

编者按: 中国林科院木材工业研究所承担的“十二五”国家科技支撑计划“木质复合材料制造关键技术与规范”课题“结构用木质复合材料构件制造技术研究”任务,开展了轻型木结构木质复合材料制造技术、性能评价技术及安全设计技术等研究,目前在国产规格材的强度设计指标、国产木桁架和结构用木质保温板的工艺优化等领域获多项成果。

本刊自2017年第1期起,系列报道此项研究的成果,为我国木质复合材料的应用研究提供参考,为木质复合材料构件在轻型木结构建筑中的应用提供技术支撑。

基于非参数法确定结构用木质材料的强度特征值

钟永^{1,2}, 江泽慧², 任海青^{1,3}, 武国芳^{1,3}, 赵荣军^{1,3}

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 国际竹藤中心, 北京 100102; 3. 中国林科院林业新技术研究所, 北京 100091)

摘要: 强度特征值是木质材料的重要力学性能指标之一, 是其在建筑结构中安全设计和合理应用的依据, 根据设定的置信度水平确定。通过以正态分布生成的随机样本作为算例, 采用非参数法, 研究置信度水平与样本的强度变异系数、试样个数、特征值取样顺序数的相互关系, 确定不同置信度水平、取样顺序数下要求的最小试样数, 并提出特征值取样顺序数计算公式。

关键词: 结构用木材; 强度特征值; 非参数法; 置信度水平; 正态分布

中图分类号: TU366.2; O175.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654 (2017) 06-0005-05

Determination of Characteristic Strength for Structural Wood Materials by Nonparametric Method

ZHONG Yong^{1,2}, JIANG Ze-hui², REN Hai-qing^{1,3}, WU Guo-fang^{1,3}, ZHAO Rong-jun^{1,3}

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry (CAF), Beijing 100091, China; 2. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 3. Research Institute of Forestry New Technology, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The authors sought to establish a method to determine characteristic strength of structural wood materials by using the nonparametric method, to provide a scientific basis for safety design and reasonable application in wood building structures. Characteristic strength was a key mechanical property index for structural wood materials, which was determined by confidence level requirements. Random samples generated by a normal distribution were used to investigate relationships among confidence level and coefficient of variation of sample's strength, specimen numbers in sampling, as well as statistical order for characteristic strength. Minimum number of specimens at different confidence levels and statistical order were obtained. A calculation formula for the statistical order was then developed.

Key words: structural wood materials; characteristic strength; nonparametric method; confidence level; normal distribution

收稿日期: 2017-07-31; 修改日期: 2017-10-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划“结构用木质复合材料构件制造技术研究”(2015BAD14B0502)。

作者简介: 钟永(1985—), 男, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

木质材料作为一种绿色、可持续的建筑材料, 在国内建筑行业中得到广泛关注和推广应用^[1-2]。尤其是近十年, 随着胶合木、定向刨花板、重组竹、和竹集成材等系列新型结构用木质材料产品的开发

与应用^[2-4],为结构用木质材料在建筑结构领域的推广,提供了丰富的原材料产品。

强度特征值代表材料本身所固有的特性,直接反映材料的质量水平,通常采用某一置信度水平下的某一分位值来确定^[5]。对于钢材、混凝土和砌体等建材,国内外均采用强度特征值来直接标识材料的强度等级;而结构用木质材料的强度设计值,是由强度特征值除以材料的分项系数获得。合理确定结构用木质材料的强度特征值,是其在建筑结构中安全及合理应用的关键指标之一。

国外相关标准规定,结构用木质材料,包括结构用锯材、胶合木和其他人造板等,均以75%置信度水平下的5%分位值作为强度特征值,确定的方法主要涉及非参数法和参数法。对于结构用木质材料,强度特征值的定义相同,但在简化计算公式时,由于各国和各组织推导方法不同,其计算公式往往亦不同。

在国内制订的规范中^[6],虽然亦将5%的分位值定义为结构用木质材料的强度特征值,但对于置信度水平尚无具体规定,而是直接采用抽样样本(包含试样数为无穷大时)的特征值系数来确定,而实际抽样样本试样数为有限个。

为了进一步改进和完善结构用木质材料强度特征值的确定方法,在GB 50005-2003《木结构设计规范》新一版制修订中,虽提出了以75%置信度水平下的5%分位值,作为结构木材的强度特征值,但只是直接引用了ASTM D 2915-2010“Standard Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products”标准中,基于正态随机样本下参数法的特征值系数取值结果,暂未阐明强度特征值的计算原理,也未建立相关的确定方法和计算公式。

鉴于此,笔者以正态分布生成的随机样本作为算例,采用非参数法,研究置信度水平与样本的强度变异系数、试样个数、特征值取样顺序数的相互关系,确定不同置信度水平、特征值取样顺序数下所要求的最小试样数量,首次阐明结构用木质材料强度特征值的计算原理,并提出特征值取样顺序数的计算公式,旨在建立我国结构用木质材料的强度特征值确定方法,促进其科学合理的应用。

1 分析方法

1.1 抽样样本的生成

考虑结构用木质材料的强度变异系数(CV)一般在0.05~0.5范围内,以样本的真实强度平均值100 MPa,真实强度变异系数取0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50为算例,即真实强度标准差设置范围为5~50 MPa。

假设样本服从正态分布,并基于给定的样本真实强度平均值和真实强度标准差生成 m 列、 n 行的正态分布表随机数列。其中, m 列表示在预估真实强度平均值、真实强度标准差时有 m 个抽样样本, n 行表示每个抽样样本中包含 n 个试样数。

为了保证计算结果的准确性,根据计算机的配置,将抽样样本数 m 的值定为10 000;为了研究抽样样本中包含试样数 n 对强度特征值的影响,将 n 值分别设置为10、30、50、90、110、130、150、170、190、210、230、250、270、290、310、330、350、370、390个。

1.2 置信度的计算

当样本服从正态分布时,根据样本的真实强度平均值 μ 、真实强度标准差 σ ,可推算出样本的真实5%分位值 P ,其计算公式如下:

$$P = \mu - 1.645\sigma \quad (1)$$

在采用非参数法计算置信度时,应将随机生成的每个抽样样本(即每一列数据),按照从小到大的顺序重新排列。再取所有抽样样本的同一行数据(第 i 行,即特征值取样顺序数 O 等于 i),将该行每一列数据依次逐个与样本真实5%分位值 P 作比较,统计共有 G 列的数据点不大于 P ,则对于取样顺序数为 O 值时,其置信度水平 r 的计算公式如下:

$$r = G/m \quad (2)$$

采用MATLAB软件自行编程,并进行置信度水平 r 的计算和分析。

1.3 强度特征值的计算

通过上述计算,得到抽样样本包含不同试样数 n 时,将 n 个试样数的强度值按从小到大排序后,求第 O 个数据时所对应的置信度;

再根据所设定的置信度水平,确定 O 所对应的顺序数,即该顺序数 O 所对应的强度值为该样本的强度特征值。

2 结果与分析

2.1 置信度的统计

以样本的真实强度变异系数分别设置为 0.05、0.50, 抽样样本数为 10 000 个, 每个抽样样本包含的试样数量 n 为 30 作为算例, 采用 MATLAB 软件自行编程并计算, 其计算结果见图 1 (第 65 页)。

图 1a 表明, 当变异系数设置为 0.05 时, 取样顺序数 O 分别取 1、3、5 时, 其所对应的置信度分别为 0.7796、0.1866 和 0.0146, 即代表分别选取抽样样本的第 1、3、5 个顺序数对应的强度值, 作为样本强度特征值时, 在 10 000 个抽样样本中, 分别有 7796、1866 和 146 个抽样样本的预估强度特征值, 小于样本的真实强度特征值 P 。

当变异系数从 0.05 增加至 0.5 时 (图 1b),

不同变异系数之间的置信度仅有略微差异, 这种变化可能由于实际模拟计算中, 电脑本身配置有限以及抽样样本数的选取有限所致。

本研究中设置抽样样本数为 10 000 个, 置信度精确至小数点后第 2 位, 视为满足计算的精度要求。

2.2 置信度与取样顺序数、试样个数的关系

不同取样顺序数 O 、试样个数 n 下的置信度 r 的计算结果见图 2 (第 65 页)。

从图 2a 中可发现, 当 n 较小时, r 随 O 的增加先快速减小, 后逐渐趋于平缓 ($r < 0.05$); 但随着 n 和 O 的增加, r 减小速度逐渐趋于平缓 ($r > 0.95$); 当减小至 $0.95 \leq r \leq 0.5$ 时, r 随着 O 的增加又开始快速减小; 至 $r < 0.05$ 时, 其减小速度又趋于平缓。不同变异系数下, 两者间的相互关系基本相同。

由图 2b 中可见, r 与 n 的关系, 正好和 r 与 O 的关系相反。当 O 较小时, r 随着 n 的增加先快速增加, 后逐渐趋于平缓 ($r > 0.95$)。但随着 O 和 n 的增

加, r 的增加速度逐渐趋于平缓 ($r < 0.05$); 当 $0.05 \leq r \leq 0.95$ 时, r 随着 n 的增加而快速增加; 至 $r > 0.95$ 时, 增加速度趋于平缓。不同变异系数下, 两者间的相互关系基本相同。

图 2c 为 r 与 O 、 n 之间关系的三维图, 可以得到不同 r 、 O 所要求的最小试样数量 n , 见表 1。

表 1 最小试样数 n 值的确定

Tab.1 Determination of minimum specimen number of n

$r=0.50$		$r=0.65$		$r=0.75$		$r=0.85$		$r=0.90$		$r=0.95$		$r=0.99$	
n	O	n	O	n	O	n	O	n	O	n	O	n	O
15.298	1	23.406	1	27.837	1	40.376	1	43.553	1	58.265	1	90.951	1
33.860	2	45.141	2	52.831	2	68.631	2	76.155	2	93.041	2	131.160	2
52.832	3	66.876	3	77.325	3	95.799	3	106.583	3	124.639	3	165.935	3
72.392	4	89.697	4	101.818	4	120.794	4	129.404	4	152.894	4	194.190	4
93.041	5	111.432	5	124.639	5	144.702	5	157.659	5	181.149	5	226.792	5
112.602	6	132.079	6	146.374	6	170.784	6	183.740	6	206.144	6	256.133	6
132.163	7	153.814	7	169.195	7	193.605	7	206.228	7	235.486	7	287.649	7
151.724	8	175.549	8	192.017	8	217.513	8	233.396	8	260.481	8	313.479	8
173.459	9	196.196	9	214.838	9	240.334	9	256.217	9	285.057	9	347.168	9
191.933	10	217.931	10	235.486	10	263.156	10	281.212	10	310.052	10	372.163	10
213.668	11	238.579	11	257.220	11	288.150	11	305.120	11	335.047	11	—	—
232.142	12	259.227	12	278.955	12	308.798	12	327.941	12	361.129	12	—	—
252.79	13	279.875	13	300.690	13	332.706	13	351.850	13	386.123	13	—	—
272.351	14	302.696	14	324.598	14	355.528	14	377.931	14	—	—	—	—
294.086	15	323.344	15	348.510	15	378.349	15	—	—	—	—	—	—

由于 n 应取整数, 因此应将表 1 中的 n 值向上取整。以 $r=0.75$ 、 $O=3$ 为例, 其对应的最小试样数 n 为 77.325, 向上取整后对应的最小试样数 n 应为 78 个。选取置信度 $r=0.75$ 、0.95、0.99 的数值 (表 1 向上取整后的数值) 与 ASTM D 2915-2010 的非参数计算结果相比较 (图 3), 两者计算结果基本相同, 验证了非参数法计算结果的准确性。

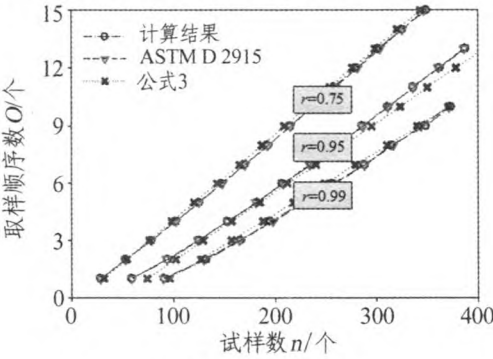


图 3 置信度的比较
Fig.3 Comparison of confidence

2.3 取样顺序数的计算公式

在实际中, 往往采用已知抽样样本所包含的试样数量 n 、置信度水平 r , 通过非参数法计算, 确定选用第几个顺序数 (即 O 值) 所对应的强度作为样本的强度特征值。为此, 建立顺序取样数 O 的计算公式, 更加简便快速地确定样本的强度特征值。

通过回归分析不同置信度水平下的顺序取样数 O 与抽样样本包含试样个数 n 之间的关系, 可以发现, 在同一置信度水平下, 两者之间存在显著的正线性相关, 其拟合结果见表 2 和图 4。

表 2 不同置信度下的 O 与 n 的线性回归计算公式
Tab.2 Linear regression formula of relationship between O and n at different confidence levels

置信度水平	拟合计算公式	显著性检验
$r=0.50$	$O=0.3299+0.0501n$	**
$r=0.65$	$O=-0.1599+0.0468n$	**
$r=0.75$	$O=-0.4185+0.0443n$	**
$r=0.85$	$O=-0.9814+0.0418n$	**
$r=0.90$	$O=-1.0983+0.0396n$	**
$r=0.95$	$O=-1.5549+0.0372n$	**
$r=0.99$	$O=-2.2170+0.0323n$	**

注: **表示在显著性水平 0.01 水平下, 拟合结果与实测结果差异的显著性检验。下同。

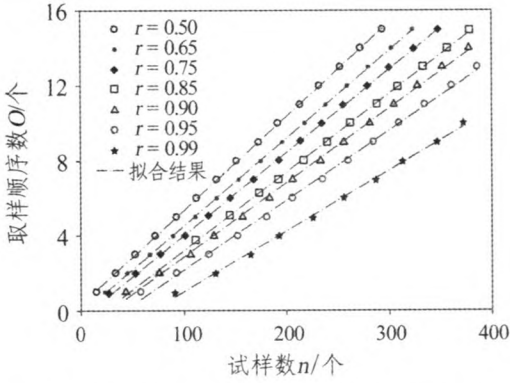


图 4 不同置信度下的 O 与 n 的线性回归结果
Fig.4 Linear regression results of relationship between O and n

为了进一步统一不同置信度水平下, 顺序取样数 O 与抽样样本包含试样个数 n 之间的线性回归模型, 将不同置信度水平下回归分析得到的拟合参数值 a 、 b , 以置信度 r 作为独立随机变量, 采用三参数有理函数分别对拟合参数值 a 、 b 与置信度 r 间的关系进行回归分析, 其拟合结果见表 3 和图 5。

表 3 拟合参数值 a 、 b 与置信度 r 间的回归计算公式

Tab.3 Regression formula of relationship between fitting parameters and confidence levels

拟合参数值	拟合计算公式	显著性检验
a	$a=(0.7544-1.2170r)/(1-0.7974r)$	**
b	$b=(0.0529-0.0466r)/(1-0.8015r)$	**

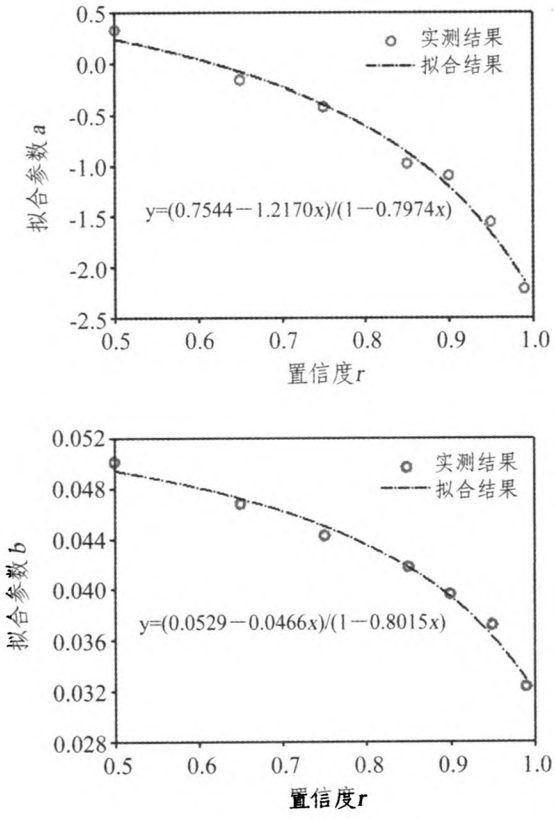


图 5 拟合参数值与置信度之间的关系
Fig.5 Relationships between fitting parameters and confidence levels

结合表 2 和表 3 的拟合结果, 最终可确定基于非参数确定样本强度特征值时, 强度特征值对应强度数据点 (从小到大排列后的强度数据点) 的顺序取样数 O 的简单预估计算公式如下:

$$O=\frac{0.7544-1.2170r}{1.0-0.7974r}+\frac{(0.0529-0.0466r)n}{1.0-0.8015r} \quad (3)$$

由于顺序取样数 O 应取整数, 通过式 (3) 得的 O 值为非整数时, 应该向下取整。根据式 (3) 计算的结果 (图 3), 与计算机直接计算结果和 ASTM D 2915-2010 中的非参数计算结果基本相同, 也验证了该计算公式的可靠性。

3 结论

1) 基于非参数法, 首次阐明了结构用木质材料的强度特征值确定的计算原理, 并建立了其相关确定方法和计算公式。

2) 置信度 r 基本不随样本强度变异系数的变化而发生变化。

3) 将结构用木质材料抽样样本的强度数据点从小到大排序后, 采用本文建立的计算公式, 可以快速确定顺序取样数 O , 该顺序数所对应的强度数据点, 即为样本的预估强度特征值。

参考文献:

- [1] 周海宾. 中国木结构产业的现状及发展(一)[J]. 木材工业, 2012, 26(1): 7-10.
- [2] 肖岩, 陈国, 单波, 等. 竹结构轻型框架房屋的研究与应用[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(6): 195-203.
- [3] 叶克林, 吕建雄. 落叶松规格材加工利用技术研究[J]. 木材工业, 2010, 24(6): 1-3, 11.
- [4] 张秀华, 鄂婧, 李玉顺, 等. 重组竹抗压和抗弯力学性能试验研究[J]. 工业建筑, 2016, 46(1): 7-12.
- [5] 祝恩淳, 潘景龙. 借鉴国际先进经验制(修)定我国木结构技术标准[J]. 木材工业, 2011, 25(3): 26-29.
- [6] 龙卫国. 木结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)

行业简讯

第 16 届全国人造板工业发展研讨会盛大举行

2017 年 9 月, 由中国林产工业协会、中国绿色时报社、中国林科院木材工业研究所和中国林业机械协会四家单位联合主办, 中国林产工业协会承办的第 16 届全国人造板工业发展研讨会暨第四届世界人造板大会, 在山东临沂盛大举行。来自国内人造板产业链上中下游企业、地方政府、协会、科研、高校、媒体, 以及部分国外相关协会等单位的近 600 名代表参会。

会议特邀北京林业大学、中国林产工业协会市场部以及欧洲林业研究所、美国绿色建筑协会家居环境分会、老挝木制品协会等机构的嘉宾, 分别就全球经济贸易热点问题; “一带一路”为中国人造板产业开创的发展机遇; 国际木材合法性进展及企业的应对; 北美绿色建筑对建筑材料的要求; 中老木材加工行业的合作前景等议题, 做主旨演讲。

临沂市政府、林产工业规划设计院、金方圆安全技术研究院、中国林科院木材工业研究所的领导与专家, 分别围绕临沂林产产业结构调整及发展趋势; 人造板行业环境保护标准及政策; 人造板企业清洁与安全生产; 我国人造板质量现状及提升建议等议题, 做专题演讲。

辛北尔康普、瑞典桑斯、中科润美、力和领先、奎宁自动化等企业的嘉宾, 分别就连续平压生产线; 中纤板生产线干燥尾气清洁系统; 人造板连续平压设备润滑管理与国产化; 人造板环保促进剂; 国产火花探测以及熄灭系统的研发与应用等议题, 发布了人造

板生产最新技术的进展。

迪芬巴赫、上海陆特、瓦鲁机器人、中科朝露、优优木业、中国林产工业协会市场部等单位的嘉宾, 分别介绍了胶合板连续平压生产技术; 质量与自动化驱动中国胶合板行业未来; 瓦鲁机器人技术服务于人造板工业发展的思考; 大豆胶黏剂技术及应用进展; IPF 内净化技术推动产业变革; 人造板国际贸易纠纷与维权情况。

中国家具协会、美国绿色建筑协会、蒙古国 Megawood LLC 公司、国数源公司、大亚人造板、辛北尔康普、中航林业等单位的嘉宾, 围绕国际贸易热点问题及人造板贸易国际化, 给我国人造板产业带来的机遇与挑战, 分享了各自的观点。

会议同期, 还发布了 2017 年中国人造板产业报告和 T/CNFPIA 4002-2017《中国木材合法性认定》团体标准; 举行了第四届中国林业产业(人造板类)科技创新颁奖仪式; 中国国机重工集团有限公司、国家林业局林产工业规划设计院与中国林产工业协会签约人造板行业环保升级技改项目的合作仪式。

此届行业大会的成功召开, 对推动我国人造板行业绿色环保技术的应用、标准升级、产业结构调整, 均具有重要意义。并通过搭建国际经贸交流与合作平台, 对避免贸易冲突、和谐处理贸易摩擦、深化对外交流与合作, 均具有重要意义。

劳万里

基于非参数法确定结构用木质材料的强度特征值/钟永等

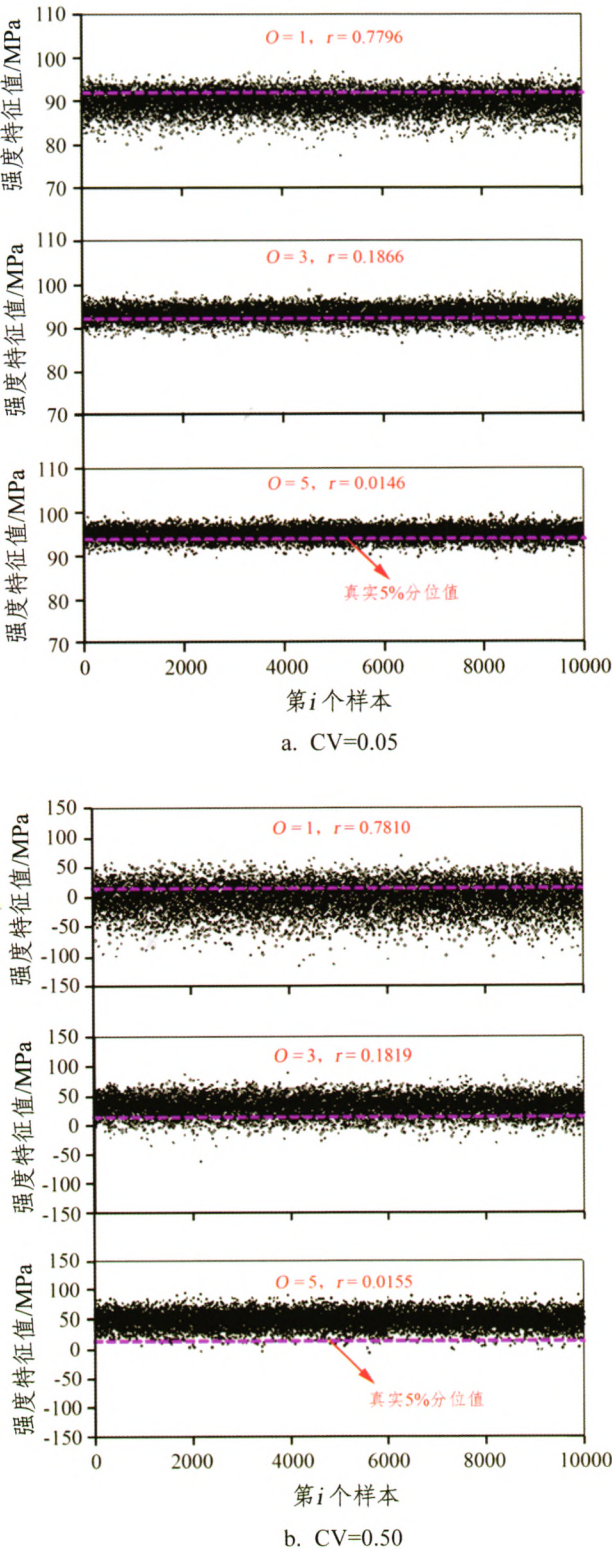


图1 取样顺序 O 对置信度 r 的影响
Fig.1 Effect of O on confidence r

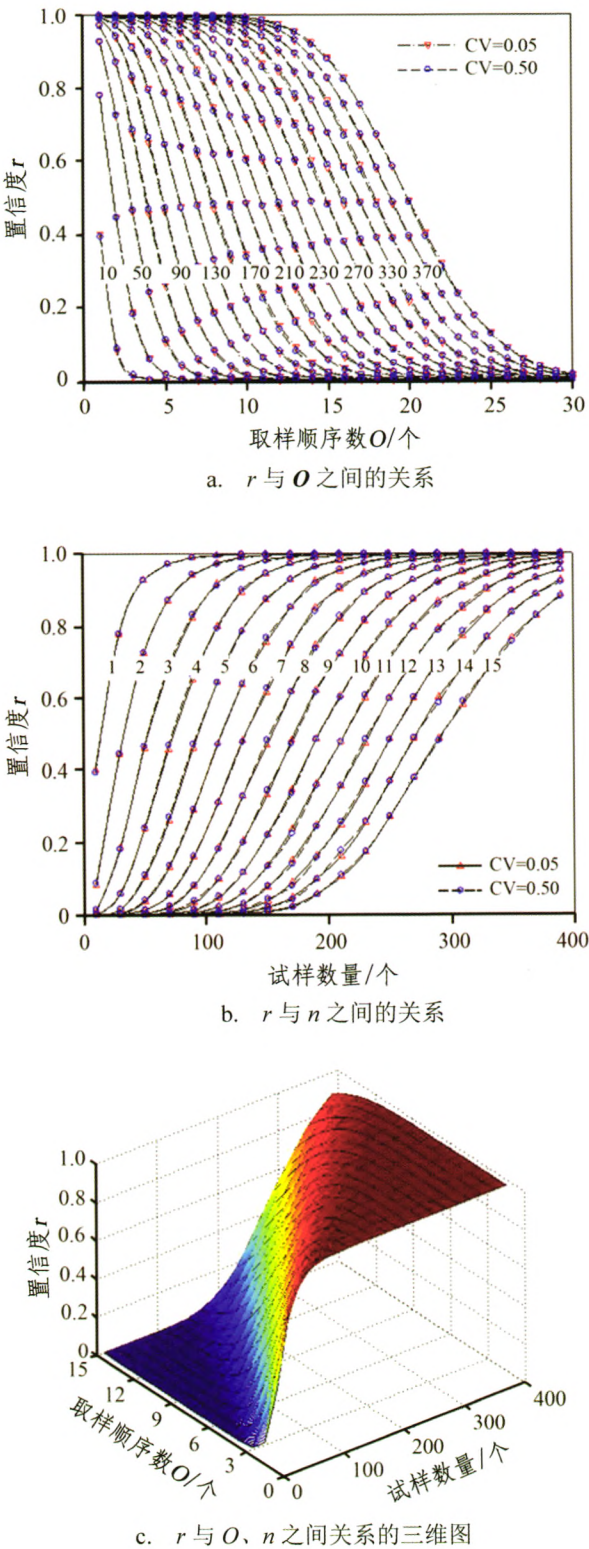


图2 置信度 r 与取样顺序 O 、样本试样数 n 之间的关系
Fig.2 Relationships among r , O and n