

盾构空推段结构受力分析及设计标准研究

费瑞振

中国铁路设计集团有限公司 天津 300251

摘要: 依托某区间盾构空推过暗挖法隧道工程,通过数值分析的方法研究盾构空推段结构受力特性。采用MIDAS-GTS有限元计算软件建立盾构空推过矿山法隧道的数值模型,分别研究初期支护、管片、导台的结构受力与设计标准。

关键词: 盾构;空推;结构受力;设计标准

引言:

城市地铁大多为浅埋隧道,且穿越路线多为城市繁华地段,采用盾构法施工可以减少其对地面的影响。然而在开挖过程中遇到硬岩、孤石、锚索、先硬后软、先软后硬、上软下硬、上硬下软等地段时,由于我国“软硬通吃”盾构掘进技术尚不成熟,此类地段采用盾构法施工将会加速刀具磨损、降低掘进速度,频繁更换刀具更会使工程成本不断上升,施工安全风险较大,故在此类地段可以考虑矿山法与盾构法相结合的施工工法。

1 工程概况

长沙地铁3号线湘龙站~星沙站区间南侧星隆国际广场锚索侵入盾构区间,影响区间长度约80m,区间北侧开源·鑫茂大楼、湘商·世纪鑫城锚索侵入盾构区间,影响区间长度约160m。

初步设计方案主要问题有:(1)人工挖孔桩内径小,无法采购或改装到满足要求的锚索拔除器。(2)交通疏解困难。需占用天华路南往东右拐专用道,并且影响开元路西往南进入星隆国际广场地下停车场的车辆;(3)锚索可能漏拔,受螺旋钻成孔施工工艺的限制,成孔直径不规则,直线性较差,容易造成漏拔现象;(4)跟管钻进时可能切断锚索。湘龙站~星沙站区间暗挖段平面图如图1所示^[1]。

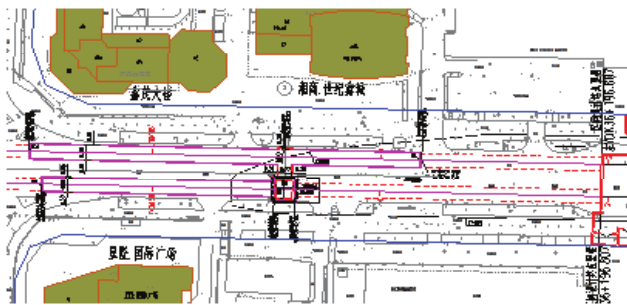


图1 湘龙站~星沙站区间暗挖段平面图

2 盾构空推段结构受力分析

2.1 初期支护

(1) 隧道埋深对初支受力影响,隧道的埋置深度不同,则作用在初支上的荷载也会随之改变,进而影响到初支的受力。在其他地层参数不变的情况下,通过改变隧道埋置深度,计算不同埋置深度初支的受力。在不同隧道埋深条

件下,通过对比不同工况下的计算结果,可知初支在隧道埋置深度不同时内力分布规律一致。初支弯矩值在初支环顶部和底部最大,且随着隧道埋深的增加而增加;初支截面受压,最大轴力值位于初支环腰部,初支轴力与埋置深度正相关,随埋深的增加而增大。(2) 土体泊松比对初支受力影响,通过选取土层泊松比 μ 的值,在其他地质条件不变的情况下,研究土的不同泊松比的大小对初支受力的影响。通过对比看到土体泊松比取值不同时,初支内力分布规律相同,截面最大弯矩与土的泊松比负相关,其值随泊松比的增大而减小;截面最大轴力几乎不受影响,随泊松比的增大而略微变大,而最小轴力则与土体泊松比正相关。(3) 初支厚度对初支受力影响,初支的厚度直接影响到初支环结构刚度的大小,在地质条件和其他结构参数不变的条件下,当初支厚度不同时,初支截面内力分布规律不变,通过对比不同工况下的计算结果,可知初支的最大弯矩与初支厚度成二次函数关系,随厚度的增加而增大;初支最大轴力与其厚度成线性正相关。

2.2 管片

(1) 隧道埋深对管片受力影响,隧道的埋置深度不同,则作用在衬砌上的荷载也会随之改变,进而影响到管片的受力。在不同隧道埋深条件下,通过对比不同工况下的计算结果,可知管片在隧道埋置深度不同时内力分布规律一致。管片弯矩值在衬砌环顶部和底部最大,且随着隧道埋深的增加而增加;管片截面受压,最大轴力值位于衬砌环腰部,管片轴力与埋置深度正相关,随埋深的增加而增大。(2) 衬砌厚度对管片受力影响,管片的厚度直接影响到衬砌环结构刚度的大小,在地质条件和其他结构参数不变的条件下,得到不同厚度情况下管片的内力变化。当管片厚度不同时,管片截面内力分布规律不变。通过对比不同工况下的计算结果,可知管片的最大弯矩与管片厚度成二次函数关系,随厚度的增加而增大;管片最大轴力与其厚度成线性正相关^[2]。(3) 回填层厚度对管片受力影响,盾构机空推过矿山法隧道拼装管片,同时向管片和初支之间的空隙填充豆砾石、水泥浆等回填材料,为了研究回填层对管片受力的影响,改变其厚度,其他参数同算例工况一致,计算不同回填层厚度下管片的受力。通过对比管片在不同

回填层厚度条件下的内力变化,可知管片最大截面弯矩和轴力均与回填层厚度成二次函数关系,随回填层厚度的增加而增大,其中弯矩的增长速率较为缓慢。

2.3 导台

(1) 盾体重量对导台受力影响,盾体每延米的重量不同,则作用在导台上的荷载也会随之改变,进而影响到导台的受力。在其他参数不变的情况下,通过改变盾体每延米重量,计算不同埋置深度管片的受力。在不同盾体重量条件下,可知导台的最大弯矩和与盾体重量成线性正相关,其值随重量的增加而变大。(2) 导台厚度对导台受力影响,导台的厚度直接影响到导台刚度的大小,在地质条件和其他结构参数不变的条件下,改变隧道模型中导台厚度,得到不同厚度情况下导台的内力变化。在不同导台厚度条件下,可知导台的最大正弯矩与导台厚度成线性正相关,其值随厚度的增加而变大。导台的最大负弯矩与导台厚度成线性负相关,其值随厚度的增加而变小。(3) 基床系数对导台受力影响,通过选取土层基床系数的值,在其他地质条件不变的情况下,研究土的不同基床系数的大小对导台受力的影响。在不同基床系数条件下,可知导台的最大弯矩与基床系数成线性正相关,其值随厚度的增加而变大。

3 盾构空推段结构设计标准

3.1 初期支护设计

暗挖隧道开挖循环进尺,在土层和不稳定岩体中,喷射混凝土应分层进行,先从拱脚或墙脚向上喷射。矿山法隧道结构断面尺寸一般采用上部单心圆、下部多心圆相切的初期支护形式。初期支护的刚度在全断面中应尽量均匀,防止应力集中。初期支护穿越硬岩段,应减少初期支护厚度并取消格栅钢架,合理考虑防排结合的措施以满足抗水压要求。钢筋网铺设及喷射混凝土作业应符合规定要求。在盾构机进矿山法隧道之前对矿山法隧道进行断面测量,为保证隧道断面的尺寸,在初支施作后,应对断面进行复测,每隔4.5m进行一个断面测量,每个断面测量10个点^[3]。

3.2 管片设计

结合线路条件、施工中管片拼装、防水等因素综合选择衬砌环宽度,一般情况下宜采用1500mm。管片厚度应根据隧道直径、埋深、豆砾石回填、工程地质及水文地质条件、使用阶段及施工阶段的荷载情况等确定,管片衬砌环厚度宜采用300mm。盾构掘进时每环管片的同步注浆量宜控制在 $4.6 \sim 5.3\text{m}^3$ 。盾构管片外径与初期支护内径之间的净距不宜小于300mm。

宜采用钢筋混凝土管片,采用C50防水混凝土,管片纵向受力筋采用HRB400E级钢筋,管片中央均设有吊装孔兼二次补强注浆的注浆孔,内装逆止阀。吊装孔预埋件应进行抗拉拔试验,抗拉拔力应不小于25t。衬砌结构设计使用年限不小于100年。管片主筋保护层:外侧为50mm,内侧为40mm;构造筋保护层不小于25mm,并以此保护层定位钢筋。

3.3 导台设计

盾构导台在矿山法完成后施做,在隧道底部施工导向平台。导台支撑着盾构机并为盾构机前进起导向作用,盾构机在导台上空载推进并拼装管片。为增加盾构机向前推进的阻力,确保管片防水效果,在导向平台每隔5m左右对称预埋两块钢板,与平台钢筋进行连接,在盾构向前推进时,通过在导向平台上的安设牛腿,利用液压千斤顶向盾构提供反作用力。导台施工模板定位后必须进行测量复核,混凝土浇筑后应进行标高的复测,确保导向平台的标高施工精度在 $0 \sim +15\text{mm}$ 以内。为保证盾构机的顺利通过,在盾构步进通过之前,应对混凝土导台进行精确的测量检查,对该段隧道的开挖断面进行断面实测,每米测设一个断面,有欠挖应及时处理^[4]。

4 结论

初期支护的净空尺寸必须符合管片外径及豆砾石回填要求,并应满足使用及施工工艺要求,同时应计入施工误差、结构变形和位移的影响等因素;通过计算结果总结出隧道埋深、土层容重、土体泊松比、衬砌厚度、回填层厚度、盾体重量、基床系数对结构受力的影响规律,根据规律给出合理的工程应用标准,对盾构空推过暗挖法隧道工程的设计施工具有指导意义。

参考文献:

- [1]汪茂祥.盾构通过矿山法施工隧道段关键技术[J].现代隧道技术,2019,(01):67-70.
- [2]王春河.盾构机空推过矿山法段地铁隧道施工技术[J].铁道标准设计,2020,(03):88-91.
- [3]宋成辉.软土地层地铁盾构通用环管片结构设计研究[J].地下空间与工程学报,2019,7(04):733-740.
- [4]叶飞,朱合华,何川.盾构隧道壁后注浆扩散模式及对管片的压力分析[J].岩土力学,2019,30(05):1307-1312.
- [5]胡如军,朱伟,季亚平.盾构隧道管片设计参数的灵敏度分析[J].地下空间,2013,(01):28-32+106.