

石油工业出版社

休斯工具公司

钻井实用水力参数

. 52899

钻井实用水力参数

休斯工具公司

隆天友 译 廖荣庆 校



00271158



S2149/23

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了一种按最大钻头水马力或最大钻头射流冲击力方案设计水力参数的方法。书中对水力参数工作日志和水力参数设计程序均作了较为详细的讨论,并提供了各种水力参数卡片、图表和各类参数计算公式,对水力参数的基本原理也作了阐述。本书内容丰富,适用性很强,可供现场钻井技术人员和科研人员使用,也可作为院校有关专业师生的参考书。

钻井实用水力参数

休斯工具公司

隆天友 译 廖荣庆 校

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京计量印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米 32开本 5 1/2印张 142千字 印 1—1,800

1988年1月北京第1版 1988年1月北京第1次印刷

书号: 15037·2902 定价: 1.35 元

ISBN 7-5021-0051-2/TE·51

目 录

绪 言	(1)
第一章 确立水力参数方案	(3)
一、泥浆泵可变速度方案 (例 1)	(4)
二、有关水力参数工作日志的讨论	(7)
第二章 水力参数卡片	(16)
一、排量极限	(19)
二、选择喷嘴尺寸	(23)
三、泥浆泵变速操作方法	(24)
四、推荐的水力参数方案	(25)
五、钻头水马力	(25)
六、泥浆泵输入功率	(29)
七、射流冲击力	(30)
八、泥浆泵稳速操作方法	(30)
九、泥浆泵稳速方案 (例 2)	(31)
十、泥浆泵泵速变化小的方案 (例 3)	(33)
十一、三种基本水力参数方案的比较	(36)
第三章 专用说明	(39)
一、限定环空返速	(39)
二、泥浆泵配套功率不足	(39)
三、加重泥浆的粘度校正	(40)
四、M 值刻度线	(41)
五、替用喷嘴组合	(41)
六、由水力参数卡片查压力损耗	(43)
七、泥浆泵容积效率	(43)
八、运用现场数据确定最佳水力参数	(46)
九、地面装备、钻杆、钻铤中的压力损耗	(49)
十、日报表水力参数	(50)

第四章 水力参数计算	(155)
一、符号说明.....	(155)
二、水力参数计算公式.....	(157)
第五章 钻井水力参数的基本原理	(159)
附录 许用计量单位和非许用计量单位换算系数表	(168)

绪 言

本书将向读者介绍一种就现有循环装置提供最大钻头水马力或最大钻头射流冲击力的水力参数简要设计程序。这种方法一般适用于绝大多数工作条件。

这种方法涉及到图表和工作日志的使用。设计井的有关数据直接填入工作日志，地面装备、钻铤、钻杆的压力损耗，以及泥浆泵的主要技术特性，于本书表中查得后，也要填入工作日志。对这些数据作简单计算，就可求得相应的各种压力损耗变量。将变量描绘于水力参数卡片上，并用曲线把各井段的这些变量点连接起来。运用水力参数卡片、图表，并作简单计算，即可求得以下结果：

- (1) 各井段适合的钻头喷嘴尺寸；
- (2) 各种井深时适当的排量；
- (3) 钻头水马力和钻头射流冲击力；
- (4) 钻头射流喷速；
- (5) 驱动泥浆泵所需的功率。

在各种推荐使用喷射钻头的水力参数方案中，最大钻头水马力和最大射流冲击力为最佳方案。最大钻头水马力方案运用最为普遍而受到广泛推荐。当钻头水马力达到最大值时，可得到94%的最大射流冲击力；当射流冲击力达到最大值时，可得到92%的最大钻头水马力。最大钻头水马力设计方案的一个优点在于：与最大射流冲击力设计方案相比较，对于同一循环系统，排量较低时钻头水马力即可达到最大值。

第五章是对主要水力参数的讨论，以供对专业和装备不太熟悉的读者参考。

本书中的所有压力损耗数据均基于泥浆处于紊流状态。泥浆

呈紊流状态时，只有泥浆密度和塑性粘度对压力损耗有影响。本书提供有泥浆密度和塑性粘度校正方法。为使表格简化，表中数据有微小误差。因误差很小，实际应用中可予忽略。

第一章 确立水力参数方案

在着手设计水力参数方案之前，必须收集有关钻井装备和待钻井的下列数据：

- (1) 承包人和钻机编号；
- (2) 井位所在地；
- (3) 井眼尺寸；
- (4) 水力参数方案涉及的井段（井深区间）；
- (5) 各井段所用的泥浆密度；
- (6) 确定是否必要配制高塑性粘度泥浆；
- (7) 泥浆泵的制造厂、类型和型号；
- (8) 钻机配套泥浆泵的缸套尺寸；
- (9) 泥浆泵配套功率；
- (10) 确定泥浆泵速度可否变化；
- (11) 由操作者预定的泥浆泵最高速度；
- (12) 由操作者预定的泥浆泵最低速度；
- (13) 确定泥浆泵可否并联运行；
- (14) 由操作者确定的最大立管压力；
- (15) 预定的最小环空返速；
- (16) 立管、水龙头、水龙带和方钻杆的长度及内径（确定钻机是否用于修井、试油或是否小井眼钻机）；
- (17) 钻铤规格（尺寸）、长度、数量；
- (18) 用在变径管柱或下部小钻柱中的钻杆接头规格（尺寸）、型号及钻杆规格（尺寸）、单位长度重量；
- (19) 附加在钻杆中的钻杆接头规格（尺寸）和型号、钻杆规格（尺寸）和单位长度重量；
- (20) 预定的水力参数方案类别：最大钻头水马力方案或

最大射流冲击力方案，泥浆泵稳速方案或泥浆泵可变速度方案。

为说明本书所讨论的方法，现以一个典型的水力参数方案为例进行讨论。

一、泥浆泵可变速度方案（例1）

例1是一个基于最大钻头水马力的泥浆泵可变速度方案。本例的工作日志已填好并附于本节后（表1），日志中的各个项目将在下节中讨论。

井眼尺寸（英寸）	8 ³ / ₄
井 段（英尺）	2500~17500
泥浆粘度	正常塑性粘度
井 深（英尺）	2500 5500 8500 11500 14500 17500
泥浆密度（磅/加仑）	9.0 9.0 9.5 9.5 10.0 11.0
泥浆泵	1*X（三缸泵） 6 ¹ / ₂ 英寸缸套 2*X（三缸泵） 6 ¹ / ₂ 英寸缸套
泥浆泵配套功率（马力）	1250
泥浆泵速度	可变化
泥浆泵最高速度（冲次/分）	120
泥浆泵最低速度（冲次/分）	50
需要时，泥浆泵可并联运行。	
预定最大立管压力（磅/英寸 ² ）	2400
预定最低环空返速（英尺/分）	120
地面装备（内径-长度）：立管 ϕ 4 英寸-45 英尺	
水龙带 ϕ 3 英寸-55 英尺	
水龙头 ϕ 2 ¹ / ₂ 英寸-5 英尺	
方钻杆 ϕ 3 ¹ / ₄ 英寸-40 英尺	
钻 铤	10 根 外径 7 英寸 内径 2 ¹³ / ₁₆ 英寸
	11 根 外径 6 ¹ / ₄ 英寸 内径 2 ¹³ / ₁₆ 英寸

表 1 水力参数工作日志

承 包 人		钻机编号		日 期	
油 田		井 名		所在地名	
井眼尺寸(英寸) 8 3/4		井段(英尺)2500~17500			

1.	泥浆泵	1*	2*	
	厂 家			
	类 型	X	X	
	冲程长度(英寸)	12	12	(见表 7)
	最高工作速度(冲次/分)	120	120	(表 7 或预定)
	最低工作速度(冲次/分)	50	50	(预定)
	缸套尺寸(英寸)	6 1/2	6 1/2	(预定)
	每冲次排量(加仑)	5.2	5.2	(表 7)
	最大立管压力(磅/英寸 ²)	2400	2400	(表 7 或预定)
	最大输入功率(马力)	1250	1250	(表 7)
	配套功率(马力)	1250	1250	(预定)
2.	排 量	1*泥浆泵	2*泥浆泵	
	最大排量(用选用缸套)(加仑/分)	593	593	(表 8)
	最大排量(双泵并联)(加仑/分)	1186		(二泵排量之和)
	最小排量(加仑/分)	247		(表 8)
	最小环空返速(英尺/分)	120		(预定)
	最小环空返速所需排量(加仑/分)	275		(表 10)
3.	地面装备			
	地面装备	第 3 种配套组合		(表 9)
	损耗系数	4		(表 9)
4.	钻 铤	1*	2*	3*
	规格尺寸(英寸)	外径 7	外径 6 1/4	
		内径 2 13/16	内径 2 13/16	
	钻铤根数	10	11	
	每根长度(英尺)	30	30	
	每种规格总长度(英尺)	300	330	
	钻铤内损耗系数	0.040	0.040	(表 11)

续表

4.	环空损耗系数	0.016	0.006	(表 11)		
	总损耗系数	0.056	0.046	(以上两项系数之和)		
	同规格钻铤总损耗系数	16.8	15.2	(总损耗系数乘以总长)		
	所有钻铤总损耗系数	32	(1°、2°总系数之和)			
	所有钻铤总长度 (英尺)	630				
5.	变径管柱 (无变径管柱则可省略此项)					
	钻杆长度	规格尺寸	单位长度重量			
		规格尺寸	单位长度重量			
	钻杆接头	型 号	外 径			
		型 号	外 径			
	同尺寸钻杆长度 (英尺)					
	损耗系数	(表 12)				
	同尺寸钻杆总损耗系数	(系数乘以长度)				
	各种尺寸钻杆总损耗系数	(各种尺寸总系数和)				
	各种尺寸钻杆总长度 (英尺)	(各种尺寸长度和)				
6.	系统总损耗系数	4	+	32	+	0 = 36
	地面装备损耗系数 钻铤总损耗系数 变径管柱总损耗系数					
7.	管串总长度 (英尺)	630	+	0	= 630	
8.	钻 杆					
	钻 杆	规格尺寸	4 1/2 英寸	单位长度重量	16.60 磅/英尺	
	钻杆接头	型号	4 1/2 英寸(加重)	外径	6 1/4 英寸	
	钻杆损耗系数	0.0114 (见表 12)				
9.	井深 (英尺)	2500	5500	8500	11500	14500 17500
10.	泥浆密度(磅/加仑)	9	9	9.5	9.5	10 11
11.	立管压力与泥浆密度的比值 P_s/W	267	267	253	253	240 218
12.	比值 P_s/W 与总损耗系数之差	231	231	217	217	204 182
13.	钻杆长度(英寸)	1870	4870	7870	10870	13870 16870
14.	钻杆总损耗系数	21	56	90	124	158 192
15.	N 值 (12 取 -14 项)	210	175	127	93	46 -10
16.	最大水马力 $0.65 \times P_s/W$	174	174	164	164	156 142
	最大射流冲击力 $0.48 \times P_s/W$	128	128	121	121	115 105

无变径管柱

钻杆	钻杆接头 4 1/2 英寸(加重)	外径 6 1/4 英寸
钻杆	4 1/2 英寸	16.60 磅/英尺

二、有关水力参数工作日志的讨论

1. 泥浆泵

表 7 列有很多常用的泥浆泵及其工作特性。表中有各种泥浆泵的最大输入功率、厂家建议的工作速度、冲程长度、拉杆尺寸、配用各种尺寸缸套时的最大泵压以及每冲次排量。该表分为两部分：第一部分为双缸泵的技术特性，第二部分为三缸泵的技术特性。表中每部分又按泥浆泵制造厂分类排列。每种尺寸缸套的最大泵压，受活塞拉杆和泵动力端的最大负荷能力所限制，而与工作速度完全无关。

所谓最大机械输入功率，系指驱动泥浆泵在最高泵速、最大泵压下运转所需的功率。此功率对各种尺寸的缸套通常都是相等的。如果配套功率小于表 7 中的额定输入功率，则泥浆泵就不可能同时在最高泵速和最大泵压状态下工作。如果配套输入功率小于额定功率，并使用表中给定的缸套，则泥浆泵的泵压必然降低，或泥浆泵的泵速必然减小。关于配套输入功率低于额定值的有关论述，请见 39 页“泥浆泵配套功率不足”一节。

为了避免泥浆泵液力端的磨损，很多承包人都不同意使他们的泥浆泵在最大额定工作泵速或最大额定泵压下运转。承包者们通常都会定出各自的最高泵压和最大泵速，在此泵压和泵速时将由他们自己操纵泥浆泵。为获得最大水马力，最理想的是泥浆泵泵速能随钻进深度变化。这就必须确定一泥浆泵运转的最低泵速，使设计的水力参数方案能在这些泵速限定的条件内。事实上，泥浆泵泵速不可能随钻进深度变化。有关泥浆泵操作方法的详细论述，请见 24、30 和 33 页。

例 1 中，使用的是两个 X 类型的三缸泵。据表 7，冲程长度为 12 英寸，最高工作泵速为 120 冲次/分、每台泵的最大输入功

率为 1250 马力,两个泵均按预定的方案配装 6 1/2 英寸缸套。据表 7, X 类型泵配装 6 1/2 英寸缸套时的泵压为 3135 磅/英寸², 每冲次排量为 5.2 加仑。承包人规定,该泵运转时最高泵压为 2400 磅/英寸²,最高泵速为 120 冲次/分。单泵配套功率为 1250 马力,必要时泥浆泵可减速到 50 冲次/分。将这些数值填入工作日志之第 1 项,即:

泥浆泵	1*泵	2*泵
厂家		
类型	X	X
冲程长度(英寸)	12	12
最高工作泵速(冲次/分)	120	120
最低工作泵速(冲次/分)	50	50
缸套尺寸(英寸)	6 1/2	6 1/2
每冲次排量(加仑)	5.2	5.2
最大立管压力(磅/英寸 ²)	2400	2400
最大输入功率(马力)	1250	1250
配套功率(马力)	1250	1250

2. 排量

使用双缸泵和三缸泵时的各种排量均列于表 8。表 8 分为两部分:第一部分包括双缸泵在各种泵排量(每冲次排量)和泵速时的排量,列于此部分中的排量所依据的容积效率为 90%;第二部分包括三缸泵在各种泵排量(每冲次排量)和泵速时的排量,列于此部分中的三缸泵排量所依据的容积效率为 95%。上述容积效率系指泥浆泵维护良好、上水效果满意时的容积效率值。如果需要由表 8 以外的容积效率所决定的排量,只需将表 7 中的每冲次排量乘以泵速和选定的容积效率即可。

如果对泵的容积效率有疑问,该效率值可通过计算求得。计算方法将在 43 页“泵的容积效率”一节中再作讨论。

为了获得最大钻头水马力,常常必须使双泵并联运转。需要了解的一点是:只有按双泵并联运转设计的方案方可得到最大排

量。

现在讨论环空返速。最小环空返速是泥浆于井壁和钻具之间的理想的上返速度，该速度变化范围为 50~200 英尺/分。只有较高的环空返速方可有效地清除井内岩屑，但也不可太高以免冲刷井壁造成井径过大。确定最佳环空返速时，应考虑泥浆携带能力、钻铤外径、钻杆尺寸、井眼尺寸、所钻地层特性和机械钻速。只有当地的实钻经验能告知你待钻井所需要的环空返速值。

环空返速取决于排量和钻杆与井壁间的环形面积。

表10列有在各种井眼尺寸与钻杆直径时给定环空返速所需的排量。运用插值法可求得表10中两相邻环空返速中间值所对应的排量。

例 1 中，每冲次排量为 5.2 加仑的三缸泵，由表 8 可查得其排量如下：

最大排量 (加仑/分)	1*泵 (每冲次排量 5.2 加仑, 泵速 120 冲次/分)	593
	2*泵 (每冲次排量 5.2 加仑, 泵速 120 冲次/分)	593

双泵并联时的最大排量 (加仑/分) $593 + 593 = 1186$

最小排量 (加仑/分) (每冲次排量 5.2 加仑, 泵速 50 冲次/分) 247

预定的最小环空返速 (英尺/分) 120

在 8 3/4 英寸井眼, 4 1/2 英寸钻杆时, 要产生 120 英尺/分

环空返速所需的排量 (加仑/分) 275 (表10)

将以上数值填入工作日志中第 2 项, 即:

排 量	1*泥浆泵	2*泥浆泵
最大排量 (加仑/分) (用选用缸套)	593	593
双泵并联时的最大排量 (加仑/分)	1186	
最小排量 (加仑/分)	247	
最小环空返速 (英尺/分)	120	
最小环空返速时所需的排量 (加仑/分)	275	

3. 地面装备

这里所考虑的地面装备包括立管、水龙带、鹅颈管、水龙头和方钻杆。要将各种可能的地面装备组合的压力损耗系数都列入表格中是不切实际的。因此，表 9 仅列入了四种具有代表性的、最常用的配套组合的压力损耗系数。除非某种特殊配套组合与表中的配套组合有本质上的不同，否则表 9 中选择的配套组合是最令人满意的。但是，地面装备常常缺乏精确的技术规范，在这种情况下，对修井、试油或小井眼钻机的地面装备压力损耗系数用 19，大钻机的地面装备压力损耗系数用 4，常可获得满意的效果。

例 1 中的地面装备与表 9 中第 3 种配套组合相同。查表 9，第 3 种配套组合的损耗系数为 4。将这些数值填入工作日志第 3 项，即：

地面装备

地面装备

损耗系数

第 3 种配套组合

4

4. 钻 铤

钻铤内的压力损耗取决于排量、钻铤内径及钻铤管柱总长度。钻铤外表面与井壁间的压力损耗，取决于井眼尺寸、钻铤管柱外径与长度以及排量。所以，钻铤压力损耗系数基于钻铤内径和钻铤外的环形空间。这些数据均列于表 11 中。

如果钻铤管柱仅由一种尺寸的钻铤组成，由表 11 可查得钻铤内和环形空间的损耗系数，并将之填入工作日志。然后将损耗系数之和乘以钻铤管柱长度，即得出钻铤管柱损耗系数。

如果钻铤管柱系由几种不同尺寸的钻铤组成，则应按尺寸分组，再按单一尺寸管柱处理。每种尺寸和长度的钻铤损耗系数，按上述讨论方法计算。将所求得的各组钻铤管柱损耗系数相加即为总的钻铤损耗系数。将求得的系数四舍五入到整数即求得精确值。有时，运用加重钻杆与钻铤相接。加重钻杆管柱的总损耗系数，可查表 11，将具有相同内外径钻铤的损耗系数作为加重钻

杆的损耗系数，再按钻铤管柱处理方法求得。

在例 1 中，使用外径 7 英寸，内径 $2\frac{13}{16}$ 英寸的钻铤 10 根，外径 $6\frac{1}{4}$ 英寸，内径 $2\frac{13}{16}$ 英寸的钻铤 11 根。

当长度未定时，则假定每根钻铤长 30 英尺。共用了两种尺寸的钻铤，将每种尺寸的钻铤作为一种单一管柱考虑。外径 7 英寸，内径 $2\frac{13}{16}$ 英寸钻铤管柱的总长度为： $30 \times 10 = 300$ （英尺）。查表 11，内径 $2\frac{13}{16}$ 英寸钻铤内的损耗系数为 0.040；外径 7 英寸钻铤在 $8\frac{3}{4}$ 英寸井眼内的环空损耗系数 0.016。所有外径为 7 英寸、内径为 $2\frac{13}{16}$ 英寸钻铤的损耗总系数为： $300 \times (0.040 + 0.016) = 300 \times 0.056 = 16.8$ 。同理，外径 $6\frac{1}{4}$ 英寸、内径 $2\frac{13}{16}$ 英寸的钻铤，其总长度为 $30 \times 11 = 330$ （英尺）。查表 11，钻铤内损耗系数为 0.040；查表 11，外径 $6\frac{1}{4}$ 英寸钻铤在 $8\frac{3}{4}$ 英寸井眼内的环空损耗系数为 0.006。所有外径为 $6\frac{1}{4}$ 英寸、内径为 $2\frac{13}{16}$ 英寸钻铤的损耗系数为： $330 \times (0.040 + 0.006) = 330 \times 0.046 = 15.2$ 。所有钻铤管柱的损耗系数等于外径 7 英寸钻铤管柱的损耗系数加上外径 $6\frac{1}{4}$ 英寸钻铤管柱的损耗系数，即： $16.8 + 15.2 = 32$ 。将以上数值填入工作日志之第 4 项，即：

钻 铤	1*	2*	3*
规格尺寸 (英寸)	外 径 7 内径 $2\frac{13}{16}$	外 径 $6\frac{1}{4}$ 内径 $2\frac{13}{16}$	
钻铤根数	10	11	
每根长度 (英尺)	30	30	
每种规格总长度 (英尺)	300	330	
钻铤内损耗系数	0.040	0.040	
环空损耗系数	0.016	0.006	
总损耗系数	0.056	0.046	
每种尺寸钻铤总损耗系数	16.8	15.2	
所有钻铤总损耗系数		32	
所有钻铤总长度 (英尺)		630	

5. 变径管柱

使用了变径管柱或下部小钻具时，工作日志上才有此项。泥浆通过钻杆内和钻杆外表与井壁之间的环形空间的压力损耗取决于排量、井眼尺寸、钻杆内外径、钻杆长度。

将变径管柱中同尺寸的钻杆总长度填入工作日志第5项之“同种尺寸钻杆长度”内。泥浆通过变径管柱内和环形空间引起的压力损耗有关的损耗系数可从表12查得，并将查得的数据填入工作日志第5项中“损耗系数”内。此损耗系数取决于井眼尺寸、钻杆尺寸、钻杆单位长度重量、钻杆接头型号和外径。变径管柱的损耗系数是由同种尺寸钻杆损耗系数乘以该种尺寸钻杆总长而得出，将求得的数值填入工作日志第5项中“同尺寸钻杆总损耗系数”内。如变径管柱中用了不止一种尺寸的钻杆，则应将几种“同尺寸钻杆总损耗系数”相加，求出各种尺寸钻杆总损耗系数，并将其填入工作日志第5项中“各种尺寸钻杆总损耗系数”内。

例1未使用变径管柱。

6. 系统总损耗系数（指不随井深变化的部分）

系统总的损耗系数等于地面装备、钻铤和变径管柱的压力损耗系数之和。此损耗系数包括通过循环系统各部件（除钻头外）的压力损耗系数。在钻进时，系统各部件均是串接好的，且不可能改变。应当注意，如果所用泥浆密度大于14磅/加仑，或所用泥浆的塑性粘度异常高，则必须对系统的压力损耗系数加以校正。有关这方面的讨论留待40页“加重泥浆的粘度校正”一节进行。

例1中，（地面装备损耗系数）+（钻铤损耗系数）+（变径管柱损耗系数）=4+32+0=36（系统总的损耗系数）

例1中所用的泥浆密度低于14磅/加仑，粘度很低，不必进行粘度校正。将系统总的损耗系数值填入工作日志第6项中“系统总损耗系数”内，即：

系统总损耗系数