



Verification Test and Research on Fitting Curve of Shear and Tensile Synthesis Method

Zhang Jianning¹, Guo Qing², Gu Sheng³, Li Huanlin⁴, Zhu Yuewu^{1,*}

¹Shenzhen China Construction Institute Building Technology Co., LTD., Shenzhen, China

²Shanxi Academy of Building Science Group Co., LTD., Taiyuan, China

³Kunshan Construction Engineering Quality Testing Center, Kunshan, China

⁴Shentie Fangyuan Testing Technology Co., LTD., Shanghai, China

Email address:

42923002@qq.com (Zhang Jianning), 912870367@qq.com (Guo Qing), 514544728@qq.com (Gu Sheng),

435738525@qq.com (Li Huanlin), 807378323@qq.com (Zhu Yuewu)

*Corresponding author

To cite this article:

Zhang Jianning, Guo Qing, Gu Sheng, Li Huanlin, Zhu Yuewu. (2024). Verification Test and Research on Fitting Curve of Shear and Tensile Synthesis Method. *Science Discovery*, 12(2), 33-40. <https://doi.org/10.11648/j.sd.20241202.13>

Received: 3 March 2024; **Accepted:** 29 March 2024; **Published:** 12 April 2024

Abstract: Based on the recommended curve of concrete compressive strength tested by shear and tensile composite method, this paper combined with concrete specimens of different strength grades, ages and batches produced by several test verification units, adopted the in vitro shear and tensile test method introduced by the regulations, and used basically the same test equipment to collect the single shear and tensile strength and the compressive strength of cube specimens under the same conditions. Each batch was divided into 15 or 30 specimens. Through the collected test data, the conversion strength of the single shear, pull-out and shear tensile composite methods were calculated respectively. The relative error of a single specimen was calculated based on the average strength of each batch of concrete. The error distribution types and errors of each company were systematically studied, and finally the relative error data of each company were summarized, and the probability distribution parameters of the error of the Shear and tensile synthesis method were understood through probability distribution analysis, and the relationship between the error of the shear and tensile synthesis method, the single shear method and the pull method, and the influence degree on the conversion strength of the shear and tensile synthesis method were shown by using three-dimensional coordinates. Using the test data of "shear and tensile synthesis method", "single shear method" and "pull-out method", the scatter plot is drawn, and the error size is compared to explore the direction of further improving the detection accuracy of "shear and tensile synthesis method".

Keywords: Single Shear Method, Pull-out Method, Shear and Tensile Synthesis Method, Probability Distribution, Relative Error, Histogram, Scatter Plot

《剪拉综合法》拟合曲线的验证试验与研究

张建宁¹, 郭庆², 顾胜³, 李焕林⁴, 朱跃武^{1,*}

¹深圳中建院建筑科技有限公司, 深圳, 中国

²山西省建筑科学研究院集团有限公司, 太原, 中国

³昆山市建设工程质量检测中心, 昆山, 中国

⁴申铁方圆检测科技有限公司, 上海, 中国

邮箱

42923002@qq.com (张建宁), 912870367@qq.com (郭庆), 514544728@qq.com (顾胜), 435738525@qq.com (李焕林), 807378323@qq.com (朱跃武)

摘要: 本文以剪拉综合法检测混凝土抗压强度推荐曲线为基础, 结合多家试验验证单位制作的同强度等级、龄期、批次的混凝土试件, 采用规程介绍的体外剪拉试验方法, 用基本相同的试验设备, 分别采集单剪和拉脱强度与同条件立方体试件抗压强度。每批分15个或30个试件不等, 通过采集的试验数据分别计算单剪、拉脱和剪拉综合法换算强度, 以每批混凝土强度平均值为基准求出单个试件的相对误差, 通过概率密度函数曲线和概率密度分布函数曲线绘制概率图, 决定分布类型, 系统研究各公司的误差分布类型和误差, 最后将各公司的相对误差数据进行汇总, 通过概率分布分析了解《剪拉综合法》误差的概率分布参数, 并采用三维坐标展示《剪拉综合法》误差与《单剪法》和《拉脱法》之间的关系和对《剪拉综合法》换算强度的影响程度。用《剪拉综合法》与《单剪法》和《拉脱法》试验数据绘制散点图, 通过对比误差大小为探索进一步提高《剪拉综合法》检测精度明确方向。

关键词: 单剪法, 拉脱法, 剪拉综合法, 概率分布, 相对误差, 直方图, 散点图

1. 引言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》(建标协字〔2020〕14号) [1]的要求, 由中国建筑科学研究院有限公司与河北廊坊市阳光建设工程质量检测有限公司一起会同有关单位共同制定的中国工程建设标准化协会标准《剪拉综合法检测混凝土抗压强度技术规程》已基本完成, 以下简称《剪拉综合法》[2-6], 为检验规程推荐曲线是否科学合理, 多家公司开展试验验证工作, 目的是验证曲线的精度和应用价值, 根据各公司所提供的样本数据分别采用《单剪法》[7-9]、《拉脱法》[10, 11]和《剪拉综合

法》等拟合方程换算混凝土抗压强度并与同强度等级、同龄期标准立方体试件为一批的平均换算强度一起计算相对误差绝对值作为比较依据, 通过误差的概率分析, 对验证《剪拉综合法》的检测精度和探索造成误差的关键因素, 具有重要的意义。

2. 不同公司试验数据的验证与精度比较

四家公司根据各自的试验条件, 结合本地区、本行业常用材料、强度等级、配合比预制一定数量级的立方体试件, 每组6个试件, 三个钻取剪拉试件, 三个进行抗压试验。四家公司试验工作量汇总表1所示。

表1 四家公司试验工作量汇总表。

序号	公司名称	强度等级(MPa)	龄期 (d)	每批数量 (组)	批次	实际数量/计划数量 (组)
A	昆山市建设工程质量检测中心	C30、C40、C60、C70	14、28、60	15	8	120
B	山西省建筑科学研究院有限公司	C15、C20、C30、C40、C50、C60	28、360	30	12	360
C	申铁方圆检测科技有限公司	C15、C20、C30、C40、C50、C60、C70、C80	23、24、52、75、91、198、199	15	24	351/360
D	深圳中建院建筑科技有限公司	C15、C20、C30、C40、C50、C60	40、50、60	30	6	185/180

下面以A、B、C和D等4家公司的试验数据为基础, 用拟合曲线[3,6,10]式(1)、(2)和(3)分别计算, 得到《单剪法》《拉脱法》和《剪拉综合法》的换算强度。

$$f_{cu}^c = 6.455 \times f_{sc,i}^{1.0721} \quad (1)$$

$$f_{cu}^c = 22.886 \times f_{p,i}^{0.877} \quad (2)$$

$$f_{cu}^c = 12.20 \sqrt{f_{p,i} \times f_{sc,i}} \quad (3)$$

式中: f_{cu}^c 为换算强度(MPa), $f_{sc,i}$ 为单剪强度(MPa), $f_{p,i}$ 为拉脱强度(MPa)。

按照式(4)计算每个试件换算强度与每批换算强度平均值的相对误差(δ) [10,12], 通过概率分布检验对比各公司的验证结果。

$$\delta = \left| \frac{f_{cu,i}^c - m_{f_{cu,i}^c}}{m_{f_{cu,i}^c}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中: $f_{cu,i}^c$ 为剪拉综合法换算强度(MPa), $m_{f_{cu,i}^c}$ 为批混凝土换算强度平均值(MPa), δ 为相对误差绝对值(%)。

试验数据通过《单剪法》《拉脱法》《剪拉综合法》等拟合曲线计算换算强度, 对每个换算强度计算的相对误差绝对值进行概率统计分析[13,14]。

2.1. 随机抽选B公司进行分析

为了探索规律, 首先随机选择B公司的340组试验数据, 将所提供的试验数据按强度等级、龄期求出单剪、拉脱、剪拉综合法和立方体抗压试件的平均强度, 再求出每个换算强度的相对误差的绝对值, 将每批试验结果进行汇总和概率分析[14, 15], 如图1所示。

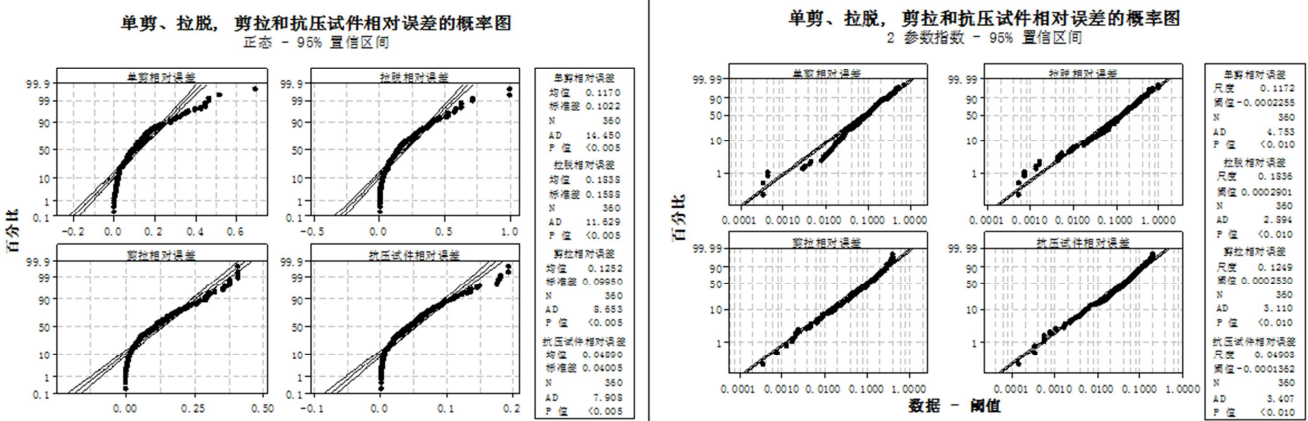


图1 B公司正态分布图转换为参数指数分布图(%)。

正态概率分布分析发现在概率图中的数据不是正态分布，数据落在理论概率分布函数曲线之外，而采用参数指数分布分析，其指数参数的数据分布呈短尾或直接落在理论概率分布函数曲线上，特别是《剪拉综合法》的相关数据均落在中心线上，相对误差的绝对值概率分布图更接近参数指数分布概率函数[16]，采用数学模型[13,16]见式(5)和式(6)绘制直方图和分布图[15]。

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} \tag{5}$$

$$F(x, \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \tag{6}$$

式中：F (x) 为正态分布函数，F (x, λ) 为参数指数分布函数，x为变量，δ为标准差，λ为参数。
通过对B公司的试验数据绘制正态和参数指数直方图的平均相对误差，发现直方图呈参数指数分布，见图2所示。

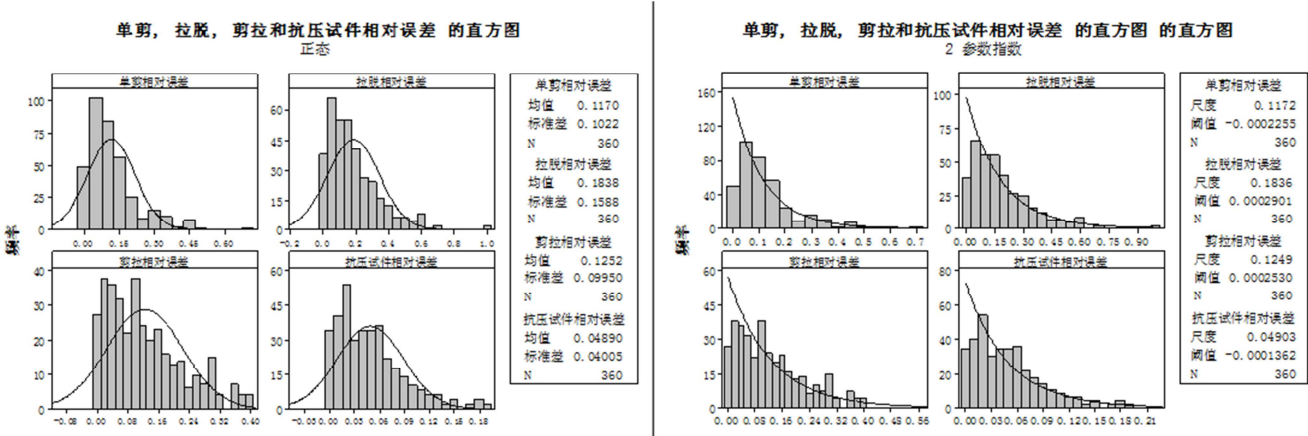


图2 B公司试验数据正态分布与参数指数分布和直方图(MPa)。

图2显示B公司数据的相对误差为参数指数分布，为此剩余公司的试验数据仅针对相对误差进行参数指数分布检验。

2.2 其他三家公司试验数据相对误差的参数指数检验

按上述分析思路，将各公司所提供的试验数据相对误差的绝对值，均采用参数指数分布模型式(6)对相对误差进行概率统计并绘制指数参数直方图，假设置信水平p≥0.05,呈正态分布，各公司概率分析和直方图结果见图3、4和图5所示。

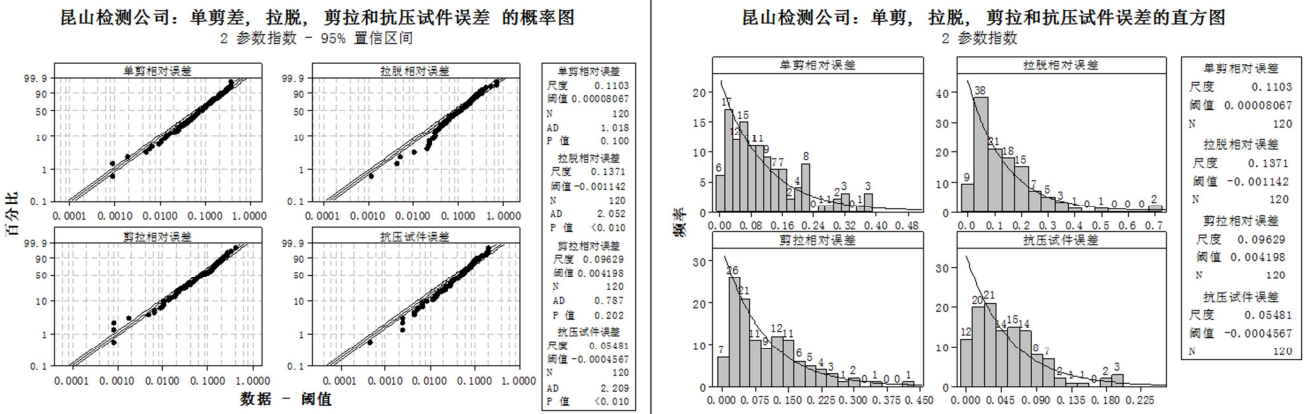


图3 A公司试验数据概率分布和直方图(%)。

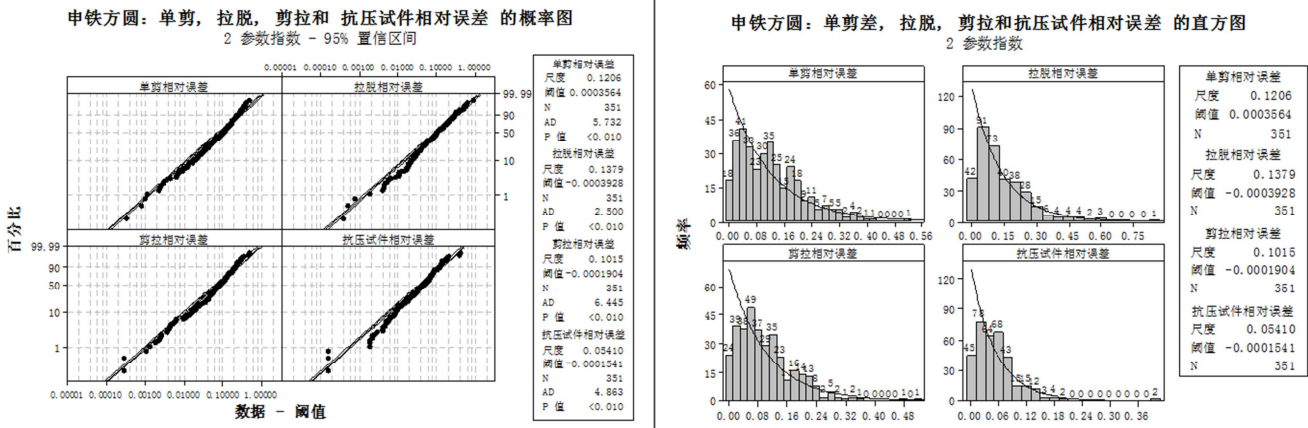


图4 C公司试验数据概率分布和直方图(%)。

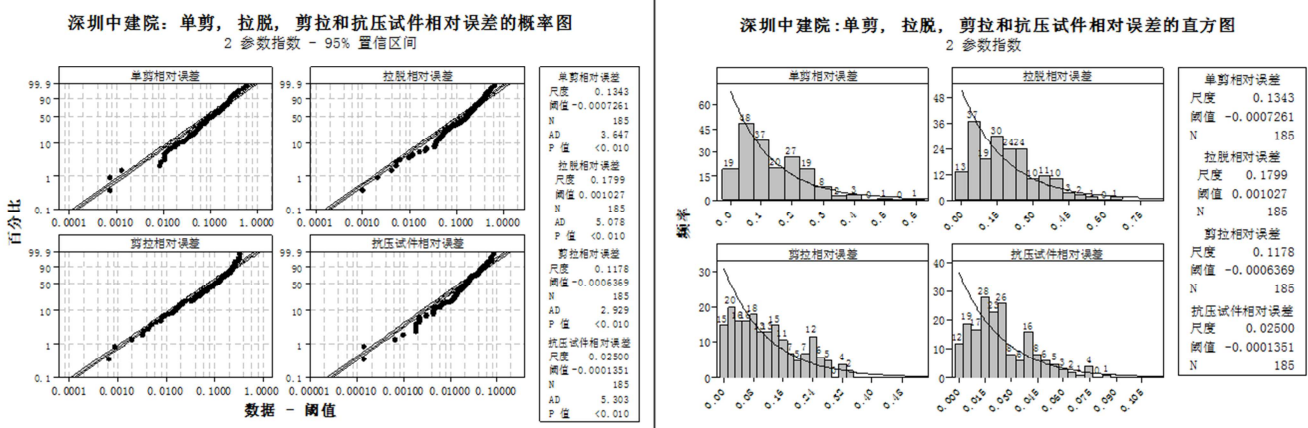


图5 D公司试验数据概率分布和直方图(%)。

根据概率统计分析结果，对比各公司试验数据模型参数的大小，每个公司的概率统计参数见表2所示。

表2 每个公司的概率统计参数。

公司名称	试验内容 (相对误差)	尺度 (1/λ)	λ	阈值	N	AD	P 值
A	单剪	0.1103	9.066183	8.07E-05	120	1.018	0.10
	拉脱	0.1371	7.293946	-0.00114		2.052	<0.010
	剪拉	0.0963	10.38529	0.004198		0.787	0.202
	抗压试件	0.0548	18.24485	-0.00046		2.209	<0.010
B	单剪	0.1172	8.532423	-0.00023	360	4.753	<0.010
	拉脱	0.1836	5.446623	0.00029		2.894	

公司名称	试验内容（相对误差）	尺度 (1/λ)	λ	阈值	N	AD	P 值
C	剪拉	0.1249	8.006405	0.000253	351	3.110	<0.010
	抗压试件	0.0490	20.39568	-0.00014		3.407	
	单剪	0.1206	8.291874	0.000356		5.732	
	拉脱	0.1379	7.251632	-0.00039		2.500	
	剪拉	0.1015	9.852217	-0.00019		6.445	
	抗压试件	0.0541	18.48429	-0.00015		4.863	
D	单剪	0.1342	7.451565	-0.00073	185	3.618	<0.010
	拉脱	0.1822	5.488474	-0.00098		5.587	
	剪拉	0.1177	8.496177	-0.00064		2.940	
	抗压试件	0.0248	40.32258	-0.00013		5.340	

概率分析表明：4家公司中除A公司《单剪法》和《剪拉综合法》的相对误差 $P\geq 0.05$ ，其他公司的相对误差 $P\leq 0.05$ ，不属于正态分布，应拒绝原假设，AD检验除A公司一项检测结果的误差为0.787，近似正态分布，其它公司的AD值为1.018~6.445，为典型的指数分布。

参数指数分布[15]的尺度为 $(1/\lambda)$ 即为平均相对误差，其值越小试验精度越高，4家公司的《剪拉综合法》的尺度均小于单剪法和拉脱法的尺度 $(1/\lambda)$ ，参数 (λ) 均大于《单剪法》和《拉脱法》的 (λ) ，指数分布直方

图曲线陡峭，结果表明：除B公司其它《剪拉综合法》比《单剪法》和《拉脱法》的平均相对误差均明显改善。

3. 合并四家公司数据后的概率分布分析

将四家公司所有试验数据相对误差采用参数指数进行概率分布统计并绘制参数指数直方图，计算分析结果见图(6)所示。

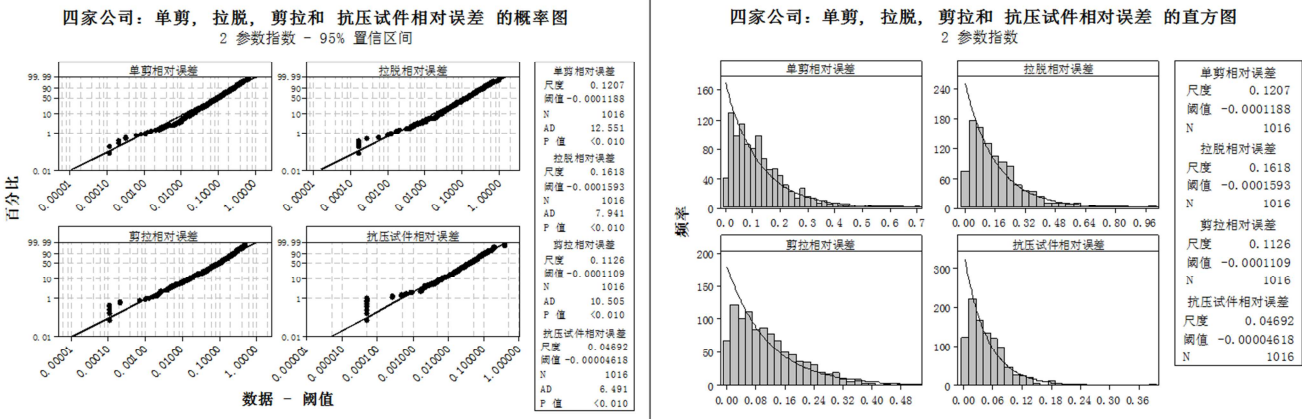


图6 合并后的数据概率分布及直方图分布(%)。

梳理概率分布的相关参数，分项统计单剪、拉脱、剪拉综合法和对应的立方体抗压试件统计参数见表3所示。

表3四家公司：单剪、拉脱、剪拉综合法和对应的立方体抗压试件统计参数。

试验内容（相对误差）	尺度 (1/λ)	λ	阈值	N	AD	P 值
单剪	0.1207	8.285	-0.00012	1016	12.551	<0.010
拉脱	0.1618	6.180	-0.00016		7.941	
剪拉	0.1126	8.880995	-0.00011		10.505	
抗压试件	0.0469	21.31287	-4.6E-05		6.491	

表3中《拉脱法》的λ值最小，说明拉脱法所产生的误差直接影响在剪拉综合法误差大小，为探索单剪和拉脱强度对剪拉综合法换算强度的影响程度，将拉脱强度相对误差作为X轴，将单剪强度相对误差作为Y轴，将剪拉综合

法换算强度的相对误差用等值图绘制在X-Y坐标平面内，《剪拉综合法》相对误差与《单剪法》和《拉脱法》相对误差的等值线图见图7所示。

剪拉综合法相对误差(%) 与 单剪、 拉脱相对误差(%) 的等值线图

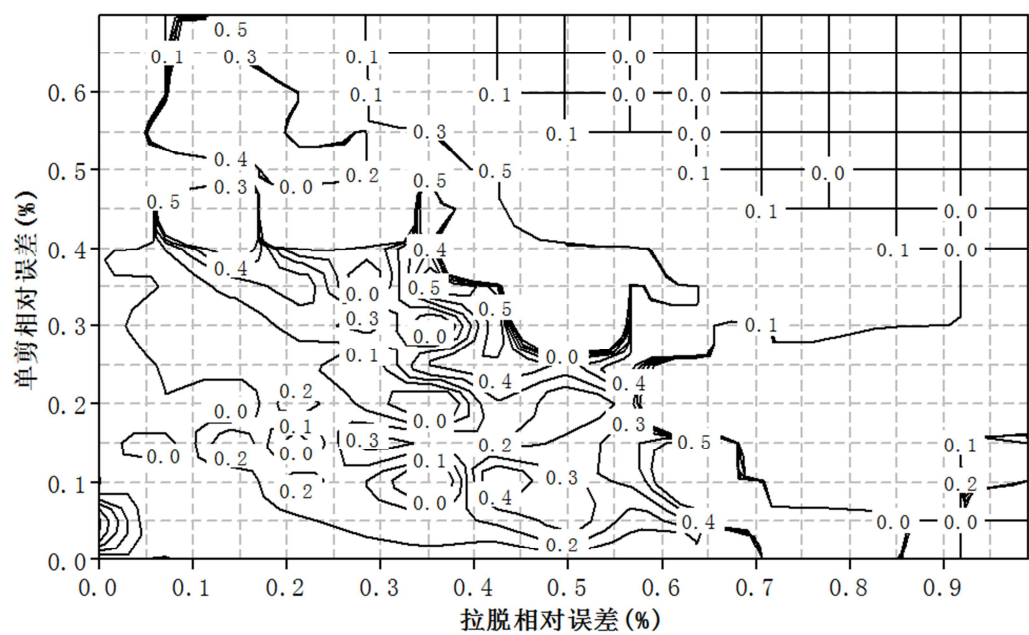


图7 相对误差等值线坐标图(%)

根据等值图的位置分布，发现较大误差位置分布在X轴向附近最大坐标值0.9%，Y轴向误差最大为0.6%相比X轴较小，分布在X-Y坐标平面的等值线位置的误差明显减小，初步判断影响《剪拉综合法》强度相对误差大小的主要因素是《拉脱法》，提高《拉脱法》的检测精度对《剪拉综合法》的精度非常重要。

4. 结合拟合曲线验证试验精度

利用拟合曲线式(1)、(2)和(3)分别计算得到《单剪法》《拉脱法》和《剪拉综合法》的换算强度，并计算相对误差(δ) [9]和标准差 (e_r) [9]，三种方法试验及拟合结果见表4所示。

表4三种方法试验及拟合结果（MPa）

序号	拉脱强度	拉脱换算强度	相对误差	标准差	单剪强度	单剪换算强度	相对误差	标准差	几何平均强度	混凝土抗压强度	剪拉综合法换算强度	相对误差	标准差
1	0.75	17.8	0.55	0.30	2.6	18.3	0.59	0.35	1.41	11.5	17.2	0.49	0.24
2	0.75	17.8	0.55	0.30	3.1	22.0	0.91	0.83	1.53	11.5	18.7	0.63	0.39
3	0.75	17.8	0.55	0.30	3.3	23.0	1.00	0.99	1.57	11.5	19.1	0.66	0.44
...
...
1013	3.91	75.7	0.02	0.00	8.10	60.8	0.18	0.03	5.63	74.1	68.7	0.07	0.01
1014	3.44	67.6	0.09	0.01	9.14	69.2	0.07	0.01	5.61	74.6	68.4	0.08	0.01
1015	3.29	65.0	0.13	0.02	9.59	72.9	0.03	0.00	5.62	74.8	68.5	0.08	0.01
1016	3.49	68.5	0.11	0.01	9.15	69.3	0.10	0.01	5.65	76.9	68.9	0.10	0.01
平均相对误差(δ)			16.8%	/	/	/	16.0%	/	/	/	/	11.8%	/
平均标准差(e _r)				23.8%	/	/		21.4%	/	/	/		15.8%

根据表3的拟合回归结果绘制散点图，如图8所示，发现采用《剪拉综合法》拟合曲线所得到的散点图较均匀分布在曲线两侧并呈柱状分布。

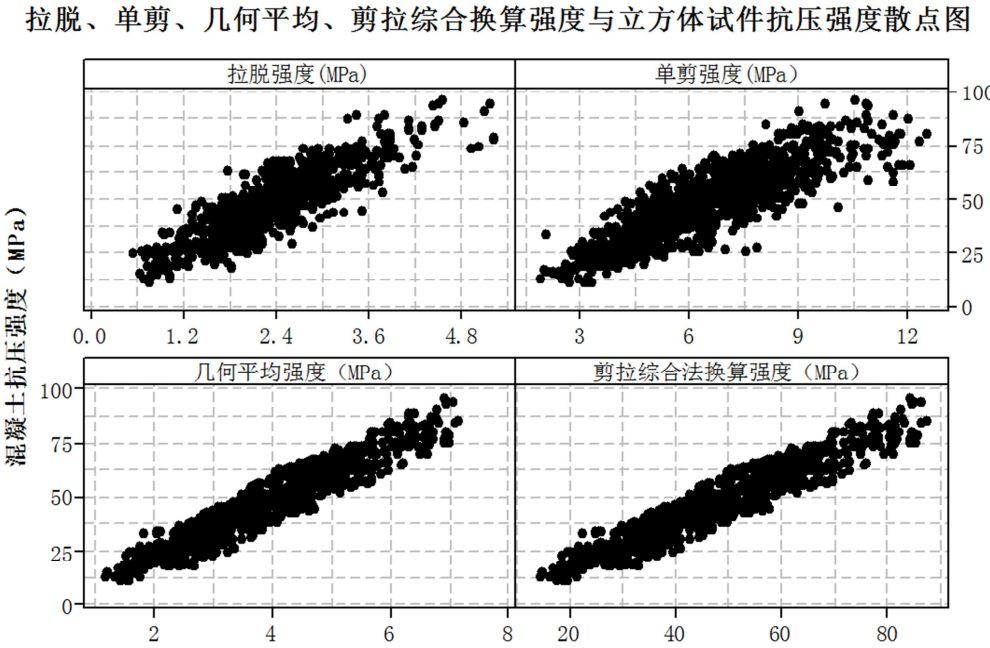


图8 回归结果绘制散点图(MPa)

对比各条曲线换算强度的平均相对误差(δ)、平均标准差(e_r),《剪拉综合法》的误差明显小于《拉脱法》和《单剪法》,即综合法检测精度明显优于单一方法。

5. 结论

(1) 经概率分布和直方图统计分析,试验数据产生的误差为:《拉脱法》>《单剪法》>《剪拉综合法》,因此需进一步研究和改进影响《剪拉综合法》精度的《拉脱法》检测工艺,减少拉脱操作因硬件原因产生的误差。

(2) 将多家公司试验数据相对误差进行统计分析,结果表明相对误差呈指数分布,《剪拉综合法》误差期望值均小于《拉脱法》和《单剪法》期望值,相对误差与拟合曲线计算的相对误差基本一致。

(3) 通过分析《单剪法》检测精度相比《拉脱法》高,影响《剪拉综合法》精度的主要因素是《拉脱法》检测精度,研究减少《拉脱法》试验误差,将会有效提高《剪拉综合法》的检测精度,因此需要在体外检测的硬件上进行系统研究,减少拉脱操作导致的误差。

ORCID

0009-0004-2479-9686 (Zhang Jianning)
0009-0009-7932-7893 (Guo Qing)
0000-0002-8771-115X (Gu Sheng)
0009-0004-1310-1430 (Li Huanlin)
0009-0001-9875-5537 (Zhu Yuewu)

致谢

本文为CECS协会标准《剪拉综合法检测混凝土抗压强度技术规程》编制项目的阶段性成果之一,在此感谢为试验工作做出贡献的各位同仁和编制组的各位专家辛勤工作与付出。

参考文献

[1] 中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》建标协字〔2020〕14号.

[2] 张建宁等 剪拉综合法试验与曲线验证分析 [J] 新材料新装饰杂志社 2024,01,03,第6卷第2期,151-154. Doi: 10.12203/j.xclxzs.1671-9344.202402040

[3] 张建宁等 剪拉综合法拟合曲线检测混凝土抗压强度分析 [J], 新材料新装饰杂志社 2024,第6卷第1期,1-5. Doi: 10.12203/j.xclxzs.1671-9344.202401001

[4] 朱跃武 南建林、石永等.混凝土剪拉综合强度与立方体抗压强度关系的研究 [J], 建筑科学2021, 37(3): 14-20. Doi: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2021.03003

[5] 朱跃武. 一种新的检测技术——剪切拉拔综合法[J]. 工程质量, 2020, 38(7): 22-27. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3702.2020.07.006

[6] 朱跃武 剪切拉拔综合法检测混凝土抗压强度技术的研究 [J] 工程质量, 2020,5,10, 28-34. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3702.2020.05.007

[7] 朱跃武 邱平等 原位单剪法检测混凝土抗压强度——一种操作简便、适用范围广、精度较高的检测技术 [J], 土木工程, 2013, 20014, 79-83. DOI:10.12677/hjce.2013.21014

[8] 杜雷, 张波, 周茗如, 等. 抗剪法及原位单剪法推定混凝土抗压强度的试验研究 [J]. 工程质量, 2013, 31(8): 14-17, 21. DOI:10.3969/j.issn.1671-3702.2013.08.005

- [9] 朱跃武 原位劈裂法检测混凝土抗拉与抗压强度技术的探讨 [J] 工程质量, 2019, 3, 10, 14-17.
DOI: 10.3969/j.issn.1671-3702.2019.03.005
- [10] 《拉脱法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T378-2016) [S]中国建材工业出版社10-11.
- [11] 朱跃武, 邱平, 李为杜, 等. 拉脱法混凝土测强技术标准形成 [J]. 工程质量, 2016(2): 21-26.
DOI: 10.3969/j.issn.1671-3702.2016.02.007
- [12] 国家建筑工程质量监督检验中心主编 混凝土无损检测技术 [S], 中国建材工业出版社1996, 9, 209-433.
- [13] 浙江大学. 概率论与数理统计 [S], 高等教育出版社, 2004, 225-230.
- [14] 武松等编著 《SPSS统计分析大全》 [S], 清华大学出版社, 2004, 167-171.
- [15] 吴令云、吴家琪等著 MINITAB软件入门: 最易学实用的统计分析教程 [S] 高等教育出版社, 2021.1,79-80,160-168.
- [16] 国家质量技术监督局计量司编著 测量不确定度评定与表示指南 [S] 中国计量出版社2000,4, 15-16.