

中国古建筑瓦石营造法

刘大可 编著

中国建筑工业出版社

中国古建筑瓦石营造法

刘大可 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书是以明、清官式建筑的做法为主线，主要介绍古建筑土作、瓦作和石作的传统营造方法和法式。包括地基、台基、墙体、屋顶及地面等部位的式样变化、构造关系、比例尺度、规矩作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。

责任编辑 胡永旭

中国古建筑瓦石营造法

刘大可 编著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：24 字数：578 千字

1993年6月第一版 1993年6月第一次印刷

印数：1—5,600册 定价：23.50元

ISBN7—112—01604—5/TU·1205

(6639)

前 言

本世纪20年代，以梁思成、刘敦桢为代表的老一代专家学者开始用现代科学的方法研究中国古代建筑。60多年来，经过三代人的持续努力，研究的范围不断扩大，专题的探讨不断深化。例如，从建筑通史发展为断代史的研究；从官式建筑扩展到地方与民族建筑的研究；从构造比例的一般了解深入到工艺技术的研究……凡此种种，无不喻示着我国古建筑研究的多元化、专业化的时代已经到来。奉献在读者面前的这本书，就是古建筑行业中关于瓦作、石作及土作营造方法与法式的一本专集。

我生长在“书香门第”，自幼幻想颇多，然而人生的变化常常是身不由己。或许是“若有所失，必有所得”，虽然失去了继续升学的可能，却使我有这样一个机会：得与老工匠们朝夕相处，得以从劳作者的角度体味中国建筑的一砖一瓦。从一招一式的操作到匠师们的秘传点授，使我逐渐走进了一个古老的艺术殿堂。而后我惊奇地发现，中国建筑的结构与艺术体系虽然早已成熟，但古来却很少见于经传。而著录者又多为“不曾执斧刃”的文人而非匠人。所以数千年来，中国建筑营造学这一知识宝库，一直蕴藏在建筑实物和工匠的心间。这激发我萌发了要把工匠中世代相传的瓦石营造法整理成文的愿望。

即使是把营造学限定在瓦作、石作与土作的专业范围内，它依然是那样的博大精深。在一本书中如何取舍才能抓住它的脉络？几经琢磨和探索，我最后确定了以下几个编写目标：

(1) 偏重介绍明、清官式建筑的作法，适当介绍地方手法和近代技术。明、清官式作法是明、清两代在营建都城和宫殿的数百年的建筑活动中，在继承了唐、宋以来的建筑技术并融汇各地区的优秀作法之后形成的一套最成熟、最具代表性的作法，是历代和各地建筑技术的集大成者。了解了官式作法，也就领悟了中国建筑的真谛。

(2) 官式作法所沿习成俗的建筑风格和比例概念，部分被记录在清代的《工程做法则例》、清代一些具体工程的“做法”或“则例”，以及一些民间秘本中。但主要还是靠京城地区的匠师们来把握，尤其是操作工艺，更是仅在工匠中以口传心授的方式流传和演进，绝少见于文字。所以在编写过程中，我特别注意将多年来记录的工匠心藏口述的尺度概念和习惯作法介绍出来。从建筑史应该包括建筑技术史这一观点看，传统操作技术的失传也就是一种传统文化的失传，因此我尽可能全面、忠实地记述传统的操作方法，对于名词术语，则尽量沿用工匠习称，不妄加“订正”和杜撰。

(3) 通观历史上遗存的有关资料可以看出，古人编书的目的往往在于估算、核销工料，故所载尺寸与其说是设计上的规定值，不如说是定额需要的取定值。因此与实物常不能对应，使人对此迷惑不解。有些书中的尺寸干脆就是工程实例的具体尺寸，形式稍有变化，就感到难于套用。本书力求突破这一局限，希望能够反映出更适用、更具普遍意义的尺寸规律。至于流传在工匠中的尺寸说法，常常是所谓“一个师傅一个传授”，其说不一。对此我一般要在反复比较并经实物印证后，将几种过于绝对的说法改成一个相对的尺

目 录

前言

第一章 基础与台基	1
第一节 灰土	1
一、灰土分类及一般概念	1
二、土作常用工具	2
三、灰土作法	2
四、灰土的强度及其原理	9
五、基础与地面垫层的素土作法	11
第二节 台基及基座类砌体的类型	11
一、台基	11
二、基座类砌体	15
第三节 台基的构造及一般施工程序	15
一、码磴墩和掐砌拦土	15
二、包砌台明	15
第四节 与台基有关的几个基本概念	18
一、台基各部分的平面关系及其尺度	18
二、平水、中与升的概念	21
第五节 台基的定位放线	23
一、矩形建筑台基放线	23
二、平面为多边形的台基放线(以六边形、八边形、五边形为例)	24
第二章 古建灰浆、砖料、瓦作工具及砖料加工	28
第一节 古建灰浆	28
第二节 古建砖料	33
一、古建砖料的名称	33
二、古建砖料的规格	34
第三节 瓦作工具	36
第四节 砖的砍磨加工	37
一、砍砖	37
二、砖雕简介	42
第三章 墙体	45
第一节 通论	45
一、墙体的砌筑类型及其应用	45
二、各种砌筑类型的摆砌方法	47
三、墙面勾缝	54

四、各种砌筑类型的组合方式、等级与主次概念	56
五、砖的排列、组砌形式及墙面的艺术处理	59
六、墙体名称	71
七、常见墙体的各部位尺度	72
第二节 山墙	74
一、山墙的类型与各部名称	74
二、悬山、庑殿及歇山式建筑的山墙作法	74
三、硬山式建筑的山墙作法	78
四、平台式房屋的山墙	86
五、琉璃山墙	87
第三节 廊心墙	89
第四节 槛墙	91
第五节 檐墙	93
第六节 院墙	97
第七节 砖檐	105
一、砖檐的种类	105
二、檐子的出檐尺寸及适用范围	107
三、操作中的注意事项	110
第八节 砖券	117
一、砖券的种类	117
二、砖券的名词术语与看面形式	118
三、券的起拱和砍砖放样	118
四、操做要点	120
第九节 城墙	121
第十节 其它墙体	122
第十一节 影壁	123
一、影壁的分类	123
二、影壁作法	123
三、影壁的尺度及各部作法的变化规律	134
第十二节 墙体抹灰	137
一、靠骨灰	137
二、泥底灰	138

三、滑秸泥	133	规律	212
四、壁画抹灰	133	三、屋脊的不同组合方式	212
五、其它作法	133	四、屋脊常见异型瓦件的使用规律	224
六、抹灰后做缝	139	五、常用琉璃瓦件的尺寸规律及选择依据	225
七、灰浆的配合比及制作要点	139	六、关键部位尺度的简易定位法	225
第四章 地面	142	七、吻兽、小跑的比例关系及细部画法	229
第一节 地面的分类与形式	142	八、琉璃屋面重量及瓦件数量的估算	232
一、材料分类	142	第五节 大式黑活屋脊	234
二、砖埧地的作法分类	142	一、圆山(卷棚)式硬、悬山建筑的屋脊	234
三、地面的部位名称	144	二、尖山式硬、悬山建筑的屋脊	238
四、砖缝排列形式	144	三、庑殿建筑的屋脊	242
第二节 埧地的操作程序及作法规矩	144	四、歇山建筑的屋脊	243
一、埧地的一般程序	144	五、攒尖建筑的屋脊	244
二、砖埧地的作法规矩	147	六、重檐建筑的屋脊	245
三、焦渣地与夯土地面	151	第六节 小式黑活屋脊	246
第五章 屋面	156	一、硬、悬山建筑的各种正脊作法	246
第一节 通述	156	二、硬、悬山建筑的垂脊作法	251
一、屋顶式样的变化	156	三、歇山建筑的屋脊	252
二、屋面作法的变化	160	四、攒尖建筑的屋脊	255
三、屋面分层作法	165	五、重檐建筑的屋脊	259
四、屋脊名词辨析	166	第七节 黑活瓦件的变化规律及选择依据	259
第二节 瓦顶的灰背与平台屋顶的灰背	169	一、筒、板瓦的尺寸	259
一、灰背的基层	169	二、黑活瓦件的选择依据及尺度关系	259
二、瓦顶苫背的一般操作程序	169	三、黑活屋面重量及瓦件数量的估算	259
三、平台屋顶苫背的一般程序	170	四、吻兽、狮马的比例关系及细部画法	264
四、宫廷灰背作法中的几种特殊手法	170	第六章 石作	265
五、焦渣背的一般操作程序	173	第一节 常用石料种类及常用工具	265
六、传统灰背的现行作法	174	一、石料的种类	265
七、苫背的技术关键	175	二、石料挑选方法	265
第三节 窰瓦	180	三、石料加工的传统常用工具	266
一、准备工作	180	第二节 石料加工	267
二、窰瓦	183	一、石料的各面名称	267
第三节 琉璃屋脊	193	二、石料加工的各种手法	267
一、圆山(卷棚)式硬、悬山建筑的屋脊	193	三、石料表面的加工要求	268
二、尖山式硬、悬山建筑的屋脊	195	四、石料加工的一般程序	269
三、庑殿建筑的屋脊	199		
四、歇山建筑的屋脊	200		
五、攒尖建筑的屋脊	204		
六、重檐建筑的屋脊	205		
第四节 琉璃瓦件的变化规律及选择依据	209		
一、琉璃瓦件的尺寸	209		
二、位置相同样数不同时屋脊的变化			

五、石雕介绍	271	第十一节 官式石桥	332
第三节 石料搬运、起重及安装	273	一、官式石桥的各部名称	332
一、石料搬运的传统方法	273	二、官式石桥的尺度比例	341
二、石料起重的传统方法	275	三、石桥用料标准	346
三、石活安装	276	第十二节 牌楼石活	346
第四节 台基石活	279	一、月台	346
一、普通台基上的石活	279	二、夹杆石及其有关的石活	348
二、须弥座式台基上的石活	288	第十三节 杂样石作	351
三、石须弥座的其它用途	294	第七章 瓦石作修缮	359
第五节 门石、槛石	298	第一节 修缮原则及修缮方案的制定	359
第六节 栏板柱子	305	一、修缮原则	359
第七节 台阶	313	二、修缮方案的制定	360
一、踏跺	313	第二节 墙体修缮	361
二、礅礅	318	一、墙体的检查鉴定	361
三、台阶安装程序	319	二、墙体的修缮措施	362
第八节 墙身石活	320	三、墙体拆除注意事项	363
第九节 地面石活	324	第三节 砖埧地的修缮	363
第十节 石券	325	第四节 屋顶修缮	364
一、石券的用途及类型	325	一、修缮措施	364
二、名词解释	326	二、瓦件的拆除	367
三、石券的起拱与权衡尺寸	327	第五节 石活修缮	367
四、券脸雕刻	327	本书表格索引	371
五、石券制作安装要点	331	参考文献	373

第一章 基础与台基

第一节 灰土

一、灰土分类及一般概念

灰土用于基础，在明、清以前的建筑实例中尚未发现，宋代李诫编撰的《营造法式》中也未见记载。古建筑基础灰土技术的推广、普及时期是在明代，成熟完善时期是在清代。

(一) 灰土的步数、厚度及配合比

古建灰土与现代灰土垫层相同，均应分层夯筑。每一层叫做“一步”，有几层就叫几步，最后一步又叫“顶步”。小式建筑的灰土步数为1~2步。一般大式建筑的灰土步数为2~3步。清代陵寝建筑的灰土多为十几步作法。紫禁城内的一些宫殿的灰土步数甚至多达三十层。这与现代设计规范相差较大。古人对土作工程在建筑工程中的地位比现代工程技术人员要看得重一些。古人对极重要的宫殿，不是当作百年大计，而是当作万年大计来考虑，例如陵寝就被称做为“万年吉地”。从长远的经济观点看，增加灰土步数可以延长修缮周期，从而降低了工程的总成本。此外，加大灰土步数是古人出于对防潮的考虑，即为了创造一个较为干燥的小环境。这种小环境可以隔绝“地气”潮湿上蒸，保护砖墙不使酥碱。这对建筑本身是十分有益的。

普通民房基础灰土厚度一般为虚铺21~25厘米，夯实15厘米。按照清工部《工程作法则例》及其它有关文献的规定：每步灰土的厚度为虚铺22.4厘米（7寸），夯实厚为16厘米（5寸）。每步素土的虚铺厚度为32厘米（1尺），夯实厚为22.4厘米（7寸）。

一般普通房屋的基础灰土配合比多为3:7（体积比，下同），散水或回填料用灰土也可采用2:8或1:9的灰土配合比。大式房屋的灰土配合比以4:6居多。

有些重要建筑的灰土配合比甚至超过4:6。泼灰与黄土拌和后经筑打可用做基础虽然在明代初期已被发现。但对灰土的最佳配合比似乎一直在不断摸索。至清代后期，虽然人们已认识到2:8或1:9灰也可满足一般要求，但还是认为灰的比例大一些比较好，这是因为古代工匠不仅考虑了灰土的强度。还有防潮方面的考虑。施工中，往往以“手攥成团，落地开花”为标准，甚至以灰土的颜色来决定配合比，严格地讲，这些标准必然会受到含水率、土的粘度、土的颜色等因素的影响。因此，拌和灰土时，还是应该严格把关，按规定配合比拌合。

根据清工部《工程作法则例》规定，基础槽宽应为墙宽的2倍。如墙宽2尺，槽宽为4尺。墙宽超过2尺（64厘米）者，均只另加宽2.4尺（76.8厘米）。槽宽与墙宽之差，叫做“压槽”。“一块玉儿”满堂红灰土的压槽宽度一般为1.28~1.6米（4~5尺）。压槽的加放说明了古人对力学的认识，“一块玉儿”作法说明古人已懂得加大灰土面积可以减少对地下的压强。《普祥裕万年吉地工程备要》中有这样一段奏折：“宝城大槽正北并东西

槽帮均有酥碱脱落，拟将宝城、方城大槽内四面槽帮再去土三、四尺，筑打灰土比原估较宽，倍加稳固”。通过这段记载可以看出，古人不仅把灰土压槽做为基础放脚，还做为砌体防潮的措施。古代重要宫殿常采用的满堂红灰土和压槽尺寸比较大的作法。虽与现代设计规范不尽相同，但事实证明，这种先期补足的方法远比后期墙体修缮的方法要高明得多，也经济得多。

（二）灰土的分类

古建筑基础的开挖形式主要有两种，一种是挖成沟槽形式，一种是“满堂红”大开挖，叫做“一块玉儿”。如果灰土的步数较少（如1~2步），或基础“埋深”较浅时，柱顶部位的灰土也可做独立基础。小式建筑及一般大式建筑多采用沟槽形式。重要的宫殿建筑常采用“满堂红”形式。这种作法既可以更好地防止基础不均匀沉降。又能将建筑与自然土壤有效地隔开，因此对建筑防潮十分有利。但“一块玉儿”作法的造价较高。所以一般只用于重要的宫殿和地下建筑。有时需将灰土做成台阶形式。如疆壕、宝城背里等，叫做“踏蹬灰土”或“举溜踏蹬灰土”。

根据夯底直径的不同，夯筑方法可分为小夯灰土（又叫小夯砢灰土）和大夯灰土（又叫大夯砢灰土）。小夯夯底宽9.6厘米（3寸），大夯夯底宽12.8厘米（4寸）。小夯灰土多用于重要的宫殿基础，大夯灰土又分大式大夯灰土及小式大夯灰土，多用于一般大式建筑及各种小式建筑。夯筑时，夯的数目（称为“一槽”）一般应在4把以上。小夯灰土每槽所用夯数更多，一般可分为二十四把小夯灰土、二十把小夯灰土和十六把小夯灰土。

古建灰土有“三合土”之说。“三合”中除白灰以外，关于“二合”一般有三种解释：一是黄土与黑土，二是生土（粘性较大的土）与熟土（沙性土和渣土）。三是主土（挖槽土）与客土（外运土）。三合土的提法说明古人对土质与灰土质量的关系已有认识，但尚缺乏深化研究。施工中，只要能保证不用砂性土或无法过筛的粘土，是可以直接使用挖槽余土的（原因详见后文）。

二、土作常用工具

（1）夯 夯是土作夯筑的主要工具。根据夯的形状和夯底宽度，可分为大夯、小夯和雁别翅三种（图1-1）。制作夯的木材一般应为榆木。可由一或二人执夯操作。

（2）砢 也作“碓”，是土作夯筑的主要工具之一。砢为熟铁制品，也可用石制品。按重量可分为8人砢（42千克）、16人砢（75千克）和24人砢（137千克），24人大砢俗称“座山雕”。

（3）拐子 用于打拐眼。

（4）铁拍子 用于掖边或散水灰土垫层施工中代替铁砢操作。

（5）搂耙 用于虚铺灰土时的找平或落水时将水推散。

（6）其它 如铁锹（平、尖两种）、镐、筛子等。

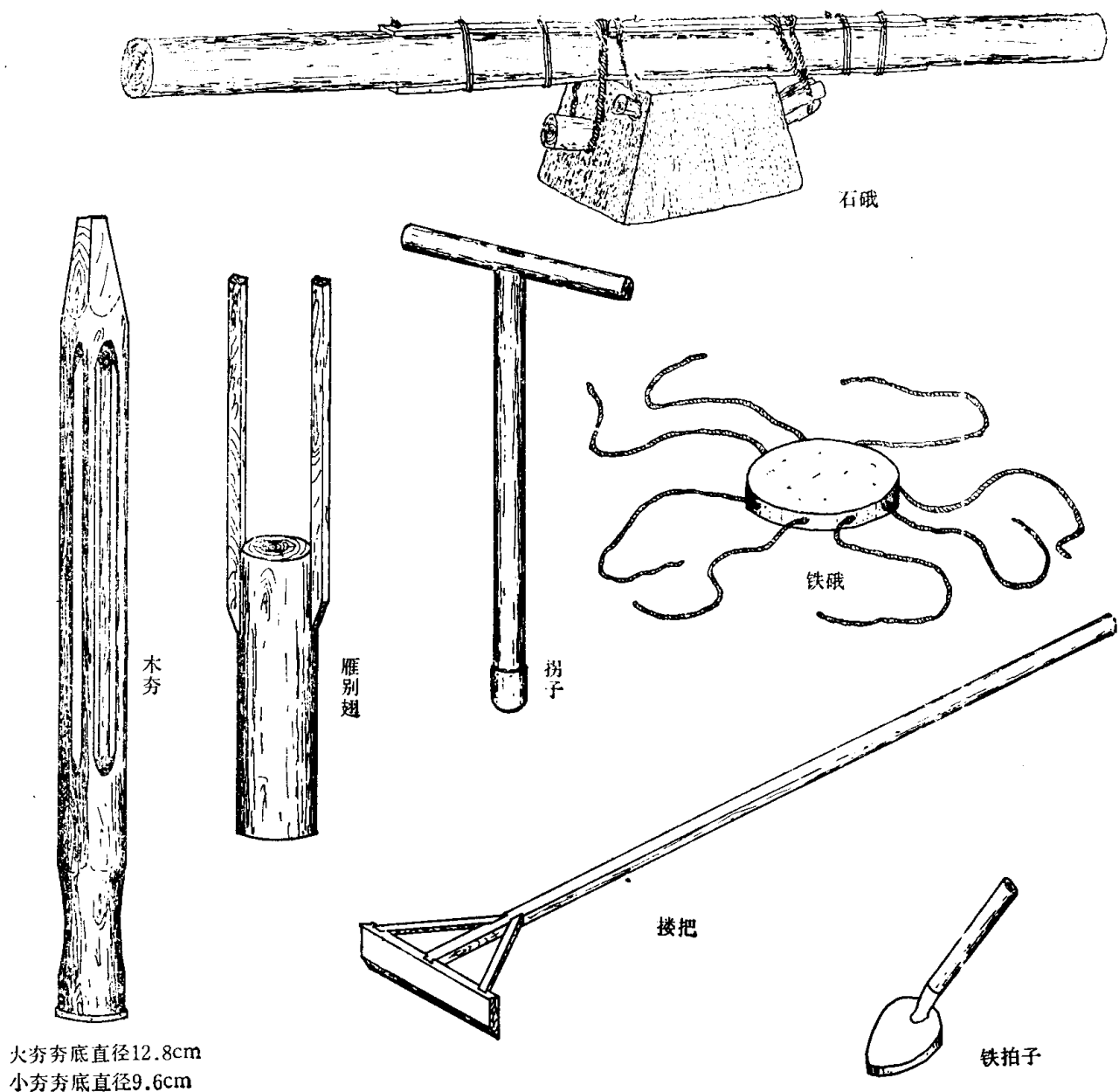
三、灰土作法

（一）小夯灰土作法

小夯灰土分为二十四把小夯、二十把小夯和十六把小夯灰土。二十四把小夯灰土作法如下：

（1）用大砢拍底1~3遍。

（2）将生石灰经水泼成泼灰后过筛（筛孔宽为0.5厘米）。黄土过筛（筛孔宽不超过



大夯夯底直径12.8cm
小夯夯底直径9.6cm

图 1-1 土作常用工具

2 厘米)。将泼灰与黄土拌合均匀，在拌合过程中要随时将滚粘成较大的土块拍碎。灰与土的配合比为4:6。

(3) 将拌匀的灰土铺在槽内，并用灰耙搂平。虚铺的厚度每步为22.4厘米(7寸)。然后用双脚在灰土上踩1~2遍。叫“纳虚”或“纳虚盘踩”。灰土也可分两次下槽，每次虚铺厚度为11.2厘米(3.5寸)，纳虚也应分两次进行。讲究的作法还可在每半步虚土纳虚后打拐眼一次。前半步打“流星拐眼”(不成行成排)，后半步虚土上每隔38.4厘米(1.2尺)打拐眼一道，以此“分活”，做为夯窝分位的标准。

(4) 行头夯，叫“冲海窝”。每个夯窝(海窝)之间的距离为9.6厘米(3寸)，每个位次夯打24下。

(5) 行二夯，叫“筑银锭”，是在海窝之间形似银锭的□形位置上夯筑，每个位次也是筑打24下。冲海窝和筑银锭时，夯可由两人对站同执，两人为一班，两班轮换操作，人歇夯不歇。

(6) 行余夯，叫“充沟”或“跟溜打平”，又叫“剥梗”。是在海窝、银锭之间挤出的土梗上夯筑。每个位次也需夯打24次(图1-2)。

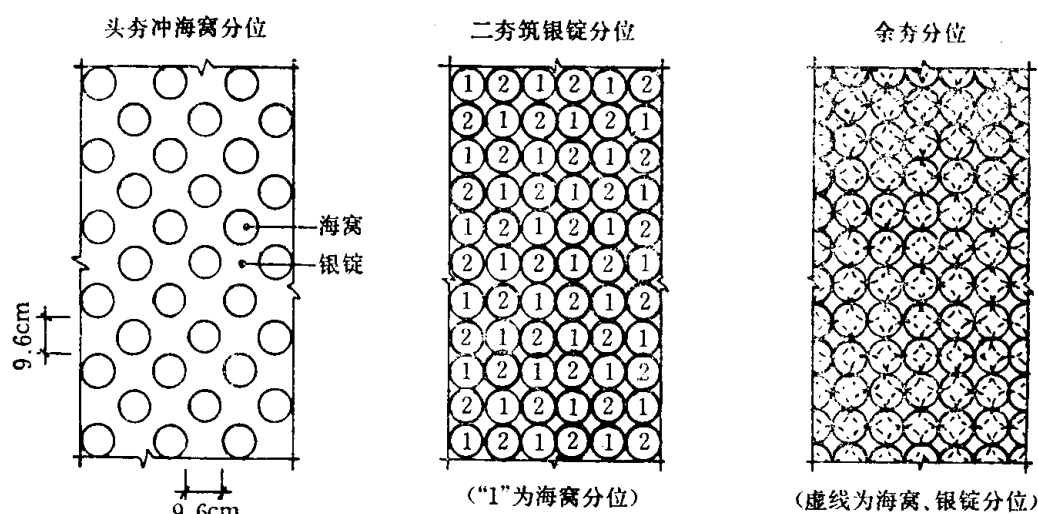


图 1-2 小夯灰土夯筑分位

打夯时可由一人喊数，众人听数夯打，民间常以唱夯歌的形式代替记数，夯歌是劳动号子的一种形式。讲究的作法要由专人敲板唱号记数，甚至要由官员手执竹竿监察，每个位次夯打够数后才准挪位。

(7) 用平锹将灰土找平。

以上为“旱活”程序，可重复进行1~3次。如重复3次，每次分别叫做“加活”、“冲活”和“踩活”。

(8) 落水。落水又叫“漫水活”或“漫汤”，就是用水泼在旱活上，将灰土润湿。由于落水一般都安排在晚上，所以也叫“落夜水”。落水安排在晚上不仅是出于施工组织的需要，还可以使未熟化的生石灰颗粒在最后的夯打以前充分熟化，从而可以避免在灰土打完后因石灰继续熟化膨胀造成结构的松散。落水时，既要“落到家”，也应注意水量不易过大。水量以能使最底层灰土润湿为度。检查水是否落到家了，除可挖开检查外，也可根据“冬见霜，夏看邦”的经验进行评定。其标准是，冬季以灰土表面结霜为宜，夏季以槽邦润湿的高度为灰土厚的2~3倍为宜。落水时不可操之过急，应先“洒水花”，后“落水片”，并要用灰耙随落随接，令水散开，避免局部积水。

(9) 撒渣子。也叫压渣子。漫过水活之后，虽经晾槽，夯筑时仍可能出现灰土粘夯的现象，所以需要在灰土上撒一些碾细的砖面。

(10) 起平夯一遍。平夯即打夯时手举至胸部。

(11) 行高夯一遍。高夯即手举过顶。此次可不象打旱活时，夯窝有严格的分位，此种打法叫“乱夯”。

(12) 用铁锹将灰土找平。有些讲究的作法还要加打一次“登皮夯”，即夯举起后倾斜下落，将灰土表皮登开。

(13) 打旋夯1~3次。每次都要“一夯三旋”，即打夯时，人要跳跃而起，旋转落下。一般只打一次旋夯，但也有打3次的。叫做“三回九转”。如打3次旋夯，每次之前都应再打拐眼、落水和打平夯。

(14) 打拐眼。即用拐子用力旋转下压，使灰土上出现圆坑(叫做拐眼)。上述打拐

眼是先打夯后打拐眼的方法，这种方法又叫做“使簧”。也有先打拐眼后打夯的作法，如为这种作法，应将灰土夯成与拐眼深度一平。

打拐眼的作法可以追溯到商代。虽然到了明、清两代。基础已普遍改为灰土作法，但拐眼技术一直历代相传。拐子实际上是一种更小的夯，通过打拐眼可使灰土更加密实。“使簧”作法可以在上下层之间形成榫卯结构，这种榫卯结构用于堤坝和高台建筑时，具有一定的抗水平推力的能力。用于基础时，榫卯之间的摩擦力可以增强灰土的承载能力。

(15) 打高碾两遍。要用16人大碾或24人大碾(“座山雕”)进行操作。头遍碾要“一碾挨一碾”，二遍碾要“一碾压一碾”(图1-3)。操作时，听领碾者喊号指挥，众人同时牵动绳子，高抛过顶，在碾下落时，领碾者

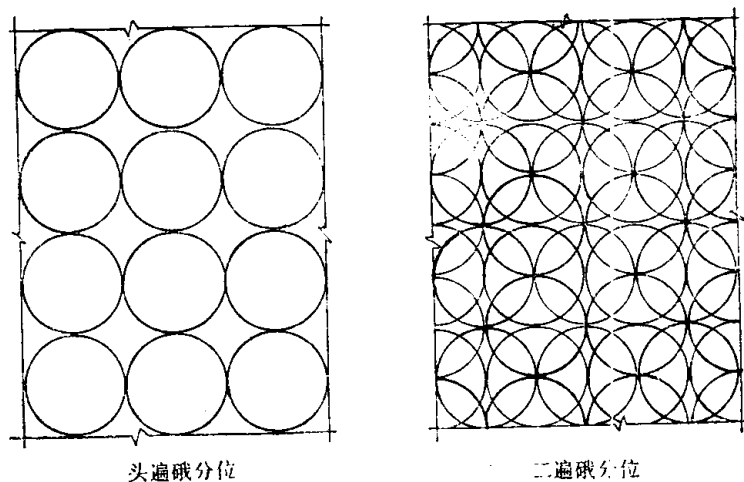


图 1-3 打碾分位

(16人碾由2人领碾，24人大碾由3人领碾)迅速抓住碾或手扶碾的上端用力向下砸去。高抛大碾时，众人要协调配合不可使碾面倾斜，大碾抛起后不要用绳子往下牵动，要让大碾成自由落体落下。

(16) 对槎子的处理。夯筑灰土如不能在一天内完成时，应分段进行。“一块玉儿”作法的，每10.24平方米(见方丈)为“一槽”，分槽筑打。灰土接槎处叫“扳口”或“磕口”，扳口处要留踏步茬，叫“踏蹬”。接槎时应将扳口处已打好的灰土重新翻起，与下一槽灰土一起夯打。扳口处要特别注意夯筑坚固。如打拐眼应“密打扳口”，以防止扳口处断裂。槽底边角处等铁碾未拍到的部位，要用铁拍子拍实，叫做“掖活”。

以上为一步灰土的全部程序，以后每一步都应如此进行。至顶步灰土时，最后要行“串碾”(又叫“揣碾”)一遍。行串碾时，应将碾斜向拉起距地约50厘米左右，然后随其自由落下，让碾在地下“颠”着走。铁碾串行，意在将灰土蹭光，以便放线。

二十把小夯灰土与十六把小夯灰土的操作程序与二十四把小夯灰土程序相同，只是每个位次夯打的数目由24次改为20次和16次。

从上述程序可以看出，小夯灰土作法十分复杂，唯恐不牢。应该说，只要能达到“虚7寸实5寸”的要求，某些繁琐的程序完全应该简化。

(二) 大式大夯灰土作法

大式大夯灰土每槽用夯5把，夯底直径12.8厘米(4寸)。其作法如下：

(1) 大碾拍底1~2遍。

(2) 白灰、黄土过筛后，拌匀下槽并纳虚盘踩。灰土配合比为3:7。虚铺厚22.4厘米(夯实16厘米)。

(3) 冲海窝。每个海窝之间的距离为19.2厘米(6寸)，每个位次夯打8次(图1-4)。

(4) 筑银锭，每个位次也是筑打8夯头。

(5) 余夯充沟刹梗，每个位次仍然筑打8夯头。

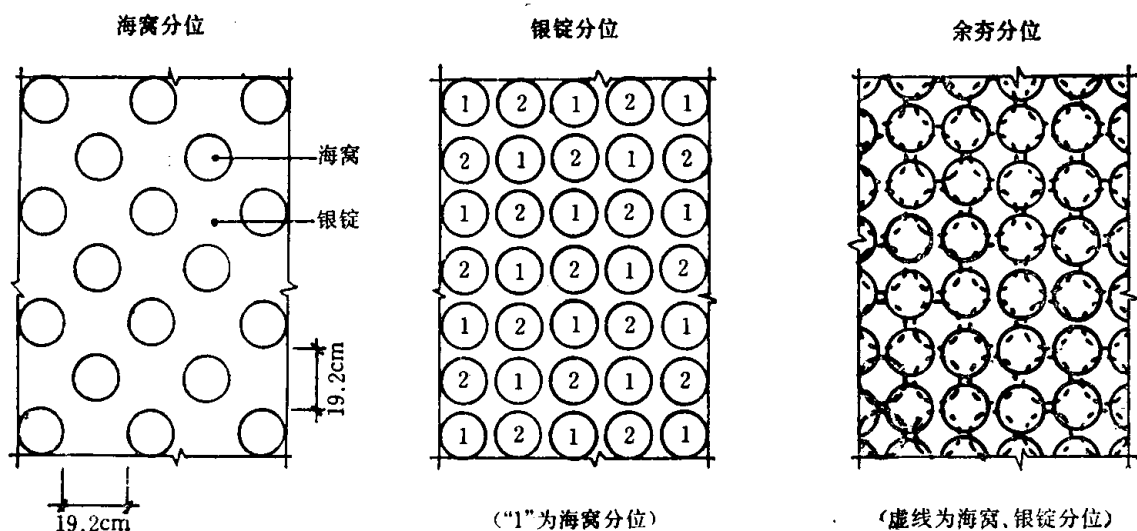


图 1-4 大式大夯灰土夯筑分位

- (6) 掖边。
- (7) 如此反复操作 3 遍，后两遍每个位次筑打 6 夯头。
- (8) 三遍夯后，将灰土找平、落水、撒渣子。
- (9) 用雁别翅或大夯“乱打”，每个位次筑打 4 夯头。
- (10) 打高碾两遍，顶部应串碾一遍。

(三) 小式大夯灰土

小式大夯灰土每槽用 4 把，夯底宽 12.8 厘米。小式大夯灰土是比较通用的作法，有些地区至今仍在使用的。

- (1) 用碾或夯将槽底原土拍实。
- (2) 白灰、黄土过筛，拌匀，下槽，并用灰耙搂平。灰土配合比为 3:7。灰土虚铺厚度：第一步 25 厘米，第二步 22 厘米，第三步 21 厘米。夯实厚均为 15 厘米。
- (3) 用双脚在虚土上依次踩纳。
- (4) 打头夯。每个夯窝之间的距离为 38.4 厘米（三个夯位）。夯筑分位常用“大活”和“小活”的分位方法（图 1-5）。每个夯位至少筑打 3 次（叫做“劈夯”），其中至少应有一次手举过头，即应打高夯一次。

- (5) 打二夯。打法同头夯，但位置不同（图 1-5）。
- (6) 打三、四夯。打法同头夯。但位置不同。

(7) 刹梗。将夯窝之间挤出的土梗用夯打平。刹梗时，每个夯位可打 1 次（叫“啃夯”）。

(8) 掖边。高夯斜下，冲打沟槽边角处。

- (9) 用平锹将灰土找平。

以上程序反复 2~3 次。

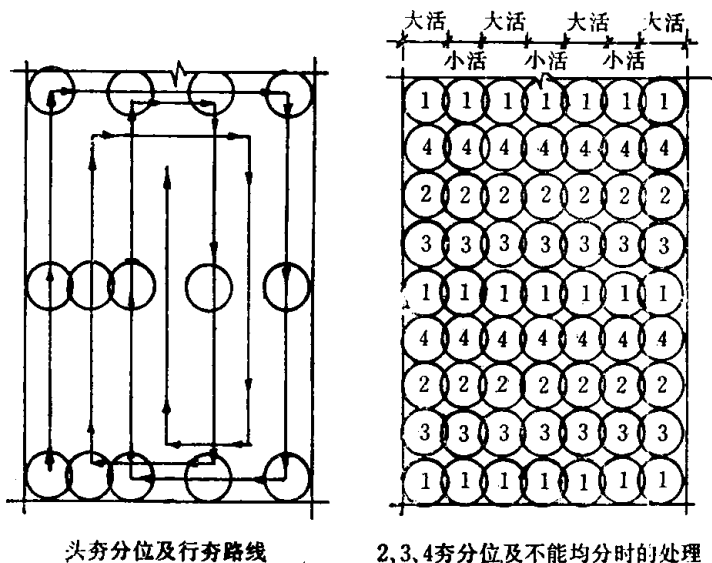


图 1-5 小式大夯灰土夯筑分位

(10) 落水。水应落到家。

(11) 当槽内灰土不再粘鞋时，即可再行夯筑。为防止湿土粘连夯底，应在灰土表面洒上干土或砖面。此次夯筑，打法仍同前，但一般只打一遍。

(12) 打高碾 2 遍。两遍碾的分位同小夯灰土（图1-3），但应使 8 人碾。最后一步灰土可加一次“颠碾”，即串碾。

小式大夯灰土有“三夯两碾一颠”之说。实际上这只是一规律性的总结。实际操作时要看灰土的实际厚度是否已达到了要求。如未达到，应不断夯筑，直至达到要求为止。小式大夯灰土一般应打两步灰土，槛墙、廊子、散水等也可只打一步灰土。

(四) 土作中的几种特殊手法

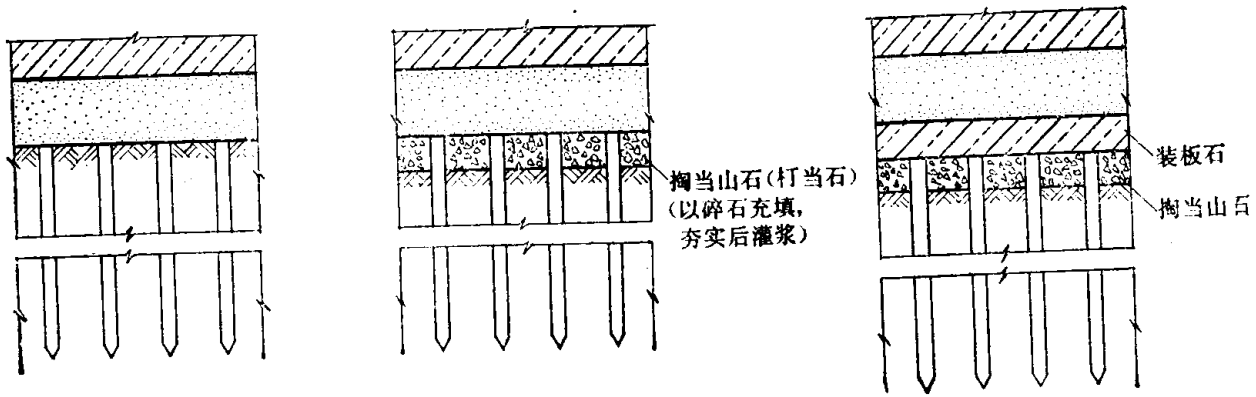
(1) 童子夯 童子夯是以众多的童工纳虚盘踩。由于孩童脚小，所以童子夯可说是纳虚中的“小夯”作法。为吸引童子们不断前进，常有一人脸涂粉脂，身穿戏装，辫子上系一铜铃，扮相可笑。此人在槽内嘻唱而行，吸引众童子在后面追逐，以完成童子夯之功。童子夯带有一定的神秘色彩，虽然作法特殊，但对灰土质量似无特殊影响。

(2) 灌江米汁 又叫灌江米浆或糯米浆。是将煮好的糯米汁掺上水和白矾以后泼洒在打好的灰土上。泼洒时应先泼一层清水，再泼江米浆，最后再泼少量的清水，以催江米浆下行。江米和白矾的用量为：每平方丈（10.24平方米）用江米225克，白矾18.75克。江米浆可以在灰土颗粒之间起到润滑作用，再通过夯筑就可进一步强化灰土的密实度。通过模拟实验可以得知，在潮湿的条件下，掺有江米浆的灰土比不掺江米浆的灰土后期生成来得快，45天后的强度，前者比后者高约 2 倍。灌江米的作法是在灰土中加进有机材料的成功一例。

(3) 油杳杳 油杳杳作法用于重要宫殿的基础，或者用来做为灌注桩。为保证有充分的活性氧化钙参加化学反应，制作油杳杳时必须用生石灰块，加水后制成石灰浆，再加白胶泥（好粘土），生石灰块与黄土的配合比约为 2.5:7（体积比）。加入黄土后不断搅拌至稠浆状。然后将渣子滤出。再掺入占总体积 40~50% 的碎砖，碎砖长度不超过 3 厘米。最后掺入生桐油。生桐油与生石灰块的重量比约为 5:100。油杳杳制成后即应倒入槽内，经过晾槽后用大碾打实打平。油杳杳的拍实厚度应为 12.8 厘米（4 寸）。桐油是憎水性材料，因此油杳杳还能防潮，使用时应与灰土层交替使用。油杳杳以及江米浆的应用说明古代已懂得使用有机材料和无机材料的复合材料，来提高灰土的防水性和强度。

(4) 泥杳杳 泥杳杳有两种作法。第一种作法是将泼灰与黄土按 3:7 的比例拌合成泥状，然后掺入 40~50% 的碎砖，碎砖长度不超过 10 厘米。铺入槽内，经过适当晾槽后用夯碾拍实。第二种方法往往是作为应急措施。如当大雨过后，灰土含水量过大，几乎成为泥状，正常的夯碾操作已无法进行时，可掺入适量的碎砖（应尽量选用干砖）。然后用夯碾拍实。泥杳杳作法说明古人已懂得在灰土中掺入骨料可以提高强度的道理。这种作法还具有适于雨季施工和可以利用旧砖料等优点。

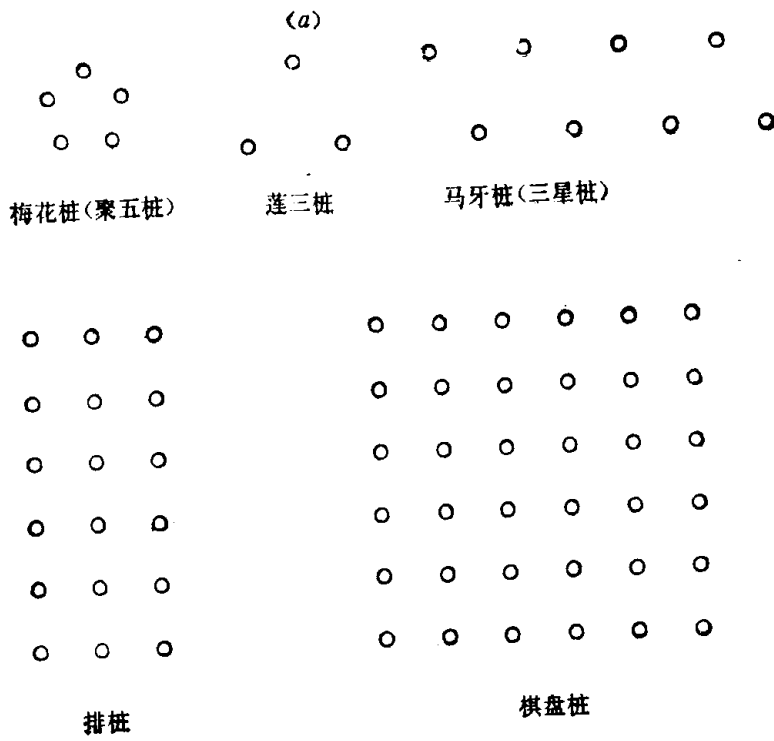
(5) 柏木桩 柏木桩又叫“地打”。地打作法由来已久，至迟在宋代建筑中就已经出现。重大突破，它表明古人早已懂得利用摩擦力来防止建筑的沉降。地打作法一般用于土质松软的基础、人工土山上的建筑基础、临水建筑或临水假山基础等。清代陵寝工程中除极少数次要建筑外，几乎均要下地打。桩子下端应砍成锥状，为防止打桩时损坏桩子，桩尖上要套铁桩帽，桩顶要用铁桩箍加固。桩子的长度：传统的地打长度至少应在 1.28 米（四尺）



作法1

作法2

作法3



(b)

图 1-6 地打分位及作法
(a)地打作法; (b)地打分位

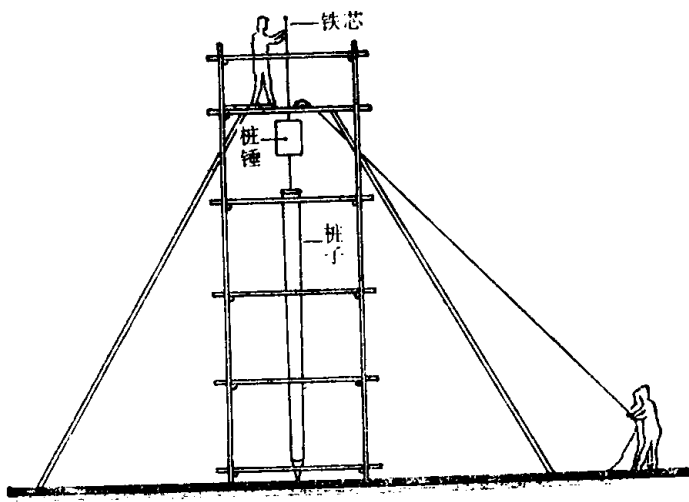


图 1-7 碓盘架子

以上，长者可达4.8米（一丈五尺）。桩子的长度要看建筑的重要程度和土质情况决定，但在同一建筑的基础中，柱顶部位的桩子应比其余部位的桩子长约1倍。桩子上端径22.4~19.2厘米（7~6寸），下端径16~12.8厘米（5~4寸）。地杵的排列方法如图1-6所示。其中梅花桩和莲三桩多用于柱顶下的基础，马牙桩和排桩多用于墙基，棋盘桩多用于“一块玉儿”灰土。地杵可用铁碓直接砸入地下，也可以搭打桩架子，叫“碓盘架子”，用桩锤打桩（图1-7）。桩锤中心有一孔洞，中穿铁蕊，铁蕊下端立在桩顶上，这样可以防止桩锤偏歪。桩子可露出地面16厘米（5寸）。如露出地面，露出的部分应以碎石填平，叫做“山石掐当”。也可在填充碎石后再做灌浆处理。在古建筑修缮时，如需使用地杵，应根据现代设计规范决定是否使用地杵，以及数量、长度和排列方式等。尤其是桩子的长度，并非越长越好。当桩尖穿透较好的土层而支承在软弱土层上时，桩子的承载力往往会降低。因此，一定要看地层土质情况作具体细致的分析后确定桩子的长度，切不可使桩子支承在松软土层上。

四、灰土的强度及其原理

灰土是建筑的“根脚”，灰土一旦出现质量事故，不但会使建筑物遭到破坏，而且补救将十分困难。所以灰土的强度是至关重要的。

（一）材料的选用

灰土所用材料仅为白灰和黄土，配合比也很简单，但不同的白灰和黄土，打出的灰土强度却相差甚殊。

（1）白灰的选用：白灰中的活性氧化钙是激发土壤中活性氧化物生成水硬性物质——水化硅酸钙的必要成份。因此，白灰中活性氧化钙的含量与灰土的强度有着十分密切的关系。根据实验可以得知，相同的配合比，但用活性氧化钙的含量分别为69.5%和82%的白灰制成的两种灰土试样，测得的抗压强度，前者仅为后者的60%。另据实验，当石灰消解熟化暴露于大气中一星期时，活性氧化钙的含量已降至70%左右，28天后，即降至50%左右。12个月后，则仅为0.74%。为能保证灰土的强度，应注意下列几点：

1）生石灰块的块末比应在5：5以上，即应保证至少有一半以上的块状生石灰。

2）泼灰宜在1~2天内使用，最迟不超过3~4天。消解熟化的时间超过一个星期的白灰应改做它用。

3）泼灰时，不宜泼得太“涝”，尤其是不能使用被大雨冲刷过的泼灰。此外，灰泼好后应过筛，筛孔不超过0.5厘米。如果灰的颗粒过大，会因为施工后白灰的继续消解，而造成结构层的松散和破坏。

（2）黄土的选用：黄土以选用粘性土较好。粘土是一种天然硅酸盐，二氧化硅是其主要化学成份之一。当白灰和土拌合后，二氧化硅和氧化钙即发生物理化学反应，逐渐生成一种新物质——水化硅酸钙。土的粘性越大，颗粒就越细，物理化学反应效果也就越好。这种硅酸钙新物质具有一定的水稳定性，对浸水和冻融也有一定的抵抗力。它的早期性能接近柔性垫层，而后后期性能则接近于刚性垫层。而砂土呢，由于颗粒较粗，又比较坚硬，因此与石灰混合后的反应效果较差。土壤中含砂量越多，与白灰的胶结作用也越差，强度也越低。通过用亚砂土和粘土做同样的3：7灰土试验，结果表明，28天的抗压强度和形变模量，后者比前者分别高5倍和3倍。当然，当土壤过粘时，难于破碎，施工中如处理不当，反而会影响灰土的质量。因此，选用亚粘土（塑性指数小于20）拌合灰土是比较适当的。或者说，只要能进行破碎，粘的总比不粘的好。亚砂土和砂土应禁止使用。