

大学生创新训练项目申请书

项目编号 s201910536046

项目名称 降雨过程粉质黏土地基承载力演化特性研究

项目负责人 刘宇峰 联系电话 1597311389

所在学院 国际学院

学 号 201703150216 专业班级 土木 1702 班

指导教师 胡炜

E - m a i l 29130415@qq.com

申请日期 2019 年 5 月 5 号

起止年月 2019 年 4 月-2020 年 11 月

长沙理工大学

填 写 说 明

1、本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要

2、申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填负责人。“项目编号”一栏不填。

3、本申请书为大 16 开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。

4、负责人所在学院认真审核，经初评和答辩，签署意见后，将申请书（一式两份）报送xxxx大学项目管理办公室。

一、基本情况

项目名称	降雨过程粉质黏土地基承载力演化特性研究						
所属学科	学科一级门:	工学		学科二级类:	土木类		
申请金额	20000 元		起止年月	2019 年 4 月-2020 年 11 月			
负责人姓名	刘宇峰	性别	男	民族	汉族	出生年月	1998 年 12 月
学号	201703150216	联系电话	宅: 手机:15973113895				
指导教师	胡炜	联系电话	宅: 手机:18390999363				
负责人曾经参与科研的情况	<p>1) 长沙理工大学大学生创新性实验计划项目“公路边坡新型防排水装置的结构优化研究”, 2018.3</p> <p>2) 长沙理工大学互联网+大学生创新创业大赛项目“土木 plus 科技有限公司”, 2018.5</p> <p>3) 在石燕湖、岳麓山等地方进行多次工程地质勘察, 2018.10</p>						
指导教师承担科研课题情况	<p>1) 湖南省教育厅科研项目“地震作用下岩体结构面力学性能演化规律及其对边坡失稳风险的影响研究”, 2016.10~2018.09</p> <p>2) 湖南省水利科技项目“河道生态护坡安全控制技术研究”, 2018.05~2019.12</p>						
指导教师对本项目的支持情况	指导教师为本项目选题提供了一定建议, 参与了申报书的修改和完善工作, 同时, 指导教师在完成该课题方面有充分的科研和试验能力, 对岩土体的理论分析、试验研究、数据处理等积累了丰富的经验, 协同课题组对项目研究内容进行了深入分析和研究, 制定了详细的项目实施方案, 明确了项目的实施目标, 对本项目开展所需的实验研究、理论分析、数据处理、报告撰写等均能提供理论指导和技术支持。						
项目组主要成员	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目中的分工		
	刘宇峰	201703150216	土木 1702 班	国际学院	前期调研, 研究报告与论文撰写		
	龙鑫洋	201703150217	土木 1702 班	国际学院	研究条件准备和项目实施		
	周宁杰	201708020718	土木 1707 班	土木学院	前期调研, 数据处理		
	曹 涛	201708020726	土木 1707 班	土木学院	数据整理和分析		

i. 立项依据（可加页）

（一）项目简介

地基极限承载力对于工程的稳定分析至关重要，而实际工程中影响地基承载特性因素众多，尤其是外界降雨作用，导致确定地基承载力时比较复杂、耗时费力。因此，有必要针对降雨条件下基础的地基承载力及破坏模式进行深入研究。地基常位于地下水以上，为非饱和土层，其强度及承载特性受基质吸力影响显著，而降雨入渗将引起基质吸力的减小，进而降低地基极限承载力，严重时诱发地基发生破坏，对工程稳定及安全危害大。本项目将利用人工降雨模型试验分析不同雨强、历时以及雨型下非饱和地基基质吸力的变化过程及变化规律，基于降雨条件下地基极限承载力计算理论，结合基质吸力计算结果，得到不同降雨条件下地基极限承载力的演化规律，阐述降雨对地基强度及承载能力的影响大小及影响程度，为相关工程稳定性分析提供借鉴和参考。

（二）研究目的

目的在于探究不同降雨条件下地基基质吸力与极限承载力的变化过程及演化规律，为正确评价雨季地基承载性能、及时采取针对性措施防止施工期地基失稳破坏提供一定技术支撑。

（三）研究内容

1.降雨条件下粉质黏土基质吸力演化规律研究

利用人工降雨模拟试验得出在不同雨强、时以及雨型下（模拟降雨强度取值为1.25mm/h（中雨）、2.5mm/h（大雨）、5mm/h（暴雨），降雨持续时间为12h）粉质黏土土方含水率与基质吸力的变化情况

2.降雨条件下地基极限承载力演化规律研究

在通过人工降雨模拟试验得到粉质黏土土方含水率与基质吸力的变化的数值

后，利用降雨条件下地基极限承载力计算理论，在试验数值的基础上得到极限承载力的演化规律。

（四） 国、内外研究现状和发展动态

1.人工降雨模型试验研究现状

人工降雨模型试验是研究降雨条件下土层基质吸力变化规律的方法之一，目前已有大量研究者开展了工作：

詹良通^[1]等以湖北昭阳某典型非饱和膨胀土未防护边坡为研究对象，进行人工降雨试验和现场监测，试验对所模拟的降雨雨强大但历时短的降雨对膨胀土边坡整体稳定影响并不明显，而雨强小且历时长的降雨对其稳定不利，监测结果表明：膨胀土的降雨入渗规律及其对含水量、孔隙水压力的影响与土中裂隙密切相关。

Ling^[2]等利用室内土工离心机，进行多组不同雨强的离心模型试验，得出了试验边坡在不同雨强下的浸润曲线变化规律和临界破坏高度。

Huat^[3]等基于室内模型试验，研究了坡面覆盖（草皮或土工合成材料等）和边坡坡度对降雨入渗和吸力的影响，并与现场降雨入渗试验结果对比，研究表明不同的覆盖物引起雨水入渗的情况不同，随着坡度的增大降雨入渗逐渐减小，在不考虑湿润锋的移动的情况下，坡脚比坡顶入渗更显著。

周中^[4]等针对上瑞高速贵州段的某典型土石混合体边坡进行现场监测及人工降雨模型试验，研究表明：降雨入渗对土石混合体边坡的变形了以坡面最大，以坡面往破内深部逐渐减小，入渗率随时间增加而逐渐减少，一段时间后稳定。

谢妮^[5]等对甘肃平顶某高速公路填方路基边坡进行人工降雨模型试验，同时监测4次降雨试验边坡含水率变化，后期持续一个月监测结果表明：降雨引起表层土体含水率增大同时吸力下降明显，雨水冲刷导致坡面出现冲沟，在持续降雨时土体抗剪强度进一步衰减。

王福恒^[6]等设计制作路堤土工模型并利用降雨装置模拟人工降雨，进行不同初始含水率和降雨条件下的黄土边坡湿润锋试验和入渗率试验，分析了降雨历时和不

同雨强对黄土路堤边坡安全系数的敏感程度及入渗规律。

丰光亮^[7]等针对鄂西恩施地区降雨特征进行分析,并选定6种典型降雨,自行设计室内人工降雨的非饱和土柱入渗试验,通过实测土柱内的含水率变化,来揭示降雨入渗的影响区域,入渗前锋运移规律和降雨历时对入渗规律的影响。

武彩萍^[8]等自制人工降雨装置通过室内黄土边坡模型来研究降雨入渗过程中土体的含水率变化规律,研究表明:坡面雨水入渗速率较坡顶更快。

董辉^[9]等针对水竹弯隧道旁级配良好的碎石土,通过自制一维渗透仪和边坡模型进行试验降雨入渗,研究该堆积土在降雨条件下的湿润锋变化规律,研究结果表明:坡脚、坡面与坡顶处的入渗速率分别满足线性、对数及指数关系。

田海^[10]等利用新型介质雾化喷雾设备模拟降雨,对有无格栅支护措施的松散堆积体边坡做离心模型试验,试验结果表明:降雨开始后的松散堆积体滑坡顶部沉降和坡面处水平位移逐渐增大,而又土工防护格栅支护的边坡在降雨作用下稳定性较好,得出该支护措施是提高堆积体边坡稳定性的有效方法。

由此可见,现有研究利用人工降雨模型试验分析了不同降雨雨强、历时以及雨型下边坡、路基等工程的基质吸力演化规律,表明该方法已经十分成熟,可为本次研究提供技术支撑。

2.非饱和地基极限承载力研究现状

非饱和土的强度与基质吸力息息相关,国内外学者将基于饱和抗剪强度理论的地基极限承载力计算理论,与非饱和抗剪强度理论结合,用于探究非饱和土地基极限承载力计算理论,并取得了丰硕的成果。如:

Vanapalli等^[11-12]引入利用土水特性描述的非饱和土强度理论,规定基质吸力计算取值为1.5倍基础宽度范围内应力球的平均基质吸力,拓展太沙基地基极限承载力计算理论,提出了非饱和地基极限承载力计算方法,最后利用沙土地基的室内荷载试验对拓展的计算理论进行了验证。

赵炼恒等^[13]根据Fredlund非饱和抗剪强度理论,给出了基质吸力沿深度均匀分

布和沿深度线性减小时的多刚性块上限分析法并对非饱和土条形基础竖向极限承载力进行研究。结果表明：土中基质吸力存在所引起的附加抗剪强度使非饱和土地基承载力较饱和土得到了提高；土体内基质吸力分布方式和地下水位高低对条形基础极限承载力影响也较大，地下水位升高导致基质吸力降低，极限承载力减小。

张常光等^[14]基于非饱和土双应力状态变量抗剪强度统一解，综合考虑中间主应力、基质吸力和超固结比等影响，推导了非饱和土条形地基太沙基极限承载力解析解，并得出统一强度理论参数、基质吸力和超固结比对承载力的影响规律。

Vahedifard等^[15]利用稳定入渗条件下基质吸力解析解预测地基基质吸力分布，结合太沙基非饱和地基极限承载力计算公式，给出了稳定渗流下地基极限承载力计算的方法，并分析了入渗流量、地下水位对地基极限承载力的影响。

谢研^[16]则采用有限元分析方法研究了降雨条件下地基基质吸力演变特性，并利用可靠度分析理论进一步探究了其极限承载力变化规律。结果表明：降雨期间，随时间增长，土体基质吸力变小，地基的稳定性变差；降雨结束后，渗流继续进行，基质吸力分布趋于稳定，地基的稳定性变好。

张常光等^[17-18]考虑基质吸力均匀分布、线性分布以及雨水入渗下基质吸力线性分布变化时的影响，建立非饱和土条形地基的太沙基极限承载力解答。同时研究了线性吸力和高吸力对地基极限承载力的影响。结果表明：高吸力具有双重影响，线性吸力分布下的地基极限承载力明显小于均布吸力下的地基极限承载力。

金亮星等^[19]基于极限分析法，在将地基划分成刚塑性三角形块的基础上，综合考虑地下水位和非饱和土基质吸力的影响，利用内外虚功率相等原理建立极限承载力的求解方程。

陈茜等^[20]基于稳态流下吸应力剖面具有明显非线性的特点，补充普朗德尔假定，利用刚体平衡方法，推导了普朗德尔滑动面范围内非饱和土地基的极限承载力计算模型，讨论了地下水埋深和比流量变化对地基极限承载力的影响。结果表

明：地基极限承载力随地下水位埋深减小呈先减后增的变化趋势；当滑动土体内吸应力随比流量的增大呈现先增后减的趋势时，地基极限承载力呈现先减小再增大的变化趋势。

由此可见，对于非饱和地基极限承载力计算的理论研究已有很多成果，可为本项目提供借鉴。同时近些年来，研究者已开始关注雨水入渗引起地基基质吸力改变，进而影响地基极限承载力的问题，但对基质吸力分布的求解往往采用复杂的数值计算或简化处理，这不利于准确地求解雨水入渗过程中地基极限承载力，对客观评价雨季地基承载状态造成不便。因此，找出一种适用于客观评价雨季地基承载状态的地基承载力演化规律就显得尤为重要了。

综上所述，人工降雨模型技术和非饱和地基极限承载力计算理论已经成熟，可为本次研究提供借鉴。但降雨入渗下地基基质吸力与极限承载力的演化研究尚少。而利用试验方法监测基质吸力变化，进而结合非饱和地基极限承载力计算理论探究地基基质吸力与极限承载力演化规律的研究尚较少，因此，有必要进一步揭示不同雨强、历时以及雨型下地基基质吸力与极限承载力的演化规律，为地基防灾减灾提供理论支撑。

参考文献

- [1] 詹良通, 吴宏伟, 包承纲等. 降雨入渗条件下非饱和膨胀土边坡原位监测[J]. 岩土力学, 2003, 24(02):151-158.
- [2] LingH, WuM. Centrifuge Modeling of Rainfall Induced Slope Failure[J]. American Geophysical Union Fall Meeting 2006.2006,12,466~479.
- [3] Huat, B.B.K., Huat, Ali, F.H.J., Low, T.H. Water infiltration characteristics of unsaturated soil slope and its effect on suction and stability[J]. Geotechnical and Geological Engineering. 2006, 24(5): 1293-1306.
- [4] 周中, 傅鹤林, 刘宝琛等. 土石混合体边坡人工降雨模拟试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(07):1391-1396.
- [5] 谢妮, 邹维列, 严秋荣等. 黄土路基边坡降雨响应的试验研究[J]. 四川大学学

- 报(工程科学版), 2009, 41(04):31-36.
- [6] 王福恒, 李家春, 田伟平等. 黄土边坡降雨入渗规律试验[J].长安大学学报, 2009, 29(4):20-24.
- [7] 丰光亮, 胡新丽, 吴刚等. 鄂西恩施地区非饱和土降雨入渗规律[J]. 地质科技情报, 2010, 29(05):112-116.
- [8] 武彩萍. 人工降雨条件下黄土边坡的室内模型试验研究[D].西北农林科技大学, 2013.
- [9] 董辉, 罗潇. 强降雨作用下堆积碎石土渗流规律研究[J]. 工程地质学报, 2015, 23(04):616-623.
- [10] 田海, 孔令伟, 李波等. 降雨条件下松散堆积体边坡稳定性离心模型试验研究[J]. 岩土力学, 2015, 36(11):3180-3186.
- [11] Vanapalli S, Sun R, Li X, et al. Bearing capacity of an unsaturated sand from model footing tests[J]. Unsaturated Soils. 2010: 1217-1222.
- [12] Vanapalli S K , Mohamed F M O. Bearing capacity and settlement of footings in unsaturated sands[J]. International Journal of Geomate Geotechnique Construction Materials & Environment, 2013, 5(1):595-604.
- [13] 赵炼恒, 李亮, 杨峰, 等. 基于 SQP 和上限法的非饱和土条形基础极限承载力计算[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1): 3021-3028.
- [14] 张常光, 曾开华, 赵均海. 非饱和土临界荷载和太沙基极限承载力解析解[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(12):1736-1740.
- [15] Vahedifard F, Robinson J D. Unified method for estimating the ultimate bearing capacity of shallow foundations in variably saturated soils under steady flow[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2016, 142(4): 04015095.
- [16] 谢妍. 非饱和土地基上条形基础的可靠度分析[D]. 合肥工业大学, 2016.
- [17] 张常光, 范文, 赵均海. 非饱和土强度统一解及地基承载力的拓展研究[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(05):937-943.
- [18] 张常光, 晏青, 周菲, 等. 不同吸力分布下条形地基极限承载力解答[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(05):1237-1251.
- [19] 金亮星, 潘卓夫, 冯琦璇. 条形基础地基极限承载力的改进径向移动算法研究[J].

铁道科学与工程学报,2017,14(02): 233-240.

[20] 陈茜,程大伟.稳态流下非饱和土地基承载力模型[J].土木建筑与环境工程,2018,40(06):9-14.

(五) 创新点与项目特色

1) 采用人工降雨模拟试验与非饱和地基极限承载力计算理论结合,提供了一种降雨条件下地基极限承载力演化规律研究的方法。

2) 揭示了不同降雨雨强、历时下地基基质吸力与极限承载力的演化规律。

(六) 技术路线、拟解决的问题及预期成果

1.技术路线

1) 人工降雨模型试验

预制 0.5mx0.5mx1m 的满足初含水率,干密度,压实系数条件的粉质黏土土方,考虑雨型、历时等降雨条件,进行以下四组模型试验,监测含水率及基质吸力的变化情况,确定其含水率及基质吸力的演化规律。

实验根据降雨等级,模拟降雨强度取值为 1.25mm/h(中雨)、2.5mm/h(大雨)、5mm/h(暴雨),降雨持续时间为 12h。

如表 1 所示。

表 1 降雨强度参数表

降雨等级	中雨	大雨	暴雨
降雨强度 (mm/h)	1.25	2.5	5
降雨持时 (h)	12	12	12
降雨量 (mm)	15	30	60

第一组,在中雨的条件下,进行粉质黏土土方含水率及基质吸力变化试验;

第二组,在大雨的条件下,进行粉质黏土土方含水率及基质吸力变化试验;

第三组,在暴雨的条件下,进行粉质黏土土方含水率及基质吸力变化试验;

2)降雨条件下地基极限承载力分析

在模型试验基础上，利用有限元法和部分其他的数值方法对含水率与基质吸力的数据进行计算分析，进一步揭示雨型、历时的降雨对粉质黏土土方的影响规律。

3)实地调研

对湖南某建筑工地进行实地调研，收集工程资料。

4)数据整合和分析

分析试验数据，利用公式根据粉质黏土的含水率与基质吸力来计算出其地基承载力，并通过软件绘制出对应的曲线图，综合考虑雨型、历时，寻找其中地基承载力的演化规律。技术路线图见图 1

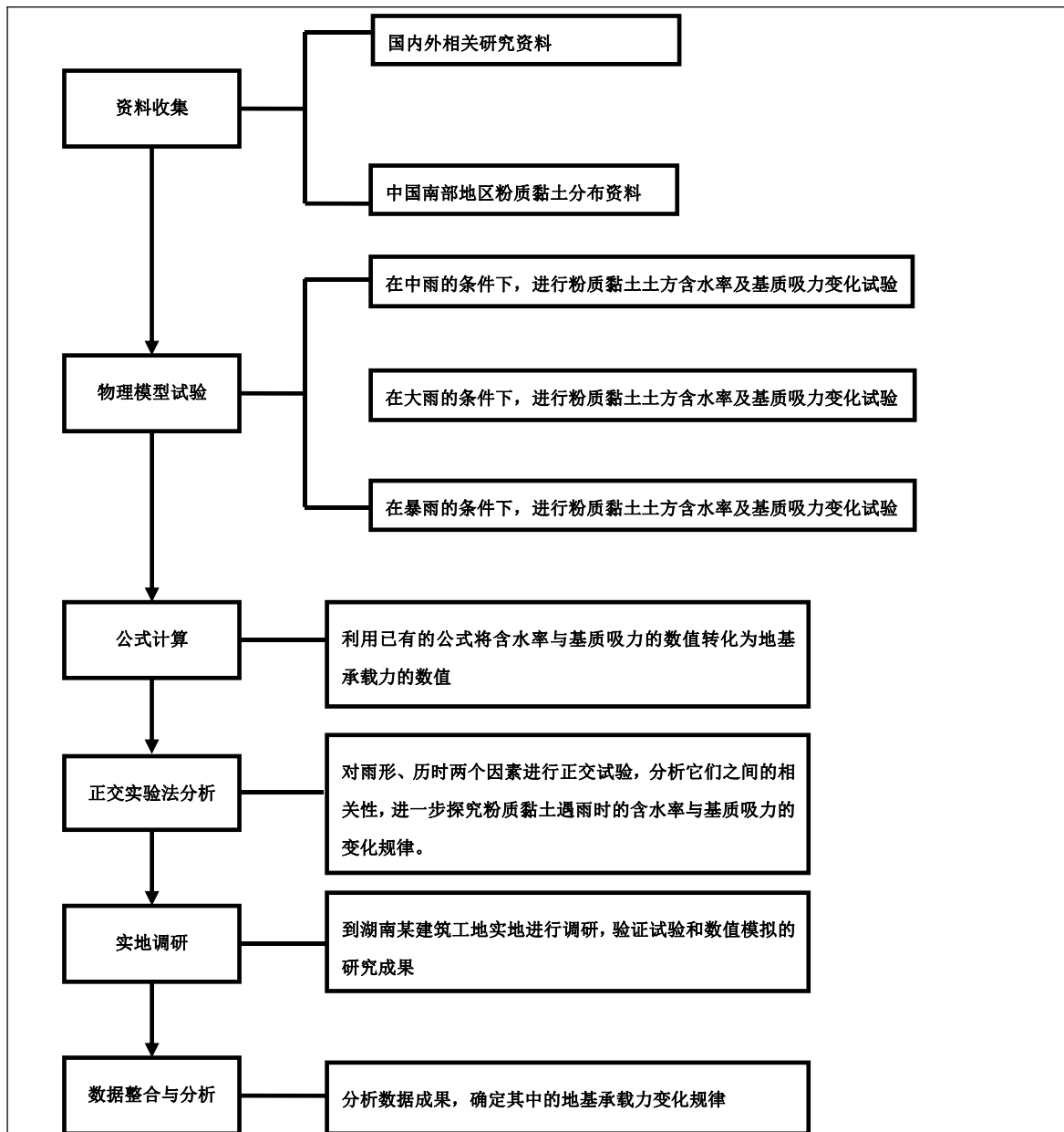


图 1 技术路线

2.拟解决的问题

通过人工降雨模型试验分与降雨条件下地基极限承载力计算理论，得到极限承载力的演化规律

3.预期成果

(一) 揭示不同降雨强度、历时下对地基极限承载力的演化特性，为更好地防护因降雨的影响而导致的地基变形损坏继而导致的建筑物的毁坏提供一定的技

术支持。

(二) 公开发表论文 1-2 篇。

(三) 申请专利 1-2 项。

(七) 项目研究进度安排

根据研究内容，项目进度安排如下：

2019 年 4-5 月：完成资料收集，制定研究工作计划

2019 年 6-8 月：进行物理模型模拟试验

2019 年 9-12 月：利用有限元法等进行计算及校对

2020 年 1-3 月：正交实验法分析试验

2020 年 4-5 月：实地调研

2020 年 6-8 月：数据整理分析，撰写论文

2020 年 9-11 月：撰写研究报告，申请结题

(八) 已有基础

1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

项目团队成员已查阅大量关于人工降雨模型试验和降雨条件下地基基质吸力与极限承载力演化规律分析的文献；同时，已前往建筑工地对降雨条件下地基极限承载力问题开展了调研，对本项目的背景及现状有了清楚认识。学习了与本项目相关的专业基础课程（《理论力学》、《材料力学》、《公路工程地质》等），具有

较扎实的理论基础。项目组成员多次参与学科竞赛和科研工作，具备良好的团队协作能力。这些研究积累为本创新实验项目顺利实施奠定了良好的基础。

2.已具备的条件，尚缺少条件及解决方法

长沙理工大学图书馆不但有丰富的纸质图书资源，而且所购买的数据库能够为本项目组研究提供丰富的中英文学术期刊、报刊、案例资料。课题依托长沙理工大学拥有的公路工程教育部重点实验室、水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室和国家级工程实践教育中心等科研平台，拥有本课题实验所需的常规测试仪器、人工降雨模型试验场地及设备，因此，实验室已有设备能满足研究地基基质吸力与极限承载力演化规律所需的基质吸力试验的要求。

二、 经费预算

开支科目	预算经费 (元)	主要用途	阶段下达经费计划(元)	
			前半阶段	后半阶段
预算经费总额	20000		12000	8000
1. 业务费	5000	支付论文版面费	2000	3000
(1) 计算、分析、测试费				
(2) 能源动力费				
(3) 会议、差旅费				
(4) 文献检索费				
(5) 论文出版费	5000	支付论文版面费	2000	3000
2. 仪器设备购置费				
3. 实验装置试制费	6000	模型制作花费	4000	2000
4. 材料费	9000	购买钢筋、混凝土、砖、玻璃板、螺栓等耗材	6000	3000
学校批准经费	20000		12000	8000

三、 指导教师意见

地基破坏是岩土工程中的主要问题之一，一直是研究的热点问题。然而，降雨入渗对非饱和地基稳定性影响极大。本项目拟重点研究不降雨强度、历时下地基基质吸力与极限承载力的演化规律，为正确评价雨季地基承载性能、及时采取针对性措施防止地基失稳破坏提供技术支撑，具有较高工程应用价值。此外，项目组成员做了充分准备，已有知识储备基本能胜任该创新实验项目的研究工作，我们愿意担任指导老师。

导师(签章):

年 月 日

四、 院系大学生创新创业训练计划专家组意见

专家组组长（签章）：

年 月 日

五、 学校大学生创新创业训练计划专家组意见

负责人（签章）：

年 月 日

六、 大学生创新创业训练计划领导小组审批意见

负责人（签章）：

年 月 日