

中国石油大学(北京)

密闭输送教学实验

实 验 指 导 书

适 用：油气储运工程专业

中国石油大学（北京）机械与储运工程学院

油气储运工程系

编 写：于 达、阎凤元

2012 年 3 月 16 日

目 录

一、实验装置简介.....	1
二、实验准备	2
三、实验操作原则.....	2
四、实验	4
3.1 “从泵到泵” 密闭输送实验	4
3.2 管道动态调节实验	7
3.3 管道异常工况实验	11
3.4 管道堵塞工况实验	14
3.5 管道泄漏工况实验	17
3.6 管道清管实验.....	21
附图 1 密闭输送实验装置流程示意图.....	24
附图 2 密闭输送实验装置配电示意图.....	25

一、实验装置简介

本实验装置是为了进行长输管道教学实验而建设的。其中主要包括：约 600m 长的 1 吋不锈钢管道、4 座模拟泵站（共 8 台泵）、1 台储液罐以及相应的配套系统。每个站有 2 台不锈钢离心泵，可串、并联运行，也可以实现泵站越站流程。管道沿线安装了两台流量计、每站配有进出站压力计等仪表。每个泵站设有一台站控柜，模拟生产现场进行泵站操作控制，每个站控柜中有一台变频器可以控制该站的 2#泵实现泵站运行参数的无极连续调节。站间的管道上安装有模拟管道堵塞的阻力阀和模拟管道泄漏的泄漏点。环道上还留有高、低点的放空阀，以及扫线接口。实验装置的流程图和配电图见附图 1、附图 2。

密闭输送管道实验系统中，泵站和管道组成了一个统一的水力系统，管道所消耗的能量（包括终点要求的剩余压力）等于泵站所提供的压力能，二者必然保持提供能量供需的平衡关系。全线能量供需平衡关系式如下：

$$H_{s1} + N(A - BQ^{2-m}) = fLQ^{2-m} + (Z_2 - Z_1) + Nh_m + H_t$$

式中：Q——全线工作流量；

N——全线泵站数；

f——单位流量的水力坡降；

H_{s1} ——管道首站进站压力，m 液柱；

H_t ——管道终点剩余压力，m 液柱；

L——管道总长度，m；

$Z_2 - Z_1$ ——管道高程差，m；

h_m ——每个泵站的站内损失，m 液柱。

本实验装置配合专业教学可开展的实验有：

1. “从泵到泵”密闭输送实验；
2. 管道动态调节实验；
3. 管道异常工况实验；
4. 管道堵塞工况实验；
5. 管道泄漏工况实验；
6. 管道清管实验。

除此之外，还可以进行多点泄漏、组合调节等研究性实验。

二、实验准备

- (1) 实验器具 皮尺一把，水桶（5 升）一个，台秤一个，秒表一块。
- (2) 测量站间管道长度 用皮尺测量每个站间管道的长度作好记录。
- (3) 熟悉实验装置，了解对应编号的阀门、泵，认识控制台所有操作按钮，学会泵站的操作控制要领。
- (4) 预习《输油管道设计与管理》第二章。
- (5) **要求 所有参加实验的学生必须通过冷机演练考核！**
- (6) 实验编组 每次试验至少需要 10 名学生，其中，指挥 1 人（组长）、记录及站间操作 1 人、每个泵站 2 人。

三、实验操作原则

- (1) 加电 接通试验系统电源，检查各站控柜电源指示灯是否正常。
- (2) 水罐注水 关闭水罐的进出口阀，给水罐上水，同时观察液位计的显示，当水位达到显示范围三分之二高度时停止注水。
- (3) 倒流程 根据实验要求开关相应的阀门，导通实验流程。流程导通完毕需要经过实验教师检查确认，并将阀门的开关情况记录在实验报告中。**切记，在运行中倒流程一定要“先开后关！”**
- (4) 启动 **操作原则：一次只能启动一个泵站，每个泵站只能启动一台泵，当管道系统运行平稳后方可进行下一步操作！必须按 1#站、2#站、3#站和 4#站的顺序启动！严禁在实验过程中开关站内阀门！出站调节阀不在此列。**
- (5) 变频调节 必须在变频泵启动之前将变频器开关设定至“变频”位置上，在泵运行中严禁扳动此开关！可以在泵运转时操作变频器按钮进行频率调节，频率的调节范围是 25~50 赫兹，严禁超限！
- (6) 实验记录 必须在每个实验工况运行稳定后记录，记录内容为各站的进出站压力和两个流量计的流量。
- (7) 停泵 **遵循从后向前的原则，按 4#站、3#站、2#站和 1#站的顺序停泵！一次只能停运一个泵站，每个泵站只能停运一台泵。**
- (8) 实验结束 试验完成后停泵，打开各泵站的越站阀，用软管连接水罐底部的排水阀至下水口，打开高点放空阀和罐底排水阀，将实验系统内的水全部排空。接压缩空气管道至扫线口，关闭末站进罐阀和高点放空阀，保持越站阀和罐底排

水阀畅通，启动压缩机，当压缩机储气罐中压力达到 0.4MPa 时开启扫线阀，用压缩空气吹扫管道，当主线吹扫完成后，应逐次开启泄露点阀门进行管道盲端吹扫，还应开启各泵站的阀门、关闭越站阀进行各泵站的吹扫。吹扫完成后，关闭各站电源和总电源，清理现场，经指导老师同意后退出。

（9）日常保养 本实验系统为全不锈钢和有色金属制造，能适应较长时间的停运在一般情况下不会生锈，为了保证实验系统处于良好状态每个月至少要空载运行（不上水，热机）一次。平时应保持水罐上口封闭，防止尘土进入。

四、实验

3.1 “从泵到泵”密闭输送实验

实验目的 学习测定管路的 H-Q 特性曲线。用图解法求出管路与泵站配合工作时的的工作点。了解“泵到泵”运行的输油管路各站协调工作的情况。掌握正常启停泵站的操作方法。

实验操作

- (1) 执行“二、实验操作原则”中的(1)、(2)项，各站变频开关处于“工频”状态。

进行各泵站单泵运行实验

- (2) 1 泵站先倒单泵流程，开 101、107、108，2 泵站开 209、3 泵站开 309、4 泵站开 409，干线开 502、505、507、509、511，启动 1 站 1#泵，开 102。运行平稳后记录。
- (3) 2 泵站倒单泵流程，开 201、207、208，启 2 站 1#泵，开 202，关 209，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (4) 3 泵站倒单泵流程，开 301、307、308，启 3 站 1#泵，开 302 关，309，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (5) 4 泵站倒单泵流程，开 401、407、408，启 4 站 1#泵，开 402，关 409，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

进行各泵站并联泵运行实验

- (6) 1 泵站倒并联流程，开 106、103，启 1 站 2#泵，开 104，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (7) 2 泵站倒并联流程，开 206、203，启 2 站 2#泵，开 204，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (8) 3 泵站倒并联流程，开 306、303，启 3 站 2#泵，开 304，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (9) 4 泵站倒并联流程，开 406、403，启 4 站 2#泵，开 404，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

进行各泵站串联泵运行实验

- (10) 各站恢复单泵运行，4 泵站停 2#泵，关 406、403、404；3 泵站停 2#泵，关 306、303、304；2 泵站停 2#泵，关 206、203、204；1 泵站停 2#泵，关 106、103、104。
- (11) 1 泵站倒串联流程，开 105、103，启 1 站 2#泵，开 104，关 107，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (12) 2 泵站倒串联流程，开 205、203，启 2 站 2#泵，开 204，关 207，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (13) 3 泵站倒串联流程，开 305、303，启 3 站 2#泵，开 304，关 307，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (14) 4 泵站倒串联流程，开 405、403，启 4 站 2#泵，开 404，关 407，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

实验结束

- (15) 各站恢复单泵运行，4 泵站开 407，停 2#泵，关 405、403、404；3 泵站开 307，停 2#泵，关 305、303、304；2 泵站开 207，停 2#泵，关 205、203、204；1 泵站开 107，停 2#泵，关 105、103、104。
- (16) 各站停运，4 泵站开 409，停 1#泵，关 407、402、401；3 泵站开 309，停 1#泵，关 307、302、301；2 泵站开 209，停 1#泵，关 207、202、201；1 泵站停 1#泵，关 107、102、101。
- (17) 放水、扫线、关闭电源。

实验报告

(1) 记录内容

实验数据记录表

运行状态	1 站压力		2 站压力		3 站压力		4 站压力		Q1	Q2
	P _I	P _O	P _I	P _O	P _I	P _O	P _I	P _O		
1-1										
1-1,2-1										

(2) 报告要求

描述实验过程说明泵站启停操作的要点，根据实验记录绘制管道单泵运行、并联运行和串联运行特性（H-Q）曲线，用图解法求出管路与泵站配合工作时的

工作点，比较曲线的不同并说明原因。

思考题

(1) 串联泵和并联泵的工作特点，当泵站由串联改为并联时，管道工作点如何变化？

(2) 管路起输和停输要注意哪些问题？

3.2 管道动态调节实验

实验目的 学习长输管道的调节方法,通过实验了解阀门调节和变频泵调节特性。

实验操作

- (1) 执行“二、实验操作原则”中的(1)、(2)项,各站变频开关处于“变频”状态,频率设定 50 赫兹。

进行各泵站单泵运行阀门调节实验

- (2) 1 泵站先倒单泵流程,开 101、107、108,2 泵站开 209、3 泵站开 309、4 泵站开 409,干线开 502、505、507、509、511,启动 1 站 1#泵,开 102。运行平稳后记录。逐步关小 108 至流量为原来的 80%附近,运行平稳后记录。关小 108 至流量为原来的 60%附近,运行平稳后记录。关小 108 至流量为原来的 40%附近,运行平稳后记录。全开 108。
- (3) 2 泵站倒单泵流程,开 201、207、208,启 2 站 1#泵,开 202,关 209,其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。逐步关小 208 至流量为原来的 80%附近,运行平稳后记录。关小 208 至流量为原来的 60%附近,运行平稳后记录。关小 208 至流量为原来的 40%附近,运行平稳后记录。全开 208。
- (4) 3 泵站倒单泵流程,开 301、307、308,启 3 站 1#泵,开 302,关 309,其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。逐步关小 308 至流量为原来的 80%附近,运行平稳后记录。关小 308 至流量为原来的 60%附近,运行平稳后记录。关小 308 至流量为原来的 40%附近,运行平稳后记录。全开 308。
- (5) 4 泵站倒单泵流程,开 401、407、408,启 4 站 1#泵,开 402,关 409,其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。逐步关小 408 至流量为原来的 80%附近,运行平稳后记录。关小 408 至流量为原来的 60%附近,运行平稳后记录。关小 408 至流量为原来的 40%附近,运行平稳后记录。全开 408。

进行各泵站并联泵运行阀门调节实验

- (6) 1 泵站倒并联流程,开 106、103,启 1 站 2#泵,开 104,其余泵站和干线

不变。运行平稳后记录。逐步关小 108 至流量为原来的 80%附近，运行平稳后记录。关小 108 至流量为原来的 60%附近，运行平稳后记录。关小 108 至流量为原来的 40%附近，运行平稳后记录。全开 108。

(7) 2 泵站倒并联流程，开 206、203，启 2 站 2#泵，开 204，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。逐步关小 208 至流量为原来的 80%附近，运行平稳后记录。关小 208 至流量为原来的 60%附近，运行平稳后记录。关小 208 至流量为原来的 40%附近，运行平稳后记录。全开 208。

(8) 3 泵站倒并联流程，开 306、303，启 3 站 2#泵，开 304，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。逐步关小 308 至流量为原来的 80%附近，运行平稳后记录。关小 308 至流量为原来的 60%附近，运行平稳后记录。关小 308 至流量为原来的 40%附近，运行平稳后记录。全开 308。

(9) 4 泵站倒并联流程，开 406、403，启 4 站 2#泵，开 404，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。逐步关小 408 至流量为原来的 80%附近，运行平稳后记录。关小 408 至流量为原来的 60%附近，运行平稳后记录。关小 408 至流量为原来的 40%附近，运行平稳后记录。全开 408。

进行各泵站单泵运行变频泵调节实验

(10) 各站恢复单泵运行，4 泵站停 1#泵，关 407、402、401；3 泵站停 1#泵，关 307、302、301；2 泵站停 1#泵，关 207、202、201；1 泵站停 1#泵，关 107、102、101，运行平稳后记录。

(11) 4 泵站变频器频率调整到 42，运行平稳后记录。3 泵站变频器频率调整到 42，运行平稳后记录。2 泵站变频器频率调整到 42，运行平稳后记录。1 泵站变频器频率调整到 42，运行平稳后记录。

(12) 4 泵站变频器频率调整到 33，运行平稳后记录。3 泵站变频器频率调整到 33，运行平稳后记录。2 泵站变频器频率调整到 33，运行平稳后记录。1 泵站变频器频率调整到 33，运行平稳后记录。

(13) 4 泵站变频器频率调整到 25，运行平稳后记录。3 泵站变频器频率调整到 25，运行平稳后记录。2 泵站变频器频率调整到 25，运行平稳后记录。1 泵站变频器频率调整到 25，运行平稳后记录。

(14) 恢复频率 由 1 泵站恢复频率到 33、2 泵站恢复频率到 33、3 泵站恢复频

率到 33、4 泵站恢复频率到 33；1 泵站恢复频率到 42、2 泵站恢复频率到 42、3 泵站恢复频率到 42、4 泵站恢复频率到 42；1 泵站恢复频率到 50、2 泵站恢复频率到 50、3 泵站恢复频率到 50、4 泵站恢复频率到 50。

进行各泵站串联泵运行变频泵调节实验

- (15) 1 泵站倒串联流程，开 105、101，启 1 站 1#泵，开 102，关 106，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (16) 2 泵站倒串联流程，开 205、203、204，启 2 站 2#泵，关 207，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (17) 3 泵站倒串联流程，开 305、303、304，启 3 站 2#泵，关 307，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (18) 4 泵站倒串联流程，开 405、403、404，启 4 站 2#泵，关 407，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

实验结束

- (19) 各站恢复单泵运行，4 泵站开 407，停 2#泵，关 405、403、404；3 泵站开 307，停 2#泵，关 305、303、304；2 泵站开 207，停 2#泵，关 205、203、204；1 泵站开 107，停 2#泵，关 105、103、104。
- (20) 各站停运，4 泵站开 409，停 1#泵，关 407、402、401；3 泵站开 309，停 1#泵，关 307、302、301；2 泵站开 209，停 1#泵，关 207、202、201；1 泵站停 1#泵，关 107、102、101。
- (21) 放水、扫线、关闭电源。

实验报告

(1) 记录内容

- ① 各站开泵状态，泵的组合形式；
- ② 几号站截止阀的开度（从全开状态，关几周）；
- ③ 几号站变频器的频率设定数；
- ④ 各站进站压力、泵出口压力、出站压力、对应流量。

(2) 报告要求

描述实验过程说明管道运行调节的操作的要点，根据实验记录绘制管道单泵

运行阀门调节、并联运行阀门调节、单泵运行变频泵调节和串联运行变频泵调节特性（ $H-Q$ ）曲线，用图解法求出管路与泵站配合工作时的的工作点，比较曲线的不同并说明阀门调节与变频泵调节特点和差异原因。

思考题

- （1）计算阀门节流时的摩阻损失。
- （2）思考在输油管道输送中，阀门节流一般用在哪些情况中？

3.3 管道异常工况实验

实验目的 学习长输管道的正常工作状态和非正常工作状态，通过实验了解非正常工作特性，深入理解长输管道运行特点。

实验操作

- (1) 执行“二、实验操作原则”中的(1)、(2)项，各站变频开关处于“工频”状态。

开启各泵站单泵运行，停泵实验

- (2) 1 泵站先倒单泵流程，开 101、107、108，2 泵站开 209、3 泵站开 309、4 泵站开 409，干线开 502、505、507、509、511，启动 1 站 1#泵，开 102。
- (3) 2 泵站倒单泵流程，开 201、207、208，启 2 站 1#泵，开 202，关 209，其余泵站和干线不变。
- (4) 3 泵站倒单泵流程，开 301、307、308，启 3 站 1#泵，开 302 关，309，其余泵站和干线不变。
- (5) 4 泵站倒单泵流程，开 401、407、408，启 4 站 1#泵，开 402，关 409，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (6) 3 泵站停泵，观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 3 泵站运行。
- (7) 2 泵站停泵，观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 2 泵站运行。
- (8) 1 泵站停泵，观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后各泵站停运。

进行各泵站并联泵运行，停泵实验

- (9) 重复(2)～(5)操作。
- (10) 1 泵站倒并联流程，开 106、103，启 1 站 2#泵，开 104，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (11) 2 泵站倒并联流程，开 206、203，启 2 站 2#泵，开 204，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (12) 3 泵站倒并联流程，开 306、303，启 3 站 2#泵，开 304，其余泵站和干线

不变。运行平稳后记录。

(13) 4 泵站倒并联流程，开 406、403，启 4 站 2#泵，开 404，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(14) 3 泵站停 1#泵，观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。3 泵站停 2#泵（两台泵全停），观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 3 泵站运行。

(15) 2 泵站停 1#泵，观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。2 泵站停 2#泵（两台泵全停），观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 2 泵站运行。

(16) 1 泵站停 1#泵，观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。1 泵站停 2#泵（两台泵全停），观察停泵后流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后各泵站停运。

实验结束

(17) 各站恢复单泵运行，4 泵站开 407，停 2#泵，关 405、403、404；3 泵站开 307，停 2#泵，关 305、303、304；2 泵站开 207，停 2#泵，关 205、203、204；1 泵站开 107，停 2#泵，关 105、103、104。

(18) 各站停运，4 泵站开 409，停 1#泵，关 407、402、401；3 泵站开 309，停 1#泵，关 307、302、301；2 泵站开 209，停 1#泵，关 207、202、201；1 泵站停 1#泵，关 107、102、101。

(19) 放水、扫线、关闭电源。

实验报告

(1) 记录内容

- ① 各站开泵状态，泵的组合形式；
- ② 各站单泵运行时几号站停泵；
- ③ 各站双泵并联运行时几号站停泵，停几台泵；
- ④ 各站进站压力、泵出口压力、出站压力、对应流量。

(2) 报告要求

描述实验过程中各泵站运行参数的变化情况，总结变化规律。根据实验记录绘制管道在不同工况下的（ $H-Q$ ）曲线和水力坡降线，用图解法求出管路与泵站配合工作时的工作点，比较曲线的不同并说明产生差异原因。

思考题

- (1) 为什么中间站停泵后，上站出站压力升高、下站出站压力降低？
- (2) 思考在停泵后，其他站的压力表会有波动，其原因是什么？

3.4 管道堵塞工况实验

实验目的 学习长输管道的堵塞工作状态，通过实验了解管道堵塞的工作特性，学会判断长输管道堵塞事故的方法。

实验操作

- (1) 执行“二、实验操作原则”中的(1)、(2)项，各站变频开关处于“工频”状态。

开启各泵站单泵运行，管道堵塞实验

- (2) 1 泵站先倒单泵流程，开 101、107、108，2 泵站开 209、3 泵站开 309、4 泵站开 409，干线开 502、505、507、509、511，启动 1 站 1#泵，开 102。
- (3) 2 泵站倒单泵流程，开 201、207、208，启 2 站 1#泵，开 202，关 209，其余泵站和干线不变。
- (4) 3 泵站倒单泵流程，开 301、307、308，启 3 站 1#泵，开 302 关，309，其余泵站和干线不变。
- (5) 4 泵站倒单泵流程，开 401、407、408，启 4 站 1#泵，开 402，关 409，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (6) 关小 505，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 505 全开。
- (7) 关小 507，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 507 全开。
- (8) 关小 509，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 509 全开。

进行各泵站并联泵运行，管道堵塞实验

- (9) 1 泵站倒并联流程，开 106、103，启 1 站 2#泵，开 104，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (10) 2 泵站倒并联流程，开 206、203，启 2 站 2#泵，开 204，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (11) 3 泵站倒并联流程，开 306、303，启 3 站 2#泵，开 304，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

- (12) 4 泵站倒并联流程，开 406、403，启 4 站 2#泵，开 404，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (13) 关小 505，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 505 全开。
- (14) 关小 507，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 507 全开。
- (15) 关小 509，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 507 全开。

进行各泵站串联泵运行，管道堵塞实验

- (16) 各站恢复单泵运行，4 泵站停 2#泵，关 406、403、404；3 泵站停 2#泵，关 306、303、304；2 泵站停 2#泵，关 206、203、204；1 泵站停 2#泵，关 106、103、104。
- (17) 1 泵站倒串联流程，开 105、103，启 1 站 2#泵，开 104，关 107，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (18) 2 泵站倒串联流程，开 205、203，启 2 站 2#泵，开 204，关 207，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (19) 3 泵站倒串联流程，开 305、303，启 3 站 2#泵，开 304，关 307，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (20) 4 泵站倒串联流程，开 405、403，启 4 站 2#泵，开 404，关 407，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (21) 关小 505，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 505 全开。
- (22) 关小 507，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 507 全开。
- (23) 关小 509，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后恢复 507 全开。

实验结束

- (24) 各站恢复单泵运行，4 泵站开 407，停 2#泵，关 405、403、404；3 泵站开 307，停 2#泵，关 305、303、304；2 泵站开 207，停 2#泵，关 205、

203、204；1 泵站开 107，停 2#泵，关 105、103、104。

(25) 各站停运，4 泵站开 409，停 1#泵，关 407、402、401；3 泵站开 309，停 1#泵，关 307、302、301；2 泵站开 209，停 1#泵，关 207、202、201；1 泵站停 1#泵，关 107、102、101。

(26) 放水、扫线、关闭电源。

实验报告

(1) 记录内容

- ① 各站开泵状态，泵的组合形式；
- ② 各站单泵运行时哪个站间堵塞；
- ③ 各站双泵并联运行时哪个站间堵塞；
- ④ 各站双泵串联运行时哪个站间堵塞；
- ⑤ 各站进站压力、泵出口压力、出站压力、对应流量。

(2) 报告要求

描述实验过程中不同开泵状态、不同站间堵塞时管道运行参数的变化情况，总结变化规律，说明管道堵塞时各站运行参数的特点。根据实验记录绘制管道在不同工况下的（ $H-Q$ ）曲线和水力坡降线，用图解法求出管路与泵站配合工作时的的工作点，比较曲线的不同并说明产生差异原因。

思考题

- (1) 计算管道中间有堵塞时，管道损失的能量？
- (2) 思考管道发生堵塞时，应如何处理？

3.5 管道泄漏工况实验

实验目的 学习长输管道的泄漏工作状态，通过实验了解管道泄漏的工作特性，学会判断长输管道泄漏事故的方法。

实验操作

- (1) 执行“二、实验操作原则”中的(1)、(2)项，各站变频开关处于“工频”状态。

开启各泵站单泵运行，管道泄漏实验

- (2) 1 泵站先倒单泵流程，开 101、107、108，2 泵站开 209、3 泵站开 309、4 泵站开 409，干线开 502、505、507、509、511，启动 1 站 1#泵，开 102。
- (3) 2 泵站倒单泵流程，开 201、207、208，启 2 站 1#泵，开 202，关 209，其余泵站和干线不变。
- (4) 3 泵站倒单泵流程，开 301、307、308，启 3 站 1#泵，开 302 关，309，其余泵站和干线不变。
- (5) 4 泵站倒单泵流程，开 401、407、408，启 4 站 1#泵，开 402，关 409，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (6) 开 504，用水桶接 504 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 504。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。
- (7) 开 506，用水桶接 506 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 506。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。
- (8) 开 508，用水桶接 508 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 508。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。

进行各泵站并联泵运行，管道泄漏实验

- (9) 1 泵站倒并联流程，开 106、103，启 1 站 2#泵，开 104，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (10) 2 泵站倒并联流程，开 206、203，启 2 站 2#泵，开 204，其余泵站和干线

不变。运行平稳后记录。

(11) 3 泵站倒并联流程，开 306、303，启 3 站 2#泵，开 304，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(12) 4 泵站倒并联流程，开 406、403，启 4 站 2#泵，开 404，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(13) 开 504，用水桶接 504 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 504。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。

(14) 开 506，用水桶接 506 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 506。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。

(15) 开 508，用水桶接 508 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 508。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。

进行各泵站串联泵运行，管道泄漏实验

(16) 各站恢复单泵运行，4 泵站停 2#泵，关 406、403、404；3 泵站停 2#泵，关 306、303、304；2 泵站停 2#泵，关 206、203、204；1 泵站停 2#泵，关 106、103、104。

(17) 1 泵站倒串联流程，开 105、103，启 1 站 2#泵，开 104，关 107，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(18) 2 泵站倒串联流程，开 205、203，启 2 站 2#泵，开 204，关 207，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(19) 3 泵站倒串联流程，开 305、303，启 3 站 2#泵，开 304，关 307，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(20) 4 泵站倒串联流程，开 405、403，启 4 站 2#泵，开 404，关 407，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(21) 开 504，用水桶接 504 阀的排水，同时用秒表记录时间，观察流量、各站进出压力变化现象，记录变化过程，待运行平稳后记录。然后关 504。记录泄漏时间，用台秤称量泄漏量，计算泄漏流量。

(22) 开 506, 用水桶接 506 阀的排水, 同时用秒表记录时间, 观察流量、各站进出压力变化现象, 记录变化过程, 待运行平稳后记录。然后关 506。记录泄漏时间, 用台秤称量泄漏量, 计算泄漏流量。

(23) 开 508, 用水桶接 508 阀的排水, 同时用秒表记录时间, 观察流量、各站进出压力变化现象, 记录变化过程, 待运行平稳后记录。然后关 508。记录泄漏时间, 用台秤称量泄漏量, 计算泄漏流量。

实验结束

(24) 各站恢复单泵运行, 4 泵站开 407, 停 2#泵, 关 405、403、404; 3 泵站开 307, 停 2#泵, 关 305、303、304; 2 泵站开 207, 停 2#泵, 关 205、203、204; 1 泵站开 107, 停 2#泵, 关 105、103、104。

(25) 各站停运, 4 泵站开 409, 停 1#泵, 关 407、402、401; 3 泵站开 309, 停 1#泵, 关 307、302、301; 2 泵站开 209, 停 1#泵, 关 207、202、201; 1 泵站停 1#泵, 关 107、102、101。

(26) 放水、扫线、关闭电源。

实验报告

(1) 记录内容

- ① 各站开泵状态, 泵的组合形式;
- ② 各站单泵运行时哪个站间泄漏;
- ③ 各站双泵并联运行时哪个站间泄漏;
- ④ 各站双泵串联运行时哪个站间泄漏;
- ⑤ 各站进站压力、泵出口压力、出站压力、上游流量、泄漏流量和下游流量。

(2) 报告要求

描述实验过程中不同开泵状态、不同站间泄漏时管道运行参数的变化情况, 总结变化规律, 说明管道泄漏时各站运行参数的特点。根据实验记录绘制管道在不同工况下的 ($H-Q$) 曲线和水力坡降线, 用图解法求出管路与泵站配合工作时的工作点, 比较曲线的不同并说明产生差异原因。

思考题

(1) 为什么发生泄漏后各站进出站压力均降低?

(2) 如何判断管道的泄漏点位置？

3.6 管道清管实验

实验目的 观察管道清管是清管器运动过程，学习根据牛顿定律以及流体力学理论分析清管过程，学习管道清管操作要领，分析验证清管器运动的不稳定特点；区分气相管道以及液相管道中清管的不同。

实验操作

- (1) 执行“二、实验操作原则”中的(1)、(2)项，各站变频开关处于“工频”状态。

开启各泵站单泵运行，管道清管实验

- (2) 1#泵站先倒单泵流程，开 101、107、108，2 泵站开 209、3 泵站开 309、4 泵站开 409，干线开 502、505、507、509、511，启动 1 站 1#泵，开 102。
- (3) 2#泵站倒单泵流程，开 201、207、208，启 2 站 1#泵，开 202，关 209，其余泵站和干线不变。
- (4) 3#泵站倒单泵流程，开 301、307、308，启 3 站 1#泵，开 302 关，309，其余泵站和干线不变。
- (5) 4#泵站倒单泵流程，开 401、407、408，启 4 站 1#泵，开 402，关 409，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (6) 打开 562、542、552，551，关闭 511、521，运行平稳后关闭 552。
- (7) 确认 581、582、583、584 关闭，记录管道运行数据，准备发射清管器。
- (8) 打开 541、561，关闭 551、552，观察清管器运行过程。
- (9) 接收清管器后，切换至正常流程，打开 511、521，关闭 541、551、561、552、562、542。
- (10) 打开 581、582、583、584，把收发球筒中的水排净，并吹扫。

进行各泵站并联泵运行，管道清管实验

- (11) 1#泵站倒并联流程，开 106、103，启 1 站 2#泵，开 104，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (12) 2#泵站倒并联流程，开 206、203，启 2 站 2#泵，开 204，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。
- (13) 3#泵站倒并联流程，开 306、303，启 3 站 2#泵，开 304，其余泵站和干

线不变。运行平稳后记录。

(14) 4#泵站倒并联流程，开 406、403，启 4 站 2#泵，开 404，其余泵站和干线不变。运行平稳后记录。

(15) 打开 562、542、552，551，关闭 511、521，运行平稳后关闭 552。

(16) 确认 581、582、583、584 关闭，记录管道运行数据，准备发射清管器。

(17) 打开 541、561，关闭 551、552，观察清管器运行过程。

(18) 接收清管器后，切换至正常流程，打开 511、521，关闭 541、551、561、552、562、542。

(19) 打开 581、582、583、584，把收发球筒中的水排净，并吹扫。

实验结束

(20) 各站恢复单泵运行，4 泵站开 407，停 2#泵，关 405、403、404；3 泵站开 307，停 2#泵，关 305、303、304；2 泵站开 207，停 2#泵，关 205、203、204；1 泵站开 107，停 2#泵，关 105、103、104。

(21) 各站停运，4 泵站开 409，停 1#泵，关 407、402、401；3 泵站开 309，停 1#泵，关 307、302、301；2 泵站开 209，停 1#泵，关 207、202、201；1 泵站停 1#泵，关 107、102、101。

(22) 放水、扫线、关闭电源。

实验报告

(1) 记录内容

① 各站开泵状态，泵的组合形式；

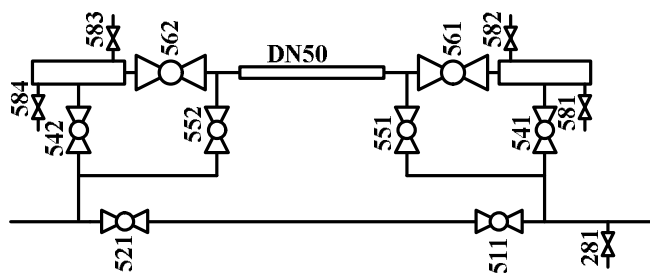
② 发球前后管道运行参数；

③ 清管器在管道中运行状态；

(2) 报告要求

描述实验过程中不同开泵状态、清管器在管道中的运行状态及管道运行参数的变化情况，说明清管器运行特点。计算清管器运行速度和摩阻损失。

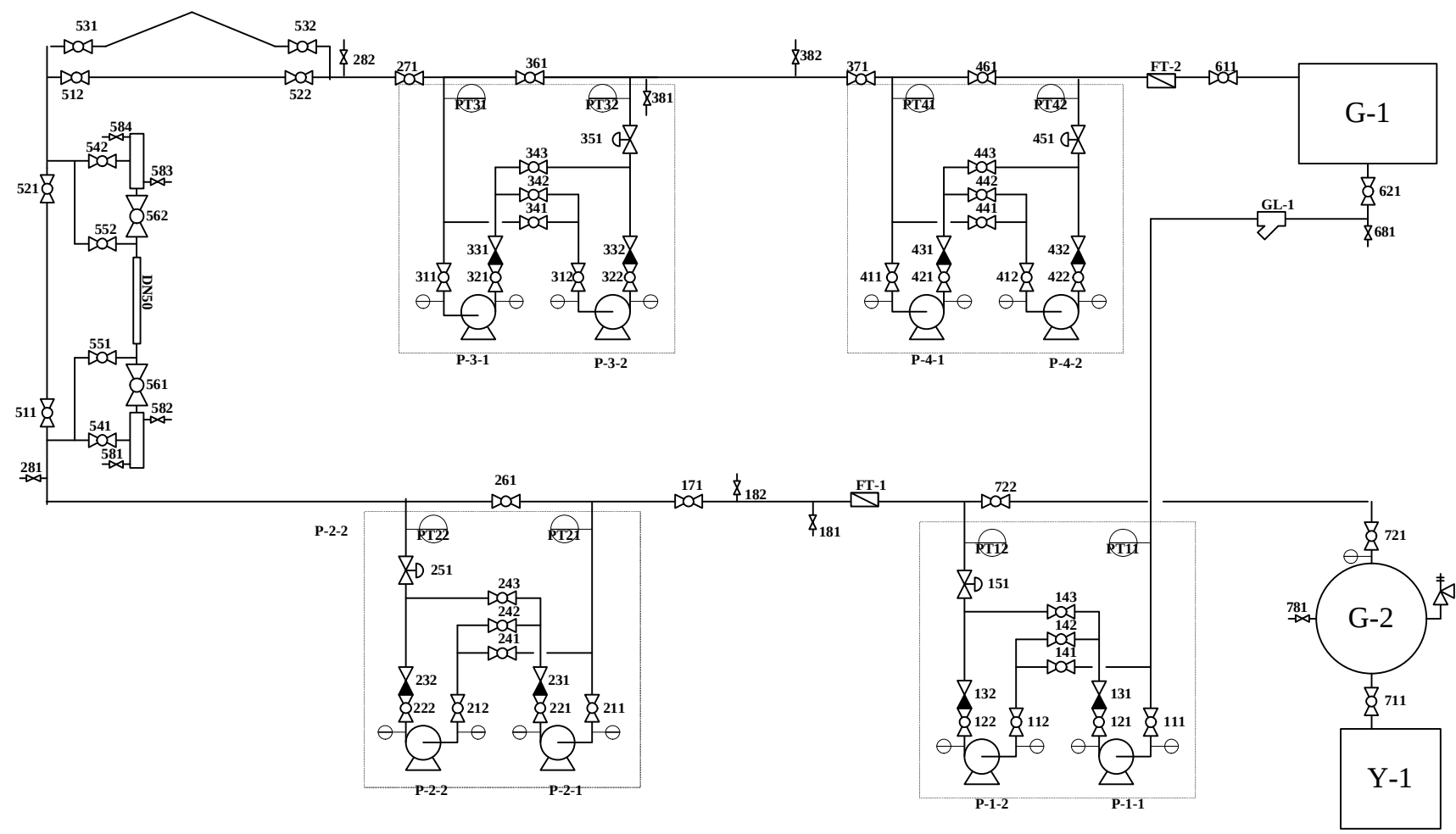
参照下图描述清管流程中阀门打开、关闭顺序。



思考题

- (1) 根据管道中的差压以及压力数据，分析清管器通过各个采压点的时间，并计算平均速度。
- (2) 管道清管过程中发生清管器卡堵的原因有哪些？对这些事故应采取何种方法解决？

附图 1 密闭输送实验装置流程图



附图 2 密闭输送实验装置配电示意图

