规律和压力变化幅值。缓冲结构对隧道壁面、屏蔽门表面及隔离墙表面的压力波动规律影响较小,但对隧道壁面的压力变化幅值有较大影响<sup>[8]</sup>。基于以上分析,天府机场站岛式站台两侧均设置了屏蔽门。

### 3.4 高铁与机场电磁干扰的耦合机理分析

在铁路和机场的交叉区域,高速列车产生的复杂电磁场环境可能会影响机场飞机的导航信号。因此全面分析了铁路系统运行过程中的主要骚扰源,包括牵引供电系统、机车车辆系统和通信系统等,采用ANSYS软件提供的 Maxwell、HFSS 两大模块,依据工程实际对铁路系统的各模型进行简化,分析不同气候状况、土壤属性和隧道施工等环境及弓网离线电弧工况下,单个骚扰源及组合骚扰源的空间电磁场分布。350 km/h 高速列车初期电弧加载时的最大磁场强度约为  $5.3 \times 10^{-9}$  T,电弧燃烧最剧烈的状态下的磁场强度能达到  $5.3 \times 10^{-3}$  T,不同瞬时即不同距离处的磁密度曲线幅度存在差别,电弧稳态燃烧的最高磁通能达到  $2.5 \text{ wb/m}^2$ 。隧道结构对弓网电弧加载下轨道交通系统周围静电场的分布有明显影响,基本能将电场线集中在隧道壁内侧,加之隧道结构中含有钢筋网,电场衰减更快。成自高铁下穿天府机场段全部为隧道工程,因此高速列车产生的复杂电磁场环境对机场无影响。

## 4 结束语

天府国际机场是我国“十三五”期间规划建设的最小民用运输枢纽机场,是成渝地区双城经济圈国家战略的重要支撑,打造天府机场现代综合交通枢纽,需把高铁、城市轨道、公路等地面交通引入机场,通过综合换乘中心(GTC)实现“空铁公”无缝衔接、零距离换乘,最大程度方便旅客,高铁引入机场方案的确定是整个集成系统研究工作的基础。本文从高铁引入机场线路方案和下穿机场关键技术两个方面进行分析,总结了高铁引入机场方案比选的思路、方法和原则以及高铁下穿机场的影响和关键技术,对高铁引入方案进行了验证,并提出了相应的工程措施,可为类似的工程建设提供参考。

## 参考文献:

- [1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路成都至自贡线天府机场段可行性研究报告总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2016.
- [2] China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for Feasibility Study of Tianfu Airport Section of New Chengdu-Zigong Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2016.
- [3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路成都至自贡线初步设计总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.
- [4] China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for Preliminary Design of New Chengdu-Zigong Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.
- [5] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路成都至自贡线天府机场段初步设计总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.
- [6] China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for Preliminary Design of Tianfu Airport Section of New Chengdu-Zigong Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.
- [7] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路成都至自贡线预可行性研究总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2015.
- [8] China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for Pre-feasibility Study of New Chengdu-Zigong Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2015.
- [9] 周晓林. 空铁联运—高速铁路引入机场设计问题探讨[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(3): 6-11.
- [10] ZHOU Xiaolin. Discussion on the Design of Air-Rail Intermodal Transportation and the Introduction of High-speed Railways into Airports[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(3): 6-11.
- [11] 杜建军. 昆明长水国际机场综合交通枢纽方案分析[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(1): 39-42.
- [12] DU Jianjun. Analysis of Scheme for Integrated Transport Terminal of Kunming Changshui International Airport[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1): 39-42.
- [13] 刘曦, 杨孟根, 高夕良. 下穿 T2 航站楼天府机场高铁站转换厚板结构选型[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(1): 94-98.
- [14] LIU Xi, YANG Menggen, GAO Xiliang. Type Selection of Transition Thick Slab Structure for Tianfu Airport High-speed Railway Station Underpassing T2 Terminal [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1): 94-98.
- [15] 中铁二院工程集团有限责任公司. 时速 350 km 高速铁路下穿天府国际机场关键技术研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.
- [16] China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Study on Key Technologies of 350 km/h High-speed Railway Underpassing Tianfu International Airport [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.

[1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路成都至自贡线天府机