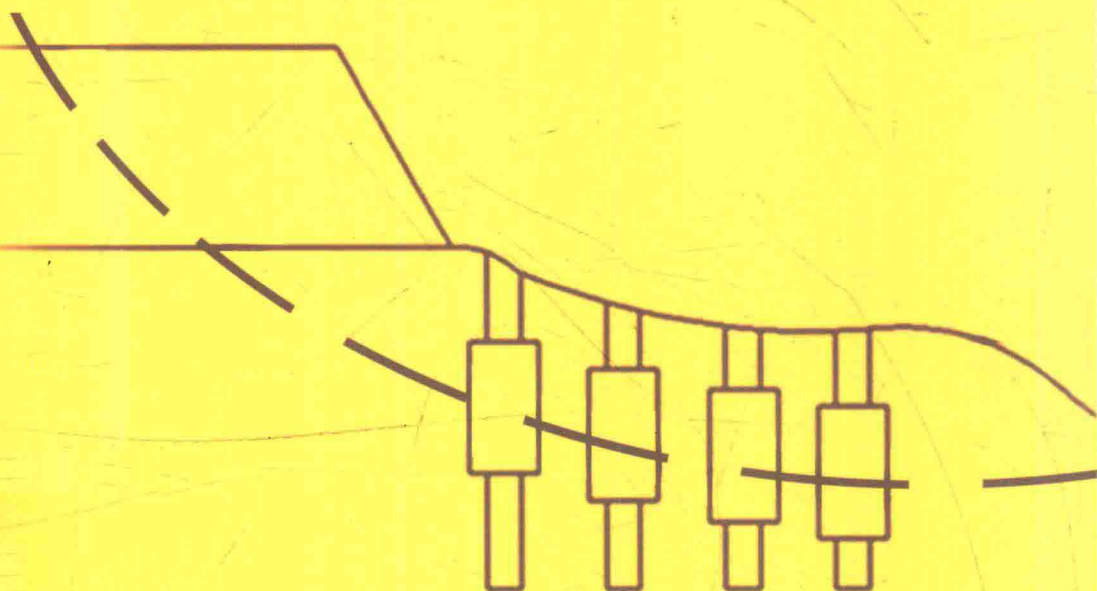


Innovative Deep Mixing Method
—Theory and Technology

新型搅拌桩复合地基 理论与技术

刘松玉◎等著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

新型搅拌桩复合地基理论与技术

刘松玉 等著

东南大学出版社
南京

内容提要

搅拌桩是软基处理的主要技术之一。作者针对常规搅拌桩工程实践中存在的问题进行了深入系统的研究与创新,发明了双向搅拌桩、钉形搅拌桩、排水粉喷桩复合地基系列新技术,对这些新技术进行了系统的理论研究与工程应用,形成了成套的创新技术。

本书内容包括:绪论,双向搅拌桩技术原理,双向湿喷桩施工技术与工程应用,双向粉喷桩施工技术与工程应用,钉形搅拌桩原理与施工技术,钉形搅拌桩复合地基承载特性研究,钉形搅拌桩复合地基沉降变形特性与设计方法,钉形搅拌桩加固软土地基工程应用,排水粉喷桩复合地基原理与工程应用。

本书可供土木交通行业岩土工程领域的科学技术人员参考,也可作为高等院校相关专业研究生和本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型搅拌桩复合地基理论与技术/刘松玉等著.

南京:东南大学出版社,2014.12

ISBN 978-7-5641-5450-9

I. ①新… II. ①刘… III. ①软土地基—地基处理
IV. ①TU471.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 310080 号

新型搅拌桩复合地基理论与技术

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京市四牌楼 2 号 邮编 210096
出 版 人 江建中
网 址 <http://www.seupress.com>
经 销 全国各地新华书店
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16
印 张 17.75
字 数 328 千字
版 次 2014 年 12 月第 1 版
印 次 2014 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-5450-9
定 价 50.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

序 言

软土地基在我国东南沿海和内陆河流湖泊流域等经济发达地区广泛分布,其强度低、沉降变形大、稳定性差,软土地基加固处理是城市建设、轨道交通、高速公路、铁路、机场、市政工程等土木工程建设领域面临的重大技术问题。我国自 1978 年引进水泥搅拌桩技术以来,在全国工程建设领域地基处理工程中得到了大量推广应用,成为最广泛的软土地基处理技术之一,形成了技术规范和规程。但我国传统搅拌桩技术存在下列主要问题:成桩质量不稳定、处理效果不稳定、桩身强度偏低、加固深度有限、施工自动化控制程度低、环境影响大、造价和管理成本高等;另一方面,传统搅拌桩复合地基技术,桩土变形协调不够,需在顶部设置垫层,导致工程造价增高。这些技术问题常导致软土地区工程工后沉降变形大、开裂、边坡失稳、突然垮塌等工程问题,并且后期维护成本高甚至影响正常运营。

本书作者针对上述问题,根据软土固化机理和复合地基应力传递与承载最优化原理,对国内外广泛应用的传统搅拌桩复合地基技术进行根本变革,创造性地提出了双向对称搅拌原理、变置换率复合地基原理和基于气压劈裂原理的复合地基技术,发明了双向搅拌桩、钉形搅拌桩和排水粉喷桩系列新技术和施工机械,形成了国家一级工法,已在我国各类软土地基工程中得到了推广应用。钉形与双向搅拌桩技术能保证搅拌桩竖向和水平向全面均匀,同等条件下桩身强度和处理深度比传统搅拌桩大大提高,且施工工效是原来的两倍;钉形和变截面搅拌桩桩土锚固协调变形一致、成层分布软土加固最优化,且可加大桩间距;排水粉喷桩技术可用于加固高含水量的超软土,并可加大有效加固深度和桩间距。这些创新技术可显著降低工程造价并有效减少环境扰动影响。该系列成果获得了 2012 年国家技术发明二等奖。

本书系统介绍了双向搅拌桩、钉形搅拌桩和排水粉喷桩复合地基新技术,包括基本原理、施工技术、设计计算方法和质量控制等,并详细介绍了工程应用实例。

本书是在三篇博士论文和多项科研应用成果基础上,由刘松玉组织课题组主要成员编写,并由刘松玉负责统稿完成。具体编写人:第1、2章(刘松玉,章定文),第3章(朱志铎),第4章(杜广印,刘松玉),第5章(刘松玉,易耀林),第6、7章(易耀林,刘松玉),第8章(刘松玉,易耀林),第9章(章定文)。研究生王康达为协助本书统稿做了大量工作。本系列技术研究过程中,课题组其他成员经绯副教授、刘志彬副教授、邓永峰教授、杜延军教授、洪振舜教授、蔡国军副教授、童立元副教授、苏州大学陈蕾副教授、安徽建筑大学席培胜教授、山东科技大学吴燕开副教授、储海岩工程师、宫能和工程师、刘锦平工程师、冯锦林工程师等,为设备研发和工程应用做出了贡献。本技术研发得到国家自然科学基金项目(50879011, 51279032)、国家“十二五”科技支撑项目(2012BAJ01B02-01)和多项江苏交通科技项目的资助,并得到很多领导及工程技术人员的帮助,在此一并表示衷心的感谢!

搅拌桩处理技术自研究成功以来一直处于快速发展之中,近年来搅拌桩施工设备的智能化,应用领域向环境、海洋工程领域的拓展,采用低能耗绿色环保固化剂等是搅拌桩技术新的发展趋势。希望本书出版能对我国搅拌桩技术的发展起到推动作用,为提高我国地基处理和工程建设技术水平做出贡献。

由于笔者水平有限,书中错误在所难免,欢迎广大读者不吝赐教!

刘松玉

2014. 12. 8

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 搅拌桩技术发展	1
1.2 搅拌桩适用范围	4
1.3 国内外搅拌桩新技术	15
第 2 章 双向搅拌桩技术原理	27
2.1 双向搅拌桩技术原理	27
2.2 双向搅拌桩机施工参数分析	29
2.3 双向搅拌桩施工扰动分析	37
2.4 双向搅拌桩均匀性的电阻率评价	49
第 3 章 双向湿喷桩施工技术与工程应用	63
3.1 双向湿喷桩施工设备与工艺	63
3.2 双向湿喷桩施工质量控制	65
3.3 双向湿喷桩加固冲湖积相软土工程应用	68
第 4 章 双向粉喷桩施工技术与工程应用	83
4.1 常规粉喷桩技术局限	83
4.2 粉喷桩“下沉”原因分析	86
4.3 双向粉喷桩施工技术	90
4.4 双向粉喷桩施工扰动试验研究	94
4.5 双向粉喷桩加固海相软土工程应用	104
第 5 章 钉形搅拌桩原理与施工技术	116
5.1 钉形搅拌桩技术原理	116
5.2 钉形搅拌桩施工技术	118
5.3 钉形搅拌桩技术特点	121

第 6 章 钉形搅拌桩复合地基承载特性研究	127
6.1 钉形搅拌桩复合地基承载特性室内模型试验	127
6.2 钉形搅拌桩复合地基承载特性现场试验	140
6.3 钉形搅拌桩复合地基承载特性数值模拟	147
6.4 钉形搅拌桩承载力计算	164
6.5 钉形搅拌桩复合地基承载力计算	166
第 7 章 钉形搅拌桩复合地基沉降变形特性与设计方法	169
7.1 钉形搅拌桩复合地基沉降特性数值模拟	169
7.2 复合地基沉降计算方法	178
7.3 成层复合地基固结计算方法	189
7.4 钉形搅拌桩复合地基设计方法	211
第 8 章 钉形搅拌桩加固软土地基工程应用	216
8.1 工程应用概况	216
8.2 现场地质条件	217
8.3 软基加固方案设计	218
8.4 搅拌桩桩身质量检测	221
8.5 加固效果分析	222
第 9 章 排水粉喷桩复合地基原理与工程应用	231
9.1 排水粉喷桩复合地基原理	231
9.2 排水粉喷桩复合地基设计方法	235
9.3 排水粉喷桩施工工艺	249
9.4 排水粉喷桩复合地基加固软土工程应用	254
参考文献	270

第 1 章 绪 论

1.1 搅拌桩技术发展

软土地基在我国东南沿海和内陆河流湖泊流域等经济发达地区分布广泛,其强度低、沉降变形大、稳定性差。软土地基的加固处理是城市建设、轨道交通、高速公路、铁路、机场、市政工程等土木工程建设领域面临的重大技术问题。

现有地基处理技术可以分为置换法、排水固结法、挤密法、化学加固法、复合地基法、加筋法等,其中搅拌桩复合地基是加固软土地基最广泛的方法之一^[1-2]。

搅拌桩是通过专用的施工机械,将水泥、石灰等粉体(或浆液)加固材料喷入地基中,凭借钻头叶片的旋转将加固料与原位地基土强制搅拌并得到充分混合,使地基土和加固料之间发生固结、水化等一系列反应,从而使软黏土硬结,在短期内形成具有整体性强、水稳性好和足够强度的柱体。由水泥与软土搅拌形成的固结体在我国统称为水泥土搅拌桩。但由于历史原因和使用习惯,将用水泥浆与软土搅拌形成的柱状固结体称为浆喷桩(又称为湿法搅拌桩,CDM 法);将用水泥粉体与软土搅拌形成的柱状固结体称为粉体喷射搅拌桩,简称粉喷桩(又称为干法搅拌桩,DJM 法)。

搅拌桩的发展历史可追溯到 1824 年英国人阿斯皮琴制造出硅酸盐水泥并取得专利,利用水泥灌浆止水,使水泥和土拌合作为土木工程材料在工程中得到了应用,但主要是作为浅层处理。美国 IP 公司(Intrusion Prepakt Inc.)1950 年代中期研制开发成功就地搅拌桩(Mixed-in-Place, MIP)技术,以处理深部软土,即从不断回转的、中空轴的端部向周围已被搅松的土中喷出水泥浆,经翼片的搅拌而形成水泥土桩,桩径 0.3~0.4 m,长度 10~12 m。

粉体喷射搅拌桩则是于 20 世纪 60 年代后期,由瑞典和日本分别提出、开发、推广和应用。1967 年瑞典工程师 Kjeld Paus 提出使用石灰搅拌桩加固 15 m 深度范围内的软土地基的设想,并于 1971 年在现场制成一根用生石灰和软土拌成的搅拌桩,次年在瑞典岩土工程研究所的试验场地进行了石灰搅拌桩的载荷试验,1974 年在瑞典首都斯德哥尔摩以南约 10 km 处的呼定(Hudding)用石灰粉体搅拌桩作为路堤和深基坑边坡稳定措施。瑞典 Linden-Alimak 公司还制造出专用的粉体搅拌施工机械,桩径可达 0.5 m,最大加固深度 10~15 m。后来,粉喷桩在北欧

(Scandinavia)地区推广使用,并且固化剂由最初的纯石灰发展到“石灰+水泥”,以及“水泥+其他工业废料”等。北欧地区最常用的粉喷桩施工机械是单搅拌轴,桩体直径为 0.5~1.2 m(多为 0.6~1.0 m),最大加固深度达到了 30 m,典型的施工机械如图 1-1 所示^[3]。



图 1-1 北欧地区最常用的粉喷桩施工机械(Holm G., 2003)

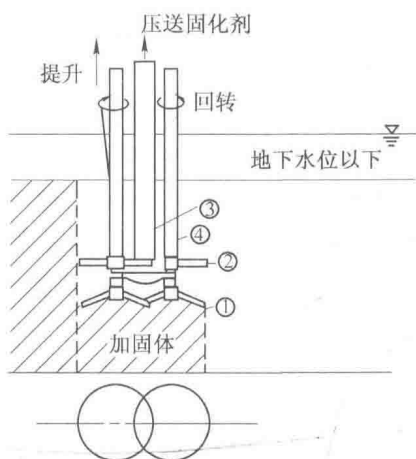


图 1-2 DLM 法的施工原理

- ①、②—搅拌翼片;③—固化剂输出口;
④—搅拌轴

1968 年日本港湾技术研究所(PHRI)参照 MIP 工法的特点,开始研制石灰搅拌施工机械,分别研制成了两类石灰搅拌机械,形成两种施工方法:一类为使用颗粒状生石灰的深层石灰搅拌法(DLM 法);另一类为使用生石灰粉末的粉体喷射搅拌法(DJM 法)。

所谓 DLM 法,是一种以生石灰为固化剂的施工方法,日本第一个工程应用项目是 1974 年由 FUDO 建筑公司实施完成的。其施工原理如图 1-2 所示,由两根带有旋转翼片的回转轴及在其中间部位兼作导向柱的固化剂输入管组成,固化剂从两个搅拌面的交叉部位输入地层中。通常形成如图 1-2 所示的两个圆叠合形状断面的双柱状加固体。

粉体喷射搅拌法(DJM),作为日本建设省

综合开发计划中有关“地基加固新技术开发”的一部分,是以建设省土木研究所(施工技术研究室)和日本建设机械化协会(建设机械化研究所)为中心,在1977年至1979年所开发的专项技术。开发了在土中分离加固材料与空气以及排出空气的技术,使工法达到了实用化。DJM法采用了压缩空气连续通过钻杆向土中喷射水泥粉的技术,其搅拌喷射头如图1-3。日本搅拌机械有单轴和双轴两种,最大加固深度达33 m。2002年8月,日本推出了标准的粉体喷射搅拌法(DJM)施工机械,如图1-4所示^[4]。该机械为双搅拌轴,每个轴有两层叶片,且装置在不同高度,搅拌叶片直径1 000 mm,最大加固深度达30 m。适用的土层条件为不排水抗剪强度小于70 kPa的黏性土和标准贯入击数小于15的砂土。如果施工作业面或者高度受到限制,可以采用单轴搅拌机。由于日本软土分布广泛,粉体喷射搅拌法(DJM)在日本的陆上工程建设中得到了广泛应用。

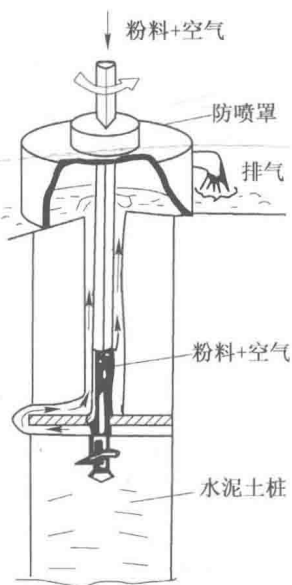


图1-3 日本粉喷搅拌喷射头

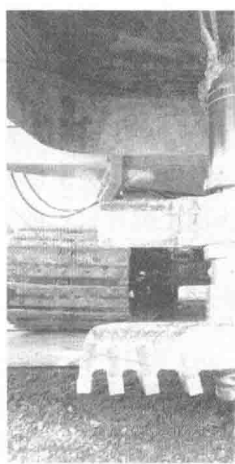
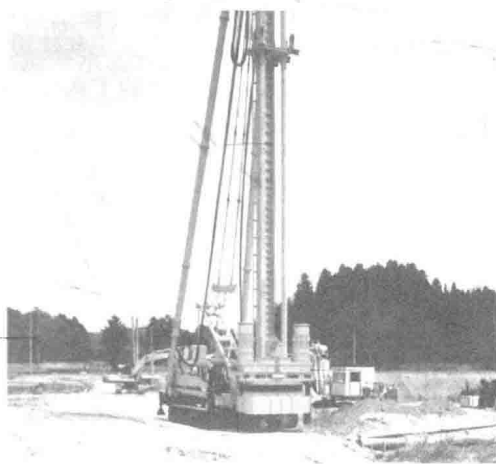


图1-4 日本陆上工程标准的DJM施工机械
(双轴,搅拌直径1.0 m,加固深度30 m)(Terashi M., 2003)

由于搅拌桩最大限度地利用原土,对软土的加固效果良好;施工过程中无振动、无污染,对周围环境及建筑物无不良影响,根据设计需要,可灵活地采用柱状、壁状、格栅状和块状等平面布置加固形式,在一定范围内根据需要,调整固化剂用量,得到固化土的不同强度,因此搅拌法加固软土地基技术在瑞典、芬兰、挪威、法

国、英国、联邦德国、美国、加拿大等国家得到了广泛应用。

我国于 1977 年由冶金部建筑研究总院和交通部水运规划设计院进行了室内试验和机械研制工作,于 1978 年制造出国内第一台双轴中心管输浆的搅拌机械。1980 年,天津机械施工公司与交通部第一航务工程局科研所对日本螺旋钻孔机械进行改装,开发了单轴搅拌和叶片输浆型搅拌机,水泥土搅拌桩在全国迅速得到了推广应用。

我国铁道部第四勘测设计院于 1983 年初开始进行石灰粉搅拌法加固软土的试验研究,并于 1984 年 7 月在广东省云浮硫铁矿铁路专用线上单孔 4.5 m 盖板箱涵软土地基加固工程中应用,使用的深层搅拌机是铁道部第四勘测设计院和上海探矿机械厂共同开发的单头 GPP-5 型桩机,桩径直径 500 mm,桩长 8 m,共打设了石灰搅拌桩 321 根。1985 年 4 月通过铁道部技术鉴定,建议逐步推广使用。后来相继在武昌和连云港用于下水道沟槽挡土墙和铁路涵洞软基加固,均获得良好效果。1988 年,铁道部第四勘测设计院与上海探矿厂联合研制成功 GPP-5 型粉体喷射搅拌机,并通过铁道部和地矿部联合鉴定后投入批量生产。以后铁道部武汉工程机械研究所和上海华杰科技开发公司也先后制造出既能喷粉又能喷浆,全液压步履式的 PH-5 和 GPY-16 型单轴粉喷桩机。

工程实践证明,搅拌桩是一种具有很大推广价值的软土地基加固技术,已广泛应用于铁路、高等级公路、市政工程、工业民用建筑等的地基处理中。冶金工业部颁发的《软土地基深层搅拌加固法技术规程》(YBJ 225—91),住房与城乡建设部颁发的《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)中均对水泥土搅拌桩的工程应用进行了较详细的规定^[5]。2013 年住房与城乡建设部颁发的《复合地基技术规范》(GB/T 50783—2012)也对深层搅拌桩复合地基技术进行了详细规定^[6],促进了该技术的应用发展。水泥土搅拌桩已成为我国目前应用最广泛的软土地基处理技术之一。

1.2 搅拌桩适用范围

1.2.1 适用土质

国外使用深层搅拌法加固的地基土有新吹填的超软土、沼泽地带的泥炭土、海洋相淤泥土等。我国一开始引进搅拌法技术时,亦用于处理淤泥及淤泥质土。我国关于搅拌法的第一本行业标准《软土地基深层搅拌加固法技术规程》(YBJ 225—91)和 1992 年 9 月 1 日开始施行的《建筑地基处理技术规范》中“深层搅拌法”部分,规定搅拌法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力标准值不大于 120 kPa 的黏性土。《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)规定搅拌法适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、素填土、黏性土、饱和黄土以及无流动地下水的

饱和松散砂土等地基。经过多年推广应用后,2012年颁布的《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)规定水泥土搅拌桩复合地基适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、素填土、黏性土(软塑、可塑)、粉土(稍密、中密)、粉细砂(松散、中密)、中粗砂(松散、稍密)、饱和黄土等土层;不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、欠固结的淤泥与淤泥质土、硬塑及坚硬的黏性土、密实的砂类土,以及地下水渗流影响成桩质量的土层。该规范还规定,当水泥土搅拌桩用于处理泥炭土、有机质土、pH值小于4的酸性土、塑性指数大于25的黏土,或在腐蚀性环境中以及无工程经验的地区使用时,必须通过现场和室内试验确定其适用性^[5]。

根据室内试验,一般认为用水泥作固化剂,对含有高岭石、多水高岭石、蒙脱石等黏土矿物的软土加固效果较好,而对含有伊利石、氯化物和水铝石英矿物的黏性土以及有机质含量高、pH较低的黏性土加固效果较差。

在某些地区的地下水中含有大量硫酸盐(海水侵入地区),因硫酸盐与水泥发生反应时,对水泥土具有结晶性侵蚀,会出现开裂、崩解而丧失强度。为此应选用抗硫酸盐水泥,使水泥土中产生的结晶膨胀物质控制在一定的数量范围内,另外也可参加活性材料例如粉煤灰,以提高水泥土的抗侵蚀性能。

在我国北纬40°以南的冬季负温条件下,冰冻对水泥土的结构损害甚微。在负温时,由于水泥与黏土矿物的各种反应减弱,水泥土的强度增长缓慢(甚至停止);但正温后,随着水泥水化等反应的继续深入,水泥土的强度可接近标准强度。

搅拌法加固水下松散砂土应特别注意是否存在地下水径流和承压地下水,否则水泥拌入松砂中,水泥颗粒尚未初凝会被流水冲走,将会造成严重事故。尤其是近年来在江河堤防工程中经常使用水泥土(砂)薄墙作为截渗技术,由于水流冲走水泥颗粒,将使墙身渗透破坏比降性能大大降低。

根据土质情况,水泥、水泥系固化材料及生石灰的应用范围,用图1-5加以概括,可供应用中参考^[7]。

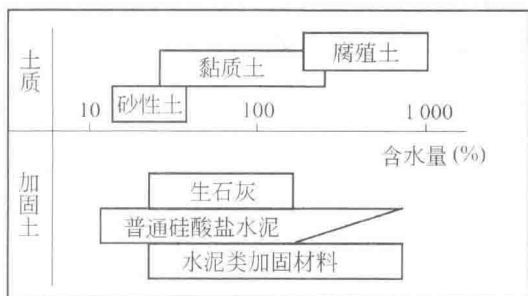


图 1-5 对不同土质选择加固材料简图^[7]

1.2.2 加固深度

水泥土搅拌桩的加固深度主要受施工机械的影响。作为竖向受力的水泥土搅拌桩,仅从应力传递的角度而言,有一个所谓临界桩长的概念,也就是在桩顶荷载作用下,桩身应力向下传递,由于桩侧摩阻力的作用,桩身应力逐步降低,在桩身一定深度处,桩身应力为零。从桩顶到该深度处的桩长称为“临界桩长”。但这种观点对以沉降作为控制标准的工程来说是不符合的。在日本和北欧,搅拌桩加固软土的深度已达到 30 m 以上^[4];国内由于施工设备的限制,《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)仍规定粉喷桩的长度不宜大于 15 m,湿法加固深度不宜大于 20 m^[5]。

1.2.3 工程应用范围

由于搅拌桩具有许多独特的优点而被广泛应用^[8-12]。在日本,这种方法可用于如图 1-6 所示的这些工程中^[7,13],主要为建(构)筑物地基、边坡稳定、防渗工程、抗液化加固等。

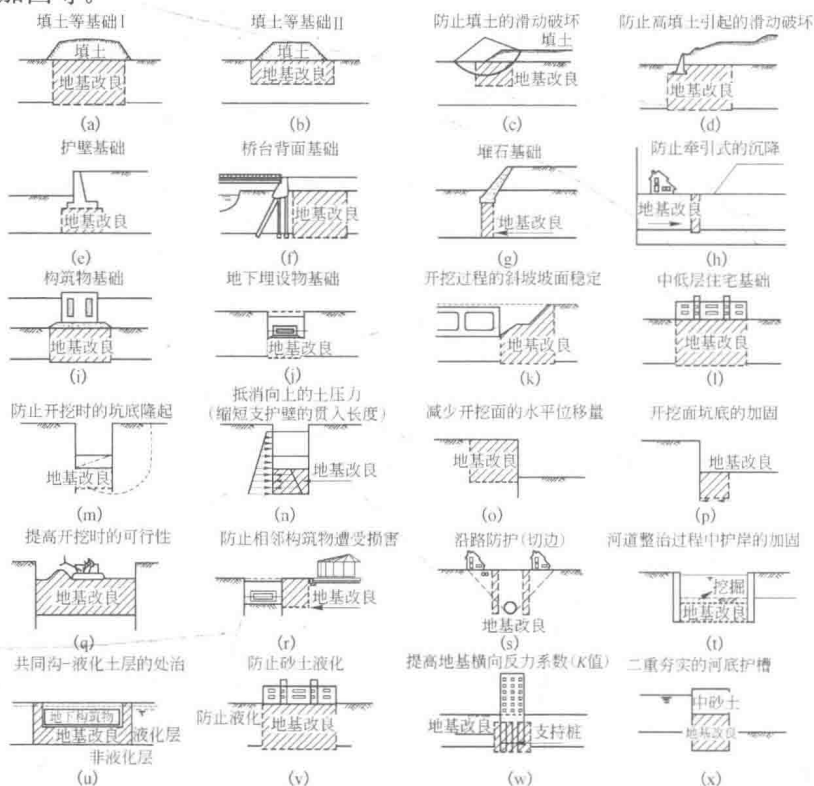


图 1-6 粉喷桩在日本的应用工程类型(喷射搅拌工法研究会,1993)

在我国,搅拌桩常用于下列工程中:^{[10][14]}

1. 地基加固形成搅拌桩复合地基,以提高地基承载力、增大变形模量、减少沉降量。具体应用于下列工程:

(1) 建(构)筑物的地基加固,如6~12层多层住宅、办公楼,单层或多层工业厂房,水池贮罐基础等。

(2) 高速公路、铁道和机场场道以及高填方地基等。

(3) 油罐地基等。

(4) 大面积堆场地基,包括室内和露天。

根据建筑物基础形式以及承载力和沉降要求,搅拌桩加固体可以分为柱状、壁状、隔栅状、块状等(图1-7)^[15]。搅拌桩平面排列布置方式见图1-8所示,常用的主要有正方形、长方形和梅花形。

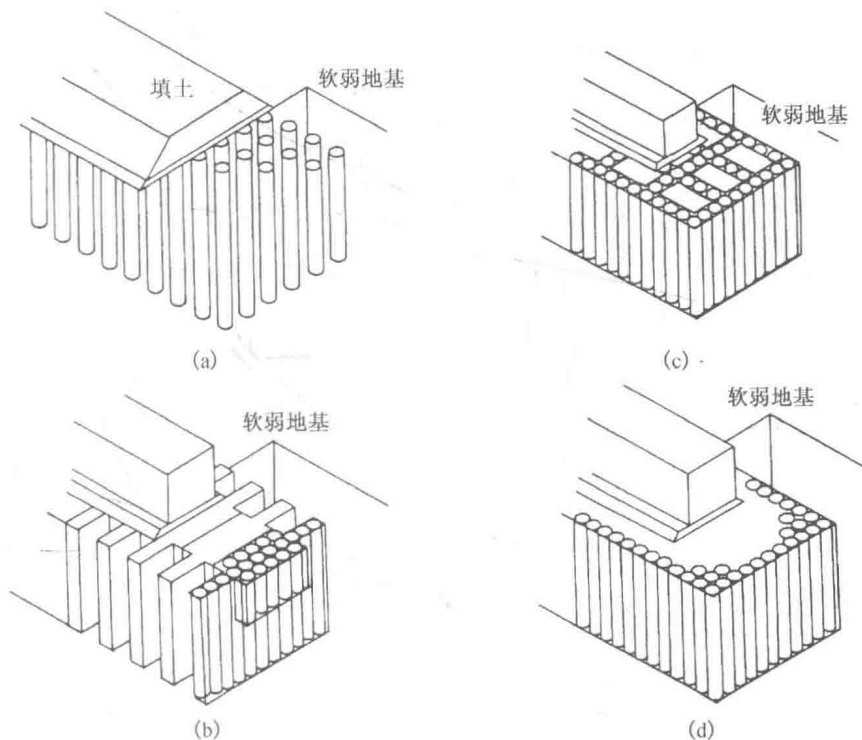
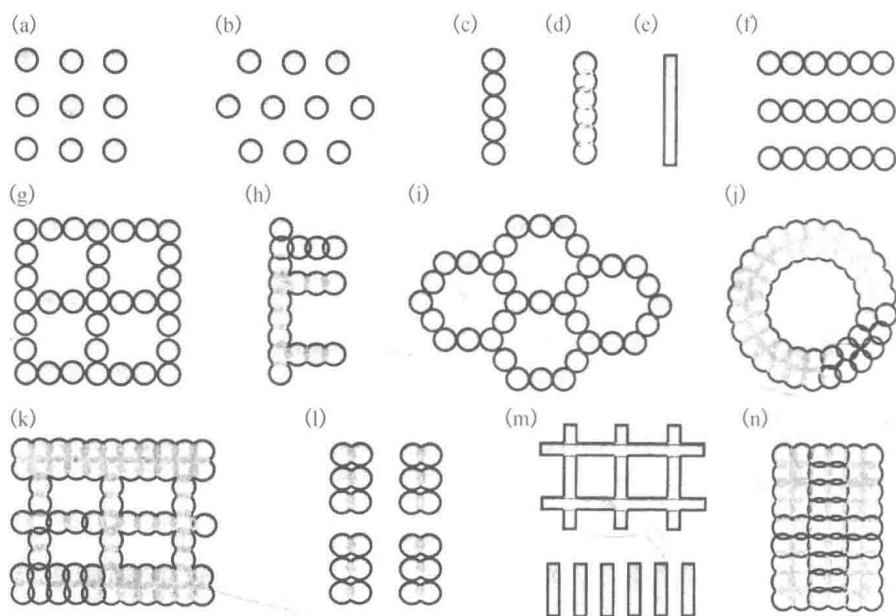


图1-7 搅拌桩加固断面形式的分类(CDIT,2002)

2. 支挡结构物:软土层中的基坑开挖、管沟开挖或河道开挖的边坡支护和防止底部管涌、隆起。当采用多排水泥土桩形成挡墙时,常采用格栅状的布桩形式。

采用单个搅拌桩互相搭接而成竖直壁状墙体作护岸结构,比起混凝土连续墙、

图 1-8 搅拌桩桩位排列形式示意图^[16]

- a. 矩形; b. 三角形(梅花形); c. 搭接墙; d. 重叠搭接墙; e. 等厚墙; f. 搭接排桩;
g. 搭接形格栅状; h. 重叠形扶壁式墙; i. 搭接形串珠状; j. 环状; k. 框架式;
l. 8 字形搅拌桩; m. 多重等厚墙; n. 整体块状

预制钢筋混凝土桩、钢板桩等护岸方案,不但施工简便,而且经济实用,工期可大大缩短。为了确保护岸墙的自身安全,通常单桩的搭接宽度以 10 cm 为宜。搭接太小,墙体强度和稳定性不够;搭接过大,则浪费桩身材料。桩的搭接见图 1-8 c、d 所示。

当搅拌桩墙体用于基坑支护时,为了提高支护效果,一般应采用较高标号的水泥作固化剂。根据支护高度和计算要求,粉喷桩护岸墙可由单排、双排或三排桩体构成,也可做成单排、双排或三排加肋式,还可以做成仓格式。各种护岸墙形式见图 1-8 k、n 所示。

除隔栅式以外的各式护岸墙,通常厚度都较薄,为了保证墙体的稳定,墙体伸入基坑底以下的深度较大,用以获得较大的被动土压力,以平衡各种外力的作用。设计这类护岸墙体时,主要应计算关键部位的墙体强度、伸入基底的深度及整体稳定性。

有时,壁状搅拌桩体是专门用作普通重力式挡土墙使用的,其厚度较大,墙的人土深度较小,自身稳定性好。此种情况下,墙身靠自重来保持稳定,其入土深度可按一般挡土墙考虑,而墙身断面根据抗倾和抗滑稳定计算确定。墙的断面形式

可做成箱格式或台阶式(图 1-9)^[17]。箱格式与仓格式的区别在于前者有箱底,而后者无仓底;台阶式系按重力式挡墙的断面要求使粉喷桩顶标高不在一个平面上而形成台阶。箱格式和台阶式护岸墙施工较为麻烦,施工费用较高,应慎重进行方案比较选用。

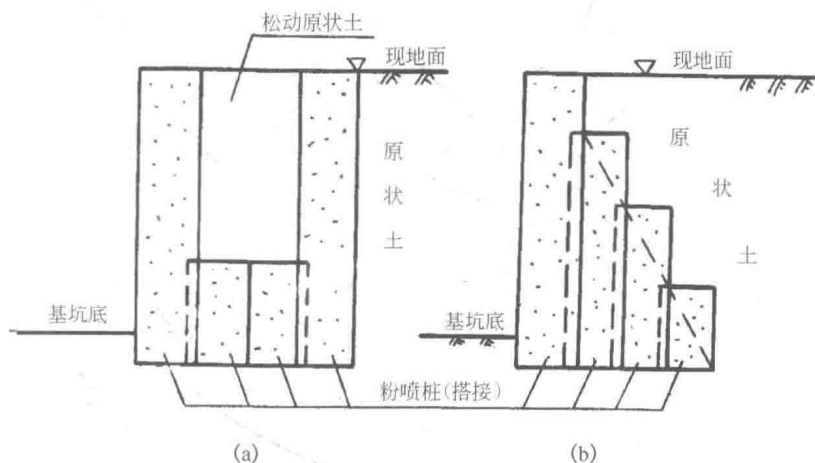


图 1-9 箱格式和台阶式护岸墙(薛殿基,1997)

3. 防渗止水帷幕:由于水泥土结构致密,其渗透系数可小于 $1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-11} \text{ cm/s}$,因此可用于软土地基基坑开挖和其他工程的防渗帷幕。

采用水泥作固化剂制成的搅拌桩,由于水泥与原位土混合后所形成较密实的水泥土体,其湿密度比原土的湿密度可增加 $5\% \sim 10\%$,渗透系数明显降低,将这种搅拌桩互相搭接而成为一个完整的地下连续墙,可有效地起到阻水作用,降低水的渗透,避免坑壁流沙发生。所以,在有地下水的基坑做粉喷桩护岸墙,同时具有护岸和防渗两种功能(图 1-10)。

4. 防止地基液化:传统的观点认为,水泥搅拌桩不能解决场地土的液化问题。对于水泥搅拌桩的抗液化性能,规范^[18-20]也没有提及。然而,根据国外的工程实践经验,加上深入的理论分析、计算,论证了采用水泥搅拌桩复合地基处理除可提高承载力外,还可以适当降低天然地基土的液化指数,改善地基土综合抗震工程地质性能指标。

水泥搅拌桩处理液化地基的作用机理主要为:水泥搅拌桩的刚度比桩间土的刚度要大得多,因此在桩体上产生应力集中现象,大部分荷载将由桩体承担,桩间土应力相对减少,并有效减少地震时产生的剪应变和超静孔隙水压力;同时桩体的存在对桩间土起着侧向限制、约束作用,阻止桩间土的侧向变形。另外,水泥土桩

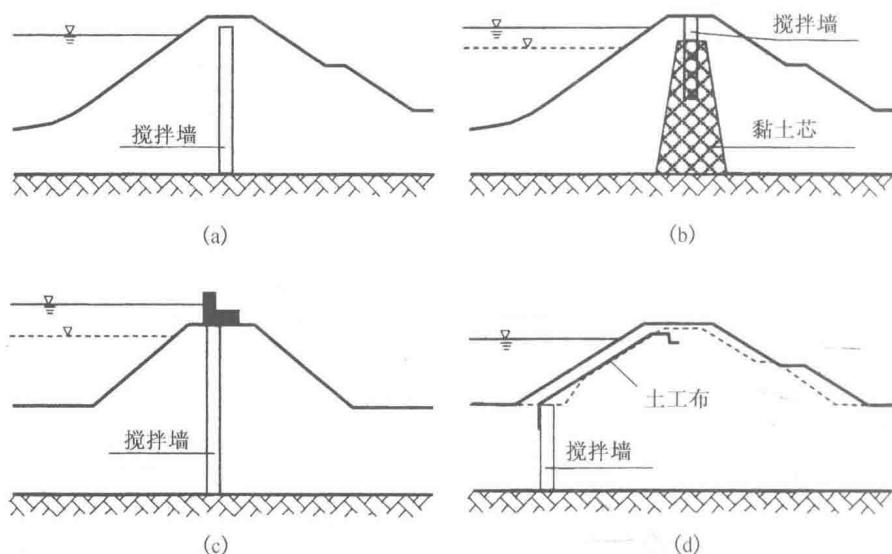


图 1-10 防渗止水帷幕应用示意图

- a. 大坝防渗透芯墙; b. 大坝黏土防渗芯墙联合屏障;
c. 大坝防渗芯墙及建筑物地基加固; d. 大坝防渗流屏障

还可以在在一定程度上改善桩周土工程特性(特别是砂土和粉土),这就改变了液化地基中的应力—应变条件,提高了地基土体的抗剪强度。

典型的水泥土桩抗液化实例是日本神户水泥土桩处理的一座建筑物^[21-22]。1995 年大地震时,神户港的绝大部分建筑都遭到了毁灭性的破坏,但是,有一座正在施工的建筑物却完好无损(图 1-11)。分析其主要原因,是由于在建筑物的混凝土桩基础周围,采用隔栅状的水泥土桩处理液化土层,提高了混凝土桩基础的侧向阻力[图 1-11(c)]。地震后的开挖结果显示:水泥土加固区没有任何液化的痕迹。

5. 环境岩土工程方面:近年来,随着污染地基处理的需要,搅拌桩技术开始应用于污染土的处治,主要用作为隔离屏障、固化或稳定^[23]。隔离屏障是采用搅拌桩将污染场地隔离并阻止其扩散,又分为主动隔离和被动隔离,如图 1-12 所示。固化/稳定化是指将废弃物或污染物与胶凝材料混合,同时通过物理和化学的手段降低污染物质的淋滤能力,从而将有害物质转化为环境可接受的材料。固化(Solidification)是针对物理修复过程而言的,是指将液体、泥浆或其他一些物理性质不稳定的有害废弃物转化为稳定的固体;稳定化(Stabilization)则是针对化学修复过程而言的,是指通过化学的方法减少土中污染物质的溶解度、迁移性,将其转化为化学惰性的物质,从而减少这些废弃物的毒害性。图 1-13 为采用固化/稳定化法处理土中污染物质的简化示意图^[24]。