

文章编号: 1674—8247(2022)05—0096—06

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2022. 05. 019

## 高速铁路引入铁路枢纽线路选线研究

周 宏 宋元胜

(1. 广西交通投资集团有限公司, 南宁 530022; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**本文针对我国高速铁路建设引入铁路枢纽的线路选线缺乏系统研究和总结的问题,开展了相关研究。在深入分析高速铁路引入铁路枢纽线路沿线的利益群体诉求及不利后果基础上,提出高速铁路引入铁路枢纽的城市选线要“走得通、走得稳、走得好、走得省”的内在要求,及按规划规则选线、顺应民意选线、工程代价选线的原则,总结了高速铁路引入枢纽城市规划走廊选线、社会稳定选线、运营选线及工程选线四大城市选线理念和实施技术路线。最后以新建南宁至凭祥高速铁路引入南宁枢纽为例,对本文提出的选线理念和技术路线进行阐释。本文提出的高速铁路引入铁路枢纽线路选线利益群体分析、选线理念、技术路线及其研究方法,可为类似铁路选线提供借鉴。

**关键词:**高速铁路; 利益群体; 选线理念; 技术路线; 南宁铁路枢纽

**中图分类号:** U212.32      **文献标识码:** A

## Study on Route Selection for Introducing High-speed Railways into Railway Hubs

ZHOU Hong SONG Yuansheng

(1. Guangxi Communications Investment Group Co., Ltd., Nanning 530022, China;  
2. China Railway Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In view of the lack of systematic research and summary on the route selection for introducing high-speed railways into railway hubs in China, we carried out research in this aspect. On the basis of an in-depth analysis of the demands of interest groups along the high-speed railways that may be introduced into railway hubs and the adverse consequences of doing so, we proposed that the urban route selection for introducing high-speed railways into the railway hubs should meet the requirement that the route should be feasible, stable, proper and economical, and the route should be selected according to railway planning rules, based on public opinions and at reasonable engineering cost. For introducing high-speed railways into railway hubs, we summarized four urban route selection rules, i.e. route selection according to urban planning corridor, operation, engineering and for social stability, as well as the implementation technical routes. Finally, taking the introduction of the new Nanning-Pingxiang High-speed Railway into Nanning railway hub as an example, we explain the route selection rules and technical routes proposed in this paper. The interest group analysis, route selection rules, technical routes and research methods of route selection for introducing high-speed railway into railway hubs proposed in this paper can provide reference for similar railway route selection.

**Key words:** high-speed railway; interest groups; route selection rules; technical routes; Nanning railway hub

收稿日期: 2022-07-13

作者简介: 周宏(1972-),女,高级工程师。

引文格式: 周宏,宋元胜. 高速铁路引入铁路枢纽线路选线研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(5): 96-101.

ZHOU Hong, SONG Yuansheng. Study on Route Selection for Introducing High-speed Railways into Railway Hubs[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(5): 96-101.

2008年8月1日京津城际铁路开通运营开启了我国高速铁路建设新时代。我国高速铁路发展从无到有,从有到优,通过不断的自主创新,至2021年底高速铁路运营里程已达4万km,基本连接主要城市群、省会城市。高速铁路成功引入40余个省会级铁路枢纽,形成以特大城市为中心覆盖全国、以省会城市为支点覆盖周边的现代高速铁路网。然而,在勘察设计领域,作为高速铁路建设的先锋和龙头,线路设计在高速铁路引入铁路枢纽线路选线中尚缺乏系统研究和总结,还基本停留在具体线路引入特定枢纽车站的工程方案研究阶段,而对高速铁路城市选线的研究甚少,未见明确提炼城市选线分析方法的相关内容。因此,本文开展了高速铁路引入铁路枢纽线路选线研究,旨在通过较为科学的方法安全、经济、合理地确定高速铁路引入铁路枢纽的线路方案,并以新建南宁至凭祥高速铁路(以下简称“南凭高速铁路”)引入南宁枢纽为例予以阐释。

1 高速铁路引入铁路枢纽选线理念

1.1 高速铁路引入铁路枢纽涉及的利益群体及诉求分析

我国城市规模长期以来依托铁路枢纽建设而不断拓展,铁路枢纽往往由城市规划的多个枢纽车站构成,深刻影响着城市的空间结构,形成了城市与铁路枢纽融合发展的格局,铁路枢纽主要客运站往往位于城市中心和副中心。高速铁路引入铁路枢纽无论是城市中心式高速铁路枢纽、边缘式高速铁路枢纽或郊区式高速铁路枢纽<sup>[1]</sup>,都将对城市既有建成区和城市规划产生深刻影响。高速铁路引入铁路枢纽城市客运站,直接影响城市居民生产生活、资产状况,间接对城市空间布局、产业结构、设施布局等产生影响,涉及沿线居民、城市建设主管部门、铁路运输部门等多个利益群体。因此,高速铁路引入铁路枢纽选线首先要清楚各主体的利益诉求,如表1所示。

从表1可知,高速铁路引入铁路枢纽的城市选线要“走得通、走得稳、走得好、走得省”。

1.2 高速铁路引入铁路枢纽选线理念

根据高速铁路引入铁路枢纽选线的利益群体的诉求及不利后果分析,选线要充分考虑利益群体的诉求和关切问题。总体来看,线路城市选线首先要按照规划规则选线,即按照城市规划要求、环保要求、列车运行要求进行选线;其次要顺应民意选线,即尽可能避免拆迁、给足拆迁补偿、加强噪声和振动污染防治措施,推荐采用沿线居民满意的选线方案;最后考虑

工程代价尽可能小的选线方案。

表1 高速铁路引入铁路枢纽涉及的利益群体及诉求表

利益群体	利益诉求	不利后果
线路沿线城镇居民	1. 杜绝振动、噪声污染 2. 居住建筑及附着物拆迁合理赔偿	阻工等群体事件,影响社会稳定。环评水保审批难度大
城市规划主管部门	1. 沿既有铁路通道选线,避免破坏城市 2. 线路尽量沿城市道路布置,避免分割城市,影响城市结构、功能和空间布局	破坏城市土地利用规划,破坏城市功能,主管部门不同意建设方案,延误建设时机
城市建设主管部门	高速铁路进入城市尽可能减少道路、管线等工程拆迁,影响城市运营	影响城市正常运行,拆迁代价增大
铁路建设主管部门	减少工程拆迁,避免群体事件,降低投资	质量、安全、工期不达标
铁路运营主管部门	不降低技术标准、不降低使用功能	列车限速过多,降低了使用功能

1.2.1 城市规划走廊选线

高速铁路进入城市的线路走向选线须尊重城市规划。通过城市规划通道和走廊布局草拟铁路城市选线方案,方案尽可能优先利用既有铁路通道,其次考虑伸入城市选线。凡背离城市规划走廊的选线都将破坏城市结构和功能,既切割分离城市,又带来严重拆迁、环保等社会问题。因此,高速铁路城市选线须遵循城市规划走廊选线理念,以解决高速铁路在城市走得“通”的问题。

1.2.2 社会稳定选线

铁路线路选线引起社会稳定的因素包括工程拆迁问题,补偿不公平、不到位问题,以及影响沿线居民生产、生活、生存的环保问题。拆迁关乎居民直接经济利益,噪音、尘埃等污染直接或间接影响居民生产生活,饮用水源污染或破坏等直接影响居民生存。因此,城市选线必须贯彻社会稳定选线理念,规避社会风险,以解决高速铁路在城市走得“稳”的问题。

1.2.3 运营选线

服务运输是高速铁路建设的基本理念,高速铁路的建设最终目的是提供良好运输条件供运营单位使用,因此高速铁路引入铁路枢纽需贯彻综合考虑枢纽客运站路网定位、作业性质、列车运行工况的运营选线理念,以解决高速铁路在城市走得“好”的问题。

1.2.4 工程选线

工程选线是根据线路方案工程实施难易程度、工程风险大小、工程量及投资大小进行判识<sup>[2]</sup>。从工程技术经济角度进行城市选线,任何一个铁路选线项目都须贯彻工程选线理念,去解决高速铁路在城市走得“省”的问题。

## 2 高速铁路引入铁路枢纽选线技术路线

### 2.1 高速铁路引入铁路枢纽选线的基础条件——以南宁枢纽为例

#### 2.1.1 引入线路概况

新建南凭高速铁路东起南宁枢纽内南宁站,经吴圩机场、扶绥、渠旧(预留)、崇左南、龙州至凭祥站,是南宁至凭祥的客运主通道、吴圩国际机场的集疏运通道,兼具旅游和国际通道功能的客运专线,线路全长218.59 km<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 城市总体规划

南宁是广西壮族自治区首府,政治经济文化中心,是面向东盟的国际门户枢纽城市和国家边疆中心城市<sup>[4]</sup>。南宁市市级行政辖区国土总面积22 102 km<sup>2</sup>,中心城区国土面积约4 300 km<sup>2</sup>。规划至2035年市域常住人口1 190万,人口重点向中心城区集聚,城镇人口约805万。南向东融,从主城单核到“1+4”中心城区,构建多中心网络化空间结构,主城区形成“双核双轴多组团”的空间结构。南宁市城市轨道交通线网,由13条线路组成,包括8条轨道普线和5条轨道快线,规模约592.6 km<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.3 铁路枢纽概况

##### (1) 枢纽现状

南宁枢纽东起湘桂铁路邕宁站,西至南昆铁路扬美站(增建第二线后封闭)、云桂铁路南宁西站,南至南防铁路吴圩站、邕北铁路五象南站,衔接湘桂、南昆、南防、邕北、柳南、南广及南环铁路,除南防铁路及湘桂铁路江西村至凭祥段为单线外,其余均为复线。枢纽共有车站14个,其中南宁站、南宁东站为客运站,南宁南站为编组站,其余均为中间站或越行站。

##### (2) 枢纽总图规划

南宁枢纽客运系统方面:维持南宁、南宁东站规模,近期开设规划预留的五象辅助客站,最终形成南宁站、南宁东站为主要客站、五象站为普速客站的“三站并重两主一辅”的三客站格局。

货运系统方面:扩建南宁南站货场(在建);新建沙井铁路货运中心(在建)、江西村站增设散堆装货场、规划玉洞站综合性货场;规划吴圩站危险品货场。

解编系统方面:南宁南站为编组站,近期为单向二级四场(云桂线),远期为双向二级六场。

### 2.2 高速铁路引入铁路枢纽选线的技术路线

任何铁路枢纽的形成都有其历史根源,铁路枢纽与城市相伴成长。高速铁路进入城市枢纽站目的是方便旅客出行,而旅客的方便程度取决于城市总体规

划的用地布局。通常铁路枢纽车站位于城市中心、副中心或重要城市组团,因此在研究高速铁路引入枢纽首先应研究城市规划的空间布局,找出城市发展脉络和重心,从宏观走向上研究高速铁路引入城市重心的方案,锚定高速铁路引入城市的枢纽车站;针对南凭高速铁路引入南宁枢纽,需要研究南宁南、五象站两个宏观走向方案。其次,根据高速铁路线路走向引入节点与枢纽车站的空间位置关系、与城市结构和布局的关系,按照高速铁路引入铁路枢纽城市选线理念,提出可能的走向方案进行研究;最终通过工程技术措施,结合城市选线理念,去粗取精筛选方案,对筛选出的有价值方案进行工程技术经济比选,提出高速铁路引入铁路枢纽建议方案。南凭高速铁路引入南宁枢纽则需要在吴圩机场侧比较起点与枢纽站侧比较终点之间进行技术经济比选。

## 3 南凭高速铁路引入南宁枢纽的宏观走向研究

### 3.1 引入宏观走向方案

在城市总体规划和枢纽总图的框架下,南宁主城区形成“双核双轴多组团”的空间结构,形成琅东、五象两个中心,综合考虑地形地貌、客流特点、工程设置条件等因素<sup>[6]</sup>,根据南凭高速铁路与枢纽格局的地理关系,依据高速铁路引入铁路枢纽选线理念,从宏观走向上需研究南凭高速铁路引入南宁站、五象站两个方案。

#### 3.1.1 引入南宁站方案

线路于吴圩机场附近至比较起点,线路跨机场高速公路、绕城高速公路,沿壮锦大道西侧800 m的规划留村路高架行进,跨越南站大道、既有南环铁路、湘桂铁路,继续沿湘桂铁路前行,跨壮锦大道、云桂铁路后接入南化站,随后线路与云桂铁路并行跨邕江引入南宁站,线路长24.774 km。

#### 3.1.2 引入五象站方案

线路于吴圩机场附近至比较起点,跨南防铁路和绕城高速公路后,线路折向东北,转向平乐大道,从玉洞站西侧跨南环线后沿新南环线东行,跨桂海高速公路,经五象南站后折向东,沿南钦线北行,引入预留五象站,线路长29.984 km。

### 3.2 优缺点分析及推荐意见

南凭高铁引入南宁枢纽宏观走向方案优缺点分析如表2所示。

从表2可以看出,引入南宁站方案虽然投资较高、实施难度相对较大,但符合枢纽总图规划、能够充分



实现线路和服务城市的功能,因此南凭高速铁路引入南宁枢纽采用南宁站方案。

表 2 南凭高铁引入南宁枢纽宏观走向方案优缺点分析表

宏观走向	优点	缺点
引入南宁站方案	1. 车站位于主城区,符合城市总体规划,城市功能配套完善,客流吸引好,与相关高速铁路衔接顺畅,服务运输条件好,线路铁路与服务城市功能高 2. 符合枢纽总图布局规划,与南宁站预留工程吻合,枢纽相关工程量小,线路长度较五象站方案短 5. 21 km	1. 线路穿越建成区,拆迁工程量大、环保要求高、社会稳定风险较大,工程实施难度较大 2. 工程投资多 3. 14 亿元
引入五象站方案	符合城市总体规划,由于房屋拆迁相对少,社会风险相对较低,工程投资比南宁站方案少 3. 14 亿元	1. 车站远离主城区,城市配套代价大,与相关线路、车站衔接不畅,近期城市发展规模小,线路铁路与服务城市功能低 2. 方案改变了前期规划的南宁枢纽各线引入格局,南宁东至五象站区间能力不足,南宁东站黎塘侧已无新线引入条件,相关扩能工程巨大、枢纽改扩建工程施工风险高

4 引入南宁站走向方案研究

4.1 提出方案

根据新建南凭高速铁路引入南宁站宏观走向,线路主要穿越江南工业园片区,结合城市控制性详规交通走廊,统一吴圩机场侧比较起点、南宁站侧比较终点<sup>[7]</sup>,可初步拟定两大系列线路走向方案:(1)沿既有铁路走廊系列:南宁南站南侧引入、沿云桂铁路跨南宁南站引入、绕避金鸡山森林公园方案。(2)沿城市道路走廊系列:沿壮锦大道隧道引入、沿规划留村路引入、沿同兴路引入方案。

4.2 筛选方案

4.2.1 沿既有铁路走廊系列方案

(1)沿南宁南站南侧方案

线路从吴圩机场出发,下穿机场高速公路后,先后上跨绕城高速公路、沙井铁路物流园,随后向北上跨南站大道,后跨沙井大道,沿既有湘桂铁路南侧高架前行,依次跨既有湘桂线、反到线、环发线和外包线后,沿海吉星市场东侧,先后上跨地铁 5 号线、壮锦大道、既有云桂铁路,并行云桂铁路进南化站,接入邕江南岸云桂铁路为南凭铁路预留新南宁邕江四线特大桥桥后进入南宁站。线路长 28. 525 km。

(2)沿云桂铁路跨南宁南站方案

线路从吴圩机场出发,下穿机场高速公路后,跨绕城高速公路、沙井铁路物流园区,从南宁南站西端咽喉区上跨后折向北,跨越云桂铁路后沿云桂线通道北侧上跨沙井大道,下穿海吉星水果批发市场、壮锦大道,跨邕江与云桂线并行,接入南宁站。线路长 29. 043 km。

(3)经金鸡山森林公园方案

线路从吴圩机场出发,下穿机场高速公路后,从规划金鸡山森林公园东侧绕过,跨南宁绕城高速后,线路折向北,在南宁南站出站端跨云桂铁路,下穿壮锦大道,跨邕江与云桂铁路并行,接入南宁站。线路长 31. 141 km。

上述 3 个方案均沿江南工业园片区西北侧、既有铁路通道行进,符合城市规划沿既有铁路通道的选线理念,对城市居民区影响较小,主要影响工业厂房、物流园区,各方案拆迁工程均超过 200 000 m<sup>2</sup>,相对而言,沿云桂铁路跨南宁南站方案和金鸡山森林公园方案拆迁相对少、社会稳定风险稍小;3 个方案引入南宁站运营条件相当,符合南宁站所有列车停站的平面条件,但是南宁南站南侧方案拆迁和影响大量铁路既有运输生产,运营及可实施性调价差;金鸡山森林公园方案比沿云桂铁路跨南站方案长 2 098 m,桥隧比高出 2. 52%,工程规模和投资较大。因此沿铁路走廊方案建议保留沿云桂铁路跨南宁南站方案进行详细技术经济比选。

4.2.2 沿城市道路走廊系列方案

(1)沿壮锦大道隧道引入方案

线路从吴圩机场沿壮锦大道东侧,向北依次下穿机场高速公路、外环高速公路、南防线、既有环发线、地铁 5 号线、向东在壮锦五象大道立交桥下穿地铁 4 号线,沿壮锦大道西侧向北下穿江南区人武部、湘桂铁路、云桂铁路,随后于在建亭洪路延长线跨南化站立交桥后出露,行进于邕江南岸,接入云桂预留新南宁邕江四线特大桥后引入南宁站。线路全长 26. 143 km。

(2)沿留村路引入方案

线路从吴圩机场沿壮锦大道东侧,向北依次下穿机场高速公路、外环高速公路、货场联络线、南防线,在规划金凯大道之间与五象大道延长线引入沿留村路。沿规划留村路引入方案位于市区建成区,由于敷设方式不同分别研究了穿海吉星市场隧道方案、高架桥方案和穿汽配城高架桥方案,考虑高架桥在环保要求、城市景观、社会稳定的负面影响较大后放弃,主要研究穿海吉星市场隧道方案。线路进入留村路沿正

北方向下穿南站大道、湘桂线、既有南宁南反到线、环发线、外包线,海吉星市场西北角、地铁 5 号线、壮锦大道,在建亭洪路延长线跨南化站立交桥前出露,行进于邕江南岸,接入邕江南岸云桂铁路为南凭铁路预留新南宁邕江四线特大桥桥后进入南宁站。线路全长 26.781 km。

(3)沿同兴路引入方案

线路从吴圩机场向北下穿机场高速公路后,沿同兴路前行,依次跨友谊公路、绕城高速公路和沙井铁路物流园,随后线路向北跨越南站大道、沙井大道后,沿既有湘桂线走行,在南化站西端跨越云桂线和壮锦大道,与云桂线并行跨邕江,引入南宁站。线路全长 26.907 km。

针对上述沿壮锦大道、留村路隧道方案、同兴路引入 3 个方案,从城市规划角度,壮锦大道、留村路方案在城市建成区采用隧道方案,相较于同兴路引入方案对城市规划和风貌影响小;从城市建设管理角度,留村路隧道方案穿越海吉星市场,较壮锦大道对城市建成区,地下管线拆迁及对城市生产生活影响小;从社会稳定性风险角度,同兴路引入方案拆迁约 260 295m<sup>2</sup>,分别高于沿壮锦大道、留村路引入方案 194 301 m<sup>2</sup>、163 944 m<sup>2</sup>,社会稳定风险较大,实施难度较大;从运营选线角度,同兴路引入方案列车进站限速过多过早,壮锦大道方案进入南化站最小曲线半径 800 m,留村路引入最小曲线半径 1 400 m,显然留村路引入运营条件更好;从建设工程投资角度,3 个方案建设长度相当,桥隧比相差不大,同兴路引入方案工程量和投资最大,壮锦大道方案投资 426 734.16 万元,高于留村路隧道方案 20 947.07 万元。综合上述分析,沿城市道路走廊方案建议保留沿留村路穿海吉星市场隧道方案进一步比选。

4.3 技术经济比选

根据前述研究,新建南凭高速铁路引入南宁枢纽集中在沿城市道路走廊的沿留村路穿海吉星市场隧道方案和沿铁路走廊的沿云桂铁路跨南宁南站方案进行技术经济比选。

4.3.1 主要工程数量及投资

南凭高铁南宁站接轨方案主要工程数量及投资比较如表 3 所示。

4.3.2 方案优缺点分析及推荐意见

两个方案都与城市总规江南工业园片区契合较好,对城市规划影响较小,但沿云桂铁路跨南宁南站方案对既有铁路及规划影响很大,工程拆迁规模比留村路隧道方案多 124 719 m<sup>2</sup>,尽管拆迁较大数量铁路

表 3 南凭高铁南宁站接轨方案主要工程数量及投资比较表

项目	沿留村路穿海吉星市场隧道方案	沿云桂线跨南宁南站方案
正线长度/km	26.781	29.043
房屋拆迁/m <sup>2</sup>	96 351	221 070
桥隧长度/km	17.847	16.377
桥隧总长占线路长度/%	66.64	56.39
工程投资(静态)/万元	405 787.09	393 634.41

运营资产,但其迁移可能对城市规划和建设产生更大扰动,同时方案跨海吉星水果批发市场和岭头坡村,涉及城中村拆迁,因此跨南宁南站方案社会稳定性风险较大。跨南站方案在接入接入邕江南岸云桂铁路为南凭预留新南宁邕江四线特大桥桥后进入南宁站前,相比留村路隧道方案多出跨南站前后等 3 个最小半径为 1 400~1 600 m 的曲线,距离南宁站远端限速频繁,而留村路隧道方案线路顺直、限速地段长度短,更符合列车在南宁站停站、通过的运行轨迹。虽然留村路隧道方案工程投资略多,但跨南宁南站小角度跨越云桂铁路及南宁南站西端咽喉区君玉坪桥群,跨越的桥群既有及规划铁路线多、桥跨布置复杂,桥下还有罗文大道及铁路生产设施,施工对既有线运营影响大,工程实施难度大。

综上分析,穿海吉星市场沿留村路隧道方案线路较顺直,并符合南宁市城市规划总图布局,以隧道下穿市区段能最大限度减小环评和社评风险以及对城市的干扰,工程拆迁和投资适中,社会稳定风险和工程实施难度较小,建议以沿留村路穿海吉星市场隧道方案引入南宁站<sup>[8]</sup>。

5 结论

本文针对高速铁路引入铁路枢纽选线研究,得到以下结论:

- (1)高速铁路引入铁路枢纽线路沿线利益群体的诉求反馈出线路城市选线要“走得通、走得稳、走得好、走得省”的内在要求。
- (2)提出了引入枢纽的城市规划走廊选线、社会稳定选线、运营选线及工程选线四大城市选线理念。
- (3)提出了重视城市空间规划、从宏观到微观,运用选线理念去粗取精的选线技术路线。
- (4)以新建南凭高速铁路引入南宁枢纽为案例,贯彻选线理念和技术路线,建议了采用线路顺直、符合规划、社会稳定风险和工程实施难度小的沿留村路穿海吉星市场的隧道方案。

## 参考文献:

- [1] 罗登辉. 高速铁路枢纽建设对城市空间发展的影响机制[J]. 今日财富, 2021(5): 9-10.  
LUO Denghui. Influence Mechanism of High-speed Railway Hub Construction on Urban Space Development [J]. Fortune Today, 2021(5): 9-10.
- [2] 陈远胜, 肖宣明. 合浦至湛江铁路引入湛江枢纽选线方案研究[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(12): 21-25.  
CHEN Yuansheng, XIAO Xuanming. Research on Route Scheme of He-Zhan Railway Integrated into Zhanjiang Terminal [J]. Railway Standard Design, 2014, 58(12): 21-25.
- [3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 改建铁路南宁至凭祥铁路扩能预可行性研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2010.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Pre-feasibility study on capacity expansion of reconstructed Nanning-Pingxiang Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2010.
- [6] 王俊冬. 广州—湛江客运专线引入湛江铁路枢纽方案研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(3): 63-68.  
WANG Jundong. A Study on Connecting Guangzhou-Zhanjiang Passenger Dedicated Line to Zhanjiang Railway Hub [J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(3): 63-68.
- [7] TB 10621—2014 高速铁路设计规范[S].  
TB 10621—2014 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [8] TB 10098—2017 铁路线路设计规范[S].  
TB 10098—2017 Code for Design of Railway Line [S].
- (上接第78页)
- China. IEEE: 976-980.
- [7] CHEN Wen, ZHAO Guangyan. A Multivariate Correlation Degradation Model for Reliability Analysis Based on Copula [C] // 2020 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). Palm Springs, CA, USA. IEEE: 1-6.
- [8] ZHAO M, WU Z, ZHAO B, et al. Copula-Based Reliability Modelling of Wireless Sensor Networks with Dependent Failures [J]. International Journal of Sensor Networks, 2019, 31(2): 90.
- [9] 牛富俊, 林战举, 鲁嘉濠, 等. 青藏铁路路桥过渡段沉降变形影响因素分析[J]. 岩土力学, 2011, 32(S2): 372-377.  
NIU Fujun, LIN Zhanju, LU Jiahao, et al. Study of the Influencing Factors of Roadbed Settlement in Embankment-Bridge Transition Section along Qinghai-Tibet Railway [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(S2): 372-377.
- [10] 徐东升. 青藏铁路冻土路基融沉可靠性研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.  
XU Dongsheng. Study on the Reliability of Thawing Settlement of Permafrost Roadbed in the Qinghai-Tibet Railway [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2017.
- [11] 袁莉芬, 朋张胜, 何怡刚. 基于 Copula 函数的光纤陀螺贮存可靠性评估[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(8): 58-65.  
YUAN Lifan, PENG Zhangsheng, HE Yigang. Evaluating Storage Reliability of FOG Based on Copula Function [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020, 34(8): 58-65.
- [12] 吴娟. Copula 理论与相关性分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.  
WU Juan. Copula Theory and Dependence Analysis [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [13] Nelsen. R B. An introduction to copula [M]. Second ed. New York: Springer, 2006.
- [14] 余平. Copula-ETC 模型及其在投资组合中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.  
Yu Pin. Copula-ETC Model and its Application in Investment Portfolio [D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [15] 李裕奇, 赵联文, 王沁, 等. 非参数统计方法[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.  
LI Yuqi, ZHAO Lianwen, WANG Qin, et al. Non-parametric Statistical Methods [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.
- [16] 李霞. COPULA 方法及其应用[M]. 北京: 经济管理出版社, 2014.  
LI Xia. Copula Method and its Application [M]. Beijing: Economy & Management Publishing House, 2014.
- [17] MUDDAPUR M V. On Directional Dependence in a Regression Line [J]. Communications in Statistics-Theory and Methods, 2003, 32(10): 2053-2057.