

基于 Civil 3D 的快速路速度协调性评价软件开发

徐弯弯,刘东亮,陈亚杰

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:为解决城市快速路速度协调性评价软件开发不足的问题,提升城市快速路速度协调性评价的操作简易性和准确度,以上海市地方标准《城市道路安全性评价标准》中提出的快速路运行速度计算和协调性评价模型为程序编制基础,基于 Civil 3D 平台开发了由道路设计资料读写、运行速度测算、速度协调性评价、结果显示与输出共 4 个子模块组成的城市快速路运行速度评价插件,并利用该软件成功检验了某市海滨大道新建工程路线设计方案的安全性。基于该插件可从交通安全方面,拓展 Civil 3D 对路线和交通设施设计的辅助决策功能,进而实现城市快速路交通安全的提升。

关键词:城市快速路;运行速度;速度协调性评价;Civil 3D 开发

中图分类号: U412.37;TP39

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)10-0233-05

0 引 言

快速路是城市交通的主动脉,承担着大容量、高速度、长距离的交通功能。一旦发生交通事故,极易造成严重的人员伤亡和交通拥堵,而今城市快速路交通事故数一直处于居高不下的严峻状态^[1]。由不良线形组合或匝道出入口布置等导致的行车稳定性不足、长直线或大纵坡等导致的超速行驶,是城市快速路交通事故的重要诱因^[2],分别可通过相邻路段运行速度的协调性、运行速度与设计速度的协调性来评价。而对于设计阶段快速路,运行速度无法实测,需通过预测模型测算获得,但人工测算过程一般存在操作繁琐、重复工作多、计算量大且易出错等缺陷,因此有必要通过计算机技术实现运行速度测算和协调性评价的自动化。

随着 BIM 技术的发展成熟和 BIM 模型在道路工程中的广泛推广运用,部分学者考虑道路 BIM 模型相较于传统的 CAD 模型具有的设计信息一体化、模型三维可视化等优点,开始基于 BIM 平台开展道路运行速度测算功能的开发研究。刘鑫^[3]通过对比分析主流 BIM 建模软件,选用 Civil 3D 作为开发平台,建立了公路运行速度测算和协调性评价模块。张兴宇等^[4]基于开发的 Civil 3D 公路运行速度协调性评价模块,完成了花石峡至久治公路路线设计方案

的线形一致性评价工作。但是,由于城市快速路运行速度预测与协调性评价模型研究极少且未成标准,现有的道路运行速度测算和评价程序均基于《公路项目安全性评价规范》(JTG B05—2015)中提出的公路运行速度预测模型编写。对于在线形设计、车道宽度、匝道出入口和立体交叉布置、交通流特性等方面均与公路存在显著差别的城市快速路,该公路运行速度预测模型和相应测算程序缺乏适用性,无法准确评价城市快速路的速度协调性。

针对城市快速路运行速度预测与协调性评价模型缺乏的问题,温学钧、郑晓光等^[5]于 2019 年,通过对 156 段上海快速路实测交通运行数据的回归分析,成功构建了城市快速路运行速度预测与协调性评价模型,并将其纳入上海市地方标准《城市道路安全性评价标准》中。目前该标准已通过多次评审进入报批稿阶段,但其中提出的快速路运行速度预测模型暂未实现程序化,仍存在计算繁琐和易出错的问题。

综上,本文以上海市地方标准《城市道路安全性评价标准》中提出的城市快速路运行速度预测和协调性评价模型为基础,基于 BIM 平台开发快速路速度协调性评价模块,使 BIM 软件可从安全角度提供线形组合、立交和匝道布置、横断面设计等方面的决策建议,实现城市快速路交通安全的提升。

1 速度协调性评价软件搭建

1.1 速度协调性评价软件总体架构

《城市道路安全性评价标准》编制组基于调研的上海市快速路运行速度、交通流量和快速路设计资

收稿日期:2022-11-23

基金项目:上海市科委项目(21DZ1203300)

作者简介:徐弯弯(1994—),女,硕士,工程师,从事交通安全与设计工作。

料,通过偏相关分析和多元回归分析,建立了不同路段快速路运行速度计算模型,如表 1 所示。其中,纵坡段指纵坡坡度不小于 3%且曲线半径大于 600 m 的路段,曲线段指曲线半径不大于 600 m 且纵坡坡度小于 3%的路段,弯坡段指纵坡坡度不小于 3%且曲线半径不大于 600 m 的路段,立体交叉段指上游变速车道渐变段起点至下游变速车道渐变段终点的主线段,隧道段指隧道入口前 200 m 至隧道出口后 100 m 的路段。同时,提出如表 2 所示的不同参数下的运行速度修正模型,并结合事故分析验证了《公路项目安全性评价规范》(JTG B05—2015)中速度协调性评价标准对城市快速路的适用性,完成了速度协调性评价模型的整体建立。

表 1 不同路段快速路运行速度计算模型

路段	计算模型
纵坡段	上坡: $v_{out} = v_{in} - 0.826(l/100)$ 下坡: $v_{out} = v_{in} + 1.032(l/100)$
曲线段	$v_{middle} = 0.882v_{in} + 7.611 \ln R - 40.991$ $v_{out} = 0.823v_{middle} + 6.77 \ln R - 31.623$
弯坡段	按曲线段和纵坡段计算模型分别对弯坡组合段特征点进行测算,取其中与相邻特征点运行速度变化幅度较大的值作为运行速度测算值
立体交叉段	在纵坡、曲线或弯坡段测算结果的基础上折减 8 km/h
隧道段	$v_1 = 0.99 v_{in} - 11.07$ $v_2 = 0.81 v_{in} + 8.22$ $v_{out} = 0.74 v_2 + 16.43$
平直路段	$v_{out} = 3.6 \sqrt{(v_{in}/3.6)^2 + 2as}$ $a = a_{min} + (a_{max} - a_{min})(1 - v_{in}/v_e)$

注: v_{in} 为各路段对应的终点运行速度,km/h; v_{out} 为各路段对应的起点运行速度,km/h; l 为纵坡坡长,m; v_{middle} 为曲中点运行速度,km/h; R 为圆曲线半径,m; v_1 为隧道入口处运行速度,km/h; v_2 为隧洞出口处运行速度,km/h; a 为加速度, m/s^2 ; a_{min} 为推荐最小加速度, m/s^2 ; a_{max} 为推荐最大加速度, m/s^2 ; v_e 为期望速度,km/h。

表 2 不同参数修正模型

高峰小时系数		匝道密度 / (个·km ⁻¹)		车道宽度 /m	
输入值	影响系数 /%	输入值	影响系数 /%	输入值	影响系数 /%
0.86~0.88	45~48	0.1~0.3	94~97	3.25	95
0.89~0.91	49~53	0.4~1.0	92~93	3.5	1
0.92~0.94	54~58	1.1~1.3	86~91	3.75	105
0.95~0.97	59~63	1.4~1.6	70~82	—	—
0.98~1.00	64~67	1.7~1.9	40~62	—	—

综上,路段划分、运行速度测算、相邻路段运行速度协调性评价、同一路段运行速度与设计速度协调性评价为模型的 4 个重点。选用国内主流道路

BIM 建模软件 Civil 3D^[6]为开发平台,结合速度协调性评价模型的 4 项重点内容和插件的基本输入输出功能,将快速路速度协调性评价模块划分为如图 1 所示的组成架构。

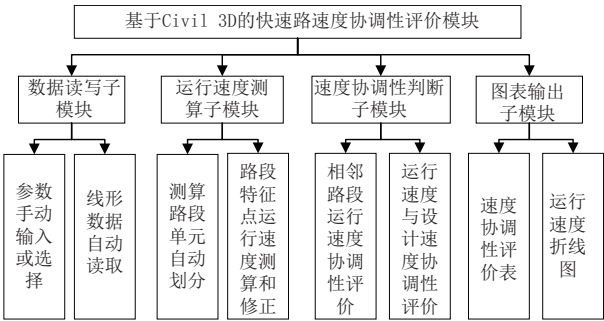


图 1 基于 Civil 3D 的快速路速度协调性评价软件

1.2 数据读写子模块

载入道路 BIM 模型后,用户选定评价道路中线、纵断面和行驶方向后,程序自动读取测算运行速度所需的道路设计参数,包括平曲线半径、纵坡坡度、平纵线形特征点桩号,以及隧道和立交影响段起终点桩号。其中,隧道和立交影响段起终点桩号也可手动添加和修改,如图 2(a)所示,并将各特征点(直曲点、曲中点、曲直点、变坡点、隧道洞口、互通立交减速车道渐变段起点、互通立交加速车道渐变段终点)桩号按行车方向储存到特征点集 SPTs[]。同时手动输入测算初始参数和模型修正参数。其中,初始参数包括设计速度 V_d 和推荐加速度,修正参数包括车道宽度、高峰小时系数和匝道密度。程序根据表 3 所示规则自动调用初始运行速度、期望速度和最低运行速度。根据表 2 所示修正模型,按照插值法自动计算显示各修正参数对应影响系数,如图 2(b)所示。

1.3 运行速度测算子模块

完成上述计算参数读写后,单击【OK】按钮,程序即开始进行运行速度测算,计算流程如图 3 所示。程序首先按照分段规则和基本模型,通过 10 个判断函数、9 个计算函数和 2 个循环函数,沿行车方向依次完成各特征点运行速度 V_{85} 的计算。随后,通过 2 个判断函数、2 个计算函数和 1 个循环函数,比较各特征点计算运行速度与最低运行速度和期望速度的大小,将小于最低运行速度的计算结果替换为最小运行速度,超过期望速度的计算结果替换为期望速度。最后根据运行速度修正模型,通过 3 个判断函数和 3 个计算函数,计算得到各特征点最终测算运行速度,存储到运行速度计算值集 OSList[]。

1.4 速度协调性判断子模块

根据上步计算结果,沿行车方向依次计算相邻特

运行速度计算

路线选择

路线中线: 海澄大道-2

纵断面: 布局 (1)

行驶方向: 正向

互通立交段

起点桩号	终点桩号	添加行
869.2	2448.7	删除选中
		清空

隧道段

起点桩号	终点桩号	添加行
3469.21	4919.2	删除选中
		清空

(a)道路设计参数读写

运行速度

设计速度: 80

期望速度: 100

初始运行速度: 80

最低运行速度: 50

推荐加速度

最小值: 0.05

最大值: 0.4

模型修正

相关参数	是否修正	影响系数
车道宽度: 3.75 m	☒	1.05
高峰小时系数: 1.0	☐	0.67
匝道密度: 0.4 个/km	☒	0.93

OK

Cancel

(b)初始参数和修正参数读写
图2 数据读写子模块显示界面

表3 初始速度参数推荐值

设计速度	100	80	60
初始运行速度 V_0	100	80	60
期望速度 V_e	120	100	80
最低运行速度	70	50	40

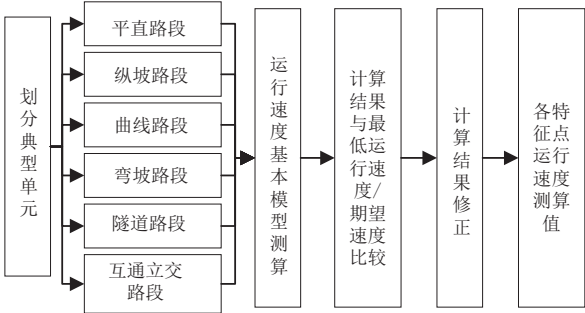


图3 运行速度测算流程

征点的运行速度差 $|\Delta V_{85}|$ 、相邻特征点的运行速度梯度值 $|\Delta I_v|$ ，以及同一特征点的运行速度与设计速度差 $|V_{85}-V_d|$ ，并根据速度协调性评价标准^[7]，完成道路相邻路段运行速度协调性（又称“线形一致性”）、同一路段运行速度与设计速度协调性的判断，并在特征点集中添加相应判断结果标签，流程如图4所示。

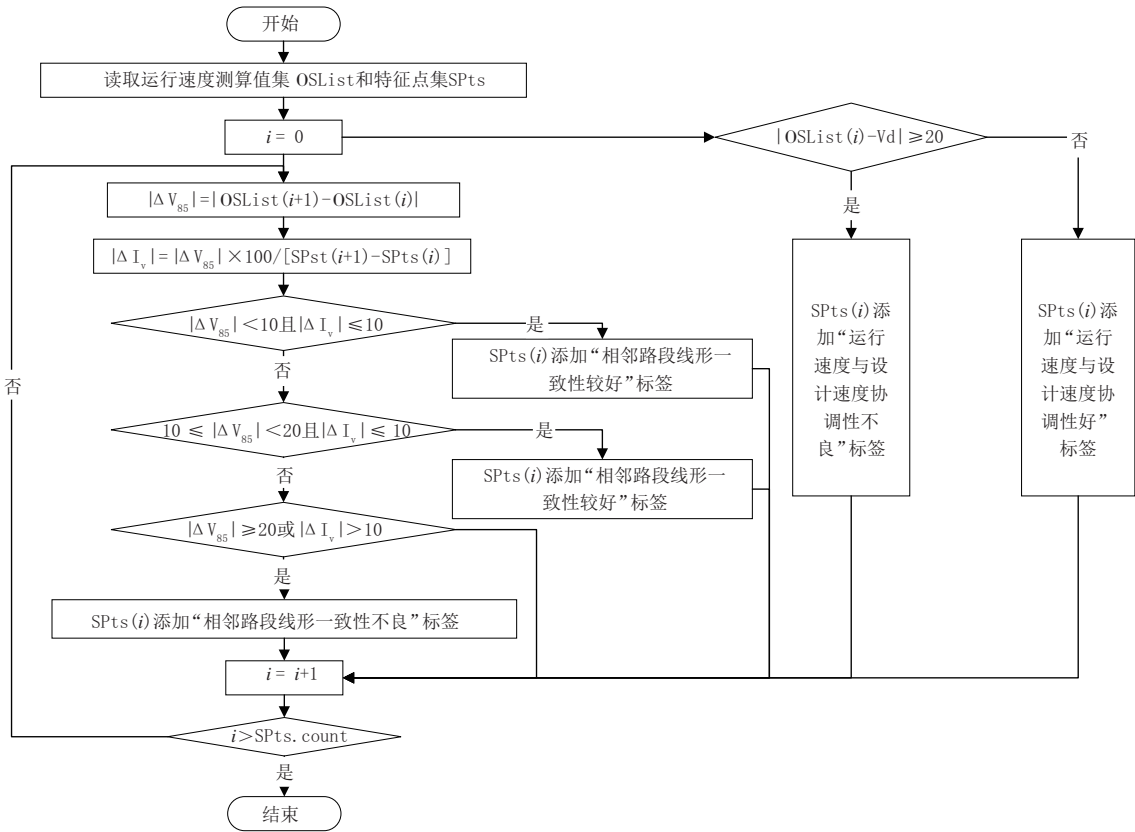


图4 速度协调性判断流程

1.5 图表输出子模块

完成速度协调性判断后,窗口将显示各分段起终点桩号、单元类型、路段影响参数(单元长度、曲线半径、纵坡坡度)、各特征点最终测算运行速度、速度协调性判断指标计算结果和评价结果,如图 5 所示。同时,用户可通过点击【绘制曲线】按钮,以分段桩号为横坐标、运行速度为纵坐标,将不同车型的运行速度折线图输出到 DWG 图形文件中;通过点击【导出到 excel 按钮】,将计算结果以.xls 格式输出。

运行速度协调性评价表												
入口桩号	出口桩号	单元类型	立交段	单元长度	曲线半径	纵坡	V_out	ΔV_85	Δiv	V_85-V_d	线性一致性	运行速度与设计速
K0+0.0	K0+480.344	纵坡		480.34		3.49	78.12			-1.88	好	好
K0+480.344	K0+869.2	纵坡		388.86		-3.5	78.16	3.92	1.01	-1.84	好	好
K0+869.2	K0+967.097	纵坡	是	97.9		-3.5	71.15	7.01	7.16	-8.85	好	好
K0+967.097	K2+448.7	直线	是	1481.6			94.59	23.44	1.58	14.59	不良	好

曲线

绘制曲线

绘制图表

导出到excel

关闭

图 5 运行速度协调性评价结果显示

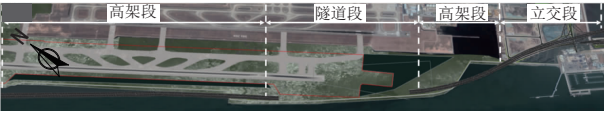


图 6 道路 BIM 模型示意

2.1 运行速度测算

将海滨大道按西线和东线分别进行运行速度测算,依次道路中线、纵断面布局和行驶方向,并输入设计速度 80 km/h、车道宽度 3.75 m 和匝道密度 0.29 个 /km 后,程序将海滨大道西线和东线分别划分为 13 个计算路段单元,各包括含起终点在内的 14 个特征点,计算得到各特征点运行速度,并生成如图 7 所示的预测运行速度折线图。

由图 7 可知,海滨大道西线和东线的预测运行速度均存在一定程度的波动,各特征点预测运行速度介于 70 km/h 至 100 km/h,且存在多点运行速度达 100 km/h,存在超速隐患。

2.2 运行速度协调性评价

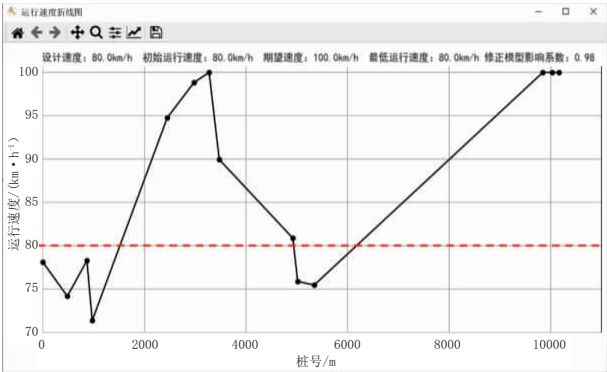
根据程序输出的海滨大道东线和西线运行速度协调性评价结果,导出 excel 后提取部分信息,整理得到表 4 和表 5。

分析可得:

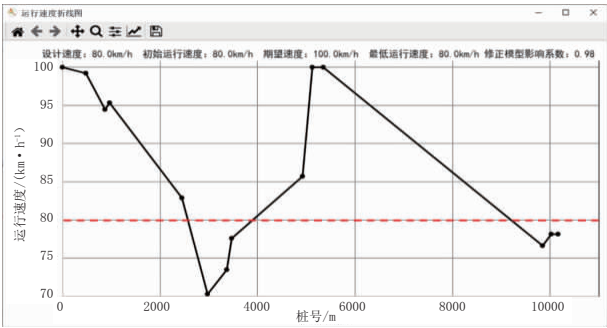
(1)线形一致性不良路段包括东线 K0+967~K2+449 段、K5+345~K9+846 段和西线 K9+846~K5+345 段。不良指标均为起终点运行速度差大于 20 km/h,由路段长直线或大半径圆曲线线形使驾驶员行车持续加速导致。可不对相邻路段线形进行调整优化,但需在上述路段的起点、长直线中点等处设置限速标

2 速度协调性评价插件应用实例

某市海滨大道新建工程全长约 10.2 km,为双向 8 车道快速路,设计速度 80 km/h。全线除高架主线外,还包含一段隧道和一个互通立交,如图 6 所示。为检验设计方案的合理性和安全性,基于该道路路 BIM 模型,利用开发的快速路速度协调性评价插件,对设计方案的线形组合、隧道布置、立交和匝道设计等进行安全性分析。



(a)滨海大道东线



(b)滨海大道西线

图 7 预测运行速度折线图

志,并可配合设置减速标线和超速监控设施。

(2)运行速度与设计速度协调性不良路段包括东线 K2+976~K3+269 段、K5+345~K10+161 段和西线 K9+846~K5+119 段、K0+480~K0+0 段。路段线形均为长下坡或直线与下坡相接,驾驶员行车持续加速致使运行速度超过设计速度 20 km/h,存在较大的超速隐患。因此,在设置控速设施的同时,还应按照运行速度对路段视距、护栏防撞等级、标志尺寸等技

表 4 海滨大道东线速度协调性评价结果

起点桩号	终点桩号	单元类型	立交段	终点运行速度 V_{85}	$ \Delta V_{85} $	$ \Delta I_v $	$V_{85}-V_d$	线性一致性	运行速度与设计速度协调性
	K0+0			78.1			-1.9		好
K0+0	K0+480	上坡		74.2	3.9	0.8	-5.8	好	好
K0+480	K0+869	下坡		78.3	4.1	1.1	-1.7	好	好
K0+869	K0+967	下坡	是	71.4	6.9	7.0	-8.6	好	好
K0+967	K2+449	直线	是	94.8	23.4	1.6	14.8	不良	好
K2+449	K2+976	直线		98.8	4.1	0.8	18.8	好	好
K2+976	K3+269	下坡		100.0	1.2	0.4	20.0	好	不良
K3+269	K3+469	隧道 - 前		90.0	10.0	5.0	10.0	较好	好
K3+469	K4+919	隧道 - 内		80.9	9.1	0.6	0.9	好	好
K4+919	K5+19	隧道 - 后		75.9	5.0	5.0	-4.1	好	好
K5+19	K5+345	上坡		75.5	0.4	0.1	-4.5	好	好
K5+345	K9+846	直线		100.0	24.5	0.5	20.0	不良	不良
K9+846	K10+27	下坡		100.0	0	0	20.0	好	不良
K10+27	K10+161	直线		100.0	0	0	20.0	好	不良

表 5 海滨大道西线速度协调性评价结果

起点桩号	终点桩号	单元类型	立交段	终点运行速度 V_{85}	$ \Delta V_{85} $	$ \Delta I_v $	$V_{85}-V_d$	线性一致性	运行速度与设计速度协调性
	K10+161			78.1					
K10+161	K10+27	直线		78.1	0	0	-1.9	好	好
K10+27	K9+846	上坡		76.7	1.5	0.8	-3.3	好	好
K9+846	K5+345	直线		100.0	23.3	0.5	20.0	不良	不良
K5+345	K5+119	下坡		100.0	0.0	0	20.0	好	不良
K5+119	K4+919	隧道 - 前		85.7	14.3	7.2	5.7	较好	好
K4+919	K3+469	隧道 - 内		77.6	8.1	0.6	-2.4	好	好
K3+469	K3+369	隧道 - 后		73.5	4.1	4.1	-6.5	好	好
K3+369	K2+976	上坡		70.3	3.2	0.8	-9.7	好	好
K2+976	K2+449	直线		82.9	12.6	2.4	2.9	较好	好
K2+449	K0+967	直线	是	95.3	12.5	0.8	15.3	较好	好
K0+967	K0+869	上坡	是	94.5	0.8	0.8	14.5	好	好
K0+869	K0+480	上坡		99.2	4.7	1.2	19.2	好	好
K0+480	K0+0	下坡		100.0	0.8	0.2	20.0	好	不良

术指标进行安全性检验。

(3)线形一致性较好路段包括东线 K3+269~K3+469 段和西线 K5+119~K4+919 段、K2+976~K0+967 段。其中,西线 K2+976~K0+967 段运行速度变化为加速,线形一致性缺陷可忽略;东线 K3+269~K3+469 段和西线 K5+119~K4+919 段运行速度变化为减速,均由下坡段加速行驶至隧道入口前大幅减速导致,存在追尾隐患。因此,应在隧道入口前设置多级预告标志,并在下坡段设置控速标线。

3 结 语

本文针对城市快速路速度协调性评价软件缺乏的问题,基于 BIM 技术在快速路建设工程中积极推

广运用的现状,选用用户多、操作界面熟悉且支持多种常用格式导入的 Civil 3D 为开发平台,以上海市地方标准《城市道路安全性评价标准》中提出的快速路运行速度预测和协调性评价模型为程序编制基础,成功开发了快速路速度协调性评价插件,实现了快速路运行速度协调性的简便快速测算、评价结果的多类型图表展示与导出,并成功运用于某市海滨大道新建工程的路线设计方案检验中。研究成果拓宽了 Civil 3D 软件中路线和交通设施设计在交通安全方面的辅助核查功能,后续可进一步开发基于运行速度的三维视距核查功能。

参考文献:
[1] 公安部道路交通安全研究中心. 中国大城市道路交通发展研究报

表 1 质量查验内容及要求

查验内容	质量控制点
后背安装	允许偏差:垂直度不大于 1‰H;扭转度不大于 1‰L
推进机台安装	允许偏差:整体轴线小于 3 mm;左右高差 0 ~ 3 mm
洞口止水圈安装	允许偏差:轴线 20 mm;高程 20 mm
管道顶进	允许偏差:中心偏差:40 mm 高程偏差:±40 mm
管道接口	相邻管间错口小于 15%壁厚,且不大于 20 mm

(3)及时进行 CCYV 检测,查看管道内接口与管壁情况是否完好,符合设计及规范要求。

(4)及时进行闭水试验,检测管道的密封程度能否符合渗透允许值指标。

(5)及时组织单位工程验收。

4 微型顶管施工工艺特点

(1)施工占用场地小、工作井施工简单。工作井相比常规工作井结构施工占地小,工作井结构形式灵活。微顶管工作井可布置为圆形,直径 2 ~ 3 m 的工作井,其总体施工占地面积约为 40 m²,相比常规顶管施工区域减少占地一半以上,相比传统开槽埋管等施工工艺,城市道路占用明显减小。

(2)施工速度快,施工精度高。正常工况施工条件下,每台班钢套筒下沉速度在 8-10 m/d,每台班顶进速度在 20 ~ 30 m/d。施工速度较快,相比与常规工作井较大程度缩短了施工期和相关养护期。

(3)施工污染小、噪声小。施工过程中减少大型机械作业、污染小、噪声小、利于环保。

(4)施工建安造价低。摇管钢套筒工作井结构相比常规工作井桩基围护结构建安造价大大减少,同时钢套筒可以在工程结束后拔出,达到重复利用价值,建安造价低。

(5)微型顶管施工过程中需着重防范地下管线、高处坠落、起重伤害等安全隐患,建立风险防范措施,以保证工程顺利实施。

5 结 语

微型顶管适用管径为 DN300-DN600 mm,管材为钢筋混凝土管、树脂混凝土管,长度 1m/根;微型顶管顶距不宜超过 60 m,最佳顶距为 45 m 以内,适用土层为粘土层及砂层。通过微型顶管工艺介绍,其表现出施工快速、精准度高、噪声低、对道路交通影响较小的特点,可为类似工程施工提供借鉴。

(上接第 237 页)

告(2020)[M]. 北京:人民交通出版社,2015.

[2] SHI Q, ABDEL-ATY M, YU R. Multi-level Bayesian safety analysis with unprocessed Automatic Vehicle Identification data for an urban expressway[J]. Accident Analysis and Prevention, 2016, 88: 68-76.

[3] 刘鑫.基于 BIM 的道路线形设计及安全评价[D].重庆:重庆交通大学,2018.

[4] 张兴宇,杨宏志.基于 Civil 3D 公路运行速度 BIM 对象模型的研发与应用[J].公路,2019,64(2): 191-195.

[5] 温学钧,郑晓光,等.《城市道路安全性评价标准》向您征求意见啦! [EB/OL]. (2021-03-19)[2022-11-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/tNLIHptOMZwWvpWZNhWyg>.

[6] 裴晓.上海市建筑信息模型技术应用与发展报告[R].上海:上海市住房和城乡建设管理委员会,2021.

[7] JTG B05—2015,公路项目安全性评价规范[S].