

附件 1

中国地质大学（武汉）
本科毕业论文（设计）任务书

学 院： 未来技术学院 专业： 自动化

学生姓名： 曾康慧 学号： 20211003337

指导教师： 吴 敏 职称： 教 授

指导教师： 陆承达 职称： 教 授

拟定题目： 煤矿井下钻进过程煤岩强度感知与操作参数优化

（任务起止日期： 2025 年 1 月 20 日至 2025 年 6 月 4 日）

论文（设计）的主要内容及任务要求：

煤矿井下钻探是实现瓦斯抽采和地质探测的关键工艺，通过钻制瓦斯抽放孔、放水孔等，释放煤层中的瓦斯和地下水，保障安全生产。全液压坑道钻机的给进速度和动力头转速是影响钻探效率和安全性的核心操作参数。然而，目前参数选择主要依赖司钻人员的经验判断，缺乏对煤岩强度等关键地质特性的深入分析，导致钻进效率低下、设备过载风险增加以及钻探过程智能化程度不足。针对上述问题，本课题充分考虑煤岩强度的动态变化为核心，研究基于模糊推理的操作参数优化方法，通过建立钻柱动力学模型和固有比能感知方法量化煤岩强度，设计模糊推理系统优化给进速度和动力头转速，开发具有工程应用价值的智能化优化系统。

本课题旨在通过理论建模与智能优化相结合，实现钻探效率与生产安全的动态平衡。具体而言，首先结合集总参数模型和有限元方法，构建钻柱扭向-轴向耦合动力学模型，分析钻柱与孔壁摩擦力及钻头-煤岩相互作用的力学特性，提出基于固有比能的煤岩强度感知方法；然后基于模糊推理系统，设计以煤岩强度、给进压力和扭矩为输入，以给进速度和动力头转速推荐值为输出的优化模型，引入条件触发机制以响应煤岩强度突变；最后利用 MATLAB/Simulink 进行仿真分析，在井下作业现场验证系所提方法的有效性和实用性。

本课题主要研究内容如下：

（1）基于钻柱动力学的煤岩强度感知模型

针对煤岩强度的动态变化，采用集总参数模型建立钻柱扭向-轴向耦合动力学模型，融合有限元方法构建钻柱与孔壁的摩擦力模型，提出基于固有比能的煤岩强度感知方法，通过实时计算给进速度、回转速度和给进压力的力学关系，量化煤岩强度的动态变化。

（2）基于模糊推理的操作参数优化模型

以作业效率和生产安全为优化目标，设计基于模糊推理的操作参数优化模型。以感知的煤岩强度、给进压力和扭矩为输入，构建以给进速度和动力头转速推荐值为输出的模糊推理系统，引入条件触发机制以快速响应煤岩强度突变。

（3）仿真分析与工程应用

利用 MATLAB/Simulink 进行操作参数优化的仿真分析，验证模型的准确性和鲁棒性。在地面实验基地利用不同强度混凝土岩样验证模型的普适性，在煤矿井下作业现场开展工程应用，分析系统在复杂地质环境中的运行效果。

具体任务和工作要求如下：

- （1）收集并阅读相关文献、教材和资料，煤岩强度感知、钻柱动力学建模及操作参数优化的国内外研究现状，梳理分析相关资料，撰写开题报告；
- （2）翻译 1 篇涉及本课题研究前沿的学术论文；
- （3）阅读资料，熟悉煤矿井下全液压坑道钻机的控制系统结构，了解掌握钻进过程的工艺原理与技术；
- （4）阅读相关论文、教材和资料，熟悉钻柱动力学建模方法，分析钻柱扭向-轴向耦合特性，建立基于集总参数和有限元方法的钻柱动力学模型。
- （5）学习模糊推理系统的设计方法，将其应用于煤矿井下钻进过程操作参数优化。
- （6）利用模糊逻辑和现代控制理论的相关知识，完成操作参数优化系统的设计。
- （7）学习并掌握 MATLAB/Simulink 的使用方法，能熟练运用进行编程，搭建钻柱动力学模型、模糊推理系统，完成操作参数优化的仿真实验；
- （8）针对设计的操作参数优化系统进行地面实验和井下应用，与导师、团队成员等定期学习交流，理解实验过程中涉及的关键技术问题，掌握归纳总结能力和提出问题的能力。
- （9）撰写毕业设计论文，要求层次清晰、逻辑性强、文笔流畅、图表规范。

论文（设计）进程安排：

时间	内容安排
任务书下达-春季开学	阅读相关文献，深入了解研究领域的背景、现状、所存在的问题、解决方案等，完成开题报告并准备开题答辩所有材料。
第 1-2 周	进行方案设计并完成开题答辩，针对评委老师的意见，修改并完善开题报告，修正后期的研究计划。
第 3-6 周	阅读大量相关文献，建立钻柱扭向-轴向耦合动力学模型，设计基于固有比能的煤岩强度感知方法。
第 7-8 周	设计基于模糊推理的操作参数优化模型，构建模糊隶属度函数和规则。
第 9-10 周	完成毕业设计中期答辩。
第 11-12 周	实现条件触发机制并基于 MATLAB/Simulink 进行仿真分析。
第 13-14 周	通过地面实验基地开展不同强度混凝土岩样实验以及煤矿井下作业现场实验，验证模型普适性。
第 15-16 周	完成毕业论文的撰写工作，不断修改并完善；继续优化实验结

	果, 完成毕业设计验收工作, 归纳总结实验并提出下一步需要解决的问题。
第 17-18 周	制作毕业答辩 PPT, 完成毕业答辩, 能够清晰表达自己的观点以及设计思路, 表达清晰准确, 有效回应质疑。

主要参考文献:

- [1] 李泉新. 煤矿井下复合定向钻进及配套泥浆脉冲无线随钻测量技术研究[D]. 煤炭科学研究总院, 2018.
- [2] 马斯科. 考虑地层变化不确定性的钻进过程钻压鲁棒控制[D]. 中国地质大学, 2023.
- [3] Cheng J, Wu M, Wu F, Lu C, Chen X, Cao W. Modeling and control of drill-string system with stick-slip vibrations using LPV technique [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2021, 29 (2): 718-730.
- [4] Kremers N. A. H, Detournay E, Wouw N van de. Model-based robust control of directional drilling systems [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2016, 24 (1): 226-239.
- [5] Aarsnes U. J. F, Shor R. J. Torsional vibrations with bit off bottom: Modeling, characterization and field data validation [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018, 163: 712-721.
- [6] Aarsnes U. J. F, van de Wouw N. Axial and torsional self-excited vibrations of a distributed drill-string [J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2019, 444: 127-151.
- [7] Di Meglio F, Lamare P.-O, Aarsnes U. J. F. Robust output feedback stabilization of an ode–pde–ode interconnection [J]. *Automatica*, 2020, 119: 109-159.
- [8] Liu X, Chen L, Wu M, Luefeng Chen. Robust control of feeding speed for coal mine tunnel drilling machines[C]. *2024 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2024, 1-6.
- [9] Magaña O. V, Monsieurs F, Detournay E, *et al.* Robust output-feedback control of 3D directional drilling systems [J]. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2018, 28 (18): 5915-5942.
- [10] Barreau M, Gouaisbaut F, Seuret A. Practical stability analysis of a drilling pipe under friction with a pi-controller [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2021, 29 (2): 620-634.

- [11] Sánchez L, Lapo M, Zorrilla O. Torque and drag analysis of a drill string using sequential monte carlos methods [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, 173: 1-12.
- [12] Shor R J, Kandala S S, Gildin E. Progress toward an open source drilling community: Contributing and curating models [C]. *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*, Galveston, Texas, USA, Mar. 1, 2022, 208794-MS.
- [13] Hazbeh O, Aghdam S K, Ghorbani H, *et al.* Comparison of accuracy and computational performance between the machine learning algorithms for rate of penetration in directional drilling well [J]. *Petroleum Research*, 2021, 6(3): 271-282.
- [14] Mahmoodzadeh A, Nejati H R, Mohammadi M, *et al.* Forecasting tunnel boring machine penetration rate using LSTM deep neural network optimized by grey wolf optimization algorithm [J]. *Expert Systems with Applications*, 2022, 209: 118303.
- [15] Gan C, Cao W H, Liu K Z, *et al.* A novel dynamic model for the online prediction of rate of penetration and its industrial application to a drilling process [J]. *Journal of Process Control*, 2022, 109: 83-92.
- [16] Encinas M A, Tunkiel A T, Sui D. Downhole data correction for data-driven rate of penetration prediction modeling [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2022, 210: 109904.
- [17] Bizhani M, Kuru E. Towards drilling rate of penetration prediction: Bayesian neural networks for uncertainty quantification [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2022, 219: 111068.
- [18] Kandala S S, Shor R. Evolution of static and kinetic friction in a horizontal well using an adaptive model-based observer: Field validation [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2022, 208: 109663.

指导教师签字：

学生签字：

日期： 2025 年 1 月 20 日

日期： 2025 年 1 月 20 日

注：该任务书一式三份，院系、指导教师、学生各一份。