

# 关于最佳夯击次数的讨论

周 平<sup>1</sup>, 卢小兵<sup>1</sup>, 田义平<sup>2</sup>

(1. 四川九寨黄龙机场建设开发有限责任公司, 成都 610041)

(2. 四川煤田地质局地质测量队, 成都 610072)

**摘 要** 提出最佳夯击次数严格、普遍的定义, 并对最佳夯击次数的确定方法进行了探讨, 特别针对粘性—砂性土地基, 作者根据强夯施工中孔隙水压力的时空规律性, 提出了一种确定其最佳击次数的有效方法。

**关键词:** 强夯处理; 最佳夯击次数; 孔隙水压力

**中图分类号:** TU472.31 **文献标识码:** A

## 1 问题的提出

强夯法由于各方面的优点, 在某种程度上比其他基加固方法更为广泛和有效, 在地基处理中越来越显示出优越性。但强夯法的理论和设计计算还不成熟, 同时工程情况千差万别, 工程施工中, 对强夯能数的认识和确定常常有许多分歧, 常常是争议的中心。在各施工参数中, 最佳夯击次数和有效加固深度是两个核心参数, 关系到强夯施工的成败; 其准确的确定对于其他施工参数的确定有较大的辅助作用。笔者仅就最佳夯击次数的认识和确定作一些探讨。

## 2 最佳夯击次数的定义

关于最佳夯击次数(实质就是最佳夯击能), 《地基处理手册》有明确的解释: 从理论上讲, 在这样的夯击次数作用下, 地基中出现的孔隙水压力达到土的自重压力, 这样的夯击次数称为最佳夯击次数(或最佳夯击能)。从该定义来看, 存在以下几方面的不足之处:

1. 其内涵存在不全在之处。因为在任何一级夯击之下, 地基中皆有一定深度的孔隙水压力达到或超过该深度内的土体自重。显然, 这一定义是不

全面的。应该考虑为“在预计的有效加固深度内孔隙水压力达到土的自重压力”。

2. 其适用范围有一定的局限。按照该定义, 地基中必须地下水, 且水位应在有效加固深度内, 否则, 含水量不大的地基将无法得到最佳夯击次数。因此, 该定义只适用于水位在有效加固深度内的地基。

3. 这个定义也不严格。显然孔隙水压力间接反映出夯击能的变化和地基的接收情况, 但是孔隙水压力不能等同于夯击能。夯击能除了引起孔隙水压力的变化外, 还将造成地基密实、土体裂缝、土体升温等。

4. 当有效加固深度内的孔隙水压力达到土的自重压力时, 夯击次数并不就是“最佳”或者“饱和”的。依据实测和有限元计算, 夯锤下的“夯击柱体”向深部的延伸在最初几次夯击下较快, 而后随夯击次数的增加逐渐减缓, 接近最佳夯击次数时, 将不再向深部延伸而转为水平扩展, 当水平不再扩展时, 此时的夯击次数即是最佳夯击次数。假设夯击柱体为“液化柱体”, 夯击柱体不再向下延伸的位置为有效加固深度, 那么, 当有效加固深度内土体达到液化时, 夯击次数还不是最佳夯击次数, 而是与其接近。

5. 按照上述定义, 最佳夯击次数只能依据孔隙水压力来确定, 事实上, 目前强夯工程中还有其他方

基金项目: 四川省交通厅四川九寨黄龙机场高填高地基处理与稳定性研究项目。

收稿日期: 2001-06-25; 改回日期: 2001-08-24。

作者简介: 周平(1960-), 男, 重庆人, 高级工程师, 具有丰富的机场建设经验, 数次负责西部机场建设工作, 现任四川九寨黄龙机场建设开发有限责任公司副总经理。

法。

可见, 上述定义存在一定的局限。笔者认为, 最佳夯击次数可以理解为一定的单夯击能作用下, 地基所接收夯击能的最大能力。任何一种地基, 在一定的单夯击能下, 对夯击能皆存在一定的接收能力, 当夯击次数小于此能力时, 地基还未在该条件下加固, 而当夯击次数大于此能力时, 地基将不再继续被加固, 增加的夯击能将是浪费。这种能力可用最佳夯击次数(饱和夯击能)来量化, 它并不是恒定的, 将随着单夯击能而变化。这个定义从理论上讲, 是严格的, 同时可适用于各类地基。

这个定义也并未否认前述按照孔隙水压力作出的定义的适用性, 因为孔隙水压力毕竟能反映夯击能的变化和地基的接收情况, 按孔隙水压力确定的最佳夯击次数事实上也接近于真实值, 在工程中运用也较普遍, 并总结出了较完善的方法。故在地下水位较浅的地基中仍然适用。

3 最佳夯击次数的确定

上述讨论了两种最佳夯击次数的定义方法, 一种按地基接收能力来定义, 另一种按孔隙水压力来定义, 分别简称 J 定义和 K 定义。采用任意一种定义确定最佳夯击次数皆应有一定方法。本节将加以讨论。

3.1 按 J 定义确定最佳夯击次数

从理论上讲, 按照 J 定义确定最佳夯击次数有直接和间接两类方法。按直接方法, 地基对夯击能的接收能力是一种内在能力, 它是土的性质、结构和状态的反映, 同时又随单夯击能变化, 故它是土的性

质、结构、状态和单夯击能的函数。但由于目前这一方面还不曾有研究, 因此, 按直接的方法确定最佳夯击次数目前不可能。

按间接的, 则必须将夯击次数与强夯施工中的现象联系。强夯施工中, 地基将产生地面变形、裂隙、孔隙水压力上升、土体密实等主要现象, 而裂隙和土体密实皆直接导致地面变形, 因此强夯中的现象可以概括为地面变形和孔隙水压力上升两类现象。而地面变形是各类地基强夯时皆会出现的现象, 它和夯击次数间必须存在一定相关性。

强夯过程中地面变形有一定规律, 如图 1: 最初几次夯击, 产生的单夯沉重较大, 而后逐渐减少; 总夯沉量随夯击次数的增加最初增长较快, 曲线较陡, 说明地基较散, 对夯击能的接收能力较大, 而后总夯沉量逐渐减缓, 曲线也趋于平缓, 说明地基逐渐密实, 对夯击能的接收能力也逐渐减小。可见, 地面变形的变化情况完全可以反映地基对夯击能的接收能力。而地面变形可用夯坑有效变形率量化。将夯点每击隆起体积  $V'$  与夯坑体积  $V_0$  统计后, 根据下式

可确定有效变形率  $\eta = \left[ 1 - \frac{V'}{V_0} \right] \times 100\%$

夯坑有效变形率与夯击次数的关系曲线往往成逐渐增长的波浪线(见图 2)。最初几次夯击, 曲线几乎为线性, 说明夯击能使得地基迅速密实, 而后曲线陡降, 说明随夯击次数的增加, 原来密实的地基又遭破坏, 再夯击地基又密实, 如此反复。每一次反复后, 夯坑有效变形率都得以增加, 最终曲线逐渐平缓, 说明夯击能已达饱和, 此时的夯击次数即可认为是最佳夯击次数。

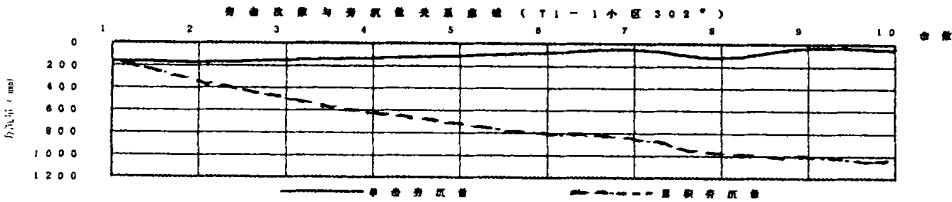


图 1 典型夯沉量与夯击次数关系

Fig. 1 typical relationship between the times of tamp and ramming settlement

3.2 按 K 定义确定最佳夯击次数

3.2.1 粘性土或砂性土地基

按《地基处理手册》, 粘性土或砂性土地基最佳夯击次数按 K 定义确定皆有法可循。

在粘性土地基中, 由于孔隙水压力消散慢, 当夯

击能增加时, 孔隙水压力也相应的迭加。因此在粘性土中, 可根据孔隙水压力的迭加值来确定最佳夯击次数。而在砂性土地基中, 由于孔隙水压力增长及消散很迅速, 孔隙水压力不能随夯击能增加而增加, 但可绘制最大孔隙水压力增量与夯击次数的关

系曲线,当孔隙水压力增量随夯击次数增加而逐渐趋于稳定时,此时夯击次数即为最佳夯击次数。

3.2.2 既有粘性土又有砂性土的地基

对既有粘性土又有砂性土的地基,由于孔隙水压力只能部分迭加,因此不可能按其迭加值来确定最佳夯击次数,而按孔隙水压力最大值的增量来确定,则往往发现孔隙水压力的增量并不是随着夯击次数的增加而呈现逐渐衰减的趋势。因此,对于这类地基采用孔隙水压力简单分析来确定最佳夯击次数很困难,可以考虑采用孔隙水压力的时空规律来确定。

图3 是上海某机场强夯试验施工中孔隙水压力

的垂向上的分布图。孔隙水压力等值线比较密集的范围类似一个椭球体。该椭球体最初随着夯击次数的增加逐渐向深部延伸,而后随着夯击次数的增加不再延伸,但其水平向上膨胀。由此可以看出,夯击能在地基土中遥有效发挥范围随着夯击次数的发展有一定的规律性,事实上当椭球体在水平向上膨胀时,传递到地基土中的夯击能已接近饱和,再增加夯击能时,由于加密范围土体已经一定的塑性破坏程度,造成夯击能向深部的传递已经很困难。故土体只能向侧向挤出,这时应停止夯击,否则将造成夯击能的浪费,也会造成已加密的土体破坏。此时的夯击次数作为最佳夯击次数是比较恰当的。

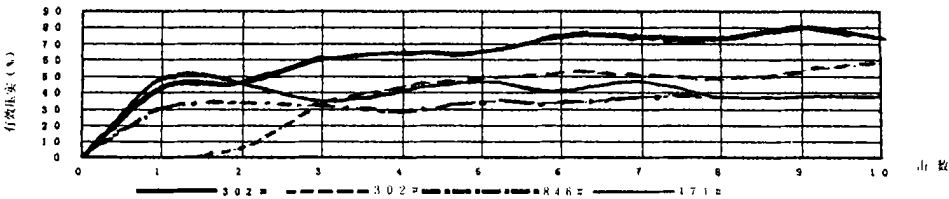


图2 典型夯坑有效变形率与夯击次数关系曲线

Fig. 2 typical of relationship between the times of tamp and the rate of valid deform ramming pit

4 结论

①目前关于强夯处理的最佳夯击次数的定义有一定的局限性,作者认为最佳夯击次数实质是在一定单夯击能的条件下,一定条件的地基对夯击能的最大接收能力。该定义理论上严格,可适用于各类地基。

②目前确定最佳夯击次数的方法可分为两大类:一类是按地基的接收能力确定;另一类是按孔隙水压力确定。前者是较好的方法,但关于这方面的

研究还不多,对此进行研究,总结一套方法将很有价值。后者在运用时,对砂性土或粘性土皆有法可循,但沿用于既有砂性土又有粘性土的地基时却有一定困难。作者通过实际工程资料中孔隙水压力随夯击次数发展的时空分析,发现其时空规律,根据此规律即可确定最佳夯击次数。

参考文献:

[1] 卢小兵. 强夯垫层作用及其相关因素[J]. 山地学报, 18(增刊).  
[2] 郭见扬. 强夯地面沉降特征及地基双层结构的形成[J]. 土工基础, 11(3).

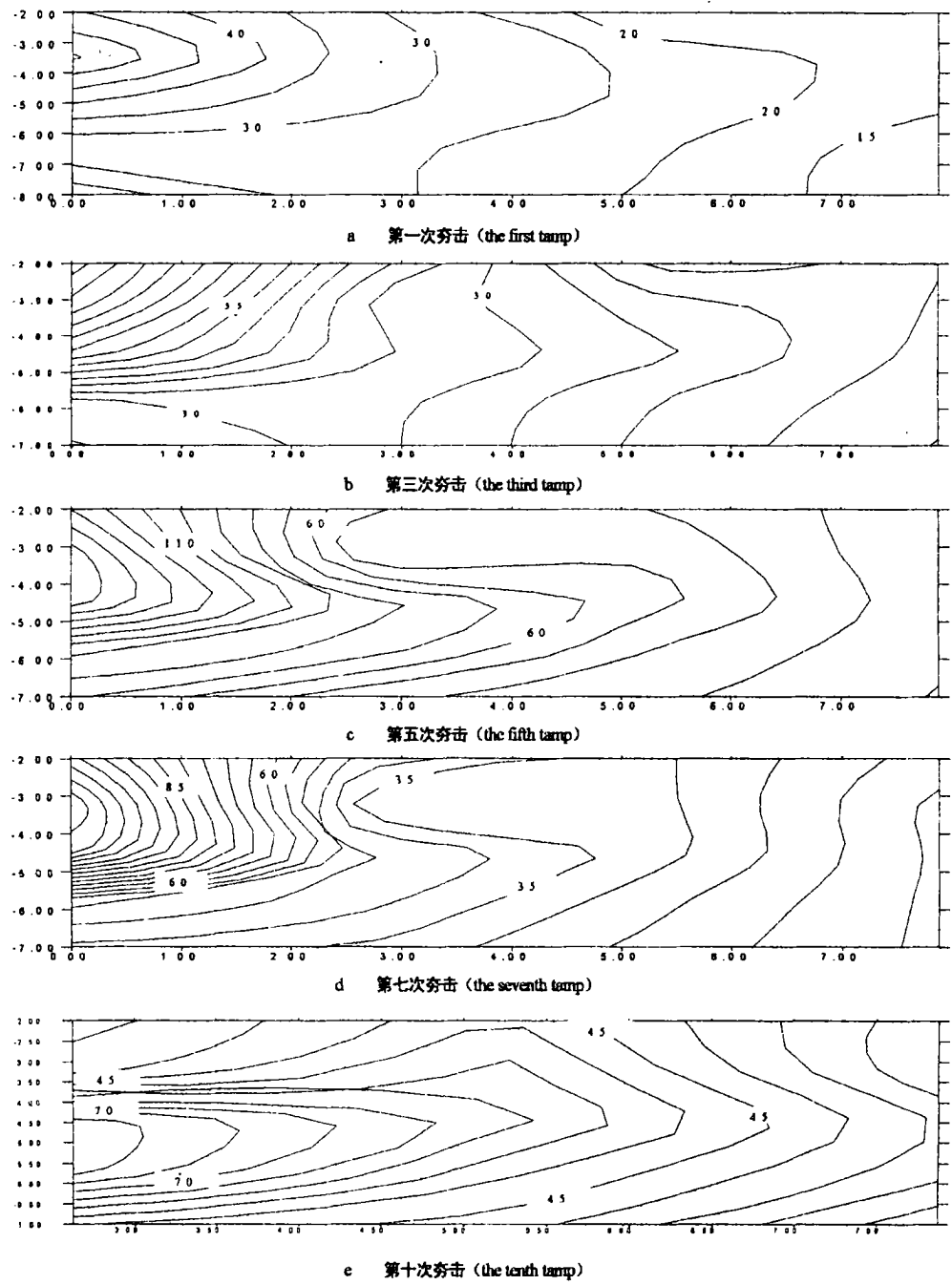


图 3 某夯点超静孔隙水压力时空规律

Fig. 3 the law of pore water pressure in time and space

## A Study on the Best Times of Tamp

ZHOU Ping<sup>1</sup>, LU Xiao-bing<sup>1</sup> and TIAN Yin-ping<sup>2</sup>

(1 *Sichuan Jiu Zhai-Huang Long Airport Construction and Development Co., Ltd, Chengdu 610041 China;*

2 *The Geological surveying party of The Bureau of Coal Geology in Sichuan, Chengdu 610072 China*)

**Abstract:** The best times of tamp (for short BTT) is one of the important parameters for dynamic consolidation, its accurate attaining has great effect to the result of dynamic consolidation. In this paper, the precise and general definition of BTT has been suggested as the receptive ability of the foundation to the energy of the tamp, under the condition of definitive energy of each tamp, and that how to get BTT has been discussed, particularly, according to the time-space law of pore water pressure in the dynamic consolidation, writer suggested a effective way with which BTT of clay-sand foundation can be attained.

**Key words:** dynamic consolidation    the best times of tamp (BTT); pore water pressure