

木质材料持续负载效应的研究及标准

虞华强, 费本华, 吕建雄, 段新芳

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 木质材料的持续负载效应,对木结构构件的设计和安全使用至关重要。本文总结木质材料持续负载效应的研究进展,介绍国外木质材料持续负载效应测试和评价标准,分析 GB 50005-2003《木结构设计规范》对持续负载影响系数的规定,提出应借鉴国外成果,加快国产木质材料持续负载影响研究以及相关标准制定工作的建议。

关键词: 持续负载效应; 木材; 蠕变; 标准; 设计

中图分类号: TS67 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2010)04-0026-03

Research and Standards for Duration of Load Effect on Wood

YU Hua-qiang, FEI Ben-hua, LU Jian-xiong, DUAN Xin-fang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Understanding wood behavior under load is important to safely and effectively use wood members in wood structures. This paper reviewed foreign research on the duration of load (DOL) effects on wood and wood-based products. The related foreign standards on testing DOL wood behavior were also summarized. The authors analyzed the differences between the foreign and Chinese DOL factors. They also recommend that more research on DOL effects should be performed to develop relative standards for Chinese wood and wood-based products.

Key words: duration of load effect; wood; creep; standard; design

木材在承受持续负载时发生强度降低的现象,称为持续负载效应(duration of load effect, DOL 效应)。木结构建筑中的构件长期承受荷载, DOL 效应会使其强度降低以至破坏,引发安全隐患。因此,木结构设计必须考虑木材的 DOL 效应。本文总结国际上木质材料 DOL 效应的研究进展以及标准状况,旨为我国木质材料 DOL 效应研究以及标准制定提供参考。

1 木质材料 DOL 效应的研究状况

1.1 DOL 效应预测模型

为了预测木质材料的 DOL 效应,研究者建立了

大量的模型,包括线性损伤积累模型、断裂力学模型和应变能模型等,表征应力或应力比(施加的恒定应力与估计的短期强度的比值)与荷载持续时间(从加载至试样发生蠕变破坏的时间)之间的关系。

在过去几十年中,线性损伤积累模型发展很快,并在木结构设计中得到了广泛应用。该理论最早由 Gerhards^[1]提出,解决了随时间变化的载荷对木材强度影响的评价问题。该理论认为:当应力施加于材料时,会产生不可回复的损伤,并且损伤量可以累加;当积累损伤达到某个水平之后,木材开始出现蠕变破坏。损伤积累模型是以损伤总量对时间的变化率为因变量、以应力比或应力为自变量的函数,常用的有 5 种: Madison 曲线^[2]、指数形式模型^[1]、BF I 模型^[3]、BF II 模型^[4]和 FY^[5]模型。

第二次世界大战期间,美国林产品实验室研究了无缺陷木材小试样的荷载持续时间与其应力比之间的关系,以其中部分数据为基础的分析结果表明,时

收稿日期: 2010-03-03; 修改日期: 2010-05-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30730076); 中国林科院林业新技术所基本科研业务费专项基金(CAFINT2008C08); 林业公益性行业科研专项(200904016)。

作者简介: 虞华强(1972—),男,中国林科院木材工业研究所助理研究员。

间的对数与应力比之间呈线性关系,并发现二者之间的关系方程,即“Madison 曲线”,至今被《美国木结构设计规范》采用^[6]。

Gerhards^[1,7]提出了指数形式的损伤积累模型,预测载荷对木材构件寿命的影响,并先后用无缺陷木材小试样和足尺试样的试验数据建立校正模型。

Barrett 和 Foschi 以无疵小试样的试验数据为基础,提出了 BF I 和 BF II 模型^[3-4],可以精确预测足尺试材的 DOL 影响。与 Gerhards 建立的指数形式模型相比,该两模型存在临界应力比,且有 3 个参数。

Foschi 和 Yao^[5]以 BF II 模型为基础,提出了一个以应力为自变量的函数模型。

研究表明,该五类模型尽管形式不同,但是具有几乎相同的预测木材蠕变破坏的能力^[8]。

1.2 模型的应用

DOL 效应预测模型已经被用于木结构设计中,以计算木质材料的持续负载因子(DOL 因子)。传统意义上,一定荷载持续时间下木质材料的 DOL 因子,是指导致其破坏的应力比。在木结构设计中,DOL 因子用于调整短期试验测定的木材强度值,以推导持续负载一定时间后木材的强度值。

在荷载和木材抗力系数设计中,美国和加拿大 DOL 因子均基于可靠性分析,利用损伤积累模型,并考虑载荷的变化情况、木质材料强度的变异性等因素的影响^[9-10]计算得出,但两国 DOL 因子的数值略有不同。由冲击荷载控制的荷载组合,美、加 DOL 因子分别为 1.25、1.15;由长期恒荷载的荷载组合,美、加 DOL 因子分别为 0.60、0.65^[10],差异可能由使用的损伤积累模型和强度极限状态方程不同引起。

1.3 研究方向

虽然木材 DOL 效应的研究已取得一定进展,在未来的研究中,仍有许多问题需要深入研究。

1) 从材料科学方面,深入研究持续负载对木材强度的影响机理。

2) 探究木材树种和材质等级对其持续负载性能,生产工艺对工程复合木材持续负载性能等影响^[11]。

3) 木结构组合结构的 DOL 效应较复杂,需要从单个构件、单元级(即构件和联接等),以及组合结构等层次综合考虑,系统地研究木结构的 DOL 效应^[9,11]。

4) 环境温度和湿度的变化,会引起木材的机械吸附蠕变,从而加速木材的蠕变破坏。相关研究有待加强^[9]。

2 国际上木质材料 DOL 效应测试和评价的标准

目前,国际上只有欧洲标准化委员会(European Committee for Standardization, CEN)和美国试验与材料协会(American Society for Testing and Materials, ASTM)制定了木质材料 DOL 效应测试和评价的相关标准,分别是 ENV 1156-1999《Wood-based panels. Determination of duration of load and creep factors》和 ASTM D 6815-2002《Standard specification for evaluation of duration of load and creep effects of wood and wood-based products》。

2.1 ENV 1156-1999

由 CEN/TC 112 人造板技术委员会制定,规定了在恒定气候环境中,人造板在抗弯条件下,测试 DOL 因子和蠕变因子的方法。该方法将试样分成强度相近的组,分别施加不同的应力,进行一年的抗弯试验,根据应力比和荷载持续时间制图分析,推导荷载持续时间为 10 年时该批材料的 DOL 因子。

2.2 ASTM D 6815-2002

由 ASTM 的 D07 委员会制定,提供了检验、评价木材和木制品(包括规格材、结构用人造板和工字梁等)DOL 效应和蠕变影响的方法(不包括对 DOL 因子和蠕变因子的量化研究)。该方法根据被测木制品 ≥ 90 天的持续负荷行为,通过比较木制品与实木的 DOL 效应和蠕变影响,判定木材 DOL 效应的调整模型对被测木制品的适用性。

该标准的判定准则包括 3 项:1) 在 ≥ 90 天的试验时间内,试样破坏数低于临界值;2) 产品蠕变速率逐渐降低;3) 要求试验之后未破坏试样的蠕变系数 < 2.0 。如果木制品的试验结果符合以上准则,则可以使用 ASTM D245 适用于实木的荷载持续时间关系模型,确定新产品的设计值;否则,ASTM D245 中的模型不能适用于该产品,需要提高产品性能或另行试验测试其 DOL 因子。

2.3 两标准对比

ENV 1156-1999 和 ASTM D 6815-2002 具有优势互补性。前者提供了测试木基材的蠕变因子和 DOL 因子的方法,但是测试费用高、时间长,应用存在一定局限;后者提供了快速评估新型木质材料的蠕变和 DOL 行为的方法,可操作性更强。

美国工程木协会和华盛顿州立大学木质材料与工程实验室是被美国法规认可的机构,具有依据 ASTM D 6815-2002,进行结构用木质材料分析测试工作的资质。

3 我国木质材料 DOL 效应标准概况

GB 50005-2003《木结构设计规范》规定了常用的国产结构用木材的强度等级和设计值,其中设计值的推导考虑了木材的持续负载影响,规定:无论受力种类是压、拉、弯、剪,长期受荷时(50 年),木材强度折减系数皆为 0.72;并且,针对 5 种不同的使用条件,提出了木材强度设计值的调整系数,见表 1。依据该标准,对仅有恒荷载,或恒荷载产生的内力超过全部荷载所产生的内力的 80%时,单独以恒荷载进行验算;而当若干条件同时出现时,应联乘各系数。

表 1 不同使用条件下木材强度设计值和弹性模量的调整系数

Tab. 1 Wood strength adjustment factors under different conditions

使用条件	调整系数	
	强度设计值	弹性模量
露天环境	0.9	0.85
长期生产性高温环境,木材表面温度达 40~50℃	0.8	0.8
按照恒载验算时	0.8	0.8
用于木构筑物时	0.9	1.0
施工和维修时的短暂情况	1.2	1.0

以木构筑物承受恒载为例,强度设计值的调整系数为:0.8×0.9=0.72;再考虑长期受荷强度折减系数 0.72,则木构筑物构件的 DOL 因子为:0.8×0.9×0.72=0.52。而根据 Madison 曲线计算,持续负载时间为 50 年时,木材持续负载影响系数为 0.59。依据 GB 50005-2003 计算得出的 DOL 因子相对较低,说明我国标准的规定相对保守。

4 结语

在经济全球化的强力推动下,进口木结构建筑逐渐进入我国的主要消费城市,一些国产木质材料也已经用于木结构中。我国对木质材料的 DOL 效应研究尚属空白,亦未制定测试和评价木质材料的持续负

载行为的标准。为保证木质材料作为结构用材的科学设计和安全使用,需要加快 DOL 效应研究和标准的制定工作,从而推进结构用木质材料的科学设计和安全使用。

参考文献:

[1] Gerhards C C. Time-related effects on wood strength; a linear cumulative damage theory [J]. Wood Sci, 1979, 11(3):139-144.

[2] Wood L W. Relation of strength of wood to duration of load [R]. Madison: USDA Forest Serv, Forest Prod Lab, 1951.

[3] Barrett J D, R O Foschi. Duration of load and failure probability in wood Part 1: Modeling creep rupture [J]. Canadian J of Civil Engineering, 1978, 5(4):505-514.

[4] Barrett J D, R O Foschi. Duration of load and failure probability in wood. Part 2: Constant, ramp, and cyclic loading [J]. Canadian J. of Civil Engineering, 1978, 5(4):515-532.

[5] Foschi R O, Yao Z C. Another look at three duration of load models [C]// Proc., XVII IUFRO Congress. Florence, 1986.

[6] National Design Specification for Wood Construction [M]. Washington D C: American Forest and Paper Association, 2005.

[7] Gerhards C C, Link C L. A cumulative damage model to predict load duration characteristics of lumber [J]. Wood Fiber Science, 1987, 19(2): 147-164.

[8] Cai Zhiyong, Rosowsky D V, Hunt M O. Comparison of actual vs. simulated failure distributions of flexural wood specimens subject to 5-day load sequences [J]. Forest Products Journal, 2000, 50(1): 74-80.

[9] Rosowsky D V, Fridley K J. Directions for duration-of-load research [J]. Forest Products Journal, 1995, 45(3):85-88.

[10] Karacabeyli E, Lawrence A S. State-of-the-art report on duration of load research for lumber in north America [C]// Proc., of the 1991 International timber engineering conference. London: TRADA, 1991: 4. 141-4. 145.

[11] Gupta R. System behavior of wood truss assemblies [J]. Progress in Structural Engineering and Materials, 2005, 7(4): 183-193.

(责任编辑 向琴)

(上接第 17 页)

3 结论

- 1) 采用酸性染料对速生杨木单板染色,染液质量分数对单板式色差有较大影响,染色时间次之。
- 2) 通过响应面分析所建立的二次回归方程,可优化染色工艺和预测染色效果。本试验条件下的优化染色工艺为:染液质量分数 0.5%,染色时间 4.2 h,染色温度 72℃,杨木单板 ΔE^* 值为 62.54 NBS。

参考文献:

[1] 张洋,安霞,周兆兵.速生杨木染色效果的色差分析[J].林业科技开发,2007,21(1):25-27.

[2] 彭万喜,李凯夫,何嘉凤,等.尾巨桉仿黑胡桃的染色工艺研究[J].木材加工机械,2005(2):15-18.

[3] 陈玉和,陆仁书,郑睿贤,等.泡桐单板染色工艺参数的遴选[J].东北林业大学学报,2002,30(1):10-12.

(责任编辑 向琴)