

多高层钢筋混凝土房屋工程设计实践 ——建筑结构设计、分析与验算

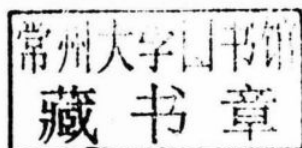
钱志浩 浙江华恒建筑设计有限公司 编著



大连理工大学出版社

多高层钢筋混凝土房屋工程设计实践 ——建筑结构设计、分析与验算

钱志浩 浙江华恒建筑设计有限公司 编著



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

多高层钢筋混凝土房屋工程设计实践：建筑结构设计、分析与验算 / 钱志浩，浙江华恒建筑设计有限公司编著. -- 大连：大连理工大学出版社，2019.7

ISBN 978-7-5685-2139-0

I. ①多… II. ①钱… ②浙… III. ①多层建筑—钢筋混凝土结构—结构设计②高层建筑—钢筋混凝土结构—结构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 141471 号

多高层钢筋混凝土房屋工程设计实践
建筑结构设计、分析与验算

DUOGAOCENG GANGJIN HUNNINGTU FANGWU GONGCHENG SHEJI SHIJIAN
JIANZHU JIEGOU SHEJI FENXI YU YANSUAN

大连理工大学出版社出版

地址：大连市软件园路 80 号 邮政编码：116023

发行：0411-84708842 邮购：0411-84708943 传真：0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://dutp.dlut.edu.cn>

大连图腾彩色印刷有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸：185mm×260mm
2019 年 7 月第 1 版

印张：34
字数：1250 千字
2019 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑：张 泓

责任校对：裘美倩

封面设计：杨春明

ISBN 978-7-5685-2139-0

定 价：128.00 元

本书如有印装质量问题，请与我社发行部联系更换。

前 言

本书总结了作者 55 年工程设计生涯(1962 年至 2016 年)中对工程结构设计的思考、热点问题和疑难问题的处理,共 3 篇 15 章。第 1 篇主要介绍了带地下室结构的多高层建筑基础整体设计,该篇贯穿了以控制建筑物基础中心沉降量(基础的平均沉降量)的限值来达到控制其基础差异沉降及整体(局部)倾斜的效果,满足规范使用要求的沉降控制设计方法。第 2 篇主要介绍了各类建筑结构设计、分析与验算。结构设计包含着对建筑方案和机电设备的了解,按国家规范、标准做结构概念设计,包括结构方案和计算模型和思考,荷载分析和截面尺寸的估算,结构材料强度的控制,生成几何模型信息、材料信息和荷载信息。结构分析包含确定结构构件性能目标水准,采用适宜的计算方法和使用合理软件做内力分析与计算并组合,对结构构件做截面承载力与变形验算,经过多次设计、分析、验算的迭代,直至结构构件满足安全使用目标。第 3 篇主要介绍了对建筑结构专项技术的研发与推广应用。包括预应力技术、超长超大面积楼(屋)面结构的温差混凝土收缩变形分析和抗裂设计,以及地基基础纠偏加固设计等内容,还有对当地工程地质条件的分析介绍。本书中第 10.8 节和第 11.8 节由浙江华恒建筑设计有限公司的注册岩土工程师、一级注册结构工程师李相启编写。高级工程师董建新参与了第 12 章的部分编写工作。本书的编写过程得到了华汇工程设计集团股份有限公司董事长袁建华、副总裁陆伟岗的关心与支持,在此表示感谢。同时,还要感谢海宁市住房和城乡建设局和海宁市科技局的支持和帮助,感谢我的母校浙江大学教育我“学会做人、学会做事”,感谢为本书出版提供帮助的池圣来、顾泠、扬文

稻三位同事的辛勤劳动,感谢浙江华恒建筑设计有限公司高级建筑师李海斌提供的建筑图片。在编写本书的过程中,参考了许多有关文献资料,得到了同志们的帮助,在此对有关作者和同志表示诚挚的谢意。限于编著者水平,有不当或错误之处,热忱盼望读者指正,将不胜感激。

钱志浩

2019年7月

目 录

第 1 篇 地基基础和地下室结构工程设计实践

第 1 章 带地下室多高层建筑桩基础的整体设计	3
1.1 建筑地基桩基础沉降变形	3
1.2 多高层建筑桩基础设计概述	4
1.3 多高层建筑桩基础整体设计技术	5
1.4 桩基础中心沉降量计算及实例	9
1.5 应用综合分析桩基沉降计算方法控制实际工程的桩基沉降量	15
1.6 预估建筑物竣工时的桩基沉降量的半理论半经验法	16
1.7 整体基础设计的技术措施	19
1.8 基桩抗震的概念设计	20
第 2 章 软土地基上整体地下室结构设计	22
2.1 整体地下室设计的若干概念	22
2.2 整体地下室设计有关参数确定	23
2.3 整体地下室设计概述	25
2.4 整体地下室外墙设计	26
2.5 整体地下室底板设计	29
2.6 地下室楼板(顶板)的设计	35
2.7 人防地下室设计	42
2.8 地下室抗浮设计	44
2.9 地下室的结构优化思考	47
2.10 整体地下室超长超大面积的结构设计技术措施	49
2.11 整体地下室桩基沉降控制设计——西安地区经验	56
2.12 整体地下室后浇带、混凝土膨胀加强带和防渗设计	58
第 3 章 高层建筑与地下车库基础整体设计技术要点	61
3.1 现行国家规范、规程、规定要求	61
3.2 大底盘地下车库的基础设计	64
3.3 大底盘地下车库超长混凝土结构抗裂设计	79

第 4 章 软土地区整体大面积桩筏基础设计若干问题阐述	86
4.1 桩筏基础设计	86
4.2 适用于整体大面积桩筏承台基础设计的上部结构计算模型和桩筏承台基础模型	88
4.3 桩筏承台基础的概念设计	89
4.4 整体大面积桩筏承台基础的沉降限值	94
4.5 整体大面积桩筏承台基础的沉降计算	95
4.6 桩筏承台基础与上部结构—桩—土共同作用的分析	97
4.7 整体大面积桩筏承台基础的沉降控制	99
第 5 章 软土地基钢筋混凝土高层建筑桩基设计的若干疑难问题	103
5.1 高层建筑桩基设计控制	103
5.2 利用计算机软件 JCCAD 对高层建筑基础进行补充 验算分析	117
5.3 施工图设计控制值	119
第 2 篇 各类建筑结构设计、分析与验算	
第 6 章 荷载取值、构件截面尺寸估算及结构分析设计软件 SATWE 参数合理确定	127
6.1 荷载取值	127
6.2 建筑结构构件截面尺寸估算	135
6.3 建筑结构分析设计软件 SATWE 参数的合理确定	140
第 7 章 多高层钢筋混凝土框架结构设计	154
7.1 钢筋混凝土框架的延性设计概念	154
7.2 提高钢筋混凝土框架延性的具体措施	156
7.3 钢筋混凝土框架结构分析计算	160
7.4 框架结构设计一般规定	162
7.5 框架梁结构截面设计	164
7.6 框架柱截面设计计算	168
7.7 混凝土框架结构设计中的若干问题	173
第 8 章 剪力墙结构设计	179
8.1 剪力墙结构设计概念	179
8.2 剪力墙结构布置及其截面尺寸估算	182
8.3 剪力墙结构分析和内力调整	188
8.4 剪力墙结构的截面设计与配筋计算	190
8.5 剪力墙结构截面设计配筋计算实例分析	198
8.6 高层住宅剪力墙结构施工图设计的若干问题	205

第 9 章 框架-剪力墙结构设计	209
9.1 框架-剪力墙结构的受力变形特性	209
9.2 框架-剪力墙结构平面布置	210
9.3 框架-剪力墙结构设计方法判定	213
9.4 框架-剪力墙结构中剪力墙的合理数量	213
9.5 框架-剪力墙结构采用电算法进行结构整体分析的若干问题	216
9.6 框架-剪力墙结构截面设计与构造要求	217
9.7 实例分析与思考	219
9.8 西山一品工程框架-剪力墙结构房屋设计要点	227
第 10 章 框架-核心筒结构设计	243
10.1 框架-核心筒结构的应用	243
10.2 框架-核心筒结构设计概念	246
10.3 框架-核心筒结构设计方法	247
10.4 框架-核心筒结构计算分析	253
10.5 框架-核心筒结构截面设计及构造	253
10.6 混合的框架-核心筒结构设计要点	259
10.7 框架-核心筒结构加强层设计(设置伸臂以增大抗侧刚度)减少侧移	259
10.8 框架-核心筒结构算例	261
第 11 章 混凝土结构设计计算分析中的若干问题	283
11.1 结构抗震常规设计	283
11.2 结构抗震性能设计	285
11.3 整体结构多遇地震(小震)弹性分析计算	294
11.4 整体结构设防地震(中震)弹性设计、不屈服设计及弹塑性分析	307
11.5 整体结构罕遇地震(大震)弹性设计、不屈服设计及弹塑性分析	309
11.6 结构抗连续倒塌设计及基本要求	312
11.7 各抗震性能目标结构构件验算	314
11.8 超限高层建筑工程的抗震设计	326

第 3 篇 钢筋混凝土结构若干专项设计研究课题

第 12 章 预应力混凝土双曲抛物面壳板设计研究	347
12.1 30 m 跨先张法预应力混凝土双曲抛物面壳板结构设计	347
12.2 12~30 m 跨预应力双曲抛物面壳板结构分析计算	360
12.3 预应力混凝土双曲抛物面壳板结构设计说明	384
12.4 预应力混凝土双曲抛物面壳板结构标准设计	388

第 13 章 无黏结预应力混凝土结构技术开发与推广应用	422
13.1 无黏结预应力混凝土技术在房屋建筑中的开发研究与推广应用	422
13.2 无黏结预应力混凝土技术推广应用	434
第 14 章 钢筋混凝土楼板结构温度收缩效应的研究与设计实践	440
14.1 钢筋混凝土梁板结构楼盖抗裂设计计算	440
14.2 现浇钢筋混凝土楼板变形裂缝控制设计	443
14.3 楼板温度与收缩效应分析及抗裂设计	447
14.4 超长超大面积混凝土房屋温度收缩效应的简化分析及设计	460
第 15 章 基坑与基础工程结构若干技术分析和应用	483
15.1 某建筑工程房屋竣工后较大沉降变形和倾斜的技术分析及其加固设计技术措施	483
15.2 土钉支挡结构在软土深基坑支护中的应用	493
参考文献	503
附录	508
附录 1 楼板计算	508
附录 2 关于钢筋混凝土楼板在温度效应作用下的抗裂设计概念	512
后 记	514

The background of the cover is a grayscale architectural wireframe of a modern building. The lines are thin and create a complex grid pattern, showing the structural framework of the building. The perspective is from a low angle, looking up at the structure, which gives it a sense of height and scale. The top half of the image is slightly faded, while the bottom half is more detailed.

第1篇

地基基础和地下室结构
工程设计实践

第 1 章

带地下室多高层建筑桩基础的整体设计

由于功能上的需要,对于地上有多幢建筑、地下设有地下室的房屋基础,若用沉降缝或伸缩缝隔开,则既浪费又可能产生过大的不均匀沉降,因此业主希望把基础连成整体进行设计,即进行多高层建筑桩基础的整体设计。整体设计中主要应关注三个问题,一是大面积基础的差异沉降的控制,二是大面积基础受到温差影响导致混凝土收缩变形,三是抗震设防地区的抗震设计。

1.1 建筑地基桩基础沉降变形

1.1.1 建筑地基桩基础的平均沉降、整体倾斜和局部倾斜及差异沉降

建筑地基桩基础沉降变形设计,主要控制三个方面:地基桩基础的平均沉降、整体倾斜和局部倾斜及差异沉降。

平均沉降是地基桩基础刚度的综合反映,它是一个相对稳定值,差异沉降程度与之相适应。地基桩基础的沉降变形越大,其倾斜值也越大;因此对于多高层建筑,控制了平均沉降也就相当于控制了倾斜值。实际设计时,桩基础相对变形不易计算,可通过满足允许桩基础中心沉降值予以控制,以桩基础中心沉降值代替桩基础最终沉降量,并与实际的桩基础平均沉降量相当。

1.1.2 建筑地基桩基础沉降变形的设计允许值

设计师根据建筑物的实际用途,观察分析业主的使用要求,提出允许沉降变形的大小,只要设计的工程计算变形在允许范围内,这个设计过程就是合理的。经过理论分析和实践经验的积累,考虑本地区建筑桩基础设计中对于建筑物沉降变形控制的实际要求,笔者总结了江浙地区建筑桩基础设计中应满足的设计允许值,见表 1-1。

表 1-1 建筑地基桩基础沉降变形的设计允许值(限值)

结构形式	中心沉降量	差异沉降	倾斜值
砌体结构	150 mm		0.002
单层排架结构	120 mm		

续表

结构形式		中心沉降量	差异沉降	倾斜值
框架、框架-剪力墙、框架-核心筒结构			0.002L	
多层框架结构		150 mm	0.002L	
高层建筑 结构	$24\text{ m} < H \leq 60\text{ m}$	100 mm	0.002L	0.003
	$60\text{ m} < H \leq 100\text{ m}$	75 mm	0.002L	0.002 5
	$H > 100\text{ m}$	50 mm	0.002L	0.002
带地下室多 高层建筑桩基 基础整体设计	桩基础中心沉降量	50 mm		
	建筑主体结构基础挠度	0.000 5L		
	建设主体与附房边柱间的沉降差	0.001L		
	附房或地下室柱间沉降差	0.002L		

注: L 为相邻柱(墙)两测点间距离, H 为自室外地面算起的建筑物高度(m)。

1.2 多高层建筑桩基础设计概述

1.2.1 常规桩基与复合基桩

多高层建筑桩基础设计一般建立在满足承载力的基础上,所有上部结构荷载由桩承担,完全由上部结构荷载来确定桩数和桩长,即常规桩基。对于常规桩基设计,在各工况下承载力满足时,最终沉降量验算通过即可。常规桩基设计时,要求桩间距为3~4倍桩直径、上部荷载由桩承担,桩间土的承载力不予考虑,桩的安全系数为2。由常规桩基设计实践可知,当桩数增减10%时,其建筑物的沉降量仅有约3%的增减,这是桩基按变形设计的理论依据。实际上,在常规桩基设计中,桩间土仍分担着上部荷载。实践证明,一般软土地区桩间土分担上部荷载5%~10%(扣除浮力情况下)。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)(以下简称桩基规范)第5.2.4条,提出了复合基桩的竖向承载力特征值的概念。

1.2.2 建筑地基与桩基共同作用的概念

(1) 桩与承台在工作荷载下,基础基本接近在线弹性地基上刚性基础的工作性状。

(2) 上部结构刚度随上部结构层数的增加而增加,达到一定层数后便趋于稳定。上部结构刚度对基础的平均沉降几乎没有影响,但可有效减少基础的差异沉降,同时能影响桩顶荷载和基础内力的分布。

(3) 地基弹性模量与平均沉降成反比,它的变化对差异沉降的影响不显著,但对基础底板弯矩和基础分担建筑物的荷载却影响很大。

1.2.3 桩基选型及单桩承载力特征值估算

1. 桩基选型

根据江浙地区为软土地区的情况,高层建筑桩基础一般选用常规桩基结构形式。在

现场周边环境条件许可下,优先采用预应力混凝土管桩。40 m 以下高层建筑采用 6 号黏土层作为桩基持力层,有效桩长约为 25 m;50~100 m 高度的高层建筑宜采用 8 号粉质黏土作为桩基持力层,有效桩长约为 45 m。

当承载力要求很高,不能采用预应力混凝土管桩时,宜采用钻孔灌注桩(后注浆)。

2. 单桩承载力特征值估算

(1)在试验未达到破坏状态下,按地区经验,可取与桩顶沉降量 $S=10$ mm 以内相应加载量为单桩竖向承载力特征值。

(2)单桩水平承载力特征值(R):以桩顶在水平力作用下的荷载位移曲线 $H-X$ 第一突变点为水平临界荷载,可取水平临界荷载作为单桩水平承载力特征值(R)。

(3)单桩竖向抗拔承载力特征值(R_B):取桩顶变形值 20~30 mm 对应荷载为极限值,将极限值除以 2,作为单桩竖向抗拔承载力特征值(R_B)。

1.2.4 桩数估算及建立桩基(承台、筏板)平面图

采用 PM 软件分析结构时,首先读取 PM 导荷值($D+L$)(D 为竖向荷载值,应包含基础自重及覆土自重),按公式计算桩数 $n = \frac{F_d + G_d}{0.8R_a}$,式中 F_d 是基础顶面结构竖向总荷载, G_d 是基础自重及覆土自重(均为标准值),0.8 为荷载调整系数(包含地震水平作用影响)。

柱下、墙下、筒体下直接布置估算桩数,采用柱下独立承台,墙下条形承台,筒体下筏板承台。建立桩基承台布置图,布置时应考虑荷载中心与桩基中心重合或接近。

采用 JCCAD 软件,输入工程地质设计参数,建立桩基承台平面布置图,读取 SATWE 荷载值(自地下室层建模,并设地下室层风荷载为 0),按读取荷载($P+L+0.6W$)(N_{\max})荷载效应标准组合值(计算取值时应加上基础自重及覆土自重),做不利荷载下的承载力验算。

按准永久荷载组合值($D+0.5L$)做沉降变形验算。

如果超过了桩的承载限值或控制沉降限值及基础板厚度与内力不协调,则应调整桩数或承台、筏板厚度,进行迭代计算,直到满足为止。

1.3 多高层建筑桩基础整体设计技术

1.3.1 控制桩基(承台、筏板)中心沉降量

高层建筑采用桩基础时,沉降变形较小,可考虑采用后浇带技术措施,不设置永久性沉降缝,将各高层主体房屋基础(地下室)设计成整体基础。

经工程实践经验和实测资料验证,高层建筑的桩基平均沉降量小,差异沉降也很小。确定一个合适的桩基平均沉降量,相应的房屋基础的相对变形值(差异沉降倾斜和挠曲)便会在允许范围内。基础中心沉降量与实际的平均沉降量相当,根据工程实践经验,在进行江浙地区高层建筑桩基础整体设计时,把由后浇带划分的各部位基础(承台、筏板)的桩

基中心沉降量控制在 ≤ 50 mm,房屋竣工时沉降量控制在 ≤ 30 mm,相应的房屋整体基础相对沉降量亦会满足限值要求。

1.3.2 桩基按常规设计的沉降变形估算

1.按《软土地区桩基础沉降计算实用方法和公式》

(1)设单桩沉降量为 S_1 ,则

$$S_1 = PI / (dE_s) \quad (1-1)$$

式中 P ——单桩承担的荷载, N;

I ——单桩沉降系数(由表 1-2 查得);

d ——桩直径, mm;

E_s ——桩长范围内平均厚度土的加权平均压缩模量, MPa, 一般取 $E_s = 3E_{s_{0.1 \sim 0.2}}$ ($E_{s_{0.1 \sim 0.2}}$ 由工程地质资料提供)。

表 1-2 单桩沉降系数

L/d	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
I	0.073 2	0.068	0.063	0.059	0.055	0.052	0.049	0.048	0.046	0.046	0.045	0.043	0.042	0.041 7	0.041	0.040 7

注:表中 L/d 是长径比, L 是桩长, d 是桩径。

(2)群桩沉降量 S 的计算公式为

$$S = \Psi R_s S_1 \quad (1-2)$$

式中 S_1 ——单桩沉降量, mm;

Ψ ——承台面积影响系数, $\Psi = \left(1.04 - \frac{0.04A_1}{B_1}\right) \Psi_2$, Ψ_2 为桩尖土与桩周土等效模量之比, 当该比值 ≥ 2 时, 取 $\Psi_2 = 0.5$, A_1 为桩基承台面积, B_1 为桩基宽度;

R_s ——群桩基础沉降系数(由表 1-3、表 1-4、表 1-5 查得),

$$R_s = (R_{25} - R_{16}) \times (\sqrt{n} - 5) + R_{25} \quad (1-3)$$

其中 n 为桩数, R_{16} 、 R_{25} 分别为 16 桩基与 25 桩基承台的沉降系数。

表 1-3 16 桩及 25 桩基础沉降系数 (R_s)

L/d	S_n/d	R_s	
		$n=16$	$n=25$
25	3	7.18	9.84
	4	6.14	8.44
	5	6.13	7.03
50	3	8.08	11.33
	4	7.23	10.00
	5	6.37	8.67
100	3	9.13	13.08
	4	8.33	11.82
	5	7.54	10.55

注:表中 L/d 是长径比, S_n/d 是桩间距与桩径比(桩距径比)。

表 1-4

10~15 桩基础沉降系数(R_s)

L/d	S_n/d	R_s					
		$n=10$	$n=11$	$n=12$	$n=13$	$n=14$	$n=15$
25	3	5.116	5.460	5.804	6.148	6.490	8.836
	4	4.542	4.828	5.115	5.401	5.687	5.973
	5	3.968	4.197	4.425	4.654	4.883	5.112
50	3	5.516	5.944	6.337	6.795	7.222	7.649
	4	4.976	5.350	5.721	6.100	6.476	6.852
	5	4.439	4.671	5.082	5.404	5.727	6.048
100	3	6.209	6.695	7.182	7.668	8.154	8.640
	4	5.730	6.164	6.598	7.031	7.466	7.899
	5	5.251	5.633	6.014	6.396	6.777	7.159

表 1-5

4~9 桩基础沉降系数(R_s)

L/d	S_n/d	R_s					
		$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$
25	3	2.643	3.069	3.496	3.921	4.347	4.772
	4	2.416 6	2.785	3.152	3.521	3.888	4.256
	5	2.190	2.500	2.810	3.120	3.430	3.740
35	3	2.689	3.131	3.573	4.015	4.458	4.900
	4	2.469	2.854	3.239	3.625	4.010	4.3947
	5	2.250	2.578	2.906	3.234	3.563	3.891
45	3	2.734	3.193	3.651	4.109	4.568	5.027
	4	2.522	2.925	3.326	3.625	4.133	4.533
	5	2.316	2.650	3.002	3.348	3.695	4.041
55	3	2.781	2.255	2.729	4.204	4.678	5.154
	4	2.575	2.995	3.416	2.729	4.255	4.672
	5	2.370	2.734	3.099	3.463	3.287	4.192
65	3	2.826	3.317	3.881	4.298	4.789	5.281
	4	3.628	3.064	3.501	3.834	4.377	4.811
	5	2.430	2.813	3.195	3.578	3.960	4.343
75	3	2.872	3.379	3.886	4.393	4.899	5.441
	4	2.681	3.135	3.558	3.938	4.500	4.950
	5	2.490	2.891	3.291	3.692	4.093	5.100

续表

L/d	S_a/d	R_s					
		$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$
85	3	2.917	3.440	3.964	4.487	5.010	5.534
	4	2.730	3.205	3.675	4.043	4.622	5.088
	5	2.550	2.968	3.388	3.800	4.225	4.251
100	3	2.990	3.537	4.083	4.630	5.177	5.723
	4	2.813	3.309	3.806	4.303	4.800	5.296
	5	2.640	3.080	3.532	3.978	4.424	4.870

2. 桩筏基础纵向相对弯曲量 θ_r 计算(衡量相对变形大小)

$$\theta_r = \Delta W_r / L_r \quad (1-4)$$

式中 ΔW_r ——基础差异沉降量, mm;

L_r ——桩筏基础中筏板长度, mm。

θ_r 与桩筏基础相对刚度 K_{rp} 存在一定的对应关系, K_{rp} 的计算公式为

$$K_{rp} = E_r h^3 \delta_p / [12(1 - \gamma_r^2) B_r S_p] \quad (1-5)$$

式中 E_r ——筏板弹性模量;

h ——筏板厚度, mm;

δ_p ——单桩单位荷载下的沉降量, mm;

γ_r ——筏板混凝土泊桑比, $\gamma_r = 0.2$;

B_r ——筏板宽度, mm;

S_p ——群桩平均间距, 取等效矩形满堂桩基中的桩间距, mm。

一般采用 $(\theta_r/S) \times 10^{-3}$ (mm) 与 K_{rp} 对应数值关系表(表 1-6)来计算 θ_r 值, 即基础平均沉降值 S 可由公式 $\theta_r = (\theta_r/S)S$ 计算相对 θ_r 及 $\theta_r = \Delta W_r / L_r$ 来计算纵向差异值 ΔW_r (差异沉降值)。

表 1-6 桩筏基础相对刚度与相对弯曲的对应数值关系表

K_{rp}	$(\theta_r/S) / 10^{-3}$	K_{rp}	$(\theta_r/S) / 10^{-3}$
0.000 1	0.40	0.001	0.040
0.000 2	0.150	0.002	0.030
0.000 3	0.10	0.003	0.028 75
0.000 4	0.091 42	0.004	0.027 50
0.000 5	0.082 85	0.005	0.026 25
0.000 6	0.074 28	0.006	0.025 0
0.000 7	0.065 71	0.007	0.023 75
0.000 8	0.571 4	0.008	0.022 5
0.000 9	0.048 57	0.009	0.021 25