

泥水平衡顶进施工中的泥水压力控制技术研究

单绍朕

山东济铁工程建设集团有限公司 山东 济南 250000

摘要: 泥水平衡顶进施工技术作为现代非开挖施工的重要方法,广泛应用于城市地下管道、隧道等工程领域。泥水压力控制是该技术的核心环节,直接影响施工进度、工程质量和地面沉降控制。本文旨在深入探讨泥水平衡顶进施工中的泥水压力控制技术,分析其原理、影响因素及控制策略,为工程实践提供理论支持和技术指导。

关键词: 泥水平衡顶进; 泥水压力; 控制技术

引言

泥水平衡顶进施工技术通过注入泥水形成泥膜,平衡开挖面的土压力和水压力,实现稳定开挖。泥水压力的有效控制是确保施工顺利进行的关键。本文将从泥水压力的作用机制、影响因素及控制策略三个方面展开论述。

1 泥水压力的作用机制

1.1 泥水盾构工作原理

泥水盾构通过泵送一定浓度的泥浆至泥水室,这一过程中,泥浆的选取和配制是关键。泥浆通常由水、膨润土(或黏土)、添加剂等混合而成,其浓度和性质需根据地层条件进行精确调整。随着刀盘切削土渣和地下水流入开挖室,泥浆与土渣混合,形成具有一定流动性的泥水混合物。在刀盘切削和泥浆泵送的共同作用下,泥浆浓度和压力在开挖室内逐渐增大。这一过程中,泥浆中的颗粒逐渐沉积在开挖面上,形成一层具有渗透性的泥膜。这层泥膜不仅能够有效阻挡地下水的涌入,还能通过渗透作用平衡开挖面的土压力和水压力,从而实现稳定挖掘^[1]。泥膜的形成是泥水盾构施工中的关键步骤,它依赖于泥水压力与地下水压力之间的平衡。当泥水压力大于地下水压力时,泥水会渗入土壤颗粒之间的空隙,进一步形成和加固泥膜。这样,泥膜就能够有效地支撑开挖面,防止地面沉降和开挖面的坍塌。

1.2 泥水平衡的产生与维持

泥膜的厚度并不是一成不变的,它会随着时间的推移而逐渐增加。这是因为泥浆中的颗粒在开挖面上不断沉积,使得泥膜的厚度逐渐增大。同时,泥膜的渗透抵抗力也随之增强,这使得它能够更好地阻挡地下水的涌入和平衡开挖面的压力。当泥膜的抵抗力远大于正面土压时,就产生了泥水平衡效果。这种平衡效果能够保持开挖面的相对稳定,防止因压力失衡而导致的表面沉降或开挖面坍塌。泥水平衡的维持是一个动态的过程,它依赖于泥水压力的动态调整。在施工过程中,由于地层

条件的变化、刀盘切削速度的调整以及泥浆泵送量的变化等因素,泥水压力会发生波动。为了保持泥水平衡,需要实时监测泥水压力的变化,并根据实际情况进行动态调整。这包括调整泥浆的泵送量、改变泥浆的浓度和性质、调整刀盘的切削速度等。通过这些措施,可以确保开挖面的持续稳定,保证施工的顺利进行。

2 泥水压力的影响因素

2.1 地层条件

地层条件是影响泥水压力的关键因素之一,不同地层的地质特性对泥水压力的控制具有显著影响。在软弱的淤泥质黏土层中,由于土层强度较低,泥水压力的控制需要更加精细。这是因为淤泥质黏土层容易发生变形和流动,如果泥水压力控制不当,很容易导致地面沉降或开挖面的不稳定。同样,在松散的砂土层中,泥水压力的控制也面临挑战。砂土层的颗粒间空隙较大,泥水容易渗透,因此需要更加精确地控制泥水压力,以防止泥水过快流失或渗入,导致开挖面失稳。对于地层含水量大、上方有大水体的越江隧道和海底隧道施工,泥水压力的稳定性要求更高^[2]。在这些情况下,地下水压力较大,如果泥水压力无法与之平衡,就会导致地下水涌入开挖面,造成开挖面坍塌或地面沉降。因此,在这些特殊地层条件下,需要采取更加严格的泥水压力控制措施,确保施工的安全和稳定。

2.2 泥水参数

泥水参数,包括泥水密度、浓度和颗粒级配等,对泥膜的形成和稳定性具有直接影响。这些参数的选择和调整需根据具体地层条件进行,以确保泥膜能够有效地支撑开挖面并保持稳定。泥水密度是一个关键参数,它决定了泥膜的重量和渗透性。一般来说,提高泥水密度可以增强泥膜的稳定性,使其更能抵抗地下水的压力和土体的变形。然而,过高的密度也可能导致泥水流动性下降,增加泵送难度,从而影响施工效率。泥水浓度同

样对泥膜的形成和稳定性具有重要影响。浓度过高时，泥水中的颗粒容易沉积在开挖面上，形成较厚的泥膜。这虽然可以增强泥膜的稳定性，但也可能导致泥水流动性降低，不利于施工。因此，在选择泥水浓度时，需要综合考虑地层条件和施工需求，找到最佳的平衡点。除了密度和浓度外，泥水中颗粒的级配也对泥膜的形成和稳定性具有影响。合理的颗粒级配可以使泥水更好地填充土体空隙，形成更加致密的泥膜。同时，级配良好的泥水还具有良好的流动性和渗透性，有利于施工的顺利进行。

2.3 施工参数

施工参数在泥水平衡顶进施工中同样扮演着至关重要的角色，其中顶管机的推进速度和切口水压的设定对泥水压力的控制具有显著影响。顶管机的推进速度是一

个关键参数。如果推进速度过快，泥水压力可能会产生较大的波动，这将对开挖面的稳定性造成不利影响。具体来说，过快的推进速度可能导致泥水无法及时填充开挖面，从而产生压力失衡。因此，在实际施工中，需要严格控制顶管机的推进速度，确保其与泥水压力和地层条件相匹配。切口水压的设定也是影响泥水压力控制的重要因素。切口水压需要综合考虑地下水压力、土压力以及开挖面的稳定性等多种因素。一般来说，切口水压应略大于地下水压力，以确保泥水能够顺利渗入地层并形成稳定的泥膜。同时，切口水压也不宜过大，否则可能导致泥水过度渗入地层，破坏开挖面的稳定性。以下是一个具体的量化表，旨在反映施工参数对泥水压力的影响（表1）：

表1 量化表

地层条件	顶管机推进速度 (mm/min)	对泥水压力的影响	切口水压设定值 (kPa)	对泥水压力的影响
软弱淤泥质黏土层	50-80	较低速度有助于稳定泥水压力	120-150	适中的水压有助于平衡地下水压力
松散砂土层	80-120	适中速度可维持泥水压力的平衡	150-180	稍高的水压可抵抗较大的地下水压力
硬质土层	120-150	较高速度可能导致泥水压力波动	180-210	较高的水压可确保开挖面稳定

此表清晰地展示了在不同地层条件下，顶管机的推进速度和切口水压的设定值如何影响泥水压力。通过调整这些施工参数，可以有效地控制泥水压力，确保开挖面的稳定，并防止地面沉降等问题的发生。

3 泥水压力的控制策略

3.1 直接控制型策略

直接控制型策略是一种高效且精确的泥水压力控制方法。该策略的核心在于利用压力信号发送器实时接收泥水仓内的压力信号，并将这些信号迅速反馈至泥水压力调节器。泥水压力调节器在接收到反馈信号后，会根据预设的控制逻辑和算法，自动调节控制阀的开闭程度，从而实现了对泥水压力的精确控制。具体来说，当泥水仓内的压力升高时，压力信号发送器会立即检测到这一变化，并将信号传递给泥水压力调节器。泥水压力调节器在接收到信号后，会迅速作出反应，通过关闭或减小控制阀的开度来降低泥水仓内的压力。相反，当泥水仓内的压力降低时，泥水压力调节器会打开或增大控制阀的开度，以增加泥水仓内的压力。这种直接控制型策略具有响应迅速、控制精确的优点，特别适用于泥水压力波动较大的情况^[3]。例如，在地质条件复杂、地下水丰富的地层中进行顶管施工时，泥水压力往往会出现较大的波动。此时，采用直接控制型策略可以有效地稳定泥

水压力，确保开挖面的稳定，防止地面沉降等问题的发生。此外，直接控制型策略还可以与其他控制策略相结合，形成更加完善的泥水压力控制系统。例如，可以将直接控制型策略与预设压力值控制策略相结合，当泥水压力偏离预设值时，直接控制型策略会立即启动，对泥水压力进行快速调整，以确保施工的安全和顺利进行。

3.2 间接控制型策略

间接控制型策略是一种通过调节空气压力来间接控制开挖面支护压力的泥水压力控制方法。该策略充分利用了空气和泥水的双重系统，以实现更加精细和稳定的压力控制。在泥水盾构室内，特别设置了半隔板结构，其前半部分充满泥浆，而后半部分则充满压缩空气，这样便形成了一个气压缓冲层。这一独特的设计使得空气压力与泥水压力之间建立起一种动态平衡，为开挖面提供了稳定的支护压力。液位传感器在这一过程中发挥着关键作用。它实时监测泥水仓内的液位变化，并将这些变化反馈至控制系统。控制系统在接收到反馈信号后，会根据预设的算法和逻辑，精确调整泥浆泵的转速。当液位上升时，意味着泥水仓内的压力增大，此时控制系统会降低泥浆泵的转速，以减少泥浆的流入量，从而保持开挖面支护压力的稳定。反之，当液位下降时，控制系统会增加泥浆泵的转速，以增加泥浆的流入量，确保

开挖面支护压力的持续稳定。间接控制型策略的优势在于其能够应对更为复杂的施工环境。在地层条件多变或地下水压力波动较大的情况下,该策略仍能保持开挖面支护压力的相对稳定,有效防止地面沉降等问题的发生。

3.3 泥水流量与密度调控

泥水流量与密度的调控是泥水压力控制中的关键环节。通过精确控制进口阀门或出口阀门的开闭程度,可以有效调节泥水的流量,进而实现对泥水压力的精细控制。同时,根据地层条件的变化,适时调整泥水的密度,也是确保泥水压力稳定的重要手段。在地层较软的情况下,如淤泥质黏土层或松散的砂土层,泥膜的稳定性可能受到较大挑战。此时,通过增加泥浆的密度,可以有效提高泥膜的支撑力和稳定性,防止泥水压力过大导致地面沉降或开挖面失稳。具体来说,可以通过向泥水中添加适量的膨润土、粉煤灰等添加剂,提高泥浆的密度和黏稠度,使其更好地适应软地层条件。而在地层较硬的情况下,如硬质土层或岩石层,泥水的流动性可能成为主要问题。此时,适当降低泥浆的密度,可以提高泥水的流动性,确保泥水能够顺利填充开挖面,形成稳定的泥膜。这可以通过调整泥水的配比,减少添加剂的使用量,或者采用更细颗粒的泥料来实现^[4]。在实际施工中,应根据地层条件的变化和施工需求,灵活调整泥水的流量和密度,以实现最佳的泥水压力控制效果。同时,还应密切关注泥水压力的变化情况,及时调整控制策略,确保施工的安全和顺利进行。通过科学合理的泥水流量与密度调控,可以有效应对不同地层条件下的施工挑战,确保泥水压力的稳定和开挖面的安全。

3.4 管道内泥水速度控制

管道内泥水压力的控制是泥水压力管理中的另一个重要环节。泥水在管道内的流动速度直接影响到泥水压力的变化,因此,通过精确控制泥水的流动速度,可以有效避免泥水压力升高,确保开挖面的稳定。为了实现这一目标,通常采取两种主要策略:调节顶管机的推进速度和控制泥水流量。首先,通过调整顶管机的推进

速度,可以直接影响泥水在管道内的流动速度。如果推进速度过快,泥水可能会受到挤压,导致压力升高。因此,在施工中需要根据地层条件和泥水压力的变化,适时调整顶管机的推进速度,以保持泥水压力的稳定。其次,通过控制泥水流量也可以有效调节泥水在管道内的流动速度。这可以通过调整泥浆泵的转速或改变进口阀门和出口阀门的开闭程度来实现。当需要降低泥水速度时,可以适当减小泥浆泵的转速或减小进口阀门的开度,以减少泥水的流入量。相反,当需要增加泥水速度时,可以提高泥浆泵的转速或增大进口阀门的开度,以增加泥水的流入量。在实际施工中,管道内泥水压力的控制需要综合考虑多种因素,包括地层条件、泥水压力、顶管机的推进速度以及泥水流量等。通过科学合理的调控策略,可以实现泥水压力的精确控制,确保泥水压力的稳定和开挖面的安全。

结语

泥水平衡顶进施工中的泥水压力控制技术是确保工程质量和施工安全的关键。通过深入分析泥水压力的作用机制、影响因素及控制策略,本文为泥水平衡顶进施工提供了系统的理论指导和技术支持。在实际施工中,应根据具体地层条件和施工需求,灵活运用各种控制策略,确保泥水压力的稳定和开挖面的安全。未来,随着技术的发展和经验的积累,泥水压力控制技术将更加成熟和完善,为城市地下空间开发提供更多可能性。

参考文献

- [1]陶东辉.泥水平衡顶管下穿高速桥梁施工关键技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(05):122-124.
- [2]程浩东,尤彬锋,尚永群.泥水平衡顶管在深埋市政污水管施工中的应用[J].城市建筑空间,2023,30(S1):353-354.
- [3]黄宛轩.泥水平衡顶管技术在市政排水管道施工中的应用研究[J].工程机械与维修,2024,(04):101-103.
- [4]杨俊杰.复合地层泥水平衡顶管长距离曲线顶进施工关键技术[J].现代商贸工业,2023,44(07):267-268.