

以西气东输工程的成功经验，推动我国输气管道的技术进步

黄志潜

中国石油物资装备(集团)总公司

摘要

本文从大流量输气管道的设计思想、高钢级管线钢及钢管的开发与应用、感应加热弯管制造技术、输气管道装备制造国产化等方面，概括了西气东输工程的成功经验，分析了仍存在的问题，提出了改进建议。指出西气东输工程积累了大量的技术经验、数据、情况和问题，是一笔极为珍贵的财富。应当通过理性的思维，使这些经验、数据和情况上升到理论规律的高度。应当将西气东输工程业经证实的技术成果，纳入我国输气管道的设计、施工、运行、维修的标准和规范中，用以指导今后的实践，以避免重复的劳动和资源的浪费。对于目前仍然存在的问题，应纳入今后的研究和开发计划

引言

近10年来，国外天然气管道输送技术发展迅速，主要表现在以下方面：

- 输气工艺：高压输送及富气输送工艺技术；
- 管道的设计理论与方法，如基于应变的极限状态设计方法等；
- 管线钢：X80、X100及X120管线钢的冶炼、轧制与焊接技术；
- 管道用钢管：高压管道用螺旋焊管和直缝焊管制造技术；
- 防腐与涂敷：钢管外防腐与减阻内涂层技术；
- 施工技术：管道机械化施工技术装备；各种恶劣环境下的施工技术；
- 大型天然气压缩站的设计技术；
- 高压天然气管道与管网的自动控制技术；
- 地下储气库的设计与建造技术；
- 输气管道用大型旋转设备及其制造技术，等。

我国输气管道建设起步较晚，与国外先进水平差距较大。西气东输管道工程的

实施，标志着我国输气管道技术全面提升到了一个新的高度。在许多方面缩小了与国外的差距，有的方面达到国际先进水平。

目前，西气东输工程建设已进入后期，已经积累了大量的技术经验、数据、情况和问题。是一笔极为珍贵的财富。应当通过理性的思维，使这些经验、数据和情况上升到理论规律的高度。还应当将西气东输工程业经证实的技术成果，纳入我国输气管道的设计、施工、运行、维修的标准和规范中，用以指导今后的实践，以避免重复的劳动和资源的浪费。对于目前仍然存在的问题，应纳入今后的研究和开发计划。

本文仅从作者个人接触的范围，分析西气东输工程的成功经验和存在的若干问题，提出一些建议，作为今后决策的参考。

一．我国大流量输气管道设计思想的重大技术进步

- 应用高压输送原理，将输气压力提高到10MPa 是我国大流量输气管道在设计思想上的一大进步，比过去已建成的输气管道所用的最高输气压力提高了2个等级。使我国大流量输气管道设计符合国外管道高压输送技术的发展趋势。
- 高压输送要求采用高钢级。本项目在国内输气管道设计中首次采用X70级，比过去已建成的输气管道所用的最高钢级提高了2个等级。是设计思想上的另一大进步。
- 在1类地区采用了国产X70级、壁厚14.6 mm、总量61万吨的螺旋缝焊管，是我国大流量输气管道设计思想在管型选择方面的又一大进步。

二．在管线钢领域中的技术进步缩小了与国外的差距

1) X70钢级的开发与应用

国外在上世纪70年代就开始开发X70钢级，到90年代X70已成为大流量输气管道的首选钢级。之所以如此，是因为大流量输气管道要求采用高输气压力和高钢级，以便大大减少钢材投资和运行费用。

西气东输工程在国内首次将X70管线钢用于高压大直径输气管道，缩小了我国输气管道用钢与国际上的差距，极大地促进了我国钢铁工业的技术进步。在短

短的3年内，我国钢铁工业向该工程大批量提供了壁厚14.6 mm 的X70热轧卷板54万吨和少量X70宽厚板。

2) 针状铁素体型X70钢级的开发与应用

国外早期的X70管线钢，其组织为少量珠光体加铁素体。90年代初，国外一些先进钢铁企业已转而生产针状铁素体型X70钢。

针状铁素体型X70钢，具有晶粒细化、组织均匀、可均衡提高强度和韧性、良好的焊接性和抗腐蚀性、较低的包兴格效应等优点，更适应高压输气管道的需要。这些优点通过实践已经得到了证明。

西气东输工程要求采用针状铁素体型X70钢，促使我国钢铁企业加大技术进步的步伐，起到了技术导向的作用。目前，我国钢铁企业已能大批量生产针状铁素体型X70热轧卷板，在管线钢热轧卷板的开发与应用方面进入了国际先进的行列。

3) 先进的技术标准

制定先进的技术标准是获得先进而可靠的产品的前提。

先进的管线钢和钢管技术标准必须综合考虑管道的实际工况、高压输送工艺的要求、管道施工工艺的要求、冶炼和轧钢的工艺性、制管的工艺性、检测技术的可行性、国际先进标准的水平、国外同类管道的经验以及经济性要求等。

西气东输工程的管线钢和钢管的技术标准是在API Spec. 5L 的基础上，参照多家国外同类管道的标准，综合考虑以上因素、集国内多位专家的智慧、反复修订而成。实践证明，西气东输工程的管线钢和钢管的技术标准是先进的、适用的和可行的。在保证产品质量上发挥了巨大的作用

4) 严格的试制程序

西气东输工程采用的X70热轧卷板经历了少量试制、在涩宁兰管道建设X70试验段、小批量生产、批量生产等严格的试制程序。由于在试制程序的执行过程中，对冶炼、轧制、制管、防腐、内涂、运输、存放、焊接各环节出现的问题逐个得到解决，使钢板和钢管能够顺利地投入大批量生产。

5) 石油工业与钢铁工业密切合作的典范

在开发管线钢方面，石油工业与钢铁工业密切合作由来已久。早在“八五”期

间,双方就合作开发了X60、X65和X70级管线钢。随后X60和X65得到大量应用,X70的开发则为西气东输工程的应用提供了技术基础。

在西气东输工程用X70热轧卷板试制期间,石油工业与钢铁工业密切合作,不讲条件,共同为确保工期和钢板质量而努力。最后成功地实现了双赢。

三. 大直径X70螺旋缝埋弧焊管的制造与应用在三个方面取得重大突破

大直径 X70 螺旋缝埋弧焊管的制造与应用在以下 3 个方面取得了重大突破:

- 在1类地区采用了国产X70级、壁厚14.6 mm、总量61万吨的螺旋缝焊管,是我国高压输气管道在钢管选型方面的重大突破。
- 建设了多条高钢级、大直径、大壁厚螺旋焊管生产线并采用多项新技术,是我国螺旋焊管制造技术的重大突破。
- 61万吨螺旋焊管全面满足西气东输工程钢管技术条件要求,是我国螺旋焊管质量水平的重大突破。

1) 我国高压输气管道钢管选型的重大突破

西气东输工程在1类地区采用了国产针状铁素体型X70 钢级、壁厚14.6 mm、总量61万吨的螺旋缝焊管,用实践结束了国内长期关于高压输气管道能否采用国产螺旋缝埋弧焊管的争论。是在中国高压输气管道钢管选型方面的重大技术突破。

2) 我国螺旋焊管制造技术取得重大突破

70~80年代螺旋焊管工艺落后、技术陈旧、产品质量差、油气输送管道事故频仍。国内国外均是如此。国外一些油公司的企业规范中禁止在油气输送管道上使用螺旋焊管也主要是在这一时期。早期螺旋焊管的主要缺点是:

- 几何形状精度差;
- 残余应力大;
- 焊缝长度大,产生缺陷较多。

90年代以来,无论国外还是国内螺旋缝焊管的制造技术已产生了巨大的进步。西气东输工程拉动了我国钢管制造行业的技术进步。3年多来,在高钢

级大直径输气钢管制造方面，我国螺旋焊管制造技术取得重大突破，表现在：

- 管端尺寸精度大大提高，西气东输工程螺旋焊管管端尺寸的技术要求与直缝焊管完全相同。管端尺寸的控制已经达到国际先进水平。
- 管体的结构应力显著降低，在高强度螺旋焊管成型的理论和实践上都取得了重要进展。
- 钢管焊缝的质量进一步提高。

A 通过技术改进，提高了几何形状精度^[1]

- 改善成型前带钢的板边准备。用铣边工艺代替剪边工艺，并铣出焊接坡口；采用板边预弯工艺，以改善成型效果；
- 采用新型强力成型器，大大提高了成型精度。其成型精度高，成型稳定，且成型器刚度大。
- 研制出新型管端扩径机，大幅度提高管端的尺寸精度。可使管端直径公差减少到1mm以内，圆度也有明显改善。同时 钢管两端直径差也大大减小。
扩径采用0.3%扩径率，对管端母材力学性能的影响可以忽略。对钢管外防腐生产工艺也没有影响。扩径后对焊缝进行超声波和X射线探伤，未发现因扩径造成的缺陷。
- 研制出管端焊缝砂带打磨机。可以准确地将管端150mm范围内的内外焊缝余高打磨到0~0.5 mm 之内，且与相邻管体表面相对光滑过渡，打磨质量稳定。同时还极大地降低工人劳动强度和工序成本。
- 为全自动焊接和相控阵超声波探伤工艺的应用作好了管端几何形状的准备。

表1 给出西气东输工程螺旋缝埋弧焊管实际管端尺寸。由表可见，我国大口径螺旋焊管的管端尺寸精度的控制已达到国际先进水平。

表 1 西气东输工程螺旋缝埋弧焊管实际管端尺寸^[11]

	API 5L 标准要求	西气东输 标准要求	1000 个钢管样本统计值
管端直径公差 mm	-0.79 ~ +2.38	-0.50 ~ +2.0	+0.07 ~ +1.90, 其中 99% 为 +1.03 ~ +1.67
管端圆度公差 %	± 1.0	+0.6	0.08 ~ 0.3

B 控制残余应力水平

研制了新型强力成型器，改进了原有成型器的结构、三辊弯板机构的辊型、辊距和布置方式、外控辊的结构；发展了低结构应力成型法，可以实现稳定的负弹复成型。实际效果是，大大降低了管体的结构应力，使得焊管的环切开口均在 80 mm 以内，且大部分切口为负方向弹性恢复。标志着在高强度螺旋焊管成型的理论和实践上取得了重要进展。

C 严格控制焊缝质量

- 改善板边焊前准备。采用铣边工艺使板边平直并开出坡口。
- 内外焊接均采用双丝串列埋弧焊，改善焊缝组织，减小热影响区。
- 通过试验优选焊材、焊速、焊接电流、电压以及焊丝的间距、倾角等工艺参数。
- 提高超声波探伤的灵敏度和可靠性，严格控制焊后、水压后和管端的焊缝质量。

3) 我国大口径螺旋焊管质量水平显著提高

西气东输工程对螺旋焊管的主要技术要求与直缝焊管相同。西气东输工程对热轧卷板、螺旋焊管的技术要求，被国外多家钢铁和制管企业认为是属于世界上最严格的技术条件之列。国内钢铁企业和制管企业，已生产了满足上述技术条件的54万吨X70热轧卷板和61万吨X70螺旋焊管。各制管的企业质量体系严格按 ISO 9002 运行，并由第三方监测机构对制管过程进行了全程监造。

和国外一流螺旋焊管厂商的产品相比,我国制管企业为西气东输工程生产的螺旋焊管已达到国际先进水平。

四. 大直径X70直缝埋弧焊管制造技术从无到有填补了国内空白^[1]

国外输气管道用直缝埋弧焊接钢管的几种不同的成型方式;

- UOE 方式,其技术起源于50年代,1980以后国外无新建;
- 渐进式JCOE 方式,是90年代以来发展起来的一种新工艺;
- RBE 3辊成型方式,是一种传统工艺,由来已久;
- 其它方式。

因此,UOE钢管只是一种采用了UOE成型方式的直缝埋弧焊接钢管。选用了直缝埋弧焊接钢管并不等于就自动选用了UOE钢管。

直缝埋弧焊接钢管的质量与钢管生产线的制造年代、技术水平、人员技术素质、企业管理水平等多种因素有关。因此,选用了UOE钢管不等于就有了可信的质量,关键要看由哪一家企业的哪一条生产线生产。也就是说,直缝埋弧焊接钢管生产厂家的选择至为重要。

西气东输工程选用了采用渐进式JCOE直缝埋弧焊管制造技术生产的钢管,采用的是国外最新的制造技术,具有以下特点:

1) 设备先进

采用了全板超声波探伤设备、浮动式高精度铣边机、强力压力机式预弯、20轴数控成型机、大功率连续预焊机、四丝自动跟踪内、外焊机;钢管全长机械扩径机、水柱耦合式超声波探伤设备以及质量管理信息系统。

2) 技术先进

- 成型过程采用了折弯数字控制和液压伺服控制、横梁同步测量和控制、下梁动态补偿、进给机构步进控制等先进的控制技术。
- 大壁厚焊接采用高速气体保护焊技术进行连续预焊,用四丝串列埋弧焊技术进行内、外精焊。
- 为大口径、高强度、高韧性钢管采用了属于国际先进水平的焊接技术。

- 机械扩径技术的采用提高了几何尺寸精度，消除了成型和焊接残余应力，同时还是对钢管焊缝质量的有效检验手段。
- 扩径和水压试验后的焊缝检验采用了国际上最先进的水柱耦合超声波检验技术，保证了最终焊缝检验的可靠性。

3) 填补空白

已经累计为西气东输工程生产各种直缝焊管14.2万吨，无任何质量问题，完全满足西气东输标准要求，达到国际同类产品的实物水平。既填补了国内空白，也平抑了国外进口的大直缝钢管的价格。

五．管线钢与钢管今后需努力提高的几个方面

1) X70钢材与钢管的国产化率仍有待提高

西气东输工程X70螺旋埋弧焊管按吨位计算的国产化率为100%；X70热轧卷板的国产化率为77.27%。标志着我国钢铁和制管行业在X70螺旋焊管及热轧卷板的生产能力和技术水平已跻身世界先进行列。

但是，应当看到本项目 X70 钢材与钢管的总国产化率并不高。表 1 给出西气东输工程钢材与钢板的国产化率统计。从表 2 可以看出，X70 钢管(包括螺旋埋弧焊管和直缝焊管)的总国产化率为 47.69% ,X70 钢板(包括热轧卷板和宽厚板)的总国产化率只有为 33.67%。尤其是 X70 直缝焊管及宽厚板的国产化率还相当低，分别只有 14.82% 和 1.8%^[2]。说明我国迫切需要加速高钢级管线钢宽厚板生产能力的建设。

表 2 西气东输工程钢材与钢板的国产化率统计*

	直缝埋弧焊管				螺旋缝埋弧焊管				总采购量	总国产化率%
	进口	国产	小计	国产化率%	进口	国产	小计	国产化率%		
钢管 (万吨)	82.29	14.32	96.61	14.82	0	60.7	60.7	100.0	157	47.69
钢板 (万吨)	12.8	2.0	14.80	1.80	16	54.4	70.4	77.27	85.2	33.67

* 根据文献^[2]中的数据制表。

近几年来,我国直缝埋弧焊管生产能力的增长速度领先于管线钢宽厚板生产能力的增长速度。与此同时,国际钢铁企业为了控制直缝焊管市场,对出口宽厚板实行高价政策。因此,加速我国高钢级管线钢宽厚板生产能力的建设,赶上我国重大输气管道项目建设的步伐,是当前的迫切需要。

这个问题在不太久的将来可望获得解决。除舞阳钢铁公司已试制成功并为西气东输工程提供了2万吨X70宽厚板之外,鞍山钢铁公司已完成了与生产管线钢宽厚板有关的技术改造;宝山钢铁公司的5m宽板轧机也将于2005年开始试生产。预计2~3年后我国高钢级管线钢宽厚板的供货能力将有较大的变化。

近5年来我国直缝埋弧焊管生产线的数量增长迅速,已投产和在建的直缝埋弧焊管的生产线已有8条之多,但是产品质量水平参差不齐。有些生产线的产品质量达到了国外同类产品水平;有的则达不到西气东输工程钢管技术条件的要求。

达不到钢管技术要求的原因往往是多方面的,包括设备的先进程度、制管工艺的技术水平、人员技术素质的高低、企业管理完善程度等。今后作为新建管道项目的业主,在选择国内直缝埋弧焊管供货厂商时,应以慎重的态度对各厂家的产品质量、供货能力和价格进行比较。

2) 继续努力开发更高钢级的管线钢

输气管道更高的输气量和压力,要求采用X80及以上钢级。这是近年来国外的发展趋势。世界各大石油公司已委托钢铁研究和制造企业,对X80及X80级以上管线钢管的开发和应用进行了多年的研究。

国外X80开发始于80年代初,目前在熔炼,轧制、制管、现场焊接工艺等方面技术上已经成熟。迄今已建成X80级管道755 km。一些重大项目正在酝酿采用X80级管线钢^[3]。图1给出国外管线钢各钢级的发展历程。由图可见,我国X70和X80管线钢的开发,已比国外落后了20到30年。

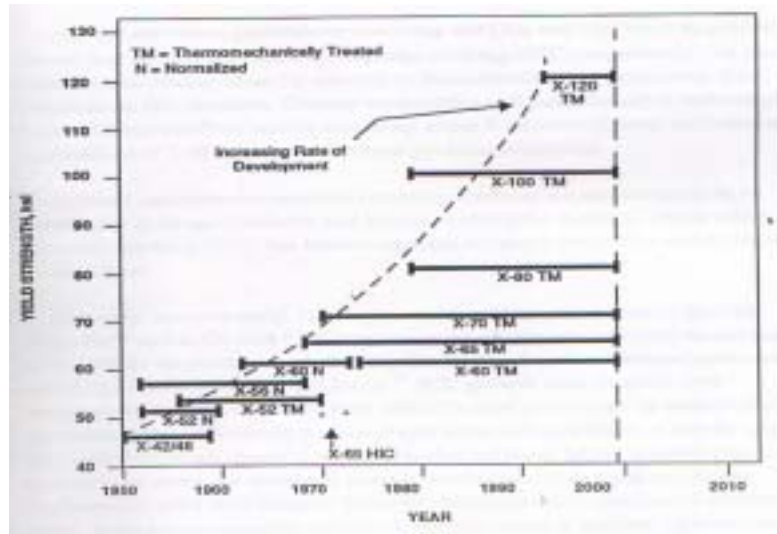


图1 国外管线钢各钢级的发展历程

社会对天然气的需求推动着输气管道的建设，输气管道建设带动了管线钢的发展。国外如此，国内也同样如此。我国输气管道的迅猛发展要求主管和设计部门不断采用新的设计方法、新的输气工艺和新的材料，从而不断推动着管线钢的技术进步。而一个新钢种的开发需要提前2~3年。为迎接今后中俄输气管道等重大项目的建设，当前应加速国产X80的开发与试验。

国产X80管线钢和钢管的研制已于2000年在国家经贸委立项。建议加强领导和协调，加速发展。目前国内钢铁企业和制管企业已试制出X80热轧卷板和直径1016mm的X80螺旋焊管。建议尽快结合国家重点工程项目的施工，进行X80钢管道试验段的建设，以便对管材、制管、现场焊接和无损检测各相关领域进行全面的综合检验。在试验段取得成功的前提下，建议在中俄输气等长距离、大流量输气管道设计中，考虑在大流量段部分采用X80钢级，可带来巨大经济效益。

输气管道的主管部门和设计部门要认识在长距离、高压、大流量输气管道上采用X80和X80级以上钢管的发展趋势，准备迎接国际上新一轮管线钢材料的升级。实际上，日本新日铁公司与美国ExxonMobil石油公司经过多年合作，已经开发出X120管线钢，并于2004年2月在加拿大建成了长度为1.6km的试验管道。

采用X80钢级仍应坚持严格的试制程序。包括少量试制、建设X80试验段、

小批量生产、批量生产等步骤

总体而言，在采用X80的问题上，应采取积极而审慎的态度。技术准备要抓紧做在前面。

3) 将X70螺旋焊管的应用扩大到高压输气管道的二类地区

美国API、加拿大CSA、德国DIN的有关输气管道设计的标准中，并没有限定高压输气管道必须采用何种钢管。也没有不同类别地区采用不同类型钢管的规定。其他国家的标准中也从未见过。一些油公司，例如前AMOCO公司，在早期的企业规范中确有油气管道不得选用螺旋焊管的规定。90年代以来情况已发生了变化。螺旋焊管制造技术取得了巨大的技术进步。国外油公司在输气管道上采用螺旋焊管的情况正在增加。

国内有关输气管道设计的标准中，也没有限定高压输气管道在不同地区必须采用何种钢管的条款。我国最早关于不同类别地区采用不同类型钢管的建议来自1997年石油管材所对中俄输油管道采用螺旋焊管的可行性研究报告。该报告建议1、2类地区可采用螺旋焊管，3、4类地区采用直缝焊管。当时国内螺旋缝埋弧焊管的最大壁厚受制造能力的限制只有16mm。经过技术改造目前这一数值已经提高到20mm。

因此2000年西气东输管道项目在编制可研报告时曾建议1、2类地区采用螺旋焊管。但2类地区钢管的壁厚已达17.5 mm，超出了宝钢轧制设备批量生产 X70 热轧卷板的能力；其时武钢技术改造尚未进行。西气东输管道的2类地区只好改用直缝焊管。为此共进口了44.33万吨壁厚17.5 mm 的 X70直缝焊管。目前武钢已完成了技术改造，可以批量生产壁厚17.5 mm 、X70热轧卷板。

论述螺旋缝埋弧焊管与直缝埋弧焊管的优缺点比较的文章已经很多，不是本文的范围。这里只想指出一点，即当二者都能满足管道项目技术条件要求的情况下，螺旋缝埋弧焊管的成本更低。表3给出在2003年11月国内外钢铁市场价格的情况下，X70 钢板及钢管不同供货方式的相对价格比较。

表 3 X70 钢板及钢管不同供货方式的相对价格比较*

(根据 2003 年 11 月国内外钢铁市场上的价格计算)

板材和钢管的生产方式	钢板价格 US\$/t	钢管税后价格 US\$/t	制成钢管后的 价格相对比较
国产热轧卷板，国内制造螺旋焊管	415	713	1.00
进口热轧卷板，国内制造螺旋焊管	398	757	1.062
国产宽厚板，国内制造直缝焊管	458	775	1.087
进口宽厚板，国内制造直缝焊管	450	836	1.173
进口直缝焊管	-	811	1.137

* 根据中国石油物资装备（集团）总公司通用金属部提供的数据制表

由表3可见，在几种获得钢板和钢管的不同方式中，用国产X70热轧卷板在国内制成螺旋焊管，成本最低。

- 比用进口X70热轧卷板制成螺旋焊管低 6.25%；
- 比用国产X70宽厚板制成直缝焊管低 8.7%；
- 比用进口X70宽厚板制成直缝焊管低 11.73%；
- 比进口X70直缝焊管低 11.37%。

从表3还可以看出，进口宽厚板在国内制管比直接进口直缝焊管还要贵。这再一次说明了加速发展国产X70宽厚板的生产的必要性。

今后即使国产X70宽厚板能够批量生产，用国产X70热轧卷板制成的螺旋焊管，仍然具有一定的价格优势。因此，将X70螺旋焊管的应用扩大到高压输气管道的二类地区，可带来可观的经济效益。

于2004年3月开工建设的陕京二线输气管道已经在二类地区采用了直径1016mm、壁厚17.5 mm 的X70螺旋焊管。这是我国将 X70 螺旋焊管的应用扩大到高压输气管道二类地区的一项重要进展。应注意解决由于壁厚增加而引起的技术问题，如DWTT落锤撕裂试验的试验方法和评价方法等。据了解，即将开工建设的西气东输管道与陕京二线之间的联络线，干线的输气压力为10Mpa，也将在二类地区采用X70级螺旋焊管。

六．今后螺旋埋弧焊管和直缝埋弧焊管在油气输送管道所占地位

在国外，随着螺旋焊管制造水平的提高，其在油气输送管道中的应用有逐渐扩大的趋势。在国内，随着更多直缝埋弧焊管生产线的建成和完善，在油气输送管道中高钢级、大壁厚钢管方面直缝埋弧焊管的应用将迅速增加。

螺旋埋弧焊管的优势是，在都能够满足技术要求的前提下，在国外价格大约便宜10~15%；在国内价格大约便宜9~12%。

预计今后油气输送用大口径钢管的格局将是螺旋埋弧焊管和直缝埋弧焊管两种钢管并存，互相补充，各自发挥优势的局面。并不存在一种钢管代替另一种钢管的情况。

作者认为，我国螺旋焊管制管企业应在现有工艺的基础上作以下改进：

- 进一步完善成型前带钢准备的各项设备；
- 优化焊接工艺参数，实现对焊缝几何形状的控制；
- 提高各主要工序的自动化程度；
- 改进各类无损探伤设备与技术；
- 应用信息化技术改造传统的制管企业。

七．高钢级大直径感应加热弯管制造技术和生产能力取得重大进展

在西气东输工程原来2001年的初步设计B版中，干线共需感应加热弯管8542个，其中将于2001年及2002年陆续开工的17个标段，共需感应加热弯管6954个^[4]。从2001年初开始，国内有多家弯管厂反复进行了热弯工艺试验，到2002年1月只有一家弯管厂达到单件试制合格。因此，大量感应加热弯管的及时供货问题一度成为整个工程的瓶颈。

为此，设计部门修改了设计，使感应加热弯管的总需求量锐减到2850个。同时加大了攻关力度，集思广益解决关键技术问题。到2002年5月，就取得了突破性进展，有多家弯管厂达到了批量生产的条件^[4]。

作者参与了解决高钢级大直径感应加热弯管技术问题的主要过程,深感以下是取得成功的主要经验^{[5][6]}:

- 工艺路线的选择:对于X70级、大直径、大壁厚感应加热弯管,应选择淬火-回火弯制工艺路线。
- 解决热弯管质量波动问题:关键是要稳定母管的质量。
- 母管设计的关键是调整母管的合金元素含量,使母管具有足够的淬透性。
- 用干线管作母管有一定的局限性

为解决开工急需,曾用高级地区干线管作为低一级地区干线用的热弯管的母管。由于干线管的化学元素的允许范围较宽,不能保证用任何一根干线管都能生产出合格的弯管。成功的关键仍是要在大量堆放的干线管中,选择合金元素含量足够大、能够保证淬透性的干线管作为母管。因此,用干线管作母管有一定的局限性

- 对母管的性能和成分的要求与弯管厂的弯制工艺和设备密切相关,应注意根据工厂具体的弯制工艺及弯制设备来确定。
- 感应加热弯管的试制应以弯管厂为主体并承担全部风险。对母管的技术要求应由弯管厂根据本厂的弯制工艺和设备条件,会同钢管厂共同提出。
- 业主的工作重点应当放在提准对热弯管本身的技术要求上面,无需代替弯管厂提出对母管的技术要求和制定弯制工艺。
- 严格试制程序:弯管厂只有在通过了单根试制和小批量试制并检测合格后,方能取得参加投标的资格。

由于采取了上述一系列重大技术措施和组织措施,使在国内生产高钢级大直径感应加热弯管的问题迅速得到解决。先后有9家弯管厂为西气东输工程生产了1646只热弯管。同时也填补了高钢级大直径感应加热弯管生产的国内空白。最终西气东输工程感应加热弯管的国产化率达到了57.75%。此外,我国高钢级大直径感应加热弯管的生产能力迅速增加。目前国内可以生产1016mm、X70钢级热弯管的弯管机已达10台之多,与全世界同类设备的总保有量相当。在3

年时间内,我国高钢级大直径感应加热弯管的生产能力已经跃居世界第一位^[4]。

注者认为,今后各弯管厂的改进方向应该包括以下几个方面:

- 提高弯管机的技术水平和自动化程度;
- 改善试验和检测手段;
- 加强弯制工艺理论的研究;
- 提高从业人员技术素质和企业的管理水平。

八. 带动了国内与高压大流量输气管道相关的装备制造业的发展

1) 螺旋埋弧焊管制造设备

- 已能够设计制造与当前国际水平相当的大口径螺旋埋弧焊管生产线;
- 全国在2年内建成了6条技术先进的大口径螺旋埋弧焊管生产线,钢管生产能力急剧增加。

2) 直缝埋弧焊管制造设备

- 已能够设计制造 UOE直缝埋弧焊管的主要设备,但距离当代国际水平仍有一定差距。
- 已为引进的直缝焊管生产线提供了配套设备。
- 已建成了全部国产的直缝焊管生产线,但总体水平还有待提高。

3) 高压大流量输气管道装备

A 高压大口径干线截断阀

- 已与外商合作在国内建成高压大口径截断阀生产线;
- 在引进技术的基础上,已试制成功一台口径1016 mm、压力600 磅级、全焊接结构球阀样机。
 - 需逐步建立业绩,并提高产品质量的稳定性。
 - 建议采取“引进技术、合作生产、口径由小到大、压力由低到高、逐步扩大国产比例”的国产化方针。

B 大流量天然气管道压缩机

- 国内已有一定的技术基础,有制造大流量天然气管道压缩机的能力。

- 需逐步建立业绩，稳定质量，积累经验。

C 大功率航空改型燃气轮机

- 采用大功率等级燃气轮机的优点
 - ✓ 减少机组种类和数量；
 - ✓ 提高机组热效率；
 - ✓ 简化维修工作；
 - ✓ 减少一次投资和运行费用。

图2给出了航空改型燃气轮机功率等级对一次投资的影响。由图可见西气东输工程选用30MW级的燃气轮机比用11MW级可节省投资约25%。

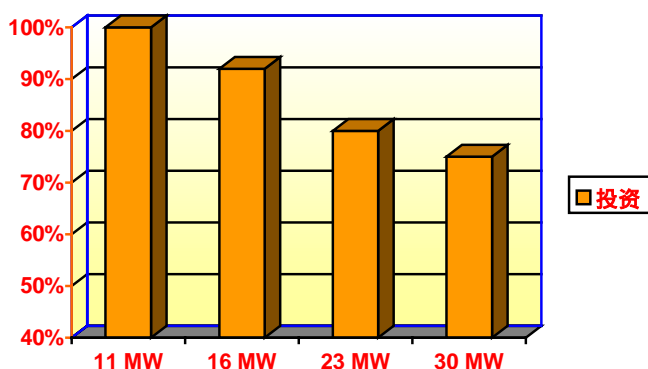


图 2 航空改型燃气轮机功率等级对一次投资的影响

- 我国大功率航空改型燃气轮机的国产化还有很长的道路要走。
- 关键是要努力实现核心技术的国产化。

D 管道施工机械

- 国内管道施工机械制造业已经取得可喜进展。
- 30余台国产70吨吊管机、15台国产40吨吊管机在西气东输工程中得到应用。
- 已能生产大口径管道自动外焊机和自动内焊机并得到应用。
- 已能生产管子坡口整形机和大口径气动内对口器并应用。

- 大口径冷弯管机已经开发成功并得到应用。
- 环焊缝相控阵超声检测仪试制成功并应用。
- 今后应注意改进产品质量、增加规格品种。

九．几点建议

1) 西气东输管道在投产初期就应尽快建立起管道的完整性管理体系^[7]

- 新建管道应强调在投产初期就要进行基准数据 (Baseline) 的测定, 作为以后评价缺陷的对比依据。
- 参照国外标准, 确定沿线有潜在危险的地区、有威胁的管段、后果严重场所, 制定管道完整性管理计划。
- 按计划对有威胁的管段的内部和外部进行检测, 及时发现管道的损坏。对管道的损坏及可能引起的后果进行评价。
- 及早制定管道完整性管理的企业标准和相关规范。使管道完整性管理的工作有章可循。
- 建立负责进行管道完整性管理的管理机构和管理流程, 配备必要的手段。
- 开发我国制造的各种智能检测器是当务之急。应组织科研单位和制造企业进行开发, 早日形成国产的智能检测器系列产品。

2) 中石油集团尽快与我国大型钢铁企业建立战略合作伙伴关系

经验证明, 管道建设项目用钢具有技术要求高、用量大、供货周期短、生产难度大的特点。国内外管线钢市场则具有供求关系起伏变化大、高端产品资源有限、国内价格与国外已经基本接轨等特点。从2003年冬季至今, 全球管线钢高端产品市场求大于供, 价格急剧上扬, 居高不下。给管道建设项目带来巨大困难。建议及早建立中石油集团与我国大型钢铁企业之间的战略合作伙伴关系, 在求大于供时可获得资源保障和较优惠的价格; 在供大于求时钢铁企业也能获得一定的市场份额。

尽快建立中石油集团与我国大型钢铁企业之间的战略合作伙伴关系, 可在管线钢的资源和市场两方面构造出一个双赢的局面。

3) 用“单台试用,逐步扩大”的方法,主动促进输气管道大型设备和 SCADA 系统的国产化

国产离心式压缩机、球阀等大型输气管道用设备已达一定水平。但因缺少业绩和使用经验,在输气管道多次设备招标过程中均告失败。长此以往,对双方都不利。

建议选定成熟厂家,建立长期合作关系,先在管道上进行单台试用,甚至可与进口设备并联使用。如果单台试用效果好,可扩大为小批试用,逐步增加业绩。达到成批使用条件后,厂商再参加投标竞争。

从长远看,这样做既可以逐步降低管道大型设备的一次投资,又支持了国产化进程,实现双赢。

SCADA 系统也有类似情况。目前国内已具备了开发有自主知识产权的 SCADA 系统的能力。但因缺乏业绩,各大管道项目的 SCADA 系统,均由外商总承包,而大部分具体工作都由国内公司承担。

建议采取“由小到大,由局部到整体”的原则,从小管道开始,或从一个压缩站的控制系统开始,试行由国内公司总承包。逐步扩大,积累业绩。最终实现由国内公司对 SCADA 系统总承包。可以降低系统投资,实现双赢。

十. 结论

- 西气东输管道工程的建设,使我国输气管道的设计、施工、运行和管理全面上升到一个新水平,缩小了与国外的差距。
- 西气东输管道工程需要大量材料和设备,带动了我国钢铁、机械制造等工业的发展。促进了我国相关行业的技术进步。
- 应当将西气东输工程业经证实的技术成果,纳入我国输气管道的设计、施工、运行、维修的标准和规范中,用以指导今后的实践,以避免重复的劳动和资源的浪费。
- 对于目前仍然存在的问题,应纳入今后的研究和开发计划。

十一. 参考文献

1. 华北石油钢管厂王晓香：“攻克技术难关 实现历史性飞跃”，2004年3月。
2. 西气东输管道分公司刘文成：“在市场风云变幻中实现高效、廉洁、优质的目标”，2003年11月。
3. 黄志潜，黄开文：“参加恶劣环境中高钢级管线钢管的应用与评价国际会议的情况报告”，2002年11月。
4. 西气东输管道分公司采办处：“西气东输工程用感应加热弯管采购供应及国产化试制工作总结”，2003年9月。
5. 黄志潜：“国外感应加热弯管技术与西气东输工程的热弯管”，《西气东输工程感应加热弯管试制工作座谈会》，2001年7月6日，北京。
6. 黄志潜：“对西气东输工程感应加热弯管试制工作的认识与分析”，《西气东输管道工程感应加热弯管国产化试制进度检查会》，2002年1月23日，北京。
7. 黄志潜：“管道完整性及其管理”，焊管，2004年第3期，P.1~7。