

爆炸压密法加固饱和砂土的原理及应用设计岩土工程师考试  
PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/580/2021\\_2022\\_\\_E7\\_88\\_86\\_E7\\_82\\_B8\\_E5\\_8E\\_8B\\_E5\\_c63\\_580895.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/580/2021_2022__E7_88_86_E7_82_B8_E5_8E_8B_E5_c63_580895.htm) 把岩土师站点加入收藏夹

1. 引言 饱和砂土地基的处理，在工程中经常遇到，多年的工程实践，已发展有置换法、预压堆载、强夯法和深层搅拌化学固结等方法，均取得了较好效果。但这些方法也同时存在不足之处，如预压堆载法需要大量的土石方，施工作业繁重；真空预压法对密封要求较高，且两种方法的施工周期都在6~8个月，难以满足工期紧迫工程的建设需要。由于爆炸和强夯的荷载性质相近，利用爆炸压密法处理饱和砂土地基是完全可行的，国内外都有研究和应用，也取得了满意的效果，在其他方法施行困难时，应该考虑使用爆炸压密法。爆炸压密法可分为深层药包爆振法、水中悬吊药包爆振法和裸露药包接触爆炸法三种。深层药包爆振法适用于深层压实，应用较广。本文主要对深层药包爆振法进行归纳和论述。

2. 爆炸压密法加固饱和砂土的原理 爆炸压实是一种土壤加密技术，它利用置于松散、饱和、非粘性土壤（以下简称饱和砂土）中的炸药爆炸产生的能量使土壤颗粒重组、构造更为紧密稳定，并将空隙水排出，从而达到土壤的加密。爆炸法加密饱和砂土，其基本过程可以理解为在强动荷载下土体液化和土颗粒重新排列。爆炸荷载与饱和砂土的相互作用主要有四种形式：爆冲击力对砂土的强夯、冲击波在砂土中的传播、爆炸气体与砂土的相互作用以及爆炸荷载产生地震对砂土的震动。爆炸加密饱和砂土的过程首先是爆冲击力强夯的作用将砂土挤密，爆源点形成高压气囊；然后是高压气体扩

散，气囊压力减小，砂土颗粒回落气囊；同时，高压气体使砂土中自由水压力升高，形成超空隙水压力，以及扩散的气体对砂土颗粒的裹附，削弱了砂土的抗剪强度，加之爆炸冲击波和地震力的共同作用，使砂土剪切破坏，颗粒离散，呈游浮状态，砂土液化；最后，液化砂土随着气体压力逐渐减小到零，超空隙水压力消失，颗粒在自重作用下呈加速趋势沉积，重新排列组合，快速排水固结，形成更紧密的结构。整个过程，饱和砂土由固体颗粒和水的二相结构变为固体颗粒、水和气体的三相结构，然后再由三相结构变为二相结构。爆炸荷载的作用改变了土体原有的力学性质，是导致砂体加速固结的主要原因。炸药爆炸加密砂土的能量主要靠爆炸产生的高压气体和冲击波的压缩作用。在砂土中，高压气体对超空隙水压力的产生和砂土的液化起主导作用。据国外资料介绍，在饱和砂土中一个8kg药包爆炸后在附近砂土中产生的超压可达到1000MPa，正压作用时间长达60ms。我国的有关试验表明爆炸引起砂土压实沉降有两个阶段。第一阶段是由于砂土颗粒向气囊回落而引起的表面迅速下叠，在这个短暂的过程中，沉降量的主要部分已经完成；第二阶段是砂土排水固结的缓慢过程，它一般持续好几分钟直至砂土中的超空隙水完全消散为止。

### 3. 爆炸压密法加固饱和砂土的工程特点

#### 3.1 爆炸法加固饱和砂土的适用性

国内外爆炸法加固饱和砂土的试验和工程实践证明，爆炸法对加固饱和砂土有较好的工程前景。自二十世纪30年代美国和前苏联首先获得应用以来，即使在复杂场地及极端气候环境下对饱和砂土加密也均有成功应用，我国深圳妈湾电厂和三峡高土石围堰工程中也取得了实际应用的经验。由于爆炸加固一般不需要大型专

用设备，炸药爆能可以方便地施加与各种介质对象，且加固效果能满足工程需要，经济节约，有广阔的应用前景。在三峡二期工程的现场试验，采用单层群药包深层爆炸法对深水围堰砂砾料抛填堰体进行加密，经1遍或2遍爆炸压实后，平均干容重达到 $1.74 \sim 1.90\text{g/cm}^3$ ，平均相对密度0.73以上，抛填砂均达到了很好的压实效果，满足  $d = 1.7\text{g/cm}^3$ ， $D_r = 0.7$ 的设计指标。爆炸法与振冲法比较，具有人员少、设备简单、效率高和成本低的优点。特别是在生产效率相同的情况下，爆炸法在综合成本上要比振冲法减少约2/3。与振冲挤密试验相比，两种方法在加密质量上达到同等水平，不同之处在于：靠近地表部分振冲法标贯击数大于爆炸法；在靠近砂层底部爆炸法标贯击数大于振冲法，尤其爆炸法能改善下卧淤泥质粘土力学性能，而振冲法由于用高压水射流在交界面附近使泥浆滚翻导致标贯击数的降低。砂土爆炸压实必须具备三个条件：砂土为饱和状态（最佳压密效果的饱和度 $0.8 \leq S_r \leq 0.9$ ）；初始密度小于密度极限（即为可压实土）；砂体原有结构必须得到破坏（即产生液化）。3.2 对爆炸压密法加固效果的影响因素 爆炸压密法施与砂土能量的方式、数量和速度与其它方法不同，具有作用压力高、时间短的特点，其对砂土液化作用过程也具有剧烈、短暂的特征。影响加密效果的因素很多，主要有药量、药包埋置深度、砂土初始密实度等。药包埋置深度对爆炸压密的效果有较大影响。药包埋置深度越大，地表下沉量越大。这是由于爆炸作用使药包上部砂土颗粒产生不同程度的下移运动，药包埋置越深，影响的砂土厚度越大，地表下沉量也就越大。药量是影响爆炸压密效果的关键因素。药量大时爆炸产生的震动就强烈，气

囊压力也较高，就会得到较大的压密量。比药量 $q = Q^{1/3}/h$ 与砂土相对密度的增量  $D_r$ 有下列关系： $D_r = (38.14q^{10.93})e^{-0.057D_r}$  (1) 式中： $D_r$ 为爆前砂土的相对密度。在药量、埋深相同时，小药量多次爆炸压密总效果较好。中国科学院力学研究所燕琳等的试验表明在总药量、埋深相同条件下，爆炸次数 $n = 6$ 时的总下沉量比 $n = 2$ 或 $4$ 时都大。在受到同样爆炸作用的条件下，砂土初始密度越小，地表下沉量就越大。从式(1)可以知道，比药量 $q$ 一定，当砂土有较小的初始相对密度时，所得到的相对密度增量就越大；反之，初始相对密度大，所得到的相对密度增量就小。

#### 4. 爆炸压密法加固饱和砂土的应用设计

##### 4.1 爆炸压密法加固饱和砂土的参数设计

##### 4.1.1 药包的埋置深度与用药量

为了使炸药爆炸产生的能量极大地用于压缩周围的介质，避免或减少介质抛掷或气体冲出而造成有效能量耗散，遵循最大内部作用药包原理，将药包埋置一定深度，爆炸时地表不出现抛掷或鼓包现象，地面只允许出现环状裂缝或塌陷漏斗。按照利氏爆破漏斗理论，炸药用量与埋置深度的关系： $Q = khw^3$  (2) 式中： $Q$ 为炸药用量，kg； $hw$ 为药包埋置临界深度，m；系数 $k$ 与砂的颗粒大小、形状、级配、紧密度有关，同时也和炸药种类、埋置深度有关，可通过爆破漏斗试验确定，一般为0.03 ~ 0.036。实际工程试验表明，将比药量 $q =$ 控制在0.43以下，即可保证爆炸产生的气体不会直接冲出砂面。选取适当的比药量，按式(3)并考虑关系式 $h R_b = h_m$ 即可确定药包的埋置深度 $h$ 和药量 $Q$ 。 $R_b = 5.8Q^{1/3}/h_m^{0.35} \sim 0.8R_a$  (3) 式中： $R_b$ 为药包最小作用半径即药包正下方的压实半径(m)， $h_m$ 为最大压实深度(m)。

##### 4.1.2 炮眼布置、药包形式

炮眼布置一

一般采用梅花形，也可以按矩形布置。药包的间距即钻孔的孔排距一般取为 $a = (1.5 \sim 2.0) R_a$ 。 $R_a$ 为药包的有效作用范围，按下式计算：式中： $P_0$ 为大气压力， $\rho$ 为水的密度， $g$ 为重力加速度， $h$ 为药包处水深， $K$ 为炸药利用常数，取 $K = 0.8$ ， $Q$ 为炸药用量（kg）， $E$ 为炸药能量（J/kg）。亦可按下列经验公式计算： $R_a = 5.8Q^{1/3}h^{-0.35} + 1.3R_b$ ，（ $h < h_0$ ）（5）式中： $R_a$ 、 $R_b$ 及 $h$ 单位为m，药量 $Q$ 单位为kg， $h_0$ 表示压实层厚度。铁道部科学研究院金骥良等的试验采用炮孔间距为120倍药包半径，相当于药包埋置临界深度的0.8倍。在药包的形式上，可以采用集中药包，也可以采用条形药包。条形药包具有能量利用率高、作用均匀、正压作用时间长的特性，适合于加密周围介质。金骥良等在妈湾电厂松散厚砂基的压实试验表明，应用圆柱状药包、间隔装药、瞬间起爆的施工工艺，比上下层集中药包、间隔毫秒起爆的方法，压密效果有显著提高，尤其在压密均匀性上有很大改善，而且使钻爆工程量大为减少，大幅度降低了工程成本。

#### 4.1.3 爆炸压密的起爆顺序

药包的起爆应按先周边后中心的顺序。这样可以使土体受到重复的爆炸作用，增强爆炸压实效果。1~5s的起爆延时，可产生比同时起爆多15~20%的沉降量。顺序起爆也可以减轻爆炸震动对周围环境的影响。压实深度很大时需分层装药起爆，起爆顺序宜从上至下逐层进行，同一层药包顺序起爆，这样能充分利用压力的叠加作用。上下层的起爆时差，应以下层起爆时上一层还处在完全液化状态为原则，这样能减小上覆压力对压实范围的影响，同时也有可能减小深层药包重量或扩大孔排距。设上一层的厚度为 $H$ ，上下层起爆时差应小于0.2倍的压实时间。压实时间按下式计算：式中： $t$ 为压实时间，

为水的容重， $\gamma_s$ 为砂的浮容重， $k$ 为土壤渗透系数， $e_0$ 、 $e_1$ 为压实前后的孔隙率。根据孔隙水压力的大量实测波形，粗砂或砂砾料维持完全液化的时间比细砂或粉砂短许多，故粗砂或砂砾料的起爆时差宜选在几秒之内，一般不大于3s。

#### 4.2 爆炸次数的确定及地表下沉量的计算

砂层厚度 $H$ ，距药包水平距离 $R$ 处地表的相对下沉量为：式中： $s_r$ 为相对下沉量， $s_0$ 为地表下沉量；其他符号意义同上。根据下沉量可以大致确定需要爆炸的次数。研究表明多次爆炸总下沉量较大。但是，随着爆炸次数增多，砂土密实度增大，以后每次爆炸引起的下沉量越来越小，药量和工量都会大幅度增加，总体上也不经济。一般爆炸次数2~5次为宜。每次爆炸的计划下沉量按下式估算： $s_j = i s_{j-1} / 2$  式中： $s_j$ 、 $s_{j-1}$ 分别为本次和前次爆炸的计划下沉量， $i$ 取1.0~1.6。根据总的计划下沉量即可计算出每次爆炸的计划下沉量，再根据式(7)可以确定每次爆炸所需要的药量。

#### 4.3 爆炸压密的辅助措施

##### 4.3.1 对砂土预浸湿 使用爆炸压密法，当砂土含水量低，达不到饱和状态时，应采取预浸湿措施，提高土壤的含水量，使其达到一定的饱和度。预浸湿的控制：含水量达到0.9~1.2倍的土壤塑性极限，或饱和度达到85~90%，最小75%。预浸湿土壤所需要的时间取决于土壤的初始与最终含水量、土壤构造、导水性和所采用的渗水技术，一般需要8~15d。 4.3.2 加速固结的措施 一般固结时间30~90d。如果土壤浸湿后的含水量很高，固结时间会更长。在待固结土壤之上覆盖一层渗水材料，由于覆盖层的附加荷载有助于土壤空隙水的“挤出”，从而缩短固结时间。实施爆炸压密，应采取排水措施，在爆炸区周边开挖排水沟槽，将水引至压实区外，有利于提高固结速度和效果。 5 .

结束语 5.1 足够的技术指导、加固的有效性及对周围环境的影响是选择爆炸压密法加固饱和砂土的制约因素。由于爆炸加固技术工程应用较少，研究尚不全面，为了确定爆炸加固技术的适用性、优化技术设计参数，以期减少工作量和材料消耗，取得理想的压实效果，工程应用中需要同时进行现场试验。 5.2 对存在砾石、细粒土或坚硬覆盖层时其他压实技术不适用的情况下，爆炸压实技术均可应用。但是，爆炸压密法对砂土地表的压实效果不佳，原因是受到地表反射拉伸和爆炸气体空腔上升运动的影响，难以达到中密状态，施工中可与强夯、振冲、堆载预压等方法配合使用。 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)