

## 2018 年国家自然科学奖提名公示

### 项目名称

状态相关非饱和土本构关系及应用

### 提名者及提名意见

(1)陈云敏 (工作单位: 浙江大学, 职称: 教授, 学科专业: 土木工程)

**提名意见:** 该项目第一完成人吴宏伟教授是国际知名的非饱和土力学专家, 目前担任国际土力学及岩土工程学会主席 (是 1936 年创会以来首位华人)。我自上世纪 90 年代后期就与吴教授有密切的学术交流与合作, 对他的学术成就有全面熟悉的认识。吴教授带领的科研团队长期致力于非饱和土力学研究, 创建了状态相关的非饱和土理论体系, 该体系发展了 Fredlund 的经典非饱和土力学, 尤其弥补了非饱和土各向异性小应变模量领域的研究空白, 得到了各向异性小应变模量的计算方法, 并通过自主研发的弯曲元探头使测量非饱和土各向异性模量成为可能。基于本项目研究成果, 出版了英文专著《Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering》, 被国内外十余家科研机构推荐为研究生教材, 如国际土协非饱和土专委会前主席 Alonso 教授就职的西班牙加泰罗尼亚理工大学和我本人工作的浙江大学。项目组成员受邀在六大洲 30 个国家的重要国际学术会议上作大会报告或综述报告 50 余次, 包括国际非饱和土学术会议和我国黄文熙讲座等。第一完成人吴宏伟教授近 20 年来在四大国际岩土工程学术期刊上发表的 SCI 论文总数居世界第一, H 指数在国际岩土工程领域同时期学者中处于领先地位, 论文被加拿大岩土工程协会授予最佳论文奖, 此为 1963 年创刊以来大中华地区学者首次获此殊荣。本项目的 8 篇代表作被 SCI 他引 350 余次, 在岩土工程领域十分突出。提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

(2)陈祖煜 (工作单位: 中国水利水电科学研究院, 职称: 教授级高级工程师, 学科专业: 水利工程、土木工程)

**提名意见:** 水利和土木工程建设中遇到许多有赖于非饱和土力学的工程问题, 吴宏伟教授领导的科研团队正是抓住这一关键科学问题开展研究, 建立了状态相关非饱和土本构模型, 可准确描述非饱和土在不同状态下的力学性质。尤其值得指出的是, 吴教授研究团队关于松散土边坡的研究成果被香港政府写入边坡加固指南, 还发现传统忽略土水特征曲线的理论体系会大大高估降雨条件下边坡的安全系数, 这一发现对边坡稳定性分析具有重大启示作用。依托项目研究成果, 出版了《Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering》一书, 形成了相对完整的高等非饱和土力学理论体系。为了克服非饱和土测试中的瓶颈, 自主研发了控制应力的压力板仪及高精度双压力室体变量测系统, 被国内外近 200 家科研单位采用, 后者成为国际上公认的非饱和土标准测量方法之一。相关内容在国内外岩土工程顶级学术期刊上发表大量有价值的学术论文, 其中 8 篇代表作的 SCI 他引近 400 次, 这在岩土工程学科是很突出的。项目第一完成人吴宏伟教授当选为国际土力学及岩土工程学会的主席, 为该学会自 1936 年创立以来第一位担任此职务的华人。项目组成员被邀请在非饱和土国际系列大会和黄文熙讲座 (我国土力学及岩土工程界最有影响力的讲座), 获得东南亚土力与岩土工程学会颁发的首个最佳论文奖与加拿大岩土工程学报的最佳论文奖 (大中华地区学者首次获奖)。提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

(3)崔鹏 (工作单位: 中国科学院山地灾害与环境研究所, 职称: 研究员, 学科专业: 地质

工程)

**提名意见：**非饱和土力学是岩土工程研究的热点和难点，对我国“一带一路”和“西部大开发”等重大国家战略的实施具有重要的科学指导意义与工程应用价值。吴宏伟教授为国际土力学及岩土工程学会的主席，其带领的科研团队围绕非饱和土状态相关特性和理论开展了近 20 年系统深入的研究，在如下几方面取得了突破性的进展：（1）创建了状态相关的高等非饱和土理论体系；（2）发现并解释了土水特征曲线应力效应、小应变模量的吸力路径相关性及剪胀和剪缩性的吸力效应等重要科学现象；（3）自主研发了一系列适用于非饱和研究的测试仪器和方法。上述研究成果被归纳于专著《Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering》，得到国内外众多知名学者的高度评价与认可。研究成果获得东南亚松散填土边坡奖，并被香港政府写入边坡加固指南，指导松散边坡治理和泥石流灾害防控。我认为其成果对我国未来大规模的基础设施建设和自然灾害防控具有重要的价值。提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

## 项目简介

土质边坡、堤坝和高速铁路等岩土工程中的稳定问题和变形控制都与非饱和土密切相关。非饱和土内固、液、气三相介质的状态受外界环境因素影响大，针对固、液两相介质的饱和土理论难以适用。本项目研究团队致力于状态相关非饱和土本构理论研究近 20 年，在持水能力、小应变模量、大应变剪胀和剪缩性这三个互相关联的方面取得了开创性成果：

（1）应力状态相关持水能力。发现净应力对大孔隙的压缩作用会降低非饱和土大孔隙比重，阐明了应力效应与密度效应的差异，建立了应力状态相关土水特征曲线理论模型。非饱和土力学之父 Fredlund D.G.在国际学术会议大会报告中指出，考虑应力状态相关性将土壤学科中土水特征曲线的应用拓展到岩土工程学科。

（2）吸力路径相关各向异性剪切模量。填补了非饱和土小应变模量的研究空白，建立了非饱和土各向异性模量理论公式，并揭示了吸力路径对小应变模量的影响规律。澳大利亚工程院院士 B. Indraratna 在其论文指出，发现吸力路径效应具有重要的意义。

（3）吸力状态相关剪胀和剪缩性。发现吸力团聚化作用导致土体剪胀势增加，建立了非饱和土状态相关剪胀与剪缩性方程，提出了考虑吸力剪胀效应的非饱和土抗剪强度公式。Rankine 讲座的主讲人（国际岩土工程学术界的最高荣誉）Alonso E.E.在其论文中指出，该研究发现了剪胀和剪缩性吸力效应。

本项目最终建立了状态相关非饱和土理论体系，相比 Fredlund D.G.于 1993 年建立的非饱和土基础理论体系，新理论体系能够反映净持水能力的应力效应、吸力路径对各向异性剪切模量的影响、吸力的剪胀效应及对抗剪强度的影响。根据新理论体系出版了《Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering》英文专著，岩土工程领域国际最权威期刊 *Géotechnique* 发表的独立书评推荐该专著为博士生必读书籍。

研究成果荣获多个国际奖项，包括加拿大岩土工程协会颁发的大中华地区首个最佳论文奖和东南亚岩土工程学会颁发的首个最佳论文奖。项目完成人受邀在六大洲 30 多个国家的重要国际会议作主题报告和特邀报告 50 余次。第一完成人基于本项目成果主讲了黄文熙讲座（我国岩土工程领域级别最高的讲座）。新的理论体系揭示了 1970 年代香港秀茂平松散填土边坡失稳机理，被香港土力工程署和工程师协会用于编写松散边坡加固指南。自主研发了一系列试验仪器，其中应力控制压力板仪和双压力室总体变测量仪分别被国内外 50 和 150

多家科研单位应用，后者已成为国际标准测量方法之一。本项目八篇代表性论文均发表在本领域四大顶级期刊，SCI 他引 350 多次。第一完成人被推举为国际土力学及岩土工程学会主席，为该学会 1936 年成立以来首位华人主席。

## 客观评价

### 1. 对三个科学发现点的客观评价

#### 对科学发现 1 的客观评价

(1) Laloui, L. (瑞士洛桑联邦理工学院讲座教授) 在其论文 (Computers and Geotechnics, Vol. 35, 2008) 指出, "Ng and Pang (2000) explicitly highlighted the volume change issues when determining the soil water retention curves of a sandy silt and clay mixture using a modified pressure plate extractor. They proposed to verify the no volume change assumption throughout the drying wetting processes under different applied stress states. It was concluded that the conventional assumption of no volume change in pressure plate test would lead to underestimate the water content at the end of a drying-wetting test."

(2) Tham, L.G. (香港大学教授) 在其论文 (Engineering Geology, Vol. 183, 2014) 指出, "Ng and Pang (2000) introduced stress-dependent SWCC to clarify the effects of net normal stress and stress path on the water retention capability of an unsaturated soil. Essentially, the stress level not only causes a change in the soil density (or void ratio), but also results in the variation of pore size distribution. The SWCC will be correspondingly affected by the stress state."

(3) Sun, D. (上海大学教授) 在其论文 (Computers and Geotechnics, Vol. 91, 2017) 指出, "Zhou and Ng (2014) developed a simple water retention model by considering the stress effects on void ratio as well as the pore structure. It is well recognized that the soil microstructure plays a decisive role in its soil-water retention behavior."

(4) Ling, H.I. (美国哥伦比亚大学教授) 在其论文 (ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 135, 2009) 指出, "Ng and Pang 2000 found that the confining stress affects the soil-water characteristic curves, which in turn lowered the factor of safety in a transient seepage analysis compared to the conventional way of determining the characteristics curve."

#### 对科学发现 2 的客观评价

(1) Mancuso C. (那不勒斯腓特烈二世大学教授) 在其论文 (Canadian Geotechnical Journal, Vol. 49, 2012) 中指出, "Although the influence of suction on shear-wave velocity has been investigated by many researchers, the studies were limited mainly to one direction (vertically propagating shear wave), except for Ng and Yung (2008)."

(2) Indraratna, B. (澳大利亚工程院院士) 在其论文 (Geotechnique, Vol. 65, 2015) 中指出, "The effect of hydraulic hysteresis and suction history on the small strain shear modulus of a completely decomposed tuff has recently been investigated by Ng et al. (2009) and Ng & Xu (2012). The most striking aspect was observing the hysteresis between the drying and wetting

curves."

(3) McCartney, J. (岩土工程领域国际权威期刊 ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 主编) 在其论文 (International Journal of Geomechanics, Vol. 16, 2016) 指出, "Approaches to determine the impact of hydraulic hysteresis and degree of saturation on Gmax have only recently been considered (Ng et al. 2009; Khosravi and McCartney 2011, 2012; Heitor et al. 2014)."

### 对科学发现 3 的客观评价

(1) Soga, K. (英国皇家工程院院士、美国加州大学伯克利分校教授) 在其论文 (ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 142, 2016) 中指出, "Chiu and Ng (2003) understood the importance of the stress-dilatancy theory in developing new stress-strain relationships for unsaturated sand, and proposed a model that would capture the peak strength."

(2) 英国皇家工程院院士、第 47 届 Rankine 讲座主讲人 (国际岩土工程学术界的最高荣誉) Gens, A. 在其讲座论文 (Geotechnique, Vol. 60, 2010) 指出, "In the BBM and other models, the hydraulic behaviour was simply represented by an ad hoc state surface. If the model is defined in terms of net stresses, the hydraulic component is separate from the mechanical one, so inaccuracies in the hydraulic formulation do not affect directly mechanical predictions, except when soil parameters are made to depend on water content (Chiu & Ng, 2003; Thu et al., 2007)."

(3) 西班牙皇家工程院院士, 第 57 届 Rankine 讲座主讲人 (国际岩土工程学术界的最高荣誉) Alonso, E.E. 在其论文 (Acta Geotechnica, Vol. 11, 2016) 中指出, "Ng and Zhou (2005) performed suction controlled direct shear tests on a compacted residual soil from granite and found that the maximum dilatancy depended strongly on suction and density."

(4) 中国工程院 Lee, C.F. 院士在其论文 (Engineering Geology, Vol. 76, 2004) 中指出, "As indicated by Ng and Chiu (2001), since dilative and ductile stress - strain behavior was observed in the saturated CDV, static liquefaction of the fill would very unlikely occur."

## 2. 对项目研究成果的综合评价

(1) 岩土工程领域最权威期刊 Géotechnique 发表独立书评, 评价本项目英文专著《Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering》, "coauthored by two leading international figures", "any PhD student at the point of embarking on a new project in unsaturated soil mechanics would definitely benefit from reading those sections of the text", "this book is a worthwhile reference with unique characteristics"

(2) 英文专著被 14 所大学作为研究生课程教材, 其中有 8 所大学来自国外, 包括西班牙加泰罗尼亚理工大学 (岩土工程领域国际最权威讲座 Rankine Lecture 两位主讲人、非饱和土力学著名学者 Alonso E.E. 和 Gens A. 工作单位)

(3) 科学发现 1 的成果获 2007 年加拿大岩土工程协会颁发的 R M Quigley 奖 (即加拿大岩土工程学会会刊《Canadian Geotechnical Journal》年度最佳论文), 为 1963 年该刊建立以来大中华地区学者首次获此殊荣

(4) 科学发现 3 的成果获 2001 年东南亚岩土力学及土力工程学会颁发的首个 Tan Swan Beng 奖, 表彰 1998 至 2001 三年间发表在东南亚岩土工程学报及第 14 届东南亚土力学及土

力工程大会论文集的最佳论文

- (5) 受邀完成第3届亚洲非饱和土学术会议主题报告(keynote)(科学发现2)
- (6) 受邀完成第5届国际非饱和土学术会议大会报告(general report)(科学发现1和3)
- (7) 担任第7届国际非饱和土学术会议大会主席
- (8) 主讲第20届黄文熙讲座(我国岩土工程领域最权威的两个讲座),报道了本项目成果“非饱和土-大气-植物相互作用:理论与机理”
- (9) 自主研发的三维应力控制压力板仪获美国发明专利(科学发现1)
- (10) 应力控制压力板仪被50多家单位采用(科学发现1)
- (11) 双压力室总体变测量系统被国内外150多家科研单位采用,成为标准测量方法之一(科学发现3)
- (12) 科学发现3成果被香港政府编写松散边坡加固指南(Design of Soil Nails for Upgrading Loose Fill Slopes, 2011年出版),为香港6000个松散边坡的加固提供了理论支撑
- (13) 第一完成人被推举为国际土力学及岩土工程学会的主席,为该学会1936年创立以来第一位担当此领导职务的华人
- (14) 第一完成人1998年至2017年在岩土工程领域最具权威的四大顶级国际学术期刊发表SCI论文100余篇,在全球排名第一,其h指数超过30,在土力学及土力工程领域同一时期的国际著名学者中处于领先地位

### 代表性论文专著目录

- (1) Ng, C.W.W. & Pang, Y.W. (2000). Influence of stress state on soil-water characteristics and slope stability. *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering*, ASCE, 126, p.157-166.
- (2) Zhou, C. & Ng, C.W.W. (2014). A new and simple stress-dependent water retention model for unsaturated soil. *Computers and Geotechnics*, 62, p.216-222.
- (3) Ng, C.W.W. & Yung, S.Y. (2008). Determination of the anisotropic shear stiffness of an unsaturated decomposed soil. *Géotechnique*, 58, p.23-35.
- (4) Ng, C. W. W., Xu, J. & Yung S.Y. (2009). Effects of wetting-drying and stress ratio on anisotropic very small strain stiffness of an unsaturated soil. *Canadian Geotechnical Journal*, 126, 1062-1076.
- (5) Chiu, C.F. & Ng, C. W.W. (2003). A state-dependent elasto-plastic model for saturated and unsaturated soils. *Géotechnique*, 53, p.809-829.
- (6) Zhan T.L.T., Ng C.W.W. (2006). Shear strength characteristics of an unsaturated expansive clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 43, p.751-763.
- (7) Ng, C.W.W., Zhan, L.T. & Cui, Y.J. (2002). A new simple system for measuring volume changes in unsaturated soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 39, p.757-764.
- (8) Ng, C.W.W. & Shi, Q. (1998). A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage. *Computers and Geotechnics*, 22, p.1-28.

## 主要完成人情况

姓名 : 吴宏伟  
排名 : 1  
行政职务 : 协理副校长  
技术职称 : 讲座教授  
工作单位 : 香港科技大学  
完成单位 : 香港科技大学

对本项目主要贡献 :

对科学发现 (1), (2) 和 (3) 都有重要贡献。他是总体学术思想和研究方案的提出者,也是支持本项目所有科研资金的主要负责人,领导研究人员开展试验和理论研究。他是本项目 8 篇代表性论文的作者, 并是其中 5 篇的第一作者。

姓名 : 詹良通  
排名 : 2  
行政职务 : 岩土工程研究所副所长  
技术职称 : 教授  
工作单位 : 浙江大学  
完成单位 : 浙江大学

对本项目主要贡献 :

对科学发现 (1) 和 (3) 有重要贡献。詹良通教授与吴宏伟讲座教授共同研发了双压力室总体积测量仪,解决了非饱和土研究领域测量试样体积变形这一难题。是本项目现场试验的主要完成人,揭示了非饱和土边坡在降雨过程中双独立变量(净应力与吸力)的变化规律,边坡变形与失稳机理。本项目的 8 篇代表性论文里,他是其中 1 篇的第一作者。不

姓名 : 赵仲辉  
排名 : 3  
行政职务 : 无  
技术职称 : 教授  
工作单位 : 河海大学  
完成单位 : 香港科技大学

对本项目主要贡献 :

对科学发现 (3) 有重要贡献。赵仲辉教授和吴宏伟教授发现了非饱和土剪胀和剪缩性的吸力状态相关性,建立了非饱和土状态相关本构模型。本项目的 8 篇代表性论文里,他是其中 1 篇的第一作者。

姓名 : 周超  
排名 : 4  
行政职务 : 无  
技术职称 : 研究助理教授  
工作单位 : 香港科技大学  
完成单位 : 香港科技大学

对本项目主要贡献 :

对科学发现（1）有重要贡献。周超博士和吴宏伟教授建立了应力状态土水特征曲线理论模型。本项目的8篇代表性论文里，他是其中1篇的第一作者。


### 完成人合作关系说明

本项目第一完成人吴宏伟是总体学术思想和研究方案的提出者，也是支持本项目所有科研资金的主要负责人。詹良通、赵仲辉和周超均为第一完成人指导的博士，毕业后也均保持长期的合作关系。近20年作为一个团队，协力开展与本项目相关的科学研究工作，共同发表论文，包括本项目8篇代表性论文的其中4篇代表性论文。

### 知情同意证明

## 国家自然科学基金知情同意报奖证明

(2018年度)

项目名称	状态相关非饱和土本构关系及应用
主要完成人	吴宏伟（香港科技大学），詹良通（浙江大学），赵仲辉（香港科技大学），周超（香港科技大学）
代表性论文	Ng, C. W. W., Xu, J. & Yung S.Y. (2009). Effects of wetting-drying and stress ratio on anisotropic very small strain stiffness of an unsaturated soil. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 46, No. 9, 1062-1076.
<b>知情承诺：</b> 本人知晓并同意项目完成人使用该论文报奖，并已知晓“获奖项目所用论文专著不得再次用于申报国家科技奖、未获奖项目所用论文专著不得连续两年使用”等有关规定。	
<b>未列入项目主要完成人的代表性论文专著第一作者、通讯作者签名：</b>  Xu, J.  _____	
2018年1月4日	