

用于联络通道掘进施工的顶推系统及使用其的施工方法

技术领域

5 本申请涉及地下工程技术领域，具体而言，涉及一种用于联络通道掘进施工的顶推系统及使用其的施工方法。

背景技术

10 根据《地铁设计规范》规定：两条单线区间隧道之间，当隧道连贯长度大于 600m 时，应设联络通道。地铁隧道及市政公路隧道的联络通道大都采用矿山法。例如在地下水较为丰富的区域，通常采用冻结法加固，然后采用矿山法进行联络通道开挖施工。然而，冻结法施工容易导致冻胀、融沉等不良后果，通常会引起一定的地面沉降，地面沉降较大时甚至发生垮塌危险，这对地质条件复杂、环境保护要求高的城市核心区域尤其难以适应。并且这一施工方法建设工期长，通常
15 常需要超过 100 天的冰冻，然后才能开始开挖，使建设工期经常长达 4-6 个月。另外，对于有砂层和承压水的地层，冻结法效果并不好，容易出事故，对环境影响大、风险很高。

20 近些年提出了采用拼装式联络通道结构，并采用机械法联络通道施工的方法。在始发过程中，需要将预支撑台车张开，在上、下、左、右各个方向支撑于主隧道管片，形成全环整体式预支撑结构，并将反力架支撑在始发方向相对侧的主隧道管片上以作为顶推装置的背靠承担推力。以地铁隧道施工为例，隧道内径通常在 5.5m 至 6m，有些项目中甚至能够扩大至 8.1m 或更大。对于其他工程的隧道施工作业，隧道内径可能有大有小。而当前的预支撑结构能够适应隧道内径在在
25 5.5m 至 7.1m 之间变化的需求。当隧道直径大于 7.1m，例如增加到 8.1m 时，采用同样的支撑方式将会导致预支撑结构的体系十分庞大。并且由于隧道直径变大，主隧道管片结构与支撑结构的适应性和稳定

性，以及在施工过程中的应力变化、结构强度等，均需重新研究。目前的施工方法并不能提供任何借鉴。

此外，采用全环整体式预支撑结构，整个主隧道的空间被预支撑结构占用，车辆无法通行，施工位置两侧无法连通。这就导致只有在一条联络通道施工完毕之后才可以进行其他联络通道的施工或主隧道的其他施工，多个施工工序无法同步进行，导致施工进度延长。另一方面，现有技术中的主要构件，背靠与顶推系统只能依靠人工现场完成计划推进线的角度调整。

因此，需要提供一种用于联络通道掘进施工的顶推系统及使用该顶推系统的施工方法以至少部分地解决上述问题，同时控制设备制造成本和施工成本。

发明内容

本申请的目的在于，提供一种用于隧道群 T 型联络通道掘进施工的顶推系统及使用该顶推系统的施工方法，以实现多种工序的同步施工，提高施工效率，缩短工期，并降低设备制造成本和施工成本。

根据本申请的一个方面的用于隧道群 T 型联络通道掘进施工的顶推系统包括反力架和传力构件，所述联络通道用于联络至少一条主隧道，所述传力构件将所述反力架连接至位于所述反力架的面向所述联络通道的一侧并围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片，所述反力架用于在掘进方向上为掘进设备提供支撑，其中，支撑力经由所述传力构件以承受拉力的方式传递至所述围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片。

在部分实施方式中，所述传力构件包括多个围绕所述联络通道的周向间隔布置的传力拉杆。

在部分实施方式中，至少一部分所述传力拉杆与所述围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片直接连接。

在部分实施方式中，所述联络通道的始发端设置有连接至所述主隧道管片的始发套筒，至少一部分所述传力拉杆与所述始发套筒连接。

在部分实施方式中，所述传力拉杆构造为无动力拉杆。

5 在部分实施方式中，所述传力拉杆构造为能够提供驱动力的动力拉杆。

在部分实施方式中，所述动力拉杆为反拉油顶拉杆。

在部分实施方式中，每个所述动力拉杆具有独立的控制单元。

10 在部分实施方式中，所述顶推系统还包括沿着所述联络通道的中心轴线延伸的滑轨，所述反力架沿所述滑轨可移动。

在部分实施方式中，所述传力拉杆的一端与所述反力架可枢转地连接，并且/或者，所述传力拉杆的另一端与所述主隧道管片或与连接至所述主隧道管片的始发套筒可枢转地连接。优选地，所述传力拉杆的枢转轴线垂直于所述联络通道的轴线方向。在部分实施方式中，所述传力拉杆的一端与所述反力架可拆卸地连接，并且/或者，所述传力拉杆的另一端与所述主隧道管片或连接至所述主隧道管片的始发套筒可拆卸地连接。

在部分实施方式中，所述传力拉杆通过联结装置可拆卸地设置，所述联结装置包括：

20 安装座，所述安装座具有两个相对间隔设置的侧壁，所述传力拉杆的端部设置在两个侧壁之间；和

销，所述安装座和所述传力拉杆的端部分别设置有安装孔，所述销穿过所述安装座和所述传力拉杆的所述安装孔。

25 在部分实施方式中，所述安装座固定设置在所述反力架上，或者，所述安装座固定在所述主隧道管片上，或者，所述顶推系统包括与所述主隧道管片固定连接的始发套筒，所述安装座固定在所述始发套筒上。

在部分实施方式中，所述传力拉杆的端部设置有微调结构，所述安装孔穿过所述微调结构，并且所述微调结构具有围绕所述安装孔的鼓形的外凸周面。

5 在部分实施方式中，所述传力构件构造为筒状结构，所述筒状结构布置为围绕所述联络通道的始发端。

在部分实施方式中，所述筒状结构与所述围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片直接连接。

在部分实施方式中，所述联络通道的始发端设置有连接至所述主隧道管片的始发套筒，所述筒状结构与所述始发套筒连接。

10 在部分实施方式中，所述筒状结构的轴向端部设置有沿径向向外延伸的翻边，所述筒状结构通过所述翻边连接固定。

在部分实施方式中，所述筒状结构的连接方式包括焊接、螺栓连接和/或铆接。

在部分实施方式中，所述筒状结构的侧壁设置有加强筋。

15 在部分实施方式中，所述筒状结构的侧壁设置有贯通的物料运输孔。

在部分实施方式中，所述筒状结构为一体成型的结构，或者由至少两个分体结构拼装而成。

20 在部分实施方式中，当所述筒状结构由至少两个分体结构拼装而成时，所述至少两个分体结构彼此相同。

在部分实施方式中，所述反力架的朝向所述联络通道的一侧设置有顶推驱动单元，所述顶推驱动单元包括围绕所述联络通道的中心轴线以象限对称的方式间隔设置的多个液压缸。

25 在部分实施方式中，所述多个液压缸的一端连接所述反力架，另一端与环形的抵接件连接，所述抵接件用于与所述掘进设备或所述联络通道的管片抵接。

在部分实施方式中，所述液压缸安装在所述反力架上并且至少部

分地设置在所述反力架的内部。

在部分实施方式中，所述顶推驱动单元的配套设备设置在所述反力架的内部，所述配套设备至少包括液压控制元器件、油管、油箱和/或阀件。

5 在部分实施方式中，所述液压缸包括缸筒和活塞，所述缸筒的前端设置有法兰凸缘并通过所述法兰凸缘沿掘进方向的反向抵靠在所述反力架上。

在部分实施方式中，所述法兰凸缘通过紧固件连接至所述反力架。

10 在部分实施方式中，所述反力架的表面设置有与所述法兰凸缘抵靠的凸台。

在部分实施方式中，所述液压缸的包括缸筒和活塞，所述缸筒的底部抵靠在所述反力架上。

15 在部分实施方式中，所述顶推系统还包括设置在所述始发端的台车，所述反力架由所述台车支撑，其中，所述反力架设置有调节所述反力架与所述台车的相对位置的调节单元。

在部分实施方式中，所述调节单元包括沿着三个相互正交的调节方向设置的调节驱动缸，所述调节方向之一为掘进方向。

20 在部分实施方式中，所述反力架在掘进方向上的左右两侧设置有凸耳部，至少一部分所述调节驱动缸设置在所述凸耳部上。

在部分实施方式中，所述调节单元至少在所述掘进方向上包括第一调节驱动缸和第二调节驱动缸，所述第二调节驱动缸的调节行程大于所述第一调节驱动缸的调节行程。

25 在部分实施方式中，所述第二调节驱动缸设置在所述反力架的底部。

在部分实施方式中，所述反力架的背离所述联络通道的一侧设置有沿所述主隧道的延伸方向贯通的通行空间。

在部分实施方式中，所述通行空间内铺设有通行平台。

在部分实施方式中，所述通行平台设置有沿所述主隧道的延伸方向延伸的通行轨道。

5 在部分实施方式中，所述顶推系统还包括架设在所述顶推系统的下方的主隧道管片上的作业平台，所述反力架和/或所述通行平台支撑在所述作业平台上。

10 在部分实施方式中，所述顶推系统还包括附加传力构件，所述附加传力构件将所述反力架连接至位于所述反力架的背离所述联络通道的一侧的主隧道管片，所述掘进设备作用于所述反力架的力经由所述传力构件和所述附加传力构件传递至所述主隧道管片，所述通行空间延伸穿过所述附加传力构件。

15 在部分实施方式中，所述附加传力构件包括围绕所述联络通道的轴线分布设置的多个支撑杆，所述多个支撑杆包括上部支撑杆部分和下部支撑杆部分，所述通行空间设置在上部支撑杆部分和下部支撑杆部分之间。

在部分实施方式中，所述顶推系统还包括承台，所述承台具有能够在形状上与所述主隧道管片贴合的表面，所述支撑杆连接至所述承台并通过所述承台支撑在所述主隧道管片上。

20 在部分实施方式中，所述支撑杆包括沿长度方向设置的至少两个子段，相邻的子段之间通过连接器可拆卸地连接固定。

在部分实施方式中，所述反力架设置在与所述联络通道对应的位置设置有贯通所述反力架的物料运输孔。

根据本申请的一个方面的一种使用顶推系统进行隧道群 T 型联络通道掘进施工的方法，包括：

25 将顶推系统、掘进设备及配套设备运送至拟开挖联络通道的位置并固定；

根据拟掘进方向调整所述顶推系统和所述掘进设备的位置；

通过传力构件将反力架连接至主隧道管片；

将所述掘进设备移动至计划始发位置；

掘进和拼装联络通道拼装单元；

完成联络通道施工。

5 在部分实施方式中，所述方法在所述将顶推系统、掘进设备及配套设备运送至拟开挖联络通道的位置并固定的步骤之前还包括：

将所述配套设备、所述顶推系统和所述掘进设备组合为一体式结构。

10 在部分实施方式中，所述配套设备包括始发套筒，所述方法还包括：

将所述始发套筒与所述主隧道管片连接，所述反力架通过传力构件连接至所述始发套筒上。

在部分实施方式中，所述掘进设备为盾构法掘进机，所述方法在掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤之前还包括：

15 安装始发前辅助管片及钢结构。

在部分实施方式中，所述掘进设备为顶管法掘进机，所述传力构件为无动力的传力拉杆，所述联络通道拼装单元为管节，所述方法在掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤之前还包括：

20 安装顶推驱动单元，所述顶推驱动单元直接作用在所述反力架上。

在部分实施方式中，所述掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤包括：

使用顶管法掘进机完成本节管节的空间推进；

25 将与管节运输通道干涉的至少部分的传力拉杆解除连接并从所述管节运输通道移开；

将顶推驱动单元缩回；

将本节管节运送至拼装位置完成拼装；

将顶推驱动单元伸出与完成拼装的管节密贴；

将传力拉杆恢复为连接状态。

在部分实施方式中，所述掘进设备为顶管法掘进机，所述传力构件为能够提供驱动力的传力拉杆，所述联络通道拼装单元为管节，所述掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤包括：

将与管节运输通道干涉的传力拉杆解除连接并从所述管节运输通道上移开；

将管节运送至拼装位置完成拼装；

将所述传力拉杆恢复为连接状态；

驱动所述传力拉杆，通过所述反力架推动所述顶管法掘进机向前掘进，完成本管节掘进；

将所述传力拉杆反向驱动，使所述反力架退回。

在部分实施方式中，所述方法在将所述传力拉杆反向驱动，使所述反力架退回的步骤之前还包括：

通过止退装置将最靠近所述反力架的管节固定。

根据本发明的一个方面的一种用于隧道群 T 型联络通道掘进施工的顶推系统包括反力架和多个传力拉杆，所述联络通道用于至少在沿着掘进方向的接收端联络主隧道，所述传力拉杆的一端与所述反力架连接，另一端穿过岩土层连接至围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片，所述反力架用于在掘进方向上为掘进设备提供支撑，其中，支撑力经由所述传力拉杆传递至所述围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片。

在部分实施方式中，围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片的内表面设置有承台，所述传力拉杆穿过所述主隧道管片并与所述承台连接。

在部分实施方式中，所述承台是与所述主隧道管片分体设置的结构，并且所述承台具有能够在形状上与所述主隧道管片的内表面相贴

合的侧面。

在部分实施方式中，所述承台为钢制结构。

在部分实施方式中，所述承台是与所述主隧道管片一体设置的预制钢筋混凝土结构。

5 在部分实施方式中，所述传力拉杆的末端穿过所述承台并通过紧固件锁定。

在部分实施方式中，所述传力拉杆的末端设置有垂直于自身轴向的卡槽，所述紧固件构造为固定在所述承台上的卡板，所述卡板与所述卡槽卡合。

10 在部分实施方式中，所述传力拉杆的末端设置有螺纹结构，所述紧固件构造为与所述螺纹结构螺纹接合的锁紧螺母。

在部分实施方式中，所述锁紧螺母与所述承台之间设置有垫圈。

在部分实施方式中，所述传力拉杆的末端设置有沿着垂直于自身轴向的方向贯通的通孔，所述紧固件构造为穿设在所述通孔中的锁销。
15

在部分实施方式中，多个所述传力拉杆连接至同一个所述承台。

在部分实施方式中，每个拉杆包括沿自身轴向布置的多个子段，相邻的子段之间通过连接器连接固定。

在部分实施方式中，所述连接器的结构强度不低于所述子段的结构强度。
20

在部分实施方式中，所述传力拉杆包括空心管和穿设在所述空心管中的传力拉索，其中，所述空心管设置在岩土层中，所述传力拉索用于与所述反力架和所述围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片连接。

25 在部分实施方式中，所述传力拉杆由螺纹钢制成。

在部分实施方式中，主隧道管片上由所述传力拉杆穿过的位置设置有用于防水的密封结构。

附图说明

为了更好地理解本申请的上述及其他目的、特征、优点和功能，可以参考附图中所示的优选实施方式。附图中相同的附图标记指代相同的部件。本领域技术人员应该理解，附图旨在示意性地阐明本申请的优选实施方式，对本申请的范围没有任何限制作用，其中，

图 1 根据本申请的第一优选实施方式的顶推系统的立体图；

图 2 为图 1 所示的顶推系统的侧视图；

图 3 为根据本申请的另一种优选实施方式的顶推系统的立体图；

图 4 为图 3 所示的顶推系统的反力架的立体图；

图 5 为根据本申请的顶推系统在始发掘进前的准备状态示意图；

图 6 至图 9 为根据本申请的顶推系统在掘进过程中的不同状态示意图；

图 10 为主隧道管片与联络通道洞门环的受力分析模型；

图 11 和图 12 分别为主隧道管片与联络通道洞门环在不同顶推压力下的受力分析结果；

图 13 为使用根据本申请的顶推系统进行机械法联络通道施工时主隧道断面的示意图；

图 14 示出了传力拉杆的微调结构；

图 15 为根据本实用新型的第二优选实施方式的顶推系统的立体图；

图 16 为图 15 所示的顶推系统的侧视图；

图 17 为图 15 所示的顶推系统的传力构件的立体图；

图 18 为根据本实用新型的第三优选实施方式的顶推系统的立体图；

图 19 为用于图 18 所示的顶推系统的反力架中的驱动缸的立体图；

图 20 为图 18 所示的顶推系统的反力架的局部图；

图 21 为图 18 所示的顶推系统的另一角度的立体图，其中示出了主隧道管片和台车；

图 22 为根据本实用新型的第四优选实施方式的顶推系统的立体图；

图 23 为图 22 所示的顶推系统的侧视图；

图 24 为图 22 所示的顶推系统的侧视图，其中示出了另一构型的传力拉杆；

图 25 至图 27 分别示出了图 22 所示的顶推系统的传力拉杆的末端通过不同紧固件锁定的示意图；

图 28 为根据本实用新型的第五优选实施方式的顶推系统的侧视图；以及

图 29 为图 28 所示的顶推系统的改进方案。

15 具体实施方式

现在参考附图，详细描述本申请的具体实施方式。这里所描述的仅仅是根据本申请的优选实施方式，本领域技术人员可以在所述优选实施方式的基础上想到能够实现本申请的其他方式，所述其他方式同样落入本申请的范围。

20 为了实现地下空间网络互通，需要建设大量的 T 字型连接隧道。比如：地铁、公路区间联络通道、地铁出入口及风井、市政管廊检修井、长隧道中间风井、水务隧道连接线等等。本申请提供一种适用于机械法进行隧道群 T 型联络通道施工的顶推系统。其中，联络通道和主隧道可以是由管片或管节等拼装单元构成的拼装式隧道。该联络通
25 道可以用于联络一条或两条地铁主隧道。

根据图 1 和图 2 所示，根据一种优选实施方式的顶推系统 100 包括反力架 11 和传力构件。在进行机械法联络通道施工时，顶推系统

100 固定在主隧道 1 的已经完成的部分中与拟掘进的联络通道相对应的位置。传力构件用于以承受拉力的方式将反力架 11 与围绕联络通道的始发端的主隧道 1 的相应管片（可以称为主隧道管片）连接。也即，传力构件将反力架连接至位于反力架 11 面向联络通道的一侧的主隧道管片。反力架 11 用于为掘进设备提供支撑。其中，支撑力最终通过传力构件传递至围绕联络通道的始发端的主隧道管片上。因此，支撑掘进设备向前掘进的力由位于反力架 11 的面向联络通道的一侧的主隧道管片提供。

可以理解，在常规的全环整体式预支撑结构中，位于反力架的背离联络通道一侧的传力构件支撑在反力架与主隧道管片之间。支撑掘进设备使其向前掘进的力经由反力架和传力构件传递至主隧道管片。传力构件具有将主隧道管片朝向外侧推出的趋势。该支撑力最终由主隧道管片外侧的土体承受。在这种受力模型下，主隧道管片实际上受到其两侧的传力构件与外侧土体的挤压。在实际的施工过程中，主隧道管片受到的挤压力远小于构成其的材料（例如混凝土、钢筋等）的抗压强度，因而不会对主隧道管片的结构造成不良影响。

而根据本申请的技术方案，支撑掘进设备使其向前掘进的力经由反力架和传力构件最终传递至主隧道管片。传力构件具有将主隧道管片朝向内侧拉动的趋势。在这种受力模型下，反力架的支撑力完全由主隧道管片承受。图 10 至图 12 示出了这种受力模型下，在直径为 R1 的主隧道管片上开设直径为 R2 的联络通道的情况下，对主隧道管片和形成联络通道的洞门环的受力分析结果。结果显示，采用上述顶推系统 100，主隧道管片的局部集中应力最高达 10MPa ~20MPa，且主要集中在传力构件周边，因此可通过对传力构件周边进行局部加固以增加结构强度的方式应对。在 250kPa~450kPa 顶推分布力作用下，联络通道开口位置的水平侧向位移最大达到-1.0mm~-1.5mm，且为横向向内收敛趋势，对邻近该主隧道管片的未切削的其他整环管片影响

较小。

具体地，以 R_1 为 8.1m， R_2 为 3.65m 为例，主隧道管片和形成联络通道的洞门环的受力分析结果分别如图 11 和图 12 所示。可以看到，当承受最大 450kPa 的顶推力时，主隧道管片的最大位移变形为 -1.2mm，形成联络通道的洞门环的最大位移变形为 -1.2mm。因此，利用根据本申请的顶推系统 100 进行机械法联络通道施工能够满足联络通道破洞过程中的主隧道管片应力重分配，可保证结构受力的安全稳定，因此是可行的。即使对于大直径隧道（例如 8.0m 及以上直径），同样适用。

利用根据本申请的顶推系统 100 进行机械法联络通道施工，可以将常规的顶推系统中位于反力架的背离联络通道一侧的传力构件转移至反力架的朝向联络通道的一侧，因而可以省略在主隧道 1 的背离联络通道的一侧设置支撑结构（也即，反力架 11 是无背靠的反力架），从而能够在反力架的背离联络通道的一侧与主隧道管片之间形成足够的通行空间（参见图 13）。车辆、人员、物料等可以利用位于反力架 11 的背离联络通道一侧的通行空间在主隧道 1 的不同位置之间转移，使得多种施工工序可以同步进行，尤其是可以在主隧道的已经完成部分的不同位置同时进行多条联络通道施工，也可以确保对主隧道正在继续掘进部分的施工的人员和物料供应，从而有利于大大缩短施工周期。优选地，反力架的背离联络通道一侧与该侧的主隧道管片之间的最大距离可以设置为不小于主隧道的径向尺寸的三分之一，以确保通行空间具有足够的尺寸可供通行。在主隧道直径较大时，该通行空间的距离甚至可以设置为不小于主隧道径向尺寸的二分之一。

根据本申请的顶推系统可以适用于盾构法和顶管法两种施工方式。相对应地，掘进设备分别为盾构法掘进机（即盾构机）和顶管法掘进机。对应于盾构法，拼装单元为管片。对应于顶管法，拼装单元为管节。为了满足对掘进设备的支撑作用，反力架 11 为使用刚性材

料制成，例如钢或复合材料等。反力架 11 的尺寸与用于开挖联络通道的掘进设备的尺寸相适应，并且刚度设置为能够满足顶推掘进施工时抗变形的要求。在附图中，反力架 11 示出为大致矩形的形状。然而，可以理解，作为替换实施方式，反力架 11 可以构造为圆形、圆
5 环形或其他任何满足施工需求的形状。

在部分实施方式中，传力构件可以构造为传力拉杆 12 的形式。传力拉杆 12 设置为多个，并围绕联络通道沿着其周向间隔布置，以提供均衡的传力效果。在图 1 和图 2 示出的实施方式中，传力拉杆 12 为无动力拉杆，其仅起到连接和传力的作用，而不会提供任何驱动作用。优选地，无动力拉杆可以是钢结构拉杆，具体可以是圆钢、方钢、
10 钢管或型钢等。

当掘进设备为顶管法掘进机时，掘进设备需要由顶推系统提供驱动力。因此，反力架 11 的朝向联络通道的一侧设置有顶推驱动单元 14。在部分实施方式中，顶推驱动单元 14 可以是液压缸。优选地，
15 顶推驱动单元 14 包括多个液压缸，其围绕联络通道的中心轴线以象限对称的方式布置，以便在圆周方向上为掘进设备提供均匀的驱动力。通过控制不同位置的液压缸的行程，顶推驱动单元 14 还能够调整掘进设备的掘进方向相对于联络通道的中心轴线的角度，以便使掘进方向与中心轴线一致，或满足其他角度调整的需求。此外，当掘进
20 设备为盾构法掘进机时，掘进设备不需要由顶推系统提供驱动力。此时，顶推驱动单元 14 可以用作角度调节单元。由于不需要提供非常大的驱动力，相应地可以选择较小尺寸和规格的液压缸。进一步地，还可以设置分别与液压缸的背离反力架 11 的一端相连接的抵接件 141。角度调节单元通过抵接件 141 与掘进设备或联络通道的管片抵
25 接。在部分实施方式中，抵接件 141 具体可以为环形的顶铁。

图 3 示出了传力拉杆 12 为能够提供驱动力的动力拉杆的实施方式。其中，传力拉杆 12 可以是反拉油顶拉杆，具体为一种以提供反

拉力为主动力的液压千斤顶系统，中心杆长度与反拉力能够满足推动顶管法掘进机掘进的要求。即，传力拉杆 12 构造为能够以拉动反力架 11 移动的方式提供顶推所述掘进设备的驱动力。这样就不需要在反力架 11 的背侧设置推动其向前移动的动力装置。优选地，每个传力拉杆 12 具有独立的控制单元，可以独立地伸长或者回缩。由此可以通过调整不同的传力拉杆 12 的行程实现掘进设备的掘进方向与联络通道的中心轴线之间的角度关系的微调，因而可以省略角度调节单元。然而，可以理解，也可以保留角度调节单元以提供辅助角度调节功能或辅助驱动功能。优选地，传力拉杆 12 可以设置为可扩展和伸缩的多节式结构。另外还可以通过调整传力拉杆 12 的数量实现驱动力的调节。

可以理解，在传力拉杆 12 构造为无动力拉杆的实施方式中，反力架 11 始终保持在固定位置。而在传力拉杆 12 构造为动力拉杆的实施方式中，反力架 11 随着传力拉杆 12 提供驱动力而沿着联络通道的中心轴线往复移动。优选地，如图 4 所示，顶推系统 100 设置有滑轨 15，其可以由钢等刚性材料制成，固定设置并沿着联络通道的中心轴线延伸。反力架 11 能够沿着滑轨 15 移动，由滑轨 15 提供横向限位和纵向引导。反力架 11 和滑轨 15 可以通过突出部和滑槽的结构实现引导和限位。例如，反力架 11 的底部设置有凹部作为滑槽，滑轨 15 作为突出部容纳在凹部中。或者也可以在滑轨 11 上设置沿联络通道的中心轴线延伸的滑槽，而在反力架 11 上设置相应的突出部。滑槽和突出部相配合的截面可以是圆环型、圆形、矩形等。

继续参考图 1 至图 3，优选地，联络通道的始发端设置有始发套筒 13，其与主隧道管片固定连接。固定连接的方式具体可以是预埋、焊接、栓接、套管连接等。进一步地，传力拉杆 12 的朝向联络通道的一端可以连接在始发套筒 13 上。换言之，传力拉杆 12 通过始发套筒 13 将反力架 11 间接地连接至主隧道管片。当然，在另外的实施方

式中，传力拉杆 12 也可以与主隧道管片直接连接。或者，还可以是部分传力拉杆 12 与主隧道管片连接，部分传力拉杆 12 与始发套筒 13 连接。

优选地，传力拉杆 12 与始发套筒 13 或主隧道管片之间可以通过联结装置以可枢转的方式连接，其中枢转轴线与传力拉杆 12 的长度方向垂直。并且/或者传力拉杆 12 与反力架 11 之间也可以通过联结装置以同样的方式连接。联结装置具体可以是销以及与销配合的结构。另外，销可以是以可拆卸的方式设置，使得传力拉杆 12 与始发套筒 13 或主隧道管片之间以及/或者与反力架 11 之间是可拆卸的。这样的连接方式可以用于调整顶推系统与主隧道的相对位置关系，拟合设计角度，方便掘进设备及顶推系统的正常工作。

具体地，如图 1 至图 3 所示，与销配合的结构可以是固定设置的安装座 16。该安装座 16 和传力拉杆 12 的端部具有供销穿过的安装孔。优选地，安装座 16 包括两个间隔设置的侧壁，该两个侧壁上的安装孔各自对齐。传力拉杆 12 的端部容纳在两个侧壁之间的空间中，然后将销穿过各自的安装孔，完成传力拉杆 12 的可枢转连接。可以理解，将销从安装孔中取出，即可将传力拉杆 12 拆下。取决于传力拉杆 12 的连接位置，安装座 16 可以设置在不同的位置。例如，在传力拉杆 12 与始发套筒 13 连接的实施方式中，安装座 16 固定在始发套筒 13 的外侧；在传力拉杆 12 与主隧道管片连接的实施方式中，安装座 16 固定在主隧道管片上。当传力拉杆 12 与反力架 11 可枢转连接时，安装座 16 也可以固定在反力架 11 上。

另外，优选地，如图 14 所示，传力拉杆 12 的用于枢转连接的端部设置有微调结构 121。该微调结构 121 可活动地设置，使得传力拉杆 12 能够以相对于枢转轴线偏转的方式对其姿态进行微调。具体地，该微调结构 121 可以具有扁圆形的形状，安装孔 122 沿扁圆形的轴向贯通微调结构 121，其围绕安装孔 122 的轴向的外周面形成为外凸的

鼓形面。即，沿着轴向，扁圆形形状的中部的径向尺寸大于两端的径向尺寸。这样的结构允许传力拉杆 12 在围绕枢转轴线枢转的同时，还允许其相对于枢转轴线在一定范围内轻微偏转，由此实现对传力拉杆 12 的微调。

5 如图 15 至图 17 所示，在部分实施方式中，顶推系统 100 的传力构件构造为筒状结构 12'，例如圆筒状的结构。可以理解，除了圆形，筒状结构 12' 的垂直于轴向的截面也可以是其他形状，例如矩形、椭圆形等。其中，构造为筒状结构的传力构件与上述无动力拉杆类似，其本身只传递支撑力，而不能提供任何驱动力或推动力。当用于顶管
10 法施工时，可以通过反力架上的顶推驱动系统 14 提供向前掘进所需的驱动力。

筒状结构 12' 通过自身的两个轴向端部分别与反力架 11 和主隧道 1 的围绕联络通道的始发端的管片连接，以实现传递支撑力的作用。其中，在主隧道管片的一侧，筒状结构 12' 可以直接与主隧道管片连
15 接。可以理解，被设计为用于开挖联络通道的主隧道管片可以包括专门设计的钢制结构，以增加强度。筒状结构 12' 优选地可以采用钢制结构。因而可以使用例如焊接的方式将筒状结构 12' 直接连接至主隧道管片。优选地，筒状结构 12' 的朝向联络通道始发端的端部构造为空间曲线的形状，以贴合对应的主隧道管片的弧形形状。这样有利于
20 在沿着筒状结构 12' 的周向的任意期望位置对筒状结构 12' 与主隧道管片进行连接。为了确保连接强度，优选地可以在筒状结构 12' 的整个周向进行连续地连接。此外，诸如螺栓联接、铆接等的其他连接方式也可以单独地或组合地用在筒状结构 12' 与主隧道管片的连接中。

优选地，联络通道的始发端可以设置始发套筒 13，并且筒状结构
25 12' 的朝向联络通道的一端可以连接在始发套筒 13 上。换言之，筒状结构 12' 通过始发套筒 13 将反力架 11 间接地连接至主隧道管片。此时，只需要将始发套筒 13 的与主隧道管片连接的一端设置为与弧形

贴合的空间曲线形状即可，而始发套筒 13 与筒状结构 12' 两者相连接的端部只需要设置为较为常见的平面圆形或其他平面结构（取决于两者垂直于轴向截面的形状）即可，因而不需对筒状结构 12' 进行特殊的设置，结构设计及生产制造都较为简单。可以理解，诸如焊接、螺栓连接和铆接等的连接方式同样可以单独地或组合地用在筒状结构 12' 与始发套筒 13 的连接中。

优选地，筒状结构 12' 可以构造为一体成型。即筒状结构 12' 本身为整体式构件，这有利于减少顶推系统的零部件数量，从而减少组装工序，有利于提升顶推系统的集约化。并且相比多个分散部件形成的传力构件，一体成型的筒状结构 12' 能够减少反力架 11 相对于主隧道管片的安装自由度，相比通过多个分散部件连接，可以有效减少误差累积。在另外的实施方式中，筒状结构 12' 还可以是由至少两个分体结构拼装而成，这样可以减小由于筒状结构 12' 整体尺寸过大而导致的加工、运输和储存等方面的困难。其中，该至少两个分体结构优选地可以是相对于筒状结构 12' 的轴线轴对称的结构，或者也可以是沿着筒状结构 12' 的轴线分段的小的筒状结构 12'。优选地，每个分体结构彼此相同。以此方式，分体结构相互之间可替换，且没有特定的组装位置，可以减小安装错误发生的可能。

优选地，筒状结构 12' 的两端设置有翻边 121'，其大致沿着筒状结构 12' 的径向向外延伸。筒状结构 12' 通过翻边 121' 与反力架 11 以及主隧道管片或始发套筒 13 连接。当筒状结构 12' 与始发套筒 13 连接时，同样可以在始发套筒 13 的端部设置类似的翻边 131。以此方式，翻边方便在组装时将始发套筒 13 与筒状结构 12' 快速对准，并且翻边可以增加连接位置的接触面积，有利于增加连接强度，并减小因连接而导致的应力。

进一步，筒状结构 12' 还设置有加强筋 123'，以增加其结构强度。在图示的实施方式中，加强筋 123' 设置在筒状结构 12' 的壁的外侧面，

优选地沿着轴向延伸，并沿着筒状结构 12' 的周向间隔设置多个。可以理解，在另外的实施方式中，加强筋 123' 还可以构造为其他的形式，例如沿周向延伸，或者分别设置沿周向和沿轴向延伸并交错的加强筋等。

筒状结构 12' 的壁上还设置有物料运输孔 122'。在联络通道掘进的过程中，用于拼装形成联络通道的管片或者管节等物料可以通过物料运输孔 122' 运输到拼装位置。优选地，在确保筒状结构 12' 的结构强度的前提下，物料运输孔 122' 可以沿筒状结构 12' 的周向间隔设置多个，该间隔优选地是均匀的。以此方式，构造为筒状结构的传力构件有多个可行的安装定位，在组装传力构件时，只需要使其中任意一个物料运输孔 122' 朝向来料方向即可，即满足任一安装定位即可，因而能够实现快速定位。

下面结合图 5 至图 9 对使用根据本申请的顶推系统进行联络通道掘进施工的方法，尤其是始发掘进之前的工序，进行介绍。

除了顶推系统 100 和掘进设备 3，机械法联络通道施工还需要配套设备，例如图 5 中示出的用于运输物料的运输系统 2 等。在掘进之前，可以将顶推系统 100、掘进设备 3、始发套筒 13 和运输系统 2 等组合成一体式结构。然后将整套的一体式结构运送至主隧道中的拟开挖联络通道的位置。使用固定支腿及其他辅助结构将整套的一体式结构固定在该位置。

进一步地，通过始发调节平台将始发套筒 13、掘进设备 3 及顶推系统 100 的总体位置关系调整至拟掘进方向。然后将始发套筒 13 及传力拉杆 12 的朝向拟开挖的联络通道的一端与主隧道管片进行连接。其中，可以将传力拉杆 12 全部连接至始发套筒 13，也可以将传力拉杆 12 全部直接连接至主隧道管片。或者也可以是将部分传力拉杆 12 与始发套筒 13 连接，并将部分传力拉杆 12 与主隧道管片直接连接。另外，可以理解，在部分实施方式中，还可以省略始发套筒 13。

进一步地，通过调整掘进设备 3 与反力架 11 的相对位置关系，完成掘进设备 3 的始发方向调整。并将传力拉杆 12 的朝向反力架 11 的一端与反力架 11 连接，并将传力拉杆 12 的前端和后端使用固定机构进行锁定。由此，整套的一体式结构与主隧道 1 连接成为一个固定的整体。然后可以通过辅助装置将掘进设备 3 平移至计划始发位置。

上述准备工序对于传力拉杆 12 为动力拉杆或无动力拉杆的实施方式的顶推系统，以及通过盾构法和顶管法施工的方式，均适用。

对于采用盾构法施工的方式，不管传力拉杆 12 为无动力拉杆还是动力拉杆，其后续步骤相同。在依照拟掘进联络通道计划线路将顶推系统 100 调节到精确位置后，需要安装始发前辅助管片及钢结构。然后进行始发掘进，依次进行掘进并拼装联络通道拼装单元 S（即管片），循环往复直至完成联络通道施工。优选地，如图 4 所示，反力架 11 上设置有贯通其的物料运输孔 111。盾构法施工在掘进过程中所需的拼装用的联络通道管片等物料可以通过物料运输孔 111 输送至掘进设备 3。

对于采用顶管法施工的方式，当传力拉杆 12 为无动力拉杆的情况下，在依照拟掘进联络通道计划线路将顶推系统 100 调节到精确位置后，需要安装顶推驱动单元 14，其直接作用在反力架 11 上。然后进行始发掘进，将顶推驱动单元 14 抵靠在掘进设备 3 上，驱动其沿着拟掘进方向向前推进一节管节（即拼装单元 S）的距离。相比盾构法施工，顶管法需要在顶推系统 100 的位置拼装，联络通道管节需要从顶推系统 100 的侧部运输到位。此时，首先将与管节运输通道干涉的传力拉杆 12 的两端的至少一个解除连接，并将其移开。同时将顶推驱动单元 14 缩回，然后通过运输系统 2 将待拼装的管节片运输到位，并完成拼装。之后再将顶推驱动单元 14 伸出与拼装完毕的联络通道管节密贴抵接。将传力拉杆 12 恢复为连接状态。再次使用顶推驱动单元 14 驱动掘进设备 3 沿着拟掘进方向向前推进一节管节的距

离，重复上述步骤，完成每一节联络通道管节的掘进和拼装，直至完成联络通道施工。

对于采用顶管法施工的方式，当传力拉杆 12 为动力拉杆的情况下，在依照拟掘进联络通道计划线路将顶推系统 100 调节到精确位置后，首先将与管节运输通道干涉的传力拉杆 12 的两端中的至少一个解除连接，并将其移开。其中，移开的方式可以是将反拉油顶拉杆缩回，或者绕保持连接的一端枢转至不与管节运输通道干涉的位置。然后通过运输系统 2 将待拼装的管节运输到位，并完成拼装。在始发掘进之前，将解除连接的传力拉杆 12 恢复为连接状态，然后驱动传力拉杆 12 带动反力架 11，使其推动已拼装完成的联络通道管节和掘进设备 3 沿着拟掘进方向向前推进一节管节的距离。再然后将传力拉杆 12 反向驱动，带动反力架 11 退回。再重复上述步骤，完成每一片联络通道管节的掘进和拼装，直至完成联络通道施工。

优选地，始发套筒 13 设置有止退装置。在完成本节管节的掘进之后，可以先使用止退装置将管节固定，然后再将传力拉杆 12 反向驱动带动反力架 11 退回，防止管节在压力下退回。

图 18 示出了一种具有集约型反力架的顶推系统。在图 18 所示的顶推系统 200 中，大部分机构的布置方式与图 1 和图 2 示出的顶推系统中的相对应机构的布置方式大致类似，其中具有类似结构或功能的机构被赋予相同的附图标记。区别在于，构成顶推驱动单元 24 的液压缸大部分结构设置在反力架 21 的内部，例如液压缸沿掘进方向穿设在反力架 21 上。同时，顶推驱动单元 24 的配套设备也设置在反力架 21 的内部，其中，配套设备可以是液压控制元器件、油管、油箱和阀件等。

这样的设置方式有利于减小反力架 21 在厚度方向的尺寸，使整个系统更加集约化，并且允许在将顶推系统 200 吊装入主隧道之前，在空间较大的车间等场所将液压缸及相关配套设备预先安装在反力

架 21 上，可以大大减少了在主隧道内的狭小空间中现场连接管路、安装液压装置的工作量，同时便于吊装运输等。另外，顶推驱动单元 24 的液压管路以及控制元器件的连接布置非常复杂。施工现场的环境较为恶劣，顶推驱动单元 24 的整套液压系统暴露在恶劣的施工环境中，容易导致较高的故障率。而根据本实施方式，顶推驱动单元 24 的大部分设备隐藏在反力架 21 中，由反力架 21 提供保护，有利于降低故障率，保证施工效率。

图 19 示出了构成顶推驱动单元 24 的液压缸的立体图。其中，液压缸包括缸筒 241 和可伸缩地设置在缸筒 241 中的活塞 242。另外，在缸筒 241 的前端设置有法兰凸缘 243。相应地，可以在反力架 21 上设置安装孔位，将液压缸的缸筒 241 出入到安装孔位中，使法兰凸缘 243 沿着掘进方向的反向抵靠在反力架 21 上。由此，反力架 21 可以为液压缸提供支撑。优选地，参考图 20，反力架 21 的朝向联络通道的表面可以设置一圈围绕安装孔位的凸台 212，法兰凸缘 243 抵靠在凸台 212 上。进一步地，还可以使用紧固件 26 将法兰凸缘 243 和凸台 212 紧固连接。其中，紧固件 26 可以是螺钉或铆钉。在部分实施方式中，可以省略法兰凸缘，而使缸筒 241 的底部直接抵靠在反力架 21 上，以便由反力架 21 提供支撑。

类似地，如图 18 所示，反力架 21 上设置有贯通其的物料运输孔 211。在盾构法施工过程中，所需的拼装用的联络通道管片等物料可以通过物料运输孔 211 输送至掘进设备。与图 1 和图 2 示出的实施方式类似，多个液压缸可以围绕物料运输孔 211，相对于联络通道的中心轴线以象限对称的方式布置。优选地，为了提高液压缸与所抵接的掘进设备或拼装单元之间的贴合度，可以设置一个环形的抵接件（未示出），多个液压缸的自由端（也即活塞 242 的末端）同时与该抵接件连接，并通过抵接件与掘进设备或拼装单元抵接。抵接件可以增加与掘进设备或拼装单元之间的接触面积，即使液压缸与掘进设备或拼

装单元未能精确对齐,也可以实现良好地贴合,以便传递顶推驱动力。在部分实施方式中,抵接件具体可以为环形的顶铁。

如图 21 所示,在将顶推系统 200 吊装至联络通道的始发位置之前,可以预先将台车 27 布置在该位置。台车 27 在移动到位之后可以通过自身的支撑柱及液压支撑系统等结构支撑在主隧道管片上进行固定。然后将始发套筒 13、反力架 21 等结构吊装到位,安装固定之后,可以由台车 27 为反力架 21 提供支撑。优选地,反力架 21 设置有调节单元 28,其可以包括调节驱动缸,以便相对于台车 27 对反力架 21 的位置进行微调。

优选地,调节单元 28 包括沿三个相互正交的调节方向设置的调节驱动缸。例如,调节方向可以包括沿着掘进方向的前后调节方向、沿竖直方向的上下调节方向,以及与这两个方向正交的左右调节方向。相应地,在图 21 示出的实施方式中,调节单元 28 包括前后调节驱动缸 281、上下调节驱动缸 282 以及左右调节驱动缸 283。调节驱动缸可以安装在反力架 21 上,通过支撑台车 27 的方式(例如可以在台车 27 的与驱动调节缸对应的位置设置挡板,以对其提供支撑)实现反力架 21 相对于台车 27 的相对移动,从而实现位置的微调。

优选地,反力架 21 在沿着左右调节方向的两侧分别设置有左侧和右侧凸出的凸耳部 213。以此方式,可以利用凸耳部 213 安装上述调节驱动缸,节省反力架 21 的正对联络通道部分的安装空间。例如,在图示的实施方式中,前后调节驱动缸 281 和上下调节驱动缸 282 安装在凸耳部 213。当然,在不影响其他零部件安装的情况下,调节驱动缸也可以安装在反力架 21 的主体部分,例如左右调节驱动缸 283 设置在反力架 21 的下方并靠近侧部的位置。并且,与用于施加顶推力的顶推驱动单元 24 的液压缸类似,左右调节驱动缸 283 设置在反力架 21 的内部。

优选地,调节单元 28 在每个调节方向上可以对称地设置两组调

节驱动缸。该两组调节驱动缸分别设置在反力架 21 的相对于掘进方向的左右两侧。具体地，左右调节驱动缸 283 在反力架 21 的左右两侧以相反的顶推方向设置，以便分别在向左和向右两个方向上提供调节驱动力。对于上下调节驱动缸 282，其在反力架 21 的左右两侧以相同的顶推方向设置，例如用于将反力架 21 向上顶推。对于前后调节驱动缸 281，在部分实施方式中，其可以包括将反力架 21 朝向靠近始发套筒 13 的方向顶推的向前调节驱动缸和将反力架 21 朝向远离始发套筒 13 的方向顶推的向后调节驱动缸。在另外的部分实施方式中，前后调节驱动缸 281 可以仅包括单向驱动缸，其缸筒和活塞分别与反力架 21 和台车 27 固定连接，实现在前后方向上的顶推和拉动两种调节功能。

可以理解，上述调节驱动缸均为小行程的驱动缸，其用于对反力架 21 的位置进行微调。此外，反力架 21 在前后方向上对调节幅度的需求大于在另外两个调节方向上的需求。因此，调节单元 28 还包括沿前后方向设置的附加调节驱动缸 284，其具有比前后调节驱动缸 281 更大的行程，因此能够在更大的位移上对反力架 21 的位置进行调节。附加调节驱动缸 284 具体可以是推拉油缸，其一端与反力架 21 连接，另一端可以与台车 27 连接，例如连接至台车 27 的托架。优选地，附加调节驱动缸 284 优选地可以设置在底部，这样不会对掘进过程中物料运输等操作产生干涉。当然，当反力架 21 在另外的方向对调节幅度具有较大的需求时，也可以在另外的方向上设置与附加调节驱动缸 284 类似的大行程调节驱动缸。

可以理解，对于联络通道，其始发掘进的一端为始发端，掘进完成的一端可以称为接收端。图 22 至图 27 示出了一种尤其适用于对在其接收端与主隧道连通的联络通道进行掘进施工的顶推系统。

如图 22 和图 23 所示，顶推系统 300 包括反力架 31 和由多个传力拉杆 32 构成的传力构件。其中，多个传力拉杆 32 沿联络通道的周

向间隔排布。每个传力拉杆 32 的一端与反力架 31 连接，另一端从始发位置穿过岩土层连接至围绕联络通道的接收端的主隧道管片 4 上。

以此方式，反力架 31 用于为掘进设备提供支撑，而掘进设备作用在反力架 31 上的反作用力最终通过传力拉杆 32 传递至围绕联络通道的接收端的主隧道管片上。因而可以省略反力架 31 的背靠支撑系统，使得反力架 31 的背靠空间释放。特别是当始发位置位于另一条主隧道中时，释放的背靠空间（也即反力架 31 与其背侧的始发端的主隧道管片 1 之间的空间）可以允许车辆、人员、物料等在主隧道内通行，使得多种施工工序可以同步进行，尤其是可以在已经完成的主隧道的不同位置同时进行多条联络通道施工，可以大大缩短施工周期。另外，对于接收端的主隧道而言，岩土层可以为主隧道管片 4 提供支撑，以平衡传力拉杆 32 作用在围绕联络通道的接收端的主隧道管片 4 上的拉力，从而可以避免与传力拉杆 32 连接的主隧道管片 4 由于受到拉力导致的变形。

优选地，在图 22 示出的实施方式中，顶推系统 10 包括围绕联络通道的中心轴线以象限对称的方式布置的四组传力拉杆，每组由三根传力拉杆 32 构成。可以理解，在不同的实施方式中，传力拉杆的组数以及每组传力拉杆的数量可以根据实际情况灵活选择。另外，传力拉杆也可以单独作用，而非成组布置。其中，传力拉杆 32 的具体可以是螺纹钢（热轧带肋钢筋）等，例如精轧螺纹钢。或者，传力拉杆也可以由除螺纹钢之外的其他适合的材料制成。

可以理解，图 22 和图 23 的实施方式只是示意性地表示出传力拉杆的连接结构，其图中尺寸并不代表实际施工环境中的实际长度。当传力拉杆 32 自身的长度能够满足从反力架 31 到接收端主隧道的整个联络通道的长度时，每个传力拉杆 32 可以使用单个通长的结构。而在某些施工环境中，当始发端与接收端的距离较大时，单个传力拉杆的长度可能无法满足连接至围绕接收端的主隧道管片的要求。

优选地，如图 23 所示，可以在一个传力拉杆 32 的整个长度范围内设置多个子段 321，相邻的子段 321 之间可以通过连接器 322 连接固定。其中，连接器 322 的结构强度，以及连接器 322 与子段 321 之间的连接强度，均不低于每个子段 321 本身的结构强度。连接器 322 与传力拉杆 32 的各子段 321 之间可以通过螺纹连接、焊接等方式连接固定。各固定方式之间还可以进行组合，例如可以先通过螺纹连接的方式连接，然后再通过焊接增加连接强度。对于传力拉杆 32 的子段 321 而言，其用于螺纹连接的螺纹结构可以是在其端部通过滚丝等加工工艺专门设置的螺纹结构。当使用精轧螺纹钢时，还可以利用其

5 螺纹型的凸肋作为与连接器 322 连接的螺纹结构。

10

图 24 示出了另一种结构的传力拉杆 32a，其包括设置在岩土层内的空心管 324 以及穿过空心管 324 分别与反力架 31 和围绕接收端的主隧道管片 4 连接的传力拉索 325。在具体施工时，可以先钻孔，将空心管 324 通过钻孔布置在岩土层中，然后将传力拉索 325 从空心管 324 中穿过，并将其两端分别与反力架 31 和围绕接收端的主隧道管片 4 连接固定。其中，空心管 324 提供传力拉索 325 从中穿过的通道，并可以作为护套起到保护作用。传力拉索 325 在反力架 31 与围绕接收端的主隧道管片 4 之间传递拉力。空心管 324 可以是钢制的管。传力拉索 325 优选地可以是钢丝绳、钢绞线等相对与空心管 324 呈柔性的结构。

15

20

可以理解，当联络通道长度较长时，上述连接器 322 也可以用于图 24 所示的传力拉杆 32a。其中，连接器 322 可以连接两侧的空心管 324。由于传力拉索 325 可以根据需要截取预定的长度，因此其可以具有从反力架 31 延伸至围绕接收端的主隧道管片 4 的通长的结构，而不必分段设置。当然，在必要时，也可以使用连接器 322 连接分段设置的传力拉索 325，以增加其长度。

25

另外，地下岩土层中往往有地下水存在。为了避免传力拉杆穿过

而导致渗漏，优选地，在主隧道管片上传力拉杆穿过的位置设置有助于防水的密封装置，以避免地下水从传力拉杆与主隧道管片之间的缝隙渗出。例如，可以设置止水垫片，或者也可以在穿过主隧道管片的钻孔中进行注浆而形成防水结构。

5 继续参考图 22 和图 23，在位于联络通道的接收端的主隧道内，与联络通道对应的主隧道管片 4 的内表面设置有承台 5，传力拉杆 32（或传力拉索 325）穿过主隧道管片 4 与承台 5 固定连接。其中，承台 5 具有较大的尺寸和接触面积，其可以将传力拉杆 32 的拉力分散传递至主隧道管片 4，避免在主隧道管片 4 上产生应力集中。优选地，
10 承台 5 具有较大的尺寸，使得传力拉杆 32 的至少一部分或者全部与同一个承台 5 固定连接。在图示的实施方式中，承台 5 可以是与主隧道管片 4 分体设置的结构，其朝向主隧道管片 4 的一侧构造为能够与主隧道管片 4 的内表面相贴合的形状，例如外凸的弧面，以尽量增大承台 5 与主隧道管片 4 的接触面积，降低二者之间的局部压强。为了
15 保证足够的强度，承台 5 可以是钢制结构。在另外的实施方式中，承台 5 还可以是一体地设置在主隧道管片 4 上的结构，例如预制的钢筋混凝土结构等。

如图 23 所示，优选地，传力拉杆 32 在穿过主隧道管片 4 之后，继续穿过承台 5，并且在末端设置紧固件 323 将传力拉杆 32 相对于承
20 台 5 锁定，避免松脱。图 25 至图 27 示出了紧固件 323 的不同构型。

在图 25 示出的构型中，紧固件 323 构造为卡板 323a。相应地，传力拉杆 32 的末端设置有卡槽（未示出），该卡槽大致垂直于传力拉杆 32 的轴向延伸。当传力拉杆 32 穿过承台 5 之后，卡板 323a 与传力拉杆 32 的卡槽卡合，使得传力拉杆 32 无法缩回，从而实现锁定。
25 卡板 323a 优选地可以通过例如防脱螺钉等的附加紧固件 324 固定在承台 5 上。优选地，卡板 323a 与卡槽相卡合的配合按照围绕传力拉杆 32 的轴向圆心对称的方式布置。

在图 26 示出的构型中，紧固件 323 构造为锁紧螺母 323b。相应地，传力拉杆 32 的末端设置有螺纹结构（未示出）。该螺纹结构可以是精轧螺纹钢本身的螺纹型凸肋，也可以是专门在传力拉杆 32 的末端滚丝加工的螺纹。当传力拉杆 32 穿过承台 5 之后，锁紧螺母 323b 通过螺纹连接的方式与传力拉杆 32 末端的螺纹结构结合，使得传力拉杆 32 无法缩回。优选地，可以在锁紧螺母 323b 与承台 5 之间设置垫圈 325，以提高锁紧螺母的稳定性，减小松脱的可能。

在 27 示出的构型中，紧固件 323 构造为锁销 323c。相应地，传力拉杆 32 的末端设置有通孔（未示出），其大致沿传力拉杆 32 的径向（即垂直于轴向的方向）贯通传力拉杆 32。当传力拉杆 32 穿过承台 5 之后，锁销 323c 穿过通孔，其暴露在外部的部分抵靠在承台 5 上，将传力拉杆 32 相对于承台 5 锁定，使其无法缩回。

可以理解，根据上述实施方式的顶推系统适用于在接收端与主隧道连通的联络通道的掘进施工。而对于联络通道的始发端，其可以设置在另一条主隧道内，即该待开挖的联络通道用于联络两条不同的主隧道，也可以适用于非主隧道的其他施工环境，例如联络通道与位于其接收端的主隧道形成 T 型隧道结构等。

图 28 和图 29 进一步示出了对顶推系统背侧的通行空间进行充分利用的实施方式。其中，顶推系统的结构与图 1 和图 2 示出的实施方式大致相同，具有类似结构或功能的机构被赋予相同的附图标记。

如图 28 所示，主隧道 1 内设置有作业平台 46，其架设在顶推系统 400 的下方的主隧道管片上，为反力架 11 等结构提供整体的支撑作用。通过作业平台 46 的支撑，一方面有利于使掘进设备与待掘进的联络通道的位置对齐，另一方面，将顶推作业的工作表面提升至主隧道中径向尺寸较大的水平位置，可以提供宽敞的工作环境。

顶推系统 400 的反力架 11 通过传力构件（例如传力拉杆 12）连接至位于反力架 11 的面向联络通道的一侧的主隧道管片，因而在反

力架 11 的背离联络通道的一侧与主隧道 1 的管片之间形成了通行空间 45。可以在该通行空间内设置通行平台 451，以便对通行的车辆、人员、物料等提供支撑。通行平台 451 可以通过支撑件 453 支撑在作业平台 46 上。进一步地，通行平台 451 上还可以设置沿着主隧道的延伸方向的通行轨道 452。以此方式，通行轨道 452 可以为车辆移动提供导引作用，从而提高通行效率。

图 29 示出了顶推系统 400 的改进构型。其中，除了传力拉杆 12 之外，顶推系统 400 还包括附加传力构件，其设置在反力架 11 的背侧，并支撑在反力架 11 与主隧道管片之间。在大直径隧道（例如 8.0m 及以上直径）的施工环境中，通过增加附加传力构件，顶推系统可以在位于反力架前侧的传力构件提供的拉力的基础上，增加由位于反力架背侧的附加传力构件提供的支撑力，从而有利于为掘进设备提供更大的顶推驱动力。

为了便于形成通行空间 45，附加传力构件优选地可以构造为多个分散设置的多个支撑杆 47，其支撑在反力架 11 与主隧道管片之间，并大致以围绕联络通道的轴线的方式排布，为反力架 11 提供大致均匀分布的支撑力。支撑杆 47 可以是钢制杆件，或其他材质制成的具有足够强度的构件，并且其结构形状可以根据需要灵活选择。此类支撑杆只起到传递支撑力的作用，其本身不提供驱动力，可以称为无动力支撑杆，即，附加传力构件为无动力传力构件。支撑杆 47 在两端与反力架 11 和主隧道管片的连接方式可以包括焊接、螺栓连接、铰接或铆接中的一种或多种的组合等。尤其是采用铰接的连接方式时，可以允许相对于联络通道的洞门对反力架 11 进行位置的微调，使掘进位置和方向更加准确。

优选地，顶推系统 400 还设置有承台 473，其具有较大的尺寸，并且朝向主隧道管片的一侧设置为能够与主隧道管片的内表面相贴合的形状，例如外凸的弧面。支撑杆 47 连接至承台 473，通过承台

473 以支撑或抵接的方式与主隧道管片相互作用。承台 473 可以增大与主隧道管片的接触面积，降低作用于主隧道管片的局部压强。为了保证足够的强度，承台 473 可以是钢制结构。在另外的实施方式中，承台 473 还可以是一体地设置在主隧道管片上的结构，例如预制的钢筋混凝土结构等。或者，还可以省略承台 473，而在主隧道管片中预埋钢制结构，将支撑杆 47 连接或支撑在钢制结构上。

虽然附图中没有示出，在部分实施方式中，附加传力构件还可以构造为由单个构件构造而成的形式，例如其轴向两端分别与反力架和主隧道管片连接的筒状结构等。此构造方式可以减少零部件的数量，从而减少安装工序和时间，相比通过多个分散支撑杆进行连接，可以有效减少误差累积。优选地，筒状结构可以设置沿径向贯通其的物料运输孔，以便于转运物料。

在另外的实施方式中，附加传力构件还可以构造为能够提供驱动力的装置，例如由气压或液压驱动的压力缸等，具体可以是液压缸，因此可以称为有动力传力构件。有动力传力构件的连接方式和排布方式可以与无动力传力构件大致相同。

此外，可以理解，当主隧道直径较大（例如 8.0m 及以上直径）时，反力架 11 距离主隧道管片较远，使得附加传力构件的整体长度也较大。当然，可以在工程设计时通过计算或测量等方式预先确定附加传力构件的长度，使得在长度方向上并采用具有固定长度的单一构件从反力架 11 连接至主隧道管片。优选地，在另外的实施方式中，还可以将附加传力构件设置为沿长度方向包括两个或多个子段的分体结构，沿长度方向相邻的子段之间通过连接器连接固定。以此方式，可以根据施工现场的实际状况灵活调整附加传力构件的长度，这在顶推系统的安装误差较大时非常有利。另外，附加传力构件的各个子段的长度较小，还可以减少拆除、储存和运输时的困难。

优选地，多个支撑杆 47 包括上部支撑杆部分 471 和下部支撑杆

部分 472，这两部分沿上下方向间隔，保留足够的空间，从而形成所述通行空间 45。以此方式实现附加传力构件不影响通行的效果。优选地，通行平台 451 可以铺设在下部支撑杆部分 472 的上方。此外，在附加传力构件构造为筒状结构的实施方式中，还可以利用物料运输孔
5 形成通行空间。

本申请的多种实施方式的以上描述出于描述的目的提供给相关领域的一个普通技术人员。不意图将本申请排他或局限于单个公开的实施方式。如上，在本领域中的普通技术人员将明白本申请的多种替代和变型。因此，虽然具体描述了一些替代实施方式，本领域普通技
10 术人员将明白或相对容易地开发其他实施方式。本申请旨在包括这里描述的本申请的所有替代、改型和变型，以及落入以上描述的本申请的精神和范围内的其他实施方式。

权利要求书

1.一种用于隧道群 T 型联络通道掘进施工的顶推系统，所述联络通道用于联络至少一条主隧道，其特征在于，所述顶推系统包括反力架（11）和传力构件，所述传力构件将所述反力架（11）连接至位于所述反力架（11）的面向所述联络通道的一侧并围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片，所述反力架（11）用于在掘进方向上为掘进设备提供支撑，其中，支撑力经由所述传力构件以承受拉力的方式传递至所述围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片。

2.根据权利要求 1 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力构件包括多个围绕所述联络通道的周向间隔布置的传力拉杆（12）。

3.根据权利要求 2 所述的顶推系统，其特征在于，至少一部分所述传力拉杆（12）与所述围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片直接连接。

4.根据权利要求 2 所述的顶推系统，其特征在于，所述联络通道的始发端设置有连接至所述主隧道管片的始发套筒（13），至少一部分所述传力拉杆（12）与所述始发套筒（13）连接。

5.根据权利要求 2 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）构造为无动力拉杆。

6.根据权利要求 2 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）构造为能够提供驱动力的动力拉杆。

7.根据权利要求 6 所述的顶推系统，其特征在于，所述动力拉杆为反拉油顶拉杆。

8.根据权利要求 6 所述的顶推系统，其特征在于，每个所述动力拉杆具有独立的控制单元。

9.根据权利要求 6 至 8 中任一项所述的顶推系统，其特征在于，所述顶推系统还包括沿着所述联络通道的中心轴线延伸的滑轨（15），

所述反力架（11）沿所述滑轨（15）可移动。

10.根据权利要求 2 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）的一端与所述反力架（11）可枢转地连接，并且/或者，所述传力拉杆（12）的另一端与所述主隧道管片或与连接至所述主隧道管片的始发套筒（13）可枢转地连接。

11.根据权利要求 10 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）的枢转轴线垂直于所述联络通道的轴线方向。

12.根据权利要求 2 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）的一端与所述反力架（11）可拆卸地连接，并且/或者，所述传力拉杆（12）的另一端与所述主隧道管片或连接至所述主隧道管片的始发套筒（13）可拆卸地连接。

13.根据权利要求 10 至 12 中任一项所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）通过联结装置可拆卸地设置，所述联结装置包括：

安装座，所述安装座具有两个相对间隔设置的侧壁，所述传力拉杆（12）的端部设置在两个侧壁之间；和

销，所述安装座和所述传力拉杆（12）的端部分别设置有安装孔，所述销穿过所述安装座和所述传力拉杆（12）的所述安装孔。

14.根据权利要求 13 所述的顶推系统，其特征在于，所述安装座固定设置在所述反力架（11）上，或者，所述安装座固定在所述主隧道管片上，或者，所述顶推系统包括与所述主隧道管片固定连接的始发套筒，所述安装座固定在所述始发套筒上。

15.根据权利要求 13 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（12）的端部设置有微调结构，所述安装孔穿过所述微调结构，并且所述微调结构具有围绕所述安装孔的鼓形的外凸周面。

16.根据权利要求 1 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力构件构造为筒状结构（12'），所述筒状结构（12'）布置为围绕所述联络通道的始发端。

17.根据权利要求 16 所述的顶推系统，其特征在于，所述筒状结构（12'）与所述围绕所述联络通道的始发端的主隧道管片直接连接。

18.根据权利要求 16 所述的顶推系统，其特征在于，所述联络通道的始发端设置有连接至所述主隧道管片的始发套筒（13），所述筒状结构（12'）与
5 所述始发套筒（13）连接。

19.根据权利要求 17 或 18 所述的顶推系统，其特征在于，所述筒状结构（12'）的轴向端部设置有沿径向向外延伸的翻边（121），所述筒状结构（12'）通过所述翻边（121）连接固定。

20.根据权利要求 19 所述的顶推系统，其特征在于，所述筒状结构（12'）的连接方式包括焊接、螺栓连接和/或铆接。
10

21.根据权利要求 16 所述的顶推系统，其特征在于，所述筒状结构（12'）的侧壁设置有加强筋（123'）。

22.根据权利要求 16 所述的顶推系统，其特征在于，所述筒状结构（12'）的侧壁设置有贯通的物料运输孔（122'）。

23.根据权利要求 16 所述的顶推系统，其特征在于，所述筒状结构（12'）为一体成型的结构，或者由至少两个分体结构拼装而成。
15

24.根据权利要求 23 所述的顶推系统，其特征在于，当所述筒状结构（12'）由至少两个分体结构拼装而成时，所述至少两个分体结构彼此相同。

25.根据权利要求 1 所述的顶推系统，其特征在于，所述反力架（11）的朝向所述联络通道的一侧设置有顶推驱动单元（14），所述顶推驱动单元（14）包括围绕所述联络通道的中心轴线以象限对称的方式间隔设置的多个液压缸。
20

26.根据权利要求 25 所述的顶推系统，其特征在于，所述多个液压缸的一端连接所述反力架（11），另一端与环形的抵接件（141）连接，所述抵接件（141）用于与所述掘进设备或所述联络通道的管片抵接。
25

27.根据权利要求 25 所述的顶推系统，其特征在于，所述液压缸安装在所述反力架（21）上并且至少部分地设置在所述反力架（21）的内部。

28.根据权利要求 25 所述的顶推系统，其特征在于，所述顶推驱动单元（24）的配套设备设置在所述反力架（21）的内部，所述配套设备至少包括液压控制元器件、油管、油箱和/或阀件。

29.根据权利要求 25 所述的顶推系统，其特征在于，所述液压缸包括缸筒（241）和活塞（242），所述缸筒（241）的前端设置有法兰凸缘（243）并通过所述法兰凸缘（243）沿掘进方向的反向抵靠在所述反力架（21）上。

30.根据权利要求 29 所述的顶推系统，其特征在于，所述法兰凸缘（243）通过紧固件（26）连接至所述反力架（21）。

31.根据权利要求 29 所述的顶推系统，其特征在于，所述反力架（21）的表面设置有与所述法兰凸缘（243）抵靠的凸台（212）。

32.根据权利要求 25 所述的顶推系统，其特征在于，所述液压缸的包括缸筒（241）和活塞（242），所述缸筒（241）的底部抵靠在所述反力架（21）上。

33.根据权利要求 25 所述的顶推系统，其特征在于，所述顶推系统还包括设置在所述始发端的台车（27），所述反力架（21）由所述台车（27）支撑，其中，所述反力架（21）设置有调节所述反力架（21）与所述台车（27）的相对位置的调节单元（28）。

34.根据权利要求 33 所述的顶推系统，其特征在于，所述调节单元（28）包括沿着三个相互正交的调节方向设置的调节驱动缸，所述调节方向之一为掘进方向。

35.根据权利要求 34 所述的顶推系统，其特征在于，所述反力架（21）在掘进方向上的左右两侧设置有凸耳部（213），至少一部分所述调节驱动缸设置在所述凸耳部（213）上。

36.根据权利要求 34 所述的顶推系统，其特征在于，所述调节单元至少在所述掘进方向上包括第一调节驱动缸和第二调节驱动缸，所述第二调节驱动缸的调节行程大于所述第一调节驱动缸的调节行程。

37.根据权利要求 36 所述的顶推系统，其特征在于，所述第二调节驱动缸设置在所述反力架（21）的底部。

38.根据权利要求 1 所述的顶推系统，其特征在于，所述反力架（11）的背离所述联络通道的一侧设置有沿所述主隧道的延伸方向贯通的通行空间（45）。

39.根据权利要求 38 所述的顶推系统，其特征在于，所述通行空间（45）内铺设通行平台（451）。

40.根据权利要求 39 所述的顶推系统，其特征在于，所述通行平台设置有沿所述主隧道的延伸方向延伸的通行轨道（452）。

41.根据权利要求 39 所述的顶推系统，其特征在于，所述顶推系统还包括架设在所述顶推系统的下方的主隧道管片上的作业平台（46），所述反力架和/或所述通行平台（451）支撑在所述作业平台（46）上。

42.根据权利要求 38 所述的顶推系统，其特征在于，所述顶推系统还包括附加传力构件，所述附加传力构件将所述反力架（11）连接至位于所述反力架（11）的背离所述联络通道的一侧的主隧道管片，所述掘进设备作用于所述反力架（11）的力经由所述传力构件和所述附加传力构件传递至所述主隧道管片，所述通行空间（45）延伸穿过所述附加传力构件。

43.根据权利要求 42 所述的顶推系统，其特征在于，所述附加传力构件包括围绕所述联络通道的轴线分布设置的多个支撑杆（47），所述多个支撑杆（47）包括上部支撑杆部分（471）和下部支撑杆部分（472），所述通行空间（45）设置在上部支撑杆部分（471）和下部支撑杆部分（472）之间。

44.根据权利要求 43 所述的顶推系统，其特征在于，所述顶推系统还包括承台（473），所述承台（473）具有能够在形状上与所述主隧道管片贴合的表面，所述支撑杆（47）连接至所述承台（473）并通过所述承台（473）支撑在所述主隧道管片上。

5 45.根据权利要求 43 所述的顶推系统，其特征在于，所述支撑杆（47）包括沿长度方向设置的至少两个子段，相邻的子段之间通过连接器可拆卸地连接固定。

46.根据权利要求 1 所述的顶推系统，其特征在于，所述反力架（11）设置在与所述联络通道对应的位置设置有贯通所述反力架（11）的物料运输孔（111）。

47.一种使用根据权利要求 1 至 46 中任一项所述的顶推系统进行隧道群 T 型联络通道掘进施工的方法，其特征在于，所述方法包括：

将顶推系统、掘进设备及配套设备运送至拟开挖联络通道的位置并固定；

15 根据拟掘进方向调整所述顶推系统和所述掘进设备的位置；

通过传力构件将反力架连接至主隧道管片；

将所述掘进设备移动至计划始发位置；

掘进和拼装联络通道拼装单元；

完成联络通道施工。

20 48.根据权利要求 47 所述的方法，其特征在于，所述方法在所述将顶推系统、掘进设备及配套设备运送至拟开挖联络通道的位置并固定的步骤之前还包括：

将所述配套设备、所述顶推系统和所述掘进设备组合为一体式结构。

25 49.根据权利要求 47 所述的方法，其特征在于，所述配套设备包括始发套筒，所述方法还包括：

将所述始发套筒与所述主隧道管片连接，所述反力架通过传力构

件连接至所述始发套筒上。

50.根据权利要求 47 所述的方法，其特征在于，所述掘进设备为盾构法掘进机，所述方法在掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤之前还包括：

5 安装始发前辅助管片及钢结构。

51.根据权利要求 47 所述的方法，其特征在于，所述掘进设备为顶管法掘进机，所述传力构件为无动力的传力拉杆，所述联络通道拼装单元为管节，所述方法在掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤之前还包括：

10 安装顶推驱动单元，所述顶推驱动单元直接作用在所述反力架上。

52.根据权利要求 51 所述的方法，其特征在于，所述掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤包括：

使用顶管法掘进机完成本节管节的空间推进；

15 将与管节运输通道干涉的至少部分的传力拉杆解除连接并从所述管节运输通道移开；

将顶推驱动单元缩回；

将本节管节运送至拼装位置完成拼装；

将顶推驱动单元伸出与完成拼装的管节密贴；

20 将传力拉杆恢复为连接状态。

53.根据权利要求 47 所述的方法，其特征在于，所述掘进设备为顶管法掘进机，所述传力构件为能够提供驱动力的传力拉杆，所述联络通道拼装单元为管节，所述掘进和拼装联络通道拼装单元的步骤包括：

25 将与管节运输通道干涉的传力拉杆解除连接并从所述管节运输通道上移开；

将管节运送至拼装位置完成拼装；

将所述传力拉杆恢复为连接状态；

驱动所述传力拉杆，通过所述反力架推动所述顶管法掘进机向前掘进，完成本管节掘进；

将所述传力拉杆反向驱动，使所述反力架退回。

5 54.根据权利要求 53 所述的方法，其特征在于，所述方法在将所述传力拉杆反向驱动，使所述反力架退回的步骤之前还包括：

通过止退装置将最靠近所述反力架的管节固定。

55.一种用于隧道群 T 型联络通道掘进施工的顶推系统，所述联络通道用于至少在沿着掘进方向的接收端联络主隧道，其特征在于，
10 所述顶推系统包括反力架（31）和多个传力拉杆（32），所述传力拉杆（32）的一端与所述反力架（31）连接，另一端穿过岩土层连接至围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片（4），所述反力架（31）用于在掘进方向上为掘进设备提供支撑，其中，支撑力经由所述传力拉杆（32）传递至所述围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片（4）。

15 56.根据权利要求 55 所述的顶推系统，其特征在于，围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片（4）的内表面设置有承台（5），所述传力拉杆（32）穿过所述主隧道管片（4）并与所述承台（5）连接。

57.根据权利要求 56 所述的顶推系统，其特征在于，所述承台（5）是与所述主隧道管片（4）分体设置的结构，并且所述承台（5）具有
20 能够在形状上与所述主隧道管片（4）的内表面相贴合的侧面。

58.根据权利要求 57 所述的顶推系统，其特征在于，所述承台（5）为钢制结构。

59.根据权利要求 56 所述的顶推系统，其特征在于，所述承台（5）是与所述主隧道管片（4）一体设置的预制钢筋混凝土结构。

25 60.根据权利要求 56 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（32）的末端穿过所述承台（5）并通过紧固件（323）锁定。

61.根据权利要求 60 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉

杆（32）的末端设置有垂直于自身轴向的卡槽，所述紧固件（323）构造为固定在所述承台（5）上的卡板（323a），所述卡板（323a）与所述卡槽卡合。

62.根据权利要求 60 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（32）的末端设置有螺纹结构，所述紧固件（323）构造为与所述螺纹结构螺纹接合的锁紧螺母（323b）。

63.根据权利要求 62 所述的顶推系统，其特征在于，所述锁紧螺母（323b）与所述承台（5）之间设置有垫圈。

64.根据权利要求 60 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（32）的末端设置有沿着垂直于自身轴向的方向贯通的通孔，所述紧固件（323）构造为穿设在所述通孔中的锁销（323c）。

65.根据权利要求 56 所述的顶推系统，其特征在于，多个所述传力拉杆（32）连接至同一个所述承台（5）。

66.根据权利要求 55 所述的顶推系统，其特征在于，每个拉杆包括沿自身轴向布置的多个子段（321），相邻的子段（321）之间通过连接器（322）连接固定。

67.根据权利要求 66 所述的顶推系统，其特征在于，所述连接器（322）的结构强度不低于所述子段（321）的结构强度。

68.根据权利要求 55 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆包括空心管（324）和穿设在所述空心管（324）中的传力拉索（325），其中，所述空心管（324）设置在岩土层中，所述传力拉索（325）用于与所述反力架（31）和所述围绕所述联络通道的接收端的主隧道管片（4）连接。

69.根据权利要求 55 所述的顶推系统，其特征在于，所述传力拉杆（32）由螺纹钢制成。

70.根据权利要求 55 所述的顶推系统，其特征在于，主隧道管片（4）上由所述传力拉杆（32）穿过的位置设置有助于防水的密封结

构。