

Xiandai Zhimian

Shigaoban Shengchan Jishu Yu Shebei

现代纸面石膏板 生产技术与设备

李传炽 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

浙外

现代纸面石膏板 生产技术与设备

李传炽 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代纸面石膏板生产技术与设备 / 李传炽编著. —
杭州: 浙江大学出版社, 2018.12
ISBN 978-7-308-18961-3

I. ①现… II. ①李… III. ①石膏板—生产工艺②石
膏板—生产—化工设备 IV. ①TQ177.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 019316 号

现代纸面石膏板生产技术与设备

李传炽 编著

责任编辑 舒莎珊 季 峥

封面设计 周 灵

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 22.25

字 数 423 千

版 次 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-18961-3

定 价 98.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

序

纸面石膏板是一种防火、节能的新型建筑材料,主要作为内隔墙、墙面板和天花板的装修材料。近 20 年来,随着我国建筑工业的快速发展,纸面石膏板材料生产迅速发展,成为继水泥、玻璃、陶瓷后又一种主要的工业建筑材料。

纸面石膏板被认定为建筑不燃材料,可以大规模工业生产,在美国、德国和日本等国受到高度重视,在建筑房屋中应用十分普遍,每平方米的建筑面积平均使用 4 平方米的纸面石膏板。迄今为止,纸面石膏板在美国已经生产应用了一个世纪,国外的纸面石膏板工业技术仍在不断向前发展。

我国的纸面石膏板工业从零开始,经过 40 年的发展,已经具有一定的规模,在我国城乡建筑及居民家庭的装修中得到了普遍应用。尤其是近 20 年来,纸面石膏板工业技术经过引进、仿制、创新,得到了飞速发展,我国建成了一批大规模的现代纸面石膏板工业生产线,纸面石膏板工业生产设备已出口到几十个国家和地区,我国已成为世界上主要的纸面石膏板生产国家。中国用 40 年时间,使纸面石膏板工业达到了欧美国家 100 年的发展水平。

但是我国要成为纸面石膏板工业世界强国,还必须解决生产中的三大问题:一是石膏板工业生产中的环境污染;二是纸面石膏板工业生产中的能耗偏高;三是急需纸面石膏板工业全自动化生产的技术创新。因此,为推动纸面石膏板工业的发展,出版系统介绍纸面石膏板研究创新、设计生产、产品应用的著作很有必要。

李传焯工程师积累了 40 年纸面石膏板研究、设计、生产的工作经验,编写了《现代纸面石膏板生产技术与设备》一书,这是我国首部关于纸面石膏板工业生产的专著。该书系统地阐述了建筑石膏工业生产的先进技术,论述了现代纸面石膏板生产的理论与设备。

该书针对采用煤燃料生产石膏板造成环境污染的状况,介绍了利用天然气

作为燃料生产建筑石膏的技术和利用天然气干燥纸面石膏板的专用设备；针对化学石膏作为石膏板原料，其所含的微量元素对人体和环境的影响，介绍了国外净化化学石膏的技术与设备。

该书还针对我国石膏板生产中能耗高的问题提出了纸面石膏板生产中的节能途径和措施。同时，书中还分析了纸面石膏板工业全自动化生产问题，提出了全自动化生产的工艺、设备、电器控制的操作方法以及人工智能应用的建议。其内容丰富，结合了纸面石膏板研究、设计、生产、应用。

相信该书的出版有利于纸面石膏板工业技术的发展，对我国纸面石膏板工业技术的进步会起到一定的推动作用，特此作序。

华东理工大学

蒋幼梅

2018年10月于上海

前 言

纸面石膏板是以建筑石膏和面纸板为主要原料,掺加适量纤维、淀粉、发泡剂和水,经混合、成型、切断、烘干等工序制成的轻质建筑板材。它具有质量轻、防火、保温隔热等特点。纸面石膏板主要用于建筑内装修,施工为干作业,装修工程快速,施工现场整洁。纸面石膏板是一种绿色、环保、健康的建筑材料。

纸面石膏板作为内隔墙和天花板的装饰装修材料,已普遍应用于中国城乡建筑,如居民住宅、办公楼、宾馆等。同时,纸面石膏板还作为墙面板和吸音吊顶,广泛应用于公共场所,如会议厅、展览馆及体育馆等。21世纪以来,中国高档建筑中也越来越多地采用纸面石膏板进行建筑装饰,如北京奥运场馆、上海世博场馆、国家大剧院、上海环球金融中心等都大量采用纸面石膏板作为建筑装饰工程材料。

纸面石膏板是由美国人于1890年发明,至今已有一百多年的生产应用历史。1902年,世界上第一条纸面石膏板生产线正式投入生产,其后,欧洲和日本也相继建成纸面石膏板生产线,纸面石膏板得到了迅速发展。一些经济发达国家的纸面石膏板产量逐年增长,到2016年,美国纸面石膏板年产量达30多亿平方米,纸面石膏板在欧美发达国家中已经成为一种用途广泛的建筑材料。我国从20世纪70年代开始研究开发纸面石膏板,通过多年的发展,已经取得了很大的进步。特别是近10多年来,随着墙体材料改革力度的加大及对建筑防火要求的提高,纸面石膏板的生产和应用引起了建筑业的高度重视,全国许多地区,如北京、天津、上海、重庆、山东、江苏、浙江、广东等地相继建成了一些大型纸面石膏板生产线,国外一些大型企业也在中国投资建设了许多纸面石膏板工厂。到2016年底,我国纸面石膏板年产量已达30亿平方米,基本达到美国的生产水平。

我国的纸面石膏板工业水平与先进国家还有一定的差距,主要是纸面石膏

板生产发展不平衡,我国既拥有北新建材集团这样先进的纸面石膏板企业,但也有许多小规模纸面石膏板生产线。我国制造纸面石膏板总体能源消耗偏高,大部分工厂仍采用煤炭作为燃料,环保设施不完善,环境污染严重;纸面石膏板质量不稳定,尤其是以脱硫石膏和磷酸石膏为原料制作的纸面石膏板,常含有一些有害的微量元素,这种纸面石膏板可能会给居民和建筑造成生态隐患。

为节约能源,减少环境污染,提高纸面石膏板质量,使中国的纸面石膏板工业达到世界一流水平,本书系统地阐述了建筑石膏生产的理论和设备,提出了采用天然气作为燃料的气流煅烧方法,介绍了利用蒸气采用回转窑生产建筑石膏的清洁煅烧技术,论述了净化纸面石膏板原料硫石膏和磷石膏的装备。本书还提出了石膏板专用天然气燃烧器产生热空气干燥纸面石膏板的新技术,全面阐述了纸面石膏板干燥机热空气单侧横向输入,纵向均匀分布于纸面石膏板中部、边部,以及干燥机上部和下部均匀输送热空气的新颖设计,以保证纸面石膏板产品得到均匀干燥。本书论述了纸面石膏板干燥机的节能设计,提出了调试纸面石膏板干燥机全自动运行的操作方法。希望本书的出版能对我国纸面石膏板工业达到世界先进水平起到一定的推动作用。

本书在编写过程中,得到了中国建筑材料联合会石膏建材分会的大力支持,以及华东理工大学蒋幼梅教授、中国新型建材装饰装修材料检验测试中心徐柱琦高级工程师、杭州康达电脑电源有限公司李波高级工程师、中国新型建筑材料工业杭州设计研究院魏超平高级工程师等同志的热情帮助,在此一并表示感谢。

由于水平有限,错误在所难免,望读者指正。

编 者

2017年8月于杭州

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 纸面石膏板在建筑中的应用	1
1.2 纸面石膏板工业的现状	3
1.3 纸面石膏板的特性	4
1.4 纸面石膏板工业发展前景	8
第 2 章 原材料及燃料	14
2.1 纸面石膏板生产的原材料	14
2.2 纸面石膏板生产的燃料	68
第 3 章 建筑石膏的制备	96
3.1 天然石膏制备建筑石膏	96
3.2 化学石膏制备建筑石膏	168
第 4 章 纸面石膏板的生产技术	177
4.1 纸面石膏板生产工艺	177
4.2 纸面石膏板生产线配置	185
4.3 纸面石膏板的生产技术及设备	190
4.4 生产线速率分析	302

4.5 纸面石膏板常见质量问题分析·····	309
4.6 纸面石膏板的品种及技术性能·····	315
4.7 在线纸面石膏板的质量控制·····	334
4.8 实验室·····	337
参考文献·····	345

第1章 绪论

1.1 纸面石膏板在建筑中的应用

纸面石膏板是以建筑石膏和护面纸为主要原料,掺入适量纤维、淀粉、促凝剂、发泡剂和水等,经混合、成型、凝固、切断、烘干等工序制成的轻质建筑板材。它具有质轻、抗震、保温隔热、建筑节能等特点。其优异的防火性能、相对低廉的生产价格、工业上能连续大量生产、绿色环保的特质,是纸面石膏板在建筑上获得广泛应用的主要原因。

纸面石膏板作为建筑装饰装修材料,具有许多其他材料不具备的特性,在世界发达国家应用已超过 100 年,主要是作为建筑内墙墙体和建筑顶棚吊顶材料。

1.1.1 建筑中的不燃装修材料

现代建筑提倡用不燃材料来建筑装饰,但仍有不少可燃的胶合板、纤维板、聚氨酯等保温材料作为建筑装饰材料。建筑房屋,尤其是高层建筑物的许多恶性火灾,越来越引起人们的重视。

2010年11月15日,上海胶州路一高层住宅施工点的聚氨酯保温材料被点燃,引发大火,结果致使58人遇难、70人受伤;2015年5月26日,河南鲁山县一老年公寓发生大火,致使38人遇难,主要是可燃性聚氨酯泡沫保温材料引起火灾;2017年6月4日,伦敦西部格伦费尔大楼火灾,住宅用了夹塑料材质的铝板进行外墙装修,熊熊大火燃烧了整整6小时,吞噬了整栋建筑,致使80

人遇难,火灾震动了整个英国。从上海高层住宅失火、鲁山老年公寓火灾再到伦敦格伦费尔大楼大火,每一次灾难都能让人们吸取一些教训,并成为现代建筑业进步的契机。1911年,美国纽约一家工厂的大火夺走上百条生命,其后,美国通过了34部关于建筑防火的法律,“一场大火改变了美国”。

现在美国房屋建筑采用防火性能优良的纸面石膏板面积达人均 10m^2 。现代纸面石膏板取代可燃性建材已经成为建筑内墙墙体和建筑顶棚吊顶材料的一个趋势,纸面石膏板被认为是建筑中不燃的装饰装修材料。

1.1.2 城乡建筑作内隔墙和天花板

纸面石膏板可以应用于城乡建筑内装修,如在办公楼、宾馆、电影院、医院和民用住宅等内作隔墙和天花板之用。

在房间中设 100mm 宽的钢龙骨,用纸面石膏板贴在钢龙骨上,用螺钉固定,再在中间垫进矿棉毡,最后贴上另一面纸面石膏板,用螺钉固定。

也可以采用木龙骨,木龙骨立柱间距大于 600mm 。纸面石膏板两贴面内宽 75mm ,内垫矿棉毡宽 40mm 。在防火要求高的地方,可用纸面石膏板柱代替木立柱。纸面石膏板柱是由石膏板条用黏结剂黏合而成,这种墙板隔音值为 35dB ,满足一般住宅的隔音要求。

1.1.3 改造更新房屋作贴面墙和地面板

用纸面石膏板作外墙可保温。对于老旧房屋,用纸面石膏板可分隔房间,都不会过多增加楼板荷重,施工简便易行。

纸面石膏板作贴面墙,内墙面比较平整时,贴面施工时可在纸面石膏板上加黏结剂料堆,直接往墙面上贴。黏结剂料堆加在石膏板边一周,其中堆距为 $250\sim 300\text{mm}$ 。内墙面不太平整时,在贴石膏板前,可用粉刷石膏刷一薄层来找平墙面,然后在纸面石膏板上加黏结剂料堆,在找平后的墙面上再粘贴纸面石膏板。以上使用的黏结剂为特种石膏黏结剂,其中掺有多种化学添加剂。这种黏结剂很细,黏结时间快,黏结力强。

改造旧房屋时,可采用纸面石膏板作为地面板的底板,中间加一层薄的泡沫树脂材料,在地面的面层铺设防水、防火木地板。此种地板质量轻、施工快,也适用于高层建筑。

1.1.4 公共场所作墙面板和吸音吊顶

在城市建筑装修中,纸面石膏板还在公共场所作墙面板和吸音吊顶,主要用于会议厅、展览馆、剧场、图书馆、候车室、餐厅及体育馆等。

应用纸面石膏板时,为了使墙面光滑并具有密封性,在接缝处要用倒角纸面石膏板。在两块石膏板的倒角中用嵌缝石膏填缝,在施工时采用特种嵌缝石膏。它有良好的施工性能,并有一定的凝固硬化时间,以利于施工抹平工作。

接缝处需压入带有小孔的特殊纸条,宽52mm。这种接缝纸条,既要保证在接缝处产生应力时不致发生裂缝,又要具有一定的抗湿性。接缝处还需用250mm宽的抹刀抹上一薄层接缝填料,再打磨平整、光滑。纸面石膏板安装完工之后,一般都需在纸面石膏板上面涂上一层彩色的防水涂料。

纸面石膏板已广泛应用于中国城镇的建筑,是一种优良的防火建筑装饰材料。中国现代高档建筑也普遍采用纸面石膏板进行装修,如北京奥运场馆、上海世博场馆、国家大剧院、上海环球金融中心、中国第一高楼——上海中心、上海浦东机场扩建工程,以及全球最大的单体建筑和会展综合体——上海国家会展中心等。

1.2 纸面石膏板工业的现状

1.2.1 国外纸面石膏板工业发展现状

纸面石膏板是于1890年发明的,至今已有100多年的历史。1902年,世界上第一条纸面石膏板生产线正式投入生产。第二次世界大战以后,由于战后恢复的需要,欧洲和日本相继建成了许多纸面石膏板生产线,因此纸面石膏板在全世界范围得到了迅速发展。一些国家的纸面石膏板产量逐年增长,到2016年美国纸面石膏板年产量达 $3 \times 10^9 \text{ m}^2$,纸面石膏板在欧美各国和日本等国家中已经成为用途广泛的一种建筑材料。

在纸面石膏板产量迅速增长的同时,纸面石膏板生产工艺技术也得到了较快发展。目前在发达国家,纸面石膏板单条生产线的规模已达到年产 $7 \times$

10^7m^2 。纸面石膏板生产线的拉引速率已达到 $120 \text{m}/\text{min}$ 。

在应用方面,美国新建住宅 80% 以上的墙体和顶棚材料采用纸面石膏板, 1m^2 建筑面积使用石膏板 4m^2 左右。在品种方面,除普通纸面石膏板外,还有耐水纸面石膏板、耐火纸面石膏板、纸面石膏复合板、吸声用穿孔石膏板以及纸面石膏装饰板等。在产品规格方面,厚板的用量正在增加,目前在美国 12.7mm 厚板材占 83%, 15.8mm 厚板材占 12%, 9.5mm 厚板材仅占 3% 左右。

1.2.2 中国纸面石膏板工业发展现状

中国纸面石膏板工业起步于 20 世纪 70 年代。1972 年尼克松总统访华,美国人在北京机场用纸面石膏板 24h 内建成了一个电视转播站。1973 年,北京开始石膏板的研制,并建成了中间试验线。1976—1977 年,中国组织力量对纸面石膏板进行技术攻关,其后进行了试验性生产,产品在毛主席纪念堂等得到了应用。1978 年后,中国在北京、西安、沈阳、哈尔滨等地建成了年产 $4 \times 10^6 \text{m}^2$ 的纸面石膏板生产线。

1983 年,北京新型建材厂从德国引进了年产 $2 \times 10^7 \text{m}^2$ 纸面石膏板的生产线,随后中国的生产企业及设计、施工单位又集中力量解决了纸面石膏板的应用和施工安装问题,包括配套材料和施工机具等,制订了有关的标准、规范、建筑施工标准图集等,开发了各种配套材料,如轻钢龙骨、穿孔纸带、射钉及施工机具等。

10 多年来,随着建筑防火要求的提高,纸面石膏板的应用引起了建筑业的高度重视。全国各地,如北京、上海、天津、重庆、山东、江苏、浙江、广东等相继建成了许多大型纸面石膏板生产线。国外一些企业,如德国可耐福、法国拉发基、澳大利亚博罗等公司先后在中国投资办厂。截至 2016 年底,中国纸面石膏板年产量已达到 $3 \times 10^9 \text{m}^2$ 。

1.3 纸面石膏板的特性

纸面石膏板是一种轻型建筑材料,在性能上有以下特点。

1.3.1 质量轻

用于墙体和吊顶的纸面石膏板的厚度为 9.5~12mm。1m² 纸面石膏板自重只有 7~12kg,两张纸面石膏板中间夹轻钢龙骨就可做很好的隔墙,1m² 该墙体质量不超过 45kg,仅为普通砖墙质量的 1/5。纸面石膏板作为内墙材料,其强度也能满足要求:厚度为 12mm 的纸面石膏板纵向断裂荷载可超 490N。

1.3.2 墙面不开裂

纸面石膏板在应用过程中的化学物理性能稳定,尤其在干燥吸湿过程中,其伸缩率较小,有效克服了目前国内其他建筑板材在使用过程中由于自身伸缩较大而引起板面接缝开裂的现象。

1.3.3 隔声性能好

对一般材料而言,其隔声量遵循材料面密度越大,隔声性能越好的规律。采用单一轻质材料如加气混凝土、膨胀珍珠岩板等构成的单层墙体,其厚度很大时才能满足隔声要求。因此,由单层轻质材料构成的隔墙,就存在自重轻与隔声量好不能兼得的矛盾。而纸面石膏板、轻钢龙骨和岩棉制品组成的隔墙利用空腔隔声原理,隔声性能更好。其隔声性能见表 1-3-1。

表 1-3-1 不同隔墙结构纸面石膏板隔声性能

隔墙结构	隔声量/dB	隔墙结构	隔声量/dB
2×12+2×12 四层板双排 龙骨内填岩棉	≥50	2×12+2×12 单排 龙骨内填岩棉	≥45
2×12 单排 龙骨内填岩棉	≥40	2×12+2×12 空腔内不填岩棉	>40

不同的建筑隔墙构造的单位面积质量、隔声性能测试结果见表 1-3-2。

表 1-3-2 不同建筑隔墙的隔声量

性能指标	墙体名称				
	12+12 内填 岩棉,纸面 石膏板墙	2×12+2×12 内填岩棉, 纸面石膏板墙	黏土砖墙 (抹灰)		加气混凝土砌 块墙(抹灰)
墙体厚度/mm	100	125	120	240	150
单位面积质量/(kg/m ²)	31	55	279	507	141
隔声量/dB	43	48	47	55	44

从上表数据可以看出,纸面石膏板在单位面积质量、墙体所占建筑面积以及隔声量等指标方面,均接近或优于其他几种材料。

1.3.4 优良的防火性能

纸面石膏板是一种耐火的建筑材料,纸面石膏板内有大约 2% 的游离水,当纸面石膏板遇火时,这部分水首先汽化,消耗了部分热量,延缓了墙体温度的上升。另外,石膏板中的水化物是二水石膏,它含有相当于全部质量 20% 左右的结晶水。当板面温度上升到 80℃ 以上时,纸面石膏板开始分解出结晶水,并在面向火源的表面产生一层水蒸气幕,产生良好的防火效果。石膏板芯材中的二水硫酸钙脱水成为无水石膏(硫酸钙),同时吸收了大量的热量,从而延缓了墙体温度的上升,给救护工作提供了宝贵时间。

1985 年 11 月,深圳京鹏大厦第十层 06 房间发生大火,大火烧毁了房间内包括电视机、冰箱等所有电器与家具,房间的铝合金窗也被烧变形,而采用纸面石膏板与龙骨做成的隔墙却安然无恙,纸面石膏板阻止了大火蔓延至邻室,减轻了火灾损失。

深圳市政府为了加强高层建筑的消防工作,特颁布了《深圳经济特区高层楼宇消防管理暂行规定》,规定明确,墙体装饰装修材料应采用不燃或难燃材料。试验测得,由纸面石膏板、轻钢龙骨及岩棉制品组成的隔墙的耐火极限为 0.5~4.0h。根据建筑工程需要,还可以将纸面石膏板耐火极限提高,制造专门的防火纸面石膏板。

1.3.5 具有室内湿度调节作用

由于纸面石膏板的孔隙率较大,并且孔结构分布适当,所以具有较高的透气性能。当室内湿度较高时,可吸收空气中的水分,而当空气干燥时,又可放出一部分水分,因而对室内湿度起到一定的调节作用。另外,纸面石膏板经防潮处理后,可用于如宾馆、住宅等居住单元的卫生间、浴室等,也可用于常年保持高潮湿或有明显水蒸气的环境,如公共浴室、厨房操作间、高湿工业场所、地下室等。耐水纸面石膏板已在海边别墅、高湿高温工业车间厂房、游泳场馆等地广泛应用。

1.3.6 节 能

石膏胶结料的生产能耗仅为水泥生产能耗的 $1/4$,石灰生产能耗的 $1/3$;用建筑石膏生产的墙体材料,其建筑能耗仅为实心黏土砖的 37% 。

1.3.7 环 保

纸面石膏板隔墙采用现场施工干作业,施工安装简单、快捷。采用纸面石膏板隔墙可提高功效,加快施工进度。同时,施工干作业有利于保护作业场地环境卫生。

1.3.8 节约工程总造价

关于纸面石膏板的工程造价,以上海地区一建筑工程为例,建筑框架结构工程采用轻钢龙骨石膏板隔墙与采用三孔黏土砖的隔墙进行比较。

工程概况:高层商业办公楼,高27层,主体高度97.37m,建筑面积为 $3.51 \times 10^4 \text{m}^2$,主体结构是钢筋混凝土框架剪力墙,基础为现浇混凝土灌注桩、板式桩承台基础。采用轻钢龙骨石膏板隔墙与采用三孔黏土砖两种隔墙材料比较见表1-3-3。

表 1-3-3 轻钢龙骨石膏板隔墙与三孔黏土砖隔墙材料比较

项 目	纸面石膏板隔墙	三孔非承重黏土砖隔墙
内墙厚度/mm	1. 135(耐火极限 2h, 隔声 50dB) 2. 99(耐火极限 1h, 隔声 40dB) 3. 99(双面耐火板或单面耐火板+普通板)	155(包括两面各 20mm 粉刷层)
结构混凝土用量/(m ³ /m ²)	0.428	0.453

采用纸面石膏板隔墙对比三孔黏土砖隔墙, 结论见表 1-3-4。

表 1-3-4 轻钢龙骨石膏板隔墙与三孔黏土砖隔墙比较结论

项 目	参 数
楼面设计荷载减轻/%	9.92~19.27
建筑总质量减轻/%	11
结构楼板厚度减薄/mm	10
梁宽度减小/mm	50
柱截面尺寸减小/mm	100
部分主要混凝土剪力墙的断面尺寸减小/mm	50~100
基础底板厚度减小/mm	100
基础混凝土灌注桩的长度缩短/mm	3500
节约工程总费用/%	15.04

通过以上比较可以看出, 用纸面石膏板墙代替传统的黏土砖墙, 改善了建筑结构的性能, 提高了建筑的抗震性能, 这是一种可广泛使用的墙体材料系统。

1.4 纸面石膏板工业发展前景

1.4.1 纸面石膏板生产线大型化

我国于 20 世纪 70 年代开始建设年产 $4 \times 10^6 \text{m}^2$ 的纸面石膏板生产线; 80