

寻迹百年：德国木构的法治与自由

A Century in Retrospect: Legislation and Liberation of Timber Architecture in Germany

王浩任 | Harrison HUANG 汤赵琳 | TANG Zhaolin

喀普兰巴依·艾来提江 | Kapulanbayi AILAITIJIANG

中图分类号: TU52/TU202 文献标志码: A 文章编号: 1001—6740 (2024) 04—0044—10 DOI: 10.12285/jzs.20230801001

摘要: 自 1920 年德国颁布首个木构建筑标准以来, 已百年有余。在过去的一个世纪里, 德国的木构建筑在逐渐建立的法律框架下不断发展壮大, 并在建筑领域中扮演着越来越重要的角色。文章探讨制定材料分级和加工标准对木构设计的促进作用, 反思在防火规范的限制和约束中木构设计的表达自由, 并审视在历史木构更新实践中不完善的法律依据所造成的难题。一百年来, 国家发展目标由战后快速重建向可持续发展转变, 促使德国建筑法规更新进而推动现代木构进步。从法制的特殊历史视角解读德国木构的发展路径, 既理性又独具新意。

关键词: 现代木构、德国、建筑标准、法律法规、发展路径

Abstract: Since the first timber architecture standard was issued in Germany in 1920, over a century has passed. Over the past century, Germany's timber architecture industry has grown and flourished under the gradually established legal framework, playing an increasingly important role in the field of architecture. This article studies the role of material grading and processing standards in promoting timber architecture design, the expression of design freedom within the constraints of fire regulations, and the challenges caused by an incomplete legal basis in the practice of reusing historical timber structures. Over the past hundred years, Germany's national development goals have shifted from rapid post-war reconstruction to sustainable development. This shift has driven the revision of German building regulations, thereby promoting the progress of modern wooden construction. Interpreting the development path of German timber architecture from the unique perspective of legislation history is both rational and innovative.

Keywords: Modern timber architecture, Germany, Building standards, Legislation, Development path

作者:

王浩任 (通讯作者), 浙江大学建筑工程学院研究员;

汤赵琳, 浙江大学建筑工程学院硕士研究生;

喀普兰巴依·艾来提江, 浙江大学建筑工程学院博士研究生。

浙江省基础公益研究计划自然科学基金探索项目 (项目批准号: LY24E080006); 教育部人文社会科学研究一般项目 (项目批准号: 23YJCZH058); 福建省社会科学基金重点项目 (项目批准号: FJ2023A014)。

录用日期: 2023-12

一、序言

在德国, 超过两成的新建建筑都采用了木构的形式, 这种趋势仍在不断上升, 为建筑界注入了新的活力和魅力 (图 1)。尽管德国的木构建筑规模令人瞩目, 但相对于奥地利、瑞士、挪威和瑞典等邻国, 其设计风格显得有些保守和滞后, 所以在建筑设计方面常常受到批评和质疑。2015 年, 挪威卑尔根建成高达 52.8m 的特瑞特木构公寓楼 (Treet); 2018 年, 奥地利维也纳耸立起

84m 高的霍霍木构综合体 (HoHo)。而德国目前最高的木构建筑仍是 2019 年竣工的巴登符腾堡斯凯奥住宅 (SKAIO), 高度仅为 34m。

那么, 是什么限制了德国木构建筑的高度呢? 建筑师们或许会毫不犹豫地指出一个长期以来备受诟病的原因——建筑法规。相比之下, 瑞典早在 1994 年就颁布了取消木构高度限制的规定 (BBR94)。而瑞士也在 2015 年更新建筑法 (VKF-Brandschutzvorschriften 2015) 允许建造高度达 100m 的木构建筑。然而, 直到 2021 年,

德国最新发布的《木构建筑防火指南》(M-HFHolzR 2021) 仍将一般木构建筑的高度限制在 22m 以下 (图 2)。木构建筑行业从业者不得不向立法者高呼:“请让我们的建筑规范与时俱进!”

德国在建筑高度方面一直以来的谨慎态度,只是该国众多木结构建筑法规中的一个缩影。自 1920 年首部木构标准 DIN104 发布以来的百年间,德国建立了严格而全面的木构建筑法律框架,要求任何木结构建筑活动必须在法律规定的条件下完成并接受审查^①。对于德国现代木构而言,详尽的法规对建筑设计的每一个细节产生了深远的影响。一方面,完善的法制体系为建筑设计提供了明确的准则;另一方面,繁琐保守的章节条款却限制了建筑设计的创新。德国木构从业者在法律的保护和制约下表现出独特的双重情感——既感慨于有法可依的幸福,又无奈于繁文缛节的刻板。

二、跨越现代木构的法治之门

德国的木构房屋长久以来依赖工匠的个人经验——从选材到建造,都由工匠来决定。房屋的质量很大程度上受到工匠个人水平的影响。缺乏相关的建筑法规作为设计准则,导致建成质量参差不齐且倒塌事故时有发生,这一问题困扰着整个木构行业。当机械制造业率先开始应用统一的标准来提高生产质量和效率并带来可观经济效益的时候,建筑界受到启发。1920 年,第一个木构建筑标准《小型房屋木梁》(Holzbalken für Kleinhäuser) 由建筑专业标准委员会 (Fachnormenausschuss Bau) 公布,由此德国木构设计进入了一个全新的法治时代。该标准详细规定了小型房屋木梁的截面和承载能力,对木构房屋的结构安全性做出了规定。此后的百年间,德国建筑界相继制定了大量木构标准与法规,涵盖木构设计的各个阶段,涉及木质材料的质量评价、连接方式、结构计算等,对建筑的健康性、安全性甚至外观形式进行了规范 (图 3)。

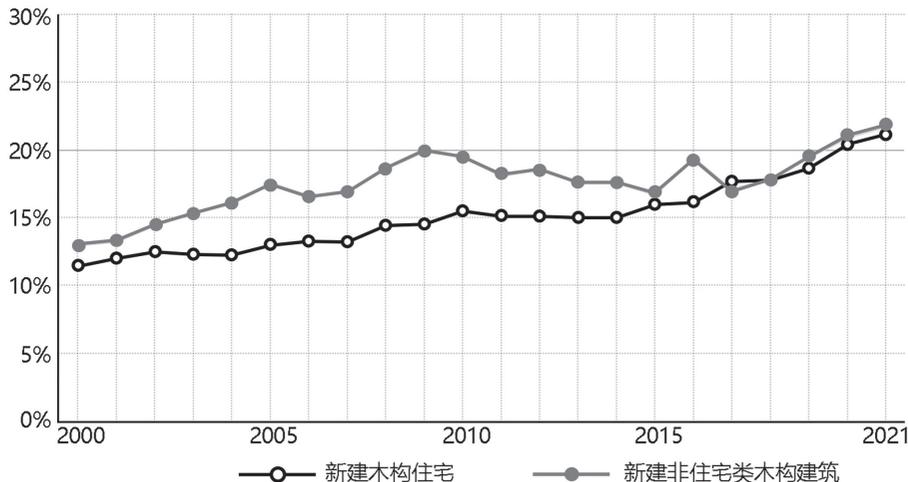


图 1: 德国新建建筑中的木构占比

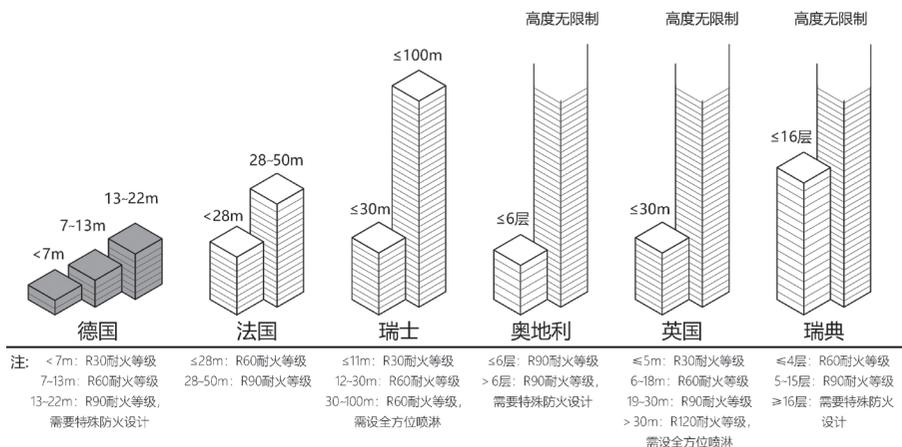


图 2: 德国与欧洲其他国家木构高度限制对比

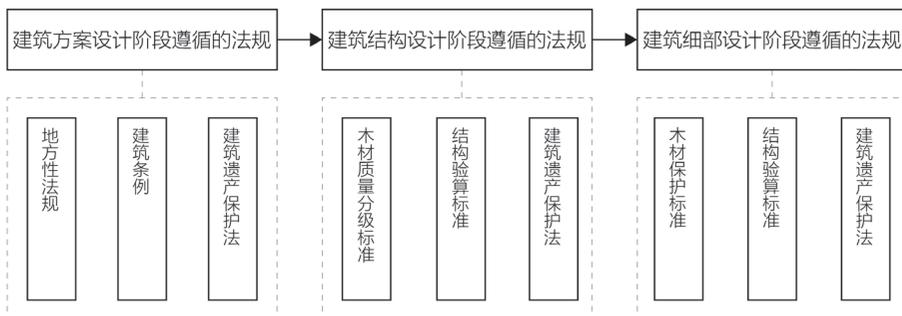


图 3: 德国木构设计涉及的部分法规

1. 建立木材分级制度

20 世纪初,建筑界对木材强度的研究仍不够深入,在现代建筑中较少应用木材。然而,木材在耐火性、抗腐蚀性和维护成本等方面比钢材都具有明显的优势。因此,德意志帝国铁路公司希望将木材应用在火车站站台的屋顶结构中。

为了确保安全性,铁路公司首先需要对其使用的木材进行评估。于是在 1926 年《德意志帝国铁路木支撑结构初步规定》(Vorläufige Bestimmungen für Holztragwerke der Deutschen Reichsbahn) 应运而生。该规定首次引入了一种安全可靠的木材评估方法,并迅速得到了业界的广泛认可,应用于全国范围内的木质材料测试。

测试标准将木材质量分级带入一个全新时代，一直完整沿用至1969年。时年，颁布的DIN1052引入极限荷载应力验证木材强度作为新的标准。新标准利用机械辅助手段对木材进行分级，取代了原先的人工视觉分拣的方法(DIN4074)^②。通过更科学的质量分级方法，能够更准确地评估木材品质，使具有轻微缺陷的木材仍可以在建筑设计中得到合理的利用。木材分级标准发展至今已臻成熟，为企业和学术界革新木质材料奠定了坚实的基础，同时也为建筑设计提供了可靠的依据。

2. 制定胶合木材标准

面对钢铁等新材料和机械生产的冲击，学术界努力突破木材固有限制和尺寸，进行科学研究与创新。虽然层压胶合木(GLT)和正交胶合木(CLT)等已突破了天然木材自身的局限，但在发展早期，建筑师们仍苦于材料标准的滞后，无法将新材料应用于建筑建造中。

1906年，奥托·赫策尔(Otto Hetzer)首次获得了胶合木专利，加速了木质建材的材料变革^③。随后，柏林和德累斯顿的政府和研究机构对胶合木进行了大量试验。根据试验结果，建筑师可以选择合适的胶合木材应用于构件的设计中。值得一提的是，胶合木被广泛应用于候车厅、体育馆等大跨建筑中，对现代木构建筑形式产生了深远的影响(图4)。

CLT诞生于20世纪90年代，适合于如墙体、梁板等板式承重构件，深受建筑师的青睐。然而，初期囿于相关法规，德国只有少数几个试点项目获批使用CLT。例如于1992年首次使用这种板材的默尔克木结构建筑公司(Holzbau Merk)。随着这些试点项目的成功，德国建筑技术研究所(DIBt)于1998年开始批准CLT产品用于承重结构，为其在多层住宅和商业建筑中广泛应用奠定了基础。2007年，瓦伦镇的穆里策乌姆(Muritzzeum)水族馆使用DIBt认证的CLT板用作承重墙体(图5)。

1995年之前，被批准使用在承重构件

中的木材只有云杉、松木等软木材料。硬木的重要性及其发展潜力尚未被意识到，这种材料被局限于用作燃料、室内饰面和家具等方面。当年颁布的DIN EN 390标准首次规定硬木可用于制造胶合板，硬木才开始逐步应用于建筑领域。在随后的20年间，相继颁布包括材料分类、防火性能和木材用途等多方面共30余项硬木标准。奥格斯堡的欧乐根公司(Euregon)新办公楼严格按照硬木相关的法规标准进行设计和建造，并于2015年竣工开放，成为将硬木应用于建筑中的典范(图6)。该建筑的承重结构采用高硬度的山毛榉单板层积

材(LVL)，不仅使柱梁等构件拥有较小的截面尺寸，而且相比使用云杉胶合木等软木材更节省材料用量。据统计，该办公楼就此节省了34.7m³的木材。

3. 规范木材连接技术

当局为保障木构建筑的结构安全，逐步完善了构件连接的规范，为木质构件的组装提供了良好的指导。由于木构件在尺寸和力学性能上的限制，建筑师通常采用连接件将小型构件组合成大尺度的合理受力结构。然而，令人遗憾的是，在1930

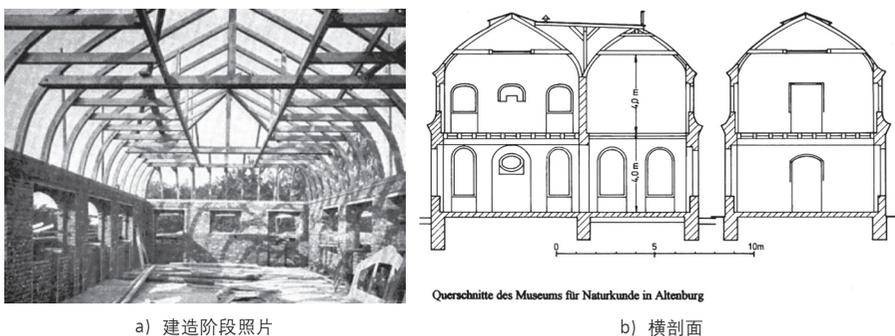


图4: 胶合木建造的阿滕伯格自然博物馆(Naturkundemuseum Altenburg, 1907)



图5: CLT 板材建造的穆里策乌姆(Muritzzeum)水族馆

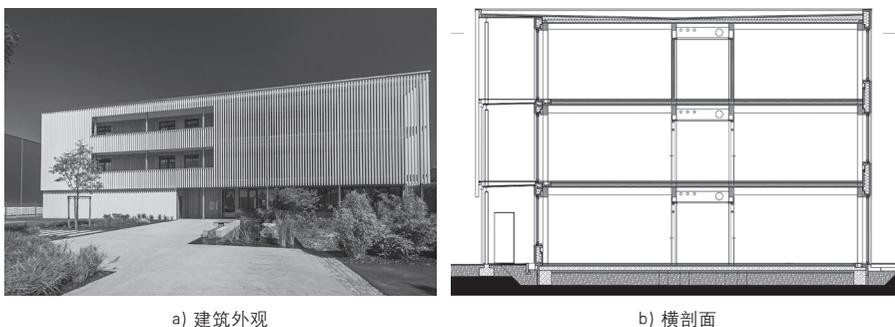


图6: 山毛榉LVL建造欧乐根新办公楼

年之前，连接方式的规范并未纳入标准法规中。

1928年，建筑师威廉·斯托伊 (Wilhelm Stoy) 接到一个体育馆项目的委托。他希望采用钉接方式进行设计，但无奈缺乏相关的计算和施工标准而无法实现。因此，建筑师们迫切需要在标准或法规中找到相应的连接件规范。在斯托伊和奥托·格拉夫 (Otto Graf) 的不懈努力下，政府将他们开发的钉接研究成果纳入1933年的DIN1052中。得益于这一法规的批准，钉接方式极大地提升了木构建筑的结构性能，使其成功应用于仓库、飞机库、展览厅、火车站候车大厅等大跨度建筑的建造中。

在1937年莱比锡技术博览会的4号展馆扩建工程中，埃里希·赛德尔 (Erich Seidel) 根据新规范设计了钉木桁架 (图7)。此外，建筑师卡尔·埃格纳 (Karl Egner) 在1958年发明的指接连接方式也获得了DIN68140的认可，进一步促进了胶合木在工程建设中的广泛应用。进入20世纪60年代，德国引进美国的齿板连接技术，并对其应用进行规范，规定齿板桁架的跨度在35m以内。1967年，德国第一个采用齿板桁架结构的工业厂房建成。

4. 明确木构计算规则与混合结构体系

材料和连接技术的标准化为现代木构建筑的结构设计提出了新的要求，包括结构计算和结构安全性验证等方面。然而，20世纪30年代之前，木结构计算规则没有在法规标准中明确规定，木构建筑只能

依靠传统的匠师经验进行建造。直到1933年DIN1052的颁布，木结构建筑的计算规则才首次得到明确。从那时起，木结构设计逐渐发展为基于科学计算的方法，摆脱了依赖工匠经验的阶段。然而，当时对结构力学的认识还不够充分，法规标准中设置了较高的安全系数^④，导致构件尺寸偏大。随着研究的不断深入，安全系数逐步降低，构件设计尺寸得以缩小。20世纪80年代初，东德将木结构的计算方法从安全系数法改为极限状态法。这一转变使结构设计更符合预期的可靠性要求，成为结构计算史上的里程碑。

20世纪60年代，德国标准化委员会 (Deutscher Normenausschuss, DNA) 提出了木混结构的概念——混合使用不同材料，如木—钢和木—混凝土——充分发挥各种材料的优良性能，并将其应用于多高层的木构建筑中。但由于无法克服建筑法规的限制，这一概念一直未能得到实际应用。直到1995年DIN EN 634-1标准发布以后，木混结构才逐步应用于现代木构建筑中。图8展示了柏林克里斯特堡街13号的多层住宅。该建筑高达7层，采用了木—钢—砼混合结构，即楼梯部分采用混凝土材料，而楼板和柱梁则采用了木材与钢材的组合形式。

三、木构设计的限制与自由

法规标准在推动德国现代木构建筑用材和结构安全等方面取得进步的同时，也对木构高度和材质表达作出了严格限制。这虽在某种程度上局限了建筑师的创造

力，但也促使建筑师思考如何在规范的框架下展现自己的设计独特性。他们探索使用新材料，尝试新的结构形式，寻求在法规允许的范围内创造出与众不同的建筑。

1. 展示承重木构件

众所周知，遵守消防法规是设计和建造木构建筑的先决条件。尽管法规的限制和要求在20世纪末有所放宽，但仍趋于保守，与建筑师的需求不完全契合。在严格的限制框架下，建筑师坚持寻求展示木构建筑结构和材质的可能性。

根据《联邦示范性建筑规范》(MBO2002) 第26条的规定，具有高度阻燃要求或密闭房间中的承重木构件必须全部由防火覆层包覆，这就意味着建筑中无法呈现可见的承重木构件。为了展现木构的特征，建筑师需根据法规额外采取大量的补偿措施。例如，安装自动火灾探测器、在木构件表面涂刷透明的防火涂层等。2004年，《木构建筑防火指南》(M-HFHolzR 2004) 发布，适当放宽了木构建筑防火限制^⑤。随后，各联邦州相继引入该指南，以推动木构建筑的发展。然而，该指南仍然相对保守，对防火覆层K₂60级的密闭要求 (Kapselklasse K₂60)^⑥ 大大增加了建造成本，对经济效益造成了影响。为了使防火要求降至K₂30级以节省成本，建筑师必须采取更多的补偿措施，如在所有房间配备相互连接的自动灭火系统，以及优化逃生路线等。

2012年，采用木构体系的柏林3X绿色住宅 (3X Grün-Wohnen) 竣工完成

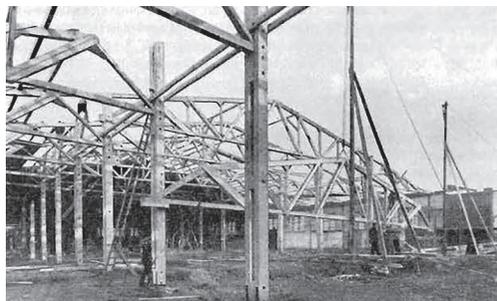
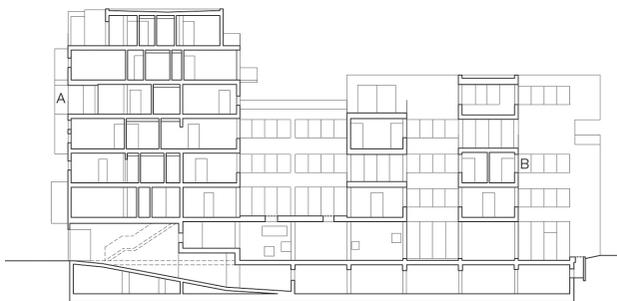


图7: 莱比锡技术博览会4号展馆扩建工程的钉木桁架结构



a) 建筑外观



b) 纵剖面

图8: 柏林克里斯特堡街13号多层住宅

(图9)。在该案例中, 建筑师对各个建筑构件进行了独立的防火评估, 采用了有针对性的解决方案。比如, 楼板下表面只需涂刷透明的防火涂料, 而外墙的防火覆层也可从《联邦示范性建筑规范》(MBO2002) 规定的 K₂60 级降至 K₂30 级。3X 绿色住宅凭借其独特的木构防火设计荣获德国木构建筑奖等多项殊荣。

2. 突破木构限高

由于联邦和州政府在消防法规中严格限制了木构建筑的高度, 高层木结构建筑一直难以实现。直至 21 世纪初, 木构建筑高度都仅限于 7m 以下。2004 年, 《木构建筑防火指南》的出台, 才将木构建筑的高度限制放宽至 13m。

2008 年柏林埃斯马赫街 3 号公寓是木构设计中突破限高的典型案例。建筑

师采用 F90-B 防火等级的木 - 混凝土楼板, 对所有承重木构件用 K₂60 防火等级的石膏板进行保护, 并将各防火分区面积控制在 150m² 以内。此外, 设计的消防通道最长仅为 20m, 远低于规范要求的 35m, 大大提高了逃生路线的防火安全性。建筑师还为公寓设计了带烟雾探测器的火灾报警系统, 保证消防人员在 60min 内扑灭火势。经过一系列繁琐的防火设计并通过单独报批, 该公寓才得以建造, 七层的高度突破了当时柏林木构建筑 13m 的限高。

2021 年版本的《木构建筑防火指南》(M-HFHolzR 2021) 再次更新了木构建筑的限高, 可达 22m。各州也在不同程度上修正完善当地的建筑法规, 以减少对木构建筑的限制。目前, 巴登-符腾堡、柏林和汉堡的州立建筑规范 (LBO) 规定, 22m 以上的木构建筑通过独立报批的特殊

许可后允许进行建造, 这是对木构限高的法律性突破。高达 64m 的汉堡港口新城鲁茨木构公寓 (Roots) 预计于 2024 年完工。到 2026 年, 98m 高的柏林沃霍公寓 (WoHo) 有望超越鲁茨公寓, 成为新的德国最高木构建筑 (图 10)。

四、历史木构的法律难题

德国历史木构建筑经历过二战后的西德城市重建和东德历史建筑拆除的两种命运。直至两德统一后, 人们才逐渐认识到保护历史木构的重要性, 开始进行相关的评估和修缮工作。木构建筑修复协会的成立与行业标准的制定是积极的一步。遗憾的是, 至今尚未制定出一项完善的法规用于指导建筑师的实践。修复中一旦涉及功能的置换或更新, 则需严格遵循以新建建筑为标准的现行法律准则, 关系到结构、防火、节能、健康等多个方面。参照标准的差异会导致工程成本的变化, 亦会对建筑师的设计策略产生较大影响。在木构更新的实践中, 建筑师时常陷入法律的难题之中。

1. 木构修复的行业标准

一方面, 西德的城市重建和修缮不当毁坏了大量传统半木结构建筑。另一方面, 东德政府一直试图拆除历史建筑, 以建造大量新型标准化住宅来解决住房短缺问题。两德统一以后, 政界人士才逐渐意识到维护历史木构建筑的重要性, 并开始积极进行历史木构建筑评估和修缮维护工作。“二战后的四十余年, 对半木结构建筑而言是一个特别不利的时期。现代化进程摧毁了乡村中大量仍实用的半木结构建筑。对进步的信仰和繁荣的欣喜从未像最近的城市重建浪潮那样改变环境。”1978 年, 卡尔·克勒克纳 (Karl Klöckner) 在《半木结构老房子》(Alte Fachwerkbauten) 中激烈批评道。时至今日, 适用于维护修缮木构保护建筑的法规仍未颁布。德国民法典 (BGB) 和各州古迹法 (DSchG) 仅



图 9: 柏林 3X 绿色住宅

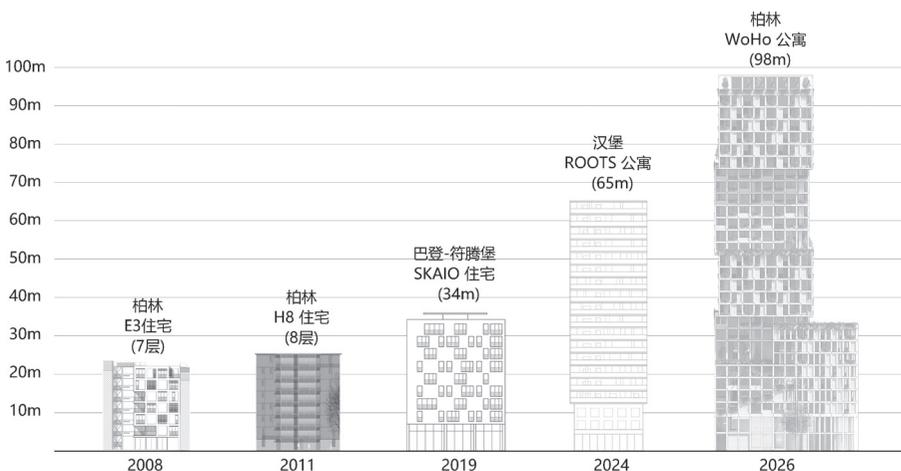


图 10: 德国木构高度发展图

规定了有权对建筑遗产进行改造的公民所应承担的责任义务，缺乏明确的指导^⑦。这使得保护和修复木构建筑变得更加复杂和具有挑战性。

在历史木构建筑的修复方面，德国建筑师和学者必须严格遵循当前的法律准则。然而，现行的建筑法规标准主要适用于新建建筑，并不能完全适用于历史建筑的更新和保护。在不改变建筑功能的前提下，他们可以根据旧版建筑标准法规对历史建筑进行修复。但是，如果进行功能置换或采取可能影响建筑结构稳定性和安全性的更新措施，历史建筑将被归类为“新建建筑”。为了达到新建建筑的标准，势必会对历史建筑本身进行很大程度的改变。

为了解决这一问题，德国木工匠师们在1990年成立了木构建筑修复协会（Verband der Restauratoren im Zimmererhandwerk）。他们以学术研究成果为依据，制定了木构修复的行业标准，

确保在修复历史木构时采用正确的方法。例如，沃尔夫冈·鲁格（Wolfgang Rug）编撰并解释了1917—2007年间的木构建筑设计和施工标准，这本名为《现存木构建筑修复》（*Holzbausanierung beim Bauen im Bestand*）的著作作为致力于历史建筑保护与修缮的建筑师提供了可靠的参考依据（图11）。

2. 木构更新与重建的法律依据

如果要对历史木构建筑进行功能更新，根据德国建筑法律，在结构、防火、防潮、隔热、隔声、节能、健康等多个方面必须参照当下新建建筑的标准实施。举例来说，当替换建筑原有门窗时，必须遵守隔热条例（WSVO）或节能条例（EnEV）保证新门窗构件具有更好的隔热保温性能。

历史建筑古塔赫庄园（Gutacher Gutshof）北翼的改造可谓典范（图12）。

该庄园建于1909年，最初是为古特曼（Gütermann）家族及其员工提供食宿。北翼的一层曾用作马厩、车间和储藏室，二层和阁楼则用作农夫的住处、谷仓和鸡舍。由于北翼功能置换成为难民居住的经济公寓，因此被视为一座新建建筑，必须符合当时的建设标准。为了最大限度地减少对原建筑的影响，建筑师将新的结构内嵌在原有的结构体系中，并与之分离，形成了一种“屋中屋”的设计理念。虽然为满足“新建建筑”的标准而增加了建造成本，但由于建筑师进行的节能设计达到了德国复兴信贷银行（KfW）旧建筑翻新的标准（Efficiency House 100），获得了KfW的资金支持。因此，总造价被控制在可承受的范围内。这一改造项目荣获巴登—符腾堡州2018年“改造建筑节能奖”（Effizienzpreises Bauen und Modernisieren）。评委认为该项目不仅在保护历史木构方面作出了杰出贡献，还在可持续设计方面树立了榜样。



图 11：莱茵高地盖森海姆地区的葡萄酒庄修复

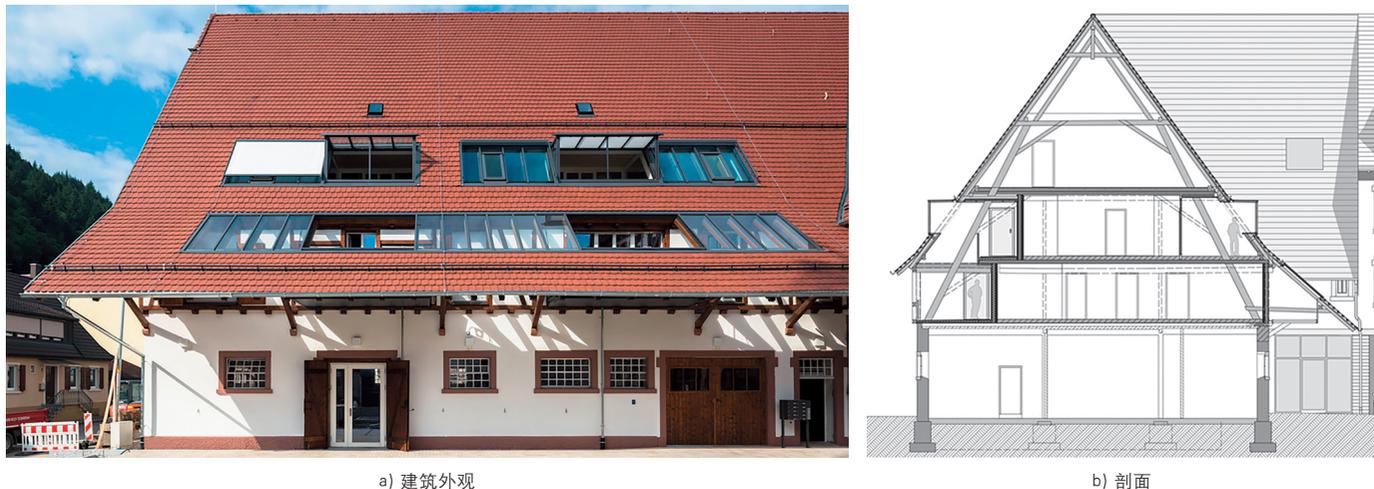


图 12：改造后的古塔赫庄园

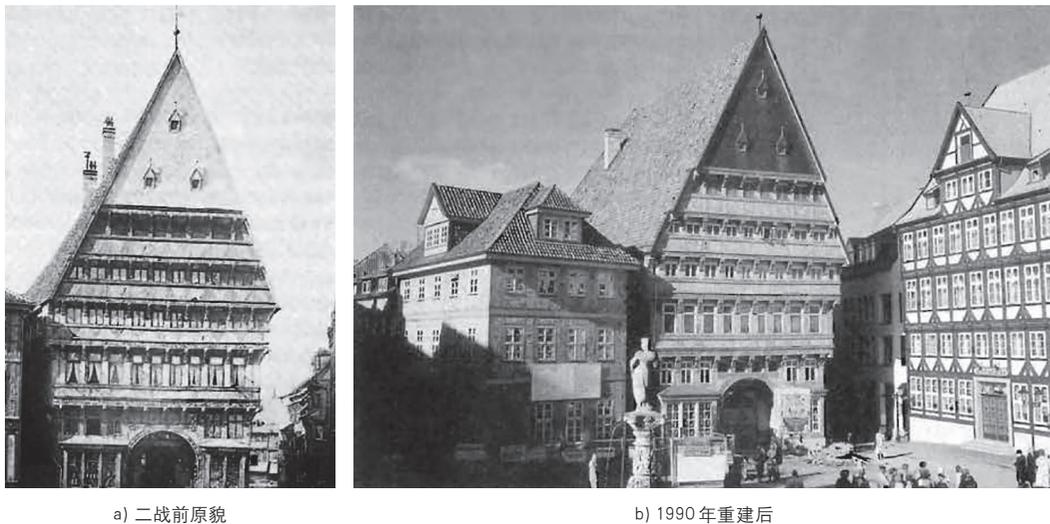


图 13: 屠夫会馆

重建木构老建筑也被归类为历史木构建筑更新中的新建建筑范畴。位于德国下萨克森州希尔德斯海姆市的屠夫会馆 (Knochenhaueramtshaus) 原建于 1529 年 (图 13), 在 1945 年的战争中被炸弹炸毁。20 世纪 80 年代, 市政府决定在原址上重建该建筑。重建过程中, 建筑的形态参考了民众提供的历史照片。与此同时, 建筑的功能也发生了转变, 从原来的办公建筑转变为博物馆和餐厅。这一重建项目的实施不仅在形态上还还原了历史建筑的风貌, 也注重了功能的更新与适应。通过充分借鉴历史文献并在古迹保护局的指导下进行细致工作, 屠夫会馆得以焕发新生。

五、结语

回顾德国木构法律框架建立的一百年: 一方面, 科技的革新推动了标准的不断更新和完善, 新材料和连接件的发明使新标准得以诞生; 另一方面, 标准的制定也规范了技术的应用, 并推动技术的发展和更新。结构计算标准的确立为木构建筑的设计和施工提供了更精确的计算方法, 进一步保障了木构建筑的安全性。技术的进步和法律的更新在德国木构建筑的发展过程中发挥着关键的作用, 二者相互成就, 共同推动整个行业的繁荣 (附表 1)。

我们仍然要对促发法规更新的动因再次深思, 真的只有技术的作用吗? 20 世纪 20 年代至 90 年代初, 德国面临着纳粹主义、领土扩张、

政治混乱和经济复苏等诸多因素的挑战, 国家致力于努力恢复经济, 成为欧洲工业强国并在全世界站稳脚跟。为解决建筑材料不足的问题, 政府希望将具有轻微瑕疵的木材也能够应用于建筑实践中, 所以才不断完善木材分级制度。20 世纪末, 随着环境和能源危机的日益严峻, 过去技术进步所带来的大量资源消耗、环境负担以及对未来生存环境的威胁让人担忧。为了减少建筑业产生的温室气体排放量, 政府将木构建筑作为国家节能减排政策的重要组成部分。建筑全生命周期可持续性评估标准 (BNB)、“木材宪章”等都旨在通过提高木材在建筑中的使用率来减少温室气体排放并缓解气候变化的趋势。德国木构法规的更新在受到技术推动的同时, 显然也受到国家发展目标的引导。值得注意的是, 由于联邦制的政权体制, 并非所有州政府都愿意对木构法规更新给予支持。如勃兰登堡州、梅克伦堡—前波美拉尼亚州等经济相对滞后的地区对木构建筑的扶持力度明显不足。

西学东渐, 探讨德国木构法规的根本目的无外乎希望为中国的木构法制建设提供有意义的参考。目前, 我国现行的木构规范和标准仍很不完善, 在建筑设计的应用中充满了诸多限制与不便, 这样的情况犹如数十年前的德国。随着中国国家发展战略亦朝着可持续发展靠拢, 我们有必要在提升建筑技术的同时更新建筑法律制度, 与时俱进, 使中国建筑师能够更自由地发挥创意, 谱写出属于中国本土木构的壮丽乐章。岂莫善焉?

注释

- ① 德国联邦、州和市政府制定了一系列法规标准保障木构建筑的安全性，如《联邦示范性建筑规范》(MBO)、州立建筑规范(LBO)和德意志工业化标准(DIN)。
- ② 木材人工视觉分拣的三个质量等级分别为：I级，高承载能力；II级，普通承载力；III级，低承载力。机械辅助分级方式可以记录木材的堆积密度、弹性模量等特性，定义了四个等级MS 7、MS 10、MS 13和MS 17。
- ③ 1906年奥托·赫策尔申请的胶合木专利是用脲素胶粘合的弯曲胶合木组件。
- ④ 安全系数是最大应力和允许应力之间的比值。
- ⑤ 《木构建筑防火指南2004》规定《联邦示范性建筑规范MBO 2002》中的高阻燃建筑材料和组件必须具有60min的耐火极限，比原来要求的90min减少了30min。
- ⑥ K₂60级别密闭要求指在规定的60分钟时间段内防火覆层能够保证木结构的安全性。
- ⑦ 德国民法典(BGB)和各州古迹法(DSchG)规定，对遗产进行改造的责任人(包括建筑师、专家、企业家和古迹保护局)在修缮保护过程中不得从事降低遗产价值的活动。遗产所有者和使用者都有义务在古迹保护局的指导下维护和修缮古迹。如需置换功能，须确保遗产得到最大程度的保护。

参考文献

- [1] 徐洪澎, 吴健梅. 现代木构建筑设计基础 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [2] 王浩任, 裘知. 材料、技术与规则: 当代德国木构设计思想与价值 [J]. 建筑学报, 2023, (09): 32-39. DOI: 10.19819/j.cnki.ISSN0529-1399.202309005.
- [3] ISOPP A. "Holz kann sehr viel" Reinhard Wiederkehr im Gespräch [J]. Zuschnitt 59: In Zukunft Stadt. 2015: 16-17.
- [4] PURKUS A, LÜDTKE J, BECHER G, et al. Charta für Holz 2.0—Kennzahlenbericht 2019 Forst & Holz, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [J]. V (FNR), Gülzow-Prüzen, 2019.
- [5] MAHAPATRA K, GUSTAVSSON L, HEMSTRÖM K. Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK [J]. Construction innovation, 2012, 12 (1): 62-85.
- [6] WIEDERKEHR R. Brandschutz im Holzbau—Die Schweiz setzt Massstäbe, F, 2014 [C]. Beinwill am See: Internationales Holzbau-Forum.
- [7] DEUTSCHER HOLZWIRTSCHAFTSRAT. Akute Hemmnisse für den Holzbau Beseitigen [R]. 2023.
- [8] RUG W. 100 Jahre Holzbau- und Holzbauforschung [M]. Bund Deutscher Zimmermeister (BDZ) eV. 100 Jahre Bund Deutscher Zimmermeister: 100 Jahre Verband, Holzbau, Holzbauforschung 1903—2003. Berlin: Bruderverlag Karlsruhe. 2003.
- [9] RUG W. 100 Jahre HetzerPatent [J]. Bautechnik, 2006, 83(8): 533-540.
- [10] RUG W. Innovationen im Holzbau—die Hetzerbauweise (teil 2) [J]. Bautechnik (Berlin, 1984), 1995, (4): 231-241.
- [11] INFORMATIONSDIENST HOLZ. Bauen mit Brettspertholz [Z]. Wuppertal. 2010.
- [12] SCHWANER K, SESSING J, SPANNINGER K, et al.

- Statusbericht zum aktuellen Stand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen und Evaluierung künftiger Entwicklungspotentiale [Z]. Zukunft Holz; Biberach. 2009.
- [13] INFORMATIONSDIENST HOLZ. Konstruktive Bauprodukte aus europäischen Laubhölzern. spezial November 2017, Informationsverein Holz e [J]. V, Düsseldorf, 2017.
- [14] LATTKE F. Dreimal Buche – Bauerfahrungen im Geschossbau [Z]. Europäischer Kongress EBH 2016. Gürzenich Köln (DE); Forum Holzbau, Biel. 2016: 1-8.
- [15] KIND S, BOGENSTAHL C, JETZKE T, et al. Urbaner Holzbau [J]. 2022.
- [16] KAUFMANN H, KRÖTSCH S, WINTER S. Atlas Mehrgeschossiger Holzbau [M]. Atlas Mehrgeschossiger Holzbau. DETAIL. 2017.
- [17] Musterbauordnung, MBO [Z]. Oktober. 2002.
- [18] DEHNE M, KRUSE D. Brandschutz bei mehrgeschossigen Holzbauten—Praxiserfahrung und neue Entwicklungen [J]. Bauingenieur, 2006, 81 (3): 142.
- [19] MÜLLER A. Informationsdienst Holz, Holz spezial Holzbau für kommunale Aufgaben [J]. Qualitätssicherung im Holzbau, 2015: 28-35.
- [20] KLÖCKNER K, KRUPP I. Alte Fachwerkbauten [M]. Callwey, 1991.
- [21] LIBNER K, RUG W. Holzbausanierung beim Bauen im Bestand [M]. Springer, 2018.
- [22] BECKMANN E-M, SUTTHOFF L J. Gebäude aus Fachwerk: Konstruktion-Schäden-Instandsetzung: Dokumentation zum 27. Kölner Gespräch zu Architektur und Denkmalpflege in Brauweiler, 12. November 2018 [M]. LVR-Amt für Denkmalpflege im Rheinland, 2019.

图片来源

- 图 1: 作者根据德国联邦统计局 (Statistisches Bundesamt) 数据绘制
- 图 2: 作者根据参考文献 [3] 改绘
- 图 3: 作者根据参考文献 [21] 改绘
- 图 4: 左图来源于参考文献 [9], 右图来源于参考文献 [10]
- 图 5: 左图来源于 https://www.archdaily.com/8927/muritzzeum-wingardh?ad_medium=gallery, 访问日期: 2023.04.23。右图来源于参考文献 [11]
- 图 6: 获得 Lattke Architekten 授权
- 图 7: 来源于参考文献 [8]
- 图 8: 来源于参考文献 [16]
- 图 9: 来源于 <https://roedig-schop.de/projekte/holzbau-3xgruen/> 访问日期: 2023.04.23
- 图 10: 作者绘制
- 图 11: 来源于参考文献 [22]
- 图 12: 左图来源于 <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/informieren-beraten-foerdern/effizienzpreis-bauen-und-modernisieren/2018/gutshof/> 访问日期: 2023.04.16; 右图来源于 <https://mein.toubiz.de/storage/article/b41649b8dafbfcf2aeb7eac6c8682831dd23c9bf40b6e449c22e139393b46b5b.jpg> 访问日期: 2023.04.16
- 图 13: 来源于参考文献 [8]

1920 至今德国主要木构标准统计

附表 1

时间 (年)	建筑标准	内容概述
1920	DIN 104	小型房屋木梁截面和承载能力
1930	DIN 1074 第一版	木桥结构和连接方式的计算规则
1933	DIN 1052 第一版	用于木构的钉连接方式的规定
1938	DIN 1052 第二版	受压木构件的初步计算规则
		用于木构的螺栓连接方式的规定
1939	DIN 4074 第一版	木方的视觉分类统一标准
1940	DIN 1052 第三版	补充了根据质量分级的构件允许应力等级要求
		销钉和粘合剂使用需获得批准
1941	DIN 1074 第二版	加入了在 DIN1052 中不包含的特殊木桥结构计算规则
1943	DIN 1052 第四版	增加销钉标准化分类和胶合连接的规定
1947	DIN 1052 第五版	在第四版基础上补充木结构的计算和建造方法
1958	DIN 4074 第二版	质量等级分类由方木扩展到薄板、厚板和圆木
1958	DIN 4070-1	收录了应优先使用的方木和屋顶脊梁的尺寸
1960	DIN 68140	规定了指接连接方式允许应力
1963	DIN 4070-2	包含了方木截面尺寸及用于静态计算的数值
1969	DIN 1052 第六版	补充胶合板、刨花板和密度板的允许应力的规定
1984	DDR; TGL 33135/01	补充胶合木限制性负载情况计算方法
1988	DIN 1052 第七版	在第六版的基础上进行全面修订
1989	DIN 4-74101	软木锯材承重能力分类 (取代 DIN4074)
1991	DIN 1074 第三版	禁止使用 S7 级木材和刨花板, 更新了木材蠕变验算的规定
1993	DIN EN 314-2	规定与用途相对应的胶合板等级要求
1994/1995	DIN 1052 A1	规定根据人工视觉和机械辅助的木材等级分类
1995	DIN ENV 1995	高层木结构建筑的设计规则
1995	DIN EN 390	规定胶合层压木材横截面尺寸、公差和含水量的测量方法
1995	DIN EN 634-1	水泥刨花板的性能要求
1995	DIN EN 635-2	温带和热带硬木胶合板表面外观分类特征和缺陷类型
1995	DIN EN 635-3	软木胶合板表面外观分类特征和缺陷类型
1996	DIN EN 313-1	规定胶合板分类
1996	DIN EN 595	规定桁架梁承载能力和变形的测试方法
1996	DIN EN 596	木板式墙体抗撞击力测试方法
1998	DIN EN 1195	木板、胶合板或复合板用作承重地板时静态单点承载性能的测试方法
1999	DIN EN 1194	承重胶合木强度等级、特征强度、特征刚度及体积密度
1999	DIN EN 313-2	定义胶合板的主要术语
2000	DIN EN 1365-3	承重木梁耐火试验方法
2000/2003	DIN EN 1052	木结构极限状态计算方法 (基于第 5 号欧洲通用标准 Eurocode5)
2001	DIN EN 12369-1	定向刨花板、刨花板和密度板的结构计算和设计特征值
2001	DIN EN 12775	实木板的术语定义和分类标准
2002	DIN EN 1611-1	软木锯材的外观分级标准
2002	DIN 18230-3	木构工业建筑防火计算值
2004	DIN EN 622-3	规定了中密度板须满足 EN316 的性能要求
2004	DIN 4102-4/A1	包含木材、木板墙和用于屋顶木构件等的防火性能的规定
2004	DIN EN 975-2	杨树硬木锯材外观分级标准
2005	DIN EN 789	承重木材力学性能测定方法
2005	DIN EN 309	规定刨花板定义和分类标准
2006	DIN EN 300	定向刨花板定义、分类标准和性能要求

续表

时间 (年)	建筑标准	内容概述
2007	DIN EN 634-2	波特兰水泥粘合刨花板的性能要求
2008	DIN 4074-5	硬木锯材强度分级标准
2008	DIN 1052	补充木构建筑规划、设计和计算规则及高层木构设计细则
2009	DIN EN 316	密度板的定义和分类
2010	DIN EN 312	修订了密度板的定义和分类
2010	DIN EN 1995-1-2	规定木结构建筑防火设计、计算和评估方法
2010	DIN EN 1991-1-1	木材密度、木构件的自重, 以及承力构件恒载和活载规定
2010	DIN EN 1995-1-1	高层木结构建筑中木构件的承载能力、使用性能、耐久性和防火性能要求
2010	DIN EN 622-5	规定使用干燥工艺制成的中密度板性能要求和用途
2011	DIN EN 912	承重木结构销连接的尺寸和材料
2011	DIN EN 975-1	硬木锯材 (如橡木和山毛榉等) 外观分级标准
2012	DIN EN 1995-2	木构桥梁主要结构构件设计和施工细则
2012	DIN 1052-10	涵盖应用 DIN EN 1995-1-1 时需考虑的材料、施工和监控等国家规定
2013	DIN EN 14080	规定用于建筑和桥梁的胶合层压木的生产和强度等级规范
2013	DIN EN 1995-1-1/NA	遗产修复中木结构安全性的极限状态计算方法
2013	DIN EN 336	工程木材的尺寸和公差
2014	DIN EN 16449	木材和木制品的生物固碳量和碳排放的计算方法
2016	DIN 4109-33	轻型木结构的建筑施工隔声数据
2019	DIN 68800-1	木材和木基材料一般性防护要求
2020	DIN 68800-3	规定使用木材防腐剂的预防性保护措施
2020	DIN 68800-4	木材和木基材料预防真菌和昆虫的保护措施
2022	DIN 68800-2	在新建与翻新建筑中对加固木承重构件对耐久性的预防性措施
2022	DIN 20000-3	胶合层压木梁在建筑中的应用要求 (符合 DIN EN 14080)
2022	DIN EN 12369-3	木基板材受力构件的结构计算设计值

注: 表格背景红色代表木材材料标准, 黄色代表木构件连接、细部与防火标准, 蓝色代表木结构计算标准。

勘误

经作者核实, 本刊 229 期 (2024 年 6 月刊)《业师和雇主眼中的吕彦直——一份 1929 年的珍贵史料 (附: 吕彦直谈中山陵和中山纪念堂设计)》一文, 标题改为《业师和雇主眼中的吕彦直——一份 1928 年的珍贵史料 (附: 吕彦直谈中山陵和中山纪念堂设计)》, 特此更正。