

学术活动材料之一

内部资料

美籍中国学者王本昌博士 学 术 报 告

(记录稿)

一九七三年七月

前 言

王本昌系美加里福尼亚州洛杉矶城“王科”公司的总经理兼董事长。该公司主要生产为中、小型计算机系统配套的磁带和磁盘存储器。王在六月一日至六月二十五日自费来华探亲旅行期间，在上海和北京两地分别就磁带和磁盘存储器的设计、现状和发展趋势等问题作了学术报告和座谈。现将记录稿整理印发，仅供参考。

接 待 组

一九七三年七月

磁带和磁盘存储器的现状和发展趋势

这次回国，印象很深，48年出国，回来看到祖国变化很大。最深的是大学的新的教学方法、人民公社、研究所也有进步，感受很深。这次回来最大愿望是与国内科技人员交流经验，把自己在国外积累的经验献给祖国。离开中国已经很久了，中国话讲得不太好，需要翻译帮忙。这次让我作报告，我没有准备，随便讲一讲，主要是大家问一问。我在1969年以前是在IBM、Ampex等公司作磁带机的具体设计工作的，现在是搞管理方面的工作。谈谈自己的经验，也可能对你们有些关系。对外部设备的看法和工作，单靠理论是不行的，单靠实验也不行。数字电路设计，在试验电路板上容易准确，但在电子计算机上计算出来，相差较大，所以实验是需要的。

我是学“应力学”的，以前的留学生多读理论，我念的是光学弹性，有些飞机因应力问题面出事故，于是我想用“应力学”来解决实际方面的问题。利用技术、实验力学、理论加实际，解决实际问题。

1951年在加利福尼亚大学三年级，暑假到一水力涡轮公司研究发电机水力叶片的应力问题。叶片上有空洞、螺钉、螺帽、曲线样子也很复杂。当时看了很多书，也难以从理论方面解决，后来用光学检查应力，决定应力分布情况，并以此作为毕业论文。感到要解决应力边界条件，理论边界条件与实际边界条件有区别，最好除有理论知识外，还要有实际经验，才能解决问题。毕业后想到宇航方面工作，但因我的家在祖国，只好转到外部设备方面工作。专业是新的，但用读书得

到的东西去分析道理上还是一样的。在IBM公司，看到磁带机也很复杂。磁带是一个弹性的东西，如果不动的话，可以看为静力学，静态是个刚体，加力求应力也简单，但动态和静态不一样，在数学应用时，要求磁带非常快的启停，速度也要很平稳。那时，磁带不是一个集中体，是个质量分布体，分析时要用边界条件去分析复杂的问题。在快启停时有加速度、有弹性伸长，速时，磁带运动状态和电子学的波传动过程一样，应力和应变都在改变，每一点的速度都不一样，形成速度变动。而我们又要求快启停后，速度恒定。这个问题微积分也难解决。我们做了个传感器，用应变仪测量应力，读出幅度随速度变化。

关于磁带机方面，IBM是第一个生产磁带机的，IBM729是第一台磁带机。当时设计方法是用压轮传动的，两个压轮控制正反转，需要交流同步电机、导轮、电磁动作器，在磁带读写时最大的问题是互换性，没有互换性就等于没有磁带机。因为很多信息记在磁带上要取出来，要在任何地方、任何磁带机上都能读出来。

记录形式的标准化也很重要。IBM的磁带记录有西种：七道和九道，有个公司做二十道的，根本没有销路，因不能与IBM互换信息。因此记录形式要标准化，和IBM兼用销路很好，后来各厂都和IBM互换。

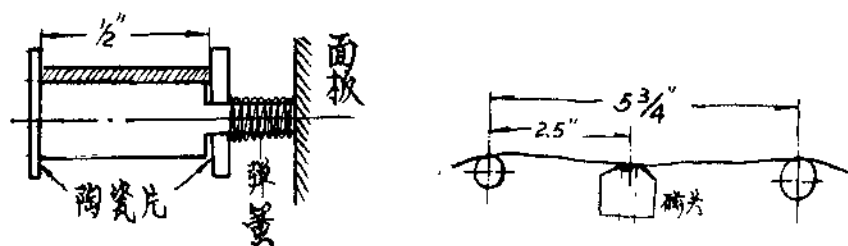
影响互换性的最大问题是扭动问题。在一台扭动方向与另一台的扭动方向不一样。若要正确读出，每一个字符都应在一直线上，不然少一位就出错。

在压轮式磁带机设计中，只有当主动轮与压轮接触时，磁带才运动。压轮式磁带机的扭动大些，因此它们的定位问题是十分重要的，

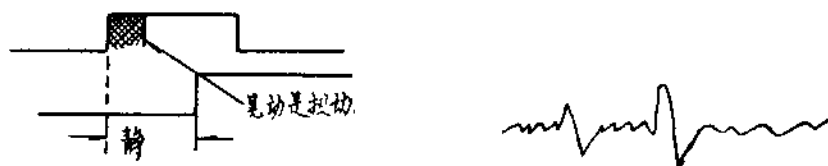
（即校准它们的相互机械精度很重要。）在800BPI时，如果磁带扭动一点，就从一字符错到另一字符。即出错了。

可靠性。计算机出错也多在外部设备，所以外部设备的结构越简单越好。

导轨方面 (Guiding) 形式也要和IBM相容，这样才能互换。IBM磁带机磁带两边有两个导柱，磁头不是放在中间，两个导柱之间是 $5\frac{3}{4}$ "。磁头距一导柱2.5"。磁带和导柱有一个包角，保证磁带不翘曲起来。导柱后面有一个弹簧推动磁带向一边运动。



扭动有两种，静态和动态，静态扭动是由于磁头不垂直或缝隙分散不齐造成的。这也是生产中遇到的互换性问题。所以磁头校准很重要。动态扭动是磁带运动时磁带在横向发生晃动，用示波器可看出因扭动，波形的前沿发生位移，波形前沿晃动且糊涂看不出晃动的数值。如何把水平相位移转换到垂直方向上来看呢？



斜波发生器用读出信号触发变成垂直，可分析出它的频率，找出由于什么原因造成的扭动。是否因主动轮不同心，或是因真空泵、或是因主动轮的振动。把一段磁带放在任何一台磁带机上读出时，都看到重复的波形。后来分析是因带边切割时形成的弯曲形状所造成的。(因切割

是圆切割的。)且这扭动是有规律的, 固定的。(指在单主动轮磁带机而言)因此只有用弹簧单边定位来解决, 以控制扭动, 把扭动抵销、控制到最小。所以 $5\frac{3}{4}$ "和2.5"的导柱——磁头——导柱的距离布置是很重要的。我们只有重复IBM的导轨方法, 重复它的同动作 (Same Motion), 就能抵销扭动的运动。这些单靠理论是不行的, 研究太深也没有用, 知道一点作指导, 在实践中又加深认识。

现在国内也存在互换性问题, 最要紧的是全国大家一起来决定记录的方式。中国的磁头是16道, 只用8道信息道。美国磁头是7道和9道两种, 用水平垂直校验。我建议用IBM形式, 因为世界上欧洲、苏修都用这种形式, 能跟世界互换不是更好吗? 这样做自己也没有什么损失。应该大家坐下来, 共同研究决定。互换性是最基本的问题, 这是我的建议, 希望各地都把导柱、磁头等导轨方面一致起来。导柱要标准化, 如尺寸、弹簧等。不能用槽形的, 用槽势必产生很大的扭动, 导槽形式的美国早已不用了。

美国的记录形式 (Recording Format)

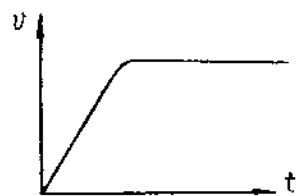
7道	不归零制 (NRZI)	800BPI	1950年开始老式的。
9道	不归零	800BPI	} 最普遍
9道	调相	1600BPI	
9道	Group-coded Recording	6250BPI	已宣布, 将于1974年采用

我主要不是搞线路设计的。我主要讲讲关于磁带机的导向方式、现状和发展方向。

1950年IBM出了第一台729磁带机, 是压轮式的, 有真空积带箱,

75~125"/s, 这种速度一直很久没有改变, 1963 年我把 IBM 学到的东西在 Ampex 公司做了单主动轮磁带机。

为什么用单主动轮式的磁带机代替压轮式的磁带机呢? 是由于扭动和导向。压轮式是靠压和摩擦力来启停的, 停止是靠摩擦力, 起动也是靠摩擦力, 是直接拖动的。摩擦力随温度、湿度而改变, 用理论研究不出来, 它与氧化物、灰尘也有关, 用理论都不能解决。当压轮压下时有很突然的阶跃、加速, 即使在比较长的时间内速度也有波动、变化而不平稳。要解决这些问题, 只有用单主动轮式的磁带机, 其优点: ①设计简单; ②可解决摩擦力变化的问题, 用速度反馈可使速度变化小; ③主动轮与压轮间没有校准问题。磁带没有压轮外驱动, 可解决压轮不平行于主动轮引起的扭动。单主动轮磁带机是以带状传动的, 因磁带有伸缩, 所以单主动轮的圆周表面不太平也没关系。在主动轮方西可用理论计算用多少力, 但不可靠。它启动时也用伺服控制, 启动特性曲线圆滑和摩擦力无关, 也用伺服控制停止。我们可以计算需要多少力可以启动, 摩擦力是磁带张力的函数。当初搞单主动轮磁带机时, 有人怀疑怕打滑, 所以要在很高的温度、很大的湿度、很脏的环境下进行很多试验, 保证在最坏的环境下都能正常工作, 不会产生滑动。1962 年到現在, 证明单主动轮磁带机没有问题。其机械设计简单, 只有一个主动轮, 减少了部件, 提高了可靠性。



1963 年以后, 都采用了单主动轮式的磁带机, 速度原为 112.5"/s, 后来做到 150"/s。一直到 1968 年, IBM 是最后一个做单主动轮式的磁带机的公司 (在 2420 系列中采用单主动轮磁带机), 带速 200ips, 外加了

匣子，不准人手碰磁带，用空气吸引的方法自动穿带 (Automatic Threading)。那时一般公司只做到 120ips~150ips。

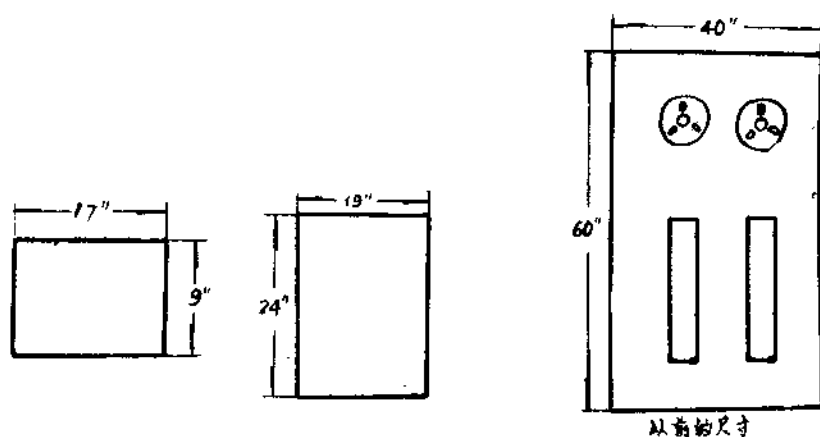
从磁带机的发展来看，以前只有高性能的大型磁带机，从1967—1968年开始，由于中、小型计算机的推广使用，看到了磁带机新的市场，用户大量需要结构简单，价钱便宜，使用、维护方便，性能适中的中、小型磁带机。

从磁带机来看，做 $200 \times 6250 = 1.25\text{MC}$ 已经很快了，没有比 6250 再新，速度相当高了。我个人看法，再不做新的机器了，只是在记录密度上加以提高。在中、小型计算机上要用低速价廉的磁带机，在低速中不用真空系统，而用摆杆式的（在低速时摆杆惯性可不考虑）可用印刷线路板，这样机器可以小巧，维修方便，一般低速是指 $12.5''/\text{s}$ — $45''/\text{s}$ 。小计算机中大量需要低价、低性能、高可靠、维修使用方便的磁带机。从工业自动化发展趋势来看，磁带机不一定只用在计算机中，可用磁带机来织布，来管理织布时的花纹，把花色记录在磁带上，换一盘磁带很快就可以换一种花色。所以磁带机可单独作为一个应用，可用在数据传送，可用调制与解调在另一台磁带机上收下来，所以磁带机发展很快，工业上大量用，它的机械设计工作量不多了，最近IBM的碰带机 $200''/\text{s}$ 系列型号花样多，价钱贵，也准备做低价的碰带机了，一台碰带机3000美元左右。

IBM 的 3400 的碰带机带速 12.5—25—50ips

1968年后，碰带机没有多大变化，装配形式上有些变化，以前是印刷线路、母子板、插座线。现在我公司生产的碰带机是2块板，一块是伺服、控制，另一块是读写电路。再加上电源。不用真空积带箱，速度低，用摆杆式，用光电线性定位，主动轮还可以速度伺服，碰

带机外形尺寸如图：现在也用低价元件，其实很多不必要很准确的元件，如电阻电容，结果在元件中省钱。一只双缝磁头，只有230美元。美国有两种公司：IBM是高性能的，如3420，还有一种是低价低性能的。美国有两种工厂，两种市场。OEM 配套厂：如“王科”公司 Diablo 公司；另一种是 Plug-to-plug，即：IBM Compatible，它的外部设备买给 IBM 的客户，叫做 End-User，后者公司给 IBM 公司抢市场，因 IBM 的贵，其它公司的磁带机一插上去就可以用，这就有代



用了。我们的公司是另一种市场，原始产品，不对口的，可及时更换，不是代用的。其他公司是将 IBM 的拿掉配上自己的，现在只有我们的公司是独立外部设备制造厂，他们买我们公司的产品加上他们自己的产品后用在计算机中。后来 IBM 公司有 10% 的市场被抢去了，所以 IBM 想了对策，把磁带机成为主机的一个整体不可分割的一部分，没法代替它，所以很多公司受到影响。同时 IBM 出了 3420 系列，一样的磁带机，可以卖便宜，速度有 50, 125, 200ips 几种，密度有 1600BPI, 800BPI，组间间隔 0.6"。

1967 年 Ampex 出了 TMZ——24ips，我们公司产品的元件都是买

来的，我们只是装配，从外面买的比自己做的又好又快。1968年才转向比较便宜的低性能的，因高性能的只有少数研究机关需要。自己的兴趣是低价产品。中国是需要大量低性能的小机器，各国的发展过程也是如此。中央处理机（CPU）在前，外部在后，欧洲没有低价的磁带机和磁盘。

关于磁盘方面：

磁盘最早也是IBM搞出来的，第一台RAMAC，后来多用液压传动，固定盘。1964年设计了可换的磁盘叫2311。也是液压的，当磁盘出来后，有人担心磁带机会被代替，我认为不会的，磁盘和磁带机在应用上是两样的。磁带机是串行的，磁盘是随机的，应用不一样，可互补。不影响市场。IBM2314是十片的，或更多，存贮容器很大，现有IBM2315单片盘，可卸、匣装，对微小型机器很合适，在慢速时是很好的产品。IBM是第一个做单片磁盘，后又做了一个可换的盘加一个固定的，从下往上装，密封性比较好，脏东西不易进去，多用液压的，现在多用直线音圈电机，惯性小，动作快，现在多做直线音圈电机控制磁头臂的移动。有的一个固定，一个从上向下安装的可换盘片，另一种是从旁边往里装的磁盘，在磁盘结构中90%的机械是一样的，100道/吋，可用部分共有200道，记录密度2200位/吋，现在有些公司设计200道/吋，我们公司也在设计。现在的外部设备并不都是电子化的，在美国缺少好的机械工程师，所以有些公司在做密度为200道/吋时就发生了问题，与磁带机一样是个互换性的问题。从以前的100道/吋提高到200道/吋时，由于传热面带来了问题，早上开机前机器是冷的，开机后机器热了，冷热时材料热膨胀不一样而使选道读出时发生误差。另外已运转的盘片是热的，刚换入的盘片是冷的，所以必须要有温度过

渡，否则因材料的温度膨胀系数不一而产生互换性出毛病。传热问题影响到应用问题。现在用直流电机来加热磁盘，在磁盘外壳上放了功率晶体管，用热电偶测出温度，用伺服系统来补偿温度的变化。现在用新的伺服，预先放了一个磁盘（磁道已记录好），用作控制盘，可把密度提高到400道/吋，也可用到600道/吋。2319是低价与外而竞争的磁盘。3300用专门一片盘和头做位置传感，最高到6000位/吋。还有一种磁头和盘片装在磁盘组上，换盘时一起换，解决互换问题。有许多公司想抄IBM公司的3330磁盘作为代替。已没有人做磁鼓，固定头的磁盘很少公司做，效率还是不够高，容量不够高。可移动磁头要减少取数时间。

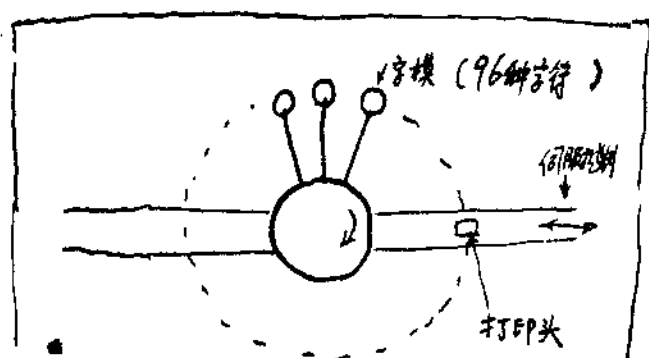
在磁盘中，灰尘很有影响，要损坏磁头、盘片，必须设计空气过滤器。

目前生产，100道/吋，记录密度2200位/吋，总容量5千万位（二个盘）下一次出厂是200道/吋、4400位/吋，双盘可达两亿位信息位，我公司下一步是搞软盘300~400美元一个，价格低，同45RPM的小唱片一样。可拿来邮寄。

磁头也是IBM的，利用IBM的研究成果，买专利。我们主要搞的是机械设计、伺服设计和空气过滤以及互换性，主轴的设计比磁带要求高，公差要求严格，特别是到200道/吋时，就有新的问题出现，公差要求很严格，温度影响很大，因为部件是由不同材料制成的，有不同的膨胀系数，影响精确定位和互换性，所以要考虑温度补偿问题。由100道/吋提高到200道/吋，用光学传感器，并且用热敏元件测量盘和空气的温度差来自动调节伺服机构。IBM有一个固定盘面专用于定位，我们盘而少，不能牺牲一面，只能用温度补偿。

关于行式打印机，高速的有1200行/分和2000行/分，但很贵，也有低速的，如160行/分，300行/分，在终端设备上，很多是用矩阵（7×5），最近有（11×7）的，这是非常好的办法，日文可用，中文也可用，因为各种组合都很灵活。缺点是飞点打印的字清晰度差些，质量也比行式的差。

在美国有文字处理系统，文字加工，有很多公司写的东西，写了要改，或穿插一些句子等，所以加上键盘显示，与打字机特性一样，打了字在显示屏上显示出来，同时将信息送入内存去，假如有很多份，则可重复，有些文件都可用此法，有些东西有共同性的，可以不改，这样方便，这对打印机很有用，现有球形打字机，但可靠性不好，速度比较慢10~12字/秒，现在正设计新的串行工作的打字机，速度更高一些。如图所示，它要有一套伺服控制系统，但其设计简单，可靠



性好。但生产时要做字符模具，因为字将多，做一套字模要一万多元钱，但做好后，生产就便宜了，几角钱一个字，速机器的质量比较好。

关于磁带机方西，还有一种匣形磁带机——作录音用，也作数字记录用，带厚0.0005"，最早是飞利浦做的，先用在录音(音乐)方西，后来用到计算机中，但在计算机中使用不可靠，作模拟、录音方西是

很好的，因录音要求低，有个别听不见也没关系，但用在数字记录方面要求就高了，所以美国很多公司始终没有应用它，但到了日本反而用得很多、用于商业计算机中，日本在录音方面很发达，但在计算机中使用时，他们也认为不可靠。现在有用双缝头的，但它的容量都很小。IBM做了软盘先在欧洲、后在日本应用，作为低价的信息输入，现在从键到盘，由键到带，不用穿孔卡片了，所以要用软盘来代替穿孔卡，软盘携带邮寄都很方便。我们公司也准备设计这种软盘。

有了软盘是否可以不要穿孔卡呢？并不。因为穿孔卡已大量使用并已形成一套标准了。

有了磁盘，磁带仍要用，因为磁盘是随机的，磁带机自由些，穿孔卡片修改方便，用磁盘代替是不容易的，现有96行的卡片，IBM还是要用80行的卡片。穿孔纸带，光电机仍要用，但有可能为软盘所代替，因打孔后修改困难。

再说说其他国家的情况：美国——在计算机中，还是走在前头，日本进展也很快，但外部设备还比较慢，磁盘还没有自己的，日本有一个公司在做单主动轮的磁带机，低价的，8"—10"的没有新的发展，大多数是引进IBM、Ampex公司的产品，打印机也还没有，他们想与美国联合起来，得到生产执照。欧洲生产磁带机比较好的公司还没有。保加利亚是苏联的卫星国，在经互会中他负责搞外部设备，他花了很多钱来发展外部设备，磁带机有20多种，但机器很陈旧古老，他花的钱比美国还多，但做出的磁带机我都不认识。他们也正在设计低价的。他们希望与我们合作，他们照抄了做了一个2311，他们称他的研究所集中了他们全国最优秀的人才。目前保加利亚起码落后美国5~10年。波兰比保加利亚还落后，这些国家磁盘都还没有。罗马尼亚希

望与美国合作。我觉得苏联是最落后的。

IBM公司做的东西比较新，我先在IBM工作，后又在Ampex公司做事。我想：我能为他们做，为什么不可以给自己做？从IBM分出来了一些公司，还有一些人出来自己干。这样就把IBM的一些研究成果就带出来了，如最近IBM的磁带记录密度作到6250BPI，别人很快就知道了。IBM怕一些技术泄露出去，所以保密得很，从一个房间到另一个房间都保密，因此在IBM公司做事的人都非常不高兴，它也轻易不放人出去，怕人离开IBM公司时把技术也带走了。但Ampex公司的人员换得太多了，体系、工程技术人员是有继承性的，人员流通太多，破坏了它的继承性，质量不好，可靠性差而使它最近亏损了。大规模生产时质量是很重要的，否则机器出厂不能工作。产品出厂必须有一定保证质量的措施，如每一块印制板要经过人工测试，在生产过程中观察检查，用实验来测试，最后用计算机来测试。一定要进行老化试验，要提高温度140°F后加电老化，使各种线路工作24小时，在交货之前还要测试。

磁盘也是这样，用一个计算机程序来断定一下，因为都是低价的，有些公司正因为钱少，才想要买低价的，所以价钱越低，越是要可靠，否则没人要。另外我们的公司要从使用的角度来考虑：第一，不要坏。第二，使用方便，告诉用户怎么使用。第三，便于维修。这些在设计方面都应给于考虑，因从使用角度上看这些因素都是很重要的。

离开祖国25年了，在国外看到祖国强大感到很骄傲，在国外的人希望祖国科技事业有很快的发展，国外的人希望能对祖国计算机事业有所贡献，说真的，国外的留学生心在家里！