

# 格拉输油管线 工程技术总结选编

(设计部分)

总后格拉输油管线工程总结编写组

一九八〇年七月

# 前 言

格拉输油管线工程是敬爱的周总理生前于一九七二年五月三十日亲自批准建设的国家重点建设项目，北起青海省格尔木，南至西藏拉萨，全长一千零八十公里，建在“世界屋脊”的青藏高原，大部分处在海拔四千公尺以上的严寒缺氧地区，有五百六十公里处在常年冻土、冰椎、冰丘等不良地质地带；采用一条管线（ $\Phi 159 \times 6 \text{m/m}$ ）顺序输送汽油、柴油、航空煤油和灯用煤油；起点格尔木设油库一座、终点拉萨设油库两座（自治区和军区各一座）和油品分输站一座，中间设泵站11座。年输量为二十三至二十五万吨。

这项工程于一九七二年开始勘测设计，一九七三年动工兴建，一九七七年基本建成并正式输油。在有关单位的大力支援协助下，参加工程设计的人员克服了许多困难，圆满地完成了设计任务。为总结交流经验，我们将这项工程的主要设计单位——石油部第二炼油设计研究院和总后基建营房部设计院的有关专题技术总结选编一部分出版，供有关专业、技术部门参考。

由于经验和水平所限，这个选编难免有错误和不妥之处，望批评指正。

总后格拉输油管线工程总结编写组

一九八零年七月

# 目 录

## 一. 成品油顺序输送

|                    |      |
|--------------------|------|
| 顺序输送的水力特性.....     | (1)  |
| 顺序输送工艺流程及自动控制..... | (11) |
| 混油的特性、分输及处理.....   | (23) |

## 二. 顺序输送控制和检测

|               |      |
|---------------|------|
| 控制流程的分析.....  | (41) |
| 超声波油品检测仪..... | (43) |

## 三. 线路工程技术总结

|                      |      |
|----------------------|------|
| 多年冻土地区管线埋设深度的确定..... | (54) |
| 不良地质地段的线路处理.....     | (57) |
| 合理选定穿越河流的方式.....     | (59) |
| 当雄地震区的管线抗震措施.....    | (60) |
| 管线防腐.....            | (61) |
| 关于管线清扫问题.....        | (64) |

## 四. 阴极保护设计

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 阴极保护的设计依据.....               | (68) |
| 牺牲阳极保护的实测和试验.....            | (71) |
| 深井接地极试验.....                 | (73) |
| 延长阴极保护距离的试验.....             | (74) |
| 饱和硫酸铜参比电极防冻和高原阴极保护的电源问题..... | (77) |
| 小结.....                      | (78) |

## 五. 柴油机废热利用

|               |      |
|---------------|------|
| 概述.....       | (79) |
| 柴油发电机房简况..... | (79) |

|              |      |
|--------------|------|
| 柴油机废热利用..... | (83) |
|--------------|------|

|                  |      |
|------------------|------|
| 柴油机废热利用设想流程..... | (88) |
|------------------|------|

|                        |      |
|------------------------|------|
| 六.柴油发电站电气设计中的几个问题..... | (90) |
|------------------------|------|

## 七.多年冻土地区生产用房设计

|                |      |
|----------------|------|
| 工程地质、地貌简介..... | (98) |
|----------------|------|

|                  |      |
|------------------|------|
| 设计基本原则及方案选择..... | (99) |
|------------------|------|

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 架空地板的设计及计算..... | (100) |
|-----------------|-------|

|               |       |
|---------------|-------|
| 桩基的设计和计算..... | (107) |
|---------------|-------|

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 施工过程中出现的问题..... | (110) |
|-----------------|-------|

|         |       |
|---------|-------|
| 结语..... | (114) |
|---------|-------|

# 成品油顺序输送

石油部第二炼油设计研究院

总后基建营房部设计院

格尔木至拉萨输油管线（以下简称格拉管线），是我国第一条长距离成品油顺序输送的输油管线。本文根据这条管线的特点，仅对顺序输送中的水力特性、工艺流程、混油特性和混油处理等问题，初步总结如下。

## 一、顺序输送的水力特性

### （一）顺序输送水力特性的分析

用一条管线输送多种油品，对于泵站要具体地分析输送不同油品时泵站工艺参数的变化情况——两站之间周期地换输各种油品时管线与泵的工作情况，和顺序输送两种油品时管路与泵的工作情况。另外还要分析对比整个输油管线在顺序输送过程中，各个泵站不同的工作情况。合理的工艺设计应该是在这些分析的基础上，来确定整个管线的输油方式，配泵方式和泵站布置等原则，选定泵站的工艺流程和自动控制方式，并且进一步研究合理利用泵站的能量问题。

#### 1. 对所输油品的分析

格拉管线首先是按照轻柴油的条件进行工艺设计的；计算水力坡降，画出柴油的管路特性曲线，确定泵的扬程和进行泵站布置等。根据柴油确定的额定设计流量为 $42\text{米}^3/\text{时}$ ，选定单泵流量为 $20\sim 25\text{米}^3/\text{时}$ ，泵扬程为 $600\sim 700$ 米。而后再按汽油的条件进行复核，根据泵站综合工作特性图所表明的工作范围，具体分析在满足柴油输送的要求下，二者是可以兼顾的，并且在输送汽油时能量有一定富裕。

#### 2. 顺序输送的管路特性

对于每一个泵站来说，输送几种油品就有几条管路特性曲线（以16、19、22、26号泵站为例见图1-1）。由图1-1可以看出，泵站与泵站之间的条件各不相同，

每个泵站的两条管路特性曲线之间的变化情况也不一样，就需要逐站分析顺序输送两种油品时管路特性的变化特征。

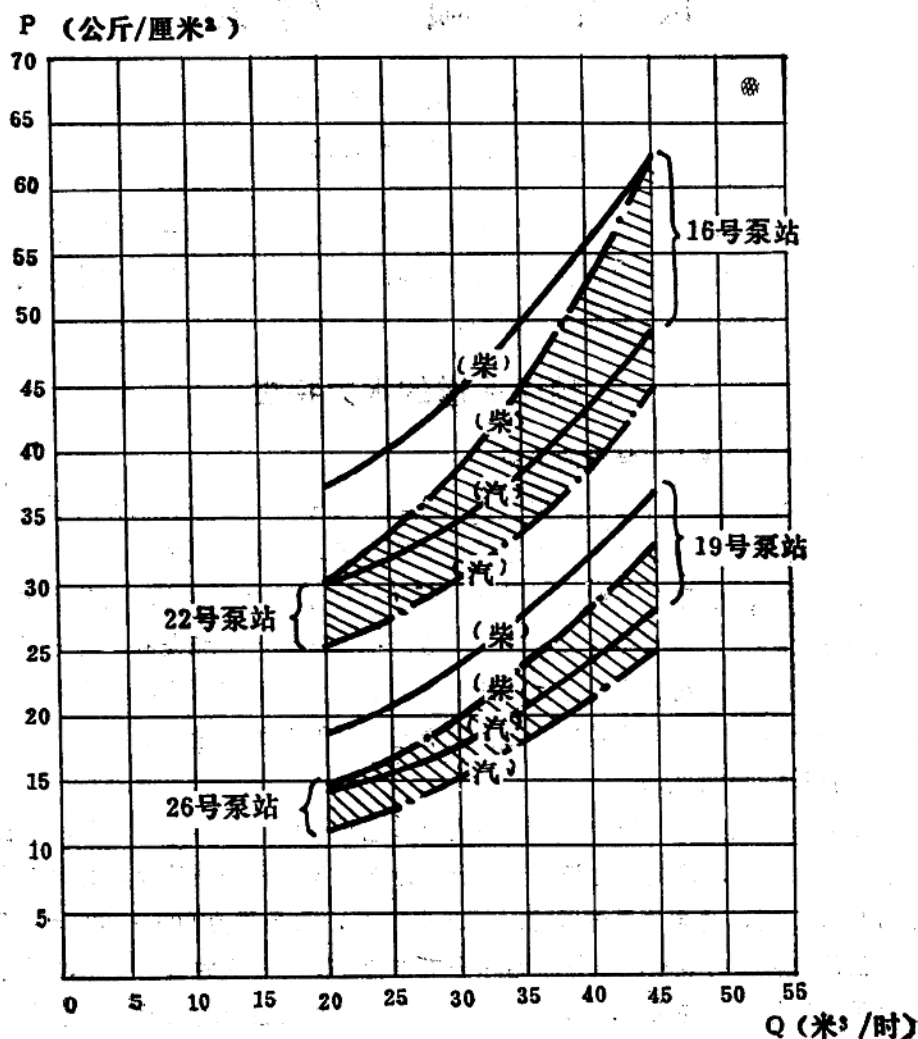


图 1—1 泵站输送汽油柴油的管路特性曲线

在两站之间顺序输送两种油品的过程，就是由一种油的管路特性曲线最终过渡到另一种油的管路特性曲线的过程。这个变化过程具有变化“不等速”和有时

会出现过程的反复的特征。数值变化情况遵循下列公式的函数关系：

出站压力 $P_2$  公式：

$$P_2 = \frac{r_2 (Z + i_1 L)}{10^4} + \frac{Z_2 (r_2 - r_1)}{10^4} + \frac{L_2 (i_2 r_2 - i_1 r_1)}{10^4} + P_1$$

注号“1”代表前行油品；“2”代表后行油品。

公式： $P_1, P_2$  —— 进出站压力（公斤/厘米<sup>2</sup>）；

$Z, L$  —— 位差和距离（米）；

$r_1, r_2$  —— 前后两种油品重度（公斤/米<sup>3</sup>）。

公式符号含义详见图1-2。

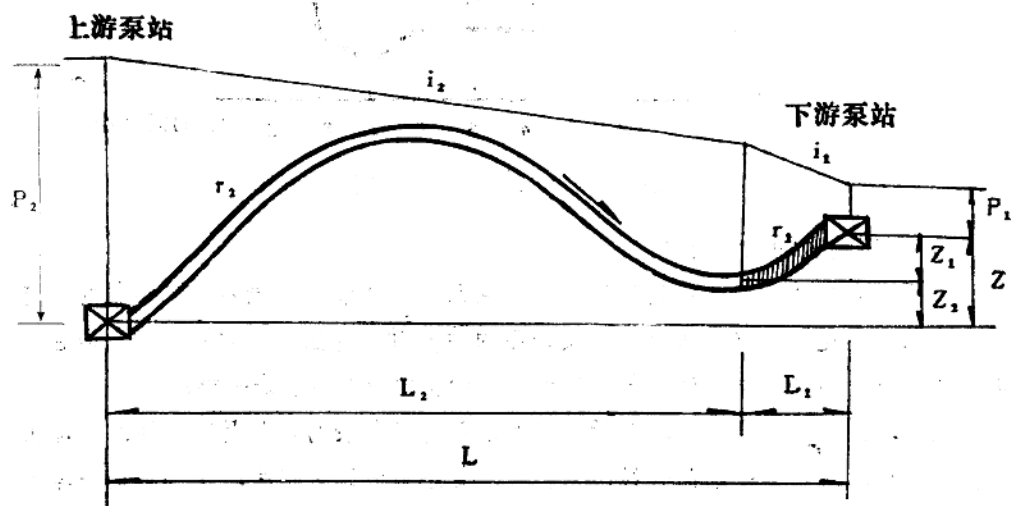


图 1-2 顺序输送水力坡降图

公式中的 $Z_2, L_2$  两项是相对上游泵站的两个变数，所以 $P_2 = f(Z_2, L_2)$ ，即是：泵站的出站压力是随着混油段前进时所处位置的高差以及前行距离的改变而变化的。

如果流量不变， $L_2$  值就是“等速”地随着混油段的向前推移而变化，公式中的第三项是“等速”地变大（柴油顶汽油的顺序）或等速的变小（汽油顶柴油的顺序）。

$Z_2$  的变化是随着混油界面所处位置的地形起伏而变化的,因此公式中第二项的变化是波动性的,而且在地形的最高点和最低点处有极值。

综合 $Z_2$ 、 $L_2$  两项因素在内的 $P_2$  公式包含了上述两种变化的特点,所以具有变化“不等速”和会出现高低反复的特征。图1-3是试验站的实验情况。

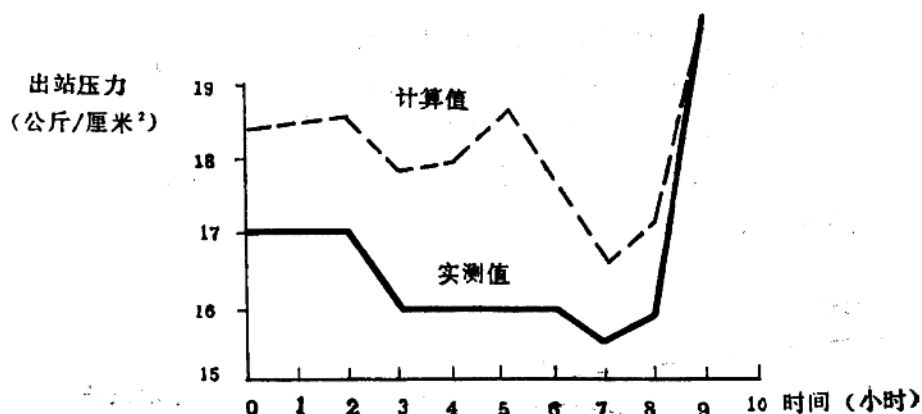


图 1—3 试验管线“出站压力——时间”曲线图

### 3. 顺序输送的油泵特性

用同一台离心油泵不论输送哪种轻质油品,以“液柱”表示油泵扬程的泵特性曲线基本上是一条(如果忽略轻质油品的粘度对泵特性曲线的影响),即在一定的流量下,不论输送汽油还是轻柴油,泵给出的扬程 $H$ 值是一样的。

但是,泵的同一扬程值,对于不同的油品它所代表的能量是不一样的,即压力值不一样。对于单一油品管线,泵扬程,管路沿线摩阻损失,总压头损失等的“液柱”概念是指同一液体的;对于多种油品顺序输送管线,泵里的油品和管线里的油品往往是不相同的,如仍用“液柱”表示,就要随时地逐个的加以指明,对于分析问题不利;因此,在本文中对于泵特性曲线和管路特性曲线都是采用“压力( $P$ )——流量( $Q$ )”座标系统表示的。

不同的配泵方式给出不同的泵工作点范围。格拉管线用高低压离心泵“又并又串”形式组成的配泵方式,由泵特性曲线围成的泵工作点范围见图1-4所示:

### 4. 顺序输送的泵站综合工作特性

(1) 每个泵站各异的管路特性与一定的配泵方式下的泵特性,共同构成泵



P (斤公/厘米<sup>2</sup>)

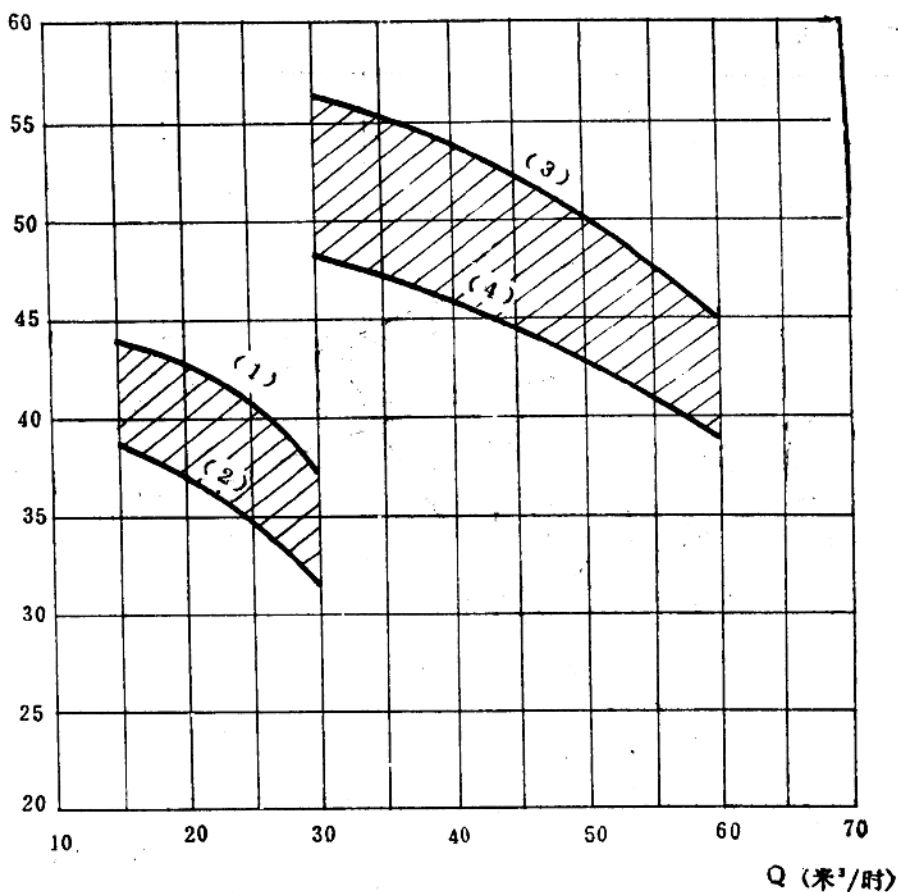


图 1—4 油泵特性曲线图

- 注: <1> 65y—50×12型油泵 (输柴油);  
 <2> 65y—50×12型油泵 (输汽油);  
 <3> 65y—50×12型二台串65y—100型二台 (输柴油);  
 <4> 65y—50×12型二台串65y—100型二台 (输汽油);

站系统的综合工作特性。综合工作特性可以表示出来泵站系统工作点的变化情况, 流量和压力的变化范围及其最大值, 管路、泵和调节之间的矛盾关系等; 根据综合工作特性来确定泵站的最优设计工作范围。

以22号泵站为例，绘出泵站综合工作特性见图1-5。

$P$  (斤公/厘米<sup>2</sup>)

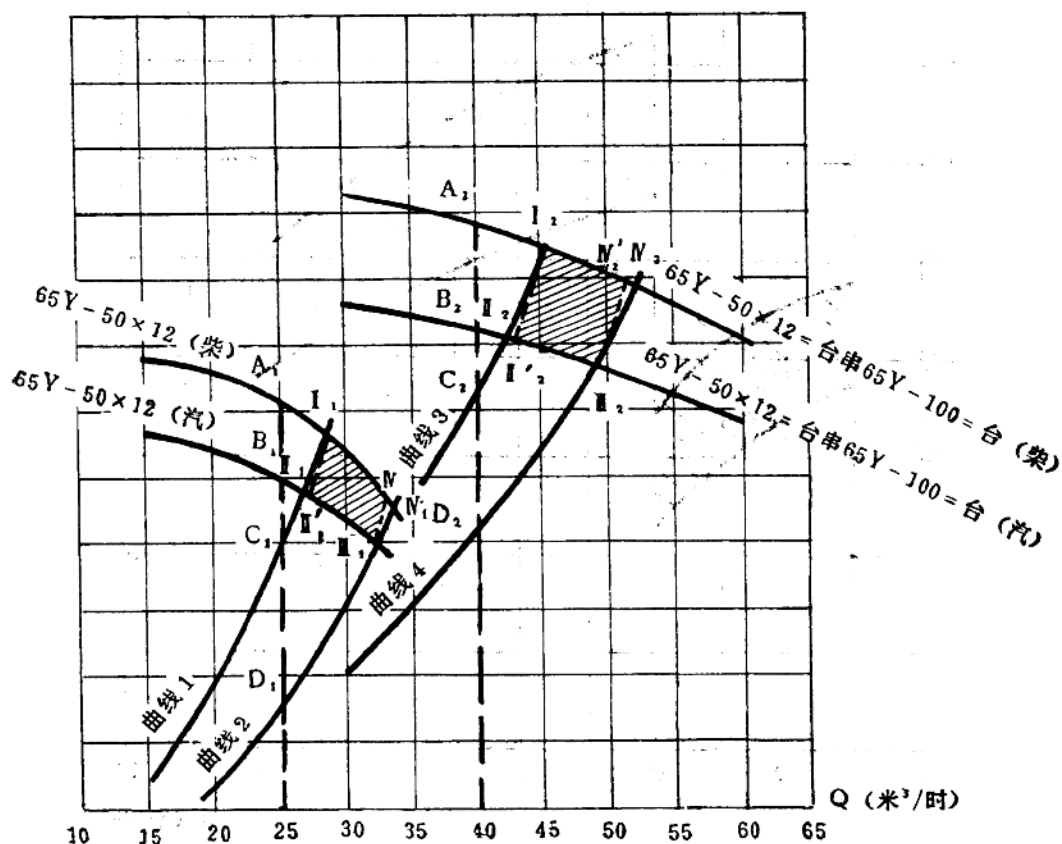


图 1—5 22号泵站综合工作特性图

图中曲线 1：22号—26号站间输柴油时的管路特性曲线；

曲线 2：22号—26号站间输汽油时的管路特性曲线；

曲线 3：22号—29号站间输柴油时的管路特性曲线；

曲线 4：22号—29号站间输汽油时的管路特性曲线；

(2) “方框工作范围”——不加控制地顺序输送两种油品。

如果流量不加控制，按照泵本身所具有的能力“自由”地输油，泵的工艺参数就是在“Ⅰ—Ⅱ—Ⅲ—Ⅳ”方框范围内变化的；有以下几个特点：

- a. 流量是在Ⅱ点（最小流量）和Ⅳ点（最大流量）范围内变化；
- b. 压力是在Ⅰ点（最高压力）和Ⅲ点（最低压力）范围内变化；
- c. 从Ⅰ到Ⅱ、从Ⅲ到Ⅳ的过渡是混油段通过油泵时的变化过程，是在短时间内完成的，油泵的流量相应的会发生突变；
- d. 从Ⅱ到Ⅲ，从Ⅳ到Ⅰ的过渡是两种油品在两站之间顺序输送的整个过程内完成的，油泵流量发生缓慢的变化；
- e. Ⅱ'2 点是方框内的最小流量点；即管线内仍是柴油而泵内已开始进入汽油，如果要求流量再大过Ⅱ'2 点，则泵压是不够的；因此，Ⅱ'2 点应是泵站工艺设计最大流量点。但是，Ⅱ'2 停留的时间不长，在常年输送过程中所占的时间比例很小，以Ⅱ'2 点为最大设计流量点时，留有相当大的余地。
- f. 每个泵站的综合工作特性各不一样，要贯穿起全部泵站进行分析对比，使所有的泵站都应该能在适宜的工作范围内工作；同时又要使全线泵站之间工作协调合理。

## （二）输油方式和调节特点

### 1. 不加控制地“自由”输油方式存在的问题

如果每个泵站都是利用油泵的能力不加控制地进行输油，则每个泵站的流量就会各不相同，进出泵站的流量就有差别，需要在泵站设置一定容量的油罐调剂站间的流量差。而顺序输送所发生的流量差不像是在输送一种油品情况下形成的那样，而是波动变化的。全线各泵站若是用缓冲油罐来平衡“自由”输油所造成的进出站流量差，则是一项十分复杂的工作。所以，格拉管线采用的是定量控制的输油方式。

### 2. “直线工作范围”——定量控制输油方式

这种输油方式是在一定的年输油任务的要求下，确定一个所有泵站共同遵守的规定流量，各个泵站采用自动控制出站流量的方式定量输油。

用定量控制的输油方式顺序输送两种油品，泵站的综合工作特性就由“自由”输油的Ⅰ—Ⅱ—Ⅲ—Ⅳ方框工作范围转化为A—B—C—D直线工作范围见图1-5。

直线工作范围有以下几个特点：

- （1）直线工作范围与方框工作范围成下列对应关系：

| 直 线 范 围 | AC         | BC               | BD         | AD              |
|---------|------------|------------------|------------|-----------------|
| 方 框 范 围 | I          | I                | II         | IV              |
| 说 明     | 泵内和管路内都是柴油 | 泵内进入汽油, 管路内仍是柴油, | 泵内和管路内都是汽油 | 泵内进入柴油, 管路内仍是汽油 |

(2) A—B—C—D直线上的泵特性曲线与管路特性曲线之间的压差, 就是要求调节阀进行调节的压差。在实际运行中, 调节压差变化顺序表现为以下两种形式:

a. AC<sub>—泵变—</sub>BC<sub>—管路变—</sub>BD: 表示“汽顶柴”混油段过站前、过站时和过站后的变化情况。

b. BD<sub>—泵变—</sub>AD<sub>—管路变—</sub>AC: 表示“柴顶汽”混油段过站前, 过站时和过站后的变化情况。

(3) AC、BD 是输送柴油、汽油时调节阀在较长时间里稳定的压差值, 这两个数值不应该过大, 否则对于长期输油是不经济的。例如图 1-5 中 22 号泵站在 40 米<sup>3</sup>/时流量时的 AC = 13 公斤/厘米<sup>2</sup>, BC = 15 公斤/厘米<sup>2</sup>, 这是不合理的, 应从工艺设计或调节方式上解决。

(4) BC 段是调节阀最小调节压差, AD 段为最大调节压差, 调节阀应在 AD、BC 的变化范围内, 调节性能良好。

(5) 在采用调节阀控制定量输油的情况下, 为保证调节阀能起调节作用的最小调节压差 BC 值, 实际达不到方框上最大设计点 II'。所以, 在定量控制时实际所能达到的流量, 是由最小调节压差 BC 值所决定的直线对应的流量值。若大过这个流量输油, 就不再使用调节阀, 只能改为利用泵出口阀门等方式进行调节或不加控制进行输油。

### (三) 顺序输送的控制方法:

顺序输送管线输送量确定以后, 管线内油品流速即已确定。所需要的压力, 随两种或两种以上油品的性质和比例而变。所以, 即使是在同一流量的下, 压力也是不断变化的。即在流量和压力之间存在着对应关系。因此, 顺序输送控制方

法，可以采用定压或定量输送。

对于流量和压力需要调节的幅度比较大的，用高低压油泵并、串联的配泵方式来解决；

对于顺序输送过程中变化幅度不很大的出站压力波动，主要依靠用调节阀进行自动调节。如在顺序输送时，当第二种油品进入管线以后，随混油界面在管线中的运行，管线的压力不断地变化，流量也随之不断地变化。这就要求泵出口调节阀不断地改变节流的压力，使流量保持不变。当重度和粘度较小的油品顶着重度和粘度较大的油品前进时，管线压力损失不断减小，调节阀门就自动不断关小，增大节流压力；反之，调节阀门就自动不断开大，减小节流压力。这样使管线压力损失保持在第一种油品时的压力损失，流量也保持在原给定流量不变。这就是所谓的流量控制系统的“定压差”控制。这种调节方式是利用泵出口调节阀门，控制泵的操作点。

为了满足输量不变、压力变化的要求，还可采用如下的控制方法。

1. 调正电机的转数，来控制泵的操作点。

2. 利用电动机与泵之间的变速装置，控制泵的操作点。

3. 如果泵站的机泵是串联布置，可改变泵的台数，使流量维持平衡，适应压力的变化。

#### （四）顺序输送管线压力计算：

顺序输送不同油品时，在相邻两个泵站之间的管线中，经常存在两种油品见图1-6。

设第一种油品（前行油品）与第二种油品（后行油品）的混油界面为 I，假设两种油品的接触是一个理想的截面，不考虑混油长度的影响，在流量基本不变，管线没有翻越点的情况下，沿线各点的压力计算如下：

在第一种油品管段内任意点 A 的压力（公斤/厘米<sup>2</sup>）为：

$$P_a = P_{\text{进}} + (Z_a + i_1 L_a) \frac{\gamma_1}{10^4} \dots\dots (1)$$

式中：P<sub>进</sub>：下游泵站进站压力（公斤/厘米<sup>2</sup>）

Z<sub>a</sub>：A 点对于下游泵站的标高差（米液柱）（低于下游泵站为正，高于下游泵站为负。）

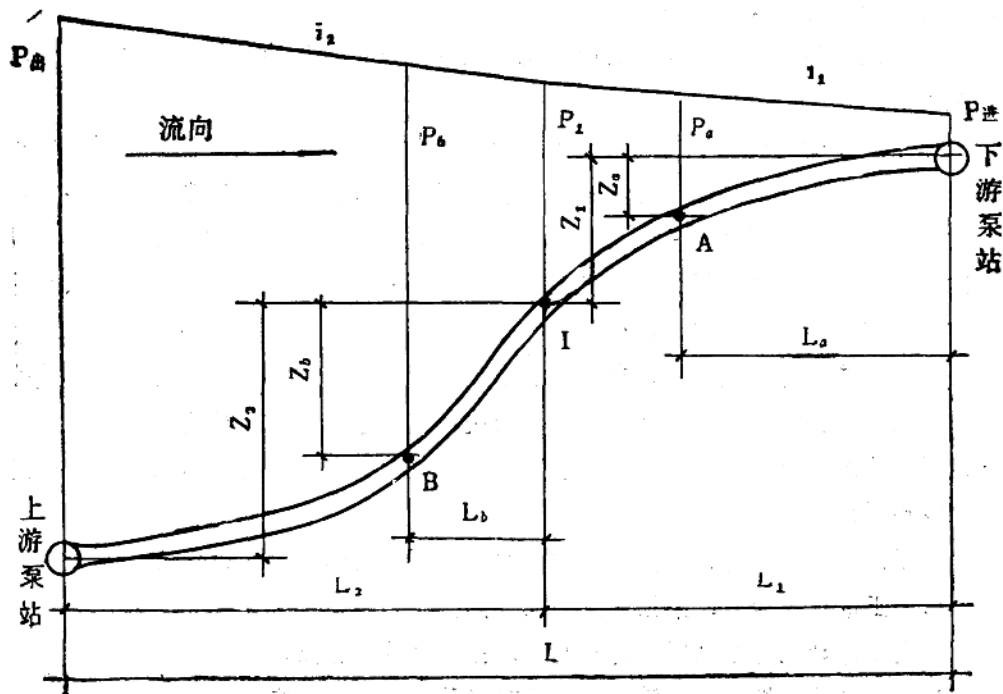


图 1—6 两种油品顺序输送管道示意图

$L_a$ : A点至下游泵站的管线长度(米)

$i_1$ : 第一种油品在输送条件下的水力坡降(米/米)

$r_1$ : 第一种油品在输送条件下的重度(公斤/米<sup>3</sup>)

在第二种油品管线内任意点B的压力(公斤/厘米<sup>2</sup>)为:

$$P_b = P_{进} + (Z_1 + i_1 L_1) \frac{r_1}{10^4} + (Z_b + i_2 L_b) \frac{r_2}{10^4} \dots\dots (2)$$

式中:  $Z_1$ : 混油界面 I 对于下游泵站的标高差(米)

$Z_b$ : B点对于混油界面 I 的标高差(米)

$L_1$ : 混油界 I 至下游泵站的管段长度(米)

$L_b$ : B点至混油界面 I 的管段长度(米)

$i_2$ : 第二种油品在输送条件下的水力坡降(米/米)

$r_2$ ：第二种油品在输送条件下的重度（公斤/米<sup>3</sup>）  
混油界面 I 处压力（公斤/厘米<sup>2</sup>）为：

$$P_I = P_{\text{进}} + (Z_1 + i_1 L_1) \frac{r_1}{10^4} \dots\dots (3)$$

上游泵站的出站压力（公斤/厘米<sup>2</sup>）为：

$$P_{\text{出}} = P_{\text{进}} + (Z_1 + i_1 L_1) \frac{r_1}{10^4} + (Z_2 + i_2 L_2) \frac{r_2}{10^4} \dots\dots (4)$$

式中： $Z_2$ ：上游泵站对于混油界面 I 的标高差（米）

$L_2$ ：上游泵站至混油界面 I 的管线长度（米）

注：在公式(1)(2)(3)(4)中，忽略了速度头。

从公式(1)可以看出，如输送流量、温度不变时，油品的水力坡降 $i_1$ 和重度 $r_1$ 不变，下游泵站进站压力 $P_{\text{进}}$ 不变，而第一种油品管段内任意点 A 的压力，只决定于对下游泵站的标高差和该点至下游泵站的管段长度，而与混油界面的位置无关。

从公式(2)中可以看出，在输送流量、温度和下游泵站进站压力不变的条件下，第二种油品管段内任意点 B 的压力，随混油界面 I 的位置的变化而变化。

## 二、顺序输送工艺流程及自动控制

### (一) 输油管线总工艺流程设计：

总工艺流程设计包含下列内容：

1. 把起、终点油库，中间泵站和分输站组成一个全线贯通的输油整体。

由于顺序输送具有输送连续性强的特点，要求油库与泵站之间，泵站与泵站之间和分输站与油库之间的联系十分密切。目前存在的主要问题，是分输站油品分输与油库的进油之间，多次出现过油路截断而使分输站憋压的事故，应该采用信号联系，操作联动和安全保护等措施来解决。

附：格拉输油管线总工艺流程图，见图2-1。

2. 合理地确定油库的库容和配置各类油品的油罐。

3. 兼顾远近期的输油要求，并且要照顾到泵站与沿途兵站和某些地理位置结合的原则布置泵站。

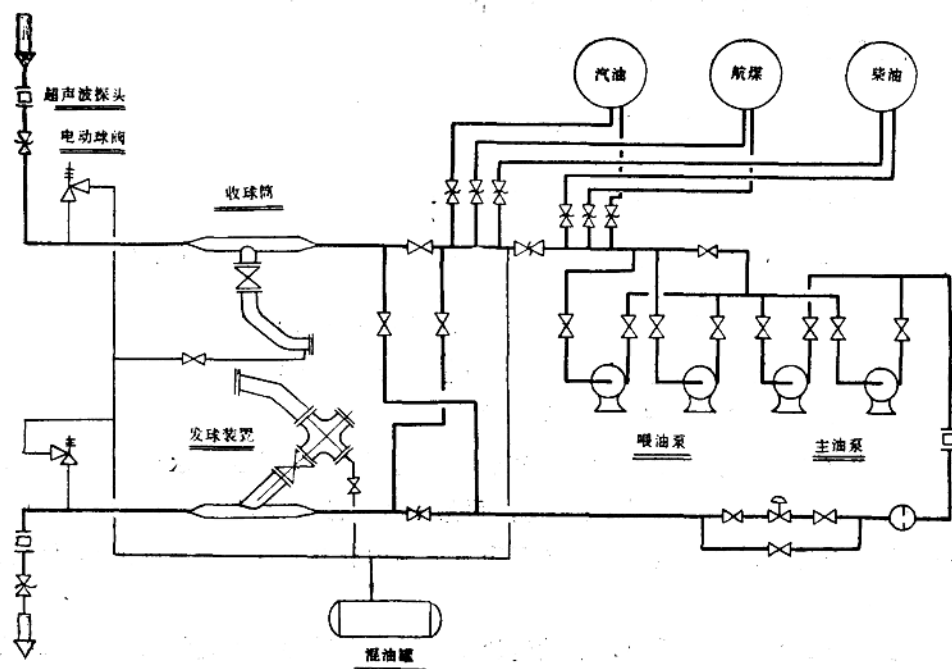


图 2-2 泵站工艺流程简图

4. 安排向各中间泵站，沿途的部队和地方加油站以及机场供油。

5. 确定在管线终点分输和处理混油的方式。

## (二) 泵站工艺流程：

泵站工艺流程，要满足试运投产；正常输送；停输再启动等的操作要求。并要考虑到可能发生的意外事故。例如在格拉输油管线设计中，泵站工艺流程设计是以“旁接油罐”流程为主，“泵接泵”流程为辅。所以，在泵站工艺流程设计中考虑了以下操作方法和几种流程，见图2-2。

### 1. 正常输送流程：

(1) 旁接油罐流程：即上站泵接下站泵，在下站设油罐与干线相接，当两个泵站间输量不平衡时，旁接油罐可起缓冲调节作用。这种流程操作灵活，控制方便，流量稳定。在生产过程中各泵站输量基本没有变化，一般情况下油罐液面波动不大。



(2) 泵接泵流程：即上站泵接下站泵，密闭输送。可以避免中间泵站油罐中油品的蒸发损耗。

当顺序输送油品混油段通过泵站时，为了减少混油，防止混油进入泵站旁接油罐，采用相邻两泵站“泵接泵”流程操作。或者，当泵站内油罐清洗或事故情况下，也可采用“泵接泵”流程操作，保持正常运行。

## 2. 反输流程

为了防止输油管线在冬季短期停输时，管内柴油由于外界温度太低，地上裸露管线可能因析蜡而堵塞。在1—16号泵站之间，泵站均设置了反输流程。而16号~29号泵站之间，由于站间距离长，位差大，未设置反输流程。

## 3. 投产初期及事故处理流程：

(1) “泵到罐”流程：即上站泵经下站罐进下站泵。油罐既可调节输量，又可排出空气，沉降杂质。但是由于油罐内油品扰动激烈，蒸发损耗较大。所以只当输油管线投产初期，为了方便操作，熟悉操作过程，才采用“泵到罐”流程。

(2) “越站”流程：输油过程中，当某个泵站因事故不能输油时，可以降低越站操作。

## 4. 站内循环及倒罐流程：

(1) 站内循环流程：为满足泵站在投产前，冲洗管线、水联运、油联运及考核设备的需要，设置了站内循环流程。

(2) 倒罐流程：为泵站内油罐事故的处理和检修，设置了倒罐流程。

## (三) 泵站工艺流程自动控制

根据工艺操作，控制流程如图2-3。

从图中可以看出，(1)(2)两种流程，仪表控制是相同的。两泵站之间有缓冲油罐，输油量允许波动。泵接泵流程，完全受上一个泵站排量的限制，下游泵站必须与上游泵站同样的流量输送。因此，必须针对不同的工艺操作流程，选择相应的控制方案，以适应压力和流量不断变化的要求。

### 1. 旁接油罐流程的自动控制：

旁接油罐流程，泵入口的压力比较稳定。在旁接油罐上设置了测量液位的差压变送器。全线各中间泵站，尽管流量调节仪表选型相同，压差量程相同，每块仪表的差异还是存在的。也即是各中间泵站流量表的给定值都定为相同的流量，各