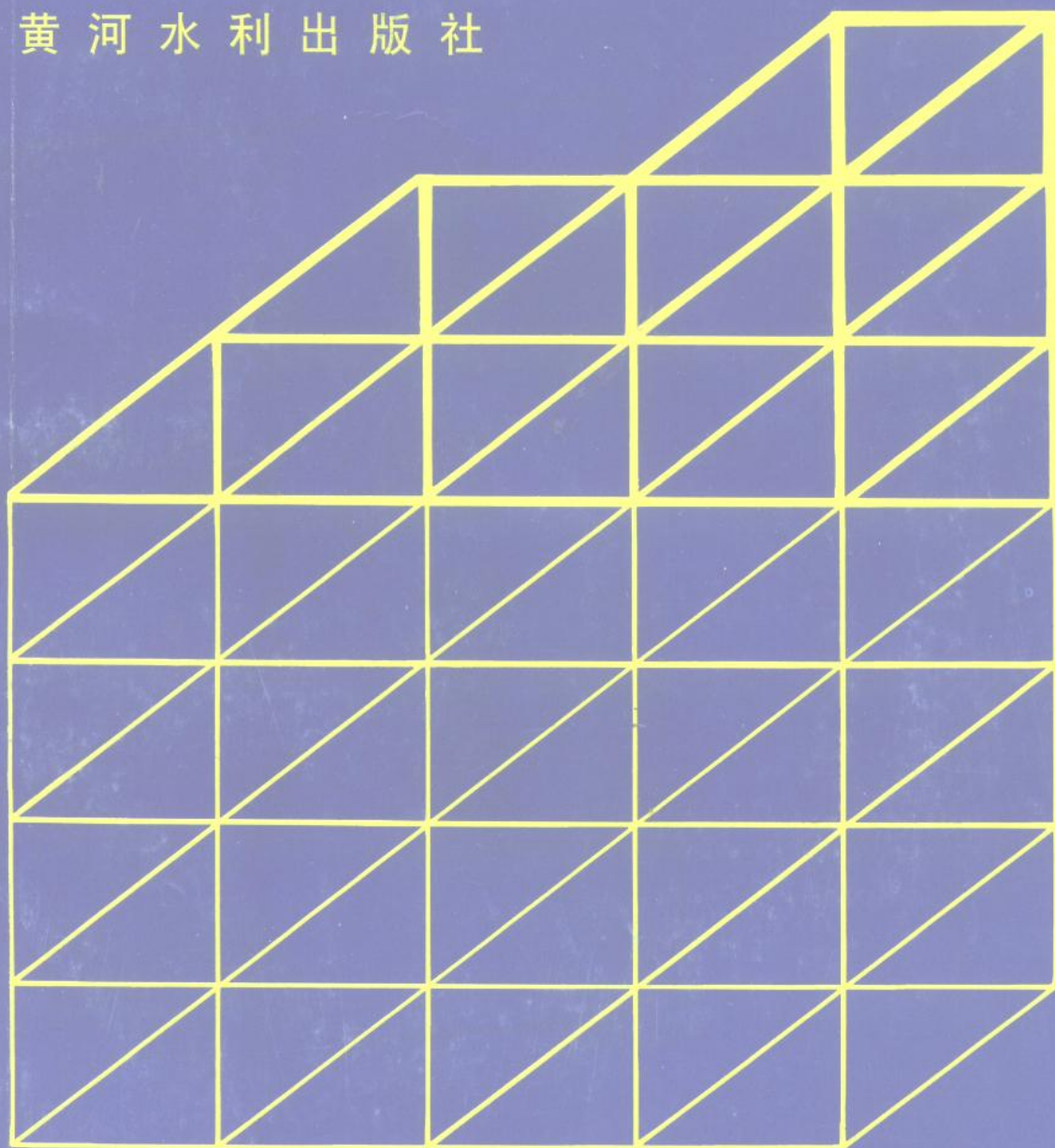


# 房屋 多层改造加固工程

张聚山 王俊林 编著  
黄河水利出版社



房屋多层改造加固工程

黄河

10746.2

(豫)新登字 010 号

### 内 容 提 要

本书系统地介绍了房屋损坏及完损程度评定、可靠性鉴定及评级、检测技术、修缮改造及增层的技术管理、增层结构设计、结构加固技术及增层房屋的地基基础等内容,并针对房屋结构中钢筋混凝土结构、砌体结构及地基基础三部分对上述问题进行阐述。可作大专院校工民建专业教材及供工程设计、施工、质检、维修及管理人员参考。

D1632 / 01

房屋增层改造加固工程 张聚山 王俊林 编著

责任编辑:许立新

出 版:黄河水利出版社

(地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层)

邮 编:450003

印 刷:黄委会设计院印刷厂

发 行:黄河水利出版社

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 别:1995 年 12 月 第 1 版

印 次:1995 年 12 月郑州第 1 次印刷

印 张:13

印 数:1—2100 册

字 数:31.3 万

ISBN7-80621-044-x  
TU·2 定价:17.80 元

# 前 言

低层楼房增层改造,是缓解兴建楼房占用农田、土地、资金的矛盾,缓解城市住房紧张,进行旧城改造的有效途径。世界上经济发达国家的建设大体上都经历三个阶段:即大规模新建,新建与维修改造并举,重点转向旧房的维修改造。所以,对旧房增层改造问题的研究,已成为国内外工程界关注的课题。由此,为满足建筑工程专业学生及工程技术人员的迫切需要,我们编写了这本专述房屋增层改造加固工程技术的书。在编写过程中,我们参阅了大量的参考资料,包括一些最新科研成果及工程实例总结,以突出本教科书的实用价值。

限于编者水平,本书不足和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1995 年 8 月

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第一章 房屋损坏及完损程度评定              | (1)  |
| 第一节 房屋在使用过程中的损坏              | (1)  |
| 一、房屋损坏类型                     | (1)  |
| 二、钢筋混凝土结构损坏分析                | (1)  |
| 三、砌体结构损坏分析                   | (7)  |
| 四、地基基础的病变和损坏                 | (12) |
| 第二节 房屋完损程度的评定                | (18) |
| 一、评定依据及分类                    | (18) |
| 二、评定方法                       | (18) |
| 第三节 危险房屋鉴定                   | (23) |
| 一、几个概念                       | (23) |
| 二、危房鉴定的依据                    | (24) |
| 三、危险构件的鉴定单位                  | (24) |
| 四、CJ13-86 规定的危险地基、结构构件的标志    | (25) |
| 五、危房范围的判定                    | (27) |
| 第四节 房屋使用寿命评定和预测              | (28) |
| 一、房屋寿命概念                     | (28) |
| 二、结构寿命理论                     | (28) |
| 第二章 既有房屋可靠性鉴定与评级             | (33) |
| 第一节 概述                       | (33) |
| 一、建筑物鉴定的目的                   | (33) |
| 二、可靠性鉴定概念                    | (33) |
| 三、鉴定依据                       | (33) |
| 第二节 鉴定程序                     | (34) |
| 一、初步调查内容                     | (34) |
| 二、详细调查内容                     | (34) |
| 三、鉴定报告内容                     | (35) |
| 第三节 鉴定方法                     | (35) |
| 一、传统经验法                      | (35) |
| 二、实用鉴定法                      | (35) |
| 三、可靠度鉴定法                     | (36) |
| 第四节 建筑结构可靠性评级                | (41) |
| 一、三层次四等级的意义                  | (42) |
| 二、鉴定等级标准                     | (42) |
| 三、GBJ144-89 对子项、项目四级标准具体规定标志 | (43) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 四、评级方法·····                      | (50)  |
| 五、关于评级法的讨论·····                  | (53)  |
| <b>第五节 结构耐久性评估</b> ·····         | (53)  |
| 一、结构耐久性评估评定等级标准·····             | (54)  |
| 二、混凝土结构耐久性评估·····                | (54)  |
| <b>第三章 检测技术</b> ·····            | (56)  |
| <b>第一节 检验的类别、项目和内容</b> ·····     | (56)  |
| 一、既有建筑物的质量检验分类·····              | (56)  |
| 二、检验项目和内容·····                   | (57)  |
| <b>第二节 混凝土强度的现场测定</b> ·····      | (59)  |
| 一、非破损法测定混凝土强度·····               | (59)  |
| 二、半破损法测定混凝土强度·····               | (67)  |
| <b>第三节 混凝土构件中的钢筋检验</b> ·····     | (71)  |
| 一、钢筋位置和保护层厚度的测定·····             | (71)  |
| 二、钢筋锈蚀程度的检验·····                 | (72)  |
| 三、钢筋强度及实际应力检测·····               | (73)  |
| <b>第四节 混凝土构件裂缝检测</b> ·····       | (75)  |
| 一、混凝土构件表面裂缝调查与检测·····            | (75)  |
| 二、混凝土构件裂缝深度的检测·····              | (75)  |
| <b>第五节 混凝土内部空洞和不密实区的测定</b> ····· | (77)  |
| <b>第六节 砖砌体结构的检测</b> ·····        | (78)  |
| 一、砖砌体强度测定方法分类·····               | (78)  |
| 二、砖砌体强度的间接测定法·····               | (79)  |
| 三、砌体强度的直接测定法·····                | (83)  |
| 四、砖的强度和砌体质量的检测·····              | (85)  |
| 五、砌体结构裂缝检测·····                  | (86)  |
| <b>第七节 地基基础变形观测</b> ·····        | (87)  |
| 一、建筑物倾斜观测·····                   | (87)  |
| 二、建筑物沉降观测·····                   | (88)  |
| <b>第四章 房屋修缮、改造及增层的技术管理</b> ····· | (91)  |
| <b>第一节 房屋修缮工程</b> ·····          | (91)  |
| 一、修缮工程分类·····                    | (91)  |
| 二、房屋修缮周期的确定·····                 | (92)  |
| 三、房屋修缮方法·····                    | (92)  |
| <b>第二节 旧房改造工程</b> ·····          | (95)  |
| 一、城市旧房改造类型·····                  | (95)  |
| 二、旧房改造方法·····                    | (96)  |
| 三、住宅建筑改造工程实践·····                | (96)  |
| <b>第三节 房屋增层工程</b> ·····          | (100) |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 一、房屋增层的调查分析 .....                   | (100) |
| 二、房屋增层改造工程的利弊分析 .....               | (102) |
| 三、房屋增层改造方案及选择 .....                 | (103) |
| 四、既有房屋增层可行性分析 .....                 | (105) |
| 五、增层房屋技术经济评价 .....                  | (107) |
| <b>第五章 房屋增层的结构设计</b> .....          | (109) |
| <b>第一节 房屋增层结构设计的一般规定及构造措施</b> ..... | (109) |
| 一、一般规定 .....                        | (109) |
| 二、构造措施 .....                        | (111) |
| <b>第二节 房屋增层结构设计方案选择</b> .....       | (113) |
| 一、房屋增层结构方案类型 .....                  | (113) |
| 二、房屋增层方案设计时应遵循的原则 .....             | (113) |
| <b>第三节 房屋增层合理结构形式分析</b> .....       | (114) |
| 一、砖混结构房屋直接增层方案 .....                | (115) |
| 二、多层内框架结构房屋直接增层方案 .....             | (117) |
| 三、多层全框架结构房屋直接增层方案 .....             | (118) |
| 四、底层全框架结构房屋直接增层方案 .....             | (119) |
| 五、外套结构增层方案 .....                    | (120) |
| 六、外扩连接式或增设剪力墙方案 .....               | (131) |
| 七、加设内柱式外套框架增层方案 .....               | (132) |
| 八、室内加层法和地下加层法 .....                 | (132) |
| <b>第四节 房屋增层合理层数的确定</b> .....        | (132) |
| 一、确定原则 .....                        | (132) |
| 二、增层层数的限制 .....                     | (133) |
| 三、房屋增层层数的计算公式与图表 .....              | (134) |
| <b>第五节 关于房屋增层若干问题</b> .....         | (136) |
| 一、关于地震区房屋加层合理形式选择 .....             | (136) |
| 二、关于增层结构的连接构造设计 .....               | (136) |
| 三、其他有关问题 .....                      | (138) |
| <b>第六章 房屋结构加固技术</b> .....           | (141) |
| <b>第一节 概述</b> .....                 | (141) |
| 一、结构构件加固补强的原因和目的 .....              | (141) |
| 二、加固补强工作特点及计算原则 .....               | (141) |
| 三、房屋结构加固途径及分类 .....                 | (143) |
| <b>第二节 混凝土结构加固技术</b> .....          | (144) |
| 一、混凝土加固结构受荷性能分析 .....               | (144) |
| 二、混凝土结构常用加固方法选择 .....               | (146) |
| 三、加大截面加固法 .....                     | (147) |
| 四、外包钢加固法 .....                      | (148) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 五、预应力加固法 .....                    | (151) |
| 六、增设支点加固法 .....                   | (154) |
| 七、托梁拔柱技术 .....                    | (156) |
| 八、粘钢加固法 .....                     | (158) |
| 九、裂缝修补 .....                      | (162) |
| <b>第三节 砌体结构加固技术</b> .....         | (163) |
| 一、提高砌体结构承载力加固方法 .....             | (163) |
| 二、加强整体性、提高承载力及抗震能力之加固 .....       | (164) |
| 三、组合截面构件加固计算 .....                | (164) |
| <b>第七章 增层房屋的地基基础</b> .....        | (167) |
| <b>第一节 既有房屋地基土承载力标准值的确定</b> ..... | (167) |
| 一、现场取土样试验查规范表格法 .....             | (167) |
| 二、静力触探法 .....                     | (168) |
| 三、小载荷板试验法 .....                   | (168) |
| 四、公式计算法 .....                     | (168) |
| 五、按土的抗剪强度指标确定 .....               | (169) |
| 六、经验法 .....                       | (171) |
| <b>第二节 增层房屋地基基础设计计算</b> .....     | (171) |
| 一、计算原则 .....                      | (171) |
| 二、地基承载力计算 .....                   | (172) |
| 三、地基变形计算 .....                    | (173) |
| 四、充分发挥既有房屋地基承载力之措施 .....          | (173) |
| <b>第三节 基础托换技术</b> .....           | (176) |
| 一、基础加宽托换 .....                    | (176) |
| 二、坑式托换 .....                      | (178) |
| 三、桩式托换 .....                      | (178) |
| 四、灌浆托换 .....                      | (182) |
| 五、基础减压和加强刚度托换 .....               | (182) |
| 六、高压喷射注浆托换 .....                  | (183) |
| <b>第四节 支撑系统</b> .....             | (183) |
| 一、临时支撑 .....                      | (184) |
| 二、永久支撑 .....                      | (185) |
| <b>第五节 建筑物纠倾技术</b> .....          | (185) |
| 一、扛基础纠倾法 .....                    | (187) |
| 二、锚杆静压桩纠倾法 .....                  | (187) |
| 三、静力压入桩纠倾法 .....                  | (187) |
| 四、框梁顶升纠倾法 .....                   | (188) |
| 五、沉井排水纠倾法 .....                   | (188) |
| 六、沉井深层冲水排土法纠倾 .....               | (189) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 七、辐射井射水取土法纠倾 .....    | (190) |
| 八、应力解除法纠倾 .....       | (191) |
| 九、水力螺旋追踪控制法纠倾 .....   | (192) |
| 十、桩体卸荷法纠倾 .....       | (192) |
| 十一、增层反压法纠倾 .....      | (193) |
| 十二、顶推纠倾法 .....        | (193) |
| 十三、综合纠倾法 .....        | (193) |
| 十四、建筑物纠倾方法的合理选择 ..... | (194) |



# 第一章 房屋损坏及完损程度评定

## 第一节 房屋在使用过程中的损坏

### 一、房屋损坏类型

房屋建成交付使用后,即开始损坏,这是自然规律。

房屋因饱受自然界风、雨、霜、雹和冰冻的袭击,空气中有害物质的污染侵蚀及潮湿、腐烂等作用,促使各结构、装饰部件的建材开始老化;或因设计、施工中产生的缺陷,或受外界震动力的影响,或受蚁患的蛀蚀而造成之损坏,属自然损坏。

房屋在使用过程中,各结构、装饰部件受到磨、碰、撞击或使用不当,致使结构、装饰部件发生局部损伤或损坏,属于人为损坏。

房屋的各部位,诸如屋面、外墙粉刷、外门窗等外露部位及房屋内部的结构、装修、设备等,由于所处的自然条件和使用状况的不同,损坏发展是不均衡的。而且其损坏程度还决定于材料的强度和抗老化的性能,故损坏有快有慢。一般地说,房屋自然损坏的速度是缓慢的。

材料在建筑中,除要受到各种荷载的作用外,还要受到环境中许多自然因素的破坏作用。这些破坏作用包括物理、化学及生物等风化作用。

物理风化作用有干湿变化、温度变化及冻融变化、水洗冲刷等。这些作用将使建筑材料发生体积胀缩,致使各部位产生不均匀变形,从而导致裂缝的产生与挠曲,久而久之,使构件逐渐破碎。寒冷冰冻地区冻融变化、水位交替变化频繁的构件;经常处于高温状态下的建筑物或构件;温差变化大的部位,对材料都起着显著的破坏作用。

化学风化作用包括酸、碱、盐等物质及有害气体的侵蚀作用,使其材料化学成分变化,致使材料逐渐变质而破坏。化学风化作用的主要方式有氧化作用、水化作用、水解作用、溶解作用、碳酸化作用。如金属构件的锈蚀;建筑石膏在潮湿环境中,强度显著降低,体积膨胀;石料、混凝土的腐蚀、碳化等现象就是化学风化作用的显著表现。

生物风化作用是指虫、菌的作用。由于虫蛀蚀,细菌、苔藓之类分泌出的有机酸溶液等,都能分解材料的成分,促使建筑结构或构件破坏。

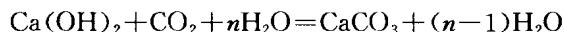
上述三种破坏作用,实际上不是独立进行的,三者的相互作用可加剧材料的破坏,砖、石、混凝土等矿物材料,多是由物理作用而破坏,同时还可能会受到化学的破坏作用。金属材料主要是由于化学作用而引起的腐蚀。木材等有机质材料,常因生物作用而破坏。沥青材料、高分子材料在阳光、空气和热的作用下,会逐渐老化而使材料变脆而断裂。

### 二、钢筋混凝土结构损坏分析

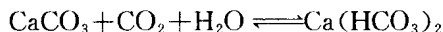
影响房屋构件的抗性及安全使用的破坏现象要数混凝土碳化、钢筋锈蚀、裂缝开展最为普遍,也是房屋鉴定检查最常见之项目。

### (一)混凝土碳化

混凝土的碳化(中性化)作用是指二氧化碳与水泥胶块中氢氧化钙作用,生成碳酸钙和水的反应。在已经硬结的普通硅酸盐水泥中所含的游离氢氧化钙最多,与空气中的二氧化碳和水作用生成碳酸钙结晶,释放出水分并被蒸发。



此时,碳酸钙与二氧化碳和水反应生成重碳酸氢钙。



重碳酸氢钙不稳定,易溶于水,因此水泥胶块中的氢氧化钙,通过转变为重碳酸钙而溶失,其氢氧化钙浓度降低,即碱度降低,pH 值碳化前为 12~13,而碳化后为 8~10,减弱对钢筋的保护作用,而导致钢筋锈蚀。而且碳化亦可引起水泥胶块化学组成及组织结构的变化,从而对混凝土的强度和收缩性产生有影响。再者由于混凝土的碳化层产生碳化收缩,对其核心产生压力,而表面碳化层产生拉应力,可能产生细微裂缝而使混凝土抗拉、抗折强度降低。

### (二)混凝土内钢筋的锈蚀

当水泥水化后,生成大量氢氧化钙,在温度合适时,钢筋周围混凝土中的水分,呈饱和状态并含有氢氧化钙的水溶液,其碱性较高,在钢筋表面形成钝化膜(属于一种氧化铁保护膜),即可保护钢筋不锈蚀。但由于混凝土碳化的结果,使 pH 值不断下降,并不断向内部深化,当碳化深度达到或超过钢筋保护层时,钢筋表面的钝化膜遭到破坏,失去保护能力,钢筋便开始锈蚀。当 pH 值小于 5 时,钢筋锈蚀很厉害;而 pH 值约等于 14 时,常温下钢筋不再锈蚀。这是在正常使用状态下,钢筋锈蚀的机理。关于侵蚀性气体、介质的侵入,所造成的钢筋腐蚀,机理更复杂,危害更大,此处不再赘述。钢筋锈蚀的危害会使断面逐渐减小,并造成混凝土之间粘着力降低,影响构件的强度安全。同时钢筋由于锈蚀而体积膨胀(铁锈体积较未锈铁增大 2.2 倍),还会使混凝土保护层破裂甚至脱落,从而降低结构物的受力性能和耐久性能。

### (三)混凝土的缺陷、腐蚀和渗漏

混凝土由于材质、制作、使用条件等多方面的因素,而会形成各种缺陷,并会产生腐蚀、渗漏等病害。暴露在混凝土外表的缺陷,主要有蜂窝、麻面、露筋、掉角、损裂等;隐藏在混凝土内部的缺陷,有空洞、蜂窝。此外,钢筋保护层不足、混凝土的强度、密实度、抗渗性、稳定性、耐久性不良等问题,都会影响房屋的正常使用年限,是房屋修缮工程应该注意的问题。

### (四)钢筋混凝土结构的裂缝

结构物裂缝是一个带普遍性的技术问题。由于建筑物的破坏往往始于裂缝,所以,人们一般把裂缝的出现视作危险的征兆,甚至产生“裂缝恐惧感”。虽然结构设计是建立在强度的极限承载力基础上的,但大多数工程的使用标准却是由裂缝控制的。

裂缝是固体材料中的某种不连续现象,在学术上属于材料强度理论范畴。裂缝的主要原因不外乎以下三种:

- (1)由外荷载(如静、动荷载)的直接应力,即按常规计算的主要应力引起的裂缝。
- (2)由外荷载作用,结构次应力引起的裂缝。
- (3)由变形引起的裂缝。即结构由温度、收缩和膨胀,不均匀沉降等原因引起的裂缝。

根据国内外调查资料,工程实践中结构物裂缝的原因,属于变形变化(温度、收缩、不均匀沉降)所引起裂缝占大多数,占 80%~85%,属于荷载引起的仅占 15%~20%。

### 1. 荷载裂缝

由于钢筋混凝土结构在荷载(静力或动力)作用下的变形而产生的裂缝称为荷载裂缝。这种裂缝一般多出现在构件受拉区域、受剪区域或振动严重等部位,并按照不同受力性质和受力大小而具有不同形状和规律。

(1)受弯构件出现的荷载裂缝。常见的有竖向裂缝和斜裂缝两种。竖向裂缝一般出现在梁、板结构弯矩最大的横截面上。如简支梁开裂在跨中由底部逐渐向上发展,其数量和宽度与荷载大小有关。当荷载增大时,裂缝随着增多和扩大。斜裂缝一般在剪力最大的部位、支座附近,由下部开始,多数沿 $45^\circ$ 方向逐渐向跨中上方开展,是弯矩与剪力共同作用的结果,是斜截面受力的标志。

(2)受压构件或局部承压出现的荷载裂缝。轴心受压的钢筋混凝土柱的裂缝的出现,将意味着混凝土结构破坏的开始,如发现这类的裂缝,必须及时进行加固处理。

小偏心受压和受拉区钢筋较多的大偏心受压构件,裂缝的破坏情况基本上和轴心受压相似,只是在承压较大一边产生裂缝和破坏。

大偏心受压且受拉区配筋不多的构件,基本上类似受弯构件。例如:由于地基横向不均匀沉降,引起钢筋混凝土柱偏心受压加大,与受弯构件相类似,柱的中部受拉区产生多条水平裂缝。

另外,局部承压(如牛腿等)经试验表明:一般在极限荷载的 $20\%\sim 40\%$ 时出现竖向裂缝,但它开展很小,对牛腿受力性能影响不大。荷载继续增加,在极限荷载的 $40\%\sim 60\%$ 时,在加载板内侧附近出现第一条斜裂缝,此后继续逐级加载,除这条裂缝不断发展外,几乎不再出现第二条裂缝。当加到极限荷载的 $80\%$ 时,在荷载板下部突然出现第二条裂缝,预示牛腿将临近破坏。见图 1-1 所示。

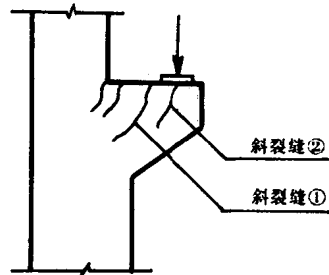


图 1-1 牛腿试压裂缝示意图

混凝土局部承压强度较高,因而构件局部承压裂缝较少。但由于设计上失误,如抗剪钢筋不足,或因由于施工质量不良,承压面不平,应力过度集中和偏心等原因,也会产生裂缝。

(3)受拉、受扭构件的裂缝原因。钢筋混凝土轴心受拉构件中,由于混凝土的抗拉强度很低,破坏时的受拉极限变形 $\epsilon_e$ 很小(约为 $0.0001$ ),所以,当构件承受不大的拉力时,混凝土就发生开裂。而这时钢筋中应力还很小,随着荷载的不断增大,裂缝不断展开,钢筋应力相应地加大,达到屈服点时,裂缝将急剧展开,最后导致构件破坏。受拉构件在荷载作用下所产生的裂缝,沿正截面扩展,和钢筋拉力轴心相垂直,缝与缝间一般具有相等的间距。

受纯扭的钢筋混凝土构件较少,一般都是扭转和弯曲同时存在。无筋的矩形混凝土构件在扭矩作用下,先在构件长边的最弱处产生一条斜裂缝,然后向两边延伸,最后构件三面开裂,一面受压,形成一个空间斜曲裂面,随即破坏,属脆性破坏,见图 1-2 所示。

当混凝土构件内有钢筋时,构件内产生近于 $45^\circ$ 倾斜角的螺旋形裂缝,绝大部分拉力由钢筋承担,破坏时的抗扭能力大大增加。钢筋混凝土结构在正常配筋(低配筋)的情况下,由于外扭矩的作用,一般属于塑性破坏。

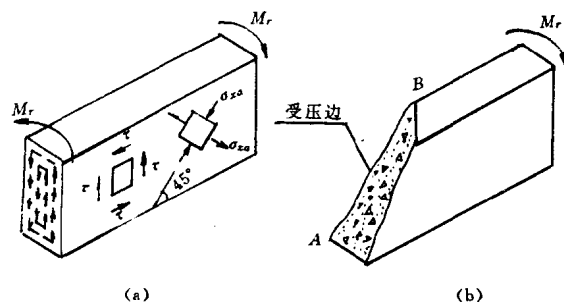


图 1-2 无筋矩形混凝土受扭矩破坏示意图

## 2. 温度裂缝

钢筋混凝土结构的温度裂缝大多由于大气温度变化,受周围环境高温的影响和大体积混凝土施工时产生的大量水化热等造成。

(1)当受热温度升至 60~100℃时,钢筋混凝土构件就出现发丝裂缝。当温度在 150℃以上时,水泥石产生收缩变形,而骨料发生膨胀,这就导致水泥石和骨料间的粘结逐渐破坏而产生裂缝。在受弯、受拉、受压构件中,因其附加应力和原荷载应力叠加,裂缝更为严重。

(2)周围气温和湿度出现剧烈变化的钢筋混凝土梁板某些部位会产生裂缝,发生在板上时,多为贯穿裂缝;发生在梁上时,多为表面裂缝。

(3)冶金钢铁等工业建筑结构中,由于受热源高温的影响,常使一些钢筋混凝土结构产生裂缝。在高温烘烤影响下,发生的裂缝较深。当构件表面温度在 80~97℃时,导致混凝土强度的减弱。

## 3. 干缩裂缝

混凝土在水化硬结过程中,由于水泥颗粒不断水化,而形成水泥骨架的不断紧密,造成体积减小。再者,由于混凝土内水分不断蒸发,也使体积产生收缩,占总收缩量的 80%~90%。上述两种收缩的结果,就形成混凝土的干缩变形,由于干缩变形引起混凝土开裂,即为“干缩裂缝”,多在表面形成规则的发丝裂缝。

此外,还有腐蚀裂缝、施工裂缝、沉降裂缝和振动裂缝等。其沉降裂缝和振动裂缝与砌体结构大致类似,见下节内容。

## (五)结构物的抗裂分析

研究裂缝及抗震问题的专家建议引入“韧性”及“结构的韧性率”来研究结构物抗裂性能是十分有益的。

所谓“韧性”是指材料达到破坏时单位体积所需的功,即单位体积破坏所需的能量。可以用应力—应变关系予以量化。如图 1-3 所示,某材料的应力—应变曲线所包围的面积  $\Omega$  即为材料的韧性,公式表示如下

$$\Omega = \int_0^{\epsilon_0} \sigma d\epsilon \quad (\text{MPa} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}}) \quad (1-1)$$

由图 1-3 可知:只有很高的强度,但变形很小的材料,韧性不好,或者有很大的粘性变形但强度太低,韧性也不好;只有二者兼备的材料韧性最好。

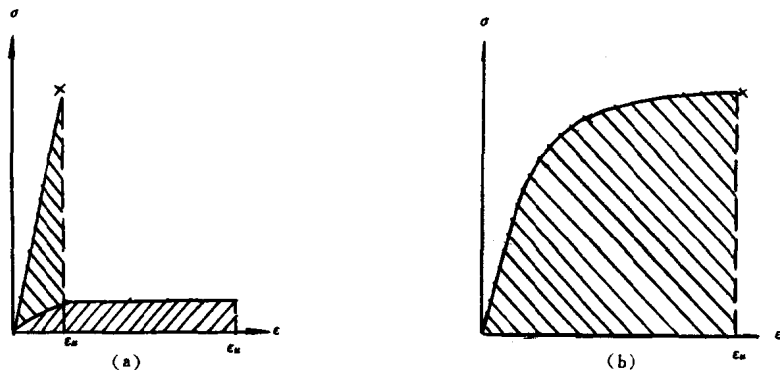


图 1-3 韧性示意图

(a) 韧性不好; (b) 韧性良好

对动态变形裂缝来说,为达到所谓“裂而不倒”的状态,采用延性比(韧性率)来表征抗震结构物的韧性是合适的,而且可移植到结构裂缝控制的计算中,其结构的韧性率  $G$  的定义为

$$G = \text{结构的韧性率} = \frac{\text{极限破坏时变形}}{\text{屈服时变形}} \quad (1-2)$$

例如: 对受弯构件

$$G = \frac{\varphi_u}{\varphi_y}$$

对轴心拉压构件

$$G = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$$

式中  $\varphi_u$ ——极限转角;

$\varphi_y$ ——屈服转角;

$\varepsilon_u$ ——极限拉伸;

$\varepsilon_y$ ——屈服拉伸。

这种定义说明,结构具备足够的韧性率可以避免偶然超载引起的脆性破坏,可以在破坏前给人们以预兆并能适应约束应力状态对变形的要求。

混凝土结构设计规范(GBJ10-89)中所列的抗裂验算及裂缝宽度计算公式中之混凝土应力、钢筋应力、构件刚度、混凝土弹性模量及构件形状尺寸等因素,都不同程度地反映出韧性的基本定义中的变形因素。

图 1-4 所示简支梁裂缝扩展方向是垂直于主应力迹线的。根据有关理论(S. Timosenko, 1957),当梁的长高比( $L/H$ )较小时,靠近端部的斜拉应变是控制裂缝开展之因素;反之, $L/H > 0.6$  时,由于弯曲,梁中部的正拉应变更易接近临界状态。尤其是当  $L/H > 2$  时,弯曲拉应变引起的竖向裂缝可能成为控制因素。借此评价与鉴定裂缝部位及控制尺寸。

#### (六) 钢筋混凝土结构裂缝处理的界限

裂缝是否需要处理,应根据裂缝性质、缝宽、所处环境、混凝土内是否掺有氯盐、结构类别(静定或超静定)、配筋情况等综合考虑。对处于正常室内环境条件下的温度收缩等变形裂缝,其处理的界限可适当放宽。对荷载裂缝,在无充分依据时,建议不要任意突破国家标准规定的裂缝宽度控制界限。有关裂缝最大宽度允许值见表 1-1、表 1-2、表 1-3、表 1-4。

##### 1. 我国国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)

该规范规定普通钢筋混凝土结构的裂缝控制等级为三级(允许受拉边缘出现裂缝,构件

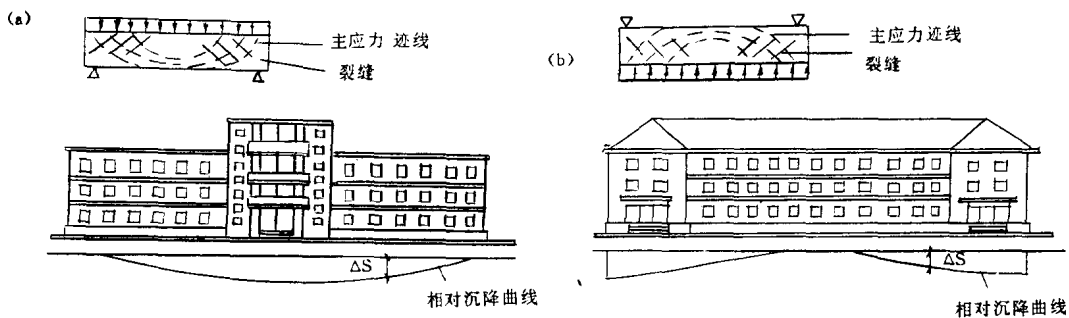


图 1-4 混合结构房屋外纵墙上的斜裂缝

(a)墙体正向挠曲;(b)墙体反向挠曲

在开裂状态下工作),并规定了最大裂缝宽度允许值(见表 1-1)。

表 1-1 钢筋混凝土结构最大裂缝宽度允许值 (单位:mm)

| 钢筋级别    | 环境条件       | 构件种类          | 允许值      |
|---------|------------|---------------|----------|
| I<br>II | 室内正常环境     | 一般构件          | 0.3(0.4) |
|         |            | 屋面梁、托梁、中级制吊车梁 | 0.3      |
|         |            | 屋架、托架、重级制吊车梁  | 0.2      |
| III     | 露天或室内高湿度环境 | 各种构件          | 0.2      |

- 注 1. 属于露天或室内高湿度环境一栏的结构构件系指:直接受雨淋的构件;无围护结构的房屋中经常受雨淋的构件;经常受蒸汽或凝结水作用的室内构件(如浴室等);与土壤直接接触的构件。
2. 对处于平均相对湿度小于 60%地区,且可变荷载标准值与恒载标准值之比大于 0.5 的受弯构件,其最大裂缝宽度允许值可采用括弧内的数字。
3. 烟囱、筒仓及处于液体压力下的结构构件,其裂缝控制要求应符合现行专门规范的有关规定。

## 2. 我国国家标准《预制混凝土构件质量检验评定标准》(GBJ321-90)

该标准规定,钢筋混凝土构件和允许出现裂缝的预应力混凝土构件进行裂缝宽度检验时,在正常使用短期荷载检验下,受拉主筋处的最大裂缝宽度实测值,不超过表 1-2 的数值。

表 1-2 构件检验时的最大裂缝宽度允许值 (单位:mm)

| 表 1-1 中的裂缝宽度允许值 | 检验时裂缝宽度允许值 |
|-----------------|------------|
| 0.2             | 0.15       |
| 0.3             | 0.20       |
| 0.4             | 0.25       |

## 3. 日本《混凝土裂缝调查及修补规程》

该规程根据耐久性或防水性判断裂缝是否需要处理的界限如表 1-3 所示。

## 4. 其他国家标准的规定

其他国家标准规定见表 1-4。

表 1-3

按照裂缝宽度所定的处理界限

| 界 限               | 其他因素 | 建 筑 功 能 |      |      |        |
|-------------------|------|---------|------|------|--------|
|                   |      | 按耐久性要求  |      |      | 按防水性要求 |
|                   |      | 严重的     | 中等的  | 一般的  |        |
| 应处理的裂缝宽度<br>(mm)  | 大    | >0.4    | >0.4 | >0.6 | >0.2   |
|                   | 中    | >0.4    | >0.6 | >0.8 | >0.2   |
|                   | 小    | >0.6    | >0.8 | >1.0 | >0.2   |
| 不需处理的裂缝宽度<br>(mm) | 大    | <0.1    | <0.2 | <0.2 | <0.05  |
|                   | 中    | <0.1    | <0.2 | <0.3 | <0.05  |
|                   | 小    | <0.2    | <0.3 | <0.3 | <0.05  |

注 1. 环境条件:严重的系指含有少量酸、盐或双氧水的液体、侵蚀性气体及土、侵蚀性工业地带或海洋;中等的系指高湿度或有侵蚀性气体的环境,或受流水作用及气候变化剧烈的地区等;一般的系指居住及办公用建筑物内部或每年受高湿度作用时间较短的情况(如在相对湿度 60% 的环境中,时间不超过三个月)。

2. 其他因素(大、中、小):根据裂缝深度、型式,保护层厚度,表面有无涂层,原材料,配合比及施工缝等情况,综合分析裂缝对建筑物耐久性与防水性的影响程度,确定为大、中、小三种级别。

表 1-4

最大允许裂缝宽度标准

(单位:mm)

| 国名  | 规范       | 裂缝最大允许宽度      |      |
|-----|----------|---------------|------|
| 美国  | ACI 建筑规范 | 室内构件          | 0.38 |
|     |          | 室外构件          | 0.25 |
| 原苏联 | 钢筋混凝土规范  |               | 0.20 |
| 法国  | Brocard  |               | 0.4  |
| 欧洲  | 欧洲混凝土委员会 | 在严重腐蚀条件下的结构构件 | 0.1  |
|     |          | 无保护措施的正常结构构件  | 0.2  |
|     |          | 有保护措施的正常结构构件  | 0.3  |

### 三、砌体结构损坏分析

普通的混合结构房屋的墙、柱和基础等常采用砖、石砌筑而成,用作承重和围护结构。而砌体结构常见的病害缺陷有风化腐蚀、裂缝、倾斜或鼓凸变形、渗水湿润和热工性能不良等。

#### (一)砌体风化腐蚀损伤破坏

砌体结构块体(砖、石、混凝土砌块等)和砂浆或砌体构件随时间变化,由于自然作用(冻融作用、水冲刷、风化……)、化学腐蚀(酸、碱、盐的侵蚀、砌体软化分解……),基础不均匀下沉的发展,砌体裂缝恶性发展等,可造成砌体累积损伤与破坏,主要表现为砌体风化、剥落、砂浆粉化,导致墙体截面削弱、变形、倾斜和局部鼓凸。这不仅会影响房屋建筑美观,严重时会导致坍塌事故。

#### (二)墙、柱倾斜、鼓凸变形之损害

墙、柱的整体倾斜和局部鼓凸变形,亦是砌体结构常见的病害之一。由于倾斜、鼓凸而使墙、柱的轴线偏离了垂直位置,增大了受力偏心矩,从而降低了砌体原有的承载能力。发展严重时,将导致砌体丧失稳定性而破坏。因此,在修缮工程中,要重视墙、柱出现倾斜、鼓凸变形的预兆,加强对病害部位砌体的观测和检查,按受力情况对其强度和稳定性进行验算。

### (三)砌体裂缝分析

砌体常因刚度、强度不足,地基不均匀沉降,温度变化等因素引起砌体开裂,出现裂缝形式的斜裂缝、正“八”字形、倒“八”字形、水平裂缝及竖向裂缝等。故裂缝是房屋较大质量病害之一,轻者影响外形美观和使用功能,损害结构之整体性,降低工程寿命;重者使房屋失去使用价值,甚至倒塌报废。

#### 1. 温度裂缝

(1)热胀造成的裂缝。以正“八”字形斜裂缝和水平裂缝最为多见,常在墙顶两端1~2 间处斜裂或檐口下三皮砖处水平开裂。见图 1-5、图 1-6。

其原因为现浇整体式或装配式钢筋混凝土屋盖,当气温超过其形成时的温度(初温),钢筋混凝土屋盖就膨胀,而混凝土线膨胀系数是 0.000012,支承屋盖的墙体之砖砌体线胀系数仅为 0.000 005,两者相差 2.4 倍,其变形差造成砖砌体与屋盖之间产生剪切应力,而砖砌体沿水平灰缝抗剪强度极低,因此往往裂开。钢筋混凝土屋盖在阳光直射下,吸收的热量很难扩散,因此实际温度比气温高。在夏天,钢筋混凝土屋盖的实际温度常超过 40℃,再加上墙面的粉刷常掺有石灰膏,因此墙体具有比屋盖材料好的隔热与反射热的性能,墙体实际温度低于气温。这样屋盖与墙体还存在温差,造成两者变形差而温度应力更大。

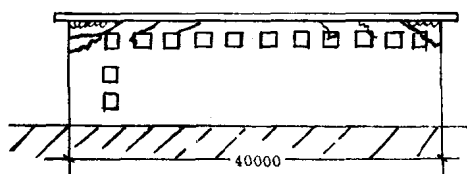


图 1-5 钢筋混凝土屋盖的膨胀裂缝

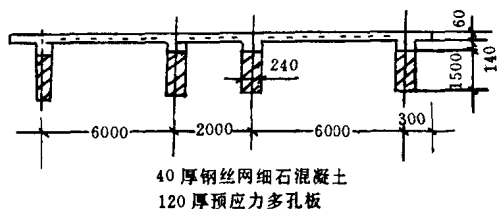


图 1-6 顶层横断面

(2)冷缩造成的裂缝。现浇整体式或装配式钢筋混凝土屋盖,当气温低于其形成时的温度时,钢筋混凝土屋盖就发生收缩。由于钢筋混凝土与砖墙两者温度线膨胀系数的差别,也能导致剪切裂缝。裂缝常发生在墙檐口下呈倒“八”字形竖向裂缝。见图 1-7。

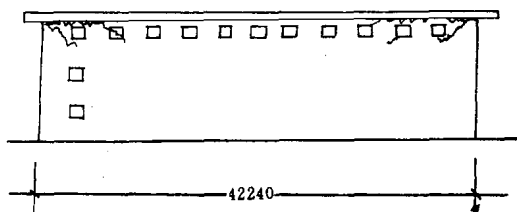


图 1-7 钢筋混凝土屋盖的收缩裂缝

(3)关于混合结构的温度应力的精确分析方法有弹性力学法、有限差分法、有限单元法,而最有效的方法属有限单元法。

按照弹性理论,墙体的应力属平面应力问题,一般均采用应力函数法,设艾瑞应力函数以  $\varphi$  表示,它必须满足双调合方程

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0 \quad (1-3)$$



墙体各点的应力与应力函数的关系

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \quad (1-4)$$

无论采用解析方法,还是数值法,都必须建立符合实际的边界条件,由边界条件即可求得墙内应力分布,即可判断开裂,但由于计算复杂,出现了一些近似计算方法用于工程实际。

(4)混合结构中砌体温度裂缝的近似算法。将钢筋混凝土的砌体的混合结构,在建筑平面上分割出与相应承重墙体共同工作的钢筋混凝土顶板,将墙体看作半无限大平面,其上有厚度为  $h$ ,宽度为  $b$  的板条。砌体的厚度为  $d$ ,弹性模量为  $E$ 。对于外墙及屋盖,板条宽度  $b$  可取檐口边至相邻两墙间距中心线间的距离,见图 1-8。

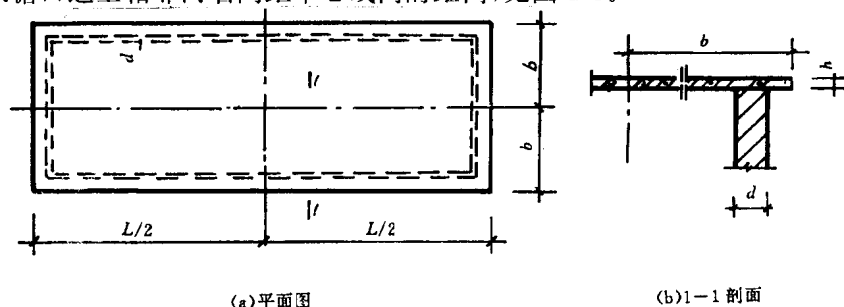


图 1-8 承重墙与顶板计算简图

考虑砌体与板条间的接触面紧密相接,根据结构构件相互约束的基本假定,当顶板的温度高于墙体时,在顶板内引起压应力,而在砌体顶部引起剪应力。在墙体的端部区域( $x = \frac{L}{2}$  时),变形差最大,因而具有最大剪应力,同时该处的主拉应力  $\sigma_T$  亦接近剪应力。

$$\sigma_T = \tau_{\max} = \frac{C_x (a_2 T_2 - a_1 T_1)}{\beta} \tanh \beta \frac{L}{2} \quad (1-5)$$

式中  $C_x$ ——水平阻力系数,混凝土板与砖墙  $C_x = 0.3 \sim 0.6 \text{ N/mm}^3$ ,混凝土板与钢筋混凝土圈梁  $C_x = 1.0 \text{ N/mm}^3$ ;

$a_2$ ——顶板线膨胀系数,混凝土  $10 \times 10^{-6}$ ;

$T_2$ ——顶部温差;

$a_1$ ——砌体线膨胀系数,砖砌体  $5 \times 10^{-6}$ ;

$T_1$ ——墙的温差;

$L$ ——顶板的长度;

$\beta$ ——参数,其值为  $\beta = \sqrt{\frac{C_x \cdot d}{bh \cdot E}}$ ;

$d$ ——墙体厚度;

$b$ ——墙体负担的顶板宽度;

$h$ ——顶板厚度;

$E$ ——砌体弹性模量。

式(1-5)为弹性剪应力,考虑升温较快,取应力松弛系数  $H(t) = 0.7 \sim 0.8$ ,则砖砌体徐变剪应力  $\tau_{\max}^* = \tau_{\max} H(t)$  得

$$\tau_{\max}^* = \sigma_T^* = \tau_{\max} H(t) \quad (1-6)$$