

高能级强夯 技术发展研究 与工程应用

(2006~2015)

王铁宏 水伟厚 王亚凌 编著

中国建筑工业出版社

高能级强夯技术发展研究与工程应用

(2006~2015)

王铁宏 水伟厚 王亚凌 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高能级强夯技术发展研究与工程应用 (2006~2015) / 王铁宏
等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 3
ISBN 978-7-112-20403-8

I. ①高… II. ①王… III. ①强夯-研究 IV. ①TU751

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 027470 号

高能级强夯技术具有经济高效、节能环保等优点, 在最近十多年里得到了快速发展。本书总结了强夯技术在变形计算、规范编制、试验等方面的研究成果, 并配有 36 项工程实践项目介绍, 可以全面了解高能级强夯技术的理论和实践经验知识。全书共分为 4 篇, 第 1 篇高能级强夯工程实践与研究进展综述, 第 2 篇高能级强夯处理沿海非均匀回填地基, 第 3 篇山区高填方场地形成与地基处理, 第 4 篇组合工艺处理软土地基。

本书可供从事地基处理的岩土工程技术人员和科研人员学习参考, 也可供高等院校相关专业师生参考。

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任设计: 李志立

责任校对: 李欣慰 李美娜

高能级强夯技术发展研究与工程应用 (2006~2015)

王铁宏 水伟厚 王亚凌 编著

*

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

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 32¼ 字数: 788 千字

2017 年 8 月第一版 2017 年 8 月第一次印刷

定价: 88.00 元

ISBN 978-7-112-20403-8

(29950)

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)

主要编著人员

王铁宏	水伟厚	王亚凌	梁永辉	张文龙
何立军	高斌峰	陶文任	柴俊虎	刘 坤
董炳寅	季永兴	徐先坤	牟建业	赵永祥
年廷凯	陈 学	杨金龙	李鸿江	王 宁
孙国杰				

参与编著人员

梁富华	何国富	柴世忠	孙会青	戴海峰
张馨怡	刘 波	秦振华	吴春秋	纪 超
顾克聪	陈 薇	高晓鹏	魏 欢	徐 君
宋美娜	张新蕊	杨 洁	李庆天	孟庆立
闫小旗	翟德宝	肖 京	何淑军	梁汉波
李 睿	张 忠	林耀华	尤铁骊	路 遥
张立德	王业虎	卢宏飞	吴其泰	秦振伟
马利柱	康竹良	郝经恩	王彩军	潘 玮
高玉杰	刘立刚	王 鹏	张 勇	惠 文
母晓红	王 智	胡瑞庚		

序 一

《高能级强夯技术发展研究与工程应用》是《全国重大工程项目地基处理工程实录》的第三部，全面系统深入地总结了全国 2006~2015 年期间重大工程项目有效采用高能级强夯技术处理的理论和实践。本书的主要工作是由水伟厚和王亚凌同志为主负责的，他们花费了很大心血，而我所做的贡献有限，只是在编写大纲和编写重点及部分重点内容上尽了绵薄之力。

在《高能级强夯技术发展研究与工程应用》一书即将出版之际，应约为本书写序，我再三思考如何切入来写。恰巧，2017 年 5 月 29 日在敦煌召开“丝绸之路敦煌国际文博会场馆建设总结大会”之际，我与甘肃省委常委、常务副省长黄强同志和省委常委、副省长宋亮同志深入地探讨了西部区域城市平山造地的可能性及对区域经济社会发展的影响。按照二位省领导（当然他们二位也是我在中央党校的同学）要求，我带领行业内有关专家（包括水伟厚同志等）给省领导写了《关于对荒山荒沟低丘缓坡综合治理规划建设兰州创新示范区的建议》。我想就把这个建议引述如下作为本书序言的主要内容。

“兰州作为甘肃省省会在全省的经济引领作用十分突出。但与其他省会相比，制约兰州跨越式发展以担当全省经济社会发展更大作为的瓶颈亦十分凸显，那就是土地资源的严重束缚（而兰州的人口资源和水资源的潜力都是十分有利的）。发展空间不足始终是兰州经济社会发展难以逾越的鸿沟。林铎同志要求新一届省委“要坚决打好决战决胜全面小康社会的硬仗，全力担负好建设幸福美好新甘肃的担子，不断开创甘肃事业发展的崭新局面。”我认为，破解以上难题将是这场决战决胜的重要一环。为此，谨提出关于通过对荒山荒沟低丘缓坡区域进行综合治理以规划建设兰州创新示范区的建议，即通过采用国内现已十分成熟且造价低廉效果显著的地基处理施工技术，集中综合治理兰州市周边 200~300km² 荒山荒沟低丘缓坡区域以打造兰州市新的发展空间。国内已有试点示范城市的经验充分表明，这种创新在经济上、技术上、生态上都是可行的，将成为促进全省经济社会实现重大跨越，且无论从出发点还是落脚点上看来都堪称是发展工程、民生工程、生态工程的重大实践，将会功在当代、利在千秋。

一、试点示范的经验与教训

1. 延安新区规划建设成功示范

制约延安经济社会发展的突出矛盾与兰州完全相同，无非其经济规模比兰州小一半，土地资源的压力更为严峻，必须实施平山造地以解决发展的空间拓展战略。经陕西省委省政府批准，得到国务院有关规划、国土、水利、科技等部门的支持，延安开始了新区的规划建设，约 70km²，与延安老城区紧密相连。今后老城区只拆不建疏解压力，新的建筑和项目一律放到新区。2011 年我有幸担任了第一次专家论证委员会的主任委员，专家们总体认为该方案在经济上、技术上、生态上都是可行的。这是国内实施超大型平山造地的

一次成功示范。2016 年国家科技部通过了科技成果验收（我又担任了评审专家组的副组长），成为全国平山造地建设新区的科技典范。目前，延安新区北区 24km² 的平山造地已经售出三分之一，成交额约 50 亿。由于需求量大土地价格上涨快，延安市政府已有意放缓了土地挂牌出让。延安新区的房价已从初期约 3500 元/m² 涨到了约 8000 元/m²。招商引资已超过 50 个项目，包括华为云计算数据中心等一批高科技企业进驻。

据分析，全国平山造地的平均造价约为 35~40 万/亩，加上城市基础设施配套成本，总计约为 70~90 万/亩，而一般二、三线城市老城区的拆迁整治成本可能会高达 400~500 万/亩，且难度大，社会矛盾突出。延安新区的土地出让费约为 200 万（填方区）~300 万（挖方区）/亩，政府手头充裕，为整个新区规划建设步入良性循环打下了好基础。

2. 兰州新区的实践与教训

兰州新区规划建设的初衷是拓展兰州发展空间，是国内最早最大规模的平山造地项目，是否成功评价不一，有待商榷。其深刻的教训值得反思：其一是合作模式上，早期由于没有 PPP 模式，没有大型央企、国企和上市公司参与，其能力和资金有限，初期受到很多质疑；其二是选址不尽科学，选址过远，俨然是另造了一个城市，老城区的资源用不上，基础设施要全造新的，资金压力更大，加上交通成本过大，招商引资困难很多，始终没有步入良性循环；其三是距机场过近，房屋限高，土地成本占比过高，加大了招商引资的难度，也难以尽快形成具有国际化大都市风貌的现代化的建筑轮廓线。

3. 兰州碧桂园城关区项目的再实践

该项目占地约 20km²，与城关主城区仅一河之隔，属于兰州市低丘缓坡荒山未利用地综合开发示范区范围。该项目一经推出，就在兰州产生了强烈反响，引领了高端品质住宅的方向。但由于面积有限，对全市的疏缓作用不大。当然该项目在技术上也有值得总结提高的地方。如果当初方案中能采用 2~3 层填土地基的高能级强夯技术，既可以有效提高地基承载力且完全消除黄土湿陷性，一般 8~9 层建筑可以直接采用天然地基不必打桩，再高建筑即便需要打桩，由于已消除了湿陷性桩长和桩数都可大规模减少，使建安成本大幅度降低。而该项目 2~3 层建筑都要打大量的 70~80m 长桩，建安成本陡然提高。

二、试点示范的启示意义

通过对试点示范分析，有三点启示：一是兰州的平山造地项目恰逢其时，可以广泛采用 PPP 模式，要大手笔，长远考虑。资金不是问题，技术不是问题；二是选址一定要近，且要有国际视野，要打造新的国际化大都市的创新示范区，要让兰州的城市风貌有一次巨大的质的飞跃，它就是甘肃版的浦东新区、郑东新区、合肥滨湖新区；三是技术方案要更加科学，论证要更为缜密，特别是高能级强夯技术一旦失之交臂，在做基础设施和建上部建筑时就无法再用了，将令以后建设成本增加。

三、进一步建议

建议甘肃省委省政府适时研究启动规划建设兰州创新示范区的重大战略决定。以打造有效缓解兰州空间压力的疏解集中承载地，加快补齐区域发展短板，提升全省经济社会发

展质量和水平，培育新的经济增长极，探索西部省份人口经济密集地优化开发新模式。指导创新示范区规划建设发展方向的价值观至关重要，既是理论问题又是实践问题。从战略和哲学层面深入认识，增强自觉，是一项重大课题。

一是牢牢抓住低碳经济的实质。低碳经济不仅成为当今世界潮流，已然成为各国政治家的道德制高点，也揭示了城市规划建设的实质。建设创新示范区，要全面实现“绿色建筑”（即“四节一环保”建筑），大力推广超低能耗的被动式建筑，所有建筑工地都要实现绿色施工。规划建设之初就要把握好“大中水回用”的节水战略（即中水厂跟着污水厂建，中水管线跟着市政管线走，中水用于园林、景观、工业及住宅），建设海绵城市。规划建设之初就要把握好城市综合管廊规划建设。规划建设之初就要贯彻中共中央、国务院《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中有关大力推广装配式建筑的要求，应借鉴上海市的经验和敦煌世博会主场馆的成功示范，规定示范区所有新建建筑都要采用装配式，实现更好、更省、更快建设，一举走在全国前列。这也是兰州创新示范区的应有内涵。

二是正确把握好示范区规划建设发展方向。国际化大都市应把握好的三件重要事宜：城市天际线、建筑轮廓线、科学的交通路网，示范区起码要充分抓住机会把握好建筑轮廓线和科学的交通路网。建筑轮廓线就是要求示范区的地标性建筑保持高度、体量、色彩、风格上的协调，浦东开发就特别注重了这一点，政府始终在担当这一把关责任，取得了举世公认的成就。科学的交通路网就是要有历史发展的眼光，要管长远，路网密度要足够，纽约曼哈顿就尝到了这一甜头，建筑该高时一定要高，反而更加充分地利用了土地空间。

三是要有引领规划建设发展方向的自信。无论历史地看还是现实地看，中国都将引领世界城市规划建设发展方向，这是中华民族伟大复兴的中国梦不可或缺的部分，这就是文化自信。应把握住创新示范区规划建设的契机，充分展示西部省会城市跨越式发展的雄姿，演义中华民族伟大复兴中国梦历史责任的又一经典范例。”

以上就是我写给甘肃省领导的建议，权作为本书的代序，意图让读者对高能级强夯技术在重大经济社会发展项目中的突出作用以有一个全面而辩证的了解。人们常说要顺应大势、把握大局、制定大策，在此就是要研究高能级强夯技术的应用大策。约瑟夫·奈说，当今世界就是看谁会讲故事。其实重大工程项目采用高能级强夯技术就是要讲好只有采用该技术才能更好、更省、更快的故事。给谁讲好故事，越重大的项目往往越是决策者，甚至是省市主要领导同志，那就需要方案研究者给领导同志讲明白，为什么要采用高能级强夯技术（认识论问题，更省、更快）和如何采用高能级强夯技术（方法论问题，更好），那就需要方案研究者要增强战略思维能力、创新思维能力和辩证思维能力，要按照决策者的思维来讲好故事。研究高能级强夯技术既要深入得进去，还要能跳得出来，站得高，看得远，看得深，看得透。高能级强夯技术只是一门应用科学的技术，关键还在于应用，还在于到重大和关键项目上应用。中国是应用技术的大国，凡是应用技术，中国就一定能力拔头筹，领先世界。高能级强夯技术毫无疑问中国是领先世界的，中国的实践经验是无与伦比的，我们值得自豪。本书分析研究的理论和重大工程项目应用实例可供读者借鉴。

附：对延安新城规划建设的工作建议

——给薛海涛副市长并姚引良书记的信

延安新区规划建设是人类历史上一项宏伟工程，不论从出发点还是落脚点上看来都堪称是发展工程、民生工程、生态工程的重大实践，将会功在当代、利在千秋。谨向您们表达我由衷的钦佩。并为能够有幸参与其中一些技术工作而倍感荣耀。蒙邀陪同蒋正华副委员长调研再次来到延安，感受到新区建设的勃勃生机，尤其对削峰填谷工程一期的成功实践而欣慰；对科学论证、科学规划的严谨务实作风而称道。

作为住房城乡建设部科技委副主任、原部总工程师，亦想诚恳地留下对规划建设4个方面建议：

一、岩土工程二期中可否部分区域适当采用国际领先的高能级强夯技术。我国的高能级强夯技术居世界领先，在沿海造地、山区造地的工业民用建筑中广泛成功应用（最高能级 $18000\sim 20000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，处理深度15m以上）。新区属湿陷性黄土高填方工程，如能采用该技术，将会是国际领先的重要工程实践。预计地基处理费用比现有传统分层碾压技术降低 $1/4\sim 1/3$ （按市场竞争价同比），工期可缩短约 $1/4$ ，地基承载力提高约一倍（达到 $20\text{t}/\text{平米}$ ，处理后填方区8~10层建筑可不再打桩）。建议选择 $0.5\sim 1.0\text{km}^2$ 填方区适当采用。

二、要特别关注CBD建筑轮廓线规划。城市规划和建设最重要的有三要素：（1）城市天际线，新区的天际线与老城相呼应，开阔壮丽；（2）建筑轮廓线，现代化城市人类文明的标志是形成独特的建筑轮廓线，如上海浦东建筑轮廓线，以及香港、纽约建筑轮廓线等。要在CBD规划中一次性规划出20~30个地块，对拟建标志性高层建筑的高度、体量、色彩、风格现在就做出严格规定，而且每届政府都要遵守，精心打造并逐渐形成新区独特的建筑轮廓线。其独特魅力应与巍巍宝塔山相呼应，即延安有两张城市名片，一是宝塔山、二是新区建筑轮廓线；（3）科学的交通路网，作为区域中心城市，建议路网密度应适度超前，人均车均道路面积要论证，起码不低于现行规范 $200\text{m}\times 300\text{m}$ 网格。CBD若有必要可适当超前再密些，这样建筑就可以该高就高该密就密。

三、注重大中水示范。延安同我国绝大多数城市一样属缺水型城市。制约经济发展除了土地资源瓶颈就是水资源瓶颈。天津等已提出了大中水战略，我概括其为“中水厂跟着污水厂建，中水管线跟着市政管线走，中水用于园林景观工业”。北京在南水北调工程后将达到30亿 m^3 供水量，仍提出要生产15亿 m^3 中水（再生水）。建议延安应尽早研究大中水战略。实践表明，大中水比引黄、南水北调等的全成本单方水价大幅度降低，是可持续发展的重要抓手。实践还表明，小中水示范存在风险，主要是企业难免生生息息，最后包袱还是要政府背。

四、新区建设中可否示范1~2个装配式建筑。我国高层建筑建造技术形成于1982年，称为钢筋混凝土现浇体系，它对改革开放后我国城乡建设快速发展贡献很大。但实事求是说，其弊端亦非常突出：（1）钢材水泥浪费严重；（2）用水量过大（平均每平方米建筑用12t水）；（3）工地脏乱差（往往是一些城市可吸入颗粒物的重要污染源）；（4）质量通病严重（开裂渗漏投诉突出）；（5）劳动力成本飙升且招工难管理难质量控制难；（6）建造效率已接近极限（平均7天/层）。表明，建筑业转型发展已经到了非改不可的时

候了。我们正在积极推动工厂化装配式建筑发展；20层以下采用钢筋混凝土装配式的住宅部品化率约50%，按竣工合同价同比可以略低于传统技术，建造速度可以3天/层；25层以上采用钢结构装配式建筑部品化率90%，造价比传统技术降低1/4，建造速度可以达到1~2层/天。在绿色建筑“四节一环保”的基础上实现“六节一环保”（节能节地节水节材节省投资节省工期环境保护），建议在新区建设中适当各选1~2个装配式示范。特别是当需要树立形象时，其优势尤为突出，30层写字楼、宾馆等，15天就可以建成入住。

以上建议谨供您们在百忙之中参考。衷心祝愿延安新区发展工程、民生工程、生态工程的伟大实践成功！

（作者：王铁宏，2011年曾受邀作为延安新城规划建设场地地基处理方案论证专家组组长参与了第一次方案评审工作）



2017年6月5日于北京

序 二

《高能级强夯技术发展研究与工程应用》是《全国重大工程项目地基处理工程实录》的第三部，我的博导王铁宏教授一直是本丛书的主编。这次王老师要求我和王亚凌同志全面负责并重点阐述高能级强夯技术的加固机理及研究现状，总结 2006~2015 年期间全国高能级强夯技术的重大工程应用实例。我们诚惶诚恐，经过两年多的努力，终于完成了《高能级强夯技术发展研究与工程应用》编写工作。在编写过程中，华东建筑集团股份有限公司上海申元岩土工程有限公司的梁永辉、张文龙、何立军等同志和中化岩土集团股份有限公司高斌峰、董炳寅、张新蕊、杨洁、李庆天、胡瑞庚等同志协助我们做了大量工作，在此表示特别感谢。

《高能级强夯技术发展研究与工程应用》在全面阐述高能级强夯技术研究现状的基础上，重点在高能级强夯加固机理，强夯检测与监测技术，强夯复合型技术，城市场地形成与拓展等方面有所创新和突破。本书共分为两大部分：第一部分为高能级强夯技术发展的 7 项理论创新成果，第二部分为 36 项重大工程案例分析，包括了 11 项实践创新成果。其中第一部分关于 7 项理论创新包括：

(1) 首次提出了强夯置换能级与置换墩长的关系（能级达 $18000\text{kN}\cdot\text{m}$ ）。突破原规范提出了实用的强夯和强夯置换地基变形计算方法——“墩变形+应力扩散法”，研究成果已写入《建筑地基处理技术规范》JGJ 79—2012 及《复合地基技术规范》GB/T 50783—2012 中（详见本书第 1 篇第 2 章）；

(2) 首次探讨了以变形控制进行强夯法地基处理设计思想。提出变形控制是地基处理的主要产品，与能级、工艺关系较为密切，应按变形控制进行强夯法地基处理设计的理念（详见本书第 1 篇第 3 章）；

(3) 结合高能级强夯技术创新性地提出了西部山区城市场地形成与空间拓展的新实践。西部山区城市拓展利用未开发的沟壑、山地，平山造地用于城市建设，缓解用地紧张，解决城市发展空间的瓶颈问题。由于高能级强夯法在处理深厚填土地基中的良好适用性和较高性价比，强夯处理后的场地能尽快作为建设用地，场地形成与高能级强夯技术相结合具有良好的经济、社会效益（详见本书第 1 篇第 6 章）；

(4) 在强夯地基检测方面有所创新和研究。对强夯地基承载力及平板载荷试验（不同测读方法、压板尺寸效应）进行了深入研究，首次对高能级强夯地基的平板载荷试验的预压问题等进行了探讨和总结（详见本书第 1 篇第 4 章），该研究成果已写入《建筑地基检测技术规范》JGJ 340—2015；

(5) 国内首创高能级强夯联合疏桩劲网复合地基技术。对于上松（如松散碎石填土）下软（如淤泥质软土）地基，采用疏桩劲网复合地基方案可充分利用浅层强夯地基和疏桩基础的承载力，协调两者变形，减小地基的不均沉降变形。该项技术已获得一项发明专利（专利编号：ZL 2013 1 0223741.1，工程实例详见本书第 4 篇实录 31）；

(6) 国内首创预成孔深层水下夯实法技术。该技术适用于地下水位高、回填深度大且承载力要求高的地基处理工程。该项技术已获得了国家级工法(工法编号: GJJGF013—2014, 工程实例详见本书第4篇实录36);

(7) 国内首创预成孔填料置换强夯法技术。该技术解决了强夯法与强夯置换法存在的技术问题, 实现了置换墩体与下卧硬层的良好接触, 有效加固处理饱和黏性土、淤泥、淤泥质土、软弱夹层等类型的地基。该项技术已获得一项发明专利(专利编号: ZL 2015 1 0137008.7, 工程实例详见本书第4篇实录35)。

第二部分收录了36项重大工程案例。从高能级强夯角度出发, 将36项工程实例分为“高能级强夯处理沿海非均匀回填地基”、“山区高填方场地形成与地基处理”和“组合工艺处理软土地基”三个篇章, 充分阐述了高能级强夯以及强夯组合工艺在各种土质、场地环境的成功应用, 同时也验证了强夯理论成果和创新的实用性与适用性。其中包括了11项实践创新成果:

(1) 国内首次采用面波法检测强夯处理技术(详见实录1《渤海船舶重工大型船舶建造设施项目深厚碎石回填地基10000kN·m强夯处理试验研究》), 该成果已纳入《建筑地基检测技术规范》JGJ 340—2015, 并被工程界广泛应用;

(2) 国内首次采用15000kN·m能级强夯处理碎石填土地基(详见实录2《大连新港南海罐区碎石填海地基15000kN·m强夯处理工程》);

(3) 国内首次采用15000kN·m能级强夯处理湿陷性黄土地基(详见实录20《中国石油庆阳石化300万吨/年炼油厂改扩建项目高能级强夯处理湿陷性黄土地基工程》);

(4) 国内首次大面积采用高能级强夯置换和强夯复合工艺处理后直接设置浅基础取代桩基的技术方案(详见实录6《葫芦岛海擎重工机械有限公司煤矿设备重型厂房开山填海地基15000kN·m强夯置换处理工程》);

(5) 国内首次提出在开山填海场地上的10万 m^3 大型浮顶油罐项目中使用高能级强夯置换工艺+环墙基础设计(详见实录11《泉州石化1200万吨年重油深加工项目青兰山库区50万 m^2 开山填海地基15000kN·m强夯置换工程》);

(6) 国内首次大面积采用18000kN·m能级强夯处理抛石填海地基(详见实录7《中国石油华南(珠海)物流中心工程珠海高栏港岛成品油储备库38万 m^2 填海地基18000kN·m强夯处理工程》), 研究成果写入了《钢制储罐地基处理技术规范》GB/T 50756—2012;

(7) 国内首次采用20000kN·m能级在湿陷性黄土地区高填方场地上进行强夯(详见实录15《延安新城湿陷性黄土地区高填方场地地基20000kN·m超高能级强夯处理试验研究》);

(8) 国内首次采用高能级强夯+异形锤强夯置换+堆载预压排水固结组合工艺应用于青岛海西湾造地与地基处理工程, 并针对造地和地基处理制定了一整套解决方案, 验证了“以变形控制理论进行地基处理设计”的设计思想(详见实录29《青岛海西湾造地与地基处理工程研究》);

(9) 国内首次采用高能级强夯预处理+疏桩劲网复合地基技术, 并获得一项发明专利(专利编号: ZL 2013 1 0223741.1), 该技术充分发挥疏桩基础和强夯地基的承载性能, 协调两者变形, 达到减小地基不均匀沉降的目的(详见实录31《高能级强夯预处理疏桩

劲网复合地基方案在中化格力二期项目中的应用》);

(10) 国内首次提出并使用预成孔平锤置换强夯法处理软土地基 (详见实录 35《青岛海业摩科瑞油品罐区地基处理工程》), 该技术已获得一项发明专利 (专利编号: ZL 2015 1 0137008. 7);

(11) 国内首次提出并使用预成孔深层水下夯实法处理软土地基 (详见实录 36《惠州炼油二期 100 万吨年乙烯工程储罐预成孔深层水下夯实法工程应用》), 该技术已获得了国家级工法 (工法编号: GJJGF013-2014)。

概括地说, 以上成果的创新性应用, 基本上涵盖了我国重大工程项目采用高能级强夯技术的实际水平, 应当毫无疑问地说, 这些应用是当之无愧领先世界的。现将以上成果汇集起来供行业内专家和读者借鉴并品评指正。



2017 年 7 月于中化岩土

前 言

随着经济、社会的不断发展，很多城市出现用地紧张的难题，尤其是西部山区城市，城镇空间狭小已成为制约当地经济发展的首要因素，为此提出削峰填谷建新城的发展战略，东部沿海城市也进行了很多抛石填海拓展空间的实践。针对这种深厚回填土地基，强夯法，特别是高能级强夯法，更加凸显了其高效、节能、环保的优点，大幅减小了工后沉降，大大缩短了场地达到稳定的时间。

本书综述部分从高能级强夯工程实践和研究进展的角度，重点阐述了高能级强夯的加固机理、强夯置换变形计算、按变形控制进行强夯法设计、强夯振动对周围环境的影响等内容，并对高能级强夯技术发展进行全面与辩证的思考，对高能级强夯技术的发展进行了展望。

工程实录部分结合强夯法在 36 项国家重大工程各类回填土地基、软基上的工程实践，对强夯法地基处理方案的选用，施工工艺的确定，可行性试验研究，检测结果和经济效益进行了探讨，可以为相似工程提供参考。

目 录

第 1 篇 高能级强夯工程实践与研究进展综述	1
第 1 章 对高能级强夯技术发展的辩证思考及标准规范的编制	3
第 2 章 对强夯置换概念的澄清与地基变形计算的研究	17
第 3 章 按变形控制进行强夯加固地基设计思想的探讨	53
第 4 章 强夯地基承载力及平板载荷试验研究	63
第 5 章 强夯振动及侧向变形对环境影响的试验研究	92
第 6 章 西部山区城市场地形成与空间拓展的新实践	101
第 7 章 对高能级强夯技术的发展展望	130
第 2 篇 高能级强夯处理沿海非均匀回填地基	137
【实录 1】渤海船舶重工大型船舶建造设施项目深厚碎石回填地基 10000kN·m 强夯 处理试验研究	143
【实录 2】大连新港南海罐区碎石填海地基 15000kN·m 强夯处理工程	152
【实录 3】惠州炼油项目马鞭洲油库场地 5.3 万 m ² 抛石填海地基 12000kN·m 强夯处 理工程	159
【实录 4】中国海洋石油惠州 1200 万吨炼油项目开山填海地基 12000kN·m 强夯处理 工程	165
【实录 5】广西石化千万吨炼油项目汽油罐区开山填海地基 10000kN·m 强夯及强夯置 换处理工程	171
【实录 6】葫芦岛海擎重工机械有限公司煤化工设备重型厂房开山填海地基 15000kN·m 强夯置换处理工程	177
【实录 7】中国石油华南（珠海）物流中心工程珠海高栏岛成品油储备库 38 万 m ² 填海 地基 18000kN·m 强夯处理工程	185
【实录 8】中石油大连成品油库区二期 6 万 m ² 碎石回填地基 12000kN·m 强夯处理 工程	191
【实录 9】中海油珠海高栏终端 105 万 m ² 碎石填海地基 15000kN·m 强夯处理 工程	198
【实录 10】中油惠印石化仓储基地一期工程碎石填海场地 18000kN·m 强夯地基处理 应用工程	204
【实录 11】泉州石化 1200 万吨/年重油深加工项目青兰山库区 50 万 m ² 开山填海地基 15000kN·m 强夯置换工程	209
【实录 12】日照原油商业储备基地项目储罐吹填土地基 15000kN·m 强夯处理工程	214

【实录 13】惠州炼化二期 300 万 m²开山填海地基 12000kN·m 强夯处理工程 243

【实录 14】广东石化 2000 万吨/年重油加工项目 15000kN·m 强夯处理粉细砂地基工程 248

第 3 篇 山区高填方场地形成与地基处理..... 255

【实录 15】延安新城湿陷性黄土地区高填方场地地基 20000kN·m 超高能级强夯处理试验研究 259

【实录 16】高填方分层压实技术在“削峰填谷”山地城市空间拓展中的应用 267

【实录 17】延安煤油气资源综合利用项目场地形成与地基处理工程 278

【实录 18】浙江温州泰顺县茶文化城 18000kN·m 高能级强夯地基处理项目 292

【实录 19】抚顺石化化工新区高填方地基处理工程 301

【实录 20】中国石油庆阳石化 300 万吨/年炼油厂改扩建项目高能级强夯处理湿陷性黄土地基工程 307

【实录 21】大连石化新港原油罐区北库区山区非均匀回填地基 15000kN·m 强夯处理工程 317

【实录 22】内蒙古大唐国际克旗煤制气场地粉细砂土地基处理工程 324

【实录 23】安庆石化炼油新区地基处理工程 332

【实录 24】华润电力焦作有限公司 2×660MW 超超临界燃煤机组场地 12000kN·m 强夯地基处理工程 341

【实录 25】神华集团榆神工业区厂区地基处理工程 349

【实录 26】中国石油云南 1000 万吨/年炼油项目场地开山回填黏性土地基处理关键技术研究与应用 368

【实录 27】安庆石化成品油管道工程首站场地形成与地基处理工程 384

【实录 28】南充联成化学高能级强夯置换复合工艺地基处理工程 394

第 4 篇 组合工艺处理软土地基 403

【实录 29】青岛海西湾造地与地基处理工程研究 411

【实录 30】高能级强夯联合堆载预压法在舟山外钓岛光汇油库陆域形成地基处理中的应用 426

【实录 31】高能级强夯预处理疏桩劲网复合地基方案在中化格力二期项目中的应用 437

【实录 32】南通海门滨海新区西安路北延伸段真空降水联合强夯处理工程 455

【实录 33】江苏盐城弗吉亚公司厂区管井降水联合低能级强夯处理工程 464

【实录 34】新型总装生产线建设项目地基处理工程 471

【实录 35】青岛海业摩科瑞油品罐区地基处理工程 480

【实录 36】惠州炼油二期 100 万吨/年乙烯工程储罐预成孔深层水下夯实法地基处理工程 486

参考文献 493

第 1 篇

高能级强夯工程实践与研究进展综述

