

泥 浆
设 备
手 册

3

离心泵

〔美〕W·利尔杰斯特兰德

石油工业出版社

内 容 提 要

本书原为国际钻井承包商协会泥浆循环分会组织编写的《泥浆设备手册》中的第四分册。书中介绍了离心泵规格的正确选择方法以及离心泵的正确操作方法,并详细而又透彻地解释了离心泵规格、叶轮直径、转速以及电动机功率和管路直径和长度、管件、阀门、扬程、泥浆密度、泥浆粘度、压力和固控设备之间的关系。本书还附有有关流量测试、仪表读数、故障排除、离心泵的并联使用、扬程损耗、管路摩阻、部分固控设备的离心泵选配以及系统曲线的绘制等有用资料。

本书内容全面而充实、实用性强。可供石油钻井、矿场机械,离心泵设计、制造及使用人员阅读,也可作为院、校有关专业师生的参考书。

MUD EQUIPMENT MANUAL
Handbook 4:
Centrifugal Pumps and Piping Systems
Walter Liljestrand
Gulf Publishing Company, 1983

泥浆设备手册 3

离 心 泵

[美]W. 利尔杰斯特兰德

陶世楨 杨祖佩 译

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京通县向阳印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 9¹/₂印张 238千字 印1-2,500

1988年11月北京第1版 1988年11月北京第1次印刷

书号: 15037·2947 定价: 2.35元

ISBN 7-5021-0096-2/TE·94

目 录

3.1 离心泵的选择.....	(1)
3.1.1 离心泵的用途.....	(1)
3.1.2 离心泵的选择.....	(1)
3.2 定义.....	(2)
3.2.1 总扬程.....	(2)
3.2.2 压力扬程.....	(3)
3.2.3 流体.....	(3)
3.2.4 流量.....	(3)
3.2.5 速度(V)	(4)
3.2.6 速度扬程.....	(19)
3.2.7 摩阻扬程或摩阻损失.....	(19)
3.2.8 如何用曲线表示管路摩阻.....	(20)
3.2.9 管路摩阻.....	(23)
3.3 出口管路的设计.....	(25)
3.3.1 扬程是使水沿管路流动的原因.....	(25)
3.3.2 最佳管径的选定.....	(26)
3.3.3 管路长度对扬程及流量的影响.....	(28)
3.3.4 管径加大则流量增加.....	(31)
3.3.5 管内壁生锈及结垢而使流量降低.....	(32)
3.3.6 管路附件及阀门中的摩阻损失.....	(36)
3.3.7 几何高度的定义.....	(44)
3.3.8 压力.....	(50)
3.3.9 冲洗用软管.....	(50)
3.3.10 滚筒刹车	(51)

3.3.11	水刹车和电刹车	(52)
3.3.12	喷嘴	(54)
3.3.13	除砂用水力旋流器	(59)
3.3.14	除泥用水力旋流器	(60)
3.3.15	除气器	(60)
3.3.16	泥浆混合漏斗	(61)
3.3.17	增压泵送	(62)
3.3.18	徒手绘管路摩阻曲线	(63)
3.3.19	单一曲线	(63)
3.3.20	管路串联时所绘的曲线	(68)
3.3.21	管路并联时所绘的曲线	(68)
3.3.22	管路有串联又有并联时绘制的曲线	(69)
3.3.23	实际管路摩阻问题	(70)
3.3.24	沉没式泥浆枪的配管	(70)
3.3.25	除砂器、除泥器及泥浆清洁器的配 管和扬程损失	(81)
3.3.26	真空除气器的工作	(83)
3.3.27	泥浆混合漏斗的工作	(88)
3.3.28	给泥浆泵增压	(89)
3.3.29	钻机供水管路的摩阻	(90)
3.4	离心泵的工作原理	(100)
3.4.1	离心泵的基本知识	(100)
3.4.2	离心泵的总扬程	(100)
3.4.3	离心泵的零部件	(101)
3.4.4	支座	(102)
3.4.5	叶轮	(102)
3.4.6	泵壳	(102)
3.4.7	正确的旋转方向	(104)
3.4.8	法兰尺寸标号	(104)

3.4.9	进口端盖	(106)
3.4.10	防磨板	(106)
3.4.11	离心泵产生总扬程的原理	(106)
3.4.12	泵特性曲线	(109)
3.4.13	试验装置	(109)
3.4.14	不同直径的叶轮曲线	(113)
3.4.15	不同转速的叶轮曲线	(114)
3.4.16	压力的测量	(115)
3.4.17	以英尺为单位的扬程与以磅/英寸 ² 为单位的 压力之间的换算	(115)
3.4.18	压力表的安装位置对其读数的影响	(119)
3.4.19	泥浆密度的变化对压力表读数的影响	(119)
3.5	离心泵规格的选择	(121)
3.5.1	法兰尺寸对最大流量的影响	(121)
3.5.2	叶轮直径的选择	(122)
3.5.3	工况点表示管路系统流量	(122)
3.5.4	马力	(125)
3.5.5	在泵特性曲线上读出马力	(125)
3.5.6	输送不同密度泥浆时功率的修正	(126)
3.5.7	不致过载的电动机和发动机	(128)
3.5.8	工况点处的扬程	(129)
3.5.9	直接驱动时转速的选择	(129)
3.5.10	皮带驱动时转速的选择	(129)
3.6	进口管路的设计	(131)
3.6.1	进口管路特性	(131)
3.6.2	进口管路	(131)
3.6.3	倒灌自吸	(132)
3.6.4	进口管路的直径	(133)
3.6.5	进口管路要短	(133)

3.6.6	进口管路要直	(134)
3.6.7	进口管路上的管件	(135)
3.6.8	进口管路上的截止阀	(135)
3.6.9	进口管路上的滑动接头	(135)
3.6.10	泥浆罐壁上的平板	(135)
3.6.11	进口管路上的过滤器	(137)
3.6.12	进口管路中的流态问题	(138)
3.6.13	漩涡	(138)
3.6.14	空气漏入	(138)
3.6.15	气囊	(138)
3.6.16	吸上高度	(140)
3.6.17	空气侵入泥浆	(140)
3.6.18	空气从密封填料处漏入	(141)
3.6.19	叶轮的径向载荷	(142)
3.6.20	蜗形泵壳	(142)
3.6.21	圆形泵壳	(143)
3.6.22	气蚀和净正吸入扬程(NPSH)	(143)
3.6.23	什么叫气蚀?	(144)
3.6.24	产生气蚀的原因	(146)
3.6.25	叶轮进口处压力扬程的测量	(147)
3.6.26	叶轮进口处压力扬程的计算	(150)
3.6.27	必需的净正吸入扬程(NPSH _{Re})	(152)
3.6.28	特殊的气蚀问题	(156)
3.7	电动机负荷	(158)
3.7.1	电动机驱动的基本理论	(158)
3.7.2	流量的变化	(160)
3.7.3	几何高度的影响	(161)
3.7.4	叶轮转速的影响	(164)
3.7.5	叶轮直径的影响	(164)

3.7.6	管径和管路长度的影响	(165)
3.7.7	管路堵塞和结垢的影响	(166)
3.7.8	空管路时的电动机起动	(169)
3.7.9	泥浆密度的影响	(169)
3.8	电动机与联轴节的安装	(173)
3.8.1	皮带传动	(173)
3.8.2	直接驱动	(173)
3.8.3	轴的标高和垫块	(174)
3.8.4	轴直径与轴端间隙	(178)
3.8.5	联轴节的对正	(178)
3.8.6	对中后的间隙	(180)
3.8.7	电动机地脚螺栓	(180)
3.8.8	发动机与泵之间的联轴节	(180)
3.8.9	管路载荷	(181)
3.9	最初起动时的检查程序	(182)
3.9.1	联轴节是否对中	(182)
3.9.2	进口阀是否打开	(182)
3.9.3	是否灌泵	(182)
3.9.4	检查密封填料	(182)
3.9.5	检查轴承	(182)
3.9.6	泵轴转动是否轻快	(183)
3.9.7	节流	(183)
3.9.8	旋转方向	(183)
3.9.9	运转中检查	(183)
3.9.10	如何灌泵	(184)
3.10	故障的排除	(185)
3.10.1	流量太大	(185)
3.10.2	管径小	(185)
3.10.3	泵壳过热	(185)

3.10.4	磨损引起流量下降	(185)
3.11	泵壳结构型式的区别	(187)
3.11.1	效率对比	(187)
3.11.2	叶轮曲线的斜率	(188)
3.12	有关离心泵的二十条规则	(190)
附录 3A	流量测定	(192)
附录 3B	压力表读数	(197)
附录 3C	故障的排除	(209)
附录 3D	电动机驱动的泥浆枪或水力旋流器系统中一般故障的排除	(213)
附录 3E	发动机驱动的泥浆枪或水力旋流器系统中的一般故障的排除	(221)
附录 3F	冲洗软管、冷却刹车鼓和永刹车系统中一般故障的排除	(225)
附录 3G	钻机冷却水系统中的电动机、泵或新装电动机、泵修复后的故障排除	(230)
附录 3H	电动机和开关的故障排除	(232)
附录 3I	泵的并联运行	(239)
附录 3J	扬程损失、管路摩阻公式和管路摩阻曲线	(242)
附录 3K	非标准直径管路、输送粘性泥浆的管路和内径受冲蚀管路的扬程损失和管路摩阻计算	(249)
附录 3L	除泥器所配离心泵的选择方法	(252)
附录 3M	供绘制管路系统曲线用的离心泵的实际特性曲线	(265)
附录 3N	本书非许用单位和许用单位换算表	(293)

3.1 离心泵的选择

3.1.1 离心泵的用途

本手册所介绍的离心泵系用于下列范围：

(1) 为钻机供水用

- a. 供冲洗软管用水；
- b. 供冷却刹车鼓用水；
- c. 供水刹车用水；
- d. 供电刹车用水。

(2) 供泥浆管路用

- a. 供搅拌泥浆的喷嘴用；
- b. 供输送泥浆用；
- c. 供泥浆枪用；
- d. 供除气器工作用；
- e. 供增压用；
- f. 供配制泥浆的混合漏斗用；
- g. 供计量罐灌泥浆用。

(3) 供水力旋流器用

- a. 供除砂器用；
- b. 供除泥器用；
- c. 供泥浆清洁器用。

3.1.2 离心泵的选择

选择泵的规格、叶轮直径、转速和电动机功率完全取决于管路规格、管路长度、管件、阀门、几何高度、泥浆密度、泥浆粘度和设备运转时所需的压力。

离心泵有许多不同的规格。对某一特定的输送系统均有其最佳规格。解决了下列问题后，选择离心泵就很容易了。

- (1) 泵所输送的水或泥浆作何用途？必须配备何种设备？

(2) 泵所输送的水或泥浆用于何处？由何处吸入？从吸入罐（或池）到流体的使用地点需多少英尺长的管路？

(3) 需要多大的流量？（有时候流体按体积计，如一罐车盐水，但在管路中它是用加仑/分计量。以上列举的大部分设备都有一个额定流量以保证有效工作，也必须具备一定的压力或扬程以驱使流体流动。

一个懂行的卖主会选择泵，但在开始选泵之前必须从用户获得一些技术资料。本手册就是介绍选泵之前所应做的工作。若用户掌握了这些知识，选出的泵定是价格低、操作费用省而且性能最好，还会懂得什么条件下需增大泵尺寸，什么条件下一泵可以多用。

本手册的目的是对选泵时所应注意的事项给予详细说明。因为不仅要知其然，还要知其所以然，所以本手册对想知其所以然的人提供了补充材料（附录）。

在所有例题中使用的数据都不是任意假设的，而是直接从管路摩阻表和离心泵曲线中引出的。

3.2 定 义

3.2.1 总扬程●

人们描述泵，必须使用熟悉、易懂的术语。例如，离心泵曲

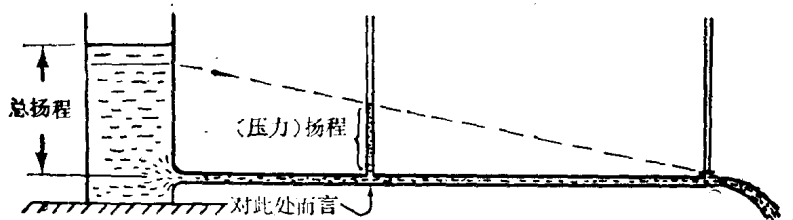


图3-1 水在管内流动

● 也称总压头。——译者

线的左侧标记着“总扬程，英尺”，这是什么意思呢？

要使水从立管中流出的最简易方法是从立管的底部沿地平面接出一根管子(图 3-1),则立管中的水会沿该水平管源源流出。立管中的水位越高,则流动越快。从立管水面向下到接出管中心线所测得的水深叫扬程。

根据所用设备不同(立管或离心泵),能用几种类似方法来定义总扬程。这些含义几乎相同,但是本手册在讲述用泵输送流体的章节之前,一直沿用立管定义法。

3.2.2 压力扬程

将视管接到一根水管的任何部位,水沿视管上升的高度(英尺)简称为压力扬程(见图3-1)。压力是指每平方英寸管壁上受到的力(磅),单位是磅/英寸²,或说是垂直作用在水流方向上的力。本手册中几乎在任何情况下都将“压力”写为“压力扬程”,仅用它作为度量扬程的一种方法,决不是用来计量水受压缩的能力,因为水是不可压缩的。

在选择离心泵规格之前,必须知道扬程或压力。因为管路摩阻表和泵曲线都是分别用消耗的或产生的扬程来表示。所以求出扬程比求压力容易一些。每当泥浆密度有变化时,压力读数也发生变化,因此通常不使用压力数值。

3.2.3 流体

流体是个笼统的术语,泛指水、海水、泥浆、原油或任一其他可泵送的液体(流体也指空气和其他气体,但本手册中仅指液体而言)。

3.2.4 流量

流量系指一定时间内流经管子的液体量。水通过软管 2 分钟注满了一个 10 加仑的容器,那么流量等于 5 加仑/分。离心泵曲线底部横座标标记的就是流量,单位是美加仑/分(有时错误地标记为“CAPACITY”,单位是美加仑/分,某种意义上说,这是指泵的最大流量,它是一个难以测出的数,且此时对运转中的泵会

有所损坏)。

3.2.5 速度(V)

速度是指管内流体的流动速率,单位是英尺/秒。工程师在选择管路规格和比较喷嘴直径时要用到这一术语或概念。

在表 3-1 到表 3-14 中能找到单位为英尺/秒的速度一栏。表中列出了与流体的某一速度相对应的流量。对于某一规格管子,按指定流量可以找到对应的速度;反之,按指定的某一速度也可找到对应的流量。例如,4 英寸管内流体速度为 10 英尺/秒,则流量为 400 加仑/分。

有时,可能遇到某种管子与表 3-1 到表 3-14 所列规格有所不同,但仍需求出管内流体速度。此时,流量(加仑/分)乘以系数 0.41,再除以直径(英寸)的平方,得到的结果即为速度(英尺/秒):

$$\text{流量(加仑/分)} \times 0.41 / (\text{直径} \times \text{直径}) = \text{速度}$$

$$\text{如 } 80 \times 0.41 / (1.75 \times 1.75) = 10.7$$

$$\left(\text{向工程师们解释一下, } 0.41 = 231 / (60 \times 12 \times \frac{\pi}{4}) \right)$$

式中 1 加仑 = 231 英寸³;

1 分 = 60 秒;

1 英尺 = 12 英寸;

$$\pi = 3.14$$

流体的速度值系指管内某截面上流速的平均值。一般情况下,取这平均值足以代表实际流速。

流体在管路内由总扬程驱使就会产生一定的流量。测定所需扬程最简单的管路是采用水平长度为 100 英尺、40 型新制直段钢管(图 3-2)(40 型代表普通壁厚的管子;20 型代表薄壁管;80 型代表厚壁管)。

图中数据说明:100 英尺长、4 英寸、40 型新制钢管内的总扬程为 10.05(1.58+8.47)英尺水柱时,则流量为 400 加仑/分。

表 3-1 每100英尺长管路输水的摩阻损失①②(英尺扬程)

3/4英寸 公称直径		40型钢管内径-0.824英寸 $\varepsilon/D-0.00218$	
流 量 (加仑/分)	V (英尺/秒)	$V^2/2g$ (英尺)	每100英尺管路的 摩阻损失 (英尺扬程)
2.0	1.20	0.02	1.21
2.5	1.50	0.04	1.80
3.0	1.81	0.05	2.50
3.5	2.11	0.07	3.30
4.0	2.41	0.09	4.21
4.5	2.71	0.11	5.21
5.0	3.01	0.14	6.32
6.0	3.61	0.20	8.87
7.0	4.21	0.28	11.8
8.0	4.81	0.36	15.0
9.0	5.42	0.46	18.8
10	6.02	0.56	23.0
11	6.62	0.68	27.6
12	7.22	0.81	32.6
13	7.82	0.95	37.8
14	8.42	1.10	43.5
15	9.03	1.27	49.7
16	9.63	1.44	56.3
17	10.23	1.63	63.1
18	10.8	1.82	70.3
19	11.4	2.03	78.0
20	12.0	2.25	86.1
22	13.2	2.72	104
24	14.4	3.24	122
26	15.6	3.80	143
28	16.8	4.41	164
30	18.1	5.06	187

①本表不允许应用于使用时间较长、直径有误差、或管内壁表面有任何异常情况的管路上。安全系数应根据当地情况及每种特定的安装要求予以选定。

②给出推荐流量是为了避免流量较大时摩阻太大。

表 3-2 每100英尺长管路输水的摩阻损失①②(英尺扬程)

1 英寸 公称直径		40型钢管内径-1.049 英寸 $\varepsilon-D-0.00172$		
流 量 (加仑/分)		V (英尺/秒)	$V^2/2g$ (英尺)	每100英尺管路的 摩阻损失 (英尺扬程)
3		1.11	0.02	0.77
4		1.48	0.03	1.30
5		1.86	0.05	1.93
6		2.23	0.08	2.68
7		2.60	0.10	3.56
8		2.97	0.14	4.54
9		3.34	0.17	5.65
10		3.71	0.21	6.86
12		4.45	0.31	9.62
14		5.20	0.42	12.8
16	推荐最大流量	5.94	0.55	16.5
18		6.68	0.70	20.6
20		7.42	0.86	25.1
22		8.17	1.04	30.2
24		8.91	1.23	35.6
26		9.65	1.45	41.6
28		10.39	1.68	47.9
30		11.1	1.93	54.6
32		11.9	2.19	61.8
34		12.6	2.48	69.4
36		13.4	2.78	77.4
38		14.1	3.09	86.0
40		14.8	3.43	95.0
42		15.6	3.78	104.5
44		16.3	4.15	114
46		17.1	4.53	124
48		17.8	4.93	135
50		18.6	5.35	146
55		20.4	6.48	176

①本表不允许应用于使用时间较长、直径有误差或管内壁表面有任何异常情况的管路上。安全系数应根据当地情况及每种特定的安装要求予以选定。

②给出推荐流量是为了避免流量较大时摩阻太大。

表 3-3 每100英尺长管路输水的摩阻损失①②(英尺扬程)

1 1/4 英寸 公称直径	40型钢管内径-1.380英寸 $e/D=0.00130$		
流 量 (加仑/分)	V (英尺/秒)	$V^2/2g$ (英尺)	每100英尺管路的 摩阻损失 (英尺扬程)
6	1.29	0.03	0.70
7	1.50	0.04	0.93
8	1.72	0.05	1.18
9	1.93	0.06	1.46
10	2.15	0.07	1.77
12	2.57	0.10	2.48
14	3.00	0.14	3.28
16	3.43	0.18	4.20
18	3.86	0.23	5.22
20	4.29	0.29	6.34
22	4.72	0.35	7.58
24	5.15	0.41	8.92
26	5.58	0.48	10.37
28	6.01	0.56	11.9
30	6.44	0.64	13.6
32	6.86	0.73	15.3
34	7.29	0.83	17.2
36	7.72	0.93	19.2
38	8.15	1.03	21.3
40	8.58	1.14	23.5
42	9.01	1.26	25.8
44	9.44	1.38	28.2
46 ↓	9.87	1.51	30.7
48	10.30	1.65	33.3
50	10.7	1.79	36.0
55	11.8	2.16	43.2
60	12.9	2.57	51.0
65	13.9	3.02	59.6
70	15.0	3.50	68.8
75	16.1	4.02	78.7
80	17.2	4.58	89.2
85	18.2	5.17	100.2
90	19.3	5.79	112
95	20.4	6.45	124
100	21.5	7.15	138

①本表不允许应用于使用时间较长、直径有误差或管内壁表面有任何异常情况的管路上。安全系数应根据当地情况及每种特定的安装要求予以选定。

②给出推荐流量是为了避免流量较大时摩阻太大。

表 3-4 每100英尺长管路输水的摩阻损失①②(英尺扬程)

1 1/2 英寸 公称直径	40型钢管内径-1.610英寸 $e/D=0.00112$		
流 量 (加仑/分)	V (英尺/秒)	$V^2/2g$ (英尺)	每100英尺管路的 摩阻损失 (英尺扬程)
6	0.95	0.01	0.33
7	1.10	0.02	0.44
8	1.26	0.02	0.56
9	1.42	0.03	0.69
10	1.58	0.04	0.83
12	1.89	0.06	1.16
14	2.21	0.08	1.53
16	2.52	0.10	1.96
18	2.84	0.13	2.42
20	3.15	0.15	2.94
22	3.47	0.19	3.52
24	3.78	0.22	4.14
26	4.10	0.26	4.81
28	4.41	0.30	5.51
30	4.73	0.35	6.26
32	5.04	0.40	7.07
34	5.36	0.45	7.92
36	5.67	0.50	8.82
38	5.99	0.58	9.78
40	6.30	0.62	10.79
42	6.62	0.68	11.8
44	6.93	0.75	12.9
46	7.25	0.82	14.0
48	7.56	0.89	15.2
50	7.88	0.97	16.4
55	8.67	1.17	19.7
60	9.46	1.39	23.2
65	10.24	1.63	27.1
70	11.03	1.89	31.3
75	11.8	2.17	35.8
80	12.6	2.47	40.5
85	13.4	2.79	45.6
90	14.2	3.13	51.0
95	15.0	3.48	56.5
100	15.8	3.86	62.2
110	17.3	4.67	74.5
120	18.9	5.56	88.3
130	20.5	6.52	103

①本表不允许应用于使用时间较长、直径有误差或管内壁表面有任何异常情况空管路上。安全系数应根据当地情况及每种特定的安装要求予以选定。

②给出推荐流量是为了避免流量较大时摩阻太大。

表 3-5 每100英尺长管路输水的摩阻损失①②(英尺扬程)

2 英 寸 公 直 径	40型钢管内径-2.067英寸 $e/D=0.00087$		
流 量 (加仑/分)	V (英尺/秒)	$V^2/2g$ (英尺)	每100英尺管路的 摩阻损失 (英尺扬程)
10	0.96	0.01	0.25
12	1.15	0.02	0.34
14	1.34	0.03	0.45
16	1.53	0.04	0.58
18	1.72	0.05	0.72
20	1.91	0.06	0.87
22	2.10	0.07	1.03
24	2.29	0.08	1.20
26	2.49	0.10	1.39
28	2.68	0.11	1.60
30	2.87	0.13	1.82
35	3.35	0.17	2.42
40	3.82	0.23	3.10
45	4.30	0.29	3.85
50	4.78	0.36	4.67
55	5.26	0.43	5.59
60	5.74	0.51	6.59
65	6.21	0.60	7.69
70	6.69	0.70	8.86
75	7.17	0.80	10.1
80	7.65	0.91	11.4
85	8.13	1.03	12.8
90	8.60	1.15	14.2
95	9.08	1.28	15.8
100	9.56	1.42	17.4
110	10.52	1.72	20.9
120	11.5	2.05	24.7
130	12.4	2.40	28.8
140	13.4	2.78	33.2
150	14.3	3.20	38.0
160	15.3	3.64	43.0
170	16.3	4.11	48.4
180	17.2	4.60	54.1
190	18.2	5.13	60.1
200	19.1	5.68	66.3
220	21.0	6.88	80.0
240	22.9	8.18	95.0

①本表不允许应用于使用时间较长、直径有误差或管内壁表面有任何异常情况的管路上。安全系数应根据当地情况及每种特定的安装要求予以选定。

②给出推荐流量是为了避免流量较大时摩阻太大。