

坦桑尼亚乌本戈立交工程总体方案设计

宋 妙

(上海市政工程设计有限公司, 上海市 200438)

摘 要: 乌本戈立交桥是坦桑尼亚的第一个多层多跨立交桥项目,是由中国企业参与建设的重要“一带一路”基础设施建设项目。该海外项目在所采用的规范标准体系、建设施工条件等方面与国内项目均有较大差异。从项目的概况、建设特点、主要技术标准、总体方案及设计经验等方面进行总结,便于后续类似工程项目参考与应用。

关键词: 坦桑尼亚;乌本戈立交;总体方案;BRT;规范

中图分类号: U412.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)10-0051-03

1 项目概况

项目位于东非坦桑尼亚达累斯萨拉姆市。达累斯萨拉姆市是坦桑尼亚第一大城市和港口,全国的经济、文化中心,东非重要港口,“海上丝绸之路”沿线城市。乌本戈交叉口位于达累斯萨拉姆市骨干道路 Morogoro 路与 Nelson Mandela- Sam Nujoma 路的交点,其中 Morogoro 路为达累斯萨拉姆市已建成的 BRT 一期走廊, Nelson Mandela 路与位于城市东南侧的港口相连。从地理区位而言,乌本戈交叉口是骨干路网中重要的交通转换节点,是达累斯萨拉姆市向西进出城的咽喉要道。原该交叉口交通拥堵非常严重,亟需进行立体化改造。乌本戈立交工程是坦桑尼亚政府主导的多跨多层大型立交桥项目,由世界银行主要投资建设,社会经济影响极大,深受各方广泛关注。

项目主要由一座三层立交桥和配套分流道路构成。由于本项目为海外项目,在采用的规范标准体系、建设施工条件等各个方面与国内项目均有较大差异。本文从项目的建设特点、主要技术标准、总体方案及设计经验等方面进行总结,以期便于后续类似工程项目参考与应用。

2 项目建设特点

2.1 多种规范标准体系

由于坦桑尼亚当地用于指导工程设计的规范标准体系不完善,需与业主方、监理方等根据具体设计内容逐一商议适用的设计规范。坦桑尼亚为英联邦

成员国之一,工程项目设计主要采用英国标准体系,例如桥梁结构设计主要参照英标规范体系中的 BS 5400 规范^[1]。对道路工程设计而言,已有部分设计施工相关的规范、标准为坦桑尼亚当地国标,例如道路路线几何设计、路基路面设计等,但其编制依据仍是英国标准体系。而在这些标准中未明确要求的部分,则参照国际通用的标准规范进行设计,例如路面结构设计采用美国 AASHTO 的路面结构计算方法;交通工程设计则以 SADC (南部非洲发展共同体, Southern African Development Community)的标准体系为基准。

2.2 与 BRT 系统的联系

沿 Morogoro 路已建成 BRT 一期,交叉口两侧均设有 BRT 车站;沿 Sam Nujoma 路和 Nelson Mandela 路分别规划有 BRT 四期和五期。因此,本工程在设计中需充分考虑与既有 BRT 一期线路运营的融合,尽量避免大规模既有 BRT 设施的拆改,充分考虑施工期间 BRT 运营交通组织要求。此外,本工程还应考虑好针对 BRT 四、五期的设计预留。

2.3 当地规划建设条件限制

一方面,坦桑尼亚当地城市建设缺乏完善的发展规划体系,且既有规划的更新相对于其发展速度而言较为落后,又由于受制于社会、经济发展情况等因素的影响,项目在建设费用、征地拆迁方面存在较大困难,工程设计方案应尽可能具有规划前瞻性,并尽可能减少对已建基础设施(例如节点东侧人行天桥)、厂房、民宅的影响。

另一方面,由于非洲当地的资源条件、运输条件、施工机械等各方面的限制,本工程在设计过程应加强与业主及施工单位等各方的沟通,结合当地实际情况

收稿日期: 2022-12-27

作者简介: 宋妙(1992—),女,硕士,工程师,从事道路设计工作。

选用切实可行的设计方案。

2.4 国际化协作

本工程业主方为坦桑尼亚国家公路局(Tanzania National Roads Agency),设计审图方为南非奥雅纳工程咨询公司(Arup),建设方为中国企业,业主方还先后聘请了韩国、埃及等多国的咨询公司作为监理方参与设计施工全过程。

因此,本工程在设计过程中需基于国际化多元背景征询多方意见以达到最有利的协同,推进项目顺利实施。

3 主要技术标准

本工程采用的主要道路交通设计规范包括《Road Geometric Design Manual》(Ministry Of Works, Tanzania, 2011 Edition)^[2]、《Pavement and Materials Design Manual》(Ministry Of Works, Tanzania, 1999 Edition)^[3]、《A Guide to Traffic Signing》(Ministry of Infrastructure Development, Safety and Environment Unit, Tanzania, 2009 Edition)^[4]等。这些规范分别从道路几何线型、断面设计、路基路面设计、交通标志标线信号灯等方面进行了设计要点的阐述。

依据本项目设计要求,选用以下主要技术标准:

(1)设计车速

主线 50 km/h,辅道 40 km/h。

(2)车道宽度

机动车车道宽度:社会车道 3.25~3.5 m,BRT 车道 3.5 m。

路缘带宽度:桥上侧向安全间距 0.6 m(护栏高于 0.2 m);地面段无需路缘带(路缘石高度低于 0.2 m 则不需要设置路缘带)。

人行道宽度:3 m。

(3)设计年限

道路交通量达到饱和状态的设计年限:20 a;

路面结构设计使用年限:12 a(沥青路面)。

(4)荷载标准

Equivalent standard axles E80。

(5)道路净空高度

机动车≥5.2 m;自行车、行人≥2.5 m。

(6)气候分区

温和,moderate zone。

主要线形标准见表 1。

对比国内及坦桑尼亚国家设计规范可以发现,

表 1 主要线形标准

序号	指标名称	高架主线	地面辅道
1	设计速度/(km·h ⁻¹)	50	40
2	圆曲线半径/m	不设超高	1 000
		取消反坡	500
		一般值	100
		极限值	82
3	超高段长度计算	$L_r=(wn_1)e_d/\Delta s*(b_w)$	
4	不设缓和曲线的圆曲线最小半径/m $R<V^3/432$	290	148
5	缓和曲线最小长度/m	$L=A^2/R, L=\text{MAX}\{\text{驾驶舒适长度 } L=V^3/28R; \text{超高渐变段 } L=((e-c_0)/\Delta s)*(C/2); \text{美学要求 } L=R/9\}$	
6	缓和曲线最大长度/m	$L_{\text{max}}=\sqrt{24R}$	
7	圆曲线最小长度/m	一般值	150
	偏角小于 5 度		200
8	圆曲线最大长度/m	一般值	800
	极限值		1 000
9	直线段最大长度/m	2 000	
10	最大纵坡	平坦地形	—
	一般值/%	微丘地形	7
		山区地形	9
11	竖曲线长度/m	$L=KA(A \text{ 可查表})$	
12	横坡度	2.50%	
13	停车视距/m	63	45

注:表格中指标释义详见《Road Geometric Design Manual》(Ministry Of Works, Tanzania, 2011 Edition)^[2]。

两国的道路设计标准在道路等级划分、净空、侧向净宽、横坡、平纵曲线要素、超高渐变等方面均存在差异。

4 总体方案

本立交改造项目原本已由一家埃及设计单位提供初步方案,但由于方案实施存在较大问题,业主委托重新进行方案设计。

(1)原设计方案

原设计方案如图 1 所示,采用三层立交形式,第一层为地面层,满足东西向 Morogoro 路社会车辆和 BRT 一期直行、人非通行;第二层为转向层,各转向交通在第二层高架平台 8 路交叉;第三层为南北向 Sam Nujoma~ Nelson Mandela 路直行跨线桥。

此方案第二层为平面交叉,交通组织较乱,转向车辆在匝道坡道上停车等候通行信号,且部分匝道纵坡度达到 8%,安全性差;另外,本方案中交叉口处桥梁立墩复杂,需整体下挖现状交叉口,施工上难度极大且施工期间交通难以组织。



图 1 原设计方案总体布置图

(2) 优化后总体方案

结合达累斯萨拉姆市当地施工、管理等各方面实情,充分考虑场地周边必须满足的设计边界条件,经过反复讨论优化后,本工程确定最终的设计方案(如图 2 所示)为将交叉口改造为三层立交:第一层为地面转向交通平交层,各转向车辆在地面层通过信号控制的形式平面交叉,地面辅道采用单向 2 车道设计规模;第二层为东西向 Morogoro 路社会车辆和 BRT 一期直行跨线桥,其中社会车辆占用外侧双向 4 车道,BRT 占用中间 2 车道;第三层为南北向 Sam Nujoma~ Nelson Mandela 路直行跨线桥,近期 BRT 四、五期未开通之前,双向 6 车道均供社会车辆使用,远期与第二层车道布置一致,即社会车辆占用外侧双向 4 车道,BRT 占用中间 2 车道。为了尽可能降低对既有 Morogoro 路 BRT 设施及天桥的影响,本方案通过二层跨线桥东侧分幅设计,可维持东侧 BRT 站台及天桥原位不改建,西侧 BRT 站台受跨线桥纵坡落坡限制,需向西平移约 100 m。



图 2 优化后方案总体布置图

本方案相比原设计方案极大地简化了交叉口的行车流线,也尽可能降低了对地面平交口及既有设施的影响。

5 改善效果评估

首先,本工程结合交通调查和分析对现状交叉口进行 VISSIM 仿真建模,如图 3 所示,用以评价现状服务水平。然后,本工程结合改建方案对优化后的

交叉口近远期改善效果进行仿真和评价,如图 4 所示,作为改善效果评估的直接反映。

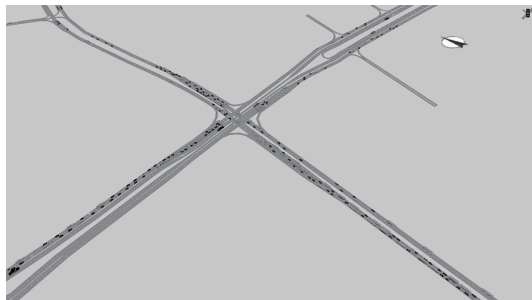


图 3 现状 VISSIM 仿真模型

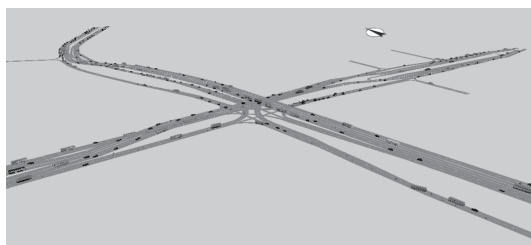


图 4 改建后 VISSIM 仿真模型

根据现状交通调查及分析结果,早高峰时段乌本戈交叉口车均延误达到 270 s,晚高峰则达到 396 s,服务水平为 F 级,交叉口严重超饱和。现状交叉口已经需要交警对交叉口交通组织进行人工引导。

项目建成初期,改造后早高峰时段乌本戈交叉口车均延误为 11 s,晚高峰为 9 s,服务水平分别为 B 级和 A 级,说明交叉口运行通畅,服务水平明显提升;对于高架层,最大直行饱和度为 0.25,整体直行车流饱和度和均较低,运行通畅。

项目建成 20 年后为远期分析特征年,依据业主方及审图方要求,本工程远期需满足 C 级服务水平。根据远期交通需求预测,在本项目工程方案的基础上,加以适当的交叉口信号控制策略和车道渠化方案,远期早高峰地面交叉口车均延误仅为 10 s,服务水平仍可达到 A 级,而晚高峰则相对较为饱和,车均延误为 32.5 s,但仍满足 C 级服务水平;高架层远期直行车流最大饱和度为 0.58,运行较为通畅。

总体而言,经过本工程方案改造后,乌本戈交叉口运行状况得到明显改善,并能较好地适应远期交通发展需求。

6 结 语

相比西方发达国家甚至国内的大多数城市而言,坦桑尼亚作为非洲发展较落后的国家之一,在工程建设方面尚有很多需要完善之处。本工程是坦桑尼亚真正意义上的第一座多层多跨立交桥,具有极大的创新性意义,也能够较好地消除一个拥堵点。但

(下转第 74 页)

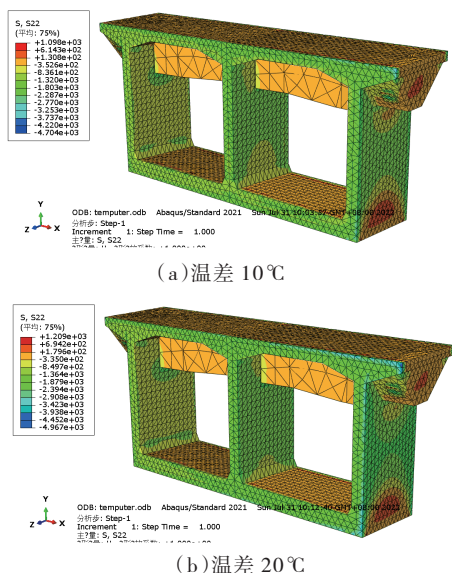


图 10 竖向计算分析结果(单位:kPa)

表 5 梯度温度变化对索梁受力的影响(1#测点)

方向	温度变化	应力 / MPa	相对于 0℃ 温度的变化值 /MPa	相对于 0℃ 温度的比值 /%
X 方向	温差 20℃	1.36	1.05	338.7
	温差 10℃	1.03	0.72	232.3
	温差 0℃	0.31	0	0
Y 方向	温差 20℃	-4.75	1.28	36.9
	温差 10℃	-4.46	0.99	28.5
	温差 0℃	-3.47	0	0
Z 方向	温差 20℃	-8.62	2.35	37.5
	温差 10℃	-8.08	1.81	28.9
	温差 0℃	-6.27	0	0

5 结 论

(1)在整个施工过程中,主梁索梁锚固区不同测点的应力在拉索张拉和下一根拉索安装前的应力变化较大,之后趋于稳定,且最大压应力远小于容许压应力。翼缘板上部位置出现了拉应力,建议设计中应考虑在翼缘板上部增加横向拉筋,确保结构的安全。

(2)实测数据与理论计算的对比分析结果验证了该计算分析模型的正确性和合理性,为精确计算索梁锚固区混凝土的受力提供了技术支撑。

(3)收缩徐变对混凝土横向应力的影响较小,竖向应力随着时间的变化会有所增大,但变化幅度不大。

(4)整体升温和整体降温对翼缘板混凝土受力的影响基本呈线性变化。整体降温时,混凝土的压应力增大,由翼缘板向腹板方向的影响逐渐减小。整体升温时,混凝土的压应力会减小,温度的变化对混凝土纵向应力和竖向应力的影响较小。但是温度的变化对横向混凝土的应力影响较大,整体降温 20℃时,横向出现拉应力,从翼缘板向腹板方向拉应力逐渐减小,对混凝土应力的影响达到 233%。因此,桥梁设计时应考虑温度变化对混凝土应力的影响。

(5)梯度温度对 Y 方向和 Z 方向的混凝土应力影响较小,但是对 X 方向的混凝土应力影响较大。当温差达到 10℃时,相对于温差为 0℃时 X 方向的混凝土应力变化达到了 232.3%;当温差达到 20℃时,相对于温差为 0℃时 X 方向的混凝土应力变化达到了 338.7%,且出现的是横向拉应力,从翼缘板外侧向腹板方向逐渐减小。因此,桥梁设计时应充分考虑梯度温度对索梁锚固区混凝土横向应力的影响。

参考文献:

[1] 苗家武.超大跨度斜拉桥设计理论研究[D].上海:同济大学,2006.

[2] 李小珍,蔡婧,强士中.大跨度钢箱梁斜拉桥索梁锚固结构型式的比较研究[J].土木工程学报,2004(3):73-79.

[3] 华波,王宽.浅谈后张法 T 梁预应力损失[J].科技资讯,2011(9):44-45.

[4] 陈彦江,辛光涛,李勇,等.斜拉桥锚拉板式索梁锚固区试验模型优化研究[J].工业建筑,2014,44(S1):567-571.

[5] 梅应华,朱大勇,严瑾.混凝土主梁斜拉桥锚拉板式索梁锚固区受力性能研究[J].世界桥梁,2019,47(1):26-31.

[6] 袁瑞,张敏,罗嗣碧.金沙江特大桥索梁锚固区受力分析与结构设计[J].公路,2019,64(10):89-93

[7] 陆春阳,吴冲,苏庆田,等.斜拉桥分离式钢箱组合梁剪力滞效应和应力集中[C]//第十九届全国桥梁学术会议论文集(下册),2010:293-298.

[8] 熊华涛.大跨径斜拉桥索梁锚固区力学特征分析及优化[J].中外公路,2021,41(6):145-148.

(上接第 53 页)

未来坦桑尼亚还需要建立更完善的规范标准体系,并做好路网规划,真正从系统上全面改善区域范围内的交通状况。

参考文献:

[1] 贾聪惠.基于英标规范体系的混凝土桥梁设计方法研究[J].城市道

桥与防洪,2019(6):99-103.

[2] Road Geometric Design Manual[S].Tanzania:Ministry Of Works, 2011.

[3] Pavement and Materials Design Manual [S].Tanzania:Ministry Of Works, 1999.

[4] A Guide to Traffic Signing[S].Tanzania:Ministry of Infrastructure Development, Safety and Environment Unit, 2009.