

大跨度预应力地下通道结构设计

王彩花

(太原市市政工程设计研究院, 山西 太原 030002)

摘 要: 结合太原市南内环街东延某下穿高速大跨预应力地下通道的工程项目背景, 首先分析该结构的特点与难点, 然后综合考虑分析设计理念与技术、施工过程和后期运营及经济等因素, 进行理论与计算的分析和研究, 最后对今后采用此类结构的设计提出建议以供参考。

关键词: 地下通道; 大跨; 预应力; 设计

中图分类号: U448.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0100-04

1 工程背景

太原市南内环街东延(东中环路—东山大道)建设工程设计起点东中环路, 起点桩号为 K-0-829.012, 设计终点东山大道, 终点桩号为 K2+571, 全长约 3.4 km, 规划红线宽 50 m, 实施宽度 50 m。根据规划, 南内环街东延与东环高速为苜蓿叶全互通立交, 考虑目前东环高速与南内环街东延道路系统的交通不能相互连接转换, 故该处立交本次暂不实施, 仅实施南内环街东延下穿东环高速的箱涵。道路横断面具体布置为: 中间 2 m 宽中央绿化分隔带, 两侧各 13.75 m 宽机动车道, 2.25 m 宽绿化分隔带, 4.5 m 宽独立非机动车道, 3.5 m 宽人行道。机动车道及非机动车道路拱横坡采用 1.5% 的直线接抛物线型路拱, 人行道横坡采用 1.5% 的内向坡。

东山过境高速公路原设计为双向 4 车道, 根据测量资料, 高速公路路基宽度约 24.5 m, 路基高约 4 m, 设计速度 100 km/h, 与南内环街相交处高速平面为直线段, 南内环街通道右前角约 93.04°。

2 工程建设规模与设计标准

2.1 工程建设规模

(1) 下穿通道。南内环街东延(东中环路—东山大道)位于太原市东山地区, 是构建东山地区城市路网格局的一条东西向主干路。在桩号 K0+099.217 处设置通道下穿东山过境高速。此次设计采用全断面开挖施工, 高速采用修建临时便道的保通方案。通道施工完毕后, 高速公路按原状恢复。通道采用 A 类

预应力钢筋混凝土结构^[1-2], 通道横向布置为 4 孔, 断面布置情况为: 8.25 m+18.25 m+18.25 m+8.25 m, 如图 1 所示。外墙厚度为 1.0 m, 中墙厚度为 1.0 m, 次中墙厚为 1.2 m, 顶板厚度为 1.2 m, 底板厚度为 1.3 m, 通道横向总宽 58.4 m。通道总高 10.5 m, 净高 8 m。通道长 56 m, 分 4 个标准阶段, 每段长 14 m, 节间设 2 cm 的变形缝。通道口两侧设置 10 m 长悬臂挡墙。通道内道路填土厚 2.9~3.2 m, 路面结构下埋设管线。

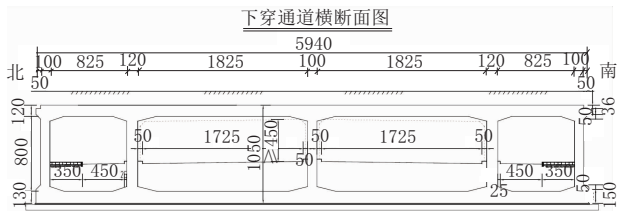


图 1 预应力地通的横断面布置图(单位: cm)

(2) 地质资料, 通道底板持力层主要位于湿陷土层上; 湿陷类型为自重湿陷性场地; 湿陷等级为 II (中等)。

2.2 工程设计标准与荷载

通道净空: 机动车道净空不小于 4.5 m。

通道设计基准期: 100 a。

通道设计安全等级: 一级。

设计车速: 通道内为 50 km/h, 通道顶为 100 km/h。

地震设防烈度: VIII 度, 设计基本地震加速度为 0.20g。

设计使用年限: 100 a。

恒载: 自重, 土侧压力, 二期恒载——按通道顶覆土厚度(2.9~3.2 m)。

活载: 通道内为城市 -A 级 (换算为等代荷载加载), 通道顶为城市 -A 级、公路 -I 级。

人群荷载: 按照《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)(2019 版)取值, 整体计算按加载长度取值, 为

收稿日期: 2022-07-29

作者简介: 王彩花(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

得到人群荷载产生的最大荷载效应,采用移动荷载影响线加载计算;人行道局部构件设计时按 5 kN/m^2 面荷载或 1.5 kN 的集中荷载分别计算,取不利值控制。

整体温度作用:年最高气温为 34°C ,年最低气温为 -10°C 。

基础变位:基础不均匀沉降值取 5 mm 计算,同时考虑混凝土收缩徐变的影响。

荷载组合:承载力极限状态的基本组合、正常使用极限状态的频遇组合和准永久组合、短暂状况下的标准组合。

3 预应力地下通道结构设计

3.1 结构设计

通道箱体结构:顶底板为现浇预应力钢筋混凝土构件,侧墙为钢筋混凝土构件,为单箱四室的断面布置。节段间设置沉降缝。外墙厚度为 1.0 m ,内墙厚度依次为 1.0 m 及 1.2 m 宽,顶板厚度为 1.2 m ,底板厚度为 1.3 m ,通道横向总宽 58.4 m 。箱体采用 C50 防水混凝土,抗渗等级 W8。

通道墙背路基填料:墙背回填需在通道预应力、通道防水和保护施工完毕后方可施工。回填材料采用 9% 灰土,分层碾压夯实,压实度不小于 96%。回填范围自基底以外 2 m 宽向上 1:1 放坡回填至路基顶部。通道顶路面结构按原高速路恢复,边坡铺设植草砖绿化。

通道顶路基填料:通道顶及搭板顶高速公路路面结构层以下路基填料采用级配碎石,分层碾压,路基压实度标准应达到 96% 以上。

通道结构增加涂装:基底处理一遍,外墙防水弹性腻子三遍,外墙丙烯防水涂料两遍。

地基处理:箱体结构底部由上至下依次为 5 cm 厚 C20 细石混凝土保护层、 2 mm 厚自粘性橡胶防水卷材、 10 cm 厚 C20 素混凝土、 100 cm 厚三七灰土垫层、 10 m 深的灰土挤密桩地基处理。处理后的地基承载力应不低于 250 kPa 。

挡墙与通道间设置沉降缝,宽 20 mm ,缝内沿墙内、外、顶面填塞沥青麻筋或沥青木板,塞入深度不应小于 0.15 m 。挡墙端部开始设置锥坡。

通道预应力:底板混凝土强度达设计强度等级值的 95% 且混凝土龄期不少于 10 d 后间隔张拉 1/3 的预应力钢束,其余预应力施加都应在通道混凝土施工完毕,强度达设计强度等级值的 95% 且混凝土

龄期不少于 10 d 后方能张拉钢束,张拉钢束采用张拉力和伸长量双控。钢束张拉时应遵循对称均衡、逐级分批的原则,预应力钢束在通道立面应保持对称张拉,立面上下、左右张拉的顺序可以采用分批逐级循环完成的方法实现。所有预应力管道的位置必须按照预应力钢束设计图中的定位钢筋进行精确定位,管道应严格保证弯曲坐标和角度,确保管道顺直,定位钢筋与通道纵横向钢筋点焊连接。

3.2 主桥结构的特点与难点分析

该下穿通道单孔最大跨径达到 18.25 m ,且边中孔跨径比为 1:2.2。如按常规钢筋混凝土结构设计,通道内的钢筋骨架达到 2~4 层钢筋才能满足承载力和裂缝设计要求,这样会导致钢筋的焊接工作量大、焊接质量难以保证,钢筋密集、混凝土浇筑难度大且浇筑质量难以保证,通道施工难度增大。通过在通道顶底板内布置预应力束使结构受力性能得到改善,不仅减小结构厚度,还可减少钢筋骨架中的钢筋层数和骨架间距,降低施工难度。同时施加预应力,可以有效控制通道顶底板的挠度,防止通道混凝土开裂,提高通道的耐久性。

但是考虑到下穿通道为超静定结构,对外荷载敏感,内力分析、配束配筋计算繁琐复杂,工作量大,的确给设计带来了困难。以下为布置钢束的一些心得体会。

预应力钢束的布置原则:第一,钢束形状尽可能与荷载引起的弯矩保持一致,而且应该尽量减少孔道的摩擦损失^[3]。一般来讲,地下通道顶底板荷载以线荷载为主,因此钢束优先考虑布置形状为抛物线。第二,顶底板钢束的端部^[4],预应力钢束的高度应采用接近对应断面处的形心,从而减小预应力钢束在端部产生的弯矩,尽量减小对边墙的受力影响。第三,如果支点处的负弯矩较大,可以考虑将预应力钢束的反弯点向远离支点的方向调整,反弯点系数按照经验值一般取 0.1~0.3。第四,布置预应力钢束时,应该对其间距和数量进行协调,进而保证足够的锚固和张拉工作空间,而且还需要保证受力平衡。该通道的钢束布置如图 2 所示。

另外,由于通道外墙在顶底板固结处受力较大,普通钢筋不宜截断。结合通道的受力特点、牛腿和墙趾构造等,设计中将预应力钢绞线在通道主体外锚固,后浇封锚混凝土形成牛腿和墙趾,如图 3 所示,解决钢绞线锚固处普通钢筋不宜截断的要求。

最后,该通道所在场地条件为二级自重湿陷性

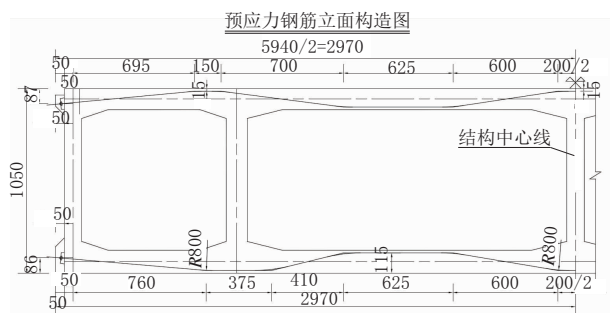


图2 预应力地下通道的钢束布置图(单位:cm)

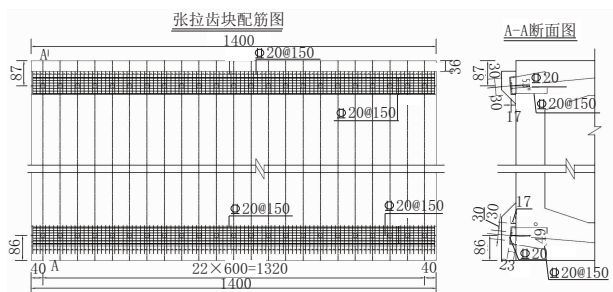


图3 预应力地下通道的钢束端部锚固图(单位:cm)

黄土,采用灰土挤密桩完全消除其湿陷性确保地基安全,同时提高地基承载力,减少基础沉降,尽量减小预应力构件对地基沉降的敏感度,确保结构安全。

4 预应力地通的计算分析

地下通道属于内部多次超静定结构体系,同时由于施加预应力后结构对外荷载比较敏感,因此正确简化结构模型,合理选择参数并施加荷载,显得至关重要。本文结合实际地下通道工程,采用MIDAS软件进行了建模计算,计算模型如图4所示。计算中不仅考虑施加预应力时引起的荷载效应,还考虑了徐变、收缩、温度变化,以及基础不均匀沉降引起的作用效应。

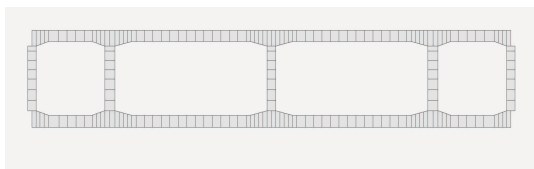


图4 计算模型

计算分析结果如下:

侧墙承载力极限状态和正常使用状态^[5-6]的裂缝验算:

从模型计算结果中提取内力,通过偏心判别,侧墙构件均为大偏压构件,裂缝验算 $0.05\text{ mm}<0.15\text{ mm}$,满足规范要求。

顶底板正常使用极限状态验算:

频遇组合-顶底板梁单元上下翼缘正应力最大为 0.44 MPa ,小于 1.86 MPa (见图5)。

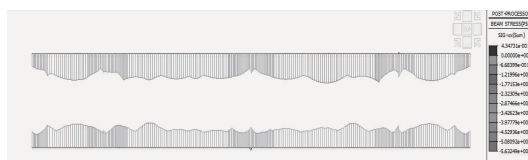


图5 频遇组合-顶底板梁单元正应力图(单位:MPa)

频遇组合-顶底板梁单元主拉应力最大为 0.55 MPa ,小于 1.325 MPa (见图6)。

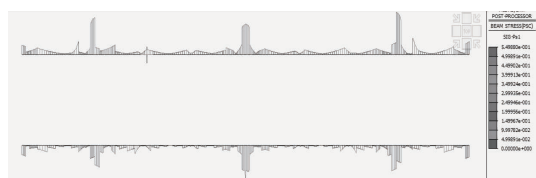


图6 频遇组合-顶底板梁单元主拉应力图(单位:MPa)

准永久组合-顶底板梁单元上翼缘正应力最大为 -0.26 MPa ,小于 0 MPa (运营期间通道内维修卸荷工况),满足规范要求(见图7)。

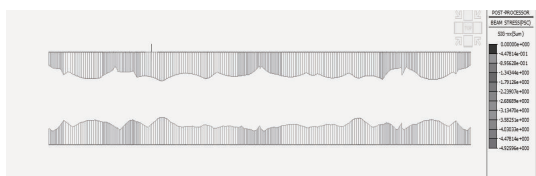


图7 准永久组合-顶底板梁单元正应力图(单位:MPa)

持久和短暂状况的应力验算:

标准组合-顶底板梁单元上翼缘正应力最大为 -6.8 MPa ,小于 -16.2 MPa (见图8)。

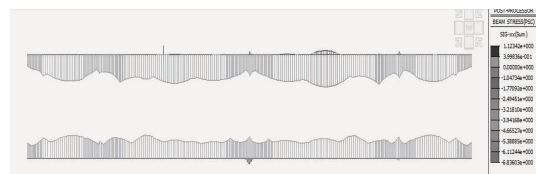


图8 标准组合-顶底板梁单元正应力图(单位:MPa)

标准组合-顶底板梁单元主压应力最大为 -6.84 MPa ,小于 -16.2 MPa ,满足规范要求(见图9)。

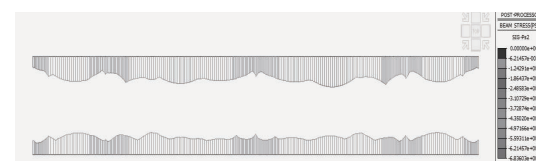


图9 标准组合-顶底板梁单元主压应力图(单位:MPa)

5 优化和改善建议

通过对南内环下穿高速的大跨预应力地下通道的实例设计分析与研究,对此类新型结构的未来应用中提出如下建议:

(1)预应力钢束的布置类型是预应力地下通道结构的难点,也是重点。如何结合钢束数量与大小,钢束间距与形状,预应力构件产生次内力的影响,合理、安全、经济等综合考虑进而反复调束试算与比

对,方能在保证安全的基础上进一步优化结构。

(2)该工程中仅顶底板配置预应力,侧墙依然采用钢筋混凝土构件,使得节点受力状态相对复杂,适宜建立局部有限元模型进行详细研究。

(3)地下通道框架结构采用预应力构件的工程实例相对较少,为了推动地下通道结构向更大跨、更进一步的方向发展,需对此类预应力结构的设计流程和计算模型中紧密结合结构的不同施工方案与运营维修卸载过程和使用阶段等各方面进行详细研究。

6 结 语

预应力混凝土构件一方面能够充分利用高强度钢材受拉性能、降低构件截面厚度和自重,更便于顶推施工;另一方面施加预应力后可以有效控制通道顶底板的挠度变形,防止通道混凝土开裂,提高通道的耐久性。虽然设计相对复杂,有技术难点,但是随

着结构技术的快速发展,大跨度地下空间诸如地铁、地下商城等结构的应用越发广泛,对地下通道结构的高度、宽度等空间利用和开阔视野有了更高的追求,这将进一步推动此类大跨预应力地下通道结构的发展。通过该工程实例的初拟、分析研究、反复修改到完善设计成果,使得对预应力地下通道结构的认识又提升了一个新的台阶,可为将来类似工程的应用提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 叶见曙. 结构设计原理[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 袁伦一,鲍卫刚.《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》条文应用算例[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [3] 陈博,刘德坤,王科.预应力混凝土 T 梁的预应力损失[J].公路工程,2012(3):241-244.
- [4] 陶学康.后张预应力混凝土设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [5] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [6] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com