引用格式：付洁，刘彦生，张一舟，等. 民用建筑中热轧H型钢产品发展方向分析与建议[J]. 工业建筑，2025，55(8)：23-31. FU Jie，LIU Yansheng，ZHANG Yizhou，et al. Analysis and Suggestion About Development of Hot Rolled H-Beam Steel Products in Civil Buildings[J]. Industrial Construction，2025，55(8)：23-31 (in Chinese). DOI：10.3724/j.gyjzG25060608

民用建筑中热轧H型钢产品发展方向分析与建议*

付　洁　刘彦生　张一舟　刘　俊

（清华大学建筑设计研究院有限公司，北京　100084）

摘　要　为进一步推动热轧H型钢产品在民用建筑钢结构中的应用，对热轧H型钢这一工业定型产品的设计原则进行分析总结，建议遵循安全、合理、经济、便捷的原则，并建立起适合我国国情的产品体系。通过对欧洲、美国、日本热轧H型钢产品规格体系分析，结合我国实际国情与建筑业发展趋势，为我国热轧H型钢产品的发展方向提出建议。建议民用建筑用热轧H型钢按构件类型细分型钢产品线，并有针对性地优化现有产品规格、细分级次；开发配套节点、图集，形成标准化成套应用体系；对于受弯构件，应以提高经济性与便捷性为主要研究方向，引导钢结构建筑设计标准化；对于受压和压弯构件，应考虑安全性与合理性，在其适用范围内推广，并通过研发新产品、衍生产品、新结构体系等方式拓展产品适用领域。

关键词　热轧H型钢；产品规格；发展建议；标准化

Analysis and Suggestion About Development of Hot Rolled H-Beam Steel Products in Civil Buildings

FU Jie　LIU Yansheng　ZHANG Yizhou　LIU Jun

(*Architectural Design and Research Institute of Tsinghua University*, *Beijing* 100084, *China*)

Abstract: To promote the use of hot-rolled H-beam steel products in civil buildings, the design principles of hot-rolled H-beam are analyzed and summarized by the Four Cardinal Principles: safety, reasonability, economy, and convenience. A product system that suits China's conditions should be established accordingly. According to the analysis of hot-rolled H-beam product specifications systems in Europe, America, and Japan, combined with the actual situation in China and the development of the construction industry, some suggestions are proposed for the development direction of hot-rolled H-beam products in China. It is suggested that the hot-rolled H-section steel for civil construction should be subdivided according to the type of components, and the existing product specifications and subdivisions should be optimized. At the same time, the supporting detailing and the standardized set of application systems should be researched and developed. For beams, improving economy and convenience should be the main research direction to guide the standardization of steel structure design. For compression members, safety and rationality should be highly concerned, which should be used in their appropriate scope. The apposite scope could be extended by inventing new products, derivative products, and new structural systems.

Keywords: hot-rolled H-section steel products; product specification; development suggestion; standardization

*国家重点研发计划(2022YFC3801900)。

第一作者：付洁，正高级工程师，主要从事建筑结构设计研究工作，fujie@thad.com.cn。

通信作者：刘彦生，研究员，主要从事建筑结构工程设计研究工作，liuyansheng@thad.com.cn。

收稿日期：2025-06-06

© 2025 工业建筑

1　热轧H型钢产品设计原则

热轧H型钢作为一种工厂出品的定型产品，其截面形式、尺寸是固定的。若要用有限种类的定尺产品来满足多种多样的民用建筑类型需求，就需要对其截面进行细致的设计分析。

热轧H型钢截面设计须符合以下几个原则。

1.1　安全性原则

安全性是结构设计的最基本要求。热轧H型钢产品的优势之一就是质量稳定，安全高效，但热轧H型钢除了保证产品质量外，更应注意产品的截面设置应能保证其构成的整体结构安全。要避免设计人员因为对产品安全和结构安全的错误理解导致设计疏漏，造成安全隐患。

首先，热轧H型钢产品截面设计需考虑结构构件使用时的受力状态，保证结构安全。由于钢材的材料强度高，作为建筑构件使用时，除了受强度控制外，还存在稳定性问题。热轧H型钢产品应能保证产品在允许范围内使用时不会发生局部失稳，造成构件屈曲破坏。

我国的钢结构设计方法还处于不断发展更新中，民用建筑钢结构设计目前主要遵循以下规范：GB 55006—2021《钢结构通用规范》[1]、GB 50017—2017《钢结构设计标准》[2]（简称《钢标》）、GB/T 50011—2010《建筑抗震设计标准》[3]（简称《抗规》）和JGJ 99—2015《高层民用建筑钢结构技术规程》[4]。当前，主要通过对不同类型钢构件的截面板件宽厚比控制来保证构件不发生屈曲破坏。因此，热轧H型钢产品板件的宽厚比须与现行通用规范要求匹配，以保证产品使用的安全性。

由于不同受力方式下板件宽厚比设计要求不尽相同，还应对现有型钢分类方法进行优化改进，使设计人员在选取截面时能够选择与构件类型宽厚比要求相匹配的截面，避免人为疏漏造成安全隐患。

其次，重型热轧H型钢、高强热轧H型钢等新产品不断拓展，截面尺寸增大和材料强度提高都可能对构件受力和破坏模式产生显著影响，因此须对新产品的截面形式进行专项研究，确定适当的板件宽厚比和截面高宽比，保证使用安全。

随着生产技术进步，重型热轧H型钢和高强热轧H型钢的生产技术已经基本成熟；民用建筑市场也提出了更高、更大、更复杂多样的空间需求，这就需要构件截面尺寸更大，强度更高。但大尺寸、大板厚、高强度，意味着新的型钢产品的受力破坏模式可能与现有型钢类型存在显著区别；新型型钢产品的延性要求也会与现有型钢类型不尽相同。以上问题都是直接关系到结构构件安全的关键问题，而目前的相关研究还比较缺乏。所以，需要有针对性地对新的型钢产品进行补充研究，提出与之匹配的设计方法和截面构造要求，并以此为依据完善新产品的截面设计，保证使用安全性。

1.2　合理性原则

本着合理用钢的设计方针，应针对热轧H型钢的截面特点，分析与其匹配的构件类型，并进一步分析这些构件类型的力学特点，分类设计截面，使其合理应用，不盲目推广。

首先，经广泛调研分析，H形截面主要用于受弯构件，特定情况下适用于受压、压弯等类型构件。应根据不同的构件类型，分别提出各自适用的设计计算方法与构造要求。

其次，为应对不利受力状态，应提出相匹配的解决方案。由于H形截面存在强弱轴、抗扭差等情况，现阶段常用的结构体系中，有些是热轧H型钢不适用的类型，应考虑匹配的解决方案，在限定条件下推广应用。如框架柱，H形截面弱轴受力不利，可通过采用十字形截面衍生产品来解决等。

1.3　经济性原则

由于我国建筑业的现状较复杂，热轧H型钢产品可先在用钢量的经济性上展开研究。

首先，充分考虑设计端与生产端经济性的平衡，在一定范围内合理划分产品级差，确定适当的产品级次。级次设置越细，越有利于控制用钢量，但无限制的级次设置会造成生产成本的提高。工业定型产品应利用最小的生产成本覆盖最大的受众范围。因此，建议在最常用的截面范围内，精细分析需求、减小产品级差，尽可能减小设计端的用钢量；其余截面范围，可适当放宽级差，降低生产成本。两者综合，既可保证热轧H型钢产品基本覆盖民用建筑一般设计范围，又能提高常规建筑中热轧H型钢应用的经济性。

其次，针对不同构件类型细化截面比例。例如受弯构件与受压构件的截面比例、板件宽厚比要求有显著区别，可通过细分构件类型，有针对性地确定各部分比例，进一步提高经济性。

此外，建议设置综合经济效益指标作为钢结构的经济性评定指标。如热轧H型钢与焊接产品比

较，除衡量制成品用钢量外，还应综合考虑损耗、产品质量、环境效益、人工成本等附加因素。

从发展大趋势来看，钢结构建筑产品化要求生产厂家参与到设计中来，在设计许可范围内给出最优的产品参数。由于建筑结构设计并不是唯一解的精确数值计算，而是存在一个合理范围，产品设计需要在这个合理范围内给出最为经济的产品参数，这就需要生产与设计的密切配合。未来，用钢量将只是经济性指标的众多参数之一，但经济性仍将是决定发展方向的重要原则。

1.4　便捷性原则

热轧 H 型钢应提高使用的便捷性，通过“菜单式”的产品目录，提供从截面选择到配套的节点构造措施、标准图集全系列设计方案。特别是适用于热轧 H 型材的节点构造标准图集将是重要的发展方向。热轧 H 型钢作为开口截面，其连接可以大量采用螺栓形式，减少现场焊接作业；同时，H 型材的标准化截面更有利于节点的标准化，节点与型材形成一一对应的标准节点产品，可提高设计施工的便捷性。

长期以来，我国民用建筑中混凝土结构一直占据主导地位，虽然近年来钢结构的项目越来越多，但是钢结构与混凝土结构的设计方法有很大的区别，设计人员在实践中可能存在一些思维定式。这对钢结构的发展既是阻碍也是契机，热轧 H 型钢推广应用应抓住机遇，通过便捷的使用方式培养基层设计人员的设计习惯，以安全、合理、经济的产品，便捷的使用方法，建立起适应我国国情的钢结构产业化体系。

2　国内外热轧 H 型钢规格设置分析

2.1　欧洲热轧 H 型钢规格

根据欧标（EN10365：2017）中的相关数据，欧洲的热轧 H 型钢截面分为多个系列[5]，常用的有以下几种：

1）IPE 系列平行翼缘工字钢。窄翼缘 H 型钢，用于钢梁，具有 64 个截面规格。

2）HE 系列宽翼缘 H 型钢。截面高度在 300 mm 以下，翼缘宽度与截面高度大致相同；截面高度不小于 300 mm 的规格翼缘宽度约 300 mm，具有 121 个截面规格。

3）HL 和 HLZ 系列超宽翼缘 H 型钢梁。截面高度在 900~1150 mm 之间，翼缘宽度约 400 mm，具有 36 个截面规格。

4）HD 系列宽翼缘 H 型钢柱。截面高度不大于 600 mm，翼缘宽度不大于 476 mm，具有 39 个截面规格。

5）HP 系列宽翼缘 H 型钢承载桩。翼缘和腹板等厚度，具有 31 个截面规格。

可以看出，欧标热轧 H 型钢截面规格种类丰富，根据不同需求设计了相应的截面，便于设计人员选择。如：IPE 系列一般适用于一般梁，而 HD 系列适用于柱等。不同系列产品规格差异明显，产品的高度范围、宽度比例、板件厚度等参数都与截面适用构件的受力特点相匹配。

同时，不同系列产品规格、极差都有区别，截面设置合理，利于极差细分，从而控制产品的合理性和经济性。以欧标 HE 系列宽翼缘 H 型钢为例，每种热轧 H 型钢产品型号同一截面高度有 5 个规格，大多以翼缘厚度相差 5 mm 为 1 个极差，以充分满足精细设计的需求。

2.2　美国热轧 H 型钢规格

美国的热轧 H 型钢规格[6]主要有：

1）W 系列。17 种截面高度，截面高度 200 mm 以上的，同一截面高度有 10~30 个截面规格，翼缘厚度相差 3~6 mm 为 1 个级差，具有 289 个截面规格。

2）HP 系列。截面宽度与高度相近，翼缘与腹板厚度相同，主要用于钢桩，具有 22 个截面规格。

3）M 系列。截面高度 76~318 mm，翼缘腹板厚度小于 6 mm 的小截面 H 型钢，具有 16 个截面规格。

美标热轧 H 型钢截面规格非常丰富，比欧标常用规格更多，可满足各种使用功能、各类荷载、各类跨度的需求。以 W 系列为例，W14（截面高度在 350 mm 左右）的型钢规格达到了 16 种。

虽然美国标准没有按照构件的受力特点对型钢产品的规格进行分类，但产品分级已经涵盖了从受弯构件到轴心受力构件的各类需求，设计人员可根据结构情况自行选取合适的截面规格，其设置方式也符合美国设计人员水平较高，钢结构设计体系较为成熟的国情。

2.3　日本热轧 H 型钢规格

日本的热轧 H 型钢规格较少[7]，每种截面高度对应窄翼缘和宽翼缘两种截面类型，每种截面类型大多对应 1~2 个截面规格，400 mm×400 mm 截面类型对应的截面规格最多，也仅有 5 个截面规格。

与欧洲、美国相比，日本的热轧 H 型钢规格种

类明显偏少,产品极差较大,这与日本建筑业的特殊情况有密切关联。虽然型钢种类偏少不利于设计时对构件截面进行优化,但有利于提高建筑的标准化,控制型钢产品质量。日本作为全世界地震最多的国家之一,由于地域小,其全域建筑均需要较高的抗震水平,建筑基本受地震作用控制,情况较为单一。且日本建筑产业成熟,基本已经形成了产品化的钢结构建筑形式,整体工业化程度高,建筑专业、结构专业、机电专业的配套设计均已成型,热轧H型钢在不断优化后形成了适用的标准件,因此通过较少种类的H型钢产品即能满足大范围的钢结构构件需求。

2.4　我国热轧H型钢规格与分析

2.4.1　我国民用建筑领域钢结构特点

首先,我国民用钢结构发展处于起步阶段,设计人员水平参次不齐,需要较为详细的设计指导,因此建议热轧H型钢分类更加细致。

其次,民用建筑领域结构构件的尺寸受限,经济性要求高,这就要求热轧H型钢进一步细分极差[5]。

再次,我国民用领域对抗震性能的要求更加多样化。我国幅员辽阔,不同地区的地震作用相差很大。钢结构一般通过板件宽厚比来保证构件的延性,而不同抗震性能对构件的延性有不同的要求。统一使用高延性、小宽厚比的热轧H型钢将带来材料浪费,而使用大宽厚比则又可能存在延性降低带来的安全性问题,这就使得我国民用建筑钢结构对热轧H型钢的规格需求更为复杂多样。

2.4.2　我国目前热轧H型钢的产品规格

首先,我国现有热轧H型钢分为HW型、HM型、HN型和HT型。其中,HW型为宽翼缘热轧H型钢,适用于受压或压弯构件;HN型为窄翼缘H型钢,适用于受弯构件;HM型为中翼缘H型钢,介于宽翼缘HW型和窄翼缘HN型之间;HT型为薄壁H型钢,翼缘和腹板更薄[8]。从型钢类型来说,现有热轧H型钢种类还是较丰富的,但不同系列产品的适用构件类型不够明确。建议明确产品的适用范围,使产品截面特点与相应构件受力特点相匹配,才能更方便设计人员选用。

其次,产品级次划分不够合理,可使用的热轧H型钢型号非常有限,这是因为我国热轧H型钢分为常用型号和非标型号。以HN型为例,在截面高度200~900 mm范围内常用型号每种高度仅有1种,远远无法满足民用建筑的设计需求。

再次,新产品规格设置存在问题,如重型热轧H型钢的规格比较混乱,高强热轧H型钢专有规格欠缺等。

因此,热轧H型钢产品规格需要整体调整。应通过深入细致地分析我国国情,提出适应的标准型钢规格,同时也不可过度细分,适当集中规格,以提升单规格需求量,以免生产厂家因生产成本提高而无法量产,难以推动其在民用建筑中的应用。

2.4.3　我国的型钢规格发展方向

与国外横向类比可以发现,我国的热轧H型钢规格与日本类似,基本上每种日标的热轧H型钢规格在我国都能找到对应的规格型号。我国现有型钢规格表在日标基础上,另行增加了一些规格种类,相比日标更为丰富,但比起欧标、美标的总规格数量还是明显偏少。

由于日本国土面积小,建筑设计基本由抗震性能控制,自然条件单一;且属于发达国家,技术经济水平均较高,建筑工业化、标准化程度高。这与我国地域辽阔,自然条件复杂,地区间技术、经济发展水平差异很大的实际情况还是有很大不同,以日标热轧H型钢为基础的型钢规格已经不能满足我国发展现状。

综合归纳目前我国热轧H型钢的发展瓶颈如下:

1)现有型钢常用规格少,大截面规格更少,适用范围较窄。2)现有型钢类目不明晰,板件宽厚比与现行规范的对应性不明确,使用不便捷。3)存在级差过大的问题,经济性不易控制。4)重型热轧H型钢等新的产品线,其安全性、规格设置还需要进一步研究。

因此,需要更有针对性地分析、优化现有热轧H型钢规格,增补适用于我国民用建筑的型钢类型与截面,开发适合我国国情的产品规格。同时,与生产端对接,研究制定适用于我国民用建筑的热轧H型钢的设计路线与设计方法,进一步拓展其市场份额。

3　按钢构件类型分类的热轧H型钢产品设计思路

受弯构件指截面上有弯矩和剪力共同作用、轴力很小而忽略不计的构件。H形截面是最为合理的受弯构件截面,其上下翼缘可以提供较大的截面抵抗矩来承担弯矩,腹板主要承担剪力,所以工程上钢梁一般采用H形截面。相较于工字形截面,热轧

H 型钢截面面积分配更为合理；相较于焊接 H 形截面，热轧 H 形钢的质量更为可靠。因此，梁式构件是热轧 H 型钢主力推广方向之一，其规格匹配性是关键问题。

基于合理性、经济性原则，热轧 H 型钢产品的设计应分类细化主力推广构件产品级次，进一步优化截面比例规格。

3.1　次　梁

1）次梁的受力特点分析。

a. 次梁（含檩条）为次要构件，仅满足竖向荷载作用即可，不需考虑其抗震性能（板件宽厚比可不考虑抗震要求）。

根据截面承载力和塑性转动变形能力的不同，《钢标》将钢构件截面分为 S1 ~ S5 级五类：S1 级截面可达全截面塑性，保证塑性铰具有塑性设计要求的转动能力，为一级塑性截面；S2 级截面可达全截面塑性，但是由于局部屈曲，塑性铰转动能力有限，为二级塑性截面；S3 级截面翼缘可全部屈服，腹板可发展不超过 1/4 截面高度的塑性，为弹塑性截面；S4 级截面边缘可达屈服强度，但是由于局部屈曲不能发展塑性，为弹性截面；S5 级截面在边缘纤维达到屈服应力前，腹板可能发生局部屈曲，为薄壁截面。根据《钢标》规定，各等级钢材牌号对应的 H 形截面受弯构件（梁）的板件宽厚比限值见表 1。单纯的钢结构次梁板件宽厚比可采用 S3、S4 等级。

表 1　H 形截面受弯构件（梁）的板件宽厚比限值

Table 1　Limit value of width- thickness ratio for H-section bending members

板件宽厚比等级	指标	Q235	Q355	Q390	Q420	Q460
S1 级	h_0/t_w	65.0	53.6	50.5	48.6	46.5
	b_0/t_f	9.0	7.4	7.0	6.7	6.4
S2 级	h_0/t_w	72.0	59.4	55.9	53.9	51.5
	b_0/t_f	11.0	9.1	8.5	8.2	7.9
S3 级	h_0/t_w	93.0	76.8	72.2	69.6	66.5
	b_0/t_f	13.0	10.7	10.1	9.7	9.3
S4 级	h_0/t_w	124.0	102.3	96.3	92.7	88.6
	b_0/t_f	15.0	12.4	11.6	11.2	10.7
S5 级	h_0/t_w	250	250	250	250	250
	b_0/t_f	20	20	20	20	20

h_0/t_w 为 H 形截面腹板高厚比，b_0/t_f 为 H 形截面翼缘宽厚比。

b. 次梁的布置间距基本固定，荷载一般较小。

民用建筑钢结构中，楼板或屋面板通常采用钢筋桁架楼承板或压型钢板组合楼板，根据实际工程需要，楼板厚度为 120~180 mm 不等。钢筋桁架模板或压型钢板本身具备刚度，施工阶段在一定跨度内可以支承钢筋混凝土的重量，从而不必设置临时支撑。从施工方便的角度考虑，钢结构次梁的间距不宜过大，通常为 3 m 左右，小于常规混凝土结构的次梁间距。且由于间距小，在没有较大集中荷载的条件下，次梁上的荷载较小。

c. 次梁（含檩条）一般情况下为简支梁，两端铰接，没有负弯矩区，可考虑与钢筋混凝土楼板的组合作用。钢筋混凝土受压，钢次梁受拉，充分发挥两种材料的优势，可以实现很好的经济效益。钢梁与混凝土楼板的组合作用（图 1）可增加梁的抗弯承载力和刚度，相比非组合结构，能够减轻 30%~50% 的用钢量。热轧 H 型钢的截面通常具有很好的塑性性能，可以采用塑性设计，此时组合次梁的板件宽厚比等级建议采用 S2 级。

2）次梁型热轧 H 型钢设计重点。

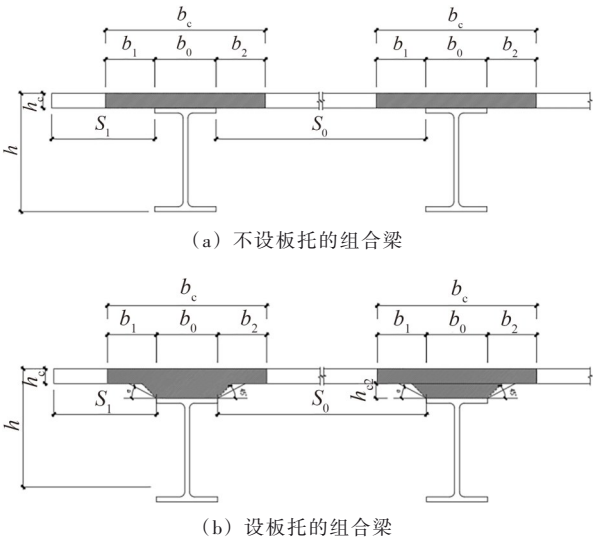
钢次梁受力状态简单，在常用跨度、荷载下，热轧 H 型钢次梁截面高度基本在 500 mm 以内。

综合比较钢次梁与钢-混凝土组合次梁的经济性可知，组合次梁更占优势，因此建议单独设置次梁型热轧 H 型钢，并在其主要应用高度（200~500 mm）内细分级次。板件宽厚比要求按 S2 级设置，同时开发钢-混凝土组合次梁的设计方法、节点构造措施、标准图集等成套设计方案，以提高设计的便捷性。在生产技术允许情况下，可考虑不等厚或不等宽翼缘，适应组合梁的特点，以进一步提高经济效益。

3.2　框架梁

1）框架梁的受力特点分析。

a. 框架梁在竖向荷载和水平荷载（地震、风）共



（a）不设板托的组合梁

（b）设板托的组合梁

图1　钢-混凝土组合梁示意

Fig. 1　Diagram of composite steel and concrete beam

同作用下，受力状态复杂。

b. 框架梁需考虑地震作用，有抗震要求时，需要根据场地情况、结构类型考虑抗震性能，确定其延性等级。

对于“低承载力、高延性”的钢结构，在地震作用下，框架梁端部形成塑性铰，框架梁须具备足够的延性以保证塑性铰的形成，须满足抗震等级一级～四级的板件宽厚比要求（《抗规》），或S1级截面、S2级截面要求（《钢标》）。

2）框架梁型热轧H型钢设计重点。

首先，为满足建筑的空间要求，框架梁的截面高度通常受到限制。框架梁需要在经济性与截面高度限制间取舍，不追求极致的经济，而是相对的平衡，因此须在同一梁高范围内有多种规格，以便设计人员选择。经统计，框架梁的主要截面高度在600~1200 mm，宽度一般在200~400 mm，截面宽度与高度的比值通常为1/3~1/2，钢材强度等级为Q235~Q460。基于使用率最高的分类原则，500~800 mm高度的框架梁应用最多，建议在此范围内进一步通过改变翼缘宽度、厚度等手段来调整截面特性，细分级次。

其次，框架梁型热轧H型钢截面设计时应注意抗震的延性要求。

《抗规》规定，对于框架梁，依据不同的抗震等级对应不同的钢构件宽厚比限值，详见表2。《钢标》规定的各等级钢材牌号对应的H形截面受弯构件（梁）的板件宽厚比限值见表1。其中，S2级与四级框架要求相当，S1级与二级框架要求相当。框架梁型热轧H型钢应明确分类，腹板、翼缘应按不同抗震等级板件宽厚比的要求区分，并在选型参数中给出对应的延性类型，以利于设计人员按工程需求选择截面抗震类型，保证结构安全性。

表2　《抗规》框架梁板件宽厚比限值

Table 2　Limit value of width- thickness ratio for H-section bending members in Code for Seismic Design of Building

抗震等级	轴压比	参数	Q235	Q355	Q390	Q420	Q460
一级	0.1	h_0/t_w	60.0	49.5	46.6	44.9	42.9
	0.2		48.0	39.6	37.3	35.9	34.3
	—	b_0/t_f	9.0	7.4	7.0	6.7	6.4
二级	0.1	h_0/t_w	62.0	51.2	48.1	46.4	44.3
	0.2		52.0	42.9	40.4	38.9	37.2
	—	b_0/t_f	9.0	7.4	7.0	6.7	6.4
三级	0.1	h_0/t_w	69.0	56.9	53.6	51.6	49.3
	0.2		58.0	47.9	45.0	43.4	41.5
	—	b_0/t_f	10.0	8.3	7.8	7.5	7.1
四级	0.1	h_0/t_w	73.0	60.2	56.7	54.6	52.2
	0.2		61.0	50.3	47.4	45.6	43.6
	—	b_0/t_f	11.0	9.1	8.5	8.2	7.9

再次，框架梁是重型热轧H型钢和高强热轧H型钢的推广对象。

对常规柱网、层高对应的框架梁进行统计，得出如下结论：高烈度区框架梁截面控制因素通常是整体结构的变形，如果是整体结构变形或框架梁自身挠度控制，并且受到层高的限制（即梁高受限时），则须增加H型钢翼缘厚度，必要时采用重型H型钢；低烈度区框架梁截面的控制因素通常是承载力，如果是框架梁的承载力控制时，除增大H型钢翼缘厚度，还可以通过采用高强度H型钢来实现更好的经济效益。

此外，型钢梁还有一种特殊衍生品——蜂窝梁。蜂窝梁通过增加截面高度来提升结构刚度与承载力，同时梁上洞口也可为管线穿越提供便利，从而增加建筑净空。其配套设计方法在目前的通用软件中有所欠缺，在相应配套设计方法得到补充后蜂窝梁也是重要的推广方向之一。

3.3　受压与压弯构件

结构设计中，框架柱、支撑和桁架一般为受压或者压弯构件。钢构件在受压或压弯状态下，易发生整体失稳。避免受压构件整体失稳的有效措施是减小构件的长细比、增大截面惯性矩（包括强轴和弱轴两个方向）。框架柱还存在双向受弯的情

况，当弱轴方向存在弯矩时，构件弱轴方向的截面抵抗矩亦不能过小。

箱形截面和圆管截面在两个受力方向上的受力性能相同或者接近（长方形箱形截面），从截面特点上说更为适合受压和压弯构件。而H形截面作为开口截面，弱轴方向的截面抵抗矩、惯性半径明显小于强轴，这也是H形截面较少用于框架柱、支撑和桁架的主要原因。

但是闭口截面（包括箱形截面），存在内部焊缝质量检测困难的问题，箱形截面的内部加劲肋有一侧必须采用熔嘴电渣焊的方式。另外，小的圆管截面则不可能在内部设置加劲肋，而须设置外环加劲肋，也给建筑造型带来了不便。

因此，H形截面虽然存在劣势，但从结构安全、构造可靠的角度出发，小截面的框架柱、支撑、桁架构件等受压或压弯构件仍应考虑采用H形截面或其他开口截面，故应推广热轧H型钢在此类构件中的应用。

1）框架柱。

框架柱为双向受弯构件，其受力特点决定了设计中多采用方（圆）钢管混凝土框架柱或者型钢混凝土框架柱。当结构高度达到一定高度时，框架柱在竖向荷载作用下产生的轴力很大，采用钢和混凝土共同承压是最为合理的选择。需要注意的是，应合理选择框架柱截面尺寸以便于内部施工和检测。

从安全角度出发，推广热轧H型钢框架柱应用应提出相应方案，解决钢框架结构这种双向刚接的结构体系中H型框架柱弱轴抗弯能力差的问题。

与箱形截面相比，H形截面要取得相同的截面面积，外形尺寸可能增大，或者板厚增大，而厚板的力学性能降低，从而增加成本，经济指标不佳。

2）支撑。

支撑以轴心受压为主。调研统计得知，钢支撑采用箱形截面的比例最高。支撑构件的截面高度主要为300~500 mm。

在钢框架-支撑体系中，支撑是主要抗侧力构件，在高烈度地区支撑构件的内力通常很大。中大地震作用下，支撑是主要耗能构件。因此，无论《抗规》还是《钢标》，对支撑构件的板件宽厚比的限制均高于其他部位构件。基于支撑内力大，并且延性要求高的特点，支撑更适合采用壁厚较大、屈服强度较低的构件。

箱形截面和圆管截面支撑构件受力性能好，两个主要受力方向的截面特性相差不大，从力学性能的角度出发，箱形截面和圆管截面是最为适合的支撑构件。但是箱形截面和圆管截面支撑构件与框架的连接较为复杂，且必须现场焊接，而H型钢支撑则可选择全螺栓连接的方式。H形截面支撑与框架的连接方便，而且可以实现全紧固件连接，所以从建筑产业化、装配式的角度出发，H形截面支撑的应用值得推广。

支撑的长细比是决定支撑构件采用何种截面形式的关键。经多个项目比较分析，当按照《抗规》进行抗震设计，或者按照《钢标》进行延性等级不高（支撑结构低于Ⅳ级，框架-中心支撑结构低于Ⅲ级）的抗震设计时，对支撑构件的长细比限制不严格，H形截面构件的弱轴长细比基本能够满足构造要求，可采用H形截面支撑构件。当支撑内力较大时，还可以采用板件厚度40 mm以上的重型热轧H型钢，既满足了承载力需求，又满足了延性需求。

3）桁架。

桁架的弦杆为压弯构件，腹杆为轴心受力构件。《抗规》和《钢标》均未对桁架构件的板件宽厚比作出特殊要求，可以按照常规的压弯构件进行设计。

由调研统计得知，桁架构件的截面高度主要为500~1000 mm（桁架弦杆）、300~700 mm（桁架腹杆）。

在民用建筑中，桁架的应用场景可以分为两类：

a. 大跨度连接体桁架、转换桁架、加强层桁架等。此类桁架构件受力大，实际工程中多采用箱形截面和H形截面。两种截面形式各有优势和不足，与支撑情况类似，箱形截面主要存在连接不便的问题，而H形截面则是弱轴承载能力差，抗扭能力较弱。设计可根据实际情况，依据合理性原则酌情考虑热轧H型钢构件的适用性。

b. 大跨度屋盖、楼盖。此类屋盖或者楼盖的荷载通常不大，但由于建筑专业对净空的要求较高，桁架构件截面大小可能是刚度控制。对于此类情况，桁架弦杆、腹杆适宜采用小截面构件，可采用H形截面，详见图2。

4）受压和压弯型热轧H型钢设计重点。

依据合理性原则，在受压和压弯构件中，热轧H型钢应该在深入研发后有条件地推广，才能同时兼具安全性和经济性。

重型热轧H型钢和高强热轧H型钢在这一领域

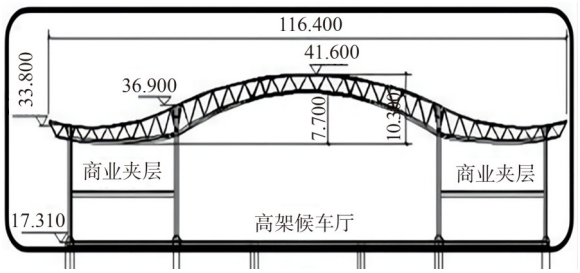


图2　大跨度屋盖桁架　m

Fig. 2　Diagram of roof truss

有很大的发展空间,但国内目前对新型热轧H型钢设计方法的研究不足,还需要进一步完善加强,这也是钢结构未来的研究方向之一。

4　针对性的型钢体系与设计方法研发是热轧H型钢的拓展方向

热轧H型钢用于受弯构件的技术条件和设计手段基本成熟,需要通过精细化整理完善设计思路与方法,重点在于提高设计的经济性与便捷性。而热轧H型钢在受压和压弯构件中的推广制约因素较多,需要从基本结构体系开始,建立起具有针对性,专门适用于热轧H型钢的结构形式和设计方法。

以热轧H型钢在框架柱中的应用为例,通过对国内外结构的研究,提出如下解决方案供设计人员参考。

4.1　对热轧H型钢截面的改进

H形截面的主要问题是强弱轴差异,从构件层面解决这一问题的简单做法就是开发基于热轧H型钢的双轴对称截面形式。

例如,对热轧H型钢进行剖分再焊接的衍生十字形截面(图3)、格构式截面等,将其用于装配式异形时可操作性强,通过现有的计算手段即可实现设计。

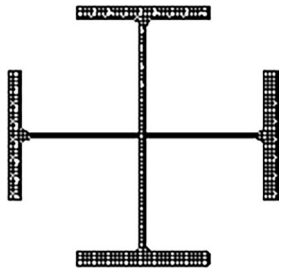


图3　十字形截面示意

Fig. 3　Diagram of cross section

4.2　整理现有的结构设计路线

打破固有思维模式,改变现有钢结构设计中习惯的梁柱双向刚接形式。双向刚接必然带来框架柱双向受弯,而H形截面柱弱轴截面抵抗矩小、抗弯能力差,应避免H形截面柱弱轴受弯。

对于钢框架结构,可合理布置H形截面柱的主要受力方向。H形截面框架柱强轴与弱轴交错布置,铰接与刚接根据柱布置方向交替使用,从而使整体结构双方向均由刚性连接的框架提供抗侧刚度,由铰接梁柱提供竖向支撑。

对于钢框架-支撑结构(包括采用BRB减震措施的结构),整体结构的抗侧刚度主要由支撑提供,地震作用产生的框架柱弯矩较小,H形截面的弱轴采用铰接,该方向力学性能差的问题可得到较好解决。

4.3　引入新的结构体系

通过引入适应热轧H型钢的新型结构体系,合理拓展应用场景。例如,可参考国外经验,采用结构双方向抗侧力形式不同的体系。在H型平面内采用框架体系,平面外采用支撑体系,平衡整体结构双方抗侧刚度,以达到良好的抗震效果。

通过由点到面,逐层深入,才能建立起热轧H型钢真正安全合理、经济便捷的成套设计体系。

5　结　论

热轧H型钢推广应用的社会综合效益优势明显,有助于落实建筑业绿色发展的新理念,将对推进建筑产业化起到积极作用,能有效促进建筑的标准化、装配化、工厂化,从而提升部件质量控制体系,提高整体建筑质量,推动住宅建筑向高品质发展,并成为钢铁产业与建筑产业互相促进的发展契机。

针对热轧H型钢的设计原则和具体方法进行分析总结,建议基于安全性、合理性、经济性和便捷性四大原则,从构件类型出发分别考虑推广路线。

对于受弯构件,应以经济性、便捷性为指标,通过细致工作形成标准化的设计文件,方便设计人员选择,并掌握设计成果的经济指标。

对于受压和压弯构件,则应进一步研究开发新的产品与体系,从安全性和合理性出发,开拓热轧H型钢的应用场景,而不应一味从截面尺寸入手追求经济性。

对于重型热轧H型钢和高强热轧H型钢,应进一步加强基础研究。因为大尺寸、重型热轧H型钢、厚翼缘热轧H型钢的热轧残余应力与小尺寸型

钢不同，其计算目前仍缺乏深入研究，设计缺乏可靠依据。未来发展中应明确其适用的范围和设计方法，在通过详细分析后再制定合理规格，盲目制定产品规格可能会带来安全隐患与经济损失。

参　考　文　献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构通用规范：GB 55006—2021[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2021.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计标准：GB 50017—2017[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑抗震设计标准：GB/T 50011—2010[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2024.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 高层民用建筑钢结构技术规程：JGJ 99—2015[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2015.

[5] 付洁，刘彦生，张一舟，等. 热轧 H 型钢在民用建筑中推广应用的瓶颈及对策分析[J]. 建筑结构，2021，51(24)：78-83.

[6] British Standards Institution. Hot rolled steel channels，I and H sections-dimensions and masses：BS EN 10365：2017 [S]. London：BSI，2017.

[7] 文双玲. 热轧 H 型钢设计应用手册[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2020.

[8] 中国国家标准化管理委员会. 热轧 H 型钢和剖分 T 型钢：GB/T 11263—2017[S]. 北京：中国标准出版社，2017.