 **T/CECS XXX-202X**

中国工程建设标准化协会标准

液压快速夯实地基技术规程

 Technical specification for rapid hydraulic compaction of foundation

（征求意见稿）

中国xx出版社

中国工程建设标准化协会标准

液压快速夯实地基技术规程

Technical specification for rapid hydraulic compaction of foundation

**T/CECS XXX—202X**

主编单位：山东省机械施工有限公司

山东建筑大学

批准单位: 中国工程建设标准化协会

施行日期: 202XS年XX月XX日

中国XX出版社

202X 北京

**前 言**

《液压快速夯实地基技术标准》（以下简称标准）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2024年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2024]15号）的要求进行编制。编制组经深入调查研究，结合工程实践和专项研究，认真总结经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为6章，主要技术内容是：总则、术语、基本规定、设计、施工、质量检验与工程验收。

本标准的某些内容涉及：“一种液压快速夯实地基”（专利号为：ZL2021 2 1832955.5）专利。涉及专利的问题，使用者可直接与主编单位及专利持有人协商处理。除此之外，部分内容仍有可能直接或间接涉及其他专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会绿色建造专业委员会归口管理，由山东省机械施工有限公司和山东建筑大学负责具体技术内容的解释。在使用过程中，如有意见和建议，请反馈至山东省机械施工有限公司（地址：济南市槐荫区经四纬十二路167号三箭和平广场2号楼；邮政编码：250022；电话：13805401529；邮箱：sdjs1960@163.com）。

主 编 单 位：山东省机械施工有限公司

山东建筑大学

参 编 单 位：上海市岩土地质研究院有限公司

山东正元冶达环境科技有限公司

青岛理工大学

中建八局第二建设有限公司

济南文旅集团产业投资有限公司

泰安恒大机械有限公司

中国建筑土木建设有限公司

济南金诺公路工程监理有限公司

山东省建筑科学研究院有限公司

北京中岩大地科技股份有限公司

山东鼎信岩土科技有限公司

内蒙古大学

民航机场规划设计研究总院有限公司

华北水利水电大学

济南市交通工程质量与安全中心

青建集团股份公司济南公司

主要起草人员：张占奎 周 冲 沈 缤 张思峰 周广泉

 何东林 刘 波 和西良 梁汝鸣 王庆忠

李 珂 管 飞 崔春雷 刘俊伟 冯凌云

刘 涛 李金星 卜发东 李 军 王 勇

吴 彪 常建梅 何 容 陈崇欣 张 懿

郝登朋 侯忠成 王德洪 郭春生 李宏伟

薛永恒 孙永华 许福强 刘光庆 范 芳

张文星 卢留英 何 鹏 肖风刚

主要审查人员：

目 次

[1 总 则 1](#_Toc175933421)

[2 术 语 2](#_Toc175933422)

[3 基本规定 4](#_Toc175933423)

[4 设 计 5](#_Toc175933424)

[5 施工 7](#_Toc175933425)

[5.1 一般规定 7](#_Toc175933426)

[5.2 施工要求 7](#_Toc175933427)

[5.3 施工机械及机具 9](#_Toc175933428)

[6 质量检验与工程验收 10](#_Toc175933429)

[6.1 质量检验 10](#_Toc175933430)

[6.2 工程验收 11](#_Toc175933431)

[本标准用词说明 13](#_Toc175933432)

[引用标准名录: 14](#_Toc175933433)

[条文说明 15](#_Toc175933434)

 Contents

[1 General provisions 1](#_Toc175933571)

[2 Terms 2](#_Toc175933572)

[3 Basic requirements 4](#_Toc175933573)

[4 Design 5](#_Toc175933574)

[5 Construction 7](#_Toc175933575)

[5.1 General requirements 7](#_Toc175933576)

[5.2 Construction procedure 7](#_Toc175933577)

[5.3 Construction euqipments and machine 9](#_Toc175933578)

[6 Inspection and acceptance of quality 10](#_Toc175933579)

[6.1 inspection 10](#_Toc175933580)

[6.2 Acceptance of construction quality 11](#_Toc175933581)

[Explanation of wording in this specification 13](#_Toc175933582)

[List of quoted standards 14](#_Toc175933583)

[Addition:explanation of provisions 15](#_Toc175933584)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范液压快速夯实地基的设计、施工和质量检验与工程验收，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于工业与民用建（构）筑物、市政、交通、机场、港口等工程的浅层地基液压快速夯实处理的设计、施工和质量检验与工程验收。

**1.0.3**  液压快速夯实设计与施工，应强化质量控制与管理，满足工程设计要求，并应符合因地制宜、就地取材、节约资源的原则。

**1.0.4** 液压快速夯实地基的设计、施工和质量检验与工程验收除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术 语

**2.0.1** 液压快速夯实 rapid hydraulic compaction RHC

借助液压油缸驱动重锤，产生高频率冲击能处理地基的施工方法。

**2.0.2** 有效加固深度 effective reinforcement depth

夯后地基强度或加固指标达到设计要求的深度。

**2.0.3** 单击夯击能 energy of single rammer

液压夯锤在液压油缸有效行程驱动下所具备的夯击能量。

**2.0.4** 夯击次数 tamping times

对单个夯点连续或分遍施加的累计夯击次数。

**2.0.5** 夯击遍数 number of dynamic compaction

对夯点采取分遍夯击或采取隔行、隔点夯击方式的遍数。

**2.0.6** 布点间距 points setting spaces

处理范围之内所布置夯点的相邻距离。

**2.0.7** 夯点间距 tamping points spaces

实施夯击时的夯点间隔距离。

**2.0.8** 满夯 full tamping

用低于点夯的能量对地基表层进行最终处理的方法。

**2.0.9** 平均夯沉量 settlement of dynamic compaction

夯前夯后场地平均高程之差。

**2.0.10** 锤脚直径 static pressure of foot diameter

 液压夯锤下部与地基土接触的铁跕直径。

**2.0.11** 扰动层 disturbance layer

满夯后地基表面呈松散状态的表层土。

**2.0.12** 间隔时间 intervals of each time and aging time

两遍夯击之间或从竣工到检测的时间间隔。

# 3 基本规定

**3.0.1** 液压快速夯实法适用于处理碎石填土、杂填土、素填土、砂土、粉土，一般黏性土、湿陷性黄土等地基。

**3.0.2** 液压快速夯实可用于对振动有限制的建（构）筑物地基的浅层处理，深基坑及室内外填土夯实以及市政、机场、港口，铁路、公路路基的浅层加固等工程。

**3.0.3** 当施工振动对邻近建（构）筑物、精密仪器设备以及施工中的工程结构等产生影响时，应评估振动对周边环境的影响程度，明确施工安全距离和减振措施，必要时应设置监测点。

**3.0.4** 对于饱和黏性土或软弱土，宜铺填一定厚度的粗颗粒材料或采用夯坑内填料的方法施工。

**3.0.5** 地下水位较高时，应采取降低地下水位的措施，地下水位低于起夯面不少于1.5m。

**3.0.6**  采用桩基的湿陷性黄土、填土、可液化土地基，可先期采用液压快速夯实法进行预处理。

# 4 设 计

**4.0.1** 液压快速夯实加固地基的设计，应根据被加固地基土质类别和深度、基础形式和上部荷载对地基压力及变形要求，确定夯实后地基承载力特征值和有效加固深度。

**4.0.2** 应通过试夯确定施工方案、工艺参数的适用性和处理效果，并根据试夯结果优化施工方案和工艺参数等。试夯区数量应根据场地的复杂程度、建筑规模及建筑类型确定，试夯区应具有代表性，其面积不宜少于100m2和5×5排夯点。

**4.0.3** 点夯能量应根据加固深度及土质类别等条件确定，满夯能量宜为点夯能量的1/2，并不小于36kJ。

**4.0.4** 液压快速夯实地基有效加固深度，应根据现场试夯或地区经验确定，在缺少资料或经验时，可按表4.0.4推荐的参数选择。

**表4.0.4 液压快速夯实地基有效加固深度预估值（m）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单击夯击能*E*（kJ） | 填土地基（碎石填土、杂填土、素填土、砂土等） | 天然地基（粉土、一般黏性土、湿陷性黄土等） |
| 36/42 | 1.5~2.0 | 1.2~1.5 |
| 60 | 2.0~3.0 | 1.5~2.5 |
| 84 | 3.0~4.0 | 2.5~3.5 |
| 108 | 4.0~5.0 | 3.5~4.5 |
| 150 | 5.0~6.5 | 4.5~6.0 |

**4.0.5** 点夯的夯击次数应通过试夯确定，单夯点最低累计夯击次数不宜少于30击。

**4.0.6** 夯击点位置可根据基础底面形状，采用等边三角形、等腰三角形或正方形布置。

**4.0.7** 夯点间距宜为锤脚直径的1.5倍～2.0倍，低能级夯点间距宜取小值，高能级夯点间距宜取大值。

**4.0.8** 液压快速夯实处理范围应大于建筑物基础范围，每边超出基础外边缘的宽度，宜为基础下设计处理深度的1/2到2/3，且不应小于3m；对于可液化地基，基础边缘的处理宽度不应小于5m；对湿陷性黄土地基，应符合现行的国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025的有关规定。

**4.0.9** 液压快速夯实地基变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007有关规定。当受力层范围内存在软弱下卧层时，尚应验算下卧层的地基承载力和变形，并应进行地基沉降观测。

# 5 施工

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 液压夯锤的锤芯重量、夯击能量应符合设计要求。

**5.1.2.** 应根据岩土地质勘察资料、设计文件等编制施工组织设计，向施工人员进行技术、质量安全交底。

**5.1.3** 施工前，应查明场地内外、地上地下建(构)筑物和各种地下管线的位置及埋深等，必要时应采取有效的保护措施。

**5.1.4** 加固深度较小的杂填土、素填土、砂土、碎石填土等可按点夯、滿夯各一遍的方法施工；加固深度较大的填土、湿陷性黄土，粉土、黏性土等，可采取隔点或隔行的方法施工；对于含水量较高的黏性土，应采取多遍点夯的方法施工。

**5.1.5** 起夯面高程应根据设计基底高程、夯沉量和夯后保护层厚度综合确定。

**5.1.6** 在靠近建(构)筑物处理回填土时，锤脚边缘与墙、柱的安全距离为0.5m～1.5m，低能级安全距离可取小值，高能级安全距离宜取大值。回填土分层的厚度宜薄、能量宜小、夯击次数宜少，应对墙、柱进行变形观测。

## 5.2 施工要求

**5.2.1** 液压快速夯实施工应按下列步骤进行：

1 平整施工场地至起夯面高程，按夯点布置图测放夯点位置。

2 夯机就位，夯锤中心线置于夯点中心。

3 启动夯锤，按设计规定的夯击次数及控制标准，完成单个夯点的夯击。

4 换夯点，按上述步骤逐次完成全部夯击次数和夯击遍数。

5 夯坑推平，用不低于点夯1/2的能量满夯。

6 施工结束后应测量场区平均夯沉量。

**5.2.2** 施工时，应检查并记录夯锤落距、夯击频率、锤击次数、夯击位置偏差和夯坑深度及夯点最终10击平均每击夯沉量。

**5.2.3** 停锤标准应以控制锤击数为主，以控制最终10击平均每击夯沉量为辅。最终10击平均每击夯沉量按不超过2cm～4cm控制，干硬性土质取低值，含水量较高的土质取高值。

**5.2.4** 对于饱和黏性土，两遍夯击间隔时间不宜少于14d~21d；对于非饱和黏性土、粉土、湿陷性黄土，间隔时间不宜少于7d；渗透性较好的碎石填土、杂填土、砂土等，可连续夯击。

**5.2.5** 滿夯的夯击次数不宜低于6击～9击，并使锤脚互相叠压1/4直径。滿夯时的锤脚直径宜大于点夯。

**5.2.6** 夯坑较浅时可采取一遍满夯，当夯坑较深时应提高满夯击数或采取两遍满夯。

**5.2.7** 在确定夯击面高程时，应综合考虑场地平均夯沉量和保护层厚度，场地平均夯沉量应通过试夯确定，可按20cm～50cm控制；夯后地基的保护层厚度可按20cm控制。

**5.2.8** 冬雨期施工应制定冬雨期施工措施，并应符合下列规定：

1 冬期地表有冻层时，应适当增加夯击次数。

2 雨期施工应当采取有效的防、排水措施。

**5.2.9** 夯后地基严禁轮式车辆碾压。

## 5.3 施工机械及机具

**5.3.1** 液压快速夯锤可按表5.3.1进行选型。

表5.3.1 夯锤参数表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | 单 位 | 轻型 | 中型 | 重型 |
| 额定夯击能 | kJ | 36 | 42 | 60 | 84 | 108 | 150 |
| 锤芯质量 | t | 3 | 3.5 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| 锤芯最大行程 | m | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.5 |
| 夯击频率 | 次/min | 30~50 |
| 锤脚直径 | m | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.5 |
| 夯锤总质量 | t | 5.8 | 6.3 | 8.8 | 11.9 | 14.6 | 16.5 |

**5.3.2** 夯锤底端应设置铸造或由钢板组合焊接的锤脚；夯锤与锤脚之间应设置锤帽；锤脚与锤帽内设置弹性锤垫；锤脚和弹性锤垫的强度和耐打性应满足施工要求。

**5.3.3** 液压夯锤应与液压挖掘机、履带式起重机、装载机或其他专用设备配套；应根据所需夯击能量选用合适的主机功率，其主机液压系统的压力和流量应满足驱动夯锤施工要求。

**5.3.4** 根据工程规模，配备相应数量的推土机等。

# 6 质量检验与工程验收

## 6.1 质量检验

**6.1.1** 液压快速夯实地基检测应符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB50202的有关规定。液压快速夯实地基检测时间间隔应符合下列规定：

1 对于饱和黏性土地基，间隔时间宜为28d。

2 对于非饱和黏性土、粉土、湿陷性土地基，间隔时间宜为14d。3 对于碎石填土、杂填土、砂土地基，间隔时间宜为7d。

**6.1.2** 液压快速夯实地基应进行地基承载力、加固深度和均匀性检测。地基承载力应根据静载荷试验并结合其它原位测试方法综合确定。加固深度和均匀性可采用动力触探或标准贯入试验等原位测试以及室内土工试验。检测深度应大于设计加固深度。

**6.1.3** 地基承载力检测数量，应根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定。对于简单场地上的一般建筑物，单位工程检测数量为每500m2不应少于1点，且总点数不应少于3点；对于复杂场地或重要建筑地基应增加检测数量。地基均匀性检测数量，对于简单场地上的一般建筑物，每400m2不少于1个检测点，且不应少于3点；对于复杂场地或重要建筑地基，每300m2不少于1个检验点，且不应少于3点。

**6.1.4** 检测点应按均匀、随机原则布置。

**6.1.5** 场道路基、码头堆场等的检测数量应遵照相关规范执行。

## 6.2 工程验收

**6.2.1** 液压快速夯实地基施工质量检验标准应符合表6.2.1的规定。

表6.2.1 液压快速夯实地基质量检验标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  项 | 序 | 检 查 项 目 | 允许值或允许偏差 | 检 查 方 法 |
| 单位 | 数值 |
| 主控项目 | 1 | 地基承载力 | 不小于设计值 | 静载试验 |
| 2 | 处理后地基土的强度 | 不小于设计值 | 原位测试 |
| 3 | 变形指标 | 不小于设计值 | 原位测试 |
| 4 | 加固深度 | 不小于设计值 | 原位测试 |
| 一般项目 | 1 | 冲击能量 | kJ | ±5.0% | 检查油缸行程 |
| 2 | 夯击遍数 | 不小于设计值 | 计数法 |
| 3 | 夯击顺序 | 设计要求 | 检查施工记录 |
| 4 | 夯击击数 | 不小于设计值 | 计数法 |
| 5 | 夯点位置 | mm | ±100 | 用钢尺量 |
| 6 | 夯击范围(超出基础范围距离) | 设计要求 | 用钢尺量 |
| 7 | 前后两遍间歇时间 | 设计要求 | 检查施工记录 |
| 8 | 最后10击平均夯沉量 | 设计值 | 水准测量 |
| 9 | 场地平整度 | mm | ±100 | 水准测量 |

**6.2.2** 液压快速夯实地基施工质量验收应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；验收应按主控项目和一般项目验收。

**6.2.3**  施工前及施工过程中所进行的检测项目应制作表格，并应做相应记录校审存档；主控项目的质量检验结果必须全部符合检验标准，一般项目的验收合格率不得低于80%。

**6.2.4** 液压快速夯实地基施工资料应符合《建筑工程施工资料管理规程》JGJ/T 185有关规定，竣工验收时应提交下列资料：

1 岩土工程勘察报告；

2 设计文件、图纸会审记录和技术、质量、安全交底资料；

3 测量放线方案及记录；

4 施工组织设计及专项施工方案；

5 施工记录、施工日志、工程照片及施工单位自查评定报告；

6 监测资料；

7 隐蔽工程验收资料；

8 检测与检验报告；

9 竣工平面图和竣工报告

**6.2.5** 液压快速夯实地基承载力和加固深度必须满足设计要求。当不满足设计要求时应采取补夯措施或采取其它方法处理。

# 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1）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”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4）表示稍有选择，在一定条件下可以这样做的用词：采用“可”。

2 标准中指明应按其他有关标准执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

# 引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本使用本标准；不注日期的，其最新版适用于本规程。

1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007

2 《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB 50025

3 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202

4 《建筑工程施工资料管理规程》JGJ/T 185

 5 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

中国工程建设标准化协会标准

液压快速夯实地基技术规程

Technical specification for rapid hydraulic compaction of foundation

**T/CECS XXX—202X**

# 条文说明

目 次

[1 总 则](#_1__总) 17

[3 基本规定 18](#_Toc175933423)

[4 设 计 22](#_Toc175933424)

[5 施工 26](#_5__施工)

[5.1 一般规定 26](#_Toc175933426)

[5.2 施工要求 27](#_Toc175933427)

[5.3 施工机械及机具 30](#_Toc175933428)

[6 质量检验与工程验收 32](#_6__质量检验与工程验收)

[6.1 质量检验 32](#_6.1__质量检验)

[6.2 工程验收 33](#_6.2__工程验收)

# 1 总 则

**1.0.1** 本条规定了标准制定的宗旨。液压快速夯实法是介于浅层加固（如冲击碾压）和深层加固（强夯法）之间的一种新工艺，适用于中、浅层地基处理。与冲击碾压比较，其加固深度大；与传统强夯法比较，其具有施工振动小、加固范围内地基土密实度高、加固效果好的特点，被工程界广泛接受。实践证明，液压快速夯实技术是一种经济、高效的解决方案，符合国家节能减排、绿色环保产业政策。为进一步推广应用该技术，规范其设计、施工和质量检验与工程验收，特制定本标准。

**1.0.2** 本条明确了标准适用的范围。除了标准列出的适用工程范围，其他工程领域也可参考使用。

**1.0.3** 本条规定了液压快速夯实地基质量管控应遵循的原则。强调了施工过程中质量控制与管理。并应遵循因地制宜、就地取材、节约资源的原则。

**1.0.4** 本标准涉及的国家现行标准有《建筑地基基础设计规范》 GB 50007、《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB 50025、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202、《建筑工程施工资料管理规程》JGJ/T 185等。在执行本标准过程中，应同时符合上述国家现行标准的规定。

# 3 基本规定

**3.0.1** 山东省机械施工有限公司自2017年引进开发液压快速夯实技术，先后处理了碎石填土、杂填土、素填土、砂土，非饱和的黏性土、湿陷性黄土、吹填的粉土等地基。通过80多项工程的应用证明，该项技术的适用范围广、加固效果好，并积累了丰富的数据和经验。对于饱和黏性土，采取换填一定厚度的粗颗粒材料或在夯坑内填料的方法施工，加固效果也很好。

**3.0.2** 液压快速夯实方法的锤重小、落距低，大大降低了对周边环境的振动影响，而且因体型小、机动灵活、移动方便，可在狭小场地和室内及靠近建筑物施工，夯击过程振动小、侧向挤压效应低，安全环保。当强夯施工振动对周边环境影响较大被限制采用时，液压快速夯实地基可作为一种浅层处理的替代方法。

**3.0.3** 虽然液压快速夯实的振动影响大大低于强夯，但夯实过程还是会引起瞬时型的点源振动，当工程周边有对振动高度敏感的精密设备仪器或学校、医院时，可依据《建筑工程容许振动标准》GB50868有关规定，根据被保护对象类别在不同振动频率条件下的安全允许质点振动速度，确定地面安全振动安全距离。必要时可设置振动监测点，通过夯击振动观测分析振动衰减规律，评价减振效果，提出工程的最小安全振动距离和减振措施。

以济南唐冶热源厂热水锅炉车间地基液压快速夯实工程的振动检测为例：场区地层为黄土，夯击能108kJ，实测夯点距已建成厂房外墙为4.0m，距厂房钢结构基础为10.m，经测试在振动频率12.5HZ~17.54HZ条件下，振动速度分别为9.8mm/s和2.3mm/s，以工业和公共建筑对振动的容许值24mm/s为标准，振动安全距离可按4m控制。再例，党家街道中邮物流园项目，场区地层为素填土，厚3m~4m，夯击能分别为108kJ和54kJ，对比夯击能量2000kN.m的普通强夯，距发振点不同距离的检测数据列入表1和图1、图2。

检测结论如下:

1 距测振点10m以上，108kJ液压快速夯实的振动速度是2000kN.m强夯的1/5；

2 根据对居住建筑振动容许值12mm/s的标准，108kJ快速液压夯夯击能的安全距离可定为10m。

表1 党家街道中邮物流园项目液压快速夯与强夯的对比振动检测结果（mm/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 距离 | 5m | 10m | 15m | 20m | 30m | 40m | 50m | 60m |
| 2000kN.m强夯 | 71.68  | 55.11  | 27.45  | 25.39  | 7.60  | 5.20  | 2.63  | 2.83  |
| 主频(Hz) | 14.88  | 29.07  | 23.15  | 17.36  | 12.89  | 11.23  | 10.60  | 11.00  |
| 2000kN.m柱锤夯 | 25.59  | 9.26  | 6.64  | 5.33  | 2.71  | 2.93  | 2.50  | 1.18  |
| 主频(Hz) | 28.40  | 16.89  | 16.67  | 14.61  | 10.00  | 11.45  | 12.00  | 13.00  |
| 108kJ液压夯 | 42.25  | 11.89  | 5.82  | 2.45  | 1.88  | 1.08  | 0.80  | 0.58  |
| 主频(Hz) | 17.24  | 36.23  | 36.0  | 22.32  | 16.13  | 18.94  | 17.63  | 16.02  |
| 54kJ液压夯 | 15.93  | 7.01  | 4.73  | 2.09  | 1.31  | 1.00  | 0.60  | 0.57  |
| 主频(Hz) | 24.76  | 30.48  | 29.76  | 25.42  | 19.38  | 13.37  | 14.00  | 16.00  |

图1 主频检测结果折线图

图2 振速检测结果折线图

**3.0.4** 当浅层土含水量较高、实施夯击较困难时，可换填一定厚度的粗颗粒材料可改善夯击效果，亦可采取向夯坑内填料的方式夯击。填料可采用天然级配的碎石、卵石、煤矸石、工业矿渣、建筑渣土等坚硬粗颗粒材料，最大粒径不宜超过锤脚直径的1/5。填料中的含土量不宜大于20%；建筑渣土中有机物的含量不宜超过3%。当采用工业矿废渣时，不得含有对地下水和土壤有污染的成分。

**3.0.5** 地下水位较高时，会影响夯实效果，应采取降低地下水位的措施。经降水后可大大降低土的液化程度和提高夯实效果。降水可采用轻型井点或管井降水形式，其具体设计应符合相关规范的规定。

**3.0.6**  对湿陷性黄土、欠固结土、可液化土地基，采用液压夯先期处理的目的是减轻或消除湿陷、振陷、液化等对桩基产生的有害负摩擦力问题，同时可解决填土地基中施工钻孔灌注桩的塌孔等问题。

# 4 设计

**4.0.1** 液压快速夯实地基承载力特征值和加固深度是衡量液压快速夯实加固效果的两个主要指标。夯后地基承载力的高低与被夯土层的性质有关，如对于碎石土、中粗砂、建筑渣土及非饱和黏性土等，夯后承载力特征值一般比较高；对于饱和黏性土，夯后地基承载力特征值提高的幅度较低。加固深度主要取决于夯击能的高低和夯击次数的多少，加固深度越大所需夯击能越大、夯击次数越多。当夯击能和夯击次数相同时，填土的加固深度大于正常固结的原状土；当采用的夯击能和夯击次数不能滿足加固深度时，应采取分层夯实方法。

**4.0.2** 考虑到地基土的复杂性，正式施工前应进行试夯。试夯应满足以下要求：

1 根据地基土性质、设计要求和设备等条件，宜采用不同的施工工艺和参数。

2 试夯施工应观测记录夯点的累计夯击次数、累计夯坑深度、地面隆起量、相邻夯坑的侧挤情况、夯后地面平均沉降量以及最终10击平均夯沉量，绘制夯击次数N和累计夯沉量S关系曲线。

3 通过试夯前后地基加固效果的对比检测，应明确夯击工艺参数，包括夯击能量、单点夯击次数和夯击遍数，确定布点间距及布点形式，起夯面高程，场区平均夯沉量，停锤标准，遍间隔时间等。提出施工质量控制手段和标准。评价夯击施工振动、侧向挤压对周边建（构）筑物和环境的影响，确定工程的最小安全振动距离和减振措施。

4由于液压夯锤脚直径较小，一般为1.0m～1.5m，正方形布点的夯点间距一般为2.5m，参考强夯法的试夯面积，确定试夯区的面积宜为100m2和5×5排夯点。当地质条件和设计要求类同时，在有经验的地区，可不进行专门试夯，直接采用成熟的施工工艺和参数。

**4.0.3** 大量的试验研究和实测工程资料证明，在土质类别和工艺参数一定条件下，其加固深度是有限的。要增大加固深度就必需提高夯击能。加固深度取决于夯击能、夯击次数、夯点间距、锤脚直径、夯击频率、地基土性质、被加固土层的厚度以及地下水位埋深等因素。鉴于夯击能与有效加固深度之间关系的复杂性，点夯能量应根据加固深度、土质类别，并结合现场试夯情况或当地施工经验确定。

液压快速夯实点夯夯坑深度一般在0.5m～2.0m范围，为保证夯坑推平后，满夯能够将夯坑内的填土加固到底，满夯能量宜为点夯能量的1/2，并不小于36kJ。

**4.0.4** 为便于工程采用，本标准依据当前工程实测资料按填土地基和天然地基两类土质，提出了不同等级夯击能加固深度的参考值。应当指出该加固深度是在达到一定夯击次数后才能实现，并强调应通过试夯验证。初步设计时可参考本标准表4.0.4推荐的参数确定夯击能量。

**4.0.5** 基于工程实践和液压夯锤的施工工艺特点，本标准给出了最低30击的下限。夯击次数的上限应通过现场试夯确定。以济南世纪开元创意产业园项目为例，地基类型为湿陷性黄土，设计加固深度4m，采用单击夯击能108 kJ，夯板直 1.5 m，距夯板边缘外侧0.35 m沿圆周均匀布置6个沉降观测标，第1点埋深1.5 m，其余观测点埋深按0.5 m递增，第6点埋深4.0 m。观测每10击各沉降标的沉降量，并绘制累计沉降量曲线图。沉降观测结果见图3。

图3 累计沉降量曲线图

从各沉降观测标累计沉降量曲线图可以看出：（1）夯击数在0～50击时，沉降观测标每10击的平均沉降量在5 mm；50击以后曲线的斜率降低、沉降量减少，每10击的平均沉降量在2～3 mm。（2）冲击荷载所能达到的深度，第10击时达到1.5 m，10击以后开始向深部土层传递。60击以后，深度1.5 m处沉降标累计沉降量开始降低，说明该处土层开始上翻隆起，导致沉降标上浮。（3）夯击次数与加固深度和加固效果有关，加固深度随夯击次数增加而增大。

**4.0.6** 夯点位置可根据基底平面形状进行布置。对于某些基础面积较大的建筑物或构筑物，为便于施工，可按等边三角形或正方形布置夯点；对于办公楼、住宅建筑等，可根据承重墙位置布置夯点，一般可采用等腰三角形布点，这样保证了横向承重墙以及纵墙和横墙交接处墙基下均有夯击点；对于工业厂房来说，也可以按柱网来设置夯击点。

**4.0.7** 处理范围之内所布置夯点之间的相邻距离为布点间距。如果布点间距过大、布点密度偏低，将会影响到加固均匀性。若布点间距偏小，会发生因夯点间应力交叉导致群夯效应。实践证明按锤脚直径的1.5倍~2倍布置夯点间距一般是能够滿足要求。夯点的布置密度不宜低于处理面积的30%。

**4.0.8** 液压快速夯实地基的处理范围，参照了现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79有关强夯处理范围的规定。

**4.0.9** 液压快速夯实地基属于浅层加固，当加固深度以下存在软弱下卧层时，应按有关规定验算下卧层的地基承载力和变形。

# 5 施工

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 夯击能量是决定液压快速夯实地基加固深度的关键参数，而夯击能量的大小又决定于液压夯锤锤芯重量和行程，故施工前应检查液压夯锤锤芯重量及夯锤行程是否符合要求。

**5.1.2** 施工人员应在施工前学习有关标准规范，详细研究设计文件、技术要求及岩土工程勘察资料，熟悉测量放线的有关资料。

施工组织设计应根据现行国家标准《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502和设计技术要求编制。应明确主要的施工方法和施工参数，其工艺参数包括：夯击能量、夯击次数和夯击遍数、夯点间距及布点图、布点图、起夯面高程、遍间歇时间等。向施工人员进行技术、质量交底的内容包括施工参数、技术要求、质量标准、施工步骤方法、关键工序控制、质量通病预防措施等。所有参加施工的管理人员和技术工人都必须接受相关培训，持证上岗。

**5.1.3** 施工前应详细调查施工场区内外的地下（及地上）构筑物和各种管线的位置、埋深，必要时应采取探查措施，以避免施工对其造成损坏。临近既有建筑物、精密仪器设备以及土建施工砌筑、浇灌混凝土施工时，应事先评估夯击产生的振动影响，必要时应设置监测点，并采取挖隔振沟等减振措施。一般隔振沟的深度为2m~3.0m，隔振沟长度一般超出被保护建筑两侧。

**5.1.4** 为降低群夯效应、增大加固深度，工程中常采取分遍点夯工艺，即在夯击方式上分主夯点及插夯点，在工艺流程上先夯主夯点，后夯插夯点；对于非饱和黏性土、湿陷性黄土等，加固深度较浅时，可采取一遍点夯工艺；对于较松散的填土，因夯击过程中的夯坑过深，可对夯点采取分遍夯击方式；对于饱和黏性土，为有利于孔隙水压力消散，应采取多遍夯方式。

**5.1.5** 确定起夯面高程时应根据设计基底高程，先预估场地平均沉降量和保护层厚度。

**5.1.6** 当在钢筋混凝土结构的建筑物室内外进行夯实时，为了控制侧挤对墙柱的影响，应采取减小分层回填土的厚度、降低夯击能量和夯击次数的措施，避免对墙、柱的结构造成损伤。液压夯施工振动较小，安全距离主要考虑侧挤效应对建(构)筑物的影响。根据实际工程经验，距夯板边0～0.5m，地基土干密度增长25%以上，挤密效果明显；距夯板边0.5～1.0m，干密度增长10%～25%，密实度明显改善；距夯板边1.0～1.5m，干密度增长不足10%，挤密效果不明显，物理力学特性改善较小；距夯板边1.5～2.0m，密实度与原状土相近，物理力学特性基本无变化。

## 5.2 施工要求

**5.2.1** 按施放的夯点位置液压夯锤就位后，可按设置好的参数进行夯击。液压夯锤的夯击能量可按高、中、低三档根据需要分别设置。当在软弱松散的土层上施夯时，为防止发生空打现象，对液压夯锤造成损害，开始阶段2～3击设定的油缸行程不宜过大，待松散土层基本密实具有一定强度后，再将油缸行程调至最大。施夯时宜采用扇形作业方法，每次左、中、右三点，再进行下排施夯。在基槽内施夯时，应先夯基槽两侧，再夯中间。应记录单个夯点的累计夯击次数和夯坑深度、最终10击平均夯沉量和场地平均夯沉量。当夯坑较深但无明显隆起且尚未达到停锤标准时，可将夯坑填平后继续在原点夯击；当夯坑周边隆起较大或夯坑较深时，宜采取原点分遍夯击方式；如果发现局部区域过软，可开挖换填场地内含水量较低的原土或粗颗粒土后再夯。

**5.2.2** 根据液压快速夯实频率高的特点，测量每击夯沉量实施困难，本条提出以控制最终10击的平均夯沉量为停锤标准。施工过程中如发现偏差过大或漏夯应及时纠正、补夯。

**5.2.3** 当夯击能确定后，加固深度主要由夯击次数来实现，加固深度随夯击次数增加而增大，因此应以控制夯击次数为主，以控制最终10击平均夯沉量为辅，施工中应保证夯击次数达到设计要求。对于碎石土、砂土及含水量接近最佳含水量的素填土，当夯点最终10击平均夯沉量偏大且夯坑周围无明显隆起时，应增加夯击次数，直至最终10击平均夯沉量达到不超过8mm～10mm的控制标准。对于饱和黏性土、含水量偏高的湿陷性黄土，当最终10击平均夯沉量达不到控制标准时，应采取晾晒并多遍夯方式，保证单点累计夯击次数达到设计要求。

**5.2.4**  两遍夯击之间应有一定的时间间隔，长短取决于土中超静孔隙水压力的消散程度。因液压快速夯实地基与强夯地基在加固原理上类同，本标准参考了强夯地基的有关规定。

**5.2.5** 满夯的目的主要是处理点夯之间未夯到的土和填入夯坑内的虚土，如处理不好，将会增加建筑物的沉降和不均匀沉降。由于液压快速夯实的能量不大，因此要求满夯夯击能不低于点夯的1/2，并要求击数不低于6击～9击。

**5.2.6** 当夯坑较浅时可采取一遍滿夯处理，满夯时锤脚直径宜大于点夯，以提高滿夯施工效率。当夯坑较深时应提高满夯击数或采取两遍滿夯，第一遍滿夯可按点夯的位置夯实坑中的虚土，夯击次数宜为3击~5击，然后按锤脚互搭方式进行第二遍滿夯。当处理的面积较大时，经试验亦可采取碾压方法代替满夯处理表层土，碾压方法应确保将夯坑内回填的虚土碾压密实。

**5.2.7** 场地平均夯沉量与土质类别、单击能量、夯击次数、布点间距等有关，应通过试夯或根据施工经验确定夯沉量。保护层的作用是冬期防冻、雨期防雨，一般厚度为20cm，将其清理掉可直接做基础的垫层。对于碎石土、杂填土地基，去除保护层时会产生新的扰动，可不留保护层，用砂石找平碾压。

**5.2.8** 本条规定了冬雨期施工要求：

**1** 冬期施工当气温低于冰点时，地表浅土层会发生冻结，冻层的存在会消耗夯击能，影响加固深度。当有冻土层时，应增加夯击次数，将冻土层击穿，冻土层被击穿前的夯击数不应计入总夯击次数。冬期施工应及时推填夯坑并及时满夯，为保证满夯效果，不得将大块冻土填入夯坑内，并适当增加滿夯能量和夯击次数。冬期对暂不施工的夯后地基，宜在地面铺填一定厚度的虚土防冻，填土厚度不宜小于当地冻结深度。

**2** 雨期施工场地应做出排水坡度和排水沟，使降水迅速汇集并排走。有条件时可采取覆盖措施，防止雨水渗透到土层中。

**5.2.9** 含水量较大的黏性土地基，夯后场地经轮式车辆碾压，易发生“橡皮土”现象，因此应禁止此类情况的发生。

## 5.3 施工机械及机具

**5.3.1** 液压快速夯实与传统强夯的不同点在于作用力由三部分组合：首先是夯锤提升至一定高度后其质量所具有的重力加速度势能，其次在液压油缸和蓄能器的共同作用下使夯锤加速下落、转换为向下的冲击力，另外还可将液压挖掘机或装载机的部分重量施加于夯锤体，使三种力的组合作用共同施加于地基土。液压快速夯实的冲击峰值虽小，但连续夯击的频率高且持续的时间长，能量释放充分，具有夯锤的运动轨迹平稳、落锤点准确、夯击频率高、夯实效果好的特点。液压锤提供了自动监测控制系统，可进行自动作业记录。液压锤最大工作行程时的夯击频率应符合表5.3.1的参数范围。对于单台液压锤，其夯击能量分高、中、低三档，可根据工程实际情况设定。

**5.3.2** 锤脚的作用主要是将夯锤的冲击能量传导给地基土，锤脚应具备一定的抗击打强度，应尽量采用铸造锤脚；夯锤与锤脚之间设置锤帽，夯锤的冲击力通过锤帽传递至锤脚；锤垫的主要作用是减缓冲击反作用力对夯锤自身的损害，并可降低冲击产生的噪声，锤垫应由弹性材料制作，属于易损件，施工中根据损坏程度应及时更换。

**5.3.3** 与液压夯锤配套的主机应优先选用液压挖掘机、履带式起重机或轮式装载机。主机型号、功率等选择应与液压夯锤的总质量、额定压力、流量等相配套。例如108kJ的夯锤可与460型挖掘机配套，36kJ的夯锤可与50型装载机配套。辅助设备一般为推土机，压路机等。

# 6 质量检验与工程验收

## 6.1 质量检验

**6.1.1** 碎石土、砂土不存在孔隙水压力消散问题，夯后地基强度随即提高，因此间隔时间可以适当缩短；因饱和黏性土的孔隙水压力消散时间比较长，夯后地基强度随着时间的增长缓慢，因此，应在间隔一定时间后方可进行检测。本条参考了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定。

**6.1.2** 液压快速夯实地基承载力的检测应以静载荷试验为主；加固深度和均匀性检测可采用动力触探、标准贯入试验以及室内土工试验等方法。对于碎石土、杂填土等粗颗粒地基，宜采用重型或超重型动力触探方法；对于可液化的粉细砂、粉土和一般黏性土、素填土等地基，宜采用标准贯入方法；对于湿陷性黄土地基，应采用探井取原状土样做室内土工试验。

**6.1.3** 液压快速夯实地基静载荷试验及其他试验检测点的数量，参照了国家现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79；《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202、《建筑地基检测技术规范》JGJ 340的有关规定。

## 6.2 工程验收

**6.2.1** 液压快速夯实与强夯的加固原理及施工方法类似，因此液压快速夯实地基的检测标准，参照了现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202；《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定。

**6.2.2** 本条规定了液压快速夯实地基施工质量验收应符合的基本规定和原则。

**6.2.3** 本条取自现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202“基本规定”中的要求。

**6.2.4** 本条规定了液压快速夯实地基施工质量验收应提交的基本施工资料，但在实际验收过程中还应按当地政府质监部门的要求补充、提交。