

爆夯加固法在机场地基处理中的应用

顾强康, 刘伟

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:针对临时应急机场地基快速处理要求,提出了爆夯加固技术。详细分析了爆夯法的加固作用机理,并进行了室内小型爆炸模拟试验和野外大型爆炸试验,通过实验数据分析和理论上的研究,分析了各种施工参数对加固效果的影响,对爆夯法的实践应用和施工技术进行了初步探讨。

关键词:爆夯加固法;机场土基;快速加固;土基处理

中图分类号:V35 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)02-0020-03

永备机场建设存在修建周期长、费用高、不易防护等问题,常常需要几年的时间才能投入使用。在机场工程建设中土基处理所用的时间最长,几乎占整个工期的一半以上,所以土基处理的速度直接影响机场修建的工期。在保证使用质量的前提下,如何提高土基处理速度,尽可能缩短施工时间,在关键时刻能够最大程度地争取时间,是机场建设中首先要考虑的问题。

1 爆夯加固法的作用机理

常用的土基处理方法(如强夯法、砂桩挤密法和堆载预压法等)^[1]在常规机场的土基处理中已发挥了很大的作用。但这些处理方法施工周期较长,需要大型的施工设备,并且加固深度受到一定的限制。针对上述各方法存在问题,本文提出一种适合于机场土基处理的快速加固方法——爆夯加固法。爆夯加固法是利用炸药在竖孔中爆炸产生巨大的爆炸冲击波和高温、高压的爆生气体来挤密周围的土体,减小土基的孔隙比,从而增大土基的承载力和改善土基的抗变形性能。它具有加固速度快、不需大型的施工设备,有效加固深度只受到钻孔设备的限制等优点,是其它常规方法无法比拟的。

爆夯加固法的加固作用机理与强夯法类似。强夯法是利用重锤下落到地面时产生巨大的冲击波和冲击力,使土体受到剪切作用,土颗粒重新排布,以达到压缩振密土基的效果。爆夯加固法是利用炸药爆炸瞬间产生的强大爆炸冲击波以及高温高压的爆生气体等来挤密周围土基,都属于动力固结加固技术。土体在爆炸冲击波作用下产生剧烈变形、产生径向挤压,土的物理力学性质发生显著变化,最终在土体中挤压形成一个爆炸空腔。四周土体的容重增大、孔隙比减小,孔隙水压力急剧增大,达到一定的固结状态。在爆炸产生的高温高压气体作用下,空腔侧壁表面土介质发生剧烈的物理化学变化,生成一层强度很高的硬壳层。腔壁近区土体在巨大的爆炸压力作用下还会出现径向劈拉裂缝,形成良好的排水通道,有利于孔隙水排出和孔隙水压力的迅速消散,有效应力增大。对爆后留下的空腔可以用原土或灰土分层夯填,也可以回填砂、碎石等多孔介质,并通过水泥浆灌浆做成桩体,形成复合地基,使部分荷载向深层转移,减小了浅层土的附加应力,使承载力进一步提高,变形减小。

2 装药量与爆轰后空腔半径的关系

爆夯用的炸药采用竖向条形药包,装药深度略大于要求的土基处理深度,土体爆夯后形成圆柱形空腔。

收稿日期:2003-06-20

基金项目:空军后勤部科研计划项目

作者简介:顾强康(1965-),男,浙江宁波人,副教授、博士生,主要从事岩土工程、机场道面研究。

根据文献[2]、[3],爆扩后空腔半径与初始装药半径、药量的关系由下面二式确定:

$$r = kr_0 \quad (1) \quad r = k'\sqrt[3]{Q} \quad (2)$$

式中: r 为爆炸空腔半径, m ; r_0 为装药半径, m ; Q 为装药质量, kg ; k 为比例常数, 无量纲, 与地质条件、爆源性能有关, 由试验确定; k' 为比例常数, $m/kg^{1/3}$, 与炸药和土体性质有关, 由试验确定。

采用 TNT 炸药在西蓝高速公路的路基中做了现场爆炸试验, 采用现场静力触探、核子密度仪和原状土取样等方法对爆夯前后土的性质进行检测, 并进行爆后开挖观察。通过对爆炸痕迹的观察, 土基中爆炸效应可分成 4 个区域: 空腔区、压密胀裂区、挤密区和振动区。试验情况见表 1。同时我们还在本院模爆实验室进行了药量与空腔半径的关系试验。模爆器直径 1.5 m, 高 2 m。在模爆器底部铺设厚 1.5 m 的黄土, 用蛙夯分层压实, 把土的密实度控制在某一定值, 用此作为试验对象。测定试验前土的初始容重、含水量、压缩系数、比贯入阻力等初始参数。在填土的中心钻一个直径 3.5 cm, 深 1.2 m 的竖孔作为药室, 选用导爆索作为爆夯药。选取部分数据见表 2。

表 1 爆炸效应分区及影响半径

破坏分区	波场分布	比例常数 k		主要破坏方式	爆扩后 30 分钟土特性变化	
		变化范围	平均值		孔隙比 (%)	容重 (%)
空腔区	冲击波	10 ~ 20	15	被强烈压缩成空腔	-	-
压密胀裂区	应力波	53 ~ 69	61	挤密、劈裂、	-38 ~ -10	5 ~ 15
挤密区	应力波	82 ~ 99	91	挤密	> 10	< 5
振动区	地震波	> 99	-	完整	基本无变化	基本无变化

表 2 导爆索数量与空腔半径的关系表

导爆索数量	1	2	3	4	5	6	8
填塞	12	16	20	24	26	28	31
空腔直径/cm							
不填塞	10	15	17	20	23	25	27

试验结果, 条形药包爆炸加固的有效半径为 3.0 ~ 5.0 倍的爆腔半径, 在此范围内, 土的干容重可以增加 20% ~ 30%, 地基承载力提高 20% ~ 45%。

3 有效加固半径计算和布点方式

随着爆炸空腔的形成, 土体受侧向挤压趋于密实, 假设爆前与爆后的孔隙率和干容重分别为 $n_0, n_1, \rho_{d0}, \rho_{d1}$, 爆前装药孔很小可忽略不计。图 1 中, r 为爆后孔半径, R 为假定的有效处理半径。深度方向取单位厚度, 半径为 R 时, 体积为 πR^2 。爆夯后孔隙率为

$$n = V_v/V = V_v/(\pi R^2 - \pi r^2) \quad (3)$$

由于空腔体积是由于孔隙体积减小而产生的, 所以爆后的孔隙体积为 $V_v = \pi R^2 n_0 - \pi r^2$, 代入式(3)得

$$\frac{1}{n_1} = \frac{\pi R^2 - \pi r^2}{\pi R^2 n_0 - \pi r^2} \Rightarrow r \sqrt{\frac{1-n_1}{n_0-n_1}} \quad (4)$$

由于工程中常用土的干容重作为控制指标, 所以由土的三相比例指标换算得

$$n = 1 - \gamma_d/\gamma_s \quad (5)$$

式中 ρ_s 为土粒容重。将式(5)代入式(4)中得

$$R = R \sqrt{\gamma_{d1}/(\gamma_{d1} - \gamma_{d0})} \quad (6)$$

工程实践中, 只要测得爆前土的干容重和实验室最大干容重, 根据施工场区不同的压实度要求, 结合式(1)和(6)就能确定出不同装药量下的有效作用半径 R 。

现场试验在东门外的台地上进行。先用静力触探仪挤出 3.5 cm 的药孔, 用三根导爆索扩孔, 扩孔后孔径为 26 cm, 炸药选用 TNT, 装药量分别为 1 kg/m、2 kg/m、4 kg/m。表 3 是根据部分实验数据和按式(6)算得的有效作用半径(该地区土基的初始干密度测得为 12.8 kN/m³, 要求爆后干密度达到 16 kN/m³)

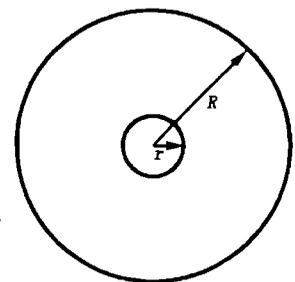


图 1 土体有效加固半径计算模型

表3 现场爆夯试验的成果

装药量/kg/m	爆前空腔半径/m	爆后空腔半径/m	有效处理半径/m
1	0.26	0.475	1.062
2	0.26	0.8	1.789
4	0.26	1.2	2.683

一般施工中的布点方式可采用三角形布点和正方形布点,见图2。

4 结论

现在常用的地基处理方法对于浅层处理效果较好,但对深层处理来说,效果不太理想。爆夯加固法有较大优势,爆炸加固法的加固深度只取决于钻孔深度,根据目前的钻孔设备和技术,其加固深度完全能够完全满足工程需要。因此,爆夯加固法特别适用于加固深层土基,在机场高填土地基加固中有很大的应用前景。

对于单孔药包的起爆,为了减小爆炸冲击波对地表建筑物的影响,宜采用微差延时起爆方式,先起爆深层炸药,后起爆浅层炸药,既有利于能量的充分利用,又可减小对地表土体的松动作用;对于药包群,例如机场大面积爆夯加固,各个药包起爆的顺序、时间差将对爆破效应产生重要的影响。为减小爆炸的地震效应,提高加固效果,宜采用分区爆炸方式,先加固外围土体,再分区加固内部土体,以减小爆炸地震波对周围建筑物的影响。

合理的间隔时间主要是考虑土体的性质、炸药与土介质的特征阻抗、土中冲击波的传播速度、最小抵抗线等因素,根据爆破要求,在现场通过试验来确定合理的间隔时间。

另外,起爆顺序也对爆破效果有一定的影响,也应引起注意。一般有排间微差、楔式、梯式、波浪式、径向式以及这几种方式的组合形式。

参考文献:

- [1] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [2] 王海亮,冯长根,王丽琼. 土中爆炸成腔的现场试验研究[J]. 火炸药学报,2001,(2):12-15.
- [3] 黄承贤. 土中爆扩及其挤密效应的研究[J]. 爆炸与冲击,1996,16(4):354-360.

(编辑:姚树峰)

Application of Explosion Compaction Technology to Ground Strengthening in Airfield

GU Qiang - kang, LIU Wei

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: To meet the demand that the subsoil should be strengthened quickly in the construction of airfield, a new explosion compaction technology applied to subgrade strengthening in airfield is proposed and the function mechanism is analyzed. The construction method and some important parameters are brought out by the site - test and analyzed in theory.

Key words: explosion - compaction; airfield base; quick reinforcement; soil treatment

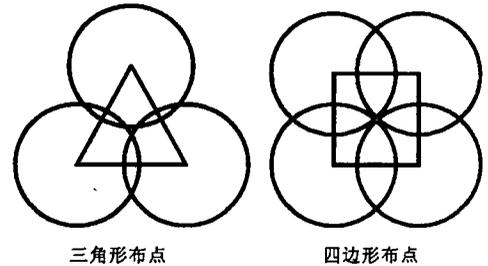


图2 布点方式示意图