

● 钢管的现代质量进展

石油、天然气钻采用钢管

黄公健 张之奇

(鞍钢无缝钢管厂)

STEELTUBES AND PIPES FOR OIL AND NATURAL GAS DIGGING

Huang Gongjian Zhang Zhiqi

(Seamless Steel Tube Plant, Anshan I & S Co.)

1 前言

石油、天然气是动力及化工等工业的重要原料,在国民经济各部门的发展中起着举足轻重的作用。我国的石油、天然气资源十分丰富,建国以来,勘探开发进展很快,原油年产量从解放初期(1952年)的44万t跃升到目前的1.37亿t,先后建立了大庆油田、大港油田、胜利油田、辽河油田、华北油田、江汉油田、长庆油田以及四川的威远气田和泸州古隆气田。目前,已有16个省市在陆地上开发了油气田。同时,在渤海、东海、黄海、南海大陆架和新疆塔里木盆地、内蒙古巴音浩特等地也先后发现了很有价值的油气流。

随着我国油气田的不断开发,油气井数量的日益增多,油气井深度的进一步加深,油井管的需求量将更进一步地增加。50年代平均年消耗油井管8万t;“六五”期间平均年消耗60万t;“七五”期间为80万t;1991年油井管进口量已突破100万t。以上消耗量仅限于陆地消耗,不包括海洋、大陆架钻采所需的油井管量。

同时,随着石油工业的发展,油井钻采的环境愈来愈恶劣、复杂,井深由原来的

1000m左右的浅井发展到2000~3000m中深井和4000~5000m深井,甚至深达7000m。这不仅使生产每万吨石油所需的油井管量增加,而且对管材的质量、品种也提出了更高的要求。另外,含有腐蚀介质和硫化氢和二氧化碳等的油气井、海洋上油气井、沙漠中的油气井以及寒冷地区的油气井等的开采也都在着手进行。

据预测,“八五”期间,我国油井管的消耗量将以5%的速度递增。到1995年,油井管的需求量将超过120万t,本世纪末将超过150万t。

与油田的发展速度相比,为勘探开发油气田所需的国产油井管的生产却显得十分缓慢,供需差距很大。国产油井管的自给率按现有生产油井管的鞍钢、成都无缝钢管厂、包钢和宝钢的设计能力,也仅为现有油井管需求量的三分之一左右。

此外,国产油井管的品种不全、钢级较低,还没有形成能满足油田要求的完整的品种、规格、钢级的产品系列。可以说,我国油井管的生产无论在数量、品种和质量上都还满足不了我国石油工业发展的需要。因此,必须加速发展我国油井管的生产,以适应石油工业发展的需求。

2 油井管的品种及用途

在钻探石油和天然气时,除需要钻探机械设备外,还需要各种器材。其中消耗最多而且最主要的就是包括油管、套管、钻杆等油井用钢管。在钻具中尚有钻铤和方钻杆,多由精锻生产,用量很少,未包含在钢管生产之列。

2.1 钻杆

石油钻杆是钻探油气井所用钻具的主要组成部件,它连接在方钻杆的下端,起传递动力输送泥浆的作用。随着钻井深度的不断加深,钻杆需要相应加长,同时,钻杆也是泥浆流向井底的重要通道,在钻探过程中,底部钻杆与钻铤相连接,所需钻铤的根数视钻头破碎地下岩石的压力大小而定。钻铤的末端与钻头连接,由此而组成钻柱。钻杆在钻井时承受着拉伸、压缩、扭转、弯曲以及冲击等各种交变应力的作用,同时,其内孔受到高压泥浆的冲刷和腐蚀,工作状态极为复杂,条件相当恶劣。因此,对钻杆的材质性能和加工质量等都有严格的要求。国际通用的钻杆标准为API5D,其钢级有E75, X95, G105和S135;外径规格为63.3,73, 88.9, 114.3, 127(mm)等;管体壁厚为7.11, 9.19, 9.35和10.92(mm);管端加厚型式有内加厚,外加厚和内、外加厚;工具接头应与管体对焊在一起,一般要求工具接头的材质强度比管体的钢级高一级。为了减少泥浆与管材内壁之间的阻力,防止对内壁的冲刷和侵蚀,钻杆内表面往往需要有内涂层。目前,我国油田钻井用量最多的钻杆规格是 $\phi 127$ mm的IEU(内外加厚),其次是 $\phi 88.9$ mm的EU(外加厚)。而 $\phi 73$ mm EU和 $\phi 60.3$ mm EU等小规格钻杆多用于钻井之后的泥浆固紧或修井。钻杆的常用钢级为E75和G105,其中G105用得更为普遍。钻5000m以上超深井时,用S135钢级的钻杆。

因钻杆属钻井工具,可多次使用,故其消耗量较小,仅占油井管总量的1.5%左右。

2.2 套管

在钻井中,套管起封隔地层和防止井壁坍塌的作用。套管是一次性消耗的钻井器材,其消耗量很大,约占油井管总量的75%。国际常用套管标准为API5CT。其外径有762, 508, 339.7, 273, 244.5, 219, 193.8, 177.8, 168.3, 139.7, 127和114.3(mm)。套管按其作用可分为导管、表层套管、技术套管和油层套管。

(1) 导管

用于海洋和沙漠钻井,用来隔开泥沙,规格有762mm \times 25.4mm, 762mm \times 19.06(mm)等。

(2) 表层套管

主要用于第一次开钻,用以封固所钻开的地表松软的地层,使其不致坍塌。表层套管规格有 $\phi 508$, $\phi 339.7$, $\phi 273$, $\phi 244.5$ (mm)。下井的深度主要取决于松软地层的深浅,一般为80~150m。

(3) 技术套管

在钻井过程中凡遇到坍塌层、油气、水层、漏失层、盐膏层等复杂部位,都需要用套管封固,这层封固套管称为技术套管。有的地层复杂,要钻井到目的层(含油、气层),需用两层技术套管;也有的不用技术套管。这主要视地层情况而定。其主要规格有 $\phi 339.7$, $\phi 273$, $\phi 244.5$, $\phi 219$, $\phi 177.8$ (mm)。

(4) 油层套管

当钻井到含油气目的层后,需要用套管为油气开辟通路,并将油气层及上部的裸眼地层封住。这层套管称为油层套管。其主要规格有 $\phi 244.5$, $\phi 219$, $\phi 177.8$, $\phi 140$, $\phi 127$, $\phi 114.3$ (mm)。

上述各种套管层数的选择、管径的大小、管壁的厚薄及其强度的高低,主要取决

于地层的结构、下井的深浅和开发油气的工艺以及所设计的井身结构。

国际通用的API5B标准规定，套管的锥螺纹种类有V形、圆顶螺纹、扁梯形螺纹或直连形螺纹。

套管按材质、特性分作三类：

(1) 一般强度套管，钢级为H40, J55, N80;

(2) 高强度套管，钢级为P110, Q125, V150;

(3) 特殊性能套管，如①含硫油气井用套管；②高抗压溃性能套管；③抗二氧化碳用套管；④低温用套管等。日本、美国、德国等国的套管生产厂家都规定了上述特殊性能套管的钢级。

2.3 油管

油管主要用于采油、采气，用作石油或天然气由井底通到地面的管路，对油井进行特殊作业时，也要用油管。例如酸化、压裂、注水和井下加热等作业，都要通过油管向井下油气层注水、注蒸气以及注入酸或压裂介质等。国际通用的油管标准是API5CT。油管按其管端型式分作平式油管和厚油管。其外径规格为 $\phi 60.3$, $\phi 73$, $\phi 88.9$, $\phi 114.0$ (mm)。钢级有J55, N80, L80, C90和P110等。油管的螺纹连接形式按API5B规定只有V形圆顶锥螺纹一种。油管也有特殊性能的油管，如含 H_2S 、 CO_2 等的酸性腐蚀介质油气井用油管等。但是，油管不要求射孔性能和高压溃性能。

2.4 我国油井管的需求

目前，我国发展石油工业的方针是“东部稳产，大力发展西部和海洋”。新疆塔里木盆地已发现含油丰富的地质构造，经开发证明很有发展前途。该地区的油井地处沙漠，井深均在5000m以上。为此，需要大量的大直径隔沙导管、高强度钻杆和油套管。

长庆油田已发现了丰富的天然气资源；

海南岛即将开发天然气并新建大的化肥厂；在渤海和东海已勘探发现了有价值的油气资源；内蒙古北部寒冷地区也发现了大的油气田，目前正在开发之中。

由此可见，我国的油气田已向沙漠地区和沿海大陆架扩展开发，钻井的深度逐渐加深，油井管的需求量将显著增加。例如，过去钻井进尺消耗指标为50kg/m，以后修订为64.7kg/m，预计进尺消耗指标还将提高。同时，按照油气田发展的趋势，不仅油井管的消耗量将增加，而且对其质量的要求也愈来愈高。根据预测，1995年和2000年油管、套管、钻杆的需求量如表1所示。

表1 我国油管、套管及钻杆需求量(万吨)

品 种	1995年	2000年
油 管	25	32
套 管	89	111
钻 杆	4	5

除了数量方面的要求外，在品种、质量方面要求开发抗硫化氢、二氧化碳及酸性腐蚀介质的特殊油管、套管，具有高抗压溃性能的套管和具有高连接强度和良好气密封性能的特殊螺纹连接的油管、套管等。

3 国内油井管的使用要求与实物质量的差距

随着油气田由陆地向沙漠地区和沿海大陆架开发，钻井深度逐渐加深，不仅油井管的消耗量增加，而且质量要求也越来越严格。

(1) 钢的纯净度要高，有害元素S、P等含量低，不仅夹杂物含量少，而且夹杂物的形态需要改善。

(2) 化学成分和机械性能稳定，波动范围小。

(3) 管体表面质量好，尺寸精度高，尤其是壁厚偏差和不圆度应进一步改善，并

要求定尺供货。

(4) 品种、规格应配套,并向高钢级油井管发展,开发特殊用途的油井管,例如:

①具有高韧性、射孔性能良好的油层套管;

②高压溃性能套管;

③抗硫化氢及抗其他酸性介质(如 CO_2)腐蚀的油管及套管;

④高强度油管、套管和钻杆;

⑤生产扁梯形扣(Buttress)的套管,开发密封性能和连接强度高的特殊扣型的油套管。

随着钻探难度的增加及钻采技术的发展,用户要求油井管不仅要符合API标准和规范,而且要满足以下更为严格的附加技术条件。

(1) 油管套管

①化学成分除规定S、P等含量外,需要提供As、Sn、Sb、Pb、Bi等有害元素含量;

②J55、K55油套管的晶粒度为ASTM Z₁ 12 5级或更细小;

③宏观和微观检验夹杂物的含量不超过限定的级别和限定值;

④各钢级套管按ASTME23进行夏比冲击试验;

⑤拧接后的油管、套管需要检查冲击值 J ,相应的公差规定为 ± 2 扣。

(2) 钻杆

①化学成分、晶粒度及夹杂物等与油管、套管的附加要求相同,但晶粒度规定为6级或更细小;

②具体补充规定了API5D标准中所没有明确规定的焊缝区拉伸性能、硬度差和夏比冲击功等;

③对内加厚过渡区结构提出了具体要求,如 $\geq 114.3\text{mm}$ 的钻杆,内加厚过渡部分

长度 $\geq 100\text{mm}$,过渡部分和正常壁厚连接处的圆弧曲率半径 $\geq 300\text{mm}$;

④无损检查、热影响区和工具接头镀铜后的紧密距公差都规定了相应的要求。

4 我国油井管生产技术现状

4.1 油井管生产发展及标准进展

我国油井管的生产始于1954年,截止1991年底,共生产100余万t。国内油井管的生产分为四个发展阶段。

(1) 第一阶段

1954~1980年,基本是按原苏联国家标准或与其近似的我国冶金部标准,在50年代工艺装备的基础上生产油管、套管和钻杆。

1954年,鞍钢无缝钢管厂按ГОСТ633-50标准开始生产泵及压缩机用管(即油管)。60年代初又按ГОСТ631-57标准生产石油钻探管(即钻杆)。之后,成都无缝钢管厂和包钢无缝钢管厂相继按ГОСТ632-64标准生产石油套管。1970年,冶金部将上述三个原苏联国家标准相应地修订为YB239、YB690、YB691三个冶金部部颁标准。此后开始陆续按冶标组织生产,此阶段共生产40万t油井管。从60年代中期起,我国油气田钻采迅速发展,但因以上三个无缝钢管厂的设备都是50年代陈旧落后的设备,产品标准和生产工艺都比较落后,故不仅油井管在数量上供不应求,而且其螺纹加工精度差,密封性不好,质量也满足不了油田钻采的需要。因此,油井管主要依靠进口。50~60年代主要从原苏联和东欧国家进口,因其质量问题,70年代初开始从欧美各国及日本等按API标准进口。

(2) 第二阶段

1981~1985年,油井管生产由冶金部标准向API标准过渡。70年代中期,国家为减少油井管进口的外汇支出,增强油井管的自给能力,决定对鞍钢、成都和包钢的三大无

缝钢管厂管加工车间进行技术改造,并列入国家重点项目,投资1.1亿元人民币,从法国、原联邦德国、美国、日本及奥地利等国购进大批管加工所用的先进机床和设备,其中包括管体车丝机床、管接箍切断及车丝机床、接箍拧接机、管体通棒机、水压试验机、矫直机、无损探伤设备以及供螺纹检查用的各种量规及单项检查仪等。通过几年的努力,这三个无缝钢管厂都基本上建成了具有80年代初技术装备水平的管加工车间。

此外,各厂对管坯和管体的生产工艺和装备也按API标准的要求进行了局部改造,并都按API标准组织了油井管从炼钢到成品管的生产质量一条龙攻关活动,开发了J55、N80、P105、P110等钢级所对应的钢种。

1980~1983年,这三个无缝钢管厂先后开始按API标准试生产和批量生产,并在生产过程中不断地修订和完善了油井管的内控标准和加工工艺,逐步建立起油井管的质量保证体系,其实物质量水平有了进一步的提高。

(3) 第三阶段

1986~1990年,随着三大无缝钢管厂管加工系统技术改造工程的初步完成,冶金部决定从1986年1月起,废除YB239、YB690和YB691等有关油井管标准,一律改用API标准生产油井管,实现了油井管产品质量的升级目标。在这一期间,宝钢无缝钢管厂建成投产了 $\phi 140\text{mm}$ 全浮动芯棒连轧管机组,加入了油井管生产的行列。成都无缝钢管厂严格按API标准生产石油套管,1987年,四川石油局在地质条件复杂的川东地区选择五口井全部采用该厂生产的API标准的套管钻采,未出现任何质量问题;1989年该厂通过了美国API协会对其生产的套管所进行的全面而严格认真的审查,包括原料、辅助材料、轧制工艺、加工设备、计量检测手段及质量管理体系等,取得认可;1990年4月2

日由美国石油协会正式向该厂颁发了授权使用API会标许可证,由此标志着我国钢管生产技术和管理水平又跃上了一个新的台阶。

(4) 第四阶段

1991~1995年,这是油井管国产化的大发展阶段。目前国内生产油井管的四个无缝钢管厂主要的生产目标是提高油井管的实物质量,力争接近和达到世界先进水平,并在此基础上达到设计产量。为此,各厂都在进一步完善油井管的生产工艺,对老设备进行改造。在此期间,天津的 $\phi 250\text{mm}$ MPM机组、成都的 $\phi 250\text{mm}$ Accu Roll机组及管加工车间的移地改造工程、宝钢的油井管完善工程等都将陆续建成投产。届时,我国的油井管生产无论是品种、质量和数量都将大幅度地提高。

4.2 油井管生产技术现状及差距

4.2.1 现状

目前,我国的油井管是由前述四个无缝钢管厂的三种类型、五套机组生产的。即鞍钢的 $\phi 140\text{mm}$ 和包钢的 $\phi 400\text{mm}$ 自动式轧管机组;成都的 $\phi 216\text{mm}$ 和 $\phi 318\text{mm}$ 周期式轧管机组;宝钢的 $\phi 140\text{mm}$ 全浮动芯棒连轧管机组。同时,各厂都有一个管加工车间进行油井管的专业化生产。四个厂的管加工生产能力共36.8万t,其中宝钢为21.3万t。可生产的规格为 $\phi 60.3\sim 339.7\text{mm}\times 4.24\sim 13.84\text{mm}$;钢级J55、N80、C90、C95、P105、P110、E75、X95、G105、S135的油管、套管和钻杆。各厂生产简况见表2。

4.2.2 炼钢工艺

宝钢和鞍钢都采用转炉炼钢。宝钢用的是顶吹法,鞍钢则采用底复合吹炼法。鞍钢出钢时增添了挡渣措施,挡渣效果在70%以上,出渣后,在罐内加石灰和保温剂,防止回磷并吹氩、搅拌处理,均匀钢液成分和温度,排除钢中部分气体和夹杂。

表2 各油井管生产厂生产概况

项 目	鞍钢无缝钢管厂 φ140mm 自动轧管机组	包钢无缝钢管厂 φ400mm 自动轧管机组	成都无缝钢管厂 φ216、φ318mm 周期式 轧管机组	宝钢无缝钢管厂 φ140mm 全浮动芯棒连 轧管机组
油井管(油管、 套管、钻杆)规 格(mm)	φ60.3~114.3 ×4.24~9.65	φ39.7~339.7 ×7.72~13.06	φ127~339.7 ×5.59~13.06 φ127×9.19~12.7	φ60.3~114.3 ×4.24~9.65 φ127~139.7 ×5.59~10.54 P73~127×7.11~12.9
钢级 油套管	J55	J55 N80	J55 N80 P110 E75	J55 N80 (<90) E75 G105
钻杆			×95	
坯 料	轧制圆管坯	轧制圆管坯	钢 锭	轧制圆管坯
设计管加工生产 能力(万吨)	5	4.5	6	21.3
实际最高生产 能力(万吨)	3.07(1988年)	0.59(1988年)	2.83(1988年)	10.5(1991年)

4.2.3 精炼技术

为降低钢中硫含量,鞍钢采用合成清洗脱硫,脱硫率可达到40%~70%。宝钢与成都无缝钢管厂的炉外精炼采用钢包吹氩、真空脱气或喂丝、喂粉处理技术,可保证钢包成分微调、钢水温度和成分均匀,降低硫、氯等含量,并改善夹杂物形态,从而提高钢材质量。

宝钢、鞍钢和包钢的管坯均是轧制圆管坯。成都无缝钢管厂的管坯为检查、清理后的钢锭,所建成的 Accu Roll 轧管机组采用连铸圆管坯轧制石油套管。

4.2.4 管坯的生产

鞍钢和包钢的圆管坯是将加热后的钢锭先轧成方坯,再次加热后由大型轧机或轨轧机轧成圆管坯。

宝钢的管坯由加热后的钢锭初轧一火轧成。初轧机所轧方坯在六机架连轧机轧制之前,在线火焰清理方坯的四个面,清理深度为1~4.5mm。钢锭表面缺陷经初轧和火焰清理后,大部分已消除。最后经六机架连轧机轧成φ175mm的圆管坯,其成材率约降低1.5%。此外,特殊用途的管坯在精整过程中,还要经过表面喷丸处理,荧光磁粉探伤及超声波探伤检查。残存缺陷的管坯要经

砂轮机磨去或切除缺陷等工序处理,以确保其表面质量。

鞍钢和包钢的管坯生产工艺没有在线火焰清理和管坯探伤、磨修等现代化先进设施,仍采用人工肉眼检查和局部人工火焰清理,故管坯表面缺陷较多,影响到油井管质量的提高。

4.2.5 油井管管体的生产技术

宝钢φ140mm全浮动芯棒连轧管机组采用φ175mm的一种管坯轧制φ139.7mm以下的油井管管体。连轧管机长芯棒轧制,经两该作业线的特点如下。

(1)采用先进的钻杆摩擦对焊机,这种焊机与闪光焊机相比,具有如下优点:焊接时间短;消耗能量小;工作过程中不会飞溅火花,工作环境洁净、安全;对供电网络无特殊要求;摩擦对焊质量更为优良。摩擦对焊机有普通摩擦对焊式和惯性摩擦对焊式两种。惯性摩擦对焊机焊接的时间比普通摩擦对焊机更短,消耗量更小,而且易于控制和操作。

(2)钻杆焊缝采用中频感应热处理,以改善焊缝组织,提高焊缝性能。由于热处理的节奏时间大大长于摩擦对焊节奏时间,为平衡两者的生产能力,采用多根钻杆焊缝

次高压水除鳞和三辊张力减径机轧制后,钢管的内、外表面光滑,尺寸精度高,壁厚公差可控制在 $\pm 10\%$ 以下,外径公差在 $\pm 0.5\%$ 左右。

为提高套管的质量,成都无缝钢管厂用周期式轧管机组生产大、中直径的套管管体。环形炉实现了微机控制;从国外引进了周期式轧管机的喂料器和周期式轧管机孔型专用数控车床,使钢管壁厚精度提高;引进了12机架三辊微张力定径机,钢管外径公差可在 $\pm 0.5\%$ 以下;定径之后配备了余热淬火装置。这些措施均有助于提高油井管管体的表面质量、尺寸精度和机械性能。

包钢无缝钢管厂的 $\phi 400\text{mm}$ 自动轧管机组环形炉实现了微机控制;配备了液压热定心装置,改进了穿孔机后台的定心辊,有效地改善了钢管的壁厚不均。

鞍钢 $\phi 140\text{mm}$ 自动式轧管机组已将斜底式加热炉改为环形加热炉,并实现了微机控制;减径前的斜底式再加热炉改为步进式炉;冷却台长链改为短链;从日本引进了精度高的矫直机;并配备了超声波、涡流探伤检测装置。

总之,鞍钢、包钢和成都无缝钢管厂的热轧管机组通过工艺改进、技术改造以及严格管理,均已具备了大批量生产API标准要求的油井管的能力,但是所生产的产品成分、壁厚偏差、表面质量、定尺长度等与国际先进水平相比尚有一定的差距。

4.2.6 管加工生产技术

鞍钢、包钢和成都无缝钢管厂的管加工车间为了适应石油工业发展的需要,“六五”期间,围绕石油管的生产进行了重点技术改造,从国外引进了一批先进的管加工设备。而宝钢则全线引进了管加工设备。上述四个管加工生产线具有如下共同的工艺特点。

(1) 通过漏磁、荧光磁粉、超声波

或涡流等无损检测,可进一步保证管体质量。

(2) 采用数控机床加工螺纹,螺纹精度高、互换性好。

(3) 采用新型管接头拧接机,可以有效地控制机拧管接头时的拧接力矩,有的还可以控制拧紧圈数,并有仪表显示和自动记录。

(4) 可逐支水压试验并有自动记录。

(5) 每根油套管都能单根测长、称重,并用微机控制,自动记录、打印或涂标,测量精度高,自动化程度高,工作安全可靠、效率高。

(6) 每支钢管都作涂层防腐处理。

此外,宝钢还引进了较先进的管端加厚设备、整套热处理生产线、工具接头加工线和钻杆生产线。其工艺特点如下:

(1) 加厚的管端采用中频感应加热,其加热速度快,控制加热温度和长度准确,氧化少,加厚端表面质量好;

(2) 高强度油井管采用带有炉气循环加热的步进炉回火、高压水除鳞以及在线硬度检测(内控)等整套先进的热处理工艺。热处理性能稳定,表面质量好;

(3) 工具接头采用保护气体热处理工艺进行调质处理。在线硬度检测性能稳定,表面质量好;

(4) 工具接头坯料采用各种新型的液压仿型专用机床进行粗、精加工,数控车丝机床加工螺纹,螺纹精度高、互换性好;

(5) 钻杆采用摩擦焊接工艺对焊,焊接的时间短,控制容易,产量高,质量稳定;

(6) 钻杆焊缝部位先经多次弯曲后,再进行超声波探伤,探伤可靠性高。

5 国内外生产油井管的先进工艺与质量控制

5.1 用连铸圆管坯直接生产油井管

世界上现已广泛采用连铸圆管坯直接生产油井管,日本、德国、意大利、法国、美国等国的主要生产厂家几乎全部采用了连铸坯生产油井管。用连铸坯生产油井管,从钢水开始计算,其成材率可以提高13%~15%。另外,由于精炼技术和连铸技术的进步,钢的纯净度大大提高,有害元素含量大为降低,夹杂物含量和形态都可以得到控制,尤其是连铸坯表面几乎无缺陷,可以不清理而直接轧制。随着生产管理水平的提高,还可以实现热送、微量加热直接穿孔制管。由此而大大减少了钢锭开坯、轧制所需的人力和物力,并大大降低了能源消耗和管坯的成本。目前,连铸圆坯的尺寸规格、钢种、质量均能满足生产API标准所规定的全部油井管的规格品种和质量要求。其生产工艺流程为:铁水→预处理→转炉冶炼→炉外精炼→电炉冶炼↑

连铸→连铸坯。

(1) 铁水预处理后,可使铁水中的硫含量降低到0.005%以下。

(2) 采用炉外精炼,转炉或电炉熔炼的钢水经钢包吹氩、喷粉、喂丝、真空脱气等精炼处理之后,可以减少硫、磷和夹杂物及气体的含量,使 $S \leq 0.020\%$, $P \leq 0.025\%$,准确地控制钢的化学成分,改变夹杂物的形态,从而大大减少管坯的内外缺陷。

(3) 采用保护浇铸、结晶器液面控制、电磁搅拌等无缺陷连铸技术。

5.2 长芯棒轧制油井管

近20年,特别是1973年石油危机以来,油田钻采的条件更为恶劣、复杂,不仅油井管的需求量显著增加,而且对油井管的质量要求也不断提高,由此促进了热轧无缝钢管生产技术的发展,新的热轧无缝钢管技术不断问世。70年代以来,世界上已建和在建的40余套轧管机组除日本新建和改建的4套自动式轧管机组、原苏联新建的2套自动式

轧管机组外,几乎均为长芯棒轧管机组,如三辊轧管机、新型狄塞尔轧管机、新型顶管机和连轧管机组。这些长芯棒轧管机组的共同特点是:所轧钢管尺寸精度高、内外表面质量好。对于大量生产油井管来说,连轧管机组的竞争力更强,自1978年意大利达尔明第1套限动芯棒连轧管机投产以来,其优越性便显示出来,它可以用较短的芯棒生产直径达340mm的长钢管。因此,80年代以来,除我国宝钢 $\phi 140\text{mm}$ 连轧管机采用全浮动芯棒轧制外,其余14套均为限动芯棒连轧管机。所生产的无缝钢管尺寸精度高、质量好。

(1) 成品钢管尺寸精度高:外径偏差 $\leq \pm 0.5\%$,壁厚偏差 $\leq \pm 6\% \sim 8\%$ 。

(2) 产量高:机组的年产量一般在40~70万t。

(3) 规格尺寸范围广:可生产API标准中 $\phi 21.3 \sim 426\text{mm} \times 2 \sim 25\text{mm}$ 所有品种、规格、钢级的油井管。

(4) 热轧钢管长度可在150m以上,适宜生产多倍尺钢管,定尺率高,金属消耗低。

(5) 可直接用连铸坯生产油井管,其生产率高,消耗少,成本低。

(6) 钢管内外表面质量好,光洁。

(7) 采用电子计算机进行过程控制,实现了自动化作业。

限动芯棒连轧管的工艺流程如下:

连铸圆管坯→定尺锯断→测长→称重→加热→除鳞→热定心→菌式或狄塞尔导盘穿孔→管内吹 N_2 +硼砂→除鳞→限动芯棒轧管→脱管→ γ 射线测壁厚→再加热→除鳞→定径或张力减径→冷却→油井管准备工序处理。

5.3 油井管料准备工艺

有些厂采用热轧后经冷床冷却的半成品料作为油井管料。对于半成品管料,必须经

过准备工序加工处理,进行矫直、切管等精整和内外表面、几何尺寸、平直度等检查并称重。加厚油管和钻杆还需要进行管端加

厚; N级和 P 级以上的油、套管和所有钢级的钻杆都要进行正火或调质等热处理。油井管料准备工艺流程见图 1。

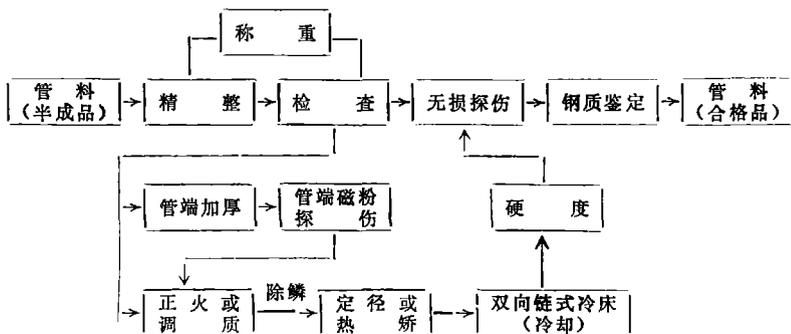


图 1 油井管料准备工艺流程

为确保油井管料的质量,在上述各工序中一般常采用如下一些先进设备或措施。

(1) 管端加热采用中频感应加热,加热速度快,氧化少,管端加热的长度容易控制,管端加厚后表面质量好。加厚钻杆料时,为保证内加厚过渡部分圆滑和有足够的过渡区长度,通常采用感应+火焰加热方法。

(2) 加厚钻杆的管端加厚机,宜选择顶锻力较大的平锻机,以减少加厚道次,更好地保证加厚端尤其是内加厚过渡部分的质量,而不宜采用液压加厚机。

(3) 高强度套管和不加厚的油管一般采用水淬工艺,国内外均已成功地采用轧后余热淬火技术,这不仅可减少工序,节约投资和能源,降低成本,而且管材晶粒细化,综合性能提高。目前,高强度油管、套管、钻杆通常共用回火热处理线,采用带有炉气循环加热的步进回火炉回火、高压水除鳞、温矫矫直和在线硬度检测(内控)等整套先进工艺装置,在步进炉内运用了计算机控制的脉冲式高速烧嘴,炉内温度的控制更精确、均匀,钢管温度偏差为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 无损检测。采用无损检验技术是

保证油井管质量的有效手段。漏磁探伤由于探伤速度快,不需要介质耦合及显示剂,工作环境好,易于实现自动化等,已广泛用于大批量的油井管生产检验。在漏磁探伤设备上再附加超声波测厚装置,配备管端荧光磁粉检测,组成现代化的综合检测线,可以有效地防止产品因缺陷漏检而出厂。

(5) 采用光谱分析或分钢仪等在线鉴别钢质,以避免混钢号。

(6) 在管料准备流程后增加一套单根测长称重装置,有利于油、套管的成品加工。

5.4 油、套管成品加工工艺

目前,国际上都在兴建工艺完善、布置合理、装备先进的油、套管成品连接生产作业线。油、套管成品生产工艺流程见图 2。

这些作业线的特点如下。

(1) 采用先进的 CNC 管体车丝机,不仅产量高,所加工的螺纹精度高、互换性好,而且还能加工高精度特殊扣形的螺纹。有的专用机床还可装备螺纹尺寸自动测试装置,进一步保证加工的螺纹精度和质量。

(2) 采用拧接力矩和拧紧圈数双控制以及特殊螺纹多功能控制的拧接机,并有自

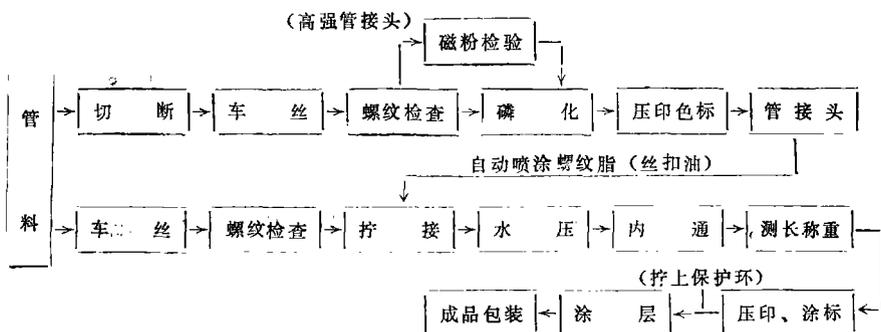


图2 油、套管(管接头)成品生产工艺流程

动记录备查。

(3) 采用大间隙预压密封的水压试验机, 并有自动记录备查。此外还配备了预测管长装置, 可自动调节后试验头位置, 实现全自动操作。

(4) 采用微机控制的逐支称重、测长及自动标印装置, 管接头压印采用微机控制的针状压印机。

(5) 采用带有加热式烘干装备的水溶性或热溶性涂层设备, 安全, 洁净, 涂层均匀、牢固、耐久。

(6) 采用机械式自动打捆机。

(7) 采用程序控制管接头磷化或镀锌装置以及带有烘干装置的机械化涂层设备。

(8) 采用可编程序器连接生产线各机床设备, 实现整条加工线机械化、自动化操作。采用计算机管理, 实现产品跟踪控制, 打印管捆码单、标牌等。

5.5 钻杆成品加工工艺

自对焊钻杆取代烘装细扣钻杆以来, 钻杆与工具接头的对焊工艺在不断改进。目前, 摩擦对焊工艺已基本取代闪光对焊工艺。摩擦对焊钻杆连续生产作业线工艺流程见图3。

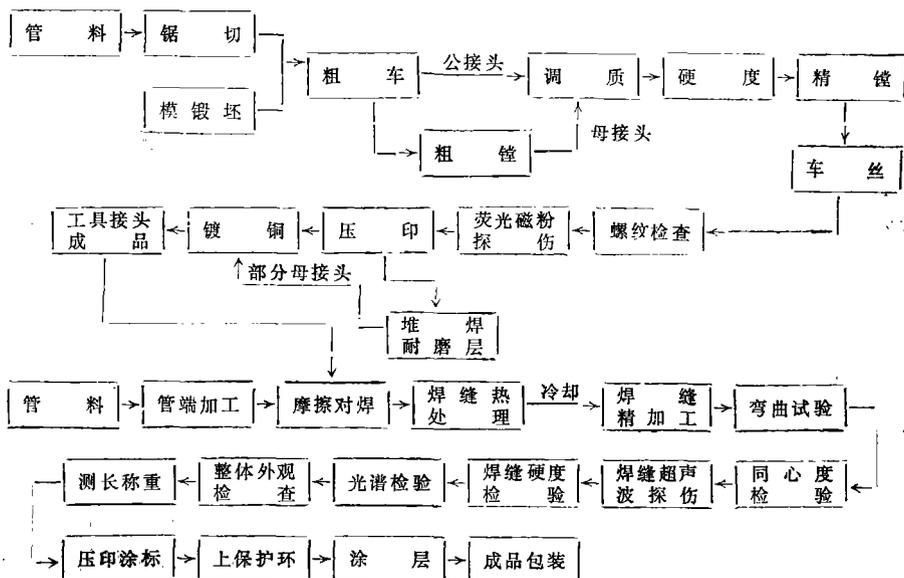


图3 摩擦对焊钻杆生产工艺流程

同时处理方式。

(3) 采用焊缝硬度检验来控制热处理后的焊缝性能。

(4) 采用超声波探伤检验焊缝质量, 探头 2 只, 所采用折射角分别为 45° , 37° , 一次可对整个焊缝截面进行探伤。探伤时, 钻杆旋转, 探头前进, 以保证扫描遍及整个焊缝及其热影响区, 并采用水作为耦合剂。因焊缝间的未焊透等微小缺陷不易发现, 故探伤之前, 应对钻杆焊缝直接施加拉力或通过弯曲而产生局部拉应力, 以促使缺陷扩展, 便于探伤显示。

(5) 采用钻杆焊缝精加工机床, 清除残余的焊缝内外飞边、毛刺。目前清除内毛刺的方法有两种: 用特殊的镗刀杆镗去内飞边, 采用特殊的内磨装置, 用高速旋转的小砂轮磨去残留的内飞边。不管哪种方式, 都需要专用的机床。

(6) 单根称重、测长、压印、喷印涂标以及涂层等装置。

工具接头加工线的特点如下。

(1) 工具接头坯料可以采用厚壁管, 也可采用模锻料。

(2) 采用液压仿形专用机床进行工具接头的粗精加工。

(3) 采用数控 NC 或 CNC 车丝机床附加测试螺纹尺寸的自动装置, 加工工具接头螺纹, 以确保螺纹的精度和互换性。

(4) 采用保护气体热处理炉进行半成品的调质处理, 并采用在线硬度测试, 以保证成品性能稳定、表面质量好。

(5) 采用专用荧光磁粉探伤装置检验工具接头成品质量。

(6) 采用镀铜工艺装置将螺纹镀铜。

(7) 采用微机控制的针状打印机压印工具接头成品。

(8) 采用保护气体等离子堆焊装置, 对部分母接头堆焊硬质合金耐磨层。

6 展望

随着我国油田的不断开发, 油井数量的不断增加, 油井管的需求亦将显著增加。

“八五”期间, 我国油井管的年平均消耗量将由“七五”的 80 万 t 增加至 600 万 t 以上, 预计 1995 年将达到 120 万 t 以上。

同时, 随着我国油田的不断开采, 油田钻采条件更为恶劣、复杂, 深井、超深井、含硫化氢和二氧化碳等腐蚀介质的油气井、海上大陆架的油气井、沙漠中的油气井以及寒冷地区的油气井的进一步开采, 油井管的需求数量将更大, 其质量要求也会更高。

目前我国大量进口的油井管大多是国外近 10 年来新建且工艺设备先进的轧管机组生产的, 其实物质量远高于 API 标准。油井管的化学成分、机械性能、尺寸公差、定尺长度、弯曲度、螺纹紧密距等波动范围较小, 钢管表面光洁, 且涂层包装标志较为考究。相比之下, 国产油井管在实物质量上仍存在一定的差距。

为此, “八五”期间, 我国油井管的生产必须以质量为核心, 瞄准国外先进的实物质量水平, 采用先进的工艺与装备, 努力提高管理水平和人员素质, 使油井管实物质量达到国际一流水平, 尽快实现国产化。

6.1 应大力推广采用连铸管坯生产油井管

成都无缝钢管厂和天津钢管公司已相继建成电炉冶炼和炉外精炼弧形连铸圆管坯的工艺装置, 采用了当代最先进的技术, 可以控制管钢的磷和硫含量、夹杂物含量和形态。化学成分的控制水平和表面质量等均已达到国际先进水平。连铸管坯不仅改善了管坯的质量, 使成材率提高, 成本降低, 而且使企业增强竞争能力, 获得较显著的社会、经济效益。因此, 新建或改造油井管生产厂应大力推广、采用连铸坯直接轧管。

6.2 长芯棒高精度轧管机组应成为油井管生

产的主力机组

成都无缝钢管厂 $\phi 250$ mm Accu Roll 轧管机组和天津钢管公司的 $\phi 250$ mm 限动芯棒连轧管机组采用了世界上最先进的轧管工艺,所生产的油井管实物质量完全可以达到国际一流水平。“八五”期间,成都无缝钢管厂、天津钢管公司和宝钢无缝钢管厂所生产的高质量油井管产量可高于66.7万t,占我国油井管生产能力的80%以上。因此,采用长芯棒轧制的轧管机组将成为我国油井管生产的主力机组。

6.3 应设置和完善多层次在线检测装置

对产品质量的控制和管理是现代钢管轧管机生产的一个重要环节。现代化轧管机组生产工序多,连续性强,轧制速度高,产量大。设置和完善多层次的在线检测装置是确保连续、稳定地生产高质量产品,提高产品合格率的重要手段之一。

在轧管工艺线上,应设置一系列高精度的自动检测装置,以实现对其重量、长度、几何尺寸精度及有关工艺参数的检测与控制,以及对钢管内外表面缺陷的检查。主要的检测装置有:

(1) 用于称量管坯切割前后及钢管入库前重量的电子称量装置;

(2) 用于检测加热炉、各轧机前后轧件温度的装置;

(3) 用于管坯长度、延伸机和定(减)径机后钢管长度测量的光电装置或激光装置;

(4) 延伸机后热状态钢管壁厚 γ 射线测量装置;

(5) 主轧机电机功率、轧制压力及芯棒限动力测量装置;

(6) 用于钢管内外表面缺陷检查的漏磁、荧光磁粉、超声波等无损探伤和超声波测厚装置;

(7) 钢管硬度测定装置;

(8) 钢种鉴别装置。

多层次在线检测装置能及时掌握生产过程中产品的质量状况,及时发现质量故障和分析其产生原因,对相关的工艺参数、设备和工具进行最佳化调整和更换,有利于提高产品质量,减少金属和能源消耗,降低生产成本,增强产品竞争能力。

6.4 采用先进的管加工装备和工艺

管加工线应选择最先进的设备,并组成连续生产作业线。如管体数控车丝机应选用管体固定、组合刀具旋转并进刀的新型机床。这种机床与管体转动、刀具仅作进刀的机床相比,有以下优点:①管料固定不动,与机床相配的辅机大为简化,更利于加工大直径套管;②在生产线上,管料经纵向定位后直接由步进梁送到加工位置,机床设有管料再通过辊道所进出的空心卡盘,可节省辅助时间,提高机床生产能力,避免管体螺纹加工后退出卡盘时被卡爪划伤;③采用组合刀具,一次进刀可基本完成全部加工任务,生产能力高。

拧接机应选用拧接力矩和拧紧圈数双控制的机型,并配备向管接头内自动喷涂螺纹脂的附属装置。

水压试验机应选用大间隙预压密封型的。

6.5 加速开发新扣型及特殊用途的油、套管及钻杆

目前油、套管普遍采用V形圆顶锥螺纹。这种螺纹精度要求不高,易于加工,但是连接强度低、密封性能不好。例如N80和P110套管,即使采用长螺纹连接,其连接率(即螺纹连接强度和套管本体强度之比)仅为63%~84%,并随着套管钢级的提高而降低,连接的密封性能也不好。为此,在国外N80及其以上钢级的套管早已采用扁梯形扣和直连型扣取代V形圆顶扣。扁梯形扣的连接率超过110%。近年来,国外各大油井管

生产厂在不断开发各种高连接强度、高密封性能的油、套管。如德国曼内斯曼所生产的TDS、BDS和MUST等；法国伐劳立克生产的VAM；日本NKK生产的NK3SB，NKEL/SL；原苏联生产的OTTF-1以及阿根廷世特佳生产的SECST、SECCTR等。为此，我国应加速开发具有特色的特殊螺纹连接形式。近期内应首先在N80套管上推广使用扁梯形扣。

同时，随着钻井深度的不断增加，井内油气压力不断提高，井底温度和地层压力不断增高，有的井内油气还伴随有 H_2S 或 CO_2 等酸性腐蚀介质，因此，必须加速开发高强度耐腐蚀抗压溃等特殊性能的油、套管，满足油田发展的需要。

6.6 发展钻杆生产

我国新型高质量的钻杆生产起步不久，应发展钻杆生产，以适应如下要求。

(1) 钢质纯净，硫、磷含量低，夹杂物形态改善，以提高钻杆的全面性能，尤其是冲击韧性。

(2) 优化内加厚过渡区形状和结构，改进或采用新式管端加热工艺装备，进一步完善加厚工艺及工具等系统。

(3) 改进和完善工具接头加工工艺装备。如加工消除应力槽或螺纹根部冷滚压以

减小应力集中；改进压印装置；螺纹镀铜以代替磷化；与油田用户共同推广结构更合理的工具接头（母接），可采用 180° 斜台肩及堆焊硬质合金耐磨层。

(4) 改进和完善钻杆摩擦焊工艺和焊缝热处理制度，提高焊缝质量和性能，尤其是冲击韧性等。

(5) 与油田用户共同研究开发钻杆内涂层工艺，并协商双方分工问题。

由于钻杆生产的工序多、装备复杂、要求高、难度大，因此，新建生产线要慎重，只有从管材的钢质到成品生产都具备必要条件时才可考虑。

6.7 油井管生产厂应合理布局

我国地域广阔，目前不仅陆上大小油田遍布16个省市，而且东海、渤海、南海也都先后发现和正在开发油气资源。据预测2000年油井管需求量在150万t以上，因而，我国油井管生产厂的合理布局十分重要，必须从长远考虑，选择几个有条件的油井管生产厂，形成地区的生产基地。凡是列为油井管基地的，应尽可能生产各种规格的油、套管（大于368.3mm的大套管除外），组成较为完善的油井管生产体系。

（收稿日期：1993—07—30）

● 消息

天津钢管公司 $\phi 250$ mm连轧管机组已轧制28个规格钢管

28 SIZES OF STEEL PIPES HAVING BEEN PRODUCED BY
 $\phi 250$ mm MANDREL MILL IN TIANJIN STEEL TUBE CO

天津钢管公司 $\phi 250$ mm连轧管机组自热负荷试车以来，已轧制了15个钢种、28个规格的无缝钢管，品种包括结构管、锅炉管、液压支架管、管线管和J55、N80、P110及V150四个钢级的石油套管热轧管体。产品最小规格为 $\phi 114.3\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ ；最大规格为 $\phi 273\text{mm} \times 35\text{mm}$ 。这些钢管质量都符合要求。

（天津钢管公司 杨效勇供稿）