

可持续建筑译丛

秸秆建筑

Building with STRAW

[德] 赫尔诺特·明克 弗里德曼·马尔克 编著

刘婷婷 余自若 杨 雷 译



中国建筑工业出版社

TU531.6/1

2007

可 持 续 建 筑 译 丛

秸 秆 建 筑

[德] 赫尔诺特·明克 弗里德曼·马尔克 编著
刘婷婷 余自若 杨 雷 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2006-6992

图书在版编目 (CIP) 数据

秸秆建筑/(德)明克,(德)马尔克编著;刘婷婷,余自若,杨雷译. —北京:中国建筑工业出版社, 2007

(可持续建筑译丛)

ISBN 978-7-112-09371-7

I. 秸… II. ①明…②马…③刘…④余…⑤杨… III. 秸秆-应用-建筑材料-研究 IV. TU531.6

中国版本图书馆CIP数据核字 (2007) 第077716号

Building with Straw: Design and Technology of a Sustainable Architecture /
Gernot Minke, Friedemann Mahlke

Copyright © 2005 Birkhäuser Verlag AG (Verlag für Architektur), P.O. Box
133, 4010 Basel, Switzerland

Chinese Translation Copyright © 2007 China Architecture & Building Press
All rights reserved.

本书经 Birkhäuser Verlag AG 出版社授权我社翻译出版

责任编辑: 孙 炼

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 陈晶晶 张 虹

可持续建筑译丛

秸秆建筑

[德] 赫尔诺特·明克 弗里德曼·马尔克 编著

刘婷婷 余自若 杨 雷 译

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9 字数: 258 千字

2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-09371-7

(16035)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

目 录

I 秸秆建筑技术	7		
第1章 导言	9	第7章 秸秆建筑的设计	36
本书的目的及读者对象	9	承重秸秆墙的特性	36
关于内容	9	非承重秸秆墙的特性	38
秸秆建筑——对可持续建筑的贡献	10	基础详细设计	39
秸秆建筑的优点	10	基底细部	40
反对与担忧	11	墙体构造	40
第2章 秸秆建筑的产生及发展	13	墙体与基础、基底和楼（地）面的连接	42
早期建筑（1880~1970）	13	圈梁	43
1980年以后的发展	15	门和窗	44
第3章 秸秆作为建筑材料	19	墙角	45
概述	19	墙体/屋顶连接	45
秸秆砖	19	内墙	45
秸秆护墙板	20	顶棚	46
第4章 利用秸秆砖的墙体结构	21	配套管道	46
结构体系介绍	21	秸秆墙上的重型固定	46
承重秸秆砖墙	22	墙体开槽	46
非承重秸秆砖墙	23	第8章 表面保护和精整工作	48
秸秆层的隔热	23	室内抹灰	48
结构及动力特征	23	室外抹灰	49
各不同体系摘要及比较	24	涂漆面层	52
第5章 秸秆在屋面和楼地面构造中的应用	25	防水处理	54
屋面隔热	25	耐候板、贴面和通风外包层	55
楼地面构造	26	第9章 施工流程	56
既有结构的辅助隔热	27	现场监管和协调	56
第6章 秸秆建筑的物理性质	28	健康安全检测	56
热存储性和热传导性	28	秸秆砖的质量评估	56
热桥	28	秸秆砖的辅助压实	56
隔热	29	运输和存储	57
水汽防护	30	秸秆砖的切割	57
水汽平衡	33	秸秆砖的修整	58
防风性和气密性	34	秸秆砖的安装	59
防火	34	墙体加固	59
隔声	35	对墙施加预应力	60
		变形的消除	61
		接缝回填	62
		秸秆砖表面的修剪	62

墙体抹灰	62
第10章 试验与失误——案例	63
说明	63
方案设计	63
施工——第一次尝试	65
解决问题——第二次尝试	69
第11章 建筑造价、保险及规划许可	71
建筑造价、工期及个人贡献	71
建筑保险	71
规划许可	72
II 建筑实例	73
住宅	
荷兰Zeeland地区沃尔凯尔克的住宅	75
乌拉圭巴尔内阿里奥—巴耶纳角的住宅	77
加拿大蒙特利尔中部的住宅	79
奥地利斯蒂里亚格拉茨附近, 希岑道夫的工厂预制独栋家用住宅	80
奥地利布尔根兰州的多伯斯多夫独栋家用住宅	82
美国加利福尼亚州伯克利的都市小屋	85
美国北卡罗来纳州的布赖森的独栋家用住宅	86
澳大利亚悉尼附近的高尔斯顿的具备客房、娱乐场所和车库的独户住宅	89
美国加利福尼亚州下湖的独户住宅	90
日本琵琶湖的独栋家用住宅	93
爱尔兰梅奥县的卡斯尔巴螺旋屋	95
瑞士Disentis的承重秸秆砖住宅	96
加拿大安大略的卡文的被动式太阳能住宅	99
奥地利维也纳的第一所秸秆砖住宅	101
比利时布兰登的独栋家用住宅	103
奥地利玛丽亚拉赫的低能耗住宅	104
奥地利温纳黑尔伯格的被动式太阳能住宅	106

家居与工作室

美国加利福尼亚州塔萨拉加峡谷的鲑鱼农场	
复式建筑	109
英国伦敦的住宅及办公场所	111
德国梅克伦堡—西波美拉尼亚地区Stubben-dorf 的乌伦克拉格农场	113
德国下弗朗科尼亚地区沃戈尔德豪森的德国少数民族裔迁居住宅	115
澳大利亚米塔贡的Woodage锯木厂	117
排练及表演用的秸秆砖穹顶建筑, 德国韦斯特林地区的福斯特梅伦	119
德国弗朗科尼亚地区陶伯河上游罗滕堡附近的农场及住宅	121
美国加利福尼亚州圣克鲁斯附近一位画家的住所	123

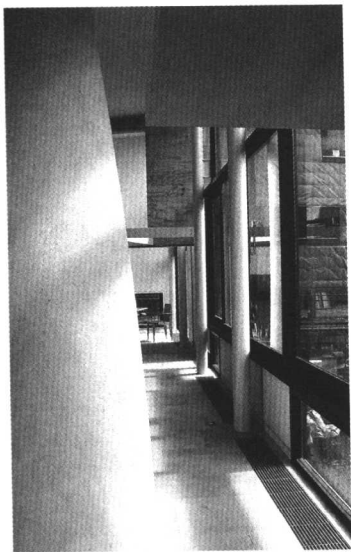
教育/文化建筑

美国亚利桑那州斯科茨代尔的富特希尔斯预备大学	125
美国加利福尼亚州霍普兰的Real Goods太阳能生活中心	128
加拿大魁北克地区瓦尔—莫兰的国际西万那德瑜珈维檀多中心	131
美国科罗拉多州卡本山谷的沃尔多夫学院	132
俄罗斯加里宁格勒的塞勒姆儿童村	135
美国科罗拉多克雷斯顿的庇护所	136
澳大利亚布莱克希思的Vipassana禅室	137

附录

信息联合组织	139
互联网址	140
参考文献	142
致谢	143
图片致谢	143

第1章 导言



本书的目的及读者对象

秸秆建筑自20世纪90年代开始,经历了一个蓬勃的发展期。这股发展势头最早始于美国(事实上,早在70年代便呈现了上升趋势),随即蔓延至加拿大和澳大利亚。同时,这种对秸秆建筑的新热情也鼓舞了欧洲的同行们,并逐渐影响至亚洲及南美等地。

在过去很长一段时间,秸秆作为建筑材料及其相关工艺一向被认为是生态研究领域的问题。渐渐地,相关的国际组织与论坛也开始吸引主流建筑师和工程师的参与。许多秸秆建筑实例,包括私人住宅、商业建筑、教育及文化建筑等,都成功地证明了无论从环境还是经济的角度,秸秆建筑都具有极其广阔的前景。

与已出版的其他秸秆建筑的书籍相比,本书详细地叙述了秸秆建筑的结构、物理性能、建造技术及其所存在的问题,为计划者和建造者——他们或许是建筑师、工程师、工匠,也或许是外行——提供一些秸秆建筑的物理及结构基础知识,说明秸秆建筑的特点,并指出潜在的缺陷以避免不必要的损失。书中从不同国家不同地域精选的大量秸秆建筑图片,展示了秸秆建筑设计的多

样性及应用的广泛性,其可持续及造价低的特点也是传统建筑所不具备的。

关于内容

本书第1章从当前对可持续性的普遍需求角度,着重介绍了秸秆建筑的优点和缺点,对潜在使用者所持有的异议及担忧也作了相应的说明。第2章简要叙述了秸秆建筑的历史以及当前的发展状况。第3章对作为建筑材料的秸秆和作为建筑单元的秸秆砖的结构及物理特性进行了介绍。

第4~6章展示了多种墙体系及其优缺点比较,详细阐述了利用秸秆做保温屋面和楼地面的可能性。在这部分,还涉及了隔热、防火、防潮和隔声等多项重要内容。

第7章针对秸秆砖房屋的方案和详细设计等关键问题作了相应的介绍,包括提供所有重要的结构详图。

第8章主要介绍了墙体外表面保护及整理的多种做法。

第9章和第10章介绍了现场建造流程,并对如何避免缺陷给出了建议。第11章介绍了与

设计相关的事项，例如造价、工期、保险、建造规则和发展应用程序。

全书的第2部分为世界各地现代秸秆建筑的精选。书的附录部分包括相关参考文献和联系名录，通过名录提供的地址可查阅到最新的信息，以及当前开展的项目和研究。

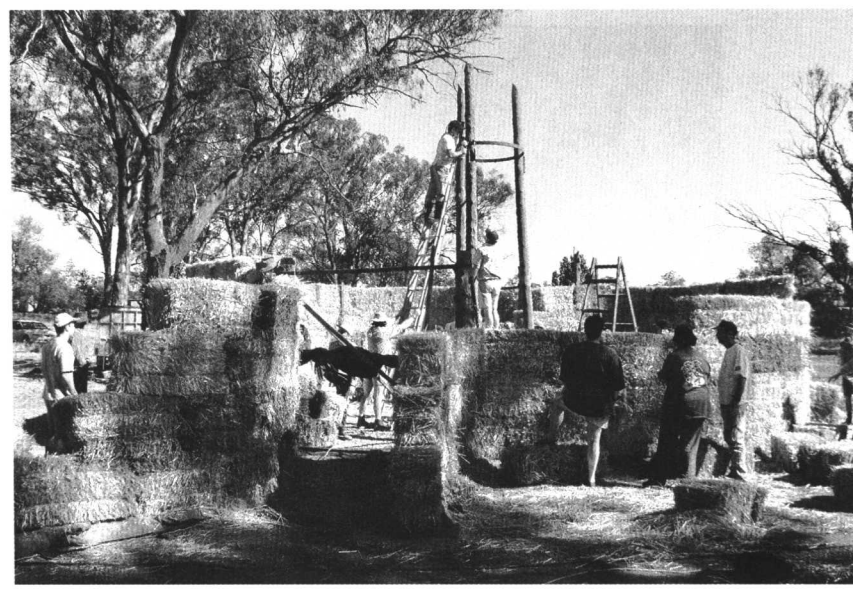
秸秆建筑
——对可持续建筑的贡献

秸秆是一种可每年再生的建筑材料，是一种常见资源，可以自然回收，处置起来不会产生任何问题；房屋发生毁损后，还可轻易地从其他建筑材料中剥离以作他用，例如，作为花园中的覆盖层，或者用于农业松土。与其他建筑材料相比，秸秆砖的制作和运输都要更为简便。可以说，秸秆建筑的建造对环境几乎没有任何负面的影响。秸秆砖所耗的能量大约为 $14\text{MJ}/\text{m}^3$ ，而矿渣棉所耗能量为 $1077\text{MJ}/\text{m}^3$ ，是秸秆的77倍。秸秆在光合作用过程中所吸收的 CO_2 甚至要高于制作及运输过程中所释放的 CO_2 。

因此，将秸秆作为隔热材料，将有助于持续性地减少建筑工业的 CO_2 释放量。可以说，秸秆符合“可持续性”建筑材料所需的一切条件，比木材更为优越，因为较木材的制作和处理过程而言，秸秆制成秸秆砖的过程所产生的 CO_2 和能耗都要低得多。



左：图 1.1
下：图 1.2



秸秆建筑的优点

图 1.1 ~ 图 1.4
澳大利亚一处秸秆砖建筑的修建现场，2002 年

在德国和澳大利亚，对秸秆砖墙体的试验结果如下：

- 抗火等级 F90
- 材料属性：易燃
- 导热系数
 $\lambda_R=0.0456\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

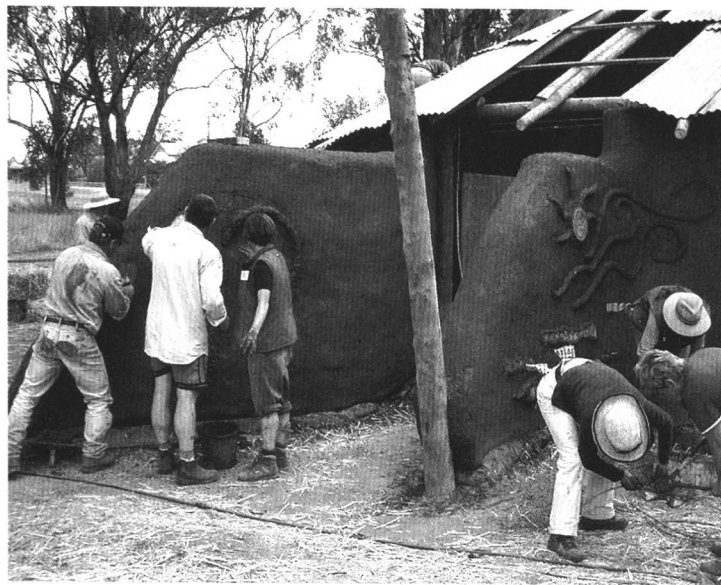
这表明, 秸秆砖隔热墙结构可用在所有单层或两层的建筑中, 无论是独户式还是复合式, 或是平房、车库、农房、幼儿园、学校、医院和办公室。特定条件下, 对于多层建筑也是适用的 (参见本书第 2 部分)。

秸秆隔热房屋可以达到节能建筑的标准, 即年耗能量要求不大于 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ 。在这样的建筑

这已经被美国的大量实例所证明。最早的秸秆建筑距今已有近 100 年的历史了, 且仍可居住 (参见第 2 章)。

秸秆建筑可谓是 DIY (自己动手建造) 的理想选择: 不仅可以节约建造成本, 而且通过参与盖房子还可加强社会联系。家人、邻居和朋友这些通常与盖房子无关的人此时都可以参与进来。这给了客户, 也可能还有他们的孩子, 一种强烈的身份感, 即, 这是他们自己的房子, 自己的“四面墙”。对所有参与者来说, 盖房子的过程无疑是一次令人兴奋的互动过程, 是一项愉悦的社会经验。在美国、加拿大和澳大利亚, 未来的房屋所有者将经常邀请家人、朋友甚至陌生人参加以砌秸秆墙为由举办的“工作派对”。图 1.1~图 1.4 展示了秸秆建筑的一个施工场景, 这项活动是在澳大利亚召开的由世界各地秸秆建筑者参加的国际会议的一个组成部分。

图 1.3



反对与担忧

中安装一套传统的加热系统并不经济, 因为加热的成本还不如煤气管道的造价, 甚至低于传统加热系统中的循环泵操作成本。

以德国的农产品为例, 秸秆的产量极为可观。按照沙尔默 (Scharmer) 的说法, 秸秆的年产量足以对 350000 个独户式住宅做隔热处理 (沙尔默, 2002)。尽管目前秸秆多被压成环形砖, 但在农场周围, 依然有着大量的小秸秆块, 以用于修补那些需要重新塑形的砖制品。

秸秆建筑的使用寿命很长,

当人们意识到要居住或工作的房屋的墙是由秸秆砌成的时候, 通常会由于强烈的疑惑与下意识的担忧而显得踌躇。这些反应其实是因为知识的缺乏和对新鲜、未知事物莫名其妙的恐惧。这本书就是试图通过提供有用的信息, 带领读者领略未知。人们的担忧只能通过理性的辩论来消除——这也是本书尝试解决的另一项任务。

在美国, 研究已经一再表明, 即使在有一些年头的秸秆建筑物内, 也完全没有发现昆虫或鼠类。甚至, 对一处四年后拆除



图 1.4

了的房屋进行测试,检查了每一块秸秆砖,证明没有寄生虫存活 (<http://swarthmore.edu/es/strawbale.html>)。

火灾

毫无疑问,松散的秸秆易于燃烧。然而却很少有人知道,内外面均有抹灰的秸秆砖墙可以抗燃烧达 90 分钟 (F90 级)。这个结果最早由澳大利亚建筑标准发布 (参见第 6 章),并同时在德国获得证明。

老鼠窝点

老鼠并不啃咬秸秆,压实后密度达 90kg/m^3 以上的秸秆砖能抵抗各种啮齿类动物的冲击。只是砖与砖之间如果没有或没有充分填压实,将带来一定的风险。然而,如果是抹灰墙面,老鼠首先要穿透 3~6cm 厚的涂层,而这种情况从来没有出现过。如果外部防潮层采用防水通风木覆层而不是粉刷层,那么可以想像或许与其他通风覆层一样,理论上老鼠都能在洞内做窝。然而,这种现象也还从未发生过,因为房间虽然温暖,而在冬天这些洞穴会变得非常寒冷,不利于老鼠做窝。此外,德国建筑规范规定,在这些洞穴内应放置昆虫捕捉器以防止黄蜂做窝。

白蚁

显然,秸秆也不是白蚁钟爱的食物。可能某些虫类会对秸秆造成破坏,但显然对木材更感兴趣。施特恩 (Steen) 等人的研究表明,在一些老秸秆建筑中,木头做的门窗框架都有虫咬破坏,而秸秆本身却完好无损 (施特恩等, 1994, 第 64 页)。

霉菌

目前尚没有人担忧秸秆上会滋生霉菌,通过观察那些采用正确修建方法的秸秆建筑发现,干燥的秸秆上不会滋生霉菌。所谓正确的修建方法,包括使用干燥的秸秆,即秸秆含水量低于 15%;在内表面设置水蒸气隔离层以防止秸秆砖受潮;外表面处理时则应保证水蒸气能够逸出,这样即便有冷凝物也能扩散。而无论是否满足以上要求,都可通过采用正式的计算方法来修建 (参见第 6 章)。

在涂灰泥的过程中,必须保证灰泥能快速干透。为此,对于在涂刷过程中受潮的秸秆,灰泥应留有足够的挥发空间,从而使其快速干燥。如果灰泥中含有较多的有机物,例如锯屑或秸秆壳,则干燥速度会慢得多,进而导致霉菌的滋生。因此,建造者必须保证在最后一层灰泥添加之前,所有的灰泥层都要干透,尤其在灰泥层较厚的情况下。而且,最后一层灰泥应不含或几乎不含任何有机添加物。

根据维塔宁 (Viitanen) 的研究 (1996),霉菌发展的理想环境条件应为:温度 $20\sim 28^{\circ}\text{C}$,相对湿度超过 55%。在有些资料中,该数据达到了 80%~90%。

灰尘过敏

对灰尘过敏的人在修建秸秆建筑时可能会受影响,产生不良反应。作为预防,过敏的人应佩戴防尘面罩。而当墙面全部抹灰后,居住其中将不会有任何的影响。

注:

公制单位与英制单位间的转换关系见 138 页。

第2章 秸秆建筑的产生及发展



上：图 2.1
福恩湖牧场 (Fawn Lake Ranch), Hyannis, 内布拉斯加州, 1900 ~ 1914

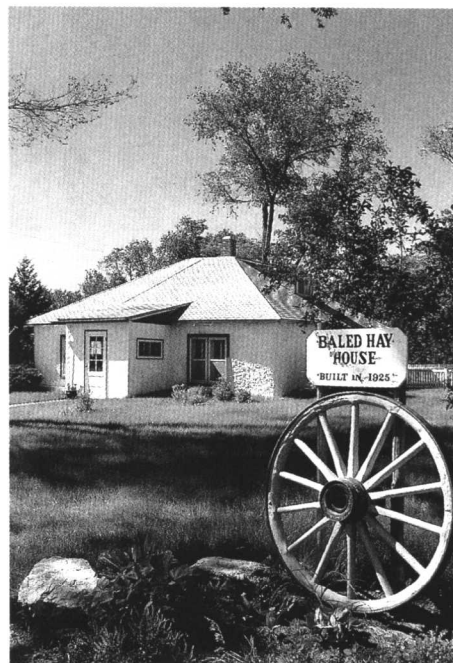
右：图 2.2
马丁·蒙哈特住宅 (Martin Monhart House), 阿瑟, 内布拉斯加州, 1925

早期建筑 (1880~1970)

秸秆建筑的出现应追溯至 19 世纪时在美国出现的秸秆压制技术。1872 年, 记载有马匹作为动力的压制技术; 1884 年, 出现了蒸汽压制。第一幢秸秆建筑建于内布拉斯加州 (Nebraska); 1886 年, 在斯科茨布拉夫 (Scott's Bluff) 县的贝厄德 (Bayard) 附近修建了一所只有单个教室的学校 (施特恩等, 1994)。这些早期的秸秆建筑在修建方法中都没有采用木结构, 而利用秸秆墙直接支撑屋顶。在以后的文献中, 这种“承重”型修建方法被称为“内布拉斯加法”。现存最早的采用这种承重法修建的秸秆建筑建于 1900~1914 年间, 1940 年翻修过, 现在仍可用于居住 (图 2.1)。1903 年, 在内布拉斯加州的阿莱恩斯 (Alliance) 兴建了伯克 (Burke) 住宅, 1956 年后不再用于居住 (图 2.3)。这种方法在 1915~1930 年间得到广泛的应用, 威尔士 (Welsch) (1970) 曾经提到, 在这一时期大约修建了 70 多处房屋, 其中 13 处保存至 1993 年以后。

在内布拉斯加州, 位于阿瑟 (Arthur) 的圣殿教堂 (Pilgrim Holiness Church) 修建于 1928

年, 采用秸秆墙作为承重结构 (图 2.4)。欧洲著名的最古老的秸秆建筑, 也可能是世界上最古老的两层秸秆隔热建筑, 位于法国的蒙塔日 (Montargis), 名为“迈松·弗耶特” (Maison Feuillet), 建于 1921 年 (图 2.5)。在当时, 这所 100m² 的房屋能容纳三代人生活【韦迪希 (Wedig), 1999】。位于阿拉巴马州亨茨维尔 (Huntsville) 的伯里特 (Burrit) 大楼 (图 2.7), 修建于 1938 年, 可能是美国最早



右：图 2.3
伯克住宅，内布拉斯加州，美国，1903



下：图 2.6
尼兹 (Neeze) 乡村住宅，荷兰，1944



上：图 2.5
迈松·弗耶特，蒙塔日，法国，1921



左：图 2.4
圣殿教堂，阿瑟，内布拉斯加州，1928

下：图 2.7
伯里特大楼，亨茨维尔，阿拉巴马州，美国，1938



右：图 2.10

承重式“绿色星期”展示建筑物，布鲁塞尔，2002
【哈拉尔德·韦迪希，安德烈·德邦滕 (André de Bonter)】

采用在两层梁柱木结构中填充秸秆砖的建筑，它共计在墙、顶棚和屋面中使用了 2200 块秸秆砖，现已成为一所博物馆。在荷兰，仍具争议性的最早的秸秆建筑位于海泽 (Heeze，图 2.6)，修建于 1944 年（施特恩等，1994）。

1980 年以后的发展

20 世纪 70 年代和 80 年代，在美国出现了相当数量的有关秸秆建筑兴建的出版物，无论是承重式的“内布拉斯加法”还是木结构内填充秸秆砖法，都有相应的介绍【Welsch, 1973; Doolittle, 1973; 麦克尔德里 (Mcelderry), 1979; 斯特朗 (Strang), 1983】。

1993 年，季刊《最后的秸秆——秸秆建筑杂志》(The Last Straw — The Journal of Straw Bale Construction) 创刊 (图 2.8)。杂志的影响力推动了秸秆砖建筑的发展，并促使各州陆续颁布了对应的建筑规范。美国首部正式的秸秆建筑规范为 1991 年颁布的《新墨西哥州秸秆建筑指南》。20 世纪 90 年代，美国开展了广泛的研究，针对秸秆建筑的隔热、承重力、抗风、抗震及抗火等领域，取得了一系列可靠的数据【金 (King), 1996】。首个用于实验性质的工作室出现于 20 世纪 80 年代的美国，后相继出现于加拿大和英格兰。

20 世纪 90 年代初期，在 DIY 建筑行为的主导下，美国掀起了一股秸秆建筑的热潮。1991 年，在新墨西哥州通过了首个由官方正式授权并取得经费的秸秆建筑计划，此后其他各地也迅速通过。



首个秸秆建筑的国际会议于 1993 年召开，并发起成立了“全国秸秆砖研究顾问网”。在这一时期，出现了越来越多旨在促进秸秆建筑发展的全国性组织，例如，德国秸秆建造者联合会 (Fachverband Strohballenbau)，

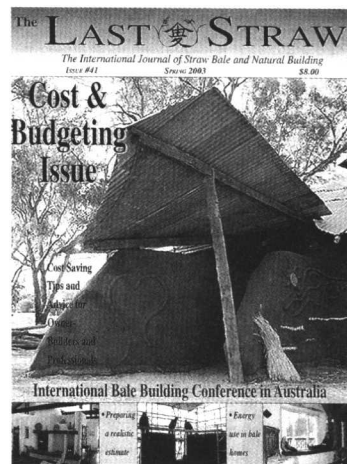


上：图 2.9

实验建筑，雷克斯豪森，1997 (马丁·厄尔曼, 哈拉尔德·韦迪希)

右：图 2.8

杂志《最后的秸秆》的封面



成立于 2002 年（地址参见第 139、140 页）。与此同时，美国、加拿大、澳大利亚、英格兰和奥地利等国，出现了秸秆建筑修建的专业承包人。

尽管许多欧洲国家在 20 世纪 90 年代都主持建立了专门的工作间，德国在这方面的起步却有些晚：第一次论坛由马丁·厄尔曼 (Martin Oehlmann) 和哈拉尔德·韦迪希 (Harald Wedig) 组织，

右：图 2.12
两层承重式住宅，爱尔兰（芭芭拉·琼斯），2000



于 1995 年在波默里兹 (Pommritz) 召开，论坛的一项成果就是修建了一个小小的花房。图 2.9 所示的房屋建于 1997 年，作为德国雷克斯豪森 (Recklinghausen) 第二工作间的一部分。在美国，秸秆建筑的先行者们包括马茨·米尔曼 (Matts Myhrmann)，朱迪·诺克斯 (Judy Knox)，比尔和雅典娜·施特恩 (Bill and Athena Steen)，大卫·艾森伯格 (David Eisenberg) 和史蒂夫·麦克唐纳 (Steve McDonald)；欧洲的则有罗尔夫·布林克曼 (Rolf Brinkmann)、马丁·厄尔曼和哈拉尔德·韦迪希。

作为欧洲联盟组织“绿色星期”的一个组成部分，“全球生态网”在哈拉尔德·韦迪希的领导下，于布鲁塞尔欧洲委员会的前方广场上，修建了一所专用于展览的秸秆建筑（图 2.10），这个建筑物随后被移除，现保存

于德国菲尔森 (Viersen) 附近的一处自然风景地。

欧洲第一个商业化建造的秸秆砖承重建筑位于英格兰，始建于 1989 年。截至 1995 年，英格兰、挪威和法国共有秸秆建筑的数量大约为 40 座，到了 2001 年，这个数目则增加到了 400 左右。法国的秸秆建筑主要修建于布列塔尼 (Brittany)（图 2.11）。1998 年，在布列塔尼召开了首届全欧范围的国际秸秆建筑会议，同年，在荷兰召开了一次秸秆建筑论坛。还是在这一年，两个秸秆建筑的项目首次获得官方批准。

1998 年，芭芭拉·琼斯 (Barbara Jones) 在爱尔兰修建了第一座两层承重秸秆住宅（图 2.12）。在瑞士，鲁埃迪·孔茨 (Ruedi Kunz) 于 1999 年盖了一座圆屋顶复合式（承重加梁柱）结构的住宅，得到规划许可。截至 20 世纪末期，挪威的秸秆建

从左至右：

图 2.13 住宅，挪威【阿里尔·贝格 (Arild Berg) / 罗尔夫·雅各布松】

图 2.11 住宅，布列塔尼【帕斯卡尔·泰波 (Pascal Thépaut)】“Gagné technique”

图 2.14 医院，蒙古国，2002【查嘎德勒格 (Tsagaan Delger)】

筑数量共计超过 25 座，而其中大部分是由罗尔夫·雅各布松 (Rolf Jacobson) 设计的（图 2.13）。在巴拉卢斯 (Balarus)，为切尔诺贝利难民修建的秸秆建筑定居点获得了 2000 年世界可持续能源奖。当地这种由政府投资修建的房屋共计有 200 多个（韦迪希，1999）。在斯洛伐克的塔特拉高地 (High Tatras)，风攻