



多高层木结构建筑：创新发展机遇

WOOD FOR MULTI-STORY BUILDINGS:
OPPORTUNITY FOR INNOVATIONS



Canada Wood
加拿大木业





历史

HISTORY

人类的建筑史和木材息息相关。从晚期新石器时代在中国河姆渡遗址中发现的木榫卯节点到新石器时代的欧洲人通过分割原木并将它们用来建造木屋。木建筑在亚洲、欧洲和北美都有着悠久的历史。

西藏大昭寺的部分木建筑被认为是世界上现存最古老的木结构建筑，其早在公元 639 年就已建成。法罗群岛是世界上现存最古老的有人居住的木结构建筑（建于公元 11 世纪）的所在地。而且我们的祖先对于用木材建造房屋的探索从未止步，历史上用木材来建造高层建筑并不是没有先例。例如建于公元 1056 年宋代期间的应县木塔就达到了 67 米，比目前世界最高的现代木结构建筑，位于加拿大哥伦比亚省 UBC 大学校园内的 Brock Commons 学生公寓还要高出 14 米。

随着木结构建筑技术的发展和全球各地城市化进程的加速，对于中高密度建筑的需求日益强烈，这也对现代木结构建筑提出了挑战，同时也带来了机遇。

■ 图：中国山西应县木塔（右）
Brock Commons 学生公寓（左）



你知道吗？

5

中国最新多高层木结构建筑技术标准允许的木结构建筑层高

18

截止 2018 年 9 月全球最高的现代木结构建筑大楼的层高

500+

加拿大国内五层以上木结构建筑的数量(截至 2018 年 7 月)

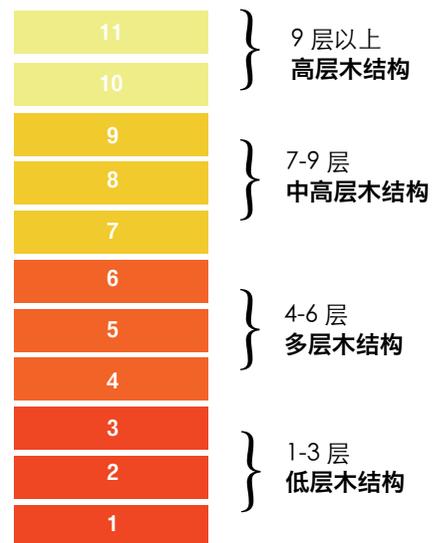
规范支持

SUPPORTED BY CODE

中国政府在 2017 年 10 月 1 日正式颁布实施了《多高层木结构建筑技术标准》GB/T51226-2017。按照标准规定，住宅建筑按地面上层数分类时，4 层 -6 层为多层木结构住宅建筑；7 层 -9 层为中高层木结构住宅建筑；大于 9 层的为高层木结构住宅建筑。按高度分类时，建筑高度大于 27m 的木结构住宅建筑、建筑高度大于 24m 的非单层木结构公共建筑和其他民用木结构建筑为高层木结构建筑。规范允许全木结构建筑可以建造到 5 层。

这也让中国成为继加拿大、美国、欧洲、澳洲之后又一个允许木结构用于多层建筑的国家。国外大量的研究和试验已经证明多层木结构能够很好的满足建筑规范要求的性能指标，无论是结构强度、消防安全以及抗震性能。越来越多的研究和建设项目也进一步推动了这一领域的技术发展，为未来进一步放开规范允许木结构往更高层数发展奠定了基础。

本手册主要讨论轻型木结构在多层建筑中的发展机遇和技术条件。



为什么使用木材？

WHY WOOD

气候变暖已成为世界各国共同面临的违纪和挑战。同时，随着低碳概念的提出的推广，环保节能的生活方式已经成为当季社会生活的主流，人们越来越注重自身居住环境的低能耗、舒适度和健康性。建筑行业是仅次于交通的第二大碳排放源，对于中国来说，建筑节能将是我国实现 2030 年碳减排目标的关键领域。木材，在这当中扮演着不可或缺的角色。

通常，树木每生长 1 立方米能吸收 1 吨二氧化碳并释放 3/4 吨氧气。与此同时，木材由原料向现代木产品加工的过程中大量的碳被固化并存储在木材产品的整个生命周期内，且木材产品固化的碳比其生产和使用过程中释放的碳还多，因此木材是唯一具有“负碳”性质的建筑材料。再加上木结构建筑在建造过程中极少的能源消耗、较少的污染排放，以及更加节能的建造过程，让木结构建筑在低碳环保的性能更加突出。

根据欧洲的一项研究，以建造一栋 20 层的住宅建筑为例，木结构建筑能够固定 1200 吨的二氧化碳，混凝土建筑会释放约 3100 吨的二氧化碳，而钢结构建筑则会释放比混凝土建筑更多的二氧化碳，相比之下木结构建筑减少二氧化碳排放量达到 4300 吨，这一数字相当于每年在公路上减少约 1100 辆小汽车，或者一个家庭长达 490 年的碳排放。若将住宅建筑增加到 30 层，木结构建筑自身能够固定的二氧化碳将达到 3700 吨之多。此外，与混凝土结构和钢结构相比，木结构建筑的空气污染指数、水污染指数均是最低的。由于木材本身构造的特点，即细胞内有空腔，使得木材还具有较好的保温隔热性能。如果考虑建筑的全寿命分析，木结构建筑的“负碳”作用将更加显著。

生产每吨建材所需消耗能量对比（焦耳 / 公斤）



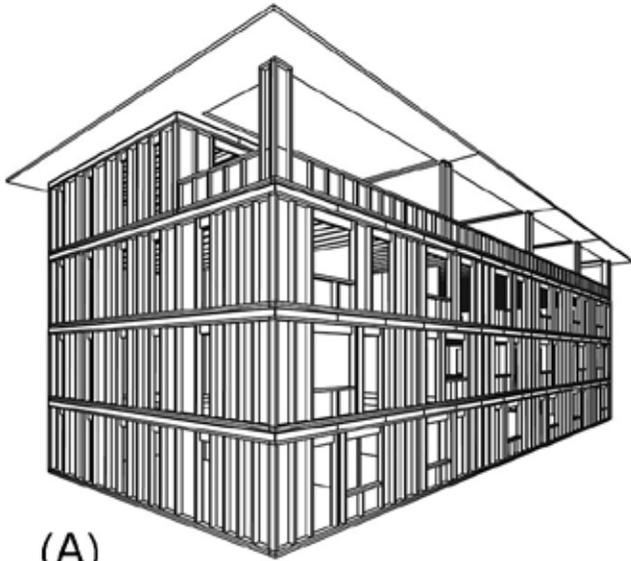
你知道吗？



一立方木材可以存储约一吨的二氧化碳

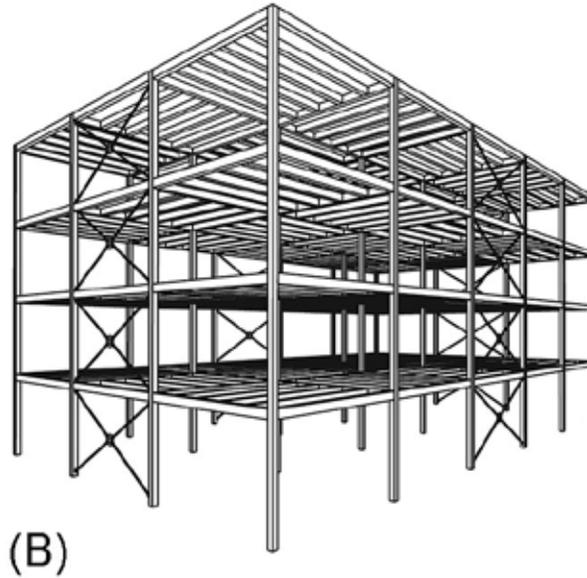
多高层木结构结构构造形式

STRUCTURE TYPES



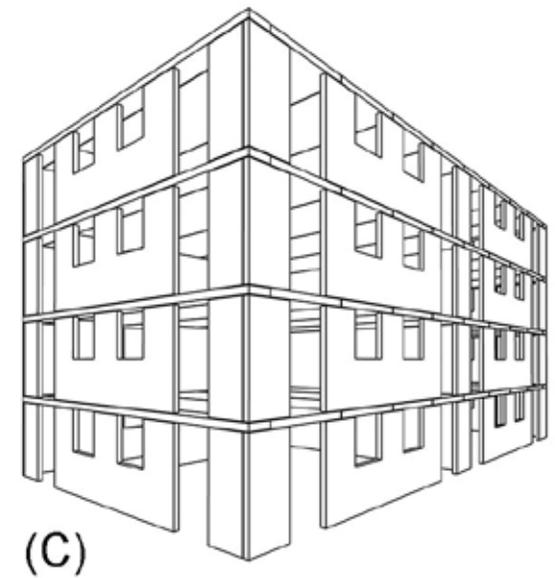
轻型木结构

轻型木结构是指用规格材、木结构板或石膏板制作的木构架墙体、楼板和屋盖系统构成的建筑结构。它由主要结构构件（结构骨架）和次要结构构件（墙面板、楼面板和屋面板）等共同作用、承受竖向和水平荷载，最后将荷载传递到基础上，具有经济、安全、结构布置灵活的特点。传统的轻型木结构多用于三层及三层以下的住宅和非住宅建筑中，被大量应用于北美住宅中，也可用于其他的大型工业和民用建筑。目前轻型木结构在加拿大已经被允许建造到六层，这也是目前经济性最好，最普遍的中层木结构建造方式。



木框架支撑结构

木框架支撑结构采用木梁柱作为主要竖向承重构件，以支撑作为主要抗侧力构件，其中，支撑材料可选用胶合木或其他工程木材料如 PSL。木框架 - 支撑结构是一种地震区较为经济有效的结构类型，它可以较好地协调框架和支撑的受力性能，具有可观的抗侧刚度和良好的抗震性能。



木框架剪力墙结构

木框架剪力墙结构的主要竖向承重构件为木梁柱，主要抗侧力构件为剪力墙，其中，剪力墙常采用轻型木结构墙体或正交胶合墙体。木框架剪力墙结构可以充分发挥剪力墙体系抗侧强度和刚度较高的优势，同时，由于它只在部分位置设置剪力墙，故可以保持框架结构空间布置灵活的优势，弥补了剪力墙结构开间过小的不足，既可使建筑物平面布置灵活，又能对结构提供足够的抗侧刚度。这也是高层木结构建筑经常采用的结构形式。

功不可没的现代工程木材料

PRIMARY ENGINEERED WOOD PRODUCTS



PSL

平行木片胶合木 (Parallel Strand Lumber) 是一种结构板材，是由复合材产品制成，在生产过程中，单板被按照平行的纹路迭压在一起，最终制造出这种大块、高强度的主梁、立柱和过梁。

PSL 很适合作为结构件使用。此外，它独特、诱人的平行纹理，使它可以作为一种设计特点，裸露出现在家庭、办公室和其它建筑物等场合

NLT

钉接胶合木 (Nail-Laminated Timber) 是一种重型木结构楼板体系，可以用来作为结构楼板、墙板以及屋面板式构件。是一种新型体系被广泛用于需要大跨度楼板和高强度并需要木材裸露的项目当中。NLT 是利用 2x4, 2x6, 2x8, 2x10, 或 2x12 尺寸的规格材木材通过钉连接的方式进行组合，结合成具有结构强度的楼板。楼板上方或下方通常会覆盖结构胶合板或者定向刨花板来提高其耐久性。

GLT

层板胶合木 (Glu-Laminated Timber)，即我们平时经常简称的胶合木。是一种通过胶粘剂将组坯层板胶合在一起的工程木产品。用于制作胶合木的组坯层板由经过干燥、分等分级和纵向指接接长的规格材组成。

现代胶合木材在保留了天然木材的纹理和质感的同时，尽可能地去除了木材天然缺陷的影响。所以胶合木产品既可以满足建筑表现的要求，也可以满足结构强度和稳定等要求。

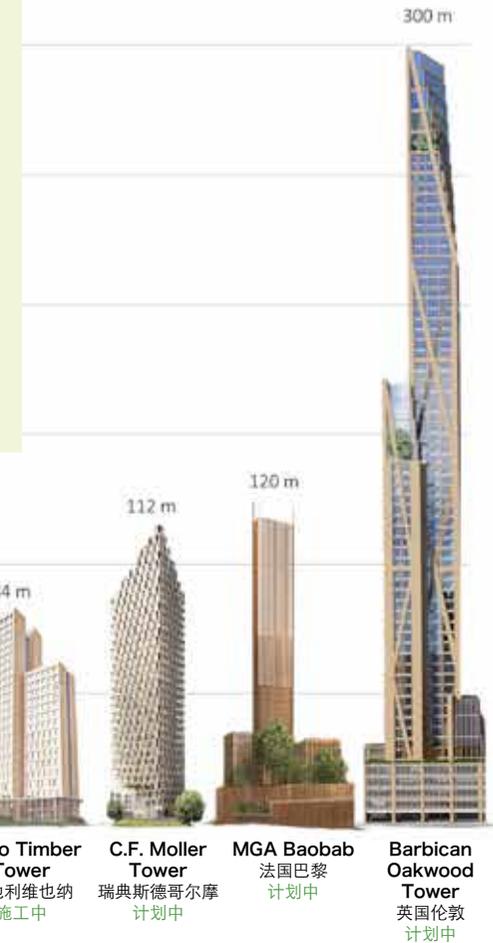
CLT

正交胶合木 (Cross-Laminated Timber) 板是由奇数层的规格木材 (通常宽面) 以垂直相交的角度，利用结构胶黏剂叠合胶压组坯而形成的工程木板材。在某些特定结构强度要求下，相邻层的规格材可以以同方向进行胶压 (例如在 CLT 板面层和底层做双层胶压，或者中心部分做双层胶压来达到更高的结构强度)。CLT 产品通常由 3, 5, 7 层的不同规格，某些情况下可以更多。CLT 可以用来作为墙板，楼板和屋面。

高层木结构全球发展现状

WOOD ON THE RISE GLOBALLY

根据不完全统计，截至 2018 年 8 月，全球已经建成和正在或规划中建造的超过七层的木结构项目有超过 30 多个。而 4 到 6 层的木结构项目更是不计其数。近年最有影响力的高层木结构当属建于英国伦敦的 Stadthaus 公寓。在此高层木结构成功建造的示范引领下，世界各国多高层木结构建设不断向前发展。2012 年在墨尔本建成了一幢名为 Forte 的 10 层 CLT 结构建筑，是澳大利亚第一个高层木结构建筑，该建筑首层为商业使用的混凝土结构，上面 9 层为住宅使用的 CLT 结构；2017 年加拿大魁北克市建成 Origine 项目，该项目共 41m 高，首层为混凝土裙楼，上部为 12 层 CLT 结构作公寓使用；2015 年在挪威卑尔根建成一幢 14 层高的豪华公寓楼，结构用材包括 CLT 和胶合木，该建筑取名为“Treet”，旨在成为发展未来家庭住宅的最前沿，重点关注能源消耗、可持续发展和公共室外空间；2017 年在加拿大温哥华的 UBC 校园内建成一幢 18 层高的学生宿舍，主体结构采用混凝土核心筒、胶合木柱和 CLT 楼板；奥地利维也纳的 HoHo 项目则预计于 2018 年完工，这座 24 层、约 84m 高的木结构建筑集酒店、公寓和健身中心于一体，总面积超过 1.8 万平方米。



全球中高层木结构一览

项目名称	地点项目	高度 (米)	层高	状态	完工时间
25 King	澳大利亚布里斯班	52	9	施工中	2018
HAUT	荷兰阿姆斯特丹	73	21	审批通过	2020
HSB 2023 - VASTERBROPLAN	瑞典斯德哥尔摩	112	34	项目方案	2023
Arbora	加拿大蒙特利尔	N/A	8	施工中	2019
Mjostarnet	挪威 Brumunddal	81	18	施工中	2019
HoHo Vienna	奥地利维也纳	84	24	施工中	2018
Skelleftea Kulturhus	瑞典斯盖乐夫提	76	19	审批通过	2020
Hyperion	法国波尔多	57	17	审批通过	2020
The Cube Building	英国伦敦	33	10	完工	2015
Dalston Works	英国伦敦	33	10	完工	2017
55 Southbank Boulevard	澳大利亚墨尔本	74	10	审批通过	2019
Silva	法国波尔多	50	18	审批通过	2020
Carbon 12	美国波特兰	85	8	完工	2017
77 Wade Avenue	加拿大多伦多	N/A	7	项目方案	N/A
Ellerslie Crescent	美国哥拉斯哥	23	7	完工	2017
T3	美国明尼阿波利斯	N/A	7	完工	2016
Framework	美国波特兰	45	12	施工中	2019
Origine	加拿大魁北克城	41	13	完工	2017
Treet	挪威卑尔根	49	14	完工	2015
Brock Commons Tallwood House	加拿大温哥华	54	18	完工	2017
Toronto Tree Tower	加拿大多伦多	62	118	项目方案	N/A
Baobab	法国巴黎	120	35	项目方案	N/A
River Beech Tower	美国芝加哥	228	80	项目方案	N/A
Brewery Blocks Tacoma	美国西雅图	42	14	施工中	2018
Leadlight Hotel	澳大利亚珀斯	40	10	审批通过	2019
W350	日本东京	350	70	项目方案	2041

* 本表仅罗列了部分项目，并未涵盖所有在建和规划中的项目。（截止 2018 年 7 月）



图：REMY 项目
版权：Canada Wood

建筑结构 STRUCTURE

从结构工程的角度来看，四层轻型木结构和六层轻型木结构的主要差异在于后者在结构上承受更大的竖向和横向荷载。建筑自重作为建筑物竖向荷载的主要来源会因此增加 50%，而地震和风造成的横向荷载会一次增加 100%。

水平荷载作用

因为风和地震造成的横向荷载必须通过增加剪力墙的数量，尺寸和强度来解决。例如在建筑的底层一般需要双面覆定向刨花板（OSB），因为这样会造成一定的局限，例如底层的管线不能从墙体内穿越。所以剪力墙的位置和大小必须合理设计确保水管电线等管路不会破坏剪力墙的完整性。

另外，每层剪力墙必须严格对齐，不能出现交错分布的情况，这样能确保一个完整的传力路径。所以可以看到在大部分的中层木结构项目中每层单元的布置都完全相同，不会出现上下层不同房型的情况。

建筑物东西和南北向都必须布置剪力墙，例如建筑的过道和单元之间的分隔墙都必须设置成剪力墙。当然在某些设计例如 Herons Landing&The Ardea 项目中，由于大楼当中有电梯井作为核心筒，而各单元是围绕核心筒布置所以，只需要保证单元间分隔墙采用剪力墙形式即可。尽管随着楼层的提高，木结构建筑承受的荷载会大大增加，但由于木结构质量只有混凝土建筑的七分之一，其承受的力还是远远小于传统混凝土建筑。

在建筑外墙材料选用上，建筑师一般倾向于使用轻质材料例如水泥板、文化砖或者一些木基外墙材料。

抗倾覆设计

由于木结构建筑质量较轻，其需要额外的加固手段来对抗风或地震造成的上拔力。对于中层木结构，抗拔紧固件（Tie-Down Anchors）是一个重要的手段。这些钢筋紧固杆件垂直方向穿越墙体从顶层楼板到底层一直到混凝土基础，为建筑整体提供一个紧固力。抗拔紧固件一般安装在剪力墙的两端或附近。

抗拔紧固件需要从上至下连续的贯穿整栋建筑，并有调节器，能够提供连续的紧固力。紧固件的最底端需要预埋在混凝土地基里。通过剪力墙和抗拔紧固件的组合使用，能够最大程度提高建筑的稳定性。

收缩和位移

木材因为是天然多孔材料，这意味着木材吸收和释放水汽来和周围湿度达到平衡，而在这个过程中，木材就以一个可以预测的速度发生膨胀或收缩。当树木被采伐后，其木质纤维内充满了水分，一般占到自重的 28%。木材被用到建筑当中后会和周围环境交换水汽以达到最终的平衡含水率（EMC），在加拿大 BC 省这个平衡的含水率约为 8-12%。



图：REMY 项目
版权：Canada Wood



图：REMY 项目 NLT 电梯井
版权：Canada Wood

收缩

通常情况下，每减少 5% 的含水率，木材的径向收缩会达到 1%。木材纵向收缩在多层木结构中可以忽略不计。所以在多层木结构中，使用含水率低于 19% 的“干材”或者更为稳定的工程木材料尤为重要，因为这能够显著减少由于层数提高而造成的累加收缩效应。

随着建筑层高的增加，需要考虑使用性能更加稳定的工程木材料以及更加灵活的节点设计来抵消收缩效应造成的影响。

相对位移

当木材达到平衡含水率（EMC）后，其性能是相对最稳定的。由于木材的材料变形特点与混凝土、钢材不同，所以在建筑木构件和其他材料如混凝土或钢材连接的地方就可能会发生这种相对的位移。最经常会发生的位置是木质楼板和混凝土电梯井连接处或者木材和混凝土防火墙的连接处。基于这种原因，很多设计师在设计时倾向于使用钉接胶合木（NLT）的电梯井以及木质耐火石膏板的防火墙。

抗震

SEISMIC SAFETY

木结构的强度重量比大于钢结构和混凝土结构，因此在地震中结构内力更小。轻型木结构建筑中，墙体数量多，为风载和地震荷载提供传力路径，增加安全冗余度。此外，轻型木结构建筑使用大量钉子，提供了良好的延性和耗能能力。以往的地震观测和测试显示，木结构建筑抗震性能良好。举例来说，在日本世界上最大的振动台试验中，6层轻型木结构抵抗住了2500年一遇的地震，只造成很小的损害。这个试验证实只要精心设计和保证施工质量，六层轻型木结构建筑的地震风险能保证在可接受范围内。

重木构件，如CLT、LVL和LSL，强度和刚度都很好，形成有效的抗侧力体系。大量的抗震试验证明中层木结构建筑具有优良的抗震性能。能做到“小震不坏，中震可修，大震不倒”。

除了纯木结构，木混合结构也扩大了木结构的应用范围。最常见的木混合结构是由混凝土核心筒承担水平荷载作用、木结构承担竖向荷载。



扫码观看振动台试验

你知道吗？

这座实验室位于日本神户三木市，是世界上规模最大的振动台。可同时再现地震的横向和纵向摇动，核心部分震动台长20米，宽15米，高5.5米，重775吨，安装时要用两台起重机。防灾科学技术研究所所在震动台上进行了一次足尺寸六层轻型木结构振动试验。试验模拟了7级以上的地震强度，试验采用水平方向每秒两米，垂直方向每秒70厘米的速度摇动。试验证明中层木结构建筑具有优良的抗震性能。



图：NEESWOOD 振动台试验
版权：Canada Wood

■ 图：REMY 公寓的双层耐火石膏板
版权：Canada Wood

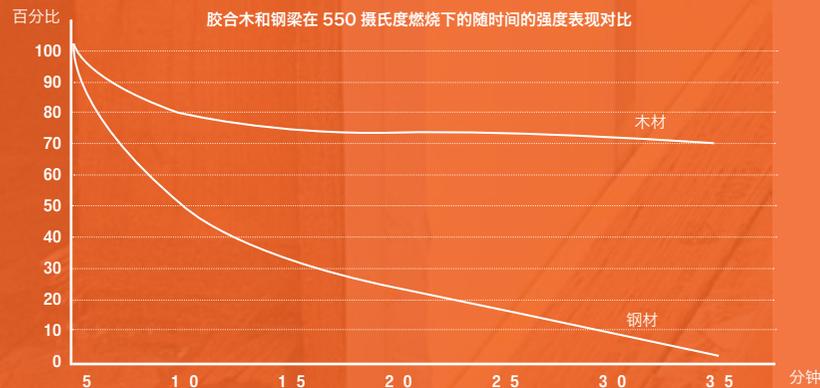
消防安全 FIRE SAFETY

图：工程木材料的碳化效应
版权：Canada Wood

消防专家的观点

2014年2月，不列颠哥伦比亚的 Fraser Valley 大学 (UFV, Garis & Clare) 发布的报告《常见住宅建筑的火灾后果》指出，建筑的消防安全与其建筑材料相比，更多的是与有效的消防安全系统有关，如正常运转的烟雾报警器和完备的自动喷水灭火系统。这颠覆了人们以往的普遍看法，误以为完工的钢结构或混凝土结构建筑比木材为主的建筑要安全。

BC 省 Surrey 市消防局长兼 Fraser Valley 大学副教授 Len Garis 表示：“这份报告分析的结果并不是偏向于其中一种建筑类型，它说明了喷淋和烟雾报警器在各式建筑类型中对于保护生命和财产的重要性。”



当然，多高层木结构也有让人担忧的问题，其中最受关注的当属防火问题。2000年，英国 TF 2000 项目即对一幢六层木结构建筑进行了一系列测试，测试的主要目的是评估受到严重自然火灾的多层木结构的耐火性，特别是火灾后主体结构的完整性和承载能力，以及多层结构防止火灾蔓延的特性。试验结果表明，多层木结构整体的抗火性能不低于单个木构件的抗火性能，试验结束后只有部分木结构节点发生碳化。将结构的木质楼梯用防火涂料处理并覆石膏板，即使火灾在楼梯间发生，楼梯在火灾发生 30min 后仍能够正常使用，可为楼内人员提供充足的疏散时间。此外，试验还表明结构的隔墙、窗户、楼板及电梯间等分隔能对火灾的蔓延起到一定的阻碍作用，因此通过合理设置防火分区能够进一步确保多层木结构的整体抗火性能。

此外，2012年加拿大产品和建筑体系创新研究院对 CLT 内墙、楼板等构件分别进行了抗火试验研究。通过试验发现，普通 CLT 构件具有和混凝土等非易燃材料同等的抗火性能，有与工程木材料特有的碳化效应，经过特别设计的 CLT 墙体和楼板能达到 3 小时以上的阻燃效果，远高于加拿大国家防火安全法规中对结构用材耐火极限的规定。虽然仍有很多木结构抗火方面的技术需要作进一步深入的研究，但从消防安全的角度上说，目前已经通过试验和那些实际工程论证了多高层木结构在防火方面的安全性能。同时，目前掌握的知识能够让我们正确的评价一座多高层木结构建筑的消防安全指数并设计适当的防火策略，从而像混凝土或钢结构一样为其选择合适的防火安全等级。

加拿大 BC 省的新版建筑规范要求木结构建筑层数高于四层必须安装消防喷淋系统。同时外墙必须采用不可燃材料。所有轻型木结构构件包括 NLT 电梯井必须用耐火石膏板或胶合板封闭，以满足消防规范中关于火灾蔓延时间的要求。中层木结构的消防要求和措施和四层甚至更低矮的木结构无异。

噪音控制

NOISE CONTROL

在多层木建筑中，减少楼板天花间和隔墙间的声音传递非常重要。声音的传递通常有两种途径，空气传递和振动传递。噪音控制的策略主要手段是通过增加声源和相邻单元间隔断构件的质量和尺寸来达到，这样声音会被更好的吸收。这种策略实际中通过楼板上铺设混凝土层或者悬吊隔音天花板等手段来达到。在隔墙两面增加石膏板的层数也能显著降低声音的传递。

空气传递的噪音可以通过增加构件气密性和在墙体或楼板格栅间填充保温材料如玻璃纤维或岩棉来达到。多孔的保温材料可以有效增加声音反射路径，将声音转化为热能。

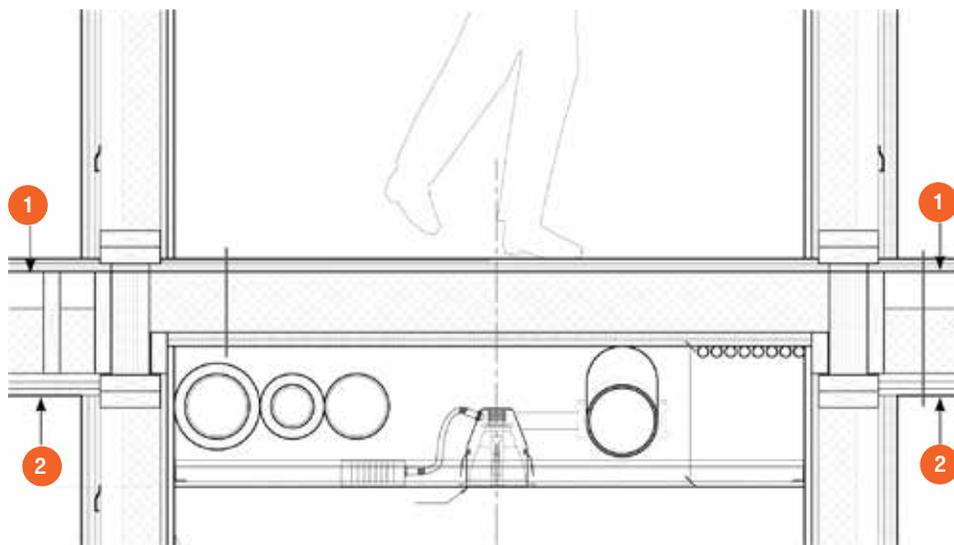
振动传递的噪音可以通过制造非连续的结构构件来阻断振动传递路径。就墙体来说，可以通过设计交错布置的木骨柱来减少其与墙体覆面板的接触面积，或者建造双墙系统。如果需要达到更高的隔音性能，可以在墙体安装隔音条。当然根据每个项目的实际情况，可以酌情采用不同的体系。

研究报告

根据中国建筑科学研究院 2014 年对加拿大木业在天津滨海新区一栋四层全木结构酒店式公寓楼的实测报告显示，在隔声性能方面，木结构建筑隔墙、楼板的实际空气声隔声量为 50dB、52dB，木结构建筑空气声隔声性能与混凝土建筑基本相当，达到了混凝土建筑隔声性能水平；木结构建筑楼板的实际计权撞击声压级为 50dB，比混凝土结构建筑的计权撞击声压级低 20%，表明木结构楼板撞击声隔声能力优于混凝土结构。



图：REMY 公寓采用金属弹性隔音条用于楼板
版权：Canada Wood



- 1 安装了弹性隔音条的地板上铺设了 2 安装了弹性隔音条的封面石膏板静音地毯

在 Hillcrest Village 项目中运用的楼板静音方案。相比铺设混凝土层，这种做法更加经济且施工更加便捷容易。



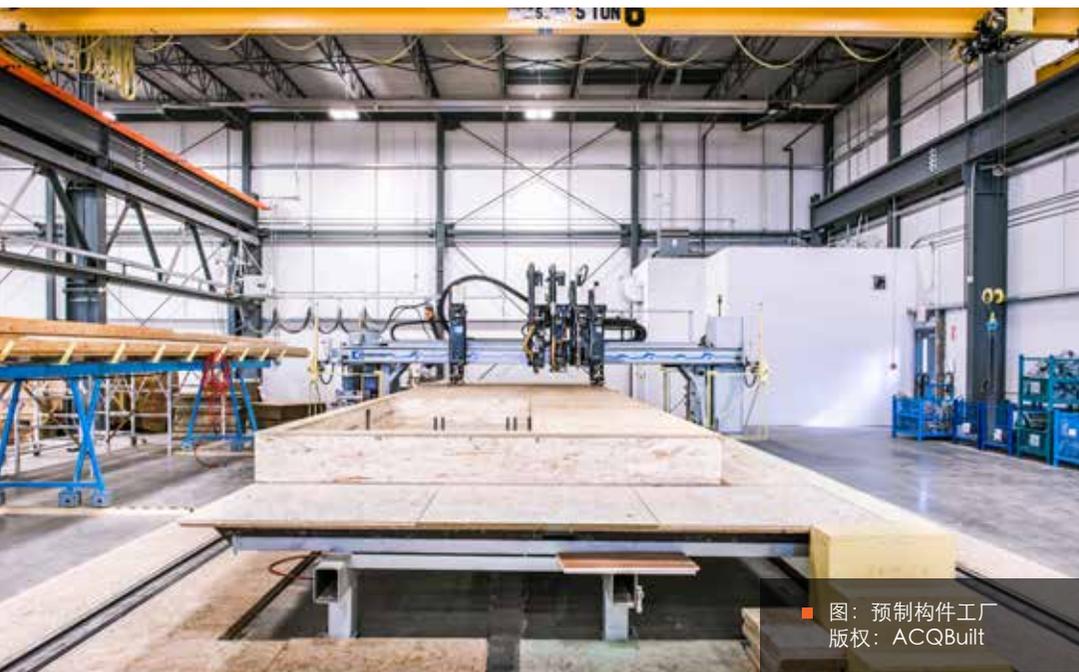
图：REMY 公寓
版权：Canada Wood

建筑预制化 PREFABRICATION

不同结构体系的多高层木结构在建筑构造和装配化施工等方面具有不同的特点，但总体来说，无论是纯木结构还是混合木结构建筑，其主要构件如墙体（含剪力墙）、楼板、梁、柱、屋顶桁架等构件，或以墙体、楼盖围合而成的单元模块都可以实现工厂生产，然后在现场进行装配。美国、日本和欧洲部分国家已经依靠自身工业化的技术特点发展出了不同的标准化多高层木结构体系，在部品制造和一体化集成等方面，严格遵守模数协调准则，按照装配式的标准化思想进行设计和制造。

由于中层木结构建筑的构件无论从数量，尺寸，精确性及经济性上都提出了更高的要求，采用预制化的手段无疑是必然的方向。在后面案例部分的 Brock Commons 项目中我们可以看到，通过前期更好的协调和规划，各个工种能够更好的配合，能够大大提升了整个项目的施工效率。通过预制化，能够优化材料使用，减少浪费，减少现场仓储，同时混凝土地基和木构件加工可以同时进行进一步提高效率。

建筑装配化是多层木结构建筑的主要优势之一，这已经在国外大部分中项目中得到实际案例的论证和支持。



图：预制构件工厂
版权：ACQBuilt



现场吊装速度快，生产效率高，无需大型重型器械



工厂预制化程度高，根据需要墙体结构、门窗、管线、保温都可以预制完成



墙体自重轻，运输方便效率高



综合成本降低，人工减少，工期缩短

建筑保温

ENERGY EFFICIENCY

木材导热性低，因此木构件本身具有比钢结构、混凝土和砖石构件更好的热阻和更低的热桥效应。木结构墙骨之间的空腔可以填充保温材料，通常是纤维保温棉。这些保温材料通常比用于混凝土、轻钢和砖石结构的刚性或半刚性保温板更便宜。

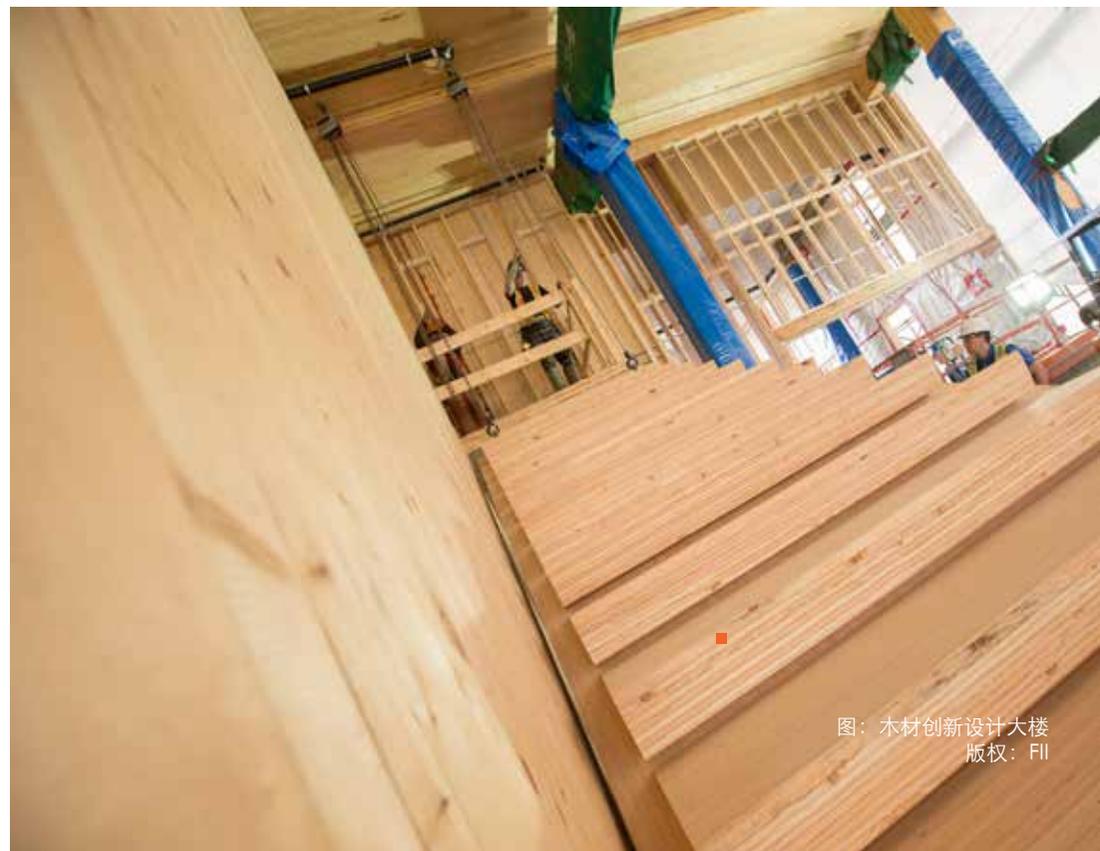
木结构构件的保温性能好，因此可以减少墙体厚度从而增大室内空间，尤其是在土地价格高的城市地区，具有更高的性价比。例如在瑞典，木框架外墙比普通砖石墙体薄 50%，却能达到相同的保温性能，对于典型的多户式住宅可以增加 3% 的室内面积。木框架外墙也成为欧洲建造被动式建筑的首选。

木结构建筑的独特特征使其成能够更经济的达到极高的节能标准。木材的保温性能由 R 值（热阻值）决定，热阻值与板材厚度有关。厚板的 R 值高，隔热效果好，使用的保温材料少。在 CLT 木结构中，重木构件是实心的，因此重木结构建筑中几乎没有空气流动的可能因此建筑物的保温性能得以提高。生产 CLT、LVL 和 LSL 可以使用数字化控制（CNC）设备精确控制误差，使板与板的连接更加紧密，更加提高保温节能性能。

加拿大 BC 省温哥华近日完工的一栋 The Heights 公寓楼便是第一栋被动房标准的多层木结构项目。



图：加拿大第一栋零能耗多层公寓
版权：Canada Wood



图：木材创新设计大楼
版权：FII



经济性

COST EFFECTIVENESS

虽然木结构建筑的一次性投资比传统钢筋混凝土结构和钢结构略高，但木结构节能环保，全寿命周期的使用成本较低，综合经济效益非常可观的。其主要经济性体现在：

- ① 木结构自重轻，抗震性能好，可节约基础和地下室造价；
- ② 木结构高度预制化，施工速度快，缩短工期以及贷款周期；
- ③ 木结构构件可直接暴露在室内，节省大量装饰装修的成本和工期；
- ④ 所有的木质构件在建筑全寿命周期结束以后都可以进行回收利用，回收一部分隐形利益。

建筑案例

CASE STUDIES

THE REMY

加拿大 BC 省列治文市
2008 年竣工



作为加拿大第一栋六层木结构公寓楼，这个 Remy 案例开创了很多先例，也成为后续蓬勃发展的中层木结构的一个案例典范。项目早期其实并没有打算采用预制化建造，但当该项目团队公司 Patrick Cotter Architect, Oris Consulting 和 Penta Homes 意识到必须采用预制化才可能更好的控制成本的时候，他们雇佣了 Mitsui Homes Canada（三井住友加拿大公司），希望借助三井公司在木结构预制化方面的经验更好的完成该项目。项目的所有预制构件，包括墙板、楼梯、楼板都由三井住友加拿大公司提供，三井住友加拿大是日本三井住友集团在加拿大的子公司。

三井住友提供的一站式门到门解决方案很好的提升了项目的效率。三井公司的中央集中化质量管理体系将预制化构件从生产到仓储到运输到安装流程中可能存在的风险降到了最低。

在建造六层木结构项目中，木构件的含水率至关重要，直接决定了构件的尺寸精度和稳定性。因为一个极小的误差会通过多个楼层放大到一个致命的错误。所以预制化墙板在生产过程中的含水率控制是三井住友公司最关心的要点。通过一个湿度监测系统，所有的墙板构件的含水率被精确控制在 12%，很好的满足了这个六层木结构项目的独特需求。

Remy 项目能够获得成功，很重要的原因便是取决于木结构预制过程中的高精度及对于工厂加工环境湿度的控制。



“作为第一个六层木结构项目，我们希望尽可能的减少风险，提供建筑物的施工效率和质量，所以我们研究了一系列的方案，以及许多六层木结构建筑才独有的问题。”

---REMY 项目建筑师 Patrick Cotter

“当我们在设计预制化的墙板以及制作施工图纸时，所有的结构和建筑设计发生矛盾的地方都被事前解决。在图纸上解决这些问题，比到了现场再做调整要高效和节约费用。”

--- 三井住友高级副总裁 David Fisher



面积: 10,000 m²

完工日期: 2017 年

建筑师: Rositch Hemphill Architects

结构工程师: WHM Structural Engineers

承包商: Adera

工程木供应商: Structurlam

项目业主: Adera

建筑案例 CASE STUDIES

Virtuoso 公寓

BC 省温哥华市

2017 年完工



在加拿大不列颠哥伦比亚大学 (UBC) 校区内的 Wesbrook Village 社区兴建了一栋名为 Virtuoso 的多层木结构公寓楼。该项目的开发商是加拿大地产公司 Adera。这座六层高的现代木结构建筑围绕一个中央花园，建在一个两层高的混凝土地下停车库的上部。项目包括 106 个两卧和三卧单元，面积从 130 到 160 平米不等。作为致力于开拓木结构多层公寓市场的开发商，Adera 早前收购了重型预制木结构构件生产和设计公司 Structurlam Products，Structurlam 是一家总部位于 BC 专注于生产 CLT（正交胶合木）和 GLT（板层胶合木产品）的提供木结构设计施工一体化企业。Adera 一直致力于推动木结构建筑在其地产项目中的运用，不断探索木结构在经济，效率和质量的提升，并选择在多户住宅市场探索混合轻木结构 / 重型木结构的可能性。

Virtuoso 项目采用了传统的木基结构板剪力墙，结合 CLT 楼板以及 CLT 阳台，屋顶和电梯井。此外，在每个楼层的周边使用了暴露的胶合木梁来支撑悬挑的露台。整个建筑的外墙与底部四层的内部承重墙采用了 2x6 的轻木体系结构。在一层和二层框架中使用了强度更高的花旗松作为墙骨柱材料，其他结构材使用了 SPF 木材。所有木材干燥至 15% 或更低的稳定含水率。

不同单元间的防火隔墙采用两套单独的 2x4 轻木墙体，两块墙体间有一英寸的间隙，墙体两面都覆盖有两层 1.6 厘米的耐火石膏板。

该项目在设计开发阶段花费了大量时间和精力来优化 CLT 楼板的布局，尺寸和细节，并最大限度地减少浪费和提高经济性和效率。为此，Structurlam 公司制作了一个 BIM 三维模型，以识别每个单独的面板在建筑物内的位置以及需要在工厂预先钻孔的任何孔的位置。尤其是那些需要穿设抗拔紧固件的孔洞，必须极其精确才能保证这套抗震系统有效运行。Virtuoso 项目已经证明，混合使用 CLT 和轻木框架系统可以大大缩短施工时间，节约成本同时达到更好的建筑效能。

该项目最大的特色便是其楼板体系。Virtuoso 项目的楼板采用的不是大多数中层木结构建筑中常见的工字托梁和 OSB 覆面板，而是用了三层胶合的 CLT 板组成，每块 CLT 板的跨度从 3 米到 5 米不等。CLT 板的厚度 10 厘米，宽 1.2 米。它们相邻的长边通过 45 度斜向打钉的方式紧固在一起。这种创新性的用法能够最大程度平衡经济性和建筑性能。



图: VIRTUOSO
版权: FII

建筑案例

CASE STUDIES

THE HEIGHTS

加拿大 BC 省温哥华市
2016 年竣工



图：The Heights
版权：WoodWorks BC

面积：5,600 m²

完工日期：2017 年

建筑师：Cornerstone
Architecture

结构工程师：Weiler Smith
Bowers Consulting

承包商：Peak Construction

项目业主：8th Avenue
Development Group Ltd.

The Heights 是一栋 6 层楼的混合建筑，位于快速发展的温哥华高地（Vancouver Heights）社区的黑斯廷斯和斯卡尼亚街道的拐角处。这栋 5600 平方米的大楼包括一个地下停车场、街道零售店和五层公寓，共有 85 套房间。停车场和零售店是采用混凝土建筑，而五层住宅则是采用的木结构建筑。

该建筑按照被动房标准建造。被动房屋建筑要求建筑围护结构具有高度保温性、气密性。其窗户采用了三层隔热窗，其热回收通风和换气次数能够降至维持室内空气健康所需的最低水平。

早前的被动房一般都限于体量较小的独栋或联排别墅，对于这栋如此大规模面积和类型的建筑物，木材的选择可以以最经济的方式达到被动建筑要求的节能标准。作为天然的保温材料，木材能够最大限度地减少热桥，并对建筑围护结构的整体性能起到积极的作用。

加拿大自 2004 年以来一直提供被动房屋认证，但是一些承包商和行业人士对它的要求不太熟悉。业主和承包商 Peak Construction 公司进行合作，确保分包行业能够了解每一个新的现场要求和被动房屋的特定程序，如所有连接点的仔细密封，以保持气密性等。Peak Construction 还派出了几名员工去不列颠哥伦比亚理工学院的高性能建筑实验室进行培训。

该建筑采用传统的 2X6 的外墙、承重和非承重内墙，工字型木搁栅和胶合板覆面板。该建筑唯一的非标准方面是平行于外墙的二层 2X4 的墙体。这两个墙壁间距为 50mm，整体保温厚度可达 300mm。传统的隔气材料安装在内部石膏板后面，而这栋建筑是用 2x6 墙体 185 毫米厚的夹心保温，外侧再贴 115 毫米的刚性保温。内墙可以确保隔气材料不会有任何渗透。

The Heights 作为加拿大目前体量最大的认证被动房屋项目，展示出了传统木框架结构对新一代高性能建筑的适应力。

为了进一步推广超低、近零能耗建筑，中国国家住建部起草《近零能耗建筑技术标准》，并鼓励行业探索发展适合中国特色的超低能耗建筑。加拿大木业和该标准起草单位中国建筑科学研究院建立了良好的合作关系，将进一步推进将木结构技术运用于中国的超低能耗建筑。



建筑案例 CASE STUDIES

BROCK COMMONS

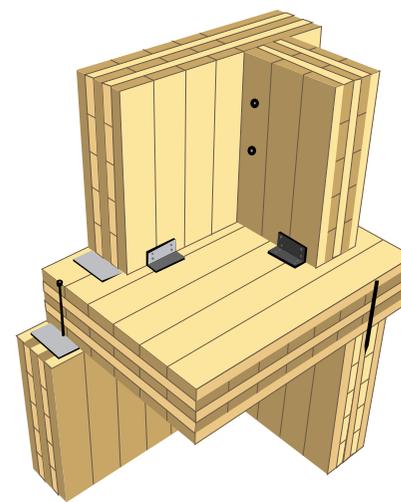
加拿大 BC 省温哥华市
2018 年竣工



Brock Commons 公寓是温哥华不列颠哥伦比亚大学校园内的一座 18 层学生公寓，于 2017 年完工。一层为混凝土结构，两个混凝土核心筒是楼梯、电梯和管道井。重木构件包括 CLT 楼板、胶合木和平行木片胶合木(PSL)柱。柱网尺寸约为 2.85 米 × 4 米。为减小建筑收缩并便于施工中适时调整，开发了一种新的连接形式。设计团队为了验证设计概念，根据试验结果调整最终设计方案，还建造了一座两层模型建筑。根据对下一版建筑规范要求的预测，该项目的抗震设计采用了比现行规范要求更高的要求。该项目使用预制木构件，施工速度非常快，包括组装预



图：BROCK COMMONS
版权：FII



制外墙板在内，平均 2 周完成一层。

公寓采用 3~4 层石膏板 (GWB) 对重木结构进行完全包覆而不是依靠木材的炭化以满足防火要求。在实验室中对不同构件进行燃烧试验。BC 省相关部门依据特定程序批准了项目性能化设计方案。

建筑案例

CASE STUDIES

SAILS 公寓
加拿大 BC 省温哥华市
2014 年竣工

Sail 是一个位于 BC 省 UBC 大学社区 Wesbrook Place 的一个多层木结构公寓楼项目。项目一共分为两期，一共提供 170 个公寓单元。该项目采用了六层轻型木结构体系。所有外墙和内墙采用了轻型木结构体系，楼板体系采用了工程木梁，部分底层结构由于受力需要使用了工程木柱和梁以及含水率 12% 的花旗松木龙骨，这也是中层木结构常用的一种结构设计，用来提高整体建筑的结构安全性。后期的测试也显示，建筑物整体的收缩非常微小，和三层木结构建筑程度相当。

该项目采用预制做法，每层墙板和楼板完工后，上一层的楼板和墙体会根据现场的实测在工厂生产中做相应调整，以确保严丝合缝的精度。

公寓楼采用了高档精装修标准，设计上着重提升居住品质，采用了开阔大阳台、地热系统和三米高的室内净高。



图：SAILS 公寓
版权：WoodWorks BC



更多资源

RESOURCES

**THINK
WOOD**®

www.thinkwood.com

woodWORKS!
Program of the Canadian Wood Council

www.wood-works.ca

naturally:wood ©

www.naturallywood.com

APA
THE ENGINEERED
WOOD ASSOCIATION

www.apawood.org

Canadian Wood Council
Conseil canadien du bois



www.cwc.ca

WoodWorks™
WOOD PRODUCTS COUNCIL

www.woodworks.org



图：温哥华 Virtuoso 公寓
版权：FII

地址：上海浦东新区红枫路 425 号

电话：021-50301126

网站：www.canadawood.cn

邮件：info@canadawood.cn



印刷时间：2018 年 10 月