

文章编号: 0451-0712(2005)07-0214-05

中图分类号: TU472.31

文献标识码: B

强夯施工在加宽道路中的应用

王 乐^{1,2}, 杨海红², 田俊良¹, 何亚伯²

(1. 郑州市公路管理局 郑州市 450052; 2. 武汉大学土建学院 武汉市 430072)

摘 要: 结合某公路改建工程, 提出在加宽路段使用强夯法施工, 以取得适宜的施工参数及施工工艺, 达到提高加宽部分填土路基承载力、减少不均匀沉降的目的。通过强夯法在该工程的应用, 取得了较为满意的经济效果, 验证了强夯法运用的正确性, 为进一步拓宽强夯法的应用范围打下良好的基础。

关键词: 强夯; 加宽路段; 施工参数; 施工工艺

随着社会经济的发展, 公路交通量迅速增长, 车辆荷载日益加大, 既有公路已不能满足行车的需求。公路拓宽改建成为一种提高公路等级的有效发展模式。但由于新旧路基及基底的沉降量不同以及新旧路基结合带施工作业面狭窄, 压实困难, 常常会导致新旧路基土体结合带产生不均匀沉降, 从而导致路面产生反射裂缝, 给公路的使用及运营管理带来很多困难。强夯法加固地基具有设备简单、施工方便、速度快、投资省、加固效果好等优点, 《建筑地基处理技术规范》中已将其作为主要的地基处理方法之一^[1], 正在全国范围内大量推广使用。为进一步拓宽强夯法的应用范围, 结合省道 223 线改建工程, 提出在加宽改建路段使用强夯法施工, 以获取适宜的施工参数及施工工艺, 达到提高加宽部分填土路基承载力、减少不均匀沉降的目的。

1 工程概况

省道 223 线中牟段初始建设时, 路面宽度 9 m, 1993 年利用民工建勤方式加宽, 路基填土土质不均, 路面承载力低。国道主干线连霍高速公路和京珠高速公路通车后, 该公路成为主要的连接线, 交通量迅猛增加, 加上重载交通的影响, 路面损坏严重, 急需补强。根据“省道 223 线中牟贺岗至新郑八千段改建工程初步设计”文件, K19+900~K23+800 都是在老路的基础上加宽路段。该项目属二级公路, 路面加宽至 12 m。加宽路段内均为填方工程, 填土高度 0.5~5.0 m 不等。填土路基形状复杂, 评价困难。

特别是加宽路段的范围不大(每边仅 1.5 m), 填土的堆积时间不长, 新老路交接面一旦处理不当, 就会造成严重的不良后果。如何对填土路基进行一系列的加固处理, 使其承载力与沉降和原有的老路基保持一致, 这不仅是公路自身结构安全的需要, 也是加快工程建设速度, 提高经济效益的需要。

2 施工方案选择

2.1 填土的物理特性

根据在该改建路段上取土进行试验分析, 土质成分多为粉土质砂、含细粒土砂及含砂低液限粉土, 含杂质很少, 确定该路段土质为素填土。颗粒分析试验报告表明该土的粒径分布如表 1 所示, 该土的不均匀系数 $C_u = 3.22$ 。土的物理性质指标如表 2 所示。根据土的分类, 该土确切命名为含砂低液限粉土。

表 1 颗粒分析结果

粒径 D/mm	>2	$2\sim1$	$1\sim0.5$	$0.5\sim0.25$	$0.25\sim0.074$	<0.074
含量/%	0.3	0.2	3.7	41.4	48.3	6.1

表 2 物理性质指标

指标	液限 %	塑限 %	塑性 指数	最大干密度 g/cm^3	最佳含水量 %	比重
试验结果	18.9	15.1	3.8	1.91	10	2.63

在公路路基的各类用土中, 粉质土被认为是最差的筑路材料。含砂低液限粉土颗粒相对明显, 粒间具有微弱的连接力, 颗粒堆积在一起, 形成散粒结

构。晴天时,土中因含有较多的砂粒,水分散失快,粘接性易被破坏,不易形成板体;雨天时,由于液限低,极易形成流体。由于该种土中砂粒和粘粒结合不紧密,孔隙较大,相互形成微型管道,纵横如网状分布在土体中,形成毛细运动,且管道的孔径越小,毛细水上升的高度越大,所以粉质土的毛细水作用位居多种公路用土之首。含砂低液限粉土塑性指数低、粘性小,作为路基填土,施工时成型困难。如果机械配套及施工技术不合理时,路基压实度很难满足要求。如果该种土分布地段地下水位较高,则公路冻胀、翻浆频繁,道路各种病害层出不穷,会使得公路使用寿命大大缩短。

2.2 施工方案选择

根据填土的工程特性,考虑在加宽路段采用公路中常用的分层碾压法施工。为了保证路基施工质量,就必须控制好粉质土的含水率,使其达到最佳含水率时压实。因此,碾压前,须对填土进行洒水或翻晒,使其达到最佳含水率。分层压实法的有效作用深度为0.3 m,而填土的最大高度为5 m,要想使加宽部分的路基压实,就需将全部填土翻开,然后再一层层复压。翻土堆放需占用原路面,影响道路的使用;如将翻挖出的土堆到路边,又要占用路边的良田,影响农民的生产及生活;而且翻挖工程量很大,耗时较长,不经济。实际施工时最大翻挖深度为2.0 m,在填土较高处,其深层填土不易压实,势必会引起日后路基的不均匀沉降。同时通过对含砂低液限粉土物理性能、标准击实和固结压缩的室内试验理论研究,分析其压实特性,发现该类土的击实曲线离饱和曲线较远,土的孔隙中空气体积较大,土并未达到真正的密实,按现行的压实指标控制压实度,标准偏低。

结合众多的路基处理经验^[2],强夯法具有设备简单、施工方便、速度快、投资省、加固效果好等优点,正作为一种新的路基处理方法在探索应用。近年来国内外强夯技术的迅速发展,特别是在我国新编的《建筑地基处理技术规范》中,强夯法已被作为主要的地基处理方法之一加以确定。但资料表明,强夯法的关键技术主要集中在大面积、大能量级和饱和软土复合地基的强夯技术研究。而对于强夯法在高填方加宽路基中的运用却研究极少。为进一步拓宽强夯法的应用范围,弥补分层碾压的不足,结合省道223线改建工程,作者提出在加宽改建路段选取一与分层碾压相对应的试验段用强夯法施工,以寻求

适宜的强夯施工参数及施工工艺,按承载力指标控制压实程度,提高加宽部分填土路基承载力、减少路基整体不均匀沉降,同时期望能加快施工进度、降低工程造价,取得较好的经济效益和社会效益。

3 强夯法主要施工参数的选择

强夯法的主要施工参数包括:有效加固深度、夯击能、夯击次数、夯击遍数、夯击间隔时间、夯击点布置等^[3]。在强夯参数相同的情况下,不同类型的路基土,其强夯效果有很大的差异。事实上,即使是同类土,由于其沉积年代、地下水位埋藏深度、天然含水量等的差别,其强夯效果也有明显的差异。因此,强夯施工前必须确定合理的施工参数。

3.1 有效加固深度

强夯法的有效加固深度既是反映处理效果的重要参数,又是选择地基处理方案的重要依据,强夯法创始人Menard提出估算影响深度的梅纳公式为:

$$h = \alpha \sqrt{mH}$$

式中: h 为有效加固深度; α 为有效深度修正系数,取0.5~0.8; m 为夯锤重量; H 为落距; mH 为夯击能。

根据改建路段的备土资料分析,路基加固有效深度最大为6 m。同时考虑老路基的边坡延伸方向,在强夯施工中,要避免老路基受到强大的冲击而产生破坏。因此,沿老路基横向边缘1.5 m加宽路基方向,其路基需加固的深度在不断变化。

3.2 夯击能的确定

合理地选择夯击设备及夯击能量,对提高夯击效率很重要。若选择的夯击能过小,则难以达到预期的加固效果;若夯击能过大,不仅浪费能源,对饱和粘性土来说,有可能反而会降低强度。夯击能的确定主要依据场地的地质条件和工程使用要求,以及根据工程要求的加固深度和加固后需要的地基土承载力等来确定单击夯击能。由于目前尚没有成熟的计算方法来统一规范,因此,一般仍按Menard公式来估算夯击能($mH = (h/\alpha)^2$),再来选定锤重、落距与相应的夯击设备。

由于本工程加宽路基的两边填土高度不均匀,加宽面较窄,边坡延伸又较长,强夯时宜采用轻锤重击,以免破坏老路基。同时,还需考虑加固后的路基与老路基之间避免产生不均匀沉降,即加固后的填土路基的承载力与老路基的承载力要尽量保持一致。因此,强夯时夯击能的确定根据线路上的填土高

度不同,按梅纳公式根据具体情况来选择最佳夯击能,确定相应的锤重和落距。

本工程中采用单击夯击能在400~1 200 kN·m,选用8~12 t重夯锤,落距根据实际情况依梅纳公式计算确定。试算结果如表3所示。

表3 夯锤落距

有效加固深度 h/m			3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
锤重 8 t	H/m	$\alpha=0.5$	4.5	6.2	8	10.2	12.5	15.2	18
		$\alpha=0.8$	1.8	2.4	3.2	4.0	4.9	5.9	7.0
锤重 10 t	H/m	$\alpha=0.5$	3.6	4.9	6.4	8.1	10	12.1	14.4
		$\alpha=0.8$	1.5	2.0	2.5	3.2	3.9	4.8	5.7
锤重 12 t	H/m	$\alpha=0.5$	3	4.1	5.4	6.8	8.4	10.1	12
		$\alpha=0.8$	1.2	1.6	2.1	2.7	3.3	4.0	4.7

3.3 夯击次数

夯击次数是强夯设计中的一个重要参数。施加于单位面积上的夯击能大小直接影响加固效果,而夯击能量的大小是根据地基加固后应达到的规定指标来确定的,因此,夯击次数与路基加固要求有关。国内外一般根据土的性质和土层的厚薄不同,每夯击点夯击数为5~20击不同。目前夯击次数一般通过现场试夯确定,常以夯坑的压缩量最大、夯坑周围隆起量最小为确定的原则。目前常通过现场试夯得到的夯击次数与夯沉量的关系曲线确定,同时应满足《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)中最后两击的平均夯沉量不大于50 mm,当夯击能量较大时不大于100 mm的规定。此外,还要考虑施工方便,不能因夯坑过深而发生起锤困难的情况。

3.4 夯击遍数

夯击遍数应根据路基土的性质确定。一般来说,由粗颗粒土组成的渗透性强的地基,夯击遍数可少些。反之,由细颗粒土组成的渗透性弱的地基,夯击遍数要求多些。根据我国工程实践,大多数工程可采用夯击遍数2遍,最后再对全部场地进行低能量夯击(俗称满夯),使表层1~2 m深度范围的土层得以夯实,一般均能取得较好的夯击效果。对于渗透性弱的细颗粒土地基,必要时夯击遍数可适当增加。

3.5 夯击间隔时间

两遍夯击之间应有一定的时间间隔,以利于土中超静孔隙水压力的消散,所以间隔时间取决于超静孔隙水压力的消散时间。但土中超静孔隙水压力的消散速率与土的类别、夯点间距等因素有关。对于渗透性好的砂土地基等,一般在数分钟至数小时内

即可消散完,但对渗透性差的粘性土地基,一般需要数周才能消散完。夯点间距对孔压消散速率也有很大的影响,夯点间距小,孔压消散慢,反之孔压消散快。当缺少实测孔压资料时,可根据地基土的渗透性确定间隔时间,对于渗透性较差的粘性土地基的间隔时间,一般应不少于3~4周;对于渗透性好的地基,则可连续夯击。

3.6 夯击点布置

夯击点布置是否合理,将影响强夯的加固效果,应综合场地填土情况及含水量大小和工程要求等因素来选择布点方案。

夯击点间距的确定,一般根据地基土性质和要求加固深度而定。对于细颗粒土,为便于超静孔隙水压力的消散,夯点间距不宜过小。当要求加固深度较大时,第一遍的夯点间距更不宜过小,以免夯击时在浅层形成密实层而影响夯击能往深层传递。我国目前工程中常用夯距3~12 m。实践证明,间隔夯击比连夯好。间夯对深层加固有利。间夯便于能量的吸收,使夯击能有利于向深层传递,孔隙水容易向低压区排出,从而可先固结一部分地基土;再夯第二遍时,可使充满孔隙水的另一部分土体得到能量,并克服土颗粒对水的吸附力将土体孔隙水挤出而得到加固,提高其强度。连夯则全面产生超孔隙水压,没有低压区,孔隙水处于相对平衡,反而使水不容易排出。夯击点过密,相邻夯点的加固效果将在浅层处迭加形成硬层,影响夯击波的传播和造成能量损失;同时又因浅层受面波的运动做功而松动。为了使地基表层得到加固,必须进行满夯一遍。

4 强夯施工过程

根据上述对施工参数的分析,结合施工单位的设备配备情况,强夯施工机械选用带有自动脱钩装置的W1001型履带式起重机;夯锤选用12 t圆柱形钢筋混凝土外包钢的重锤,底面直径2.2 m,锤高1.4 m,锤底设有4个分布均匀、上下贯通的圆形排气孔,排气孔的直径为夯锤直径的1/6。

4.1 强夯法施工工艺

(1)在强夯施工开始前先进行场地的清理平整,做好强夯施工前的准备工作,并测量夯前场地标高。

(2)布置第1遍点夯的纵向夯位轴线I-I,标出夯点位置,如图1所示。

(3)强夯机械就位,进行第1遍点夯,夯击能为1 000 kN·m,夯击点间距3.3 m。

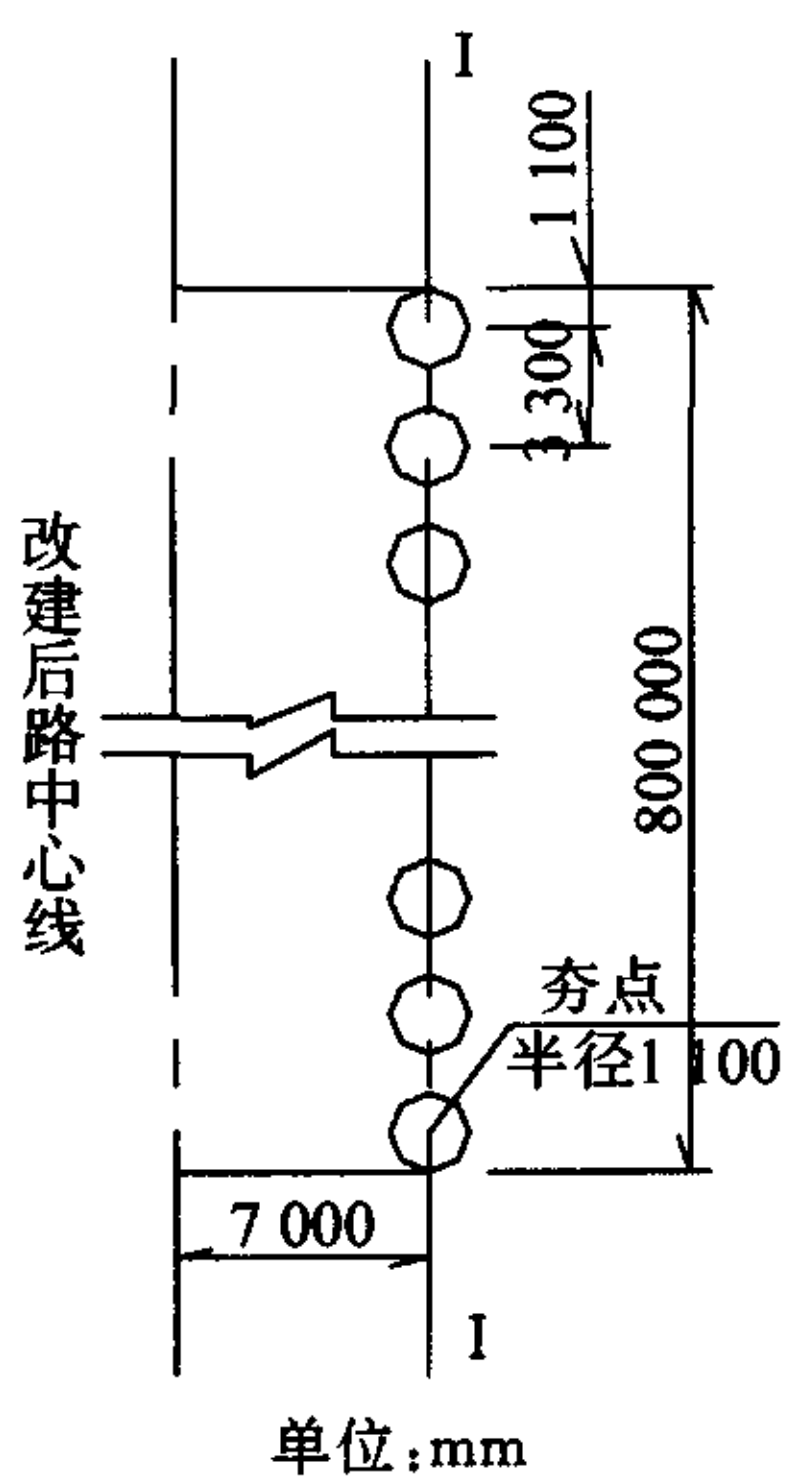


图1 第1遍夯点布置

具体操作过程如下:

- ①起重机就位,使夯锤对准夯点位置;
- ②测量夯前锤顶高程;
- ③将夯锤起吊到预定高度,待夯锤脱钩下落后,放下吊钩,测量锤顶高程,落锤应当保持平稳状态,若发现因坑底倾斜而造成夯锤歪斜时,应及时将坑底整平;
- ④重复③工序,按试夯确定的夯击次数(7~8次)及控制标准,完成1个夯点的夯击;
- ⑤重复①~④工序的施工过程,完成第1遍全部夯点的夯击。

(4)第1遍点夯完成后,用推土机把夯坑推平,并进行场地的平整,为第2遍点夯做好准备。

(5)布置第2遍点夯纵向夯位轴线Ⅱ—Ⅱ,确定夯点位置,如图2所示,与第1遍呈对角布置。

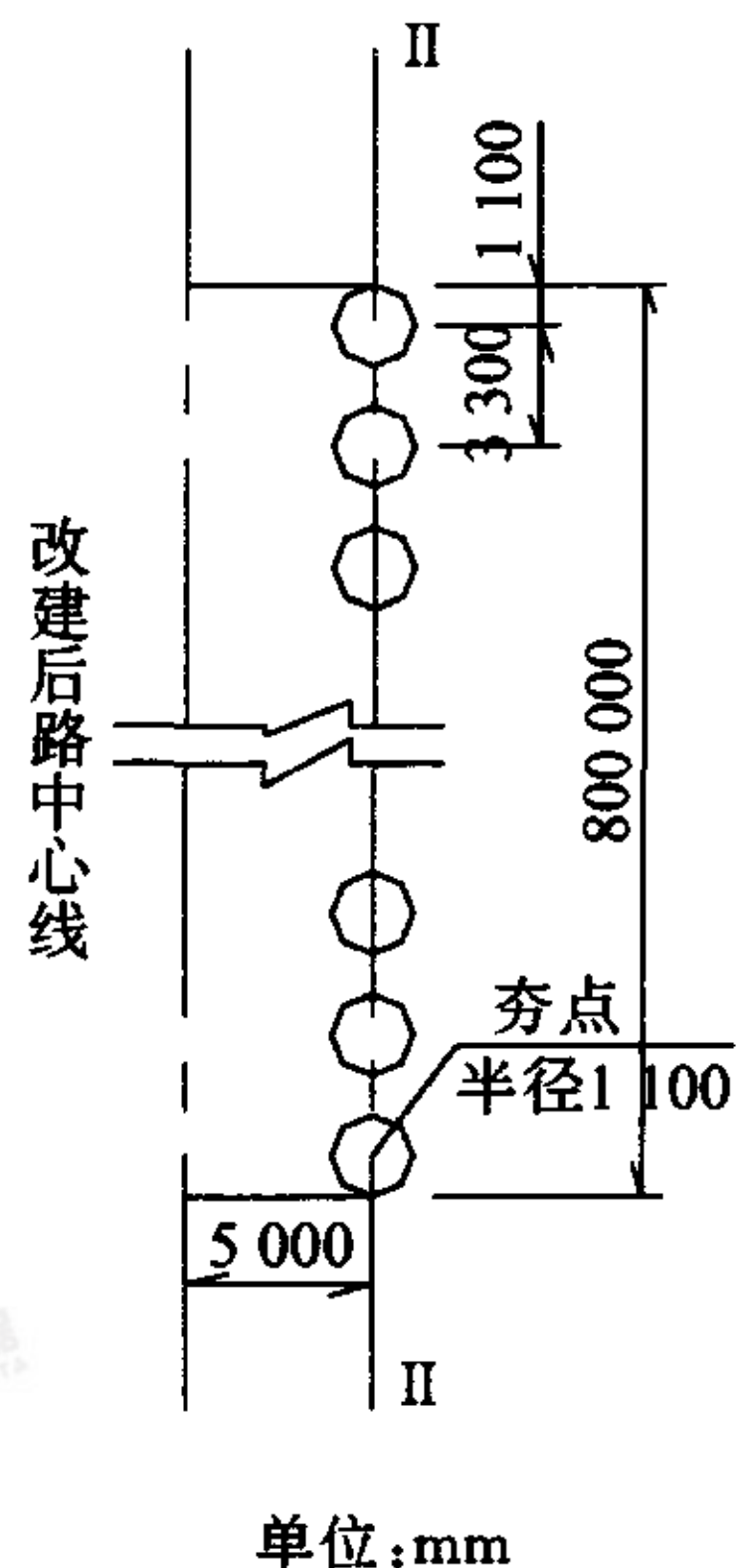


图2 第2遍夯点布置

(6)强夯机械就位进行第2遍点夯,单击夯击能采用 $420\text{ kN}\cdot\text{m}$, 3.3 m 点距。具体过程同第1遍点夯。

(7)第2遍点夯完成后,用推土机把夯坑推平,平整场地,测量场地标高。

(8)老的沥青混凝土路面边缘向右 5 m ,在此范围内进行低锤满拍(满夯),将场地表面松土夯实。满夯夯击能控制为 $360\text{ kN}\cdot\text{m}$,梅花形布夯,夯间距 1.8 m ,即每夯重叠 $1/3$ 锤径。靠老路基一侧,夯击能采用 $300\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。具体夯点布置图见图3。

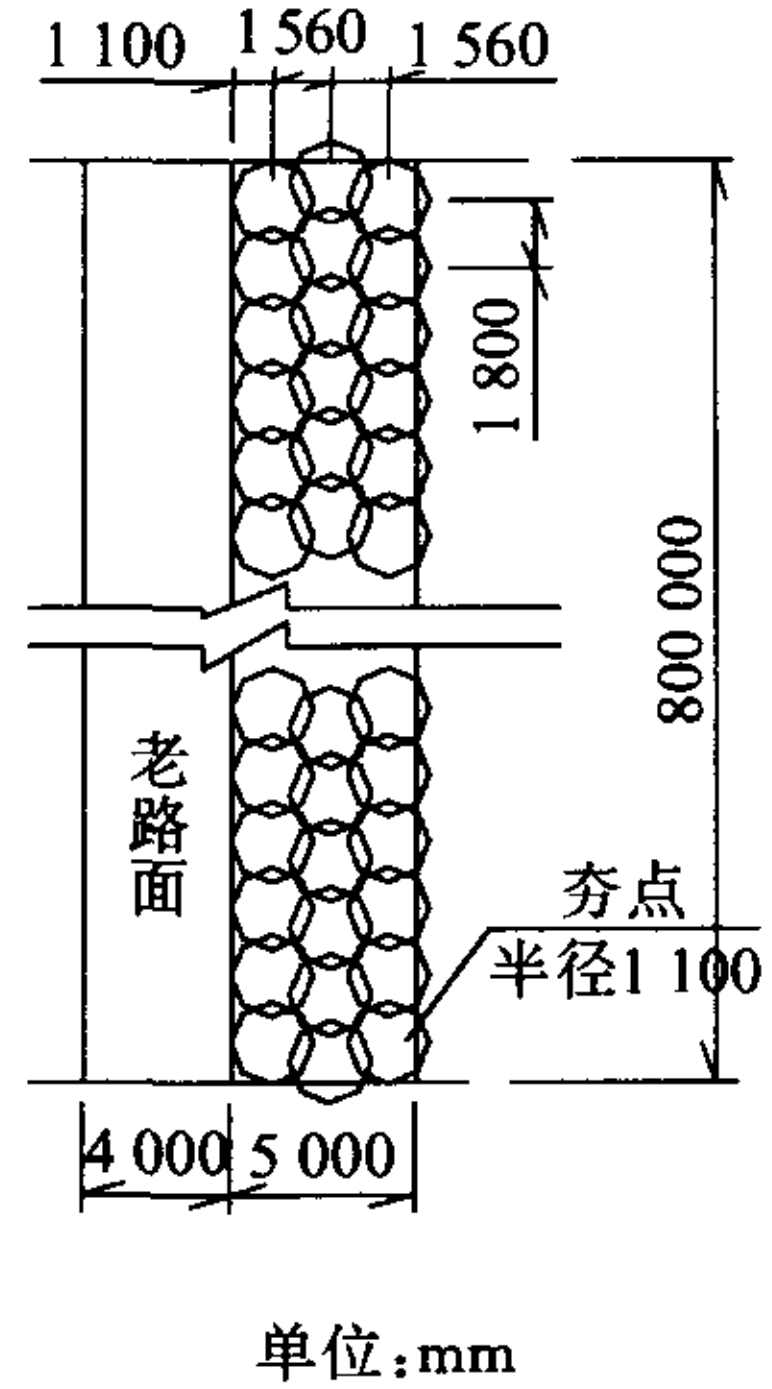


图3 满夯夯点布置

(9)满夯完成后,平整场地,测量实际场地高程。

4.2 强夯效果

4.2.1 单点夯沉量与总夯沉量

根据施工中夯沉量的记录可知:第1遍点夯的各个夯点的夯沉量在 $38\sim 69\text{ mm}$ 之间,平均夯沉量 55 mm ;第2遍点夯每1夯点的夯沉量在 $23\sim 45\text{ mm}$ 之间,平均夯沉量 29 mm ;满夯的平均夯沉量约 5 mm 。

根据每次夯后推平测得的场地标高可知:第1遍夯后沉降为 42 mm ,第2遍夯后沉降为 17 mm ,总沉降为 54 mm 。

4.2.2 承载力检测

强夯施工过程中用轻型动力触探进行承载力检测,夯后 15 d 进行静力触探,结果如表4、表5。

表4 第1遍夯后轻型动力触探结果(击数)

序号	测点深度/m	夯坑内	夯坑间	分层碾压边测点	原路面测点
1	1.0~2.0	大于100	102	55	大于100
2	2.0~3.0	大于100	105	28	大于100
3	3.0~4.0	76	58	35	92

表 5 静力触探结果 kPa

序号	测点深度/m	强夯处理边	分层碾压边	原路面
1	1.0~2.0	260	300	270
2	2.0~4.0	200(110)	98	105
3	4.0~6.0	240	240	240

由上述夯沉量和承载力检测结果可见,强夯法施工用于加宽路基填土的加固效果是明显的、令人满意的。加固后填土的强度大幅增加,并与原路基较接近,从而验证了针对本工程的特点,强夯参数的选取是准确的。

5 结语

(1)强夯法在技术上是可行的。

根据强夯的夯沉量和夯后承载力的检测结果,证明对加宽填方路基的加固采用强夯法施工,效果极其显著。无论是从沉降量、加固深度,还是承载力方面来看,均满足了该工程的设计需要。同时,强夯

施工时对周边的良田和居民均无影响。故本工程采用强夯法施工方案是可行的。

(2)强夯施工简单易行,施工速度快。

采用强夯法施工,机具设备简单,只需起重机和夯锤即可,而且强夯效率高,施工速度快。该工程试验段处理面积为 4 000 m²,施工期 10 d,达到 400 m²/d 的速度,比分层碾压 200 m²/d 提高了一倍。

(3)强夯法施工,不需要消耗水泥、钢筋等材料,大大节省了投资,在经济上是合理的。

参考文献:

- [1] JGJ 79—2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 王钊,姚政法,范景相.强夯在高路堤填筑上的应用[J].岩土力学,2002,(8).
- [3] 徐至钧,主编.强夯和强夯置换法加固地基[M].北京:机械工业出版社,2004.

Application of Dynamic Compaction Construction to Widening of Road

WANG Le^{1,2}, YANG Hai-hong², TIAN Jun-liang¹, HE Ya-bo²

(1. Highway Administer Department of Zhengzhou, Zhengzhou 450052, China;

2. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Combined with a highway rebuilding engineering, the dynamic compaction construction in the widening of sections is put forward to get fit construction parameters and construction technique. It is expected to raise the bearing capacity and decrease the uneven settlement of the widening road bed. On the basis of the dynamic compaction application in that engineering, the more satisfying economic results are obtained, and the exactness to apply the dynamic compaction verified. It is the base for further to open widely the applied scope of dynamic compaction.

Key words: dynamic compaction; widening of sections; construction parameters; construction technique