多层木结构建筑防火要求及应用现状

彭磊[1]，邱培芳[2]，倪照鹏[2]，刘庭全[2]

摘要：我国规范允许的木结构建筑层数不超过 3 层；而在欧洲和北美，多层木结构建筑的建造技术和火灾安全设计较为成熟，6~9 层的多层木结构建筑已有不少的应用实例。本文对国内外多层木结构建筑的防火规范要求进行对比调研，然后整理分析国内外多层木结构建筑的应用案例，为了解各国多层木结构建筑的火灾安全性能和实际应用状况提供参考资料和佐证。

关键词：木材；木结构；多层建筑；防火规范

1.引言

木材作为一种可持续供给的自然资源，凭借其绿色环保和节能减排等对环境友好的优势，在建筑结构设计中获得越来越多的青睐。而新的建筑方法和设计工具的使用，更是使得木结构成为一种高效的建筑方式，能提供良好的性价比。木结构的应用范围，正在从传统的低层、单（双）户为主的型式，向多层（甚至高层）和多户的方式发展和转化[1-3]。

然而，木材是可燃的，火灾危险性始终是制约木结构在多层建筑中应用的最主要原因[2-4]。随着木结构火灾安全知识的不断积累和新的设计方法和模型的不断发展，以及其它消防技术措施如火灾探测报警和自动喷淋系统的应用，木结构的应用日趋广泛。不少国家都着手修改或已修改了其建筑防火规范，以适应木结构建筑日益广泛的应用需求[4,5]。例如：挪威、瑞典和新西兰等国的规范对木结构建筑没有特殊要求，也不限制木结构建筑的层数。在欧洲和北美，6~9 层的多层木结构建筑已有不少的应用实例。木结构建筑的主要类型体系分为：轻型木结构建筑、重型木结构建筑和正交层压板建筑体系。各种体系具有各自的对火反应特性，并都能具有较好的耐火性能表现。

自 2010 年起，中国住房和城乡建设部与加拿大开展合作，采用现代木结构建筑技术应用于中国建筑节能与减碳领域以应对气候变化。2011 年 2 月，一系列木结构建筑项目被住房和城乡建设部批准列为中加合作“多层木结构建筑技术应用示范工程”。其中天津泰达悦海公寓项目就拟建两栋轻型木结构客房楼，每栋木结构建筑层数为 4 层，建筑面积为 2350m^2，每层约 590m^2。就建筑高度来说，该示范项目突破了我国现行规范对最高层数的规定。其火灾安全性能，自然

成为需要考虑的最重要的问题。

本文针对国内外多层木结构建筑的防火规范要求进行了对比调研，同时收集了多层木结构建筑的实际应用现状，为了解多层木结构建筑的火灾安全性能提供参考资料和佐证。

2.国内外规范对木结构建筑的防火要求

2.1 《建规》对木结构建筑的规定

《建筑设计防火规范》(简称《建规》)第 5.5.2 规定："木结构建筑不应超过 3 层。不同层数建筑最大允许长度和防火分区面积不应超过表 5.5.2 的规定"。《建规》表 5.5.2 的内容见下表 1 所示：

表 1 木结构建筑的层数、长度和面积

层数	最大允许长度 (m)	每层最大允许面积(m^2)
一层	100	1200
二层	80	900
三层	60	600

注：安装有自动喷水灭火系统的木结构建筑，每层楼最大允许长度、面积可按本表规定增加1.0 倍，局部设置时，增加面积可按该局部面积的1.0 倍计算。

《建规》中的表 5.5.1 还对木结构建筑构件的燃烧性能和耐火极限做了规定，见下表 2 所示：

表 2 木结构建筑中构件的燃烧性能和耐火极限

构件名称	燃烧性能和耐火极限（h）
防火墙	不燃烧体 3.00
承重墙、住宅单元之间的墙、住宅分户墙、楼梯间和电梯井墙体	难燃烧体 1.00
非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙	难燃烧体 1.00
房间隔墙	难燃烧体 0.50
多层承重柱	难燃烧体 1.00
单层承重柱	难燃烧体 1.00
梁	难燃烧体 1.00
楼板	难燃烧体 1.00
屋顶承重构件	难燃烧体 1.00
疏散楼梯	难燃烧体 0.50
室内吊顶	难燃烧体 0.25

注：1　屋顶表层应采用不可燃材料。

2　当同一座木结构建筑由不同高度组成，较低部分的屋顶承重构件不得采用燃烧体；采用难燃体时，其耐火极限不应低于1.00h。

3.国外规范对木结构建筑的规定

在 2002 年，瑞典开展了一项针对欧洲及其它国家防火规范对木结构建筑相关条例规定的调查研究[5]。表 3 显示，截止 2002 年各个国家规范对木结构住宅建筑最高允许层数和结构构件的耐火极限的规定。欧洲各国近二三十年来对木结构建筑的防火性能进行了深入的研究，对木结构建筑火灾安全有了更深的了解；同时由于防火技术的不断提高，木结构建筑在欧洲各国的应用逐渐放宽，对其建筑高度的限制也逐渐开放。图 1 显示的是欧洲各国对木结构建筑最大允许层数规定的变化[6]。

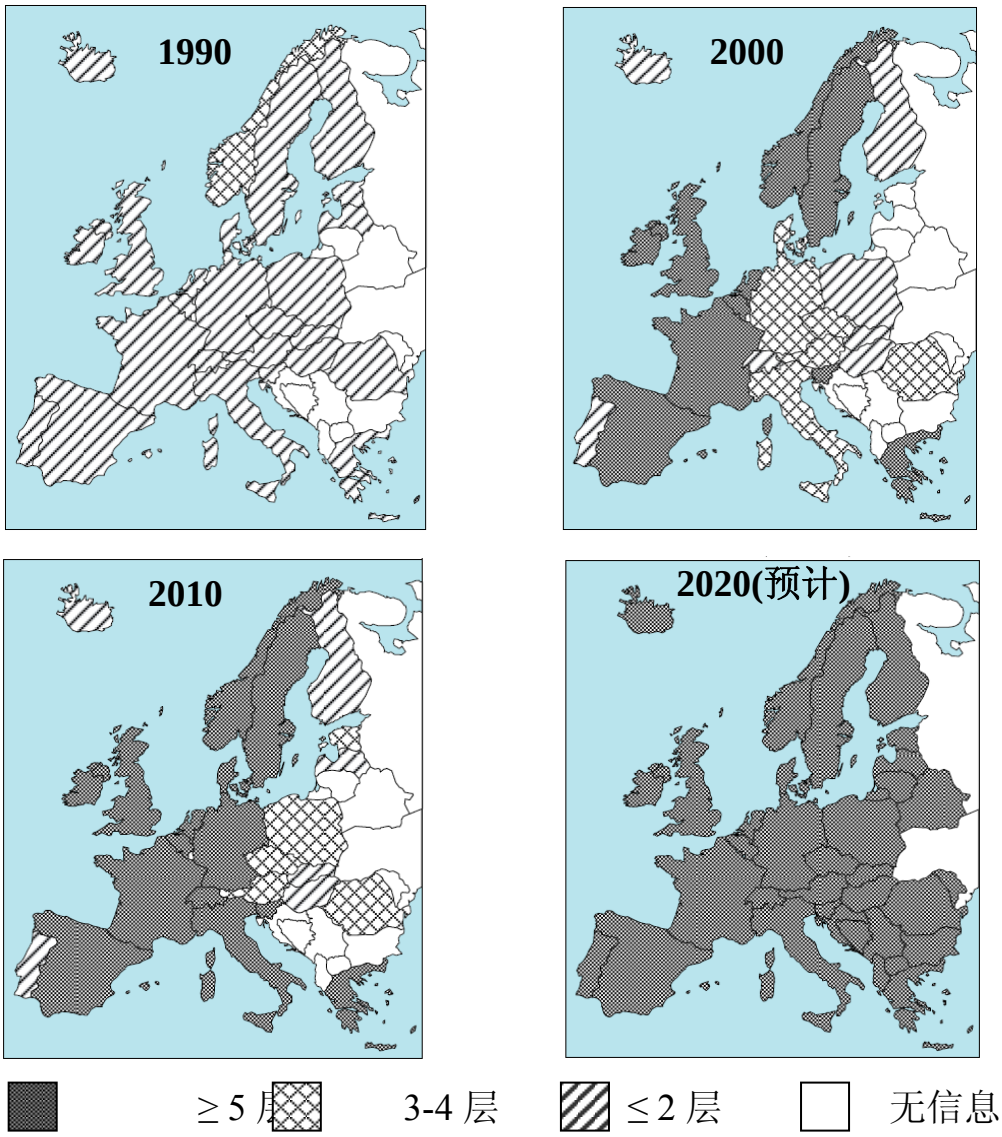

图 1　木结构建筑在欧洲的应用

表 3 木结构住宅建筑最高允许层数和结构构件的耐火极限 (截止 2002 年)

国家	层数		高度，m		无喷淋建筑内构件的耐火极限 º，min									评注
	无喷淋	有喷淋	无喷淋	有喷淋	1-2 层		3-4 层		5-6 层		7-8 层		楼梯	
					承重	非承重	承重	非承重	承重	非承重	承重	非承重	4 层建筑	
奥地利	4	4	-	-	60	30	60	60	-	-	-	-	60	
比利时	∞	∞	∞	∞	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
捷克	3	3	9	9	45*	-	60*	-	-	-	-	-	30	*地下室除外；顶层耐火极限为 30min
丹麦	4	4	-	-	60	60	60*	60*	-	-	-	-	30	*需防碳化保护
芬兰	2	4	9	14	30/-*	30	-	-	-	-	-	-	-	*取决于建筑的耐火等级
法国	15	15	50	50	15/30*	15/30*	30/60*	30/60*	90	90	90	90	-	*垂直构件/水平构件
德国	3/5*	3/5*	-	-	30	-	30**/90	-	-	-	-	-	60	*以后为 5 层；**对于 3 层的建筑，耐火的极限为 30min
希腊	∞	∞	∞	∞	30	-	30	-	60	-	60	-	-	地下室除外
爱尔兰	∞	∞	∞	∞	30	60	60*	60*	60*	60*	60**	60**	30	*5 米<建筑高度≤20 米；**20 米<建筑高度≤30 米，耐火极限为 90min
意大利	4	4	-	-	30	-	30	-	-	-	-	-	30	
荷兰	∞*	∞*	∞*	∞*	30**	-	60**	-	90**	-	90**	-	60	*实际为 5 层(13m), **如火灾荷载>500kJ/m2，增加 30min
挪威	∞	∞	∞	∞	15	30	60	60	*	*	*	*	30	*高于 4 层需特殊要求（应提供详细文件）
罗马尼亚	3	3	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	60	
斯洛文尼亚	8	8	22*	22*	-	-	?	?	?	?	?	?		*建筑最高层的高度；?未知
西班牙	∞	∞	∞	∞	60*	-	60	-	90	-	90	-	30	*对于单户别墅，耐火的极限为 30min
瑞典	∞	∞	∞	∞	30	30	60	60	90*	90*	90*	90*	30	*对于水平构件，耐火的极限为 60min
瑞士	2*	2*	-	-	30**	-	-	-	-	-	-	-	-	*在 Aagan 行政区允许 5 层建筑；**对一层建

														筑没有要求
英国	6	6	18	18	30	15	60	60	90	60	90*	90*	**	*除苏格兰；**仅当有其他疏散通道可用时，能采用木材
澳大利亚	3*	3*	-	-	90	90/30	90	90/60	-	-	-	-	90	*如果底层为不可燃车库时，可建 4 层
新西兰	∞	∞	∞	∞	30	-	45	-	45	-	45	-	30	
加拿大	3	4	-	-	45/60*	45/60*	45/60*	45/60*	-	-	-	-	60	*取决于建筑物面积和高度
美国	3/4*	4/5*	-	-	60	-	60	-	60	-	-	-	60	*取决于建筑法规
日本	3	3	13	13	30/45	-	45/60*	-	-	-	-	-	-	*4 层楼的要求：60 分钟的耐火极限+3 小时熄火后测试

º 适用于允许的木结构建筑。

4. 国内外规定对比

以下主要对国内外规范中木结构建筑的防火要求进行比较，内容包括层数、面积和耐火极限。通过对比可见：我国对木结构建筑层数和建筑面积的要求过于严格；而对 3 层木结构建筑耐火极限的要求而言，则与其它国家相当。

1）层数和面积

表 4 总结了中国规范与北美、欧洲和澳洲国家的对比结果。从表中可以看出我国规范对木结构建筑层数和面积的要求都最为严格。尤其是在安装有喷淋系统的情况下，中国对层数的要求仍然限制在 3 层，而不少国家允许层数做适当增加。

表 4 各国对木结构建筑的层数和建筑面积的规定比较

国家和地区	层数		每层最大允许面积 (m^2)	
	无喷淋	有喷淋	无喷淋	有喷淋
中国	3	3	600	1200
加拿大	3	4	1200	1800
加拿大卑诗省	3	6	1200	1200
美国	3/4	4/5	110/1900	3300/5700
多数欧洲国家 (2010)	≥ 5	≥ 5		
新西兰	∞	∞	5000	5000

2）耐火极限

按《建规》的规定（见表 2），我国对不超过 3 层的木结构建筑中承重构件，如承重墙、楼板、梁、柱等的耐火极限的规定为 60 分钟，而对非承重构件，如隔墙和吊顶的耐火极限的规定则为 30 分钟或 15 分钟。

而北美、欧洲和澳洲的国家（见表 3 的总结），对允许建造的 3-4 层木结构建筑承重构件的耐火极限的规定一般为 60 分钟，而非承重构件耐火极限在 30-60 分钟不等。如果允许建造 5-6 层的木结构，则这些国家对其建筑构件（承重或非承重）耐火极限的规定一般为 60-90 分钟。

我国对木结构建筑的最高层数限制在 3 层。因此，对比我国对 3 层木结构耐火极限的规定和国际上对 3-4 层木结构耐火极限的规定，应该说处于相当的水平。

5．木结构建筑在国内外的应用

5.1 木结构建筑在国外的应用

近几十年来，国际上的木结构生产应用技术已取得了长足的发展，不仅逐步克服了木材的一些传统缺陷而且现代木结构建筑体系已大量采用工业化生产，提高了原木的利用率，使强度和耐久性能大大提高。

在美国、加拿大，轻型木结构是住宅建筑的主要型式。随着木结构建筑技术的发展，一些公寓、宾馆、办公楼、学生宿舍和会议中心等公共建筑也采用了木结构型式。在许多欧洲国家，如德国、奥地利、法国、瑞典、芬兰等国家，木结构也是常见的建筑型式。在地震多发国日本，大部分民居也采用木结构建造。

对于木结构建筑的层数问题，欧洲各国经历了从保守到逐步放开的过程[6]，见图 1 所示。1990 年之前，大部分欧洲国家只允许建到两层，只有北欧少数国家允许建到 3～4 层；到了 2000 年，不少欧洲国家已经允许木结构建筑建到 5 层及以上。而从 2010 年开始，不少欧洲国家开始取消对木结构建筑层数的限制。在加拿大，其国家规范允许木结构建到 4 层，在部分省（如卑诗省）则允许建到 6 层。从目前各国的实际应用情况看，大部分国家都允许木结构建筑建到 6 层，出于经济和实用性原因，也不乏 7 至 9 层的案例。例如，2009 年在英国伦敦 Hackney 区建成一栋 9 层楼的住宅建筑，采用了最先进的正交层压板建造而成，是世界上最高的一栋木结构住宅建筑；瑞典 Växjö 市的多层木结构住宅项目为四栋 8 层木结构住宅建筑，每栋有 33 套住宅，建筑面积为 3374m^2；德国柏林的 E3 工程于 2008 年建成的一栋 7 层住宅建筑，采用的也是正交层压板建造。

5.2 木结构建筑在我国的应用与研究

在中国，木结构建筑作为传统的建筑型式，具有悠久的历史。中国现存的木结构建筑，多是历史上遗留下来的老建筑。有纯木结构，也有砖木结构。目前在北京、上海、天津、大连、青岛、杭州、广东、海南等地出现了许多现代轻型或重型木结构建筑物。例如，汶川地震后加拿大联邦政府与卑诗省政府援建的四川都江堰向峨小学就是中国第一个采用全木结构建造的大型公用建筑，也是一所抗震防火及各方面安全性都堪称高标准的木结构小学。学校建筑面积占地 5749m2，主体建筑由一栋多层教学楼，一栋 3 层学生宿舍以及食堂和行政中心大楼组成，其宿舍楼为 3 层轻木结构建筑，食堂为 2 层胶合木和轻型木结构混合结构。但是由于建筑技术和防火规范的限制，木结构建筑的层数、建筑面积和建筑间距都受到较大的局限。

多年来，公安部天津消防研究所、中国林业科学院、武警学院等对木材的防火阻燃处理以及燃烧特性参数等也开展过一些研究，并取得了部分研究成果。同时，为了满足日益增加的轻型木结构建筑的应用需求以及我国制定标准和规范的需要，公安部天津消防研究所还对木结构典型足尺构件进行了大量的耐火极限试验研究[7]，验证了木结构构件的耐火性能，也为我国制定相应的标准和规范提供

理论依据和数据支持。

6.总结

通过对各国规范中木结构建筑防火要求的比较可以发现，我国对木结构建筑层数和建筑面积的要求过于严格。在安装有喷淋系统的情况下，我国对层数的要求仍然限制在 3 层，而不少国家允许层数做适当增加。仅对 3 层木结构建筑的耐火极限而言，我国的规范要求与其它国家相当。

得益于对木结构建筑防火性能的不断深入了解和防火技术的不断提高，世界各国消防规范对木结构的限制，如层数等，在最近一二十年内得到逐渐放宽。对木结构建筑应用的案例分析表明，多层（特别是 6~9 层）木结构建筑在世界范围内获得越来越广泛的应用。规范对木结构建筑层数的规定在很大程度上限制了多层木结构建筑在中国的发展。因此，开展多层木结构建筑防火研究，从火灾安全理论基础出发，确定不同使用类型的木结构建筑的层数、面积、耐火极限和安全疏散等参数，制定出符合中国建筑特点和安全水平的木结构防火规范要求，对于安全使用木材这一健康环保、可持续的天然建筑资源，具有非常重要的意义和作用。

参考文献

[1] Lennon, T., Bullock, M.J. and Enjily, V., The fire resistance of medium-rise timber frame buildings[C], in proceedings of WCTE 2000 conference, Whistler, Canada, 2000.

[2] Walford, G.B., *Multistorey timber building in UK* and *Sweden[J], NZ Timber Design Journal*, 2006, 2(10):6-13.

[3] *Smith, I. and Frangi A.,* Overview of design issues for tall timber buildings[J], Structural Engineering International, 2008, 18: 141-147.

[4] Östman, B., *National fire regulations limit the use of wood in buildings[C],* in proceedings of WCTE 2004 conference, Lahti, Finland, 2004.

[5] Östman, B. and Rydholm, D., National fire regulations in relation to the use of wood in European and some other countries 2002[R], Trätek publication 0212044, SP Trätek, Stockholm, Sweden, 2002.

[6] SP Trätek, Fire safety in timber buildings - Technical guideline for Europe[R], SP Report 2010:19, Stockholm, Sweden, 2010.

[7] Ni, Z., Qiu, P., Mehaffey, J., Winter, S., Experimental study on fire protection of timber assemblies[C], Application of Structural Fire Engineering, Prague, Czech Republic, 2009.

——本文发表于《消防科学与技术》（2012 年第 2 期）