

# 中亚管线 X70 中厚板生产实践及工艺优化

张维旭 李少坡 李家鼎 查春和

首钢技术研究院宽厚板研究所, 北京, 100041

**摘要** 本文介绍了首钢管线钢 X70 的生产实践全过程, 从成分设计、工艺特点到控轧控冷, 最终得到了细小均匀的组织, 具有优良的力学性能。并对生产实践中出现的主要问题, 进行了大量的分析和研究, 优化了生产工艺。

**关键词** 管线钢 X70 屈强比 落锤 控轧工艺 水冷工艺

## 1. 引言

西气东输二线国外气源到国境段—中亚天然气管道工程是我国从中亚国家进口天然气的重要工程, 对我国的能源战略安全具有非常重要的意义。中亚天然气管道建设中, X70 直缝埋弧焊管是重要的管型, 且用量很大。X70 管线钢是低合金高强度钢的典型代表, 国内大部分钢厂均采用了钼系成分体系, 组织形态以针状铁素体为主, 对于中亚天然气管道工程用 X70 钢, 技术条件中没有严格要求钢板组织类型必须以针状铁素体组织, 因此首钢大胆尝试, 采用铌系成分体系, 成本较低。

管线钢 X70 的生产实践中出现了很多问题, 基于工业大生产中的实际数据, 本文也对这些问题进行了分析和研究, 为优化生产提供参考。

## 2. 成分设计和工艺特点

中亚天然气管道工程用钢板 X70, 技术要求具有良好的强韧性搭配, 良好的焊接性能, 同时具有高的低温韧性止裂性能。于是成分设计上采用较低碳、锰含量, 超低磷硫含量, 适当 Nb 含量, 微 Ti 处理, 适量其他合金元素, 不添加额贵的 Mo。在生产工艺上综合了纯净钢冶炼技术和控轧控冷的热机械处理热轧工艺, 实现超低磷硫含量和夹杂物形态控制, 并通过细晶强化、位错强化等强化机制获得较好的组织形态, 保证综合性能的良好。

## 3. X70 管线钢的控轧控冷

在管线钢 X70 的加热制度和压下规程相对合理和稳定的前提下, 终轧温度和冷却强度直接决定着 X70 的组织形态和力学性能。管线钢要求具有良好的强韧性搭配, 最有效

的途径就是细化晶粒。晶粒细化可以在提高强度的同时，韧性不降低。

终轧温度过高，有可能使第Ⅱ阶段的轧制发生奥氏体部分再结晶，使得钢板的最终组织不均匀。终轧温度过低，有可能在轧制过程中发生铁素体相变，铁素体受到加工变形，使得钢板的最终组织不均匀。

轧后快速进入水冷区，通过控制冷却强度来得到所需要的组织形态。较高的冷速和较低的返红温度可以抑制块状珠光体的形成，得到细小的铁素体和弥散的珠光体组织。

#### 4. X70 管线钢的成分和钢板性能

表 1 是中亚管线 X70 的化学成分范围，由表 1 可见，X70 具有较低的碳含量和较低的磷硫含量、适量的合金元素，不添加 Mo。

表 1 管线钢 X70 化学成分(质量分数)

规格	C=	Si=	Mn=	P=	S=	Al=	Nb+V+Ti=	其它合金元素
15.9mm	0.10	0.30	1.75	0.012	0.005	0.06	0.15	适量

表 2 为工业大生产的管线钢 X70 的综合力学性能，由表 2 可见，大生产的 X70 钢板的屈服强度较高，抗拉强度约 630MPa 左右，并具有较高的延伸率，-10℃的夏比冲击功约 390J，剪切面积大于 90%，-15℃的 DWTT 断口剪切面积大于 85%，说明大生产的中亚管线 X70 具有较高的强度和较好的抗动态撕裂能力。

表 2 管线钢 X70 的力学性能

规格	Rt0.5, MPa	Rm, Mpa	A50.8, %	-10℃Ak <sub>v</sub> , J	-10℃SA, %	-15℃DWTT, SA, %
15.9mm	520-580	590-700	40	390J	>90%	>85%

#### 5. X70 管线钢的组织形态

工业大生产中的 X70 钢板的金相组织见图 1。

中亚管线 X70 的组织形态以铁素体珠光体组织为主。从图 1 可以看出，厚度表层和 1/4 处多为细小均匀的铁素体组织，珠光体相百分含量非常少，而且呈弥散细小分布，厚度 1/2 处出现了少量贝氏体组织，呈针状或板条状。

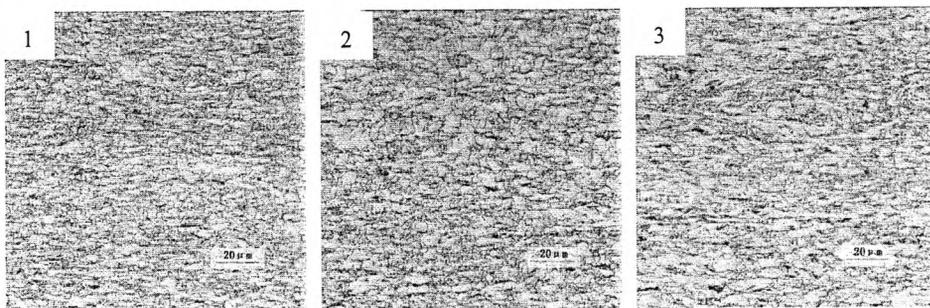


图 1 中亚管线 X70 的组织形态

(1) 表层, (2) 1/4 处, (3) 1/2 处

## 6. 工艺优化

### 6.1 改善屈强比的工艺优化

低屈强比是管线钢中一个比较难以控制的技术要求之一, 因为影响屈强比的因素很多, 错综复杂。中亚管线 X70 以铌为主要合金元素, 含 Nb 钢冷却时, Nb 的碳氮化物在奥氏体和铁素体中的脱溶析出。通过控制它们在奥氏体中的析出过程, 可有效控制变形奥氏体再结晶过程和阻止奥氏体晶粒的长大, 从而在奥氏体向铁素体相变时富化生核, 得到细小的铁素体晶粒, 从而大大细化晶粒<sup>[3]</sup>, 而细化晶粒对屈服强度的提高大于对抗拉强度的提高, 会导致钢板屈强比升高。提高第二阶段的轧制温度, 一定程度上能够改善屈强比, 因为第二阶段轧制温度高, 奥氏体晶粒易于发生回复软化, 减弱了此阶段形变能的积累, 从而降低晶体相变驱动力, 不利于细化晶粒<sup>[4]</sup>。但第二阶段的轧制温度过高, 对韧性有较大的负面影响, 严重影响管线钢的落锤性能, 不是改善管线钢屈强比的最佳工艺。

下图 2 是大生产中 X70 的强度随返红温度的变化趋势。

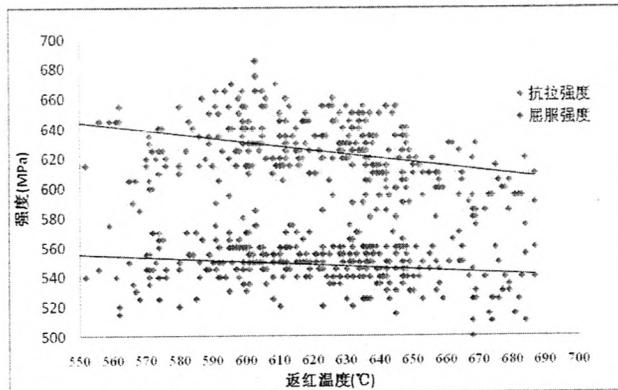


图 2 X70 的强度与返红温度的关系

从上图可以看出, 随返红温度的降低, 抗拉强度和屈服强度均有不同程度的提高, 但抗拉强度提高的幅度较大, 屈强比降低。所以在 F+P 为主的组织条件下, 降低钢板的返红温度, 一定程度上能够增加组织中类贝氏体的硬质相, 提高钢板的抗拉强度, 降低屈强比。

### 6.2 改善落锤性能的工艺优化

通过生产过程得到的水冷模型中不同预计算终轧温度和水冷后钢板返红温度对应的落锤性能数据分析, 发现当预计算终轧在 (791-811) 范围时, 水冷模型返红温度主

要集中在 580-620℃，此工艺控制范围内得到的 DWTT 性能普遍比较高，DWTT 剪切面积平均 $\geq 88\%$ ，这一规律在随后的生产过程中得到很好的应用，DWTT 合格率有了很大的提高，在工业大生产过程中，必须严格控制终轧温度和水冷终了温度，才能得到落锤撕裂性能比较好的钢板。

## 7. 结论

- (1) 首钢中亚管线 X70 采用铌系成分体系，不添加 Mo，具有成本优势。
- (2) 首钢中亚管线 X70 的组织形态以细小均匀的铁素体珠光体为主，具有良好的力学性能。
- (3) 降低返红温度，拉大抗拉强度和屈服强度的差值，有利于降低屈强比。
- (4) 当终轧温度稳定控制在合理的温度范围内时，返红温度的降低，对落锤性能有益。

## 参考文献

- [1] Pistone V. Toughness necessary to prevent ductile fracture propagation. EPRG 25 Anniversary Meeting Brussels, 1997:87-98
- [2] 李鹤林. 天然气输送钢管研究与应用中的几个热点问题[J]. 焊管, 2005, 23(3):43-61
- [3] 王有铭, 李曼云, 韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却[M]. 北京:冶金工业出版社:1995
- [4] 赵明纯, 单以银, 杨振国. 热加工对管线用低碳钢性能的影响[J]. 材料研究学报, 2002, 15(6):669