

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2022.05.050

哥斯达黎加公路项目中调头区设计

彭晓光^{1,2}, 向健^{1,2}, 甘学军³

(1. 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040; 2. 海工结构新材料及维护加固技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430040; 3. 湖北省城建设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051)

摘要:公路调头区已在美国、欧洲、中美洲广泛应用。该文依托哥斯达黎加 32 号公路改扩建项目, 以介绍 U 形调头设计方法为主要目的, 对基于中美洲规范的 U 形调头区进行分析研究。着重阐述中美洲区域调头区设计的适用范围、选型特点以及设计方法。U 形调头区作为解决左转冲突的精细化设计方法, 有适用性强、结构简单、造价低廉的优势。该文可对基于欧美规范类似设计提供指导, 同时也可为中国国内相关设计提供参考。

关键词:公路调头区; Retorno(SIECA); U-Turn(AASHTO); 行车轨迹; 几何设计; Civil 3D

中图分类号: U412

文献标志码: A

公路调头区在中国 JTJG DF20—2017《公路路线设计规范》中称 U 形转弯设施^[1]。同样的表述在美国规范(AASHTO 2014)中称为 U-Turn。在中美洲的规范(SIECA 2011)中称为 Retorno^[2], 但是 Retorno 包含平面路段调头的含义。

公路调头区已在美国的佛罗里达、新泽西、路易斯安、欧洲、中美洲广泛应用, 在中国一般公路项目中 U 形调头区设置并不多见。近年来中国设计者不断在道路 U 形调头设置方式上及设计方法上进行深入研究以及实践。在 2018 年 1 月 1 日实施的 JTJG DF20—2017《公路路线设计规范》中对高速公路上的 U 形转弯设施做了规范上的界定, 其他等级道路调头未做更加详细的要求。

该文通过哥斯达黎加公路项目设计实例阐述哥国

干线公路调头区相关设计要点。

1 项目背景

哥斯达黎加作为一个实行立法、司法和行政三权分立的总统共和制国家, 总统由全民直选产生, 任期 4 年, 国家政治局势相对稳定, 治安情况相对于中美洲其他国家较好。

哥斯达黎加地理位置位于中美洲的狭长地带且位于美洲中心, 有直通欧亚的海洋, 便于进入美洲。国道线 32 号公路为首都圣何塞至利蒙港的交通要道, 承担着该国 80% 的货物进出口运输任务。现状为双向双车道公路, 存在道路窄、线形差、集装箱车辆多等特点, 造成近年来交通事故高发、运行时间增长、运输成本增

- *****
- [7] 林炜鑫. 数据驱动的城市快速路匝道自适应控制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [8] PAPAGEORGIOU M, HADJ-SALEM H, MIDDELHAM F. Alinea Local Ramp Metering-Summary of Field Results[J]. Transportation Research Record, 1997, 1 603 (1): 90-98.
- [9] 郑飞, 杜豫川, 孙立军. 基于 ALINEA 算法的上海快速路入口匝道控制方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, 37(2): 207-213.
- [10] 乔彦甫, 赵斌, 方传武, 等. 基于 ALINEA 算法的城市快速路匝道控制方法[J]. 西南交通大学学报, 2017, 52 (5): 1 001-1 007.
- [11] 方传武. 城市快速路入口匝道流量控制研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [12] FHWA. Manual on Uniform Traffic Control Devices [S]. Washington, D. C., 2003.
- [13] Kimley-Horn and Associates. Freeway Management System-Design Guidelines [S]. Arizona Department of Transportation, 2002.
- [14] Minnesota Department of Transportation. Ramp Meter Warrants Development Process[S]. St. Paul, MN, 2009.
- [15] California Department of Transportation. Ramp Meter Design Manual[S]. Traffic Operations, Sacramento, CA, 2000.

收稿日期: 2021-07-28(修改稿)

作者简介: 彭晓光, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: 126952433@qq.com

加。随着哥斯达黎加经济的发展,32号公路现有的状态已经不能满足旅客和货物高效流通的需要,对哥国经济发展造成了极大的阻碍。作为“一带一路”的重要节点项目,项目的建设对促进中国同中美洲国家合作有着示范和引领作用。

哥斯达黎加当地使用的规范种类较多,公路项目设计主要采用的是中美洲经济联合体(SIECA)推荐的规范,其中路线几何设计执行《中美洲公路几何结构设计的标准手册》,不足部分由欧美规范补充。哥斯达黎加是一个民权至上的国家,因此项目的设计务必满足当地民生的要求,符合当地民众的习惯与期望。这些都给项目的设计工作提出了更高的目标以及要求。

项目合同性质为EPC(设计施工总承包),合同金额为固定价格4.655亿美元。改扩建后的32号公路拓宽为四车道主干线公路,出入口部分控制,设计速度100 km/h,需要设置9处调头区,13处简易立交,以及33座桥梁。该项目具有疏港公路的性质,集装箱车辆众多,合同要求WB-20车型作为项目的控制以及校验车型。中交武汉港湾工程设计研究院有限公司承担该项目设计任务。考虑项目所在地为美洲国家,采用AUTODESK公司的Civil 3D作为道路几何设计软件更容易为各方接受。

哥斯达黎加作为法治国家,强调道路权的观念。因此超出道路权的土地利用将付出额外的时间成本以及经济成本。工程实施过程不可避免地需要额外征用土地,征地工作通常十分困难,一宗土地权益的取得时间基本上都超过6个月。目前项目已有路权为现有道路中线两侧各25 m,可以预见的是调头区征地因素会成为设计方案选型的控制性因素。

2 公路调头区分类

公路调头区从交叉形式上分为立体U形转弯以及平面路段调头两种。

立体U形转弯通常利用现有的跨线桥或者通道设置。立体U形转弯,在中国这种设置常称为菱形互通;在美国标准中称为单交点城市互通式样立交(SPUI);立体U形转弯在中美洲相关的表述中则进一步区分支线上跨(PSV)、支线下穿(PIV)两种。

平面路段调头中美洲标准中称为Retorno(西班牙语),在美国标准中称为U-turn。但是美国标准中U-turn也包含有立体U形转弯的含义。平面路段调头(以下简称:Retorno)在完全控制出入的公路中应该

成对布置,非完全控制出入的则不必如此。

Retorno从平面布置的形状可分为水滴形、子弹形、纺锤形(图1)^[3]。

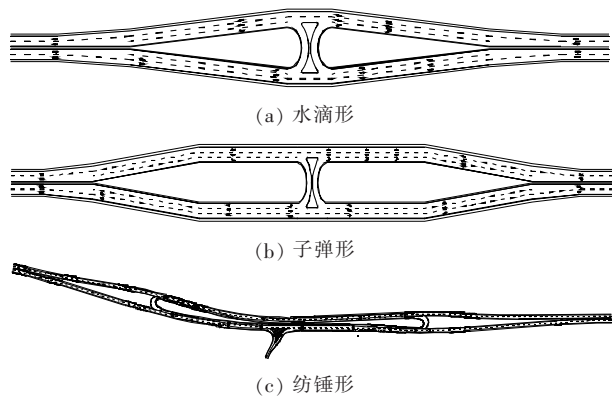


图1 Retorno布置形状分类

3 功能与类型选择

Retorno结构简单,通常不设置信号控制,后续运行和维护费用低廉。通常设置在村镇的进出口附近,方便村镇车辆实现交通流转换,也为主线车辆提供左转便利^[4]。基于以上优点,Retorno交通设施在哥国广泛应用。

32号公路作为主干线公路,全长107 km,港口集装箱车辆、城市间日常出行车辆为干线交通量来源。道路沿线平均10 km左右有西班牙风格小型村镇,这部分转弯需求的交通量,采用Retorno来达到。

水滴形结构紧凑,占地少,造价最为低廉,但是交通转换效率不高。同时由于平面线形紧凑对主线车辆视线以及行车有影响。主要应用在土地价值高、车辆调头需求量不大的路段。

子弹形结构为最标准的平面调头形式,其具有转弯半径大、车速影响小、驾驶员容错性强的特点。但由于占地较大、造价较高,使用时具有局限性。主要应用于土地成本低、舒适性要求高的旅游道路中。

纺锤形结构主要设置在城镇交通的出入口处,主要为了同时满足附近居民左转和右转需求,减少调头距离。因为此形式出入口左转车辆需要在进入调头区后连续跨越2条车道,对主线车辆影响较大,不宜过多采用。主要应用于村镇规模较大,出行需求较多的路段,纺锤形的用地比水滴形要高70%。

由于成本原因,仅提供调头服务的立交形式调头区,在32号公路项目没有被采用。在大型的城镇出入口以及高等级道路与32号公路相交的地方通常设置

互通式立交来满足交通转换的需求。

调头区功能与选型比较见表 1^[5]。

表 1 调头区功能与类型比选

分类	交叉形式	交通转换效率	造价(不含主线)/万美元	地形要求	用地/(10 ⁴ m ²)	视距	主线车流影响	适用左转交通量/(pcu·h ⁻¹)
立交	PSV(上跨)	高	86~130	低	15.0~19.0	好	低	≤1 200
	PIV(下穿)	高	64	高	2.0	差	低	≤1 200
平面 Retornos	水滴形	低	28~51	低	2.5~4.5	好	中	≤300
	纺锤形	高	35~65	低	3.0~6.0	好	高	≤600
	子弹形	低	55~100	低	5.0~9.5	好	低	≤400

4 总体设计

Retorno 通常被布置在地形起伏较为平缓的地方,沿设计轴线纵向展线。在 100 km/h 的主线设计速度下,水滴形展线长度通常为 700~1 000 m,子弹形的展线长度通常为 1 000~1 500 m,纺锤形则需要更长的范围展线,通常是 1 200~2 000 m。

4.1 总体布置

以水滴形 Retorno 为例,从平面布置上可以把调头区分为 3 个部分:调头区识别区域、变速区域、调头区域(图 2)。

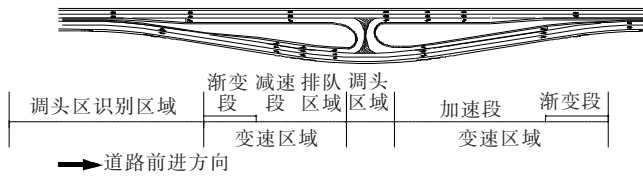


图 2 水滴形 Retorno 平面布置

调头车辆进入调头区后一直到变速区域前的范围是一个识别以及确认行车车道的过程。此范围内的车辆行驶速度会适当降低,通常与正常路段速度差不大于 20 km/h 是可以接受的,调头识别区长度不应小于 200 m。

变速区域由车道渐变段、加(减)速段、排队区域组成。调头车辆在渐变段完成车辆的分(合)流过程。在加(减)段完成车辆速度变化,而在排队区域排队顺序通过调头区域。

加(减)速区域的长度由车辆速度的变化范围、设计纵坡以及车型的比例共同决定。以 32 号公路项目为例:干线公路设计速度 100 km/h,变速车辆可被认为是一个速度 80 km/h—20 km/h—80 km/h 的变速过程。如果道路变速段的设计纵坡大于 3%,则需要额外乘以调整系数。在集装箱以及大型车辆比例高的

地区,则认为转向车辆的速度应该更低(通常被要求取 0~5 km/h 的转弯速度),这样变速车道的长度也会增加。设计中采用 SIECA 2011(6.6.2 节 变速车道)推荐的取值,减速车道 180(200) m,加速车道 125(130) m。

排队区域的长度通常由需要调头车辆的交通量预测结果计算确定。但是实际工作中,调头区的变速区域长度的确定,通常是项目交通规划整体协调的成果。以 32 号公路项目为例:由于调头区的设置作用在于服务村镇间交通,大的转向交通则采用互通式立交解决。因此认为需要排队通过调头区域的情况很少发生,出于节约工程造价以及减少项目用地的考虑,与各方协调的结果往往是不再设置额外的排队区域。只有在调头区附近有加油站、大型公交集散车站的情况需要额外考虑。

调头区域是调头区的核心部件。SIECA 认为车辆在调头区域低速行驶,因而调头区域要求采用不大于 3% 的纵坡设计,车道横坡则以路面区域排水为主要的考虑因素。平面转弯车道的几何尺寸,是由设计车型的几何形状决定的。该项目设计车型为 WB-20 型集装箱卡车,其转弯半径要求不小于 14.11 m,行驶轨迹如图 3 所示。在进行调头区域平面设计时,内侧车道线外缘的区域应包络右图所示行驶轨迹。

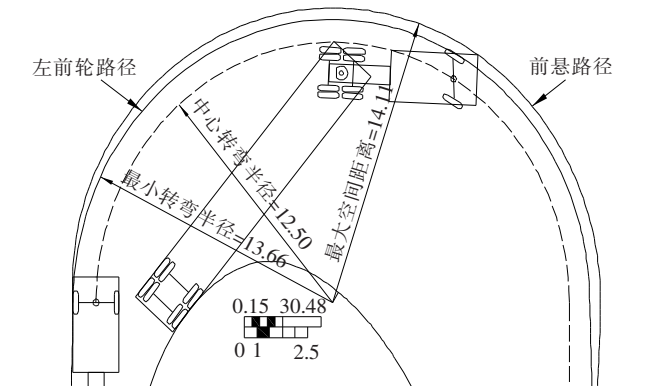


图 3 WB-20 行驶轨迹图(单位:m)

4.2 交通标识

交通标识作为向驾驶员传达交通管控措施的重要手段,在SIECA中被广泛采用。在调头区设计时,利用交通标志和标线引导驾驶员按最优方式完成调头过程,提高驾驶员舒适性、安全性。进入调头区车辆需要在进入变速区域前完成车道转换,所以在渐变点前150 m和50 m的位置重复设置两次指路标志,以提醒驾驶员提前转换车道。进入变速区域之后,在减速车道上连续设置限速60 km/h和30 km/h两组限速标志牌和地面标线,迫使调头车辆在进入调头区域前将车速降至30 km/h的可控范围以内。并在减速车道范围采用“禁止跨越同向车道分界线”,禁止驶过渐变段的主线车辆临时进入减速车道。

完成调头进入加速车道之后,在加速车道采用“可跨越同向车道分界线”,允许车辆在加速车道全段范围选择合适的时机汇入主线,并在加速车道终点设置减速让行标志标线,划分道路优先级别,迫使未找到合适时机的车辆强行减速、停车,等候主线车辆优先通行,避免冲突。

5 调头区服务水平评价原理

通过分析调头车辆的行驶路径,车辆完成调头的过程可以分为以下5个步骤:从主线分流驶入减速车道—减速车道减速—进入弯道—加速车道加速—合流汇入主线。

而弯道在功能上可视为设计速度较低的普通路段,由此可以等效作为匝道看待。即:U-turn调头可等效看做车辆先从主线分流进入匝道、再从匝道合流驶入对向主线的过程。

在进行调头区服务水平评价时,可以借鉴HCM中立交匝道分(合)流区服务水平评价方法和公式,根据计算出的分(合)流区车流密度,对照表2可得出合流区的服务水平。调头区服务水平评价时需分别计

表2 匝道分合流区服务水平对照

服务水平	车流密度/[$\text{pcu} \cdot (\text{km} \cdot \text{ln})^{-1}$]
A	≤ 6
B	6~12
C	12~17
D	17~22
E	> 22
F	超过通行能力

算出减速车道分流区和加速车道合流区的服务水平,取低值作为该调头区的服务水平等级。

6 改建道路调头区设计

哥斯达黎加土地采用资本主义土地所有制,因而私人对土地有完全永久的占有和使用权。如果需要变更私人土地成为公共道路用地,友好协商、合理补偿是项目实施的最佳方案,即使这样在该国也需要最少3个月的法律流程。

但是无论是政府还是其他组织均不能完全保证项目用地的可行性。作为设计方需充分说明额外征用土地的技术必要性、合理性、经济性的技术资料,以方便政府部门对民众进行说明解释。同时设计方还需要准备在无法取得土地时的替代设计方案。这种方案通常需要增加支挡结构物、牺牲道路的线形指标、增加投资为代价。这些技术工作应与征地并行实施,实施过程中随时做方案分析比较。

为了说明需征用土地技术上的最小面积,通常采用设计车型在转弯车道上180°转弯的行车轨迹作为最小的车道宽度控制。习惯上转弯均应在转弯车道内完成,如图4所示。哥国也有部分道路采用外侧车道转弯的情况,但是基于这种情况下的设计在实际中难于被咨询工程师认同。

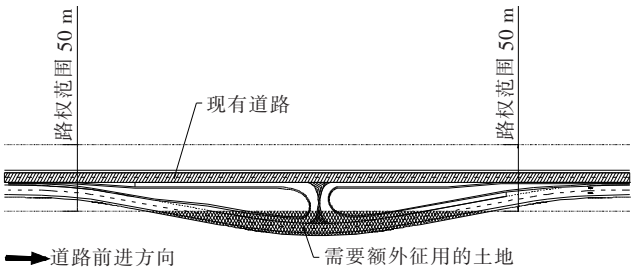


图4 常规的改建道路调头区设计

如果在土地征用困难的情况下,承包商就会上报设计的备用方案,相关商务索赔工作也会同步跟进。如图5所示,通过降低现有道路线形指标,把道路设施

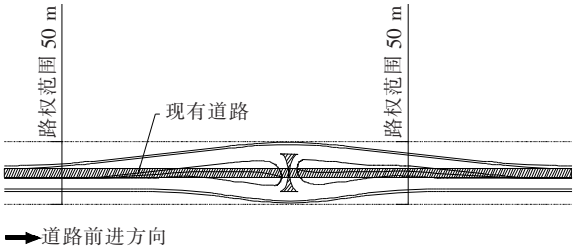


图5 节约用地下的调头区设计

控制在路权范围内。同时需要在部分地方设置节约用地的支挡结构。如该项目中通常采用设置波形护栏、石笼挡墙支挡、矩形排水沟等措施实现节约土地的目的(图 6)。

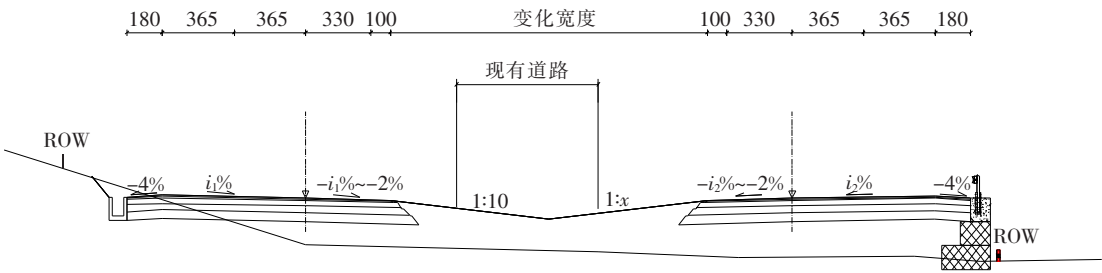


图 6 支挡结构用以节约用地(单位:cm)

7 方案的设计与审批

在 32 号公路项目中,调头区的设计通常由承包商发起和实施。审批工作以咨询工程师为核心,利益相关各方共同参与完成,最终的审批函件以咨询工程师的信函为准。

在实际操作中并不能一次就把调头区的设计确定,也无法遵循线形的审批流程。基于合同要求、地方政府的意见、沿线居民意见,确定调头区的设计方案是承包商的基本职责。因此设计方案的沟通修改往往需要几次循环。基本工作流程如图 7 所示。

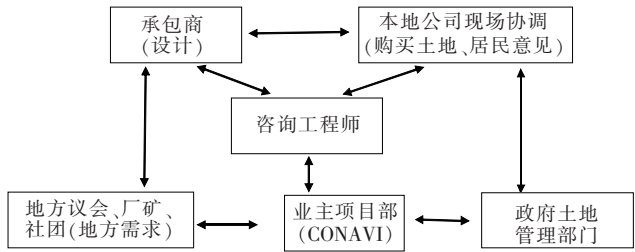


图 7 调头区设计审批流程图

8 结语

随着国家经济不断发展,车辆保有率逐年提高,自驾已成为村镇间日常的出行主要方式。但随着道路沿

线卫星小型区镇逐步成长,左转交通冲突将会越来越突出。调头区作为解决左转冲突的精细化设计方法,有适用性强、结构简单、造价低廉的优势。

该文基于中美洲项目公路调头区设计实施经验,介绍了各类调头区形式的优缺点,并以水滴形调头区为例分析了调头区的结构划分、服务水平评价方法以及设计和审批流程。以上经验可以应用到各类公路调头区的方案研究和设计过程中,希望能对基于欧美规范设计的其他国外项目提供一定的指导。同时结合中国目前发展情况,公路调头区在中国城市郊区、中西部地区有广泛的应用空间,可为中国国内相关交叉设计提供一定的参考。

参考文献:

[1] 中交路桥技术有限公司. 公路路线设计规范:JTG D20—2017 [S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.

[2] IVAN Morals, ERNESTO Torres Chico. 中美洲公路几何设计标准手册 [S]. 哥斯达黎加:SIECA, 2011:203—209.

[3] 中国公路工程咨询集团有限公司. 公路立体交叉设计细则:JTG/T D21—2014[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.

[4] 邓明君,曲仕茹,秦鸣. 基于仿真的“U-turn”交叉口流量适应性分析[J]. 中外公路,2014,34(6):273—278.

[5] 王建锋. 公路与城市道路立交改造方案设计[J]. 中外公路,2018,38(6):305—308.