

建筑地基处理技术丛书

强夯和强夯置换法 加固地基

徐至钧 主编
徐至钧 张亦农 编著

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



建筑地基处理技术丛书

强夯和强夯置换法加固地基

徐至钧 主编

徐至钧 张亦农 编著

机械工业出版社

《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)已由建设部2002年第64号文发布,自2003年1月1日起实施。为了便于有关单位的工程技术人员更好地掌握和应用新规范,本书针对新规范中强夯法和强夯置换法加固地基的内容,深入介绍这种地基处理的设计、施工经验、地基处理的应用范围、质量检验、测试和研究工作、综合单价及技术经济分析等,并收集了二十多例工程应用实例,以帮助读者加深对新规范的理解和应用。

本书可供设计施工工程技术人员在推广新技术中参考,也可供高等院校教师和研究生在工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

强夯和强夯置换法加固地基/徐至钧,张亦农编著. —北京:
机械工业出版社,2004.1
(建筑地基处理技术丛书)
ISBN 7-111-13737-X

I. 强... II. ①徐...②张... III. 夯实加固—基本知识
IV. TU472.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第122535号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:何文军 版式设计:冉晓华 责任校对:罗莉华
封面设计:姚毅 责任印制:闫焱
北京中加印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2004年3月第1版第1次印刷
890mm×1240mm A5·8.75印张·259千字
0 001—4 000册
定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)已由建设部2002年第64号文发布,自2003年1月1日起实施,为了便于有关单位的工程技术人员更好地掌握和应用新规范,徐至钧组织编写了“建筑地基处理技术丛书”,针对新规范主要内容,分成7个专题,深入地介绍各种地基处理的设计、施工经验和地基处理的应用范围,并收集了大量工程应用实例,以帮助读者加深对新规范的理解和应用。

本书是丛书中的一本,主要介绍强夯法和强夯置换法加固地基的经验。强夯法和强夯置换法在我国许多工程中得以应用,实践证明,强夯法和强夯置换法加固地基具有设备简单,施工方便,速度快,节省三材,投资省,而且适用范围广等优点,所以在各种地基处理方法中是推广最多的一种方法。书中主要介绍强夯的适用范围,强夯加固地基的原理,强夯加固机理及其环境影响,强夯法和强夯置换法加固地基的设计、施工细则、质量检验,强夯加固地基的测试和研究工作,强夯施工的综合单价及技术经济分析等,并收集了各类有代表性的工程应用实例二十多例,最后提出对强夯法和强夯置换法今后的发展和推广应用的几点建议。

本书可供设计施工工程技术人员在推广新技术中参考,也可供高等院校教师和研究生在工程中参考。

本书由教授级高级工程师徐至钧主编,深圳粤地建设工程有限公司第四项目经理部经理张亦农协助编写,并得到中国冶金建筑科学研究院刘惠珊研究员的大力支持,为全书提供大量的工程实例和不少宝贵资料,谨表谢意。

另外，北京华云建筑工程有限公司罗利君、石树山、王海啸以及郭晰娥、杨瑞清、吕会云、杨光明、赵尧钟等参加了部分编写和提供实例等工作，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，本书难免有不妥和错误之处，敬请读者不吝赐教。

编著者

2003 年 10 月于深圳

目 录

前言

第一章 概述	1
一、引言	1
二、强夯的适用范围	3
三、强夯参数的确定	4
四、强夯的检验	14
五、强夯的成本	15
六、强夯引起的震害	16
七、小结	16
第二章 强夯法加固地基的原理	17
一、强夯冲击引起的波动	17
二、强夯法加固非饱和土的原理	20
三、强夯法加固饱和土的原理	30
四、饱和土的强夯机理	42
第三章 强夯加固机理及其环境影响	47
一、宏观机理	48
二、微观机理	50
三、地基条件及现场测试	56
四、地基在强夯作用下的实际性状	59
五、实测结果的分析	65
六、小结	71
第四章 强夯法和强夯置换法加固地基的设计	73
一、对工程地质勘探的要求	73
二、加固效果的估计	75
三、强夯法加固设计技术参数的确定	76
四、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)中一般规定	78
五、强夯地基加固深度的估算	79
六、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)对强夯和	

强夯置换法的设计要求	85
第五章 强夯加固地基的施工细则和要求	92
一、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)对强夯施工的要求	92
二、强夯加固地基的施工细则	94
三、现场测试与加固质量检验	104
第六章 强夯质量检验	108
一、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)中规定的质量检验	108
二、强夯质量检验	109
三、强夯质量检验方法	110
第七章 强夯加固地基的测试和研究工作	115
一、强夯法的现场试验	115
二、强夯的室内试验	137
第八章 强夯施工的综合单价及技术经济分析	148
一、2001 年北京市强夯施工综合价格表	148
二、2000 年深圳市强夯施工综合价格表	149
三、中化公司强夯工程预算定额表	154
第九章 工程应用实例	160
工程实例一 高能级强夯处理深厚冶金渣堆场上建造重型厂房	160
工程实例二 多层住宅基础采用强夯置换碎石桩法处理地基	169
工程实例三 强夯加固某仓库地基试验结果分析	177
工程实例四 强夯块石墩复合地基在深圳机场停机坪建设工程中的 应用	186
工程实例五 强力夯实法处理深层湿陷性黄土地基	195
工程实例六 强夯法加固秦皇岛煤码头堆场细砂地基	208
工程实例七 填海区采用强夯处理抛石地基建成大型储罐	223
工程实例八 强夯法处理大块抛石填海地基建成炼油生产装置	231
工程实例九 江苏田湾核电站专家村采用强夯法处理抛填片石 地基	245
工程实例十 采用分层高夯击能强夯处理高填土地基	252
工程实例十一 中化岩土工程有限公司近年来部分强夯工程实例	263
第十章 对今后强夯法和强夯置换法的发展和推广应用的几 点建议	266
参考文献	273

第一章 概 述

一、引言

重锤夯实法是用起重设备将重锤（一般 10~40t）起吊到一定高度（一般 10~40m），然后使其自由落下，利用其产生的较大的冲击力能使地基得到加固处理的方法，见图 1-1。这种方法所用设备简单，经济效益显著。

强力夯实法，简称“强夯法”是将很重的夯锤（一般为 50~400kN，目前国外最重的为 2 000 kN）起吊到很高的高处（一般为 6~30m）自由落下，对土进行强力夯实，以提高其强度、降低其压缩性的一种地基加固方法。这是在重锤夯实法的基础上发展起来而又与重锤夯实法迥然不同的一种新的地基加固方法。

强夯法起源于法国，1969 年首先用于法国戛纳附近芒德利厄海边 20 来幢八层楼居住建筑的地基加固工程。现场的地质

条件表层 4~8m 为采石场废石弃土填海造地，以下的 15~20m 为夹有高压缩性淤泥透镜体的砂质粉土，再下为泥灰岩。原拟采用桩基



图 1-1 加固地基强夯法起吊夯锤图

础, 不仅桩长要长达 30~35m, 而且负摩擦所产生的荷载将占整个桩基础承载力的 60%~70%, 很不经济。后改用堆土(高 5m, 100kPa)预压加固, 历时 3 个月, 沉降仅 20cm。最后, 采用强力夯实, 只一遍(锤重 80kN, 落距 10m, 夯击能为 1 200kN·m)就沉降了 50cm。房屋竣工后, 基础底面压力为 300kPa, 绝对沉降仅 1cm, 而差异沉降可忽略不计(见图 1-2), 随即引起了人们的注意。这种方法最初用于砂砾石地基, 随后又推广到饱和粘性土与冲积土地基。到 1973 年末, 已在 12 个国家 150 多项工程中获得了应用, 加固面积达 140 万 m^2 ; 到 1975 年末, 计有 200 多项工程近 300 万 m^2 地基采用了这种方法进行加固; 到 1978 年, 已发展到 20 多个国家有 300 多项工程使用了这种方法; 1979 年末《日刊建设工业新闻》报导, 用这种方法加固地基面积已多达 600 万 m^2 。英国一家杂志将其誉为当前最好的几项新技术之一, 有的文章称之为“一种经济而简便的地基加固方法”。

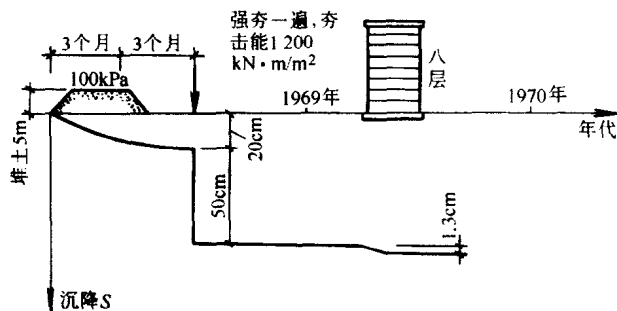


图 1-2 不同阶段的沉降

强夯法国外自 1970 年使用以来, 迅速得到推广应用。我国从 1978 年在塘沽新港首次试用以后发展很快, 北京、上海、山西、陕西等省市相继引进。不少单位通过现场和室内试验, 从机理和微观结构上进行了研究分析。几年来通过应用取得了不少经验, 在理论研究上也取得了可喜的成绩。

不少单位在学习国内外强夯经验的基础上, 和有关单位合作, 对黄土地基、饱和粉细砂地基用强夯法加固处理地基进行了试验和应用, 并参与了在杂填土地基、饱和轻亚粘土地基上用强夯法加固处理

的部分试验工作,由于工程任务要求紧迫以及条件、力量所限,从研究内容的深度和广度都远远不够,仍有待今后继续充实、深入探讨。现把几年来的工作和取得的初步成果总结如下。

二、强夯的适用范围

强夯法多年来广泛应用在建筑、水利、交通、港口和石化工程等多种工程的地基加固上。

路易·梅纳认为,强夯适用于各种类型的土壤,土壤的粒度无限制。可用强夯加固由几吨重的块石组成的回填层,也可用强夯加固含水量高于80%的粘土。几年来,国内在淤泥或淤泥质土、软塑至流塑的一般粘土、饱和砂土、一般粘性土、膨胀土、黄土、高填土、碎石块石、砂土等地基上都进行了尝试和应用。有的土性得到了明显的改善,有的效果甚微。这表明强夯法和其他加固方法一样,受到地基土的类别及工程性质等多种因素的影响。

目前,国内所用的单击能为 $50 \sim 8\,000\text{kN}\cdot\text{m}$,多数应用 $100 \sim 200\text{kN}\cdot\text{m}$,在各种能量级下,从国内在几种类型地基的30多个工程实例看强夯的效果是好的。

对非饱和土(非饱水土),一般强夯的效果都比较好。因为在这种土体上用强夯法主要是起压密作用,而强夯产生的击实能量又相当大,所以加固效果相对比较明显。

强夯法加固饱和土是一项动力固结技术。能否迅速的使水从土体内排走,是决定强夯效果好坏的关键。饱和砂土地基,一般渗透性好,超孔隙水压力在强夯过程中不易累积,夯后效果较好。

强夯置换法是采用在夯坑内回填块石、碎石等粗颗粒材料,用夯锤夯击形成连续的强夯置换墩。强夯置换法是在我国是20世纪80年代后期开发的方法,一般适用于高饱和度的粉土与软塑~流塑的粘性土等地基。强夯置换法具有加固效果显著,施工周期短,施工费用低等优点,目前已用于堆场、公路、机场、民用建筑、大型储罐等工程,使用效果也较好。对于一般饱和粘性土,采用合理的强夯参数和施工工艺也可取得一定效果,至于淤泥和淤泥质土,由于土体渗透性差,土体内的水排除困难,夯击工艺和各项强夯参数要求更严。目

前,部分地区对这类地基与砂井排水法结合使用,也取得了较好的效果。

由于土壤种类繁多,一类土壤其土性指标也往往差别很大,直接影响到加固效果和经济效益。一种地基加固法可有多种,其选择应结合经济效益、施工进度、技术水平、建筑地基规范等全面权衡,方能获得合理的方案。

另外,强夯的应用会受到震害和噪声的影响。在城镇市区或建筑物密集地区应引起重视。积极采用隔振等设防措施,则可扩大强夯法的应用范围。

三、强夯参数的确定

1. 强夯的影响深度

使用强夯法的目的在于改良地基,对于不同的土质,又有不同的改善目的。譬如对湿陷性黄土地基,主要是用强夯法破坏黄土的大孔结构,将土体压密,消除土体的湿陷性;对饱和砂土地基,主要是改善土体的相对密度,提高土体的抗液化能力;对一般的软弱的粘土地基,则主要是提高土的强度,减少变形。强夯的效果主要是垂直向为主,一般侧向位移仅占垂直向位移的百分之几。而人们主要关心的也是夯后的有效影响厚度和在此厚度内土性的改善程度。路易·梅纳(Menard)在强夯法发展初期发现,强夯后对土体的最大有效影响深度大致与每次夯击能(锤重 $M \times$ 落距 H)的平方根成正比例。这里有效深度和落距以米计,锤重以吨计。后来路易·梅纳又认为决定($M \times H$)这个关键性参数时应由下面公式确定:

$$\sqrt{MH} > h$$

式中 h ——需要加固的厚度。

当然,有效影响深度不仅仅与锤重、落距有关,还与其他强夯参数和土层厚度、土层构造以及土性有关。随着这些因素变化,有效影响深度也会不同。就以地基而言,不难想象,土性单一的地基和层次复杂、结构差别很大的地基其夯击的有效影响深度不会一致。如土内含水量的差异,往往使土性相差很大,饱和土和非饱和土的区别就在于此。就在非饱和土中,含水量不一也还会使强夯的效果不同。实践

表明,正像室内击实试验和现场重锤夯实一样,对非饱和粘性土,尤其是湿陷黄土,存在着一个适中含水量,一般在塑限附近压密效果最好。许多强夯的实例表明,过干或过湿土都会降低夯击效果。尤其是在加固的土层内存在含水量明显差别的土层,那么在其分界处,一般强夯试验中,地基深 4.5m 以上的土含水量为 10% 左右,以下则 20% 以上,夯后有效影响深度约为 4.5m,恰好在含水量变化的分界处,说明含水量不同直接影响强夯的效果。

以国内外许多工程实例来看,有效加固深度多在 $0.5\sqrt{MH}$ 附近。对有效加固深度的判定,国内不少单位做了许多有益的工作,如太原工学院土力学地基教研室,根据收集到的 17 个一般粘性土及砂土的实例,求得平均有效加固深度为 $0.66\sqrt{MH}$,从六项高填土实例求得平均有效深度为 $0.82\sqrt{MH}$ 。他们还把每击夯击能 $M \times H$ 及单位面积夯击能 E 作为主要因素,根据 16 项试验统计求夯击的相关公式,另外还把地下水位也作为主要因素,求出了相关公式。华东水利学院利用自制的动力固结仪,对秦皇岛饱和细砂作试验,得到了冲击荷载下的应力应变关系和孔隙水应力的变化规律并求出了经验计算公式。他们还以波动理论为基础,提出了强夯法理论计算模型,阐述了计算方法,算出秦皇岛煤码头的有效影响深度为 7~8m,等于 $0.65\sqrt{MH}$ 。北京机械化公司根据土的弹塑性理论,应用有限元和有限条法对计算强夯加固地基土层中应力和应变进行了理论计算探讨,建立了基本公式,并通过电算和实例数据对比,为预估强夯后地基承载力、压缩性和影响深度提供参考。交通部第三航务工程局采用室内试验计算方法确定有效加固深度。陕西建筑研究所也对国内外 27 项重锤夯实和强夯实例提出处理深度的经验关系式。以上的工作都为决定强夯设计方案提供了参考和依据。

由于对各类地基土的加固目的不同,很难取得评定有效加固深度的统一依据,同时,对有效加固深度一语尚无确切的定义,另外检验手段目前也不统一,这给评定有效加固深度和资料的统计分析带来了困难。如果按地基土的工程性质分类来评定有效加固深度,譬如对湿陷性黄土,以湿陷系数 δ_s 小于 0.015 (根据当地经验也可采用 $\delta_s = 0.02$);对一般粘性土按承载能力提高的倍数;对饱和砂土取其抗液

化程度的提高指标来判定。这样就可针对土的不同类别、土层的厚度和土性指标大体选定夯锤、落距，从而也确定施工机械的主要参数。

根据国内一部分强夯工程实例统计，高填土、杂填土，夯后的有效加固系数 K ($\sqrt{MH}$ /有效加固深度) 值为 0.7，其承载能力夯后提高 0.5~1.5 倍；一般粘性土 K 值 0.63，其承载能力一般提高一倍以上；黄土（多为湿陷性黄土） K 值为 0.5，夯后湿陷性消除，强度也有提高；饱和砂土 K 值 0.64，液化消除或减轻，强度也有提高；淤泥或淤泥质土 K 值为 0.92，强度 p_s 值提高 10% 以上。这些统计资料是根据各家资料而来，由于标准不一，有一定误差，其中对淤泥或淤泥质土 K 值偏高，不能供设计方案时采用。

2. 夯锤与落距

强夯法异于重锤夯实法是其锤重与落距的量，在高能量冲击作用下，大大提高了地基的加固效果。无疑，锤重与落距是影响强夯效果的主要因素，锤重与落距选择得是否合理直接影响整个强夯工程的效果。

对于加固的地基当要求达到土性指标确定后，就可以大致确定所需的单击能，从而选定起重设备。当前，我国大型的施工起重设备不多，一般起重能力多在 25t 以下，为适应这一情况，因而近来我国使用的锤重多数在 10~15t，落距 10~15m 之间，即单击能量在 1 000~2 000kN·m，选择锤重与落距应使它们有一个适当的比例，一般以两者接近为宜（指锤重吨数和落距米数值接近）。但也有两种不同意见，一种认为落距大一些好；另一种认为锤重大些好。从国内外的工程实例看，使用落距大一些的居多。从理论上说，当冲击波速高于土中传导波速时（在液化状态中）功能的效力大大增加；从起重机械的性能来说，当起重量由小增大时，扒杆逐往高伸，落距也越大，充分利用起重机具的能力，经济效果自然也就越好，尤当采用“龙门支架”等改进措施；往往落距增大的数值比锤重大。如山西省建筑二公司对 W—1001 型 15t 履带起重机增设一个“龙门支架”见图 1-3，在回转半径为 10m 的情况下，可起吊重锤 11.5t，落距为 14m，大大提高了起重机的机械起重性能。对专用的起重架，起重量由卷扬机起重能力而定，而起重高度取决于机架的稳定，其稳定则容易解决。因而为了

加大单击能量，往往从加大落距着手。

锤重确定以后，锤形的选择不必拘泥于哪一种式样，因为不同式样具有不同的优缺点，以常用的圆柱形和方柱形为例，圆柱形的优点是它对周围的土体影响一致，下落时易对中落点；方柱形的锤痕是近方形，与条形基础和方形独立基础边角仿佛，宜用于这类基础下的地基加固。在第十三冶金公司宿舍楼工程中由于是条形基础，相应采用了方柱形锤；在太原焦化厂工程中由于是大面积施工，相应采用了圆柱形锤，效果都很好。

锤的面积和锤的静压力对强夯的效果也有影响，这两个参数在锤重确定后是互成反比的。锤面积过小，静压力过大，使锤对地基土体的作用以冲切力为主，因而对强夯不利；锤的面积过大，静压力偏小，又使单位面积上的冲击能过小，对地基影响也不大。因而必须针对地基原始强度的大小选择恰当的锤面积和静压力。国内在 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 单击能下多采用 4 m^2 左右的锤面积，对一般地基大体是适宜的，但对软土则应适当加大。锤的静压力国内一般采用 $20 \sim 40 \text{ kN/m}^2$ ，软土偏于下限，较硬的土偏于上限。在第十三冶金公司宿舍楼工程中采用锤重 11.5 t ，底面积 4 m^2 ，静压力为 28.7 kN/m^2 ，从夯后看，是比较理想的。太原焦化厂工程，设计方案时，考虑到天然地基土强度较高（允许承载力 150 kN/m^2 以上），所以选用锤重 14 t ，底面积 3.1 m^2 ，静压力为



图 1-3 起重机增设龙门支架

44.5kN/m²，目的是想增大锤底下单位面积的冲击力。夯后效果是每夯击12次后，夯坑下沉平均约1m，有效加固深度4.5m左右，偏小。究其原因，除原始强度较高，土质过于干等原因外，锤底静压力过大也是一个原因。在工程实例统计中，静压力一般在20~35kN/m²，其平均值为26.8kN/m²。如果太原焦化厂工程静压力减至30kN/m²即锤径增大至2.4m，很可能有效加固深度要加大。这跟静力载荷试验和重锤夯实的影响深度与荷载板和重锤底半径有关一样，强夯的影响深度也理应与锤半径有关。

3. 平均夯击能

施加于单位面积上的夯击能 E 也是直接影响加固效果的因素。 E 是根据要求加固的厚度和土性确定的。它涉及三个强夯参数：一是各夯点的夯击次数 N ，二是夯击遍数 n ，三是夯点的布置。在1000~2000kN·m的单击能下，国内外采用的平均夯击能在500~3000kN·m，对砂土取下限，对粘性土，尤其是黄土取上限。

夯点上每遍夯击次数的确定，也就是常说的饱和夯击能的确定，因为饱和夯击能 $E_0 = f(M \cdot H \cdot N)$ ，而 M 与 H 在施工场地和要求加固目标确定后由影响深度关系已基本决定，对 E_0 的影响就只是夯击次数 N 了。饱和夯击能的选定，应是在此夯击能达到最好的夯击效果，即锤下土体加固程度好，侧向挤出小，夯坑四周隆起小，固结排水通畅。

夯点下土层的加固影响顺序一般是由地表慢慢向下发展，同时也慢慢向四周发展，因此在一定的限度内，夯击次数多的其加固的程度往往比夯击次数少的好。但是，从经济效益考虑，宜应选择一个加固的效果既佳次数又较少的参数。根据几年的实践，对非饱和土，常以每次夯击时夯沉量和夯击次数($\Delta s-N$)的曲线来判断。如图1-4，一般曲线的开始阶段即图中AB段是渐降的曲线，慢慢曲线的坡度越来越小，渐渐趋向于平行横坐标轴，即图中B点以后。当曲线趋近于平行夯击数坐标轴时，也就是在每击下 Δs 接近常量时，锤下的土体已形成泡形（或截头圆锥形）弹性核，如果再继续夯击，则用于加固土层的夯击能越来越小，损耗的能量越来越大，经济效益越来越差，除特殊要求外，一般是不宜采用的。在太原焦化厂工程中，曾做了夯

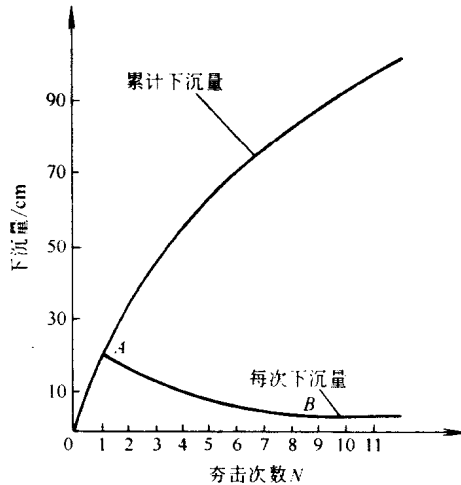


图 1-4 太原焦化厂强夯试验的夯击次数与夯击下沉量关系曲线图

锤相同、落距相等、土质也基本相同，但夯击次数不同的两种夯击方案。夯后，击数为 18 次的有效加固深度为 5.3m 比夯击次数为 12 次的有效加固深度 4.5m 是大一些，但从增加的能量而言，其收效较小。对饱和粘性土，应按孔隙水压上升到最大值（等于土体自重）或出现液化现象，夯坑周围形成较好的环状裂隙时的击数决定。如果夯坑周围出现较大的隆起和侧移则说明夯击次数过多。遇到渗透性较好的饱和砂土时，孔隙水压往往消散较快，但到一定的夯击次数以后，孔隙水压增量和夯击次数（ $\Delta u-N$ ）曲线出现平行于夯击次数坐标轴的锯齿形线段（如图 1-5 的 B 点以后），即每击下的孔隙水压增量与消减趋于常量，可以此时的夯击次数作为正式施工

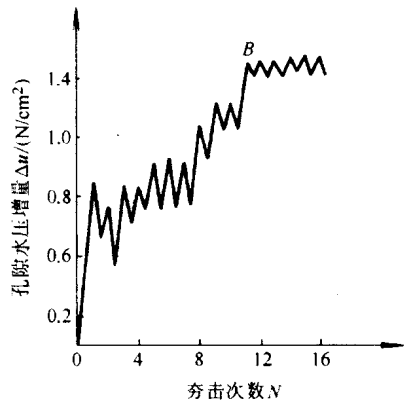


图 1-5 十三冶金公司宿舍楼地基强夯中孔隙水压增量与夯击次数关系曲线图

时的参考,同时也应参考 $\Delta s-N$ 曲线的情况选择夯击次数。在第十三冶金公司宿舍楼地基强夯时,该场地为饱和粉细砂,在夯到 10 击左右,孔隙水压与夯击次数曲线在此击数以后出现锯齿形而大体平行于 N 轴(见图 1-5),而每击夯沉量和夯击次数曲线中(见图 1-6)也在相应的夯击次数后出现平行于 N 轴的线段,说明这两者是有密切联系的。

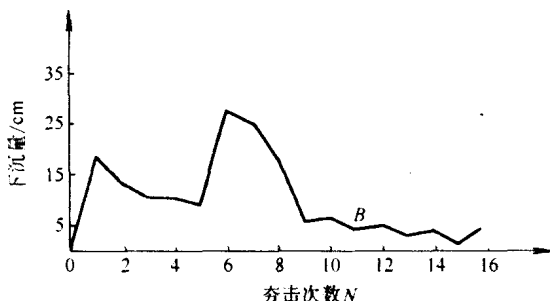


图 1-6 十三冶金公司宿舍楼地基强夯中每夯沉量与夯击次数关系曲线图

夯击遍数应根据地基土性、加固要求和施工工艺确定。一般夯击一遍能达到要求的加固效果,就不该采用多遍夯。对饱和土,由于夯击过程中,孔隙水压不断上升,夯了一定次数以后,夯点的侧向移动和夯坑四周地表隆起加剧,此时夯击能中大部分损耗于挤出变形及孔隙水压升高,不宜连续夯击。若施加的夯击能还不足,需待上升的孔隙水压消散后再继续进行夯击。对非饱和土和渗透性良好的饱和砂土,前者不存在孔隙水消散问题,后者在夯击过程中孔隙水排除较好,因而可采用 1~2 遍夯击。

夯击遍数可根据拟定平均夯击能、单击能、夯击次数和夯点间距来确定。大体上以 (单击能 $\times$ 夯击次数) 除以 (平均夯击能 $\times$ 夯点间面积) 而得。当对总沉降量有确定要求时,可根据每遍夯沉量确定夯击遍数。

夯点间距的选择与夯锤大小、加固土层厚度以及土性有关。夯锤的底面积和单击能较大时,夯点间距适当加大。间距过小会使夯点的夯击互受影响,对饱和软土还会把表层夯成“橡皮土”,间距过大会使夯点中间出现空当,形成加固后场地不均匀,因而合适的夯点距离