

JIANZHU GAIZAO GONGCHENGXUE

TONGJI DAXUE CHUBANSHE

建筑改造工程学

朱伯龙 刘祖华 著

同济大学出版社

TU746.3
Z.86

413906

建筑改造工程学

朱伯龙 刘祖华 著



00413906

同济大学出版社

建筑改造工程学

朱伯龙 刘祖华 著

同济大学出版社出版

(上海市四平路 1239 号, 邮编: 200092)

新华书店上海发行所发行

上海财经大学印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 3.5 字数: 100 千字

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—4 000 定价: 10.00 元

ISBN 7-5608-1943-5/TU·272

11/30/50

内 容 提 要

建筑改造工程学是建筑领域一门新兴的学科,对建筑业来说,21世纪将是“建筑改造的世纪”,建筑改造工程师将成为建筑业最热门的专业人才之一。

本书论述了对现有旧建筑物结构改造的意义、改造的方法、改造的过程、改造工程实例以及建筑改造的投资决策分析。具体分为九部分:概论;现有房屋的寿命预测;结构材料与材料检测;构件残余承载能力的分析;结构加固设计;加层及无损伤抗震加固;结构改造及工程实例;建筑改造中的投资决策;学科的发展。

值得一提的是,本书也为市政建设中的改造置换、充分发挥建筑物功用、调整城市建筑布局提供了启示和借鉴。

本书立足于实用,可供城市规划设计、建筑改造工程设计与施工人员阅读,也可作为相关专业大专院校学生的教材和参考书。

原来的城市布局不尽合理,人们意识到:如果对旧房进行改造,改变不合理的原状,可以调整城市布局。这样做,既经济,而且快速。

实践证明,改造旧房与建新房相比有三大优点:工期短,投资少,效益高。……以上海为例,一般效益可达 30 ~ 40 倍。

可以预言:对建筑业来说,21 世纪将是“建筑改造的世纪”。

前 言

本书又可简称为《结构改造学》

由于同济大学结构学院与华南建设学院(西院)良好的合作关系,笔者曾受聘为西院客座教授并同意为西院本科生开设“建筑改造加固工程学”课程,现将近 20 年来的研究结果和工程实践写成本书,作为教材。其中主要有同济大学教师张琨联、金国芳、施卫星、程才渊、熊海贝 和研究生肖建庄、尹华炳等人的贡献。

由于建筑改造加固是一门新学科,限于著者水平,错误之处在所难免,敬请专家、学者指正。

朱伯龙

1997 年 2 月 于上海

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 改造是城市发展的必然趋势	(1)
1.2 国内的建筑改造	(2)
1.3 旧区改造	(2)
1.4 建筑改造工程学的内容	(3)
第二章 现有房屋的寿命预测	(4)
2.1 混凝土寿命评估	(4)
2.2 砌体房屋寿命评估	(5)
2.3 房屋寿命的快速评估法	(6)
第三章 结构材料与材料检测	(8)
3.1 材料随年龄的变化	(8)
3.2 检测方法	(9)
3.3 危房与危房鉴定	(13)
3.4 检测结果及设计应用	(14)
第四章 构件残余承载能力的分析	(15)
4.1 概述	(15)
4.2 碳化与时间的关系	(15)
4.3 碳化混凝土的本构关系	(16)
4.4 承载能力的确定	(17)
第五章 结构加固设计	(21)
5.1 传统加固方法	(21)
5.2 近代加固方法	(24)

5.3	预应力加固——反弯矩法	(33)
5.4	间接加固法	(36)
第六章	加层及无损伤抗震加固法	(37)
6.1	加层方法概述	(37)
6.2	加层的材料	(37)
6.3	无损伤抗震加固法	(41)
第七章	结构改造项目与建筑改造工程实例	(43)
7.1	托梁切柱	(43)
7.2	打通承重墙	(45)
7.3	空间加层	(46)
7.4	纠偏	(48)
7.5	建筑改造工程实例一(上海中兴剧场改造)	(49)
7.6	建筑改造工程实例二(上海市罗宝路加油站切柱 顶升工程)	(54)
第八章	建筑改造中的投资决策	(59)
8.1	层次分析法(AHP 法)介绍	(59)
8.2	现有建筑评价的基本办法	(68)
8.3	完好程度评价	(68)
8.4	完善程度的评价	(75)
8.5	计算房屋的功能指数 V	(81)
8.6	现有建筑改造的先决条件	(82)
8.7	投资决策的基本设想	(84)
8.8	成本 C 计算	(86)
8.9	投资决策程序	(88)
8.10	投资决策实例分例	(88)
结束语	学科的发展	(99)

第一章 概 论

1.1 改造是城市发展的必然趋势

人类是以家庭的形式聚居的。从一个村落发展成一个城市,总是从有水源的地方向四周辐射建房,因此,在近代城市中,总有一个市中心。它往往是在拥有人口多、商业网点多的好地方。但是,城市不断发展,好地方新房子也插不进去,从而出现卫星城市,卫星城市的发展又将碰到同样的问题。

人们留恋市中心不愿向郊区动迁,这不仅是考虑环境或购物是否方便的问题,还有考虑远离亲戚、同学、朋友的问题以及业务往来的问题。

世界上大多数的城市不是一开始就有规划设计,往往是自然形成的,这样,原来的城市布局不尽合理,人们意识到:如果对旧房进行改造,改变不合理的原状,可以调整城市布局。这样做,既经济,而且快速。这就对建筑改造提出了客观要求。

实践证明,改造旧房与建新房相比有三大优点:工期短,投资少,效益高。举个例子来说,一幢单层厂房,由于屋架下弦高达12m,有人买下后在原厂房空间中增加了 n 层面积,成为高级写字间,写字间每平方米售价为购该厂房的 m 倍,改造费用为 C ,则效益为 $[mn(\text{购入价}) - C]$ 。以上海为例,一般效益可达 30 ~ 40 倍。

正由于上述原因,建筑改造业渐渐兴旺起来,有超过新建筑业的发展趋势,而且这一趋势是世界性的。

根据美国劳工部对 2000 年热门行业的预测,认为维修改造业将是最受欢迎的九类行业之一,建筑维修改造工程师将成为最热门的专业人才之一。西欧整个建筑业受到经济不景气的影响,建

筑业也在走下坡路,但建筑维修改造业却不断发展。1980年,建筑维修改造工程占英国建筑工程总量的 1/3。1983年,瑞典用于维修改造的投资占建筑业总投资的 50%。可以预言:对建筑业来说,21 世纪将是“建筑改造的世纪”。

1.2 国内的建筑改造

由于城市经济不断发展,土地日趋紧张。1977年,我国改造部分约占总建筑业的 8%,1986 年上升到 11.5%。进入 90 年代,工业改民用,公共建筑改变用途的项目愈来愈多。根据上海市房管局提供的资料,上海 1993—1995 年改造的面积如表 1-1 所示。

表 1-1 上海 1993—1995 年改造面积

项目 \ 时间	1993 年	1994 年	1995 年
改 造	364 万 m ²	381 万 m ²	317 万 m ²
拆 除	8.6 万户	9.25 万户	9.45 万户

改造分“旧房改造”和“旧区改造”,前者是单幢房屋,后者是改造一个地块,规模大,对人民的影响也大。

1.3 旧区改造

国内建筑工业化已谈论了 50 年,上海市旧区改造也议论了 40 年,2000 年也越来越迫近了,可是,都未找到出路。有趣的是,这两个问题是完全一体的,不能工业化就不能实现旧区改造。

工业化要先走一步,否则不能大量生产。降低成本,人民才能买得起,才能推动旧区改造。

从 50 年代开始,认为一间房子由四个墙面两个楼板所组成,要工业化只要做六块板材拼装后即可成型了,搞了一二十年,愈搞

愈失败。由于板材价格很高,湿作业比重大,整体性不佳。加以质量差,成本高,始终不能工业化起来,既不能多快,更不能好省!

上海李鑫全的构思:骨架是轻钢,围护是稻草板,把房屋(包括18层楼)拆成零件(相当于结构离散型),构件的骨架,梁墙板以至装修材料,全是零件式,就像汽车一样,到时装配,基本上是干作业,整体性好,在设计中,对于抗地震、风、火都加以考虑,为建筑工业化创造了条件。由于大量生产,质量好,价格便宜。

旧区改造要多快好省,关键是要有造价便宜的住房,还要有小康之家的条件,人民才能买得起。

如果建筑能工业化,零件都能设厂生产,才能使生产做到量大而成本低,才能为旧区改造提供条件。

1.4 建筑改造工程学的内容

建筑改造工程学有如下五个内容:

- (1) 加层,改变立面;
- (2) 切柱顶升,调整层高,改变剖面;
- (3) 取消个别承重构件,改变平面;
- (4) 整体搬移;
- (5) 纠偏。

从学科来讲,建筑改造工程学有两个主要的科学问题:

一为碳化混凝土结构设计理论;二为加固设计理论。

此外,建筑改造是一门新的、发展中的学科,它和工民建不尽相同,虽然课程设置的名称接近,但往往课程内容大有区别,前者较后者远为复杂。旧房已使用多年,历史上可能承受过大小不等的灾害,必须通过检测、鉴定以确定其现状。

第二章 现有房屋的寿命预测

2.1 混凝土寿命评估

对混凝土进行检测,可以查明混凝土现状,以便对寿命进行预测,其中影响寿命最显著的有以下一些因素:

1. 受力裂缝

混凝土是带裂缝工作的,只要满足规范关于裂缝宽度规定的要求,应该问题不大。但如果裂缝宽度过大,必须进行修复,并需达到原设计水平的 90% 以上才行。

根据同济建筑改造加固研究所试验,承重的柱墙,即使由于灾害原因产生过宽的裂缝,只要其不超过表 2-1 所列限值,对承载能力应无影响。

表 2-1 承重柱墙裂缝宽度限值

项 目	混 凝 土		砌 体
	柱	梁	
不影响承载力	$\leq 0.5\text{mm}$	$\leq 0.3\text{mm}$	$\leq 3\text{mm}$
必须修复	$0.5 \sim 1\text{mm}$	$0.7 \sim 1\text{mm}$	$3 \sim 6\text{mm}$
必须加固	$\geq 1\text{mm}$	$> 1\text{mm}$ (垂直裂缝) $> 0.7\text{mm}$ (斜裂缝)	$\geq 6\text{mm}$

对混凝土寿命而言,在正常情况下,一些建成近 200 年的工程仍在使⽤。由于混凝土是碱性材料,它的 pH 值在 12 ~ 14 之间,在钢筋周围形成纯化膜,从而阻止钢筋锈蚀;但混凝土在 CO_2 环境中,它的 pH 值下降到 8 ~ 10 就会破坏钢筋表面的纯化膜,钢筋在

水分和氯离子作用下出现锈蚀。铁锈的体积要比原金属膨胀很多倍,促使保护层开裂,加速了水气的入侵,出现恶性循环的钢筋锈蚀,最后由于钢筋截面的减少而导致结构失效。

因此,目前有人以钢筋开始锈蚀作为寿命来进行预测,但应指出,锈蚀裂缝不同于受力裂缝,它是与主筋平行并沿主筋开裂的。

所以,环境是决定混凝土寿命的重要条件。海边、化工厂以及时干时湿的构件,寿命往往较短。

2. 混凝土腐蚀

前面所讨论的裂缝,主要由钢筋腐蚀引起,混凝土在酸性或强碱性环境下也要腐蚀。在工程中可以看到,尽管表面没有裂缝,但用电钻或螺丝刀很容易深入内部。混凝土像豆腐渣一样,强度极低,这当然对寿命有影响。这一点在寿命评估中不容忽视。

混凝土腐蚀以后,是否就可以判其寿命为零呢?并非完全如此,因为混凝土的寿命还取决于以下一些因素:

(1) 腐蚀的范围和深度,如果深度使面积丧失 50% 以上,才是比较危险的。

(2) 构件的受力性质。

(3) 结构总体的相互支承。

3. 房屋的倾斜

房屋倾斜并不一定影响安全,但影响使用并使用户产生不敢居住的心理,因此,它影响了“使用寿命”。用通俗的说法,即没有“使用价值”,也就没有寿命了。

2.2 砌体房屋寿命评估

用砖(块材)和砂浆砌筑的砌体,在我国已有数千年历史,以河南开封铁塔为例,这是一座北宋时建造的颜色如铁的砌体结构,已有 1800 多年历史,一般砌体建筑的寿命均可达 600 年以上。

对现有砌体建筑,评估它的寿命,主要应考虑以下一些因素:

(1) 砌体中有混凝土柱、梁、板,应按 2.1 节中的有关因素考虑。

(2) 砌体本身的裂缝,参见表 2-1。

(3) 砌体的腐蚀。在不利环境下,砌体的砂浆及砖都会腐蚀,特别是在化工厂中,尤其如此。但砌体允许腐蚀的范围和深度,较混凝土更宽。

(4) 砌体的倾斜。情况和混凝土一样,应按使用寿命的要求考虑。

2.3 房屋寿命的快速评估法

为了能对房屋的剩余寿命迅速作出评估,根据过去的工程经验,可以提出一种快速评估法。

快速评估依据的因素如下:

(1) 受力裂缝:达到某一临界值,则剩余寿命不多了。

(2) 主筋锈蚀:达到某一临界值,则耐久性不长了。

(3) 混凝土腐蚀:情况同主筋,影响耐久性。

(4) 房屋过分倾斜:不能继续使用。

这四方面的临界值如表 2-2 所示。表中的“环境恶劣”是指 24 小时内高温、高湿,强酸、强碱。

表 2-2 房屋寿命快速评估表

项 目	混凝土房屋临界值	砌体房屋临界值	R_i
1. 柱、墙的受力裂缝	$\geq 1\text{mm}$	$\geq 6\text{mm}$	0.04
2. 沿主筋裂缝	$\geq 2\text{mm}$	$\geq 2\text{mm}$	0.05
3. 混凝土腐蚀	用螺丝刀可旋入 $\geq 5\text{mm}$	用螺丝刀可旋入 $\geq 5\text{mm}$	0.04
4. 房屋倾斜	$> 1/20$	$> 1/30$	0.06
5. 环境恶劣			0.2

则剩余寿命 L_r 为

$$L_r = L_o \cdot R_i \cdot \alpha_i \cdot D_i \quad (2-1)$$

式中 L_o ——参考寿命:混凝土 150 年,砌体 200 年;

R_i ——按表 2-2 取单项 R_i 的最小值;

α_i ——组合系数,如表 2-2 中有多项发生时, α_i 按表 2-3 取值;

表 2-3

发生项数	α_i
1	1
2	0.8
3	0.6
4	0.5

D_i ——抗灾系数。如结构方案不符合抗震要求等,则 $D_i = 0.8$;如结构曾遭受过火灾,则 $D_i = 0.7$;如设计考虑抗灾或灾后已修复以及未发生过火灾,则 $D_i = 1$ 。

第三章 结构材料与材料检测

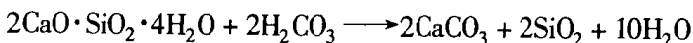
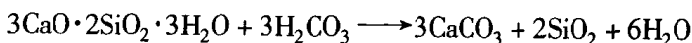
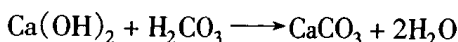
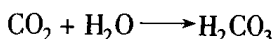
本章讨论结构材料在各种工况下的变化以及检测问题。它是确定结构现有承载能力的基础。

3.1 材料随年龄的变化

在正常情况下,如果空气中保持一定的温度和湿度,混凝土水泥砂浆的强度仍能不断增长。只要不在酸性、高温、高湿环境中工作,其耐久性极好的,数百年以上的混凝土和千年以上的砌体并不鲜见。

但是,只要有工业生产,有人类生活,混凝土就要在二氧化碳的环境中工作,随着其年龄增长,混凝土要受到“碳化”。

由于混凝土是一个包含固相、气相、液相的多孔体,空气中的二氧化碳渗入混凝土内部,溶解于液相中,与水泥水化过程中产生的氢氧化钙、硅酸三钙和硅酸二钙发生反应形成碳酸钙等:



混凝土碳化后,由表及里,不断深入,因此,碳化深度可以检测出来。由于碳化产物是碳酸钙,充塞于混凝土内部孔隙和毛细孔,因此,对强度并无影响。但是,碳化降低了混凝土孔隙液的 pH 值(由 12~13 降为 8~10),当碳化深至钢筋表面时,钢筋因表面钝化膜受到破坏而锈蚀。钢筋的锈蚀速度与 pH 值关系如图 3-1 所示。

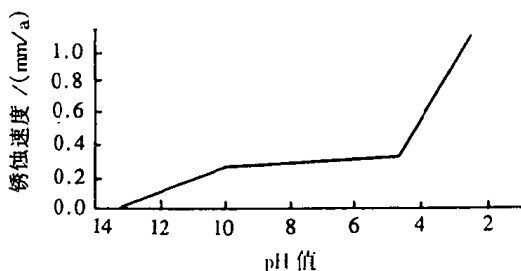


图 3-1 pH 值对钢筋锈蚀速度的影响*

根据笔者对 60~100 年混凝土的抽样检测,混凝土强度在上海基本上能维持原有强度。但钢筋锈蚀严重,导致混凝土开裂 2~3mm。

混凝土结构在长期工作中常会遇到另一情况,即由于碰撞冲击造成的机械损伤,这一点在工厂中比比皆是,它是由于使用不当而引起的;机械损伤严重的,对强度会产生直接的影响。

由于混凝土是碱性材料,因此,在酸性介质的环境中很容易腐蚀,某化工厂的混凝土结构在强酸交替作用下三年即不可收拾,特别是在氯离子丰富的环境下形成的氯盐易溶于水,使混凝土形成孔洞。为此,海边的混凝土结构特别容易发生腐蚀,印染车间和电镀车间都是混凝土腐蚀容易发展的地方,不但影响强度,并且能导致最终倒塌。

碳化的结构完全可以改造,毋庸置疑,已腐蚀的结构在“修复”后同样可以改造。当然,先要进行检测。

3.2 检测方法

关于检测方法,笔者在另一著作《房屋结构灾害的检测与加

* 图 3-1 见 H. H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control, New York, 1971。