

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910050629.6

[51] Int. Cl.

E02D 5/34 (2006.01)

E02D 7/00 (2006.01)

E02D 7/24 (2006.01)

[43] 公开日 2009年10月7日

[11] 公开号 CN 101550692A

[22] 申请日 2009.5.5

[21] 申请号 200910050629.6

[71] 申请人 上海隧道工程股份有限公司

地址 200082 上海市大连路118号210室

[72] 发明人 陈思慧 温锁林 普德荣 杨永平
王建华 张俊峰

[74] 专利代理机构 上海唯源专利代理有限公司

代理人 曾耀先

权利要求书2页 说明书8页 附图2页

[54] 发明名称

在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法

[57] 摘要

本发明提供在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法，该方法主要包括步骤：桩位放样；开挖沟槽以及制作泥浆池；开挖导向沟槽，放置定位型钢；就位桩机，并对桩机进行垂直度校正；在桩机的钻杆上做桩长控制标记；下沉与提升搅拌桩机钻杆、同时进行注浆；特点是将隧道周围的搅拌桩分为不同的类型，通过控制各不同类型的搅拌桩的水灰比以及搅拌头的下沉和提升速度，从而降低在进行搅拌桩施工时对周围盾构隧道造成的影响，并对周围的盾构隧道形成保护，减少盾构隧道的隆起量。

1、在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法，已建盾构隧道周围进行施工的搅拌桩分为隧道两侧的隔离搅拌桩、隧道上方的加固搅拌桩以及隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩，该方法主要包括以下步骤：

在每一需要打搅拌桩的位置进行桩位放样；

在每一桩位位置进行开挖沟槽，在施工场地制作至少一泥浆池；

将桩机就位，并对桩机进行垂直度校正；

在桩机的钻杆上做桩长控制标记；

开始打桩，下沉与提升搅拌桩机钻杆、同时进行注浆；

其特征在于：所述隧道两侧设置至少两排隔离搅拌桩，且采用跳打法进行隔离搅拌桩的打桩；采用跳打法对隧道上方的加固搅拌桩进行打桩。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于：利用连续打桩的方法对隔离桩外侧的加固搅拌桩进行打桩。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于：所述对隧道两侧的隔离搅拌桩进行打桩所用的跳打法采用打一跳二的方式。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于：所述对隧道上方的加固搅拌桩进行打桩所用的跳打法采用打一跳二的方式。

5、根据权利要求1~4任一所述的方法，其特征在于：在用桩机打桩过程中注浆时，所述隔离搅拌桩的水泥浆液的水灰比为1.5~1.8。

6、根据权利要求1~4任一所述的方法，其特征在于：在用桩机打桩过程中注浆时，所述隧道上方搅拌加固桩的水泥浆液的水灰比为1.2~1.4。

7、根据权利要求1~4任一所述的方法，其特征在于：在用桩机打桩过程中注浆时，所述隧道隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩的水泥浆液的水灰比为1.4~1.6。

8、根据权利要求5所述的方法，其特征在于：在对隧道外侧隔离搅拌桩进行打桩时，桩机的搅拌头在下沉过程中喷浆，且搅拌头下沉速度小于0.4m/min；提升时不喷浆，且搅拌头提升速度小于0.6m/min。

9、根据权利要求6所述的方法，其特征在于：在对隧道上方的加固桩进行打桩时，桩机的搅拌头下沉过程中喷浆，提升时不喷浆；且搅拌头

下沉速度小于 0.4m/min, 搅拌头提升速度小于 0.6m/min。

10、根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于: 在对隧道隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩进行打桩时, 桩机的搅拌头下沉过程中喷浆, 提升时不喷浆; 且搅拌头下沉速度小于 0.4m/min, 搅拌头提升速度小于 0.6m/min。

在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法

技术领域

本发明涉及一种对搅拌桩加固的施工方法,尤其涉及一种在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法。

背景技术

随着我国城市建设和公共交通的发展,有时必须在已建盾构隧道旁进行搅拌桩施工;按常规搅拌桩施工方法进行施工,会对已建的盾构隧道产生极大影响,从而有可能影响已建盾构隧道的正常使用;常规的搅拌桩施工会破坏土体结构,在短时间内用水泥浆置换一部分土体时,水泥浆在没有凝固前其重量小于原状土的重量,因此该常规搅拌桩施工会造成已建盾构隧道在一段时间内产生局部卸载作用,搅拌桩周围的盾构隧道会产生很大的上浮隆起,这样会造成盾构隧道不能正常使用,给人们的生活出行造成不便。而且,为了满足盾构隧道的正常运行,在盾构隧道周围进行搅拌桩施工时,要求盾构隧道结构的最终绝对位移不能超过 20mm,变形曲线的曲率半径不小于 15000m,相对弯曲不大于 1/2500。

申请号 200610029159.1,公开号 CN1900466A,名称为“用于重点建筑保护的隔离桩施工方法”的中国发明专利公开了一种用于保护重点建筑的隔离桩施工方法。由隔离桩形成的隔离墙有效防止了周边因地下连续墙成槽施工和基坑开挖等施工对重点保护建筑的影响,减小和控制了重点保护建筑下方的土体变形。然而,该专利公开的技术方案由隔离桩形成的隔离墙距离受保护的建筑物距离至少 2-2.8m;另外,这种施工方法并没有考虑隔离墙施工对周围建筑物造成的不利影响。

然而,在实际工程施工中,对于在盾构隧道周围进行搅拌桩施工,隔离搅拌桩距离盾构隧道最近的距离至少在 1 米以内,在该距离范围内进行搅拌桩施工时,会对已建盾构隧道造成不利影响,而现有技术中的搅拌桩施工方法均不能解决在 1 米的距离范围内进行隔离搅拌桩施工不会对已建的盾构隧道产生影响;针对现有技术的以上缺点,在已建盾构隧道周围进行搅拌桩施工时,为了保证已建盾构隧道的正常使用,满足对已建盾构

隧道结构的要求，以及在盾构隧道周围进行搅拌桩施工时，不对盾构隧道产生影响，有必要提出在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法。

发明内容

为了解决以上技术问题，本发明提供在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法，将隧道周围的搅拌桩分为不同的类型，通过控制各不同类型的搅拌桩的水灰比以及搅拌头的下沉和提升速度，从而降低在进行搅拌桩施工时对周围盾构隧道造成的影响，并对周围的盾构隧道形成保护，减少盾构隧道的隆起量。

本发明的在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法，将已建盾构隧道周围进行加固的搅拌桩分为隧道两侧的隔离搅拌桩、隧道上方的加固搅拌桩以及隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩，该方法主要包括以下步骤：

在每一需要打搅拌桩的位置进行桩位放样；

在每一桩位位置进行开挖沟槽，在施工场地制作至少一泥浆池；

将搅拌桩桩机就位，并对桩机进行垂直度校正；

在桩机的钻杆上做桩长控制标记；

下沉与提升搅拌桩机钻杆、同时进行注浆；

其特征在于：所述隧道两侧设置至少两排隔离搅拌桩，且采用跳打法进行隔离搅拌桩的打桩；采用跳打法对隧道上方的加固搅拌桩进行打桩；利用连续打桩的方法对隔离桩外侧的加固搅拌桩进行打桩。

本方法的进一步改进在于：所述对隧道两侧的隔离搅拌桩进行打桩所用的跳打法采用打一跳二的方式。

本方法的进一步改进在于：所述对隧道上方的加固搅拌桩进行打桩所用的跳打法采用打一跳二的方式。

本方法的进一步改进在于：在用桩机打桩过程中注浆时，所述隔离搅拌桩的水泥浆液的水灰比为 1.5 ~ 1.8。

本方法的进一步改进在于：在用桩机打桩过程中注浆时，所述隧道上方搅拌加固桩的水泥浆液的水灰比为 1.2 ~ 1.4。

本方法的进一步改进在于：在用桩机打桩过程中注浆时，所述隧道隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩的水泥浆液的水灰比为 1.4 ~ 1.6。

本方法的进一步改进在于：在对隧道外侧隔离搅拌桩进行打桩时，

桩机的搅拌头在下沉过程中喷浆，且搅拌头下沉速度小于 0.4m/min；提升时不喷浆，且搅拌头提升速度小于 0.6m/min。

本方法的进一步改进在于：在对隧道上方的加固桩进行打桩时，桩机的搅拌头下沉过程中喷浆，提升时不喷浆；且搅拌头下沉速度小于 0.4m/min，搅拌头提升速度小于 0.6m/min。

本方法的进一步改进在于：在对隧道隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩进行打桩时，桩机的搅拌头下沉过程中喷浆，提升时不喷浆；且搅拌头下沉速度小于 0.4m/min，搅拌头提升速度小于 0.6m/min。

通过以上所述的技术方案，本发明的在已建盾构隧道周围进行搅拌桩加固的施工方法，将隧道周围的搅拌桩分为隧道外侧的隔离搅拌桩，隧道上方的加固搅拌桩以及隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩三种不同类型的搅拌桩，通过控制各不同类型的搅拌桩的水灰比以及搅拌头的下沉和提升速度，从而降低在进行搅拌桩施工时对周围盾构隧道造成的影响，并对周围的盾构隧道形成保护，减少盾构隧道的隆起量，并且可以使隔离搅拌桩距离盾构隧道的最近距离在 1 米范围以内。

附图说明

图 1 为本发明一较佳具体实施例的加固分区平面图；

图 2 为本发明一较佳具体实施例中，隧道外侧的隔离搅拌桩和隧道上方的加固搅拌桩的施工顺序以及搭接方法示意图；

图 3 为本发明一较佳具体实施例中，隔离搅拌桩外侧加固搅拌桩的施工顺序以及搭接方法示意图；以及

图 4 为本发明一较佳具体实施例中，搅拌桩施工引起的盾构隧道隆起的检测结果示意图。

具体实施方式

结合一具体的实施例对本发明的具体实施方式做详细介绍。在一已建盾构隧道旁边进行施工，为了不影响该已建盾构隧道的正常运行，保护该已建盾构隧道，需要在该已建盾构隧道周围进行搅拌桩施工，在盾构隧道周围形成加固区，参考图 1，盾构隧道 10 两侧的加固区 20、加固区 20 外侧的加固区 30、以及盾构隧道 10 上方的加固区（图中未示）；并且在进行搅拌桩施工时，为了减少搅拌桩施工引起的盾构隧道隆起，达到盾构

隧道的结构要求,保证盾构隧道的正常运行,将已建盾构隧道周围加固区内的搅拌桩分为三类:近盾构隧道并且平行于盾构隧道设置的隔离搅拌桩,而且在该具体实施例中,隔离桩距盾构隧道为700mm,为了保证有足够好的隔离效果,设置三排平行于盾构隧道的隔离搅拌桩(当然,也可以根据具体的施工需要,设置所需排数的隔离搅拌桩),该隔离搅拌桩的深度要贯穿整个隧道,并且延伸至隧道下方一定的深度,该延伸的深度与具体的土层有关,依据不同的土层,该延伸的深度不同,且该隔离搅拌桩满堂加固形成加固区20;盾构隧道上方的加固搅拌桩,该加固搅拌桩的底部距离盾构隧道的顶部的距离一般在1m以上,该加固搅拌桩的高度要依据不同的土层结构以及工程的要求来确定,且该加固搅拌桩满堂加固形成隧道10上方的加固区(图中未示);以及隔离桩外侧的加固搅拌桩,该加固搅拌桩的长度与隔离搅拌桩的长度一般是相同的,且该加固搅拌桩满堂加固形成加固区30。

在进行搅拌桩施工时,三种类型的搅拌桩的施工顺序可以根据具体的工程的需求,选择相应的施工顺序,在该具体实施例中我们采用先施工隧道两侧的隔离搅拌桩,然后再施工隧道上方的加固搅拌桩以及隔离桩外侧的加固搅拌桩,在该具体实施例中采用规格为 $\Phi 850$ 的搅拌桩,桩径为850mm,其中搅拌桩施工步骤主要包括:

a) 桩位放样:

沿轴线方向将控制点顺轴线方向延长至施工区域两侧外五米的地方并用钢钉进行埋设;由现场技术员根据设计图纸和测量控制点放出桩位,桩位平面偏差不大于5cm。

b) 开挖沟槽并制作泥浆池:

为了保证桩机的安全移位及施工现场的整洁,使用挖机在搅拌桩桩位上预先开挖沟槽,用以存放打桩过程中置换出来的泥浆,沟槽宽约1.2m,深0.7~1m;另外在施工现场还需制作一大的泥浆池,用以将三轴搅拌桩施工过程中在每一个桩位上置换出来的土体泥浆置于其内,待土体泥浆稍干后外运。

c) 开挖导向沟槽:

根据基坑围护内边控制线,采用挖机开挖导向沟槽,并清除地下障碍物,开挖沟槽余土应及时处理。

d) 放置定位型钢:

垂直沟槽方向放置两根定位型钢，规格为 200mm × 200mm，长约 2.5m，再在平行沟槽方向放置两根定位型钢规格 300mm × 300mm，长约 8 ~ 20m。

e) 就位桩机及进行桩机的垂直度校正：

在做好以上各步的准备工作好，将桩机就位；桩机就位地不仅要平整、坚实，同时在履带板下铺设若干块 2m × 7m 路基钢板箱；另外在桩机就位时，其前后腿油压支架支撑在道木垫上，这样可以确保桩机垂直稳固地施工。

在桩机就位后，对桩机进行垂直度校正：在桩机的桩架上焊接有一半径为 5cm 的铁圈，离铁圈 10m 的高处悬挂一铅锤，利用经纬仪校正钻杆垂直度，使铅锤正好通过铁圈中心。每次打桩施工前必须适当调节钻杆，使铅锤大概位于铁圈的中心，即把钻杆垂直度误差控制在 0.5% 内，这样可以保证每一搅拌桩基本处于垂直方向。

f) 标桩长控制标记：

由于本工程搅拌桩桩长变化较多，因此在进行搅拌桩打桩施工前，都应确定该搅拌桩的桩长，根据该搅拌桩的桩长在桩机钻杆上做好相应标记，这样可以控制桩机在进行搅拌桩打桩时，使桩长不得小于设计桩长；当打新桩时，如果桩长发生变化时，擦去旧标记，根据新的桩长在钻杆上做好相应的新标记。

g) 开始打桩：

在钻杆上标好桩长标记后，启动桩机进行打桩，施工前应搭建好拌浆平台，对全体工人做好详尽的施工技术交底工作；开始打桩，钻杆下沉与提升，注浆、搅拌、提升。对不同类型的搅拌桩，其进行打桩时所用的掺量依其桩类型的不同而有所区别。

在对盾构隧道外侧的隔离搅拌桩进行打桩时，其喷浆所采用的掺量为 20% 的普通硅酸盐水泥，水泥浆液的水灰比范围为 1.5 ~ 1.8，在该实施例中可用 1.6 的水灰比；搅拌头下沉过程中喷浆，且其下沉速度小于 0.4m/min，在该实施例中可采用 0.25m/min，提升时不喷浆，且其提升速度小于 0.6m/min，在该实施例中可采用 0.4m/min。

在对盾构隧道上方的加固搅拌桩进行打桩时，其喷浆所采用的掺量为 20% 的普通硅酸盐水泥，水泥浆液的水灰比范围为 1.2 ~ 1.4，在该实施例中可用 1.3 的水灰比；搅拌头下沉过程中喷浆，搅拌头下沉速度小于

0.4m/min, 在该实施例中可采用 0.25m/min, 提升时不喷浆, 搅拌头提升速度小于 0.6m/min, 在该实施例中可采用 0.4m/min。

对于盾构隧道隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩, 其施工工艺与盾构隧道上方的加固搅拌桩基本相同; 但是, 两种加固搅拌桩所采用的水泥浆液的水灰比不同, 盾构隧道上方的加固搅拌桩水泥浆液的水灰比按照 1.2~1.4 的范围配制, 盾构隧道隔离搅拌桩外侧的加固搅拌桩水泥浆液的水灰比按照 1.4~1.6 的范围配制, 在该实施例中可用 1.5 的水灰比。

并且, 在进行搅拌桩施工时, 按照搅拌桩施工工艺要求, 钻杆在下沉和提升时均需注入水泥浆液。另外, 钻杆下沉速度和提升速度要严格按照施工参数表执行, 要求均匀、连续的注入拌制好的水泥浆液, 钻杆提升完毕时, 设计水泥浆液全部注完, 此时搅拌桩施工结束。

对于不同类型的搅拌桩, 其施工顺序以及搭接方法不同: 参考图 2 为盾构隧道外侧的隔离搅拌桩和盾构隧道上方的加固搅拌桩的施工顺序和搭接方法图。在这两类的搅拌桩进行施工时, 采用跳打法进行施工, 在该实施例中采用打一跳二的方式(当然也可以根据不同的工程需要采用不同的跳打法), 将各个搅拌桩进行编号, 第一轮施工时对编号为 $3n+1$ ($n=0, 1, 2, 3\dots$) 的搅拌桩进行打桩, 在第二轮施工时对编号为 $3n+2$ ($n=0, 1, 2, 3\dots$) 的搅拌桩进行打桩, 且与编号为 $3n+1$ 的搅拌桩进行搭接, 然后进行第三轮施工, 对编号为 $3n+3$ ($n=0, 1, 2, 3\dots$) 的搅拌桩进行打桩施工, 其与编号为 $3n+2$ 的搅拌桩进行搭接; 在该具体实施例中, 首先施工离盾构隧道最近的一排隔离搅拌桩, 在完成第一排的隔离搅拌桩后, 进而进行第二排隔离搅拌桩的施工, 且第二排的隔离搅拌桩要与第一排的隔离进行搭接, 然后施工第三排的隔离搅拌桩, 且第三排的隔离搅拌桩要与第二排的隔离搅拌桩进行搭接(同时参考图 1); 盾构隧道上方的加固搅拌桩的施工顺序以及方法与该隔离搅拌桩的施工顺序以及方法相同; 以上所述是比较规范的一种施工顺序方法, 当然在具体的施工过程中, 可以依据具体的施工环境来确定跳打施工顺序。

参考图 3 为隔离桩外侧的加固搅拌桩的施工顺序和搭接方法示意图。对隔离桩外侧的加固搅拌桩, 按连续施工的顺序进行施工, 且各个加固搅拌桩之间互相搭接(同时参考图 1), 且在施工完上一搅拌桩的施工后, 其与下一搅拌桩的施工时间间隔可依具体的工程的要求来确定, 在该工程中采用的是连续施工, 在施工完上一个加固搅拌桩后, 接着就可以进行下

一搅拌桩施工；另外各排之间的加固搅拌桩相互搭接（同时参考图1）。

参考图4为本发明具体实施例中在完成所有搅拌桩施工时，在某一时刻盾构隧道的隆起量与下沉量的检测结果示意图，其横坐标代表各检测点的位置坐标，其单位m，纵坐标代表各个检测点的隆起量，其单位为mm，在采用本发明的施工方法进行施工过程中，在盾构隧道中轴线上布置了若干个隆起观测点并进行实时监测；在该具体实施中，从第一根搅拌桩施工开始到最后一根搅拌桩完成，历时3个月，从图4中可以得知，在完成所有搅拌桩的施工后的某一时间点，实际盾构隧道总的隆起量不超过5mm，下沉量不超过1mm。表1给出了从第一根搅拌桩施工开始到最后一根搅拌桩完成，历时3个月以及施工完成后的两个月内，盾构隧道每个月的隆起量，从表格中所给的数据可以得知盾构隧道的每个月的隆起量也均不超过5mm，每个月的下沉量也均不超过1mm。而且，根据在施工期间盾构隧道每天各监测位置的隆起变化量和施工日志，可以发现距离刚刚施工的搅拌桩位置最近的地方盾构隧道隆起最大，在已经完成施工的搅拌桩位置附近的盾构隧道会发生隆起后下沉，采用本发明的施工方法施工，盾构隧道会发生竖向隆起或下沉，根据整个加固区搅拌桩施工完成后的监测数据，对比发现各个单日搅拌桩施工引起的盾构隧道隆起量不超过0.5mm，下沉量不超过0.36mm；由此可见，根据各个监测点每天的监测结果，以及所有的搅拌桩施工完成后，盾构隧道最终的隆起量和下沉量均满足对已建盾构隧道的结构要求，保证盾构隧道的正常运行，产生很好的效果。

表1

测点号	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15
9月	0.00	0.00	0.02	0.09	0.18	0.20	0.19	0.20	0.19	0.21	0.26	0.24	0.16	0.09	0.05	0.01
10月	0.00	0.01	0.09	0.17	0.31	0.34	0.37	0.43	0.46	0.58	0.69	0.56	0.51	0.45	0.43	0.42
11月	0.00	0.11	0.31	0.43	0.63	0.64	0.64	0.62	0.79	1.09	1.50	1.68	1.83	1.96	2.12	2.31
12月	0.00	0.29	0.73	0.99	1.38	1.35	1.24	1.03	1.15	1.47	2.14	2.38	2.73	2.82	3.04	3.48
01月	0.00	0.75	1.68	2.02	2.25	1.47	0.62	-0.31	-0.57	-0.51	0.08	0.22	0.56	0.69	0.89	1.57
测点号	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22	Y23	Y24	Y25	Y26	Y27	Y28	Y29	Y30	Y31
9月	-0.01	-0.11	-0.10	-0.13	-0.13	-0.18	-0.25	-0.30	-0.29	-0.29	-0.28	-0.27	-0.29	-0.22	-0.27	-0.29
10月	0.46	0.40	0.58	0.54	0.54	0.46	0.24	0.15	0.12	0.08	0.00	-0.10	-0.21	-0.19	-0.29	-0.37
11月	2.45	2.37	2.69	2.89	3.19	3.39	3.21	3.10	2.99	2.83	2.44	2.02	1.42	1.09	0.81	0.56
12月	3.83	3.56	3.85	3.90	4.04	4.13	3.90	4.00	3.90	3.57	2.84	2.09	1.37	1.20	0.49	0.05
01月	2.23	2.02	2.55	2.81	3.10	3.43	3.49	3.84	3.86	3.52	2.67	1.73	0.94	0.64	-0.28	-0.73

测点号	Y31	Y32	Y33	Y34	Y35	Y36	Y37	Y38	Y39	Y40	Y41	Y42	Y43	Y44	Y45
9月	-0.29	-0.28	-0.24	-0.19	-0.18	-0.17	-0.18	-0.16	-0.13	-0.05	-0.03	-0.01	0.04	0.05	0.00
10月	-0.37	-0.40	-0.39	-0.37	-0.41	-0.41	-0.38	-0.42	-0.34	-0.22	-0.15	-0.11	0.04	0.04	0.00
11月	0.56	0.35	0.16	0.11	-0.04	-0.13	-0.11	-0.19	-0.14	0.00	0.03	0.05	0.21	0.16	0.00
12月	0.05	0.04	0.22	0.51	0.61	0.45	0.26	0.02	-0.04	0.12	0.12	0.22	0.45	0.33	0.00
01月	-0.73	-0.63	-0.32	-0.05	0.06	0.03	-0.29	-0.52	-0.44	-0.10	-0.15	0.06	0.45	0.34	0.00

可以理解的是,上述实施例的详细说明是为了阐述和解释本发明的原理而不是对本发明的保护范围的限定。在不脱离本发明的主旨的前提下,本领域的一般技术人员通过对上述技术方案的所教导的原理的理解可以在这些实施例基础上做出修改,变化和改动。因此本发明的保护范围由所附的权利要求以及其等同来限定。

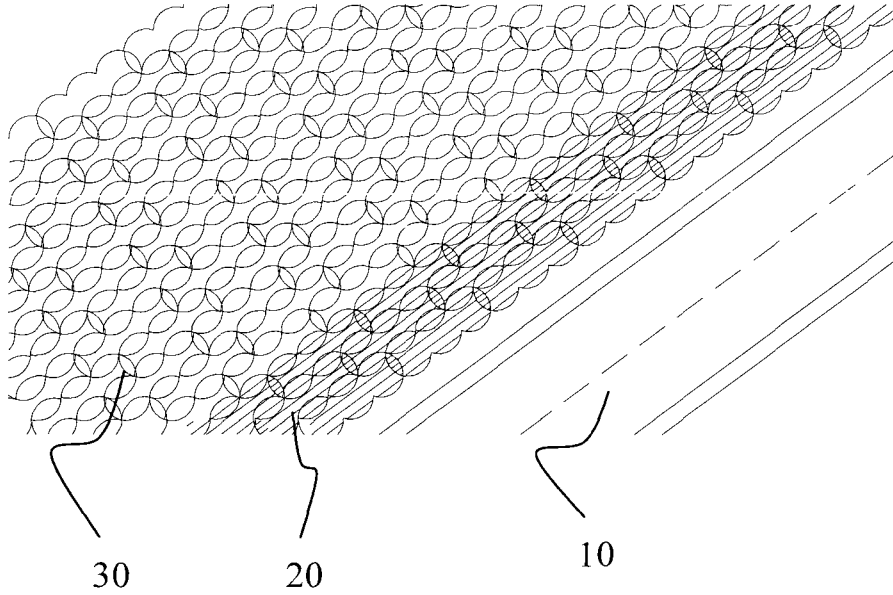


图 1

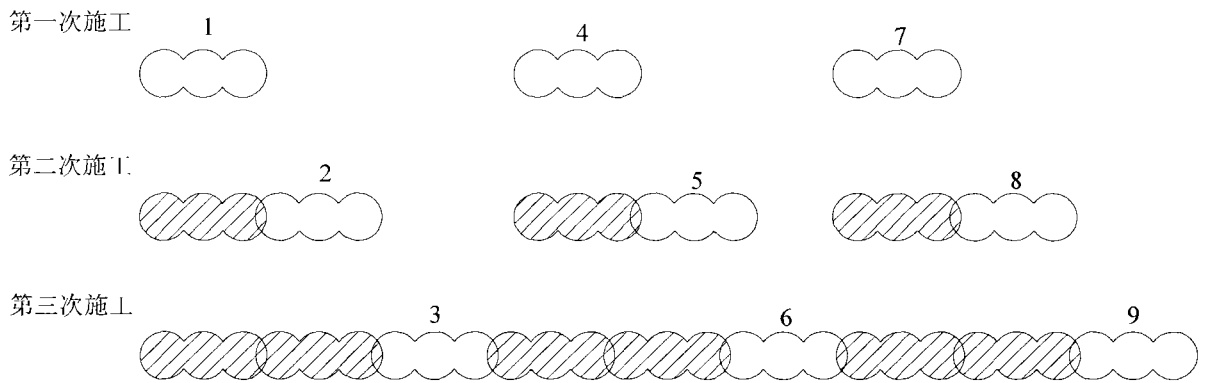


图 2

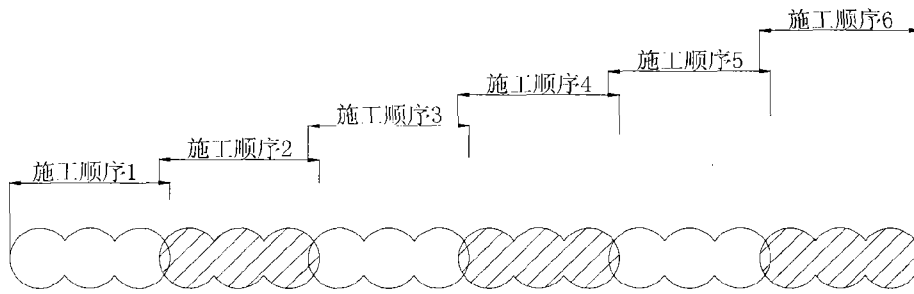


图 3

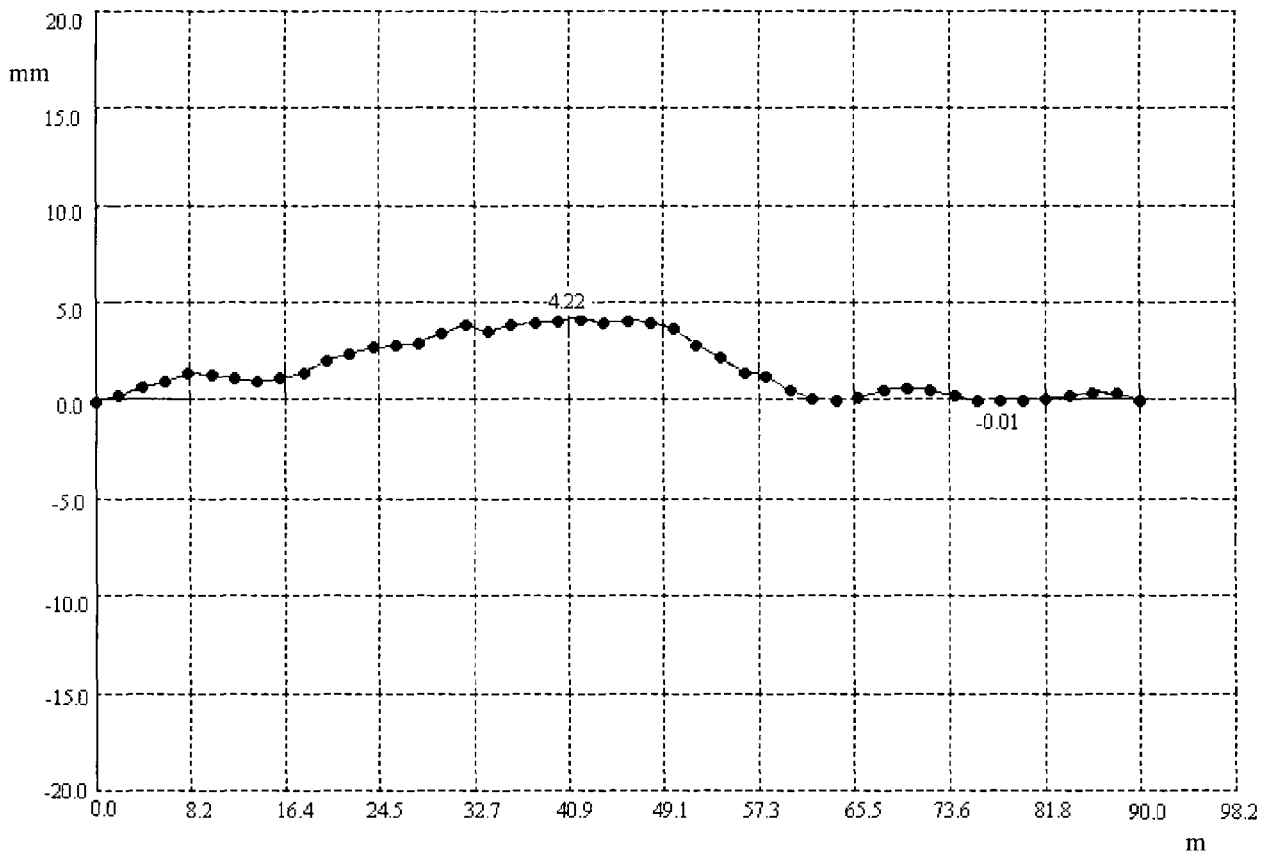


图 4