

New Type Composite Pile
Theory and Application on Pipe Pile
Embedded in Cement Soil

新型组合桩—— 水泥石复合管桩理论与实践

宋义仲 卜发东 程海涛 著

中国建筑工业出版社



新型组合桩—— 水泥土复合管桩理论与实践

New Type Composite Pile
Theory and Application on Pipe
Pile Embedded in Cement Soil

宋义仲 卜发东 程海



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新型组合桩——水泥土复合管桩理论与实践/宋义仲等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 4

ISBN 978-7-112-20622-3

I. ①新… II. ①宋… III. ①水泥桩-研究 IV. ①TU472.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 064879 号

本书全面阐述了水泥土复合管桩的相关内容, 介绍了该新型组合桩技术作为桩基使用时的承载机理、设计、施工、质量检验与工程应用实例等。内容翔实、资料丰富、图文并茂、实用性强并具有一定理论深度。全书共分为 7 章, 包括: 绪论、研究方法、水泥土复合管桩承载机理、水泥土复合管桩设计与计算、水泥土复合管桩施工、水泥土复合管桩质量检验与工程验收及工程应用实例。

本书可供高等院校研究生、科研单位有关专业人员以及设计、施工、监理企业工程技术人员阅读参考。

※ ※ ※

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任设计: 李志立

责任校对: 焦 乐 刘 钰

新型组合桩——水泥土复合管桩理论与实践

宋义仲 卜发东 程海涛 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

北京佳捷真科技发展有限公司制版

环球东方 (北京) 印务有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 17¼ 字数: 344 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-20622-3

(30283)

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)

序

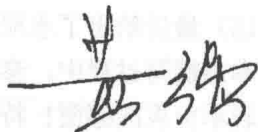
1985年8月11日至16日国际土力学及基础工程协会在美国旧金山召开了第十一届学术会议。适值该协会成立50周年，有57个国家的1800多位工程师和学者参加。Peck在该会议出版的论文集中发表了“The last sixty years”一文，其中有一段写道：“Terzaghi had on many occasions said that if a theory was not simple, it was of little use in soil mechanics”，译为中文即“太沙基曾多次指出，如果一项理论不是简单的，它在土力学中是无用的”。

土力学是一门实用科学，与一般的力学方法有许多不同之处。土力学需要一般力学的基本方法，但在实践中又会有许多与之不同的结果和结论，如土的压缩模量与变形模量理论与实际的差异、土的变形理所应当控制设计但实际上大都以承载力控制设计、基坑土压力计算参数三轴试验和直剪试验 c 、 φ 值的选用等问题都告诉我们：土力学一定是一项简单、实用的理论。大道至简，简单并非是贫乏。世上的事情难就难在简单，它要求人们能洞察事物的本质和相互关系，并在博采众长，融会贯通的基础上，去粗取精、去伪存真，剔除那些无效的、可有可无的、表面的、非本质的东西，抓住要害和根本，融合成少而精的东西，是个整合创新的过程，是化繁为简后的一种觉醒。

水泥土复合管桩技术是在生产实践中提出的，以试验研究为主并辅以理论分析，在全面研究分析已有技术、查阅相关文献的基础上，综合应用加载模拟、大比例模型试验、现场足尺试验、实际工程试点应用、理论及数值分析等一套完整的岩土工程实践研究方法，给出了令人信服的可应用于实际工程的研究成果。

宋义仲先生是我认识多年的老朋友，实践出真知是他的典型风格。《新型组合桩——水泥土复合管桩理论与实践》即将出版，从中可以看出宋先生的风格，我为他取得的成果表示祝贺，同时也自告奋勇地为这本书写“序”。虽然20多年前也曾经出过几本岩土工程方面的小册子，但为朋友出书写“序”还是第一次，此“序”非彼序，请大家多多包涵。

谢谢！



2017年3月6日北京

前 言

水泥土复合管桩，又称管桩水泥土复合基桩，由高喷搅拌法形成的水泥土桩与同心植入的预应力高强混凝土管桩通过优化匹配复合而成，适用于素填土、粉土、黏性土、松散砂土、稍密—中密砂土等土层，尤其适用于软弱土层，为软弱土地地区修建大型建（构）筑物提供了一种新型桩基。

水泥土复合管桩是山东省建筑科学研究院等单位在既有多项技术交叉融合基础上开发的一种新型组合桩，汲取了高压旋喷桩、水泥土搅拌桩、管桩等技术优势，具有大直径、长桩、高承载力、性价比高、施工效率高等特点。与灌注桩、管桩、水泥土桩等技术相比，水泥土复合管桩技术可大量节省钢材、砂石等原材料，施工现场无泥浆排放污染、噪声污染及挤土效应，是一种典型的“绿色建筑基础”，符合国家“四节一环保”政策。我国东部沿海及江河、湖相冲积平原地区分布着大量的深厚软弱土，水泥土复合管桩技术应用前景广阔，必将产生巨大的经济效益、社会效益、环境效益。

本书汇总了课题组多年的研究成果，全面阐述了水泥土复合管桩技术，旨在为广大读者奉献一本体系完整、内容翔实、资料丰富、图文并茂、实用性强并具有一定理论深度的组合桩技术专著。本书内容主要包括以下几个方面：

（1）基于室内外测试、数值计算等手段，研究了不同加载模式下水泥土复合管桩竖向抗压、竖向抗拔、水平承载机理，包括桩身结构参数优化匹配关系、不同性质荷载作用下的单桩承载性状与破坏模式、荷载传递规律、管桩与水泥土的荷载分担比与应力比、荷载影响范围。

（2）提出了水泥土复合管桩选型与布置原则，给出了桩身承载力、竖向抗压承载力、竖向抗拔承载力、水平承载力、桩基最终沉降量计算方法，推荐了桩与承台连接方式与构造做法。

（3）详细介绍了水泥土复合管桩施工机械与配套设备，结合工程实践经验给出了一套成熟的施工工艺方法、关键技术、常见问题及处理措施。

（4）提出了水泥土复合管桩分阶段质量检验标准及工程验收的具体要求。

（5）最后给出了水泥土复合管桩技术成功应用的工程实例。

本书撰写过程中，参考了大量文献资料和研究报告，特向提供资料的个人和单位表示由衷的感谢！特别要感谢山东聊建集团有限公司、山东鑫国基础工程有限公司对本项目科研工作的帮助与支持！山东省建筑科学研究院朱锋、马风生、

米春荣、孟炎、李文洲、刘彬、韩国梁等对本书完成提供了大量帮助，在此一并表示真诚的感谢！

作为一项新技术，水泥石复合管桩技术在施工机械、检测验收等诸多方面还有待持续改进，随着工程应用资料的积累以及桩工机械制造、检测技术等相关领域的发展，相信水泥石复合管桩技术必将日趋成熟。如书中出现谬误之处，请读者鉴谅，并愿与读者共同探讨。

目 录

1 绪论	1
1.1 组合桩分类与发展	1
1.2 水泥土插芯组合桩	5
1.3 水泥土复合管桩	10
参考文献	11
2 研究方法	15
2.1 概述	15
2.2 加载模式	17
2.3 足尺试验	20
2.4 大比尺模型试验	32
2.5 数值分析	33
3 水泥土复合管桩承载机理	35
3.1 概述	35
3.2 水泥土复合管桩竖向抗压承载机理	36
3.3 水泥土复合管桩竖向抗拔承载机理	93
3.4 水泥土复合管桩水平承载机理	98
参考文献	109
4 水泥土复合管桩设计与计算	112
4.1 概述	112
4.2 基本设计规定	113
4.3 桩的选型与布置	115
4.4 桩身承载力计算	122
4.5 竖向承载力计算	141
4.6 水平承载力计算	146
4.7 桩基沉降计算	153
4.8 构造要求	174
参考文献	177
5 水泥土复合管桩施工	180
5.1 概述	180

5.2 施工设备	181
5.3 施工准备	190
5.4 施工作业	194
5.5 施工常见问题及处理措施	202
5.6 安全与环保	204
参考文献	207
6 水泥土复合管桩质量检验与工程验收	208
6.1 概述	208
6.2 施工前检验	208
6.3 施工中检验	209
6.4 施工后检验	210
6.5 工程验收	215
参考文献	215
7 工程应用实例	217
7.1 聊城月亮湾工程	217
7.2 聊城大学城东苑工程	227
7.3 金柱绿城工程	242
7.4 临邑翡翠城工程	251
参考文献	263
后记	264

1 绪 论

1.1 组合桩分类与发展

根据不同的组合方式,组合桩可分为狭义组合桩与广义组合桩两种。狭义上,根据《建筑地基基础术语标准》GB/T 50941—2014^[1]规定,组合桩是指由不同材料制作的桩段组成桩身的桩。广义上,则将两种及两种以上工艺或桩型组合应用的桩都可以称为组合桩,即组合工艺桩或组合型桩。

由于组合桩采用了两种或两种以上的材料、工艺或桩型,能够充分发挥各自优势,取长补短,解决了单一材料、工艺或桩型无法克服的难点,提高了工程经济效益。例如,在抗压强度较低的水泥土桩中植入一定的强度高于水泥土的构件,如预应力高强混凝土管桩,形成水泥土复合管桩^[2],提高了桩身截面强度,试验研究表明,单桩极限承载力显著高于相同尺寸的泥浆护壁成孔灌注桩,水泥土桩与土之间的摩阻力得到了充分发挥,相应地也体现了预应力高强混凝土管桩材料强度高的优势。

目前,组合桩种类繁多,发展迅速,具有强大的生命力和广阔的市场应用前景。多数组合桩作为增强体用于形成复合地基,少数直接作为桩基使用。本书所研究的水泥土复合管桩在复合地基和桩基中均可应用,由于篇幅所限,全书主要介绍该组合桩作为桩基使用时的承载机理、设计、施工、质量检验与工程应用等相关内容。

1.1.1 狭义组合桩

狭义上的组合桩,根据不同的组合方式,包括插芯组合桩、分段组合桩等形式。

(1) 插芯组合桩

插芯组合桩一般指桩身同一横截面的内、外两部分由不同材料构成的桩,包括内芯桩和外围桩。内芯桩可采用预制混凝土桩、现浇混凝土桩、现浇预制相结合混凝土桩、钢桩等刚性桩,外围桩可采用水泥土桩、石灰桩、砂桩等柔性桩。通过变化内芯桩与外围桩的形状、材料、成桩方法以及它们的相对长度,可以形成多种类型的插芯组合桩,如图 1-1 所示。

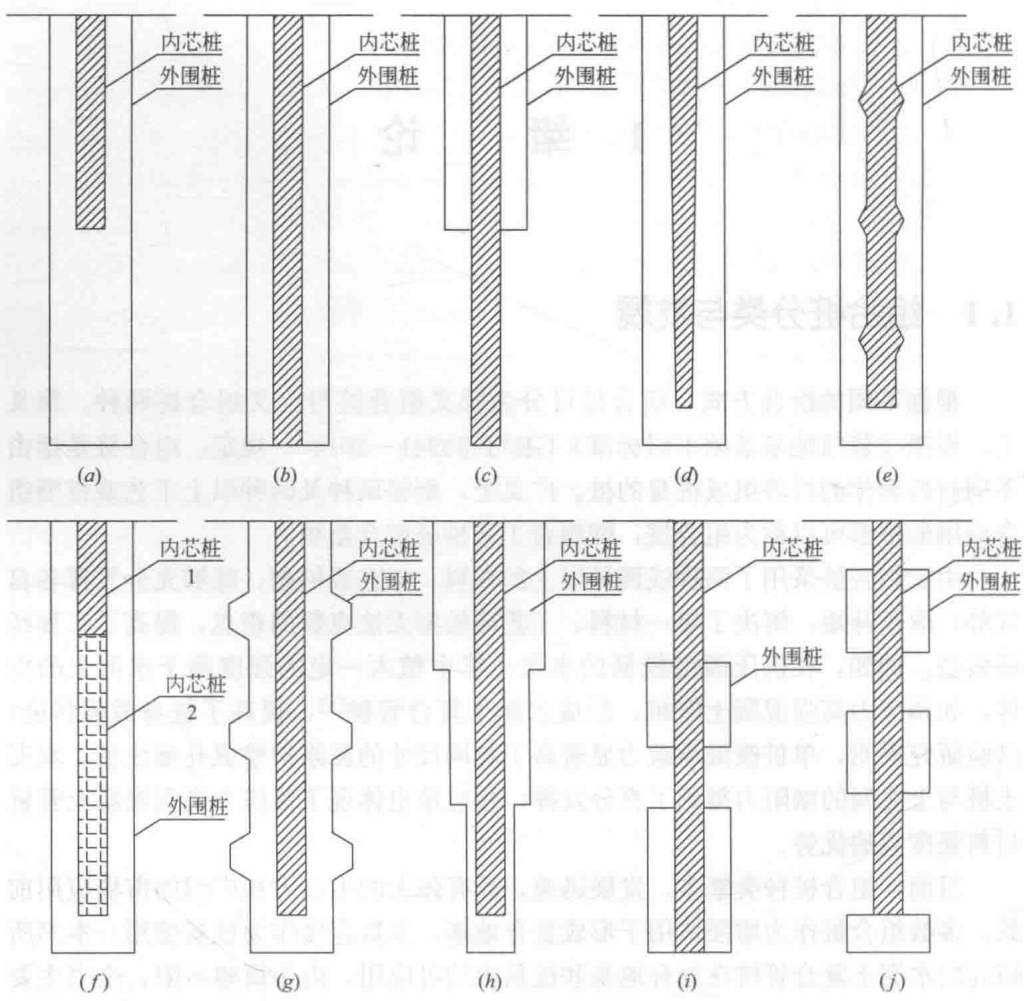


图 1-1 插芯组合桩

内芯桩采用预制混凝土桩或钢桩、外围桩采用水泥土桩所构成的水泥土插芯组合桩是目前最为常见的一种形式。对于这种形式的插芯组合桩，其内芯桩与外围桩的成桩方法可以有多种，如预制混凝土桩可采用混凝土实心桩、预应力混凝土管桩或空心方桩，水泥土桩可采用干法或湿法水泥土搅拌桩、旋喷桩、高喷搅拌水泥土桩、夯实水泥土桩。由此又可衍生出多种类型的水泥土插芯组合桩，如国内常用的劲性搅拌桩、混凝土芯水泥土组合桩、高喷插芯组合桩、刚性芯夯实水泥土桩、加芯搅拌桩、劲性复合桩、水泥土复合管桩等类型。

(2) 分段组合桩

分段组合桩是指沿桩长方向不同桩段分别采用不同材料构成的桩。基于桩身荷载传递规律，桩身上部承受较大的竖向或水平荷载，因此分段组合桩一般为桩

身上段材料强度高、下段材料强度低，实质上是一种变刚度桩。这种分段组合桩常见构造形式为内芯桩长度小于外围桩，内芯桩下端仍有一定长度的外围桩，如图 1-1 (a)、(d)~(h)。此时，在内芯桩长度范围内，为插芯组合桩，但从整根桩来说，实际上也是两段组合桩。但也有内芯桩长度大于外围桩的构造形式，如图 1-1 (c)、(i)~(j)，该形式组合桩同样既可以看作插芯组合桩，又可以当作两段或多段组合桩。

其他常见的分段组合桩有：实散组合桩、挖孔—注浆组合桩、钢—混凝土组合桩、钢管复合桩，如图 1-2 所示。

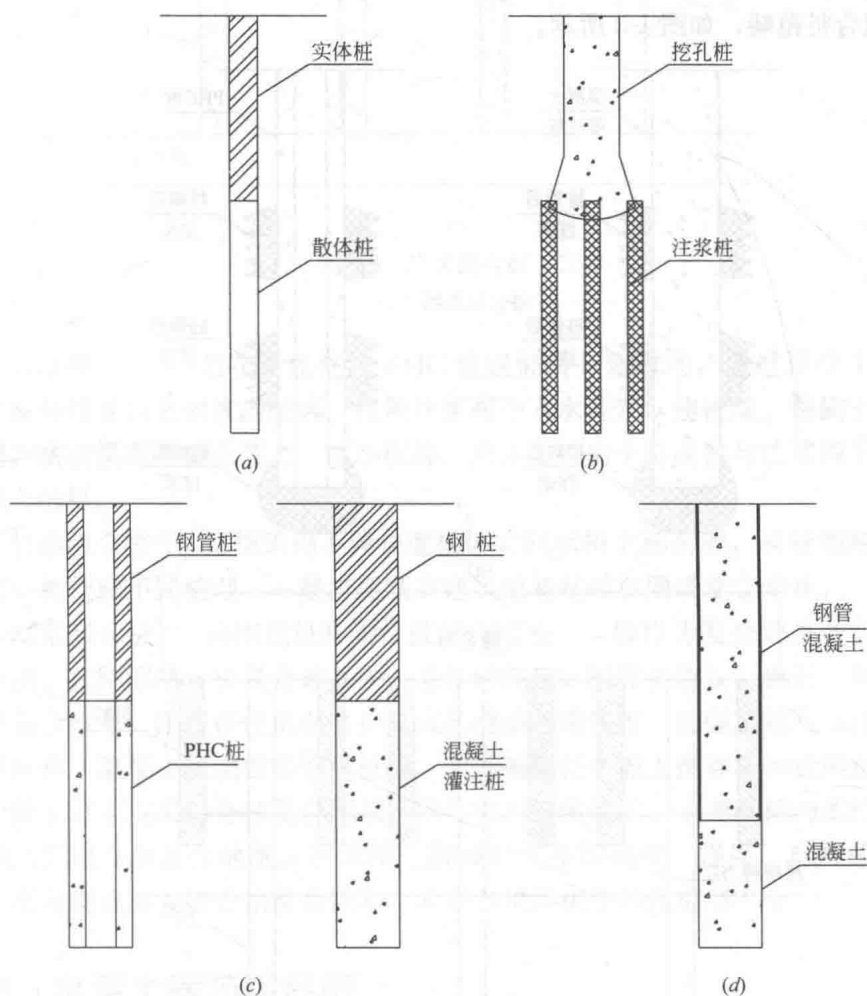


图 1-2 分段组合桩

(a) 实散组合桩；(b) 挖孔—注浆组合桩；(c) 钢—混凝土组合桩；(d) 钢管复合桩

实散组合桩^[3,4]的上段桩身可采用 CFG 桩、水泥土桩等实体桩，下段桩身可采用碎石桩、砂石桩等散体桩，克服了散体桩桩顶承载能力低和实体桩桩端无

相对硬层时有刺入破坏的缺陷。

挖孔—注浆组合桩^[5,6]的上段桩身为人工挖孔桩,人工挖孔桩底端以下通过静压注浆或高压旋喷法形成注浆体,改善桩端持力层性能,提高单桩承载力。

钢—混凝土组合桩^[7]、钢管复合桩^[8,9]上部采用钢桩或钢管混凝土桩,下部采用PHC桩或混凝土灌注桩,具有承载力高、抗弯性能好、延性好等特点。

1.1.2 广义组合桩

后注浆桩、长短组合桩、刚柔组合桩属于组合工艺桩或组合型桩,均可归入广义组合桩范畴,如图1-3所示。

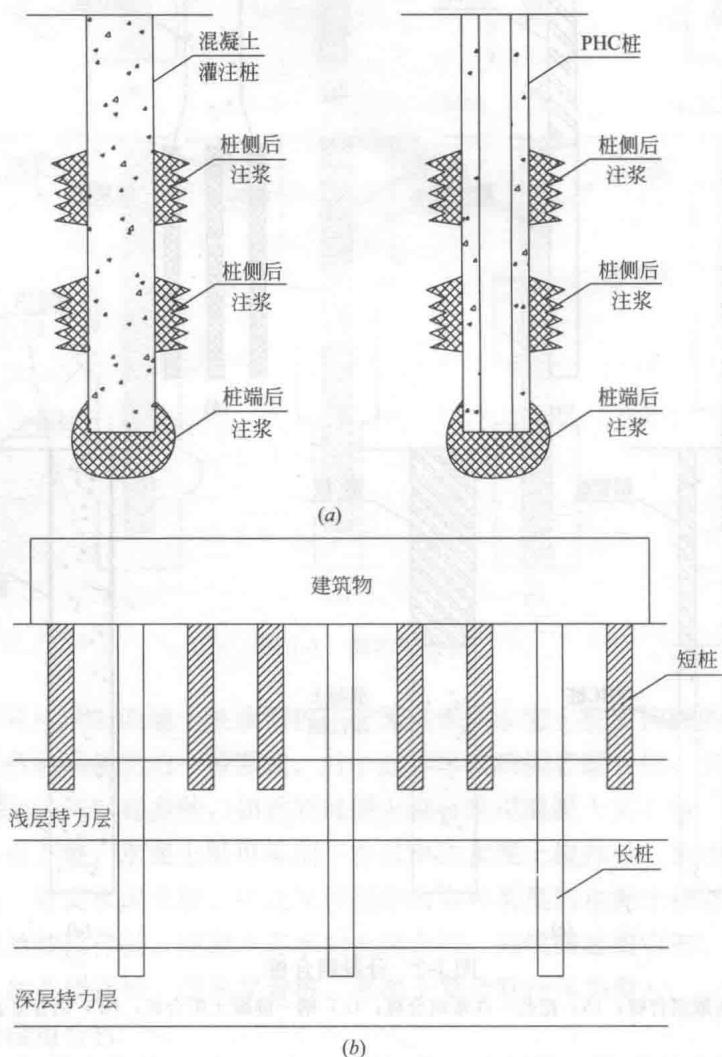
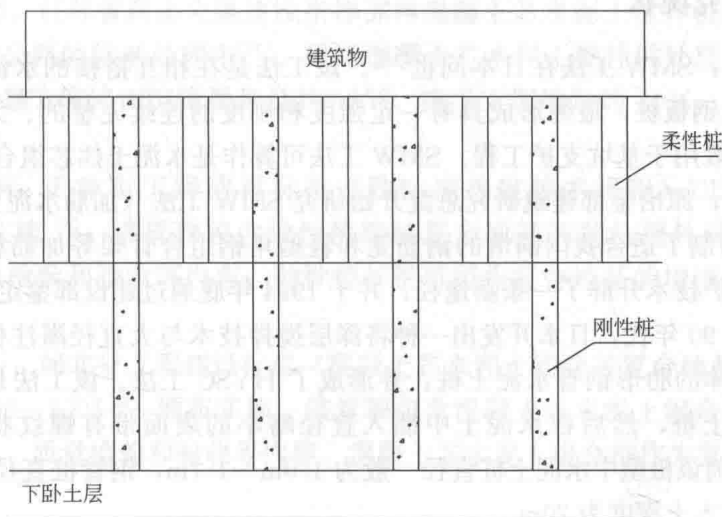


图 1-3 广义组合桩 (一)
(a) 后注浆桩; (b) 长短组合桩



(c)

图 1-3 广义组合桩 (二)

(c) 刚柔组合桩

后注浆桩^[10,11] 是在灌注桩或 PHC 桩成桩后一定时间,通过预设于桩身内的注浆导管及与之相连的桩端、桩侧注浆阀注入水泥浆,使桩端、桩侧土体得到加固,从而提高单桩承载力、减小沉降。后注浆桩属于将成桩与注浆两个工艺进行组合的桩。

长短组合桩^[12] 是指采用不同长度桩体共同承担上部荷载,长桩和短桩可采用同一桩型或不同桩型,一般应用既有建筑地基基础加固或复合地基。

刚柔组合桩^[13] 由刚性桩和柔性桩组合而成,一般作为复合地基的竖向增强体使用。在刚柔组合桩复合地基中,柔性桩较短,刚性桩较长,也是一种长短组合桩复合地基。刚性桩包括泥浆护壁成孔混凝土灌注桩、长螺旋钻孔压灌桩、沉管灌注桩、混凝土预制桩和钢管桩等,柔性桩包括水泥土搅拌桩和旋喷桩。实际上,除了以上刚柔组合桩复合地基,刚性桩与半刚性桩、半刚性桩与柔性桩也可组成二元组合型复合地基。当采用三种或以上不同刚度、强度、材料的加固体时,则可组成多元组合型复合地基,其中各桩体仍是传统桩型^[14]。

1.2 水泥土插芯组合桩

水泥土插芯组合桩由外围水泥土桩和作为内芯使用的钢桩或混凝土桩组成。由于取材方便、造价低廉、施工工艺简单、质量可靠,水泥土插芯组合桩已成为目前最常见的一种插芯组合桩形式。

1.2.1 研究现状

1976年, SMW工法在日本问世^[15]。该工法是在相互搭接的水泥土桩中插入H型钢或钢板桩, 最终形成具有一定强度和刚度的连续完整的、无接缝的地下墙体, 一般用于基坑支护工程。SMW工法可算是水泥土插芯组合桩的雏形。

1988年, 原冶金部建筑研究总院开始研究SMW工法(加筋水泥土地下连续墙工法), 研制了适合我国国情的钢筋笼和轻型角钢组合骨架等加筋材料, 为我国深基坑支护技术开辟了一条新途径, 并于1994年底通过建设部鉴定^[16]。

20世纪90年代, 日本开发出一种将深层搅拌技术与大直径灌注桩和钢管桩三者融为一体的肋形钢管水泥土桩, 并形成了HYSC工法。该工法是先在地基中形成水泥土桩, 然后在水泥土中插入直径略小的表面带有螺纹状肋条的钢管^[17,18]。目前该桩型中水泥土桩直径一般为1.0m~1.7m, 钢管桩直径为0.8m~1.5m, 最大入土深度为70m。

1994年, 沧州机械施工公司开展了插芯水泥土搅拌桩承载性能试验研究^[19]。插芯水泥土搅拌桩极限承载力达到450kN, 远高于同条件水泥土搅拌桩极限承载力160kN, 芯桩混凝土在2m深度处被压碎。

1998年, 天津大学等单位开展了劲性搅拌桩试验与应用研究^[19]。劲性搅拌桩单桩承载力高于同比混凝土钻孔灌注桩(1.36~1.54)倍, 提高芯桩长度比、含芯率可提高单桩承载力, 当芯桩选择适当时该桩具有刚性桩特性。

1998年, 上海现代设计集团等单位在上海万里小区开展了混凝土劲芯水泥土复合桩试验, 2000年应用于上海青浦区赵巷税务所综合楼工程, 共计67根桩^[20]。施工采用SJB-5型四轴搅拌桩机、DD-18型柴油锤, 单桩承载力均满足设计要求, 最大沉降11.24mm~12.73mm。

2000年, 河北工业大学等单位进行了3根模型桩试验^[21]、8组芯桩与水泥土摩阻力室内试验^[22], 研究水泥土组合桩荷载传递规律。模型桩桩径0.25m、桩长2.0m, 其中2根为内插上端边长0.12m、下端边长0.10m、总长1.2m锥形预制桩的水泥土组合桩, 1根为水泥土搅拌桩。水泥土组合桩的单桩竖向极限承载力明显高于水泥土搅拌桩, 芯桩承担了约80%的桩顶荷载, 芯桩和水泥土之间的极限侧阻力值可以达到 $0.194f_{cu}$ 以上。

2001年, 昆明理工大学等单位在昆明市黄土坡谷堆村进行了加芯搅拌桩与深层搅拌桩静载荷试验研究^[23]。加芯搅拌桩承载力高于深层搅拌桩, 可替代搅拌桩使用, 芯桩选择适当时加芯搅拌桩具有刚性桩特性。

2002年, 河南大学开展了劲性搅拌桩应用技术研究, 提出了水泥加固土变形模量确定方法、加劲水泥土地下连续墙的内力、变形、抗弯刚度和整体稳定性的分析和计算方法, 部分成果应用于南京地铁一号线珠江路车站基坑工程^[24,25]。

2004年,江苏省高速公路建设指挥部将混凝土芯水泥土搅拌桩应用于南京至常州高速公路的软基处理中^[26]。采用混凝土芯水泥土搅拌桩处理方案较水泥土搅拌桩处理方案路面沉降量降低约43%,施工工期缩短约40%,节省工程费用约10%。

2004年,天津市工程建设标准《劲性搅拌桩技术规程》DB 29—102—2004颁布实施^[27]。该规程包含劲性搅拌桩复合地基和劲性搅拌桩桩基设计、施工、质量检验和验收等内容。劲性搅拌桩可用作复合地基的增强体,也可作为桩基。

2005年,河北省工程建设标准《混凝土芯水泥土组合桩复合地基技术规程》DB 13(J) 50—2005^[28]颁布实施。该规程包含混凝土芯水泥土组合桩复合地基设计、施工、质量检验和验收等内容。混凝土芯水泥土组合桩作为复合地基增强体使用。

2006年,天津市工程建设标准《高喷插芯组合桩技术规程》DB/T 29—160—2006^[29]颁布实施。该规程包含高喷插芯组合桩设计、施工、质量检验和验收等内容。高喷插芯组合桩既可用作桩基,也可用作复合地基的增强体。

2007年,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》DB 13(J) 70—2007^[30]颁布实施。该规程包含刚性芯夯实水泥土桩复合地基设计、施工、监理、质量检验和验收等内容。刚性芯夯实水泥土桩作为复合地基增强体使用。

2007年,云南省工程建设标准《加芯搅拌桩技术规程》DBJ 53/T 19—2007^[31]颁布实施。该规程包含加芯搅拌桩的勘察、设计、施工、质量检验和验收等内容。加芯搅拌桩可用作复合地基的增强体,也可用作桩基。

2008年,山东省建筑科学研究院等单位开始研究水泥土插芯组合桩,开发出了具有大直径、长桩、高承载力、性价比高的管桩水泥土复合基桩,系统研究了其承载机理、设计、施工及质量检验和验收。

2009年,南京工业大学等单位基于静载荷试验和数值计算研究了素混凝土劲性水泥土复合桩承载机理^[32]。素混凝土劲性水泥土复合桩呈现复合地基性状,芯桩桩身应力集中显著,素混凝土芯比常规预制桩芯更能与水泥土协调匹配,不会刺入水泥土外芯的底端。

2010年,河海大学等单位依托大型土工试验模型槽,进行了高喷插芯组合桩、灌注桩和高压旋喷水泥土桩静载荷对比试验^[33]。高喷插芯组合桩与同桩长、同桩径灌注桩相比承载力高30%以上,桩身变形由芯桩控制,同一截面上芯桩和水泥土的轴力比值约为其弹性模量的比值,内界面摩阻力是外界面摩阻力的1.62倍左右。

2011年,山东省工程建设标准《管桩水泥土复合基桩技术规程》DBJ 14—

080—2011^[34]颁布实施。该规程包含管桩水泥土复合基桩的设计、施工、质量检验和验收等内容。管桩水泥土复合基桩按桩基进行设计使用。

2012年,河南理工大学基于理论计算对高喷插芯组合桩不同组合形式、水泥土厚度、水泥土弹性模量、刚度系数比等因素进行分析,研究了芯桩和水泥土轴力、第一、二界面的摩阻力分布规律^[35]。实际工程施工中宜采用分段组合形式;水泥土厚度的增加有助于提高组合桩承载力,但水泥土厚度不宜大于芯桩半径;第一界面刚度与第二界面刚度比值不宜小于100才能达到水泥土与芯桩变形协调、提高承载力、减小沉降的目的。

2013年,江苏省工程建设标准《劲性复合桩技术规程》DGJ 32/TJ151—2013颁布实施^[36]。该规程包含劲性复合桩的设计、施工、质量检测和验收等内容。劲性复合桩用作桩基。

2014年,工程建设行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327—2014颁布实施^[37]。该规程包含劲性复合桩的设计、施工、质量检测和验收等内容。劲性复合桩可用作复合地基的增强体,也可用作桩基。

2014年,工程建设行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330—2014颁布实施^[2]。该规程包含水泥土复合管桩的设计、施工、质量检验和验收等内容。水泥土复合管桩按桩基进行设计使用。

2015年,同济大学采用有限元单元法研究了柔性基础下劲芯水泥土桩的工程性能^[38]。柔性基础下地基沉降随着芯长比的增大和桩间距的减小而减小,含芯率对地基沉降的影响甚微;荷载分担比在芯长比为0.75左右时取得最大值;桩间距对荷载分担比的影响最大,芯长比次之,含芯率最小。

2016年,同济大学从土体、水泥土及复合桩体单元变形模式出发,综合考虑桩体负摩阻力、桩顶和桩端刺入持力层情况,分析了桩周土体、水泥土桩及复合桩体的压缩变形,导出了刚性基础下加芯水泥土桩复合地基芯桩、水泥土桩和土体三者之间的应力比计算公式^[39]。

水泥土插芯组合桩发源于日本,芯桩一般采用型钢或大直径钢管桩。我国于20世纪90年代初开始研究该技术,芯桩采用了符合我国国情的混凝土桩。水泥土插芯组合桩技术在我国虽然仅有20余年的发展历史,但已呈现出欣欣向荣的发展景象,涌现出一大批专利技术,形成了地方和行业相互结合的标准体系,应用领域也从建筑工程扩展至市政、公路、水利等领域。

1.2.2 专利技术

目前国内已经公开的水泥土插芯组合桩专利技术100余项,涉及水泥土插芯组合桩的构造、施工方法、施工机具等方面,表1-1列出了部分其中相关专利技术。

部分相关专利技术 表 1-1

序号	专利申请号	名 称	类型
1	01258951.9	长芯水泥土组合桩 ^[40]	实用
2	02275785.6	加混凝土芯水泥土搅拌桩 ^[41]	实用
3	03109768.5	高压旋喷插芯扩底桩 ^[42]	发明
4	03130665.9	劲芯深层喷射搅拌桩工法及其专用钻头 ^[43]	发明
5	200410014597.1	混凝土芯水泥土搅拌桩高等级公路软基处理方法 ^[44]	发明
6	200410093838.6	水泥土插芯复合桩施工机械 ^[45]	发明
7	200420116299.9	劲芯水泥土组合桩及输送装置 ^[46]	实用
8	200510014323.7	带高压旋喷桩尖的同步组合桩的施工方法 ^[47]	发明
9	200510041006.4	混凝土芯水泥土搅拌桩机及其施工工艺方法 ^[48]	发明
10	200610010865.1	混凝土长芯水泥土复合桩建筑地基处理方法 ^[49]	发明
11	200820032104.0	一种抗拔高压旋喷桩 ^[50]	实用
12	200910046398.1	一种插入钢筋混凝土芯材的水泥土复合桩 ^[51]	发明
13	200910052808.3	预制混凝土与水泥土组合桩及其成桩方法 ^[52]	发明
14	200910063340.8	水泥浆喷射多向加芯搅拌桩成桩方法 ^[53]	发明
15	201010189668.7	填芯管桩水泥土复合基桩及施工方法 ^[54]	发明
16	201010257594.6	带有芯桩的组合型水泥土桩及其施工方法和施工设备 ^[55]	发明
17	201110090697.2	填芯管桩水泥土复合基桩的施工方法 ^[56]	发明
18	201110208638.0	高频液振水泥土插芯组合桩施工工法 ^[57]	发明
19	201210077704.X	大直径劲性复合桩 ^[58]	发明
20	201220739902.3	静压、搅拌组合桩机 ^[59]	实用
21	201310503654.1	一种竹节桩与管桩共同嵌入水泥土搅拌土钉桩的复合桩 ^[60]	发明
22	201320854503.6	高压旋喷劲芯桩复合地基 ^[61]	实用
23	201410680962.6	径向变结构劲性复合桩及施工方法 ^[62]	发明
24	201420604476.1	变强度劲芯复合桩 ^[63]	实用
25	201510098526.2	超高承载力劲性复合桩的施工方法 ^[64]	发明
26	201510256967.0	新型变刚度复合桩及其施工方法和施工方法中采用的长螺旋钻机 ^[65]	发明
27	201510293599.7	一种深厚软土区水塘路地基加固结构及其施工方法 ^[66]	发明
28	201510504437.3	高强劲芯复合桩施工方法 ^[67]	发明
29	201510504490.3	一次成型劲芯复合桩成桩机械 ^[68]	发明
30	201610012234.7	劲芯水泥土筒桩及施工方法和筒形旋搅钻具 ^[69]	发明
31	201610079641.X	多元劲性复合桩的施工方法 ^[70]	发明

1.2.3 技术标准

水泥土插芯组合桩的常见类型有水泥土复合管桩、劲性复合桩、劲性搅拌桩、混凝土芯水泥土组合桩、高喷插芯组合桩、刚性芯夯实水泥土桩、加芯搅拌桩等，已颁布实施相关技术标准 9 项，其中工程建设行业标准 2 项，天津、河北、云南、山东、江苏等省市的地方标准 7 项，如表 1-2 所示。水泥土插芯组合桩已成为我国桩基技术体系的一个重要分支和发展方向。