

高等学校教学用书

石油厂仪表及自动化

北京石油学院石油生产过程自动化教研室編



本书共分三篇。第一篇叙述石油炼厂生产过程中压力、流量、界面、温度、气体成份及油品质量分析等的测量和仪表；第二篇叙述自动调节及其设备；第三篇叙述石油加工过程的自动化。

本书根据北京石油学院暂订的“炼油工程”、“人造石油”、“炼厂机械”三个专业共用的“石油厂仪表及自动化”课程的教学大纲编写。

编写时参考了苏联有关仪表与自动化的书籍和几年来的教学讲义，也收集了国内几年来的技术成果，补充了质量分析仪表，气动单元组合式仪表及多参数调节等内容。

本书供作各石油院校上述各专业的教材，也可供炼油厂工程技术人员参考之用。

为了节约纸张，正文前部分作了一些变动，所以本书页码是从5开始的。

石油厂仪表及自动化

北京石油学院石油生产过程自动化教研室编

*

石油工业部编辑室编辑（北京北郊六铺炕石油工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $14\frac{1}{2}$ ·字数324,000

1961年8月北京第一版·1962年6月北京第三次印刷

印数 1,534—2,583·定价（10—6）1.75元

*

统一书号：K15165·2.7（石油—56）

前 言

本書是根据北京石油学院 1961 年春修訂的“石油厂仪表及自动化”課程的教学大綱草案重新編写的，可供“煉油工程”、“人造石油”和“石油煉厂机械”三个專業教学之用。

本書第一版于 1956 年出版以后到現在已將近五年了。在这五年中我国社会主义建設出現了历史上所沒有过的大躍进，我国石油工業的生产規模和生产的技術水平和其他工業部門一样有了飞躍的發展和提高；在这五年中科学技术方面出現了許多偉大的成就，在儀器仪表和自动化这个領域內也同样有許多新的創造和發明，特別是去年党提出了以机械化、半机械化、自动化、半自动化为中心的技术革新和技术革命运动，促使石油厂的仪表和自动化工作高速發展；在这五年中又是我國文化教育事业蓬勃發展的时期，从 1958 年貫徹党的教育方針以来，对教育工作提出了更高的要求；这些客观的形势都要求对原来的教材进行重新的編写和修改。

1960 年秋在石油工業部的领导下，組織兄弟石油院校的师生参加蘭州煉油厂的技术革命，并进行教学改革，編写新的教材。参加本課程教材編写工作的原有蘭州煉油厂仪表分厂的职工同志、有蘭州石油学院、蘭州石油学校、西安石油学院、四川石油学院和北京石油学院的教师及北京石油学院自动化 56 級的部份同学。今年由北京石油学院石油生产过程自动化教研室的几位同志最后整理完成。其中林聖詠同志負責整理第一章压力的測量、第三章界面的測量、第九章檢測与自动化裝置設計方面的知識和第十章檢測与自动化裝置的維護和修理；楊名濱同志負責整理第四章溫度的測量、第五章气体成份与油品質量分析仪表和第二、三章中有关固体料面及固体流量測量的部份；郑永基同志負責整理緒論、第二章流量的測量、第六章自动調節各个环节的基本性質，第七章气动調節器及調節过程的基本原理和第八章其他类型的調節器。

本書的內容包括緒論、測量与仪表、自动調節及其設備和生产过程的自动化几个部份。鉴于在石油厂中所牽涉的仪表及自动化的知識很广，內容很多，目前这一科学技术部門又正在迅速的發展，因此对內容的取舍，广度和深度的選擇是很复杂的問題。我們在选取內容时是这样考虑的：

一、根据專業教育的要求：

(一) 对石油厂中常用的仪表及自动化方法，有重点的从仪表的原理、構造到正确的使用、校驗和維護等方法作較詳細的敘述，使學習后基本上能够正确地掌握这些仪表的使用方法；

(二) 对目前还未普遍使用，但从發展来看对提高石油厂生产技術水平有重要意义的新型仪表及自动化方法，着重地介紹其原理、構造或特点；

(三) 对仪表的選擇、孔板及閥的計算和自动化方法設計等給予应有的注意；

二、在選擇內容时注意貫徹总路綫的精神和石油工業發展的方針；对中小型厂有可能采用的儀器仪表，作相应的介紹；对几年来我国技术革新和技术革命方面的新成果及羣众性的創造發明，根据以上的精神，尽可能的加以介紹；

三、根据教学时数和教材的基本作用。在教学計劃中本門課程的學習时数是有限的，

同时作为教材的基本作用是使学生在有限的时间內掌握最主要的基本知識、培养科学地思維的習慣和科学工作的方法。

根据上述的精神，本書和第一版比較，在內容上增加了許多新的內容：

一、測量仪表部份，最主要的是：(一)質量分析仪表，(二)孔板的計算，(三)动压管流量計、固体流量計和料面計；

二、自动調節及仪器設備部份：(一)气动單元組合式仪表，(二)簡單的气动調節器及自力作用調節器；

三、生产过程的自动化部份：(一)多参数的綜合調節；(二)典型的再蒸餾工段的綜合自动化。

此外对某些章节重新进行編写，变动較大的是孔板流量計、电子电位計、04型仪表系列和調節过程的基本原理。对于各种仪表的選擇，常用的仪表在使用、維護、校驗和調整也作較多的敘述。

使用本書时可以結合“煉油工程”，“人造石油”，“煉厂机械”三个專業的特点和要求，選擇不同的重点內容。除仪表工作原理与自动化方法屬於共同的以外，前二个專業偏重于使用与自动調整的學習，后一專業可多結合安裝进行講授。質量分析仪表，液压調節器等均可据不同專業少講或不講。

在有限的时间內，我們認為在全面介紹方法的基础上，还应深入的分析当前石油厂应用最广的电子电位計、气动調節器以及它們使用和調整的方法。

实验課与結構課是提高教学質量的有效形式。有关仪表与調節器的構造，动作規律有条件制作模型或以实物教学將帮助学生更迅速、更深入地掌握理論，提高教学效果。學習本課程之前，学生到工厂进行生产實習与劳动时，最好能据本書內容制訂專門的實習大綱，使学生有意識有目的地了解仪表的構造、使用方法和安裝情况，来丰富感性認識。最好学生能有三天随仪表維護工人值班學習，按實習大綱組織現場教学。

在學習本課程前，学生已學習过水力学与泵压縮机、热工学与热力設備、电工学及电机电器設備、石油加工过程及設備等課程，具备了这些課程的基本知識。在本課程中应用到上列課程的基本知識时，一般只直接引用而不作原理上的討論。在遇到这些問題时，要求学生自行复習有关的課程。

为便于对本課程各章节材料来源的了解及作进一步學習的参考，在每章末附有本章的主要參考資料。

由于我們的水平低、經驗少和重新編写整理的时间很倉促，疏漏錯誤都不会很少。我們誠摯的希望使用本書的單位和讀者，給我們指出書中存在的問題、缺点和錯誤及使用的意見，以便今后进一步加以改进。

本教材在編写过程中承乐光堯、李茂芸和金惠蘭等同志作重点审閱，并提出許多宝贵的意見，在此特表示謝意。

目 录

前言	8
緒論	8

第一篇 测量与仪表

第一章 压力的测量	14
第1节 液体压力計	15
第2节 弹性体压力計	19
第3节 电测式压力計	22
第4节 压力表的安装与校驗	23
第5节 压力表的选择	24
第二章 流量的测量	25
第1节 速率式流量計	25
第2节 容积式流量計	26
第3节 动压管流量計	27
第4节 节流式流量計	29
第5节 孔板流量計的安装与校驗	35
第6节 孔板流量計的选择与計算	41
第7节 定压降式流量計	62
第8节 固体流量計	63
第三章 界面的测量	65
第1节 玻璃液面計	66
第2节 浮标式液面計	67
第3节 静压式液面計	68
第4节 压差式液面計	69
第5节 放射性同位素液面計	69
第6节 散粒状固体料面計	70
第7节 界面测量的特殊問題	72
第8节 界面計的选择	72
第四章 温度的测量	74
第1节 膨胀式溫度計	75
第2节 压力式溫度計	76
第3节 电阻式溫度計	78
第4节 热电式溫度計	85
第5节 輻射式高溫計	101
第6节 溫度測量仪表的选择	104
第7节 测温元件的安装与校驗	105
第五章 气体成份与油品质量	
分析仪表	107
第1节 气体成份分析器	107
第2节 气体成份分析器的安装	114
第3节 测量pH值的仪表	115
第4节 测量湿度的仪表	118
第5节 测量油品比重和粘度的仪表	121
第6节 测量油品含盐含水的仪表	124
第7节 测量油品干点的仪表	126
第8节 測定油品閃点的仪表	128
第9节 測定油品凝固点的仪表	129
第10节 质量分析仪表的采样与安装	132

第二篇 自动調节及其設備

第六章 自动調节系統

各个环节的基本性质	134
第1节 調节对象及基本性质	134

第2节 測量仪表的基本性质	146
第3节 自动調节的执行机构	142
第4节 气动調节閥	142
第5节 調节閥的选择与計算	146

第七章 气动自动調节器与

調节过程的基本原理

第1节 基本单元与气动两位式	152
調节器的調节过程	153
第2节 04型仪表的放大器	158
第3节 03型比例式調节器与	
比例式調节器的調节过程	160
第4节 04型比例重定式調节器与	
比例重定式調节器的調节过程	164
第5节 超前作用与超前式調节器	173
第6节 04型系列的程序給定与参	
数自动給定式調节器	175
第7节 AJC系列的比例重定式調节器	176
第8节 AJC系列的微分器	183
第9节 加減器	184
第10节 AJC系列的給定器	187
第11节 AJC系列的比率器及	
信号继电器	189
第12节 其他型式的气动調节器	191
第13节 气动調节器的輔助設備	196
第14节 气动調节器的检查校驗与調整	198

第八章 其他类型的調节器

第1节 自力作用調节器	201
第2节 液动調节器	203
第3节 电动調节器	206
第4节 各种調节器的比較	209

第三篇 石油加工过程的检测

与自动化

第九章 检测与自动化装置

設計方面的知識

第1节 仪表图例	212
第2节 石油厂的检测与自动化的	
典型流程图	214
第3节 仪表选择	222
第4节 典型的热裂化工段的检测与	
自动化装置的选择与布置	222
第5节 典型的再蒸餾工段的綜合自	
动化流程图的仪表布置	223

第十章 检测与自动化装置的

维护和修理

第1节 检测与自动化装置运轉中的	
维护問題	223
第2节 在工艺装置上维护仪表时应	
注意的安全技术和防火技术	223
第3节 石油厂仪表维护的組織——	
仪表車間(或計器室)	230

結束語	232
-----	-----

緒 論

“石油厂仪表及自动化”这门课程，是讨论我国天然及人造石油厂中，所使用的各种仪器仪表和自动化问题。

在现代的石油加工厂中使用着大量的自动化技术工具，包括各种类型的检查-测量仪表和各种自动化的仪器设备。在石油工业发展的初期，当人们还在使用单独釜蒸馏原油的时期，那时生产水平很低，没有什么检查-测量仪表，当然更谈不到要求生产过程自动化了。随着人类社会的发展，生产和科学技术的进步，对石油产品和规格提出了愈来愈严格的要求，于是人们就不断的创造出许多高效率的石油加工方法和加工设备来满足这一要求。在这些加工过程中，规定了许多操作条件和操作指标，严格的执行这些操作条件和指标，是生产合格产品的关键。因此，为了保证操作能够顺利的进行，要求有各种检查-测量仪表，如能够测量温度，压力，流量，界面，油品的质量和气体成份等的仪器仪表，来检查与测量有关的操作条件与操作指标。使用了这些检查-测量仪表，就能及时了解和掌握生产进行的情况，对管理生产工作，保证获得所预期的产品起到很重要的作用。所以在现代石油加工厂中，检查-测量仪表已经成为生产操作中不可缺少的工具。

为了有效的发挥这些检查-测量仪表在生产操作中的作用，从事石油加工工作的工人和干部对于检查-测量仪表应该具有一定的知识。

现代石油加工过程的发展愈来愈复杂，规模愈来愈大。在一个石油厂中，有着许多个工艺过程不同的生产装置，这些生产装置之间，有着相互的联系和相互的影响；在一个生产装置的内部，更配备有复杂的管道和各种设备，各个生产设备之间不仅相互联系和相互影响的关系更加紧密，而且每个生产设备的操作条件和技术要求都不相同；许多生产过程和设备还使用高温、高压与高速的技术；在这样的生产过程中，如果只靠人工来操纵这些生产过程，不仅感到困难，而且甚至有时还是不可能的。因此随着生产的发展，就要求把生产过程自动化，特别是对于人体健康有危害的或者有爆炸危险的生产过程，尤其要求实现自动化。自动化水平的提高又为扩大生产规模实现新工艺新技术创造条件。要使生产过程自动化，就要求有各种类型的自动化仪器与设备。为了有效的发挥自动化仪器与设备在生产过程中的作用，从事石油加工的技术干部对于自动化方面，毫无疑问，也必须具有一定的知识。

本课程的内容和任务，就在于讲述我国天然及人造石油加工工厂中所常用的及可能使用的各种典型的检查-测量仪表，自动化的仪器设备和它们有关的基本知识，如仪器仪表的选择，使用与维护。使学习本课程后，对这方面的知识获得一定的基础，以便在生产工作中充分运用这些基本知识，为生产服务，并进一步提高生产技术水平，不断的促进生产发展。

为了在今后的生产工作中能够正确的运用所学的知识，在学习本课程时，首先必须对仪器仪表及对自动化这门先进的科学技术在生产中所起的作用和所产生的社会意义，有深刻的认识。

生产自动化对生产所起的作用归纳起来有以下几点：

1. 它能把劳动者从笨重的体力劳动中解放出来，节约劳动力，改善劳动条件，并改变了人们的劳动方式；

2. 它能够操纵效力强大，速度很高的机器，或者很复杂的生产过程，因此，它能够扩大生产规模，提高产量；

3. 它能够准确的测定和判断生产操作的参数和指标，使生产过程顺利的进行，因此，能够提高产品的质量；

4. 它能够保证生产安全，防止事故发生；

5. 由于它能够保证操作的质量并有可能保持生产在最优的条件下进行，就能节约原材料与动力，延长设备寿命，并提高设备的利用能力；

总之，自动化不仅可能使生产达到高产、优质和安全，而且可能使生产成本大大降低，劳动生产率大大提高。

不同的社会制度下，生产过程自动化的意义是完全不同的。

列宁曾经指出：“技术和科学的进步在资本主义社会里是意味着压榨血汗的技巧的进步”。^①在资本主义国家中，生产自动化的作用正是如此，它使资本家能够追逐更多的利润，对工人阶级进行更巧妙的、更残酷的剥削，它使劳动者失业的人数更多，生活更加恶化。此外，还应看到唯利是图的资产阶级，并不是生产自动化的热心支持者，如果新技术和生产自动化对他们无利可图时，资本家就干脆把这些新的创造发明锁在保险箱内，或者把生产过程中有利可图的部分实现生产自动化，而无利可图的部分，用廉价的劳动力来代替机器。资产阶级的所谓“赶快制度”，就是在这种情况下迫使工人极其紧张地进行工作，以追随自动化机器的生产速度。在这种情况下，自动化不仅没有减轻工人的劳动，而是使得那些暂时还没有失业的工人的劳动，更加紧张，更加繁重。

和资本主义国家的情况相反，在社会主义制度下，由于消灭了剥削制度和剥削阶级，生产自动化和一切先进的科学技术一样，成为加速社会主义经济建设的有力武器，成为提高劳动人民生活水平的幸福源泉。我们党和政府从来就十分重视生产水平的提高和新技术的采用，并从各方面为它创造良好的条件。

1960年春，党又号召在全国范围内展开以机械化、半机械化和自动化、半自动化为中心的技术革新和技术革命运动，党的号召，立即得到劳动群众的热烈响应和拥护，形成群众性的技术革新和技术革命的高潮，使生产过程机械化和自动化水平迅速提高。

从当前我国的经济建设来看，生产自动化等新技术的应用，能够提高生产的产量和质量，降低成本，节约劳动力，从而大大的提高劳动生产率，为我国科学技术的发展开辟了广阔的道路，这对加速我国的经济建设具有十分重要的作用。

从长远来看，自动化不但有经济上的意义，而且还有巨大的社会意义，自动化是建设共产主义社会的物质技术基础。自动化能够加速生产力的发展，使社会物质财富日益丰裕；由于自动化能节约劳动力，缩短劳动时间，使劳动者能腾出更多的时间来从事政治、科学、艺术和文娱等活动，劳动人民的生活更加丰富多彩；自动化能根本的改变劳动方式，提高工人的文化技术水平，为逐步的消灭体力劳动与脑力劳动间的重大差别创造条件。苏联现在正在为建设共产主义而奋斗。苏联共产党第二十次和第二十一次代表大会都

① “列宁全集”第十八卷，人民出版社1959年版第594页至595页。

強調生产过程的全盤机械化和自动化工作对共产主义建設的意义。

在學習本課程时，还应该理解大型煉油厂和中小型煉油厂生产对仪表及自动化的特点和要求，以便根据生产的具体条件，正确地运用所掌握的知識。

在大型煉油厂中生产規模大，質量要求高，工艺过程复杂，操作条件要求严格，互相影响的因素很多，生产操作單靠人力来掌握是比較困难的。因此对仪器仪表的数量和种类要求較多，对自动化的質量也要求較高。由于自动化的經濟效果大，允許用于自动化技术的投資額也較高。

中小型石油厂生产規模較小，就一般的情况來說采用的工艺过程及設備比較簡單，操作条件一般要求較寬一些，用于自动化技术的投資也較少。但是中小型石油厂实现自动化，不但能够大大節約劳动力，而且对提高产量、質量和節約原材料和动力等方面的作用也是不能低估的。

我国的社会主义制度为高速度發展生产力和不断提高人民生活水平創造了無比优越的条件。努力學習掌握本門課程的科学知識，就为今后在生产工作中进行創造性的劳动，促进生产水平不断提高作好准备。

本門課程在學習上的基本要求是对我国石油厂中常用的仪表及自动化技术工具有一定的基本知識，对一些主要的仪器仪表能够正确地掌握它們的使用、維護和校驗的方法。对孔板和閥的計算方法、仪表的选择和自动化的設計方法等應該了解。能够把所学的知識在今后的工作中加以运用。

要学好本門課程，主要的方法是理論联系实际。本課程着重講述仪器仪表的实际知識，是屬於一門技术性較强的課程。要掌握实际的知識和技能，首先要对实际东西多看和多动手練習。其次要多想多鑽研，透徹地了解仪器仪表的原理和工作規律。最后还必須把已經学过的知識在实际中加以运用，才能够牢固地掌握并在此基础上进一步提高。

在現代石油厂生产过程中，要求生产过程实行自动化的工作歸納起来可分为自动檢查、自动調節、自动操縱和自动信号保护等四类：

一、自动檢查：

在石油厂中自动檢查的范围最廣、要求最多。在每一个生产过程中都有許多参数或操作情况要求能連續而自动地报导，使操作員能随时掌握生产进行的情况。要求进行自动檢查的参数很多，歸納起来可分为压力、流量、界面、溫度、气体成份和質量分析等类别。实现自动檢查的技术工具就是常見的各种檢查測量仪表如溫度計、压力計等。

对自动檢查的基本要求是能够連續、准确、及时地自动指示、自动記錄或自动計量生产变化的情况。

目前已經有大量的各种檢查測量仪表能提供自动檢查的需要，但随着生产的發展不断提出新的要求，如要求把油品的各种質量化驗分析工作自动化，要求連續地、無接触的或無破坏的自动分析檢查，如油品組成的連續分析，許多問題还没有解决。

二、自动調節

在石油厂中大多数的生产过程都是連續不断地进行，管理生产操作不仅要求随时掌握生产进行的情况，而且要求不断地进行調節工作，才能保持生产在最优的状态下进行。

例如，連續生产汽油的分餾塔，为了保証产品質量，要求塔頂溫度保持不变。但由于許多因素經常变动，因而使塔頂溫度也不断地变化。为了保証稳定塔頂溫度，常采用調節

塔頂迴流的方法：溫度太高就加大迴流量，溫度太低就減少迴流量。如把這个工作交給自動化系統來進行，如圖 2 所示，自動化系統必須有測量儀器來反映塔頂溫度的情況，必須有改變迴流大小的調節閥，還必須有一個管理機器即自動調節器，來代替人觀察溫度變化和操縱調節閥的動作。當溫度升高時，調節器就使迴流量加大，迴流量大，溫度下降，又會影響調節器使迴流量減少，這樣可能使溫度趨於穩定。因此，這類自動化系統具有兩個特點：1. 可能保持被調參數穩定不變或依照一定的規律變化；2. 自動系統的工作影響被調參數的變化，被調參數變化後，又反過來影響自動化系統的工作。由上述可知，自動調節系統由四個環節組成：（圖 1）

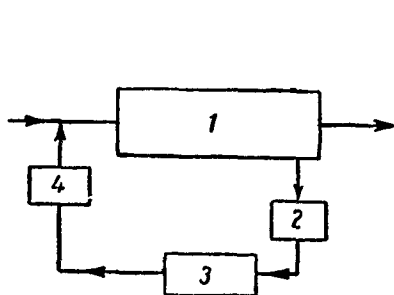


圖 1 自動調節方框圖

1—調節對象；2—測量儀器；3—自動調節器；
4—執行機構（即調節閥）。

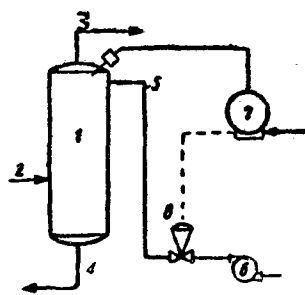


圖 2 分餾塔頂溫度自動調節

1—分餾塔；2—塔的進料；3—塔頂產品；4—塔底
產品；5—冷迴流管；6—迴流泵；7—自動調節器；
8—執行機構（氣動調節閥）。

1. 生產過程，常稱為調節對象，即自動調節的工作對象；
2. 測量儀器，測定被調節的操作參數；
3. 自動調節器，根據操作參數的變化，自動管理調節閥，以達到操作穩定；
4. 調節閥，調節能改變參數的調節劑。

在現代石油加工生產過程中，自動調節是生產操作的主要問題，也是較複雜的問題，它的任務就是研究操作變動的原因，並提出如何能自動保持操作穩定，以滿足生產的要求。

三、自動操縱

在石油廠中有一些生產過程並不是連續地進行的。例如，水煤氣或催化裂化的生產是按照一定的週期或規律重複地進行。又如在常減壓分餾的生產過程是連續地進行的，但在生產從啟動到正常階段，有許多泵、閥門等設備是按照一定的程序來啟動和運轉的。這類生產操作的自動化不同於調節塔頂溫度的操作。它的特點是操作不是連續地進行，而是使機器或設備按照一定的程序或規律動作。這類自動化稱為自動操縱。實現自動操縱的儀器設備通常由三個環節組成。例如，根據液面高度進行泵組的切換時，首先要有測量液面並發出訊號的儀器，其次要有自動裝置根據測量儀器的訊號，發出操縱的訊號使執行機構動作切換泵組的动力和操縱啟動設備，在這種情況下自動操縱包括：測量儀器、自動機和執行機構三個環節。這和自動調節很相似。所不同的是自動操縱的動作完成後就不再連續動作。如果自動操縱是按時間程序進行，則用計時器代替測量儀器。

四、自動信號保護

當生產操作不正常時，為了幫助操作員能及時發現問題，就需要有能夠根據操作情況

發出訊号警报的裝置，这种裝置就称为自动信号裝置。如分餾塔底液面过高或过低都对生产不利，裝設液面訊号裝置就能够在液面过高或过低时，發出灯光或声音的警报訊号，以引起操作員注意。

当生产操作不正常达到使生产發生事故的条件时，为了防止由于操作員工作的疏忽而造成事故，常常需要裝設自动保护裝置来自动消除事故。如塔底抽油泵發生抽空时，加热爐就会有溫度过高甚至發生重大事故的危險，这就需要自动裝置根据分餾塔底液面或泵的操作，自动切断燃料管道，使爐溫不会猛升起来。

自动信号裝置的組成和自动操縱很相似，也是由三个环节組成。只是执行機構由訊号裝置所代替，自动保护裝置則和自动操縱裝置的組成一致，可以說它就是自动操縱裝置的一种类型，它的特点是只在將發生事故或已發生事故时才动作。

自动信号和自动保护对生产的安全有重大意义，所以在石油厂中普遍地应用。

第一篇 測量与仪表

在石油厂矿中，作業反应过程、設備的操作与油品規格以下列参数来表示，如：压力、溫度、流量、液面、轉数、比重、粘度、濃度以及酸度等。在石油加工过程中，其中比較主要的是：压力、溫度、流量与液面和質量指标等五种参数。显然，正确地測量、記錄和自动調节这些参数，就必然会有助于在現有設備的基础上更好地完成各种生产的經濟、技术指标，同时还增加了生产的安全性，減輕了操作人員的負担，所以有关的企業應該創造条件以便尽可能多而合理地采用各种仪表。

这些仪表，按它們所測量的参数可分为：

- (1) 測量压力的仪表：压力表、真空表、通風表与压差計等；
- (2) 測量溫度的仪表：膨脹式溫度計、压力表式溫度計、电阻式溫度計、热电式溫度計以及光电式与輻射式高溫計等；
- (3) 測量流量的仪表：孔板流量計、浮子流量計、速率式与容积式流量計等；
- (4) 測量液面的仪表：玻璃液面計、浮标式液面計、压差式与靜压式液面計等；
- (5) 質量分析的仪器：化学式与物理式气体分析器，气体成分与油品質量、比重、干点、閃点等仪器。

若按仪表本身的構造与性能来分类，則可分为：

(1) 指示式仪表：仅能反映被测参数的瞬时数值，一般都具有刻度，如压力表与玻璃溫度計等；也有沒有刻度的，如玻璃液面計等；有的仪表能指示若干不同地点的溫度，如多点式高溫指示器。

(2) 記錄式仪表：具有自动記錄機構，能把被测参数的数值随時間記錄下来。有些仪表只能記錄一条連續的曲綫；有些則記成不同顏色或不同符号的点綫，如多点式溫度記錄器。

(3) 积算式仪表：具有积累数量的機構，一般为十进位的数字輪或数字盤，能把某期間內被测参数的积累数量表示出来，如水表与具有积算機構的流量計等。

(4) 复合式仪表：具有多种用途的仪表，或需要两个以上的仪表联合使用的。前者如：同时記錄两个压力的压力記錄器与記錄流量并兼記压力的記錄器，實質上是两种測量仪表公用了一个記錄機構；后者如远距傳示仪表，系由發訊器把被测参数的变化变为相应的电的或風压的訊号送給远方的受訊器再把原参数的变化表示出来。發訊器和受訊器本身可以是上述任何形式的仪表，也可以是自动調节仪表。

(5) 便携式仪表：多为准确度比較高的仪表，用来校驗实用仪表，如手提电位計。

(6) 實驗室用仪表：系指范型或标准型的精密仪表，需要特別的維護与使用条件，用来校驗檢查仪表或实用仪表。如活塞式压力表校驗器与精密电位計等。

仪表是測量的工具。測量这一实践过程就是用仪表上經校准过的單位标尺与被测参数相比較以确定其数值的過程。在选用仪表与进行測量的过程中，往往会碰到下列一些問題。

(1) 仪表讀数的誤差 無論仪表精密与否，由于种种主观与客觀的原因，仪表指示的

讀數与被測参数真实数值之間，总是有些出入。測量仪表愈精密，測量次数愈多（取平均值），相差的数值也就愈小，这差数就是仪表讀数的誤差，或称絕對誤差。例如某仪器測得的溫度为 197°C ，改用極准确的仪器測量时則为 200°C （可認為是真实溫度），則該仪表在 197°C 处的絕對誤差为 -3°C 。若以真实数值为基础来考虑誤差的大小时，則采用相对誤差。本例的相对誤差为 -1.5% 。應該注意基本誤差与附加誤差及疏忽性誤差的區別。基本誤差是由仪表的内部原因所产生的；附加誤差是由仪表外部原因所产生的；疏忽性誤差是在进行測量时由于主观上的疏忽而發生的。通常所說的誤差指的是基本誤差。

在进行精确測量时，对同一数值需进行多次測量并根据需要采用算术平均誤差、平方根平均誤差、或然誤差与極限誤差等。

(2) 仪表讀数的改正值 仪表的讀数加上改正值后即為真实（或近于真实）的数值。因此改正值与絕對誤差大小相同，而符号相反。如前例中改正值为 $+3^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 仪表的灵敏度 用單位参数变化引起仪表指示機構的角位移或在标尺上的綫位移来表示。有时也用指針产生單位角位移所需参数的变化量来表示。仪表的灵敏度愈高測量就愈准确。

(4) 仪表讀数的变差 由于仪表的連动機構存在有或多或少不可避免的摩擦或空隙以及彈性另件的彈性后效等现象，所以仪表在重复測量同一数值时，指針从不同的方向接近这一数值將产生不同的結果。如真实溫度由低溫升高到 100°C 时，仪表的讀数为 99°C ，但由高溫降回到 100°C 时，讀数則为 101°C 。即在 100°C 处仪表有 2°C 的变差。变差的大小，一般用仪表可能發生的最大变差佔全刻度的百分数来表示。仪表变差过大时即不应繼續使用。如工業用毫伏計式高溫計其变差不应超过 $1\sim 1.5\%$ 。

(5) 仪表的准确度与准确度級 仪表的准确度表示仪表測量結果的可靠程度，一般用仪表讀数上下最大許可的基本誤差这一范围来表示，所以其数值前应冠以正負号。

仪表的准确度級是用最大許可誤差佔仪器全刻度百分数的数值部分来表示。如某溫度計的量程为 $0^{\circ}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，其最大許可誤差不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对的最大許可誤差为 $\pm 0.5\%$ ，它的准确度級就是 0.5。反过來說，量程为 $0^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的同級仪表，其最大許可誤差將不超过 $200 \times 0.5\%$ ，即 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

准确度級一般为：0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、6.0，此外还有 0.35 級的范型彈簧管压力表与真空表以及 10 級的仅用以指示压力有無的压力表。

0.005~0.2 級的仪表属于實驗室用的精密仪表；工業用仪表很少有超过 0.5 級的，例如电子式自动平衡电桥或电位計是 0.5 級的；常用的压力表与孔板流量計一般为 1.5~2.5 級。

在选择仪表时不应选择准确度过高的仪表，以免造成浪費。精密仪表一般構造都比較复杂和精細，需要加意护理，否則極易損坏，造成更大的浪費。

第一章 压力的測量

压力是指在單位面积上垂直地承受均匀地分佈的力。常用的压力單位有：

(1) 工程大气压 (公斤/厘米²): 相当于 1 公斤的力均匀而垂直地作用在 1 厘米² 的面积上。

(2) 物理大气压: 相当于 760 毫米垂直的水银柱的高度所产生的压力。(水银在 0°C 的重度为 13.595 克/厘米³)

(3) 毫米水柱或水银柱: 用来表示低压。(水为 4°C)

此外还有米水柱与公斤/米² 以及其它各种单位。各压力单位间的关系是:

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10,000 \text{ 公斤/米}^2 = 10,000 \text{ 毫米水柱} = 735.56 \text{ 毫米水银柱}.$$

因为各种工艺设备都是处于大气之中, 所以设备内部的压力常指相对于外部的大气气压而言。为此工程上常用“表压”(或“余压”)与“真空度”(或“负压”)来分别表示高于与低于大气气压的压力。有时也称绝对压力, 即不考虑大气气压的真实压力。高于与低于大气气压的绝对压力有时又分别称为“全压力”与“残压”。

在石油炼厂中所用的压力范围是很广的。例如高压加氢时要用 200 公斤/厘米² 左右的压力, 热裂化时炉管内为 50 公斤/厘米² 左右的压力, 而在减压分馏塔内则为 20~60 毫米水银柱的绝对压力。此外在某些人造石油工厂的煤气管线中有时只是几十毫米水柱的压力。

压力的测量是十分重要和严重的工作。这方面的任何疏忽与大意都可能招致巨大的危害与损失, 所以应当严格遵守压力仪表的安装、使用与定期校验检修的规则, 以免发生事故。

由于人类进行了长期的生产劳动, 在各方面都积累了巨大的科学技术知识。人们成功地利用了各种与压力有关的物理现象并做成各种适用的测量仪表。所用的物理现象如: 液体静力学现象(各种液体压力计与压差计), 弹性体应力与应变的关系(各种弹性体压力计), 电阻的压力系数(电阻高压计)以及晶体的压电效应(压电式压力计)等。

第 1 节 液体压力计

这类压力计中包括最简单的 U 形管压力计与根据同一原理为了适应不同的要求而发展了的其他形式的压力计。

1. U 形管压力计 如图 1-1 所示, 设工作液的重度为 γ , 工作液面以上的介质的重度为 γ' , 若双方介质的压力不相等并分别为 P_1 与 P_2 , 因而使工作液产生高度为 h 的液柱差, 若所用单位一致, 则根据液体静力学的原理, 可用下式表示这一平衡情况:

$$P_1 - P_2 = h(\gamma - \gamma').$$

用 U 形管压力计单独测量不大的表压或真空度时, 式中 P_2 等于大气气压。当工作液以上的介质为空气时, γ' 可以忽略不计。

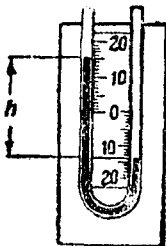


图 1-1 U 形管压力计

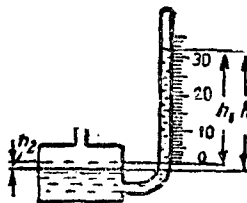


图 1-2 单管式压力计

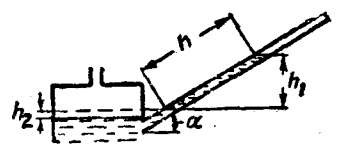


图 1-3 斜管式压力计

由公式可以看出，U形管压力计的灵敏度反比于工作液与介质的重度差。此外，当测量较高的真空度时，为了缩短U形管的长度，采用一端封闭并充满水银的U形管真空计。

U形管压力计的优点是构造简单，缺点是每测一数值需要读两个读数与不能承受较高的压力与机械损害。视差一般以1毫米计。

2. 单管式压力计 如图1-2所示，这种压力计在每次测量时，只需读取一个读数。

应当注意到无论左面杯的截面 F （直径为 D ）比右面管的截面 f （直径为 d ）大多少，当管内液柱升高时，杯内液面总要下降一些，由图可知：

$$h = h_1 + h_2 \text{ 与 } Fh_2 = fh_1,$$

$$\text{消去 } h_2 \text{ 得: } h = h_1 \left(1 + \frac{f}{F} \right) = h_1 \left(1 + \frac{d^2}{D^2} \right).$$

若杯径远大于管径时，可直接按 h_1 读取读数而不致引起显著的误差。例如杯径为80毫米，管径为4毫米时，所产生的误差仅为 h_1 的0.25%。通常可以忽略不计。

为了降低毛细管现象所引起的误差，管径一般不小于4毫米。

单管式压力计同样可以测量表压与压差，测量真空时管端亦需封死，管内充满水银。水银即使处于高真空度下也是比较不易挥发的。

3. 斜管式压力计 当测量低压并需要准确到 $1/10$ 毫米水柱时，简便而有效的办法就是采用斜管式压力计（又名微压计）。其原理与单管式压力计相同，不过这里由图1-3可知：

$$h_1 = h \sin \alpha,$$

就是说被测压力为 h_1 时，却可以根据较长的液柱 h 来读取读数，然后乘以斜管倾角的正弦即得所测压力的液柱高度。

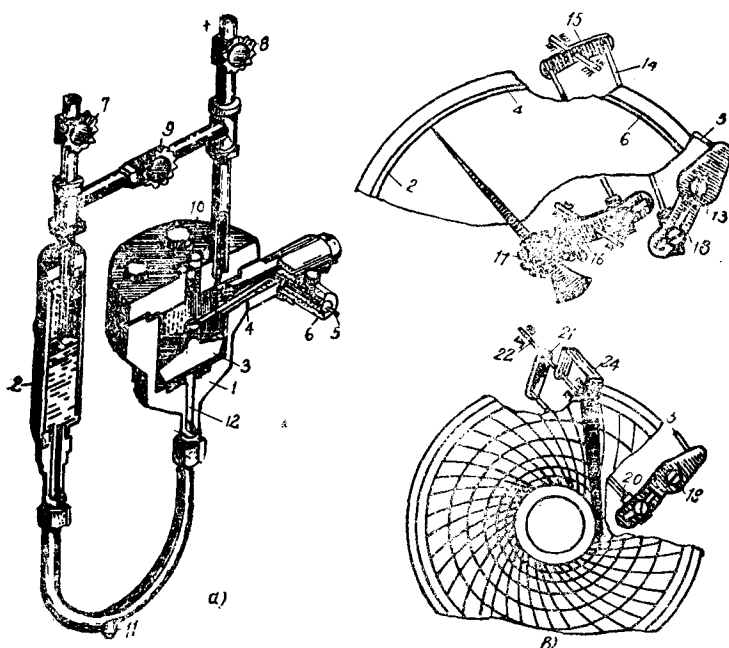


图 1-4 ДП 型浮标式压差计