

大型盾构井结构设计与力学分析

杨斌¹ 郑君²

(1. 中铁第六勘察设计院集团有限公司, 天津 300308;

2. 广州科技职业技术大学, 广东 广州 510550)

摘要: 大型盾构井属于大空间地下结构, 其受力具有典型的空

关键词: 大型盾构井; 结构设计; 力学分析

中图分类号: TV672.1 **文献标志码:** A



大型盾构机的盾构井作为隧道施工时供盾构机拼装、拆卸、调头的空间, 在盾构井结构设计中, 第一道和第二道环框梁在盾构始发期间受力较大, 各墙体转角处存在较大弯矩。因此, 本文建立空间模型, 对盾构井结构整体受力进行分析, 并对比荷载-结构模型和地层-结构模型计算结果, 以便对盾构井侧墙、水平框架梁等重要结构构件进行合理、经济安全的结构设计。本文以文华路南延线工程(新明一路至天成路) 工程为背景, 对区间盾构井主体结构在盾构始发前的受力特性进行分析对比^[1]。

1 概述

1.1 工程概况

本文依托工程为文华路南延线工程(新明一路至天成路) 工程的北岸盾构井, 北岸工作井施工范围在佛山新港和石湾湿地公园内, 设计里程为WK0+702~WK0+727。工作井的平面外包尺寸为53.69 m×25 m, 场地标高约+6.9 m, 底板标高约为-26.494 m。从WK0+603起, 盾构井的主线明挖暗埋段为两孔一管廊。

该盾构接收井为四柱三跨框架结构形式, 采用明挖半逆作法施工, 冠梁到第二道环框梁之间结构采用逆作法施工, 第二道环框梁以下采用顺作法施工。以1200 mm厚地连墙+内支撑作为基坑支护结构。盾构井主体结构侧墙、端墙厚1200 mm, 顶板厚1000 mm, 底板厚1500 mm, 设置两层中板, 主体结构外设置全包防水层。

盾构井在盾构始发前采用地连墙+环框梁+腰梁+斜支撑的围护体系。在盾构始发阶段, 需要拆除内支撑, 围护结构支撑受力转换为环框梁+内部框架梁柱受

力。在围护结构顶设置冠梁, 在冠梁下设置两道闭环框梁。

1.2 工程水文地质概况

本工程场地属于海陆交互相冲洪积三角洲平原地貌。本工程主要地层有: 新生界第四系和古近系始新统坳心组(E1-2b) 地层。其中土层主要为第四系全新统(Q₄)。由人工填土(Q₄^m)、海陆交互相沉积层和冲积~洪积砂层、黏土层和残积土层。组成下部基岩主要为古近系始新统坳心组(E1-2b) 的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、泥岩、细砂岩、粗砂岩等。

2 计算原理及方法

本次结构计算采用三维荷载-结构模型和地层-结构模型。荷载-结构模型以支护结构作为承载主体, 围岩松弛压力作为荷载作用体现在结构上, 同时围岩对支护结构变形起到一定约束作用。

(1) 结构构件根据基本组合及准永久组合要求, 分别进行承载能力的计算和稳定性、变形及裂缝宽度验算。

(2) 结构的安全等级为一级, 构件的(结构) 重要性系数取1.1。

(3) 场地环境作用等级为I-B。

(4) 钢筋混凝土构件(不含临时构件) 正截面的裂缝控制等级一般为三级, 即允许出现裂缝。采用极限状态法进行准永久组合验算, 应符合如下规定: 明挖结构设计使用年限为100年的构件, 正截面迎土侧最大裂缝宽度限值≤0.2 mm, 背土侧最大裂缝宽度限值≤0.2 mm。计算裂缝宽度时, 当保护层厚度超过30 mm时, 则按30 mm取值。

(5) 明挖结构设计应按最不利情况进行抗浮稳定

验算。施工期间抗浮安全系数 ≥ 1.05 ，运营期抗浮安全系数 ≥ 1.1 ，若计入侧壁摩阻则按 ≥ 1.15 考虑。

(6) 结构构件设计应按基本组合和准永久组合分别进行荷载效应组合，并取各自最不利组合进行设计。

(7) 顶板、中板按纯弯构件计算，底板按压弯构件计算，计算时应考虑轴力的70%，对侧墙可以考虑轴力，不需要折减。

(8) 结构设计应符合结构实际工作（受力）条件，并反映结构与周围地层的相互作用。

3 模型计算参数选取

施工阶段采用降水施工，保证地下水位于施工作业面0.5 m以下。运营阶段按照不利条件考虑，底板受力按照常水位计算，抗拔桩和盾构井其他部位按照满水位计算结构受力。围岩荷载取值时，砂土层按照水土分算，黏土层按照水土合算。同时，施工阶段为满足盾构机起吊安装的施工要求，地面超载按照70 kPa计。使用阶段考虑到地面将建成公园，地面超载按照20 kPa计。盾构井内部地下一层中板按照8 kPa设备荷载、4 kPa活载计，地下二层车道板车辆荷载按照30 kPa计算^[2]。

计算模型尺寸根据盾构井结构实际尺寸按其中心线确定，结构材料如下：(1) 顶板、顶梁为C40混凝土；(2) 底板、底梁为C40混凝土；(3) 中间各层板、梁为C40混凝土；(4) 立柱为C40混凝土；(5) 侧墙为C40混凝土；(6) 中隔墙为C40混凝土；(7) 壁柱、暗柱的混凝土强度等级同所在位置侧墙混凝土。(8) 主体结构混凝土防水等级根据埋深调整，盾构井C40/P12。

本次计算采用Midas GTS有限元软件，应用荷载-结构法，建立三维空间模型对北岸盾构始发、接收井主体结构进行计算分析。模型中采用壳单元模拟板、墙，Beam单元模拟梁、柱，弹簧单元模拟土体与结构之间的作用。荷载-结构计算模型整体图见图1、地层-结构计算模型整体图见图2。

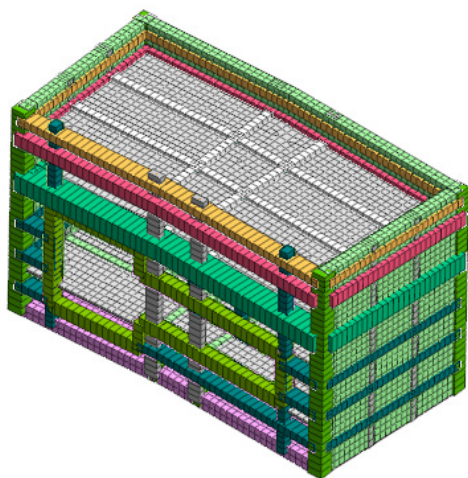


图1 荷载-结构计算模型整体图

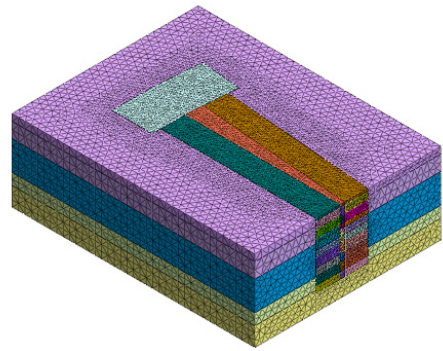


图2 地层-结构计算模型整体图

4 计算分析

本次计算分别按照施工阶段和运营阶段两种工况进行模拟分析，围护结构和部分主体结构施工完成后，盾构始发前拆除斜撑、破除始发洞门及洞门处腰梁，此时结构受力比上一阶段复杂，同时比主体结构完全施工完成后的运营阶段结构受力复杂^[3]。

荷载-结构模型内力计算结果见图3~图7。

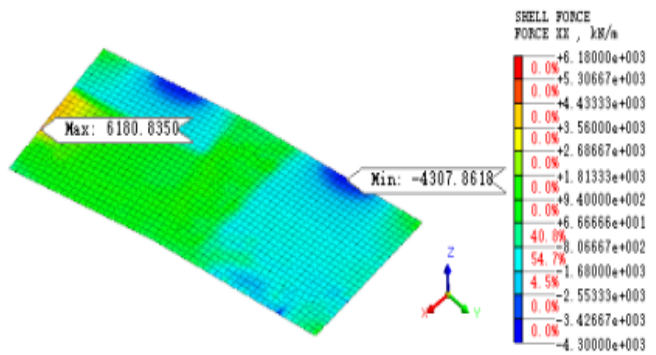


图3 底板承载能力极限状态弯矩图

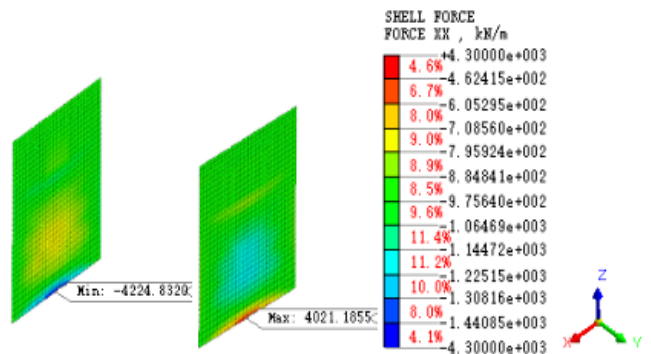


图4 侧墙承载能力极限状态弯矩图

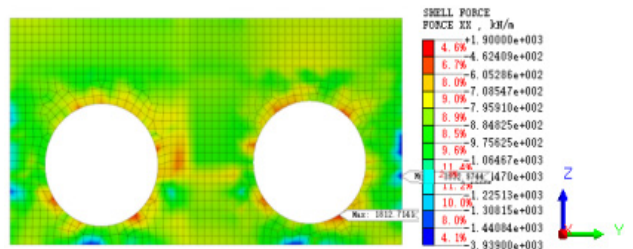


图5 始发端墙承载能力极限状态弯矩图

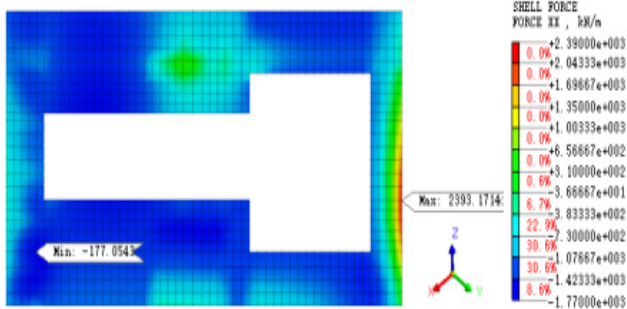


图6 后配套端墙承载能力极限状态弯矩图

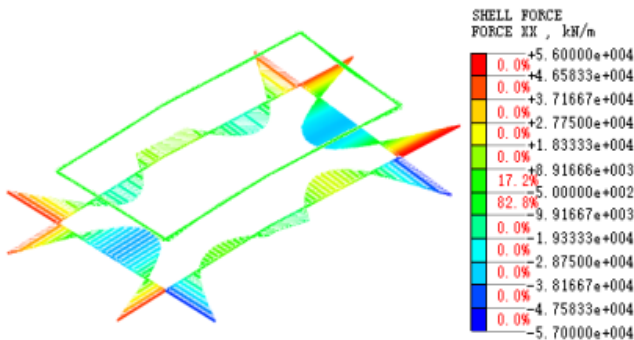


图7 盾构井环框架梁承载能力极限状态弯矩图
地层-结构模型计算结果见图8、图9。

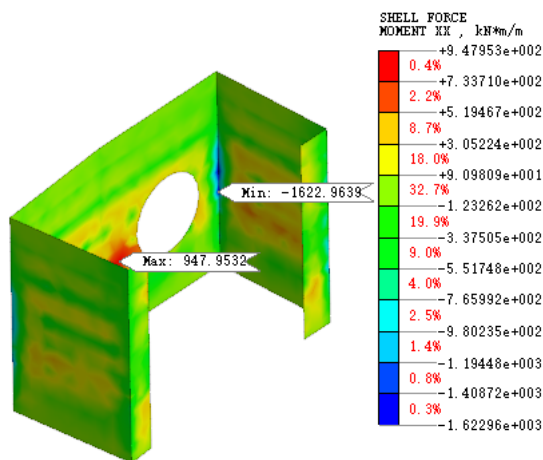


图8 盾构井墙体承载能力极限状态弯矩图

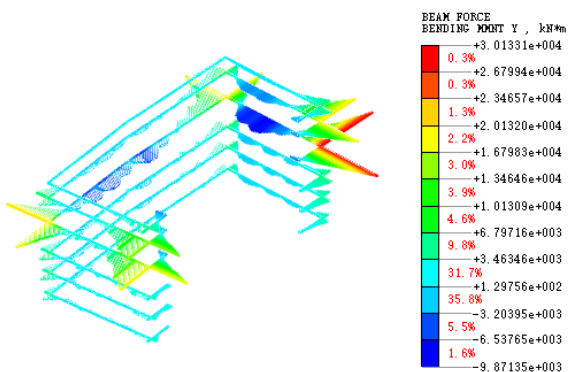


图9 盾构井环框架梁承载能力极限状态弯矩图

5 结论

(1) 地下连续墙的变形计算结果表明：地下连续墙的最大水平变形出现在工作井的中下部，且在盾构工作井自上往下开挖过程中变化最快，计算得到的墙体最大水平变形为6.27 cm。经验算，连续墙的水平变形满足设计规范要求^[4]。

(2) 地下连续墙的内力计算结果表明：地下连续墙在施工过程中，除了承受较大竖向弯矩外，还承担一定水平弯矩。基坑开挖至坑底时，其最大的水平弯矩值达到1623 kN·m，最大竖向弯矩为1784 kN·m。地下连续墙的配筋率满足工程设计施工规范要求。

(3) 环梁（围檩）的弯矩计算结果表明：第一道和第二道环梁（围檩）在整个施工过程中都承担较大弯矩，第二道环梁（围檩）的弯矩最大值出现在明挖段与工作井相交处，其最大值为56675 kN·m。圈梁的配筋率满足工程设计施工规范要求。

(4) 底板的内力计算结果表明：底板的弯矩在与盾构破墙面相交的位置以及与明挖段相交的位置有明显集中，纵向最大弯矩为5557 kN·m，横向最大弯矩为6181 kN·m。底板的配筋率满足工程设计施工规范要求。

(5) 内衬墙的内力计算结果表明：盾构破墙面墙体在盾构破墙处有明显应力集中，其最大弯矩为1813 kN·m，在与底板相接位置弯矩较大，最大弯矩为4385 kN·m；后配套墙体最大弯矩主要位于与短侧墙相接处，最大为3750 kN·m；短侧墙在与底板和与盾构破墙面墙体相接处有明显的应力集中，其最大弯矩为4225 kN·m；内衬墙的配筋率满足工程设计施工规范要求。

对地层-结构模型和荷载-结构模型进行对比分析，可减小单一模型计算对地下大空间结构内力产生的误差，计算结果更贴合实际，可为类似工程提供参考。

参考文献

- [1] 王瑞峰.区间盾构井结构设计力学分析[J].北方交通, 2011, (12): 56-60.
- [2] 陈丽娜.广州地铁四号线仑头盾构井基坑支护设计[J].广东土木与建筑, 2005, (05): 39-41.
- [3] 李立.北京地铁8号线二期南段工程设计与施工[J].隧道建设, 2011, 33(12): 801-806.
- [4] 牛斌.行洪区长大地铁区间隧道结构设计及措施研究[J].现代隧道技术, 2020, 57(S1): 736-742.