



YBJ25-1992

中国有色金属工业总公司
中华人民共和国冶金工业部 标准

强夯地基技术规程

YSJ 209-92

YBJ 25-92

总编单位: 中国有色金属工业西安勘察院

主编单位: 冶金工业部沈阳勘察研究院

批准部门: 中国有色金属工业总公司

中华人民共和国冶金工业部

施行日期: 1993年7月1日

关于颁发《强夯地基技术规程》的通知

(92) 中色基字第 1061 号

(92) 冶建字第 796 号

由中国有色金属工业西安勘察院和冶金工业部勘察研究总院总编, 冶金部沈阳勘察研究院主编的《强夯地基技术规程》, 经审查, 现颁发给你们, 作为中国有色金属工业总公司和冶金工业部标准 (YSJ 209-92) (YBJ 25-92), 自 1993 年 7 月 1 日起执行。各单位在执行中要注意总结经验、积累资料, 如有意见和建议, 请与中国有色金属工业总公司工程建设标准规范管理处联系。

中华人民共和国冶金工业部

中国有色金属工业总公司

1992 年 12 月 14 日

编制说明

《本规程》是根据冶金工业部和中国有色金属工业总公司联合批发的(86)中色基设字第105号文的通知,由冶金工业部沈阳勘察研究院会同冶金工业系统各勘察院与设计单位共同编写而成的。

本规程在编制过程中,编制组进行了广泛的调查研究和征求意见工作,收集和总结了国内外经验,特别是我国近年来生产实践经验与科研成果,并结合冶金工业的特点,在国内首次将强夯地基技术从设计、施工到工程验收,形成了一个比较完整的技术规定,经过反复讨论修改,最后通过审查定稿。

本规程共分4章8节38条和3个附录,其主要内容包括:总则、设计、施工、施工质量检验及工程验收。

《强夯地基技术规程》编制组

1992年12月

主要符号

- A —— 夯击单元面积
- a —— 夯锤底面积
- α —— 有效加固深度折减系数
- b —— 夯击点数量
- d —— 夯锤直径
- E —— 单击夯击能
- $\bar{E}$ —— 平均夯击能
- E_0 —— 变形模量
- E_s —— 压缩模量
- f_k —— 承载力标准值
- H —— 有效加固深度
- h —— 夯锤落距
- I —— 夯击点间距
- N —— 夯击次数
- n —— 夯击遍数
- S —— 单点总夯沉量

S_H —— 最后两击夯沉量
 Δ_s —— 最后两击夯沉量之差
 T_n —— 间歇时间
 Δ_u —— 超孔隙水压力
 T —— 夯锤重量

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为统一冶金工业建设中强夯法地基处理的技术要求, 保证工程质量, 促进技术进步, 提高经济效益, 特制定本规程。

第 1.0.2 条 本规程适用于冶金工业建设中采用强夯法处理碎石土、砂土、粉土, 不饱和的粘性土, 湿陷性黄土和人工填土等地基的设计、施工、质量检验及工程验收。

对于饱和的粘性土和粉土, 一般不宜采用。当必须采用时, 应经试夯检测有效时方可应用。

第 1.0.3 条 强夯法地基处理的单击夯击能, 应大于或等于 $800\text{kN} \cdot \text{m}$ 。当采用强夯法置换软土地基时, 单击夯击能应大于 $3000\text{kN} \cdot \text{m}$ 夯击效果应通过试夯确定。

第 1.0.4 条 强夯施工工艺及其参数, 应根据地基土的性质与工程技术要求, 选择具有代表性的地段, 通过试夯确定。

第 1.0.5 条 强夯地基处理的设计、施工、质量检验及工程验收, 除执行本规程外, 尚应符合国家和本行业现行的其他有关标准的规定。

第二章 设 计

第一节 一般规定

第 2.1.1 条 强夯设计应具备下列资料:

一、建(构)筑物名称, 结构形式, 上部荷载, 整平地面及基础埋深标高, 场地建(构)筑物总平面布置图和基础平面图;

二、场地已有工程地质资料, 当不能满足设计要求时, 尚应做必要的补充勘察工作;

三、强夯加固后的地基土承载力标准值 f_k 值, 压缩模量 E_s 值(或变形模量 E_v 值)、有效加固深度、消除黄土湿陷性与砂土液化、保持场地稳定性及均匀性等技术指标;

四、场地内地下管网、电网、地下构筑物以及强夯振害范围内已有的抗振性能低的建(构)筑物位置等资料。

第二节 参数选择

第 2.2.1 条 强夯有效加固深度, 应根据场地工程地质条件及设计要求按式 2.2.1 进行

估算:

$$H = \alpha \sqrt{hT}$$

(2.2.1)

式中 H —— 有效加固深度 (m);
 h —— 夯锤落距 (m);
 T —— 夯锤重量 (kN);
 α —— 有效加固深度折减系数, 可按表 2.2.1 选用。

有效加固深度折减系数 α

表 2.2.1

土的 名称	湿陷性黄土	一般粘性土粉土	砂土	碎石土 (不包括 块石) 煤矸石	块石 矿渣 矿山废石	人工填土
α	0.45~0.60	0.55~0.65	0.65~0.70	0.60~0.75	0.40~0.50	0.55~0.75

注: 有效加固深度系指自夯前地面整平标高至夯后能满足设计要求的垂直深度。

第 2.2.2 条 强夯加固场地施加的平均夯击能, 应取决于地基土的岩性特征、加固深度、建 (构) 筑物的荷载与上部结构对变形的要求等因素, 并宜按表 2.2.2 选取。

平均 夯 击 能

表 2.2.2

土的名称	一般粘性土粉土	砂土、碎石土 (不包括块石)	人工填土、块石、矿渣煤矸 石、矿山废石湿陷性黄土
平均夯击能 E ($\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}^2$)	1500~2500	800~1500	2000~3000

注: 场地平均夯击能不包括满夯能量。

第 2.2.3 条 夯击单元平均夯击能, 应按式 2.2.3 计算:

$$\bar{E} = \frac{ENb}{A}$$

(2.2.3)

式中 $\bar{E}$ —— 平均夯击能 ($\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}^2$);
 E —— 单击夯击能 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
 N —— 每夯击点总夯击次数 (击);
 b —— 夯击点数量 (个);
 A —— 夯击单元面积 (m^2).

第 2.2.4 条 夯击点间距应按表 2.2.4 选取。

夯 击 点 间 距 (m)

表 2.2.4

土的名称	单击夯击能 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)			
	800~1000	2000	4000	6000
中、粗砾砂	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5~5.0
粉土、细砂、粉砂、湿陷性黄土	3.0~3.5	3.0~4.0	3.5~4.0	4.0~4.5
一般粘性土、碎石土、矿渣、煤矸石、矿山废石	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5~5.0	4.5~5.0

注: ① 夯击点间距系指相邻夯击点中心距。
② 夯击点一般按梅花形或正方形网格布置。

第 2.2.5 夯击遍数、夯遍之间的间歇时间，应根据超孔隙水压力 Δ_u 的消散情况而定（消散 75% 以上），并应符合下列规定：

- 一、对于矿渣、煤矸石、矿山废石、碎石土、中砂、粗砂、湿陷性黄土等地层，可不考虑超孔隙水压力作用，应根据夯击点平面布置进行连续夯击，夯击遍数为 2~3 遍。
- 二、对于粘性土、粉土、粉砂、细砂等地层，当考虑超孔隙水压力对夯击效果有影响时，应采用跳打法，夯击遍数为 3~5 遍，夯遍间歇时间为 2~4 周；当含水量偏高时，夯遍间歇时间应适当延长。

注：本条所指夯击遍数不包括最后一遍满夯。

第 2.2.6 条 强夯加固范围应符合下列规定：

- 一、对于一般建（构）筑物，宜向外边缘扩延 $1/2 \sim 2/3H$ ；
- 二、对于重大建（构）筑物地基、边坡工程、膨胀土及煤矸石（需要防止自燃的封闭地基），不应小于 $1H$ 。

注：H 为强夯有效加固深度。

第 2.2.7 条 夯锤底面几何形状，宜为圆形；当需要对软土进行换土加固时，锤底也可采用锥形状态。锤底面积 a 和锤底压强 p ，一般可参照表 2.2.7 选取。

锤底面积 a 和压强 p 表 2.2.7

土 的 名 称	湿陷性黄土	一般粘性土 粉土	砂土、碎石土、人工填土、煤矸石、矿渣、废石
锤底面积 (m ²)	4~6	3~4	2~4
锤底压强 (kPa)	30~35	35~40	40~45

注：本规程中所指人工填土，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》的有关规定。

第三节 试 夯

第 2.3.1 条 通过试夯应确定下列参数：

- 一、强夯机具夯，夯锤重量及夯锤落距；
- 二、单点总夯击能（或夯击次数）与夯入度；
- 三、夯点间距及夯遍间歇时间；
- 四、夯击遍数；
- 五、有效加固深度；
- 六、夯后土的承载力标准 f_k 值；压缩模量 E_s 值或变形模量 E_0 值等。

第 2.3.2 条 试夯区应选择在地质条件具有代表性的地段，并应考虑上部建筑荷载与建筑特征，不同工程地质单元不应少于 1 处，一般试夯区面积不应小于 $20m \times 20m$ ，必要时可根据需要确定试夯面积。

第 2.3.3 条 试夯宜采用单点试夯与群点试夯相结合的方法，当地质条件简单或有强夯地基处理经验的地区，可只进行单点试夯。

第 2.3.4 条 试夯点的夯击次数，宜按最后两击夯沉量或最后两击夯沉量之差确定。不

同类型的地基土的最后两击夯沉量与最后两击夯沉量之差，可按表 2.3.4 的规定选取；

最后两击夯沉量之和 S_h 与最后两击夯沉量之差 Δ_s 表 2.3.4

土 的 名 称	最后两击夯沉量 S_h (cm)	最后两夯击沉量之 差 Δ_s (cm)
一般粘性土、粉土、湿陷性黄土	<15	5~8
粉砂、细砂	10~15	4~7
砂土 (不包括粉砂、细砂) 碎石土、人工填土、矿渣 煤矸石、矿山废石	<10	3~5

第 2.3.5 条 当地下水埋深小于 2.0m 时，应铺填透水性良好的垫层。垫层顶面距离地下水位埋深应大于 2.0m。

第 2.3.6 条 当强夯对场地附近建（构）筑物有可能造成振害时，应采取设置监测点，必要时挖隔振沟等防振措施。隔振沟沟底标高应低于建（构）筑物基础底面标高，隔振沟深度不应小于 2.0m。

第 2.3.7 条 强夯振害安全距离：当单击夯击能为 1000kN·m 时，应大于 15m；当单击夯击能大于 1000kN·m 时，对仪表车间及灵敏度高的建（构）筑物的安全距离，尚应通过试夯实测的结果进行调整与修正。

第 2.3.8 条 试夯结束后，应对试夯前选定的技术参数进行校正。

第三章 施 工

第一节 一 般 规 定

第 3.1.1 条 施工前应根据强夯设计要求编制施工方案。施工方案应包括下列内容：

- 一、工程特点，包括建（构）筑物的结构特征，强夯加固目的，工作量、工期要求；
- 二、工程地质与水文地质条件；
- 三、场地三通一平（水、电、道路畅通和场地平整）以及材料、施工单位的机械、运输等情况；
- 四、夯击点布置图、施工参数、施工工艺、施工质量控制标准等；
- 五、施工方法、劳动组织和施工进度；
- 六、工程质量与安全技术措施；
- 七、施工质量检验项目。

第 3.1.2 条 施工前的准备工作应符合下列要求：

- 一、了解施工场地的施工条件，如施工机具进出场地的路线以及能源、材料、暂时设施等现场施工条件。
- 二、必须在施工前完成拟强夯场地平整工作。

三、强夯前应清除场地上空和地下障碍物。其清除范围分别为：单击夯击能在 $800 \sim 2000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 时，夯击点距地表障碍物的水平距离应大于 20 m ，距地下障碍物的水平距离应大于 10 m ，距空中障碍物的距离，应大于 18.0 m ；当单击夯击能再增大时，上述安全距离尚应适当增大。当需要在高压输电线路下作业时，必须具备严格的安全防护措施。

四、施工前必须对施工机械设备进行安装与调试，并应试运转。

第 3.1.3 条 强夯施工前，应将施工测量控制点引至不受施工影响的稳固地点。夯点定位允许偏差应为 $\pm 50 \text{ mm}$ ，且夯点应有明显标记和编号。

第二节 施工机具

第 3.2.1 条 强夯施工使用的机具设备的选择，应符合下列规定：

一、起重设备：宜选用起重能力大于锤重 $1.5 \sim 2.0$ 倍的履带式起重机或其他起重设备，但必须满足提升高度的要求，并应设置安全装置；

二、推土机：发动机功率宜大于 75 kW ；

三、夯锤：可采用铸钢或钢筋混凝土制作，锤底面积应按本规程第 2.2.7 条的规定选用，锤体上应设置均匀分布的上下贯通气孔，其数量为每平方米锤底面上设一个，孔径为 $20 \sim 35 \text{ cm}$ ；

四、自动脱钩器：应具有足够的强度，且转动灵活，安全可靠。

第三节 施工程序

第 3.3.1 条 将吊车就位。稳车后调整臂杆角度，一般可调在 $70^\circ \sim 75^\circ$ ，然后校正夯锤落距。

第 3.3.2 条 夯击时，夯击点中心位移偏差应小于 150 mm 。当夯坑底倾斜大于 30° 时，应将坑底填平后再进行夯击。

第 3.3.3 条 每夯击一遍完成后，将场地整平，同时测量整平后的标高。当进行下一遍夯击时，应重新布置夯击点位。最后一遍夯击（满夯）后的场地整平标高，应符合设计要求。

第 3.3.4 条 最后一遍满夯，应采用低能量对已夯击场地进行全面积的夯击。满夯有效加固深度不应小于 3.0 m ，夯印彼此搭接部分不应小于锤底面积的 $1/3 \sim 1/5$ 。

第 3.3.5 条 雨季施工，应及时采取有效排水措施，以防场地和夯坑积水。冬季施工，当冻土层厚度小于 0.5 m 时，应将冻土清除后，方可施工；当冻土层厚度大于 0.5 m 时，一般不宜施工。

第 3.3.6 条 在夯击中，当发现地质条件与设计提供的数据不符时，应及时与有关部门研究处理。

第 3.3.7 条 强夯施工应在现场及时进行记录。施工记录格式，应符合本规程附录二附表 2.1~2 的有关规定。

第四章 施工质量检验及工程验收

第一节 质量检验

第 4.1.1 条 强夯后地基土的质量检验指标,应符合设计要求。

第 4.1.2 条 检验点数量应以建(构)筑物为单元,对 I 类建(构)筑物不应少于 3 处,II、III 类建(构)筑物不应少于 2 处。对工程地质条件与夯击参数相同的单元,每 1000m^2 不应少于 1 处。

第 4.1.3 条 强夯施工质量检验,可选用下列测试方法:

一、粘性土、湿陷性黄土、膨胀土的检测,以原位测试为主,室内试验为辅,也可选用静力触探或标准贯入、动力触探、旁压试验、静力载荷试验等。静力载荷试验的承压板面积可采用 $0.25\sim 0.50\text{m}^2$;

二、砂土、碎石土、矿渣、煤矸石等的检测,以动力触探或静力载荷试验为主,也可采用波速测试或密实度测试。静力载荷试验承压板面积宜采用 $0.50\sim 2.00\text{m}^2$,对于需要判别砂土液化的地基土,尚应进行标准贯入试验。

第 4.1.4 条 夯后地基土的质量检验间隔时间,应符合下列规定:

- 一、砂土、碎石土、矿渣、煤矸石、矿山废石、湿陷性黄土,应在 1 周以上;
- 二、一般粘性土和粉土,3~4 周;
- 三、饱和粘性土和粉土,4~5 周。

第二节 工程验收

第 4.2.1 条 工程交工验收之前,应进行质量检验(自检或他检),当质量不符合设计要求时,应进行补夯或采取其他有效处理措施,直至合格为止。

第 4.2.2 条 施工质量验收标准及质量检验评定标准,应符合有关标准或设计要求。

第 4.2.3 条 强夯工程验收时,应提交下列资料:

- 一、强夯设计文件(包括设计变更书);
- 二、强夯工程竣工报告书或强夯工程交工文件说明,其中应包括强夯地基竣工图;
- 三、工程定位测量成果;
- 四、施工质量检验或加固效果检验资料;
- 五、工程质量检验评定结果;
- 六、强夯场地主要数据一览表,表的格式,应符合本规程附录二附表 2.3 的有关规定。

第 4.2.4 条 工程验收中宜对下列建(构)筑物提出设置沉降观测点的建议:

- 一、沉降敏感易造成破损的建(构)筑物;
- 二、I 类建(构)筑物或地质条件复杂的 II 类建(构)筑物。

附录一 名词解释

- 煤 矸 石——煤矿开采过程中排弃的围岩及低燃烧值的含煤矿物残余物。
- 矿 渣——在冶炼过程中排出炉外的熔渣经冷凝而成的块状或层状体。
- 矿山废石——矿山采矿时排弃的废矿石或剥离的围岩。
- 单击夯击能——每夯一击所产生的冲击能。
- 夯 击 遍 数——在同一夯击场地上将夯击能分若干遍施加于夯击场地上的次数。
- 间 歇 时 间——分遍夯击的间隔时间。
- 连续夯击法——夯遍之间不考虑夯击产生的孔隙水压力影响而进行连续夯击的施工方法。
- 跳打夯击法——夯击点按一定间隔距离选点，逐次跳跃式的夯击方法。

附录二 强夯施工记录格式

工程名称：
建(构)筑物名称：
施工日期：

强夯施工记录汇总表 附表 2.1

设计标高：	(m)	夯前地面标高：	(m)	场地平均夯沉量：	(cm)
设计强夯面积：	(m ²)	实际强夯面积：	(m ²)	累计平均夯击能：	(kN·m / m ²)
起重设备：		夯锤尺寸：	(m)	夯锤重量：	(kN)
加固地层描述：					
地下水类型及其水位标高：					
夯击遍数	单击夯击能 (kN·m)	夯击次数 (击)	夯击点数量 (个)	本遍夯击面积 (m ²)	平均单元夯击能 (kN·m / m ²)
1					
2					
3					
4					
5					
满 夯					

施工单位： 施工负责人： 工程技术负责人：

强夯施工记录

附表 2.2

工程名称:

建（构）筑物名称：

年 月 日 第 遍

夯点编号	总夯沉量 (cm)	最后两击		起算点	各夯击次数下夯沉量读数 (cm)															
		夯沉量之差 (cm)	夯沉量 (cm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

锤重: (kN)

锤底直径: (m)

落距: (m)

工程技术负责人:

记录:

第 页

强夯场地主要数据一览表

附表 2.3

工程名称:

施工日期:

拟建（构） 筑物名称	建筑坐标		设计标高 （m）	地面整平标高（m）		平均夯沉量 （m）	平均夯击能 （kN·m/m ² ）	实际强夯面积 （m ² ）
	A(m)	B(m)		夯前	夯后			

工程技术负责人:

汇总人:

附录三 本规程用词说明

为了正确执行本规程的条文，对表示严格程度的用词作如下说明，以便执行过程中按不同要求区别对待。

一、表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

二、表示严格，在正常情况下都应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

三、表示允许稍有选择，但在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

附加说明

本规程总编单位、主编单位和 主要起草人名单

总编单位：中国有色金属工业西安勘察院

副总编单位：冶金工业部勘察研究总院

主编单位：冶金工业部沈阳勘察研究院

总 编：关文章

主要起草人：郭乐群

郑贵浩 陈惠杰 魏 东

中国有色金属工业总公司
中华人民共和国冶金工业部 标准

强夯地基技术规程

YSJ 209-92

YBJ 25-92

条文说明

主编单位：中国有色金属工业西安勘察院

第一章 总 则

第 1.0.1 条 本规程适用于冶金工业建（构）筑物地基土强夯加固，也可供强夯与柔性桩基综合处理复合地基及其他部门同类型加固地基时参考。对于单击夯击能大于 $10000\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上的施工工艺与设计的要求，目前资料还不多，有待今后进一步积累与总结经验。

第 1.0.2 条 强夯法加固处理地基适用范围比较广，但强夯对软土一般不宜采用，夯击时产生的孔隙水压瞬间值难以消散，连续与反复夯击时易产生“翻浆”或出现“橡皮土”，夯击效果不好。当需采用此法加固地层时，必须进行试夯或可行性试验研究。

秦皇岛某工程，加固地层为粉土，呈流塑状态，地下水位 1.78m ，单击夯击能 $1300\text{kN}\cdot\text{m}$ ，加固目的是一是消除液化，二是提高承载力。加固前标贯 N 为 $1\sim 2$ 击，加固后 N 为 $2\sim 3$ 击，十字板不排水剪强度 C_u 值介于 $10\sim 40\text{kPa}$ ，灵敏度 S_L 值大于 4 。夯击至第 6 击时开始出现“橡皮土”，随着夯击次数增加，“橡皮土”范围进一步扩大，孔隙

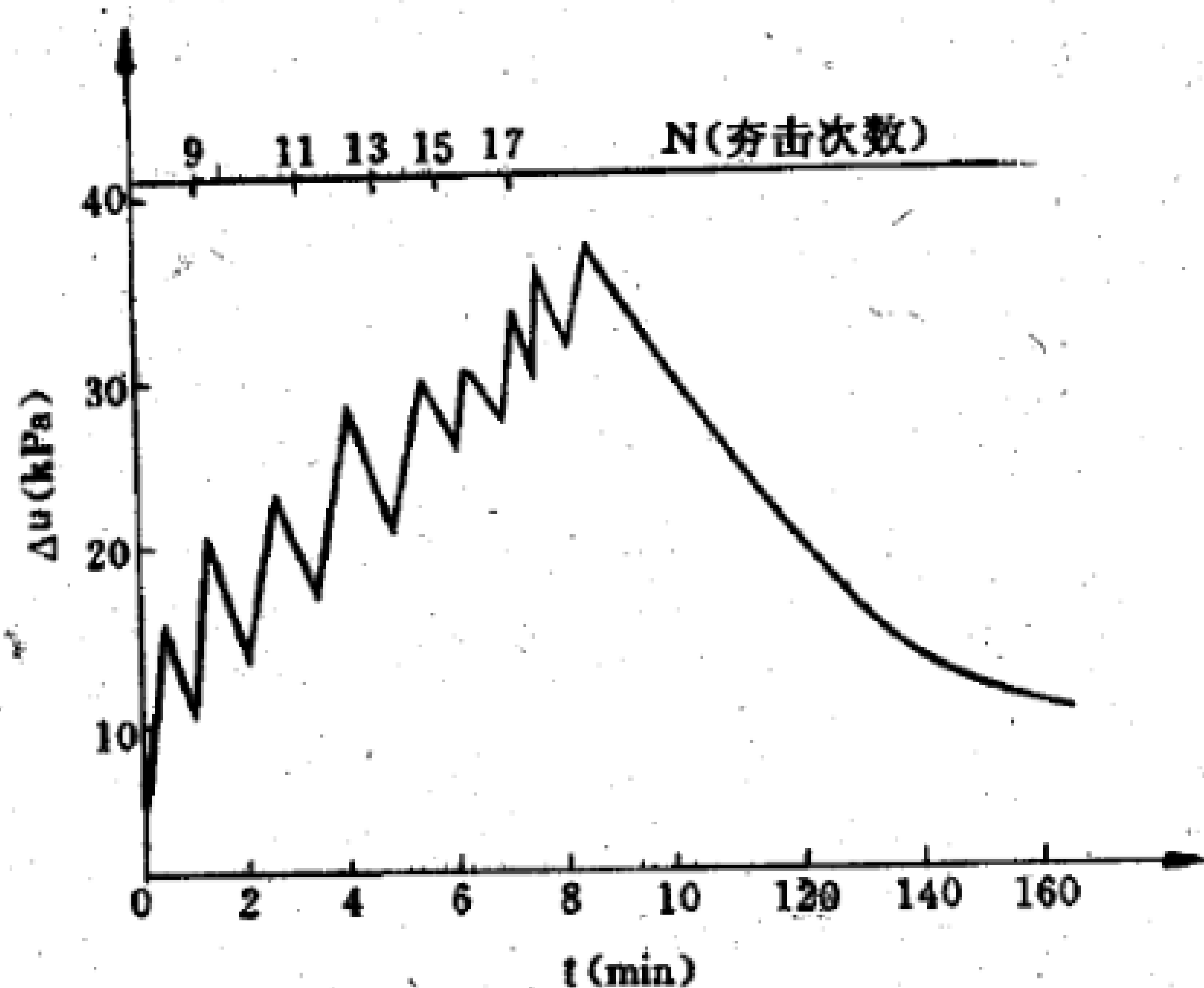


图 1.0.2 孔隙水压力与夯击时间、
夯击次数关系曲线

水压力增高（见图 1.0.2），检测结果表明，既没有消除液化，也没有达到提高承载力的目的，试验证明强夯对该软土地层没有加固效果。

第二章 设 计

第一节 一般规定

第 2.1.1 条 本条规定了强夯设计必备的基础资料。

一、建（构）筑物概况：建（构）筑物名称、结构、荷载大小、基础尺寸等。

二、场地已有工程地质资料系指施工图设计阶段的工程地质勘察报告。当缺少必要的资料时，应做专门性的补充勘察工作。

三、强夯设计必须明确加固目的与技术要求：强夯加固后地基土的承载力标准值 f_k 、变形指标 E_0 或 E_s 值、强夯有效加固深度、消除黄土湿陷性及砂土液化等要求，对不同建（构）筑物应提出具体的强夯技术要求。

四、为了避免强夯造成的危险，应提供施工场区内地下设施（包括构筑物）及场内与附近抗震性能较低的建（构）筑物和对振动比较敏感的特殊车间或厂房的位置，必要时可进行专门性的震害试验。

第二节 参数选择

第 2.2.1 条 强夯有效加固深度计算公式首先由梅纳提出，计算式为：

$$H = \sqrt{hT} \quad (2.2.1)$$

式中 H ——强夯有效加固深度 (m)；

h ——夯锤落距 (m)；

T ——夯锤重量 (kN)。

这些年在我国实际工程中，计算值与实测值有较大出入（计算值大，实测值小），出入的大小与所加固土质的性质有密切的关系。表 2.2.1 中列举了几项具有代表性的工程实测值。

有效加固深度计算值与实测值比较表

表 2.2.1

工 程 名 称	加固地层土质	计算加固深度 (m)	实测加固深度 (m)
赤峰变电所	湿陷性黄土	10	5.50
胜利热电厂及水泥厂	煤矸石	10	6.50
大连明泽变电所	碎 石	10	6.80
鞍钢矿渣厂	矿 渣	10	6.50

注：表中加固深度按 $H = \sqrt{hT}$ 计算。

我国许多学术论文及研究资料也进行过专门性的论述，认为用梅纳公式估算强夯加固地基有效深度时要对该公式进行修正，在原公式上乘以小于 1 的修正系数，即 $H = \alpha\sqrt{hT}$ ，根

据不同类别的土质分别选取。本规程给出的 α 值,是根据工程实测资料整理确定的。但由于土的性质变化与技术要求不同,致使修正系数本身也有一定的变化。选用时要针对土的性质加以确定。

有效加固深度过去没有明确的定义,加之施工场地土质的不同,工程实际中用起来很不方便,这次也做了明确的规定,即指自夯前地面整平标高到夯后能满足设计要求的垂直深度。

第 2.2.2 条 确定强夯加固场地上施加能量的大小,取决于下列因素:承载力的大小,加固深度,上部结构对变形的要求,土质吸收能量的大小(如湿陷性黄土吸收能量大,碎石土吸收能量则小)。

对含水量较高的粘性土和软土,如果施加夯击能量过大(主要指连续夯击次数多),反而会出现“翻浆”现象,即夯成“橡皮土”。这样只有停夯进行换土、晾晒或采取消散孔隙水压力措施等,如果强夯能量过小就难以达到夯击目的。平均夯击能一般只能宏观地评价场区的加固效果。表 2.2.2 是根据二十余项工程的统计指标确定的。

第 2.2.3 条 本条需要说明二个问题:

一、用“夯击单元”的平均夯击能来评价夯击效果,而不是用整个场地的平均夯击能来评价,在这里主要考虑同一场地可能存在不同地质单元及对夯击能要求不同的建(构)筑物,因此,场地平均夯击能可能满足设计要求,但具体单元不一定都满足要求,所以这里用夯击单元的平均夯击能来评价夯击效果是较为确切的;

二、平均夯击能计算式是一个近似计算式,例如式中的 N 就不是很精确的,实际上每一夯击点的夯击次数并不完全相等,因此该计算式只能是近似计算值。

第 2.2.4 条 一般强夯工程夯点间距可参照表 2.2.4 选取。但对于大型工程和地质条件复杂的工程,试夯应选择不同夯点间距,提供充分的试验对比资料,最终确定夯点间距。表 2.2.4 是根据一部分实测资料与经验数值确定的。

第 2.2.5 条 此条对强夯参数选取作了一些具体规定,这是根据国内一些工程实例与有关资料确定的。有的工程也并不完全一致,甚至有的还有较大的出入,因此,具体应用时还应根据试夯结果确定。

夯遍间歇时间,系指上遍某夯点与下遍夯击该点的间歇时间。

第 2.2.6 条 自原建(构)筑物基础轮廓线向外扩大一定的加固范围是必要的,目的是考虑对加固地基起保护作用。一般没有特殊要求的工程,宜向基础边缘以外扩延 $1/2 \sim 2/3H$ 。对于重大工程建(构)筑物及特殊工程,如边坡(考虑滑动面)、湿陷性黄土(考虑防水)、煤矸石(防止自燃等),应从工程实际需要确定,但不能小于 $1H$ 。这里以有效加固深度 H 来确定建(构)筑物向外边缘扩延加固范围的准则,主要考虑在一般情况下,对有效加固深度的要求基本决定了建(构)筑物的重要程度与地层特征及强夯对地层的处理要求。因此,用有效加固深度来确定建(构)筑物向外扩延加固范围是比较合理的。

第 2.2.7 条 夯锤底面几何形状多数采用圆形。工程中可根据不同土质选择不同底面积的夯锤,但锤底单位面积上的压强必须保证,否则影响夯击效果,所以锤底单位面积上的压强也是强夯法加固地基不可忽视的重要参数。该条提出的锤底压强是根据目前常用的经验数据确定的。

第三节 试 夯

第 2.3.1 条 为获得强夯加固地基的最佳设计依据,应通过对需加固地基土的研究、土质特点和委托单位提出的强夯加固地基的技术要求,选择强夯施工机具(吊车和夯锤)及试夯参数(夯锤落距、夯点间距、夯击遍数等),然后经试夯和检测后确定施工参数及施工工艺、施工质量控制指标等。其中,施工机具的选择非常重要,有时方案看来可行,但施工难度大,方案不易实现,例如要求单击夯击能过大,吊车起重能力达不到或运输受限制,有可能影响整个工程进展。

第 2.3.2 条 试夯区的选择主要考虑土的不均匀性和重要建(构)筑物的分布位置,原则上应在具有代表性地段。若强夯加固范围较小,可选择在土质性质最差或建(构)筑物最重要的地段,一般每一工程地质单元不应少于一处。

同一地貌单元的地层上有不同建(构)筑物,且设计要求的技术指标有大的差异(例如承载力),试夯时应侧重加以考虑,使之既能满足设计要求,同时也使工作量做到适当。试夯面积一般为 $20\text{m} \times 20\text{m}$,必要时也可根据实际需要再确定试夯面积。施工夯击点的布置应尽量利用试夯点的夯击成果,以提高经济效益。

第 2.3.3 条 试夯时先进行单点夯,然后再进行群点夯。进行单点试夯时要测量每夯一击的夯沉量,并随时绘制夯沉量与夯击能(或次数)关系曲线,最后确定单点的夯击能(或次数)和夯入度,下步再进行群点试夯。通过单点和群点试夯后对试夯区的夯击效果进行检测,检测方法应根据土质性质而定。检测以原位试验为主,室内试验为辅。对粘性土、粉土等,一般以静力触探、静力载荷试验、旁压试验及室内试验为主(湿陷性黄土应以室内试验为主),对砂土、碎石土、人工填土、煤矸石、矿渣等,以动力触探、标准贯入试验、静力载荷试验为主。检测部位应在试夯面积范围内选择具有代表性地点进行(以夯击点中心和夯点之间部位为主),把夯后与夯前检测结果进行比较,根据加固目的和土质性质进行分析,评价强夯后的承载力、变形指标、液化指标、湿陷性及有效加固深度。有效加固深度也可根据图 2.3.3 的类比方法判定,若某一项指标不能满足要求时,应重新调整试夯参数,再进行试夯,直至满足设计要求为止。

强夯加固地基时的应力是以一定的角度沿深度方向扩散的,并逐渐减弱,最后消失。上部荷载对地基土产生的附加应力亦是向深度方向扩散的。因此,重大工程应验算上部荷重对地基产生的附加应力和强夯后地基土沿深度方向在附加应力影响范围内是否全部满足设计要求。

第 2.3.4 条 单点夯击质量采用两个控制标准,一是按试夯和设计中规定的夯击次数,二是最后两击夯沉量之和与最后两击夯沉量之差小于规定的值。这里主要考虑了土体的不均匀性。当土体比较均匀,单点夯击次数达到了规定次数,最后两击的夯沉量之差与最后两击夯沉量之和基本上能同时满足要求。若土体不均匀,情况就不一样了,虽然

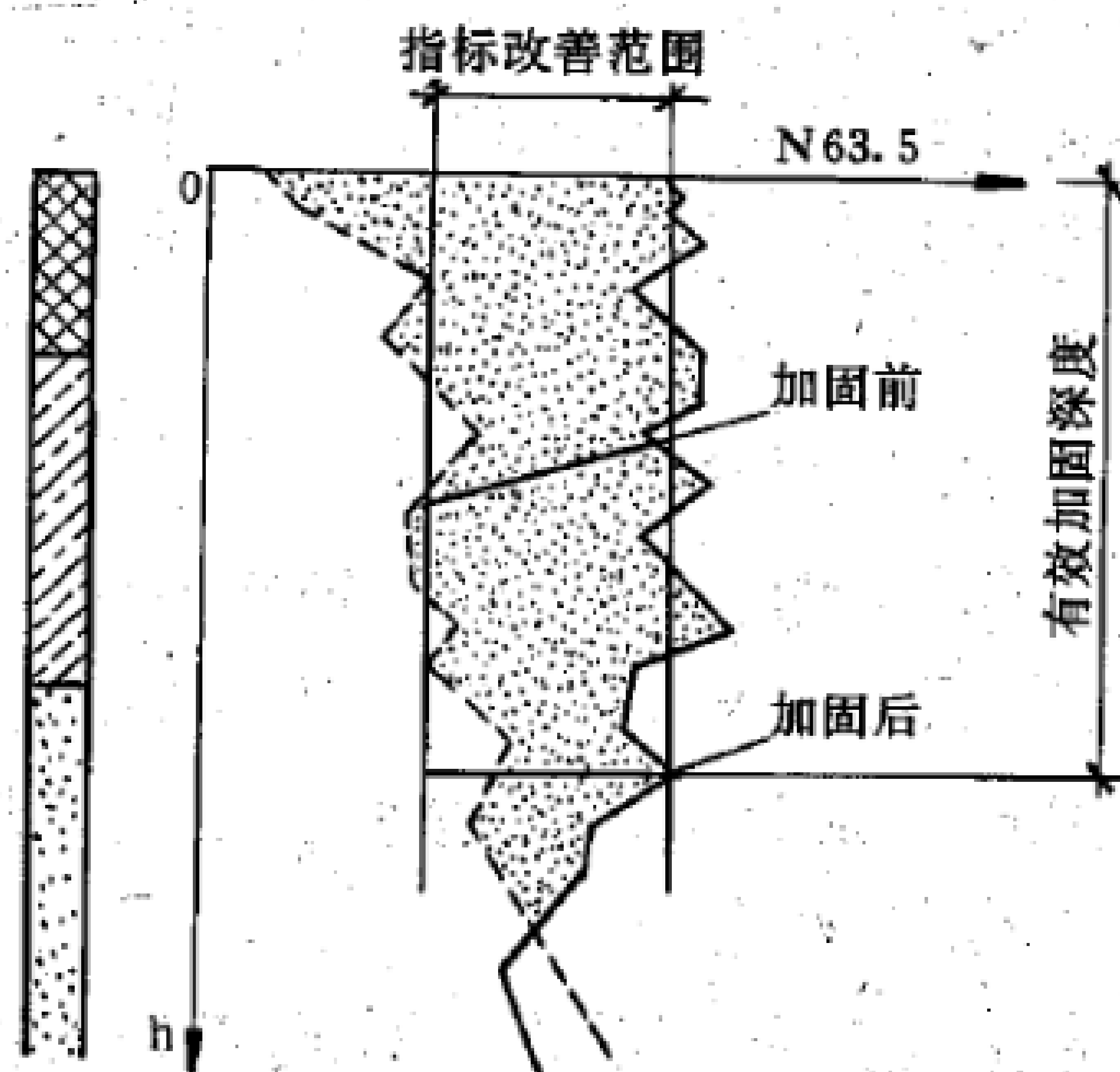


图 2.3.3 有效影响深度

夯击次数达到了要求,但最后两击夯沉量之差或夯沉量之和就不一定都满足要求,一般情况用最后两击夯沉量之和与最后两击夯沉量之差来确定单点夯击次数,是控制质量的有效方法。

第 2.3.5 条 地下水位过高,影响施工作业和工程质量。夯击过程中可能造成局部积水,严重影响施工,铺设透水性良好的垫层后,地下水可自由排出,有利于施工和提高工程质量。

第 2.3.6 条 强夯施工对邻近建(构)筑物有影响时,应设置监测点,挖隔振沟等措施,对强夯安全施工是必要的。下面通过几项工程实例加以说明。

鞍山工程 单击夯击能 $1000\text{kN}\cdot\text{m}$,粉质粘土地层,地下水 0.8m ,距民用住房 15m ,房屋比较陈旧,强夯施工开始不久,发现墙壁多处开裂,且裂缝越来越大,裂缝发展有贯通的趋势,故立即停止施工。

阜新工程 单击夯击能 $1200\text{kN}\cdot\text{m}$,地层为煤矸石,地下水位 2.5m ,距烟囱基础 8m ,施工前挖一隔振沟,沟宽 0.8m ,深度挖至地下水位,经采取隔振措施后,整个强夯施工对该构筑物无影响。

抚顺油罐工程 夯击能 $1200\text{kN}\cdot\text{m}$,地层为粉质粘土,基岩埋深 $4\sim 7\text{m}$,无地下水,距罐基础 $15\sim 25\text{m}$,油罐处于正常工作状态(容积 $3000\text{m}^3/\text{个}$),由于有一定安全距离,没有采取任何防振措施,强夯施工对整个罐区无危害。

第三章 施 工

第一节 一般规定

第 3.1.1 条 本条就编制施工方案内容提出了明确的要求,是根据一些工程实例来确定的。

第 3.1.2 条 强夯前必须做施工前的准备工作,对空中、地面和地下障碍的清除范围,是根据一些工程实例来确定的数据,应该说有一定的安全度。但对场地附近有特殊防振要求的建(构)筑物,其安全距离还应适当增大。

第 3.1.3 条 此条对夯点测量放点误差作了具体规定,与目前有关规范、规程的规定基本一致,但对有特殊要求的场地应另做具体规定。

第二节 施工机具

第 3.2.1 条 第三款中对夯锤设排气孔,规定中要求孔径为 $20\sim 35\text{mm}$,目的是避免产生“气垫效应”和“真空效应”。曾经设置过孔径为 $10\sim 15\text{mm}$ 的排气孔,但在粘性土或碎石充填粘性土地层施工中很快堵死,清除又困难,起不到排气作用,主要原因是孔径太小,所以这里做了具体规定。

夯锤的几何形状,可根据工程具体要求选择,例如当需要进行置换或换填加固地基时,也可采用锥形或其他形状的夯锤。

第三节 施工程序

第 3.3.2 条 夯击点位偏差为不大于 150mm 的规定，原则参照国标《建筑工程质量检验评定标准》(GBJ301-88)。

夯锤平稳自由下落能量损耗小，若夯锤倾斜下落或夯坑底面倾斜，能量损耗大，且夯击中心易改变，影响施工质量，甚至翻锤，造成事故。

第 3.3.6 条 强夯施工中的最后一遍低能量满夯是对上部土层进行加固，能量不宜过大，一般加固深度应达到 3 米，夯印彼此搭接，不留空档；否则局部地段得不到加固，会出现“死角”（或称盲区）。例如某金矿处于湿陷性黄土地区，由于满夯能量不够，且夯印搭接未符合技术要求，夯后出现“死角”（见图 3.3.6）。

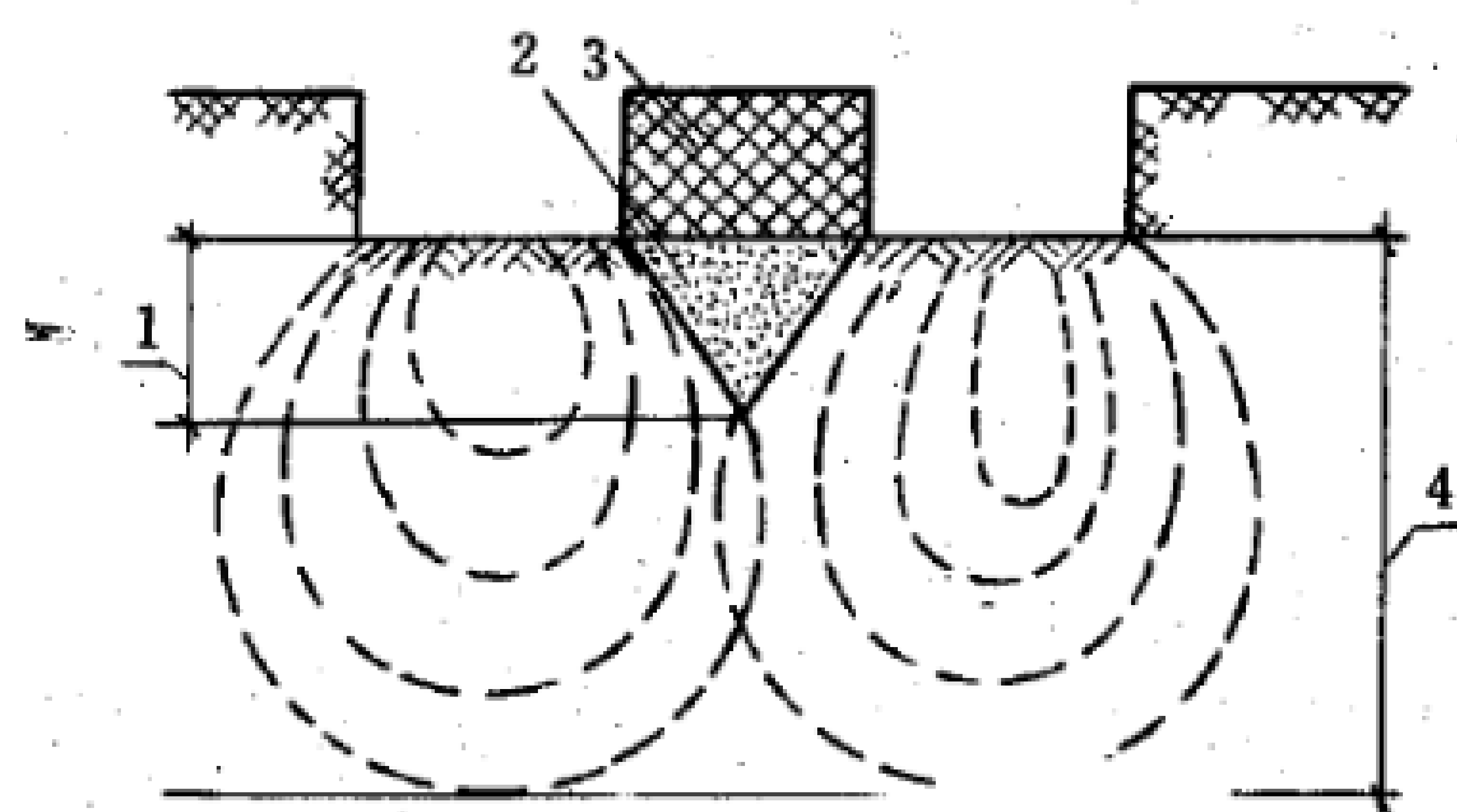


图 3.3.6 强夯死角（或盲区）示意图

1——死角深度；2——强夯死角；3——松动层；4——影响深度

第四章 施工质量检验及工程验收

第一节 质量检验

第 4.1.2 条 通过试夯及试夯检验，已取得了强夯的施工参数及施工工艺，但考虑到土体不均匀性特点及施工中的差异，所以要对整个加固场地进行随机抽样检验。

检验点的数量和间距不同于工程勘察，它主要是针对夯击效果进行抽检，检验点位置要考虑建（构）筑物性质和单元的划分。检验点数量对 I 类建（构）筑物每一单元不少于 3 处，II、III 类建（构）筑物每单元不少于 2 处，但对有特殊要求的场地的检测工作可另行确定。

第 4.1.3 条 本条着重强调两点：一是不同类型的土的测试方法，二是测试方法应以原位测试为主，但湿陷性黄土还必须取一定数量的土试料进行室内试验。

第 4.1.4 条 强夯施工后地基土需要有一定的时间恢复强度。例如：阜新工程在夯点下 3~5m 有一层可液化的细砂，夯后 3d 进行了标准贯入试验，测试结果表明未消除液化。8d 以后进行标准贯入试验，测试成果证实已全部消除了液化。夯后地基土的强度与密度需要一定的时间才能恢复。

粘性土和粉土由于含水量不同与排水固结条件不一样, 夯后检测间隔时间分别为 3~4 周或 4~5 周。

第二节 工程验收

第 4.2.1 条 ~ 第 4.2.3 条 这三条主要强调工程验收前的准备工作和应提交的资料, 有的工程并非工作量不够或质量存在问题, 而是由于工程验收的准备工作中做得不充分, 造成工程验收难以通过。实际上应把工程验收作为整个工程的很重要的一个环节, 因此, 强调了工程验收前的准备工作的重要性。

第 4.2.5 条 本条虽然提出了这两种情况下宜设置沉降观测点, 对于积累资料与指导生产是非常有益的, 但往往难以得到建设单位的支持。尽管建立观测点存在上述实际问题, 本规程仍作了一般性的规定。