

1 绪 论

1.1 装配式钢结构概述

1.1.1 传统钢结构发展概述

钢结构是由生铁结构逐步发展起来的。中国是较早发明炼铁技术的国家之一，也是最早用铁制造承重结构的国家。早在战国时期，我国的炼铁技术就已经很盛行了。汉明帝时期，我国已成功以锻铁为环，相扣成链，建成了世界上最早的铁链悬桥——兰津桥。1705年我国建造的四川泸定大渡河桥，比美洲1801年才建造的跨长23m的铁索桥早近百年。除此之外，我国还有很多建成的铁塔，目前依然存在。所有这些都表明，我们中华民族对铁结构的应用，曾经居于世界领先地位。英国直到1840年还只是采用铸铁来建造拱桥。随着铆钉连接和锻铁技术的发展，铸铁结构逐渐被锻铁结构取代。1855年英国人发明贝氏转炉炼钢法、1865年法国人发明平炉炼钢法以及1870年成功轧制出工字钢之后，欧美各国形成了工业化大批量生产钢材的能力，强度高且韧性好的钢材才开始在建筑领域逐渐取代锻铁材料，自1890年以后成为金属结构的主要材料。20世纪初焊接技术以及1934年高强度螺栓连接方式的出现，极大地促进了钢结构的发展，使其逐渐发展成为全世界所接受的重要结构体系。中国古代在金属结构方面虽有卓越的成就，但在近现代，铁结构的技术优势早已丧失殆尽。1907年才建成了汉阳钢铁厂，年产钢量只有8500t。1943年是至当时为止我国历史上钢铁产量最高的一年，生产生铁180万吨、钢90万吨，但这些钢铁很少用于建设，大部分被日本用于侵华战争。即使这样，我国工程师和工人仍有不少优秀设计和创造，如1927年建成的沈阳皇姑屯机车厂钢结构厂房、1931年建成的广州中心纪念堂圆屋顶、1937年建成的杭州钱塘江大桥等。

中华人民共和国成立后，随着经济建设的发展，钢结构曾起过重要作用，但由于受到钢产量的制约，很长一段时期内，钢结构被限制使用在其他结构不能代替的重大工程项目中。这在很大程度上影响了我国钢结构的发展。

20世纪50年代后，我国钢结构的设计、制造、安装水平有了很大提高，建成了大量钢结构工程，有些在规模上和技术上已达到世界先进水平，如首都体育馆、上海体育馆、深圳体育馆，大跨度三角拱形的西安秦始皇陵兵马俑陈列馆，悬索结构的北京工人体育馆、浙江体育馆，高耸结构中的200m高的广州广播电视塔、210m高的上海广播电视塔，等。

自1996年开始，中国逐步改善了钢材供不应求的局面。钢结构技术政策，也从“限制使用”改为积极合理地推广应用，接着发展到鼓励使用钢结构，整个产业前景也非常乐观。随着钢结构设计理论、制造、安装等方面技术的迅猛发展，各地建成了大量的轻钢结构、大跨度钢结构、高层钢结构、高耸结构、市政设施等。以“鸟巢”(图1-1)、“水立方”为代表的

大中城市体育项目，以“国家大剧院”为代表的文化设施，以北京首都机场 T3 航站楼为代表的航站楼工程，以上海金茂大厦、上海中心大厦（图 1-2）为代表的高层钢结构，以上海“东方明珠”电视塔、广州电视塔为代表的高耸钢结构，等等，展示出了我国钢结构发展的水平。



图 1-1 鸟巢



图 1-2 上海中心大厦

我国钢结构主要集中于工业厂房、大跨度或超高层建筑，钢结构在全部建筑中的应用比例还很低，不到 5%，绝大多数建筑用钢是用于钢筋混凝土结构中的，钢结构用钢还不到建筑用钢的 2%。因此，我国钢结构还是一个很年轻的行业，总体水平与发达国家相比，仍有较大的差距。这个差距是钢结构发展的潜力，也是钢结构发展的空间。

就建筑结构来讲，土木工程的结构类型从最初的砖石结构、木结构，发展到钢筋混凝土结构，再到钢结构，是科学技术发展的必然，21 世纪必将是钢结构的世纪。

1.1.2 装配式钢结构发展背景

传统建筑以现场手工建造为主，建设工期长，质量难以控制，现场产生的建筑垃圾较多，对环境的影响也较大，造成了资源浪费。国家未来规划中，在大力发展城镇化建设和新农村建设的进程中，鉴于建造房屋需要高效率和高品质保证，以及资源节约与环境保护的需要，传统建筑已经不能满足社会经济发展要求。与传统建筑不同，装配式建筑是指用预制的构件在工地现场装配的建筑。根据《工业化建筑评价标准》（GB/T 51129—2015），工业化建筑划分为 A 级、2A 级和 3A 级。根据结构主体的受力构件所使用的材料不同，装配式结构分为装配式钢结构、装配式混凝土结构（PC）和装配式木结构。

1999 年，国务院发布《关于推进住宅产业化提高住宅质量的若干意见》，全国开始兴起推进住宅产业化的工作。到 2013 年，尤其是进入 2016 年以后，装配式建筑在全国各地出现了快速发展的局面。2016 年 1 月 1 日，由住房和城乡建设部住宅产业化促进中心、中国建筑科学研究院会同有关单位历时两年多编制的国家标准《工业化建筑评价标准》（GB/T 51129—2015）正式实施，对“工业化建筑”“预制率”“装配率”等专业名词进行了明确定义。

2016 年 2 月，《中共中央国务院关于进一步推进城市规划建设管理工作的若干意见》印发，提出大力推广装配式建筑，力争用 10 年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑的比例达到 30%。积极稳妥推广钢结构建筑。

2016 年 3 月 5 日，“装配式建筑”首次出现在《政府工作报告》中，李克强总理指出：积

极推广绿色建筑和建材，大力发展钢结构和装配式建筑，加快标准化建设，提高建筑技术水平和工程质量。李克强 9 月 14 日主持召开国务院常务会议，第二次提出大力发展装配式建筑，推动产业结构调整升级。

2016 年 9 月 27 日，国务院印发《关于大力发展装配式建筑的指导意见》，规定八项任务：健全标准规范体系；创新装配式建筑设计；优化部品部件生产；提升装配施工水平；推进建筑全装修；推广绿色建材；推行工程总承包；确保工程质量安全。

基于国家政策的方向，若干城市陆续也推出了各地方政策，积极推动装配式建筑的发展：

(1) 上海市规定，从 2016 年起外环线以内符合条件的新建民用建筑全部采用装配式建筑，外环线以外采用装配式建筑的比例超过 50%，2016 年单体预制率不低于 40%。

(2) 河北省规定，对主动采用建筑产业化方式建设且预制装配率达到 30% 的商品房项目，在办理规划审批的时候，其外墙预制部分可不计入建筑面积，但不超过该栋地上建筑面积的 3%。2016 年预制装配率达到 30%，2017 年政府投资项目在 50% 以上的采用产业化方式建设。

(3) 四川省出台《关于推进建筑产业现代化发展的指导意见》，文件中明确了大跨度、大空间和单体面积超过 2 万平方米的公共建筑，应全面采用钢结构。

(4) 甘肃省建设厅印发了《关于推进建筑钢结构发展与应用的指导意见》，文件指出在有条件的地区开展钢结构住宅试点，鼓励房地产开发企业开发建设钢结构住宅，在农村危房改造中应用钢结构抗震农宅。

1.1.3 装配式钢结构特点

相比于装配式钢筋混凝土结构，装配式钢结构具有以下明显的优点：

- (1) 没有现场现浇节点，安装速度更快，施工质量更容易得到保证。
- (2) 钢结构是延性材料，具有更好的抗震性能。
- (3) 相对于混凝土结构，钢结构自重更轻，基础造价更低。
- (4) 钢结构是可回收材料，更加绿色环保。
- (5) 精心设计的钢结构装配式建筑，比装配式混凝土建筑具有更好的经济性。
- (6) 梁柱截面更小，可获得更多的使用面积。

但另一方面，装配式钢结构也有其缺点：

- (1) 相对于装配式混凝土结构，装配式钢结构外墙体系与传统建筑存在差别，较为复杂。
- (2) 如果处理不当或者没有经验，防火和防腐问题需要引起重视。
- (3) 如设计不当，钢结构比传统混凝土结构更贵，但相对装配式混凝土建筑而言，仍然具有一定的经济性。

1.1.4 装配式钢结构应用

随着国民经济的逐步发展和科学技术的进步，钢结构的应用范围在不断扩大。其大致的应用范围有：

- (1) 大跨度空间钢结构建筑：钢材强度高、结构重量轻的优势正适合于大跨结构，故在

跨度较大且空间连续的建筑体系中有广泛的应用。常用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索以及框架等。主要用于体育场馆、会展中心、航站楼、机库。国内的代表建筑主要有首都机场三号航站楼（图 1-3）、国家游泳馆等。

（2）轻型钢结构建筑：以薄壁型钢作为檩条和墙梁，以焊接或热轧型钢作为梁柱，现场采用螺栓或焊接方式拼接的主要结构。主要用于轻型的工业厂房（图 1-4）、仓库、超市、活动房屋等，其他设有较大锻锤以及受动力作用的设备厂房也多采用钢结构。



图 1-3 航站楼



图 1-4 工业厂房

（3）重型钢结构建筑；一般指 10 层或 24 m 以上的多高层钢结构建筑（图 1-5），多采用全钢结构或钢框架-混凝土的建筑结构形式，在多层框架、框架-支承结构、框筒和巨型框架中得到越来越多的应用。代表建筑有美国纽约帝国大厦、我国北京国贸三期以及上海环球金融中心（图 1-2）等。



图 1-5 高层钢结构住宅

（4）高耸结构：塔架和桅杆结构等常采用钢结构，如火箭发射塔架和广播电视塔等（图 1-6）。

（5）组合结构：由于钢结构具有重量轻的优点，所以常被用于实腹变截面门式钢架、冷弯薄壁型钢结构以及钢管结构等。



(a) 火箭发射塔架



(b) 广播电视塔

图 1-6 高耸结构

1.2 装配式钢结构施工技术概述

1.2.1 装配式钢结构施工技术发展历程

我国对装配式建筑施工技术的研究最早是在 20 世纪五六十年代，主要针对设计和施工方面，并经过了一个探索实践阶段，形成了单层工业厂房、多层框架、大板建筑等一系列较为典型的装配式建筑体系。

我国装配式建筑施工技术全面应用阶段出现在 20 世纪 80 年代至 90 年代初期，这段时期，“设计→制作→施工安装”的一体化的装配式建筑模式已经基本形成，并在国内得到广泛应用。在当时，砌体建筑（主要是预制空心楼板的装配）与混凝土装配建筑一起成为普及率达 70% 的建筑体系。但自 20 世纪 90 年代中后期开始，现浇施工技术成为建筑施工的主流施工工艺，装配式施工技术只有在单层工业厂房项目中还有一定的应用，预制结构的应用发展进入停滞阶段。出现这种现象的主要原因是我们对预制结构的设计和施工管理一体化研究不够，导致结构整体的抗震性不能满足要求，造成其技术经济性较差。进入 21 世纪后，我国房地产业进入飞速发展阶段，加之在建筑产业工业化背景下，政府大力推动，出台了一系列的装配式建筑发展的推动和扶持政策。

2000 年，我国钢产量进入高速增长阶段，房地产业进入迅猛发展期。建设部开展示范莱钢、马钢推广 H 型钢，各地开始试点，掀起了钢结构发展的高潮。我国钢材和钢结构产量高居世界第一，但发展不平衡；工业建筑和大跨度钢结构发展迅猛，但量大面广的钢结构住宅占比不足 1%；我国是钢结构应用大国，但钢结构建筑产业化水平低，缺乏成熟的专用体系，更没有通用体系，与发达国家差距巨大。钢结构的关键共性技术我国一直在研究并取得了一些进展，但缺乏因地制宜的产业化解决方案。

在 2006—2011 年这 6 年的时间内，我国的建筑业总产值一直以高于 20% 的速度增长，但

从 2012 年起，增长速度下降到 20% 以下。2014 年的增速仅是 2011 年的一半左右，为 10.9%，我国建筑行业经受着行业发展的低迷期。据不完全统计，目前，我国的建筑工程施工中产生的建筑废渣至少为 5 t/m²，建筑相关产业的能耗占社会总能耗的 51%，温室气体的排放总量中工程建设施工占到了 15.8%，PM2.5 来源中有 15.8% 来自建筑工地扬尘。另外，目前的中国建筑市场中工地劳工还有 30% 的空缺，加之整个行业处处存在的质量通病、施工过程中现场垃圾扬尘肆虐、生产劳动力缺乏等生产现状，以及传统建筑作业施工现场脏乱差，人工劳动力、模板和脚手架的大量使用等弊端，建筑产业转型升级迫在眉睫。

2013 年，国家修订的《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2014) 也将钢结构建筑划为绿色建筑系列。在“绿色建筑”“绿色建材”和“建筑工业化”等号召驱动下，钢结构住宅是最好的实现形式和结构体系。工业化生产和人口城镇化是走向现代化发展的基础，而装配式钢结构住宅力争实现工业化生产是发展绿色建筑、促进建造方式转型、解决部分产能过剩的战略举措，更是建筑业改革发展的一条新的绿色途径。科学技术部关于“国家重点研发计划重点专项 2017 年度项目”中，将“绿色建筑及建筑工业化”列为国家层面的重点研发计划，这就再一次明确了建筑业未来的发展方向——建筑工业化。建筑工业化是指像“造汽车”一样，把房屋的建造采用工业化生产方式来实现，即将房屋的建造从开发设计到生产施工再到工程管理的过程形成全套的一体化产业链。

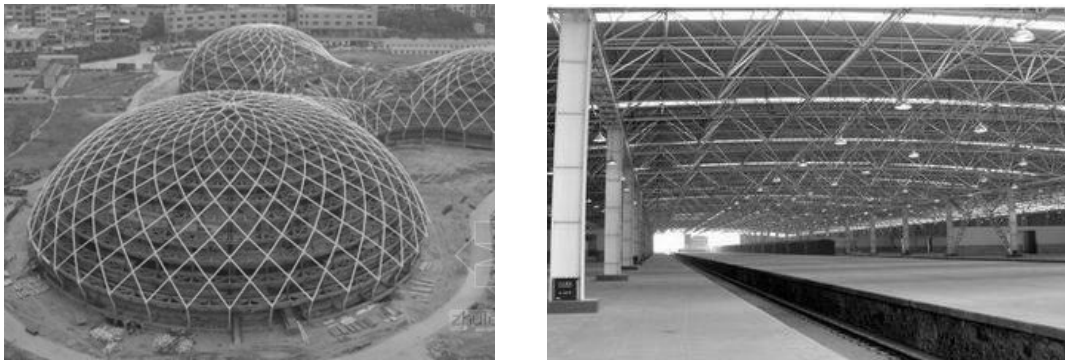
1.2.2 装配式钢结构施工技术发展现状

虽然我国装配式建筑施工技术的发展正位于发展初期，装配比例和建筑规模离与我们的预期都还有一定的距离，且还存在市场培育不充分、技术体系不够成熟、质量管控需要进一步加强、行业队伍也有待提高等不足，但国家政策和地方具体落实政策的陆续出台，已经为装配式建筑施工技术未来在我国的发展营造了很好的政策环境。据不完全统计，当下全国已经有多达 17 个省 50 余市相继出台了推动装配式建筑施工技术发展的指导性文件，2016 年在全国范围内新开工的项目中，采用装配式施工技术的建筑面积已经超过了 3 500 万平方米。2017 年 6 月 1 日，与装配式建筑相配套的木结构、钢结构、混凝土结构的施工标准已经在住房和城乡建设部出台的《“十三五”装配式建筑行动方案》中被批准正式实施，而关于装配式建筑施工技术的评价标准的意见征求也已经完成，并形成了意见稿。此外，在“十三五”重大专项课题研究中，科技部也广泛组织人员进行了建筑工业化课题研究。总之，2016 年以来，我国已经在全国范围内掀起了发展装配式建筑的浪潮，未来我国势必在装配式建筑设计方法、预制构件的生产自动和智能化、现场装配技术等方面有很大突破和发展，以全面推动装配式建筑产业化，装配式建筑施工技术也将迎来新的全面发展阶段。

随着经济的不断发展以及人民生活水平的不断提高，私家车的数量也在不断提高，而伴随着这样的发展趋势，“车多位少”的现象日益严重，人们很难找到一个合适的位置去停放车辆。为了更好地解决这个问题，地下停车场被广泛地开发和应用，但是由于地下停车场对于建筑质量的稳定性要求极高，传统的结构建筑很难满足这样的要求，而多高层结构建筑由于可以很好地发挥其优势和性能，在为人们提供更多车位的同时满足了建筑要求，因而被广泛应用。目前，我国住宅建筑多采用钢筋混凝土结构，但传统的建筑结构中使用的钢筋混凝土的建筑模式不仅会受到温度、湿度等各种外界因素的干扰，而且它的稳定性能也非常的差，

在很大程度上导致了资源的浪费。钢结构由于耐腐蚀性能差，导致其地区适应性较差、产业化程度低，从而没有被市场接受。与混凝土剪力墙住宅相比，经过 20 年的徘徊发展，传统钢结构住宅体系并未取得突破性的进展。造成目前钢结构住宅建筑困境的主要瓶颈问题，是缺乏与产业化生产方式相适应的钢结构建筑体系，缺乏匹配围护体系、防火防腐技术和高效装配化连接等共性关键技术的产业化解决方案，缺乏一体化可复制推广的产业化工程示范。

近年来，钢结构的施工技术得到了较快发展，在某些高层建筑及跨度很大的空间结构中经常被投入使用，尤其是多层变截面网壳和网架、球节点平板网架（图 1-7）等钢结构的应用，都体现出了这一施工技术的先进性。通过对多高层钢结构住宅的建筑技术与工程应用进行分析可得，多高层钢结构施工技术不仅具有良好的稳定性能，还提升了建筑的清洁度，对房屋建筑有明显的保护作用，达到了保护环境的效果，更提高了施工单位的施工质量和施工进度，从而提高了施工单位的经济效益以及社会效益。因而施工单位应该在此方面引起足够的重视，更好地掌握多高层钢结构的施工技术，不断地发展，为更好地推动我国住宅产业化贡献自己的力量。



(a) 网壳

(b) 网架

图 1-7 空间结构

目前，杭萧、宝钢、中冶和中建等已开始尝试开展新体系试点。伴随着现代化信息技术的大幅进步，建筑施工企业的施工信息化管理已然成了当前的必然趋势，而这恰恰也是增强建筑施工单位经济效益和综合实力的最有效方式。施工的组织和管理工作，像电脑技术、多媒体技术等作为依托和辅助的管理技术在工程预算、招标投标、规划制订、成本控制、质量监控等多个方面均起着重要的作用。在施工工艺的管理上，电脑辅助可以发挥优化施工方案的关键作用，比如模板及脚手架 CAD 图纸设计、混凝土自动搅拌控制、大规模的数据收集及整合处理等都离不开计算机技术的协助。由此可以看出，计算机技术势必会在今后的施工管理中发挥越来越重要的作用。

从现在国内的建筑施工行业现状及施工技术的发展情况来看，今后相当长的一段时期内国内建筑施工将更加着重于钢结构施工、盾构施工、高层建筑物施工、基础施工、桥梁施工、信息化施工以及环保施工等一系列施工技术的研究与创新。由于大型建筑的不断扩展，它们的结构化、规模化特征将会更为明显，整体结构也会更加复杂，因此对它们进行信息化、绿色化、自动化的管理必将成为今后施工发展的新方向。同时，使用机械自动化施工技术来代替某些人工施工技术，用精细化的施工技术代替过于粗放的施工技术，利用更加绿色环保的施工技术来代替高耗能、高污染的施工技术，等，都是现代装配式施工技术的发展方向。

2 装配式钢结构材料

2.1 主体结构材料

2.1.1 钢 材

1. 钢材的分类

(1) 按化学成分分类。

① 碳素结构钢。

含碳量为 0.02% ~ 2.0% 的铁碳合金称为钢。根据钢的含碳量不同划分钢号。一般把含碳量 < 0.25% 的钢称为低碳钢 ; 含碳量为 0.25% ~ 0.6% 的称为中碳钢 ; 含碳量 > 0.6% 的称为高碳钢。建筑钢结构主要使用低碳钢。

按现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006) 的规定, 碳素钢分为 4 个牌号, 即 Q195、Q215、Q235 和 Q275。

《碳素结构钢》(GB/T 700—2006) 中钢材牌号的表示方法由屈服强度“屈”字汉语拼音的首位字母 Q、屈服强度数值 (MPa)、质量等级符号 (A、B、C、D) 及脱氧方法符号 (F、Z、TZ) 4 个部分组成。质量等级中以 A 级最低、D 级最优 ; F、Z、TZ 则分别是“沸”“镇”及“特镇”汉语拼音的首位字母, 分别代表沸腾钢、镇静钢及特殊镇静钢, 其中代号 Z、TZ 可以省略。按照国家标准, 钢号 Q235A 代表屈服点为 235 MPa 的 A 级镇静碳素结构钢。

② 低合金结构钢。

合金钢是在冶炼碳素结构钢时增加一些合金元素炼成的钢, 目的是提高钢材的强度、冲击韧性、耐腐蚀性等, 而不太降低其塑性。根据合金元素含量的多少, 合金钢可以分为低合金钢 (合金元素的含量 < 5%)、中合金钢 (5% ≤ 合金元素的含量 ≤ 10%) 和高合金钢 (合金元素的含量 > 10%)。

低合金高强度结构钢的牌号表示方法与碳素结构钢一致, 即由代表屈服强度“屈”字的汉语拼音字母 Q、规定的最小上屈服强度数值、交货状态代号、质量等级符号四个部分按顺序排列表示。低合金高强度结构钢的牌号有 Q355、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620 和 Q690 共 8 种, 见《低合金高强度结构钢》(GB 1591—2018)。建筑结构钢中常采用低合金钢, 我国常用的低合金钢有 Q355、Q390 等钢号的钢种。

③ 桥梁用结构钢。

按现行国家标准《桥梁用结构钢》(GB/T 714—2015) 的规定, 桥梁用结构钢分为 Q345q、Q370q、Q420q、Q460q、Q500q、Q550q、Q620q 和 Q690q 共 8 个牌号。

钢的牌号由代表屈服强度的汉语拼音字母、屈服强度数值、桥字的汉语拼音字母、质量

等级符号等几个部分组成。例如：Q420qD，其中：Q——桥梁用钢屈服强度的“屈”字汉语拼音的首位字母；420——屈服强度数值，单位 MPa；q——桥梁用钢的“桥”字汉语拼音的首位字母；D——质量等级为 D 级。

④ 热处理低合金钢。

低合金钢可用适当的热处理方法来进一步提高其强度且不显著降低其塑性和韧性，这种钢的屈服点超过 700 MPa。

(2) 按浇注脱氧程度分类。

① 沸腾钢。

沸腾钢是在钢液中仅用锰铁弱脱氧剂进行脱氧而成的。钢液在铸锭时有相当多的氧化铁，它与碳等化合生成一氧化碳等气体，使钢液沸腾。铸锭后冷却快，气体不能全部逸出，因而沸腾钢有下列缺陷：

- a. 钢锭内存在气泡，轧制时虽容易闭合，但晶粒粗细不匀。
- b. 硫、磷等杂质分布不匀，局部也较集中。
- c. 气泡及杂质不匀，使钢材质量不匀，尤其是使轧制的钢材产生分层，当厚钢板在垂直厚度方向产生拉力时，钢板产生层状撕裂。

② 镇静钢。

镇静钢是在钢液中添加适量的硅和锰等强脱氧剂进行较彻底的脱氧而成的。铸锭时不发生沸腾现象，浇注时钢液表面平静，冷却速度很慢。因此，相对于沸腾钢而言，镇静钢具有以下优点：

- a. 残留气体少。
- b. 杂质少，质量均匀。
- c. 冲击韧性、可焊性、塑性及抗冷脆等方面均较好。

2. 钢材的规格

(1) 常用钢板。

装配式钢结构使用的钢板（钢带）根据轧制方法分为冷轧板和热轧板。

① 钢板与钢带的区别。

钢板和钢带的不同，主要体现在其成品形状上。钢板是指平板状、矩形的，可直接轧制或由宽钢带剪切而成的板材。一般情况下，钢板是指一种宽厚比和表面积都很大的扁平钢材，如图 2-1 所示。钢带一般是指成卷交货的钢材，如图 2-2 所示。



图 2-1 钢板

图 2-2 钢带

② 钢板、钢带的规格。

根据钢板的薄厚程度，钢板大致可分为薄钢板（厚度 ≤ 4 mm）和厚钢板（厚度 >4 mm）两种。在实际工作中，常将厚度为 4~20 mm 的钢板称为中板；将厚度为 20~60 mm 的钢板称为厚板；将厚度 >60 mm 的钢板称为特厚板。成张钢板的规格以符号“—”加“宽度（mm） \times 厚度（mm） \times 长度（mm）”或“宽度（mm） \times 厚度（mm）”表示，如—450 \times 10 \times 300、—450 \times 10。

钢带也可分为两种，当宽度大于或等于 600 mm 时，称为宽钢带；当宽度小于 600 mm 时，称为窄钢带。钢带的规格以“厚度（mm） \times 宽度（mm）”表示。

(2) 常用型钢。

装配式钢结构常用型钢是热轧型钢，主要有 H 型钢、T 型钢、工字钢、槽钢、角钢和钢管。

① H 型钢和 T 型钢。

H 型钢和 T 型钢是近年来我国推广应用的新品种热轧型钢。其内、外表面平行，便于和其他构件连接，因此只需少量加工，便可直接用作柱、梁和屋架杆件。H 型钢和 T 型钢均分为宽、中、窄三种类别，其代号分别为 HW、HM、HN 和 TW、TM、TN。宽翼缘 H 型钢的翼缘宽度 B 与其截面高度 H 相等，中翼缘的 $B \approx (2/3 \sim 1/2) H$ ，窄翼缘的 $B \approx (1/2 \sim 1/3) H$ 。H 型钢和 T 型钢的规格尺寸表示方法采用高度 H （mm） \times 宽度 B （mm） \times 腹板厚度 t_1 （mm） \times 翼缘厚度 t_2 （mm）表示。

② 工字钢。

工字钢有普通工字钢和轻型工字钢之分，分别用符号“I”和“QI”及号数表示，号数代表截面高度（cm）。

a. I20 和 I32 以上的普通工字钢（图 2-3），同一号数中又分 a、b 和 b、c 类型，其腹板厚度和翼缘宽度均分别递增 2 mm。如 I36a 表示截面高度为 360 mm、腹板厚度为 a 类的普通工字钢。工字钢宜尽量选用腹板厚度最薄的 a 类，这是因其线密度低，而截面惯性矩相对较大。



图 2-3 热轧工字钢

b. 轻型工字钢的翼缘相对于普通工字钢的宽而薄，故回转半径相对较大，可节省钢材。

工字钢由于宽度方向的惯性矩和回转半径比高度方向小得多，因而在应用上有一定的局限性，一般宜用于单向受弯构件。

③ 槽钢。

槽钢(图 2-4)分普通槽钢和轻型槽钢两种,以腹板厚度区分,常用作格构式柱的肢件和檩条等。其型号用符号“[”和“Q[”及号数表示,号数也代表截面高度(cm)。[14 和[25 号数以上的普通槽钢,同一号数中又分 a、b 和 a、b、c 型,其腹板厚度和翼缘宽度均分别递增 2 mm。如[36a 表示截面高度为 360 mm、腹板厚度为 a 类的普通槽钢。

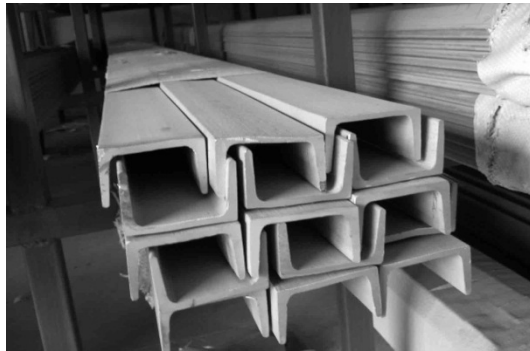


图 2-4 热轧槽钢

④ 角钢。

角钢分等边角钢(图 2-5)和不等边角钢两种。等边角钢的型号用符号“L”和肢宽(mm)×肢厚(mm)表示,如 L100×10 为肢宽 100 mm、肢厚 10 mm 的等边角钢。不等边角钢的型号用符号“L”和长肢宽(mm)×短肢宽(mm)×肢厚(mm)表示,如 L100×80×8 为长肢宽 100 mm、短肢宽 80 mm、肢厚 8 mm 的不等边角钢。我国目前生产的最大等边角钢的肢宽为 200 mm,最大不等边角钢的两个肢宽为 200 mm×125 mm。角钢的长度一般为 3~19 m。

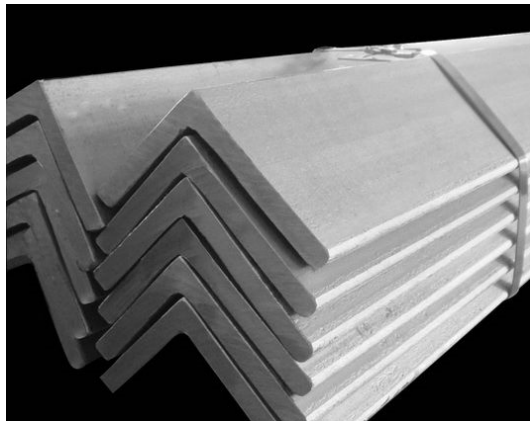


图 2-5 等边角钢

⑤ 钢管。

钢管分无缝钢管和电焊钢管两种,型号用“Φ”和外径(mm)×壁厚(mm)表示,如 Φ219×14 为外径 219 mm、壁厚 14 mm 的钢管。我国生产的最大无缝钢管为 Φ630×16,最大电焊钢管为 Φ152×5.5。

(3) 冷弯型钢和压型钢板。

建筑中使用的冷弯型钢常用厚度为 1.5~5 mm 薄钢板或钢带经冷轧(弯)或模压而成,故也称为冷弯薄壁型钢。另外还有用厚钢板(厚度大于 6 mm)冷弯成的方管、矩形管、圆管

等，称为冷弯厚壁型钢。压型钢板是冷弯型钢的另一种形式，是用厚度为 0.3~2 mm 的镀锌或镀铝锌钢板、彩色涂层钢板经冷轧（压）成的各种类型的波形板。冷弯型钢和压型钢板分别适用于轻钢结构的承重构件和屋面、墙面构件。冷弯型钢和压型钢板都属于高效经济截面，由于壁薄、截面几何形状开展、截面惯性矩大、刚度好，故能高效地发挥材料的作用，节约钢材。

3. 钢材的选用

(1) 影响钢材选用的主要因素。

① 结构等级。

建筑钢结构及其构件按其用途、部位和破坏后果的严重性，可分为重要的、一般的和次要的三类，相应的安全等级为一级、二级和三级。如对大跨度屋架、重级工作制吊车梁等按一级考虑，应选用质量好的钢材；对一般屋架、梁和柱等按二级考虑；对其他如梯子、平台、栏杆等则按三级考虑，可采用质量较低的钢材。

② 荷载特征。

结构所受荷载分为静力荷载和动力荷载两种。直接承受动力荷载的构件如吊车梁有经常满载（重级工作制）和不经常满载（中、轻级工作制）的区别，因此，当荷载特征不同时，对钢材的品种和质量等级应作不同的选择。

③ 连接方法。

钢结构的连接方法有焊接和非焊接（采用紧固件连接）之分。焊接结构由于焊接过程的不均匀加热和冷却，会对钢材产生不利影响，故宜选用碳、硫、磷含量较低，塑性和韧性指标较高，可焊性较好的钢材。

④ 工作条件。

结构的工作环境对钢材有很大影响，下列情况的承重结构不宜采用沸腾钢：

a. 焊接结构：重级工作制吊车梁、吊车桁架或类似结构；冬季计算温度等于或低于 20℃ 时的轻、中级工作制吊车梁、吊车桁架或类似结构；冬季计算温度等于或低于 0℃ 时的其他承重结构。

b. 非焊接结构：冬季计算温度等于或低于 -20℃ 时的重级工作制吊车梁、吊车桁架或类似结构。

⑤ 其他因素。

其他影响钢材选择的因素还有结构形式、应力状态、钢材厚度等。

(2) 钢材选用要求。

① 承重结构钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格证，对焊接结构尚应具有含碳量的合格保证。

② 主要焊接结构不能使用 Q235A 级钢，因为 Q235A 级钢的碳含量不作为交货条件，即不作为保证，即使生产厂提供碳含量合格保证，也只能视为参考，不能排除钢材有离散性大、质量不稳定等现象。因此如发生事故，生产厂家在法律上不负任何责任。

③ 焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构，还应具有冷弯试验的合格证。

④ 需要验算疲劳的结构，钢材应具有冲击韧性的合格证。

⑤ 吊车起质量 ≥ 50 t 的中级工作制吊车梁，对冲击韧性的要求与需验算疲劳的结构相同。

⑥ 重要的受拉或受弯的焊接结构，厚度较大的钢材应有冲击韧性合格证。

⑦ 当焊接承重结构采用 Z 向钢时，应符合《厚度方向性能钢板》(GB/T 5313—2010) 的规定。

⑧ 有人认为将硫、磷含量控制在不大于 0.01 就可以防止层状撕裂问题，也有人提出在上述要求下，再辅以对厚钢板作全面超声波探伤，排除内部缺陷，就可以代替 Z 向钢的要求，这是不正确的。

⑨ 有以下情况的不应采用 Q235 沸腾钢：

焊接结构：需要验算疲劳；

工作温度 $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的直接受动力荷载；

工作温度 $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的受拉及受弯；

工作温度 $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

非焊接结构：工作温度 $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的需要验算疲劳。

2.1.2 楼盖材料

1. OSB 板 (图 2-6)

OSB 板又称为定向刨花板，是以小径材、间伐材、木芯为原料加工成长刨片，经脱油、干燥、施胶、定向铺装、热压成型等工艺制成的一种定向结构板材，材质均匀、稳定性好、易于加工、抗弯强度高、握螺钉力较高、无甲醛释放。OSB 板材类型如表 2-1 所示。

表 2-1 OSB 板材类型表

类型	适用条件
OSB/1	干燥状态条件下一般用途非承载板材
OSB/2	干燥状态条件下承载板材
OSB/3	潮湿状态条件下承载板材
OSB/4	潮湿状态条件下承载板材

2. 水泥纤维板 (图 2-7)

水泥纤维板是以硅质、钙质材料为主原料，加入植物纤维，经过制浆、抄取、加压、养护而成的一种建筑板材。这种板材防火绝缘、防水防潮、隔热隔音、寿命超长。

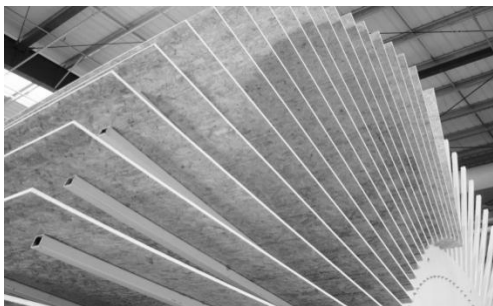


图 2-6 OSB 板材

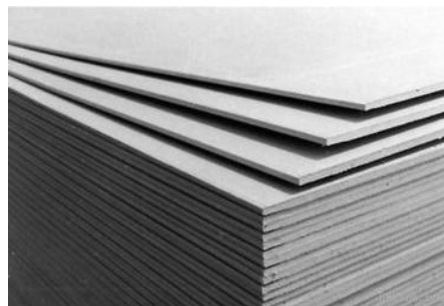


图 2-7 水泥纤维板

其物理性能如下：A 级不燃；抗折强度 ≥ 20 MPa；吸水率 $\leq 40\%$ ；含水率 $\leq 12\%$ ；表观密度 ≤ 1.2 t/m³；抗反卤性无水珠、无返潮；25 次冻融循环，不破裂、分层。

3. 玻镁板 (图 2-8)

玻镁板是由氧化镁、氯化镁和水构成的三元体系，经配置和加改性剂而制成镁质胶凝材料，以中碱性玻纤网为增强材料，以轻质材料为填充物复合而成的不燃性装饰板材，具有防火、防水、无味、无毒、不腐、不燃、高强质轻、施工方便、使用寿命长等特点。

其物理性能如下：A 级不燃；抗折强度 ≥ 20 MPa；吸水率 $\leq 25\%$ ；表观密度 ≤ 1.2 t/m³；抗反卤性无水珠、无返潮；抗冲击强度为 2.4 kJ/m²。

4. 石膏板 (图 2-9)

石膏板是以建筑石膏为主要原料，掺入适量轻集料、纤维增强材料 and 外加剂构成芯材，并与护面纸牢固地黏结在一起的建筑板材。

其物理性能如下：燃烧性能为 B₁ 级难燃；密度 $\rho=1\ 000$ kg/m³；热导率 $\lambda=0.24$ W/(m·K)；蓄热系数为 5.28。

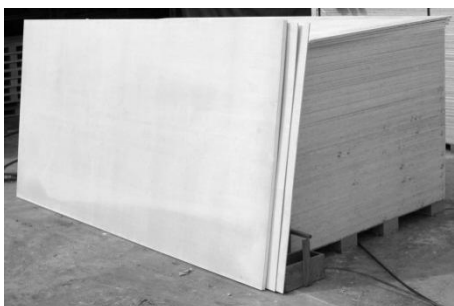


图 2-8 玻镁板

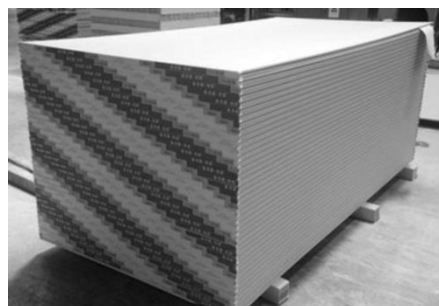


图 2-9 石膏板

2.1.3 连接材料

1. 螺栓连接材料

(1) 普通螺栓连接。

装配式钢结构普通螺栓连接就是将螺栓、螺母、垫圈机械地和连接件连接在一起形成的一种连接形式。从连接工作机理看，荷载是通过螺栓杆受剪、连接板孔壁承压来传递的，接头受力后会产生较大的滑移变形，因此一般受力较大的结构或承受动力荷载的结构，应采用精制螺栓，以减少接头变形量。由于精制螺栓加工费用较高、施工难度大，工程上极少采用，已逐渐为高强度螺栓所取代。

普通螺栓连接时由螺栓、螺母和垫圈三部分组成的，现分述如下。

普通螺栓可分为六角头螺栓、双头螺栓和地脚螺栓等。

a. 六角头螺栓。按照制造质量和产品登记，六角头螺栓可分为 A、B、C 三个等级，其中，A、B 级为精制螺栓，C 级为粗制螺栓。A、B 级一般用 35 号钢或 45 号钢做成，级别为 5.6 级或 8.8 级。A、B 级螺栓加工尺寸精确、受剪性能好、变形很小，但制作和安装复杂、价格昂贵，目前在钢结构中应用较少。C 级为六角头螺栓，也称粗制螺栓，一般由 Q235 镇静钢制成，性能等级为 4.6 级和 4.8 级。C 级螺栓的常用规格从 M5 至 M64 共有几十种，常用于安装连接及可拆卸的结构中，有时也可以用于不重要的连接或安装时的临时固定等。

普通螺栓的通用规格为 M8、M10、M12、M16、M20、M24、M30、M36、M42、M48、M56 和 M64 等。

b. 双头螺栓。双头螺栓一般称为螺栓，多用于连接厚板和不便使用六角头螺栓连接的地方，如混凝土屋架、屋面梁悬挂单轨梁吊挂件等。

c. 地脚螺栓。地脚螺栓分一般地脚螺栓、直角地脚螺栓、锤头螺栓和锚固地脚螺栓 4 种。一般地脚螺栓和直角地脚螺栓是在浇筑混凝土基础时预埋在基础中用以固定钢柱的。

锤头螺栓是基础螺栓的一种特殊形式，是在混凝土基础浇筑时将特制模箱（锚固板）预埋在基础内用以固定钢柱的。

锚栓是用于钢构件与混凝土构件之间的连接件，如钢柱柱脚与混凝土基础之间的连接、钢梁与混凝土墙体之间的连接等。锚栓分为化学试剂型和机械型两类。化学试剂型是指锚栓通过化学试剂（如结构胶等）与其所植入的构件材料黏结传力，而机械型则不需要。

（2）高强度螺栓连接。

高强度螺栓是钢结构工程中发展起来的一种新型连接形式，现已发展成为钢结构连接的主要手段之一，在高层建筑钢结构中已成为主要的连接件。高强度螺栓是用优质碳素钢或低合金钢材料制成的一种特殊螺栓，由于螺栓的强度高，故称高强度螺栓。高强度螺栓连接具有安装简便、迅速、能装能拆和承压高、受力性能好、安全可靠等优点。

① 高强度螺栓分类。

高强度螺栓采用经过热处理的高强度钢材做成，施工时需要对螺栓杆施加较大的预拉力。

a. 高强度螺栓从性能等级上可分为 8.8 级和 10.9 级（也记作 8.8S、10.9S）。

b. 高强度螺栓根据其受力特征可分为摩擦型高强度螺栓与承压型高强度螺栓两类。摩擦型高强度螺栓是靠连接板叠间的摩擦阻力传递剪力，以摩擦阻力被克服作为连接承载力的极限状态，具有连接紧密、受力良好、耐疲劳的特点，适宜承受动力荷载，但连接面需要做摩擦面处理，如喷砂、喷砂后涂无机富锌漆等。承压型高强度螺栓，是当剪力大于摩擦阻力后，以螺杆被剪断或连接板被挤坏作为承载力极限状态，其计算方法基本上同普通螺栓，它们的承载力极限值大于摩擦型高强度螺栓。

c. 高强度螺栓根据螺栓构造及施工方法不同，可分为大六角头高强度螺栓、扭剪型高强