钢结构用钢及钢结构产品的发展与应用

何建中

(内蒙古包钢钢联股份有限公司总工室,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了钢结构用钢、钢结构产品类别、钢结构用钢标准及国内钢结构生产发展现状,分析了钢结构及钢结构用钢的发展趋势,提出制钢企业如何在流程、产品、标准以及延伸产业上满足用钢企业的要求,以促进钢结构用钢和钢结构产业的发展。

关键词: 钢结构; 钢结构用钢; 应用

中图分类号: TU392 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2018)03 - 0001 - 08

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.03.001

Development and Application of Steel for Steel Structure and Steel Structure Products

He Jian - zhong

(*Chief Engineer Office of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is introduced the categories of steel for steel structure and steel structure products, standards of steel for steel structure and development status of domestic steel structure production; the development trends of steel structure and steel for steel structure are analyzed as well as how steel manufacturing enterprises can meet the requirements of steel consuming enterprises in processes, products, standards and extended industries to promote the development of steel and industry for steel structures.

Key words: steel structure; steel for steel structure; application

钢结构是先进钢铁材料实现目标构造的结构表现形式,是结构设计、材料应用、构造体功能实现的综合体现。目前,钢结构主要应用于工业厂房的建造和大型公共基础设施建筑,如:机场航站楼、体育场馆、展会场馆、新建高铁车站、各种类型钢构桥梁及工业与民用建筑等领域。近年,钢结构住宅产业在我国有了新的发展。钢结构住宅产品具有整体结构强度高、重量轻、抗震性能好的特点,钢结构项目可整体设计、制造生产、安装自动化、机械化程度高,施工周期短,可以实现构件工厂化定制,质量稳定可控。国外钢结构发展历史已有百年,而我国钢结构行业起步较晚。随着钢铁产能的增加,全国钢结构产量自20世纪90年代至今增长已超过10倍[1]。由于钢铁产业的迅速发展以及对建筑节能的重视程度提高,我国建筑技术的政策导向也逐渐由多年前的限制钢结构使用转变为发展、大力推广钢结构应用,多项国家产业政策支持钢结构行业的发展。钢结构建筑正处于快速上升阶段,也取得了很多成就,

收稿日期: 2018 - 04 - 10

作者简介: 何建中(1965 -),男,安徽省萧县人,博士,正高级工程师,现从事产品开发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

与西方国家相比，整体水平仍有很大差距，仅钢结构住宅比例有望从不足10%提高至40%。

1 钢结构用钢产品类别

按照产品用途和应用领域不同，钢结构可以分为装备与设备钢结构、重型钢结构、桥梁钢结构、建筑轻钢结构、空间钢结构、海工结构等6大类。

随着我国多套大型板、管、型及高精度线材轧机投产，具备了超厚、超宽等系列钢材产品生产能力，满足钢结构用钢特殊化、多样化的需求。

1.1 钢结构用钢类别

钢结构常用钢材品种有四大类：板材、管材、型材、线棒材。钢结构在建筑结构中的不同部位和承载形式决定其对钢铁材料形状、尺寸及性能的要求，主要是对钢材屈服强度和抗拉强度（屈强比）、冲击韧性、延伸性、抗震性、耐火性、耐腐蚀性能及表面质量等要求。

1.1.1 板材

高层建筑结构用钢板，以热轧、TMCP或经热处理工艺制成，适宜于高层建筑钢结构或其它重型钢结构的构造体使用；

冷轧钢板和钢带，以冷轧或涂镀方式制成，主要用于建筑结构内部结构及电气、通风等内装结构。

1.1.2 管材

结构用无缝钢管，以无缝制管工艺制成，常用于钢结构的连接与支撑部分；

结构用直缝焊钢管和螺旋焊管，常用钢卷或钢带，以直缝焊、螺旋焊方式制成；三种生产方式均可生产方型、异型品种，用于不同的结构形式。

1.1.3 型材

型材主要有热轧和冷成型方式生产，热轧品种主要有热轧等边角钢，热轧不等边角钢、热轧工字钢、热轧H型钢和T型钢等。H型钢多应用于钢结构横梁杠组合支撑使用，分为宽翼缘、中翼缘、窄翼缘及桩用4个系列，T型钢也可采用钢板或钢带冷加工弯曲成型，还可由H型钢沿腹板部分切割生产。

冷弯型钢，以钢板或钢带冷弯成型生产，其主要品种为：冷弯等边角钢、冷弯不等边角钢、冷弯等边槽钢、冷弯内卷边槽钢、冷弯卷边Z型钢。

冷成型方矩管，主要用于建筑结构的内外连接与悬挂覆盖。

1.1.4 线棒材

热轧钢筋主要用于钢筋混凝土的构造，分为光圆钢筋及带肋钢筋；结构用焊材主要通过冷拔、热处理等焊丝生产工艺制成焊接结构用非合金钢及细晶粒钢焊条、热强钢焊条。

钢结构连接件用螺栓、钢结构用扭剪型高强度螺栓链接副、圆柱头焊钉、高强悬索等连接构件，以热轧盘圆和大盘卷为原料，经锻造加工、热处理、表面处理等方式制成，用于钢结构的柱、栓连接。

1.2 钢结构及钢结构用钢标准规范

表1 部分国内现行钢结构标准规范

序号	标准名称	标准编号
1	高耸结构设计规范	GB 50135—2006
2	空间网格结构技术规程	JGJ7—2010
3	拱形钢结构技术规程	JGJ/T249—2011
4	钢结构设计规范	GB 50017—2017
5	交错桁架钢结构设计规范	JGJ/T 329—2015
6	钢结构工程施工质量验收规范	GB 50205—2017
7	公共建筑节能设计标准设计规范	GB 50189—2015
8	高层民用建筑钢结构技术规程	JGJ 99—2015
9	钢结构钢材选用与检验技术规程	CECS 300—2011
10	公路钢结构桥梁设计规范	JTG D64—2015
11	城市桥梁设计规范	CJJ 11—2011
12	铁路桥梁钢结构设计规范	TB 10002—2017
13	铁路钢桥制造规范	TB 10212—2009
14	冷弯薄壁型钢结构技术规范	GB 50018—2016
15	建筑抗震设计规范	GB 50011—2010
16	建筑抗震设防分类标准	GB 50223—2015
17	建筑设计防火规范	GB 50016—2014
18	建筑钢结构防火技术规范	CECS200—2006
19	建筑钢结构防腐蚀技术规程	JGJ/T 251—2011
20	涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级	GB/T 8923.1—2011
21	钢结构焊接规范	GB 50661—2011
22	建筑钢结构焊接技术规程	JGJ 81—2011
23	焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定	GB /T 11345—2013
24	钢结构高强度螺栓连接技术规程	JGJ 82—2011

表1所示了部分国内现行钢结构用标准规范，近年来，随着钢结构使用的快速发展，众多新型结构设计的出现和旧有的结构规程、规范升级，国内钢结

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

构标准与规范大量更新，较好地服务于公用建筑、铁路、公路、民用建筑等领域的应用。

钢结构标准升级与更新，钢结构用钢标准也发生着变化，表 2 所示国内部分钢结构用钢标准和规范的修订情况。随着钢铁行业产品升级和结构调整，结构用钢国内标准也进行了有效的修订，满足了下游企业、用户市场需求，特别是建立了部分钢结构的专用标准。

表 2　国内部分钢结构用钢标准

序号	标准名称	标准号
1	优质碳素结构钢	GB/T 699—2015
2	合金结构钢	GB/T 3077—2015
3	非合金钢及细晶粒钢焊条	GB/T 5117—2012
4	热强钢焊条	GB/T 5118—2012
5	耐候结构钢	GB/T 4171—2008
6	热轧型钢	GB/T 706—2016
7	通用冷弯开口型钢	GB/T 6723—2017
8	冷弯型钢通用技术要求	GB/T 6725—2017
9	结构用冷弯空心型钢	GB/T 6728—2017
10	结构用无缝钢管	GB/T 8162—2008
11	热轧 H 型钢和剖分 T 型钢	GB/T 11263—2017
12	建筑结构用钢板	GB/T 19879—2015
13	优质碳素结构钢热轧厚钢板和宽钢带	GB/T 711—2017
14	碳素结构钢和低合金钢热轧 厚钢板和钢带	GB/T 3274—2017

国外部分常用钢结构用钢标准，见表 3。国外钢结构用钢标准与国内标准比，对于标准术语、交货规则、仲裁条款等方面都有比较详细明确的规定；其标准种类涵盖面较广、产品齐全且完善，技术指标水平较高。国外钢结构用钢标准在产品类别和要求上还较国内有一定优势。国外部分区域钢结构用钢的实际情况，见表 4[2]，可以看到国内重点结构工程开发与应用高性能钢材还有很大的提升空间。

关于钢结构用钢标准修订与完善，一方面，国内还要向先进的国际标准看齐，进一步改进与提升，形成专用的钢结构用钢标准，而不是通用或套用。另一方面，钢铁行业要适应并结合钢结构标准规范的变化，做好钢结构用钢标准一致性、完整性的结合。钢结构用钢标准修订，有利于制造企业与使用行业之间的技术衔接和形成标准共用平台，可共同促进钢铁行业和用钢行业的技术进步。

表 3　国外部分常用钢结构用钢标准

序号	标准名称	标准号
1	一般结构用轧制钢材	JIS G3101
2	焊接结构用轧制钢材	JIS G3106
3	建筑结构用轧制钢材	JIS G3136
4	焊接结构用高屈服强度钢板	JIS G3128
5	结构用轧制钢板、型钢、钢桩、棒材的一般标准要求	ASTM A6
6	碳素结构钢板	ASTM A36
7	中、低抗拉强度碳素钢板标准技术条件	ASTM A283
8	适合于焊接的高屈服强度淬火加回火合金钢板	ASTM A514
9	结构高强度低合金铌钒钢标准规范	ASTM A572
10	热轧、冷轧碳钢和高强度低合金薄钢板的一般要求	ASTM A568
11	高强度低合金结构钢标准	ASTM A588
12	正火高强度低合金结构钢	ASTM A633
13	热轧、冷轧碳钢和高强度低合金钢带的一般要求	ASTM A749
14	热轧非合金结构钢制品 交货技术条件	EN10025
15	I 字型和 H 型结构钢 形状和尺寸公差	EN10034
16	可焊细晶粒结构钢的热轧制品	EN10113
17	调制或沉淀硬化状态下高屈服强度结构钢制薄板和宽扁钢	EN10137
18	改进的抗大气腐蚀的结构钢 交货技术条件	EN10155
19	非合金及细晶粒结构钢的热轧结构空心型材 交货技术条件	EN10210
20	固定海上结构用的可焊接结构钢交货技术条件	EN10225

2　钢结构产品发展

钢结构发展的核心是部品化、工厂化定制，为推动绿色施工和建筑节能减排，促进建筑业转型升级，国务院发布《2014—2015 年节能减排低碳发展行动方案》，提出“以住宅为重点，以建筑工业化为核心，加大对建筑部品生产的扶持力度，推进建筑产业现代化”，国务院《能源发展战略行动计划（2014—2020 年）》中明确指出，“到 2020 年，城镇绿色建筑占新建建筑的比例达到 50%”。住建部《建筑业十三五规划编制方案》中，把钢结构确立为建筑业的重要支柱。推广钢结构是推进建筑业转型升级、实现建筑产业现代化的重要手段，也是提高建筑抗震性能、减少地震灾害造成损失的重要保障。这些都

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

是推进“三板”革新、钢结构部品化带动传统建材产业升级换代的重要举措，为钢铁企业缓解钢材产能过剩、进行产品结构升级、形成钢材战略储备提供技术保障。

表4 国外部分区域钢结构用钢情况

TS /MPa	Japan			America	Europe		Korea		
	JISG 3106	JISG 3136	JAPAN	ASTM	BS 4360	EN10225/ EN10137	KS D 3515	KS D 3861	KS D 5994
400	SM 400 (JIS3101)	SN 400 B/C		A36(For welding) A992 A572－42,50 (Nb－V) A573－58,65 (High toughness)	43A/B/ C/D	S275	SM400	SN 400B/C	
490	SM190 SM520	SN 490B/C SN 520	HBL325, 355,385	A572－60,65 (Nb－V) A573－70 (High toughness) A678A/B/C (QT,HSLA) A678－70(TMCP)	50A/B/C/D	S355 S420 S450 S460	SM490 (PILAC－BT33) SM520 (PILAC－BT36)	SN 490B/C	
600	SM 570		SA440 HBL440	A678 D(QT,HSLA) A656－80		S500 S550 S620	SM 570 (PILAC－BT45)		
750	SA 700		HBL630 HT700	A514 (QT)		S690			HAS 800 POS TEN80
1000			HITEN 980 HT880			S960			

2.1 普通建筑结构

随着经济的快速发展，钢结构建筑市场需求不断增加，近年来，我国钢结构建筑发展迅猛，鸟巢体育场、中国尊已成为大型钢结构建筑的典型代表作品[3]。由于钢结构建筑在性能、环保、安全等方面存在的优势见表5[4]。我国建筑钢结构应用比例将快速增加。

表5 钢结构建筑在性能、环保、安全等方面的优势

类别	钢筋混凝土结构	钢结构
建造性能	自重大，占建筑面积的7%～10%，单位楼层高度高，占用较多建筑空间，隔音好	自重较轻，钢柱的截面面积占建筑面积的3%左右，单位楼层高度小，可以增加楼层数量，但隔音较差
施工状况	需现场浇筑施工，不好变更设计方案	建筑可在工厂中预制，现场仅需安装
环保节能	拆除后混凝土不可再利用，现场施工噪音大	拆除后钢结构或可以直接利用，干式施工，节约水资源，现场施工噪音小
安全保障	抗震性差，耐火性强，对温度较为敏感，表面会脱落、开裂	抗震性好，耐火性较差，易腐蚀，可在钢种添加合金元素或使用防火防腐涂料来解决

2.2 桥梁结构

桥梁结构用钢及主体结构使用钢材的发展，大概经历了六个阶段，第一代武汉长江大桥使用了前苏联引进的A3钢；随着微合金化技术和TMCP工艺技术的进步，从第二代开始国产，国内先后开发和成功应用的品种有：16Mnq、15MnVNq、14MnNbq、WNQ570、Q500qE，分别应用于南京长江大桥、九江长江大桥、芜湖长江大桥、大胜关长江大桥、沪通长

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

江大桥，从以上发展历程看出，桥梁主体结构用钢品种的进步，促进了钢结构大桥综合性能的提升[5]。

钢结构桥梁相比于钢筋混凝土结构等其它桥梁具有较大优势。首先，钢结构产品具有较高的强度及韧塑性，这就使得钢结构桥梁的安全系数大大提高；其次，钢材结构桥梁可以厂内加工成型部件，质量易保证，便于安装加工，施工周期短；再有，钢结构产品可以回收再利用，更加绿色环保，适应新时代的要求。面对钢铁产能过剩，钢结构桥梁以其独特的材料与结构优势，必将迎来钢结构桥梁的大发展。

2.3　装配式建筑

装配式建筑是指通过工业化生产，将建筑结构框架、外墙、楼梯、阳台等构件部品在工厂预制，集中运输到施工现场，通过人工、机械进行拼装的建筑结构。按照结构体系可分为，含钢预制混凝土结构、钢框架结构、钢木结构等。随着我国供给侧结构性改革的不断深入，将逐渐淘汰以往高消耗、高污染、低效率的“粗放”建造模式，转化为建筑产业化模式。从全球建筑业看，装配式建筑常被称为绿色建筑，节能降耗贯穿了装配式建筑建造的全过程，世界各国装配式建筑发展更多集中在装配式住宅。钢结构装配式住宅作为装配式建筑的主要形式，新时期必将迎来发展的春天。

2015—2017 年，为进一步促进钢结构市场的发展，国家密集出台了《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》、《“十三五”装配式建筑行动方案》、《装配式建筑示范城市管理办法》、《建筑业发展“十三五”规划》等一系列政策文件。

钢结构住宅是未来建筑行业发展的主要增长形式。钢结构住宅抗震性能好、节能降耗，提高了房屋的品质和业主使用的安全性；工业化的生产模式，将逐渐降低钢结构住宅的造价及资源消耗，促进钢结构住宅产业的发展[6]。目前，钢结构住宅发展已具备了较好的物质和技术基础，我国钢结构住宅产业化将进入一个新阶段。

3　钢结构用钢发展

3.1　高强化

随着我国钢结构产业技术的发展，先后建造了国家体育场、国家大剧院、上海卢浦大桥、上海环球金融中心、广州新电视塔等一大批国家重点工程，这些国家重点工程的建成，建筑体高度和综合性能的提升，高强钢逐步采用，目前国内钢结构工程大量使用 Q345 级别高强钢，在一些重点钢结构工程中也不乏更高强度级别钢材的使用[7]。

国外钢结构工程中，已开始大量采用 460 MPa 的高强钢，并使用 Q490～Q10 100 MPa 的超高强度钢材，高性能钢材。表 4、表 6[7] 为国内外钢结构采用高强钢实例。

从对比中看出，国内采用高强度结构钢的级别，与国外相比还有较大的提升空间。

3.2　专业化

综合考虑钢结构安全性、经济性、空间利用和造型美观，建筑业及钢结构制造厂对新一代结构用钢提出了专业化的性能需求，钢铁企业相继投入力量，开发出一系列专业化结构用钢，赋予这些钢材特殊的使用性能，增强钢结构安全性、适用性，并考虑降低钢结构制品的造价。

表 6　国内外钢结构采用高强钢实例

序号	工程名称	应用钢材/强度级别
1	国家网球中心、昆明新机场、天津站、广州利通大厦、海南国际会展中心	Q345
2	无锡金匮大桥、沪宁高速无锡公路大桥	Q370q
3	广州烟草大厦、广州南站、中央电视台新址、上海中心大厦	Q390 Q420
4	重庆朝天门大桥、南京大胜关大桥、泰州长江大桥钢塔	Q420q
	国家游泳中心、凤凰国际传媒中心、中央电视台新址	Q420
	广州新电视塔天线桅杆	BRA520C (Q420GJCW)
5	国家体育场(鸟巢)	Q460
	上海环球金融中心	Q460 A572Cr50
	广州新电视塔、凤凰国际传媒中心	Q460
6	德国索尼中心大楼	S460 和 S690
7	建安大魁北克斜交桥	HPS485W
8	日本横滨 LandmarkTower	600MPa
9	澳大利亚星城饭店	650 MPa、690 MPa
10	美国宾夕法尼亚 Ford 桥	HPS690W

3.2.1　耐火结构

发生火灾时，受高温影响，钢材强度迅速降低，不能维持建筑结构原有的强度。当这类钢材的钢结构本身温度超过了 550 ℃时，钢材的屈服强度降幅甚至超过 50%；当温度在 600 ℃以上，持续一定时间，钢材将完全丧失原有的结构承载能力[8]。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

“9·11”事件后，钢材抗高温软化引起人们的普遍关注，耐火钢应运而生。现澳大利亚、美国研究火焰曲线的温度变化来设计使用钢铁材料[9]。

随着微合金化技术的应用与发展，研究发现，通过使Nb微合金元素在针状铁素体组织的高温析出，可显著提高钢的高温强度。Nb－V－Ti微合金复合作用也可提高钢的高温强度[10]。包钢研究证实，通过钢中加入稀土及Nb－V－Ti微合金化元素与少量耐热性良好的Cr、Mo合金元素的复合使用，可达到最佳的高温强化效果。

3.2.2 低屈强比结构

地震造成严重灾害的原因之一是建筑物抗震性能差。钢材屈强比是屈服强度与抗拉强度的比值，其大小反映了钢材塑性变形时不产生应变集中的能力。屈强比越低，材料破坏前产生稳定塑性变形的能力就越高，即使结构出现局部超载失稳也不至于发生突然的倒塌断裂[11]。目前，低屈强比钢铁结构材料可以实现δ_s/δ_b在0.60～0.85之间，可提高钢结构的抗震安全性。

日本钢结构建筑约占各类总建筑的40%左右，对5层以下的低层建筑，采用钢结构90%以上，钢结构住宅柱梁，采用无缝钢管，热轧钢卷冷成型材的使用量也在不断增加；高层建筑中，采用厚板焊接箱柱及焊接H型钢梁的使用量较大。日本对钢结构建筑的抗震性能非常重视，经过材料和结构设计，利用地震时材料的塑性变形，吸收地震产生的能量。

日本总结阪神大地震十年后的经验，在建筑法规中对所用结构材料作了新规定：要求钢材产品屈服点上下限和达到下限时的屈强比和夏比冲击值；采用大输入量焊接方法和采用冷成型钢构件，应用热影响区具有高韧性钢材，要求钢材有良好冲击韧性；并限制钢材中氮含量，以减少冷成型时钢材的时效硬化[12]。隔震、减震各类消能装置比较广泛地应用于包括预制装配框架结构在内的民用建筑中[13]，这些要求，对于高性能钢材的开发使用和钢结构抗震设计起到了推动作用。日本的低屈服点钢、高强度钢、耐火钢、耐候钢等新品种有诸多开发和应用。

3.2.3 耐候结构

大气腐蚀是金属材料失效主要原因之一，耐候钢（又称耐大气腐蚀钢）是指通过添加少量合金元素，使其在大气中具有良好耐腐蚀性能的低合金高强度钢。耐候钢耐大气腐蚀性能为碳素结构钢的2～8倍，且使用时间愈长，耐蚀作用愈突出[14]。耐候钢除应有良好的耐候性外，还要有优良的力学、焊接等使用性能。在钢结构中，一方面可以采用耐腐蚀钢材，另一方面也可以根据结构的需要增加耐蚀涂层材料。

3.2.4 耐低温结构

体心立方金属或合金在低于某个临界温度的条件下，韧性急剧降低、材质变脆。为了适应低温工况，低温钢的技术要求一般是在低温下钢材具有足够的强度和韧性，并有良好的工艺性能、加工性能等[15]。

随着气候变化的加剧，为了提高钢结构的安全性，根据不同的温度条件，结构中广泛应用了耐低温钢，以提高其低温条件下钢结构的性能，钢铁行业应为下游用户提供优质的低温用结构材料。

表7为包钢针对耐低温海工结构试制的－60 ℃耐低温H型钢性能，低温冲击韧性满足用户要求，用于重型低温结构的制造。

表7 包钢－60 ℃耐低温H型钢性能

产品	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冷弯180°（D=2a）	－60℃纵向冲击韧性/（Akv·J^{-1}）
耐低温H型钢	411	552	29	完好	95，96，101

4 包钢钢结构用钢及行业发展

包钢作为大型钢铁联合企业，形成了以板、管、型、线棒四大类别钢铁产品的综合生产体系，具备钢结构用钢多品种系列规格的生产能力。

4.1 板材

各类结构用钢板，已广泛应用在高层建筑、体育场馆、大型钢结构、桥梁工程海工结构等领域，材料优异的加工使用性能和服务得到用户好评。同时，还具备按用户要求生产更高级别、特殊性能、协议标准规定结构钢板的能力。钢结构示范工程“万郡大都城”，用了包钢产10万余吨Q345、Q420高强结构钢板。

4.2 管材

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

各类结构用钢管，应用在高层建筑、火车站、机场、市政工程等大型钢结构领域，因其良好的尺寸精度、优异的材料性能得到用户的认可。结构用无缝管主要产品有 Q345 系列、Q390 系列、Q420 系列，针对用户不同需求还可定向开发特殊产品。2017 年，包钢高强度结构用无缝钢管成功应用于首都新机场和青岛国际机场建设，形成了钢结构用钢新名片。

4.3　型材

随着轨梁厂 2#线投产，H 型钢轧制能力得到了大幅度提升，可生产 H150 ~ H1 000 mm 系列规格，具备结构用普通热轧 H 型钢、耐候 H 型钢、耐低温 H 型钢、高强 H 型钢的生产能力，同时开发了欧标、俄标等热轧 H 型钢品种，丰富了 H 型钢品种类别。仅 2016 年，包钢按 EN 标准为国外用户生产了用于钢结构建筑用高强 H 型钢 10 万余吨。

4.4　线材

线棒材钢结构用钢，主要涉及建筑用热轧光圆钢筋、建筑用热轧带肋钢筋、冷镦挤压钢焊接用钢、硬线用钢。冷镦和冷挤压钢主要用于钢结构连接用销钉、螺母、螺栓、铆钉等，主要供给华北、华东、华南等制品用户。焊接用钢主要用于钢结构建筑的焊接作业，硬线用钢及冷镦和挤压用盘条用于悬索制造、以及销钉、螺母、螺栓、铆钉等钢结构连接件的制造。

包钢钢结构用钢产品典型产品见表 8。

表 8　包钢钢结构用钢典型产品介绍

品种		牌号	执行标准	规格/mm
板材	结构用钢	Q345 及 Z15/Z25/Z35	GB/T 1591—2008	12 ~ 80
		Q390 及 Z15/Z25/Z35		12 ~ 80
		Q420 及 Z15/Z25/Z35		12 ~ 80
	建筑结构用钢	Q345GJ 及 Z15/Z25/Z35	GB/T 19879—2015	12 ~ 80
		Q390GJ 及 Z15/Z25/Z35		12 ~ 80
		Q420GJ 及 Z15/Z25/Z35		12 ~ 80
型材	焊接结构钢	A572Gr50	ASTM A572	12 ~ 80
	桥梁结构用钢	Q345q/Q370q	GB/T 714—2015	12 ~ 80
	碳素结构钢	Q195、Q215、Q235、Q275	GB/T 700—2006	H150 ~ H1000
	桥梁用结构钢	Q345q、Q370q、Q345qNH、	GB/T 714—2015	H150 ~ H1000
	低合金高强度结构钢	Q345、Q390、Q420、Q460	GB/T 1591—2008	H150 ~ H1000
	耐候结构钢	Q295NH、Q295GNH、Q355NH、Q355GNH	GB/T 4171—2008	H150 ~ H1000
线材	硬线用钢	YL77B、YL821370	GB/T 24238—2017 GB/T699—2015	Φ6.5 ~ Φ22 Φ6.5 ~ Φ22
	冷镦和冷挤压钢	ML15Al、ML08Al、ML20MnTiB	GB/T 6478—2001	Φ6.5 ~ Φ22
	焊接用钢盘条	H08A、ER70S－6	GB/T 3429—2015	Φ5.5，Φ6.5
	光圆钢筋	HPB300	GB/T 1499.1—2008	Φ6 ~ Φ22
	带肋钢筋	HRB400、HRB500、HRB400E、HRB500E、HRB600E	GB/T 1499.2—2007	Φ6 ~ Φ40
管材	结构用无缝钢管	10、15、20、25、35、45、20Mn、25Mn、Q235、Q275、Q295、Q345、Q390、Q420	GB/T 8162—1999	Φ(60 ~ 457) × (3 ~ 60)　140 × 140、140 × 260、150 × 160、160 × 280、175 × 175、200 × 200
	低合金高强度结构钢	Q345、Q390、Q420	GB/T 1591—2008	

企业具有较为完整的钢结构用钢产品体系和大批重点工程钢结构的应用实绩，2017 年 11 月，包钢被国家住房和城乡建设部认定为我国首批 195 个装配式建筑产业基地之一，有理由相信，通过原料制造、加工优化、市场细分、BIM 技术的有效结合，企业装配式住宅部品制造会有较大的发展。

宝武集团利用各自产品技术优势，力推“bao house”，力争形成自有百年住宅体系；山东莱钢通过

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

莱钢建设发展其钢结构产品，已形成自有钢结构住宅建筑体系核心技术；河北钢铁与中建钢构有限公司、河北建设集团合作组建了河钢中建钢结构有限公司，力争在绿色钢材方面提供“全生命周期服务”。各钢铁企业均立足于装配式建筑的工厂化定制，延伸产业链，力求为企业多元化发展形成新的经济增长点。

5 发展方向

5.1 钢结构用钢标准化与系列化

随着冶金、轧制、焊接、加工技术发展，钢结构生产已初步实现了工厂化定制生产能力，通过钢材设计标准化和结构设计标准化结合，以保证钢结构使用寿命[16]，同时焊接连接设计的标准化也特别需要加强[17]。钢结构用钢势将向标准化、系列化方向发展，以适应钢结构多样化、批量化发展需求，系列化的钢结构建筑规范是用好钢结构的重要基础。

5.2 高性能钢材开发应用

建筑行业快速发展及人们生活品质的提升，对建筑的安全性及材料高效使用提出更高要求，钢结构用钢品种质量很大程度上影响着钢结构建筑的发展，为更好满足钢结构制造的需求，钢铁企业应加快开发集高强、耐火、耐候、抗震等优异性能的高性能钢材，满足钢结构制造多样化功能化的趋势。

5.3 信息化促进钢结构产业发展

原有传统住宅建设施工模式会造成资源浪费、环境恶化等后果，具有显著优势的 BIM 技术、模块化建筑，对于提高工程质量，缩短工期、节约人力物力、解决环保等问题必将得到广泛推广。因此，钢结构用钢的发展需适应 BIM 技术及模块化建筑的需求，实现平台经济的制造模式、实现用 BIM 技术指导工厂的模块化生产。

5.4 钢铁企业多元化产业的方向选择

面对国内钢铁产能过剩矛盾，满足供给侧需求，解决环境等问题，促使钢铁行业必须进行结构调整转型发展及多元化产业选择，以适应多变的市场及钢结构行业的发展需求，发展钢结构用钢和钢结构“工厂化部品生产”是行业重要的转型升级发展方向。

5.5 节能与新技术结合

被动式住宅主要通过住宅本身的构造达到高效保温隔热性能，并利用太阳能和清洁可再生能源，减少或不使用主动供应的能源。因此，其具有低能耗、环保、舒适等优势，是提高钢结构建筑综合性能的发展方向，这项新技术也对钢结构用钢和复合材料应用提出了新要求。钢铁企业应充分掌握被动式结构用钢需求，同时与钢结构企业紧密配合，开发适合被动式钢结构建筑的专用产品。

5.6 中国标准走出去

中国铁路在非洲推广应用的成功经验就是解决中国标准应用问题。随着“一带一路”建设进程加快，需要国内制钢企业与钢结构行业、标准组织机构联合，消化、融合国际标准，形成新的钢结构用钢标准。钢结构用钢应用国际化正是助推这一目标的重要抓手，用钢结构联起“一带一路”，用新的钢结构标准规范，统起“一带一路”，形成人类建筑发展的共有体系。

参 考 文 献

[1] 搜狐媒体平台. 钢结构行业获国家支持产业现状分析 [EB/OL]. http://www.sohu.com. 1997-05-11.

[2] Sung Jin Kim, Hong Chul Jeong. Development of Structural Steel and Trend of Welding Technology [J]. Journal of Welding and Joining, 2016, 34(1): 7-20.

[3] 吕迪华. 钢结构建筑的现状与未来发展趋势 [J]. 建材发展导向, 2017, (14): 1-2.

[4] 中国产业信息网. 2017 年中国钢结构建筑行业未来发展趋势分析 [EB/OL]. http://www.chyxx.com. 2017-07-18.

[5] 李建新, 陈振业. 河钢走高性能之路 [J]. 中国公路, 2016, (11): 32-34.

[6] Min Gong1, a, Wei Zhu1, b. Green Building Performance Analysis of High-rise Residence in Steel Structure Residence System [J]. Advanced Materials Research, 2012, (461): 83-87.

[7] 马星, 狄春良. 高强钢材钢结构工程的应用 [J]. 工业建筑, 2011, (增刊): 761-767.

[8] 欧蔓丽, 曹伟军. 耐火耐候钢在建筑结构中的分析研究及应用 [J]. 中外建筑, 2006, (04): 183-186.

(下转第12页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

制在4 m/s左右，采用弱氩搅拌。同时，加强二冷系统控制和对原料成分的控制，要求二冷水系统零段及其它二冷段输出辊均务必运转正常，各段的气雾喷嘴、水喷嘴务必畅通，确保铸坯各面冷却均匀。对铁水成份硅、碳、硫以及温度均提出更加严格的要求。

6 改进效果

通过优化工艺生产过程控制，按照“严、精、细”规范过程操作，铸机执行恒拉速，制钢一部6#铸机小方坯SWRH82B产品质量得到明显提升。

(1) 包钢6#铸机生产的小方坯SWRH82B发往宁夏恒力用户使用，拉拔断次数由2014年下半年平均4～5次/100 t降低到现在平均1次/100 t，甚至不出现断线，产品的质量有了突破性的进展。

(2) 用户满意度提升，产品合同量由起初的不足1 000 t/月提升到现在的2 500 t/月左右，产品质量深得用户的认可，稳定了市场占有率。

(3) 操作人员对生产SWRH82B过程控制理念发生了转变，对影响SWRH82B出现拉拔断的原因有了更加清晰的认识。

7 结论

(1) 通过扫描电镜以及金相分析等，得出中心马氏体组织和夹杂物是影响SWRH82B盘条拉拔脆断、综合性能较差的主要原因。

(2) 针对产生的原因，就工艺控制方面提出改进措施并应用于生产实践。

(3) 通过改进后的工艺生产，SWRH82B盘条质量有了较为良好的改观，拉拔脆断现象明显减少，满足了客户的需求。

参 考 文 献

[1] 张寄东. 大规格高碳硬线SWRH82B拉拔脆断原因分析[J]. 钢铁钒钛，2011，32(3)：82－85.

[2] 赵丽萍，麻永林，王玉峰，等. 铸坯缺陷对SWRH82B盘条钢盘条冷拔质量的影响[J]. 特殊钢，2007，28(4)：48.

[3] 李桂英，姜世全. SWRH82B盘条质量研究[J]. 金属制品，2005，31(3)：42.

(上接第8页)

[9] M. B. Wong. World Trend For The Developmebt Of Performance－based Fire Codes For Steel Structures[J]. Advances In Steel Structures，2014，(2)：1071－1078.

[10] 董杰，王华川. 结构建筑用耐火钢的研[J]. 莱钢科技，2008，(1)：34－39.

[11] 徐伟良，王凡，赵萍. 我国建筑钢结构新型钢材的发展现状[J]. 建筑技术开发，2003，30(7)：13－15.

[12] 蔡益燕. 阪神地震后日本钢结构的发展[J]. 中国建筑金属结构，2005，(08)：22－23.

[13] 豆丁网. 日本装配式混凝土建筑结构考察报告[EB/OL]. http://jz.docin.com. 2007.11.

[14] 吴耀华，张煜，耐候钢在建筑工程中的应用[J]. 钢结构，2011，(增刊)：119－125.

[15] 宋斌，金恒阁，王长生. 低温钢国内发展状况[J]. 黑龙江冶金，2009，29(1)：51－52.

[16] V. N. Shimanovsky，A. V. Shimanovsky. The Steel Structures Trendsin the Development . Prospects for Application I Construct[J]. Construct Steel Res，1998，24(46)：396－397.

[17] Kim，Do Hwan，Kim，et al. Evaluation of Applicability on a High－rise Building for the Effective Usage of High Performance Steel for Building Structures[J]. Journal of Korean society of Steel Construction，2014，5(26)：463－471.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net