

桩基工程若干热点技术问题

黄 强 编著

中国建材工业出版社

桩基工程若干热点技术问题

黄 强 编著

中国建材工业出版社

目 录

1. 概述	(1)
2. 规范之间的协调与统一	(3)
3. 桩的定义	(7)
4. 桩基设计的有关资料	(9)
5. 桩的分类与选型	(13)
6. 桩基合理几何设计	(23)
7. 桩基极限状态及其验算要求	(31)
8. 桩基概率极限状态设计	(37)
9. 桩与承台构造	(56)
10. 作用效应与承载力验算要求	(67)
11. 桩基竖向承载力抗力分项系数与安全系数	(72)
12. 群桩效应系数	(76)
13. 单桩竖向极限承载力值的确定	(91)
14. 大直径桩承载力与变形	(122)
15. 嵌岩桩	(132)
16. 液化土层及其承载力折减系数	(137)
17. 软弱下卧层对桩基承载力的影响	(139)
18. 桩基负摩阻力	(141)
19. 桩基沉降计算	(145)
20. 水平荷载较小的桩基水平承载力	(175)
21. 水平荷载较大的桩基水平承载力与位移	(194)
22. 桩身承载力及压屈验算	(225)
23. 承台抗弯、冲、剪及局部受压	(229)
24. 主楼与裙房基础协调设计	(243)
25. 桩的动、静载试验	(253)
26. 试桩极限承载力标准值取值方法	(264)

1. 概 述

随着我国改革开放的深入,城市建设也随之迅速发展,七十年代以来作为现代城市重要特征之一的各类高层建筑如雨后春笋在全国各大中城市拔地而起,使城市面目大为改观。随着建筑物层数的增加,基础底面荷载也随之增大,摆在结构设计工程师面前的问题是如何选择一种较好的基础型式,安全、合理地保证建筑物地基承载力、建筑物总沉降量及差异沉降,保证建筑物正常使用。桩基是处理高层建筑地基的常用方法之一,近年来高层建筑的迅速发展而使全国工程用桩量较改革开放前迅猛增多,各种桩型也随之增加。结构工程师几乎都无一例外地碰到桩基工程设计,但在国内却缺少一本较全面并能总结十几年来桩基工程经验的专门规范以配合全国桩基工程技术的发展。为使桩基工程能实现建筑物的预定功能、安全适用、确保质量、达到技术先进、经济合理,根据原国家计委计标函(1987)78号文通知的要求,由中国建筑科学研究院地基所负责,会同同济大学,陕西省建筑科学研究设计院、重庆建筑大学、冶金部建筑研究总院、福建省建筑科学研究院、上海高桥石油化工公司设计院、上海市基础工程公司、广东省基础工程公司等单位共同编制《建筑桩基技术规范》JGJ94—94,经中华人民共和国建设部建标[1994]802号文批准为强制性行业标准,自1995年7月1日起执行。

《建筑桩基技术规范》为“建筑”桩基所用,主要适用于工业与民用建筑(包括构筑物)桩基的设计、施工与检测。工业与民用建筑绝大部分为低桩承台,且具有活荷载与静荷载比值较小等特点。因此,对于如码头、海上平台等高桩承台、活荷载与静荷载比值较大的桩基,本规范仅供参考。尤其是在抗力分项系数取值上必须注意本规范的抗力分项系数是根据“建筑”桩基特性所确定的。

桩基工程是否能实现其预定功能,并做到技术先进、经济合理,完全取决于设计与施工质量。设计中应综合考虑的因素主要有:地质条件、上部结构类型、荷载特征、施工技术、施工环境、检测条件等。

地质条件不仅是特定荷载条件下制约桩径、桩长的主要因素,也是选择桩型、成桩工艺的主要依据。

上部结构类型指砖混、排架、刚架、框架、框剪、框筒、全剪力墙、全筒等结构形式及其不同长高比。不同结构类型及长高比具有不同的刚度、整体性及其对地基变形的不同适应能力;而不同的桩型、成桩工艺、桩端持力层、桩的长径比、排列与布置等,也具有不同的竖向和水平承载力与变形性状。因此,上部结构类型桩的几何尺寸设计是桩基设计中应予考虑的重要因素。

荷载特征(作用特征)是指荷载的动静态、恒载与可变荷载的大小、偶发荷载的大小、竖向压、拔荷载的大小,竖向荷载的偏心距、水平荷载的大小及其变化特征。这些都将制约桩的竖向、水平承载力要求、桩基的工作性状,因此桩的选型与布置、桩基的计算都应考虑荷载特征。

施工技术条件与环境是指成孔成桩设备、技术及其成熟性,施工现场的设备运转、排浆、弃土、防噪声振动要求等。脱离当地施工技术条件与施工环境的现实,选择成桩工艺与设置方法,往往造成负效应,甚至无法实施。

检测条件是指按有关规范规定进行单桩承载力试验或检验、桩身结构完整性检测的条件。对于灌注桩桩身结构完整性的检测较预制桩更为重要。

《建筑桩基技术规范》JGJ94—94 自颁布执行以来受到了广大工程技术人员的较好评价,并获得 1995 年度建设部科技进步一等奖。由于本规范包含内容多,应用范围广,为便于设计、施工、检测人员应用本规范,本书结合目前国内桩基工程的若干热点问题,按照《规范》的编排顺序,将热点问题与《规范》相结合,便于使用人员理解、应用《建筑桩基技术规范》。

2. “规范”之间的协调与统一

《建筑桩基技术规范》JGJ94—94 为中华人民共和国行业标准,它类似于《建筑地基处理技术规范》JGJ79—91,是地基基础专业中的一本专门规范。桩基作为结构物的一部分,应根据《建筑结构设计统一标准》制订设计基本原则,但由于桩基础与土相互作用的特性,又不能照搬上部结构的全部设计原则。而目前我国仍未制订出“地基基础”的通用基础标准,因此,在制订本规范时,原则上按两类极限状态——承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。根据工程经验,仅在某些特定条件下才需计算桩基的沉降、水平变位、抗裂性与裂缝宽度。

对于规范所采用的符号、单位和术语,按《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》GBJ8—85 的规定,一方面力求与《建筑地基基础设计规范》GBJ7—89、《混凝土结构设计规范》GBJ10—89 协调一致,另一方面有关桩基础的专业术语与符号采用《国际土力学与基础工程学会》的统一规定。这样,既方便国内应用,又利于国际交流。

采用本规范时,土分类按现行的《建筑地基基础设计规范》规定执行;荷载取值按现行的《建筑结构荷载规范》规定执行;混凝土桩和承台的截面计算按现行的《混凝土结构设计规范》规定执行。对于特殊土地区的桩基、地震和机械振动荷载作用下的桩基,尚应按现行的有关规范执行。本规范未作规定的其他内容,应符合现行的有关标准、规范的规定。

有关土的分类、物理力学指标均按《建筑地基基础设计规范》GBJ7—89 规定执行,显然这种统一协调是工程实用所必需的。关于荷载取值、组合、分项系数按《建筑结构荷载规范》规定执行,以使上下部结构荷载效应的计算做到统一。关于混凝土基桩与承台的强度计算,除本规范中根据桩基的工作特点作出相应规定外,其余均与《混凝土结构设计规范》GBJ10—89 规定协调一致。钢桩的强度计算除本规范中规定者外,按《钢结构设计规范》执行。

对于早已颁布执行的《建筑地基基础设计规范》GBJ7—89 及部分省市颁布执行的有关建筑地基基础规范中有关桩基部分的相应章节与《建筑桩基技术规范》JGJ94—94 主要问题相协调原则,笔者建议从如下几方面理解其关系:

1. 关于设计表达式

《建筑桩基技术规范》采用了以概率理论为基础的极限状态设计法,以可靠指标度量桩基可靠度,采用以分项系数表达的极限状态设计表达式与《建筑结构设计统一标准》相一致,与上部结构有关规范相一致。而其他规范中的桩基设计表达式基本上还维持于原有的定值设计法,或多或少存在一些与上部结构不一致之处。

以根据土的物理指标确定单桩承载力为例,当不考虑群桩承台共同作用时,各规范的单桩竖向承载力名词、符号计算公式如下:

(1)《建筑桩基技术规范》JGJ94-94

基桩的竖向承载力设计值

$$R = Q_{uk} / \gamma_{sp}$$

单桩竖向极限承载力标准值

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$$

桩基竖向承载力抗力分项系数 γ_{sp} ——见表 11-1 或《规范》表 5.2.2

(2)《建筑地基基础设计规范》GBJ7-89

单桩竖向承载力设计值

$$R = 1.2 R_k$$

单桩竖向承载力标准值

$$R_k = u_p \sum q_{si} l_i + q_p A_p$$

(3)《上海市地基基础设计规范》DBJ08-11-89

单桩垂直容许承载力

$$N_d = \frac{1}{K} (u_p \sum f_i l_i + f_p A_p)$$

安全系数

$$K = 2$$

(4)《天津市建筑地基基础设计规范》TBJ1-88

单桩竖向承载力设计值

$$N_d = \gamma_N N_k$$

单桩竖向承载力标准值

$$N_k = u_p \sum q_{si} l_i + q_p A_p$$

单桩竖向承载力分项系数 γ_N ——视不同荷载比例取 1.2~1.25

(5)《浙江省建筑软弱地基基础设计规范》DBJ10-1-90

单桩竖向承载力标准值

$$R_k = u_p \sum q_{si} l_i + q_p A_p$$

(6)《福建省建筑地基基础勘察设计规范》DBJ13-07-91

单桩竖向承载力标准值

$$N_k = \frac{1}{K_f} \beta_i u_p \sum q_i l_i + \frac{1}{K_p} \alpha_p q_p A_p$$

(7)《深圳地区建筑地基基础设计试行规程》SJG1-88

(a)当根据试桩确定竖向极限承载力 P_u 时:

单桩竖向承载力设计值

$$N_d = 1.2 \frac{P_u}{K_y}$$

安全系数

$$K_y = 2$$

(b)当采用计算确定单桩承载力时

单桩竖向承载力设计值

$$N_d = u_p \sum q_{si} l_i + q_p A_p$$

q_s 、 q_p 分别为桩周摩阻力及桩端阻力设计值(kPa)。

从上述七本规范有关桩基设计表达式来看,其混乱程度是一般设计人员很难接受的,综上所述,在承载力设计表达式中主要存在以下四种名词:

极限承载力标准值、承载力设计值、承载力标准值、容许承载力。

从几本规范计算公式含义看,在数值上似乎存在承载力标准值=容许承载力,而容许承载力在按概率极限状态设计方法中已不存在,因此,为便于理解,从以上设计表达式可见,定值设计法的容许承载力相当于是承载力标准值。

根据《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ132-90 中关于“标准值”与“设计值”的定义如下:

- 作用标准值:结构或构件设计时,采用的各种作用的基本代表值。其值根据基准期最大作用的概率分布的某一分位数确定,亦称特征值。

- 材料性能标准值:结构或构件设计时,采用的材料性能基本代表值。其值一般根据符合规定质量的材料性能的概率分布的某一分位数确定,亦称特征值。

- 作用设计值为作用代表值乘以作用分项系数。

- 材料性能设计值为材料性能标准值除以材料性能分项系数。

根据《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ132-90 规定,一般结构规范承载力设计值的表达式中均应采用材料性能设计值表进行计算,亦即将材料性能标准值除以材料性能分项系数后列出材料(钢筋或混凝土)的强度设计值表供结构或构件设计时选用,按照这种思路,桩基设计中合理的材料性能设计值表应当是桩侧摩阻与端承阻设计值表,如《深圳规程》计算设计值的表达式。但从桩基承载力的传统试验方法考虑,又可以把单桩试验理解成一种材料试验,如同混凝土试验一样,单桩材料试验标准值亦即单桩竖向极限承载力标准值,显然,极限承载力是桩试验的特征值,因此,桩承载力标准值一般是指极限状态。

由于“单桩承载力标准值”这一名词长期以来被人们理解为对应于“容许承载力”,为了强调“极限”以示区分,故在《建筑桩基技术规范》中强调了单桩竖向“极限”承载力标准值,在此定义下给出了材料性能(摩阻力与端承力)表为“极限”承载力标准值表而不是“设计”值表。显然,对于桩基工程技术人员而言,“极限”值的物理力学概念比“设计”值更为清楚,不会产生混乱。

另外,根据材料性能标准值与设计值之间关系的概念,一般是标准值大于设计值,而以上几本将原“容许承载力”等于“承载力标准值”的思路考虑的规范设计值表达式中可见,显然出现了标准值小于设计值的情形,这是与一般表达式不一致的。

综上所述,应用《建筑桩基技术规范》的设计表达式较其他规范更能满足《工程结构设计基本术语和通用符号》标准的要求,也与其他上部结构规范的设计表达式相一致。

2. 关于承载力参数表

地基基础工程是一门实践性很强的学科,目前所有的地基基础规范的承载力表均应理解为一参考应用表,这些承载力参数表与钢筋、混凝土等材料的性能表的可靠性程度有本质的不同。桩侧及桩端承载力参数表只是为设计及施工提供一种估算承载力的参数取

值,表中的变化幅度也很大,它并不能作为确定最终设计承载力的依据,大部分工程桩基承载力应是以试验结果为依据的。因此,桩基规范与其他任何规范给出的承载力参数表在使用过程中,使用人员应根据当地情况确定哪本规范的参数表更适用于本地区参考使用。

3. 关于桩身强度

桩身强度主要为桩身材料的强度问题,在保证桩身施工质量条件下其承载力应按混凝土结构设计的有关规定进行。

3. 桩的定义

桩是一种很古老的处理不良地基的有效方法,早在新石器时代就有使用木桩的记录,每个土木工程师也经常与桩打交道,而对“桩”的定义却没有完整的理解,现在试图给桩下个简单的定义:

桩——垂直或微斜埋置于土中的受力杆件。

桩的上述定义包含了桩的三要素:设置方向、包围介质、结构特性。

1. 设置方向

桩是垂直或微斜设置的,它的主要用途是将用于传递垂直荷载及少量的水平荷载。如果倾斜度太大,就可能转化为土层锚杆的性质,而不是我们习惯所说的“桩”了。

2. 包围介质

桩被埋置于土中,包围于桩周的介质是(岩)土,上部结构荷载通过桩传递于(岩)土中,因此,桩的承载力除由桩身材料本身控制外,更重要的是受控于包围桩身介质(岩)土的强度。一般情况下(岩)土的强度对桩的承载力起决定性作用。

3. 结构特性

桩结构本身是受力杆件,“杆件”的计算在结构力学中最为简单。对于“杆件”而言,受力明确,计算方便。实际上,我们在计算桩身强度时,由于“杆件”的结构特性,无论是受压、受抗或压弯等分析都较为方便。

桩虽然具有最简单的结构特性——“杆件”,但由于包围它的介质——(岩)土的复杂性构成了单桩承载力这个简单的“谜”,桩的研究者们为寻求谜底进行了不懈努力,至今还没有找到一种较为精确计算桩承载力的方法。上述桩的定义似乎总在告诫桩的设计人员:桩的结构特性非常简单,但包围桩的介质却十分复杂,这是一种特殊的受力杆件!

由桩引申出的其他相关名词的定义如下:

基桩——群桩基础中的单桩。

桩基础——由基桩和连接于桩顶的承台共同组成。若桩身全部埋于土中,承台底面与土体接触,则称为低承台桩基;若桩身上部露出地面而承台底位于地面上,则称为高承台桩基。建筑桩基通常为低承台桩基础。

单桩基础——采用一根桩(通常为大直径桩)以承受或传递上部结构(通常为柱)荷载的独立基础。

群桩基础——由2根以上基桩组成的桩基础。

复合桩基——由桩和承台底地基土共同承担荷载的桩基。

复合基桩——包含承台底土阻力的基桩。

单桩竖向极限承载力——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;单桩竖向极限承载力包含两层涵义,一是桩结构自身的极限承载力,二是支承桩侧桩端地基土的极限承载力。桩的承载力一般由土对桩的支撑阻

力控制,对于端承桩、超长桩和桩身质量有缺陷的桩,可能由桩身材料强度控制。

群桩效应——群桩基础受竖向荷载后,由于承台、桩、土的相互作用使其桩侧阻力、桩端阻力、沉降等性状发生变化而与单桩明显不同,承载力往往不等于各单桩承载力之和,称其为群桩效应。群桩效应受土性、桩距、桩数、桩的长径比、桩长与承台宽度比、成桩方法诸多因素的影响而变化。

群桩效应系数——用以度量构成群桩承载力的各个分量因群桩效应而降低或提高的幅度指标,如侧阻、端阻、承台底土阻力的群桩效应系数。

桩端阻力群桩效应系数——群桩中的基桩平均极限端阻与单桩平均极限端阻之比。

桩侧阻力群桩效应系数——群桩中的基桩平均极限侧阻与单桩平均极限侧阻之比。

桩侧阻端阻综合群桩效应系数——群桩中的基桩平均极限承载力与单桩极限承载力之比。

综合群桩效应系数定义相当于传统习惯所说的群桩效率系数,以前一般认为群桩效率系数小于 1 是不符合实际的,实际上在大部分情况下群桩效率大于 1。

4. 桩基设计的相关资料

桩基工程设计的相关资料包含以下四个方面资料：

- 岩土工程勘察资料；
- 建筑场地与环境条件的有关资料；
- 建筑物的有关资料；
- 桩基施工条件的有关资料。

以上四方面资料对桩基设计必不可少，只有深入了解，分析这些资料后才能做出合理的设计。尤其是随着城市管理水平的逐步提高，桩基施工对环境影响日益受到政府部门的重视，施工噪音、排污的处理不当往往会给工程施工带来不良影响。

1. 岩土工程勘察资料

(1)按照现行《岩土工程勘察规范》要求整理的工程地质报告。岩土工程勘察成果报告所依据的搜集、调查、测绘、勘探、测试所得的原始资料，应进行整理、检查、分析、鉴定，经确定无误后方可使用。

岩土工程勘察成果报告的内容，应根据任务要求、勘察阶段、地质条件、工程特点等具体情况确定。包括下列内容：

- a. 勘察目的、要求和任务；
- b. 拟建工程概述；
- c. 勘察方法和勘察工作布置；
- d. 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质、地下水、不良地质现象的描述与评价；
- e. 场地稳定性与适宜性的评价；
- f. 岩土参数的分析与选用；
- g. 岩土利用、整治、改造方案；
- h. 工程施工和使用期间可能发生的岩土工程问题预测及监控、预防措施的建议；

(2)成果报告应附必要的图件：

- a. 勘探点平面布置图；
- b. 工程地质柱状图；
- c. 工程地质剖面图；
- d. 原位测试成果图表；
- e. 室内试验成果图表；
- f. 岩土利用、整治、改造方案的有关图表；
- g. 岩土工程计算简图及计算成果图表。

(3)桩基按两类极限状态进行设计所需用的岩土物理力学性能指标值。按承载力极限状态设计时，需尽可能提供标贯值、静力触探比贯入阻力、查桩基承载力参数表所需土的室内试验参数如液性指数 I_L ，含水量、孔隙比等；按正常使用极限状态设计时，需提供土

的压缩模量等值。

(4)对建筑物场地不良地质现象、如滑坡崩塌、泥石流、岩溶、土洞等,岩土工程勘察报告应有明确的判断、结论和防治方案;

(5)已确定和预测的地下水位及地下水化学分析结论;

(6)现场或其他可供参考的试桩资料及附近类似桩基工程经验资料;

(7)抗震设防区按设防烈度提供的液化地层资料;

(8)有关地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性的资料。

岩土工程勘察资料是桩基设计的主要依据,资料必须完善。岩土性质指标在规范条文中没有列出,但规范有关章节均有具体要求。地下水位受季节和气候的影响较大,勘察时确定的地下水位与施工和使用时的地下水位有差异,因此要求提供观测的地下水位。现阶段桩基承载力的确定,最可靠的方法是现场静载荷试验,在收集资料时应强调试桩资料的收集。

《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)对桩基工程勘探点的间距,勘探深度及地层的室内与原位测试要求如下:

- 勘探点的布置应控制持力层层面坡度、厚度及岩土性状,其间距宜为 10~30m。相邻勘探点的持力层层面高差不应超过 1~2m。当层面高差或岩土性质变化较大时,应适当加密。当岩土条件复杂时,每个大直径桩宜布置 1 个勘探点。

- 当需要计算沉降时,应取勘探孔总数的 $1/3 \sim 1/2$ 作为控制性孔,其深度应达到压缩层计算深度或在桩尖下取基础底面宽度的 1.0~1.5 倍。当在该深度范围内遇坚硬岩土层时,可终止勘探。一般性勘探孔深度宜进入持力层 3~5m。大直径桩、勘探孔深度应达到桩尖下的 3 倍桩径。

- 根据地区经验和岩土条件选择原位测试方法配合钻探。

- 室内试验应满足下列要求:

- a. 对需要估算桩的极限摩阻力,端承力和验算下卧层强度时,应作三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验。三轴剪切试验的受力条件应模拟工程实际情况;

- b. 对需要计算沉降的桩基工程,应进行固结试验。其固结压力应大于桩基土层实际受力条件。试验条件应模拟桩的实际情况;

- c. 当桩尖持力层为基岩时,宜采取岩样进行饱和单轴抗压强度试验,必要时尚应进行软化试验。

(9)桩基规范规定详细勘察除满足以上所述勘察规范有关要求外尚应满足以下要求:

a. 勘探点间距

- 对于端承型桩和嵌岩桩:主要根据桩端持力层顶面坡度决定,宜为 12~24m。当相邻两个勘探点揭露出的层面坡度大于 10%时,应根据具体工程条件适当加密勘探点;

- 对于摩擦型桩:宜为 20~30m 布置勘探点,但遇到土层的性质或状态在水平方向分布变化较大,或存在可能影响成桩的土层存在时,应适当加密勘探点;

- 复杂地质条件下的柱下单桩基础应按桩列线布置勘探点,并宜每桩设一勘探点。

b. 勘探深度

- 布置 $1/3 \sim 1/2$ 的勘探孔为控制性孔,且安全等级为一级建筑桩基,场地至少应布

置 3 个控制性孔,安全等级为二级的建筑桩基应不少于 2 个控制性孔。控制性孔深度应穿透桩端平面以下压缩层厚度,一般性勘探孔应深入桩端平面以下 3~5m。

• 嵌岩桩钻孔应深入持力岩层不小于 3~5 倍桩径;当持力岩层较薄时,应有部分钻孔钻穿持力岩层。岩溶地区,应查明溶洞、溶沟、溶槽、石笋等的分布情况。

在勘察深度范围内的每一地层,均应进行室内试验或原位测试,提供设计所需参数。

勘探点应根据工程地质条件的复杂程度进行布置,简单地质条件与勘探点的间距可大些,但应保护揭露场地的工程地质条件与特征。复杂地质条件下应适当加密勘探点。随着桩基工程技术的发展,成桩尺寸和单桩承载力有很大的提高,柱下单桩基础的使用量增加,对于这种基础型式,万一有一根桩失效,便会危及整个建筑物的安全,因此规定宜每一柱设一勘探点。钻孔深度是根据桩基受力与变形特性确定的。

2. 建筑场地与环境条件的有关资料

- a. 建筑场地的平面图,包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布;
- b. 相邻建筑物安全等级、基础型式及埋置深度;
- c. 水、电及有关建筑材料的供应条件;
- d. 周围建筑物及边坡的防振、防噪音的要求;
- e. 泥浆排泄、弃土条件。

随着城市建设的发展,地下车道、上部高压架空线、地下管线成为新建建筑物不可缺少的部分,这些均与桩基工程设计资料有关;相邻建筑物的安全等级,尤其是基础类型及埋置深度均与新建筑的桩基设计施工方案有关。

考虑水、电及建筑材料的供应条件对选择桩基设备具有重要意义;周围建筑物及周围环境往往制约了桩型的选用,如在城市闹区、打入式桩往往会造成扰民而被禁止使用;而在应用泥浆护壁灌注桩时又需考虑泥浆排泄及弃土条件等。

3. 建筑物的有关资料

- (1)建筑物的总平面布置图;
- (2)建筑物的结构类型、荷重及建筑物的使用或生产设备对基础竖向及水平位移的要求;
- (3)建筑物的安全等级;
- (4)建筑物的抗震设防烈度和建筑(抗震)类别。

建筑物的总平面图及结构类型、荷重及建筑物的使用或生产设备对基础竖向及水平方向位移的要求是对桩基难易程度的初步判别;平面布置复杂、荷载较大对位移要求严格的桩基工程设计较难,反之则易。

根据建筑结构破坏后果的严重程度,《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)规定划分建筑物为三个安全等级,划分如表 4-1 所示。

表 4-1

安 全 等 级	破 坏 后 果	建筑物类型
一 级	很 严 重	重要的建筑物
二 级	严 重	一般的建筑物
三 级	不 严 重	次要的建筑物

注：对有特殊要求的建筑物，其安全等级可根据具体情况另行确定。

建筑物的抗震设防烈度应按国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定，一般情况下可采用基本烈度；对做过抗震防灾规划的城市，可按批准的抗震设防区划(设防烈度或设计震动参数)进行抗震设防。

建筑根据其重要性分为四类：①甲类建筑：特殊要求的建筑，如遇地震破坏会导致严重后果的建筑等，必须经国家规定的批准权限批准；②乙类建筑：国家重点抗震城市生命线工程的建筑；③丙类建筑：甲、乙、丁类以外的建筑；④丁类建筑：次要的建筑，如遇地震破坏不易造成人员伤亡和较大经济损失的建筑等。

4. 施工条件的有关资料

(1)施工机械设备条件，制桩条件、动力条件以及对地质条件的适应性；

(2)施工机械设备的进出场及现场运行条件；

(3)供设计比较用的各种桩型及其实施的可能性。

以上为施工条件的三种情况，一是当地施工机械设备条件对地质条件的适应性，即施工现场条件；二是施工设备进出场及现场运行条件，保证设备正常运输与挪动；在保证以上两条后，还应注意选择最为合理便于实施的桩型。

5. 桩的分类与选型

当竖向荷载逐步施加于单桩桩顶,桩身上部受到压缩而产生相对于土的向下位移,与此同时桩侧表面受到土的向上摩阻力。桩身荷载通过所发挥出来的桩侧摩阻力传递到桩周土层中去,致使桩身荷载和桩身压缩变形随深度递减。在桩土相对位移等于零处,其摩阻力尚未开始发挥作用而等于零。随着荷载增加,桩身压缩量和位移量增大,桩身下部的摩阻力随之逐步调动起来,桩底土层也因受到压缩而产生桩端阻力。桩端土层的压缩加大了桩土相对位移,从而使桩身摩阻力进一步发挥出来。当桩身摩阻力全部发挥达到极限后,若继续增加荷载,其荷载增量将全部由桩端阻力承担。由于桩端持力层的大量压缩和塑性挤出,位移增长速度显著加大,直至桩端阻力达到极限,位移迅速增大而破坏。此时桩所承受的荷载就是桩的极限承载力。

一、按桩承载性状分类

应用线弹性理论进行分析结果表明,影响桩土体系荷载传递的因素主要有:

- 桩端土与桩周土的刚度比 E_b/E_s :当 $E_b/E_s=0$ 时,荷载全部由桩侧摩阻力所承担,属纯摩擦桩。在均匀土层中的纯摩擦桩,摩阻力接近于均匀分布。当 $E_b/E_s=1$ 时,属均匀土层中的摩擦桩,其荷载传递曲线和桩侧摩阻力分布与纯摩擦桩相近。当 $E_b/E_s=\infty$ 且为中长桩($l/d\approx 25$)时,桩身荷载上段随深度减小,下段近乎沿深度不变。即桩侧摩阻力上段可得到发挥,下段由于桩土相对位移很小(桩端无位移)而无法发挥出来。桩端由于土的刚度大,可分担较大荷载,属端承桩。

- 桩、土的刚度比 E_p/E_s :当 E_p/E_s 愈大,桩端阻力所分担的荷载比例愈大;反之,桩端阻力分担的荷载比例降低,桩侧阻力分担的荷载比例增大。对于 $E_p/E_s\leq 10$ 的中长桩($l/d\approx 25$),其桩端阻力接近于零。这说明对于砂桩、碎石桩、灰土桩等低刚度桩组成的基础,应按复合地基工作原理进行设计。

- 桩端扩大头与桩身直径之比 D/d : D/d 愈大,桩端阻力分担的荷载比例愈大。

- 桩长径比 l/d : l/d 对荷载传递的影响较大。在均匀土层中的钢筋混凝土桩,其荷载传递性状主要受 l/d 的影响。当 $l/d\geq 100$ 时,桩端土的性质对荷载传递影响甚小。

桩在竖向荷载作用下,尤其强调的是在极限承载力状态下,桩顶荷载由桩侧阻力和端阻力共同承受,而桩侧阻力、端阻力的大小及分担荷载比例,主要由桩侧、桩端地基土的物理力学性质,桩的尺寸和施工工艺所决定。传统的分类法是将桩分成摩擦桩和端承桩,很多设计者将摩擦桩视为只具有侧阻力,端承桩只具有端阻力,显然这是不符合实际的。为此,本规范按竖向荷载下桩土相互作用特点,桩侧阻力与桩端阻力的发挥程度和分担荷载比,将桩分为摩擦型桩和端承型桩两大类和四个亚类。

- 摩擦型桩:是指在竖向极限荷载作用下,桩顶荷载全部或主要由桩侧阻力承受。根据桩侧阻力分担荷载的大小,摩擦型桩分为摩擦桩和端承摩擦桩两类:

在深厚的软弱土层中,无较硬的土层作为桩端持力层,或桩端持力层虽然较坚硬但桩

的长径比 l/d 很大,传递到桩端的轴力很小,以至在极限荷载作用下,桩顶荷载绝大部分由桩侧阻力承受,桩端阻力很小可忽略不计的桩,称其为摩擦桩;

当桩的 l/d 不很大,桩端持力层为较坚硬的粘性土、粉土和砂类土时,除桩侧阻力外,还有一定的桩端阻力。桩顶荷载由桩侧阻力和桩端阻力共同承担,但大部分由桩侧阻力承受的桩,称其为端承摩擦桩。这类桩所占比例很大。

• 端承型桩:是指在竖向极限荷载作用下,桩顶荷载全部或主要由桩端阻力承受,桩侧阻力相对桩端阻力而言较小,或可忽略不计的桩。根据桩端阻力发挥的程度和分担荷载的比例,又可分为摩擦端承桩和端承桩两类:

桩端进入中密以上的砂土、碎石类土或中、微化岩层,桩顶极限荷载由桩侧阻力和桩端阻力共同承担,而主要由桩端阻力承受,称其为摩擦端承桩;

当桩的 l/d 较小(一般小于 10),桩身穿越软弱土层,桩端设置在密实砂层,碎石类土层中、微风化岩层中,桩顶荷载绝大部分由桩端阻力承受,桩侧阻力很小可忽略不计时,称其为端承桩。

对于嵌岩桩,桩侧与桩端荷载分担比与孔底沉渣及进入基岩深度有关,桩的长径比 l/d 不是制约荷载分担比的唯一因素。

• 均质土层中圆形桩侧摩阻力分担比 $\delta_{sc}(\%)$

设圆形桩的总极限侧摩阻力为 Q_{sc} :

$$Q_{sc} = \pi d q_{sm} \cdot l$$

式中 q_{sm} ——桩侧平均摩阻力。

对于带扩大头的圆桩总极限承载力 Q_{uc} 约为:

$$Q_{uc} = \pi d q_{sm} \cdot l + \pi D^2 q_p / 4$$

式中 q_p ——桩端阻力。

$$\begin{aligned} \delta_{sc} &= \frac{Q_{sc}}{Q_{uc}} \times 100\% \\ &= \frac{\pi d q_{sm} \cdot l}{\pi d q_{sm} \cdot l + \pi D^2 q_p / 4} \times 100\% \\ &= \frac{4}{4 + \frac{q_p}{p_{sm}} \cdot \frac{d}{l} \cdot (\frac{D}{d})^2} \times 100\% \end{aligned}$$

表 5-1(1)~5-1(6)给出了不同 D/d 、 l/d 、 q_p/q_{sm} 时的不同 δ_{sc} ,当 $D/d=1$,且当 $q_p/q_{sm} < 20$, $l/d > 5$ 时, $\delta_{sc} > 50\%$,均表现为摩擦型桩性能;对于粘性土一般 q_p/q_{sm} 一般小于 60,从表可见,当 l/d 大于 15 时,即可使 $\delta_{sc} > 50\%$ 。

当 $D/d > 1$ 时,桩端土具有较好持力层, q_p/q_{sm} 也较大、当其值大于 150,且 $D/d=1.5$ 是一般扩底桩尺寸可以达到的,从表 5-1(2)-5-5(6)可见,大部分为端承型桩。

二、按桩的使用功能分类

按桩的使用功能分类,是指桩在使用状态下,按桩的抗力性能和工作机理要求进行分类。不同使用功能的桩基,具有不同的构造要求和不同的计算内容,可分为以下四类:

• 竖向抗压桩:主要承受竖向下压荷载(简称竖向荷载)的桩,应进行竖向承载力计算,必要时还需计算桩基沉降,验算软弱下卧层的承载力以及负摩阻力产生的下拉荷载;