

布达拉宫古建筑的火灾风险分析

庄磊, 陆守香, 王福亮

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 安徽 合肥 230026)

[摘要] 利用火灾风险分析的方法对具有重要历史和文物价值的布达拉宫古建筑进行安全评估。以建筑自身状况、着火源控制、消防设施配备、人员疏散设施以及消防安全管理等方面的现状为切入点, 对布达拉宫重点区域作了火灾危险性调查。在此基础上, 引入半定量的火灾风险分析方法, 分析影响布达拉宫古建筑火灾风险水平的各因素。对体现火灾风险重要性的各参数划分等级并对其进行赋值。通过计算布达拉宫古建筑部分重点区域的火灾风险值, 分析不同区域的相对火灾风险水平。最后提出一些火灾防治的对策。

[关键词] 布达拉宫; 古建筑; 火灾风险分析; 半定量; 火灾危险度

[中图分类号] TU998; X913 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)03-0076-06

引言

布达拉宫位于拉萨市中心的玛布日山(红山)之上, 是西藏现存最大、最完整的宫堡式建筑群, 是藏族古建筑艺术的精华^[1]。布达拉宫古建筑与文物不可再生, 一旦发生火灾, 将会造成毁灭性的后果。因此, 确保布达拉宫的防火安全, 成为保护西藏珍贵历史文化遗产的一项紧迫而又重要的任务。然而, 布达拉宫古建筑的防火保护不同于其它一般工程, 简单套用有关建筑防火规范是相当困难的, 甚至是不可行的。它既要采取与布达拉宫历史文物价值相适应的火灾安全水平, 又要保留布达拉宫固有的历史风貌, 还要尊重藏族的宗教习俗。对布达拉宫这类具有重要历史和文物价值的古建筑进行防火保护, 分析和提高其火灾安全水平, 一般开展以下五步骤的工作^[2]: **a.** 火灾危险性调查; **b.** 紧急的火灾安全措施; **c.** 火灾安全评估; **d.** 火灾风险分析; **e.** 火灾安全管理。本文主要针对步骤 **a** 和 **d** 的内容, 对布达拉宫古建筑展开火灾风险分析。这

将有助于火灾隐患的确定和消除, 有助于提高布达拉宫古建筑的安全性, 为布达拉宫防火保护工程设计和消防监督提供技术手段。

1 布达拉宫火灾危险性调查

火灾危险性调查, 就是调查影响布达拉宫火灾风险各因素的现状, 这是开展火灾风险分析等工作的基础。通过调查, 识别可能的着火源以及可燃材料; 由建筑结构等特性来评估火灾蔓延的风险; 了解水喷淋装置、通风口以及其它消防设施的配备情况; 也要审核火灾安全措施的计划、组织和管理情况^[3]。

布达拉宫古建筑是一建筑群体, 结构复杂, 规模庞大, 将近1 000间房屋纵横交错。根据建筑自身特点及历史文物价值, 对其中一些重点区域进行了多次现场调查。布达拉宫火灾危险性调查主要包括: 建筑物的自身状况、着火源的控制、消防设施的配备、人员安全疏散设施、消防安全管理等几个方面, 调查结果见表1。

[收稿日期] 2005-09-11

[基金项目] “九七三”国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB409600); “十五”国家科技攻关资助项目(2004BA803B03-1)

[作者简介] 庄磊(1979-), 男, 江苏海门市人, 中国科技大学火灾科学国家重点实验室博士研究生

表 1 布达拉宫部分重点区域火灾危险因素调查结果
Table 1 Results based on fire safety inspection and survey of the Potala Palace

殿名	建筑物自身状况				着火源控制				消防设施配备				人员安全疏散		消防安全 管理 摄像头/个
	面积 /m ²	火灾荷载/kg·m ⁻²		文物 ^③ 情况	灯具 ^①	香炉 /个	酥油 灯/盏	电气 ^④ 线路	探测 器/组	手提式 灭火器 /个	通风口 ^②	疏散口 ^②	疏散 灯具/个		
西大殿区域	1	776	0.1	138	A	20DL	1	—	B	15	22	—	2 (1.8×2)	—	—
	2	214	16.4	57	A	20DL	—	1	A	11	12	—	1 (1.8×2)	2	1
	3	225	1.6	—	A	15DL 1DG	1	1	B	7	—	—	2 (1.5×2)	2	—
	4	240	2.0	162	B	18DL 2DG	—	—	A	8	—	—	2 (1.5×2)	1	—
	5	120	10.8	35	B	6DL	1	2	B	6	—	—	2 (1.5×2)	—	—
东大殿	6	670	0.07	136	A	15DL 2PL	1	2	C	10	—	40 (0.5×0.7)	2 (1.5×2)	1	1
红宫六层区域	7	300	0.08	17	D	17TL	—	—	C	3	—	34 (0.55×0.65)	1 (1.5×2.0)	—	1
	8	80	1.2	3.8	B	2DL 2TL	1	1	D	3	—	4 (0.7×1.5)	6 (0.75×1.5)	—	1
	9	60	3.2	45	B	2DL 1TL	—	1	C	2	—	1 (0.7×1.5)	1 (1.0×2.0)	—	—
	10	100	0.8	222.5	B	2TL	—	1	C	3	—	2 (1.0×2.0)	1 (1.0×1.8)	—	—
	11	96	0.8	14	B	2DL 1TL	—	1	B	3	—	2 (0.7×1.8)	1 (1.0×1.8)	—	—
	12	91	1.0	33	B	6TL	—	2	C	8	—	—	14 (0.7×1.5)	—	2
红宫七层区域	13	96	1.0	8.4	B	3DL	1	2	C	3	10	1 (1.5×1.5)	1 (1.5×1.5)	—	—
	14	300	0.08	9.2	A	6DL	—	—	C	1	12	—	2 (1.0×1.8)	—	—
	15	300	0.1	9	A	3DL 7TL	—	1	C	5	12	1 (2.0×1.5)	2 (1.0×1.8)	—	—
	16	246	12.5	26	A	1DL 7TL	—	1	B	5	—	1 (2.0×3.0)	2 (1.0×1.8)	—	1
	17	96	0.5	25	A	2DL	1	1	C	3	—	—	4 (0.7×2.0)	—	1
	18	80	0.7	—	A	1DL 2TL	—	2	D	—	—	—	6 (0.7×2.0)	—	—
	19	80	0.8	58	B	6DL	1	1	B	2	—	—	2 (0.8×2.0)	—	1
	20	48	4.0	—	A	6DL	—	—	B	2	—	—	2 (0.5×2.5)	—	1
	21	120	1.2	—	A	10DL	1	1	A	2	—	—	1 (1.0×2.0) 2 (0.5×2.0)	—	—
东日光殿	22	125	2.8	19.5	A	3DL	2PL	—	1	C	7	20	2 (0.6×1.8) 1 (1.5×2.0)	—	—
	23	130	1.2	5	C	2DL	1	—	B	5	—	—	3 (1.5×1.5)	—	—
	24	40	2.8	19	A	2DL	—	—	C	2	—	—	2 (0.7×1.7)	—	1
	25	30	2	—	A	—	—	—	D	1	—	—	1 (0.7×1.7)	—	2

表注：①灯具代号：DL 表示日光灯，TL 表示白炽灯，PL 表示吊灯，DG 表示灯管；
 ②各栏内容示例：通风口 2 (0.6×1.8) 表示尺寸为 0.6m×1.8m 的通风口 2 个；疏散口 1 (1.8×2) 表示尺寸为 1.8m×2m 的疏散口 1 个；
 ③文物情况相对分级：A 表示贵重；B 表示一般；C 表示文物较少；D 表示文物很少（几乎没有）；
 ④电器线路布置分级：A 表示线路非常复杂，曝露多，接线头（插座）多；B 表示线路复杂，曝露情况一般，接线头一般；C 表示线路少，曝露较少，接线头较少；D 表示线路极其少（几乎没有），无曝露，无接线

2 布达拉宫火灾风险分析

根据 ISO/PDTS 16732，火灾风险定义为潜在火

灾事故发生概率及产生的后果^[4]。引进“量”的概念是进行火灾风险分析和比较的基础，严格的定量分析应当以基于统计方法的事故概率和基于火灾动

力学的火灾后果为基础^[5]。但由于西藏地区古建筑火灾事故数据资料的缺乏以及其它方面的限制,准确计算布达拉宫火灾事故的概率是困难的,甚至是不可行的。火灾风险分析不能完全科学化和量化^[6]。半定量的火灾风险分析方法,过程简单,应用广泛,适合于特殊建筑的火灾风险分析。

作者引进古斯塔夫(Gustav Purt)的思想^[5],将建筑物火灾危险度分为GR和IR。但古斯塔夫提出的公式不适合布达拉宫古建筑的特殊情况,因此作者重新定义了火灾风险因子,每个因子对应火灾危险源的不同特性。对这些影响火灾安全或风险水平的简单因子划分等级并进行量化。每个因子的取值是依据其在火灾风险中所起作用的不同而确定大小的,一般基于以往火灾案例及专家多年的知识积累和工作经验。然后这些赋值通过数学函数表达式,得到某种形式的分度值。它表征了布达拉宫古建筑不同区域的相对危险水平,从而区分出不同区域的火灾危险程度。

2.1 建筑物火灾危险度GR分析

古建筑火灾不但会导致人员伤亡,同时由于其自身具有重要的历史和文物价值,还会造成不可挽回的重大文物和经济损失。因此,古建筑火灾危险性应包括火灾对建筑物本身的破坏以及对建筑物内部人员和财产伤害两个方面。对建筑物本身的破坏用GR表示,对建筑物内人员伤害和财产损失用IR表示。两方面的危险程度共同决定了建筑物的火灾危险性。

根据影响布达拉宫古建筑火灾风险的因素,定义古建筑的GR如下:

$$GR = \frac{(Q_m \cdot C + Q_i)}{L_p + L_h} \cdot (I_l + I_c + I_g + I_e) \cdot B \quad (1)$$

其中: Q_m 为可移动的火灾负荷因子,表示建筑物室内可移动的燃烧物对GR的影响; C 为易燃性因子,表示可燃物的易燃性能; Q_i 为固定的火灾负荷因子,表示建筑物构件中的可燃材料; I 为点火源因子, I_l, I_c, I_g, I_e 分别表示古建筑内灯具、香火炉、酥油灯以及电气线路等着火源对GR的影响; B 为危险度减小因子,考虑一些使火灾危险度下降的因素; L 为灭火因子,是灭火能力的概念数值, L_p, L_h 分别表示消防设施配备及人工灭火因素。

影响火灾危险度的各系数的取值范围,是依据其在火灾危险度中所起作用的不同而确定大小的。下面分别对各个因子的取值进行讨论。

可移动火灾负荷因子 Q_m 包括了经幡、哈达、宝塔伞、唐卡、幔帐、垂帘等易燃物品,还包括了一些木制藏柜、经书、桌椅台架等,通常采用折合标准木材的方法来表示。表2给出了移动可燃物与 Q_m 的关系。

C 表示可燃物的燃烧性能,根据《建筑设计防火规范》的有关规定,可燃物的燃烧性能可分成5个等级。基于此,作者对每个燃烧等级赋予一个 C 值,表3给出了 C 的取值。

表2 移动可燃物与 Q_m 的关系

Table 2 Relation between mobile combustible materials and Q_m

移动可燃物/kg·m ⁻²	0~1	1~2.5	2.5~4.5	4.5~7	7~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50
Q_m	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	3.4	4.0

表3 可燃物燃烧性能C取值

Table 3 Classification and data of combustibility parameter of combustible materials

可燃物燃烧等级	可燃物名称	C取值
甲	已烷、戊烷、汽油;水煤气、硫化氢、氯乙烯、液化石油气;硝化棉、硝化纤维胶片、喷漆棉、火胶棉;金属钾、钠	1.8
乙	煤油、松节油、溶剂油、冰醋酸、樟脑油;氨气、液氯、液溴、镁粉、樟脑、萘、生松香、硝化纤维漆布;氧气、氟气;漆布及其制品,油布及其制品,油纸及其制品,油绸及其制品	1.6
丙	动物油、植物油,沥青,蜡,润滑油,机油,重油,闪点 $\geq 60^\circ\text{C}$ 的柴油;化学、人造纤维及其织物,纸张,棉、毛、丝、麻及其织物,谷物,面粉,天然橡胶及其制品,竹、木及其制品	1.4
丁	自熄性塑料及其制品,酚醛泡沫塑料及其制品,水泥刨花板	1.2
戊	钢材,铝材,玻璃及其制品,搪瓷制品,陶瓷制品,不燃气体,玻璃棉,岩棉,陶瓷棉,硅酸铝纤维,矿棉,石膏及其无纸制品,水泥,石,膨胀珍珠岩	1.0

固定火灾负荷因子 Q_i 为包括了建筑构件中的木柱、梁、檩等可燃材料，这种火灾荷载一经形成，

将不会改变。它也是折合木材量来表示，表 4 给出了相应木材量与 Q_i 的取值关系。

表 4 Q_i 取值表

Table 4 Relation between fixed combustible materials and Q_i

固定可燃物/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	0~5	5~10	10~20	20~50	50~100	100~200	200~500	>500
Q_i	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.6	3.2	4.0

点火源因子 I 包括了灯具、香火炉、酥油灯以及电气线路等因素，表 5 给出了 I_1 、 I_c 、 I_g 、 I_e 的分级及其取值。

火灾发展的影响，表 6，表 7 分别给出了 L_p 、 L_h 的取值情况。

灭火因子 L 包括了消防设施配备及人工灭火对

火灾危险度减小因子 B 考虑了实际情况下不同的可燃物状态对火灾蔓延有重要影响，其取值可参考表 8。

表 5 点火源因子分级及其取值表

Table 5 Description of ignition sources

点火源因子	主要状态	取值
I_1	1 灯盏数目较少，且远离可燃物	0.1
	2 灯盏数目较少，但有靠近可燃物	0.2
	3 有一定数目灯盏，少量靠近可燃物	0.3
	4 灯盏数目较多，且部分靠近可燃物	0.4
I_c	1 建筑物内没有	0.1
	2 建筑物内少量存在，但远离可燃物	0.3
	3 建筑物内少量存在，且靠近可燃物	0.6
I_g	1 建筑物内没有	0.1
	2 建筑物内少量存在，但远离可燃物	0.3
	3 建筑物内少量存在，且靠近可燃物	0.8
I_e	1 线路极其少（几乎没有），无曝露，无接线头	0.1
	2 线路少，曝露较少，接线头较少	0.2
	3 线路复杂，曝露情况一般，接线头一般	0.5
	4 线路非常复杂，曝露多，接线头（插座）多	0.8

表 6 消防设施配备 L_p 的取值表

Table 6 Description of protection equipments

等级	消防设施配备情况	L_p 取值
1	没有安装探测报警装置及 24 小时值班的摄像头，没有配备灭火器	0.2
2	没有安装探测报警装置及 24 小时值班的摄像头，配备了少量灭火器	0.5
3	安装了探测报警装置或 24 小时值班的摄像头，没有配备灭火器材	0.8
4	安装了探测报警装置或 24 小时值班的摄像头，配备了少量灭火器	1.0
5	安装了探测报警装置或 24 小时值班的摄像头，配备一定量灭火器材	1.2
6	安装了探测报警器及 24 小时值班的摄像头，配备足够灭火器材	1.5

表 7 人工灭火 L_h 的取值表

Table 7 Description of ability of manual fire fighting

等级	火灾现场楼层	一、二层	三、四层	五、六层	七层及以上
1	无专业消防队，工作人员消防意识差	0.5	0.4	0.3	0.2
2	有专业消防队，工作人员消防意识差	0.7	0.6	0.5	0.3
3	无专业消防队，工作人员消防意识强	0.9	0.8	0.7	0.5
4	有专业消防队，工作人员消防意识强	1.2	1.1	1.0	0.8

表 8 火灾危险度减小因子 B 的取值表

Table 8 Classification and data of lessen factor of fire hazard

等级	主要状态	B 取值
1	可燃物多、易于着火、堆放松散、面积大，对火蔓延有利	1.6
2	可燃物较多、着火性一般、堆放松散	1.2
3	部分物品难以着火、散热条件好	0.8
4	货物包装紧凑、不易着火与蔓延	0.6

2.2 建筑物内火灾危险度 IR 分析

根据影响布达拉宫古建筑火灾风险的因素，人员的危险性应该细化考虑人员数量以及建筑物的疏散状况，因此定义 IR 如下：

$$IR = (H \cdot E + D) \cdot S \quad (2)$$

其中， H 为人员危险因子， E 为人员安全疏散因子， D 为财产危险因子， S 为烟气通风因子。

人员危险因子 H 主要受人员多少、对建筑物疏散通道的熟悉程度等因素影响。表 9 给出了其取值情况。

表 9 人员危险因子 H 取值表

Table 9 Data of fire hazard degree to people

等级	主要状态	H 取值
1	人员数量较少, 活动自由, 人员生命没有危险	1
2	人员数量较少, 但活动受到一定限制, 人员生命有一定危险	2
3	人员数量较多, 且活动受到一定限制, 人员生命有一定危险	3
4	人员数量密集拥挤, 活动受到限制, 人员生命有危险	4

人员安全疏散因子 E 主要考虑疏散出口以及疏散指示等因素, 概括起来列于表 10。

表 10 人员安全疏散因子 E 取值表

Table 10 Classification and data of fire safety evacuation factor

等级	主要状态	E 取值
1	疏散口足够, 并配有准确、清晰的疏散指示标志	0.5
2	有一定疏散口, 疏散路线简单明了	0.8
3	疏散口较窄, 疏散路线简单明了,	1.5
4	疏散口较窄, 没有安装疏散指示标志	1.8

财产危险因子 D 主要考虑布达拉宫内文物财产受火灾影响, 取值依据见表 11。

表 11 D 的分级及取值表

Table 11 Classification and data of property losing factor

等级	主要状态	D 取值
A	建筑内文物贵重	4
B	建筑内文物一般	3
C	建筑内文物较少	2
D	建筑内文物很少 (几乎没有)	1

烟气通风因子 S 主要考虑烟气的毒性、浓度及排放等情况, 具体取值见表 12。

2.3 火灾危险度综合评价

对布达拉宫部分重要区域的火灾相对风险进行分析, 量化各殿堂的火灾危险度, 分别计算其 GR 及 IR 值, 绘制了火灾危险度分布图, 见图 1。 GR 和 IR 不同的殿堂, 其采取防火措施是不尽相同的。

表 12 烟气通风因子 S 的取值表

Table 12 Classification data of ventilation factor

等级	主要状态	S 取值
1	可燃物燃烧烟气产生量不大, 通风状况较好	1.0
2	可燃物燃烧烟气产生量不大, 通风状况不好	1.2
3	可燃物燃烧放出较多污染性浓烟, 通风条件较好	1.4
4	可燃物燃烧放出较多污染性浓烟, 通风条件不好	1.6

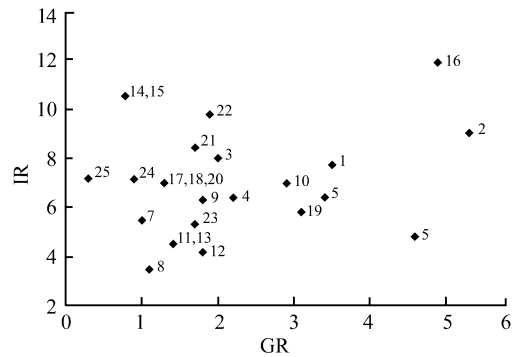


图 1 布达拉宫部分重要区域火灾危险度图
Fig.1 Level of fire safety of important regions of the Potala Palace

当 GR 较大时, 例如宫殿 5, 16 和 2 等, 表明这些殿堂一旦发生火灾, 火势难以控制而使得建筑结构遭到破坏。因此建议这些殿堂: 采取有效的技术措施, 进行可燃物控制, 降低或减弱可燃物的燃烧性能, 例如, 对木结构采取防火包裹及对织物制品进行化学阻燃处理; 采取有效的技术手段, 降低和消除火灾隐患因素, 包括严格明火源管理、加强电气防火安全以及提高防雷能力; 加强和改进消防措施, 采用自动灭火系统以提高建筑物的自救能力。

当 IR 较大时, 例如宫殿 16, 14, 15 等, 表明这些殿堂一旦发生火灾, 内部人员和贵重文物不能迅速安全疏散, 将遭受重大人员伤亡和文物损失。因此建议这些殿堂: 采用早期火灾探测报警系统, 可与布达拉宫监控系统联动; 改善人员疏散通道, 简化路线分布, 使人员疏散路线简洁, 明了; 在重要出口增设疏散指示灯具; 控制殿内的人员密度。

当两者都较大时, 例如宫殿 16, 则建议采取双重保护。

3 结束语

布达拉宫建筑结构独特, 宫殿群间没有有效的防火分隔, 着火因素多, 火灾荷载高, 具有相当大的火灾危险性。作者归纳了影响布达拉宫古建筑火

灾风险水平的主要因素，并根据西藏地区以往典型火灾案例^[7]，依据各种因素在火灾危险度中所起作用的不同而赋予不同权值。通过计算重要宫殿区域火灾风险值，真实反映出各宫殿区域所面临的防火问题，对开展布达拉宫火灾防治具有很好的指导作用。同时，西藏是我国文物大省，共有文物点2 000余处，其中绝大部分有类似布达拉宫古建筑的火灾安全问题^[7]，作者提出的火灾风险分析同样适用于这些文物古建筑。

目前，世界上许多国家都意识到古建筑防火安全的重要性。但古建筑防火有其特殊性，如何既提高古建筑的火灾安全水平，又能保留其固有的历史风貌，是火灾安全设计所面临的新问题。需要把火灾风险领域内的研究成果应用于古建筑，从而为古建筑的防火设计提供科学依据，提高我国古建筑防

火安全水平。

参考文献

- [1] 布达拉宫管理处. 布达拉宫游览指南[Z]. 2001
- [2] Rantatalo T, Nystedt F. Use of Fire Safety Engineering and Risk Analysis in Cultural Heritage Buildings[M], 2003
- [3] 公安部消防局专家组. 西藏古建筑防火现状分析与技术对策建议[Z]. 2004
- [4] ISO/PDTS 16732. Fire Safety Engineering-Guidance on fire risk assessment[S], 2003
- [5] 范维澄, 孙金华, 陆守香, 等. 火灾风险评估方法学[M]. 科学出版社. 2004
- [6] Watts J M. , Kaplan M E. . Fire risk index for historic buildings[J]. Fire Technology, 2001, 37(2):167~180
- [7] 李凤泉. 对西藏文物古建筑消防工作的探讨[J]. 消防科学与技术. 2004, 23(4) :399~400

Fire Risk Evaluation for Historic Building of The Potala Palace

Zhuang Lei, Lu Shouxiang, Wang Fuliang

(State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei 230026, China)

[Abstract] The Potala Palace was built in the 7th century and it is famous for its great historic and cultural values. From the aspects of fire resource, equipment of fire fighting, evacuation of people and management of fire safety, the situation of fire hazard was investigated in detail. It is necessary to have an efficient approach to evaluate older buildings of significant historic values. Fire risk evaluation described in this paper is one kind of semi-quantitative methods. It uses a model of multiple attribute evaluation to produce a measure of relative fire risk. Weights are established to indicate the importance of fire risk parameters. Then, for each specific historic structure, parameter grades, i. e. , the amount or degree that a parameter is present, are determined from information collected in the actual situation of the survey. Fire risk is evaluated by the scalar product of the parameter weights and grades, producing a single numerical value representing the level of fire safety provided in the building. Moreover, suggestions are given about fire prevention and protection.

[Key words] the Potala Palace; historical buildings; fire risk assessment; semi-quantitative methods; fire hazard