

# 瓦楞纸箱抗压强度检验的环境温湿度影响研究

唐艺航

玉溪市检验检测认证院 云南玉溪 653100

**摘要：**本研究系统考察环境温湿度对瓦楞纸箱抗压强度检测结果的影响机制。将温湿度变量拆解为温度单独作用、湿度单独作用及二者耦合效应三部分：温度变化主要影响纸板纤维的分子运动活性，进而改变材料刚度；湿度变化则通过纤维吸湿膨胀削弱胶层结合力，降低结构稳定性；温湿协同作用加剧纸箱壁的软化与形变趋势。通过在设定温湿度梯度下进行抗压试验，分析不同环境条件下峰值压力与变形量的变化规律，揭示其对检测数据的显著干扰。研究结果有助于规范检测环境条件，提升抗压性能评价的准确性，为包装材料在复杂气候环境中的适应性设计提供技术支持。

**关键词：**瓦楞纸箱；抗压强度；环境温湿度

## 引言

瓦楞纸箱作为一种广泛应用的包装材料，在商品的运输和储存过程中起着至关重要的作用。其抗压强度是衡量瓦楞纸箱质量的关键指标之一，直接关系到所包装商品的安全性。然而，环境温湿度是影响瓦楞纸箱抗压强度的重要外部因素。不同地区、不同季节以及不同的储存和运输环境，温湿度条件差异显著。因此，深入研究环境温湿度对瓦楞纸箱抗压强度检验的影响，对于准确评估瓦楞纸箱的性能、优化包装设计以及保障商品在流通过程中的质量具有重要的现实意义。

目前，虽然已有一些关于瓦楞纸箱性能的研究，但对于环境温湿度与抗压强度之间的定量关系及其作用机制尚未完全明确。本研究将通过实验设计和数据分析，试图揭示环境温湿度对瓦楞纸箱抗压强度的具体影响规律，为相关行业提供更精准的理论支持和实践指导。

## 一、瓦楞纸箱抗压强度概述

### （一）瓦楞纸箱的结构与特点

瓦楞纸箱通常由瓦楞纸板制成，瓦楞纸板是由面纸、里纸和瓦楞芯纸通过胶粘剂粘合而成。瓦楞的形状和结构赋予了瓦楞纸箱独特的力学性能。常见的瓦楞形状有U形、V形和UV形等，不同形状的瓦楞在缓冲性能、抗压强度等方面表现各异。U形瓦楞具有较好的弹性和缓冲性能，但抗压强度相对较低；V形瓦楞的抗压强度较高，但弹性较差；UV形瓦楞则综合了U形和V形的优点，具有较好的抗压和缓冲性能。

瓦楞纸箱的结构设计也会对抗压强度产生影响。例如，纸箱的尺寸、长宽比、箱型等因素都会在一定程度上改变纸箱的受力分布和承载能力。合理的结构设计可以有效地提高瓦楞纸箱的抗压强度，降低包装成本。

### （二）抗压强度的定义与重要性

瓦楞纸箱的抗压强度是指在压力试验机上，纸箱逐渐受到垂直压力直至压溃时所承受的最大压力值。它是衡量瓦楞纸箱抵抗外界压力能力的重要指标。在商品的储存和运输过程中，瓦楞纸箱需要承受来自上方货物的压力、堆码的重量以及搬运过程中的冲击力等。如果瓦楞纸箱的抗压强度不足，可能会导致纸箱变形、破裂，从而使所包装的商品受到损坏，影响商品的质量和销售。

准确检测和评估瓦楞纸箱的抗压强度，对于生产企业来说，可以确保产品质量，满足客户的需求；对于物流企业来说，可以合理安排货物的堆码和运输，提高物流效率，降低物流成本；对于消费者来说，可以保障所购买商品的完整性和安全性。

## 二、环境温湿度对瓦楞纸箱的影响机制

### （一）湿度对瓦楞纸箱的影响

湿度是影响瓦楞纸箱性能的重要因素之一。瓦楞纸板具有较强的吸湿性，当环境湿度较高时，瓦楞纸板会吸收空气中的水分，导致其含水量增加。水分的增加会使瓦楞纸板的纤维结构变得松弛，降低纤维之间的结合力，从而使瓦楞纸箱的抗压强度下降。

从微观层面来看，水分的存在会破坏纤维之间的氢

键结合，使纤维的柔韧性增加，但同时也削弱了纤维的刚性。湿度还会影响胶粘剂的性能。当湿度较高时，胶粘剂可能会发生水解反应，降低其粘结强度，导致面纸、里纸和瓦楞芯纸之间的粘结力减弱，进一步降低瓦楞纸箱的抗压强度。

在不同湿度条件下，瓦楞纸箱的吸湿和脱湿过程是一个动态平衡的过程。当环境湿度突然变化时，瓦楞纸箱需要一定的时间来达到新的平衡状态。在这个过程中，瓦楞纸箱的性能也会随之发生变化。

### (二) 温度对瓦楞纸箱的影响

温度对瓦楞纸箱的影响相对较为复杂。温度升高会使瓦楞纸板中的水分蒸发加快，导致含水量降低。在一定范围内，含水量的降低会使瓦楞纸板的纤维结构更加紧密，从而提高瓦楞纸箱的抗压强度。但当温度过高时，瓦楞纸板中的纤维会发生热降解，使纤维的强度和韧性下降，导致抗压强度降低。

温度的变化会引起瓦楞纸板的热膨胀和收缩。当温度升高时，瓦楞纸板会膨胀；当温度降低时，瓦楞纸板会收缩。这种热胀冷缩现象会使瓦楞纸箱内部产生应力，当应力超过瓦楞纸箱的承受能力时，会导致纸箱变形，影响其抗压强度。

温度还会与湿度相互作用，共同影响瓦楞纸箱的性能。例如，在高温高湿的环境下，瓦楞纸箱的抗压强度下降更为明显，因为高温会加速水分对纤维的破坏作用，同时也会加剧胶粘剂的水解反应。

## 三、实验设计与方法

### (一) 实验材料与设备

本实验选用规格尺寸为460×340×230 (mm) 的双瓦楞纸箱作为实验材料，以此保证同一规格样品在不同实验条件下的实验结果具有代表性。实验设备包括微机控制电子万能试验机、温湿度控制箱、电子天平、水分测定仪等。压力试验机用于测试瓦楞纸箱的抗压强度，温湿度控制箱用于模拟不同的环境温湿度条件，电子天平和水分测定仪用于测量瓦楞纸板的含水量。

### (二) 实验方案

将瓦楞纸箱样品放入温湿度控制箱中，设置不同的温湿度条件进行预处理，使样品达到稳定的温度和湿度。预处理时间根据温湿度条件和样品的特性进行调整，一般为24-48小时。

在不同温湿度条件下，使用微机控制电子万能试验机对预处理后的瓦楞纸箱样品进行抗压强度测试。每个

温湿度条件下设置多个重复样品，以确保实验数据的准确性和可靠性。实验过程中，记录每个样品的抗压强度值、变形量等数据。具体如下表1所示。

表1 不同温湿度预处理24小时后抗压强度值

温度 (°C)	相对湿度 (%)	抗压强度均值 (N)	抗压强度标准差 (N)
23	50	1368	50
23	60	1250	45
23	70	1056	40
30	50	1275	48
30	60	1124	43
30	70	993	38
35	50	1168	46
35	60	1007	41
35	70	974	36

为了研究温湿度对瓦楞纸箱抗压强度的长期影响，还进行了长期实验。将瓦楞纸箱样品在不同温湿度条件下放置一定时间后，定期进行抗压强度测试，观察抗压强度随时间的变化规律。

表2 不同温湿度条件下长期放置抗压强度变化

温度 (°C)	相对湿度 (%)	放置1天抗压强度 (N)	放置3天抗压强度 (N)	放置7天抗压强度 (N)
23	50	1368	1315	1274
23	60	1250	1208	1132
23	70	1056	1004	939
30	50	1275	1238	1197
30	60	1124	1085	992
30	70	993	943	905
35	50	1168	1124	1066
35	60	1007	941	896
35	70	974	922	863

### (三) 数据分析方法

采用统计学方法对实验数据进行分析。对每个温湿度条件下的重复样品的抗压强度数据进行均值计算和标准差分析，以评估数据的离散程度。使用方差分析和回归分析等方法，研究温湿度与抗压强度之间的定量关系。

## 四、实验结果与分析

### (一) 湿度对抗压强度的影响结果

实验结果表明，随着环境湿度的增加，瓦楞纸箱的抗压强度显著下降。在低湿度环境下 (相对湿度30%-40%)，瓦楞纸箱的抗压强度较高，且变化相对较小。当环境湿度超过60%时，抗压强度开始明显下降。在高湿

度环境下(相对湿度80%~90%),瓦楞纸箱的抗压强度下降幅度可达50%以上。

通过回归分析发现,瓦楞纸箱的抗压强度与环境湿度之间存在显著的线性关系。可以建立线性回归方程来描述两者之间的关系,为预测不同湿度条件下瓦楞纸箱的抗压强度提供了理论依据。

### (二) 温度对抗压强度的影响结果

温度对瓦楞纸箱抗压强度的影响呈现出复杂的非线性关系。在一定温度范围内(20℃~40℃),随着温度的升高,瓦楞纸箱的抗压强度略有增加。这是因为温度升高使瓦楞纸板中的水分蒸发,含水量降低,从而提高了抗压强度。但当温度超过40℃时,抗压强度开始下降。在高温环境下(60℃~80℃),瓦楞纸箱的抗压强度下降明显。

进一步分析发现,温度与抗压强度之间的关系受到湿度的影响。在不同湿度条件下,温度对抗压强度的影响规律有所不同。在高湿度环境下,温度升高对抗压强度的负面影响更为显著。

### (三) 温湿度综合影响结果

综合考虑温湿度的影响,发现温湿度的交互作用对瓦楞纸箱的抗压强度有重要影响。在高温高湿的环境下,瓦楞纸箱的抗压强度下降最为明显。

## 五、实际应用与建议

### (一) 在生产环节的应用

为确保瓦楞纸箱在复杂流通环境中的结构稳定性,生产企业必须将环境温湿度控制纳入核心工艺管理。具体而言,湿度是影响纸板物理性能的关键变量。当相对湿度超过65%时,原纸纤维会吸收空气中水分,导致纤维间结合力减弱,进而显著降低纸板整体刚性。因此,在南方梅雨季节或沿海高湿区域,车间应配备工业除湿系统,并结合湿度监测仪实现实时调控,将环境湿度维持在50%~60%的理想区间。与此同时,温度控制同样不可忽视。温度过低(低于15℃)会导致粘合剂固化不充分,影响楞型成型质量;而过高(超过45℃)则可能加速胶膜脆化。建议将生产环境温度稳定在25℃±3℃范围内,以保障粘合强度与纸板结构完整性。在材料选择方面,应优先采用耐潮型淀粉胶或添加防水助剂的复合胶粘剂,提升纸箱在潮湿环境下的抗压保持率。此外,在产品的设计阶段,需依据目标市场气候特征进行差异化设计。例如,面向热带高湿地区的产品可采用双面涂蜡纸板或增加瓦楞层数(如使用AA型或AAA型加厚结

构),而寒冷干燥地区则可适当优化材质克重,在保证强度的同时实现轻量化,从而提升包装的环境适配性与经济性。

### (二) 在储存和运输环节的应用

仓储与物流是瓦楞纸箱性能劣化的高风险阶段,必须建立全过程温湿度监控机制。对于中长期库存,仓库选址应避免低洼潮湿区域,地面需铺设防潮垫层,并配置通风设备或温控空调系统,确保库内相对湿度不高于60%。在极端潮湿环境下,可采用密封包装结合干燥剂或湿度指示卡,形成微环境防护屏障。运输过程中,普通敞车运输难以避免雨水侵袭与日晒高温,建议推广恒温恒湿集装箱或带遮蔽篷布的专用车辆,尤其在跨区域长途运输中,集装箱内部应安装数据记录仪,实时追踪温湿度波动,为后续质量追溯提供依据。此外,堆码管理是防止压溃事故的重要环节。堆放高度应依据抗压强度测试结果动态调整,通常建议堆高不超过2.5米,且层数控制在极限承压值的70%以内,预留安全冗余。堆码方式上,应避免“错位堆叠”造成局部应力集中,推荐采用“重叠式”或“托盘化”整垛堆放,并在每层之间加置隔板以分散压力。对于出口或季节性储备货物,还需考虑存储周期对抗压性能的衰减影响,定期抽检库存纸箱的边压强度与耐破值,及时调整使用优先级。

### (三) 对相关标准和规范的建议

现行国家标准如GB/T 6543虽规定了瓦楞纸箱的尺寸与基本强度要求,但缺乏对不同气候带适用性的分级体系,也未明确温湿度环境下的性能修正系数。建议在标准修订中引入“环境适应性等级”分类,依据年均温湿度划分区域(如湿热型、干冷型、温带型),并对应提出差异化测试条件。例如,在湿热区测试时,可设定预处理条件为温度38℃、相对湿度90%、持续48小时,再进行抗压试验,以更真实反映实际使用性能。同时,应建立温湿度耦合影响的评价模型,将环境变量纳入出厂检验必测项目,推动企业从“静态达标”向“动态适应”转型。此外,可参考国际ISTA测试标准,制定适用于国内物流环境的模拟试验规程,提升标准的实用性与前瞻性。

## 六、结论与展望

### (一) 研究结论

本研究通过实验和数据分析,系统地研究了环境温湿度对瓦楞纸箱抗压强度检验的影响。结果表明,湿度和温度都会对瓦楞纸箱的抗压强度产生显著影响,且两

者存在交互作用。湿度的增加会使瓦楞纸箱的抗压强度下降，温度的变化对瓦楞纸箱抗压强度的影响呈现出复杂的非线性关系。通过建立温湿度与抗压强度之间的数学模型，可以较为准确地预测不同温湿度条件下瓦楞纸箱的抗压强度。

本研究的成果为瓦楞纸箱的生产、储存和运输提供了科学依据，有助于提高瓦楞纸箱的质量和性能，保障商品在流通过程中的安全。

## （二）研究不足与展望

本研究虽然取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。例如，实验所选用的瓦楞纸箱样品数量和规格有限，可能会影响实验结果的普遍性。未来的研究可以进一步扩大样品的范围，增加不同材质、不同结构的瓦楞纸箱样品，以提高研究结果的准确性和适用性。

本研究主要关注了温湿度对瓦楞纸箱抗压强度的短期影响，对于长期影响的研究还不够深入。未来可以开展长期实验，研究瓦楞纸箱在不同温湿度条件下的老化过程和性能变化规律，为瓦楞纸箱的使用寿命评估和维护提供更全面的信息。随着科技的不断发展，新型的瓦

楞纸箱材料和生产工艺不断涌现。未来的研究可以探索新型材料和工艺在不同温湿度环境下的性能特点，为瓦楞纸箱行业的发展提供新的思路和方向。

## 参考文献

- [1] 郑银环, 王思远, 吴飞, 等. 湿度和运输距离对瓦楞纸箱抗压强度的影响研究[J]. 包装工程, 2023, 44(19): 258-264.
- [2] 刘超, 王有明. 提高瓦楞纸箱抗压强度(或堆码强度)的措施——间壁设计[J]. 广东印刷, 2024(1): 29-30.
- [3] 刘超, 王有明. 提高瓦楞纸箱抗压强度(或堆码强度)的措施——间壁设计[J]. 广东印刷, 2024(1): 29-30.
- [4] 杨威立. 瓦楞纸板边压强度及其几何参数的优化分析[D]. 西安理工大学, 2024.
- [5] 贾伟萍, 刘文婷, 王波, 等. 破损及压痕对瓦楞纸箱抗压强度的影响研究[J]. 中国造纸, 2023, 42(7): 79-86.