

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
E21D 9/04 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610030782.9

[45] 授权公告日 2009年6月17日

[11] 授权公告号 CN 100501124C

[22] 申请日 2006.9.4

[21] 申请号 200610030782.9

[73] 专利权人 上海隧道工程股份有限公司

地址 200082 上海市杨浦区大连路118号

[72] 发明人 吴惠明 李慕涵 戴海蛟

[56] 参考文献

JP7-224591A 1995.8.22

JP2004-44319A 2004.2.12

JP8-13454A 1996.1.16

CN1215276C 2005.8.17

CN1232719C 2005.12.21

CN2615466Y 2004.5.12

审查员 王跃庭

[74] 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司  
代理人 徐伟奇

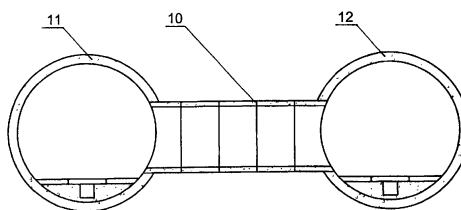
权利要求书4页 说明书12页 附图2页

[54] 发明名称

地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法

[57] 摘要

一种地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法，利用下行隧道的钢管片制成网格状正面切土装置，与顶管设备相连接组成网格挤压式顶管机，从下行隧道顶进至上行隧道，采用预制的复合钢管节拼成联络通道。在施工中完成出进洞区域土体加固、顶进轴线测量放样、建立混凝土管片支撑体系、顶管出洞、止水密封橡胶带设置、导轨铺设、应力释放孔布置、封门拆除、洞门封堵、压注浆液等工艺流程，做好顶进速度、出土量等参数和顶管姿态控制，同时进行地层和隧道管片变形监测，并用以实时指导调整施工参数。本发明达到了缩短工期、降低成本、安全性高、对周边环境影响小和工程后期稳定性高的有益效果，可广泛用于各类软土层隧道的联络通道的施工。



1、一种地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法，其特征在于：利用下行隧道中段的钢管片加工成网格状正面切土装置，与顶管设备相连接组成网格挤压式矩形顶管机，应用该顶管机从下行隧道顶进至上行隧道，采用预制的矩形复合钢管节进行拼装，从而形成联络通道，其具体施工步骤如下：

(1) 出进洞区域土体加固：

对顶管机出入上、下行隧道钢管片联络通道区域附近的混凝土管片外的土体进行地基注浆加固，经加固的土体应有很好的自立性能、均质性，无侧限抗压强度达0.2~0.3Mpa；

(2) 顶进轴线测量放样：

根据上、下行隧道开口环节上进出洞门的中心连线，采用地面控制网将控制点的地面坐标放样到地下，定出顶进的轴线和导轨面标高及顶管设备的中心位置；

(3) 设置隧道内的管片支撑：

在上、下行隧道内与钢管片相邻的若干环管片范围内，设置柱状管片桁架支撑，如果支撑点正好在管片开口位置，开口处必须填充混凝土；

(4) 加工网格状正面切土装置：

利用下行隧道中设计建造联络通道相应位置的钢管片的中段部分作为网格状正面切土装置，拆除中段钢管片与上端、下端钢管片的纵向螺栓，拆除中段钢管片与旁侧相邻管片之间的横向螺栓，在中段钢管片对应设计联络通道洞门位置上开设若干网格通孔，且每个网格通孔均相应配置可堵封该网格通孔的胸板，胸板通过螺栓连接可方便拆卸、安装；

(5) 制造顶管设备：

制造一套顶管设备，顶管设备由后靠、主顶进装置、顶铁、设有纠偏千斤顶的中继间、垂直法兰及导轨构成；

(6) 制造用以拼装联络通道的复合钢管节：

该复合钢管节截面为矩形，截面与联络通道的内壁相一致，其由外层的钢壳和内层的混凝土内衬组成，并设置有注浆孔，其结构由两块进出洞钢管节与若干块标准钢管节构成，该标准钢管节的数量由联络通道的长度所决定；

(7) 安装网格挤压式矩形顶管机：

将按步骤（5）所完成的顶管设备吊运至下行隧道中联络通道起始的位置上，并将其与按步骤（4）所完成的网格状正面切土装置相固接，形成网格挤压式矩形顶管机；

（8）顶管机出洞施工：

①将第一节进出洞钢管节与顶管机连接，开启出洞门，打开网格通孔，启动顶管机的主顶进装置向前推进；

②控制包括顶进速度、出土量的施工参数；

③综合运用调整网格通孔开口的数量和位置、主顶进装置和中继间内的纠偏千斤顶，来控制施工参数和顶管机的姿态，以保证顶管机沿规定轴线推进；

（9）正常顶进施工：

①逐段接入标准钢管节，操纵顶管机继续向前推进，并在各复合钢管节之间粘封止水密封橡胶带；

②控制包括顶进速度、出土量的施工参数，同时连续地将挤入顶管机内的土体传输出去；

③综合运用调整网格通孔开口的数量和位置、主顶进装置和中继间内的纠偏千斤顶，来控制施工参数和顶管机的姿态，以保证顶管机沿规定轴线推进；

④根据监测的地表沉降、土质变化、覆土厚度及地面建筑物，及时调整网格通孔开口的数量和位置以及施工参数；

（10）顶管机进洞施工：

①铺设导轨：

顶管机进洞前在上行隧道的开口环节内，按照坡度与联络通道一致的要求铺设安装导轨；

②布置应力释放孔：

在上行隧道的进洞门附近的钢管片上开设若干应力释放孔并安装球阀，当顶管机接近进洞门时打开球阀释放应力；

③控制包括顶进速度、出土量的施工参数；

④顶管进洞：

拆除进洞门，顶管机进入上行隧道，第二节进出洞钢管节安装完毕后，沿上、下行隧道内径割除两节进出洞钢管节凸出联络通道的部分，随后用钢板将洞门边缘与复合钢管节之间的空隙焊封牢固；

### ⑤压注浆液:

联络通道贯通后通过复合钢管节上的注浆孔压注足量的浆液以填充复合钢管节壁外的建筑空隙,完成后对注浆孔进行焊接封堵;

#### (11) 施工监测:

在施工的全过程中,通过地面设置的测量点对施工状况进行监测,并将结果用以指导施工,具体监测步骤如下:

##### ①地表变形监测:

在联络通道上方的地面上布置若干测量点,采用水准测量法监测地表的隆起或沉降,监测时间自顶进开始到地表变形基本稳定为止,测量频度视地表变形速度及施工对地面结构造成影响的程度而定;

##### ②隧道管片变形监测:

在联络通道与上、下行隧道连接处的上方地面上布置若干测量点,采用水准测量法监测上、下行隧道管片的变形,监测时间自顶进开始到变形基本稳定为止,测量频度视变形速度及施工对结构造成影响的程度而定。

2、根据权利要求1所述的地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法,其特征在于:所述步骤(5)中顶管设备的最后部为后靠,该后靠的前方为主顶进装置,主顶进装置的前方依次为顶铁、中继间和垂直法兰,后靠顶靠在下行隧道的内壁上,构成联络通道的复合钢管节在顶铁与中继间之间加入,垂直法兰与网格状正面切土装置相连接,导轨铺设于网格挤压式矩形顶管机的底部,其中:

后靠:由若干外轮廓弧面与下行隧道内壁弧面吻合的船底板加强肋板构成,其后部均匀紧密地贴合在下行隧道管片的内壁上;

主顶进装置:包括有若干行程同步的主顶千斤顶,该主顶千斤顶沿联络通道中心左右对称分布,其旁侧设置有千斤顶支架;

顶铁:为矩形钢制构件,与复合钢管节连接的一侧为法兰面,其另一侧为平钢板,主顶进千斤顶可直接顶在其上;

中继间:具有矩形钢制外壳,其内部四角设置有可分别单独控制的4组纠偏千斤顶;

垂直法兰:其一侧形状与网格状正面切土装置的内弧面相合并与之焊接,焊缝应满足水密性要求,其另一侧为平整的矩形法兰面且与中继间连接;

导轨:由两根可自由拆卸的型钢组成,沿联络通道的设计轴线设置。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法，其特征在于：所述步骤（3）中的管片支撑由型钢构成，其包括在联络通道两端各 6 环混凝土管片内分设的 8 根支撑能力不小于 500KN/点的柱状钢支撑，从而构成隧道纵向设置的钢桁架梁，在各钢支撑顶端设置 10t 的液压千斤顶，采用三角状垫块与混凝土管片密贴的方式给该钢支撑施加预应力。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法，其特征在于：所述步骤（8）中的施工参数范围是，顶进速度为 10~15mm/分钟，出土量为理论值的 95%~98%；所述步骤（9）中的施工参数范围是，顶进速度为 20~30 mm/分钟，出土量为理论值的 97%~100%；所述步骤（10）中的施工参数范围是，顶进速度为 10~15 mm/分钟，出土量必须达到尽量挖空正面土体。

## 地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法

### 技术领域:

本发明涉及一种地下通道的施工方法,特别是涉及一种应用顶管法进行地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法。

### 背景技术:

一般地铁工程在上下行线隧道之间均设置联络通道(简称旁通道),以便在地铁运营中,当其中一条区间隧道发生火灾或意外事件时,乘客可紧急下车立即通过所设置的旁通道安全地疏散至另一条隧道。

现今地铁隧道联络通道的施工广泛地采用了冻结法加固再用矿山法开挖的施工工艺。所谓冻结法施工是利用人工制冷技术,使地层中的水结成冰,把天然土变成冻土以增加强度和稳定性,隔绝地下水与地下结构的联系,然后在冻结帷幕的保护下进行开挖施工的一种特殊施工方法。十九世纪六十年代,冻结法首先被应用于英国南威尔士的建筑工程,1883年德国工程师波茨舒(P.H.Potsch)在阿尔巴里的煤矿采用冻结法成功施工了103m深的井筒并获得了冻结技术专利,之后世界各国都逐渐广泛地应用冻结技术。冻结法在我国起步较晚,自1955年开滦矿区首先应用冻结法凿井以来,冻结法已发展成为我国工程领域中通过不稳定冲积层和裂隙含水层的主要施工方法。

经对现有技术的公开文献检索发现,公开号为CN 1614152A、公开日为2005年5月11日、名称为《软土层水平冻结法连接通道的施工方法》的中国专利申请案公开了一种软土层水平冻结法联络通道的施工方法。该发明创造具体内容为:确定积极冻结期和维护冻结期的盐水温度、冻土墙平均温度和冻土强度;设计布置冻结孔,同时冻结孔布置应根据管片配筋图微调,冻结孔偏斜控制孔径向外的偏角在 $0.5\sim 1.0^\circ$ 范围;计算冻结冷量,根据冷量需要每台机组的制冷量达 $8.6\times 10^4\text{kcal/h}$ ;先开挖隧道喇叭口导洞,再开挖中间段,然后开挖对侧隧道喇叭口导洞,中间段结构层施工完毕后,再刷扩两端喇叭口,开挖步距为0.3m或0.5m;实施全过程对水平冻结孔施工、冻结系统、冻结壁、圆隧道结构变化和支护结构等各个阶段和系统进行监测,并将监测数据及时回馈以指导施工。

上述冻结法目前可应用于各类通过不稳定冲积层和裂隙含水层的施工,但存在下列不足:(1)冻结法施工准备期、实施期均较长,后期监测和稳定时间亦较长;(2)冻结法

在实施过程中必然产生较大的冻胀和融沉，势必对周边环境造成不利影响；(3)同时由于地下状况的不确定因素较多，冻结法土体加固难以达到理想状态，从而对联络通道的长期稳定和安全带来隐患；(4)采用的是人工开挖方式，在施工期间土体完全暴露，一旦遇到流砂等险情不能得到有效的控制；(5)施工成本较高。

#### 发明内容：

本发明的目的在于克服现有技术中的不足，提供一种地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法，其可应用于各类软土层隧道的联络通道的施工。本发明使用一台网格挤压式顶管机，在主顶千斤顶的推力下进行顶进，网格前面的土体受被动土压力作用被挤入顶管机内且被运走，在顶进过程中由网格的开口大小来控制出土量。本发明所述施工方法可以减少联络通道施工周期和施工对周边环境的不利影响，提高施工的安全性和降低施工成本，同时保障联络通道的后期稳定性。

本发明是通过以下技术方案来实现的：

一种地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法，其利用下行隧道中段的钢管片加工成网格状正面切土装置，与顶管设备相连接组成网格挤压式矩形顶管机，应用该顶管机从下行隧道顶进至上行隧道，采用预制的矩形复合钢管节进行拼装，从而形成联络通道；其具体施工步骤如下：

##### (1) 出进洞区域土体加固：

对顶管机出入上、下行隧道钢管片联络通道区域附近的混凝土管片外的土体进行地基注浆加固，经加固的土体应有很好的自立性能、均质性，无侧限抗压强度达 0.2~0.3Mpa；

##### (2) 顶进轴线测量放样：

根据上、下行隧道开口环节上进出洞门的中心连线，采用地面控制网将控制点的地面坐标放样到地下，定出顶进的轴线和导轨面标高及顶管设备的中心位置；

##### (3) 设置隧道内的管片支撑：

在上、下行隧道内与钢管片相邻的若干环管片范围内，设置柱状管片桁架支撑，如果支撑点正好在管片开口位置，开口处必须填充混凝土；

##### (4) 加工网格状正面切土装置：

利用下行隧道中设计建造联络通道相应位置的钢管片的中段部分作为网格状正面切土装置，拆除中段钢管片与上端、下端钢管片的纵向螺栓，拆除中段钢管片与旁侧相邻管片之间的横向螺栓，在中段钢管片对应设计联络通道洞门位置上开设若干网格通

孔,且每个网格通孔均相应配置可堵封该网格通孔的胸板,胸板通过螺栓连接可方便拆卸、安装;

(5) 制造顶管设备:

制造一套顶管设备,顶管设备由后靠、主顶进装置、顶铁、设有纠偏千斤顶的中继间、垂直法兰及导轨构成;

(6) 制造用以拼装联络通道的复合钢管节:

该复合钢管节截面为矩形,截面与联络通道的内壁相一致,其由外层的钢壳和内层的混凝土内衬组成,并设置有注浆孔,其结构由进出洞钢管节与若干块标准钢管节构成,该标准钢管节的数量由联络通道的长度所决定;

(7) 安装网格挤压式矩形顶管机:

将按步骤(5)所完成的顶管设备吊运至下行隧道中联络通道起始的位置上,并将其与按步骤(4)所完成的网格状正面切土装置相固接,形成网格挤压式矩形顶管机;

(8) 顶管机出洞施工:

①将第一节进出洞钢管节与顶管机连接,开启出洞门,打开网格通孔,启动顶管机的主顶进装置向前推进;

②控制包括顶进速度、出土量的施工参数;

③综合运用调整网格通孔开口的数量和位置、主顶进装置和中继间内的纠偏千斤顶,来控制施工参数和顶管机的姿态,以保证顶管机沿规定轴线推进;

(9) 正常顶进施工:

①逐段接入标准钢管节,操纵顶管机继续向前推进,并在各复合钢管节之间粘封止水密封橡胶带;

②控制包括顶进速度、出土量的施工参数,同时连续地将挤入顶管机内的土体传输出去;

③综合运用调整网格通孔开口的数量和位置、主顶进装置和中继间内的纠偏千斤顶,来控制施工参数和顶管机的姿态,以保证顶管机沿规定轴线推进;

④根据监测的地表沉降、土质变化、覆土厚度及地面建筑物,及时调整网格通孔开口的数量和位置以及施工参数;

(10) 顶管机进洞施工:

① 铺设导轨:

顶管机进洞前在上行隧道的开口环节内,按照坡度与联络通道一致的要求铺设安装



导轨:

②布置应力释放孔:

在上行隧道的进洞门附近的钢管片上开设若干应力释放孔并安装球阀,当顶管机接近进洞门时打开球阀释放应力;

③控制包括顶进速度、出土量的施工参数;

④顶管进洞:

拆除进洞门,顶管机进入上行隧道,第二节进出洞钢管节安装完毕后,沿上、下行隧道内径割除两节进出洞钢管节凸出联络通道的部分,随后用钢板将洞门边缘与复合钢管节之间的空隙焊封牢固;

⑤压注浆液:

联络通道贯通后通过复合钢管节上的注浆孔压注足量的浆液以填充复合钢管节壁外的建筑空隙,完成后对注浆孔进行焊接封堵;

(11) 施工监测:

在施工的全过程中,通过地面设置的测量点对施工状况进行监测,并将结果用以指导施工,具体监测步骤如下:

①地表变形监测:

在联络通道上方的地面上布置若干测量点,采用水准测量法监测地表的隆起或沉降,监测时间自顶进开始到地表变形基本稳定为止,测量频度视地表变形速度及施工对地面结构造成影响的程度而定;

②隧道管片变形监测:

在联络通道与上、下行隧道连接处的上方地面上布置若干测量点,采用水准测量法监测上、下行隧道管片的变形,监测时间自顶进开始到变形基本稳定为止,测量频度视变形速度及施工对结构造成影响的程度而定。

本发明所述的地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法中顶管设备的最后部为后靠,该后靠的前方为主顶进装置,主顶进装置的前方依次为顶铁、中继间和垂直法兰,后靠顶靠在下行隧道的内壁上,构成联络通道的复合钢管节在顶铁与中继间之间加入,垂直法兰与网格状正面切土装置相连接,导轨铺设于网格挤压式矩形顶管机的底部,其中:

后靠:由若干外轮廓弧面与下行隧道内壁弧面吻合的船底板加强肋板构成,其后部均匀紧密地贴合在下行隧道管片的内壁上;

主顶进装置:包括有若干行程同步的主顶千斤顶,该主顶千斤顶沿联络通道中心左

右对称分布，其旁侧设置有千斤顶支架；

**顶铁：**为矩形钢制构件，与复合钢管节连接的一侧为法兰面，其另一侧为平钢板，主顶进千斤顶可直接顶在其上；

**中继间：**具有矩形钢制外壳，其内部四角设置有可分别单独控制的4组纠偏千斤顶；

**垂直法兰：**其一侧形状与网格状正面切土装置的内弧面相合并与之焊接，焊缝应满足水密性要求，其另一侧为平整的矩形法兰面且与中继间连接；

**导轨：**由两根可自由拆卸的型钢组成，沿联络通道的设计轴线设置。

本发明中的管片支撑由型钢构成，其包括在联络通道两端各6环混凝土管片内分设的8根支撑能力不小于500KN/点的柱状钢支撑，从而构成隧道纵向设置的钢桁架梁，在各钢支撑顶端设置10t的液压千斤顶，采用三角状垫块与混凝土管片密贴的方式给该钢支撑施加预应力。

本发明的步骤（8）中的施工参数范围是，顶进速度为10~15mm/分钟，出土量为理论值的95%~98%；步骤（9）中的施工参数范围是，顶进速度为20~30mm/分钟，出土量为理论值的97%~100%；步骤（10）中的施工参数范围是，顶进速度为10~15mm/分钟，出土量必须达到尽量挖空正面土体。

与现有技术相比较，本发明独创性地采取网格顶管法施工地铁盾构区间隧道之间的联络通道，避免了冻结法施工和稳定周期长、土体冻融对周边环境和联络通道带来不利和不稳定以及施工成本高、不安全等无法克服的缺点，具有突出的实质性特点，达到了缩短工期、降低施工成本、对周边环境影响小和工程后期稳定性高的有益效果，为在各类软土层中地下连接通道的施工提供了新的方向。

**附图说明：**

图1是上下行线隧道及其联络通道的示意图。

图2是本发明顶管设备的示意图。

**具体实施方式：**

现结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细的说明。

请参阅图1，以某地铁隧道工程联络通道施工为例，地铁上行隧道12与下行隧道11之间需建造1条联络通道10，联络通道10埋深为16.607m，隧道外壁净距5.95m，隧道间高差0.11m。联络通道10顶进穿过的土层为淤泥质粘土和粘土。

工程具体施工按照下列步骤进行:

### 1、出进洞区域土体加固

对顶管机出入上、下行隧道 12 和 11 的开口环钢管片联络通道 10 区域附近的混凝土管片外的土体进行地基注浆加固,经加固的土体应有很好的自立性能、均质性,无侧限抗压强度达 0.2~0.3Mpa,从而防止正面的土体坍塌造成水土流失与顶管顶进时下行隧道 11 因受主顶千斤顶的顶力引起横向位移和管片变形。

主要技术参数:

注浆压力:  $P=0.2\sim 0.5\text{Mpa}$ ;

注浆流量:  $Q=10\sim 15\text{L/min}$ ;

浆液填充率: 20%;

注浆量:  $3.4\text{ m}^3/\text{环}$ ;

选用的注浆孔间距是钢管片上的吊装孔间距。

浆液配合比:

材料名称	水	水泥	陶土粉
重量比	0.6	1	0.03

### 2、顶进轴线测量放样

由于上行隧道 12 和下行隧道 11 在施工中管片排布的差异,必然引起相应联络通道 10 预留孔的方位差异,这会给施工带来难度。因此联络通道 10 施工前,通过实际测量得,上行隧道 12 与下行隧道 11 的钢管片中心水平差距为 0.23 米,高度差为 0.11 米,根据两隧道 12 和 11 开口环上进出洞门的中心连线,采用地面控制网将控制点的地面坐标放样到地下,定出顶进的轴线和导轨面标高及顶管设备的中心位置,并用以指导后续作业。

### 3、设置隧道内的管片支撑

联络通道 10 施工前,在与开口环的联络通道 10 两端相邻的各 6 环混凝土管片内分别设置由 8 根 25# 双槽钢构成的柱状钢支撑,其支撑能力不小于 500KN/点,从而构成沿隧道纵向设置的钢桁架梁,尤其在开口环中设置支撑点,如果支撑点正好在管片开口位置,开口处必须填充混凝土。为了给钢支撑加预应力,在各钢支撑顶端设 10t 的液压千斤顶,采用三角状垫块与混凝土管片密贴。

### 4、加工网格状正面切土装置

利用下行隧道 11 中设计建造联络通道 10 相应位置的钢管片的中段部分作为网格状

正面切土装置 8 (参见图 2)。拆除中段钢管片与上端、下端钢管片的纵向螺栓, 拆除中段钢管片与旁侧相邻管片之间的横向螺栓, 在中段钢管片对应设计联络通道 10 洞门位置上开设两列共 16 个网格通孔, 每个网络通孔的开口为 20cm×40cm; 考虑到控制出土量和风险因素, 还相应配置了 16 块大小为 25cm×40cm、厚 1.6cm 的胸板, 胸板通过螺栓连接可方便地拆卸、安装; 一旦出现突发事件胸板即可堵封该网格通孔。

### 5、制造顶管设备

制造一套顶管设备, 其结构示意图可参见图 2。图示顶管设备由后靠 1、主顶进装置 2、顶铁 3、中继间 5、垂直法兰 6 及导轨 7 构成, 其截面外形尺寸为 2.7×1.58m。顶管设备的最后部为后靠 1, 该后靠 1 的前方为主顶进装置 2, 主顶进装置 2 的前方依次为顶铁 3、中继间 5 和垂直法兰 6, 后靠 1 顶靠在下行隧道 11 的内壁上, 构成联络通道 10 的复合钢管节 4 在顶铁 3 与中继间 5 之间加入, 垂直法兰 6 与网格状正面切土装置 8 相连接, 导轨 7 铺设于网格挤压式矩形顶管机的底部; 其中:

后靠 1: 由长 7.2m、弦长 3.51m、半径为 2.73m 的船底板和 3 根长 7m 的 56# 工字钢及肋板组成, 其外轮廓弧面与下行隧道 11 内壁弧面吻合, 并且后部均匀紧密地贴合在下行隧道 11 管片的内壁上, 以尽量分散主顶千斤顶的压力, 减少管片的承压力;

主顶进装置 2: 包括 6 台 100t 的行程同步的主顶千斤顶, 该主顶千斤顶沿联络通道 10 中心左右对称分布, 其旁侧设置有千斤顶支架, 用来支撑主顶千斤顶和起导向作用; 其还包括供给主顶千斤顶压力油的压力高达 40Mpa 的主顶高压变量油泵 (25CSY14-1B)、控制主顶千斤顶伸缩的换向阀和连接油泵、换向阀和主顶千斤顶的高压软管;

顶铁 3: 为矩形钢制构件, 与复合钢管节 4 连接的一侧为法兰面, 其另一侧为平钢板, 主顶进千斤顶可直接顶在其上;

中继间 5: 可保持顶管轴线的正确姿态, 其具有矩形钢制外壳, 内部四角设置有可分别单独控制的 4 组纠偏千斤顶, 每组 3 只, 纠偏千斤顶的吨位和数量根据正面土体的所能承受的土压力及钢管节外壁的摩擦力来确定;

垂直法兰 6: 其一侧形状与网格状正面切土装置 8 的内弧面相合并与之焊接, 焊缝应满足水密性要求, 其另一侧为平整的矩形法兰面且与中继间 5 连接;

导轨 7: 由两根可自由拆卸的平行的 18# 工字钢组成, 沿联络通道 10 的设计轴线设置; 导轨使复合钢管节 4 有较稳定的导向而顺利顶入土中。

顶管设备还包括一些辅助设备:

①垂直运输系统: 采用一台 15t 行车进行吊装, 土箱体积为 3m<sup>3</sup>;

②水平运输系统：采用一台 14t 电机车运输，考虑到装卸钢管片的空间限制和钢管节的安装吊位，将平板车宽度加工至 1m；

③安装吊位：利用 4 只 10t 的液压千斤顶顶起卸车和就位；

④测量仪器、动力和照明设备、电焊机及割刀等。

#### 6、制造用以拼装联络通道 10 的复合钢管节 4

本实施例根据联络通道 10 的长度确定，联络通道 10 由 6 节预制的复合钢管节 4 所组成，其中 2 节进出洞钢管节 GGJ2 的尺寸为长 1.2m、宽 1.58m、高 2.7m，4 节标准钢管节 GGJ1 的尺寸为长 1.5m、宽 1.5m、高 2.7m。该复合钢管节 4 的截面为矩形，与联络通道 10 的内壁相一致，其由外层的钢壳和内层的混凝土内衬组成，钢壳背板涂有环氧沥青漆，混凝土内衬浇注的混凝土等级为 C30，抗渗等级为 0.8Mpa，混凝土保护层为 25mm，浇注的混凝土内衬具有设计规定的平整度和密实量，并设置有注浆孔。

#### 7、安装网格挤压式矩形顶管机

将按步骤 5 所完成的顶管设备吊运至下行隧道 11 中联络通道 10 起始的位置上，按照步骤 5 所述结构（参见图 2）进行安装，并将其与按步骤 4 所完成的网格状正面切土装置 8 相固接，形成网格挤压式矩形顶管机。

#### 8、顶管机出洞施工

为了正确地选择工艺参数，首先要根据土体的条件进行网格挤压式矩形顶管机顶力和顶管设备后靠稳定条件的理论计算，具体计算过程如下：

##### a. 顶力计算

顶力  $P = P_{正} + P_{摩}$

其中，正面阻力  $P_{正} = [\gamma h \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \Phi/2) + 2c \operatorname{tg} (45^\circ + \Phi/2)] \times F_{正}$

式中： $\gamma$ ：土体的平均重度（取各层土体的加权平均）

$h$ ：联络通道的计算深度

$c$ ：土体的内聚力（取各层土体的加权平均）

$\Phi$ ：内摩擦角

$F_{正}$ ：顶管正面面积

在本实施例中，计算得  $P_{正} = 2614.4\text{kN}$ 。

周边摩阻力  $P_{摩} = P_{单} \times F_{周}$

式中， $P_{单}$ ：顶管机及管节外表面单位面积摩擦力（平均值）

$F_{周}$ ：顶管机及管节外表面周边面积

在本实施例中，计算得  $P_{摩} = 2080\text{kN}$ 。

因此，本实施例的顶力  $P = P_{正} + P_{摩} = 2614.4 + 2080 = 4694.4\text{kN}$ 。

#### b.后靠土体稳定条件计算

联络通道 10 顶进施工时，顶力通过后靠 1 传至隧道管片上，所以后靠 1 的稳定是由管片的稳定（不产生位移）来保证的；而管片的另一侧是土体，土体起到支撑管片的作用，因此只要作用于管片上的单位压力小于被动土压力，就能达到稳定后靠 1 的目的。

通过计算，顶进时管片单位面积所受到最大压力为  $86.3\text{kN}$ ，管片外产生的被动土压力为  $544.7\text{kN/m}^2$ ，此处安全系数  $K = 544.7 \div 86.3 = 6.312$ 。

完成计算后即可依照下列步骤进行顶管出洞的施工：

①将第一节进出洞钢管节 GGJ2 与顶管机连接，开启出洞门，打开中间两列网格通孔，启动顶管机的主顶进装置向前推进。

②控制包括顶进速度、出土量的施工参数：考虑到出洞段的土体已经加固，同时开始顶进时还须摸索一下规律，因此顶进速度开始不易过快，一般控制在  $10 \sim 15\text{mm/分钟}$ ；出土量取理论值的  $95\% \sim 98\%$ ，以严格控制地面的沉降量，出洞钢管节 GGJ2 的出土量控制在  $5.75\text{m}^3$ 。

③综合运用调整网格通孔开口的数量和位置、主顶进装置 2 和中继间 5 内的纠偏千斤顶，来控制施工参数和顶管机的姿态，以保证顶管机沿规定轴线推进：如果主顶进装置 2 的顶力过大，可以把网格适当放大（即将上下两排网格通孔连通），反之，用胸板把其中一些网格通孔堵住；当顶管产生向上的趋势时，及时调整主顶千斤顶的合力位置，让下部的主顶千斤顶向上移动，反之，让上部的主顶千斤顶向下移动；将纠偏千斤顶与前两节复合钢管节 4 紧密连接，并随时调节保持相邻复合钢管节 4 外形的平整。

#### 9、正常顶进施工：

①当前一进出洞钢管节 GGJ2 顶进结束后，即吊放下一节标准钢管节 GGJ1 进入顶管设备中顶铁 3 与中继间 5 之间，然后操纵顶管机继续向前推进，并在各复合钢管节 4 之间粘封止水密封橡胶带，同时保证止水密封橡胶带充分与复合钢管节 4 密贴且受力均匀；之后随顶管推进逐段接入标准钢管节。

②控制包括顶进速度、出土量的施工参数，同时连续地将挤入顶管机内的土体传输出去：顶进速度一般控制在  $20 \sim 30\text{mm/分钟}$ ；如果发现正面土体挤入很慢，且顶进的压力变得越来越大，就须放慢顶进速度，控制在  $10 \sim 15\text{mm/分钟}$ ，如果此时不放慢顶进速

度，顶管极易造成上抛，趋势难于控制。严格控制出土量，防止超挖或欠挖，出土量控制在理论值的 97%~100%之间，4 节标准钢管节 GGJ1 的出土量控制在 6.48m<sup>3</sup>，以严格控制地面的沉降量；由于顶管顶进过程中磨阻力是不断变大的，因此势必造成主顶千斤顶的顶力也不断增大，当顶力过大时，可把网格适当放大（即将上下两排网格通孔连通）和提高开口率。

③综合运用调整网格通孔开口的数量和位置、主顶进装置 2 和中继间 5 内的纠偏千斤顶，来控制施工参数和顶管机的姿态，以保证顶管机沿规定轴线推进：顶管机的姿态主要依靠主顶千斤顶的优化编组来控制，如果高程有向上的趋势，可以暂停下面两个千斤顶，反之，暂停上面两个千斤顶；此外还可以通过网格释放的出土量来控制顶进的趋势，如果顶管有上抛的趋势，则可通过在网格式切土装置 8 的下部提高开口率和网格通孔的有效高度，使下部的进土量增加，反之，如果顶管有磕头的趋势，则通过在网格式切土装置 8 的上部提高开口率和网格通孔的有效高度，使上部的进土量增加；在增加进土量的同时一定要提高顶进的速度，以防止超挖引起地面沉降。在主顶进装置 2 能控制的情况下，尽量不用纠偏装置，因为纠偏千斤顶一旦应用，对后面整体钢管节的姿态和成形以及测量都产生影响，所以要慎重使用；如果在进洞段姿态不理想、主顶进装置 2 基本上起不到作用的情况下，再使用纠偏千斤顶来控制机头的姿态。在本实施例中，由于主顶千斤顶的优化编组满足了顶进要求，故未使用纠偏千斤顶。

④顶管引起地层变形的主要因素有：网格状正面切土装置 8 的开挖面引起的地层损失、顶管在顶进过程中与地层的摩擦引起的土体扰动、纠偏千斤顶与复合钢管节 4 连接处的泥水流失而引起的地层损失。因此在顶管施工过程中，须密切观察并根据监测的地表沉降、土质变化、覆土厚度及地面建筑物，及时调整网格通孔开口的数量和位置以及施工参数出土量。

#### 10、顶管机进洞施工：

①铺设导轨 7：顶管机进洞前在上行隧道 12 的开口环节内，按照坡度与联络通道 10 一致的要求铺设安装导轨 7；如果导轨 7 的位置差异过大，极易造成顶管机的轨迹变化，而且易啃住导轨面，造成导轨 7 变形或整体扭曲等。

②布置应力释放孔：为了避免顶管机靠近洞门时由于正面顶力过大而造成封门变形或正面的土体涌入隧道内等严重后果，在上行隧道 12 的进洞门附近的钢管片上，利用两旁的压浆孔开设若干应力释放孔并安装球阀，当顶管机接近进洞门时打开球阀释放应力。

③控制包括顶进速度、出土量的施工参数：由于顶管机已经进入洞门区域，为控制顶进轴线、保护网格及钢管片成形质量，顶进速度一定要放慢，一般控制在 10~15 mm/分钟；为了降低对洞门的压力，防止土体涌入隧道内，出土量必须达到尽量挖空正面土体。

④顶管进洞：封门拆除前必须了解施工现场的情况和封门结构，布置好最佳的吊点，且有专门人员指挥。钢管片封门拆除顺序如下：

	3	4	
	1	2	
	5	6	

同时顶管机须保持良好的状态，一旦封门拆除后就马上顶出土体，尽量缩短进洞的时间。拆除进洞门后，顶管机进入上行隧道 12，洞门边缘和复合钢管节 4 之间必然出现有建筑空隙，这极易造成水土流失，因此第二节进出洞钢管节 GGJ2 安装完毕后，沿上、下行隧道 12 和 11 内径割除两节进出洞钢管节 GGJ1 和 GGJ2 凸出联络通道 10 的部分，随后用钢板将洞门边缘与复合钢管节之间的空隙焊封牢固，不允许留有空隙，以确保防止水土流失。

⑤压注浆液：联络通道 10 贯通后，为了防止地面沉降和钢管节渗水，必须通过复合钢管节 4 上的注浆孔压注足量的浆液以填充复合钢管节 4 壁外的建筑空隙，从而对土体加固；压注完成后对注浆孔进行焊接封堵。

#### 11、施工监测：

在施工的全过程中，通过地面设置的测量点对施工状况进行监测，并将结果用以指导施工，具体监测步骤如下：

##### ①地表变形监测：

顶进期间对整个工程影响区域都须进行地表变形的监测。在联络通道 10 上方的地面上布置若干测量点，监测范围为边长 30m 的正方形区域，测点间距取 2~5m；测量点在靠近联络通道 10 正上方的布置加密，取 1~2m 的间距；联络通道 10 上方邻近的建筑物和管线也应当布置测点，其间距可作适当调整。地表的隆起或沉降采用水准测量法监测，应用自动安平水准仪和线条式钢瓦水准标尺等仪器，测量精度在  $\pm 0.3\sim 0.4\text{mm}$ 。监测时间自顶进开始到地表变形基本稳定为止。测量频度视地表变形速度及施工对地面结构造成影响的程度而定，当地表变形增大或施工影响严重时，测量频度加大，监测时



间间隔缩短；监测频率一般为1天3~5次。

②隧道管片变形监测：

在上、下行隧道12和11上方以及其与联络通道10连接处的上方地面上布置若干测量点，监测范围为沿上、下行隧道12和11的40m，测点间距按2~5m布置，在联络通道10附近测点布置应加密，取1~2m的间距；变形通过量测上、下行隧道12和11隧道管片的水平和垂直位移来测定；测量仪器、方法与上述地表变形监测相同，依然采用水准测量法，监测时间自顶进开始到变形基本稳定为止，测量频度视变形速度及施工对结构造成影响的程度而定，一般监测频率为1天1~2次。

本实施例最后达到的施工效果如下：

- ①顶进施工从出洞到进洞仅历时40小时；
- ②地面和建筑物最大累计变形为-6.12mm，24小时最大变化量为-1.2mm；
- ③已成型上、下行隧道12和11最大累计变形为-2.1mm，24小时最大变化量为-1mm；
- ④联络通道10施工完成后7天内，邻近地面和建筑物就达到了稳定（沉降量为0.1mm/天）。

由上述施工效果可以看出，运用本发明所述的地铁盾构区间隧道联络通道的施工方法进行工程施工，缩短了联络通道施工周期、减少了施工对周边环境的不利影响、降低了施工成本、提高了施工的安全性，同时保证了联络通道工程的后期稳定性，因而避免了冻结法无法克服的固有缺点，达到了明显的有益效果。本发明可广泛用于各类软土层隧道的联络通道的施工。

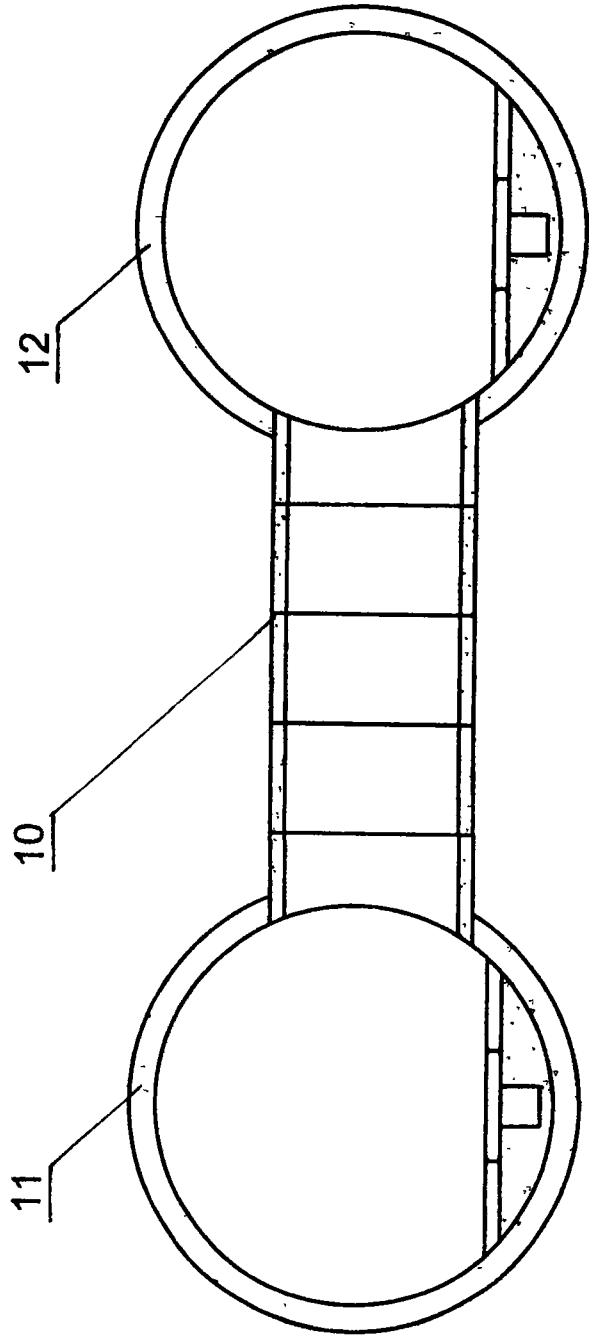


图 1

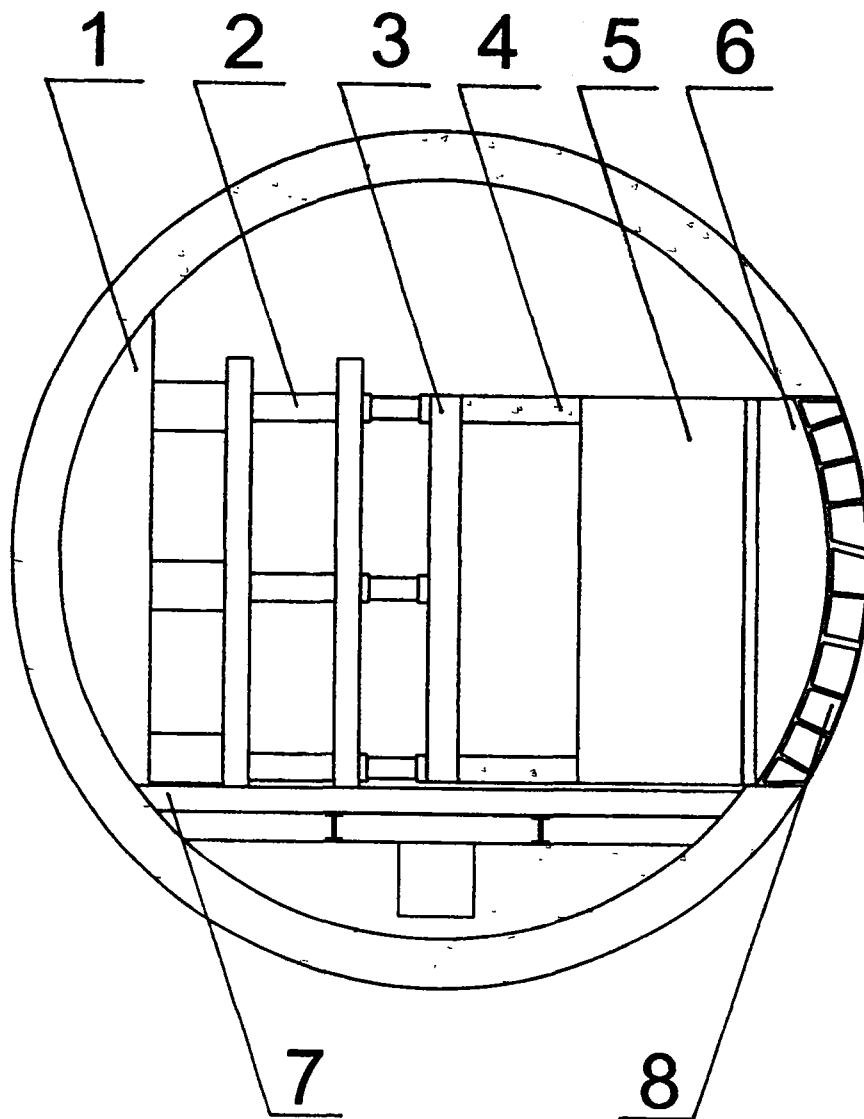


图 2