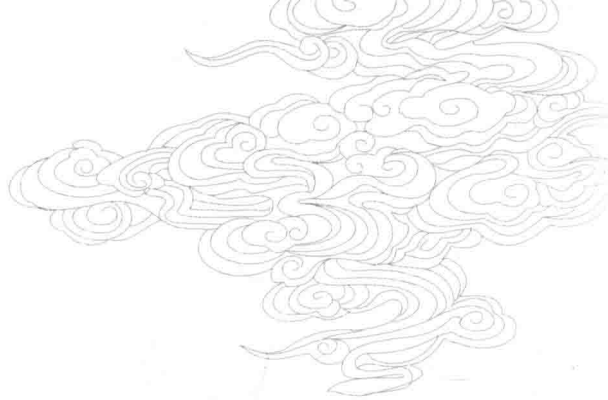


中国古建筑营造技术丛书



中国古建筑瓦石构造

罗哲文 



ZHONGGUO
GUJIANZHU
WASHI
GOUZAO

刘全义 主编



中国建材工业出版社

中国古建筑营造技术丛书

中国古建筑瓦石构造

刘全义 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国古建筑瓦石构造/刘全义主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2018. 1

(中国古建筑营造技术丛书)

ISBN 978-7-5160-1989-4

I. ①中… II. ①刘… ②刘… III. ①古建筑—砖石结构—研究—中国 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 号

内 容 简 介

中国古建筑瓦石构造技术取得了很高的成就, 展示了独树一帜的结构和造型。本书主要介绍古建筑土作、瓦作和石作的传统构造方法, 包括地基、台基、墙体、各类石构件、砖石拱券结构、装饰构件、屋顶及地面等部位的式样变化、构造关系、比例尺度、规矩做法以及建筑材料等方面的内容。

本书可供古建筑设计、施工、修缮的工程技术人员和文物保护工作者、建筑院校的师生参考。

中国古建筑瓦石构造

刘全义 主编

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 30

字 数: 680 千字

版 次: 2017 年 12 月第 1 版

印 次: 2018 年 1 月第 1 次

定 价: **158.00 元**

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: [zgjcgyCBS](https://www.weixin.com/zgjcgyCBS)

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

《中国古建筑营造技术丛书》 编委会

名誉主任 刘大可

执行主任 刘全义 佟令玫

委 员 (按姓氏笔画排序)

王占峰 白丽娟 包庆君 边精一 朱进冉

刘 珊 佟文龙 张 玉 张峰亮 荀 建

胡 珊 胡 浩 章 曲 博俊杰 董 峥

滕光增 薛玉宝

序

中国古建筑，以其悠久的历史、独特的结构体系、精湛的工艺技术、优美的造型和深厚的文化内涵，独树一帜，在世界建筑史上，写下了光辉灿烂的不朽篇章。

这一以木结构为主的结构体系适应性强，从南到北，从西到东都有适应的能力。其主要的特点是：

一、因地制宜，取材方便，形式多样。比如屋顶瓦的材料，就有烧制的青灰瓦、琉璃瓦，也有自然的片石瓦、茅草屋面、泥土瓦当屋面。俗语“一把泥巴一片瓦”就是“泥瓦匠”的形象描述。又如墙体的材料，也有土墙、石墙、砖墙、板壁墙、编竹夹泥墙等。这些材料在不同的地区、不同的民族、不同的建筑物上根据不同的情况分别加以使用。

二、施工速度快，维护起来也方便。以木结构为主的体系，古代工匠们创造了材、分、斗口等标准化的模式，制作加工方便，较之以砖石为主的欧洲建筑体系动辄数十年上百年才能完成一座大型建筑要快很多，维修保护也便利得多。

三、木结构体系最大的特点就是抗震性能强。俗话说“墙倒屋不塌”，木构架本身是一弹性结构，吸收震能强，许多木构古建筑因此历经多次强烈地震而保存下来。

这一结构体系的特色还很多，如室内空间可根据不同的需要而变化，屋顶排水通畅等。正是由于中国古建筑的突出特色和重大价值，它不仅在我国遗产中占了重要位置，在世界遗产中也占了重要地位。在目前国务院已公布的两千多处全国重点文物保护单位中，古建筑（包括宫殿、坛庙、陵墓、寺观、石窟寺、园林、城垣、村镇、民居等）占了三分之二以上。现已列入世界遗产名录的我国 33 处文化与自然遗产中，有长城、故宫、承德避暑山庄及周围寺庙、曲阜孔庙孔府孔林、武当山古建筑群、布达拉宫、苏州古典园林、颐和园、天坛、丽江古城、平遥古城、明清皇家陵寝明十三陵、清东西陵、明孝陵、显陵、沈阳福陵、昭陵、皖南古村落西递、宏村等，就连以纯自然遗产列入名录的四川黄龙、九寨沟也都有古建筑，古建筑占了中国文化与自然遗产的五分之四以上。由此可见古建筑在我国历史文化和自然遗产中之重要性。

然而，由于政治风云，改朝换代，战火硝烟和自然的侵袭破坏，许多重要的古建筑已经不存在，因此对现在保存下来的古建筑的保护维修和合理利用问题显得十分重要。

保护维修是古建筑保护与利用的重要手段，不维修好不仅难以保存，也不好利用。保护维修除了要遵循法律法规、理论原则之外，更重要的是实践与操作，这其中的关键又在于工艺技术实际操作的人才。

由于历史的原因，我国长期以来形成了“重文轻工”、“重士轻匠”的陋习，在历史上一些身怀高超技艺的工匠技师得不到应有的待遇和尊重，因此古建筑保护维修的专门技艺人才极为缺乏。为此中国营造学社的创始人朱启铃社长就曾为之努力，收集资料编辑了

《哲匠录》一书，把凡在工艺上有一技之长，传一艺、显一技、立一言者，不论其为圣为凡，不论其为王侯将相或梓匠轮舆，一视同仁，平等对待，为他们立碑树传，都尊称为“哲匠”。梁思成先生在20世纪30年代编著《清式营造则例》的时候也曾拜老工匠为师，向他们请教，力图尊重和培养实际操作的技术人才。这在今天来说，我觉得依然十分重要。

今天正处在国家改革开放，经济社会大发展，文化建设繁荣兴旺的大好形势之下，古建筑的保护与利用得到了高度的重视，保护维修的任务十分艰巨，其中至关重要的仍然还是专业技艺人才的缺乏或称之为断代。为了适应大好形势的需要，为保护维修、合理利用我国丰富珍贵的建筑文化遗产，传承和弘扬古建筑工艺技术，中国建材工业出版社的领导和一些专家学者、有识之士，特邀约了古建筑领域的专家学者同仁，特别是从事实际操作设计施工的能工技师“哲匠”们共同编写了《中国古建筑营造技术丛书》，即将陆续出版，闻之不胜之喜。我相信此丛书的出版必将为中国古建筑的保护维修、传承弘扬和专业技术人才的培养起到积极的作用。

编者知我从小学艺，60多年来一直从事古建筑的学习与保护维修和调查研究工作，对中国古建筑营造技术尤为尊重和热爱，特嘱我为序。于是写了一点短语冗言，请教方家高明，并借以作为对此丛书出版之祝贺。至于丛书中丰富的内容和古建筑营造技术经验、心得、总结等，还请读者自己去阅览、参考和评说，在此不作赘述。

羅哲文

序二 古建筑与社会

梁思成作为“中国建筑历史的宗师”（李约瑟语），毕生致力于中国古代建筑的研究和保护。如果不是因为梁思成的坚决反对，现在的人们恐怕很难见到距今有800多年历史的北京北海团城，这里曾经的建筑以及发生过的故事也只能靠人们的想象而无法触摸了。

历史的记忆有多种传承方式，古建筑算得上是很直观的传承方式之一。古建筑不仅仅凝聚了先人们的设计思想、构造技术和材料使用等，古建筑还很好地传承了先人们的绘画、书法以及人文、美学等文化因素。对于古建筑的保护、修复，实则是对于人类社会历史的保护和传承。从这个角度而言，当年梁思成嘱咐他的学生罗哲文所言“文物、古建筑是全人类的财富，没有阶级性，没有国界，在变革中能把重点文物保护下来，功莫大焉”，当是对于保护古建筑之意义所做出的一个具有历史责任感的客观判断。正是因为这一点，二战时期盟军在轰炸日本之前，还特意将日本的重要文物古迹予以标注以免被炸毁坏。

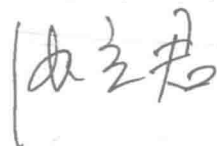
除了关注当下的经济社会，人们对于自己祖先的历史和未来未知的前景总是具有浓厚的兴致，了解古建筑、触摸古建筑，是人们感知过去社会和历史的有效方式，而古建筑的营造与修复正是为了更好地传承人类历史和社会文化。对于社会延续和文化遗产而言，任何等级的古建筑的作用和意义都是正向的，不分大小，没有轻重之别，因为它们对于繁荣人类文明、滋润社会道德等，具有普遍意义和作用。

罗哲文先生在为本社“中国古建筑营造技术丛书”撰写的序言中引用了“哲匠”一词，这个词实际上是对从事古建筑保护修复工作的专业技艺人才的恰当称谓。没有一代又一代技艺高超“哲匠”们的保护修复，后人就不可能看到流传千年的文物古迹。古建筑的营造与保护修复工作还是一项要求非常高的综合性工作，“哲匠”们不仅要懂得古建筑设计、构造、建造等，还要熟知各种修复材料，具备相关的物理化学知识，了解书法绘画等审美意识，掌握一定的现代技术手段，甚至于人文地理历史知识等也是需要具备的。古建筑的保护修复工作要求很高，周而复始，“哲匠”们要做好这项工作不仅要有漫长的适应过程，更得心怀一颗“平常心”，要经受得住外界的诱惑，耐得住性子忍受寂寞孤独。仅仅是因为这些，就应该为“哲匠”们树碑立传，我们应该大力倡导工匠精神。

古建筑贯通古今，通过古建筑的营造与保护修复工作，后人们可以更直接地与百年、千年之前的社会进行对话。社会历史通过古建筑得以部分再现，人类文化通过古建筑得以传承光大。人具有阶层性，社会具有唯一性，古建筑则是不因人的高低贵贱而具有共同的

鉴赏性，因而是社会的、大众的。作为出版人，我们愿意以奉献更多、更好古建筑出版物的形式，为社会与文化的传承做出贡献。

中国建材工业出版社 社长、总编辑

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely the name of the publisher or editor.

2016年3月

序 三

近年来，“古建筑保护”不时触碰公众的神经，受到了越来越广泛的社会关注。为推进城镇化进程中的古建筑保护与传承，国家给予了高度重视，如建立政府与社会组织之间的沟通、协调和合作机制，支持基层引进、培养人才，提供税收优惠政策支持，加大财政资金扶持力度等。尽管如此，古建行业仍存在人才匮乏、工艺失传、从业人员水平良莠不齐、古建工程质量难以保障等一系列困局，资质队伍相对匮乏与古建筑保护任务繁重的矛盾非常突出。在社会各界大力呼吁将“传承人”制度化、规范化的背景下，培养一批具备专业技能的建筑工匠、造就一批传承传统营造技艺的“大师”，已成为古建行业发展的客观需求与必然趋势。

我过去的工作单位是原北京房地产职工大学，现北京交通运输职业学院。早在1985年就创办了中国古建筑工程专业，培养了成百上千名古建筑专业人才。现在，这些学员分布在全国各地，成为各地古建筑研究、设计、施工、管理单位的骨干力量。我在担任学校建筑系主任期间，一直负责这个专业的教学管理和教学组织工作。根据行业需要，出版社几年前曾组织编写了几本中国古建筑营造技术丛书，获得了良好的口碑和市场反馈。当年计划出版的这套古建筑营造丛书，由于种种原因，迟迟未全部面世。随着古建传承时代大背景的需要，加之中国建材工业出版社佟令玫副总编辑多次约我组织专业人才，进一步完善丰富《中国古建筑营造技术丛书》。为了弥补当年的遗憾，这次组织参与我校教学工作的各位专家充实了编写委员会，共同商议丛书的编写重点和体例规范，集中将各位专家在各门课程上多年积累的很有分量的讲稿进行整理出版。我想不久的将来，一套比较完整的中国古建筑营造技术丛书，将公诸于世。

值此丛书陆续出版之际，我代表丛书编委会，感谢所有参与过丛书出版工作的同仁所付出的努力，感谢所有关注、关心古建筑营造技术传承的领导、同仁和朋友！古建筑保护与修复的任务是艰巨的，传统营造技艺传承的路途是漫长的，希望本套丛书的出版能为中国古建筑的保护修复、传承弘扬和专业技术人才培养起到积极的作用。



2017年6月

前 言

中国古建筑博大精深，其发展历经了几千年的时间，其分布地域之广阔是任何国家所不能比拟的。中华民族祖先遗留下来的现存古建筑、古建遗址及历代古建文献是我们学习、继承中华古建筑文化最宝贵的财富和依据。

古建筑涵盖了宫殿、园林、坛庙、陵墓、桥梁、石窟、牌楼、窑洞、民居等各式各样的建筑形式，古建筑的室内地面以下是台基和基础，地面以上主要以木构架为承重系统，其中屋面和油漆彩画是最养眼的部分。木结构及木装修、油漆彩画都有专门的著述，本书所述的是除此之外的其他组成部分。

本书虽名为“中国古建筑瓦石构造”，但翻看各章节的内容，觉得题目有些大了。细想起来，书中所述还只是中国古建筑瓦石构造的一个局部而已，本想再伺机搜集资料、多跑跑全国各地调研以充实其内容，可需要太长的时间，所以此次书稿只能先作为一块“砖”，以后再引出“玉”吧。

本书第一章介绍的地基设计和基础知识，只针对中国古建筑，因其主要以柱子传递轴心压力，且多为一层，楼房也就二三层，荷载不大，故没有考虑其他受力状态的设计原理。第二章介绍的中国古建筑基址，是依据不同文献介绍的一些古建筑独立基础的做法，没有做力学方面的分析，有的桥梁、塔幢，其基础也做了柏木桩，桩上有承台，从受力的角度看，恐怕已兼有端承桩和摩擦桩两种功能了。台基、墙壁、屋顶、地面等章节大多取材于《中国古建筑瓦石营法》第一版中有关构造部分的内容，当然，也拓展了其他的一些资料。

编者对第六章砖石拱券的讲述内容情有独钟。1970—1973年，编者作为北京赴延安地区插队知识青年的辅导员（编者注：1970年，北京市抽派1200名干部赴延安地区，辅助当地管理北京知识青年的生产与生活），在延安市洛川县石家庄大队住了3年窑洞，其中有土窑洞，有砖窑洞，也有石窑洞。窑洞就是拱券结构，是以轴心受压为主要的受力状态。编者从教当中，有几年曾主讲过结构力学，拱券结构其合理拱轴线只有轴心受压，各断面没有剪力，也没有弯矩，结构上部只要有足够大的荷载（如陵墓宝顶上面厚厚的土层和松柏树），就会使券石挤压紧密产生较大的轴向压力，从而结构就能安全和可靠。

其他章节如砖塔、石结构建筑、砖石建筑装饰等只是一些资料的介绍，零散而不系统，言犹未尽，对不住读者了。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，望各位专家、学者和读者多多指正，编者不胜感谢。

编者

2017年12月

目 录

第1章 地基与基础	1
1.1 概述	1
1.2 地基	2
1.2.1 地基土	2
1.2.2 土的工程分类	4
1.2.3 地基土的容许承载力	6
1.2.4 地基地面应力的计算	9
1.2.5 地基计算的基本原理	9
1.3 古代建筑的基础	10
1.3.1 古代建筑基础的实例	10
1.3.2 古代建筑基础类型	18
第2章 台与台基	22
2.1 概述	22
2.2 台	25
2.2.1 古代高台建筑的类型	26
2.2.2 现存独立的台	28
2.2.3 与建筑物相连的台	33
2.3 台基的类型	36
2.3.1 台基的式样	36
2.3.2 台基的砌筑形式	38
2.4 台基的构造	39
2.4.1 码礅墩和掐砌拦土	39
2.4.2 包砌台明	39
2.4.3 普通台基石构件	41
2.5 须弥座台基	49
2.5.1 须弥座台基各部位名称及其权衡尺寸	51
2.5.2 普通须弥座台基	54
2.5.3 做法讲究的须弥座台基	54
2.5.4 须弥座台基的雕刻	56
2.6 台阶	60
2.6.1 踏跺	60

2.6.2	礅磬	64
2.6.3	台阶的权衡尺度及构件尺寸	65
2.7	石栏杆	66
2.7.1	石栏杆的类别	69
2.7.2	各部位名称及其尺寸	70
2.8	柱顶石与栏杆参考图例	78
第3章	墙壁	91
3.1	概述	91
3.1.1	按不同位置定名	91
3.1.2	按墙体表面艺术形式或平、立面造型特点定名	91
3.1.3	按功能定名	92
3.2	土墙	92
3.2.1	夯土墙	92
3.2.2	土墙	93
3.3	砖墙	95
3.3.1	砖墙垒砌形式	95
3.3.2	墙砌筑类型	99
3.4	石墙	102
3.4.1	虎皮石砌筑	102
3.4.2	虎皮石干背山砌筑	103
3.4.3	方正石和条石砌筑	103
3.4.4	石板贴砌	103
3.4.5	石陡板砌筑	103
3.4.6	卵石砌筑	103
3.5	几种墙体的构造	103
3.5.1	檐墙	103
3.5.2	山墙	107
3.5.3	槛墙	118
3.5.4	廊心墙	119
3.5.5	院墙	121
3.6	南方地区墙体结构	137
3.6.1	南方地区封护山墙	138
3.6.2	清水砖垛头	139
3.6.3	南方园林建筑的墙	140
3.6.4	城墙与长城	143
第4章	屋顶	157
4.1	屋顶的式样与构造	157

4.1.1	屋顶的式样	157
4.1.2	常见屋顶的构造	157
4.1.3	屋顶瓦面种类	165
4.1.4	屋面分层做法	165
4.1.5	屋脊名词解释	166
4.2	琉璃屋脊构造	168
4.2.1	硬、悬山建筑琉璃屋脊的构造	168
4.2.2	歇山建筑琉璃屋脊的构造	171
4.2.3	庑殿建筑琉璃屋脊的构造	174
4.2.4	攒尖建筑琉璃屋脊的构造	175
4.2.5	重檐建筑琉璃屋脊的构造	175
4.2.6	常见琉璃瓦件	178
4.2.7	琉璃屋脊脊件的变化规律	180
4.2.8	琉璃瓦及屋脊规格的选择确定	181
4.3	大式黑活屋脊构造	182
4.3.1	硬、悬山建筑大式黑活屋脊的构造	182
4.3.2	歇山建筑大式黑活屋脊的构造	183
4.3.3	庑殿建筑大式黑活屋脊的构造	184
4.3.4	攒尖建筑大式黑活屋脊的构造	184
4.3.5	重檐建筑大式黑活屋脊的构造	184
4.4	小式黑活屋脊构造	186
4.4.1	硬、悬山建筑小式黑活屋脊的构造	186
4.4.2	歇山建筑小式黑活屋脊的构造	190
4.4.3	攒尖建筑小式黑活屋脊的构造	194
4.4.4	重檐建筑小式黑活屋脊的构造	194
4.4.5	布瓦及屋脊规格的选择确定	195
4.5	其他地域屋顶各部位参考资料	197
4.5.1	古代建筑的正脊	197
4.5.2	古代建筑的鸱吻	200
4.5.3	翼角	205
4.5.4	屋面其他部位的装饰	208
第5章 地面		214
5.1	概述	214
5.2	夯土地面	215
5.2.1	素土地面做法	216
5.2.2	灰土地面做法	216
5.2.3	滑秸黄土地面做法	216
5.3	砖铺地面	217

5.3.1	砖铺地面的做法类型	217
5.3.2	砖墁地面的一般程序	218
5.3.3	砖墁地面的各部位做法	220
5.4	石铺地面	227
5.4.1	仿方砖石板铺地	227
5.4.2	虎皮石铺地	227
5.4.3	鹅卵石铺地	227
5.4.4	海墁条石地面	227
5.5	焦渣地面和砖瓦石混合铺地	228
5.5.1	焦渣地面	228
5.5.2	砖瓦石混合铺地	229
5.6	御路	233
第6章	砖石拱券	238
6.1	砖拱券	238
6.1.1	砖券的种类	238
6.1.2	砖券的名称术语与看面形式	239
6.1.3	券的起拱和砍砖放样	239
6.1.4	摆砌	241
6.2	砖券结构	242
6.2.1	无梁殿	242
6.2.2	砖墓室	250
6.3	石拱券	253
6.3.1	石拱券的用途及类型	253
6.3.2	名词解释	254
6.3.3	石券的起拱与权衡尺寸	255
6.3.4	券脸雕刻	256
6.3.5	石券制作安装要点	259
第7章	砖塔	261
7.1	概述	261
7.2	砖塔的类型	262
7.2.1	砖石塔	262
7.2.2	塔基、塔檐和塔刹	265
7.3	塔实例	268
7.3.1	楼阁式砖塔	268
7.3.2	密檐式塔	273
7.3.3	亭阁式塔	283
7.3.4	花塔	285

7.3.5	覆钵式塔（喇嘛塔）	286
7.3.6	过街塔	288
7.3.7	金刚宝座塔	290
7.3.8	上海龙华塔与山东长清辟支塔实测图	292
第8章 石结构建筑		294
8.1	概述	294
8.2	石桥	294
8.2.1	石梁桥	294
8.2.2	石拱桥	311
8.2.3	官式石桥构造	341
8.3	石牌坊	357
8.4	石塔	373
8.4.1	概说	373
8.4.2	楼阁式塔	374
8.4.3	密檐式塔	380
8.4.4	亭阁式塔	385
8.4.5	覆钵式塔（喇嘛塔）	387
8.4.6	过街塔	388
8.4.7	金刚宝座塔	389
8.4.8	宝篋印经塔	392
8.5	石阙	393
8.5.1	河南登封县太室、少室、启母阙	394
8.5.2	四川雅安县高颐阙	395
第9章 砖石建筑雕饰		400
9.1	石雕	400
9.1.1	须弥座、石栏杆、御路	409
9.1.2	石门窗、门鼓石	420
9.1.3	柱础、石柱	431
9.1.4	其他石雕	437
9.2	砖雕	445
9.2.1	门楼、门罩上的砖雕	448
9.2.2	各种墙上的砖雕	453
参考文献		461

第 1 章 地基与基础

1.1 概 述

建筑物的全部荷载都是由它下面的地层来承担，受建筑物影响的那一部分地层称为地基。基础是直接承受建筑物及构筑物上部荷载，并将其传递到地基的建筑物地下结构部分。基础要保障将上部的荷载均匀地传递到地基，而地基则必须能承受基础传递下来的荷载，并保证不变形。地基与基础处理的好坏，直接影响着建筑物与构筑物的坚固度，因此地基与基础工程是古建筑工程中的重要项目。

我国古代建筑地基与基础工程技术由来已久。在史前的建筑活动中，我国古代匠师就已创造出了自己的地基与基础工艺。在陕西西安半坡村新石器时代遗址和河南安阳殷墟遗址的考古发掘中，都发现有土台和石础，这就是《韩非子》载：“堂高三尺，茅茨土阶”建筑的地基基础形式。我国历朝历代修建的无数建筑物，都出色地体现了古代劳动人民在地基与基础工程技术方面的高超水平。举世闻名的万里长城、蜿蜒千里的大运河，都是贯穿各种地质条件，遍及广阔地区的大工程，若处理不好地基与基础问题，哪儿会有被后人赞誉的亘古奇观？宏伟壮丽的宫殿、寺院建筑，主要也是依靠牢固的地基与基础，才能逾千百年而保存至今。屹立在祖国各地的各式各样的古塔，经历多次强震强风的考验却安然无恙，同样是由于古塔的奠基牢固。这些事实足以证明我国古代匠师们在处理建筑物地基与基础工程方面的高超技术水平。

以下主要按照文献记载，举例说明我国古代地基基础的部分做法。

隋朝石工李春所修赵州石拱桥，不仅因其建筑和结构设计的成就而脍炙人口，就论其地基基础的处理也是颇为合理的。他把桥台砌置于密实粗砂层上，一千三百多年来沉降仅约几厘米。现在验算其基础压力为 $50 \sim 60 \text{t/m}^2$ ，这与现行地基基础设计规范给出的承载力值很接近。根据宋代古籍《梦溪笔谈》和《皇朝类苑》的记载，北宋初著名木工在建造开封开宝寺木塔时，考虑到当地多西北风，便特意使建于饱和土上的塔身稍向西北倾斜，设想在风力的长期断续作用下可以渐趋复正。由此可见，古人在实践中早已试图解决建筑物地基沉降的问题了。

我国木桩基础的使用，由来已久。郑州的隋朝超化寺是在淤泥中打进木桩形成塔基的（《法苑珠林》第 51 卷），杭州湾的五代大海塘工程也采用了木桩和石承台。在人工地基方面，秦代在修筑驰道时，就已采用了“稳以金堆”的路基压实方法。至今还采用的灰土垫层、石灰桩、瓦渣垫层、撼砂垫层等，都是我国自古已有的传统地基处理方法。



1.2 地 基

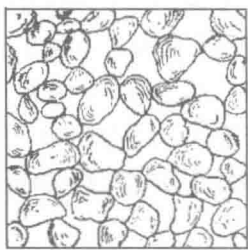
地基就是与建筑物基础直接接触的土壤。要让建筑物保持经久不变，就必须有良好的地基，下面我们介绍地基土的分类、性质及有关地基设计的基本知识。

1.2.1 地基土

1.2.1.1 土的结构和构造

1. 土的结构

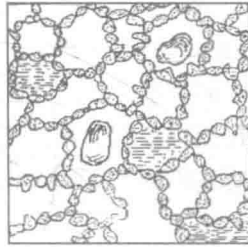
土的结构是指土粒或土粒集合体的大小、形状及其相互联系和排列的形状，一般有单粒结构和团粒结构两种。单粒结构多是以原生矿物单体组成，是砂类土的主要结构特征，根据单粒排列的密度有疏松的和密实的两种（图 1-1）。疏松的砂土，尤其是粉细砂，在饱和情况下，地震时易于液化但在排水条件下施加振动荷载，又可使之转变为密实的砂土，是较好的天然地基。团粒结构多是次生矿物颗粒的集合体，根据矿物颗粒的排列形式，又可分为蜂窝结构和绒粒结构（图 1-2）。蜂窝结构仅在分选的黏土中见到，如在某些纯高岭黏土中。绒粒结构是由多个小的蜂窝结构组成，有时其中混有较大的颗粒，常见于一般高塑性黏性土中。



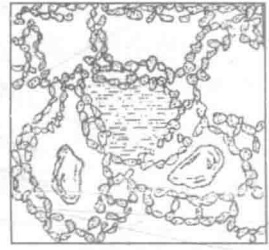
(a) 疏松的



(b) 密实的



(a) 蜂窝结构



(b) 绒粒结构

图 1-1 砂土的单粒结构示意图

图 1-2 土的团粒结构示意图

2. 土的构造

土的构造是指土层结构特征，即层理与裂缝的情况、结构单元的分布、颗粒成分及土层各向异性的程度等，这些与土的沉积形成条件及以后外力作用的大小和方向有关。土的构造主要可分为松散构造和层状构造两种，松散构造多见于无胶结的砂、砾石、卵石等原层土中，层状构造比较接近于理想的各向同性体。

1.2.1.2 土的组成

土是由固体、液体和气体三个部分所组成，固体的矿物质颗粒构成土的骨架，在骨架之间存在着空隙，这些空隙又被水和气体所占据，故常称土中的固体、液体和气体为土的三相。如果所有空气全部被水充满，又可称为二相体。

1. 土中的固体

土中的固体颗粒的矿物成分有原生矿物（如长石、石英、云母、角闪石等）、不溶于