

Targeted Design of Shield Cutter for Composite Formation Tunnel Engineering

Qingbin Chen

College of Mechanical and Electrical Engineering of CSU., Changsha, Hunan, 410083, China

Abstract

The Pearl River Delta area is one of the most complex areas in underground engineering in China. In this area, many construction problems such as extremely hard rock of 200 Mpa, extremely soft and hard strata, spherical weathering bodies, limestone caves, complex and changeable strata and abundant groundwater need to be solved. According to the construction section of a tunnel in the Pearl River Delta region, the stratum characteristics of the section are analyzed, and the corresponding cutter head design scheme is put forward. The feasibility of the design is proved by simulation analysis.

Keywords

composite formation; cutter head; finite element analysis; targeted design

复合地层隧道工程盾构机刀盘针对性设计

陈庆宾

中南大学机电工程学院, 中国·湖南长沙 410083

摘要

珠江三角洲地区是中国地下工程中地质最为复杂的地区之一,在该地区施工需应对诸如200Mpa的极硬岩、极端上软下硬地层、球状风化体、灰岩溶洞、复杂且多变地层和地下水量丰富等诸多施工难题。针对珠三角地区某隧道施工区间,分析区间地层特点,提出相应刀盘设计方案,并通过仿真分析,证明设计可行性。

关键词

复合地层; 刀盘; 有限元分析; 针对性设计

1 引言

盾构机是用于地下暗挖施工隧道的专用工程机械,集土体切削、渣土运输及衬砌拼装等多项功能于一身,可以实现隧道的一次成型,也使得隧道施工更加安全、快速、环保。目前常见的盾构机主要包含了刀盘、盾体、螺旋输送机、管片拼装机、皮带机和后配套拖车等机械部件以及相应电气、液压系统,上述部件当中,刀盘作为最先与切削土体接触的部件,其设计的合理性直接影响工程的实际掘进效果,如果设计不合理还会带来施工进度缓慢、刀具消耗成本巨大,更有甚者还会带来隧道坍塌的风险。故刀盘作为盾构机的关键部件,如何根据地层特性进行相适应的刀盘设计显得尤为重要^[1]。

珠三角地区地质以硬岩为主,岩体抗压强度大,且分

布有高承压地下水,对盾构机刀盘强度及耐磨性能有着极高的要求。针对珠三角地区隧道施工,进行盾构机刀盘专项设计,总结类似地层盾构设备刀盘设计经验,能够有效解决城际盾构领域内刀盘对于复杂地层的适应性和技术的依赖性,从根本上解决目前城际隧道施工的高施工成本和高维修成本,并且对以后类似地层盾构机设计及隧道施工有着极其重要的意义。

2 地层特点分析

区间主要穿越地层有白垩系强风化泥质砂岩、白垩系全风化~中风化砂岩、震旦系全风化~中风化二长花岗岩,地层富含石英颗粒,且地层软硬分布不均,岩层最大单轴抗压强度高达 72.7Mpa。隧道区间左线各类岩层具体分布情况如表

1、图1所示:

表1 隧道区间左线各类岩层分布情况表

区间左线各类岩层分布情况表			
地层属性	上软下硬地层	全断面硬岩地层	全断面软岩地层
地层特点	全~中风化二长花岗岩 全~中风化砂岩	强~中风化二长花岗岩 强~中风化砂岩	全风化二长花岗岩 全风化砂岩
长度(m)	1.455km	1.61km	7.1km



■ 上软下硬 ■ 全断面硬岩 ■ 全断面软岩

图1 隧道区间左线岩层分布统计图

隧道区间右线岩层分布情况如表2及图2所示:

表2 隧道区间右线各类岩层分布情况表

区间右线各类岩层分布情况表			
地层属性	上软下硬地层	全断面硬岩地层	全断面软岩地层
地层特点	全~中风化二长花岗岩 全~中风化砂岩	强~中风化二长花岗岩 强~中风化砂岩	全风化二长花岗岩 全风化砂岩
长度(m)	1.59km	3.15km	6.15km



■ 上软下硬 ■ 全断面硬岩 ■ 全断面软岩

图2 隧道区间右线岩层分布统计图

通过现场勘验并分析相应地层属性,就地质情况所带来的设计难点进行提炼,总结并归纳形成如下针对性设计要点:

(1) 掘进距离长,隧道部分区间穿越砂岩层,该区间石英颗粒含量较高,对刀盘、刀具磨损较大,所设计刀盘需具备较强的耐磨能力;

(2) 隧道多次穿越上软下硬地层,该地层对刀盘冲击极大,所设计刀盘需具备足够的刚度,以保证盾构机在此类地

层中的顺利掘进。

(3) 存在中风化二长花岗岩,且强度较高(72.2MPa),刀盘设计及刀具布置应具备足够的强度和扭矩以满足破岩需要;

(4) 区间部分标段需下穿桥桩,刀盘需具备过桩能力^[1]。

3 刀盘针对性设计

根据之前所分析设计难点,掘进机刀盘设计拟采取以下针对性设计措施,保证掘进机正常掘进:

(1) 为适应复合地层掘进需求,刀盘结构设计采用辐条+面板式复合刀盘;

(2) 刀盘整体结构设计结构采用刚性更强的3分块设计(方案1中心块+2边块)。刀盘整体结构使用高强度厚板制作辐条板和面板主结构,在保证渣土流动性的前提下刀盘正面厚度提高到600mm,边缘厚度可达700mm。此外,通过幅臂对接处增加倒圆设计并将幅臂板延伸到中心处背侧,有效减少了中心区域辐条焊接的应力集中,加强了中心区域的整体性,有效提高了中心区域的结构强度和刚度;通过在中心厚板外缘背侧增加加强筋板,并沿半径方向布置3组传力环,保证刀盘整体具备更加均匀的扭矩传递效果。通过以上措施,有效提升刀盘整体强度和刚度;

(3) 为提高刀盘及刀具抗冲击性能及耐磨性,刀箱设计采用耐磨性及抗冲击能力更强的20英寸滚刀刀箱刀座;切刀采用小背斜设计,通过2排固定螺栓进行固定,并在底部位置处增加定位台阶,该设计方案可以提高切刀的抗冲击性能及耐磨性,并显著消除切刀所承受的冲击剪力;刮刀采用大合金方案,在刀座内安装钢丝螺套,保证了刮刀抗冲击能力的同时又满足极端工况下方便拆卸的需求;优化滚刀、切刀刀间距,以适应大直径刀盘外周的高线速度刀位磨损,从而有效提高主切削刀具寿命;最后,通过刀盘外周采用镶嵌合金耐磨条,正面焊接复合式耐磨板,边缘及过渡区域焊接耐磨网格,有效提高刀盘整体耐磨性能,保证长距工作条件下设备的正常掘进;

(4) 除上述措施外,通过加大刀盘中心开口率,改善刀盘中心区域改良剂注入数量,优化改良剂注入布局方式,增加刀盘背部搅拌棒数量等方式,极大的提高渣土改良效果,改善了渣土流动性,进一步提高施工效率^[1]。

根据上述分析设计相应刀盘模型，刀盘具体参数及模型分别如表 3、图 3 所示：

表 3 刀盘参数表

ZTE8800 复合刀盘参数表			
序号	项目	参数	备注
1	开挖直径 mm	8850	
2	大圆环外径 mm	8700	
3	刀盘驱动功率 kW	3000	12*250
4	刀盘驱动扭矩 kNm	17690	
5	刀盘脱困扭矩 kNm	19760	
6	刀盘材料	Q345C	

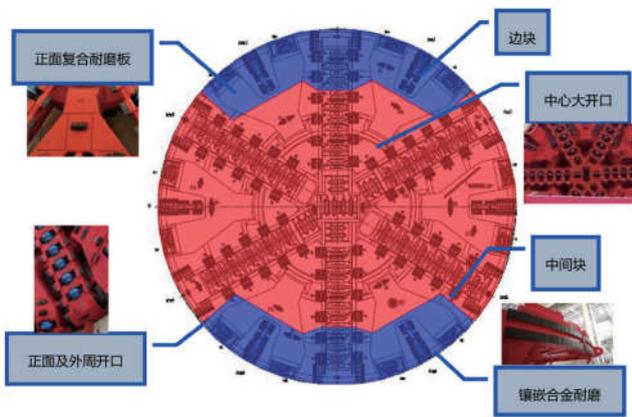


图 3 面板 + 辐条式复合刀盘

4 刀盘有限元仿真分析

根据刀盘工作特点，刀盘常见工况有以下 4 种情形：

全载荷工况：此类工况条件下，刀盘上推力施加于所有刀座上，同时刀盘大圆环外圈施加脱困扭矩；

1/3 偏载工况：此类工况条件下，正面滚刀推力加载在刀梁 1 和刀梁 11 的 12 把滚刀上，边缘滚刀推力加载在刀梁 10 和刀梁 12 的 4 把边缘滚刀上，中心滚刀所受推力加载在刀梁 1 的 6 把中心滚刀上，刀盘体大圆环外圈施加脱困扭矩，刀盘整体承受 1/3 的偏载力矩；

1/2 偏载工况：此类工况条件下，刀盘体左侧正面滚刀和边缘滚刀施加推力，刀盘体大圆环外圈施加脱困扭矩，刀盘整体承受 1/2 的偏载力矩；

中心区域承载工况：此类工况条件下，刀盘受力对象为刀盘体 12 把中心滚刀，每把刀具需承载 500KN 推力^[4]。

针对上述 4 种刀盘工况，在 Abaqus 软件中导入所设计刀盘三维模型进行有限元受力分析仿真。仿真过程中假设刀盘上推力施加于所有刀座上，同时刀盘大圆环外圈施加脱困扭

矩，仿真分析结果如下：

4.1 全载荷工况仿真分析

输入参数：刀盘推力：T=19100kN；刀盘脱困扭矩：M=16992kN.m，仿真结果如图 4、5 所示：

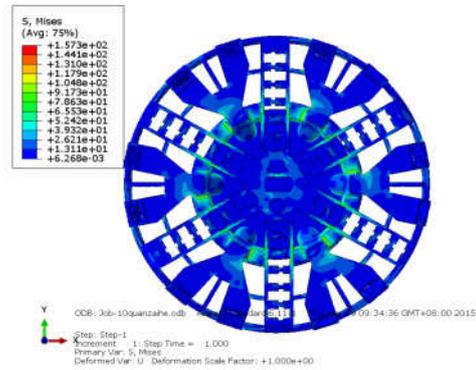


图 4 工况一应力云图

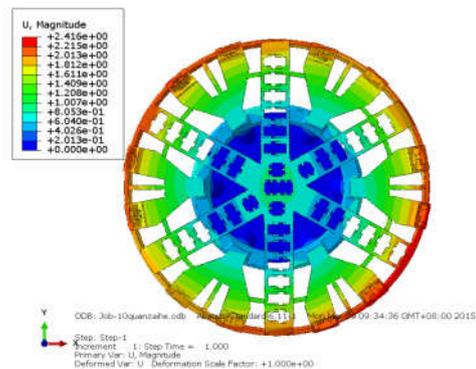


图 5 工况一变形图

仿真结果分析：刀盘最大应力 157MPa，刀盘材料屈服强度许用应力 $[\delta_s] \geq 254\text{MPa}$ ，大于 157MPa，刀盘结构强度满足设计要求。

4.2 1/3 偏载工况仿真分析

输入参数：刀盘推力：T=7100kN；刀盘脱困扭矩：M=16992kN.m，仿真结果如图 6、7 所示：

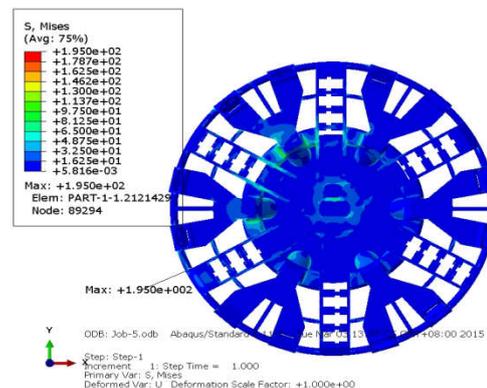


图 6 工况二应力云图

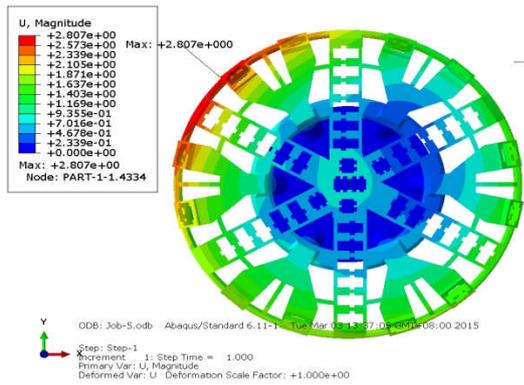


图7 工况二变形图

仿真结果分析: 刀盘最大应力 195MPa, 刀盘材料屈服强度许用应力 $[\delta_s] \geq 254\text{MPa}$, 大于 195MPa, 刀盘结构强度满足设计要求。

4.3 2/3 偏载工况仿真分析

输入参数: 刀盘推力: $T=12650\text{kN}$; 刀盘脱困扭矩: $M=16992\text{kN}\cdot\text{m}$, 仿真结果如图 8、9 所示:

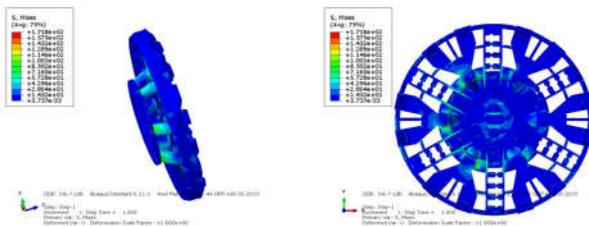


图8 工况三应力云图

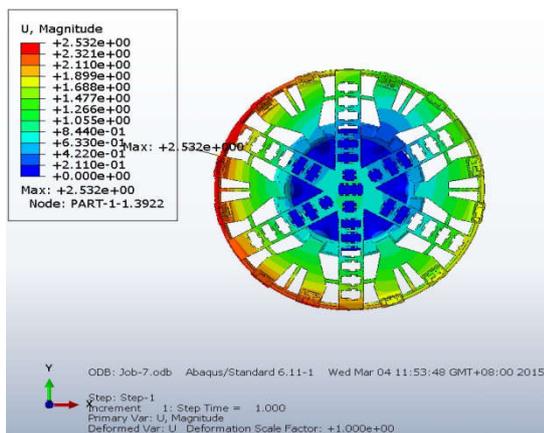


图9 工况三变形图

仿真结果分析: 刀盘最大应力 171MPa, 刀盘材料屈服强度许用应力 $[\delta_s] \geq 254\text{MPa}$, 大于 171MPa, 刀盘结构强度满足设计要求。

4.4 中心区域承载工况仿真分析

输入参数: 刀盘推力: $T=6000\text{kN}$ (单把刀具承载

500kN), 仿真结果如图 10、11 所示:

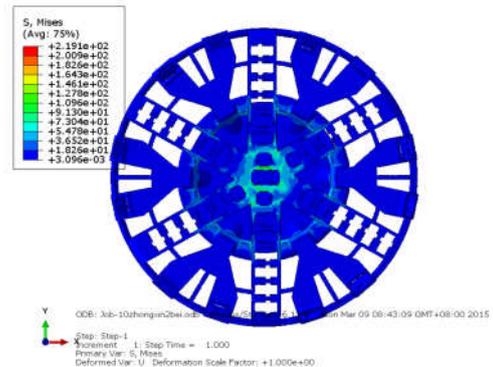


图10 工况三应力云图

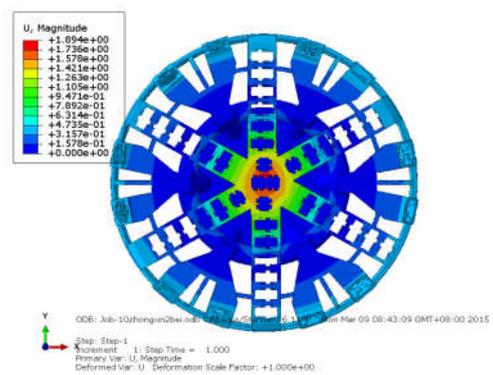


图11 工况三变形图

仿真结果分析: 刀盘最大应力 219MPa, 刀盘材料屈服强度许用应力 $[\delta_s] \geq 254\text{MPa}$, 大于 219MPa, 刀盘结构强度满足设计要求。

5 结语

以珠三角地区某隧道施工区间盾构机刀盘设计为研究对象, 针对珠三角地区地层结构复杂、施工难度大的特点, 选择复合型刀盘保证设备在类似地层下的正常掘进, 并通过加厚型面板设计、减小焊接应力、增加传力环、优化刀具布置^[5]及安装方式、配备耐磨设施等先进设计理念, 提高刀盘整体强度及刚度, 保证刀盘在珠三角区域复杂地层下的正常使用^[6]。最后基于 Abaqus 软件, 仿照刀盘实际使用工况, 对所设计刀盘受力及变形进行仿真分析, 实验结果表明刀盘设计合理、可行, 为同类型施工地层的盾构机设计提供了新的设计依据。

参考文献

- [1] 薛静. 盾构刀盘设计及结构优化研究 [J]. 机械工程师, 2016, 144-146.
- [2] 韩星俊. 中国最长重载铁路-蒙华铁路隧道工程 [J]. 隧道建设 (中

- 英文),2017,1627-1632.
- [3] 邢晨. 复合式土压平衡盾构机刀盘的设计与优化研究 [D]. 河北科技大学硕士学位论文,2014.
- [4] 邓洋, 郑军, 罗红梅. 某型土压平衡盾构机刀盘有限元静力学结构分析 [J]. 中国设备工程,2018(16),187-189.
- [5] 林赟贻. 土压平衡盾构机刀盘开口特性及刀具布置方法研究 [D]. 中南大学硕士学位论文,2013.
- [6] 郗晶. 复合地层中复合式土压平衡盾构机刀盘泥饼防治 [J]. 中国高新科技,2018,90-92.