

团体标准

T/TMAC ×××—202X

公路桥梁劲性复合桩技术规程

Technical specification for strength composite piles of expressway bridge

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217 室。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 1

5 勘察 2

5.1 一般规定 2

6 设计 2

6.1 一般规定 2

6.2 构造 2

6.3 桩基设计 3

7 施工 6

7.1 一般规定 6

7.2 主要机具设备 7

7.3 施工准备 7

7.4 施工工艺 8

8 质量检测与验收 10

8.1 一般规定 11

8.2 施工前检验 11

8.3 施工检验 11

8.4 成桩质量及承载力检验 11

8.5 验收资料 11

参 考 文 献 13

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由河南省中工设计研究院集团股份有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：河南省中工设计研究院集团股份有限公司、×××××、×××××、×××××、×××××、×××××、×××××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××。

引 言

为规范和指导劲性复合桩在公路桥梁中的应用，并在劲性复合桩的勘察、设计、施工、质量检测与验收中，贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、安全使用、经济合理、保证质量、保护环境，加强公路桥梁基础建设体系的优化，推动交通行业的快速发展，特制定此规程。

公路桥梁劲性复合桩技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁工程中劲性复合桩的勘察、设计、施工、质量检测与验收的技术要求。

本文件适用于公路桥梁工程中劲性复合桩的勘察、设计、施工、质量检测与验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JGJ 79-2012 建筑地基处理技术规范
JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范
JGJ/T 406-2017 预应力混凝土管桩技术标准
JTG C20-2011 公路工程地质勘察规范
JTG 3363-2019 公路桥涵地基与基础设计规范
JTG/T 3512-2020 公路工程基桩检测技术规范
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

劲性复合桩 strength composite piles

柔性桩、刚性桩经复合施工形成的具有互补增强作用的桩。

3.2

柔性桩 flexible pile

水泥、石灰等胶结材料与土混合形成的桩。

3.3

刚性桩 rigid pile

混凝土、钢、水泥粉煤灰碎石混合料等材料形成的桩。

3.4

内芯 inner core

劲性复合桩桩体中心的刚性部分。

3.5

外芯 outer core

劲性复合桩中内芯以外的部分。

4 基本规定

- 4.1 劲性复合桩适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土以及人工填土等地基。
- 4.2 劲性复合桩用于泥炭土、有机质土、pH值小于4的土、塑性指数大于25的黏土，或地下水渗流影响成桩质量以及在腐蚀性环境中和无工程经验的地区时，应通过试验确定其适用性。
- 4.3 劲性复合桩设计施工前，应具备下列资料：

- a) 场地的工程地质勘察报告、上部结构及基础设计图纸;
 - b) 类似地质条件的工程经验和使用情况等;
 - c) 施工场地及其周边环境情况;
 - d) 施工机械及设备的型号与性能、动力条件及对地质条件的适应性;施工机械设备的进出场及现场运行条件。
- 4.4 劲性复合桩设计应满足承载力、变形和稳定性要求,并应符合下列规定:
- a) 应根据地质条件、结构要求及荷载特征选用复合桩型及参数;
 - b) 对大型、重要或地质条件复杂的工程,设计前应进行试验性施工,检验设计、施工参数、处理效果及适用性;
 - c) 当桩端以下存在软弱下卧层时,应进行软弱下卧层承载力验算;
 - d) 对位于坡地、岸边的劲性复合桩应进行整体稳定性验算;
 - e) 对于抗震设防区的劲性复合桩应进行抗震承载力验算。
- 4.5 劲性复合桩的设计与施工,应综合考虑工程地质与水文地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境;并应重视地方经验,因地制宜,注重概念设计,合理选择桩型、成桩工艺和承台形式,优化布桩,节约资源;强化施工质量控制与管理。
- 4.6 劲性复合桩的耐久性应符合国家现行相关标准的规定。

5 勘察

5.1 一般规定

- 5.1.1 劲性复合桩基础地质勘察,应详细调查工程场地周围环境,查明场地地层分布、岩土类型、岩土性质、水文地质条件等,查明水和土对复合桩包裹材料、芯桩的腐蚀性。当存在不良地质、特殊性岩土时,应评价劲性复合桩的适宜性、耐久性及对施工的影响。
- 5.1.2 勘探点布置、深度及报告编写应满足《公路工程地质勘察规范》JTG C20及相关规范要求。
- 5.1.3 勘察成果除应符合相关行业规范要求外,应突出以下重点内容:
- a) 应根据场地地质特征分析评价劲性复合桩成桩可行性;
 - b) 劲性复合桩选型、施工工艺和桩端持力层的设计建议;
 - c) 应提供劲性复合桩设计所需的各项物理力学指标及参数;
 - d) 场地存在不良地质时,应评价其对劲性复合桩稳定性的影响,并提出防治措施建议;
 - e) 评价劲性复合桩施工对周边环境的影响。

6 设计

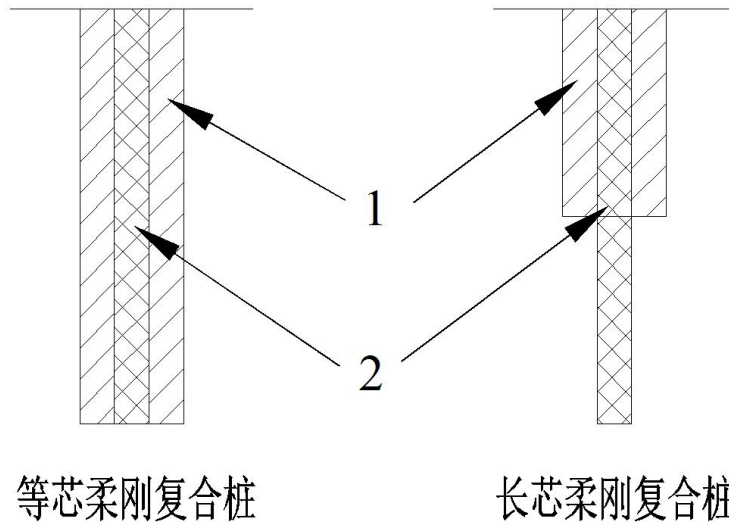
6.1 一般规定

- 6.1.1 劲性复合桩宜按柔刚复合桩进行设计,其中柔性桩宜为水泥土搅拌桩或高压旋喷桩,刚性桩宜为预制桩。
- 6.1.2 劲性复合桩刚性桩强度等级不应低于 C25,且应满足桩身承载力的要求,填芯混凝土不应低于 C20。
- 6.1.3 劲性复合桩应穿透软弱土层。
- 6.1.4 劲性复合桩基础的承台埋置深度应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的有关规定。
- 6.1.5 在同一群桩基础中,不宜同时采用直径不同、材料不同和桩端深度相差过大的劲性复合桩。
- 6.1.6 桩基础除应根据有关规范规定进行结构本身设计外,还应按下列规定进行设计:
- a) 根据使用功能和受力特征分别进行桩基整体或单桩的竖向承载能力和水平承载能力的验算;
 - b) 对位于坡地、岸边的桩基,应验算其在最不利荷载组合效应下的整体稳定性。

6.2 构造

- 6.2.1 柔刚复合桩构造见图 1,应符合下列规定:

- a) 柔性桩桩径宜为 500mm~1200mm, 刚性桩桩径宜为 400mm~1000mm;
- b) 采用长芯柔刚复合桩时, 刚性桩应进入较硬的持力层, 且应确保刚性桩能够顺利贯入;
- c) 柔刚复合桩复合段的外芯厚度宜为 150mm~250mm;
- d) 柔性桩水泥掺入量宜为 12%~18%, 土质松软时应加大掺入量。



标引序号:

1——柔性桩;

2——刚性桩

图1 柔刚复合桩构造示意图

6.2.2 劲性复合桩基础的布置和中距应符合下列规定:

- a) 群桩的布置可采用对称形、梅花形或环形;
- b) 桩中距不应小于内芯桩径(或边长)的 3 倍;
- c) 对边桩(或角桩)外侧与承台边缘的距离, 桩内芯直径(或边长)小于或等于 1m 时, 不应小于 0.5 倍内芯桩径(或边长)且应不小于 250mm; 桩内芯直径大于 1m 时, 不应小于 0.3 倍内芯桩径(或边长)且应不小于 500mm。

6.2.3 劲性复合桩刚性桩与承台、横系梁的连接及承台和横系梁的构造应符合《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 相关规定, 其中桩径应按内芯直径考虑。

6.3 桩基设计

6.3.1 劲性复合桩作为桥梁桩基础时应符合下列规定:

- a) 桩间距应满足 6.2.2 条的规定;
- b) 桩身承载力及裂缝控制宜按内芯进行验算。

6.3.2 劲性复合桩单桩竖向抗压承载力的计算应符合下列规定:

- a) 承台底面以上的荷载假定全部由复合桩承受;
- b) 桥台土压力自填土前的原地面起算;
- c) 劲性复合桩单桩竖向抗压承载力特征值应根据单桩竖向抗压载荷试验确定;
- d) 初步设计时, 可按公式(1)、公式(2)估算:

$$\text{长芯桩: } R_a = \frac{1}{2} (u \sum \xi_{si} q_{sik} l_i + u^c \sum \alpha_i q_{sjk}^c l_j + \alpha_r q_{rk} A_p^c) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{等芯桩: } R_a = \frac{1}{2} (u \sum \xi_{si} q_{sik} l_i) + \alpha \xi_p q_{pa} A_p \dots\dots\dots (2)$$

注: 根据劲性复合桩大量试验和工程案例表明, 劲性复合桩抗压破坏模式均为桩头压溃或桩侧、桩

端土失效产生的刺入破坏，不会发生内外芯界面剪切破坏的情况，因此抗压承载力计算时可直接按破坏面位于外芯和桩周土界面考虑；对于长芯桩，由于外芯水泥土强度远低于内芯刚性桩，且外芯所处地层承载力往往差于内芯桩端地层，在进行桩端承载力计算时，将外芯桩端阻力作为安全储备，仅计算内芯桩端承载力。

式中：

- R_a —— 劲性复合桩单桩竖向抗压承载力特征值(kN)。桩身自重与置换土重（当自重计入浮力时，置换土重也计入浮力）的差值计入作用效应；
- u^c 、 u —— 劲性复合桩非复合段内芯桩身周长(m)、复合段桩身周长(m)；
- A_p^c 、 A_p —— 分别为劲性复合桩内芯桩身截面积(m²)、桩身截面积(m²)；
- l_i 、 l_j —— 分别为承台底面或局部冲刷线以下劲性复合桩复合段第 i 土层厚度(m)和非复合段第 j 土层厚度(m)；
- q_{sjk}^c 、 q_{sik} —— 分别为劲性复合桩非复合段内芯第 j 土层侧阻力标准值(kPa)、复合段外芯第 i 土层侧阻力标准值(kPa)，宜按地区经验取值。无经验时，可按表 6.3.2-6 取值；
- q_{rk} —— 桩端土的承载力标准值(kPa)，宜采用单桩试验或静力触探试验测定。无试验条件时，也可按表 2 取值；
- q_{pa} —— 劲性复合桩端承载力特征值(kPa)，宜按地区经验取值。也可取桩端地基土未经修正的承载力特征值；
- α_i 、 α_r —— 振动沉桩对各土层桩侧摩阻力和桩端承载力的影响系数，按表 3 取用；对锤击、静压、植入沉桩其值均取 1.0；
- α —— 劲性复合桩桩端天然地基土承载力折减系数，可取 0.70~0.90；
- ξ_{si} 、 ξ_p —— 分别为劲性复合桩复合段外芯第 i 土层侧阻力调整系数、端阻力调整系数，宜按地区经验取值。无经验时，可按表 4 取值；非复合段侧阻力调整系数、端阻力调整系数均取 1.0。

表 1 劲性复合桩侧阻力标准值 q_{sk}

土的名称	土的状态		侧阻力标准值 q_{sk} (kPa)
人工填土	稍密~中密		16~32
淤泥	-		12~18
淤泥质土	-		18~24
黏性土	流塑	$1 < I_L \leq 1.5$	15~30
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	30~45
	软可塑	$0.5 < I_L \leq 0.75$	45~60
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.5$	60~75
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	75~85
	坚硬	$I_L \leq 0$	85~95
粉土	稍密	$0.9 < e$	20~35
	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	35~65
	密实	$e \leq 0.75$	65~80
粉、细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	20~35
	中密	$15 < N \leq 30$	35~65
	密实	$30 < N$	65~80
	中密	$15 < N \leq 30$	23~32

土的名称	土的状态		侧阻力标准值 q_{sk} (kPa)
中砂	密实	$30 < N$	32~43
	中密	$15 < N \leq 30$	55~75
	密实	$30 < N$	75~90
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	70~90
	密实	$30 < N$	90~105

表 2 内芯桩端土的承载力标准值 q_{rk}

土类	状态	桩端土的承载力标准值 q_{rk} (kPa)		
黏性土	$I_L \geq 1$	1000		
	$1 > I_L \geq 0.65$	1600		
	$0.65 > I_L \geq 0.35$	2200		
	$0.35 > I_L$	3000		
——		桩尖进入持力层的相对深度		
		$1 > h_c/d$	$4 > h_c/d \geq 1$	$h_c/d \geq 4$
粉土	中密	1700	2000	2300
	密实	2500	3000	3500
粉砂	中密	2500	3000	3500
	密实	5000	6000	7000
细砂	中密	3000	3500	4000
	密实	5500	6500	7500
中、粗砂	中密	3500	4000	4500
	密实	6000	7000	8000

注：表中 h_c 为桩端进入持力层的深度（不包括桩靴）； d 为内芯桩身直径或边长。

表 3 影响系数 α_i 、 α_r 值

内芯桩径或边长 d (m)	系数 α_r			
	黏土	粉质黏土	粉土	砂土
$0.8 \geq d$	0.6	0.7	0.9	1.1
$d > 0.8$	0.6	0.7	0.9	1.0

表 4 劲性复合桩复合段外芯侧阻力调整系数 ξ_{si} 、端阻力调整系数 ξ_p

调整系数	土的类别				
	淤泥	黏性土	粉土	粉砂	细砂
ξ_{si}	1.30~1.60	1.50~1.80	1.50~1.90	1.70~2.10	1.80~2.30
ξ_p	-	2.00~2.20	2.00~2.40	2.30~2.70	2.50~2.90

在表 1、表 4 中，当劲性复合桩外芯为干法搅拌桩时，取高值；外芯为湿法搅拌桩和旋喷桩时，取低值；内外芯截面积比值大时，取高值。

6.3.3 劲性复合桩桩基软弱下卧层承载力验算应按刚性桩桩底平面验算。

6.3.4 劲性复合桩桩基沉降计算应从刚性桩桩底平面起算并应符合现行行业标准《公路桥涵

地基与基础设计规范》JTG 3363 的有关规定。

6.3.5 应用于公路桥梁的劲性复合桩的受拉要求应符合下列规定：

- a) 当桩的轴向力由结构自重、预加力、土重、土侧压力、汽车荷载和人群荷载的频遇组合引起时，桩不得受拉。
- b) 当桩的轴向力由上述荷载与其他可变作用、偶然作用的频遇组合或偶然组合引起时，桩可受拉。
- c) 劲性复合桩单桩轴向受拉承载力特征值应根据轴向受拉载荷试验确定；初步设计时，可根据破坏形式按式（3）、式（4）估算。
 - 1) 劲性复合桩群桩呈非整体破坏或单桩破坏时，单桩轴向受拉承载力特征值可按式估算：

$$T_{ua} = \frac{1}{2} (u \sum \lambda \xi_{si} q_{sik} l_i + u^c \sum \lambda_j q_{sjk}^c l_j) \dots\dots\dots (3)$$

- 2) 劲性复合桩群桩呈整体破坏时，单桩轴向受拉承载力特征值可按式估算：

$$T_{ga} = \frac{1}{2} (U \sum \lambda \xi_{si} q_{sik} l_i + U^c \sum \lambda_j q_{sjk}^c l_j) / n \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- T_{ua} ——劲性复合桩群桩呈非整体破坏时单桩轴向受拉承载力特征值(kN)；
- T_{ga} ——劲性复合桩群桩呈整体破坏时单桩轴向受拉承载力特征值(kN)；
- $U、U^c$ ——分别为劲性复合桩桩群复合段外芯外围周长和桩群复合段内芯外围周长(m)；
- $\lambda_j、\lambda$ ——分别为劲性复合桩非复合段内芯第j土层受拉系数、复合段外芯受拉系数，宜按地区经验取值，无地区经验时可根据土的类别按表 6.3.5 取值；
- n ——群桩的桩数。

表 5 受拉系数

土的类别	λ_j	λ
砂土	0.50~0.70	0.60~0.80
黏性土、粉土	0.70~0.80	0.75~0.85

6.3.6 应用于公路桥梁的劲性复合桩的水平承载力特征值应根据现场水平荷载试验确定。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 施工前应具备下列资料：

- a) 工程项目地质勘察报告；
- b) 桩基础设计图纸及会审纪要
- c) 建筑场地和相邻区域内建（构）筑物、地下管线、架空线路等调查资料
- d) 主要施工设备及其配套设备的技术性能资料；
- e) 预制桩、水泥、外加剂等材料的质检资料；
- f) 桩基工程的施工组织设计；
- g) 相关施工工艺参数的试桩资料或类似工程项目的参考资料。

7.1.2 劲性复合桩施工前应进行成桩工艺试验和承载力试验，试验应符合下列规定：

- a) 试验数量结合地质条件、设计桩型等因素确定，不同地貌单元试桩数量不宜少于3根；
- b) 试验位置应尽量靠近地质钻孔或静力触探孔；
- c) 施工工艺、施工设备、施工条件与工程桩施工相一致；
- d) 测试单桩极限承载力及极限侧摩阻力；

- e) 当成桩质量或承载力不能满足设计要求时，应会同参建单位查明原因，进行设计方案调整或施工工艺改进。

7.2 主要机具设备

7.2.1 应根据地质勘察报告、场地周边环境、桩型设计参数等要求选用适宜的劲性复合桩相关施工机具设备，配置满足施工要求的动力装置。

7.2.2 劲性复合桩工法的主要施工机械宜由下列设备组成：

- a) 成孔设备：深层搅拌钻机或高压旋喷钻机；
- b) 植桩设备：静压桩机或锤击桩机，也可采用具备成孔、制浆、植桩等功能的一体机施工；
- c) 制浆后台：水泥浆拌合罐、砂浆泵等。

7.2.3 劲性复合桩成孔设备应符合下列规定：

- a) 钻杆直径不宜小于270mm；
- b) 宜配置一定数量搅拌叶片并具有较高的转速以满足设计要求土体最小切割次数；
- c) 设备应具备垂直度实时监测和调整功能；
- d) 钻孔深度大于最大单节钻杆长度时，设备应具有接杆功能，宜采用回转形式快速接杆或机械臂接杆结构，若采用高空接杆形式，应满足《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ 80-2016）的相关要求；
- e) 当劲性复合桩需要进入砂层、碎石层或岩层等硬质地层时，施工设备宜具备压力调节功能；
- f) 劲性复合桩施工宜配套专用数字化控制系统，能对钻孔深度、进尺速度、钻杆转速、钻机电流、注浆流量、水泥用量等进行实时监控并存储数据。

注：近年来，劲性复合桩中搅拌桩的施工质量普遍存在问题，桩身不均匀、水泥用量不足、未按设计要求施工等问题显著，缺乏有效的监控管理手段。为确保施工质量，建议配套数字化控制系统，施工过程进行全过程监控与记录。

7.2.4 制浆后台应符合下列规定：

- a) 水泥浆搅拌系统应包括搅拌桶、储浆桶、注浆泵、水泥储罐、螺旋输送机（绞龙）、水箱、水泵等；
- b) 注浆泵的工作流量应可调节，宜具备前后台联动功能，即钻进速度与后台的送浆流量匹配；
- c) 应配置拌浆和注浆的计量称重装置，并能导出搅拌记录单；
- d) 需配置泥浆比重计及试模，并配置标养箱按要求对试块进行养护。

7.3 施工准备

7.3.1 劲性复合桩施工前，应先清除地下和障碍物，完成场地三通一平，平整后场地标高宜高出劲性复合桩桩顶标高0.5m。

7.3.2 施工前应检查主要机械设备的工作性能及各种计量装置的完好程度。

7.3.3 设备组装完成后应对设备进行检验，确保设备安装可靠，设备性能满足施工要求。

7.3.4 施工前应对施工场地的地基承载力进行检测，确保场地地基承载力满足设备施工需求。

7.3.5 水泥进场时应进行相关验收：

- a) 对水泥品种、级别、包装或散装仓号、外观、出厂日期（水泥出厂合格证、产品说明说及出厂检测报告）等进行检查；
- b) 对水泥进行送检。

7.3.6 刚性桩桩材进场验收：

- a) 配置专用送桩器；
- b) 预制桩规格类型、生产日期、出厂合格证、配置数量、强度参数；
- c) 检查桩身质量是否存在缺陷，并根据施工场地特点、施工顺序等要求合理堆放。

7.3.7 预制桩的吊运应符合下列规定：

- a) 应轻起轻放，严禁抛掷、碰撞、滚落；
 - b) 吊装宜采用两头钩吊法，吊索与桩节水平夹角不得小于 45°；
 - c) 放置于运输车辆上的桩应绑扎牢固。
- 7.3.8 预制桩的堆放应符合下列规定：
- a) 堆放场地应坚实平整；
 - b) 应按不同规格、长度及施工流程分类堆放，不得混堆；
 - c) 需叠层堆放时，对于外径不小于 800mm 的桩不宜超过 2 层，其他类型的 桩不宜超过 3 层。
- 7.3.9 应通过试成孔确认钻孔过程状态、地层状况、施工设备能力、施工时间等；

注：劲性复合桩施工前，应对成桩可行性、垂直度偏差、进尺速度、钻杆转速、钻机电流、注浆流量、压桩力等进行试成桩验证，并确定成桩施工工艺参数，若采用一体机施工，初始施工技术参数可按下表规定进行选用。

土层	转速(r/min)	电流(A)	流量(L/min)	进尺速度 (m/min)
淤泥及淤泥质土	30~50	100~110	120~150	0.7~1.5
粘性土	30~50	110~120	120~150	0.3~0.8
粉土	25~35	150~200	100~200	0.5~0.7
砂层	25~35	180~250	80~90	0.2~0.5
全风化岩石	25~30	200~250	70~85	0.2~0.3
强风化岩石	25~30	260~300	55~70	0.01~0.1
中风化岩石	10~15	300~500	30~50	0.005~0.01

7.4 施工工艺

- 7.4.1 劲性复合桩施工时，应先施工搅拌桩或旋喷桩，再施工预制桩。对于黏性土，预制桩宜在搅拌桩施工后8h内完成沉桩，对于砂性土，预制桩宜在搅拌桩施工后6h内完成沉桩。
- 7.4.2 桩基施工测量定位应符合下列规定：
- a) 搅拌桩与预制桩施工时，两次定位偏差均应小于 10mm，垂直度偏差不超过 0.5%。
 - b) 开钻前调平钻机，保证桩位中心、钻杆中心线、钻尖处于同一竖直线。
- 7.4.3 搅拌桩的施工除应符合《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定外，还应符合下列要求：
- a) 为确保搅拌桩均匀性，搅拌桩桩身范围内每延米的土体受切割的次数不应小于 200 次。
- 注1：**搅拌桩桩身范围内的每延米的土体受切割的次数，可由下式(5)进行计算：

$$N = \frac{n_{down} \sum Z}{V_{down}} + \frac{n_{up} \sum Z}{V_{up}} \dots\dots\dots (5)$$

式中： N — 每延米搅拌次数

n_{down} — 下钻钻杆转速 r/min

n_{up} — 下提钻杆转速 r/min

$\sum Z$ — 搅拌叶片总个数

V_{down} — 下钻速度 m/min

V_{up} — 上提速度 m/min

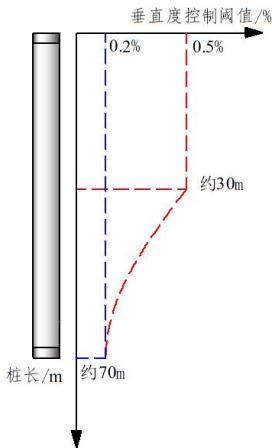
注 2：有资料表明，当加固范围内任意一点加固土经过 20 次拌合后，按搅拌叶片宽度 10cm 计算，水泥搅拌桩每延米土体需切割 200 次，其强度可达到较大值，鉴于此，为确保施工质量，加固范围内的每延米的土体受切割的次数不应小于 200 次。

- b) 应根据钻进速度和钻机电流变化，结合地质勘察报告判断是否进入持力层及进入持力层深度。
- c) 成孔时根据地层、钻机电流变化情况，采用复搅的方式修正孔壁，对胶结层、硬质层、高粘性土层宜增大复搅次数。
- d) 成孔时，钻孔深度宜采用实测钻进钻杆长度及智能测深系统读数两种方式进行双控。
- e) 植桩设备钻头直径及钻杆长度应满足设计要求的孔径、孔深，倾斜度应符合设计要求。
- f) 钻头的直径应定期复核检查，其磨损量不得大于 10mm。
- g) 钻孔深度允许偏差为 0mm~+300mm，钻孔直径允许偏差为 0mm~+20mm。
- h) 柔性桩施工时，要求桩身完整、搅拌均匀，几何尺寸准确。每根桩应一次性连续完成，当钻进中途中断，应重新复搅再开始下钻。

7.4.4 刚性复合桩的预制桩施工可采用静压法、锤击法沉桩，预制桩施工除应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《公路桥涵施工技术规范》JTGT 3650中有关预制桩施工的有关规定外，还应符合下列要求：

- a) 对于桩顶标高低于地面的刚性复合桩，接近地面第一节预制桩顶端宜设置封板，封板通过点焊与预制桩端板连接固定；
- 注：刚性复合桩施工过程中，孔口会返出部分水泥浆，当桩顶标高低于地面时，孔口反出的水泥浆在压桩到位后会倒灌入管桩桩芯，凝固后将会影响后续灌芯施工。
- b) 桩的植入应保持连续，植桩应复核本规范 7.4.1 要求；
 - c) 接桩时，应将已沉桩节固定，然后吊装上节桩，下节桩未固定前不得松开吊钩；
 - d) 预制桩桩位允许偏差应小于 10mm，桩顶标高的允许偏差为±50mm。
 - e) 宜采用高精度水准仪进行标高控制。
 - f) 预制桩施工中若出现桩身倾斜、桩头或桩身爆裂等情况，应查明原因，采取有效措施后方可继续施工。
 - g) 刚性复合桩桩长不大于 30m 时，施工垂直度控制不应大于 0.5%。当桩长 大于 30m 时，施工垂直度控制标准宜适当提高。

注：



随着桩长的增加，常规施工垂直度要求的0.5%，已不能满足实际施工需求，如图所示，以常规搅拌桩较预制桩直径大300mm为例，在30m桩长时0.5%垂直度偏差，预制桩恰好碰到孔壁，超过30m后，0.5%的垂直度偏差将导致预制桩插入孔壁，为保证预制桩施工顺利植入，避免刮碰搅拌桩桩侧，导致植桩困难，垂直

度按下式进行计算, 结果表明, 在搅拌桩较预制桩直径大300mm, 劲性复合桩桩长不大于30m时, 施工垂直度偏差不应大于0.5%。当桩长超过30m是, 沉桩施工垂直度偏差控制要求宜提高。

$$\gamma = \begin{cases} \Delta = \frac{(D_z - D)/2 - w}{L}, & \Delta < 0.5\% \\ 0.5\%, & \Delta \geq 0.5\% \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

γ ——为垂直度%;

L ——为单桩设计总桩长 m;

D_z ——为钻孔直径 m;

D ——为管桩外径 m;

w ——为静压机定位误差 mm。

7.4.5 采用静压法沉桩应符合下列规定:

- a) 预设终压值可取单桩竖向承载力特征值的 1.0~1.5 倍;
- b) 沉桩应以标高控制为主, 终压力控制为辅;
- c) 当出现送桩到位后的回弹现象, 宜将预制桩重新送至设计标高并保持稳压 3~5min 后再观察有无回弹情况, 若依然有回弹则需继续下压后进行稳压, 直至桩基不再回弹为止;
- d) 试压桩完成后应提供压桩全过程记录、压桩机整体运行情况、桩接头形式及接头施工记录、复压资料、出现异常情况的详细记录等信息资料。

7.4.6 锤击法施工应符合下列规定:

- a) 锤击式打桩机械应根据场地条件、工程特点、施工前沉桩工艺试验、刚性桩截面尺寸及强度、承载力特征值、持力层土性及进入深度等综合选定, 打桩锤宜选用液压锤或柴油锤。打桩机的桩架和底盘应具有足够的强度、刚度和稳定性, 并应与桩锤相匹配。
- b) 首节桩打入时, 应检查桩位及桩身垂直度偏差, 宜采用扶正器或抱夹进行控制。
- c) 锤击施工宜采用重锤以较低落距垂直打入, 打入过程中应进行垂直度校核。锤击施工应考虑锤击振动对周边环境的影响, 距离其他结构物或民房较近时, 不宜采用锤击法施工。
- d) 若存在厚度较大的淤泥层或松软的回填土时, 柴油锤应采用不点火空锤轻压的方式施打; 液压锤应采用落距为 200mm~300mm 的方式施打。
- e) 预制桩施打过程中, 宜重锤轻击, 应保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在同一条直线上, 并随时检查桩身的垂直度; 在较厚的黏土、粉质黏土层中施打管桩, 宜将每根桩一次性连续打到底, 减少中间休歇时间。
- f) 桩帽及垫层的设置应符合下列规定:
 - 1) 桩帽应有符合要求的强度、刚度和耐打性;
 - 2) 桩帽套筒应与施打的管桩直径相匹配, 桩帽下部套桩头用的套筒应做成圆筒形, 圆筒形中心应与锤垫中心重合, 筒体深度宜取 350mm~400mm, 内径应比管桩外径大 20mm~30mm, 不应使用过渡性钢套, 用大桩帽打小直径管桩;
 - 3) 打桩时桩帽套筒底面与桩头之间应设置桩垫, 桩垫可采用纸板、棕绳、胶合板等材料制作, 厚度应均匀一致, 压缩后桩垫厚度应为 120mm~150mm, 且应在打桩期间经常检查, 及时更换或补充;
 - 4) 桩帽上部直接接触打桩锤的部位应设置锤垫, 锤垫应用竖纹硬木或钢丝绳制作, 其厚度应为 150mm~200mm, 打桩前应进行检查、校正或更换。

7.4.7 施工过程中及时报验, 并拍摄保留相关影像资料, 报验节点包括但不限于定位开孔、成孔、注浆完成、植桩定位、每一节焊缝、每一节防腐、封板、植桩完成。

8 质量检测与验收

8.1 一般规定

8.1.1 劲性复合桩的质量检验可分为三个阶段：施工前检验、施工检验、成桩质量及承载力检验。

8.2.2 劲性复合桩质量检验主控项目应包括搅拌体质量、水泥用量、桩数、桩位偏差、桩身完整性和单桩承载力。

8.2.3 劲性复合桩施工前承载力试验宜采用静载荷试验法确定单桩承载力特征值。

8.2 施工前检验

8.2.1 施工前应严格对桩位进行检验。

8.2.2 柔性桩施工前成桩工艺试验，应对成桩质量进行检验，确定施工参数。

8.2.3 刚性桩施工前应根据选定的规格、型号，对成品桩质量进行检验，并要求生产厂家提供产品合格证和各项性能检测报告。

8.3 施工检验

8.3.1 柔性桩施工过程中应进行下列检验：

- a) 成桩工艺试验应对柔性桩水泥土固结体的形态、垂直度、胶结情况、桩身均匀程度及水泥土强度进行检验。
- b) 柔性桩施工时应检查桩位放样偏差、水泥用量、浆液压力、水压、气压、水灰比、钻杆提升速度、钻探旋转速度、桩底标高、垂直度。

8.3.2 刚性桩施工过程中应进行下列检验：

- a) 应检验第一节桩定位时的垂直度；当垂直度偏差符合要求时，方可进行施工；
- b) 贯入过程中、送桩前、承台施工前，应检验桩身垂直度；

8.3.3 施工过程中对周边环境影响的监测应符合《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406中9.1.4的规定。

8.3.4 劲性复合桩施工过程中应随时检查施工记录，对出现异常情况的桩及时进行处理。

8.4 成桩质量及承载力检验

8.4.1 施工完成后的劲性复合桩应进行桩身完整性检验和竖向承载力检验。

8.4.2 柔性桩宜采用取芯法检验水泥土强度，检验数量不宜小于总桩数的 20%，且每根桩下承台的检测桩数不应少于 1 根。

8.4.2 桩身完整性检验应采用低应变法，检测桩数不应少于总桩数的 20%，且每根桩下承台的检测桩数不应少于 1 根。

8.4.3 劲性复合桩应在成桩 21d 后进行承载力检测，应采用单桩竖向抗压静载试验，采用慢速维持荷载法。试验应在设计标高处进行，最大加载量宜采用承载力特征值的 2.0 倍或达到设计要求，检测数量应满足设计要求，且每根桩下承台的检测桩数不应少于 1 根。

8.4.4 单桩竖向抗压静载试验除应符合现行行业标准《公路工程基桩检测技术规程》JTG/T 3512 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- a) 检测时宜在桩顶铺设粗砂或中砂找平层，厚度宜取 20mm-30mm；
- b) 找平层上的刚性承压板直径应与劲性复合桩的设计直径相一致；
- c) 对直径不小于 800mm 的劲性复合桩，曲线呈缓变型时，单桩竖向极限承载力可取 s/D 等于 0.05 对应的荷载值。

8.5 验收资料

8.5.1 劲性复合桩工程验收应由建设单位会同监理、设计、施工等单位共同进行。劲性复合桩内芯应按所选桩型的相应验收规范进行检查验收，验收合格后方可进行下一步施工。

8.5.2 劲性复合桩工程验收应包含以下资料：

- a) 桩基基础设计文件及设计变更通知书；
- b) 地质勘察报告；

- c) 图纸会审记录；
- d) 技术交底文件；
- e) 开、竣工报告；
- f) 施工组织设计或施工方案，包括实施中的变更资料；
- g) 成桩工艺试验施工记录；
- h) 原材料或成品桩的产品合格证书及抽样检验资料、材料配比试验资料、 试验桩的位置等；预制桩产品质量合格证，原材料的质量合格证和质量鉴定文件；
- i) 施工记录及隐蔽工程验收文件；
- j) 桩体质量检查记录、取样送检记录及试验报告等；
- k) 施工过程中质量问题处理记录；
- l) 桩位、桩顶标高、垂直度实测记录；
- m) 承载力试验报告、桩身完整性检测报告（桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果、桩身完整性检测报告等）；
- n) 工程竣工图，补桩记录等；
- o) 工程质量控制资料核查记录；
- p) 桩基工程质量验收报告。

参 考 文 献

- [1] GB 50202-2018 建筑地基基础工程施工质量验收规范
 - [2] GB/T 50783-2012 复合地基技术规范
 - [3] JGT/T 327-2014 劲性复合桩技术规程
-