

# METRO

SCIENCE AND TECHNOLOGY  
COLLECTED THESES

# 地铁科技文集

# 2013

广州市地下铁道总公司 编



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

# METRO

SCIENCE AND TECHNOLOGY  
COLLECTED THESES

# 地铁科技文集

# 2013

广州市地下铁道总公司 编



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

METRO  
SCIENCE AND TECHNOLOGY  
COLLECTED THESES  
地铁科技文集 2013

图书在版 (CIP) 数据

地铁科技文集. 2013/广州市地下铁道总公司编. —广州: 华南理工大学出版社, 2014. 6  
ISBN 978 - 7 - 5623 - 4138 - 3

I. ①地… II. ①广… III. ①地下铁道 - 铁路工程 - 文集 IV. ①U231 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 016834 号

地铁科技文集 2013

广州市地下铁道总公司 编

---

出版人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87110964 22236185 87111048 (传真)

策划编辑: 朱彩翩

责任编辑: 朱彩翩

印刷者: 广州市穗彩彩印厂

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 14.5 字数: 464 千

版次: 2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

定价: 49.00 元

---

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

# 《地铁科技文集 2013》编委会

名誉主任委员 丁建隆

主任委员 刘光武

副主任委员 吴慕佳 梁巧明 何霖 竺维彬 刘应海

邓承山 陈韶章 徐明杰 钟学军

委员 (按姓氏笔画为序)

史海欧 刘忠诚 刘靖 余哲夫 张志良

李广元 李少璧 李鸿兴 陆缙华 陈穗九

庞绍煌 林志元 欧阳长城 莫庭斌 高俊霞

袁敏正 曾耀昌 靳守杰 谭晓梅 蔡昌俊

谭文 鞠世健

主编 刘光武

副主编 谭文 李广元

责编 何志平 张继冰 马坚生 雷华明



# 前言

坚持节约资源、保护环境，建设生态文明、改善民生是我国现代化建设必须长期坚持的国策，优先发展公共交通、促进城市科学发展和社会和谐更是纳入国家发展战略。轨道交通以其运量大、快速、高效、绿色、低碳等特点，逐渐成为城市公共交通的骨干，不仅为缓解城市交通拥堵提供了有效的途径，更为促进和带动城市化进程，实现可持续发展发挥着重要作用。

目前，广州城市轨道交通已开通一至五号线、八号线、广佛线首通段、APM线、六号线首期等9条线路，运营里程260公里，日均客运量近590万人次，承担了广州市约40%的公交客流运送任务。根据国家批复的广州市新一轮轨道交通建设规划，至2017年还将力争新建成开通广佛线西朗至沥滘段、六号线二期、七号线一期等9条线路，届时累计开通里程将超过500公里。可以预想，跨越式发展的广州地铁必将为广州新型城市化建设全面提速。

在广州地铁进入大规模建设、大线网运营、大物业开发的新形势下，广大科技工作者以推动轨道交通行业技术进步为己任，以提高城市轨道交通安全、效率、节能、环保为导向，不仅开始牵头承担国家“863计划”项目和“十二五”科技支撑计划项目，并取得了显著的科技创新成果；同时结合广州地铁工程建设实际，将科研、技改及国产化成果进行提炼和总结，积累和沉淀了一大批有较高学术和应用价值的科研成果，为广州地铁致力成为城市轨道交通行业典范提供了有力的科技支撑。经过广大科技工作者和编辑人员的辛勤努力，《地铁科技文集2013》即将出版，这是自2007年开始广州地铁连续出版发行的第7部科技论文集。本论文集共收录了47篇优秀论文，分为土建与施工、设备与国产化、运营与管理三部分，作者都是从事地铁规划、勘察、设计、建设工程、运营管理和企业管理的专业技术管理人员，他们秉承科学、严谨、求真、务实的态度，将轨道交通建设与运营管理实践经验和心得体会，尤其是科技创新方面的应用研究成果以及轨道交通行业的发展动态，都毫无保留地撰写出来，供大家在工作中相互借鉴学习、交流参考。

《地铁科技文集2013》的出版发行，得到了华南理工大学出版社的大力支持，谨此致以衷心的感谢。同时，恳请国内外轨道交通行业专家学者和广大读者多提宝贵意见，让我们共同携手，为我们国家城市轨道交通事业做出更新、更大的贡献。

刘光武

广州市地下铁道总公司 副总经理

2014年1月于广州



# 目录



## 第1编 土建与施工

广州市中心区轨道交通施工期交通疏解方案探讨 .....	何正强	(3)
广州轨道交通六号线高架预制节段连续刚构桥受力研究 .....	廖鸿雁 杨守梅	(8)
地铁小断面隧道开挖爆破施工技术 .....	方恩权	(13)
花岗岩球状风化体孔中物探效果研究 .....	汪传斌	(18)
白沙河大桥单拱肋钢-混凝土接头疲劳性能试验研究 .....	廖鸿雁 杨守梅	(24)
广州地铁基坑工程设计计算问题探讨 .....	陈乔松 刘智勇 姜宝臣	(30)
广州市轨道交通 2015 年线网规划地下空间开发设计研究 .....	唐 薇 唐 坚	(43)

## 第2编 设备与国产化

城市轨道交通弱电系统集中 UPS 系统整合范围的分析 .....	刘 靖 黄德亮 辛 斌 黄志辉	(51)
露天室外型自动扶梯梯级链工作寿命分析与探讨 .....	饶美婉 黄文昕 陈 钢	(55)
广州轨道交通三号线及北延段 VCC 系统故障专题分析 .....	陈 微 辛 骥	(59)
广州地铁二号线架空刚性悬挂平面布置优化及调整 .....	张彦民 马金芳	(64)
平面喇叭在地铁车站广播系统中的应用研究 .....	马坚生 蔡 波 黎兴源 王 勇 付 强	(68)
DC1500V 接触轨接地防护方式研究 .....	吴世成	(73)
广州地铁 TETRA 无线集群网互联互通技术探讨 .....	黄格宁	(78)
对不同磨耗的地铁车辆车轮的镟修工艺分析 .....	李小文	(84)
SDH 和 OTN 传输系统实现视频传输功能的研究 .....	高丽芳 李海锋	(88)
地铁通信设备中电容器日常维护的探讨 .....	徐锦材 叶丽彩 林远明	(92)
广州地铁公共交通重载型扶梯的六大优势 .....	王 玮	(96)
地铁 BAS 系统中以太网与现场总线技术应用比较 .....	李文轩	(100)
广佛地铁祖庙站冷却塔消音降噪分析与应用 .....	罗定鑫	(105)
地铁列车车体贴膜技术应用研究 .....	贾朋磊	(108)

## 第3编 运营与管理

实施精细化管理与企业技术标准化的作用 .....	李广元 王 栋	(115)
基于轨道交通线网下的通信系统新思路 .....	高世强	(118)
广州地铁 5 号线信号系统与屏蔽门的控制逻辑分析 .....	魏文涛	(121)



# 目录

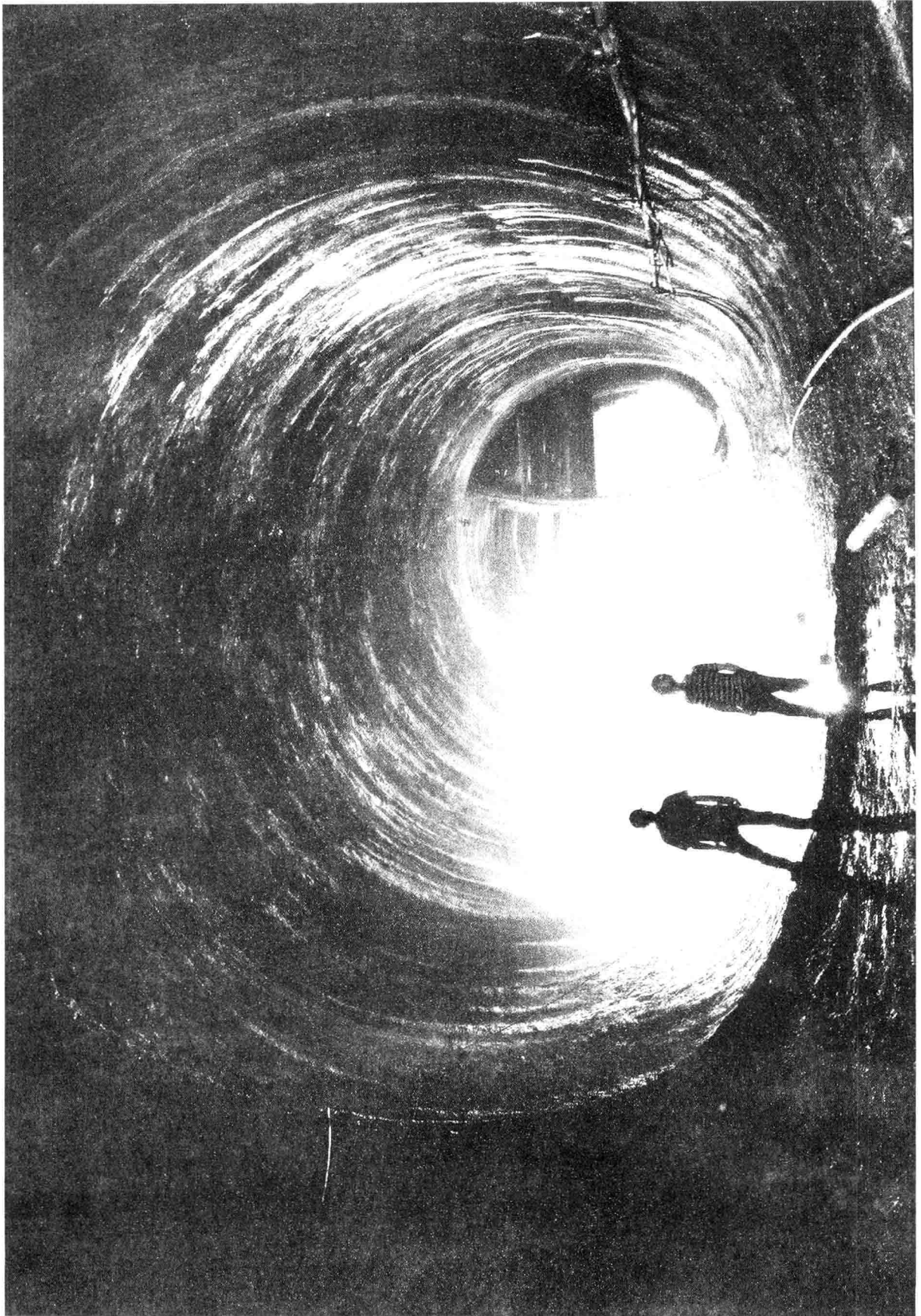
西门子 HIPATH 4000 程控交换机话务控制方式探讨 .....	阮启宁 周志斌 (125)
细水雾自动灭火系统在地铁中应用的探讨 .....	冯腾飞 (129)
地铁站台屏蔽门渗漏风量测试与分析研究 .....	赵成军 (135)
电阻-逆变混合型制动能量吸收装置应用研究 .....	黄德亮 冯剑冰 (139)
整体地下式固定架车机的安全防护设置的改进 .....	谢 东 (143)
地铁人员安全疏散分析 .....	冯国冠 汪良旗 吴刘远见 温晓虎 史聪灵 钟茂华 (147)
应急公交接驳在地铁运营中的应用 .....	张海全 李 文 (152)
RPR 城域网技术在广州地铁办公网络中的应用 .....	张晓波 (156)
关于凤凰新村站 SICAS 故障下行车组织方案的探讨 .....	郭 勇 (161)
区域化维修管理模式的探讨 .....	黎志华 陈 涛 (166)
地铁车辆检修质量的基础管理问题及改进措施 .....	湛耀斌 (171)
广州地铁列车运行调整办法研究 .....	李 文 万宇辉 (174)
广州南站地铁站客流组织改进性研究 .....	杨 恒 (177)
广州地铁站务管理研究初探 .....	梁燕冰 (182)
地铁车辆故障救援的原因分类及应对措施 .....	湛耀斌 (186)
广州地铁附属地下商业空间开发基本原则探讨 .....	陈小健 (190)
广州市轨道交通线网运营运输组织优化研究与实践 .....	梁强升 (196)
广州地铁设备质量评估体系的探讨 .....	张新明 鲍智军 李 球 (203)
城市轨道交通车站单兵应急移动通信系统初探 .....	古 晋 (208)
轨道交通运营安全与效率的分析探讨 .....	肖 凯 (212)
轨道交通车站设备安装工程临时用电管理分析 .....	李晓坤 (215)
广州地铁列车故障救援应急处置需要注意的问题 .....	宿亚军 何永昌 (219)



METRO 2013  
SCIENCE AND TECHNOLOGY  
COLLECTED THESES  
地铁科技文集  
第1编

土建与施工  
Tujian yu Shigong





# 广州市中心区轨道交通施工期交通疏解方案探讨\*

何正强<sup>①</sup>

**摘要** 以广州市中心区现状交通为基础,分析轨道交通施工对城市交通的影响,根据影响程度,提出了路网容量改善、区域交通分流、交通需求管理、施工工法优化等具体的交通疏解方案,并通过模型测试,对交通疏解效果进行了评价。

**关键词** 轨道交通 交通疏解 交通影响 方案

## 1 引言

至2010年底,广州市轨道交通已建成开通八条线路,开通里程约236 km,日均客流达480万人次。为强化广州市国家中心城市地位,适应并满足城市发展对轨道交通的需求,市政府又开展了轨道交通2011—2015年建设方案研究工作,目前已完成方案并进行了公示,在未来五年间将新建十一条线路(含延长线),总长约300 km。其中,中心区将新建八号线北延段(文化公园—白云湖)、十一号线(环线)及十三号线(凰岗—新塘)等三条线路,共计约118 km,这对于缓解中心区的交通拥堵,方便市民的出行具有重要的意义。

从以往的广州、北京、上海等大城市建设轨道交通的经验证明“轨道交通建设期是城市中心区交通黑暗期”,工程建设周期长,施工期间需占用大量的城市道路资源,对于本身路网容量调节能力有限的中心区无疑是雪上加霜。如何做好广州市中心区轨道交通2011—2015年施工期间的交通疏解工作,处理好工程施工与道路交通的矛盾,把对城市交通的影响降到最低限度,确保轨道交通建设顺利进行,是项目实施前必须研究的一个重要课题。本文以广州市中心区现状交通为基础,从宏观层面综合考虑,分析轨道交通施工对城市路网通行能力的影响,并根据影响程

度,提出路网容量改善、区域交通分流、交通需求管理、施工工法优化等交通疏解方案,再通过模型测试,对疏解效果进行评价。

## 2 广州市中心区2011—2015年轨道交通线网规划情况

为支持城市“中调”发展战略,提高中心区轨道交通服务水平,加强中心区与外围组团之间的联系,广州市计划2011—2015年间在中心区新建三条线路,具体情况如下:

(1) 八号线北延段:由在建的文化公园站继续向北延伸,经康王路、荔湾路、西湾路,至白云湖,全长约15.0 km。

(2) 十一号线(环线):行经琶洲、新滘路、逸景路、芳村大道、火车站、广园路、火车东站、员村二横路,至琶洲闭合,全长约42.4 km。

(3) 十三号线:线路起于白云区凰岗,经增槎路、东风路、黄埔大道、中山大道,至新塘象颈岭,全长约59.8 km。

## 3 研究方法与技术路线

轨道交通施工疏解方案是一个综合性的研究项目,涉及工程施工管理、道路交通组织、公共

\* 广州市发改委投资研究项目。

① 广州中咨城轨工程咨询有限公司。

交通政策、行人交通管理等方面的内容，不但要考虑经济技术因素，而且还要考虑关系协调因素。依据现状交通，通过模型测试，分析施工期间对城市路网通行能力的影响，相应提出交通疏解方案，交通疏解方案探讨技术路线见图1。

采用中观交通仿真软件对交通进行分析、模拟、测试和预测，输出各路口的交通量、饱和度等指标供交通评估用，通过模拟分析，可以评价地铁施工的交通影响，以及疏解方案的有效性。这种软件具备区域性分析功能和多项目分析功能，在模拟过程中，软件能对区域内各类型路口进行全面的分析，能模拟具体的改建方案、车辆路径等，并输出具体的评价指标，如路口各流向交通饱和度、车辆平均排队长度和延误等。

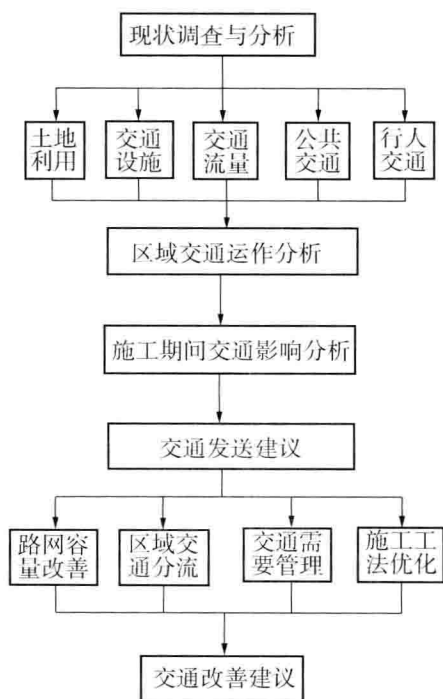


图1 交通疏解方案探讨技术路线图

## 4 广州市中心区2011—2015年轨道交通施工期间交通影响分析

由于轨道交通工程的施工期限较长，影响范围广，各阶段工程施工对交通的影响程度存在差异，本文假定所有轨道交通线路同时处于建设状态，按照轨道交通工程施工特点分析，2011—2015年间对交通影响最大的年份是2013年，因

此，将2013年确定为研究年。此外，采用对比无轨道交通施工（情形一）与有轨道施工（情形二）两种情形下，中心区主要的路网运行指标、交通走廊特性来分析轨道交通施工对路面交通的影响程度。

### 4.1 路网容量饱和度影响分析

通过模型测试，2013年中心区内路网容量为335万车公里/小时，无轨道交通施工（情形一）高峰小时饱和度为0.80，轨道施工期间对区域内主要干道影响较大，特别是对东风路、黄埔大道等交通大动脉的影响，必将直接影响到路网容量，轨道施工时（情形二）路网容量将下降到315万车公里/小时，路网饱和度上升至0.85，交通更为拥挤，一旦有交通事故发生，交通堵塞将迅速蔓延。

### 4.2 主要交通走廊影响分析

在东西交通走廊中，2013年影响道路运作的施工轨道交通线路是十一号线和十三号线，其中，受轨道交通十一号线影响的主要道路为广园快速路和新滘南路，受轨道交通十三号线影响的主要道路为东风路、黄埔大道、中山大道。根据模型测试分析，无轨道施工（情形一）该走廊饱和度高达0.91，有轨道施工（情形二）该走廊饱和度进一步提升至0.99，走廊完全饱和，特别是黄埔大道、东风路的工程施工将导致道路过度饱和，由此产生车流的转移也将引起周边环市路、天河路等道路的饱和度急剧上升。

在南北走廊交通中，2013年影响道路运作的施工轨道交通线路是八号线北延段和十三号线，其中，受八号线北延段影响的主要道路为西槎路和康王路，受十三号线影响的主要道路为增槎路。根据模型测试分析，无轨道施工（情形一）该走廊饱和度为0.87，有轨道施工（情形二）该走廊饱和度为0.94，除轨道交通施工所在的增槎路、西槎路和康王路等道路基本饱和外，其周边道路容量均略有富余。

### 4.3 重要节点交通影响分析

由于轨道交通施工的占道围蔽情况尚不明确，对某一节点进行详细分析存在一定困难，因此，本文选取了同时有多条轨道交通线路施工的节点以及部分现状堵塞点作为研究对象。根据轨

道交通线网建设规划, 2013 年多条施工线路的主要换乘站点为彩虹桥站, 且从现状来看, 天河南地区是主要塞点, 本次拟对这两个节点及周边区域的交通运行状况进行重点对比分析。2013 年中心区各情形下重要交通节点高峰期交通运作情况对比见表 1。

表 1 2013 年中心区各情形下重要交通节点高峰期交通运作情况对比表

重要节点	轨道交通线路	周边主要路口	饱和度		
			情形一	情形二	
彩虹桥	八号线北延、十一号线、十三号线	西场立交	0.95	1.03	8.4%
		盘福立交	0.94	1.05	11.7%
		荔湾路/东风西路	0.86	0.89	3.5%
		康王路/东风西路	0.85	0.92	8.2%
		平均	0.90	0.97	7.8%
天河南	十三号线	天河路/体育西路	0.90	0.94	4.4%
		天河路/体育东路	0.95	0.98	3.2%
		黄埔大道/体育西路	0.93	1.0	7.5%
		黄埔大道/体育东路	0.97	1.05	8.2%
		平均	0.94	0.99	5.3%

## 5 轨道交通施工期间疏解方案

根据上述轨道交通施工对各主要交通走廊及重要节点影响的分析, 相应提出以下几方面的交通疏解方案。

### 5.1 路网容量改善对策

一是充分挖掘现有道路资源的潜力。局部拓宽道路, 增加车道数, 尽可能使各路段和路口的交通流量与其通行能力相匹配, 尽量维持主要交通走廊的服务水平和交通畅通。

二是协调好道路建设与轨道交通施工的关系。道路建设时间与轨道交通施工时间宜错开, 对在轨道交通建设期间起分流作用的道路, 宜安排在轨道交通动工前改造建设, 如老城区和白云

区南部的白云大道附近铁路改造工程、白云二线、环场北路延长线、丛桂路, 东部地区的广深高速/丰乐路立交、开创大道/广园东立交, 海珠区和芳村区的如意坊延长线、东漱南路延长线、芳村大道快速化、快捷路二期, 北部地区的机场东部快速路、106 国道改造等道路。

### 5.2 区域交通分流对策

交通分流是交通管理的重要内容, 通过平衡地区路网上的交通分布, 避开交通堵塞点, 以达到路网整体运作的平衡, 从而提高地区道路网的综合服务水平。根据研究范围内的路网结构及交通功能, 寻找与轨道交通施工路段具有相同功能的“可替代道路”, 对途经道路设置交通指引标志进行有效分流, 以达到“减压”的目的。

根据前面第四节的分析, 2011—2015 年间中心区受轨道交通施工影响的主要道路和节点为康王路、增槎路、西槎路、东风路、黄埔大道、中山大道、芳村大道、新滘南路、工业大道、彩虹桥和天河南。按照同一走廊统一分流的原则, 各道路和节点交通分流方案见表 2。

表 2 中心区轨道交通施工期间主要道路及节点交通分流方案

道路及节点	分流方案
康王路	内环路、人民路、解放路为主要分流通道, 六二三路、沿江路、环市西路为辅助分流通道
西槎路、增槎路	广清高速、北环高速、机场高速为分流主要通道, 机场路、云城西路为分流补充通道
东风路、黄埔大道、中山大道	可采取三条分流线路: 一是通过环市西路—广园西路—广园快速路, 该线路容量有一定富余, 虽绕行距离过长, 但能保障出行时间, 为主要分流线路; 二是环市西路—环市中路—环市东路—天河路—华南快速路—广园快速路, 该线路本身高峰期较为拥挤, 分流能力有限; 三是环市西路—中山路—寺右新马路—花城大道—猎德大道—广园快速路, 该线路有一定分流能力, 但寺右新马路道路容量会成为该线路的瓶颈

续表 2

道路及节点	分流方案
新滘南路	南环高速公路和昌岗路为分流通道, 东晓南路、广州大道为衔接道路, 辅助分流
芳村大道	西环高速、如意坊延长线和东漖南路为主要分流通道, 鹤洞路、花地大道为辅助分流
工业大道	以宝业路—江南西路—江南大道—昌岗东路—东晓南路为主要分流线路
彩虹桥	以环市路—南岸路—中山路—解放路构成闭合的分流环线, 使过境交通沿分流线路行驶
天河南地区	以天河路—广州大道—花城大道—猎德系统构成闭合的分流环线, 并利用广州大道与黄埔大道的立体交叉实现分流

### 5.3 交通需求管理对策

如果说路网容量改善是交通的“开源”, 那么交通需求管理则为交通“节流”。其管理方法就是通过对交通需求在总量、时间分布、空间分布等方面进行引导、调节和管理, 从而降低道路交通负荷, 达到交通流量与道路容量相平衡。具体措施包括:

(1) 延长货车禁行时段和扩大货车禁行范围。根据流量调查数据分析, 中心区全天交通走势相对平缓, 早晚高峰峰值不太明显, 且持续时间较长, 早高峰延续至 10 时, 而晚高峰则提前到 15 时就出现。因此, 建议在轨道交通施工期间加大货车禁行力度, 如晚高峰禁行时段适当延长, 调整为每天 15—19 时, 同时限行范围适当扩大, 在原有范围的基础上, 增加东部 (东环以西、广园快速路以南、新港路以北) 和南部 (南环以北、广州大道以西、珠江以东和昌岗路以南) 两部分区域。

(2) 建设交通信息诱导系统。结合目前交警部门正在推动的可变信息牌 (VMS) 实施计划, 建立地区交通诱导系统, 发布交通引导信息及实时路况信息, 使道路使用者可以选择合适的

出行路线, 以缓解交通拥堵, 提高地区整体出行效率。

### 5.4 施工工法优化对策

轨道交通工程施工中, 一般采用明挖、暗挖、盖挖、盾构等施工方法, 这些施工方法都比较成熟, 且应用较为广泛。施工方法选择应根据工程地质、水文地质、工期要求、地面地下环境状况等, 进行全面的技术经济比较后确定。其中, 对工点周边交通的影响需特别重视, 对于部分车站而言, 可以采用明、暗挖相结合的施工方法, 通过路口的部分可采用暗挖施工方法, 路口两侧可采用明挖施工方法; 也可以主体采用明挖施工方法, 出入口、风道等附属结构采用暗挖施工方法; 区间尽量采用盾构施工方法, 以减少对周边交通的影响。

通过上述的交通影响分析可知, 荔湾路 (东风路—周门路)、东风路 (环市路—解放路)、黄埔大道 (广州大道—猎德大道) 等路段, 交通已趋于饱和状态, 为了避免节点的交通拥挤蔓延到路网中, 轨道交通车站施工宜采用暗挖法或盖挖法等, 以减少对道路交通的影响。

### 5.5 交通模式转换对策

将市民的出行方式尽可能由私人小汽车转换为公共交通, 引导和鼓励市民选择大运量的出行方式, 包括公交和轨道, 对于减少交通量是最为有效的方法。为促使出行者向公交系统转移, 提高公共交通的出行比例, 建议在轨道施工期间, 一方面改善常规公交车辆状况、缩小发车间隔、提高准点率, 切实改善公交服务水平; 另一方面建议适当调低地铁票价, 提高轨道交通的吸引力, 并加强轨道交通与地面交通之间的衔接, 方便市民换乘, 以便将部分地面客流转移到地下。

## 6 交通疏解方案实施评价

采取上述交通疏解措施后, 通过模型测试可知, 2013 年轨道交通施工期间中心区路网运作状况明显好转 (见图 2、图 3 所示)。黄埔大道、中山大道、白云大道、西槎路、芳村大道南等道路饱和度明显下降, 有效缓解了轨道施工期间中心区的交通拥堵状况。



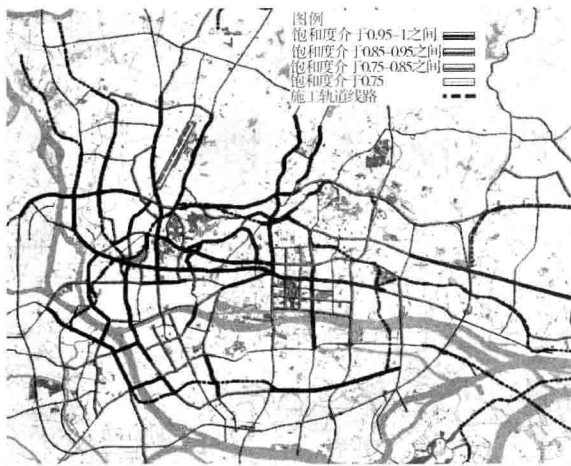


图2 交通疏解措施前中心城区路网运作状况  
注：中山大道、白云大道、西槎路、芳村大道南的饱和度介于0.95~1之间。

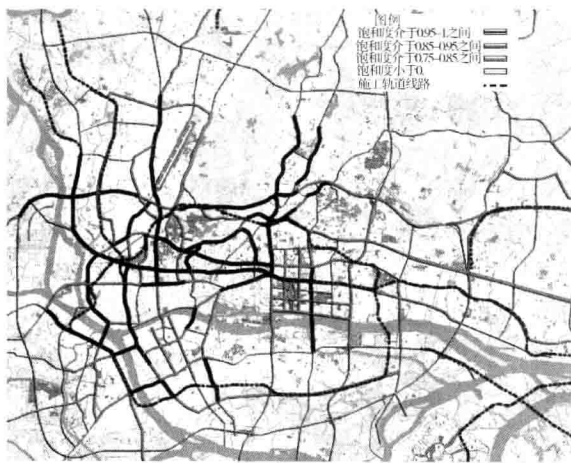


图3 交通疏解措施后中心城区路网运作状况  
注：中山大道、白云大道、西槎路、芳村大道南的饱和度介于0.85~0.95之间。

## 7 结语

本文从“面、线、点”多层次分析了轨道交通施工对广州市中心区交通的影响，并根据影响程度和道路条件，提出了交通疏解方案。为保证疏解措施的有效落实，建议在轨道交通建设期间，进一步加大道路交通整治力度，净化交通环境，同时建设单位必须制定严格的施工管理制度，科学文明施工，树立交通意识、环境意识和法制意识，严格执行有关交通管理的政策法规，积极配合相关部门管理。

### 参考文献

- [1] 王炜, 徐吉谦. 城市交通规划理论与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [2] 郑健惠. 深圳地铁工程施工期间交通疏解问题研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2003.
- [3] 黄立葵, 刘靓, 郑健惠. 地铁施工期间交通疏解问题研究 [J]. 交通与计算机, 2005, 23 (1): 57.
- [4] 覃国添, 申丽霞, 王金秋. 地铁施工期间交通疏解工作思路与方法 [J]. 城市交通, 2006, 4 (4): 46.
- [5] 毛子珍. 深圳地铁5号线施工阶段交通疏解设计经验与启示 [J]. 现代城市轨道交通, 2009, (3): 18.
- [6] 陆化普, 朱军, 王建伟. 城市轨道交通规划的研究与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.



# 广州轨道交通六号线高架预制节段连续刚构成桥受力研究\*

廖鸿雁<sup>①</sup> 杨守梅<sup>②</sup>

**摘要** 针对成桥受力过程中结构受力和线形进行理论分析,并与现场实测加以对比,研究分析各项参数的敏感性。结论表明结构体系成桥过程中各荷载工况下桥梁线形和应力理论值与实测值基本一致,施工工艺、测控措施、架桥机及吊杆的刚度是影响桥梁拼接线形和受力的关键因素。为施工方案的优化或工序调整提供依据,也为类似结构设计提供参考。

**关键词** 预制节段 连续刚构 成桥受力过程 参数 敏感性

## 1 工程概况

广州轨道交通六号线(以下简称六号线)浔峰岗—河沙西入洞口高架区间,为预制节段连续刚构桥梁体系,标准段为3跨连续无支座刚构。该区间高架梁采用短线匹配预制梁,在欧美和香港及广州轨道交通四号线已广泛使用<sup>[1]</sup>,但大多数用于简支梁体系,线形控制相对简单,而六号线采用的预制节段连续刚构桥梁体系在国外的应用较少,在国内运用于轨道交通高架桥则属首次,它同时具备桥面连续性好,体系无支座,后期维护费用低,建筑美学效果好等一系列优点,符合城市轨道交通工程中安全、耐久、美观、体量小的设计原则。

六号线高架区间为双薄壁连续刚构桥,体系中桥墩为现浇,梁部采用短线匹配预制技术,现场架桥机悬吊拼装,在施工过程中存在先简支,后连续,再刚构的体系转换,对结构变形的控制比一般的连续刚构桥梁复杂。对该高架区间结构形式的设计和施工难点开展研究,并以试验检验设计和施工方案,从而真正掌握施工过程中桥梁体系的受力行为,为实桥顺利施工积累经验,为今后类似结构提供设计依据。

## 2 理论分析

采用桥梁专业分析软件 MIDAS CIVIL 2006 对预制节段连续刚构桥梁体系施工受力过程进行理论分析计算,得出各工况结构内力及线形的理论数据,并分析各项参数的敏感性。主要工作如下:

(1) 通过分析各施工参数对施工内力和变形的影响,确定敏感性事件,为下一步施工做指导。

(2) 将理论分析结果与实测数据进行对比,验证或调整设计参数。

### 2.1 受力过程分析

#### 2.1.1 吊装过程

节段梁吊装过程(见图1)中,梁节段自重使架桥机主梁产生变形,全部节段吊挂完成后,可认为节段梁自重对架桥机主梁产生变形完全发生,不再考虑吊挂位置对架桥机主梁变形的影响。

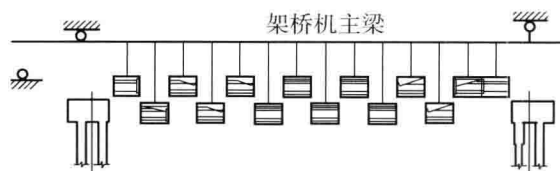


图1 节段梁吊装过程

\* 广州市地下铁道总公司科研经费资助项目。

①② 广州市地下铁道总公司建设总部。

### 2.1.2 拼接过程

现场节段梁从一端开始向另一端拼接，从节段梁块逐步形成具有一定刚度的梁，梁的刚度取决于连接两梁段间的临时连接状态。结构受力体系可简化为二根不同刚度的梁，通过几根弹性链杆共同受力，拼接过程结构受力简图见图2。

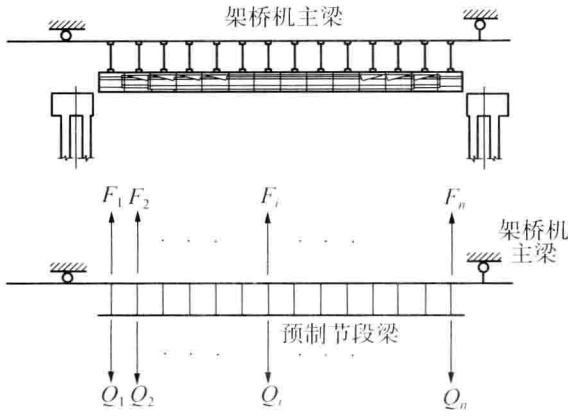


图2 拼接过程结构受力简图

临时连接体系的作用是保证梁段匹配面的吻合，理论上不对匹配面产生弯矩，即临时张拉产生的局部应力沿截面均匀分布，在截面（两对拉点间）产生的变形相等。理论上节段梁块拼接成梁后，匹配面应吻合，梁体应处于零弯矩状态。满足以上条件的理想状况是各吊挂点的吊挂力  $F_i$  与各节段梁块的自重  $Q_i$  相等，即  $F_i = Q_i$ ，梁处于零弯矩状态，这是架设过程要达到的目标，但实际控制比较复杂。

### 2.1.3 形成简支体系

节段梁拼接完成后，张拉梁体内简支钢索，并落梁至临时支座，形成简支结构体系（见图3）。

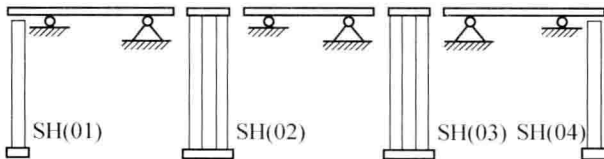


图3 落梁后简支结构体系

简支结构形成过程的受力分析：

(1) 节段梁施加预应力后，梁体上拱，吊杆吊挂力出现变化（不承受压力），架桥机主梁重新变形，体系重新平衡。

(2) 中间吊杆解除约束后，结构处于两端吊杆吊挂下的简支梁结构状态。

(3) 落梁于临时支座后，结构处于临时支座上的简支梁结构状态。

(4) 解除临时连接约束后，结构形成初始的简支结构体系。

### 2.1.4 形成不完全刚构

浇筑中墩湿接缝的结构体系仍为简支结构，连接索张拉后，结构体系转化为中墩与梁刚结，边跨梁端铰结于临时支座的连续体系。边墩与梁刚结后结构体系简图见图4。

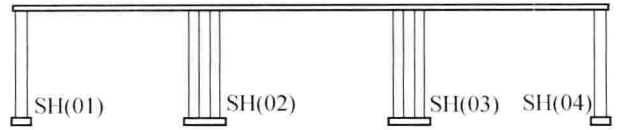


图4 边墩与梁刚结后结构体系简图

### 2.1.5 形成刚构体系

张拉边墩竖向预应力，连续刚构形成（见图5）。

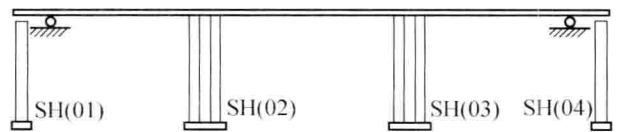


图5 中墩与梁刚结后结构体系简图

## 2.2 实际参数的敏感性分析

现场施工时，实际参数与设计参数会有差别，下述现场实际参数变化对桥梁结构的内力和线形有影响。

### 2.2.1 混凝土容重

混凝土容重的设计取值为  $25 \text{ kN/m}^3$ ，现场素混凝土容重为  $24.01 \text{ kN/m}^3$ ，计入钢筋后容重为  $25.6 \text{ kN/m}^3$ ，与设计值误差为4%。自重产生的内力及变形与自重呈线性关系，故引起的内力与线形误差为4%。

### 2.2.2 混凝土收缩、徐变

加载龄期统一取值为60天，与设计值一致。

### 2.2.3 混凝土弹性模量

$C_{60}$ 混凝土理论弹性模量为  $36500 \text{ MPa}$ ，现场弹模测量为  $36900 \text{ MPa}$ 。跨中监测点在简支束全部张拉落梁后的内力和位移见表1（位移以向上为正）。

表1 混凝土弹性模量对主梁位移、内力的影响

项目	理论 $E_c = 36500 \text{ MPa}$	实测 $E_c = 36900 \text{ MPa}$	误差
位移/mm	14	13.8	1.40%
弯矩/( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )	-10987	-11000.3	0.10%

由表1可见，混凝土弹性模量的变化对主梁的内力和位移影响很小。

### 2.2.4 预应力钢束与管道壁的摩擦系数及偏差系数

预应力钢束与管道壁间的摩擦系数及偏差系数设计值为 0.17、0.0015，根据现场摩阻试验，实际值取 0.22、0.0031，摩擦系数和偏差系数增大后，引起的预应力损失增大。摩擦系数及偏差系数对主梁位移、内力的影响见表 2。

表 2 摩擦系数及偏差系数对主梁位移、内力的影响

项目	设计取值 $u=0.17,$ $k=0.0015$	实测 $u=0.22,$ $k=0.0031$	误差
位移/mm	14	12.8	8.60%
弯矩/(kN·m)	-10987	-10183	7.30%

由表 2 可见，摩擦系数及偏差系数的变化对主梁的内力和位移影响较大。

### 2.2.5 预应力钢束弹性模量

预应力钢束理论弹性模量  $E = 1.95 \times 10^5$  MPa，实际值为  $E = 1.93 \times 10^5$  MPa。预应力钢束弹性模量对主梁位移、内力的影响见表 3。

表 3 预应力钢束弹性模量对主梁位移、内力的影响

项目	理论 $E = 1.95 \times 10^5$ MPa	实测 $E = 1.93 \times 10^5$ MPa	误差
位移/mm	14.01	14	0.07%
弯矩/(kN·m)	10987	10923	0.58%

由表 3 可见，预应力钢束弹性模量的变化不大对内力和线形影响很小。

### 2.2.6 张拉控制应力

预应力钢束的张拉控制应力为 1302 MPa，与设计值一致。

### 2.2.7 简支束张拉顺序

现场施工时预应力束张拉顺序与设计相同，故计算时按设计进行输入。

## 3 架梁施工

梁节段按照吊挂的排列顺序，通过架桥机提升吊挂，所有节段梁吊挂完成后，开展拼接。拼接节段的匹配面满涂结构胶，使用提升机进行匹

配面对接，穿临时拉接钢筋并施加张拉力，提升机辅助调整定位，拼接节段吊挂从提升机转移固定吊杆，继续下一节段梁拼接直至全跨完成。

节段梁架设工艺流程见图 6。

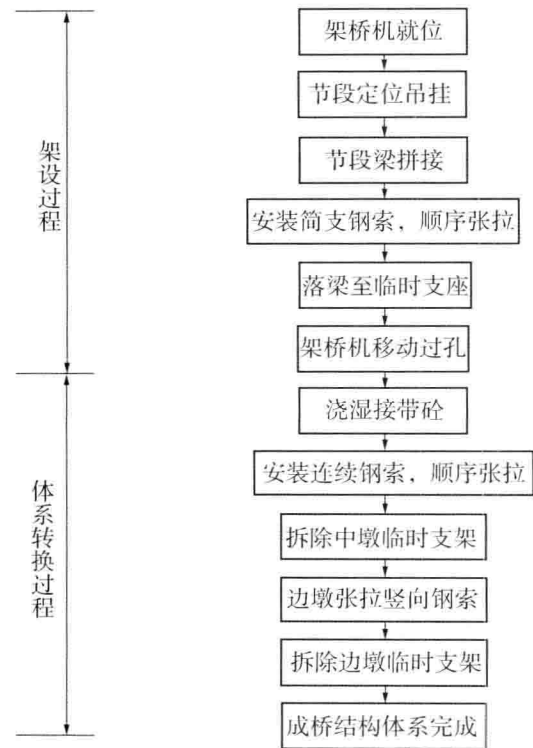


图 6 节段梁架设工艺流程

## 4 试验研究

选择沙贝—河沙区间第一联 38m + 40m + 38m 作为试验研究对象，主梁、双薄壁墩监测点布置、桥墩应变测点断面布置及主梁应变测点断面布置见图 7、图 8、图 9。

### 4.1 现场数据采集

线形监测分别采用高程与平面坐标。

梁部应力监测通过节段预制过程预埋钢弦应变计，以及现场外贴钢弦应变计；墩部钢弦应变计在墩顶加载前安装。

#### 4.1.1 应变监测点

#### 4.1.2 主梁线形监测点

主梁线形监测点利用节段预制时的六坐标控制点，以 A、C（或 B、D）点监测竖向（挠度）状态，E、F 点监测平面线形，测点布置见图 10、图 11。