

城市枢纽立交的系统性改造与升级策略

吴胜军

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440)

摘要: 针对城市核心区严苛建设条件下,道路改扩建工程中承担关键交通转换功能的互通立交改造难题,探索在维持既有交通基本通行、避免区域交通瘫痪的前提下,实现枢纽立交高效升级的路径与策略。以西平立交为例,在分析现状交通拥堵情况及预测远景年交通需求的基础上,从交通流构成、主路与辅路系统优化、施工期交通疏解策略以及远期预留方案等多个维度,系统探讨了复杂枢纽互通立交的改造路径与优化措施。经TransModeler软件仿真分析,改造后的枢纽立交远景年运行基本畅通,为类似城市核心区复杂互通立交的升级改造提供了可借鉴的技术思路与实践参考。

关键词: 城市核心区;互通立交改造;交通流构成;系统优化;交通疏解;远期预留

中图分类号: U412.35⁺2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)08-0110-06

Systematic Reconstruction and Upgrading Strategies for Urban Hub Interchanges

WU Shengjun

(Guangdong Transportation Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510440, China)

Abstract: In response to the challenges in the reconstruction of interchanges that undertake the key traffic transfer functions in road expansion and reconstruction projects under the strict construction conditions of the urban core area, the paths and strategies are explored to achieve the efficient upgrading of hub interchanges under the premise of maintaining the basic flow of the existing traffic and avoiding the regional traffic paralysis. Taking Xiping Interchange as an example, and on the basis of analyzing the current traffic congestion and predicting the future annual traffic demand, the reconstruction paths and optimization measures for complex hub interchanges are systematically discussed from multiple dimensions of traffic flow composition, optimization of main and auxiliary road systems, construction-phase traffic mitigation strategies, and long-term reservation schemes. After the simulation and analysis by TransModeler software, the long-term operation of the reconstructed hub interchange is basically smooth, providing a referential technical idea and practical insights for the upgrading and reconstruction of similar complex interchanges in urban core areas.

Keywords: urban core area; interchange reconstruction; traffic flow composition; system optimization; traffic mitigation; long-term reservation

0 引言

改革开放以来,我国城镇化进程迅猛发展,以粤港澳大湾区为代表的城市核心区,其城市空间结构与交通网络格局均发生了深刻的演变。东莞作为粤港澳大湾区重要节点城市,为适应并引领城市发展,其核心城区的城市基础建设,特别是高、快速路网,经历了规模空间的快速发展期,城市能级不断提升。环城路作为串连东莞市核心城区唯一的快速路环

线,承担了大量的过境、内联及到发交通,其交通保有量及增量稳居全市路网前列。

根据东莞市交管部门公布的相关数据,环城路交通等级为特重—极重交通。交通预测表明,至2028年,东莞市机动车保有量仍将保持快速增长态势,预计将突破453万辆,居广东省首位。这一趋势意味着环城路在未来所面临的交通压力将持续增加,而环城路互通立交节点已成为交通拥堵的高发区,其中位于西南角的西平立交尤为典型,其拥堵态势已从早期的早晚高峰期的“潮汐式拥堵”发展为日间多时段的“常态性拥堵”。西平立交的各向交通流高度汇聚、现状结构复杂,且周边区域已成为东莞市

收稿日期: 2026-03-05

作者简介: 吴胜军(1983—),男,硕士,高级工程师,从事道路交通设计工作。

近三年重点开发的“南拓西进”战略的核心前沿(见图1)。为适应远期发展,西平立交的改造已迫在眉睫。汪璨等^[1-8]为既有立交改造策略提供了思路。作为复杂程度居于省内前列的城市枢纽立交,其改造方案有待进一步探讨^[9]。

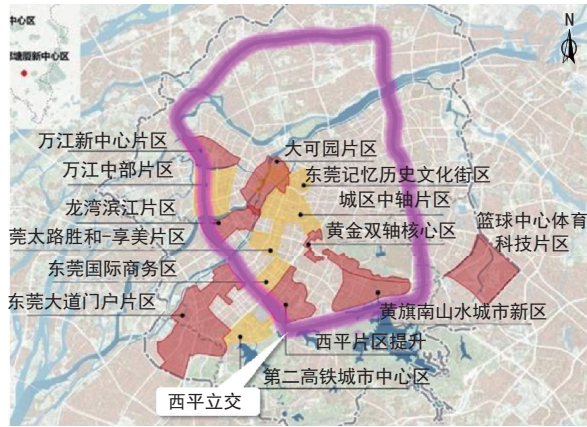


图1 东莞市城区片区重点开发示意图

1 工程概况

西平立交是一座功能复合、交通流密集的大型枢纽互通立交。其地理位置与交通功能决定了其在区域路网中的核心地位。

1.1 立交区域与路网功能

西平立交位于环城路西南侧:立交东向的环城南路为环城路与环莞快速路组成的双环结构共线运行段,交通流密集;立交西向的环莞快速路继续向西延伸,与广深高速相接;立交北向的环城西路贯穿建设中的南城总部基地与国际商务区,沿线商务办公与居住功能高度集聚,被视为未来东莞产业升级的重要载体;立交南向分布东莞市植物园、党校等人流密集区,节假日车流高居不下。各向交通流在西平立交高度汇聚、交织与转换,远超其设计能力,导致立交运行效率低下,交通拥堵频发。

1.2 立交现状交通体系结构

西平立交承担着主路系统与辅路系统双重交通转换功能,形成了一个双系统架构(见图2)。

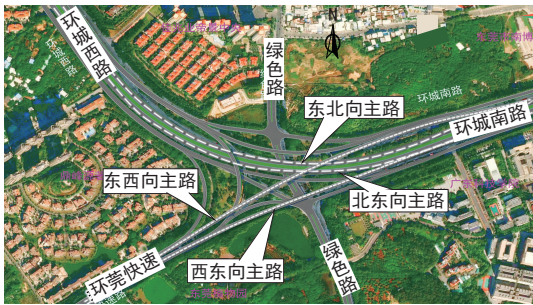


图2 现状西平立交示意图

主路系统:是交通转换的主体和快速通行的保障,由环城南路主路(东向)、环城西路主路(北向)与环莞快速主路(西向)共同构成T形三岔交叉。主路系统主要服务于长距离、快速通行的交通流。

辅路系统:沿主路两侧布设,依托地面道路实现交通衔接,它的主路三岔交叉的基础上进一步接入南北向的城市主干道——绿色路,共同构成一个十字形四岔交叉的辅路系统,具体方向为环城南路辅路(东北向)、环城西路辅路(西北向)、绿色路(北向)、绿色路(南向)。辅路系统主要服务于短距离、集散性的交通流。

这种主辅分离的构型是在运营过程中不断扩建而形成的,其初衷是为了更好地服务于周边通行需求,但由于初期建设标准偏低及后续交通超预期增长,导致两个系统互相干扰,其结构合理性不足的缺点凸显,未能充分发挥其效能。

2 现状交通及需求预测

科学准确的交通数据是立交改造设计的重要基础,本研究采用了多源数据融合的方案,以确保基础数据的可靠性。

2.1 现状交通分析

为获得准确的现状交通数据,项目组综合收集了公安交警部门的卡口数据、互联网平台(百度慧眼)数据以及无人机现场航拍录像数据。经数据清洗、校核与综合分析^[10],确定了西平立交的主路交通量(见表1)。

表 1 西平立交交通量		单位 pcu/h
转向	2025 年	2045 年
东-西	2 740	3 931
西-东	3 138	3 531
东-北	1 554	2 060
北-东	2 871	2 024
西-北	795	909
北-西	1 526	1 029

2.2 交通需求预测

基于现状交通数据,采用定量与定性相结合的方法,预测了 2045 年研究区域内的交通发生量与吸引量、人口出行总量及其分布;然后,利用交通规划软件 TransCAD,通过“四阶段法”进行建模与仿真。预测结果显示,2045 年的西平立交部分转向交通量将显著增长(见表1、图3)。

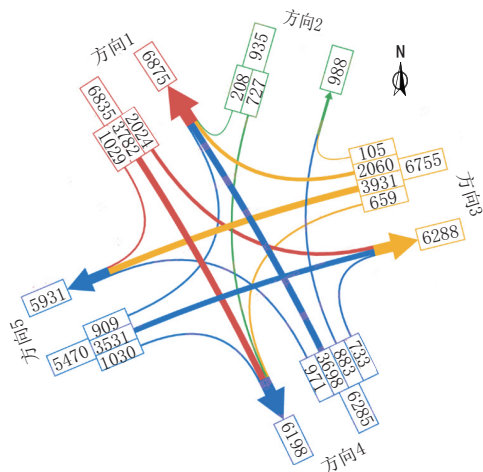


图3 西平立交 2045 年预测交通量(单位:pcu/h)

3 南松大道的接入对立交格局的影响

结合东莞市干线路网规划,未来将新增一条重要的南北向通道——南松大道。该道路采用的设计标准为一级公路兼城市道路,采用主路+辅路的断面形式,旨在加强东莞与深圳两地的直接及快速联系。

南松大道的建设时序滞后于西平立交改造工程,它的介入将从根本上改变西平立交的交通格局。

(1)补齐主路系统南向缺失:现状西平立交主路系统为三岔,南向功能由辅路系统承担,等级不匹配,南松大道的接入,将正式补齐主路系统在南向的缺口。

(2)交叉形态升级:随着南松大道主路的接入,西平立交的主路系统将由现状的T形三岔交叉升级为标准的十字形四岔交叉,改造方案需要具备足够的前瞻性,并预留充分的结构和空间接口。

4 拥堵成因深度剖析

西平立交的拥堵是多重因素耦合作用的结果,通过现场调研与数据分析,其核心成因可归纳为以下3点,其空间关系如图4所示。

4.1 结构性瓶颈:车道设置不匹配

(1) 车道数失衡

车道数与交通需求的严重不匹配是导致拥堵的根本性问题。在主路系统中,东西向(环城南路—环莞快速)通过双向4车道主路衔接,但其承担的现状高峰小时双向交通量已达5 878 pcu/h,远期(2045年)将增长至7 462 pcu/h。参照《城市道路交叉口设计规程》(CJJ 152—2010)(以下简称《规程》)^[11],主路一条车道可能通行能力为1 800 pcu/h,考虑到立交区域,由于频繁的加减速、交织与变道,实际通行



图4 现状西平立交拥堵状况示意图

能力会大幅折减,按照Ⅱ₁等级的立交服务水平标准,(服务交通量/可能通行能力)比率 α 取值为0.69,双向4车道的设计通行能力仅4 948 pcu/h,小于现状交通量,因此,东西向主路车道数不足是首要的结构性瓶颈。

(2) 内外车道倒置

东转西(EW)直行交通量为3 931 pcu/h,居于环城南路主路外侧;东转北(EN)右转交通量1 554 pcu/h,居于环城南路主路内侧。直行大交通居外、右转小交通居内的交通秩序不符合交通流能级及驾驶习惯,外侧车辆频繁出入对直行车辆形成干扰,降低了主路车辆的行驶速度,是引发拥堵和事故的直接诱因。

(3) 环莞快速路辅路缺失引发连锁反应

环莞快速仅设置主路双向6车道,其辅路缺失,导致环城南路辅路与环莞快速的交通转换无法直接实现。车辆必须经由环城南路辅路先汇入环城南路(外侧)直行主路,然后再与环莞快速进行交通转换,辅路系统不独立引起的对主路系统的依赖及干扰是导致交通状况持续恶化的根本症结。

4.2 交通组织缺陷:识别间距严重不足

清晰的指路信息、充足的识别距离是保障行车安全与通行效率的关键。在现状西平立交中,由于环莞快速辅路的缺失,所有的西向交通转换(西转东、西转北、西转南)均须在主路上完成。其交通组织方式为:西转东的交通首次分流,随后在仅 38 m 的极短间距内进行二次分流(西转北、西转南),此间距远低于《规程》中关于相邻匝道出入口之间最小净距的要求(主线设计时速 80 km/h 对应的分流鼻间最小净距不应小于 220 m)。过短的识别间距导致驾驶员难以正确反应,极易引发仓促变道、紧急制动,甚

至错过路口而倒车等危险行为,这些行为会引发交通流的瞬间中断,累积间歇性拥堵,并向上游蔓延。

4.3 路网系统性问题

路网系统性问题造成了合流点冲突与回溢效应。西平立交并非孤立存在,作为环城路沿线设置的立交之一,其运行状态与上下游仍有着千丝万缕的关系。

东莞大道立交设置在西平立交北侧约1.5 km处,两者距离较近,形成了互相关联的“立交群”。东莞大道立交结构型式采用苜蓿叶形立交,其固有的环圈匝道互相交织的结构性缺陷,在大交通量下尤为突出,已成为环城路上的另一个常态性拥堵点。

东莞大道立交的拥堵会导致车流排队,当其排队长度超过立交间距时便会产生“回溢效应”,拥堵车流一直向南蔓延至西平立交北侧辅路的合流区域,进一步加剧了立交运行秩序的紊乱。

东莞大道立交的改造已纳入环城路升级改造工程一并实施,通过优化结构可从根本上解决自身拥堵,从而切断对西平立交的负面影响。

5 总体改造方案设计

5.1 改造思路一:拆除重建为涡轮形立交

从纯技术角度而言,将现状立交完全拆除并新建为一座功能完善、线形流畅的涡轮形立交^[12-13]是最为彻底的解决方案。该立交型式中的所有转向匝道均为定向匝道或半定向匝道,交通流线明确,无交织冲突,其新建后的功能与交通量可实现最优化配置。

但是,该方案存在两大障碍:一是无法实现“保通”要求,区域路网面临崩溃风险。西平立交作为区域路网的枢纽立交,其承担了核心城区极为重要的交通转换功能,立交全面拆除后,其他路网难以承接转移后的巨大交通量,将导致立交周边大范围交通瘫痪,交通组织方案难以实施,社会影响不可估量。二是经济性与资源性浪费风险。西平立交主体结构建成服役不足20年,其结构本身仍处于良好状态,其保留的功能仍在最大限度发挥作用。大拆大建不仅会造成巨大的直接工程投资,也意味着对既有社会资源的巨大浪费。在当前基础设施建设资金日趋紧张背景下,此类方案极有可能因经济性不足而导致项目被搁置或无限期延迟。

5.2 改造思路二:充分利旧的混合形立交(推荐)

基于全生命周期成本理念和可持续发展的原

则,推荐采用“充分利旧、系统优化、分期实施”的混合形立交改造方案,通过精细化改造实现立交功能系统化提升。

5.2.1 主路系统重构:十字形加V形双层架构

南松大道的接入将补齐西平立交南向道路的缺失,根据远期交通预测,西平立交交通需求将分化成3个清晰的层级,改造方案据此进行针对性设计。

(1)第一层级:十字形主流交通

第一层级为十字形主流交通,指东、南、西、北4个方向之间的直行交通流。针对此进行设计优化:

一是东西向扩容。对既有连接环城南路与环莞快速的主路进行结构拼宽,将其现状的双向4车道扩容为双向6车道,以匹配其巨大的交通需求(2045年双向交通量7 462 pcu/h)。

二是南向南松大道接入。南松大道主路采用隧道下穿现有立交区域。这一选型能最大限度地减少主路与现状密集的桥梁墩台构造物的竖向冲突,技术可行性高。保留的地面空间可供辅路与现状地面辅路系统平交接入。

(2)第二层级:V形次级交通

第二层级为V字形次级交通,特指东向(环城南路)与北向(环城西路)之间的交通流。该交通量相对稳定,现有双向6车道可完全满足要求,故予以最大化利旧。但是,为解决前述的内外车道倒置的问题,需要对该流向的行车道进行“内外侧置换”,即将现状位于内侧的次级交通量的车道位置调整为外侧,而将直行的主流交通的车道由外侧调整为内侧。这一调整主要通过连接段的路基部分改造实现,对既有桥梁的影响较小。调整后的车道布设更合理,也更符合驾驶习惯。

(3)第三层级:其余方向交通

第三层级为十字形主流交通、V形次级交通以外的辅路及各转向匝道交通,其量级显著小于前两者,均设置专用通道。

5.2.2 辅路系统完善:构建五岔交叉的独立体系

辅路系统交通量相对较小,但辅路车流混入主路后引起了系统的紊乱,因此构建“主路接主路、辅路接辅路”的双通道体系有利于主路与辅路交通流的相对独立,可有效避免两者混行引起的交织。新建环莞快速路双向4车道的辅路系统,并设置专用的辅路桥,向东延伸与环城南路辅路顺接,这样东西向的区域集散交通可直接通过辅路系统完成,无须再干扰主路,显著减小了主路的交通负荷和交织复

杂度。最终,辅路系统将形成由环城南路辅路、环城西路辅路、绿色路、南松大道辅路以及新建的环莞快速辅路共同构成的五岔交叉系统。

图5为西平互通立交效果图(推荐)。

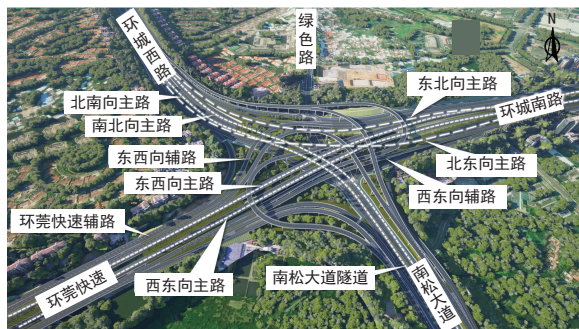


图5 西平互通立交效果图(推荐)

5.2.3 实施策略:一次设计、分期实施

为应对南松大道建设时序的不确定性,并降低近期工程投资,采用“一次设计、分期实施”的弹性策略。

(1)竖向空间预留

在立交区域整体设计中,充分考虑南松大道下穿的净空要求、匝道设置条件、施工工作界面以及对周边桥梁桩基的潜在影响。对于先期实施的桥梁,采用单孔大跨径结构跨越隧道预定区域,并为隧道预先采用必要的支护或隔离措施。

(2)平面空间预留

将南松大道各方向转向匝道的线位、纵坡和墩柱结构位置一并纳入总体设计方案,明确划分近、远期工程实施界面,确保远期工程的可实施性与方案的可延续性。

5.2.4 交通疏解方案:可持续的循环升级

立交改造的重点之一在于交通疏解。本方案立足于资源最大化利用,制定了可持续的疏解策略^[14-15]。

(1)分阶段循环推进

将利旧范围、新建范围和扩建范围进行合理拆分,制定详细的分阶段交通转换方案;通过新建范围与扩建范围的交替衔接、逐步更替,实现交通系统的循环升级。

(2)设施重复利用

涉及临时性的交通疏解设施(如隔离设施、临时标志牌、钢便桥等)在设计时即考虑在各阶段的重复利用,从而有效降低建设成本。

(3)数字化模拟

引入BIM(建筑信息模型)与交通仿真技术,构建项目的数字化沙盘;对交通疏解各阶段进行可视

化模拟和能效评估,检查冲突点、优化建设时序及交通转换方案,从而提高项目实施的可靠性与安全性。

5.2.5 交通工程与安全设施:交安配套与指引优化

针对西平立交的复杂构型,应大力升级交通指引这类“软措施”,以智能化引导来化解结构性复杂带来的误行风险,保障通行效率。

实施“主辅路双系统独立识别”策略:

(1)主路系统

为主路车流提供连续、无干扰的门架式大型指路标志,确保过境车辆在足够的视距和反应距离下获得清晰的指引,保障其过境通行效率。

(2)辅路系统

在关键分流点、合流点为辅路车流布设密集、明确的预告与指示,保障其集散到发需求;通过清晰的功能划分与无缝的指引衔接,确保两大系统高效协同。

(3)智能交通系统集成

增设交通流检测器、可变信息板等智能交通系统,与区域交通指挥中心联动,实现动态路径诱导与突发事件快速响应。

6 交通仿真分析

为定量评估并直观呈现西平立交改造效果,采用TransModeler软件对改造方案2045年的交通运行状态进行仿真模拟,结果见表2。依据广州市《城市道路交通运行评价指标体系》(DB4401/T 57—2020)^[16]:主路十字形主流交通平均行程车速为66.7 km/h,其评价等级为“畅通($V>65$)”;主路V形次级交通平均行程车速为64.9 km/h,其评价等级为“基本畅通($50<V\leq 65$)”并临近“畅通”;辅路路段与匝道平均行程车速分别为29.7 km/h与33.6 km/h,参照次干路评价标准,均评定为“基本畅通($25<V\leq 35$)”中上限。整体而言,道路运行状况良好,处于基本畅通—畅通水平。

7 结 语

西平立交改造是城市核心区既有枢纽立交改造的典型示例,在其近20年的服役期内,伴随着周边城市功能的巨变以及交通需求的爆发性增长,立交原设计的功能与服务水平已明显不足,成为影响区域交通效率的瓶颈。

本研究通过系统性的工作,对西平立交进行系统性改造,总结出以下策略:

表 2 2045 年立交平均行程车速 单位: km/h

主路/辅路	车速	备注	匝道	车速	备注
环城路主路(东-西)	64.2	十字形	东-南	36.1	
环城路主路(西-东)	68.6		东-西	33.7	
南松大道主路(北-南)	68.2		东-北	35.6	
南松大道主路(南-北)	65.9		南-东	32.1	
环城路主路(东-北)	64.7	V 形	南-西	34.7	
环城路主路(北-东)	65.1		南-北	32.2	
环城南路辅路	30.7	辅路系统	西-东	31.5	
环城西路辅路	32.7		西-南	33.9	
环莞快速辅路	30.9		西-北	33.3	
南松大道辅路	30.1		北-东	35.3	
绿色路(灯控)	24.2		北-南	28.6	灯控
			北-西	35.7	

(1)精准判断策略

基于多源数据的现状交通统计与分析、科学的远期需求预测,是找准痛点、对症下药的基础。西平立交拥堵根源在于结构、组织和系统 3 个层面的复合性问题。

(2)方案创新策略

摒弃代价高昂的“大拆大建”模式,创新性地提出了“充分利旧的混合型立交”方案。该方案通过构建十字形加 V 形的主路系统和完善的五岔交叉的辅路系统,成功实现了主辅系统的可独立运行及交通流的有效分离,使快速过境与区域集散功能各得其所。

(3)可延续的弹性策略

贯彻“一次设计、分期实施”的弹性策略,为远期南松大道接入预留充足的实施空间,确保了工程建设的可延续性。

(4)精细化管理策略

可持续的交通疏解和智能化的交安指引措施,可确保立交改造工程在不影响交通的前提下顺利推进。

本工程实践表明,对于建成区既有枢纽立交改造,不能仅从技术的单一角度来判断方案的适用性,必须树立系统化的思维,统筹考虑交通功能、工程实

施、经济效益与社会影响。西平立交的改造不仅将极大提升立交节点自身的通行能力与服务水平,更为环城路实现整体的效能升级提供了支撑,也为国内同类的高等级道路立交节点设计提供了借鉴。

展望未来,随着智慧交通技术的不断发展,在立交改造中将进一步集成车路协同、全景感知等先进技术,实现立交运行的实时感知、智能调控与主动管理等软实力的提升,这将是下一步研究与实践的重要方向。

参考文献:

[1] 汪璨.扬州市万福快速路立交方案比选[J].城市道桥与防洪,2023(11):44-47.

[2] 张江琨.高速公路枢纽全方向改扩建难点及实例分析[J].工程技术研究,2023,8(24):195-197.

[3] 姬拓.高速公路改扩建枢纽互通立交改建设计实例[J].交通世界,2023(35):65-67.

[4] 王生根.山区高速公路枢纽互通立交方案研究与比选——以积石山枢纽互通立交为例[J].低碳世界,2022,12(12):139-141.

[5] 张洪辉.兰海高速公路石湾枢纽互通改扩建设计方案研究[J].西部交通科技,2022(7):51-53.

[6] 刘丰玮.高速公路枢纽互通立交改扩建设计方案实例分析[J].工程建设与设计,2022(11):133-136.

[7] 黄涛.高速公路 T 形枢纽互通改扩建设计分析[J].公路与汽运,2022(3):126-129.

[8] 张宝君,宁志军.高速公路枢纽互通改扩建施工方案优化研究[J].中外公路,2022,42(2):247-251.

[9] 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司.东莞市环城路升级改造工程施工图设计文件[Z].广州:广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,2025.

[10] 东莞市规划设计研究院有限公司.东莞市环城路交通量专项分析报告[Z].东莞:东莞市规划设计研究院有限公司,2025.

[11] CJJ 152—2010 城市道路交叉口设计规程[S].

[12] 李涛.互通式立交优化设计原理与方法[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

[13] JTG/T D21—2014 公路立体交叉设计细则[S].

[14] 陈少华.高速公路互通式立交改扩建方案和交通组织研究[J].交通世界,2025(19):165-167.

[15] 孙丹,杨军超,李星,等.高速公路互通式立交改扩建工程施工期交通组织研究[J].公路,2022(5):75-81.

[16] DB4401/T 57—2020 城市道路交通运行评价指标体系[S].