

建筑钢结构住宅的最新进展与发展趋势

郑廷银 马梦寒 张玉

黄晓章

(南京工业大学 土木工程学院 南京 210009) (南京大地建设(集团)股份有限公司 一分公司 南京 210000)

摘 要 阐述了钢结构住宅的最新进展,并结合我国国情,借鉴国外先进技术,提出了我国钢结构住宅的发展趋势和推动钢结构住宅在我国广泛应用的措施与建议,可供研究和工程应用参考。

关键词 钢结构住宅 一体化 集成式住宅 可持续发展

THE LATEST EVOLVEMENT AND DEVELOPING TREND OF STEEL STRUCTURE FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

Zheng Tinyin¹ Ma Menghan¹ Zhang Yu¹ Huang Xiaozhang²

(1 College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology Jiangsu Nanjing 210009;

2 Nanjing Dadi Build (Group) Ltd.co First Branch 210000)

ABSTRACT The latest evolvement of steel structure for residential buildings is expounded. By combining the situation of our country and consulting advanced technology of other countries, this paper brings forward the developing trend of our steel residential buildings, and measures and proposes for promoting their application in our country as well, which are used for reference in the research and engineering practice..

KEY WORDS steel structure for residential building incorporate integrative residential building sustainable development

钢结构住宅在欧美已经有几十年历史了,凭着良好的抗震性、灵活可变的空间、环保等优点,迅速发展壮大。其工厂化加工、较少工地湿作业、钢材可回收利用、施工快、噪音小、粉尘污染少、符合可持续发展更是顺应时代的要求。这些是其他结构形式的住宅无法相比的。在我国,钢结构住宅已被国家建设部列为重点推广项目,各地钢结构住宅小区试点如雨后春笋般展开。然而严格意义讲,现在我国的住宅设计、生产制造、安装、维护都与国外有很大的差距。因为不论是设计院、高校,还是大型钢结构安装施工企业,都没完全达到国际通用要求。这是一个新的产业,需要从技术到标准、从人才到管理全面的革新和发展。本文在阐述钢结构住宅最新进展基础上,提出了推动钢结构住宅在我国广泛应用的措施和建议。

1 新型墙板将被广泛应用

作为内外墙体,主要是起到围护及分隔作用,并不一定要承重,但必须能自承重(本层)和抵抗风力等。作为新型墙板在功能上有些要求:外墙面,要求轻质,有一定强度承载力,要防潮、防热、隔音,耐冲力、防火、不结露,防渗漏、防虫蛀、节能、环保。此外,内外墙体都能够钉钉子、挂物,适合装修,住在里面给人以舒适的感觉,不能有冷冰的感觉。构造简单,便于施工,现场湿作业量越少越好。

用于别墅和低层住宅的外墙主要有以下几种:

- 1) 压型钢板的复合板;
- 2) 双面的纸面石膏板,再另外加上外饰面及中面保温材料;
- 3) 砌块及木制板;
- 4) 组合板——由龙骨、钢丝网和水泥抹面等组成。

用于多高层钢结构住宅的新型外墙不外是两类:

- 1) 用砌块作为基体,外面加上界面剂,再作外饰面等。有的工程用加气块,如伊通砌块,也有的工程用当地产的粉煤灰砌块等等。
- 2) 用板材作为外围护墙体,其中又有整块板,它的大小是一个开间的整个尺寸,一个层高或二个层高的高度,也可以将门窗做好。主要有:金属保温复合板,(金属三明治板);预制的轻质混凝土板;另外一种一种是条板,可以横放或竖放。

相比后者更利于工厂化制造、提高安装质量和加快施工进度。

上海中福城工程中使用了ALC板,这种挂板自重轻(设计容重仅 6.5kN/m^3)^[1],抗震性能好,安装方便,板材在工厂制作,施工不受季节影响,可大大缩短工期;具有良好的保温隔热性能,是理想节能型墙体;其防火性能优越,150厚墙板的耐火极限可达4小时;由于经过发泡处理,ALC板具有良好的气密性和防水性能。

基金项目:江苏省建设厅资助项目(JS200120)

第一作者:郑廷银 男 1955年出生,副教授 工学博士

天津市在试点工程中，研制开发了节能型复合外墙板。整间整块的外墙板，连同外檐饰面和门窗一次制作完成，整体安装，墙板与结构主体的连接采用两种方法并用，安装时采用墙板连接器，同时将墙板伸出的钢筋锚入楼板混凝土后浇带中，实现墙板安装阶段和使用阶段与钢结构主体的可靠连接。钉钉子和挂物等使用要求也得到了满足。经过耐火及抗水渗漏试验，隔音等满足要求。板缝按柔性缝设计，其宽度既考虑了建筑立面的美观，同时也考虑了方便施工操作。采用多种材料复合形成几道防线，以解决板缝渗漏、热桥以及消能减震等问题。

昊角墙材是一种纸基三角空腔结构的新型非承重材料，有板材和砌块。以黄板纸作为主要原材料，经过巧妙的结构设计和防火、防水、防渗处理后，成为具有高强、防火、防渗、防冻、无毒、无辐射等性能的环保型新材料。它薄、自重轻、隔音、隔热、单点吊挂力等都优于粘土砖，且易于加工、可锯、可钉、可漆、可胶、可复合，价格低廉。

伊通板是以磨细石英砂、石灰、水泥和石膏为主要原材料，以铝粉为发气剂，经高温、高压养护而成的细密多孔状轻质加气混凝土制品。伊通产品分砌块和板材两类，砌块可用于承重和非承重内外墙、屋面和墙体内外保温等，板材可用于内外墙体、楼面和屋面等。伊通板自重轻（绝对干密度 $400 - 650\text{kg/m}^3$ ）^[2]，保温隔热性好，有一定防火性、干法施工。

3E 墙板（Extrusion, Easy, Environment）^[3]是固定式挤出成型轻质高强墙板的简称，即高强度、高密实度、简单易用、便于安装、环保性建材。它的材料：水泥、石粉、粉煤灰等粉状胶结材料与骨料，再加上纤维、塑化剂、早强剂等成型增强添加料。

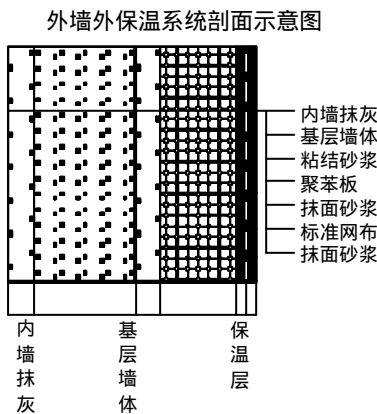


图 1 欧乐板剖面

外墙接缝及温度伸缩缝的处理是钢结构建筑中最难解决的问题，由于北方的温差大，一般的轻质材料很难满足要求，往往造成漏水、漏雨、漏风等问题。

值得一提的是北京引进的所谓欧乐板即称为 Sto。采用 Sto 外墙保温系统完全可以避免此问题的发生。Sto 外墙保温系统是在普通的外墙体上加上一层保温层，再加上一层无缝有一定可伸缩系数的外墙涂料。据有

关专家介绍，它是目前我国市场上唯一的无水泥基外墙外保温系统。该系统不但集保温、防水、装饰功能为一体，便于其“无水泥”防护面层，具有很高的弹性和抗冲击荷载能力，优越的抗裂性及耐候性。墙体材料采用 P.V.C 合成材料，高温下挤出一体成型。其高度可配合工地现场楼高尺寸需求订制，可节省材料及减少现场建筑垃圾。可塑性好，可随设计人员需要，加以弯曲变化，塑造出典雅优美的造型。

一般将纸面石膏板或 GRC 板（玻璃纤维增强石膏板复合板）用作钢结构住宅内隔墙。当然，有用加气砼，也有用双层 GRC 板，中间加 20 厚岩棉，总厚度达到 200 厚^[4]。天津建工集团引进的挤出型空心墙板是通过模具口挤出的条形板材，几何尺寸精确，安装后不再摸灰，取消了湿作业，其强度可达 C30，长度不限，可按工程需要确定。可用于分户墙和分室墙。

虽然从自重到性能上都比较理想的材料仍在探讨中，新型墙材能否经得住耐久性及其他方面的考验，有待于观察和了解，但不可否认它具有的优势是传统墙材所无法比拟的，必将在钢结构住宅中广泛应用。

2 钢结构住宅将更多采用高效、轻型结构

2.1 低层住宅及别墅

低层住宅及别墅（低于 4 层）采用的结构形式较少，主要是：

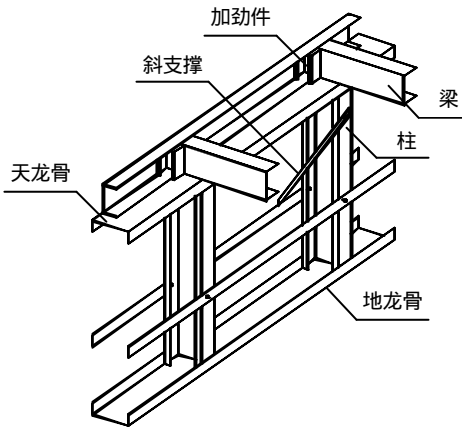


图 2 薄壁型钢龙骨结构体系

1) 薄壁型钢类构件（主要为轻钢龙骨 C 型或 Z 型）密排作为承重构件；

2) 有明确的梁柱体系，即成为系统框架。

相比而言，薄壁型钢龙骨结构体系易于工厂化制造，现场装配方便，施工也较为简单，并且龙骨外包裹板材，可以考虑蒙皮效应，以降低钢材用量，因而适于低层住宅及别墅。

2.2 多层和高层钢结构住宅

以目前国内已建和正在建造的工程选择的结构

体系来看,大致有以下几种类型:

- 1) 纯钢框架结构体系;
- 2) 钢框架 - 支撑结构体系;
- 3) 钢框架 - 混凝土筒体(抗剪墙)的混合结构;
- 4) 错列桁架体系。

在这4种体系中,钢框架 - 混凝土筒体(抗剪墙)的混合结构体系的不足点较多。由于核心筒为混凝土,重量减少不是很多,现场浇捣混凝土的工作量仍然较大。混凝土与钢框架的配合会带来一定困难,相互公差一致,不易达到一定精度。混凝土重量大,则带来吊装的困难,一方面可能需要有大型起重设备,分块拼装也有一定困难。另外,在混凝土中,预埋件的位置也难满足准确的要求,给安装带来一定困难。混凝土的施工中误差也较大,与钢结构不太好配合。

相比错列桁架体系优点较多。由于水平力主要通过楼板传至相邻桁架的斜腹杆,因此水平荷载最终通过落地桁架的斜腹杆或底层支撑传至基础,楼层间的柱子主要承受轴力,其所受的剪力和弯矩很小。桁架有整层高,所以整个体系刚度较大,一般不需要增加柱子刚度以控制位移。由于错列桁架体系中的柱子主要承受轴力,其柱截面强轴可布置在纵向,故其纵向侧移刚度亦较大,其用钢量可较框架结构减少30% - 40%^[5],并且在这种体系中可获得较大的空间,因此该体系是一种经济、实用、高效的结构体系。

巨型钢结构作为高层或超高层建筑的一种新型体系,它具有良好的建筑适应性和潜在的高效结构性能,是一种很有发展前途的结构体系。虽然目前国内尚无将巨型钢结构用于住宅,但笔者认为,在中心商住区以及高档住宅中,该体系具有很高的应用价值。

3 钢结构住宅将更多采用新的构造措施及构件形式

3.1 桁架梁

位于芝加哥郊外的多层豪华公寓—芝加哥林荫道大厦采用了桁架梁。该结构形式的成本效益较高,给业主带来布置的灵活性。它使得房间更大,并且通畅,同时显著降低单元间声音的传播。为安装凹槽式照明灯与其它特定的公寓部件的安装预留了空间。并方便机械与电气管道的布置,其施工速度也更快。

3.2 组合扁梁

将结构钢梁放置在预制板中,其主要好处之一为它适应了较低层高的要求,并避免了一些机械、电气管道冲突问题,是现浇平板混凝土结构的一种有力竞争结构。国内有将钢梁与现浇混凝土板组合成整体共同工作的组合梁,组合梁充分利用了混凝土的优势使混凝土板受压,钢梁主要受拉与受剪,使两种不同材

料可以充分发挥各自的长处,受力合理,刚度和强度显著提高,另外处于受压区的钢筋混凝土板刚度大,对避免钢梁的整体和局部失稳都有明显的作用。考虑楼板的组合作用后,次梁的用钢量可降低很多^[6],还可降低梁的高度,增加室内净空。

3.3 预制混凝土板——SP板

为减少现场浇筑混凝土,避免混凝土养护等工序影响施工进度,可采用SP预应力混凝土空心板作楼板。SP板由美国SPANCRETE公司引进^[7],特点是承载力高、抗震性能好,且板长可以根据用户要求任意切割,不受建筑模数限制。SP板在国外是一项十分成熟的技术,广泛应用于各级地震烈度区,其完善的设计理论计算方法和节点构造,可充分保证地震水平荷载的传递和分配,满足结构安全度的要求。

3.4 双向轻钢密肋混凝土组合楼盖

采用在混凝土双向密肋楼盖的基础上,将小肋钢筋在工厂焊接成一榀一榀平面轻型桁架,到现场拼装成类似于双向正放平板网架,在网孔内嵌上五面体模壳,一次整体吊装就位后绑扎板面分布钢筋。在模壳上可浇注混凝土,形成双向轻钢密肋混凝土组合楼盖。利用模壳自身的强度和刚度,支承传来的混凝土自重和施工荷载(跨度大时配合少量临时支撑措施),实现了“不支模”浇筑混凝土楼盖的施工技术创新。无疑会加快施工速度,减少材料消耗。钢梁和轻钢密肋桁架被混凝土包裹,不仅增加了楼板的刚度,而且钢构件的稳定性及防火、防腐要求一并得以解决。这种“无梁楼板”(实际有隐形钢梁)便于建筑平面的灵活布置。在双向密肋下皮吊顶后形成空腔,既可暗敷水平管线,同时也提升了楼板的隔音性能。因而这是一种钢和混凝土相辅相成共同工作、其强度、刚度、稳定性和防火、防腐相互贡献,集多功能于一体的新型组合楼盖。

3.5 波折腹板梁



图3 波折腹板梁

波折腹板梁做为普通工字钢梁的一种改进形式,是一种新型、高效的钢结构构件,目前已应用于桥梁、房屋、工业厂房等。

波折腹板梁有两种翼缘形式:平板翼缘与冷弯薄壁箱形截面。前者主要应用于美国和欧洲,而后者近几年在澳洲发展较快。波折腹板的主要优点有:1)波折腹板以较薄的厚度(1~3mm)^[8]却能大大提高梁的平面外刚度;2)波折腹板具有较高的局部屈曲应力;3)它不需要加劲肋却有较好的局部屈曲及局部承压性能,

并大大简化了制作工序；4)与普通焊接工字梁比较，有明显的经济效益。在我国，这种结构形式已在一些少数工程中进行了有益的尝试，但在理论和实验研究方面才刚刚起步。与传统用于钢结构住宅的焊接H型钢相比，波折腹板梁拥有较多的优势，待研究成熟，可将其用于钢结构住宅中。

4 钢结构住宅体系设计将走向一体化

4.1 建筑、结构设计一体化

混凝土建筑的设计都是按着先建筑设计后结构设计的设计理念进行设计，而钢结构住宅由于其特殊的材料和先进的设计软件，得以使设计程序实现建筑结构一体化设计，即建筑设计完成与结构设计同时完成。目前，国外轻钢结构企业都是遵循这样一条理念。

4.2 围护系统与主体结构设计一体化

在这方面国外普遍的做法是统一进行设计，而我国企业的基本做法是，主体结构的设计、维护系统的设计分开来进行，这种做法将逐渐被淘汰。

4.3 配件系统与整体建筑系统设计一体化

国外企业设计的建筑在安装时，基本保证安装结束的时候，地面上没有多余的配件，建筑上也没有缺少的配件。如果配件系统的设计与整个建筑系统的设计不统一，则会出现少配件或多配件，而且建筑表现也因此受到影响。

4.4 工厂化装修与钢结构住宅设计生产一体化

工厂化装修为钢结构住宅的推广提供了强大的技术支撑。钢结构住宅若用手工装修，一是其优势难以发挥，工业化生产的建筑主体与粗糙的手工装修根本无法配套；二是钢结构住宅内隔墙一般都采用轻质工业化生产的整体构件，难以在上面实现手工装修。而工厂化生产的装修构件淘汰了从电锤打眼塞木塞直到补钉眼刷漆的全过程，如可用膨胀胶将门窗套等装饰构件整体粘在水泥墙体上，各种轻型墙体都可直接与装饰构件紧密结合，且老化寿命大为延长。从而有效解决了钢结构住宅的室内精装修工艺可行性问题。

工厂化装修与钢结构住宅的设计生产一体化是必然趋势。若用钢结构住宅和工厂化装修新工艺，则装修与钢结构厂家可实现设计、生产、安装甚至包括市场资源的共享，实现设计、生产一体化。如所有的上下水、强弱电、空调系统均可在工厂预留、预置、预埋在墙体及地面构件中，门窗套可在工厂安装在轻质墙体上，合页都可安好，现场将门挂上即可，踢脚板、墙裙、固定家具的侧板等也可在工厂直接与墙体结合，乳胶漆、壁纸可在工厂贴好，现场撕下包装膜做好收口即可使用。当然，这里面有许多技术联结问题，需大胆探索，逐步开发，要有一个艰苦的开发过

程，但这毕竟是中国住宅产业的发展方向。

5 集成式住宅将推动钢结构住宅体系产业化发展

所谓“集成式住宅”就是住宅建设的安装、生产摆脱了传统的水、灰、砂、石，手工粗制劳动、现场湿作业生产，而是工厂生产不同住宅组成件和部件设备，在现场组装生产成品住宅。住宅部件是系列的、标准的，可以流水线上生产，而房屋则可以是多样的、丰富的和多档次的；完全可以按照住户的要求，由建筑商提供可选择的住宅类型，供住户选择。它具有：

1) 结构部件小型化。和传统的工业化住宅不同，集成住宅的部件不会过大，不光是部件的加工、运输、吊装均可轻便灵活，其标准化单元也可由大改小，由空间单元改为梁、柱、板结构，组合的灵活、机动性增加了，空间创造的任意性扩大了，应对市场变化的能力也增大了。

2) 空间尺寸的扩大化。大空间结构的住宅带来了空间可分割、可变化的能力。由于隔墙的轻质化和可拆改化，居住空间的大小可灵活布置，空间组合创造余地不受限制，可以最大化地满足住户对功能和设备的高品质的需求。

3) 管道布局有序化。现代住宅管道设施是居住功能提高的重要环节。集成住宅的大空间无阻挡为布管提供了快捷便利的条件，空间可塑性又为布管的任意性提出了严格的要求。在商品住宅中常把管道分为共用压力管道和分户水平管道两部分，采用竖墙管井和水平管道层的做法，以适应现代化住宅的要求。

4) 厨卫部件整体化。厨房、卫生间是住宅中最为复杂、专业程度最高的部件，最适于工厂化生产、集成式安装。不但可以提高功能使用，降低造价，而且可以避免日常质量通病。除此之外，外墙的保温构造和内墙的部件也都应当采用整合式的、成套的技术。

5) 生产标准化。集成住宅部件的多品种、多数量决定集成化的安装和工厂化的制造必须按照标准化的原则进行。因此采用国际通行的“模数协调”原则和方法，是最必要的手段。模数协调的任务是制定生产各种住宅部件的规格尺寸，使各种住宅部件能准确无误地安装到指定的部位，并且不同企业生产的部件可以互换。其次，模数协调的原则是指导建筑师和工程师如何在自己设计的住宅工程中，可以保证选择的部件、设备能合理地安装在住宅工程中，并且不因此而妨碍了工程师地创造力，利用模数化部件不断满足各类住户的居住需求，提高居住品质要求。

6 钢结构住宅将向可持续建筑方向发展

可持续建筑是对可持续发展有积极贡献的建筑。

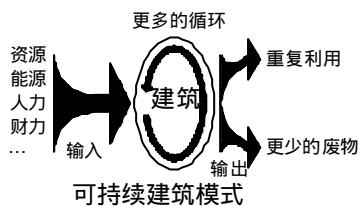


图4 两种模式比较

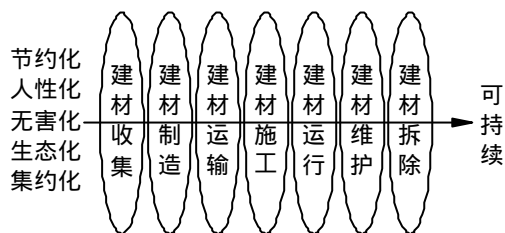


图5 可持续建筑基本原则贯穿可持续建筑全过程

的影响,是可持续建筑观的基本出发点(图4、5)。

对于钢结构住宅,可采取以下一些措施:

1) 节约化措施。改进建筑的热工性能,利用自然通风与采光,利用各种清洁能源和可再生能源,采用高效照明,减少采用机械设备改进建筑热工性能的手段,选择低蕴能建材(如尽量少用粘土转),利用旧建材与地方材料。采用节水设备,选择制造时耗水少的建材(如减少混凝土用量)。钢结构具有可拆、可改、可循环、可再生特点,其配套构件(如楼板、墙板、楼梯、门窗及内部装修材料)也应选择具有这些特点的材料,增强材料耐久性,以利于循环利用。

2) 生态化措施。屋顶设太阳能收集器,收集雨水,废水处理后再回用等。对土壤的成分、结构分析入手,并对坡度、地下水、土壤侵蚀、场地动植物资源、光能资源、风能资源等进行研究,以适当的建筑形式和设备措施达到顺应小气候、改进微环境。

3) 人性化措施。提供更高质量的声、光、热、湿度环境和景观环境。加强自然通风,使用热回收通风系统。在室内只使用对人体无害的绿色建材。控制楼板刚度,减小颤动,避免住户产生不舒适的感觉。在设计中更着重安全性。

应实现钢结构住宅的“低噪声装修”。普通住宅装修时,噪声扰民是令人头痛的问题。目前解决的方法是提供精装修房,但质量、品味未必适合业主需要,若干年后重新装修,依然噪声扰民。因而需控制噪音危害,一是控制噪声源,二是控制噪声传播途径。当噪声不可避免,解决这一问题的另一个思路是低噪声装修,降低装修时的噪音,不致扰民,对楼板和墙板

进行一定程度的隔声设计。由于钢结构可实现大开间,目前国内有专家在研究采用大开间住宅(错列桁架结构)以期实现“低噪声装修”直至“无声装修”。

4) 无害化措施。使用清洁能源。精心处理设计中、施工时对场地的可能影响,对场地中的植被、动物、水系等进行深入的安排,设置植被和可渗透性铺地,尽量不大挖大填,设计地下、半地下的覆土建筑等。在施工过程中少用大型机械。

5) 集约化措施。实行生命周期成本预算。对各类建筑元素的原始价格、运行消耗进行测算。建筑师与结构师、设备专家、计算专家、某些方面的物理学家、力学家、业主共同推进设计。通过各类建筑电力、空调、给排水、卫生、消防、安保、交通等设备的智能管理,形成节能、无废、安全的人工生态环境。

依据我国现阶段国情特点,发展我国可持续建筑不宜盲目追求国外标准,应注重其现实性。此外由于涉及多学科,需不同专业人员相互配合,因而有志从事这方面事业的人员应加强对外专业知识的学习。

7 结 语

现在我国钢结构研究已进入一个新阶段,有关规范 and 标准已出台,国内钢产量充足,为钢结构住宅的发展提供了较好的物质和技术基础。应及时把握其发展趋势,结合我国国情,积极借鉴并吸纳国外成熟技术,注意各专业间的相互配合,促进钢结构住宅产业化发展,相信我国钢结构住宅的发展前景是美好的。

参考文献

- 1 高光虎.多高层轻型钢结构住宅设计.建筑结构,2001(8):16~20
- 2 吴景松,周晓飞.高层钢结构住宅设计.上海钢结构住宅研讨会论文集,2002:68~72
- 3 胡德军,张大煦,王士刚.3E 墙板——钢结构建筑内外墙体最佳选择.上海钢结构住宅研讨会论文集,2002:8~10
- 4 刘军,赵元祥,陈敦宜,等.天津市钢结构试点住宅设计探讨.上海钢结构住宅研讨会论文集,2002:2~7
- 5 郑廷银,马梦寒.钢结构住宅体系初探.南京工业大学学报,2003,25(2):98~103
- 6 陈全,石永久,王元清,等.带组合扁梁多层轻型钢框架结构体系分析.建筑结构,2002,32(2):17~20
- 7 潘本栋.SP 预应力空心板在居住建筑中的应用和发展.混凝土,2002(1)
- 8 李时,郭彦林.波折腹板梁抗剪性能研究.建筑学报,2001,22(6):49~54
- 9 李道增,王朝晖.迈向可持续建筑.建筑学报,2000(12):4~8

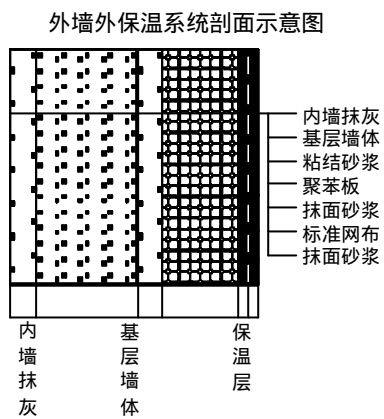


图 1 欧乐板剖面

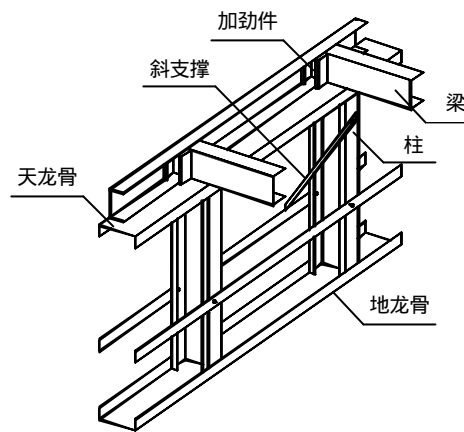


图 2 薄壁型钢龙骨结构体系



图 3 波折腹板梁

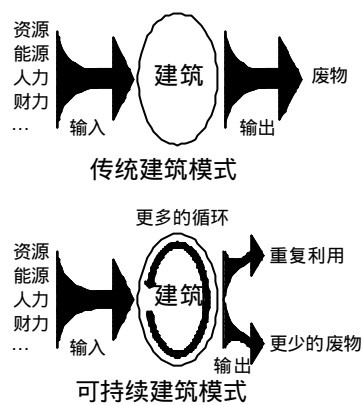


图 4 两种模式比较

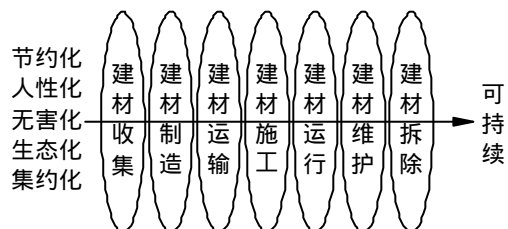


图 5 可持续建筑基本原则贯穿可持续建筑全过程