



TECHNIQUE AND PRACTICE FOR STATIC-DYNAMIC COMBINED DRAINAGE
CONSOLIDATION ON RECLAMATION GROUND

吹填场地静动组合排水 固结技术与实践

吴名江 乐绍林 孟宪鹏 吴价城 丁继辉 / 著
吴 澎 / 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

吹填场地静动组合排水 固结技术与实践

吴名江 乐绍林 孟宪鹏 吴价城 丁继辉/著
吴 澎/主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书针对新近吹填场地非均质性明显、二元结构、静置时间短、差异沉降显著等技术难题,研究了非均质吹填场地静动组合排水固结技术设计方法,通过室内试验研究了非均质吹填场地软土沉降—固结基本规律和固结特性,通过现场试验研究了各类吹填场地的静动组合排水固结技术的适用性、参数设计方法及施工工艺和动力排水固结的动力特性等。

全书共分8章,主要包括:吹填场地静动组合排水固结设计,吹填场地软土沉降—固结特性试验研究,吹填堆载降水预压强夯联合排水固结技术,短程超载真空预压动力排水固结联合技术,立体式组合动力排水固结技术,吹填场地表层真空预压及深层排水固结技术和动力排水固结动力特性试验研究等。

本书可为从事岩土工程中软土地基加固的设计、施工及科研人员和高等院校相关专业师生提供参考依据。

图书在版编目(CIP)数据

吹填场地静动组合排水固结技术与实践 / 吴名江等
著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017. 12
ISBN 978-7-114-14134-8

I. ①吹… II. ①吴… III. ①软土地基—地基处理—研究 IV. ①TU471

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 213750 号

书 名: 吹填场地静动组合排水固结技术与实践

著 作 者: 吴名江 乐绍林 孟宪鹏 吴价城 丁继辉

责任编辑: 黎小东 张 森

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×980 1/16

印 张: 13.25

字 数: 213 千

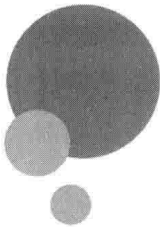
版 次: 2017 年 12 月 第 1 版

印 次: 2017 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14134-8

定 价: 60.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)



作者简介

吴名江

吴名江，男，1969年4月出生，高级工程师。1991年毕业于桂林冶金地质学院工程地质专业，现任武汉二航路桥特种工程有限责任公司副总工程师。

主要从事岩土工程专业的勘察、设计、施工、监测及研究工作。主持和参与了包括“汕头东部新城市政道路建设软地基处理工程”在内的三十余项软土地基设计、现场原位检测与施工项目；取得国家专利“短程超载真空预压-动力排水固结联合法”软土地基处理工法、“控制次固结沉降的软土地基处理方法”、“非均质场地软土地基立体式组合动力排水固结系统和方法”等十四项；获得省部级科学技术奖三项、省级工法两项。

乐绍林

乐绍林，男，1965年10月出生。1985年毕业于广州航务工程学校港口工程专业，现任武汉二航路桥特种工程有限责任公司总工程师。

主要从事港口工程与桥梁工程材料、地基与结构方向的科研与管理工作。主持和参与了十余项省部级研究课题，取得了十余项科研成果。其中，成果“软土地基短程超载真空预压动力排水固结处理施工工法”和“软土地基吹填堆载降水预压强夯联合处理施工工法”被评为湖北省工程建设工法，成果“等截面混凝土连续梁桥整跨下放拆除技术研究”和“混凝土箱梁桥面CFRP-环氧砂浆组合加固技术研究及应用示范”获中国施工企业管理协会科技创新成果一等奖。取得“吹填场地条带状路基的握裹式预压排水固结系统”、“一种绳割入土式埋设水平排水通道的装置”、“一种用于软土地基埋设水平排水通道的方法及其装置”等国家

专利十一项。参编技术规程《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》、《港口工程粉煤灰填筑技术规程》；发表论文二十余篇。

孟宪鹏

孟宪鹏，男，1961年2月出生，教授级高工。1983年毕业于华北水利水电大学水工建筑力学专业，现在武汉二航路桥特种工程有限责任公司工作。

主要从事地基基础工程、软土地基处理、现场原位检测与施工等工作。主持和参与了十余项软土地基设计、现场原位检测与施工；取得“一种可显示深度的排水板施工装置”、“一种软基处理中监测管与真空膜连接结构及连接施工方法”、“用于桥梁体系转换的防冲击装置”等国家专利6项；获得科学技术奖7项，包括中国施工企业管理协会一等奖一项，中国公路学会二等奖一项，中国节能协会二等奖一项，中国水运建设行业协会三等奖一项，中国交建三等奖一项；发表论文十余篇。

吴价城

吴价城，男，教授级高工，博士生导师。1964年毕业于北京地质学院水文地质及工程地质专业，现任武汉二航路桥特种工程有限责任公司顾问。

主要从事矿床开采、水文地质与工程地质、矿山环境地质、供水水文地质与岩土工程勘察设计评价，软土地基处理的勘察、设计与沉降计算研究。主持和指导完成了数十项大中型工程的地基处理设计与施工；曾获国家工程勘察金质奖二项、银质奖一项，部级科研成果一等奖一项、二等奖二项、三等奖二项。发表论文“高真空击密法——一种软土地基处理新工艺”、“抽水试验测试技术国内外状况简介”、“浅谈供水水文地质勘察的若干问题”、“国内软土地基处理技术现状与发展趋势”等数十篇；主编专著《环境地质基础》。

丁继辉

丁继辉，女，1962年3月出生，河北大学教授，水工结构工程硕士，工程力学博士。

主要从事故障诊断、岩土工程可靠性、流固耦合失稳理论和地基基础工程及软基处理等方面的研究工作，主持和参加了十余项省级和厅级课题研究，取得十余项科研成果。其中，成果“复合地基优化成套技术试验研究及工程应用”获得河北省科技进步二等奖；成果“河北省地基承载力可靠性研究”、“地基基础工程设计 CAD 研究与开发”、“地基基础工程可靠性设计理论及应用研究”、“复合地基可靠性设计理论及应用研究”、“复合地基动承载力的计算方法和组合桩复合地基的动力特性”、“复合地基在地震荷载作用下受力特性研究与应用”等六项获河北省科技进步三等奖。主要编著《地基工程可靠性设计原理与应用》、《基础工程设计及实用程序设计》、《浅基础工程及程序设计》，主编《土力学》，参编河北省工程建设标准《刚性芯夯实水泥土桩复合地基技术规程》等。发表学术论文近 60 余篇，EI 收录近 20 余篇。

序

武汉二航路桥特种工程有限责任公司在长期的工程实践中，不断深入研究吹填场地的工程特性和各类处理方法的适用性，针对吹填场地的非均匀性明显、二元结构、静置时间短、差异沉降显著等技术特点，不断探索和研究以静为主、以动为辅、以静为本、以动为促、无静莫动的组合理念和精细化分区方法，以充分发挥静载和动载在吹填软土排水固结过程中的各自优势，从而达到吹填场地快速排水固结并消除差异沉降的目的。

近些年，公司在总结实践经验的基础上，先后形成了快速消除不均匀沉降的软土地基处理方法、吹填堆载降水预压强夯联合法、短程超载真空预压—动力排水固结联合法、控制次固结沉降的软土地基处理方法、立体式组合动力排水固结法等静动组合排水固结方法系列专利技术，并结合公司承担的多项吹填场地地基处理工程，对专利技术的适用性和处理效果开展了深入研究。基于以上系统研究，公司组织专利发明人、研究人员和工程技术人员共同完成了《吹填场地静动组合排水固结技术与实践》专著的撰写。因此，本书是公司集体智慧的结晶。

本专著各章的主要内容和特色如下：

第1章详细分析了吹填土的工程特性，系统论述了针对吹填土固结特性、静力法、动力法和静动组合法排水固结技术的研究历程，提出了吹填场地处理的主要问题。

第2章论述了吹填场地地基处理的设计内容、分区设计步骤、吹填场地分区原则，静动组合技术的排水系统和加压系统的设计方法，并给出了相应的经验参数取值。

第3章以汕头市东部城市经济带市政基础设施建设项目软土地基处理试验段为依托，通过室内试验，对非均质吹填场地软土在自重作用下的沉降—固结特性进行了研究，得到了不同初始含水率和不同含砂比组

成的非均质吹填软土的沉降—固结基本规律。

第4章以上述工程为依托,针对表层厚砂和泥砂互层吹填场地的特点,通过现场试验对比了“塑料排水板+挤密砂桩+堆载”(静载)法和“吹填堆载降水预压强夯联合(静动组合)法”的处理效果。

第5章以福建福安市鑫茂冷轧硅钢有限公司新厂区吹填场地软土地基处理工程为依托,针对该场地表层薄砂、下伏厚泥的特点,通过现场试验,研究了短程超载真空预压动力排水固结联合法处理厚层淤泥吹填场地的适用性。

第6章以浙江余姚经济开发区滨海新城路网软基处理工程为依托,针对该场地粉土夹淤泥的复杂土层分布特点,通过现场试验,研究了竖向重力抽水和水平向真空吸水相结合的立体式组合动力排水固结法的加固效果。

第7章以汕头市东部城市经济带市政基础设施建设项目软土地基处理工程为依托,通过现场试验,对比研究了“塑料排水板+深层真空预压+堆载+降水+动力固结”方案和“塑料排水板+真空联合堆载预压(深层)+降水+动力固结”方案两种静动组合法的处理效果。

第8章通过现场和室内强夯动力特性试验,研究了在强夯振动作用下,夯沉量与夯击数的关系;强夯能量的衰减规律及动力响应规律等。

本书内容丰富,资料全面,技术价值较高。读者阅读后可对吹填场地静动组合排水固结技术的设计方法和施工工艺等有全面系统的认识。本书的出版对软土地基处理学科的技术进步作出了贡献,对类似工程场地地基处理技术研究和工程建设具有借鉴和参考价值,可为从事岩土工程中软土地基加固处理的设计、施工及科研人员和高等院校相关专业师生提供参考。

吴洲

2017年6月20日

前 言

新近吹填场地具有非均质性明显、结构性强、前期沉降时间短、含水率高（几乎处于流塑状态）等特点，传统的饱和软土地基处理技术已经无法满足现在工程的要求。自 2007 年以来，武汉二航路桥特种工程有限责任公司结合汕头市东部城市经济带市政基础设施建设项目软基处理工程、福建福安市鑫茂冷轧硅钢有限公司新厂区吹填场地软土地基处理工程、浙江余姚经济开发区滨海新城路网软基处理工程等，开展了一系列室内试验和现场试验。通过室内试验研究了不同初始含水率和不同颗粒组成的非均质吹填场地软土沉降—固结基本规律，以及吹填土固结系数随固结荷载的变化规律。通过现场试验研究了吹填堆载降水预压强夯联合法、短程超载真空预压动力排水固结联合法和立体式组合动力排水固结法的适用性、参数设计方法和施工工艺等，分析了吹填软土地基加固过程中的地基土变形、孔隙水压力等变化规律及其对周围环境的影响。通过现场和室内动力特性试验，研究了在强夯振动作用下，夯沉量与夯击数的关系、强夯能量的衰减规律及动力响应规律等，取得了一系列研究成果和成功的经验，对吹填软土地基优化处理和新技术开发具有重要的意义。

本书即是上述研究成果和成功经验的系统总结。全书共分 8 章。第 1 章较为全面地论述了吹填场地排水固结技术的研究现状和吹填场地处理的主要问题；第 2 章阐述了吹填场地静动组合排水固结技术的设计方法，为工程应用提供设计依据；第 3 章以汕头市东部城市经济带市政基础设施建设项目软土地基处理试验段为背景，研究了非均质吹填场地软土沉降—固结特性；第 4 章将“塑料排水板 + 挤密砂桩 + 堆载法”和“吹填堆载降水预压强夯联合法”进行现场对比试验，研究了吹填堆载降水预压强夯联合法处理表层厚砂和泥砂互层吹填场地的适用性，提出了该方法的设计参数和施工工艺；第 5 章通过现场试验研究了短程超载

真空预压动力排水固结联合法处理厚层淤泥吹填场地的适用性,分析了排水固结沉降与荷载的关系与变化,提出了该方法的设计参数和施工工艺;第6章介绍了立体式组合动力排水固结法加固粉土层(夹淤)吹填场地现场试验成果、施工工艺和加固效果;第7章通过现场试验研究了浅层真空预压技术进行浅表层处理的适用性,在此基础上提出“浅层真空预压+深层排水固结”技术处理超软土吹填场地的设计参数和施工工艺;第8章研究了动力排水固结中强夯动力特性及其规律。

参与本书编写工作的有:乐绍林、吴价城、孟宪鹏(第1章);朱慈祥、李静和全小娟(第2章);吴名江、龚伟伟、赵亚峰和王文周(第3章);姜传刚、周跃龙、张华国、段庆松、孟宪鹏和陈统桂(第4章);艾寒、李刚、李鹏和于琦(第5章);张家振、李凡生和吴宏卫(第6章);蒋小鹏、李少莉、林磊、周顺万和李旺准(第7章);丁继辉、王立鹏和陈伟(第8章)。全书由吴名江、丁继辉和全小娟负责统稿,全国工程勘察设计大师吴澎对本书进行了主审并作序。

本书在完成的过程中,引用了一些专家、学者的科研成果,由于篇幅所限,文献目录未能全部列出,在此表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2017年8月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 吹填场地排水固结技术研究现状	1
1.2 吹填场地处理的主要问题	16
1.3 主要研究内容	17
第2章 吹填场地静动组合排水固结设计	19
2.1 引言	19
2.2 吹填场地地基处理设计内容	19
2.3 吹填场地地基处理分区设计步骤	21
2.4 吹填场地地基处理分区设计原则	23
2.5 吹填场地排水固结技术排水系统设计	28
2.6 吹填场地排水固结技术加压系统设计	33
2.7 最终沉降量推算	35
2.8 本章小结	39
第3章 吹填场地软土沉降—固结特性试验研究	40
3.1 引言	40
3.2 吹填场地软土沉降—固结特性试验研究概述	40
3.3 吹填土颗粒自重沉降试验研究	42
3.4 吹填场地软土固结特性试验研究	49
3.5 本章小结	55
第4章 吹填堆载降水预压强夯联合排水固结技术	57
4.1 引言	57
4.2 技术原理	57
4.3 设计思路和设计原则	58
4.4 现场试验	60
4.5 本章小结	88

第5章 短程超载真空预压动力排水固结联合技术	90
5.1 引言	90
5.2 技术原理	90
5.3 设计思路和设计原则	92
5.4 现场试验	93
5.5 施工监测与检测	98
5.6 本章小结	106
第6章 立体式组合动力排水固结技术	107
6.1 引言	107
6.2 技术原理	107
6.3 设计思路和设计原则	108
6.4 现场试验	109
6.5 本章小结	120
第7章 吹填场地表层真空预压及深层排水固结技术	122
7.1 引言	122
7.2 技术原理	122
7.3 设计思路和设计原则	123
7.4 现场试验	124
7.5 本章小结	140
第8章 动力排水固结动力特性试验研究	141
8.1 引言	141
8.2 动力排水固结动力特性现场试验	141
8.3 动力排水固结动力特性室内试验	168
8.4 本章小结	184
参考文献	187
后记	198

第 1 章 绪 论

1.1 吹填场地排水固结技术研究现状

吹填场地是在整治和疏通江、海、河、湖水域时,采用挖泥船和泥浆泵,把淤积泥砂以泥浆形式吹填到岸边或施工场地内,并逐步沉积而成的场地。近年来,世界上土地资源日趋紧张,为有效抵御沿海潮汐危害,扩大土地资源,缓解土地资源紧张^[1],各国都在持续不断地进行围海造陆或吹填造陆建设。荷兰是世界上最早实施围海造陆的国家,40%以上国土是围海造陆形式建成的;日本长期进行大规模人工造陆,提出“百年再造一个日本国土”计划;韩国新万金围海造陆工程形成良田 2.83 万 km²,年产粮食 14 万吨;新加坡等国近年均实施了不同规模的吹填造陆工程。

我国古代就有填海造陆、围湖造田的记载。近 50 年来全国围海面积达 11000 ~ 12000 km²,如:浙江省已围出 1650 km² 的土地、上海市围出 730 km² 的土地、江苏省围出 2270 km² 的土地。河北省唐山曹妃甸工业区面积 310 km²,全面实施围海工程,首都钢铁公司主厂区建在 20 km² 的吹填场地上;天津通过吹填造陆造就了天津塘沽新港,同样通过对海河的疏浚造出了市区大面积土地。此外,新建的澳门机场、珠海机场、正在建设的大连机场扩建工程、上海机场扩建工程以及深圳机场三期工程等都是重要的围海造陆建设工程。

吹填土的颗粒组成随砂粒、粉粒和黏粒含量的不同有较大差别,一般具有含水率大、压缩性强、强度低等特点,且经过多次吹填的堆积土在横纵深方向上变化较大,呈现出明显的不均匀性特征,如:在吹填口土粒粒径较大,距离吹填口越远,粒径越小。由于吹填土的颗粒组成不同导致在吹填土地场的处理上遇到了许多新问题,随着这些新问题的解决,极大地推进了吹填土地基处理技术和理论的发展。

吹填土地基处理可分为两大类:复合地基法和土质改良法。复合地基法

处理吹填土地基单位造价较高，如：每平方米的造价是堆载预压法的 2~5 倍，且质量难以控制。在土质改良法中，排水固结法是一种较好的地基处理方法。排水固结法分为静力排水固结法、动力排水固结法和静动组合排水固结法。

1.1.1 吹填土的分类及特性

1.1.1.1 吹填土的分类

吹填土由水力冲填泥砂而形成，是我国沿海一带常见的一种人工填土。根据《吹填土地基处理技术规范》（GB 51064—2015）^[2]，吹填土可分为粗颗粒土、细颗粒土和混合土三个类别。粗颗粒土可按颗粒组成及其特征分为砂土类和粉土类。细颗粒土可按天然含水率、塑性指数分为黏性土类、淤泥质土类、淤泥类。混合土可按不同类土的含量分为淤泥和砂的混合土类、黏性土和砂或碎石的混合土类。具体吹填土的分类及标准如表 1.1-1 所示。

吹填土分类及标准 表 1.1-1

吹填土分类		土 名	分 类 标 准
粗颗粒土	砂土类	砾砂	$d > 2.0\text{mm}$ ，颗粒含量占总质量的 25% ~ 50%
		粗砂	$d > 0.5\text{mm}$ ，颗粒含量大于总质量的 50%
		中砂	$d > 0.25\text{mm}$ ，颗粒含量大于总质量的 50%
		细砂	$d > 0.075\text{mm}$ ，颗粒含量大于总质量的 85%
		粉砂	$d > 0.075\text{mm}$ ，粒含量大于总质量的 50%
	粉土类	粉土	$d > 0.075\text{mm}$ ，颗粒含量小于总质量的 50%， $I_p \leq 10$
细颗粒土	黏性土类	粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$
		黏土	$I_p > 17$
	淤泥质土类	淤泥质粉质黏土	$36\% < w \leq 55\%$ ， $1.0 < e \leq 1.5$ ， $10 < I_p \leq 17$
		淤泥质黏土	$36\% < w \leq 55\%$ ， $1.0 < e \leq 1.5$ ， $I_p > 17$
	淤泥类	淤泥	$55\% < w \leq 85\%$ ， $1.5 < e \leq 2.4$
		流泥	$85\% < w \leq 150\%$
		浮泥	$w > 150\%$
混合土	淤泥和砂的混合土类	淤泥混砂	淤泥干土质量超过总质量的 30%
		砂混淤泥	淤泥质量超过总质量 10% 且小于或等于总质量 30%
	黏性土和砂或碎石的混合土类	黏性土混砂	黏性土质量超过总质量的 40%
		砂混黏性土	黏性土质量超过总质量 10% 且小于或等于总质量 40%
		黏性土混碎石	黏性土质量超过总质量的 40%
		碎石混黏性土	黏性土质量超过总质量 10% 且小于或等于总质量 40%

1.1.1.2 吹填土的工程特性

由水力冲填方法形成的吹填土一般具有不均质性显著、天然含水率高、透水性差、排水固结困难、压缩性高、抗剪强度低、触变性和流变性强的特性。

(1) 不均质性显著

江、海、河、湖水域底部的疏浚土，随输送泥管搬运后进行沉积而形成吹填土，其颗粒组成随泥砂来源而变化，有砂粒、粉粒还有黏粒。随着距离吹填口距离的增加，沉积的土颗粒逐渐由粗变细，即距离吹填口越近，沉积的颗粒越粗，距离越远，颗粒越细。在吹填过程中，由于泥砂来源的变化，造成吹填土在纵横深方向上的不均质性显著，故土层多呈透镜体状或薄层状。

(2) 天然含水率高、透水性差

因水力冲填是在泥水的水环境中沉积，特别是由于水力冲填疏浚清淤的细粒土的颗粒很小，故在沉积过程中的沉降速度很慢，且沉降时又多形成絮凝状结构，因此导致这类吹填土具有很高的饱和性。

该类吹填土的含水率高，有的高达 100% ~ 300%。当黏粒含量较高时，土层中的水分不易排出，透水性差，虽经过晾晒蒸发，表面干缩龟裂，但下面土层中的水分很难排出，稍加触动即发生触变现象。

(3) 排水固结困难

因吹填软淤泥土的固结系数 C_v 一般较小，因此排水固结困难。一般砂土的 $e_0 < 5$ ，其 $C_v \geq 0.0008 \text{ cm}^2/\text{s}$ ；而吹填淤泥土的 $e_0 > 5$ 时，其 $C_v < 0.0008 \text{ cm}^2/\text{s}$ 。这里所说的固结系数是指固结压力约为 50kPa 条件下的固结系数^[3]。

(4) 压缩性高

吹填土多属于未固结、高压缩性软土，其压缩系数一般都在 $0.5 \sim 2.0 \text{ MPa}^{-1}$ 以上，最大可达 4.5 MPa^{-1} 。其压缩性随着天然含水率及液限的增加而增加。

(5) 抗剪强度低

由于吹填土的不均质性显著、透水性差和高饱和性，其土体十分松软，多呈软塑或流塑状态，其强度非常低。刚吹填完成后的较短时间内，难以承

受行人荷载。吹填软土的内摩擦角 φ 值大多小于或等于 10° ，有的甚至接近于 0° ；黏聚力 c 值一般在 $5 \sim 15\text{kPa}$ ，有的趋近 0，因此抗剪强度很低。经排水固结后软土的抗剪强度有所提高，但由于排水很慢，其强度增长也很缓慢。

(6) 触变性强

吹填土在沉积一段时间后，具有絮凝结构，在未被破坏时，具有一定的结构强度。但一经扰动，土的结构便被破坏。当吹填土中含亲水性矿物多时，结构性强，其触变性更加显著。

(7) 流变性强

吹填软淤泥具有流变性；其流变规律包括蠕变特性、流动特性、应力松弛特性和长期强度特性。

蠕变性是指在一定荷载的持续作用下，土的变形随时间增长的特性；流动特性是指该土体的变形速率为应力的函数；应力松弛特性是指在变形稳定条件下，应力随时间减小的特性；长期强度特性是指该土体在长期荷载作用下，土体强度随受荷时间的增加而改变的特性。江、海、河、湖岸边软土及其吹填土的流变性，特别是软土体的蠕变性，对边坡、堤岸的稳定性极为不利。

1.1.2 吹填土的固结特性研究现状

吹填土在固结过程中经历了从孔隙较大的流态到孔隙比较小的固态的变化过程，孔隙比在此过程中发生较大的改变。土体的渗透性和压缩性均与土体的孔隙比有关，与原状软土固结特性相比，含水率较高的吹填土固结过程中渗透性变化较大。经典的固结理论对吹填土的固结适应性较差。现场试验的结果也表明，采用传统的固结理论计算高含水率吹填土的固结度，计算结果与实际固结度相差较大。因此，探讨吹填土固结系数随固结荷载的变化规律，并提出或改进适用于吹填土固结理论和固结度的计算方法，对加固方案的合理设计及施工监测等都具有重要的意义。

吹填土强度和变形等力学性质研究较早，1925 年开始出现吹填土固结解析解^[4-8]。1957 年陈宗基指出太沙基提出的固结理论不能全面描述次固结过程，并对吹填土三维黏土固结理论进行了深入研究^[9]。1967 年 Gibson 提出了一维大变形非线性固结理论^[10]，并将渗透系数和压缩系数的变化参数

引入了固结方程中,其解答能够反映土体固结的几何非线性形状。1987年采用显式差分与隐式差分相结合的方法,建立了吹填土一维大变形固结计算模型,预测了施工期的泥浆充填量,结果表明与实际相符^[7]。1991年采用有限差分法,将统一固结理论应用于室内试样和现场土体固结的计算^[18]。1992年采用太沙基理论分析了饱和黏性土主、次固结变形^[19]。1994年应用连续介质力学理论,用欧拉描述法建立了空间构形下饱和土体三维有限变形的固结微分方程及其增量表达式^[20]。2001年推导了饱和软黏土的U. L. 描述的增量有限元方程,在连续方程中引入了大变形的体应变度量,简化了计算过程,提高了计算效率^[22]。2004年和2008年基于多相连续介质力学的理论,把土体抽象为叠合连续体,建立了有限变形下固-液耦合渗透固结问题的数学模型及失稳条件,通过实例对有限变形和小变形理论下的压力场、位移场和应力场等进行了分析^[33,34]。

吹填土加固初期不能采用一般的试验手段进行力学特性测定,需通过监测孔隙水压力的消散情况来间接反映吹填土的力学强度增长^[11-14,19]。固结完成后再进行十字板剪切或者固结剪切试验,进而分析其强度特征^[15]。1981年研究了泥浆的力学性质,指出泥浆固结速度受边界条件的影响,排水时泥浆固结速度要比不排水时快得多。吹填土初始沉降符合Stokes定律,孔隙比随深度呈抛物线变化,3~5h后土颗粒之间才开始相互接触,传递粒间应力^[16]。吹填土的颗粒组成不同,其自然沉积规律差别很大。目前国内外诸多学者已对吹填土的自然沉积规律展开了大量研究^[40-65]。1981年将自重沉积过程分为3个阶段,即絮凝段(Flocculation stage)、沉降段(Settling stage)、固结段(Consolidation stage)^[41]。1986年、2007年借助离心机模型进行了相应的试验研究^[43,47]。1997年分析了深圳地区吹填淤泥的物质组成特征、微观结构以及吹填土的物理力学特征,指出吹填淤泥的工程性质与海相淤泥工程地质性质相差悬殊^[23]。1999年研究了吹填淤泥的物质组成、力学性质、微观结构、渗透特性及固结特征,分析了吹填淤泥的工程地质特征^[24]。2000年研究了海积软土的工程性状,指出在初始状态下的吹填土含水率高、孔隙比大、压缩性高、强度极低^[25]。2003年、2004年对比吹填土的不同地区粒度成分和矿物成分,提出吹填土结构强度的概念,从微观结构角度,定量地描述了吹填土结构强度的增长机理^[28,29]。2011年、2013年利用分层抽取法研究了泥砂沉积变化过程,得到了不同时间段的含水率(密