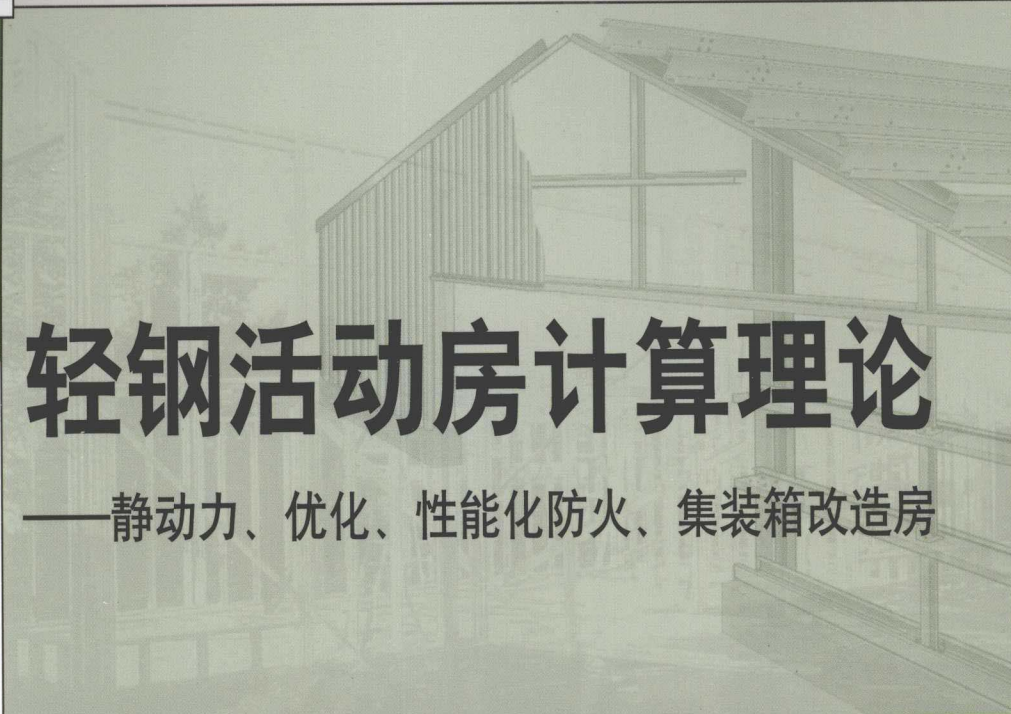




轻钢活动房计算理论

——静动力、优化、性能化防火、集装箱改造房

查晓雄 著



科学出版社

轻钢活动房计算理论

——静动力、优化、性能化防火、集装箱改造房

查晓雄 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

近年来,随着我国经济的高速发展,轻钢活动房在我国得到广泛的应用,发展很快,一些地方标准和规程在相继制订中。

本书全面介绍活动房设计和计算相关理论,涉及活动房的特点与性能、活动房构件和整体的计算、活动房保温隔热性能、活动房隔声性能、活动房防火计算、活动房优化设计以及废旧集装箱改造房的计算。

本书可作为高等院校土木工程专业选修课程的教材,也可供土木工程方面的技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

轻钢活动房计算理论——静动力、优化、性能化防火、集装箱改造房/查晓雄著. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-029984-0

I. 轻… II. 查… III. 轻型钢结构:房屋结构-结构设计
IV. TU392.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 005714 号

责任编辑:余 丁 / 责任校对:包志虹

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011年1月第一次印刷 印张:23 1/2

印数:1—3 000 字数:457 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

2004年,我从国外回来,即加入刚成立的哈尔滨工业大学深圳研究生院,面临着无设备、无项目、无学生的“三无状态”,一切从头开始。但始终秉承哈尔滨工业大学深圳研究生院建院的指导思想:为深圳当地企业服务,扎根深圳,积极和深圳市当地的高新技术企业进行合作。我主要从事结构工程,特别是钢结构的研究。深圳市赤晓建筑科技有限公司、雅致集成房屋股份公司等也从事轻钢房屋的开发和销售,和我的研究方向非常相近,是我合作较早的几个单位。非常幸运,这两家公司也正处在发展和转型期间,主管领导对科研非常重视,我们经过短暂的接触,很快就立项开展了工作。

活动房在我国主要应用于施工工地,当时对此研究不多,而活动房的安全性又与几千万民工的安全相关,因此引起各大企业的重视,相关企业和国家的标准都在起草。首先是和雅致集成房屋股份公司开展轻钢集成活动房基本性能和节能环保性能的研究,协助公司完成了中国标准化协会标准《拆装式活动房屋》(CAS154-2007)。随着活动房应用不断扩大,和深圳市赤晓建筑科技有限公司开发出可运输的箱式集成房,制订了中国标准化协会标准《箱式集成房》(CAS180-2009),并应用在国外的一些工程中;开展废旧集装箱改造房开发和性能的研究,编制企业标准《废旧集装箱改造房》(Q/CX04-2010);参与中国工程建设协会标准《集装箱模块化组合房屋技术规程》和深圳市地方标准《深圳市集装箱模块化组合房屋设计、施工及验收技术规程》的起草和制订。其中与雅致集成房屋股份公司合作的“拼装式活动房标准的制定及抗灾性能研究”获2007年度深圳市科技创新奖。

本书的第二章有关轻钢房屋构件稳定计算理论,主要是和英国伯明翰大学李龙元博士合作完成的,李龙元博士是英国大型轻钢房屋制造商 Albion Sections Limited 公司产品手册的制订者。

本书是在总结近年来的研究成果的基础上编写的,涉及活动房的计算理论、性能化防火、优化、废旧集装箱改造等,在内容上安排如下:

第一章主要介绍活动房概况,包括活动房定义、应用、问题和现状;

第二章介绍活动房构件的计算,主要涉及薄壁钢结构的内容;

第三章介绍活动房结构整体性能的计算;

第四章介绍集装箱式活动房运输动力问题;

第五章介绍活动房防火问题和性能化防火设计;

第六章介绍活动房整体保温隔热性能;

第七章介绍活动房整体隔声性能；

第八章介绍废旧集装箱改造房性能的研究和计算；

第九章介绍集装箱改造房整体优化计算。

衷心感谢深圳市科技工贸和信息化委员会、深圳市南山区科技局、深圳市赤晓建筑科技有限公司、雅致集成房屋股份有限公司、奥雅纳工程咨询(上海)有限公司深圳分公司对本书的大力支持,感谢英国伯明翰大学李龙元博士,我在英国期间和回国多年来李博士给我的指导和帮助令人终生难忘。感谢几年来我的研究生们的辛勤劳动,很多内容都是同他们一道创新和探索的成果,没有他们,本书的完成是不可能的。

由于编者的水平有限,本书不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 总论	1
1.1 活动房的发展、分类及应用	2
1.1.1 活动房定义	2
1.1.2 活动房的发展	2
1.1.3 活动房的分类及特点	4
1.2 活动房的应用	17
1.2.1 抗灾救灾临时房	17
1.2.2 酒店旅馆	18
1.2.3 公寓及工地宿舍	18
1.2.4 商业店铺及集会	20
1.3 活动房存在的问题	22
1.3.1 安全性	22
1.3.2 防火性能	22
1.3.3 优化	23
1.3.4 整体保温和隔声性分析	24
1.3.5 废旧集装箱的利用和开发	24
1.4 活动房的开发现状	25
1.4.1 活动房的研究现状	25
1.4.2 标准规范现状	26
参考文献	26
第二章 活动房薄壁构件的计算	29
2.1 引言	29
2.1.1 冷弯薄壁构件的特点和应用	29
2.1.2 冷弯薄壁檩条的性能与应用	30
2.1.3 冷弯薄壁檩条的屈曲模式	32
2.2 冷弯薄壁钢结构研究现状	33
2.2.1 冷弯薄壁钢结构规范	33
2.2.2 冷弯薄壁型钢受弯构件的研究方法	34
2.2.3 冷弯薄壁型钢受弯构件的设计方法	37

2.2.4 存在的问题	39
2.3 檩条的有限条法及有限元法	40
2.3.1 有限条法的理论基础	40
2.3.2 有限元法及模型简介	47
2.4 Sigma 冷弯薄壁型钢构件畸变屈曲的理论研究	50
2.4.1 Sigma 截面梁在均布荷载下的屈曲特性	51
2.4.2 Sigma 截面在覆板部分约束下的屈曲特性	55
2.4.3 Sigma 截面在均布荷载下畸变屈曲模型	60
2.4.4 Sigma 截面覆板-檩条体系畸变屈曲模型	68
2.5 斜卷边 Z 形冷弯薄壁型钢构件畸变屈曲的理论研究	76
2.5.1 斜卷边 Z 形檩条的弹性屈曲分析	76
2.5.2 斜卷边 Z 形檩条的极限承载力分析	89
2.6 结论和展望	101
参考文献	101
第三章 活动房结构整体性能的计算	105
3.1 引言	105
3.2 活动房整体力学性能国内外现状	106
3.2.1 冷弯薄壁轻钢骨架住宅	106
3.2.2 集装箱式活动房和拆装式活动房整体结构	107
3.3 活动房整体有限元分析	108
3.3.1 荷载说明	108
3.3.2 材料本构	110
3.3.3 截面属性	110
3.3.4 荷载及边界条件	111
3.3.5 活动房稳定性分析	111
3.4 各种因数对结构整体性能的影响	112
3.4.1 强度损失的影响	112
3.4.2 节点刚度的影响	115
3.4.3 初始缺陷的影响	126
3.5 活动房整体设计及安装建议	131
3.6 结论和展望	132
参考文献	133
第四章 集装箱式活动房运输动力问题	134
4.1 引言	134
4.1.1 集装箱式活动房运输特点	134

4.1.2 海路陆路运输要求	135
4.2 运输时集装箱及船级社认证介绍	135
4.2.1 集装箱基本特点	135
4.2.2 相关名词解释	136
4.2.3 船级社	136
4.3 集装箱运输检测的内容	137
4.4 集装箱式活动房折叠单元试验	141
4.5 集装箱式活动房折叠单元有限元分析	145
4.5.1 模型建立	145
4.5.2 计算结果	145
4.5.3 与试验结果的对比	149
4.6 结论和展望	149
参考文献	150
第五章 活动房性能化防火	151
5.1 引言	151
5.2 研究现状	152
5.2.1 国外研究	152
5.2.2 国内研究	153
5.3 性能化防火理论介绍	154
5.3.1 室内火灾的特点	154
5.3.2 防火分析方法	154
5.3.3 性能化防火设计的概念及特点	155
5.3.4 性能化防火设计的内容和步骤	156
5.3.5 火灾场景的设定	157
5.3.6 火源热能释放率模型	158
5.3.7 性能化防火设计模型	160
5.3.8 火灾烟气的危害及产烟量的计算	162
5.3.9 人员疏散理论介绍	164
5.4 活动房性能化防火分析	176
5.4.1 活动房基本资料	176
5.4.2 活动房热能释放率	178
5.4.3 活动房 FDS 模型	180
5.4.4 FDS 分析结果	184
5.4.5 有限元结合计算结果	188
5.4.6 标准火灾下整体结构防火有限元分析	190

5.4.7 疏散和准备时间的确定	194
5.5 结论和展望	200
参考文献	201
第六章 活动房整体保温隔热性能	202
6.1 引言	202
6.2 研究现状	203
6.2.1 材料保温隔热性能研究	203
6.2.2 整体保温隔热性能的研究	203
6.3 传热学基本原理	204
6.3.1 热传导	204
6.3.2 热对流	205
6.3.3 热辐射	206
6.4 金属面绝热用夹芯板整体传热性能试验研究	206
6.4.1 实验研究的内容和原理	206
6.4.2 试验仪器简介	209
6.4.3 试验过程及结果	210
6.5 金属面绝热用夹芯板整体保温性能理论分析	215
6.5.1 有限元模型	215
6.5.2 有限元模型的建立	216
6.5.3 有限元模型结果	217
6.5.4 有限元模型结果和试验结果的比较	222
6.5.5 结果分析	223
6.5.6 公式值与试验、有限元模型结果对比和误差分析	226
6.6 夹芯板建筑整体能耗经济性分析	227
6.6.1 夹芯板建筑的整体能耗	227
6.6.2 夹芯板墙体及屋面经济厚度的确定	233
6.7 结论和展望	236
参考文献	237
第七章 活动房整体隔声性能	239
7.1 引言	239
7.2 隔声性能研究现状	241
7.2.1 建筑声学的研究	241
7.2.2 隔声材料的研究现状	241
7.3 声学基础	242
7.3.1 声波的产生和传播	242

7.3.2 声波的主要特征	242
7.3.3 莫尔斯波动声学理论	243
7.3.4 隔声基础	245
7.3.5 单层均匀薄型构件的隔声	246
7.3.6 组合夹芯板的隔声机理	247
7.3.7 声学名词定义	247
7.3.8 声学材料参数定义	249
7.3.9 声学分析软件介绍	252
7.3.10 隔声学试验方法	256
7.4 活动房围护结构整体隔声性能的试验和理论研究	257
7.4.1 测试试件	257
7.4.2 试验结果	257
7.4.3 试验结果分析	260
7.5 总结和展望	261
参考文献	261
第八章 废旧集装箱改造房	263
8.1 引言	263
8.1.1 集装箱介绍	263
8.1.2 集装箱的发展	263
8.1.3 废旧集装箱改造房的特点	264
8.1.4 废旧集装箱改造房和一般活动房的对比	265
8.1.5 国内外研究现状	265
8.1.6 废旧集装箱改造房研究的内容	266
8.2 基于建筑功能的集装箱改造房理论研究	266
8.2.1 建筑构造原理	267
8.2.2 集装箱改造房模块化实现的细部要求	272
8.3 基于安全性多层集装箱改造房的理论研究	281
8.3.1 引言	281
8.3.2 竖向荷载作用下集装箱模块组合方式研究	283
8.3.3 水平荷载作用下集装箱模块组合方式研究	298
8.4 有限元建模分析验证	317
8.4.1 引言	317
8.4.2 刚度验算	319
8.4.3 公式验证	325
8.5 结论和展望	332

参考文献	334
第九章 集装箱改造房整体优化	336
9.1 引言	336
9.2 研究现状	336
9.2.1 结构优化发展的历史回顾	336
9.2.2 钢结构优化设计方法的研究现状	338
9.2.3 软件简介	338
9.3 优化设计原理和步骤	340
9.3.1 优化设计原理	340
9.3.2 优化设计步骤	341
9.4 集装箱改造房节点的优化	342
9.4.1 引言	342
9.4.2 运输状态节点的优化	343
9.4.3 节点模型	343
9.4.4 节点的优化计算模型	345
9.5 集装箱改造房柱考虑屈曲的优化	347
9.5.1 模型的建立	347
9.5.2 柱优化计算模型	349
9.6 集装箱改造房的整体优化	351
9.6.1 引言	351
9.6.2 集装箱改造房模型的建立	352
9.6.3 集装箱改造房受力分析	353
9.6.4 集装箱改造房优化计算模型	355
9.6.5 集装箱改造房优化计算结果	357
9.7 本章小结	361
参考文献	362

第一章 总 论

近几年,轻钢活动房建筑在我国应用越来越广泛,不仅种类繁多而且数量和规模也越来越大,现已成为当今社会非常重要的一种建筑结构形式,被广泛应用于建设工地、临时性办公室、宿舍、城市市政及安置用房、大型野外勘探用房等,如图 1-1 所示。然而对其综合性能的研究国内外并不多见^[1~33],本书主要从整体静力分析、整体和局部优化、防火、保温隔热等方面对轻钢结构进行研究,以期达到安全合理科学地应用该类建筑。



(a) 北京城建集团奥运村项目部



(b) 深圳华润万象城工程工地



(c) 无锡新世纪服装城项目



(d) 广州星海音乐学院工程工地

图 1-1 活动房经典工程

1.1 活动房的发展、分类及应用

1.1.1 活动房定义

活动房采用轻钢结构形成其骨架系统,以夹芯板为围护材料,以标准模数系列进行空间组合,从结构形式分主要包括:拆装式活动房(含拼板式活动房)、箱式组合房(含集装箱改造房)^[34],其种类如图 1-2 所示。从使用材料分主要包括:轻钢结构活动房、FRP 活动房和铝制活动房等^[35~40],我国常用轻钢结构活动房。与一般轻钢结构最主要的区别和特点是可移动性、拆装便捷、布局灵活、可回收利用。在国外通常表达为:relocatable buildings, demountable buildings, portable buildings, prefabricated buildings, pre-manufactured buildings, temporary buildings, transportable buildings, mobile house, modular house, portakabin buildings, reconstruction buildings 等。



(a) 拆装式活动房



(b) 箱式组合房

图 1-2 活动房种类

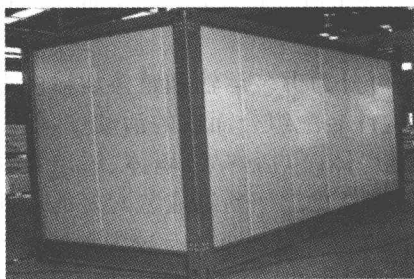
1.1.2 活动房的发展

最早大约在 1800 年,费尔拜尔恩(Fairbairn)和格兰瑟姆(Grantham)首次建造了铁的预制活动房。20 世纪 40 年代后,以美军为首的发达国家军队开始使用和研制活动房,1956 年在南斯拉夫杜布罗夫尼克召开的国际现代建筑会议以后,活动房这个术语得到国际上的普遍承认。目前活动房在国外发达国家已在铁路、公路、水利、勘探、石油、旅游、军事以及各种领域得到广泛使用,而金属活动房制造早已发展成为非常成熟且颇具规模的行业。法国有六七百家、德国有五百多家、意大利也有五六百家此类企业,日本、美国此行业也相当兴旺。特别是日本、欧洲、美国等地,活动房甚至成为人们必备生活用品之一。据美国建筑业协会(MHI)统计,2001 年美国有 2200 万人长期居住在活动房里,而且人们对这类房屋

的设施装备追求越来越考究,2200 万人对美国来说,就是 1/10 的国民,这样的比例有力地说明活动房已成为美国人消费领域的新趋势。

活动房进入我国的房屋市场是在 1988 年。直至 2001 年,随着我国建筑市场的发展,活动房才得以飞速发展,主要在北京、上海、广州等城市发展得较快。据统计,广东省 2004 年活动房已有 4 亿元的销售额。建筑业的快速发展给活动房行业带来快速发展机遇。我国建筑业仍处于快速增长期。预计 10 年建筑业增加值达 1.5 万亿,同比增长 8%,与 GDP 保持同步;而活动房建筑面积增幅略高于建筑业增加值,约为 9%。活动房又称工业化房,具有重量轻、强度好、搬运灵活、搭建方便等优点,被广泛用于临时办公住宿、抗灾抢险以及临时施工用房等设施。

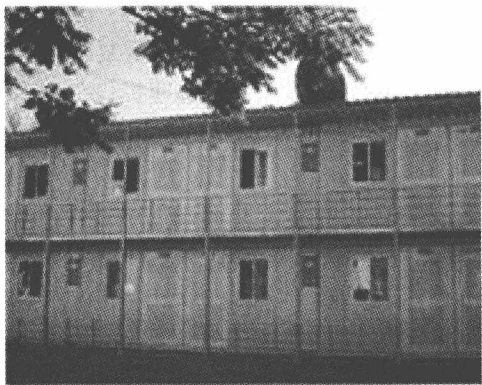
随着发展,人们对于活动房提出了更高的要求,在满足各项结构性能的前提下,希望此类产品更加经济适用,运输便捷。新型箱式集成房的研发正好满足了这一要求,其结合了拆装式活动房和集装箱式活动房的优点,将包装运输单元与实际产品有机地结合到一起,运用到优化包装的理念,极大地降低了运输成本,又充分发挥原有活动房的优势。如图 1-3 所示。



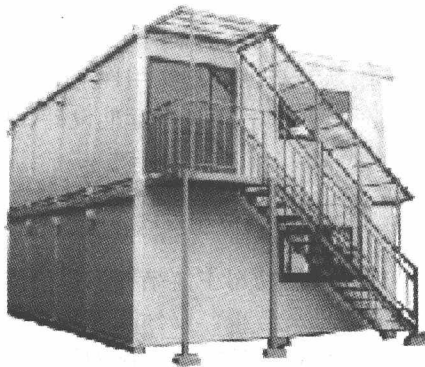
(a) 新型箱式集成房单元



(b) 新型箱式集成房拆分单元吊装



(c) 新型箱式集成房立面



(d) 新型箱式集成房侧面

图 1-3 新型箱式集成房组合

与此同时,从国外发达国家的商业实践来看,一方面临时房逐步向永久建筑发展;另一方面临时集成房主要应用于市政、商业、商务、旅游等领域。我国集成房在上述领域还未大规模地应用,推广空间巨大。

1.1.3 活动房的分类及特点

活动房总体而言,除前文提到的可移动性、拆装便捷、布局灵活、可回收利用等特点外,从结构观点看还有如下特点:

① 构造简单,材料单一。由于轻钢结构体系构件较小,构件之间全部采用螺栓连接,工业化程度高,施工现场作业量少。

② 在同样受力状态下,构件断面小,提高了建筑的有效利用面积。与钢筋混凝土结构相比,轻钢结构可增加有效利用面积 3%~6% 左右。

③ 轻钢结构具有良好的塑性性能,适合承受振动荷载和冲击荷载,具有良好的抗震性能,这对于有效延长建筑的生命周期将起到一定的作用。

④ 轻钢结构体系自重小,对地基和基础的承载力要求相对较低,通常采用浅基础即可。因而,它不仅大大降低基础的造价,还可以为建筑超过服务期限后在原址拆除重建提供方便。

活动房按运输和搬迁方式的不同,基本上可分为拆装运输和整体运输两大类。前者系由标准模件或简单及复杂的预制构件装配组合而成的活动房,能多次拆迁和重新组装。整体运输类活动房,即整个房体,包括构架、墙体、屋顶、地板、门、窗以及内部必要的空调、照明、给水等设备都是在工厂预制或装配好的。并可整体运往现场而且即时就能投入使用的一类活动房。目前市场上较为常见的产品为拆装式活动房和集装箱式活动房就是这两种类型。以前由于经济技术等条件的制约,国内主要研制和开发拆装运输类活动房,现在整体运输类活动房也有了较大的发展。

活动房与传统的临时工棚和固定房相比,根本区别在于它能够重复拆迁和架设,无论从经济性还是实用性上看,均具有较大的优越性。它能快速提供使用和节约维修费用,同时还具有标准设计、结构简单、工厂加工、一房多用和适应性、机动性强等特点。

1. 拆装式活动房

拆装式活动房主体结构均采用冷弯薄壁型钢,楼板和墙板采用保温隔热性能良好的彩钢夹芯板。以标准模数系列进行空间组合,构件采用螺栓连接。根据设计形体需要在工厂加工压制钢柱、钢梁部分。现场先施工好浅基础,将工厂加工的钢梁、钢柱组装好,再将彩钢夹芯板依次逐块地插接好,由自工钉、螺丝螺母等小金属件连接成一体,完成建筑施工,成品结构为单层或双层,为抵抗风荷载通常加斜

撑。如图 1-4 所示。

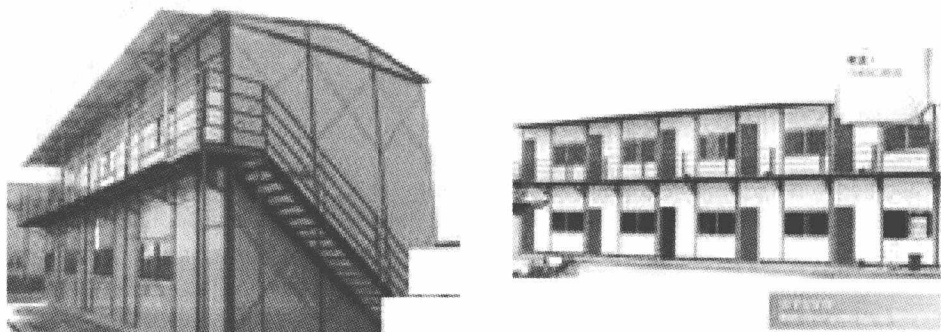


图 1-4 拆装式活动房

(1) 拆装式活动房的优点

① 可方便快捷地进行组装和拆卸,安装过程只需简单工具。平均每人每天可安装 $20\sim 30\text{m}^2$,六人只需两天即可完成 $3\text{K}\times 10\text{K}$ 的标准活动板房一栋。

② 通用标准化,可实现工业化生产。

③ 可库存、可多次周转使用,损耗率低。免去了传统建筑施工中需建设拆迁临时办公、生活设施的环节。

④ 不受运输限制。

⑤ 可根据客户的需求,以标准模数进行空间组合,建造任何尺寸的建筑,小到商亭,大到飞机库或几层楼房。

⑥ 环保。不需使用大量砖、油毡、石棉瓦等材料,不会遗留大量建筑垃圾污染环境。

⑦ 轻钢结构均进行防腐喷漆处理,正常使用寿命可达 10 年以上,年平均使用成本大大低于其他材料搭建的同类房屋。

⑧ 房屋整体美观大方、色泽鲜明、质感柔和、板面平整,具有良好的装饰效果。布局灵活,门窗可设置在任意位置,室内隔断可以在任意横向轴线设置。楼梯设置在室外。结构防水,房屋采用结构防水设计,不需另做任何防水处理。

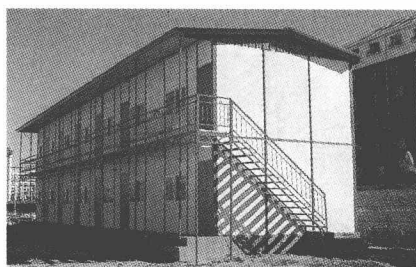
活动房及内部效果如图 1-5 所示。

(2) 拆装式活动房的缺点

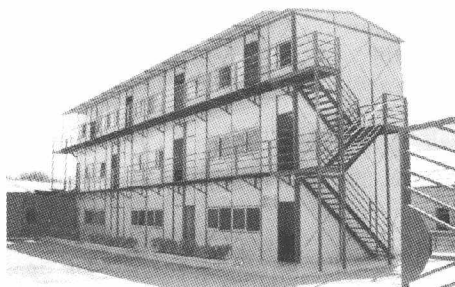
拆装式活动房的拼装过程相对较多,且安全性能不够好,偶有关于此类房倒塌的报道,不抗强风、重复使用损耗率较高,不适合租赁。



(a) 一层拆装式活动房



(b) 两层拆装式活动房



(c) 三层拆装式活动房



(d) 拆装式活动房内部效果

图 1-5 活动房及内部效果

2. 集装箱式活动房

集装箱式活动房是以货运集装箱为主体,作为现成的建筑材料,在集装箱上直接开门、窗洞,内层添加保温材料。单箱规格通常是 20ft 箱($6058\text{mm} \times 2438\text{mm} \times 2591\text{mm}$)或 40ft 箱($12192\text{mm} \times 2438\text{mm} \times 2591\text{mm}$),整体单元外部尺寸与标准集装箱一致,便于海路、陆路运输、吊装,也可节约运输成本。将集装箱式活动房按标准集装箱要求拆分两到四个重新组装进行运输。只需从工厂运至现场,就地放在平整的场地上即成为完工的房屋。它也可以叠放安装,将叠放层固定后即构成了两层楼建筑,如图 1-6 所示。

(1) 集装箱式活动房的优点

新型集装箱式活动房在成本、运输、现场安装简便性、安装速度及可移动的灵活性方面具有不可替代的优势。具体的优点包括:

① 标准化规模化生产。构件相对标准,无过于复杂的构件,构件在加工过程中机械化程度较高,保障质量,同时考虑包装和运输的紧密性,采用了嵌套截面。

② 运输方式灵活经济。为了减少运输体积,单体集装箱式活动房在装箱运输