

盾构机开挖隧道沉降控制

刘冕耕

中交隧道工程局有限公司 北京 100000

摘要: 盾构机开挖隧道时, 沉降控制是确保工程安全与稳定的关键。通过精确控制掘进参数、实时监测地层变形、合理注浆加固等措施, 可显著降低沉降风险。这些技术措施不仅要求严格遵循地质条件和设计要求, 还需结合工程实际情况灵活调整。有效的沉降控制对于保障隧道施工质量、延长使用寿命具有重要意义。

关键词: 盾构机; 开挖隧道; 沉降控制

引言: 在盾构机开挖隧道工程中, 沉降控制是确保隧道稳定、保障施工安全的重要环节。随着城市地下空间的不断开发, 隧道沉降问题愈发凸显其重要性。本文旨在探讨盾构机开挖隧道过程中沉降控制的关键技术措施, 分析沉降的成因及其影响, 并提出相应的控制措施, 以此为隧道工程的安全施工和质量提升提供有益的参考。

1 盾构机开挖隧道沉降控制的重要性

盾构机开挖隧道沉降控制的重要性不容忽视, 它直接关系到隧道工程的安全性、稳定性和长期运营效益。第一, 沉降控制是确保隧道工程安全性的关键。在盾构机掘进过程中, 如果不采取有效的沉降控制措施, 隧道周围的土体可能发生严重的变形和沉降, 导致隧道结构受损, 甚至引发坍塌等安全事故。通过实施沉降控制, 可以确保隧道结构稳定, 防止安全事故的发生, 保障施工人员和后期运营人员的生命安全。第二, 沉降控制对于隧道工程的稳定性至关重要。隧道工程往往穿越复杂的地质环境, 如软土、砂层、岩层等, 这些地层的地质条件差异大, 给盾构机掘进带来了一定的难度。如果不加以控制, 隧道周围的土体在掘进过程中可能产生不均匀沉降, 导致隧道结构受力不均, 影响隧道的长期稳定性。通过实施沉降控制, 可以减小隧道周围土体的变形和沉降, 提高隧道结构的整体稳定性。第三, 沉降控制对于隧道工程的长期运营效益具有重要影响。隧道工程作为重要的交通基础设施, 其使用寿命和运营效益直接关系到社会经济的发展^[1]。如果隧道在运营过程中出现严重的沉降问题, 将影响隧道的正常使用, 甚至需要进行大规模的维修和加固, 给社会带来巨大的经济损失。

2 盾构机开挖隧道沉降的主要问题

2.1 土压力不平衡导致的沉降

土压力的不平衡不仅影响隧道掘进的顺利进行, 还可能对隧道结构及周边环境造成严重影响。一是盾构机

在掘进过程中, 需要在开挖面形成一定的土压力以支撑周围的土体。这个土压力需要精确地控制在一定范围内, 以保持开挖面的稳定。然而, 由于地质条件、地下水位、盾构机操作等多种因素的影响, 土压力往往难以保持平衡。二是当盾构机舱内的土压力大于周围土体的压力时, 会产生上覆土层的隆起现象。这不仅会导致隧道上方地面的隆起, 还可能破坏地面的建筑物和基础设施。三是如果盾构机舱内的土压力小于周围土体的压力, 就会导致开挖面的坍塌和沉降。这种沉降不仅会影响隧道的施工质量和安全, 还可能对周边环境造成破坏。

2.2 盾构机与岩土层摩擦引起的沉降

盾构机作为一种在地下掘进的大型机械设备, 其外壳与岩土层之间在掘进过程中会产生直接的接触和摩擦。这种摩擦作用会导致盾构机外壳周围的岩土层受到挤压和剪切, 从而引发土体的变形和位移。一方面, 盾构机与岩土层的摩擦会使周围的岩土层产生水平位移。由于盾构机在掘进时需要向前推进, 其外壳与岩土层的摩擦会导致前方的岩土层受到挤压, 从而向两侧或上方移动。这种水平位移会破坏岩土层的原始结构, 使其失去原有的稳定性。另一方面, 盾构机与岩土层的摩擦还会引起土体的垂直沉降。在盾构机掘进过程中, 其外壳会对周围的岩土层产生垂直向下的压力, 这种压力会导致岩土层受到压缩和变形。当盾构机通过后, 由于失去了外部压力的支撑, 岩土层会发生回弹, 但这种回弹是不均匀的, 往往会伴随着一定程度的沉降。除此之外, 盾构机与岩土层的摩擦还可能导致地下水位的变化, 进一步加剧沉降现象。在掘进过程中, 盾构机会破坏原有的地下水流动场, 导致地下水位的升高或降低。这种变化会改变岩土层的物理力学性质, 使其更容易发生变形和沉降。

2.3 孔隙水压力变化引起的沉降

在盾构机开挖隧道的过程中, 孔隙水压力的变化直

接影响着隧道周围土体的稳定性和沉降情况。首先，我们需要理解孔隙水压力在土体中的作用。在饱和土体中，水分主要存在于颗粒间的孔隙中，这些孔隙水对土体的力学性质有着重要影响。当盾构机在地下掘进时，其施工活动会不可避免地扰动周围的土体，导致孔隙水压力发生变化。孔隙水压力的变化主要源于两个方面：一是盾构机掘进过程中土体的挤压和剪切作用，这会导致土体中的水分被挤出或压缩，从而引起孔隙水压力的增加或减少；二是由于隧道开挖导致的地下水流动和补给条件的变化，这同样会影响孔隙水压力的分布和大小。另外，当孔隙水压力发生变化时，土体的力学性质也会随之改变。具体来说，当孔隙水压力增加时，土体的有效应力会减小，土体的抗剪强度和承载能力也会相应降低。这会导致土体更容易发生变形和沉降。相反，当孔隙水压力减小时，土体的有效应力会增加，土体的抗剪强度和承载能力也会相应提高^[2]。最后，在盾构机开挖隧道的过程中，孔隙水压力的变化对沉降的影响主要体现在以下几个方面：一是盾构机掘进过程中土体的挤压和剪切作用会导致孔隙水压力的增加，进而引起土体的变形和沉降；二是隧道开挖导致的地下水流动和补给条件的变化会影响孔隙水压力的分布和大小，从而加剧土体的沉降；三是孔隙水压力的减小可能会导致土体的固结和沉降。

3 盾构机开挖隧道沉降控制的技术措施

3.1 泥水平衡控制

泥浆循环系统主要由泥浆制备站、泥浆管路、泥浆泵、泥水分离器和盾构机泥浆舱等组成。在掘进过程中，泥浆从泥浆制备站经过泥浆泵输送到盾构机泥浆舱，然后通过盾构机刀盘切削下来的泥土与泥浆混合，再经过泥水分离器进行分离，最后将分离后的清水和泥土分别进行处理。另外，合理的泥浆配比是泥水平衡控制的基础。在施工前，应根据地质条件和工程要求，通过试验确定最佳的泥浆配比。泥浆的配比应满足粘度、密度、稳定性和润滑性等要求，以确保在掘进过程中能够形成有效的泥膜，减少地层扰动和沉降。接着，在掘进过程中，应根据地层条件和掘进速度，合理控制泥浆压力。泥浆压力过大会导致地层隆起，过小则会导致地层沉降。在掘进过程中，应根据地层条件和掘进速度，合理控制泥浆流量。泥浆流量过大会导致泥水分离器过载，过小则会影响泥膜的形成。因此，应根据实时监测数据及时调整泥浆流量，确保其在合理范围内波动。

3.2 盾构机隧道开挖沉降控制

控制沉降的技术措施主要包括同步注浆和二次注浆

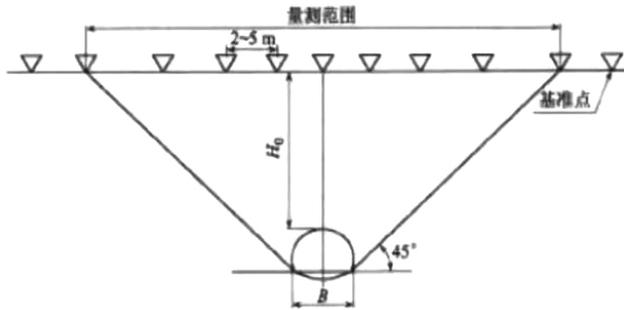
(补注浆)。同步注浆是盾构机在掘进过程中进行的一项重要技术措施，其主要目的是在管片拼装完成后，立即通过注浆管向管片与围岩之间的空隙注入浆液，以填充空隙，防止地层应力释放引起的沉降。通常，浆液应具有良好的流动性、稳定性和填充性，以确保能够充分填充管片与围岩之间的空隙。在制备浆液时，应根据地质条件、隧道尺寸和注浆工艺等因素进行合理配比。另外，在同步注浆过程中，应根据地层条件和注浆浆液的性质，合理控制注浆压力。注浆压力过大会导致浆液流失，过小则无法充分填充空隙。因此，应根据实时监测数据及时调整注浆压力。在同步注浆过程中，应根据隧道尺寸、地层条件和注浆浆液的性质等因素，合理确定注浆量和注浆速度。注浆量过少会导致空隙填充不充分，引起沉降；注浆量过多则会造成浪费。接着，二次注浆(补注浆)是在同步注浆后，对隧道沉降进行补充控制的注浆技术。其主要目的是在同步注浆未能完全控制沉降的情况下，通过向隧道周围地层注入浆液，进一步加固地层，防止沉降进一步发展。

在二次注浆过程中，应首先对隧道沉降进行监测和分析，确定需要注浆的地段和注浆量。然后，选择合适的注浆浆液和注浆工艺，进行注浆施工。注浆过程中，应严格控制注浆压力和注浆速度，确保浆液能够充分填充地层中的空隙，达到加固地层的目的。

3.3 严格控制盾构机掘进参数

泥水平衡盾构机的掘进参数主要包括掘进速度、刀盘转速、泥水压力等。这些参数的选择和控制直接影响到盾构机与周围土体的相互作用，进而影响到地层的稳定性和沉降情况。因此，严格控制这些掘进参数，对于减少地层扰动、防止隧道沉降具有重要意义。(1)掘进速度是影响地层扰动和沉降的关键因素之一。在掘进过程中，应根据地质条件、隧道尺寸和盾构机性能等因素，合理确定掘进速度。过快的掘进速度会导致地层扰动加剧，进而引发沉降；而过慢的掘进速度则会降低施工效率。因而在掘进过程中应密切关注地层变化，根据实时监测数据及时调整掘进速度。(2)适当的刀盘转速可以确保盾构机对土体的有效切削和搅拌，减少地层扰动。然而，过高的刀盘转速会加大刀盘磨损，甚至破坏地层结构，导致沉降加剧。因此，在掘进过程中应根据地质条件和盾构机性能，合理控制刀盘转速。(3)泥水压力是泥水平衡盾构机保持开挖面稳定的关键因素。适当的泥水压力可以平衡开挖面的水土压力，防止地层坍塌和沉降。然而，过高的泥水压力会导致地层隆起，甚至破坏隧道结构；而过低的泥水压力则无法维持开挖面

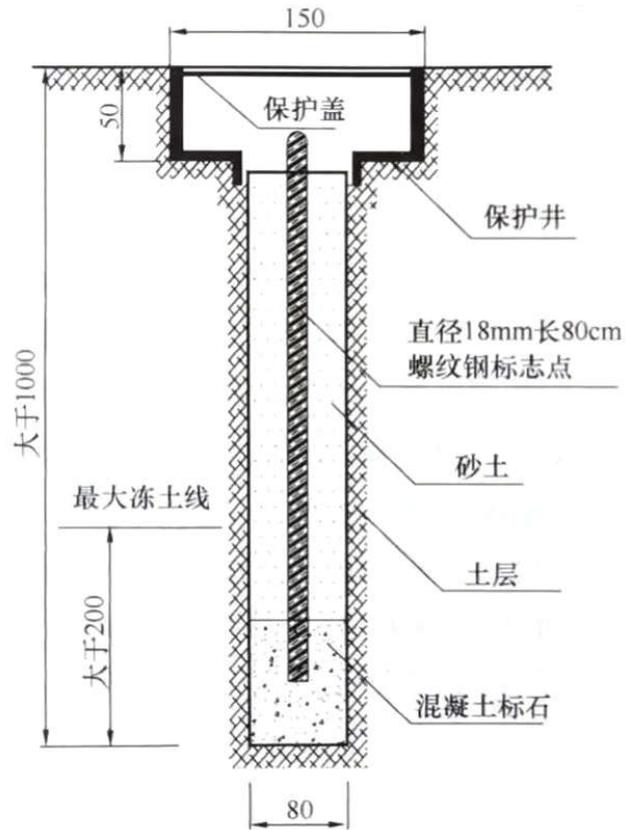
的稳定。因此,在掘进过程中应根据地质条件和实时监测数据,合理控制泥水压力。监测测量如下图所示:



监测测量图

3.4 实时监测与反馈调整

实时监测是盾构机开挖隧道沉降控制的基础,通过对掘进过程中的各项参数和地层变化进行实时监测,可以及时发现并预测沉降风险,为后续的反馈调整提供科学依据。实时监测可以包括盾构机的掘进参数(如掘进速度、刀盘转速、泥水压力等)、地层变形(如地表沉降、隧道收敛等)以及地下水位等多个方面。接下来,实施实时监测,需要借助先进的监测设备和系统。这些设备可以安装在盾构机上或隧道周围,通过传感器和数据采集器实时收集各项参数和地层变形数据。数据可以通过有线或无线方式传输到中央控制系统,进行实时处理和分析。除此之外,反馈调整是实时监测的目的和核心。当监测数据出现异常或超过预设阈值时,中央控制系统会发出警报,并自动或手动调整盾构机的掘进参数和施工方案。通过反馈调整,可以迅速响应地层变化,减少地层扰动和沉降风险。最后,反馈调整的实施方法需要根据具体情况而定。一般来说,可以通过调整掘进速度、刀盘转速、泥水压力等参数来减少地层扰动;通过注浆加固、设置支撑等方法来增强地层稳定性;通过优化施工方案、改变掘进方向等方式来避免沉降风险。在实施反馈调整时,需要综合考虑地质条件、盾构机性能、施工进度等多个因素,确保调整措施的有效性和可行性^[3]。实时监测与反馈调整是盾构机开挖隧道沉降控制中不可或缺的技术措施。通过实时监测地层变化和盾构机掘进参数,及时发现并预测沉降风险;通过反馈调整盾构机掘进参数和施工方案,迅速响应地层变化,减少地层扰动和沉降风险。监测点的埋设图所示:



监测点的埋设图

结语

总的来说,在盾构机开挖隧道的工程中,沉降控制是确保隧道长期稳定和安全运行的关键。通过严格控制掘进参数、实时监测与反馈调整以及注浆加固等措施对于沉降控制的重要性。未来,随着技术的不断进步和工程实践的积累,相信我们能够更好地掌握沉降控制的规律,提高隧道工程的质量和安全性,为城市地下空间的可持续利用做出更大的贡献。

参考文献

- [1]沈秀锋.城市地铁盾构工程施工监测[J].施工技术,2019(18):127-130.
- [2]秦玉开.地铁隧道盾构法施工中的地面沉降问题分析[J].建筑技术开发,2019(13):138-139.
- [3]曹占虎.某地铁区间盾构法施工监测分析[J].测绘工程,2019,23(9):70-73.