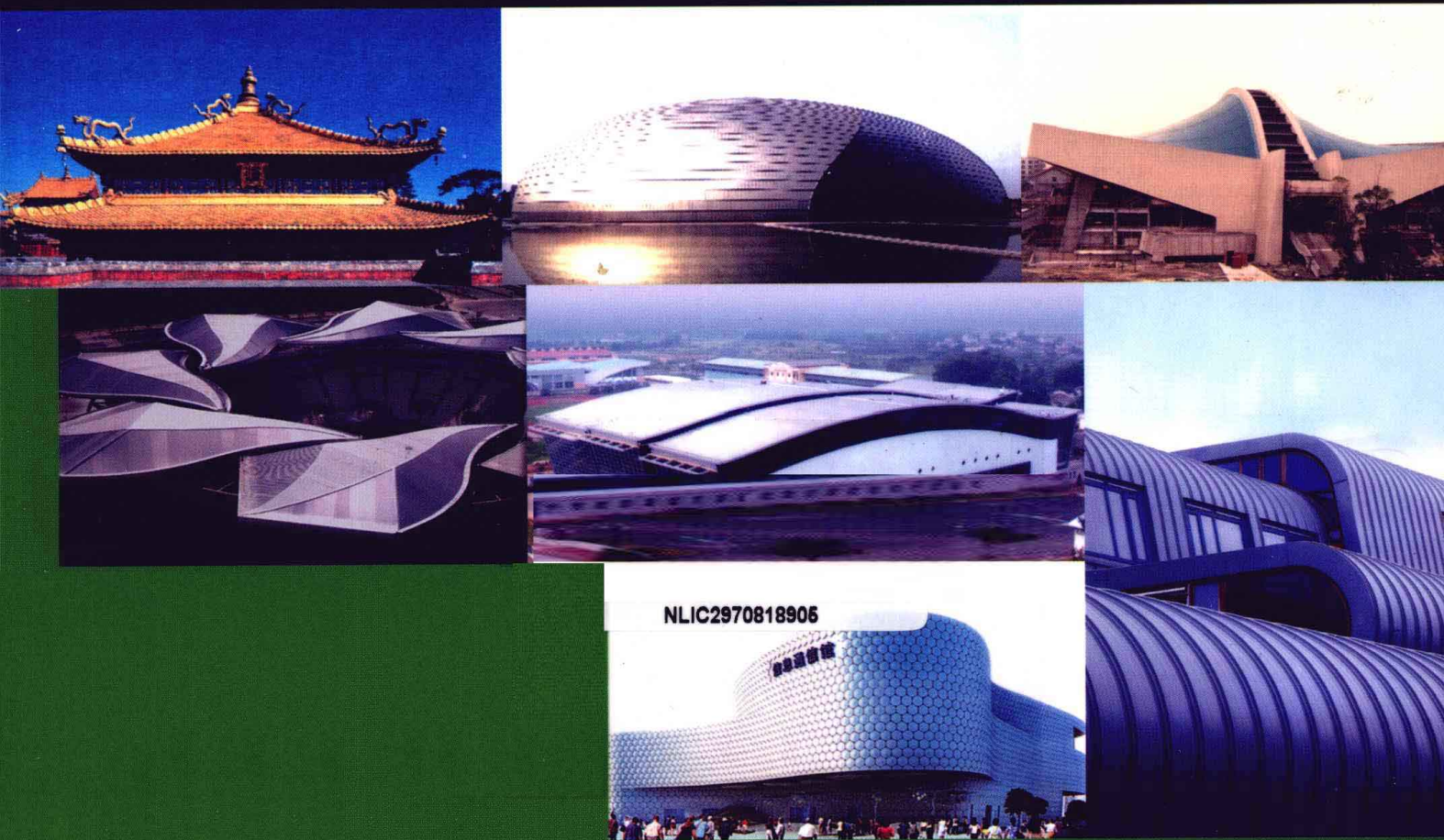


建筑金属围护结构手册系列

铝板和特种金属板 围护结构手册

葛连福 编著



NLIC2970818906

中国建筑工业出版社

建筑金属围护结构手册系列

铝板和特种金属板围护结构手册

葛连福 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

铝板和特种金属板围护结构手册/葛连福编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 5

(建筑金属围护结构手册系列)

ISBN 978-7-112-14088-6

I. ①铝… II. ①葛… III. ①铝—金属板—围护结构—手册
②有色金属—金属板—围护结构—手册 IV. ①TU399-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 039466 号

本手册是《建筑金属围护结构手册》系列之一, 系列各书之间存在着既联系又独立的关系。本书重点阐述铝板和特种金属板围护结构在材料、设计、施工、质量、验收、难题解决等方面较为系统全面、技术先进、实用可靠的基本知识和专业经验。

本书编著人从事建筑金属围护构造的研究开发和工程实践工作 30 余年, 根据最新颁布的《铝合金结构设计规范》GB 50429-2007 和《铝合金结构工程施工质量验收规范》GB 50576-2010 有关铝板围护结构的规定, 密切结合国内外建筑行业有关铝板、锌板、铜板、钛板围护结构材料、设计、施工实用的技术、企事业单位的经验, 从大量工程实践出发, 总结经验教训, 深入介绍铝板和特种金属板围护结构方面的新材料、新构造、新技术、新经验。所以本书既有工具书的实用、翔实的优点, 又尽量吸取当前国内外最新科技成果和最新技术措施, 以便更好地为工程建设服务。

本书在选材上注意理论和实践并重, 以实用为主; 注意重点和一般互补, 以重点为主; 注意国内外兼顾, 以国内为主, 并且文字、图表、公式、例题、工程实例并茂, 将重要技术资料或全录、或摘录于各章之后, 方便读者使用本书时查阅。

本书既可作为从事建筑金属围护结构科研开发、工程设计、生产制作、施工安装、质量验收、维护使用、项目管理等工作的年轻建筑师和结构工程师们的实用工具书、参考书, 又可作为大专院校钢结构教学的辅助教材。

责任编辑: 赵梦梅 咸大庆

责任设计: 赵明霞

责任校对: 张颖 赵颖

建筑金属围护结构手册系列
铝板和特种金属板围护结构手册
葛连福 编著

*

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

华鲁印联 (北京) 科贸有限公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30¼ 字数: 750 千字

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月第一次印刷

定价: 66.00 元

ISBN 978-7-112-14088-6
(22132)

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)

序 一

建筑物的围护结构是一种多功能的复合构件，它既具有抵抗有关各类荷载的充分能力，又起着挡风遮雨、防暑御寒等多重作用。因此，它虽然不属于主体结构，却对保障建筑物的功能十分重要，尤其是对体形庞大的公共建筑，重要性更为突出。由于横跨结构工程和建筑学两个学科，全面论述围护结构的书籍未见有人去写，这套《建筑金属围护结构手册》系列的出版，填补了空白，值得欢迎。

手册是工具书，内容应该较为全面。一册在手，需要查找的资料很快可以得到。这套系列体现了此项特点，不仅包括各类钢板和铝板，还有特种金属板；材性、规格、选用指南、设计计算、施工及验收，乃至使用维护，无所不包；就设计计算来看，除强度和刚度计算外，温度变形计算、排水计算、热工计算、声学计算，面面俱到。可以毫不夸张地说，这套系列是建筑金属围护结构的单科全书。

手册的功用，贵在能帮助工程技术人员解决实际问题。完整的资料、简化计算的图表、系统性的算例、示范性的施工图，都是不可或缺的常规内容。彰显这套手册系列特点的则有《压型铝板屋面在北京奥运场馆中应用》和《铝板围护结构疑难问题处理》等章节。奥运工程是大型工程的成功范例，这一节不仅介绍围护结构的概况，还道出了质量控制的经验。疑难问处理一节则结合典型工程的经验教训进行分析，提出正确而详尽的技术措施。

搞好工程设计和施工，有赖于从业人员的理论知识和实践经验，理论知识不难从书本中得到，而实践经验往往靠个人积累，需要经过多年的磨炼。本系列的作者以其数十年实践经历为基础，综合总结出极其有益的正反两方面经验与读者共享，十分有利于青年技术工作者快速成长。

陈绍藩

2011年9月

序 二

新中国成立至 20 世纪 90 年代,我国工业与民用建筑,特别是工业厂房和大型公共建筑,在建筑结构和围护结构材质的选择上一直很单一,重要工程的结构唯有钢筋混凝土可选,因此大量采用以钢筋混凝土为主要材料的屋架、柱、框架等;围护结构也是钢筋混凝土的大型屋面板、大型墙板、壳板、折板等,所以形成了深基重盖、肥梁胖柱的结果。形成这种现象的原因很简单,主要是国家的钢铁和其他金属材料的产量和质量满足不了建设的需要。

1996 年中国粗钢产量首次突破 1 亿吨,2010 年达 6.27 亿吨(占全球钢产量的 38%);其他可供选用的铝合金(2010 年中国原铝产量 1613 万吨,占全球产量的 40%)、铜合金和不锈钢等建材也大幅增长,中国建筑行业缺钢少铁、金属建材稀缺的时代从此一去不复返,可供选用的金属建材质量基本接近国外先进水平。

近十多年来,由于钢铁和其他可用金属材料的充分供应,我国钢结构建筑得到了迅猛发展,普遍应用于轻、重型厂房,库房,高层、超高层大楼,大跨度公共建筑,如体育馆、车站、航站楼、会展中心、博览馆等,建筑面貌从沉重灰暗走向轻盈靓丽,建筑工业化水平大幅提高,施工速度明显加快,建筑工程在材质的选用上更加合理。

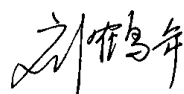
改革开放后为了解决钢铁稀缺对经济建设的束缚,1978 年国家先于其他各项建设,决定集中大量资金筹建上海宝钢,这是一个现代化的集成型企业,由国外设计和提供生产设备,厂房全部采用钢结构,包括主体结构和围护结构。宝钢初期工程有 120 万 m^2 厂房,约 240 万 m^2 围护结构。当时距“文革”结束仅两年,国家物资非常匮乏,进口大量建筑材料又力不从心,还有其他一些特殊的施工技术问题等待解决。当时冶金部决定将这些大小施工技术问题交原冶金部建筑研究总院负责组织解决,冶建院将宝钢施工中所遇到的技术问题划分成 7、8 个专业领域开展研究,并和有关施工、设计等单位展开合作,结合国情逐步给以解决。其中主体钢结构的生产制作,施工安装,焊接,螺栓连接,防腐等问题;以及围护结构决定采用压型板后所需彩涂钢板和铝板(当时有国产铝板可用)的压型生产工艺和压型机设计,压型板的安装等问题集中在一起作为一个研究开发领域。

在围护结构方面,本书作者葛连福教授级高工就是主要参与者,他首先编写了“宝钢压型钢板厂设计任务书”,其他参与的科研人员设计了压型机。在通力合作下,1980 年在宝钢建成了 W-550(屋面板)和 V-115(墙板)中国首条压型生产线,为宝钢一期 120 万 m^2 厂房工程的围护结构创造了重要的施工条件。1981 年后,继续服务宝钢工程的同时,作者参与承包了深圳蛇口华美钢厂、港口码头仓库等一系列钢结构和压型钢板屋面、墙面工程,以后他的科研开发工作扩展到国内外不同类型的工程,包括大型厂房、展馆、航站楼、体育馆,如肯尼亚内罗毕体育馆、刚果(金)体育场、多个北京奥运场馆等,积累了大量的资料 and 实践经验。在推广过程中,经各方面的共同努力,压型板板型逐步形成了系列,相应的压型机也形成了系列。国内建筑工程大量采用新型的金属围护结构,葛连

福高工是重要的开拓者和奠基人之一。

由于葛连福教授的科研开发工作长期与工程结合，熟悉国内外的标准和规范，了解工程的多样化材质要求，摸透了围护结构在施工中最容易出问题的地方，也知道钢结构围护结构在设计、制作、施工方面的技术人员希望得到什么样的帮助。为此本书的内容包含了不同材质压型板的选用，如彩涂钢板、镀锌板、不锈钢板、铝合金板以及其他曾经用过的板材；按照国家标准不同地区荷载的选用和设计计算方法，并有详细的例题；各种不同形式围护结构、节点构造详图和施工方法，指出了施工中最容易出现问题的部分，并提出了解决方案；如何对围护结构工程进行验收；还提供了国内尚缺而国外已有的相关标准的部分内容等。

综上所述，本书是理论和实践相结合的著作，提供的技术资料符合“国家规范”的规定，有些内容作了必要的补充；附有丰富的节点图、构造图等图表，是钢结构设计、施工和教学的优秀参考书，也是对建筑金属围护结构多年来的一次很好的总结，定将对围护结构向更高水平发展起到推动作用。



2011年9月2日

前 言

我国自改革开放以来,经济建设和科学技术突飞猛进,属于建筑、结构范畴内的金属围护结构得到前所未有的应用和发展。早在2005年,我国彩色涂层钢板及带钢的产能已达世界各国涂层钢板产量的总和,到2007年,我国涂层钢板的消费量达到350万吨,主要用于建筑围护结构的屋面和墙面,成为遍及全国城乡、随处可见彩色钢板建筑的物质基础;2009年我国铝及铝合金板、带材产量达到419万吨,建筑业的用铝及铝合金量已占全年铝及铝合金消费的1/3。以铝锰或铝镁合金薄板为主要原材料的压型铝板(直立锁边)技术,20世纪90年代进入我国建筑市场,在客运航站楼、会议和会展中心、大型体育场馆等交通设施、文化和市政公共建筑等其他工业和民用等建筑中广泛采用,在不到20年时间里,建成铝板围护结构面积超过了800万 m^2 ;同样,以锌板、铜板、钛板为主要原料的特种金属板围护结构,从本世纪初开始在工程中应用,在不到10年的时间里,使用面积超过40万 m^2 。所以,我国建筑金属围护结构在建筑中的应用,其速度之快、规模之大,在我国建筑史上是空前的,在世界建筑发展史上也是绝无仅有的,有力地促进着我国建筑工程的现代化,并展现出建筑金属围护结构美好的发展远景。

建筑金属围护结构快速发展的30年,也是我从事建筑金属围护结构技术工作的30年。走出校门后我一直在中冶集团建筑研究总院工作,1979年院里开设了国内第一个相关课题:压型金属板生产线及推广应用,本人负责专题工作。秉承全院为工程建设服务的宗旨,结合宝山钢铁总厂工程建设需要,参与筹建了我国第一座压型金属板生产厂,即宝钢冶金建设公司工业安装公司压型金属板厂;宝钢参建单位和我院同行一起,在引进国外生产线的同时,研制成功第一条国产压型金属板生产线,并于1980年年中生产出第一批长度不限的、真正意义上的压型钢板和压型铝板,满足了宝钢早期工程施工屋面和墙面的建设进度需要。随着武钢、宝钢等一批彩色涂层钢板生产线的投产,绚丽多彩的涂层钢板源源不断应用到建筑行业中,开辟了我国建筑围护结构的新纪元,并于1985年,压型金属板生产线与推广应用课题获国家科学技术进步三等奖。在30年中的前20年,我一直在冶建院从事金属围护结构的研究、试验、设计、施工、推广应用、质量问题处理等方面的专业工作,在退休后的10年里先后在国有、中外合资、外商独资等企事业单位担任技术总监、顾问,也侧重于钢结构和金属围护结构方面的工作。

在老领导、老专家、老同事、新老朋友的鼓励下,在出版社责任编辑支持下,开始了《建筑金属围护结构手册》系列的编著工作,其目的有三个:第一,希望对我国30年来建筑金属围护结构技术有一个较为全面系统、阶段性的小结;第二,为目前激烈竞争中正在成长中年轻建筑师、结构工程师提供可供实用、参考的工具书;第三,鉴于目前大专院校《钢结构》教科书中少有金属围护结构的章节,想为有志于从事金属围护结构科研开发、工程实践的同学和年轻同行们起到一些基础性、铺垫性的作用。总之,企盼这套手册系列能起到促进我国建筑金属围护结构健康发展的一些作用,并企盼有助于在今后建设中改

善一些强风地区金属围护结构“屋面掀翻、墙面吹飞、雨水渗漏”的情况，以便做到技术更先进、安全更可靠、经济更合理、功能更多样、质量更上乘。

由于不同金属材料各自用于不同类型建筑的围护结构时，既有共性又各具特点的实际，加上编著为一册会造成篇幅过多，为了满足读者差异性需求，遵循建筑结构按材料分科的传统，宜将建筑金属围护结构手册系列分为四个既关联又独立的手册：

《钢板围护结构手册》

《铝板和特种金属板围护结构手册》

《檩条墙架和组合楼板手册》

《压型铝板屋面及墙面建筑构造图集》

《铝板和特种金属板围护结构手册》共二章十五节，包括铝及铝合金板，特种金属板中的锌及锌合金板、铜及铜合金板、钛及钛合金板在内的屋面、墙面围护结构的内容，涉及材料选择、荷载确定、建筑构造、设计计算、加工制作、施工安装、质量验收、事故分析等方面的实用专业知识。同建筑构造图集配合使用。

建筑金属围护结构手册系列出版面世之时，要感谢母校西安建筑科技大学 92 岁高龄的陈绍蕃教授为本书写了序言一，他是一位广受业内同行敬重、从教钢结构 60 年，从事建筑、土木工程技术 70 年的老专家；要感谢老专家、中冶集团建筑研究总院原院长、中国钢结构协会原常务副会长刘鹤年教授级高工为本书写了序言二，他是我所在工作单位的老主任、老院长，他对我科研工作的大力支持和鼓励，永远铭记在心。他俩是我求学的引路人和工作的见证人，请他俩为本书作序是最为合适。

编写中参考、摘录了很多专家、教授、学者的著作、论文，并请教了不少问题，在此一并深致谢意，书中如有未列详细出处时，敬请谅解。

本册中，周校仁编写了第一章第六节中的部分初稿，王宏伟、张智勇编写了第一章第三节之十一和第四节的部分初稿。此外，还要感谢本册编写过程中给予大力支持和帮助的以下各位同行：吴昌栋、王达、黄唯、李宏、杨志勇、钟小平、王建华、李利伟等。

感谢中国建筑工业出版社的主任、编审咸大庆和副主任、编审赵梦梅担任本书的责任编辑，张颖等担任本书的责任校对，感谢各位的积极策划、精心编辑、认真校对，为本书得以顺利面世所作的贡献。

由于编著者水平有限，书中欠妥之处，敬请专家、教授、学者、同行及使用、阅读本书的新老朋友们予以指正、赐教。

葛建福

2011 年仲夏

目 录

第一章 铝板围护结构	1
第一节 铝板围护结构综述	1
一、铝板围护结构发展概况和趋势	1
二、铝板围护结构特点	6
三、铝板围护结构应用	11
四、铝板围护结构原材料常用术语	11
第二节 压型铝板屋面设计	16
一、压型铝板屋面材料	18
二、压型铝板屋面板型	33
三、压型铝板屋面组成	48
四、压型铝板屋面构造设计	70
五、压型铝板屋面设计计算	105
六、压型铝板屋面工程设计计算实例	119
七、压型铝板屋面工程设计图编制	127
第三节 压型铝板屋面施工	130
一、压型铝板屋面施工详图编制	130
二、压型铝板屋面工程施工组织设计	133
三、压型铝板生产、异形板加工、零配件配套	134
四、压型铝板的包装、运输、存放和开箱	138
五、施工现场准备	139
六、固定座安装	140
七、压型铝板运输和安装	141
八、压型铝板屋面用异形板、零配件安装	145
九、压型铝板屋面施工的主要设备、工机具	149
十、压型铝板屋面施工中需要重视的一些问题	151
十一、压型铝板屋面系统安装工法	151
第四节 压型铝板屋面伸缩缝设计和施工	160
一、天沟伸缩缝	160

二、屋面伸缩缝	165
第五节 压型铝板屋面工程施工质量验收和使用维护	167
一、压型铝板屋面工程施工质量验收	167
二、压型铝板屋面使用维护	169
第六节 压型铝板屋面在北京奥运场馆中应用	170
一、北京奥运会场馆建筑中压型铝板应用情况	170
二、北京奥运会场馆压型铝板屋面构造设计	172
三、北京奥运会场馆压型铝板屋面施工	180
四、北京奥运会场馆金属板屋面防水工程质量控制	186
五、北京奥运会场馆压型铝板屋面工程质量检测和验收	191
六、需要深入开展压型铝板屋面试验研究工作	195
第七节 压型铝板墙面	196
一、压型铝板墙面材料	196
二、压型铝板墙面板型、布置、组成	196
三、压型铝板墙面设计	202
四、压型铝板墙面工程设计图、施工详图编制	210
五、压型铝板墙面工程施工和质量验收	211
第八节 其他类型铝合金板屋面和墙面	211
一、其他类型铝合金板屋面	211
二、其他类型铝合金板墙面	218
第九节 铝板围护结构疑难问题处理	263
一、如何避免压型铝板屋面（或墙面）铝合金板围护结构被风掀掉？	263
二、如何做好压型铝板屋面排水和防水，避免屋面漏水的发生？	267
三、能否通过一项工程实例说明压型铝板屋面工程施工中可能出现的 质量问题？	272
四、如何做好压型铝板屋面与墙面工程同其他专业工程的衔接工作？	278
五、压型铝板（直立锁边）屋面工程急需解决的质量问题是什么？	279
六、成败在细节，哪些细节应引起我们工程管理人员和工程师的重视？	286
第十节 铝板围护结构技术资料	291
一、变形铝及铝合金化学成分（摘录）	291
二、一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能（摘录）	295
三、铝及铝合金彩色涂层板、带材	300
四、铝及铝合金波纹板	314
五、铝及铝合金压型板	319

六、铝幕墙板 板基	326
七、铝幕墙板 氟碳喷漆铝单板	331
八、建筑幕墙用铝塑复合板 (摘录)	340
九、建筑外墙用铝蜂窝复合板	350
十、铝合金结构设计规范 (摘录)	361
十一、铝合金结构工程施工质量验收规范 (摘录)	369
十二、压型铝板 (直立锁边) 设计计算资料	378
十三、压型铝板屋面和墙面建筑构造透视图举例	394
第二章 特种金属板围护结构	412
第一节 特种金属板围护结构综述	412
第二节 特种金属板围护结构材料	413
一、锌板	413
二、铜板	417
三、钛板	419
第三节 特种金属板围护结构设计	421
一、特种金属板基本构件	421
二、特种金属板建筑构造	425
三、特种金属板结构计算	438
第四节 特种金属板围护结构施工	444
一、加工制作	444
二、运输和安装	446
第五节 特种金属板围护结构技术资料	447
一、建筑用锌及锌合金板、带材	447
二、关于锌及锌合金板、带材三个标准技术性能对照	454
三、建筑用钛锌合金装饰面复合板	455
四、特种金属板围护结构设计、施工和质量控制流程	465
五、国内主要特种金属板围护结构工程表	466
附录：铝板和特种金属板围护结构有关标准	467
参考文献	470

第一章 铝板围护结构

第一节 铝板围护结构综述

一、铝板围护结构发展概况和趋势

(一) 金属铝起源

18 世纪末，科学家在研究碱金属时，分析得出微量的铝元素。1827 年，德国化学家 Whoeler 获得了第一块铝矿石，这块铝矿石至今仍陈列在哥廷根（Göttingen）大学的博物馆里。1854 年科学家 Henry sainte-claire 发明了从钠和铝的氧化物中，通过电解还原工艺提炼出金属铝。1866 年法国的 Paul Louis Touissant Heroult（1863—1914）和美国的 Charles Martin Hall 同时获得了工业生产铝金属的电解工艺专利，前者在法国、瑞士获得专利权，后者在美国铝业公司（ALCOA）应用于生产。这两位铝金属的开拓者有着令人惊讶的相似：生于同一年，研究铝这同一课题，获得相同的成果，创立相同的生产工艺技术，卒于规模使用铝合金的第一次世界大战开始的同一年。电解铝工业化生产开创了人类开采铝、研究铝、生产铝、应用铝的新时代。

(二) 铝板围护结构在国外的概况

国外将铝及铝合金板用作建筑围护结构已有 100 多年的历史，文献记载：1898 年意大利罗马一座教堂的圆屋顶是用纯度 98.3% 的铝板做的，经历 60 多年的风风雨雨后基本完好；1900 年澳大利亚悉尼一幢建筑物采用铝板屋面，直到二战爆发改建为止，已经使用 40 多年，人们看到了铁钉和铝板之间的电化腐蚀而造成铝板钉孔扩大的结果；1933 年英国某工厂采用铝合金板屋面，周围环境虽有腐蚀性气体存在，建成 25 年后检查，铝锰合金板基本完好无损，但也暴露了电化腐蚀的不良后果。

北美应用铝板围护结构情况基本同欧洲同步，美洲殖民化的过程其实也是欧洲文化、技术向美洲转移的进程，美国最早采用铝板围护的建筑是 1932 年纽约洛克菲勒中心大楼的幕墙铝板。

日本在 20 世纪 50 年代开始了铝板围护结构应用。1950 年在甲子园球场大屋顶上采用铝板屋面，1951 年在森住宅、斋藤住宅上采用长尺压型铝板屋面，1965 年开始有了彩涂铝板，1973 年铝材产量达 110 多万吨，铝及铝合金板材品种、规格的多样化，为铝板围护结构的发展创造了条件。

从国外铝板围护结构发展进程可以看到：铝板或铝合金板厚为 0.4~2.0mm，板材或带材的宽度为 400~1250mm；材质起初用纯铝板（铝含量大于 99%）发展到铝合金，尤其以铝锰合金（即 3XXX 系列）和铝镁合金（即 5XXX 系列）为主；开始用无涂料层的裸露平铝板，发展到压花板和彩色涂层铝板，其中氟碳树脂涂层因其抗腐蚀性能好、和铝粘结牢固而广泛受到建筑业人士欢迎；板型上同压型钢板发展类似，开始用波形板（小波或大波纹板），发展到用 V 形板、梯形板；横向连接开始用搭接型板，发展到用锁边型板；

板长度开始用短尺寸板 (1.5~2.5m) 发展到长尺板 ($\leq 12\text{m}$) 和超长尺板 ($\geq 50\text{m}$); 开始阶段零配件种类规格比较少, 随着节点构造要求多样化而促使制作工艺日益完善, 零配件的配套也日益完臻、丰富。

早在 1980 年全世界铝产量已达 1500 万 t, 2010 年世界铝产达到 4081.12 万 t, 为铝板围护结构在建筑业中的广泛应用提供了重要的物质保证。

(三) 铝板围护结构在我国的发展概况

我国发展、应用铝板围护结构主要特点是起步晚、发展快。同发达国家相比, 我国建筑行业使用铝板围护结构的历史比较短, 新中国成立前基本上是空白, 但在 1978 年我国改革开放后的 30 多年里, 特别是近 10 多年里获得了前所未有的迅猛发展, 应用铝合金板做建筑物屋面和墙面的规模、设计和施工的技术水平已逐步进入先进国家的行列。

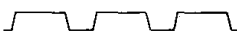
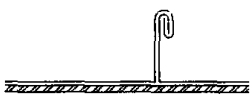
我国建筑铝板围护结构的发展进程可以分为以下三个时期: 1945~1978 年是起步时期; 1978~1993 年是稳步发展时期; 1993 年至今为快速发展时期。

1. 起步时期

旧中国不生产铝合金板, 只有少数建筑物屋顶采用铝质波纹板屋面, 并且局限在一些外国公司、教会、社团投资兴建的银行、教堂、大使馆等少数建筑上, 使用量也较少; 1946 年从美国进口波纹形铝板做屋面、墙面的同济大学实验室建筑就是一例 (面积只有 360m^2)。1949 年后, 我国开展大规模现代化工业建设, 铝合金冶炼、加工企业分别在东北、西北、西南等地建立起来, 铝合金板主要用于航空工业, 但也开始在建筑领域少量应用, 以下一些工程实例可以说明铝板围护结构在我国的起步发展: 1960 年北京工人体育馆铝屋面; 1963 年上钢一厂 100t 平炉车间屋面铝板 (面积约 5000m^2); 1964 年大连钢厂电炉车间铝板屋面 (面积约 10000m^2); 1968 年西北铝加工厂屋面 (约 33000m^2); 1967 年首都体育馆屋面; 1975 年上海体育馆屋面等。除了北京工人体育馆屋面铝板从英国进口外, 上述所有工程都采用我国自行生产的铝合金板, 波形板波高 20mm, 板长 2~2.6m, 板宽 1.0~1.2m, 板厚通常为 0.7~1.2mm, 跨度较小, 大多是用油压机在上、下模中压制而成。这一阶段, 虽然使用规模不大, 但为我国铝板围护结构的应用积累了经验, 并初步显示了铝合金板用于建筑屋面和墙面的优越性, 我国早期将铝合金板用于建筑屋面的建筑工程概况可见表 1.1.1。

我国早期铝合金板屋面工程

表 1.1.1

序号	年份	工程名称	使用部位	面积 (m^2)	板厚 (mm)	材质	板 型	来源
1	1946	上海同济大学实验室	屋面、墙面	360	0.8	纯铝板	 梯形	美国
2	1963	上钢一厂平炉炼钢车间	屋面	5000	0.8	铝合金板	 小波纹	国产
3	1968	西北铝加工厂	屋面、墙面	33000	0.5	纯铝板	 大波纹	国产
4	1960	北京工人体育馆	屋面	7200 (2200)	0.8	普通铝合金板	 屋面望板上平板咬合	英国
5	1967	首都体育馆	屋面	11200	0.6	防锈铝合金板		国产
6	1975	上海体育馆	屋面	12400	0.8、3.0	防锈铝合金板		国产

从表 1.1.1 中可知，我国早期铝合金板用于建筑物屋面围护材料，尽管用量较少，材质性能较差，板型局限在平板、波高 $\leq 20\text{mm}$ 的铝合金波纹板，零配件也不尽完善，但为日后铝板围护结构的进一步发展奠定了基础。

2. 稳步发展期

这一时期起源于上海宝山钢铁总厂的兴建，一期工程屋面和墙面均采用压型金属板，总面积约 93 万 m^2 ，其中屋面面积约 65 万 m^2 ，墙面面积约 28 万 m^2 。除了少量从日本等国进口涂层压型钢板外，绝大多数屋面和墙面需由我国自行供料、生产和安装。在上海宝钢总厂建设指挥部的统一筹划下，相关设计、施工、科研、原材料生产厂等单位组织起来，通力合作解决如下问题：彩色涂层钢板尚无产品的情况下，如何解决工程迫切需要的屋面、墙面用金属围护结构材料。通过调查研究、材质筛选、板型确定、生产方式、压型铝板荷载试验、零配件配套、安装技术等一系列技术、经济问题的研发，最终采用国产防锈铝合金板替代进口彩色涂层钢板用于宝钢一期工程，直至国产彩色涂层钢板能满足供应为止。这是我国首次在国家重点工程中大规模应用铝板围护结构，大大促进了压型铝板屋面、墙面技术的发展。材质是位于重庆的西南铝业（集团）有限责任公司生产的防锈铝合金 LF21（相当于现行国家牌号 3003），板型为 W-550、V-187.5、V-115N、V-115 四个规格，厚度为 0.7~1.0mm，压型铝板其断面形状尺寸见图 1.1.1，工程实际使用的板厚和跨度见表 1.1.2，宝钢建筑工程所采用的几种型式的压型铝板，后来编入了国家标准《铝及铝合金压型板》GB/T 6891—2006。

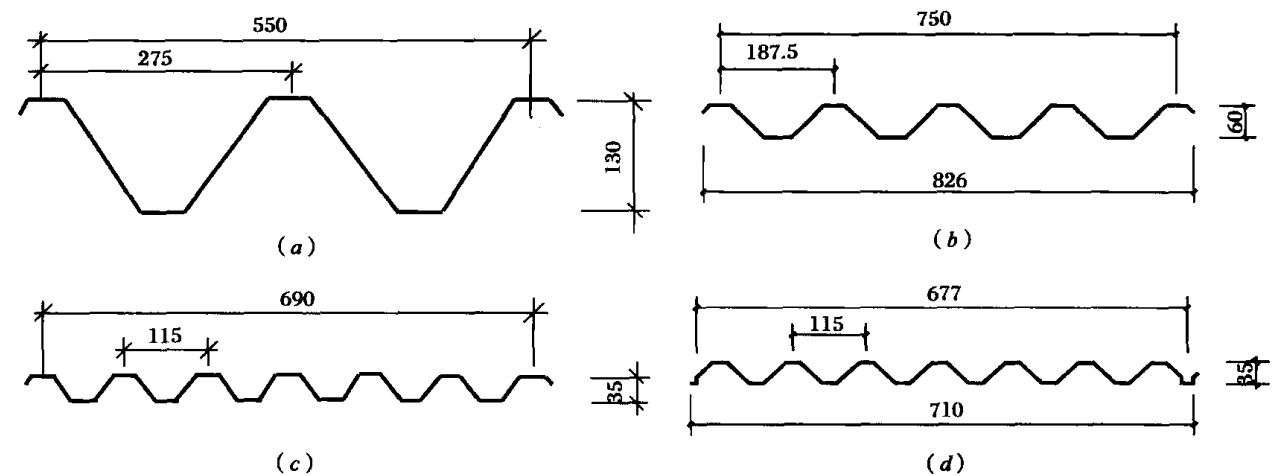


图 1.1.1 宝钢一期工程屋面、墙面用压型铝板板型
(a) W-550 型；(b) V-187.5 型；(c) V-115 型；(d) V-115N 型

宝钢一期工程屋面、墙面用压型铝板			表 1.1.2
序号	板型	跨度 (m)	板厚 (mm)
1	W-550 屋面板	3~5	1.0
2	V-115N 屋面板	1.5~1.7	1.0
3		1.3~1.4	0.9
4		≤ 1.2	0.8
5	V-115 墙面板	≤ 1.2	0.8
6	V-187.5 屋面板	3	1.0

注：根据荷载试验结果，按连续 3 跨度以上考虑。

在宝钢建设中大量应用压型铝板的同时,经国内科研、设计、施工、新材料开发、铝板加工等单位的共同努力,研发了几个新板型,最具代表性的是东北轻合金有限公司研发的 V25-300 压型铝板和西南铝业(集团)有限责任公司研发的 V25-150 压型铝板,厚度 0.5~1.20mm,并采用化学着色法着色,有豆绿色、金黄色、浅咖啡等 5 种颜色。这两种压型铝板的断面形状和规格见图 1.1.2。

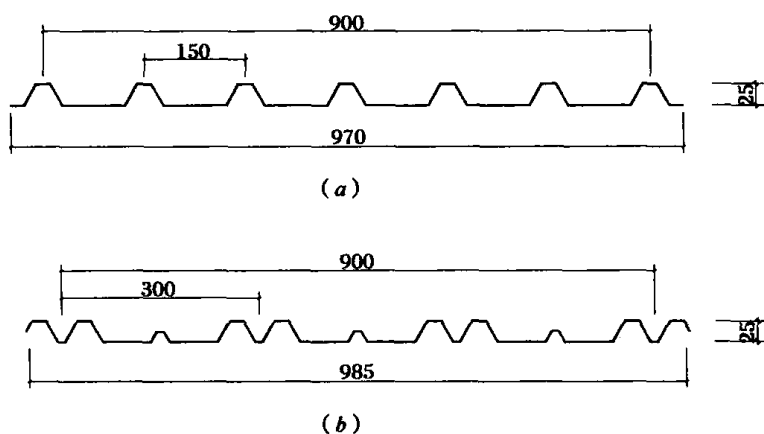


图 1.1.2 铝合金板加工厂研发的两个板型

(a) V25-150 型; (b) V25-300 型

V25-300 和 V25-150 压型铝板研发成功后,配合国内新型建筑材料,如岩棉、石膏板、轻钢龙骨等新产品,为这个时期低层、单层轻型钢结构建筑的迅猛发展提供了轻质、高强、美观的屋面和墙面金属材料,为改变过去单一的砖混结构建筑屋面、墙面用材发挥了重要作用。最大优点是建设速度加快,屋面、墙面自重减轻,为轻型钢结构的发展提供了有利条件。

3. 快速发展期

这一发展期的主要标志有两点:第一是外资、民营企业引进了欧洲的 BEMO 直立锁边系统的压型铝板屋面和墙面,型号起初是 65/305,后来是 65/400,即高度均为 65mm,有效宽度分别为 305mm、400mm,断面形状尺寸可见图 1.1.3。

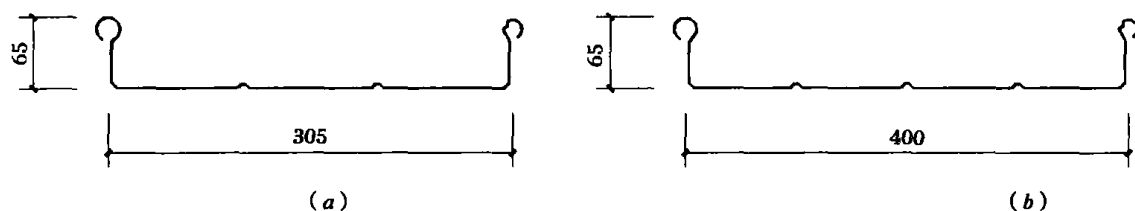


图 1.1.3 直立锁边压型铝板

(a) 65/305 型; (b) 65/400 型

第二是在 1993 年 5 月进口 65/305 压型铝板,建设呈球面的沈阳夏宫水上乐园(面积约 8000m²)。隔年 8 月用同一板型,在天津体育中心主馆球面屋面上采用压型铝板,屋面底部直径 135m,弧长 143m,标高 35m,屋面面积 16379m²,墙面面积 5179m²。这两个工程的压型铝板屋面以新颖、轻巧、美观、耐久、适应性强(能用于双曲面屋面)给了人们以强烈的视觉冲击。材料先进口、后国产,铝合金板表面处理多样化、零配件配套齐

全；加工可以在现场进行，所以长度不受限制，克服了长板长途运输的困难，也降低了工程成本；施工技术成熟，质量、工期均有保障。同彩色涂层钢板为原料的压型钢板相比，平方米造价虽有所提高，但从耐久性、对各种曲面的适应性和减少建成后日常维护费用等性价比看，常常受到建设单位赏识。随着应用面扩大，市场竞争激烈，造价也日趋降低，随后在我国各省市兴建的机场航站楼、会展中心、体育馆、博物馆、纪念馆、火车站、客运中心等大跨度建筑的屋面和墙面上被广泛选用。不到 20 年的时间，初步估算使用面积达 800 多万 m^2 ，从而使铝板围护结构在我国进入了快速发展期，出现了国内、国外技术交汇和市场繁荣的新局面。

目前，铝板屋面、墙面在我国应用具有以下特点：原材料来源多样化，为了提高竞争力，承包单位努力降低成本，促进了原材料和零配件的国产化；铝合金板的耐久性好、寿命长的优越性成为大型重要公共建筑的首选；建筑师创造的各种奇特屋面形状常常只有压型铝板屋面比较方便地予以实施；引进的直立锁边、完善配套件、成熟施工技术保证了屋面工程的质量并能满足屋面多功能的要求。可以说这一时期的发展大大促进我国金属围护结构技术全面、快速提升。

到 2010 年，我国铝产量（电解铝）已达 1624.4 万吨，其中铝材的产量已达 1990.6 万吨，其中铝板材产量达 336.4 万吨，铝带材产量达 2029 万吨，并在参照美国 ASTM B209：1996 和英国 BSEN 1396：1997 标准基础上颁发了我国《铝及铝合金彩色涂层板、带材》YS/T 431—2000 标准，为铝板围护结构发展奠定了物质来源和技术基础。

（四）铝板围护结构发展趋势

我国铝板围护结构发展应用正处在方兴未艾的状态，还有着十分广泛的使用前途，综观铝板围护结构发展的过去和今天，我们预示今后的发展趋势为：

1. 高效能铝合金板的研究和使用

铝合金板在质量上更轻，在强度上更高，在韧性上更好，耐腐蚀性更强，板材品种规格更多，人们希望铝加工生产厂能提供更优质的铝合金板材，如板材强度能达到镀锌钢板或更高时，屋面板、墙面板可以跨越更大的跨度，使屋面、墙面次结构更加简洁。又如防腐涂层更耐久，会进一步提高铝板围护的使用年限。从牌号看铝锰合金板（3XXX 系列）向铝镁合金板（5XXX 系列）发展，并进行铝合金板与其他金属板材有效复合的研发。

2. 铝板围护结构和建筑结构计算方法的试验研究和不断改进

现代计算技术和测试技术的发展，为人们深入了解铝板围护结构的实际性能提供了有利条件，充分发挥材料的作用，既保证了结构安全，又使功能要求达到预定目标。需要研究的课题有：不同断面形状铝板在围护结构的实际受力状态，同其他金属、非金属材料共同组合后的工作状况，建筑热工、声学理论计算和实测结果分析，铝板屋面和墙面排水、抗风、雪载的实际能力如何更准确的判断。此外从设计、施工实际需要看，需要完善适合全国使用要求的设计和施工规范，编制相应的标准或通用图集，并定期修订、完善，以利于铝板围护结构的进一步发展和应用。对直立锁边压型铝板来说，各专业公司计算方法并不相同，在使用国产材料的情况下，国外算法如何同国内材料性质相适应也是一个十分紧迫需要解决的问题。

3. 目前除了国标 GB/T 4438—2006 和国标 GB/T 6891—2006 的波纹板、压型板外，再加上引进的直立锁边压型铝板，目前板型远远比压型钢板板型少。需要结合我国国情，

吸收国内外各种板型的基础上开发更有广泛适应性的新屋面板板型和新墙面板板型,提高抵抗风吸力的能力,以满足各类建筑工程建设的需要。

4. 铝材线膨胀系数大。在温度作用下,自然伸缩量较大,特别是夏天高温季节屋面板温度可达 80°C ,甚至更高,有时会引起屋面板“起鼓”、“乱响”,如何在防止雨水进入室内的前提下,改进构造设计,使其适用于冷暖温差大、雨量大的地区,重点应放在薄铝板的纵向接缝的处理上,做到既密闭又不影响温度变形就显得十分重要。

5. 由于屋面、墙面功能的多种要求,应大力开发以铝板为面板,以聚苯乙烯泡沫材料、聚氨酯泡沫材料、岩棉、矿棉等为芯层的保温、隔热夹芯板,并使产品多样化,改变组合式屋面、墙面逐层铺设的做法,采取施工一次到位,对提高效率,减少现场作业,加速建筑工业化、工厂化进程是十分有益的。2008年5月汶川大地震后聚苯夹心板板房在灾后过渡性用房建筑中发挥了重要作用,如果采用铝质岩棉夹心板,不仅自重轻有利于抗震,而且用作永久性建筑时,十分利于防火。

6. 在调查研究、总结分析国内外铝板围护结构的基础上,结合我国铝资源情况,研发具有我国创新水平的铝板围护结构体系,为铝板围护板技术在世界各国的应用和发展作出我们的技术创新。

二、铝板围护结构特点

(一) 铝板围护结构的主要优点

1. 质量轻、强度高。铝的质量密度 $\rho=2700\text{kg}/\text{m}^3$ 约为钢材质量密度的 $1/3$,有利于在大跨度结构和拆装式建筑上使用。纯铝的强度较低,通常抗拉强度 $R_m=140\text{N}/\text{mm}^2$,但可以通过淬火、冷加工、掺入少量的 Mn、Mg、Cu 等元素来提高其强度,如 3000 系列的铝锰合金强度可达 $145\sim 285\text{N}/\text{mm}^2$,5000 系列的铝镁合金强度可达 $165\sim 420\text{N}/\text{mm}^2$,这就同钢结构常用的低碳钢 Q235 和 Q345 的抗拉强度相接近。铝合金强度范围广,铝板加工成压型铝板,用作建筑物的屋面和墙面,其强度足以承受可能遇到的各种荷载,尤其是风、雪的作用,加上铝材质地均匀、各向同性、塑性好、韧性好,符合弹性力学的基本概念和计算假定,为特殊、重要建筑物的安全性提供了保证。

2. 材料致密,防水性能好。铝像所有金属材料一样,结构致密,特别是板材经过热轧、冷轧加工大大提高致密性,再加上进行合理的构造处理,利用铝板的可焊接性,在建筑物的最外层形成密封性很好的包裹层,良好的水密性和气密性,大大提高了防雨、防风性能。构造设计保证屋面板可随大气温度的变化自由伸缩,既不会因温度变形而损坏,也避免产生缝隙而漏雨。

3. 使用寿命长。由于铝合金板耐候性、耐腐蚀性好,国外已有百年的使用历史,我国也有使用 60 年的记录,目前国内的压型铝板供应商都有安全使用 30~50 年的承诺。通过增加外表氧化膜厚度、添加耐腐蚀的其他金属元素、表面进行有机涂层覆盖等各种办法来延长使用寿命,而且这些办法如今都可用工业化的生产方式加以实现,并且质量得以保证。铝板围护结构完全可以同建筑物的百年大计相匹配,铝的耐腐蚀性不仅有利于在腐蚀环境里使用,而且大大减少维护费用,通常自然环境中铝板围护结构的使用年限不低于 50 年,英国政府有关技术部门认定:在一般气象环境下使用寿命不少于 45 年。

4. 容易加工和成形。铝合金材料通过热轧、冷轧、挤压成型、辊压冷弯等方法加工,