

原子弹大膜片研发记

王同辰

1961年的一天，在上海工业自动化仪表研究所所长办公室，原第一机械工业部孙友余副部长给我布置任务：“最高领导亲自抓的工作中有一项任务，是原子弹发射系统的配套元件——大膜片^[注]的研制。大膜片元件现遭苏修挟持，理由是‘大膜片制造设备庞大，中国境内的铁路、桥梁、涵洞等必定要全线改建，否则无法运来中国。’大膜片我们一定要研制成功！我已布置太行仪表厂和上海仪表厂两个点，你们是第三个点，要同时研制。他们对厂房和研究经费都提出要求，你们有什么要求也可以提！他们提出五至十年完成，你们要多少时间？我已向领导拍了胸脯，现在看你们的了！”

从当时的凝重气氛和孙部长的严肃态度，我感到事态的严重性和研究任务的艰巨性。我之所以考虑该课题的难度很大，关键问题有二：一是要解决“膜片成型技术”问题；二是要解决“膜片热处理技术”问题。膜片大而薄，热状态不堪夹持淬火；膜片会氧化，还要保护气氛。我默默忖度，对膜片的成型，可采用等静压（CIP）技术来解决。1958年，我曾用CIP技术解决过悬浮硅单晶研制课题中的所需硅粉棒压制技术难题，工艺成熟，用于膜片成型较有把握。对于膜片的热处理技术，则必须采用“开放型自裂化氨保护气体热处理高温电炉”，让大而薄的膜片自由下坠，落入淬火液体中，方不至于变形，但这首先要解决特殊“高温电炉”问题。也真巧！我对高温电炉曾有近十年的设计和制造经验，有绝对把握去解决。

基于这些技术优势，经过几番深思熟虑，成竹在胸，毫不犹豫地提出：“不需巨额经费及另建宽大大厂房，一年内即可完成任务。”一言既出，四座愕然。孙部长欣然接受我提出的研制方案，我所接受了这一艰巨任务！

之后，我将研究课题安排在我室“弹性元件组”进行，由组长项义炳统一调度，执行拟定的研究方案。方案分三个工作块进行：第一块为膜片成型，由项义炳、张泽群负责，按CIP技术要求，设计制造压力堆，进行膜片成型。第二块为膜片热处理，由虞先强负责，包括：1、依据我的计算数据，加工电发热体；2、

锲而不舍（研究篇）

利用电炉夹墙余热，气化液氨后，裂化其为氢氮混合气，形成保护气氛；3、炉体为开放型，上无盖（有盖则无法悬挂膜片），氢氮混合气燃烧形成“火簾”，阻隔空气，形同炉上有密封盖；4、炉腔中装有膜片夹持器，能控制膜片定时释放，自由垂直坠落；5、炉体下方为“水槽”，内储淬火液，膜片垂直下坠，落入水槽内淬火。第三块为膜片性能测试，由杨乐平、叶玉梅负责，将淬火后的膜片进行表面酸洗，是为成品。然后，用光学测高仪测定膜片“受压力变化而变化”之性能，合乎原子能工程总部之要求者，为合格膜片。

由于技术方案正确，措施得当，工作进行得十分顺利。但是元件样品的性能总达不到原子能工程总部的要求。我暗自忖度，方案正确、工艺妥当，何以不成？心中焦躁，寝食难安。一年时间即到，由北京十余家单位组成的工作检查团来我所检查，我对未能如期完成任务的原因如实陈述：“自查方案及工艺无误，是否是原子能工程总部下达的原始数据有误？”检查团中一位首席代表闻言，怒而斥之：“下达的原始数据，是本部三次派测试小组在元件大膜片标准样品上测得的。三个小组，三批不同人员，三次数据相同！就最普通逻辑而论，原始数据岂能有错？”声色俱厉。当时我十分为难，既无理由去更改技术方案和工艺，但研究工作还得继续下去。只好由我以项目负责人的名义申请核对，请他们再测一次。幸好，得到了这位首席代表的同意。

这一申请核对，由原子能工程总部上海办事处主任聂锦麟工程师负责联系，要等一个月后才能将核对结果送交。我心想这一个月可比一年还要长，无奈之下，只有等吧。

不料才过七天，聂锦麟就打来电话说：“对不起，向你们道歉！是我们错了，取错了大膜片标准样品。尽管三个小组，三批不同人员，三次数据相同，但都是错的！”不久，北京十几个单位联名来信，为下达的原始数据错误向我所表示道歉。此信曾交我看过。

有了正确的数据，只用不到一个月的时间，合格大膜片就诞生了。我带着大膜片到北京，在部里楼梯上遇到正要去第一机械工业部开会的孙部长，他听说大膜片已研制完成，喜形于色，会也不去开了。回到办公室，让我坐在沙发上，他却站在我面前，听我汇报。其喜悦快慰之情，溢于言表。

几天后，原子能工程总部刘西尧总指挥、十局王局长同来我所道贺，并了解

锲而不舍（研究篇）

大膜片研究工作详情。此后，曾有其他尺寸大膜片的承制任务下达，我所也派杨乐平、叶玉梅赴大连参加大膜片的安装。大膜片亦曾在氢弹工程中使用。

注：大膜片：原子弹的重要元件，需用“重型压机”压制而成。当时我国尚无“重型压机”，请苏联支援，但苏联拒绝提供相应设备与工艺。我国巧用“CIP”技术，四两拨千斤，用一个大小不到一立方米的“压力堆”代替“重型压机”，解决“膜片成型”难题；再配以“开放型自裂化氨保护气体热处理高温电炉”，又解决了“膜片热处理”难题。于是，研制成功了原子弹发射系统的配套元件“大膜片”。



作者简介：王同辰，1916年5月出生，江苏人，毕业于清华大学电机工程系，高级工程师；历任上海工业自动化仪表研究所主任工程师、研究室主任，上海华美霓虹灯厂有限公司董事、常务副总经理，上海华仪测控技术工程公司董事、总经理，上海罗伦高温技术研究所所长兼总工程师，上海市退（离）休高级专家协会机电专委会地区小组组长。主要研究高温技术和仪器仪表领域内的材料、元器件、工艺，国内首创了高温电热元件硅碳棒、大膜片、铠装热电偶、超微型铂热电阻、悬浮区熔硅单晶等。

流量仪表制造业回顾

蔡武昌 朱家顺

引言

锲而不舍（研究篇）

本文主要以发源地上海为主线，以上海光华仪表厂为实例，回顾中国流量仪表制造业在不同时期的企业状况、品种发展和行业动态等三个层面上的变迁。按发展特征分五个阶段：萌芽期、发展初创期、发展中期、技术引进吸收成长期、多种经济竞争期。

1 萌芽期(1949 年以前)

1901 年林涤庵和张伯岸在上海成立“科学仪器馆”商行，从日本进口买卖理化仪器。1911 年张又在上海开张“实学通仪馆”，并于 1915 年创办工场仿制理化仪器，开创了自行制造仪器。

1925 年留美归国学者丁佐成在上海博物院路成立“中华科学仪器馆”，初期为中国航空公司制作无线电收发报装备，1927 年改为“中华科学仪器公司”，即大华仪表厂前身，转而研制电表，1929 年制成我国第一台直流电表，继而又开发交流电表。张伯岸和丁佐成创办的企业成为中国仪器仪表工业的先行者。

19 世纪末 20 世纪初，沿海城市供水和煤气所需的水表、煤气表、文丘里流量计等均从国外进口。中国流量仪表制造业的萌芽始见于 20 世纪初附设于公用事业水厂、煤气厂修配工场和提供易损零部件的机器厂，培育了维护修理、装配校验和制造的从业人员。

范瑞孚、黄柏年等于 1934 年在上海法租界成立光华精密机械厂(上海光华仪表厂前身)制造水表零件供应租界外商自来水公司维修所需。1936 年生产整只家用旋翼式水表供给济南自来水公司，交货 8000 余只。1946 年天津联昌机器厂(天津自动化仪表三厂前身，21 世纪初生产水表部分，又恢复原名“联昌”)也生产家用水表。当时社会上针对水表有“南光华，北联昌”之称。40 年代后期，上海震旦机器厂也生产家用水表。

新中国成立前我国仅有几家生产水表的企业，第一次世界大战时所出现制碱等流程工业以及公用业水厂、电厂等所用差压式流量计还是从国外进口。

2 发展初创期(1950~1969 年)

2.1 企业状况

新中国建立前夕，留美学者王启贤筹建新成电器厂(上海仪表厂和上海自动化仪表一厂前身)生产铁路号志等。解放初转向生产流量仪表，起初开发旋转活塞容积式水表，1952 年陆续研制成功钟罩式水银差压计和文丘里管节流装置(差

锲而不舍（研究篇）

压发生器)。第一个五年计划(1953~1957)期间上海几家流量仪表制造企业参照前苏联援建 156 项工程成套设备中样机,设计开发多种流量仪表,提供计划配套项目或维修备用仪表,例如浮子式水银差压计、环管式差压计、孔板/喷嘴等节流装置(新成仪表厂,原新成电器厂改名),椭圆齿轮容积式流量计(上海光华仪表厂)等。

50 年代中叶国家已注意到仪器仪表基础薄弱,拟扩散一批上海生产产品到新建企业,以壮大制造业队伍。1958 年一机部三局(主管仪表)在南京召集国营上海电表厂、一机部上海热工仪表研究所(上海工业自动化仪表研究所前身)、上海市机电仪表公司(上海仪器仪表工业公司前身)及其所属有相当实力的公私合营企业新成仪表厂、大华仪表厂、光华仪表厂、综合仪表厂(上海自仪三厂前身)、星星仪表厂(建工仪表厂,上海自仪五厂前身)进行座谈。座谈会分两部分,局、公司、厂领导座谈商讨筹建新厂开封仪表厂和云南仪表厂事宜,要求上海仪表基地在技术上和人才上支持新企业。商定拟生产流量、压力/差压、液位仪表的开封仪表厂,由新成厂、光华厂、星星厂、综合厂支援;拟生产温度仪表、显示记录仪表的云南仪表厂,由上海电表厂、大华厂、综合厂抽调人员支援。人员中有产品设计和加工工艺专职工程师、技工及配套干部;一机部三局也调拨相当数量机床以提高老厂生产能力,以作支持。座谈会另一部分是企业技术副厂长、技术科长听取部局技术领导要求加强技术管理工作的报告,上海电表厂吴履悌副总工程师、上海热工仪表研究所标准化室张乃昌主任推介培训图样管理制度、产品标准和工艺文件编制和零部件标准化等,以提高老企业技术素质和管理水平。

第二个五年计划期间(1956~1960 年)国家还组建综合性国营西安仪表厂,在东德援助下生产东德各系列压力/差压、温度、分析记录仪表等工业自动化仪表及关键零部件制造工艺(如检测压力弹性波纹管的滚延法工艺)。

政府在新建国营企业的同时,还规划并布置各地原有生产其他仪表的企业,扩产或转产流量仪表。如 50 年代末宁波一家仪表厂在上海光华仪表厂帮助下转产水表,后来改名宁波水表厂,成为我国水表业的主导企业,在 2003 年年产水表达 230 万台,占国内市场份额 10%;1962 年上海仪器仪表工业公司将几个仪表厂改组成上海安亭仪表厂(上海自动化仪表九厂前身)作为流量仪表生产企业,稍后生产涡轮流量计、腰轮流量计等;60 年代中期安徽合肥某仪表厂转产,组成

锲而不舍（研究篇）

专业生产流量仪表的合肥仪表厂（现合肥精大仪表有限责任公司前身），在上海光华仪表厂帮助下生产椭圆齿轮式容积流量计，成为我国第二个该仪表的供应商，90年代年产量超过万台，居于全国首位。

60年代初中期，上海地区原一机部机械工业归口的流量仪表企业划属其他专业性强的工业部门。上海光华仪表厂划归第二机械工业（核工业）部，除仍生产原民用通用仪表外，专门为核工业研发铀矿冶、同位素分离、后处理萃取工艺流程等核工业过程检测和控制用流量仪表和其他参量仪表。上海仪表厂划归航天工业部，划出民用产品给和平热工仪表厂（后改组为上海自动化仪表一厂），上海仪表厂研发航天工业专用仪表，如航天专用涡轮流量计等。

初创期末不包括家用水表和家用煤气表，全国流程工业和储运交接用流量仪表生产企业，估计20家左右。

2.2 产品开发

产品开发除前述提及的一些外，全国各地还开发了相当数量各品种仪表。如沈阳玻璃仪器厂在1958年前后解决了玻璃锥形管成型关键工艺，成功开发了玻璃锥管浮（转）子流量计；上海光华仪表厂在1963年前后开发了发出二位信号的差压式流动继电器（又称流量开关，flow switch）；哈尔滨龙江仪表厂开发了测量重油的腰轮流量计；在后期多家企业开发了膜片、膜盒或双波纹管差压计，替代有汞害的浮子式水银差压计。

流量仪表制造企业在这一时期，除了向市场提供通用的传统流量仪表（差压式、容积式、浮子式）外，开始研发新测量原理的新颖流量仪表（电磁式、涡轮式、热式等）和特定要求的仪表。

在新颖流量仪表方面，如60年代初开封仪表厂和上海工业自动化仪表研究所联合开发液体涡轮流量计；1958~1962年间上海光华仪表厂在上海工业自动化仪表研究所指导下开发电磁流量计；60年代后期北京化工研究院开发热式气体流量计，上海光华仪表厂也开发热式气体流量计，并在发展中中期向社会提供商品。

在开发特殊使用条件等特定要求方面，如常州热工仪表厂的耐腐型玻璃锥管浮子流量计；上海光华仪表厂开发耐氢氟酸的透明锥管浮子流量计，测量矿浆用差压式流量计，测量水银用磁性流量计。

锲而不舍（研究篇）

流量仪表制造业在这一时期曾组织过多次仪表的统一设计或联合设计。笔者参与了 60 年代的家用水表和玻璃锥管浮子流量计的统一设计，70 年代的电磁流量计联合设计。紧接下文简述三种仪表在初创期的设计经过，电磁流量计联合设计则延续进行到发展中期，其他项目还有双波纹管差压计、单膜盒差压计和涡轮流量计。

60 年代初中期由上海热工仪表研究所组织宁波水表厂、上海光华仪表厂、上海自来水公司水表工场等单位成立工作组，研究关键性设计工艺技术(如小模数齿轮齿形、小齿轮塑料注塑工艺等)，集中设计，分头试制。完成后颇受业内欢迎，推动了我国水表业发展。

60 年代中期上海热工仪表研究所组织生产玻璃锥管浮子流量计的沈阳玻璃仪器厂和上海光华仪表厂以及拟扩展流量仪表的常州热工仪表厂(常州双环热工仪表公司前身，原只生产温度计)，在常州集中开展联合设计全系列玻璃锥管浮子流量计，统一型号参数规格、连接法兰间距离安装尺寸等，分头试制验证。在以后很长一段时期内为大部分制造企业所采用。70 年代又开展带筋锥管仪表的联合设计和后续合作试制。

60 年代中后期上海热工仪表研究所组织生产电磁流量计的上海光华仪表厂、开封仪表厂、天津仪表厂和拟生产电磁流量计的上海自动化仪表九厂，在开封集中开展联合设计。后因“文革”武斗而中途停顿，但各单位仍按设计方案和阶段成果，在 70 年代进行研究试制工作，取得了很大的效果。

流量标准装置或称流量校验(标定)装置是用流体(液体常用水)实流，将流量值传递给流量仪表，或评定流量仪表的准确度。50 年代上海光华仪表厂生产水表初期，是借用诸自来水公司进口的容积法水表校验装置，1952 年自行建造水表校验装置。由于水表校验是累积量的比较，对瞬时流量的稳定性要求不高，直接采用供水管网作为水源。新成仪表厂生产文丘里管、孔板等差压流量计时，由于孔板等以采用几何尺寸丈量 and 差压计校验压力的干法校准，毋须实流校验的流量标准装置。

然而开发速度式(浮子式、涡轮式、电磁式)流量计，在研究和制造单位必须要用瞬时流量稳定的流量标准装置。1972 年上海光华仪表厂首先设计建造恒水头高位槽稳压水源流量标准装置，其后上海热工仪表研究所、开封仪表厂、上海

锲而不舍（研究篇）

自仪九厂及各地其他企业也相继建立高位水箱或水塔的流量标准装置。开封厂则在发展中期 70 年代筹划，1983 年建成管径 1 米，最大流量 18000m³/h，当时国内最大的大型水流量标准装置。

3 发展中期(1970~1980 年)

3.1 企业状况

发展中期陆续有一些国营自动化仪表厂扩展品种，增产或转产流量仪表。据上海工业自动化仪表研究所流量室主任杨根生在一次流量仪表行业会议上透露，1976 年全国工业自动化仪表综合厂生产流量仪表者有 34 家，专业生产流量仪表厂有 17 家，有流量仪表研究团队的研究所 4 家，合计 58 家流量仪表企事业单位。除此之外，70 年代初出现了校办工厂和乡镇办工厂的集体企业，且持续地增多。到发展中期末全国生产流量仪表的企业估计在 80~100 家之间，也可能超过 100 家。

50 年中期私营企业经“社会主义改造”转为公私合营企业，到“文革”又全部改变成国营企业。此后就只有全民所有制国营企业，然后到 70 年代初，首先在浙江、江苏分别出现学校办工厂和乡镇办工厂的集体企业。如成立于 1975 年的浙江苍南仪表厂的前身就是一家 1971 年成立的校办厂。这些企业中有聘请国营企业退休职工或星期日工程师帮助开发流量仪表。如上海光华仪表厂退休职工在 70 年代中期帮助江苏东台县乡办厂开发椭圆齿轮流量计(后成立东台仪表二厂)。还有一些乡镇企业实质上是私人办的工厂。

3.2 产品开发

发展中期衍生出满足各产业不同需求的传统仪表，同时发展若干新颖流量仪表，如 70 年代初上海光华仪表厂开发了高温液态金属磁性流量计，口径 6~25mm，流体温度≤600℃。开封仪表厂、上海光华仪表厂、天津仪表厂按前述电磁流量计联合设计方案基础上分别研发新一代电磁流量计，提高性能，改变过去电磁流量传感器与转换器必须配对校准，不能互换的缺点，方便维修调换。

70 年代后期天津自仪三厂开发供水业大管径应用的插入式涡轮流量计，开创了我国点流速大管径插入式仪表的先河，从 1981~1983 年三年间收到订货超过 1500 台。

70 年代初期重庆工业自动化仪表研究所、北京公用事业科学研究所率先研

锲而不舍（研究篇）

究涡街流量计，后来银河仪表厂、开封仪表厂也参加了涡街流量计的研究开发。

1977 年上海工业自动化仪表研究所和常州热工仪表厂联合开发完成旋进旋涡流量计。

1978 年上海工业自动化仪表研究所和上海自动化仪表八厂联合开发完成固体颗粒流量计。

1978 年开封仪表厂开发完成 DN900 标准体积管式流量校验装置。

3.3 行业动态

1976 年以前行业活动是按计划经济模式以地区和行政系统布置，“文革”结束后跨地区、跨部门开展工作。1977 年 3 月一机部仪表局和上海工业自动化仪表研究所邀请各地区各部委有关企事业单位，在北京召开“流量仪表行业技术座谈会”，讨论《流量仪表系列型谱(草案)》科技规划和行业技术工作。此后上海工业自动化仪表研究所编辑以流量仪表行业技术工作组名义，不定期出版《流量仪表网讯》，出版了 5 期(1977 年 5 月~1978 年 4 月)，以交流国外流量仪表及其发展趋势，国内产品开发，标准制订和应用经验等，后未继续出版。

4 技术引进和吸收成长期(1981~1999 年)

4.1 企业状况

本时期流量仪表制造企业又有较多增加，其中有行业协会流量专业委员会注册会员 56 家企事业单位，非会员乡镇集体企业数十家，非会员或未注册的综合工业自动化仪表会员企业而生产流量仪表的国有企业(如西安仪表厂，上海自动化仪表一厂，上海调节器厂，兰州炼油厂仪表厂，以及广东(肇庆)仪表厂、沈阳玻璃仪器厂等)以及新建若干中外合资企业。全国生产流量仪表企业估计 280 家左右，其中具有一定规模或技术特点的企业有 77 家。

4.2 引进技术

仪表行业以多种性质或方式引进技术，有许可证贸易，合作生产，中外合资企业等。

80 年代初上海自动化仪表公司与美国福克斯波罗(Foxboro)公司合资成立上海福克斯波罗有限公司，以连续性技术转让方式生产控制系统^[8]，也组装振弦式差压变送器。

1981 年开封仪表厂以许可证贸易方式引进英国 Kent 公司电磁流量计，是首

锲而不舍（研究篇）

家流量仪表行业专项技术引进项目。

80年代初西安仪表厂引进美国 Rosemount 新一代差压变送器—1151 系列电容式差压/压力变送器，以后又有多家企业重复引进。

1987 年上海光华仪表厂与德国 Krohne 公司及其所属荷兰 Altometer 公司成立上海光华爱而美特仪表有限公司，生产电磁流量计。这是流量仪表制造业成立的首家中外合资企业。

此后上海自动化仪表公司相继与美国 Rosemount 公司在 1993 年成立上海罗斯蒙特公司生产科里奥利质量流量计，与日本横河电机在 1994 年成立上海横河电机公司生产涡街流量计和电磁流量计。全国各地也引进若干项目和开办中外合资企业请参见附录二流量仪表引进技术项目一览表。

4.3 产品开发

这一时期在引进技术的同时，还自主开发了若干新工作原理的新颖流量仪表和适应各种使用要求的新型号传统流量仪表，例如：

上海光华仪表厂在国内多家企业引进电容式差压变送器之前，早在 80 年代初自主研发电容式差压/压力变送器，经过几年时间，解决了检测膜片预张紧力工艺、焊接密封、充液等几个关键技术后试制成功，于 1986 年批量投放市场^[9]。

北京大学无线电系，上海工业自动化仪表研究所，唐山煤科院相继研究开发超声流量计，随后长沙电子仪器厂，本溪通用电子设备厂，唐山大方仪表公司在上述研究机构成果的基础上，相继开发生产超声流量计投放市场。据超声流量计业内人士估计 1998 年前后国内自主开发仪表年产已接近千台。南京电力自动化研究院独辟蹊径，研究开发大管径多声道超声流量计(8 声道最大直径 10.5m)应用与检测水电站水轮机效率。迄 1998 年水电站已装用百台以上。

北京建中仪器厂(其仪表分厂即北京七星华创电子公司前身)开发了由热式质量流量计和控制阀组成一体的微小流量热式气体流量控制器，应用于半导体制备工业。

太原太行仪表有限公司，浙江乐清市东仪实业公司，西安东风机电有限公司相继开发科里奥利质量流量计，2000 年前后国内开发的仪表年产已达 200~250 台。

上海自动化仪表九厂开发了容积式流量计中精度较高的刮板流量计。

锲而不舍（研究篇）

4.4 行业动态

行业活动有学术性质活动和以制造企业为主体的行会性质的行业 (Manufacturer' s Association) 活动两方面。

中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会于 1980 年 7 月在程度召开以“流量测量技术及仪表”为专题的讨论会，这是首次以流量测量为专题的学术会议，提交会议百余篇论文。1981 年 11 月在重庆第二次学术会议并成立流量专业委员会，后又举行了 4 次活动(1984.5~1995.6)，现已不存在了。

中国仪器仪表行业协会自动化仪表分会流量仪表专业委员会(CIMA/FMC)于 1989 年 1 月正式成立，成立时有 56 家流量仪表制造企业和研究事业单位会员，现仍继续着活动。流量仪表专业委员会出版《会刊》在会员间相互沟通交流。

5 多种经济竞争期(2000—)

这一时期除原国有企业、中外合资企业、民营企业外，进入了外商独资企业。

5.1 企业状况

2001 年 12 月德国国家族企业 Krohne 公司在中国已有 4 家生产流量仪表合资企业的基础上，首先在上海成立了科隆测量技术(上海)有限公司，生产电磁流量计、科里奥利质量流量计等。2004 年日本横河电机在继续持有合资企业上海横河电机等的同时，在苏州成立总部(中国)并兼生产基地，生产电磁流量计等。2004 年 10 月 E+H 集团建成恩德斯豪斯流量仪表技术(苏州)公司生产基地。2004 年 ABB 在上海建立生产电磁流量计、差压/压力变送器的生产基地。西门子自动化与驱动部 2007 年在大连建成生产电磁流量计等流量仪表和其他仪表的生产基地。艾默生过程管理 2007 年 8 月在南京成立流量技术有限公司，生产科里奥利流量计、超声流量计、电磁流量计和涡街流量计，2008 年又成立艾默生亚洲流量技术中心。这些企业的母公司都是新颖流量仪表的著名强势供应商。他们占有世界市场份额 70%~80%，在我国也占有很大份额。

此外还有若干技术特色的国外中小企业在中国建立全资子公司，例如美国矽翔微机电系统(上海)有限公司生产 MEMS(微机电系统)热式气体流量计。

有些在 90 年代成立的中外合资企业，在 21 世纪初经中方股份转让后改组成外独资企业，如上海罗斯蒙特有限公司(2002 年)和合肥奥巴尔仪表有限公司。

现在各种类型外独资流量仪表制造企业已超过 12 家。

锲而不舍（研究篇）

国有企业在此期间大为萎缩，经过 90 年代中期企业瘦身减员，2000 年前后的政府放小改制政策，大部分国有流量仪表制造企业转变成合作制或股份制民营企业，例如原主要国有企业开封仪表厂，上海光华仪表厂，天津中环流量仪表厂（原天津自动化仪表三厂），上海自动化仪表九厂，常州热工仪表厂等，员工进一步减少。此后国有流量仪表企业已为数不多，如太原太航流量工程有限公司（原太行仪表厂）以及新成立核工业集团上海维思仪器仪表有限公司。2008 年前后中国仪器仪表行业协会流量仪表专业委员会 50 余家会员中国有企业只占约 5%。

流量仪表民营私营企业数量大增，有原国有企业（大学、研究机构）有志者下海独立创办，有民间有志者利用社会技术力量（退休专业人士和国有企业改制富余员工）兴办，原国有企业改制转变而成及其分流职工自行创业所衍生很多新生企业。例如开封仪表厂离厂员工组建了 30~40 家生产节流装置或电磁流量计的企业，上海光华仪表厂离厂员工组建了 15~20 家生产电容差压变送器或电磁流量计的企业。

此外，社会上出现专业化生产流量仪表关键零部件（如：电容差压/压力变送器的差压传感元件，椭圆齿轮流量计的椭圆齿轮）和提供电磁流量计等转换器的企业，降低了进入这类仪表的技术门槛，促成了新企业的增加。

民营企业经过 10~20 年的发展，成为流量仪表业中的中坚力量，在 CIMA/FMC 会员中有 3 家以上乡镇企业起家的民营企业，2008 年销售金额超过 1 亿元，超过原国有企业改制的民营企业，显示强劲的实力。

期间新成立中外合资企业不多，例如：北京昌民技术有限公司，生产韩国昌民技术株式会社的多声道超声流量计；2003 年成立重庆耐德罗尼克仪表制造公司生产德国 Rheonik 品牌的科里奥利质量流量计；2000 年成立上海埃尔斯特埃默克燃气设备公司，生产德国 Elster 公司的气体涡轮流量计。

2003 年流量仪表业内人士估计企业数在 450~540 家之间。近年从期刊和网络广告上看到，又有一些新企业，据计量部门透露，发电磁流量计生产许可证给全国企业就有 221 家，涡街流量计也超过 200 家。笔者估计当前流量仪表制造企业在 550~650 家之间。

5.2 产品状况与开发

外商独资企业或中外合资企业带来当代次新或最新的流量仪表，它们的特点

gongkong®
自动化行业优化者、建设者

锲而不舍（研究篇）

是采用新的测量原理和方法，智能化和多功能，自动检查和故障诊断，检测系统的多参数测量，仪表的集合一体化等。例如：

自动检测和诊断方面有：科里奥利质量流量计利用测量管刚性变化，在运行时自动检查管壁磨损/腐蚀或内壁结垢所引起性能变坏；电磁流量计运行时在线检查测量励磁电流、信号电路绝缘、电极接液电阻等参数，检测电极泄漏，测量管内表面和电极覆盖附着层，衬里损坏等。

检测系统多参数测量方面有：科里奥利质量流量计从原来可测质量/体积流量、密度、温度、溶质在溶剂中的浓度外，又新增加测液体黏度；电磁流量计发展了可测含磁性矿粒浆液流体的流量。

仪表的集合一体化方面有孔板等差压发生器和变送器集合一体，测量气体时再集合压力/温度传感器，组成一体化仪表，取消了现场引压管、电缆、减少安装工程量，消灭潜在故障点。

本土企业也开发若干新型号仪表，开发了应用总线技术和各种通信方式的流量仪表。水表从几十年仅有叶轮/容积机械式发展了电磁水表、超声水表和射流(fludics)水表等多种测量原理的仪表。科里奥利仪表由太原航空流量仪表公司等将口径扩大到150/200mm。上海维思仪器仪表公司开发了测量天然气的多声道超声流量计，打破了国外企业在我国天然气西气东输管网上应用的垄断，并开发了适合国情应用于高CO₂含量的低压城市煤气的仪表(国外仪表均不适用)。

5.3 行业动态

在市场规模方面，CIMA/FMC在文献[12]中估计本土生产流量仪表2003年销售约26亿元(不包括家用水表和家用煤(燃)气表)，约36万台(还不包括产量超过17万台的透明(玻璃)锥管浮子流量计)，进口流量仪表16.3亿元，合计销售约42.3亿元。笔者估计2007年中国流量仪表市场容量包括本土生产和进口合计在65亿~75亿元之间。

在各品种比例方面，封闭管道用流量仪表按测量原理有十余种，表1所示是2005年前后，前9种品种销售台数所占比例，其中差压变送器代表差压式流量仪表因变送器大部分用于差压流量测量，小部分用于液位、密度、绝对压力等。表中传统仪表(差压式、容积式、浮子式、涡轮式)占3/4；新技术仪表占1/4，低于国外比例。

表 2005 年前后流量仪表各品种所占比例（%）

名称	差压 变送器	容积式	浮子式	涡轮式	电磁式	旋涡式	科里奥利 质量式	超声式	热式
销售百 分比%	42~51	11~14	4.8~5.4	7~10	10~11	10~12	0.7~0.9	0.8~1	1~1.2

6 结束语

上文回顾了我国流量仪表制造业发展历程，有些是亲历、亲见、亲闻的回忆，部分内容是与几位同仁查阅资料核实所得。光华厂 30~40 年代历史是在 90 年代编撰“厂志”时按创始人之子范铭高、范锦高口述。

对于现在庞大企业中，部分是否真正具有生产能力存疑，因他们采用“贴牌”等灵活方式销售仪表，近乎“皮包公司”。这类企业严格地说似乎不应列入“流量仪表制造业”。然而“计量生产许可证”等却齐全，难于辨别，未成共识，只能一并列入。文中“估计数据”是在有限统计的基础上，几位业内人士分析讨论所得，可能与实际间有较大偏差。



作者简介：蔡武昌，1929 年 4 月生，上海青浦朱家角人，教授级高级工程师。1951 年毕业于上海大同大学电机系，原上海光华仪表厂总工程师，长期从事流量测量仪表的生产技术研究和开发；曾发表流量测控方面论文几十篇，获技术专利发明二项，主编（合著）《流量测量方法和仪表选用》《电磁流量计》等专业技术工具书四本；现任中国仪器仪表行业协会流量仪表专业委员会顾问。

朱家顺，1946 年 11 月生，浙江龙游人，高级工程师。1979 年~1982 年中央广播电视大学电子专业，1989 年~1992 年宁波广播电视大学工业企业管理专

业，2001年8月上海理工大学工程硕士毕业，余姚市银环流量仪表有限公司总经理。

老兵自述

韩建勋

一、联合攻关

1962年国家科委向有关单位下达联合攻关的任务，即气动单元组合仪表（AYC）的研制（5406）及其应用（3911）的研究课题。由仪表研究所、仪表制造厂提供样机。高校、研究、设计单位则对样机功能、性能及其现场应用进行试验研究，并做出设计规范，提出安装接线施工图。围绕上海有关AYC研制单位，以上海炼油厂常减压车间作试验基地。两项目交叉配合，联合攻关。参加人有北京石科院韩福田、天津大学韩建勋、北京石油学院林圣泳、郑永年、杨名滨、北京石油设计院廖明道、厂方邵振宇等。（韩福田与韩建勋从头至尾参加）。试验化工装置对象是加热炉，主要控制的被调量是炉出口油温（300℃），波动值希望从远大于10℃降下来。

五十年代，即便在国外，自调系统绝大多数仍停留于单回路，能用上具有中间检测点（又称超先检测）的串级调节就算先进了。我们要通过试验比较作出选择。据现场观察分析，取炉内挡墙上方温度为中间检测点，炉出口油温为主参数组成的串级系统。最终被调量的温度波动值由原来远大于10℃被降到小于3至4℃。效果很好，皆大欢喜。额外收获的是，将该温度调节阀的弹簧卸掉，改造为浮动阀，使温控效果更进一步改善。试验完，廖工把AYC设计规范与接线图也迅速完成，这样，控制室面板简洁了，加热炉与常压塔工艺参数稳定了，厂方也很高兴、满意。攻关组在韩福田率领下，群策群力，情绪高涨，完成任务。给国家坚定了大规模生产单元组合仪表的决心，从而打破了美国对我国仪表行业的经济与技术的封锁。加热炉的温控方案也逐步被推广。现场攻关组，天天集体讨论，各诉己见，也分不出谁提的是关键点子，更谈不上谁保守。三十多年过后，澳门回归前夕，旅居澳门的廖明道，在取得葡方给予其赴美特殊移民签证后，竟然不远千里来京、津与老友们晤别，实是感人。真诚的合作与友情值得珍惜与缅怀。

锲而不舍（研究篇）

实践出真知。经此攻关，深感力平衡式气动表远优于位移平衡式气动表。浮动阀具有力平衡、无差调节、无摩擦因而无滞环、高灵敏度、高分辨率等优点。串级系统合理取“中间检测点”除具超先检测外，还具干扰反馈等多元性质。1962年的上炼之行，是我一生敢于实践、热爱实践的技术生涯的第一步。

二、我的实践历程

自天大化工研究班毕业后，接着去清华大学自动化班进修，随后半个世纪一直工作于教育、生产、科研、设计的第一线，所以算个自动化战线上的老兵。在高校教师中，我可能是下基层为期最长的少数者之一。我不太愿意著书立说，这是主观的方面；另一方面，我有跨学科的学历，专业教学任务少，易处在游离工况，天津工厂多，求援的事多，常年累月外勤、出差，成了专业教研室的“驻外使节”。适应外援需要，我在天津跑过化工、石油、轻工、冶金、无线电元件、热电厂等。还包括苏联援助的156项工程中的许多化工、石油大厂，文革前后引进的大型石化、电厂也去过很多。光兰州，一生就出差20次之多。下厂不是走马观花，往往一耽就是1至2个月，甚至1至2年乃至2至3年。打交道不停留于车间主任、科长，多的是工人、班长。经常自己绕着设备与仪表盘上下爬。不耻下问，不怕压力，不辞辛劳。“工人去的地方，我都该去”，“工人不戴口罩，我就不戴口罩”。见问题、疑点不放松，难点要穷举地思考，刻意长期、反复思考，不想通不罢休。精益求精地找问题，解决问题。一次兰州化纤厂厂长批评车间主任、生产科长等：“韩老师进厂一个多月就摸清你们已工作一二十年尚未清楚的问题”。我在兰化，从不住宾馆，而是住工厂前的倒班楼，且专拣没电视的空房住，这样可自由地工作到深夜，不受干扰也不干扰别人。

1975至1976年受水电部委托，帮助天津大港电厂从意大利引进的全套大型机组（32.5万KW）的消化、吸收、培训。包括组装式仪表、计算机巡检、机炉电全厂协调控制、亚临界参数（400℃、170atm）、高强度蒸发负荷（1小时，把1千吨水化为汽）。汽包不大，缓冲容积小。如不进水只出汽，10秒钟就可使汽包水全部汽化，会造成危险。协调控制和水位控制是难题，资料奇缺，只有十几张连线施工图，没说明。只能穷举地排列组合，翻来覆去的看图、连线试探，冥思苦索，因而后脑勺鼓个肿包，核桃大小，迟迟消不掉。后遇唐山地震，暂停工作一个多月才消肿。可是，由此留下一动脑就容易脑痉挛的后遗症。尽管如此，

锲而不舍（研究篇）

我的工作信念依然是：“想不通也得想，想通为止”。

调查、思考、深入再深入，日积月累，逐步提高解决问题能力，尤其经八十年代的实战锤炼，以至思路、办法油然而生。97年底，我的收官之作是兰化化纤萃取车间的过程控制，效果离奇地好，不用从手动过渡到自动，只需一次投入自动就成功。该系统连续运行6、7年无故障，直到该厂改产为大乙烯装置为止。看似奇迹实非奇迹，而是瓜熟蒂落之必然。

三、治学和思考

几十年来，我坚持我的治学三原则：一是深入实践，不留死角，及时解决问题，逐步深入扩大工作面。二是发挥跨学科优势，尽量弄清化工机理，与自控知识交叉思考；刻意强制思考，不想通不罢休。三是坚持钱学森理念“引向技术科学”，要“工偏理”，扩思路，挖潜力，提水平。为此，我在选研究生课题时，一般偏理论居多，如小样本辨识、模式识别、分布参数系统、广义系统（线性、非线性混合系统）、热力学II律焓分析的动态问题研究……希望条件好的研究生，提高数学水平，学“实变函数”等课。我曾请南开大学数学老师评论文并参加答辩，有时甚至请他们帮助指导。宁可我尚未太懂，也得严要求让研究生论文水平提高起来。这样，长期以来，使投稿于国际会议、自动化学报的文章易于被接纳。（我三次被英剑桥传记中心约稿，也许与此有关。不过，我淡定于此，一次也未回复过。）

遇不明白问题应立刻去思考，长期深入思考，量变到质变，必然会走向善于思考，逐步成为实践能手。同一问题，不同时间段的思考，其认识深度也不同，越久越深入，理解越深刻。举些例子：

1、 信号的单向性与非单向性：1958年周春晖先生指导割煤气罐项目时，对化工流程中前后设备，研究对象特性，测取某设备前后输入、输出信号时，我总觉得它们与自调原理传递函数描述的方块图中信号不一样。书上自控系统方块图中，信号是单向的。到真实化工流程中，某设备对象特性的输入、输出信号时非单向性的居多，而且它们不仅和本设备有关，而且和前后相贯连的设备有关。显然，一旦深入实际，书本上的知识就不够用了。这就是第一次深入实际给我带来好的理念：应当“深入思考”。这是可喜的第一步。

2、 PID算式，其中积分项是定积分还是不定积分。所有老书都是写成不

锲而不舍（研究篇）

定积分。见数学式我习惯于追问其物理含义。在五十年代，我也不清楚，直到遇到集中参数的常微分方程，分布参数的偏微分方程，见到初始条件和边界条件，才顿悟到一定是定积分，如果真的定量求解时，还得知其上、下限值。对于微分项，也得注明初始条件、边界条件的数值。由此可见，越深入，也同时加深理解。

3、 化工热力学中封闭物系与非封闭物系。它们的数学形式有何区别？过去学热力学时未曾想过，我辅导过一学期热力学，当时也未想过。直到触及与欧盟合作节能课题时，才提出此问题。稍加思考，世界上多数系统都得用微分方程或偏微分方程加以描述。封闭物系对应于齐次方程，非封闭物系对应于非齐次方程。

多年来思考习惯，有时会激起奇思妙想，举例如下：

1、在流程工业的物料流体系中，以往的化工计算与化工原理中，未辨析过是先有流（stream），还是先有位势（potential），对此我想到自创新定律，改写过去的课程结构体系。

2、在一次研究电路非线性时，曾灵感地想去发明电气元件中，除 R、L、C 以外的第四种基本电气元件。

3、在研究热力学 II 律时，对焓（energy）曾率先提出动态概念。后来我与另一化工原理老师利用我的推论手稿，让研究生做了一篇论文。

4、曾探讨过电学中右手定则、左手定则的动态特性，并和物理系主任老先生讨论过。他建议我投稿于《物理教学》，后来我嫌该杂志级别低，未投。

四、参与的主要科研、规划活动

年份	项目	仪表类型	内容	参加者
1958	天津合成纤维厂（捷克）（天津市）	基地式仪表	对进口整套仪表自动化系统验收与评估	天大
1961	气动模拟机（东港）（中科院）	模拟机	对进口气动模拟机验收与系统模拟应用	自动化所、清华、天大
1962	5406-3911（国家科委）	单元组合仪表 AYC	国产单元组合仪表研制与应用、AYC 性能、工程应用、试验、设计规范	石科院、天大、石油学院、设计院
1963	化自教学规范会（杭州）（浙大主持）		教学计划、课程设置、教学大纲	浙大、天大、华东化工、上化院
1963	热仪教学教材规划会		教学计划、课程设置、教学大纲、	天大、华中、

锲而不舍（研究篇）

飞鸿踏雪泥

	(北京)(天大主持)		教材计划	哈工大、一机部仪表司朱朗奇
文革前后	兰炼常减压车间计算机控制(国家科委)	气动仪表+计算机	原油预处理、加热炉、常压减压塔全系统计算机控制	自动化所、天大、兰炼自动化所
1972	国内仪表自动化调查(国家科委)		全国自动化学会为恢复工作,中科院自动化所、天大调查仪表、计算机应用情况。编写《国内外热工仪表概况综述》一文	自动化所王新民、何善育,天大韩等6人
1974	天津永革硫酸厂自动化改造	全厂集中控制	天津文革中“技术革命技术革新”首例。时任国务院副总理来参观	天大韩、周、徐等
1975	援阿地拉那大学培训(水电部)	DDZ-I+模拟机	在天津军粮城电厂讲课、实验、培训。在南京、上海,模拟机教学实验、参观。教学组成员(北京中试所游景玉、厂方王熙民)	天大韩建勋 南工钱钟韩
1976	天津大港电厂 32.5 万 KW 机组(意大利)(水电部)	组装仪表+计算机巡检	天大承担全装置的消化、吸收、培训。本人承担锅炉、汽轮机控制,刘管仪表	天大韩、刘宝坤
1977	半微分调节器及系统模拟(学校)	电子模拟机	在国防科工委驻津一研究所用电子模拟机对半微分调节器做模拟	天大
1978	一机部科技规划会(一机部)		文革后第一次科研规划会,谈工业情况,我国一机部设想	天大、南大各一人参加,陶亨咸主持
1984	中科院化学化工学部规划会(20年长远规划)(学部)		做《数学模型与模拟》报告,获好评	清华、天大、浙大、华东、华南、大连等校
1986-1990	国家七五科技攻关规划组		任国家组副组长,教委组长,参与规划	机电部马少梅为国家组组长
1987-1990	天津碱厂 90 万吨计算机控制(国家“七五”攻关项目)	DCS	属“七五”科技攻关项目,实现 DCS 控制,编制设计控制方案,改善温控,减少堵塔	天大、石科院、石千厂
1985-1991	天津石化技术开发中心顾问		参与十余项目设计,攻关,做技术把关工作,为专利提思路	
1993-1997	兰化化纤厂 CIMS(国家 863)	DCS	解决萃取车间卅年技术难题,计算机控制一次成功,效果奇好,连续 6、7 年运行无故障	天大韩
1987-1996	珠海亚洲仿真系统工程公司顾问(邓小平南巡视察的公司)	仿真技术	电厂机炉电整体仿真软技术,扩展至化工、从离线到在线仿真参照体系	该负责人游景玉 70 年代在天津合作过

作者简介：韩建勋，1930年生，江苏镇江人。1953年毕业于大连工学院，1956年毕业于天津大学研究生。天津大学自动化系、化工系教授。承担、参加国家科委、国家自然科学基金、国家“七五”科技攻关、国家863等多项科研，获国家科技攻关重大奖、863及国家科技进步奖多项。发表《大系统最优化方法在换热网络模拟中应用》《复杂系统建模——高维特征空间变量法》《小样本系统辨识及在建模中应用》等论文。1986~1990年任国家“七五”科技攻关自动控制组国家副组长、教委组组长。

我的学术生涯

马少梅

从研究所到国家机关，我始终没有停止过对科技发展趋势的关注，不断研究我国仪器仪表行业科技发展的动向和政策措施，经常参加学术活动，与各路专家、教授、企业家共同探讨仪器仪表科技发展的战略问题。

在重庆工作期间，我倡议成立了四川省和重庆市自动化与仪器仪表学会，并当选为理事长，创办了学会刊物《自动化与仪器仪表》。1980年，我在中国仪器仪表学会的学术刊物《仪器仪表学报》上发表了《工业自动化系统与调节控制仪表》的论文。

我与王永初教授共同研究控制理论的应用问题，与唐怀斌高工共同研究建立自动化仪表体系和仪器仪表的宏观分类问题，与柳惠泉高工等共同研究过仪表控制系统的节能效果等，都取得了成果，发表过论文。

我先后当选为中国自动化学会常务理事、中国仪器仪表学会常务理事、中国电子学会理事、传感器学会副理事长、高等院校传感器研究会顾问等，我还被聘为国家自然科学基金会自动化学科评审委员、国家发明奖评委会电子仪表组成员、建设部小康住宅优选产品评审组成员、国家火炬计划项目认定专家等。

调到北京工作后，结合工作实际，我先后撰写了数十篇文章，发表在《自动化学报》、《仪器仪表学报》、《科技进步与对策》、《仪表工业》、《自动化仪表》、《工业仪表与自动化装置》、《仪表技术与传感器》、《化工自动化与仪表》、《自动化与仪表》、《仪器仪表用户》、《自动化与仪器仪表》等杂志上，介绍新技术革命的发展动向，仪器仪表的发展趋势，说明仪器仪表的地位、作用和特点，探讨我们的发展机遇与对策。同时，我还主持或参与《仪器仪表

锲而不舍（研究篇）

飞鸿踏雪泥

产品目录》《机械工程手册》仪器仪表部分、《电子工程手册》仪器仪表部分等方面的编审工作。

1987年10月，我应邀参加了在上海交大举行的“第一届国际精密机械和仪器仪表学术大会”，在会上作了《仪器仪表与机电一体化》的专题报告，说明精密机械与微电子技术的有机结合是仪器仪表科技发展的重要趋势。这篇报告由南京大学的老师译成英文，编入大会论文集。

为了推动科普工作，我作为中国自动化学会常务理事，协助中国自动化学会科普刊物《自动化博览》的主编朱清高工组织了刊物董事会，得到若干企事业单位的赞助，同时为这些单位进行广告宣传，形成互动的良性循环。我多次在该刊物上发表文章，如1989年第一期发表了《自动化—奔向2000年》一文。该文参考多种资料，加上自己的思考，预测2000年前后在科技及其应用领域可能取得的成就和达到的水平，包括：

- 1、建立起以人造地球卫星为中心的全球性的通讯体系；
- 2、大力发展和应用新型传感器技术、微电子技术、机电一体化和光机电一体化技术，推广CAD/CAM/CAE技术；
- 3、计算机系统能够直接识别文字、图形和语音，发展多种智能化专家系统；
- 4、大量采用机器人，其95%将用于制造业，并向海洋开发、土建、矿山、农村和水产等领域拓展；
- 5、广泛实现工厂自动化、办公自动化、实验室自动化、楼宇自动化、商店自动化，从事第三产业和第四产业（信息产业）的人员超过就业总人数的半数；
- 6、生产过程实现综合自动化和全盘自动化，在效率、质量、节能、环保等方面登上一个新台阶；
- 7、能源组成方面，核能占25%，石油天然气占50%，煤也占相当的比重；
- 8、在各种结构材料中，塑料占70%以上，合成纤维占纺织品的50%以上；
- 9、广泛使用高速列车、容量1000名旅客的超音速大型客机和电动汽车；
- 10、海洋开发取得重大突破，在海底采矿，大量采用原子能海水淡化装置，人类需要的蛋白质50%来自海洋，其中10%来自海藻。

我在文章的最后指出，以上十个方面，无一不与自动化技术有关，无一不靠自动化支撑。“让我们以饱满的热情和忘我的劳动，大力发展和应用自动化，奔向2000年！”

1991年，我代表中国仪器仪表学会在中国科协第四次全国代表大会学术会议上作《我

锲而不舍（研究篇）

国仪器仪表的现状和发展趋势》的报告，受到中国科协领导的好评。中国仪器仪表学会是中国科协系统办得最好的一级学会之一，汪德昭、王大珩、杨嘉墀、王良楣、金国藩等著名科学家先后担任学会的正副理事长，为促进行业科技进步与学术交流作出了杰出贡献。在筹建和主持学会日常工作中，我局苏天局长、陆廷杰高工和吴幼华等同志作出了重要贡献，来自重庆自动化仪表研究所的徐运忠、肖中汉、张汉权等同志也发挥了骨干作用。

我撰写过一份《仪表控制系统设计选型评述》的咨询报告，其中评述了自动化仪表与控制系统作为现代工业的“五官、大脑和神经系统”将越来越受到各工业部门和广大用户的重视。用于自动化的投资与设备总投资的比例(自动化率)不断增加：六七十年代电力工业的自动化率为3~5%，到八十年代已提高到10%；钢铁工业从8%提高到12%；大型石化工程从11%提高到15~20%；机械工业从15%提高到25%。自上个世纪的七十年代以来，为适应连续生产过程向大型化发展，断续生产过程向多品种、小批量发展的要求，自动化仪表与控制系统大量吸收新技术革命的成果，向数字化、多功能化、分级化发展，八十年代又向智能化、网络化发展，新产品不断涌现，为工厂综合自动化创造了有利条件，为设计部门和直接用户提供了多层次、多方位的选择空间。咨询报告对这些问题逐一作了具体评述，附有我国自动化仪表主要生产基地及其重点产品一览表，可供仪表选型者作参考。

八十年代以来，人类是否有特异功能是大家普遍关注的问题之一。早在五十年代，我在苏联留学期间，就听说欧洲科学家对人的脑场进行了远距离测试，证明确实存在通过脑场进行信息交流的现象。到了九十年代，利用一次偶然的的机会，我曾作了一次实验，请一位气功师为我检查内脏，他发现我胆上有肉块，这与我作B超时发现的息肉或胆结石是一致的。对于人类有否某些特异功能，我基本相信在某种场合，个别人可能具有常人不具备的某些特殊功能，如生物信息传递、脑场信息交流、人体内部某些肿瘤的认识等。尽管社会上有假冒“特异功能”及封建迷信活动，但人类未知的事物仍然很多，包括人类对自身的认识，值得继续探索，不宜一概否定，更不能简单地用“唯心论”或“封建迷信”之类的政治口号一棍子打死。大千世界，无奇不有。在学术问题上，应当提倡百家争鸣，在实践中探索创新。

1997年，我在中国仪器仪表学会五届一次理事会暨振兴仪器仪表工业学术研讨会上作了《现场总线与分散控制系统》的专题报告，以“从集中控制走向分散控制”“从DCS走向FCS”“从集团协议走向国际标准”“从本世纪走向下世纪”为题，论述了自控系统的发展趋势，对发展我国现场总线技术和基于现场总线的新型控制系统提出了若干建议。这里的DCS是指分散型控制系统（Distributed

锲而不舍（研究篇）

Control System), FCS 是指基于现场总线的控制系统(Fieldbus Control System)。现场总线(Fieldbus)是将现场仪表与控制室内仪表连接起来的全数字化、双向、多站的通信网络,用数字信号取代模拟信号,其每一个节点都装有一台智能化仪表,如变送器、检测仪表、执行器、显示器等现场仪表和控制室内的仪表装置,这些仪表和装置遵循统一的标准规范,按照系统化和开放型的要求,实现数字化、智能化和标准化,增加远程操作、故障诊断和就地控制功能,构成新一代自动化仪表与控制系统的先进体系。由于大量削减现场与控制室之间一对一连接的电缆导线,许多控制功能从控制室移至现场仪表,不同厂家的产品可以互换和联用,故可节约费用达 66% 以上,系统运行的可靠性和工作效率也大大提高。FCS 是 DCS 的继续、完善和进一步发展,也是继 DCS 之后自控系统的又一次重大变革。

附文：《仪器仪表工业》摘录

△ 在科学技术领域中,人们用来对物质世界实体或其属性进行观察、揭示、测定、验证、记录、传输、显示、监视和控制的各种器具和装置,统称为仪器仪表。

仪器仪表工业是知识密集、技术密集型产业,涉及众多技术领域,对新技术特别敏感,包括机械、电子、光学、生物、化学等多种科学技术的综合发展,产品更新换代速度快,具有低能耗、低材料消耗、低污染和高效率、高效益的特点。

仪器仪表工业的发展,是衡量一个国家国民经济和科学技术现代化水平的重要标志之一。在中国许多工程中,仪器仪表投资约占全部设备费用的 7%到 15%。

△ 全国解放后,我国仪器仪表工业有了巨大的发展和广泛的应用,逐步形成了品种比较齐全、布局比较合理的科研、生产和服务体系,包括自动化仪表核装置、电工仪器仪表、光学仪器、分析仪器、试验机、气象海洋仪器、实验室仪器及装置、电影机械、照相机械、仪器仪表工艺装备、仪表材料和仪表元器件等,有 3600 个企业,70 多万职工,6 万多技术人员。改革开放以后,开展了国际合作,大量引进了国外先进技术和装备,培养了人才,产品不断更新换代,产业结构不断优化,同时开展了合资经营,建立了国外的独资企业,出口创汇逐年增长,形成多种所有制的大行业。

△ 1956 年以后,仪器仪表行业建成了一批科研设计机构,到 1985 年,机械部系统有直属科研设计单位 14 个,包括上海工业自动化仪表研究所、重庆工

锲而不舍（研究篇）

业自动化仪表研究所、哈尔滨电工仪表研究所、长春试验机研究所、长春气象仪器研究所、沈阳仪器仪表工艺研究所、秦皇岛视听设备技术中心、天津复印技术研究所、重庆仪表材料研究所、杭州照相机械研究所、武汉工业控制机外部设备研究所、机械部第十一设计研究院、仪器仪表综合技术研究所等，此外还有一些二类所，例如青岛海洋仪器研究所、上海仪器仪表研究所、上海光学仪器研究所、北京分析仪器研究所、北京电影机械研究所、丹东仪表研究所、西安工业自动化仪表研究所、湘西科学仪器研究所、汕头超声仪器研究所等。这些研究所在新技术发展和新产品开发、组织联合设计和科技攻关、开展行业质量标准等方面发挥着重要的作用。

三十多年来，工作在仪器仪表行业科研、设计、试制、生产第一线的工程技术人员中，有一批具有丰富实践经验，以后又从事管理工作的仪器仪表专家。他们在参与制订中国仪器仪表工业的发展规划，以及进行组织、协调、预测、咨询等方面，为中国仪器仪表工业的发展作出了贡献。他们是：王良楣、朱良漪、吴钦炜、马少梅、诸品池、赵振魁、王建辉、陈佰乐、姚克文、王永健、林津、顾心民、吴履悌等。

△ 从五十年代后期开始，研究试制了电动单元组合仪表和气动单元组合仪表。在上海热工仪表研究所总工程师王良楣的指导下，1965年研制成功了一套电子管式电动单元组合仪表（DDZ-I），共27个品种。同时，还试制成功气动单元组合仪表（QDZ型）。在此基础上，吸收有关工厂，以重庆工业自动化仪表研究所副所长、副总工程师马少梅、上海工业自动化仪表研究所的工程师甘和贵、杨起行为主组成全国联合设计组，于1970年试制成功晶体管式型DDZ-II电动单元组合仪表，共64个基型品种，成为第二代产品。1978年，以重庆工业自动化仪表研究所总工程师马少梅为组长，北京自动化技术研究所副所长杨振业为副组长，会同西安仪表厂、天津仪表厂、大连仪表厂等单位组成联合设计组，设计成功第三代产品，集成电路式DDZ-III型电动单元组合仪表，包括变送、转换、计算、显示、给定、调节、辅助、执行八类，共有品种148个，规格478个，同时还试制成功组件组装式仪表和气动薄膜调节阀系列等。

△ 在总结与继承了电动单元组合仪表优点的基础上，重庆工业自动化仪表研究所于1985年研制成功具有七十年代末、八十年代初国际先进水平的单回路、

锲而不舍（研究篇）

多回路智能调节控制仪表系列。它不仅能与电动单元组合仪表兼容，还能充分发挥微型计算机的运算控制功能，实现模拟仪表许多难以实现的运算、控制功能，还可通过通讯接口，与上位计算机系统相连，把过程控制与监控联系起来，实现生产过程优化控制。这套仪表在成都无缝钢管厂、大冶钢厂等单位运用后，取得了明显的经济效益。

△ 工业控制机虽然是一个比较年轻的专业，但二十多年来，完成了一批科研成果，在国防建设和工业生产中起了重大作用，同时也培养出一批专业技术骨干。例如上海工业自动化仪表研究所的工程师杜希牧，在 1973 年就研制成功第一台 XK-1 型工业控制机。1974 年，他设计的 JS-10A 型工业控制机，在上海调节器厂投入生产，到 1980 年就生产了 400 多台，在冶金、电力、石油、化工、轻纺等部门得到了广泛应用。重庆工业自动化仪表研究所从 1970 年开始，为中国原子能反应堆工程，研制第一台大容量实时数据采集处理计算机系统(CK-701)。1974 年，该系统在现场投入使用，十多年来，运行稳定可靠，对提高反应堆的自动化水平和安全性起了重要作用。1984 年，在重庆工业自动化仪表研究所工程师刘铁椎等人主持下完成的能与多种微机配用的小型化过程通道装置，已在近 20 个现场使用，性能指标达到国外八十年代初先进水平。

△ 1985 年，机械工业部系统生产工业自动化仪表的企业 217 个，职工 10 万人，其中技术人员 8800 人，总产值 14.5 亿元，实现利润 3.1 亿元，生产 6464 个品种。1985 年，机械部系统生产仪器仪表元器件的企业 63 个，职工 2 万人，其中技术人员 1500 人，总产值 2.89 亿元，利润 5440 万元，生产 924 种产品，包括机械元件、弹性元件、电磁元件、电真空器件、半导体与集成电路、显示元件、传感器件、阻容元件、机电元件、光学元件、激光器件和其他元件等 12 类。

——马少梅摘自 《当代中国的机械工业》第十章



作者简介：马少梅，男，回族，1932 年生于济南，1961 年毕业于苏联基辅工学院，历任上海自动化仪表研究所研究室副主任，重庆自动化仪表研究所所长、总工程师，机械部仪表局总工程师、教授级高级工程师。中国仪器仪表学会常务理事、荣誉理事，国家自然科学基金评审专家，国家发明奖评审专家，中国自动化学会常务理事、荣誉理事，中国仪器仪表行业协会常务理事、顾问。曾获机械部科技进步二等奖、机械电子部软科学三等奖、国家计委办公厅三等奖。

热水瓶的故事

朱秉福

1974年春天，一条“农村是个广阔天地，知识青年到农村去，大有作为”的号召在全国掀起了一个滔天大浪。青年们抱着万分热情，报名去农村，政治大潮就此涌来。可是，下乡必须的物质准备却未能及时跟上。尤其是热水瓶生产不容乐观。为此，引起政府特别重视，不能让青年们在农村用不上热水。

上海市委给我们研究所下达一个紧急任务，指定我们自控室，派出王兴^[注]和我到上海保温瓶四厂去协助生产热水瓶。接受这一任务后，不敢延迟，第一时间我们就下到现场，厂里的气氛已经紧张起来。

锲而不舍（研究篇）

在上海市日用器皿公司窑炉改革小组的积极支持下，由上海保温瓶四厂、上海工业自动化仪表研究所和玻璃搪瓷研究所组成的实验小组于1974年5月正式开始工作，工作人员有沈东明、李永平等。

当时，厂方向我们介绍说他们早有打算扩大生产。上海交通大学已按照该厂的要求设计成全自动吹瓶机，并安装多台。但是，产品成品率难以控制。在没解决这个问题前，厂里依然是手工吹制。可这样的生产能力怎能完成任务呢？当务之急是需将自动吹瓶机开起来。而要开自动吹瓶机又如何能保证产品的成品率？这是急需解决的问题。

在现场，我们第一次看到了玻璃窑炉。那是一个约10平方米的小型火焰窑，每天供料约12吨玻璃。窑炉以重油为燃料，有两支喷枪对着玻璃液面喷火，加热到1500℃左右。窑炉的另一面就是吹瓶场所，那里有两台自动制瓶机，却闲着。而是由几个工人拿着吹管轮流在窑炉中挑起一团团的玻璃液，用熟练的手法，边摇晃，边旋转，边向管内吹气；等到它的温度合适，就走到开合模具那里，当模具闭合后使劲地吹气，不久，一个瓶胆就完成了。对于我这个外行，没法用专业人员的术语来描述这工艺过程，只是感到新奇和佩服而已；同时产生一种迷惑，在这样既高温又尘烟迷漫的环境下进行这种强体力作业算得上是“光荣”吗？

该厂在开展“抓革命，促生产”的运动中，也进行着技术改造，全自动制瓶机、窑炉的温度自动控制等等都已配置。但由于种种原因，没能全线联动。由三家单位共同合作组成的实验小组，首先将温度控制开通；待温度稳定后，再开动制瓶机；再次调整温度控制点后，机制瓶终于出来了，可是成品率不高。在整合这些器材和调试控制系统时也碰到一些疑惑、困难，但融合了三家的智慧，犹如一个诸葛亮。

经过这次试验得到了一些数据，并在5月就初步确定采用电动调节泵的玻璃窑炉炉温调节系统的方案，由上海自动化工业仪表研究所负责试制电动调节泵的样机。同年7月至8月开始在保温瓶四厂进行冷态模拟试验。

我和王兴工程师曾多次合作，也算是老搭档。王工性情平和、办事沉稳、有条不紊，尤其在利用时间方面效率极高，这些是我一直想学习却奋力追赶也难以企及的。我们配合默契，稍一讨论商量就达成一致的看法。就在此前不久，我所自控室在研发了三套大型企业用的成套调节系统后，又关注到国内现有的大量中

锲而不舍（研究篇）

小企业。王工和我正在规划一个系列的小功率电动执行机构。传统的控制系统中一般采用气动阀，这次的窑炉改造是以简易电动仪表为主，为简化系统，避免使用电-气转换和附加的气源等设备，准备直接采用电动执行机构。可是，正在筹划的小功率电动执行器，不是近期可以奏效的；时间上不协调，只能另找出路。

前期，我们曾设想用调节燃料油的油泵以控制喷枪的火头。这种想法在理论上是可行的，但没有参考资料，难以确定。正好，我们在仓库里找到一只美国制造的两端出轴电动机，经过简单的连轴器，一端连上一只齿轮油泵，另一端连上一只以普通的带整流子的直流马达作为测速电机，以此作为速度反馈信号；又设计了一个带手动功能的操作器。当这个不用花钱的模型在室内试验时，觉得有点意思，确实能完成调节功能。

在一次讨论窑炉控制系统时，我们谈到控制油泵的试验，引起大家兴趣。这就是五月定下的那个方案的由来。

在各方配合努力下，1974年12月26日，正式投入自动运行；经过两个多月考验，证明电动调节泵动作灵敏、惯性小、工作可靠，完全可以取代常规的执行机构和调节阀。

创造了一种新的电动执行机构电动泵后，炉温控制精度提高了，自动制瓶机有节奏地动作，一个又一个的合格玻璃瓶胆连续不断地下线，我们心里充满着喜悦。下乡的青年不再担心用不到热水了，我们的工作也告一段落。

后来，保温瓶四厂通过持续不断地改进，这套控制系统更加完善，并很快向同行业推广。武汉热工仪表厂也将电动泵列入生产计划，定型号为 ZB 调节泵，并有多种规格。

1975年试制的小口径电动调节阀样品也已经供各单位使用，暂定型号为 ZAP。之后，武汉热工仪表厂、上海自动化仪表十厂都有此产品。这仅是小功率电动执行器系列中的首个品种。

开发多种电动执行器，让用户根据企业的不同场合选用，是我们研究所的本职。单一产品要一统天下仅是个理想，因为最终的选择权应该是用户。

1976年，上海玻璃搪瓷研究所刊印了一本内部刊物《玻璃工业自动控制（专辑）》，其中有一节“采用电动调节泵的炉温调节系统”，用6页篇幅详细介绍系统的组成、电动调节泵的特性、伺服放大器以及框图、特性曲线等相关数据，还

锲而不舍（研究篇）

有现场试验的详细情况；并提到上海保温瓶四厂和保温瓶二厂在使用电动调节泵组成炉温调节系统的实践中的体会。现摘录其中要点：

采用电动调节泵代替常规的电动执行机构和调节阀，组成调节系统是一种新的尝试。它的试验成功为自动调节系统的设计和应用提供了新的途径。

电动调节泵的调速特性和流量特性都是良好的直线特性，而且流体经过调节泵后不产生压降，这是一般调节阀难以达到的。因此，电动调节泵特别适用于燃油炉的温度调节。电动调节泵结构简单、轻便、维修容易、价格便宜（电动机与泵只要200元左右）。同时直流电机和齿轮泵都有现成产品，使用厂方便自行组装。

由于齿轮泵的流量与转速恒成正比，因而可以视为一个容积式流量计。对于必须进行换向操作的蓄热式炉子来说，可以用电动泵代替重油的换向装置。对某些多喷嘴的大、中型燃油，采用电动泵能够进行温度的分区调节。

当初，在开发这个项目时，我们并没有考虑到这么多。根据各生产现场使用的经验，扩大了它的特点和用途，真可谓实践出真知。

注：王兴，高级工程师，博士生导师，是建立上海工业自动化仪表研究所最早的一批人员之一，享受国务院政府特殊津贴，现已退休。

后记：为了给“中国仪表和自动化事业发展60年史料”提供稿件，我翻阅了早年的工作记录，找到一本1976年上海玻璃搪瓷研究所刊印的内部刊物《玻璃工业自动化控制（专辑）》，对我写稿有很大帮助。这本刊物对我们参加的项目有详细记载，于是我对照记录，写成这篇回忆文章。



作者简介：朱秉福，男，1931年4月生，祖籍江苏无锡。1947年进入上海国立高机（现上海理工大学）学习。1950年参军，任28军无线电机务员。1955年复员，先后在上海综合仪器厂、第一机械工业部热工仪表研究所、上海石化总厂工作，1991年退休。

乐趣与艰辛（上）

——化工仪表、自动控制技术回顾

胡满江

仪器仪表与自动控制在国民经济中占有十分重要的地位。建国六十年来，的飞速发展取得辉煌成就，给国民经济生产建设作出巨大贡献。化学工业科研和生产的发展依赖于诸多学科，其中之一即是仪表与自动控制技术的助益，在这一领域里，我寄于其队伍成员之中，这要感谢我的老领导北京化工研究院第一任院长林华（历任延安中国自然科学院干事、化工部技术司司长、国家经委副主任、工程院院士）。回顾这个行业发展历程，倍感欣慰与自豪！尝试描述其中的工作乐趣和艰辛，与同行共勉之。

—

1959年7月我刚从苏联卡尔波夫研究所学习辐射化学试验装置技术回来不

锲而不舍（研究篇）

久，林华院长召唤我到院长办公室，告诉我：“根据中苏科技合作计划（他是化工科技合作项目的谈判代表），苏联援助我国建立化工仪表与自动化科研基地。部里决定让我院开展此项工作，经党委讨论决定成立仪表工段，暂时隶属机械动力车间，条件成熟后再成立研究室或研究所。院党委决定你为仪表自动化工段长，原来仪表组的陶冶为副段长，成员由原来机械车间的仪表工作人员和设计室电气自动化专业的两位技术员以及属于物化室放射化学组的我们四位物理专业的技术人员合并组成；你完成第一套辐射钴-60 能源装置后还要派你去苏联考察仪表自动化工作，现正在施工的综合大楼的一部分作为实验室基地”。他还讲：“仪表自动化很重要，石油化学工业想飞越发展必须靠两个翅膀，一个是化工机械，一个是仪表自动化，两者缺一不可”。由此，我开始了仪器仪表自动化征战之旅。对我们几个刚从事化工科研工作比较年轻的物理专业人员来说，仪器仪表与自动化完全是外行，为开展这一陌生的技术领域，我们开始学习有关技术资料，走访科学院自动化研究所及个别的仪表厂等单位。

1959年9月中旬，作为化工仪表自动化考察团去苏联化工自动化仪表研究设计总院(OKBA)进行技术考察，我们一行三人，我任团长，团员有黄仲强（上海化工研究院自动化室主任）、沈承林（北京化工学院自动化室主任）兼翻译。该项目是履行中苏化工科技合作计划苏联援助的课题，我除了要全面了解该研究设计院进行的化工自动化和仪表项目工作以外，更重要的内容是1：具体落实修改我院正在建设中的化工自动控制与仪表研究基地试验室的设计方案；苏方对我院未来开展研究工作的建议。2：落实苏方提供援助的科研项目的相关图纸、技术资料以及仪器样机和辅助设备；3：苏联专家来华指导科研工作的初步计划。

三个月的考察工作，我们先后在莫斯科化工自动化仪表研究设计总院和基辅、里斯强斯克两个分院进行了从技术资料阅读到现场具体情况的参观学习和调查。还受苏联方面的邀请并经大使馆批准作为中国化工自动化代表团参加了“社会主义国家经济共同体协约国”召开的仪表自动化专业技术报告会。我国首次参加该会议，由于事先未得到邀请，故没有准备报告只是旁听，会议上对诸如合成氨、合成橡胶自动化、气相色谱分析技术的发展和应用等少数报告颇感受益。在考察期间经驻苏商务参赞处化工组的推荐和联系，还与我国第一批在莫斯科罗蒙诺索夫化工学院自动化专业学习的六名留学生进行交流和访问，我记得有凌秋明、

锲而不舍（研究篇）

胡有光、马金荣等，这是我国首批具有化工自动化专业知识的年轻人，她们对以后我国化工自动化事业的推动和发展起了非常重要的作用。

经过对 OKBA 总院和两个分院部分研究室进行实地考察学习，包括设计图纸、主要分析仪器和生产工艺过程自动化流程及其技术资料的阅读，对化工专业仪器仪表、自动控制和调节工具有了梗概的了解和认知。结合我们研究院在建综合楼试验室的建设和具体科研组织设置，与他们讨论后，提出了索取科研发展需要的图纸资料清单以及在具体项目上需要的设置和样机，在我保留的笔记本记载的材料中有以下主要的仪器资料：红外分析仪，磁氧分析仪，热导分析仪，可燃气体报警仪，气动调节器，以及仪器灵敏元件加工工艺有关的图纸资料如热敏元件制造绕线、电焊机、活化老化试验装置、黄金、铂电极加工装置，还有精馏过程自动化设计图纸和说明书等等。此后不久，中苏因意识形态之争，关系恶化，他们背弃科技援助协议，除了几种生产过程使用的红外分析器、磁氧分析器、热导分析器等图纸外，其余许多图纸资料没有按照双方约定的目录提供，特别是一些与研究工作有关的仪器样机实物、工作图纸和说明书等。

我们在沃龙涅什和里斯疆斯克分别参观了解有关化肥合成氨、合成橡胶两个生产装置现场和控制流程；最后与总院的总工程师做过一次有关自动控制发展前景的座谈，记得他简述“我们在合成氨化肥生产和合成橡胶生产过程两个方面实现了单参数调节，正在进行自寻最佳调节的研究，也在研究模拟计算机技术为以后发展综合自动化提供条件…”。由此，我对化工生产过程自动控制现状和以后的发展有了概略的认识，应该说，这对我们研究院化工自动控制及仪表科研实践和以后的发展起到非常重要的启迪作用。尤其对我半路出家的人来说胜读十年书，受益匪浅。

回国不久，1960 年上半年，化工部在北京华侨饭店召开制定 12 年科学发展规划的会议，被吸收参加化工自动化仪表规划的起草工作，结合在苏联考察了解的情况和我国当时工业发展需要，参考化学工业科学技术长远发展要求，提出 12 年化工仪表自动化发展规划，其中有科研机构发展规划、化工企业生产需要专业队伍的建设规模要求，科研开发项目的攻关等。1961 年又一次在民族饭店召开会议讨论规划，两次会议均由时任化工部技术司司长陶涛主持，仪表自动化归到化工机械类由北京化工设计院总工程师主持并完成的。

1960年初，经院党委批准成立仪表车间，任命我为车间副主任。在半年的时间里由于有党委和时任院长林华的直接领导和督促，他亲自写信给化工部部长助理李苏同志（后任命化工部副部长），请求批准北京化工研究院为化工仪表自动控制事业发展需要的专项计划和费用；并在较短时间内得到落实，化工部人事、财务、设备主管门很快分配部分专业大学毕业生并落实经费以及所需要的设备材料。

与此同时为迎接苏联专家即将来华为我院建立化工仪表自动化基地进行指导与专题讲学工作，开展大量的前期准备，如试验室改造建设，专题组设置，技术资料翻译，专家学术活动的计划安排落实等，根据化工部外事学术活动要求，不仅有隶属于化工部的研究生产单位，还邀请部分在京科研院所、大专院校等单位的技术人员参加苏联专家的技术报告会。

同年5月初苏联仪表自动化研究设计局副局长斯马科夫，光学仪表研究室主任德鲁比兹来华进行中苏援助专项计划的指导工作，根据计划安排进行的工作有：
1. 专题报告：红外分析仪器、热导分析仪器、磁氧分析仪器技术讲解；
2. 化工自动控制技术介绍；
3. 赴上海化工研究院和沈阳化工研究院进行短期工作访问。

由于两位专家与列宁格勒自动化研究设计局派来指导机械工业部国家重点项目—建立北京分析仪器厂的苏联专家同住在国际饭店，他们在国内有密切的合作关系又相互认识，让我与北京分析仪器厂筹备处的领导、技术负责人相识，并一起参与我们组织的学术活动，由此，为以后数十年双方建立的密切而良好的合作关系奠定了基础。

经过一年的努力，我们工作有了明显的改观，一是我院综合大楼中2700平方米的专业试验室初具规模，组建的自动化组、红外组、色谱组、仪表检修组、机械加工组开始工作。部分技术人员和专业技术人员进入岗位，并对新来的十名转业军人进行培训。

我对仪器仪表和自动控制技术是陌生的，为了开展此项工作经领导同意，我和沈维达、覃立潜一起先后到科学院北京自动化所、上海热工仪表所、大连光机所等研究单位进行了考察，赴国外考察加速我对该专业技术的了解和认识，又积极查阅许多国外杂志和书籍使之我对仪器仪表如何开展工作有了基本思路，特别是在八国经合组织的化工自动化专业会议上，捷克斯拉伐克的科学家所做的色谱

锲而不舍（研究篇）

分析技术与仪表发展的报告和考察期间对红外光谱技术的相关资料的学习中受到启发，这两门技术对有机组分分析方面都有广泛的应用，与我院石油化工、有机合成高分子材料为主题的研究有着紧密联系，借鉴院内许多研究室、组都有色谱分析简易试验装置，还有我院分析室新购一台 Perkin Elmer 公司气相色谱仪器等内在的良好条件给了我极大的支持；另外，OKBA 研究院根据我们的申请，派来负责红外仪器研究室主任苏联专家讲授和提供红外工业用分析仪器图纸资料，使我对开展这两个仪器的研究有了初步设想，经院主管部门的批准，作为研究工作的开端，成立了色谱组、红外组，为这两个分析仪器开始了研究工作的征程，同时成立自动化组开展化工生产过程自动控制方向的研究，以及过后不久开展的模拟计算机技术的探讨工作。

同年末，国家科委在上海召开科研技术条件专业会议，主要内容是各工业部门在工业生产和科研工作中需要的仪器设备、特种电子器件、原材料，本部门申请开展的科研项目等，我参加了这次会议，北京石油科学研究院仪表室主任，钢铁、有色金属科研单位、还有军工部门的人员，按会议要求将我们准备开始的仪表研究项目和其他部门协助我们需要的特殊材料列出清单。会上提出了我们开展色谱，红外研究等项目的计划，会后 1961 年上半年以国家科委的名义将气相色谱仪器正式列入科研计划。

1961 年年中，国家科委在西苑宾馆召集由各有关工业部、大学、科学院等主要研究所如科学院北京自动化所、科学院大连光机所等以及机械部所属仪器仪表工厂和研究所的专业科技人员进行 12 年科学发展规划会议。会议传达了中央对规划的要求和计划进度安排，宣布各专题组成员和主持单位，主要成员有姚克文、朱良漪、周昌震、荣仁本、史久泰、叶青登、杜汝照，胡满江等，我作为化工系统的唯一代表，除高等学校代表周昌震外其他均为机械工业部分析仪器专业厂的技术负责人。分析仪器专业组整个活动由机械工业部四局主持。

会议基本上是分专业进行活动，讨论和研究本专业 12 年科学发展基本要求和达到的规划目标任务，为拟定规划开展调查研究的思路，今后一段时间工作计划进度，进而确定工作安排和分工。经过两年的努力，期间经历多次会议、编写、讨论，形成了适合本专业的 12 年科学技术发展纲要和具体科研生产计划以及事业发展规划。分析仪表分两大类：实验室应用仪器和生产过程在线分析仪器，事

锲而不舍（研究篇）

业发展规划主要指我国分析仪器行业的发展，包括为完成该计划应当采取的基本政策、区域规划、工厂规模、经费、人员需求等措施。以后的小组会议均在北维路旅馆进行。

1961 年春夏之交，在兰州召开化工仪表与自动化座谈会，由化工部技术司孙司长主持，会议邀请浙江大学周春辉教授，上海化工学院蒋慰荪副教授作为特邀贵宾指导，其他成员主要是部内研究院仪表自动化研究室，各大化工厂仪表车间的代表，会议请两位教授就如何发展自动控制和化工仪表的工作做了发言和分组讨论，会议总结会上，我被推出作为部内各参加单位成员的代表对座谈会讨论议题综合发言，提出今后发展建议，其中提出在北京或上海成立化工自动化研究所的建议。

在科研工作上，除了气相色谱仪器的研究，还有红外分析器、紫外分析器、自动控制方面，还有本院煤气站生产自动控制、模拟计算机等也列入院内科研项目。

1962 年，经过两年的努力，我们的科研工作开始初见成效，色谱和红外仪器的研究进入攻坚阶段，特别是色谱仪器在专题组长秦仲诚的带动下进展更为显著，我们先后解决了色谱仪研制的一些关键技术如热导池深孔加工，防腐高阻抗热敏元件等结构设计和加工工艺，多孔小死体积旋转六通进样阀，分离柱以及恒温室的温度控制、微小电讯号检测等电路、微小玻璃转子流量计等技术取得突破。值得一提的是林华院长去国外考察前专门找我，要我提出需要购买的特殊器材，得知我们研究色谱仪器急需超细铂金丝后，他去英、法等国家考察时特意从国外购进，极大地推进了我们科研工作的进度。这两年，对于我们刚刚转入仪器仪表新技术领域的人员来说是难能宝贵的，而且基本都是刚刚从大学出来的毕业生，通过实验研究的实践，丰富提高了自己的专业知识。

两年多的努力，色谱仪的研制从模拟样机的性能试验获得了基本数据，为开始进入样机整体设计、整体加工、组装和稳定性考核实验工作奠定了坚实基础。红外仪器也有样机开始进行调试工作，天津大学精密仪器系周昌震主任也派来学生进行有关红外分析仪器的毕业设计。

在化工自动控制工作方面，从 1962 年开始为改善院内煤气发生炉的人工操作，进行了程序控制的研究，经过一年多努力实现了机械自动化操作。当时由于

锲而不舍（研究篇）

规模小没有将程序控制技术成果推广到工业生产工程应用中是很遗憾的。同年，我院重点开始进行石油气裂解深冷分离中试项目的研究，我院副总工程师魏文德提出为配合中试工程项目的需要，由我室负责开展该项目全工艺流程的仪表检测和自动控制的设计，为了能够得到中间试验在连续运转时获取实验数据，保障多个塔、釜运转，除了进行系统自动控制技术的开发研究，还需要进行流程急需的特殊低温（-100℃）小流量调节阀、低温（-100℃）电远传小流量计的开发研究。由此，在以后的两年多的时间里，我们组织十几个富有充满朝气的刚刚大学毕业不久的年轻人，在无前例的难题面前，通过努力先后完成主要工艺过程复杂调节系统的设计和安装调试，整个工艺装置里既有常规的单参数调节又有国内鲜有应用的串级调节、比例调节系统，用我们自行研发完成的-100~100℃小流量调节阀和低温金属管电远传转子小量程流量计参与主要反应塔的自动检测或自动控制；系统中大多数仪器仪表通过我院院长兼任兰州石油化工公司副经理（兼总工程师）林华批准，从兰州石油化工厂调拨而来，其中多为苏式 04 系列调节仪表；该厂还增援少数熟练工人参与系统安装。该项工作是自动化仪表研究室通力合作的的一次实战演习，并取得了丰硕成果。

1963 年仪表研究室各项工作进入正常运转时期，一批大、中专毕业生投入工作。色谱组组长、主要技术骨干系秦仲诚，成员有林振锋、黄自才、陶悦铃和赵明文等人，在共同的努力下，主要关键技术均有突破性进展。在形成较完整的仪器的过程中，北京分析器厂姚克文、朱良漪二位总工程师对我们工作进行了考察，希望参与后期样机的实验和整体仪器的设计工作，经过双方领导同意，北京分析器厂派出杨建和、周宝宏，刘建超，王怀亮、张仁豪等技术人员参加仪器样机图纸资料的绘制和实验工作，他们的参与极大的推进色谱仪器工业化开发的进度，对仪器的整体成型设计提供了很大的帮助。在完成研究工作的前提下，1963 年 12 月 5 日至 12 日国家科委在我院主持召开了气相色谱仪器鉴定会，会议邀请国内色谱分析技术和仪器仪表方面的专家 27 人组成鉴定委员会进行全面严格的技术测试和文件图纸审查，通过了鉴定结论：认为 SP-01 型色谱仪样机在总的方面基本达到鉴定大纲所规定的指标，灵敏度一项高于英国 Griffin & Geroge 公司所产 MKII 型色谱仪，在使用温度范围已高于苏联 XH-3 型色谱仪……，最低检测浓度达到 10^{-4} （重量比）……。该仪器性能基本达到要求指标，

锲而不舍（研究篇）

可以初步定型并试生产一批以供使用。还提出一些改进意见。1964 年国家科委召开第一次科技大会颁发该仪器获国家科技三等奖。我被院领导指派参加本次大会，聆听了聂荣臻副总理的报告，很受鼓舞。此后，移交北京分析仪器厂正式生产。成为我国第一台自主研制的气相色谱仪。遵照林华院长的指示，由我们自己小批量试生产，交于院内部分研究室应用考核，通过运行进行二次开发。在以后的两年，又开发出氢火焰检测器和程序升温控制器、毛细管色谱柱等新型两用气相色谱仪器，并将技术成果于 1966 年交给天津照明器材厂，为我国气相色谱技术的发展做出了贡献。遗憾的是他们没有进行下去。

1963 年在北京举办第一届日本工业展览会，展览期间为促进中日贸易往来和对该国展品技术性能的了解，展览会主管部门组织部分技术人员开展对展品的技术交流，机械部四（仪器仪表）局情报所组织部分分析仪器的技术人员参加技术交流，我作为其中一员参与色谱仪器项目的交流，主要成员有北京分析仪器厂朱良漪、李树田，天津大学周昌震等，另一个项目为 PH 计，主要为雷磁仪器厂总工程师荣仁本、上海第二分析仪器厂总工程师史久泰等。通过技术交流对色谱技术和 PH 计电极技术有了较直观的了解，日本公司技术人员来自岛津和崛场两个株式会社，这是经过欧美各国进行技术封锁十数年后的第一次接触，通过交流和考察对两个仪器的关键技术有了初步的了解，对我无疑是个良好的学习机会。1964 年化工部接待柳本株式会社代表团进行技术交流，部外事局和北京化工研究院派我主持该项目的技术接待工作，进行技术交流的主要议题是工业色谱。柳本公司主要产品是工业色谱仪，也有试验室色谱仪，他们到中国是为了开辟中国的市场，公司经理小久保太郎带领技术人员佐藤来华交流，外事局曹处长组织此次交流。这种方式的交流和座谈，既增进双方的友好感情又吸收国外先进技术和经验等信息，以提高国内技术的快速发展，打破了国外对我国进行的技术封锁。分析仪器是多学科集合的高端技术产品，是先进技术不断吸纳融合创新的体现，它最能显现当代世界新技术的发展水平，由此，通过各种手段和办法不断吸收国内外先进科学技术充实我们，以开发研究并创新具有国际先进水平的分析仪器在当时是难得的机遇！

三年困难时期，也是我们仪器仪表初建成长的关键阶段，院里陆续调来一些刚从大、中专学校毕业的学生，他们没有被生活上的困难吓倒，而是兢兢业业地

锲而不舍（研究篇）

战斗在新的岗位上努力学习认真钻研，其中有相当一部分同志经过自己的奋斗，成长为化工自动化和仪器仪表领域的骨干力量，还有少数同志辗转到其他部门，成为自动化专业方面的带头人。

1965年，石脑油裂解深冷分离制乙烯、丙烯中试系统由我们自主设计安装的自动控制和仪器仪表检测系统得到了考验，其中包括自行研制的低温电传小量程流量计、低温小流量气动薄膜调节阀，经过长期运转考验取得圆满成功，在化工部组织的对石油气油吸收深冷分离项目鉴定中得到验收认可。通过任务锻炼和培养了人才，为我们以后承担重大项目的自动控制工程的开发奠定了基础。可惜受体制限制，例如深冷塔釜温度-流量串级调节系统、低温电远传小流量计和小调节阀等这些自动控制系统没有单独立项鉴定是十分遗憾的。

在建立研究实验基地的过程中，我们有意识地订阅一些中、俄、英专业期刊和图书。还借助院领导到欧洲考察时买回实验仪器作为参考，以及通过部里设备主管部门帮助调进一批国外仪器设备，为以后开发不同类型仪器的科研工作开阔了视野。如后来开展的热式气体质量流量计的研制，就是院领导在法国考察期间买来的，通过对仪器的观察和大量文献资料的查阅，为我们基于传热传质的不同系列的质量流量计做了技术资料的准备。

1965年后，为适应和配合院内化工科研工作的需要，研究室遵照化工部科技司成立兰州自动化研究所指令支援技术骨干四名，为此撤消了红外和紫外分析仪器组，在原有的基础上成立了仪器应用组，重点开展微量水分仪器和流量计的研究；自动化组还开展以分离塔为对象的自动调节系统的研究。

1966年“文革”造成科研工作几乎全面停止。仪表室大部分年轻成熟的技术骨干投入到三线晨光研究院和贵州化纤厂的建设，而我1969年底受命下放当了一名《五·七》战士，北京化工研究院仅留下12人组成的技术小组，他们在人员，设备条件十分困难的情况下，配合院内科研工作开展部分工作。

（未完待续）

作者注：本文秉承林振锋、陈敏贤、王文钧等同志提供支持和修正，以此献给与我几十年共同奋斗于仪器仪表与化工自动化事业的伙伴们。正是由于他们的聪明才智和积极奉献精神，取得了丰硕成果；此外还应感谢积极支持、指导我们工作的主管领导，是他们才使得北京化工研究院在这个领域拥有难以忘怀的历

锲而不舍（研究篇）

史闪光点！



化工自动化专家组在前苏联考察期间与苏联化学委员会化工自动化研究设计总局领导合影
左起胡满江、沈承林 苏方副院长斯马科夫 黄忠强、设计师主任布拉斯基

作者简介：胡满江，1932年1月生，1953年毕业于山东师范学院。北京化工研究院仪表自动化研究部副主任，主任，研究院副总工程师，教授级高级工程师，享受政府特殊津贴。中国仪器仪表学会分析仪器学会理事、常务理事、过程分析仪器专业委员会、环境仪器专业委员会主任委员，中国化工学会仪表自动化学会理事，《分析仪器》《化工仪表与自动化》编委会委员，中国仪器仪表协会专家委员会委员，中国石油学会科技装备专业委员会石油化工组成员等。《八.五》过程分析仪器攻关课题、《九.五》上生物医学仪器仪器科研与攻关课题及重大危险源（罐区）安全评估与对策课题受聘专家组成员。《仪器仪表环境设备手册》《过程分析仪器丛书》主审人之一。

光学分析仪器成长中的旧事

邱德仁

仪器分析是化学系的一门重要的基础课。1960年，复旦大学在全国率先开出仪器分析和仪器分析实验基础课，当时的教育经费很少，实验课的大部分仪器都是自己动手搭建的。在50年代末，比色分析的发色体系还很简单，只有硫氰酸盐测定铁，普鲁士蓝，纳氏试剂测定铵等少数几个。大学里比色分析用的仪器是Dubosq比色计和Pulfrish比色计。Dubosq比色计外形像一台显微镜，光源

锲而不舍（研究篇）

分成两束，分别照射到装有标准有色溶液的圆筒和装待测溶液的圆筒。标准有色溶液的筒溶液高度固定；待测溶液筒的高度可调。当目镜中两个半圆的色度相等时，记录可变圆筒的溶液高度。根据的原理是 Lambert 定律。Pulfrich 比色计的外形像一挺机关枪，架在实验桌上。它采用固定光程长的液槽。光源分成两束后分别照到装标准溶液的液槽和待测溶液叶槽，再经过方形的可调光栏调节光量。调节盘的调节可在边上读出百分比或吸光度。根据的原理是 Beer 定律。50 年代末，国外已经推出紫外可见分光光度计，最早的商品仪器可能是 Beckman 公司的产品。复旦大学在上世纪 50 年代后期购置的苏联 C Ф 4 型紫外可见分光光度计，还采用外接的铅蓄电池作稳压电源。这时国内出现采用硒光电池的 581 光电比色计。上海分析仪器三厂推出了 71 型分光光度计，仪器的光源，玻璃棱镜分光系统和检流计集合在一起，影响了工作的稳定性。祠后推出把检流计移开外接的 72 型分光光度计，改善了稳定性。但是在大学里，教育经费太少，只能添置一两台，主要还靠自己组装的仪器作教学用。

在发射光谱方面，主要是以电弧和火花为激发光源的原子发射光谱，当时叫做光谱分析，用照相干板记录光谱，因此叫做摄谱分析。现场分析用眼睛观察光谱的建筑看谱镜。还有用火焰光度计做钾钠钙的火焰光度法分析。国内所用的仪器主要是进口的 Ziess Q-24 型石英棱镜摄谱仪，Ziess 三个玻璃棱镜大型摄谱仪，以及苏联仿制 Q24 的 ИСП-22 型石英棱镜摄谱仪（后改进为 ИСП-28 型，ИСП-30 型）和仿制三个玻璃棱镜摄谱仪的 ИСП-51 型摄谱仪。此外还有少量其他国家主要是英国的摄谱仪，其石英棱镜和玻璃棱镜可以更换，还有仿制苏联的 KCA-1 摄谱仪。国内成功研制过中等色散率的石英棱镜摄谱仪，但大块天然石英材料供军用，未能批量生产。当时出版的摄谱分析需要配套的谱线表和光谱图谱工具书有美国麻省理工大学 Morrison 的《MIT Wavelength Tables》，苏联 Зайдель 等编的《Таблицы Спектральной Линии》；苏联加里宁等编的《石英棱镜摄谱仪光谱图》，用于玻璃棱镜摄谱仪的图谱。Ziess 厂的光谱仪不配置光谱图谱，所用的图谱是我们自己用墨汁手编的。1958 年我们实验室分析铀矿、铀同位素和燃料铀时，使用的就是 Q24 型摄谱仪和三个玻璃棱镜摄谱仪。三个玻璃棱镜摄谱仪采用 Forsterling 棱镜组合、自准式光路时，相当于 6 个棱镜参于色散，达到当时最高的分辨率。几年中分析了十多万个试样，在三个玻璃棱镜摄

锲而不舍（研究篇）

谱仪上拍摄了铀分析线的同位素分裂，从而实现高分辨率光谱法测定浓缩铀的丰度。大跃进中，北京、上海建立了大型的光学仪器厂，研制光栅光谱仪，上海光学仪器厂和上海分析仪器厂都生产了防震的地下室座机刻光栅。60年代初，一批国产的 Ebert-Fastie 光路的 1 米光栅摄谱仪相继诞生投入使用。接着又制造了配有两块闪耀波长分别为 300nm 和 600nm 的光栅的 2m 光栅光谱仪。

在上世纪 60 年代初，上海分析仪器厂制造出 731 紫外可见分光光度计。此外，上海新跃仪器厂研制火花源双聚焦质谱仪，第一台仪器在 60 年代中期在复旦大学投入使用。上海第三分析仪器厂还研制了光声光谱仪，仪器在南京大学投入使用。

电子计算机对仪器的自动化起了十分重要的作用。在上世纪六十年代，一台计算机有一间房大小。以一卷卷黑纸，打了一排排孔，以光被通过或被挡住作为二进制信号语言，输入计算机。一台计算机使用数以万计的小灯，很耗电。1966 年文革中，军宣队进驻复旦大学后，在复旦组织了化学系物理系一些教师，办了一个“四一工厂”，研制发光二极管，作为计算机的升级换代产品。我们制造了砷化镓单晶，再外延磷砷化镓膜层做发光材料，进一步做成了发光二极管。同时做这项工作的还有上海冶金所和清华大学。在测定磷砷化镓外延层组成的工作中，复旦大学还创新发明了一种无损而快速测定的光电压光谱法，取代了当时的 ASTM 标准中的 X 荧光光谱法。

以上是个人局部回忆。

作者简介：邱德仁，原复旦大学化学系教授，已退休。

我国气动仪表的发展回顾

张钧惠

前言

气动仪表量大面广、可靠性高、稳定性好、本质安全防爆、价格便宜，在化工、炼油、电力、冶金、轻工等领域广泛应用，年产量数十万台件，在工业过程自动化发展历史上发挥了重要作用。其缺点是信号难以远传，实现的功能也有局限性。尽管如此，在工业控制领域智能化、多元化发展的今天，气动仪表仍然在某些场所继续使用，显示其特有的生命力。

锲而不舍（研究篇）

气动仪表的研制，主要包含两套功能各具特长的仪表，它们是：QDZ 气动单元组合仪表和 B 系列气动基地式仪表。前者将不同的功能设计成独立的单元，每个单元可根据调节系统的优化组合要求安装在适合的地方，采用统一的标准气源（1.4kg/cm²），用标准的输入输出信号（0.2—1.0kg/cm²）连接，并与中央控制室的显示调节仪表（带操作切换功能）通讯，使系统组合多样化、最优化。而基地式仪表则是将单个调节仪表应具备的各种基本功能，比如检测、转换、指示记录、操作调节等，集合于一体，直接安装在工艺装置附近，用于现场型单回路调节系统，进一步降低制造成本，缩短传输距离，提高响应速度，增强稳定性、可靠性。

二十世纪五十年代后期，我国的工业自动化水平还比较落后，第一个五年计划期间，时为“老大哥”的苏联援助中国的 156 个项目，其中之一为年处理能力 100 万吨原油的兰州炼油厂，该厂配备的自动化工具，主要便是苏联生产的 AYC 气动单元组合仪表、04 型气动温度调节仪表和气动执行机构。兰州一些大型化工厂、化肥厂也用了大量气动仪表。电动单元组合仪表当时由于安全防爆问题尚未彻底解决，在化工、炼油等对防火防爆要求严格的场所不宜使用，国产气动仪表的研制因而显得尤为迫切。

上海热工仪表研究所的四室气动仪表组和重庆工业自动化仪表研究所的第三研究室在机械部仪表局的领导和规划以及所领导的具体部署下，对气动仪表的研制做出了应有的贡献。

一、气动单元组合仪表

QDZ 型气动单元组合仪表主要有以下单元：

- 1、调节单元：含比例积分调节器（PI），微分调节器（D），比例积分微分调节器（PID）等；
- 2、计算单元：含加法器，乘除器等；
- 3、指示记录仪表：含单针、双针、三针指示记录仪、级联控制的显示记录仪、流量积算器等；
- 4、变送器：含压力、差压、温度、温包、液位、绝对压力、流量等各种变送器；
- 5、转换器：含电气转换器，气动阀门定位器、电气阀门定位器等；
- 6、辅助单元：含继电器，信号给定器（定值器）、操作器以及各种信号发生器等。

我从莫斯科石油学院毕业后，分配到上海热工仪表研究所（以下简称上海所）工作。那是在 1959 年 11 月，我到上海岳阳路所人事科报到，人事科科长张茵雪将我领到第四研究室气动仪表组，介绍给康庆宇工程师（以下简称康工）和盛微权、陈锡田、潘厚昌等技术员，以及

锲而不舍（研究篇）

飞鸿踏雪泥

金德林师傅和几位刚从北京、四川等中专毕业的年轻人。

当时，在康工的带领下气动单元组合仪表的研制工作开展得如火如荼，分为二次仪表、调节单元和计算单元等三个部分进行。变送器作为检测仪表，其研制工作安排在检测仪表室（第一研究室），而气动执行机构的研究尚未展开。气动仪表组和电动仪表组共同组成四室，室主任为虞冠新，付主任为盛树琪。二十世纪五十年代末期，气动单元组合仪表的研究在上海所已经取得实质性进展，国内不少单位慕名派员来所学习取经。

苏联的AYC气动单元组合仪表的基本单元由直径为70毫米的圆形铸件和膜片以及气动喷嘴-挡板和针型阀等各种节流元件构成。上海自动化仪表一厂在同类仪表的研制中也采用了类似的70毫米圆形铸件。记得魏伯年工程师是他们的技术指导。

上海所在康工领导策划下，采用了70*70的方块外形设计，扩大了膜片的有效面积，保证了研制样机的精度。在扩量试制时，调试过程一度遇到困难，精度达不到指标，组内的几位中专生刻苦钻研，独立思考，采用修整铸件内框、微调膜片有效面积的方法，突破了难关。在1959~1960年度评比中，曹振义因此获得先进工作者的称号。

1960年初上海所从岳阳路迁至漕宝路新址，气动仪表组和电动仪表组均扩大编制，构成第四研究室属下的两个大组，气动仪表大组的组长为康庆宇，付组长为张钧惠。气动变送器从检测仪表室分出，其原有任务和成员陈新民、周金福、刘先云、盛家鑫、沈惠莉等均合并到气动仪表大组。并设立液动仪表组，曹振义任组长，成员有陈惠铭、缪德福，为上海某海军单位研制电液执行器。

气动大组也曾执行局部的军工任务，1962年承接气动流量积算器军工定货，用户为02单位（核工业部），由杨福宇参照流量室杨根生提供的样机，设计成外形较小、精度更高的产品，顺利通过用户的验收。

1966年3月上海所部分人员和相当一部分项目内迁到重庆，建立了重庆工业自动化仪表研究所（以下简称重庆所）。第三研究室的室主任先后有张钧惠、陈惠铭、李连雨、林德秋、吴本汉等，室内分设四个专业组。气动单元组合仪表组，组长为陈绍飞；变送器组，组长为陈新民；气动基地式仪表组，组长为康工、缪德福；射流技术组，组长为杨火荣、杨福宇。潘厚昌70年代末调任他室，担任室主任，主管行业技术标准等行业工作。气动执行机构及调节阀的研制基本上仍在上海所进行。在内迁后的初始阶段，由缪德福负责，胡松、樊建生参加，共同承担过01单位电液转换器的军工任务，完成了样机，最后连同资料、数据全部交付生产单位。

锲而不舍（研究篇）

飞鸿踏雪泥

国内一些高等院校（如天津大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、上海机械学院等）开设了气动仪表课程，并派毕业生、研究生来所实习，为我国培养了掌握气动仪表技术的专门人才。每年有一批大学生、大专生、中专生分配到来所。开发研制工作也逐步扩大规模，从规划、研制、鉴定、现场试验、推广生产，到全方位开展自制气动元件特性测试设备及整机测试设备、系统模拟试验、环境试验以及技术标准的制定和验证等工作。

按照机械部仪表局下达的气动单元组合仪表联合设计的要求，上海所首先与广东仪表厂合作，试制 QDZ 型气动单元组合仪表。60 年代初广东仪表厂的腾毓春、关士雄、朱兴汉等一批技术人员到上海所考察交流，1963 年 9 月—12 月上海所康工、潘厚昌、陈绍飞、石明扬、邵宗伟、乐锦标等组成的工作组开赴厂里，历时数月，实行厂所合作，完成了 QDZ 型气动单元组合仪表部分单元的试制。大家热情洋溢、互帮互学、刻苦钻研、精益求精，保证了试制工作的顺利进行。中国自行设计的 QDZ 型气动单元组合仪表的核心单元— PI 调节器、微分器、加法器等率先在广东仪表厂投入生产。

在整理规范化图纸方面，邵宗伟作出了重要贡献，他在康工指导下，不厌其烦地反复对每张图纸的每个细节严格地审查、修改、整理和完善，为交付生产准备了一套高质量的图纸。朱韵芝是描图员，完成了大量的图纸描绘，功不可没。

研究人员还分别到西安仪表厂和上海自动化仪表一厂，同厂里的技术人员一道开展了其他品种的联合设计和试制投产。曾参与工作的有西安仪表厂的冯锡嘉、熊培君、许汉文等，上海自动化仪表一厂的袁泽湘、贾谟凯、邹经黔等。

主要生产厂分工是：广东仪表厂负责生产调节和计算单元；西安仪表厂负责生产记录指示仪表；上海自动化仪表一厂则生产气动变送器。

由上述各有关生产厂首批生产出来的 QDZ 型气动单元组合仪表，包括变送器、调节和计算单元、记录指示仪、辅助单元等于 1963~1965 年在兰州、上海等地投入了现场组合运行考核。俞济成、陈绍飞、曹庆余等负责兰州化肥厂 302 厂硝酸氨车间氧化炉控制系统，王永初等负责上海吴泾化工厂，张兴仁、李学良等负责上海杨树浦发电厂，还有上海炼油厂、南京炼油厂等，分别用气动单元组合仪表组成各种单回路调节系统、串级调节系统、配比调节系统等。现场考核运行时间半年以上。在各有关工厂仪表、工艺车间的积极支持和大力配合下，现场试验进行顺利，证明这套仪表设计合理，性能良好，显现出良好的经济效益和社会效益。

经历了初样试制、小批量试制、批量试制以及严格按技术条件要求进行的全性能测试和

锲而不舍（研究篇）

环境试验，QDZ 型气动单元组合仪表从核心单元到全套单元陆续投入生产。1965 年 4 月在上海举行了正式的鉴定会。

在气动仪表研制的过程中，气动室的同志发挥了独创的精神，在结构、尺寸、材质选用、工艺和装备等多方面都能结合国内情况，跳出国外技术的框框，走自己的技术路线。事实证明在质量评比中自行开发的 QDZ 气动单元组合仪表性能超过苏联的 AYC 同类仪表产品的指标。其它气动仪表产品在研发中也有跟踪与创新，不管最后成功与否及成果大小，都表达了我们的志气。例如气动巡检仪、气动逻辑元件，又如由 04 仪表的位移平衡到微位移平衡、矢量机构的变送器，射流元件的研究及应用探讨等。液动组也有创新，比如他们用液流使阀芯转动，从而克服了静摩擦，消除了死区，都是很好的说明。

测试设备方面，由于缺乏现成的外购产品，我们自行开发了一些必要的测试工具，比如水银压力计、气动脉冲信号发生器、气动正弦波信号发生器、喷嘴-挡板特性测试仪等。金德林师傅和石明扬、周虎琪等人在自制设备方面作出了贡献。潘厚昌负责引进了一台德国产的气动系统模拟装置，在开展 PID 调节器动态特性测试以及真实的对象模拟和系统模拟中发挥了应有的作用。

QDZ 气动单元组合仪表的升级改型研制，首先在行业内部启动，以研究所为主，与有关厂家分工协作，共同对几个主要环节，如调节器、印刷气路板、记录机构、记录纸形式、自动跟踪切换小表和条形仪表的外形尺寸进行了探索，确定了方案。吴本汉、金慧芳负责小表。接着，根据部局下达的任务，1974 年 QDZ 型气动单元组合仪表开始进行升级联合设计。由重庆所负责，陈绍飞任联合设计组组长。参加联合设计的单位有：广东仪表厂、天津自动化仪表五厂、沈阳气动仪表厂、川仪十六厂等。联合设计工作首先在重庆所开展，历时约三个月。参加联合设计的人员有：重庆所的陈绍飞、乐锦标、李邦全，广东仪表厂的滕毓椿、黄锡群、俞志洪、谢伟冠，天津自动化仪表五厂的金淼，沈阳气动仪表厂的张苏、林茂盛，川仪十六厂的孙斌、吴正楷。基型品种完成设计后，在广东仪表厂进行试制，历时 4 年。从开始的方案探索到设计试制完成，我所先后有林德秋、潘厚昌、陈绍飞、乐锦标、李邦全、于春文、胡桂芳、谭瑛、吴本汉、金慧芳、苏家鑫、吕福祥等到广东仪表厂参与工作，林德秋负责组织领导，潘厚昌、陈绍飞分别负责总体方案和全面技术实施。QDZ 改型的设计思路是采用印刷气路板，密集安装和积木式结构，力求组合便捷，缩小仪表盘面，并实现了双向无扰动自动/手动切换。基本品种有：指示调节仪（含单针、双针指示）；记录调节仪（含单笔、双笔、多笔记录）。可以组合成指示记录调节仪、指示调节仪、记录调节仪等。并由吴本汉、

锲而不舍（研究篇）

金慧芳开发了计算机给定气动指示调节仪，获部四等奖。

QDZ 改型基本品种于 1977 年在山东胜利炼油厂进行现场运行考核试验。1988 年通过部级鉴定，获科技成果三等奖。

气动变送器经历了 I、II、III 型三个阶段，I 型即 QDZ 型，杠杆式力平衡原理；II 型系自行设计，双杠杆力平衡原理，体积缩小，精度提高；III 型则采用矢量力平衡原理，通过改变角度调整量程，从而使得结构紧凑、外形尺寸缩小、调整方便，进一步提高了仪表的稳定性和精度。

III 型变送器的合作单位有西安仪表厂、岫岩仪表厂（后改名为辽宁鞍山仪表厂）和广东仪表厂研究所。压力变送器、差压变送器等基型品种完成研制，做出样机并进行了鉴定。生产厂在此基础上将产品投入生产，并进一步扩展品种系列。变送器开发研究由陈新民负责，刘先云、胡桂芳、蒋韵琦、周金福、邵宗伟、葛民涛等参加，康工参与技术指导。

随着气动仪表研究、试制、投产和推广应用，生产厂数量和使用范围日益扩大，行业管理工作提到议事日程，重庆所按照机械部仪表局的要求，开展了以下几个方面的工作：

- 1) 气动仪表的型号命名；
- 2) 气动仪表技术标准的制定；
- 3) 按照仪表技术标准的规定，对已投产和新投产的各单元，进行全性能的检验考核，指导生产。

QDZ 型气动单元组合仪表及 QDZ-III 型气动单元组合仪表，部颁行业标准均由陈绍飞负责起草制订，并获得机械工业委员会科学技术进步三等奖（证书号：00382 01 1987 年 12 月）。

此外，及时技术总结与交流，有助于国内气动技术的生产、应用能力的提高。曾与一机部四局情报室合编仪器要闻（1966 年 6~7 合刊）气动单元组合仪表特辑，共 12 篇文章，以及气动单元组合仪表内部资料二个分册，共 15 篇文章。还有射流技术专辑，都是国内第一份有关气动仪表的专业资料。

需要说明的是，气动单元组合仪表中调节指示仪表从 QDZ 型直接进入 QDZ-III 型，中间没有 II 型。这是由于气动仪表发展的特点，又为了与电动单元组合仪表的型号命名相呼应。

二、气动基地式仪表

重庆工业自动化仪表研究所成立伊始，即在第三研究室建立了气动基地式仪表研究组，由康庆宇工程师牵头，集合了一批技术骨干，开展了卓有成效的研究和试制。在上海所时，郑侠等也曾对基地式仪表的单个品种进行过探索，比如浮筒液位及关键部件高压扭管等。

锲而不舍（研究篇）

气动基地式仪表由统一设计的调节器部件、显示部件、小表（切换操作作用）、机箱，与各种不同工艺检测参数的测量和转换部件组成，分别构成若干个基地式仪表品种，主要品种有：1) 温度（含温包式和电测量式）指示调节仪，2) 压力指示调节仪，3) 差压指示记录调节仪，4) 浮筒式液位指示调节仪，5) 高温液位指示调节仪，6) 轮胎硫化机控制用三笔记录调节仪。

重庆所在完成温度、压力、差压等品种研究试制的基础上，开展现场考验，并按照机械部仪表局于 1972 年下达的气动基地式仪表联合设计任务，适时与肇庆自动化仪表厂、重庆长江仪表厂、重庆电表厂等生产厂结合，进行联合设计、试制并投产。

1975~1977 年间，以康工、缪德福为组长的气动基地式仪表成员，包括郑侠、黄瑞云、王霞瑛、樊建生、张佩琳、金德林等，不顾个人家庭的困难，多次、长期出差到广东肇庆自动化仪表厂，放弃节假日休息，与厂里的技术人员结合，短时间里完成大量图纸的设计，并亲自深入车间，参与关键零部件的加工和试验，付出了艰辛的劳动，完成了压力、差压、液位、温包等四个基型品种的设计和试制，以及成套图纸的审定汇编。并协助肇庆自动化仪表厂完成轮胎硫化机控制用三笔记录调节仪试制。

胡士衡曾受康工委托，参加 B 系列气动基地式调节仪表的图纸整理，并为重庆长江仪表厂编制完整的仪表加工工艺卡，协助厂家提高仪表制造和管理水平。

1976 年，沈阳气动仪表厂经仪表局同意，加入了联合设计组。大连第五仪表厂后来参加了浮筒式气动液位指示变送器试制。B 系列气动基地式调节仪表曾在新都氮肥厂、四川化工厂试用。

1979 年 12 月，各有关厂的产品在重庆集中测试，验证质量，通过行业技术标准报批稿。

1979 年底，由水利电力部科技司、电力规划设计院和机械部仪表局根据 200MW 机组自动化试点工程需要，联合部署开展 B 系列气动基地式调节仪表在火电厂的应用研究，确定南京热电厂为试验点，成立试验工作组，负责单位为江苏省电力局（科教处）和重庆所。1980 年初，电力部和机械部又联合下文，给重庆所下达高温液位仪表新品种的研发任务，该品种用于汽轮机高压加热器的高温抽气换热系统（简称高加系统）。成立了课题组，由樊建生负责，于春文参加。

南京热电厂 8 套系统，包括两套高温液位指示调节仪，最终于 1981 年投入运行。投运期间，正值 8 月酷暑，所里的技术人员不顾炎热，只争朝夕，和现场工人和领导一道，认真检查每一个安装细节，深入进行理论分析计算，确保万无一失，使全部系统按期成功投入运

锲而不舍（研究篇）

行。南京热电厂中试项目，总投资费用十几万元，节能 0.9%（主要是高加系统节能）。1981 年该厂煤耗 360 克/度电。有关人员曾于 1986 年 10 月对南京热电厂走访，81 年投运的 8 套仪表与系统全部正常运行。

1982 年年中，两部召开“B 系列气动基地式仪表在电厂中间试验项目总结会”，该项目获两部科技成果二等奖。

为配合对用户服务，研发人员和重庆所情报室，共同编写了“B 系列气动基地式仪表资料”（上下册），并举办了用户培训班。

1981~1982 年，部局给我所下达任务，要求我们对大型引进热电站辅机自动控制系统情况进行调查。所里为此专门设立课题，由杨火荣负责，徐潘良参加，重点调查了大港、陆河、元宝山、宝钢等电站，发现这些引进热电站辅机自动控制系统，大多采用日本山武·霍尼威尔仪表公司生产的 KF 系列气动基地式仪表，用户认同，满意度较高。1982~1983 年，按照部局的安排，又协同水电部西南电力设计院完成“我国大型热电站辅机自动控制系统推荐方案”的课题，正式推荐采用 KF 系列基地式仪表。

1984 年，部局下达任务，由广东仪表厂引进日本山武·霍尼威尔仪表公司生产的 KF 系列基地式仪表。重庆所由康工到北京参加与日本的技术引进谈判，并选派气动基地式仪表组缪德福和于春文，先后到厂协助，从 1984 年到 1988 年，和厂领导、工程师关士雄等配合，对人员进行技术培训、设计审查，翻译整理全套技术资料 and 图纸，完成首批组装，引进元器件和整体设计技术，直到仪表投产。先后参加两次组团去日本考察、学习。到 1988 年，圆满完成了引进任务，投产后年产值达人民币 2 千余万元，约合 8 千到 1 万台件。

1986 年 KF 系列的组装产品在山东 20 万千瓦机组发电厂试验，运行良好。1989 年引进的 KF 系列仪表获部科技进步二等奖、广东省机械厅科技进步一等奖。

在完成引进任务的基础上，为配合 KF 系列仪表推广应用，于 1993 年，广东仪表厂与我所合作编写了“KF 系列气动基地式仪表及其应用”，该书由杨火荣、关士雄、于春文、缪德福、陈福荣等执笔，杨火荣主编，关士雄主审，贵州科技出版社发行。

结束语

作为气动仪表室的一员，回顾一生中所从事的主业，感到喜悦和自豪，我们为祖国的仪表自动化事业坚韧不拔，贡献了自己宝贵的青春年华。国产两套气动原理的工业自动化仪表通过我们集体的辛勤劳动而诞生了，我们自己在工作中也得到磨练而成长，成熟起来。

在联合设计过程中，厂与所的技术力量、管理水平均得到培养、锻炼和提高，涌现了一

锲而不舍（研究篇）

批又一批承前启后的优秀仪表研究和生产、管理人才。我们做了我们该做和能做的事，也存在心有余而力不足之处。

需要说明的是，QDZ 型仪表没有获得奖项，这是由于在文化大革命前，尚未设立类似的评奖机制。但是，该套仪表的重要性，其对国家的意义，均不逊于 QDZ—III 型和 B 系列仪表。

每项技术都有生命周期，后来电子技术的发展迅猛，超过了气动技术的发展，这不是我们不努力。相反，审时度势，才能更有效地运用人力资源，有利于国家的进步和竞争力的提升。

我们中间的一些人已经心力交瘁，远离尘世而去，留下永久的记忆和怀念。

注：本文由张钧惠执笔，康庆宇、潘厚昌、陈新民、陈绍飞、杨福宇、金慧芳、俞济成、缪德福、林德秋、杨火荣、樊建生、于春文、李连雨等提供重要内容。



作者简介：张钧惠，女，1934 年生于湖北省武汉市，1959 年毕业于莫斯科石油学院机械系。历任一机部上海热工仪表研究所技术员，重庆工业自动化仪表研究所研究室主任，研究员级高级工程师等职。

化纤自动化六十年

锲而不舍（研究篇）

李绍义

建国初期,我国只有安东化纤厂(后为丹东化纤厂)和上海安乐人造纤丝厂。两个小化纤厂,产量都很少,基本没什么仪表。

1957 年开始,从东德引进粘胶纤维生产装置,建了保定化纤厂,采用一些气动仪表,主要进行现场指示和记录报警。但投产时正好赶上 1958 年开始的“大跃进”运动,到处“放卫星”,搞假、大、空,不尊重科学,不尊重知识,认为仪表没用。所以开车时,仪表也就没用上。

1960 年开始,在消化吸收引进技术的基础上,建了新乡化纤厂、南京化纤厂和安东化纤厂的长纤车间。在这些厂中采用了一些弹簧管压力表、工业水银温度计和一套压力控制系统,即在由原液车间送往纺丝车间的原液管路上设有一套现场压力控制系统,使送往纺丝车间的原液压力恒定。

1963 年开始,从日本成套引进维尼纶装置,有北京维尼纶厂,年产维尼纶 1.1 万吨,主要由原液、纺丝和整理三大车间组成。原液车间是将原料聚乙烯醇(PVA)进行水洗、溶解、过滤、脱泡,使其成为适合纺丝的原液,以一定压力送到纺丝车间,经喷丝头,喷出到凝固浴中凝固成纤束,再经牵伸、热定型、切断、卷曲后送到整理车间,进行缩醛化处理、水洗、上油、烘干成维尼纶短纤维,打包出厂。

三个车间各设一控制室,以车间为单位进行集中控制,原液车间主要是对溶解机的控制。溶解是分批进行的,即分待机、加水、进料、搅拌、升压、保压、停止搅拌、排气、出料,按时间进行顺序控制,对加水和进料进行批量控制。

对压力和温度按给定曲线进行程序控制。所用仪表为气电混合,压力和差压以气动为主,用 20~100kPa 信号传输。温度和流量均为电动,流量仪表主要有电磁流量计、椭圆齿轮流量计和浮子流量计。对时间顺序控制采用的是小形继电器和时间继电器。四台溶解机共用了 200 多只继电器。原液车间共设有 8 面仪表盘。

纺丝车间主要是牵伸机的温度控制,采用了铂热电阻,EREC 型电子式单回路记录调节器,执行器采用了可控硅过零触发调功器,控制电加热功率。对牵伸辊速度采用了电磁式速度检测器和数字式多点速度显示仪。8 条纺丝牵伸生产线设有 18 面仪表盘。在凝固溶调配装置主要的是流量控制系统,采用了电磁流量计和隔膜式调节阀等,设有 4 面仪表盘。

锲而不舍（研究篇）

整理车间是醛化浴调配和醛化处理。主要由流量控制和温度控制，采用了椭圆齿轮流量计和电磁流量计等。在烘干机上设有湿度控制系统，由氯化锂湿度检测器、电子记录调节器，通过调节窗调节湿空气流量，使纤维含湿量一定，整理车间也设有十多面仪表盘。北京维尼纶厂当时是中国最大的，也是自动化水平最高的化纤厂，同时也代表了当时世界化纤工业的自动化水平。于 1965 年投产后，纺织部决定在全国再建 10 个维尼纶厂，第一个开建的是贵州维尼纶厂（贵州有机化工厂），从 1966 年开工建设。随之“文革”开始了，各级领导都成了走资派，知识分子成了臭老九，到处都在破四旧、大批判，搞阶级斗争、派性斗争，没人抓生产、搞建设。因此，一直拖了十几年也没能建成投产。其他 9 个维尼纶厂情况也都差不多，基本上都没能正常投产。

七十年代初又建了辽阳石化、上海金山、天津石化和四川维尼纶共四大化纤厂。这些厂均不再用气动仪表，除执行机构用气动外，全部采用了电动仪表。在金山腈纶装置中采用了数字式四组份配比控制系统。它是按流量累积值的偏差进行调节的。是将丙烯腈、丙烯酸甲酯、甲基丙烯磺酸钠和溶剂硫氰酸钠 4 种物料，以一定的比例均匀混合，再连续定量地送入聚合釜进行聚合反应。各组份的变化，会直接影响聚合物的质量。各流量均采用的椭圆齿轮流量计，用数字脉冲信号来传递流量测量值、给定值和偏差，从而保证了配比系统的控制精度。

1975 年由美国霍尼韦尔公司（Honeywell）推出了 TDC-2000 型分散型控制系统（DCS），同时日本的横河公司也推出了 CENTUM 分散型控制系统（DCS）。这是世界上最早的两套 DCS。

1980 年开始从德国成套引进大型聚酯装置，建了仪征化纤公司。在仪征聚酯装置中采用了 TDC-2000 型分散型控制系统，这是霍尼韦尔公司出口到中国的第一套 DCS。同时从日本成套引进了锦纶帘子布装置，建了平顶山锦纶帘子布厂。在该帘子布工程中也采用了横河的 CENTUM 型 DCS。这也是横河公司出口到中国的第一批 DCS。化纤行业在中国率先采用了 DCS，为我国在流程工业中普遍采用 DCS 创造了条件。

在帘子布工程中对高速旋转的热辊的温度检测和加热电源的传输问题，采用了旋转变压器和文氏电桥。将带有测温电阻的文氏电桥埋藏在转辊中，并通过旋转变压器，传输测温信号和电源，巧妙地解决了高速旋转的牵伸辊的温度测量和

锲而不舍（研究篇）

加热电源的传输问题。这一方法在随后的化纤牵伸机中被广泛采用。

到九十年代中期，又从奥地利引进了年产 2 万吨的粘胶纤维装置，建了唐山化纤厂，也采用了 DCS。至此，化纤行业全面采用了 DCS。随着改革开放的不断深入，世界化纤行业快速发展的先进技术和装备在我国得到广泛应用。到 1998 年，中国化纤产量已达到 510 万吨，首次超过美国，居世界第一。

对仪表选型，在六七十年代是气动仪表和电动仪表混合使用，以进口仪表为主，以车间为单位进行集中控制。到七十年代后期，逐渐以电动仪表为主。八十年代开始采用 DCS，当时全是进口的，以装置为单位设置控制室进行集中控制。九十年代国产 DCS 问世，虽然在化纤行业很少采用，但迫使进口 DCS 大幅降价，这也是国产 DCS 的一大贡献。九十年代开始采用质量流量计和智能变送器。进入二十一世纪在化纤自控设计中对国内项目除质量流量计和振动式在线粘度计选用进口的之外，基本上是国产仪表，DCS 也以国产为主，主要选用中控或和利时生产的。

在化纤自动化的发展过程中，基本上是由引进促发展，引进先进技术和设备，经消化吸收，实现国产化，再逐步发展壮大。使中国化纤自动化技术紧跟世界先进水平。目前已广泛采用 DCS，但仍停留在对 DCS 的一般应用上，主要进行简单的 PID 控制、串级控制、比值控制、参数显示、报警和打印报表等，远没有充分发挥 DCS 应有的作用。

作者简介：李绍义，1937 年生于山东省金乡县，1962 年毕业于华东纺织工学院（现为东华大学）自动化专业。1962 年~1973 年先后在安东化纤厂、北京维尼纶厂、贵州有机化工厂工作，1973 年 4 月到中国纺织工业设计院从事自控设计工作。历任工程师、高级工程师、自控总工程师。

过程控制的起步

吕武轩

1961 年，原化学工业部北京化工研究院十室（自动化研究室）承担了配合“石油气深冷分离制乙烯丙烯”工艺专题实现仪表自动化的科研任务，专题名称为“石油气深冷分离工艺过程自动化”。采用深冷分离技术在国内尚属首创，工

锲而不舍（研究篇）

艺过程实现自动化更无先例可供借鉴。当时，只有苏联援建的 156 项工程之一的兰化 304 厂采用的是油吸收技术，苏联版仪表自动化系统有相当的学习和参考价值。1962 年初，室主任胡满江派陈书崐和我前往兰化收集设计资料。

时任兰化总经理林华曾任北京化工研究院院长，对仪表自动化研究工作格外支持，责成从苏联留学回国的 304 厂仪表车间马主任和 302 厂总工程师胡有光关照我们，尽量满足我们的要求。

石油气油吸收分离制乙烯丙烯生产过程所采用的仪表和调节器都是基于位移平衡式（喷嘴-挡板机构）的基地式气动仪表，只有电子电位差计和电子平衡电桥采用了电子电路，而比例积分调节单元依然是由波纹箱和喷嘴-挡板机构组成。测量仪表品种比较单一，流量参数几乎无一例外地采用节流装置，二次仪表采用由水银为介质的 ДИ 系列差压计或 ДИИ 系列差压变送器；液位测量则采用 РY K И 浮筒式液位调节-变送器；压力测量采用 xxx 系列压力记录仪或压力变送器；自动分析仪表十分罕见，主要有 Г И И 系列的红外气体分析仪。自动调节系统绝大多数是单参数单回路的反馈调节系统，几处由液氨作为冷却剂的物料温度采用温度-蒸发压力或温度-液位串级调节，但没有根据成分分析信号进行自动调节的系统。

当时苏联专家刚撤走不久，厂里的工程技术人员和仪表工还未能完全掌握仪表和自动调节系统的使用技术，导致仪表的开表率极低，调节系统的运行率几近于零，尤其是串级调节系统根本无人问津。当时 302 厂从苏联拿到几个 АУС（气动单元组合仪表）的单元，印象深刻的是比例积分单元，一个直径约 10 公分、高度约 20 公分的黄铜组件，很重，在当时却是最先进的控制设备。

1962 年，正值三年困难时期，工人的生活极其艰苦，食堂饭菜几乎顿顿是白水煮菜叶和黑乎乎的蚕豆面饼子。我们有幸在兰化公司的干部食堂进餐，可以吃到小萝卜。

从兰州回京后便开始设计深冷分离工艺过程的仪表自动化方案。这种设计与设计院的设计不尽相同，因为深冷分离工艺是在中间试验车间实施的，处理量很小，物料流量的测量变送器和小口径调节阀都没有定型产品；深度冷冻工艺参数的测量与控制设备更没有现成的商品可供利用，特别是深冷塔顶压力和塔顶冷凝液位，均在 -104°C 的条件下，普通钢材的强度已经不堪一击，调节阀的阀体材质

锲而不舍（研究篇）

遭受到严峻的挑战。由此派生出两个子专题，即深冷小流量调节阀和深冷电远传转子流量计的研制。这两个子专题研制出来的设备不仅满足了深冷分离工艺试验和自动化系统运行的需求，而且为这两类产品的工业化生产奠定了技术基础。

深冷小流量调节阀解决的技术问题归纳如下：1、材质，采用与工艺设备和管道同一品牌的不锈钢，可工作在 -104°C 的条件下；2、阀杆的密封方式及密封材料，此前的阀杆密封都采取填料函和石棉绳的密封方式，但在深冷条件下已不适用。经查国外资料获知，聚四氟乙烯低温性能好，加工成V型垫圈可很好地解决深冷调节阀阀杆的无油润滑问题。当时国内还不能生产聚四氟乙烯，以350美元/公斤的高价进口聚四氟乙烯棒料，在车床上加工。由于聚四氟乙烯表面硬滑，加工十分困难，费了很多周折才加工出符合精度要求的V型垫圈。

除了深冷条件下的液体小流量测量与控制工具须自行研制外，其他特殊参数的测量问题也需一一解决，其中最重要的是低温液体的液位测量问题。兰化304厂的苏联设计采用的是浮筒式液位变送器，由于低温液体（液态氨）在常温时已处于蒸发状态，液面波动很大，液位计的输出信号极不稳定，以至于很难开表。如若直接将此方案移植到测量液态乙烯的液位，可以预见会更加不稳定。经专题组反复讨论研究后，决定试用差压法测量液态乙烯和液态氨的液位。最初的设计是将液相管线良好保温，但调试时指示值很不稳定；分析原因，可能是液相导压管的保温措施很难保证管内介质完全保持液态，难免有部分低温液体被气化形成气泡而导致测量值不稳定；如若将保温层去除，使液相引压管完全暴露在常温环境中，管内的低温液体会慢慢全部气化，指示值可逐渐稳定下来。

整个深冷工艺流程中设计有深冷塔顶压力、塔釜液位、塔顶温度等单参数-单回路调节系统，塔釜温度-塔上一节温度串级调节系统；乙烯塔顶和塔底温差调节系统。温差调节器是利用ЭМД-232电子自动平衡电桥改装而成，也算是一个创新，因为当时没有商品化的温差调节器。

自动调节系统的投运是一个十分繁琐、又蕴含经验和技巧的过程。当时采用的是气动控制信号，调节器的输出管路经带有“手动-切断-自动”三位置切换阀的操作板后再接气动薄膜调节阀。自动调节系统投运时，先手动调节操作板上的手轮，使操作板的输出气动信号对应的调节阀的开度，恰使得工艺参数稳定在所要求的数值上，然后将操作板上的三位置切换阀处于“切断”位置，此时连接调

锲而不舍（研究篇）

节阀的气动管路被切换阀密封，管线内保持着手动操作时的气压值，以使调节阀的开度保持不变；尽快调整调节器的“控制点”，使调节器的输出等于手动操作时的气压值，稳定后将操作板上的切换开关阀转向“自动”位置。

这一复杂的过程对于使用电子式控制器的人来说似乎无法理解，因为自从III型电动单元组合仪表问世以来，调节器都具有自动跟踪功能，即调节器的输出值始终跟随手动输出信号，当手动调节使调节阀的开度符合工艺要求时，即可将转换开关置于“自动”，系统就立即投入自动运行了。在上面所述的“手动”向“自动”切换中，切断阀的密封性至关重要，因为调节阀及导压管路的密闭性可以保证，但在“切断”位置时，切断阀本身如稍有泄漏，则输出到调节阀的指挥信号压力就会逐渐衰减，阀位就会发生变化，导致工艺参数不能维持在原来的数值上，在这种情况下如若切换到“自动”模式，调节器的输出信号与保持在调节阀膜片上的指挥信号压力不一致，相当于施加一个阶跃扰动，势必引起工艺参数的波动，影响系统投入的成功率。十室为了全力配合工艺出成果，从应用组、检修组、安装组抽调了十余名技术骨干充实到自动化组，形成会战局面。

1964年，“石油气深冷分离工艺过程自动化”专题与工艺专题一道通过了化工部鉴定，成为北京化工研究院“四五”期间的重大成果之一。

“丁烯脱氢制丁二烯”工艺过程的催化反应温度精确控制。该工艺是断续反应，间歇期间通蒸汽对催化剂进行活化。工艺要求在“反应”和“再生”两种不同工况下，温度都必须保持在同一数值上，且动态误差不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ （从记录纸的刻度上考核）。最初的控制方案是单回路反馈控制系统，尽管采用当时刚刚出品的铠装快速热电偶和气动单元组合仪表中的PID调节单元，但当工艺“反应”和“再生”状态切换时温度仍波动很大，一时束手无策。

时值第一届国际自动化会议（IFAC）召开不久，会上苏联控制论学者提出了“不变性原理”，用于第一颗人造地球卫星的控制系统，引起了世界各国控制界的广泛注意。其后，乌兰诺夫编著了控制论丛书《扰动调节》，深入浅出地论述了如何在控制工程实践中运用不变性原理，对那些不可控但可观测的扰动，通过动态补偿措施大幅度减少其对被控制参数的影响。于是考虑将这一新型控制原理用于丁烯脱氢催化反应温度控制方案中，构成了以温度控制为反馈回路、以丁烯流量为扰动参数的复合控制系统，其结果令人满意。在工艺从“反应”到“再生”

的往返切换瞬间，温度控制仪的记录曲线几乎看不到明显的波动。这一研究成果，在国内尚属首次将扰动调节理论应用到工程实践的尝试。

在 1965 年中国自动化学会年会期间，我们根据该研究成果撰写了一篇题为《催化反应温度的精确控制-扰动补偿原理的简单应用》的论文在分组会场上宣读，引起了流程工业过程控制界专家们的关注。

扰动补偿控制后来又用在“聚酯薄膜拉伸厚度自动控制系统”中，测量熔融态聚酯的挤出压力，及时调节辊筒转速以适应挤出量，借以保持薄膜拉伸厚度的均匀度。

在北京化工研究院经历的十年仪表自动化研究工作，对我以后在科学研究和生产实践中大有裨益。1973 年~1980 年的 7 年中，在“五七”干校化肥厂获得了将理论和实际进一步结合的机遇。该化肥厂虽属 5000 吨/年的小化肥，但从部机关下放到厂里来的领导们具有远见卓识，十分重视仪表自动化工作，除了要求仪表班保证检测仪表的正常运行外，还鼓励搞技术革新。该厂的工艺和仪表自动化系统的设计由部属设计院的下放干部所承担，因此设计方案比一般县级小化肥厂的水平要高，不仅有单回路的定值调节系统，甚至还在铜洗岗位设计有温度串级调节系统，尽管从来没有开起来过。自动化试点是在变换岗位进行的，采用红外分析仪测量变换气中的 CO 浓度，作为煤气与蒸汽流量比值的参照值；塔底液位控制系统、碳化工序出口气体中 CO₂ 浓度自动分析、水煤气成分全分析（南京分析仪器厂生产的简易工业色谱仪）作为外围参数实施自动测量，这些在当时已经属于先进的测量与控制仪表开启后，岗位操作工上班时基本上不需要操作，只是在开停车时才转为手动操作。原设计中铜洗岗位的温度串级调节系统也顺利地投入运行，并研发了电导式微量氨分析仪用于合成岗位。至此，干校化肥厂的仪表自动化水平在周口地区乃至河南省小化肥行业中均处于领先地位。



王大珩院士在家中接待吕武轩

作者简介：吕武轩，1938年生，研究员。1957年毕业于吉林工业学校，先后在北京化工研究院、劳动保护科学研究所工作。历任中国安全生产科学研究院监测仪器检验研究室主任、劳动部工程技术系列高级职称/职务评审委员会委员、中国劳动科学院学术委员会自然科学部委员。兼任中国仪器仪表学会环境与安全检测仪器分会副理事长、中国仪器仪表学会科学仪器学术委员会委员、《仪器仪表学报》编委、北京自动化学会荣誉理事。获科技进步二等奖一项、三等奖五项。发表论文数十篇。译有《典型调节对象参数计算方法》（苏 O.M. 米尼娜，科学出版社，1964）。合译《系统安全工程导论》（劳动人事出版社，1984）等。主编《水工业仪表自动化》（化工出版社，2010）。

红外分析仪的发展历程

王复兴

作为苏联援建的 156 项最后的两个项目，北京气体分析仪器厂（后改为北京分析仪器厂，下简称“北分厂”）是其中之一。1959 年筹建，经多次选址，最后选定在北京海淀区的西北温泉地区。1962 年我从南京大学分配到该厂工作。听

锲而不舍（研究篇）

学校介绍这是一个国家重点建设项目，我满怀激情按通知书上提供的交通路线，从北京站下车后，乘公交到西直门，再乘 332 路到颐和园，从颐和园改乘 46 路到温泉车站。下车后看到的是一片高粱地，没有想象中的高大厂房，非常失落。问了几个老乡，才知道有一个工厂正在建设。我背着行李穿过 2 公里多的高粱地走到厂区。当时有两个建筑，一个办公楼和一个联合车间。办公楼有五层，1、2 楼办公，3 至 5 层住宿。住宿非常紧张，8 人一间，比大学条件还差。当时正值困难时间，伙食就不用说了。但是，当我们听说为国防需要，一个研制同位素质谱的小组（八一组）正夜以继日地工作着，油然升起一种自豪感。

一、QGS 红外线气体分析器的研发

分析仪器的另一个重要目标是过程自动化仪器，也是国家迫切需要的产品。红外线气体分析器是过程分析仪器中最重要的产品之一。二次大战结束后过程控制的方式由采用热工仪表(温度、压力、流量、液位)控制转向使用成分分析仪表(气体成分、物性)控制，是对过程控制尤其是化工过程控制的一个革命性转变。

氢分析器、氧分析器和红外线气体分析器是其中重要的组成部分。氢分析器、氧分析器相对简单，红外线气体分析器成为引进消化吸收的重点产品之一。前苏联提供的红外线气体分析器 OA-2101 的图纸是采用补偿方式工作原理设计的，据说得过莱比锡国际博览会金奖。在我来厂前，已有科学院自动化所等做过研制工作，没有完成。

1962 年分配到北京气体分析仪器厂的大学生有 68 位，专业有热工仪表、机械、物理、化学，还有计算数学、生物、外语，都没有接触过分析仪器设计。我们有 9 人分配到设计科，同时开展质谱、色谱和红外等设计工作。在姚克文总工程师（1963 年后调青岛筹建海洋研究所）、朱良漪副总工程师等指导下，我参加了红外线气体分析器的研制工作。

设计工作是从完全仿制开始。苏联专家虽撤走了，因有全套设计和工艺图纸，我们根据现有条件进行设计。为了解其设计原理，我们做了红外光源的发射光谱，查阅了气体吸收光谱和学习光声检测器的工作原理。将产品型号命名为 QGS-01。仪器按图纸加工出来了，但通气后灵敏度很低，反应很迟钝。经多次试验和改进，也很难突破。大家认为，检测器灵敏度低，放大器放大倍数不够是主要矛盾。朱工拿来 URAS（德国 HB 公司的红外线气体分析器）产品资料供我们参考，这是一

锲而不舍（研究篇）

种直读式分析系统，也就是测量光路和参比光路的能量差被检测器测量后经放大直接显示和输出。大家认为，直读式仪器设计的检测器较容易实现高灵敏度，不需要反馈控制调节系统，放大器设计自由度大，成功的希望大。

于是，在朱总指导下我们决定设计直读式的光学系统，电气部分则采用原苏联的设计。研制小组也重新组织，将原电气设计柳中权（机械专业）改任总体设计，我任电气设计。凭借在大学当预备教师期间担任物理实验室教学的基础，我对苏联电路设计进行理论分析，电容微音器的检测使用电容极化法转化为电压输出，灵敏度很高；电子管放大器采用双 T 选频回路，可得到较高的信噪比；弱点是恒温控制采用的是水银温度开关结点控制，精度差；光源采用稳流管器件，稳定效果较差。但在直读式光学系统试制成功后，仪器能有效测量气体浓度的变化，测量精度达 3%。在当时已属不错的产品了。我们将产品型号定为 QGS-02。

经过一年左右，第一台 QGS-02 型红外线气体分析器研制成功了。将它送到兰州化学工业公司化肥厂使用。但在现场运行很不理想，仪器受电源波动很大，恒温控制部件经常出现失控。为此，将仪器取回进行研究。认为光源的电流不稳定是主要问题，于是设计了半导体稳流电源，电源波动的影响解决了。将仪器型号定为 QGS-03。为了不再出现兰化试验的失败，在厂内对 QGS-03 进行各种试验。发现温控失灵的主要原因是电子管电路温升太高。是重新设计还是在原来的基础上改进？这时，文革开始了，研制工作被延缓。

1968 年，我们干脆丢弃电子管电路，采用半导体电路设计。由潘文斌设计放大器，我设计放大器电源、极化电压电源和光源稳流电源。仪器设计成分体式，取消恒温设计。光学部件一个箱体，电气部件一个箱体。由柳中权担任总体设计。新的产品命名为 QGS-04。

QGS-04 型红外线气体分析器取得了空前的成功。半导体电子部件功率小，温升高，电源稳定，放大器的各级都采用反馈设计，精度好于 3 级，稳定性也很好。经过工厂的温度试验和长期稳定性试验，都取得很好的效果。1970 年正式鉴定，成为国内第一代大批量生产的红外线气体分析器。

当时，化肥是化工企业生产的重中之重。QGS-04 只能解决常量气体分析（量程大于 0~0.5%）问题。合成氨的原料气中 CO₂/CO 含量对合成塔的镍触媒使用寿命关系极大，所以微量 CO₂/CO 红外线分析器（量程 0~50ppm）非常急需，于是开

锲而不舍（研究篇）

展了微量 CO₂ 气体分析器（QGS-05）和微量 CO 分析器（QGS-05A）的研制。

微量 CO₂/CO 红外线气体分析器对光学系统的灵敏度要求高，抗干扰能力要求强，因此现场条件对仪器的影响必须经过严酷的考验。为此，我和何良材（主机设计）开始了这一探索。通过加长气室长度，增加光源电流（提高发射功率）等措施，CO₂ 分析器首先试制出来。在石家庄化肥厂进行现场试验，取得成功。

CO 分析器的灵敏度低，对 CO₂ 和 CH₄ 的抗干扰能力差。在研制微量 CO 分析器过程中，为了提高仪器的选择性，对检测器的结构进行了探索，采用串联型光学吸收池（和 URAS 检测器相似，但提前 10 年以上）。串联型检测器的选择性比并联型检测器的选择性提高了一个数量级。以 CO₂ 对 CO 的干扰为例，并联型检测器为 1: 500，串联型检测器为 1: 4500。为了考核仪器的适应性，不仅在石家庄化肥厂进行运行，夏天还到南京化肥厂运行，考核高温高湿气候对仪器的影响。7、8 月份南京白天温度在 33 度以上，车间里超过 40 度。经过 2 个多月高温考验，仪器都能正常工作。

有件事记忆犹新。在南京化肥厂试验时，因以前测量 CO₂/CO 微量气体用的是电导率 CO₂ 分析器，必须将 CO 转换为 CO₂ 进行测量，测量数值通常为 15~20ppm。所以当时测量范围定为 0~50ppm。现场测量结果，只有 2~3ppmCO。化肥厂师傅不相信，说我们的仪器有问题。通气校准仪器，量程并没有变化。对电导仪进行校准，也是好的。我认为毛病出在转换炉上。于是在进入转换炉前将 CO 和 CO₂ 除掉，再测量 CO，结果红外线分析器的指示为零，电导率仪仍有很大数值。这说明有其他气体被转换成 CO₂ 了。我建议采样后用色谱分析，结果证实确有微量的烃类物质。通过这次试验，化肥厂师傅信服了，红外线 CO 分析器更受欢迎了。

经过 2 年努力，1973 年、1974 年微量 CO₂ 分析器和微量 CO 分析器分别研制成功，并投入生产。

1974 年冬，北京发现地下水被污染，主要来自北京石化总厂。为了控制炼油厂污水进入地下，要求北分厂尽快研制出水中油分析器。我们迅速成立研制小组，仅花了 1 周多的时间，就制造出水中油分析器，型号为 QGS-06，很快拿到现场使用。因水中油分析器是液体分析器，萃取溶剂四氯化碳的挥发性很强。QGS-06 是在 QGS-04 的基础上仅做了一些很小的改动，光源还是完全暴露在空气中，因此工作一段时间后，光源反射镜上会出现白色结晶，很难清理，故未成批

锲而不舍（研究篇）

生产就淘汰了。这说明不能用大跃进的方式做科学研究。

二、KH 渗碳红外的研发

粉碎四人帮后，我参加了毛主席纪念堂的水晶棺自控设备研制工作，用了一年时间建成。1977 年底，为提高机械零件的耐磨性能，需要大批的渗碳设备，将人工淬火改为用可控气氛渗碳。我们马上开始研究渗碳红外，型号为 KH-01，由朱文庆任设计，我配合。渗碳红外工作原理是将机械零件放在渗碳炉中，用红外线气体分析器测量其中的 CO/CO₂ 含量，然后通过控制滴入渗碳炉中的丁烷量进行控制炉内气氛，也就是控制向零件渗碳的速率，实现均匀渗碳的目的。产品研制出来后，在北京齿轮厂使用，受到欢迎。使用过程中发现 KH-01 渗碳红外的控制方式是开关控制，气体成分波动较大，不够理想。于是对 KH-01 进行改进，将控制方式改成比例控制，定型为 KH-02。控制精度得到很大提高。1978 年产品定型生产后，成为我厂第一个批量生产的成套产品，在相当长的时间里是热处理设备厂的必配仪器。

为了提供不锈钢机械零件的渗氮处理，要求将控制气氛的分析器改用 H₂ 分析器。H₂ 是通过氨分解得到 N₂ 气的同时产生的，测量 H₂ 也就知道了 N₂ 的含量。于是又研制了氨分解率分析器，也被广泛用于热处理工艺中。

1979 年，有色金属研究院气体测量室的唐福君工程师找到我厂史肇华工程师，希望我们能研制金属中氧的分析系统。史肇华毕业于哈尔滨军工大，文革中调入我厂，对金属材料在机械制造中的作用很清楚，毅然答应了唐工的要求。金属中氧分析器的关键设备是微量 CO 分析器和石墨炉。石墨炉要求有大电流控制的电源（瞬间实现 1000°C 以上的高温）。工作原理是在高温的石墨炉中将金属的氧释放出来，和碳结合生成 CO。CO 在载气 N₂ 携带下进入 CO 分析器检测，CO 浓度和金属中的氧含量成正比。由于我在红外分析器和电路设计的经验，当仁不让地成为史肇华的合作者。经过一年多的设计、试验，于 1980 年成功研制出两台样机。分别在包头钢研所和成都飞机发动机厂运行。取得试验报告后于 1981 年鉴定，投入生产。

在此基础上，我应航空材料所张工的邀请，又参与了金属中碳分析器的研制。金属中碳分析器的转换方式有两种，一种是用高频炉加热样品氧化生成 CO₂，送到红外线 CO₂ 分析器测量；另一种是用高频电弧炉加热样品，氧化生成 CO₂ 送到红

锲而不舍（研究篇）

外线 CO₂ 分析器测量。前者测量精度高，但成本也高；后者测量精度较差，但很便宜。产品在实验室中得到使用，正准备设计定型时，因史肇华调到北京科技大学去当教授，我没了合作伙伴，很遗憾未能成为正式产品。

三、引进国外技术

1979 年，我国开始以经济建设为中心，厂领导抓住这个机会，利用环保部门需要进口一批微量 CO 分析器的机会，从德国麦哈克公司引进 UNOR4N 型红外线气体分析器制造技术。使红外线气体分析器的制造水平一跃达到了国际先进水平。

从 1984 年开始，我们每年都向麦哈克公司出口光源、气室和检测器，麦哈克公司检验合格和接受我们的产品，标志着我们的制造技术已和国外处在同一水平上。

此间，虽然我们也进行了 GXH-901 总有机碳分析器的研制和汽车尾气分析器的开发工作，做出了样机。但因引进国外先进的技术，最后都被引进产品取代了。

四、军工产品研发

红外线气体分析器的另一个成就是半导体红外线气体分析器的开发工作。1966 年，718 所的军代表带了毛主席批示：“我们要建设强大的海军！”“核潜艇一万年也要搞出来！”来我厂下达研制核潜艇用 CO₂ 分析器、氢分析器和氧分析器的任务。因红外线气体分析器的设计原理是基于光声效应，不能满足船用的震动、冲击使用条件。我认为用半导体红外探测器再配以窄带滤光片，制造出的红外线气体分析器可能满足船用条件。最终，我厂接受了这一任务。因是重要的军工任务，文革中我们没有受到影响。

我的大学同学方家熊是研究红外探测器的，在他的帮助下，我从上海技术物理研究所拿到了红外探测器 InSb 光敏电阻和 4.3 μm 的窄带干涉滤光片。首先对它们进行了震动、冲击试验，没有问题。于是一种新原理的红外线气体分析器的研制工作开始了。

为了适合半导体检测器尺寸较小的特点，我们在陶瓷工段研制了一种小型的红外光源，体积小，功率只有 04 红外光源的 1/5，但在气室直径和检测器窗口都减小的情况下，检测器接收到的光能量并不小。我们用一个单光路系统，即一个光源、一个气室、一个滤光片和 InSb 探测器组合，然后配上一个高灵敏度的放大器进行试验。通 N₂ 气调零，通 CO₂ 标准气测量吸收信号，再将吸收信号放大

锲而不舍（研究篇）

测试信噪比。试验结果很好, 吸收灵敏度可以满足要求。于是正式设计开始了。

QGD-01 采用了与 QGS-04 类似的设计思路, 使用两套单光路结构的双光路设计。一个光路作为测量光路, 一个光路作为参比光路。在试验过程中, 尽管我们对光源、滤光片和 InSb 光敏电阻进行了选配, 但由于 InSb 温度系数很大, 光源和滤光片在不同温度下也不能完全补偿。只能进行大量的温度试验, 通过两个放大器进行温度补偿和灵敏度补偿, 对两套光学系统进行性能选配。仪器要求能在 5~45°C 的环境中保证测量精度合格, 难度可想而知。

为了完成任务, 一次又一次地进行温度系数的测试。北京的冬天很冷, 正好被用来降温。从 5°C 逐步升到 45°C, 然后开窗降温到 5°C 以下, 再升温。一天做两次。这样连续调试了 4 个月。1968 年终于试制出 3 台红外线 CO₂ 分析器, 送到上海进行振动冲击试验。虽然通过了试验, 仪器没有损坏, 但是性能有变化。重新调整太费时, 我们又翻阅大量资料, 发现有一篇关于时间双光束红外线分析器的英国专利, 其原理简化了光路系统, 采用一个单光路结构, 通过两种不同的滤光片形成双光路分析。因只有一个光源, 一个放大器, 一个检测器, 检测器的温度系数最大, 也可以通过自动增益系统补偿光源、放大器、检测器的漂移。我们认为可以解决 QGD-01 难题的一个理想设计。1969 年, 我们决定放弃原来的笨拙设计, 研制 QGD-02 型红外线气体分析器。

当时国内集成电路的制造水平很低, 要用晶体管电路完成自动增益放大器、相敏触发电路, 分离器及输出信号处理的难度是很大的。我利用晶体管电路的知识, 创造性地设计了适合时间双光路系统的一整套电路, 花了 1 年时间, 新的红外线气体分析器的试验样机终于诞生了。这也促进了 QGS-04 从电子管电路向晶体管电路设计的转换。

在 QGD-02 研制中, 7 机部 8 院的岳工要研制卫星环境中测量 CO₂ 的分析器, 愿和我们合作, 正好解决了我们研制中高可靠性元器件的问题。经过两年努力, 1972 年, 正式研制成功 QGD-02 型红外线气体分析器, 并通过了 09 单位的验收。

QGD-02 研制成功后, 国防科委又下达了用于地下核试验检测的 CO 分析器任务, 我们定型为 QGD-03。主要难度是测量结果需远传到 10 公里外, 并用脉冲频率传输, 以保证传输的可靠性。在 QGD-02 的基础上, 我们只做一些结构设计和远传电路设计, 非常顺利, 1973 年就完成了两台。并用于地下核试验。

锲而不舍（研究篇）

1974年，国家体育集训队需在训练场测试运动员的呼吸气体中CO₂的变化，于是我们又开始研制QGD-06。这仪器主要指标是响应时间短，要跟上人的呼吸。因测量范围大，采用几何双光路结构，通过反射聚焦方式，使用一个滤光片，一个检测器的设计。我又设计了高性噪比放大器取得成功。在1975年小批试生产10台。需要量少未大量生产。

QGD-04是超小型的红外线CO₂分析器，目标是能在卫星上进行工作，所以要求重量不超过1公斤。我们研制了原始样机，性能基本达到，但不能满足火箭发射时的恶劣条件。1977年后转移给七机部。

五、进入民用产品

军工产品需要量太少，为了能使该技术得到应用，准备将军工技术用于民用产品。1978年中科院植物所施定基研究员要和我们合作，进行温室大棚CO₂施肥研究。我们一拍即合，开始便携式CO₂分析器的研制工作。测量范围是0~3000ppmCO₂。空气中的CO₂含量在400ppm左右，白天植物在阳光下进行光合作用，CO₂浓度降到不足300ppm，制造碳水化合物的数量大量减少。如提高大棚中CO₂含量，蔬菜产量就能提高。在发达国家叫CO₂施肥。以芹菜为试验对象，用钢瓶气将CO₂通入大棚，将大棚中CO₂含量分别提高到800ppm、1200ppm、1600ppm进行对照试验，观察到1200ppmCO₂时芹菜增产60%以上。增收基本可抵消钢瓶气的成本。

施定基的同学于沪宁在农科院研究高产小麦，和我们合作，利用CO₂分析器进行植物光合作用研究。为此，CO₂分析器测量范围必须定在0~500ppm，且仪器必须用电池供电（田中无电源）。为此研制了一个专用于农业生产研究的仪器，定名为QGD-07农业红外。研究新品种必须一年培育到收获后才能得到结果。通过CO₂分析器在田间直接检测小麦叶片的光合作用能力，就可提前估计小麦的生产能力。在此基础上，在许多省级农业研究所和农业大学建立了光合作用研究室，通过人造的光照、温度、湿度、CO₂浓度对叶片光合作用进行检测，进行筛选，极大地提高了研究的效率。QGD-07农业红外大受欢迎，于1980年定型生产，成为第一个成批生产的半导体红外线气体分析器。

1979年引进麦哈克的UNOR4N红外线气体分析器，进行国产化改造后，定型为QGS-08。成为取代QGS-04和QGS-05的新一代红外线气体分析器。

锲而不舍（研究篇）

在与德国麦哈克合作过程中，麦哈克看上了我们的半导体红外，在他们提议下，1981年我们先后研制了便携式 GXH-301 型红外线分析器和在线型 GXH-104 型红外线气体分析器。GXH-301 主要用于锅炉燃烧效率的检测。GXH-104 的优势是能承受恶劣环境条件，用于船舱内检测等场合。这两种产品首次实现了我国生产的分析仪器向发达国家出口。由于工艺稳定性不够理想，德国又很快研制出类似产品，出口就停了。1982年，国内制定了室内环境空气检测标准，环境卫生研究所急需一种便携式 CO₂ 分析器。我们正好将 GXH-301 转型为 GXH301A 便携式 CO₂ 分析器。由于使用方便，测量快速，GXH301A 被选定为市级以上卫生检测站的标配仪器，而大批量生产。

1982年，为克服时间双光路仪器零飘大的缺点，在我的建议下，由贺传健任光路设计，我任电气设计，研制了几何双光路半导体红外线气体分析器 QGD-05 型 NH₃ 分析器。1983年投产，主要用于合成氨合成塔前后的 NH₃ 含量分析。

此外，北京分析仪器厂还引进美国的一些产品技术，填补空白。并通过国产化，基本掌握了红外线气体分析器的各项技术。但由于国外先进技术的冲击，自己的研究成果未成为主导产品，但被一些民营企业继承发展，作为他们的支柱产品，成为国产红外线气体分析器的重要组成部分。



作者简介：王复兴，1939年8月2日生，汉族，中共党员，教授级高工。1962年毕业于南京大学物理系固体物理专业，分配到北京分析仪器厂工作。先

后在设计科、分析仪器研究所从事开发和设计。任红外部主任、红外研究室主任、北分厂副总工程师、北分麦哈克总工程师、西克麦哈克总工程师。曾任中国光学协会常务理事、红外专业委员会副主任委员；北京市电子仪表专业高级职称评委和机械行业高级技师评委。现为分析仪器编辑部审稿专家组成员。

国产变送器的发展概况

方原柏

早期用来检测压力、差压等参数的装置，其测量、转换、指示记录及运算、调节部分全部集中在仪表壳体之内，称为基地式仪表。后出现单元组合仪表，将每一项功能交给一类仪表完成，如显示功能交给指示仪完成，调节功能交给调节器完成，在各类仪表间则采用标准统一信号联系，如4~20mA。这样，变送器（transmitter）就诞生了。他的定义是能感受规定的被测物理量并按照一定的规律转换成规定的标准信号的器件或装置，变送器通常由敏感元件和信号变换器组成。

1969年，美国罗斯蒙特（Rosemount）公司开始生产1151系列电容式变送器，成为享誉世界的名牌产品。上世纪八十年代初，美国霍尼韦尔（HONEYWELL）公司推出ST3000智能变送器，此后，罗斯蒙特、日本横河（YOKOGAWA）、ABB、福克斯波罗（FOXBORO）等都推出各具特色的智能变送器。

一、国产变送器的早期发展

1958年开始，中国开始研制电动单元组合仪表。1964年，全套27个品种的DDZ-I型仪表全部投入生产。1965年起，中国开始规划DDZ-II型电动单元组合仪表，并于1970年组织了DDZ-II型电动单元组合仪表统一设计。同时，气动单元组合仪表QDZ-I、QDZ-II也研制成功。上世纪七十年代中期，开始研制DDZ-III型电动单元组合仪表和QDZ-III气动单元组合仪表。其中变送器也是上述单元组合仪表中一个重要的类别，初期生产的是力平衡式（如QDZ-II型变送器、部分DDZ-II型变送器），后开发矢量平衡式变送器（如QDZ-III型变送器、部分DDZ-II型变送器、DDZ-III型变送器），精确度指标大部分为0.5%、1.0%，量程比为4:1~10:1。但此时国产变送器制作粗糙，稳定性差，精确度低，量程比小，调整不方便，产

锲而不舍（研究篇）

品种类少。

1979年，西安仪表厂与罗斯蒙特公司签订1151电容式压力/差压变送器的技术转让合同，这是中国仪器仪表行业引进的第一个重要产品技术转让合同，开创了国外高性能变送器快速进入中国市场的先例。对于变送器行业乃至整个仪器仪表行业来说，是一个标志性事件。

二、国内变送器市场的竞争

随后，日本富士公司FC系列变送器、日立公司EDR/EPR系列变送器也在兰炼仪表厂、大连仪表厂引进生产。而随着国外仪器仪表公司变送器产品的大量涌入，国内生产厂和用户都逐步熟悉了包括美国罗斯蒙特、霍尼韦尔、福克斯波罗、摩尔工业、Smar，日本横河、富士、日立，德国E+H等公司的产品。

上世纪90年代初，四川仪表总厂与横河公司合资成立重庆川仪横河公司（后改为重庆横河川仪公司），生产EJA系列变送器，同时通过川仪总厂及横河公司在华的销售网络大力推销，年销售额快速增长。2007年变送器产品市场订货量达18万台，远远超过罗斯蒙特的同类产品。ABB公司1999年推出MV2000T智能变送器后，也采用了与罗斯蒙特、横河相同的方式，在中国寻求合作伙伴，与上海威尔泰公司合资建立生产线，并取得年销售数万台的业绩。

日本富士也与中控自动化仪表公司合作生产CXT变送器。近年来，由于跨国公司在华变送器的销售量大幅增长，除了引进技术或合资生产方式外，西门子、E+H、ABB均已在中国建立自己的独资变送器生产线。中国变送器市场上的竞争越来越激烈。老的国有企业几乎全线崩溃，而同时以民营企业为代表的厂家悄无声息地出现并发展壮大，给中国变送器行业带来一线生机。

三、给我们带来希望的几家国产变送器企业

重庆伟岸(WECAN)测器制造公司是一家专业从事变送器研发、生产、销售的高科技企业。1992年5月12日创立，始终坚持走“自主研发、创新优化、市场导向、规模生产”之路，变送器电路从模拟型、智能型再到数字化，进行了三次更新换代，结构也从灵巧型直接跳到悬浮式。主力产品SST系列数字化智能变送器获得了2006年中国仪器仪表“科技成果奖”，重庆市科学技术委员会“高新技术产品”认定。

2007年国内市场占有率达8.37%，与宇通仪表、海王仪表、东电仪表联手，

锲而不舍（研究篇）

共同出资成立重庆中智联仪表（集团）公司，在重庆高新园建成中智联仪表工业园，建筑面积40,000平方米，成为国内仪器仪表产业链较为完善的大型仪表企业之一，也使伟岸测器成为国内仪器仪表行业专业化非常强的公司。

北京华控技术公司的主要产品包括：符合HART协议、FF协议的变送器圆卡散件，符合HART协议的CDS3151系列智能变送器、H375HART手操器、HART232组态调试工具、HART协议智能网桥，符合CAN总线标准、PROFIBUS协议的智能分布式系统（SDS）和集散控制系统、现场总线控制系统等，华控于1996年成为现场总线基金会（FF）成员、HART通讯基金会成员、OPC基金会成员。在2008年第三届中国国际工业自动化（PA/FA）新产品和新技术发布会上，华控和广州森纳士、上海赛索、阳江丽田共同发布了“0.075级金属电容式压力/差压变送器的关键技术”报告，介绍了在0.075级变送器多个关键技术上的突破。

上海光华仪表公司于1981年自行研制开发CEC系列电容式变送器，这是国内最早研制生产的核安全级变送器，符合国标GB12727及GB13625（等效IEEE-323、IEEE-344有关标准）相关的核安全技术要求，该产品已成功用于秦山一期、二期、三期核电站，巴基斯坦恰希玛核电站，清华大学高温气冷堆，中国快堆，中国先进堆等核工程。

上海威尔泰工业自动化公司成立于1992年，2000年与ABB公司合资建立生产线，生产MV2000T智能变送器。借鉴国外先进技术，设计开发了WT1151、WT2000变送器，带HART协议并获得国际HART基金会认证，2003年获得欧洲CE认证。威尔泰公司的自有品牌与引进产品构成了低中高不同层次的变送器，可适应不同用户的需要。

2005年，威尔泰推出WT3000系列小型化高精度变送器，采用数字温度补偿技术，温度性能优异，符合HART通讯协议。2006年，达到核安全级的WT3000N系列变送器通过了上海市经委组织的新产品鉴定。2007年1月，国家科技部决定由威尔泰与中控自动化仪表公司共同承担国家863计划课题——高精度差压/压力变送器，国家发改委将该项课题列入2007年重大装备自主化项目。

近年来，国外仪器仪表的增长率约为3%~4%，我国却达到十倍于世界增长率的速度，有的产品我国的用量占到全球的1/10。我国变送器的年销售量达到50万台，销售额超过全球的1/10。

锲而不舍（研究篇）

国内市场需求非常强劲，同时，我国非常重视重大装备自主化，国家领导人先后到中控集团公司、和利时公司、北京国电智深公司等控制系统生产企业调查；在新产品研制上给予支持等。如伟岸测器投入巨资建立了从原材料购进到精密数控加工、光学研磨、镀膜、真空热处理、烧结等集多种产业为一体的综合研发体系，从而完成“隔离型悬浮式复合传感器”及数字化专用转换芯片的研发。原仪表司司长奚家成先生对该项成果的评价是“在3051这类高端市场上取得的关键技术突破”。

带多种现场总线功能的变送器是高档变送器的标志之一，目前国内生产的智能变送器只有带HART®协议的产品。其实早在1996年中控就开发出具有自主知识产权的中国第一块现场总线变送器圆卡，可以将模拟变送器升级成智能变送器，但至今带FF、PROFIBUS-PA总线的产品尚未正式生产。我们希望，再经过5至10年的时间，国内自主开发的变送器能够在国内高档产品市场上具有与国外公司竞争的实力，市场的销售份额能达到50%。



作者简介：方原柏，男，1942生，湖北黄冈人，教授级高级工程师，昆明仪器仪表学会副理事长兼秘书长，《冶金自动化》《世界仪表与自动化》《衡器》等杂志编委，发表论文200余篇，出版《电子皮带秤的原理及应用》《电子皮带秤》两本专著。

我国在线气体分析仪的研发

朱卫东

引子

1956 年春，江南水泥厂的一位办事员路经刚组建的南京分析仪器厂（下简称“南分厂”），看到有承接仪器仪表修理的广告。他们厂有一台德国西门子的 CO₂ 自动分析仪坏了几年无处修理，生产受到影响，抱着试试看的心情这位办事员来到南分厂的修理组。修理组的同志听说此事后，毅然承接了修理进口仪器的任务。仪器送来后，他们仔细检查了损坏的仪器，发现传感器的电桥并未损坏，只是电路个别元件坏了，经过更换元件，重新调试仪器电路，修好了进口仪器。使用单位喜出望外，南分厂能修进口高级仪器的名声也就传扬出去。

一、第一台国产热导 CO₂ 气体分析仪的研发

1957 年 4 月，南京市派出南分厂的厂长詹作武、副厂长张启文到北京参加一机部一局召开的第二个五年计划仪器仪表远景规划会，两位厂长带去了全厂职工的心愿，希望得到中央的支持。正好会上有人向上级反应了南分厂能修理进口分析仪的事，部局领导十分重视，认为南分厂的技术潜力很大，就把当时工业急需研制 CO₂ 分析仪的任务交给了南分厂。全厂职工为之欢欣鼓舞，立即组成专业班子负责 CO₂ 分析仪的研发。当时，上海新城仪器厂已按照前苏联产品 Гайк-21 型 CO₂ 分析仪搞出一台仿制样机。南分厂接到机械部任务后，攻关组没有完全仿制原苏联 Гайк-21 型样机，而是采取仿、创结合，进行改进设计。

攻关组通过样机解剖，发现前苏联样机传感器—分析电桥的设计不够合理，样机电桥体结构是长方体，四角的传热不够均匀，电桥臂元件采用弓形，在热导池中的安装位置也不能保证在中心，会影响热传导的平衡。专业组大胆进行了设计改进，将电桥体改为圆柱体，电桥臂改为直线型，四个电桥臂均匀分布，每只电桥臂的热丝元件都位于检测池的中心，符合热传导理论，也与德国样机热导传感器的结构相近。实验表明对仪器热导传感器的改进是成功的。通过大半年的努力攻关，南分厂于 1957 年底研制成功了我国第一台国产 RD-1 型 CO₂ 气体自动分析仪产品（见图 4）。

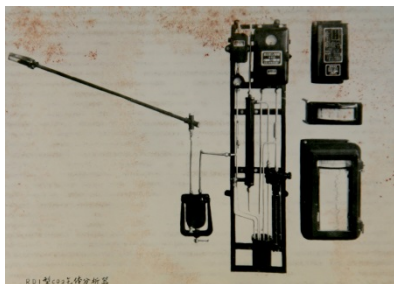


图4 RD-1型CO₂分析仪外形图

RD-1型热导CO₂气体自动分析仪由取样探头、过滤器、可燃气体燃烧室、稳压器、水流抽气泵、热导传感器以及电源控制器、二次仪表等部件组成。该产品已经具备成套分析系统的各功能部件的雏形。在马鞍山发电厂等多家电厂通过监测锅炉燃烧烟气中CO₂的长期考核，表明该产品对锅炉燃烧的节能和烟气排放起到重要指导作用，完全替代了人工的奥氏气体分析。该产品在六十年代投入了批量生产，解决了电厂锅炉燃烧冒黑烟，降低发电能耗的作用。

1960年至1962年，南分厂为国防建设开发了多个新产品，其中用于海军的有CQ-1型消氢器、RD-1059型便携式测氢仪等多项产品。CQ-1型消氢器及RD-1059型便携式测氢仪产品外形见图5、图6。后期开发用于舰船海水淡化的DD-101型船用盐量计参见图7。



图5 CQ-1型消氢计



图6 RD-1059型便携式测氢仪

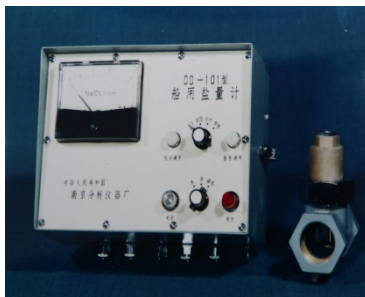


图7 DD-101 船用盐量计

二、第一代流程分析仪及第一台工业色谱仪/四极质谱仪的研发

1、国内第一代工业流程分析仪产品的研发

南分厂是以工业过程气体分析仪器为主业的专业厂，是国内热导、热磁、电导、电化学等第一代流程分析仪器产品的主要代表厂家。

1958年至1963年，南分厂在第一台CO₂分析仪研制的基础上，又先后研制出热导氢、氨、二氧化硫等工业过程气体分析仪以及电化学去极化式微量氧分析仪。该产品主要用于国内早期化肥生产的过程分析，并在南京化学工业公司化肥厂进行长期现场试验。此后，南分厂又陆续开发了热磁式氧分析器、热化学氧分析器、电化学微量氧分析仪、电导式盐量计、密度式硫酸浓度计等第一代在线分析仪器，满足了当年工业过程分析的需求。

南分厂在六十年代后期，又自主研发，创新设计了新一代热导氢气分析器、热磁氧气分析器等产品的关键传感器元件，使得该产品技术在国内同类产品中技术领先，并达到国外先进水平。另外，南分的氧化锆氧分析仪、工业色谱仪、工业四极质谱仪都是国内第一代开发的在线分析仪。

1969年成立的四川分析仪器厂也是以工业过程分析仪器为主，研制成功了国内首台磁力机械式氧分析器及薄膜微音器的微量红外分析仪。

北京分析仪器厂的在线分析仪器产品，主要有热导氢、热磁氧、及红外分析仪等产品，北分厂也最早开发了薄膜微音器红外气体分析仪以及热磁氧分析仪、工业磁质谱仪等。

上世纪八十年代，国内在线分析仪器的专业厂，除南分、北分、川分外，还有广东佛山分析仪器厂、沈阳分析仪器厂、成都仪器厂、上海第二分析仪器厂等。其中，佛山分析仪器厂生产热导、红外分析仪等；沈阳分析仪器厂生产氧化锆氧

锲而不舍（研究篇）

分析器等；成都仪器厂主要生产物性分析仪器如微量水等；上海第二分析仪器厂（原雷磁仪器厂）是我国第一台实验室 PH 计的生产厂，以在线水质分析仪器为主，也生产过红外气体分析仪。

2、第一台国产工业气相色谱仪的研制及其发展

1965 年，南分厂接受上海化工研究院研制的“机械凸轮式”程序控制的工业色谱仪性能样机成果，经过合作改进、完善，通过防爆审查和试验，研制出第一台国产 CX-2A 型（TCD）工业气相色谱仪（见图 8），并进入小批量生产。



图 8 CX-2A 型工业气相色谱仪



图 9 国产 CX—6710 系列工业色谱仪

1974 年南分厂自主设计出“数字分频式”程序控制器工业色谱仪，更新为 CX-2B 型工业气相色谱仪。1986 年南分通过引进美国罗斯蒙特的 6710 工业色谱

锲而不舍（研究篇）

仪技术，并消化吸收推出了国产 CX—6710 系列工业色谱仪（见图 9）。1995 年底南分又完成国家八五攻关项目——应用 9086 单片机技术的 CX—6800 系列防爆工业气相色谱仪。

2004 年，南分与南京工业大学合作，在 CX6800 基础上，参考西门子工业色谱样机，推出主要性能指标达到国际九十年代中期水平的第五代仪器——CX—8800 系列防爆工业色谱仪，同时具有 TCD、FID 检测器。

国产工业色谱仪的主要生产厂，除南分外，还有原兰州自动化研究所，早期开发了工业色谱仪。后期，兰州天华公司、苏州天华公司继续生产国产工业色谱仪。

3、第一台国产 SZ-001 型工业四极质谱仪的研制

1984 年，南分在原南京工学院（东南大学）协作下，研制出第一台国产 SZ-001 型四极质谱仪（见图 10），并进入了小批量生产，其中有 8 台 SZ-001 型四极质谱仪，成功地应用于 8312 工程——北京正负电子对撞机项目的超高真空检测。1995 年，南分又完成了国家八五攻关项目：SZ-002 型工业四极质谱仪的样机试制，外形（见图 11）。

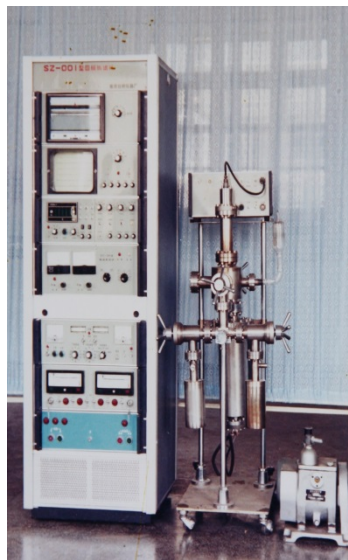


图 10 SZ-001 型四极质谱仪

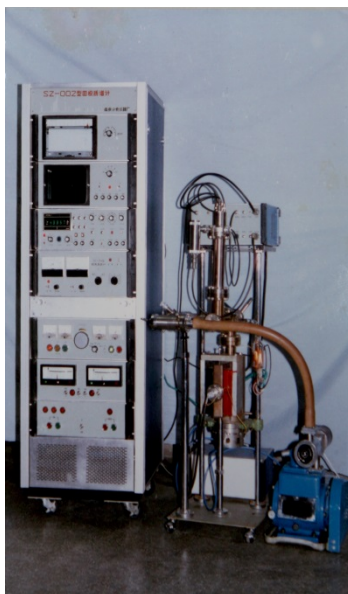


图 11 SZ-002 型工业四极质谱仪

三、第一代工业在线成套气体分析系统的研发

1978 年南分研究所成立了分析系统研究室，专门从事转炉煤气成套分析系统、新型干法水泥窑尾气分析系统、高炉喷煤气体分析系统、水泥窑炉电收尘气体分析系统以及空分、化肥、电站等成套分析系统。完成了国家“七五”攻关项目“工业炉窑成套取样预处理技术”。其中南分 ZFK-1 型转炉煤气成套分析系统荣获国家科技进步三等奖、机械部二等奖并评为国家级新产品（参见图 12）。

国内最早生产成套分析系统的主要厂家还有川分，1985 年 5 月，川分厂组建成套科，1992 年改组为过程分析成套工程部，在参考 H&B 公司的成套分析系统技术基础上，研制开发了国内首套水泥窑的窑尾高温气体分析系统，推进了国产在线分析系统的技术发展。

我国在线分析系统的发展也包括行业外的研究院所，特别是石油化工行业的研究院所。在我国上世纪七十年代引进国外大化肥、大化工设备的同时，也配套引进了一批在线分析系统，在应用中发展了在线分析系统集成技术。例如：兰州石油化工研究院，较早的从事在线分析系统的开发，包括开发应用了工业色谱在线分析小屋系统。



图 12 ZFK-1 型转炉煤气自动回收分析装置



作者简介：朱卫东，1943 年生，教授级高工，享受国务院特殊津贴。1962 年 2 月起先后任南分厂分析仪器产品设计员、主管设计、研究室主任，从事热学、光学、电化学等分析仪器研发；1983 年~1987 年任南京分析仪器研究所所长，1987~1998 年任南京分析仪器厂副厂长兼总工程师。曾任中国仪器仪表学会理事、中国分析仪器学会理事、江苏省计量测试学会常务理事、南京自动化及仪表学会常务理事等，现任中国分析仪器学会在线分析仪专业委员会委员。退休后在

多家民营企业任职；现受聘为南分总经理特别顾问。

靶式流量变送器的研制

潘立登

1969 年底，中央发出号召，要充分发挥高校实验室设备作用，发展研发力量。1970 年 1 月初，我们北京化工学院党委准备把刚到河南“五七”干校学习的我们这批人抽调回来，建立仪表厂。尽管那时学校要外迁，校舍已交给中科院情报研究所，学校只有个留守处，条件比较差，也没有暖气，大家就住在一个大教室里，生着煤炉。生活虽然有点艰难，但比起干校则要好多了。

但到底要办什么样的仪表厂，我们心里却没有数。大家合计着，先生产当时流行的压力变送器。因其元器件比较通用，性能比较好，实验室里又有压力校验台这些校验设备，实施起来比较容易。确定了目标，就马上开始行动。当时北京没有什么仪表厂，决定就近去天津几个仪表厂调研一下，了解生产压力变送器所需要的设备。

我们去了天津红旗仪表厂，该厂专门生产压力变送器和差压变送器，这种变送器比较先进，技术比较成熟，虽然刚投产不久，销路很好，供不应求，但由于他们技术力量有限，满足不了用户的需求。我们说明来意，他们非常支持，觉得可以减轻他们的负担，而且可以为我们提供部分零部件，成品可以挂天津红旗仪表厂制造出厂。

这样好的机遇，事先我们是没有想到的，于是很快就答应下来，并派人来学习两周，单独装配、调试出合格产品，经他们验收后，同意我们提取零部件回北京装配调试。这样持续了三个多月，一批批新产品就送往天津红旗仪表厂，为我国“四五”计划贡献了一份力量。

眼看快到“五一”节了，化工部给我们提出了新任务，要我们研制、生产当时很先进的靶式流量变送器。虽然我们还不不懂什么是靶式流量变送器，但个个精神抖擞，干劲十足，下决心要干出一番事业来。随后化工部给我们送来一台 4”靶式流量变送器裸机，其他什么都没有，更没有任何资料。那时我们还没有听说过这种流量计，也不知其工作原理。需要找一些资料了解相关情况。

锲而不舍（研究篇）

中科院情报研究所正好搬到我们学校主楼，查阅各种资料非常方便。只是刚刚搬过来，资料没有整理摆放好，胡乱堆积在一起，查找起来相当麻烦。有一次，总算找到一点线索，看到靶式流量变送器的产品样张，知道日本横河仪表厂生产这种产品的一些情况，指出在内部资料《横河技报》上有所报道。但在中科院情报所还是没有查到《横河技报》。我就去市内一些大单位的资料室去查，最终在第一机械工业部的资料室查到《横河技报》，眼前一亮，如饥似渴地翻阅。刚好看到有份资料是介绍靶式流量计的，很详细，包括靶式流量计的流量特性，前、后直管段，流量系数的雷诺数限制等，我把它详细地抄写下来。当时也没有复印机，只能是一段一段地手抄。吃透这个，我们就可以着手研发了。

我马上制定研发计划。尽管有4”靶式流量变送器样机，但当时找不到4”无缝钢管，而且管子粗，加工较困难，校验时更不方便。我就打算研制2”管靶式流量变送器。首先开始设计，画施工图纸，备料。找到2”无缝钢管后，检查它的管道内经后，发现比实际要求管径小，需按图纸要求加工管子长度和内经，再在前后直管段中间铣出一个长方槽，以便于安放像压力变送器那样的表头，把压力变送器的弹簧管修改为一个靶。从加工的角度看，只是长管子的内经加工较困难，其他没有多少特殊，按生产压力变送器那样加工、调试就可以。

关键在于调试靶上的受力和流体的流量关系。根据流体力学的流量方程，流体的雷诺数达到一定数值后，流体的流量系数方为定值，将流体的动量转化为作用在靶上的力，该力成为作用在主杠杆的力矩，再通过拉杆系统、功率放大器转换为输出的 $0.2\sim 1.0\text{kgf/cm}^2$ ($0.02\sim 0.1\text{Mpa}$) 压力信号。所有零部件加工完后，装配成一个整体，开始用砝码挂在靶上进行受力调试，使它达到一级精度。

接下来是流体调试。我们利用化工原理实验室流量计量标定装置。从通过管道的流量超过量程的 $1/3$ 开始测试，将这个刻度下的输出压力记录下来，记下秒表，同时将通过靶式流量变送器的流体马上送到流量标定装置，等待流量标定装置里的流体达到瓶颈缩口处的标志线，马上卡秒表。将秒表的计时按小时统计，去除标定装置内的流体量，就是这个刻度下的流量值，靶式流量变送器的各个刻度下的输出（如0.4，0.5，0.6，0.7，0.8，0.9，1.0）分别与记录标定时流体流量值进行比较，并按这种方法进行正反行程的大量实验，我们经过这种标定验算，完全达到一级精度，实现1970年的“八一”献礼目标。几个月的努力，

锲而不舍（研究篇）

飞鸿踏雪泥

终于获得胜利果实，我们这样小小的仪表厂也能为国家的仪表事业做出一点贡献。后续工作进行整机定型设计，并将前后直管段进行分开设计，以便于制造、装配和调试，最后与天津红旗仪表厂合作，投入正式生产。