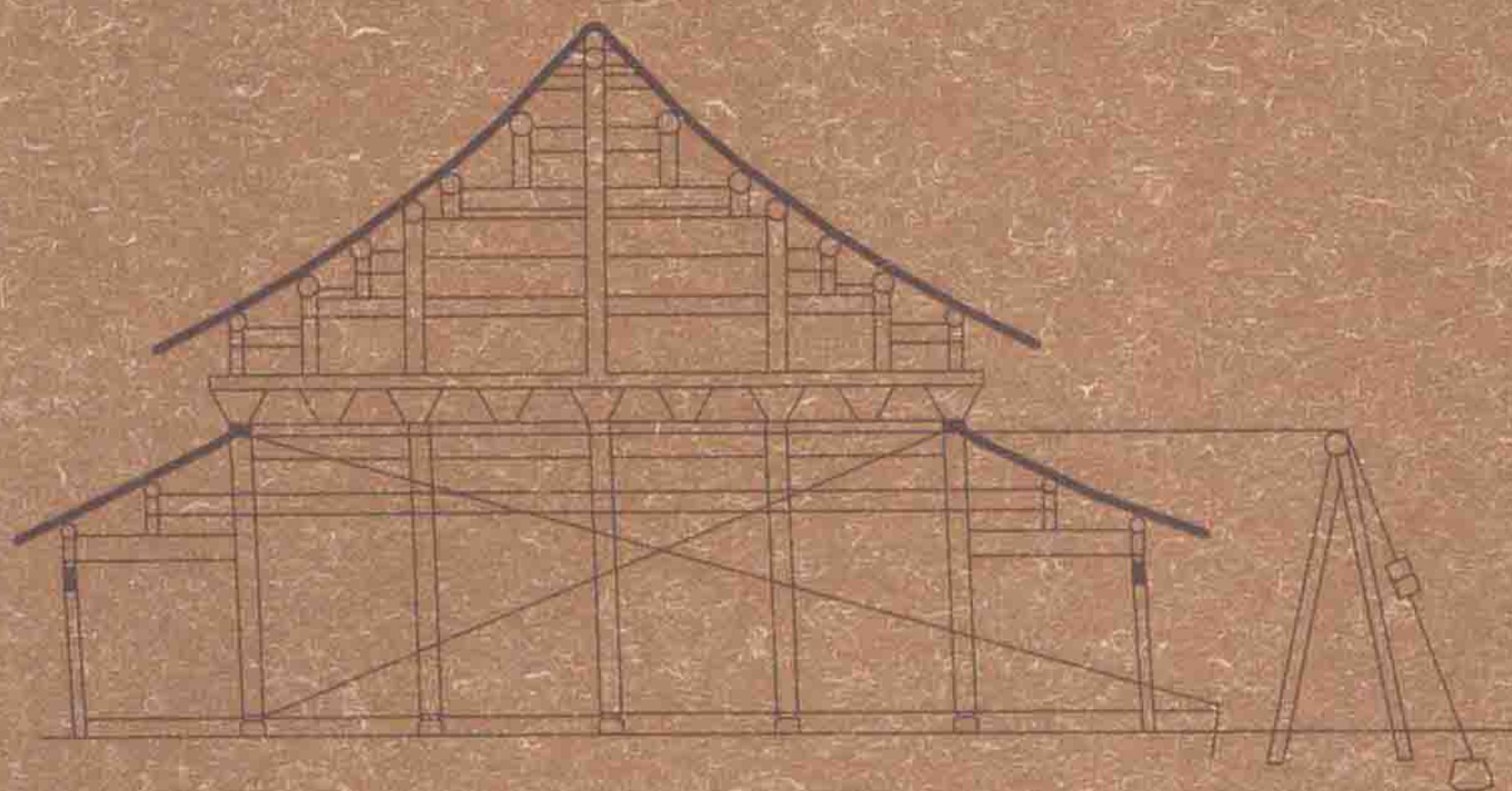


打 华 拔 正

木构架古建筑纠偏工艺的传承与发展



袁建力 杨韵 编著



科学出版社

打 桯 拨 正

——木构架古建筑纠偏工艺的传承与发展

袁建力 杨 韵 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

中国木构架古建筑是世界建筑遗产的重要组成部分,具有宝贵的历史、艺术和科学研究价值。本书结合文物保护和现代科学技术发展的需要,基于科学研究和工程实践成果,对木构架古建筑的传统纠偏工艺进行了系统的理论归纳和应用拓展。

全书由7章组成,在分析木构架古建筑构造与变形特征的基础上,介绍结构可靠性鉴定和构架纠偏的基本方法;以“打牢拔正”工艺为重点,论述木构架纠偏工艺的基本程序和技术要领,并给出应用实例;以“整体构架有效复位且构件应力增量最小”为目标,介绍木构架纠偏工艺的模型试验、计算机模拟和方案优选的方法;针对复位效率和施工安全性的要求,提供木构架纠偏新型装置的专利成果。书中论述的木构架古建筑纠偏工艺的基本理论和应用方法,遵循了文物保护和结构安全的原则,体现了传统工艺和现代科技的兼容性,可推广至砖木古建筑以及传统木构架民居建筑的保护性研究和修缮加固工程。

本书可作为城市建设部门、文物保护部门和古建园林公司技术人员的专业用书以及土木工程、建筑学、园林等专业研究生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

打牢拔正:木构架古建筑纠偏工艺的传承与发展/袁建力,杨韵编著.
—北京:科学出版社,2017
ISBN 978-7-03-052414-0

I. ①打… II. ①袁…②杨… III. ①木结构-古建筑-研究-中国
IV. ①TU-092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 065378 号

责任编辑:惠 雪 沈 旭/责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年4月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年4月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:237 000

定价:89.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

木构架古建筑是人类宝贵的文化遗产，具有重要的文物保护和科学研究价值。从新石器时期的干栏式木屋到明清时期的宏伟殿堂，中国的木构架建筑在几千年的发展历程中形成了完善的结构体系和独特的建筑风格。

中国传统木构架建筑大多采用横向梁柱结构作为承重构架，在每两个构架之间用檩、椽连成整体，构件之间的连接采用榫卯结合。由于榫卯节点为非整体性连接，木构架建筑的抗变形刚度较弱，在地震、强风或地基沉陷的作用下易发生节点松脱和构架歪闪现象。中国现存的木构架古建筑，大都存在不同程度的歪闪变形，对歪闪变形的木构架进行纠偏加固，是我国今后一段时期古建筑修缮加固的重点工作。

按照《古建筑木结构维护与加固技术规范》(GB 50165—92)，木构架的整体修缮与纠偏加固工程，可根据其残损程度分别采用下列工艺方法：① 落架大修，全部或局部拆落木构架，修整、更换残损严重的构件，再重新安装，并在安装时进行整体加固；② 打伞拨正，在不拆落木构架的情况下，使倾斜、扭转、拔榫的构架复位，再进行整体加固；同时对个别残损严重的构件进行更换或采取其他修补加固措施；③ 修整加固，在不拆除瓦顶和不拆动构架的情况下，直接对木构架的主要承重构件进行修整加固、补强或更换。

由于“落架大修”需要拆卸木构架，会损失较多的历史文物信息、占用较大的构件存放场地，仅适用于少量濒临损毁的古建筑；“修整加固”也仅适用于木构架变形较小、构件位移不大的维修工程；而“打伞拨正”可较多地保存古建筑的历史信息，又能基本消除木结构存在的隐患，是变形木构架纠偏加固较优的传统工艺方法。

自新中国成立以来，随着经济建设和社会文明的发展，大量的中国古建筑得到整体修缮。“打伞拨正”工艺方法被广泛地用于重点建筑遗产的纠偏加固工程中，并取得了较好的效果。根据文献统计，在中国木构架古建筑保存量最多的山西省，于1949年至2005年期间，共完成了200多项古建筑修缮加固工程，其中，“落架大修”工程约20项，占全部工程的10%；“打伞拨正”工程约140项，占全部工程的70%。

经过长期的工程实践和经验的积累，“打伞拨正”工艺方法已形成了一套较为合理的施工程序和技术控制要求，目前依然广泛地运用于木构架古建筑的修缮工

程中。为了适应科学技术的发展和文物保护的要求,应在归纳工程经验的基础上,加强对木构架纠偏工艺工作机理的研究,提出传统工艺的改进和优化方法。传统木构架“打牢拨正”工艺方法的科学提升,关键在于研制新型的机械化装置、引入现代测试技术和数值模拟技术,以进一步提高该工艺的有效性和结构的安全性。

在国家自然科学基金重点项目“古建木构的状态评估、安全极限与性能保持”、国家自然科学基金面上项目“损伤古建筑木构架抗震性能退化机理的研究”、科技部中国-意大利政府间合作项目“Measure Technology and Modeling Method on Dynamical Behavior of Ancient Buildings”、科技部中国-意大利政府间合作项目“Modern Approach to the Protection and Restoration of Architectural and Historical Heritage”等支持下,本书作者及课题组成员对木构架古建筑的修缮技术及理论进行了深入的研究,获得了初步的系列性成果。结合文物保护和现代科学技术发展的需要,作者基于科学研究和工程实践成果,对木构架古建筑纠偏工艺做了系统地理论归纳和应用拓展,撰写了《打牢拨正——木构架古建筑纠偏工艺的传承与发展》一书。

全书由7章组成,在分析木构架古建筑的构造特点与变形特征的基础上,介绍了木构架结构体系可靠性鉴定的标准与检测方法,归纳了变形木构架整体修缮加固的基本方法和工艺要求;以“打牢拨正”工艺方法为重点,论述了木构架纠偏工艺的基本程序、施工方法和技术要领,并结合典型工程给出了应用实例;以“整体构架有效复位且构件应力增量最小”为目标,介绍了木构架传统纠偏工艺的模型试验、计算机模拟和方案优选的方法;针对复位效率和施工安全性的要求,提供了木构架纠偏复位新型装置的专利成果。

本书论述的木构架古建筑纠偏工艺的基本理论和应用方法,遵循了文物保护和结构安全的原则,体现了传统工艺和现代科学技术的兼容性,可推广至砖木古建筑以及传统木构架民居建筑的保护性研究和修缮工程。

本书的素材,除参考文献中所列之外,尚有部分资料源于国家、省市文物管理部门及相关的网站,在此,对本书所依据的基础材料的作者和编撰者致以诚挚的谢意。对于本书中存在的不足之处,热忱地希望读者和同行专家批评指正。

作者

2016年11月于扬州大学

目 录

前言

第 1 章	木构架古建筑的构造特点与变形特征	1
1.1	木构架古建筑的结构与构架类型	1
1.1.1	木构架古建筑的结构类型	1
1.1.2	木构架古建筑的构架类型	2
1.2	木构架古建筑的构造特点	8
1.2.1	梁柱构件的榫卯结合	8
1.2.2	承上启下的斗棋托架	10
1.2.3	硕大稳重的屋盖体系	12
1.3	木构架古建筑的损伤变形特征	14
1.3.1	屋盖的损伤变形特征	14
1.3.2	梁柱构架的损伤变形特征	15
1.3.3	斗棋的损伤变形特征	16
第 2 章	木构架古建筑的勘查与可靠性鉴定	18
2.1	木构架古建筑结构体系的勘查	18
2.1.1	承重木结构的勘查	18
2.1.2	建筑物的定期观测	19
2.1.3	古建筑勘查的基本规定	20
2.2	木构架古建筑的可靠性鉴定	20
2.2.1	基于残损点评定的可靠性鉴定方法	20
2.2.2	木构架古建筑残损点的评定	21
2.2.3	木构架古建筑可靠性状态的判定	26
2.3	古建筑木构件无损和非破坏性检测方法	27
2.3.1	古建筑木构件无损检测方法	27
2.3.2	古建筑木构件非破坏性检测方法	36
2.3.3	新型检测仪器的综合应用	40
第 3 章	变形木构架纠偏方法与工艺要求	45
3.1	木构架古建筑修缮加固的基本规定	45
3.1.1	木构架古建筑修缮加固的原则	45
3.1.2	现代材料和技术的运用规定	45

3.1.3	木构架整体加固的基本要求	46
3.2	变形木构架整体修缮的基本方法	46
3.2.1	古建筑修缮工程的分类	46
3.2.2	木构架整体修缮加固的基本方法	47
3.2.3	“打牢拔正”——木构架纠偏加固的优选方法	47
3.3	“打牢拔正”的整体复位工艺	48
3.3.1	“水平顶推复位”工艺	48
3.3.2	“水平张拉复位”工艺	49
3.3.3	“顶推—张拉复位”工艺	50
3.3.4	“顶升—撑拉复位”工艺	51
3.4	“打牢拔正”的局部纠偏工艺	52
3.4.1	抽换柱子工艺	52
3.4.2	抽换梁枋工艺	54
3.4.3	梁枋复位工艺	54
3.4.4	斗拱整体落架工艺	55
3.5	“打牢拔正”工艺的基本程序与技术要求	56
3.5.1	“打牢拔正”的基本程序和安全事项	56
3.5.2	“打牢拔正”的施工技术要领	57
3.5.3	“打牢拔正”工程的验收要求	60
第 4 章	木构架古建筑典型纠偏工艺的评析	61
4.1	苏州玄妙观三清殿“张拉复位”工艺	61
4.1.1	三清殿的建筑特征	61
4.1.2	修缮工程概况	62
4.1.3	柱网纠偏工艺	63
4.1.4	工艺特征评析	65
4.2	太原傅公祠正殿“顶推复位”工艺	65
4.2.1	傅公祠正殿的建筑特征	65
4.2.2	修缮工程概况	67
4.2.3	顶推复位工艺	67
4.2.4	工艺特征评析	68
4.3	北京湖广会馆大戏楼“换梁拔柱”工艺	69
4.3.1	大戏楼的建筑特征	69
4.3.2	修缮工程概况	70
4.3.3	换梁拔柱工艺	72
4.3.4	工艺特征评析	74

4.4	新城开善寺大雄宝殿“支顶复位”工艺	74
4.4.1	大雄宝殿的建筑特征	74
4.4.2	修缮工程概况	76
4.4.3	支顶复位工艺	77
4.4.4	工艺特征评析	78
4.5	义县奉国寺大雄殿“斗拱支顶拆卸、柱架原位拨正”工艺	79
4.5.1	大雄殿的建筑特征	79
4.5.2	大雄殿的损伤状况	81
4.5.3	修缮方案与工程实施	83
4.5.4	外檐斗拱落架修缮工艺	84
4.5.5	大木安装与调整工艺	88
4.5.6	工艺特征评析	88
第 5 章	木构架传统纠偏工艺的模型试验研究	90
5.1	模型试验与计算机模拟相结合的研究方案	90
5.1.1	研究目的	90
5.1.2	研究内容	90
5.2	木构架实体模型的设计制作与试验方案	91
5.2.1	模型试验样本建筑的概况	91
5.2.2	木构架模型的设计制作	93
5.2.3	木构架模型试验方案	97
5.2.4	模型试验的加载制度	98
5.2.5	模型试验的复位装置	100
5.2.6	模型试验的测量方案	101
5.3	木构架实体模型试验与成果分析	102
5.3.1	复位试验方法与步骤	102
5.3.2	木构架“打伞拨正”模型试验	103
5.3.3	试验结果汇总分析	112
第 6 章	木构架传统纠偏工艺的计算机模拟研究	116
6.1	木构架有限元模型的构建方法	116
6.1.1	木材及榫卯节点的力学性能参数	116
6.1.2	木构架有限元模型的构建与求解	120
6.2	“打伞拨正”复位过程的计算机模拟	127
6.2.1	木构架纠偏试验的计算机模拟	127
6.2.2	计算机模拟与模型试验结果的比较分析	137
6.2.3	计算机模拟分析方法的改进建议	142

6.3 “打竿拨正”复位方案的优选	143
6.3.1 “打竿拨正”有限元模型的应力分析	143
6.3.2 复位方案的分析与优选	146
第 7 章 木构架古建筑纠偏复位新装置的研制	148
7.1 木构架古建筑纠偏复位新装置的研制概况	148
7.2 倾斜木构架建筑的张拉复位装置	149
7.2.1 专利简介	149
7.2.2 技术背景	149
7.2.3 技术方案	149
7.2.4 附图说明	150
7.2.5 实施方法	153
7.3 一种木构架半自动纠偏复位装置	154
7.3.1 专利简介	154
7.3.2 技术背景	155
7.3.3 技术方案	155
7.3.4 附图说明	157
7.3.5 实施方法	159
7.4 变形木构架建筑的复位-安保多功能支架	161
7.4.1 专利简介	161
7.4.2 技术背景	162
7.4.3 技术方案	162
7.4.4 附图说明	163
7.4.5 实施方法	167
7.5 木构架变形控制与抗震耗能的雀替式装置	169
7.5.1 专利简介	169
7.5.2 技术背景	170
7.5.3 技术方案	170
7.5.4 附图说明	171
7.5.5 实施方法	174
参考文献	176
索引	179

第1章 木构架古建筑的构造特点与变形特征

1.1 木构架古建筑的结构与构架类型

1.1.1 木构架古建筑的结构类型

我国木构架古建筑主要有殿堂结构、厅堂结构两大类型。殿堂结构一般由台基、柱架、铺作层、屋架组成(图 1-1), 结构体系具有较好的整体空间刚度, 但构造及施工较为复杂, 主要用于宫殿、寺庙等高等级的重要建筑。厅堂结构一般由台基、构架、屋盖组成(图 1-2), 构架分榑设置且直达屋顶, 结构体系具有较好的横向平面刚度, 构造和施工较为简便, 通常用于官式建筑和民用建筑。

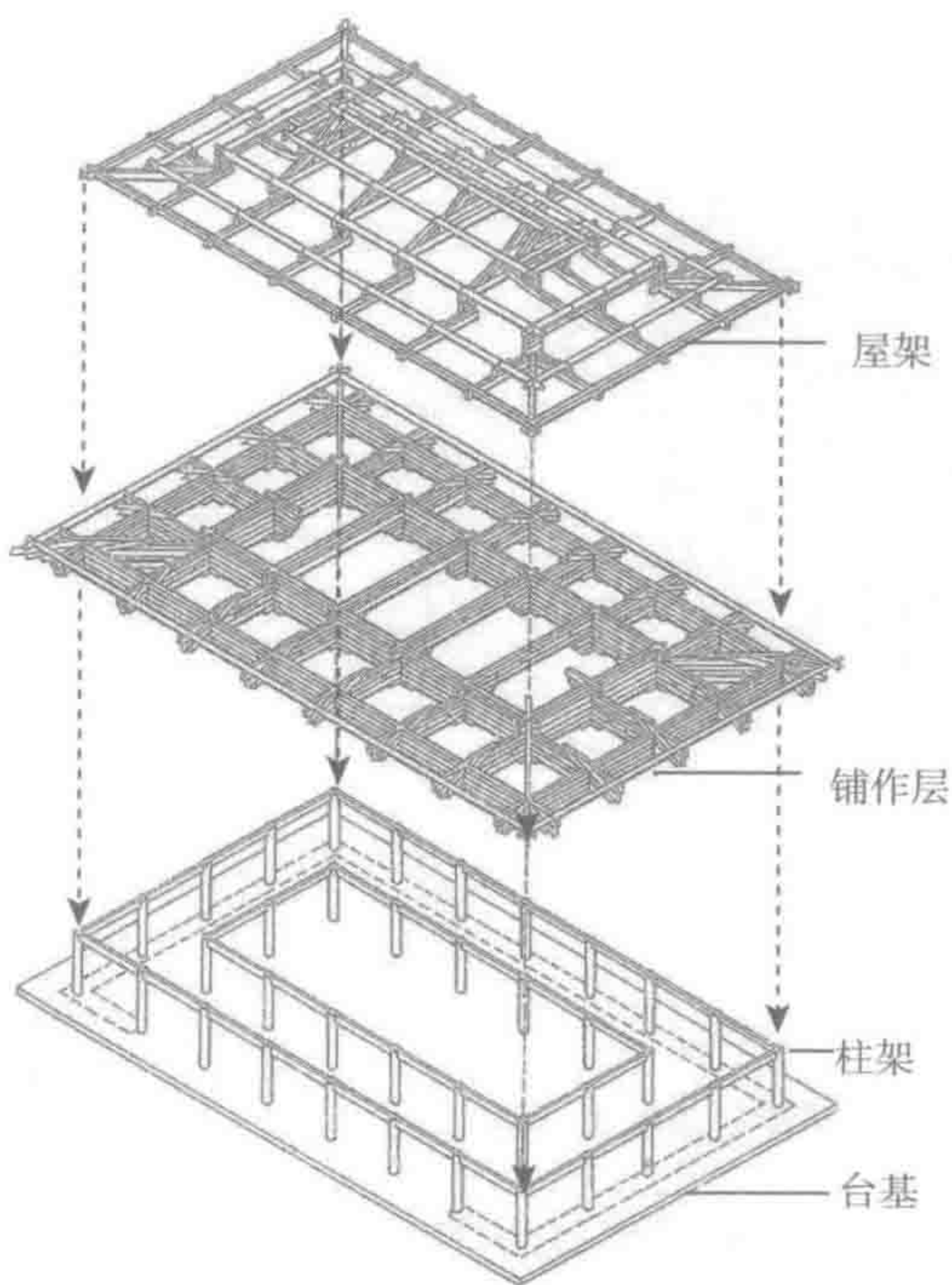


图 1-1 殿堂结构分解图

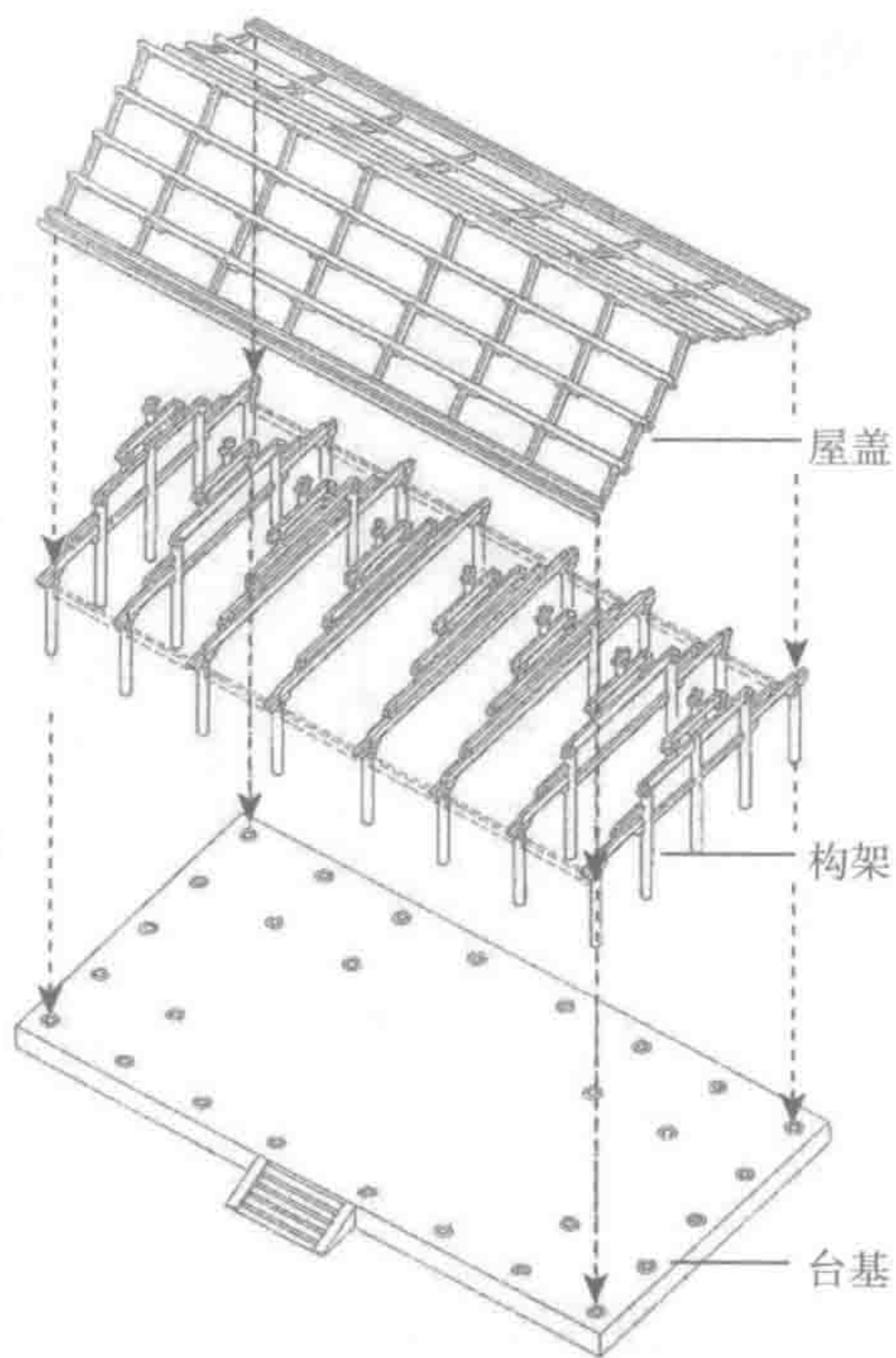
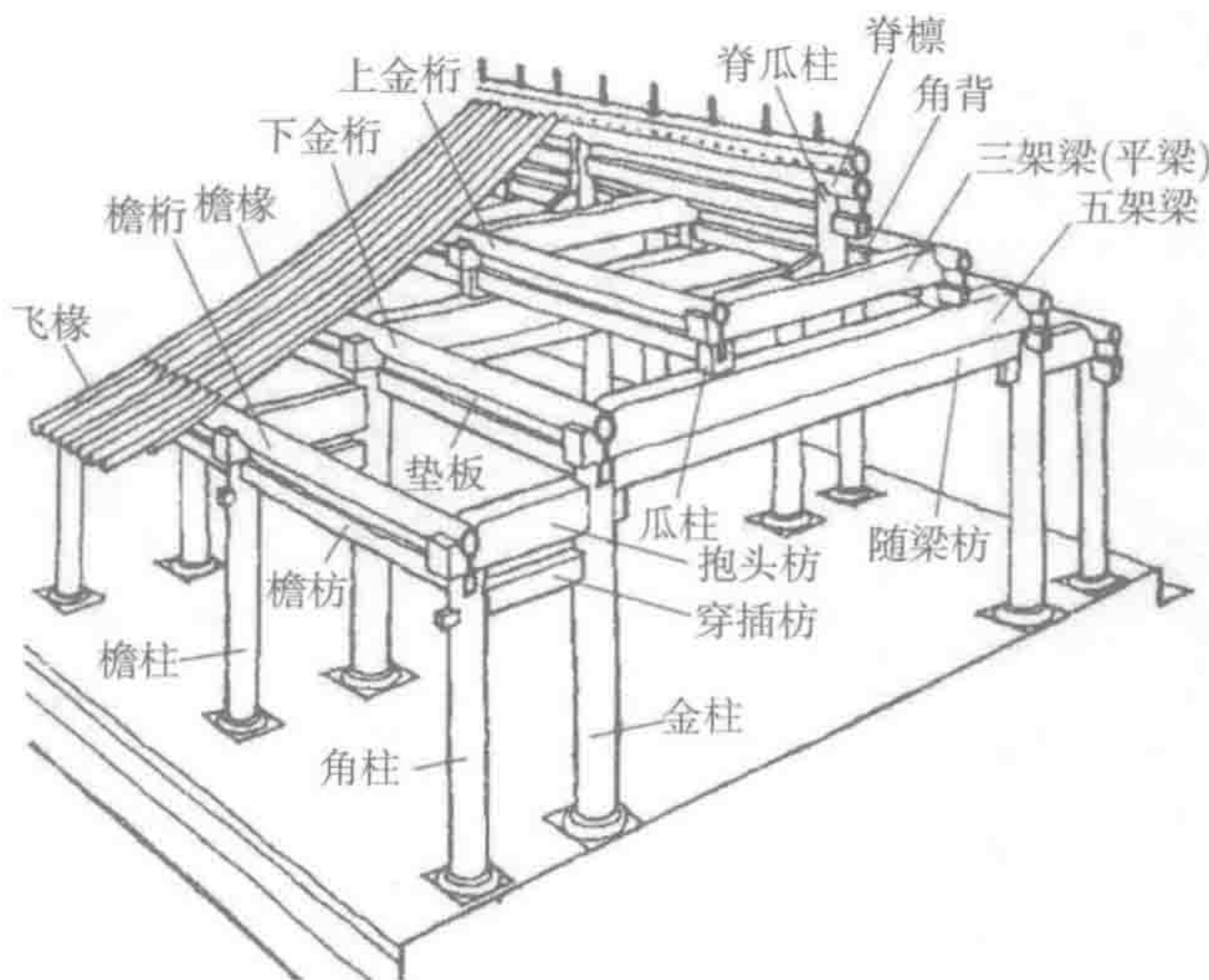


图 1-2 厅堂结构分解图

在明清官式建筑中, 殿堂结构仅存表面形式, 实际均为厅堂结构, 称“大木大式”。用厅堂结构建造小规模房屋时, 不设铺作, 称为“大木小式”。

木构架古建筑的荷载，主要由屋盖和构架组成的木构架体系承受并传递至台基；古建筑的墙体大多采用烧制砖或土坯砖砌筑，通常用作建筑的围护、分隔体系。木构架按其构造和受力体系的不同，可分为抬梁式、穿斗式、密梁平顶式、井干式等构架体系，此外，还有运用单层木构架体系逐层叠构而成的多层楼阁式构架体系。

抬梁式构架的特点是用立柱和横梁组成构架,以数层重叠的梁架,逐层缩小,逐级加高,直至最上的一层梁上脊瓜柱,形成三角形屋架,如图 1-3 所示。相邻屋架间,在各层梁的两端和最上层梁的中间小柱上架檩(桁),檩间架椽,构成双坡顶房屋的空间骨架。屋面的重量通过椽、檩、梁、柱传到基础。由于屋面荷载由构架负担,墙壁只起围护隔断作用而非承重结构,因此,开辟门窗或分隔室内空间,以及墙壁的材料和做法有着很大的灵活性,这对于满足不同的用途和审美要求提供了便利条件。



抬梁式构架至迟在春秋时期 (公元前 770~ 公元前 476 年) 已经形成, 在唐代 (公元 618~907 年) 发展成熟, 其代表性建筑有山西省五台山佛光寺大殿和平顺天台庵正殿等。佛光寺大殿是现存年代最古老、规模最宏大的殿堂型抬梁式构架建筑, 其构架示意图如图 1-4 所示。佛光寺大殿的木构架包含了上下两层梁, 位于屋架中的上层梁 (如草乳栿、四椽草栿) 主要承受屋面荷载, 位于柱架中的下层梁 (如

明乳栿、四椽明栿) 插入柱头铺作中, 主要用于拉接柱架。

抬梁式构架一般用于等级较高的宫殿、官府、宗教寺院、楼阁等建筑中。在区域分布上, 北方的古建筑中采用抬梁式构架较为普遍。

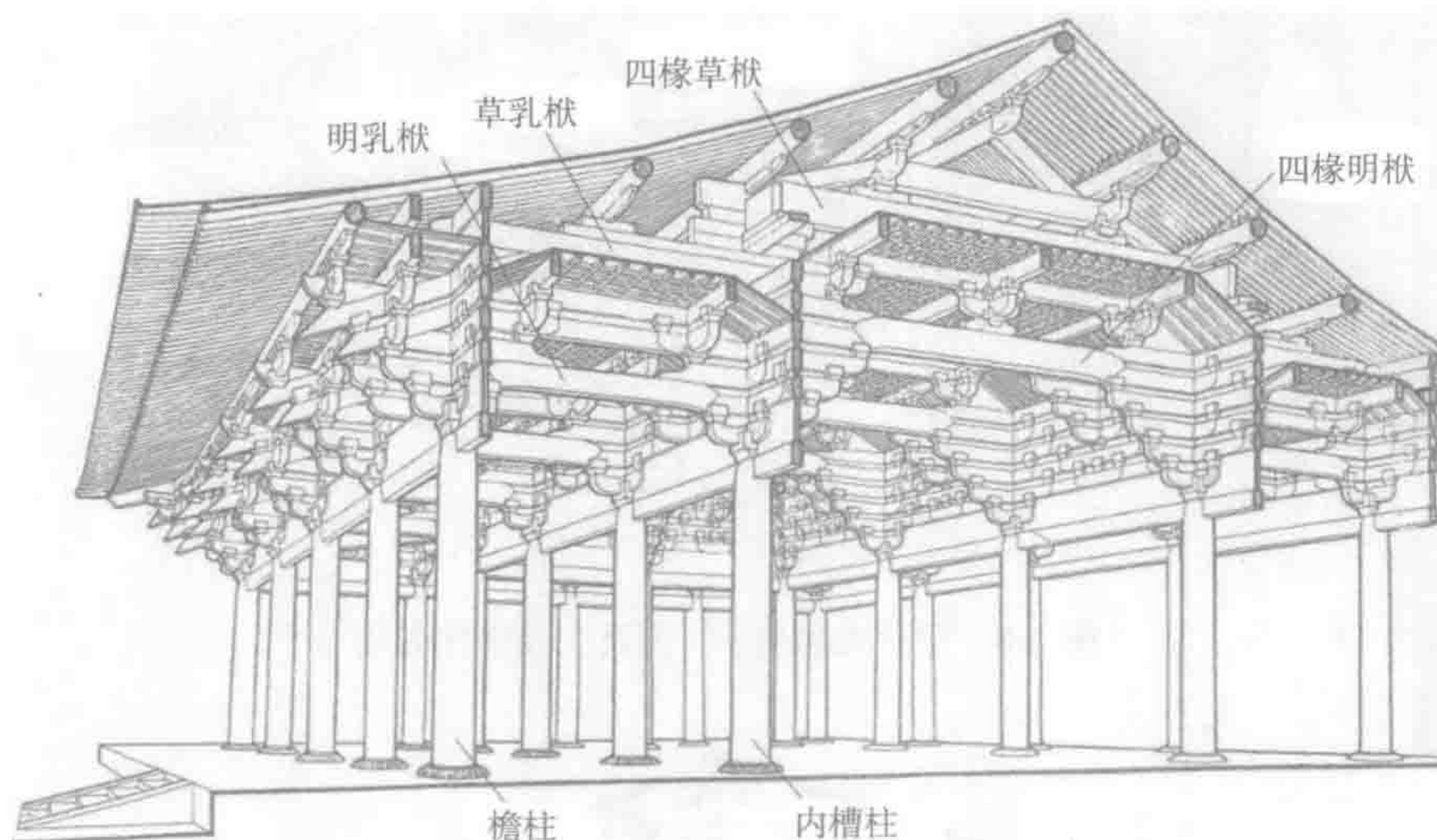


图 1-4 佛光寺大殿的木构架

2. 穿斗式构架

穿斗式构架的特点是沿房屋的进深方向按檩的数量立一排柱, 每柱上架一檩, 檩上布椽, 屋面荷载直接由檩传至柱, 其示意图及主要构件名称如图 1-5 所示。每排柱子靠穿透柱身的穿枋横向贯穿起来, 成一榀构架。每两榀构架之间使用斗枋和纤子连接起来, 形成一间房间的空间构架。斗枋用在檐柱柱头之间, 形如抬梁式构架中的檐枋; 纤子用在内柱之间; 斗枋、纤子往往兼作房屋阁楼的龙骨。工匠建造房屋时, 通常先在地面上将柱和穿枋拼装成骨架, 然后立起, 故有“立帖”之称; 位于两端山墙部位的构架称为“边帖”, 位于中间的构架称为“正帖”。

每檩下有一柱落地, 是穿斗式构架的基本形式; 随着柱子增多, 穿枋的层数也增多。鉴于柱子过密影响房屋使用, 有时将穿斗架由原来的每根柱落地改为每隔一根落地, 将不落地的柱子骑在穿枋上, 这样的构造称为“减柱造”, 福州林聪彝故居大堂明间的减柱造如图 1-6 所示。

穿斗式构架在汉代已经相当成熟, 一直沿用至今, 其早期的代表性建筑有南宋时期的苏州玄妙观三清殿等。穿斗式构架是一种轻型构架, 柱间距较密, 柱径和穿枋断面均较小, 适用于民居。在长江中下游及南方诸省, 保留了大量明清时代采用穿斗式构架的民居。

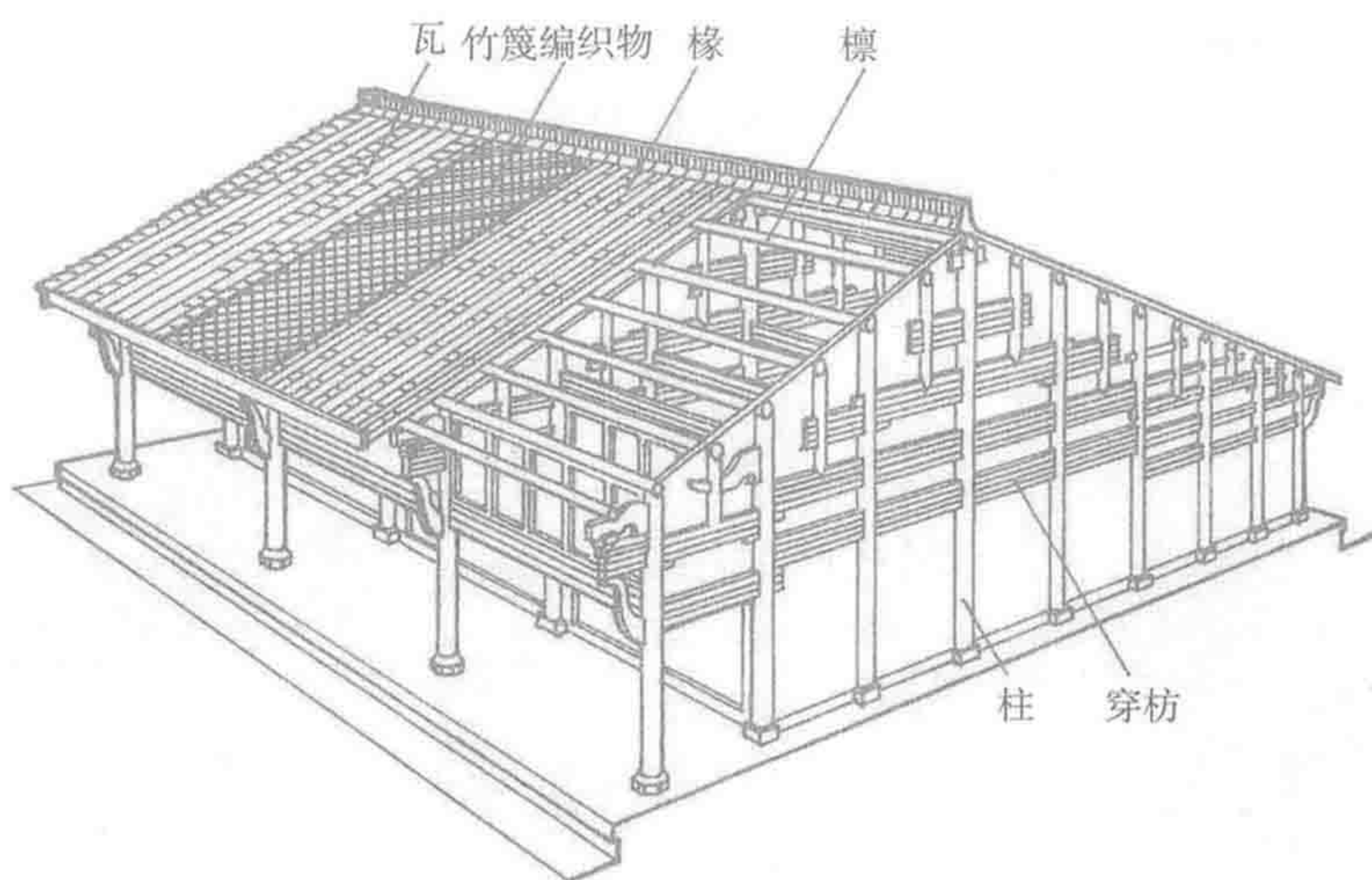


图 1-5 穿斗式构架示意图及主要构件名称

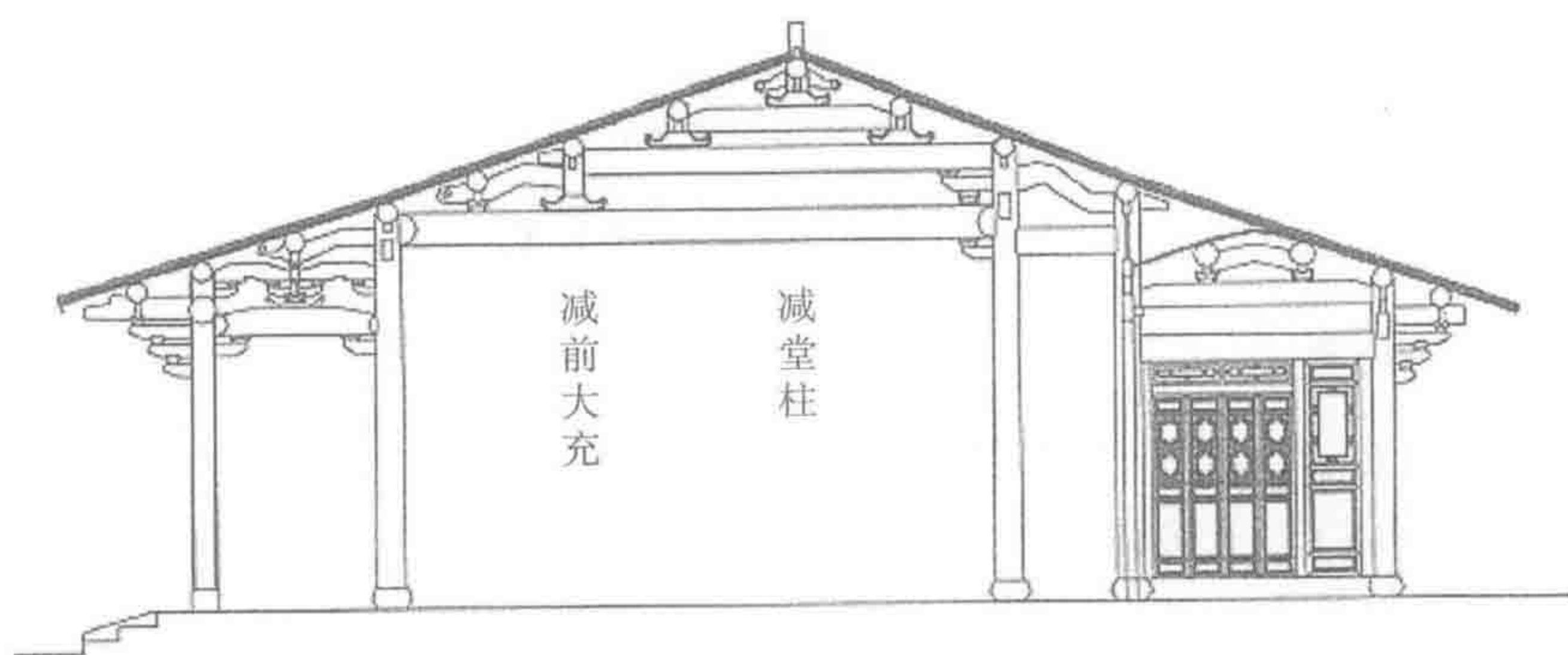


图 1-6 林聪彝故居大堂明间的减柱造

3. 密梁平顶式构架

密梁平顶式木构架建筑如图 1-7 所示。这类建筑广泛应用于我国西部的新疆、内蒙古、西藏等少雨地区，由于降雨量少，其屋顶坡度很小或采用平顶；屋盖的四周多利用墙承重，中间由木梁柱构架支承。密梁平顶式木构架的主要特征为：用木梁柱组成纵横向构架，在梁上平铺紧密排列的木椽构成屋盖，纵梁直接承受和传递屋面荷载，横梁则主要用于拉结柱架。

藏式古建筑大多采用密梁平顶式木构架，其代表性建筑为始建于公元 7 世纪松赞干布时期，重建、扩建于公元 17 世纪的布达拉宫的殿堂。藏式古建筑的发展不仅受到了中原建筑设计思想的影响，还融入了藏族文化所特有的风格；在殿堂木构架中，斗拱和榫卯依然存在，但柱头之上一般采用斗、垫木、弓木承托大梁，且

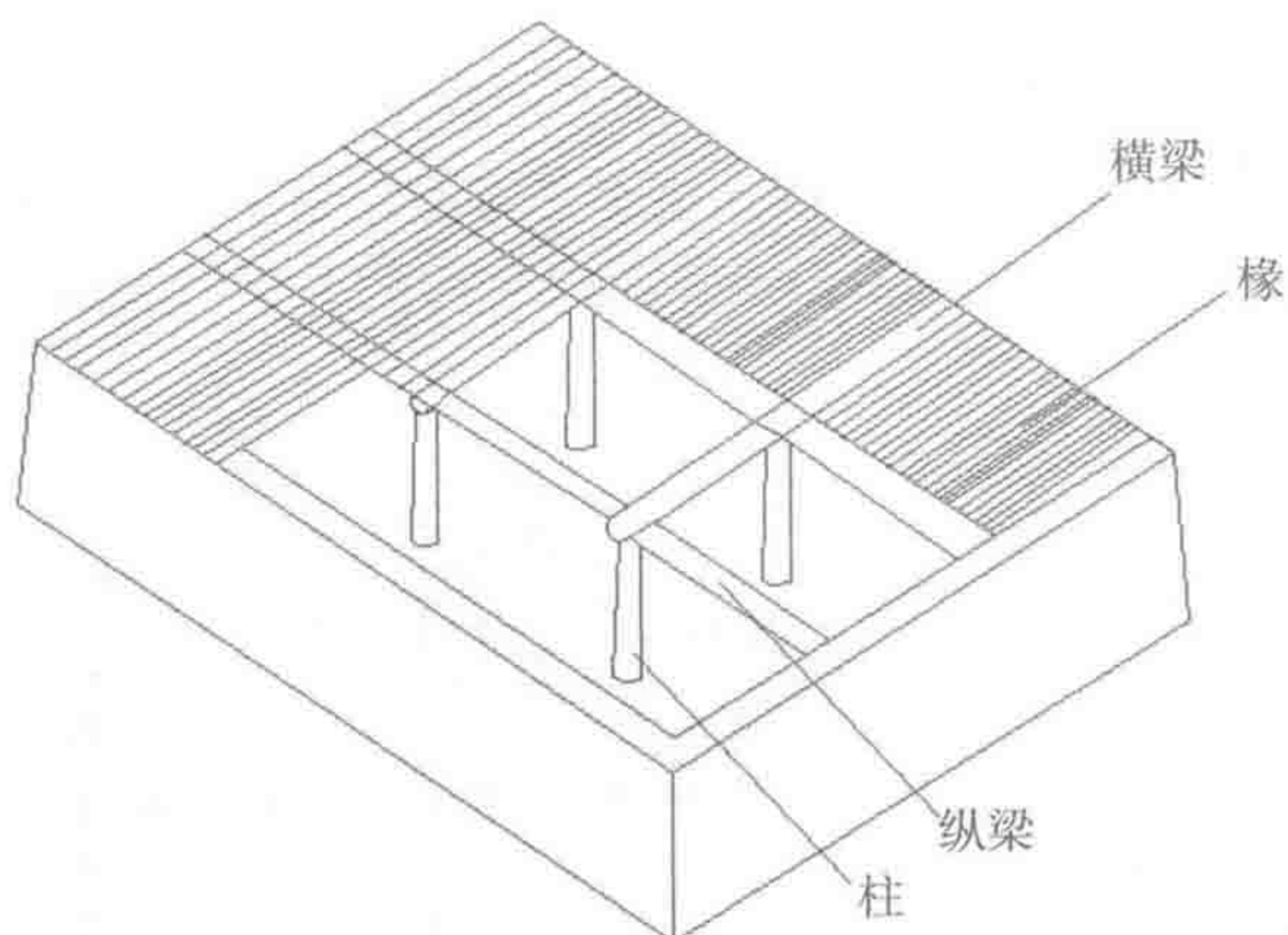


图 1-7 密梁平顶式构架示意图及主要构件名称

构件的连接主要通过垂直叠压并辅以暗销定位来实现。日喀则市旧江孜宗政府的木构架如图 1-8 所示，柱头之上为斗、垫木、弓木和纵梁，纵梁之上设有两层外伸木块以增大木椽的支托，木椽之上再铺设木望板以夯筑阿嘎土屋面。

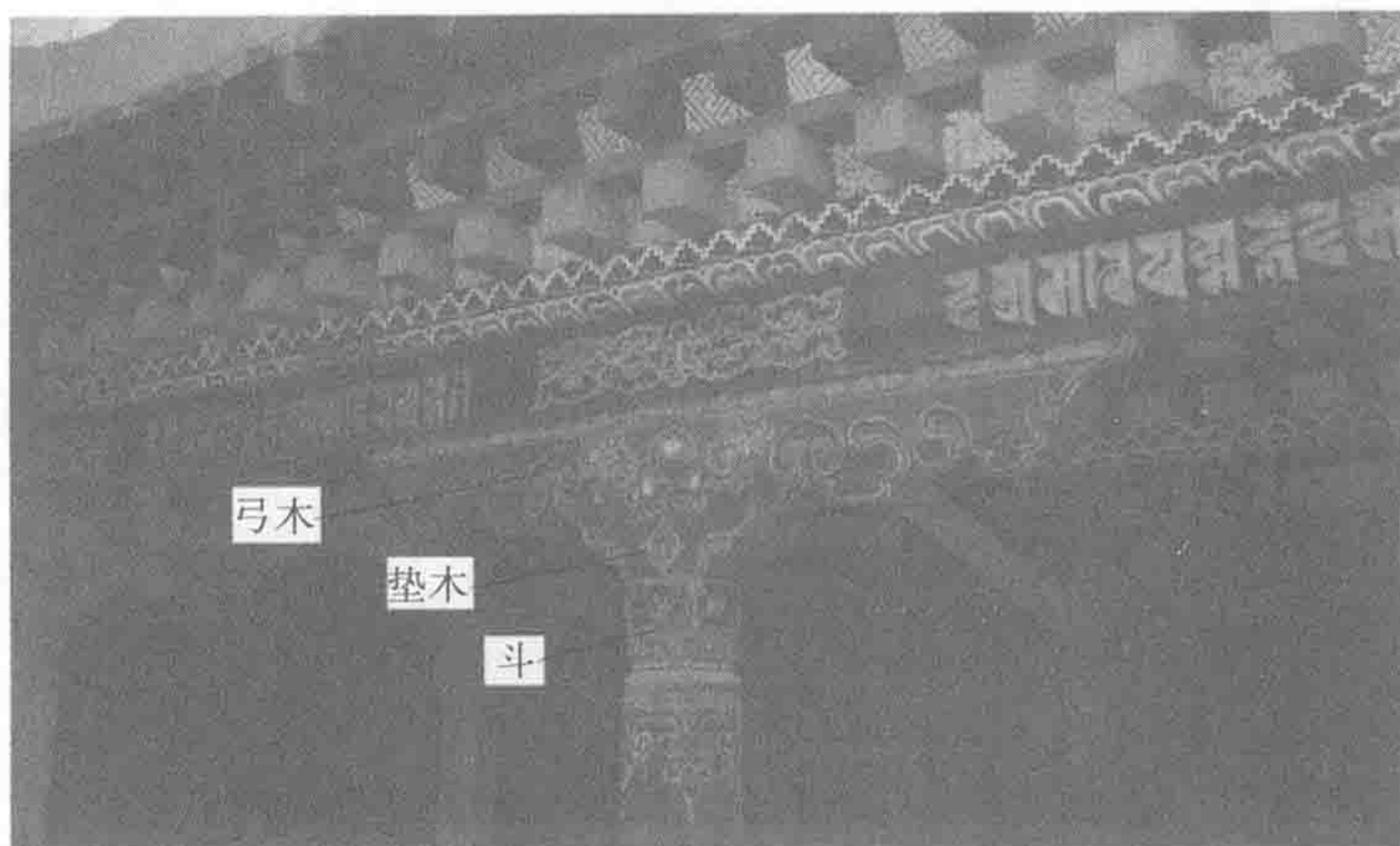


图 1-8 旧江孜宗政府的木构架

4. 井干式构架

井干式构架是一种不用立柱和大梁的房屋结构。这种结构以圆木或矩形、六角形木材平行向上层层叠置，在转角处木料端部交叉咬合，形成房屋四壁，形如古代井上的木围栏，再在左右两侧壁上架立矮柱、支承脊檩构成房屋。

井干式构架需用大量木材，在绝对尺度和开设门窗上都受到很大限制，因此通用程度不如抬梁式构架和穿斗式构架。目前只在东北林区、西南山区尚保留有少数

井干式构架古建筑。

井干式构架在商朝之前就已出现,汉代的大型墓椁较多采用这种结构。云南省南华井干式民居(图 1-9)是井干式构架房屋的实例,它有平房和二层楼,平面都是长方形,面阔两间,上覆悬山屋顶。泸沽湖畔保存的井干式建筑如图 1-10 所示。



图 1-9 南华井干式民居构架示意图



图 1-10 泸沽湖畔的井干式建筑

5. 楼阁式构架

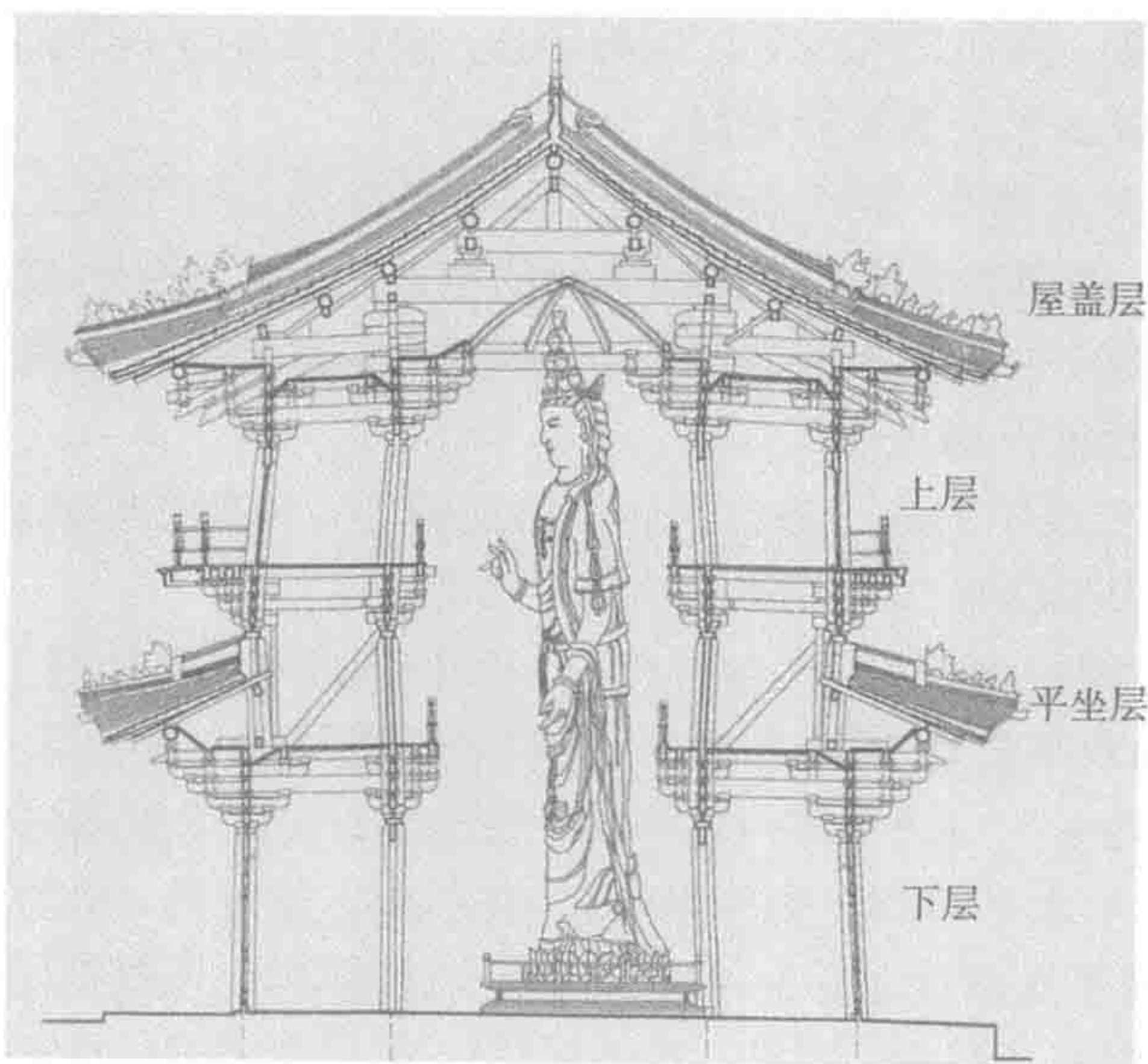
中国古代楼阁式建筑有多种木构架形式,以方木相交叠垒成井栏所构成的高

楼，称井干式；将单层建筑逐层叠垒而构成整座建筑的，称重屋式。唐宋时期的楼阁式构架，在层间增设平台结构层（宋代称为平坐），其内檐形成暗层和楼面，其外檐挑出成挑台；各层上下柱之间不相通，构造交接方式较复杂。明清以来的楼阁式构架，将各层木柱相续成为通长的柱材，与梁枋交搭成为整体框架，称之为通柱式。现存著名的楼阁式木构架建筑有山西省应县佛宫寺释迦塔、河北省蓟县独乐寺观音阁、山西省万荣县飞云楼等。

建于辽代的蓟县独乐寺观音阁（图 1-11）是中国现存建造时间最早的楼阁式木



(a) 观音阁外观



(b) 观音阁木构架

图 1-11 蓟县独乐寺观音阁

构架古建筑之一,其结构精妙,艺术超群,为中国古代建筑中的典范。观音阁属重屋式建筑,平面布局采用殿堂结构金箱斗底槽形式,分内外槽;内部结构自下而上可分为四个层:下层、平坐层、上层、屋盖层,各个层高 4.29~4.45m,总高 19.73m;除屋盖层外,其余结构层的内槽均不用梁枋,使全阁内槽成为一个筒状空间,以容纳高约 16m 的观音像。这种结构形式及其处理手法,充分体现了木结构分层、中空等主要特点,反映出中国木构架古建筑可以适应各种使用要求的优势。

1.2 木构架古建筑的构造特点

中国木构架古建筑在几千年历程中形成了完善的结构体系和独特的建筑风格,其主要构造特点可概括为:梁柱构件的榫卯结合、承上启下的斗拱托架、硕大稳重的屋盖体系。

1.2.1 梁柱构件的榫卯结合

使用榫卯将木构件结合成整体,是中国古建筑最基本的构造特点,且具有悠久的历史。据考古资料表明,早在公元前 5000~ 公元前 3000 年间的河姆渡遗址中,干栏式木构房屋的构件已采用了榫卯和绑扎相结合的连接方式;自商、周直至汉代以来,随着金属工具的运用和细木工技术的发展,榫卯的类型逐渐丰富多样,榫卯结合已成为木构建筑的主要连接方式。

到了唐宋时期,榫卯技术达到了成熟阶段,宋代颁布的《营造法式》已对榫卯的类型、构造和做法作了细致的规定。

明清建筑的大木榫卯,较之唐宋时期,在构造手法上有了很大的简化,但仍保持了原有的功能。对现存明清木构架建筑物的考察表明,大部分建筑经历了数百年的环境侵蚀或地震、大风等强外力作用,木构架仍保持着较好的整体性,充分显示了木构件榫卯连接的严谨可靠。

古代匠师在实践中创造了各种不同用途的榫卯,目前在明清官式建筑的大木榫卯中,常见的类型就有二十多种,如图 1-12 所示。

图 1-12 中,固定垂直构件(各种柱子)使用管脚榫或套顶榫(图 1-12(a));垂直构件(柱子)与水平构件(梁枋)拉结、相交使用燕尾榫、箍头榫(图 1-12(b))、透榫和半榫(图 1-12(c));水平构件(正身檩、扶脊木)互交使用燕尾榫、卡腰榫和刻半榫(图 1-12(d));水平与倾斜构件半叠交(如扒梁、抹角梁、角梁与由戗、檩与梁头)使用桁碗、椽子压掌榫(图 1-12(e));水平及倾斜构件重叠稳固(如额枋、平枋板与斗拱、老角梁与子角梁、脊桩、复莲销等),使用栽销榫、穿销榫(图 1-12(f));板缝拼接使用银锭扣、穿带、龙凤榫、裁口和抄手带(图 1-12(g))等。