

石油天然气管线工程 技术发展、规范及焊接国际研讨会

报告文集与论文选编

International Seminar on Development, Specification and
Welding of High Strength Linepipe

Proceedings

中国 北京
2006年12月5日

December 5, 2006 Beijing, China



CITIC-CBMM 中信微合金化技术中心



石油天然气管线工程
技术发展、规范及焊接国际研讨会

报告文集与论文选编

International Seminar on Development, Specification and Welding of
High Strength Linepipe
Proceedings

2006 年 12 月 5 日 中国 北京

December 5, 2006- Beijing, China

主 办 单 位: CITIC-CBMM 中信微合金化技术中心
(Sponsored by) (CITIC-CBMM Microalloying Technology Center)

协 办 单 位: 中国石油天然气集团公司科技发展部
(Co-sponsored by) (Research & Development Department of CNPC)
中国钢铁工业协会科技环保部
(Science & Technology Department of CISA)
中国石油天然气管道局
(China Petroleum Pipeline Bureau)

承 办 单 位: CITIC-CBMM 中信微合金化技术中心
(Organized by) (CITIC-CBMM Microalloying Technology Center)

目 录

在“石油天然气管线工程技术发展、规范、焊接国际研讨会”的讲话.....	孙宁	1
✓ 高强度管线钢管的标准与规范的开发.....	John. Hammond	3
✓ X-80 的高效率焊接.....	B. Laing	28
✓ 高强度油气输送管线钢的合金设计与制管过程中性能变化规律.....		
.....	D. G Stalheim, K. R Barnes	43
✓ 美国第一条 X-80 HSLA 管线.....		
.....	W.J. Fazackerley, P. Manuel, L. Christensen, J. M. Gray	83
✓ 加拿大高强度管线钢的发展与应用-过去 30 年从 X70 到 X100.....	A. Glover	100
FIRST X-80 HSLA PIPELINE IN THE USA.....		
.....	W.J. Fazackerley, P. Manuel, L. Christensen, J. M. Gray	127
X80 管线钢和钢管在中国的研制与应用.....	孔君华, 郑磊, 黄国建等	135
AZOVSTAL 钢铁和 WELSPUN 管线公司对深水油气管线用 X65 管线钢板的使用...		
.....	Y. I. Matrosov, O. V. Nosochenco, O. A. Bagmet, P. Mittal	150
主干管线钢焊接模拟的对比分析.....	Y.D. Morozov, L.I.Efrom, Y.I.Matrosov	159
高强度石油天然气管线钢的合金设计.....		
.....	D. G Stalheim, K. R. Barnes, D. B. McCutcheon	168
高等级管线钢的发展现状.....	郑磊, 付俊岩	203
中国高等级微合金管线钢.....	王仪康, 潘家华等	217
利用炉卷轧机生产高强度管线钢及螺旋焊管.....		
.....	L.E. Collins, F. Hamad, M. Kostic, T. Lawrence	257
控制再结晶获得细晶粒的热轧 HTP 钢.....		
.....	S.V. Subbramanian, H.S.Zubob, G. Zhu	274
✓ 南钢 HTP 工艺生产高级管线钢的实践.....	吴小江, 姚永宽	290
附录		
外国专家介绍.....		298

在“石油天然气管线工程技术发展、规范、焊接及高钢级管线钢国际研讨会”的讲话

中国石油天然气集团公司科技发展部副主任 孙宁

尊敬的各位专家，各位老朋友，女士们，先生们，早晨好！

很高兴与大家相聚在寒冬时节的北京，共同探寻高钢级管线钢在中国大口径长距离天然气输送管道工程建设中大规模推广应用的可行性和科技成果交流。

请允许我代表中国石油天然气集团公司科技发展部及会议协办单位，感谢 CITIC-CBMM 中信微合金化技术中心和所有外国专家努力促成本次会议顺利举行，同时祝贺会议的顺利召开，并预祝会议圆满成功。

众所周知，随着中国国民经济的高速发展，国内能源需求出现了供不应求的局面，石油天然气能源的需求缺口，极大刺激勘探开发上游业务的发展，并引起高层对多渠道引入国外油气资源的思路和决策。中国石油积极应对国内能源的需求发展，积极寻找新的油气资源，尤其是天然气资源在近几年有极大的突破，同时引进周边国家的油气资源也提到日程上来。油气资源的输送尤其是天然气的输送目标集中到管线的建设中来。

从举世瞩目的横贯中华大地的西气东输天然气管道工程竣工后的那一刻起，在中国国家发展改革委员会的支持下，中国石油天然气集团公司就与中国钢铁业的朋友们携手合作共同开发 X80 管线钢卷板、宽厚板、螺旋焊管和直缝焊管的工业化产品。为中国未来天然气工业大规模发展进行了不懈的奋斗。

在过去的两年里，中国石油天然气集团公司与中国钢协组织中国石油管道局、西安石油管材所、宝鸡石油钢管厂、华北石油钢管厂、武汉钢铁集团、宝山钢铁有限公司和鞍山钢铁集团七个有关科研企事业单位，从新产品技术条件制定、新产品首批生产、新产品鉴定、工程焊接施工工艺、新产品及工程施工质量检测、工业性应用工程设计、工业性应用工程新产品批量订货、工业性应用工程施工的八个环节，开展大规模的研发工作。

经过不懈努力，在中国首次成功研制出的 X80 管线钢— $\Phi 1016\text{mm} \times 15.3\text{mm}$ 螺旋焊管和 $\Phi 1016\text{mm} \times 18.4\text{mm}$ 直缝焊管新产品，于 2005 年 4 月在西气东输—陕京二线的冀宁联络线管

道建设工程中实施近 7.2 公里的工程应用。成功诠释了中国在高强度管线钢管的研发生产能力又上了一个新台阶，为中国天然气管道工业的可持续发展奠定了重要基础。

在中国政府制定的“十一五”能源发展规划中，中国石油天然气集团规划兴建的西气东输二线工程建设将是本世纪又一项重大建设工程，管道敷设长度 7000 多公里，超过西气东输一线工程 50%，年输气量高达 300 多亿立方，压力达到 10~12Mpa，口径大于 40”，工程建设将应用全新设计、建设、管理理念。有关专家建议采用 X80 钢实施这样长度的管道工程建设，这将是一项世界瞩目的浩大工程。

通过对大量国内外资料文献和工业化产品的研究，我们认为 X80 管线钢管的工业化应用在国际管道工程建设行业已经是成熟技术，是当前国际输气行业大量应用的钢材种类。在中国超过 1000km 的应用，符合国际油气管道工程建设主流的发展趋势。虽然在应用中会有很多的难点需要攻克，但我们认为只要抓住机遇开展全国性的研发合作，将有可能实现这一目标。

在未来的一年多中，我们将与中国钢铁业的朋友们进一步合作，针对西气东输二线工程拟将采用的 $\Phi 1219 \times 18.4$ 规格的 X80 管线钢管和额定工作压力 12Mpa 的工程建设规划目标，从制造质量检测技术条件和标准、钢材冶炼、板材轧制、焊管制造、工程设计、焊接施工工艺及规范、管道施工敷设等关键技术领域，提早开展研发工作，探寻新技术、新工艺、新装备工业化应用的可行性，全面提升中国高钢级管线钢材和大口径钢管的冶炼、制造及天然气管道工程建设的技术创新水平。

本次研讨会上将有五位专家介绍国际 X80 管线钢的新成果和北美地区 X80 钢管道建设的成功经验，是一次学习交流的宝贵机会。我们希望能和国际上的科技同仁们一起携手合作，学习国际专家的成熟经验，倾听各种思路，为高强度管线钢的高技术发展做出更大贡献。

最后借此机会，再次感谢长期以来与中国石油和中国钢铁协会合作的国内外的专家和新老朋友们。

再次预祝本次大会圆满成功!!

预祝各位专家和代表身体健康! 全家幸福!

谢谢大家!

高强度管线钢管的标准与规范的开发

John Hammond
ISO TC67/SC2 - WG 16 会议召集人 (管线钢管)

2006年12月5日
中国北京

1

综述 - 高强度钢管线管

- 高强度管线钢管概述
- 标准化的历史与进程
- 高强度钢(HSS) 管线管的发展
- HSS管线管的成分
- HSS管线管的典型性能
- 需要补充规定的问题
- HSS管线管的早期应用
- 总结

2

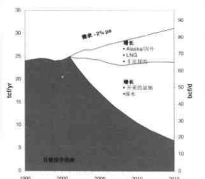
高强度管线钢管概述

- 天然气 – 世界范围内市场增长
- 主要的气田 – 许多在偏僻地区
- 长距离天然气输送管线 – 主要的CAPEX & OPEX
- 管线铺设
 - 需要降低成本
 - 缩短铺设时间
 - 较少的人员来铺设
- HSS钢管 – 铺设与运行优势
- HSS钢管可允许进行高压输送

3

未来气田开发 举例: USA, Alaska

- 传统北美盆地的气体将不能满足未来需求
- 将需要Alaska与其它国外地区供应
- 长的气田到市场的距离
- 长距离的管线
- 经济可行性需要高强度管线钢管



4

X100 开发历史



5

ISO/API标准化 & 一致性

- 标准化&一致性联合工作组
 - ISO TC67/SC2 – 第16工作组 (临时会议召集人 J. Hammond)
 - API 第4183工作组 – (临时会议召集人 G. Kohut)
- 高强度钢管工作组
 - API 第4193工作组 – (会议召集人 M. Macia)
- ISO 3183-1, -2:1996 与 -3: 1999按期在2001年进行讨论
- 目的与API工作组联合商讨对标准修改达到一致性
- 在2002年高强度(X90, X100 and X120)钢管被加到工作组的工作范围内

6

参与（或投票）ISO TC67/SC2的国家 – 第16工作组

P-成员 (参加)

阿根廷	澳大利亚
巴西	加拿大
丹麦	芬兰
法国	德国
印尼	伊朗
意大利	日本
哈萨克斯坦	墨西哥
荷兰	挪威
葡萄牙	卡塔尔
罗马尼亚	俄罗斯
南非	瑞典
英国	美国

在DIS 3183起草国际标准阶段(DIS)的投票结果

P 成员投票数 = 21

赞成票 = 17 (80.95%)

反对票 = 4 (19.05%)

通过投票的条件 > 66.66%

FDIS Review and Ballot Sep – 2006年11月

目标: 在2006年出版新的ISO 3183

7

ISO 3183: 2006的进展

- 最终起草的国际标准已经投票FDIS 3183
- 观察期为2006年9月21日到11月21日
- FDIS 以95.45%赞成通过投票
- 22 ISO 'P' 成员赞成；1个P成员反对
- 编辑和修改后将形成ISO 3183
- 在2006年12月计划印刷出版

8



HSS钢种的标准化

- ISO 3183 管线管
 - 目前标准3部分组成, 不包括HSS.
 - ISO 3183-1: 1996
 - ISO 3183-2: 1996 最高X80 (L555)
 - ISO 3183-3: 1999 最高X80 (L555)
 - 重新起草作为统一的文档ISO 3183:2006, 包括HSS钢种
 - ISO TC67/SC2-WG16和API WG 4183准备了一致性的草稿
- API 5L – 43rd 版, 2004
 - 目前标准统一的文档, 不包括HSS
 - 最高X80 (L555)
- CSA Z.245.
 - 统一的文档
 - 最高X100 (Grade 690)
 - X120 (Grade 830)在考虑之中

9



ISO 3183 与 API 5L建议的新HSS钢种

- X90M (L 625M)
 - SMYS = 625 MPa 最小 (90.6 ksi min)
- X100M (L 690M)
 - SMYS = 690 MPa 最小 (100.1 ksi min)
- X120M (L 830M)
 - SMYS = 830 MPa 最小 (120.4 ksi min)

M 表示TMCP加工路径

目前仅适用DSAW管。无缝管正在开发中。

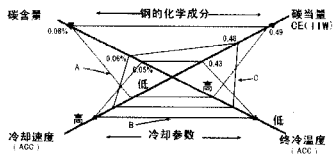
10

高强度管线钢管的定义？

- 高强度管线钢管 (SMYS > 625 MPa)
- 目前仅制成大口径SAW管
- 微合金化C-Mn钢
- 低碳含量
- 板由TMCP工艺生产
- 高强高韧
- 可焊

11

高强度管线钢的碳含量与工艺



由德国欧洲钢管公司H-G Hillenbrand 和 C Kalwa 提供

12

成分与工艺

■ 方法 A - 相当的碳(0.08- 0.10) 与 CE (0.49)

- X100性能是在低的冷速与荷的加速冷却终止温度下获得
- 缺点是低的焊接性能与止裂韧性

■ 方法 B - 低的碳(0.05%) 与 CE (0.43)

- 需要快的冷速与非常低的加速冷却终止温度
- 可能在基体中形成马氏体
- 韧性控制困难
- 焊接后HAZ软化

■ 方法 C - “中等”碳(c. 0.06%) 与 CE (0.48%)

- 倾向于优化生产灵活性
- 得到高的韧性水平
- 好的现场焊接性能

13

X100 – 成分举例

元素	API	值 A	值 B
C	0.10 max	0.08	0.07
Si	0.05 - 0.05	0.08	0.11
Mn	0.8 - 2.00	1.50	1.96
P	0.015 max	0.008	0.008
S	0.005 max	0.001	0.0005
Nb	0.05 max	0.05	0.045
V	0.08 max	-	0.003
Ti	0.03 max	0.02	0.008
Al	0.055 max	0.004	0.029
Ni	-	0.41	0.48
Ca	0.50 max	0.40	0.27
Cr	-	0.02	0.00
Mo	-	0.28	0.13
B	5 ppm	-	-
Cu	50 ppm	15 ppm	15 ppm
N	80 ppm	31 ppm	48 ppm
CE	0.51 max	-	0.47
Pcm	0.22 max	0.21	0.20

14

ISO 3183:2006 化学成分

钢管名称	熔炼分析和产品分析的质量百分数 wt%										CE % 最大	
	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Other	CE	P _{cm}	
L485M (X70M)	0.12a	0.45a	1.70a	0.025	0.015	b	b	b	c	0.43	0.25	
L555M (X80M)	0.12a	0.45a	1.85a	0.025	0.015	b	b	b	d	0.43	0.25	
L625M (X90M)	0.10	0.45a	2.10a	0.020	0.010	b	b	b	e	—	0.35	
L800M (X100M)	0.10	0.55a	2.10a	0.020	0.010	b	b	b	d	—	0.25	
L830M (X100M)	0.10	0.65 ^a	2.18a	0.020	0.010	b	b	b	de	—	0.25	

a 按 21 号执行；
b 按 22 号执行；Nb - V 各 0.15 %
c 按 2 号执行；Cu 0.50 %Ni 0.30 %Cr 0.30 %Mo 0.15 %
d 按 3 号执行；Cu 0.50 %Ni 1.00 %Cr 0.50 %Mo 0.15 %
e 按 10.004 号

a 2017 另有协议。
b 0.017 % 至 0.015 %。
c 0.017 % 至 0.015 %。
d 0.017 % 至 0.015 %。
e 0.017 % 至 0.015 %。

15

X70 (L 485) 和 X80 (L 555) 的补充标准

元素	X70		X80
	Min	Max	Max
C		0.10	0.09
Mn		1.60	1.65
Si		0.40	0.40
S		0.006	0.005
P		0.020	0.018
Ni		0.25	0.30
Cu		0.30	0.30
V		0.08	0.08
Nb		0.10	0.10
Al (total)	0.020	0.060	0.060
Ti		0.025	0.025
Mo		0.30	0.30
Cr		0.30	0.30
N		0.009	0.008
Ca	0.0008	0.0040	0.0040
B		0.0005	0.0005
Nb+V+Ti		0.13	0.15

等级	CE	P _{cm}
X70	0.30	0.20
X80	0.32	0.20

Mo+Cu+Cr+Ni	不大于 0.60%
Al/N	比例 > 2:1
Ti/N (如果添加 Ti)	比例 > 4:1

16

X90与X100购方补充技术条件

元素	Wt %
C	0.10% max
Mn	0.80% - 2.00%
Si	0.05% - 0.35%
S	0.005% max
P	0.015% max
N	0.008% max
V	0.08% max
Nb	0.05% max
Ti	0.03% max
Al	0.010-0.055%
Cu	0.50% max
B	0.0005% max
Ca	0.006% max
Ni + Cu	1.00% max
Cr + Mo	0.35% max
V + Nb	0.12% max

钢管级别	CE	Pcm
X90	0.48 max	0.22 max
X100	0.51 max	0.22 max

目前的 X100钢是Nb, V 和 Ti微合金化

高Nb含量代替了部分 V 能够改善制造经济性, 但是要经合金试验和产品性能的检验

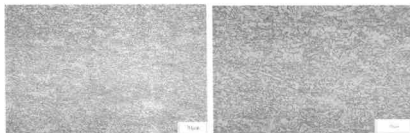
17

高强度钢焊接管线钢管－制管

- HSS 管线钢管焊缝成分不同于母管
- SAW焊需要更高的合金来达到性能要求
- 典型成分1-2% Ni, $\leq 0.5\%$ Cr, Mo与 Cu
- 内/外焊成分不同
- 每个管厂有专利技术
- 这不可能被标准化, 没有含在ISO 3183标准中
- 适用于目前所有SAW管线钢管级别

18

X100微观组织



在断面1/3厚度处的X100母材的微观组织

19

ISO 3183:2006

高强度管线钢管的拉伸性能要求

钢管名称	无缝钢管和焊管					HFW, SAW 和 COB 钢管性能	
	屈服强度 $R_{e0.01}$ (MPa)		抗拉强度 R_m MPa (psi)		屈服比 $R_{e0.01}/R_m$	延伸率 A_{50} % 标准/英寸/2in mm	拉伸强度 R_m MPa (psi) Min
	min	max	min	max	max		
L450Q 或 X45Q L450M 或 X45M	450 (65 300)	600 (87 000)	535 (77 600)	760 (110 200)	0.53	b	535 (77 600)
L485Q 或 X70Q L485M 或 X70M	485 (70 300)	635 (92 000)	570 (82 700)	760 (110 200)	0.53	b	570 (82 700)
L555Q 或 X80Q L555M 或 X80M	555 (80 500)	705 (102 300)	625 (90 600)	825 (119 700)	0.53	b	625 (90 600)
L625M 或 X90M	625 (90 000)	775 (112 400)	695 (100 800)	915 (132 700)	0.55	b	695 (100 800)
L690M 或 X100M	690 (100 000)	840 (121 800)	760 (110 200)	990 (143 600)	0.57	b	760 (110 200)
L830M 或 X120M	830 (120 000)	1 050 (152 300)	915 (132 700)	1 455 (210 000)	0.59	b	915 (132 700)

式中:

A 为 50 mm 或 2 in 处的最小延伸率, 采用百分数表示, 同整到最低值的百分数;

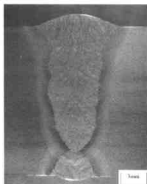
C 为系数, 当采用 SI 单位时为 1.940, 当采用 USC 单位时为 0.625/0.001;

B 为可延伸的原始拉伸横截面积, 采用平方英寸表示 (或平方毫米);

Q 为规定的最低抗拉强度, 采用兆帕表示 (或磅每平方英寸)

20

焊接相关的屈服强度问题



内/外

超高强度钢管的主要焊接工艺是自动 GMAW

GMAW填充焊丝的选择是关键

焊接性能由工艺参数而定

可能发生HAZ软化

焊缝的屈服强度必须高于钢管母材的实际屈服强度

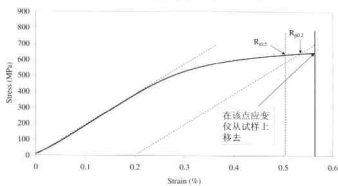
因此对X100，母材屈服强度极限必须不超过 810 MPa (117 ksi)

ISO 3183:2006规定为840 MPa (122 ksi)

21

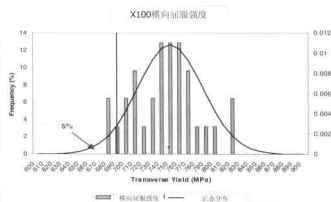
高强度钢管的屈服强度测量

管 B19 直径8mm圆棒拉伸试验（1点钟方向） -
钢管纵向



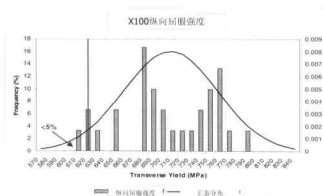
22

X100钢管(制管前)横向屈服强度的典型分布



23

X100钢管(制管前)纵向屈服强度的典型分布



24