

QITI JIEGOU DE
CAILIAO JIANCE JIANDING YU PINGGU

砌体结构的 材料、检测、鉴定与评估

林文修 著

中国建筑工业出版社

砌体结构的材料、检测、鉴定与评估

林文修 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

砌体结构的材料、检测、鉴定与评估/林文修著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018.5

ISBN 978-7-112-22088-5

I. ①砌… II. ①林… III. ①砌体结构-研究 IV. ①TU209

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 076806 号

本书从论述砌体材料的生产工艺、力学和物理性能入手, 基于对砌体耐久性的研究成果及砌体与材料的强度检测, 砌体结构现场检测技术, 全面、系统地论述了砌体结构建筑物的可靠性鉴定与评估的理论与方法。并论述了历史建筑的评估与修复。本书包括: 第一篇 砌体材料及结构, 第二篇 砌体和材料强度的检测方法, 第三篇 砌体耐久性研究与评估, 第四篇 结构构件现场检测, 第五篇 建筑物的鉴定与评估五篇内容。

本书构思合理, 体系完整, 内容丰富, 论点清晰, 在砌体结构领域是一部不可多得的著作。

责任编辑: 王华月 范业庶

责任校对: 李美娜

砌体结构的材料、检测、鉴定与评估

林文修 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 $\frac{3}{4}$ 字数: 645 千字

2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-22088-5

(31982)

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)

序

两个月前我收到林文修先生寄来的本书稿，打算趁遐余好好学习，但读着读着，便被书中内容深深吸引，不得不坚持数日研读，深受启发，深感受益匪浅。

作者从论述砌体材料的生产工艺、力学和物理性能入手，基于对砌体耐久性的研究成果及砌体与材料的强度检测，砌体结构现场检测技术，全面、系统论述了砌体结构建筑物的可靠性鉴定与评估的理论与方法（包括砌体结构中常有的混凝土结构和木结构）。并论述了历史建筑的评估与修复。本书构思合理，体系完整，内容丰富，论点清晰，在砌体结构领域是一部不可多得的著作。

林文修先生专业功底扎实，善于钻研，勇于创新，尤其对砌体材料及结构的耐久性能进行了较为系统的试验和研究，对历史建筑的评估与修复作了探讨。本著作为砌体结构的耐久性及历史建筑的评估与修复奠定了扎实的基础，提供了重要依据。

作者数十年来深入工程实际，广泛而细致的调查研究，其丰富的实践经验在本书中得到了很好的体现，并对结构可靠性检测、鉴定与评估中常见疑难和关键问题作了阐述和解答，提升了本书的实用价值。

本书内容翔实，作者将自己在试验研究和调研中获得的许多宝贵资料制成图片，列举典型案例，版面生动，并将自己的感悟融入文字中，也是本著作的一大亮点。

《砌体结构的材料、检测、鉴定与评估》构思新颖，论述深入浅出，特色鲜明，对砌体结构学科的发展及应用有重要理论指导作用和实用价值。本著作定将受到读者的厚爱。

我作为一个老砌体人，亲身参与了我国首部砌体结构设计规范及至现行规范的制、修订工作，对砌体结构有着特殊的感情。在此再次感谢林文修先生孜孜不倦，数十年来深入细致的调查研究，勇于探索、勇于开拓，将积累的丰富的专业知识和实践经验提供给我们。



2017年12月于岳麓书院

前 言

砌体结构用于建筑已有数千年的历史，凝结着人类的智慧和创造力，承载着丰富的艺术作品、人文故事和民族文化。由于它具有优越的耐久性，很多陵墓建筑、城堡建筑、宗教建筑、宫殿建筑以及民居建筑保留至今。因此，世界上的文化遗产以砌体结构建筑最多。

近年来，我国的不少地区，为记住乡愁、为开发旅游资源，正在打造历史文化街区、古镇、古村落，只要涉及“历史”，涉及“古”，真正的大量的老旧建筑是必须具备的条件，如祠堂、庙宇、戏台、名人故居、小桥、牌坊、城墙等。而现存的这些建筑主要是砖木结构、砌体结构，由于修建时间久远，如何检查评估是面临的一个问题。

在近现代建筑中，砌体结构仍然广泛应用于工业和民用建筑中。这些建筑在修建过程中由于施工造成的质量问题，因使用不当造成的安全问题，或需要改造、加固的可行性问题，因灾害后建筑及环境受到损伤的评价问题等等。现在，建筑的舒适和安全是最基本的要求，随着建筑业的发展，用检测数据说话更有说服力，因此，每个问题都需要检测鉴定给出结论。

虽然分别介绍砌体材料、检测方法、结构安全的书不少，但把它们归纳在一起系统讨论的书却没有。为了有利于同行对砌体结构深入的了解，有利于在理解的基础上使所做的工作更有深度。我把 45 年来在这个领域所做的部分研究工作，处理工程事故受到的心得体会，以及参加相关检测鉴定规范编制的认识做个总结，写成书，希望对读者能有所帮助。

现在的人读书都希望简单易懂，内容有活力，不希望用太多的脑筋，但乐于视觉冲击，我尽量通过照片、图表、案例和背景故事来达到这一要求，这样也给读者带来一个好处。这本书不需从头到尾一次读完，当遇到问题需要了解时，可拿来看看，得以启发。

一幢建筑往往包含有多种结构形式，这样也更有利于它的表现和使用。为了建筑检测和鉴定的完整性和读者使用的方便，书中也包含了木结构和钢筋混凝土结构的内容，但不是全部，若需更深入地了解，请查阅相关书籍。

我能写出这本书，与国内砌体结构学术界的前辈一直对我的指教和关心是分不开的，与我所在单位（重庆市建筑科学研究院）对我工作的信任和支持是分不开的，与我原在的结构所和现在的专家工作室同事对我工作帮助也是分不开的，在这里一并表示衷心地感谢。

林文修

2017 年 12 月 16 日

目 录

第一篇 砌体材料及结构

第一章 土筑建筑	3
第一节 土坑屋	3
第二节 生土建筑	5
第三节 抗震问题	7
第四节 成型技术	9
第二章 烧结砖	12
第一节 古代砖的规制	12
第二节 手工砖的生产	13
第三节 机制砖	16
第四节 砖的应用	20
第五节 烧结多孔、空心砖及砌块	28
第三章 蒸压及蒸养制品	35
第一节 灰砂砖	35
第二节 粉煤灰砖	38
第三节 蒸压加气混凝土	40
第四节 蒸养制品	44
第五节 砌体收缩裂缝及线胀系数研究	45
第四章 混凝土空心砌块及其他制品	52
第一节 混凝土空心砌块	52
第二节 混凝土砖	58
第三节 其他砖制品	59
第五章 石砌体	62
第一节 岩石的性质	62
第二节 石砌体及构件	63
第三节 石砌体建筑	67
第六章 建筑砂浆	70
第一节 砂浆的历史	70
第二节 砂浆的用途	71
第三节 传统砂浆的性能	73
第四节 预拌砂浆	76
第五节 “有底、无底”之争	78

第七章 砌体结构及规范 81

第一节 砌体结构的形式 81

第二节 著名的砌体建筑 82

第三节 砌筑形式 85

第四节 砌体结构设计规范 87

第二篇 砌体和材料强度的检测方法

第八章 检测概论 93

第一节 检测方法分类 93

第二节 砌体检测方法分类 95

第三节 检测程序 98

第九章 试验数据的处理 103

第一节 试验数据的误差 103

第二节 正态分布计算 105

第三节 粗大误差的剔除 107

第十章 块材的强度检测 109

第一节 砖抗压强度检测 109

第二节 砖回弹法测强度 112

第三节 石材强度等级及其他 117

第十一章 砂浆强度检测 119

第一节 砂浆回弹法 119

第二节 贯入法 121

第三节 筒压法 126

第四节 点荷法 132

第五节 局压法 136

第六节 现场砂浆强度推定 138

第七节 四种砂浆强度检测方法比较 139

第十二章 砌体强度检测 147

第一节 标准砌体抗压试验 147

第二节 切割法 150

第三节 原位轴压法 151

第四节 扁顶法 163

第五节 砌体沿通缝抗剪试验 165

第六节 原位双剪法 168

第七节 砌体强度推定 171

第三篇 砌体耐久性研究与评估

第十三章 砌体的耐久性问题 175

第一节 耐久性承载历史 175

第二节	自然因素的影响	176
第三节	人类活动	183
第四节	墙材的质量问题	186
第十四章	墙材的耐久性试验方法	191
第一节	烧结砖的抗风化性能	191
第二节	冻融试验	192
第三节	泛霜试验	193
第四节	砂浆抗冻试验	194
第十五章	砖和砂浆的耐久性研究	196
第一节	砖冻融循环试验	196
第二节	百年老砖的耐久性研究	200
第三节	砌体耐酸试验	209
第四节	砂浆耐腐蚀试验	213
第十六章	砌体的耐久性	220
第一节	砌体损伤及病害	220
第二节	墙体风化调查	221
第三节	外墙风化调查结果	227
第十七章	砌体的耐久性评定	228
第一节	环境调查及分类	228
第二节	耐久性检测	230
第三节	砌体的耐久性评定	232
第四节	各种结构的耐久性比较	234

第四篇 结构构件现场检测

第十八章	检测概要	241
第一节	检测依据	241
第二节	室内试验及抽样	243
第三节	现场检测及抽样	244
第四节	抽样技巧	245
第十九章	结构及构件共性检测	248
第一节	建筑物变形监测	248
第二节	构件及结点变形检测	250
第三节	裂缝检测	252
第四节	构件形式检测	254
第二十章	地基基础	256
第一节	不检测的条件	256
第二节	常见问题	256
第三节	地基基础检测	260
第二十一章	生土结构	262

第一节	生土墙体	262
第二节	生土房屋	263
第三节	生土墙体检测	268
第二十二章	石砌体结构	272
第一节	砌体和石构件	272
第二节	砌体的损坏	275
第三节	石结构检测	277
第二十三章	木结构	278
第一节	木材的强度	278
第二节	木材的腐蚀	281
第三节	木材的虫蚀	282
第四节	木结构检测	283
第二十四章	砖砌体结构	285
第一节	检测内容	285
第二节	受力裂缝	285
第三节	非受力裂缝	288
第四节	砌体的损伤	291
第二十五章	混凝土结构	292
第一节	强度检测	292
第二节	缺陷及损伤检测	298
第三节	构件裂缝	301
第四节	耐久性检测	304
第二十六章	建筑装饰	309
第一节	建筑装饰的意义	309
第二节	装饰的分类	310
第三节	装饰检测	311

第五篇 建筑物的鉴定与评估

第二十七章	鉴定方法概述	315
第一节	鉴定的必要性	315
第二节	鉴定方法的发展	319
第三节	鉴定的需求分类	322
第二十八章	可靠性鉴定的方法	333
第一节	可靠性模型	333
第二节	可靠性评定原则	335
第三节	评定的层次	337
第四节	等级的划分	338
第二十九章	构件和结构计算	340
第一节	结构分析	340

第二节	计算取值	343
第三节	计算方法	346
第三十章	民用建筑安全性	350
第一节	安全等级划分	350
第二节	构件的安全性鉴定	353
第三节	子单元安全性鉴定评级	361
第四节	鉴定单元的安全性评级	370
第三十一章	正常使用性鉴定	372
第一节	正常使用等级划分	372
第二节	构件的使用性鉴定	374
第三节	子单元使用性鉴定	380
第四节	鉴定单元的使用性评级	387
第三十二章	可靠性鉴定	388
第一节	等级划分	388
第二节	可靠性评级	389
第三节	工程案例	390
第三十三章	历史建筑的评估与修复	394
第一节	历史建筑	394
第二节	环境与沿革调查	396
第三节	建筑调查与测绘	400
第四节	检测的特点	403
第五节	安全性评估方法	405
第六节	文物建筑的修复	407
参考文献		414
后记——很多事等待我们		415

砌体材料及结构

建筑是人类居住和生活的场所，是人类进入文明社会的重要标志之一。砌体结构是人类最早使用的建筑形式，至今已有数千年的时间，它给我们留下了不少瑰丽的文化遗产，让我们自豪不已。砌体建筑现在仍在广泛使用，依然是人类建筑中不可缺少的元素之一。

为保证建筑的安全性、适用性和可靠性，按照现在的规定需要对结构进行检测鉴定。这项工作，包括了材料科学，物理、化学，现代检测技术，数理统计和建筑结构领域的知识，是一门综合性的技术。为对这门技术有一深入的理解，以便工作中应用和学习参考，首先对砌体材料产品的由来，生产技术，性能特点，以及编制的相应标准、规范的情况有所了解是很有必要的，是笔者写本篇的目的。

第一章 土筑建筑

第一节 土坑屋

穴居是人类住居的起点。从北京周口店龙骨山的天然石洞中发现 50 万年前的“北京人”骨骼和生活遗迹可以确认，我们的祖先最初是生活在天然的洞室之中。虽然洞穴能躲避野兽的袭击和遮风避雨，但是活动范围受到了限制。为了获得更广阔的生存空间，以及自然灾害等原因，我们的祖先必须走出穴居生活，去与大自然争斗。没有了庇护之所，人类为防御猛兽的攻击，在树上筑巢，白天下地狩猎和采集食物，晚上在树上居住，即“巢居”。关于最初的居所，也有“南巢北穴”之说。北方气候干燥，适宜在洞穴中居住，南方气候潮湿，穴居具有显而易见的优点，这些都是结合我们生活的经验去猜测。当然，不管怎么说，“巢穴”是人类最初居住的地方。

建筑是农耕时代的产物。在母系氏族公社进入农耕为主的经济时代，我们的祖先需要照料那里的土地和牛羊，自然有了定居的需求，从此，建筑开始伴随人类踏入历史的长河。最初，人们摸索出采用土、树叶和树枝搭建“蜗居”，以遮风避雨和野兽的侵袭，由此，形成了最原始的建筑形式——土坑屋。图 1-1 (a) 是河南洛阳和孙旗屯遗址复原图^[1]，为我国仰韶文化时期人修建的穴居建筑。他们的建造方式是从地面挖下一个坑，做成半地下室的形式，反映出它离其洞穴的根源仍不算遥远。上部利用木头做架，盖上树皮或草。这种地坪有深、有浅的房屋，四周为土墙。当时的人把墙壁和地面砸实进行焙烤，使之干硬光滑，起到提高强度、不易软化和防潮的作用，这应是最原始的生土建筑形式。用我们现在的观点来看：这种建筑在室内空间不变的情况下，通过室内的地面挖坑，降低了上部简易木构架的高度，使其刚度和强度得到提高，也就是说，增大了木构架抵御强风和外部荷载的能力。按现在的观点分析，室内处于半地下室的状态，在冬期具有保温、节能的效果，在夏季使人感到更凉爽、舒适，这是最原生态的绿色建筑。我翻阅的资料表明，这种原始住居形式在世界各地都有发现，只是随着生产力的进步、气候环境的差异和民族特性的不同，逐步演变成了不同的建筑形式。在非洲西南角的纳米比亚共和国内至今仍保持原始生态、半游牧部族——辛巴族 (Himba) 的居所 (图 1-1b)。房屋用树枝、泥土和掺有牛粪的泥土搭建，土屋通常成圆锥或圆形，屋内面积一般 $3\sim 4\text{m}^2$ 。虽然在热带，屋内不需要烤火取暖，但与我们祖先数千年的房屋和生活形式基本是一样的。这表明，从远古到现在，从非洲到亚洲，同住一个“地球村”，原始的建筑形态是没有多大变化。

为了完善本书的内容，追述其源头，时隔 20 多年，笔者再次到西安半坡村考察。快到西安半坡村时发现，西安半坡村可能是世界上现代人类与他们的祖先住得最近，最拥挤的地方。我从出租车上走下，是宽广的柏油马路。汽车、摩托车在上面奔跑。半坡遗址周边高楼林立，恍惚要步入混凝土森林 (图 1-2a)。笔者才意识到，必须穿越时空隧道，去

见祖先当年生活的情景。

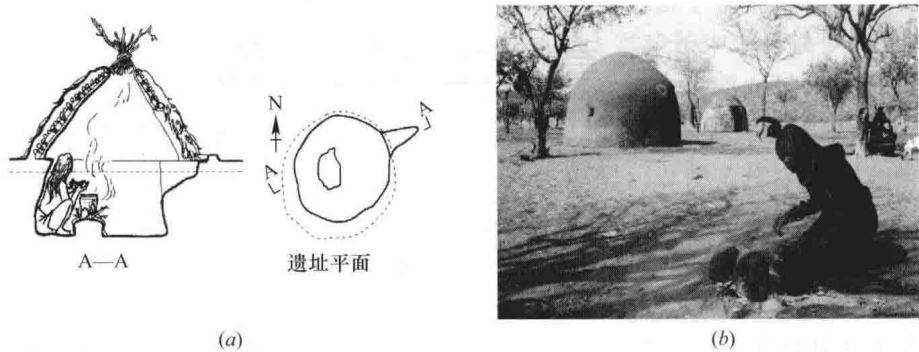


图 1-1 原始部族聚落的比较
(a) 河南洛阳孙旗屯遗址复原图；(b) 现今纳米比亚辛巴族聚落

西安半坡遗址是距今六千多年的新石器时代仰韶文化聚落遗址，包含四个阶段人们生活遗留的沉积物。遗址分居住区、制陶区和墓葬区三部分，从中发掘出的大量生活、劳作、宗教遗迹，上万件生产工具、生活用具、装饰品等遗物，展现了黄河流域发达的史前文明。居住区中，半地穴圆形房屋的房基是凹入地下的圆形浅穴。在坑穴的周围紧密地排列着 0.6m 的木板，木板内外敷有草拌泥，曾形成了地面上的墙体。屋内有一个瓢形灶坑（图 1-2b）。图 1-2（c）是第二次、第三次建造的房屋遗址，形式更复杂，四周有柱洞，显

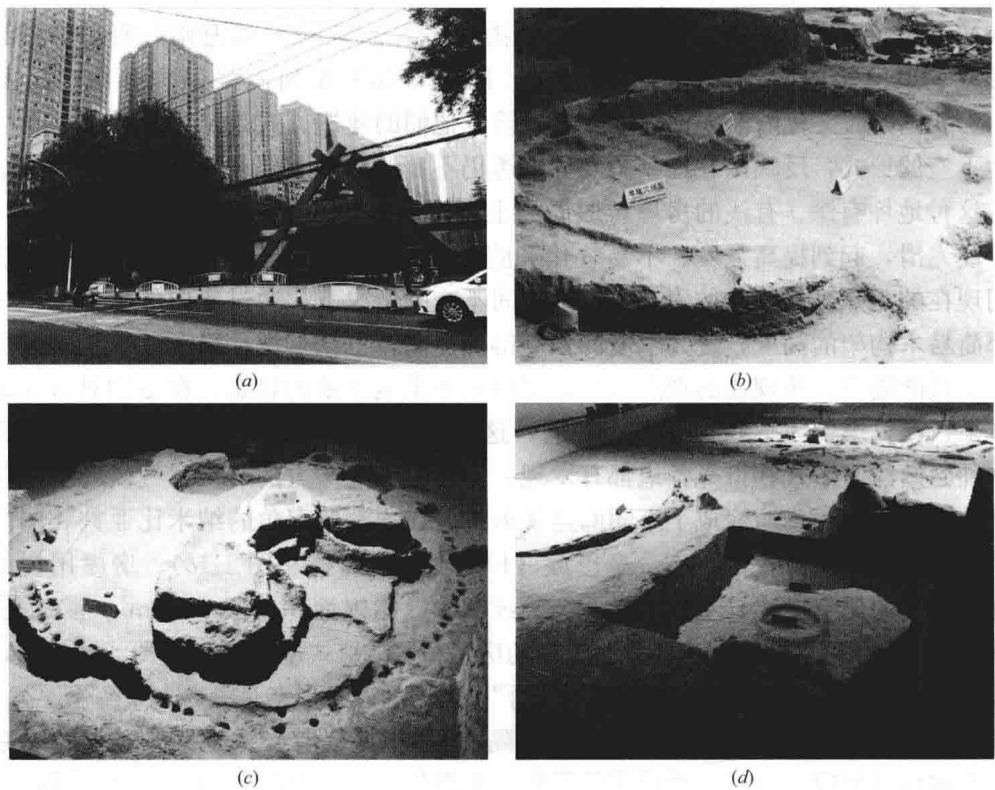


图 1-2 西安半坡遗址
(a) 入口外成排高楼及街景；(b) 半地穴圆形房屋；(c) 第二次、第三次建造房屋；(d) 半地穴式方形房屋

然建造技术更进了一步。图 1-2 (d) 半地穴式方形房屋，是遗址中保护最好的一座方形房屋基础，房基是一个深 0.7m 的土坑，坑壁就作墙壁，在坑的边缘架起屋顶。从这里不难看到，它的建造技术、房屋形式的发展，比河南洛阳和孙旗屯遗址建筑有了很大进步，室内面积也大了许多。这表明我们的祖先，随着对自然界认识的进步，在努力建造更加舒适的居住环境，这种属性一直传承到今天。

第二节 生土建筑

随着农耕定居生活，人们对生土的属性越来越了解，除了用于种植农作物，也开始挖沟筑渠、修筑田埂，这种技术以至尝试在建筑中的应用。夯筑技术出现于距今约 5000 年的仰韶文化晚期，到公元前 16 世纪至公元前 11 世纪的殷商时代夯土技术已经比较成熟。在商汤时期的都城豪（河南偃师），发掘出 10000m² 的夯土台基，上部是红夯土，下部是花夯土，是经过两次筑成。在当时，应是一项巨大的夯土工程。夯土是通过使用石块或木棒将具备一定湿度和黏性的生土捶打，捣实，改变其原状结构，使密度加大，板结坚固，并采取逐层堆土，逐层夯实的步骤，直至所需高度，从而形成了最初的夯筑结构。这种夯土形式只是将堆起的湿土分层捣实到一定高度后，用简陋的石制铲削器修整两侧后便形成坚实的土体。这些土体，根据修建祭坛、城墙、宫殿和房屋的重要性，其土体的大小，添加材料和形制是不一样的。现在的考古发掘，往往依据夯土台的位置、形制、使用材料、柱距等参数来确定原有建筑的规模和重要程度。到春秋时期，随着社会的发展，筑城工程日益增多，其中有规模庞大的城，城墙很高，城体非常宽厚。当时城墙工程全部采用夯土、版筑的方法。河北省易县燕下都西城牆就是其中一例。夯层甚厚，至今仍层次分明（图 1-3a）。在齐国的临淄故城中，西南角皇城全部是用夯土筑成，夯窝非常明显，遗留至今（图 1-3b）^[1]。

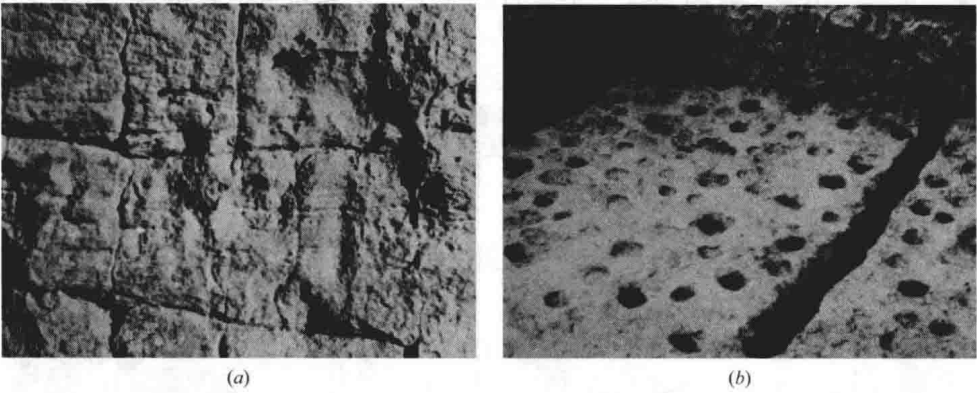


图 1-3 夯土技术遗存

(a) 河北易县南下都墙夯层；(b) 山东齐临淄城墙夯窝

夯土建筑给了我们时空对比，笔者 2013 年到河西走廊考察，拍摄的汉长城遗址，见图 1-4a。该段长城已有 2000 年历史，在没有防护的条件下，任凭风吹雨打，能坚持至今，说明夯土结构还是有相当的耐久性能。当然，地区干燥也是一有利因素。图 1-4 (b) 是重庆涪陵区大顺镇附近农村的一幢碉楼。据说这一地区原来有很多类似的碉楼，是修筑起来

防匪的，过去几十年为改善良田，捣毁不少。近几年听说有旅游开发价值，又禁止拆除，准备进行保护。该幢碉楼约有 15m 高，距今已有 100 多年历史。从这件事情可以联想到，我国的农村肯定还藏有不被当地人认同的，在他们看来习以为常的建筑，却是宝贵的历史遗迹。

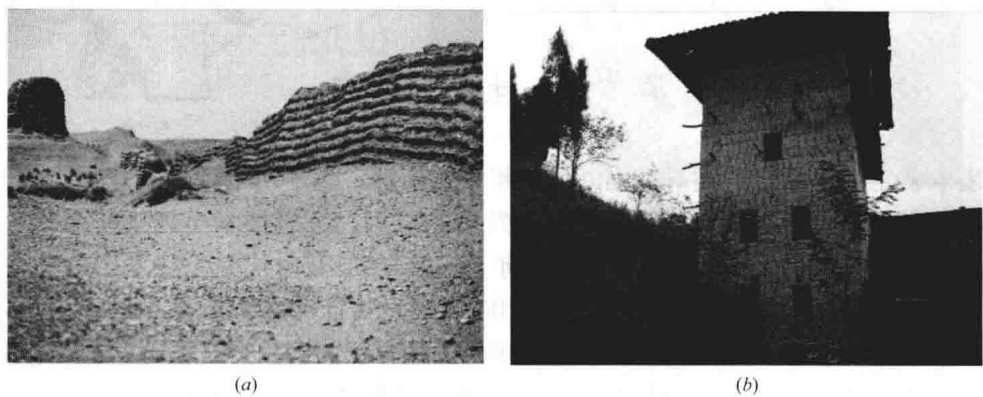


图 1-4 夯土建筑的防御功能
(a) 汉长城遗址；(b) 高耸的碉楼

笔者借到厦门开会之机，到南靖参观土楼。怀远楼建于清代（1905~1909 年），为双环圆土楼。外环土楼为土木结构，内通廊式，楼高 4 层（13.5m），每层 34 间（图 1-5a）。内环楼为砖木结构（图 1-5a），“面阔三间”为抬梁式五凤楼的“诗礼堂”。圆形土楼给人的感觉是，虽然最初修建是为了防范土匪的袭扰，但它的内涵不止这点。远远望去，它的稳定感比其他楼形都强。在楼内，圆形给人一个自然的向心力，房间的均匀分隔，使每家平等，没有等级之分，通廊就像纽带，增强了相互间的联系。院中的“诗礼堂”应是家族祠堂、传承教育的地方。这份遗产，使笔者感受到了我们祖先理想中的大同世界。夯土建筑中的福建土楼，不愧为我国现存夯土建筑的瑰宝。它的建筑形式体现了中华民族的智慧、夯土结构的合理性和创造的亲情环境。

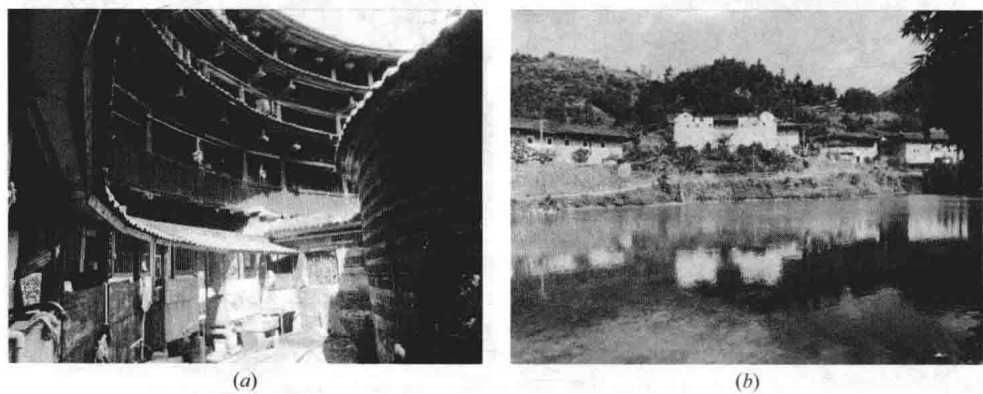


图 1-5 福建土楼的人居环境
(a) 南靖怀远楼内景；(b) 土楼群依山傍水

回厦门的路上，途经田中村，土楼群依山傍水，一幅田园画卷。福建土楼散布在闽西的永定、武平、上杭及闽西南的南靖、平和、华安、漳浦，最为著名的就是武夷山的土

楼。永定县和南靖县的数量最多，其中永定土楼有 2300（方、园）多座，绝大多数土楼保留完好并依然住人。现存于永定县客家土楼群中的馥馨楼建于公元 769 年，至今已有一千二百多年历史。建于元代的南靖县下坂村裕昌楼已有 700 多年。最晚建造的也有 30 多年历史，可见生土建筑保护得当也会有很好的耐久性。

据报道，现在世界上有 1/3 的人居住在生土建筑中。纵观历史，生土建筑，是人类使用历史最为悠久，分布地域最为广阔的建筑类型。生土建筑的结构形式和建筑风格表现出明显的地域特性，其中不乏艺术的巅峰之作。

西非马里的杰内古城 1987 年被联合国教科文组织列入《世界文化遗产名录》。杰内古城的大清真寺是世界上最大的生土建筑，也是非洲著名的地标建筑之一。清真寺主体重建于 1907 年，其中一处曾建于 13 世纪。杰内古城的大清真寺在建造时没有用一砖一石，而是与当地普通民居一样采用棕榈树枝为骨架，与黏土泥结合的结构方式。该寺院占地面积 6375m^2 ，建筑面积 3025m^2 ，最高处有 20m，它完美体现出撒哈拉建筑风格（图 1-6a）。美国西部新墨西哥州的陶斯镇，它以印第安人土著部落纯正的传统文化遗存而著名，是美国西部最古老、土著部落文化样态保护最为完整的聚落，见图 1-6（b）。印第安人的这种集合式住宅，由前向后逐层垒高和退进，从而形成一层层高低起伏相互转换的平台，生土建筑的错落融入山地起伏之中。现存最早的房屋约建于 14 世纪中期前后。

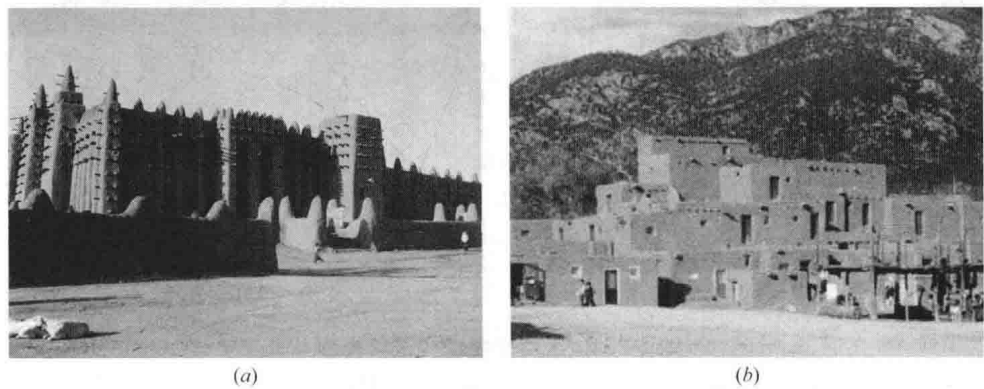


图 1-6 世界著名的生土建筑
(a) 马里杰内大清真寺；(b) 印第安人的集合式住宅

第三节 抗震问题

生土建筑是当之无愧的原始生态型绿色建筑。生土建筑就地取材，与大地同色，具有非常优异的原生态风格，它秉存了土壤的优良热工性能，使室内空间冬暖夏凉，是理想的“节能”建筑，当它衰老不能满足使用要求，它又悄悄地回归大地。它以最原始的形态全面体现了人们今天所追求绿色建筑的“最新理念与最高境界”。在法国、美国、西班牙、巴西等国家，自 1980 年以来采用新型的土坯建造了大量别墅。

在我国，影响生土建筑发展的原因之一，是一般的人都认为土墙房屋不抗震。但农村的生土墙房屋也有经受住强烈地震考验的案例。在福建，建于公元 1693 年的永定湖坑镇的“环极楼”，300 年来经历了数次地震。据史料记载，1918 年农历四月初六的一次震级