

# 基于光学放大的混凝土约束收缩测试系统的研制

吕建福<sup>1</sup>, 尤齐铭<sup>1</sup>, 李恒民<sup>1</sup>, 程佳洪<sup>1</sup>, 张亚杰<sup>1</sup>, 郭昊霖<sup>1</sup>

(哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 本文介绍了一种用于混凝土约束收缩测试系统, 该系统具有高精度测量、自校正数据和即时测量的特点。通过设计光学放大机构, 系统可以将目标测试的微位移放大, 实现微位移可以方便地采用光学技术来实现测量, 从而消除电磁干扰等因素引起微位移测量的误差。采用图像识别与测距技术、显微尺测距与校准的方法, 测试设备可以高精度进行微位移测量及自校正功能, 解决了传统测量方法无法在测试过程中校准的功能。此外, 该系统可在混凝土浇筑后即时进行测量, 避免了起始测试时间引起的测量误差。

**关键词:** 混凝土约束收缩测试系统; 光学放大机构; 校准方法; 图像识别; 测距技术

## Development of an Optical Amplification-Based Constrained Shrinkage Testing System for Concrete

Lv Jianfu<sup>1</sup>, You Qimin<sup>1</sup>, Li Hengmin<sup>1</sup>, Cheng Jiahong<sup>1</sup>, Zhang Yajie<sup>1</sup>, Guo Haolin<sup>1</sup>

(College of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** This paper presents a system for constrained shrinkage testing of concrete, which features high-precision measurement, self-calibrating data, and real-time measurement capabilities. By designing an optical amplification mechanism, the system magnifies the micro-displacements in the target test, enabling convenient measurement using optical techniques and eliminating errors caused by factors such as electromagnetic interference in the measurement of micro-displacements. By employing image recognition, ranging technology, and a combination of micro-scale ruler measurements and calibration methods, the testing equipment achieves high-precision measurement of micro-displacements and self-calibration functionality, addressing the limitation of traditional measurement methods that lack in-process calibration capabilities. Additionally, this system allows for immediate measurement after concrete pouring, avoiding measurement errors caused by the starting time of the test.

**Keywords:** Concrete constrained shrinkage testing system; Optical amplification mechanism; calibration methods; image recognition; ranging technology.

# 1 设计背景

混凝土约束收缩时混凝土受到外部约束，当体积变化受外部约束时，混凝土内部产生拉应力，拉应力大于其本身抗拉强度时，可能会导致混凝土出现裂缝，从而降低混凝土结构物的承载能力、耐久性以及防水性，缩短结构寿命。基于此，通常使用混凝土在约束条件下的收缩变形来评价混凝土的开裂潜在风险，混凝土抗裂性试验方法，根据提供约束方式的不同主要分为环形约束试验、条形约束试验、板式约束试验等。

我国 GB/T50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》<sup>[1]</sup>中关于早期抗裂实验采用了平板式限制收缩开裂试验方法（平板法）。但是该方法存在着外部环境因素难以控制，约束应力不可控，缺乏足够的精度，与实际工程相差较大的缺陷。条形约束试验具有精确度高，试验误差较小的特点，还可分析混凝土的弹性模量、热膨胀系数和徐变等早期混凝土性能参数；但是试验装置造价高，制作工艺麻烦，还需保证其系统线性不偏心、无附加的摩擦力和扭转效应。

环形约束收缩开裂试验方法（圆环法）能保证试件受力均匀、可调节约束程度以及定量分析约束应力，所以使用频率最高、应用范围最广。我国的《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES01—2004<sup>[2]</sup>也收录了这种方法，将其定为测试混凝土早期抗裂性的标准方法之一。然而圆环法中混凝土圆环开裂存在发散性问题；混凝土的裂缝不在一个固定位置出现，而是可能在混凝土圆环的任何位置出现。其次混凝土圆环开裂时间难以捕捉；有时混凝土圆环已经发生了开裂，但在自动监测仪上却反映不出来。最后受力状态与实际应用不符，圆环内外侧收缩状态不一致。

此外，传统的测量系统在测试过程中缺乏校准技术，试验结果的准确性仅凭经验确定。为了解决这些问题，需要改进水泥基材料的收缩测定方法，开发合理的测量装置和实验方法。同时，应研发实时误差校准技术，以解决环境变化和干扰因素对测定设备的测试结果准确性的影响。这些改进将有助于提高混凝土约束收缩测定结果的准确性和可靠性。。

## 2 实现方案简介

### 2.1 设计原理

本系统根据混凝土约束收缩的特点，设计了相应的模具，从而减少了由模具产生的结果误差；并设计了光学放大机构及制定相应的测试方法，通过分析放大后的图像，得到混凝土试样约束收缩过程中放大机构的输出端的位移量，计算得到混凝土约束收缩的实际位移值，进而得到混凝土的体积变化量/率，实现了高精度的位移测量；同时光学放大机构的输出端