

2009
TUS
Tsinghua University Science
住宅

钢网构架混凝土住宅建筑结构体系

清华大学建筑设计研究院 编

中国建筑工业出版社



钢网构架混凝土住宅建筑结构体系

清华大学建筑设计研究院 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

TUS住宅 钢网构架混凝土住宅建筑结构体系/清华大学建筑设计研究院编.
北京: 中国建筑工业出版社, 2009
ISBN 978-7-112-11166-4

I. T… II. 清… III. 钢结构: 网架结构: 混凝土结构—结构设计
IV. TU391.04 TU370.04

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第125847号

责任编辑: 戴 静 费海玲
装帧设计: 付俊玲
责任设计: 赵明霞
责任校对: 陈晶晶 王雪竹

TUS住宅

钢网构架混凝土住宅建筑结构体系
清华大学建筑设计研究院 编

*

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
北京嘉泰利德公司制版
精美彩色印刷有限公司印刷

*

开本: 880×1230毫米 1/16 印张: 10 字数: 332千字
2009年11月第一版 2009年11月第一次印刷

定价: 88.00元 (含光盘)

ISBN 978-7-112-11166-4

(18416)

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

住宅的设计与建造一直关系着国民切身的利益,是我国国民经济发展、城乡建设以及建筑行业的重大课题之一,也是反映国家社会物质文化水平和科学技术水平的一个窗口。

住宅从人类诞生初期的巢居、穴居,到原始社会后期的氏族、部落的群居,从奴隶社会城市的出现到封建社会城市的大量涌现和飞速发展,伴随着各种社会形式的产生、发展、兴盛……人类住宅的质量、规模、材质等都发生了巨大的变化。这些变化无不得益于社会的发展,科技的进步,工艺的创新。

随着我国国民经济的快速发展,我国住宅产业经历了一个耐人寻味的历程,现在正处在一个重要的转折点。如何使住宅产业更加理性和有序发展,更加注重效率、品质和质量,实现资源最大化和节能效益化,这是关系到中国住宅可持续发展的关键问题。

住宅工业化在西方发达国家已有半个多世纪的发展历史,形成了各有特色和比较成熟的产业标准和技术。住宅产业化在我国还只是刚刚开始,研究和开发一种适合我国住宅产业发展及适宜技术的住宅结构体系就变得极为紧迫。

清华大学建筑设计研究院作为国内著名高校产、学、研三结合的研发基地,更作为建筑行业的有影响力的企业,我们自觉使命重大,责无旁贷。院里在分析和了解了住宅市场行情,吸收了行业发展的既有成果,特别是分析了该领域的特点,结合清华大学建筑设计研究院的优势,选择了住宅产业化体系研究这一课题,并将研究重点集中在钢网构架混凝土住宅体系的研究上,组织成立了由专业人员组成的科研小组。自2001年立项,先后经历了科研试验、建筑设计、示范建设等阶段,该课题于2008年通过了建设部科技发展促进中心组织的《钢网构架混凝土多层居住建筑体系》科技成果评估。

回顾课题研究的日日夜夜,其中有多少个夜晚奋战在灯下电脑屏幕前,有多少个寒暑奔波在实验现场和工地,我们已经不记得了,只有那用心血和汗水浇灌出来的研究成果、那拔地而起的钢网构架混凝土住宅记录着我们的付出。今天,我们向社会交出我们的答卷,既是我们成果的小结,更是向同行的讨教,它只是我国住宅产业化事业中一次小小的尝试。

目前,国内住宅产业化的研究已经有相当的成果,这也是我们得益的源泉,没有前人和同行的付出和探索就没有我们今天的成就。在这里我也代表清华大学建筑设计研究院,代表本课题的全体研究和技术人员,向为住宅产业化的研究和实践做出努力的人们表示感谢,感谢他们为本课题提供的帮助。

由于时间和学识有限,本书中的错误和不周之处,敬请提出宝贵意见,它将是我們下一步研究工作的保证和财富。

清华大学建筑设计研究院院长、总建筑师

本研究项目总负责人:  庄惟敏

2009年7月3日于清华园



目录

- P05 | 前言
- P06 | 第 1 章 TUS 住宅体系简介——钢网构架混凝土住宅建筑结构体系
- P30 | 第 2 章 TUS 住宅的相关试验报告
- P82 | 第 3 章 TUS 住宅的设计方法
- P90 | 第 4 章 TUS 住宅的施工技术与质量验收
- P96 | 第 5 章 多层住宅砖混、剪力墙、钢网构架混凝土复合结构技术经济分析
- P106 | 附录一 TUS 住宅（二层联排民居）
- P132 | 附录二 TUS 住宅结构整体计算程序用户手册及构件计算程序用户手册
- P144 | 附录三 镀锌钢在混凝土中的应用
- P152 | 附录四 建设行业科技成果评估证书

前言

住宅是人类生活的物质基础之一，关于住宅建造方式、技术、质量以及建造速度等方面的探索始终是人们关注的问题。清华大学一直在探索中国住宅产业化现实可行的道路。

“住宅产业现代化是个庞大的系统工程。涉及诸多行业和学科。但无论住宅的内涵和外延如何扩展和更新，都离不开住宅的建筑结构体系。它是住宅功能、住宅经济、住宅科技的物质载体。当前颇受人们关注的住宅智能化、住宅装修业以及城市景观建设等也都与这个载体有密切的关系。从这个意义上说，探索和建立适合中国国情（省情、市情）和市场经济需要、符合产业政策和发展方向的住宅建筑结构体系，是推进住宅产业现代化的中心环节。它将带动住宅新材料、新设备、新技术的开发应用和规模化、集约化生产，提高住宅产品的工业化、标准化水平，并为信息产业和住宅装饰行业的发展提供广阔空间。”¹

发达国家工业化住宅建造技术，主要有三种体系：木结构、轻钢结构和预制混凝土结构。由于中国的森林资源有限，目前木结构不适合中国住宅产业化发展。轻钢结构大多是低层的独立住宅，不适合我国人口众多、土地资源紧张的实际情况。全预制混凝土结构在地震区使用，成本会大大增加。

清华大学研发并推向市场的 TUS 住宅体系——钢网构架混凝土建筑结构体系是现实可行的产业化住宅体系之一。

TUS 住宅体系有以下特点：

1. 钢网构架预制钢构件可以大规模工业化生产且加工简单；
2. 施工现场不用绑扎钢筋、支拆模板，大大加快了施工速度；
3. 节约材料、能源，节省人工，减少管理费用，确保工程质量；
4. 房屋结构整体性好，抗震性能好；
5. 结构可满足较复杂的建筑平面要求；
6. 工程造价相对低廉。

任何一种住宅的新体系是否真正满足市场需要、满足居住者的各方面要求，都必须经过大量的工程实践。希望全社会有志于住宅产业现代化的组织机构一起合作，共同开创住宅建设的美好未来。

本书执笔人：

第1章 庄惟敏、侯建群

第2章 冯 鹏、初明进

第3章 刘彦生、刘 斌、冯 鹏

第4章 刘 斌、侯建群

第5章 喻义洪

附录三 韩建国

VCD 光盘：

编导：朱 宏

摄像：朱 宏、秦 建、张 军

音乐：侯琚硕

摄影：周 华、张 旭、孙 星、朱宏宇

* “钢网构架混凝土复合建筑”系专利技术

专利权人：清华大学建筑设计研究院；朱宏宇；陈忠范

注1：摘自叶如棠先生《小康住宅建筑结构体系成套技术指南》序言



第1章 TUS 住宅体系简介

——钢网构架混凝土住宅建筑结构体系





第1章

TUS住宅体系简介

——钢网构架混凝土住宅建筑结构体系

1 钢网构架混凝土住宅建筑结构体系的现实可行性

研究开发新的住宅体系，提升住宅产业的科技含量，实现住宅产业现代化和环保治理产业化，促进住宅产业的技术进步，显得非常迫切。开发坚固耐久、建造迅速、产业化程度高的新住宅结构体系，是住宅发展的主要趋势。随着我国钢产量的快速增长和新型建材的发展与应用，符合上述要求的住宅体系已逐步发展起来并引起了广泛重视。

在从事民用建筑尤其是住宅建筑的工程设计及其相关技术的研究过程中，我们深切地体会到我国住宅建设存在的各种问题，结合我们本身的工程实践，希望通过整合清华大学各学科的综合优势，在住宅建设技术研究、新型住宅体系的开发工作中有所突破，有所贡献。

1.1 现阶段钢结构住宅推广中的限制因素

毋庸置疑，以钢结构作为住宅建筑的主要结构材料与结构体系，产业化、工厂化方面均具有非常大的优越性。钢结构利于工厂化生产，结构构件之间连接方便，在施工现场的装配工作量小，而且预制构件间连接节点质量有保证，基本可以克服湿作业，结构抗震性能良好，不会因预制构件的大量使用而降低结构的抗震性能，等等。无疑，钢结构是实现住宅工厂化生产的最有效、方便且质量良好的途径之一。

由于我国经济发展尚处于工业化前期，生产力水平及社会财富还没有达到较高的发展阶段，钢结构住宅在将来

一定是最理想的建造方式之一，但现阶段在推广过程中尚有一定的困难。

2001年清华大学承担了建设部科研攻关项目（01—2—076）“钢结构居住建筑成套技术开发”的研究工作。本项目的初衷是通过研究开发出一种新型的钢结构住宅体系，以实现产业化的住宅生产方式。以钢作为主要的结构材料，在实现工厂加工模式上是比较易于实现的。因为，在目前的生产条件下，工厂加工钢构件，无论是在技术保证、时间效率，还是在经济成本上都是优先选择。显然，课题的研究重点应是以钢材作为主要结构构件的住宅而派生的其他方面的问题，诸如：优化的结构体系以降低经济成本，良好的使用功能，合理的配套设计等。工厂化生产加工、现场安装的产业化工艺模式已成为该体系的必然前提。课题组成员主要对以下问题进行了深入的研究：

(1) 确定合理的结构体系，满足不同地区的环境和荷载要求，用钢量合理，满足构件生产工厂化和施工现场装配化的要求。此项研究的重点是分析比较不同的结构体系，诸如，比较钢框架加支撑的结构体系、桁架体系等，不同的结构方式在材料用量、加工难易度、质量保证度上的差别，在满足建筑功能要求的基础上，做到钢材用量的最优，以节约成本，降低造价。

(2) 研制开发新型复合墙体材料，做到轻质、耐久，防水性能好。钢结构住宅较之传统住宅除了主体结构不同（钢

结构与砌体结构、混凝土结构等)以外,其他建筑用材及其工程施工方法均因与钢结构相配套适应而改变。其中,最为重要的建筑墙体,要尽量降低自重,减轻荷载,同时,具有良好的保温、隔声、耐久及防水等性能,而且,还应具有较低的价格。

(3) 在尽量少增加成本的基础上妥善解决钢结构的防火与耐久性能问题,使之满足规范要求也是一项重要的课题。

(4) 因为采用了钢结构作为承重结构体系,楼、屋面板与传统做法必将产生很大的改变。既要满足整体性、隔声、保温的要求,还应具有易于装配的特性。

(5) 与钢结构住宅相适应配套的建筑设备的选用、设计及配套生产加工(含供暖、空调、供水、智能化等要求)等技术问题。

在对上述5个方面问题深入研究基础上,为解决本项目钢结构住宅实施中所有具体技术问题,进行示范工程的设计与施工无疑是十分必要的。科技攻关课题组在清华大学支持下,在清华大学大学生公寓中,选择一栋(建筑面积约7200m²,共7层)作为示范工程,具体实施。在设计施工的具体实践过程中,解决该结构体系所面临的所有技术问题。

2002年6月完成该幢公寓楼的施工图设计,年底开工。2003年2月开始地面以上钢结构安装;5月底完成屋顶挂

瓦和外墙安装工作;6月开始安装室内设备,并同时进行内隔墙和装修施工,8月底竣工,交付使用。同时学生入住该公寓楼。

通过课题组的深入研究,结合示范工程的建设,对此钢结构住宅进行了全面的技术总结。课题组认为,此种类型的钢结构住宅在技术上是可行的,完全可以实现工业化的生产方式,建筑质量可以有效地得到保证,施工速度快捷,但也存在若干问题需要解决:

(1) 钢结构住宅比之砌体结构或钢筋混凝土剪力墙结构住宅的工程造价偏高,即使大批量生产建造,造价仍会高出一定程度。

(2) 轻质、耐久、防水性能好且与钢结构住宅配套的新型复合墙体材料成本亦较高,而价格相对低廉的轻质预制内、外墙板很难满足耐久性及隔声要求。

(3) 框架结构梁、柱在居住建筑房间内有凸起线角,对使用功能造成一定的影响。且框架梁、柱要求尽可能拉直对齐,使得建筑平面布置受到一定影响。

总之,虽然钢结构住宅在技术上先进可行,工业化程度高,质量有保证,但现阶段大规模推广有难度,尤其是在经济方面。因此,现阶段探索通过新的方式,新的结构体系以推动住宅产业化进程具有非常大的现实意义。

1.2 钢网构架混凝土住宅建筑结构体系的开发

随着对住宅产业化研究的深入,可以认为,由于钢结

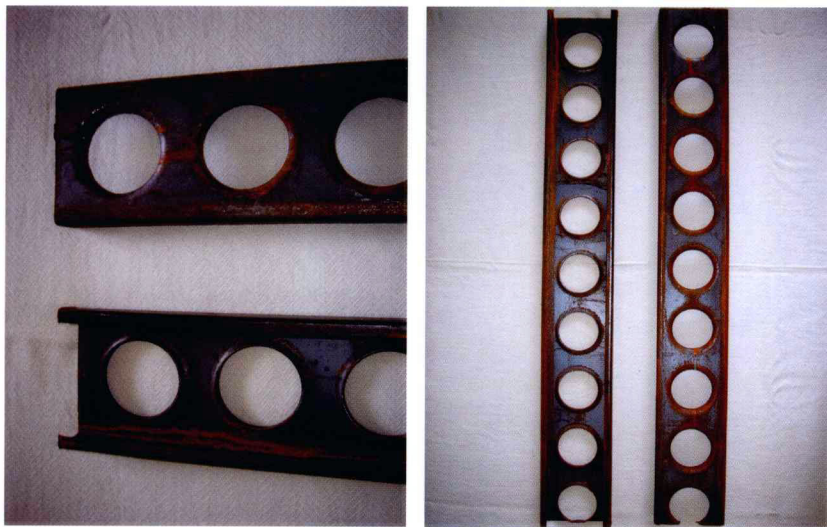


图1.1-1 开孔冷弯薄壁型钢（格构钢）

构住宅建筑现阶段在经济成本上的局限性，加之其他因素的制约，开发一种结构体系在当前经济社会条件下易于实现，便于推广，基本实现工业化生产，并尽可能降低造价，使之与传统的住宅体系相比在造价上不产生大幅增长，在现阶段具有非常重要的意义。由于工业化程度的提高，住宅质量的提升，建造速度的加快，与传统住宅在综合性能及价格比较上，占据优势地位。唯其如此，新型产业化的住宅体系才可能具有市场前景，也才可能具有强劲的发展潜力。

通过进一步的研究，我们开发了一种产业化住宅体系，称为“TUS住宅——钢网构架混凝土住宅建筑结构体系”。

TUS住宅是由开孔冷弯薄壁型钢制作的墙体钢骨架，楼板钢骨架、钢板网、保温复合板等构成钢网构架，在其间直接浇筑混凝土而形成的一种复合结构。其特点是不用钢筋、免拆模板，利用钢网构架本身实现对结构构件的定型与定位，并承受施工荷载，浇筑混凝土之后完成住宅主体工程的建造。在钢网构架一侧设置保温材料，即可形成具有外保温、隔热性能良好的节能型居住建筑。

为进一步研究 TUS 住宅的各方面性能，对主要结构构件钢网构架墙体、钢网构架楼板进行了试验研究，对构件的受力分析方法的准确性作了验证，同时也进一步明确了对相关钢网构架的计算分析方法。在此基础上，还进行了结构的足尺模型试验，对该结构体系抗震性能的分析有了

试验保证。通过试验研究，对钢网构架居住建筑体系的综合受力性能有了全面的认识，为工程的实施奠定了基础。

通过技术开发、试验研究、设计分析与示范工程实践，可以得出以下有益的结论：

(1) 钢网构架混凝土复合建筑体系符合国家现有有关规范的技术要求，在技术上是先进且可行的，具备可推广的技术先进性；

(2) 通过试验研究与示范工程证明，该体系技术可靠、成熟，具有进行工程推广的技术可靠性；

(3) 该结构体系是预制构件与整体性良好的现浇混凝土各自优势的有机组合，是节能环保型住宅体系，基本达到住宅产业化要求，具备应用推广的政策保证性；

(4) 在产业化的基础上，做到造价相对低廉合理，具有可推广应用的市场前景。该体系可实现资本和技术的高度集中，能大规模生产和社会化供应。实现技术、生产、科研一体化，设计、生产、安装标准化，生产可机械化、连续化、集成化，保证工程建设管理规范化。

显而易见，该结构体系以钢网构架替代传统混凝土结构的钢筋及施工过程中的模板，同时，钢网构架可以实现工厂化预制生产，施工速度、安装精度、施工质量都有提高，可克服混凝土预制构件整体性不足、连接处质量难于保证，以及钢结构住宅体系造价偏高等劣势，有效实施工厂化、产业化的一种可行的结构体系。它充分利用钢材易

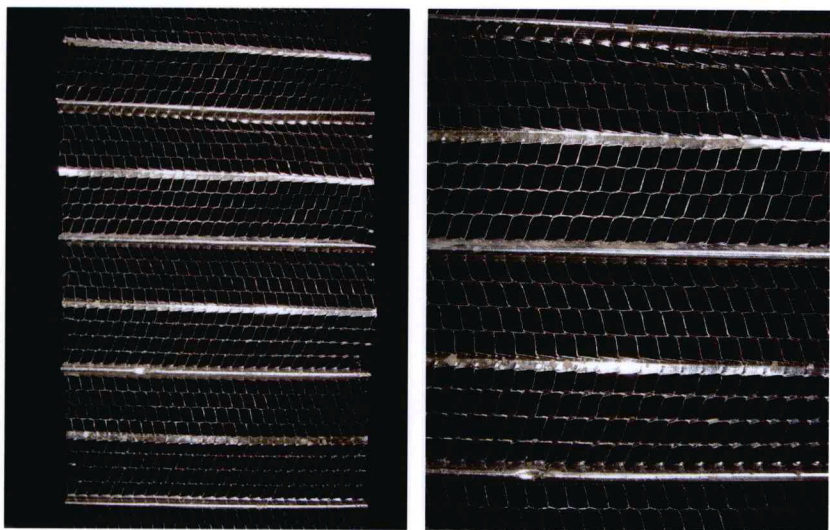


图1.1-2 钢板网

于工厂化加工的优势,有效发挥工厂化加工的优势,是一种在目前条件下,现时可行的产业化住宅建筑结构体系。

1.3 钢网构架混凝土住宅建筑结构使用的几种主要材料

钢网构架混凝土结构主要采用了三种常用建筑材料:

(1) 开孔冷弯薄壁型钢(简称格构钢)。在腹板上开圆孔(方孔或三角孔),并在开孔周边带有加强卷边的冷弯薄壁型钢(图1.1-1)。

(2) 钢板网。用镀锌钢板经特殊加工形成的带有网孔和加强肋的网状模板,固定在格构钢两侧可形成免拆钢网构架,还可起到减少混凝土收缩裂缝的作用(图1.1-2)。

(3) C15 ~ C40 普通混凝土。浇筑在钢网构架永久性模板内形成混凝土结构。

2 钢网构架混凝土住宅建筑结构体系的主要特点

2.1 预制钢构件与整体性良好的现浇混凝土各自优势的组

预制钢构件最突出的优势为可工厂化生产,质量容易保证,构件运至工地后可快速施工安装,工业化程度高。但传统混凝土预制构件相互拼装的连接节点处不易处理,很容易形成结构的薄弱环节,整体性差。地震震害情况尤其说明整体性对于抗震性能的重要。同时,构件完全由工厂一次性生产完成,势必造成构件的种类不可过多,从而

使得建筑形式的充分发挥受到限制。否则会增加模板套数,相应加大建造成本。所以,以混凝土为主要材料的工业化预制生产方式,目前尚存在难于克服的技术困难。

以钢材作为结构构件主要材料的钢结构在实现工厂化方面无疑是比较易行的。目前,较多的产业化住宅研究多以钢结构作为主要材料,我们前期亦是如此。正如本文上节所述,以钢结构作为主要结构构件材料在目前尚存在诸如造价、配套材料等方面的实际困难,因而,寻找一种兼得二者优势,且可以基本克服二者不足的模式,很可能是目前形势下较具可操作性的途径。TUS住宅即是在此思路下的探索。

冷弯薄壁型钢及钢板网如一般钢材一样,非常易于切割和拼接,不同尺寸的钢网构架制作很方便,提高了构件模板尺寸变化的灵活性,不会因为增加构件种类而提高成本。易于采用工厂化方法生产,快捷方便、易于运输,节约成本。这种新型结构质量轻,运输和吊装方便,运输时以单片墙体或楼板为单元,整体吊装就位,利用模板钢骨架自身即可承担楼面施工荷载的能力,可以避免在房间中使用大量支撑钢架,降低了制造成本和施工的复杂性。整体吊装就位后,在钢网构架模板内浇筑混凝土,混凝土凝固后即可形成受力构件,不需拆模,实现了工厂化的质量与效率。同时,由于混凝土的整体浇筑,结构具有良好的整体性,同时,免除了一般混凝土结构施工中模板工程耗

时耗物、工艺复杂且质量保证难度大的不足。

2.2 主体结构施工工艺标准化, 施工速度快

由于本结构体系所用材料主要为格构钢、钢板网、小型槽钢及混凝土, 所用材料品种较少。同时, 格构钢壁薄, 施工工艺简单, 非常便于加工。钢板网与格构钢的连接亦简单易行。且各种构件标准化设计, 标准化施工, 施工速度快, 质量易于保证。

2.3 钢网构架永久性模板灵活性好, 可适用于较复杂的建筑平面

钢网构架中格构钢非常便于切割, 多种尺寸的钢网构架生产不会对生产效率造成显著影响, 因而构件的尺寸灵活性强, 可适应复杂的建筑平面。比一般预制构件具有更大的灵活性。因此, 建筑多样性得以发挥, 建筑立面、平面可以较为丰富多彩, 市场适应性强, 进而才可具有较强的生命力。

2.4 钢板网可有效阻止混凝土的收缩开裂, 保证混凝土构件质量

钢板网作为永久模板, 既是钢网构架成型的必要部件, 同时, 它还兼具有效阻止混凝土表面收缩、开裂与徐变的功能。混凝土通过钢板网的空洞在钢板网外形成一层有效的混凝土薄层, 类似钢筋混凝土中的保护层, 通过钢板网与格构钢作为整体的有效约束, 混凝土亦是具有加劲的材料, 类似钢筋混凝土的加劲混凝土, 可以克服素混凝土收缩性高、易于开裂及徐变等各种不足, 唯其如此, 才可

满足结构的承载力与耐久性要求。

2.5 保温材料直接附着在钢网构架永久性模板上, 构造连接牢固

住宅的保温功能在建设节约型社会、建设绿色环保建筑的趋势下显得尤为重要。目前, 我国建筑耗能巨大, 这不但不利于社会的可持续发展, 而且随着能源价格的上涨, 也给居民增加了经济负担。建设节能环保型住宅, 是住宅建设的必然之举。因此, TUS 住宅特别注重墙体保温的质量与效果, 通过保温材料直接附着与钢网构架永久性模板上, 可以使得构造连接牢固, 达到预期的保温效果。

2.6 工程造价相对低廉

由于本结构体系的用钢量与钢结构相比有所减少, 在目前钢材还是相对较贵的情况下, 造价一定是较为低廉的。加之, 减少了混凝土工程的模板工序, 成本上的竞争力进一步得到加强。

因此, TUS 住宅是一种具有工业化建造模式的住宅建筑体系, 结构体系合理。施工阶段是钢结构, 最终使用时是型钢混凝土结构。可以满足不同地区的环境和荷载要求。结构用钢量约 $35 \sim 40\text{kg/m}^2$ (根据不同地区不同的抗震设防烈度要求), 构件工厂化生产, 施工现场装配化, 浇筑混凝土后结构整体性好。墙体材料耐久性好、防水性好、防火性好、隔声好、与保温材料结合好。新型楼板满足装配化、隔声要求。并可节约造价、加快施工速度、提高产品质量, 一定具有广阔的应用前景。

3 钢网构架混凝土结构的建造工艺



图1.3-1 型钢堆放

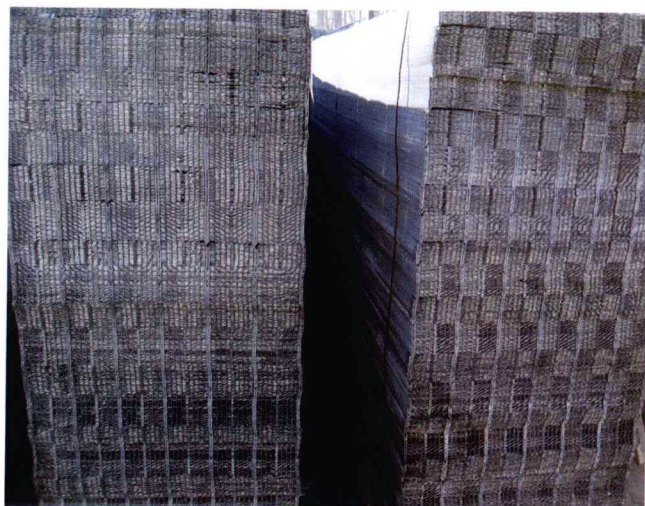


图1.3-2 钢板网堆放



图1.3-3 摆放型钢和拉结件



图1.3-4 构件预留窗洞口

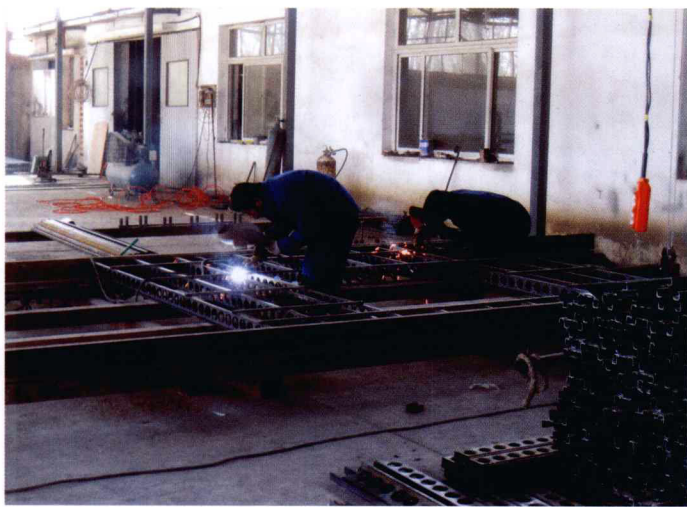


图1.3-5 焊接固定



图1.3-6 翻转进行另一面加工

图1.3-7 已形成的钢网构架骨架

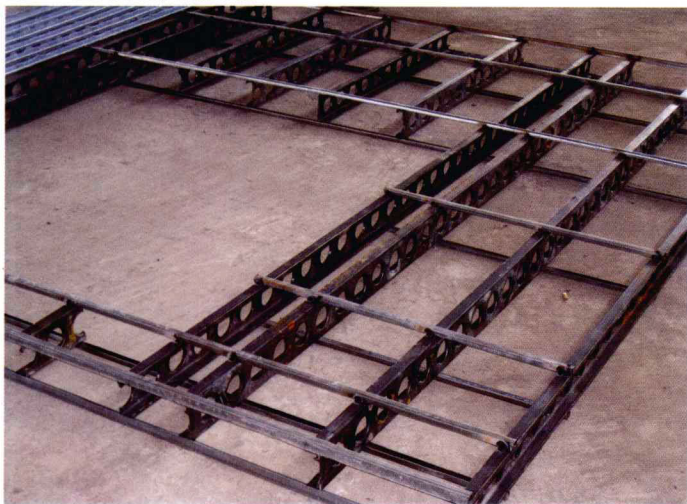


图1.3-8 在骨架上安装钢板网



图1.3-9 用射钉枪固定钢板网



图1.3-10 完整的墙板钢网构架

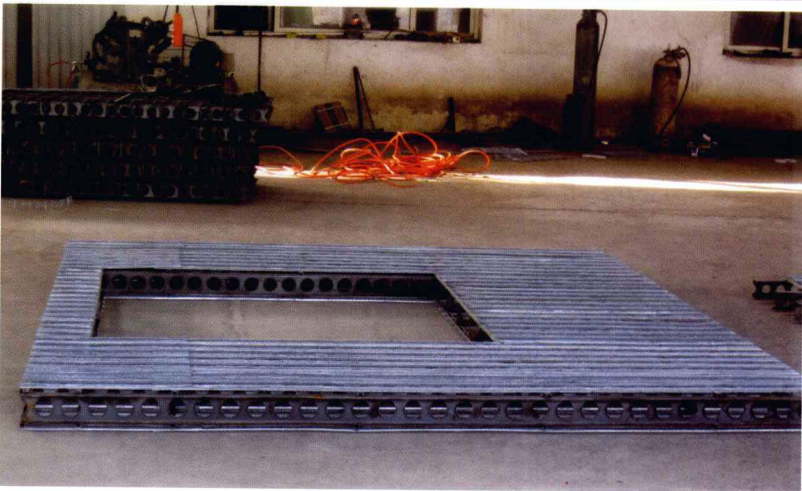


图1.3-11 构件可人工搬运





图1.3-12 钢网构架堆放

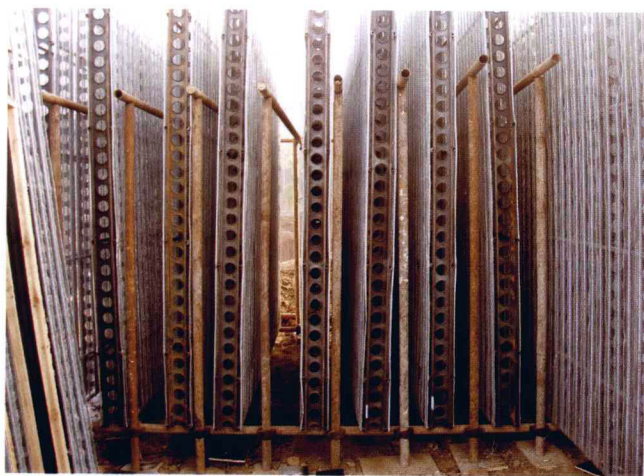


图1.3-13 工地上堆放的钢网构架



图1.3-14 基础施工