

# 基于BIM技术的盾构机自动控制技术现状与展望

赵光军 敬竣凯 郭清涛 李 栋 王向奎 钟铿德  
中建八局轨道交通建设有限公司 江苏 南京 210000

**摘要:** 随着我国经济进入高速发展的“快车道”，加快基础设施建设已成为促进我国经济进一步发展的当务之急，地下铁路交通工程是我国基础设施建设的重点之一。盾构掘进机作为地下隧道等工程中的“风暴者”，受益于自动化技术的发展。在恶劣的施工环境、高施工难度、高施工风险的背景下，盾构掘进机发挥着不可替代的作用。

**关键词:** BIM技术；盾构机；自动控制；软件模拟

**引言:** 由于我国地下道路系统工程的建设，盾构钻机作为地下道路工程隧道施工的主要工具，对于保障施工的顺利完成必不可少。但是，由于地下建筑中存在着许多可能的危险性因素，一旦处理不当，将会出现风险事故。盾构掘进机的自动控制技术应具有智能化的特点。目前该技术呈现出蓬勃发展的趋势，但仍存在许多不足，应不断优化该技术，使其具备安全高效的特点。

## 1 盾构机概述

盾构机，是指一类采用机械盾构技术的隧洞掘进机，其主要运行特点是由圆柱体的机器，顺着隧洞轴线方向推进并在土壤地下进行施工的。这种方法以圆柱体机器的壳体为面护盾，是为了对新发掘出来的还没有衬砌段的隧洞地段起到临时保护的效果，但同时受到了周围土质、地下水等的影响，就必须将地下水阻挡在外面，因此施工、排土、模筑等衬砌地段的作业都要在面之盾的掩护下进行。

盾构设备的构造特点一般分为手掘式盾构，挤压式盾构，半机械式盾构（局部气压、全局气压），机械式盾构（开胸式切削盾构，气压式盾构，泥水加压盾构，土压平衡盾构，混合型盾构，异型盾构）。混凝土砂浆式盾构钻机，是一种采用加压的泥水或浆液（通常为膨润土悬浮液）的固定开挖平面，其盾构钻机刀盘后部为一密闭的隔墙和轻质条板，在挖掘平面中间形成水泥砂浆室水泥砂浆房内还产生了大量泥浆，由已打开的电管和泥浆混匀后通过泥浆泵送到洞外的分厂，经分散的浆液后重复使用。现代盾构掘进法集光、机械、电、水、感、等技术为一体，已形成了开挖和切割土地、输送土碴、设置隧道模筑衬砌装置、测量和方向修正等的整体功能。并针对特殊的地质"量身定制"设计制造，产品涵盖了地质学、土木、机械工程、空气动力、液压、电力、数控、检测等多种专业领域。

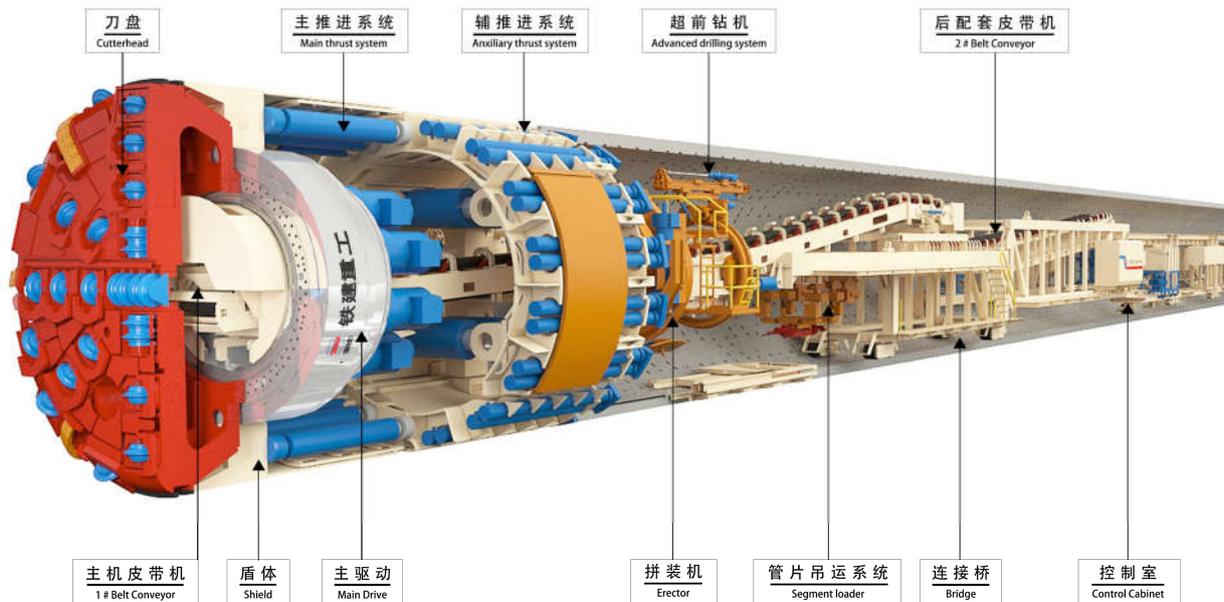


图1 盾构机剖面示意图

## 2 盾构机自动控制技术现状分析

### 2.1 掘进系统的自动控制

现阶段的盾构隧道系统具备智能控制功能，但是其稳定性不高。因此，有学者提出利用模糊免疫自调节PID控制器以提高土压力的稳定性，盾构机的部分参数采用遗传算法进行优化，使得盾构机在保证掘进速度的同时可以保证土压力平衡。控制系统不断调整盾构机的各项参数，提高施工效率。

### 2.2 姿态控制

通过对推进系统液压缸所产生的推进压力进行控制，从而对盾构机的推进姿态、速度和位置进行控制，控制器的性能具有通用性，能在各种地质条件下运行，并按照动载模型的理论，对盾构机姿态的各个参数进行灵敏的调整。

### 2.3 管片的自动拼装

手工焊接管片存在偏差大的现象，而自行焊接可以大幅降低偏差。自主拼装技术针对于盾构系统轴流式的特殊性，采用了多环拼接的技术来确定管片的正确安放位置，并制定了切向纠偏路线，由此形成了虚拟的管片安放系统<sup>[1]</sup>。

### 2.4 分段安装控制技术

无论是隧道建造还是地铁建造，开挖后的下一步是衬砌，因为衬砌是防止围岩变形或坍塌的主要途径，而管片安装的主要作用就是实现这一点。管片安装的自动控制技术是非常重要的，仍存在着一些问题需要我们解决，例如，如何在保证相对人身安全的前提下安装管片，管片应该以什么姿态、形式安装，如何保证管片安装的密封和承载能力。

## 3 盾构机自动控制技术存在的问题和发展趋势

### 3.1 建立密封舱压力动态平衡为目标的控制模式

如果密封舱的压力失衡，隧道开挖时就会发生地面沉降，因此保证密封舱压力动态平衡是盾构掘进机控制的关键点。为了形成合理的控制模式，就必须研究控制模式中的动态平衡目标，如调节密封舱室的气压，以及抑制地表下沉现象等<sup>[2]</sup>。由于引起地表下沉的最主要原因是密封舱室气压的不均匀，所以气压自动平衡系统就是调控的关键环节。

### 3.2 制定掘进系统的协调控制策略

舱间土压的预先设计法是调节地层压力的主要手段。技术人员要全面掌握地质状况，调节压力变化值。盾构掘进机的自动控制技术将会得到很大的发展，多子系统的控制策略使控制变量可调，而非线性的控制模式，会更贴合于实际问题，从而对实际问题控制更加精准。

### 3.3 姿态与动态轨迹的控制

人工控制、模糊控制策略是对位置和动态轨迹进行控制的主要方法，但是如果地质条件复杂，控制结果会产生较大误差。位置控制主要依靠程式化的控制策略来进行控制，如果缺乏施工记录和施工经验，就无法对当地的地质条件进行预测，进而无法合理的控制盾构机的位姿。想要精确的控制盾构机的位姿，需要了解影响位姿的因素，从而进一步的优化盾构机各项参数。

### 3.4 控制系统的集成

盾构机监控子系统是盾构机的关键部分，人们会即时掌握整个系统的信息监测和管理状况，在工程设计中也会充分考虑盾构机的损耗程度、地质适应性等各种因素，以提高整个系统的优良性。

## 4 基于BIM技术的盾构机自动控制技术

### 4.1 BIM技术分析

随着都市建设的蓬勃发展，创新与科技发生了日益巨大的影响。以GIS、BIM、人工智能、大数据分析、5G为代表的新科技与应用也给都市与产业建设带来了技术支持。工程建设的进展将以技术创新为切入点，建立创新协作与互助的创新生态圈。BIM技术，即建筑信息模型，是一种与现代信息技术相结合的工程辅助技术，可以极大地避免项目施工过程中的风险，降低成本。与传统绘图、设计工具CAD相比，这种技术具有很大的优势，CAD利用二维的表达方式对事物进行三维图形设计，而BIM可以对事物进行四维设计和表达。BIM技术它有以下优点：1、BIM可以对事物进行全生命周期的设计；与传统的CAD相比，BIM技术增加了时间维度，可以从设计到运营管理阶段进行模拟；2、建立三维模型：以往的施工图都是二维的，要想实现三维可视化，设计师需要想象，而随着建筑结构的不断复杂，BIM技术可视化的优点显得尤为重要；3、仿真和设计：BIM技术还能够实现更多方面的仿真效果，如建筑节能仿真、应急疏散仿真、施工进度建模，甚至建筑物在投入使用时各个角度的仿真效果<sup>[3]</sup>。

### 4.2 盾构机模型构建

Hightopo, HT, for, Web产品可以构建轻量级3D视觉场景，从而可以模拟盾构机的施工过程，清晰直观地展示设备的组成、动态运行效果、设备的分离、装配和施工过程。场景主要由中间的3D屏蔽机和下方的数据面板所构成。同时现场支持了常规的翻转、平移、放大等视图，以及利用数据面板模拟盾构机施工过程中的一些关键信息等功能。并结合HT数据通过可视化界面实现管理功能，以真实地展示了在施工过程中的各种信息数据

智能管理和收集系统信息，实时体现各个模块的信息动态，帮助管理人员及时掌握不同模块的状态，从而高效实现管理控制。

对BIM模型进行参数设置，虽然环节、逻辑清晰，但是进行有效建模的流程比较复杂。在进行参数设置时，应按照以下环节依次进行：1、对地铁盾构隧道的有关数据进行检测，如：管片内径、拉伸直径、转动角等，并依据上述数据作为参数设置的基础，必须关注的是要将转动角与管环中间参照节点之间的间距在自适应体量下实现关联，从而形成了二点自适应管环的参数化模式；2、通过采用Revit方法进行的自适应节点设计，就能够设定从自适应点至管片中心点之间的距离，并把这段距离作为控制数据的基础，并对它作出了具体的参数设定，这样就能够通过if方法对隧道中心进行了等距划分，这样就可以正确的进行了对应指纹图像识别，将自适应节点放在了指纹图像识别上，然后再通过Revit方法编程，就一键实现了管环。



图2 盾构机建模示意图

### 4.3 盾构“隧道”构建

通常，对BIM模型进行参数设置，虽然环节、逻辑清晰，但是进行有效建模的流程比较复杂。在进行参数设置时，应按照以下环节依次进行：1、对地铁盾构隧道的相关数据进行测量，如：管片内径、拉伸长度、旋转角度等，依据这些数据作为参数设置的依据，需要注意的是要使旋转角度与管环中心参照点的距离在自适应体量下进行关联，建立两点自适应管环的参数化模型；2、利用Revit进行自适应点设置，保证自适应点与管片中心点的距离，并把这段距离作为驱动参数的主体，并对其进行进一步的参数定义，也可以使用if公式对隧道中心进行等距分割，从而有效地得到了对应参考点，把自适应点置于这个参考点上，然后使用Revit编程，可以一键生成管环。

在自适应点的设置过程中，参照平面的设置非常重

要，要保证自适应点与参照平面相互协调，还要利用Revit程序进行参照平面的生成，保证管环的顺利生成，针对参照平面的设置，在参照平面设置完成的基础上，进一步在Revit程序中新建一个公制常规模型，结合参照平面以及图纸信息，对管片的位置进行迅速定位。在此基础上，可以编写一个融合命令，在上面绘出管片前后二端的等值线，并修改融合起、终点，从而生成楔型体的邻接块和封顶块，然后通过旋转等命令进行单环管片的拼装，最后就能够得到由具有楔体的全部盾构管片的拼装而成的盾构轨道图。当完成参数的处理后，改变个别数据可以获得多个维度的管片，从而完成模型的建立，该技术能够更加方便的完成盾构区间的BIM模型任务，进而大大提高模型质量。

### 4.4 土层构建

基于BIM技术的盾构“隧道”可以实现风险可视化。在利用BIM技术将风险可视化之前，需要在Revit程序中进行地层模型的模拟，即对区间进行详细分析，可以将场地视图导入进CAD平面图纸中，方便后续操作。因此，修改导入单位面积和可见性等参数后，并可以通过Revit程序中的命令，来完成场地制图，可以使用放置点来设定地表高程位置，制作地表模型之后。还需对地表模型进行有效分割，在分割成一个个独立的区域后，设定成不同颜色和材质，来模拟地面的真实情况。下部土壤分布参考区间工程地质土壤勘查地图，采用建立场地模式的方法，通过勘探的土壤边界线，描述不同土壤，并依次给出相关材料、色彩，得到最终的土壤模式。

### 结语

综上所述，对于确保盾构机在运行过程中的安全性，自动控制技术是十分关键的，但是随着科技的不断提高，自动控制技术也会发生变化，虽然自动控制技术可以对盾构的运用有一个更长远的发展，研发部门要针对各种技术难题进行探索，以便让盾构机在地下工程中起到良好的效果。

### 参考文献

- [1]程益君.同步双液注浆控制系统在盾构施工中的应用[J].设备管理与维修, 2022(12):16-18.
- [2]赵洪岩, 王利民, 王浩, 白磊.盾构智能化施工的发展历程和研究方向[J].建筑技术, 2021, 52(08):900-903.
- [3]张中华, 郑军, 任阳, 何博.盾构主驱动密封优化研究[J].隧道建设(中英文), 2021, 41(06):1065-1070.