

建筑遗产保护丛书

东南大学城市与建筑遗产保护教育部重点实验室

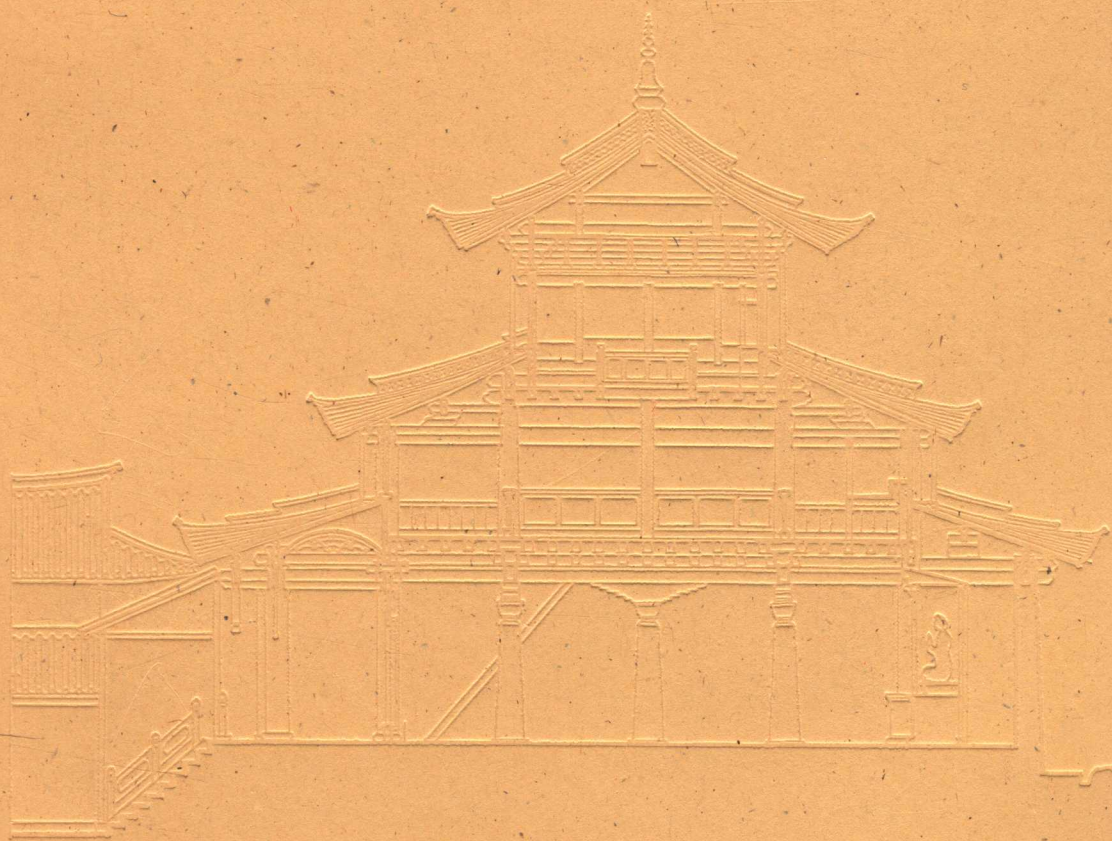
朱光亚 主编

中国古代楼阁受力机制研究

THE STRUCTURAL ANALYSIS
OF ANCIENT CHINESE PAVILION

乐志 著

东南大学出版社



建筑遗产保护丛书

东南大学城市与建筑遗产保护教育部重点实验室

朱光亚 主编

中国古代楼阁受力机制研究

THE STRUCTURAL ANALYSIS OF ANCIENT CHINESE PAVILION

乐 志 著

国家自然科学基金：“明清木构楼阁构架演替中拼柱榫卯及受力机制研究”(51308299)

东南大学校内科研基金：“中国传统木构受力机理、性能退化机制研究”(9201000006)

东南大学出版社·南京

内容提要

中国古代木构建筑博大精深,楼阁作为诸多木构建筑中的一种,其在跨度、构架形式和高度上均与众不同,故其结构技术也必有特殊之处。本书即从结构分析的角度,以构架的受力机制为切入点,解析了中国传统木构楼阁发展演变中的相关结构问题。分析以中国木构最基本的技术——榫卯节点的结构研究为基础,结合试验和结构计算,史料研究等多种手段。从新的角度,再次解读了从原始的半穴居屋顶到高度数十米的木构楼阁的发展演变历史。并对一些长期疑难的构架演变问题,如从层叠式到通柱式的演变,从结构学角度提出了新的理解。而结构分析的计算数据,还为这些宝贵遗产的保护提供了重要研究基础。

本书适用于建筑历史理论和遗产保护领域的相关研究人员和教师学生,也可作为建筑学、木结构建筑、结构分析学者的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

中国古代楼阁受力机制研究/乐志著. —南京:
东南大学出版社, 2014. 12

(建筑遗产保护丛书/朱光亚主编)

ISBN 978-7-5641-5380-9

I. ①中… II. ①乐… III. ①古建筑—楼阁—受力性能—研究—中国 IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 285974 号

中国古代楼阁受力机制研究

出版发行 东南大学出版社
出版人 江建中
网 址 <http://www.seupress.com>
电子邮箱 press@seupress.com
社 址 南京市四牌楼 2 号
邮 编 210096
电 话 025-83793191(发行) 025-57711295(传真)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 南京玉河印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 20(其中彩色印张 2)
字 数 486 千
版 次 2014 年 12 月第 1 版
印 次 2014 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-5380-9
定 价 68.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

继往开来,努力建立建筑遗产保护的现代学科体系^①

建筑遗产保护在中国由几乎是绝学转变成显学只不过是二三十年时间。差不多五十年前,刘敦桢先生承担瞻园的修缮时,能参与其中者凤毛麟角,一期修缮就费时六年;三十年前我承担苏州瑞光塔修缮设计时,热心参加者众多而深入核心问题讨论者则十无一二,从开始到修好费时十一载。如今保护文化遗产对民族、地区、国家以至全人类的深远意义已日益被众多社会人士所认识,并已成各级政府的业绩工程。这确实是社会的进步。

不过,单单有认识不见得就能保护好。文化遗产是不可再生的,认识其重要性而不知道如何去科学保护,或者盲目地决定保护措施是十分危险的,我所见到的因不当修缮而危及文物价值的例子也不在少数。在今后的保护工作中,十分重要的一件事就是要建立起一个科学的保护体系,从过去几十年正反两方面的经验来看,要建立这样一个科学的保护体系并非易事,依我看至少要获得以下的一些认识。

首先,就是要了解遗产。了解遗产就是系统了解自己的保护对象的丰富文化内涵,它的价值以及发展历程,了解其构成的类型和不同的特征。此外,无论在中国还是在外国,保护学科本身也走过了漫长的道路,因而还包括要了解保护学科本身的渊源、归属和发展走向。人类步入21世纪,科学技术的发展日新月异,CAD技术、GIS和GPS技术及新的材料技术、分析技术和监控技术等大大拓展了保护的基本手段,但我们在努力学习新技术的同时要懂得,方法不能代替目的,媒介不能代替对象,离开了对对象本体的研究,离开了对保护主体的人的价值观念的关注,目的就沦丧了。

其次,要开阔视野。信息时代的到来缩小了空间和时间的距离,也为人类获得更多的知识提供了良好的条件,但在这信息爆炸的时代,保护科学的体系构成日益庞大,知识日益精深,因此对学科总体而言,要有一种宏观的开阔的视野,在建立起学科架构的基础上使得学科本身成为开放体系,成为不断吸纳和拓展的系统。

再次,要研究学科特色。任何宏观的认识都代替不了进一步的中观和微观的分析,从大处说,任何对国外的理论的学习都要辅之以对国情的关注;从小处说,任何保护个案都

^① 本文是潘谷西教授为城市与建筑遗产保护教育部重点实验室(东南大学)成立写的一篇文章,征得作者同意并经作者修改,作为本丛书的代序。

有着自己的特殊的矛盾性质,类型的规律研究都要辅之以对个案的特殊矛盾的分析,解决个案的独特问题更能显示保护工作的功力。

最后,就是要通过实践验证。我曾多次说过,建筑科学是实践科学,建筑遗产保护科学尤其如此,再动人的保护理论如果在实践中无法获得成功,无法获得社会的认同,无法解决案例中的具体问题,那就不能算成功,就需要调整甚至需要扬弃,经过实践不断调整和扬弃后保留下来的理论,才是保护科学体系需要好好珍惜的部分。

潘谷西

2009年11月于南京

丛书总序

建筑遗产保护丛书是酝酿了多年的成果。大约在1978年,东南大学通过恢复建筑历史学科的研究生招生,开启了新时期的学科发展继往开来的历史。1979年开始,根据社会上的实际需求,东南大学承担了国家一系列重要的建筑遗产保护工程项目,也显示了建筑遗产保护实践与建筑历史学科的学术关系。1987年后的十年间东南大学发起申请并承担国家自然科学基金重点项目中的中国建筑历史多卷集的编写工作,研究和应用相得益彰;又接受国家文物局委托举办的古建筑保护干部专修科的任务,将人才的培养提上了工作日程。90年代,特别是中国加入世界遗产组织后,建筑遗产的保护走上了和世界接轨的进程。人才培养也上升到成规模地培养硕士和博士的层次。东大建筑系在开拓新领域、开设新课程、适应新的扩大了的社会需求和教学需求方面投入了大量的精力,除了取得多卷集的成果和大量横向研究成果外,还完成了教师和研究生的一系列论文。

2001年东南大学建筑历史学科经评估成为中国第一个建筑历史与理论方面的国家重点学科。2009年城市与建筑遗产保护教育部重点实验室(东南大学)获准成立,并将全面开展建筑遗产保护的研究工作,特别是将从实践中凝练科学问题的多学科的研究工作承担了起来,形势的发展对学术研究的系统性和科学性提出了更为迫切的要求。因此,有必要在前辈奠基及改革开放后几代人工作积累的基础上,专门将建筑遗产保护方面的学术成果结集出版,此即为《建筑遗产保护丛书》。

这里提到的中国建筑遗产保护的学术成果是由前辈奠基,绝非虚语。今日中国的建筑遗产保护运动已经成为显学且正在接轨国际并日新月异,其基本原则:将人类文化遗产保护的普世精神和与中国的国情、中国的历史文化特点相结合的原则,早在营造学社时代就已经确立,这些原则经历史检验已显示其长久的生命力。当年学社社长朱启钤先生在学社成立时所说的“一切考工之事皆本社所有之事……一切无形之思想背景,属于民俗学家之事亦皆本社所应旁搜远绍者……中国营造学社者,全人类之学术,非吾一民族所私有”的立场,“依科学之眼光,作有系统之研究”,“与世界学术名家公开讨论”的眼界和体系,“沟通儒匠,浚发智巧”的切入点,都是今日建筑遗产保护研究中需要牢记的。

当代的国际文化遗产保护运动发端于欧洲并流布于全世界,建立在古希腊文化和希伯来文化及其衍生的基督教文化的基础上,又经文艺复兴弘扬的欧洲文化精神是其立足点;注重真实性,注重理性,注重实证是这一运动的特点,但这一运动又在其流布的过程中不断吸纳东方

的智慧,1994年的《奈良文告》以及2007年的《北京文件》等都反映了这种多元的微妙变化;《奈良文告》将原真性同地区与民族的历史文化传统相联系可谓明证。同样,在这一文件的附录中,将遗产研究工作纳入保护工作系统也是一个有远见卓识的认识。因此本丛书也就十分重视涉及建筑遗产保护的东方特点以及基础研究的成果。又因为建筑遗产保护涉及多种学科的多层次研究,丛书既包括了基础研究也包括了应用基础的研究以及应用性的研究,为了取得多学科的学术成果,一如遗产实验室的研究项目是开放性的一样,本丛书也是向全社会开放的,欢迎致力于建筑遗产保护的研究者向本丛书投稿。

遗产保护在欧洲延续着西方学术的不断分野的传统,按照科学和人文的不同学科领域,不断在精致化的道路上拓展;中国的传统优势则是整体思维和辩证思维。1930年代的营造学社在接受了欧洲的学科分野的先进方法论后又经朱启钤的运筹和擘画,在整体上延续了东方的特色。鉴于中国直到当前的经济发展和文化发展的不均衡性,这种东方的特色是符合中国多数遗产保护任务,尤其是不发达地区的遗产保护任务的需求的,我们相信,中国的建筑遗产保护领域的学术研究也会向学科的精致化方向发展,但是关注传统的延续,关注适应性技术在未来的传承,依然是本丛书的一个侧重点。

面对着当代人类的重重危机,保护构成人类文明的多元的文化生态已经成为经济全球化大趋势下的有识之士的另一种强烈的追求,因而保护中国传统建筑遗产不仅对于华夏子孙,也对整个人类文明的延续有着重大的意义。在认识文明的特殊性及其贡献方面,本丛书的出版也许将会显示另一种价值。

朱光亚

2009年12月20日于南京

序

在唐山地震和汶川地震中都出现过大批不符合抗震规范要求的现代建筑轰然倒塌而那些建立在传统经验基础上的古代木构建筑却还是屹立不倒的现象。这自然激起了学者们研究古代建筑结构安全性能和抗震能力的兴趣,但是倘若用现代材料力学和结构力学的分析方法去分析这些木构架,却又往往得出它们是危险结构的结论,甚至是对那些屹立数百年的木构建筑分析也是这样,这明显与事实不符。对此还不能简单地下一个科学方法不科学的结论,因为每门学科都有自己的边界条件,力学建立在对象模型化的基础上,力学的模型在应用到砖石结构时一切分析都可验证,但应用到木结构时却发生了失误,是因为那个假设的模型显然未能很好地反映木结构的工作机制,特别是它们的节点的工作机制。

木构建筑的节点是各类的榫卯,如何通过对榫卯的研究来达到改进力学模型的目的成为国内外学者们近年的兴趣点,却也是一个难点,因为榫卯的做法从外部往往看不出来,或者看不清楚,传承不同、技艺不同的木工做出的榫卯也往往不同。因而,对古代木构建筑做科学分析不仅涉及对具体某种节点的再分析,还涉及多种榫卯工艺的认知、了解和比较,涉及对现代工程结构与古代工程结构体系性差异的认识,甚至需要有一些对以中国为代表的东亚文明和欧洲文明的差异性的了解。因而,在这方面的研究自然步履艰难。

乐志具有结构工程的学术背景又通过建筑历史学科研究生阶段的学习和训练具备了开拓这一领域的基础,他在硕士生阶段即开始了对榫卯的实验性研究,以此为基础在博士阶段更以人们比较关心的木构楼阁的结构状况的科学分析为对象,完成了他的博士论文,本书即是在此基础上几经修改和充实后呈现给社会的。楼阁的类型丰富,柱网和空间结构关系更是十分繁杂,他们是古代不同地区的匠师根据当地的地理、材料及社会需求在当时依靠传承的经验体系建造的,乐志选择了最基本的类型,通过新的分析和实验,终于为我们提供了不再仅仅是经验和直接认识的结论,并为更多学者继续进行古代建筑结构的科学性研究提供了一个新的平台。也成为本遗产丛书中极具特色的一本,书成之前,欣然命笔,是为序。

朱光亚

2014.10.29

于东南大学

目 录

1 绪论	1
1.1 楼阁释义	2
1.2 文献综述和研究概况	3
1.2.1 过往研究的深度局限	4
1.2.2 过往研究的系统缺陷	6
1.3 楼阁演变过程中的基本现象和问题	7
1.3.1 原始社会	8
1.3.2 奴隶时期	9
1.3.3 秦到西汉	10
1.3.4 东汉到南北朝	11
1.3.5 唐宋时期	12
1.3.6 元明清时期	13
1.3.7 木构楼阁演变中的结构规律	13
1.4 木构安全度初探	15
1.4.1 竖直荷载下的安全度及其分布特征	16
1.4.2 案例分析和解读	16
1.4.3 传统提高安全度方法评析	19
1.4.4 竖直荷载下安全度深入探讨	19
1.4.5 竖直荷载安全度分析小结及探讨	20
1.4.6 水平作用下的木构安全浅析	20
1.5 木构结构定量分析研究基础	22
1.5.1 节点结构研究成果与问题	22
1.5.2 构架结构研究情况	26
1.6 本章小结	27
2 研究体系与思路	28
2.1 研究对象概念界定	28
2.2 受力机制研究目标与技术路线	29
2.2.1 研究技术路线图	29
2.2.2 榫卯节点	30
2.2.3 斗拱	30
2.2.4 构架	31
2.3 木材材性和计算假设	31
2.3.1 木材的基本特性	31

2.3.2	腐败和长期荷载作用下的木材属性	32
2.3.3	木材计算简化和假设	33
2.4	计算分析通用假设和说明	33
2.4.1	术语	34
2.4.2	符号	34
2.4.3	坐标	35

上篇 节点研究

3	榫卯类型差异研究	37
3.1	榫卯的基本类型和变化组合	37
3.2	榫卯类型选择	41
3.3	试验方案设计	44
3.4	试验加载、现象描述与分析	45
3.4.1	总体特征和加载方式	45
3.4.2	水平作用下试验现象	46
3.4.3	竖直荷载下试验现象	50
3.4.4	试验现象小结	53
3.5	试验数据分析	53
3.5.1	竖直荷载作用	53
3.5.2	水平荷载作用	54
3.6	榫卯转动刚度简化模型	56
3.7	不同形式、不同作法的榫卯半刚性差异及数据分析	57
3.7.1	竖直荷载作用下榫卯比较	57
3.7.2	水平作用下榫卯比较	59
3.8	受荷状态对榫卯转动刚度半刚性的影响	61
3.8.1	竖直荷载与水平作用下榫卯半刚性行为差异	61
3.8.2	柱头竖直荷载有无的差异	62
3.9	本章小结	62
4	斗拱节点研究	64
4.1	研究对象	64
4.2	研究目标	68
4.3	试验设计	69
4.4	实验现象,描述和分析	77
4.4.1	宋式四铺作,华拱方向变形	77
4.4.2	宋式五铺作,华拱方向变形	78
4.4.3	宋式六铺作,华拱方向变形	79
4.4.4	宋式四铺作,横拱方向变形	80
4.4.5	宋式五铺作,横拱方向变形	81
4.4.6	宋式六铺作,横拱方向变形	81
4.4.7	清式华拱向	82

4.4.8	清式横拱向	83
4.4.9	其他现象与总结	83
4.5	试验数据及分析	84
4.6	斗拱转动刚度半刚性退化曲线模型	85
4.7	斗拱转动刚度差异研究	87
4.7.1	宋式三个等级华拱向转动刚度比较	87
4.7.2	宋式三个等级横拱向转动刚度比较	87
4.7.3	宋式同一等级斗拱华拱向和横拱向的比较	87
4.7.4	清式华拱向和横拱向的比较	88
4.7.5	清式和宋式斗拱抗侧刚度比较	88
4.7.6	清式和宋式在华拱向半刚性的比较	88
4.7.7	宋、清式斗拱横拱向比较	89
4.7.8	垂直荷载的影响	89
4.8	与其他研究成果之比较	89
4.9	总结与探讨	91
4.9.1	分析小结	91
4.9.2	讨论	91
5	竖向拼柱榫卯研究	92
5.1	研究对象	92
5.2	研究目标	95
5.3	试验设计	96
5.4	实验现象,描述和分析	97
5.4.1	十字榫口,有铁件	97
5.4.2	有铁件加固的对角榫	98
5.4.3	单向榫口,卯口方向垂直加载,有铁件	100
5.4.4	十字榫口,无铁件	101
5.4.5	对角榫口,无铁件	102
5.4.6	单榫口,无铁件	103
5.4.7	现象小结和初步分析	103
5.5	试验数据及分析	103
5.6	拼接柱榫卯转动刚度半刚性退化模型	104
5.7	不同拼接方式转动刚度比较	105
5.7.1	三种铁件加固榫卯的差异	105
5.7.2	未加铁件的榫卯差异	106
5.7.3	十字榫有无铁件加固时的区别	106
5.7.4	无铁件的对角榫和十字榫的异同	107
5.7.5	所有拼接柱的比较	107
5.7.6	垂直荷载的影响	107
5.8	总结与探讨	108

6 直榫专项研究	109
6.1 研究对象和缘起	109
6.2 研究目标	111
6.3 试验设计	112
6.4 实验现象描述和分析	114
6.4.1 榫长变化的影响	114
6.4.2 榫宽变化的影响	115
6.4.3 榫肩作法的影响	116
6.4.4 销钉作法的影响	116
6.4.5 分榫作法的影响	117
6.5 试验数据及分析	118
6.6 直榫转动刚度退化模型	118
6.7 尺寸和作法对榫卯转动刚度的影响	119
6.7.1 榫宽的影响	119
6.7.2 榫长的影响	120
6.7.3 榫肩的影响	121
6.7.4 销钉的影响	121
6.7.5 分榫的影响	122
6.8 与同类研究结果的比较	122
6.9 总结与探讨	124

下篇 构架受力机制研究

7 单层木构受力机制及对楼阁的影响	130
7.1 混沌与探索——绑扎节点的穴居小屋	133
7.1.1 重要案例	134
7.1.2 分析模型	136
7.1.3 受力机制解析	138
7.2 蒙昧初开——河姆渡的榫卯构架	139
7.2.1 河姆渡榫卯构架基本情况	140
7.2.2 受力机制解析	141
7.3 过渡期——土木混合结构的第一次内移	142
7.3.1 重要案例	142
7.3.2 分析模型	143
7.3.3 总结和讨论	145
7.4 合纵——纵架和榫卯节点的第一次结合	145
7.4.1 重要案例	145
7.4.2 分析模型	147
7.4.3 小结和讨论	150
7.5 层叠与合纵连横——不仅是纵架的大发展	151
7.5.1 重要案例	151
7.5.2 分析模型	155

7.5.3	总结和讨论	157
7.6	柱头花开——横架中斗栱的发展	158
7.6.1	重要案例	158
7.6.2	分析模型	160
7.6.3	小结和讨论	162
7.7	盛极而衰——铺作层的兴盛和衰败	163
7.7.1	重要案例	163
7.7.2	分析模型	166
7.7.3	小结与探讨	169
7.8	返璞归真——榫卯直连框架体系的兴盛	169
7.8.1	重要案例	169
7.8.2	分析模型	172
7.8.3	小结与讨论	173
7.9	本章小结	174
8	多层楼阁受力机制	175
8.1	百花齐放——汉代楼阁结构的多样性探索	177
8.1.1	重要案例	177
8.1.2	分析模型	181
8.1.3	小结与讨论	186
8.2	高度的冲刺——南北朝时期的高“塔”	186
8.2.1	重要案例	186
8.2.2	分析模型	190
8.2.3	小结与讨论	192
8.3	从塔走向阁——重叠的单层殿阁	193
8.3.1	重要案例	193
8.3.2	分析模型	199
8.3.3	隋唐楼阁小结探讨	202
8.3.4	辽代殿阁式楼阁重要案例	203
8.3.5	殿阁式楼阁模型分析	205
8.3.6	小结与讨论	207
8.4	新的选择——宋代的“通柱造”	207
8.4.1	重要案例	207
8.4.2	分析模型	210
8.4.3	小结与讨论	215
8.5	简化与加强——宋之后的楼阁“梁柱造”	216
8.5.1	重要案例	216
8.5.2	分析模型	221
8.5.3	小结与讨论	227
8.6	本章小结	227

9 水平动载下的楼阁构架受力机制	229
9.1 动力学构架研究方法和对象	230
9.1.1 现有研究理论的不足	230
9.1.2 研究思路	231
9.1.3 研究对象	232
9.2 构架振形比较研究	233
9.2.1 构架一振形及分析	233
9.2.2 构架二振形及分析	235
9.2.3 构架三振形及分析	236
9.2.4 构架四振形及分析	238
9.2.5 本节小结	240
9.3 构架抗侧刚度退化研究	240
9.3.1 构架一刚度退化规律及分析	240
9.3.2 构架二刚度退化规律及分析	242
9.3.3 构架三刚度退化规律及分析	243
9.3.4 构架四刚度退化规律及分析	243
9.3.5 构架间刚度退化规律比较	244
9.4 木构楼阁的地震响应分析	245
9.4.1 地震分析设计	245
9.4.2 框架一地震分析	247
9.4.3 框架二地震分析	257
9.4.4 框架三地震分析	262
9.4.5 框架四地震分析	269
9.4.6 综合分析	276
9.4 本章小结	279
结论	280
参考文献	282
图片来源	292
附录	298
后记	301

1 绪论

中国使用木材搭建房屋至今,已有数千年历史,早自约 7 000 年前的河姆渡时期,就已出现较为完备,局部使用榫卯搭接的房屋,至今仍有其残迹存在(图 1-1)^①。中国人长期坚持木构,喜爱木构,并创造了很多世界之最,如现存最高的古代木构建筑应县木塔(图 1-2)。对木构的偏爱,对其技术的追求不仅限于中国,东亚国家日本、韩国等也深受影响、一脉相承^②(图 1-3)。木材虽有易于砍伐、运输、加工的先天优势,但也存在先天长度受限,易受环境侵袭,不耐火等天然缺陷^③。古代工匠通过不断努力,力争在建筑造型、空间跨度、高度等多个方面有所创新。如果说宫殿庙宇的大殿是木构在单层建筑中跨度上不断拓展的尝试,塔就是木构在高度上的不断突破,此外有一批努力在高度和跨度上均有所突破的木构——楼阁。

然而,营建这些楼阁在古代的技术条件下曾面临过重重挑战,与单层的木构相比,从我国原始社会简陋的棚屋到唐宋、明清时高大的楼阁,其间到底曾克服多少难题,已非今日所能想象。作为理解材料-建造-建筑的重要技术环节之一,结构受力机制的研究责任重大。其中一些特别的结构问题,如早期土木混合式是如何演变成层叠式,又怎样更替为后期通柱式等,更是至今仍困扰着研究者们。虽已有众多研究楼阁的相关文献问世,从造型、体系、营造等多个方面探讨楼阁。也有一部分文章尝试解释楼阁的结构奥秘,但至今尚未有完整的文献仔细、连贯,有结构分析依据的讨论过楼阁发展中的技术问题。



图 1-1 河姆渡榫卯



图 1-2 应县木塔



图 1-3 日本木塔

① 中国科学院自然科学史研究所. 中国古代建筑技术史[M]. 北京:科学出版社,2000:8.
 ② 建筑学参考图刊行委员会. 日本建筑史参考图集[M]. 建筑学会,昭和七年:9.
 ③ 中国科学院自然科学史研究所. 中国古代建筑技术史[M]. 北京:科学出版社,2000:2.

传统木构楼阁结构研究,不仅对中国古代建筑史的研究具有重要意义,也对今日和今后的建筑遗产保护工作有现实意义。中国现存的传统木构中的绝大多数由于使用年限长(数百到一千多年),均需要高效、迅速、准确的保护和修缮,刻不容缓。面对如此大量而又各自不同的对象,“修旧如旧”这种朴素的认知操作体系已很难满足当今的需求。今天所面对的建筑遗产保护工作,面临着很多古人所没有面对的问题。使用功能的变更(如参观人流带来的频繁动荷载)、材料的老化(很多重要遗存的木材已使用 800—1000 年)、环境侵袭加剧(化学物质,酸雨等)、安全意识提高(考虑防风,防震要求)、预防性保护的提出等,使得木构遗产保护修缮除了要依据文物修缮的法律法规,尽可能的维持原真性、可逆性、可识别性等外,还要能更好地保障建筑自身和使用者的安全。这就要求对原有构架、构件进行安全和可靠性的评估,这种结构评估必须建立在可靠的研究基础上。

基于上述背景,本书以古代楼阁,主要是纯木构楼阁的受力机制展开研究,并期望能在如下的三个方面有所成就:其一,解析楼阁受力机制和演化规律的内在联系,揭示结构受力机制在楼阁形态式样演替过程中的作用;其二,从结构受力角度解析传统木构楼阁的受力机制,揭示可能存在的结构问题和相关对应方法;第三,从现代结构角度对古代楼阁做出全方位解析,了解其受力机制,内力分布规律,残损变形情况,并将研究领域初步跨入动力学范畴,解析此前研究非常困难的地震作用下楼阁的受力机制等结构问题。

1.1 楼阁释义

楼阁是由两个互有交叉的概念组合而成的,又与重屋、多层、塔等其他建筑术语互有重叠。此外,由于中国人常有的逻辑的模糊性,很多与楼阁实际没有实际关联的概念也会以楼阁冠名(例如有不少亭子实际上是典型的二层木构,而有的阁却是单层建筑^①)。

楼本身具有多重形象,其出现时代也颇早,据汉书记载,早在黄帝时期就已出现了楼,“济南人公孙带上皇帝时《明堂图》,明堂中有一殿,四面无壁,以茅盖,通水。水圜宫垣,为复道,上有楼,从西南入”。^② 这种楼的规模还不小,“黄帝时为五城十二楼,以候神人于执期”。^③ 而据《楼阁考释》^④一文归纳,楼大约有几种源头,第一种是台楼。《尔雅·释宫》:“四方而高曰台,陟而修曲曰楼。”宋邢疏:“此明寝庙楼台之制也。四方而高者名台。修,长也。凡台上有屋,陟长而屈曲者曰楼。”第二种是类似阙的防御性多层建筑,如《释名》中说:“楼谓牖户之间有射孔,楼楼然也”。第三种即重屋,也就是多层房屋,《说文解字·木部》:“楼,重屋也。从木,娄声。”如果摒弃楼、台在形状上的各种差异而求同,则楼可归纳为多层建筑,即重屋(把台作为底层建、构筑看待)。

相类似的,阁也同样有多种来源,其中两种似乎与今日之阁并无联系,即在东汉许慎编撰的《说文解字》中的“阁”列在“门”部,“从门,各声”,“凡门之属,皆从门”,而“各”是从口、夂。“夂有行而止之不相听从之意,故各声字有暂止义”。另外一种则是《说文解字》:“横者可以度物亦曰阁”,有与搁通假之嫌;而建筑意义上的阁出现于文献中则要晚得多,如《战国

① 潘谷西. 中国古代建筑史(第四卷):元、明建筑[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001:447.

② 二十五史(百衲本)·汉书·效祀志下[M]. 杭州:浙江古籍出版社,1998:369.

③ 二十五史(百衲本)·汉书·效祀志下[M]. 杭州:浙江古籍出版社,1998:370.

④ 张威. 楼阁考释[J]. 建筑师,2004(5):37.

策·齐策》：“为栈道木阁，而迎王与后于城阳山中。”这时的阁道，恐怕还仅是搁道的通假而已。直至作为单体建筑出现，确有历史记载的可追溯至春秋时期。《吴地记》：“吴王于宫中作馆娃阁，铜沟玉槛”。简单来说，即所有架空于地面建造的构、建筑物似乎都可笼统地归类为阁。

楼、阁这两个概念具有相对明确的区分，楼强调高度，重视重叠；阁强调架空，重视用底层透空的木构规避不利的地面条件（潮湿、蛇虫、水面）。二者的关系犹如早期夯土台基上的宫殿和干阑式建筑的区分。敦煌壁画的相关研究和陈明达先生的研究结论均指出，唐之前重屋为楼，单层但用平坐架空的才是阁^①。但由于两者均共享了二层建筑这一共有概念，又都需解决重叠带来的问题，因而很快就有了混用的趋势。据《楼阁考释》分析，在唐、宋之后，这两个词已可通用^②。

除了这些字义上明显偏向层叠式构架的楼阁外，其实早在《史记》中即记载了一种上下结构一致，非重叠的楼。即“方士言于武帝曰：黄帝为五城十二楼以候神人。帝乃立神明台并干楼，高五十丈”^③。根据对原始社会中并干结构的研究，虽然五十丈颇有夸张成分，但该并干楼的一部分在绝对高度上达到同时期多层建筑的可能性仍然存在。宋《营造法式》中记载的望火楼等，可能也属于通柱构架的楼。

另一方面，塔虽然在汉代之后才逐渐兴起，但由于其建筑造型上亦有对高度和空间的要求，因此在中国木构发展体系中也走出了一条由塔到楼阁的道路。建筑中专有名词楼阁式塔即是对这一概念的诠释。历史上有名的北魏永宁寺塔或现存最高木构应县木塔均和楼阁具有对应关系。清代流行的“文昌阁”“奎星阁”等，又高又细，除塔刹外，几乎和塔无异^④。

除了上述这些实际为多重叠合的重屋楼阁或塔外，另外一个重要的建筑概念重檐也和楼阁有着一定的关系。有研究者认为早在晚商金文中就有与重檐形象相似的字形^⑤。通过在一较高的单层建筑（通常接近二层）屋檐下周圈披檐而发展出的重檐建筑具有类似楼阁的外形，后期也在概念上和楼阁混淆。例如《大清会典事例》卷 862：“午门……上复重楼五”^⑥，然而午门实际上却是单层重檐建筑。有些重檐建筑如晋祠圣母殿的前檐中，甚至连支撑上层屋檐的柱都不落地而落在下层梁上，其结构方式和楼阁平坐已非常接近了。

1.2 文献综述和研究概况

国内关于楼阁的研究不可谓不多！从研究方向上看，既有如《楼阁考释》一类关于名称的研究，也有从造型比例方面进行的研究如《中国古代木构楼阁的建筑构成探析》，《楼阁建筑立面比例的整体控制浅析》，《楼阁建筑群组合中的视觉控制浅析》，《明清楼阁建筑立面构图比例浅析》；或如某一时间地区类型化的研究如《湖南明清楼阁式古塔的建筑特点研究》，《唐宋楼阁建筑研究》；还有针对局部构造方式进行的探讨如《殿阁式楼阁结构逻辑浅探》，《中国古代楼

① 敦煌研究院. 敦煌石窟全集(21): 建筑画卷[M]. 香港: 商务印书馆有限公司, 2001: 81.

② 张威. 楼阁考释[J]. 建筑师, 2004(5): 36-38.

③ 二十五史(百衲本)·汉书·效祀志下[M]. 杭州: 浙江古籍出版社, 1998: 370.

④ 张威. 楼阁考释[J]. 建筑师, 2004(5): 38.

⑤ 马晓. 中国古代木楼阁架构研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 东南大学, 2004: 44.

⑥ 萧默. 五凤楼名实考: 兼谈宫阙形制的历史演变[J]. 故宫博物院院刊, 1984(1): 77.