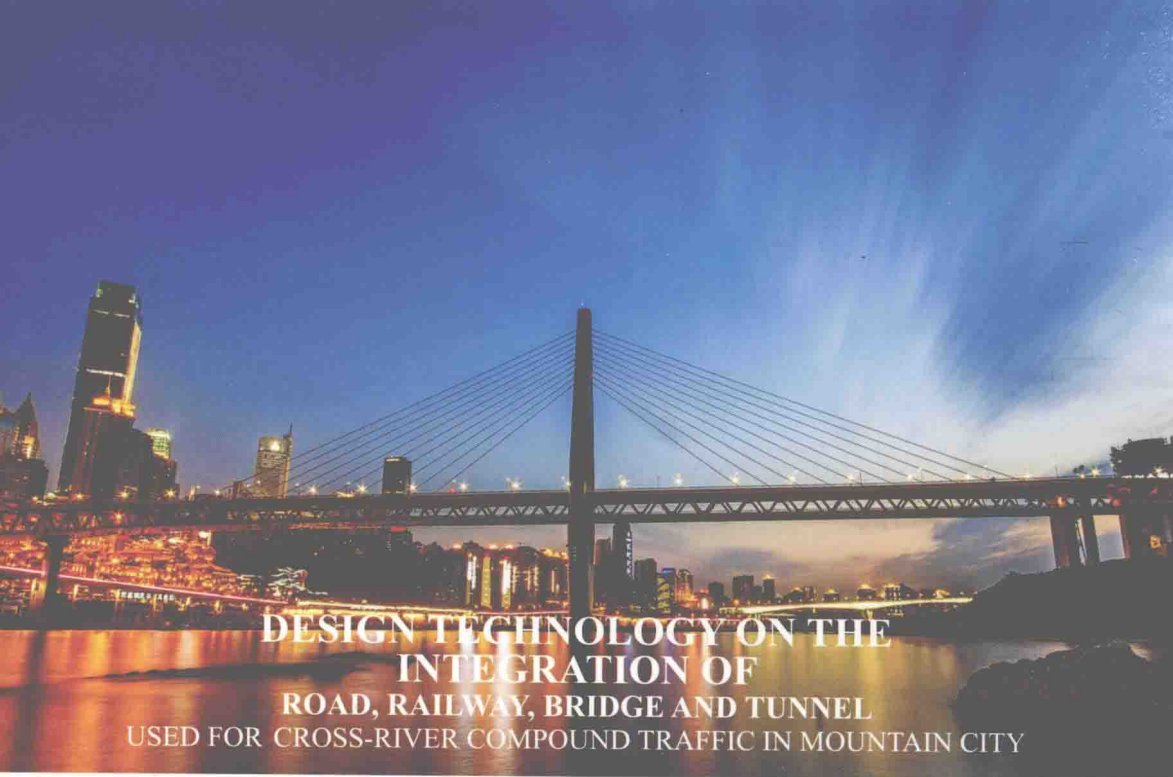




DESIGN TECHNOLOGY ON THE
INTEGRATION OF
ROAD, RAILWAY, BRIDGE AND TUNNEL
USED FOR CROSS-RIVER COMPOUND TRAFFIC IN MOUNTAIN CITY

山地城市越江复合交通 公轨桥隧一体化 设计技术

王福敏 刘 亢◎编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

Design Technology on the Integration of Road, Railway, Bridge and
Tunnel used for Cross-river Compound Traffic in Mountain City

山地城市越江复合交通 公轨桥隧一体化设计技术

王福敏 刘 亢 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书对重庆两江大桥工程的各种综合影响因素进行分析、研究,总结了工程总体设计特点和创新点,及其对山地城市的适应性设计措施;也通过研究公轨复合交通下的一体化路线方案、一体化桥梁方案、一体化隧道方案及相应的结构设计,提炼出山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计技术。本书为我国现代桥梁尤其是类似工程设计与建设提供参考,也为今后城市桥梁设计创新、提升桥梁概念设计水平提供一套思路。

本书可为桥梁设计和管理人员提供有益的参考,亦可作为桥梁设计美学研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计技术 / 王福敏,刘亢编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.2

ISBN 978-7-114-12808-0

I. ①山… II. ①王… ②刘… III. ①山区城市—城市铁路—铁路桥—桥梁设计—研究②山区城市—城市铁路—铁路隧道—设计—研究 IV. ①U448.132②U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 029319 号

书 名: 山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计技术

著 作 者: 王福敏 刘 亢

责任编辑: 周 宇 韩 帅

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 12.25

字 数: 156 千

版 次: 2016年3月 第1版

印 次: 2016年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12808-0

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

前言

重庆是一座典型的山地城市。新中国成立前,重庆有桥梁 16 座;至 1997 年成为直辖市时,重庆有桥梁 4 000 余座;而到了 2008 年,重庆桥梁总数已突破 10 000 座,成为万桥之城。在 2020 年,重庆主城区跨江大桥将达到 42 座之多,按主城区内长江、嘉陵江河道长度计算,跨江大桥密度为 0.37 座/km,即平均约 2.7km 就有一座跨江大桥。重庆的桥梁数量与规模已超过北京、天津、上海,后来居上,排名 4 个直辖市中的第 1 位。

重庆桥梁不仅在数量上领先,且其桥梁形式丰富多样,不仅涵盖全部基本桥型,而且兼具栈道桥、廊桥等传统特色桥,更有国内少有、重庆独创的一批现代新型特种桥梁。从技术难度上讲,重庆拥有世界最大跨径拱桥和世界最大跨径预应力混凝土连续梁桥,并在拱桥、斜拉桥、刚构桥三大桥型中处于国内领先地位。重庆的桥梁历史长、数量多、种类齐、跨径大、技术新,多次在全国重要桥梁会议上被公认为是中国的桥都。“轻架万渊之上,高悬千壑之间,尽化河谷之险,解巴渝行路之难”,这既是重庆桥梁之功,也是当前山地城市桥梁的真实写照。

在山地建桥不易,同时,由于山地城市在地形地貌、水文气象、建筑特点、综合管网、历史人文、整体风貌、总体规划等诸多方面的影响与要求,在山地城市建桥更加不易。山地城市现有的很多大跨径桥梁之所以成为国内甚至世界范围内技术领先的桥梁,并不是建设者着意突破技术排名,而基本上都是通过有效克服上述种种困难而形成的。

另外,随着我国城镇化进程加快,城市交通拥堵问题日渐突出,为有效解决城市人口持续增加带来的公共交通压力,根据我国城市发展规律,借鉴了

国外发达城市交通建设的成功经验,不少城市开始规划建设以轨道交通为主骨架的城市综合交通系统。我国已有北京、上海、广州、天津、重庆、大连等12座城市先后建成并开通了48条城市轨道交通线,运营里程为1395km。目前,我国内地共有36座城市向国家主管部门上报了城市轨道交通建设发展规划,其中有28座城市得到了国家批准。在这28座获批城市中,计划2015年前后建设96条轨道交通线路,建设线路总长为2500多km,总投资超过1万亿元。

已经投入和计划进行轨道交通建设的均为经济相对繁荣、城市人口和规模相对庞大的大城市。其城市综合交通需求量特别大,建设用地特别紧张,轨道交通和常规道路交通不可避免地会形成争夺城市资源的情况。对于有江河穿越的大城市而言,城市道路交通和轨道交通的过江需求都很突出。

重庆东水门长江大桥、千厮门嘉陵江大桥及渝中连接隧道位于重庆中央商务区核心地带,连接两江、三地、四岸。因一体化建设的要求,3个工程部分共同组成重庆两江大桥工程。重庆两江大桥工程是城市道路交通和轨道6号线的过江载体,是在山地城市环境和公轨复合交通下的桥隧一体化工程,是桥都重庆的桥梁代表作。无论是设计最终采用的方案,还是在设计过程中的拟选方案,都具有重要的技术价值。

在两江大桥工程上,公轨两种交通已经不是简单的组合,其相互叠加和影响,制约了总体方案在桥位、接线方式、路线通过方式、桥隧断面、桥型方案、结构受力、安全与美观等多个方面的选择。因此,两江大桥不仅是公轨共建或合建工程,还更强调公轨交通的复合性特点,故称为公轨复合交通。这种特点和桥位所在的山地城市环境,使路、轨、桥、隧多种通过方式集中于仅约2.8km的范围内,工程各个部分也相互影响与作用。在总体方案中需要关注其内在联系,把它们有机地组合在一起,进而展开一体化的设计、施工与管理。这种设计理念有别于其他独立桥梁,称为越江复合交通公轨桥隧一体化方案。

本书对两江大桥工程的各种综合影响因素进行了分析、研究,总结了工

程总体设计的特点和创新点及其对山地城市的适应性设计措施;也通过研究公轨复合交通下的一体化路线方案、一体化桥梁方案、一体化隧道方案及相应的结构设计,提炼了山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计技术,为我国现代桥梁尤其是类似工程设计与建设提供了参考,也为今后城市桥梁设计创新、提升桥梁概念设计水平提供了一套思路。

参与本书编写的人员还有:李琦(第5章),王丰华(第4章),尚军年(第2章),颜俊(第7章)。在此,向以上参与者以及招商局重庆交通科研设计院有限公司的刘孝辉、汪宏、杜欣表示感谢!



2015年12月,重庆

目 录

1	概述	1
1.1	国内外研究现状	1
1.2	山地城市公轨复合交通一体化研究关键技术	3
1.3	山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计思想	6
2	山地城市桥梁特点	9
2.1	山地城市的概念与特征	9
2.2	山地城市道路交通与路网特点及其布局原则	13
2.3	山地城市桥梁的特征	15
2.4	重庆桥梁设计创新的特殊性	29
3	越江复合交通公轨桥隧“一体化”总体方案	31
3.1	重庆市概况	31
3.2	工程直接影响区域概况	33
3.3	重庆市轨道交通	38
3.4	重庆中央商务区的主要交通	41
3.5	公轨交通建设模式	45
3.6	公轨复合交通下桥隧一体化路线方案	48
3.7	公轨复合交通下桥隧一体化桥梁方案	52
3.8	公轨复合交通下桥隧一体化隧道方案	71
4	综合环境影响下桥梁形式	76
4.1	两江大桥所处的城市环境特征	76
4.2	两江大桥的工程建设环境	85

4.3	既有桥梁形式对两江大桥选型的影响	93
4.4	工程技术风险对两江大桥方案选定的影响	95
4.5	色彩及夜景技术在两江大桥设计中的创新应用	96
5	公轨复合交通下主梁结构	103
5.1	主梁形式的选择	103
5.2	主梁构造	106
5.3	板桁组合结构	111
5.4	索梁锚固	118
5.5	结构分析	120
5.6	施工工艺	133
6	大水位落差下桥塔形式	140
6.1	三峡库区大水位落差	140
6.2	重庆两江大桥水位基本情况	141
6.3	重庆两江大桥通航要求	142
6.4	重庆斜拉桥桥塔的基本类型	143
6.5	大水位落差下的新型桥塔	152
6.6	空间曲面索塔施工	158
7	密集建筑条件下的隧道及其洞门	159
7.1	概述	159
7.2	渝中连接隧道工程概况	161
7.3	密集建(构)筑物对工程的影响	162
7.4	洞身结构设计	174
7.5	洞口设计	178
8	重庆两江大桥创新设计的思考	181
8.1	越江复合交通公轨桥隧一体化设计技术的应用前景	181
8.2	山地城市桥梁创新设计的思考	181
	参考文献	184

1.1 国内外研究现状

1.1.1 山地城市

联合国教科文组织科学部门于 1971 年发起的人与生物圈计划(简称 MAB),是一项政府间跨学科的大型综合性研究计划,其把热带、干旱、山地、城市列为 4 大研究重点,山地和城市是其中两个重要的因素。

1992 年在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会通过了《21 世纪议程》,这是“世界范围内可持续发展行动计划”,也是在全球范围内人类活动对环境产生影响的各个方面的综合行动蓝图,其非常重视山区自然人文资源的保护和可持续发展。1994 年,国务院第十六次常务会议审议通过了《中国 21 世纪议程》,这也是一个非常重要的研究计划。这以后国内很多科研单位、高等院校的学者和专家进行了山地城市规划建设理论的研究,并成立了中国山地城市研究中心等一批研究机构,重点研究中国山区的经济、环境保护、灾害防治等。

1992 年,中国山地城市与区域环境研究中心建立,一大批研究、设计人员投入到山地城市研究中来。在西部大开发和加速城市化的进程中,高度珍惜并合理利用有限的山地资源,尽可能避免城市化进程中可能产生的风险和负面影响,建设人与自然共生共荣的山地区域经济社会生活的中心——山地城市(镇),已经成为我国政府和学术界关注的热点问题。

2006 年,重庆大学黄光宇教授研究完成了《山地城市学原理》(中国建筑工业出版社)。该书从山地城市建设的利弊分析、山地城市生态化建设的必

要性、山地城市学的定义、研究对象和内容、研究方法与动向、山地城市生态系统的特点与服务功能到具体的勘察技术与方法,山地城市的选址、结构、生态系统、交通、建筑、灾害、美学以及山地城市的管治等诸多方面进行了系统的阐述,是一部从人居环境优化出发对山地城市规划设计十分系统和深入的专著,为后来山地城市生态化规划建设的研究与实践奠定了一个坚实的基础。

随着大量的学者、专家研究的深入以及各行各业在山地城市建设中的发展,围绕山地城市的研究,逐步从概念、规划深入到交通、建筑、人文、美学、环境、资源、经济等各个方面,为我国山地城市建设提供了理论基础、实践经验、总体谋划、局部分析等大量的科学依据。

目前,国内外对山地城市的建设有了一定研究,但对山地城市桥梁的建设还没有具体的研究内容。

1.1.2 公轨合建桥梁

因其可以共用桥位资源、节省投资、避免重复建设,并能充分发挥综合交通的作用,公轨复合交通跨江大桥在包括重庆在内的很多类似地形大城市的交通建设中有着重要价值和发展前景。但由于公、轨两种交通及其荷载特点存在很大差异,给公轨复合桥梁尤其是公轨共建的大跨径城市跨江桥梁带来很多复杂的技术难题,再加上复杂的环境因素与公轨复合桥梁复杂的技术要求相互作用、相互影响,增加了公轨复合交通跨江大桥工程的综合难度。在这种情况下,需要站在合理、充分地利用城市空间的高度,发挥创新型思维,进行深入的技术研究,综合、系统地把各种矛盾化为统一的整体,从而高度协调地全面实现建设计划。

我国乃至国际上尚没有形成公路与轨道交通合建桥梁的完善设计标准,基础理论研究也不足,但相关技术却有很大的潜在需求。在我国已有的类似项目中,基本上都是通过参考国内外轨道交通相关的资料,采用研究和设计相结合的做法。由于不同类型的轨道交通车辆及其荷载特性具有较大差别,

工程所在环境和具体的功能要求也大不相同,这些研究成果的针对性很强,因此,一般以设计标准和结构的适应性研究为主。通过这些设计经验和研究成果的积累,为同类项目提供参考和指导。例如上海长江隧道关键技术与创新课题关于对公轨合建桥梁技术的研究,总结了该工程条件下合建桥梁的特点与问题,分析、提出了技术标准,兼顾了轨道交通运营的安全与舒适性,为世界最大公轨合建隧桥工程——上海长江隧道的建设提供了技术支撑。同样,在重庆市的两座公轨合建城市跨江桥梁——菜园坝大桥和朝天门大桥项目上,也展开了有针对性的合建关键技术研究。

尽管国内外在同类桥梁上对桥梁选型也进行了一定的研究,但相对而言,专门针对公轨复合交通桥隧一体化总体方案、特别复杂的城市综合环境影响下的工程一体化设计思想的研究成果还非常欠缺,还不能从设计理念上为同类工程提供清晰的创新思路。

1.2 山地城市公轨复合交通一体化研究关键技术

针对山地城市的特点,通过对各种综合影响因素进行分析、研究,依托重庆两江大桥工程,总结山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计技术,为我国现代桥梁尤其是类似工程设计与建设提供参考,也为今后城市桥梁设计创新、提升桥梁概念设计水平提供一套思路。总体思路如图 1.1 所示。

1.2.1 山地城市的桥梁

桥梁工程是山地城市建筑实施中一项重大的工程,其建设受到山地城市地形、地貌的影响,在选址定点、结构设计、与现有路网的衔接、景观设计、施工技术、管理方式等方面,与平原地区的城市桥梁建设有很大的不同。

两江大桥处在重庆城市核心地带,重庆是典型的山地城市。重庆主城的山地城市特征,使其自然条件和地理环境与国内数量较多的平原城市有异,无论是桥梁的桥位选择、桥型选择,还是施工手段以及桥梁的管理维修,都有其显著的特点,它们对城市建设和交通组织有着重要的影响。

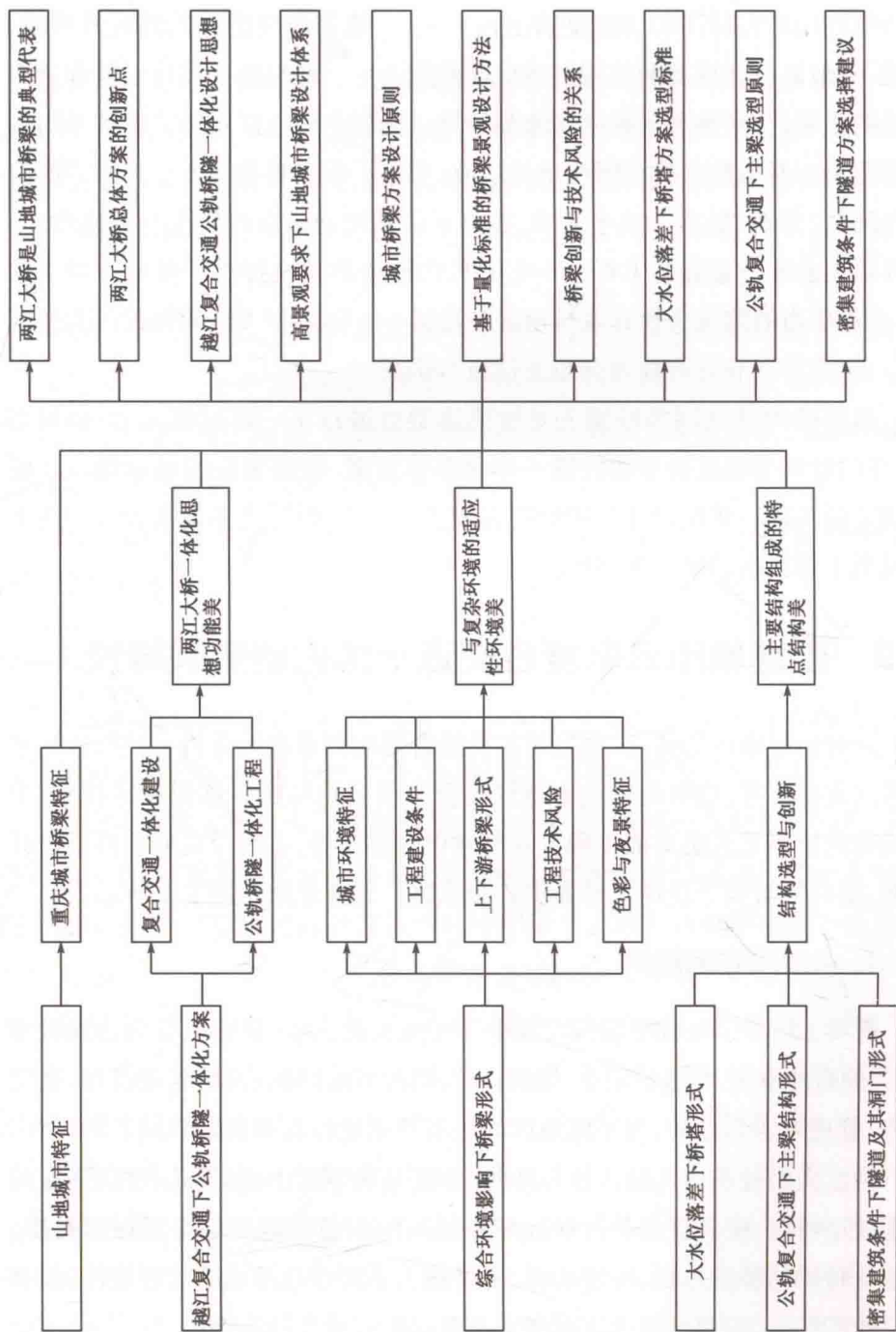


图1.1 总体思路

1.2.2 公轨桥隧一体化

针对工程的功能需求,探讨共用桥位资源、公轨共桥的一体化思想;针对工程建设环境需求,探讨整体设计的一体化思想;针对两种交通特点和交通组织需求,探讨桥隧结合的一体化思想。

1.2.3 综合环境影响下的桥梁

两江大桥工程复杂的综合影响因素包括朝天门港区繁忙的水运和水上作业、两江高等级航道的通航要求、渝中半岛核心地区复杂的路网关系、解放碑密集的高层建筑和地下管网、湖广会馆和洪崖洞等历史人文建筑、代表着重庆特色的两江三地整体城市风貌、上下游已建大桥桥型等。同时,复杂的环境因素还与公轨复合桥梁复杂的技术要求相互作用、相互影响。分析总结两江大桥工程总体方案对综合环境的适应性,最终形成一个和谐、统一、整体的设计过程。

1.2.4 大水位落差下的桥塔

桥塔是集中体现两江大桥美感的结构之一,设计采用的天梭形桥塔,是目前国内外独有的桥塔造型,新颖、简约、秀美而又充满现代气息,除了本身造型优美之外,设计还动态地考虑到两江水位在枯水期、常水位和洪水期较大的水位变化对整个桥塔外形美感以及船只碰撞风险的影响。通过对桥塔方案选型的研究,揭示了两江大桥精美的构造设计思想。

1.2.5 公轨复合交通下的主梁结构

对两江大桥主梁形式进行比选,提出公轨复合交通条件下主梁形式。大桥采用公轨合建的形式,为适应渝中半岛桥位处复杂的地形和有限的位置,设计采用了双层桥梁形式。由于轨道交通净高的要求,两江大桥钢桁梁高度为主梁提供了较大的竖向刚度,从而形成了充分利用主梁刚度的单索面稀索形式的部分斜拉桥,很好地解决了密索体系的屏障效应。

1.2.6 密集建筑条件下的隧道及其洞门

分析渝中半岛密集的高层建筑和地下空间对隧道及其洞门方案选型的影响,协调地上、地下一切有限的资源,最大限度地挖掘该地区的潜力。

1.3 山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计思想

山地城市的本质特点是环境的复杂性和多样性。重庆两江大桥工程不仅处在山地城市环境中,更位于最能突显重庆城市风貌的区域,其所面对的环境复杂性,在众多桥梁中,难有逾越者。为此,两江大桥可作为山地城市桥梁的典型代表,其设计、建造理念,具有很高的技术价值,也能对类似工程起到示范作用。

1.3.1 服务于城市一体化发展

两江大桥工程是实现重庆中央商务区一体化发展的重要基础设施,通过两江大桥工程,借助解放碑地区的经济影响力,带动江北嘴和弹子石地区快速发展,真正实现中央商务区一体化的发展目标。

1.3.2 建立交通一体化走廊

作为轨道交通6号线的重要节点,两江大桥定位于“以轨道交通和公共交通为主的桥梁,道路等级为城市次干道”,充分体现了“发挥轨道交通在城市客运交通体系中的骨干作用,优化城市综合交通体系功能结构”的思想。

两江大桥打通的这条城市重要交通一体化走廊,具有综合性、一体化、统筹、互补等特点,有利于集中政府的投资和行政资源,提高整个走廊的交通系统表现,同时,增强公共交通和非机动车的吸引力,以促使出行者的出行选择向可持续性高的交通方式转移。

1.3.3 轨道交通与常规交通一体化建设

两江大桥因轨道6号线过江通道而设,其承担的主要功能是轨道交通功能,采取公轨合建方式,结合了区域常规交通的需求。城市轨道交通与常规交通的一体化建设,符合城市土地利用一体化和使用衔接一体化原则,同时也体现了资源节约的原则。两江大桥与城市改造和城区建设相结合,统一考虑综合配套工程,方便乘客换乘,体现“以人为本”的宗旨,提高了城市公共交通体系的运营服务水平。

1.3.4 形成桥隧一体的立体化交通

根据重庆山地城市基本特点,两江大桥工程以跨江大桥的方式跨越长江和嘉陵江,根据渝中半岛的地形进行纵断面设计,以隧道方式穿越建筑最密集、经济最繁荣、新建道路交通条件最不利的渝中半岛,整个工程实现了空中、地面、地下等多个层次的一体化立体空间利用,也为城市进一步发展和立体空间利用创造了条件,符合可持续发展需求。

1.3.5 道路交通一体化设计

针对渝中半岛路网负荷问题,根据两江桥建成后渝中半岛预测的交通需求及分配情况,结合小什字片区旧城改造,充分挖掘现有道路交通设施的潜力,对打铜街、民族路、沧白路沿线各交叉口进行道路交通一体化设计,增大交叉口通行能力,提高渝中半岛整个路网系统的运行效率。

1.3.6 一体化桥梁方案有利于建造管理

两江大桥把东水门大桥和千厮门大桥作为一个系统的、整体的研究对象,桥型方案保持一致,塔、梁、索结构保持一致,工程的整体效果明显。同时,对于一体化方案而言,设计工作中的技术路线、计算理论、构造处理等趋于一致,建设实施的关键技术、主要机具设备、主要材料以及管理方法等也保持一致,为设计和建设管理带来了便利。

1.3.7 概念设计的创意

方案比选过程提出的悬索桥方案体系组合为世界独有,创新性和巧妙性超越众多经典桥梁。充分利用轨道交通6号线渝中半岛的下穿隧道,将两座桥通过沿隧道布置的主缆对拉索连接在一起,形成东水门长江大桥—渝中隧道—千厮门嘉陵江大桥三者有机组合、三位一体的超级悬索桥的绝妙构思。

1.3.8 结构设计的创新

工程采用的单索面稀索部分斜拉结构体系,结构新颖、受力合理、形态优美、技术先进。充分利用轨道交通所需的主梁高度,让主梁承担与传统斜拉桥相比更大比例的荷载,以此减少拉索数量,形成了单索面稀索部分斜拉桥方案,不但解决了密索体系对于山地城市的屏障效应,主梁刚度的充分利用也让结构拥有很好的经济性能指标。合理的结构体系达到了功能、经济和景观的和谐统一。其主跨跨径在同类型桥梁中创世界第一。

1.3.9 适应大水位落差

大水位落差条件下独创天梭形桥塔。两江大桥充分利用曲线及线形组合的丰富变化,形成了与建设环境、总体方案、大水位落差等相适应的天梭桥塔造型,其外观新颖、简约、秀美,内在技术水平高。

1.3.10 美学和人文特性

1) 美学特点

山地城市越江复合交通公轨桥隧一体化设计的总体方案,体现了功能美;与复杂环境相适应,体现了环境美;总体方案体系组合的创新以及重要结构选型的创新,体现了结构美。

2) 人文特性

因解放碑商圈的繁荣特点、历史建筑的人文特点以及江北嘴新兴建筑的高科技特点,两江大桥集时尚、文化和创新于一身,与周边环境相融合,同时展示着自身独特的魅力。

2.1 山地城市的概念与特征

2.1.1 山地城市的概念

山地城市或叫山城,至今还没有严格的定义。在国外有被称作斜面都市 (Side cities),如日本;或坡地城市 (Hillside cities),如欧美,即指城市修建在倾斜的山坡地面上。城市建在坡地上和平地上,对城市规划、城市设计以及建设使用的安全性、实用性、经济性等,都会产生不同的变化与影响。

在工程学中,山地城市的定义,是建立在地理学地貌概念基础上的,是以城市用地的地貌为特征,以地形对城市环境、城市工程技术经济性以及对城市布局的影响来确定的。当城市发展地形内有断面平均坡度不小于5%、垂直切割深度大于25m的地貌特征的城市,即为山地城市。

在城市形态学中,有学者以城市形态特征为起点,认为山地城市是与平原城市相对应的,由于其体现出来的主体景观和形态特征而有别于平原城市。另外,前苏联学者B. P. 克罗基乌斯在《城市与地形》一书中,从城市与地形的关系入手,认为在多山或丘陵地形区域内的城市,由于其复杂的地形影响了城市的建设,因此,将城市规划范围内50%面积以上处于平均坡度25%~50%的复杂地貌城市定义为建在复杂地形条件上的城市(即山地城市)。

山地城市不仅要考虑“坡度”的基本特征与影响,还要考虑作为山地城市的其他特征,如垂直梯度的变化、城市周围的地貌、环境的不同等。因此,山地城市的定义要考虑以下两个方面的自然特征:

(1)无论其所处的海拔高度如何,城市因修建在坡度大于50°的起伏不