

古塔保护技术

袁建力等编著



科学出版社

古塔保护技术

袁建力 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

中国古塔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。本书针对文物保护和现代科学技术发展的需求,基于国内外科学研究和工程实践的成果,对古塔的保护技术作了系统地归纳提炼和运用分析。全书由 10 章组成,在分析古塔的类型与结构、损坏原因与特征的基础上,介绍了古塔的测绘技术、无损检测技术、动力特性测试技术、模型试验与有限元分析技术、地基基础加固与塔体扶正技术、塔身加固技术、构件的修缮技术以及防火防雷技术,论述了各项技术所依据的基本原理、方法和发展趋势,给出了典型工程的应用实例。书中所述的古塔保护技术,既遵循了文物保护和结构安全的原则,也体现了传统工艺和现代科学技术的兼容性,其基本方法可推广至同类砖石、砖木古建筑的保护工程。

本书内容丰富、资料详实,注重理论知识与工程实践的结合,具有较强的学习指导和实用价值,可作为城市建设规划部门、文物管理保护部门和古建园林公司科技人员的专业用书,也可作为土木工程、建筑学、风景园林学、旅游管理等专业研究生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

古塔保护技术 / 袁建力等编著. —北京: 科学出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-03-046375-3

I. ①古… II. ①袁… III. ①古塔—文物保护—技术 IV. ①TU746

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 271165 号

责任编辑: 杨 琪 程心珂 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 赵 博 / 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>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 11 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 11 月第一次印刷 印张: 19 1/2

字数: 393 000

定价: 189.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

中国宝塔融合了中外文化与建筑艺术的精华，是古代高层建筑的杰出代表。屹立在神州大地上的古塔，以其高耸挺拔的造型和精致典雅的结构展示着文物建筑的特有功能，构筑了历史文化名城和旅游胜地的标志性景观，体现了中华优秀传统文化和建筑技术的高度成就。

中国自汉代开始建造宝塔，目前存世的古塔大多已有数百年或上千年历史，具有极高的历史、艺术和科学研究价值。现存的古塔大多数经历了长期的环境侵蚀或人为损坏，加之自身的薄弱构造和材料老化，结构的整体性能已严重衰退，急需加固和修缮。加强古塔的保护，发挥其宝贵的价值，已成为全社会的共识。

新中国成立之后，古塔的保护工作得到了国家和各级政府的重视，在对遗存古塔考证、勘定的基础上，许多重要的古塔被列入国家、省、市文物保护单位，并逐步实施了维修和加固。自改革开放以来，古塔保护的力度显著加大，列入全国重点文物保护单位的古塔从1982年之前的三十多处增加到2013年的四百多处，充分显示了“盛世修浮图”的深刻涵义。

针对古塔的损伤特征和安全现状进行有效的诊断，采取合理的保护措施使古塔益寿延年，是一项重要的基础性工作。随着我国经济社会建设的发展，政府和社会各界对古塔保护的关注度以及经费的投入也在逐步增加；各级古建园林管理部门、科研院所和高等学校，已积极开展了包括古塔在内的古建筑保护研究工作，并取得了较为丰富的成果。进一步提炼和推广古塔的保护技术，对古塔实施系统的科学性保护，是提升中华优秀传统文化实力的一个组成部分，必将产生相应的经济价值和重要的社会意义。

在国家自然科学基金项目“砖石古塔地震损伤机理与分析模型”、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”、国家自然科学基金国际合作项目“地震损伤对砖石古塔动力特性的影响”、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“The Chinese pagodas and the Italian middle age towers: Monitoring, models and structural analysis of some emblematic cases”、江苏省社会发展基金项目“虎丘塔纠偏加固与监控技术研究”、扬州市自然科学基金项目“砖木古塔修缮加固技术与抗震能力鉴定的系统方法”、江苏省高校自然科学基金项目“基于探地雷达的砖石古塔特征参数识别及修复评价研究”、江苏省研究生创新工程项目“古塔抗震加固结合体的耐久性与可更新技



术”等支持下，本书作者及课题组成员通过二十多年的科学研究和工程实践，在古塔保护技术领域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求，本书作者基于国内外科学研究和工程实践成果，对古塔的保护技术作了系统的归纳提炼和运用分析，编著了《古塔保护技术》。

本书由 10 章组成，在分析古塔的类型与结构、损坏原因与特征的基础上，介绍了古塔的测绘技术、无损检测技术、动力特性测试技术、模型试验与有限元分析技术、地基基础加固与塔体扶正技术、塔身加固技术、构件修缮技术以及防火防雷技术，论述了各项技术所依据的基本原理、方法和发展趋势，给出了典型工程的应用实例。书中所述的古塔保护技术，既遵循了文物保护和结构安全的原则，也体现了传统工艺和现代科学技术的兼容性，其基本方法可推广至同类砖石、砖木古建筑的保护。

本书的前言、第 1 章、第 2 章、第 7 章、第 8 章由袁建力撰写，第 3 章由孔明明撰写，第 4 章由王仪撰写，第 5 章由袁建力、樊华撰写，第 6 章由李胜才撰写，第 9 章由沈达宝撰写，第 10 章由凌代俭撰写；袁建力对全书进行了统稿和校阅。

本书的素材，除了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。对于本书中存在的错误和不足之处，热忱地希望读者和同行专家批评指正。

编著者

扬州大学

2014 年 8 月

目 录

前言

第 1 章	古塔的发展历程与保护意义	1
1.1	塔的起源与发展历程	1
1.2	古塔的类型	2
1.3	古塔的结构与特征	13
1.4	古塔的文物价值与保护意义	18
1.5	全国重点文物保护单位——古塔名录	19
第 2 章	古塔的损坏因素与损坏特征	33
2.1	地震作用引起的古塔损坏	33
2.2	环境侵蚀引起的古塔损坏	36
2.3	地基失效引起的古塔损坏	38
2.4	人为因素引起的古塔损坏	41
2.5	汶川地震砖石古塔的损坏特征与规律研究	44
第 3 章	古塔测绘技术	55
3.1	古塔控制测量	55
3.2	古塔细部测量	59
3.3	古塔变形测量	62
3.4	三维激光扫描技术在古塔测绘中的应用	71
3.5	典型工程应用实例——文峰塔测绘	77
第 4 章	古塔结构无损检测技术	88
4.1	塔身营造材料的测试技术	88
4.2	古塔隐蔽部位无损检测技术	94
4.3	典型工程应用实例——奎光塔隐蔽工程探地雷达检测技术	110
第 5 章	古塔动力特性测试技术	123
5.1	古塔动力特性的测试与分析方法	123
5.2	古塔基本周期的简化计算方法	132
5.3	典型工程应用实例——虎丘塔动力特性的测试与分析	138



第 6 章	古塔抗震模型试验与有限元分析技术	148
6.1	古塔抗震模型试验技术	148
6.2	古塔有限元模拟分析技术	173
6.3	典型工程应用实例——龙护舍利塔的弹塑性动力分析与破坏演化过程模拟	182
第 7 章	古塔的地基基础加固与塔体扶正技术	200
7.1	古塔的地基基础加固技术	200
7.2	古塔的塔体扶正技术	203
7.3	古塔扶正的安全保护与监控技术	212
7.4	典型工程应用实例——虎丘塔的倾斜控制和加固技术	216
第 8 章	古塔的塔身加固技术	231
8.1	塔身灌浆补强加固技术	231
8.2	钢材植入加固塔身技术	234
8.3	碳纤维围箍加固塔身技术	238
8.4	典型工程应用实例——奎光塔抗震抢险加固工程	246
第 9 章	古塔构件的修缮技术	253
9.1	古塔修缮的基本规则	253
9.2	木作修缮技术	254
9.3	瓦、石作修缮技术	262
9.4	典型工程应用实例——文峰塔修缮加固技术	270
第 10 章	古塔的防火防雷技术	277
10.1	古塔防火技术	277
10.2	古塔防雷技术	288
10.3	典型工程应用实例——文峰塔消防与防雷设计方案	295
主要参考文献		300

第1章 古塔的发展历程与保护意义

1.1 塔的起源与发展历程

中国自汉代开始建造宝塔，目前存世的古塔大多已有数百年或上千年历史，具有极高的历史、艺术和科学研究价值，是人类宝贵的文化遗产。屹立在神州大地上的古塔，以其高耸挺拔的造型和精致典雅的结构展示着文物建筑的特有功能，构筑了历史文化名城和旅游胜地的标志性景观，体现了中华优秀传统文化和建筑技术的高度成就。

中国古代建筑的类型非常丰富，包括了楼、台、亭、阁、殿、堂等。中国哲学思想的博大包容性和历代政府采取的“外为已用、推陈出新”的方针，有效地促进了新的建筑类型的产生和发展。宝塔是在我国传统建筑的基础上，吸收外来的艺术形式所创造出的一种新型建筑的成功典范。

塔的原型为印度埋藏高僧遗骨的墓式建筑“窣堵波”。佛祖释迦牟尼去世后，各地弟子筑墓分藏他的舍利以为纪念，窣堵波遂成为佛教建筑的一种形式。中国古代依据梵文“Stupa”和巴利文“Thupo”音译为“窣堵波”和“塔婆”，也称为“浮屠”“浮图”等，后根据其造型和含义简化为中华文字“塔”；因塔中藏有佛教珍品，故尊称为“宝塔”。窣堵波随佛教传入中国，对中国早期的宝塔有一定的影响。汉末三国之际，丹阳人笮融在徐州“大起浮图，上累金盘，下为重楼”，是中国造塔的最早记载，该塔的类型为中式多层木楼阁与佛教建筑“窣堵波”的结合。

随着社会经济、宗教文化和科学技术的发展，塔的建筑材料、类型和结构在不断地丰富和完善，并形成了各个历史时期的特色。

汉末和南北朝时期是佛塔在中国初步兴起的阶段，中国固有的木作技术在塔的建造上发挥了显著的作用；木构的楼阁式塔是当时的主流，塔体大都为方形平面，中心用上下贯通的木柱加强结构的整体性。建于北魏时期的洛阳永宁寺塔，为九层四方形楼阁式塔，举高达数十丈，显示了中国古代高层木结构的卓越建造水准。在这一时期，制砖技术和砌筑工艺得到了快速发展，“叠涩”砌筑工艺已成功地运用于佛塔的建造；现存最早的砖塔——河南登封嵩岳寺塔，其“凌空八相而圆”的十二边形塔体和十五层密接的塔檐，反映了砖结构技术的巨大进步。



隋、唐和五代时期，砖已基本取代木材成为造塔的主要材料，有效地提高了塔的防火性和坚固性。模仿木建筑的楼阁式、亭阁式、密檐式砖塔大量涌现，丰富了古塔的造型艺术。这一时期塔的平面以稳重大方的四方形为主，在立面上逐层收分至塔顶。现今遗存的唐代古塔平面基本上为正方形，如中国佛教史上著名的西安兴教寺玄奘法师墓塔、体现民族文化结晶的云南大理崇圣寺千寻塔等。

宋、辽、金时期，塔的建筑形式、营造技术都进入了高峰时期，建筑材料也丰富多样。塔的平面已由四方形发展到六角形、八角形，既丰富了塔的造型，又改善了结构的性能和通视条件。建于辽代的山西应县佛宫寺释迦塔，高度达67.31米，是世界上现存最高大古老的楼阁式木塔，其特有的上下层“叉柱造”连接构造和四百多组丰富多彩的斗拱，体现了中国木结构的高超技艺。建于宋代的河北定县开元寺塔，是十一层楼阁式砖塔，高度达84.2米，开创了古代超高层建筑的先河。金属、琉璃等新材料也在塔的建造中得到了应用，建于北宋时期的河南开封祐国寺塔，全部构件和纹饰都用深褐色琉璃砖砌成，形似“铁塔”，展示了精湛的琉璃工艺水平。

元、明、清时期，多种宗教在中国并行发展，一批新型的宗教塔，如覆钵式塔、过街塔、金刚宝座塔、傣族佛塔群等相继出现，极大地丰富了中国塔的类型。元代引进并在明、清时期得到发展的覆钵式塔是独具特色的代表，由尼泊尔匠师参与设计的北京妙应寺白塔，以稳重的“亚”字形台座、圆浑的覆钵式塔身、庄严的相轮式塔顶构筑了轮廓雄浑的建筑造型，是喇嘛教佛塔中最杰出的创作。明清时期，受科举考试和风水学说的影响，各地建造了大量风水塔以振兴文风或弥补山川形势不足；这些塔大都建造在风水胜地，以楼阁式砖木塔居多，且多以文星塔、振风塔、文峰塔等为名，在造型上也更加注重体现儒教、道教的精神氛围。

为了满足时代的发展和社会需要的变化，塔的功能也逐渐超越宗教的范围在不断地拓展。利用高耸的塔体登高眺望，是中国古塔的一个主要功能；建造在古代边境区域的宝塔，大多兼具战时观察敌情、平时观赏风景的双重用途。依据醒目地段的高塔作为地理标记，是中国古塔的又一实用功能；位于江河岸边或高山之巅的宝塔，是古代交通导向和现代航拍绘图的重要标志性建筑物。借用高耸宝塔的象征性意义来洁净心灵、促进文风，已成为中国古塔的普遍性功能；屹立在神州大地上的古塔，以其精美的结构、挺拔的姿态展现着我国先民的智慧和创造力，并激励着中华民族继往开来、谱写出人类文明新的篇章。

1.2 古塔的类型

中国古塔在近两千年的发展历程中，形成了非常丰富的类型。古塔按建筑造



型可分为楼阁式塔、密檐式塔、亭阁式塔、覆钵式塔、金刚宝座塔、花塔等；按建筑材料可分为土塔、木塔、砖塔、砖木塔、石塔、金属塔等。

1.2.1 古塔按建筑造型分类

1. 楼阁式塔

楼阁式塔体型高大、数量众多，是中国古塔中最具代表性的建筑类型。在佛教传入之前的战国、秦、汉时期，我国木结构技术已经发展到一个相当高的水平，修建了大量的多层楼阁。“窣堵波”传入中国后，首先与先进的造楼技术相结合，产生了楼阁式的木塔。唐代以后，随着砖结构技术的发展，砖木结构和砖石仿木构的楼阁式塔成为古塔的主要类型。

楼阁式塔一般具有以下特征：①每一层之间的距离较大，一层塔身相当于一层楼阁的高度；②每层均设有门、窗、柱、枋、斗拱等，与木结构相仿；③塔檐大都仿照木结构房檐建造，木结构或砖木结构的楼阁式塔在转角处有悬挑较大的飞檐；④塔内一般都设有楼梯，能够登临眺望。

现存的著名楼阁式古塔有：陕西西安大雁塔、山西应县佛宫寺释迦塔、苏州云岩寺塔、浙江杭州六和塔、福建泉州开元寺双塔等。建于唐长安年间（701～704年）的西安大雁塔，为七层方形仿木楼阁式砖塔（图1-1），高64.5米，是我国盛唐时期遗留的佛教胜迹。建于辽清宁二年（1056年）的应县佛宫寺释迦塔，为五层八角形楼阁式木塔，高67.31米，是我国保存最为完整、年代最早的木塔（图1-2）。



图 1-1 西安大雁塔



图 1-2 应县佛宫寺释迦塔



2. 密檐式塔

密檐式塔是多层古塔中的一种主要类型，大多建造于辽代，分布在我国北方地区。密檐式塔基本采用砖砌筑，运用“叠涩”工艺构造出密接的塔檐。这种塔的主要特点如下：①第一层塔身特别高大，其上每层之间的距离很小，塔檐紧密相连，形似重檐楼阁的重檐；②第一层塔身开设门窗，其上各层一般不开门窗或设置假窗。少数密檐塔为了内部采光的需要，在檐与檐之间开设了少量的采光小孔；③辽、金时期的密檐式塔基本为实心塔体，不能登临眺望。一些采用空心筒壁的密檐式塔，如嵩岳寺塔、小雁塔等，也不适合于登眺之用；④仿木建筑的密檐式塔，塔身第一层大多有佛龕、佛像、门窗、柱子、斗拱等装饰。

现存的著名密檐式古塔有：河南登封嵩岳寺塔、陕西西安小雁塔、云南大理崇圣寺千寻塔、北京天宁寺塔、河北昌黎元影塔等。建于北魏正光元年（520年）的河南登封嵩岳寺塔（图1-3），高41米，采用砖砌空心筒体结构，外部造型为十二角尖锥体，是我国年代最久的密檐式塔。建于辽代大康九年（1083年）的天宁寺塔是北京地区年代最久的古建筑，塔高57.8米，为八角十三层密檐式实心砖塔，塔檐逐层收减，呈现出丰富有力的卷刹（图1-4）。



图 1-3 登封嵩岳寺塔



图 1-4 北京天宁寺塔

3. 亭阁式塔

亭阁式塔是印度窣堵波与我国传统建筑中的亭阁相结合的产物，基本上与楼阁式塔在同一时期出现。亭阁式塔大多采用砖石建造，也有少数用土坯修建。亭阁式塔的特点是：塔身为单层的方形、六角、八角或圆形的亭子，下建台基，顶部冠以塔刹；也有的在塔顶上加一小阁，上置塔刹。建于东魏时期的山东历城神



通寺四门塔(图1-5),高15米,采用青石砌筑,是中国现存最早、保存最完整的单层亭阁式石塔。

高僧墓塔常采用亭阁式塔的造型,著名的有山东长清慧崇禅师塔、河南登封净藏禅师塔、山西平顺明惠大师塔等。山西五台山佛光寺的祖师塔是一种特殊形制的亭阁式塔(图1-6),塔室之上小阁的高度较大、构造精美,也可视为两层的楼阁式塔。

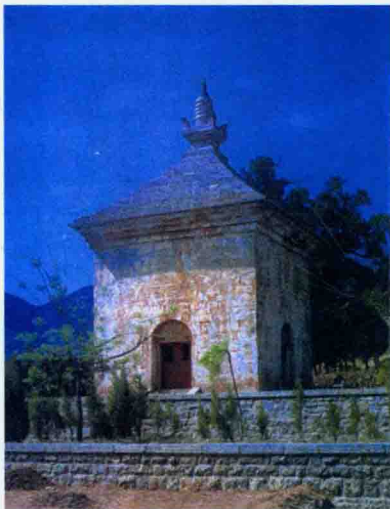


图 1-5 历城神通寺四门塔



图 1-6 五台山佛光寺祖师塔

4. 覆钵式塔

覆钵式塔的外形与印度窣堵波的形制非常接近,塔的下部为一高大的基座,其上砌筑瓶式或钵式塔身,塔身之上为逐层收缩的相轮,顶上设有华盖和宝刹。由于塔身的造型类似一个倒置的喇嘛教化缘钵,所以称为“覆钵式”塔。自元代以来,喇嘛教建佛塔常采用此种形式,所以又称为喇嘛塔。

元代时期喇嘛教在我国广泛传播,其中尤以西藏最盛,这种源于窣堵波式的塔逐渐成为喇嘛教建塔的基本形式。覆钵式塔在内地发展的过程中,结合了高层楼阁式塔和密檐式塔的建筑成就,形体更加高大雄伟。现存全国最大的覆钵式喇嘛塔——北京妙应寺白塔(图1-7),高59米,建于元朝至元八年(1271年),由尼泊尔工匠阿尼哥主持设计,是我国建造最早的覆钵式塔。明清时期喇嘛教继续发展,覆钵式塔修建得更多,而且成为高僧墓塔的主要形式。覆钵式塔有时也被作为园林的点缀,如北京北海琼华岛白塔、江苏扬州瘦西湖莲性寺白塔等。在过街塔和金刚宝座塔之上所建的小塔,大多也采用覆钵式塔。

5. 金刚宝座塔

金刚宝座塔在佛教上属于密宗一派,以五方佛为内容,象征须弥山五形。以



北京真觉寺金刚宝座塔（图 1-8）为例，据明成化九年（1473 年）“创建真觉寺金刚宝座塔碑记”和《帝京景物略》上记载，此塔系仿照中印度的规式与佛陀伽耶（Bunda Gaya）的金刚宝座大塔而建；但是与两者相比，也不完全一致。佛陀伽耶塔塔座较低，台上五塔中间一塔较大；而真觉寺金刚宝座塔的台座极为高大，中塔稍大，其余四塔相去不远。尤其是雕刻技法、风格，均具中国传统艺术特点，斗拱、柱子、椽飞、瓦垄等均为中国建筑的结构形式。值得注意的是，金刚宝座塔结合了我国古代高层建筑的特点，台座修建得十分高大，以显示其不凡的气势。

现存金刚宝座塔的实物不多，约十来座，大都为明清时期建造，计有云南昆明妙湛寺金刚宝座塔，北京真觉寺金刚宝座塔、碧云寺金刚宝座塔、西黄寺金刚宝座塔，内蒙古呼和浩特金刚座舍利宝塔，山西五台山圆照寺金刚宝座塔、甘肃张掖金刚宝座塔等。建于明成化九年的北京真觉寺金刚宝座塔，为五座密檐方形石塔，石造金刚宝座高 7.7 米，中心宝塔高 8 米，是我国最早的金刚宝座塔。

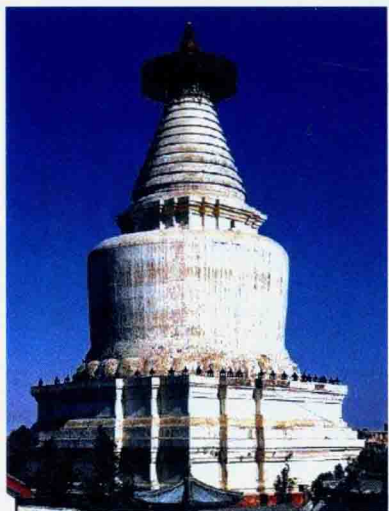


图 1-7 北京妙应寺白塔



图 1-8 北京真觉寺金刚宝座塔

6. 花塔

花塔，也称华塔，其特征是在塔的上半部装饰有巨大的莲瓣，或密布佛龕及狮子、大象等动物形象，或点缀其他装饰，看去形如一束巨花，因此被称为花塔。花塔的出现，受印度、东南亚佛教国家寺塔雕刻装饰的影响，也代表了我国古塔发展从高大朴质向华丽的趋势。花塔最初的发展是从亭阁式的墓塔开始的，即在亭阁式塔的塔顶之上加上几层大型仰莲花瓣为装饰，山西佛光寺东南的唐代亭阁式墓塔即是初期花塔的例子。

花塔大多数是辽金时期建造的，到元代以后较为少见。在古塔发展过程中，



花塔是一种值得重视的古塔类型，目前保存的数量也很少。

现存著名的花塔有河北正定广惠寺花塔、北京房山万佛堂花塔、河北涿水庆化寺花塔等。建于金大定年间（1161~1189年）的河北正定广惠寺花塔（图1-9）是现存最大的花塔；该塔由主塔和附属小塔组成，高40.5米，造型奇特，结构富于变化，是我国砖塔中造型最为奇异、装饰最为华丽的塔。

7. 过街塔及塔门

过街塔的特点是建于街道中或是大路之上，修建成门洞的形式，塔的下面可走行人车马。过街塔在建筑造型上结合了我国古代城关建筑的特点，因而曾有人直呼这种塔为“关”，如北京居庸关云台被称为“居庸关”，江苏镇江过街塔被称作“昭关”。过街塔及塔门在佛教教义上曾有这样说法：让过往行人得以顶戴礼佛，即从塔下经过就算是向佛进行礼拜了。

过街塔和塔门也是从元代开始发展起来的，由于元代大兴喇嘛教，所以过街塔和塔门上的塔大多是喇嘛塔。北京居庸关云台就是元代至正二年（1342年）创建的过街塔的座子。江苏镇江的昭关，是一座跨于大街之上的石制门框的楼子，上建一喇嘛式塔。北京西郊法海寺门前有一个塔门，跨于大道之上，上建喇嘛塔一座。河北承德普陀宗乘之庙的内外建有不少的塔门，跨于大道之上，有一孔、三孔的，门上的塔有单塔、三塔和五塔等。承德普陀阁和北京颐和园后山香岩宗印之阁四周的四大部洲的塔台，其下开有券门，以表示人行其下顶戴礼佛之义。建于元代的镇江昭关石塔（图1-10），高4.69米，分为塔座、塔身、塔颈、十三天、塔顶五部分，全部用青石分段雕成，是我国保存完好、年代最久的过街石塔。



图1-9 河北正定广惠寺花塔



图1-10 江苏镇江昭关石塔



8. 其他形式的塔

自从塔在我国出现以来,古代匠师在传统建筑艺术的基础上,结合地域和民族的特点建造出了多种表现形式和建筑风格的塔。除了上述主要建筑类型的塔之外,还有以石材建造为主的经幢式塔、宝篋印塔、五轮塔等经塔和墓塔,具有特殊造型的圆柱式塔、球形塔、多顶塔等,以及兼具楼阁式、密檐式和覆钵式特征的组合式塔,多种类型塔并列组合而成的塔群、塔林等。各具特色、形式多样的古塔,既丰富了古塔的建筑类型,也扩大了古塔在世界建筑遗产中的整体影响。

1.2.2 古塔按建筑材料分类

1. 土塔

依据当地的经济状况及出产的建筑材料营造建筑物,是我国古代建筑所遵循的营造原则。在我国西北地区的一些佛寺里,就有各时期建造的土塔。这些地区气候干燥、年降雨量很少,但土质较纯、粘结性好,适合用土坯砖建造塔和其他类型的建筑。

土塔以喇嘛塔较多,其主要原因在于喇嘛塔是实心体,没有塔室,完全可以用土来堆砌。土塔一般用土坯砌筑成型,然后用极细的黄泥浆抹面使外表平整,待干燥后再粉刷一层白灰成为白色喇嘛塔。

土塔在年代上出现最早,但是并未得到普及与发展,而逐渐被其他材料所筑的塔取代。其主要原因:一是受环境气候限制,在气候潮湿、土质松软的地区容易被侵蚀和损毁;二是受土的力学性能限制,难以建造出外形优美、结构高大的塔体。

但通过技术改良,采用特殊的工艺制作的土坯砖,并结合细致的构造技术,造出较为高大的土塔也不无可能。如用糯米浆、石灰、卵石、黄土和麻纤维等材料,按照一定比例拌和压制成土坯砖,可有效地提高土坯砖的强度和防风化能力。位于四川安县花菱镇的文星塔(图 1-11),就是用特制土坯砖建造且保存较好的古塔。该塔建于清光绪十六年(1890 年),为 13 层方形楼阁式塔,通高 28 米。塔体第一层下部用条石砌筑,以增强承载能力和防潮性能;其余 12 层用 $340\text{mm}\times 240\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的土坯叠砌至顶,出檐部分用 $300\text{mm}\times 250\text{mm}\times 70\text{mm}$ 的青砖叠涩出檐防水。文星塔在 2008 年汶川特大地震中震毁,于 2010 年采用仿古方法制作土坯砖并按原样进行了修复。

2. 木塔

我国木塔起源甚早,汉末三国时代笮融“大起浮图,上累金盘,下为重楼”,造的就是木塔。在随后的近千年期间,木塔始终居我国古塔造型艺术之



首要位置。

常见木塔的平面为方形或八角形，其造型大多为楼阁式。中国古代工匠在木结构建筑的营造方面积累了丰富的经验，不仅能充分利用构件组合的技巧创造出优美的塔型，而且能合理地采用叠层结构建造高大稳定的塔身。

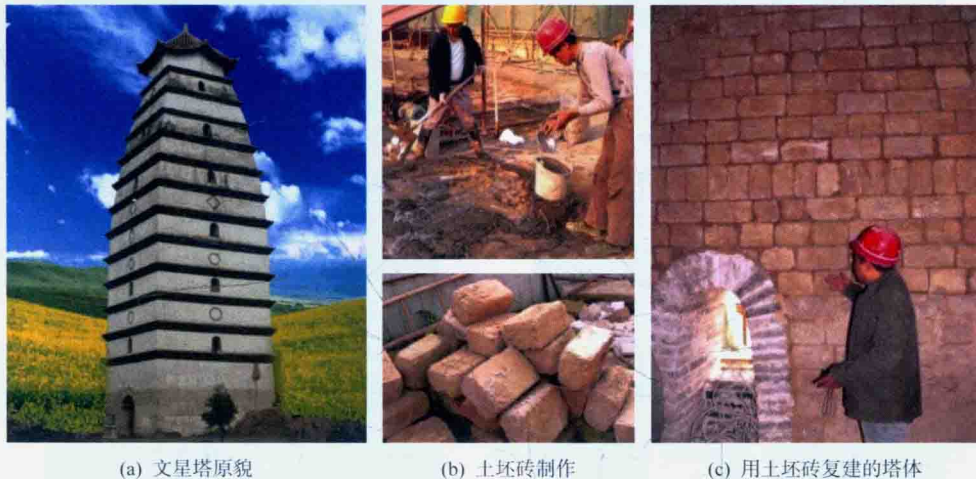


图 1-11 安县文星塔

由于木材的耐久性和防火性较差，难于保存，且受木材资源缺乏的影响，自宋代之后，木塔基本被砖、石塔取代。留存至今的木塔也为数不多，有代表性的木塔为建于辽代的山西应县佛宫寺释迦塔，即应县木塔（图 1-2）。

3. 砖塔

由于砖取材方便、制作简单，且具有较好的耐久性，自唐代以来，砖已取代木材成为建塔的主要材料。现存的古塔中砖塔的数量最多，并分布于全国各地。其中河北定县宋代建造的开元寺塔高 84 米（图 1-12）、陕西泾阳县明代建造的崇文塔高 87 米（图 1-13），代表了古代高层建筑的建造水平。

建造砖塔时砖壁表面的砌砖方式主要有两种：一种是在表皮部位用“长身砌”，称为“层层错缝长身砌法”；第二种为“长身、丁头法”，即是“层层一长一顺错缝砌法”。塔壁内部一般采用非规则的填砌方式，这种方式既可以满足塔身尺寸逐层收分的要求，又能将有损坏和断裂的砖都运用到塔上以充分利用材料。

建造砖塔所用砖的尺度不尽相同，有的塔用砖薄而小，有的则厚而大。产生此种情况，既有时代原因，又有地区差异。砌砖塔时用的灰浆，各时代、各地方截然不同。唐代砖塔全部以黄土为浆，其粘结性稍差；宋、辽、金时期的塔，在泥浆内掺入少量的石灰以增加粘结力；明、清两代砌建塔时，则全部改用白灰浆，有效地提高了粘结力。



在工艺方面,用砖材可砌出各种构件的形状以仿造木结构的造型,可以采用叠涩方式砌出楼层以表达楼阁式建筑的特征。砖塔的缺陷在于其自重较大,对地基的变形较为敏感,此外,砖塔上容易生长草木,破坏塔的坚固性。

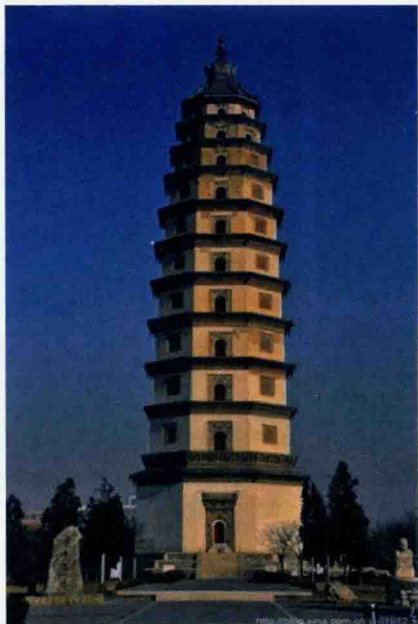


图 1-12 河北定县开元寺塔



图 1-13 陕西泾阳崇文塔

4. 砖木混合塔

砖木混合塔的塔身仍然用砖砌筑,但具有木结构特征的构件如斗拱、角梁、平座、栏杆、楼层、木檐子等使用木材建造。与纯砖塔相比,砖木混合塔在木构件的制作方面较省工,但需要对木构件涂刷油漆进行保护。

砖木混合塔可充分发挥砖、木材料在结构受力和构件造型方面的优势,体现楼阁式塔的特征,这在当时的历史条件下是建筑艺术的发展。不过,砖、木材料的耐久性差异很大,当年代久远后,安插在砖砌体中的木构件先腐烂、毁坏。如若进行维修,需在砖壁上的洞中进行填补,施工十分不便。

砖木混合塔有较强的地域性,大多在长江以南地区采用,以满足南方塔在造型上有较大挑檐和平座的需要。浙江杭州六和塔、上海松江兴圣教寺塔、江苏苏州报恩寺塔和瑞光寺塔都是著名的砖木混合塔,其中,江苏苏州瑞光寺塔是宋代早期南方砖木混合塔的代表作,该塔为七级八面砖木结构楼阁式塔,塔身为砖石砌筑,塔檐和平座栏杆均为木构(图 1-14)。砖木混合塔在北方的数量较少,现存的有河北正定天宁寺塔、甘肃张掖木塔、内蒙呼和浩特万部华严经塔等;其中,