

# XJY950 高钢级精密绳索取心钻杆用无缝钢管的研制

肖红<sup>1</sup>, 孙建华<sup>2</sup>, 高申友<sup>3</sup>, 梁健<sup>2</sup>, 张永勤<sup>2</sup>, 彭莉<sup>3</sup>, 吴国忠<sup>1</sup>, 况雪军<sup>1</sup>, 钱炯<sup>3</sup>  
(1. 嘉兴市新纪元钢管制造有限公司, 浙江 嘉兴 314503; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 3. 地质矿产部无锡钻探工具厂, 江苏 无锡 214174)

**摘要:**阐述了研制深孔、特深孔应用的高钢级精密绳索取心钻杆用冷拔无缝钢管的技术思路, 介绍分析了XJY950冷拔无缝钢管的材料选择和制造工艺优化过程, 并对该产品的钻探应用提出了技术建议。

**关键词:**绳索取心; 钻杆; 无缝钢管; 制造

**中图分类号:**P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)06-0012-04

**Development of Seamless Steel Pipe for XJY950 High-grade Steel Precision Wire-line Coring Drilling Pipe/XIAO Hong<sup>1</sup>, SUN Jian-hua<sup>2</sup>, GAO Shen-you<sup>3</sup>, LIANG Jian<sup>2</sup>, ZHANG Yong-qin<sup>2</sup>, PENG Li<sup>3</sup>, WU Guo-zhong<sup>1</sup>, KUANG Xue-jun<sup>1</sup>, QIAN Jiong<sup>3</sup>** (1. Jiaxing City New-Era Steel Tube Manufactured Co., Ltd., Jiaxing Zhejiang 314503, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 3. Wuxi Drill Tools Factory, Wuxi Jiangsu 214174, China)

**Abstract:** The paper discusses the technical ideas of cold drawn seamless steel tube for high-grade steel precision wire-line coring drilling pipe for the application in deep and ultra-deep holes; introduces and analyzes material selection and manufacturing process optimization of XJY950 cold drawn seamless steel tube and puts forward technical advice in the drilling application.

**Key words:** wire-line core drilling; drilling pipe; seamless steel tube; manufacturing

## 0 引言

国务院《找矿突破战略行动纲要(2011-2020)》明确提出了今后一个时期我国地质矿产勘查工作的目标和任务。要实现攻深找盲和找矿突破的战略目标, 不仅要在找矿理论上有所突破, 钻探工艺方法及钻探技术装备的突破更是关键。

我国经济的平稳快速增长有力地推动了地质装备制造产业的发展, 随着产业规模的不断扩大, 钢铁冶炼技术、钢管制造工艺和热处理控制手段等也得到了相应的提高, 特别是近些年对地质钻探专用管材的持续研究、开发, 以及与之配套的无缝钢管制造设备的大量投入, 使长期以来影响地质钻探装备技术进步的管材材质和可靠性问题得到了明显改善, 部分国产地质钻探用管材在质量和品种上基本满足了中深孔钻探的使用要求, 国产绳索取心钻杆也开始进入国际市场。同时, 我们也应看到, 在深孔、特深孔地质钻探用管材制造技术方面还存在发展速度偏慢, 质量稳定性不高以及高钢级高性能管材缺失等问题。因此, 落实国务院找矿突破战略行动纲要,

研制适应深孔、特深孔勘探所需的综合性能更优的高钢级精密绳索取心钻杆用无缝钢管, 将为我国深部地质钻探和科学钻探工程提供有力支撑, 为国民经济发展做出积极贡献。

## 1 材料的选择和管材技术参数确定的技术思路

根据深孔和特深孔绳索取心钻杆的施工使用要求, 首先管材应满足设计孔深所需的抗拉强度和较高的屈服强度, 同时还要尽可能提高管材的弹性、冲击韧性、耐磨性、耐腐蚀性和抗疲劳特性等综合性能; 其次要考虑有利于制管过程中热冷加工条件下的变形能力和钻杆的螺纹加工, 以确保管材的几何尺寸公差和外形精度。因此, 选择和确定一种满足上述技术性能要求, 用于制造冷拔(轧)无缝钢管的原材料和相应制管工艺, 是研制具有更加优良综合性能的高钢级精密绳索取心钻杆用无缝钢管的必要条件。

在机械行业, 重要的钢件一般都由调质(即淬火+高温回火的复合热处理工艺)来获得最佳的综

收稿日期: 2012-04-26; 修回日期: 2012-05-05

基金项目: 国土资源部地调研究项目“特深孔绳索取心钻杆的研究”(1212011120236), 国家科技部公益性行业科研专项“深部探测技术与实验研究-科学超深井钻探技术方案预研究”(201011063, SinoProbe-05-06)资助

作者简介: 肖红(1965-), 男(汉族), 江西赣州人, 嘉兴市新纪元钢管制造有限公司副总经理、工程师, 长期从事地质钻探用无缝钢管技术工艺和新产品开发工作, 浙江省桐乡市屠甸镇石泾东路101号。

合性能。因此,研制高钢级钻杆,首先应确定该合金材料应是调质钢。20世纪70年代,冶金部攀枝花钢铁研究院曾组织研制DZ75级无缝钢管,钢号为35MnMoVTi,属非调质高钢级钢,该钢管采用斜轧延伸法生产热轧管,轧后快速冷却、低温软化处理及联合矫直等工艺,由于成本较高、精度控制难度大、性能不稳定等,未能在市场运用和推广。调质钢要求材料具有优良的淬透性,而淬透性是指在规定的条件下,决定钢材淬透深度和硬度分布的特性,如淬硬层深度越大,则钢的淬透性越好。淬透性取决于钢材的化学成分的精确控制和均匀性。淬透性好的材料可使钢件整个截面获得均匀一致的力学性能,可降低钢材的内应力,减少变形和开裂,并可改善成分偏析、带状组织现象,以达到钻杆机械性能的稳定性和一致性。实践证明,相比其它热处理方式,调质后的管材具有较细的晶粒度,材料的综合性能更佳。

晶粒度是指钢在一定条件下奥氏体晶粒长大的倾向,晶粒度在1~4级称为粗晶粒钢,5~8级为细晶粒钢,9级以上为超细晶粒钢。晶粒越细,在一定体积内的晶粒数目越多,则在同样塑性变形量下变形分散在更多的晶粒内进行,变形较均匀,且每个晶粒中塞积的位数少,因应力集中引起的开裂机会就减少,有可能在断裂之前承受较大的变形量,即表现出较高的塑性。在细晶粒无缝钢管产品中,应力集中少,残余应力低,裂纹不易萌生和传播(晶界曲折多),因而在变形或断裂过程中吸收了更多能量,表现出较高的韧性。此外,晶粒越细,晶界、亚晶界越多,材料的强度也越高,耐磨性和耐腐蚀性越好,同时发挥出良好的抗疲劳特性。

选择超细晶粒度的调质钢,需要分析合金钢中的各种化学元素,如Cr、Mn、Mo、Si、V、B、Ti、Al、Cu、Ni等对钢材性能的作用,在合理匹配钢中有利元素的前提下,重点是提高钢的纯净度,即降低钢中有害元素和气体含量,如As、Sn、Pb、Sb、Bi、P、S、O、N、H等,同时控制钢中非金属夹杂物的数量、形状和大小。钢的纯净度越高,钢中晶界越完整,钢基体的连续性越好,可较大地减少材料的疲劳裂纹源。非金属夹杂物会降低钢的塑性、韧性和抗疲劳性能,使钢的冷热加工性能变差,导致许多缺陷的产生。

绳索取心钻杆在钻孔内高速旋转,要承受较强的扭转力矩和抗拉(压)强度,以及相应的冲击、疲劳和岩石磨蚀,这就要根据绳索取心钻探施工的钻孔深度来确定钢管材料所能承受的抗拉强度。抗扭

强度是抵抗扭矩破坏的能力,一般钻杆的抗扭强度是根据管体材料最小屈服强度的57.7%来确定的,同时,材料的疲劳极限 $\sigma_{-1}$ 与抗拉强度 $\sigma_b$ 之间有良好的相关性,随抗拉强度的升高而升高,一般近似计算为:

$$\text{正火和退火碳钢: } \sigma_{-1} = 8.4 \text{ MPa} + 0.454\sigma_b;$$

$$\text{调质合金结构钢: } \sigma_{-1} = 94 \text{ MPa} + 0.383\sigma_b。$$

为合理选择钻杆的材料,我们计算分析了屈服强度850 MPa、抗拉强度950 MPa状态下 $\varnothing 89 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 绳索取心钻杆弹性变形和应力分布情况。依据的计算公式如下:

$$\text{静伸长量公式: } \Delta L = \int_0^x \frac{x A \gamma dx}{EA}$$

$$\text{最大静应力公式: } \sigma_{jmax} = LA\gamma/A$$

$$\text{动伸长量公式: } \Delta L_d = k_d \Delta L$$

$$\text{最大动应力公式: } \sigma_{dmax} = k_d \sigma_{jmax}$$

$$\text{动荷放大系数: } k_d = 1 + (a/g)$$

$$\text{钻杆提升的加速度: } a = F/m$$

在匀速提动钻杆和提升扫孔状态下,测算的数据如下:

(1)3000 m 均速提杆:总伸长量 1.766 mm,最大应力 235.5 MPa;

(2)3000 m 扫孔提杆:总伸长量 4.887 mm,最大应力 651.6 MPa;

(3)6000 m 均速提杆:总伸长量 4.912 mm,最大应力 392.5 MPa;

(4)6000 m 扫孔提杆:总伸长量 10.115 mm,最大应力 808.6 MPa。

考虑到石油钻具用钢在材料的选择上具有严密的科学性和成功经验,绳索取心钻探与石油或天然气钻探的井下工况有较大的相似性,因此我们认为值得借鉴。石油钻杆为大口径、中壁厚、超长度和大规模热轧生产方式的特点,满足管材调质热处理是材料选择的主要条件之一,所以一般采用低碳合金调质钢;石油钻杆接头管壁较厚,一般由圆棒材锻造冲压后车削而成,且接头的机械性能要高于钻杆性能,因此更多考虑钢材的淬透性和管材的综合性能。

通过综合分析和比较,我们选用API标准中淬透性优良的高钢级石油钻杆接头用合金结构钢SAE4137H(近似国标牌号37CrMnMoA)试制高钢级精密绳索取心钻杆用无缝钢管,在材料上与石油钻探行业一致,使我国岩心钻探钻具行业逐步与国际标准接轨,这应是我国地质专用管材研发的方向。

根据研发高钢级精密绳索取心钻杆用无缝钢管

屈服强度指标的要求,确定该钢级牌号为 XJY950, 该材料的具体化学成分、高低倍组织见表 1、表 2, 其性能技术参数为:屈服强度  $R_{p0.2} \geq 950$  MPa; 抗拉强

度  $R_m \geq 1050$  MPa; 断后伸长率  $A \geq 15\%$ ; 硬度 HRC30 ~ 35; 20 °C 冲击吸收能量(纵向)  $KV_2 \geq 80$  J。

表 1 XJY950 绳索取心钻杆用管材的化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
标准值	0.35 ~ 0.38	0.15 ~ 0.35	0.85 ~ 1.00	≤0.015	≤0.008	0.90 ~ 1.20	≤0.25	≤0.20	0.28 ~ 0.33
实际值 1	0.36	0.26	0.96	0.011	0.002	1.16	0.10	0.07	0.30
实际值 2	0.36	0.23	0.95	0.012	0.002	1.09	0.04	0.04	0.30
元素	Sn	As	Pb	Sb	Bi	Ca	N	O	H
标准值	≤0.015	≤0.0199	≤0.0099	≤0.0099	≤0.0199	≤0.0060	≤0.0090	≤0.0050	≤0.00025
实际值 1	0.0068	0.0075	0.0005	0.0011	0.0025	0.0016	0.00476	0.00050	0.00025
实际值 2	0.0021	0.0039	0.0005	0.0006	0.0017	0.0005	0.00453	0.00097	0.00013

表 2 XJY950 管坯的高低倍组织要求

项目	低倍组织(级)			高倍组织(级)								
	一般疏松	中心疏松	偏析	A(硫化物类)		B(氧化铝类)		C(硅酸盐类)		D(球状氧化物类)		DS(单颗粒球状类)
				粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
标准值	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5
实际值 1	1.0	1.5	1.5	1.0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0
实际值 2	1.0	1.5	1.5	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0

## 2 XJY950 绳索取心钻杆用管材的制造工艺优化

对于石油钻杆接头使用的 SAE4137H 材料,国内尚无用于制造冷拔无缝钢管的技术经验。为了达到特深孔绳索取心钻杆的制造和使用要求,我们在总结 XJY850 钻杆用管材的制造工艺的基础上,对该材料的热处理工艺制度进行了研究,在提高管材的壁厚均匀性、直线度、综合性能方面进行了一些工艺优化。

(1) 绳索取心钻杆需要在较薄的管体上加工两端螺纹,而螺纹连接段又是钻杆体最薄弱的环节,因此,保证螺纹加工后螺纹端的最大截面积和均匀性十分重要。试验证明,管材的壁厚不均会严重影响管材后续调质热处理和直线度控制的结果,必须在控制内外径公差的基础上严格控制壁厚不均。为此,采用  $\varnothing 100$  mm 大断面管坯进行穿孔制管,利用大功率的冷轧机进行开坯轧制,以大减径大减壁的冷变形工艺,明显提高了钢管的壁厚均匀性;又以空拔+衬芯拔制的方式,进一步确保了壁厚精度。经过对两批试制的 XJY950 管材进行测试,其壁厚偏差完全能达到国外同类绳索取心管材的  $\pm 5\%$  以内的同心度要求,内外径控制偏差也达到了 N 口径  $0 \sim 0.25$  mm 和 H 口径  $0 \sim 0.38$  mm 的较高要求。

(2) 直线度要求一直是绳索取心钻杆用管材制造的控制难点,也是绳索取心钻杆机械加工,特别是进行全自动化加工的主要技术要求之一。经过不断研究、分析和试验,证明了管材矫直前的热处理(中

间退火、正火、调质)质量控制对最终直线度的影响十分明显,通过控制管材矫直前的强度(硬度)和均匀性,以及增加钢管头尾切除长度,确保了试制的 XJY950 高钢级管材达到了 1: 6000 的直线度国际先进水平。

(3) 为确保管材的综合性能和表面精度,对调质前的管材进行预矫直后去应力退火及表面磨抛处理,降低和减少钢管的残余应力及表面缺陷,杜绝钢管调质后产生淬火裂纹的可能,从而提高管材的综合性能和可靠性。

(4) 对成品管材采用低温时效和钝化处理两项新工艺技术,既稳定了 XJY950 管材的尺寸公差精度,又提高了管材抗疲劳性和耐蚀性。

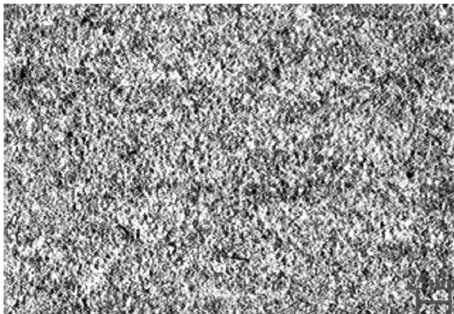
## 3 试制的管材性能结果与对比分析

我们先后采用了两批由江阴兴澄特种钢铁有限公司生产的 SAE4137H 圆钢坯(该产品为国家级新产品,产品编号 2008GRC10093),按上述制管工艺要求进行批量试制,经实物测试,完全符合研制之初设计确定的高钢级精密绳索取心钻杆管材的技术要求指标。具体测试结果及与同类管材的性能参数对比如表 3、图 1 所示。

从表 3 中的数据看,XJY950 管材相比 XJY850、30CrMnSiA 管材强度高、弹性好,冲击韧性在常温和低温情况下变化均很小,特别是 XJY950 管材的晶粒度达到了 12 级,有效地确保了该钢级的绳索取心钻杆具有优良的综合性能。完全达到了《石油和天

表3 高钢管材性能参数对比

钢种(级)	热处理状态	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	断后伸长率 $A_{50}$ /%	20℃冲击吸收能量(纵向) KV <sub>2</sub> /J	-20℃冲击吸收能量(纵向) KV <sub>2</sub> /J	硬度 HRC	金相组织	晶粒度	备注
XJY950	调质	975	1080	19	110	105	32~33	回火索氏体	12	试样1(71×5)
		1050	1140	18	96	95	32~33.5	回火索氏体	12	试样2(75×9)
XJY850	调质	860	975	15	82	75	31~32	回火索氏体	11	试样1(70.1×5)
		865	975	16	84	76	30.5~32	回火索氏体	11	试样2(70.1×5)
30CrMnSiA	调质	815	945	15.5	73	36	29.5~30.5	回火索氏体	10	试样1(71×5)
		810	940	15	75	35	29.5~30	回火索氏体	10	试样2(71×5)
S135	调质	1080( $R_{p0.7}$ )	1110	15	95(横向)		33	回火索氏体	9	试样(127×6.35)
		931~1138	≥1000	≥10	≥54	≥41(-10℃)		回火索氏体		ISO 11961
V150	调质	1034~1138	≥1103	≥13	≥80		(HB≥285)	回火索氏体		API/协议



金相组织(100×)



金相组织(400×)

图1 XJY950 绳索取心钻探用管材的金相组织

然气工业钻探用钢管》(ISO 11961)中最高钢级S135牌号的技术要求。

中国地质科学院勘探技术研究所委托重庆材料研究院对XJY950、XJY850、30CrMnSiA、45MnMoB的管材进行了疲劳试验对比测试,检测报告确认:XJY950的抗疲劳特性最佳。

#### 4 结论与建议

XJY950高钢级精密绳索取心钻杆用无缝钢管

试制了2个批次,6种规格,累计(中试)量产40 t。实验和测试证明,XJY950材料具有纯净度高、淬透性高和综合性能高的优点,已达到国外绳索取心钻杆用管材的最高钢级的要求。

根据XJY950管材的性能指标,该材料用于制造高钢级绳索取心钻杆,可进一步提高钻杆使用寿命,减少孔内钻柱事故;也能减少后续钻杆制造工序和制造成本,尤其适合制造B、N、H口径的自接式绳索取心钻杆,适应全液压钻机的发展需要。

XJY950管材具有优良的淬透性,经端部加厚、管体整体调质热处理后的性能相对稳定,可满足特深孔绳索取心钻杆制造和使用要求。

建议高钢级钻杆要根据强度合理调整螺纹的紧密距,防止咬扣;同时可以适当加长单根钻杆长度,减少螺纹数量,降低螺纹副的承载应力,以适应深孔、特深孔绳索取心钻探需要。

#### 参考文献:

- [1] 李连诗,韩观昌. 小型无缝钢管生产[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
- [2] DIN EN ISO 11961-2009,石油和天然气工业 钻探钢管[S].
- [3] 卢小庆,钟守明,李建. 超深复杂井用超高强度石油套管TP140V的设计开发及应用[J]. 钢管,2011,40(5).
- [4] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册(第4版)[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [5] 况雪军,孙建华. XJY850高强度精密地质管材的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(5).
- [6] 孙建华,张永勤,梁健,等. 深孔绳索取心钻探技术现状及研发工作思路[J]. 地质装备,2011,(4).