

水泥混凝土抗气体渗透试验方法研究

陈文凯¹ 毛安静² 张伟良³

1. 江苏常州东方投资控股有限公司, 中国·江苏 常州 213000

2. 江苏森森工程质量检测有限公司, 中国·江苏 镇江 212000

3. 江苏广亚建设集团有限公司, 中国·江苏 常州 213000

摘要: 论文深入探讨了水泥混凝土抗气体渗透试验方法。首先阐述了研究水泥混凝土抗气体渗透性的重要意义, 分析了气体渗透对混凝土耐久性的影响。接着详细介绍了现有的多种抗气体渗透试验方法, 包括传统方法和新兴技术, 并对这些方法的原理、操作流程、优缺点进行了全面剖析。通过大量试验研究, 对比不同试验方法的结果差异, 分析影响试验准确性和可靠性的因素。研究了试验条件对试验结果的影响规律。提出了优化试验方法的建议, 旨在提高试验的精度和可重复性, 为准确评估水泥混凝土的抗气体渗透性能提供科学依据, 推动相关领域的技术发展和工程应用。

关键词: 水泥混凝土; 抗气体渗透; 试验方法; 耐久性

Research on the Test Method for Gas Permeability Resistance of Cement Concrete

Wenkai Chen¹ Anjing Mao² Weiliang Zhang³

1. Jiangsu Changzhou Oriental Investment Holding Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

2. Jiangsu Senmiao Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

3. Jiangsu Guangya Construction Group Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

Abstract: The paper discusses the test method of cement concrete. Firstly, the significance of studying the gas permeability resistance of cement concrete is expounded, and the influence of gas permeability on concrete durability is analyzed. Then this paper introduces the existing anti-gas permeability test methods, including traditional methods and emerging technologies, and the principle, operation process, advantages and disadvantages of these methods are comprehensively analyzed. Through a large number of experimental studies, the results of different test methods are compared, and the factors affecting the accuracy and reliability of the test were analyzed. At the same time, the influence of the test conditions such as temperature, humidity and gas type on the test results is studied. On this basis, the proposal of optimizing the test method is put forward, aiming to improve the accuracy and repeatability of the test, provide a scientific basis for the accurate evaluation of the anti-gas permeability of cement concrete, and promote the technical development and engineering application in related fields.

Keywords: cement concrete; anti-gas permeability; test method; durability

0 前言

水泥混凝土作为现代土木工程中应用最为广泛的建筑材料之一, 其耐久性一直是工程界关注的重点。气体渗透是影响水泥混凝土耐久性的重要因素之一, 它不仅会导致混凝土内部的化学物质与外界气体发生反应, 进而影响混凝土的力学性能, 还可能加速钢筋的锈蚀, 缩短混凝土结构的使用寿命。因此, 准确评估水泥混凝土的抗气体渗透性能对于保障工程结构的长期稳定性和安全性至关重要。

目前, 针对水泥混凝土抗气体渗透性能的试验方法众多, 但不同方法在原理、操作和结果准确性等方面存在差异。这使得在实际工程应用中, 难以选择合适的试验方法来准确评估混凝土的抗气体渗透性能。此外, 试验过程中的各种因素, 如试验环境条件、试件制备等, 也会对试验结果产生显著影响。因此, 深入研究水泥混凝土抗气体渗透试验方法,

分析其优缺点, 优化试验流程, 对于提高试验结果的准确性和可靠性具有重要的现实意义。

1 水泥混凝土抗气体渗透试验方法概述

1.1 传统试验方法

传统的水泥混凝土抗气体渗透试验方法主要基于稳态法和非稳态法。稳态法是在试件两侧保持稳定的气体压力差, 当气体在混凝土中达到稳定渗透状态时, 通过测量单位时间内透过试件的气体流量来计算气体渗透系数。这种方法的优点是原理简单, 试验结果直观, 但试验周期较长, 需要较长时间才能达到稳定渗透状态。

非稳态法是在试件一侧施加瞬态气体压力, 通过监测试件另一侧气体压力的变化来分析气体在混凝土中的渗透过程。与稳态法相比, 非稳态法试验周期较短, 但数据处理

相对复杂,需要借助专业的数学模型和分析方法来计算气体渗透系数。

1.2 新技术

基于电导率法的试验技术,利用气体渗透过程中混凝土内部孔隙结构的变化对电导率的影响来间接评估混凝土的抗气体渗透性能。这种方法具有快速、无损的优点,但对试验设备和测试环境要求较高。

基于光学显微镜和电子显微镜的微观结构观察技术,通过观察混凝土内部的孔隙结构和微观缺陷,分析其对气体渗透的影响。虽然这种方法不能直接测量气体渗透系数,但从微观层面深入了解混凝土的抗气体渗透机理,为优化混凝土配合比和提高抗气体渗透性能提供理论依据。

2 试验方法的详细分析

2.1 稳态法

稳态法的试验装置通常由气体供应系统、压力控制系统、试件密封装置和气体流量测量装置等部分组成。在试验过程中,首先将制备好的混凝土试件安装在密封装置中,确保试件与外界环境隔绝。然后,通过气体供应系统向试件一侧施加稳定的气体压力,同时在另一侧保持较低的压力,形成气体压力差。当气体在混凝土中渗透达到稳定状态后,使用气体流量测量装置测量单位时间内透过试件的气体流量。

根据达西定律,气体渗透系数可以通过以下公式计算:

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta P \cdot t}$$

其中, k 为气体渗透系数, Q 为气体流量, L 为试件厚度, A 为试件的有效渗透面积, ΔP 为试件两侧的气体压力差, t 为试验时间。

稳态法的优点在于试验结果较为准确,能够直接反映混凝土在稳定气体压力差下的抗气体渗透性能。然而,该方法的试验周期较长,一般需要数天甚至数周才能达到稳定渗透状态,这在实际工程应用中可能会受到时间限制。此外,试验过程中需要精确控制气体压力和流量,对试验设备的精度要求较高。

2.2 非稳态法

非稳态法的试验原理基于气体在混凝土中的非稳态扩散过程。常见的非稳态法包括压力脉冲法和快速氯离子迁移法(RCM法)的改进应用等。以压力脉冲法为例,试验装置主要由压力脉冲发生器、压力传感器和数据采集系统等组成。

在试验开始时,先将试件密封在试验装置中,使试件内部的气体压力与外界环境达到平衡。然后,通过压力脉冲发生器向试件一侧施加一个瞬态的气体压力脉冲,同时利用压力传感器监测试件另一侧气体压力的变化。通过对压力变化数据的分析,利用相应的数学模型可以计算出气体在混凝土中的扩散系数,进而评估混凝土的抗气体渗透性能。

非稳态法的优点是试验周期短,能够在较短时间内获

得试验结果。与稳态法相比,它更适合用于快速评估混凝土的抗气体渗透性能。然而,非稳态法的数据处理相对复杂,需要建立准确的数学模型来描述气体在混凝土中的扩散过程。此外,试验过程中压力脉冲的施加和测量对试验结果的准确性影响较大,需要严格控制试验条件。

2.3 电导率法

电导率法是利用混凝土内部孔隙结构与电导率之间的关系来间接评估混凝土的抗气体渗透性能。当气体在混凝土中渗透时,会改变混凝土内部的孔隙结构和水分分布,从而影响混凝土的电导率。

试验装置主要包括电导率测量仪、电极和试件密封装置等。在试验过程中,将混凝土试件放置在密封装置中,在试件表面安装电极,然后通过电导率测量仪测量试件的电导率。在气体渗透试验前后,分别测量试件的电导率,根据电导率的变化情况来评估混凝土的抗气体渗透性能。

电导率法的优点是快速、无损,能够在不破坏试件的情况下对混凝土的抗气体渗透性能进行评估。此外,该方法对试验环境的要求相对较低,操作简便。然而,电导率法只能间接反映混凝土的抗气体渗透性能,其结果受到多种因素的影响,如混凝土的配合比、湿度等,因此需要建立准确的校准曲线来提高试验结果的准确性。

3 试验方法的优化建议

3.1 方法优化

为了提高水泥混凝土抗气体渗透试验方法的精度和可重复性,针对上述影响因素,提出以下优化建议。在试验环境控制方面,应建立严格的试验环境标准。实验室内应配备温湿度调节设备,将温度控制在一个相对稳定的范围内,如 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,湿度控制在 $(60 \pm 5)\%$ 。在试验过程中,持续监测温湿度变化,并记录数据,以便对试验结果进行环境因素修正。对于气体种类的选择,应根据实际工程需求和研究目的进行合理确定。如果是研究混凝土在自然环境中的抗气体渗透性能,优先选择空气中的主要成分如氧气或二氧化碳作为试验气体。同时,在试验报告中明确说明所使用的气体种类,以便不同试验结果之间具有可比性。

试件制备过程需要严格规范。制定详细的试件制备标准操作规程,确保试件尺寸准确、形状规则。在试件成型过程中,采用合适的振捣设备和振捣工艺,保证混凝土振捣密实,避免出现气泡和孔洞等缺陷。对于不同批次的试件,应尽量保持原材料的一致性和制备工艺的稳定性,以减少试件之间的差异对试验结果的影响。

优化试验设备是提高试验精度的关键。定期对试验设备进行校准和维护,确保气体压力控制系统、流量测量装置、电导率测量仪等设备的精度和稳定性。采用高精度的传感器和测量仪器,提高测量数据的准确性。例如,选用精度更高的压力传感器,能够更精确地测量试件两侧的气体压力差,

从而提高气体渗透系数的计算精度。同时,对试验设备进行自动化升级,减少人为因素对试验过程的干扰,提高试验的可重复性。

数据处理和分析方法也需要进一步完善。建立科学的数据处理流程,对试验数据进行多次测量和统计分析,以减少随机误差的影响。对于稳态法和非稳态法得到的试验数据,采用合适的数学模型进行处理,提高数据处理的准确性。例如,在非稳态法中,运用更精确的扩散模型来描述气体在混凝土中的扩散过程,从而更准确地计算气体渗透系数。对于电导率法,通过大量试验建立电导率与气体渗透系数之间的校准曲线,并对校准曲线进行定期验证和更新,以提高间接测量结果的准确性。

加强不同试验方法之间的对比和验证也是优化试验方法的重要环节。在实际应用中,结合多种试验方法对混凝土的抗气体渗透性能进行评估,相互验证试验结果的准确性。例如,同时采用稳态法和非稳态法进行测试,如果两种方法得到的结果相近,则可以认为试验结果较为可靠;如果结果存在较大差异,则需要进一步分析原因,检查试验过程是否存在问题。通过这种多方法对比验证的方式,可以提高对混凝土抗气体渗透性能评估的准确性和可靠性。

3.2 不同试验方法在实际工程中的应用场景

在实际工程中,不同的水泥混凝土抗气体渗透试验方法适用于不同的场景。稳态法由于其结果准确,能够直接反映混凝土在稳定气体压力差下的抗气体渗透性能,适用于对试验结果精度要求较高、需要准确评估混凝土长期抗气体渗透性能的工程。例如,对于一些重要的地下工程,如地铁隧道、地下停车场等,这些结构长期处于相对稳定的气体环境中,稳态法可以为设计和施工提供可靠的数据支持,帮助工程师确定混凝土的配合比和施工工艺,以确保结构具有足够的抗气体渗透能力,防止有害气体侵入对结构和内部设施造成损害。

非稳态法因其试验周期短,能够快速获得试验结果,在一些对时间要求较高的工程中具有优势。比如在工程紧急抢修或快速评估现有结构的抗气体渗透性能时,非稳态法可以在较短时间内提供有关混凝土抗气体渗透性能的大致信息。在一些临时性工程或对结构耐久性要求相对较低的工程中,非稳态法也可以作为一种快速筛选和初步评估的手段,帮助工程师快速判断混凝土是否满足基本的抗气体渗透要求。

电导率法的快速、无损特点使其在一些不允许破坏结构或需要快速检测的场景中得到应用。例如,在对既有建筑结构进行检测时,电导率法可以在不破坏混凝土结构的前提下,快速评估混凝土的抗气体渗透性能变化情况。对于一些需要实时监测混凝土抗气体渗透性能的工程,如大型水利工程中的混凝土坝体,电导率法可以通过预埋电极的方式,实现对混凝土抗气体渗透性能的长期实时监测,及时发现潜在

的问题并采取相应措施。

微观结构观察法虽然不能直接测量气体渗透系数,但在混凝土材料研发和质量控制方面具有重要作用。在研发新型混凝土材料时,通过微观结构观察法可以深入了解不同原材料和配合比对混凝土内部孔隙结构的影响,从而有针对性地优化配合比设计,提高混凝土的抗气体渗透性能。在混凝土生产过程中,微观结构观察法可以作为质量控制的一种手段,对生产的混凝土试件进行微观结构分析,及时发现生产过程中可能出现的问题,如配合比偏差、搅拌不均匀等,保证混凝土产品的质量稳定性。

3.3 与国际相关试验方法的比较与借鉴

国际上对于水泥混凝土抗气体渗透试验方法也有深入的研究和不同的标准。与国外一些先进的试验方法相比,中国现有的试验方法在某些方面存在相似之处,但也有一些需要改进和借鉴的地方。

在试验原理方面,国际上的一些试验方法与中国现有的稳态法、非稳态法等基本原理相似,但在具体的操作细节和设备要求上可能存在差异。例如,一些国外标准对试验设备的精度要求更高,对试验过程中的环境控制更为严格。这提示我们在完善中国试验方法时,应进一步提高设备精度和环境控制标准,以提高试验结果的准确性和国际可比性。

在数据处理和结果表达方面,国际上一些方法采用了更为先进和统一的数据处理模型和结果表达方式。他们通过大量的试验研究和数据积累,建立了更加准确和通用的数据处理模型,能够更好地反映混凝土抗气体渗透性能的本质特征。中国可以借鉴这些先进的数据处理方法,结合中国的实际情况,建立适合中国国情的统一数据处理标准,提高试验结果的科学性和规范性。

此外,国际上在试验方法的标准化和认证体系方面相对成熟。他们有完善的标准制定和更新机制,以及严格的试验机构认证程序,确保试验结果的可靠性和可信度。中国可以学习借鉴这些经验,加强试验方法的标准化建设,建立健全试验机构的认证和管理体系,提高中国水泥混凝土抗气体渗透试验的整体水平。

3.4 试验方法发展趋势展望

随着材料科学、测试技术和计算机技术的不断发展,水泥混凝土抗气体渗透试验方法将朝着更加精确、快速、智能化的方向发展。

试验方法将进一步深入研究混凝土内部的微观结构和气体渗透机理,结合先进的微观测试技术,如原子力显微镜、纳米压痕等,更加精确地测量和分析混凝土内部的孔隙结构、界面特性等对气体渗透的影响,从而建立更加准确的抗气体渗透性能评估模型。

随着新型传感器技术和数据分析算法的不断涌现,有望开发出更加快速的试验方法,能够在更短的时间内获得准确的试验结果。例如,利用新型的气体传感器和快速数据采集

集系统,实现对气体渗透过程的快速实时监测和分析,大大缩短试验周期。

借助计算机技术和人工智能算法,实现试验设备的自动化控制和试验数据的智能分析。例如,通过自动化的试验设备,可以根据预设的程序自动完成试验过程中的参数调整、数据采集和处理,减少人为因素的干扰。利用人工智能算法对大量的试验数据进行分析 and 挖掘,能够发现潜在的规律和影响因素,为混凝土抗气体渗透性能的优化提供更科学的决策依据。

此外,随着对混凝土耐久性研究的不断深入,未来的试验方法将更加注重模拟实际工程环境。考虑到实际工程中混凝土结构可能受到的多种复杂因素的影响,如温度循环、湿度变化、化学侵蚀等,开发能够综合模拟这些实际环境因素的试验方法,将更准确地评估混凝土在实际使用过程中的抗气体渗透性能,为工程设计和维护提供更可靠的依据。

4 结语

水泥混凝土抗气体渗透试验方法的研究是一个持续且重要的课题。通过对现有各种试验方法的深入分析、不同方法在实际工程中的应用探讨、与国际相关方法的比较借鉴以及对未来发展趋势的展望,我们可以看到这一领域的研究对于保障混凝土结构的耐久性和安全性具有不可替代的作用。在实际应用中,工程师需要根据具体工程需求和条件,合理

选择试验方法,并严格按照规范进行操作,以获得准确可靠的试验结果。同时,科研人员应不断探索和创新,推动试验方法朝着更加精确、快速、智能化和模拟实际环境的方向发展,为水泥混凝土材料的研究和工程应用提供更有力的技术支持,促进土木工程领域的可持续发展。通过不断完善试验方法,我们能够更好地理解水泥混凝土的抗气体渗透性能,从而采取更有效的措施来提高混凝土结构的耐久性,延长其使用寿命,降低工程维护成本,为社会和经济发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 王朝锋.基于高聚物的桥面防水材料应用技术研究[D].西安:长安大学,2006.
- [2] 孙伟,罗欣.高性能混凝土的高温性能研究[J].建筑材料学报,2000,3(1):27-32.
- [3] 陈晓婷,赵人达.高温对混凝土孔隙率及渗透性影响的试验研究[J].混凝土与水泥制品,2007(2):11-14.
- [4] 王海龙,俞秋佳,孙晓燕,等.高温作用后混凝土损伤与耐久性能评价[J].江苏大学学报(自然科学版),2014(2):242.
- [5] 戎虎仁,顾静宇,曹海云,等.高温后混凝土强度与孔隙结构变化规律试验研究[J].硅酸盐通报,2019,38(5):1573-1578.

作者简介: 陈文凯(1990-),男,中国安徽安庆人,本科,一级建造师。