

高压喷射钻井

李邦达 孙维林 编

大庆科学技术委员会



高压喷射钻井

李邦达 孙维林编

大庆科学技术委员会出版

内 容 提 要

高压喷射钻井共分两部分：第一部分主要介绍射流净化井底的机理、喷嘴结构、喷射式钻井工作方式以及为设计喷射式钻井所必要的图表和计算公式，并举例说明。第二部分主要介绍泥浆流变性基本知识和测量方法、喷射钻井液的流动状态、携带岩屑及控制泥浆中固相含量的内容。可供钻井工人、技术人员、领导干部以及院校钻井专业的师生参考。

高 压 喷 射 钻 井

编写：大庆石油学院

李邦达、孙维林

出版：大庆科学技术委员会

印刷：大庆石油学院印刷厂

一九七八年五月

高压喷射快速钻井八项要求

(代前言)

一、认真学大庆、学铁人、建设一支革命化队伍，建设一个钢班子、铁队伍

当前要揭批“四人邦”，并结合本队，解决队伍的具体问题。什么叫革命化的队伍？表现在快速钻井上：

打三千米左右的井的井队，都要实现一、二、三，即一般井队年钻一万米，先进井队年钻二万米，标杆井队年钻三万米（包括取心）。

二、苦练过硬的基本功。要求井队长、指导员、司钻、司机等井队各工种都要精通本工种工作，还都要知道什么是高压喷射钻井。具体要抓四个方面

1、举办各级领导干部的教导队；

2、各指挥部都要学习技术，举办各种学校、夜校，每天学习一小时以上，要达到四懂三会；

3、广泛开展各工种、各岗位的技术选拔赛、技术表演赛。各井队每周一次、指挥部每月一次；

4、建立技术考核制度（理论和操作），井队每月一次（做技术鉴定、立卡片），做记录由支部保存。

三、严格执行岗位责任制

1、严格执行以岗位专责制为中心的八大制度，不准乱

岗、不准乱扶刹把、不准违反操作规程。

2、严格执行交接班制度，实行几交几不接。

3、加强班组经济核算、搞好修旧利废。

4、坚持经常性的岗位责任制的检查评比制度，各班组要班班检查、井队要天天检查，指挥部一月一检查，油田总部一季度一检查。

5、坚持搞好工人设计，每口井在二次开钻前必须搞好全井设计，每项重大措施都要有具体措施。要发挥老工人和技术干部的作用。

四、整顿、改造、加强现有钻井设备，配备好高压循环系统

1、为了保证大庆I型钻机正常工作压力（泵压）为150大气压、5D钻机为120~130大气压，必须配好14项：

（1）4"铸钢高压管汇一套，管汇试压（静压）300大气压，管线必须固定牢靠，每隔4米打一个卡子；

（2）泥浆泵全套密封件；

（3）浇铸型空气包胶囊充气达到50大气压；

（4）组装式硫化活塞；

（5）内孔为130毫米的凡尔坐、凡尔体；

（6）耐压200大气压的4"高压闸门；

（7）组装式水龙带（耐压300大气压）；

（8）水龙头冲管盘根；

（9）动力短接（动力接头）；

（10）钻捍滤清器；

（11）钻捍扶正器；

（12）喷射式钻头；

(13) 卷筒式高频震动筛(40目),

(14) 旋流除砂器。

要求喷射钻井的井队,在二次开钻前进行试压,在150大气压下,高压循环二小时,全部管线不刺、不漏、不跳,才能二次开钻。

2、高压喷射钻井的上水管线一律改用钢管,不得用软管,加上水管线滤清器。小循环管线加启动凡尔。

3、推广三元共渗的泥浆泵缸套、推广水龙带活动弯头等新工艺、新产品。

五、加强泥浆管理,建立泥浆站,配制优质泥浆,使用泥浆净化装置

1、各油田建立中心泥浆站,各勘探、钻井指挥部都要建立小型活动泥浆站。对优质泥浆要攻关、要配制、要回收。

2、泥浆必须达到四低两适当,四低:低比重、低失水、低含砂、低摩阻;两适应:适当粘度,适当切力。

各指挥部要有专人主管泥浆工作、坚持巡回检查。开展低固相泥浆的攻关,满足喷射钻井要求。

3、各井队坚持使用两筛一除。(即两套震动筛、一套旋流除砂器),

4、泥浆一定要经过泥浆筛,净化以后才能进入除砂器。凡配有旋流除砂器的井队,必须有专人负责,每天至少使用三小时,含砂量一定要降低在0.5%以下。

5、为了清理泥浆池沉砂,可以从低压循环管线接条管线到除砂器。

六、使用好喷射式钻头

1、上部地层普遍使用硬合金喷射式刮刀钻头。拿华北来说，使用水眼直径为12~14毫米的 $\phi 250$ 、 $\phi 248$ 、 $\phi 246$ 钻头。

2、人造金钢石钻头成本高，需要选择使用。

3、到深部地层，普遍使用单喷射（指水眼）三牙轮钻头，水眼为11~13毫米。有条件的选用二合一、三合一钻头。

4、试验用8 $\frac{1}{2}$ "钻头（牙轮）打钻，刮刀用 $\phi 222$ 、 $\phi 220$ 、 $\phi 218$ 毫米。

5、认真搞好钻头分析，努力把（钻头）压力降与总泵压之比提高到50%以上；喷射速度要求100米/秒以上；建立钻头分析卡片，做到一个钻头一分析，三个钻头一小结。

6、高压喷射快速钻井，必须精心操作、送钻均匀，采取地变我变的方针。

7、搞好地质予告，及时分析地层变化，合理地选择钻进参数。

七、设备管理要过硬。要按红旗设备的要求，要求钻井队严格管理设备

1、设备管理必须四定：定人、定机、定岗位、定时维护保养。

2、在用设备达到台台完好，要重视安装质量，做到平、稳、正、全、牢、灵、通。坚持开钻前三结合质量验收。

3、定期维修保养设备，执行好十字作业法（清洁、润滑、调正、扭紧、防腐），做到五不漏（油、气、水、电、泥浆），修保设备做到二不见天，三不落地。

二不见天：油料修理好的零部件不见天

三不落地：油料、工具、修理的零部件不落地

4、加强油水管理。柴油做到一沉淀，三过滤；机油做到五过滤，强制过滤、密封输送；黄油密封保存；机器冷却水要用软化水。

5、井场做到规格化。配件材料、工具要摆放整齐，各种橡胶配件不准露天存放。

6、在用设备达到台台完好。其中绞车必须是红旗设备，柴油机出力必须达到名牌标准。

八、配备、完善井下工具

1、高压喷射钻井必须使用扶正器，采用满眼钻具、刚性结构。

2、要设计、试制减震器、震击器。

3、采用江汉矿机所试制的井下虹吸测斜仪。

4、试用钻探扭矩仪。

第一部份 高压喷射钻井

伟大的国际无产阶级革命导师恩格斯指出：“科学之有赖于生产，更甚于生产之有赖于科学”。伟大领袖和导师毛主席也曾经指出：“人的认识，主要地依赖于物质的生产活动，逐渐地了解自然的现象、自然的性质、自然的规律性……”。解放以来，我们在钻井生产及科学实验活动中，积累了大量生产实践经验和资料，对存在于钻井中的自然现象，客观规律性的认识逐步深化，从而也推动了钻井技术的逐步发展。

在钻井生产实践活动中，使我们认识到影响机械钻速的主要技术因素有钻压、钻头转数、水力因素和泥浆性能。它们之间的关系是互相联系，又互相制约。如果要达到比较满意的机械钻速，必须根据地层的客观情况，正确地选择上述因素的参数，并且还要使他们彼此之间很合理地配合起来。长期的钻井生产实践，使我们认识到，即使钻压和钻头转数的参数选择恰当，如果清除井底岩屑的措施不当，也会显著地影响机械钻速。这是因为“水力因素”是影响机械钻速的主要因素之一。喷射式钻井就是为了提高钻头的水力功率，充分发挥“水力因素”的重大技术成就之一。

喷射式钻井是国外六十年代在钻井技术上取得的重大成就。美国在三十年代末开始研究喷射式钻头，但由于开始只

是加大排量，而没有在提高钻头喷射速度上下功夫，结果没有取得成功。到四十年代末期，在钻头喷射速度上下了功夫，结果取得了成功。这才逐渐形成了喷射式钻井的概念。美国在喷射式钻井上首先取得进展的是喷射式刮刀钻头。在得克萨斯和海湾地区试验证明，机械钻速的增加与喷射速度成正比。1949年美国开始试用喷射式牙轮钻头。早期的矿场试验证明，钻速可提高50%以上。美国1957年喷射式钻头的使用量占钻头总数的33%，1968年占钻头总数的65%，目前除小钻头外，其余都使用喷射式钻头。

苏联较早试验喷射式刮刀钻头，而喷射式牙轮钻头制成于1955~1956年。试验获得了较好的效果。每只喷射式三牙轮钻头，进尺平均增加0.5~1.5倍，机械钻速提高0.3~1.2倍。1962年~1963年喷射式刮刀钻头开始成批生产，1966年全面推广到苏联各个油田。根据苏联的使用情况，认为：转盘钻井比涡轮钻井使用喷射式钻头的效果更好。

匈牙利自1950年至1951年引进喷射式钻井。当时泥浆泵功率小，要获得必要的钻头喷射速度，采用了降低循环系统的阻力及提高泥浆泵高压管线直径，正确选择钻具配合，尽量减少沿程压力损失。这样使用普通的Y₈-3泵，钻头喷射速度从1953年的55~60米/秒，提高到1956年的75~80米/秒。

多年来我国许多地区也制造和使用喷射式钻头，同样也显示了它的无比优越性。例如：对比某现场相邻两井使用刮刀钻头的资料，当钻头喷射速度由60米/秒提高到97米/秒时，机械钻速提高了3.66倍；又如对比某油田在相同地质条件和技术参数下，使用喷射式三牙轮钻头，比使用普通三牙轮钻头的机械钻速提高了1.63倍，进尺提高了2.4倍。胜利

油田32358队在某井使用水眼直径为 $\phi 14$ 毫米的喷射式刮刀钻头，机械钻速达到177.44米/时，比普通水眼的同类型刮刀钻头提高了2.18倍。江汉、四川试制的喷射式三牙轮钻头，效果很好。大庆油田自会战以来，在试用小喷咀方面做了大量的工作。1963年开始把水眼直径由 $4 \times \phi 22$ （水眼数 \times 水眼直径）、 $4 \times \phi 20$ 改成使用 $4 \times \phi 17$ ， $3 \times \phi 18 + 1 \times \phi 16$ 。1963年底到1964年上半年又试验了六只水眼直径为 $3 \times \phi 14 + 1 \times \phi 11$ 的三刮刀钻头，其分段机械钻速如下表1—1：

表1—1

水眼直径 (个数 \times 直径)	分段机械钻速 (米/时)						钻头 数目
	伏四前	伏四	伏三	伏二	伏一	姚家	
$3 \times \phi 18 + 1 \times \phi 16$	45.90	25.00	13.24	13.60	7.20	/	5
$3 \times \phi 14 + 1 \times \phi 11$	78.50	47.40	20.90	14.80	4.24	2.1	6
提高%	71%	89.6%	57.8%	8.8%	/	/	/

注：当时使用的是45号钢水眼，后期水眼刺大，造成机械钻速降低

1964年开始取消了中心水眼并且把水眼直径改成 $3 \times \phi 18$ 。1965年曾在某些井队使用了2台3PN—465泵，由4台B₂—300柴油机或2台380千瓦的电动机带动，水眼直径改为 $3 \times \phi 16$ 、 $3 \times \phi 15$ ，取得了较好的效果。其喷射速度与机械钻速的统计数据见表1—2。

表1—2

喷射速度(米/秒)	48.20	56.60	62.00	60.30
机械钻速(米/时)	104.20	126.00	134.00	144.00
钻 压 (吨)		15~25		20

国内外大量实践证明：采用喷射式钻头钻井和一般钻头钻井相比，在钻头进尺和机械钻速方面都能大幅度地提高。目前国外喷射式钻井中，喷射速度一般在100~150米/秒，不低于80米/秒。泵压一般在200公斤/厘米²以上，高的可达350公斤/厘米²。喷咀尺寸一般为3×φ10、3×φ9.5、3×φ8.75(毫米)。泥浆泵功率为800~1600马力。环形空间泥浆返回速度为0.5~0.6米/秒。根据国外资料介绍，采用喷射式钻头钻井，在软地层，钻头进尺可提高50~100%，机械钻速可提高15~30%；在硬地层，钻头进尺可提高13~28%，机械钻速可提高14~21%。例如：美国有两口井，一口井使用普通三牙轮钻头，钻头水马力为160马力，用120天钻完5185米；而另一口井，在相同条件下，使用喷射式钻头，钻头水马力为400~700马力，仅使用了50天就钻完了5156米。

最近，在喷射式钻井基础上进一步发展了一种高压冲蚀钻井，其喷射束的冲击力，超过岩石的临界压力，压力一般达到703~1055公斤/厘米²，喷速超过190米/秒。

高压喷射钻井研究的问题较多，其中有井底岩石的应力分布、高压射流对井底的作用压力、喷咀几何形状、能量转换及泵功率的充分利用、泥浆的流动状态以及环形空间水动力学等问题。为了适应快速优质钻井技术的发展，以加速我

国油、气田的勘探与开发，早日实现“四个现代化”，现就以下几方面作一介绍：

- 1、射流及其净化井底的机理；
- 2、喷射式钻头合理的喷咀结构形式、安装位置及固定方法；
- 3、喷射式钻井的三种工作方式；
- 4、喷射式钻井中有关计算公式的推导；
- 5、喷射式钻井的有关图表及其应用举例。

第一节 射流及其净化井底的机理

一、射流的分类

由喷咀喷射出来的高速液流称为射流。钻头喷咀的射流，是属于淹没射流和非自由射流（简称：淹没非自由射流）。淹没射流是指射流喷射于与其物理特性相同的介质之中。非自由射流是指由喷咀喷射出来的射流受到周围固体（如岩石）的限制。试验证明：随着水压头的不同，喷咀射流的结构亦有所不同，因此可以分为低压、中压和高压三种射流。

1、低压射流（水压头在4~5个大气压以下），如图1—1。

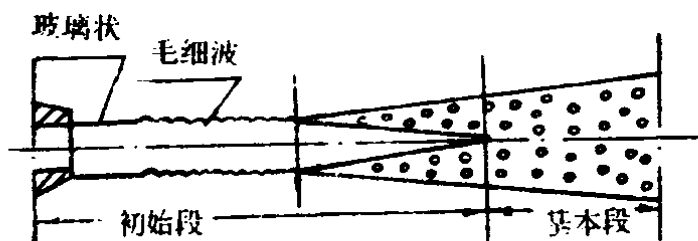
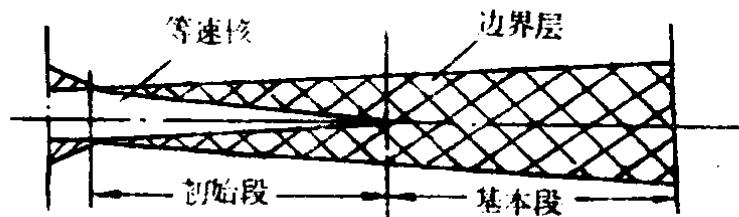


图1—1 低压射流结构

低压射流的特征为：射流在喷咀出口处以后，具有一段未被破坏的带有玻璃状表面的柱状流束，随着离喷咀的距离增大，在射流表面产生毛细波，毛细波的起伏高低，随着距离而加大，最后分裂成为单独的水滴。

2、中压射流（水压头在5~10个大气压），如图1—2。



过渡断面

图1—2 中压射流结构

中压射流的特征为：射流一到喷咀出口处，表面层就被破坏，也就是说没有一段未被破坏的带有玻璃状表面的柱状流束，整个射流是由内部的等速核和外部的边界层两部分所组成。等速核由射流质点组成，等速核内速度不变，等于射流的出口速度；随着离喷咀的距离增大，等速核的断面逐渐缩小，直到过渡断面后完全消失。边界层的形成，是由于射流质点在紊流运动中，除了轴向运动外，并产生横向运动，脱离流束内部区域，将动能传给周围的静止介质，使周围的静止介质以一定的速度进入流束中，这样就形成了紊流边界层。边界层厚度随着射流的扩散不断增大，直到过渡断面后，整个射流断面全部为边界层所充满。边界层内的速度是由轴心向外逐渐减小。

3、高压射流（水压头在40个大气压以上），如图1—3。

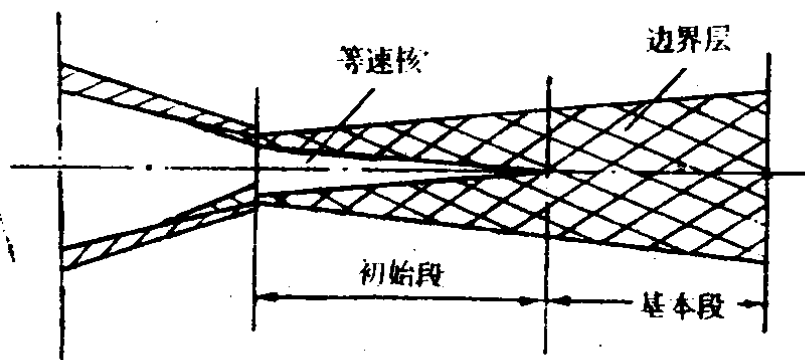


图1—3 高压射流结构

高压射流的特征为：射流在喷咀内就形成紊流边界层，在喷咀出口处就与周围介质相混合，形成一定厚度的边界层。等速核剧烈缩小，射流表面周围介质产生环形旋涡，促使射流很快分散。

二、射流的性质

1、等速核和等速环

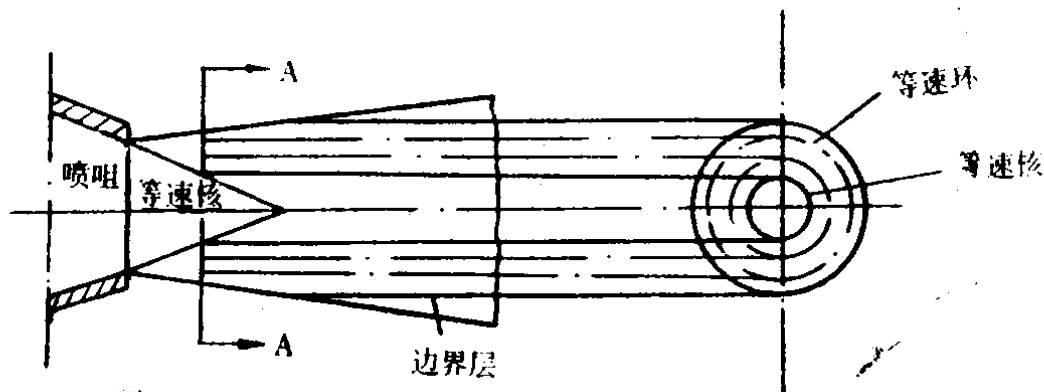


图1—4 等速核和等速环

射流由等速核和边界层两部分所组成。等速核内的液流速度，即为喷咀出口的流速（一般不变），喷咀断面愈大，等速核的作用距离亦愈远，因此射流的射程亦就愈大。边界层内的液流速度，是由围绕等速核的一系列同心分布的等速

环所组成（图1—4），等速环的速度，愈向外愈小，直至射流外缘的边界，速度为零。

2、射流速度的分布

射流的结构可分为初始段和基本段两部分（图1—5）。射流中具有等速核的一段称为初始段，它的长度为 l_0 ，是从喷咀出口到过渡断面为止。自过渡断面以后，则为基本段，基本段中无等速核。基本段的轴心流速 v_1 ，可以根据米洛维奇借助气体射流实验所得的公式（1—1）进行计算。

$$v_1 = \frac{\beta v_0 d_0}{l} \quad (1-1)$$

式中： β —实验常数， $\beta = 6$ ；

v_0 —喷咀出口流速；

d_0 —喷咀出口直径；

l —射流基本段上距喷咀出口之距离。

3、射流的扩散：

射流自喷咀射出以后，流束即被扩散。扩散程度愈大，射流质量愈差。其扩散规律可由公式（1—2）表示，并请参看图1—5

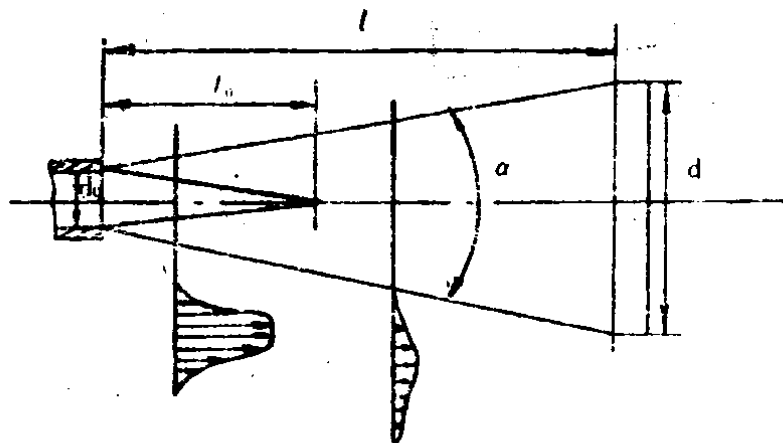


图1—5 射流的速度分布图

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{d - d_0}{2l}, \quad (1-2)$$

式中： α —射流的扩散角；

l —射流距喷咀出口的距离；

d —射流距喷咀出口的距离为 l 处的射流直径；

d_0 —喷咀出口的直径。

射流任意断面的直径 d ，可依公式 (1-3) 确定：

$$d = d_0 + al \quad (1-3)$$

式中： a 为扩散系数，可用公式 (1-4) 表示：

$$a = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (1-4)$$

根据实验得知：不同结构的喷咀，其扩散系数 a 的数值不同，即射流随 l 的扩散程度不同。因此，扩散系数是表示射流水动力完善程度的重要标志之一。对于完善喷咀， $a \leq 0.22$ ；不完善喷咀， $a \geq 0.405$ 。

科齐戈恩在“淹没射流参数的确定”一文中专门论述了这方面的问题。他曾作了七种水眼进口和两种出口的实验，用水作为射流实验的介质，实验时的流速为 10~60 米/秒，喷咀直径为 6~12 毫米，喷咀长度为 $(1 \sim 10)d$ [注： d_0 —喷咀出口的直径]，实验结果列于表 (1-3)。

表1-3中： l —喷咀出口至井底的距离；

d_0 —喷咀出口的直径；

$$m_0 = l_0/d_0;$$

l_0 —等速核的长度；

a —扩散系数。