



项目批准号	41877246
申请代码	D0705
归口管理部门	
收件日期	



# 国家自然科学基金 资助项目结题/成果报告

资助类别：面上项目

亚类说明：

附注说明：常规面上项目

项目名称：裂隙岩体隧道建造对地下水环境影响的高效随机模拟方法

负责人：李晓军 电话：021-65983982

电子邮件：lixiaojun@tongji.edu.cn

依托单位：同济大学

联系人：洪园波 电话：021-65982875

直接费用：61.0000（万元） 执行年限：2019.01-2022.12

填表日期：2023年01月17日

国家自然科学基金委员会制（2021年）



项目摘要

中文摘要:

岩体隧道修建对地下水环境影响分析经常遇到如下困难：计算范围及边界条件难以确定；难以全面考虑围岩-隧道-防排水系统渗流场复杂模型；渗流场计算参数采样数据少，空间变异性大；不确定性方法的先验分布难以给定，且计算量大；隧道涌水量实测数据难以有效利用等。针对上述问题，本课题从多尺度模型、随机模拟方法、隧道与围岩渗流场相互作用机理三个方面出发，开展以下研究：①建立“流域-岩体-隧道-地下水渗流场”混合多尺度分析模型，研究多尺度模型动态耦合方法和并行计算方法；②研究基于隧道工程环境相似性准则和贝叶斯数据融合的先验参数分布确定方法，以及改进的“近似贝叶斯计算”方法，提高随机模拟效率；③在数值模拟和室内试验基础上，提出隧道防排水系统的等效渗透模型。课题旨在探明隧道防排水系统与围岩渗流场相互作用机理，形成系统的“流域-岩体-隧道-地下水渗流场”建模与分析方法，为岩石隧道修建对地下水环境影响分析提供理论支撑。

Abstract:

The analysis of tunneling induced impact on groundwater environment in fractured rocks faces many difficulties, such as the difficulty in delineating the impact range and defining boundary conditions; the difficulty in modeling complex rock-tunnel-drainage system; the scarcity and spatial variability of seepage parameters; the difficulty in defining priors in uncertainty methods and the formidable calculation cost; and the difficulty in effectively using the tunnel inflow measurements. To address the above issues, this research focuses on the following three aspects: multi-scale modeling techniques, stochastic simulation, and interacting mechanism between tunnel and rock seepage field. The research contents include: (1) establishing a mixed “watershed-rock-tunnel-groundwater” multi-scale seepage model, dynamic coupling of the mixed multi-scale model, and its parallel computation; (2) defining priors based on similarity criteria of tunneling sites and the Bayesian multi-source data fusing technique, and proposing an modified “approximate Bayesian computation” methodology to improve the efficiency of stochastic simulation; and (3) constructing an equivalent seepage model to simplify tunnel drainage system on the basis of numerical simulation and laboratory tests. The research objective is to explore the interacting mechanism of seepage field between tunnel drainage system and surrounding rocks, and to form a systematic “watershed-rock -tunnel-groundwater” modeling and analysis method. Our goal is to provide a theoretic solution for analyzing tunneling induced environmental impacts under conditions of uncertainty.

关键词（用分号分开）： 隧道； 地下水； 随机模拟； 裂隙岩体； 多尺度

Keywords (separated by;): Tunnel; Groundwater; Stochastic simulation; Fractured rock mass; Multi-scale



## 结题摘要

**中文摘要（对项目的背景、主要研究内容、重要结果、关键数据及其科学意义等做简单概述）：**

隧道工程建设过程中的地下水排放一方面可能会影响隧道的安全，另一方面会降低地下水位并对生态环境产生影响。现有隧道排水引起地下水位降深分析方法对地形、地下水流动和水文地质参数过于简化，无法反映地下水位降深的不确定性。为了考虑了裂隙岩体渗透特性不确定性、断层带和复杂地形的影响，基于地下水渗流场数值模型和贝叶斯定理，利用隧道涌水量实测值作为条件值，提出了地下水降深随机建模方法。该方法能够考虑复杂地形因素，在施工前初步预测地下水降深及排水量，在施工期根据实测数据不断更新预测值，通过设置误差区间灵活地进行预测，并可以考虑水文地质参数对预测的不确定性影响。研究揭示了岩性空间分布对地水位下降有着决定性的作用，是地下水位降深沿隧道轴线呈现不规则且不连续分布的根本原因。该方法为工程和水文地质资料较为贫乏的山区隧道地下水长期影响提供了定量的分析方法。

**Abstract (Brief description of research background, main methods, contributions, and research data):**

Tunnel designers persistently experience issues regarding the impact of tunnel drainage on groundwater that can affect the safety of tunnels. From an environment-oriented approach, tunnel drainage affects the groundwater table and leads to alterations in the ecological environment in the long term. Accordingly, novel methods have been established to estimate drainage-induced drawdown concerning groundwater balance and environmental factors. However, the existing methods ignore the spatial characteristics of hydrogeological parameters and complex topography, leading to over-simplification of the groundwater flow; moreover, they lack a strategy to represent drawdown uncertainty. This paper presents a stochastic modeling method for inferring drainage-induced drawdown predictions conditional on tunnel inflow estimates. The method uses a numerical groundwater model to include the fractured rock mass properties, fault zones, and complex topography of the tunnel area. The stochastic model processes the outcomes of the numerical model conditional on the absolute error of groundwater inflow based on Bayes' theorem. The contributions of the proposed method are as follows: (1) The method considers complex topography such as an inclined water table, fault zones, and rock type distribution. Accordingly, the groundwater simulation results indicate that the spatial distribution of rock types determines the magnitude of drawdown. Furthermore, the drawdown response was irregular and variable along the tunnel axis. (2) The Bayesian method allows the prediction of drawdown estimates with minimum data before tunnel construction with approximate drainage. The predictions can be updated using additional data during construction. (3) The application of the predictions is made flexible by arranging absolute error intervals, in which the decision-maker may consider the uncertainty of the parameters on the predicted solutions. The stochastic model was applied to a tunnel project in a poorly sampled ungauged mountainous catchment. The method provides information on parts of the tunnel that have the most significant potential impact with minimal input. The proposed method can be extended for long-term environmental impact assessment of tunnels by including surface features such as soil type, land use, and land cover.

**关键词（用分号分开）：** 隧道排水； 地下水位下降； 随机模拟； 裂隙岩体；



**Keywords (separated by;):** tunnel drainage; groundwater drawdown;  
stochastic simulation; fractured rock mass;

NSFC-REPORT-2022



## 正文

### (一) 结题部分

#### 1. 研究计划执行情况概述

(1) 按计划执行情况。

本课题完全按照计划任务书执行。

(2) 研究目标完成情况。

本课题完成预定研究目标。

#### 2. 研究工作主要进展、结果和影响

(1) 主要研究内容。

为了准确构建裂隙岩体隧道建造对地下水环境影响的多尺度分析模型，建立隧道对地下水环境影响的高效随机模拟方法，分析隧道防排水系统对地下水环境的影响，开展以下研究：

##### ①裂隙岩体隧道对地下水环境影响的混合动态多尺度分析模型

- “流域-岩体-隧道-地下水渗流场”混合多尺度建模方法
- “流域-岩体-隧道-地下水渗流场”多尺度动态耦合方法
- “流域-岩体-隧道-地下水渗流场”多尺度模型并行计算方法

##### ②裂隙岩体内隧道对地下水环境影响的改进“近似贝叶斯计算”方法

- 基于隧道工程环境相似性准则和贝叶斯数据融合的先验分布确定方法
- 基于全概率理论的改进“近似贝叶斯计算”随机模拟方法
- 基于地下水环境影响实测数据和信息熵理论的不确定性定量评价方法

##### ③隧道防排水系统与围岩渗流场相互作用机制

- 隧道防排水系统水力特性数值研究和试验验证
- 隧道防排水系统等效渗透模型

##### ④裂隙岩体隧道建造对地下水环境影响计算方法的工程应用

- 隧道防排水系统等效渗透模型工程检验
- 隧道对地下水环境影响的工程应用

(2) 取得的主要研究进展、重要结果、关键数据等及其科学意义或应用前景。

针对隧道建造对地下水环境影响分析方法不完善的问题，从多尺度分析模型与高效随机模拟方法、隧道与围岩渗流场相互作用机理、隧道排水对地表植被影响这几个方面展开，取得的重要进展及科学意义如下。



### ① 面向隧道水文地质数值模拟的岩性空间分布模拟方法与应用

隧道岩性空间分布通常具有较大的变异性，传统地质统计学方法难以考虑岩性空间分布的局部奇异性，难以根据隧道施工阶段的实测值对结果进行修正，并且难以将三维模型直接用于数值分析。提出了面向隧道水文地质数值分析的岩性空间分布条件模拟方法，包括三个步骤：根据问题需要定义分析尺度并划分网格；利用钻孔信息和指示 Kriging 插值得到每个网格单元岩性；根据施工阶段隧道岩性实测值，采用条件模拟方法修正岩性空间分布，再现岩性分布的局部奇异性。该方法免去了传统的三维地质模型向数值模型转换的过程，能够充分利用施工阶段获取的岩性信息，再现岩性分布的局部奇异性，并能够灵活调整分析尺度以满足不同分析精度和分析效率的需要。实际应用表明，该方法能更好地利用钻孔、地质剖面 and 施工阶段岩性数据，获得更准确的岩性空间分布结果，如图 1 所示。

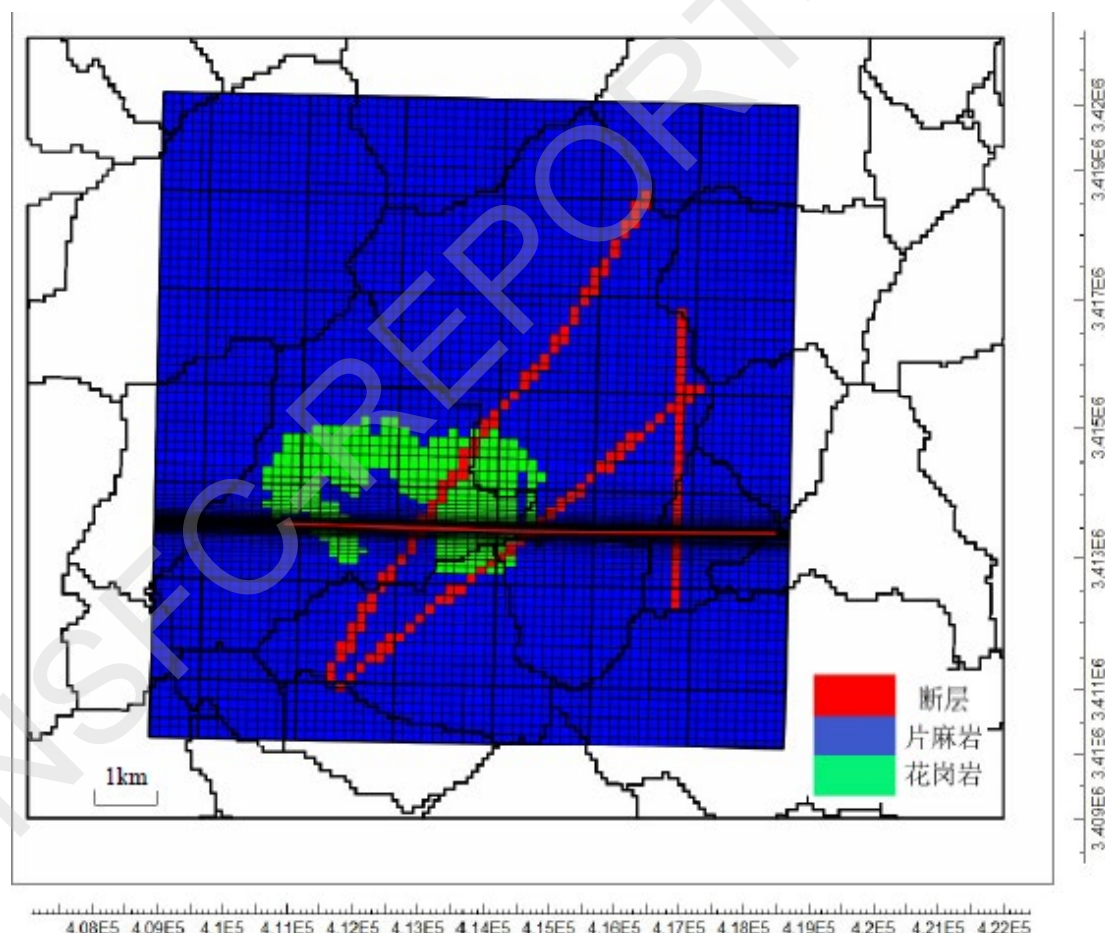


图 1 序贯条件模拟修正后的岩性分布平面图

### ② 隧道排水引起地下水位降深响应的随机模拟方法

隧道工程建设过程中的地下水排放一方面可能会影响隧道的安全，另一方面会降低地下水位并对生态环境产生影响。现有隧道排水引起地下水位降深分析方法对地形、地下水流动和水文地质参数过于简化，无法反映地下水位降深



的不确定性。为了考虑了岩体渗透特性不确定性、断层带和复杂地形的影响，基于地下水渗流场数值模型和贝叶斯定理，利用隧道涌水量实测值作为条件值，提出了地下水降深随机建模方法。该方法能够考虑复杂地形因素，在施工前初步预测地下水降深及排水量，在施工期根据实测数据不断更新预测值，通过设置误差区间灵活地进行预测，并可以考虑水文地质参数对预测的不确定性影响。研究揭示了岩性空间分布对地水位下降有着决定性的作用，是地下水降深沿隧道轴线呈现不规则且不连续分布的根本原因。该方法为水文地质资料较为贫乏的山区隧道地下水长期影响提供了定量的分析方法。

### ③ 考虑隧道防排水系统的涌水量与衬砌外水压力解析解

在传统的复合式衬砌的隧道涌水量解析方法中，防排水系统（WDS）通常未得到充分考虑。研究提出了包括排水管、防水膜和土工布在内的隧道三维防排水渗流模型（WDSee 模型），模型由“围岩-初衬-防排水系统-二衬”构成，其中防排水系统包含防水板、透水无纺土工布、环向排水管。该模型完整地考虑了地下水渗流路径和影响因素，包括作用水头、环向排水管道间距、土工布渗透系数与厚度、衬砌厚度、围岩与初衬渗透系数等，如图 2 所示。推导了隧道涌水量和衬砌外水压力解析解，经理论与数值方法验证，与现有解析解之差小于 0.5%。研究揭示了隧道涌水量与隧道几何、物理参数之间的关系，以及隧道防排水系统对涌水量的影响。具体表现为：排水管间距和围岩渗透系数等因素对地下水涌水量有显著影响，随着排水管间距的增大，地下水涌水量明显减少；围岩渗透系数越高，防排水系统对地下水涌水量的影响越显著；当岩体渗透系数超过  $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$  时，设计时应考虑防排水系统影响。研究结果为隧道排水系统的合理设计及其对环境的影响提供了理论依据。

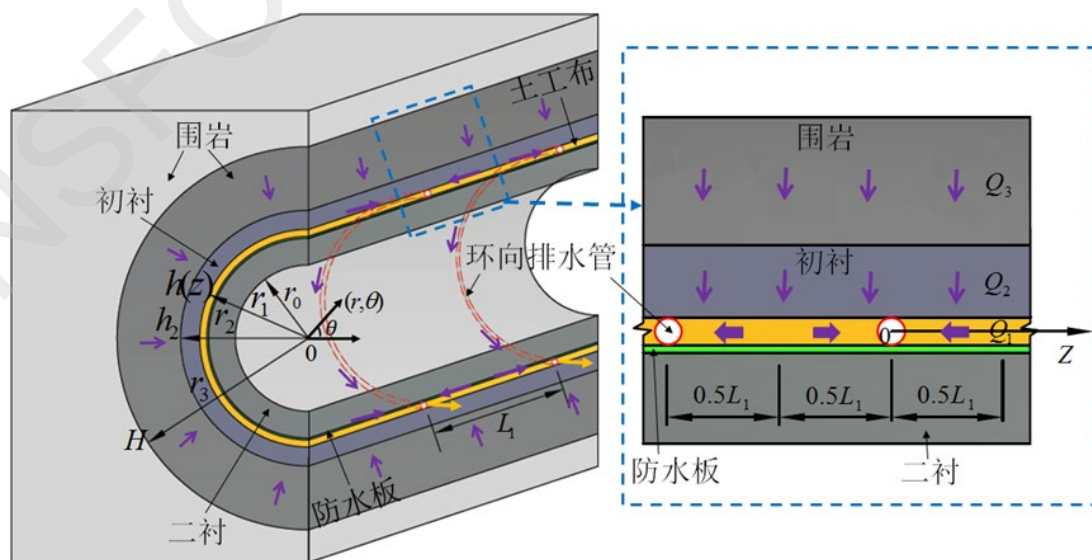


图 2 WDSee 模型图

隧道衬砌外水压力是深埋隧道衬砌结构设计中的另一个重要因素，忽略防排





水系统中的土工布、排水管和防水板因素,可能会导致实际值和预测值之间存在较大差异。设计了隧道渗流模型实验(如图3所示),根据实验结果提出了考虑防排水系统的防排水渗流模型,推导了初衬和二衬外水压力解析解。理论分析和试验结果表明,防排水系统显著降低了二次衬砌上的水压力,而对初始衬砌的影响不明显;作用于初衬和二衬上的外水压力分布与相邻环形排水管之间的距离、围岩和初始衬砌的渗透系数以及土工布的厚度密切相关;缩小环向排水管的距离可减低外水压力;随着初衬渗透系数的增加,初衬水压力逐渐减小而二衬上水压力逐渐增大;当围岩渗透系数在  $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  至  $5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  范围时,考虑防排水系统的二次外水压力相比不考虑时降低了 54%,该结果表明防排水系统对二衬水压力影响不容忽视。



图3 隧道渗流模型实验系统装置图

#### ④ 防排水系统对复合式衬砌渗透特性的影响及表征方法

建立了复合式衬砌隧道等效渗流模型,综合考虑了初衬渗透系数、环向排水管间距、土工布厚度与渗透系数等因素,提出了复合式衬砌等效渗透系数表征方法(如图4所示),推导了复合式衬砌等效渗透系数表征公式,为隧道涌水量和衬砌外水压力等计算提供基本参数。结果表明:当围岩渗透系数为  $1 \times 10^{-7} \text{ m/s} \sim 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  时,应考虑排水管、土工布和防水板的复合式衬砌渗透系数对涌水量和外水压力的影响;复合式衬砌渗透系数与环向排水管间距、初衬渗透系数、土工布厚度密切相关;当环向排水管间距和初衬渗透系数越大时,复合式衬砌渗透系数越小;土工布厚度越大时,复合式衬砌渗透系数越大。



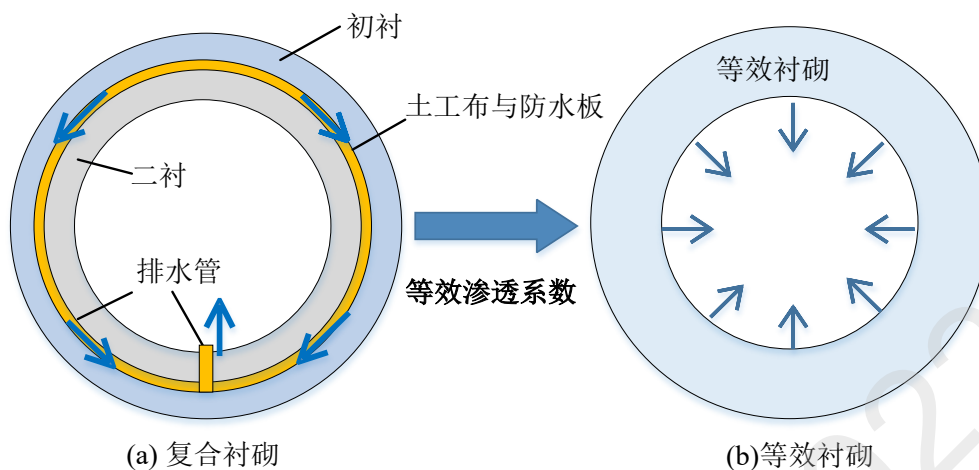


图 4 复合式衬砌等效概念图

### ⑤ 隧道排水对地表植被影响的脆弱性评估框架和分析方法

建造隧道对环境影响传统上用地下水位下降来简单地评估,然而这种方法不足以评价对地表植被的影响。研究首次提出了基于隧道排水对地下水、土壤、陆地、植被、大气五水循环影响的植被脆弱性评估框架(IVAF)(如图 5 所示),IVAF 综合考虑了大气强迫、地下水、植被系统,根据植被凋萎点定义了植被脆弱性,利用土壤基质势作为植被生存状态指标,将土壤-植物-大气连续体(SPAC)模型与长期隧道排水相结合,评估植被脆弱性。

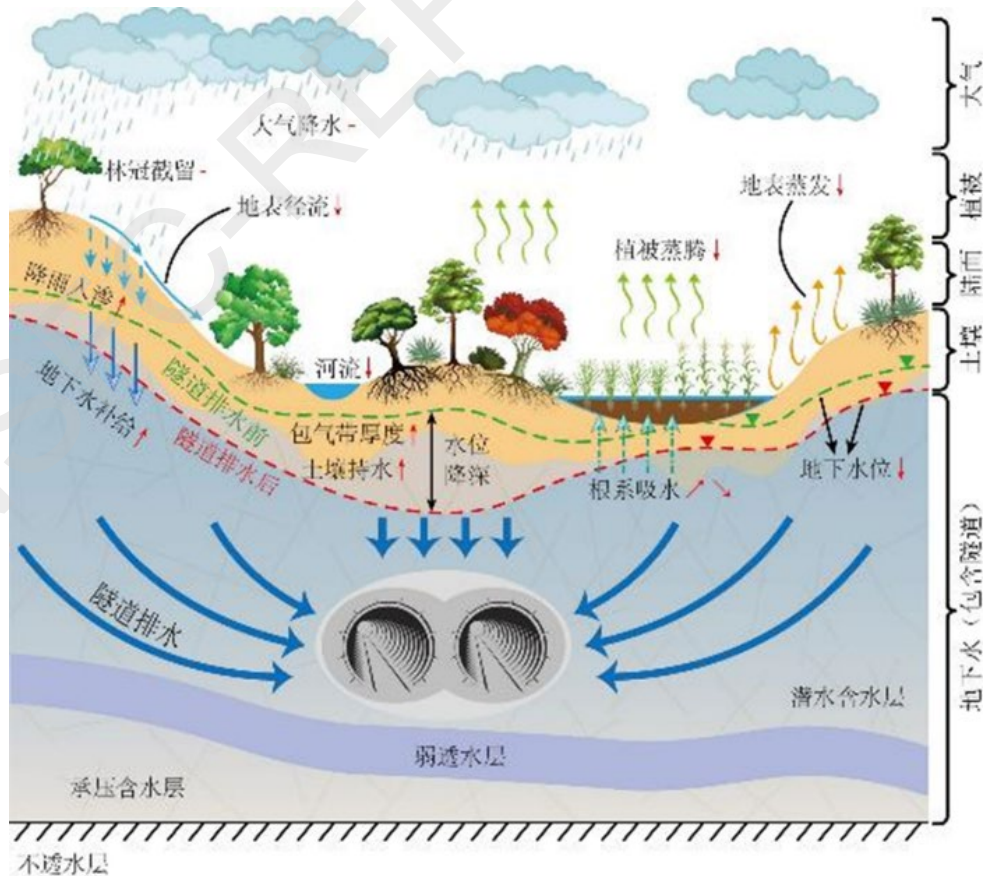


图 5 隧道排水对 SPAC 五水循环系统影响示意图



首次提出了基于地下水渗流与表土水分运移模型的植被脆弱性分析方法 (IVAM)，由表层土数值模型和随机地下水模型组成。该方法首先采用 Richards 方程描述包气带的非饱和流运动；其次，建立隧道地下水渗流模型，模拟隧道排水对地下水渗流场的影响；再次，采用饱和-非饱和流单向耦合方法，将模拟所得的地下水位传递至表土模型作为底部边界条件；然后，建立植被与大气、表层土和大气之间水分交换模型并施加边界条件；最后，基于土壤基质势和植被凋萎点分析植被脆弱性。研究表明，植被脆弱性更依赖于渗透，地下水位低于生根深度时植被不会立即发生凋萎；如果没有足够的渗透补给，土壤质地是植被凋萎的重要影响因素。

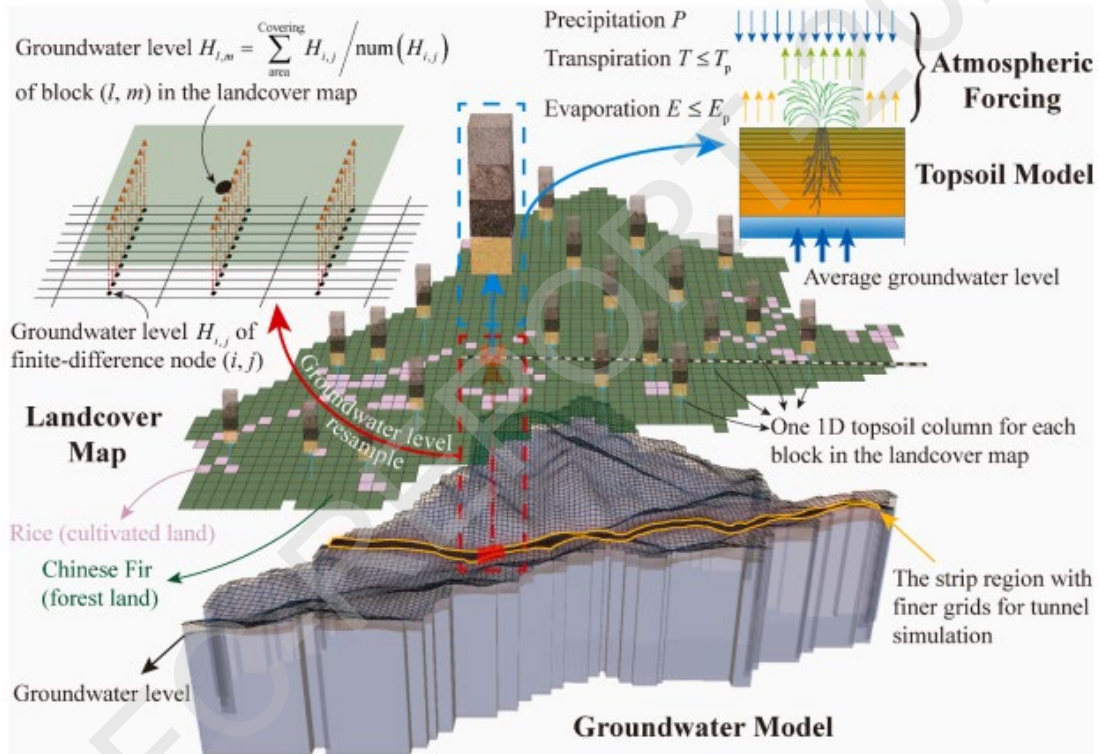


图 6 植被脆弱性分析示意图

#### ⑥隧道排水对地表植被影响的风险评估及考虑大气和气候变化的影响

进一步引入大气发生器模型来考虑长期气候效应，考虑隧道区域的大气降雨和气候变化的短期和长期敏感性，并考虑不同土壤的持水性能，将隧道、岩土体、植被、大气做一个完整的水力动力学系统来整体模拟分析，建立了随机风险工具来评估不同植被和气候条件下隧道排水引起的环境影响，如图 7 所示。该方法为环境友好型隧道排水设计的提供了重要的理论依据和方法，可以比较和优化隧道设计和施工参数，以最小化隧道排水对植被的影响；评估特定隧道的长期/瞬态排水对植物的区域影响，以及确定控制给定区域植被生存的主导因素。

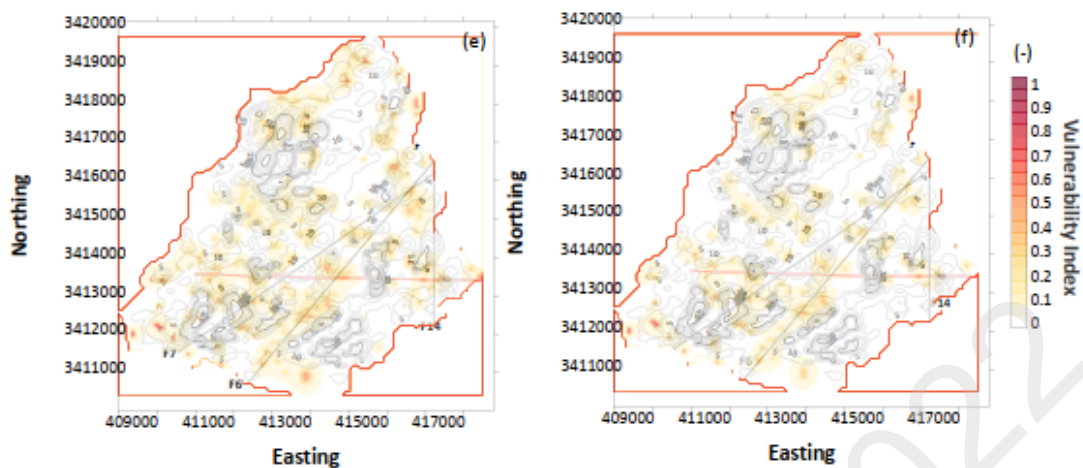


图 7 隧址区基于相对扎根深度的脆弱性分布图

### 3. 研究人员的合作与分工。

本项目参与人员的合作与分工如下。

编号	姓名	职称	项目分工	实际贡献	工作起止时间	备注
1	李晓军	教授	项目整体指导	具体负责并指导课题所有方向工作	2019.01-2022.12	
2	Yoram Rubin	教授	项目指导、方案审定	审定并指导课题具体研究方案	2019.01-2022.12	
3	武威	助理研究员	项目指导	指导课题的开展实施	2019.01-2022.12	
4	Cagri Gokdemir	博士后	隧道排水对地表植被影响风险评估	提出隧道排水对地表植被影响的风险评估方法，综合脆弱性评估框架	2019.01-2022.09	出站退出
5	李彦东	博士生	隧道岩性空间分布模拟方法、渗流试验	提出了隧道水文地质数值模拟的岩性空间分布模拟方法	2019.01-2021.06	毕业退出
6	陈子扬	博士生	隧道掌子面围岩信息提取、水文地质分析	隧道水文地质分析、隧道水环境影响评价方法	2019.01-2022.12	
7	陈建琴	博士生	掌子面围岩	提出了隧道三维点云	2019.01-	毕业



			信息提取	自动描述岩体不连续性方法	2019.06	退出
8	唐立	博士生	隧道水文地质分析	隧道水文地质建模	2019.01-2022.12	
9	郭宇靖	硕士生	隧道多尺度分析模型	建立隧道渗流场多尺度分析模型	2019.01-2019.06	毕业退出
10	陈超	硕士生	掌子面围岩信息提取	隧道三维点云提取程序开发	2019.01-2019.06	毕业退出

#### 4. 国内外学术合作交流等情况。

指导的博士生李彦东在 2018 年 12 月~2019 年 6 月赴美国加州伯克利大学 Yoram Rubin 教授课题组开展交流合作，在隧道水文地质模拟、隧道地下水渗流建模方面取得较大进展，成果应用在国内工程案例（云南老营隧道、安徽明堂山隧道、宝石岭隧道等）用以分析隧道建造的区域水环境影响。

#### 5. 存在的问题、建议及其他需要说明的情况。

无

### （二）成果部分

#### 1. 项目取得成果的总体情况。

本项目计划发表论文 8 篇，其中国际学术期刊论文 4 篇，国内核心学术期刊论文 4 篇；申请专利 1 项。实际超额完成，已经发表论文 11 篇，其中 SCI 论文 7 篇，EI 论文 1 篇，中文核心 3 篇；已申请专利 1 项。其中“Automatic Characterization of Rock Mass Discontinuities Using 3D Point Clouds”被引次数 51 次，“Stochastic, goal-oriented rapid impact modeling of uncertainty and environmental impacts in poorly-sampled sites using ex-situ priors”被引次数 19 次（2022 年 12 月 Scopus 数据），后续还将形成 2-3 篇高质量论文成果。

#### 2. 项目成果转化及应用情况。

云南省交通规划设计研究院采用本研究的隧道渗流场解析解对云南老营隧道、杨林隧道、东马场隧道等的涌水量、衬砌外水压力预测分析，以及地下水监测分析，并将理论成果在云南其他隧道进行推广应用。

安徽省交通规划设计研究院采用本研究的隧道渗流场、隧道排水的植被环境影响等研究成果对安徽宝石岭隧道、双峰寨隧道出现地下水问题进行防排水设计与水灾害防治、隧道水环境效应评价，并将理论成果在安徽等其他地方进行推广



应用。

依托本基金研究成果,已成功申报了安徽省交通控股集团有限公司科研项目“公路隧道水环境效应评价及控制关键技术”,将本基金有关地下水环境、渗流场等研究成果应用在安徽皖南山区隧道群、大别山区隧道群。

同时依托本基金研究成果,申报了中国工程建设标准化协会的行业标准“公路隧道水环境效应评价技术规程”已获 2023 年立项,进一步将研究成果在公路隧道水环境效应评价方面开展更广泛的应用。

### 3. 人才培养情况。

依托本课题共培养博士后 1 名、研究生 6 名。其中,博士后为 Cagri Gokdemir,博士研究生 4 名,分别为李彦东、陈子扬、陈建琴、唐立,硕士研究生 2 名,分别为郭宇靖,陈超。

### 4. 其他需要说明的成果。

无

### 5. 项目成果科普性介绍或展示网站。

无。





## 研究成果目录

项目负责人通过系统，从文献库中检索研究成果或者按要求格式自行填入。请按照期刊论文、会议论文、学术专著、专利、会议报告、标准、软件著作权、科研奖励、人才培养、成果转化的顺序列出，其它重要研究成果如标本库、科研仪器设备、共享数据库、获得领导人批示的重要报告或建议等，应重点说明研究成果的主要内容、学术贡献及应用前景等。

项目负责人不得将非本人或非参与者所取得的科研成果，以及与受资助项目无关的科研成果列入报告中。发表的科研成果，项目负责人和参与者均应如实注明得到国家自然科学基金项目资助和项目批准号，科学基金作为主要资助渠道或者发挥主要资助作用的，应当将自然科学基金作为第一顺序进行标注。

### 期刊论文

(1) Cagri Gokdemir; Yoram Rubin; Xiaojun Li; Yandong Li; Hao Xu; [Vulnerability analysis method of vegetation due to groundwater table drawdown induced by tunnel drainage](#), *Advances in Water Resources*, 2019, 133: 103406. 第一标注

(2) Xiaojun Li; Ziyang Chen; Jianqin Chen; Hehua Zhu; [Automatic characterization of rock mass discontinuities using 3D point clouds](#), *Engineering Geology*, 2019, 259: 105131. 第一标注

(3) Hao Xu; Xiaojun Li; Cagri Gokdemir; [Modeling and assessing the impact of tunnel drainage on terrestrial vegetation](#), *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2021, 116: 104097. 第一标注

(4) Gokdemir, Cagri; Rubin, Yoram; Li, Xiaojun; Xu, Hao; [A vulnerability assessment method to evaluate the impact of tunnel drainage on terrestrial vegetation under various atmospheric and climatic conditions](#), *ADVANCES IN WATER RESOURCES*, 2021, 147: 103796. 第一标注

(5) Liu, Jinghui; Li, Xiaojun; [Analytical solution for estimating groundwater inflow into lined tunnels considering waterproofing and drainage systems](#), *BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT*, 2021, 80(9): 6827-6839. 第一标注





- (6) Cagri Gokdemir; Yandong Li; Yoram Rubin; Xiaojun Li; [Stochastic modeling of groundwater drawdown response induced by tunnel drainage](#), *Engineering Geology*, 2022, 297: 106529. 第一标注
- (7) Cagri Gokdemir; Yi Rui; Yoram Rubin; Xiaojun Li; [A framework for assessing tunnel drainage-induced impact on terrestrial vegetation](#), *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2022, 132: 104917. 第一标注
- (8) 李晓军; 刘荆辉; [防排水系统对复合式衬砌渗透特性的影响及表征方法](#), *同济大学学报. 自然科学版*, 2021, 49(7): 995-1003. 第一标注
- (9) 李港; 李晓军; 杨文翔; 韩冬; [基于深度学习的TBM掘进参数预测研究](#), *现代隧道技术*, 2020, 57(5): 154. 第一标注
- (10) 李晓军; 徐昊; Gokdemir Cagri; 王飞; 黄学文; 隧道排水诱发地下水位下降对地表植被影响的TSPAC分析方法, *隧道建设*, 2020, 49: 1261-1271. 第一标注
- (11) 李晓军; 李彦东; 王长虹; 陈子扬; 面向隧道水文地质数值模拟的岩性空间分布模拟方法与应用, *工程勘察*, 2020, 48: 1-5. 第一标注

## 专利

- (1) **李晓军**; 凌加鑫; 沈奕; 隧道内环境模拟评价设备, 2020-8-19, 中国, CN202010837171.5.

## 科研奖励

- (1) **李晓军** (2/10); 高速公路绿色隧道关键技术及工程示范, 安徽省人民政府, *科技进步*, 省部二等奖, 2019 (黄学文; **李晓军**; 严二虎; 闫治国; 吴林松; 何玉柒; 许泽宁; 朱合华; 齐运书; 曹小祥).

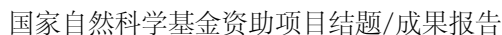
## 项目成果应用前景

本项目成果拟应用领域: 1、隧道工程



预计在5年以内推广使用

NSFC-REPORT-2022



**附表：研究成果统计数据表**（本表针对各种类型资助项目收集数据以便进行整体资助效果分析使用，并非要求每类项目都具有以下各类成果。）

[illegible]



国家自然科学基金项目资金决算表

项目批准号：41877246		项目负责人：李晓军			金额单位：万元		
序号	科目名称	预算数			累计支出数	结余数	结余占比
		批准预算	预算调整数	调整后预算			
		(1)	(2)	(3) = (1) + (2)			
1	项目总经费	72.4000	0.0000	72.4000	-	-	-
2	项目直接费用	61.0000	0.0000	61.0000	47.6417	13.3583	18.45%
3	1、设备费	4.0000	0.0000	4.0000	0.0000	4.0000	-
4	其中：设备购置费	4.0000	0.0000	4.0000	0.0000	4.0000	-
5	2、业务费	33.0000	0.0000	33.0000	23.6817	9.3183	-
6	3、劳务费	24.0000	0.0000	24.0000	23.9600	0.0400	-
7	项目间接费用	11.4000	0.0000	11.4000	-	-	-

注：1. 本表仅填列自然科学基金批准资助的项目经费决算情况，其他来源资金的经费决算情况不属于本表填报范围；  
2. 本表中（1）、（3）、（5）、（6） 栏为系统自动生成，不需项目负责人填写；本表中（2） 栏填列预算调整数；本表中（4）栏填列项目的实际支出数；  
3. 本表中第7行数值由系统自动生成，不需项目负责人填写；  
4. 第7行“预算调整”栏请参照《国家自然科学基金预算制项目决算表编制说明》中有关要求填列。



## 决算说明书

（请按照《国家自然科学基金预算制项目决算表编制说明》等的有关要求，说明项目预算支出情况、预算调整情况、资金结余情况、合作研究外拨资金情况、单价50万元（含）以上的设备情况、资金管理和使用过程中的问题建议，以及其他需要说明的事项。）

### 1、预算支出情况（请对每项经费的详细支出稍作补充）

（1）设备费预算为4.0000万元，结余4.0000万元。

（2）业务费预算为33.0000万元，实际支出为23.6817万元，结余9.3183万元，主要用于项目执行过程中的隧道防排水试验材料费和测试加工化验费，参加学术会议的费用，论文版面费和专利申请费。

（3）劳务费预算为24.0000万元，实际支出为23.9600万元，结余0.0400万元，主要用于参加研究的博士研究生和硕士研究生的劳务费。

项目总经费72.4000万元，其中直接费用61.0000万元，支出47.6417万元，结余13.3583万元，结余资金占比18.45%。

### 2、预算调整情况

无

### 3、合作研究外拨资金情况

无

### 4、单价总额50万元（含）以上设备的购买情况和购买理由

无

### 5、资金管理和使用过程中的问题建议以及其他需要说明的事项

无

### 6、结余经费使用计划

结余经费将用于后续深化研究的研究生人员费和形成高水平论文的出版费与知识产权费。



## 签字及审核意见表

## 项目负责人承诺：

我所承担的项目（编号：41877246 名称：裂隙岩体隧道建造对地下水环境影响的高效随机模拟方法）结题报告内容真实，数据准确，未出现《国家科学技术保密规定》中列举的属于国家科学技术秘密范围的内容。在今后的研究工作中，如有与本项目相关的成果，将如实注明得到国家自然科学基金项目资助和项目批准号，并报送国家自然科学基金委员会。

项目负责人（签章）：

日期：

## 依托单位科研管理部门：

负责人（签章）：

日期：

## 依托单位财务管理部门：

负责人（签章）：

日期：

## 依托单位审查意见：

依托单位公章：

## 科学处审核意见：

完成情况  
综合评分  
(划√)

优

良

中

差

负责人（签章）：

日期：

## 科学部核准意见（对重点项目等）：

负责人（签章）：

日期：

## 分管委领导意见（对重大项目等）：

委领导（签章）：

日期：