

基于BIM的盾构管片参数化建模及排版技术研究

聂 阳

中交装配式建筑科技有限公司 北京 010000

摘要：随着城市地铁建设的快速发展，盾构法施工已成为主流方式。盾构管片作为隧道的主要装配构件，其设计与施工精度直接影响隧道的质量和安全性。本文旨在探讨基于BIM（Building Information Modeling）技术的盾构管片参数化建模及排版技术，通过创建管片参数化族、编写建模及排版程序，实现盾构管片的自动化建模和精确排布。研究表明，该方法能够显著提高建模效率和精度，为盾构隧道的信息化施工提供有力支持。

关键词：BIM；盾构管片；参数化建模；排版技术

引言

盾构法施工以其高效性和对周围环境影响小的特点，在城市地铁建设中占据主导地位。然而，传统管片设计与排版方法存在效率低、精度不足等问题，难以满足现代工程对质量和进度的要求。BIM技术以其强大的信息化、可视化功能，为盾构管片的参数化建模及排版提供了新的解决方案。

1 BIM技术在盾构管片建模中的应用优势

1.1 三维可视化

BIM技术实现了从二维图纸到三维可视化模型的转变，这一转变带来了显著的优势。传统上，设计师和施工团队需要依靠二维图纸进行沟通，这往往导致理解上的偏差和误解。而BIM技术的三维可视化模型则提供了一个直观、真实的设计呈现方式，使得设计方与施工方能够轻松理解设计意图，大大减少沟通误差。在盾构管片设计中，三维可视化模型能够清晰地展示管片的形状、尺寸、拼装关系以及与其他结构的关系，为施工提供精准指导，确保施工过程的顺利进行。

1.2 参数化建模

参数化建模是BIM技术的核心优势之一，它为盾构管片设计带来了革命性的变化。通过建立管片参数的函数关系，设计师可以实现对管片尺寸、形状等属性的快速修改和调整，极大地提高了建模效率。这种灵活性使得设计师能够轻松应对设计变更，无需从头开始重新建模^[1]。在盾构管片设计中，参数化建模技术可以大大减轻设计工作量，同时保证设计精度，确保管片的设计满足工程要求。

1.3 施工模拟

BIM技术允许在设计阶段进行三维施工模拟，这一功能为盾构管片排版和施工方案的优化提供了有力的工具。通过添加时间参数，BIM模型可以模拟施工过程的

各个阶段，直观展示施工方案的实施效果。这种模拟功能使得设计师和施工团队能够在施工前识别潜在的问题和冲突，提前制定应对措施，从而减少返工和浪费，节约成本。在盾构管片排版过程中，施工模拟尤其重要，它可以帮助团队确保管片的拼装顺序和方式符合工程要求，避免施工过程中的错误和延误。

2 基于BIM的盾构管片参数化建模技术

2.1 管片参数化族的创建

2.1.1 选择BIM软件平台

首先，选择合适的BIM软件平台是创建管片参数化族的基础。在隧道工程领域，Revit是广泛应用的BIM软件之一，因其强大的参数化建模功能和灵活性而备受青睐。因此，建议选用Revit作为创建管片参数化族的平台。

2.1.2 理解盾构管片结构特征

在创建参数化族之前，需要深入理解盾构管片的结构特征。盾构管片作为隧道的主要装配构件，其结构复杂多样，包括标准块、封顶块、邻接块等多种类型。每种类型管片在尺寸、形状、拼装方式等方面都有其独特的特点。因此，在创建参数化族时，必须充分考虑这些结构特征。

2.1.3 创建参数化族

初始化族模板：在Revit中，首先选择适合的族模板进行初始化。对于盾构管片，可以选择“结构框架”族样板作为起点，因为该样板提供了基本的结构元素和参数设置框架。

定义几何尺寸参数：根据盾构管片的实际尺寸和设计的要求，在族中定义几何尺寸参数。这些参数应包括管片的直径、厚度、宽度、楔形量等关键尺寸^[2]。通过参数化设置，这些尺寸可以在后续的设计过程中轻松调整。

设置材料属性：除了几何尺寸外，材料属性也是管片参数化族中不可或缺的一部分。在族中设置管片的材

料类型、密度、强度等属性，以便在后续分析和模拟中准确反映管片的物理性能。

创建可调节参数：为了满足不同设计需求，需要在族中创建可调节参数。这些参数可以是管片的某些特定尺寸（如楔形量），也可以是控制管片拼装方式的参数（如拼装角度、拼装顺序等）。通过调整这些参数，可以快速生成符合设计要求的不同类型的管片模型。

2.1.4 注意事项

在创建参数化族时，需要确保所有参数的准确性和一致性。任何参数的微小误差都可能导致后续设计过程中的问题。其次盾构管片的拼装方式多种多样，包括通缝拼装、错缝拼装等。在创建参数化族时，需要充分考虑这些拼装方式的特点和要求，以便生成符合实际需求的管片模型。此外为了提高模型的通用性和可扩展性，建议在创建参数化族时采用模块化设计思想。通过构建基本的模块单元并设置相应的参数接口，可以轻松组合生成不同类型的管片模型。

2.2 建模及排版程序的开发

在基于BIM的盾构管片参数化建模技术中，建模及排版程序的开发是关键环节之一。该程序需要基于之前创建的管片参数化族，并利用Dynamo和Python等强大的编程工具进行开发。程序的核心功能是根据输入的设计参数自动生成管片模型。设计师只需输入关键的管片参数，如直径、厚度、楔形量等，程序即可根据这些参数和预定义的函数关系，自动计算出管片的几何形状和尺寸，并生成相应的三维模型。这一功能极大地提高了建模效率，避免了手动建模的繁琐和错误。除了自动生成管片模型外，程序还需要根据隧道设计轴线进行精确排版。这意味着程序需要能够读取隧道设计轴线的数据，如直线段、圆曲线段和缓和曲线段等，并根据这些数据将管片模型精确地排布在隧道设计轴线上。排版过程中，程序需要考虑管片的拼装顺序、拼装方式以及错缝拼装原则等因素，以确保排版的准确性和可行性。为了实现这些功能，需要编写复杂的算法。算法需要处理大量的数据和计算，包括管片参数的解析、几何形状的计算、隧道设计轴线的拟合以及管片排版的优化等。通过编写高效的算法，可以实现管片模型的自动化生成和排布，进一步提高设计效率。

2.3 模型优化与验证

在基于BIM的盾构管片参数化建模过程中，模型优化与验证是确保建模质量和准确性的关键步骤。这一环节要求对管片参数化族和建模算法进行不断的精细调整，并对最终生成的模型进行严格验证。为了确保生成的模

型能够准确反映设计要求，管片参数化族需要经历持续的优化过程。这包括仔细调整族中的各项参数，如管片的直径、厚度和楔形量，以确保它们能够精确匹配实际管片的尺寸和形状。同时，建模算法也需要不断优化，以提高模型生成的效率和准确性。这可能涉及到对算法逻辑进行微调，或者探索更高效的计算方法，以减少计算误差和提高建模速度。在模型验证方面，通过将设计参数输入程序并生成相应的管片模型，可以将这些模型与设计图纸进行细致对比。这种对比有助于检查模型的尺寸、形状和拼装关系是否与设计要求一致，从而验证程序的准确性。如果发现任何偏差或不一致之处，都需要对管片参数化族或建模算法进行进一步调整，以确保模型的准确性。此外，在模型优化与验证过程中，还应充分利用BIM软件的碰撞检测功能。通过模拟管片的拼装过程，可以检查是否存在任何潜在的碰撞或干涉问题。一旦发现这些问题，就需要及时对模型或设计进行调整，以确保实际施工过程中的顺利进行，避免不必要的延误和成本增加。

3 基于BIM的盾构管片排版技术

3.1 隧道设计轴线的拟合

在基于BIM的盾构管片排版技术中，隧道设计轴线的精确拟合是核心环节之一。为实现这一目标，需针对隧道设计轴线常见的三种线形：直线、圆曲线和缓和曲线，采取具体的拟合策略。首先，需建立一个合适的坐标系。对于直线段，可直接采用直线方程来描述其几何特性，并通过简单的线性计算获得不同里程下的DTA（设计隧道轴线）坐标。对于圆曲线段，需确定圆心坐标和半径，然后利用圆的方程来计算任意里程下的DTA坐标。这一过程中，需确保计算出的坐标与隧道设计轴线的实际形状和位置相吻合。缓和曲线段的拟合则更为复杂。由于其形状介于直线和圆曲线之间，需采用专门的缓和曲线方程来进行描述。通过输入缓和曲线的参数，如起点、终点、长度和曲率等，可以计算出缓和曲线段上任意点的DTA坐标。在获得DTA坐标后，还需根据通用管片的不同拼装形式来推导出管片环中心位置的坐标计算公式。这一步骤是确保管片排版与隧道设计轴线精确对齐的关键^[3]。需考虑管片的尺寸、形状、拼装方式以及隧道设计轴线的几何特性，通过数学推导得出管片环中心位置的坐标计算公式。该公式应能够准确反映管片在排版过程中的实际位置和姿态，以确保排版结果的准确性和可行性。

3.2 管片选点与纠偏

在基于BIM的盾构管片排版技术中，管片选点与纠偏

环节扮演着举足轻重的角色。为了确保管片拼装的精度能够满足工程实际需求，此环节涉及一系列精细的计算和优化步骤。首先，需要利用最小二乘法和枚举法来计算对应里程下DTA坐标与试算点坐标之间的拟合偏差。最小二乘法作为一种数学优化手段，其核心目标是最小化误差的平方和，从而找到与数据最佳匹配的函数。在此过程中，会针对每一个可能的拼装姿态，利用最小二乘法计算出其对应的拟合偏差。而枚举法则是通过全面遍历所有潜在的拼装姿态，以穷举的方式找到那个能够使拟合偏差达到最小的最优拼装姿态。在选择拼装姿态时，偏差最小化是首要考虑的因素，它确保了管片能够与隧道设计轴线实现精确的对齐。同时，还必须兼顾管片封顶块的位置拼装要求，因为封顶块的位置对于管片的整体稳定性和密封性具有决定性的影响。此外，错缝拼装原则也是不可忽视的因素，它旨在通过优化拼装方式来减小管片之间的缝隙，进而提升隧道的整体建设质量。为了进一步优化动态纠偏方法，可以引入更为先进的算法和技术。这些技术能够对纠偏过程进行实时的监控和调整，从而确保管片在拼装过程中的精度始终能够维持在工程规范所要求的范围之内。

3.3 自适应模型与拼装点位控制

在基于BIM的盾构管片排版技术中，自适应模型与拼装点位控制是两个至关重要的环节，它们共同确保了施工过程中的精度和效率。为了建立起既高效又精确的通用管片自适应模型，可以采用先整体后局部的建模策略。在整体建模阶段，首先根据通用管片的设计图纸和规格要求，利用BIM软件构建出管片的基本形状和尺寸。这一步骤确保了模型的整体框架与实际管片的一致性，为后续的局部细节建模提供了稳定的基础。随后，在局部建模阶段，对通用管片的特定部位进行了精细化处理。利用BIM软件的建模工具，对管片的螺栓孔、拼接

面、榫槽等关键部位进行精确的建模和细节优化。通过这种方法，不仅保证模型的精度，还显著提高了建模的效率。为了实现通用管片模型在各个拼装点位的精确控制，需要设置参数关联自适应管片模型。利用BIM软件参数化建模功能，将通用管片的各个拼装点位与模型参数进行关联^[4]。这样，当拼装点位发生变化时，模型参数也会相应地更新，从而确保模型与实际拼装点位的一致性。此外，还要充分利用参数化模型的优势，实现了对各环管片拼装点位信息的快速查询。利用BIM软件的数据库功能，将各环管片的拼装点位信息存储在模型中。在施工过程中，施工人员可以通过BIM软件快速查询所需信息，从而做出准确的判断和决策。这一功能不仅提高了施工效率，还有助于减少错误和疏漏，确保施工质量的稳定性。

结语

本文研究了基于BIM技术的盾构管片参数化建模及排版技术，通过创建管片参数化族、编写建模及排版程序，实现了盾构管片的自动化建模和精确排布。该方法显著提高了建模效率和精度，为盾构隧道的信息化施工提供了有力支持。未来，随着BIM技术的不断发展和完善，其在盾构管片设计与施工中的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1]徐昕,张晓行,陈逸峰.基于BIM的盾构管片参数化建模及排版技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,(06):58-60.
- [2]马腾.盾构隧道BIM参数化建模软件设计与实现[J].铁道标准设计,2023,67(06):160-166.
- [3]唐艳梅,张晨晨,王新龙.BIM技术在隧道管片排版中的应用[J].土工基础,2019,33(03):290-294.
- [4]蒋四礼,邱兆阳.基于BIM的地铁盾构管片深化设计流程优化研究[J].铁道建筑技术,2022,(09):70-74+117.