



普通高等教育“十二·五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

土木工程安全检测与鉴定

主编 李慧民



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

014058231

TU714
10



普通高等教育“十二五”规划教材

土木工程安全检测与鉴定

主 编 李慧民
副主编 孟 海 陈曦虎
主 审 赛云秀



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2014



北航

C1745396

TU714

10

内 容 提 要

本书主要介绍了土木工程安全检测与鉴定的基础知识、安全检测的仪器及工具、安全检测的内容及方法、安全鉴定的标准及程序,以及土木工程安全检测与鉴定的案例。内容丰富,由浅入深,紧密结合工程实际,便于操作,具有较强的实用性。

本书可作为高等院校土木工程、安全工程、工程管理、建筑环境与设备工程等专业的教科书,也可供建设单位、施工单位、监理单位及建设主管部门工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程安全检测与鉴定/李慧民主编. —北京:冶金工业出版社, 2014. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6632-9

I. ①土… II. ①李… III. ①土木工程—安全监测—高等学校—教材 ②土木工程—安全鉴定—高等学校—教材 IV. ①TU714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 144594 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmip.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6632-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2014 年 6 月第 1 版, 2014 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.75 印张; 355 千字; 224 页

31.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

“土木工程安全检测与鉴定”是高等院校土木工程、安全工程等专业的主要专业基础课之一。本书较全面系统地阐述了土木工程安全检测与鉴定的基本理论与方法。第1章主要论述了土木工程安全检测与鉴定的基础知识；第2章针对实际工程需求，主要介绍了检测与鉴定工作中常用的设备仪器及软件；第3章主要探讨了地基基础、木结构、砌体结构、混凝土结构、钢结构、桥梁及隧道工程的检测内容与方法；第4章主要探讨了建筑可靠性鉴定、抗震鉴定、危房鉴定、桥梁及隧道技术状况评定的标准与程序；第5章分别对砖混结构、钢混结构、钢结构、冷却塔、烟囱、桥梁结构等建（构）筑物的实测与鉴定进行了系统分析，给出了8个实际检测鉴定报告。

本书由李慧民任主编，孟海、陈曦虎任副主编，赛云秀任主审。各章编写分工为：第1章由李慧民、苏亚锋、李杨编写；第2章由孟海、裴兴旺、陈曦虎、钟兴润编写；第3章由裴兴旺、李庆森、孟海、赵向东编写；第4章由郭海东、田飞、陈曦虎、钟兴润、李慧民编写；第5章由孟海、裴兴旺、李慧民、陈曦虎、李勤、赵向东、钟兴润、万婷婷编写。

在编写过程中，得到了西安建筑科技大学、中天西北建设投资集团有限公司、陕西通宇公路研究所有限公司、北京建筑大学、中冶集团建筑研究总院、西安市住房保障和房屋管理局、西安工业大学等单位的教师和工程技术人员的大力支持与帮助，并参考了许多专家和学者的有关研究成果及文献资料，在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者
2014年5月

目 录

1 土木工程安全检测与鉴定的基础知识	1
1.1 土木工程结构功能的影响因素	1
1.1.1 自然环境因素	1
1.1.2 人为因素	1
1.1.3 偶然因素	3
1.1.4 市场因素	3
1.1.5 其他因素	3
1.2 土木工程结构的病害	3
1.2.1 地基基础的病害	3
1.2.2 砌体结构的病害	6
1.2.3 混凝土结构的病害	7
1.2.4 钢结构的病害	9
1.3 土木工程安全检测与鉴定的学习	11
2 土木工程安全检测仪器及工具	13
2.1 检测仪器及设备	13
2.1.1 卷尺、激光测距仪——尺寸、高度测量	14
2.1.2 数码相机——拍照记录	14
2.1.3 经纬仪——建（构）筑物垂直度、倾斜度检测	14
2.1.4 水准仪——建（构）筑物沉降观测及梁、板、屋架等水平构件 挠度检测	16
2.1.5 混凝土回弹仪——混凝土强度检测	20
2.1.6 数显回弹仪——混凝土强度检测	23
2.1.7 砂浆回弹仪——砂浆强度检测	24
2.1.8 砂浆贯入仪——砂浆强度检测	25
2.1.9 楼板厚度检测仪——楼板（墙）厚度检测	29
2.1.10 混凝土钢筋检测仪——钢筋直径、位置、保护层厚度检测	30
2.1.11 混凝土雷达仪——钢筋直径、位置、保护层厚度检测	32
2.1.12 钢筋锈蚀检测仪——钢筋锈蚀检测	33
2.1.13 超声波探伤仪——混凝土内部缺陷位置、大小检测	35
2.1.14 裂缝宽度观测仪——裂缝宽度检测	36
2.1.15 裂缝测深仪——裂缝深度检测	37

2.1.16	游标卡尺——钢结构板材厚度检测	39
2.1.17	红外热像仪——外墙检查等	40
2.1.18	桥梁检测车——桥梁检测	41
2.2	工作软件	42
2.2.1	绘图软件——建（构）筑物结构的测绘	42
2.2.2	PKPM 软件——结构内力分析	43
2.2.3	MIDAS/Civil 软件——桥梁结构内力分析	43
3	土木工程安全检测	45
3.1	检测的基础知识	45
3.1.1	检测的目的	45
3.1.2	检测的分类	45
3.1.3	检测的内容	46
3.1.4	检测方案及方法	47
3.1.5	检测的基本程序	48
3.2	资料搜集及现场调查	49
3.2.1	调查内容和途径	49
3.2.2	使用条件的调查	51
3.3	地基基础检测	53
3.3.1	地基勘探	53
3.3.2	地基沉降和建（构）筑物变形观测	54
3.4	木结构检测	56
3.4.1	木材腐朽检测	57
3.4.2	构造与连接检测	57
3.4.3	木结构变形的检测	57
3.4.4	木材性能检测	57
3.5	砌体结构检测	58
3.5.1	砌体强度检测	58
3.5.2	砂浆强度检测	62
3.5.3	砌体裂缝检测	62
3.5.4	砌筑外观及质量检测	65
3.5.5	构造及连接的检测	66
3.5.6	施工偏差及构件变形检测	66
3.6	混凝土结构检测	66
3.6.1	混凝土强度检测	67
3.6.2	混凝土内外部缺陷检测	70
3.6.3	混凝土裂缝检测	72
3.6.4	混凝土中钢筋位置及保护层厚度检测	74
3.6.5	混凝土中钢筋锈蚀程度检测	75

3.6.6 红外热像分析检测	76
3.6.7 钢筋力学性能的检测	77
3.6.8 施工偏差和构件变形检测	77
3.7 钢结构检测	79
3.7.1 构件尺寸、厚度、平整度的检测	80
3.7.2 构件表面缺陷检测	80
3.7.3 连接(焊接、螺栓连接)检测	81
3.7.4 钢材强度检测	83
3.7.5 钢材锈蚀检测	84
3.7.6 防火涂层厚度检测	84
3.7.7 施工偏差和变形、振动	84
3.8 桥梁检测	85
3.8.1 检测基础知识	85
3.8.2 桥梁外观检查及无损检测	88
3.8.3 荷载试验检测	90
3.9 隧道检测	91
3.9.1 隧道外观检查及无损检测	91
3.9.2 隧道环境检测	93
3.9.3 质量检测	94
3.10 检测报告的完成	94
4 土木工程安全鉴定	96
4.1 鉴定的基础	96
4.1.1 鉴定的概念	96
4.1.2 鉴定的基本思想	96
4.1.3 鉴定的分类和适用范围	96
4.1.4 鉴定的依据和规范	97
4.2 建筑可靠性鉴定	98
4.2.1 鉴定的方法	98
4.2.2 民用建筑可靠性鉴定	99
4.2.3 工业建筑可靠性鉴定	111
4.3 抗震鉴定	122
4.3.1 抗震鉴定范围、方法和流程	123
4.3.2 现有建筑的抗震鉴定	124
4.3.3 抗震鉴定处理对策	128
4.4 危房鉴定	128
4.4.1 危房鉴定的方法和流程	129
4.4.2 构件危险性鉴定	130
4.4.3 结构危险性鉴定	133

4.5	公路桥梁技术状况评定	135
4.5.1	桥梁技术状况评定原理	135
4.5.2	桥梁构件技术状况评定	135
4.5.3	桥梁部件技术状况评定	137
4.5.4	桥梁上部结构、下部结构、桥面系技术状况评定	137
4.5.5	桥梁总体技术状况评定	138
4.6	隧道技术状况评定	139
4.6.1	隧道各部件单项评定标准	139
4.6.2	隧道单洞结构总体评价	140
4.7	鉴定报告的完成	141
5	土木工程安全检测与鉴定案例	142
5.1	某砖混楼可靠性检测鉴定	142
5.1.1	项目概况	142
5.1.2	鉴定目的、范围及内容	142
5.1.3	鉴定依据及评定标准	143
5.1.4	现场检查结果	144
5.1.5	现场检测结果	145
5.1.6	结构验算结果	146
5.1.7	可靠性等级评定	147
5.1.8	抗震鉴定	149
5.1.9	结论	151
5.2	某钢混楼结构梁裂缝检测鉴定	151
5.2.1	项目概况	151
5.2.2	鉴定的目的、范围及内容	151
5.2.3	鉴定依据及评定标准	152
5.2.4	现场检查结果	152
5.2.5	现场检测结果	153
5.2.6	构件计算分析	154
5.2.7	裂缝成因分析	155
5.2.8	可靠性等级的评定	156
5.2.9	鉴定结论及处理意见	157
5.3	某钢结构厂房安全性检测鉴定	158
5.3.1	项目概况	158
5.3.2	鉴定的目的、范围及内容	159
5.3.3	鉴定依据及评定标准	159
5.3.4	现场检查结果	161
5.3.5	现场检测结果	162
5.3.6	结构验算结果	165

5.3.7	可靠性等级的评定	166
5.3.8	吊车梁疲劳分析结论	167
5.3.9	可靠性鉴定结论及处理意见	167
5.4	某发电厂冷却塔可靠性检测鉴定	168
5.4.1	项目概况	168
5.4.2	鉴定的目的、范围及内容	169
5.4.3	鉴定依据及评定标准	169
5.4.4	现场检查结果	170
5.4.5	现场检测结果	172
5.4.6	结构计算分析	174
5.4.7	冷却塔的破坏经验分析	175
5.4.8	抗震鉴定	176
5.4.9	结构耐久性评估验算	177
5.4.10	可靠性综合评级	178
5.4.11	鉴定结论及处理意见	179
5.5	某发电厂烟囱腐蚀检测鉴定	180
5.5.1	项目概况	180
5.5.2	鉴定的目的、范围及内容	181
5.5.3	鉴定依据与标准	182
5.5.4	现场检查结果	185
5.5.5	现场检测结果	187
5.5.6	结构验算分析	192
5.5.7	结构耐久性评估	194
5.5.8	烟囱腐蚀评价	196
5.5.9	烟囱的可靠性等级评定	198
5.5.10	烟囱现状防腐综合评定	199
5.5.11	结论与处理意见	201
5.6	某农贸市场钢结构加固后施工质量及结构可靠性综合鉴定	201
5.6.1	工程概况	201
5.6.2	鉴定的目的、范围及内容	202
5.6.3	鉴定依据标准	202
5.6.4	现场调查结果	202
5.6.5	现场检测结果	202
5.6.6	结构安全计算	203
5.6.7	结论	204
5.7	某梁桥外观检查、荷载试验检测	205
5.7.1	工程概况	205
5.7.2	检测目的及依据	205
5.7.3	检测工作内容	206

5.7.4	现场检测结果	207
5.7.5	静载试验	210
5.7.6	动载试验	215
5.7.7	检测鉴定结论和建议	216
5.8	某景观索桥检测鉴定	217
5.8.1	工程概况	217
5.8.2	检测目的、内容及依据	218
5.8.3	景观3号桥荷载试验检测分析	218
5.8.4	检测结论和使用建议	221
参考文献		223

1 土木工程安全检测与鉴定的基础知识

随着国家经济的发展,对房屋、厂房、桥梁、隧道等建设项目安全的内涵提出了新的要求,由过去的狭义概念延伸为现在的广义概念,除了结构的安全外,还包括消防、用电、燃气、地质、生态等方面的安全。建筑物、构筑物等在设计、施工及使用过程中,无时无刻不存在有形或无形的损伤、缺陷等安全隐患。一方面,如果维护不及时或维护不当,其安全可靠就会严重降低,使用寿命也会大幅度缩短,如使用中正常老化,耐久性就会逐渐失效,可靠性就会逐渐降低,相应的安全系数也会逐年降低。另一方面,周围环境、使用条件和维护情况的改变,自然灾害(地震、火灾、台风等)或人为灾害的突发,地基的不均匀沉降和结构的温度变形等,在设计时都是难以预计的不确定因素,因而难以判断建筑物、构筑物等是否可以继续使用或者需要维修加固,甚至拆除。

土木工程安全检测与鉴定就是通过使用设备、运用技术、采集处理数据和分析结果,得到检测对象本身的特征及周边环境的情况,以便对当前检测对象的使用安全做出分析与鉴定,并提出合理的处理意见,保证检测对象的使用安全。

本书所涉及土木工程安全检测与鉴定的对象为建筑物、构筑物。其中,建筑物包括民用建筑、工业建筑;构筑物包括烟囱、水塔、贮仓、通廊、水池、桥梁、隧道等。

1.1 土木工程结构功能的影响因素

1.1.1 自然环境因素

结构中的材料长期经过大自然的风吹雨打、雪冻和暴晒,会逐渐丧失原有的质量、性能和功效,即人们常说的风化和老化;恶劣的使用环境也会引起结构缺陷和损坏。在长期的劣化环境条件下,外部介质时刻都在侵蚀结构的材料,随着组成材料的劣化,结构的功能将逐渐被削弱,甚至丧失。这是一个不可逆的自然规律,也可以说是结构一种正常的耗损和折旧。按照劣化作用的性质来分,外部环境因素对结构的侵蚀作用一般可分为三类:

(1) 物理作用:如高温、高湿、温湿交替变化、冻融、粉尘及辐射等因素对结构材料的劣化。

(2) 化学作用:如含有酸、碱或盐等的化学介质的气体或液体、一些有害的有机材料、烟气等侵入结构材料的内部,会产生化学作用引起材料组成成分的不利变化。

(3) 生物作用:如一些微生物、真菌、水藻、蠕虫和多细胞作物等对材料的破坏等。

1.1.2 人为因素

人为因素是导致建(构)筑物“先天不足、后天失调”或“先天缺陷、后天损坏”的主要原因。建(构)筑物结构的先天不足(缺陷)主要源于设计和施工,后天失调

(损坏)则是使用和管理问题,分析如下:

(1) 设计方面。设计方面既有政策导向、认识偏差、受技术水平所限,也有设计人员经验不足所犯的过失错误,致使结构留下缺陷和隐患。例如,我国有一时期片面强调节约原材料,降低一次性建设投资,因此设计上缺乏科学性地革“肥梁、胖柱、重盖、深基”的命,不少建筑结构被“抽筋扒皮”,致使结构可靠度偏低,使用寿命缩短;又如,有的建筑在设计时,虽然设计人员尽最大可能考虑了影响安全使用的诸多因素,在结构上采取了多种处理措施,但由于当时的技术水平所限,实际结构与原先设计构思仍有一定差异(经常遇到的有诸如建筑场地勘察有误随之基础方案不合理,结构体系选择上的失误或计算简图取用上的差异等)。再如,少数缺乏经验的设计人员犯过失错误,有的漏算少算荷载,选用计算方法有误,因而少配钢筋,也有的构造措施不合理等,均可能在建筑结构中留有隐患,即所谓的“先天不足”。

最后,不得不指出,已有建筑物原设计标准偏低或多或少存在安全隐患。由于历史原因,我国建(构)筑物可靠度设置水准经历过多次变动,总体上仍处于一个较低的水平。此外,随着规范标准的不断完善,尤其是我国抗震设防等级的提高,致使相当多的已有建(构)筑物不能满足现行抗震规范的要求,面临抗震鉴定和抗震加固的任务。例如深圳地区,1990年以前设计、施工的建筑物按基本烈度6度考虑,1990年以后基本烈度调整为7度,至今深圳的已有建筑物尚未按提高的抗震设防要求进行抗震加固。实际上,类似深圳情况的其他地区也为数不少。

(2) 施工方面。我国工程项目的施工管理水平和施工人员的素质相对较差,质量控制与质量保证制度不够健全,又受到各个历史时期经济形势和政治因素的影响,施工质量相对也是较差的,对结构留有的隐患也是较为严重的。主要表现在:某些时期特别是1958~1960年期间,片面强调脱离实际、不讲科学的所谓高速度、“放卫星”,不重视施工质量,造成不少工程存有缺陷和隐患。

近些年来,最引起人们关注的是由于低素质施工队伍带来的施工工程质量低劣状况。媒体报道的业主投诉商品房质量问题的案例屡见不鲜。加之相关部门管理不严,存在着种种混乱和违纪现象,如无证施工、越级施工及层层转包等。因此,在建工程由于质量问题,如混凝土强度等级未达到设计要求、少放或漏放钢筋甚至钢筋放置错误、轴线偏移等,就需要检测与处理,且类似的工程项目非常常见。更有甚者,极少数施工企业为牟取暴利,采用劣质或低等级建筑材料,偷工减料等等,导致建筑质量低劣,达不到设计要求,甚至出现灾难性的“豆腐渣工程”。

此外,较好的施工企业,由于任务繁重,工期紧赶进度,而其技术设备、施工管理、质量控制、施工人员素质和技术水平等跟不上发展所需,也常会出现施工质量达不到设计要求的情况,这同样会造成结构存有缺陷。

(3) 使用和管理方面。使用不当和管理不善是建(构)筑物“后天失调”(造成损坏)的根本原因。

使用不当或不合理造成结构损坏的原因是多方面的:诸如长期超载使用或随意改变使用功能;为达装饰效果,随意改变甚至拆除承重墙体或在承重墙(包括剪力墙)开设尺寸较大的洞口;为了扩大使用面积,未经有关部门鉴定设计,就对原建筑进行扩建甚至增层改造;又如工业厂房,厂方单纯强调提高产量或长期超载堆料使用,致使其经常处于超

负荷工作状态,加速了建(构)筑物的早衰和破损。

管理不善将会使结构存在的隐患暴露甚至进一步恶化,主要表现在:建(构)筑物使用年久失修;在建(构)筑物正常使用期间,应每隔5~10年进行检查维修,如果维修不好或没有维修,则可能在尚未达到设计使用年限就已丧失某项或数项功能。对于前面提到的种种使用不当的行为未予及时制止,放弃管理。对于即将服役期满或已超期服役的建(构)筑物,未及时组织技术力量进行检测、鉴定、大修或加固等。

1.1.3 偶然因素

偶然因素是指建(构)筑物遭受偶然作用袭击而导致结构损坏甚至破坏。偶然作用的特点在设计基准期内不一定出现,而一旦出现其量值很大且持续时间很短。例如爆炸、地震、撞击以及自然灾害中的风灾、水灾、滑坡、泥石流和突发事件中的火灾等。必须要说明的是,后者往往是使用不当或施工不当而引发的。

我国是一个多自然灾害的国家,不仅有2/3的大城市处于地震区,历次地震都在不同程度上对建筑物造成了损坏甚至破坏,而且风灾、水灾年年不断,损失惨重,很难准确统计。

1.1.4 市场因素

随着我国经济体制的变革,市场经济体制的建立和发展,建筑物已成为商品,产权者(业主)可自主更迭。新业主将根据市场发展的需要和自己产业发展或生活的需要,往往要求改变原建筑物的使用功能和标准,如原办公楼改造成宾馆,大型仓库改造成综合商城、大型超市,工业厂房由于技术改造、设备更新等要求对原厂房进行相应的改造。这些使用功能的改变,往往使楼面活荷载增大或设备增重,都将导致原结构可靠度降低。

1.1.5 其他因素

这里所说的其他因素是指除上述诸因素以外的应对原建筑物进行结构鉴定、加固或改造的种种特殊原因。例如,由于2008年北京奥运会、2010年上海世博会的特殊需要,对某些建筑物进行鉴定、加固改造和装饰。又如,可能由于原建筑物的检测鉴定、加固改造不当,引发新的缺陷和损坏,这时必须重新采取安全措施,即进行所谓“第二次手术”。

1.2 土木工程结构的病害

在现场检测过程中,要清晰记录结构的各种病害,以便于后期对结构的具体损伤机理进行分析及结果评定,这就需要准确认识各种结构的病害特征和损伤机理。下面就依次对地基基础、砌体结构、混凝土结构、钢结构的损伤机理及常见病害进行介绍。

1.2.1 地基基础的病害

(1) 湿陷性黄土地基被水浸湿下沉。黄土状土和黄土在我国特别常见,地层全、厚度大,从东向西分布在黑龙江、吉林、内蒙古、山西、陕西、甘肃、宁夏、青海等地总面积约63.5万平方千米。这种土在天然含水量少时往往具有较高的强度和较小的压缩性,

但遇水浸湿后,水分子浸入土颗粒之间,破坏联结薄膜,并逐渐溶解盐类,同时水膜变厚使土的抗剪强度迅速降低,在土自重压力或附加压力的作用下,土体结构逐渐破坏,土颗粒向大孔中滑动,土体骨架挤紧,从而发生湿陷现象。在湿陷性黄土地基上建造的房屋,如果事先未对地基进行有效的处理,在施工中或建成后使用过程中因地基被水浸湿而导致房屋的沉陷,会造成墙体裂缝,墙身倾斜,或过量下沉。

(2) 膨胀土地基干湿变形。膨胀土在我国四川、云南、贵州、河南、河北、湖北、广西等省、自治区分布较为广泛。这种土吸水后体积膨胀,失水后体积收缩。因此,作为房屋的地基,就会造成基础位移,房屋和地坪开裂、变形,甚至遭到严重破坏。这是由于土体吸水膨胀时,裂隙闭合产生自由水的压力,与斜坡裂隙网中水头压力之和使基础隆起;土体失水后干缩时,裂隙张开,自由水压力消失,基础因荷载沉降,裂隙土体持续干缩位移,基础也随之持续位移。建在三级阶地上的房屋,随着地基干、湿变化会出现开裂和变形,平房和三层以下的建筑更为普遍和严重。房屋裂缝部位以外墙居多,门窗、外墙转角处更为集中。裂缝的形式为水平状,同时伴有墙体外倾,基础向外转动等。

(3) 季节性冻土的冻害——土的冻胀、融陷特性。土颗粒冻结时,发生体积膨胀隆起成丘。冻胀主要是大气的负温度传入土中时,土中的自由水首先冻结成冰晶体,随着土温继续下降,结合水的最外层也开始冻结,使冰晶体逐渐扩大,结合水膜变薄,使得水膜中的离子浓度增加,产生的渗附压力和分子引力。在这两种引力的作用下,未冻区水膜较厚处的结合水便被吸引到水膜较薄的冻结区,并参与冻结,使冰晶体不断扩大,在土层中形成冰夹层,土体随之发生隆胀,出现冻胀现象。位于冻胀区的基础,会受到冻胀力的作用。如果冻胀力大于基底上的荷载,基础就会被抬起。土层解冻时,土中的冰晶体融化,土中含水量大大增加,加之土颗粒排水能力差,土层处于饱和、软化状态,强度大大降低,使房屋基础发生下陷。这个过程称为冻胀和融陷现象。

当房屋两端冻胀力大,中间冻胀力小时,纵墙形成正弯曲变形,裂缝出现在主拉应力垂直的方向,会在门窗口刚度薄弱处产生裂缝,呈正“八”字形。当房屋中间冻胀力大,两端冻胀力小时,会形成反向弯曲变形而产生倒“八”字形裂缝。当地基土质有差异时,房屋也会产生局部冻胀,哪里冻胀抬高,裂缝就出现在哪里。当墙基为浅基础时,基底土质的冻胀力外边大,里边小,会产生向外弯曲的力矩,造成纵墙内大外小的水平裂缝(见图1-1)。当基础埋置较深时,基底冻不着,但基础的外侧受冻,其冻胀力把基础向内推移,外墙出现外大内小的水平裂缝(见图1-2)。当冻土融化时,往往南墙基础向阳吸热多,冻土融化早而且速度快,这时南墙基土质水分多,土壤软化,承载力降低,会造成单侧基础沉陷,或向一侧滑动,或房体倾斜。

(4) 软土地基发生病害的主要原因及破坏症状。房屋建筑在软土地基上,因土质不均匀、房屋体形复杂、上部结构荷载差异大,或房屋整体刚度差等原因,造成基础的不均匀沉降,在上部结构相应部位会发生开裂或其他破坏现象。软土地基基础沉降对墙体损坏的常见部位及症状如下:

1) 当房屋整体刚度较差时,对于房屋平面为矩形,立面长高比大于3:1的砖混结构,由于没有混凝土圈梁及构造柱,其整体刚度就较差。即使地层均匀,荷载分布也较均匀,一般情况下在房屋纵墙上也会产生弯曲变形,在薄弱部位处出现正“八”字形斜裂缝(见图1-3);如果遇到土质不均匀、荷载不均匀,可能会发生两端沉降大、中间沉降

小的反向弯曲变形。在纵墙上会出现倒“八”字形的斜裂缝（见图1-4）。

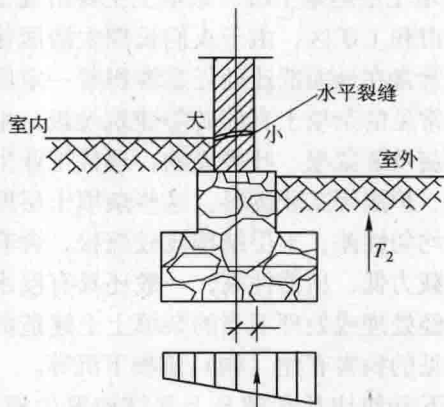


图1-1 外墙根内侧水平裂缝

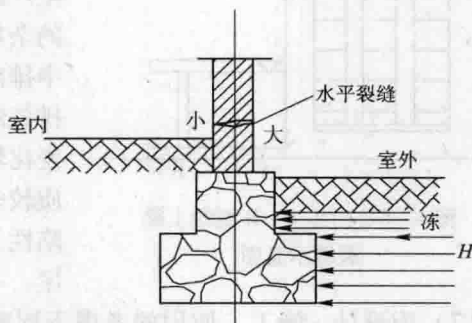


图1-2 外墙根外侧水平裂缝

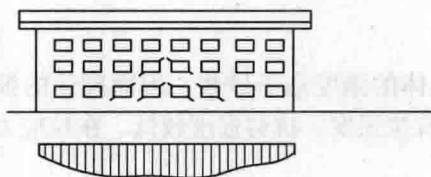


图1-3 正向弯曲变形裂缝

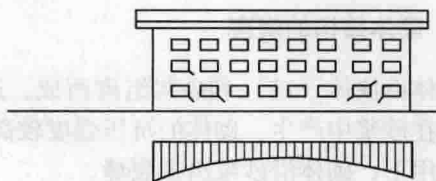


图1-4 反向弯曲变形裂缝

2) 当建筑物整体刚度较好, 立面长高比小于3:1时, 即使房屋整体刚度较好, 层层有混凝土圈梁、角角有混凝土构造柱, 地层均匀, 有时也会因软土地基承载力不够或上部荷载过大而造成房屋基础产生均匀的沉降, 这往往在底层的地面上产生隆起。

(5) 房屋高差产生沉降差。房屋立面高度差异较大且连为一体, 房高部分地基有较大的沉降, 低层部分沉降小, 使靠近高层的低层墙体上出现局部倾斜, 纵墙上出现斜裂缝。

1) 高差大产生不均匀沉降。例如, 某楼房中间A区为四层, 两端B区为二层, 中部沉降大, 两端沉降小, 在B区二层纵墙上发生正“八”字形裂缝（见图1-5）。

2) 房屋高差产生沉降差, 在多层楼房前的门斗上, 尤为常见, 如图1-6所示。由于主楼下沉量超过门斗柱基的下沉量, 门斗的A-B段会出现局部倾斜。当门斗横梁嵌固在主楼内, 且梁柱采用小框架结构

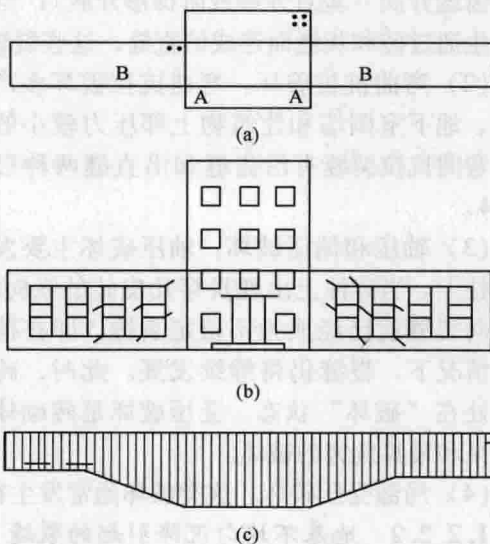


图1-5 房屋高差大产生不均匀沉降
(a) 平面图; (b) 立面图; (c) 沉降曲线

时,沉降差常使门斗框架结构开裂。若门斗两侧为砖墙时常使墙体产生斜裂缝。

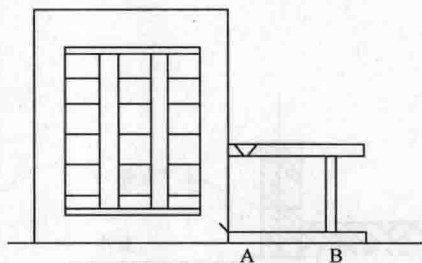


图 1-6 门斗 A-B 混凝土梁
裂缝示意图

(6) 杂填土层地基下沉。杂填土主要出现在一些古老的城市和工矿区,由于人们长期生活居住和生产活动,常常在地面低洼处任意堆积着一定厚度的杂填土,常见的杂填土有碎砖等建筑垃圾,生活中排出的炉灰及蔬菜根、叶等废物,现代工业生产排放的矿渣、炉渣等工业废料。这些杂填土层厚度变化较大,均匀性差,土层结构比较疏松,含有机质较多,承载力低,压缩性高,一般还具有浸水湿陷性。在未经处理或处理不当的杂填土上建造的房屋,一般常见的病害有建(构)筑物下沉等。

(7) 因设计、施工、使用的考虑不周和管理不善使地基基础及上部结构发生病害,通常的损伤原因有淤泥质土层处理不当、地基下层有古墓、地基受水浸泡或失水、地基受有害介质侵入、基础材质不合格、使用管理不善、相邻基础的影响、设计考虑不周等。

1.2.2 砌体结构的病害

砌体由块体(砖)和砂浆组砌而成,通常块体的强度高于砂浆,因而砌体的损坏大多首先在砂浆中产生。砌体的抗压强度较高,但抗拉强度、抗剪强度较低。在拉应力或剪应力作用下,砌体沿砂浆出现裂缝。

砌体开裂的原因主要有荷载过大、基础不均匀沉降和温度应力的作用。

1.2.2.1 荷载引起的裂缝

(1) 拉应力破坏。砖砌的水池、圆形筒仓等构筑物常会发生由于拉应力过大而引起砌体开裂的现象。当砖的标号较高而砂浆与砖的粘结力不足时,就会造成粘结力破坏,裂缝沿齿缝开展(垂直开展或阶梯形开展);当砖的标号较低,而砂浆强度较高时,砌体就会产生通过砖和灰缝而连成的直缝,这些裂缝多先发生在砌体受力最大或有洞口的部位。

(2) 弯曲抗拉破坏。弯曲抗拉破坏多产生于挡土墙、地下室围墙和建筑物上部压力较小的挡风墙上。弯曲抗拉裂缝有沿齿缝和沿直缝两种形式(图 1-7)。

(3) 轴压和偏压破坏。轴压破坏主要发生在独立砖柱上。当砖柱上出现贯穿几皮砖的纵向裂缝时,该纵向裂缝就已经成为不稳定裂缝。即在荷载不增加的情况下,裂缝仍将继续发展。此时,砖柱实际上已处在“破坏”状态。受压破坏是砖砌体结构中最常见和最具危害的破坏。

(4) 局部受压破坏。这类破坏通常发生在受集中力较大处,如梁的端部。

1.2.2.2 地基不均匀沉降引起的裂缝

当地基发生的不均匀沉降超过一定限度后,会造成砌体结构的开裂。通常又分为以下两种情况:

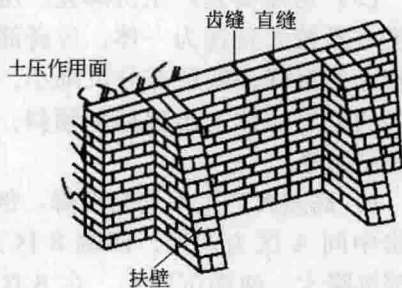


图 1-7 砌体的弯曲抗拉裂缝

(1) 中间沉降较多的沉降（又称盆式沉降）。在软土地基中通常中部的沉降较大，这时房屋将从底层开始出现沿 45° 角方向的斜裂缝，其特点是下层的裂缝宽度较大。

(2) 一端沉降较多的沉降。当地基软硬不均时，如一部分位于岩层，另一部分位于土层，这时房屋将沿顶部开始出现沿 45° 角方向的斜裂缝，其特点是顶层的裂缝宽度较大。当不均匀沉降稳定以后，这类裂缝将不再发展。

1.2.2.3 温度裂缝

由于结构周围温度变化（主要是大气温度变化）引起结构构件热胀冷缩的变形称为温度变形。砖墙的线膨胀系数约为 $5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 、混凝土的线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，也就是说在相同温度下，钢筋混凝土构件的变形比砖墙的变形要大1倍以上。在昼夜温差大的炎热地区，屋顶受阳光照射温度上升，屋面混凝土板体积膨胀，板下墙体限制了板的变形，在板的推力下，墙向外延伸，墙体中产生拉应力、剪应力，当应力较大时，将产生水平裂缝。在转角处，水平裂缝贯通形成包角裂缝（图1-8）。除顶层的水平裂缝和包角裂缝外，在房屋两端的窗洞口的内上角及外下角还可能出现因温度应力引起的“八”字形裂缝。房屋愈长，屋面的保温、隔热效果愈差，屋面板与墙体的相对变形愈大，裂缝愈明显。

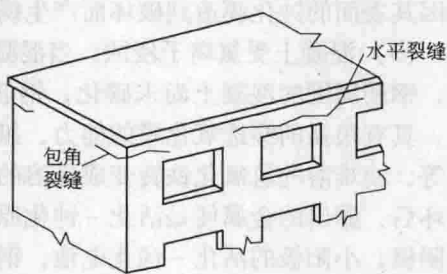


图1-8 顶层水平裂缝和包角裂缝

1.2.3 混凝土结构的病害

混凝土结构是钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和素混凝土结构的总称，也是目前我国应用最广泛的一种结构形式。在讨论混凝土结构的检测前先了解混凝土结构的损伤机理及病害是有必要的。混凝土是结构工程中广泛应用的一种工程材料，它具有较高的抗压强度，但它的抗拉强度较低，因而在混凝土结构的抗拉区通常都是要配置抗拉强度较高的钢筋。因此混凝土结构的损坏，既包含了混凝土的风化和侵蚀，又包含了钢筋的锈蚀，在多数情况下，钢筋的锈蚀更为突出。以下对混凝土结构常见的病害进行介绍。

(1) 钢筋锈蚀。为了保证混凝土结构的耐久性，受力钢筋在混凝土结构中规定了混凝土保护层最小厚度。混凝土保护层具有防止钢筋锈蚀的保护作用。这是因为混凝土中水泥水化产物的碱性很高，pH值为12~13，在这种高碱性的环境中，钢筋表面形成一层致密的氧化膜处于钝化状态，从而防止了混凝土中钢筋的锈蚀。但是，通常钢筋混凝土结构是带裂缝工作的，即使处在正常使用阶段，在受拉区的混凝土仍会出现裂缝，但裂缝的宽度受到限制。过去认为混凝土开裂后，裂缝处的钢筋会逐步锈蚀，但是混凝土结构规范的耐久性专题研究组经过大量调查发现，尽管混凝土的裂缝宽度达到0.4mm以上，只要构件处于干燥的环境，裂缝处的钢筋几十年也没有出现锈蚀的现象。只有在潮湿的环境，在有水和氧气侵入的条件下，钢筋才会锈蚀。首先形成氢氧化铁，随着时间的推移，一部分氢氧化铁进一步氧化，生成疏松的、易剥落的沉积物——铁锈（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）。铁锈的体积膨胀（一般增加2~4倍）可把混凝土保护层胀开，而使钢筋外露。随着钢筋锈蚀的发生，混凝土开裂、剥落，钢筋和混凝土的粘结力就不断丧失，钢筋截面积就减