

doi:10.3969/j. issn. 1672 - 6073. 2013. 06. 018

地铁车站端头盾构井的空间分析

黎钜宏¹ 盛建龙^{1,2} 邓 静¹ 王 淇¹

(1. 武汉科技大学资源与环境工程学院,430081; 2. 武汉交通职业学院 武汉 430065)

摘 要 地铁地下车站端头盾构井是整个车站结构受力最复杂的地方,为确保其施工阶段和使用阶段的安全,必须对盾构井结构进行准确分析。以深圳地铁2号线东延线工程岗厦北站东端盾构吊出井为例,利用ANSYS 13.0有限元分析软件建立盾构井结构的空间计算模型,研究端头盾构井主体结构各主要构件的受力特性。结果表明:端头盾构井空间效应显著,通过建立空间计算模型可避免平面简化模型对墙体转角处边界约束条件和板侧向刚度的不合理假定。所得计算结果对类似工程设计具有一定参考价值。

关键词 城市轨道交通;地铁车站;端头盾构井;空间模型;内力分析

中图分类号 U455.43 **文献标志码** A
文章编号 1672-6073(2013)06-0073-05

在地铁地下车站结构中,端头盾构井是车站两端地铁区间隧道施工时,供盾构拼装、拆卸、掉头和管片吊装的工作井,在使用阶段是车站设备用房的组成部分^[1]。端头盾构井是整个车站施工最困难、结构受力最复杂的地方。传统的车站端头盾构井结构计算大多采用平面简化模型分析法,将板、梁、柱、墙结构构件分别进行计算,这使得整个结构的变形协调条件得不到满足,不能很好地模拟结构实际受力状态,因此应该采取空间计算方法对端头盾构井结构受力进行分析研究。本文以深圳地铁2号线东延线工程岗厦北站为工程背景,利用ANSYS 13.0^[2]建立盾构井空间模型,对盾构井主体结构的受力特性进行准确分析。

1 工程概况

岗厦北站为地下2层12 m岛式站台车站,呈东西

走向,主体位于深南大道北侧绿地内,为钢筋混凝土箱型框架结构,采用明挖顺筑法施工。车站主体围护结构采用800 mm厚地下连续墙,插入深度约6 m。根据深圳地铁2号线东延线工程筹划,岗厦北站东端设置盾构吊出井,吊出井主体结构外包尺寸为26.3 m×14.1 m,结构顶板覆土厚度为2.0 m,底板底埋深为15.907 m。根据施工要求,顶板、中板分别预留两个11.5 m×7.5 m的盾构吊出孔,待盾构吊出后封闭。砼强度等级除柱子采用C50外,其余结构均采用C30,端头盾构井结构见图1。

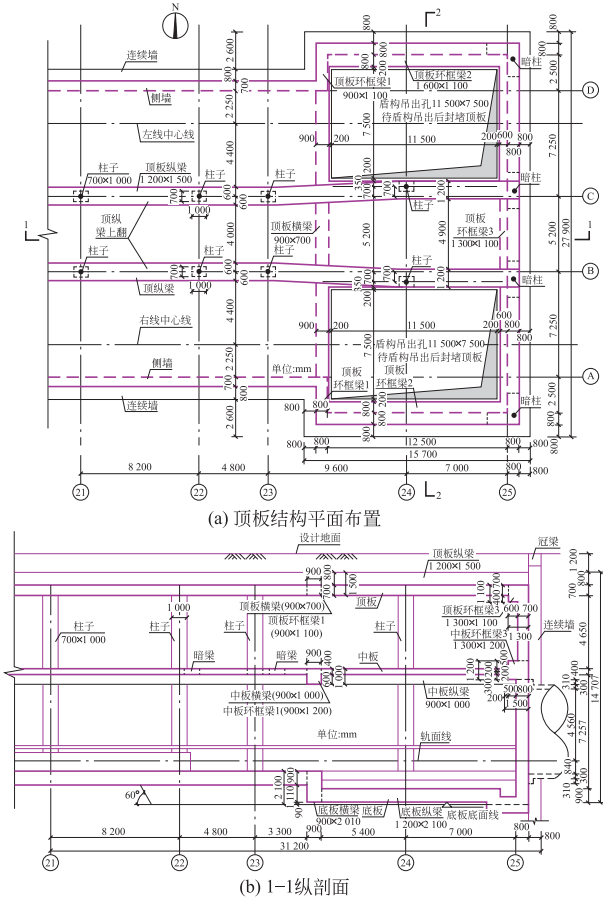


图1 端头盾构井结构(1)

收稿日期: 2013-02-12 修回日期: 2013-03-13
作者简介: 黎钜宏,男,工程硕士,主要从事地下结构工程的研究工作, 112410612@qq.com

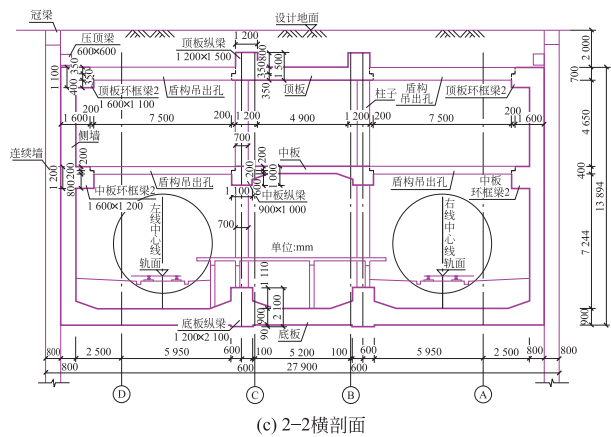


图1 端头盾构井结构(2)

表1 岩土层物理力学参数

地层编号	岩土名称	天然重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	抗剪强度(直剪)		基床系数		渗透系数 $k/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	泊松比 ν	弹性模量 E/MPa
			黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\phi/(\text{^\circ})$	垂直 $K_v/(\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1})$	水平 $K_h/(\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1})$			
<1-1>	素填土	19	15	10	—	—	0.05	—	—
<5-2-3>	中砂	19.2	—	—	18	18	10	0.23	—
<5-2-4>	粗砂	19.8	—	—	20	20	20	0.22	—
<5-2-5>	砾砂	20	—	—	22	22	25	0.20	—
<8-2>	砾(砂)质黏土	18.2	22	18	18	18	0.5	0.29	18
<8-3>	砾(砂)质黏土	18.3	25	20	32	32	0.75	0.30	20
<9-1>	全风化花岗岩	18.6	26	23	54	54	0.75	0.26	80

3.2 计算模型的简化及基本假定

端头盾构井主体结构构件较多,受力转换复杂,考虑所有的因素进行精确分析显然是不容易实现的,也是不必要的。只要抓住影响受力分析的控制性因素,解决主要的受力问题,在计算模型上适当做出一定程度的简化还是可行的^[5]。下面对计算模型进行简化和作出基本假定。

3.2.1 盾构井主体结构和围护结构的简化

在有限元分析模型中,模型尺寸根据盾构井结构尺寸中心线确定。主体结构顶板、中板、底板和侧墙及地下连续墙采用8节点的SHELL281单元模拟,不考虑地下连续墙的墙体接头。因主体结构内衬墙浇筑完成后与连续墙形成统一的受力体系,故内衬墙与连续墙之间采用节点共用的接触方式^[6]。主体结构各层纵梁、水平环框梁、横梁及中柱采用3D二次有限应变BEAM 189单元模拟。用位置相同的板、梁、柱、墙节点视为同一节点来反映结构的共同作用变形^[7]。

3.2.2 边界条件

1) 土体与结构体系间的相互作用可简化为结构作用在弹性地基上。建模时主体结构底板和地下连续墙低于底板以下的部分,利用3D结构表面效应SURF

2 岩土物理力学参数

根据勘察地质报告^[3],岩土层的物理力学参数见表1。

3 盾构井主体结构分析

3.1 计算原理

目前,用于地下结构理论计算的力学模型主要有荷载-结构模型和地层-结构模型两类。鉴于该地铁站盾构井主体为地下明挖浅埋结构,结构与地层共同作用较弱,岩土体作为荷载较为明确,故力学模型采用荷载-结构模型。荷载-结构模型理论认为,支护结构与地层共同作用的效果主要取决于地层条件以及支护结构与地层的相对刚度^[4]。

154单元考虑岩土弹性的地基刚度。因盾构吊出井在盾构施工期间顶板上覆土小于1 000 mm,故对地下连续墙高出主体结构顶板以上的部分不考虑土体的作用,同时,地下连续墙底嵌固在全风化花岗岩层上,故对连续墙底施加垂直位移约束。

2) 考虑到车站标准段结构与端头盾构井结构之间的影响,空间计算模型包含三跨标准段结构。在有限元分析模型中,对标准段结构边界处施加纵向位移约束和绕各轴线的转动约束。

3) 主体结构底板直接支承在弹性地基上,底板与地基的摩擦力很大,且结构与荷载均为对称布置,底板中轴在水平方向上的位移很小,可略去不计,故对底板中轴位置处施加水平位移约束。

通过以上简化和假定,端头盾构井空间有限元模型如图2所示。

3.3 荷载工况分析

3.3.1 计算工况

车站端头盾构井从盾构机吊出一车站端墙开洞一盾构吊出孔后期封堵一顶板覆土,整个施工过程中结构构件转换复杂,但根据各阶段的受力和同类工程的经验类比可以得出,车站端墙开洞后,在盾构吊出

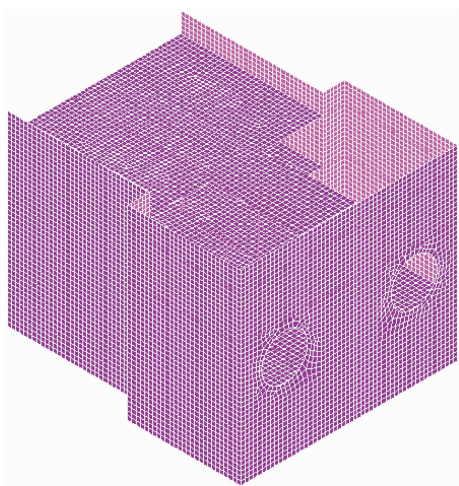


图2 端头盾构井空间有限元模型

表2 荷载分类及其组合

荷载类别	荷载名称	荷载基本组合				荷载标准组合			
		可变荷载效应控制		永久荷载效应控制		结构重要性系数 γ_0	荷载分项系数 $\gamma_G(\gamma_Q)$	荷载组合值系数 Ψ_C	结构重要性系数 γ_0
		荷载分项系数 $\gamma_G(\gamma_Q)$	荷载组合值系数 Ψ_C	荷载分项系数 $\gamma_G(\gamma_Q)$	荷载组合值系数 Ψ_C				
永久荷载	结构自重	1.2	—	1.35	—	1.1	1.0	—	1.0
	水土压力								
	设备荷载								
	风道荷载								
可变荷载	隔墙荷载	1.3	—	1.3	0.7	1.1	1.0	—	1.0

3.3.3 荷载标准值

1) 结构及土体自重、设备荷载、隔墙荷载、轨顶风道荷载

结构自重由程序考虑(钢筋混凝土容重取 $25\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$),覆土自重 $F_{\text{覆土}} = 1.0 \times 20 = 20\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ (土体容重取 $20\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$),设备荷载 $F_{\text{设备}} = 8\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$,隔墙荷载 $F_{\text{隔墙}} = 7\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$,轨顶风道折算荷载 $F_{\text{风道}} = 2.7\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

2) 水土压力

盾构吊出时计算工况:地下水位取地面以下1 m处,车站端头墙附近地面盾构超载取 $70\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$,侧墙附近地面管片材料堆载取 $35\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

盾构吊出后计算工况:地下水位取至地面,车站端头墙和侧墙附近地面管片材料堆载取 $35\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

计算中可以假设侧向水土压力为一次加载,不考虑施工过程的影响^[9]。侧向土压力选用朗肯主动土压力理论计算,水压力按静水压力计算。根据文献[10],同时结合本工程实际情况,对砂性土采用水土分算,对渗透系数较小的黏性土采用水土合算。

通过比较分析得出,用钻孔 Z 3-2 TGH-02 计算的水土侧压力为最大,而且盾构吊出时计算为最不利

工况,各土层分界面处锯齿形的水土压力取平均值进行简化。结构计算荷载见图3(限于篇幅,仅列出盾构井南北端结构计算荷载图)。

3.3.2 荷载概况

根据文献[8],作用在盾构井结构上的荷载包括永久荷载、可变荷载和偶然荷载。结构的计算荷载必须选择使结构整体或构件的应力为最大、工作状态为最不利的荷载组合。对于浅埋地下结构,研究荷载基本组合和标准组合(仅考虑永久荷载和可变荷载)最有意义。

综上所述,同时结合本工程的实际情况,该工程计算不考虑地震荷载作用。作用在盾构井结构上的荷载及其组合如表2所示。

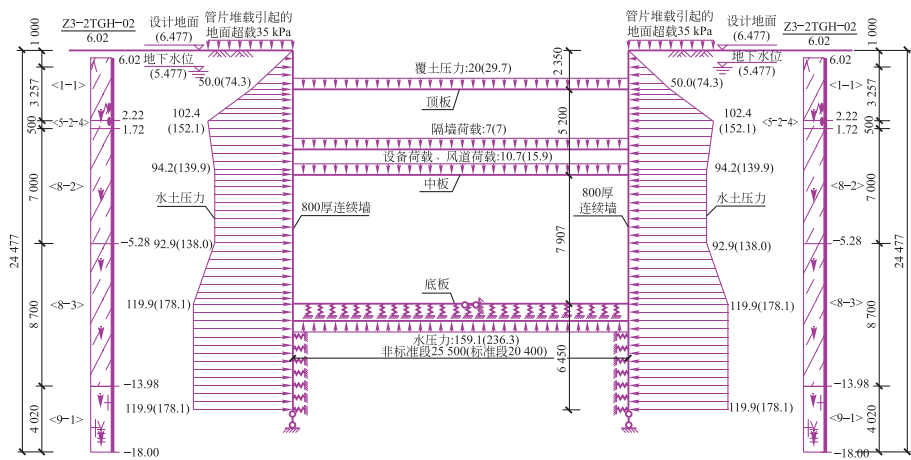
工况,各土层分界面处锯齿形的水土压力取平均值进行简化。结构计算荷载见图3(限于篇幅,仅列出盾构井南北端结构计算荷载图)。

3.4 计算结果分析

限于篇幅,仅对由永久荷载效应控制的基本组合的盾构井主体结构重要构件计算结果进行分析。

3.4.1 底板计算结果分析

端头盾构井主体结构底板的弯矩图如图4所示,由图可知,底板受力有类似无梁楼盖的受力特征,有明显的柱上板带和跨中板带,底板承受双向弯矩,双向受力比较明显。车站底板在标准段与端头盾构井段连接处沿X方向负弯矩 M_x 最大值达到 $-3\,027\text{ kN}\cdot\text{m}$,沿Z方向负弯矩 M_z 最大值达到 $-2\,163\text{ kN}\cdot\text{m}$,说明底板连接转角处存在明显线位移和角位移,其受力具有典型的特性。端头盾构井主体结构底板沿X方向最大负弯矩 M_x 为 $-2\,143\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在底板纵梁与开洞端墙的连接处附近;沿X方向最大正弯矩 M_x 为 $877\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在底板边跨中部位置;沿Z方向最大负弯矩 M_z 为 $-1\,679\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在车站标准段与端头盾构井段的连接处附近;沿Z方向最大正弯矩 M_z 为 $875\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在底



注:图中荷载以kPa计,标高以m计,标注以mm计;荷载数字为标准值,括号内数字为设计值

图3 结构计算荷载

板边跨中部位置。底板边缘由于侧墙的约束作用,承受较大的负弯矩,导致底板跨中正弯矩相对较小,故设计时应考虑侧墙对底板的抗扭约束作用,应对底板进行弯矩调幅。对底板的配筋而言,宜按双向板配筋,同时相应减少底板的上排负弯矩钢筋,而增大底板的下排正弯矩钢筋。另外,结构节点处内力比较大,故截面设计时的矩形框架节点处宜加斜托,以改善结构的受力状态。

3.4.2 开洞端墙计算结果分析

端头盾构井主体结构开洞端墙弯矩图见图5。由于施工阶段顶、中板盾构吊出孔的留设,减弱了板对端墙的支撑作用,从而使得端墙对应的弯矩增大。开洞端墙沿Y方向最大负弯矩 M_y 为 $-5\,779\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在端墙开孔下方,底板纵梁与端墙交接处附近;沿Y方向最大正弯矩 M_y 为 $1\,473\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在端墙开孔上方附近;沿Z方向最大负弯矩 M_z 为 $-5\,988\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在端墙开孔下方,底板纵梁与端墙交接处附近;沿Z方向最大正弯矩 M_z 为 $1\,870\text{ kN}\cdot\text{m}$,发生在顶板环框梁下方。

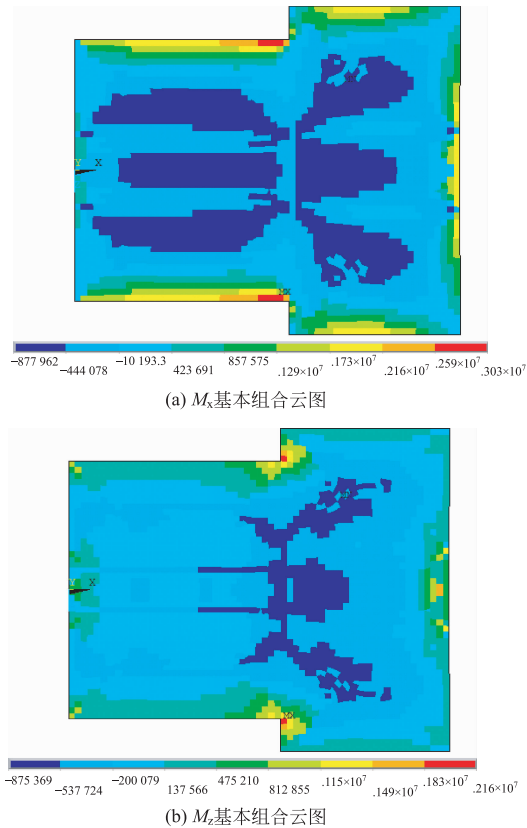


图4 端头盾构井主体结构底板弯矩图

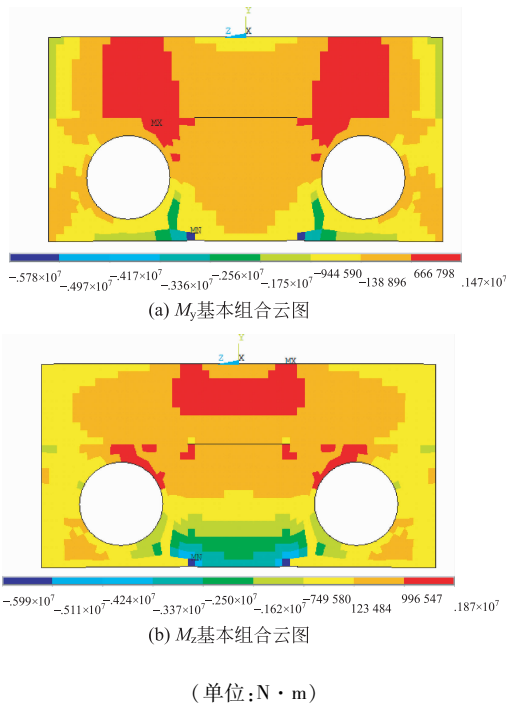


图5 端头盾构井主体结构开洞端墙弯矩图

由图5可见,端墙与底板受力类似,承受双向弯矩,空间受力较明显,应按双向板配筋。端墙在盾构开孔附近产生较大范围的应力集中,因此端墙开洞处配筋应适当加强。端墙开孔下方处支座弯矩比较大的原因是:车站地下2层层高达到8 m,使得端墙跨度较大;较大的水土压力作用在端墙上;底板没有设环框梁,端墙底部主要依靠底板提供支座来进行受力传递。

4 结语

通过对深圳岗厦北站端头盾构井建立空间模型,并对盾构井主体结构重要构件进行计算以及结果分析,得出以下结论和体会:

1) 在ANSYS建模过程中,应通过截面偏移操作命令来模拟真实结构的弯、剪、扭状态;结构单元的坐标系要统一,特别是梁单元的坐标方向,否则即使是对称截面,也会产生意想不到的结果;在空间模型中,土弹簧不好添加,可利用3D结构表面效应单元SURF 154来考虑岩土体的弹性地基刚度。

2) 端头盾构井主体结构的顶、中板环框梁和端墙最大变形值在2.0 mm以内,对环框梁和端墙截面可以进一步优化。底板结构最大变形值为16.4 cm,位移明显向上,故要对底板结构进行抗浮设计。空间三维模型考虑板、墙、梁转角处的线位移和角位移,避免平面简化模型对墙体转角处边界约束条件和板侧向刚度的不合理假定。

3) 随着地铁建设机械化程度的不断提高,采用盾构法掘进的区间已占据主导地位,结合地铁地下车站设置端头盾构井已不可避免。因此,在设计中对端头盾构井

进行有限元分析具有一定的实际意义,特别是在计算中应充分考虑端头盾构井的空间效应,使端头盾构井各结构构件在满足设计规范的前提下做到最为经济、合理。

参考文献

- [1] DGJ 08 - 109 - 2004 城市轨道交通设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 王新敏,李义强,许宏伟. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京:人民交通出版社,2011:90.
- [3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 深圳地铁2号线东延线工程岗厦北站初步勘察阶段岩土工程勘察报告[R]. 深圳,2007.
- [4] 施仲衡. 地下铁道设计与施工[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997:208.
- [5] 陶勇,郑俊杰,楼晓明. 地铁端头井的设计计算方法探讨[J]. 华中科技大学学报:城市科学版,2005,22(1):73 - 77.
- [6] 耿亚梅,陈卫忠,田洪铭,等. 软土地层大型盾构工作井合理支护参数研究[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(7):1435 - 1444.
- [7] 丁春林. 地铁车站端头井受力计算模型研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(5):621 - 625.
- [8] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
- [9] 高志宏. 盾构端头井结构设计中的若干问题研究[J]. 四川建筑,2010,30(2):153 - 155.
- [10] 王元湘. 明挖结构使用阶段的受力分析[J]. 都市快轨交通,2006,19(3):49 - 52.

(编辑:郝京红)

Spatial Analysis of End Shield Well of a Subway Station

Li Juhong¹ Sheng Jianlong^{1,2} Deng Jing¹ Wang Qi¹

(1. School of Resource and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;

2. Wuhan Technical College of Communications, Wuhan 430065)

Abstract: The end shield well of subway underground station is the structure with the most complicated stress condition. To ensure the safety of the end shield well during construction and operation, accurate stress analysis of shield well structure should be carried out. Taking Gangxia North metro station east end shield well on Shenzhen metro Line 2 east extension project as an example, authors studied the stress behavior of each major component of end shield well main structure by using ANSYS 13.0 to establish space computation model of shield well structure. Results of the study indicated that the space effect of end shield well is obvious and the space computation model can avoid unreasonable assumptions of the simplified plane model which neglects the boundary constraint of the wall corner and lateral plate stiffness. The calculated results have obvious value for reference by similar engineering projects.

Key words: urban rail transit; subway station; end shield well; space model; internal stress analysis