

中等专业学校教材

地基与基础

成都铁路工程学校 黄中策 主编
张法基 主审

中国铁道出版社

1994年 北京

中等专业学校教材

地基与基础

成都铁路工程学校 黄中策 主编
 张法基 主审

中国铁道出版社

1994年 北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书系根据新颁布的铁路中等专业学校铁道工程专业(工程局)教学大纲,在1980年10月出版的《地基与基础》试用教材(铁道版)基础上修订而成。主要介绍地基与基础的基本知识,突出了明挖基础、桩基础、沉井基础三大部分的设计与施工,其他基础则作一般介绍。本书注重理论联系实际,各章均附有复习思考题及练习题。与原书相比,本书增添了微机在桩基设计中的应用、旁压仪试验、套管钻机施工等新内容。

中等专业学校教材
地 基 与 基 础
成都铁路工程学校 黄中策 主编

*

中国铁道出版社出版发行
(北京市东单三条14号)
责任编辑 刘桂华 封面设计 翟 达
北京顺义燕华印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 19.75 字数: 498千
1988年7月第1版 1994年11月第2次印刷
印数: 6001—12000册

ISBN7-113-00247-1/TU·65 定价: 11.15元

目 录

绪 论	1
第一章 概 论	4
第一节 地 基	4
第二节 基 础	13
第二章 明挖基础设计	19
第一节 基础构造形式	19
第二节 基础埋置深度	20
第三节 桥墩明挖基础设计	21
第四节 桥台明挖基础设计	29
第三章 明挖基础施工	56
第一节 基坑开挖前的施工测量	56
第二节 基坑开挖方式	58
第三节 挖基工程数量计算	59
第四节 基础施工的场地布置	60
第五节 一般浅基础施工	62
第六节 水中基础施工	66
第七节 基底检验与处理	90
第八节 基坑断面竣工测量及原始资料的整理	93
第九节 基坑回填及场地清理	93
第四章 桩基础设计	96
第一节 桩基的形式和构造	96
第二节 桩基础设计原则	101
第三节 考虑土的弹性抗力时桩基础的计算	105
第四节 刚性桩（刚性基础）	113
第五节 弹性桩（弹性基础）	129
第六节 旁压仪试验简介	160
第七节 单桩的轴向容许承载力	161
第八节 微型计算机在桩基设计中的运用	163
第五章 桩基础施工	190
第一节 挖孔灌注桩施工	190
第二节 钻孔桩施工	194
第六章 沉井基础设计	227
第一节 概 述	227
第二节 沉井的类型和构造	229

第三节 沉井设计计算232
 第七章 沉井基础施工264
 第一节 概 述264
 第二节 筑 岛267
 第三节 沉井制造269
 第四节 沉井施工测量274
 第五节 沉井下沉275
 第六节 沉井下沉故障及其处理283
 第七节 沉井封底286
 第八章 管柱基础简介291
 第一节 概 述291
 第二节 管柱设计简介291
 第三节 管柱施工简介296
 第九章 特殊地基的处理302
 第一节 湿陷性黄土地基处理302
 第二节 多年冻土地基处理304
 第三节 地震液化土壤地区桥涵地基的抗震措施308
 主要参考资料310

绪 论

一、地基与基础在各项建设工程中的重要性

地基承受着建筑物的整个重量，保证着建筑物的安全。由于建筑物的重量较大，为了降低地基的压强，一般把建筑物的下部扩大，以扩散建筑物传来的压力，这个扩大部分叫基础。地基和基础必须坚固、耐用，满足强度、刚度和稳定的要求。

所谓满足强度要求，就是要满足应力的要求。所谓满足刚度要求，就是要求不超过变形的限度，即不产生影响使用的沉落和变形。所谓满足稳定要求，就是要满足不倾倒不滑走的要求。为了满足地基基础的强度、刚度和稳定的要求，必须作好勘测、设计和施工等几项工作，并作好这几个环节之间的相互配合。施工前必须有完整的设计文件，设计前必须取得充分的地质资料。在进行基础设计的时候如没有地质资料，或有地质资料而不能反映真实情况，都不能作出好的设计，甚至将会造成不可估计的损失。例如某厂房，刚建好不久就有百余根柱子发生严重的下沉，有的沉落20cm左右。经调查研究，才知道距地面1.7m以下有数米厚的软粘土层，柱子的沉落就是由于这个软粘土层的压缩引起的。由此可见，事先对地基进行详细勘查，具有特别重要的意义。

又如铁路线通过淤泥或沼泽等软土地带时，线路路基常会发生不断下沉，影响线路的质量和列车的正常运行，这是由于对路基下软土地基认识不足或加固不够所引起的。

在桥梁方面，如某线的大桥由于桥台完成后，不断地下沉和倾斜，造成无法架梁通车。又如石拱桥拱圈的开裂，部分是由于基础的不均匀下沉或基础的滑动所引起的。实践经验告诉我们，基础出了问题难于处理的。

正确而良好的基础设计，不仅要能够保证建筑物的坚固、安全和适用，而且还应是最经济、最合理的方案。过分安全的基础设计会造成人力、财力浪费，因此，地基基础设计时，应全面地考虑，力图用最少的人力、物力、财力，得到最大安全程度的建筑设计，这是工程技术人员的主要任务。

二、本学科的以往成就及今后发展

我国历史上有名的土建工程极多，如万里长城、大运河、宫殿建筑、海塘、堰坝、桥梁等，这些工程的修筑都要解决极其复杂的地基和基础问题，而我们祖先都是顺利地解决了的。约在一千年前修筑的杭州大海塘是极伟大的石工岸壁，因造在软土上，很多处都是打桩的；四川灌县有名的都江堰，巧妙地利用了当地的材料解决了筑堰的问题；在一千三百多年前修建的河北省赵县（古称赵州）安济桥，主拱跨度为37.47m的大石拱桥，尚留存至今，继续使用。由此可见我们的先辈在解决复杂的地基与基础问题上具有卓越的能力。

近百年来，由于帝国主义的侵略和封建买办的剥削，使中国沦为经济上极其落后的半殖民地，使本门学科停滞不前。从1949年全国解放后，在党的正确领导下，进行了大规模经济建

设,到处盖高楼、建厂矿、修大桥、兴水利,使本门学科飞速发展。

建国三十多年来,在本门学科上的成就是不胜枚举的。对于土壤的勘探试验工作,在全国范围内已经普遍展开,并对各地区的区域性土,特别是西北的黄土作了物理和力学性质方面的研究,提供和丰富了土壤的研究资料。也有不少研究机关正对地基土触探法判定地基承载力进行研究。

组成地基的土是很复杂的,近来虽然稍为多知道了些它的物理力学性质,但离彻底了解它还很远。

在地基设计方面,对许多重要建筑物已推广了按极限状态的设计方法,对于地基的变形和稳定性,有了进一步的研究,并在全国各大城市中设置建筑物的沉降观测点,以进一步研究地基的沉降问题。

对软土地基的人工加固也取得了很大成就,如应用灰土地基、石灰桩、砂桩、砂垫层、电化学加固等加固方法。对于松散地基的爆炸震密也作了试验,并获得了良好效果。

在桥梁墩台基础的研究和实践中,也涌现出大批新的基础结构形式和先进施工方法,如我国已广泛地应用直径为0.4及0.55m的钢筋混凝土装配式管桩作为深桩基础,同时在管桩直径上已由1.55m增大到3.6m及5.8m,先后在武汉长江大桥、郑州黄河大桥、赣江大桥等处采用;在南京长江大桥上,采用了钢板桩围堰管桩基础、筑岛混凝土沉井基础、钢沉井管桩基础、浮运钢筋混凝土沉井基础等结构形式;在九江长江大桥上还采用了高低刃脚沉井、双壁钢围堰钻孔基础等。在一些大型桥梁基础中还有采用深水桥墩双承台钢管桩基础、大型高桩承台钢管摩擦桩基础的。在沉井下沉中采用了触变泥浆套法、空气幕法等先进施工方法,还有轻型浅沉井用空气幕法下沉的沉井基础;在管桩下沉中采用了射水沉桩、震动沉桩和吊箱围堰修建高桩承台等。采用双壁钢围堰钻孔基础的施工方法,基础可以全年施工,不受水位限制,并可改善劳动条件,提高工作效率。目前管桩基础不仅在其它大桥建造中得到广泛应用,同时已推广到海港、码头工程和水利工程等各项重要工程建设中。

在高层房屋的基础建筑中,采用了箱形基础和浮筏基础,避免了在软弱地基中打桩或其它处理方法。

但基础工程目前机械化程度还不高,设计上科学化的成套理论不足,因此不论在设计和施工上还远落后于其它学科,须要急起直追。

在科学技术突飞猛进的今天,计算技术更是一日千里,如将电子计算机用于基础设计、方案比较等,更显示其特别的优越性,很快得出成果,提高了设计速度、水平和可靠性,因此本教材将以微机在桩基设计中的点滴运用作为初步尝试,今后再继续改进与巩固提高。

三、学习地基与基础课程的目的和要求

地基可分两大类,即天然地基和人工地基。如果基础直接筑在基坑内的天然土层表面上,这种地基就称为天然地基。以岩石作为地基时,则认为是最好最理想的天然地基。如果基础底面以下的土层软弱,不能达到所要求的承载能力,有时就将其适当地加固,这样的地基就称为人工地基。正确地选择地基具有特别重要的意义。

基础通常可分为浅基础和深基础两种,但浅基础和深基础之区分并非绝对地依其埋置深度来决定的,在某些情况下还须视基础施工的复杂程度而定,例如在旱地上的基础多半是属于浅基础的,在水中的基础多半是属于深基础的。除此之外,基础的深浅尚须依其荷载性质和地

基土的地质及水文地质条件而判定。浅基础通常为扩大基础的形式,深基础有桩基础,沉井、沉箱、管柱基础等。

本课程的基础部分将重点介绍扩大基础(或称明挖基础)、桩基础和沉井基础,其它特殊基础只作一般性的介绍。

根据1983年8月铁道部颁布的铁道工程专业教学大纲,对地基与基础课程的教学目的是:使学生通过学习,能运用地基与基础设计施工的基本原理和基本方法,进行基础设计及变更设计和基础施工,以及对出现的问题,能提出初步处理意见。

通过讲课、习题课、课外作业及课程设计、生产实习使学生具有下列能力:

(一) 根据土力学的原理及土压力的学习,能据以判定地基土的种类,确定地基的容许承载力及土压力的大小方向和作用点。

(二) 对明挖基础,能作出设计及变更设计。对于旱地明挖基础,能作出施工布置,确定开挖断面及开挖方法,放好边桩及计算挖基工程数量,布置施工运输道路及弃土位置等。

(三) 对水中基础的防水和排水,能根据现场实际情况,作出围堰的设计及施工安排。

(四) 能对基底进行检验及处理(包括软弱下卧层的检验及处理)以达到满足设计要求,进行下基,以及地基承载力的加固等。

(五) 对桩基础(包括钻、挖孔桩)能进行设计、检算及变更设计和组织施工,及时解决施工中存在的问题。

(六) 对沉井基础能了解其设计原理、步骤、方法和标准图的套用及掌握沉井的施工(从围堰筑岛到沉井制造),以及下沉中的问题处理和沉井封底等。

第一章 概 论

第一节 地 基

地基 指基础之下承受荷载的土层。地基的好坏直接影响着建筑物的安全，因此，必须予以重视。

一、地基土的工程分类

对地基土进行工程分类，是为了便于对地基土作出符合客观实际的工程评价，也就是把工程性质比较接近的土归并到一起，以便给出它们的工程性质的数据。“铁路桥涵设计规范”（以下简称“桥规”）中，土的分类，是以土的主要物理性质为依据划分的。土的物理性质指标乃是对该类土的工程性质起着决定性影响的因素。实际工程设计工作中必须对建筑物现场地基土分类定名，确定其承载力的大小，供设计参考。其工作程序通常是先在建筑现场进行地质勘探，取出原状土样并在实验室测定有关物理力学性质，然后按规范的分类标准给予定名，并从“桥规”所列的表中查得其容许承载力的大小。

铁路桥涵地基土可分为粘性土、砂类土、碎石类土、岩石和特殊土（黄土、软土、多年冻土）五大类。再根据各大类土各自的特性进一步细分：

（一）粘性土

一般按塑性指数分类为粘土、砂粘土、粘砂土三类。粘性土如按液性指数分类，可分为半干硬状态、硬塑状态、软塑状态及流塑状态。具体划分参见桥规附录。

（二）砂类土

砂类土干燥时呈松散状态。根据“桥规”附录十三，按土的粒径大小及含量多少可将其分为砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂五类。砂类土的粒径级配和紧密程度是决定其工程性质的重要因素。按其紧密程度又分为密实、中密、稍松、极松四种状态。

（三）碎石类土

碎石类土为非胶结性土粒粒径大于 2 mm 的岩块含量（按重量计）超过全重 50% 的土。根据其粒径级配情况可细分为：漂石土（浑圆或圆棱状为主）及块石土（尖棱状为主），粒径大于 200mm 的颗粒超过全重的 50%；卵石土（浑圆或圆棱状为主）及碎石土（尖棱状为主），粒径大于 20mm 的颗粒超过全重的 50%；圆砾土（浑圆或圆棱状为主）及角砾土（尖棱状为主），粒径大于 2 mm 的颗粒超过全重的 50%。

（四）岩石类

岩石按强度分为硬质岩石及软质岩石两大类。而硬质岩石按饱和单轴极限抗压强度下分为极硬岩（大于 60MPa）及硬质岩（30 以上至 60MPa）。如花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩浆岩，硅质、钙质胶结的砾岩、砂岩、石灰岩、白云岩等沉积岩以及如片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等变质岩，均属硬质岩石。软质岩石按饱和单轴极限抗压强度则分为软质岩

(5 以上至30MPa)及极软岩(5 MPa及以下)。如凝灰岩等喷出岩,泥砾岩、泥质页岩、泥质砂岩、炭质页岩、泥灰岩、泥岩、煤等沉积岩以及云母片岩或千枚岩等变质岩,均属软质岩石。

(五) 特殊土

1. 黄土:一般具有大孔性,或含姜石和古土层,按生成年代划分为新黄土(Q_4 、 Q_3)和老黄土(Q_2 、 Q_1)。
2. 软土:天然含水量接近或大于液限,天然孔隙比大于1,压缩性大和强度低的饱和粘土称为软土。
3. 多年冻土:温度等于或低于 0°C ,且含有冰的非岩石的土称为冻土,保持三年或三年以上的冻土称为多年冻土。

二、土的力学性质对工程建筑物的影响

在土力学中已经了解到土力学的三大定律,即是土的压缩性(压密定律)、土的透水性(渗透定律)和土的抗剪强度(摩擦定律)。一个工程建筑物的基础要落在地基土上,对土的力学性质关系很大,要认识其变化规律,才能正确地进行基础设计。

(一) 土的压缩性对工程建筑物的影响

土的压缩,是指土在受压后体积的缩小,而体积的缩小是由于孔隙体积减小的缘故,故土的压缩性是研究在不同压力下孔隙体积的变化,即压力与孔隙比之间的关系。通过土工试验,得出压缩曲线,并据此求得压缩系数,这就代表土的压缩性。压缩系数是反映土压缩性质的重要特性,其值愈大愈易压缩。压缩对建筑物基础来说是很重要的。压缩大了,表明基础沉降量增大。超出容许值时,则可能影响到基础的正常使用。特别是对基础范围内的不同土层,其各自的层厚不一致,如一侧该层土厚,另一侧土层薄,由于压缩沉降,会使基础产生歪斜,这是设计、施工都不允许的。再有由于土的压缩性大,其容许承载力必然降低,这对基础的设计亦是不利的。因此认识到这种关系后,进行基础设计时,一定要首先考虑地基土的压缩沉降和其容许承载力的影响。

(二) 土的透水性对工程建筑物的影响

由于地基土体内有孔隙,而地下水会在土体中流动,这就是土具有渗透性(或称透水性)的原因。不同的土,其渗透性差别很大。饱和土要压缩变形(也就是沉降),必须把孔隙中的水先排出,才能使土中孔隙缩小,所以土的渗透速度愈快,则土的压缩过程亦必进展得愈快。

土的渗透性通常是用渗透系数 K 来表示,它可通过渗透试验或野外抽水试验及压水试验求出。不过实际上测定土的渗透系数相当困难,因为在试验室中应用渗透装置只能测定粉砂之类的土,而无法测定粘性土的渗透系数。渗透性很低的粘性土,其渗流量太小,无法做渗透试验,其 K 值可以从压缩试验的结果间接推算而得。对于沙土,一般根本无法取得其原状土来做试验,因此一般就在现场作抽水试验来测定其 K 值。

渗透性的研究以及渗透系数 K 的测定,可用来分析修建在饱和粘土层上的建筑物的沉降如何随时间而增长,也可用来估算在挖基坑时涌入坑内的水量。

渗透是在一定的水头差的条件下产生的。水头差愈大,水流得愈快,如用砂样作试验时,则会看到渗水如同沸腾一样并挟带砂子向上涌出,这种现象称为流砂(或叫流土、浮

冲)，它是渗透变形的一种形式。因此，对于明挖基坑开挖采用板桩围堰进行抽水或在沉井基础抽水下沉施工中，均应注意防止流砂现象的产生，以减少其对工程建设的危害。

（三）土的抗剪强度对工程建筑物的影响

材料抵抗破坏的能力，亦即材料遭到破坏时的最大应力，叫做该材料的强度。由于土是松散的颗粒集合体，土粒之间的联结强度远小于土粒本身的强度，因此在外力作用下土的破坏主要是由于土粒之间发生相对剪切位移引起的。土对剪切破坏的极限抵抗能力即为土的抗剪强度。

地基土和土工建筑物的破坏，绝大多数属于剪切破坏，例如建筑物地基稳定性的丧失以及土坡的坍滑，都是由于沿某一曲面的剪应力超过土的抗剪强度所造成的。当破坏面上的剪应力等于土的抗剪强度时，土体就濒于破坏。因此，土的抗剪强度是决定地基稳定或土工建筑物稳定的关键因素。

影响土的抗剪强度的因素很多，土的颗粒大小、形状、矿物成分、含水量、孔隙比等组成条件以及受剪时土的排水条件、剪切速率等外界条件都对抗剪强度有很大的影响，特别是土中孔隙水压力的存在，对抗剪强度有极为重要的影响。因此，土和别的建筑材料不同，其抗剪强度的确定是一个十分困难而又复杂的问题。

试验证明，普通均质、各向同性的固体材料的抗剪强度是个常量，即剪切面上剪应力不随其法向应力而变。而土是多相体，它的抗剪强度不是一个常量，而是随作用在剪切滑动面上的法向压应力增加而增加。由库伦定律可以看出，非粘性土的抗剪强度仅仅由土体之间的摩阻力形成，且与法向应力成正比；而粘性土的抗剪强度则包括摩阻力和凝聚力（粘聚力）两部分，且凝聚力不随压应力而变。对于高塑性粘土（即流塑状态的土，如淤泥或淤泥质土），其摩阻力很小，抗剪强度以凝聚力为主，故在进行稳定分析时可近似地取其摩阻力为零。

掌握了这种土的抗剪强度的规律后，对于基础设计时基础埋置深度和设计方案就能更切合实际，充分发挥土的力学性能，达到精心设计和精心施工的目的。换句话说，土的抗剪强度高，自然地基的容许承载力高，基础稳定性好，反之则低，稳定性差。为此，我们要充分认识这一点。

（四）饱和砂土振动液化对工程建筑物的影响

饱和砂土地基在受振动时“液化”是引起工程建筑物破坏的主要根源之一。砂土液化的原因是饱和砂土受到振动后趋于密实，而孔隙水又不能及时排出，因而使孔隙水压力迅速上升，相应地减小了土粒间的有效应力，从而降低了土体的抗剪强度。在不断的振动中，当孔隙水压力接近于法向应力时，砂土的抗剪强度就接近于零，砂土会突然表现得像液体一样，完全丧失其承载能力，这种现象称为“液化”。许多地震灾区的实例表明，由于地震时饱和砂土地基在地震荷载作用下发生“液化”，造成很多建筑物下沉、倾斜甚至倒塌，造成严重损害。如1964年日本新潟地震，震级7.5级，震中离新潟约56km，由于饱和松砂沉积层中出现“液化”现象，约有2890幢建筑物倒塌或遭受重大破坏，许多建筑物在“液化”土层上沉降1m以上，并伴随有严重的倾斜现象。我国1976年唐山地震时，严重“液化”地区喷水高度达8m，厂房沉降约1m。天津地震时，海河故道及新近沉积土地区有近3000个喷水冒砂口成群出现，一般冒砂量为0.1~1m³，最多约达5m³。从以上事例可看出，饱和砂土地基的“液化”问题在抗震设计中是一个非常重要的问题，需要引起足够的重视并进行专门研究。

三、地基的分类

地基依其是否经过加工处理而分为天然地基和人工地基两大类。

(一) 天然地基

凡在未加固过的天然土层上直接修筑基础的地基，称为天然地基。天然地基是最简单而经济的地基，因为这种地基的建筑费用仅限于开挖基坑、敞坑开挖或加支撑开挖及基坑抽水（基础底面设于地下水位以下时）的费用。因此在一般情况下，应尽量采用天然地基。

天然地基依基础埋置深度，可分为浅基础及深基础两类。以前习惯的提法是：埋深不超过5m的称为浅基础。实际上浅基和深基的区分没有一个明确的界限。大多数基础埋深较浅，一般可用比较简便的施工方法来修建，属于浅基础。埋置很深的基础，一般都要用特殊的施工方法和设备（例如板桩围堰、沉井及桩基、管柱等）来修建，属于深基础。采用深基础时要求设备多、工期长、费用高，施工也困难等，但在浅基础不能满足设计要求时，亦只得采用深基础了。

(二) 人工地基

当地基强度不足或压缩性很大，不能满足设计要求时，可以针对不同情况，对地基采取一些补救措施进行处理。处理的目的是增加地基的强度和稳定性，减少地基的变形。经过处理后的地基称为人工地基。

工程实践中还会碰到一些特殊情况，需要对地基进行处理，例如被誉为“世界七大奇迹”之一的意大利比萨斜塔，建造于1173年。当建至24m（建造三层）时发生倾斜，原因是建筑家们当时没有考虑到地质特点——由粘土和砂组成的冲积期的松软地基，而用大理石砌筑的塔身又高又重，加上基础仅3m深，因而无法支撑庞大的大理石重量，发生了倾斜，工程从此被搁置近一个世纪。直到1370年，才最后完成7层，并加上了顶层的斜塔，总重量有145530kN。由于塔身底部三层倾斜已成事实，所以全塔建成后，塔顶中心点还是偏离垂直中心线2.1m。以后继续采取了多种加固措施，还未完全解决问题，目前塔顶中心点已偏离了4.5m。又如我国苏州市的虎丘塔建于公元961年，七层，高47.5m，塔倾斜历史已久，塔顶离中心线2.31m。经勘探，塔基覆盖层西南为2.8m，东北为5.8m，塔底层直径13.7m范围内，土层厚度竟相差3m。由于地表排水沟堵塞后，雨水下渗，加剧了地基不均匀沉降，使建筑物倾斜，顶层中心偏离垂线。该塔位于山坡上，地基为残积土。采用块石粘土人工地基，厚3m多，范围比塔身大些，该塔未有做扩大基础，砖砌塔身垂直向下砌8皮砖，直接置于地基上。估算塔重58000kN，地基单位面积压力达400kPa。塔向东倾斜后，底层东部产生垂直裂缝，西部产生水平裂缝。裂缝长达几十厘米，宽数毫米。现在，经有关部门采取处理措施，将塔严密充填，并安放一个巨大的水泥墩基，从而有效地制止了倾斜的趋势，控制住了倾斜，使虎丘塔仍保持原有斜势。以上两例均系人工地基的实例。

常用的人工地基，按其作法和性质的不同，通常可以分为以下三类：

1. 换土垫层法（又称更换土壤法）：此法是将基础底面下一定范围内的软弱土层挖去，换填其他无侵蚀性的低压缩性的比较好的土来代替，分层夯实作为地基的持力层。垫层的材料有中（粗）砂、碎（卵）石、灰土、素土等。石屑、煤渣或其他工业废料经检验合格后，也可作为垫层材料。垫层的作用是提高持力层的承载力，并通过垫层的应力扩散作用减小垫层下天然土层所承受的压力，因而可减少基础的沉降量。此外，如用透水性大的材料作

垫层时，软土中的水分可以部分地通过它排出去，以加速软土的固结，并有效地防止土的冻胀作用。

实践证明，在合适的条件下，采用换土垫层法能有效地解决中小型工程的地基问题。由于垫层法能就地取材，而且施工简便，不需要特殊的机械设备，既能缩短工期，又能降低造价，因此得到普遍的应用。

2. 土的压密法：此法系利用各种方法使地基土压密，以提高地基土的强度，减少压缩性，从而使地基的承载力提高。如用重锤夯实法对疏松的地基进行压实，能使其透水性和压缩性减小，强度提高。但此法只能使地基土表面压实，影响深度很浅。对于重锤，要求其重量在15kN以上。用起重机械将重锤提升到一定高度后，自由下落，重复夯打击实地基。重锤夯实法适用于处理离地下水位0.8m以上稍湿的各种粘性土、砂土、湿陷性黄土、分层填土和杂填土地基。对于压密较大深度范围内的地基土，则一般采用挤密桩的方法。它是先往土中打入桩管成孔（或用爆破方法成孔），拔出桩管后向孔中填入砂或其他材料加以捣实而成。其作用主要是挤密桩周围的松散土层，使桩和挤密后的土共同组成基础下的持力层，从而提高地基的强度和减小地基变形。

挤密桩按其所填充的材料分碎石桩、砾石桩、砂桩、石灰桩、灰土桩等。适用于含砂砾、瓦屑的杂填土地基及含砂量较多的松散土地基。砂桩能有效地防止松砂地基的地震液化，但是对于粘性大的饱和软土地基，由于土的渗透性小，在加固过程中不能排出很多水分，故挤密效果不好。各种材料的挤密桩中，以砂桩、碎石桩使用较普遍。

3. 土的胶结法：此法是利用化学方法和物理方法使土颗粒胶结，以增加土的强度和不透水性，从而提高地基的承载力。如利用硅酸钠溶液（水玻璃）加固地基，是一种有效的地基处理方法。它是利用压力将硅酸钠溶液和氯化钙溶液注入土中，两种溶液作用后，产生硅胶，将土粒胶结起来。此外还有用压入水泥浆胶结土粒办法将土粒胶结起来（即通称压注水泥浆办法）以增加土的强度，提高地基土的承载力。

四、地基容许承载力

(一) 概 述

地基单位面积上允许承受的最大压力，叫做地基的容许承载力。它等于地基的极限承载力除以规定的安全系数。用容许承载力可以保证地基有一定的安全储备，不会由于种种意料不到的原因造成地基的破坏。

在荷载作用下，建筑物基础由于承载力不足而引起的破坏，通常是因地基土层遭到剪切破坏造成的。试验研究表明，一般地说，地基土在建筑物荷载作用下产生的变形，可分为三个阶段（见图 1—1）：

第一阶段是地基土的压密阶段（弹性变形阶段），相当于 $p-s$ 曲线上的 oa 段。荷载与变形的关系，基本上是直线关系，在这一阶段中，地基主要是压缩变形，即土内孔隙减少，土粒靠拢挤紧。

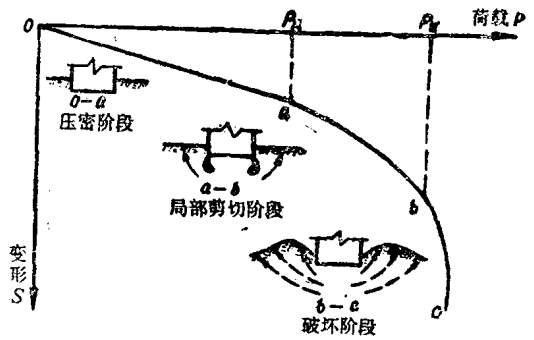


图 1—1 建筑物荷载与地基变形的关系（ $p-s$ 曲线）

第二阶段是局部剪切阶段（弹塑性变形阶段），相当于 $p-s$ 曲线上的 ab 段，荷载与变形的关系，已是曲线关系了。由于荷载逐步增大，地基内除了压缩变形外，基础边缘区应力达到极限平衡状态，土体开始发生剪切破坏，形成塑性变形。因此这一阶段的变形，由压缩和局部地区的塑性变形两者所组成。

第三阶段是破坏阶段，相当于 $p-s$ 曲线上的 bc 段。当荷载继续增大时，地基内塑性变形区不断扩大，最后形成滑动面。地基土或向一侧滑动，或向四周隆起，建筑物遭到破坏。 $p-s$ 曲线则表现为曲度急剧增大直至破坏。

因此，地基容许承载力必须满足两个基本条件：一是要保证地基的强度和稳定性，不致因外荷载超过地基强度，而地基被挤出，引起建筑物的坍塌；二是要保证使建筑物基础的沉降量在容许范围以内，不致因基础沉降过大而使建筑物不能正常使用。

地基土的强度问题，实质上就是抗剪强度问题。当地基受到荷载作用后，土中各点产生法向应力与剪应力。若某点的剪应力达到该点的抗剪强度，土即沿着剪应力作用方向产生相对滑动，此时，称为该点强度破坏。如荷载继续增加，则剪应力达到抗剪强度的区域（亦即塑性区）愈来愈大，最后形成连续的滑动面，一部分土体相对另一部分土体产生滑动，基础因此产生很大的沉降与倾斜，整个地基的强度破坏，这时称为地基失去稳定。图 1—1 中荷载与地基变形曲线的第二阶段，就是剪切破坏发生与发展的阶段，而第三阶段就是地基失去稳定阶段，即破坏阶段。

（二）确定地基承载力的方法

确定地基承载力时，应考虑地基土的堆积年代、地基土的成因、地基土的物理力学性质、地下水情况、建筑物的性质、建筑物基础的尺寸和埋置深度等因素。

（1）在天然状态下，地基土的堆积年代越久，成岩作用程度越高，其承载力也越大，反之则小。

（2）不同成因的土，具有不同的承载力。对同一类型土，一般地说，冲洪积成因的承载力，要比坡积成因的大。

（3）不同物理力学指标的土，其承载力也不相同。

（4）当粘土受到地下水的作用时，承载力就要降低。另外，地下水位大幅度升降会影响地基变形。湿陷性黄土遇水湿陷；膨胀土遇水膨胀，失水收缩，这些对承载力都有影响。

（5）建筑物的结构型式、体型、整体刚度、重要性以及使用要求不同，则对容许沉降的要求也不同，因而对承载力的选取也应不同。

（6）基础尺寸及埋深大小对承载力大小也有影响。

从上述所举的几个影响承载力的因素来看，确定地基的承载力是一件比较复杂的工作。

目前地基容许承载力的确定方法，主要是根据《铁路桥涵设计规范》。此外，还可以根据野外荷载试验、触探试验、旁压仪试验、邻近旧桥涵调查对比、既有建筑经验调查以及理论公式的计算分析来确定地基容许承载力。

1. 按“桥规”确定地基容许承载力

（1）地基持力层的容许承载力

为了更好地检算地基的强度，常把建筑物基础以下土层分成两种：直接承受建筑物荷载的土层称为持力层；位于持力层下面的各土层称为下卧层。无论是持力层或下卧层，作用在这些土层顶面上的基底最大压力或竖直总应力，都必须小于或等于地基的容许承载力，否则应改变设计。

地基承载力可分为基本承载力 σ_0 和容许承载力 $[\sigma]$ 两类。

基本承载力 σ_0 是根据各类地基土的物理力学性质及荷载试验资料的统计分析与国内实践经验,并参照国内外规范综合考虑编制的。所谓基本承载力 σ_0 系指基础最小边宽 $b \leq 2\text{m}$ 、基础埋深 $h \leq 3\text{m}$ 时的地质简单的一般桥涵地基的承载力。故当基础的最小边宽及埋深符合上述条件时,可直接利用基本承载力 σ_0 作为地基容许承载力 $[\sigma]$,而不需加任何修正。如经原位测试(荷载试验、动力触探、静力触探、旁压仪试验和十字板剪力试验等)、理论公式的计算、邻近旧桥涵的调查对比、既有地区建筑经验的调查,其承载力可不受“桥规”中基本承载力 σ_0 表列数值的限制。对于地质和结构均较复杂的桥涵地基,其承载力宜经原位测试确定。基础宽度 b 的决定:对于矩形基础为短边宽度(m);对于圆形或正多边形基础为 $\sqrt{A}$ (A 为基础的底面积, m^2)。各类土地基的基本承载力 σ_0 表中数值允许内插。原位测试方法及成果的应用可参照国家和铁道部的有关规定。

地基容许承载力 $[\sigma]$,则要进一步考虑基础宽度、埋深、墩台基础的水深、主力加附加力和既有桥涵因多年运营压密等因素来决定。如基础的最小边宽 $b > 2\text{m}$,基础埋深 $h > 3\text{m}$,且 $h/b \leq 4$ 时,地基的容许承载力 $[\sigma]$ 一般按“桥规”给出的公式计算:

$$[\sigma] = \sigma_0 + K_1 \gamma_1 (b - 2) + K_2 \gamma_2 (h - 3) \tag{1-1}$$

式中 $[\sigma]$ ——地基容许承载力(kPa);

σ_0 ——地基土的基本承载力(kPa);

b ——基础最小边宽度(m),大于10m时,按10m计算;

h ——基础埋深,对于一般受水流冲刷的墩台,由一般冲刷线算起;不受水流冲刷者,由天然地面算起;位于挖方内,由开挖后地面算起;

γ_1 ——基底以下持力层土的天然容重(kN/m^3),如持力层在水面以下,且为透水者,应采用浮重;

γ_2 ——基底以上土的天然容重的加权平均值(kN/m^3),如持力层在水面以下,且为透水者,应采用浮重;如为不透水者,不论基底以上土的透水性质如何,应采用饱和容重;

K_1, K_2 ——宽度、深度修正系数,按持力层土质决定,见表1-1。

宽度、深度修正系数 表 1-1

系 数	土的类别	粘 性 土			黄 土		砂 类 土								碎石类土						
		Q ₄ 的冲洪积土		Q ₃ 的 及 其 以 前 土	残 积 土	新 黄 土	老 黄 土	粉 砂		细 砂		中 砂		砾砂、粗砂		碎石土、圆砾土、角砾土		卵石土			
		I _L	I _L					中	密	中	密	中	密	中	密	中	密	中	密	中	密
K ₁		0	0	0	0	0	0	1	1.2	1.5	2	2	3	3	4	3	4	3	4		
K ₂		2.5	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	2	2.5	3	4	4	5.5	5	6	5	6	6	10		

注: ① 节理不发育或较发育的岩石不作宽深修正,节理发育或很发育的岩石, $K_1、K_2$ 可参照碎石类土的系数。但对已风化成砂、土状者,则参照砂类土、粘性土的系数。
② 稍松散的砂类土和松散状态的碎石类土, $K_1、K_2$ 值可采用表列中密值的50%。
③ 冻土的 $K_1 = 0, K_2 = 0$ 。

注: 容重即是重度。单位体积内物质作用产生的重力,即为重度。单位为牛每立方米(N/m^3)或千牛每立方米(kN/m^3)。(根据铁道部文件《关于修订铁路工程设计规范、施工规则中有关计量单位名称与符号的通知》(82)铁基字1673号附件内24序号注明)。

地基容许承载力 $[\sigma]$ 的公式是根据浅基础的地基强度理论概念建立起来的。它包括了三部分内容:

① 第一部分基本承载力 σ_0 ，是指基础宽度 $b \leq 2\text{m}$ ，基础埋深 $h \leq 3\text{m}$ 时的地基土的基本承载力。它可根据持力层土的物理、力学性质，先确定土的类别(粘性土、砂土、碎石土等)和土的状态(密实程度、潮湿程度和软硬程度等)，再从“桥规”的相应表中查出。

② 第二部分 $K_1\gamma_1(b-2)$ ，是考虑基础宽度 $b > 2\text{m}$ 后，地基承载力的增加值。因为当 $b \leq 2\text{m}$ 时，其地基承载力已包含在基本承载力 σ_0 中去了，而当 $b > 2\text{m}$ 后，地基土受荷载发生滑动破坏时，基础底下滑动土体从基底下挤出所受到的阻力，将随着基础宽度的增大而加大，就等于提高了地基承载力。但并不是无限制地增大，因过宽会加大沉降的不利因素，故规定 $b > 10\text{m}$ 时，仍用 10m 。

③ 第三部分 $K_2\gamma_2(h-3)$ ，是考虑基础埋置深度 $h > 3\text{m}$ ，且 $h/b \leq 4$ 时，地基承载力的增加值。因为当 $h \leq 3\text{m}$ 时，其地基承载力已包含在基本承载力 σ_0 中去了，现 $h > 3\text{m}$ 后，地基土承受荷载发生滑动破坏时，基础底下滑动土体从基底挤出过程中，将要增加克服基底面以上 $\gamma_2(h-3)$ 土柱的超载作用的阻力，故地基承载力要比计算 σ_0 时有所增加。同时应该注意到这个深度修正增加值是否无限制增加呢？不是的，而是仅当 $h/b \leq 4$ 时， K_2 值才可用。根据现有的国内外实验资料，当 h/b 继续增大时，深度的影响还是存在的， h/b 超过 $10 \sim 20$ 时，埋深就对 σ_0 没有影响。为安全计，对于相对埋深超过10的基础，就不再加以深度修正。根据试验，当 $4 < h/b < 10$ 时， K_2 值应予折减，但由于目前资料不足，尚未能定出具体数值，故要求 $h/b \leq 4$ 。

这个地基容许承载力 $[\sigma]$ 的公式，根据其组成内容和结构，习惯上称为“加载公式”。在实际设计过程中，常有由于地基承载力不够高，考虑加载后才满足设计要求应力的情况，此时应注明容许应力为(主力，加载)或(主+附，加载)。概括地说，加载公式的理论根据是：土壤丧失稳定是由于基底土壤向外滑动隆起而引起的。基础宽度较大时，基底土壤要向外滑动，将受到较大的阻力，使之难以向外滑动，因此当 $b > 2\text{m}$ 时，可以进行宽度修正，提高承载力。再则基础埋置深度较大时，滑动土体向上隆起将受到较大的阻力，这样就使基底土壤难以向外滑动，因此当 $h > 3\text{m}$ 时，可以进行深度修正，提高承载力。

在实际运用中，先按基底持力层土壤查出其基本承载力，再根据基础实际尺寸、埋置深度和基础所在位置的水文地质资料，按加载公式及有关规定，即可计算出地基的容许承载力 $[\sigma]$ 。

在确定地基容许承载力时，除按前述加载公式计算外，“桥规”还规定：

① 墩台建在水中，基底土为不透水层时，常水位至一般冲刷线每高 1m ，容许承载力 $[\sigma]$ 可增加 10kPa 。因为当基底土为不透水层时，常水位至一般冲刷线的高度内的单位面积上的水柱重量，已经压在不透水的基底面的土层上，而且常年压着，等于增加了地基的容许承载力，增加值即为水柱重。

② 墩台设计若同时计算主力与附加力时，地基容许承载力 $[\sigma]$ 可提高20%。因为一般墩台设计时，在主力作用下，地基土受压大致相同，即土的承载力分布接近于矩形，而且主力中有的是恒定不变的(如恒载、土压力)，有的出现的机会较多，但活载及附加力同时作用于基底的机会则相对地要少得多。虽然这时基底压力是梯形分布的，即一侧边缘有超过主力作用下的增大值，但这对整个地基来说，只是局部的、暂时的现象，不致于影响到安全使用。况且附加力的方向大多数是可逆的，就是超载的边缘也是互换的。为了防止出现过

的不均匀压力分布, 规范规定了不超过20%的限制。

③ 既有桥墩台的地基土因多年运营被压密, 其基本承载力可予以提高, 但提高值不应超过25%。这里只考虑基本承载力的提高, 因为容许承载力包含着深度、宽度修正, 如基础不加改建, 这深、宽两个因素就未有改变, 故只提高基本承载力这部分, 其它不变动。

(2) 软弱下卧层的地基容许承载力

软弱下卧层, 系指基础底面以下某深度处有一层(或两层、三层)较基底持力层土的承载力为低的土层。如图1—2所示, 基底土为卵石土, 再下为粉砂层, 再往下又为卵石土。粉砂层的承载力比持力层卵石土的承载力要低些, 这个粉砂层就是软弱下卧层。

在一般情况下, 即基底以下没有软弱下卧层时, 基底承载力只按前述容许承载力有关规定及公式计算基底持力层土的容许承载力, 要求其大于设计应力就行了。若基底下有软弱下卧层时, 则必须检算该软弱层的容许承载力, 要求其满足设计应力的要求, 否则会导致建筑物的长期隐患, 甚至造成建筑物的损坏。

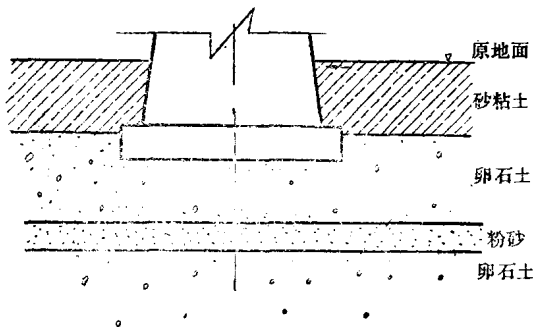


图1—2 软弱下卧层

作用在软弱层顶面的压应力包括两项: 一项是软弱层顶面以上土的自重应力 $\gamma(h+z)$; 另一项是由基底传来的附加应力 $\alpha(\sigma_b - \gamma \cdot h)$ 。

“桥规”规定: 当基底以下有软弱土层时, 应按下式检算该软弱土层的压应力。

$$\sigma_H = \gamma(h+z) + \alpha(\sigma_b - \gamma \cdot h) \leq [\sigma] \quad (1-2)$$

式中 σ_H ——软弱下卧层顶面的压应力(kPa);

σ_b ——基底压应力(kPa),

当 $\frac{z}{b} > 1$ (或 $\frac{z}{d} > 1$)时, σ_b 采用基底平均压应力;

当 $\frac{z}{b} \leq 1$ (或 $\frac{z}{d} \leq 1$)时, σ_b 按基底压应力图形采用距最大应力点 $\frac{b}{3} \sim \frac{b}{4}$ (或 $\frac{d}{3} \sim \frac{d}{4}$)处的压应力(对于三角形和前后侧应力差较大的梯形图形, 可采用上述 $\frac{b}{4}$ 点处的应力值; 对于前后侧应力差较小的梯形图形, 可采用 $\frac{b}{3}$ 点处的应力值; 具体作法是据 σ_{max} 及 σ_{min} 和基础宽度 b 或基础直径 d , 按比例求 $\frac{b}{4}$ 或 $\frac{b}{3}$ 点处的应力数值);

γ ——土的容重, 采用软弱下卧层顶面以上各土层的加权平均值(kN/m^3);

h ——基底埋置深度(m), 当基础受水流冲刷时, 一般情况由一般冲刷线算起; 当不受水流冲刷时, 由天然地面算起; 如位于挖方内, 则由开挖后地面算起;

z ——自基底至软弱下卧层顶面的距离(m);

α ——附加压应力系数, 参见“桥规”附表15;

$[\sigma]$ ——软弱下卧层地基的容许承载力(kPa), 仍按求持力层的 $[\sigma]$ 同样办法计算。

2. 按其它方法确定地基容许承载力

除上述按“桥规”方法外, 还可用旁压仪试验、现场荷载试验、触探试验、利用建筑经验和理论公式等来确定地基容许承载力的, 但由于有的试验费工费时, 准确度不够高, 故目