

备案号: J2403—2017

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20709—2017

---

# 复合桩基础设计规范

Code for design of composite pile foundation

2017-07-07 发布

2018-01-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国化工行业标准

# 复合桩基础设计规范

**Code for design of composite pile foundation**

HG/T 20709—2017

主编单位：南京工业大学

化学工业岩土工程有限公司

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2018 年 1 月 1 日

# 中华人民共和国工业和信息化部

# 公 告

2017 年 第 32 号

工业和信息化部批准《塑料经编遮阳网》等 238 项行业标准（标准编号、名称、主要内容及实施日期见附件），其中轻工行业标准 49 项、化工行业标准 30 项、石化行业标准 44 项、冶金行业标准 57 项、有色金属行业标准 34 项、稀土行业标准 10 项、黄金行业标准 6 项、航空行业标准 1 项、建材行业标准 2 项、汽车行业标准 2 项、通信行业标准 3 项；批准《家用和类似用途电器的溶出物限值和试验方法》1 项轻工行业标准修改单，现予公布。行业标准修改单自发布之日起实施。

附件：8 项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

中华人民共和国工业和信息化部

二〇一七年七月七日

附件：

8 项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

序号	标准编号	标准名称	被代替标准编号	实施日期
70	HG/T 20222—2017	铝及铝合金焊接技术规程	HGJ 222—1992	2018-01-01
71	HG/T 20223—2017	铜及铜合金焊接及钎焊技术规程	HGJ 223—1992	2018-01-01
72	HG/T 20203—2017	化工机器安装工程施工及验收规范（通用规定）	HG 20203—2000	2018-01-01
73	HG/T 20275—2017	化工设备工程施工及验收规范		2018-01-01
74	HG/T 20691—2017	高压喷射注浆施工技术规范	HG/T 20691—2006	2018-01-01
75	HG/T 20709—2017	复合桩基础设计规范		2018-01-01
76	HG/T 20710—2017	刚度可控式桩筏基础设计规范		2018-01-01
77	HG/T 20638—2017	化工装置自控工程设计文件深度规范	HG/T 20638—1998	2018-01-01



# 前 言

本标准是根据（工信厅科〔2015〕115号文）《关于印发2015年第三批行业标准制修订计划的通知》，由中国石油和化工勘察设计协会组织南京工业大学、化学工业岩土工程有限公司等单位制定而成。

本标准编制组经调查研究，总结实践经验，同时参考了国内外有关标准，并广泛征求意见，最后制定了本标准。

本标准的主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、复合桩基础设计、检验与监测等。

本标准由中国石油和化工勘察设计协会提出并归口。

本标准由化学工业岩土工程有限公司、南京工业大学负责技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至化学工业岩土工程有限公司（地址：南京市江北新区浦东北路5号扬子科创基地4号楼，邮编：210031，电话：025-57737590）或南京工业大学（地址：南京市江北新区浦珠南路30号，邮编：211816，电话：025-83587882）。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

**主 编 单 位：**南京工业大学

化学工业岩土工程有限公司

**参 编 单 位：**中建海峡建设发展有限公司

中国化学工程第一岩土工程有限公司

中化地质郑州岩土工程有限公司

浙江化工工程地质勘察院有限公司

南京工大建设工程技术有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

南京工大岩土工程有限公司

南京新吉泰岩土工程有限公司

江苏省环境岩土工程技术研究中心

常州工学院

南京市房屋安全管理（鉴定）处

**主要起草人：**王旭东 周 峰 王 挺 蒋 刚 尤苏南 高理华 吴平春 刘文东

赵迷军 赵 斌 汪中卫 徐建龙 王志良 杨嵘昌 戚科骏 李雄威

郭天祥 屈 伟 常银生 王宗文 姜炎涛 程书昌 杨 峰 谢 勋

郑 兴 张 峰 陈 成 赵桂芹 韩俊秋 田 收

**主要审查人：**刘松玉 尹平平 梁发云 马海龙 雷国辉 侯善民 丁晓峰

目次

1 总则..... (1)

2 术语和符号..... (2)

    2.1 术语..... (2)

    2.2 符号..... (2)

3 基本规定..... (5)

4 复合桩基础设计 ..... (7)

    4.1 承载力计算..... (7)

    4.2 桩基计算..... (7)

    4.3 沉降计算..... (8)

    4.4 整体安全度复核..... (10)

5 检验与监测..... (12)

    5.1 检验..... (12)

    5.2 监测..... (12)

本标准用词说明 ..... (13)

引用标准目录 ..... (14)

附：条文说明 ..... (15)

## Contents

1	General provisions .....	(1)
2	Terms and symbols .....	(2)
2.1	Terms .....	(2)
2.2	Symbols .....	(2)
3	Basic requirement .....	(5)
4	Design of composite pile foundation .....	(7)
4.1	Calculation of bearing capacity .....	(7)
4.2	Calculation of pile foundation .....	(7)
4.3	Calculation of settlement .....	(8)
4.4	Check of Integral degree of safety .....	(10)
5	Inspection and monitoring .....	(12)
5.1	Inspection .....	(12)
5.2	Monitoring .....	(12)
	Explanation of wording in this code .....	(13)
	List of quoted standards .....	(14)
	Addition:Explanation of provisions .....	(15)



# 1 总 则

- 1.0.1 为了在复合桩基础设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于建筑物、构筑物复合桩基础的设计、检验与监测。
- 1.0.3 复合桩基础的设计应综合考虑工程地质与水文地质、上部结构类型、荷载特征、施工技术与周边环境等条件；应重视地方经验，因地制宜，合理选择桩型、成桩工艺，优化布桩，节约资源。
- 1.0.4 复合桩基础的设计、检验与监测除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1

**复合桩基础 composite pile foundation**

大桩距稀疏布置的摩擦型群桩与筏板下地基土共同承担竖向荷载，群桩中单桩工作于极限承载状态下的桩筏基础。

#### 2.1.2

**地基承载力特征值 characteristic value of subsoil bearing capacity**

由荷载试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

#### 2.1.3

**单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of a single pile**

单桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载，它取决于土对桩的支承阻力和桩身承载力。

#### 2.1.4

**地基承载力满足率 fulfilled rate of subsoil bearing capacity**

由地基承载力特征值确定的地基土抗力与传至筏板基础底面的荷载效应标准组合值的比值。

#### 2.1.5

**地基承载力利用率 utilization factor of characteristic value of subsoil bearing capacity**

基底平均压力设计值与地基承载力特征值的比值。

#### 2.1.6

**单桩极限承载力利用率 utilization factor of ultimate vertical bearing capacity of a single pile**

单桩竖向承载力设计值与单桩竖向极限承载力标准值的比值，用以反映单桩竖向极限承载力的利用程度。

#### 2.1.7

**整体安全度 integral degree of safety**

复合桩基础的竖向极限承载力标准值与传至筏板基础底面的荷载效应标准组合值的比值。

### 2.2 符 号

#### 2.2.1 作用与作用效应

$F_k$ ——荷载效应标准组合下，上部结构传至基础顶面的竖向力；



$G_k$ ——基础自重和基础上的土重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

$N$ ——荷载效应基本组合下的基桩桩顶竖向力设计值；

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

$p_0$ ——相应于准永久组合下时，基础底面处的平均附加压力；

$p_k$ ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值；

$p_{kE}$ ——相应于地震作用效应标准组合时，基础底面的平均压力值；

$p_{ki}$ ——相应于荷载效应标准组合时，复合桩基础基底压力；

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

$p_{kmaxE}$ ——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。

### 2.2.2 抗力与材料性能

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$f_{aE}$ ——调整后的地基抗震承载力；

$f_{ak}$ ——地基承载力特征值；

$Q_k$ ——单桩竖向承载力设计值；

$Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值。

### 2.2.3 几何参数

$A$ ——筏板总面积；

$A_c$ ——筏板扣除桩基截面积的净面积；

$A_p$ ——单桩的截面积；

$B$ ——基础的宽度；

$d$ ——桩身直径或截面边长，基础埋置深度；

$L$ ——基础的长度；

$s$ ——复合桩基础的最终沉降量；

$s_a$ ——基桩中心距；

$s_p$ ——桩基的最终沉降量；

$s_{p1}$ 、 $s_{p2}$ ——单桩桩身压缩量与桩端刺入量；

$s_s$ ——地基的最终沉降量；

$\gamma_m$ ——基础底面以上土的加权平均重度。

### 2.2.4 计算系数

$n$ ——复合桩基础中的桩数；

$K$ ——复合桩基础整体安全度；

$\zeta_a$ ——地基抗震承载力调整系数；

$\zeta_s$ ——地基承载力利用率；

$\zeta_p$ ——单桩竖向极限承载力利用率；

$\rho_1$ 、 $\rho_2$ ——单桩桩身压缩量与桩端刺入量修正系数；

$\psi$ ——地基承载力满足率；

$\psi_c$ ——成桩工艺系数；

$\psi_s$ ——沉降计算经验系数。



### 3 基本规定

3.0.1 复合桩基础的设计等级，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行。

3.0.2 复合桩基础应同时满足下列适用条件：

1 复合桩基础适用于天然地基承载力满足率 $\psi \geq 0.5$ 的建筑场地， $\psi$ 可按式（3.0.2）计算：

$$\psi = \frac{f_a A}{F_k + G_k} \dots\dots\dots (3.0.2)$$

式中：

$\psi$ ——地基承载力满足率；

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值（kPa）；

$A$ ——筏板总面积（ $m^2$ ）；

$F_k$ ——荷载效应标准组合下，上部结构传至基础顶面的竖向力（kN）；

$G_k$ ——基础自重和基础上的土重标准值，对稳定地下水位以下部分应扣除水的浮力（kN）。

2 基桩应为摩擦型桩，且桩的承载能力不发生削弱现象。

3 基桩桩间距不宜小于 $5d$ 。采用梁板式筏形基础，基桩沿地基梁条状布置，当一个方向的桩间距大于 $6d$ 时，另一方向的桩距可减小，但不应小于 $4d$ 。

4 地基土为欠固结土、膨胀土、湿陷性土、可液化土、新填土等特殊土时，应考虑土体的特殊性质和地基处理的可行性，综合确定复合桩基础的适用性。

3.0.3 复合桩基础设计应同时满足复合桩基整体安全度不小于 2 和复合桩基沉降量计算值不大于建筑物的地基变形允许值的双重控制要求。

3.0.4 复合桩基础设计时，所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应符合下列规定：

1 按修正后的地基承载力特征值确定基础底面积及埋深或按单桩极限承载力标准值确定桩数时，传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合计算。

2 计算地基变形时，传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合计算，不应计入风荷载和地震作用，相应的限值应为地基变形允许值。

3 在进行基础构件的承载力设计或验算时，上部结构传来的荷载效应组合和相应的基底反力，应采用承载力极限状态下荷载效应的基本组合及相应的荷载分项系数进行计算；当需要验算基础裂缝宽度时，应采用正常使用极限状态荷载效应标准组合进行计算。

4 复合桩基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按现行国家有关标准的规定采用，但结构重要性系数 $\gamma_0$ 不应小于 1.0。

3.0.5 复合桩基础勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。宜按 20~35m 布置勘探孔，当地层复杂时取低值。控制性钻孔数量宜为勘探孔总数的 1/3~1/2，且不应

少于 3 个。控制性孔应穿透桩端平面以下压缩层厚度，且超过地基变形计算深度；一般性勘探孔应深入桩端平面以下  $3\sim 5d$  的深度，且不小于桩端平面以下 3m；对于大直径桩不应小于桩端平面以下 5m；当钻至预计深度遇到软弱土层时，勘探孔深度应予加深至满足地基变形计算要求。

3.0.6 桩的类型应根据场地工程地质条件、上部结构类型、荷载性质、施工条件以及经济指标因素综合确定。筏形基础应根据地基土性质、上部结构体系、柱距、荷载、使用要求以及施工条件确定，宜采用设置双向交叉倒梯形基础梁的梁板式筏形基础。

3.0.7 筏板下应设置混凝土垫层。垫层混凝土强度等级应不低于 C10，厚度不小于 70mm。

3.0.8 复合桩基础承载力的合力作用点宜与结构竖向永久荷载合力作用点相重合。宜根据上部结构体系、荷载分布情况以及基础整体变形特征，将桩布置在上部结构主要竖向构件下面。桩的数量宜根据筏板基础的荷载分担确定，并应与上部荷载的大小和分布相适应。

3.0.9 复合桩基础的结构设计应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6 的有关规定。

3.0.10 从基础施工阶段至竣工后建筑物沉降稳定以前，应监测地基变形及复合桩基础工作状况。

## 4 复合桩基础设计

### 4.1 承载力计算

4.1.1 地基承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算，并结合工程实践经验等方法综合确定。

4.1.2 地基承载力特征值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定进行深度和宽度修正。当基础埋置深度大于 5m 时，基础宽度的地基承载力修正系数应取 0，埋置深度的地基承载力修正系数应取 1。

4.1.3 单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩竖向抗压静载试验确定。试桩检测数量应满足设计要求，且在同一条件下应不少于 3 根，单桩抗压静载试验资料应反映桩的极限工作状态，单桩竖向抗压静载试验方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

### 4.2 桩基计算

4.2.1 复合桩基础地基承载力利用率应满足  $\xi_s \leq 0.5$ ，地基承载力利用率应按式 (4.2.1) 计算：

$$\xi_s = \frac{p_k}{f_a} \quad \dots\dots\dots (4.2.1)$$

式中：

$\xi_s$ ——地基承载力利用率；

$p_k$ ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值 (kPa)。

4.2.2 复合桩基础单桩竖向极限承载力利用率  $\xi_p$  宜取 0.8~0.9，单桩极限承载力利用率应按式 (4.2.2) 计算：

$$\xi_p = \frac{Q_k}{Q_{uk}} \quad \dots\dots\dots (4.2.2)$$

式中：

$\xi_p$ ——单桩竖向极限承载力利用率；

$Q_k$ ——单桩竖向承载力设计值 (kN)；

$Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值 (kN)。

4.2.3 复合桩基础筏板的平面尺寸应根据工程地质条件、上部结构布置、地下结构底层平面及上部结构荷载等因素确定。

4.2.4 初步设计阶段，复合桩基础桩数应按式 (4.2.4-1) 和式 (4.2.4-2) 计算：

$$n \geq \frac{F_k + G_k - \xi_s f_a A_c}{\xi_p Q_{uk}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4-1)$$

$$A_c = A - A_p \cdot n \quad \dots\dots\dots (4.2.4-2)$$

式中：

$n$ ——复合桩基础中的桩数；

$Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值（kN）；

$A_c$ ——筏板扣除桩基截面积的净面积（ $m^2$ ）；

$A_p$ ——单桩的截面积（ $m^2$ ）。

4.2.5 基础基底平均压力  $p_k$  应按式（4.2.5-1）计算：

$$p_k = \frac{F_k + G_k - n\xi_p Q_{uk}}{A_c} \quad \dots\dots\dots (4.2.5-1)$$

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）。

复合桩基础基底压力  $p_{ki}$  可按式（4.2.5-2）计算：

$$p_{ki} = k_i p_k \quad \dots\dots\dots (4.2.5-2)$$

式中：

$p_{ki}$ ——相应于荷载效应标准组合时，复合桩基础基底压力（kPa）；

$k_i$ ——地基反力系数，按现行行业标准《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6—2011 附录 E 采用。

4.2.6 宜通过改变桩数和布桩方式调整基底反力分布，控制复合桩基础沉降和不均匀沉降。

### 4.3 沉降计算

4.3.1 复合桩基础沉降计算值不应大于建筑物的地基变形允许值。建筑物的地基变形允许值应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

4.3.2 复合桩基础最终沉降量可按式（4.3.2）计算：

$$s = s_s + s_p \quad \dots\dots\dots (4.3.2)$$

式中：

$s$ ——复合桩基础的最终沉降量（mm）；

$s_s$ ——地基土的最终沉降量（mm）；

$s_p$ ——桩基的最终沉降量（mm）。

4.3.3 地基土的最终沉降量  $s_s$  可按式（4.3.3-1）和式（4.3.3-2）计算：

$$s_s = 4\psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad \dots\dots\dots (4.3.3-1)$$

$$p_0 = \frac{F_k + G_k - n\xi_p Q_{uk}}{A_c} - \gamma_m d \quad \dots\dots\dots (4.3.3-2)$$



式中：

$n$ ——地基变形计算深度范围内所划分的土层数；

$\psi_s$ ——沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定；无地区经验时可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行；

$E_{si}$ ——基础底面下第  $i$  土层的压缩模量（MPa），应采用自重应力至自重应力加附加压力区段土的压缩模量；

$z_i$ 、 $z_{i-1}$ ——基础底面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离（m）；

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面范围内的平均附加应力系数，由矩形基础长宽比  $\frac{l}{b} = \frac{L}{B}$  及深宽比  $\frac{z}{b} = \frac{2z_i}{B}$ 、 $\frac{z}{b} = \frac{2z_{i-1}}{B}$ ，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定取值；

$p_0$ ——相应于准永久组合时，基础底面处的平均附加压力（kPa）；

$\gamma_m$ ——基础底面以上土的加权平均重度（kN/m<sup>3</sup>），位于地下水位以下的取有效重度；

$d$ ——基础埋置深度（m）。

4.3.4 桩基的最终沉降量  $s_p$  应按式（4.3.4-1）计算：

$$s_p = \rho_1 s_{p1} + \rho_2 s_{p2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4-1)$$

式中：

$s_{p1}$ 、 $s_{p2}$ ——单桩桩身压缩量与桩端刺入量（mm），可根据单桩  $Q-s$  曲线确定（图 4.3.4）；

$\rho_1$ 、 $\rho_2$ ——单桩桩身压缩量与桩端刺入量修正系数：

$$\rho_1 = \begin{cases} \sqrt{n}(9-s_a/d)/10 & (n \leq 64) \\ \sqrt[3]{n}(9-s_a/d)/5 & (n > 64) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4.3.4-2)$$

$$\rho_2 = 0.8 + 2d/s_a \quad \dots\dots\dots (4.3.4-3)$$

式中：

$d$ ——桩身直径或截面边长（m）；

$s_a$ ——基桩中心距（m）。两向桩间距不等时，采用正方形面积等效求取基桩中心距。

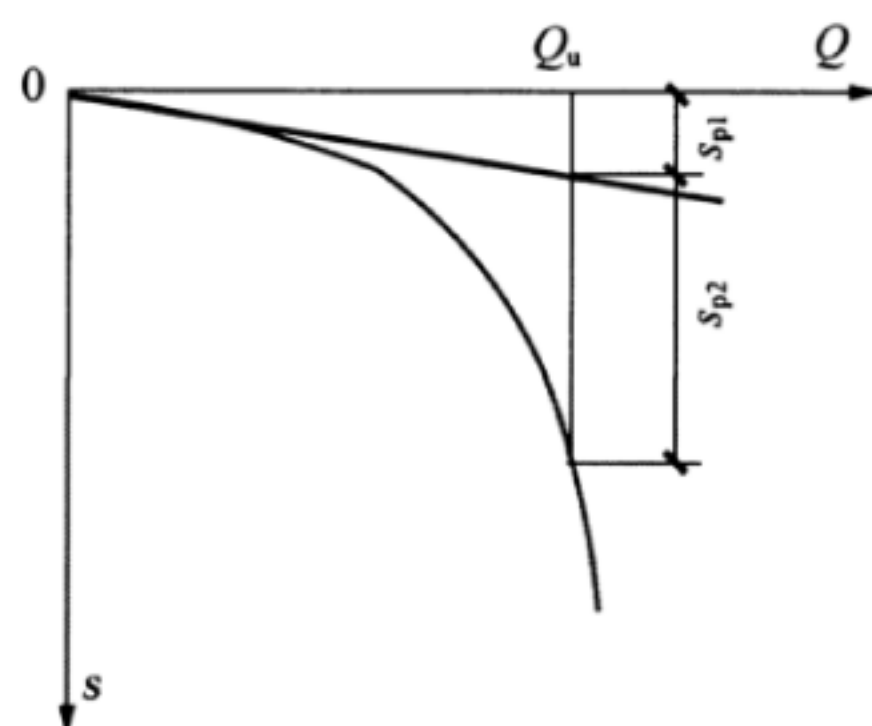


图 4.3.4 单桩沉降分解

## 4.4 整体安全度复核

4.4.1 复合桩基础整体安全度应按式(4.4.1)计算:

$$K = \frac{1}{\xi_p} + \left( 2.0 - \frac{\xi_s}{\xi_p} \right) \psi \quad \dots\dots\dots (4.4.1)$$

式中:

$K$ ——复合桩基础整体安全度, 取  $K \geq 2$ 。

4.4.2 复合桩基础筏板底面压力应符合式(4.4.2-1)和式(4.4.2-2)的要求:

1 当受轴心荷载作用时

$$p_k \leq \xi_s f_a \quad \dots\dots\dots (4.4.2-1)$$

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)。

2 当受偏心荷载作用时, 除应符合式(4.4.2-1)的规定外, 尚应符合式(4.4.2-2)的规定:

$$p_{kmax} \leq 1.2 \xi_s f_a \quad \dots\dots\dots (4.4.2-2)$$

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)。

4.4.3 对于抗震设防的建筑, 筏板底面压力除应符合本标准 4.4.2 的要求外, 尚应按式(4.4.3-1)、式(4.4.3-2)和式(4.4.3-3)验算地基抗震承载力:

$$p_{kE} \leq f_{aE} \quad \dots\dots\dots (4.4.3-1)$$

$$p_{kmaxE} \leq 1.2 f_{aE} \quad \dots\dots\dots (4.4.3-2)$$

$$f_{aE} = \zeta_a f_a \quad \dots\dots\dots (4.4.3-3)$$

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);

$p_{kmaxE}$ ——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);

$\zeta_a$ ——地基抗震承载力调整系数, 按表 4.4.3 确定。

表 4.4.3 地基抗震承载力调整系数  $\zeta_a$

岩土名称和性状	$\zeta_a$
岩石, 密实的碎石土, 密实的砾砂、粗砂、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, 中密和稍密的砾砂、粗砂、中砂, 密实和中密的细砂、粉砂, $150\text{kPa} \leq f_{ak} < 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土	1.3
稍密的细砂、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

4.4.4 复合桩基础基桩桩顶最大竖向力应符合式（4.4.4）的要求：

$$N_{kmax} \leq \xi_p Q_{uk} \dots\dots\dots (4.4.4)$$

式中：

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

4.4.5 桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。轴向受压桩正截面受压承载力应符合式（4.4.5）的要求：

$$N \leq \psi_c f_c A_p \dots\dots\dots (4.4.5)$$

式中：

$N$ ——荷载效应基本组合下的基桩桩顶竖向力设计值（kN）；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值（kPa），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定取值；

$\psi_c$ ——成桩工艺系数，混凝土预制桩、预应力混凝土空心桩取 0.85；干作业非挤土灌注桩取 0.90；泥浆护壁和套管护壁非挤土灌注桩、部分挤土灌注桩、挤土灌注桩取 0.70~0.80；软土地区挤土灌注桩取 0.60。

## 5 检验与监测

### 5.1 检 验

- 5.1.1 复合桩基础检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。
- 5.1.2 当基槽（坑）检验结果与勘察报告和设计文件不一致时，应结合地质条件提出处理意见。
- 5.1.3 基槽（坑）开挖后，应检验桩的位置、桩顶标高、桩头混凝土质量及预留插入底板的钢筋长度是否符合设计要求。
- 5.1.4 工程桩应进行桩身完整性检测。桩身完整性检测数量应不少于总桩数的 50%，且不少于 20 根。
- 5.1.5 工程桩应采用单桩竖向抗压承载力静载试验进行检测。试验荷载应达到单桩竖向承载力设计值。对单位工程内且在同一条件下的工程桩检测数量不得少于相同条件下总桩数的 1%，且不少于 3 根。
- 5.1.6 单桩竖向抗压承载力和桩身完整性检测方法应按照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。

### 5.2 监 测

- 5.2.1 采用复合桩基础的建筑物应进行沉降观测。沉降观测应从完成基础底板施工时开始，直至沉降稳定终止。宜进行地基土分层沉降、基底土反力、桩顶反力、基础内力的监测。
- 5.2.2 建筑物沉降观测应设置永久性高程基准点。每个场地永久性高程基准点的数量不得少于 3 个。高程基准点应设置在地基变形影响范围以外，高程基准点的标石应埋设在基岩或稳定的地层中，并应保证在观测期间高程基准点的标高不发生变动。
- 5.2.3 沉降观测点的布设，应根据建筑物体形、结构特点、工程地质条件等确定。宜在建筑物中心点、角点及周边每隔 10~15m 或每隔 2 至 3 根柱处布设观测点，并应在基础类型、埋深和荷载有明显变化及可能发生差异沉降的两侧布设观测点。
- 5.2.4 沉降观测的水准测量级别和精度应根据建筑物的重要性、使用要求、环境影响、工程地质条件及预估沉降量等因素按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定确定。
- 5.2.5 沉降观测次数和时间应符合下列规定：
- 1 施工期间至建筑物竣工期间的沉降观测应随施工进度同步进行；
  - 2 可在基础底板完成后开始观测，每施工完成一层观测一次；
  - 3 建筑物主体封顶至竣工验收前，沉降观测宜 1 至 2 个月观测一次；
  - 4 竣工验收至沉降稳定宜 2 至 3 个月观测一次。
- 5.2.6 建筑物沉降稳定控制标准宜采用沉降观测期间最后 100 天的平均沉降速率小于 0.01~0.04mm/d；沉降稳定控制标准的具体取值宜根据各地区地基土的压缩性综合确定。



## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准目录

- [1] 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
  - [2] 《混凝土结构设计规范》GB 50010
  - [3] 《岩土工程勘察规范》GB 50021
  - [4] 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
  - [5] 《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6
  - [6] 《建筑变形测量规范》JGJ 8
  - [7] 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
  - [8] 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
-

中华人民共和国化工行业标准

# 复合桩基础设计规范

H/G 20709—2017

条 文 说 明



# 目次

编制说明 .....	( 19 )
1 总则 .....	( 20 )
3 基本规定 .....	( 21 )
4 复合桩基础设计 .....	( 24 )
4.1 承载力计算 .....	( 24 )
4.2 桩基计算 .....	( 24 )
4.3 沉降计算 .....	( 26 )
4.4 整体安全度复核 .....	( 27 )
5 检验与监测 .....	( 31 )
5.1 检验 .....	( 31 )
5.2 监测 .....	( 31 )



## 编制说明

《复合桩基础设计规范》（HG/T 20709—2017），经工业和信息化部 2017 年 7 月 7 日以第 32 号公告批准发布。

本标准制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国工程建设地基基础领域的实践经验，同时参考了国外先进技术法规和标准，通过试验取得了复合桩基础的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《复合桩基础设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 1 总 则

1.0.1 制定本标准的目的是在复合桩基础的设计中贯彻国家的技术政策，做到安全适用、节能环保、经济合理、确保质量、技术先进。

1.0.2 规定了本标准的适用范围，用于建筑物、构筑物的竖向受压复合桩基础的设计。复合桩基础设计考虑了桩土共同作用，体现了充分利用桩的承载能力，合理利用地基承载能力的设计思想。

1.0.3 复合桩基础设计时应综合分析各种因素，结合当地工程地质条件及设计经验，合理选择施工质量可靠桩型，重视经验积累，不断提高复合桩基础设计水平。



### 3 基本规定

3.0.2 地基承载力满足率用以反映地基土承担上部结构荷载的能力。复合桩基础中，天然地基应具有承担不小于 50% 的标准组合荷载效应（基础底面处）的能力，以确保能形成有效的桩土共同作用状态，同时使复合桩基础更易满足整体安全度的要求。

复合桩基础中基桩应选用摩擦桩或端承摩擦桩，复合桩基础在荷载作用下，桩易达到极限工作状态，实现复合桩基础的核心设计思想。由于复合桩基础中采用单桩极限承载力进行设计，为了保证单桩在接近或者达到极限状态时其承载力不发生削弱的情况，必须保证荷载-位移曲线不发生如图 1 所示的回折现象（ $k_{z3} < 0$ ）。

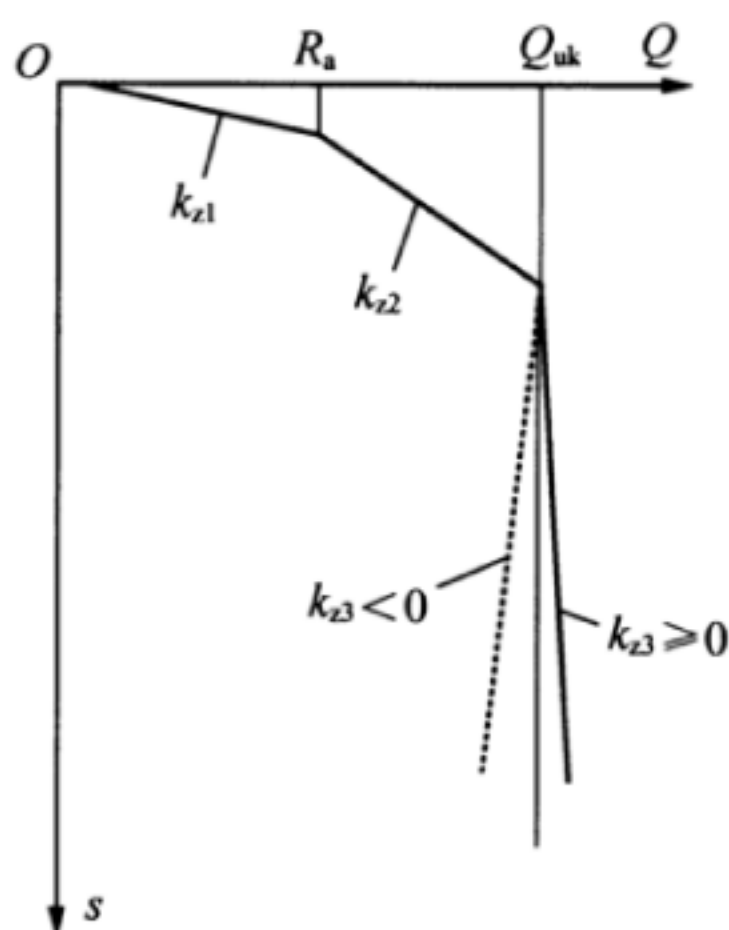


图 1 单桩  $Q-s$  曲线类型

对复合桩基础的桩型与桩距提出要求：一是保证复合桩基础中基桩能达到极限工作状态；二是通过控制桩距减小群桩效应的影响；三是保证桩间土发挥承载作用，实现桩、筏共同明确分担荷载的目标。

未经处理的欠固结土、膨胀土、湿陷性土、可液化土、新填土等特殊土，难以满足实现复合桩基础桩土共同承担荷载的技术要求。可通过地基处理技术改善场地地基土的工程特性，在保证处理后的地基土承载特性和变形特性满足复合桩基础的设计要求的基础上，综合确定复合桩基础的适用性。

3.0.3 复合桩基础是介于天然地基和纯桩基之间的过渡型基础型式，核心设计思想是充分利用桩的承载能力，合理利用地基承载能力，使得复合桩基础中单桩工作荷载突破传统  $R_a$  的限制，扩大到接近极限荷载  $Q_{uk}$ （见图 1），从而将剩余荷载明确交由地基承担，解决了设计过程中最不可知的桩土荷载分配问题。

复合桩基础设计是在整体安全度和沉降双重控制下的桩筏基础非线性设计方法，并可通过合理布桩和调整基底土反力分布，达到减少和控制差异沉降的目标。

3.0.5 根据复合桩基础特点，制定勘探点间距、勘探深度合理的勘探方案，以满足复合桩基础概念设计和施工图设计的资料要求。

3.0.6 复合桩基础应选择施工质量可靠的桩型。为了更好地实现桩土共同作用，宜采用如图 2 所示的设置双向交叉倒梯形基础梁的梁板式筏形基础，基础梁截面如图 3 所示。

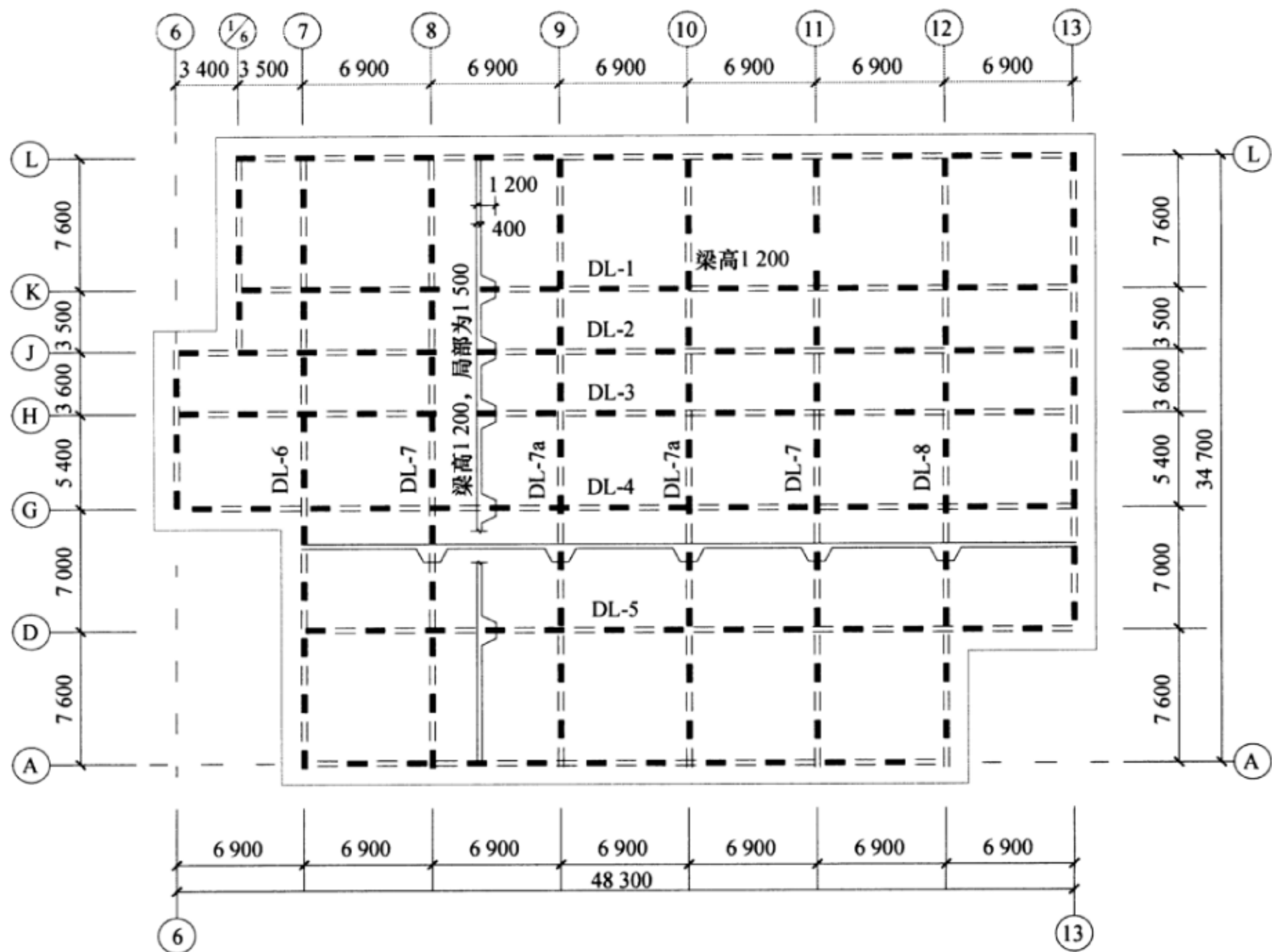


图 2 基础梁与筏板布置

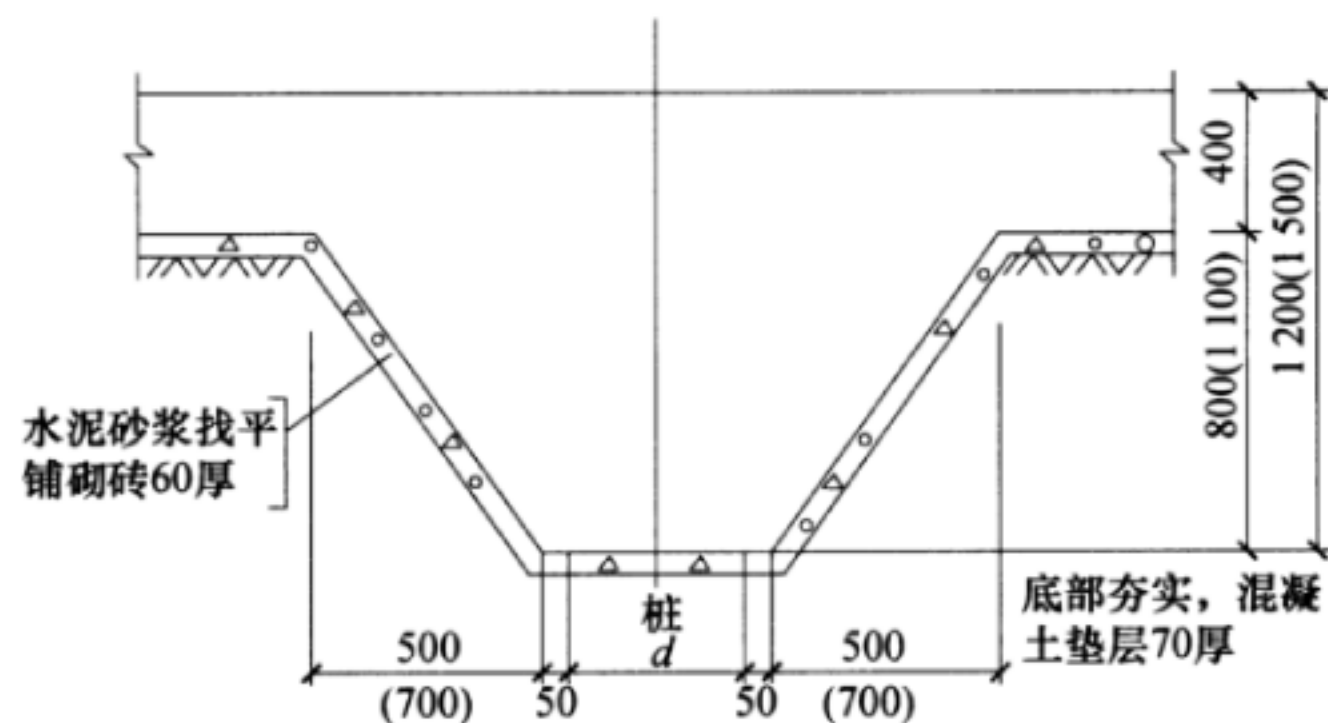


图 3 基础梁截面

3.0.8 复合桩基础布桩原则是减小（消除）不均匀沉降或差异沉降，减小筏板基础内力，避免整体倾斜。当上部结构荷载分布均匀时，如因柱距不太大筏板基础不设基础梁，则桩基本均匀布置，内部稍密，外部稍疏；如筏板基础设基础梁，则桩设于梁、承重墙、柱之下，不宜布设在筏板下；同一柱下可设置多桩以满足不同上部结构荷载的要求。

## 4 复合桩基础设计

### 4.1 承载力计算

4.1.1、4.1.2 复合桩基础中地基土分担上部结构荷载，现场条件允许情况下，建议通过载荷试验确定地基承载力特征值，载荷试验方法按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

地基承载力特征值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行宽度和深度修正。地基承载力的基础宽度、基础深度修正是建立在浅基础承载力理论之上，是考虑基础宽度和基础埋深提高地基承载力设计值的经验方法。对本标准确定的地基承载力特征值进行修正时，当基础埋置深度大于 5m，地基承载力特征值修正应根据工程的具体情况采用安全可靠的修正方法，鉴于地基土在复合桩基础整体安全度控制中担负的重要作用，从复合桩基础整体安全的角度出发，基础宽度的地基承载力修正系数取 0，埋置深度的地基承载力修正系数取 1。

4.1.3 鉴于复合桩基础中基桩的受力状态，应采用单桩抗压静载试验为设计提供可靠的单桩竖向极限承载力标准值，静载试验应达到单桩极限工作状态，并得到完整的  $Q-s$  曲线。单桩极限承载力试验要求和取值方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定执行。

### 4.2 桩基计算

4.2.1、4.2.2 复合桩基础中桩与地基共同承担荷载，其设计思想是充分发挥桩基的承载能力，合理利用地基土的承载能力。地基承载力利用率  $\xi_s$  反映地基土承载力的利用程度，单桩竖向极限承载力利用率  $\xi_p$  反映单桩竖向极限承载力的利用程度。

由于单桩的承载能力用到极限荷载，因此地基的承载特性是确保复合桩基础整体安全的关键，分析表明，地基承载力利用率  $\xi_s \leq 0.5$  时，易满足复合桩基础整体安全度要求。

考虑到桩基受场地条件、施工等不确定因素以及群桩效应的影响，建议单桩竖向极限承载力利用率宜取  $\xi_p = 0.8 \sim 0.9$ 。当成桩质量可靠、有当地经验时取 0.9。

4.2.3 复合桩基础筏板的平面尺寸，通常先将上部结构底层平面或地下室布置确定后，再根据上部结构荷载分布、桩位、桩数等条件验算地基承载力、沉降量和倾斜值。若不满足要求，可以通过调整卸荷量  $\xi_p Q_{uk}$ （桩位、桩数）或筏板面积，使其满足地基承载力利用率的要求。

4.2.4 复合桩基础中总荷载  $Q = F_k + G_k$ ，桩承担的荷载  $Q_p = n \xi_p Q_{uk}$ ，承载力不足的部分由地基分担，地基承担的荷载  $Q_s = \xi_s f_a A_c$ 。先由标准中式（4.2.4-1）初步确定桩数，再根据地基承载力利用率、筏板基础平面尺寸以及基底压力分布调整桩数。

4.2.6 复合桩基础设计的最根本目标就是在整体安全度和沉降量都满足要求的基础上，充分发挥桩基承载力，合理利用地基承载力，使差异沉降接近于零，减小筏板基础内力，避免建筑物整体倾斜。



复合桩基础沉降控制包括平均沉降控制和差异沉降控制两部分。由于复合桩基础中基桩处于极限工作状态时，它始终承担等于极限承载力  $Q_{uk}$  的确定荷载，不参与新的荷载分配，剩余荷载由地基承担。基桩在极限状态下不再提供支承刚度，其沉降具有“随遇而安”的自适应性和“任意安排”的可协调性，桩处于塑性支承状态。因此，复合桩基础的沉降量主要取决于桩与桩间土荷载的合理分配，以及基底反力的合理分布。

#### 1 桩与桩间土荷载的合理分配——平均沉降控制

复合桩基础明确了桩土荷载分担，较好地解决了复合桩基础设计中桩与地基之间的荷载分配问题，可以方便地根据单桩极限承载力确定桩数（卸荷量）。在此基础上，结合地基承载力利用率调整基底土反力的大小，从而达到控制基础平均沉降量的目的。

#### 2 基底土反力的合理分布——差异沉降控制

复合桩基础中可通过调整桩位和桩数（卸荷量）在平面内的分布，使基底土反力形成边缘大、中间小的抛物线分布特征，从而达到减小差异沉降和基础内力的目的。

以图 4 所示的复合桩基础，以柱为单位划分成长度为  $l$ 、宽度为  $b_i$  的若干桩筏单元，各柱承受的上部结构荷载分别为  $F_{ki}$ 。桩筏单元  $i$  承受的荷载为  $F_{ki} + G_{ki}$ （基础自重和基础上的土重），基底面积  $A_{ci} = b_i l - A_p$ ，柱下采用极限承载力为  $Q_{uki}$  基桩（或基桩组合），对于桩筏单元  $i$ ，基底压力  $p_{ki}$  为：

$$p_{ki} = \frac{F_{ki} + G_{ki} - \xi_p Q_{uki}}{A_{ci}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

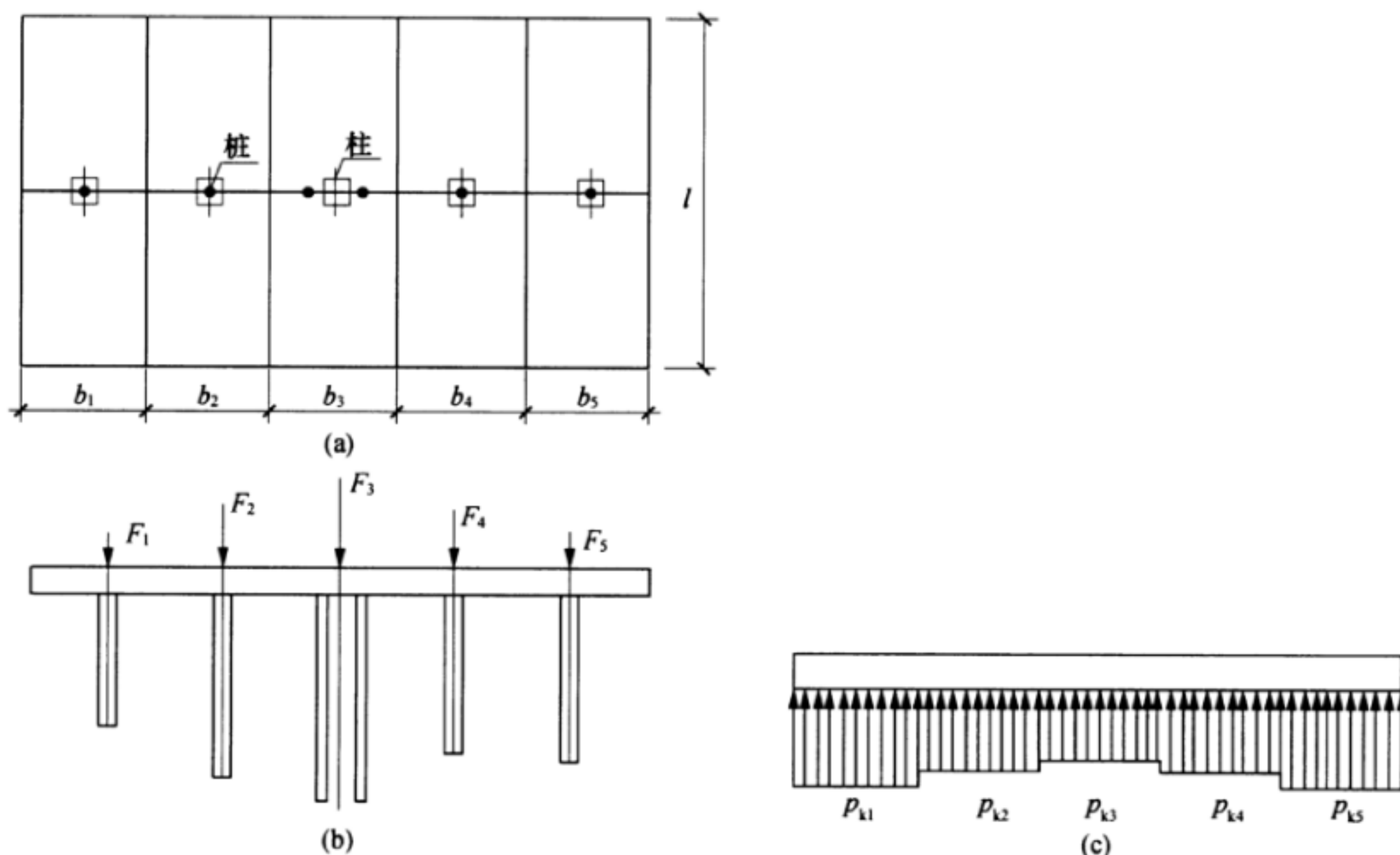


图 4 复合桩基础基底反力计算与分布

在保证  $\xi_s = p_{ki}/f_a \leq 0.5$  和  $K \geq 2$  的条件下, 可通过调整基桩的卸荷量  $\xi_p Q_{uk}$ , 使得筏板基底反力  $p_{ki}$  呈现刚性基础下基底反力边缘大、中间小的分布特征, 从而达到减小差异沉降的目的。

### 4.3 沉降计算

4.3.1 复合桩基础中基桩工作接近于极限状态时, 地基土分担剩余荷载, 其总沉降量要比纯桩基础大, 复合桩基础沉降计算值满足不大于建筑物的地基变形允许值的要求是设计的控制性步骤。

4.3.2 基础沉降计算是地基设计的重要组成部分, 由于复合桩基础中荷载分配的特点, 传统的沉降计算方法得到的计算结果与工程实际相差较大, 本标准推荐使用不考虑复合桩基础受荷过程, 基于复合桩基最终工作状态的沉降计算方法。假设复合桩基础沉降为地基承担的荷载  $Q_s$  引起的桩间土沉降  $s_s$  与由桩承担的荷载  $Q_p$  (极限荷载  $Q_u$ ) 引起的桩基沉降  $s_p$  之和, 经过多项工程实践的对比较证, 其计算值与实测值较为接近。

计算方法的具体内容和计算案例可参考以下资料: (1) 宰金珉. 复合桩基理论与应用. 北京: 知识产权出版社, 中国水利电力出版社, 2004; (2) 宰金珉. 复合桩基沉降计算的最终应力法及其应用. 土木工程学报, 2002, 35(2): 61-69。

4.3.3 地基土的最终沉降量  $s_s$  采用分层总和法进行计算, 利用角点法叠加原理, 计算得到的沉降为筏板基础中心地基土的最终沉降量。

由于地基土承担的荷载  $Q_s = (F_k + G_k) - Q_p = (F_k + G_k) - n\xi_p Q_{uk}$ , 则基底附加压力  $p_0 = Q_s/A_c - \gamma_m d$ 。由此可见, 地基土的最终沉降量  $s_s$  与桩基卸荷量  $n\xi_p Q_{uk}$  的大小有关。因此, 可通过调节桩径、桩长及桩数等方法实现对基底土反力大小的调整, 从而达到控制基础平均沉降量的目的。

4.3.4 单桩处于极限工作状态时, 其沉降为桩身压缩量和桩端刺入量之和。单桩桩身压缩量  $s_{p1}$  和单桩桩端刺入量  $s_{p2}$  可根据单桩  $Q-s$  曲线确定。考虑到群桩的相互影响, 标准中式 (4.3.4-2) 与式 (4.3.4-3) 是根据实测结果和理论分析对比提出的沉降比  $\rho_1$ 、 $\rho_2$  经验公式, 计算结果如图 5 所示。当  $s_a/d \geq 9$ ,  $\rho_1 = \rho_2 = 1$ , 表明在大桩距群桩、基桩极限工作状态时, 忽略基桩之间的相互影响。

桩基的最终沉降量按高承台群桩沉降比估算, 既考虑了桩的极限工作状态, 又考虑了群桩的相互影响。

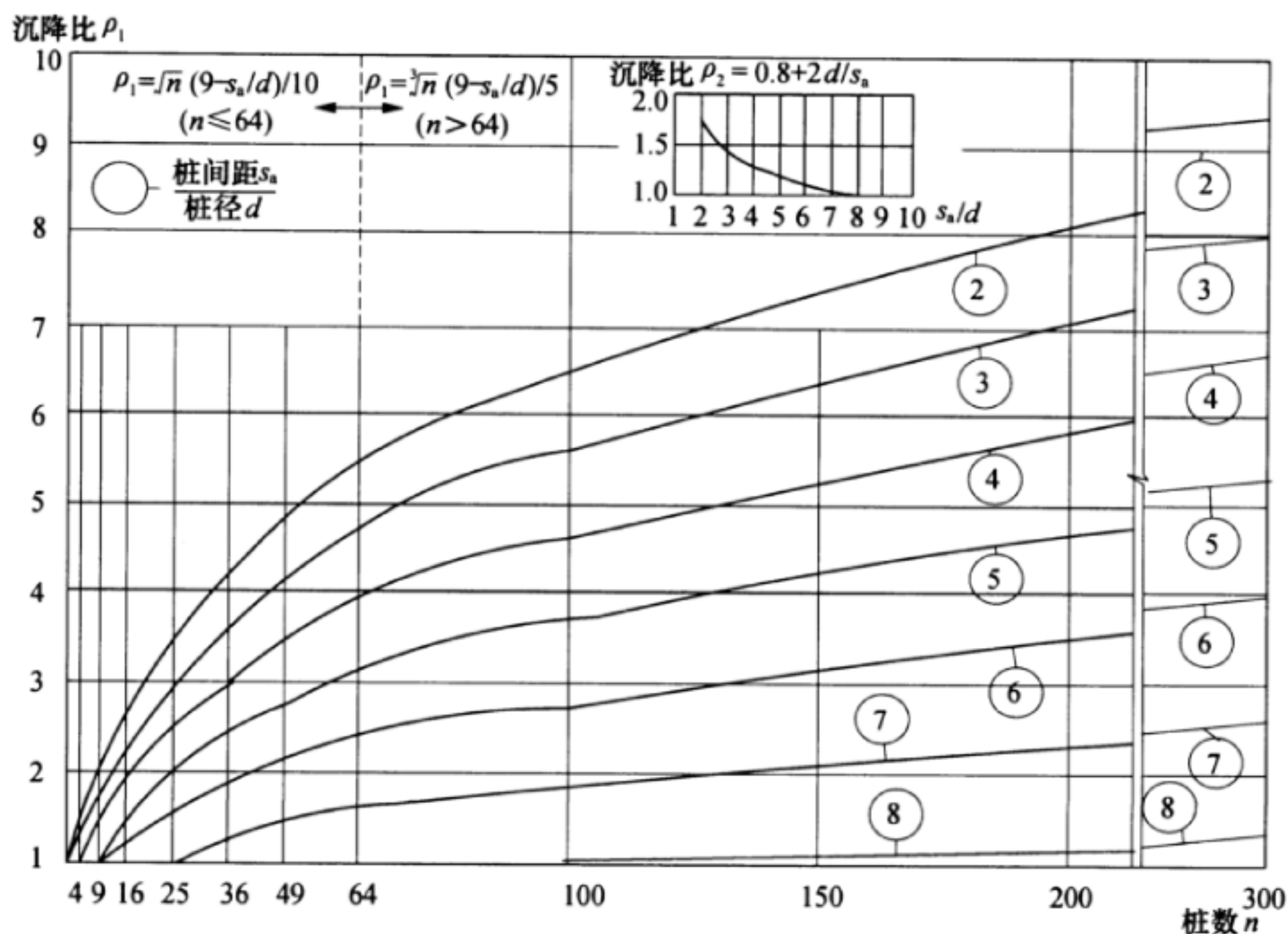


图 5 群桩沉降比  $\rho_1$ 、 $\rho_2$  计算结果

#### 4.4 整体安全度复核

4.4.1 地基土极限承载力取  $2.0f_a$ ，由于桩对桩间土的约束作用，地基土的极限承载力实际大于  $2.0f_a$ ；因桩距较大，忽略群桩效应， $n$  根单桩的极限承载力为  $nQ_{uk}$ 。综合考虑上述因素，复合桩基础整体极限承载力为  $Q_u$ ：

$$Q_u = Q_{su} + Q_{pu} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{su} = 2.0f_a A_c \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_{pu} = nQ_{uk} \quad \dots\dots\dots (4)$$

由地基承载力满足率可得：

$$f_a A_c = \psi Q \quad \dots\dots\dots (5)$$

则复合桩基础整体极限承载力可表示为：

$$Q_u = 2.0\psi Q + nQ_{uk} \quad \dots\dots\dots (6)$$

复合桩基础荷载设计值为：

$$Q = Q_s + Q_p \quad \dots\dots\dots (7)$$

根据地基承载力利用率可得地基土承担的荷载为：

$$Q_s = \psi \xi_s Q \quad \dots\dots\dots (8)$$

根据单桩竖向极限承载力利用率可得桩承担的荷载为：

$$Q_p = n \xi_p Q_{uk} \quad \dots\dots\dots (9)$$

则复合桩基础荷载设计值可表示为：

$$Q = \psi \xi_s Q + n \xi_p Q_{uk} \quad \dots\dots\dots (10)$$

复合桩基础整体安全度  $K$ ：

$$K = \frac{Q_u}{Q} = \frac{1}{\xi_p} + \left( 2.0 - \frac{\xi_s}{\xi_p} \right) \psi$$

特别地，当单桩极限承载力利用率分别为  $\xi_p = 0.8$  和  $\xi_p = 0.9$  时，分别有：

$$K = 1.25 + (2.0 - 1.25\xi_s)\psi \quad (\xi_p = 0.8) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$K = 1.11 + (2.0 - 1.11\xi_s)\psi \quad (\xi_p = 0.9) \quad \dots\dots\dots (12)$$

由此， $K$  与地基承载力满足率  $\psi$ 、地基承载力利用率  $\xi_s$ 、单桩竖向极限承载力利用率  $\xi_p$  值的关系见图 6 和表 1。

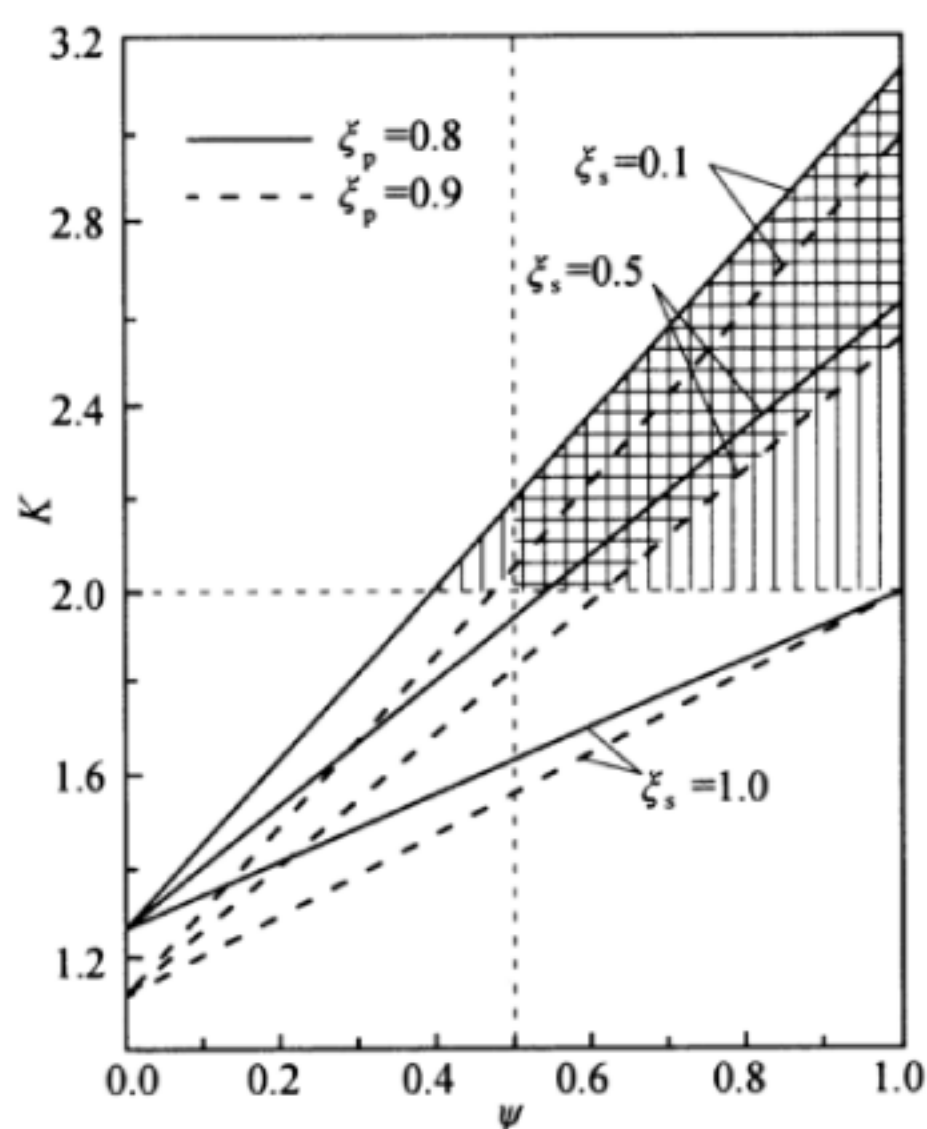


图 6  $K$  与  $\psi$ 、 $\xi_s$ 、 $\xi_p$  的关系



表 1 复合桩基础整体安全度  $K$  与  $\psi$ 、 $\xi_s$ 、 $\xi_p$  的关系

$\xi_s$	$\xi_p$	$\psi$								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.9	1.300	1.489	1.678	1.867	2.056	2.244	2.433	2.622	2.811
	0.8	1.438	1.625	1.813	2.000	2.188	2.375	2.563	2.750	2.938
0.2	0.9	1.289	1.467	1.644	1.822	2.000	2.178	2.356	2.533	2.711
	0.8	1.425	1.600	1.775	1.950	2.125	2.300	2.475	2.650	2.825
0.3	0.9	1.278	1.444	1.611	1.778	1.944	2.111	2.278	2.444	2.611
	0.8	1.413	1.575	1.738	1.900	2.063	2.225	2.388	2.550	2.713
0.4	0.9	1.267	1.422	1.578	1.733	1.889	2.044	2.200	2.356	2.511
	0.8	1.400	1.550	1.700	1.850	2.000	2.150	2.300	2.450	2.600
0.5	0.9	1.256	1.400	1.544	1.689	1.833	1.978	2.122	2.267	2.411
	0.8	1.388	1.525	1.663	1.800	1.938	2.075	2.213	2.350	2.488
0.6	0.9	1.244	1.378	1.511	1.644	1.778	1.911	2.044	2.178	2.311
	0.8	1.375	1.500	1.625	1.750	1.875	2.000	2.125	2.250	2.375
0.7	0.9	1.233	1.356	1.478	1.600	1.722	1.844	1.967	2.089	2.211
	0.8	1.363	1.475	1.588	1.700	1.813	1.925	2.038	2.150	2.263
0.8	0.9	1.222	1.333	1.444	1.556	1.667	1.778	1.889	2.000	2.111
	0.8	1.350	1.450	1.550	1.650	1.750	1.850	1.950	2.050	2.150
0.9	0.9	1.211	1.311	1.411	1.511	1.611	1.711	1.811	1.911	2.011
	0.8	1.338	1.425	1.513	1.600	1.688	1.775	1.863	1.950	2.038
1.0	0.9	1.200	1.289	1.378	1.467	1.556	1.644	1.733	1.822	1.911
	0.8	1.325	1.400	1.475	1.550	1.625	1.700	1.775	1.850	1.925

注：表中数值可插值使用。

表 1 中实线右侧范围内，当  $\xi_p=0.8$  或  $\xi_p=0.9$  时，均可以使  $K \geq 2.0$ ，此范围内复合桩基础的整体安全度满足设计要求；虚线与实线之间的范围，当  $\xi_p=0.8$  时  $K$  可以满足设计要求，但当  $\xi_p=0.9$  时  $K$  不满足设计要求。

应指出的是  $\xi_s$  和  $\xi_p$  的降低并不明显提高  $K$  值； $\psi$  对  $K$  的影响最显著。一般情况下， $\psi \geq 0.5$  时，复合桩基础可取得良好效果；当  $\psi < 0.5$  时，一般应按常规方法设计桩基。

4.4.2 复合桩基础中，由于单桩的设计承载力按桩的极限承载力取用，致使桩、土的竖向荷载分担比明确，地基土参与承担上部结构荷载，因此筏板和土之间完全接触，即  $p_{kmin} > 0$ 。筏板底面平均压力大小与地基承载力利用率  $\xi_s$  相关，筏板底面平均压力大小和基础边缘的最大压力应满足地基承载力的要求。

4.4.3 对于地震区的复合桩基础，在验算地基的抗震承载力时，应采用地基抗震承载力设计值  $f_{aE}$ 。

4.4.4 单桩承载力设计值接近竖向极限承载力标准值，用桩量较常规桩基偏少，在进行整体安全度复核时应确保基桩的桩顶最大竖向力不大于  $\xi_p Q_{uk}$ 。

4.4.5 为了避免基桩在受力过程中发生强度破坏，桩基设计时应应对基桩的桩身强度进行验算，确保桩身混凝土强度满足桩的承载能力要求。桩身混凝土的受压承载力是桩身承载力的主要部分，鉴于复合桩基础中基桩工作荷载接近单桩极限承载力，忽略桩身纵向钢筋的抗压作用，给桩身强度设计留有一定的富裕。通过引入成桩工艺系数，以考虑成桩工艺对桩身混凝土强度和桩身截面变异等因素对桩身承载力的影响。

## 5 检验与监测

### 5.1 检 验

5.1.2 验槽（坑）前应熟悉场地勘察报告，根据基槽（坑）检验发现的问题，提出对设计和施工处理的建议。如基槽（坑）检验结果与勘察报告有较大差异时，应进行施工勘察。

5.1.4 施工完成后，工程桩应进行桩身完整性检测，考虑到复合桩基础中桩承担荷载的重要性，以及复合桩基础对成桩质量可靠性要求的提高，将桩身完整性检测的抽检数量增加至不应少于总桩数的 50%。

5.1.5 单桩竖向抗压承载力检测应在工程桩的桩身完整性检测后进行，考虑到复合桩基础中基桩工作接近于极限承载状态，因此试验的最大加载量不应小于单桩竖向承载力设计值  $Q_k$ 。

### 5.2 监 测

5.2.1 建筑物沉降观测及地基分层沉降、基底土反力、桩顶反力、基础内力监测等有助于了解复合桩基础沉降和地基及基础内力的发展变化过程，积累相关的资料，为进行设计反分析提供科学数据，有助于促进复合桩基础设计方法的不断完善。

5.2.2 强调基准点的埋设要求。工程实践中基准点时常受周围环境和区域沉降的影响，不能真实反映建筑物的实际沉降量，因此基准点的埋设质量直接影响建筑物沉降观测的准确性。

5.2.6 现行行业规范《建筑变形测量规范》JGJ 8 规定的稳定标准沉降速率为  $0.01 \sim 0.04 \text{mm/d}$ ，主要是根据北京、上海、天津、济南和西安 5 个城市的稳定控制指标确定的，其中，北京、上海和济南为  $0.01 \text{mm/d}$ ；天津为  $0.01 \sim 0.017 \text{mm/d}$ ；西安为  $0.02 \sim 0.04 \text{mm/d}$ 。本标准以  $0.01 \sim 0.04 \text{mm/d}$  作为沉降稳定控制指标，由于基础型式、上部荷载和地基土类型的差异，实际应用中沉降稳定控制指标的具体取值应根据不同地区地基土的压缩性综合确定。