

中国双相不锈钢的现状与发展

1 中国双相不锈钢的发展概况

在国外经过几代双相不锈钢的发展和完善，至今已有包括超级双相不锈钢在内的系列牌号。双相不锈钢已是一个成熟的，能与马氏体、铁素体、奥氏体不锈钢并列的钢类。发展到今天，国外的双相不锈钢无论从生产、加工制造及应用角度来看，技术上已然比较成熟，作为一种性能优良，又能节省投资的工程材料在一些用途上取代了普通的奥氏体不锈钢，应用领域十分广泛。尽管世界双相不锈钢的年产量不是很高，只占世界不锈钢产量的1%，但随着双相不锈钢局部腐蚀性能好和强度高的优势的充分利用和展现，以及有目共睹的良好使用效果，使其每年以17%的速率增长着，至2002年产量已达11万t以上。

在国外发展双相不锈钢的基础上，中国自70年代中期也开始发展了双相不锈钢，主要是研制含氮钢，关注氮对钢性能和工艺的影响。至今已有包括5个钢种的系列牌号，但只有低铬的钢种纳入了国家标准，其余都按企标生产，目前钢板的国标正在修订，Cr22和Cr25型的双相不锈钢将考虑纳标。中国的双相不锈钢只是处于国外第二代双相不锈钢的发展水平，钢中的含氮量在0.2%以下。至于目前国外已步入市场的含氮在0.25% - 0.35%的超级双相不锈钢，中国仍处于实验室开发阶段，AOD精炼工艺和双相不锈钢连铸工艺的成熟将有助于超级双相不锈钢板的工业试生产成功。

目前国内双相不锈钢主要产品是管、板和复合板，也有锻件和铸件，产量都不大。219mm的无缝管和457mm薄壁等离子焊管都已研制成功，2205与Q345C的复合板也已用在长江三峡工程的排沙管，泄洪深孔衬砌等。据不完全统计，1999年双相不锈钢国内的消费量约2000t，近两年的年消费量达到4000t，翻了一番。随着应用的发展，国内产品满足不了要求，尤其一些工程项目，主要仍是靠进口。

目前国内已具有制造双相不锈钢和超级双相不锈钢设备的实力和较好的水平。南京化工有限公司化工机械厂，上海石化机械制造公司，金州重型机器有限公司等近十家大中型机械制造公司已经制造了近百台的双相不锈钢设备，南京化工有限公司化工机械厂和金州重型机器有限公司也能按照国外标准制造不只一台设备，分别出口至印度和马来西亚。南京化工有限公司化工机械厂和上海石化机械制造公司不仅能制造普通双相不锈钢设备，还能制造超级双相不锈钢设备，当然所用的UNS S32750和UNS S32760超级双相不锈钢的管材都是进口。至于油气和石化所需的管线钢，国内近两年已开始制造和野外施工焊接，还有待积累这方面的经验。

2 中国双相不锈钢的应用业绩

国外双相不锈钢已广泛地应用于各工业领域，诸如纸浆和造纸、陆上和海上的油气工业、化学加工工业、运输业（化学品船和槽车）、制药和食品工业以及建筑业等。大多用来制造反应容器，各种工业设备和输送管道等。在大多数应用中，双相不锈钢被认为是具有成本效益的材料，填补了普通奥氏体不锈钢如316和高合金奥氏体不锈钢之间的空白。

以下是中国的双相不锈钢在有关工业领域应用的典型实例。

2.1 石油和天然气工业

这是国外应用双相不锈钢的主要领域之一，目前铺设的油气输送管线已有1000km。国内只有南海油田少量使用，全部进口。另外，西气东输工程西起塔里木盆地的集气管线考虑要用双相不锈钢焊管，国内已有条件生产和制造。

炼油工业是最早使用国产双相不锈钢的部门，在南京，镇海，天津，济南等炼化公司多集中用在常减压蒸馏塔的塔顶衬里（或复合板）、塔内构件、空冷器和水冷器等，最长的已使用20年。镇海炼化公司是我国最大的炼油基地，加工能力为1600万t，进入世界百强，冷凝冷却系统中多套设备使用双相不锈钢。

2.2 化学和石化加工工业

这一领域涉及的范围很宽，工况情况复杂，介质多种多样，也是使用双相不锈钢较早和较多的领域。甲醇是重要的能源化工原料，2002年国内产量210万t，进口量与此相当，国产缺口很大，当然也有少量（数千吨）出口韩国，目前20万t的大型和多套10万t以下的中小型的甲醇合成反应器的触媒管都是采用双相不锈钢，大中型装置采用2205钢管，使用进口管较多，小型装置多采用18-5Mo型国产钢管。齐鲁石化公司氯乙烯装置的氯化反应器中的冷却蛇管的介质条件（HCl，水蒸气）苛刻，目前已使用进口的2205双相不锈钢，使用结果有待观察。

上海石化公司乙烯装置的催化剂再生冷却器采用国产类似 DP3 钢的 00Cr25Ni7Mo3W2CuN 双相不锈钢做海水冷却器管，海水出口温度 40℃，至今已间歇使用 15 年，效果很好。河南煤化工厂的粉煤气化装置的数台冷却器都是采用进口 2205 钢管制造。

2.3 化肥工业

尿素工业也是最早使用国产双相不锈钢的部门，装置中含氯离子水的换热设备使用得较多，例如尿素装置中 CO₂ 压缩机三段冷却器原使用 304L 奥氏体不锈钢管束，1 个月后即因应力腐蚀破裂而泄漏，双相不锈钢可用 5 年以上，随后一、二段冷却器也都换用了 18 - 5Mo 或 2205 双相不锈钢。

由于双相不锈钢在尿素介质中有良好的抗腐蚀疲劳性能，很适合制造尿素生产的关键设备——甲铵泵泵体。国产的 00Cr25Ni6Mo2N 钢可以通过 Huey 法的晶间腐蚀倾向检验，已用于黑龙江化肥厂、洞庭氮肥厂（五柱塞式）等大型化肥厂。国内中小化肥厂的甲铵泵泵体基本上采用 18 - 5Mo 钢制造，也有数十家采用的是高铬含铅双相不锈钢。此外这种钢的泵阀锻件通过了日本 JIS G0573、G0591 硝酸法和硫酸法的检验，批量出口日本，价格要比日本当地生产的便宜。

此外，采用国产 0Cr25Ni6Mo3CuN 时效强化双相不锈钢，利用其耐磨损腐蚀性能，用于尿素装置主工艺管路多种规格的高压截止阀的内件等，效果不错。

2.4 运输业

最近几年海上化学品运输船行业是国外最大的双相不锈钢用户，消费量约占热轧板的 50%。化学品船装载的液体货物多种多样，包括化学和石化产品，食品等，要求船舱材料既能耐腐蚀，又有高的强度。如今 2205 双相不锈钢已代替 316L 和 317L 奥氏体不锈钢，成为海上化学品船的标准用材。

国内在这方面刚刚起步，中国长江航运集团青山船厂采用欧洲建造标准，使用进口的 2205 钢板，自行制造成功第一艘 18500t 化学品船，钢板消耗量约 1200t，已出口比利时。实现了我国用双相不锈钢建造化学品船零的突破，该厂已形成规模生产能力。

2.5 造纸和制盐轻工业

由于双相不锈钢在中性氯化物溶液中有较好的耐孔蚀和缝隙腐蚀的能力，利用这一特点，国内开发了该钢在真空制盐和盐硝联产装置上的应用，20 万-30 万 t 制盐厂的大型盐水和芒硝蒸发罐采用了双相不锈钢的衬里和复合板，解决了设备结盐垢和腐蚀问题，最长的已有 10 年的使用历史。双相不锈钢用于大型真空制盐装置，国内已有成熟的经验。

在制纸浆和造纸业领域，国内几乎是空白，硫酸盐蒸煮法仍多采用低碳钢制造的蒸煮锅，而国外早已普及使用双相不锈钢的蒸煮、漂白等设备，目前国内也有引进，但数量极少。

综上所述，可以看出国内双相不锈钢的使用是有一定局限性的，像国外大量使用双相不锈钢的诸如纸浆和造纸工业、油气工业、运输业、甚至建筑业几个大的领域我们涉及得不多，有的还只是刚刚开始。根据国情，利用双相不锈钢的性能优势，今后除继续扩大在化工和石化等领域的应用外，结合纸浆和造纸工业的技术改造需要开发在这一领域中的应用，至于油气管线目前很难推广，双相不锈钢的价格是太高了但是制造有关油气田需要的耐氯离子和硫化氢的装置像集气管线和换热设备等还是可以采用双相不锈钢，甚至超级双相不锈钢的。海上运输业的发展，化学品船制造业方兴未艾，需要大量大张的钢板，这一缺口有待填平补齐。至于在建筑业方面的应用，至今还完全未涉及，其实滨海的城市雕塑景观和开发 2304 钢用于民用热水器方面完全可代替 304 和 316 奥氏体不锈钢。

3 中国双相不锈钢的发展前景与建议

近十几年来，尤其是欧洲的双相不锈钢研究与开发工作开展得非常活跃，无论从生产，加工制造，还是应用，技术上已然比较成熟。双相不锈钢作为一种性能优良的，又有成本效益的工程材料已广泛使用。为了尽早扭转我国双相不锈钢科研、生产，甚至制造所处的较为落后的局面，为了使这类具有高强度、优良的耐蚀工程材料在国内尽快地扩大推广应用于国民经济和国防工业的有关领域，也为了更好地迎接加入 WTO 后的挑战，根据双相不锈钢的发展现状，当前应采取的措施是：

(1) 通过多种宣传手段广为介绍宣传，组织技术资料编写和出版，适时举办各种研讨会、讲座、培训班，特别是应用领域有关示范工程的经验介绍，以及像今天这样的国际会议等进行大力宣传双相不锈钢的特性和优势、最新的技术与科研成果、制造窍门、使用范围等，以此来提高不锈钢专家、制造商、设计师、工程师、消费者对双相不锈钢的认识和理解，促成一个知道、熟悉并乐于使用双相不锈钢的局面。

(2) 加速超级双相不锈钢的科研和生产试制工作。借鉴国外的经验，国内生产双相不锈钢的钢种应着力发展潜在需要量大、使用面广、工艺上又比较容易掌握的 2205 和 2304 牌号。

(3) 促进发展双相不锈钢的生产与制造业，扩大双相不锈钢钢板尤其是热轧钢板的生产，目前的板宽和极长还满足不了要求，表面质量也有待改进。对小规格双相不锈钢无缝管的生产，国内已比较成熟，当前急需解决的是较大规格的无缝管和焊管的生产，生产工艺有待开发。此外，如何将双相不锈钢产品的价格降下来，也事关国内双相不锈钢的发展。固然扩大产量，生产对路适销产品很重要，不容忽视的是要采用新技术新工艺，采用氧化铝球代替金属铝，氧化镍代替金属镍，降低冶炼成本，推广采用双相不锈钢连铸技术，提高成材率等。

(4) 为适应双相不锈钢日渐广泛的推广应用，国内应加强对双相不锈钢焊接技术的普及和配套焊接材料的研制。

(5) 不锈钢的国家标准已有十多年没有修订，在修订国标时必须考虑双相不锈钢的纳标和修订。国外对于占产量 80% 的 2205 牌号专门制订了产品出厂检验的用户验收标准，我们也应考虑引进和吸收，充实现有的检验方法和标准，以促进双相不锈钢的生产和定货。

(6) 大力开拓双相不锈钢的工业用与民用的潜在市场（如建筑业——结构、桥梁、混凝土用钢筋；如制造业——容器、储罐、化学品运输船、快艇、槽车；又如家用设施——高位水箱、电热水器、住房水汽配管等），并研制、试用、推广国外开发的又适合我国国情（缺镍少铬）的一些新品种（如低镍节约型双相不锈钢），相信中国推广双相不锈钢有着非常广阔的应用前景。

双相不锈钢 00Cr22Ni5Mo3N(UNS S31803) (2205)

常用双相不锈钢牌号和各国牌号的近似值对照如下表：

型号\国家	中国	美国	瑞典	德国	法国	日本
低合金型	00Cr23Ni4N	UN23 (SAF2304)	SS232 (SAF2304)	W. Nr.1.4362	UR35N	DP11
中合金型	00Cr18Ni5Mo3Si2 00Cr22Ni5Mo3N	UNS S31500 UNS S31803	SS2376(3RE60) SS2377(SAF2205)	W.Nr.1.4417 w.Nr.1.4462	UR45N	DP1 DP8
高合金型	0Cr25Ni5Mo2 00Cr25Ni7Mo3WCuN	UNS S32900 UNS S31260	SS2324(10RE51)	W.Nr.1.4460 W.Nr.1.4501		329J1 329J2L
超级 双相钢	00Cr25Ni7Mo4N 00Cr25Ni6Mo3CuN	UNS S32750 UNS S32550	SS2328(SAF2507)	W.Nr.1.4410 W.Nr.1.4507	UR47N+ UR52N+	

双相不锈钢产品采用的相关标准：

材质	无缝和焊接管	棒材	板材 带材	锻件（法兰）	铸件	焊丝 焊条
双 相 不 锈 钢	ASTM A789 ASTM A790 ASTM A450 ASTM A530 GB/T 14976 GB/T 14975 GB/T 13296	ASTM A276 ASTM A479 ASTM A484 GB 1220	ASTM A240	ASTM A182 ASTM A788	ASTM A351 ASTM A995	ASME/AWSA5.4 ASME/AWSA5.9

常用双相不锈钢的性能：

钢号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	N
S32750 (SAF2507) 00Cr22Ni7Mo4N	0.03	1.20	0.80	0.020	0.035	24.0/ 26.0	6.0/ 8.0	3.0/ 5.0	0.50	0.24/ 0.32
S31803 (SAF2205) 00Cr22Ni5Mo3N	0.03	2.00	1.0	0.02	0.030	21.0/ 23.0	4.50/ 6.50	2.50/ 3.50		0.08/ 0.20
S31500 (3RE60) 00Cr18Ni5Mo3Si2	0.03	1.2/ 2.00	1.4/ 2.00	0.030	0.030	18.0/ 19.0	4.25/ 5.25	2.50/ 2.00		0.05/ 0.10

2. 机械性能：	热处理制度	Ab (Mpa)	As (Mpa)		布氏	洛氏
S32750 (SAF2507) 00Cr22Ni5Mo3N	1025-1125 水	800	550	15	310	32
S31803 (SAF2205) 00Cr22Ni5Mo3N	1020-1100	620	450	25	290	30.5
S31500 (3RE60) 00Cr18Ni5Mo3Si2	980-1040	630	440	30	290	30.5

双相不锈钢的主要代表牌号

DSS 一般可分为四类:

低合金型--代表牌号是 UNS S32304 (23Cr-4Ni-0.1N)

PREN 值 24 ~ 25

中合金型--代表牌号是 UNS S31803 (22Cr-5Ni-3Mo-0.15N) ,

PREN 值 32 ~ 33

高合金型--标准牌号有 UNS S32550 (25Cr-6Ni-3Mo-2Cu-0.2N) ,

PREN 值 38 ~ 39

超级双相不锈钢型--标准牌号有 UNS S32750 (25Cr-7Ni-3.7Mo-0.3N) , PREN 值 > 40

(PREN 耐孔蚀指数 $PREN = Cr\% + 3.3 \times Mo\% + 16 \times N\%$)

低合金型 UNS S32304 不含钼, 在耐应力腐蚀方面可代替 AISI304 或 316 使用.

中合金型 UNS S31803 的耐蚀性能介于 AISI 316L 和 6%Mo+N 奥氏体不锈钢之间.

高合金型, 一般含 25%Cr, 还含有钼和氮, 有的还含有铜和钨, 这类钢的耐蚀性能高于 22%Cr 的双相不锈钢.

超级双相不锈钢型, 含高钼和氮, 有的也含钨和铜, 可适用于苛刻的介质条件, 具有良好的耐腐蚀与力学综合性能, 可与超级奥氏体不锈钢相比美.

双相不锈钢化学成分,%							
类型	UNS 牌号	C	Cr	Ni	Mo	Cu	N
低合金型	S32304	≤0.03	23	4			0.05/0.20
中合金型	S31803	≤0.03	22	5	3		0.08/0.20
中合金型	S32205	≤0.03	22	5	3		0.14/0.20
高合金型	S32550	0.04	25	6	3	2	0.10/0.25
超级 DSS	S32750	≤ 0.03	25	7	4		0.24/0.32

从表中可以看出: S 32205 是由 S31803 派生出的钢种, 在 ASTM A 240/240M-99a 标准中是在 1999 年才纳标的, 它的 Cr、Mo 和 N 元素的区间都比较窄, 容易达到相的平衡(即两相约各占一半), 改善了钢的强度, 耐腐蚀性和焊接性能, 多用于性能要求较高和需要焊接的材料, 如油气管线等.

4. 双相不锈钢的发展动向

值得关注的是低合金含锰双相不锈钢的开发. 近十年来有关国家如美国, 南非等研究以锰代镍双相不锈钢的开发, 但除铸件外, 所开发的新钢种多具有介稳的奥氏体, 藉冷变形后马氏体的转变 提高强度, 很难作焊接件使用, 也很难适应某些环境, 例如会产生应力腐蚀的环境, 这样使用很局限. 近年瑞典开发的低锰低镍双相不锈钢则比较成熟, 目标明确, 为了节镍以取代用途很广的 304, 甚至可能代替价格与 304 相当, 目前使用并不广的 2304 双相不锈钢, 具有实际推广的价值, 值得注意.

瑞典 Avesta Polarit AB 开发的 LDX 2101 双相不锈钢(21.5%Cr, 5%Mn, 1.5%Ni, 0.22%N), 由于提高了钢中的氮, 获得了稳定的奥氏体, 相的平衡与组织稳定性都较好, 对金属间相的析出不敏感, 在析出最敏感的温度 650 , 保温 10h 后的冲击值才降至 50J, 其组织稳定性较 2205 钢好. 该钢的强度高, 耐腐蚀性与 304 相当, 可焊接, 其寿命周期成本较奥氏体不锈钢低.

LDX 2101 钢已进行工业试制, 在 AOD/CLU 炉精炼后进行连铸, 生产长材铸坯和板坯, 只是目前尚未大量推广应用, 鉴于它具有较好的综合性能, 潜在的用途范围很宽, 尤其用作结构件很有前途, 例如可代替 2205 双相不锈钢用作桥梁结构, 还可用制混凝土中的钢筋, 解决在有氯离子污染环境中的材料的腐蚀问题, 此外,

还可取代 304 和 316 钢制造容器、塔器、热水贮罐和加热器等。

从世界不锈钢的消耗量来看,双相不锈钢只占很少的份额,它的价格还是较高的,从价格比来看:304,304L 为 1,则 316L 为 1.3,而 2205 则为 1.6,说明要想增加双相不锈钢的市场份额,应当有更廉价的,能与应用最普遍的 304(304L)钢相竞争的新钢种还是有价值的,当然这方面还有许多工作要做。

值得一述的还有含锰超级双相不锈钢的开发,在德国开发了含 25%Cr, 6%Mn, 6%Ni, 3%Mo, 2%W 和 ~ 0.5%N, 还有 Cu 的高合金铸钢,该钢靠固溶强化, $\sigma_{0.2}$ 可达到 550MPa, 比 0.15%N 的类似钢种高出近 70MPa, 临界孔蚀温度(CPT)达到 70, 耐磨损腐蚀性能好。在奥地利也开发了 B0 A920(26%Cr, 7%Ni, 3%Mn, 4%Mo, 0.35%N) 超级双相不锈钢, PREN 值达 45, $\sigma_{0.2}$ 为 ~ 600MPa, AK 为 100 ~ 200J, 适合用制小尺寸高速运转的部件。这两种钢目前还处于试验室阶段。这两种钢都是靠加入锰提高了氮的溶解度,由于合金含量高,组织稳定性相对较低,容易析出脆性相。