

城市大跨地下矩形隧道结构形式及对应经济性探析

封泉博

合肥市市政设计研究总院有限公司

摘要：随着城市化进程的加快，城市基础设施建设愈发完善，隧道工程成为疏导、贯穿城市交通的重要通道。在隧道设计时，主隧道与匝道交汇处很难避免形成跨度拓宽情况，形成超大跨结构。随着板厚增加，顶板自重随之增大，用增大板厚来提高承载力的效率越来越低，笔者以实际项目为基础，从实腹矩形顶板、密肋梁顶板（T形）、工形空心顶板三种顶板结构形式来探究大跨隧道结构形式的可行性与经济性，以期对此类大跨隧道的结构设计提供一些思路与方法。

关键词：大跨；地下矩形隧道；结构形式；可行性；经济性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.08.047

前言

随着经济的发展，城市机动车保有量逐年上升，截至2022年，全国机动车保有量达4.17亿辆，其中汽车3.19亿辆；机动车驾驶人达5.02亿人，其中汽车驾驶人4.64亿人。2022年全国新注册登记机动车3478万辆，新领证驾驶人2923万人。家庭汽车的普及使得城市交通负荷越来越大，巨大的交通压力又容易造成交通事故，进而加剧交通拥堵，为人们的出行带来很大不便，不利于城市的快速发展，同时也降低了城市居民的生活幸福感。由此，城市隧道得到大力发展，成为城市不可缺少的区域交通要道，也是跨越交通拥堵节点、疏畅车流的地下交通彩虹桥。本文以本公司实际项目南二环西延-隧道工程为例，选取玉兰大道处25.2m+13.4m（净跨度）的双跨断面，对比分析常规实腹矩形顶板、密肋梁顶板（T形）、工形空心板结构三种顶板结构形式的可行性及经济性，为探索大跨地下隧道经济、合理的结构形式提供一些参考。

一、工程概况

南二环西延工程位于合肥市西南部，整体呈东西走向，本次设计范围：西二环-永和路段，全长约10千米（高架段5.8千米、隧道段3.3千米、地面段0.9千米），道路等级为城市快速路，玉兰大道-金桂路段（新华学院段）红线宽度30米，其余路段标准红线宽度60米。改造路线：自翡翠路东侧起桥（含翡翠路桥改造）、跨越合武铁路后，主线以连续隧道形式穿越西二环、合欢路、新华学院后衔接至玉兰大道地面，再以高架形式跨越习友路、绕城高速和永和路（含永和路交口，至跨线桥落地），近期以地面道路形式，衔接至创

新大道。

南二环西延工程是完善合肥市骨架路网结构体系的重要组成部分，改造总体完成后可缓解长江西路交通压力，构成连接西部城区、高新区、主城区的重要交通干道，大大缓解东西向交通压力。项目的建设对于建设完善城市快速路网体系、缓解城市西向交通拥堵、推动城市社会经济发展、促进沿线地块开发、提高城市综合竞争力均具有重要意义。南二环西延是合肥市五横七纵快速路网体系中东西向结构性快速路；西接六安，东联南二环，是东西组团交通联系通道（贯通高新、蜀山、包河），同时也是合六第二通道。

南二环西延工程隧道起点位于习友路以北约200m，沿玉兰大道下穿枫林路，下穿进入新华学院，出新华学院后沿合欢路下穿至西二环。终点位于西二环东侧。起终点里程为：88+20~123+38，隧道全长约3518m，其中暗埋段起终点里程为：90+81~122+88，暗埋段长度3207m，西侧敞口段长度261m，东侧敞口段长度50m。

隧道纵断面设计控制性因素为在建6号线区间、与西二环高架衔接以及下穿新华学院、西二环的施工方案。在满足控制节点高程以及隧道结构净空和覆土要求前提下，综合考虑隧道长度、通风、排水以及隧道进、出口接线等因素，纵断面最大纵坡为4.4%。本文主要研究玉兰大道处25.2m+13.4m（净跨度）的双跨断面的顶板结构形式。

二、计算原则及荷载

（一）结构形式

根据实际跨度情况，采用常规实腹矩形顶板形式时，初步确定结构尺寸为：顶板厚度1.8m（左侧大跨），顶板1.6m（右侧小跨），左侧墙1.6m，中隔墙0.7m，右侧墙1.4m，底板1.6m。因跨度较大，通过普通混凝土顶板来实现较困难，密肋梁顶板与工形空心顶板两种形式与实腹矩形顶板相比都减小了自重，并有其各自的优势，故将此两种结构形式与实腹矩形顶板做计算对比，探讨在本工程中的可行性与经济性。对左侧较大跨的顶板分别采用三种结构形式，其余部分的顶板、墙、底板均相同。除实腹矩形顶板外，其余两种结构形式的截面设置如下。密肋梁间距1.5m，空心顶板的肋板间距为4m，故根据结构形式、肋板位置，对计算模型做如下简化，实腹矩形顶板以每1米按梁单元计算二维框架，密肋梁顶板（T形）以每1.5m按梁单元计算二维框架，工形空心顶板以每4m按梁单元计算二维框架。

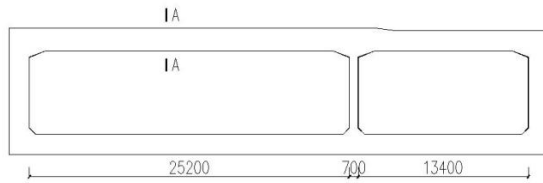
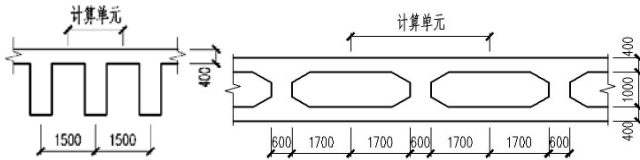


图2-1 隧道横剖面图



(1) 密肋梁顶板 (T形) (2) 工形空心顶板

图2-2 大跨顶板A-A剖面

(二) 计算原则

隧道类结构纵向长度远大于横向宽度，墙板均为单向板受力形式，因此取隧道纵向单位宽板带建立计算模型，各结构构件均按梁单元考虑，边界按弹性地基梁法考虑，施加只受压面弹簧，底板下土体基床系数取30000KPa/m，考虑顶板、底板、侧墙对应荷载。混凝土强度等级采用C35，钢筋采用HRB400，钢筋混凝土重度取26kn/m³。最高抗浮水位按设计地面下1m考虑，抗浮满足要求，抗浮安全系数不小于1.1，结构重要性系数为

1.1，分别计算重力工况与浮力工况并将计算结果包络设计。

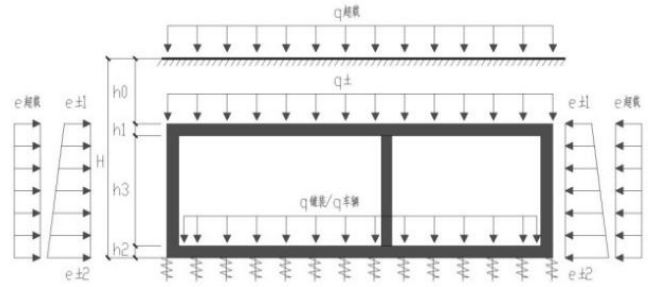


图2-3 重力工况荷载简图

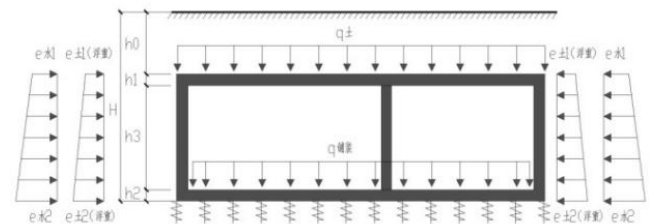


图2-4 浮力工况荷载简图

(三) 荷载

顶板覆土2.25m，取隧道横断面二维计算模型，对应荷载如下：

表2-1

荷载类型	荷载计算	实腹矩形/1m	T形/1.5m	工形/4m	单位
顶板覆土	$q_{\pm} = \gamma h_0$	45	67.50	180	KN/m
顶板超载	$q_{\text{超载}}$	20	30	80	KN/m
侧向超载	$e_{\text{超载}} = K_0 \times q_{\text{超载}}$	10	15	40	KN/m
底板浮力	$q_{\text{浮}} = \gamma_w (H - h_{\text{wh}})$	110	165	440	KN/m
顶板侧向土压力	$e_{\pm 1} = K_0 [\gamma h_{\text{wh}} + \gamma' (h_0 + h_t / 2 - h_{\text{wh}})]$	21	31.13	83	KN/m
底板侧向土压力	$e_{\pm 2} = K_0 [\gamma h_{\text{wh}} + \gamma' (H - h_b / 2 - h_{\text{wh}})]$	61	91.5	244	KN/m
顶板侧向水压力	$e_{\text{水}1} = \gamma_w (h_0 + h_t / 2 - h_{\text{wh}})$	22	32.25	86	KN/m
底板侧向水压力	$e_{\text{水}2} = \gamma_w (H - h_b / 2 - h_{\text{wh}})$	102	153	408	KN/m
底板车辆活载	$q_{\text{车}}$	20	30	80	KN/m
底板铺装	$q_{\text{铺装}}$	12	18	48	KN/m

三、结构形式及计算分析

根据以往工程经验及计算结果，地下隧道工程配筋主要由裂缝控制，本文中仅取标准组合下的弯矩包络及基本组合下的剪力包络计算结果来分析。各工况、组合计算结果如下：

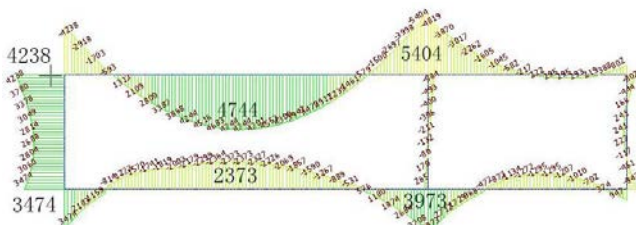


图3-1 实腹矩形顶板 标准组合包络弯矩

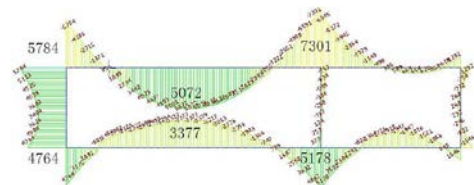


图3-2 密肋梁顶板 (T形) 标准组合包络弯矩

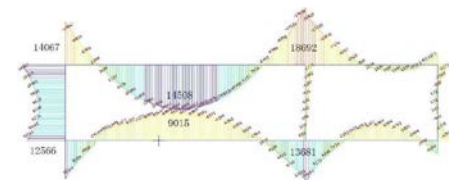


图3-3 工形空心顶板 标准组合包络弯矩

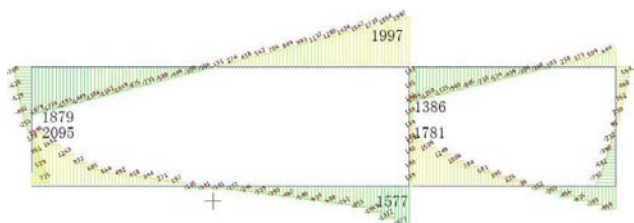


图3-4 实腹矩形顶板 基本组合包络剪力

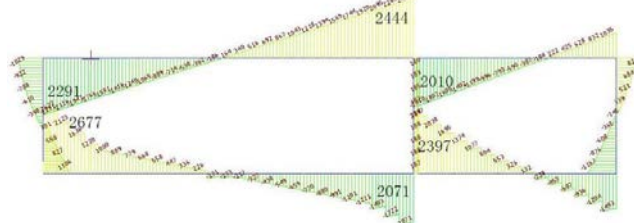


图3-5 密肋梁顶板 (T形) 基本组合包络剪力

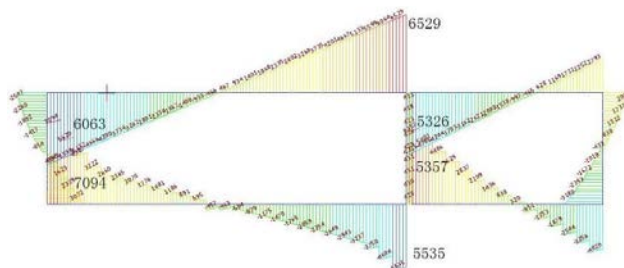


图3-6 工形空心顶板 基本组合包络剪力

四、可行性与经济性分析

对左侧较大跨的弯矩包络计算结果整理如下:

对于密肋梁顶板 (T形), 在本工程中, 由于管线限制, 覆土厚度最小为2.25m, 顶板总厚度最大为1.8m, 故密肋梁高最大梁高为1.8m, 根据计算结果可

表4-1 弯矩计算结果对比

结构形式	位置	中支座	跨中	边支座
实腹矩形顶板	顶板	5404	4744	4238
	底板	3973	2373	3474
密肋梁顶板 (T形)	顶板	7301/1.5=4868	5072/1.5=3381	5784/1.5=3856
	底板	5178/1.5=3452	3377/1.5=2251	4764/1.5=3176
工形空心顶板	顶板	18692/4=4673	14508/4=3627	14067/4=3516
	底板	13681/4=3420	9015/4=2253	12566/4=3141

知, 对于本隧道的跨度及覆土荷载等, 密肋梁底部由于梁宽限制无法使配筋满足计算弯矩, 但差距不大。在覆土厚度及梁高允许的其他工程中仍可考虑使用。

对于工形空心顶板, 相较于实腹矩形顶板, 中支座、跨中、边支座的弯矩分别减少了13.6%、23.5%、17.1%, 对应的底板弯矩分别减少了13.9%、5%、9.5%。

大跨顶板混凝土节约了42.7%。工形空心顶板混凝土自身可承担剪力为

$F=0.7\beta_{hf}bh_0=0.7\times 1\times 1.57\times [(4000\times 400+4000\times (400-45))+600\times 300\times 4+600\times (1000-45)]=4528\text{kN}$, 考虑支座宽度折减及设置箍筋, 可满足计算剪力要求。对于一些实腹矩形顶板受覆土等限制条件无法实现的大跨度, 工形空心顶板可成功实施。工形空心顶板相较于实腹矩形顶板, 钢筋及混凝土量均有可观的节约, 经济效益提升显著。

五、结论

大跨矩形隧道在城市发展建设中得到越来越多的应用与实施, 遇到的各种环境因素及限制条件愈发复杂, 超大跨度的情况越来越多, 仅仅依靠实腹矩形顶板结构形式难以满足所有项目所需。目前对超大跨隧道断面的研究与设计还不够深入, 可采用的方案有限, 本文所述的密肋梁顶板 (T形) 与工形空心板相较于实腹空心顶板结构分别有不同的优势, 均提高了大跨结构的可实施

性, 可较大程度节省混凝土与钢筋, 经济效益更优, 尤其是工形空心顶板, 是值得研究并进行完善、推广应用的大跨度结构形式。

参考文献

[1] 刘明保, 聂永明, 乐贵平, 等. 某明挖大跨区间预应力密排框架箱形结构的抗裂控制[J]. 建筑科学, 2012, 28 (增1): 308-311.

[2] 史红军, 高瑞, 李晶晶, 等. 深埋空心楼板式人行地下通道结构设[J]. 工程建设与设计, 2014 (7): 123-126.

[3] 覃卫民, 赵荣生, 王浩, 等. 浅埋大跨隧道下穿建筑物的安全影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29 (S2): 3762-3768.

[4] 张京, 胡鹏, 李国峰. 城市隧道结构设计研究[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10 (增1): 1679-1682, 1745.

[5] 李国英, 尚书侠. 城市下穿地道工程设计[J]. 山西建筑, 2007, 33 (22): 283-284.

[6] 刘发前, 肖元亭, 康晓雯, 等. 超大跨度地道与下穿地铁共建的围护设计研究[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10 (4): 908-912.

作者简介: 封泉博, 男, 毕业于中国矿业大学, 本科, 工程师, 主要从事市政道桥工程设计。