

分类号:
学号: 20202210005

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



基于 BIM 的综合管线设计与施工优化研究—— 以南湖实验中学为例

学位申请人	闫涛
指导教师	袁康 教授
	杨虹 高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	土木水利
研究领域	建筑与土木工程
所在学院	水利建筑工程学院

中国·新疆·石河子
2025 年 5 月

分类号：
学号：20202210005

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



基于 BIM 的综合管线设计与施工优化研究—— 以南湖实验中学为例

学位申请人	闫涛
指导教师	袁康 教授
	杨虹 高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	土木水利
研究领域	建筑与土木工程
所在学院	水利建筑工程学院

中国·新疆·石河子
2025 年 5 月

**Research on BIM based Integrated Pipeline Design and Construction
Optimization: A Case Study of Nanhu Experimental Middle School**

A Dissertation Submitted to
Shihezi University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering

By

Yan Tao
(Civil and hydraulic engineering)

Dissertation Supervisor: Prof. Yuan Kang

May, 2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名： 闫倩

时间： 2025 年 5 月 8 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名： 闫倩

时间： 2025 年 5 月 8 日

导师签名：

闫倩

时间： 2025 年 5 月 8 日

摘要

当前我国建筑行业正处于从传统建筑向智能化、绿色化和可持续发展的转型阶段，BIM 技术 (Building Information Modeling) 的引入对提高建筑设计、施工的效率和质量，推动建筑行业的改革创新和发展具有重要意义。相比传统的生产建筑方式，BIM 技术具有信息集成、协同设计、三维可视化、碰撞检测、工程管理和数据交互等优势。随着工程项目建设的各方面需求不断提高，综合管线系统的设计与施工也趋于复杂，加上企业对综合管线的系统的安全稳定运行的要求也愈发严格，其传统的设计、施工管理方式方法已经无法满足当前需求，因此本文基于综合管线工程和 BIM 技术分别在工程设计阶段和施工管理阶段展开研究，主要研究内容及结论如下：

(1) 提出将 PDCA 原理应用于工程设计阶段 BIM 综合管线的优化并分析其适用性，并基于 Visual Studio 2019 平台和 BIM 软件 Revit2020，系统分析了 Revit 二次开发工具和方法，探究接口实现原理及 API 函数；研究了管线碰撞检测、碰撞管线避让及窗口交互的原理，编写代码完成了基于 BIM 平台的管线碰撞检测及优化的程序开发并进行了验证，其功能达到预期。

(2) 阐述了综合管线基于 BIM 的工期、成本管控方法及流程，引入多目标优化原理，分析了将 BIM 与多目标优化算法结合的必要性；研究了多目标粒子群算法的进化策略，基于工期、成本关系建立了工期—成本多目标粒子群算法优化模型，编写算法并通过仿真模拟实验对比了不同参数设置对模型求解结果的影响，确定了适宜该算法优化模型的参数；探究 BIM 与算法结合的软件基础及方案，构建了基于 BIM 的多目标优化模型。

(3) 以笔者所参与施工建设的南湖实验中学 1#教学楼综合管线项目为工程背景，基于 BIM 平台完成了模型创建及研究数据整理。模拟在设计阶段将开发的程序应用到实际工程，进行了综合管线模型的碰撞检测、冲突管线优化及优化效果分析，结果表明：程序功能均达到预期，能够提高设计阶段的工作效率，减少施工阶段的返工，降低成本；在施工阶段基于 BIM 的多目标优化模型进行了各项工作的工期、成本寻优及施工模拟。结果表明：利用该优化模型可以进一步降低成本或者缩短工期，实现二次深度优化，对于施工具有指导意义。

关键词：BIM；综合管线优化；二次开发；工期—成本优化；多目标粒子群

Abstract

At present, China's construction industry is in a stage of transformation from traditional buildings to intelligent, green and sustainable development. The introduction of BIM technology (Building Information Modeling) is of great significance for improving the efficiency and quality of building design and construction, promoting the reform, innovation and development of the construction industry. Compared to traditional production and construction methods, BIM technology has advantages such as information integration, collaborative design, 3D visualization, collision detection, engineering management, and data interaction. With the increasing demand for various aspects of engineering project construction, the design and construction of integrated pipeline systems have become more complex. In addition, enterprises have increasingly strict requirements for the safe and stable operation of integrated pipeline systems. Traditional design and construction management methods are no longer sufficient to meet current needs. Therefore, this article uses BIM technology to conduct research on integrated pipelines in the engineering design and construction management stages. The main research contents and conclusions are as follows:

(1) Propose to apply the PDCA principle to the optimization of BIM integrated pipelines in the engineering design phase and analyzed its applicability. Based on the Visual Studio 2019 platform and BIM software Revit2020, systematically analyzed the Revit secondary development tools and methods, explored the interface implementation principles and API functions; Studied the principles of pipeline collision detection, collision avoidance, and window interaction. Developed and validated a program for pipeline collision detection and optimization based on the BIM platform, and its functionality has met expectations.

(2) Elaborated on the BIM based construction period and cost control methods and processes for integrated pipelines, introduced multi-objective optimization principles, and analyzed the necessity of combining BIM with multi-objective optimization algorithms; Studied the evolutionary strategy of multi-objective particle swarm optimization algorithm and established a multi-objective particle swarm optimization model based on the relationship between duration and cost. Developed an algorithm and compared the effects of different parameter settings on the model solution results through simulation experiments, and determined the parameters suitable for optimizing the model with this algorithm; Explored the software foundation and solution of combining BIM with algorithms, and constructed a multi-objective optimization model based on BIM.

(3) Based on the comprehensive pipeline project of the No.1 teaching building of Nanhu Experimental Middle School, in which the author participated in the construction, as the engineering background, the model creation and research data organization were completed using the BIM platform. Simulating the application of the developed program to actual engineering during the engineering design phase, collision

detection, conflict pipeline optimization, and optimization effect analysis of the comprehensive pipeline model were carried out. The results showed that the program functions met expectations, improved work efficiency during the design phase, reduced rework during the construction phase, and lowered costs; During the construction phase, a multi-objective optimization model based on BIM was used to optimize the project schedule, cost, and simulate the construction process. The results indicate that using this optimization model can further reduce costs or shorten construction periods, achieve secondary deep optimization, and have guiding significance for construction.

Key words: BIM; Pipeline optimization; Secondary development; Duration - Cost Optimization; Multi-objective particle swarm

目 录

摘要	I
Abstract	II
第 1 章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 国外基于 BIM 的设计施工研究现状	2
1.2.2 国内基于 BIM 的设计施工研究现状	3
1.2.3 文献评述	4
1.3 研究方案	5
1.3.1 研究内容	5
1.3.2 技术路线	6
第 2 章 基于 BIM 的综合管线设计优化研究	7
2.1 基于 BIM 的综合管线设计理论研究	7
2.1.1 BIM 管线设计优化概述	7
2.1.2 PDCA 原理理论	8
2.1.3 适用性分析	8
2.1.4 综合管线 BIM 设计模型构建	9
2.2 BIM 二次开发理论研究	9
2.2.1 BIM 软件	9
2.2.2 基于 Revit 平台的二次开发	12
2.2.3 Revit 二次开发环境搭建	13
2.3 基于 Revit 的二次开发分析	14
2.3.1 程序开发思路	14
2.3.2 主要命令方法	15
2.3.3 WPF 界面	22
2.3.4 功能集成	27
2.4 程序对比验证	27
2.4.1 程序功能对比	27
2.4.2 程序有效性验证	28

2.5 本章小结	30
第3章 基于 BIM 的综合管线施工优化研究	32
3.1 基于 BIM 的综合管线施工理论研究	32
3.1.1 基于 BIM 的综合管线进度管控	32
3.1.2 基于 BIM 的综合管线成本管控	34
3.1.3 综合管线 BIM 施工模型构建	35
3.2 基于 BIM 的施工管控引入多目标优化	36
3.2.1 多目标优化理论研究	36
3.2.2 工期—成本多目标函数模型建立	41
3.2.3 仿真模拟实验	44
3.3 BIM—多目标优化模型结合方案研究	51
3.3.1 模型构建基础	51
3.3.2 软件基础	52
3.3.3 结合方案	53
3.4 本章小结	53
第4章 基于 BIM 的设计施工优化实证研究	54
4.1 项目概况	54
4.2 基于 BIM 的模型创建	54
4.2.1 综合管线模型创建	54
4.2.2 工程量计算及费用统计	55
4.2.3 施工进度计划	55
4.3 基于 BIM 的设计阶段优化实证	56
4.3.1 优化流程概述	56
4.3.2 优化实证	57
4.3.3 优化效果分析	60
4.4 基于 BIM 的施工阶段优化实证	61
4.4.1 研究数据整理	61
4.4.2 工期成本多目标寻优	61
4.4.3 优化效果分析	62
4.5 本章小结	64
第5章 总结与展望	65
5.1 总结	65
5.2 创新点	66
5.3 展望	66

参考文献.....	68
致谢.....	73

第1章 绪论

1.1 研究背景

随着建筑行业规模的快速扩张，我国建筑行业在过去十年中经历了快速的发展，大量的城市化进程、基础设施建设和住房需求推动了建筑行业的快速增长，这些项目的建设不仅极大地改善了人们的生活环境，也为经济的飞速发展提供了重要的支撑。随着信息化时代的到来，其传统生产建筑方式的弊端日益突显，在项目实施过程中资源浪费、重新返工、工期延误进而导致成本超支等现象屡见不鲜^[1]。这要求我们必须改变传统建筑生产方式来适应新时代的建设发展要求。当前在我国经济新常态下，建筑行业呈现“稳中求进”的态势，行业向创新化、绿色与智能化转型已是大势所趋。综合管线系统（给排水、暖通、电气）作为保障建筑设施正常运行的“血管”和“神经”，是建筑设施中不可或缺的一部分，但由于综合管线系统具有复杂性、隐蔽性等特点，导致无论是在进行管线施工还是维护工作时均有较高的难度。所以对于综合管线系统的科学合理布局规划和优质施工可以提高工作效率、降低施工安全隐患及有利于后期的维护，从而减少资源浪费、降低经济损失^[2]。

近年来，信息技术如云计算和大数据开始广泛应用，推动了互联网数字化技术的飞速发展。各行业与其紧密结合迸发出了新的活力^[3]。但对于建筑工程行业来说，其信息化程度仍较为落后，开启互联网与传统行业深度融合、创新发展的闸门，无疑是破局的一个重要选择。BIM技术的出现为建筑领域提供了新的发展方向，越来越多的人将视野转向BIM^[4-6]。传统的建筑生产方式很大程度上依赖于CAD技术所输出的二维图纸，无论是在设计还是施工过程中都有一定的局限性。而BIM技术利用其自身可视化、可模拟、可协同、可优化等优势，能够较好地克服传统生产建筑方式所存在的弊端^[7]。可以从两个层面来理解BIM：从BIM模型的层面来看，其与3D模型有着根本性的区别，BIM模型既包含了项目的几何属性，又涵盖了与项目成本、进度、施工方法及材料等相关的其他信息；从过程管控的层面来看，BIM（建筑信息模型）是一种数字化的工具和方法，用于管理建设项目的全过程。它通过服务项目的设计、施工及运营维护阶段，实现对项目的全过程管控^[8]。总的来说，BIM技术是一种革命性的建筑信息管理方法，它通过数字化建模和协同工作的方式，实现了建筑生命周期各个阶段的高效管理和协同工作。

随着建筑行业的不断发展，行业内相关建安施工规范也愈加完备和标准，这也导致了综合管线系统不再局限于满足其安全性与稳定性的功能，更需要考虑其规划布局是否合理、是否满足经济节能和绿色环保等要求^[9]。尽管当前我国工程建筑施工技术已处于

较高水平,但在项目的实际的设计施工管控过程中,仍存在一些典型的难以避免的问题,一是设计阶段的综合管线的出图基于二维平面图纸,一些管线之间及管线和设备设施之间的冲突碰撞无法规避,施工过程中参照图纸施工难免会出现冲突导致的返工及资源浪费等现象;二是在综合管线施工管理过程中,由于工期、资源安排不合理导致施工周期延长,进而导致各类成本费用增加,达不到项目既定目标。不难看出,建筑行业所面临的需求情况日益复杂,行业变革面临巨大的挑战,将 BIM 技术充分应用到建筑领域中已成为行业的发展趋势,不仅实现了传统建筑生产方式与互联网数字化技术的融合,而且面对新问题提供了新的解决路径^[10]。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外基于 BIM 的设计施工研究现状

针对设计阶段优化方面:Hu 阐述了基于 BIM 技术的管道综合深化及施工方法。在精细建模的基础上,结合现场施工经验和各专业管道的综合布局规范,利用 BIM 软件进行碰撞检测,并对项目原设计图纸进行优化。深化后的模型可以直接用于指导现场施工^[11]。Seo 等人通过引入 BIM 模型在设计阶段调查和纠正冲突检测,并提出使用 IDEF0 模型识别设计阶段冲突检测任务中的障碍^[12]。Lee 等人将 BIM 技术应用于实际项目设计过程中,分析通过 BIM 技术检查出来的 709 个设计错误点并计算投资回报率,结果表明项目工期时长与 BIM 投资收益是正相关的关系^[13]。E.A.Pärm 利用 BIM 对一栋多层教育大楼进行了 MEP 碰撞检测,发现了 404 处错误冲突,随后采用概率密度函数和累积分布函数进行定量建模,用于预测未来项目中发生的类似冲突。并提出未来研究方向是实现碰撞检测管理、分析和解决过程的自动化^[14]。Ma 等人以某综合服务楼地下车库的 BIM 模型为例,利用 BIM 技术进行碰撞检查和管线综合优化,方便快捷地解决了管线碰撞和预留开口精确定位问题。提高了地下室的净高,节省了支吊架的数量,实现了材料的精细化管理,保证了工程的进度和质量^[15]。

针对施工阶段优化方面:Chen Po-Han 等建立了 BIM4D 机电系统信息化现场管理工具,并将其应用于实际工程案例,结合标准对其应用效果进行了对比分析,分别对应用前后的工程进度和成本效益进行了评估^[16]。Dossick 等人研究了 BIM 技术在机械、电气、管道和消防生命安全系统(MEP)协调中的应用,以及利用 BIM 技术对项目组织结构进行了优化,可以有效提高协同工作的效率^[17]。Atul Khanzode 等人在一个医疗项目中为满足项目总进度计划利用 BIM 的 MEP 系统的协调工具,为机电分包商实现了在 250000 平方英尺的项目区的整个机电系统只有一个安装返工的记录,为机械分包商实现了系统现场安装零冲突^[18]。LiJuan Chen 通过将 BIM 技术应用于施工阶段中的质量管

理工作，提出了基于 BIM 的质量集成模型，通过案例验证了 4D-BIM 在施工阶段质量控制中的可行性和优势^[19]。Li 等人为了保证工程工期、安装质量和经济效益，引入建筑信息模型（BIM）技术从 BIM 管道综合和 4D 施工仿真两个方面，研究了 BIM 应用的内容、方法和效果。研究发现，项目工期可缩短 15%^[20]。JiangXu 研究了 BIM5D 在施工阶段的集成应用，包括末端可视化、碰撞检测、5D 施工仿真等，展示了 BIM 技术在施工阶段的具体实施过程，同时在对提高施工质量，降低施工成本和实现绿色施工的精细化管理要求方面起着重要作用^[21]。Ashuri 发现，机械、电气等设备工程建设过程中各专业之间的协同配合不到位，导致施工效率低下。为提高机械、电气工程建设速度，提高工程质量，加强不同专业领域间协调配合，记录了多个工程项目中 BIM 各专业系统的管理信息和数据。用于分析机电安装工程各专业系统间的设计协调主要方法和内容^[22]。T.Park 等人研究开发了可用于初步可行性研究和备选路线的分析的基于 BIM/ gis 的某国道工程造价估算系统，该系统估算了每条路线的项目成本，包括建设成本、土地收购成本、运营和维护成本，并进一步使决策者能够根据不同路线之间的成本比较，为项目选择最佳路线^[23]。

基于 BIM 的二次开发方面：Sergey P. Zotkin 等人开发了建筑结构参数从 Autodesk Revit 导出到结构分析程序的插件。该插件利用模型的物理、几何等参数，设计了一个可读文件的程序转换器，将梁的模型信息存储在一个新的格式中，从而得到了一个用于梁结构特性的文档^[24]。Korman 等人利用 BIM 二次开发得到一个集成 MEP 全过程管理相关理论的系统，并将这些理论应用于计算机插件，从而有利于针对 MEP 系统进行协同工作^[25]。Jingfeng Yuan 等人参考现有建筑安全法规规范，确定安全风险及其预先控制措施并存储在 PtD 知识库中，基于 Revit 开发了安全风险自动检测插件，能够识别模型中的施工风险并弹出相应的预控制措施，有助于在设计阶段自动评估安全风险^[26]。

1.2.2 国内基于 BIM 的设计施工研究现状

针对设计阶段优化方面：魏昌智以合肥长丰县北城医院项目作为示例项目，分别以设计阶段和施工阶段两方面着重研究了在大型医院建筑项目中依据 BIM 技术做好其机电系统管线的综合设计应用^[27]。王博通过分析传统综合管线的设计、施工缺陷，基于 BIM 的综合管线并分析了其优势，结合具体的工程采用 BIM 技术的管线优化原则进行模型建立、碰撞检测，实现了项目综合管线的精益优化^[28]。张淑静将 BIM 技术应用于机电系统管线优化，对碰撞检查发现的 837 处碰撞点进行分析，其中现场施工过程可规避问题 572 处，占到总数的百分比为 68.3%，避免了施工过程中的窝工返工，且有效减少耗材及控制成本^[29]。毛寨汉等人以广州某隧道工程管线迁改工程案例开展设计、施工及竣工交付各阶段 BIM 技术应用研究，包括管线 BIM 模型的创建、碰撞分析、迁改模

拟、工程量统计等应用，形成了地下管线的全过程 BIM 应用体系；此外，针对管线 BIM 建模效率低，项目工程量统计困难等问题，进行二次开发大大提高了管线应用的效率^[30]。刘燕等人通过 Revit 软件作为建筑信息化模型建立的平台进行土建与 MEP（暖通、电气和给排水）之间的相互优化，检查其空间布置要求及碰撞问题，给二次优化设计工作提供了参考依据，并且极大程度的解决了管道管线空间布置问题，提高了设计优化效率^[31]。赵晓倩以某大型商业建筑为例，分析了给排水、暖通空调、消防、建筑电气等机电管线模型的建立过程，结合 BIM 技术对主干道和机房区域进行管线综合排布，简化了设计步骤，提高了设计效率^[32]。刘卫以西安交大创新港机电安装项目为例，应用 BIM 技术深化设计后，减少了各专业管线在走廊区域、局部狭小区域出现错乱交叉排布的情况，避免施工前期出现的“错、漏、碰”等问题，避免施工成本的增加^[33]。

针对施工阶段优化方面：刘娟等分析了传统成本和算方法中存在的问题，将 BIM 技术应用于成本管理环节之中，研究了 BIM 技术改进成本核算的方式，并提出了基于 BIM 技术的优化成本核算工作方法^[34]。胡瑛、杨蕾颖基于 BIM 技术的进度可视化管理和传统的进度管理模式进行了对比分析，进而明确了基于 BIM 技术的进度可视化管理模式的应用优势及应用原则，研究了该管理模式的组织体系、进度计划编制方法及计划控制手段，对于项目的信息化管理具有指导意义^[35]。袁霁龙等以某高层住宅小区项目为例，引入 BIM 技术辅助工程施工，通过创建三维可视化建筑信息模型，对施工图纸进行审查，辅助施工管理进度，避免或减少施工安全风险，提高施工质量安全^[36]。程芮 T 研究了应用 BIM 技术结合地铁机电项目的成本控制的优化策略，进一步对地铁机电项目的施工管理过程进行优化，从而节约施工各类成本，提高施工质量，节约工期进度，在全过程中达到了提升建设项目的成本管理水平的目的^[37]。

针对 BIM 技术的二次开发方面：刘亚平通过对 Revit MEP 功能进行二次开发，灵活应用 Revit API 各类函数和方法，开发了管距梁下的一键调整插件，简化了管线优化流程^[38]。陈鑫尧等人基于 Revit 软件，利用 C#编程语言，开发了一个基于模型冲突检测的插件。通过冲突检查，可以在三维和二维视图上展示碰撞部件，通过生成的碰撞报告，可直接在 Revit 软件中进行修改，避免将模型导入其他软件，进行反复工作^[39]。陈英杰等人基于 Revit 软件进行二次开发了电缆敷设 BIM 正向设计软件，大大提升了电缆敷设设计的速度，其最终成果可以直接用于指导施工^[40]。贾志琴基于不同类型给排水管道一键避让的基础规则，对 Revit 进行二次开发研究，得到一款包含避让功能和管线墙体自动开洞的功能的插件程序，丰富了 BIM 综合管线模型的优化方法^[41]。谢小东针对给排水管道进行二次开发研究，创建了包含多管道对齐功能和多立管建立功能的插件，能从一定程度上减轻设计阶段的工作量，具有一定的参考价值^[42]。

1.2.3 文献评述

从上述国内、国外研究现状不难看出，BIM 技术已经涵盖了建筑工程的设计、施工阶段，并且已经能够根据需求基于 BIM 进行二次开发深入应用到工程项目中，提高工作效率。设计阶段 BIM 技术的应用能够事前解决项目综合管线的碰撞问题，从而避免项目实施过程中发生返工、资源浪费等，也一定程度上提高了项目质量，保证了项目进度。施工阶段 BIM 技术的应用主要致力于对项目建设过程中成本、质量、进度等方面进行针对性的优化，从而实现对项目的精细化管理，提高项目的整体质量和效益。

但是近年来随着 BIM 和综合管线相关研究的不断加深，一是在设计阶段，其 BIM 软件自有功能已经不能够满足使用需求，于是国内外学者纷纷投入到基于 BIM 技术的二次开发研究中来。目前来看，大多研究致力于应用 BIM 技术解决设计阶段的综合管线碰撞问题。针对综合管线的优化层面，现有研究已经能够较好地识别发生冲突的管线，但是管线的调整仍是一项复杂繁琐的工作。二是在施工阶段，现有研究大多集中于利用 BIM 技术解决单方面的项目成本、进度或质量问题，然而在实际工程中项目的成本、进度和质量环环相扣缺一不可，它们之间的平衡和协调是项目能否顺利进行并达到预期目标的关键。

因此本文在现有研究基础之上，基于综合管线工程探究如何更好地解决在设计阶段的碰撞问题，从而达到降本增效的目的；如何在施工阶段根据项目实际需求控制其工期—成本关系，从而进一步缩短工期或降低成本。

1.3 研究方案

1.3.1 研究内容

本文基于项目的综合管线工程，针对工程设计阶段的碰撞优化问题使用 BIM 平台和 C#编程语言，进行二次开发研究；针对施工阶段工期成本的多目标问题进行理论分析、函数模型构建、算法优化，并结合 BIM 平台模拟分析及决策。具体研究内容如下：

(1) 针对工程的设计阶段：理论分析基于 Revit 和 Visual Studio 软件如何搭建二次开发平台，基于 PDCA 原理和 Revit API 函数研究综合管线碰撞检测及避让功能的实现命令方法，分析界面交互原理，完成基于 BIM 的综合管线优化程序代码的编写并进行验证。

(2) 针对工程的施工阶段，理论分析基于 BIM 的综合管线工程进度、成本管控方法和流程，在此基础上引入多目标优化理论，研究多目标粒子群的进化策略及原理；采用粒子群算法进化机制构建工期—成本多目标函数优化模型，并利用仿真模拟试验对比评价参数：种群规模、惯性权重、学习因子的不同取值对于算法效果的影响，确立适宜该模型的参数取值；并探究 BIM 与算法模型结合方法，以提高其工程适用性。

(3) 创建南湖实验中学项目的综合管线 BIM 模型，并利用相关 BIM 软件完成项目的算量计价及施工进度计划等基础工作。模拟在工程设计阶段利用开发程序进行南湖中学项目的综合管线的优化以验证开发程序的有效性，并分析其优化效果；模拟在工程施工阶段利用建立的 BIM 多目标优化模型对南湖中学项目综合管线工程的工期成本进行优化及施工模拟以验证该模型的可行性，并分析其优化效果。

1.3.2 技术路线

本研究的技术路线如图 1-1 所示。

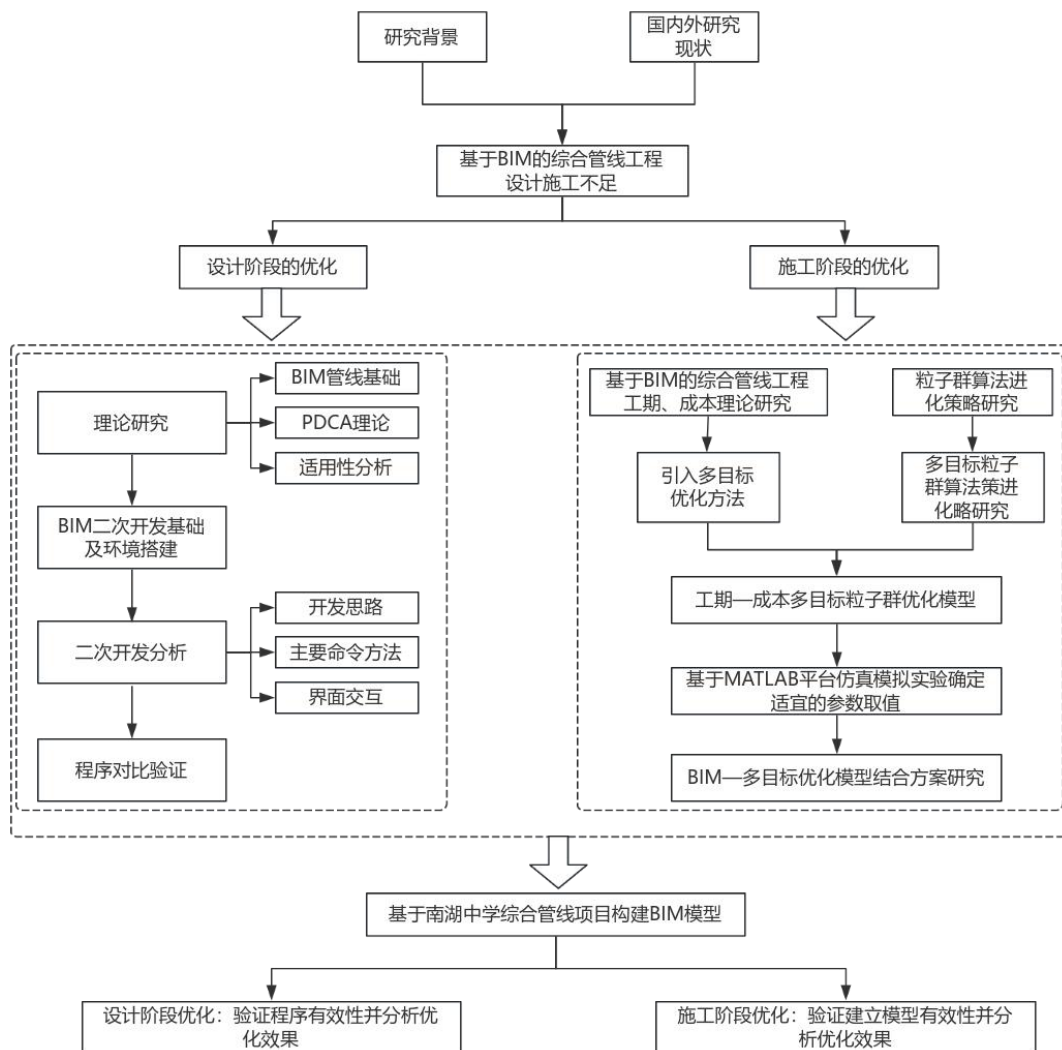


图 1-1 技术路线图

Fig.1-1 The technical map