

文章编号:1673-9981(2020)02-0164-07

新版低合金高强度结构钢标准浅析*

黄晓艳¹, 刘波², 王悦¹

1. 陆军军事交通学院镇江校区船艇动力系, 江苏 镇江 212003; 2. 镇江高等专科学校, 江苏 镇江 212003



摘要:GB/T 1591《低合金高强度结构钢》是非常重要的钢铁产品标准,其涉及面广、影响面大。最新修订发布的2018版标准与旧标准相比有很大变化。根据新版标准,对其变化较大的内容进行介绍,并与旧标准进行分析比较,以便更好地理解、宣传和贯彻新标准。

关键词:GB/T 1591;低合金高强度结构钢;国家标准

中图分类号:TU511.3

文献标识码:A

低合金高强度结构钢是一类可焊接的低碳低合金工程结构用钢,广泛用于桥梁、船舶、车辆、锅炉及重要建筑结构中。GB/T 1591《低合金高强度结构钢》国家标准于1979年首次发布,经历了1988、1994和2008年三次修订。2018年由中国钢铁工业协会提出,全国钢标准化技术委员会归口,鞍钢股份有限公司、冶金工业信息标准研究院、首钢总公司等负责起草进行第四次修订。新修订的GB/T 1591-2018《低合金高强度结构钢》(以下简称新标准)于2018年5月14日发布,2019年2月1日正式实施^[1]。新标准与GB/T 1591-2008《低合金高强度结构钢》(以下简称旧标准)相比^[2],变化较大。为了更好地宣传和贯彻新标准,根据新版国家标准,对其变化较大的术语和定义、牌号表示方法、化学成分、力学性能等方面进行介绍,并与旧标准进行分析比较,以便使用者更加深刻地理解和运用新标准。

1 术语和定义

“术语和定义”这章规定了热轧、正火、正火轧制和热机械轧制四个术语和定义,与旧标准相比,主要有以下几点变化。

(1)增加了“热轧”和“正火”术语与定义。按新标准规定,热轧是指“钢材未经任何特殊轧制和/或热处理的状态”。正火是指“钢材加热到高于相变点温度以上的一个合适的温度,然后在空气中冷却至低于某相变点温度的热处理工艺”。笔者认为正火的定义不是很严谨,没有强调冷却后的组织,空冷如果获得的组织是马氏体,就不能称之为正火,而是淬火。在GB/T 7232-2012《金属热处理工艺术语》中^[3],正火是指“工件加热奥氏体化后在空气中或其他介质中冷却获得以珠光体组织为主的热处理工艺”。

(2)增加了代号。热轧为AR或WAR,正火为N,正火轧制为+N,热机械轧制为M。

(3)修改了“热机械轧制”和“正火轧制”术语的定义。两者都是在一定的温度范围内进行最后变形的轧制工艺。新标准将热机械轧制的注释“轧制后如果加热到580℃可能导致材料强度值的降低。如果确实需要加热到580℃以上,则应由供方进行”修改为“可能会降低钢材强度值的热成型或580℃以上温度的焊后热处理不宜应用。根据相关的技术规范,火焰矫直是允许应用的”。增加注释,在一些出版物中,正火轧制和热机械轧制也称为“控制轧制”,热机械轧制也称TMCP(热机械控制过程)。

收稿日期:2020-02-20

* 基金项目:2018年度镇江市科技创新资金(重点研发项目NY2018022);江苏省第五期“333工程”科研项目资助计划(BRA2018179)

作者简介:黄晓艳(1974-),女,江西樟树人,副教授,现任陆军军事交通学院教员,主要从事工程材料与机械制造基础方面的研究与教学。

2 牌号表示方法

牌号表示方法新旧标准变化较大,其对比结果列于表 1^[1-2].

(1)在原标准的基础上增加了交货状态代号.牌号的表示方法由原来的三部分表示修改为四部分表示.

(2)屈服强度数值由最小下屈服强度修改为最

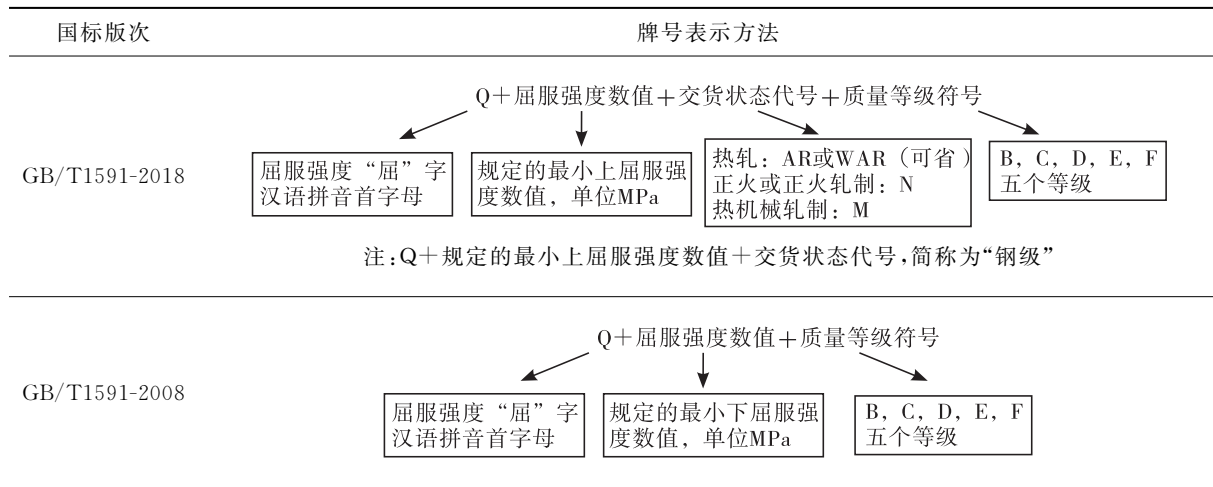
小上屈服强度,这点要特别注意.

(3)质量等级尽管都是五个,但删除了 A 质量等级,增加了 F 质量等级.

(4)增加注释“Q+规定的最小上屈服强度数值+交货状态代号,简称为‘钢级’”,即牌号的表示方法为:钢级+质量等级,如牌号 Q460ME, Q460M 表示钢级. Q460ME 的含义为:最小上屈服强度为 460 MPa,交货状态为热机械轧制,质量等级为 E 级的低合金高强度结构钢.

表 1 牌号表示方法新旧标准对比

Table 1 Comparison between new and old standards for brand designation



3 技术要求

3.1 牌号及化学成分

3.1.1 牌号

表 2 为新旧标准牌号对比结果^[1-2]. 由表 2 可知:牌号表示不同,旧标准牌号不包括质量等级(这与旧标准中牌号的表示方法不相符),新标准的牌号是“钢级+质量等级”(这与其牌号表示方法相一致),钢级共规定了 16 个;新标准删除了 A 质量等级,增加了 F 质量等级,且只有 Q355N 和 Q355M 两个钢级才有 F 级;E 级钢的交货状态为正火、正火轧制、热机械轧制,不能为热轧;Q460 钢级以上的交货状态只有热机械轧制一种,且其质量等级都为 C, D 及 E.

3.1.2 Q355 钢级替代 Q345 钢级

Q345 是最常用的低合金高强度结构钢,与欧盟

标准的 S355 略有差异,因而在国标钢材的国际化应用上存在一些障碍.为解决我国低合金高强度结构标准与国际标准接轨的问题,顺应“一带一路”战略,新标准取消 Q345 钢材牌号,改为 Q355,与欧盟标准的 S355 钢材牌号对应.

Q355 钢的化学成分(除晶粒细化元素外)的新旧标准对比结果列于表 3^[1-2]. 由表 3 可知:Q355 热轧钢的 C 元素含量与公称厚度和质量等级相关;Si 元素含量除 Q355 钢级提高了 0.05% 外,其他基本不变;Mn 元素含量在原标准的基础上下降, Q355N 钢级还增加了下限值;P 元素含量除 Q355D 由 0.030% 修改为 0.025% 外,其他不变;新增的 Q355N 和 Q355M 钢级的 F 级的 S 及 P 元素含量要求最严;Cu 元素含量提高了 0.10%, Ni 元素含量除 Q355 钢级外其他不变;Q355N 和 Q355M 钢级的 N 元素含量均提高了 0.003%.

表 2 新旧标准牌号对比
Table 2 Comparison of new and old standard brands

GB/T 1591-2018		GB/T 1591-2008	
钢级	质量等级	牌号	质量等级
Q355	B,C,D		
Q355N,Q355M	B,C,D,E,F		
Q390	B,C,D	Q345,Q390,Q420	A,B,C,D,E
Q390N,Q390M	B,C,D,E		
Q420	B,C		
Q420N,Q420M	B,C,D,E		
Q460	C	Q460,Q500,Q550,	C,D,E
Q460N,Q460M,Q500M,	C,D,E	Q620,Q690	
Q550M,Q620M,Q690M	C,D,E		

表 3 Q355 钢化学成分新旧标准对比
Table 3 Comparison of new and old standards for chemical composition of Q355

版次	牌号	化学成分(质量分数)/%												
		钢级	质量等级	C ¹⁾		Si	Mn	P ²⁾	S ²⁾	Cr	Ni	Cu	Mo	N
				公称厚度或直径										
				≤40mm	>40mm									
2018 版	Q355	B		0.24	0.24			0.035	0.035					0.012
		C		0.20	0.22	0.55	1.60	0.030	0.030	0.30	0.30	0.40	—	0.012
		D		0.20	0.22			0.025	0.025					—
	Q355N	B		0.20	0.20			0.035	0.035					
		C		0.20	0.20			0.030	0.030					
		D		0.20	0.20	0.50	0.90~1.65	0.030	0.025	0.30	0.50	0.40	0.10	0.015
		E		0.18	0.18			0.025	0.020					
		F		0.16	0.16			0.020	0.010					
	Q355M	B						0.035	0.035					
		C						0.030	0.030					
		D		0.14	0.14	0.50	1.60	0.030	0.025	0.30	0.50	0.40	0.10	0.015
		E						0.025	0.020					
F							0.020	0.010						
2008 版	Q345	A		0.20	0.20			0.035	0.035					
		B		0.20	0.20			0.035	0.035					
		C		0.20	0.20	0.50	1.70	0.030	0.030	0.30	0.50	0.30	0.10	0.012
		D		0.18	0.18			0.030	0.025					
		E		0.18	0.18			0.025	0.020					

注:1) 公称厚度大于 100 mm 的型钢,碳含量可由供需双方协商确定;公称厚度大于 30 mm 的钢材,碳含量不大于 0.22%;对于型钢和棒材,Q355M 的最大碳含量可提高 0.02%.

2) 对于型材和棒材,其 P 和 S 元素含量上限值可提高 0.005%.

3.1.3 修改了细化晶粒元素的含量

晶粒细化元素新旧标准对比列于表4^[1-2]。由表4可知:Q355钢级对晶粒细化元素不作要求,而旧标准对晶粒细化元素含量只规定了上限值;新标准除热轧钢外,其他钢级中铌、钒、钛元素均增加了下限值;新标准对正火、正火轧制及热机械轧制钢规定,钢中应至少含有四种细化晶粒元素中的一种,单独或组合加入时应保证其中至少一种合金元素含量

不小于表中规定含量的下限,尤其对Q460N钢级规定 $w(V+ Nb+ Ti) \leq 0.22\%$, $w(Mo+ Cr) \leq 0.30\%$;而旧标准对所有钢材,都规定“当细化晶粒元素组合加入时, $w(V+ Nb+ Ti) \leq 0.22\%$, $w(Mo+ Cr) \leq 0.30\%$;Nb及V元素含量的上限值有所下调;Q420和Q460钢级的化学成分及相关要求只适用于型钢和棒材,而旧标准没有规定适用钢材的范围。

表4 晶粒细化元素新旧标准对比

Table 4 Comparison of new and old standards for grain refinement elements

$w/\%$

		GB/T1591-2018				GB/T1591-2008					
钢级	质量等级	Nb ¹⁾	V ¹⁾	Ti ¹⁾	Als ²⁾	牌号	质量等级	Nb ¹⁾	V ¹⁾	Ti ¹⁾	Als ²⁾
Q355	B,C,D	—	—	—	—		A,B	0.07	0.15	0.20	—
Q355N	B,C,D,E,F	0.005~0.05	0.01~0.12	0.006~0.05	0.015	Q345	C,D,E	0.07	0.15	0.20	0.015
Q355M		0.01~0.05	0.01~0.10	0.006~0.05	0.015						
Q390	B,C,D	0.05	0.13	0.05	—		A,B	0.07	0.20	0.20	—
Q390N	B,C,D,E	0.01~0.05	0.01~0.20	0.006~0.05	0.015	Q390	C,D,E	0.07	0.20	0.20	0.015
Q390M	B,C,D,E	0.01~0.05	0.01~0.12	0.006~0.05	0.015						
Q420	B,C	0.05	0.13	0.05	—		A,B	0.07	0.20	0.20	—
Q420N	B,C,D,E	0.01~0.05	0.01~0.20	0.006~0.05	0.015	Q420	C,D,E	0.07	0.20	0.20	0.015
Q420M	B,C,D,E	0.01~0.05	0.01~0.12	0.006~0.05	0.015						
Q460	C	0.05	0.13	0.05	—						
Q460N	C,D,E	0.01~0.05	0.01~0.20	0.006~0.05	0.015	Q460	C,D,E	0.11	0.20	0.20	0.015
Q460M	C,D,E	0.01~0.05	0.01~0.12	0.006~0.05	0.015						
Q500M						Q500					
Q550M	C,D,E	0.01~0.11	0.01~0.12	0.006~0.05	0.015	Q550	C,D,E	0.11	0.12	0.20	0.015
Q620M						Q620					
Q690M						Q690					

注:1) Nb, V和Ti的含量值均小于等于相应数值;Q390及Q420的Nb含量最高可到0.07%,而Q460的Nb含量最高可到0.11%,但Q420和Q460的Nb含量仅适用于型钢和棒材;Ti含量最高可到0.20%;热轧钢V含量最高可到0.20%。

2) Als的含量值均大于等于相应数值。

3.1.4 碳当量的变化

碳当量新旧标准对比结果列于表5^[1-2]。由表5可知,细化了热轧钢的碳当量组距。将钢材公称厚度或直径 ≤ 63 mm和钢材公称厚度或直径 $> 63 \sim 250$ mm两个区段分别增加了一个区段,碳当量值有所提高;钢材公称厚度或直径 > 250 mm增加了上限值400 mm,碳当量值除Q355D的钢板为0.49外,

其余不作要求。修改了正火、正火轧制钢碳当量组距值并增加了“钢材公称厚度或直径 $> 250 \sim 400$ mm的组距,使组距范围扩大,增加组距的碳当量值为“协议”;Q355N钢级的碳当量值下降,其他钢级不变。热机械轧制或热机械轧制加回火钢材方面,对公称厚度或直径小于63 mm的钢材进行了细分。

表5 碳当量新旧标准对比

Table 5 Comparison of new and old standards for carbon equivalent

热轧状态交货钢材的碳当量(CEV)/%									
钢级	GB/T 1591-2018					GB/T 1591-2008			
	公称厚度或直径/mm					公称厚度或直径/mm			
	≤30	>30~63	>63~150	>150~250	>250~400	牌号	≤63	>63~250	>250
Q355 ¹⁾	0.45	0.47	0.47	0.49 ³⁾		Q345	0.44	0.47	0.47
Q390	0.45	0.47	0.48	—	Q355D 钢板 为 0.49, 其余不作要求	Q390	0.45	0.48	0.48
Q420 ²⁾	0.45	0.47	0.48	0.49		Q420	0.45	0.48	0.48
Q460 ²⁾	0.47	0.49	0.49	—		Q460	0.46	0.49	—
正火、正火轧制状态交货钢材的碳当量(CEV) / %									
钢级	GB/T 1591-2018				GB/T 1591-2008				
	公称厚度或直径/mm				公称厚度或直径/mm				
	≤63	>63~100	>100~250	>250~400	牌号	≤63	>63~120	>120~250	
Q355N	0.43	0.45	0.45		Q345	0.45	0.48	0.48	
Q390N	0.46	0.48	0.49		Q390	0.46	0.48	0.49	
Q420N	0.48	0.50	0.52	协议	Q420	0.48	0.50	0.52	
Q460N	0.53	0.54	0.55		Q460	0.53	0.54	0.55	
热机械轧制或热机械轧制加回火状态交货钢材的碳当量(CEV) / %									
钢级	GB/T 1591-2018					GB/T 1591-2008			
	公称厚度或直径/mm					公称厚度或直径/mm			
	≤16	>16~40	>40~63	>63~120	>120~150 ⁴⁾	牌号	≤63	>63~120	>120~150
Q355M	0.39	0.39	0.40	0.45	0.45	Q345	0.44	0.45	0.45
Q390M	0.41	0.43	0.44	0.46	0.46	Q390	0.46	0.47	0.47
Q420M	0.43	0.45	0.46	0.47	0.47	Q420	0.46	0.47	0.47
Q460M	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	Q460	0.47	0.48	0.48
Q500M	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	Q500	0.47	0.48	0.48
Q550M	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	Q550	0.47	0.48	0.48
Q620M	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	Q620	0.48	0.49	0.49
Q690M	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	Q690	0.49	0.49	0.49

注:1)当需对硅含量控制时(如热浸镀锌涂层),为达到抗拉强度要求而增加其他元素如碳和锰的含量,表中最大 CEV 的增加应符合下列规定:对于 $w(\text{Si}) \leq 0.030\%$, CEV 可提高 0.02%;对于 $w(\text{Si}) \leq 0.25\%$, CEV 可提高 0.01%。

2)只适用于型钢和棒材。

3)对于型钢和棒材,其最大碳当量可到 0.54%。

4)仅适用于棒材。

3.1.5 其他变化

新标准规定,公称厚度大于 100 mm 的热轧型钢,碳含量可由供需双方协商确定.而旧标准没有此

规定.删除了“各牌号的 Cr, Ni, Cu 作为残余元素时,其含量各不大于 0.30%,当需要加入时其含量应符合表 1 的规定或由供需双方协议规定”.将旧标

准中“为改善钢的性能,可加入 RE 元素时,其加入量按钢水重量的 0.02%~0.20% 计算”修改为“为了改善钢的性能,由供需双方协议,钢中可添加表 1、表 3、表 5 规定以外的合金元素,其合金元素及其含量应在质量证明书中注明”。当需方要求保证厚度方向性能钢板时,将“其化学含量应符合 GB/T5313 的规定”修改为“硫含量应符合 GB/T5313 的规定”。增加了“供应商品钢坯时,为保证钢材力学性能符合本标准规定,其各元素化学成分的下限可由供需双方协商确定”的规定。增加了国内外牌号对照表,即附录 A(资料性附录)。

3.2 力学性能及工艺性能

新标准按不同交货状态规定各牌号的力学性能,规定的力学性能包括拉伸、夏比(V 型缺口)冲击、弯曲三个方面。

3.2.1 拉伸性能

将下屈服强度 R_{eL} 修改为上屈服强度 R_{eH} ,其指标相应提高了 10~15 MPa;公称厚度或直径 $>250\sim400$ mm 的拉伸性能数值适用范围缩小;新标准规定只适用于热轧钢材的 Q355D 牌号钢板,而旧标准中规定适用于 Q355 扁平材的 D 级和 E 级。

3.2.2 夏比(V 型缺口)冲击

取消了公称厚度组距,新标准按钢级、质量等级、试验温度和试样的取向规定冲击值;增加了横向试样冲击值,且规定“冲击试验取纵向试样,经供需双方协商后也可取横向试样”;增加了一 60 °C 试验温度的冲击值,只有 F 级钢才做此温度下的冲击试验,即只对 Q355NF 和 Q355MF 两个牌号的钢才需做此试验;增加“当需方未指定试验温度时,正火、正火轧制和热机械轧制的 C、D、E 和 F 级钢材分别做 0, -20, -40, -60 °C 冲击”的规定;对 Q355N, Q390N, Q420N 和 Q460N 四个钢级,当需方指定增加“D 级钢可做一 30 °C 冲击试验时冲击吸收能量纵向不小 27J”和“E 级钢可做一 50 °C 冲击时冲击吸收能量纵向不小 27J、横向不小于 16J”的要求;取消冲击试验结果的处理,即删除了“钢材的冲击试验结果按一组 3 个试样的算术平均值进行计算,允许其中 1 个试验值低于规定值,但不应低于规定值的 70%,否则应从同一抽样产品上再取 3 个试样进行试验,先后 6 试样试验结果的算术平均值不得低于规定值,允许 2 个试样的试验结果低于规定值,但其中低于规定值 70% 的试样只允许有一个”。

3.2.3 弯曲试验

删除了弯曲试验的钢材牌号,也就是说对所有牌号的钢材都可以做弯曲试验。而旧标准只对 Q345, Q390, Q420 和 Q460 四个牌号的钢材规定了弯曲试验,其他牌号没有这方面的规定。

4 检验规则

(1)删除组批规则中“钢带的组批重量按相应产品标准规定”。增加“卷重大于 30 t 的钢带和连轧板可按两个轧制卷组成一批;对容积大于 200 t 转炉冶炼的型钢,每批重量不大于 80 t”和“经供需双方协商,可每炉检验 2 批”的规定。

(2)组成混合批的钢材范围缩小。新标准只规定 Q355B 级钢才允许组成混合批,而旧标准对各牌号的 A 级钢或 B 级钢都允许。

(3)简化了复验与判定规则。只要求其符合 GB/T 17505《钢及钢产品 交货一般技术要求》的规定即可。

(4)修改了数值修约标准。将原来的按 YB/T 081《冶金技术标准的数值修约与检测数据的判定原则》修改为按 GB/T 8170《数值修约规则与极限数值的表示和判定》。

5 其他变化

(1)明确了新标准的化学成分也适用于钢坯。

(2)规范性引用文件方面,在原标准的基础上,新标准保留了 21 个规范性引用文件,删除 7 个,增加了 19 个,使规范性引用文件由原来的 28 个扩大到 40 个。其中一个注日期(GB/T2975-2018《钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备》)引用,其余均为非注日期引用。除一个行业标准(YB/T447《热轧型钢表面质量一般要求》)外,其余均为国家推荐性标准。使用者可据此查阅原文,以加深理解和运用本标准。

(3)新增第 5 章“订货内容”,以进一步规范订购钢材的合同或订单,适应市场经济的需要。

(4)尺寸、外形、重量方面,旧标准要求钢材“尺寸、外形、重量及允许偏差应符合相应标准的规定”,只笼统一句话。新标准对热轧钢棒、型钢、钢板、钢带、H 型钢和部分 T 型钢的尺寸、外形、重量及允许偏差都有明确的国家标准规定。另外,还规定“经供

需双方协议,可供应其他尺寸、外形及允许偏差的钢材”。

(5)新标准细化了钢材表面质量要求,对钢板、钢带及其剪切板、型钢和钢棒四种类型的钢材表面质量都有明确的规定。旧标准要求“钢材的表面质量应符合相关产品标准的规定”。

(6)试验方法方面,主要有两点修改,一是增加了拉伸试验、弯曲试验和冲击试验的取样部位,均为“钢材的一端”;二是明确了冲击试验的取样部位,对于型钢、圆钢、方钢和钢板都分别作了规定。

6 结束语

GB/T 1591-2018《低合金高强度结构钢》是非常重要的钢铁产品标准,涉及面广、影响面大。新标

准的发布实施,解决了我国低合金高强度结构钢标准与国际标准接轨的关键问题,加快了我国标准与国际标准接轨的步伐,为我国“一带一路”倡议和标准“走出去”奠定了基础,国标钢材在国际项目中应用有了充分的技术标准依据。

参考文献:

- [1] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 1591-2018 低合金高强度结构钢[S]. 北京:中国质检出版社,2018.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 1591-2008 低合金高强度结构钢[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 7232-2012 金属热处理工艺术语[S]. 北京:中国标准出版社,2013.

Brief analysis of new edition national standard about high strength low alloy structural steels

HUANG Xiaoyan¹, LIU Bo², WANG Yue¹

1. Army Military Transportation College Zhenjiang Campus Ship Power Department, Jiangsu Zhenjiang 212003, China; 2. Zhenjiang College, Jiangsu Zhenjiang 212003, China

Abstract: GB/T 1591 high strength low alloy structural steel is very important iron and steel standard because of its wide range of influence. Comparing with former national standard, newly revised 2018 edition standard has many changes. In the paper according to the new national standard, main changes were introduced, analyzed and compared with the old national standard, in order to better understand and publicize and implement the new standard.

Key words: GB/T 1591; high strength low alloy structural steels; national standard