

钢筋混凝土保护层厚度检测精度的影响因素

赵 晖, 吴晓明, 刘冠国, 黄 丽

(江苏省交通科学研究院, 南京 211112)

摘 要: 钢筋保护层厚度影响结构混凝土的设计承载能力与结构物安全储备能力。使用 Profometer 5 型电磁感应钢筋探测仪, 对影响钢筋保护层厚度检测精度的各种因素进行研究。归纳出不同因素对测量精度的影响, 以提高 Profometer 5 型钢筋探测仪的使用准确性。

关键词: 电磁感应检测; 钢筋保护层; 检测精度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)07-0551-03

Influencing Factors of the Testing Accuracy for the Thickness Measurement of Reinforced Concrete Cover

ZHAO Hui, WU Xiao-Ming, LIU Guan-Guo, HUANG Li

(Jiangsu Transportation Research Institute, Nanjing 211112, China)

Abstract: The thickness of reinforced concrete cover is related with bearing resistance capacity of structure concrete and safety repertory capacity. Through the research of several parameters influencing on the using performance and testing sensitivity of electromagnetic testing instrument Profometer 5, the influence factors of the instrument were concluded, and the measurement accuracy was improved.

Keywords: Magnetic induction testing; Reinforced concrete cover; Testing accuracy

钢筋混凝土保护层是保证结构正常使用的重要因素, 其厚度及质量反映了受力钢筋在服役环境下性能的优劣, 所以必须对钢筋保护层厚度进行严格控制^[1]。

Profometer 5 电磁感应法钢筋探测仪是检测钢筋保护层厚度最常用的无损检测设备。实际应用 Profometer 5 时, 影响检测结果的因素较多, 诸如保护层厚度变化、排筋方式、钢筋焊网和仪器量程等都会对钢筋保护层测量精度产生影响^[2]。笔者通过室内模型试验, 分析总结了不同因素对仪器测量精度的影响。

1 试验

1.1 检测仪精度

Profometer 5 可检测 1~100 mm 厚的钢筋保

护层, 其检测精度因钢筋直径、钢筋保护层厚度的不同而变化; 当保护层厚度 < 60 mm, 钢筋直径 < 50 mm 时, 理论检测精度为 ± 1 mm (图 1)。当钢筋直径为 16 mm, 保护层厚度为 55 mm 时, 检测结果易受邻近钢筋影响; 钢筋间距 > 70 mm 时, 钢筋才能被定位 (图 2)。

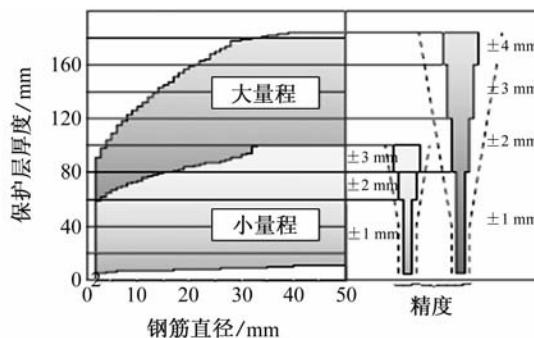


图 1 检测量程和精度

1.2 混凝土试件制备

按表 1 所示混凝土配合比制备尺寸为 400 mm \times 350 mm \times 600 mm 的 3 组 6 个试件。

收稿日期: 2008-06-04

基金项目: 西部交通建设科技资助项目 (2006ZB01-2)

作者简介: 赵 晖 (1970—), 男, 工程师, 博士后, 主要从事混凝土外加剂与混凝土结构耐久性和新型建筑材料研究。

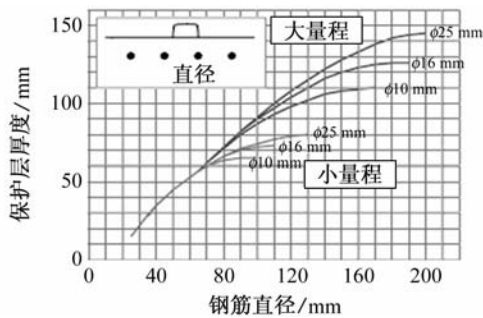


图2 仪器分辨率

表1 混凝土试块配合比

| 配料 | 配比/(kg·m ⁻³) | 配料 | 配比/(kg·m ⁻³) |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| 水泥 | 380 | 粗骨料 | 1 159 |
| 粉煤灰 | 95 | 水 | 158 |
| 细骨料 | 700 | 外加剂 | 4.1 |

选取 $\phi 16, 20, 25, 28, 32$ 以及 36 mm六种钢筋,试块下部布置 $\phi 25, 28, 32$ 和 36 mm双排筋,在距试块顶部和底部 80 mm处设 $\phi 12$ mm水平箍筋且设置 $30\sim 80$ mm的钢筋保护层,试块配筋示意图如图3所示。

1.3 试验方法

根据钢筋保护层厚度设计值选择检测范围,输入钢筋的公称直径,判断是否要进行邻近钢筋修正,沿钢筋轴向测量钢筋保护层厚度。在受箍筋影响的顶部和底部测一个数据,在距底端 $40\sim 55$ cm范围内测5个数据,部分采用双排筋的钢筋在距底端 $15\sim 30$ cm范围内测5个数据;对于 $\phi 20$ mm钢筋考虑 2 mm肋高影响,将钢筋直径输入值改为 22 mm,记录测量结果。使用 $\phi 20$ mm钢筋设置仪器参数,分别选择大、小检测量程。

1.4 分析方法

测量结果在服从方差为 σ^2 正态分布的基础上相互独立。比较相对误差样本均值 X_1 以及测量结果相对误差的样本均值 \bar{X} ,消除各个样本随机波动

所带来的影响。考虑各样本均值不同而引起的平方和组间偏差平方和 Q_1 ,以及由抽样随机波动引起偏差平方和组内偏差平方和 Q_2 。计算公式如下:

相对误差的样本均值:

$$X_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} X_{1j} \quad (1)$$

测量结果相对误差的样本均值:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (2)$$

组间偏差平方和 Q_1 :

$$Q_1 = \sum_{i=1}^2 n_i (X_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

组内偏差平方和 Q_2 :

$$Q_2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_i)^2 \quad (4)$$

Q_1 和 Q_2 相互独立,且 $\frac{Q_2}{\sigma^2}$ 服从 $\chi^2(n_1+n_2)$, $\frac{Q_1}{\sigma^2}$

服从 $\chi^2(1)$,统计量 $F = \frac{Q_1/1}{Q_2/(n_1+n_2)}$ 服从 F_{1, n_1+n_2} 分

布。查 F 分布表,分别计算 $F = \frac{Q_1/1}{Q_2/(n_1+n_2)}$ 及 F_{1, n_1+n_2} 。以样本均值 X_1 反映影响因素对钢筋探测仪精度下降的程度;以样本均方差 \bar{X} 反映钢筋探测仪对该影响因素主导下的钢筋保护层检测可重复性高低;以 $F = \frac{Q_1/1}{Q_2/(n_1+n_2)}$ 及 F_{1, n_1+n_2} 差值反映在显著水平 0.05 下钢筋探测仪的测量误差对各影响因素的敏感性大小。

2 试验结果

2.1 保护层厚度变化

保护层厚度变化对钢筋保护层测量精度有明显影响。分别使用不同直径的单排筋或双排筋,对钢筋保护层测量精度影响进行统计分析,结果如图4和5所示。

由图4和5可以看出,随着实际钢筋保护层厚

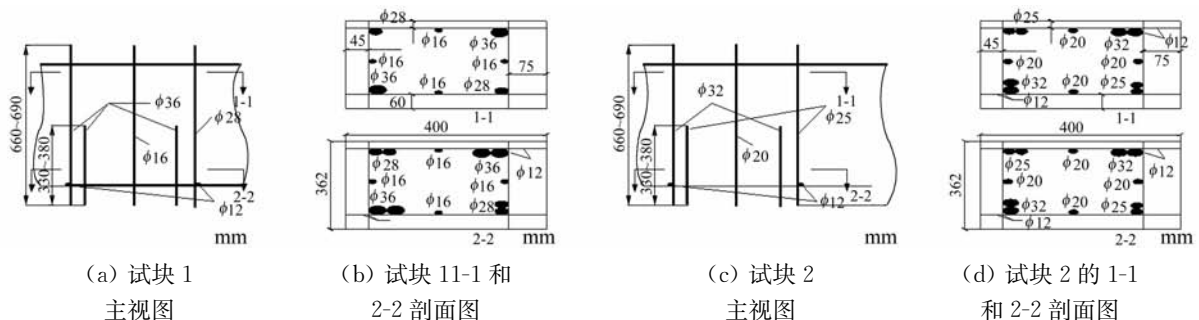


图3 试块配筋示意图

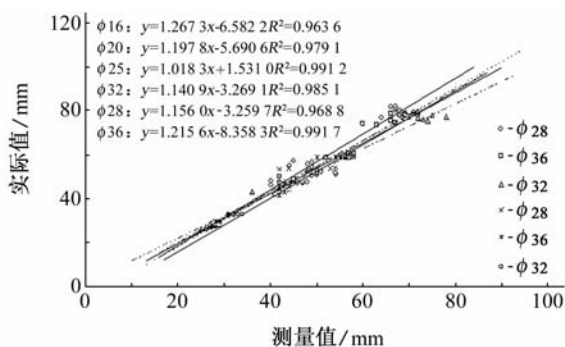


图4 单排筋保护层厚度变化对钢筋保护层测量精度的影响

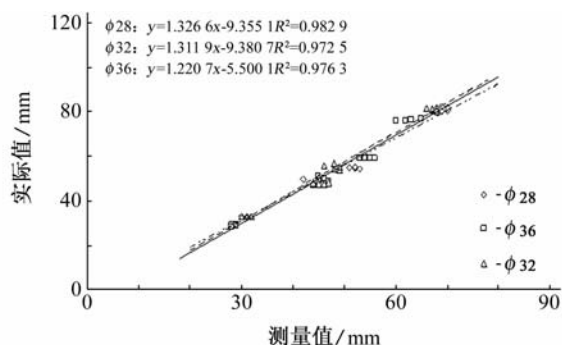


图5 双排筋保护层厚度变化对钢筋保护层测量精度的影响

度增加,无论是单排筋还是双排筋,测试精度逐渐降低,0~60 mm 范围内钢筋保护层厚度误差一般在 ± 2 mm,60~100 mm 范围内钢筋保护层厚度平均测量误差一般在 ± 5 mm,检测结果为负偏差。

2.2 排筋方式

使用 $\phi 28, 32$ 以及 36 mm 三种不同直径的单排筋或双排筋,研究排筋方式对钢筋保护层测量精度影响(图6)。以钢筋保护层厚度实际值为基准,分别计算单排筋与双排筋相对误差。其中单排筋钢筋保护层测量的样本数量均为 $n_1 = 235$,双排筋钢筋保护层测量的样本数量均为 $n_2 = 229$ 。可得单排筋测量结果相对误差样本均值 $\bar{X}_1 = -4.56$,双排筋测量结果相对误差样本均值 $\bar{X}_2 = -8.71$,所有测量结果相对误差的样本均值 $\bar{X} = -6.53$,组间偏差平方和 $Q_1 = 1511.5$,组内偏差平方和 $Q_2 = 16752$, $F = \frac{Q_1/1}{Q_2/(n_1+n_2)} = 41.6$ 及 $F_{1,n_1+n_2} = 3.84$ 。

图6可见,无论是单排筋或是双排筋,钢筋保护层测量值都与实际值呈线性关系,且双排筋的测量误差较单排筋的测量误差偏大。可见两种排筋方式的统计规律与测量值相关性都非常高,且单排筋的测量误差要小于双排筋;钢筋探测仪测量单、双排筋

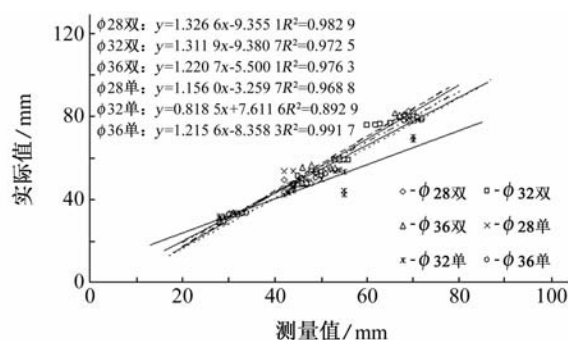


图6 排筋方式对钢筋保护层测量精度的影响

钢筋保护层均有较高可重复性,其中单排钢筋略高。

2.3 仪器量程

以 $\phi 20$ mm 的钢筋为研究对象,选取钢筋保护层厚度为50~65 mm 区域。每次测量的样本数量均为 $n = 24$,分别选取大、小检测量程。可得单排筋测量结果相对误差样本均值 $\bar{X}_1 = -21.03$,双排筋测量结果相对误差样本均值 $\bar{X}_2 = -24.78$,所有测量结果相对误差的样本均值 $\bar{X} = -22.90$,组间偏差平方和 $Q_1 = 168.75$,组内偏差平方和 $Q_2 = 1088.63$, $F = \frac{Q_1/1}{Q_2/(n_1+n_2)} = 7.13$, $F_{1,n_1+n_2} = 4.08$ 。

由上可见,无论选取大、小检测量程,当统计规律与测量值相关性在显著水平0.05以下,钢筋保护层厚度在两个量程邻近区域内时,两种检测量程精度不同,小量程精度稍高。

2.4 钢筋焊网

对施工现场某钢筋焊网的钢筋保护层厚度进行了测量,测点分布如图7所示。检测186个点,凿除表面混凝土层,实测钢筋保护层厚度62个点。



图7 测点分布示意图

从图7可见,钢筋焊网对钢筋保护层测量精度有明显影响,检测结果基本上应看作为焊网保护层厚度。原因是当多功能探头与钢筋轴向平行时最灵敏,表面布有钢筋焊网时主筋外侧同样有直径较小的钢筋与多功能探头轴向平行,探头对钢筋直径的

(下转第575页)

表 3 后光路安装结果

| 光路 | 两组件安装面 间距/mm | | 组件光轴倾 斜角/mm | | 探测器线列 扭转角/(°) | | 两组件光轴 X 向 偏心距/mm | | 两组件光轴 Z 向 偏心距/mm | | 两组件光轴 同轴度/mm | |
|------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|-------|---------------------|---------|---------------------|----------|-----------------|---------|
| | 室温 | 低温 | 室温 | 低温 | 室温 | 低温 | 室温 | 低温 | 室温 | 低温 | 室温 | 低温 |
| 短波红外 | $d_S^{1)}$ | $d_S+0.157\ 9$ | 0.045 2 | $\leq 0.084\ 2$ | 忽略 | 0.047 | 0.082 6 | 0.026 7 | 0.033 5 | 0.036 9 | 0.089 1 | 0.045 5 |
| 长波红外 | $d_L^{1)}$ | $d_L+0.219\ 4$ | 0.036 6 | $\leq 0.086\ 6$ | 忽略 | 0.034 | 0.051 2 | 0.057 4 | 0.118 1 | -0.051 8 | 0.128 7 | 0.077 3 |

注:1) d_S 和 d_L 分别为短波和长波红外光路两组件安装面室温安装值。

X 轴的俯仰角和绕 Z 轴的偏航角中较大者,如果反向变形则缩小倾斜角,同向则增大,给出最大值倾斜角;探测器线列室温安装几乎无扭转,低温下扭转角为绕 Y 轴扭转角;两组件光轴同轴度采用 X 向和 Z 向偏心距的直角三角形斜边来表示。后光路低温位置具体结果见表 3。

4 结论

可以看出,由于 G 型辐射制冷器的结构对称性较好,绕 X、Y、Z 三轴的俯仰角、扭转角和偏航角很小,满足光学设计要求。短波红外光路 X 向位移和长波红外 Z 向位移方向是设计的结果,室温下是偏心的,低温下向使得双后光路的红外透镜组件与红外探测器组件轴心向合而为一的方向变形。根据 G 型辐射制冷器后光路低温变形的研究与采用电涡流位移传感器测试的结果,进行低温光学校正及安装各光学组件较好地满足光学设计要求。FY-3 卫星有效载荷 MERISI 红外图像清晰、层次分明。图 7 和 8 分别为 2008 年 7 月 2 日获取的短波红外某通道 1 000 m 分辨率和长波红外通道 250 m 分辨率的

(上接第 553 页)

敏感性较低,无法准确定位内层主筋,测量结果为与其轴向平行的最近钢筋保护层厚度。

3 结论

(1) 钢筋检测仪 Profometer 5 测量精度受混凝土保护层厚度变化、排筋方式、钢筋焊网和仪器量程的影响均较为明显。

(2) 随着实际钢筋保护层厚度增加,钢筋检测仪的测试精度逐渐降低。0~60 mm 范围内钢筋保护层测量厚度平均误差一般在 $\pm 2\text{ mm}$, 60~100 mm 范围内的平均测量误差一般在 $\pm 5\text{ mm}$, 检测结果多为负偏差。

(3) 无论是单排筋还是双排筋,钢筋保护层厚度测量值与实际值呈明显线性关系。双排筋测量误差较单排筋大,统计规律与测量值相关性非常高,都

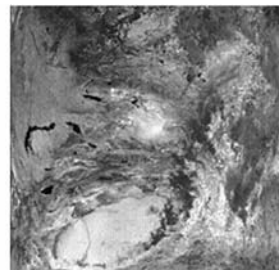


图 7 短波红外通道

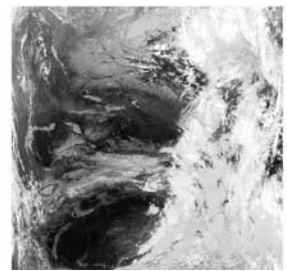


图 8 长波红外通道

塔里木和准格尔盆地图形。

参考文献:

- [1] 涂锋华,王维扬,董德平,等. 压电陶瓷在微位移驱动器在 FY-3 卫星 G 型辐射制冷器上的应用[J]. 科学技术与工程,2008,8(14):4029—4032.
- [2] 涂锋华. 大冷量旋转抛物面 G 型辐射制冷器的研究现状[J]. 红外,2005,(1):23—26.
- [3] 杨庆柏,张劲松. 涡流传感器及其应用[J]. 传感器世界,1999,(11):28—30.
- [4] 凌保明,诸葛向彬,凌云. 电涡流传感器的温度稳定性研究[J]. 仪器仪表学报,1994,15(4):342—345.

在显著水平 0.05 以下。使用单排筋和双排筋钢筋探测仪测量误差不同,单排筋的测量误差要小于双排筋;单排筋测量相对误差值为 -4.56,双排筋为 -8.17,双排筋使钢筋探测仪误差增大 79.1%,单、双排筋样本方差为分别为 5.87 和 6.17,两者相差不大。

(4) 钢筋探测仪有两个测量量程,当钢筋保护层设计厚度在量程界值附近时采用小量程。

(5) 钢筋焊网对钢筋保护层的测量精度有明显的影响,当多功能探头与钢筋轴向平行时最灵敏,但表面布有钢筋焊网时,其测量结果为与其轴向平行的最近钢筋保护层厚度。

参考文献:

- [1] 苏晋鹏. 钢筋保护层厚度检测分析与探讨[J]. 建筑技术,2006,37(1):67—68.
- [2] 姜英波,姜珂. 混凝土保护层厚度检测的试验分析[J]. 工业建筑,2006,36(4):68—69.