

复式挤扩桩成桩工法及复式挤扩成桩设备

技术领域

本发明属土木工程领域，涉及一种复式挤扩桩成桩工法及复式挤扩成桩设备。

背景技术

在土木工程领域中，根据成桩方法对土层的影响可将基桩分为非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩三大类。基桩的桩体形状可以是等截面也可以是变截面，桩体形状以及成桩工法直接决定了桩的承载力、施工速度、工程造价、环保等问题。在基桩的桩型和成桩工法不断演变发展的过程中，变截面桩的产生极大提高了桩的侧摩阻力，从而缩短了桩长、减少了桩径和桩的数量，施工成本大大降低；由于非挤土类型灌注桩存在单桩承载力低，泥浆污染等诸多的技术、成本和环保方面的问题，岩土工程界一直致力于开发既环保、承载力高、又经济的新桩型和施工工法，特别是能一次性成孔成桩的合理挤土类型桩，因为这种挤土桩的施工工法同非挤土桩相比，除具有明显的技术和成本优势之外，还具有施工速度快、无泥浆污染、无振动、低噪音等施工效益和环保方面的优势。

目前，国内关于带支盘、带节叉，能一次性成孔成桩的挤土桩，如三叉挤扩桩、支盘桩、螺纹桩、螺旋挤扩桩、半螺丝桩、旋转挤压灌注桩等的挤扩装置、钻杆、桩机设备与成桩工法都有相关文献报道，这些桩型在一定程度上具有其特有的先进性和创造性，但同时也存在着以下一些缺陷和问题：

1、三叉挤扩桩、支盘桩

三叉挤扩、支盘桩（如 CN201109909Y、CN102021905A）是一种变截面灌注桩，有桩身和节叉或盘，与等截面取土型灌注桩相比，其侧阻力和端阻力大大提高，但其成桩方法相对复杂，钻孔→挤扩→清孔→孔径检测→下钢筋笼→浇筑混凝土，成桩工序繁锁，加大单桩施工的时间和成本，如遇地下水位较高的土层，施工易出现塌孔现象，且取土外运易造成环境污染，后续相应的专利都是对挤扩装置的改变，使挤扩方法效率提高，但其成桩的方法仍是先预成孔后成桩。

如公开号为 CN201334661Y 的一体化长螺旋挤扩支盘桩钻具以及类似所述的一体化长螺旋挤扩支盘桩钻具，对支盘桩的成桩方法有了新的改进，钻具钻至设计深度后挤扩形成支盘，钻具提离地面时桩施工完成，虽然成桩方法变得简单快速，但其施工过程仍需取土，存在泥土外运对环境污染的影响，且桩端有虚土，沉降变

形大。尤其是钻具在挤扩过程中，挤扩臂撑出时处于最不利的工作角度，所受的最大弯矩易使根部断裂破坏，且遇到较硬土质时，仅依靠液压缸，挤扩臂难以撑开。采用多个液压缸铰接时要求控制精度高，易产生机械故障，设备成本高，维修费用大。

2、变截面螺纹桩

变截面螺纹桩（如 CN2716480Y、CN102162248A）是一种挤土型桩，是一种全螺纹桩，施工需要成孔机械预成孔。

3、双向螺旋挤扩桩

双向螺旋挤扩桩（如 CN101012649A、CN20218431U）为等截面的圆柱体桩，属于全挤土桩，该桩的优点是钻具对土体挤密使桩侧阻力明显提高，缺点是遇较硬土层时，所使用双向螺旋挤扩钻头钻具难以钻进，成桩困难，且其挤扩所形成的桩与钻具外径一致，故耗能明显。

4、半螺丝桩（又名螺杆桩）

半螺丝桩（又名螺杆桩，如 CN1254587C、CN1904225A、CN101016743U），是一种变截面的挤土型桩，桩机根据土体的敏感程度对土体进行合理挤密，因而不会产生挤土负效应，其成桩工法利用简单的机械原理，使旋转受力方向与旋转方向一致，可实现扩展、收敛，成桩承载力较高，该桩及其工艺的多项发明已在建筑领域桩基及地基处理中得到广泛应用，因该技术可大幅度提高单桩承载力及施工成本，故取得了良好的社会效益，但其仍存在局限，因此在应用范围上有所限制，且直径加大后所需的钻杆扭矩也相应加大，加大机械成本，且耗能大，需要克服。

5、旋转挤压灌注桩

旋转挤压灌注桩（如 CN101016743A）是一种桩身为等直径或桩端带扩大头的挤土型灌注桩，其施工采用桩机控制系统中的同步与非同步技术实现，适用泛围广泛，但其仍存在一定的局限性，其桩端扩大头的形成采用膨胀螺栓的原理，施工采钻杆采用双动力输出，成本较高，且外扩时机械运动较复杂，易磨损消耗，需要克服。

发明内容

本发明的目的是为了克服现有技术中存在的上述问题和缺陷，提供一种承载力更高、沉降更小、成桩质量更好、成本更低、能耗更低、工效更高，并能在复杂地质条件下施工作业的复式挤扩桩成桩工法及复式挤扩成桩设备。

本发明所采用的技术方案：

一种复式挤扩桩成桩工法，包括以下步骤：

1、在安装有复式挤扩成桩设备的桩工钻机就位后，启动桩工钻机，施加顺时针方向的扭矩和向下的轴向压力，利用复式挤扩成桩设备的钻具进行钻进挤扩成孔，挤扩后的桩孔直径为钻杆的外径，复式挤扩成桩设备的钻具下旋机械挤扩成孔过程直至达到设计孔深为止。

2、当第一步桩孔机械挤扩完成后，启动桩工钻机，逆时针旋转并提钻，复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，扩大体在复式挤扩成桩设备的钻具提升的过程中始终处于扩大状态；在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，启动混凝土泵，在混凝土泵的压力作用下，内套管与外导管分离，内套管在滑槽中滑动，直到限位销孔处，此时为分离状态；混凝土通过中空的混凝土输送管道，从阀门中冲出，并迅速填满钻尖并埋至规定高度以上；复式挤扩成桩设备的钻具提升的过程中，混凝土连续泵送，并且始终在规定的阀门以上高度。

3、保持提升速度等于旋转速度和螺纹导程的乘积，直到桩材压灌至桩顶标高为止，得到全螺纹复式挤扩桩。

4、复式挤扩成桩设备的钻具提升至地面后，钻杆扩大部分手动复位到初始状态，桩施工完成。

进一步作为本发明改进的技术方案一，所述提升速度等于旋转速度与螺牙端部厚的乘积，其他步骤类似，得到复式浅螺纹挤扩桩。

进一步作为本发明改进的技术方案二，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机原地逆时针旋转，使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，然后上旋提钻，同时泵送混凝土，保持提升速度不大于旋转速度与旋转臂厚的乘积，直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩无螺纹桩。

进一步作为本发明改进的技术方案三，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机原地逆时针旋转，使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，然后钻具旋转提升并连续泵送混凝土，待挤压而成的圆柱体中充满混凝土时，桩工钻机原地顺时针旋转，使扩大体转换为收敛状态下，保持旋转速度和提升速度，直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成带扩大头的复式挤扩扩大头桩。根据成桩方案的设计，在桩孔的任意位置重复上述形成扩大头的步骤，可形成桩身带多个扩大头的复式挤扩扩大头桩。

进一步作为本发明改进的技术方案四，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机

逆时针旋转使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，提钻并保持提升速度等于旋转速度与螺纹导程的乘积，在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，连续泵送混凝土；待钻具上升到直杆段部分，施加逆时针方向的扭矩，扩大体转换为扩张状态；当扩大体所处的空间被挤压成圆柱体，且混凝土填充完毕后，继续施加顺时针方向的扭矩；保持钻具提升速度不大于旋转速度与旋转臂厚的乘积直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩浅螺杆桩。

进一步作为本发明改进的技术方案五，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机逆时针旋转使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，提钻并保持提升速度等于旋转速度与螺牙端部厚的乘积，在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，连续泵送混凝土；待钻具上升到直杆段部分，施加逆时针方向的扭矩，扩大体转换为扩张状态；当扩大体所处的空间被挤压成圆柱体，且混凝土填充完毕后，继续施加顺时针方向的扭矩；保持钻具提升速度不大于旋转速度和旋转臂厚的乘积直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩浅螺纹桩。

进一步作为本发明改进的技术方案六，将钻杆与地面垂直改成钻杆与地面 $0\sim 90^\circ$ ，其他成桩方案类似上述的技术方案及改进的技术方案，可以作为锚杆使用。

以上所形成的所有的桩统称为复式挤扩桩。

一种上述复式挤扩桩成桩工法的复式挤扩成桩设备,包括复式挤扩钻具及其控制系统，所述复式挤扩钻具包括钻杆，在钻杆的钻头螺纹段设置多个扩大体；

所述钻杆包括中空的外套管和设置于外套管管内的内套管，外套管上部连接普通钻杆，外套管的底部设有一个以上沿圆周分布的凸台，在外套管内侧设有可供内套管线性滑动的滑槽，内套管下部设有一个以上用于压灌桩材的阀门，内套管阀门以下的位置设有过渡板，内套管下表面连接有连接体，所述连接体的上表面有与外套管凸台底部相匹配的凹槽，连接体的下表面为六棱柱凸台，连接体通过六棱柱凸台与四棱锥钻尖相连。根据本发明的设计，钻尖也可以直接设计成钻尖底部开有一个以上的单向阀门，混凝土直接从单向阀门流出。

所述扩大体沿阿基米德螺旋线设置在螺纹上，包括扩大母牙、转动臂和滑动臂，所述扩大母牙为完整螺牙中的一段，扩大母牙的两端带有限位装置，扩大母牙中开有扩大滑槽，扩大滑槽的一端有一个铰点，转动臂一端连于扩大滑槽，一端与滑动臂铰接，滑动臂一端与转动臂铰接，一端装配于滑槽中滑动。当钻杆顺时针旋转时，扩大体初始呈收敛状态；当钻杆逆时针旋转时，在桩机扭矩，岩土摩擦力、压力等的共同作用下，使得扩大母牙中的转动臂向着铰点滑动，并且随转动臂一起顺时针转动，直至极限位置的

扩张状态。处于扩张状态的扩大体在逆时针方向的作用力下，十分容易回复到收敛状态。

进一步作为本发明改进的技术方案一至六，所述扩大体的扩大母牙与钻头螺纹的螺牙等螺距设置，扩大母牙的横截面为变截面多边形，其齿根厚度大于齿顶厚度，扩大体的滑动臂的一端为圆柱状，在扩大滑槽中滑动，转动臂和滑动臂半月状部分的厚度小于扩大母牙的齿顶厚度，且小于其端部圆柱的厚度。

进一步作为本发明改进的技术方案六，通过对设备的改进，使得在卷扬或液压油缸的作用下，主立架与地面呈一定的角度，完成锚杆的施工。

本发明所采用的控制系统，是自动控制系统完成桩机的双动力——对钻杆的加压提升动力和旋转动力进行匹配控制。可根据需要通过自动控制系统控制钻杆正反转，可实现：1) 钻杆正反转，2) 扩大体被动式收敛和扩张。2) 使钻杆提升的速度 v 与钻杆转速 n 保持不同的数学关系实现以下四种基本的桩身形状：

1) 当提升速度等于旋转速度和螺纹导程的乘积时，形成扩大的全螺纹，剖面示意（图 11）。

2) 当提升速度等于旋转速度和螺牙根部厚的乘积时，形成过渡型的扩大浅螺纹，剖面示意（图 12）。

3) 当提升速度等于旋转速度和螺牙端部厚的乘积时，形成扩大的浅螺纹，剖面示意（图 13）。

4) 当提升速度等于旋转速度和旋转臂厚的乘积时，行成扩大的圆柱状，剖面示意（图 14）。

上述 1) ~4) 列举的是四个节点速度，在此基础上，通过提升速度 v 和转速 n 的无极变化，理论上可以形成无数种过渡形状。依靠以上不同桩身形状自由组合，可形成本发明所述 n 种复式挤扩桩型。

本发明的复式挤扩桩成桩工法及复式挤扩成桩设备，与现有技术相比，具有以下几项优点：

1、本发明复式挤扩桩成桩工法具有“下钻为小孔，提钻为大桩”的独特的技术特征，解决了传统技术中的以下缺陷与问题：

(1) 乱螺现象。由于复式挤扩桩的螺纹是在提钻的过程中产生的，因此，即使钻杆在下钻过程产生了乱螺的现象，在钻杆提升过程中，扩大体张开，自下而上形成新的扩大螺纹，不会产生乱螺现象。

(2) 扭矩不足、能耗大的现象。由于传统技术桩直径加大后所需的钻杆扭矩也相应加大，机械成本高，能耗大，而能耗大主要是体现在钻杆的下钻过程。对于施工

同等桩径的桩，复式挤扩桩施工工法由于下钻时钻杆外径小于设计桩径，上提时仅需对已形成的孔作挤扩成桩，因而需要的扭矩小，耗能低。

2、本发明的复式挤扩成桩设备，受力科学，抵抗扭矩大。本发明所述技术背景中提到的挤扩方法，无一不是在最不利的工况下作业，外界的阻力以弯矩的形式加载到挤扩装置上，对材料强度要求极高。而本发明中，外界的阻力以轴力的形式加载到挤扩设备上，使得挤扩设备处于最有利的受力条件。且本发明所述挤扩方式为机械式而非油压式，挤压成孔、上提挤扩、成桩过程一次性完成，使施工非常简单快速。

3、本发明的复式挤扩成桩设备，具有连续挤扩的特殊优势，解决了三叉挤扩桩、支盘桩等无法连续挤扩的缺点。即使是在扩大头的施工上，其挤扩效率也远大于三叉挤扩桩、支盘桩等挤扩桩置。且无需预成孔，避免了预成孔带来的众多不利影响，如泥浆、塌孔、桩端虚土等缺陷。因此，本发明的复式挤扩成桩设备具有突出的实质性特点和显著技术进步。

4、本发明的复式挤扩成桩设备利用复式挤扩钻具的特殊功能及其自动控制系统实现动力与速度之间的匹配实现特殊的工法，调整下钻速度和上提速度，可形成多种型式的复式挤扩桩型。可因地制宜，避免传统技术桩型单一，适用范围受限制等缺点。

5、本发的复式挤扩成桩设备的控制系统采用的是加压和提升动力精确同步，可实现扩大体的自由张开与收敛，保证了不同桩型直杆段和螺纹段的成孔成桩。

6、本发明复式挤扩桩成桩工法，在复式挤扩钻具进行三次以上桩孔挤扩成孔成桩过程中，利用复式挤扩钻具在钻进和提钻及扩孔时将原桩孔中的土体挤扩到桩孔的侧壁中，使得桩周土和桩端土被挤密的效果优于现有的非挤土桩和挤土桩所能达到的程度，且根据设计需要对桩进行外扩，形成一个或多个扩大头，从而大幅度提高了桩侧土摩阻力和桩端土承载力。

7、本发明复式挤扩桩成桩工法，在钻进和提钻挤扩的过程中根据土体的敏感程度合理挤密土体，故能够在成桩过程中避免在非挤土桩工法所出现的桩孔坍塌、泥浆护壁、桩底沉渣过程和桩孔排土所引起的桩周土体应力释放所导致的向孔内的位移与强度衰减。在同样地层、同样桩径和同样桩长条件下，与取土型的支盘桩、三叉挤扩桩相比，本发明的复式挤扩桩成桩工法完成的复式挤扩桩具有承载力更高、沉降量更小、质量更好、成本更低、能耗更少、工效更高、更加环保等显著优点。因此，本发明的复式挤扩桩成桩工法具有突出的实质性特点和显著技术进步。

8、采用本发明的复式挤扩桩成桩工法及其复式挤扩成桩设备，施工速度更快，另外，本发明的复式挤扩桩成桩工法及其复式挤扩成桩设备，成桩质量高，并能在多种复杂地

质条件下施工作业。

附图说明

图 1 为本发明复式挤扩钻具未撑开时的结构示意图。

图 2 为本发明复式挤扩钻具未撑开时的俯视图。

图 3 为图 1 中 A-A 部分放大图。

图 4 为本发明复式挤扩钻具撑开时的结构示意图。

图 5 为本发明复式挤扩钻具撑开时的俯视图。

图 6 为图 4 中 B-B 部分放大图。

图 7 为本发明复式挤扩钻具装配图。

图 8 为本发明复式挤扩钻具套管与钻尖分离前剖面图。

图 9 为本发明复式挤扩钻具套管与钻尖分离后剖面图。

图 10 为本发明扩大体断面图。

图 11 为本发明形成扩大的全螺纹剖面示意图。

图 12 为本发明过渡型的扩大浅螺纹剖面示意图。

图 13 为本发明扩大的浅螺纹剖面示意图。

图 14 为本发明形成圆柱状剖面示意图。

图 15 外伸距计算图。

图 16、图 17、图 18、图 19、图 20、图 21、图 22、图 23 为本发明的复式挤扩桩成桩工法的施工流程图。

图中：1、扩大母牙；2、销孔；3、扩大滑槽；4、铰点；5、转动臂；6、滑动臂；7、外套管；8、外套管凸台；9、内套管；10、滑槽；11、阀门；12、过渡板；13、连接体；14、凹槽；15、六棱柱凸台；16、四棱锥钻尖；17、六棱柱凹槽；18、合金钻齿；19、普通钻杆；20、圆锥过渡板。

具体实施方式

下面结合附图，对本发明作进一步说明。

在图 1-图 15 所示的结构中，本发明所设计的复式挤扩成桩设备包括复式挤扩钻具及其控制系统，所述复式挤扩钻具包括钻杆，在钻杆的钻头螺纹段设置多个扩大体；

所述钻杆包括中空的外套管 7 和设置于外套管管内的内套管 9，外套管上部连接普通钻杆 19，外套管的底部设有一个以上沿圆周分布的外套管凸台 8，在外套管内侧设有

可供内套管线性滑动的滑槽 10，内套管下部设有一个以上用于压灌桩材的阀门 11，内套管阀门 11 以下的位置设有过渡板 12，内套管下表面连接有连接体 13，所述连接体的上表面有与外套管凸台底部相匹配的凹槽 14，连接体的下表面为六棱柱凸台 15，连接体通过六棱柱凸台与四棱锥钻尖 16 相连。根据本发明的设计，钻尖也可以直接设计成钻尖底部开有一个以上的单向阀门，混凝土直接从单向阀门流出。施工时，混凝土由泵车泵送，经过混凝土管道进入钻杆，通过中空的混凝土管到达钻尖 16 浇灌成桩。其中所述四棱锥钻尖 16 也可以是等腰三角形、三棱锥、五棱锥等等。四棱锥钻尖的上部为六棱柱凹槽 17，与连接体 13 相连。钻尖的棱上、尖部分别安装有多个合金钻齿 18。棱锥尖部截面积可以增大，以适应较硬土层的施工。圆锥过渡板 20 分布在钻尖两棱之间，圆锥过渡板 20 使得钻尖更容易钻进，将土挤向两侧土体挤压，当采用改进设计时，圆锥过渡板可以作为混凝土控制流出的单向门。

所述扩大体沿阿基米德螺旋线设置在螺纹上，包括扩大母牙 1、转动臂 5 和滑动臂 6，所述扩大母牙为完整螺纹中的一段，扩大母牙的两端带有限位装置，扩大母牙中开有扩大滑槽 3，扩大滑槽的一端有一个铰点 4，转动臂 5 一端连于扩大滑槽 3，一端与滑动臂 6 铰接，滑动臂一端与转动臂铰接，一端装配于扩大滑槽 3 中滑动。当钻杆顺时针旋转时，扩大体初始呈收敛状态；当钻杆逆时针旋转时，在桩机扭矩，岩土摩擦力、压力等的共同作用下，使得扩大母牙 1 中的转动臂 5 向着铰点 4 滑动，并且随转动臂 5 一起顺时针转动，直至极限位置的扩张状态。处于扩张状态的扩大体在逆时针方向的作用力下，十分容易回复到收敛状态。

进一步作为本发明技术方案的改进，所述扩大体的扩大母牙 1 与钻头螺纹的螺牙等螺距设置，扩大母牙的横截面为变截面多边形，其齿根厚度大于齿顶厚度，扩大体的滑动臂 6 的一端为圆柱状，在扩大滑槽 3 中滑动，转动臂和滑动臂半月状部分的厚度小于扩大母牙的齿顶厚度，且小于其端部圆柱的厚度。

上述的复式挤扩钻具中扩大体的外伸距 L 的数学表达式为：

$$L = l_1 + \frac{d_3}{2} - \frac{d_2}{2} - L_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{记 } \gamma = \frac{\theta_0 - 2\theta_1}{4} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$l_0 = \frac{d_1 + d_3}{2} \tan \frac{\theta_0 - 2\theta_1}{2} = \frac{d_1 + d_3}{2} \tan 2\gamma \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$L_0 = \frac{d_1 + d_3}{2} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\theta_0 - 2\theta_1}{2}} + \frac{d_3}{2} - \frac{d_2}{2} = \frac{d_1 + d_3}{2 \cos 2\gamma} + \frac{d_3}{2} - \frac{d_2}{2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{d_3}{d_1 + d_3} \dots\dots\dots (5)$$

两臂处于扩大状态，根据正弦定理

$$\frac{l_0}{\sin\left(\frac{(\theta_0 - 2\theta_1)/2}{2}\right)} = \frac{\frac{d_1 + d_3}{2}}{\sin \alpha} = \frac{l_1}{\sin\left(\pi - \alpha - \frac{(\theta_0 - 2\theta_1)/2}{2}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

解出：

$$l_1 = \frac{d_1 + d_3}{2} \cos \gamma + \frac{\sqrt{4l_0^2 - (d_1 + d_3)^2 \cdot \sin^2 \gamma}}{2} \dots\dots\dots (7)$$

$$\begin{aligned} \text{故 } L &= l_1 + \frac{d_3}{2} - \frac{d_2}{2} - L_0 = l_1 + \frac{d_3}{2} - \frac{d_2}{2} - \left(\frac{d_1 + d_3}{2 \cos 2\gamma} + \frac{d_3}{2} - \frac{d_2}{2} \right) \\ &= \frac{d_1 + d_3}{2} \cos \gamma + \frac{\sqrt{4l_0^2 - (d_1 + d_3)^2 \cdot \sin^2 \gamma}}{2} - \frac{d_1 + d_3}{2 \cos 2\gamma} \\ &= \frac{d_1 + d_3}{2} \left(\cos \gamma + \sqrt{\tan^2 2\gamma - \sin^2 \gamma} - \frac{1}{\cos 2\gamma} \right) \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

由于两臂之间的初始夹角不能超过 180° ，否则不能收敛，亦即 $\theta_0 < 180^\circ$

根据 (1)，可得出

$$0 < \gamma < 45^\circ - \frac{1}{2}\theta_1 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

d_1 ：芯管直径；

d_2 ：原始螺纹最大外径；

d_3 ：圆柱滑动块直径；

L_0 ：扩大时初始两臂伸出长度；

l_0 ：滑动块长度，孔对孔距离；

θ_0 ：扩大体中心角；

θ_1 ：扩大体边界与滑块夹角；

l_1 ：两臂处于扩大状态，孔对孔距离；

α ：两臂处于扩大状态，两滑块夹角。

当 $d_1 = 400\text{mm}$ ， $d_3 = 60\text{mm}$ 时：

根据 (5), $d_1 = 400\text{mm}$, $\gamma = 18.76^\circ$ 带入 (8) 得 $L = 88.17$

根据 (9), 求出最大外伸距 $L = 151.27$

此外, 上述相关参数的变化可以改变外伸距 L , 由此原理, 改变上述参数所得到的其他外伸距的设计在本专利权利要求范围内。

本发明中, 扩大体相互之间的夹角要保证转动臂 5、滑动臂 6 的拆卸空间。扩大体形成的圈数应在一圈以上。设计采用两个扩大体相连成扩大体组, 每两个扩大体组之间夹 30° 布置, 总圈数为一圈数以上, 设计采用 6 个扩大体组, 共三圈半, 其他由扩大体沿螺旋线类似的布置数量、布置形式在本专利权利要求范围内。

本发明所采用的控制系统, 是用先进的自动控制系统完成桩机的双动力—对钻杆的加压提升动力和旋转动力进行匹配控制。其中加压提升动力控制钻杆下钻 (或提升) 的速度, 旋转动力控制钻杆转速。当钻杆提升一个导程 S , 其钻具旋转圈数为一圈时, 浇灌桩材形成的桩身为螺纹型; 当钻杆提升或者下降一个导程 S , 其旋转圈数为数圈时, 浇灌桩材形成的桩身基本为圆柱型。螺纹的螺距为 P , 螺纹线数 λ , 导程 S , 所以有 $S = \lambda \cdot P$, 钻杆下钻 (或提升) 的速度为 v , 钻杆转速 n 。不同的螺纹线数均在本专利权利要求范围内。

可根据需要通过自动控制系统控制钻杆正反转, 可实现: 1) 钻杆正反转, 2) 扩大体被动式收敛和扩张。3) 使钻杆提升的速度 v 与钻杆转速 n 保持不同的数学关系实现以下四种基本的桩身形状:

- 1) 当 $v \cdot \frac{1}{n} = S$, 即 $v = nS$ 时, 形成扩大的全螺纹, 剖面示意 (图 11)。
- 2) 当 $v \cdot \frac{1}{n} = a$, 即 $v = na$ 时, 形成过渡型的扩大浅螺纹, 剖面示意 (图 12)。
- 3) 当 $v \cdot \frac{1}{n} = b$, 即 $v = nb$ 时, 形成扩大的浅螺纹, 剖面示意 (图 13)。
- 4) 当 $v \cdot \frac{1}{n} \leq c$, 即 $v \leq nc$ 时, 形成扩大的圆柱状, 剖面示意 (图 14)。

上述 1) ~ 4) 列举的是四个节点速度, 在此基础上, 通过提升速度 v 和转速 n 的无极变化, 理论上可以形成无数种过渡形状。依靠以上不同桩身形状自由组合, 可形成本发明所述 n 种复式挤扩桩型。

本发明所提供的复式挤扩成桩设备的成桩工法, 包括以下步骤:

1、在安装有复式挤扩成桩设备的桩工钻机就位后, 启动桩工钻机, 施加顺时针方向的扭矩和向下的轴向压力, 利用复式挤扩成桩设备的钻具进行钻进挤扩成孔, 挤扩后的桩孔直径为钻杆的外径, 复式挤扩成桩设备的钻具下旋机械挤扩成孔过程直至达到设

计孔深为止。

2、当第一步桩孔机械挤扩完成后，启动桩工钻机，逆时针旋转并提钻，复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，扩大体在复式挤扩成桩设备的钻具提升的过程中始终处于扩大状态；在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，启动混凝土泵，在混凝土泵的压力作用下，内套管 9 与外导管 7 分离，内套管 9 在滑槽 10 中滑动，直到限位销孔 2 处，此时为分离状态；混凝土通过中空的混凝土输送管道，从内套管阀门 11 中冲出，并迅速填满钻尖并埋至规定高度以上；复式挤扩成桩设备的钻具提升的过程中，混凝土连续泵送，并且始终在规定的阀门以上高度。

3、保持提升速度等于旋转速度和螺纹导程的乘积，直到桩材压灌至桩顶标高为止，得到复式挤扩全螺纹桩（如图 16）。桩工钻机成孔时，钻杆螺纹内径为 d_1 ，外径 d_2 ，螺距 S ；成桩时，扩大的螺纹部分内径 d_1 ，外径 d_2+L ，螺距 S 。

4、复式挤扩成桩设备的钻具提升至地面后，钻杆扩大部分手动复位到初始状态，桩施工完成。

进一步作为本发明改进的技术方案一，所述提升速度等于旋转速度与螺牙端部厚的乘积，得到复式挤扩浅螺纹桩（如图 17）。桩工钻机成孔时，钻杆螺纹内径为 d_1 ，外径 d_2 ，螺距 S ；成桩时，扩大的浅螺纹桩内径 d_2 ，外径 d_2+L ，螺距 c 。

进一步作为本发明改进的技术方案二，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机原地逆时针旋转，使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，然后上旋提钻，同时泵送混凝土，保持提升速度不大于旋转速度与旋转臂厚的乘积，直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩无螺纹桩（如图 18）。桩工钻机成孔时，钻杆螺纹内径为 d_1 ，外径 d_2 ，螺距 S ；成桩时，扩大的圆柱体外径 d_2+L ，无螺。

进一步作为本发明改进的技术方案三，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机原地逆时针旋转，使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，然后钻具旋转提升并连续泵送混凝土，待挤压而成的圆柱体中充满混凝土时，桩工钻机原地顺时针旋转，使扩大体转换为收敛状态下，保持旋转速度和提升速度，直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成带扩大头的复式挤扩桩（如图 19）。桩工钻机成孔时，钻杆螺纹内径为 d_1 ，外径 d_2 ，螺距 S ；成桩时，桩的外径为 d_1 ，扩大头外径 d_2+L ，无螺。根据成桩方案的设计，在桩孔的任意位置重复上述形成扩大头的步骤，可形成桩身带多个扩大头的复式挤扩扩大头桩（如图 20）。桩身为带 n ($n \geq 1$) 个扩大头，扩大头高度总和小于桩长。

进一步作为本发明改进的技术方案四，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机逆时针旋转使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，提钻并保持提升速度等于旋转速度与螺纹导程的乘积，在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，连续泵送混凝土；待钻具上升到直杆段部分，施加逆时针方向的扭矩，扩大体转换为扩张状态；当扩大体所处的空间被挤压成圆柱体，且混凝土填充完毕后，继续施加顺时针方向的扭矩；保持钻具提升速度不大于旋转速度与旋转臂厚的乘积直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩全螺纹螺杆桩（如图 21）。桩型为上部为直杆下部为螺纹，或上部为螺纹下部为直杆，且二者长度可调。桩工钻机成孔时，钻杆螺纹内径为 d_1 ，外径 d_2 ，螺距 S ；成桩时，直杆段外径为 d_2+L ，螺纹段内径 d_1 ，螺纹段外径 d_2+L ，螺距 S 。

进一步作为本发明改进的技术方案五，在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机逆时针旋转使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，提钻并保持提升速度等于旋转速度与螺牙端部厚的乘积，在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，连续泵送混凝土；待钻具上升到直杆段部分，施加逆时针方向的扭矩，扩大体转换为扩张状态；当扩大体所处的空间被挤压成圆柱体，且混凝土填充完毕后，继续施加顺时针方向的扭矩；保持钻具提升速度不大于旋转速度和旋转臂厚的乘积直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩浅螺纹螺杆桩（如图 22）。桩型为上部为直杆下部为螺纹，或上部为螺纹下部为直杆，且二者长度可调。桩工钻机成孔时，钻杆螺纹内径为 d_1 ，外径 d_2 ，螺距 S ；成桩时，直杆段外径为 d_2+L ，螺纹段内径 d_2 ，螺纹段外径 d_2+L ，螺距 c 。

进一步作为本发明改进的技术方案六，将钻杆与地面垂直改成钻杆与地面成一定的角度，其他成桩方案类似上述的技术方案及改进的技术方案，特别是运用本发明改进的技术方案三时可以作为锚杆使用。（图 23）

根据桩的设计要求，还可以按照常规的方法在复式挤扩桩中插入钢筋笼、钢筋束或型钢。

结合上述实施例，对本发明进行了说明，但通过对施工步骤的细节作一些适当的调整，还可以在本发明的范围内，派生出各种不同型式的施工工法。采用类似工法设计出类似桩型皆在权利要求范围内。

权 利 要 求 书

1、一种复式挤扩桩成桩工法，其特征在于，包括以下步骤：

1)、在安装有复式挤扩成桩设备的桩工钻机就位后，启动桩工钻机，施加顺时针方向的扭矩和向下的轴向压力，利用复式挤扩成桩设备的钻具进行钻进挤扩成孔，挤扩后的桩孔直径为钻杆的外径，复式挤扩成桩设备的钻具下旋机械挤扩成孔过程直至达到设计孔深为止；

2)、当第一步桩孔机械挤扩完成后，启动桩工钻机，逆时针旋转并提钻，复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，扩大体在复式挤扩成桩设备的钻具提升的过程中始终处于扩大状态；在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，启动混凝土泵，在混凝土泵的压力作用下，内套管与外导管分离，内套管在滑槽中滑动，直到限位销孔处，此时为分离状态；混凝土通过中空的混凝土输送管道，从阀门中冲出，并迅速填满钻尖并埋至规定高度以上；复式挤扩成桩设备的钻具提升的过程中，混凝土连续泵送，并且始终保持在规定阀门以上高度，直至灌注到桩的设计顶标高；

3)、保持提升速度等于旋转速度和螺纹导程的乘积，直到桩材压灌至桩顶标高为止，得到复式挤扩全螺纹桩；

4)、复式挤扩成桩设备的钻具提升至地面后，钻杆扩大部分手动复位到初始状态，桩施工完成。

2、根据权利要求1所述的复式挤扩桩成桩工法，其特征在于：所述提升速度等于旋转速度与螺牙根部厚的乘积，形成复式挤扩浅螺纹桩。

3、根据权利要求1所述的复式挤扩桩成桩工法，其特征在于：在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机原地逆时针旋转，使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，然后上旋提钻，同时泵送混凝土，保持提升速度不大于旋转速度与旋转臂厚的乘积，直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩无螺纹桩。

4、根据权利要求1所述的复式挤扩桩成桩工法，其特征在于：在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机原地逆时针旋转，使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，然后钻具旋转提升并连续泵送混凝土，待挤

压而成的圆柱体中充满混凝土时，桩工钻机原地顺时针旋转，使扩大体转换为收敛状态下，保持旋转速度和提升速度，直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成带扩大头的复式挤扩扩大头桩。

5、根据权利要求 1 所述的复式挤扩桩成桩工法，其特征在于：在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机逆时针旋转使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，提钻并保持提升速度等于旋转速度与螺纹导程的乘积，在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，连续泵送混凝土；待钻具上升到直杆段部分，施加逆时针方向的扭矩，扩大体转换为扩张状态；使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，且混凝土填充完毕后，继续施加顺时针方向的扭矩；保持钻具提升速度不大于旋转速度与旋转臂厚的乘积直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩全螺纹螺杆桩。

6、根据权利要求 1 所述的复式挤扩桩成桩工法，其特征在于：在桩孔机械挤扩成孔完成后，启动桩工钻机逆时针旋转使复式挤扩成桩设备的扩大体扩张，提钻并保持提升速度等于旋转速度与螺牙端部厚的乘积，在复式挤扩成桩设备的钻具开始上旋提升的同时，连续泵送混凝土；待钻具上升到直杆段部分，施加逆时针方向的扭矩，扩大体转换为扩张状态；使已形成的孔体被设备的扩大体进一步扩张挤压，形成与设备扩张部分等直径圆柱体，且混凝土填充完毕后，继续施加顺时针方向的扭矩；保持钻具提升速度不大于旋转速度和旋转臂厚的乘积直到桩材压灌至桩顶标高为止，形成复式挤扩浅螺纹螺杆桩。

7、根据权利要求 1 所述的复式挤扩桩成桩工法，其特征在于：通过对设备的改进，使得在卷扬或液压油缸的作用下，主立架或钻杆与地面呈 $0\sim 90^\circ$ ，采用上述的技术方案及改进的技术方案，完成锚杆的施工，可以作为锚杆及锚杆工法使用。

8、一种权利要求 1 所述的复式挤扩桩成桩工法的复式挤扩成桩设备,其特征在于：包括复式挤扩钻具及其控制系统，所述复式挤扩钻具包括钻杆，在钻杆的钻头螺纹段设置多个扩大体；

所述钻杆包括中空的外套管和设置于外套管管内的内套管，外套管上部连接普通钻杆，外套管的底部设有一个以上沿圆周分布的凸台，在外套管内侧设有可供内套管线性滑动的滑槽，内套管下部设有一个以上用于压灌桩材的内套管阀门，内套管阀门以下的

位置设有过渡板，内套管下表面连接有连接体；所述连接体的上表面有与外套管凸台底部相匹配的凹槽，连接体的下表面为六棱柱凸台，连接体通过六棱柱凸台与四棱锥钻尖相连，四棱锥钻尖的上部为六棱柱凹槽，与连接体相连；钻尖的棱上、尖部分别安装有多个合金钻齿；圆锥过渡板 20 分布在钻尖两棱之间；

所述扩大体沿阿基米德螺旋线排列设置在螺纹上，包括扩大母牙、转动臂和滑动臂，所述扩大母牙为完整螺纹中的一段，扩大母牙的两端带有限位装置，扩大母牙中开有扩大滑槽，扩大滑槽的一端有一个铰点，转动臂一端连于扩大滑槽，一端与滑动臂铰接，滑动臂一端与转动臂铰接，一端装配于滑槽中滑动。

9、根据权利要求 8 所述的复式挤扩成桩设备,其特征在于：所述扩大体的扩大母牙与钻头螺纹的螺牙等螺距设置，扩大母牙的横截面为变截面多边形，其齿根厚度大于齿顶厚度，扩大体的滑动臂的一端为圆柱状，转动臂和滑动臂半月状部分的厚度小于扩大母牙的齿顶厚度，且小于其端部圆柱的厚度。

10、根据权利要求 8 所述的复式挤扩成桩设备,其特征在于：自动控制系统能实现桩机的双动力—对钻杆的加压提升动力和旋转动力进行匹配控制，实现：1) 钻杆正反转；2) 扩大体被动式收敛和扩张；3) 使钻杆提升的速度 v 与钻杆转速 n 可以保持不同的数学关系，实现以下四种基本的桩身形状：

- 1) 当提升速度等于旋转速度和螺纹导程的乘积时，形成扩大的全螺纹；
- 2) 当提升速度等于旋转速度和螺牙根部厚的乘积时，形成过渡型的扩大浅螺纹；
- 3) 当提升速度等于旋转速度和螺牙端部厚的乘积时，，形成扩大的浅螺纹；
- 4) 当提升速度等于旋转速度和旋转臂厚的乘积时，行成扩大的圆柱状，剖面示意；

上述 1) ~4) 列举的是四个节点速度，在此基础上，通过提升速度 v 和转速 n 的无极变化，理论上可以形成无数种过渡形状桩体，实现不同土层对桩的形状要求。