

门式刚架轻型房屋钢结构 设计与施工 疑难问题释义

陈友泉 魏潮文 编著
蔡益燕 主审

中国建筑工业出版社

门式刚架轻型房屋钢结构 设计与施工疑难问题释义

陈友泉 魏潮文 编著
蔡益燕 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

门式刚架轻型房屋钢结构设计与施工疑难问题释义/
陈友泉, 魏潮文编著. —北京: 中国建筑工业出版社,
2009

ISBN 978-7-112-10981-4

I. 门… II. ①陈…②魏… III. ①房屋结构-轻
型钢结构-结构设计②房屋结构-轻型钢结构-工程施工
IV. TU22 TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 083001 号

本书对门式刚架轻型房屋钢结构设计与施工中的难点问题和现行行业标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102 的待充实方面进行了深入探讨。内容包括: 对门式刚架主体结构设计中有关热点问题和现行行业标准的应用条件进行了详细解说; 对门式刚架支撑系统的特点、布置、构造和计算方法作了深入探讨; 对雪荷载的计算参考国外新规范作了详细补充并附有算例; 对蒙皮效应作用下的结构性能及有关设计考虑进行了探讨; 对抗震设计有关问题进行了探讨; 对 C 形和 Z 形冷弯型钢檩条在风吸力作用下的稳定计算进行了深入探讨, 结合现行行业标准存在的问题和国外规范新成果提出了改进建议, 并附有算例; 提出了压型钢板围护板系统的设计、计算和构造中应注意的难点问题, 并附有算例; 结合工程实践中门式刚架轻钢结构的制作与安装所存在的特殊问题进行探讨, 提出了解决方法。

本书对于工程应用具有较强的实用性和可操作性, 可供钢结构设计、施工图审查、施工、监理、科研人员及大专院校房屋建筑学专业师生使用和参考。

* * *

责任编辑: 刘瑞霞 戚大庆

责任设计: 张政纲

责任校对: 张虹 王雪竹

门式刚架轻型房屋钢结构
设计与施工疑难问题释义

陈友泉 魏潮文 编著
蔡益燕 主审

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10½ 字数: 256 千字

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-10981-4

(18238)

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

CECS 102 自 1998 年实施以来已经超过十年。十年来, 门式刚架轻型房屋钢结构以其用钢省、造价低、性能好、制作快、工期短、外形美观等优点, 受到广大用户的普遍欢迎和好评, 在国内得到迅速推广, 已成为厂房、商店、仓库、超市及其他很多用途房屋的主要结构形式, 也成为中小型钢结构厂的主要产品。由于这种房屋的特点与传统钢结构厂房有所不同, 虽然是单层房屋, 形式简单, 但在很多问题上还需要在实践基础上不断总结、探索、研究、提高, 才能做到在各方面都取得满意结果, 达到既安全可靠, 又经济合理的目的。

凡事都有个认识和发展过程, 对于这种结构也是如此。在规程编制之初, 借鉴了国外经验, 结合国内情况, 虽然对常见的主要方面大体都有所规定, 2002 年又修编了一次, 但对某些问题仍旧规定得不细, 和实际应用扣得不紧, 给读者带来不便。有些问题是过去规定有不合理之处, 后来才逐步认识到; 有些问题没有现成的答案, 要通过继续研究才能取得正确认识。

本书前 4 章, 对现行规程的规定进行了详细解说, 回答了读者的一系列问题。例如, 为什么门式刚架柱顶位移的实测值比计算值小很多; 应力蒙皮效应具体表现在哪些方面; 荷载规范 GB 50009 的风载规定和 CECS 102 的风载规定不同, 究竟应如何计算风荷载引起的结构内力; 斜梁挠度究竟应如何计算; 抗震设计要求为什么没有列入; 夹层结构在设计中如何考虑; 此外, 还有设计中方方面面的很多其他问题, 读者经常询问, 这里不拟一一列举。本书前 4 章对规程中大部分一般性问题作了详细解答。第 5 章对门式刚架轻钢房屋设计方法、步骤、注意事项和设计细节作了详细介绍、讨论和解说。

门式刚架是纤薄构件组成, 平面外刚度较弱, 侧向稳定性和刚度以及整体刚度全靠支撑提供, 支撑布置和设计是轻钢结构的极重要问题。第 6 章对屋盖纵向支撑和柱间支撑在不同情况下的设置和相关问题, 作了详细说明和深入解说。轻钢房屋檩条因自重轻, 在风吸力作用下下翼缘受压, 而常用的 C 形和 Z 形冷弯型钢檩条抗扭刚度都较低, 檩条上翼缘与金属面板相连, 下翼缘受压, 檩条稳定计算是轻型屋面冷弯薄壁型钢的特殊问题之一, 受到各方面的关注。它还与屋面和檩条的连接方式以及拉条的设置方式有关, 也与我国卷边 C 形和 Z 形冷弯檩条的规格和薄钢檩条采用的计算方法有关。CECS 102 虽然参考了欧洲规范, 但配套公式欠妥, 使设计出现了不合理现象, 在 CECS 102 于 2002 年修订时也未能解决。本书作者在第 7 章参考新版欧洲规范进行了深入研究, 附有大量分析和算例, 不但对檩条的稳定计算修改提出了合理的设计建议, 还对冷弯型钢国标中的檩条卷边宽厚比的改进和薄钢规范中檩条屈曲系数计算的改进, 提出了具体的建议, 既可解决本规程的问题, 也为改进相关标准提出了重要参考, 是难能可贵的。

过去十年中的实践经验表明, 门式刚架轻型钢结构房屋在风灾、雪灾和安装过程中, 出现过多次事故。在风荷载方面, 补充了锯齿形屋盖的风载体型系数。在雪灾方面, 2006

年的烟台雪灾,特别是2007年初的沈阳百年一遇雪灾,使这种房屋大量倒塌。痛定思痛,虽然在特大自然灾害面前(且大雪伴有大风),我们缺少回天之力,但国外对轻钢房屋的雪荷载规定,对高低跨飘雪、相邻高低房屋的飘雪和积雪、屋面突出物附近的积雪,都有详细计算规定,给我们以启发。我国荷载规范虽然规定屋面板和檩条按积雪不均匀分布的最不利情况计算,但积雪分布仅按简单的阶形分布模式,没有给出积雪分布的具体形状和计算方法,计算主刚架可以,用于轻钢房屋檩条计算却不能反映实际受载情况。本书作者参考MBMA规定对轻钢房屋檩条雪荷载的计算公式提出了补充,给出了具体建议和计算例题供设计参考,可使轻钢房屋抗雪灾的能力显著提高。我国近年雪灾频繁发生,该研究成果对轻钢房屋的设计施工和防灾都有重要意义。

墙架和围护结构设计在轻钢房屋中是如何设计的,对它们的构造计算特点,我们大都缺少这方面的基本知识。对压型钢板的不同类型也缺少深入了解,它们的特点对围护结构性能的影响关系极大。压型钢板有效截面特性计算,十分复杂和费力,作者在第9章通过算例作了详细说明,目前国内还没有类似的资料。作者以其丰富经验,对泛水、包边的形式和构造、气楼和采光板的设置以及防漏应注意的问题作了详细介绍。

对门式刚架轻钢房屋在制作安装方面的问题,作者具有丰富的实践经验,如对焊接变形产生的原因和校正方法,端板连接在施工和使用中存在的问题,门式刚架安装过程中为什么容易倒塌以及应采取的措施等。此外,对于不够合理但实践中因种种原因又得到不少应用的斜梁拱这种特殊结构存在的问题,结合施工实践进行了探讨,以上问题在第10章都作了深入论述,也指出现行验收标准中的不足,是设计和施工人员的必读教材,对改进和提高门式刚架轻型房屋的质量,提高人员的技术水平都会有很大帮助。

本书第11章对安全问题的述评是中肯的,这种房屋有良好的抗震性能,对风雪较敏感。现在卷边式屋面板使用较多,在大风下 180° 卷边容易被撕开, 360° 才安全;要重视必要的抗风试验。对于大雪,按本书作者建议对雪荷载进行仔细计算,在基本雪压偏低的多雪地区宜适当调高,可大大提高大雪下的安全性。安装单位要认真掌握安装过程的安全。在这几方面处理好了,对门式刚架轻钢房屋的安全性应该是有信心的。

本书作者曾于2005年编著了《轻型房屋钢结构应用技术手册》,受到读者欢迎,现在又推出新著,反映了近年取得的新进展。本书采用问答形式,是一本设计指南式的读物,涉及的方面,远不止于上述问题,而是涵盖了门式刚架轻钢房屋从设计到施工的各个方面,既很全面又很深入,列入了很多新的研究成果,对问题的阐述十分中肯和贴切,很多问题都是以数值计算为依据,附有算例,本人读后深感受益匪浅。作者在很多重大问题上,提出了具体改进建议,为CECS 102的修订提供了重要参考,对门式刚架型钢结构房屋的改进和完善作出了重要贡献,对行业的发展是重要推动。我谨以规程编制组的名义向他们的辛勤工作致以衷心感谢,并愿向与这种房屋的设计、审图、详图绘制、制作、安装、监理等有关的工程技术人员和院校老师们推荐,这是一本好工具书,也是一本好教材,值得一读。

蔡益燕

2009年3月20日

前 言

自 20 世纪 90 年代初以来,以门式刚架形式为主要受力结构的单层轻钢房屋在我国得到极为广泛的应用。门式刚架属于平面受力结构体系,通过不同高度、不同跨度的门式刚架单元进行组合,可以灵活多变地满足各种不同的建筑要求;其立面布置可以高低错落变化,其平面布置几乎不受限制;单个构件可以设计成等截面以方便制作,也可以设计成变截面以适应弯矩图的变化达到节省用钢量之目的;屋面及墙面采用轻型的压型钢板改变了以笨重为特征的传统建筑形象。就其优点可以说,门式刚架轻型钢结构房屋自重轻、用钢省、造价低;抗震性能好,在抗震设防烈度为 7 度地区地震力通常不控制设计;可跨越较大跨度;形式美观有现代感,能充分满足使用要求,用途广泛;制作简单,施工周期短且不需大型施工机具;压型钢板为长坡屋面排水创造了条件,因而常做成单脊双坡的大空间建筑。

在门式刚架轻型房屋钢结构的结构体系中,作为次结构的冷弯薄壁型钢檩条和墙梁与围护面板之间,一方面是前者支承后者传来的荷载,而在另一方面前者又受到后者的蒙皮效应作用的有效帮助;作为主结构的刚架,一方面受到面板和次结构传来的荷载,而同时又受到后者提供有力的支撑作用。主结构与次结构之间、次结构与围护面板之间,前者在支承后者的同时又受到后者的约束,从面板到主结构,所有材料都充分发挥了其效能,这是一个非常经济合理的结构体系,深受制作、安装企业和广大用户欢迎。

为了更好地满足市场要求和规范门式刚架轻型房屋钢结构的设计、制作和安装的需要,中国建筑金属结构协会建筑钢结构委员会和中国建筑标准设计研究所,联合一些高等院校和钢结构公司共同编制了《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102:98,该规程在我国的研究理论和工程实践基础上,引进了欧美等发达国家和地区的先进技术和设计理念,对我国的门式刚架轻型房屋钢结构的技术进步和迅速发展起了极为重要的推动作用,受到社会各界广泛的欢迎和好评。经过四年的工程实践和一些必要的理论研究,积累了较多的工程经验和研究成果,对 CECS 102:98 进行了全面修订,使之更为完善,而形成 CECS 102:2002。

与门式刚架轻型房屋钢结构密切相关的国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GBJ 18—87 在 1987 年首次列入了压型钢板的内容;《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018—2002 根据我国对于门式刚架结构体系的研究成果和工程实践,参考国外的有关理论成果和工程经验,进一步完善了有关门式刚架设计的计算和构造规定。

采用门式刚架轻型房屋钢结构的工程数量越来越多,工程规模越来越大,充分展示了这种结构的优越性。门式刚架轻型房屋钢结构已成为钢结构行业乃至整个建筑业中发展最快的结构类型,并已在很大程度上取代了传统的钢筋混凝土柱、钢屋架的工业厂房,取得了巨大的社会效益和经济效益。

但是,在学术界和工程界以及各界业主对门式刚架轻型房屋钢结构给予充分肯定、甚

至极为赞誉的同时，亦有部分设计工程师和审图工程师常有一些疑惑或者质疑，这里有设计与施工方面错误带来的问题，亦有由于工程师们对这种结构的特点不完全理解以及受以往一些习惯做法影响的原因，有的人甚至是带有一些偏见；亦有 GB 50018—2002 和 CECS 102：2002 确实存在一些不完善的地方；近几年来的一些研究和工程应用，也提出了一些新问题，因而中国建筑工业出版社的编审们希望出版一本专门讨论轻型房屋钢结构设计与施工问题的册子，我们应邀来做这项工作，这是编写本书的缘起。

笔者根据对 GB 50018—2002 关于门式刚架相关规定以及对 CECS 102：2002 的理解，对国内、外研究成果的学习心得以及笔者多年来的工程实践和一些理论研究，就目前关于门式刚架轻型房屋钢结构设计与施工中提出的问题，从工程实践的角度尽可能作一些说明，对规范、规程中一些不妥、不很贴合工程实际的问题，尤其在有关冷弯薄壁型钢檩条方面存在诸多的问题，不顾及一管之见，冒昧提出，作为抛砖引玉，借以与同行一起讨论，以求技术的创新与进步。此外，对门式刚架轻钢结构制作与安装当中的一些与普通钢结构不同的技术特点进行了探讨，对其中某些特殊问题进行了专题讨论。

编写分工：1、2、3、4、5 章由魏潮文执笔；6、7、8、9、10、11 章由陈友泉执笔。

鉴于笔者水平所限，本书必然存在许多问题，希望能得到同行专家的指导和帮助。

鸣谢：

本书编写过程中得到蔡益燕教授的精心指导，蔡教授还在百忙中认真审阅和修改本书初稿；同时得到了浙江杭萧钢构股份有限公司对本书编写给予的热情鼓励和积极支持；杭萧钢构集团设计部陈鹏工程师和总工办李艳分别为本书 6~11 章书稿绘制了大部分插图和书稿录入；此外，我们还得到学术界和工程界许多朋友的鼓励和帮助；本书编著者衷心地向他们致以最真诚的谢忱！

编著者

2009 年 3 月

目 录

1	1 绪论
1	1.1 为什么已经有国家标准 GB 50017 和 GB 50018, 还要有 CECS 102?
2	1.2 应力蒙皮效应是怎么一回事? 在工程设计中如何应用?
5	1.3 在 CECS 102: 2002 中哪些地方考虑了应力蒙皮效应?
6	1.4 门式刚架轻型房屋钢结构的抗震性能如何? 在抗震设防烈度为 8 度的地区, 单层房屋采用门式刚架钢结构合适吗?
10	1.5 有局部夹层的门式刚架轻型房屋钢结构能按 CECS 102: 2002 设计吗? 设计中应注意哪些问题?
11	1.6 多层房屋顶层采用门式刚架钢结构能按 CECS 102: 2002 设计吗?
11	1.7 门式刚架梁、柱构件的翼腹连接焊缝可以采用单面角焊缝吗? 有什么好处?
13	1.8 梁端与端板连接的翼缘焊缝一定要采用全熔透焊缝吗?
15	1.9 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102: 2002 适用于哪些情况的房屋建筑?
16	1.10 超过本章 1.9 中所述适用范围的单层房屋可以采用门式刚架钢结构吗? 此时设计中应注意哪些问题?
17	1.11 单层房屋钢结构中的披屋设计应注意哪些问题?
17	1.12 关于檩条(及墙梁)所用钢材及相关问题的讨论
18	1.13 关于围护板材选用问题及围护板材厚度的讨论
19	1.14 CECS 102: 2002 的 4.5.2 条第 7 款规定: “在设有带驾驶室且起重量大于 15t 桥式吊车的跨间, 应在屋盖边缘设置纵向支撑桁架。” 这是出于何种考虑?
20	1.15 CECS 102: 2002 的 4.5.2 条第 2 款规定: 柱间支撑间距, 无吊车时取 30~45m, 而有吊车时为不大于 60m, 为何有吊车时支撑的设置间距要大一些?
20	1.16 设计中常用的国家标准、行业标准和协会标准
23	参考文献
24	2 基本设计规定
24	2.1 采用 CECS 102: 2002 风荷载体型系数应注意哪些问题? 多脊多坡房屋的风载体型系数如何选用?
25	2.2 在一个工程中, 是否可以围护结构采用《建筑结构荷载规范》的风荷载体型系数, 而刚架采用 CECS 102: 2002 的风荷载体型系数?
26	2.3 抗震设防地区的门式刚架轻型房屋钢结构设计中, 什么情况下应采取抗震构造措施? 应采取哪些抗震构造措施?
27	2.4 关于门式刚架轻型房屋钢结构变形规定的讨论

- 28 2.5 CECS 102 第 3.4.2 条规定的斜梁挠度是否指屋脊处? 以及“由于柱顶位移和构件挠度产生的屋面坡度改变值, 不应大于坡度设计值的1/3。”坡度改变是指跨中什么位置?
- 29 2.6 对于牌号为 Q235A 的碳素结构钢, 如果加工成结构构件前检验其含碳量小于 0.2%, 是否可用于焊接构件?
- 29 2.7 CECS 102 第 6.1.6 条第 6 款规定“斜梁不需要计算整体稳定性的侧向支承点间最大长度, 可取斜梁受压翼缘宽度的 $16\sqrt{235/f_y}$ 倍。”是不是必须遵守的构造要求?
- 29 2.8 CECS 102 第 4.1.1 条规定“主刚架斜梁下翼缘和刚架柱内翼缘出平面的稳定性, 由与檩条或墙梁相连接的隅撑来保证。”采用隅撑-冷弯薄壁型钢檩条体系是否可以作为钢斜梁受压翼缘侧向支承点?
- 30 2.9 有吊车时, 边柱柱脚为刚接的多跨门式刚架的中柱可以采用上下铰接的摇摆柱吗?
- 30 参考文献

31 3 结构布置

- 31 3.1 CECS 102 规定门式刚架轻型房屋钢结构房屋的纵向伸缩缝间距取 300m, 超过时如何设伸缩缝?
- 32 3.2 超长超宽的单层房屋采用门式刚架结构时, 设计中应注意哪些问题?
- 33 3.3 门式刚架轻型房屋钢结构的经济跨度和刚架间距取多少较为合适?
- 34 3.4 当有部分抽柱时, 设计中应如何考虑?
- 35 3.5 什么情况下纵墙应设墙架柱?
- 35 3.6 门式刚架轻型房屋钢结构的端部什么情况下应采用刚架, 什么情况下应采用山墙?
- 35 参考文献

36 4 结构选型

- 36 4.1 为什么 CECS 102 推荐采用单脊双坡门式刚架, 而不推荐采用多脊多坡门式刚架?
- 37 4.2 多跨门式刚架中柱采用摆柱有什么好处? 有哪些限制条件? 当跨度为 30m 或以上时, 中柱采用摆柱合适吗?
- 37 4.3 可以采用摆柱支承托架或托梁吗? 为什么?
- 37 4.4 当有桥式吊车时, 门式刚架可以采用铰接柱脚吗? 支承桥式吊车的门式刚架柱可以采用楔形柱吗?
- 38 4.5 门式刚架轻型房屋钢结构单坡长度有没有最大限值? 考虑哪些因素?
- 39 参考文献

40 5 门式刚架的设计计算

- 40 5.1 对于初学设计的技术人员, 设计门式刚架时, 在保证安全可靠的前提下, 如何

	使材料用量尽可能少?
44	5.2 屈曲后强度的利用——有效宽度理论和拉力场理论简介
47	5.3 刚架构件设置横向加劲肋有哪些规定? 什么情况下可以不设置横向加劲肋?
47	5.4 验算变截面刚架柱整体稳定性的两项式, 为什么分别取大小头的内力和截面特性而不是同一个截面的内力和截面特性?
48	5.5 刚架斜梁为什么不需要验算其在刚架平面内的整体稳定性?
49	5.6 刚架斜梁上翼缘作用集中荷载处不设横向加劲肋时, 如何验算该处应力?
50	5.7 门式刚架中的梁—梁连接、梁—柱连接, 采用端板连接有什么好处? 为什么一定要采用高强度螺栓连接? 端板的抗滑移系数该如何考虑?
51	5.8 轻型门式刚架梁柱节点采用端板高强度螺栓连接如何设计?
55	5.9 如何设计平板式柱脚?
64	参考文献
66	6 支撑系统设计
66	6.1 屋盖横向水平支撑和柱间支撑的布置原则及其值得注意的问题
67	6.2 采用 CECS 102 设计的门式刚架钢结构在哪些情况下应该设置屋盖纵向水平支撑? 如何布置?
70	6.3 支撑的连接位置应如何符合轻钢结构技术特点?
72	6.4 支撑的构造及其连接强度的计算问题
74	6.5 吊车梁能否作为厂房柱的纵向刚性系杆? 构造上应如何考虑?
75	6.6 隅撑的布置及计算中的问题如何考虑?
79	6.7 门式刚架轻型房屋结构支撑体系的内力计算模式与普通钢结构的支撑内力计算模式的主要区别何在, 为什么有此区别? 如何解决?
81	6.8 用檩条兼作纵向压杆的设计特点及相关措施
82	参考文献
83	7 檩条设计
83	7.1 蒙皮效应对檩条的设计影响如何?
83	7.2 檩条承受的堆积雪荷载有什么特点? 应该如何计算?
91	7.3 连续檩条的活荷载分布应如何考虑?
92	7.4 冷弯薄壁型钢檩条设计计算有哪些难点? 如何分析?
93	7.5 设计中是否要计算翘曲应力 σ_w ? 如何分析?
97	7.6 实际工程中檩条的应力分布及应注意的构造问题
99	7.7 有效截面计算中翼缘屈曲系数及卷边问题的讨论
102	7.8 当前规程中檩条验算公式不配套的问题讨论
103	7.9 关于檩条的整体稳定计算问题的讨论
111	7.10 屋面板对檩条的稳定有重大影响, 如何考虑不同屋面板对檩条的扭转约束刚度问题?
113	7.11 中国规范 GB 50018 和欧共体规范 EC 3-1-3 关于檩条两种稳定计算模式的比较

- 115 7.12 连续檩条如何构造? 其内力和挠度应如何计算? 其控制截面如何选取?
116 7.13 连续檩条的嵌套搭接及局部承压计算
117 7.14 檐口檩条有什么特殊性? 应如何设计?
118 7.15 隅撑能否作为檩条的支撑点? 为什么? 对于单侧隅撑不考虑其影响会有什么问题?
120 7.16 采用多跨静定檩条有哪些优势? 构造设计应如何考虑? 整体稳定计算如何考虑?
121 参考文献

122 8 墙架设计

- 122 8.1 房屋的端部框架按轻钢结构设计与普通的钢-混凝土结构有什么区别? 为什么抗风柱顶的连接不需要采用弹簧片的传统方式? 有什么好处?
122 8.2 端框架的计算及优化问题
123 8.3 墙梁的构造形式

125 9 围护结构设计

- 125 9.1 补充复杂形体建筑围护结构的风荷载计算
126 9.2 围护结构有哪些构造技术特点? 设计时应注意哪些问题?
128 9.3 压型钢板的截面计算有什么特殊问题? 该如何考虑?
134 9.4 泛水、包边构造设计的一般原则
135 9.5 屋面采光板的设计和构造问题
136 9.6 设计与施工中建筑物防渗漏应注意哪些问题?
137 参考文献

138 10 门式刚架轻型房屋钢结构的制作与安装

- 138 10.1 薄腹板构件制作变形的产生及质量验收问题
139 10.2 焊缝等级、单面焊及全熔透焊缝问题的讨论
140 10.3 轻钢结构构件端板式连接的抗滑移及关联问题
141 10.4 火焰矫正对构件有什么影响? 应注意哪几个问题?
142 10.5 为什么门式刚架轻钢结构在安装时容易出安全事故? 如何解决?
145 10.6 一个解决端板式连接安装调整的好办法
146 10.7 带夹层的钢-混凝土组合楼盖通常出现的裂缝原因分析, 应如何考虑?
147 10.8 为什么混凝土柱顶上的斜梁拱容易产生下挠? 对结构有何重大影响? 施工时应如何保证满足设计要求?
151 10.9 重要但容易忽视的吊车梁安装问题, 怎么办?
152 参考文献

154 11 门式刚架轻型房屋钢结构的安全问题述评

- 156 参考文献

1 绪 论

1.1 为什么已经有国家标准 GB 50017 和 GB 50018, 还要有 CECS 102?

门式刚架轻型房屋钢结构通常采用压型钢板等轻型板材做屋面板和墙面板, 面板和支撑与檩条和墙梁结合, 具有较强的蒙皮刚度, 使檩条和墙梁这类次结构具有较好的整体稳定性; 而通过次结构与主刚架的连接, 又增强了主刚架的整体稳定性, 甚至在一定程度上把作为平面结构的各榀门式刚架连成空间结构工作; 再者轻型板材自重很轻, 自重小了, 加之采用变截面刚架构件, 刚架构件亦做得很轻, 从而整个房屋的自重轻。结构自重轻, 构件截面较小, 刚度亦较小, 柱脚可以采用平板式柱脚。

支撑以及面板与檩条和墙梁相结合产生的蒙皮刚度, 以及由于刚架构件截面较小, 从而隅撑-冷弯薄壁型钢檩条/墙梁体系可以作为刚架构件的侧向支承点; 考虑蒙皮效应, 各道支撑可以均匀承担纵向水平力; 理论分析和工程实践还说明, 实际位移远小于按平面刚架计算得出的计算位移。

自重轻, 在地震作用时产生的地震力小; 刚架构件的连接采用端板连接, 这种连接在弹性工作阶段属于刚性连接, 而在弹塑性工作阶段属半刚性连接, 地震作用时, 能较有效地吸收地震能量; 加上前面所述的蒙皮作用, 这种结构有较好的抗震性能; 通常地震力不控制结构设计, 从而不必为了抗震要求而把构件设计成宽厚比和长细比都很小的较为笨重的构件。

也因为面板很轻, 常有风吸力作用大于屋面自重的情况, 在设计施工中必须充分考虑风吸力作用的工况, 特别是檩条和墙梁在风吸力作用下的整体稳定问题是一个必须认真对待的重要问题。

MBMA 有关文献指出, 金属房屋体系是通过对结构重量和制作过程的优化降低房屋的造价, 利用规范允许的各种例外和设计方案, 使这种结构往往可比其他类型的结构做得更轻。

目前工程界的朋友们对门式刚架轻型房屋钢结构提出的一些疑惑或者质疑, 主要是对于上述特点在认识上存在差异或者说不完全理解。因此如何充分考虑上述有别于其他类型钢结构的特点, 使门式刚架轻型房屋钢结构设计既经济合理, 又安全可靠, 有必要在《钢结构设计规范》GB 50017 和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的基础上根据门式刚架轻型房屋钢结构的特点再编制《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102, 以规范门式刚架轻型房屋钢结构的设计、制作和安装。

1.2 应力蒙皮效应是怎么回事？在工程设计中如何应用？

由于屋面与檐檩、脊檩（以及中间檩条）牢固连接，墙面与墙梁牢固连接，檩条和墙梁又与刚架构件牢固连接，因而屋面和墙面压型钢板可视为起应力蒙皮作用的隔板（图 1.2-1），将仅能承受平面作用的单个刚架连成整体，从而提高刚架结构的整体刚度，有效减小结构的实际位移；围护板的应力蒙皮作用极大地提高了冷弯薄壁型钢檩条/墙梁的整体稳定，亦因此使隅撑-冷弯薄壁型钢檩条/墙梁体系可作为刚架构件受压翼缘的侧向支承点。

图 1.2-1 (a) 表示有蒙皮围护的小坡度双坡顶门式刚架体系在水平风荷载作用下的变形情况，整个屋面像平放的深梁一样工作，脊檩、檐口檩条类似上、下弦杆，除受弯外，还承受轴向压、拉作用。

为把风荷载传给基础，山墙处可设置墙梁蒙皮体系，也可设柱间交叉支撑。图 1.2-1 (b) 表示有蒙皮围护的山形门式刚架体系，在竖向屋面荷载作用下的变形情况。两侧屋面类似于斜放的深梁受弯，屋脊受压，檐口檩条受拉。为保证受力蒙皮作用，山墙处应在檩条端头设置沿屋面坡度的边缘构件，当承受水平风荷作用时，也有类似于图 1.2-1 (a) 的受力情况。因此，脊檩、檐口檩条和山墙部位是构成屋面整体蒙皮作用的关键部位，设计中应予重视。

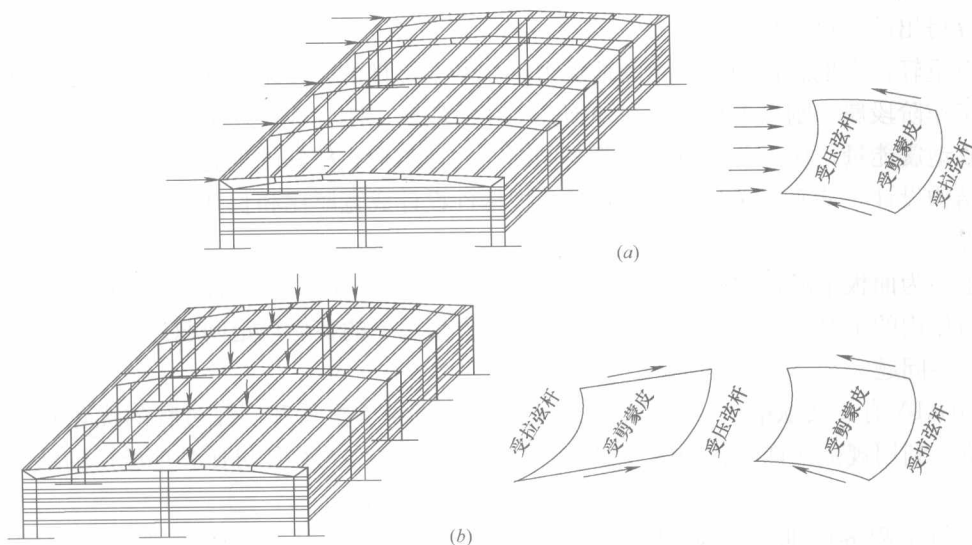


图 1.2-1 受力蒙皮作用示意图

(a) 水平荷载作用；(b) 竖向荷载作用

《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018—2002 的第 4.1.10 条规定：当采用不能滑动的连接件连接压型钢板及其支承构件形成屋面和墙面的围护体系时，可在单层房屋的设计中考虑受力蒙皮作用，但应同时满足下列要求：

(1) 应由试验或可靠的分析方法获得蒙皮组合体的强度和刚度参数，对结构进行整体

分析和设计;

(2) 屋脊、檐口和山墙等关键部位的檩条、墙梁、立柱及其连接等,除了考虑直接作用的荷载产生的内力外,还必须考虑由整体分析算得的附加内力进行承载力验算;

(3) 必须在建成的建筑物的显眼位置设立永久性标牌,标明在使用和维护过程中,不得随意拆卸压型钢板,只有设置了临时支撑后方可拆换压型钢板,并在设计文件中加以规定。

GB 50018—2002 指出:现场实测表明,具有可靠连接的压型钢板围护体系的建筑物,其承载能力和刚度均大于按裸骨架算得的值。这种因围护体系在自身平面内的抗剪能力而加强了的结构整体工作性能的效应称为受力蒙皮作用,或称为蒙皮效应。考虑受力蒙皮作用不仅能节省材料和工程造价,还能反映结构的真实工作性能,提高结构的可靠性。

连接件的类型是发挥受力蒙皮作用的关键。用自攻螺钉、抽芯铆钉(拉铆钉)和射钉等紧固件可靠连接的压型钢板和檩条、墙梁等支承构件组成的蒙皮组合体具有可观的抗剪能力,可发挥受力蒙皮作用。采用挂钩螺栓等可滑移的连接件组成的组合体不具有抗剪能力,不能发挥受力蒙皮作用。

受力蒙皮作用的大小与压型钢板的类型、屋面和墙面是否开洞、支承檩条和墙梁的布置形式以及连接件的种类和布置形式等因素有关,为了对结构进行整体分析,应对上述各部件组成的蒙皮组合体(包括开洞的因素在内)开展试验研究,确定相应的强度和刚度等参数。

由于考虑受力蒙皮作用,压型钢板及其连接等就成了整体受力结构体系的重要组成部分,不能随便拆卸。

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102:2002 第 5.1.2 条条文说明:由于有关屋面板抗剪性能和板与构件螺栓连接性能的资料尚不充分,因此目前尚不宜考虑应力蒙皮设计,但这并非限制利用蒙皮效应。考虑应力蒙皮效应只适用于面板为钢板的情况,此时屋面压型钢板可视为起应力蒙皮作用的隔板。隔板的作用是,通过其刚度和受剪承载力来提高刚架结构的整体刚度和承载力,相当于交叉支撑的作用,见图 1.2-2。屋面板可按沿房屋全长伸展的深梁处理,用来承受平面内荷载并将其传至端部山墙或中间刚架。面板可视为承受平面内横向剪力的腹板,其边缘构件可视为翼缘,承受轴向拉力和压力。

与此类似,外形为矩形的墙板也可按平面内受剪的支撑系统处理。

CECS 102:2002 第 5.1.2 条的条文说明规定了将面板视为结构的一部分进行应力蒙皮设计的各项条件。

应力蒙皮作用主要是提高结构的整体刚度和承载力,而在设计中主要考虑它提高刚度,一般未利用其提高承载力的功能。

文 [1.1] 参考国外的试验结果和工程实践;对目前工程上常用的面板的蒙皮效应作了计算分析,结论是:

(1) 在轻钢结构中利用面板的蒙皮效应,可节省大量支撑、支撑间纵向系杆,具有极好的经济效益;

(2) 面板的蒙皮效应取决于板的材质、板型、板厚、檩条刚度和间距、连接构造和自攻螺钉的强度和布置密度等。要利用面板的蒙皮效应,必须依据同类板的试验结果,并锁定其条件,使实际工程与试验情况相符合,否则不可利用;

(3) 面板与檩条直接用自攻螺钉连接的构造,其蒙皮效应远大于通过固定支架间接连

接的构造做法的蒙皮效应，一般情况对前者可利用其蒙皮效应，对后者则不宜采用。

如上所述，面板的“隔板”作用相当于混凝土剪力墙，起交叉支撑的作用，见图 1.2-2。

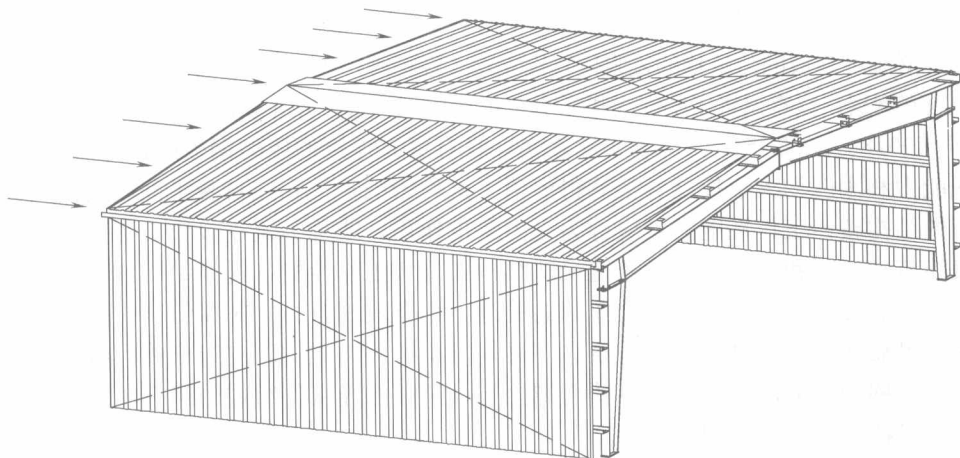


图 1.2-2 隔板的蒙皮作用相当于交叉支撑

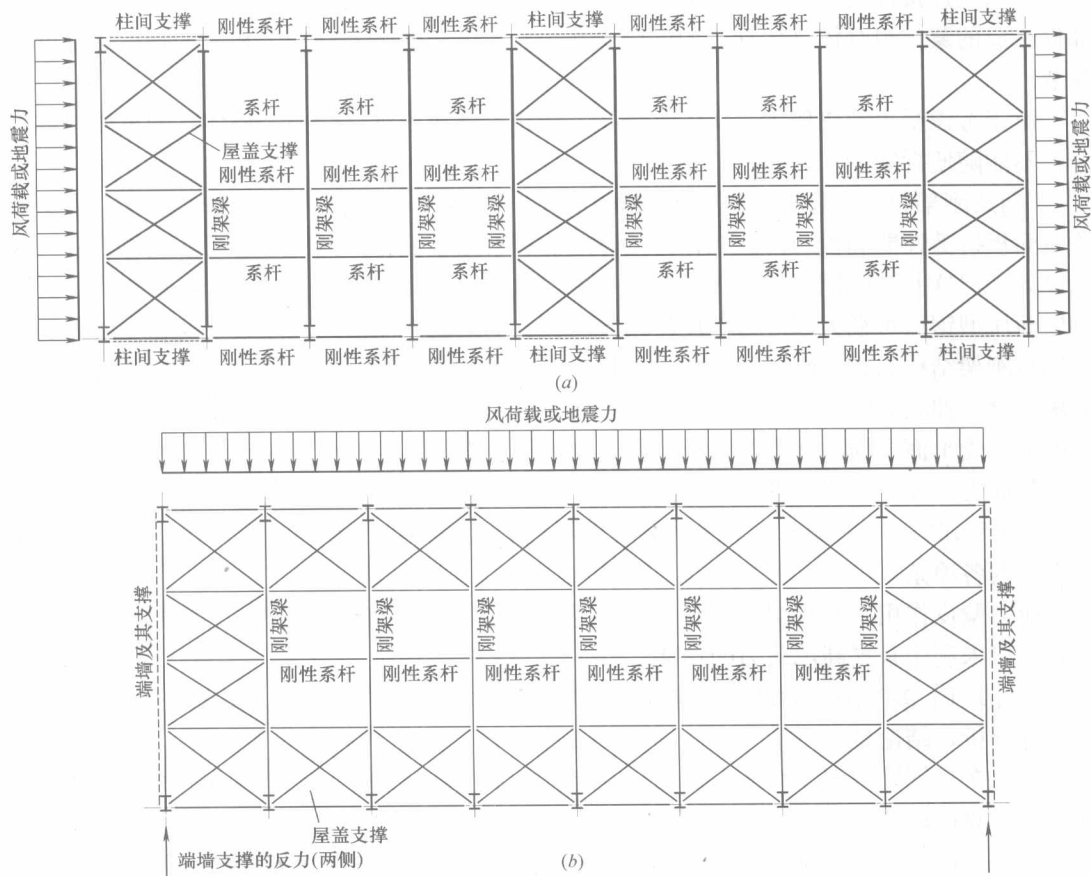


图 1.2-3 屋盖支撑体系起“隔板”作用

- (a) 屋盖支撑体系作为屋面的“隔板”作用将纵向荷载传给柱间支撑；
- (b) 屋盖支撑体系起“隔板”作用将横向荷载传到两侧端墙及其支撑

要将面板视为结构的一部分进行应力蒙皮设计需要对每个实际工程根据其具体条件进行试验,这在事实上不太可能。不过从上述的概念介绍,我们能够了解,面板的蒙皮效应实际上是考虑面板起交叉支撑的作用,按照这个概念,设置屋盖支撑同样可以起到“隔板”的作用^[1,2]。设计中通常在房屋的短方向布置刚架,由于刚架的侧向刚度小,属于平面结构,屋盖支撑体系把各榀刚架连成整体,有效地提高结构的整体刚度,见图 1.2-3。对于采用咬合式或扣合式压型钢板作屋面板的情况,由于屋面板可随温度自由伸缩,此时其屋面的“隔板”作用非常小或不确定,不能利用屋面蒙皮效应,采用屋盖支撑体系加强屋盖整体刚度是设计中常用的手段。

门式刚架轻型钢结构房屋采用的屋面板有搭接式、扣合式和咬合式,搭接式有螺钉贯穿的和螺钉不贯穿的,它们在水平力作用下的受力各有特点,侧向刚度互不相同。由于咬合式屋面压型钢板可沿垂直于檩条的方向移动,因此有人认为此时面板将不存在蒙皮效应,但 MBMA 的抗震设计指南指出,金属房屋的传统设计方法,是无论房屋的大小或形状,或竖向构件的形式和相对刚度如何,任何构造的压型钢板屋面都可视为柔性横隔。在大多数情况下,此假设是相当正确和适合的。典型的金属房屋在平面上接近方形或矩形,采用搭接式或咬合式屋盖的较多,横向有很多刚架,纵向在若干柱间设置圆钢支撑,可以认为它是符合柔性横隔要求的^[1,3]。

1.3 在 CECS 102: 2002 中哪些地方考虑了应力蒙皮效应?

在 CECS 102: 2002 中有几处考虑了应力蒙皮效应,举例如下:

第 3.4.2 条对于“柱顶位移设计值”和“受弯构件的挠度与其跨度的比值”规定的限值,大于 GB 50017 和 GB 50018 规定的相应限值,主要是考虑了围护面板的应力蒙皮效应(详见本书第 2.4 节的说明)。

第 3.5.2 条表 3.5.2-1 关于受压构件的长细比所列数值参照国外的有关规定对《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的规定值作了调整,也主要是考虑了围护面板的应力蒙皮效应而适当放宽。

以往的轻钢单层工业厂房,屋面采用石棉瓦或者瓦楞铁时,不论是排架结构还是刚架结构的有檩屋盖,考虑到檩条与檩条相互平行,与相互平行的刚/排架构件组成矩形,都认为檩条不能作为与之相连的刚/排架构件的侧向支承点,而 CECS 102: 2002 第 4.1.1 条则规定“……主刚架斜梁下翼缘和刚架柱内翼缘出平面的稳定性,由与檩条或墙梁相连接的隅撑来保证。”这是由于围护面板的应力蒙皮作用,相互平行的檩条有面板约束;加上采用压型钢板作屋面板,屋面板的自身重量轻,使刚架构件也做得轻、刚度比较小;因此认为用隅撑与冷弯薄壁型钢檩条相连接时,其隅撑-冷弯薄壁型钢檩条体系能够对钢斜梁受压翼缘提供有效支承,可以作为钢斜梁受压翼缘的侧向支承点。有人认为,对于采用咬合式压型钢板作屋面板时,由于这种压型钢板可以沿垂直于檩条的方向移动,据此认为这种情况其隅撑-冷弯薄壁型钢檩条体系不能对钢斜梁受压翼缘提供有效支承,因而不能作为钢斜梁受压翼缘的侧向支承点;但实际上这种压型钢板不可能沿檩条的轴线方向移

动,因此能够约束檩条在其轴线方向的位移,而且虽然其不能约束檩条上翼缘的侧移,但可以在相当程度上约束檩条的扭转,应该认为其隅撑-冷弯薄壁型钢檩条体系能够对钢斜梁受压翼缘提供有效支承,可以作为钢斜梁受压翼缘的侧向支承点。

第 6.5.3 条“同一柱列设有多个柱间支撑时,纵向力在支撑间可按均匀分布考虑”;同理,当屋盖有多道横向支撑时,风荷载在支撑间也可按均匀分布考虑。这一规定同样主要是考虑了围护面板的应力蒙皮效应,使结构具有一定的空间作用的因素。而对于普通钢结构,通常纵向系杆只在柱顶及刚架转折处通长设置,而且其屋面采用石棉瓦等瓦材,不具有蒙皮刚度;或者虽然屋面采用压型钢板,面板具有一定的蒙皮刚度,但刚架构件截面较大,其刚度亦较大,此时面板的蒙皮刚度几乎可以忽略不计,故一般都只考虑由屋盖两端的横向支撑承受纵向风荷载。

第 6.6.3 条“当在屋面板上开设直径大于 300mm 的圆洞和单边长度大于 300mm 的方洞时,宜根据计算采用次结构加强。不宜在屋脊开洞。屋面板上应避免大面积开孔(含采光孔),开孔宜分块均匀布置。”这一规定的理由之一是避免破坏面板的应力蒙皮作用。

1.4 门式刚架轻型房屋钢结构的抗震性能如何?在抗震设防烈度为 8 度的地区,单层房屋采用门式刚架钢结构合适吗?

门式刚架轻型房屋钢结构的抗震性能究竟如何,业界存在疑问。蔡益燕教授在文 [1.3]、[1.4] 中介绍的一些资料有助于说明问题,在此作较为详细的介绍:

文 [1.4] 介绍了钢结构房屋在希腊的震害情况。希腊位于断层带,最近 20 多年,经历了多次灾难性地震,文 [1.5] 指出,地震中一些较新的现代化 RC 房屋倒塌了,但钢结构房屋,包括一些按旧抗震规范设计(除地震力外未考虑任何构造措施)的低层厂房和仓库,却未见有严重破坏或倒塌。该文献还举出工程实例,在此一并作一介绍。

【例 1】某单层单跨门式刚架轻型钢结构房屋,跨度 20m,檐口高度 4m,柱距 6m,纵向设柱间支撑,建于 1977 年,1981 年受到里氏 6.7 级地震,结构完好。验算表明,地震时结构自重 0.20kN/m^2 ,活荷载估计值 0.15kN/m^2 。框架的总竖向荷载为 42kN,其最大水平承载力 94.5kN,为总竖向荷载的 $94.5/42=2.25$ 倍,相当于可承受 2.25g 的地震加速度。另一方面,框架自振周期为 $T=0.28\text{s}$,根据当地抗震规范,受到的地震加速度为 0.65g, $0.65/2.25=0.29$,显然,框架的承载力比地震时加在结构上的荷载要大得多。

在纵向,房屋长度为 48m,实际竖向荷载为 $V=(0.20+0.15)\times 10\times 48=168\text{kN}$ 。设一道交叉支撑,其在水平荷载下的极限受拉承载力,取决于支撑角钢单肢螺栓连接的承载力。按希腊钢结构设计规范,单肢连接时应乘折减系数 0.55;角钢 $\angle 60\times 60\times 6$,其净面积为 5.89cm^2 ,材料极限抗拉强度 36kN/cm^2 ,安全系数 1.25(计算支撑连接承载力时偏保守地取 1.1),由此可得支撑最大受拉承载力为 106kN。柱顶水平力承载力 $H=106\times 6.00/7.21=88.2\text{kN}$,小于地震力 $0.65\times 168=109\text{kN}$,不满足规定的抗震要求。(柱间支撑斜长为 $\sqrt{6^2+4^2}=7.21$)。

上例的结构形式,与我国目前采用的门式刚架相同,所受的强震,不低于我国规定的