

QINGXINGGANGJIEGOUJIANZHUGOUZAOSHEJ

轻型钢结构 建筑构造设计



朱海宁 编著
王东瑜
赵瑜



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

轻型钢结构建筑构造设计

朱海宁 王 东 赵 瑜 编著

东南大学出版社

内 容 提 要

本书根据工程设计需要,密切结合我国有关轻型钢结构现行规范、规程,以及最新科研成果,对轻型钢结构建筑构造设计及加层改造设计进行了系统的介绍。全书共8章,内容包括:绪论;材料;轻型钢结构建筑的结构体系;轻钢建筑屋面系统构造;轻钢建筑墙面系统构造;轻钢加层建筑构造设计;轻型钢结构制作、安装、防腐;轻型钢结构建筑构造节点详图实例等。

本书注重实用,适用于土木工程专业高年级学生钢结构课程的后续课程教材或选修课教材,也可供设计、科研和其他有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

轻型钢结构建筑构造设计/朱海宁,王东,赵瑜编著.

南京:东南大学出版社,2003.11

ISBN 7-81089-190-1

I. 轻... II. ①朱...②王...③赵... III. 轻型钢
结构—结构设计 IV. TU392.504

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 081555 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏省南通市印刷总厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.5 字数:388千字

2003年11月第1版 2003年11月第1次印刷

印数:1~4000 定价:39.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795801)

前 言

改革开放以来,随着我国经济的发展,轻钢结构建筑在建筑领域得到迅猛发展。一方面大量的轻钢结构建筑已建成,另一方面一大批较有规模的轻钢结构建设企业在成长,在技术领域逐步形成了具有中国特色的轻钢结构建筑体系。20年来,国内轻钢结构建筑体系从无到有,从简单到复杂,从引进国外技术到消化吸收、开发自己的轻钢结构体系,已经积累了大量的经验,取得了相当可观的成绩。

轻钢结构建筑具有很多优越性:高强高韧性、抗震、轻质、不消耗土木、可工厂化预制,有建设工期短、投资回收快、可拼装、可拆卸、环境污染少等综合优势。轻钢结构以其自身的优越性已经在工程中得到合理的、迅速的应用。

本书根据现行国家标准、规程的有关规定编写。编者从轻钢房屋的建筑构造设计的角度,系统地阐明了单层及多层轻钢房屋的结构体系,材料选用,各构配件之间相互连接方法及其细部构造的合理性设计,轻钢房屋加层改造设计,轻钢房屋的构件制作、安装、维护技术等。书中列有大量的轻钢房屋建筑构造节点详图、加层改造实例、常用材料选用表等,供工程实际参考应用。

本书由朱海宁、王东、赵瑜主编,吴龙声、仓惠勤主审,朱海宁统稿,王东技术总校,孙云、吴东锋、吕晓军、李玉英、戴建华参编。

在本书编写过程中,引用了冶金工业部建筑研究总院、北京多维联合轻钢板材有限公司、江阴京江轻钢房屋公司相关的技术资料,在此一并致谢。

由于编者的时间仓促,加之水平有限,书中的疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2003.5

目 录

1 绪论	1
1.1 轻型钢结构建筑的定义	1
1.2 轻型钢结构建筑的特点	1
1.3 轻钢建筑的应用及发展	3
2 材料	8
2.1 彩色涂层钢板	8
2.2 H型钢、冷弯薄壁型钢	17
3 轻型钢结构建筑的结构体系	25
3.1 门式刚架结构体系	25
3.2 多层轻钢建筑结构体系	35
3.3 金属拱型波纹屋顶结构	53
4 轻钢建筑屋面系统构造	56
4.1 概述	56
4.2 金属压型钢板屋面构造设计	58
5 轻钢建筑墙面系统构造	70
5.1 概述	70
5.2 金属压型板墙面系统构造设计	75
6 轻钢结构加层构造设计	79
6.1 轻钢结构加层构造设计要求	79
6.2 轻钢加层结构构造设计	83
6.3 轻钢加层建筑工程实例	84

7 轻型钢结构施工	96
7.1 轻型钢结构构件制作.....	96
7.2 轻型钢结构的安装	101
7.3 轻型钢结构的防腐蚀	107
8 建筑构造节点详图	113
8.1 轻型钢结构建筑围护结构节点详图	113
8.2 金属拱型波纹屋顶结构节点详图	113
参考文献	242

1 绪论

1.1 轻型钢结构建筑的定义

人们最初认识的轻型钢结构建筑,是最常见的单层(含夹层)实腹式刚架轻型钢结构金属面板房屋。这种房屋的特点是“轻”。主要应用于单层非住宅用的中小型工厂、仓库、商店、大型超市等,是采用轻型H型钢(焊接或轧制;变截面或等截面)做成门式刚架;C型、Z型冷弯薄壁型钢作檩条、墙梁;压型钢板或轻质夹心板作屋面、墙面围护结构;采用高强螺栓、普通螺栓及自攻螺丝等连接件和密封材料连接承重结构、围护结构构件,现场组装的预制装配式轻型钢结构建筑。

实际上,同样具有“轻”的特点的金属建筑还有很多。如:轻型多层钢结构房屋、轻型波形折皱拱壳屋盖(房屋)、轻型桁架屋盖、轻型板片空间结构屋盖(房屋)等,而这些金属建筑的结构形式却各不相同。

综合它们共同的结构工作特点,对轻型钢结构建筑做如下定义:

轻型钢结构建筑,即轻钢建筑:是指以轻型冷弯薄壁型钢,轻型焊接和高频焊接型钢,薄钢板、薄壁钢管,轻型热轧型钢及以上各构件拼接、焊接而成的组合构件等为主要受力构件,大量采用轻质围护隔离材料的单层和多层建筑。

这样的定义可以概括“轻型钢结构”建筑大量采用薄壁构件,尤其是冷弯薄壁构件,大量采用轻质围护、隔离建材的共同本质特点,而在具体结构形式上,又有利于将来的进一步发展,较为严密而灵活。

1.2 轻型钢结构建筑的特点

近年来,在我国建筑工程领域中已经出现了产品结构调整,长期以来混凝土和砌体结构一统天下的局面正在发生变化,轻型钢结构以其自身的优越性引起业内关注,已经在工程中得到合理的、迅速的应用。

目前,我国轻型钢结构发展迅速,与传统的钢筋混凝土结构、普通钢结构相比,轻型钢结构建筑具有很多优越性,如高强高韧性、抗震、轻质,从而减轻地基的造价,成本低,可满足建筑上的大开间和灵活分隔,提高使用面积率5%~8%,不消耗木材,可工厂化预制、可拼装、可拆卸,有建筑工期短、投资回收快、环境污染少等综合优势。

1.2.1 自重轻

自重轻是轻型钢结构最显著的特点。其承重结构采用轻型焊接H型钢,冷弯薄壁型钢,这种型钢的截面形状可以按照实际受力情况和使用特点进行设计,比普通的工字钢、槽钢、角钢截面受力合理,截面利用系数高,单位重量轻,可以节省钢材20%~50%。轻型钢屋面系统的用钢量一般为8~15 kg/m²,单层轻钢仓库的用钢量为16~30 kg/m²,接近甚至

可低于在相同条件钢筋混凝土结构的用钢量,工程资料表明:1 t 钢结构可减少 7 t 混凝土用量,可大量节约木材、水泥及其他建筑材料。因此,轻钢结构可大幅度降低结构自重,一般轻钢结构自重约为同类普通钢结构的 $1/2 \sim 1/3$,钢筋混凝土结构的 $1/10 \sim 1/30$,房屋上部结构重量的减轻大大降低了基础工程的材料用量及工程量。对于地基承载力较低的地区,这个优点更加突出。

1.2.2 工业化程度高

轻钢结构建筑构造简单,材料单一,容易做到设计标准化、定型化、构件加工制作工业化、现场安装预制装配化程度高,销售、设计、生产可以全部采用计算机控制,产品质量好,生产效率高。

1.2.3 现场施工速度快、工期短

由于轻钢结构重量轻,比一般混凝土结构的运输吊装工作量可减少 90% 左右,构件标准定型装配化程度高,现场安装简单快捷,无湿作业,不需支模,也不需要养护期,现场安装不受气候影响,利于保持现场文明施工和环境。一般厂房仓库签订合同后 2~3 个月可以交付使用,对于工期较紧的工程采用轻钢结构是很有利的。

1.2.4 综合经济效益优良

轻钢建筑采用计算机设计,采用先进的自动化制造设备,工业化生产方式,快速施工,经济效益十分显著。因轻钢结构自重轻、强度高,对基础要求低,造价相对低廉,可节省地基基础费用,节省建设资金。轻钢结构构件截面相对较小,与混凝土结构相比可增加建筑有效使用面积 8% 左右,提高使用效率。作为围护结构的彩钢面板维护简便,费用低。因项目工期短,一般轻钢建筑的建造速度比同面积、同体积的混凝土结构建筑施工周期短 $2/3$,将极大地减少投资融资成本,发挥提前使用的效益,投资回报率比其他结构形式快,使业主在享受回报上具有较大的优势。

1.2.5 结构抗震性能好,变形能力强

轻型结构所采用的钢材强度高,塑性和韧性好,承受动力荷载的性能强,可靠性高,抗震性能优良,因自重轻,自振周期长,钢材延性好,整体抗震性能增强。

1.2.6 轻钢结构建筑是环保产品

轻钢结构建筑是环保节能产品,符合可持续发展的战略,污染小,钢材可回收再循环利用,轻钢结构亦可搬迁复用,有利于环境保护、资源节约和美化生存环境。

1.2.7 外形美观、现代感强烈

轻钢建筑外形设计和彩钢板的色彩选择自由度大,屋面压型板,尤其是墙面彩钢板,具有轻质高效、色彩艳丽、造型美观的特点,除可作为墙体用外,也具有装饰墙面的作用。一般厂房及其他结构在墙面板封闭完后即告完工,无需再进行装饰,可以满足多种生产工艺和使用功能的要求。

1.2.8 有利于住宅建筑的材料改革和换代

砖混结构住宅须消耗大量的粘土砖、木材等建筑材料,不利于节能和环保,不利于住宅建筑的工厂化的生产。轻钢住宅安全可靠、美观适用、有利于环保,降低资源消耗,推广建设轻钢住宅是经济建设、社会发展和市场要求的必然结果。另外,轻钢住宅还有利于地震、洪水和水灾后的居住区的快速重建,有利于旧房的加层改造。

1.3 轻钢建筑的应用及发展

1.3.1 轻钢建筑的应用

1) 国外轻钢建筑应用状况

在轻钢建筑中,门式刚架结构是轻钢建筑应用最为广泛的一种结构形式。

轻型门式刚架结构体系始于美国。日本和欧洲轻型门式刚架结构体系的应用也较多。但美国的轻型门式刚架结构体系发展最快,应用也最为广泛。

美国最初的轻型门式刚架结构用于建造兵营和一般的小型工业厂房。随着新型建筑材料的出现、加工设备的不断改善以及设计形式的多样化,轻型门式刚架结构体系渐渐普及到大型工业厂房、商业建筑、交通设施等建筑中,实现了设计、分析、出图的程序化(如大型通用化设计软件包 Loseke Building System Software);构件加工、安装施工、经营管理一体化流程。其中美国的 Butler 公司(Butler Manufacturing Company)和 ABC 公司(American Building Company)在这方面工作最为突出。它们具有经营、科研、设计、加工、运输、售前售后服务等整体运作系统。一项 10 000 m² 建筑面积的单层工业厂房,从设计到钢结构制作、屋面墙面金属板压型,全部完成的周期为两个月。Butler 公司以门式刚架作为结构体系的基本单元,进行组合和延伸,发展了大跨度系统、Landmark 系统、三角托梁系统、多层建筑系统、特殊型建筑系统等结构体系。ABC 公司除了轻钢产品外,还生产各种隐藏式金属压型板,用于墙面和屋面。两个公司都有快速报价系统。由于厂房结构定型化、规范化,可以采用计算机对整个厂房的各种构件进行优化设计,一般单层轻型结构厂房(吊车起重量 $Q \leq 10\text{ t}$,柱距 $\leq 10\text{ m}$),可以将上部结构的用钢量控制在 25 ~ 50 kg/m² 左右。

根据统计,美国轻型门式刚架结构体系主要用途所占比例如下:

- (1) 商业:仓库、小卖店、事务所、银行、车库设施占 42%;
- (2) 制造业:制造工场、仓库占 34%;
- (3) 文化娱乐业:学校、教堂、娱乐、福利设施占 9%;
- (4) 其他:15%。

在日本,轻型门式刚结构体系有两种类型:第一种类型是日本自身发展起来的,已实现了构件标准化、定型化、装配化;经营管理、设计、生产、施工、售后服务系统化。第二种类型是 1989 年以来,由美国引进的轻钢结构体系的基础上发展起来的。日本工程界目前正就主刚架在地震力作用时保有水平耐力所需的 D_s 值的取法、550(MPa)级钢材大断面 Z 型冷弯薄壁型钢檩条及墙梁、高强度螺栓在椭圆孔处的受力状态等几个方面进行研究。

2) 我国轻钢建筑应用现状

(1) 低层轻钢建筑方面

低层轻钢建筑,指两层以下(含两层)的轻钢房屋建筑,主要采用实腹式或格构式门式平面刚架结构体系。

我国轻型门式刚架结构体系起步较晚,是在引进国外的相关材料和软件的基础上发展起来的。近年来,随着压型钢板、冷弯薄壁型钢、H型钢的大批量生产得以实现,轻型门式刚架结构体系得到了较为广泛的推广。应用的发展推动了该种体系在我国的设计、成型一体化进程。许多大型钢结构公司都增加了轻型门式刚架结构体系的生产线。程序化设计已经取代手工设计,采用国外设计软件逐渐被采用我国自行编制的设计软件所替代。为了适应轻型门式刚架结构体系迅速兴起的市场需求,我国工程建设标准化协会发布了《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS102:2002,该规程为我国轻型门式刚架结构体系的设计、生产、施工提供了依据。

目前我国有几家单位进行了轻型门式刚架结构体系设计软件的开发研制,如同济大学、中国建筑科学研究院、冶金部建筑研究总院等。也有许多研究人员对轻型门式刚架结构体系设计中出现的较为特殊的问题进行了研究和探讨。如门式刚架结构体系轻型化后容易出现的问题,带摇摆柱(Leaning column)的门式刚架的稳定性,轻型门式刚架结构体系采用变截面楔形构件的特点,这些研究工作为轻型门式刚架结构体系在我国发展和推广提供了理论上的保证。

尽管我国的轻型门式刚架结构体系理论和工程实践发展迅速,但目前仍存在一些问题有待于进一步解决:没有实现真正意义上的一体化流程,施工工期与国外相比仍显得较长;许多施工过程中的工艺方法有待于进一步研究,现场拼接的优越性没有充分发挥;采用平面分析方法进行设计,较少考虑整体结构的空间作用;结构设计偏于保守,腹板的宽厚比限值与国外相比显得很低,没有充分发挥材料的承载能力,所设计的结构整体用钢量偏高。

国内轻钢结构低层建筑主要应用有:

工业厂房、机库、候车室、码头建筑、超市、仓库、农贸市场、饮食娱乐用房、体育设施以及各种临时性建筑。并且根据需要,可布置中轻制的吊车。悬挂吊车、中轻级工作制桥式吊车、重级工作制吊车的起重量分别不超过5 t、10 t和20 t。

我国已建成的门式刚架轻钢结构房屋已达800多万 m^2 ,而且以每年约100万 m^2 的速度增加。

(2) 多层轻钢建筑方面

多层轻钢建筑是另一类很有发展前途的建筑形式,一般可定义为10层以下的住宅;总高度小于24 m的公共建筑;20 m以下,楼面荷载小于 8 kN/m^2 的工业厂房。这类建筑多采用三维框架结构体系,亦可采用平面刚架结构体系,此时则加强各榀刚架的连系与支撑,当房屋有电梯时,结合电梯井的布置,可采用框架—抗剪桁架体系或框架—钢板剪力墙结构体系。

国内多层轻钢建筑主要应用:

住宅、多层工业厂房、学校、医院、办公、娱乐等公共建筑,超市、零售、百货等商业建筑,旧建筑加层、改扩建等。

其中在多层轻钢结构住宅和公寓应用方面,由于经济、技术、思想观念等各种原因,多层轻钢住宅和公寓没有得到广泛推广和应用。目前,我国轻钢结构住宅所要研究的问题,就是要将轻钢结构住宅完整的、配套的、高品质的、全新的推向市场的问题。

从住宅建筑的发展来看,钢结构住宅具有以下技术优势:

① 比起传统的结构,可以更好地满足建筑上大开间、灵活分隔的要求,并且可以提高使用面积率 5% ~ 8%。

② 与钢结构配套技术的轻质墙板、复合楼板等采用新型材料,符合节能建筑的要求。

③ 钢结构构件及其配套技术相应部件绝大部分可以实现工厂化制作、产品化供应。

④ 钢结构住宅体系可以实现住宅建筑技术集成化的产业化的新思路。

⑤ 钢结构住宅体系直接造价略高于混凝土结构,但其综合效益却明显高于传统的住宅体系。

从已建的钢结构体系住宅看,还存在以下问题:

① 结构体系设计缺乏统一标准,因此差别较大。

② 所采用的材料是在现有材料的基础上直接使用,缺乏技术创新和产品改造。

③ 所建建筑多是企业内部使用的住宅,缺乏市场检验。

从国际、国内发展看,新颖的轻钢住宅、公寓建筑成为一种订购商品的趋势日益凸现出来,随着中国加入 WTO 组织,技术全球化、顾客全球化是大势所趋,国外各种先进的钢结构体系将打入我国建筑市场,开发轻钢结构体系住宅、公寓有助于拓展国际国内建筑市场。

目前我国钢材市场供大于求,钢材价格显著下降。1997 年和 1998 年马鞍山钢铁股份有限公司、莱钢钢铁股份有限公司和鞍山第一轧钢厂建成三条生产线开始生产 H 型钢,设计能力为 140 万 t,产量预计达到 40 多万 t。上海大通公司于 1997 年 5 月开始生产高频焊接轻型 H 型钢,并投放市场,现已在新疆库尔勒市金风信用社住宅楼试点工程中应用。

结合我国的国情,国内需求增大,住宅条件提高,轻型多层钢结构房屋、轻型钢结构住宅会成为我国目前钢结构的热点。轻钢结构体系住宅由于自身的优势,必将有很好的发展前景。

1.3.2 轻钢结构建筑的发展

1) 国外轻钢结构建筑发展状况

国际上,轻钢建筑经过 50 年的发展已成为一种特殊商品,业主根据使用技术要求向承包商订购所需的轻钢建筑,承包商在规定的短时间内,根据业主要求按质建成,交付使用。由于轻钢建筑成为商品,业主购买方便,交货迅速,价格适当,所以在国外得到快速发展和广泛应用。美国的轻钢建筑约占非住宅建筑投资的一半以上,而日本 60% 的多层、低层建筑由轻钢结构建成。工业发达国家的基本建设用钢量一般占钢总产量的 30% 以上。而我国目前包括建筑门窗、车辆用钢在内的用钢量只有 22% ~ 26%。这差距主要是我国房屋结构用钢量太少造成的。

2) 我国轻钢结构的发展现状及成果

轻钢建筑自 20 世纪 80 年代初引入我国至今,由于经济和工业的快速发展,我国轻钢结构和普通钢结构已在建筑工程各个领域特别是单层厂房、仓库等工业建筑领域得到采用,发展迅速,使我国建筑工程领域出现产品结构新的调整,长期以来钢筋混凝土结构和砌体结构一统天下的局面正在发生变化。

改革开放 20 年来,我国轻钢结构得到飞速发展,取得了一定的成果。

(1) 我国钢产量已跃居世界首位,1999 年钢产量达 1.22 亿 t,实际拥有生产能力达 1.4 ~ 1.5 亿 t/年,长期短缺的各种尺寸热轧 H 型钢、T 型钢、厚钢板、冷弯薄壁型钢和彩色涂层钢板等问题不复存在,为轻钢结构发展创造了物质基础。

(2) 国家和地方制定了《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS102:2002、《轻钢结构设计规程》(DBJ08-68-97)。参照国外标准与设计手册,如欧洲统一标准 Eurocode 3-ENV-1993、美国钢结构学会和金属房屋制造协会的 ASD 和 LRFD 规范以及美国贝伦钢结构公司的《低层建筑体系手册》,对普通钢结构设计规范中的许多限制进行了适当的放松和放宽,接近国外同类规范的水平。

(3) 在钢结构设计技术领域,当前国内主要使用的轻钢结构设计软件为引进的 STAAD.Pro 系列,通用结构分析软件如 SAP.x 系列、ANSYS 等等。国内的软件主要是 PKPM 系列、3D3S、PS2000 等,这些软件大大方便了轻钢结构设计,为轻钢建筑发展创造了技术条件。

(4) 国家 1997 年发布的《中国建筑技术政策》(1996-2010),强调加速推广定型化的轻型房屋钢结构体系。提出“积极、合理、较快地发展钢结构”,鼓励在建筑工程领域合理使用钢材,将轻钢住宅建筑作为近期着重研究和推广应用的项目,这必将进一步推动我国轻钢结构建筑的发展。

3) 轻钢结构建筑发展中存在的问题及建议

随着我国市场经济发展的需要,外国公司的涌入和技术设备的引进,大大加快了我国轻钢结构建筑体系的发展步伐。但是由于轻钢结构的科研、设计、施工管理工作相对滞后,所以在发展的过程中还存在不少问题,和国外轻钢结构房屋公司的技术水平相比还存在较大差距,产品质量管理还没有走上正轨,市场还不规范。目前轻钢结构建筑还存在以下问题:

(1) 加强设计研究工作

厂家往往只重视引进购买多少设备,不重视研究设计和配套技术的投入。由于钢结构以前用得不多,所以许多设计院对轻钢结构设计不熟悉,缺乏钢结构专业人才和专业培训,有些是厂家设计,让设计院盖章,这样造成国内轻钢结构设计处于无序状态。对于从外国引进的厂房,由于中间的商业行为多,两国技术人员交流少,加上审查不严格,也会产生一些问题。在建筑构造、配件选择上大多数也是按厂家做法。例如,压型钢板的三种形式(搭接、咬边、嵌合),选择哪种最适合本工程;夹心板和现场复合的哪种质量好;压型板是否都要采用镀铝锌钢板为基板的彩色钢板,彩钢板的涂层有几种,是否应按照使用环境合理选择;连接件的强度耐久性也会影响屋面墙面质量,诸如此类问题均应全面考虑。在编制修改规程规范的同时,应组织轻钢结构建筑设计的软件开发,编制通用图标准图集,应该加强轻钢结构试验研究工作。

(2) 严格加工制作及安装管理

① 钢构件加工:20 年来轻钢结构厂家从几家迅速发展到几百家,其人员、设备和技术管理水平相差很大。应加强质量管理,建立轻钢行业资质审查,建设部有政策鼓励推广使用热轧 H 型钢,马钢、莱钢、鞍山一轧、上海大通均可提供各种规格的优质 H 型钢;限制重复引进,如夹心板生产设备,目前引进的和国产的设备很多,供大于求。

② 建筑配件:轻钢房屋仅有承重骨架、屋面板、墙板,满足不了防风防雨和美观的要求,配套技术是非常重要的。国外轻钢结构房屋公司具有一套完善的配件系统,例如天沟、落水管、屋脊板、包角、泛水、堵头、密封胶条、自攻螺丝、螺栓紧固件、采光瓦、通风器、门窗及各种与厂房有关的配件,这些配件都是公司自行开发形成系列,自己加工或在固定厂家生产。

③ 安装:轻钢结构建筑如果构件尺寸加工准确,工地安装是非常简单方便的,现场无焊接、无湿作业,所以安装很快。但是由于轻钢结构构件断面大、板件薄、侧向刚度差,吊装时应特别注意防止变形损坏。为了保证安装质量,应实行一套完善的项目经理管理制度,对安

装人员要进行专业培训,合格后持证上岗,施工中必须严格按照安装手册进行,这样才能保证优秀的设计得以实现。

(3) 加强管理、规范市场

近年来,钢材产量增加,价格下调,轻钢结构造价有所降低。但是由于外国厂家的涌入,国内厂家多、工程少,所以竞争相当激烈。另外预算定额中对轻钢结构没有明确规定,所以为了拿到工程,厂家竞相压价,这就造成一些具有先进设备的大厂竞争不过个体手工操作的小厂,使轻钢结构质量下降。要整顿轻钢结构市场,降低材料的品质以满足低价值的市场竞争,使大家有章可循;另外要加大抓质量的力度,严格进行工程招标投标制度,规范市场,有序竞争。

(4) 完善轻钢结构房屋公司机制

国外的轻钢结构房屋公司是采取集销售、设计、加工、安装、售后服务为一体的交钥匙工程,销售通过遍及各地的代理商进行,组成一个计算机销售网络,这样可以很快为客户提出方案图报价单,可以按照用户要求进行修改,交工后负责联系售后服务工作;设计、加工、制作一般在本公司内进行;安装一般委托给固定的经专业培训后的工程队;质量是企业生存的基础,公司要讲信誉就必须严格管理整个过程中的质量问题。而我国目前设计、加工、安装3个阶段往往分头进行,所以质量难以保证。

今后10年钢结构的发展将会更快,为了使我国轻钢结构在新世纪经济领域中发挥更大作用,缩小和国外同行的差距,除了政府部门加强行业管理以外,科研、设计、施工单位和轻钢结构厂家要团结合作,共同促进我国轻钢结构事业的发展。

2 材料

2.1 彩色涂层钢板

彩涂钢板的种类繁多,如何根据不同的使用环境,不同的加工要求,合理、经济、正确地选用适宜的彩板种类,是本节需要解决的问题。

2.1.1 彩色涂层钢板的定义

彩涂钢板是指由保护性和装饰性的有机涂料或薄膜连续涂覆于钢或铝带表面制成的预涂层冶金产品。国际上统称其为预涂层卷板。它主要由金属基板、化学转化膜和有机涂层三部分组成。有机涂层可配制成各种色彩,并可借助印花、压花技术制成多种图案花纹,故可取代传统的油漆装饰。这种钢板集有机聚合物和金属二者性能之长,有良好的耐蚀性及加工成型等性能。

2.1.2 彩板的耐腐蚀性能

彩板耐腐蚀性能的表现形式通常以涂层表面出现失光、褪色、粉化、龟裂、鼓泡和锈斑等腐蚀破坏程度表示。

影响彩板耐腐蚀性的因素较多,它涉及彩板的基板种类及其镀层厚度、涂料种类及涂层层次和厚度、使用环境条件以及彩板应用中的机械加工、运输、保管、施工安装和施工后维护保养等诸多方面的因素。但从彩板的涂层特性原理分析,决定彩板耐蚀性的根本因素是涂层结构特性和基板的耐蚀性;涂层的保护性在大气腐蚀环境下主要决定于涂料的耐候性或抗老化性。

1) 涂层结构特性

由于有机涂层具有使钢材与外界隔离的能力,故可延长钢材的使用寿命。

现有涂料与涂装技术制成的有机涂层,往往存在微小的针孔,外界的水分、蒸气、氧及各种离子均能通过针孔渗透,当渗透至钢基与涂层的界面,并形成局部电池时,则使涂层钢材产生膜下腐蚀反应。腐蚀速度除了与有机涂层的物理化学性能有关外,还取决于有机涂层的抗气体、蒸气、液体和离子的渗透性能。因此,有机涂层的耐用性和可靠性与涂层的成分、层次、厚度、均匀性、加工性及使用环境等因素的选配有着密切关系。

一般说来,采用常干型涂料不及用烤干型的更能获得优异的耐候性;而对于冷轧板或镀锌板有着优良附着性的涂料,不一定就有良好的耐候性。因此,选用与钢板有良好附着性的涂料作底漆,再用有良好耐候性、装饰性的涂料作为面漆,以这种“双涂层”(甚至类同匹配有三层和四层涂层)的方式来制造彩板,无论在性能还是在经济性方面,都远比传统的后涂装加工的冷轧板或镀锌板制品优越;适当增加涂层层次和厚度无疑可减少涂层中的针孔数目,有助于提高预涂层钢板的耐蚀性,兼可满足预涂层产品表面特殊性能的要求。

目前,彩板常用的涂层层次厚度主要由选用的有机卷材涂料种类合理匹配决定。例如,

建筑常用的镀锌钢板聚酯彩板,其环氧底漆干膜厚度为 $(6.25 \pm 1.25) \mu\text{m}$,聚酯面漆干膜厚度为 $(18.75 \pm 1.25) \mu\text{m}$;又如,最高级的闪光型高性能涂层(美国 PPG 公司产品,名谓 Duranar XL),光亮而具有突出的室外耐久性,这个面层由四道涂层组成,每层的干膜厚度:①底漆 $5 \sim 7.5 \mu\text{m}$;②屏蔽涂料 $17.5 \sim 20 \mu\text{m}$;③金属闪光清漆 $17.5 \sim 20 \mu\text{m}$;④清漆 $11.25 \sim 13.75 \mu\text{m}$ 。总厚度 $50 \sim 60 \mu\text{m}$ 。

化学转化膜是确保彩板质量的重要组成部分。转化膜是由钢基表面金属原子参加反应形成的一种惰性金属绝缘膜。膜呈连续的结构,并与钢基表面形成一个整体,而并非属于附着性很差的沉积附加层。液态有机涂料或粘结剂有可能渗入转化膜的微细缝隙中,靠物理缠连的作用,可提高它们之间的粘接强度;同时又可对膜表面具有水合氧化物的金属基材,通过氢键与涂料的化学作用来提高结合力。因此,转化膜主要起着增强基板与漆膜的附着性、抗冲击性和可挠性,并可防止漆膜划伤区的膜下锈蚀作用。根据不同用途的彩板,随其基板与涂料品种的改变,可选配不同类型的转化膜。这在传统性后涂装加工的金属制品中一般是难以做到的。彩板能有独特的优良综合性能——耐蚀性、加工性及装饰性,关键也就在于它的涂层结构的合理性和生产工艺的先进性——连续性、可控性及均一性,二者有机统一,存在着好比“皮毛依附”有机结合的关系。

2) 基板的耐蚀性

彩板的基板耐蚀性主要包括:裸板耐蚀性、成型后耐蚀性和切边自牺牲性保护性。这三种性能随基板的种类不同而有差异。基板的耐蚀性是决定彩板一次性终极寿命的基础。通常情况下,没有优良耐蚀性的基板,即使配以再好的涂层结构,依然不会获得优良耐蚀性的彩板。

当然,即使基板具有优良的裸板耐蚀性,但其加工成型性能或剪边保护性能差,同样也会影响其彩板原板的耐蚀性和使用寿命。

目前国际上建筑用彩板的基板种类主要有:

热镀锌钢板(Hot Dipped Galvanized) 指标准的热浸锌镀层钢板产品。现有镀层重量范围按美国标准定为 $75 \sim 700 \text{ g/m}^2$ 。

热镀锌合金化钢板(Galvanneal) 指热镀锌钢板通过热处理方法,将其表面的纯锌层全部转化为锌铁合金层 $\delta 1$ 相的镀层钢板产品。现有镀层重量可达 180 g/m^2 。

热镀铝钢板(Aluminized) 指热浸铝镀层钢板产品。现有 I 型和 II 型两种产品,其镀层的重量可查 ASTM A463 规定(I 型产品是在含约 8% 硅的铝液中制成,II 型产品是在工业纯铝液中制成。供建筑用彩板的基板主要为 II 型)。

热镀锌铝合金钢板(商名:Galfan) 是一种含 Zn、5% Al 混合稀土合金的热浸镀层钢板产品。现有镀层重量按 ASTM A875 和欧洲标准 Ens 定为 $50 \sim 350 \text{ g/m}^2$ 。

热镀铝锌合金钢板(商名:Galvalume 简称 GL 钢板) 是一种含 55% Al、1.5% Si、43.5% Zn 混合稀土合金的热浸镀层钢板产品。现有镀层重量按美国标准 ASTM A 792 定为 AZ50(0.50 oz/ft^2) ~ AZ60(0.60 oz/ft^2),或对应为 AZ150(150 g/m^2) ~ AZ180(180 g/m^2)。

电镀锌钢板(Electrogalvanized) 是一种电镀锌的镀层钢板产品。现有镀层重量最大可达 180 g/m^2 。

此外还有铝板和不锈钢板。

上述几类钢板,除电镀锌钢板主要专供建筑户内使用外,其余几类主要可供户外选用,也可作户内使用。目前,国产可供建筑用彩板的基板种类有热镀锌、热镀锌合金化和电镀锌三种镀层钢板;热镀铝钢板生产线在湖北黄石刚竣工投产;对热镀锌铝合金钢板、热镀铝锌

合金钢板及其彩板产品目前由国外进口。通常国内生产的镀层钢板产品,电镀锌钢板的锌层重量为 $20/20\text{ g/m}^2$ (单面),热镀锌钢板的锌层重量为 200 g/m^2 (双面),户外建筑用的热镀锌钢板的锌层重量最高为 275 g/m^2 (双面),如有特殊要求,可专门生产。

我国现可以自行生产的镀层钢板只有四种,即热镀锌板、热镀锌合金化板、热镀铝板和电镀锌板(见表 2-1)。

表 2-1 国产板材情况表

镀层类型	生产厂家	镀层重量/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)
热镀锌	上海宝山钢铁股份有限公司	双面 90、180、275、350、450、600、700
	武汉钢铁(集团)公司	双面 100、200、270、350、450、600
热镀锌合金化	武汉钢铁(集团)公司	
热镀铝	湖北黄石镀铝薄板有限公司	
电镀锌	上海宝山钢铁股份有限公司	单面 10、20、30、40、50(平均锌层重量 17.6 g/m^2 , 锌层厚度 $2.5\text{ }\mu\text{m}$)

镀铝锌钢板需全部进口(部分镀锌板也由国外进口),镀铝锌钢板的生产情况见表 2-2。

表 2-2 进口镀铝锌板材生产情况表

国家或地区	制造商	国家或地区	制造商
阿根廷	COMESI S. A. I. C	卢森堡	Galva Lange
澳大利亚	BHP Coated Steel Co	墨西哥	Industreas Monterrey S. A
比利时	Streelinter S. A	荷兰	Hoogovens Groep
加拿大	Dofasoo Inc.	新西兰	BHP New Zealand Steel Limited
智利	Companhia Siderurgica Hauchipato S. A	俄罗斯	Seberstal
英国	British Steel plc	西班牙	Corporation de la Siderurgica Integral
德国	Krupp Hoesch Stahl AG	挪威	SSAB Tunnplat AB
日本	Daido Steel Sheet Corporation	中国台湾	Shen Yu Steel Corporation
日本	Kawatetsu Galvanizing Co., Ltd	美国	Bethlehem Steel Corporation
日本	Nisshin Steel Co., Ltd.	美国	Dorble G Coating Inc.
日本	NKK Corporation	美国	LTV Steel Corporation
日本	Smitomo Metal industries, Ltd.	美国	National Steel Corporation
日本	Taiyo steel	美国	U. S. Steel Group
日本	Yodogawa Steel Works, Ltd.	美国	Wheeling - Nisshin, Inc.
韩国	Union Steel Mfg. CO., Ltd.		

从防腐蚀机理的角度看,锌、铝在多数大气环境下具有较高的稳定性,利用它作为钢材基体的防护性涂(镀)层是普遍公认的有效经济的方法,其应用历史已达 100 多年。锌在腐蚀性环境介质中会形成一层薄且致密的附着性很强的腐蚀产物(氧化锌,氢氧化锌,碱性

盐: $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 和 ZnCl_2 或 ZnCO_3)。这些产物覆盖在其表面对周围环境介质起着屏蔽作用,从而阻止进一步腐蚀。此外,锌的电极电位较铁为负,属于阳极性镀层,它具有牺牲自身的保护作用。镀锌层在大气环境中的腐蚀尽管随气候类型的变化发生很大变化(一般在海洋性气候中很严重),然而在相同的环境条件下,其寿命正比于镀锌层的附着量。可见欲延长其寿命,可用增加镀锌层厚度的方法来实现。而这一点在一定的极限厚度内,用热浸镀锌的工艺是易于实现的,电镀锌工艺相对受到了限制,其镀锌层厚度较之极薄,一般最大约为 18 g/m^2 。这也就是以电镀锌钢板为基板的彩板,为什么不宜供作户外建筑使用的根本原因。

热浸镀铝层是另一种常用的金属镀层。由于铝表面极易形成一层非常致密的氧化铝层,具有极其优异的耐大气腐蚀性能,其耐蚀性是相同情况下的热镀锌层的 2 倍以上。虽然铝的标准电极电位 (-1.66 V) 比铁 (-0.44 V) 和锌 (-0.76 V) 低,但氧化膜十分稳定,它可起着隔离膜的作用。美国钢铁公司 1954 年在美国南方用镀铝钢板屋顶板进行寿命实验,经过 23 年连续使用证明,镀铝钢板在工业大气、海洋与乡村环境中耐蚀性约为热镀锌钢板的 5~9 倍。镀铝钢板还具有优良的抗硫化物腐蚀特性,其抗硫化物腐蚀性能比镀锌钢板强好多倍。此外,镀铝钢板在温度高达 500°C 的环境中具有良好的抗氧化性能,可以用它代替价格昂贵的不锈钢和耐热钢使用。目前镀铝钢板在日本大面积用于工业厂房。镀铝钢板还具有良好的热反射性。这种材料甚至在高达 500°C 仍能反射 80% 的辐射能,所以在节约能源上,成为一种重要的材料。在要求耐热的条件下,常常采用镀层中含硅的 I 型镀铝钢板。II 型镀铝钢板主要作屋面材料及其他建筑用材。

经过合金化处理的热镀锌钢板,其表面能获得一层较厚的、很致密的、不溶解于水的非活性氧化膜,它能阻止氧化进一步发生,同时合金层的标准电极电位介于铁与纯锌层之间;它比铁活泼,但比纯锌层迟钝,因此,电化学腐蚀速度就比纯锌慢。大气中的腐蚀主要是电化学腐蚀,所以合金化处理后的镀层就比纯锌层耐腐蚀。另外,这种镀锌层的韧性与处理前相比无显著变化,可以进行较复杂的弯曲成型加工,并具有良好的焊接性能,焊接质量较纯锌层有了显著的提高。经合金化处理的热镀锌钢板,其表面比未经合金化处理的粗糙,镀层表面显微特征呈凹凸不平,有显微疏松和空洞,也有某些显微裂缝贯穿整个镀层厚度方向,这种表面为彩色涂装提供了良好的粘附性。另外,这种镀锌层的耐热性较好,比纯锌的熔点高 419°C , 锌合金化 $\delta 1$ 相的熔点为 640°C 左右,纯铝的熔点为 650°C , 可见经合金化处理之后的镀锌板,其耐热性能可接近镀铝钢板,它的价格比镀铝钢板便宜很多。

热镀锌铝混合稀土合金镀层 (Galfan) 是国际铅锌研究组织 (ILZRO) 于 20 世纪 70 年代末开发的新一代热浸镀层,它是热镀锌的换代(第二代)产品。Galfan 镀层不但保持了热镀锌层的各种优点,而且由于加入了含量为 5% 的铝以及微量的混合稀土元素,其性能特别是耐蚀性能大大提高,接近 2~4 倍,加工成型性能与最高质量的电镀锌层相当,并且保持其成本几乎不变。Galfan 镀层尽管应用的时间不长,但已推广到汽车、建筑、结构、高速公路工程和海洋工程等领域。据国外资料介绍,就高速公路护栏而言,由于雪地撒盐和汽车尾气中 CO_2 、 SO_2 等腐蚀性物质影响,使用环境非常恶劣,采用热镀铝锌合金钢板镀层外加涂装的双层或三层联合保护层,其使用寿命在不需补修的情况下可望达到 100 年。

关于 Galfan 的耐蚀性,国内外做了很多试验,在相同条件下的海洋性气候中, Galfan 镀层的耐蚀性是热镀锌层的 2 倍以上;在工业性或乡村气候中, Galfan 镀层的有效使用寿命约是热镀锌层的 3 倍以上。到目前为止, Galfan 镀层的综合耐腐蚀效果(包括裸板耐蚀性、切边部位牺牲性保护性能、加工成型后耐蚀性和涂装后耐蚀性)在前述的各种镀层钢板中具