

掘进机的推进控制方法、控制器、控制系统和存储介质

相关申请的交叉引用

本申请是以 CN 申请号为 202410054016.4，申请日为 2024 年 1 月 15 日的申请为基础，并主张其优先权，该 CN 申请的公开内容在此作为整体引入本申请中。

技术领域

本公开涉及隧道施工领域，尤其涉及一种掘进机的推进控制方法、控制器、控制系统和存储介质。

背景技术

隧道掘进机是隧道施工的主要装备。随着全球各大隧道掘进机设计研发企业在装备升级和施工效率提升方面的研发投入，隧道掘进机在向自动化、智能化、大深度、大断面、长距离的方向发展。目前，隧道掘进机除了“推进、停止、拼装”等正常施工工序外，通过关闭缩回部分推进油缸，实现推进与管片的拼装同步进行，即，同步推拼模式，以提高施工效率。

发明内容

根据本公开一方面，提出一种掘进机的推进控制方法，包括：获取掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量；根据实际位置、设计轴线和管片上浮量，计算规划掘进轨迹；以及对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配。

在一些实施例中，获取掘进机的盾尾与管片之间的在预定方向的间隙；以及在预定方向的间隙小于间隙阈值，且掘进机向预定方向掘进的情况下，对规划掘进轨迹进行调整。

25 在一些实施例中，对掘进机进行控制包括：在掘进机的实际位置与规划掘进轨迹之间存在偏差的情况下，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩；以及对实际纠偏力矩进行调整，以使实际纠偏力矩与第二目标纠偏力矩匹配。

30 在一些实施例中，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩包括：根据掘进机的实际位置，计算规划掘进轨迹中实际位置对应的规划姿态；以及基于掘进机的实际姿态和规划姿态之间的姿态偏差，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第

二目标纠偏力矩。

在一些实施例中，获取掘进机的当前工作模式，当前工作模式包括施工掘进模式或同步推拼模式，其中，对实际纠偏力矩进行调整包括：根据当前工作模式，对掘进机的油缸状态进行调整，以调整实际纠偏力矩。

- 5 在一些实施例中，获取样本纠偏力矩和样本姿态偏差；以及以样本纠偏力矩和样本姿态偏差为训练数据，以样本纠偏力矩调整量为标记值，对机器学习模型进行训练，得到训练好的纠偏力矩调整模型，其中，基于掘进机的实际姿态和规划姿态之间的姿态偏差，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩包括：将第一目标纠偏力矩和姿态偏差输入至纠偏力矩调整模型，得到纠偏力矩调整量；以及利用纠偏力矩调整量，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩。
- 10

- 在一些实施例中，计算规划掘进轨迹包括：获取掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度，以及掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，其中，第二轨迹偏差基于管片上浮量以及设计轴线的曲率确定；基于掘进机的行驶位置和初始位置，构建规划掘进轨迹与设计轴线间的轨迹偏差多项式；基于第一轨迹偏差、第一偏差速度、第一偏差加速度、第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，对轨迹偏差多项式进行求解，得到轨迹偏差多项式的未知常量；利用轨迹偏差多项式，得到实际位置对应的轨迹偏差；以及基于轨迹偏差，得到规划掘进轨迹。
- 15

- 在一些实施例中，计算规划掘进轨迹包括：获取掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度，以及掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，其中，第二轨迹偏差基于管片上浮量以及设计轴线的曲率确定；基于掘进机的行驶位置和初始位置，构建规划掘进轨迹与设计轴线间的轨迹偏差多项式；基于第一轨迹偏差、第一偏差速度、第一偏差加速度、第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，对轨迹偏差多项式进行求解，得到轨迹偏差多项式的未知常量；利用轨迹偏差多项式，得到实际位置对应的轨迹偏差；以及基于轨迹偏差，得到规划掘进轨迹；对规划掘进轨迹进行调整，包括：将当前位置对应的轨迹偏差，作为计算规划掘进轨迹过程中的第二轨迹偏差。
- 20
- 25

在一些实施例中，计算掘进机的实际推进速度；以及控制实际推进速度与目标推进速度匹配。

- 30 在一些实施例中，计算掘进机的实际总推力；以及控制实际总推力与目标总推力

匹配。

根据本公开的另一方面，还提供一种掘进机的控制器，包括：数据获取模块，被配置为获取掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量；数据处理模块，被配置为根据实际位置、设计轴线和管片上浮量，计算规划掘进轨迹；以及控制模块，被配置为对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配。

在一些实施例中，数据获取模块还被配置为获取掘进机的盾尾与管片之间的在预定方向的间隙；以及数据处理模块还被配置为在预定方向的间隙小于间隙阈值，且掘进机向预定方向掘进的情况下，对规划掘进轨迹进行调整。

根据本公开的另一方面，还提供一种掘进机的控制器，包括：存储器；以及耦接至存储器的处理器，处理器被配置为基于存储在存储器的指令执行如上述的推进控制方法。

根据本公开的另一方面，还提供一种掘进机的控制系统，包括：上述的控制器；导向测量模块，被配置为测量掘进机的位置和姿态；以及推进系统，被配置为推进掘进机的至少部分油缸运动。

在一些实施例中，该控制系统还包括：盾尾间隙测量模块，被配置为测量掘进机的盾尾与管片的间隙。

在一些实施例中，该控制系统还包括：传感器，被配置为测量至少部分油缸中的部分或全部油缸的压力值和行程值。

在一些实施例中，该控制系统还包括：交互模块，被配置为进行信息展示和接收用户输入信息。

根据本公开的另一方面，还提供一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序指令，该指令被处理器执行时实现上述的推进控制方法。

根据本公开的另一方面，还提出一种计算机程序，包括：指令，所述指令当由处理器执行时使所述处理器执行上述的推进控制方法。

通过以下参照附图对本公开的示例性实施例的详细描述，本公开的其它特征及其优点将会变得清楚。

附图说明

构成说明书的一部分的附图描述了本公开的实施例，并且连同说明书一起用于解释本公开的原理。

参照附图，根据下面的详细描述，可以更加清楚地理解本公开，其中：

图 1 为本公开的掘进机的推进控制方法的一些实施例的流程示意图；

图 2 为本公开的一些实施例中的掘进轨迹水平示意图；

图 3 为本公开的掘进机的推进控制方法的另一些实施例的流程示意图；

5 图 4 为本公开的掘进机的推进控制方法的另一些实施例的流程示意图；

图 5 为本公开的掘进机的控制器的一些实施例的结构示意图；

图 6 为本公开的掘进机的控制器的另一些实施例的结构示意图；

图 7 为本公开的掘进机的控制器的另一些实施例的结构示意图；

图 8 为本公开的掘进机的控制系统的一些实施例的结构示意图；以及

10 图 9 为本公开的掘进机的控制系统的另一些实施例的结构示意图。

应当明白，附图中所示出的各个部分的尺寸并不必须按照实际的比例关系绘制。此外，相同或类似的参考标号表示相同或类似的构件。

具体实施方式

15 现在将参照附图来详细描述本公开的各种示例性实施例。应注意到：除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限本公开的范围。

同时，应当明白，为了便于描述，附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。

20 以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的，决不作为对本公开及其应用或使用的任何限制。

对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

25 在这里示出和讨论的所有示例中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。

应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

近年来随着科技的发展逐步出现了掘进机推进控制方面的相关研究，如同步推拼模式下通过稳定、调整推进系统合力点，使得掘进轨迹保持在设计轴线允许范围内。

30 但掘进机掘进状态随地层变化复杂多变，在隧道转弯或存在管片上浮时，仍保持设计

轴线掘进存在安全风险问题，并且在推进总推力发生变化时，合力点控制方案存在转向效应不稳定问题。本公开提供一种掘进机的推进控制方法、控制器、控制系统和存储介质，能够降低在隧道转弯或存在管片上浮时，掘进机仍保持设计轴线掘进存在安全风险问题

5 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本公开进一步详细说明。

图 1 为本公开的掘进机的推进控制方法的一些实施例的流程示意图。

在步骤 110，获取掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量。

10 在一些实施例中，通过导向测量模块确定掘进机的实际位置和姿态，或者，根据传感器测量的推进系统的部分或全部油缸的行程值，得到掘进机的实际位置。通过对比管片脱出盾尾一段距离后的上浮或下沉位置，来确定管片上浮量，该管片上浮量例如通过交互模块由用户输入，或者由传感器检测检测得到后直接输入至控制器。设计轴线为预先设定的轨迹。

在步骤 120，根据实际位置、设计轴线和管片上浮量，计算规划掘进轨迹。

15 在一些实施例中，如图 2 所示，在隧道转弯部分，规划掘进轨迹在设计轴线弯道内侧，从而控制和降低施工风险。如 2 中虚线为规划掘进轨迹，实线为设计轴线。规划掘进轨迹与设计轴线在水平方向的距离与设计轴线的曲率有关，且呈正相关关系，曲率越大，距离越大。例如，800m 半径的弯道，对应 5mm 距离；500 半径的弯道，对应 10mm 距离等。

20 在一些实施例中，在管片上浮情况下，规划掘进轨迹在设计轴线下方，从而减少成型隧道与设计轴线间的偏差。例如，已知管片脱出盾尾一段距离后上浮 20mm，规划掘进轨迹计算时将位于设计轴线下方 20mm。

25 在一些实施例中，控制器获取掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度，以及掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，其中，第二轨迹偏差基于管片上浮量以及设计轴线的曲率确定；基于掘进机的行驶位置和初始位置，构建规划掘进轨迹与设计轴线间的轨迹偏差多项式；基于第一轨迹偏差、第一偏差速度、第一偏差加速度、第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，对轨迹偏差多项式进行求解，得到轨迹偏差多项式的未知常量；利用轨迹偏差多项式，得到实际位置对应的轨迹偏差；基于轨迹偏差，得到规划掘进轨迹。

30

在一些实施例中, 基于行驶位置, 对轨迹偏差多项式进行一次偏导, 得到速度偏差多项式; 基于行驶位置, 对轨迹偏差多项式进行二次偏导, 得到加速度偏差多项式, 这样, 得到三个多项式。将掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度, 以及掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度代入多项式, 求解得到轨迹偏差多项式的未知常量, 从而将实际位置代入该轨迹偏差多项式得到轨迹偏差, 对该轨迹偏差进行转换, 计算得到规划掘进轨迹。

例如, 轨迹偏差多项式为:

$$Yh(s) = a_0 + a_1(s - s_0) + a_2(s - s_0)^2 + a_3(s - s_0)^3 + a_4(s - s_0)^4 + a_5(s - s_0)^5$$

$$Yv(s) = a_6 + a_7(s - s_0) + a_8(s - s_0)^2 + a_9(s - s_0)^3 + a_{10}(s - s_0)^4 + a_{11}(s - s_0)^5$$

其中, s_0 为初始位置, 例如, 用初始里程表示; s 为行驶位置, 例如用行驶里程表示, $s_0 < s < s_1$, 其中, s_1 为结束位置, 例如用结束里程表示; $Yh(s)$ 为规划掘进轨迹与设计轴线的水平偏差; $Yv(s)$ 为规划掘进轨迹与设计轴线的垂直偏差, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 、 a_7 、 a_8 、 a_9 、 a_{10} 、 a_{11} 为轨迹偏差多项式的未知常量。

第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度为已知量, 即, 初始里程的水平偏差、垂直偏差、水平偏差速度、垂直偏差速度、水平偏差加速度和垂直偏差加速度都是已知量。结束里程例如为即将推进的第 3 环, 本领域的技术人员应当理解, 该结束里程可以根据实际情况进行选择。第二轨迹偏差基于管片上浮量以及设计轴线的曲率确定, 第二偏差速度和第二偏差加速度取值为 0。即, 结束里程对应的水平偏差速度、垂直偏差速度、水平偏差加速度和垂直偏差加速度等于 0, 垂直偏差的数值等于负的管片上浮量, 水平偏差的数值根据设计轴线对应的曲率确定, 例如为 5 倍的曲率。本领域的技术人员应当理解, 该水平偏差与曲率的倍数可以根据实际情况进行设定。

对 $Yh(s) = a_0 + a_1(s - s_0) + a_2(s - s_0)^2 + a_3(s - s_0)^3 + a_4(s - s_0)^4 + a_5(s - s_0)^5$ 进行一次求导, 得到 $Yh(s)' = a_1 + 2a_2(s - s_0) + 3a_3(s - s_0)^2 + 4a_4(s - s_0)^3 + 5a_5(s - s_0)^4$ 。对 $Yh(s) = a_0 + a_1(s - s_0) + a_2(s - s_0)^2 + a_3(s - s_0)^3 + a_4(s - s_0)^4 + a_5(s - s_0)^5$ 进行二次求导, 得到 $Yh(s)'' = 2a_2 + 6a_3(s - s_0) + 12a_4(s - s_0)^2 + 20a_5(s - s_0)^3$ 。对 $Yv(s) = a_6 + a_7(s - s_0) + a_8(s - s_0)^2 + a_9(s - s_0)^3 + a_{10}(s - s_0)^4 + a_{11}(s - s_0)^5$ 进行一次求导, 得到 $Yv(s)' = a_7 + 2a_8(s - s_0) + 3a_9(s - s_0)^2 + 4a_{10}(s - s_0)^3 + 5a_{11}(s - s_0)^4$ 。对 $Yv(s) = a_6 + a_7(s - s_0) + a_8(s - s_0)^2 + a_9(s - s_0)^3 + a_{10}(s - s_0)^4 + a_{11}(s - s_0)^5$ 进行二次求导, 得到 $Yv(s)'' = 2a_8 + 6a_9(s - s_0) + 12a_{10}(s - s_0)^2 + 20a_{11}(s - s_0)^3$ 。

将初始里程的水平偏差、垂直偏差、水平偏差速度、垂直偏差速度、水平偏差加

速度和垂直偏差加速度，结束里程对应的水平偏差、垂直偏差、水平偏差速度、垂直偏差速度、水平偏差加速度和垂直偏差加速度，代入上述公式，可以求得 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 、 a_7 、 a_8 、 a_9 、 a_{10} 、 a_{11} 。

将当前实际里程代入具有已知变量的 $Yh(s) = a_0 + a_1(s - s_0) + a_2(s - s_0)^2 + a_3(s - s_0)^3 + a_4(s - s_0)^4 + a_5(s - s_0)^5$ 以及 $Yv(s) = a_6 + a_7(s - s_0) + a_8(s - s_0)^2 + a_9(s - s_0)^3 + a_{10}(s - s_0)^4 + a_{11}(s - s_0)^5$ ，可以求得当前实际里程对应的规划掘进轨迹与设计轴线的水平偏差 $Yh(s)$ 和规划掘进轨迹与设计轴线的垂直偏差 $Yv(s)$ ，其中， $Yh(s)$ 和 $Yv(s)$ 为 Frenet 坐标系下的局部掘进轨迹，通过坐标转换即可求得笛卡尔坐标系下的坐标，即规划掘进轨迹。

10 在步骤 130，对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配。

在一些实施例中，在掘进机的实际位置与规划掘进轨迹之间存在偏差的情况下，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩；以及对实际纠偏力矩进行调整，以使实际纠偏力矩与第二目标纠偏力矩匹配。该第一目标纠偏力矩为调整前的目标纠偏力矩，第二目标纠偏力矩为调整后的目标纠偏力矩。对实际纠偏力矩进行调整，
15 以使实际纠偏力矩达到调整后的目标纠偏力矩，从而减少未来实际位置与规划掘进轨迹的偏差，使得实际掘进轨迹保持于规划掘进轨迹。

在上述实施例中，结合设计轴线、实际位置和管片上浮量等信息，动态确定规划掘进轨迹，然后对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配，从而能够减少未来实际位置与规划掘进轨迹的偏差，降低在隧道转弯或存在管片上浮时，
20 掘进机仍保持设计轴线掘进存在的安全风险。

图 3 为本公开的掘进机的推进控制方法的另一些实施例的流程示意图。

在步骤 310，获取掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量，以及掘进机的盾尾与管片之间的在预定方向的间隙。

在一些实施例中，通过盾尾间隙测量模块来实时测量盾尾与管片之间的间隙。预定方向的间隙例如包括盾尾右侧与管片的间隙、盾尾左侧与管片的间隙、盾尾上侧与管片的间隙、盾尾下侧与管片的间隙。
25

在步骤 320，根据实际位置、设计轴线和管片上浮量，计算规划掘进轨迹。

在步骤 330，在预定方向的间隙小于间隙阈值，且掘进机向该预定方向掘进的情况下，对规划掘进轨迹进行调整。

30 在一些实施例中，将当前位置对应的轨迹偏差，作为计算规划掘进轨迹过程中的

第二轨迹偏差，并重新计算规划掘进轨迹。

例如，盾尾右侧与管片的间隙小于第一阈值，且结束里程水平偏差大于初始里程水平偏差，则将当前实际位置对应的水平轨迹偏差作为结束里程水平偏差值，并重新规划掘进轨迹。

5 盾尾左侧与管片的间隙小于第二阈值，且结束里程水平偏差小于初始里程水平偏差时，将当前实际位置对应的水平轨迹偏差作为结束里程水平偏差值，并重新规划掘进轨迹。

盾尾上侧与管片的间隙小于第三阈值，且结束里程垂直偏差大于初始里程垂直偏差时，将当前实际位置对应的垂直轨迹偏差作为结束里程处置偏差值，并重新规划掘进轨迹。

10 盾尾下侧与管片的间隙小于第四阈值，且结束里程垂直偏差小于初始里程垂直偏差时，将当前实际位置对应的垂直轨迹偏差作为结束里程处置偏差值，并重新规划掘进轨迹。

上述举例中的第一阈值、第二阈值、第三阈值和第四阈值可以相同也可以不同，可以根据实际情况进行设定。

在步骤 340，对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配。

在上述实施例，在掘进机启动时或连续掘进中，结合设计轴线、实际位置和管片上浮量等信息，动态确定规划掘进轨迹，并通过监控盾尾间隙变化，对规划掘进轨迹进行辅助性调整，然后对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹

20 匹配，从而能够减少未来实际位置与规划掘进轨迹的偏差，一方面能够降低在隧道转弯或存在管片上浮时，掘进机仍保持设计轴线掘进存在的安全风险，另一方面，由于考虑到姿态调整对管片的影响，因此能够防止损坏管片，提高作业的安全性。

图 4 为本公开的掘进机的推进控制方法的另一些实施例的流程示意图。

在步骤 410，根据掘进机的实际位置，计算规划掘进轨迹中实际位置对应的规划

25 姿态。

在步骤 420，基于掘进机的实际姿态和规划姿态之间的姿态偏差，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩。

在一些实施例中，将第一目标纠偏力矩和姿态偏差输入至纠偏力矩调整模型，得到纠偏力矩调整量；以及利用纠偏力矩调整量，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到

30 第二目标纠偏力矩。第一目标纠偏力矩为预先设定值，或者等于初始接入推进系统的

纠偏力矩。该实施例中的纠偏力矩调整模型为机器学习模型。

在一些实施例中，获取样本纠偏力矩和样本姿态偏差；以及以样本纠偏力矩和样本姿态偏差为训练数据，以样本纠偏力矩调整量为标记值，对机器学习模型进行训练，得到训练好的纠偏力矩调整模型。

- 5 例如，调整掘进机的纠偏力矩，使得掘进机的姿态发生变化，采集掘进机的纠偏力矩和姿态信息，并将纠偏力矩和姿态信息作为训练数据，将纠偏力矩调整量作为训练数据的标记值，将机器学习模型的输出值与标记值进行比较，判断比较结果是否满足构建纠偏力矩调整模型的损失函数的要求，反复迭代，优化和调整机器学习模型的参数，使得比较结果最终满足构建纠偏力矩调整模型的损失函数的要求，保存该纠偏力矩调整模型。
- 10

将水平实际姿态与水平规划姿态的误差和垂直实际姿态与垂直规划姿态的误差，输入至训练好的纠偏力矩调整模型，能够得到纠偏力矩调整量，将该纠偏力矩调整量与第一目标纠偏力矩相加，得到第二目标纠偏力矩。

在一些实施例中，目标纠偏力矩包括目标水平纠偏力矩和目标垂直纠偏力矩。

- 15 纠偏力矩是描述推进系统多个油缸使得隧道掘进机围绕水平轴和垂直轴产生转动效应的物理量，而相关技术中的合力点是描述推进系统多个油缸合成作用点。

在步骤 430，对实际纠偏力矩进行调整，以使实际纠偏力矩与第二目标纠偏力矩匹配。

- 在一些实施例中，对掘进机的油缸状态进行调整，以调整实际纠偏力矩，以使实际纠偏力矩与第二目标纠偏力矩匹配。
- 20

在一些实施例中，通过推进系统使得油缸沿轴向方向工作，该推进系统布置于掘进机侧面，顶靠支撑在管片上，为隧道掘进机推进提供动力。根据油缸压力值可以确定油缸纠偏力矩。

- 在一些实施例中，掘进机的推进系统包括在周向上间隔设置的多个油缸分区，每个油缸分区内设置有至少一个油缸点位。控制器获取在当前工作模式下目标总推力、目标水平纠偏力矩和目标垂直纠偏力矩；构建第一推力分布组以使得第一推力分布组产生单位推力，第一推进分布组包括与多个油缸分区对应的第一推力；构建第二推力分布组以使得第二推力分布组产生单位水平纠偏力矩，第二推力分布组包括与多个油缸分区对应的第二推力；并构建第三推力分布组以使得第三推力分布组产生单位垂直纠偏力矩，第三推力分布组包括与多个油缸分区对应的第三推力，第一推力分布组、
- 25
- 30

第二推力分布组和第三推力分布组线性无关；根据第一推力分布组、第二推力分布组、第三推力分布组以及目标推力、目标水平纠偏力矩和目标垂直纠偏力矩获得各个油缸分区的推进力，进而控制多个油缸分区中油缸的状态。

5 在一些实施例中，获取掘进机的当前工作模式，当前工作模式包括施工掘进模式或同步推拼模式，根据当前工作模式，对掘进机的油缸状态进行调整，以调整实际纠偏力矩。

在同步推拼模式下，存在推进过程中部分油缸缩回以实现部分管片拼装。在同步推拼模式施工掘进下，即，在安装管片缺失部分油缸压力情况下，控制推进系统其余仍在工作的油缸，调整并稳定实际纠偏力矩达到目标纠偏力矩，以便控制推进过程中
10 实际位置接近规划轨迹。

在上述实施例中，通过调整并稳定实际纠偏力矩达到目标纠偏力矩，使得实际掘进轨迹保持在规划掘进轨迹允许范围内，降低了在隧道转弯或存在管片上浮时，仍保持设计轴线掘进存在的安全风险，以及解决了在推进总推力发生变化时合力点控制方案存在纠偏效应不稳定问题。

15 在本公开的一些实施例中，结合项目施工要求，交互模块接收用户选择的掘进效率模式，该掘进效率模式包括速度控制模式和推力控制模式。

在一些实施例中，在速度控制模式下，计算掘进机的实际推进速度；以及控制实际推进速度与目标推进速度匹配，例如，控制实际推进速度保持在目标推进速度允许的范围内。

20 例如，根据油缸的行程值，能够确定掘进机的实际推进速度。例如， t_1 时刻，油缸的行程值为 S_1 ， t_2 时刻，油缸的行程值为 S_2 ，速度 $V = (S_2 - S_1) / (t_2 - t_1)$ 。该目标推进速度由用户通过交互模块输入。

在一些实施例中，在速度控制模式下，控制器在安装管片缺失部分油缸推力情况下，控制推进系统调整并稳定实际推进速度达到目标推进速度。

25 上述实施例中，通过控制掘进机的推进速度，能够提高施工质量和效率，并且通过推进系统的自动控制，能够减少掘进过程中的司机操作任务，提高了盾构施工的自动化水平，减少人为因素的影响。

在一些实施例中，推力控制模式下，计算掘进机的实际总推力；以及控制实际总推力与目标总推力匹配，例如，控制实际总推力保持在目标总推力范围内。该目标总
30 推力由用户通过交互模块输入。掘进机的实际总推力为所有推进油缸压力的和值。

在一些实施例中，在推力控制模式下，控制器在安装管片缺失部分油缸推力情况下，控制推进系统调整并稳定实际总推力达到目标总推力。

上述实施例中，通过控制掘进机的总推力，能够提高施工质量和效率，并且通过推进系统的自动控制，能够减少掘进过程中的司机操作任务，提高了盾构施工的自动化水平，减少人为因素的影响。

本公开的实施例中，能够实现掘进机在正常施工掘进或同步推拼模式施工掘进下，利用调整推进系统轴向推进油缸确保沿规划轴线和设定效率进行推进。

图 5 为本公开的掘进机的控制器的一些实施例的结构示意图，该控制器包括数据获取模块 510、数据处理模块 520 和控制模块 530。

10 数据获取模块 510 被配置为获取掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量。

在一些实施例中，数据获取模块 510 还被配置为获取掘进机的盾尾与管片之间的在预定方向的间隙。预定方向的间隙例如包括盾尾右侧与管片的间隙、盾尾左侧与管片的间隙、盾尾上侧与管片的间隙、盾尾下侧与管片的间隙。

15 在一些实施例中，该数据获取模块 510 还被配置为获取掘进机的当前工作模式，当前工作模式包括施工掘进模式或同步推拼模式。

数据处理模块 520 被配置为根据实际位置、设计轴线和管片上浮量，计算规划掘进轨迹。

在一些实施例中，在隧道转弯部分，规划掘进轨迹在设计轴线弯道内侧。在管片上浮情况下，规划掘进轨迹在设计轴线下方。

20 在一些实施例中，该数据处理模块 520 获取掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度，以及掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，其中，第二轨迹偏差基于管片上浮量以及设计轴线的曲率确定；基于掘进机的行驶位置和初始位置，构建规划掘进轨迹与设计轴线间的轨迹偏差多项式；基于第一轨迹偏差、第一偏差速度、第一偏差加速度、第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，对轨迹偏差多项式进行求解，得到轨迹偏差多项式的未知常量；利用轨迹偏差多项式，得到实际位置对应的轨迹偏差；基于轨迹偏差，得到规划掘进轨迹。

30 在一些实施例中，数据处理模块 520 还被配置为在预定方向的间隙小于间隙阈值，且掘进机向预定方向掘进的情况下，对规划掘进轨迹进行调整。例如，将当前位置对应的轨迹偏差，作为计算规划掘进轨迹过程中的第二轨迹偏差。通过实时监控盾尾间

隙，能够防止损坏管片，提高作业的安全性。

控制模块 530 被配置为对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配。

5 在一些实施例中，该控制模块 530 在掘进机的实际位置与规划掘进轨迹之间存在偏差的情况下，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩；以及对实际纠偏力矩进行调整，以使实际纠偏力矩与第二目标纠偏力矩匹配。

在一些实施例中，根据掘进机的实际位置，计算规划掘进轨迹中实际位置对应的规划姿态；以及基于掘进机的实际姿态和规划姿态之间的姿态偏差，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩。

10 在一些实施例中，如图 6 所示，该控制器还包括模型训练模块 610，被配置为获取样本纠偏力矩和样本姿态偏差；以及以样本纠偏力矩和样本姿态偏差为训练数据，以样本纠偏力矩调整量为标记值，对机器学习模型进行训练，得到训练好的纠偏力矩调整模型，其中，基于掘进机的实际姿态和规划姿态之间的姿态偏差，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩。该控制模块 530 将第一目标纠偏力矩和姿
15 态偏差输入至纠偏力矩调整模型，得到纠偏力矩调整量；以及利用纠偏力矩调整量，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩。

在一些实施例中，该控制模块 530 还被配置为根据当前工作模式，对掘进机的油缸状态进行调整，以调整实际纠偏力矩。

在上述实施例中，结合设计轴线、实际位置和管片上浮量等信息，动态确定规划掘进轨迹，然后对掘进机进行控制，以使掘进机的实际位置与规划掘进轨迹匹配，从而能够减少未来实际位置与规划掘进轨迹的偏差，降低在隧道转弯或存在管片上浮时，掘进机仍保持设计轴线掘进存在的安全风险。

在本公开的一些实施例中，数据处理模块 520 还被配置为计算掘进机的实际推进速度，控制模块 530 还被配置为控制实际推进速度与目标推进速度匹配。

25 数据处理模块 520 还被配置为计算掘进机的实际总推力，控制模块 530 还被配置为控制实际总推力与目标总推力匹配。

通过控制掘进机的推进速度和总推力，能够提高施工质量和效率。

图 7 为本公开的掘进机的控制器的另一些实施例的结构示意图，该控制器包括存储器 710 和处理器 720。其中：存储器 710 可以是磁盘、闪存或其它任何非易失性存储介质。存储器 710 用于存储上述实施例中的指令。处理器 720 耦接至存储器 710，
30

可以作为一个或多个集成电路来实施，例如微处理器或微控制器。该处理器 720 用于执行存储器中存储的指令。

在一些实施例中，处理器 720 通过 BUS 总线 730 耦合至存储器 710。该控制器还可以通过存储接口 740 连接至外部存储装置 750 以便调用外部数据，还可以通过网络接口 760 连接至网络或者另外一台计算机系统（未标出）。此处不再进行详细介绍。

在该实施例中，通过存储器存储数据指令，再通过处理器处理上述指令，能够降低在隧道转弯或存在管片上浮时，仍保持设计轴线掘进存在的安全风险，以及解决在推进总推力发生变化时，合力点控制方案存在纠偏效应不稳定问题。并且通过推进系统自动控制，能够减少掘进过程中的司机操作任务，提高了盾构施工的自动化水平，减少人为因素的影响，提高施工质量和效率。

图 8 为本公开的掘进机的控制系统的一些实施例的结构示意图，该控制系统包括控制器 810、导向测量模块 820 和推进系统 830，其中，控制器 810 已在上述实施例中进行了详细介绍，此处不再进一步阐述。导向测量模块 820 和推进系统 830 与该控制器 810 电连接。

导向测量模块 820 被配置为测量掘进机的位置和姿态，推进系统 830 被配置为推进掘进机的至少部分油缸运动。该推进系统 830 的推进油缸沿轴向方向工作，布置于掘进机侧面，顶靠支撑在管片上，为掘进机推进提供动力。例如，掘进机在同步推拼模式下，推进系统 830 推进部分油缸运动。

在一些实施例中，如图 9 所示，该控制系统还包括盾尾间隙测量模块 910，被配置为测量掘进机的盾尾与管片的间隙。该盾尾间隙测量模块 910 与该控制器 810 电连接。该盾尾间隙测量模块例如为激光检测器。

在一些实施例中，该控制系统还包括传感器 920，被配置为测量该至少部分油缸中的部分或全部油缸的压力值和行程值。该传感器例如包括压力传感器，由于并非所有油缸都配备压力传感器，因此，可能只对部分油缸的压力值和行程值进行检测。例如，油缸通过分组进行控制，例如 A 组，B 组，C 组和 D 组，每组包含一个或多个油缸，每组只配置一个压力传感器在该组某个油缸上，此时，压力传感器只对每组中的一个油缸的压力进行检测。该传感器还例如包括位移传感器。

在一些实施例中，该控制系统还包括交互模块 930，被配置为进行信息展示和接收用户输入信息。例如，展示轨迹掘进轨迹，以及接收用户输入的管片上浮量、目标推进速度、目标总推力等。该交互模块例如为上位机等用户终端。

在另一些实施例中，一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序指令，该指令被处理器执行时实现上述实施例中的方法的步骤。本领域内的技术人员应明白，本公开的实施例可提供为方法、装置、或计算机程序产品。因此，本公开可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本公开可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用非瞬时性存储介质（包括但不限于磁盘存储器、**CD-ROM**、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

在本公开的一些实施例中，还提供了一种计算机程序，包括：指令，所述指令当由处理器执行时使所述处理器执行如前所述的推进控制方法。

10 本公开是参照根据本公开实施例的方法、设备（系统）和计算机程序产品的流程图和 / 或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和 / 或方框图中的每一流程和 / 或方框以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

20 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

25 至此，已经详细描述了本公开。为了避免遮蔽本公开的构思，没有描述本领域所公知的一些细节。本领域技术人员根据上面的描述，完全可以明白如何实施这里公开的技术方案。

可能以许多方式来实现本公开的方法以及装置。例如，可通过软件、硬件、固件或者软件、硬件、固件的任何组合来实现本公开的方法以及装置。用于所述方法的步骤的上述顺序仅是为了进行说明，本公开的方法的步骤不限于以上具体描述的顺序，

除非以其它方式特别说明。此外，在一些实施例中，还可将本公开实施为记录在记录介质中的程序，这些程序包括用于实现根据本公开的方法的机器可读指令。因而，本公开还覆盖存储用于执行根据本公开的方法的程序的记录介质。

- 5 虽然已经通过示例对本公开的一些特定实施例进行了详细说明，但是本领域的技术人员应该理解，以上示例仅是为了进行说明，而不是为了限制本公开的范围。本领域的技术人员应该理解，可在不脱离本公开的范围的情况下，对以上实施例进行修改。本公开的范围由所附权利要求来限定。

权 利 要 求

1、一种掘进机的推进控制方法，包括：

获取所述掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量；

根据所述实际位置、所述设计轴线和所述管片上浮量，计算规划掘进轨迹；以及
对所述掘进机进行控制，以使所述掘进机的实际位置与所述规划掘进轨迹匹配。

2、根据权利要求1所述的推进控制方法，还包括：

获取所述掘进机的盾尾与管片之间的在预定方向的间隙；以及

在所述预定方向的间隙小于间隙阈值，且所述掘进机向所述预定方向掘进的情况下，对所述规划掘进轨迹进行调整。

3、根据权利要求1或2所述的推进控制方法，其中，所述对所述掘进机进行控制包括：

在所述掘进机的实际位置与所述规划掘进轨迹之间存在偏差的情况下，对第一目标纠偏力矩进行调整，得到第二目标纠偏力矩；以及

对实际纠偏力矩进行调整，以使所述实际纠偏力矩与所述第二目标纠偏力矩匹配。

4、根据权利要求3所述的推进控制方法，其中，所述对所述第一目标纠偏力矩进行调整，得到所述第二目标纠偏力矩包括：

根据所述掘进机的实际位置，计算所述规划掘进轨迹中所述实际位置对应的规划姿态；以及

基于所述掘进机的实际姿态和所述规划姿态之间的姿态偏差，对所述第一目标纠偏力矩进行调整，得到所述第二目标纠偏力矩。

5、根据权利要求3或4所述的推进控制方法，还包括：

获取所述掘进机的当前工作模式，所述当前工作模式包括施工掘进模式或同步推拼模式，其中，所述对所述实际纠偏力矩进行调整包括：

根据所述当前工作模式，对所述掘进机的油缸状态进行调整，以调整所述实际纠偏力矩。

6、根据权利要求 4 所述的推进控制方法，还包括：

获取样本纠偏力矩和样本姿态偏差；以及

以所述样本纠偏力矩和所述样本姿态偏差为训练数据，以样本纠偏力矩调整量为标记值，对机器学习模型进行训练，得到训练好的纠偏力矩调整模型，其中，基于所述掘进机的实际姿态和所述规划姿态之间的姿态偏差，对所述第一目标纠偏力矩进行调整，得到所述第二目标纠偏力矩包括：

将所述第一目标纠偏力矩和所述姿态偏差输入至所述纠偏力矩调整模型，得到纠偏力矩调整量；以及

利用所述纠偏力矩调整量，对所述第一目标纠偏力矩进行调整，得到所述第二目标纠偏力矩。

7、根据权利要求 1 至 6 任一所述的推进控制方法，其中，所述计算规划掘进轨迹包括：

获取所述掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度，以及所述掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，其中，所述第二轨迹偏差基于所述管片上浮量以及所述设计轴线的曲率确定；

基于所述掘进机的行驶位置和初始位置，构建规划掘进轨迹与设计轴线间的轨迹偏差多项式；

基于所述第一轨迹偏差、所述第一偏差速度、所述第一偏差加速度、所述第二轨迹偏差、所述第二偏差速度和所述第二偏差加速度，对所述轨迹偏差多项式进行求解，得到所述轨迹偏差多项式的未知常量；

利用所述轨迹偏差多项式，得到所述实际位置对应的轨迹偏差；以及

基于所述轨迹偏差，得到所述规划掘进轨迹。

8、根据权利要求 2 所述的推进控制方法，其中，

所述计算规划掘进轨迹包括：

获取所述掘进机的初始位置对应的第一轨迹偏差、第一偏差速度和第一偏差加速度，以及所述掘进机的结束位置对应的第二轨迹偏差、第二偏差速度和第二偏差加速度，其中，所述第二轨迹偏差基于所述管片上浮量以及所述设计

轴线的曲率确定；

基于所述掘进机的行驶位置和初始位置，构建规划掘进轨迹与设计轴线间的轨迹偏差多项式；

基于所述第一轨迹偏差、所述第一偏差速度、所述第一偏差加速度、所述第二轨迹偏差、所述第二偏差速度和所述第二偏差加速度，对所述轨迹偏差多项式进行求解，得到所述轨迹偏差多项式的未知常量；

利用所述轨迹偏差多项式，得到所述实际位置对应的轨迹偏差；以及

基于所述轨迹偏差，得到所述规划掘进轨迹；

对所述规划掘进轨迹进行调整，包括：

将所述当前位置对应的轨迹偏差，作为计算所述规划掘进轨迹过程中的所述第二轨迹偏差。

9、根据权利要求1至8任一所述的推进控制方法，还包括：

计算所述掘进机的实际推进速度；以及

控制所述实际推进速度与目标推进速度匹配。

10、根据权利要求1至9任一所述的推进控制方法，还包括：

计算所述掘进机的实际总推力；以及

控制所述实际总推力与所述目标总推力匹配。

11、一种掘进机的控制器，包括：

数据获取模块，被配置为获取所述掘进机的实际位置、设计轴线和管片上浮量；

数据处理模块，被配置为根据所述实际位置、所述设计轴线和所述管片上浮量，计算规划掘进轨迹；以及

控制模块，被配置为对所述掘进机进行控制，以使所述掘进机的实际位置与所述规划掘进轨迹匹配。

12、根据权利要求11所述的控制器，其中，

所述数据获取模块还被配置为获取所述掘进机的盾尾与管片之间的在预定方向的间隙；以及

所述数据处理模块还被配置为在所述预定方向的间隙小于间隙阈值，且所述掘进机向所述预定方向掘进的情况下，对所述规划掘进轨迹进行调整。

13、一种掘进机的控制器，包括：

存储器；以及

耦接至所述存储器的处理器，所述处理器被配置为基于存储在所述存储器的指令执行如权利要求 1 至 10 任一所述的推进控制方法。

14、一种掘进机的控制系统，包括：

权利要求 11 至 13 任一所述的控制器；

导向测量模块，被配置为测量所述掘进机的位置和姿态；以及

推进系统，被配置为推进所述掘进机的至少部分油缸运动。

15、根据权利要求 14 所述的控制系统，还包括：

盾尾间隙测量模块，被配置为测量所述掘进机的盾尾与管片的间隙。

16、根据权利要求 14 或 15 所述的控制系统，还包括：

传感器，被配置为测量所述至少部分油缸中的部分或全部油缸的压力值和行程值。

17、根据权利要求 14 至 16 任一所述的控制系统，还包括：

交互模块，被配置为进行信息展示和接收用户输入信息。

18、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序指令，该指令被处理器执行时实现权利要求 1 至 10 任一所述的推进控制方法。

19、一种计算机程序，包括：

指令，所述指令当由处理器执行时使所述处理器执行根据权利要求 1 至 10 任一所述的推进控制方法。