

大型商业建筑内人员密度调查结果的数据分析

郭伟，刘庭全，张翼

摘要：针对目前大型综合性商业建筑内的人员密度情况，对国内六个城市的七个大商业建筑进行实地调查，取得较为翔实的数据材料，使用统计学方法，通过建立统计学模型，采用回归分析的方法研究已建成万达广场内人员荷载情况，得到了人员荷载与相关因素之间的关系，初步建立了三种场所在不同营业时间的人员密度预测模型，本文的研究结果可为类似的大型综合性商业建筑防火设计提供较为合理的基础数据和技术支持，为商业类建筑人员密度的研究提供预测。

关键词：商业建筑，人员密度，回归分析

1、前言

建筑物内人员安全疏散系统的设计是建筑防火设计的一个重要环节，其中建筑物内部人员密度及疏散人数是安全疏散系统的设计中关键性的基础数据，是关系到疏散方案是否可行的重要参数。

建筑设计的过程中，在确定人员疏散人数时，一般采用国家标准中的计算方法确定人员数量。除影剧院、体育场馆的观众区按固定座位确定外，目前仅有部分国家标准或行业标准对个别场所的人员数量有明确规定，如《建筑设计防火规范》（GB50016-2006）对商店建筑和歌舞娱乐游艺场所、《办公建筑设计规范》（JGJ67-2006）对会议室和办公室、《商店建筑设计规范》（JGJ48-88）对商店建筑的人员荷载有规定。对于商业建筑，现有可供参考的设计资料也存在一定的局限性，如《商规》按营业厅面积和仓储区面积的比例折算人员数量，已不适应现代商业布局的情况，而其他可供参考的权威设计资料较少。

现代商业建筑中，对于不同的商业业态，其功能布局、面积、使用情况和人员荷载都较上世纪 80 年代《商店建筑设计规范》制定时的情况有了很大差异，即便是相同功能用途的建筑，由于所处地理位置和区域不同，其人员荷载也有一定差别。若仍按其提供的计算方法为依据进行疏散设计，确定疏散宽度等设计指标，用均一化的人员密度来控制不同场所人员容量的规定不具有普适性，常常是建设方、设计人员以及审核部门之间争论的焦点。因此，有必要针对不同的商业类型和业态，通过实地调查并结合现行规范中有关商店营业厅内的人员荷载计算

方法,确定不同类型商业建筑内的人员荷载。在确保人员疏散安全的前提下,使疏散人数的计算结果符合实际情况,更趋合理,也可提高建设工程的经济效益。

本文主要以北京、上海、西安、成都和南京五个城市的万达广场第三代店为研究对象,通过进行实地调查,得到此类大型综合性商业建筑内的人员密度情况,对数据进行统计分析,确定此类大型商业建筑不同区域的人员密度,其中主要是确定最大人员密度,为类似的大型综合性商业建筑防火设计提供较为合理的基础数据和技术支持,为商业类建筑人员密度的研究提供预测。

表 1 各万达广场相关情况

城市	名称	营业厅面积(m ²)	调查时间(2010年)	备注
北京	石景山万达广场	47853	8月13日~8月14日	周五、周六
上海	周浦万达广场	58348	9月5日	周日
南京	建邺万达广场	70523	9月7日	周二
西安	李家村万达广场	79814	9月21日	中秋小长假
成都	锦华城万达广场	78739	9月24日~25日	中秋小长假

2 人员密度数据的回归分析

客观世界内的变量受多种相互依赖、相互制约的因素影响,这些因素之间有着一定的关系,对于商业建筑内的人员密度而言,它与其影响因素之间是非确定性关系,称之为统计关系或相关关系。回归分析就是由一个或一组非随机变量来估计或预测某一个随机变量的观测值时,所建立的数学模型及所进行的统计分析。再验证所建立的经验公式的有效性,就可以进行预测或估计。

2.1 相关系数

针对不同万达广场采用4个相同的变量(营业时期、商业场所、离市中心城区距离指数、周围商业密集指数)进行的人员密度进行抽样调查。建立多因素的商业建筑内最大人员密度的预测模型,需要分析最大人员密度与营业时期、商业场所、离市中心城区距离指数和周围商业密集指数之间的相关性。

通过实地调查,得到了5个城市的万达广场在平日、周末和节假日等不同营业时段的人员荷载,并对这些实地观测数据进行了相应的统计分析,引入人员密度的影响因素,包括建筑面积、商业类型、城市发展水平以及营业时期等,再综合考虑商业场所类型、营业时间、距离市中心城区的距离、项目周围商业密集情况等四个影响因素,初步建立商业类建筑人员荷载的回归模型。

针对万达广场这一主体进行的调研取得的数据有较大的相似度,对其每个楼层进行分类统计分析,分别按营业时期、经营场所两个定性变量和离市中心城区

距离指数、周围商业密集指数两个数值型变量进行分类。首层的数据整理结果如下表 2 所示。

表 2 万达广场首层调研数据整理结果

序号	最大人员密度(人/m ²)	时期	场所	距离指数 (D)	商业密集指数 (S)	序号	最大人员密度(人/m ²)	时期	场所	距离指数 (D)	商业密集指数 (S)
1	0.08181	平日 T ₁	商场 C ₁	4	1.5	13	0.04591	平日 T ₁	商场 C ₁	9	6.5
2	0.11773	平日 T ₁	商铺 C ₂	4	1.5	14	0.04801	平日 T ₁	商铺 C ₂	9	6.5
3	0.10898	平日 T ₁	走道 C ₃	4	1.5	15	0.04729	平日 T ₁	走道 C ₃	9	6.5
4	0.11335	周末 T ₂	商场 C ₁	4	1.5	16	0.10354	节日 T ₃	商场 C ₁	9	6.5
5	0.15477	周末 T ₂	商铺 C ₂	4	1.5	17	0.09553	节日 T ₃	商铺 C ₂	9	6.5
6	0.15136	周末 T ₂	走道 C ₃	4	1.5	18	0.08324	节日 T ₃	走道 C ₃	9	6.5
7	0.05693	周末 T ₂	商场 C ₁	5	0.6	19	0.20924	节日 T ₃	商场 C ₁	7	2.1
8	0.11880	周末 T ₂	商铺 C ₂	5	0.6	20	0.07984	节日 T ₃	商铺 C ₂	7	2.1
9	0.03905	周末 T ₂	走道 C ₃	5	0.6	21	0.05580	节日 T ₃	走道 C ₃	7	2.1
10	0.06189	平日 T ₁	商场 C ₁	6	2.8	22	0.07057	平日 T ₁	商场 C ₁	7	2.1
11	0.07334	平日 T ₁	商铺 C ₂	6	2.8	23	0.03291	平日 T ₁	商铺 C ₂	7	2.1
12	0.06847	平日 T ₁	走道 C ₃	6	2.8	24	0.03338	平日 T ₁	走道 C ₃	7	2.1

注：1、营业时期的分类：T₁ 指平日、T₂ 指周末，T₃ 指节日（黄金周）。

2、商业场所按 C₁ 百货商场、C₂ 步行街商铺和 C₃ 步行街走道进行分类，分类依据是百货、步行街商铺和步行街走道这三类商业场所人员的荷载不同。

3、离市中心城区距离指数 D 取值的范围为[1, 10]，离中心城区距离越近取值越大。

4、周围商业密集指数 (S) 的取值，是依据调研人员对万达广场周围的商业分布情况实地考察进行评分 (N 为周围各类型商业建筑数量)：周围 0.5km 类有类似大型综合体得分为 2*N，周围 0.5km 类有中型综合体得分为 1*N，周围 0.5km 类有小型百货服装类商业店面得分为 0.5*N，周围 0.5km 类有单一品种百货或服装类商业店面 0.3*N 分。

5、步行街走道的营业面积按建筑面积计算。

6、最大的人员密度是指在观测时段内出现人流最高峰值时刻的人员密度。

2.2 结果与分析

本文选用适用于有定性变量的广义线性回归模型建立万达广场首层最大人员密度的预测模型。

先引入两个示性变量 T₁ 和 T₂ 用来表示表 5 中的三个营业时期类型，在平日时，T₁=1，其他时间 T₁=0；周末时 T₂=1，其他时间 T₂=0。用 T₁ 和 T₂ 二个变量的组合来表示 3 个营业时期类型。对于营业时期类型 1，T₁=1，T₂=0；营业时期类型 2，T₁=0，T₂=1；营业时期类型 3，T₁=0，T₂=0。示性变量取值为 0 的类别 (T₃ 节假日/黄金周) 称为基础类别或对照组。示性变量的回归系数是相对于对照组的增量，令 T₁，T₂ 的回归系数分别为 α_1 、 α_2 。采用同样方法，引入示性变

量 C_1 、 C_2 和 C_3 分别表示 3 个商业场所类型， β_1 、 β_2 和 β_3 分别作为其回归系数。对于数值型变量，我们采用 γ 和 δ 作为离市中心城区距离指数（D）和周围商业密集指数（S）的回归系数。

采用上面的定义，可以将最大人员密度 ρ 的回归模型可表示为

$$\rho = \varepsilon + \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \gamma D + \delta S$$

上式中， α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 、 γ 、 δ 均为回归系数，由调研整理得到的数据估计， ε 是随机误差。

采用 Matlab 软件中的多元线性回归 Regress 函数对我们收集的调研数据进行统计分析，删除异常值后，进行求解，得到改进后的回归模型的系数、系数置信区间与统计量，见表 3，再采用 Jbtest，Ttest 二种函数对残差进行正态性检验， $h=0$ 表明残差服从正态分布，进而由 t 检验可知 $h=0$ ， $p=1$ ，故残差服从均值为零的正态分布，证明建立的回归模型的适用性，计算分析结果和调研数据结果较一致。

表 3 删除异常值后的回归系数计算结果

回归系数	回归系数估计值	回归系数置信区间
ε	0.2268	[0.1595, 0.2942]
α_1	-0.0386	[-0.0651, -0.0120]
α_2	-0.0173	[-0.0540, 0.0194]
β_1	0.0015	[-0.0218, 0.0248]
β_2	0.0167	[-0.0056, 0.0390]
γ	-0.0285	[-0.0399, -0.0172]
δ	0.0177	[0.0085, 0.0269]
$R^2=0.7413$	$F=7.6400$	$p=0.0005<0.05$
		$s^2=0.0004$

根据示性变量回归系数的物理意义，从回归系数计算结果中可以看出：

1. 营业时期类型，相对与对照组 T_3 （节假日）的最大人员密度， T_1 （平日）和 T_2 （周末）二种营业时期的最大人员密度的增量为 -0.0386 和 -0.0173，即最大人员密度 $\rho(T_1) < \rho(T_2) < \rho(T_3)$ 。

2. 商业场所类型，相对于对照组 C_3 （步行街走道）的最大人员密度， T_1 （平日）和 T_2 （周末）二种营业时期的最大人员密度的增量为 0.0015 和 0.0167，即最大人员密度 $\rho(C_3) < \rho(C_1) < \rho(C_2)$ 。

3. 离市中心城区距离指数（D）和周围商业密集指数（S），从表中的结果中可能与实际生活经验有一定的出入，需要取得更多的调查样本数据，不断修正回归模型，以便得到更为切合实际的结果。

按照同样的方法，可以得到二层和三层的回归系数计算结果，建立各层的人

员密度回归模型:

$$\text{一层: } \rho_1 = 0.2268 - 0.0386T_1 - 0.0173 T_2 + 0.0015 C_1 + 0.0167 C_2 + 0.0285D + 0.0177S$$

$$\text{二层: } \rho_2 = 0.1480 - 0.0473T_1 - 0.0321T_2 + 0.0234 C_1 - 0.0206 C_2 - 0.0094D + 0.0148S$$

$$\text{三层: } \rho_3 = 0.3557 - 0.0618 T_1 - 0.0375 T_2 - 0.0259C_1 - 0.0450 C_2 - 0.0052D - 0.0357S$$

上式中, ρ 为各个场所的人员密度预测值, 百货商场类型为 C1、步行街商铺类型为 C2、步行街走道类型为 C3; T1 指平日期间、T2 指周末期间, T3 指节日期间; D 和 S 分别为距离市中心城区距离指数和周围商业密集指数。

3 小结

本文选取了 5 个已建成万达广场的人员荷载调查数据, 采用回归分析的方法对其进行分析处理, 得到各场所各层的人员密度回归模型, 初步预测了三种场所在不同营业时间的人员密度。

模型分析预测的准确度有赖于样本数量的多少, 限于目前调研的样本数还不充足, 可能存在模型对各影响因素变化的反映不足, 需要更多的调研数据样本进行补充和调整, 才能使模型预测结果符合实际。

参考文献

- [1]. 祁晓霞, 潘京. 对大型专业商场疏散人数的调查研究[J]. 消防科学与技术, 2005, 1.
- [2]. 张树平, 景亚杰. 大型商场建筑营业厅疏散人数的调查研究[J]. 消防科学与技术, 2004, (2).
- [3]. 游宇航, 李元洲等. 大型超市人员荷载的初步调查[J]. 消防科学与技术, 2007, (4).
- [4]. 杜宝玲, 房琳. 大型商场人员荷载调查与分析[J]. 武警学院学报, 2008, (4).
- [5]. 冯磊, 谭常春, 陆守香等. 商业类建筑人员密度统计分析建模[J]. 火灾科学, 2009, (3).

——本文发表于《2012 年中国消防协会年会论文集》(2012 年 9 月)