



世纪高等教育土木工程系列规划教材

特种基础工程

刘起霞 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TU47/45

2008

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

特种基础工程

主 编 刘起霞

参 编 刘存中 王卫华 孙雪汾

郝小红 刘启红

主 审 李铁汉

机 械 工 业 出 版 社

本书根据高校土木工程专业指导委员会组织制定的教学大纲编写, 主要内容包括: 绪论、特种建筑工程地质勘察、地基基础的设计原则、高层建筑基础、墩基础、桥梁沉井(沉箱)基础、动力机器基础、高耸(塔形)构筑物锚拉基础等。

本书可作为高等院校土木工程、岩土工程、桥梁与隧道工程、结构工程、市政工程、防灾减灾工程及防护工程等专业本科生特种基础工程课程教材, 也可作为上述专业研究生教材, 或供从事基础工程施工的专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

特种基础工程/刘起霞主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 3

(21 世纪高等教育土木工程系列规划教材)

ISBN 978-7-111-23546-0

I. 特… II. 刘… III. 地基-基础(工程)-高等学校-教材

IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 022131 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 马军平 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·17.5 印张·348 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23546-0

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式,使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。

2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上,挑选

出最基本的内容、方法及典型应用实例；“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容；“广”指在保证本学科教学基本要求前提下，引入与相邻及交叉学科的有关基础知识；“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通，特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点，合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点，做好实践教材的同步建设，做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养，必将产生积极作用，为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江見鯨

前 言

“特种基础工程”是高等院校土木工程专业岩土工程课群组四年制本科教育的一门专业选修课。本书作为土木工程专业特种基础工程课程的教材，按照新修订的《特种基础工程课程教学大纲》要求编写，内容主要包括绪论、特种建筑工程地质勘察、地基基础的设计原则、高层建筑基础、墩基础、桥梁沉井（沉箱）基础、动力机器基础、高耸（塔形）构筑物锚拉基础，并编入适量思考题和习题。

本书由河南工业大学刘起霞副教授主编。编写人员具体分工如下：第1章、第4章由河南工业大学刘起霞编写；第2章、第3章由河南工业大学刘存中副教授编写；第5章由北京振冲公司王卫华高级工程师编写；第6章由中国地质大学孙雪汾副教授编写；第7章由华北水电学院郝小红副教授编写；第8章由郑州工业贸易学校（原郑州地质学校）刘启红编写，插图由研究生郑培、刘二娟绘制。中国地质大学李铁汉教授（博导）审阅了书稿并就内容的取舍提出了宝贵意见，在此谨表谢意。

教材编写过程中，参考了部分同行和专家的著作，在此向有关文献的作者深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正！

编 者

主要符号

A	基础底面面积;
a	压缩系数;
b	基础底面宽度(最小边长)或力矩作用方向的基础底面边长;
B_k	墩底土的承载力系数;
c	粘聚力;
d	基础埋置深度桩身直径;
D	墩基础直径;
E_a	主动土压力;
E_p	被动土压力;
E_s	土的压缩模量;
e	孔隙比;
F	基础顶面竖向力;
f_a	修正后的地基承载力特征值;
f_{ak}	地基承载力特征值;
f_{rk}	岩石饱和单轴抗压强度标准值;
f'_c	混凝土 28d 抗压强度;
G	恒载;
H_0	基础高度;
H_f	自基础底面算起的建筑物高度;
H_g	自室外地面算起的建筑物高度;
L	建筑长度或沉降缝分隔的单元长度;
l	基础底面长度;
M	作用于基础底面的力矩或截面的弯矩;
N_d	墩基础轴向承载力;
p	基础底面处平均压力;
p_0	基础底面处平均附加压力;
Q_k	相应于荷载效应为标准组合时桩基中单桩所受竖向力;
Q_{pa}	桩端土的承载力特征值;
Q_{sa}	桩周土的摩擦力特征值;
R_a	单桩竖向承载力特征值;
s	沉降量;

- u —— 周边长度；
 ω —— 土的含水率；
 I_L —— 液限；
 I_P —— 塑限；
 z_0 —— 标准冻深；
 z_n —— 地基沉降计算深度；
 α —— 平均附加应力系数；
 β —— 边坡与水平面的坡角；
 γ —— 土的重度；
 δ —— 填土与挡土墙墙背的摩擦角；
 δ_r —— 填土与稳定岩石坡面间的摩擦角；
 θ —— 地基的压力扩散角；
 μ —— 土与挡土墙基底间的摩擦因数；
 ν —— 土的泊松比；
 φ —— 内摩擦角；
 η_b —— 基础宽度的承载力修正系数；
 η_d —— 基础埋深的承载力修正系数；
 η_s —— 沉降计算经验系数。

目 录

序

前言

主要符号

第 1 章 绪论	1
1.1 特种基础工程的应用	2
1.2 特种基础工程的特点	2
1.3 特种基础工程的发展趋势	3
1.4 本课程的要求和学习方法	5
思考题与习题	6
第 2 章 特种建筑工程地质勘察	7
2.1 概述	7
2.2 特种建筑工程地质勘察的目的与特点	8
2.3 特种建筑工程地质勘察的内容与方法	14
2.4 特种建筑工程地质勘察报告的内容与实例	28
思考题与习题	35
第 3 章 地基基础的设计原则	36
3.1 概述	36
3.2 基础设计的基本原则	36
3.3 场地地基的分类	39
3.4 地基、基础与上部结构共同作用	41
3.5 地基基础设计模型及其参数的确定	48
思考题与习题	59
第 4 章 高层建筑基础	61
4.1 概述	61
4.2 高层建筑箱形基础	68
4.3 高层建筑桩基础	78
4.4 高层建筑桩-筏、桩-箱基础	90
4.5 高层建筑基础施工	103
思考题与习题	116
第 5 章 墩基础	120
5.1 概述	120
5.2 墩基础设计	124

5.3 墩基础施工	131
思考题与习题	143
第6章 桥梁沉井（沉箱）基础	144
6.1 概述	144
6.2 沉井基础的分类	149
6.3 沉井基础的构造	151
6.4 沉井基础的设计	155
6.5 沉井基础的施工	172
6.6 沉井施工中遇到的问题及其处理措施	187
思考题与习题	197
第7章 动力机器基础	199
7.1 概述	199
7.2 基础-地基系统振动计算理论	204
7.3 锻锤基础设计	217
7.4 曲柄连杆机器基础设计简述	230
7.5 旋转式机器基础设计	235
7.6 动力机器基础的减振与隔振	239
思考题与习题	244
第8章 高耸（塔形）构筑物锚拉基础	246
8.1 概述	246
8.2 锚拉基础设计	252
8.3 高耸（塔形）构筑物锚拉基础施工	260
思考题与习题	267
参考文献	268

第 1 章

绪 论

1

建（构）筑物基础是建（构）筑物和地基之间的连接体，是建（构）筑物的根基，属地下隐蔽工程。常见的特种结构构筑物包括储气、储液、储料等储藏构筑物，电视塔、微波塔、输电杆塔、高灯杆、烟囱、水塔等高耸构筑物，各种管道、管廊，地下停车库，地下卫生填埋场等。这些构筑物大多属公用设施、生命线工程，加上其结构特殊，荷载复杂，不仅投资巨大，影响深远，而且要求质量等级高，对基础工程提出特殊、复杂的要求，为国内外工程界广泛重视。

特种结构构筑物的基础，通常是把竖向体系传来的荷载传给地基，从平面看，竖向结构体系（柱、墙、板、井筒等）是以荷载集中于点或线的形式来分布的，而作为最后支承结构的地基，提供的是分布的承载能力。如果地基承载能力足够，则基础的分布方式可与竖向结构的分布方式相同。但有时由于地基或荷载的条件，则需采用板式、梁板式、壳体基础、桩基础、沉井基础、墩基础、地下连续墙等基础。

特种结构构筑物地基基础应满足以下要求：

1) 地基应有足够的强度且遇水稳定，在外荷载作用下不被破坏；应有较大的变形模量，使构筑物不产生过大的沉降和不均匀沉降，确保安全使用；应在水平荷载作用下，不因失稳而破坏；应在动力荷载作用下，不发生振动液化和过大的震陷使地基失效；应在遇水时不发生湿陷、塌陷、膨胀、冻胀。

2) 基础应能将上部结构传来的荷载传到地基持力层；应能利用基础所具有的刚度与上部结构共同调整地基的不均匀变形，使上部结构不产生局部次生应力；应能在上部结构承受水平荷载时，具有抗滑、抗拔、抗倾覆的作用；应能使动力设备基础具有减振功能；所用建筑材料不对地基形成污染。

大量的工程实践表明，地基基础造价通常约占整个工程造价的 1/4，地基基础工程工期为整个工程工期的 1/3 左右。据统计，世界各国的工程事故中，以地基基础事故居多，对工程整体质量影响很大。事故发生后，通常补救非常困难。因此，各国都很重视地基基础工程技术的改进和提高。我国地域广大，工程地质

条件复杂,许多特种结构工程遇到不良地基或特殊地基,当不能满足上部结构或地下使用空间结构的需要时,则需对地基进行人工处理。

1.1 特种基础工程的应用

近 20 年来,由于特种结构构筑物各种功能发展的需要、地下空间的开发利用等,我国大量修建特种结构构筑物,且大型、大跨度、超高、超深构筑物也频频出现,从设计、施工中显现的问题和积累的技术经验也较丰富,加之国外这方面技术的引入,大大推动了我国特种结构构筑物地基基础技术的发展。

特种结构构筑物按其使用功能和结构特点大致分为以下三种:

- 1) 储藏构筑物,如储液池、储气柜、储料仓等。
- 2) 高耸构筑物,如电视塔、微波塔、输电杆塔、烟囱、水塔、高杆灯塔等。
- 3) 各种管道、管廊等。

特种结构构筑物常用基础类型大致有以下几种:

- 1) 刚性基础。刚性基础的材料通常采用砖、毛石、灰土、三合土、混凝土和毛石混凝土等。由这些材料建成的基础的特点是抗拉强度低,不能承受较大的弯曲应力,只有在保证其整体刚性的前提下才能正常工作。这类基础一般可作为六层或六层以下的特种建筑基础或墙承重的轻型厂房基础。
- 2) 桩基础(包括桩-筏基础、桩-箱基础)。
- 3) 墩基础。
- 4) 沉井基础。
- 5) 动力机器基础。
- 6) 锚拉基础。
- 7) 地下连续墙。

1.2 特种基础工程的特点

特种建筑与一般单层和多层建筑在地基基础设计的概念、理论和计算方法等方面都有许多大的区别,其主要特点如下:

- 1) 工程比较重要且造价比较高,采用经济合理的基础设计方案,具有较大的经济效益和潜力。而这需要更准确可靠的工程地质勘察资料和更全面深入的分析比较,如墩基础、沉井基础等。
- 2) 对地基承载力的要求比较高,即除了垂直荷载比较大以外,还要考虑抵抗水平风荷载和地震荷载作用以及上部结构的整体稳定性,如塔基、高层建筑基础等。

3) 对地基的不均匀沉降较敏感,地基的受压层比较深,需要更准确的变形指标和计算方法。例如高耸建筑物变形主要由倾斜来控制,由于高度较大,因此对基础的要求更高。

4) 基础埋深或要求处理的深度比较大,为防止基坑开挖等对周围构筑物的不良影响,必须采取严密的防护措施,这些措施与现有施工条件、设备、材料的关系十分密切。例如,在建筑物密集区域修建高层建筑物需要开挖深度较大的基坑,必须配合支护工程和降水工程等。

由于以上这些原因,在设计和施工中对特种建筑基础方案的确定需要慎之又慎。但由于问题的复杂性和当前的理论研究尚未成熟到能够准确地预计到各种变化因素的影响程度,因此系统地进行特种建筑基础工程方面的研究,已成为当前亟需解决的重要课题。

1.3 特种基础工程的发展趋势

特种基础工程既是一项古老的工程技术,又是一门年青的应用科学。追本溯源,世界文化古国的远古先民,在史前的建筑活动中,就已创造了自己的地基基础工艺。我国西安半坡村新石器时代遗址和殷墟遗址的考古发掘,都发现有土台和石质基础。这就是古代“堂高三尺、茅茨土阶”(语见《韩非子》)建筑的地基基础形式。历代修建的无数建筑物都出色地体现了我国古代劳动人民在地基基础工程方面的高度水平。举世闻名的长城、大运河,蜿蜒万里,如不处理好有关岩土问题,哪得穿越各种地质条件的广阔地区;而被誉为亘古奇观、宏伟壮丽的宫殿寺院,要依靠精心设计建造的地基基础,才能逾千百年而留存至今;遍布各地的巍巍高塔,由于奠基牢固,方可历多次强震强风的考验而安然无恙。下面主要按文献记载,略举我国古代地基基础的点滴做法。

隋朝石工李春所修赵州石拱桥,不仅因其建筑和结构设计的成就而著称于世,就论其地基基础的处理也是颇为合理的。他把桥台砌置于密实粗砂层上,一千三百多年来估计沉降仅约几厘米。现在验算其基底压力约 $500\sim 600\text{kPa}$,这与以现代土力学理论方法给出的承载力值很接近。根据宋代古籍《梦溪笔谈》和《皇朝类苑》的记载,北宋初著名木工喻皓(公元989年)在建造开封开宝寺木塔时,考虑到当地多西北风,便特意使建于饱和土上的塔身稍向西北倾斜,设想在风力的长期断续作用下可以渐趋复正。由此可见,古人在实践中早已试图解决高耸建筑物地基的沉降问题了。

我国木桩基础的使用由来已久。郑州的隋朝超化寺是在淤泥中打进木桩形成塔基的(《法苑珠林》第51卷)。杭州湾的五代大海塘工程也采用了木桩和石质承台。

封建时代劳动人民的无数地基基础实践经验,集中体现于能工巧匠的高超技艺。但是,由于当时生产力发展水平的限制,还未能提炼成为系统的科学理论。

作为特种基础工程学科的理论基础的发端,始于18世纪兴起了工业革命的欧洲。那时,资本主义工业化的发展,工场手工业转变为近代大工业,建筑的规模扩大了。为了满足向国内外扩张市场的需要,陆上交通进入了所谓“铁路时代”。因此,最初有关土力学的个别理论多与解决铁路路基问题有关。1773年,法国的C. A. 库伦(Coulomb)根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。90余年后,英国的W. J. M. 朗肯(Rankine, 1869年)又从不同途径提出了挡土墙土压力理论。这对后来土体强度理论的发展起了很大的作用。此外,法国J. 布辛奈斯克(Boussinesq, 1885年)求得了弹性半空间在竖向集中力作用下的应力和变形的理论解答,瑞典W. 费兰纽斯(Fellenius, 1922年)为解决铁路坍方问题作出了土坡稳定分析法。这些古典的理论和方法,直到今天,仍不失其理论和实用的价值。

在长达一个多世纪的发展过程中,许多研究者承继前人的研究,总结了实践经验,为孕育本学科的雏形而作出贡献。1925年,K. 太沙基(Terzaghi)归纳发展了以往的成就,发表了《土力学》(Erdbaumechanik)一书,接着,于1929年又与其他作者一起发表了《工程地质学》(Ingenieur Geologie)。这些比较系统完整的科学著作的出现,带动了各国学者对本学科各个方面的探索。从此,基础工程就作为独立的科学而取得不断的进展。从1936年在美国召开第一届国际基础工程会议起,至1989年,共计举行过12次国际会议。其间,世界各地(如亚洲、欧洲、非洲、泛美、澳新、东南亚等)以及包括新中国在内的许多国家也都开展了类似的活动,交流和总结了本学科新的研究成果和实践经验。

从20世纪50年代起,现代科技成就尤其是电子技术渗入了基础工程的研究领域。在实现实验测试技术自动化、现代化的同时,人们对特种基础工程又有了更进一步的认识,基础工程施工技术也出现了令人瞩目的进展。在土建、水利、桥梁、隧道、道路、港口、海洋等有关工程中,以岩土体的利用、改造与整治问题为研究对象的科技领域,因其区别于结构工程的特殊性和各专业岩土问题的共同性,已融合为一个自成体系的新专业——“岩土工程”(Geotechnical Engineering)。它的工作方法就是:调查勘察、试验测定、分析计算、方案论证、监测控制、反演分析,修改定案;它的研究方法是以三种相辅相成的基本手段,即数学模拟(建立岩土本构模型进行数值分析)、物理模拟(定性的模型试验,以离心机中的模型进行定量测试和其他物理模拟试验)和原位观测(对工程实体或建筑物的性状进行短期或长期观测)综合而成的。

我国地域广大,工程地质条件复杂,特种基础工程将是未来世界各国工程界瞩目的热点。为了缩小我国与世界发达国家在特种基础工程方面的差距,最近

20 年的发展趋势,有以下几个方面:

(1) 基础工程方面

1) 桩基技术逐渐成为现代化基础工程体系的主流之一,桩型向多层次、多样化方向发展,并与筏板基础、箱基础联合使用。

2) 地下连续墙向大深度、高精度方向发展;逐渐广泛应用预制构件、连续墙;护壁泥浆大多采用自凝型高分子聚合物泥浆,以减少环境污染。

3) 土层锚杆向工具化、可拆型发展。

(2) 地基处理方面

1) 选用地基处理方案时采用多因素优选法。

2) 重视复合地基设计计算理论的研究。

3) 进一步开发把地基处理和消纳工业废料结合起来的新技术。

4) 地基加固机械向自动化、信息化方向发展。

1.4 本课程的要求和学习方法

特种基础工程是土木工程专业的一门专业课程。许多内容涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工等几个学科领域,内容广泛,理论性、综合性和实践性都很强,因此必须掌握好上述先修课程的基本内容和基本原理,为本课程的学习打好基础。

我国地域辽阔,由于自然地理环境的不同,分布着各种各样的土类。某些土类作为地基(如湿陷性黄土、软土、膨胀土、红粘土、冻土以及山区地基等)具有其特殊性质而必须针对其特性采取相应的工程措施。因此,特种基础问题具有明显的区域性特征。此外,天然地层的性质和分布也因地而异,且在较小范围内可能变化很大。故特种基础工程的设计,除需要丰富的理论知识外,还需要有较多的工程实践知识,并通过勘探和测试取得可靠的有关土层的分布及其物理力学性质指标的资料。因此,学习时应注意理论联系实际,通过各个教学环节,紧密结合工程实践,提高理论认识和增强处理特种基础问题的能力。

特种基础工程的设计和施工必须遵循现行的规范、规程。但不同行业有不同的专门规范,且各行业间不尽平衡,土木工程专业培养学生培养涉及建设部、交通部、铁道部、水利部等部门,各部委标准也尚未完全统一,故特种基础工程涉及的规范规程比较多。因此,在课堂上讲授和理论学习阶段应以学科知识体系为主,介绍基础工程设计和施工中的主要内容和基本方法;在课程设计中,可根据不同专业方向,熟悉、使用各自的行业规范,进行具体特种工程的设计实践训练。

本课程与材料力学、结构力学、弹性理论、建筑材料、建筑结构、工程地质

学及基础工程的设计等学科有着密切的关系,本书在涉及这些学科的有关内容时仅引述其结论,要求理解其意义及应用条件,而不应把研究的重点放在涉及到的公式推导上。

此外,特种基础工程几乎找不到完全相同的实例,在处理具体基础工程问题时,必须运用本课程的基本原理,深入调查研究,针对不同情况进行具体分析。因此,在学习时必须注意理论联系实际,提高分析问题和解决问题的能力。

思考题与习题

- 1-1 特种基础工程的研究内容是什么?
- 1-2 特种基础工程与一般基础工程有什么不同?
- 1-3 特种基础工程的特点是什么?
- 1-4 近年来,特种基础工程的发展趋势是什么?

第 2 章

特种建筑工程地质勘察

2.1 概述

特种建筑工程地质勘察是指采用各种勘察手段和方法, 调查研究和评价分析特种建筑场地和地基的工程地质条件, 为特种建筑工程的设计和施工提供所需的工程地质资料。在工程实践中, 有未经过调查研究而盲目进行地基基础设计和施工而造成严重工程事故的实例, 但是, 更常见的是勘察不详或分析结论有误, 以致延误工程进度, 浪费大量资金, 甚至遗留后患。因此, 特种结构工程地质勘察工作应该遵循基本建设程序, 走在设计和施工前面, 采取必要的勘察手段和方法, 提供准确、科学、详细的地基勘察报告。

特种结构工程地质勘察属于岩土工程勘察的范畴, 必须遵循《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) 的有关规定。地基勘察是把工程地质学知识应用于实际的过程, 在勘察中, 从每一地质现象的观察开始, 直到作出建筑场地的工程地质条件的结论, 整个过程都离不开理论的指导。在掌握了土力学和地基基础理论的知识基础以及有关的工程地质知识基础上, 本章主要介绍特种结构建筑场地和地基的勘察原则和任务、常用的勘察手段和方法以及勘察报告的内容。

特种构筑物对地基基础有以下基本要求:

(1) 地基承载力要求较高 由于特种结构建筑荷载较大, 对地基承载力要求也较高, 因此需要选择地基承载力较高的土层作为基础持力层, 同时对地基承载力的评价精度有更高的要求。例如, 特种工业建筑, 主要是厂房和车间, 其特征是跨度大, 一般跨度为 9~12m, 大者可达 30m; 外墙高, 基础荷载大, 主要结构承受的荷载较大, 基础埋得较深。高层建筑的特点是重心高、荷载大, 结构不但承受竖向荷载, 还承受很大的水平荷载, 基础一般埋得较深。在地基承载力不能满足时 (包括下卧层), 需要进行地基处理或采用桩基、桩-筏基础、桩-箱基础、墩基础或其他基础。

(2) 变形和倾斜方面的要求高 特种结构可能产生的地基变形较大, 因