

输油管道可变速泵机组 的最佳控制方案

蒲家宁 李国华 陈国斌

1. 基本要求

对于从泵到泵的密闭输油管道系统(以下简称输油管道),常采用可变速泵机组作为泵送装置,而泵机组的控制乃是保证输油安全、提高经济效益等方面的重要课题。

可变速泵机组的控制是以控制其转速的方法来实现的。根据输油工艺的要求,泵机组的自动控制应当满足以下四个基本要求:

- A. 自动给定转速,使管道在整定的参数下运行,工况最优;
- B. 保证管道运行有最大的稳定性;
- C. 自动地、波动最小地实现从一种工况向另一种工况的过度;
- D. 防止在强烈水击时发生泵汽蚀和线路超压。

2. 现行技术

目前,国外的输油管道可变速泵机组的自动控制有以下两种方式:

(1) 美式(包括西方国家) 当泵的进入压力低于最低极限或泵排出压力高于最高极限时,自动控制系统立即降低机组转速,并将机组停运。机组的运行转速人工给定。控制过程如图1(a)所示。西德还在泵机组进入管和排出管之间设置回流阀,用回流方法作为机组停运前的预保护。

(2) 苏式(60年代控制方法) 规定进出口压力定值,转速自动调节以保持进出口压力为定值;当排出压力超过极限值时,自动降至最低转速。控制过程如图1(b)所示。

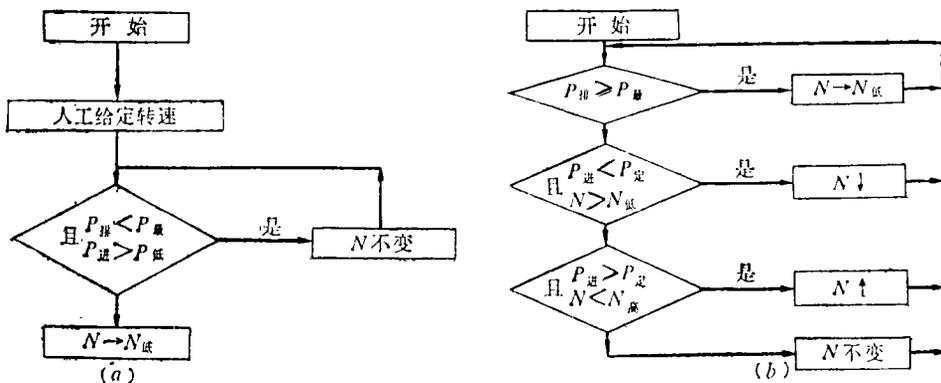


图1 可变速泵机组控制过程图

P进—进入实际压力; N低—机组最低转速; P定—进入定值压力;
N高—机组最高转速; P低—进入压力极限; N—机组实际转速;
P最—排出压力极限; P排—排出实际压力;

用上述的四个基本要求来衡量美、苏两种控制方式可以看出,美式能保证输油安全,但缺乏自动给定转速和自动实现工况过度的功能;苏式有自动给定转速和防止泵汽蚀、防止排压过高的功能,常被认为是比较健全的控制方式。因此,苏式控制概念对我国的影响很深。早期,国内设计和建造的成品油固定长输管道输油泵站就是采用苏式控制方式,其泵机组是定速的,用调节阀来保持进口压力不变。

但是,现代控制原理和我们近20年的实践表明,把保持泵进口压力不变作为输油管道工况的基本控制状态是完全错误的,而且苏联现在在现代大型管道上已不采用这种控制方式。其原因有以下3点:

A. 从经济角度看,管道输送的最低工况是在服从工艺约束的条件下,最大限度地发挥泵送机组的增压能力和管道设备的承载能力,在已定的泵压和管道强度下,由于油品和温度等的变化,输量是不同的,应当任其变化。而用保持进口压力不变的方式,实际上是定量输送,为了不超压,实际上只能采用最小输量,故必然人为地限制管道的输油能力,降低了经济效益。

B. 从安全角度看,保持进口压力为定值的控制与水击控制和增压控制彼此矛盾。例如,当下游因机组减速或停运以及关阀而导致上游增压时,上站点机组理应降速(至少不增速)作出保护性反应,但这种控制却使机组增速,以增压迎击增压。这种对着干的动作极易导致事故的发生。

C. 从工况调节角度看,保持某一参数为定值的控制不利于全线工况的稳定,这会丧失全线压能自动统一分配的优越性,也会断送某中间泵站停运后全线自动转入越站输送的可能性。因为,在输油过程中运行参数常常会自然地有些变动,这并无不利之处,置之不理。一变就调,反而会增加扰动;这种控制把各个泵站变成以进站口为界的相对独立的输送单元,使全线在水力上的统一性受到破坏;停输站的上游站为保持其进站压力不变,将把转速升到极限,必然造成排出压力超压,导致机组的超压保护装置动作而停机,使各站相继出现“骨牌效应”(多米诺效应),最终导致全线停运。

由此可见,可变速泵机组的现行控制方法,或者不完备,或者有原则性的错误,必须改进或改变。

3. 推出新方案

国外的可变速泵机组仅用于某一特定的工艺条件。参考这些专利,结合输油管道的特点,推出如图2的新控制方案。

此方案有以下四个基本特点:

A. 具有自动增速和自动降速的功能。当进压大于运行必需的压力且排压小于运行所要求的排压时,机组自动增速,以提供所需要的泵送压力;当进压低于允许的最低值或排压超过允许的最高值时,机组自动降速,以防止泵发生汽蚀或线路发生超压。

这两个功能相互配合,又可自动地把管道系统置于唯一的输油工况上。如图3所示,管线两端的上端压力 and 下端压力双双受到限制,其上端压力为末站的排压,下端压力为终端油罐液面上的压力或翻越点的压力(均为0),它们构成的水力坡降线是全

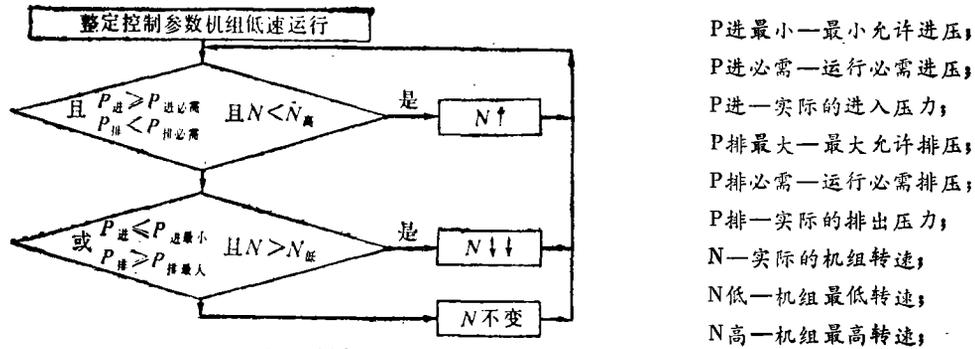


图2 新控制方案

线的基准坡降线。限制段的个数和位置可随各站的控制参数整定值的不同而异，但最佳的整定应使它仅在尾段，由它决定全线的工况。

B. 转速慢升快降。这样可以防止在调节过程中转速降而复升，升而复降，反复振荡的恶果。从控制的性质来说这也是合理的；升速是泵送控制，允许从容不迫地进行；降速是安全控制，必须刻不容缓地进行。

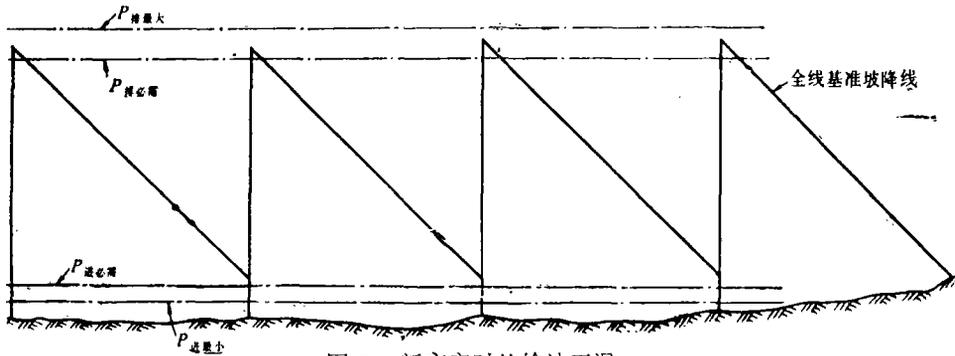


图3 新方案时的输油工况

C. 对进站压力和排出压力只实行限值控制，而不实行定值控制。其优点是：在正常输油过程中机组转速一般是不变的，因而输油工况具有最大的稳定性。

D. 可以在一个中间泵站停运时自动转入越站输送。以一段管线的F站停运为例来说明此作用（其输油工况见图4）。F站停运时，分别向上游E站和下游G站发送增压波和减压波，造成E站排压上升，G站发送增压波和减压波，造成E站排压上升，G站进压下降。E站排压达到最大允许值，机组即降速，降到排压为泵送必需数值为止，并向下游发出减压波，抵销从下游传来的增压波而且绰绰有余；使减压波经过之处压力迅速下降；G站进压很快降至最小允许进压而导致机组降速，把进压维持在整定值上。以后，E站转速可能一降再降（其间也许有升速现象），排压则在两个整定值之间升而复降，降而复升；G站的转速可能降而复升，进站压力则保持在最小允许进站压力之上，最后形成图4虚线所示的越站输送工况。这时，管道的限制段是E—G段。

上述机组自动控制方案对管道稳态工况的控制是有效的，但对其非稳态工况的控制还不完备。因为管道水击的初期强度可达0.8~1 MPa/s，而泵机组对水击的控制性质上属于被动控制，不能防止线路上可能出现的早先超压。如图4所示，当中间泵站F停

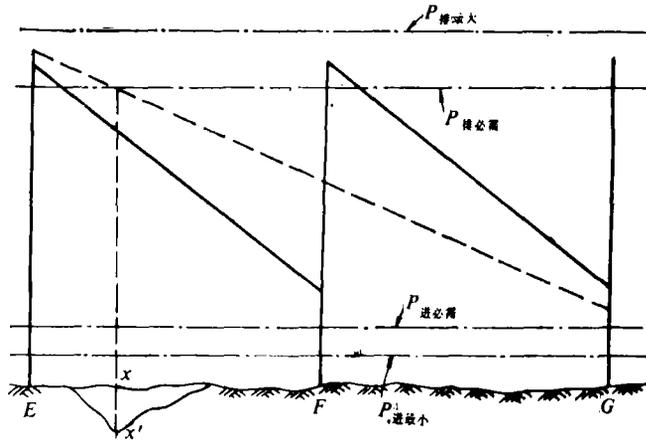


图4 实例中的越站输送工况

运时，增压波以波速（1000~1100m/s）向上游传播，于某时刻抵达 x 点，然后抵达上站 E ，使其排压上升，排压升至最大允许值时机组自控装置开始动作（一般滞时），向下游发送减压波，减压波于另一时刻抵达 x 点，解除此点的增压。可见， x 点在下站增压波到达和上游减压波返回这段时间是得不到机组自控装置保护的，它在这段时间内的增压仅取决于这段时间的长短及增压速率。如果增压速率很高， x 点就可能超压，如果该点（ x' 点）地势低下，甚至在增压波到来之时就可能超压。这两种超压都叫作早先超压，早先超压的点叫作水击危险点。

为了防止早先超压，应当在水击起源地对水击进行主动控制，控制其增压速率。国外大型现代管道都设置有控制水击增压速率的系统，但由于其系统庞大和昂贵，难于在管道中普及应用。为解决这个问题，我单位已研制成一种体积小、重量轻（46kg）的独立装置，可把增压速率控制在0.01~0.05MPa/s之间。图5中的实线是我们在管线终端快关的试验记录，虚线是苏联“友谊管道”中间泵站装设的从美国引进的此类系统的停电试验记录。

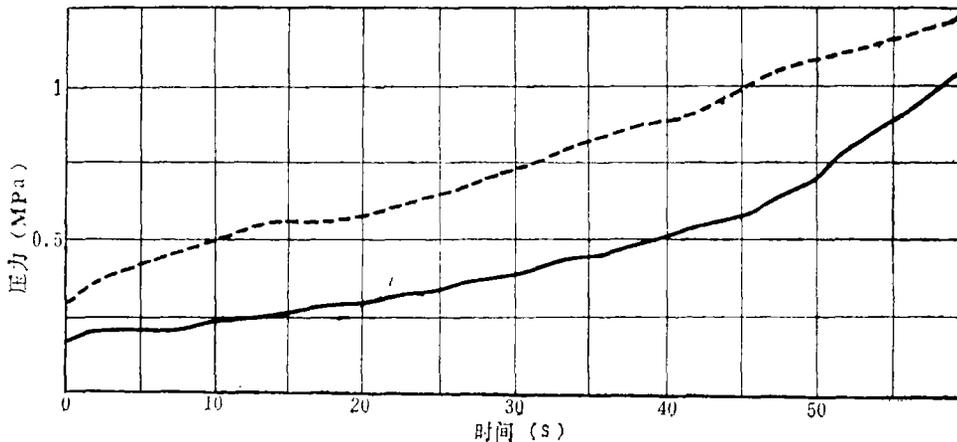


图5 控制系统终端快关与停电试验

机组控制与水击增压速率控制相结合，可以有效地保证管道在稳定工况和非稳定工况中的安全。由于控制得到完善，管道的工作压力可以提高，相应地管道的经济效益可以增加。

4. 计算机模拟

为了验证上述分析的正确性，我们用计算机分别对苏式机组控制方法、单独新机组控制方案、新机组控制方案和水击增压速率调节器进行模拟，采用特征线法。管径100 mm，线路纵断面如图6所示，设4个泵站，站特性方程为 $H = 306 - 0.0125Q^2$ (H 以m计、 Q 以 m^3/h 计)，输送汽油，初始稳态流量为 $35m^3/h$ ，中间站水击增压速率整定为 $2m/s$ 。假定第三站停运。模拟结果证实了上述分析的正确性。图6为第三种控制情况的工况调节过程。

第三站停运后，其增压速率调节器立即泄放。机组在第6 s完全停止泵送（内燃机泵机组的滑转过程比电动机泵组短得多），第14 s开始出现越站液流，泄放在第58 s时停止。

第二站在第12 s开始受到第三站停运的影响，在第15 s降速，向下游发送减压拦截波，向上游发送增压波，其增压速率调节器也立即泄放，泄放时间大约为14 s。

第三站发送的减压波于第16 s到达第四站，第四站在第18 s因进压降至允许最低限而降速，向上下游发送增压波和减压波，且发生泄放。

各站转速和输油工况经过多次调整，在调整过程中没有出现超压，工况波动小而合理。时间2 min后全线工况接近稳定，其流量约为 $24m^3/h$ 。这种工况是唯一的，由第二站和第四站之间的通过能力所决定。为了使第一、第二两站的负荷和强度分布合理，第一站排出压力的控制参数应调整为 $P'_{排最大}$ 和 $P'_{排必需}$ 。

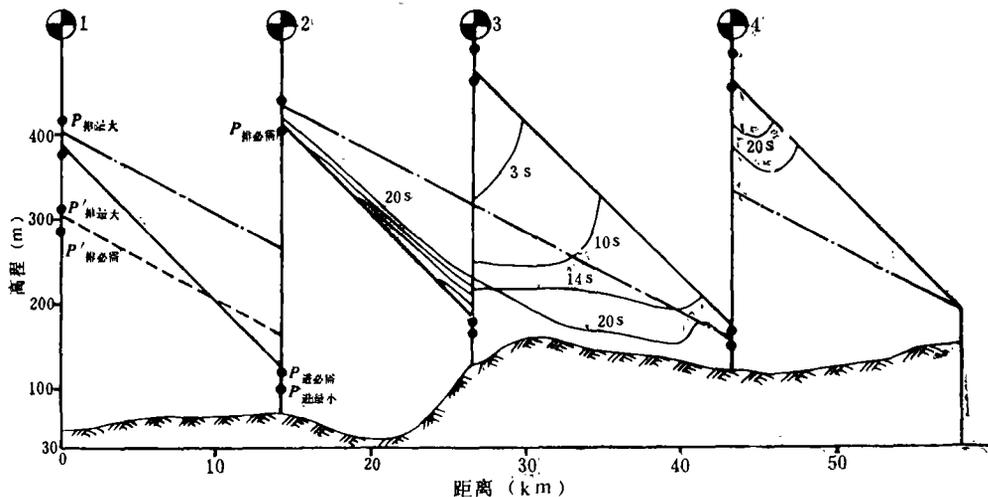


图6 线路纵断面及三种工况调节过程

综上所述，文中推出的变速泵机组自动控制方案具有自动升速和降速的功能，可以自动给定所要求的转速，从而自动给定所要求的工况；转速慢升快降，既可满足工艺上

的要求,又可避免调节振荡;在正常情况下,机组转速一般稳定不调,使稳油过程可以具有最大限度的稳定性;当某个中间泵机组停运时,全线能够自动调整到越站输送状态。因此,新方案可以很好地执行泵送控制和安全控制的双重任务,能够满足稳定工况和非稳定工况控制的不同要求,并具有简单易行的优点。保持进压不变的控制概念和方法违背了输油管道非稳定控制的要求,应当废止。

参 考 文 献

- [1] U. S. ARMY; MILITARY PETROLEUM PIPELINE SYSTEMS (T M 5—343), 1969
- [2] E. L. HATHAWAY; OVERPRESSURE PROTECTION IN PIPELINE PLUS, OIL & GAS JOUR, JAN. 24, 1972
- [3] W. E. STUDEBAKER; MILITARY PETROKUM PIPELINE SYSTEM, HTIS, 1978
- [4] Е. В. ВЯЗУНОВ; АВТОМАТИЗАЦИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕ—И ПРОДУКТОПРОВОДОВ РУБЕЖОМ, М., ВНИОЭНГ, 1979
- [5] A. R. COHE; USING REGULATORS FOR LINE PRESSURE RELIEF, PIPELINE INDUSTRY, NO 8, 1980
- [6] E. CYKOWSKI et al; PIPELINE SURGE CONTROL, OIL & GAS JOUR., 1982, VOL. 80, NO 29
- [7] C. R. HOFFMAN; AUTOMATIC ACTUATOR FOR VARIABLE SPEED PUMP, U. S. PATENT 4330238, MAY 18, 1982
- [8] А. А. ЗАЙЦЕВ; РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ, НЕДРА, 1982
- [9] J. L. KENNEDY; OIL AND GAS PIPELINE FUNDAMENTALS, Pennwell Books, 1984
- [10] 柳洪国正: 防止水击现象的技术措施,《配管技术》, 1984
- [11] О. Н. РЫЖВСКИЙ; ЗАЩИТА ИКФТЕПРОВОДОВ ОТ ПЕРЕГРУЗОК ПО ДАВЛЕНИЮ, ТХНН, 1985, № 9
- [12] 蒲家宁: 管道内不稳定流动的分析和控制, 后勤工程学院, 1987年
- [13] 蒲家宁: 输油管道非稳定工况的控制,《全国流体传动与控制系统学术会议论文集》, 1987

(收稿日期: 1988年11月19日)