

家用水表的全国统一设计

蔡武昌

编者按：将一种仪表产品的生产方和使用方组织在一起进行产品设计是家用水表全国统一设计的一大特色。本文回顾了计划经济年代所特有的这种模式的设计过程。

20世纪60年代，我国自动化仪表处于奠定基础、形成发展的阶段，而其中流量检测仪表则处于发展的初创期末。众多企业各自开发仪表，形成品种型号繁杂，使用不便。第一机械工业部有鉴于此，选择一些符合条件的仪表，组织全国有经验的企业和研究机构，开展仪表的统一设计或联合设计。笔者经历了家用水表、玻璃转子流量计和电磁流量计三种仪表的全国统一设计。本文藉家用水表回顾全国统一设计的这种模式。家用水表，又称户用水表或民用水表，一般指口径小于40mm的小口径水表，对应于口径大于50mm的被称为工业水表。

60年代初上海热工仪表研究所（现上海工业自动化仪表研究院，以下简称上仪所）按第一机械工业部四局（主管仪表）指示，组织由生产方（仪表制造厂）和使用方（自来水公司）参加的全国家用水表的统一设计。第一次筹组会议在宁波市举行，参加的生产方有上海光华仪表厂、宁波综合仪表厂（宁波水表厂前身）、天津联昌机械厂等；使用方有上海自来水公司、福州自来水公司、广州自来水公司、北京自来水公司等。本次会议的东道主是宁波综合仪表厂，作为第三方研究机构的上仪所为组长单位，该所标准化室张乃昌主任主持了这次活动。参加会议的代表能回忆起来的有郭群、洪恩钊、张大华（女，上仪所），应启明（上海自来水公司水表工场）、陈含章（福州自来水公司）、武易生、邵某某（宁波综合仪表厂技术科长）。该统一设计的组成是一个生产方和使用方结合较好的范例，再则，一部分使用方也是从水表维修工场发展起来的水表生产者，具有丰富的经验，例如代表北京自来水公司的一位资深工程师李士奇先生，据称曾出版过有关水表的专著。

上海光华从1936年（时称上海光华精密机械厂）起生产水表已断断续续有20余年的历史，在50年代末该厂已将水表设计图纸、模具工装转给宁波仪表厂生产，虽停止生产多年，但仍应邀参加统一设计第一次筹组会议。笔者代表光华厂参加了会议。

会议首先交流各自自来水公司使用和制造厂生产的状况，商讨家用水表统一设计选型，议论性能指标和技术要求，初定若干关键性设计工艺研究专题（如小模数齿轮齿形、精密齿轮刀具的定制和供应）和下一步工作计划。

根据国情及各自自来水公司的经验，选定旋翼式多流速湿式水表作户用水表的选型，不选

锲而不舍（研究篇）

曾经生产过对水质要求较高的旋转活塞容积式水表（新成仪表厂生产），也不采用成本较低，寿命较短的旋翼式单流速水表。

光华厂在会上介绍了水表工程塑料化的简要过程。二战后国外出现了工程塑料化的新一代水表（如瑞士 Aqua 品牌），50 年代中叶上海地区新成仪表厂（和平仪表厂，上海自仪一厂的前身）和光华厂相继探索过水表的工程塑料化，其难点是传动小齿轮精密注塑和齿模型腔的成形。在具有创新精神的李士群（新成厂）、蔡云鹤（光华厂）等的努力下，攻坚克难，分别得以实现水表的工程塑料化。光华厂为此吸收了一家塑料注塑企业，添置注塑机成立注塑车间。光华厂曾尝试过用拉削法、电火花法和冷挤法三种小齿轮塑料模型腔成形工艺。前两者或因拉削刀具制作难度大，或因型腔光洁度不足而未成功，最后采用软铁冷挤压工艺成型，获得了成功。水表采用聚苯乙烯和 ABS 工程塑料化后，大幅度提高了工效。例如光华厂口径 15mm 水表，金属切削制成零件所需工时为 36 小时，到叶轮盒、小齿轮、夹板、叶轮等工程塑化以及其他革新改进后，转产给宁波厂时只需 8 小时。会议采纳了光华厂和宁波厂的应用经验。

本次会议后，光华厂不再参加统一设计工作组活动。工作组经集中调查和改进设计后，分头试制验证，于 1967 年通过国家鉴定。项目完成后颇受业内欢迎，改变了“万国牌”水表的使用状况，推动了我国水表产业发展。

1960 年前后全国水表制造厂（包括自来水公司水表厂）也只有 10 来家，年产 10 万台水表（上海光华厂 1958 年最高年产量为 2.3 万余台），到 70 年代中期水表制造厂发展到近 200 家，年产 300 万台。《水表与供水计量》一书作者认为：“我国水表工业出现的这一神速变化，一方面是我国工业水准全面迅速发展的成果，同时也是水表统一设计及合理选择材料和制造工艺的功劳”。随着国家改革开放，水表工业也深入世界经济而迅速发展，到 2012 年成为达到年产 5500 万余台，出口 2000 万台，占全球产量 45% 以上的水表大国。

统一设计组的成员如洪恩钊、武易生、应啟明等人，后来又参加水表标准化方面的工作，如制订行业标准，国家标准等。

作者简介：蔡武昌，1929 年 4 月生，上海人，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。



乐趣与艰辛（下）

——化工仪表、自动控制技术回顾

胡满江

（上接第二辑）

二

1972 年在国家总的政治形势扭转下，仪表车间开始第二次创建，我于 1973 年从《五·七》干校回到北京化工研究院，由于各种因素的影响直到 1978 年重新回到仪表研究车间，开始了我践行仪表自动控制技术科研领域的第二个春天。

70 年代初，在技术力量薄弱的状况下，仍然不失时机地适应院内恢复时期各项科技工作的需要，除了参加燕山石化公司向阳化工厂聚丙烯装置自动控制系统的设计和仪表与自动控制部件的安装试车，密切配合院内科研工作开展石油气裂解分离装置仪表自动控制系统的设计和安装及其长期试验运转的仪器仪表自动化装置的维护维修等工作。

这里应该提出的是作为从事仪器仪表研究工作的老将林振锋在以后的几十年里在流量测量仪表方面所做出的突出贡献：1974 年他将电远传转子流量计申请列入科研计划继续进行较大的结构性研究，除了具有低温到高温的使用范围，在技术上纳入到国产 DDZ-II 型系列，具备本质安全防爆 ia II CT6 等级功能，在锥管结构和电路方面都有全新的成就，1977

锲而不舍（研究篇）

年在石油化工部科技局的主持下进行技术鉴定，获石油化工部重大科技成果奖。1978 年获得第一届全国科技大会奖；此后不久，承德市电子局通过化工部科技局来我院希望承接该项成果以挽救面临即将倒闭的承德无线电四厂（后改为热河仪器厂），经过我们实地调查，90 多人的小厂有近百万元的债务，工厂设备简陋，由于当地科技局局长来北京化工研究院游说，化工部科技局也有技术支援助地方的意愿，经过院领导批准，于 1978 年以该课题成果负责人林振锋工程师为主要成员，组织对他们技术骨干全力培训并交付正式生产，两年的努力使该厂从严重亏损企业变为盈利先进单位，数年后获得较高的经济效益成为国内电远传转子流量计专业生产企业。而承德市也因此较早地与德国公司合资建立同类产品的生产公司。对于电远传转子流量计课题的科技开发和规格系列的扩展提高一直是跟踪的对象，为我院小生产的主导系列产品之一，而且取得良好的经济效益。

1979 年，仪表自动化部（原仪表车间）与院环保研究所合作，联合开发了总有机碳（TOC）分析仪，总耗氧量（TOD）测定仪，后者经过化工部科技局组织鉴定获重大科技成果三等奖，并在南京第二分析仪器厂开花结果，取得良好的经济效益和社会效益。而 TOC 总有机碳分析仪因色谱法未列入国家标准，其推广受到影响。

在技术革命浪潮的推动下，与电子技术相关的领域受到重视，仪表自动化研究部迅速壮大，根据工作需要和对科技发展形势的要求，密切结合研究院科研工作的需求，把仪表自动化研究方向，定位于针对院内化工科研课题所需要的、而市场稀缺的、技术相对比较复杂的仪器仪表和科研中具有自动控制的中、小试验装备。我们先后设立并逐步精简变革为自动化一、二组，仪表检修组、分析仪器组，科研一、二、三组，仪表生产组、机械加工组等。技术队伍不断壮大，最高达 80 余人，其中高级工程师以上占 25%，中、初级工程师 40%，高级技师及 20 年以上工龄熟练技术工人 30%。

80 年代，化工部科技局把我院作为流量测量与控制仪表研究开发基地，相继下达了热式气体质量流量计、热式液体质量流量计、热管式气体质量流量计和气体质量流量控制仪、高压气体质量流量计与控制仪的研究。两个科研组在以林振锋、陈敏贤为首的高级工程师不断地深入钻研和创新，在较短的时间里，新型流量计、流量控制仪在不同的年度里取得了丰硕成果，并经化工部科技主管部门组织技术鉴定，获得化工部科技成果或科技进步三等奖，其中高压气体质量流量计及控制仪获得化工部科技进步二等奖。这些仪器是科研中所急需而市场稀缺的品种，在 20 世纪 80-90 年代里得到较为广泛应用。为科研体制改革作出积极贡献。

自 80 年代中期及其以后的十多年里，科里奥利质量流量计在国际上是属刚起步不久的

锲而不舍（研究篇）

新型仪表，以林振锋同志为主导的团队，在调查研究的基础上将过程仪表的研发重心转向科氏质量流量计。1987年中石化集团总公司科技装备公司给予了极大的关怀，下达了以科氏力为原理的单管结构微小量程质量流量计的科研计划。经过努力，取得了可喜的成就，1990年经中国石化集团公司组织鉴定，首先在国内取得技术成果并在许多科研部门推广应用；其后，研制大管径双管结构的科氏质量流量计并于1997年接受化工部组织的技术鉴定，经专家们一致通过后取得鉴定证书，获化工部科技进步二等奖；2002年智能化全系列科氏质量流量计科研成果获中石化总公司科技进步二等奖。以后又新的基础上不断创新，并与北京市科技局下属研究单位合作研究新型液体和高压气体多用途流量计；利用该原理组成的天然气加气机获北京市科技进步二等奖。科研体制改革极大地促进技术人员的积极性，在我院科研基金的支持下，一些研究课题如：数字流量控制显示仪、智能流量累积器、双混液智能质量流量计、水处理监视仪、便携式数字压力、液位计等，做了许多深入的研究，在扩大使用量程、仪器结构、数字化智能化等方面都有了新的突破，取得良好结果。上述各种流量计以及获得过院内新产品成果奖的电远传液位计和电远传压力计都在仪表自动化部统一组织下批量生产，为全国科研和生产部门提供应用，累计产值超过800万元，取得了很高的经济效益，业已形成一定规模的生产基地。

自70年代后期直至21世纪初的近30多年里，仪表自动控制研究部的广大技术干部和技术工人尽心尽职，从三个方面开展了相应的科研工作：一是现代控制系统作用规律的研究。早在70年代中期与北京自动化技术研究所、浙江大学自动化系合作进行工业生产过程自动化技术、新型调节系统-超驰调节系统、非线性调节系统特性、自适应技术等方面的研究，试验结果均以论文形式在远东自动化会议上发表。二是科研装置自动控制的研究。这是该部成立以来一直进行研究的一个重要技术领域，最早开始于石油气裂解分离中试装置的自动化，逐步扩展到院内的其他试验装置。1978年开始了计算机应用于试验装置控制技术研究，在院内乙丙橡胶中试装置上实现了C2/C3色谱数据处理和自动控制。此外，还在催化剂评价装置上开展了自动化的研究，例如：苯酐催化剂和顺酐催化剂评价装置实现对整个系统的温度、压力、流量、成分在线自动分析、计量记录、越限报警、自动开、停车等闭环实时控制的功能，达到夜间无人值守的水平。并以此为开端，逐步在院内其他一些中、小型试验装置上，如裂解炉油品评价装置运用了先进的测量和控制手段，提高了我院的实验研究水平。

科技体制改革促使仪表自动控制研究部向社会开放，承担了由石化总公司下达的为上海石油化工研究院的丙烯腈催化剂评选装置、乙苯脱氢催化剂评价装置、环氧乙烷中试装置等，包括从工艺设备到重要参数的测量、调节、系统控制等的设计，以及所需仪表的制作、安装

锲而不舍（研究篇）

和调试任务。此外，还为北京石油科学研究院、燕山石化公司研究院和大庆石油学院等单位分别设计制作了重质原油 5kg/h 连续精馏自动控制装置、丙烷制丙烯腈催化反应自动化装置、丙烷制丙烯酸催化反应自动化装置和叠合法制汽油自动控制试验装置等，通过用户和主管部门共同验收，在各自的科研工作中长时期地发挥着作用，有些项目在他们主管部门的组织下进行技术鉴定取得技术进步奖。三是化工生产过程自动控制的研究与开发。80 年代初期，在科技局的部署下，把研究工作目标部分转向生产企业，特别是生产操作相对落后而又急需的精细化工产品的生产，例如染料生产，他们组织我们到生产企业调查研究，主管院领导也积极支持开展生产过程自动控制系统的研究工作并参加项目的调查。我们在考察中对间歇生产过程有了初步认知，间歇反应生产过程（又称批量生产过程）在化工原料生产过程从大批量、少品种生产方式向小批量、多品种柔性操作生产方式转变，在发达国家已被广泛运用。开展间歇反应生产过程自动控制的研究涉及先进控制系统和先进管理相结合，探索把产品的销售、经营决策、生产计划/调度、操作优化，直至到生产过程运用计算机直接控制（DDC）、集散控制系统（DCS）应用等先进控制技术的开发研究，是当时在国外先进工业国家自动控制领域的热点之一，我们选择了吉林染料厂“还原兰 RS 碱熔生产过程计算机控制”作为研究课题，经过几年的努力全面完成从方案到控制系统安装调试，直至运行操作的开发研究任务，并在化工部科技局组织下进行了专家鉴定，获得科技进步三等奖。以此为开端，1986 年承担了“还原兰 RS 碱熔多反应器生产过程计算机控制”和“分散染料多品种生产过程计算机控制”等国家“七·五”攻关课题的研究，经化工部组织专家验收鉴定，分别获得科技进步三等奖。“八·五”期间，完成了第一套染料生产后处理过程计算机综合控制系统的开发，取得明显的经济效益和社会效益，获得中外专家的好评和肯定，认为达到了国际先进水平，可惜由于国家体制改革领导机构的变更没有主管单位组织对其进行技术鉴定。在开展研究工作的同时，还有效地进行了多项化工生产过程的自动化工程设计，例如山西化工厂的氯丁橡胶聚合过程计算机控制系统，佳木斯石油化工厂万吨级环氧乙烷主体工程及万吨级裂解分离生产流程的自控设计等。以上工作均达到实际成功运用，为所属工厂取得实际效益。

应当着重指出：仪表自动控制研究部工作的重要组成部分是为院内科研工作服务；自建院开始就有一支技术力量雄厚的仪表检修队伍，最初组成一个仪表维修安装组。随着院内科研任务和研究室范围的扩大，曾经划分成几个小组，其基本任务是保证全院各研究室、车间的仪器仪表正常使用和日常维修。从一般压力表、温度计到气、液相色谱仪、红外、紫外光谱仪、质谱仪、核磁共振波谱仪、万能材料试验机等到中、小试验装置工艺流程的在线仪表和执行器，都由各个专业组承担维护修理任务，基本做到不使用外部技术和生产厂商的力

锲而不舍（研究篇）

量参与检修就能够维持各类仪器仪表正常运行，与此同时还协助院外的高等院校、科研单位的大型仪器进行维修、验收、培训等工作。通观 50 年来其显赫的技术成就，为我国仪器仪表自动控制领域的贡献作为历史留下灿烂的一页！

（全文完）

致谢：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史闪光点！

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》上生物医学仪器仪表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。



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

气动单元组合仪表的诞生

陈锡田 潘厚昌

为了迅速发展我国的仪器仪表工业，满足石油、化工、冶金、电站、轻工等行业对自动化仪表的需求，一机部仪表局（四局）于1956年下半年在上海成立了一机部热工仪表研究所，并委派陆朱明任所长，王良楣任副所长，领导全体科研技术人员和试制车间工人全面开展我国自行研究设计的仪器仪表工作。

接受任务

陈锡田1956年浙江大学机械系金切加工专业毕业后。分配到一机部热工仪表研究所工作，在小马达组，1957年初调至调节仪表研究室工作。当时研究室由虞冠新任主任，盛树琪任副主任。经安排在康庆宇工程师的工作组内从事气动单元组合仪表的研究、设计和试制工作。参加此项工作的有潘厚昌等。大家在工作中相互交流，配合默契。

气动单元组合仪表

气动单元组合仪表是将基地式仪表内的各个部分按功能分拆成各独立功能的单元，并增加新的运算功能单元。因此气动单元组合仪表系列包括有变送单元（一次仪表单元）；指示、记录单元；调节、计算单元；辅助单元等。而调节单元中主要有比例积分调节器（PI调节器），比例积分微分调节器（PID调节器），微分器。计算单元中有加法器、乘除器等。

这些独立的单元便于按系统的要求组成各种不同的控制回路，非常灵活而经济合理，能达到较好控制效果。同时单元的主要零件（元件）都按标准化、系列化、通用化设计，便于生产管理和维修，降低了备件数量和成本。

这里叙述的主要是QDZ型气动单元组合仪表中的调节单元和运算单元。不包括变送单元和指示、记录单元。

研究试制透明PI调节器模型

我们接受任务后，康庆宇工程师亲自给我们介绍自控仪表的发展史，以及自控仪表的发展方向和要求。他指出：“气动仪表具有防火防爆、工作稳定可靠，价格便宜，操作方便，易于维修等优点。四、五十年代起就在石油、化工、电力、轻工等行业的自控系统中广泛使用”。他举例：“上海某电厂在解放初曾受台湾空军轰炸，自控系统受到严重破坏，但气动仪表系统仍能正常工作，性能稳定。所以国内各工业部门迫切要求国产的气动单元组合仪表早日研究和生产”。康工的介绍，更激发了我们积极参与气动单元组合调节器单元的研究和设计工作。我们感到这是当时仪表事业发展交给我们的任务，非常重要和迫切。他和我一起

锲而不舍（研究篇）

分析气动单元组合仪表的特点，认为气动单元组合成套仪表中可能有很多相似处，许多零部件估计是通用的。

有这么多单元放在我们面前要我们去研制，到底从何着手，从哪一个单元开始研制；哪些单元是用户最急需的呢？经分析后我们意识到在这些事物的矛盾中应该先抓住主要矛盾，抓住核心部分。显而易见，PI 调节器是用户使用最多，产品结构最具有系列仪表的代表性。重点突破后可为其他单元的研制打下基础，推动其他单元的研制。所以它是成套单元研制中的主要矛盾方面，一定要抓住先行突破。但在当时，我们一无资料，二无国外样机实物作参考，更无图纸。为了摸清 PI 调节器的工作原理和各基本元件的工作状态，康工提出设计一台透明的，用有机玻璃制造的 PI 调节器，以便我们在试验时能观察和掌握调节器的工作原理和内部元件的工作状态。另外，有了模型可以更换元件的不同尺寸进行试验，为最后确定这些元件的形状尺寸提供了条件。

在确定制造 PI 调节器后，经过设想、讨论、失败，再假设、再讨论、再失败。不知多经历少次的反复，终于对节流孔、喷嘴——档板的控制原理，比较元件，比例元件，积分时间控制，调节单元的反应时间，气动管路的走向以及所需的气动输出功率等有了满意的假设。在此基础上花了二个月终于将“纸上谈兵”的设想变成了试制模型的图纸，然后送研究所试制车间制作。

我们设计的 PI 调节器（又称比例积分调节器）外廓材料采用有机玻璃块，尺寸是 70mm × 70mm 方形的，高度小于 200mm。薄膜的工作直径较仿苏的 AYC 大，保证运作时具有较高的灵敏度和精度（经过模型试验和批量生产的产品试验都证实了此一设想）。同时，气动单元组合仪表各单元的气源都采用统一的标准压力 1.4kgf/cm²，输入输出的工作信号压力均为 0.2~1kgf/cm²。

测试设备的建立和关键零部件的性能测试

在我们将模型送试制车间制作的前后，同时设计和制造了急需的试验设备。当时由金德林师傅负责，几位设计人员参与了设计。经过三、四个月的时间，设计和制造了水银压力计；喷嘴、节流孔、档板性能测试仪和气动疲劳试验仪等。这些设备的建立为当时气动单元组合仪表的测试创造了良好的条件。

水银压力计是气动仪表测试中非常重要的工具，它类似电气电子仪表测试中使用的万用表那样。水银压力计是很精密的计量设备，它将一个工程大气压分成 736mm 汞柱，这样的分度可测试 0.20%~0.25%精度的仪表。在上世纪六十年代时应该算是较精密的测试设备。

喷嘴、节流孔、档板性能测试仪用于测定气动单元组合仪表中的核心元件（零件）的性

锲而不舍（研究篇）

能，以确定节流孔尺寸、喷嘴尺寸和形状以及喷嘴、挡板工作间距之间的反应曲线等。这些关系搞清楚后，才能有助于掌握调节器模型的调试，避免了模型的盲目试验，缩短了PI调节器模型的研究试验时间。气动疲劳试验仪可测定各种材质的弹簧和薄膜的工作性能和寿命，便于选择优质、耐用、经济合理的材质。

在PI调节器模型试制中，另一关键元件为橡胶薄膜。它既是分隔各气室的隔离膜；也是传递外界变化讯号改变喷嘴—挡板之间的间距，使调节器的输出信号发生变化的反应元件。因此它必须具备耐压、耐油、耐温以及高灵敏度，经久耐用，各向同性等性能。在试制过程中经上海橡胶研究所协助，提供了优质的橡胶薄膜，使模型的试制工作进行顺利。

气动单元组合PI调节器模型的诞生

在PI调节器模型的零部件送试制车间加工后，经车间领导和工人的努力，从备料、采购、加工制造仅花了3个多月就试制了PI调节器的透明模型。我们即着手装配，并将预先在静态喷嘴—挡板节流孔试验仪上取得的几组较好的尺寸配合装入模型中进行试验。但试验结果不太理想，有时出现反应滞后；有时会出现振荡。我们立即将比例针阀和积分针阀关闭，使调节器的比例、积分功能先断开，然后再进行试验。在试验中我们通过透明外廓可以观察到内部零件的运作情况。发现在调节器输入信号发生变化时，薄膜、挡板与小弹簧的工作状态有时不是平移向喷嘴，而有一些倾斜，导致喷嘴—挡板的工作状态不正常，从而引起气压反应曲线不稳定。

后经改善小弹簧的平行度、刚性和薄膜的材质，改善了喷嘴—挡板反应曲线的灵敏度和稳定性。并在喷嘴—挡板几组配合尺寸中找到最理想的一组装入调节器，结果工作稳定，喷嘴—挡板反应曲线理想。在得到理想的试验结果后，我们将比例针阀打开（即增加比例功能试验），再进行试验调节器的比例功能。经多次修改针阀的锥形角度和尺寸后，比例作用也正常了。然后将积分针阀打开（即增加积分作用试验），也经过多次修改针阀的尺寸，最后达到了预设的技术性能。我国自行研究设计试验的第一台PI调节器模型终于诞生了。

全组都非常兴奋。这是我们在所长、室主任的亲自领导下，在康工亲自指导参与下，在车间工人的努力下，以及本所有关部门的大力配合下大家辛勤劳动的结晶。这是自力更生，经过多少天日夜奋战的成果，也是应用实践论作指导的结果。它的诞生为以后PI调节器的小批试制打下了基础。这些成绩的取得增强了我们研究设计试制其他单元的信心。在取得这些成绩后，所领导决定在试制车间小批试制铝合金外壳材质的PI调节器。

开展气动单元组合仪表其他单元的研制工作

在小批试制PI调节器时，我们修改有关结构和尺寸，重画了图纸，主要外壳材质改为

锲而不舍（研究篇）

可在工厂实际使用的硬铝合金。与此同时，1958年初我们扩大研究试制内容，开展了第二批的微分器、加法器、定值器等单元的研究设计，绘制图纸后即送车间加工。经3个月的备料、加工制造后，硬铝合金的PI调节器和微分器等零件先后送回研究室。我们按次序对各产品进行了调试。在对铝合金的PI调节器调试中，由于在PI调节器模型调试时已取得很多数据和经验，所以铝合金PI调节器的小批装配和测试进展尚顺利。在达到静态性能指标后，即进行高温、低温、疲劳等环境试验，结果都符合设定的技术指标要求。

其他产品如微分器、加法器等，由于内部零部件与PI调节器类同，仅是研究试验产品的特殊元件，所以费时不算太多。经过半年时间，第一批研制的PI调节器和第二批研制的微分器、加法器等均达到了设计要求。于是，我国自行研制的QDZ型成套调节仪表在研究所诞生了。

在1959~1960年间，随着研究试验工作的扩大和深入，需要更多的技术人员共同工作。此时人事部门先后增派了高起兴、张钧惠、曹振义、吴本汉、乐锦标、陈荣光、曹月江、邵宗伟等加入本组，开展了PID调节器、气动继电器、乘除器等产品的研制工作和整理已试制完成单元的图纸，直到1961年底气动单元组合的调节单元和运算单元中大部分产品已经在研究所研制完毕，并达到设计要求。部分小批试制样机于1962年前后分送上海炼油厂、南京化肥厂、兰州化工厂、兰州化肥厂、上海杨浦发电厂等地试运行。

广东仪表厂领导对气动单元组合仪表很有兴趣，想试生产这些产品，并向一机部仪表局提出了申请。

所领导根据我们的研试结果，向一机部仪表局汇报了气动单元组合仪表进展情况，并提出设点试生产报告。后经部里批示定点在广东仪表厂试制气动单元组合仪表。

小批试生产PI调节器

1960年初，广东仪表厂了解到本所对气动单元组合仪表的调节单元和运算单元都在进行研制，而且有些产品已经研制完成，因此表现出很大兴趣。经研究所同意，厂方派出了滕毓椿、关士雄、朱兴汉等来所学习了数月后回厂。1961年下半年广东仪表厂在刘西岳、欧伟民等领导安排下在厂内组织动员了全厂力量，作了小批生产PI调节器单元的技术准备。他们绘制了厂内试生产的图纸；设计了需要的工装、模具；准备了加工材料；编制了工艺文件；设计和生产了许多种测试设备。于1962年上半年试制出小批PI调节器。经厂所合作，共同测试了产品性能，均符合设计要求。

QDZ型性能优于仿苏AYC型

1962年中，上海某仪表厂也从石油部取得了苏联制造的AYC气动单元组合仪表图纸，

锲而不舍（研究篇）

并在厂内试制。一机部仪表局为了摸清两套气动单元组合仪表的产品质量情况，以便决定国内生产的气动单元组合仪表的选型，于1963年初组织了对这两套气动单元组合仪表的性能进行测试。测试结果表明，仿苏AYC产品的精度为1%，广东仪表厂批试的QDZ型调节器的精度为0.5%，灵敏度也较高。从结构上比较，QDZ型采用70mm×70mm方形硬铝块，重量轻，价格便宜。AYC采用 $\phi 70$ mm铜铸件，仪表重量约为QDZ型的3倍，价格亦贵。

经过这次测试，一机部仪表局决定在广东仪表厂定点，批量试生产我所研制的QDZ型系列产品。1963年9月在康工的带队下，由潘厚昌、石明扬、陈绍飞、乐锦标等同志去广东仪表厂参与QDZ型系列产品的移交生产。陈锡田1963年底调至标准化室工作，故仅参与了部分的移交工作。

兰州炼油厂仪表厂亦生产QDZ型仪表

在气动单元组合PI调节器等单元完成研究所的小批试制后，本所有关技术人员将产品应用于有关工厂做实用考验。其中兰州炼油厂在连续使用一年后，因PI调节器性能良好，厂方非常满意。基于兰州炼油厂迫切要求大量供应国产的QDZ型产品，而限于当时条件上不能充分供货，故于1961年石油部和一机部仪表局批准同意兰州炼油厂仪表厂在我所协助下自行试制。兰炼仪表厂派出了程达等领导同志来所考察学习了一段时间后，在我所有关人员协助下花了一年时间，也生产出了国产的PI调节器等产品。这些产品除供应兰州炼油厂自行使用外，还供应了石油部其他厂的需要。后来当我们出差至兰州炼油厂时看到仪表厂的陈列架上放满了各种QDZ型调节器和运算单元，很多产品已在现场运行，性能良好而稳定。我所高起兴、潘厚昌等在该项目中作出了重要贡献，后来高起兴也被调至兰州炼油厂仪表厂委以了重任。

QDZ型仪表全国性质量鉴定会

在广东仪表厂完成了PI调节器、微分器、加法器、定值器等系列产品的批量试生产后，于1963年初将这些产品分送到各使用厂考验。我所系统组俞济成、陈绍飞、曹庆宇、王永初、张兴仁、李学良等分赴上海炼油厂、上海吴泾化工厂、南京炼油厂、兰州炼油厂、兰州化肥厂、上海杨树浦发电厂等使用部门参与调试，现场使用考验前后历时数年时间，使用部门对产品的性能、质量、控制效果较为满意，并写出了鉴定报告。

1965年4月，一机部仪表局在广东仪表厂召开了全国研究、生产、使用部门等单位参加的气动单元组合成套调节仪表的鉴定会。会上由各出席代表从广东仪表厂的生产车间中随机抽取了检验后的零部件，由装配工现场当众装配调试，然后供鉴定会代表对产品作全性能测试。

锲而不舍（研究篇）

测试结果，各单元的精度、灵敏度、比例功能、积分时间调节功能、微分时间调节功能等指标均达到设计要求，且性能稳定。又经环境试验，如高温、低温、疲劳性能测试等也符合设计要求。在材质方面采用硬铝合金作为外壳材料，既轻巧又降低产品成本。外形采用方形，可使薄膜的有效面积增加，增大了产品的灵敏度和精度。与会代表一致认为：“QDZ型气动单元组合仪表是一机部工业自动化仪表研究所按照自力更生的指导思想，自行研制的成套仪表。各单元结构设计合理，制造和调试方便，容易维修。在成套系列产品的研究设计中体现了零部件具有较高的系列化、通用化和标准化的特点，减少了零部件的备品，有利于生产和使用部门的管理。在选材方面能结合国内情况，以硬铝块代替铜块，既减轻了产品重量，又节省大量铜材。同时 QDZ 型仪表采用 70mm×70mm 外形，使薄膜的有效工作面积增大，提高了产品的灵敏度和精度。广东仪表厂在几年的试生产中从绘制生产图纸，制订工艺文件（工艺卡），设计工装模具，自制测试设备中积累了很多加工制造、装配调试的经验，培养了一批人才，创造了较成熟的条件，已为扩大生产作好了充分准备。”

由于在这次随机抽样、现场装调和测试中产品的技术性能均达到设计指标，而且产品已经石油、化工、电力等部门多年的现场使用，控制效果良好，颇受用户欢迎，与会代表一致通过产品鉴定。要求一机部仪表局和广东省等领导立即安排广东仪表厂扩大生产 QDZ 型仪表，以满足国内各用户的急需。

结束语

在 QDZ 型气动单元组合仪表的研制过程中得到了一机部仪表局、研究所、研究室各级领导的关怀和指导，并帮助协调了与其他研究室、试制车间和后勤部门的关系，及时解决了所内、所外的协作关系等，这是 QDZ 型仪表能顺利研试，及早取得成果的重要原因之一。

其次，我们在研制 QDZ 型仪表时，以自力更生、发奋图强作为指导思想。

在具体研制过程中运用矛盾论和实践论为武器，抓住主要矛盾的主要方面，不断试验和实践，并从失败中总结经验教训，在一无资料、二无图纸的情况下，仍能突破各个难题，研制出我国自行设计的 QDZ 型成套仪表。

值得一提的是康工对气动单元组合仪表研制的贡献是巨大的，他不仅指导和参与了调节单元的工作，而且对显示记录仪表的研制也付出了许多精力。他平时说话不多，但他对工作的投入是忘我的，经常日思夜梦，废寝忘食地思考和解决难题，是大家学习的榜样。

我们全组同志不管老同志、新同志；不管大学生或中专生，大家都是全心全意动手动脑、积极思考、抱病坚持、日夜奋战，为早日研制出国产 QDZ 型仪表作出了贡献。这是我们研究室、研究所集体的光荣，曾多次受到一机部仪表局领导的表扬。

锲而不舍（研究篇）

作者简介：陈锡田，1932 年生于上海，1956 年毕业于浙江大学机械系金切专业。1956 年 8 月分配至一机部仪表局，同年 9 月起在一机部上海热工仪表研究所工作。1965 年 6 月任气动仪表研究室副主任及工程师。负责气动仪表的研制，任全国气动执行器和调节阀及气动长行程执行机构联合设计组组长。



潘厚昌，1937 年 8 月生于上海。1956 年 7 月毕业于苏南工业专科学校（现西安交通大学）机械系金属切削加工专业。1956 年 8 月分配到一机部四局（仪表局），同年 9 月转一机部上海热工仪表研究所工作。1966 年 3 月内迁重庆。历任工程师、标准化室主任、高级工程师。1987 年起任重庆工业自动化仪表研究所行业工作部主任，1988 年起被国家技术监督局聘为第一、二届《全国工业过程测量和控制标准化技术委员会》委员兼第二分技术委员会主任委员。



巡检与工业控制计算机的发展

唐怀斌

引言

2009年6月的一天，我和重庆工业自动化仪表研究所（简称：重庆所）有关领导到上海自动化仪表股份有限公司拜访取经，上海公司许大庆总工程师领我们参观其陈列室。跨入陈列室，一眼看到一台老的记录仪，是上世纪五十年代末大华仪表厂生产的仿苏 $\Theta \Pi \Pi -09$ 。我对上海公司能将这台表收入陈列而感到敬佩，同时这台表也将我带回到了五十年前。

1959年，我从马鞍山华东重型机器厂筹备处调到第一机械工业部热工仪表科学研究所（简称：上海所）。9月的一天，我到上海岳阳路上海所人事科报到，人事科的人将我领到第二研究室，吴钦炜主任（后任上海所所长）热情接待了我，向我介绍情况，并安排我先到大华仪表厂实习，了解情况。当时在大华厂我参加了 $\Theta \Pi \Pi -09$ 的装配。实习结束后回到室内，分配到巡回检测组工作。

一、从巡检研发起步到内迁重庆

我到巡回检测组的时候，当时组内有肖印、李宣同、周之鸣等人，腾承录和吴廷昌也是新来的。在肖印组长的带领下，进行数字巡回检测装置的研发。那时还没有晶体管，电子管也只用在收音机上，装置所采用的主要元器件是继电器和步进继电器。核心部件是码盘式空间编码模数转换器，当时做了接触式码盘；但因接触磨损等问题，需要开发光电式码盘，肖印组长把这个开发任务交给了我。这台巡检装置后来由和平厂接产，西安仪表厂也派梁宏儒工程师等人来所学习后回去试制。1961年~1963年接着开发了电子管快速巡回检测装置，为了解决快速采样问题，我们研制了水银喷射式采样装置和笛簧继电器。后来有了晶体管，便着手晶体管巡检装置的研发。

1964年，所内改为大专业组编制，陆廷杰任巡检组大组长。此时开始同时研发军用巡检和工业通用巡检。当时我和华仁、刘求南、崔敬悌、胡纯阳，稽书堂、冯佩霞等组成通用巡检组，从与门、或门、双稳触发器、单稳触发器、振荡器等基本电路试验做起，开展研发工作。这是我国当时第一台采用晶体管的巡回检测装置，命名为 JCC-20B2 型通用巡回检测装置，是当时上海市的重点科研项目。上海无线电二厂参加了试制。首台样机在吴泾化工厂进行现场考核。

根据上级部署，上海所一分为二，内迁重庆，建立第一机械工业部工业自动化仪表研究所，巡回检测是内迁的三大套之一，其源就是上海所的巡回检测组。

锲而不舍（研究篇）

二、军用巡检处理装置研发

从1965年开始，课题安排已考虑了内迁因素，工业通用巡检留在上海所，还要继续改进，并向外地工厂转产。军工03任务要带重庆研发，内迁前在上海开展设计工作，决定要内迁的人员都安排在这个项目组。分配到重庆所准备参加巡检研发工作的部分大、中专毕业生也前来上海参加了工作（后来这些人不少成为工控专业的带头人）。

1966年3月，巡回检测组带着上述任务随迁到重庆，成立了重庆所第二研究室，室主任陆廷杰，教导员段兴邦，副主任周顺昌。我是确定要内迁的人员，但当时我负责留上海的工业通用巡检开发任务，所内安排我和留上海课题组的人员一道出差东北，帮助工厂试制。在我出差期间，我的夫人带着两个孩子，克服各种困难已随所内迁，于是我在工作任务完成后便直接去了重庆。

1967年，03任务完成交付使用，命名为JCD-371快速检测数据处理机。此后，在六十年代后期至七十年代中期，先后研制巡检和工业计算机10套，包括针对核潜艇动力装置研制的JBD-221，后改进为JBD-112巡回检测装置；针对核反应堆等工程研制的CK-701、CK-702巡检处理机；针对航空工程研制的JCD-472快速巡回检测装置。这三项任务当时在所内分别称为201、202、203课题。研制的军工巡检处理装置有6项获得全国科学大会奖和部省级科技成果奖，这些装置移交用户后服役多年，为工程作出了贡献，我们也与用户合作结下了深厚友谊，成为朋友。

在研发上述军工装置时，正是“文革”期间，但重庆所的科技人员和技术工人积极创造条件，与工厂、用户结合进行方案调查论证和产品研发试制，以确保工程要求。以快速巡检装置为例，我们走访了航空航天有关单位，与有关研究所、高校一起讨论技术方案，使这套装置具有较强的通用性和可扩展性，从而满足不同规模的工程配套要求。研发成功后连同可独立应用的精密电源、数据放大器，在重庆自动化装置厂投产，产品提供给军工部门。

三、工业控制计算机的研发

1、小型工业控制计算机

在研发军用巡检处理装置的同时，组织了JKD-121型直接数字控制机的研发和现场试验。1993年室内还安排林祖文、吴廷昌、何南荣，利用JBD-121技术进行水轮发电机转子线棒多点测温研究试验，研制了汽轮发电机转子测温装置，用无线发射方式检测汽轮机转子在各种负荷情况下线棒的发热情况，并显示报警。该装置在上海闸北发电厂试验成功后，《解放日报》进行了报导。

七十年代初期，开始酝酿系列化工业控制计算机的发展问题，在部局的支持下，决定研

锲而不舍（研究篇）

发 CK700 系列（小型）工业控制计算机，该系列机包括 CK-710、CK-720 两个机型。1974 年开始总体设计，1975 年开始试制和软件开发。同时机械工业部批准了工业控制计算机试验室建设项目。1979 年利用 CK-720 开发了带远程控制站的计算机控制系统，并在狮子滩电站应用试验。CK-720 获四川省科技成果奖，彩色字符显示器获全国科学大会奖。同一时期，上海所开发了 JS 系列机，并投入生产。由于当时小型机普遍存在的问题，小型工业控制计算机产量不大。

2、微型工业控制计算机

1978 年，所内开始微型机应用研究，组织了基于微处理器的巡回检测装置和调节控制仪表装置的开发。1981 年，组织系列化的微型工业控制计算机开发，先后开发了 CK-720/M6800 工控机、DJK 型工业控制计算机、C-060 微型计算机和 GTZ 工控机过程通道子系统，并以微型工控机为基础，开发面向对象的控制装置和系统，如工业锅炉控制系统、工业炉窑控制系统、电站监控系统、能源管理系统等等。重庆所微机应用当时在国内处于领先地位，全所微机应用获得国家科技进步二等奖。

四、国家工业控制计算机系列型谱制定

上世纪八十年代初，国家组织 1986~2000 年科学技术发展长远规划的制定，在科技发展长远规划办公室成立了大规模集成电路和计算机专业规划组，由国务院电子计算机和大规模集成电路领导小组办公室、国家科委、中国科学院、电子工业部、机械工业部、航天工业部、国家教委抽调的专家组成。我参加了该项工作。

1982 年 12 月，在北京西山宾馆召开了全国电子计算机系列型谱专家论证会，对我国计算机系列型谱综合草案进行了论证。综合草案的第六部分是工业控制计算机系列型谱，是由重庆所组织制定的。论证会后，国务院办公厅于 1983 年 6 月 24 日下达通知，工业控制计算机列入国家计算机系列型谱的第 5 大类。同时，工业控制计算机列入了国家科学技术长远规划。依据系列型谱和发展规划，“六五”后期开始，工业控制计算机的开发应用，不断取得了新的成果。

五、工业控制实时软件开发中心建立

在国家计算机发展规划中，确定围绕系列型谱建立若干个软件中心，其中工业控制实时软件开发中心依托重庆所建立。所总师办对中心的建立进行了论证，提出了建设方案。经批准后于 1986 年开始建设，1994 年底建设完成，形成了工业控制计算机和工业过程控制系统软件开发能力。在“七五”、“八五”国家重点科技攻关中，软件中心承担并完成了分散型控制系统软件的开发和软件工程规范的制定。

锲而不舍（研究篇）

六、建立专业组织，推动产业发展

1、工控机专委会建立

随着工业控制计算机的发展和广泛应用，需要建立专业学术交流平台。1982年，我在参加全国科学技术发展长远规划工作期间，与中国电子学会电子计算机学会秘书长陈树楷、副秘书长张伟共同协商建立学会工业计算机学组。在重庆所总工程师谢兆盈的支持和安排下，我向电子计算机学会正式上报了成立学组的报告，经批准于1984年3月6日正式成立。

中国计算机学会转为一级学会后，工业计算机学组经中国计算机学会同意，中国科协批准，于1986年3月22日成立“中国计算机学会工业控制计算机专业委员会”。重庆所作为专委会挂靠单位，组织专委会针对学科与产业发展积极开展活动，取得了显著的成效，多次受到上级学会的嘉奖和多方面的好评。在推动产业发展、机型优选和工业PC联合开发等方面受到广泛关注，成效显著。

2、工业控制计算机机型优选

1987年10月8日，国务院电子振兴领导小组办公室发出“关于进行工业控制用微型计算机和八位以下通用微型计算机机型优选工作的通知”给机械委和电子部。工控机机型优选委托国家机械工业委员会牵头，中国计算机学会专家参加。

1987年10月17日，中国计算机学会下发通知给工控机专委会，由专委会组织专家参加工控机机型优选工作。重庆所作为挂靠单位，进行了优选工作全过程的组织，包括成立机构；优选技术规范 and 评审方法文件起草、论证、定稿、送审；组织优选产品申报、测试、评审及联络工作。机械工业委员会工业控制计算机与专用集成电路办公室主任兼工控机专委会主任陈令任优选办公室主任兼专家组组长。重庆所总工程师刘铁椎、专委会秘书长唐怀斌、副秘书长段明祥任专家组副组长，承担了优选的日常组织工作。工控机专委会的十七位专家被国务院电子振兴领导小组聘请为优选专家组成员。经过两年的工作，由申报的92个产品中优选出21个，于1989年9月12日在北京发布。

3、工业PC联合开发

1993年6月，中国计算机学会工业控制计算机专业委员会组织了工控机技术发展研讨，对工控机发展达成共识，认为“我国工业控制计算机发展到了一个关键时期，促进工业PC（IPC）联合开发是当前一项现实的、符合国情的工作”，决定推动IPC联合开发。在国家科委、机械工业部、航天工业总公司、全国电子信息推广办、北京市电子办和中国计算机学会的支持下，工控机专委会及时召开了“IPC联合开发讨论会”，决定组织IPC联合开发工作。

1994年4月，工控机行业20余家单位参加，成立了“全国工业PC联合开发委员会”，

锲而不舍（研究篇）

开发委员会下设总体技术组、管理协调组、市场开拓组。经过反复讨论，由重庆所高桂彬和我执笔完成的“DJK-8500 系列工业控制计算机总体技术方案”和“DJK-8500 系列工业控制计算机联合开发实施管理细则”等文件获得通过。经过开发，8500 主机板、调理板、机箱、工业键盘等 70 多个品种和基本平台实现产业化。联合开发后，IPC 技术继续发展，行业不断扩大。产品广泛应用于各个领域。

围绕 IPC 联合开发，重庆所组织行业有关单位制定了“工业 PC 基本平台通用技术条件”、“工业 PC 控制系统通用技术条件”等行业标准。到研究所转制前，重庆所共组织制定工业控制计算机和分散型控制系统标准 21 个。在这些标准的基础上，2008 年，TC124/SC2 和工控机专委会组织制定了工业控制计算机系统系列国家标准共 18 个。

结束语

工业控制计算机是一个技术综合的系统产品，技术发展到八十年代，其体系结构已采用分布式，国家计算机系列型谱叫分布式工业控制计算机系统，行业上称分散型控制系统。从“七五”开始，分散型控制系统成为发展的主流，重庆所从事工控机研发的技术人员和从事系统工程研究的技术人员结合，投入了分散型控制系统的攻关，这是工业控制计算机发展的继续。

重庆所作为工业控制计算机和工业控制系统的行业技术归口所，所内除专业研究室外，总师办、行业部都在围绕主导归口专业分别从事技术发展、规划、标准、测试、情报等研究工作，用这样的团队配备保证产品研究开发和行业技术归口工作的全面有效运作。

我们这一辈的很多人，从巡检到工控机，再到分散型控制系统和现场总线控制系统，成为一生为之奋斗的主业，尽了最大努力，使我国工控机从无到有，形成产业。目前，我国工控行业已具规模，成为主要的工控机生产国之一。

我们老巡检组内迁的老同事肖印、吴廷昌、崔敬悌及重庆所二室共事的江志道、谢宗慈、高学昌等都已过世，在结束这篇文章时，向已故者表示深切地怀念。

注：本文吸收了林祖文等同仁的资料。

作者简介：唐怀斌：1937 年 5 月出生于陕西省韩城市，1956 年毕业于咸阳机器制造学校。高级工程师，享受国务院政府特殊津贴。历任机械工业部重庆工业自动化仪表研究所总师办主任、副总工程师。中国计算机学会工业控制计算机专业委员会副主任委员兼秘书长、高级顾问。长期从事工业控制计算机系统研究开发和科技规划工作。获国家、部委科技进步奖三项。



玻璃转子流量计的全国统一设计

官本诚

法国于 1868 年最早推出玻璃转子流量计，用于测量各种液体和气体的流量，因其具有简单、直观、使用和维修都很方便且价格低廉等特点，故很快在化工、石油、医药、纺织、轻工等工业部门以及各种实验研究部门得到广泛的应用。早在二十世纪三十至五十年代，德国、美国、英国、法国、苏联、日本、捷克等国家均有较成熟的系列产品。我国于五十年代中期开始生产玻璃转子流量计，生产厂家计有沈阳玻璃仪器厂、上海光华仪表厂、常州热工仪表厂、上海中华医疗器械厂、北京椿树玻璃仪器厂等。除中华医疗器械厂和椿树玻璃仪器厂为小口径微小流量产品外，其他厂家都是生产仿苏 PC 系列中的几个品种。

当时的国产产品无论是品种规格、性能质量，还是结构方面，都存在很多缺陷，不能满足国内工业快速发展的需求。于是“根据一机部四局下达的指示，在 1965 年国产玻璃转子流量计质量评比会议期间由上海光华仪表厂、沈阳玻璃仪器厂、常州热工仪表厂、北京仪器厂、上海中华医疗器械厂和上海热工仪表研究所组成了玻璃转子流量计选型、改型统一设计工作组，专门研究制定我国转子流量计的系列型谱并统一设计其基型和变型产品。”（引自《玻璃转子流量计全国调研总结》，玻璃转子流量计选型改型统一设计工作组编制，1965 年 9 月，上海）根据一机部四局（65）四技二字第 268 号文，统一设计工作组以一机部上海热工仪表研究所为组长，常州热工仪表厂为副组长开展工作。工作组的任务首先是对国内外资料进行分析，到全国生产和使用单位实地调研，选定国内外样机作试验研究，制定玻璃转子流量计系列型谱，最终设计出我国自己的玻璃转子流量计系列产品。

首先是展开现场调研，参加的有上海热工仪表研究所 3 人、常州热工仪表厂 1 人、上海光华仪表厂 3 人、沈阳玻璃仪器厂 1 人。走访的单位有上海地区包括高桥化工厂、五洲制药

锲而不舍（研究篇）

厂在内的共 14 家；外地的分成南北两路，北路有石油部北京设计院、锦西硫酸厂、沈阳化工研究院等 30 家，南路有武汉钢铁公司、广州造纸厂等 8 家，总计 52 个单位。历时两个多月，较全面地了解了现有产品存在的问题以及各类用户的不同要求，为完善系列型谱和产品设计打下了坚实的基础，用户提出的很多实际问题均在设计的过程中予以考虑和实施。例如，“在我们调研过程中很多用户反映仪表装拆很困难，另外管道法兰对心困难，容易扭动，在安装和清洗的过程中，玻璃管极易损坏。在四平维尼纶厂，我们参加了装拆和清洗劳动，对这一点体会是很深的。为此我们下定决心，要打破国内外的框框，走自己的路，解决这一问题。”（引自《玻璃转子流量计结构设计总结》，玻璃转子流量计统一设计工作组编制，1967 年 3 月，上海）。

在调研的基础上，首先完善了系列型谱，接着对引进设备中的玻璃转子流量计作抽样实验研究。我国自行设计的四平维尼纶厂从日本仓敷纺织公司引进了一套维尼纶设备，配套的玻璃转子流量计近 100 台，统一设计工作组从中选择了 16 台样机（包括 RGI-12，RGI-15，RGI-20，RGI-40，RGI-80）以及相关的备品备件进行试验研究，包括精确度测试、耐压密封性能、锥形管及刻度尺寸分析等。在光华的试验设备上实验，由上仪所、常州热工、沈玻、光华等四个单位参加。实验结果表明：精度等级达到 1~2 级的有 10 台，占 62.5%。小口径表的误差较大，如 4 台 RGI-12（流量 12~120L/h）表的误差为流量上限值的 3~12%；2 台 RGI-15（流量 40~400L/h）表的误差为流量上限值的 8%。

从 1965 年 10 月开始，统一设计工作组集中到常州热工仪表厂展开设计工作。正式参加设计组工作的有上海热工仪表研究所（1 人，有时 2 人）、常州热工仪表厂（2 人）、上海光华仪表厂（1 人，有时 2 人）、沈阳玻璃仪器厂（1 人，有时 2 人），共四个单位。工作组首先对样机的试验结果进行研讨，对其优点和缺点进行了全面地分析，总体来看，这批样机的水准不是很高，另外沈阳玻璃仪器厂对日本锥形管的化学成分作了化验，其透明度比国产管较好，管壁也稍厚，其他几项性能指标不如国产管。此后大家对所收集到的国内外技术资料分工阅读并相互交流。设计组经过认真讨论，确定了统一设计的若干原则。理论问题和设计原则都解决了，但如何对各种不同口径规格的锥形管和浮子的参数进行具体的设计计算，并无现成资料，一时不知从何着手。光华的同志首先草拟了一份具体的设计计算步骤，经大家集思广益反复讨论完善，最终形成《玻璃转子流量计统一设计原则》。（玻璃转子流量计统一设计组编制，1965 年 10 月，常州）为了准确计算，必须有可靠的流量系数与雷诺数之间的关系曲线，工作组成员在常州热工仪表厂的厂区一角生火融化铅块制成铅棒用以加工浮子，并特意制作了玻璃锥形管，在初步计算的基础上，于常州和上海两地进行机械加工和实流试

锲而不舍（研究篇）

验，将大量试验数据绘制成统一的流量系数与雷诺数关系曲线，以此为依据开始正式的设计计算。每人一台机械式手摇计算机，每天上班后，只听到手摇计算机不停运算的唰唰之声。这样，从计算—研讨—试验—再计算，经过一段时间的紧张劳动，完成了我国自己的LZB系列玻璃转子流量计（DN4~DN100）参数的设计计算工作。在结构设计方面，基本原则是：

- （1）4、6、10mm口径为一档，结构采取基座式和软管式两种。
- （2）15、25、40mm口径为一档，结构采取法兰式。
- （3）50、80、100mm口径为一档，结构采用法兰式（浮子带导杆）。

对于结构设计，“我们总的指导思想是，自力更生，发愤图强，为我国玻璃转子流量计填补空白，建立我国自己的新型系列产品。具体考虑的出发点是：①转子流量计是为流程工业生产服务的，我们的设计必须首先树立起为用户服务的思想，仪表必须便于现场使用。②必须考虑到仪表本身加工生产的方便，考虑到技术经济指标。”（引自《玻璃转子流量计结构设计总结》，玻璃转子流量计统一设计组编制，1967年3月，上海）。针对国内外已有产品的优点和缺点，大家提出了几种方案。其中小口径（4、6、10）基座式，采用上下接头用金属薄板连结起来，调节阀放在水平方向，与PC型相比，节省材料，方便用户。大口径（50、80、100）采用浮子中间加导杆的法兰式结构，稳定可靠。关键是工业应用最广的中口径（15、25、40），为了方便用户装拆和清洗玻璃管，共提出三种结构方案，经认真讨论并征求各方面意见，最后采用了“侧板连接平接管”式结构。两端法兰盘用两块长方形侧板连接，玻璃管不伸入到基座中，可以在不拆卸流量计的情况下，把锥形管装入或取出，用两个压垫盖压紧O形橡皮圈从侧面将玻璃锥管与基座密封。这种结构是上海热工所郭群同志设计的。“这种结构与国外同类产品（包括苏联PC系列）相比有如下优点：仪表安装在管道上，要调换玻璃管或清洗时，不必把整个表拆下，只须将压垫盖松开，管子即可水平取出，而国外类似PC系列结构的产品，不仅需要把整个表拆下，而且仪表本身也须拆散。”（引自《玻璃转子流量计结构设计总结》，玻璃转子流量计统一设计组编制，1967年3月，上海）。统一设计工作组打破国内外框框，走自己的路，推出了中国特色的LZB系列玻璃转子流量计的产品设计，对此，统一设计组组长上海热工仪表研究所郭群同志功不可没。

统一设计完成后，由常州热工、上海光华和沈玻厂分工对LZB系列产品进行试制，通过试制，对设计作了验证和完善。

另外，据上海光华姚静佐同志回忆，70年代末80年代初又按照型谱中所列出的异形管品种进行了统一设计。锥形玻璃管内壁带有3条向内部凸出的“筋”，类似导轨，使浮子上下浮动更加稳定。主要用于气体、小口径。参加单位有上仪所、常州热工、上海光华、沈玻

锲而不舍（研究篇）

厂、济南仪表四厂，（还有开封一家仪表厂）。设计完成后，由常州热工、沈玻厂分工试制验证，上海光华负责制作芯棒，探索用镀硬铬等工艺方法制作、提供了试制用芯棒。

作者简介：官本诚，1939年3月生，青岛人，1961年毕业于哈尔滨工业大学精密仪器专业，研究员级高级工程师。历任上海光华仪表厂副厂长、总工程师，获国务院政府特殊津贴。在建设秦山核电站中荣立一等功。曾任中国仪器仪表行业协会自动化仪表分会副理事长、流量专业委员会理事长，中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会常务理事。现任上海光华仪表有限公司高级技术顾问。



我与可燃气体报警器之缘

——可燃气体报警器在燕山石化仪表厂的诞生

郑灿亭

在石油、化工、石化等生产装置中，现场安装的可燃气体检测报警器，在1975年前是没有的。1972年燃化部与日本东洋工程公司签订成套引进30万乙烯合同后，于1975年设备安装施工时才见到，从日本理研计器株式会社引进的GD-A30型可燃气体检测报警器的真面貌。

因是成套引进，设备资料到货及翻译的滞后，仪表设备安装出现不少问题，其中就有可

锲而不舍（研究篇）

燃气体检测报警器的安装。随 30 万吨乙烯装置引进的 4.5 万吨丁二烯抽提装置，建在我合成橡胶厂。我是厂方仪表施工监督代表，巡检时发现装置现场、地上非常零乱的安装有管径 D_{n50} 的仪表安装架（管），且高低相差悬殊，高的 1800mm。仪表施工队人员说，是安装可燃气体报警器探头用的。同时从仪表电缆槽板中引来穿线管，从楼板下方悬垂在此安装架（管）周围。见此状，我找来仪表设计代表（北京燕化设计院李丽华技术员）和安装公司仪表施工队魏技术员，问他们，安装架怎么这么高，这么乱？又共同找日方现场仪表施工代表吉本松树，请他对现场混乱状况做出指导和修改。日方代表接受我方要求，将仪表防护箱（内装压力、差压等变送器）安装架安排在装置中间走廊两边，尽量成排，方向一致（朝向装置中间巡回通道）。

而报警器的安装要求，请他向日本制造厂家咨询。答复回来了——“根据现场要求而定”。吉本松树不知所措，怎么改？我根据装置主要物料是丁二烯和碳四原料，这种易燃易爆介质密度是大于空气的。报警器探头安装，绝不应该安装到 1800mm 高度！至于降低到什么程度？当然，从检测密度大于空气的可燃气，应是越低，越能提早发现物料泄漏。但考虑到装置是露天的，有雨、雪水向地面滴。而装置为防污水渗到地下，将会铺水泥地面，并且还会用自来水管冲洗地面。这种条件不允许检测探头安装位置过低。综合上述两方面因素，我提出安装高度距地面统一在 500mm。此数据应由日方确认，建议吉本松树将此数据发给理研计器株式会社确认。日方确认后，整套 30 万吨乙烯装置的报警器（氢气除外）均照此办理，延用至今。并且写进后来建立的可燃气体检测报警器安装标准中。

随着 30 万吨乙烯装置成套引进，带来许多先进仪表及设备。仪表及自动化设备就有数十种近万台件。如何搞好这些仪表设备的使用维护，这是当时摆在北京燕山石化总厂的重要课题。为搞好这些仪表设备的使用维修，燕山石化总厂筹建了燕化仪表厂。研制“可燃气体检测报警器”就是该仪表厂的任务之一。

经调研，我国对可燃气体检测报警器从上世纪六十年代就已有研究。在煤矿行业系统中应用和研究进展较早。自七十年代以来，我国石油、石化、化工等高速发展，其装置安全防爆问题逐步引起人们的高度重视，用此类仪表监视装置中可燃气体泄漏和滞留情况，成为预防事故发生、避免重大生命和经济损失的重要安全保障措施。为此，以燕山石化仪表厂的名义，于 1976 年向石化部建议并得到批准，研制适用于易燃易爆生产装置的防爆型可燃气体检测报警器。1977 年 2 月石化部科技局正式立项。燕化仪表厂在吕廷玉厂长的带领下，组织技术力量，调研、确定试制方案和程序。参与研制的主要人员有高汉武、王洪儒、张鹏龙等。研制中遇到的问题和采取的对策：

锲而不舍（研究篇）

一、现场固定式可燃气体检测报警器采样有扩散式和泵吸式两种，先搞扩散式采样还是泵吸式采样？因现场大量采用的是扩散式采样，故为解决现场实际需要，而确定先研制扩散式采样检测器。

二、可燃气体检测报警器的检测敏感元件种类较多，选用哪种？当时已掌握适用于该类报警器的检测敏感元件有：半导体气敏元件、白金裸丝元件和稀土金属催化剂等三种，选用哪种？

经调查分析，气敏元件的稳定性和定量性较差。而白金裸丝元件需要的激励电流较高，且灵敏度较低，寿命也较短。为了适应防火防爆要求，应采用较低工作激励电流。最后确定采用加催化剂载体的白金丝敏感元件。该元件的制造材料价格贵，有的材料还有毒，制作工艺复杂，研制难度较大。但是，要自己制造，就不能靠进口，何况这是该报警器的最核心部件，消耗量又大（规定的寿命是一年更换一次，如现场有会使敏感元件中毒气体，更换频率更勤），必须组织技术力量攻克之。

以王鸿儒技术员为主的攻关小组成立，段祝银是其中主力。去沈阳灯泡厂学习绕丝、平丝、制作敏感元件骨架。向敏感元件骨架上蘸药（铂、钯、钽）和用标准气老化，直至敏感元件制作成功。并成功编写出敏感元件的制作工艺。

三、产品防爆关。该产品是应用在易燃易爆场所，自身必须具备其防爆性能。防爆等级、标准、电路、结构等方面都必须达到要求。

首先确定防爆标准，必需符合国标 GB1336—77《防爆电气制检验规程》（1984年12月31日前执行。1985年1月1日后，改为执行国标 GB3836-83）。根据防爆要求确定防爆技术要求等级为隔爆型，即将带电的零部件集中在一个外壳内，当内部发生火花或爆炸时，不会引起外部易烧易爆气体爆炸。等级标志符号为“B3d”。

从1977年3月至1978年8月，经过一年半的努力，完成设计防爆的审查。1979年5月，完成了整机实物防爆审查。经一机部南阳电气防爆研究所，对实物防爆性能试验合格，颁发合格证。1980年2月，完成了首批样机在石化装置现场工业运行试验。1980年5月正式通过产品鉴定。正式宣布KJB-1型可燃气体检测报警器（由K1-1型可燃气体检测器和K2-1型可燃气体报警器组成）在北京燕山石化公司仪表厂诞生。从此，我国有了国产的工业在线可燃气体报警器，不但解决了引进装置中进口的可燃气体报警器的备品、备件和维修问题，更主要是解决了新建炼油、石化企业大量急需问题。

时过三十五年，改革开放以来变化很大，原厂名也改为“北京燕山时代仪表有限公司”。厂领导更换几茬了。随着科技进步和石油化工企业的发展，对可燃气体报警器的要求越来越

锲而不舍（研究篇）

高。燕山时代仪表公司队伍壮大，技术大大提高，在提高和确保质量的前提下，型式多样化、小型化，本安型、总线型和民用型也陆续出现。为确保可燃气体报警器的安全运行，燕化公司送人到国家计量院培训可燃气体报警器检定员。中国石油化工股份公司在燕山石化成立“中国石油化工可燃气体报警器检定站”，承担燕山石化、石家庄炼厂、沧州炼厂等石化企业的可燃气体报警器的周期检定（最远到达新疆阿克苏地区）。

为方便携带标准气去现场检定，我在计量检定站工作期间，还为检定站设计和制造了标准气充装罐装置，将从外面购进的大瓶标准气分装到小标准气罐里，以方便携带到可燃气体检测器探头安装处，进行现场检定。燕山石化公司对可燃气体检测报警器制造、销售、维护、检定一条龙的服务，确保了可燃气体检测报警器正常运行。真正做到了为石油化工生产装置，安全、平稳、长周期运行保驾护航。

注：文中提到的段祝银是我夫人。

作者简介：郑灿亭，1939年9月生，河北省东光县人。1964年7月毕业于北京化工学院化工过程自动化专业，高级工程师。历任北京燕山石化集团公司计控处、仪表车间主任，《化工自动化及仪表》和《石油化工自动化》杂志编委，长期从事石化企业的仪表与自动化控制、计量器具的应用和管理。发表论文30余篇。参与国标GB/T20901—2007《石油石化行业能源计量器具配备和管理要求》等标准的起草和制定工作。主要作品有《石油化工企业流量计量450问》（中国质检出版社和中国标准出版社联合出版）。1999年退休。



DJK-7500 分散型控制系统科技攻关

阮伯如

1986年，机械工业部仪器仪表局将“DJK—7500分散型控制系统（DCS）的研制”正式立为第七个五年计划国家重点科技攻关项目，交由重庆工业自动化仪表研究所和上海工业自动化仪表研究所负责组织联合开发。参加者涉及国家部委的科研、生产、使用等10多个单位，基本采用了传统的联合攻关组织形式。

DJK—7500系统由过程控制级和监控级两级组成，级间采用不同速率的数据通信系统实现联网。监控站可连接至64个控制站，至多可构成4000个测点和1000个控制回路。此外还设有简易操作站，可通过低速通信线与单回路或多回路数字调节器联网，构成64个控制回路。此类中、小型控制系统也可挂接到高速数据通信系统上，从而成为大型控制系统的一部分。

在参加联合开发单位的共同努力下，至“七五”期末，该项目整个控制系统架构基本形成。从“八五”开始，攻关的目标集中于优化设计，进一步完善系统；要求在谏壁电厂、兰州化工厂、济南钢铁厂、山东胜利炼油厂等单位组织试用或投入应用；以积累经验与教训并组织工厂接产。应该说这一重大科研开发项目，既积极探索了研制开发的路子，又培养锻炼了一大批专业人才。

1996年3月，机械工业部组织该项目的验收会，对参与该项目攻关工作的广大科技人员所作出贡献的评价：“DJK—7500分散型控制系统的总体结构技术设计达到了国际八十年代初期同类产品的先进技术水平，填补了国内空白，在大型DCS产品开发上取得了技术上的突破。”之后，上海工业自动化仪表研究所将该系统成功应用到济南钢铁厂。

从“七五”到“八五”乃至“九五”，正是我国改革开放的大变革时期，国门由打开到敞开。在国外先进技术和先进产品不断涌进的同时，人们选用技术和产品的观念也与时俱进，政府机构、管理体制、经济模式、科研机制等都在发生着深刻的变化。处在这一特殊时期，像“DJK—7500”这样规模相对比较大的科技攻关项目就不可避免地会受到冲击，需要面对国际竞争的挑战。

在这样的时代背景下，DJK—7500的科技成果在技术上需要进一步优化和完善，在实际应用上需要进一步深入和扩大就面临着许多新的困难。而恰巧在这个时候，联合开发和集体攻关的组织机制已经无法担此重任。因而，这项比较重大的科技成果没有能成为制造企业的市场产品，有些应用项目没有能最终实施，即使已经取得的应用成果也难以为继。

锲而不舍（研究篇）

在联合开发“DJK—7500”的时候，DCS 总体属于专用型工业控制计算机系统，其控制器、通信系统和人机界面操作员系统等三大部分均是专门设计和开发的。尽管国内引进了多种 DCS 系统，人们都在按照那样的结构体系和技术路线开发，但是真正的技术实施细节都得自己解决，其难度可想而知。更何况参与该攻关项目的单位那么多，协调的难度就不会小。正好这一时期 PC 机在飞速发展，应用也从办公、离线计算向工业控制领域拓展。1990 年以后，DCS 开始面临整体技术转型。上海所在攻关过程中曾考虑到采用 PC 机方案，后因种种因素没能实施。2000 年开始，所有 DCS 系统都毫无例外地在控制器的控制算法组态上应用基于国际工业控制编程语言《IEC61131—3》的编程平台，通信则应用以太网（控制器相互之间仍有采用专用网络的），人机界面操作员系统都是基于 PC 机或者服务器的。此时由于技术已经成熟，开发难度也就大大减小了。

进入“九五”以后，无论是国外引进的还是我国自己开发的 DCS 类产品在化工、炼油、冶金、电力、轻纺、制药等各行各业得到了广泛应用，并取得了很好的口碑和效益。应该说，在这些举世瞩目的巨大成功中，许多都有着“DJK—7500”项目承担者们有形或无形的贡献在起着积极的作用。

后记：2014 年 3 月，在上海工业自动化仪表研究院召开了有关 DJK-7500 系统科技开发座谈会，参会者主要是均已退休的、原来参加此项目开发和管理的科技人员，共 20 人。本着总结经验教训、面向未来、启迪后人的主旨，展开了一天的回顾、讨论和总结，形成了上文所述的主要观点和看法。为保证文中所述尽可能与事实吻合，会后又查阅了上海工业自动化仪表研究院档案室保存的有关原始档案和文件。

作者简介：阮伯如，1940 年 10 月出生于江苏常州，教授级高级工程师。1965 年毕业于南京化工学院，进入上海工业自动化仪表研究所工作，后任所办公室主任。1986 年 12 月～2002 年 2 月任中国仪电报社总编辑。2002 年 3 月受聘于中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会秘书处，任秘书长。2012 年 4 月完全退休。



我经历的曾经辉煌的射流技术

杨福宇

1962年，我在上海热工仪表科学研究所工作期间，有一次到汪时雍工程师那里讨论关于流量积算器应该如何制定校核方法时听到射流技术的。当时汪工已是受人尊重的前辈，而我才刚刚开始学英文，他告诉我值得关心英文杂志上射流技术的介绍，所以说完全是汪工的指路，才有我以后很长一段射流技术的业务工作经历。虽然最后射流技术在国际上也没有成为技术发展的主流，但它也曾辉煌过，在我国自动化技术的发展史上也起过很大的作用，给了我很多历练，所以这段岁月会铭记一生。

射流技术是指用流体来控制流体的技术总称，一开始的时候，仅指不带任何可动部件的流体控制技术，后来也包括了带可动部件的流体控制技术。美国钻石军械实验室在1961年公开了他们发明的射流技术，它基于流体力学中的Coanda（附壁）现象。当流体在一个壁面附近流过时，由于流体边界的摩擦作用，要带走附近的流体，若流体的补充出现不对称，就在二边出现压差，这就会引起流体的偏转。控制二边流体的补充条件，就可以实现放大作用。因为它不要任何可动机械部件，当然没有磨损，反应速度极快，也不受电的干扰，也不产生电的干扰。1961年，半导体技术还处于小规模集成的开始阶段，用流体控制流体技术的实现，及其这么多的优点，自然引起全世界的极大兴趣与期待。

1965年，我所组织的气动单元组合仪表联合设计将进行鉴定，就开始规划下一步应该干什么，我和石明扬参加了规划小组。规划小组的领导是康庆宇工程师和张钧惠。经过文献资

锲而不舍（研究篇）

料的调研以及到气动仪表应用现场的参访，确定了我们有必要展开新系列气动仪表和射流技术的研发工作。这样就开始了我的射流技术工作生涯。当时国际上射流技术已非常热，每年都要开几次国际技术交流会议，射流技术元件的原理、新的应用领域、基础分析的内容非常多，特别是有大量的专利申请。在一机部四局的帮助下，我特意在北京当时还不公开的部队情报所里复制了许多美国专利，那都是缩微胶片。投影仪的灯光很暗，稍长时间阅读就会令人作呕的感觉，而且胶片也烫得不行了，必须停下来休息一会。当我走访天津大学时，有一位王绍纯老师也很关注射流技术，给我展示了他在塑料三角板上手工刻出的射流元件。我与一机部四局情报室讨论后，认为有必要让国内更多的人了解国外动态，所以决定他们和上海所二家联合搞一个专辑，由我挑选文章联系国内的有关学者翻译出版。

射流技术刚开始工作时是一片空白，没有加工手段和测试手段，我们就到处走。为了加工，访问过上海的线切割与光刻工艺的厂家；为了观察气体流动，专门到南京航空学院了解纹影仪。大家都没有什么基础，但都认为这是我们专业可能的下一代技术，我们得从头学起，得干上去，等待是绝对不行的。

1966年因为内迁，上海所分出了重庆所，射流组的人马也一分为二，我和一批人迁到重庆，与一批新加入的人成立了新的射流组，那时我们已经有了十来个人了。重庆所当时的交通与协作条件很差，在上海一个电话可以解决的问题在重庆跑一天也没头绪。当时我们就一边手工试刻射流元件，以取得感性的认识，一边寻找可能的应用切入点，来带动研发。那手工刻制简直是艺术创作，我还保留了四十六年前的一个有机玻璃的三级二进制计数器（图1）。多美啊！我已记不清是我还是我们中的哪一位创作了它。当时我们每个人都刻过，将什锦锉磨掉一半，最难的是锉出喷嘴，大约0.5mm~0.7mm，不能宽，不能弯，不能不对称，否则就废了。好在我们年轻，细心地做每一步。

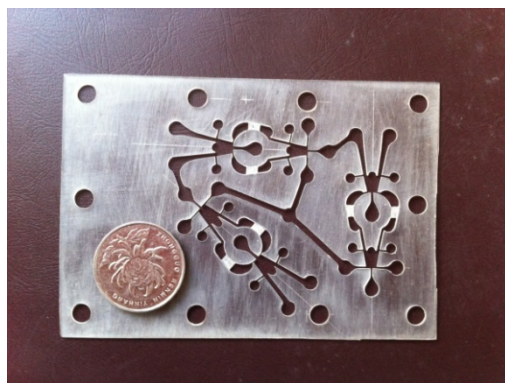


图1 手工刻制的三级二进制计数器

锲而不舍（研究篇）

后来我们有了光敏陶瓷的光刻工艺，绘图、照相、感光、腐蚀、测试、烧结，就可以作出单个的双稳态元件、单稳态元件、放大元件、二进制计数器等。腐蚀用的是酸中之王氢氟酸，搞工艺的同志必须十分小心，但仍不免受伤，衣服烂出洞人人都有。后来又有了线切割工艺，可以做金属的元件了。图2是重庆所做的元件：自左到右是铜板做的计数器、光敏陶瓷做的计数器和OR门。我所做的连底板盖板的全烧结的元件已经找不到了。当时为了做得更好，使功耗小，采用500mm水柱的气源压力，而绝大部分国内单位采用1000mm水柱的气源压力。压力越低，气流的紊流效应就差，卷吸作用受工艺精度的影响就大，着实增加了工作的难度。图中元件的喷嘴宽度为0.4mm，高度为1mm。



图2 重庆所做的射流元件

当时还用水试验过大的木头的双稳态阀（喷嘴约20mm×50mm），小的有机玻璃刻制的水双稳态阀（喷嘴约2mm×10mm），用一滴水滴到控制口上就可以切换。这些都给我们提供了应用的想象空间。

由于当时没有成批制造的手段，所以想选一个仅用阀的应用试试。在一番初步调研后选了一个造纸厂的浓度控制项目。一方面造纸厂需要浓度控制，它可以改善纸的质量，另一方面有可能用上射流阀控制加水量。后来知道上海所也选了一个造纸厂浓度控制项目作开始。似乎都把这种项目看简单了，试验很不顺利，难在测量环节以及阀的安装位置。开始时试用谢鲁式（斜槽）测浓度，其原理是浓度增加时由于摩擦力增加斜槽上的液位升高。但车间空间极为狭窄，加水之后水与纸浆没有充分混和的空间，稀浆被浓浆所阻，液位先有一些上升，随后大幅度下降。

不久，十年浩劫开始，一切进入停顿，这个项目拖拉了几年，最终不了了之。虽然这个试验失败了，但大家认真的工作态度，与工人师傅结合的愿望与行动是不会忘记的。夏季的重庆是个火炉，车间里连着生产线，烘干机就在边上，师傅们只穿一条裤头。记得我和杨火

锲而不舍（研究篇）

荣、曹振义、王关明、王永初、徐潘良等要向工人师傅学习，也只穿一条裤头，在那狭窄的空间里装射流阀和检测装置，做试验。重庆所与造纸厂相当远，那时红卫兵大串联，交通更难，我们就住在厂里。造纸厂一边靠嘉陵江，另一边有一家化工厂，有一次化工厂氯气泄漏，我们和附近居民差一点无路可逃。我们这些人没有任何架子，认真的工作态度受到了工人师傅的欢迎，得到了他们的良好配合。虽然课题失败了，那是我们准备不足，能力不足造成的，定题太轻易，对全新的对象及其约束条件没有预研，不符合客观规律。

1966年，重庆科技情报研究所举办了射流技术展览会，我所作为技术顾问协办，来参观的人很多，其中有许多军工厂的人。他们的主要兴趣是进行机械设备的控制，后来我们参与了他们的很多项目。在这些项目中提供我们的射流元件及控制线路。当时这些厂的机械设备非常落后，工人每天不断重复刀架的前后左右动作，非常劳累，而这些都可以由程序控制代替的。可当时没有气缸及其配套的控制元件，所以用射流元件进行控制，用专门设计的升压器作功率放大，再配上他们自己加工的气缸，就可以实现除上下料外的半自动加工，工厂十分欢迎。

稍为复杂的程序控制也可用这种方案，我所参加过纺织配件三厂的机床控制、383厂的步进加热炉上料机械手控制，还有嘉陵厂、建设厂、长江厂等射流项目。值得一提的是，我所还给812厂的核芯棒组装机设计了射流控制装置，有放射性的现场特别需要解放工人。还有攀枝花钢厂空分装置的射流控制装置、成都某厂的水处理射流控制装置等。当时气动仪表行业技术管理的归口在内迁时分归重庆所，射流技术作为气动技术的分支，它的技术管理归口也由部标准处指定为重庆所。

当时气动元件还没有成行业，后来有了行业，气动液压在机床上用得更多，气动液压的技术归口是北京机床所。有了这些项目的经验，以及全国各地各工厂、科研单位在射流程序控制上的实践，我们开始了射流技术标准化的课题，它得到了部相关标准化机关的授权。第一步是搞一个图形符号标准，当时对采用方形符号还是圆形符号，重庆所与上海所出现了分歧，我们将从各单位发表的自己使用的符号作了统计，大约60%以上是方形的，所以建议了方形。图3是北京机床所按建议制作并使用于他们射流元件上的铭牌。

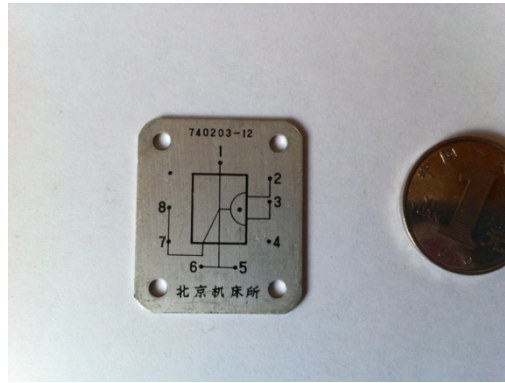


图3 射流元件图形符号

其实方圆并无实质性的差别，可最终也未统一。这个问题随着射流技术程序控制的逐渐失宠而已不再重要，所以标准也搁置了。射流技术程序控制在使用中发现了两个问题，一是它要不断耗气，其实用可动机械部件实现逻辑功能也完全可行，速度来得及，国外和国内逐渐有了专门的气动逻辑元件厂，已成为射流技术的一个分支，再用纯射流元件就变得叠床架屋，并无必要；另一个问题，流体的卷吸作用使它通过控制口从环境中吸入尘埃和油雾，沉降在关键性的主喷口附近，造成动作性能变化或失效。从图2可以看到，每个元件有两个输出支路，为了避免下游压力回溯，都设有排大气的口，所以在0输出时实际上输出是通大气的，与这个输出相连的别的元件控制口就连在大气上了，灰尘和油污就被吸进去。

所以在气动逻辑元件出现后，纯射流技术的逻辑元件就已无前途。但它并不表示射流技术在其它应用场合就毫无优点了。它的主要优点又表现在位置测量和控制方面以及流体阀方面。我们受成都电焊机研究所的邀请，合作做了窄间隙焊机的焊头位置控制系统。这个课题是比较成功的，它由杨火柴和徐潘良二位完成了，接课题时我也参加。焊缝很窄很深（深50mm~200mm，宽8mm~12mm），要连续工作几小时，环境温度非常高，电磁干扰也特别大，所以要小尺寸的耐高温、高电磁干扰的传感器。正好射流技术中有一款反射式位置传感器，它有1mm左右的初始距离，非常适用。传感器的输出变化不是很大，为了达到对位置的精确控制，需要灵敏的气电转换开关。为了避免重复劳动，就用了我设计的5mm~10mm水柱控制气/电开关。这一方案后来又成功应用于重庆利华橡胶厂的橡胶厚度控制系统。在位置检测方面，当时我作了距离更大的旋涡式位置传感器的探索，它的距离大了但灵敏度更低了，这个探索没有找到合适的应用场合，只有阶段性成果。

随着时间的推移，我们逐渐认识到射流技术的用流体控制流体的特性只在某些特定的场合才有性价比的优势，它还不能形成一个通用技术的基础，即它只能是一种特定应用（niche application）。用得巧可以显出其优点。在1979年全国流体控制技术学术讨论会上，南通

锲而不舍（研究篇）

某厂的一个射流自动灌装机就是一例，它用双稳射流阀向 2 个罐装液，液位到预定高度时进入虹吸管排出，同时切换双稳阀到另一个计量罐。它不需要另外的辅助能源，无可动零件，没磨损，对液体也就没污染，可靠性也高。上海工大的带钢酸洗中的纠偏系统采用了一环氧树脂做的多喷口射流位置传感器，也非常有特点，因为环境是高温（80℃），喷的是浓度为 20% 的盐酸，钢带左右晃动约 50mm，跑偏速度为 15mm/s，而射流传感器只是 3 组孔，结构非常简单。

1980 年，IFAC 气动液压要开研讨会，这是改革开放后仪表学会派出去参会的第一次，作为行业归口所，我和杨火荣商量后写了一篇论文去参加，代表团由上海所的汪时雍工程师带队，3 位论文作者和一位学会代表组成。我在论文中列举我所的橡胶厚度控制系统、窄间隙焊机的焊头位置控制系统，以及对射流技术应用的想法，得到美国、日本等与会专家的认同。即使到今天，这些例子中传感器的性价比也是很好的，在它们后面能配上简单的集成电路压力传感器，就可以实现更为精确的控制。

两年多之后，在 IFAC 气动液压研讨会上发表的论文引起了一件令人不快的事。所纪委书记郭明德找我，说有人指控我们泄密，科委系统由上向下要追查，要我作出说明。十年浩劫已大大破坏了人们相互间的信任，任何人都可以在“国家利益”“人民利益”的大旗下伤害别人，所谓“八分钱邮票告发让你吃不了兜着走”。这件事如果属实，我是当事人难免遭到无妄之灾，所领导和学会领导也会因“疏于把关”而受到牵连。这件事必定是这个圈内的人干的，因为只有搞射流的人才能说得像模像样。我不知道他想达到什么目的，至今也不知此人是谁。但当时写文章时我们对保密是有考虑的，不可能犯规。一是文章内容都是民用技术，不涉及国防军用等需保密的内容与数据，其次，这些内容都汇集在论文集里，论文集在新华书店发售（科技新书目 1-213，书号：15176.497），任何人都可以购买，何来保密之说。终于这个“泄密”的莫须有罪名未加到头上。

十年浩劫之后，百废待兴，需要各种各样的人才，高等教育断了十年，人才的缺口很大，而射流技术的辉煌已经过去，所以国内搞射流的人纷纷转行，我所也这样，我是最后转的，转到了气动变送器性能评定方法的标准化工作以及气动仪表的规划工作。

30 年之后，回顾这段历史，同事、朋友中有的已经作古，有的天各一方，有的时有音讯相通，也有的只在记忆之中。君在何方？回想当年，意气风发，不惧任何艰难，一往直前，不由生出自豪感：我们为国家尽力了，虽然十年动乱占了我们的青春，但我们没有浪费每个可用的时间。射流技术由兴起到衰落，中国走的路和其他国家的路是一样的，那是事物认识过程决定的，我们没有处理错。开始时强调的是它能做什么，而结束时强调的是它在竞争

锲而不舍（研究篇）

的世界中有没有好的性价比，性价比才是存活的条件。比较的对象不只是现有的对手，而是潜在对手。就在今天，如果有一项新的技术出来，与我们的业务前途有关，它的前景还不明朗，如果条件许可，我们也是不能等待的，要尽快赶上去，要在摸索中弄清楚。有时候失败在起跑线上，就再也没有超越的机会。最典型的例子就是电脑输入法，尽管以后新方法层出不穷，没有一个能撼动五笔字型，因为它最先成功。

射流技术没有成功的程序控制，孕育了气动逻辑元件的发展，它满足了当时机械设备自动化的需要，特别是像我国更为薄弱的机械基础的需要。直到今天，它仍是一个重要的行业。作一个假设，如果当时我们所是一个追求利润的企业，也许我们就已经以此为楔机，转向机械设备控制领域，现在就是另一种活法了。在位置传感器耐环境性能的发挥方面，是个小众市场，它如与先进的电子技术结合，也有前途，我所陈正发的气动测厚加了扩散硅变送器就是很好的例子（陈正发以前是从事微波的，与射流技术组没有关系）。搞得好，也可以成为小巨人企业。

总之，要学习，要追踪，要创新，要根据时势改变策略，在约束条件下为国家努力，不要浪费时间、虚度一生。

作者简介：杨福宇，1941年8月生，籍贯上海市，高级工程师。上海理工大学工业仪表与自动装置专业毕业，1984年~1986年赴英国帝国理工学院访问学者。先后在上海热工仪表研究所（现上海工业自动化仪表研究院）和重庆工业自动化仪表研究所工作，从事气动单元组合仪表设计、气动仪表发展方向研究、气动仪表国标制定，射流技术元件、传感器研究，应用系统设计、标准化工作，单板计算机软件设计、系统设计、仿真与现场投运，指导硕士生系统优化设计课题。发表论文约40篇。



电磁流量计的全国统一设计

马中元

编者按：采用全国统一设计的方法去研制开发新产品是计划经济年代常见的一种实施策略，它的前提必须是“政府搭台”。本文以电磁流量计为例，介绍了其开发的全过程。数十年过去了，回望当初，其内的许多故事甚为感人，特别是参加统一设计的全体人员，怀着单纯的心，是那样执著地投入到电磁流量计的全国统一设计中去。作为一篇史料，它也让今天的仪表、自动化人思量，我们的前辈曾做过些什么，他们又是怎样去做的。

1967年，我们的民族正经历着一段苦难的历程。就在那百业荒废的日子里，我国流量仪表行业的科研人员，排除干扰，克服困难，进行了一项对我国电磁流量计发展具有深远影响的工作，那就是电磁流量计的全国统一设计。

1 话说电磁流量计

电磁流量计是依据法拉第电磁感应定律，用于测量导电流体的一种流量仪表。

1831年法拉第发现了电磁感应定律，翌年，他试图利用这个原理，对泰晤士河的水速进行测量。由于利用的是地磁场，感应的是直流电压信号，受电解质的极化影响，感应电势中含有大量不易分辨的热噪声。再则，受测试条件的限制（当时尚未出现电子管），仅试验三天就失败了。然而时隔20年，在英吉利海峡潮汐流量的测试中却获得了成功。其后的100多年，经过许多学者的不懈努力，在潮汐研究、血液流量测量、挖泥船泥沙量测量以及原子能工业的液态金属流量测量中均获得了成功。

1950年，欧洲首先实现了电磁流量计的商品化。在接下来的短短十几年时间内，国外电磁流量计的发展突飞猛进，世界各工业国掀起了研究、应用电磁流量计的热潮。期间，最负有盛名的著作有：

- 1) 英国剑桥大学学者希克里夫于1962年所著的“The theory of electromagnetic flow-measurement”；
- 2) 前苏联热工仪表研究所的学者 Kursunskii 于1964年的专著“Electromagnetic Flow Measuring Devices, State Committee for Standards, etc, Moscow”（英译本）；
- 3) 日本北辰电机小林保等编著的流量测量仪表专著《流量》一书中的第11章“电磁流量计”。

这些研究成果和专著在业内产生了巨大影响。期间，美国的 Fischer & Porter 公司、美国 Foxboro 公司、英国 Kent 公司、德国 Krone 公司、日本北辰电机制作所、横河电机制作

锲而不舍（研究篇）

所等公司的电磁流量计在世界市场上最为著名。其中，日本北辰电机制作所和日本横河电机制作所的产品是1958年分别引进Fischer & Porter与Foxboro的技术。从此，电磁流量计在工业生产过程自动化、国防科研和水计量等领域中发挥着重要作用。

我国电磁流量计的研制，始于大跃进的年代。1958年，一机部上海热工仪表研究所和上海光华厂合作进行开发，吴安意和夏天骅等人系国内第一代电磁流量计的研究者。

我国最初的电磁流量计是仿制原苏联热工仪表研究所的同类产品。传感器采用交流励磁，衬里是橡胶和搪瓷材料，两电极中的一个电极接地，单端感应信号电压。转换器由电子管电位差计改装，仅能指示流量，无远传信号输出。按当时的技术水平，很难解决存在于电磁流量计的高内阻、高共模干扰和电源波动的影响等技术难题，所以可靠性不高。尽管如此，第一代研究者的探索实验，给后来的发展提供了许多宝贵的经验。

笔者曾看到上海光华仪表厂发表在贵阳铝镁设计院的刊物【动力通讯】1966年第7期上一篇介绍液体电导率变化对电磁流量计测量影响的试验报告。该报告提供了电导率增加到0.1S/cm，附加误差变化-60%的数据。这一数据为后来分析信号内阻和交变信号的集肤效应提供了印证。

2 成立电磁流量计统一设计工作组

“文革”前夕，中国刚从三年自然灾害的困难时期恢复过来。根据国防工业发展和反修、防修的政治需要，工农业得到了一次全面发展的机会。一些属于国家投资的项目开始上马，从而带动了包括仪器仪表在内的一些高精尖工业产品的研发。电磁流量计作为当时的高新产品，特别受到了关注。一机部决定在所属的企业和归口企业中扩大电磁流量计的研制。1965年便向开封热工仪表厂下达研制任务并投入资金、设备，调配科研技术人员，组织相关的技术调研，乃至配给多台国外来华展览留下的产品样机，给予多方面的支持。

1967年初夏，“文革”造成了许多工业生产的停滞和社会的混乱。就在这样状况下，国家仍坚持组织领导一些关键高新项目的开展。一机部四局下达了由上海热工仪表研究所牵头，组织成立了电磁流量计、涡轮流量计二次仪表等产品的统一设计工作组，开展统一设计工作。

电磁流量计统一设计工作组组长由熟悉流量仪表，时任上海热工仪表研究所流量仪表研究室副主任的范建文担任，所里派出了包括我国电磁流量计研究的先行者，流量室的吴安意工程师和电调室的国内自动化仪表专家，电动单元组合仪表的主要设计者杨起行工程师。上海热工仪表研究所为电磁流量计的统一设计可谓做出了重大贡献。

统一设计组分变送器（传感器）和转换器两个小组开展工作。变送器小组有热工所的范

锲而不舍（研究篇）

建文、吴安意、高德发、伦跃森，开封热工仪表厂的涂长哲，上海光华仪表厂的沈龙华（后调到武汉 265 厂），天津市东方红仪表厂（后称天津市仪表三厂）的黄克言和上海安亭仪表厂的一位女士，冶金部长沙矿山设计院有两位同志作为编外人员参加。转换器小组人员是上海热工所的杨起行、潘祥明，开封热工仪表厂的刘鸿元、马中元，上海光华仪表厂的施希行、高鸿戊和上海安亭仪表厂的蔡威海、张承义。设计研究人员中大部分是上世纪 50-60 年代仪表专业毕业的，他们有一定专业知识和设计经验。高鸿戊是位技术水平很高的钳工老师傅，专为配合加工转换器壳体结构的。唯有笔者是一个参加工作不久的仪器仪表修理工，能够参加这次统一设计，受益终生，极大地影响了我后来的工作和事业。

工作组中大部分人员是初次接触电磁流量计。在成立工作组前后，吴安意、范建文、杨起行、潘祥明作为老师，给大家作了多次讲解和指导，又恰逢中日贸易促进会在天津举办自动化仪表展览和技术交流会，工作组便组织部分成员参观并听了日本北辰电机制作所技术人员若月丰关于“大口径电磁流量计的干法标定”的技术讲座，了解到一些国外电磁流量计发展的情况和技术动向。

3 面临难题，勇于突破

就电磁流量传感器的电磁场结构，与变压器或电机的电磁场的结构相比有着很大的不同。前者具有很大的气隙长度，漏磁严重；但要求工作磁场内部的磁力线要均匀分布。磁路和线圈电感量的计算和制作非常困难，也难于通过控制励磁电流大小来控制场强。因此，不能采用常规的电磁学方法和经验公式去设计计算磁场。这样，摆在电磁流量计变送器设计人员面前的难题，就是要突破对传感器特有磁场理论的认识，找到设计计算传感器的有效方法。在范组长、吴工程师的带领下，大家认真学习研究电磁场理论，从电视机偏转线圈的结构形式中获得启示，通过实验导出分段绕组余弦分布马鞍形线圈的磁场结构和均匀磁场的计算方法。在短短的半年内，完成了从 DN20 到 DN150 五种口径的产品图样和技术文件的设计任务。研制过程中，设计人员自己动手绕制线圈，测试磁场分布，验证设计计算效果，同时解决生产实践中的工艺问题，聚四氟乙烯的应用和加工方法就是在当时开始研究的。

电磁流量转换器是连接传感器的一种专用电子仪表。它需要解决在传感器感应的流量信号中由于二次电磁感应引起的正交干扰；信号传输过程中引起的共模干扰；流体检测过程中的直流漂移和极化噪声以及要在混杂多种有害噪声的信号中解析出微弱电压的流速信号。转换器还需要有高的输入阻抗，以防止信号电压的损失；需要补偿励磁电压波动造成信号电压的波动，减小测量误差。因此，转换器的电路结构比较复杂，技术性能要求很高。可当时国内电子技术状况仍然是电子管占主导，晶体管才上市不久，集成电路刚开始研制。可以想象

锲而不舍（研究篇）

电磁流量转换器电路研制的技术难度。再则，先进国家对我国实施技术封锁，参考资料匮乏，需要学习和参考的新东西又很多，给设计和研制工作带来很大困难。

记得，为研制高输入阻抗的前置放大器，曾采用过电子管、高导磁率软磁材料环形变压器和变容二极管调制等多种试验方案。但是，采用电子管，会使阳极供电电压升高，且灯丝直流供电电流大，带来了很大的交流噪声。使用高导磁率软磁材料环形变压器，电磁屏蔽困难，难以抑制外界的感应噪声。采用新上市的变容二极管，产品性能难以保证，测量不稳定。用MOS型场效应管，栅源结容易被击穿。诸如此类的难题，在结型场效应管出现之后，并采用当时世界最新的半导体器件——霍尔元件去补偿励磁电压的变动，构成乘法器作负反馈的除法运算，之后，这些问题逐一得到解决。在转换器的统一设计过程中，不能不提到杨起行工程师所起到的重要作用。杨先生是有深厚电子技术理论和丰富实践经验的自动化仪表专家。他曾经参加过国内著名的DDZ-I型和DDZ-II型电动单元调节仪表的设计，对模拟仪表的系统设计和理论分析有很高的造诣。他不仅给大家传授负反馈的原理和设计方法，而且还常常教大家通过实验，上升到理论去认识并应用新的测量方法和电子器件。当时隧道二极管和变容二极管刚刚出现，他自掏腰包买来样品，带领大家做特性曲线试验。霍尔乘法器是转换器的核心器件，他带领大家设计电流互感器，检测励磁电流的变化，把传感器励磁电流作为霍尔控制极电流，把流量测量的输出电流作为霍尔磁场的励磁电流，构成乘法器器件，用乘法器在测量系统中作除法运算，来补偿电源电压变化引起的输出变化。他将霍尔元件的洛仑兹力和电磁流量计的工作原理结合在一起，推导出转换器的系统测量公式。这种善于把复杂的测量系统，用数学公式清晰地表达出来的方法，大大加深了我们对设计仪表的认识和理解。杨工的另一个工作优点是强调亲自动手做实验。从绕制变压器到器件焊接，他经常给大家做示范。杨工的启蒙和他的学习、工作方法让我终生受益。

4 统一设计带来的成果

统一设计组领导制定了“集中设计，分厂试制”的方针，既做到“产品统一、兼容”，又结合各厂的工艺装备和生产条件，力争做到研制工作的多快好省。设计工作组人员通过共同学习和共同设计，增强了各兄弟厂和研究所的团结合作，加快了设计研制的步伐，这在当时是一种“创新”。到1967年底，仅仅半年时间，已经设计出DN25至DN150几种口径的传感器的蓝图，完成了设计计算书、明细表等技术文件，也拿出三台转换器科研样机。这时，文革已进行到成立革委会阶段，各单位督催着外出人员回去，统一设计组也就匆匆宣布暂告一个阶段。1968年春节过后，统一设计组部分人员曾在开封集中过一次，并到郑州503厂（现在的郑州铝厂）参观，做征求用户意见的调研。正当大家劲头高涨，准备再接再厉，设

锲而不舍（研究篇）

计工作也初见成效的时候，文革中知识分子、干部下放劳动的狂风却铺天盖地卷来。各单位的设计人员下放到车间、工厂参加劳动，统一设计工作也因此夭折。此时我被安排去车间当了一年多的气焊工、钳工、装配工。

1968年夏的某一天，我出差上海，顺便去天和电容器厂看望杨起行老师，那时他已离开了电磁流量计的设计工作，正在厂里开着两部自动车床。几十年来我和杨老师之间的联系从未中断过，也不时地向他求教，故我们之间的友谊也不断加深。直到三、四年前的春节到来之际，我和仪表所几个老友例行聚会，得知他突发心脏病辞世的噩耗，悲痛之际更怀念他对我国电磁流量计发展所做出的贡献。

统一设计结束后，参加合作的设计人员之间不断地交流工作经验和体会，彼此的友谊也在不断加强，使国产电磁流量计有了较大的发展例如，热工仪表所范建文主任、潘祥明和上海光华仪表厂黄宝森、沈海津共同承担了突破国产大口径电磁流量计 DN900 的设计和研制，同时还承担了援助阿尔巴尼亚矿浆测量的政治任务，他们在上海冶炼厂做了大量试验，开拓了探测线圈补偿磁场的铁矿浆测量研究。开封热工仪表厂在转换器研制中首先用 3DJ6 结型场效应晶体管，解决了前置阻抗的转换问题。马中元、涂长哲在郑州铝厂、四川石油管理局、北京维尼纶厂等单位，成功地将国产电磁流量计在不同的行业里进行现场试验。

统一设计为我国流量仪表的发展培养出一批技术人才和管理人才。后来，范建文成了上海自动化仪表研究所所长，涂长哲成了开封仪表厂党委书记、总工程师。1965年大学物理专业毕业的潘祥明，由于基础理论扎实，实际动手能力强，很快成为热工所的技术骨干。通过统一设计，笔者和潘祥明、黄宝森、沈海津成了挚友。几十年来，我们对电磁流量计的测量理论、设计方法和技术发展有着共同的兴趣。就是我们这些统一设计者，在文革期间请出了北京大学物理系的王竹溪先生，掀起并推动了电磁流量计的理论研究和非均匀磁场电磁流量计研究的热潮（详见《飞鸿踏雪泥》第一辑“领路人的深情”一文）。也是这些人，在改革开放中，在电磁流量计的技术引进以及与国外先进公司的技术合作中，起到了推波助澜的关键作用。

至今，我国电磁流量计制造企业林立，行业已具规模，成为世界级制造的工厂，应该说，这与当年的统一设计打下的基础不无关系。

致谢：本文经上海自动化仪表研究所范建文老所长校核和审查，在此深表谢意。

作者简介：马中元，男，1943年生，河南省淅川县人，高级工程师。1962年浙川高中毕业，1964年参加工作，1965年~1989年在开封仪表厂从事技术工作，后调入开封市供水

锲而不舍（研究篇）

总公司，2004年退休。1967年开始从事电磁流量计的研究、设计、制造、应用。现受聘于浦瑞斯仪表（上海）有限公司，任总工程师；并任中国仪器仪表行业协会流量专业委员会顾问。与蔡武昌先生合著有《电磁流量计》。



气动薄膜调节阀系列型谱的制订和实施

陈锡田 胡志君

前言

1963年11月的一天，上海工业自动化仪表研究所王良楣所长办公室通知标准化室主任张乃昌和陈锡田（当时已从气动调节器研究室调至标准化室）到所长办公室开会。王所长向我们布置了一项任务，要求迅速制订出气动薄膜调节阀系列型谱。他说：“目前气动单元组合仪表和电动单元组合仪表的研究试生产已经取得了很大的成绩，部分产品已步入批量生产和现场使用。为了发展我国工业自动化系统的配套需要，故在执行环节急需编制出我国自己的系列型谱以指导我国自行研究设计制造气动薄膜调节阀产品。”王所长强调此项任务非常重要而紧急。按一机部四局的指示，由本所牵头，组织全国有关单位共同参与，在数月时间内完成初稿，并定期向一机部四局汇报工作进展情况。

一、气动薄膜调节阀系列型谱的制订

接受任务后，张乃昌委派陈锡田全面负责该项目的工作。陈锡田制订了工作计划，并向

锲而不舍（研究篇）

张主任汇报后同意成立气动薄膜调节阀系列型谱制订工作组。12月上旬，由我所组织邀请了用户部门北京石油设计院的谭丽贞、上海化工研究院的张罗、哈尔滨工业大学的吴文芝，还有华东电力设计院，上海冶金设计院的陆振华，以及全国重点调节阀制造厂天津调节阀厂的刘义程、鞍山热工仪表厂的王生起、上海崇明仪表厂的沈翼章、无锡仪表阀门厂的浦文跃等人参加，本所有吴平、胡志君等参与，召开了气动薄膜调节阀系列型谱制订的预备工作会议。会议对系列型谱编制的产品范围、工作方法和如何满足使用部门需求，以及工作时间等内容进行了商讨，经过详细讨论后，代表一致同意于12月中旬成立工作组，并在上海仪表所开展工作。

1963年12月工作组成立，张乃昌任组长，陈锡田任副组长。参加预备会的大部分单位均参加工作组，我们制订了工作组的具体行动计划。首先，下制造厂核清国内调节阀生产情况，包括产品品种、工艺水平、加工情况、测试设备，产品质量和供销情况等。然后，再奔赴全国各部门在上海、北京、抚顺、兰州等地的重点使用厂，了解目前调节阀使用情况和存在问题以及近10~15年各行业发展对调节阀品种的要求。

在调查中，见到各厂使用调节阀产品是“联合国”式的，主要是仿苏联和英、美、日本三四十年代的产品。产品规格杂乱，性能也是参差较大，现场使用中经常出现问题，如阀芯脱落、支架断裂等，而且零部件不能通用互换，给生产维修带来了很大困难。有些行业所需调节阀国内尚不能生产，靠进口价格昂贵，迫切要求我国能生产国产系列气动薄膜调节阀，以填补空白。通过我们的调查研究，开座谈会，到现场走访，实地考察，我们了解到在石油、化工、电力、冶金等部门对调节阀的要求颇高，包括产品结构牢固、性能稳定、零部件统一、容易拆装互换、价格便宜、甚至防腐、防爆、高压等要求。从调查中也注意到现场约有80%以上均使用气动薄膜执行机构和调节阀，我们更感到任务的艰巨和迫切，但大家均有信心，一定要建立我国自行编制的气动薄膜调节阀系列型谱来指导工作。

我们回所后，首先统一了思想。明确当时我国各制造厂所生产的气动薄膜调节阀都是仿苏、仿美、仿日的低档次产品，其结构和性能均很落后，而且不能制造多品种和高性能调节阀，满足不了使用部门的需求。同时，当时生产的产品也不符合系列化、通用化和标准化的“三化”要求。所以，我们在编制气动执行机构和调节阀系列型谱时坚持了“三要”和“三不要”。

所谓“三要”是：首先，要坚持按使用部门近十年甚至十五年的发展规划对调节阀的要求为目标；其次，要贯彻“三化”精神，以少胜多的原则；第三，在编制系列型谱时要坚持体现发展和创新的理念（从材料、结构等方面）。

锲而不舍（研究篇）

所谓“三不要”，即是在编制气动薄膜调节阀系列型谱时：第一，不要受制于当时各制造厂生产的产品限制；第二，不要受到各制造厂已有的工装模具的限制（如顾虑采用了新的系列型谱后，原厂的工装模具将会无用报废）；第三，不要受到各制造厂目前生产水平的限制。

在全组成员得到共识后，我们收集了美、英、日等国 Fisher、Honeywell、Foxboro、山武、岛津等制造厂产品样本和苏联的有关资料，从产品性能、结构设计、制造工艺水平、材质要求、系列化水平等方面进行分析和讨论，根据用户要求，并以优先权重考虑制订了气动薄膜执行机构和调节阀的系列型谱。我们将气动薄膜执行机构的薄膜有效直径尺寸系列定为 $\phi 125$ 、 $\phi 160$ 、 $\phi 200$ 、 $\phi 250$ 、 $\phi 320$ 、 $\phi 400$ 、 $\phi 500$ mm；行程系列定为 6、10、16、25、40、60、100 mm，在与调节阀配套的连接孔尺寸也设定成标准化的几种尺寸很易与各公称通径和各品种调节阀配套组装使用，以适应各使用场合的需求。在调节阀方面制订了双座阀、单座阀、三通阀、角型阀、高压阀、阀体分离阀、隔膜阀等品种系列。其中，公称压力系列定为 6、10、16、25、40、64、100、160、250、320 kgf/cm²，公称通径系列定为 20、25、32、40、50、65、80、100、125、150、200、250、300 mm 等。在薄膜执行机构和调节阀的材质方面主要考虑铸钢件，以增加强度。并在制订过程中对型号命名作了编制，定为 QZ 系列。

经过 3 个月的努力，1964 年 3 月终于完成制订了气动薄膜调节阀系列型谱（另包括气动薄膜执行机构和调节阀两部件的系列型谱）初稿，并分发石油、化工等有关部门征询意见。二个月后，召开了会议听取意见，进行修改，然后定稿，并送一机部四局审核，经批准后即成为我国气动薄膜调节阀系列型谱试用稿，以指导该类产品的的发展。作为指导性文件，为下一步快速发展建立我国自己的气动薄膜调节阀产品体系而开展的全国统一设计工作指明了方向和确定定了目标。

二、气动薄膜调节阀系列型谱的实施

为实现气动薄膜调节阀系列型谱中产品的全面开发，一机部四局授权我所组织行业内的主要制造厂进行气动薄膜调节阀产品的全国统一设计工作。我所领导和制造厂商讨后，于 1964 年四季度在我所成立了“一机部四局气动薄膜调节阀统一设计工作组”，并集中进行具体产品设计的技术准备工作，编制了“调节阀零部件的设计计算方法”等技术文件，并对型谱中所列的产品根据用户需要按轻重缓急，决定分产品分阶段实施开展此项工作。

首先，在 1965 年初，以研发型谱中气动薄膜单座和双座调节阀两项基型品种全系列产品为目标，开展了气动薄膜调节阀第一期全国统一设计工作（我国仪表行业中第一项全国统一设计工作）。工作组由陈锡田任组长，汪克成、胡志君、李彬、裘履正共同参加，并有天

锲而不舍（研究篇）

津调节阀厂石毓林（任副组长），鞍山热工仪表厂王生起、张成国，无锡仪表阀门厂陈协清、吴忠仪表厂谢柏樵、柯强生等人员组成。此次统一设计的工作模式是集中设计、集中试制，成果供全行业分享使用。工作组集中在鞍山热工仪表厂（任副组长）进行设计工作，该厂承担了全部样机的试制任务。大家在统一设计中学习和贯彻了气动薄膜调节阀系列型谱和气动薄膜调节阀产品标准等指导性文件，采用边设计、边加工、边试验、边改进的方法完成了试制任务。产品样机制成后，组织性能测试，直至性能全部达到产品标准后即投入使用部门现场考验。经过半年至一年的现场使用，在得到用户满意和认可的条件下，1967年初召开全国鉴定会，通过产品的正式鉴定，投入了行业生产。

1967年~1970年，进行气动薄膜调节阀第二期统一设计工作。第二期研发的产品增加到了角形阀、三通阀、隔膜阀、高压阀、低温阀共五个品种。产品的设计工作在上海仪表研究所集中进行，试制工作则分配给行业内五个主要制造厂承担，完成研发后再集中鉴定。特别需要说明，在此期间高压阀产品的研发是我所还联合了化工部的第一设计院（参加人员姚定湘）和四川化工机械厂（参加人员朱春华）共同完成的。

两期统一设计工作完成后，1971年起至七十年代中后期，我所分别组织各生产厂进行多期的联合设计，研发了系列型谱内的全部品种产品，以及型谱外其他各种用户迫切需要的调节阀、执行机构和附件产品。经过这一系列的统一设计和联合设计工作，在全行业的努力下，已经建成了一个我国自行设计开发的气动薄膜调节阀产品体系。当时，这些产品基本上满足了各部门使用现场自控系统的要求，也得到了使用部门的一致好评。

制订产品系列型谱是标准化工作的一部份，通过“气动薄膜调节阀系列型谱制订和实现”这一项工作的完成，实践了在那计划经济历史时期中一条正在探索的途径，即用系列型谱来指导仪表产品的研发，很有成效，值得关注。

结束语

气动薄膜调节阀是由气动薄膜执行机构和调节阀组成的产品。在工业自动化仪表的分类中，它是属于气动执行器大类中的一种产品。在行业中，各使用部门中，或是教学系统中所称的气动薄膜执行器一般是指气动薄膜调节阀。因为它具有价格低廉、安全可靠、维修方便、经久耐用、使用面广的特点，所以在自控系统中广泛使用。气动薄膜执行机构除了与调节阀配套外，也可与其他形式的调节机构配套。那些产品不包含在本系列型谱中。

气动薄膜调节阀的统一设计和联合设计是贯彻和实施系列型谱的工作，我们得到了一机部四局和本所领导的指导和支持。各工作组和制造厂的领导，设计技术人员和工人在设计、工艺装备、试制、调试，以及现场考核等工作中付出了辛勤的劳动，在统一设计和联合设计

锲而不舍（研究篇）

中取得了很大的成绩。

作者简介：胡志君，1940年出生于上海，天津大学热工仪表及自动装置专业毕业，研究员级高级工程师。就职于上海工业自动化仪表研究所，从事气动调节阀科研、设计和质量管理工作。曾任西派埃仪表成套公司副总经理。负责仪表学会执行器专业委员会秘书工作。获机械部科技进步二等奖二项，三等奖一项和上海市科技进步二等奖一项。



仿制苏联“成套”电动调节仪表

朱秉福

1957年初，第一机械工业部（简称：一机部）上海仪器仪表研究所成立。那是一个卖力干事的年代，年轻人也没有什么压力，没有顾虑，中老年人生活安定，认为建设社会主义是本分事业，一心扑在工作上。

那时，所里借了岳阳路边的两幢大房子，刚刚安顿下来就开始工作。所长王良楣那年从苏联访问归来，向我们介绍情况。特别提到苏联新完成的一套电动调节仪表（ВТИ），适用于电站。他还带来一个磁放大器的实物，证明了在二战期间，磁放大器的研究和应用在苏联就得到了重视。

其实，胡汝鼎先生对磁放大器早有先觉，想组织几位同事共同研讨这种国内少有知晓的技术。胡老是一位非常专业而和气的人，很受人敬重，曾任上海技术学会会长，是和爱迪生在美国共事过的人。不久，这个研讨会就开始了，由胡老主持，在虹桥路的上海整流器厂举办，参加的有李介谷、李中番、李学甫、盛树琪和我5人。其间，我因另有任务暂时缺席，改由李逢定工程师参加。由于有了胡老讲授的这方面知识，看到王所长带回的这个磁放大器，已经心中有数，不感陌生。

锲而不舍（研究篇）

据王所长介绍，这是一套专门为电厂研制的电动调节仪表（ВТИ），包含有P、I、D调节功能的三位输出的电子调节器，由多个独立功能的单元组成。有一次仪表（指电量、非电量变送器）、电子调节器、定值器、三相功率接触器（МКЛ）、电动执行器（КДУ），还有一个不可缺少的辅助单元——磁饱和谐振式电源稳压器。只有电子调节器和部分非电量变送器是专门研制的，其余部分按当时苏联的工业产品配套而成。如需要指示测量参数，也只有将指示仪表外接在一次仪表的后面。因为调节器是三位输出，不能提供指示功能，后人根据它的这种特点，称之为“无指示电动调节器”。

变送器部分是我所第一研究室的任务，主要是那些非电量变送器，如压力、差压等。这方面我不熟悉，仅看到过一个压力变送器，是波登管式的。那波登管的活动端，受压力后移动，带动一个电感装置，输出一个交流电信号。估计其他的变送器也是类似的位移式结构，至于电量变送器，就是热电偶和热电阻两种。

电子调节器是专门设计的。通过一机部，我到重庆青山电厂取了两台电子调节器作为样机研究，并仿造。这才知道该电子调节器的真面目，里面使用了两个双三极管，其型号为6H1 II，相当于美国型号6SN7 GT，是一个很普通的电子管。据说美国制造首台电子计算机时，曾用了成千上万这种电子管组成逻辑电路。该电子调节器还用了一个极化继电器，它接受变送器来的信号与给定值比较，得到一个向量差，经过P、I、D功能随即输出一个三位信号，去推动下级相应的三相电功率接触器（МКЛ），以驱动电动执行机构（КДУ）。

电子调节器有两种，一种是接受低电平直流信号，另一种是接受交流信号。接受低电平直流信号的前级，使用的是磁放大器，就是王所长带回来的那个磁放大器。经李逢定工程师解剖，看到其中结构。用的磁性材料是用坡莫合金环形薄片叠成，磁回路中没有气隙。当时要仿制，但买不到环形绕线机，只得先将双丝漆包线预先绕在一个竹制的梭子上，完全由手工穿绕。这项工作由杨乐平操作，她边穿边计数，耐心细致，很好地完成了这项任务。

定值器是一个无源单元。由调节器供给一个稳压电源，经过定值器内部的分压电阻取得一个合适的电压，这就是给定值；再回输到调节器的输入桥路。

至于三相功率接触器（МКЛ），得到的是一个结构简单、粗糙的样机，使用时要2台同时工作。当时国内市场上已有同样功能的三相接触器，质地要比它好多了。

执行器（КДУ）是一个大家伙，约50公斤-米力矩的那种，其结构和制造工艺都很好。过了很多年，在一个“连续炼钢”项目中还把它从仓库里取出来，用起来很给力。磁饱和谐振式电源稳压器的特别之处是它的电源变压器铁芯是一个内十字结构。

当工作时变压器的温升高得出奇，看来这稳压器外壳上的百叶窗结构的自然空气冷却效

锲而不舍（研究篇）

果不佳。后来移交到上海大华仪表厂生产时，厂长丁佐成亲自设计了一个油浸式铁箱，将变压器浸入变压器油中才算解决问题。以后的产品就是这样。

当时我们接到的任务是按苏联样式仿制。那时的政治理念是，帝国主义一天天烂下去，社会主义一天天好起来。向苏联老大哥一边倒是必须坚定不移的。所以仿制工作必须按葫芦画葫芦，要是画出“瓢”来那就是大不敬。但这是政治评价，而技术人员是要讲实际，如果看到可以改进的而不去改，心里是多么不舒服，但当时也不敢出声。有个实例，只要看它的外形就知道，为什么那两个电子管和一个极化继电器没有安装在机箱内部；因为那电子管的寿命为500小时，就20天多，需及时更换；继电器也会出故障，更换起来方便些。这点不舒服在下一轮研制时就解决了。

试制工作不久完成，交由上海大华仪表厂试生产。其余的品种也由相应的专业厂承接。

现场试验放在上海南市电厂的5万千瓦机组，电厂郭予笃总工程师坐镇指挥，我们仪表所盛树琪主任陪同。郭工身材高大，话声洪亮清晰，带一点广东口音，他的办公桌上放了四五部电话机直通现场。在试验前的准备阶段，郭工和我们一起到现场，详细介绍各系统流程，从磨煤、给煤、给水、燃烧到烟道的整个燃烧系统，还有发电系统等。又一次使我们增加了知识，同时也深知郭工对电厂是无微不至，成竹在胸。盛树琪、郭予笃两人都是在美国学成归国的。新中国成立后，恰巧都投身于自动化行业中，他们相互配合，为我国自动化建设做出了贡献，并成为儿女亲家。

试验正式开始，在机组正常运行、相对稳定的条件下，由郭工对各环节有序切入自动控制。此时我在车间的一台电动执行机旁，那是一台小功率电动执行机。可以看到它的转动臂一会儿稍稍转动一下，一会儿又稍稍反向转动一下，这就是自动控制的功能。说明当测量参数偏离设定值时，通过自动调节系统，运行参数返回到设定值上来。说实在的，像我这样非自控专业的人，虽在这个行业中工作，这次才真正看到自动控制的实例。在整个系统稳定之后，郭工又故意加了几个扰动，很快系统又稳定下来。这次试验就这样圆满结束了，心中的高兴难以表达。

这套仪表曾由苏联进口，供国内电厂运行，数量不详。其间从部里得到电厂使用的情况，那极化继电器有误动作现象。为此，我们特意访问了上海该产品的生产厂，但他们的答复是：极少发现。至于国内生产这套仪表，估计仅有上海大华仪表厂一家，采用的是上海生产的极化继电器，没有发现不正常现象。

这套电动调节仪表（ВТИ）使用并不普遍。除了电力行业外，其他行业对此了解不多。从现在的眼光看，它老早过时了，不会再有人对它感兴趣，但它开启了成套仪表可以由单个

仪表组合而成的先例。尽管当时的“成套”我们理解只是配套而已。

检测仪表发展回顾

姜仲霞

一、建立检测仪表专业

1966年，内迁重庆成立重庆工业自动化仪表研究所时，作为自动化仪表信息源头的检测仪表并没有内迁的任务。但到重庆后，前来调研和联系工作的很多单位都提出了温度、流量、机械量、物位等方面的检测问题。来访者大多是内地各大厂矿仪表车间的技术人员，有的希望我们派人到现场实地考察，有的希望提供测量方案，有的希望提供新型检测技术和仪表，以解决工业过程大量存在的检测问题和长期存在的疑难问题。

上述问题引起重庆所领导的重视，所长王良楣、副所长马少梅、计划科长陈元亮等领导也觉察到检测仪表这一领域的缺失将对重庆所发展造成严重的影响。经多次研究，并向部局请示，决定在重庆所筹建检测仪表研究机构。后又多次与上海所领导协商，采取了一些补救措施，先补迁上海所部分技术人员，充实重庆所检测仪表技术队伍。

1966年底至1967年中，孙淮清、张厚民、陈正发、单国祥、许咨跋、张丽芬6位技术人员陆续从上海来到重庆，成为重庆所检测仪表的种子，再加上1965年分配到所和从仪表院调来的一批研究生和大专学生近20人，成立一室开展了检测仪表的筹建与研发工作。

由于条件限制，初期工作是一边进行专业培训和调研，一边开展预备性课题。当时除了精密水位计一项军工课题外，其他项目都是自立的小课题，如光电微流量计、盐水透明度计等。

1969年10月，开展“知识分子接受再教育”，所里抽调了部分技术人员下厂劳动。一室技术人员分成两部分下厂，一部分到重钢三厂，另一部分到四川威远脱硫厂，边劳动边开展研究项目。到重钢三厂的人在炼钢车间连铸连轧工段劳动，并结合劳动岗位开展了结晶器钢水液位测量、结晶器出口钢坯温度测量、二次冷却水流量测量等课题；到四川威远脱硫厂的人做气体、蒸汽流量测量方面的课题。

1971年是重庆所检测仪表发展具有决定性意义的一年。所领导决定在原一室的基础上，再调集三室、四室、元件组的部分科技人员，正式组建成立检测仪表的专业研发机构——第

锲而不舍（研究篇）

一研究室。全室人员都集中到元件楼的一楼和二楼办公。（注：由于当时实行军事化编制，在行政编制上称为一连，由江建中任连长，单国祥任副连长，胡纯阳任指导员。）

第一研究室成立后，根据技术人员所从事的专业和检测参数的要求，分成了流量、温度、机械量、显示仪表等四个专业组，分别由孙淮清、张厚民、陈正发、单国祥牵头制定各专业发展的规划，并安排近期要开展的课题。经调查、分析确定：流量专业应根据我所地处四川的特点，以气体流量测量仪表为主；温度、机械量专业应以不接触测量为主。

第一研究室成立初期，室领导克服了各种困难，采用“走出去，请进来”的方式，一方面安排部分技术人员到各高校、研究所和工厂调研、学习、培训；另一方面与高校合作，邀请高校老师来所讲课、参加课题。从上世纪70年代初起，激光检测技术、红外检测技术、超声检测技术、微波检测技术等逐步在我所实施的课题中获得应用。陆续启动的项目有：红外薄膜热电堆、红外位置检测器、红外计算温度计、激光测速仪、微波测厚仪、微波热金属检测器、气动测厚仪、微波高温液位计、超声测温仪、超声涡街流量计、热丝式涡街流量计、振动管式气体密度计、大口径气体质量流量计、压电涡街流量计等。

实验室建设工作也是一项十分重要而艰巨的任务，因为这些都是检测仪表发展的基础设施。孙淮清同志就风趣地说：“要做饭、炒菜，没有锅和灶是不行的，实验室就是锅和灶，要搞流量仪表，就要建流量实验室”。由于资金和条件的限制，我所最早建设的实验装置多是些比较简易的装置。

实验室的建设充分体现了重自所广大干部和技术人员自力更生、艰苦奋斗的创业精神。也正是这种精神成就了我所检测仪表的发展。

温度组利用管型炉作热源，用热电偶或光电高温计作温度测量标准，进行1200度以下温度仪表的标定工作，这是温度组自己动手搞成的最早的基础设备。

流量组在老研究大楼后面山坡的空地上，建造了我所的第一座流量实验室。虽然该实验室的面积只有一百多平方米，但却安装了水和气两套流量标准装置。水装置采用称重法作量值传递标准，最大流量可达到 $30\text{m}^3/\text{h}$ ，可进行50mm口径以下流量计的试验和标定；气体装置的最大试验管径可到200mm，采用皮托管作量值传递标准，最大流量可达到 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 。在建设过程中除土建工程和部分机械加工件外，很多工作都是大家齐心协力、自己动手完成的，为国家节约了资金，也赢得了时间。这座流量实验室为热丝涡街和超声涡街流量计的初期开发起了很大作用。直到八十年代初期，新建的气体和水流量实验室投用后，这座简易的流量实验室才被拆除。

为了筹建黑体炉，温度组派了两位同志去上海所学习，上海所温度室给予大力支持，提

锲而不舍（研究篇）

供了老黑体炉图纸，还针对前面设备存在的问题，提出改进意见。为了加快进度，课题组一边设计，一边联系材料和加工。他们到上海碳素厂，购买尺寸不达标而材质又很好的石墨棒料，运回所里，由车间加工成黑体炉的加热管，其花费还不到直接订制的五分之一。在制作不锈钢炉体时，技术人员到重庆水泵厂，与经验丰富的钣金、焊接师傅合作，解决了既要保证冷却水能在炉体夹层中顺畅流动，提高冷却效率，又能保证炉体密封性的技术难题。

二、“川气出川”带来的发展机遇

70年代中期，检测仪表发展面临一次重要机遇，一是部局批准了我所检测仪表的发展建设规划，拨专款建设检测楼和部分实验室；二是国家实施“川气出川”工程，我所流量专业承担了工程中的重要项目。

在检测楼内建设了水流量实验室和气体钟罩实验室。

水流量实验室的建设，在技术方面也得到上海所的大力支持，上海所流量室提供了部分图纸与技术资料，并对课题组部分成员进行了技术培训。因资金限制，水流量实验室的规模并不大，建设了DN150、DN100、DN80、DN50四个测量台位，装置应用高位水塔稳压，静态容积法为计量标准，准确度达到0.2级，这在当时已属国内一流水平。而DN150管线采用标准表法，选用涡轮流量计作标准，装置的准确度为0.5级。

气体钟罩实验室选用了丹东计量衡器厂生产的容积分别为2000升、500升、100升的三套钟罩。课题组对2000升钟罩的内部结构进行了改进，扩大了测量范围，使原来只能测量50口径流量计的装置，提高了流量上限，可扩大到65和80口径，这一创新成果获得机械部的科技进步奖。

这两个实验室的建成，标志我所流量专业的发展进入了一个新阶段。

后来，检测仪表分成两个研究室，第一研究室主研方向是流量测量和流量仪表，第二研究室主研温度和机械量仪表。

“川气出川”工程是70年代中期国家计划实施的一项战略性工程，一机部联合燃化部召开了一次全国性的会议部署这项工程。领导反复强调“川气出川”工程的战略意义和工程的艰巨性，要求承接任务的各单位要千方百计克服困难、保质保量地完成。我所涉及的任务是调度中心与各区域调度站的自动控制系统研发，输气干线流量计和天然气净化厂酸气流量计等研发。参与并承接“川气出川”工程中的项目是流量专业面临的重要机遇。

输气干线的管径为1020毫米，要满足干线流量测量的要求，不仅流量计的口径大，测量精度也很高。当时我所正在研发的热丝式涡街流量计成为选择的目标之一。但是，涡街流量计是一种体积式流量计，如果不能做成质量流量计会引起较大的误差。经多次研究和论证，

锲而不舍（研究篇）

决定上马振动管式气体密度计和流量计算机，组成“三合一”的气体质量流量计。

川东气矿卧龙河脱硫厂原采用圆缺孔板测量酸气（硫化氢）的流量，由于酸气具有极强的腐蚀性，介质中含有大量杂质和水分，测量条件恶劣，一直没有用好。当他们得知我所正在研发超声涡街流量计时，非常感兴趣，希望用这种新型流量计来解决酸气流量测量问题。超声涡街流量计研发过程中，宁夏银河仪表厂、四川仪表十六厂也派人参加。这项课题在攻克气体换能器的声耦合技术、气体的温度与湿度对声调制幅度影响等难题后，成果于1981年12月通过鉴定，由银河仪表厂进行试生产。该成果曾获1982年宁夏回族自治区政府颁发的科技成果三等奖和1983年一机部科技成果三等奖。

三、建设大口径气体流量实验室

输气干线流量计开发需要建造相应的流量实验室，我所不失时机地向部局提交了立项报告，部局批准并拨发了专项资金，从此我所启动了大口径气体流量实验室的建设工程。

大口径气体流量标准装置借鉴风洞的测量方式，让气体通过特殊形面构成的收缩段，形成均匀流场，采用英国的NPL皮托管作标准表测量流速，再进行附面层修正，计算出标准流量，再经过足够长的直管段，获得充分发展的流速分布。这样，大口径气体流量实验室就成为国内最大的具有工业管流场的气体流量标准装置。该实验室具有两套标准装置，最大测量管径为600毫米，最大流量可达到45000m³/h。实验室于八十年代初建成，由中国计量院、天津大学、上海工业自动化仪表研究所、开封流量测试中心、重庆计量所等单位组成的测试组，进行了近两个星期的测试认证，确定装置的总不确定度优于1%。由于设计方面的独特构思、技术上的创新、建造上的低造价，大口径气体流量实验室获得了部科技成果三等奖。

大口径气体流量实验室建设的完成，与水流量实验室、钟罩实验室一起，标志我所建成了我国西南地区最大、国内具有特色的流量测试基地。

有了流量标准装置，在行业中就有了话语权。国内很多单位慕名而来，我所流量实验室先后为全国各地的大企业、大工程提供了技术服务，例如：为新疆克拉玛依油田测试差压流量计；为大庆油田标定大口径高级孔板阀；为上海728所测试核电工业用的新型流量计；为北京燕山石化与北京化工二厂之间存在的原料气输差仲裁提供测试数据；为重庆天原化工厂与重庆硬酯油化工厂之间的原料气输差进行检测；为川东天然气净化厂的原料气与净化气的测量精确度提供技术咨询等服务工作，都得到领导部门和计量部门的重视与好评。在国家制订涡街流量计的国家计量检定规程和行业标准时，也是在我所流量实验室进行了大量试验后，由我所提供仪表精确度和安装要求的验证报告。“七五”期间，我所水流量实验室还参与了全国水流量标准装置动态追溯的研究课题，通过比对试验取得很好的结果。以上各项工

锲而不舍（研究篇）

作取得的成果，大大提升了我所流量专业的知名度和行业地位。

四、不懈耕耘，开花结果

经过近十年的不懈耕耘，检测仪表终于开花结果，先后推出一批具有高、新技术水平的成果，在这些成果的鉴定会上，专家们都给予很高评价，有的属国内首创，有的接近国外先进水平，还有的达到国际领先水平。

除了前面所讲的流量专业组取得的部分成果外，其他专业组也取得不少成果。

温度组研制成功红外薄膜热电堆接收元件，提供给国内数十个单位应用，获得很高的评价，有的用它替代进口元件，研发成功激光功率测量仪，有的用它作成热流计等，还有的用它作辐射高温计，都取得满意的效果。我所应用该元件自行开发成功的红外热金属位置检测仪，在重庆特殊钢厂的热轧流水线上使用，由于安装简便、使用可靠，用户满意，被评为信得过仪表。红外薄膜热电堆后来转让给成都温度计厂、云南仪表厂，该元件曾获得四川省科技成果三等奖和国家机械委科技进步二等奖。红外热金属位置检测仪获得四川省科技成果三等奖。

机械量组采用微波测量技术，动态测量冷轧钢带厚度，在攻克了一道道技术难关后，开发成功国内第一台微波测厚仪，在西南铝加工厂、重庆特殊钢厂等单位进行工业运行和应用，应用取得很好的效果。同期开发成功的微波位置检测仪，在多个单位使用都很受欢迎。这两项成果曾获得过四川省科技成果奖、全国科学大会奖及机械部科技进步奖等多项荣誉。

显示仪表组开发的光电露点湿度计也取得高水平的成果。作为国家安排的特殊任务，光电露点湿度计曾被毛主席纪念堂工程采用，并获得全国科学大会奖。显示仪表组还与四川仪表四厂合作开发成功无触点记录仪。

随着新成果的不断涌现，在各种学术刊物和学术交流会议上发表的论文的增多，科研队伍的不断壮大，我所检测仪表在国内的影响力和行业地位也迅速提升。从“六五”起，我所检测仪表开始承担国家重点科技攻关项目和科技发展基金项目。这些项目有的属技术基础研究，例如：涡街流量计干式标定研究、插入式流量计测量精度研究；多数项目属新产品开发，例如：智能微波测厚仪、带微机的双波纹管流量计、内藏孔板差压流量变送器、涡街质量流量计、特殊化工介质用流量变送器、气动测厚仪等。据不完全统计，我所检测仪表从“六五”到“九五”期间共承担国家科技攻关和基金方面的纵向课题就有近二十项。

进入八十年代，微机和软件技术的发展也渗透到检测仪表领域，单片机与传统的一次仪表相结合，为检测仪表的发展提供了巨大的空间。八十年代中期开始，所里安排了一批智能化检测仪表开发项目，例如：红外计算温度计、智能化均速管流量计、智能微波测厚仪、一

锲而不舍（研究篇）

体化智能涡街流量计等。

进入九十年代，检测仪表又向智能化、一体化、多参数测量、多功能方向发展。一台仪表把多种传感器集成为一体，并应用了线性化处理技术、频谱分析和跟踪滤波技术、通信技术，赋予仪表强大的功能。这样不仅提高了仪表的测量精度，也扩展了仪表的量程范围，还提高了仪表对现场的适应能力。在一体化、智能化仪表的开发方面我所也取得了丰硕成果，例如：微波高温液位计、一体化智能差压流量计、HART 协议智能涡街流量计、FF 协议智能涡街流量计、数字式涡街流量计等。这批成果都具有自主知识产权，部分成果已产品化，投产后取得显著经济效益和社会效益。部分成果获得了机械部、机械联合会和重庆市政府颁发的科技进步奖。

我所检测仪表专业除了开发出多个品种、多个系列的仪表外，在系统成套方面也做了不少工作。流量专业从八十年代中期开始就为石油、天然气、化工、钢铁等行业提供了多套多管线流量测量控制系统。后来特别为燃气部门研制了多管线流量测量控制与管理系统，在重庆市燃气公司所属的几十个配气站推广、应用，使天然气的计量、管理、调度工作上了一个新台阶。机械量专业在小型轧机自动化方面也取得成果，他们应用工控机与自己开发的微波测厚仪（或气动测厚仪）、辊缝仪等，组成轧机自控系统，在川仪一厂精密薄带轧机上应用获得满意的结果，并获得中国有色金属总公司科技进步奖。

五、流量仪表产业化

随着科研改革的深入发展，从九十年代中期开始，流量室的全体人员就形成了共识：一面搞开发，一面搞生产，面向市场是流量专业唯一的出路。

科研、新产品开发方面，把侧重点放在流量计的智能化、一体化方面，开发了一批新型流量计，例如：智能涡街流量计、智能差压流量计、智能旋进旋涡流量计等。后来，又在降低仪表的功耗方面下功夫，选用低功耗、微功耗芯片，采用分时供电，合理控制仪表的休眠与工作时间，大幅度降低了仪表的功耗，用一节 1.5 伏 6 安培小时的锂电池供电，可保证仪表连续工作一年以上。这类电池供电的智能仪表推出后，解决了不少企业单独装表的配电问题。由于多种传感器一体化和就地显示与通信功能，提高了仪表的性能/价格比，大幅度降低了用户的装表费用，深受用户的欢迎。

在生产方面，主要产品就是我们取得的两大类成果——涡街流量计和差压流量计，这两类产品共有十多个系列，上百个品种。1994 年在产品化方面做了不少工作，完善了工艺，编制了选型样本，进行了试生产，通过计量认证，取得计量器具生产许可证，经济效益初见成效。

锲而不舍（研究篇）

飞鸿踏雪泥

1995年流量仪表厂正式成立。2003年我所与耐德工业集团实行强强联合，成立重庆耐德正奇流量仪表有限公司。2004年1月流量厂及全体人员搬迁到耐德工业园，从此我所流量仪表专业走上了任重道远的发展道路。