

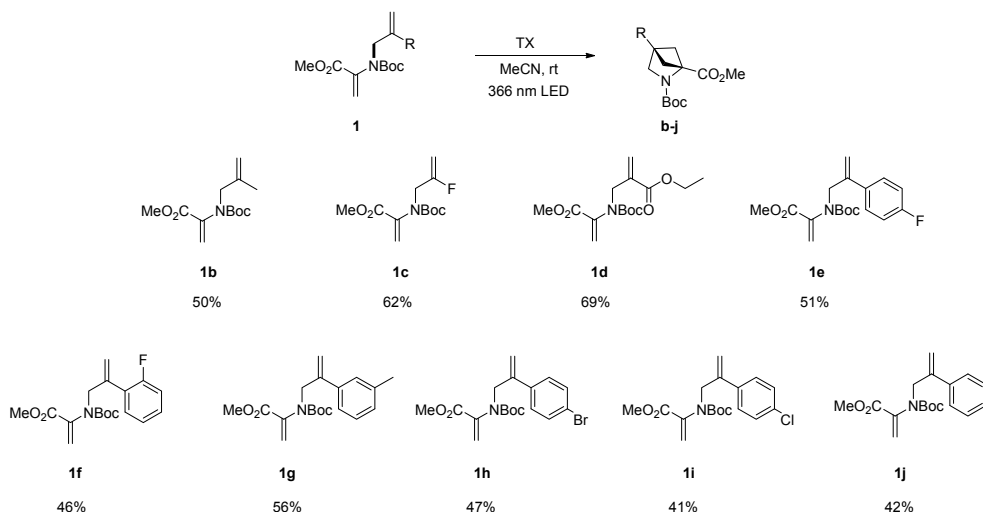


图 1-2 底物拓展

2. 结果与讨论

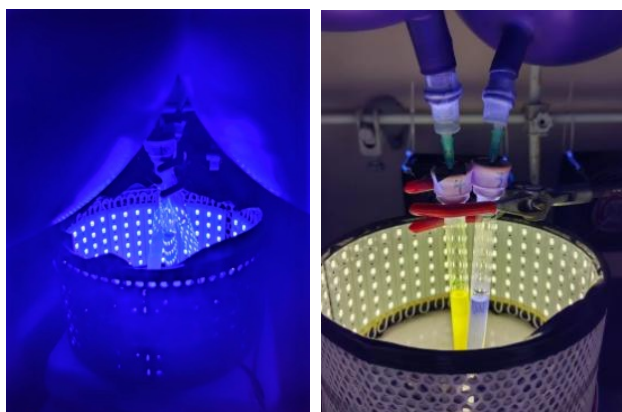


图 2-1 450 nm 光源下的反应状态（左图）、
366 nm 光源下的反应状态（右图）

在以往文献的基础上，对非天然脯氨酸基础底物的合成路线进行了系统的设计和优化，首先合成双烯光反应前体，接着利用文献中的二苯甲酮光催化剂进行光反应测试，在反应进行 6 h 时，发现该光催化剂以 31% 的收率得到目标化合物，且反应效率有待提高。为了提高收率，首先用噻吨酮等催化剂对光反应的催化剂条件进行筛选和优化，结果发现在使用噻吨酮催化剂时，底物的转化率得到了显著提升。因此确定该反应使用噻吨酮作为光反应催化剂。接着用 450 nm 光源和普通的 LED 光源对光源条件进行筛选和优化，结果发现在使用 366 nm 光源时，反应收率较好。接下来同样采用单因素控制变量法依次对光反应催化剂的载量、反应溶剂、反应时间进行条件筛选和优化，筛选出该光反应最优的反应条件：在 366 nm 光源条件下，用噻吨酮作为光反应催化剂，且催化剂载量为 0.2 equiv.，用乙腈作为反应溶剂，在反应 8 h 时取得较好的反应收率。

在筛选的最优光反应条件基础上，进行一系列的底物拓

展，通过改变底物的结构，合成一系列具有不同取代基的非天然脯氨酸，且取得了良好的收率，验证了该光反应条件的可行性。这些底物为后续的生物活性测试和合成应用提供了丰富的物质基础，同时也为后续合成路线的进一步优化提供有力支持。

3. 结论

非天然脯氨酸类似物具有很高的生物活性，应用前景非常广阔，是药物化学研究中的重要结构砌块，但是对于这一系列结构新颖的非天然氨基酸的相关文献描述很少，并且合成的收率较低。因此，探索出一条高效、简便、投入低的合成路线是非常有必要的。该课题筛选的最优光反应条件可为非天然脯氨酸类似物的进一步拓展应用奠定基础，这一研究不仅丰富了光化学反应在有机合成中的应用，也为非天然脯氨酸及其衍生物的合成提供了新的思路和方法。

[参考文献]

- [1] Hughes P, Martin M, Clardy J. Synthesis of 2, 4-methanoproline[J]. Tetrahedron Letters, 1980, 21 (48): 4579-4580.
- [2] Rammeloo T, Stevens C V, De Kimpe N. Synthesis of 2, 4-methanoproline analogues via an addition-intramolecular substitution sequence[J]. The Journal of Organic Chemistry, 2002, 67 (18): 6509-6513.
- [3] Romero, N. A., Nicewicz, D. A. Organic Photoredox Catalysis[J]. Chem Rev, 2016, 116 (17): 10075-10166.

作者简介：孙晓阳，1995.07.15，女，河南省平顶山市汝州市，汉族，硕士研究生，研究方向：材料与化工。

科技研究

基于数字化技术的铁道工程线路规划与设计优化研究

袁野

成都西南交通大学设计研究院有限公司云南分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i10.8481

[摘要] 为破解传统铁道工程线路规划中勘察效率低、设计协同弱、方案优化不足等难题，本文系统研究数字化技术在铁道线路规划与设计优化中的应用体系。通过整合 BIM 与 GIS 融合技术、人工智能算法、空天地一体化勘察手段，构建“数据采集－模型构建－智能优化－协同交付”全流程数字化框架。结合 CEC3DRODS 系统应用案例与国家重点研发计划成果，重点分析多源数据统一管理、三维场景构建、二三维联动设计、多目标智能选线等关键技术创新。实践表明，数字化技术可实现外业工作内业化、内业工作智能化，使勘察设计效率提升 30%~50%，显著降低工程成本并提升设计成果质量。该研究为复杂艰险山区铁路等重大工程的线路规划提供技术支撑，推动铁道工程设计向智能 3.0 阶段跨越。

[关键词] 铁道工程；数字化技术；线路规划；BIM-GIS 融合；智能选线；设计优化

Research on Railway Engineering Line Planning and Design Optimization Based on Digital Technology

Yuan Ye

Yunnan Branch, Chengdu Southwest Jiaotong University Design Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] To address challenges such as low survey efficiency, weak design collaboration, and insufficient solution optimization in traditional railway engineering line planning, this paper systematically explores the application system of digital technologies in railway line planning and design optimization. By integrating BIM and GIS fusion technologies, artificial intelligence algorithms, and integrated aerial-terrestrial-space survey methods, a comprehensive digital framework of "data collection – model construction – intelligent optimization – collaborative delivery" is established. Drawing on the application case of the CEC3DRODS system and achievements from the National Key R&D Program, the study focuses on key technological innovations, including unified management of multi-source data, 3D scene construction, 2D-3D interactive design, and multi-objective intelligent route selection. Practical results demonstrate that digital technologies enable the transformation of fieldwork into office-based tasks and office work into intelligent processes, improving survey and design efficiency by 30% – 50%, significantly reducing project costs, and enhancing the quality of design outcomes. This research provides technical support for line planning in major projects such as railways in complex and hazardous mountainous areas, advancing railway engineering design toward the intelligent 3.0 stage.

[Key words] Railway Engineering; Digital Technology; Route Planning; BIM-GIS Integration; Intelligent Route Selection; Design Optimization

一、引言

1.1 研究背景

铁道工程线路作为铁路运输的核心基础设施，其规划设计质量直接决定工程投资、运营安全与经济效益。传统线路设计依赖二维图纸与现场踏勘，存在三大瓶颈：一是地形地质勘察受自然条件限制，效率低且数据精度不足；二是多专业数据割裂，协同设计难度大；三是方案优化依赖经验判断，难以实现安全、经济、环保多目标平衡。随着数字经济与新质生产力发展，BIM、GIS、人工智能等技术的深度融合为线路设计转型提供契机，推动行业从计算机辅助 2.0 迈向智能设计 3.0 阶段。

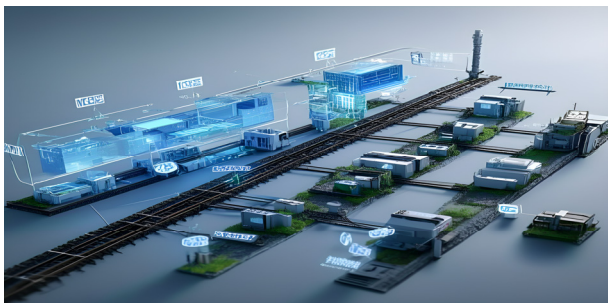
1.2 研究现状

国内外学者已开展数字化线路设计研究：中铁工程设计咨询集团研发 CEC3DRODS 系统，实现 BIM 与 GIS 技术的工程化应用；铁四院通过国家重点研发计划构建“两平台七系统”智能勘察体系；高速铁路建造技术国家工程研究中心创立复杂山区减灾选线理论，成果应用于川藏铁路等重大工程。现有研究已验证数字化技术的可行性，但在多源数据融合深度、极端环境适配性等方面仍需深化，本文据此展开系统研究。

二、数字化线路规划与设计的技术体系

2.1 核心技术架构

数字化线路设计体系以“数据层 - 技术层 - 应用层”三级架构为支撑：数据层构建铁路勘察设计基础数据库，整合 DEM、DOM、BIM 模型等多源数据，通过权限分级机制实现数据同步管理；技术层融合 BIM-GIS 建模、人工智能解译、进程间通信等关键技术；应用层实现三维踏勘、智能选线、协同设计等功能，形成全流程数字化闭环。



2.2 关键支撑技术

2.2.1 空天地一体化数据采集技术

采用北斗基准站网（精度达 2 厘米）、机载激光雷达与倾斜相机协同采集系统，结合 20 万张影像样本库训练的智能解译算法，实现地形、地质、构筑物等要素的高效提取，采集效率提升 16%，解译准确度超 90%。该技术在宜涪高铁 170 公里路段的应用，替代传统 GPS 精测网，大幅减少外业工作量。

2.2.2 BIM 与 GIS 融合建模技术

通过加载三维地理空间数据与 BIM 模型，构建真实可量测的三维大场景。CEC3DRODS 系统采用规则建模技术快速生成路基、桥梁、隧道等模型，实现线路 - 构筑物 - 环境的一体

化表达。在通苏嘉甬铁路隧道设计中，该技术验证盾构隧道埋深合理性，节约地下空间资源。

2.2.3 多目标智能优化技术

基于知识图谱与仿生进化算法，构建安全、经济、环保多目标优化模型。智能选线系统可在 3 分钟内生成 45 公里三维线路方案群，通过人机迭代实现最优方案推荐。川藏铁路应用表明，该技术能有效规避滑坡、岩溶等灾害风险，降低工程灾害损失。

2.2.4 跨专业协同设计技术

通过 C/S 架构与协同设计系统，打通 26 个专业的数据接口，实现设计数据实时共享。CEC3DRODS 的后台管理系统支持数据上传下载同步，在如通苏湖铁路项目中，线路与桥梁专业通过数据联动实现桥墩布置优化，协同效率提升 40% 以上。

三、数字化设计优化的实施流程

3.1 勘察数字化：从现场采样到智能解译

首先构建北斗地基增强站网与星基增强系统，实现高精度定位服务；其次通过激光雷达采集地形数据，结合 AI 算法提取水体、植被等控制要素；最后建立三维地质模型，智能识别滑坡、断层等风险点。该流程在沪渝蓉高铁五峰段应用，使勘察周期缩短 30%。

3.2 设计智能化：从二维绘图到三维联动

基于统一数据库构建三维设计场景，通过二三维联动技术实现线路平纵断面同步调整。设计师可在虚拟场景中开展三维踏勘，提取断面数据并计算工程量。如三峡旅游轨道交通项目中，利用该技术对比分析两个站位方案的观景效果与工程可行性，最终确定远站位高架站方案。

3.3 方案优化：从经验判断到数据决策

采用多方案比选模块生成线路方案群，通过智能算法评估各方案的工程成本、地质风险、环保影响。在宜涪铁路隧道设计中，结合 BIM-GIS 模型验证埋深参数，实现与城际铁路隧道的空间优化布置；环保专业则通过虚拟踏勘识别噪声敏感点，优化线位规避居民区。

3.4 交付数字化：从图纸交付到模型交付

通过数字化交付平台整合设计成果，形成图、模、量一体化交付物。系统支持线路漫游飞行与工点可视化分析，便于后期施工与运维。铁四院研发的交付系统已在 G4 京港澳高速公路推广，实现设计成果的全生命周期复用。

四、工程应用案例分析

在实际应用中，数字化交付的潜力尚未被充分挖掘。例如，在某高铁项目中，虽然实现了模型交付，但后续运维阶段的数据利用率较低，导致前期投入的价值未能完全体现。此外，部分项目在实施过程中过度依赖传统经验，忽视了数字化工具在风险预测和质量管理中的作用，使得整体效益大打折扣。因此，未来需要更加注重交付内容与实际需求的匹配，确保数字化成果能够在全生命周期内持续发挥作用。