



正视炼油厂储运系统的客观现实,为提高经济效益,达到节能、降耗、改善环境和增加效益的目的,必须要实现炼油厂储运系统自动化。国外炼油厂为达到上述目标,十分重视储运自动化水平的提高。日本的炼油厂油品储运自动化的水平较高,已普遍采用电子计算机和显示设备进行集中监测控制与数据处理工作。储运系统所使用的计算机台数比生产中的计算机的台数还要多,效果也很好。油品调合采用管道自动调合,罐区作业大部分由计算机管理。微处理机的应用也极为普遍,每个工厂平均使用的台数约为40台。如日本炼油厂应用微处理机实现对油罐温度、液位测量,事故预报和油品输入与输出的控制等。一个系统由中央控制室、罐区检测监视分控制室、油品输出管理分控制室组成。每个分控制室都有一台IBM1800计算机和两台操作控制器。分控制室各设一台控制器,通过微处理机实现检测方式,检测一个油罐需25毫秒,检测整个罐区约为3秒钟。大型储运系统能掌握油品收支情况和各种设备操作情况。基本上杜绝了抽空和溢罐事故的发生,提高了储运管理水平。日本名古屋炼油厂和丸善千叶炼油厂的储运系统采用计算机实现过程控制,计算机直接控制阀门、机等,与储运过程发生联系。第二级为过程控制,第三级的任务是全厂生产过程调度,计算机制出各种报表,并与总公司(总社)的计算机保持联系,进行企业经营管理、计划调度等工作。计算机为储运方面的功能大致有五个方面:收发油操作;油罐库存量管理;油品调合;成品油出厂;报警。

日本时多数炼油厂还使用在线自动分析仪,其种类有:比重、粘度、凝固点、密度、蒸汽压、含硫量、含水量等多种,从而进一步提高了自动化水平。

王兴稼 沈桂煊 等编著

YOU PIN CHUYUN XITONG

油品储运系统 自动化

ZIDONGHUA



化工出版社



本书的目的,主要是向读者介绍油品储运自动化的基础知识和国内油品储运自动化的经验。所以对有关油品储运自动化的仪器、仪表的原理、功能、结构、使用安装方法和要求以及计算机控制系统等作了较全面的介绍;同时介绍了国外油品储运自动化的先进技术 and 经验,供有关人员参考和借鉴。

PDG

前 言

本书是根据近几年国内炼油厂储运系统自动化工作发展的情况和需要,由烃加工出版社组织抚顺石油学院、北京石油设计院、长岭炼油厂等单位有关同志共同编写的。它着重反映国内油品储运自动化方面,尤其是炼油厂储运系统自动化方面取得的进展和积累的经验,可供从事油品储运工作的工程技术人员参考,也可供大专院校有关专业的师生作教学参考材料。

全书分两篇共十章。第一篇自动计量和检测,包括油罐称重式计量和油罐液面检测,流经管道的油品流量计量,电子轨道衡及储运系统常用的在线分析仪表。其中第一章着重介绍我国自行研制的储罐液体称量仪,第二章着重介绍椭圆齿轮流量计、腰轮流量计和标准体积管。第二篇油品储运系统的自动控制,包括执行器,泵房自动化,灌装自动化,油品自动调合,远动装置的应用及计算机在储运系统中的应用。其中第八章着重介绍了线性规划在油品调合方面的应用。关于储运系统计算机管理和控制,在国内已有成功的经验,但硬件更新换代发展很快,所以第十章只是结合实例介绍计算机应用的某些基本内容。

本书由庄兴稼、沈桂煌两位同志主编,并分别对有关章节进行了审阅修改。其中沈桂煌编写概论;庄兴稼编写第一章§1-1,第二章及第五章;姚至德编写第三章及第七章;史立功编写第四章§4-1;许治平编写第一章§1-2及第四章§4-2,§4-3;杨名滨编写第四章§4-4至§4-7及第八章§8-4,§8-5;陆天宇编写第六章;庄富山编写第八章§8-1至§8-3及§8-6,§8-7;谯忠信编写第九章;黄梦钊、姚至德和寿鑫权编写第十章。另外,北京石油化工科学研究院张澄清同志为本书的编写工作提供了许多资料,给予了热情的帮助,特在此致谢。

书中不妥之处恳请读者批评指正。

编 者

一九八五年五月

目 录

概论.....	(1)
第一篇 自动计量和检测.....	(4)
第一章 油罐的自动计量和检测.....	(4)
§ 1-1 储罐液体称量仪	(4)
一、基本工作原理.....	(4)
二、储罐液体称量仪	(8)
三、储罐液体称量仪的显示仪表.....	(12)
四、储罐液体称量仪的安装使用.....	(16)
§ 1-2 油罐液面测量	(19)
一、钢带式液位计.....	(19)
二、自动跟踪式油罐液面计.....	(26)
第二章 油品流量计量.....	(29)
§ 2-1 概述	(29)
§ 2-2 容积式流量计	(33)
一、椭圆齿轮流量计.....	(33)
二、腰轮流量计.....	(38)
三、刮板流量计.....	(42)
§ 2-3 容积式流量计的表头和二次仪表	(45)
一、容积式流量计表头和发讯装置.....	(45)
二、定量计量的预设定装置.....	(49)
三、容积式流量计的精度调整.....	(51)
四、容积式流量计的温度补偿.....	(54)
五、容积式流量计的显示仪表.....	(59)
§ 2-4 涡轮流量计	(63)
一、涡轮流量变送器.....	(64)
二、涡轮流量计的显示仪表.....	(68)
§ 2-5 流量计的检定	(71)
一、流量计检定概述.....	(71)
二、标准体积管.....	(73)
三、用标准体积管检定流量计.....	(83)
第三章 电子轨道衡.....	(87)
§ 3-1 电子轨道衡基本原理	(87)
一、概述.....	(87)
二、称量台面.....	(89)

三、力传感器	(90)
四、检测系统	(92)
五、以称量液体为对象的电子轨道衡	(96)
§ 3-2 电子轨道衡的应用	(98)
一、动态电子轨道衡应用设计实例	(98)
二、国外电子轨道衡应用	(100)
第四章 油品储运系统常用在线质量仪表	(101)
§ 4-1 油品密度(或比重)的连续测量	(101)
一、振动管式密度计	(101)
二、超声比重仪	(110)
§ 4-2 原油含水测量仪表	(113)
一、YSG-74型电容式原油低含水测量仪	(113)
二、微波式油品含水测量仪基本原理	(119)
§ 4-3 油品粘度连续测量仪表	(120)
一、概述	(120)
二、振动式粘度计	(121)
§ 4-4 油品凝固点连续测量仪表	(126)
一、NGD-2A型在线凝固点分析仪	(126)
二、ZNGY-1型在线凝固点自动分析仪	(128)
三、NZF-02型在线凝固点分析仪	(128)
四、NGD-3L型在线凝固点连续分析仪	(129)
§ 4-5 油品闪点连续测量仪表	(134)
一、SD-2A型在线闪点分析仪	(134)
二、H ₆ 和H ₈ 型连续闪点分析仪	(137)
三、Flasher连续分析仪	(138)
四、自动装油台闪点试验器	(139)
§ 4-6 辛烷值连续测量仪	(140)
一、Monirex辛烷值分析仪	(141)
二、81-P型辛烷值过程分析器	(142)
§ 4-7 蒸汽压连续测定仪	(145)
一、在线雷德蒸汽压监测仪	(146)
二、基于差压计的在线蒸汽压测定仪	(146)
第二篇 油品储运系统的自动控制	(148)
第五章 气动执行器自动元件及气源系统	(148)
§ 5-1 气动薄膜调节阀	(148)
一、气动薄膜执行机构	(149)
二、调节机构	(150)
三、调节阀的流量特性	(153)
四、调节阀口径的计算	(157)

§ 5-2 气动闸阀	(160)
一、气动活塞式执行机构	(161)
二、输出推力和气缸强度计算	(165)
三、水击现象	(167)
§ 5-3 电磁气阀	(168)
一、概述	(168)
二、双电控电磁气阀	(170)
三、电磁气阀性能的测试	(173)
§ 5-4 快速排气阀及气动辅助元件	(174)
一、快速排气阀	(174)
二、回讯器	(175)
三、过滤器	(176)
四、油雾器	(176)
§ 5-5 射流元件及其应用	(177)
一、射流元件及其工作原理简介	(177)
二、射流技术应用举例	(181)
§ 5-6 气源系统	(182)
一、概述	(182)
二、压缩空气站的主要设备和流程	(183)
三、供气管路	(185)
第六章 泵房自动化	(187)
§ 6-1 机泵的遥控启停	(187)
一、离心泵的启停	(187)
二、离心泵遥控启动的自动调节方案	(188)
三、两位式压力调节系统在不同工况下的应用及保护	(189)
四、自力式调压单向阀的稳定运行、结构及参数选择	(190)
五、电机的遥控启停	(192)
§ 6-2 机泵运行的监测	(192)
一、泵压力测量	(192)
二、电机电流的监测	(194)
三、轴温报警	(194)
第七章 油品灌装自动化	(197)
§ 7-1 概述	(197)
§ 7-2 油槽汽车及油桶数控灌装系统	(197)
一、数控灌装装置	(197)
二、数控批量装桶	(202)
三、组合式灌装油表	(203)
§ 7-3 铁路槽车装车自动化系统	(206)
一、程控液压大鹤管装车系统	(206)

二、密闭灌装气动小鹤管装车系统	(210)
三、油气回收系统自动控制	(212)
§ 7-4 油桶自动灌装线	(213)
一、性能	(214)
二、结构	(214)
三、油路系统联接	(215)
§ 7-5 油品灌装的计算机控制与管理	(215)
一、油品装车计算机控制与管理	(215)
二、专用分批、混合控制系统	(218)
第八章 油品自动调合	(221)
§ 8-1 概述	(221)
§ 8-2 自力式调合器	(222)
一、工作原理	(222)
二、典型的自力式调合器及其应用	(223)
§ 8-3 数字式仪表控制的调合系统	(224)
一、数字混合配比调节系统的方案	(224)
二、数字式混合配比调合系统的组成	(226)
三、数字式配比调合系统的应用	(228)
§ 8-4 采用模拟式仪表的调合系统	(233)
一、模拟式仪表组成调合系统的基本方案	(234)
二、采用模拟式仪表的调合系统举例	(235)
§ 8-5 在线质量分析闭环调合系统	(237)
一、与流量比率调合系统相关的控制流程	(238)
二、质量闭环调合系统	(239)
§ 8-6 电子计算机控制的调合系统	(241)
一、计算机直接数字控制	(241)
二、最佳调合控制	(246)
三、集散型控制系统在油品调合中的应用举例	(246)
§ 8-7 线性规划在油品调合系统中的应用	(250)
一、最佳调合控制的概念	(250)
二、调合系统的数学模型	(250)
三、线性规划问题的求解	(256)
四、单纯形算法应用举例	(269)
第九章 远动装置在罐区的应用	(279)
§ 9-1 远动技术概述	(279)
一、远动技术基本概念	(279)
二、集中型(时分制)远动装置的一般技 术性能和基本工作原理简介	(280)
三、分散目标远动装置一般技术性能和基本工作原理简介	(283)

§ 9-2 远动装置在石油炼厂罐区的应用	(286)
一、远动装置在罐区所完成的功能	(286)
二、集中型“三遥”远动装置在罐区的应用	(287)
第十章 电子计算机在油品储运系统中的应用	(292)
§ 10-1 概述	(292)
一、单机控制系统	(292)
二、双机双工控制系统	(292)
三、集散型控制系统	(294)
四、分级控制系统	(295)
§ 10-2 小型工业控制计算机在罐区的应用	(295)
一、罐区的计算机控制和管理	(295)
二、过程输入输出通道与外部设备	(298)
三、现场仪表及现场工程设计	(306)
四、机房及辅助设施	(309)
五、生产应用程序	(312)
§ 10-3 小型工业控制机控制油品自动装车	(317)
一、对自动装车系统的要求	(317)
二、自动装车系统的组成	(317)
三、装车操作框图	(320)
四、人机对话所用语句及格式	(320)
§ 10-4 集散型控制系统在炼油厂罐区的应用	(321)
一、集散型控制系统的特点	(321)
二、集散型控制系统及应用举例	(322)
§ 10-5 字符图形显示器及其应用	(328)
一、字符图形显示器工作原理	(328)
二、字符图形显示器在炼油厂储运系统的应用	(333)
参考文献	(335)

概 论

一、国内油品储运自动化概况

国内炼油厂油品储运系统由于历史的原因,一般布置都比较分散,占地广,管线长,操作强度大,设备落后。因此,实现油品储运自动化的意义很大。

近几年来,在一些炼油厂中,程度不同地实现了油品储运自动化,收到了一定的效益。各类油库(站)的自动化水平也有很大提高。

目前,炼油厂储运系统自动化的内容一般包括:油罐液面遥测,阀门远距离操纵,自动测量罐内油品温度,机泵自动启停,罐内液位报警及自动计量等。少数炼油厂还采用小型或微型计算机实现储运系统自动打印报表的作业。

大庆炼油厂新建的DJS-130双机双工油品储运计算机系统,第一期工程从研制到运行虽经历了六年时间,但从运行三年多时间来看,已满足了生产要求并取得了较好的经济效益。

该系统的任务是根据汽油辛烷值和蒸汽压等指标完成汽油管道调合工艺控制,对生产过程进行自动监测、测温、测液位、计量;自动操作阀门、机泵;自动换罐与数据处理。

国产DJS-130计算机双机双工系统具有以下功能:

1.控制计算功能

计算汽油各调合组分的油量、百分比和调节阀门的开度。根据测得的储罐液位,计算储罐的储油量,各类规格的油品累计量。

2.自动监控功能

对现场的油罐、机泵、阀门及管线,每30秒进行一次检测。如发现操作异常,自动通过CRT显示器进行声响报警与显示。模拟盘显示灯报警,并在打印机上打印,对操作人员的流程控制命令进行审核,正确的执行,错误的拒绝,并进行报警显示。根据计算所得的管线调节阀门的调节量和输出控制信号来控制调节阀门的开启度。完成程序自动或人命令换罐流程的控制。

3.显示功能

共两种。一种是根据工艺流程运行状况,自动进行字符或图形显示;另一种是根据操作员的键盘命令,进行字符或图形显示。

4.打印记录功能

共有三类打印记录,即正常记录,异常记录和键盘命令记录。

从目前来看,这种系统能适应炼油厂油品储运的需要,但从长远来看由于国际上计算机技术发展迅猛,国内的计算机技术也正在积极开发,上述储运计算机系统必将被微型计算机取代,而使其系统结构有较大的改进。不过DJS-130双机双工系统在国内炼油厂储运

自动化方面毕竟是迈出了重要的一步。今后将从中总结经验不断提高。国内军用和商业油库在自动计量、自动灌装、自动收付油等方面也已研制和采用某些仪器设备，包括采用微计算机的专用装置。然而，总的说来国内炼油厂储运系统自动化水平还是不高的，与国外先进水平的差距还较大。

二、实现油品储运自动化是必然趋势

正视炼油厂储运系统的客观现实，为提高经济效益，达到节能、降耗、改善环境和增加效益的目的，必须要实现炼油厂储运系统自动化。国外炼油厂为达到上述目标，十分重视储运自动化水平的提高。日本的炼油厂油品储运自动化的水平较高，已普遍采用电子计算机和显示设备进行集中监测控制与数据处理工作，储运系统中所使用的计算机台数比生产中的计算机的台数还要多，效果也很好。油品调合采用管道自动调合，罐区作业大部分已实现计算机管理。微处理机的应用也极为普遍，每个工厂平均使用的台数约为40台。如日本鹿岛炼油厂应用微处理机实现对油罐温度、液位测量、事故预报和油品输入与输出的控制管理。整个系统由中央控制室、罐区检测监视分控制室、油品输出管理分控制室组成。中央控制室设有一台IBM1800计算机和两台操作控制器，分控制室各设一台控制器，监测系统采用巡回检测方式，检测一个油罐需25毫秒，检测整个罐区约为3秒钟。大型罐区使用此系统可及时掌握油品收支情况和各种设备操作情况。基本上杜绝了油空和溢罐事故，提高了油罐区管理水平。日本名古屋炼油厂和丸善千叶炼油厂的储运系统采用计算机三级管理：第一级为过程控制，计算机直接控制阀门、机泵等，与储运过程发生联系。第二级为数据处理和过程监控。第三级的任务是全厂生产过程调度，计算机制出各种报表，通过通讯线路定期与总公司（总社）的计算机保持联系，进行企业经营管理、计划调度等工作。计算机在储运方面的功能大致有五个方面：收发油操作；油罐库存量管理；油品调和操作；成品出厂，报警。

日本的多数炼油厂还使用在线自动分析仪表，其种类有：馏程、粘度、凝固点、密度、蒸汽压、含硫量、微量水等多种，从而进一步提高了自动化水平。

美国、加拿大的油品储运自动化情况，从有关资料介绍也大致如此。

近几年来国内炼油厂努力吸取国外的先进经验，结合国内条件，在储运自动化领域做了许多工作，效果是好的。并已证明在实现了储运自动化后，经济效益是明显的。多年来储运系统落后的面貌必将逐步改观。

三、油品储运系统自动化的重点应该放在哪里

在学习国外先进经验，赶超世界先进水平的浪潮中，国内炼油厂各装置的自动化水平都有一定的提高，相对来说油品储运系统的自动化进展还比较缓慢。这种情况已经引起注意，今后油品储运系统的自动化水平，将会不断提高。但是这方面的工作重点应该放在哪里呢？

前一段时间，油品储运自动化的重点，一般都放在加强管理、节约人力和减轻劳动强度方面，也起到了一定的作用，但这是远远不够的。现在应该深入一步，因为油品储运系

统生产过程的改进和先进的工艺过程的实现，都需要有相应的控制技术来保证。因此，重点应该是利用自动化手段，努力降低油品储运系统中的蒸汽和电的消耗，节约大量能量；努力降低油品损耗，提高油品质量；改善工作条件；采用先进技术，如管道自动调合、自动装车等；特别是要建立完善的自动计量系统，优化调合系统和采用计算机储运管理信息系统。使整个油品储运系统的面貌有较大的改变。

这本书的目的，主要是向读者介绍油品储运自动化的基础知识和国内油品储运自动化的经验。所以对有关油品储运自动化的仪器、仪表的原理、功能、结构、使用安装方法和要求以及计算机控制系统等作了较全面的介绍；同时介绍了国外油品储运自动化的先进技术和经验，供有关人员参考和借鉴。

第一篇 自动计量和检测

第一章 油罐的自动计量和检测

各种油品储罐是储运系统的主要设备。我国长期以来都采用测定储罐的储量作为计算库存和收付油的计量手段。所以,如何自动而精确地测定油品储罐的储量是从事储运自动化工作人员十分关心的课题。经过多年努力,国内已在七十年代中期研制成功储罐液体称量仪,并在许多炼油厂中应用,取得了较好的效果。近年来又制造了精度较高的各种储罐液位计。这些仪表的推广应用将逐步改变依靠人工检尺量油的局面,有利于提高储运系统的自动化水平和管理水平。

为了保证安全生产,储罐还应配置液位高低限报警装置,已有多种符合防爆要求的定型产品可供选用,其结构都较简单。另外,若采用测量油面高度作为计量手段时,还应测定储罐中油品的平均温度和密度,但目前尚无定型仪表和成熟的自动检测方法。本书对这些问题从略。下面将着重介绍储罐液体称量仪和常用的储罐液位计。

§1-1 储罐液体称量仪

储罐液体称量仪也叫称重式油罐计量仪,是国内自行研制的高精度仪表。它可将储罐内液体重量的变化转换成相应的压力信号,再以编码方式送给显示仪表用来计量储罐内贮存的各种液体的重量。它具有量程范围宽(可达 $0\sim 20000$ 公斤/米²);精度高(基本误差 $\pm 0.1\%$);使用方便(计量时不必作密度修正);安装简便;安全(一次仪表和储罐之间采用气讯号);可用一台显示仪表对多台一次仪表和一台一次仪表对多罐切换测量,节省仪表投资等特点。和它配套使用的显示仪表还可和计算机连接,便于进一步实现数据处理和集中管理。

一、基本工作原理

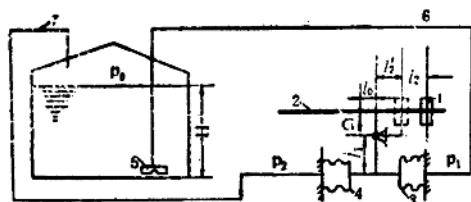


图 1-1-1 储罐称量仪工作原理示意图
1—砣码, 2—杠杆系统, 3—测量波纹管, 4—补偿
波纹管, 5—传感器, 6, 7—引线

1. 储罐液体称量仪的工作原理

GGY-01型储罐液体称量仪的检测系统是根据力矩平衡原理设计的。用它测量储罐中储存液体的质量时,工作原理示意图如图1-1-1所示。设储罐截面积为 A ,若能测得单位面积液柱的重量或质量,则乘以储罐截面积即可得知所储存液体或油品的

总重量或质量。

设钟罩缺口顶部和两个波纹管的中心线在同一水平上,而且测量时钟罩内在缺口顶部以上都为气相介质。整个杠杆系统刚性连接,可绕支点转动,砝码则可沿丝杠2移动。

根据流体静力学原理,可得:

$$p_1 = p_0 + H\rho g \quad (1-1-1)$$

$$p_2 = p_0 + H\rho_0 g \quad (1-1-2)$$

式中 p_1 ——作用于波纹管3的气相压力;
 p_2 ——作用于波纹管4的气相压力;
 p_0 ——储罐中液面上方气相压力;
 H ——以钟罩缺口顶部为基准的液面高度;
 ρ ——罐中被测液体的密度;
 ρ_0 ——引线7管中的空气密度;
 g ——当地的重力加速度。

设波纹管3和4的有效面积完全相等,记为A,则两个波纹管对杠杆系统的作用力的合力F为

$$F = (p_1 - p_2)A$$

将式(1-1-1), (1-1-2)代入,则

$$F = A \cdot H \cdot g (\rho - \rho_0) \quad (1-1-3)$$

当液柱高度为零时 ($H = 0$), $p_1 = p_2$, $F = 0$, 此时砝码处于初始平衡位置,设它距支点的力臂为 $(l_2' + l_2)$, 则按力矩平衡原理,

$$Ggl_0 = mg \cdot (l_2' + l_2) \quad (1-1-4)$$

当液柱高度为H时,砝码移动到距支点的力臂为 l_2' 处使杠杆系统保持平衡,则

$$Fl_1 = Ggl_0 - mgl_2' \quad (1-1-5)$$

式中 G ——杠杆系统(不包括砝码)的质量;
 m ——砝码的质量;
 l_0 ——杠杆系统联合重心到支点的力臂;
 l_1 ——波纹管作用力到支点的力臂。

将式(1-1-3)和(1-1-4)代入(1-1-5),则得

$$AHgl_1(\rho - \rho_0) = mgl_1$$

$$\therefore H = \frac{ml_2}{Al_1} \cdot \frac{1}{(\rho - \rho_0)} \quad (1-1-6)$$

设罐的贮存量为M(按质量计),罐截面积为S,则有

$$M = HS\rho \quad \text{或} \quad \frac{M}{S} = H\rho$$

将式(1-1-6)代入,则得单位面积的液柱质量为

$$\frac{M}{S} = \left(\frac{m}{Al_1} \right) \cdot \left(\frac{\rho}{\rho - \rho_0} \right) \cdot l_2 \quad (1-1-7)$$

式中 $\left(\frac{m}{Al_1} \right)$ 为仪表常数, $\left(\frac{\rho}{\rho - \rho_0} \right)$ 为对密度修正系数,由于测量精度要求很高, ρ_0 不

能忽略不计。由上式可见, l_2 和 $\frac{M}{S}$ 成比例关系, 所以可以利用砝码的移动距离测知罐中单位面积液柱的质量, 其测量结果不受重力加速度的影响。但习惯上往往还说成可利用这种方法测量储罐中单位面积液柱的重量。

式 (1-1-6) 中, 可令

$$R = \frac{m}{Al_1} \cdot l_2, \text{ 相当于仪表读数, 则可写成}$$

$$R = (\rho - \rho_0) H \quad (1-1-6')$$

可见由仪表读数可以求得储罐内的液面高度。

2. 一次仪表安装高度差的影响和修正

实际安装时, 一次仪表所处的高度与储罐底部 (或钟罩缺口) 往往不在同一水平上。如图 1-1-2 所示, 仪表比罐底低一个高度 h 。此时两个波纹管的压差除由液柱产生的静压之外, 还包含附加高度 h 的两根引压管线内气体密度不同而产生的压差。这样, 对于同样的

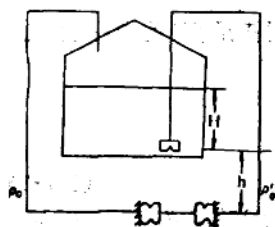


图 1-1-2 高度差影响示意图

液面高度 H 或同样储量, 和前面所述基本情况相比, 仪表读数就会偏高, 即平衡时砝码将向左方多移动一个距离 Δl , 以平衡附加的压差。根据力矩平衡原理也可以导出适用于这种情况的修正关系式。

杠杆系统平衡时可写出力矩平衡方程式如下 (参看图

1-1-1):

$$[Hg(\rho - \rho_0) + hg(\rho_0' - \rho_0)]Al_1 = Ggl_0 - mg(l_2' - \Delta l) = mg \cdot (l_2 + \Delta l)$$

$$\therefore \text{仪表读数 } R' = \frac{m}{Al_1} (l_2 + \Delta l) = H(\rho - \rho_0) + h(\rho_0' - \rho_0)$$

$$\therefore R' = (\rho - \rho_0) \cdot H \cdot \left(1 + \frac{\rho_0' - \rho_0}{(\rho - \rho_0) H} h \right) \quad (1-1-8)$$

式中 ρ_0' ——与钟罩相连的引线内空气密度, 公斤/米³;

ρ_0 ——与补偿波纹管相连的引线内空气密度, 即常压时的空气密度, 公斤/米³;

h ——高度差 (参看图 1-1-2), 米;

R' ——仪表读数, 公斤/米²。

为了找到读数 R' 和 H 的对应关系, 应对式中的 $(\rho_0' - \rho_0)$ 作一点变换,

$$\rho_0' - \rho_0 = \rho_0 \left(\frac{\rho_0'}{\rho_0} - 1 \right)$$

由气体状态方程可知, 密度与压力成正比关系

$$\rho_0' - \rho_0 = \rho_0 \left(\frac{p'}{p_0} - 1 \right) = \rho_0 \left(\frac{p' - p_0}{p_0} \right) \quad (1-1-9)$$

式中 p' ——与钟罩相连引线内的气体压力 (绝压);

p_0 ——与补偿波纹管相连的引线内气体压力, 即大气压。

$$\text{又 } p' - p_0 = H(\rho - \rho_0) \cdot g$$

$$\therefore \rho_0' - \rho_0 = \frac{\rho_0}{p_0} Hg(\rho - \rho_0)$$

代入式 (1-1-8), 则得

$$R' = (\rho - \rho_0)H(1 + \frac{\rho_0}{\rho_*}gh)$$

用水柱表示大气压 p_0 ,

$$R' = (\rho - \rho_0)H(1 + \frac{\rho_0 \cdot g}{10 \cdot \rho_* \cdot g}h) = (\rho - \rho_0)H(1 + \frac{d_0}{10}h)$$

式中 $d_0 = \frac{\rho_0}{\rho_*} \approx 0.0012$, 为空气比重

$$\therefore R' = (\rho - \rho_0)H(1 + 0.00012h) \quad (1-1-10)$$

式中 ρ, ρ_0 ——公斤/米³;

h, H ——米。

当 $h = 0$ 时, 式 (1-1-10) 就和式 (1-1-6') 一样。

$$\text{已知} \quad R' = \frac{m}{AI_1} (I_2 + \Delta l)$$

$$M = HS\rho$$

$$\therefore \frac{M}{S} = \frac{m}{AI_1} \cdot \frac{\rho}{(\rho - \rho_0)} \cdot \frac{(I_2 + \Delta l)}{(1 + 0.00012h)} \quad (1-1-11)$$

式中各参数意义同前。

利用式 (1-1-10), (1-1-11) 即可根据仪表读数而得到对高度差作修正后的液面高度或储罐中单位面积液柱的质量。

3. 重量表的编制

若被测储罐的截面积为常数, 测得单位面积液柱的质量 (或重量) 后, 乘以该常数即得储罐的储量。但实际储罐大多是用钢板搭焊成的, 从下往上, 每焊一层钢板就使罐的半径减少一块钢板的厚度, 截面积逐层减小而不是常数。所以就要参照按罐高计算容积的办法, 根据储罐的实际几何尺寸先制成容积表, 再将容积表换算成重量表, 它和仪表读数相对应, 使用时可按仪表读数查重量表而得到罐内的储量。

编制重量表的基本方法是: 对于任一液面高度 H_i 可由罐的容积表得知相应容积 V_i , 乘以液体密度 ρ_i 就得到重量 W_i (应为质量, 下面都按一般习惯叫做重量); 又由 H_i 和 ρ_i 可根据式 (1-1-10) 求得相应的仪表读数 R_i' ; 对于同一高度 H_i , R_i' 和 W_i 是相对应的, 这样就可制成重量表。下面举例说明具体编制方法。

已知某油罐的容积表如下 (列出部分数据见8页上表): 仪表安装高度与钟罩缺口平齐 ($b = 0$); 仪表量程为 $0 \sim 10000$ 公斤/米²; 钟罩缺口距罐底 0.2 米; 储存油品为柴油; 常压时空气重度 $\rho_0 = 1.2$ 公斤/米³。

(1) 查得柴油平均密度 $\rho = 831.2$ 公斤/米³。

(2) 分段计算仪表读数 R

由于 $h = 0$, 采用式 (1-1-6'),

$$R = (\rho - \rho_0) H \quad (1-1-6')$$

对于第一段:

起始点 $H_{1,1} = 0.200$ 米

被测油柱高 $H = 0.2 - 0.2 = 0$

第 一 段		第 二 段		第 三 段		第N段
高 度 H (米)	容 积 V (米 ³)	高 度 H (米)	容 积 V (米 ³)	高 度 H (米)	容 积 V (米 ³)	--
0.200	80.756	1.516	612.134	3.116	1256.705	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
1.516	612.134	3.116	1256.705	4.671	1382.428	

相应的仪表读数 $R_{11} = (931.2 - 1.2) \times 0 = 0$

末尾点 $H_{12} = 1.516$ 米

被测油柱高 $H = 1.516 - 0.200 = 1.316$ 米

相应的仪表读数 $R_{12} = (831.2 - 1.2) \times 1.316 = 1092.28$ 公斤/米²

其它各段算法相似。

(3) 求各段起止点对应的储量

对于第一段:

起始点 查容积表得 $V_{11} = 80.756$ 米³

相应的储量 $W_{11} = V_{11}\rho = 80.756 \times 0.8321 = 67.124$ 吨

末尾点 $V_{12} = 612.134$ 米³

相应的储量 $W_{12} = V_{12}\rho = 508.806$ 吨

其它各段算法相似。

(4) 计算各段“斜率”，即各段单位仪表读数所对应的储量 δ 。

例如第一段，

$$\delta_1 = \frac{W_{12} - W_{11}}{R_{12} - R_{11}} = \frac{508.806 - 67.124}{1092.28} = 0.40378$$

对于各段的中间值，可根据所得“斜率”，按比例计算出来填入重量表中。本例计算结果所得重量表的部分数据见表1-1-1。

由于仪表读数是取整数的，所以编制重量表时若先规定R的数值，再用式(1-1-10)求出H，查容积表得到相应的V，乘以 ρ 得到相应的储量W，这样的计算顺序更方便些。

二、储罐液体称量仪

1. 储罐液体称量仪的结构

储罐液体称量仪的结构如图1-1-3所示。它的主要组成部分有:

(1) 检测部分——包括钟罩(图1-1-3未画出)，输入导气管、波纹管、刚性连杆、连接簧片、固定梁、回转梁、十字簧片及底座等。

钟罩缺口处的压强由气体经导管传递到测量波纹管而产生一个作用力，经刚性连杆和连接簧片传递到杠杆系统上去。补偿波纹管装在测量波纹管的对面，其作用力也通过刚性连杆传给杠杆系统。两个波纹管有效面积相等，所以可将储罐中气相压强的影响抵消掉，

表 1-1-1 储罐的重量表

重 量 表											
仪表 读数	重 量 吨	仪表 读数	重 量 吨	仪表 读数	重 量 吨	仪表 读数	重 量 吨	仪表 读数	重 量 吨	仪表 读数	重 量 吨
0~1094						1094~2424					
0	67.124	10	4.0378	1	0.4038	1094	508.861	10	4.0281	1	0.4028
100	107.502	20	8.0756	2	0.8076	1100	511.277	20	8.0562	2	0.8056
200	147.880	30	12.1134	3	1.2113	1200	551.558	30	12.0843	3	1.2084
300	188.258	40	16.1513	4	1.6151	1300	591.839	40	16.1124	4	1.6112
400	228.636	50	20.1891	5	2.0189	1400	632.120	50	20.1405	5	2.0141
500	269.015	60	24.2269	6	2.4227	1500	672.401	60	24.1686	6	2.4169
600	309.393	70	28.2648	7	2.8265	1600	712.682	70	28.1967	7	2.8197
700	349.771	80	32.3026	8	3.2303	1700	752.963	80	32.2248	8	3.2225
800	390.149	90	36.3405	9	3.6346	1800	793.244	90	36.2529	9	3.6253
900	430.527					1900	833.525				
1000	470.906					2000	873.806				
1094	508.861					2100	914.087				
						2200	954.368				
						2300	994.649				
						2400	1034.930				
						2424	1044.599				

使作用到杠杆系统上的力纯为液柱静压的作用力。

(2) 杠杆系统——包括框架、丝杠、砝码、十字簧片及连接簧片等。

如图1-1-3所示，整个杠杆系统以十字簧片组为自由悬挂的支点。由可逆电机、码盘、丝杠和砝码等组成位于支点一端的刚性体，叫做“重力平衡系统”，支点的另一端则为检测部分波纹管组产生的“测量力”作用点。采用十字簧片弹性支承可使系统的摩擦力小而灵敏度较高。

杠杆系统按力矩平衡原理工作，其有关方程式已在前面作过分析。

(3) 平衡检测跟踪系统——包括差动变压器及衔铁、放大器、可逆电机、丝杠、砝码。

衔铁由杠杆框架带动，当力矩平衡时它处于差动变压器两组线圈的中间位置，差动变压器输出为零，可逆电机不动。当测量力变化，杠杆系统稍有偏转就使衔铁移动，改变了变压器磁路磁阻，使两个次级线圈的输出电压不同，而这两个次级线圈是反相串联的，就得到两个变压器输出的差值。差动变压器输出的相位则反映了衔铁偏移的方向，即检测出杠杆系统偏离平衡点的方向。此信号经放大器放大后，推动可逆电机，使砝码沿丝杠移动到新的平衡位置为止。这样就使砝码的位置（或丝杠的转角）自动跟踪被测作用力。

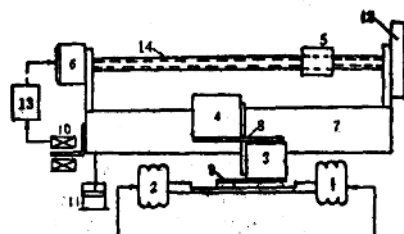


图 1-1-3 储罐称量仪主要结构示意图

- 1—测量波纹管；2—补偿波纹管；3—回转架；
4—固定架；5—砝码；6—可逆电机；
7—杠杆框架；8—十字簧片；9—连接簧片；
10—差动变压器；11—阻尼器；12—码盘；
13—放大器；14—丝杠

(4) 阻尼器——由阻尼杯、阻尼片和阻尼液组成。

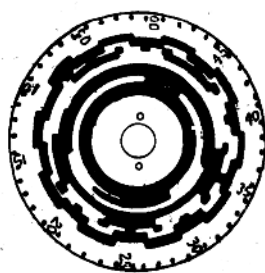
由于这种仪表要求灵敏度高，而系统的平衡跟踪是靠可逆电机带动砝码移动来实现的，电机转动则有惯性，会使砝码移动时越过平衡位置而出现振荡现象。采用阻尼器是为了消除这种振荡。阻尼杯和阻尼片之间的间隙确定之后，阻尼效果就取决于阻尼液的粘度。这种仪表使用粘度温度系数很稳定的甲基硅油作阻尼液。

储罐液体称量仪工作时靠丝杠转动一定角度而使砝码移到新的平衡位置，所以丝杠转角和砝码位移成比例关系， also 和被测作用力成比例关系。这个转角的变化可通过齿轮传给码盘，后者按一定的编码方式将讯号传送给二次仪表进行译码、显示。这样就可对储罐液面高度或储量进行遥测。下面就进一步介绍码盘及其编码方式。

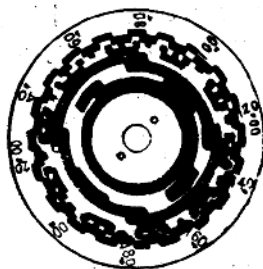
2. 码盘和编码方式

(1) 码盘的结构

这种仪表的码盘发讯器包括两个平面码盘、两个接触刷、一对减速齿轮和夹板等。其中1号码盘为主动盘，2号码盘为从动盘，后者通过前者盘缘对称凸起的一对拨齿间歇传动。1号码盘包含个位和十位的八个码道（每四个码道组成一位数码），2号码盘包含百位和千位的八个码道。按圆周方向将1号码盘分成200等分，将2号码盘分成100等分。根据间歇传动的原理，1号码盘转一圈将带动2号码盘转过2个等分单位。这样当1号码盘转过50圈，2号码盘正好转完一圈，相当于转过10000个角度单位。又因1号码盘直接由一次仪表的丝杠经齿轮按1:2减速传动的，所以这一万个角度单位正好反映了丝杠转过100圈的转角。码盘的图案式样如图1-1-4所示，其中(a)为1号码盘，(b)为2号码盘。图中黑色部分是铜箔，白色部分是绝缘板。当导电电刷与铜箔接触为“接通”，表示“1”状态；与绝缘板接触为“断开”，表示“0”状态。从码盘得到的是电阻性接触信号。图1-1-5是码盘图案的展开图。



(a) 个位、十位码盘图



(b) 千位、百位码盘图

图 1-1-4 码盘图案

(2) 编码方式

利用码盘各码元的“0”、“1”状态可以按一定编码方式传送数据。但这里不能采用通常的二-十进制方式。因为码盘和触丝等加工不可能十分精确，当码盘转动时，各码道的触丝不可能严格地“同步”改变状态，从而造成不能允许的严重差错。例如从数“7”(0111)变为“8”(1000)，要求四个码元“同时”改变状态。若做不到这点，譬如从低位到高位三根触丝已从“1”改变为“0”，但最高位触丝没有同步改变状态，仍保持为“0”，则得到