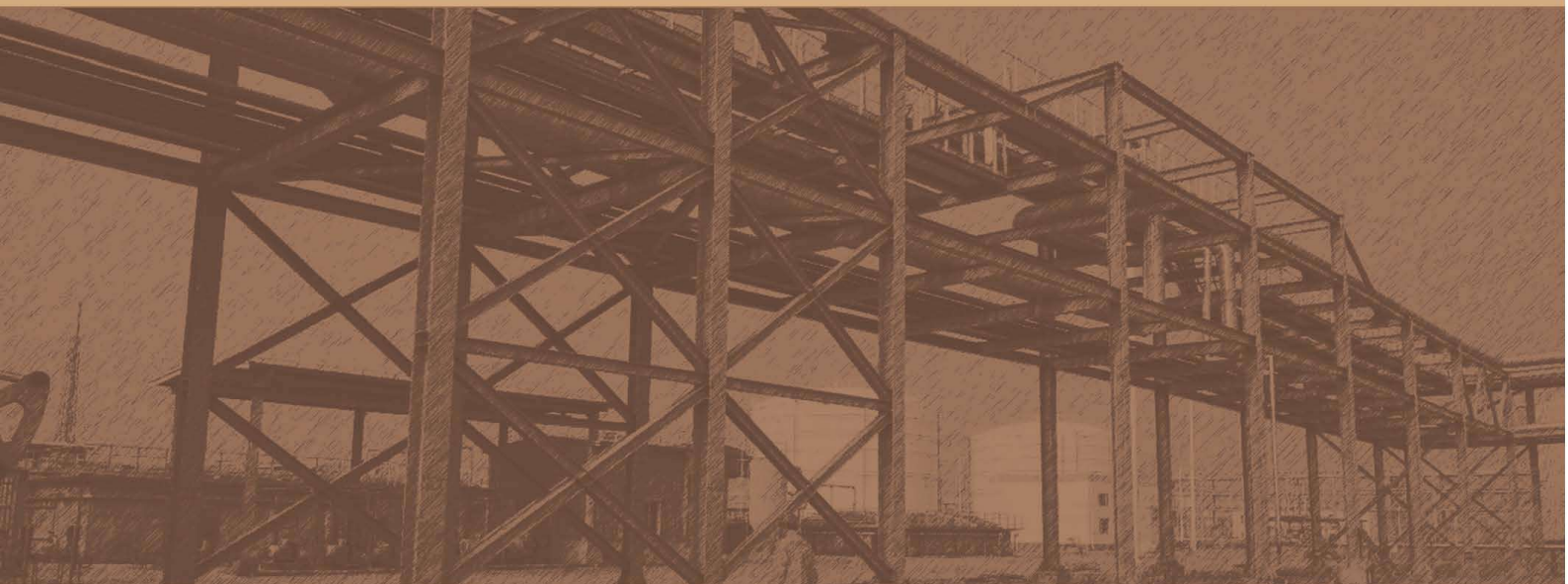


高压旋喷钢管混凝土桩加固处理深厚软土填石 复杂地基的应用研究

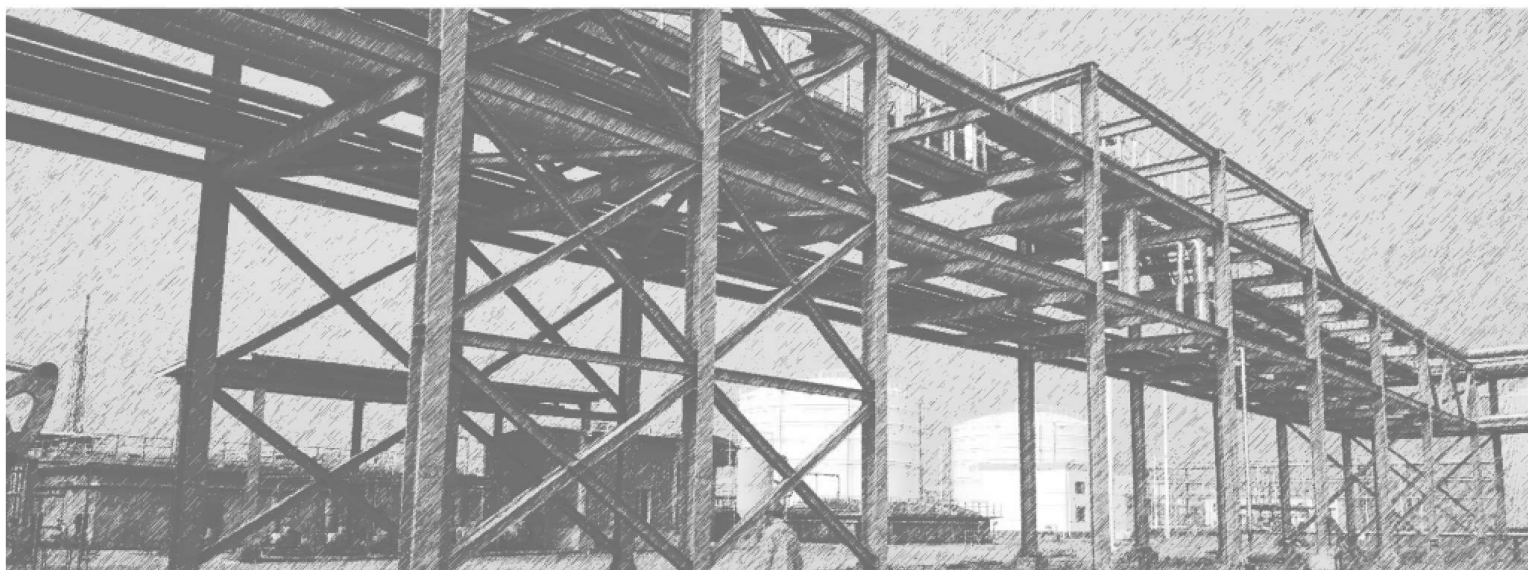
主编 戚玉亮



 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

高压旋喷钢管混凝土桩加固处理深厚软土填石 复杂地基的应用研究

主编 戚玉亮



 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

高压旋喷钢管混凝土桩加固处理深厚软土填石复杂地基的应用研究 / 戚玉亮主编. —上海: 同济大学出版社, 2020. 10

ISBN 978—7—5608—9454—6

I. ①高… II. ①戚… III. ①钢管混凝土桩—应用—软土地基—地基处理—研究 IV. ①TU471

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 161495 号

高压旋喷钢管混凝土桩加固处理深厚软土填石复杂地基的应用研究

主编 戚玉亮

责任编辑 胡晗欣 责任校对 徐逢乔 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
排 版 南京文脉图文设计制作有限公司
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 710 mm×960 mm 1/16
印 张 13.5
字 数 270 000
版 次 2020 年 10 月第 1 版 2020 年 12 月第 2 次印刷
书 号 ISBN 978—7—5608—9454—6

定 价 82.00 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序 一

戚玉亮博士长期致力于复杂地基加固处理研究,《高压旋喷钢管混凝土桩加固处理深厚软土填石复杂地基的应用研究》既是一项有针对性的地基处理技术研究,又是成功解决深厚软土填石复杂地基工程实际问题的独特工程实录。

针对沿海地区某深厚软土填石复杂地基沉降过大的问题,编者在反复比较了各类地基处理方案的基础上,巧妙地提出了采用高压旋喷钢管混凝土桩进行加固处理的独特方案并成功实践。首先,根据当地水文地质条件、早期软基处理的设计施工资料和长期监测数据,进一步通过现场调查、钻孔勘察以及物探检测等原位检测手段,对可能影响安全运营的重要病害区进行了深入的安全性评估。编者通过深刻分析软土欠固结情况、海水潮汐作用、水土流失和基础不均匀沉降等因素,对既有建(构)筑物基础的潜在危险性影响作出全面评价。编者又结合厂区既有建(构)筑物的特点,在反复比较各类地基处理方案后提出了高压旋喷钢管混凝土复合桩整体加固既有基础的设计与处理方案。方案实施后,通过工程实际应用和沉降监测,充分验证了该加固治理方案的可行性和合理性。

地基基础学科作为应用技术研究领域,任何创新都必须依靠实际工程应用来支撑。本书所提出的深厚软土填石复杂地基的设计与处理方案以及施工工艺,通过重大工程项目的实践应用检验,取得了较为显著的加固处理效果,从而保证了既有建(构)筑物的可靠使用和生产的正常运行,有效地降低了工程成本,同时缩短了工期。

本书是戚玉亮博士及其研究团队通过理论研究和工程实践,在沿海地区深厚软土填石复杂地基加固工程领域针对实际问题取得的创新性和实用性科研成果,可供沿海地区深厚软土填石复杂地基加固处理工程所借鉴。



2020年8月8日于北京

序 二

《高压旋喷钢管混凝土桩加固处理深厚软土填石复杂地基的应用研究》是一本理论联系工程实践,力求解决工程实际问题的专业性著作。

本书基于沿海实际工程病害区的水文地质报告 and 安全性风险评估报告,通过理论分析、室内模型试验、现场原型试验研究,同时与病害治理点的实际情况相结合,提出了高压旋喷钢管混凝土组合桩整体加固既有建筑地基基础的处理方法,并在实际病害治理中验证了其可靠性与经济性。此方法可有效解决深厚软土填石地基欠固结所造成的病害,具有一定的实用价值和应用前景,对工程界同行具有直接的指导意义。

本书内容丰富翔实,所提研究思路、方法、技术路线和实施步骤清晰明确,取得了较好的地基加固处理效果,并形成论文、专利、工法和高新技术产品等创新性成果。该书不仅对既有建筑地基基础加固技术起到积极的推动作用,而且能进一步促进地基处理技术的不断发展。



2020年8月11日于建工大厦

前 言

本书针对沿海地区某深厚淤泥质软土抛填石工程场地,既有建(构)筑物地基基础长期不均匀沉降严重的问题,在充分考虑周围场地条件,结合抛填石层、深厚软土层各自特征,满足加固处理要求的前提下,提出了一种上部为钢管桩下接高压旋喷桩支承于下覆岩层的组合桩型。通过理论分析、室内模型试验、现场静载荷试验、数值模拟计算以及工程实例,采用高压旋喷钢管混凝土桩对既有建筑下深厚软土抛填石工程场地进行加固处理,具有一定的合理性、可行性和创新性,可为同类型工程提供一定借鉴和参考。

本书编撰工作得以顺利进行,衷心感谢中海油能源发展股份有限公司、广州市建筑集团有限公司、广州建筑产业研究院有限公司、广州市建筑科学研究院有限公司、广东省地质局珠海工程勘察院有限公司、华南理工大学、广州大学、上海申元岩土工程有限公司等单位 and 专家给予的大力支持和帮助。广州建筑产业研究院有限公司的胡玉芬、陈帅光、李鹏、周裕利、黄竹纯、谢合舜、梁松燕、赵倩、王光谱、刘宁、黄柯柯、张国焰、戴淑丹和刘馨媛,广州市建筑科学研究院胡贺松、周治国和苏键,以及广州大学林本海教授、骆干硕士、张龙云硕士和吴声扬硕士参与了本书的编辑、校对,唐孟雄、任乐民、吴才伍和苏建华任副主编,对全书进行审核,在此一并致以诚挚的谢意。

本书的撰写及出版得到了国家自然科学基金项目(51678171)、广东省应用型科技研发重大专项资金项目(2015B020238014)、广州市珠江科技新星项目(201610010099)的支持资助,在此致以十分诚挚的感谢!同时,也谨向本书所有参考文献作者和资料的提供者,表示最真挚的敬意和最衷心的感谢!

在本书组织编写过程中,主要以实际工程项目为依据,收集并参考了大量的文献资料,书中难免有疏漏与不足之处,衷心希望有关专家和同行批评指正。

编 者

2020年7月

Foreword

This book is targeting for solving the uneven-settlement problem for the existing-building's foundation on the dumped rockfill site for the deep mucky soft soil in coastal areas. Taking full consideration of the site condition and characteristics both dumped rockfill layer and deep mucky soft soil layer, a composite-pile type is developed to satisfy the strengthening requirement. The composite pile is composed of two parts: the steel-pipe pile on the top and the high-pressure jet-grouting pile on the bottom, and it is supported on the underlying bedrock. Research has been carried out by different ways such as: theoretical analysis, indoor mock-up testing, site static-loading testing, computer simulation and engineering practice. For the condition of dumped rock fill site of the deep mucky soft soil, it has been confirmed to be a reasonable, practicable and innovative method to strength the existing-building's foundation by using the composite pile of high-pressure jet grouting pile and steel-pipe pile. The solution is recommended for similar projects and conditions.

We would like to thank for the great support and the assistance for the below companies and institutes:

- CNOOC Energy Technology & Services Limited,
- Guangzhou Municipal Construction Co., Ltd,
- Guangzhou Research Institution of Construction Industry Co., Ltd,
- Guangzhou Institute of Building Science Co., Ltd,
- Guangdong Zhuhai Engineering Survey Institute,
- South China University of Technology,
- Guangzhou University.

Great thanks to the associate chief editors: Mr. Tang Mengxiong, Mr. Ren Leming, Mr. Wu Caiwu and Mr. Su Jianhua, they have devoted a lot to audit

the book. And we also like to thank for the following people for their time and effort, which contribute a lot to the book. They are:

- Hu Yufen, Chen Shuaiguang, Li Peng, Zhou Yuli, Huang Zhuchun, Xie Heshun, Liang Songyan, Zhao Qian, Wang Guangpu, Liu Ning , Huang Keke, Zhang Guoyan, Dai Shudan and Liu Xinyuan from Guangzhou Research Institution of Construction Industry Co., Ltd,
- Hu Hesong, Zhou Zhiguo and Su Jian from Guangzhou Institute of Building Science Co., Ltd,
- Professor Lin Benhai, Master Luo Gan, Master Zhang Longyun and Master Wu Shengyang of Guangzhou University.

This book is supported and funded by the foundations listed below:

- Major special fund of Guangdong provincial applied science and technology research and development project (2015B0238014),
- Guangzhou pearl-river science and technology new star project (201610010099).

Finally, We would like to thank for all the participants in the book for their hardworking.

During the compiling process, our major bases are real projects. Though we have collected lots of literatures as referrals, there may still exist some inevitably omissions and defects. All the comments, advices and suggestions are welcomed from all professionals.

Editor
July, 2020

目 录

序一

序二

前言

Foreword

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 软土地基加固研究进展	2
1.2.1 挤密或振密	2
1.2.2 排水固结法	3
1.2.3 复合地基加固处理方法	6
1.2.4 几种加固处理方法综合使用	9
1.3 本章小结	15
第 2 章 工程区域水文地质条件	16
2.1 珠海地区的环境特点	16
2.2 工程地质勘察分析研究	17
2.2.1 初步勘察	17
2.2.2 详细勘察	19
2.2.3 补充勘察	25
2.3 本章小结	28
第 3 章 工程区域安全风险评估	30
3.1 施工时间轴线分析	30
3.2 厂区地基处理	31

3.2.1	地基处理的目标和要求	31
3.2.2	各分区地基处理设计	31
3.2.3	场地地基处理分区	36
3.3	主体结构和施工介绍	39
3.3.1	污水处理厂区域	39
3.3.2	凝析油装置区域	40
3.3.3	芳烃抽提装置区域	41
3.4	地质雷达结合高密度面波探测	44
3.4.1	探地雷达	44
3.4.2	高密度面波勘探	45
3.4.3	实施方案	48
3.4.4	物探成果	52
3.5	沉降稳定安全性判定依据及范围	61
3.6	沉降差安全性判定依据及范围	63
3.7	倾斜安全性判定依据及范围	66
3.8	整体安全性判定依据及范围	69
3.9	监测数据分析及安全性分析	71
3.9.1	监测数据合理性判定	71
3.9.2	监测数据分析	72
3.9.3	不满足规范的设施和装置判定	75
3.10	无桩基础区域沉降稳定性分析	76
3.10.1	总沉降计算	76
3.10.2	现状固结度推算及后期沉降量估算	78
3.10.3	监测数据拟合固结曲线及后期沉降推算	80
3.10.4	项目各区域安全性分析	86
3.11	有管桩基础区域基础承载稳定性分析	89
3.11.1	台风荷载引起的弯矩计算分析	89
3.11.2	倾斜引起的弯矩计算分析	94
3.11.3	考虑负摩阻力的桩承载力	95
3.11.4	考虑不利作用的综合桩基础承载力	98
3.11.5	考虑综合不利作用下桩承载力特征值的验算	100
3.11.6	项目各区域安全性分析	101

3.12	本章小结	103
第 4 章	地基加固处理方案选型分析研究	110
4.1	既有基础加固原则	110
4.2	加固方法的比选	111
4.2.1	深层搅拌桩	111
4.2.2	预应力管桩	112
4.2.3	异形变截面桩	113
4.2.4	加芯水泥土搅拌桩	114
4.2.5	高压旋喷钢管混凝土桩	115
4.3	对比分析	116
4.4	本章小结	117
第 5 章	高压旋喷钢管混凝土桩承载特性及试验研究	119
5.1	高压旋喷钢管混凝土桩承载特性理论分析	119
5.1.1	竖向抗压桩的荷载传递机理	120
5.1.2	竖向抗压桩的桩基沉降计算	122
5.1.3	高压旋喷钢管混凝土桩桩基理论	129
5.2	现场试验研究	134
5.2.1	试验目的	134
5.2.2	试验依据	134
5.2.3	检测数量	135
5.2.4	试验加载装置	135
5.2.5	试验加载方法和沉降观测	135
5.2.6	受检桩情况	136
5.2.7	试验结果及分析	136
5.3	室内缩尺模型试验	138
5.3.1	试验装置	138
5.3.2	模型桩制作	141
5.3.3	模型桩试验方案	145
5.3.4	模型试验分析	147
5.4	本章小结	158

第 6 章 高压旋喷钢管混凝土桩施工工艺研究	159
6.1 高压旋喷钢管混凝土桩施工	159
6.1.1 施工准备	159
6.1.2 高压旋喷桩施工	163
6.1.3 钢管桩施工	166
6.2 植筋补强施工	168
6.2.1 施工工艺	168
6.2.2 钢筋混凝土工程(新增承台)施工	169
6.3 实际工程应用案例	172
6.3.1 加固设计	173
6.3.2 4 [#] 管廊现场施工	173
6.4 本章小结	179
第 7 章 工后沉降的自动化监测系统	180
7.1 监测目的	180
7.2 依据标准和规范	181
7.3 监测方法及原理	181
7.4 监测设备	182
7.5 测点布置	183
7.6 数据反馈	191
7.7 沉降稳定性评价原则	192
7.8 沉降稳定性评价方法	192
7.9 4 [#] 管廊稳定性评价分析	192
7.10 本章小结	195
第 8 章 地基加固处理后沉降规律分析研究	196
8.1 现场试验数值模拟分析	196
8.2 地基加固处理数值模拟分析	197
8.3 本章小结	199
第 9 章 结论	200
参考文献	202

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

珠江三角洲地区存在大量的软土层,多是深度达 20~60 m 的淤泥或淤泥质土,多层分布且厚度不均,类型多、成因复杂。由于这些软土地区经济发达,市场活跃,为了满足生产生活需求,出现大量的基建项目。软土一般具有天然含水率高、孔隙比大、沉降速度慢、固结时间长、含有机质等特点,因此,其工程性质差(“三高”:高压缩性、高含水率、高黏粒含量;“两低”:低强度、低透水性)。将软土作为地基,其固结会产生很大的沉降,且沉降时间延长,剪切变形会产生差异沉降。因而在对软土地基进行加固处理时,若设计或施工的加固处理方法不当,很容易造成第二次沉降,从而对地基上部的建筑工程设施造成不良的影响,其使用功能也大大降低。既有建筑物下深厚软土地基存在的一些工程问题,如沉降过大、承载力不足等问题,需选用更为合适的加固处理方法。

图 1-1 为本书拟研究加固处理的滩涂填海造地抛石填土地块,在装置前期土建施工中,已对预防地基沉降进行处理,包括增强构筑物及基础的刚度,采用强夯和堆载预压等方法对地基进行预处理。然而,由于深厚淤泥质软土地基承载能力弱,填石层压实度不足,加上复杂的地质构造,海洋的潮汐作用,以及上部各类构筑物的荷载分布不均匀,造成了地基差异沉降,出现了构筑物开裂、倾斜或损坏,地管撕裂,地坪凹凸,墙体渗水开裂,支撑悬空,法兰泄露等。如液化气泵房和 4[#]管廊(火炬放空、污水管线)均是复合地基,由于地基下沉严重,对人身和装置财产安全都造成了隐患,已严重影响工厂的安全运行。为此,本书提出微型钢管混凝土桩加固技术,借以解决厂区既有建筑物下面深厚淤泥质软土填石地基不均匀沉降的问题,控制管廊下部地基基础的过大沉降,确保装置平稳安全运行,消除非计划停工带来的经济损失。采用高压旋喷注浆加固底部淤泥质软土,在其上部叠加微型钢管混凝土桩,从而形成创新性的高压旋喷微型钢管混凝土桩的独立桩基(而非复合地基的思路)加固治理方法。从加固强化软土力学特

性、提高地基承载力、减少地基沉降三个方面进行地基工程加固,达到减少管廊地基基础沉降的目的,确保上部装置安全稳定运行。



图 1-1 项目场地位置

1.2 软土地基加固研究进展

目前,我国岩土工程界最活跃的领域是地基处理技术的发展,体现出了日新月异的局面。在实际的工程问题中,依据地质与外界条件的不同,采用因地制宜的软土地基处理方案。总结我国地基工程技术的经验,对地基的处理方法主要包括以下三种。

1.2.1 挤密或振密

挤密或振密是采用爆破、夯实、挤压和振动等方法,使土体密实、土体抗剪强度提高、压缩性减小。主要包括强夯法和强夯置换法两种。

1. 强夯法

目前,强夯法根据其加固机理的不同可以分为动力密实、动力固结和动力置换三种方法。

强夯法是法国 Menard 技术公司于 1969 年首创的一种地基加固方法,指的是为了提高软弱地基的承载力,用重锤自一定高度下落,利用重锤自由下落的强

大冲击所产生的能量反复夯击地基土,压缩夯面以下一定深度的土层。通过降低土的压缩性、改变土粒结构、消除黄土的湿陷性,以提高地基的承载力和土的稳定性的。同时夯击能还可减少土层的差异性沉降,提高土层的均匀性。夯实时产生巨大的能量,可加固深度也大。在深厚软土地基加固时,强夯法也有良好的效果。对于淤泥质黏性土,其天然含水率高,渗透性差,黏粒含量高,单独采用强夯法加固,取得效果不理想,存在强夯后承载力降低的可能性。而在饱和软土中打入挤密碎石桩、砂桩,可以形成竖向的排水通道,解决地下排水和超孔隙水消散的问题。

2. 强夯置换法

强夯置换法是在强夯法的基础上发展起来的一种新的地基处理方法,它的加固机理与强夯法不同,利用重锤下落产生巨大的冲击能将碎石、片石、矿渣等性能较好的材料挤入地基中,在地基中形成墩体,墩体与碎石垫层形成复合地基,共同承担上部荷载,提高地基承载力,减少沉降。这些材料的透水性好,通过消散土体的孔隙水压力而产生固结。常用的强夯置换加固软土地基的方法有以下几种。

(1) 挤密碎石桩加夯法:用振动或冲击将圆形桩管打入土中,然后向其中回填素土、灰土、石灰土、水泥土等材料并夯实,形成直径增大的桩体,与原地基形成复合地基。

(2) 砂桩加夯法:主要用作地基排水,强夯的效果弱于挤密碎石桩加夯法,在厂区地基预处理时用得较多。

(3) 真空/堆载预压加强夯法:此方法造价低,但耗时长,加固后的地基承载力较弱。如果采用该方法,需要在软土地基中加袋装砂井和一定厚度的碎石桩,并予以小能量夯击土层,减少沉降,达到提高地基承载力的目的。

(4) 强夯碎石墩法:软土地基加固中,通过改变夯锤平底面为锥形底面,缩小夯锤的半径,通过夯击形成锥状夯坑,边拔出边向坑内填入碎石,不断夯击形成承载力较大的碎石墩,有着加固和置换的效果。

1.2.2 排水固结法

排水固结法因其施工简便、造价低而被技术人员广泛应用于处理软土地基。为了达到更好的效果,在施工之前应先堆载适当的荷载对场地进行改造。在深厚软土地基加固时,需要在地基中插入竖向的排水设施,构成的管道排水体系能较好地在地基内部多余的水分排出。排水固结能避免地基的过大沉降,延长地基的使用年限。竖向排水设施通常为袋装砂井或塑料排水板等,并配合砂垫层,

通过增加孔隙水的排出途径,使固结的时间大大缩短。在软土地基上分级堆加荷载,使软土逐渐固结。在减少地基沉降的同时增加地基土的抗剪强度,提高其承载力和稳定性,常用于解决深厚软土地基沉降问题。

排水固结法地基处理工艺主要包括堆载预压、真空预压、真空联合堆载预压等,适用于沿海地带填海造陆的淤泥质土、淤泥和冲填土等饱和黏性土地基处理工程。其中真空预压或真空联合堆载预压处理效果更好,但当加固区临近既有建筑物或其他敏感点时应慎重研究,设置监测点,并采取必要的隔离措施,同时实际工程中排水体井阻和涂抹作用对固结速率有较显著的影响,排水体加固长度一般不超过 25 m。

1. 袋装砂井

袋装砂井所用的装砂的袋子由长链聚合物如聚丙烯、聚乙烯等编制而成,将散体砂装入其中,细长袋子置于软土中。由于这种袋子具有耐腐蚀、取材广、价格低廉、对人体无害等特点而应用普遍。袋装砂井具有直径小的特点,一般采用 7 cm 直径,大于 0.5 mm 的颗粒含量占总量的一半以上。砂的用量较少,连续性好,施工简便,施工设备较轻,因为材料特性,在打设砂井时效率明显提高。与普通的粉喷桩、管桩、水泥搅拌桩相比,其造价低廉,施工简易,因而在工程界被广泛应用。

2. 塑料排水板

塑料排水板通常由芯板和滤套组成。芯板抗拉强度大,有多孔管道,由聚乙烯或聚丙烯加工而成。由于地下土体具有腐蚀性,土体固结过程中存在变形,因此排水板要有足够的抗腐蚀性和柔性,且排水能力不低于 $30 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。滤套由无纺布制成,具有隔离土粒渗透的功能。塑料排水板的排水固结效果好,具有稳定的质量、高效率以及低价格等优点。3~4 cm 厚的塑料排水板与 7 cm 的袋装砂井排水效果基本相同。对于地质特殊的如含水率较高的软土地区,铺预应力土工布效果很好。它能减少地基沉降,增强地基稳定性,为了提高地基的抗剪能力,还可以铺加土工格栅。

国内对于软土地基的处理方法有超载预压法、堆载预压法、排水板竖向排水法和深层搅拌法等。堆载预压法是一种比较经济有效的处理方法,这种方法主要在工程前期使用,避免工程出现沉降率无法达到标准的情况,但耗时长,对于工期紧迫的工程不宜使用。排水板竖向排水法可以加速软土地基排水以及提高地基承载力,它是运用人为手段在软土中制作一个渗水通道。深层搅拌法是使用专用机器在深度和范围较大的软土和水泥、石灰中充分搅和,最终形成高强度

的桩体和软土复合地基。这种方法可以减少地基沉降及提高地基承载力,同时,可以使土的压缩性减小,水泥的固化时间变短,最终在很短的时间内有很好的地基加固效果;但是这种方法对资金的需求较高,比较适用于工期紧张或对沉降率要求高的工程。相关工作人员在软土地基方案的选择时,应依据地区水土、材料、地质和施工环境以及施工条件进行深入研究,根据相关技术与经济因素确定方案。

3. 覆重式加固

覆重式加固是一种置换的方法,将边坡表层力学性质差的软土替换为内摩擦角和黏聚力都很大的硬土,一层硬壳置于软土地基表层,对减少地基的变形起到很好的保护作用。这种新型加固方法的示意如图 1-2 所示,浅灰色代表加固区域,深灰色区域是开挖掉的部分。

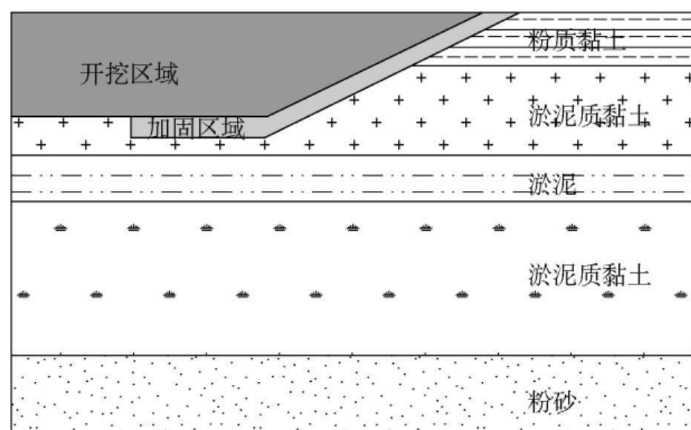


图 1-2 覆重式加固示意

4. 真空预压法

真空预压法是在总压力不变的情况下,通过降低孔隙水的压力、增加有效应力的方法来加固软土地基。真空预压加固软土地基的原理如图 1-3 所示,在抽真空前,地基处于天然固结状态;抽真空后,膜外的大气压力大于膜内的压力,此压力差在工程上称作“真空度”。压力差值作用在垫层和排水通道上,从而产生渗流,孔隙水压力逐渐降低,而有效应力不断增大。在加固软土地基时,真空预压法与堆载预压法相比,除了侧向变形方向不同外,土体固结特性没有本质的差异,都符合负压下固结理论。

5. 真空联合堆载预压

真空联合堆载预压是将真空预压与堆载预压两种处理方法联合使用,同时发挥各自的优势,加快软土地基的固结。真空联合堆载预压的有效应力是由其