

# 钢纤维混凝土在盾构隧道衬砌管片中应用价值研究

郝晶

包头铁道职业技术学院 内蒙古 包头 014000

**[摘要]**新型的管片型盾构隧道技术的研究已经成为盾构隧道方向的一个重要研究方法,因为随着科技的不断发展,传统盾构隧道混凝土管片存在着巨大的问题,无法适应目前对于盾构隧道衬砌的实际需求。国际上对于钢纤维混凝土的盾构隧道衬砌方法具有较为深入的研究,而国内对于上述方面的研究非常稀少,因此需要通过研究纤维混凝土的抗爆裂性能和抗压性能,为钢纤维混凝土盾构隧道管片的承载能力和结构性使用进行实验的确定与分析,进而进行一些结构设计方面的设计建议,为推动我国新型的钢纤维混凝土盾构隧道衬砌管片发展事业进行贡献。

**[关键词]**盾构隧道; 钢纤维混凝土; 价值研究

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.11.356

## 1 前言

利用盾构衬砌方式进行隧道方面的施工工作,其具体结构是衬砌结构主要由衬砌管片构成,并且管片对于盾构隧道的建设与稳定发展使用方面具有重要的作用,但是盾构衬砌方式对于隧道的建设具有相当大的成本。预制混凝土管片具有非常高的硬度和耐久度,并且其是盾构隧道中普遍使用的结构形式,它比起普通铸铁和钢管片而言,具有更高的力学性能和物理性能。在当今越来越多的建筑设施火灾事故中多数混凝土炸裂的问题导致出现很多人员伤亡的时间,因此盾构隧道衬砌管片的研究与发展具有重要的意义与作用,收到研究人员和行业相关从业者极大的重视,其已经成为盾构隧道的一项主要发展方向。钢纤维混凝土在盾构隧道衬砌管片中的主要组成为混凝土,混凝土是盾构隧道的主要基体,使用无机非金属纤维、合金纤维或者天然纤维作为纤维混凝土结构的增强材料,形成一种强力的合成形式纤维增强混凝土,其与普通混凝土相比较而言,钢纤维混凝土具有更强的韧性、力学强度、刚性以及抗击爆裂与抗击腐蚀等性能。鉴于其优秀的工程性能和成本,国内外的许多学者与机构对其进行深入的研究,国外的纤维混凝土应用与盾构隧道管片中已经具有不少的工程实例,而国内在相关方面的还没有实际的应用工程实例,目前国内仅有广州、上海等几家研究所进行了初级的研究,因此需要进一步进行深入的理论与实验。

## 2 盾构隧道衬砌研究现状

### 2.1 盾构隧道衬砌研究概述

盾构法修筑隧道的方案与想法的提出始于1818年,伴随着近300年的发展只有,盾构施工已经具有相当的技术水平和方案,但是对于相应的盾构机械与施工管理方面的方案,需要与当前的科学技术水平相适应与匹配,因此盾构建设方面的施工机械符合当今科技发展水平的程度,而在盾构隧道中的衬砌管片材料仍然停留在20世纪80年代左右,如今使用的衬砌材料仍然是铸铁、钢筋混凝土、钢铁等金属或者混合材料,盾构隧道的衬砌材料方面,世界上的结构材料在这方面的发展缓慢,并且盾构隧道对于衬砌材料的要求也非常高,因此研究难度较大。

目前世界上对于盾构隧道的衬砌材料主要使用的是钢筋混凝土、钢铁、铸铁等材料,其中铸铁具有防水性能好、具

有较好的延展性和耐腐蚀性等受到广泛的使用,并且其重量轻,刚度小,便于制作成薄壁结构,从而适用于隧道的建筑形状;但是铸铁的管片同样具有成本高、造价高、对金属的耗量大、脆性容易收到破坏等多方面的缺点,并且不能承受较大的冲击载荷,因此在如今的盾构隧道施工过程中,以铸铁为材料的衬砌材料已经不再受到欢迎;全钢的管片具有高强度、高延展性、重量小的优点,但是全钢的衬砌同样具有刚度小、耐腐蚀性差等缺点;如今在世界上应用最为广泛的应该是钢筋混凝土作为盾构隧道的衬砌管片材料。

### 2.2 钢筋混凝土管片的应用特点

自从20世纪六十年代以来,盾构隧道的衬砌管片材料已经逐渐推广使用拼装式的钢筋混凝土管片,其具有一定的强度与刚度,并且拼接式的钢筋混凝土管片在加工时较为简便,通过拼接的工艺方式可以将多个小型管片进行组装,从而应用于内表面积巨大的盾构隧道当中,同时较小的加工面积在加工的过程中可以很好地保证管片的加工精度,这样的管片具有成本低、刚度和强度也较为优秀、同时具有相当强的耐腐蚀性的优点。

然而即使上述的拼接式钢筋混凝土管片具有相当多的优点,在实际的工程应用中仍然有许多问题暴露出来,例如钢筋混凝土的厚度较大,加工在盾构隧道的内表面过程中,容易造成许多损伤,如在运输过程中由于其较大的重量导致表面和边缘破损,在加工于盾构隧道内壁时,加工使用的千斤顶由于其重量多大,导致千斤顶的支撑部分损坏,造成工程设备投入成本的增加;由于管片在运输过程中导致的边缘损坏,导致在加工拼接过程中,拼接的接缝处容易端面不平整,进而导致经过螺丝的拧紧固定之后,不平整的端面经过螺丝的强行固定导致接触处形成强大的接触应力,管片的碎裂、扭曲等都是造成钢筋混凝土衬砌材料不适应于盾构隧道的衬砌材料原因。

针对钢筋混凝土材料作为盾构隧道的衬砌材料的种种缺点,可以通过合理改变管片的形状和形式的方式,对材料进行强度与刚度的提升,同时可以提高管片的加工精度,改善管片的加工工艺,同时也可以改变衬砌材料的拼接方式,在加工的工艺上进行改善,同样可以减少加工时具有较大应力的情况出现。然而由于钢筋混凝土具有较大的脆性,这样的力学性能属于钢筋混凝土本身的属性,难以避免,因此例如

管片厚度过大、管片的重量过大等问题，通过工艺以及精度的改善和提高无法根本性的进行解决。

钢筋混凝土作为盾构隧道的衬砌材料具有一个突出的问题便是其防水性。对于盾构隧道而言，除去内壁的管片衬砌材料拼接方式、加工精度和加工工艺等问题，要求管片衬砌材料的本身具有足够的防水性，因此在制作防水混凝土的管片衬砌材料时，需要严格主要其抗渗透指标。一定的配合比和水灰比，同时可以利用塑化剂对混凝土加强其粘着性，同时要注意含钢量和衬砌材料厚度，避免出现因为厚度过大或者重量过大等问题而造成盾构隧道加工过程中的加工设备损坏，影响工程的进度。

### 3 纤维混凝土的类型

#### 3.1 钢纤维混凝土

钢纤维混凝土相较于普通的钢筋混凝土而言，其在普通混凝土的基础之上随机均匀分布了直径大概为0.4-0.7mm的短形钢纤维，其钢纤维的长度大概为15-70mm，进而形成一种特殊的钢纤维混凝土材料。相较于普通的钢筋混凝土材料，其中加入纤维材料可以显著的改善普通混凝土材料具有的材料内部出现裂缝扩展和宏观裂缝的产生的问题出现，极大的提高钢纤维混凝土的韧性与强度，进而应用与承重更大的结构。

#### 3.2 合成纤维混凝土

合成纤维混凝土由于其中含有合成纤维故而得名，应用与合成纤维混凝土的合成纤维具有许多种类，专业相关的人员最早研究的是聚丙烯纤维，这种材料也是应用最为广泛的合成纤维材料，其无味无毒，自然状态下呈乳白色，质量较轻，适合作为盾构隧道内壁的衬砌材料，其不易发生化学反应，具有较好的物理与机械性能。

聚丙烯纤维在混凝土中可以呈现混乱的分布特性，这样的特性有助于减弱混凝土的塑性收缩，进而提高合成纤维混凝土的韧性，从而减少由于塑性收缩造成的混凝土出现裂缝等问题出现，很好地降低合成纤维的混凝土的孔隙率，从而提高合成纤维混凝土的抗渗透能力，提高其防水性。

### 4 钢纤维混凝土的增强机理

钢纤维混凝土的增强效果可以通过实际的力学实验结果与理论进行解释，通过钢纤维均匀随机地在混凝土内部进行分布，进而导致整体材料在受力之后内部的应力重新分布和改善，极大的降低应力集中的情况，从而阻止材料内不出现裂缝开展的情况，极大减少裂缝开展的宽度和长度，从而提高材料整体的力学性能，在宏观上可以提高材料的强度和刚度，通过加入钢纤维的方法，可以减少盾构管片材料由于干燥收缩、温度收缩等原因造成的微型裂缝提高管片材料的延展性和刚度。

经过国外专家的研究结果显示，盾构隧道的衬砌材料的强度随着钢纤维的长度半径比的不断增加而显著的提升与改善，通过纤维间距理论和复合力学理论都可以很好地进行解释。复合力学理论强调在钢纤维与混凝土混合的材料中，

通过使钢纤维的分布方向与混凝土材料受拉方向一致可以很好地提升钢纤维混凝土材料的抗拉强度；纤维间距理论则指出，材料的抗开裂强度收到纤维间距的影响，钢纤维在裂缝的底部处可以产生粘滞阻力进而减缓裂缝的进一步发展。

(1) 根据格里菲斯的脆性破坏理论进行解释，钢纤维混凝土内部具有许多裂纹和空隙等缺陷，如果外力作用于材料上时，在缺陷部分材料内部具有极大的应力集中问题，随着应力的不断集中，材料开始出现裂缝，因此裂缝从材料的应力集中部分开始发展。针对这样的问题出现，根据纤维间距理论的解释，通过在混凝土材料中加入钢纤维之后，裂纹端部和底部的钢纤维可以发挥粘结应力，这样的粘结应力可以很好地消除材料内部的应力集中，进而组织裂缝的产生和已有裂缝的进一步发展，进而不断提高钢纤维混凝土的抗开裂性和抗渗透性，同时为了提高这样的优秀性能，可以将钢纤维之间的间距进一步缩小，因此可以获得钢纤维混凝土的抗开裂性和抗渗透性受到纤维间距分布影响的理论。

(2) 复合力学理论将钢纤维混凝土视为纤维强化体系，应用混合原理推求钢纤维混凝土的应力、弹性模量和强度等，并考虑复合材料在拉伸方向上有效纤维体积率的比例、非连续性短纤维的长度和取向修正及混凝土的非均匀特性。

(2) 复合力学理论支出，钢纤维混凝土可以被视作一种纤维的强化体系，通过这样的纤维强化体系，可以混合钢纤维混凝土的内部应力、弹性模量以及强度刚度等属性进行综合的考虑，同时考虑复合材料在受到拉伸方向的以你导致纤维体积的变化与比例，进行非连续性的纤维长度修正和改变混凝土的非均匀特性，进而提高钢纤维混凝土的力学性能。

### 参考文献

- [1] 郑爱元, 徐斌, 陈湘生. 海相地层地铁盾构隧道钢筋纤维混凝土管片可靠度研究[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(4): 52-58, 73.
- [2] 朱麒麟, 刘晨曦, 梁丽青, 等. 钢纤维混凝土在盾构隧道管片中的应用综述[J]. 四川建筑, 2020, 40(6): 105-108.
- [3] 吴鸣泉. 钢纤维砼盾构管片在地铁隧道工程的应用研究[J]. 广东建材, 2004(3): 6-8.
- [4] 晏浩, 朱合华, 傅德明. 钢纤维混凝土在盾构隧道衬砌管片中的应用的可行性研究[J]. 地下工程与隧道, 2000, (1): 13-16, 20-47.
- [5] 周龙, 闫治国, 朱合华, 等. 深埋排水盾构隧道钢纤维混凝土高刚性接头受力特性试验研究[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(4): 177-183, 190.
- [6] 唐盟. 基于纤维梁单元的盾构隧道钢筋砼管片配筋优化研究[J]. 铁道建筑技术, 2018(6): 4-9, 22.

### 作者简介:

第一作者: 郝晶(1990年4月), 男, 内蒙古包头人, 西南交通大学硕士, 包头铁道职业技术学院讲师, 主要从事隧道工程教学及研究。