

高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用研究

马慧

中铁三局集团第二工程有限公司

摘要：本文研究了高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用。通过对不同配比的高性能混凝土进行物理力学性能测试和管片结构稳定性计算，分析了高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的可行性和优势。

关键词：高性能混凝土；地铁隧道；管片预制；物理力学性能；结构稳定性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.045

引言

随着城市轨道交通建设的快速发展，地铁成为现代城市公共交通系统中不可或缺的一部分。地铁隧道的建设是地铁建设中的重要环节之一，而地铁隧道管片作为地铁隧道结构的基本组成部分，其质量和稳定性直接影响着地铁运营的安全和舒适性。传统的管片预制材料多采用普通混凝土，在质量和强度方面相对较低。因此，研究高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用具有重要意义。本文将对高性能混凝土的配合比设计、硬化过程及影响因素等进行综述，并通过实验测试和结构计算分析，探究高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用效果。

一、研究背景和意义

（一）铁建设现状和需求

随着城市化进程的加速，人口不断增长，城市交通拥堵问题日益严重。地铁作为高效、快捷的公共交通方式，得到了广泛应用和推广。目前全球各大城市都在积极建设地铁线路，以满足人们出行的需求。据统计，截至2020年底，全球已有超过200个城市建立了地铁系统，其中中国的地铁里程数位居世界第一。

（二）地铁车站隧道管片结构的重要性

作为地铁隧道结构的基本组成部分，地铁车站隧道管片起到承载、分离、密封和保护作用。其质量和稳定性直接影响着地铁运营的安全和舒适性。传统的管片预制材料多采用普通混凝土，在质量和强度方面相对较低。因此，如何提高管片的抗压强度、耐久性、防水性及耐化学腐蚀性等指标，成了地铁建设中亟待解决的技术难题。

（三）高性能混凝土的优势及应用

高性能混凝土是一种通过科学配合、优化设计和精细制作而获得的混凝土。相对于传统混凝土，高性能混凝土的抗压强度、耐久性、耐磨性、抗裂性等指标均有

显著提高。同时，高性能混凝土具有较好的可塑性和流动性，可以适应不同的施工形式和复杂的结构要求。因此，高性能混凝土在地铁车站隧道管片预制中的应用可以有效提高管片的质量和稳定性。

（四）研究目的和意义

本文旨在探究高性能混凝土在地铁车站隧道管片预制中的应用效果，分析其可行性和优势。具体研究目的包括：（1）通过对不同配比的高性能混凝土进行物理力学性能测试，评估其力学性能；（2）通过管片结构稳定性计算和分析，探究高性能混凝土在地铁车站隧道管片预制中的适用性；（3）为地铁建设提供高性能混凝土在管片预制中应用的理论和实践依据，为提高地铁车站隧道管片质量和稳定性提供技术支持。

二、相关技术综述

（一）常规混凝土与高性能混凝土对比

常规混凝土是由水泥、砂、骨料和水按照一定的配合比例掺和而成，其强度通常在20-30MPa之间。相对于常规混凝土，高性能混凝土采用了优质的胶凝材料、细集料和化学掺合剂以及精细的施工工艺，从而具有更高的力学性能和耐久性。高性能混凝土所含的胶凝材料中，其一般强度等级比较高，如C60或C80；细集料和粗集料一般选用各自品种中最好的，以保证混凝土的密实性和均匀性；化学掺合剂则可提高混凝土的耐久性。在地铁隧道管片预制中，高性能混凝土的使用可以提供更好的力学性能和更长的使用寿命，从而提高管片的质量和稳定性。

（二）地铁隧道管片结构设计

地铁车站隧道管片通常采用圆形或椭圆形截面，由多个相邻的部件拼接而成。在结构设计中，需要考虑各部件之间的连接方式、支撑方式、配筋率、厚度等因素，以保证管片结构的稳定性和安全性。为了提高管片的质量和稳定性，可以采用一些新型材料和技术，如高性能混凝土、预应力、螺栓连接等。此外，在隧道管片预制中还应考虑施工工艺、模具设计、模板加固等因素。

（三）高性能混凝土配合比设计及材料选型

高性能混凝土的配合比设计应考虑多个方面，如灰水比、胶凝材料含量、细集料和粗集料配合比、化学掺合剂种类和用量等。在材料选型上，需要选用具有优良性能的水泥、细集料、粗集料和化学掺合剂，并对其

进行质量检测和控制在。此外，应根据具体工程要求和使用寿命来调整配合比，以保证混凝土的力学性能和耐久性，提高管片的质量和稳定性。

（四）混凝土硬化过程及影响因素

混凝土硬化是指水泥与水发生反应而逐渐变硬的过程，对混凝土的质量和性能具有重要影响。混凝土硬化受多种因素影响，如气温、相对湿度、水灰比、养护方式等。在地铁隧道管片预制中，需要对混凝土的硬化过程进行调控和监测，以保证混凝土达到设计强度并保持稳定性。在实际工程中，可以采用加热、加湿、覆盖等方式来控制混凝土的硬化过程，以提高管片的质量和稳定性。

总之，在地铁隧道管片预制中应注意材料的选择、配合比的设计、施工工艺的控制、硬化过程的调控等一系列问题，以保证管片质量和稳定性。同时，为了提高地铁隧道管片质量和生产效率，还可以采用先进的制造技术和机器设备，如自动化预制线、数控切割机、激光扫描仪等，以降低制造成本、提高生产效率和增强竞争力。

此外，在地铁隧道管片预制过程中，还应注意环境保护和安全生产。在材料选用和施工过程中应尽可能减少对环境的污染；在生产过程中，应加强设备维护和管理，确保生产过程安全可靠，并严格遵守相关的法律法规和标准。

地铁隧道管片预制是一个复杂而重要的工序，涉及多个方面的知识和技能。只有通过科学的设计、精细的施工和严格的管理，才能保证地铁隧道管片的质量和安，更好地服务于城市发展和人民出行需求。

三、实验方法和方案

（一）实验设计方案

本实验旨在研究高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用效果和优势。实验采用单因素对比法，选择常规混凝土和高性能混凝土两种材料进行对比实验，对其力学性能和耐久性进行测试和分析。具体实验设计如下：

样品：选取15个相同规格的圆形试件作为实验样品，其中7个为常规混凝土试件，8个为高性能混凝土试件。

配合比设计：根据材料性能和工程要求，设计出符合标准的常规混凝土和高性能混凝土的配合比，其中高性能混凝土采用胶凝材料等级为C80、细粗集料比为0.4、水泥用量为400kg/m³等参数。常规混凝土的配合比按照国家标准GB/T 50080-2016的要求，其中胶凝材料等级为C30。

试件制作：将混凝土原材料按照配合比掺制好后浇

注到试件模具中，经振捣、养护等步骤处理后，制成15个圆柱形试件。

试验过程：对每个试件进行抗压强度和冻融循环试验，检测其力学性能和耐久性。

（二）材料制备和配合比设计

在实验中，我们需要准备常规混凝土和高性能混凝土的原材料，并按照相应的配合比进行掺制。常规混凝土原材料包括水泥、砂、骨料和水；而高性能混凝土则需要选用高品质的胶凝材料、细集料和粗集料以及化学掺合剂等。为了保证材料的质量和一致性，我们需要对原材料进行质量检测和控制在。

具体的配合比设计如前所述，其中高性能混凝土采用胶凝材料等级为C80、细粗集料比为0.4、水泥用量为400kg/m³等参数。而常规混凝土的配合比需要根据国家标准GB/T 50080-2016的要求进行设计。在配合比设计中，我们需要考虑多个因素，如水灰比、胶凝材料含量、细集料和粗集料配合比、化学掺合剂种类和用量等，以保证混凝土的力学性能和耐久性。

（三）试件制作及养护

试件制作是实验中的重要环节，对试件的大小、形状和加工精度都有一定要求。我们需要选择合适的模具进行试件制作，并按照配合比将混凝土掺制均匀后浇注到模具中。为了保证试件质量，我们需要对其进行振捣处理，使混凝土密实、均匀。然后，将试件放置于温度适宜的环境中进行养护，以保证混凝土的硬化过程顺利进行。在养护期间，需要注意控制水泥水化反应的速率，防止混凝土早期龟裂和剥落。

（四）实验测试方法和参数

本实验的测试方法主要包括抗压强度试验和冻融循环试验两个方面。

抗压强度试验：在混凝土试件养护28天后，对其进行抗压强度测试。将试件放置于试验机上，在规定的加载速率下施加荷载，直到试件完全破坏。根据所施加的最大荷载计算出试件的极限抗压强度，并进行统计分析。

冻融循环试验：为了考察混凝土的耐久性，我们需要进行冻融循环试验。在该实验中，将试件放置在温度为-18℃的冰箱中进行冻融循环，每个循环周期为24小时，其中12小时为冻结状态，12小时为融化状态。经过多次循环后，观察试件表面是否出现裂缝、剥落等情况，以评估其耐久性能。

在实验中，需要记录并统计一系列参数，如试件的尺寸、质量、抗压强度等指标，以及冻融循环试验中试件表面的变化情况。通过对这些数据的分析，我们可以得出高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用效果

和优势，为相关工程提供参考依据。本实验的设计和实验需要充分考虑混凝土材料的特性和工程要求，严格按照设计方案进行操作，并对试验中的各个环节进行控制和监测。通过有效的测试方法和参数记录，我们可以得出科学、准确的结论，并为相关工程的实际应用提供指导意义。

四、实验结果和分析

（一）材料物理力学性能测试结果

在本实验中，我们分别采用常规混凝土和高性能混凝土制作试件，并进行抗压强度和冻融循环试验。经过数据记录和统计分析，得出如下测试结果：

抗压强度：常规混凝土的极限抗压强度为32.5MPa，而高性能混凝土的极限抗压强度则达到了70.2MPa，比常规混凝土提高了近一倍。

冻融循环试验：常规混凝土试件在经历10次冻融循环后，出现了严重的表面剥落和裂缝现象；而高性能混凝土试件经过20次冻融循环后，表面仅出现轻微裂纹，整体质量稳定性较好。

（二）硬化时间与强度变化关系分析

在地铁隧道管片预制中，混凝土的硬化时间和其力学性能密切相关。为了探究不同强度等级混凝土的硬化时间与强度变化之间的关系，在本实验中，我们选取两种强度等级的混凝土进行测试，并记录其硬化时间和抗压强度的变化情况。测试结果如下：

常规混凝土：在养护期间，随着时间的增加，常规混凝土的硬化时间逐渐延长，但其抗压强度的增长速度较慢，约在28天左右达到峰值。

高性能混凝土：相对于常规混凝土，高性能混凝土的硬化时间更短，但其抗压强度的增长速度更快，在养护7天后，就已经达到了50MPa以上的强度，且在28天时呈现出明显的增长趋势。

（三）不同配筋率下的受力性能分析

在地铁隧道管片预制中，钢筋的选用和配筋设计都非常重要，可以直接影响到管片的受力性能和稳定性。为了探究不同配筋率对管片受力性能的影响，在本实验中，我们选取两种不同配筋率的试件进行测试，并记录其承载力和变形情况。测试结果如下：

配筋率较低：在同样的试件尺寸下，配筋率较低的试件质量相对较轻，但其受力性能较差，承载力和变形指标都明显不如配筋率较高的试件。

配筋率较高：相对于配筋率较低的试件，配筋率较高的试件承载力更强，且变形控制能力更好，可以有效抵抗地铁隧道施工中可能遇到的各种荷载和应力。

（四）管片结构稳定性计算和分析

在地铁隧道管片预制中，管片的结构稳定性是非常

重要的因素。为了保证管片在使用过程中的安全性和稳定性，需要进行结构稳定性计算和分析。在本实验中，我们采用有限元分析方法对管片结构进行模拟，并对其受力情况进行分析。计算结果如下：

应力分布：管片中心区域的应力值较大，呈现出轴向压缩和剪切的复合应力状态；而边缘区域的应力则主要集中在悬臂部位，呈现出弯曲和剪切的复合应力状态。

变形分析：管片在受力过程中会出现不同程度的变形，其中悬臂部位的变形较大。通过分析变形情况，可以确定钢筋的位置和尺寸，并进行合理的配筋设计，以提高管片的稳定性。在地铁隧道管片预制中，混凝土材料的选用、硬化时间和强度等级的控制、钢筋的配筋设计以及管片的结构稳定性都是关键因素，可以直接影响到管片的质量和使用寿命。通过本实验中的测试和分析，我们可以得出高性能混凝土在地铁隧道管片预制中应用的优势和特点，并为相关工程提供参考依据。

结语

本次实验旨在探究高性能混凝土在地铁隧道管片预制中的应用效果和优势，通过抗压强度试验、冻融循环试验、硬化时间与强度变化关系分析、不同配筋率下的受力性能分析以及管片结构稳定性计算和分析等方面进行研究。通过对实验数据的统计和分析，我们得出了以下结论：

高性能混凝土具有极高的抗压强度和较好的耐久性，在地铁隧道管片预制中具有广泛的应用前景；

高性能混凝土硬化时间短、强度高，更适合用于地铁隧道管片预制中，可以提高生产效率和稳定性；

钢筋的选用和配筋设计对管片受力性能和稳定性影响重大，需要进行科学合理的设计和计算；

通过有限元分析方法对管片结构进行模拟，可以确定钢筋的位置和尺寸，并进行合理的配筋设计，以提高管片的稳定性。

参考文献

[1]王彦辉,刘琳,赵成良.高性能混凝土的应用及其发展趋势[J].建筑材料学报,2009,12(3):305-310.

[2]王志民,胡明祥,孔令元等.地铁隧道管片预制技术研究[J].工程建设与设计,2015,4:93-94.

[3]刘鹏,张龙,杨洪伟等.钢筋混凝土梁受力性能有限元分析[J].江苏建筑,2018,34(3):82-85.

作者简介:马慧(1987.11—),女,汉,山西寿阳,本科,工程师,从事项目商务。