



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101761068 A

(43) 申请公布日 2010.06.30

(21) 申请号 200910198503.3

(22) 申请日 2009.11.10

(71) 申请人 同济大学

地址 200092 上海市四平路 1239 号

申请人 上海申通地铁集团有限公司

(72) 发明人 马险峰 马忠政 徐前卫 王秀志

杨洪杰 刘朝明 王磊

(74) 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

31200

代理人 张磊

(51) Int. Cl.

E02D 5/00 (2006.01)

E02D 5/64 (2006.01)

E02D 37/00 (2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固方法

(57) 摘要

本发明属岩土及地下工程技术领域,具体涉及一种城市地铁隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固方法。本发明方法包括桥梁两侧桥台地基加固、围堰施工及桥基范围外河床加固、桥下支撑加固、围堰内桥下基坑开挖、基坑内扩大板式基础及板下地基加固和盾构推进及障碍桩基切除。本发明在确保既有桥梁结构正常通行的同时,能够顺利完成施工并保证盾构的顺利掘进,还可以有效降低施工风险、加快施工进度、降低造价并最大程度的减少对环境的影响。

1. 一种隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固方法,其特征包括:桥梁两侧桥台地基加固、围堰施工及桥基范围外河床加固、桥下支撑加固、围堰内桥下基坑开挖、基坑内扩大板式基础及板下地基加固、盾构推进及障碍桩基切除;具体步骤如下:

(1) 桥梁两侧桥台地基加固

通过地基加固形成重力式挡墙,地基加固采用三重管法的高压旋喷桩加固,在旋喷桩挡墙内外排桩身内插H型钢,其中靠近桥梁的内排桩“每桩插一”、外排桩“跳一插一”,为避免影响盾构掘进,在盾构隧道区域的内插型钢底标为盾构顶标高上方0.50m;H型钢上部采用钢筋混凝土冠梁连成整体,内外排冠梁间每隔3.6m设400×400系梁相连,内排冠梁与桥台支座密贴,使桥面板梁作水平支撑的作用;

(2) 围堰施工及桥基范围外河床加固

在河床上施作拉森钢板桩、在钢板桩之间回填土、待围堰合拢后铺设临时排水管、抽水后对桥梁两侧河道内靠近桥边沿各布置两排高压旋喷桩、对桥梁四个角点处进行压密注浆加固并形成闭合维护;

(3) 桥下支撑加固

支撑施工前首先要在桥墩或桥台上安装支撑部位预先进行植筋,即每根型钢每端植入2根:先用钻机在桥墩或桥台相应位置打钻孔洞,随后注入胶水,最后将预先准备好的螺纹钢筋插入;待钢筋与桥墩或桥台完全粘结为一体后在外露钢筋端焊接钢板;利用人工配合千斤顶将钢管吊装至预定位置,焊接到钢板上;

(4) 为了保障筏板基础托换的施作空间并确保板下地基加固时机器设备的操作空间,需要在围堰内桥下基坑开挖,并开挖到设计深度;

(5) 基坑内扩大板式基础及板下地基加固

桥下基坑土体开挖到设计深度后,然后进行基坑内扩大板式箱筏基础及板下地基加固,即可进行底板混凝土基础的施工,于此同时,也对桥墩和桥台下开挖暴露出来的桩基包裹一层钢筋混凝土层形成隔墙,并与底板、上部桥梁结构形成箱形结构,构成新的受力体系,实现将荷载由桩基转移到筏板基础上;

(6) 扩大基础底板及隔墙整体完成后,河床上软土的地基承载力较低,扩大基础底板下的土基必须加固,桥下加固区域为桥面垂直投影范围,采用旋喷桩在该区域满堂加固,同时,考虑到下一步盾构还需要从筏板下穿过并将障碍桩基切除,故扩大基础底板下的土基必须加固,在施工筏板时,在其上还预留了相应的注浆孔;

(7) 盾构推进及障碍桩基切除

底板托换完成并对筏板下土体进行加固后,盾构便可继续推进,直至遇到桥台下桩基;桩基的切除可采取在盾构刀盘上安装相应的切削刀具,使得刀盘可直接切削桩基。

隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固方法

技术领域

[0001] 本发明属岩土及地下工程技术领域,具体涉及一种隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固方法。

背景技术

[0002] 随着城市化进程的加快,交通拥堵正成为制约其发展的瓶颈,不断增长的客流量对上海城市建设的发展提出了更高要求。鉴于轨道交通作为大容量快速交通系统,在整个城市客流运输中正扮演着越来越重要的角色,世界各主要城市已经把轨道交通网络建设作为城市基础设施建设的重点,并且轨道交通的建设已经进入了集中发展期。以地铁隧道和轻轨建设为代表,世界各主要城市轨道交通建设正在进入新一轮的高速发展期。新一轮轨道交通网络建设的一个显著特点是施工环境日益复杂,新旧线、新建线路之间的交叉、穿越以及盾构穿越既有构筑物等问题将更突出。尤其是当盾构穿越建筑物、桥梁等结构时,往往会遇到打入深度较深的桩基,这对盾构推进形成障碍,增加了施工的难度。随着对施工技术要求提高,这些复杂问题的妥善解决及其相关关键技术的研究必然就显得格外重要且有意义。

[0003] 针对盾构施工穿越河流上方既有运营公路桥梁的案例,河流上方桥梁的桥墩、桥台均采用桩基础支撑,桩的入土深度已经贯穿了地铁区间隧道断面,导致盾构在该处推进时,故必须对桩基进行拔除或切断等处理,尤其是桥梁所在位置建筑物密集、施工场地有限,加之施工期限颇为紧迫,故急需创造出一种新的施工方法,在确保既有桥梁结构安全营的同时,保证工程得以安全、经济、高效地实施。

[0004] 国内外在盾构施工中碰到类似情况时,往往采取整体拆除桥梁结构的方法,而为了保证地面道路交通的顺畅,必须另外搭建临时替代桥梁。因此,通常的施工顺序为:首先,拆除旧桥,将桩基拔除;与此同时,搭建临时替代桥梁,将地面道路交通改道,然后实施盾构推进;施工结束后,修建新桥,并最终拆除临时桥梁,以恢复原有交通。虽然该方法在施工规模较小、影响交通时间较短时可行性较大,但是存在的不足之处为:(1)对工期、造价以及周围环境有较高要求;(2)需要拆除两座桥梁、建造两座桥梁,不但费时费力,造价也非常昂贵;(3)对于要求交通不能受到影响的重要地段,该方法会对地面交通产生较大影响,带来负面社会效应;或者当不能另辟空间新建临时桥梁的时候,使得该方法的应用往往受到诸多限制。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固工法。

[0006] 本发明提出的隧道穿越河流上方桥梁桩基的箱-筏承压式基础托换及施工加固方法,包括:桥梁两侧桥台地基加固、围堰施工及桥基范围外河床加固、桥下支撑加固、围堰

内桥下基坑开挖、基坑内扩大板式基础及板下地基加固、盾构推进及障碍桩基切除；具体步骤如下：

[0007] (1) 桥梁两侧桥台地基加固

[0008] 通过地基加固形成重力式挡墙，地基加固采用三重管法的高压旋喷桩加固，在旋喷桩挡墙内外排桩身内插 H 型钢，其中靠近桥梁的内排桩“每桩插一”、外排桩“跳一插一”，为避免影响盾构掘进，在盾构隧道区域的内插型钢底标为盾构顶标高上方 0.50m；H 型钢上部采用钢筋混凝土冠梁连成整体，内外排冠梁间每隔 3.6m 设 400×400 系梁相连，内排冠梁与桥台支座密贴，使桥面板梁能作发挥水平支撑的作用；

[0009] (2) 围堰施工及桥基范围外河床加固

[0010] 在河床上施作拉森钢板桩、在钢板桩之间回填土、待围堰合拢后铺设临时排水管、抽水后对桥梁两侧河道内靠近桥边沿各布置两排高压旋喷桩、对桥梁四个角点处进行压密注浆加固并形成闭合维护；

[0011] (3) 桥下支撑加固

[0012] 支撑施工前首先要先在桥墩或桥台上安装支撑部位预先进行“植筋”（每根型钢每端植入 2 根）：先用专用钻机（何谓专用，不确定）在桥墩或桥台相应位置打钻孔洞，随后注入胶水，最后将预先准备好的螺纹钢筋插入。待钢筋与桥墩或桥台完全粘结为一体后在外露钢筋端焊接钢板。利用人工配合千斤顶将钢管吊装至预定位置，焊接到钢板上；

[0013] (4) 为了保障筏板基础托换的施作空间并确保板下地基加固时机器设备的操作空间，需要在围堰内桥下基坑开挖，并开挖到设计深度；

[0014] (5) 基坑内扩大板式基础及板下地基加固

[0015] 桥下基坑土体开挖到设计深度后，然后进行基坑内扩大板式箱筏基础及板下地基加固，即可进行底板混凝土基础的施工，于此同时，也对桥墩和桥台下开挖暴露出来的桩基包裹一层钢筋混凝土层形成隔墙，并与底板、上部桥梁结构形成箱形结构，构成新的受力体系，实现将荷载由桩基转移到筏板基础上；

[0016] (6) 扩大基础底板及隔墙整体完成后，河床上软土的地基承载力较低，扩大基础底板下的土基必须加固，桥下加固区域为桥面垂直投影范围，采用旋喷桩在该区域满堂加固，同时，考虑到下一步盾构还需要从筏板下穿过并将障碍桩基切除，故扩大基础底板下的土基必须加固，在施工筏板时，在其上还预留了相应的注浆孔；

[0017] (7) 盾构推进及障碍桩基切除

[0018] 底板托换完成并对筏板下土体进行加固后，盾构便可继续推进，直至遇到桥台下桩基；桩基的切除可采取在盾构刀盘上安装相应的切削刀具，使得刀盘可直接切削桩基。

[0019] 本发明针对盾构穿越桥梁桩基这一实际难题提出了新的解决方案——箱筏承压式基础托换及盾构机内除桩的工法，即在保证既有桥梁结构使用功能的前提下，通过一系列施工技术裁处桩基，达到盾构顺利推进的目的。新的解决方案的研究和实施不仅是对旧的解决方案的突破和革新，而且也符合我国地铁建设新形势的需要，同时也有利于提高地铁建设水平，对盾构穿桩时的地基加固技术、托换技术和除桩技术等都有较大的促进作用。

[0020] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：即在保证既有桥梁结构使用功能的前提下，通过一系列施工技术裁处桩基，达到盾构顺利推进的目的。在整个施工过程中，能综合考虑上部桥梁结构、基坑、围堰和隧道结构等几大体系之间的相互作用。并可有效降低施工

风险、加快施工进度、降低造价和最大程度地减少对周围环境的影响。新的解决方案的研究和实施不仅是对已有解决方案的突破和革新,而且也符合我国地铁建设新形势的需要,同时也有利于提高地铁建设水平,对盾构穿桩时的地基加固技术、托换技术和除桩技术的改进和综合有较大的促进作用。

附图说明

[0021] 图 1 为盾构穿越某桥梁桩基平面图。

[0022] 图 2 为盾构穿越某桥梁桩基立面图。

[0023] 图 3 为本发明的结构平面图。

[0024] 图 4 为本发明的立面示意图。

[0025] 图 5 为桥下支撑架设示意图。

[0026] 图 6 为盾构穿桩示意图。

[0027] 图中标号:1 为高压旋喷桩,2 重力式挡墙,3 为 H 型钢,4 为内排桩,5 为外排桩,6 为型钢,7 为钢筋混凝土冠梁,8 为桥台,9 为桥梁面板,10 为围堰,11 为河床地基加固,12 为拉森钢板桩,13 为系梁,14 为回填土,15 为排水管,16 为压密注浆加固,17 为桥下支撑,18 为桥墩,19 为钢板,20 为千斤顶,21 为钢管,22 为筏板基础,23 为桥下基坑,24 为底板混凝土基础,25 为桩基,26 为盾构,27 为刀盘,28 为支座,29 为隔墙,30 为隧道,31 为河床,32 变形缝,33 为桥梁垫层。

具体实施方式

[0028] 下面通过实施例结合附图进一步说明本发明。

[0029] 但不应将此理解为本发明上述主题的范围仅限于下述实施例。

[0030] 实施例 1:

[0031] 本发明包括:桥梁两侧桥台 8 地基加固、围堰 10 施工及桥基范围外河床加固 11、桥下支撑 17 加固、围堰 10 内桥下基坑 23 开挖、基坑 23 内扩大板式基础及板下地基加固 22、盾构 26 推进及障碍桩基切除。

[0032] (1) 通过地基加固形成重力式挡墙 2。地基加固采用三重管法的高压旋喷桩 1 加固,水泥掺量 25%,桩径 $\Phi 1600\text{mm}$,桩与桩之间搭接 300mm。为了增加重力式挡墙 2 的强度,在旋喷桩 1 挡墙内外排桩身内插 $300 \times 300 \times 10 \times 15$ 的 H 型钢 3,其中靠近桥梁的内排桩 4 “每桩插一”、外排桩 5 “跳一插一”,为避免影响盾构 26 掘进,在盾构隧道 30 区域的内插型钢 6 底标为盾构 26 顶标高上方 0.50m;型钢 6 上部以 600×400 钢筋混凝土冠梁 7 连成整体,内外排冠梁 7 间每隔 3.6m 设 400×400 系梁 13 相连。内排冠梁 7 与桥台 8 支座 28 密贴,以使桥梁面板 9 能兼作发挥水平支撑的作用。

[0033] (2) 在重力式挡墙 2 完成后,进行围堰 10 施工及桥基范围外河床地基加固 11。首先在河床 31 上施作拉森钢板桩 12、在钢板桩 12 之间填入回填土 14、待围堰 10 合拢后铺设临时排水管 15、抽水后对桥梁两侧河道内靠近桥边沿各布置两排高压旋喷桩 1 进行河床地基加固 11、对桥梁四个角点处进行压密注浆加固 16 并形成闭合维护。

[0034] (3) 在围堰施 10 工同时进行桥下支撑 17 加固。支撑 17 施工前首先要在桥墩 18 或桥台 8 上安装支撑 17 部位预先进行“植筋”,每根型钢每端植入 2 根:先用专用钻机在桥

墩 18 或桥台 8 相应位置打钻直径 40mm 孔洞（深约 30cm），随后注入胶水，最后将预先准备好的直径 32mm 螺纹钢插入。待钢筋与桥墩 18 或桥台 8 完全粘结为一体后在外露钢筋端焊接钢板 19。利用人工配合千斤顶 20 将直径 508mm 钢管 21 吊装至预定位置，焊接到钢板 19 上。

[0035] (4) 为了保障筏板基础 22 托换的施作空间并确保板下地基加固时机器设备的操作空间，其后需要在围堰内桥下基坑 23 开挖，并开挖到设计深度。

[0036] (5) 桥下基坑 23 土体开挖到设计深度后，然后进行基坑内扩大板式箱筏基础，即板下地基加固 22 即进行底板混凝土基础 24 的施工，于此同时，也对桥墩 18 和桥台 8 下开挖暴露出来的桩基 25 包裹一层钢筋混凝土层形成隔墙 29，并与底板 24、上部桥梁面板 9 形成箱形结构，构成新的受力体系，从而实现将荷载由桩基转移到筏板基础 22 上。在施工筏板基础 22 时，在其上同时预留相应的注浆孔。

[0037] (6) 扩大基础底板 22 及隔墙 29 整体完成后，由于河床上软土的地基承载力较低，同时，考虑到下一步盾构还需要从筏板下穿过并将障碍桩基切除，故扩大基础底板下的土基必须加固。桥下加固区域 24 为桥面垂直投影范围，采用旋喷桩 1 在该区域满堂加固。

[0038] (7) 底板 22 托换完成并对筏板下土体进行加固 24 后，盾构便可继续推进，直至遇到桥台 8 下桩基 25。桩基 25 的切除可采取在盾构 26 刀盘 27 上安装相应的切削刀具，使得刀盘 27 可直接切削桩基 25，即进行盾构 26 推进及障碍桩基切除。

[0039] 将上述方法用于某轨道交通线路规划，某地铁线路需从一桥梁桩基间穿越。该桥为三跨简支梁结构，跨径 6m+13m+6m，宽度 30m。共设置桥台 8、桥墩 18 各两座，桥墩 18、桥台 8 分别采用 23 根和 14 根预制钢筋混凝土方桩 25 作为基础。此处隧道 30 顶标高约 -6 ~ -7m，受影响的桩基 25 每个桥墩处约 5 根桩，每个桥台处约 3 ~ 4 根桩，共需处理约 33 根桩。

[0040] 由于拆旧桥建新桥成本太高，本桥梁的基础托换采用箱-筏承压式基础 22 取代原来的桩基 25 并进行盾构穿越。这种托换方式施工工艺较简洁、较容易实施，也能满足沙泾港桥地基托换后的使用功能。本托换工程的具体施工步骤由桥梁两侧桥台背后地基加固、围堰 10 施工及桥基范围外河床加固 11、桥下支撑 17 加固、围堰 10 内桥下基坑 23 开挖、基坑 23 内扩大板式箱筏基础及板下地基加固 22、盾构 26 推进及障碍桩基 25 切除组成。

[0041] 所述的桥台 8 背后进行地基加固是为了在桥台背后形成重力式挡墙支撑结构，确保在桥梁下方进行基坑 23 开挖所需要施工空间的安全稳定。采用高压旋喷桩复合重力式挡墙 2 的围支护方案。旋喷桩挡墙 23 宽 6.30m，高压旋喷桩 1 采用三重管法，水泥掺量 25%，桩径 $\Phi 1600\text{mm}$ ，桩与桩之间搭接 300mm，旋喷桩桩长 22.7m，位于加固区内的旋喷桩 1 桩底同加固深度底标高，正方形布置；在旋喷桩挡墙 2 内外排桩身内插 $300 \times 300 \times 10 \times 15\text{H}$ 型钢 6，其中靠近坑内的内排桩 4 “每桩插一”、外排桩 5 “跳一插一”，H 型钢 6 总长 12.0m，在盾构隧道 30 区域的内插型钢 6 底标为盾构 26 顶标高上方 0.50m；型钢 6 上部以 600×400 钢筋混凝土冠梁 7 连成整体，内外排冠梁 7 间每隔 3.6m 设 400×400 系梁 13 相连。内排冠梁 7 与桥台 8 支座密贴。

[0042] 其后的河内围堰 10 修筑按如下顺序进行施工：(1) 桥梁两侧 2/3 部分围堰 10 施工；(2) 围堰内桥台 8 与桥墩 18 之间各敷设两根直径 $\Phi 700 \times 6\text{mm}$ 钢管，并与围堰 10 外河流通；(3) 剩余 1/3 部分围堰 10 施工，并采用水泵（连接至预设钢管端头）抽水保证河流水体流通；(4) 待围堰 10 合拢后抽水，对主道路沿桥两侧河道内靠近桥边沿各布置两排

高压旋喷桩 1, 桩径 $\Phi 1600\text{mm}$, 搭接 300mm , 桩底标高 -16.7m ; (5) 对桥梁四个角点处进行压密注浆加固 16, 形成闭合维护。围堰施工时, 先用振动锤打设钢板桩 12, 小齿口连接。两侧对称施打, 当打完一段后, 在钢板桩 12 顶部做一道围檩。围檩采用 32# 钢板桩, 围檩的中心标高在拉森桩 12 桩顶往下 1.5 米左右。在围檩和钢板桩 12 上割洞, 用 25mm 的螺纹钢贯穿两侧的围檩和钢板桩 12, 将螺纹钢焊在两侧的型钢上, 间距 1m。

[0043] 新填筑围堰 10 基础必须清理干净, 围堰 10 两端与原河岸交界处应形成阶梯形接台面。围堰 10 内积水排干后, 及时对围堰 10 内坡进行修整并补土表面夯实。临时排水施工过程中, 在桥下基坑 23 内铺设 4 根 $\Phi 700\text{mm}$ 临时排水钢管 15, 钢管 12 底标高 $+2.5\text{m}$, 布置于桥台 8 与桥墩 18 之间, 在桥东侧上游方向配备 4 台功率为 75KW 的水泵, 桥西侧配备 2 台功率为 75kW 的水泵以满足在非汛期的临排要求。施工时在两侧围堰外 1.5m 处、靠近两侧防汛墙边各搭设 2 只墩台 18, 用 60# 槽钢架于墩台之上作为轴流潜水泵工作平台。围堰内西侧、防汛墙边各搭设 3 只墩台, 围堰内东侧、防汛墙边各搭设 2 只墩台作为钢管支撑, 墩台标高 2.5m, 临排钢管 15 共设 4 道, 9m 一节、电焊连接, 连接处另用钢套管加固。

[0044] 桥墩 18、桥台 8 间第一道支撑、第二道支撑 17 及系梁 13 施工与围堰施工交叉施工, 桥墩间第一、二道支撑 17 桥下抽水后施工。支撑 17 施工前首先“植筋”: 先用专用钻机在桥墩 18 或桥台 8 相应位置打钻直径 40mm 孔洞, 随后注入胶水, 最后将预先准备好的直径 32mm 螺纹钢插入。待钢筋与桥墩 18 或桥台 8 完全粘结为一体后在外露钢筋端焊接钢板。利用人工配合千斤顶 20 将直径 508mm 钢管 21 吊装至预定位置, 焊接到钢板 19 上。

[0045] 所述的围堰内桥下基坑 23 开挖, 由于作业面极其狭小机械设备无法使用, 全由人工进行, 作业人员自最东侧开始, 将渣土驳运至桥西侧由长臂挖机清运至土方车上外运, 以最快的速度完成土方开挖工作。在挖土过程中同时做好截水、排水措施。

[0046] 在桥下基坑土体开挖到设计深度后, 即可进行底板混凝土基础 24 的施工, 于此同时, 也对桥墩和桥台下开挖暴露出来的桩基 25 包裹一层钢筋混凝土层形成隔墙 29, 并与底板 24、上部桥梁面板 9 形成箱形结构, 构成新的受力体系, 从而实现将荷载由桩基转移到筏板基础上。综合考虑扩大基础底板下的土基的加固 22 和盾构 26 过桩基 25 工况土体加固要求, 桥下加固区域为桥面垂直投影范围, 采用旋喷桩 1 在该区域满堂加固, 桩径 1500mm, 桩间距为: $1200 \sim 1300\text{mm}$, 旋喷加固标高为 $-16.7 \sim -2.5\text{m}$ 。同时在施工筏板 22 时, 其上需预留注浆孔。

[0047] 在底板托换完成并对筏板 22 下土体进行加固后, 盾构 26 便可继续推进, 直至遇到桥台 8 下桩基 25。本次盾构 26 在桩基 25 间穿越, 迎面共需处理约 33 根桩。由于桥基基础土体虽经混凝土旋喷托换加固处理, 盾构 26 穿越时, 仍可能有地下水的渗透, 并且如果采用人员走出盾构机的头部刀盘外端到土舱开挖面中进行人工凿除桩基 25 作业, 安全性难以保障, 故本工程采用盾构机直接切桩的办法。即盾构 26 继续推进, 直至遇到桥台下桩基 25。桩基 25 的切除可采取在盾构刀盘 27 上安装相应的切削刀具, 使得刀盘可直接切削桩基 25。

[0048] 由于桥下桩基均为两接头桩, 并且桩的接头部位几乎正对应于盾构刀盘 27 的中心部位。当刀盘 27 在切桩时, 如果接头部位松脱导致桩体倾斜, 将会造成切桩困难, 在盾构切桩过程中需要加以注意。

[0049] 在施工过程中, 涉及到上部桥梁结构 9、基坑 23、围堰 10 和隧道 30 等几大体系之

间的相互作用。本发明能够将原有桥梁结构的桩基 25 承载力顺利转移到箱筏承压式托换基础 22 上,从而确保原有桥梁的正常运行,并能同时缩短工期、降低造价以及减少对周围环境的影响。

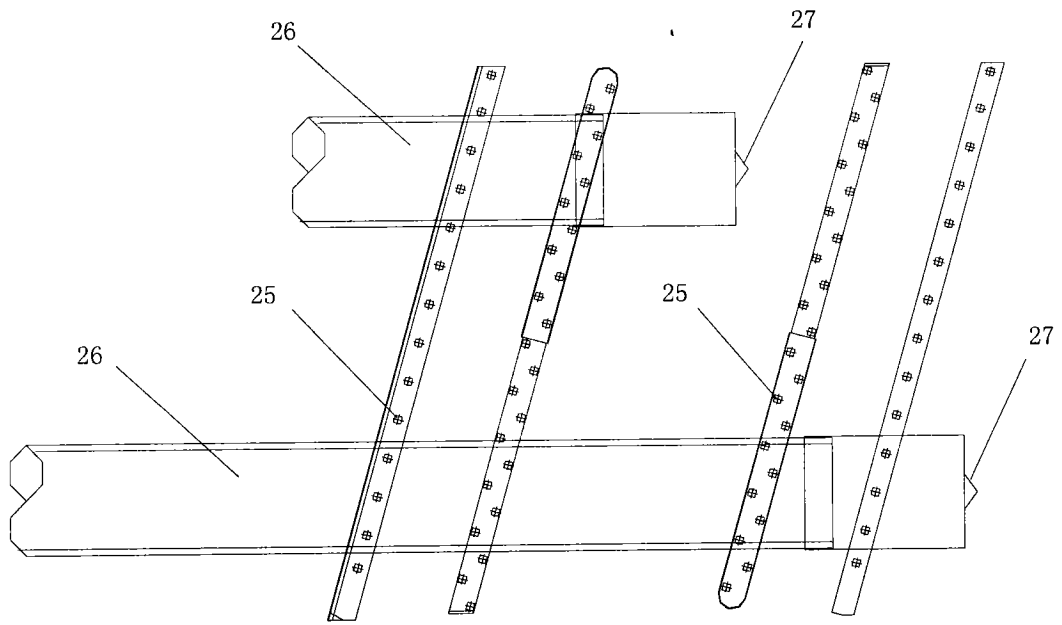


图 1

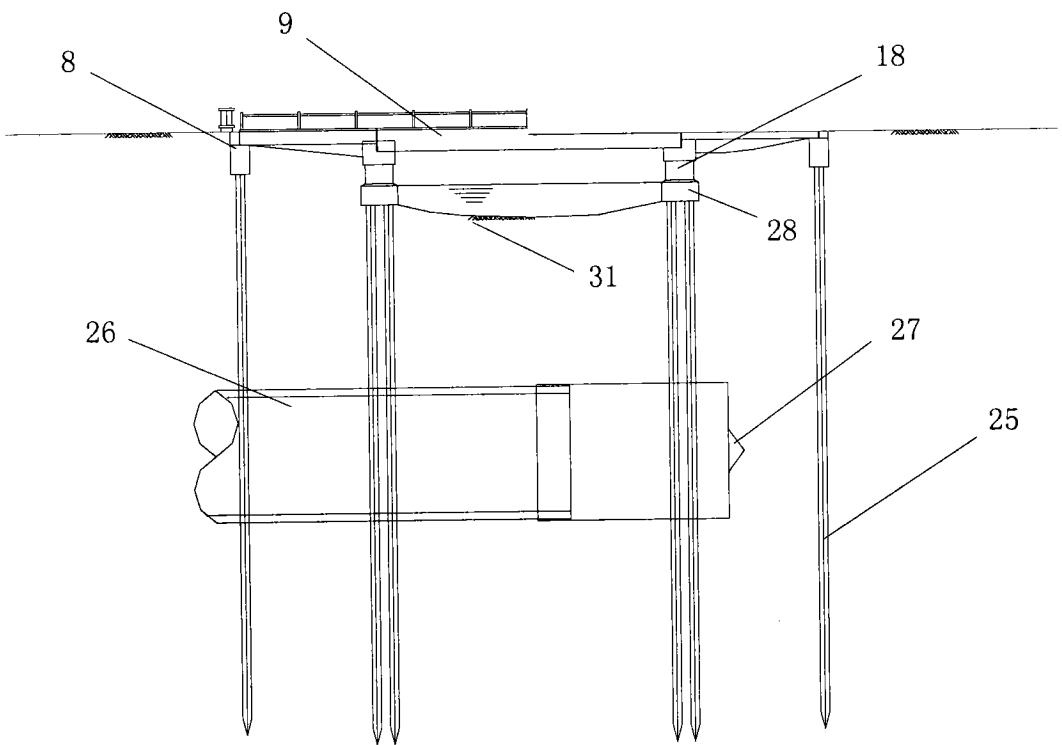


图 2

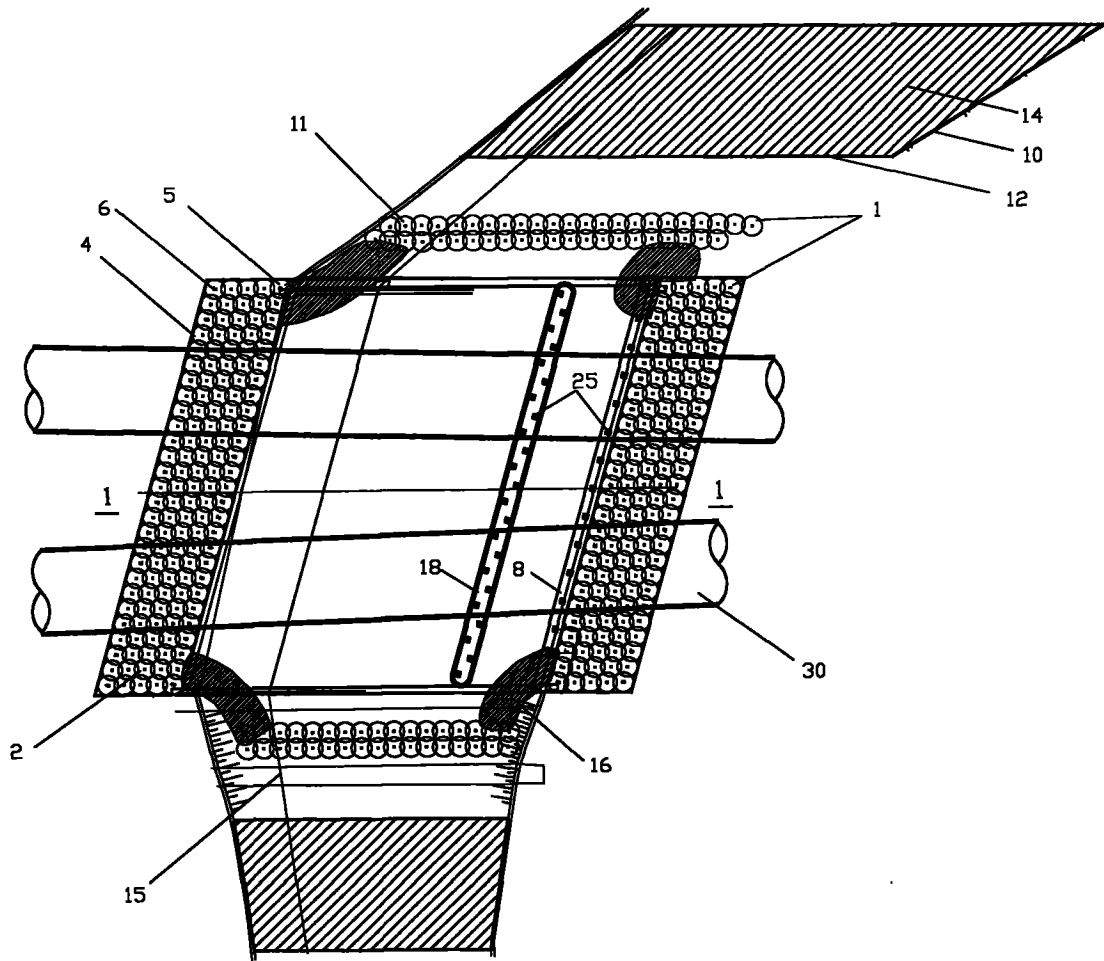


图 3

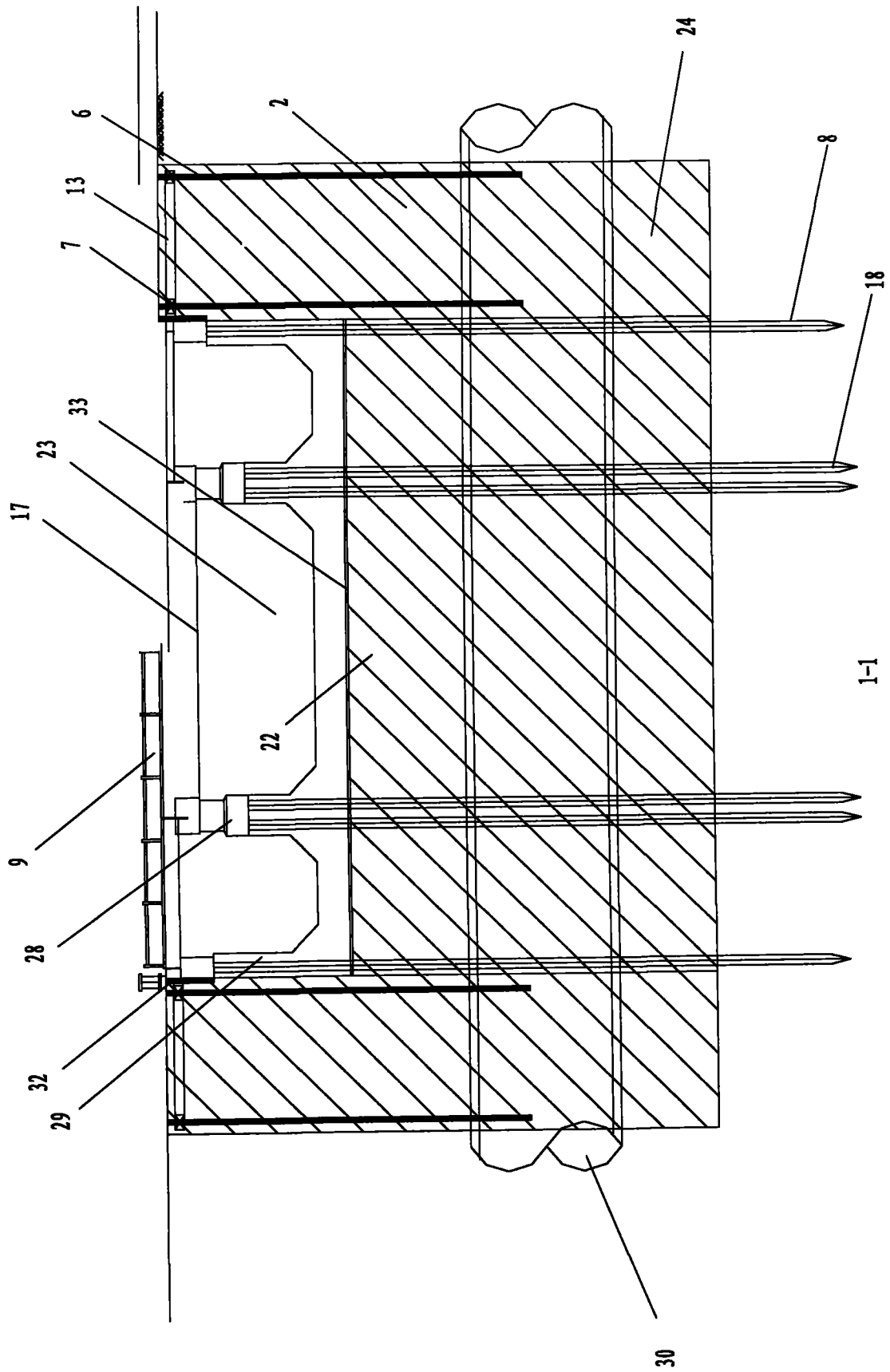


图 4

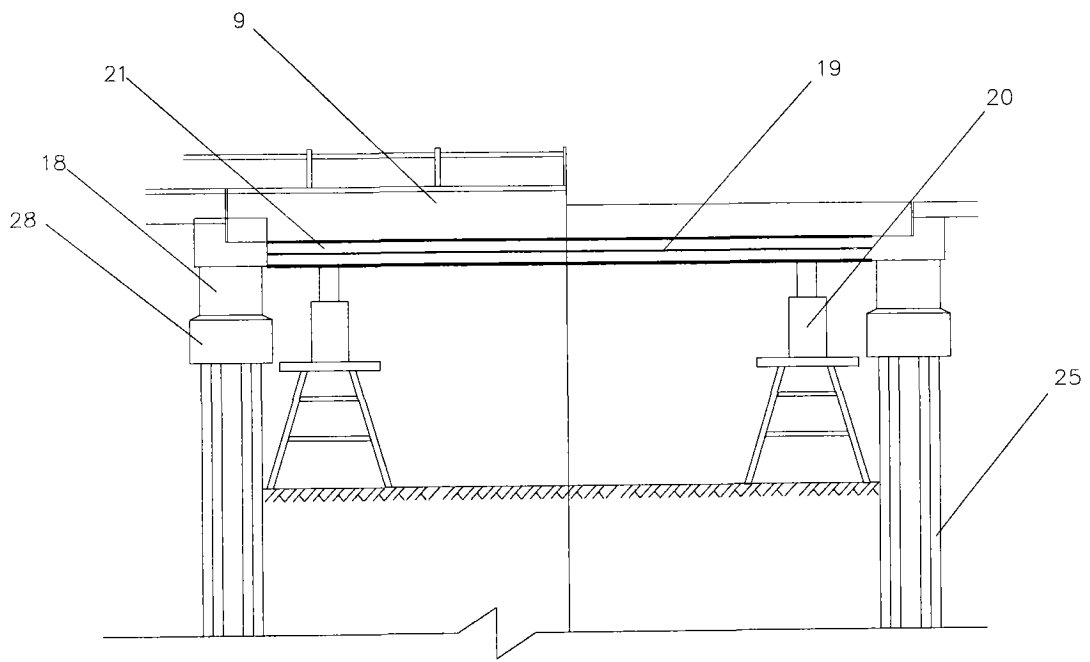


图 5

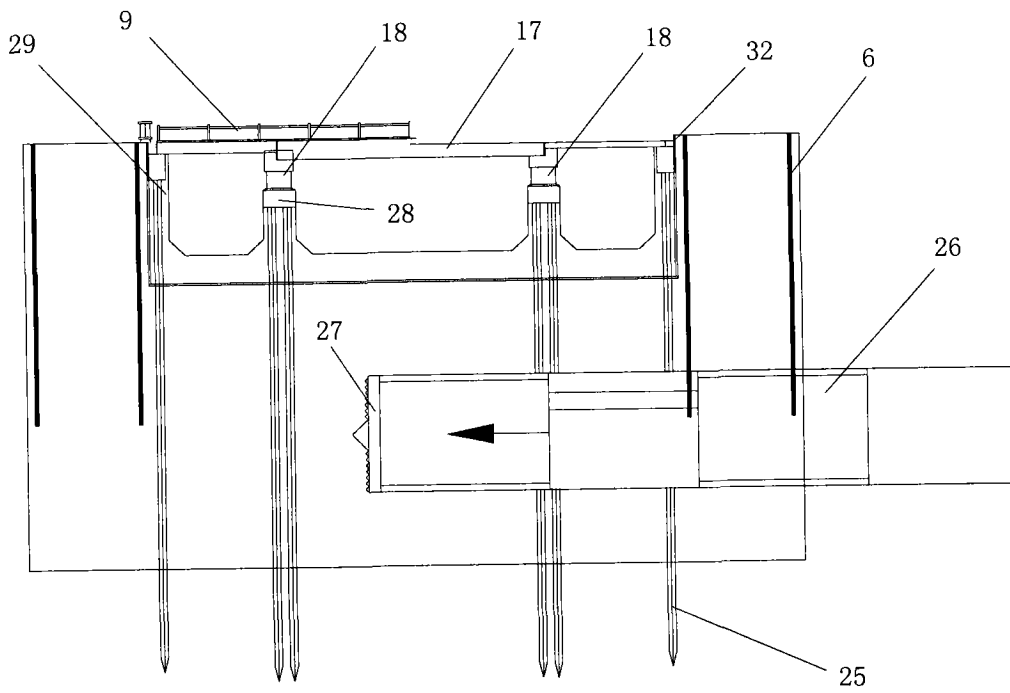


图 6