



复杂敏感环境下 明挖隧道设计与施工技术

——基于南昌市沿江中北大道连通工程

蔡建中 章 勇 耿大新 编著



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

复杂敏感环境下明挖隧道设计与施工技术

——基于南昌市沿江中北大道连通工程

编著 蔡建中 章 勇 耿大新

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

复杂敏感环境下明挖隧道设计与施工技术：基于南昌市沿江中北大道连通工程 / 蔡建中，章勇，耿大新编著.
—成都：西南交通大学出版社，2013.9

ISBN 978-7-5643-2465-0

I. ①复… II. ①蔡… ②章… ③耿… III. ①隧道工程—设计②隧道施工—明挖法施工 IV. ①U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 217030 号

复杂敏感环境下明挖隧道设计与施工技术

——基于南昌市沿江中北大道连通工程

编著 蔡建中 章勇 耿大新

责任编辑	杨勇
助理编辑	姜锡伟
封面设计	原谋书装
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	10.75
字 数	256 千字
版 次	2013 年 9 月第 1 版
印 次	2013 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2465-0
定 价	40.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

复杂敏感环境下明挖隧道设计与施工技术

——基于南昌市沿江中北大道连通工程

编著委员会

主任委员：熊一江

副主任委员：万义辉 黎友才

主 编：蔡建中 章 勇 耿大新

副 主 编：方 焘 周诚华 欧阳锦 刘 卫

黄永春 黄小彬

委 员：（按字母顺序）

安 航 柏 栋 陈 杰 陈 希 邓国良

高小明 高洋平 葛威敏 龚建斌 胡 昊

胡红波 黄 伟 纪孝团 江俊林 李达宏

李九福 梁怀柱 廖冬生 刘顺保 马瑞伟

闵 杰 彭正胜 万 超 万德珍 万慧荣

汪明飞 王 冰 王海龙 王 弘 魏 佳

吴 斌 肖 俊 肖兰耀 肖迎春 徐秋海

杨 斌 宰祥玉 张 真 赵民伟 周 春

邹继强

办公室主任：闵 杰（兼）

序

目前，地下空间的开发利用已经成为各大城市发展的重点，诸如各类地下铁道、地下商场、地下市政设施、地下仓库等，其中很多工程采用明挖基坑施作。基坑工程既涉及土力学典型的强度与稳定问题，又包含了变形问题，同时还涉及土与支护结构的共同作用，是一门实践性很强的学科。由于各地工程地质及水文地质条件的差异、基坑形式的多种多样，且周围环境相去甚远，基坑工程的安全施作一直是业界的一项难题。

南昌，又名豫章、洪城，为江西省省会，既是国家历史文化名城，又是革命英雄城市，具有深厚的城市文化底蕴和众多的历史古迹。近年来，南昌经济高速发展，城市基础设施得到迅速改善，在建设过程中积累了丰富的经验。南昌市沿江中北大道连通工程滕王阁隧道采用明挖施工，基坑最宽处近 40 m，沿线管线密集，工程周围接近建筑群，且邻近著名的滕王阁景区，基坑边缘与滕王阁主楼的台阶相接。基坑周围土体以杂填土为主，地质条件复杂，濒赣江、抚河，地表及地下水丰富，环境保护要求高，施工难度大，目前工程已经顺利完工。本书由建设单位一线管理人员及高校青年教师联合编著，详细介绍了南昌市中北大道连通工程的规划、设计与施工技术，并针对工程地下水控制及周边建筑物保护进行了专题研究。该书理论联系实际，对后续类似工程（如南昌地铁等）的施工有较高的指导和借鉴价值，希望本书的出版能为岩土工程技术及有关专业人员提供有益的参考。

中国工程院院士 周丰峻

前 言

目前,随着城市人口的大量增加,城市中有限的地面空间变得越发紧缺,所以人们只能向空中和地下谋求更多的空间。而地下空间的开发多伴随着大量明挖基坑的出现,势必影响周围的环境。稍有不慎,就有可能引发对人民的生命和财产安全造成重大损害的事故,给政府及社会带来巨大的影响,并造成极大的经济损失。

南昌,江西省省会,鄱阳湖生态经济区核心城市,是最具发展潜力的城市之一。由于路网密度、路网结构等原因,市区存在多条“断头路”,加之近年私家车保有量与日俱增,造成了市区交通拥堵严重,同时也制约了全市的经济发展。2010年6月,为顺利举办“七城会”,全面改造老城区的环境,南昌市打通“断头路”工程全面展开,其中,沿江北、中大道连通工程为重中之重。该工程于2010年11月份正式开工,工程核心部分为滕王阁隧道。隧道呈长条形沿抚河路、沿江北大道布置,最宽处四线并排,明挖基坑开挖宽度近40m。隧道段附近各类管线密集复杂,道路两侧多为商业店铺、住宅楼、办公楼等,特别是全国知名的景点滕王阁,其主楼为桩基础,而楼前台阶为浅基础,两类基础对不均匀沉降的敏感性差异较大;同时,基坑周围土体以杂填土为主,土层密实度差、结构松散、孔隙度大、透水性强;工程濒临赣江、抚河,地表及地下水丰富,在地下水渗流作用下,易出现潜蚀现象,继而引发管涌,严重影响基坑的施工安全及周围建构筑物的稳定。工程施工仅314天,是南昌迄今为止历时最短、单体最大的市政工程项目。经过参建各方的努力,2011年9月9日,工程顺利竣工。

本书结合滕王阁隧道工程施工案例,系统地介绍了赣江复杂敏感环境下明挖隧道的设计和施工技术,并就杂填土基坑渗流特性、基坑开挖对邻近建构筑物的影响展开了专题研究。全书共分上中下三篇,阐述条理清晰、资料翔实,为类似工程施工提供了参考依据,特别是对南昌地铁的建设有切实的参考价值。

本书由南昌市政公用集团项目建设分公司牵头编著,其中上篇主要由蔡建中、欧阳锦、刘卫、黄永春、黄小彬等人编著,中篇主要由方焘、纪孝团、章勇等人编著,下篇主要由耿大新、安航、周诚华等人编著,全书由熊一江、万义辉、黎友才等人修改成稿。本书在编著过程中,得到了有关建设管理、施工、设计、监理、科研院校等单位的专家、学者及工程技术人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢!同时衷心感谢周丰峻院士在百忙之中为本书作序!

由于作者水平有限,书中难免会存在一些不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2013年6月

目 录

上篇 明挖隧道设计与施工技术

第 1 章 项目前期策划	3
1.1 项目概述	3
1.2 工程建设条件	4
1.3 交通分析及发展预测	6
1.4 工程建设规模与标准	13
1.5 总体方案	16
第 2 章 复杂地质条件下明挖隧道设计技术	17
2.1 工程地质及水文地质条件	17
2.2 主体结构设计	20
2.3 围护结构设计	29
2.4 结构防水设计	35
第 3 章 滨江复杂地质条件下明挖隧道施工技术	39
3.1 滨江复杂地质条件下工程风险分析	39
3.2 施工总体方案	39
3.3 杂填土围护桩施工技术	40
3.4 滨江高压旋喷止水帷幕施工技术	51
3.5 降水施工方案	53
3.6 土方开挖及支撑施工方案	55
3.7 箱涵及 U 形槽结构施工方案	58
3.8 回填施工技术	60
3.9 施工监测	65

中篇 专题研究之滨江杂填土基坑渗流与变形特性

第 4 章 地下水对基坑工程的影响研究概述	75
4.1 引 言	75

4.2 基坑工程中地下水问题的研究现状 75

4.3 考虑工程降水及地下水渗流对基坑工程影响的研究现状 77

4.4 专题的主要研究工作 79

第 5 章 濒江杂填土地区基坑地下水试验研究80

5.1 引 言 80

5.2 室内渗流特性试验 80

5.3 现场渗流特性试验 85

5.4 三区试验段降水工程 92

第 6 章 濒江杂填土条件下基坑渗流场模拟分析97

6.1 引 言 97

6.2 二维渗流有限元计算原理 97

6.3 濒江杂填土条件下基坑渗流有限元分析103

第 7 章 杂填土基坑渗流变形特性 112

下篇 专题研究之基坑开挖对邻近不同基础类型建筑物的影响

第 8 章 基坑施工对邻近建筑影响研究概述 115

8.1 引 言115

8.2 基坑工程概述116

8.3 国内外研究现状116

8.4 专题的主要研究工作118

第 9 章 基坑变形及破坏形式 119

9.1 引 言119

9.2 基坑的变形119

9.3 基坑的破坏121

第 10 章 基坑开挖对邻近不同基础类型建筑物影响的模拟分析 123

10.1 引 言123

10.2 工程概况123

10.3 数值模型125

10.4 控制变形允许值129

10.5 邻近桩基础结构隧道区段基坑开挖有限元模拟分析131

10.6 邻近浅桩基础结构隧道区段基坑开挖有限元模拟分析134

10.7 邻近滕王阁隧道区段基坑有限元模拟分析138

第 11 章 数值模拟与工程实测结果对比分析 143

 11.1 引 言 143

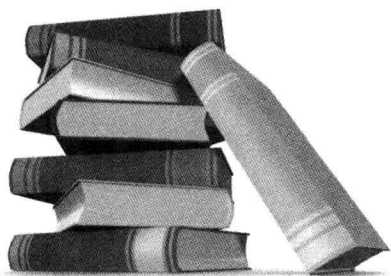
 11.2 邻近桩基础结构隧道区段基坑变形特性 143

 11.3 邻近浅基础结构隧道区段基坑变形特性 146

 11.4 邻近滕王阁隧道区段基坑变形特性 149

第 12 章 基坑对邻近建筑物的影响 154

参考文献 155



上篇 明挖隧道设计与施工技术

第 1 章 项目前期策划

1.1 项目概述

南昌市地处赣江尾闾、鄱阳湖之滨，是江西省省会，全省政治、经济、文教、科技信息中心，全国历史文化名城。

“十一五”时期是江西在中部地区加速崛起、全面建设小康社会的重要时期。南昌市作为江西省省会，理应率先崛起。随着改革开放的深入及国家经济发展战略的调整，长江经济带开放开发与沿海发展有了同等重要的地位，这为南昌市的经济社会发展创造了良好的外部环境，南昌正在为建设成为区域中心城市的城市而努力。

进入“十一五”，南昌市工业化、城镇化进程继续加速，城市稳定地朝“现代化制造业重要基地和区域商贸、物流、职教中心”的目标发展，三大产业中工业比重将进一步加大。

南昌市主城区规划总体结构采用“一江两岸，双城八片，轴环串联，分级多中心，依山傍水”的城市布局形态，如图 1.1 所示。

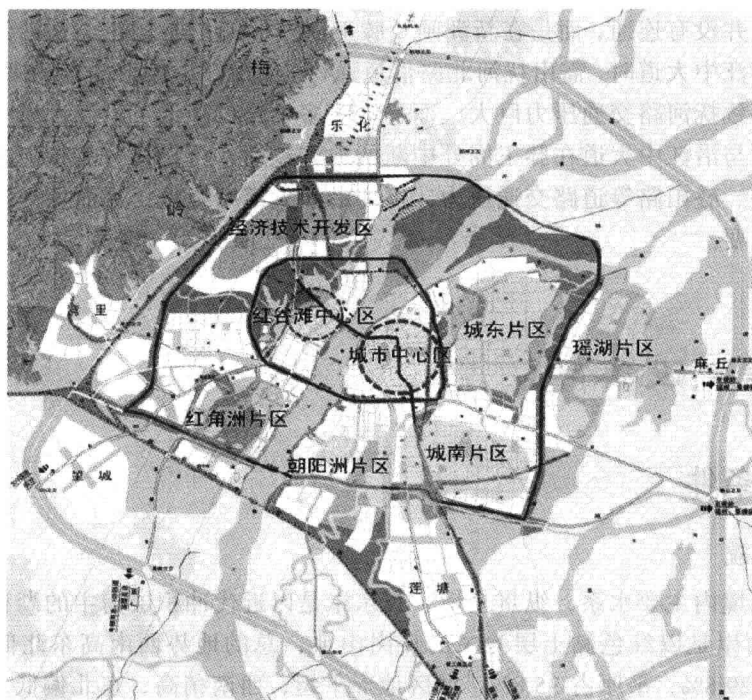


图 1.1 南昌市城区结构布置图

一江两岸：以赣江为界，形成昌南、昌北两个相对独立的城区。

双城八片：昌南五个片区，即旧城中心区、城东片区、瑶湖片区、城南片区、朝阳片区；昌北三个片区，即红谷滩中心区、红角洲片区、经济技术开发区。

轴环串联：由井冈山大道、八一大道、阳明路、新八一大桥、庐山南大道组成主干交通和景观轴线串接昌南、昌北两城，由城市一环、二环组成快速环路系统连接昌南、昌北双城八片区。

分多级中心：旧城中心区和红谷滩中心区各设一个市级公共活动中心，城东片区、瑶湖片区、城南片区、朝阳片区、红角洲片区、经济技术开发区六片区各设一个城市副活动区，形成相对均衡和完善的片区服务体系。

依山傍水：南昌市主城区河湖水系发达，昌北地势起伏，倚山就势，自然山水有机融合。

城区道路按照“102030”目标，形成以“三环十一射”为城市交通骨架、以主干道方格路网为联系的“蛛形”网状结构。

“102030”目标：10分钟上快速路，20分钟上高速路，30分钟到达周边地区。

三环：由洪都大道、解放路、洪城路、南昌大桥、麦庐大道、洪都大桥组成一环线；由昌东大道、昌南大道、生米大桥、西外环路、北外环路组成二环线；由绕城高速组成三环线。

十一射：北京路、解放路、昌南大道、南莲路、迎宾大道、桃花路、昌九南大道、长征路、昌湾大道、昌九北大道、机场路。

城市道路交通是由密集的道路构成的网络交通。由于历史原因，南昌市中心城道路很多没有贯通，形成“瓶颈”或“断头”，使道路交通网。上平稳的交通流会发生堵塞或间断的现象。这样会影响到道路运输系统的相对效率，随着交通的迅猛发展，亟待打通路网。

南昌市的沿江北大道、沿江中大道沿赣江而建，均为南北方向主干路。沿江北大道、沿江中大道实际上并没有连通，而是在新洲闸及滕王阁处形成“断头路”。从沿江北大道往南的机动车要进入沿江中大道时，需由抚河北路借道通行。而沿江中大道的车辆则要借道中山桥、抚河路转换，导致抚河路交通压力巨大，而且沿线多个路口降低了沿江大道交通的连续性。

沿江北大道与沿江中大道在滕王阁处中断的地方连通，可直接分流抚河北路交通流量，进而缓解中山路、叠山路等道路交通压力，可使沿江大道系统化，进而保证沿江大道交通连续及快速通行需要。

1.2 工程建设条件

1.2.1 自然条件

1. 地形地貌

赣江为南昌境内主要水系，纵贯全境，其东岸是以近代冲积层为主的湖积冲积平原，城区坐落于此，西岸是以红色黏土层为主的丘岗山地，总的地势西南高东北低。全市山丘占34.4%，水面占29.8%，平原占35.8%，城区地形平坦，西南稍高，东北偏低，地面平均纵坡1%~3%。工程场地属赣抚冲积平原，地貌单元属赣江Ⅰ级阶地，地势相对平坦。

2. 河湖水系

赣江：南昌市受丘陵地貌和湿润气候特征影响，市内河湖水系较为发达。赣江纵贯江西省汇入鄱阳湖，全长 827 km，总流域面积 8.3 万平方千米，从锦江口起经南昌新建两县流入城区，流经南昌境内的长 119 km，在八一桥以下分为三支：北支、中支、南支。北支经吴城汇入鄱阳湖，是我省通长江的主要航道；南支往北流入鄱阳湖，是通往景德镇的经济航线。

抚河：南昌市城区处于抚河尾闾，原支流故道在城区西部朝阳洲尾汇入赣江，1958 年水利工程将其改道，往市郊东南隅由青岚湖汇入鄱阳湖。

锦江：为赣江的一条支流，全长 260 km，在新建县南部边境汇入赣江，境内长 52 km。

南昌市湖泊众多、水系发达，在昌南城区有象湖、东湖、西湖、南湖、北湖、梅湖、青山湖、艾溪湖，昌北城还有碟子湖、黄家湖、礼步湖等。

全市江河湖泊水域辽阔，形成了得天独厚的河湖环绕、“秋水共长天一色”的绮丽风光，具有优越的水资源。

3. 气象条件

南昌属亚热带湿润气候，温暖湿润，四季分明，温差较大，夏季酷热，冬季寒冷。春季雨量较多，秋季气候、景色十分宜人；平均气温 15.8℃；气温最低的是一月，平均 4.9℃，最低气温 -9.9℃；最热的是七月，平均 29.7℃，最高气温 43.2℃。

南昌雨量充沛，多年平均降雨量 1 645 mm。4 至 6 月为雨季，约占全年总降雨量的 52%。全年平均无霜期 277 天，降雪较少。南昌市城市常年主导风向是北风和东北风，多发生于冬季；夏季七、八月份多西南风，偶有台风侵袭。

1.2.2 现状评价

1. 工程现状

工程所经地段大部分为道路、公共绿地及民房，工程两侧高楼林立，重要建筑有省博物馆、新东方酒店、滕王阁、凯莱大酒店、长天港酒店、南昌港等。地面标高一般为 18.5 ~ 19.6 m，局部较高处为现有滨江路，路面标高约 24.3 m，工程拆迁面积较大。

2. 相关道路现状

与工程相关的道路有滨江路（即沿江中大道）、滨江北路（即沿江北大道）、抚河路、中山西路、中山路、民德路、叠山路等。

3. 防洪现状及排水情况

工程所在区域属于南昌市昌南城区。南昌市昌南城已经由赣江右岸的防洪堤（墙）、城区南面的朝阳洲堤和胡惠元堤以及城区东面尤口至罗家集一线的自然高地形成了独立、完整的防洪封闭圈，防护工程均按防御赣江 100 年一遇洪水设计与施工，能满足百年一遇的防洪标准。

除滨江路靠江侧路面的雨水通过雨水井收集后排入赣江外，左侧采用路基边坡自然排放，道路未埋污水管。以抚河故道为界，西岸属朝阳洲片区部分为雨污分流体制，中山西路和新洲

路均设雨、污水管道各一根；东岸为老城区，是雨污合流体制，民德路、瓷器街、叠山路等均设合流排水管一根排入抚河北路。截污管排水流向由北往南，最终排入朝阳洲污水处理厂。朝阳洲污水处理厂位于桃苑大街 328 号，占地面积 4 200 m²，是江西省第一座现代化污水处理厂。该厂为钢筋抗渗混凝土结构，建设规模为日处理污水量 8 万吨，1999 年 6 月开工，2000 年 8 月竣工，采用回转式氧化沟污水处理工艺，尾水排水达国家污水综合一级标准。

4. 材料供应情况

工程距赣江较近，赣江有大量的河砂、砾石材料，昌北主要为丘陵和山地，梅岭山麓下可提供符合设计要求的碎石材料。南昌市水泥工业较发达，大中型水泥厂较多，质量良好，可以随时供应各种等级的普通硅酸盐水泥。施工用水泥、钢材等建筑材料可以就近购置，路用沥青需外购。

5. 运输条件

工程大部分路段处于城区，施工中外购材料可由邻近道路运入工地，但必须服从交警部门的城市交通管制要求。由于工地大部分路段处于城区，施工用电、用水可就近引入。

6. 拆迁条件

由于工程地处老城区，工程建设需拆除建筑房屋，拆除量较大。

1.3 交通分析及发展预测

1.3.1 评价范围

“十一五”末期，城市建成区面积扩大到 230 km²，使大都市框架全面拉开，形成“一江两岸”的城市格局。截至 2008 年年底，南昌市域总人口达 494.73 万人，1985 年至 2008 年 23 年间人口综合增长实际在 17.52% 左右。预测到 2020 年人口总数可达 600 万。

自 2000 年以来，全市和市区的机动车保持强劲增长，尤其以小客车的发展最为迅猛。全市机动车保有量由 2000 年的 16 万辆增长到 2008 年的 39.5 万辆，增长幅度达 147%。目前，南昌市人均 GDP 已进入 3 000 ~ 5 000 美元，鉴于国外城市经验，此时南昌市机动车增长进入一个高峰阶段。同时，城市公交也将进入长期快速的发展阶段；相关预测显示，2010 年公交出行总量将达到 155 万人次/日，2020 年约为 333 万人次/日，分别约为 2005 年的 1.7 倍和 3.6 倍。

交通预测实际上就是对交通需求进行分析，交通需求又与交通供给水平是密不可分的。一方面，交通需求是一种客观存在的意愿，决定了交通供给的水平；另一方面，不同的供给水平又反作用于交通需求，影响需求变化，两者互相作用从而达到一种平衡，交通预测正是在这种供需的平衡中找出需求的最合理特征。所以，为了便于对未来的交通进行预测，首先需确定一个基本的供给路网，作为交通分配的基础。

区域内道路网络系统在调整和优化评价范围内的道路网结构见图 1.2。



图 1.2 道路网结构示意图

研究范围内道路网络规划情况为：沿江中、北大道，红线宽度 43 ~ 47 m，规划为城市主干路，一块板形式，双向 4 车道，车辆运行速度可达 50 km/h。抚河北路：红线宽度 36 m，规划为城市主干路，一块板形式，双向 6 车道，车辆运行速度可达 50 km/h。阳明路：红线宽度 50 m，规划为城市主干路，一块板形式，双向 8 车道，车辆运行速度可达 50 km/h。叠山路：红线宽度 30 m，规划为城市次干路，一块板形式，双向 4 车道，车辆运行速度可达 50 km/h。民德路：红线宽度 20 m，规划为城市次干路，一块板形式，双向 2 车道，车辆运行速度可达 30 km/h。中山路：红线宽度 22 m，由东向西单行，规划为城市次干路，一块板形式，2 车道，车辆运行速度可达 30 km/h。象山南路：红线宽度 30 m，规划为城市次干路，一块板形式，双向 4 车道，车辆运行速度可达 40 km/h。

1.3.2 交通调查

1. 路段流量调查

南北向道路机动车交通量现状及饱和度如表 1.1 所示。

表 1.1 南北向道路机动车交通量现状及饱和度

道 路	沿江大道		榕门路		象山北路		象山南路		苏圃路		抚河路		八一大道	
方 向	北—南	南—北	北—南	南—北	北—南	南—北	北—南	南—北	北—南	南—北	北—南	南—北	北—南	南—北
交通量 (pcu/h)	1 132	1 388	0	973	1 076	951	651	589	589	543	2 040	2 112	3 029	2 561
现状设计 通行能力 (pcu/h)	1 900	1 900	0	1 380	1 420	1 420	700	700	700	700	2 400	2 400	2 920	2 920
饱和度	0.60	0.73	0	0.71	0.76	0.70	0.93	0.74	0.84	0.78	0.85	0.88	1.03	0.88

东西向道路机动车交通流量现状及饱和度如表 1.2 所示。

表 1.2 东西向道路机动车交通流量现状及饱和度

道 路	阳 明 路		叠 山 路		明 德 路		中 山 路		中 山 西 路	
方 向	西—东	东—西	西—东	东—西	西—东	东—西	西—东	东—西	西—东	东—西
交 通 量 (pcu/h)	2 804	2 975	1 027	973	842	804	0	875	1 012	1 046
现状设计 通行能力 (pcu/h)	2 880	2 880	1 380	1 380	750	750	0	1 260	1 520	1 520
饱 和 度	0.97	1.03	0.74	0.71	1.12	1.12	0	0.69	0.67	0.69

2. 主要交叉路口流量调查

沿江大道与叠山路交叉口早高峰交通流量如表 1.3 所示。

表 1.3 沿江大道与叠山路交叉口早高峰交通流量

方 向		东	南	北	合 计
进 口	直 行	0	876	815	3 473
	左 转	467	0	317	
	右 转	506	512	0	
	合 计	973	1 368	1 132	
出 口		829	1 282	1 362	3 473

中山路与抚河路交叉口早高峰交通流量如表 1.4 所示。

表 1.4 中山路与抚河路交叉口早高峰交通流量

方 向		东	南	西	北	合 计
进 口	直 行	245	1 168	0	1 077	4 357
	左 转	296	0	636	0	
	右 转	174	0	86	675	
	合 计	715	1 168	722	1 752	
出 口		0	1 459	920	1 978	4 357

阳明路与象山路交叉口早高峰交通流量如表 1.5 所示。

表 1.5 阳明路与象山路交叉口早高峰交通流量

方 向		东	南	西	北	合 计
进 口	直 行	2 174	21	1 862	31	6 364
	左 转	235	921	0	0	
	右 转	45	534	354	187	
	合 计	2 454	1 476	2 216	218	
出 口		2 396	620	3 282	66	6 364