



中央广播电视大学教材

土力学及基础工程

TULIXUE JI JICHU
GONGCHENG

陈希哲 主编



中央广播电视大学出版社

土力学及基础工程

陈希哲 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

土力学及基础工程/陈希哲主编. —北京:中央广播电视大学出版社, 1995. 10

ISBN 7-304-01171-8

I. 土… II. 陈… III. ①土力学—电视大学—教材②基础(工程)—地基—电视大学—教材 IV. ①TU43②TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 21423 号

土力学及基础工程

陈希哲 主编

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京市复兴门内大街 160 号 邮编:100031

北京印刷二厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 27.75 千字 636

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—10000

定价:20.85 元

ISBN 7-304-01171-8/TU·44

六月十五号 (星期五)

上午 (10:30-12:00)

下午 7:30-9:30 上课

六月十六号 下午 2:00-4:00

① 绪论

② 土力学 (3 讲)

③ 地基

④ 基础

前言

本书编写组 15 个成员 (1954.12.20)

“土力学及基础工程”是土木建筑有关专业的一门重要课程。随着科学技术的发展和国内外高层建筑、超高层建筑与重型设备的大量兴建以及在软弱地基与不良地基上建造建筑物,促使土力学理论和地基基础技术不断发展,并显示出其重要性。据统计,世界各地发生的建筑工程事故中,以地基基础原因占多数。因此,本课程是有关专业学生必须掌握的一门专业技术课。

自从美国土力学家太沙基于 1925 年发表第一部土力学专著,从而使土力学成为独立的一门学科以来,世界各国对土力学理论的研究成果和工程经验的总结越来越多。作为大学的教材,不宜包罗万象,而应当选用成熟的理论与典型的经验,要求少而精。本书的内容与次序遵照中央广播电视大学 1991 年在北戴河审定的教学大纲安排,选择了土力学中基本理论和地基基础设计与施工中常见的技术问题,共分十一章进行阐述。

本教材针对远距离教育的特点,尽力体现教材的思想性、科学性、教学性、适用性、艺术性与协调性。在编写中不仅注意理论的系统性,而且注重理论联系实际,编入较多的工程实例、计算例题和国内外新技术与先进经验。尽量使文字通俗易懂,便于自学。

为便于读者复习和练习,各章都附有复习思考题、习题及答案。本书的各项技术要求采用我国国家标准,同时采用法定计量单位。

本书第二章和第五章由清华大学孙岳松副教授编写;总参某部叶朴高级工程师编写第十章并负责本书的插图;绪论和其余八章及全书的统编与定稿均由本书的主编完成。本书由同济大学叶书麟教授主审,中国建筑工程总公司重庆建筑高等专科学校原校长何高毅教授和清华大学徐一新副教授审阅。本书编写过程中得到清华大学不少同志的帮助和中央电大郭鸿老师的协助,在此表示衷心的感谢!

限于时间和水平,书中难免有错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

主编 地基、基础 Tong Si Press

编者

地基、基础、例题、习题、答案

地基、基础、例题、习题、答案

地基、基础、例题、习题、答案

地基、基础、例题、习题、答案

地基、基础、例题、习题、答案

地基、基础、例题、习题、答案

地基、基础、例题、习题、答案

1993 年 12 月

取土力 $\sigma_1 = 100 \text{ kPa}$, $\sigma_2 = 200 \text{ kPa}$
土体压缩曲线的斜率 $\alpha =$

内 容 简 介

本书是作者在清华大学等12所高等院校任教40年和负责岩土工程200余项的实践经验的基础上编写而成。它系统地阐明了土力学的基本理论，扼要地介绍了国内外不少地基基础新技术与先进经验，全书共分十一章：工程地质概述；土的物理性质和地基土的工程分类；地基的应力和变形，土的抗剪强度和地基承载力；土压力与土坡稳定；建筑场地的工程地质勘察；浅基础的设计；桩基础及深基础；软弱地基处理；地震区的地基基础；特殊土地基。各章还附有复习思考题，习题及答案。

本书内容简明扼要，理论紧密结合实际，重点突出，便于自学，适合远距离教育的特点；体现教材的思想性、科学性、教学性、适用性、艺术性与协调性。

本书是中央广播电视大学的教材，也可供各类高等院校有关专业师生和工程技术人员使用和参考。

1. 规范值 计算

$$* \gamma_n = 4.45 \rightarrow \gamma_n = 4.5$$

$$\gamma_c \leq \frac{E_s}{Z_2} = \text{---}$$

2. 偏心荷载修正

$$A_1 \geq \frac{\gamma}{f - \gamma_{sat}}$$

$$A = rA_1 \quad (r = 1.1 - 1.4)$$

$$\rightarrow A = ? \quad B = ? \quad (\text{偏心荷载修正})$$

$$P_{max} = (\gamma_n B P_{max}) \gamma \text{ 等等}$$

$$f = f_c + \gamma_b (B - 3) + \gamma_d b (0 - 0.5)$$

$$P_{max} \leq 3 P_{min}$$

2. 土压力

目 录

土力学及基础工程常用符号与单位	(1)
绪 论	(6)
一、土力学地基基础的概念	(6)
二、国内外地基基础工程成败实例	(7)
三、本课程的内容特点学习方法和要求	(14)
四、本学科的发展方向	(15)
第一章 工程地质概述	(17)
1.1 概 述	(17)
1.2 矿物与岩石	(18)
1.3 第四纪沉积层	(21)
1.4 不良地质条件	(23)
1.5 地下水	(25)
复习思考题	(30)
习 题	(30)
第二章 土的物理性质和地基土的工程分类	(32)
2.1 土的组成及特性	(32)
2.2 土的物理性质指标	(43)
2.3 土的物理状态特征指标	(51)
2.4 地基土的工程分类	(59)
复习思考题	(62)
习 题	(63)
第三章 地基的应力和变形	(65)
3.1 概 述	(65)
3.2 地基中的应力	(67)
3.3 地基土的压缩性	(83)
3.4 地基的最终沉降量	(93)
3.5 建筑物地基变形允许值	(108)
3.6 地基变形与时间的关系	(110)
复习思考题	(118)
习 题	(119)
第四章 土的抗剪强度和地基承载力	(121)

4.1 土的抗剪强度	(121)
4.2 土的极限平衡条件	(123)
4.3 抗剪强度指标的确定	(130)
4.4 影响抗剪强度指标的因素	(144)
4.5 地基的临塑荷载和临界荷载	(148)
4.6 地基的极限荷载	(152)
复习思考题.....	(164)
习 题.....	(165)

第五章 土压力与土坡稳定..... (167)

5.1 概 述	(167)
5.2 静止土压力计算	(169)
5.3 朗金土压力理论	(170)
5.4 库伦土压力理论	(177)
5.5 几种常见情况的土压力	(184)
5.6 挡土墙设计	(187)
5.7 土坡稳定分析	(195)
复习思考题.....	(205)
习 题.....	(205)

第六章 建筑场地的工程地质勘察..... (207)

6.1 概 述	(207)
6.2 各阶段勘察的内容	(210)
6.3 工程地质勘察方法	(212)
6.4 工程地质勘察报告	(217)
6.5 验 槽	(225)
复习思考题.....	(226)
习 题.....	(226)

第七章 浅基础的设计..... (228)

7.1 概 述	(228)
7.2 浅基础的类型	(230)
7.3 基础的埋置深度	(235)
7.4 地基计算	(239)
7.5 基础尺寸设计	(253)
7.6 刚性基础设计	(255)
7.7 扩展基础设计	(257)
7.8 各类基础设计	(263)
7.9 地基基础与上部结构共同工作的基本概念	(273)

7.10 地基基础方案比较与改善的措施	(276)
复习思考题	(279)
习 题	(279)
第八章 桩基础及深基础	(281)
8.1 桩及桩基础的分类	(281)
8.2 桩的承载力	(289)
8.3 桩基础设计	(302)
8.4 深基础	(309)
复习思考题	(324)
习 题	(325)
第九章 软弱地基处理	(326)
9.1 概 述	(326)
9.2 机械压实法	(332)
9.3 强夯法	(335)
9.4 换填法	(342)
9.5 预压加固法	(348)
9.6 挤密法	(353)
9.7 振冲法	(361)
9.8 化学加固法	(365)
9.9 托换技术	(370)
复习思考题	(374)
习 题	(374)
第十章 地震区的地基基础	(375)
10.1 地震概述	(375)
10.2 地基的震害	(380)
10.3 地基基础抗震设计	(383)
复习思考题	(397)
习 题	(398)
第十一章 特殊土地基	(399)
11.1 湿陷性黄土地基	(399)
11.2 膨胀土地基	(414)
11.3 红粘土地基	(423)
11.4 冻土地基	(424)
复习思考题	(431)
习 题	(431)
参考文献	(433)

土力学及基础工程常用符号与单位

A	基础底面面积, m^2
A_p	桩身的横截面面积, m^2
a	土的压缩系数, MPa^{-1}
a_{1-2}	当土样上的压力从 100kPa 至 200kPa 区间土的压缩系数, MPa^{-1}
b	条形基础宽度, 矩形基础短边, m 条分法分条的宽度, m
C_c	土的压缩指数
C_u	土的不均匀系数
C_v	土的固结系数, cm^2/a
c	土的粘聚力, kPa
D_r	土的相对密实度
d	天然地面下基础埋深, m 土粒粒径, mm 桩的设计直径, mm
d_s	土粒比重
d_{60}	土的限定粒径, mm
d_{10}	土的有效粒径, mm
E	土的变形模量, MPa
E_s	土的压缩模量, MPa
e	土的天然孔隙比 偏心距, m
e_0	土的初始孔隙比
f	地基承载力设计值, kPa
f_k	地基承载力标准值, kPa
f_0	地基承载力基本值, kPa
G	基础及其上回填土之总重力, kN
G_D	动水力, kN/m^3

H	土层厚度, m
	土样高度, cm
	挡土墙高度, m
H_g	自地面算起的建筑物高度, m
h	基础高度, m
	水头, m
I_L	土的液性指数
I_p	土的塑性指数
i	水力坡降
K	安全系数
	基床系数, kN/m^3
K_a	主动土压力系数
K_0	静止土压力系数
K_p	被动土压力系数
k	土的渗透系数, cm/s
L	房屋长度或沉降缝分隔的单元长度, m
l	基础底面长度, m
l_p	桩身长度, m
M	作用于基础底面的力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$
N	作用于基础顶面的垂直荷载, kN
	桩顶轴向荷载, kN
N_c 、 N_D 、 N_q	承载力系数
N_{10}	锤重 10kg 的轻便触探试验锤击数
$N(N_{63.5})$	锤重 63.5kg 的标准贯入试验锤击数
n	土的孔隙度, %
	桩的数量
P	集中荷载, kN
P_a	总主动土压力, kN
P_0	总静止土压力, kN
P_p	总被动土压力, kN
p	单位面积分布荷载, kPa
	基础底面平均压力, kPa
P_a	单位面积主动压力, kPa
p_{cr}	地基的临塑荷载, kPa
p_0	基础底面平均附加压力, kPa
	单位面积静止土压力, kPa

p_p	单位面积被动土压力, kPa
p_s	静力触探比贯入阻力, kPa
p_u	地基极限荷载, kPa
Q	基础承受的剪力, kN 单桩所受竖向力设计值, kN 第四纪地质时代
q_p	桩端土的承载力标准值, kPa
q_s	桩周土摩擦力标准值, kPa
q_u	无侧限抗压强度, kPa
R	单桩竖向承载力设计值, kN 土坡稳定圆弧法圆弧半径, m
s	地基最终沉降量, mm
s'	计算的地基变形值, mm
s_c	地基的固结沉降量, mm
s_d	地基的瞬时沉降量, mm
s_r	土的饱和度
s_s	地基的次固结沉降量, mm
s_t	经历时间 t 时的地基沉降量, mm
s_{oc}	推算地基最终沉降量, mm
s	土体中某点任意面上的抗剪强度, kPa
t	时间, s, a
U	固结度, %
u	饱和土中孔隙水压力, kPa 周边长度 m
u_p	桩身周长, m
V	体积, cm^3 , m^3
v	渗透速度, cm/s
W	截面抵抗矩, m^3 重力, kN
w	土的含水量, %
w_L	液限, %
w_P	塑限, %
w_s	缩限, %
Z	基础底面至地基中某点的距离, m
Z_n	地基压缩层沉降计算深度, m

α	角度°, 集中荷载作用下地基附加应力系数
α_c	矩形均布荷载作用下地基附加应力系数
α_{tc}	矩形面积三角形分布竖向荷载作用下地基附加应力系数
α_s	条形面积均布荷载作用下地基附加应力系数
α_{ts}	条形面积三角形分布竖向荷载作用下地基附加应力系数
$\bar{\alpha}$	地基平均附加应力系数
α_w	含水比
β	土的变形模量与压缩模量之比值 挡土墙填土面倾斜角,° 边坡坡角,°
γ	土的重力密度, 简称土的重度, kN/m^3
γ_d	土的干重度, kN/m^3
γ_o	基底水平面以上土的加权平均重度, kN/m^3
γ_{sat}	土的饱和重度, kN/m^3
γ_w	水的重度, kN/m^3
γ'	土的浮重度, kN/m^3
$\bar{\gamma}$	基础及其上填土的平均重度, kN/m^3
δ	土对挡土墙墙背的摩擦角,°
θ	地基的附加压力扩散角,°
λ	应变
μ	土的泊桑比, 侧膨胀系数 土对挡土墙基底的摩擦系数
ξ	土的侧压力系数
σ	土体中某点任意面上的法向应力, kPa
σ_c	土的自重压力, kPa
σ_{cd}	基础底面处土的自重压力, kPa
σ_z	基底下深度 z 处地基附加应力, kPa
$\bar{\sigma}$	饱和土中有效应力, kPa
σ_1	土体中某点主平面上的最大主应力, kPa
σ_3	土体中某点主平面上的最小主应力, kPa
τ	土体中某点任意面上的切向应力, kPa
τ_f	土的抗剪强度, kPa
φ	土的内摩擦角, 度

ϕ	土的有效摩擦角, 度
ω	沉降系数
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
ψ_s	沉降计算经验系数
ψ_t	采暖对冻深的影响系数

绪 论

“土力学及基础工程”是一门新兴的学科，当人们开始学习这门课程时，可能会提出：为何要学本课程？本课程有何特点？在土木建筑有关专业中究竟起什么作用？倘若土力学理论掌握不好，地基基础工程处理不当，会产生什么样的后果？

这些问题，通过学习绪论，可以迎刃而解。

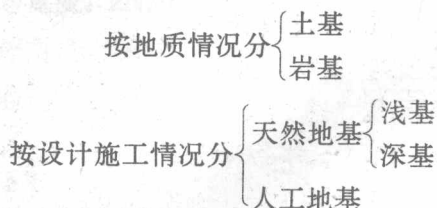
一、土力学地基基础的概念⁽¹⁾

“土力学及基础工程”是高等院校土木建筑有关专业的一门重要课程，需要学习和掌握土力学的基本理论与地基基础设计原理和经验，以保证各类建筑物安全可靠，使用正常，经济合理，不发生各种地基基础工程事故。

关于建筑物的地基与基础，有些技术人员分不清楚，常常把地基称为基础。例如在建筑工地上可以听到这样的介绍：“这个工程基础不好”、“这幢楼基础软弱、不均匀”等等。实际上，地基与基础是完全不相同的。

1. 地基

地基——承受建筑物荷载的地层。地基分类：



2. 基础

基础——人工建造建筑物最底下的一部分工程。由砖、素混凝土或钢筋混凝土材料筑成。其作用为扩散上部结构荷载，减小应力强度，传力给地基。

3. 土力学

土力学——地基基础设计的理论依据。土力学研究的对象可概括为：研究土的本构关系以及土与结构物相互作用的规律。土的本构关系即土的应力~应变~强度~时间四个变量之间的内在关系，至今世界各国的研究还处于初级阶段。

综上所述：地基与基础是建筑物的根

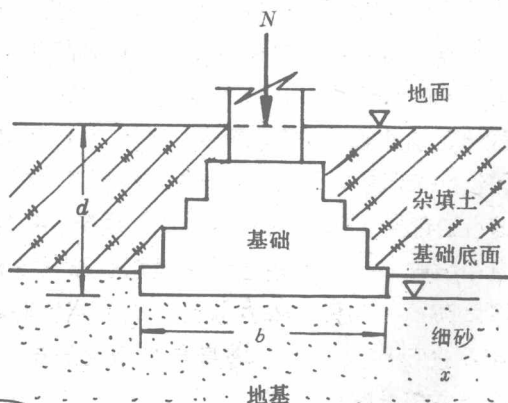


图 0.1 地基与基础

基,且为处于地下的隐蔽工程。地基与基础的勘察、设计和施工质量,直接关系着建筑物的安危。据统计,世界各国的建筑工程事故中,以地基与基础的事故为最多。而且地基与基础位于建筑物的下方,一旦发生事故,补救非常困难。例如苏州名胜虎丘塔向东北方向严重倾斜^[2],塔身砖体开裂,成为危险建筑而停止开放。针对虎丘塔的事故,进行勘探、测试,分析事故原因,讨论研究加固方案,到分期施工处理,前后花费七、八年时间。

为了保证建筑物的安全和正常使用,在地基基础设计中,必须同时满足以下两个技术条件,

(1) 地基的强度条件 要求满足地基的承载力和稳定性,不发生滑动破坏,应当有一定的地基强度安全系数。

(2) 地基的变形条件^[3] 要求建筑物的沉降量、沉降差、倾斜和局部倾斜都不能超过地基变形允许值。例如建在高压缩性土上的100m高的烟囱基础的沉降量以400mm为限,此烟囱基础的倾斜值限5‰;又如建于中压缩性土上的框架结构厂房相邻柱基的沉降差不得超过 $0.002l$ (l 为相邻柱基的中心距,单位mm),详见第3.5节。

若不满足上述技术条件,可能发生下列事故。

二、国内外地基基础工程成败实例^{[4][5]}

1. 建筑物倾斜

(1) 意大利比萨斜塔(图0.2) 该塔是比萨大教堂的一座钟楼,自1173年动工至1370年竣工,经历三个时期,停工两次。全塔共八层,总高55m。斜塔呈圆筒形,由大理石砌成,宏伟而精美。全塔总荷重约145MN,塔基平均压力达500kPa。塔身向南倾斜,南北两端沉降差达1.8m,塔倾斜约 5.5° ,十分严重。如不及时加固,将可能倒塌。

(2) 苏州市虎丘塔(图0.3) 此塔建成于北宋建隆二年(公元961年),七层,高47.5m。塔平面呈八角形,由外壁、回廊与塔心三部分组成,全部砖砌,仿楼阁式木塔,为全国重点保护文物。1980年6月到现场调查时,发现塔身向东北方向严重倾斜(经测量塔顶离中心线2.32m)。塔身已产生若干条裂缝。裂缝的方向,塔东北面为竖直向,而西南面呈水平方向。当时此塔已成为危险建筑而封闭。经在塔外四周人工做一圈混凝土墩地下连续墙,并在塔四周进行钻孔注浆,塔身与塔基树根桩加固后,千年古塔才转危为安。

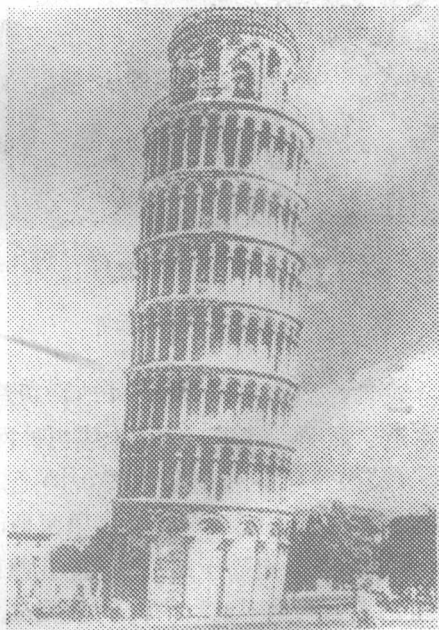


图0.2 意大利比萨斜塔

2. 建筑物严重下沉

(1) 上海展览中心馆(图0.4) 上海展览中心馆中央大厅为框架结构,箱形基础两层,

埋深 7.27m。箱基顶面至中央大厅上面的塔尖,总高 96.63m。地基为淤泥质土,压缩性很大。该馆于 1954 年 5 月开工,当年年底实测平均沉降量为 600mm。1957 年 6 月展览馆大厅四角的地基沉降量达 1228~1466mm,同时墙身严重裂缝。1957 年 7 月专家到展览馆调查研究,作出了这种情况不影响安全的判断。到 1979 年 9 月,该馆累计平均沉降量为 1600mm,逐渐趋向稳定。

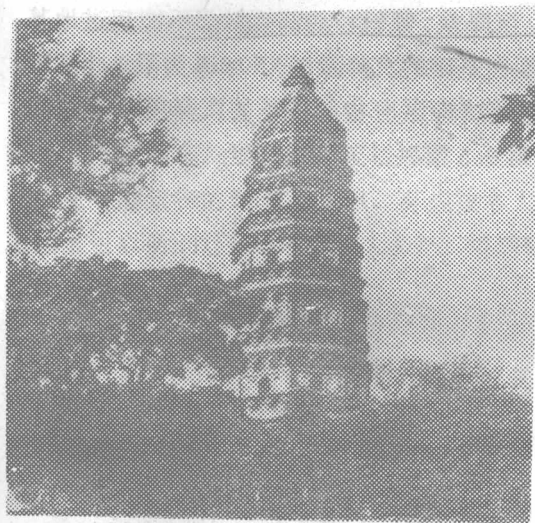


图 0.3 苏州虎丘塔

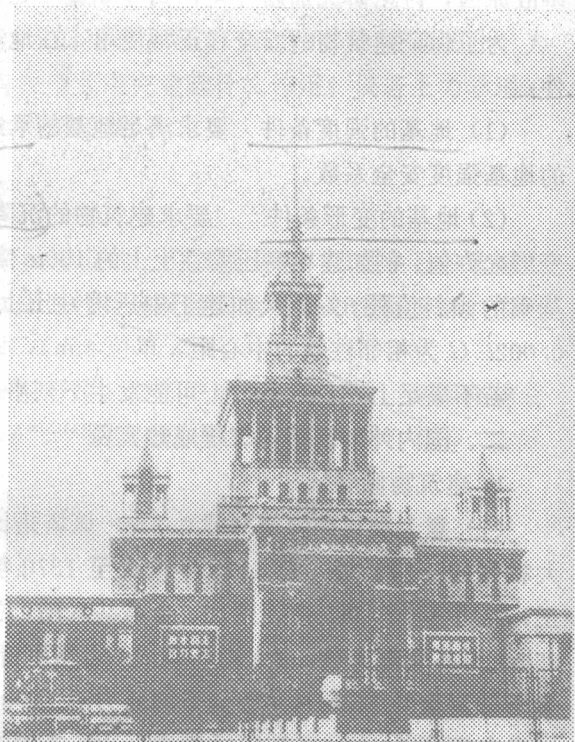


图 0.4 上海展览中心馆

建筑物严重下沉使室内外地坪高差大,行走不便,室外散水倒坡、雨水积聚,尤其是上下水道、照明、通讯、动力电缆内外网连接折断。

(2)墨西哥市艺术宫^[6](图 0.5) 该艺术宫是一座巨型的具有纪念性的早期建筑,于 1904 年落成,距今已有 90 年历史,墨西哥市四面环山,古代是大湖泊,由火山灰沉积形成,地表 5m 硬壳层下为超高压缩性淤泥,孔隙比 $e=7\sim 12$,含水量 $w=150\%\sim 600\%$,层厚 25m。使这座艺术宫严重下沉,沉降量竟达 4m。邻近的公路下沉 2m。公路路面与艺术宫地面高差 2m。参观者须步下九级台阶,进入艺术宫。

3. 墙体开裂

(1)清华大学供应科库房楼(图 0.6) 该库房楼东西向长 47.28m,南北向宽 10.68m,高 7.50m,为两层混合结构。1979 年完成勘察、设计并于年底动工,1980 年 6 月竣工。使用一年,发现西侧墙裂缝。1982 年夏裂缝已很严重,到 1984 年,楼上楼下一共 33 条大裂缝,成为危房。经重新勘察发现库房中段地基存在泥炭与有机土,厚度超过 2m,库房两端地基,泥

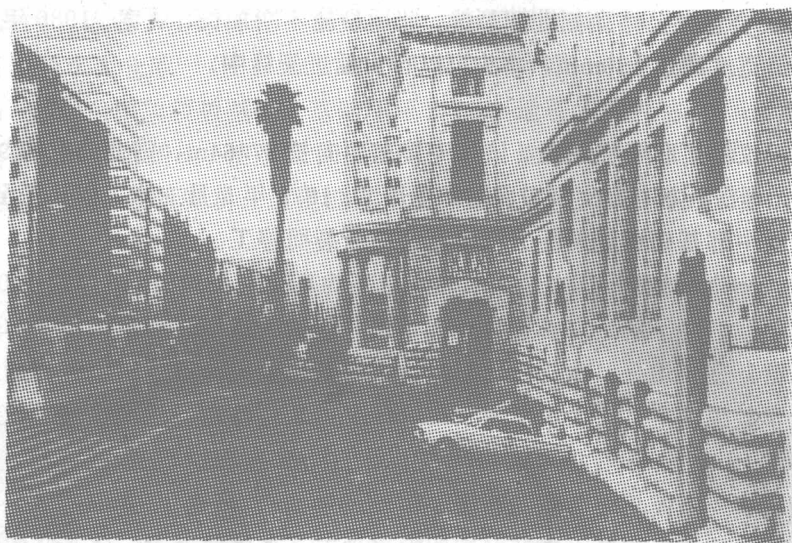


图 0.5 墨西哥艺术宫

炭层很薄或尖灭，地基软硬不均，局部倾斜超过允许值，导致墙体严重开裂。

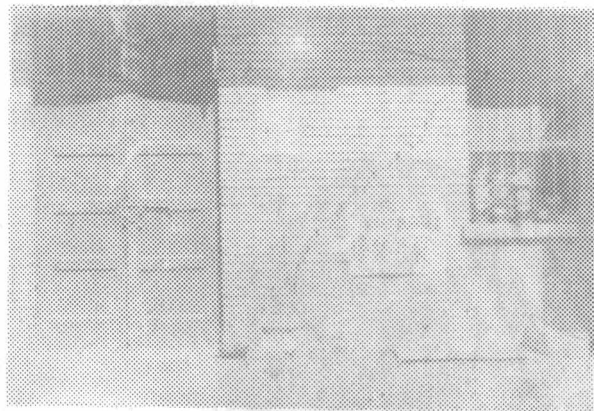


图 0.6 清华大学供应科库房楼墙体开裂

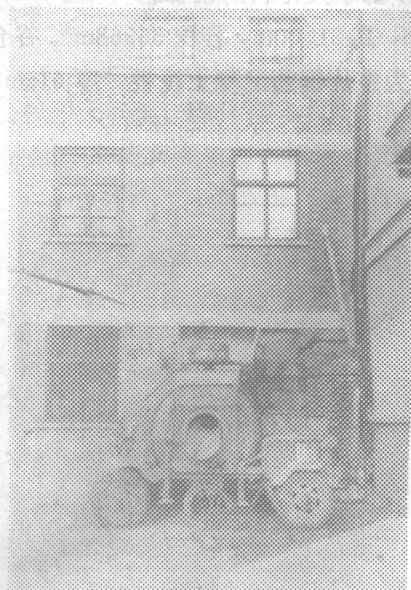


图 0.7 天津市人民会堂办公楼

(2) 天津市人民会堂办公楼 (图 0.7) 该办公楼东西向 7 个开间，长约 27.00m，南北宽约 5.00m，高约 5.60m，为两层楼房。此办公楼建成多年，使用正常。

1984 年 7 月在办公楼西侧新建天津市科学会堂学术楼，此新楼东西向计 8 个开间，长约