doi：10.11823/j.issn.1674-5795.2017.02.06

测量系统分析技术在构件钢筋保护层厚度检测中的应用

王芮文，欧定福，曹妍
（江苏省交通技师学院 路桥系，江苏 镇江 212001）

摘 要：为了提高混凝土结构钢筋保护层测定的准确性，采用测量系统分析（MSA）技术对钢筋保护层测定仪的分辨力、偏倚、线性以及重复性和再现性等指标进行了系统的试验。分析出仪器变差的主要变异源，判断出仪器存在线性偏倚，在使用中应对数据进行修正；判定仪器可用于结构钢筋保护层厚度的合格评判及施工过程中能力指数的粗略估计。

关键词：钢筋位置测量；保护层厚度测量；测量系统分析
中图分类号：TB92 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-5795(2017)02-0022-05

Application of Measurement System Analysis Technology in Structural Steel Bar Position Detection

WANG Ruiwen，OU Dingfu，CAO Yan
（Highway and Bridge Engineering Department of Jiangsu Jiaotong College，Zhenjiang 212006，China）

Abstract：In order to improve the testing accuracy for the steel bar position，Measurement Systems Analysis（MSA）technique is used to systematically test the discrimination，bias，linearity，repeatability，reproducibility and other indexes for the TCC determinator. After analysis，we found the source of the determinator variation，and figured out that determinator had linear bias and data correction was necessary during the process. The determinator can be used to judge if the thickness of concrete cover is qualified or not and make a rough estimate for the process capability index during the construction process.

Key words：steel bar position measurement；thickness measurement of concrete cover；Measurement Systems Analysis

0 引言

混凝土构件钢筋位置，特别是保护层厚度（钢保）是其结构耐久性评判的一项重要指标。钢保过大，会对构件承载能力产生影响，并加快裂缝的产生，甚至使构件承受负弯矩的能力降低[1]；钢保过小，由于混凝土表层碳化会加快钢筋的锈蚀进程，影响构件的耐久性。此外，较薄的混凝土层对钢筋的握裹力也会减弱[2]。

用来检测钢保的钢筋位置测定仪是利用电磁感应原理设计制造的[3]。为了判定仪器测量系统的性能，利用测量系统分析技术对 KON-RBL(D)型钢筋位置测定仪进行试验分析。

收稿日期：2016-12-29

作者简介：王芮文（1969-），男，江苏镇江人，高级工程师，高级讲师，硕士，主要研究方向为公路与桥梁工程施工与检测技术、质量管理、六西格玛管理。

测量系统分析（Measurement Systems Analysis，MSA）技术是运用统计技术对仪器进行评估，选择符合工程实际情况的代表性构件测量其指标值，通过测量结果波动情况，分析产生结果变异的原因，并确认仪器是否符合工程要求。

实测数据的波动通常为构件本身的波动 σ_p 和测量系统波动 σ_{MS} 之和，即 $\sigma_{总}^2=\sigma^2+\sigma_{MS}^2$，测量系统分析的过程就是分析 σ_p 和 σ_{MS} 的过程。仪器测量系统的评价指标通常包括偏倚、线性、分辨力、重复性和再现性[4]。其中，钢筋位置测定仪的稳定性可以通过绘制固定位置钢保测值的控制图来分析[5]，经长期对该类仪器的比对，发现稳定性符合要求，本次试验不对稳定性进行评估。

1 MSA 的基本理论

1.1 偏倚和线性

多次测量得到的实测值的平均值与其参考值之差

称为偏倚。参考值由其它方式测得。线性是指如果仪器存在偏倚，是否能根据量程范围内偏倚变化规律进行线性回归。

1.1.1 偏倚的评判分析

偏倚的确定是采用方差分析的方法进行假设检验[6]。①计算平均值 $\overline{x}$ 和标准差 s；②确定偏倚的 t 统计量；③偏倚的显著性假设检验和判断。

对偏倚进行 t 检验。原假设 H_0：偏倚=0；备择假设 H_1：偏倚≠0。

采用 p 值进行显著性判断。在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下，当 $p<0.05$ 时，认为偏倚显著存在；当 $p\geqslant 0.05$ 时，则认为不存在偏倚。

根据 t 统计量，得到在给定的显著性水平下偏倚的置信区间 $Bias\pm t_{1-\alpha/2}(\nu)\cdot\sigma_b$，其中，$t_{1-\alpha/2}(\nu)$可在标准 t 分布表中查到。如果偏倚平均值落在这个区间内，则认为偏倚可以接受，否则，必须得到质量相关方的同意。

1.1.2 线性分析

通过回归系数(线性斜率 a 和截距 b)的 t 假设检验来判断所测数据是否存在线性偏倚。

1)进行回归系数的标准差估计

回归系数的标准差记为 ξ_a，由测量次数、测量数值和构件数共同确定。假定 $\sigma_b=\dfrac{s}{\sqrt{m}}$，$m$ 为测量次数，则斜率 a 和截距 b 的标准差为

$$\xi_a=\frac{\sigma_b}{\sqrt{\sum(x_i-\overline{x})^2}} \tag{1}$$

$$\xi_a=\sigma_b\sqrt{\frac{1}{gm}+\frac{\overline{x}^2}{\sum(x_i-\overline{x})^2}} \tag{2}$$

2)计算 t 统计量并进行假设检验

对斜率的假设检验。建立原假设 H_0：$a=0$ 和备择假设 H_1：$a\neq 0$。在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下，如果 $p<0.05$，则拒绝原假设。

参照斜率的假设检验判断方法可以完成截距的建设检验。

1.2 分辨力、重复性和再现性

1.2.1 分辨力判别

用可区分组数(ndc)作为判断分辨力足够与否的标准。$ndc=INT(1.41\sigma_p/\sigma_{MS})$。当 $ndc\geqslant 5$，仪器具有较高的分辨力[7]；ndc 介于2~4之间，表明仪器只能用于过程参数的粗略估计和不敏感的控制图；如果$ndc=1$，则仪器只能用于合格判定。

1.2.2 重复性和再现性判别

同一个检测员用同一仪器，对同一被测件的相同点进行多次检测，所得结果的一致性用重复性误差表示，重复性又称为设备波动(EV)。不同的人员使用不同的仪器对同一被测件的同一点进行多次检测，所得结果的一致性用再现性误差表示，再现性又称为人员波动(AV)。

若 σ_{RPT}^2 和 σ_{RPD}^2 分别表示重复性和再现性方差，则 $\sigma_{MS}=\sigma_{RPT}^2+\sigma_{RPD}^2$。根据 σ_{MS} 可计算评价测量系统精确度的两项重要指标% $GageR\&R$ 和% P/T。其中，$\%GageR\&R=\sigma_{MS}/\sigma_{Total}$，$\%P/T=6\sigma_{MS}/(USL-LSL)$。当两项指标都小于10%，测量系统的能力良好；介于10%~30%之间时，测量系统可以接受；当大于30%时，测量系统不合格[8]。

以上各项试验数据分析均借助 Minitab 软件实现[10]。

2 钢筋位置测定仪测量系统分析

2.1 偏倚和线性试验

KON-RBL(D)钢筋位置测定仪的量程分为第一标称(0~40 mm)和第二标称(40~100 mm)。结合工程情况，决定在其量程范围内选择0~80 mm之间评估其线性偏倚。在选定量程内，选择10个有代表性的构件(其中一个构件作为两个标称内的共用件，第一标称内分析6个构件，第二标称内分析4个构件)。由一名检测员按随机方式对每个构件的指定钢筋位置测量12次。之后对构件检测点破坏检查，用游标卡尺测量值作为其参考值。检测数据见表1。

表1 偏倚和线性试验检测数据表

构件编号	参考值/mm	钢保实测值/mm											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	13.2	13	13	13	13	13	13	13	14	14	13	13	13
2	18.9	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	19	19
3	23.0	23	23	23	23	23	24	24	24	24	23	23	23
4	29.1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
5	32.7	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
6	38.7	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
7	49.1	46	48	48	48	48	47	49	48	48	48	47	49
8	58.6	55	56	56	56	55	55	56	56	57	55	55	57
9	67.7	63	65	64	64	63	62	64	63	64	62	64	66
10	78.9	74	77	75	76	74	74	75	75	75	74	74	77

基于两段标称原始数据的线性偏倚分析结果如图 1 和图 2 所示，输出的计算结果如表 2 和表 3。

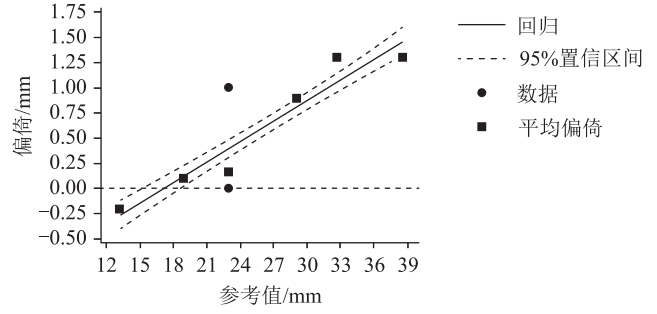


图 1　第一标称范围线性和偏倚分析图

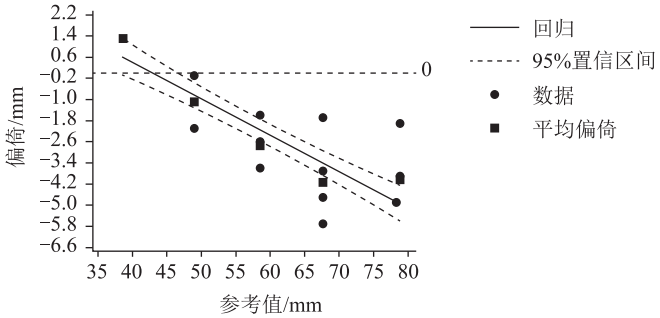


图 2　第二标称范围线性和偏倚分析图

表 2　第一标称范围线性与偏倚计算表

第一标称范围线性				第一标称范围偏倚		
自变量	系数	标准误系数	p 值	参考值/mm	偏倚/mm	
常量	−0.8471	0.1206	0.000	13.2	−0.03333	0.708
斜率	0.058801	0.004415	0.000	18.9	0.26667	0.013
				23.0	0.33333	0.004
S=0.320478				29.1	0.90000	*
R-Sq=71.7%				32.7	1.30000	*
				38.7	1.30000	*

表 3　第二标称范围线性与偏倚计算表

第二标称范围线性				第二标称范围偏倚		
自变量	系数	标准误系数	p 值	参考值/mm	偏倚/mm	
常量	5.5970	0.0.6280	0.000	38.7	1.30000	*
斜率	−0.13220	0.01042	0.000	49.1	−1.26667	0.001
				58.6	−2.85000	0.000
S=1.13104				67.7	−4.03333	0.000
R-Sq=73.5%				78.9	−3.90000	0.000

从图 1、图 2 的数据中可以看出，量具平均偏倚和在量程 18.9，23.0，29.1，32.7，38.7，49.1，58.6，67.7，78.9 mm 处的 p 值均小于 0.05，说明仪器在研究量程内存在严重偏倚。从图形可看出，参考值和偏移值有相关(在 0~40 mm 标称呈正相关，在 40~80 mm 标称呈负相关)，而部分平均偏倚值落在偏倚置信区间外，一般认为这样的回归线并不理想。但通过量具线性输出数据分析，b 和 a 的 p 值均小于 0.05，说明量具有线性偏倚，相关决定系数 R-Sq = 71.7% 和 R-Sq = 73.5%，表明实测值与参考值的相关度尚可接受(一般 R-Sq≥70%即可接受)。

2.2　分辨力、重复性和再现性试验

选取 15 片预制箱梁作为标准构件，每个构件确定一个固定点作为钢保测量的位置，由三名检测员分别用各自的仪器以随机的顺序测量，共测三次。箱梁钢保设计标准为 25 mm，合格限为(22，33)mm。检测数据见表 4。

表 4　分辨力、重复性和再现性试验检测数据表

检测员	次数	箱梁编号及钢保检测值/mm														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	1	23	24	24	24	25	25	25	24	25	26	25	26	26	27	27
	2	23	24	24	24	25	25	25	25	25	26	25	26	26	27	27
	3	23	24	24	24	25	25	25	24	25	26	25	26	26	27	27
B	1	24	24	24	25	25	25	25	25	25	27	26	26	27	28	27
	2	23	24	24	24	25	25	25	25	25	26	26	26	26	28	27
	3	24	24	25	24	25	25	25	25	25	27	26	27	27	28	27
C	1	23	24	24	24	25	25	25	25	25	26	25	26	26	28	27
	2	23	24	24	24	25	25	25	25	26	26	25	26	26	28	27
	3	23	24	24	24	25	25	25	25	26	26	25	26	26	28	27

使用 Minitab 软件计算结果输出如表 5~表 7，同时输出方差分析图，如图 3。

表 5　包含交互作用的双因子方差分析表

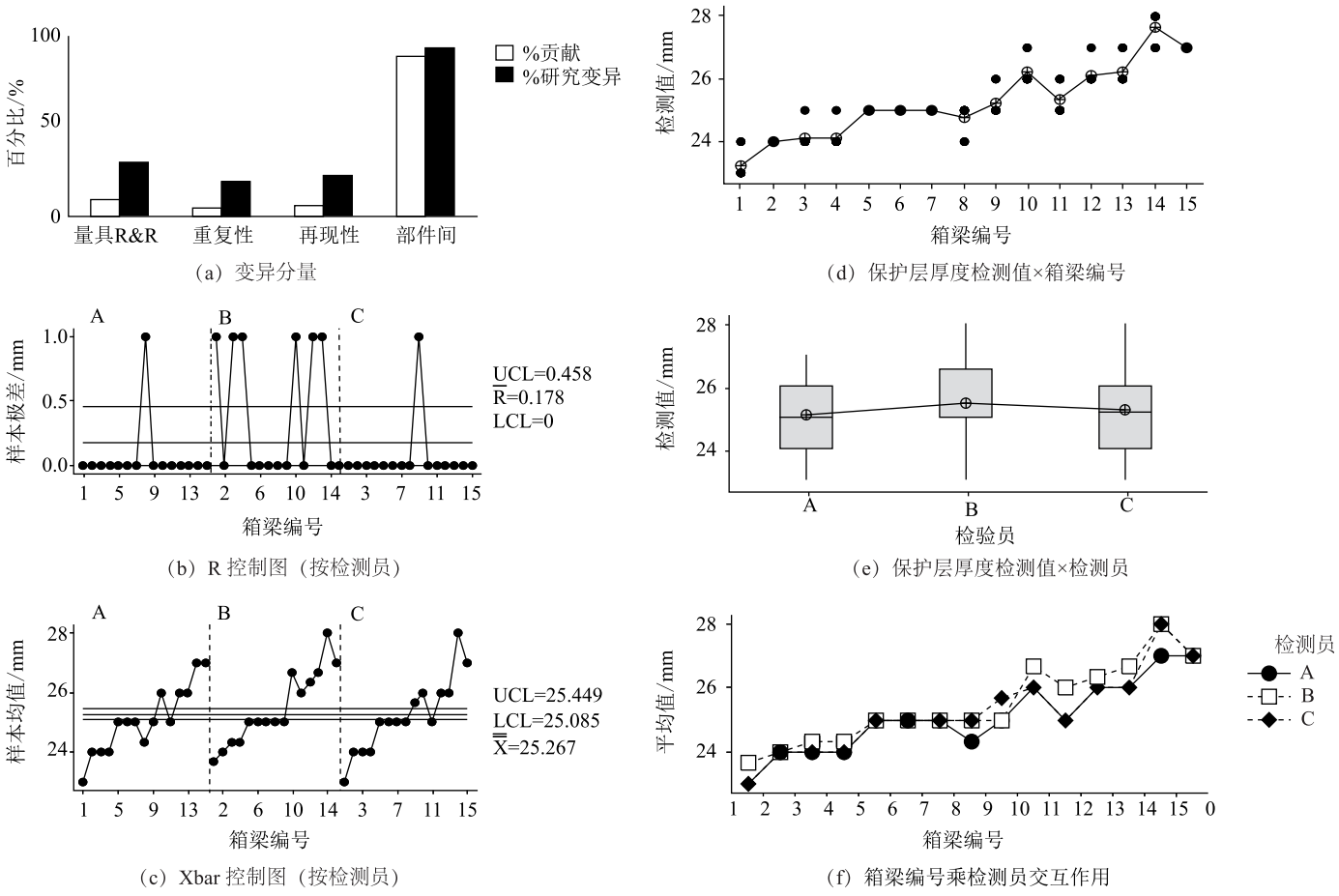
来源	自由度(DF)	平方和(SS)	均方(MS)	统计量 F	P
梁编号	14	181.956	12.9968	62.0303	0.000
检测员	2	3.244	1.6222	7.7424	0.002
梁编号 * 检测员	28	5.867	0.2095	3.5357	0.000
重复性	90	5.333	0.0593		
合计	134	196.400			
删除交互作用项选定的 Alpha = 0.25					

表 6　交互作用的变差估计表

来源	方差分量	方差分量贡献率/%
合计量具 R&R	0.14074	9.01
重复性	0.05926	3.79
再现性	0.08148	5.22
检测员	0.03139	2.01
检测员 * 箱梁编号	0.05009	3.21
部件间	1.42081	90.99
合计变异	1.56155	100.00
过程公差 = 11		

表 7　交互作用的 GRR 变差分析表

变异来源	标准差（*SD*）	研究变异（6 *SD*）	研究变异百分比（%*SV*）	公差百分比/%
合计量具 R&R	0.37515	2.25093	30.02	20.46
重复性	0.24343	1.46059	19.48	13.28
再现性	0.28545	1.71270	22.84	15.57
检测员	0.17718	1.06309	14.18	9.66
检测员 * 箱梁	0.22380	1.34282	17.91	12.21
部件间	1.19198	7.15187	95.39	65.02
合计变异	1.24962	7.49772	100.00	68.16
可区分类别数 = 4				



(a) 变异分量　(d) 保护层厚度检测值×箱梁编号

(b) R 控制图（按检测员）　(e) 保护层厚度检测值×检测员

(c) Xbar 控制图（按检测员）　(f) 箱梁编号乘检测员交互作用

图 3　*R&R* 方差分析图

表 5 中，箱梁与检测员交互作用的方差 p 值小于 0.25，表示交互作用显著，得到的结果不需要调整[11]；表 6 中，仪器方差分量贡献率为 9.01%，箱梁与箱梁之间的方差贡献率（部件间）为 90.99%，说明大部分变差的原因来自箱梁；表 7 中，仪器分辨力指标 $ndc = 4$，量具 $\%GageR\&R = 30.02$，$\%P/T = 20.46$，再现性变异百分比大于重复性变异百分比，说明人为影响大于仪器本身对测量结果的影响；而再现性贡献率中，检测员和构件交互作用的变异百分比大于不同检测员的变异百分比。由此得出结论：在钢保检测时，减小人员操作误差可以使再现性变异得到减小和控制。

如在图 3 中，图 3(a) 构件变异分量百分比占了较大比重（约 90% 左右），而仪器变异明显较小（约 25% 左右）；图 3(c) XBar 控制图大部分点都落在了控制限

外，这恰是需要的结果；图 3(b)组内极差值数量较少，证明仪器的分辨力不足[12]。

3 测量系统的改善

3.1 钢筋位置测定仪精度

所研究的仪器 $ndc=4$，$Gage\ R\&R=30.02$，$\%P/T=20.46$，方差分量贡献率为 9.01%，这些数据表示该仪器不能进行精确控制和过程能力的准确分析，只能作为合格率判定和过程能力的粗略分析。考虑到目前国内使用的钢筋位置测定仪最小刻度均为 1 mm，无法从最小刻度分辨力方面实施改进，因此，只能接受本仪器现状，用作钢保合格率判定和对过程能力指数的粗略估计。

3.2 数据纠偏

因仪器存在严重的偏倚，且偏倚与参考值呈线性关系，因此，可以通过回归方程对数据纠偏。

3.3 改善措施

从重复性和再现性方差分析中发现，再现性误差比重复性误差大，说明检测人员操作偏差大于仪器本身误差，长期的经验表明，除应该加强仪器的日常维护及操作人员培训外，还需在仪器操作方面注意以下两点：当仪器连续读数超过 4 次，或者进行标称范围切换时，按“确定”键进行探头自校正；当探头移至钢筋上方时，应尽量放慢速度，速度约为 20 mm/s，然后观察信号值的变化，显示值变化范围在 2 mm 内可以接受。

3.4 改善效果评估

按照改善的方法对一片箱梁中 10 个固定位置(设计保护层厚度为 22 mm)以及一座桥台中的 10 个固定位置(设计保护层厚度为 45 mm)进行检测。先用钢筋位置测定仪进行检测，然后在相对应的位置进行打孔，用游标卡尺直接测量并校核，数据对比见表 8。从表 8 中可以看出，经过标准操作并进行回归的测量数据与实际情况相符，证明仪器可以用来作为合格率判定。同时从测量数据中还能看出，当实测值超过 40 mm 时，其偏差较大，测量人员应该避免使用该仪器 40~80 mm的测量范围，或者该标称内测量时予以重视。

表 8 钢筋位置测定仪检测的数据与实际数值的比较

箱梁(保护层设计值为 22 mm)					桥台(保护层设计值为 45 mm)				
测点编号	仪器测值/mm	修正后测值/mm	实际值/mm	偏差/mm	测点编号	仪器测值/mm	修正后测值/mm	实际值/mm	偏差/mm
1	24	24.6	24.8	−0.2	1	48	47.3	47.6	−0.3
2	26	26.7	27	−0.3	2	43	42.9	43.7	−0.8
3	23	23.5	23.3	0.2	3	43	42.9	43.6	−0.7
4	22	22.4	22.2	0.2	4	47	46.4	45.8	0.6
5	22	22.4	22.3	0.1	5	45	44.6	45.3	−0.7
6	29	29.9	29.6	0.3	6	49	48.1	48.7	−0.6
7	27	27.7	28.1	−0.4	7	49	48.1	48.5	−0.4
8	29	29.9	29.6	0.3	8	42	42.0	41.2	0.8
9	23	23.5	23.1	0.4	9	49	48.1	49	−0.9
10	27	27.7	27.9	−0.2	10	44	43.8	44.3	−0.5

4 结论

钢筋保护层厚度测定仪用于测量构件钢筋保护层厚度，在使用过程中由于仪器本身误差和操作者误差，经常出现仪器检测结果与实际情况偏离的现象。本文通过对钢筋保护层厚度测定仪的测量系统分析，得出了钢筋保护层厚度仪在量程范围内测量结果的偏离情况，认为该仪器在一定范围内可接受，但需要做数据修正，此仪器可用于构件的保护层厚度控制情况的粗略分析。

参 考 文 献

[1] 张汶民. 淮南市现浇板负弯矩钢筋保护层厚度的统计及探讨[J]. 安徽建筑，2014，21(2)：68-70.

[2] 李峰. 混凝土构件钢筋保护层厚度的设计原则与检测[J].

(下转第 31 页)

特别是低温环境；计价器实时时钟，钟差变化规律大体与温度相反，即温度升高，钟速减小，反之，则增大；当温度变化越快，钟差变化也随之加快；②实验样本(计价器 3)不能满足检定规程时钟误差±5 s/d 的要求；③实验样本(计价器 1)和实验样品(计价器 2)能够满足检定规程时钟误差±5 s/d 的要求；④出租车计价器在不同纬度地区选型要考虑环境使用范围是否满足使用标准，特别是环境温度较为恶劣的地区。

参 考 文 献

[1] 国家质量监督检验检疫总局 . JJG 517-2016 出租车计价器检定规程 [S]. 北京：中国质检出版社，2016.

[2] 张永志，王卫东，魏玉明，等 . 利用 GPS 资料反演祁连山断层的三维滑动速率[J]. 大地测量与地球动力学，2006，26(1)：31-35.

[3] 李爽 . 大地测量联合反演的模式及算法研究[D]. 武汉：武汉大学，2005.

(上接第 26 页)

山西建筑，2014，40(25)：37-38.

[3] 刘权，朱记全 . 钢筋保护层测量仪校准和使用中应注意的问题[J]. 计量与测试技术，2014，41(11)：30-32.

[4] 刘锐，王世田，阎强 . 测量系统分析在轮胎行业中的应用[J]. 橡塑技术与装备，2014，51(15)：51-54.

[5] 马逢时 . 六西格玛管理统计指南[M]. 北京：中国人民大学出版社，2010：343-343.

[6] 武立树 . ATE 测量系统分析建模[J]. 电子制作，2013(13)：47-48.

[7] 董祺 . 测量系统分析方法的研究及应用[D]. 西安：西安电子科技大学，2011：37-38.

[8] 张帆 . 六西格玛管理与统计技术[M]. 北京：中国质检出版社，2014：75.

[9] 董双财 . 测量系统分析理论、方法和应用[M]. 北京：中国计量出版社，2006：126-127.

[10] 龚立雄，刘娅 . 基于 Minitab 的生产过程质量特性分析与控制[J]. 重庆理工大学学报(自然科学)，2013，27(2)：69-73.

[11] 孙淑珍，周波 . 基于数理统计的测量系统分析方法及其应用[J]. 北华大学学报(自然科学版)，2012，13(2)：160-162.

[12] 马林，何桢 . 六西格玛管理[M]. 北京：中国人民大学出版社，2011：168-169.

福禄克新产品亮相 2017 年美国 BICSI 展会

2017 年初，国际建筑行业咨询服务展会(BICSI)在美国坦帕市举办，数千名来自世界各地的专业人士有机会了解到非常有价值的行业信息，并可以参观展厅中近 180 家企业的最新产品，包括福禄克公司提出的新型 DSX-8000 。

DSX-8000 是 VersivTM 电缆认证系列产品的最新成员，继承了 Fluke Networks 产品的一贯品质，帮助数据通信安装方更加快速、准确、有效地实现铜缆和光纤项目的系统验收。

Fluke Networks 展示了第一款经过独立认证并得到认可的现场测试仪，该测试仪满足 Cat 8 现场测试标准的全部要求。

新 DSX-8000 支持完整 2 GHz 范围，可以对铜缆进行现场认证，涵盖从 TIA Cat 5 到最新 Cat 8 和 ISO/IEC Class C。

随着 25GBASE-T 和 40GBASE-T 有源设备投放市场，DSX-8000 将支持第一批客户部署 Cat 8 布线系统，以确保数据中心前缘交换机到服务器的新型高速应用。

新 DSX-8000 拥有极快的测试时间，Cat 6A 认证测试只需 8 秒，并且支持直流电阻不平衡测试，以确保高级 PoE 系统的正常工作。这两种特性相结合，大大改进多种新兴高速、高功率 PoE 应用的测试，而此类应用正是 2017 年冬季 BICSI 展会上引起轰动的应用——例如 802. 11ac Wi-Fi、数字标牌、IPTV 等。

其实，与会者已经提前目睹了 Berk-Tek/Leviton 展示的 Cat 8 系统的风采，而只有 DSX-8000 才能对其性能进行验证。作为 BICSI 新产品展区展示的产品之一，DSX-8000 荣膺了本届展会“安装工具、方法和测试”类的最佳新产品奖。　(刘倩倩)