



面向 21 世纪课程教材



普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

砌体结构

东南大学 同济大学 郑州大学 合编



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

面向 21 世纪 课程教材
普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

砌 体 结 构

东南大学 同济大学 郑州大学 合编
丁大钧 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

砌体结构/丁大钧主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

面向 21 世纪课程教材

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-06175-X

I. 砌… II. 丁… III. 砌体结构—高等学校—教材
IV. TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 020256 号

面向 21 世纪课程教材
普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

砌 体 结 构

东南大学 同济大学 郑州大学 合编

丁大钧 主编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{1}{4}$ 字数: 328 千字

2004 年 7 月第一版 2004 年 7 月第一次印刷

印数: 1—5,000 册 定价: 23.00 元

ISBN 7-112-06175-X

TU·5442 (12188)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本教材是根据该门课程的教学基本要求和《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)编写的。主要内容有:绪论,砌体材料及砌体的力学性能,砌体结构构件的计算方法,砌体结构承载力计算,混合结构房屋墙体设计,过梁、墙梁、挑梁及墙体的构造措施,混合结构房屋抗震设计简述等。为便于学生复习,书中编入了复习思考题、深入思考题和习题。

本教材既可作为高等学校土木工程专业及相关专业的教材,也可供土建工程技术人员参考。

* * *

责任编辑:朱首明

责任设计:孙 梅

责任校对:王 莉

前 言

本教材实为 1981 年出版的《砖石结构》教材的第三版。《砖石结构》教材是根据 1973 年颁布的《砖石结构设计规范》(GBJ3—73)编写的。1988 年颁布了《砌体结构设计规范》(GBJ3—88)(因加入有关砌块砌体内容,故改称“砌体结构”),新规范对原规范作了很多的修改与补充,特别是从单一安全系数设计方法改为极限状态设计方法,故 1990 年修订了原教材,并依据规范也将教材名称改为《砌体结构》。2001 年重新颁布的《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)根据生产和科研的发展,又修改和增补了很多内容,这必须在新教材上有所反映,因此又修订了第二版教材《砌体结构》。

《砖石结构》教材出版后印数达 29 万册,1993 年获建设科技进步三等奖;《砌体结构》获 1996 年建设部优秀教材一等奖,印刷量亦达 7 万余册。

这次新修订的《砌体结构》主要有以下几项特点:

1. 为了宣传政府有关政策法规,除散见有关内容,如在大中城市首先禁止使用烧结实心粘土砖(禁实)等内容外,还增加了一些节次,如第 1 章中增加了第 5 节“关于墙体改革”和在第 4 章中增加了第 5 节“配筋砌块砌体简述”。

2. 根据新规范的增补,适当增加了砌块砌体的有关内容,这在例题中也有所反映。

3. 对新的材料,如对(南京)凌佳加气轻混凝土 ALC 砌块和板材、(大连)装配式轻型砖和(上海)模卡砌块等作了适当的介绍,以使学生了解新的事物和趋向。

4. 为了入世与世界接轨,每章增加了有关参考文献,同时为了与国际交流,也适当引入一些外文资料。这有利于培养学生查找有关参考文献的方法,扩大知识面;“顺藤摸瓜”,也扩大有关资料的范围。

5. 继承第二版的做法,增加复习思考题、深入思考题和习题,并作了适当修改与补充。

6. 适当引入一些对新规范的有关讨论,以启发引导学生思考问题的思路。

7. 首次在教材中提出如何利用教材发挥积极地、创造性地“教好与学好”这一尚未提到过的问题。

新教材是由东南大学、同济大学和郑州大学合编的,编写分工如下:第 1 章至第 4 章由东南大学丁大钧执笔,蒋永生作了第 4 章全部例题和编写了书后复习思考题和习题,丁大钧拟了深入思考题,第 5 章由郑州大学刘立新执笔,第 6 章

由同济大学苏小卒执笔，第7章由东南大学蓝宗建执笔。新作者也向原作者交换了意见。丁大钧担任主编。

由于我们水平所限，对有关政策和新规范中的内容学习领会不够，书中错误和欠妥处，敬请批评指正，以便在今后得到更正，幸甚。

丁大钧于东南大学

2003年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 砌体结构发展简史	1
§ 1.2 砌体结构的优缺点	10
§ 1.3 砌体结构的应用范围	11
§ 1.4 砌体结构的发展趋势	12
§ 1.5 关于墙材改革	16
参考文献	18
第 2 章 砌体材料及砌体的力学性能	19
§ 2.1 块体材料和砂浆	19
§ 2.2 砌体种类	32
§ 2.3 砌体的抗压强度	40
§ 2.4 砌体抗拉、抗弯和抗剪强度	47
§ 2.5 砌体的弹性模量、摩擦系数和线胀系数	48
参考文献	52
第 3 章 砌体结构构件的计算方法	54
§ 3.1 历史的回顾	54
§ 3.2 极限状态设计方法	55
参考文献	64
第 4 章 砌体结构的承载力计算	65
§ 4.1 受压构件	65
§ 4.2 局部受压	83
§ 4.3 轴心受拉、受弯和受剪	94
§ 4.4 配筋砖砌体构件	97
§ 4.5 配筋砌块砌体构件简述	111
参考文献	112
第 5 章 混合结构房屋墙体设计	115
§ 5.1 混合结构房屋的组成及结构布置方案	115
§ 5.2 混合结构房屋的静力计算方案	118
§ 5.3 墙柱高厚比验算	124
§ 5.4 刚性方案房屋计算	133

§ 5.5 弹性和刚弹性方案房屋计算	146
§ 5.6 地下室墙	155
参考文献	162
第 6 章 过梁、墙梁、挑梁及墙体的构造措施	163
§ 6.1 过梁	163
§ 6.2 墙梁	169
§ 6.3 挑梁	196
§ 6.4 墙体构造措施	202
参考文献	213
第 7 章 混合结构房屋抗震设计简述	215
§ 7.1 混合结构房屋的震害及抗震构造措施	215
§ 7.2 多层混合结构房屋的抗震验算	230
参考文献	243
复习思考题	245
深入思考题	248
习题	251

第1章 绪 论

§ 1.1 砌体结构发展简史

砌体结构原指用砖、石材和砂浆砌筑的结构，故称砖石结构，当也考虑采用砌块时则统称砌体结构。

砖石结构在我国有悠久的历史。

考古发掘资料表明，我国在新石器时代末期（约 6000 ~ 4500 年前），已有地面木构架建筑和木骨泥墙建筑。到公元前 20 世纪时（约相当夏代）则发现有夯土的城墙。商代（公元前 1783 年 ~ 前 1122 年）以后，逐渐采用粘土做成的版筑墙^①。自殷商^②（公元前 1388 年 ~ 前 1122 年）以后逐渐改用日光晒的粘土砖（土坯）来砌筑墙^{[1][2][3]}。到西周时期（公元前 1134 年周武王继位，至公元前 1122 年纣王兵败自杀，商亡，直至公元前 771 年）已有烧制的瓦。在战国时期（一种说法为周元王元年即公元前 475 年，至秦始皇统一中国，即公元前 221 年，这样与春秋时期衔接起来）的墓中发现有烧制的大尺寸空心砖，这种空心砖盛行于西汉（公元前 206 年^③ ~ 公元 8 年），但由于制造复杂，至东汉（公元 25 ~ 219 年）末年似已不再生产。六朝时^④，（实心）砖的使用已很普遍，有完全用砖造成的塔。

石料在我国的应用是多方面的。我们的祖先曾用石料刻成各种建筑装饰用的浮雕，用石料建造台基和制作栏杆，也采用石料砌筑建筑物。

琉璃瓦的制造始于北魏（公元 336 ~ 534 年）中叶，到明代（公元 1368 ~ 1644 年）又在瓦内掺入陶土以提高其强度。同时琉璃砖的生产亦自明代开始有较大的发展。

① 近年在湖南澧县东溪乡南岳村发掘出 4600 ~ 4700 年前的古城遗址，又发现屈家岭文化和大溪文化时期房屋 10 多座。屈家岭文化为新石器时代晚期的一种文化，约为公元前 2750 ~ 2650 年，1954 年发现于湖北京山屈家岭。

② 商盘庚（在位 28 年）14 年（公元前 1388 年）自奄（yǎn）（今山东曲阜）迁于北蒙日殷（今河南安阳西北小屯村）至纣王与周战于牧野，败而自焚，商亡（公元前 1122 年），这段时期又称殷商。

③ 公元前 206 年刘邦被立为汉王，公元前 202 年项羽兵败垓下自刎，刘邦登帝位。为了与秦至公元前 206 年灭亡的历史连续，将公元前 206 年作为汉纪元的开始。

④ 吴（公元 229 ~ 280 年）、东晋（公元 317 ~ 419 年）、宋（公元 420 ~ 478 年）、齐（公元 479 ~ 501 年）、梁（公元 502 ~ 556 年）、陈（公元 557 ~ 588 年）相继建都建康（现南京），是为六朝。此处所指的六朝时，一般可理解为东晋以后的年代。

我国拱券建筑最早用于墓葬,虽说洛阳北郊东周墓中已有发现,但非正式记载。根据现有资料和实物证明,早在西汉中期已采用^{[1]~[3]}。

在欧洲,大约在八千年前已开始采用晒干的土坯。在建筑中采用烧制的砖,约有三千年的历史。经凿琢的天然石的采用,大约在五至六千年前左右。

砖砌体大多用于建筑物中承受垂直荷载的部分,如墙、柱、桥墩及基础等。洞口上的结构通常用整块的大石跨过,约在公元前三千年才开始建造拱券。

早期砖石砌体的体积都是很大的。为了节约材料和减轻砌筑工作量,要求减小构件的截面尺寸。因此,对砌筑材料提出较高的要求,但是改进和发展的过程是很缓慢的。

水泥发明后,有了高强度的砂浆,进一步提高了砖石结构的质量,促进了砖石结构的发展。19世纪在欧洲建造了各式各样的砖石建筑物,特别是多层房屋。

我国早期建筑采用木结构的构架制,墙壁仅作填充防护之用。鸦片战争后,我国建筑受到欧洲建筑的影响,开始采用砖墙承重。这时砖石砌体已成为工程结构中不可分割的一环。研究和确定其计算方法,自是必然的趋势。

砌体结构在我国的发展过程大致如下^{[1]~[3]}。

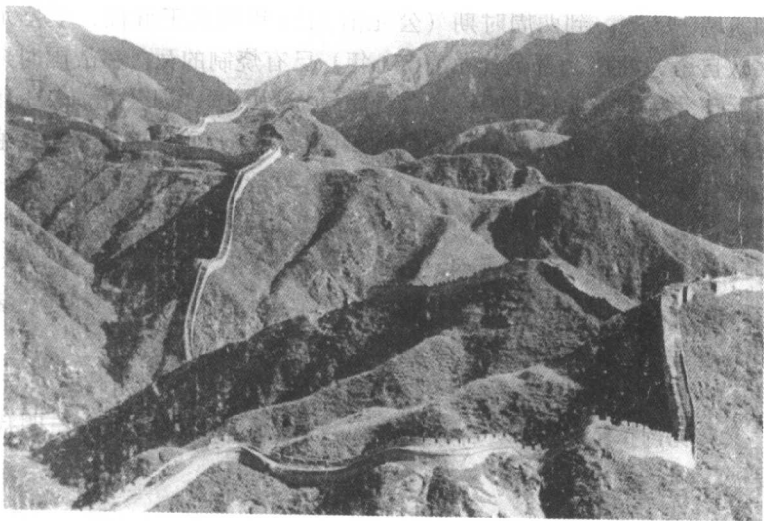
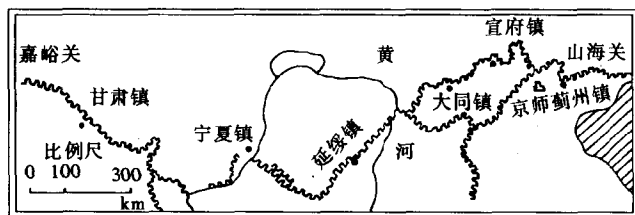


图 1-1 万里长城

第一阶段:在清朝(1644~1911年)末年、19世纪中叶以前,我国的砖石建筑主要为城墙、佛塔和少数砖砌重型穹拱佛殿以及石桥和石拱桥等。我国古代劳动人民对这些建筑是有着相当高的成就的。我国历史上有名的工程——万里长城(图1-1),它是古代劳动人民勇敢、智慧与血汗的结晶。长城原为春秋(春秋时期一般说法为周平王元年即公元前770年至周敬王44年即公元前476年)、战国时期各国诸侯为了互相防御各在形势险要处修建的城墙。秦始皇统一全国后为

了防御北方匈奴贵族的南侵,于公元前 214 年将秦、赵、燕三国的北边长城予以修缮、连贯为一,故址西起临洮(甘肃岷县)、北傍阴山,东至辽东。明代(1368~1644 年)为了防御鞑靼瓦剌族的侵扰,自洪武(1368~1398 年)至万历(1572~1620 年)时,前后修筑长城达 18 次,西起嘉峪关,东至山海关,称为“边墙”。宣化、大同二镇之南,直隶、山西界上,并筑有内长城称为“次边”,总长 6700km,称“万里长城”(图 1-2a)。长城的大部分至今仍基本完好。旧长城原为粘土拌和乱石建造的。现在河北、山西北部的长城明代中叶改用大块精制城砖重建^[2]。根据近三十多年来考证,明辽东镇(明九边之一)长城,从山海关起向东,再折向东北迤逦曲折至镇北关,转而向南延伸至鸭绿江边(图 1-2b)是石砌城墙,为辽东镇长城,长约 1050km^[4-7]。这段长城明显是明代防御后金(1636 年改国号为清),清代讳之,险被湮没。



(a)



(b)

图 1-2 长城平面图

隋代(公元 581~617 年)李春所造的河北赵县安济桥(图 1-3),距今已约 1400 年,净跨为 37.02m,宽约 9m,为单孔敞肩式石拱桥,外形十分美观。据考证,该桥实为世界上最早的敞肩式拱桥。拱上开洞,既可节约石材,且可减轻洪水期的水压力,故它无论在材料的使用上,结构受力上,艺术造型上和经济上,都达到了高度的成就。1991 年安济桥被美国土木工程师学会(ASCE)选为第 12 个国际历史上土木工程里程碑,这对弘扬我国历史文物具有重要意义^[8,9]。

我国古桥分布区域很广,但浙江省绍兴市(包括市区、绍兴县、新昌县、嵊州市、诸暨市、上虞市)最为集中,尤以市区为最。现全绍兴市共存古桥 604 座,其中宋(960~1279 年)及以前 13 座,元(1279~1368 年)、明(1368~1644 年)41 座和清(1644~1911 年)550 座现存最早的石拱桥则始建于东晋年间

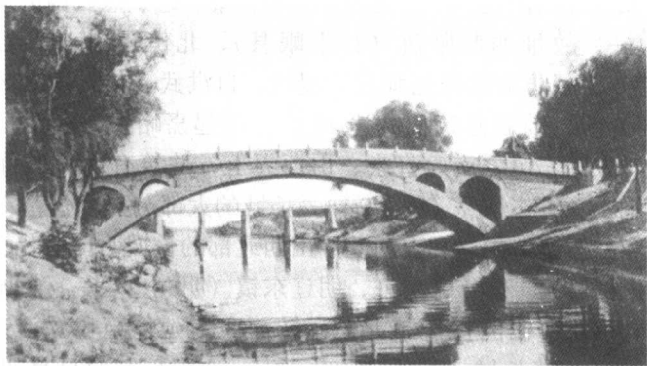


图 1-3 安济桥

(317~419年)。据清光绪19年(1893年)绘制的《绍兴府城衢路图》^[10]所示,绍兴市区每 1km^2 面积内桥梁数较有“东方威尼斯”之称的江苏苏州多一倍,较威尼斯和德国桥市汉堡都多很多。据1993年底统计,绍兴市拥有10610座桥(包括新建桥),故绍兴有“万桥市”之称^[10]。

绍兴市区的广宁桥,为7折石拱桥(图1-4),桥南北分别设16级和20级石台阶,各长25.30m和26.30m,桥跨径6.25m。桥在南宋宁宗嘉泰年间(1201~1204年)之前建造,明、清时重修过^[11]。于此可见,我国在800年前即已知用折线形拱代替圆表拱以简化施工,又一次证明我国古代建造石拱桥技术的先进。

在广宁桥桥孔下两边各设纤道,供纤夫拉纤之用,也可供行走,是中国、也可能是世界立交桥^①的雏形。该桥是浙江省文物保护单位。

图1-5所示为南京灵谷寺无梁殿后面走廊的砖砌穹窿,系明洪武年间(1368—1398年)建造,它显示出我国古代应用砖石结构的一个方面。苏州开元寺无梁殿建于明万历46年(1618年)。四川峨眉万年寺亦有明万历30年(1602年)建造的砖穹顶。此外在北京、山西太原和五台山、安徽琅琊山、江苏无锡和句容等多处建有无梁砖顶。

第二阶段:19世纪中叶以后至解放前大致100年左右的时期内,我国广泛采用承重墙,但砌体材料主要仍是粘土砖。这一阶段对砌体结构的设计系按容许

① 有些报刊和书中,包括编者合编的《土木工程概论》(中国建工出版社,2003:187~188)误将宋始建的八字桥(梁桥,全国重点文物保护单位)作为立交桥之始,虽沿它东端南北落坡石台阶上有纤道,但不是在桥洞内,未构成立交条件。故编者是应向读者致歉,因为是教材,更应向广大师生检讨,并正式撰文“绍兴八字桥与立交桥”(已刊于《中国勘察设计》杂志(月刊)2004(3):26~27)予以澄清。编者于2003年10月为此专程至绍兴了解情况和实地观察,得到古桥专家罗关洲同志的帮助和指明八字桥北的广宁桥才可认为是立交桥的雏形。八字桥南还有两座宋桥,它们自北向南是东双桥(半圆形石拱桥)和纺车桥(石梁桥),应编者要求,罗同志热情地为量出这四座桥之间距离顺次为137.00m、147.00m和154.00m,在短短437.00m内就有4座宋桥,可见此处局部古桥的分布密度之大。

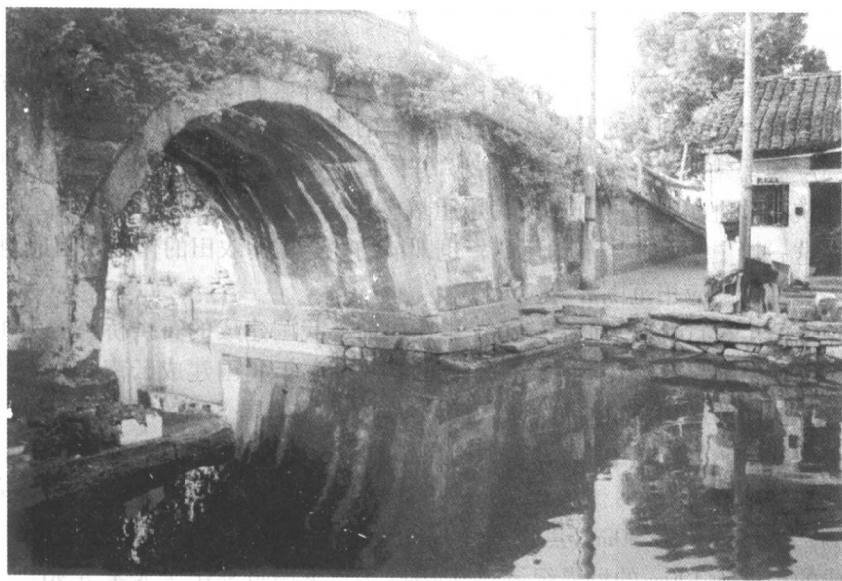


图 1-4 广陵 7 折石拱桥 (编者自拍摄)

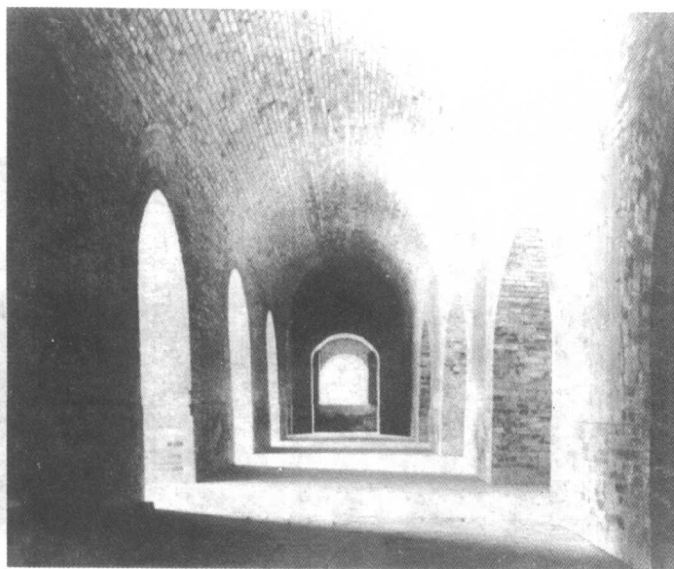


图 1-5 南京无梁殿后走廊

应力法粗略进行估算，而对静力分析则缺乏较正确的理论依据。

纵观历史可见，尽管我国劳动人民对砖石建筑作出了伟大的贡献，但由于在封建制度和后来在半封建、半殖民地制度的束缚下，不可能很好地总结提高和进

行必要的科学研究,因此在前两个阶段里,虽然经过漫长的岁月,砖石结构的实践和理论的发展却是极缓慢的。

第三阶段:解放以后,砌体结构有了较快的发展。这可分为以下三个方面:

(1) 在原有基础上的发展。如石砌拱桥的跨度已显著加大,厚度减薄,同时桥的高度和承载力都有了很大的发展,并广泛采用砖砌多层房屋代替钢筋混凝土框架建筑;改进非承重的空斗墙为承重墙,用来建造2~4层(少数达5层)房屋,在这一历史阶段起了节约用砖,也即节约烧砖占用农田的作用;因地制宜地扩大了石结构的应用范围等等。

跨度为146m的新丹河桥于2001年建成前,我国建成的石拱桥跨度为100~120m的已有10座。这10座都超过1904年(1961年我国建成云南长虹石拱桥, $l=112.5\text{m}$)的石拱桥原世界纪录、跨度为90m的德国Syratal桥(见下面)^[12]。图1-6所示为2001年在山西晋城至河南焦作的高速公路上建成的新的丹河石拱桥(图1-6)(原有晋城丹河桥 $l=105\text{m}$,1982年建成),其跨度分布为 $2\times 30\text{m}$ (晋城一侧)+ $146\text{m}+5\times 30\text{m}$ (焦作一侧),主跨为146m^[13],它大大超过我国1991年建成的跨度为120m的世界纪录(见1996年吉尼斯世界纪录大全 p.96)。该桥的建成,将石料在桥梁结构中的利用推向一个崭新的水平。这表明我国石拱桥建设居于世界领先地位。

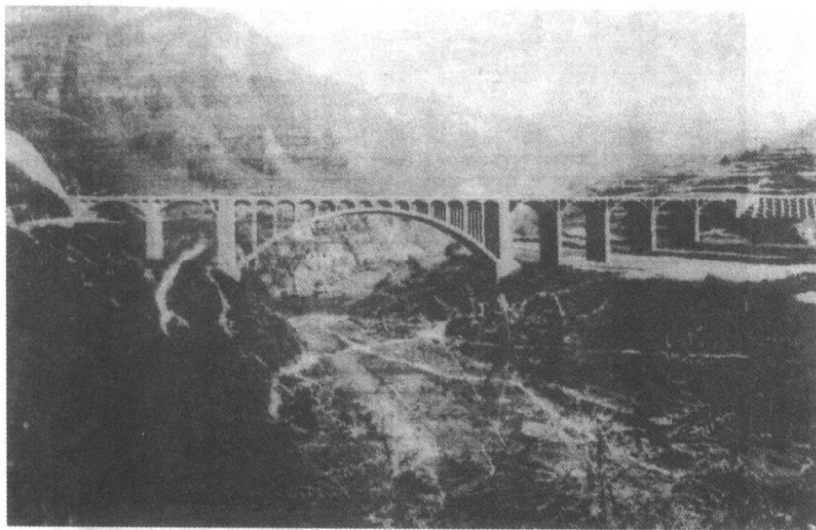


图1-6 146m跨新丹河石拱桥(牛学勤高工提供)

(2) 新的发展,这包括新结构、新材料和新技术的采用。在新结构方面,曾研究和建造了各种型式的砖薄壳。在新材料方面,如硅酸盐和泡沫硅酸盐砌块,混凝土空心砌块和各类大板以及各种承重和非承重空心砖的采用和不断改进。在

新技术方面,如采用振动砖(包括空心砖)墙板及各种配筋砌体,包括预应力空心砖楼板等等。

混凝土小型砌块在国外的应用已有百余年历史,20世纪60~70年代,在我国南方城乡得到推广和应用,取得显著的社会和经济效益。这是消除实心粘土砖的一项有效措施。改革开放后迅速由乡镇推向城市,由南方推向北方,由少层推向中、高层,从单一功能发展到多功能,如承重、保温、装饰块。20世纪70年代以后在重庆用砖和混凝土砌块砌筑了高层住宅,局部达12层,但只1~4层采用了混凝土砌块承重内墙。据1996年统计,全国砌块总产量2500万块,砌块建筑面积5000万 m^2 ,每年以20%的速度递增,1998年统计已达3500块,各类砌块建筑总面积达8000 m^2 。砌块建筑在节土、节能、利废等方面具有巨大的社会效益^[14]。

1983年、1986年广西南宁已修建了配筋砌块10层住宅楼和11层办公楼试点房屋,但由于采用MU20高强混凝土砌块生产工艺问题,无法推广。1997年在辽宁盘锦修建了15层配筋砌块剪力墙点式住宅楼,所用MU20砌块是用从美国引进的砌块成型机生产的。1998年上海建成一栋配筋(小型)砌块剪力墙18层塔楼——园南新村(图1-7a)。MU20混凝土砌块也是用美制设备生产的^[12]。这标志着我国配筋混凝土砌块高层建筑已达到国际先进水平,这也必然推动混凝土砌块多、中、高层建筑的发展。最近在哈尔滨阿继科技园建成A、B二栋18层高层住宅楼^[15](图1-7b)是用190mm和90mm宽的混凝土小型空心砌块作内外壁,中空100mm填以80mm厚苯板的空腔墙(cavity wall)作为我国北方寒冷地区采用普通混凝土小型空心砌块的高层建筑试点工程。黑龙江省还制订了地方标准《普通混凝土小型空心砌块夹心苯板复合墙体建筑技术规程》DB 23/T698—2001,以利推广这种墙体。

图1-8所示为唐山市地震后大面积建造的5层大板房屋。在这种建筑中,内墙采用140mm(内横墙)和160mm(内纵墙)厚、强度等级为C15的混凝土现浇大板;外墙采用由C10加气混凝土及混凝土组成的预制复合大板,总厚度为280mm。为了提高房屋的抗震能力,在混凝土板内采用较多的构造钢筋。采用这种型式的大板也是墙体改革的另一项措施。

采用承重空心粘土砖也是取代实心粘土砖的一个途径。南京市曾用承重空心砖建成8层旅馆建筑,其中1~4层墙厚为300(实际290)mm,5~8层墙厚200(实际190)mm。由于砖的厚度减薄,墙体重量减轻,达到了较好的经济效益,同时房间使用面积也有所增大。

在城市进行小区建设,使服务设施配套,创造了方便的生活条件,是城市规划中的一个重要组成部分。这些年来,在这方面取得巨大的成绩。图1-9所示为建成的无锡市沁园新村小区建设的全貌^[16]。小区占地11.4 hm^2 (公顷),其中住宅57幢,建筑面积11.2万 m^2 ,公共配套设施20项,建筑面积1.3万 m^2 ;提供



(a)



(b)

图 1-7 18 层配筋砌块建筑 (承唐岱新教授惠赠)

(a) 上海园南新村; (b) 哈尔滨阿继科技园住宅楼 (2 栋)

商品房 2102 套,可居住 7300 余人。沁园新村总体规划新颖别致,它体现在布局合理活泼,设施配套齐全,环境优美舒适,绿化覆盖率达 42%,同时改变了方盒子、灰墙面、平屋顶景观,建筑造型各异,典雅别致,外墙色调清洁淡雅,不仅整个小区建筑高低错落,而一幢中也做到这点,即建成多座台阶式建筑。此外,多项科研成果也在此获得很好推广应用,如建成 6 层砖混节能住宅,其主要节能措施包括:外墙用空心砖,内壁贴水泥珍珠岩保温板,水玻璃珍珠岩保温砂浆,加大南向居室的窗口面积,尽量利用太阳热能,阳台采用



图 1-8 唐山大板建筑

封闭式,屋面设置隔热保温材料。在建设中加强质量管理,增强质量意识,明确质量要求,并按规定随时检查质量^[16]。

十一届三中全会后,在我国城市和农村兴建了大量的混合结构居住房屋,大大改善了我国人民的居住条件。我们既需要重视住宅的新建,也应重视对旧房屋的改造和利用,合理挖潜(如加层),贯彻新建和改造相结合的方针。

(3) 逐步建立了具有我国特色的砌体结构设计计算理论。如根据大量试验和调查研究资料,提出砌体各种强度计算公式,偏心受压构件连续的(即不分偏心距大小的)计算公式^{[17][18]}和考虑风荷载下房屋空间工作的计算方法^[2]等等。1973 年制订了适合我国情况并反映当时国际先进水平的《砖石结构设计规范》(GBJ3—73); 1988 年进行了修订,颁布了新的《砌体结构设计规范》(GBJ3—



图 1-9 无锡沁园新村小区

88), 该规范中包括砌块结构,故改称《砌体结构设计规范》,并采用以近似概率为理论基础的、各种结构统一的极限状态设计方法,再此进一步将各种砌体强度计算公式统一,将偏心受压计算中三个系数综合为一个系数,改进了局部受压计算,将考虑房屋空间工作计算推广于多层房屋,提出墙梁和