

岩土技术创新与实践丛书



场地形成工程关键技术 研究与应用

RESEARCH AND APPLICATION OF KEY TECHNOLOGIES
FOR SITE FORMATION ENGINEERING

康景文 叶观宝 荆伟 唐海峰 著

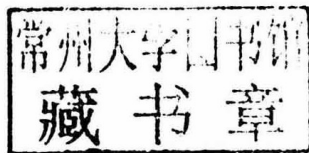
岩土工程

中国建筑工业出版社

岩土工程技术创新与实践丛书

场地形成工程关键技术研究与应用

康景文 叶观宝 荆伟 唐海峰 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

场地形成工程关键技术研究与应用/康景文等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 12
岩土工程技术创新与实践丛书
ISBN 978-7-112-23021-1

I. ①场… II. ①康… III. ①建筑工程-工程技术 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 273897 号

本书采用现场试验、理论分析和数值计算相结合的技术手段, 基于真空预压、堆载预压、排水强夯和排水冲击碾压等处理方法的处理效果进行对比分析, 深入研究了真空预压、覆水堆载真空预压的加固机理、不均匀沉降机理以及加固过程对周围环境影响, 最终提出了大面积软土地基预压处理沉降预测模型, 产生了场地形成工程的系统方法和技术标准以及处理场地利用建议, 填补了国内场地形成工程技术的空白。

本书可供建筑与市政基础设施等领域的设计、施工和检测技术人员使用, 也可供科研、教学和管理人员参考。

责任编辑: 王梅 杨允 辛海丽

责任校对: 芦欣甜

岩土工程技术创新与实践丛书
场地形成工程关键技术研究与应用
康景文 叶观宝 荆伟 唐海峰 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)
各地新华书店、建筑书店经销
北京科地亚盟排版公司制版
河北鹏润印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18½ 字数: 435 千字
2019年2月第一版 2019年2月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-23021-1
(33104)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《岩土工程技术创新与实践丛书》

总 序

由全国勘察设计行业科技带头人、四川省学术和技术带头人、中国建筑西南勘察设计院有限公司康景文教授级高级工程师主编的《岩土工程技术创新及实践丛书》即将陆续面世，我们对康总在数十年坚持不懈的思考、针对热点难点问题研究与总结的基础上，为行业与社会的发展做出的积极奉献表示衷心的感谢！

该《丛书》的内容十分丰富，包括了专项岩土工程勘察、岩土工程新材料应用、复合地基、深大基坑围护与特殊岩土边坡、场地形成工程、工程抗浮治理、地基基础鉴定与纠倾加固、地下空间与轨道交通工程监测等，较全面地覆盖了岩土工程行业近 20 年来为满足社会经济的不断发展创造科技服务价值的诸多重要方面，其中部分工作成果具有显著的首创性。例如，近年我国社会经济发展对超大面积人造场地的需要日益增长，以解决其所引发的岩土工程问题为目标，以多年企业与高校联合开展的系列工程应用研究为基础，对场地形成工程的关键技术研究填补了这一领域的空白，建立起相应的工程技术体系，其在场地形成工程所创建的基本理念、系统方法和关键技术的专项研究成果是对岩土工程界及至相近建设工程项目的一项重要贡献。又如，面对城市建设中高层、超高层建筑和地下空间对地基基础性能和功能不断提高的需求，针对与之密切相关的地基处理、工程抗浮和深大基坑围护等岩土工程问题，以实际工程为依托，通过企业研发团队与高校联合开展系列课题研究，获得的软岩复合地基、膨胀土和砂卵石层等不同地质条件下深大基坑围护结构设计、地下结构抗浮治理等主要技术成果，弥补了这一领域的缺陷，建立起相应的工程技术体系，推进了工程疑难问题的切实解决，其传承与创新的工作理念、处理工程问题的系统方法和关键技术成果运用，在岩土工程的技术创新发展中具有显著的示范作用。再如，随着社会可持续发展对绿色、节能、环保等标准要求加速提高，在工程建设中积极采用新型材料替代生产耗能且污染环境的钢材已成为岩土工程师新的重要使命，针对工程抗浮构件、基坑支护结构、既有建筑加固和公路及桥梁面层结构增强等问题解决的需求，以室内模型试验成果为依据，以实际工程原型测试成果为验证支撑，对玄武岩纤维复合筋材在岩土工程中的应用进行深入探索，建立起相应的工程应用技术方法，其技术成果是岩土工程及至土木工程领域中积极践行绿色建造、环保节能战略所取得的一个创新性进展。

借康景文主编邀约拟序之机，回顾和展望“岩土工程”与“岩土工程技术服务”以及其在工程建设行业中的作用和价值发挥，希望业界和全社会对“岩土工程”的认知能够随着技术的创新与实践而不断地深入和发展，以共同促进整个岩土工程技术服务行业为社会

会、为客户继续不断创造出新的更大的价值。

岩土工程 (*geotechnical engineering*) 在国际上被公认为土木工程的一个重要基础性的分支。在工程设计中,地基与基础在理念上被视为结构(工程)的一部分,然而与以钢筋混凝土和钢材为主的结构工程之间确有着巨大的差异。地质学家出身、知识广博的一代宗师太沙基,通过近 20 年坚持不懈的艰苦研究,到他不惑之年所创立的近代土力学,已经指导了我们近 100 年,其有效应力原理、固结理论等至今仍是岩土工程分析中不可或缺的重要基础。太沙基教授在归纳岩土工程师工作对象时说“不幸的是,土是天然形成而不是人造的,而土作为大自然的产品却总是复杂的,一旦当我们从钢材、混凝土转到土,理论的万能性就不存在了。天然土绝不会是均匀的,其性质因地制宜,而我们对其性质的认知只是来自于少数的取样点 (*Unfortunately, soils are made by nature and not by man, and the products of nature are always complex... As soon as we pass from steel and concrete to earth, the omnipotence of theory ceases to exist. Natural soil is never uniform. Its properties change from point to point while our knowledge of its properties are limited to those few spots at which the samples have been collected*)”。同时他还特别强调岩土工程师在实现工程设计质量目标时必须考虑和高度重视的动态变化风险:“施工图只不过是许愿的梦想,工程师最应该担心的是未曾预测到的工作对象的条件变化。绝大多数的大坝破坏是由于施工的疏漏和粗心,而不是由于错误的设计 (*The one thing an engineer should be afraid of is the development of conditions on the job which he has not anticipated. The construction drawings are no more than a wish dream.the great majority of dam failures were due to negligent construction and not to faulty design*)”。因此,对主要工程结构材料(包括岩土)的材料成分、几何尺寸、空间分布和工程性状加以精准的预测和充分的人为控制的程度的差异,是岩土工程师与结构工程师在思考方式、技术标准和工作方法显著不同的主要根源。作为主要的建筑材料,水泥发明至今近 195 年,混凝土发明至今近 170 年,钢材市场化也近百年,我们基本可以通过物理或化学的方法对混凝土、钢材的元素及其成分比例的改变加以改性,满足新的设计性能(能力)的需要,并进行可靠的控制;相比之下,天然形成的岩土材料,以及当今岩土工程师必须面对和处理、随机变异性更大、由人类生活或其他活动随机产生和随机堆放的材料——如场地形成、围海造地和人工岛等工程中被动使用的“岩土”(包括各类垃圾),一是材料成分和空间分布(边界)的控制难度更大,其尺度远远大于由钢筋混凝土或钢结构组成的工程结构体;二是这些非人为预设制作、组分复杂的材料存在更大的动态变异特性,会因气候条件、含水量、地下水等条件变化和场地的应力历史的不同而不同。从这个角度,岩土工程师通常需要面对和为客户承担更大的风险,需要综合运用地质学、工程地质学、水文学、水文地质学、材料力学、土力学、结构力学以及地球物理化学等多学科、跨专业的理论知识,借助岩土工程的分析方法和所积累的地域工程实践经验,为建设开发项目提供正确、恰当的解决方案,并选用适用的检测、监测方法加以验证,以规避在多种动态变化的不确定性因素

下的工程风险损失。这是岩土工程师们为客户创造的最首要和最基本的价值，并且随着建成环境的日益复杂和社会对可持续发展要求的不断强化，岩土工程师还要特别注意规避对建成环境产生次生灾害和对自然环境质量造成破坏的风险。岩土工程师这种解决问题的方法和过程，显然不同于结构工程中主要依靠的力学（数学）计算和逻辑推理，是一种具有专业性十分独特的“心智过程”，太沙基将其描述为“艺术”或“技艺”（“*Soil mechanics arrived at the borderline between science and art. I use the term “art” to indicate mental processes leading to satisfactory results without the assistance of step-for-step logical reasoning.*”）。

岩土工程技术服务（*geotechnical engineering services* 或 *geotechnical engineering consultancy activities* 或 *geotechnical engineers*）在国际也早已被确定为标准行业划分（SIC: *Standard Industry Classification*）中的一类专业技术服务，如联合国统计署的 CPC86729、美国的 871119/8711038、英国的 M71129。以 1979 年的国际化调研为基础，由当年国家计委、建设部联合主导，我国于 1986 年开始正式“推行‘岩土工程体制’”，其明确“岩土工程”应包括岩土工程勘察、岩土工程设计、岩土工程治理、岩土工程检测和岩土工程监理等与国际接轨的岩土工程技术服务内容。经过政府主管部门及行业协会 30 多年的不懈努力，我国市场化的岩土工程技术服务体系基本建立起来，其包括技术标准、企业资质、人员执业资格及相应的继续教育认定等），促使传统的工程勘察行业实现了服务能力和产品价值的巨大提升，“工程勘察行业”的内涵已发生了显著的变化，全行业（包括全国中央和地方的工程勘察单位、工程设计单位和科研院所）通过岩土工程技术服务体系，为社会提供了前所未有、十分广泛和更加深入的专业技术服务价值，创造了显著的经济效益、环境效益和社会效益，科技水平和解决复杂工程问题的能力获得大幅度的提升，满足了国家建设发展的时代需要。从这个角度，可以说伴随我国改革开放推行的“岩土工程体制”，是传统勘察设计行业在实现“供给侧结构性改革”的最大驱动力。

《岩土工程技术创新及实践丛书》所介绍的工作成果，是按照岩土工程的工作方法，基于前瞻性的分析和关键问题及技术标准的研究所获得的体系性的工作成果，对今后的岩土工程创新与实践具有重要的指导意义和借鉴的价值。

因此，由于岩土工程的地域、材料的变异性和施工质量控制的艰巨性，希望广大同仁针对新的需要（包括环境）继续开展基于工程实践的深入研究，不断丰富和完善岩土工程的技术体系以及市场管理体系。这些成果是岩土工程工作者通过科技创新和研究服务于社会可持续发展专项新需求的一个方面，岩土工程及环境岩土工程（*geo-environmental engineering*）在很多方面应当和必将发挥越来越大的作用，在满足社会可持续发展和客户日益增长新需求的进程中使命神圣、责任重大，正如由中国工程院土木、水利与建筑工程学部与深圳市人民政府主办、23 位院士出席的“2018 岩土工程师论坛”的大会共识所说：“岩土工程是地下空间开发利用的基石，是保障 21 世纪我国资源、能源、生态安全可持续

发展的重要基础领域之一；在认知岩土体继承性和岩土工程复杂多变性的基础上，新时期岩土工程师应创新理论体系、技术装备和工作方法，发展智能、生态、可持续岩土工程，服务国家战略和地区发展。”

《岩土工程技术创新及实践丛书》中的工作成果既是经过实际项目建设实践验证和考验的理论及方法的创新，也是时代背景下的岩土工程与其他科学技术的交叉融合，既为项目参与者提供基础认识，又为岩土工程领域专业人员提供研究思路、研究方法，同时也为工程建设实践提供了宝贵的经验。我相信有许多人和我一样，随着《岩土工程技术创新及实践丛书》的陆续出版，将会从中不断获得有价值的信息和收益。



中国勘察设计协会
副理事长兼工程勘察与岩土分会会长
中国土木工程学会
土力学及岩土工程分会副理事长
全国工程勘察设计大师
2018年12月28日

前 言

1. 建设需求提供契机

“十二五”期间，我国将面临建设用地需求集中释放的压力，特别是在人多地狭的沿海地区，建设用地供需矛盾将更加突出。根据国土资源部测算，“十二五”期间，全国建设用地需求总量约为 310 万公顷，年均为 62 万公顷。为增加城市建设用地的供给，江苏省早在《江苏沿海地区发展规划（2009~2020）》中明确提出对符合条件的海域滩涂资源开发予以支持，与此同时，其他沿海地区也加快滩涂、河口三角洲等大面积未利用土地的整理和开发的步伐，开展了大规模的围填海造地工程行动，以获得更多的城市新增建设用地。据《2010 年海域使用管理公报》，2010 年国务院及省级人民政府共批准围填海造地项目 571 个，面积达到了 1.56 万公顷。

以上海为首的一些东部沿海城市是国外投资的密集地带，中外合作建造的大型建（构）筑物日益增多，规模越来越大，如世博会展览馆、大型工业园区、高层建筑群等，这些大型合作项目通常占地面积广、工程规模大，对场地条件具有不同的甚至是比较高的标准要求。然而，在这些地区广泛分布着滨海相沉积以及新近吹填的深厚软弱地基，具有天然含水率高、天然孔隙比大、压缩系数高、抗剪强度低、渗透系数小的显著特征。同时，由于软土地基在附加荷载作用下变形过程复杂，变形量大且历时长，使得寻找切实有效、造价经济的大面积甚至是超大面积的深厚软基处理方法，为工程建设的开展提供所要求的场地条件是岩土工程技术人员共同面临的技术难题，更是当前众多工程项目不得不解决的工程问题。

2. “场地形成”概念及“场地形成工程”形成

上海迪士尼乐园度假区项目位于原浦东新区和南汇区的交界处，距离浦东国际机场约 13km，距离虹桥交通枢纽约 30km；建设场地东临唐黄路，南临规划航城路，西临 A2 沪芦高速公路，北临川展路。一期工程实施区域约 3.9km²，场地形成工程范围 1.74km²。依据项目的中外双方协议，中方负责提供包括场地填筑、地基预处理、地势建造和存蓄河道等附属设施在内的满足后续工程建设需要条件的场地，而仅就其中的地基预处理工程，外方分区分级提出了明确的地基预沉降量、地基承载力和地势标高等场地移交的验收标准，其中，高等级标准区的目标沉降值大于 900mm、测试压力 120kPa 时地面沉降小于 25mm，中等级标准区的目标沉降值 500mm~700mm、测试压力 100kPa 时地面沉降小于 25mm，低等级标准区的目标沉降值不小于 300mm、测试压力 80kPa 时地面沉降小于 25mm。如此场地移交验收标准，对上海地区软土地基，技术难度之高显而易见。

2006 年伊始，中国建筑西南勘察设计院有限公司作为中方岩土顾问单位就开始参与此项工程的前期筹备和技术准备工作。当时面临多方面技术难题，一方面，场地建设中的场地岩土工程勘察及评价，国内尚没有相应的标准内容，现有岩土工程勘察类规范也仅涉及对场地现状评价内容，国外相关标准中涉及的有关内容几乎也是空白；另一方面，对地

基预处理，以往国内外软基处理的工程多集中于一般建筑物地基、油罐地基等有限面积的处理，对超大面积软基处理由于其荷载作用面积广、影响深度大、施工难度高等增加了处理过程的复杂性和工后沉降不可控制性，工程经验相对不足，基本没有可供参考的技术资料；再一方面，由于中外双方在工程建设各个专业领域的技术方法、标准要求等方面都存在明显的差异，给合作的工程项目建设带来了诸多需要多次沟通、协商才能形成一致意见的问题。如何为工程建设提供超大面积、符合后续建设使用要求条件的场地是必须解决的难题。

“场地形成”概念正是在如此的工程背景和工作环境下，以中国建筑西南勘察设计院有限公司为主的中方技术人员与外方岩土工程人员在上海迪士尼度假村提供符合外方条件要求的工程场地建设过程中多次交流与探讨后提出的新概念。参考外方意见，结合中方国情，我们将其定义为“根据场地既有地质条件和环境条件及拟建工程对场地用途的要求，采用恰当的土方调配和处理方法对场地及地基进行预处理，使其在地形地势、地基强度、预沉降量等方面达到一定控制标准，以满足拟建建（构）筑物场地地基、其余场地在后续建造期间和使用期间有足够的安全度。”而且认为，“场地形成”不同于以往的“场地平整”和包括调整土地结构及归并零散地块、平整土地及改良土壤、道路和林网及沟渠等综合建设、归并农村居民点及乡镇工业用地、复垦废弃土地、划定地界并确定权属以及改善环境并维护生态平衡等主要内容的“土地整理”，其内涵远大于满足建造施工场地需要的“地坪平整”和通常意义上的“土地整理”，应定位为大面积的土地综合整治工程，即“场地形成工程”。

由于我国工程建设对场地要求通常仅限于在场地平整后的地基强度满足正常施工需求，并仅针对场地上不同拟建建（构）筑物的荷载水平和分布特征等的需要对地基进行基础影响范围内的加固处理；而“场地形成”却是对整个场地进行一次性的地基预处理及场地平整施工，使处理后场地在地形地势、地基预沉降、地基强度等方面都达到一定标准水平，满足建造常规浅基础建筑物或者道路等构筑物对地基的要求。相对而言，“场地形成”具有明显的优势作用：（1）场地形成过程中超大面积荷载作用下地基有效加固深度增加，预处理期内产生的地面沉降量更大，地基承载力和抗变形能力提高的效果更为显著；（2）场地形成避免了传统做法中地基处理施工对相邻地基、在建或既有建（构）筑物造成的不良影响；（3）场地形成过程中的地基处理集中进行施工，施工质量容易得到控制和保证，加固后场地较为均匀；（4）场地形成中的地基处理与场地平整和局部地基处理施工相比，处理效率高、处理费用更低，更便于进行集约化管理，能产生较为明显的经济效益；（5）场地形成根据建设规划，可以完成整个建设区内竖向设计的地形建造，避免后期因建（构）筑物交叉建设形成的因场地狭小而造成地势造型所需要的多次土方转运和施工质量控制困难的问题。

依据“场地形成”概念，“场地形成工程”总体上可划分为两类：一是大面积天然软弱地基的整体改造或改良，二是围填海造地工程及后续大范围的人工处理。目前，“场地形成工程”主要针对大面积天然软弱地基的整体改造或改良工程。

3. 关键技术研究

在收集大量实际工程资料的基础上，采用理论与计算分析方法，总结大范围场地的岩土工程勘察经验，通过实验处理效果对比，研究深厚软基在超大面积荷载作用下的加固机

理与变形规律、地基附加应力的分布和地基固结沉降的发展过程，建立成套的超大面积地基沉降计算理论和方法，推导出基于现场实测数据的超大面积软土地基沉降预测模型。同时，结合现场实验实测数据分析和三维数值模拟，特别对超大面积深厚软基场地形成中真空预压法的加固机理、加固效果影响因素、设计计算方法等进行深入探讨，提出场地形成设计的控制标准、场地质量衡量指标与评价方法及验收标准，建立完整的“场地形成”概念体系与“场地形成工程”框架，并与同济大学、天津大学、河海大学等高校联合，先后完成了“软土地区真空预压+覆水与堆载预压地基处理方法综合比较的试验研究”“超大面积真空预压+覆水与堆载预压处理软基变形试验比较研究”“软土地区群井抽水试验地基沉降数值分析研究”、“强夯与冲击碾压试验成果对比分析”“大面积软基强夯与强夯+真空降水处理效果对比试验分析”“工程建设场地形成概念与土方调配优化设计”“真空预压法处理上海软基若干问题研究”“工程建设场地形成与土方调配优化”“填土场地桩基负侧摩阻力设计计算方法试验研究”“超大面积深厚软基场地形成关键技术研究”“围海造陆工程吹填场区地基土次固结性状及沉降计算方法研究”“不同软基处理方法效果对比试验及理论研究”等12项专题研究，为建立完整的“场地形成工程”体系打下基础，同时也为超大面积深厚软基“场地形成工程”的设计、施工、验收提供技术指导，更为上海市工程建设规范《建设工程场地形成技术规范》的编制提供了理论依据。

4. 标准体系的建立

由于超大面积的“场地形成”与以往的工程建设在勘察、设计、施工工艺、质量控制等方面存在明显差异，“场地形成工程”的内涵也不是简单的“地基处理”加上“场地平整”，因此国内建设领域尚无相应的设计标准，可供参考的技术标准，如地基基础设计、地基处理及施工等技术规范等，其适用的范围、施工技术、验收标准等各方面均与“场地形成工程”特点存在着较大差距，因此，在总结上海迪士尼乐园一期谈判、实验、设计、施工和科研的成果以及浦东国际机场、临港新城、外高桥港区等类似工程经验基础上，逐步形成了“场地形成工程”标准体系，主要技术内容包括：“场地形成”适用范围与其他有关现行标准的配套关系等；场地形成的内容、功能分区原则和工作深度界定等；场地形成的勘察内容、勘察方法、勘察工作量布置及为场地形成和地基处理提供施工设计参数等；场地形成处理方法选择、设计主要内容、设计计算方法等；场地形成的地基处理施工方法选择、处理方法施工技术要求、过程控制要点等；场地形成的不同处理方法的过程检查、质量检验、状态评价和后续状态预测；场地形成后质量状态变化的监测内容、手段方法、技术要求，以及与移交场地后续使用的技术要求等。

5. “场地形成工程”主要内容

针对大面积天然软弱地基的整体改造或改良工程，“场地形成工程”不能简单地等价于地基处理工程加场地平整工程，尤其在工程内容、土方调配、地基处理设计理念和设计计算方法、施工过程控制、验收内容及技术标准等方面进行了显著的延伸和扩展。在总结已有工程经验的基础上，“场地形成工程”主要包括工程测量；岩土工程勘察；土方调配、清表、地下障碍物清除、明洪暗洪处理、场地填筑及大面积平整、地基处理、边坡治理及场地排水等辅助工程的设计；土方调配、清表及障碍物清除、明洪暗洪处理、场地填筑、地基处理、辅助工程及大面积平整等施工；环境、地基处理、边坡和填筑体等监测；场地填筑、地基处理、边坡与排水等质量检验；承载力、密实度和目标沉降值检验方法；场地

验收与移交等工程内容。

6. 认识及展望

从浦东国际机场、F1 赛车场的建设尤其到上海迪士尼度假区正式提出“场地形成”的概念，这一专用名词所表达的工程内容将更加频繁地出现在中外合作的工程项目中，同时也逐步运用于大型工程的建设中。“场地形成工程”的形成虽经历了 2006 年开始至 2014 年上海迪士尼度假区一期完成的八个年头，并基本构建完成了体系框架和技术标准，但就其技术层面而言尚存在诸多问题，如场地形成设计控制标准如何根据拟建场地的使用用途，并兼顾场地内不同分区拟建建（构）筑物性质、荷载分布及其对地基的要求确定的原则与方法，有如考虑场地范围、测点种类等量大面广的特殊性如何建立一个对场地处理整体效果进行评判并作为场地验收依据的综合指标体系，再如场地质量评价如何为后续的地基基础设计提供相关参数的建议值，等等，均有待于通过工程经验的积累和深入的研究进行完善。

“场地形成”概念的提出与“场地形成工程”项目的形成，适应了地基处理技术由小范围处理逐步向大面积、超大面积深厚软基处理发展的趋势，体现了理念创新、技术创新只有通过工程实践的积累和深入研究。“场地形成”类似概念的形成和运用及体系完善，有待于继续努力，以期更有效地促进岩土工程理论的延伸和范围的拓展。

参与本书编写的人员有中国建筑西南勘察设计研究院有限公司上海分公司的胡志刚教授级高级工程师、宋保强高级工程师、周钧高级工程师、王晓高级工程师、孙成勇高级工程师、刘高高级工程师、杨晓锋高级工程师、杨国权高级工程师、许健工程师、陈继彬博士、郑立宁博士、胡熠博士、陈云高级工程师、纪智超工程师和钟静工程师等。

借此机会，向付出艰辛劳动的参编人员和提供基础材料及工作成果的全体人员致以崇高的敬意和衷心的感谢！

康景文

2018 年 12 月于成都

目 录

第 1 章 场地形成工程技术的关键问题	1
1.1 概述	1
1.2 场地形成工程	1
1.3 场地形成工程技术发展现状	3
1.4 场地形成工程技术关键问题	4
1.5 本章小结	5
第 2 章 现行软土地基处理设计方法研究	6
2.1 概述	6
2.2 软土地基工程特性	6
2.3 软土地基处理技术的国内外现状	8
2.4 软土地基承载力计算方法	12
2.5 软土地基沉降变形计算方法	16
2.6 现行软土地基处理和计算在场地形成工程中的应用问题	21
2.7 本章小结	22
第 3 章 场地形成工程勘察技术研究	24
3.1 概述	24
3.2 场地形成工程勘察基本要求	24
3.3 场地形成工程勘察阶段	26
3.4 专项勘察	28
3.5 场地形成勘探及测试技术	35
3.6 场地形成岩土工程评价	38
3.7 本章小结	39
第 4 章 不同地基处理方法现场试验设计	40
4.1 概述	40
4.2 试验概况	41
4.3 真空+覆水预压试验实施	45
4.4 堆载预压试验实施	49
4.5 强夯+降水试验实施	50
4.6 冲击碾压+降水试验实施	53

4.7	本章小结	56
第5章 真空+覆水预压与堆载预压现场试验分析		
5.1	概述	57
5.2	真空+覆水预压试验分析	57
5.3	堆载预压试验分析	75
5.4	两种软基处理方法的综合指标评价	89
5.5	本章小结	89
第6章 强夯+降水与冲击碾压+降水现场试验分析		
6.1	概述	91
6.2	强夯+降水试验分析	91
6.3	冲击碾压+降水试验分析	101
6.4	两种软基处理方法的综合指标评价	109
6.5	本章小结	110
第7章 不同地基处理方式的环境影响及技术经济评价		
7.1	概述	111
7.2	场地工程地质概况	111
7.3	对周围环境变形的影响评价	112
7.4	对单桩承载力的影响评价	121
7.5	不同地基处理方式的技术经济评价	123
7.6	本章小结	127
第8章 场地形成沉降变形计算方法研究		
8.1	概述	129
8.2	排水固结法的加固机理与特征	129
8.3	堆载预压场地形成地基沉降特性研究	133
8.4	真空预压场地形成地基固结特性研究	138
8.5	沉降变形影响因素的数值模拟研究	145
8.6	本章小结	155
第9章 场地形成工程技术标准研究		
9.1	概述	157
9.2	场地形成地基处理基本理论体系	157
9.3	场地形成地基处理设计计算方法	164
9.4	场地形成标准体系建立	170
9.5	本章小结	172

第 10 章 大面积软土场地形成工程实践	173
10.1 概述	173
10.2 工程概况	173
10.3 勘测方案	176
10.4 场地形成设计和监测方案	177
10.5 场地形成施工组织方案	180
10.6 场地形成加固效果评价	184
10.7 本章小结	197
第 11 章 超大面积软土场地形成工程实践	198
11.1 概述	198
11.2 工程概况	198
11.3 勘察方案	204
11.4 场地形成设计与监测方案	206
11.5 场地形成施工组织方案	210
11.6 场地形成加固效果评价	219
11.7 加固效果评价	226
11.8 本章小结	229
第 12 章 大型挖填方场地形成工程实践	230
12.1 概述	230
12.2 场地工程地质概况	230
12.3 勘察方案	232
12.4 场地形成设计与监测方案	235
12.5 场地形成施工组织方案	238
12.6 一区场地形成加固效果评价	243
12.7 三区场地形成加固效果评价	251
12.8 本章小结	259
主要研究成果	260
编后语	274
参考文献	278

当前意义上的场地形成工程主要工作内容包包括场地清表、障碍物清除、暗滨换填、不同功能区目标沉降值的地基处理、场地造型填筑和预定标高土方填筑等。场地形成工程实施流程见图 1.1。

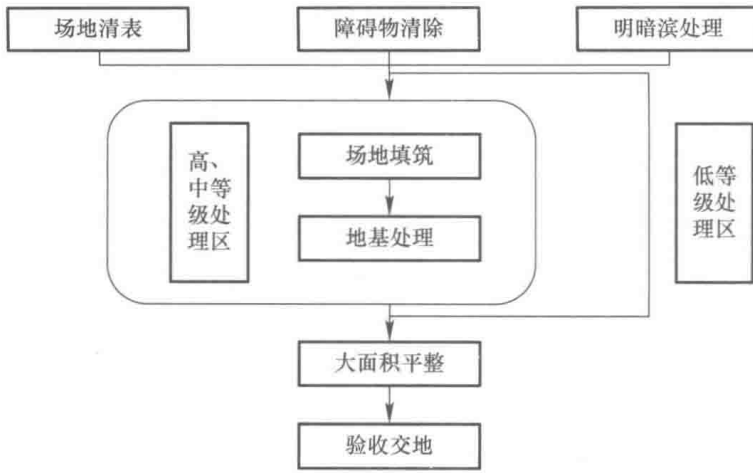


图 1.1 场地形成工程实施流程

根据目前实际遇到的工程特征，场地形成工程可分为如下几种类型：

(1) 围海、开山填沟造地：指把原有的海域、湖区或河岸、山地（包括丘陵等）转变为陆地或可用场地。对于山多平地少的沿海、山区城市，虽填海、开山填沟是一个为市区发展制造可用平地的很有效方法，但若要达到工程建设的使用要求标准，必须通过场地形成的全过程才能得以实现；

(2) 场地多次开发：指原始场地多年前已经过填筑一定厚度岩块和土体形成了可以利用的场地。在开发再利用时，必须对整个场地再一次进行处理，才能满足拟建工程的场区道路、建（构）筑物、管线等对地基的要求；

(3) 场地整体改良：指对整个场地进行一次性的地基处理及场地整形施工，使处理后的场地在标高、地基强度、地基沉降等方面都达到一定标准水平，满足建造常规浅基础建（构）筑物或者道路等对地基的要求，并提高重型或高层建（构）筑物的深基础承载力或基坑开挖的稳定性。

场地形成概念的提出适应了地基处理技术由小范围处理逐步向大面积、超大面积不良地基处理发展的趋势。目前，我国工程建设的通常做法是在场地平整后，在场地地基强度满足正常施工要求后，再针对场地上不同建筑物或构筑物的荷载水平，对建筑物或构筑物占地范围内的地基进行局部处理。相对而言，场地形成就具有更为明显的优势：

(1) 不同区域、不同方式的处理荷载作用下，施工交叉作业相互影响使有效加固深度增加，产生的地基预沉降量更大，地基承载力提高的效果更为显著；

(2) 避免了传统做法中地基处理施工对相邻地基、在建或既有建（构）筑物造成不良影响；

(3) 地基处理施工集中进行，施工质量容易控制和保证，加固后场地较为均匀；

(4) 地基处理与场地平整等作业协同实施，有利于进行集约化管理，效率高，能够产生较为明显的经济效益。

场地形成工程技术自著作者提出后,即广泛应用于软弱地基、填筑地基等不良地基条件的场地形成工程。如上海迪士尼度假区(2008年)、嘉定云翔大型居住社区动迁配套基地26号~10号地块住宅工程(2010年)、上海浦东国际机场货运三号货运站(2012年)、苏宁温州物流基地(2013年)等工程项目,取得了较为突出的成效。

1.3 场地形成工程技术发展现状

目前,场地形成工程技术研究工作主要集中在地基的处理手段、地基处理后沉降变形规律等方面,且软弱地基中的应用及研究成果相对较多。

1.3.1 软弱地基场地形成地基处理技术

1. 地基处理方法

软弱地基处理方法主要包括:排水固结法、化学加固法、碾压及夯实、换土垫层法、振密挤密法、加筋法及其他方法(灌浆、冻结)等七类。同济大学叶观宝教授认为排水固结法、强夯法和复合地基法较为适合于大面积软土地基的加固处理,它们也是目前沿海地区,特别是东南沿海地区较为常用的软土地基处理方法。对于新近进行过吹填的软基场地,强夯法(包括强夯置换法、组合锤法)与复合地基法可有效提高地基的稳定性,且高能级强夯置换法在新近吹填软土地基处理中的应用取得了良好的效果。

针对各种地基处理技术单一运用的局限性,尤其对于大面积深厚软土地基的潜在不良影响不可忽略的地区,在对其进行处理时必须采取针对性处理方法,加快土体的固结,将工后沉降量减少到允许范围,以保证建(构)筑物建成后的正常使用。而排水固结法正是处理这类地基的首选方案,尤其是真空预压法与堆载预压法。组合型处理地基(多种地基处理方式联合运用)因可通过合理配置各种工艺实现多项地基处理的目的而逐渐在工程中得到应用。例如,水泥土搅拌桩用来提高浅部地基的承载力和稳定性,塑料排水板用来加快深部地基土的排水固结效率。

同时,场地形成过程中的环境变化容易引起加固体性能劣化,杨俊杰等通过室内试验研究了场地形成过程中水泥土的环境劣化问题,认为场地形成的水泥土的劣化影响因素有内因和外因。内因是影响加固体强度的因素,有原土性质、固化剂种类与强度等级及掺入比、水灰比、加固体自重应力状态、施工工艺等;外因是外界环境因素,有侵蚀性离子种类及浓度、温度及温度循环变化、加固体受到的有效土压力和孔隙水压力等。

2. 沉降计算方法

现行地基沉降计算方法主要有三大类,分别是以分层总和法为代表的压缩模量法,以弹性力学的沉降解为算法的弹性法,以及以现代本构理论和数值法为基础的有限元等数值方法。压缩模量法(如分层总和法)并不能反映地基剪切变形所产生的沉降,学者就此分别提出了考虑侧向变形的非线性方法、弦线模量法、等效变形模量法,采用 $e-p$ 曲线、 $p-s$ 曲线、 $p-s$ 双对数坐标曲线用于地基分层沉降计算;而弹性力学法采用的是弹性解,不能考虑土的非线性,不适用于分层地基或不均匀地基,土体在自然沉积的过程中,受到气候环境改变的影响,土体沿深度方向性质会有明显差别,工程中为了考虑土的非均质性,通

常会引入均一化土层的概念，依靠 Terzaghi 固结理论及 Boussinesq 解，预测均一化土层的沉降变形。但即使是同一土层，若加载面积较大、软弱土层较厚，土体的物理力学性质随深度变化也可能差异较大，使得经典理论的应用受到限制。

陈仲颐较早提出了压缩层厚度概念，并将这一概念应用于工程的地基变形计算。该概念并非实际中存在一个深度界限，而是依据某个控制性指标人为划分的深度，且认为在该深度以下不存在土体压缩。国内现行技术标准普遍根据附加应力与自重应力的比值进行压缩层厚度的划分，即假定地基土是正常固结，当总应力（自重应力与附加应力之和）不超过自重应力的 1.1 倍或 1.2 倍时，就可以认为不会再发生较大的压缩沉降。有些学者考虑土的结构性后认为土层中的竖向附加应力应与该深度处土体的粘结强度进行比较，在附加应力大于粘结强度的深度以内的土层厚度方能称为压缩层深度。

目前，使用的各方法在荷载施加面积不大的情况下可以满足工程安全的设计要求，国内大部分技术标准普遍采用，如现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 对地基压缩层的描述是“条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础底面下为 $1.5b$ ，且厚度均不小于 5m 的范围（二层以下一般的民用建筑除外）”。对于大面积荷载作用下的地基沉降计算，其结果往往会出现较大的误差。对于建筑或构筑物，由于其基础底面宽度不大，单体建筑荷载的影响深度（即压缩层厚度）有限。但大面积的软弱地基处理工程，处理使用的荷载作用范围超出常规建筑基础底面积，实测结果表明，变形影响深度（即天然地基最终沉降量中压缩层的厚度）将达几十米甚至上百米，远远超出采用建筑地基确定压缩层厚度的应力控制法的深度，因此，必须通过深入研究寻求一种适合大面积地基处理沉降计算方法。

1.3.2 复杂条件场地形成工程技术

由于目前场地形成工程概念提出不久，开山填沟、大范围局部大填、不同填筑时间等其他条件下的场地形成工程技术的相关研究仍处于起步阶段甚至是待起步阶段，如山区城市的建设场地形成、机场跑道和停机坪场地形成等工程有待经过工程实践取得卓有成效的研究成果。

1.4 场地形成工程技术关键问题

场地形成技术与现有的地基处理技术在设计理念、技术标准和设计计算等方面存在明显的差异。国内外目前相关研究成果不多，特别是场地形成地基处理机理、地基变形规律及其设计计算方法和相应的标准体系亟待深入探讨和建立完善。

1.4.1 大面积场地勘察的特殊性技术研究

“场地形成”属于大面积、高要求（包括大面积地基处理）的土地整理范畴，其场地形成过程较为特殊，如果在此类场地上修建建筑物或构筑物及附属设施，采用常规岩土工程勘察手段和技术方法已经不能满足工程要求。为了安全和经济，需要综合考虑大面积场地形成工程的特殊需求，必须采用特殊性技术手段和技术方法，确保场地勘察成果的全面