

ICS 93.020

CCS P22

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 1801—2022

可控协同桩筏基础技术规程

Code of practice for piled raft foundation of controlled stiffness

2022 - 01 - 20 发布

2022 - 04 - 20 实施

湖北省住房和城乡建设厅
湖北省市场监督管理局

联合发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 基本规定 3

6 可控协同桩筏基础构造 4

 6.1 基桩构造 4

 6.2 筏板构造 4

 6.3 桩筏连接构造 4

7 设计计算 5

 7.1 基本计算规定 5

 7.2 地基、基础承载力校核 6

 7.3 地基基础沉降计算 7

 7.4 刚度调节装置计算 8

8 施工 10

 8.1 一般规定 10

 8.2 刚度调节装置施工 10

9 检验及验收 11

 9.1 检验 11

 9.2 验收 12

附录 A（资料性） 可控刚度桩筏基础设计流程 13

附录 B（资料性） 刚度调节装置安装质量检验记录 14

附录 C（规范性） 刚度调节装置专项验收报告 15

条文说明 16

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。

本文件由湖北省住房和城乡建设厅提出并归口管理。

本文件起草单位：中信建筑设计研究总院有限公司、南京工业大学、武汉土木建筑学会、华中科技大学、中建三局集团有限公司、武汉建工集团股份有限公司、湖北建科国际工程有限公司、武汉和创建筑设计有限公司、武汉中合元创建筑设计股份有限公司、上海联创设计集团股份有限公司、武汉天华华中建筑设计有限公司、湖北道泽勘测设计院有限公司、襄阳市城市规划设计院有限公司、鼎翌建筑科技（武汉）有限公司、中机三勘岩土工程有限公司、武汉地质工程勘察院、湖北鄂东桩基工程有限公司、中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所、四川国恒建筑设计有限公司、武汉隆宇基础工程有限公司、武汉常博建设集团有限公司、武汉轻工建筑设计有限公司、中勘武设（武汉）工程集团有限公司

本文件主要起草人：温四清、周峰、徐厚军、白竺、杨鹏、王海、李智明、张仲先、黄栋、赖国梁、宋志、李黎、李文祥、阚明、许水潮、金新锋、吴海胜、赵军、樊亭、张硕、段翔、刘黎明、安柏霖、胡磊、董攀、李文波、杨柳、肖登峰、杨汉元、周洪涛、曹厉、张骥、陶宏亮、张弼文、张俊、黄琪亮、郭燕林、王帅、谢昭宇、王怀涛、巴金武、刘楠

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省住房和城乡建设厅，联系电话：027-68873088，邮箱：mail.hbszjt.net.cn。在执行过程中如有意见和建议请邮寄中信建筑设计研究总院有限公司，联系电话：027-82739117，邮箱：wensq@citic.com。

可控协同桩筏基础技术规程

1 范围

本文件规定了可控协同桩筏基础设计的基本规定，桩筏基础构造，设计计算，施工规定以及检验和验收。

本文件适用于湖北省协调桩土、桩筏变形的地基技术运用。

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。

- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- HG/T 20710 刚度可控式桩筏基础桩筏基础设计规范
- JGJ 3 高层建筑混凝土结构技术规程
- JGJ 6 高层建筑筏型与箱型基础技术规范
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- DB42/ 169 岩土工程勘察工作规程
- DB42/ 242 建筑地基基础技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

桩基础 `piled foundation`

设置于岩土中的桩和连接于桩顶的承台组成的基础。

[GB 50007-2011, 定义2.1.13]

3.2

桩筏基础 `piled raft foundation`

桩基础和连接于桩顶的筏形基础所组成的混合基础形式。

[HG/T 20710-2017, 定义2.1.4]

3.3

复合桩基 `composite ground, composite foundation`

基桩和筏板（承台）下地基土共同承担上部结构荷载的基础。

[JGJ 94-2008, 定义2.1.2]

3.4

可控协同桩筏基础 `piled raft foundation of controlled stiffness`

在桩顶设置刚度调节装置，以优化与调节桩、土支承刚度的桩筏基础。

3.5

刚度调节装置 `stiffness adjustor`

以设置于可靠支承面之间，在满足承载力和变形的条件下，用于调节接触点支承刚度的专门装置。
[HG/T 20710-2017, 定义2.1.8]

3.6

变刚度调平设计 optimized design of pile foundation stiffness to reduce differential settlement

考虑上部结构形式、荷载和地层分布以及相互作用效应，通过调整桩径、桩长、桩距或通过在桩顶设置刚度调节装置等方法改变基桩支承刚度分布，以使建筑物沉降趋于均匀，筏板（承台）内力降低的设计方法。

[GB 50007-2011, 定义2.1.10]

4 符号

R_a ——单桩竖向承载力特征值；
 F_k ——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力值；
 G_k ——基础自重和基础上的土重之和，在稳定的地下水位以下的部分，应扣除水的浮力；
 f_a ——修正后的地基承载力特征值；
 n ——桩基中基桩的数量；
 A_c ——筏板底扣除桩基截面积的净面积；
 A ——筏板基础的基底面积；
 A_p ——桩基中单桩的截面积；
 k_s ——地基土刚度系数；
 A'_c ——实现桩土共同作用时，与每根桩协同工作的地基土面积的平均值；
 k_c ——设置刚度调节装置的基桩复合支承刚度；
 k_a ——刚度调节装置支承刚度；
 k_p ——基桩支承刚度；
 S_s ——地基土承担荷载引起的地基土变形；
 S_a ——桩基分担荷载引起的刚度调节装置变形；
 S_p ——桩基分担荷载引起的桩基变形；
 ξ ——地基土分担荷载的比例系数；
 ζ ——桩基础分担荷载的比例系数；
 Q_o ——建筑物旧桩部分承担的荷载；
 Q_n ——建筑物新桩部分承担的荷载；
 n_o ——建筑物旧桩数量；
 n_n ——建筑物新桩数量；
 k_{op} ——建筑物旧桩的支承刚度；
 k_{np} ——建筑物新桩的支承刚度；
 Q_r ——相对坚硬处（或基岩面）桩基础分担的上部结构荷载标准组合值；
 Q_w ——相对软弱处桩基础或桩土体系分担的上部结构荷载标准组合值；
 A_w ——相对软弱处需考虑地基土承载力部分的有效净面积；
 n_r ——相对坚硬处（或基岩面）基桩数量；
 n_w ——相对软弱处基桩数量；
 k_{wp} ——相对软弱处桩基础的支承刚度；
 k_{ws} ——相对软弱处地基土的刚度系数。

5 基本规定

5.1 可控协同桩筏基础适用于筏板下地基土承载力特征值不少于 120kPa 的土层，当可控协同桩筏基础用于高层时地基土承载力特征值不少于 150 kPa。

5.2 可控协同桩筏基础适用于以下情况：

- a) 以减小差异沉降和筏板（承台）内力为目标，需要进行变刚度调平设计；
- b) 考虑桩土共同作用，需要协调桩土变形时；
- c) 特殊地质条件下的桩筏基础，如建筑场地基岩面起伏较大，岩溶、孤石地质条件以及土岩组合地基等地基土支承刚度不均匀的情况；
- d) 以上两种或多种情况的组合。

5.3 可控协同桩筏基础设计前应进行建筑场地的岩土工程勘察，详细勘察应按照 DB42/ 169 《岩土工程勘察工作规程》以及 GB 50021 《岩土工程勘察规范》中的规定执行。

5.4 岩土工程勘察报告应提供各岩土层的物理力学性质等资料，提供与设计要求相对应的地基承载力及变形计算参数，并对设计与施工应注意的问题提出建议。

5.5 建筑物地基均应进行施工验槽。如地质条件出现异常时，应进行施工勘察。

5.6 可控协同桩筏基础设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力限值应符合下列规定：

- a) 确定筏板面积和桩数时，应采用传至基础底面的荷载效应标准组合；相应抗力应采用修正后的地基承载力特征值和单桩承载力特征值；
- b) 计算荷载作用下的基础沉降时，应采用传至基础底面的荷载效应准永久组合，不应计入地震作用；相应的限值应为地基变形允许值；
- c) 在进行基础构件承载力计算、确定配筋和验算材料强度时，应采用传至基础顶面的荷载效应基本组合；当进行裂缝宽度验算时，筏板采用荷载效应准永久组合，基桩采用荷载效应准永久组合。

5.7 可控协同桩筏基础桩型与成桩工艺应根据建筑物结构类型、桩的承载力、地质条件及施工条件，按照安全适用、经济合理的原则选择。

5.8 桩基布置应满足下列要求：

- a) 不考虑桩土共同作用时，桩的最小中心距应按照 DB42/ 242 《建筑地基基础技术规范》中的规定执行；考虑桩土共同作用时，桩的最小中心距宜在现行国家和地方标准规定的基础上加 0.5d；
- b) 排列基桩时，宜使桩群承载力合力点与竖向永久荷载合力作用点重合，宜将桩相对集中布置于剪力墙、核心筒及框架柱等竖向构件下。

5.9 可控协同桩筏基础设置的刚度调节装置应满足下列要求。

- a) 刚度调节装置承载力不应小于设计要求的桩身承载力；
- b) 有效可调节变形量不应小于设计要求的变形量，且宜有 20%的安全储备；
- c) 当刚度调节装置用于调节建筑物基础差异沉降时，其有效调节变形量应大于差异沉降设计值的 1.5 倍；
- d) 刚度调节装置可选用橡胶支座、碟形弹簧或刚度调节装置；
- e) 调节装置可根据受荷大小和变形要求串联或并联组合。

5.10 刚度调节装置应采取可靠的防腐蚀措施，应保证在工作阶段内不发生影响其工作性能的腐蚀。

5.11 刚度调节装置竖向高度不应大于直径的 50%，刚度调节装置在桩顶应对称均匀布置，总面积不应大于基桩有效截面面积的 50%。

5.12 刚度调节装置完成调节工作后，桩顶空腔应在建筑物主体施工完毕且砌体施工完成后封闭，当建筑物沉降趋于稳定时可提前封闭。封闭时间应由设计人根据土质情况、计算条件及调节目标综合判断后在设计文件中明确。

5.13 可控协同桩筏基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求，且不宜小于建筑物高度的1/15。

5.14 刚度调节装置不应布置于抗拔桩，对于高层建筑中设防地震下受拉的基桩，基桩、刚度调节装置与筏板的连接构造应满足受拉要求。

5.15 可控协同桩筏基础在进行设计、施工及验收时，除应符合本规程的规定外，应符合 DB42/ 242《建筑地基基础技术规范》的规定。

6 可控协同桩筏基础构造

6.1 基桩构造

6.1.1 桩端全截面进入持力层的深度，应根据地质条件、荷载大小和性质以及施工工艺确定，宜为桩身直径的1~3倍。确定桩端进入持力层深度时，应考虑特殊土，岩溶等影响。桩端进入持力层深度要求应按照 DB42/ 242《建筑地基基础技术规范》中的规定执行。

6.1.2 对于嵌岩灌注桩，嵌岩深度应综合荷载、上覆土层、基岩、桩径、桩长诸因素确定；对于嵌入完整和较完整的未风化、微风化、中风化硬质岩的深度不宜小于0.5m，倾斜度大于30%的中风化岩，宜根据倾斜度及岩石完整性适当加大嵌岩深度。

6.1.3 岩溶中等和强烈发育场地的嵌岩端承型桩，桩端全断面嵌入完整岩层表面的深度不应小于桩身直径的2倍，且不得小于2m。

6.1.4 当岩层存在溶洞（槽）或串珠状溶洞（槽）时，桩端嵌入溶洞（槽）底部完整岩石的深度不应小于0.5m，且桩身线入岩深度的总和不应小于2m和2倍桩直径。

6.1.5 可控协同桩筏基础基桩应按下列规定配筋：

- a) 当桩身直径为500mm~2000mm时，正截面配筋率可取0.65%~0.2%（小直径桩取高值）；对受荷载特别大的桩和嵌岩端承桩应根据计算确定配筋率，并不应小于上述规定值；
- b) 宜沿桩身等截面或变截面通长配筋。

6.1.6 桩身混凝土及混凝土保护层厚度应符合下列要求：

- a) 桩身混凝土强度等级不应小于C30；
- b) 灌注桩的主筋混凝土保护层厚度不应小于50mm。

6.2 筏板构造

筏板的形式应根据地基土质、上部结构体系、柱距、荷载大小以及施工条件等因素综合确定，宜优先采用平板式筏基。梁板式和平板式的构造和配筋应满足现行行业标准 JGJ 6《高层建筑筏型与箱型基础技术规范》的要求。

6.3 桩筏连接构造

6.3.1 桩顶连接构造应保证刚度调节装置的调节性能正常发挥作用，刚度调节装置在调节状态时，其构造做法应保证其正常发挥作用；刚度调节装置退出调节工作状态后，应通过注浆等措施，使桩顶连接构造达到桩基础各受力工况的要求。当设计有抗剪要求时，桩顶连接构造应满足受力要求。

6.3.2 每个刚度调节装置下方应设置钢板底座，底座钢板的厚度不宜小于10mm，直径不应小于刚度调节装置直径。当底座数量多于1个时，应保证底座均匀分布于桩顶平面范围内。

6.3.3 刚度调节装置底座可以采用预埋或植筋的方式与桩顶混凝土进行有效连接，连接时应保证底座保持水平状态并满足标高要求。

6.3.4 当刚度调节装置底座采用预埋方式与桩顶连接时，距离基桩桩顶250mm高度范围内混凝土应二次浇筑，二次浇筑前原桩身钢筋不应截断，在桩顶处应向内弯曲。二次浇筑混凝土强度等级不应低于

C30, 且不应低于桩身混凝土强度。桩顶二次浇筑混凝土应设置两层水平构造钢筋网, 钢筋直径不小于 10 mm、间距不大于 150 mm, 底座通过不少于 4 根、直径不少于 12 mm、长度不少于 200 mm 的钢筋与桩顶连接。

6.3.5 当刚度调节装置底座采用植筋方式与桩顶连接时, 在桩顶种植 4 根直径不少于 14 mm、长度不少于 200 mm 的带肋钢筋, 钢筋与底座通过螺栓连接。底座与桩顶混凝土空隙通过高强无收缩的灌浆料灌注密实。

6.3.6 刚度调节装置安装完毕之后, 桩顶侧护板与垫层之间的空隙应填充密实, 材料可采用粗砂等。

6.3.7 刚度调节装置退出可调节工作状态后, 基桩和筏板连接处的空腔应采用注浆法充填, 注浆应连续一次完成。

7 设计计算

7.1 基本计算规定

7.1.1 考虑桩土共同作用时, 地基承载力特征值应按现行地方标准 DB42/ 242《建筑地基基础技术规范》中的规定进行深度和宽度修正, 并符合 HG/T 20710《刚度可控式桩筏基础桩筏基础设计规范》的规定。

7.1.2 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向承载力特征值时, 可按下式(1)估算:

$$R_a = q_{pa}A_p + u_p \sum q_{sia} l_i \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- R_a ——单桩竖向承载力特征值 (kN);
- u_p ——桩身截面周长 (m);
- q_{sia} ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力特征值 (kPa);
- l_i ——桩周第*i*层土的厚度 (m);
- q_{pa} ——桩端端阻力特征值 (kPa);
- A_p ——桩端横截面面积 (m²)。

7.1.3 根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系, 估算大直径桩 ($d \geq 800$ mm) 单桩承载力特征值时, 可按下式(2)计算:

$$R_a = \Psi_p q_{pa} A_p + u_p \sum \Psi_{si} q_{sia} l_i \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- R_a ——单桩竖向承载力特征值 (kN);
- u_p ——桩身截面周长 (m);
- q_{sia} ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力特征值 (kPa);
- l_i ——桩周第*i*层土的厚度 (m);
- q_{pa} ——桩端端阻力特征值 (kPa);
- A_p ——桩端横截面面积 (m²)
- Ψ_{si} 、 Ψ_p ——大直径桩侧阻、端阻尺寸效应系数, 按表1取值。

注: 计算混凝土护壁的大直径挖孔桩单桩竖向承载力特征值时, 其设计桩径取护壁外直径。扩底桩斜面及以上2 d长度范围不计侧阻力。

表1 大直径灌注桩侧阻尺寸效应系数 Ψ_{si} 、端阻尺寸效应系数 Ψ_p

土类型	黏性土、粉土	砂土、碎石类土
Ψ_{si}	$(0.8/d)^{1/5}$	$(0.8/d)^{1/3}$
Ψ_p	$(0.8/D)^{1/4}$	$(0.8/D)^{1/3}$
注：d—桩身设计直径或边长，D—扩大端设计直径。		

7.1.4 当桩基础采用后注浆技术时，单桩竖向抗压承载力应通过静荷载试验确定，且桩基承载力提高系数应执行湖北省地标的相关规定。

7.1.5 当进行单桩竖向承载力计算时，应按 DB42/ 242 《建筑地基基础技术规范》中的规定要求校核桩身强度。

7.2 地基、基础承载力校核

7.2.1 可控协同桩筏基础应用于充分发挥地基土承载力，实现桩土共同作用时，桩基数量初步确定按下式（3）计算：

$$n \geq \frac{F_k + G_k - f_a A_c}{R_a} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

F_k ——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力值（kN）；

G_k ——基础自重和基础上的土重之和，在稳定的地下水位以下的部分，应扣除水的浮力（kN）；

f_a ——修正后的地基承载力特征值（kPa）；

n ——桩基中基桩的数量；

R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

A_c ——筏板底扣除桩基截面积的净面积（ m^2 ）， $A_c = A - A_p \cdot n$

A ——筏板基础的基底面积（ m^2 ）；

A_p ——桩基中单桩的截面积（ m^2 ）。

7.2.2 可控协同桩筏基础不考虑桩土共同作用，桩基数量初步确定，按下式（4）计算：

$$n \geq \frac{F_k + G_k}{R_a} \dots\dots\dots (4)$$

7.2.3 可控协同桩筏基础筏板底地基土压力应符合下列公式规定：

c) 当受轴心荷载作用时

$$p_k \leq f_a \dots\dots\dots (5)$$

式中：

p_k ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）。

d) 当受偏心荷载作用时，除应符合式（6）定外，应符合下式规定：

$$p_{kmax} \leq 1.2f_a \dots\dots\dots (6)$$

式中：

p_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力值（kPa）。

7.2.4 可控协同桩筏基础基桩竖向承载力应符合下列要求：

a) 荷载效应标准组合：

1) 轴心竖向力作用下

$$N_k \leq R_a \dots\dots\dots (7)$$

2) 偏心竖向力作用下，除满足上式外，应满足下式的要求：

$$N_{kmax} \leq 1.2R_a \dots\dots\dots (8)$$

b) 地震作用效应和荷载效应标准组合:

1) 轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \cdots \cdots \cdots (9)$$

2) 偏心竖向力作用下, 除满足上式外, 应满足下式的要求:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R_a \cdots \cdots \cdots (10)$$

式中:

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下, 基桩的平均竖向力 (kN);

N_{kmax} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下, 桩顶最大竖向力 (kN);

N_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下, 基桩的平均竖向力 (kN);

N_{Ekmax} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下, 基桩的最大竖向力 (kN)。

7.2.5 对于抗震设防的高层建筑, 可控协同桩筏基础的基底土压力除应符合第 7.2.3 条的要求外, 应按下列公式验算地基抗震承载力:

$$p_{kE} \leq f_{aE} \cdots \cdots \cdots (11)$$

$$p_{max} \leq 1.2f_{aE} \cdots \cdots \cdots (12)$$

$$f_{aE} = \zeta_a f_a \cdots \cdots \cdots (13)$$

式中:

p_{kE} ——相应于地震作用效应标准组合时, 基础底面的平均压力值 (kPa);

p_{max} ——相应于地震作用效应标准组合时, 基础底面边缘的最大压力值(kPa);

f_{aE} ——调整后的地基抗震承载力 (kPa);

ζ_a ——地基抗震承载力调整系数, 按表2确定。

注: 在地震作用下, 对于高宽比大于4 的高层建筑, 基础底面不宜出现零应力区; 对于其它建筑, 当基础底面边缘出现零应力时, 零应力区的面积不应超过基础底面面积的15%。

表2 地基抗震承载力调整系数 ζ_a

岩土名称和性状	ζ_a
岩石, 密实的碎石土, 密实的砾、粗中砂, $f_{ak} \geq 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土	1.5
中密、稍密的碎石土, 中密和稍密的砾、粗、中砂, 密实和中密的细、粉砂, $150 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土	1.3
稍密的细、粉砂, $100\text{kPa} \leq f_{ak} < 150\text{kPa}$ 的黏性土和粉土, 新近沉积的黏性土和粉土	1.1
淤泥, 淤泥质土, 松散的砂, 填土	1.0
注: f_{ak} 为未经修正的地基承载力特征值。	

7.3 地基基础沉降计算

7.3.1 可控协同桩筏基础的地基沉降变形计算值, 不应大于建筑物的地基沉降变形允许值, 建筑物的地基沉降变形允许值应按地区经验确定, 当无地区经验时应按现行国家标准 GB 50007《建筑地基基础设计规范》中的规定执行。

7.3.2 地基土刚度系数 k_s 根据地基土所受实际荷载以及在该荷载作用下地基土产生的沉降计算得到, 如下式 (14) 所示:

$$k_s = p/s \cdots \cdots \cdots (14)$$

式中:

p ——基底地基土所受荷载 (kPa);

s ——该荷载作用下地基土产生的沉降 (mm)。

7.3.3 可控协同桩筏基础的最终沉降 S 按下式 (15) (16) 计算:

$$S = S_s \dots\dots\dots (15)$$

$$S = S_a + S_p \dots\dots\dots (16)$$

式中:

S_s ——地基土承担荷载引起的基础土变形 (mm);

S_a ——桩基分担荷载引起的刚度调节装置变形 (mm);

S_p ——桩基分担荷载引起的桩基变形 (mm), 具体计算参照现行行业标准JGJ 94《建筑桩基技术规范》执行。

7.3.4 地基土承担荷载引起的基础土变形 S_s , 可采用土的变形模量按下式 (17) 计算:

$$S_s = p_k b \eta \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_{oi}} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

p_k ——长期效应组合下的基底地基土的平均压力标准值 (kPa);

b ——基础底面宽度 (m);

δ_i 、 δ_{i-1} ——与基础长宽比 L/b 及基础底面至第 i 层土和第 $i-1$ 层土底面的距离深度 z 有关的无因次系数, 按现行行业标准JGJ 6《高层建筑箱型与筏型基础技术规范》确定;

E_{oi} ——基础底面下第 i 层土的变形模量 (MPa), 通过试验或按地区经验确定;

η ——沉降计算修正系数, 按表3确定。

表3 修正系数 η

$m=2z_n/b$	$0 < m \leq 0.5$	$0.5 < m \leq 1$	$1 < m \leq 2$	$2 < m \leq 3$	$3 < m \leq 5$	$5 < m \leq \infty$
η	1.00	0.95	0.90	0.80	0.75	0.70

7.3.5 按 7.3.4 条进行地基土变形计算时, 沉降计算深度 z_n 可按下式 (18) 计算:

$$z_n = (z_m + \alpha b) \beta \dots\dots\dots (18)$$

式中:

z_m ——与基础长宽比有关的经验值 (m), 按表4确定;

α ——折减系数, 按表4确定;

β ——调整系数, 按表5确定;

表4 z_m 值与折减系数 α

L/b	≤ 1	2	3	4	≥ 5
z_m	11.6	12.4	12.5	12.7	13.2
α	0.42	0.49	0.53	0.60	1.00

表5 调整系数 β

土类	碎石	砂土	粉土	黏性土	软土
β	0.30	0.50	0.60	0.75	1.00

7.4 刚度调节装置计算

7.4.1 刚度调节装置用于桩土共同作用时, 其支承刚度 k_a 的大小按照下式计算:

$$\frac{\zeta}{k_c} = \frac{\xi}{A'_c \cdot k_s} \quad (19)$$

$$A'_c = \frac{A_c}{n} \quad (20)$$

$$k_a = \frac{k_p \cdot k_c}{k_p - k_c} \quad (21)$$

式中：

ζ ——桩基础分担荷载的比例系数；

ξ ——地基土分担荷载的比例系数；

A'_c ——实现桩土共同作用时，与每根桩协同工作的地基土面积的平均值（ m^2 ）；

k_s ——地基土的刚度系数（ kN/m^3 ）；

k_c ——设置刚度调节装置的基桩复合支承刚度（ kN/m ），由基桩支承刚度 k_p 和刚度调节装置支承刚度 k_a 串联而成，当基桩为嵌岩端承桩时， $k_c \approx k_a$ 。

7.4.2 当刚度调节装置用于以减少建筑物差异沉降和筏板内力为目标的变刚度调平设计时，刚度调节装置与桩基础以及地基土形成的复合支承刚度在筏板基础平面内的分布应符合 JGJ 94《建筑桩基技术规范》的要求，必要时进行上部结构-筏板-刚度调节装置-桩-土共同作用整体分析。

7.4.3 刚度调节装置用于调节新、旧桩基不同支承刚度，共同承担上部结构荷载时，刚度调节装置支承刚度 k_a 按下式进行计算：

a) 当刚度调节装置用于调节新桩的支承刚度时

$$Q_o/n_o k_{op} = Q_n/n_n k_c \quad (22)$$

$$k_a = \frac{k_{np} \cdot k_c}{k_{np} - k_c} \quad (23)$$

式中：

Q_o ——建筑物旧桩部分承担的荷载（ kN ）；

Q_n ——建筑物新桩部分承担的荷载（ kN ）；

n_o ——建筑物旧桩数量；

n_n ——建筑物新桩数量；

k_{op} ——建筑物旧桩的支承刚度（ kN/m ），通过单桩静载试验确定；

k_c ——设置刚度调节装置的新桩复合支承刚度（ kN/m ），由新桩支承刚度 k_{np} 和刚度调节装置支承刚度 k_a 串联而成，新桩支承刚度亦可通过单桩静载试验确定。

b) 当刚度调节装置用于调节旧桩的支承刚度时

$$Q_o/n_o k_c = Q_n/n_n k_{np} \quad (24)$$

$$k_a = \frac{k_{op} \cdot k_c}{k_{op} - k_c} \quad (25)$$

式中：

k_{np} ——建筑物新桩的支承刚度（ kN/m ），通过单桩静载试验确定；

k_c ——设置刚度调节装置的旧桩复合支承刚度（ kN/m ），由旧桩支承刚度 k_{op} 和刚度调节装置支承刚度 k_a 串联而成，旧桩支承刚度亦可通过单桩静载试验确定。

7.4.4 刚度调节装置用于桩基支承刚度差异较大或土岩结合地基等地基土支承刚度严重不均匀的情况时，其支承刚度按照下式计算：

a) 考虑地基土作用时

$$\frac{Q_r}{n_r k_c} = \frac{Q_w}{n_w k_{wp} + A_w k_{ws}} \quad (26)$$

b) 不考虑地基土作用时

$$\frac{Q_r}{n_r k_c} = \frac{Q_w}{n_w k_{wp}} \dots\dots\dots (27)$$

$$k_a = \frac{k_p \cdot k_c}{k_p - k_c} \dots\dots\dots (28)$$

式中:

Q_r ——相对坚硬处(或基岩面)桩基础分担的上部结构荷载标准组合值(kN);

Q_w ——相对软弱处桩基础或桩土体系分担的上部结构荷载标准组合值(kN);

k_c ——相对坚硬处(或基岩面)设置刚度调节装置的基桩(或墩基)复合支承刚度(kN/m),由基桩(或墩基)支承刚度 k_p 和刚度调节装置支承刚度 k_a 串联而成,当基桩(或墩基)嵌岩时, $k_c \approx k_a$;

A_w ——相对软弱处需考虑地基土承载力部分的有效净面积(m^2);

n_r ——相对坚硬处(或基岩面)基桩数量;

n_w ——相对软弱处基桩数量;

k_{wp} ——相对软弱处桩基础的支承刚度(kN/m);

k_{ws} ——相对软弱处地基土的刚度系数(kN/m^3)。

7.4.5 可控刚度桩筏基础设计流程参见附 A 进行。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 土方开挖时,应采取减少基底土体扰动的保护措施,机械挖土时,基底以上 300 mm~500 mm 厚土层应采用人工挖除,严禁超挖。

8.1.2 基础施工过程中,必须保持基底干燥状态;地下水位保持在基底 500 mm 以下,地表水及时排除。

8.1.3 基础施工前应进行地基验槽,符合要求后立即浇筑 C15 或以上等级的混凝土垫层,垫层混凝土强度达到设计强度的 70%后,进行后续工序施工。

8.1.4 桩顶刚度调节装置安装前,必须对基桩的平面位置及桩顶标高进行复核。

8.1.5 施工过程中,应对刚度调节装置采取切实可靠的保护措施,确保刚度调节装置的坐标方位和平整度;确保变形标识杆等测试装置不受到外力冲击。

8.1.6 基础施工过程中,应有保护周边环境、工程桩、基坑支护结构、降水设施的技术措施。

8.1.7 材料及设施应符合下列规定:

- 刚度调节装置必须选用正规厂家生产的产品,必须具备出厂合格证和性能检测报告;
- 刚度调节装置的承载能力、变形能力和刚度系数应符合设计要求;
- 上盖板、底座、侧护板所使用的钢材必须有足够的刚度,上盖板、底座厚度不应少于 10 mm;
- 变形标识杆的刻度应精确,必要时作标定;
- 注浆管应保持畅通、不被堵塞或损坏;
- 基坑四周的回填密实度不低于 0.94,材料宜采用颗粒级配良好的砂石,砂石的最大粒径不宜大于 50mm;采用粘土回填时,有机质等杂质含量不应大于 5%。

8.2 刚度调节装置施工

8.2.1 桩顶超灌混凝土应凿除干净,露出新鲜密实的混凝土平面。

8.2.2 底座的倾斜度不应大于 1%。

8.2.3 刚度调节装置的平面位置误差不应大于 10 mm,标高误差不应大于 5 mm。

8.2.4 刚度调节装置与底座之间应有可靠的限位措施;变形标识杆与底座应栓接牢固,垂直度偏差不

应大于 1%。

8.2.5 上盖板和侧护板应有可靠的固定措施，其就位后不应受到外力冲击而移动或倾斜。

8.2.6 桩顶二次浇筑混凝土强度等级不应低于桩身混凝土强度等级，并应连续浇筑，振捣密实，混凝土浇筑完成后应静置 30 min，抹平，收光，再复核混凝土面标高及平整度。

8.2.7 上盖板、支座及侧护板组成的空腔内除刚度调节装置、变形标识杆外不应有其他杂物，在上盖板封口时应检查并清理干净。

8.2.8 刚度调节装置退出可调节工作状态后，基桩和筏板连接处的空腔应采用注浆法充填。注浆管应采用镀锌钢管，数量不应少于 2 根，内径不小于 30 mm，壁厚不小于 3 mm。

8.2.9 注浆材料应选用高强、高流动以及无收缩的商品灌浆料，类型为粉体料，灌浆料的拌合按照所购产品的说明进行，灌浆料的流动性满足 GB/T 50448《水泥基灌浆材料应用技术规范》II 类要求，强度满足设计要求。

8.2.10 注浆前应对注浆管清洗、除锈。注浆时注浆管顶部均应设置阀门，其中一管注浆时，其余注浆管阀门应在返浆后关闭，注满后应保持注浆压力不小于 0.5 MPa 且不少于 3 分钟。注浆结束后应将全部注浆口阀门封闭，注浆体凝固后方可拆除。

9 检验及验收

9.1 检验

9.1.1 基坑开挖后，建设单位应会同各责任主体进行基底持力层检验。每个单体建筑，应选取不少于 3 处进行地基载荷板检测。

9.1.2 刚度调节装置的生产加工应符合设计要求，对进场使用的刚度调节装置应进行承载力、变形及支承刚度的检验，检验数量不应少于刚度调节装置总数的 1%，且不应少于 3 个。

9.1.3 如采用人工挖孔桩，则应对开挖尺寸、中心偏移、孔壁岩土性质进行检验；人工挖孔桩终孔时，应逐孔进行桩端持力层检验，复验孔底持力层土（岩）性及孔底虚土厚度。

9.1.4 工程桩施工完成后应进行桩身质量检验。采用低应变方法检测时，应全数进行检测；除人工挖孔桩以外的大直径灌注桩，应进行声波透射法检测，单栋建筑检测数量不应少于总桩数的 10%，且不应少于 10 根；对直径不小于 600 mm 的嵌岩桩应采用钻芯法检测工程桩的桩身混凝土强度、桩身完整性、桩底沉渣厚度、持力层状况等，每单栋建筑物的检测桩数不应少于总桩数的 1% 且不少于 3 根。

9.1.5 对施工完成后的工程桩竖向抗压承载力应采用静载荷试验的方法进行验收检验，单栋建筑同条件的桩检验桩数不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根；当桩数少于 50 根时，不应少于 2 根。场地存在多栋建筑物时，对岩土工程条件相同、桩型和桩径及单桩承载力相同、桩端持力层相同及桩长相近的桩，验收检测的数量每单栋建筑物不应少于 1 根，且不应少于总桩数的 1%；每施工单位施工的验收检测桩不应少于 3 根。高度超过 100 m 的建筑单桩竖向抗压静载荷试验的验收检测数量应符合单栋建筑检测要求。

9.1.6 灌注桩应按照 DB42/ 242《建筑地基基础技术规范》中的规定执行。

9.1.7 对于既有桩用于新建建筑时，应增加以下检测：

- a) 小应变检测，数量不少于 30% 且不少于 10 根；
- b) 大直径灌注桩应采用钻芯法检测工程桩的桩身混凝土强度、桩身完整性、桩底沉渣以及持力层状况，每单栋建筑检测数量不少于总桩数 1%，且不少于 3 根；
- c) 单桩竖向抗压静荷载实验检测，检测数量不少于总桩数 1%，且不少于 3 根。

9.1.8 刚度调节装置可选用橡胶支座、碟形弹簧或刚度调节装置，并应有产品合格证书或产品性能出厂检测报告。

9.1.9 刚度调节装置安装质量检验应满足表 6 的规定。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/036140123122010203>