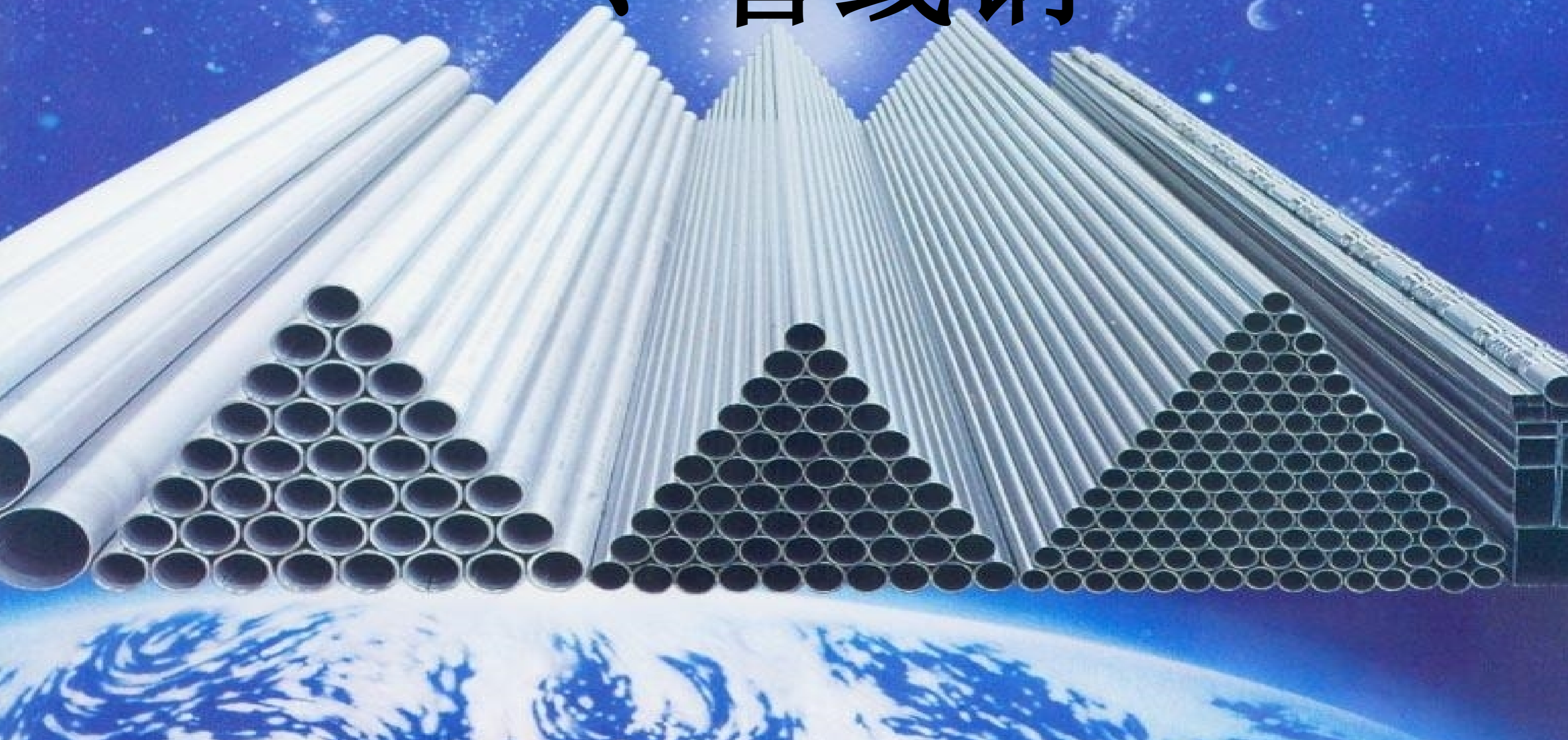


# 一、管线钢





- 管线钢是指用于输送石油、天然气等的大口径焊接钢管用热轧卷板或宽厚板。管线钢在使用过程中，除要求具有较高的耐压强度外，还要求具有较高的低温韧性和优良的焊接性能。



- 制造石油、天然气集输和长输管或煤炭、建材浆体输送管等用的中厚板和带卷称为管线用钢 (steel for pipeline)。一般采用中厚板制成厚壁直缝焊管，而板卷用于生产直缝电阻焊管或埋弧螺旋焊管。国内拥有70万t/a口径在1800mm以内的螺旋焊管的生产能力，近年已建立了口径在1600mm以内的直缝厚壁焊管的生产线。国内能生产符合API 5L标准的管线工程设计要求的管线钢仅有10多年的历史，首推宝钢，还有鞍钢、武钢、攀钢、酒钢、舞钢等，稳定生产X60~X70级管线钢并在国际市场上占有一定的地位，目前已投入生产的X80级管线钢质量也达到了国际先进水平，X100级管线钢已经研制出来，尚未投入批量生产。



# 管线钢的技术要求

- 现代管线钢属于低碳或超低碳的微合金化钢，是高技术含量和高附加值的产品，管线钢生产几乎应用了冶金领域近20多年来的一切工艺技术新成就。目前管线工程的发展趋势是大管径、高压富气输送、高寒和腐蚀的服役环境、海底管线的厚壁化。因此现代管线钢应当具有高强度、低包申格效应、高韧性和抗脆断、低焊接碳素量和良好焊接性、以及抗HIC和抗H<sub>2</sub>S腐蚀。优化的生产策略是提高钢的洁净度和组织均匀性， $C \leq 0.09\%$ 、 $S \leq 0.005\%$ 、 $P \leq 0.01\%$ 、 $O \leq 0.002\%$ ，并采取微合金化，真空脱气+CaSi、连铸过程的轻压下，多阶段的热机械轧制以及多功能间歇加速冷却等工艺。目前国内外管线规范中没有管线用钢材的韧性指标，仅对管材有具体要求：



- (1) 最低使用温度下 ( $-5^{\circ}\text{C}$ )  $\text{DWTT} \geq 85\% \text{SA}$ ;
- (2) 最低使用温度下 ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) 夏比冲击吸收功  $\geq 145\text{J}$ 。
- 当前管线钢的技术条件普遍采用美国石油协会标准 APISpec5L，但是国内具体工程或具体用户的订货技术条件往往较API标准严格得多。





# (一)、成分设计思想

- 1 管线钢中碳的作用与控制，碳是增加钢的强度的有效元素，但是它降低钢的韧性、塑性和焊接性有负面影响。降低碳含量可以改善脆性转变温度和焊接性能。极地管线和海洋管线对低温韧性、断裂抗力以及延性和成形性的需要，要求更低的含碳量。



- 对于微合金化钢，低的碳含量可以提高抗HIC的能力和热塑性。按照API标准规定管线钢中的碳通常为0.025—0.12，并趋向于向低碳方向或超低碳方向发展。在综合考虑管线钢抗HIC性能、野外可焊性和晶界脆化时，最佳C应控制在0.01—0.05之间。



-  2  管线钢中锰的作用与控制为保证管线钢中低的含碳量，通常是以锰代碳，Mn的加入引起固溶强化，用锰来提高其强度。锰在提高强度的同时，还可以提高钢的韧性。但如果锰含量过高对管线钢的焊接性能造成不利影响，有可能导致在管线钢铸坯内发生锰的偏析，且随着碳含量的加，这种缺陷会更显著。因此，根据板厚和强度，管线钢中锰的加入量一般是1.1-2.0。







- 3 管线钢中硫的作用与控制 硫是管线钢中影响抗HIC能力和抗SSC能力的主要元素。随着硫含量的增加，HIC敏感性显著增加，只有当 $S < 0.0012$ 时，HIC明显降低。值得注意的是硫易与锰结合生成MnS夹杂物。当MnS夹杂变成粒状夹杂物时，随着钢强度的增加，单纯降低硫含量不能防止HIC。如X65级管线钢，当硫含量降到20ppm时其裂纹长度比仍高达30%以上。



- 硫还影响管线钢的冲击韧性，硫含量升高冲击韧性值急剧下降。管线钢中硫的控制通常是在炉外精炼时采用喷粉、真空、加热造渣、喂丝、吹气搅拌进行，实践中常常是几种手段综合使用。此外，条状硫化物是产生氢致裂纹的必要条件，对钢水进行钙处理将其改变为球形，可降低其危害



-  4  管线钢中磷的作用与控制 由于磷在管线钢中是一种易偏析元素，在偏析区其淬硬性约为碳的二倍。由二倍磷含量与碳当量 $2P+C_{eq}$ ，对管线钢硬度的影响可知，随着 $2P+C_{eq}$ 的增加，含碳 $0.12\sim 0.22\%$ 的管线钢的硬度呈线性增加，而含 $0.02\sim 0.03\%$ 的管线钢，当 $2P+C_{eq}$ 大于 $0.6\%$ 时，管线钢硬度的增加趋势明显减缓。



- 磷还会恶化焊接性能，对于严格要求焊接性能的管线钢，应将磷限制在0.04%以下。磷能显著降低钢的低温冲击韧性，提高钢的脆性转变温度，使钢管发生冷脆。而且低温环境用的高级管线钢，当磷含量大于0.015%时，磷的偏析也会急剧增加。对于高质量的管线钢应严格控制钢中的磷含量越低越好。通常采用铁水预处理去除磷。



- 在炼钢整个过程中均可脱磷，如铁水预处理、转炉以及炉外精炼，但最终脱磷都是采用炉外精炼来完成。



- 5 管线钢中氢的作用与控制，管线钢中氢的质量分数越高，HIC产生的几率越大，腐蚀率越高，平均裂纹长度增加越显著，自真空处理技术出现以后，钢中氢已可稳定控制在0.0002%以下。钢中氢是导致白点和发裂的主要原因。管线钢中的氢含量高，HIC产生的几率越大，腐蚀率越高，平均裂纹长度增加越显著。



- 利用转炉CO气泡沸腾脱氢和炉外精炼脱气过程可很好地控制钢中的氢含量。采用RH、DH或吹氩搅拌等均可控制  $[H] \leq 1.5 \text{ ppm}$ 。

另外，要防止炼钢的其它阶段增氢。采用钢包和中间包预热烘烤可以有效降低钢水的吸氢量。连铸过程中，在钢包和中间包系统对保护套管加热和同一保护套管的反复使用可明显降低钢液的吸氢量。





- 6 管线钢中氧的作用与控制 钢中氧含量过高，氧化物夹杂以及宏观夹杂增加，严重影响管线钢的洁净度。钢中氧化物夹杂是管线钢产生HIC和SSCC的根源之一，对钢的各种性能都起着有害的作用 尤其是当夹杂物直径大于 $50\ \mu\text{m}$ 后，严重恶化钢的各种性能。为了防止钢中出现直径大于 $50\ \mu\text{m}$ 的氧化物夹杂，减少氧化物夹杂数量，一般控制钢中氧含量小于0.0015。





- 采用炉外精炼可获得较低的氧含量，国外许多厂家经炉外精炼处理后成品钢中 $T[O]$ 最低可达 $5\text{ppm}$  $10^{-6}$  %的水平。另外，由于耐火材料供氧，钢水在运输和浇注过程中应尽量减少二次氧化。通过改进以及选择良好的中间包覆盖渣和连铸保护渣，取得较好的效果。目前工业上已能生产杂质含量小于 $0.01$ 的高纯钢，预计到21世纪中叶有可能生产出杂质含量只有百万分之几的高纯钢。





-  7  管线钢中铜的作用与控制 加入适量的铜，可以显著改善管线钢抗HIC的能力。随着铜含量的增加，可以更有效地防止氢原子渗入钢中，平均裂纹长度明显减少。当铜含量超过0.2%时，能在钢的表面形成致密保护层，HIC会显著降低，钢板的平均腐蚀率明显下降，平均裂纹长度几乎接近于零。



- 但是，对于耐 $\text{CO}_2$ 腐蚀的管线钢，添加Cu会增加腐蚀速度。当钢中不添加Cr时，添加0.5%Cu会使腐蚀速度提高2倍。而添加0.5%Cr以后，u小于0.2%时，腐蚀速度基本不受影响，当Cu达到0.5%时，腐蚀速度明显加快。



-  8  管线钢中其它元素的作用与控制 化学成分中的碳和铌是控制钢板的强度、韧性、可焊性和焊接热影响区裂纹敏感性及对氢诱裂纹和应力腐蚀裂纹敏感性的主要因素。



- 微合金元素Nb、V、Ti、Mo在管线钢中的作用与这些元素的碳化物、氮化物和碳氮化物的溶解和析出行为有关。管线钢除了以上三种普遍使用的合金元素外，还应根据钢的性能要求加入其它少量合金元素，例如B、Mo、Ni、Cr、Cu等。



- 铌是管线钢中不可缺少的微合金元素，能改善低温韧性。API标准中规定的管线钢铌含量下限为0.005%<sup>①</sup>。然而实际在钢中的控制水平都在0.03~0.05%之间，为标准中的下限值的6~10倍。



- 钒有较高的沉淀强化和较弱的细化晶粒作用，一般在管线钢设计中不单独使用钒。管线钢中加入微量的钒，可以通过增加沉淀硬化效果来提高钢板的强度。国外实物钢板中的含钒量多数控制在0.05~0.10%之间，为API标准中的下限值的2.5~5.0倍。



- 钛与钢中的C、N等形成化合物，为了降低钢中固溶氮含量，通常采用微钛处理，使钢中的氮被钛固定。钢中加入微量的钛，可以通过提高提高钢板强度和韧性的目的，尤其是对提高焊接热影响区的韧性具有独特的贡献。





- 钼也是管线钢中主要的合金元素之一，随着钼含量的升高，抗拉强度升高。钢中钼有利于针状组织的发  
展，随着钢中钼的质量分数增加，针状铁素体的含量增加，因而能在极低的碳含量下得到很高的强度。



- 钢中加入钙、锆、稀土金属，可以改变硫化物和氧化物的成分，使其塑性降低。采用这种方法，可以使钢板的各向异性大大减轻，使横向夏比冲击功增加一倍，达到或接近纵向夏比冲击功数值。为了使钢板各向异性达到最小，稀土与硫的比例控制在2.0左右最为合适。



- 9 管线钢中夹杂物的作用与控制 在大多数情况下，HIC都起源于夹杂物，钢中的塑性夹杂物和脆性夹杂物是产生HIC的主要根源。分析表明HIC端口表面有延伸的MnS和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>点链状夹杂，而SSCC硫化物应力腐蚀开裂的形成与HIC的形成密切相关。因此，为了提高抗HIC和抗SSCC能力，必须尽量减少钢中的夹杂物、精确控制夹杂物形态。



- 钙处理可以很好地控制钢中夹杂物的形态，从而改善管线钢的抗HIC和SSCC能力。当钢中含硫0.002~0.005%时，随着Ca/S的增加，钢的HIC敏感性下降。但是，当Ca/S达到一定值时，形成CaS夹杂物，HIC会显著增加。因此，对于低硫钢来说，Ca/S应控制在一个极其狭窄的范围内，否则，钢的抗HIC能力明显减弱。



## (二) 生产工艺

- 焊接钢管按工艺区分主要有电阻焊 (ERW)、螺旋埋弧焊 (SSAW) 和直缝埋弧焊 (LSAW) 三种工艺。这三种工艺生产的焊管，因其原料、成型工艺、口径大小以及质量的不尽相同，在应用领域里各有定位。



- 1. 直缝电阻焊管 (ERW)

电阻焊管是我国最早生产、应用范围最广、生产机组最多(2000余家)、产量最高(占焊管总产能的80%左右)的钢管品种,产品规格为 $\Phi 20\sim 610\text{mm}$ ,在国民经济建设中发挥了重要作用。ERW219—610mm机组自20世纪80年代以来,约有30余套是从国外引进的较先进技术。经过多年生产实践,装备技术水平又有较大进步,产品质量也在不断改善。因其投资少,见效快,应用范围广而发展迅猛。



- 随着板材CSP生产工艺的发展，为其提供了低成本、质量可靠的原料，并为其今后进一步发展创造了良好的条件。这部分产品已由流体输送、结构领域向无缝管应用领域的油井管、管线管发展。其典型生产工艺流程应为：板带原料→原料预处理→冷弯成型→焊接→焊缝热处理→焊缝(管体)探伤→精整→成品焊管。



- 2. 螺旋埋弧焊管 (SSAW)

螺旋埋弧焊管设备投资较少，因采用价格较低的窄带(板)卷连续焊接生产大口径( $\Phi 1016 \sim 3200\text{mm}$ )焊管，生产工艺简单、运行用度低，具有低本钱运行上风。目前，我国油气输送螺旋焊管已形成了以石油系统所属钢管厂为主的基本格式。





- 采用低残余应力成型和管端机械扩径等先进技术，经过严格质量控制的螺旋焊管在质量上与直缝焊管相媲美，我国西气东输等油气长输管道工程采用了的主要管型。其目前建设的需要，并已基本满足我国油气长输管道工程

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/978054074125006132>