

## 对执行首次核试验效率分析任务的回忆

○袁光钰（1963届工物）

今年是我国第一颗原子弹爆炸成功60周年，能够亲身参与这项伟大的国防事业，是我一生的骄傲。

1963年夏，我从清华大学毕业后被分配到国防科委21研究所。经过半年集训后，我们开始介入业务工作。当张爱萍将军亲自来研究所向我们宣布：国防科委21研究所的任务是为我国的核试验服务时，大家的心情异常振奋。

我所在的三室主任陆祖荫（1946届联大物理）宣布了分组名单，专门负责我们组的杨裕生副主任解释了我所在的一组的具体任务。他说，一组的任务是用放射化学方法测定原子弹的燃耗。所谓燃耗测定，就是测定在原子弹的全部装料中究竟有多大量参加了裂变链的爆炸，还有多少白白“崩散”了。原子弹的效率出奇的低，美国在1945年扔在广岛的那颗“小男孩”，效率只有0.9%，也就是说，99%以上宝贵的核燃料都白白浪费了。燃耗可以用很多方式测定，例如从爆炸的声、光、引起的地震大小等，但最终效率还需要由最精确的放射化学分析结果判定。具体来说，我们组的任务就是要从蘑菇云里取样，测定样品中残留的铀量和裂变产物的量，再根据裂变产额由后者换算为已经发生爆炸的铀量，最后计算已经爆炸的铀占总铀量的比例，从而得到燃耗值。

这个数值在很大程度上说明了中国核弹的设计和制造水平。在向全世界发布的公报上如何措辞，也基本上取决于核弹燃耗的高低。

燃耗的大多数测试必须在现场进行，由于放射化学分析方法需要对样品进行精确的分离纯化、化学处理和测定，必须在要求很高的专门实验室中进行。当时新疆的红山还没有这样的工作条件，必须和其他单位协作，我们组就失去了到现场参观惊天动地的核爆炸的机会，而是悄悄地到了位于房山的原子能研究所二部的第十研究室。

十室是研究放射化学的，我们的燃耗小组在那里被编为第九组，该组在行政、后勤方面由十室负责，十室派了郭景儒为组长，后来21所又派了陆兆达来负责九组



1963年入伍后在天安门合影。其中有5位清华校友，他们是：前排，左2为作者袁光钰，左4为博金海，右1为孙亚今；后排，左4为顾庆忠，右2为万志普

的业务工作。根据燃耗测定的需要，九组又分为几个课题小组，包括铀组、裂变产物组和活化组。我和万志普（1963届工物）、徐继璋（1963届工物）都是学核燃料处理的，被分在铀组，铀组由高才生负责。同组的还有原子能所的魏启慧、邓惠芬、黎荫铭以及后来的唐泳清；活化组由原子能所的刘玉英负责，组员有李贤翼、李兆龙，防化兵的朱中梅，后来又来了钱瑞生、郭玉金；裂片组的工作包括钼-99、锆-95、锶-90和钡-140等四个裂变产物的分析，所以人比较多，有冒广根、丁德钦、周成束、欧阳文治、季延安、丁玉珍、易楚芬、蒋俭，还有九院的赵鹏骥和郝珺。除了9组，还有一个专门负责放射性测量的11组。11组由钱绍钧负责，成员大多都比我们年长一些，分布在好几个研究室甚至别的所中，包括陈贤能、王淑琴、周佩珍、盖书琛、基夫、周凤盈，后来又来了周新嵩（1964届工物）和王树金。

当时由于保密的规定，各组之间不许进行交流，就是同组的人之间，也不许互相传看笔记本和试验数据。每个人下班时要把自己的保密笔记本装好，加盖自己的密封章，交到保密室。次日上班时，先到保密室取出自己的文件袋，检查密封是否完好才能开始工作。所以，直到目前为止，我们对于当时各小组的具体任务，在我的记忆中互相之间在私下里从没有打过业务内容。

领导给我的任务是测定蘑菇云中取得样品中的铀含量，也就是计算燃耗时所用的分母。实际样品是在爆炸后用飞机携带过滤器穿云取得的。我的任务就是要测定在10厘米见方的一块过滤材料上的铀量。

由于当时谁也不知道爆炸后蘑菇云的大小和铀的扩散参数，只能大致估计在那块滤布上有5~10微克的铀。在当时的条件下，这已经算是高难度的超微量分析了。

当时的仪器远没有现在那样强大的功能，样品中的含铀量是靠测定样品的 $\alpha$ 放射性计算的。由于样品的分离流程十分复杂，要经过灰化、溶解、沉淀分离各种裂变产物、介质调整、萃取和反萃取、电沉积制样以后才能进行放射性测定。在这个过程中究竟会损失多少铀是没法估计的，但不知道化学回收率，就无法确定样品中的实际含铀量。学放射化学的人都知道，测定样品中的裂变产物，其回收率可以用加入常量稳定同位素载体来示踪，但铀的测定却无法使用示踪方法。确定化学回收率的唯一办法就是在事先经过大量模拟样品分析，测定微克级样品的平均化学回收率。我们工作的主要难度就在于要保证整个分析流程的高回收率。

完成这个流程采用流水线操作，我和黎荫铭负责样品前处理和裂变产物分离，万志普负责萃取，邓惠芬则负责电沉积。将一个样品从头到底做下来，大约需要48小时。为尽量提高回收率，减小测定偏差，全组真可说是想尽了办法。整个实验不断改进操作，大家对每一步都十分谨慎，样品绝对不许有任何可感知的损失。可以说，那是用修理钟表的精细手法进行操作的。

终年面对放射性样品，为了提高操作的精度，除去在样品的放射性确实太强的时候以外，很少有人使用铅玻璃屏防护自己。由于整年操作盐酸、硝酸、氟氢酸的混合酸，我的手背经常会脱皮，我的鼻粘膜和气管也经常很不舒服。直到现在，医

## □ 纪念我国第一颗原子弹爆炸60周年

生说我仍然有萎缩性鼻炎，大概也是那时候腐蚀的吧。不过那个时候，似乎从来没有人考虑过这些问题。在“一不怕苦，二不怕死”的精神号召下，原子能所甚至有人提出，为节省时间，不必使用专用吊车和铅罐来运输高放射性样品，而只要一个人提着飞跑就成了！

在大约一年时间里，我们进行了各种条件实验，操作了150个左右用反应堆照射模拟的样品。在第一颗原子弹爆炸前夕，全组精心做完了最后一组12个样品，铀组就用这12个样品确定了分析流程的总回收率。在我的记忆中，这个回收率是 $92.7\% \pm 1.1\%$ 。

好几个人日日夜夜辛勤工作一年所得到的结果，就是这一个数据。考虑到冗长的分离流程、滤布背景值的波动、弱放射性计数的随机性等因素，这已经是令人很满意的数据了。

即使是尖端的科学研究，也仍然意味着大量的、重复的和艰苦的普通劳动。这就是我参加工作的第一年中得到的最深刻体会。不过，最可贵的还是在于这些人的脑子里没有名利要求，终日努力工作的目的只有一个，就是完成国家托付给我们的任务，让第一颗原子弹顺利炸响，让中国人在世界上能真正挺起腰杆。

根据上级指示，在1964年国庆节以前我们就进入了“一级战备”状态，那气氛和奥运会的前夕有点相似。不同的是，对这个消息当然要绝对保密，而且直到最后一刻，上面也没有提前告知我们准确的起爆时间。

那时的心情，与其说是很兴奋，还不如说是很紧张。实验室里早就做好了一切准备，为防止样品的放射性过强，新购置

了极厚的高含铅防护玻璃，配好了足够用的各种试剂和标准溶液，灰化用磁坩锅、熔融样品用的铂坩锅和溶解样品用的铂蒸发皿、样品电沉积用的铂片早就洗得干干净净，写好了编号，组里发了专用的新记录本。一句话，凡是想到的事情，都做到了最好。到最后，实在想不出来还有什么该做，大家就在办公室聊天。记得国庆节后第一天上班的时候小组学习，易楚芬就说，要是真的那位按起爆电钮的同志使劲按了半天，外面就是不响，他会是什么心情呢？这个问题很有代表性，那会儿我们这个小组最担心的问题，就是万一我们准备的分析流程不适用于真实样品，做出来的数据不能用，那该怎么办？

对于活化和裂变产物分析，成功的把握是比较大的。前者的分析精度，可以通过调整样品在反应堆中的照射时间控制；而由于所分析的裂变产物都是产额高、半衰期短的核素，分析下限极低，原子弹中铀装料的裂变效率也必定可以满足样品中裂变产物分析的丰度要求。对我们铀分析组可就不一样了，万一滤布样品上载带的总铀量不足1微克的话，该流程的化学回收率可能明显降低。而且，即便流程的化学回收率还可以用， $\alpha$ -能谱测定结果的精确度也会大大降低。铀量测不准，就等于计算能耗的分母不准，你把分子测得再准也没有意义。

10月16日下午，杨裕生副主任告诉大家，基地传来喜讯，第一颗原子弹爆炸成功了！因为媒体还没有公布，我们在听到消息以后虽然十分高兴，却只能在办公室里窃窃私语。忘了是谁提议：“我们学着苏联电影《列宁在十月》里面的办法，偷偷喊几声‘乌拉’吧。”大家果然一起小

声喊了三次。

起爆时间是在下午3点，记得取样飞机是在起爆后45分钟左右进入烟云，虽然在降落以后立即着手将样品运往北京，但到达时已经是次日深夜。分析工作是在样品到达实验室以后于凌晨开始的，因为时间的推延就意味着样品放射性的减弱。

终于看到了真实样品，由于过滤材料在取样时也截留了大量飘尘，过滤表面呈棕色。与模拟样品相比，杂质含量要大很多。对其放射性强度作初步检测的结果说明，滤布样品上载带的烟云组分的浓度明显大于模拟浓度，这就意味着每个样品所需的滤布面积将会小于预计数值。两个因素的影响互相抵消，最终可以认为，实际样品的分析条件基本与模拟样品相同。由于在制订分离流程的时候，已经充分考虑存在大量杂质的可能，即使样品成分更复杂一些，也仍不会对分析结果产生什么影响。到了这个时候，已经可以说对得到满意结果我们有了充分的信心。

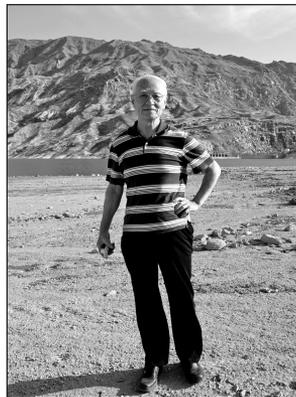
不过最终还是出现了一些意外情况。平时做的模拟样品是只有 $\alpha$ 放射性的弱样品，可以在外面操作；而真实样品的放射性极强，必须全程在手套箱中操作。我在将灰化好的样品转移到手套箱里以后，坩埚盖竟然被吹翻，部分样品灰分落到托盘上。要回收散落的那些灰分，必须停止通风打开手套箱，放入适用工具。就是在这开箱的一两秒钟，会有少量高放射性气溶胶进入实验室。幸亏，由于我做的是样品前处理，别人还没有进实验室！我只好停止了工作，花了大概两小时对实验室进行放射性监测和去污。

那些样品的放射性真的太强了，就这么一点点气溶胶，几乎污染了整个实验室

的大部分墙壁和设备。所幸都是表面吸附污染，大约两小时以后，室内放射性基本上达到了背景值。我脱下手套，将高性能口罩内层揭下来到仪器上测了测，那块口罩内层的放射性强度竟然达到4000计数/分！谁知道在这两小时里自己吸进去了多少放射物质？不过那会儿对这个数据虽然惊讶，可既然实验室已经去污，不会妨碍任务，也就不去多想这些了。

后面的操作就比较顺利了，一切正常。全组人员连续作战，至少60小时没有合眼，及时完成了6个样品的分析工作。有些遗憾的是，所有样品的测试最终结果如何，即使对我们这些分析人员，也仍然是保密的。由于样品测量的时间并没有延长，估计滤布上的铀含量至少与模拟样品相当。至于最后一批样品数据的平行性好还是坏，我们自然也不得而知。不过从领导的情绪看，结果还算满意吧。

在参加了第一次核试验工作以后，我又陆续参加了多次核弹的地面、上空和地下核爆炸的放射化学分析工作。到了1967年，我国第一次氢弹试验成功进行，由于位于红山的放射性分析实验室已经建成，我们的分析工作也从原子能研究所迁回了新疆。



重访新疆马兰基地  
二〇一四年袁光钰学长

## □ 纪念我国第一颗原子弹爆炸60周年

在1969年，为了让核基地的研究人员体验核基地工兵的艰苦工作条件，21所约一半的研究人员参加了我国第一次平洞核试验爆炸甬道的修建工作。我的工作是为甬道中的石块运输装车，因为劳动量太大，将全队分为两个班，每一个半小时轮换一次，每天工作12小时。因为戈壁水源仅够饮用，汗湿的军服一周仅能洗一次。这个阶段的生活十分艰苦，但确实大大提高了自己对于艰苦生活的耐力。在1970年，我由部队退伍来到工厂做了工人。由于经过前期在部队艰苦生活的体验，对于当时的8小时体力劳动，自己也已经能够习以为常了。直到现在，对于以往生活在我的脑海里印象最深刻的时段，仍然是参加第一次核试验的分析工作和地下核试验平洞工程的不平常经历。

1979年初，在“文革”过去以后，我有幸从工厂回到了清华大学的工程化学系从事核工业环境工程教学和科研工作。1984年该教研室转入清华环境工程系，我的专业也逐渐从核废物治理扩大到核环境治理、危险废物治理与全面的固体废物治理。在2014年，我荣幸地收到新疆核试验基地的邀请，回到基地与那里的同行进行了一次交流，并有机会回到位于红山的核试验基地研究所旧址故地重游。

时代进步已经使得原来的研究所远远不能满足需要，早已迁到了西安的新址，其规模水平也已经远远超出了以往。这次马兰核基地重游，让我十分感动。

从2000年退休，又已匆匆度过了24年，但我仍然经常会回忆起上述这些难忘的岁月和往事。

### 核爆时刻

○孙亚今（1963届工物）

1963年7月，我自清华大学毕业，不久即奉命与部分战友一起奔赴新疆罗布泊地区，参加了我国第一颗原子弹爆炸试验。从出发到凯旋回京，历时约半年，历经现代年轻人难以想象的路途之艰辛、环境之恶劣、生活之困难、工作之重负和成功之喜悦。在21基地研究所，我工作近20年，参加了我国第一颗原子弹爆炸试验、氢弹原理试验、第二次地下平洞试验和突防扳机试验等重大试验任务。多次担任核爆炸链式反应动力学项目现场测试站站长，并任项目组

大组长。该项目曾获全国科学大会奖和国家科学技术进步二等奖，我是主要完成人之一。

今年10月16日，是我国第一颗原子弹爆炸试验成功60周年，特写长诗一首，以示纪念。以下为节选：

白云岗前车辚辚，人山人海闹喧腾。  
高音喇叭送欢歌，五星红旗和风迎。  
时报零前三十分，全场哑然一片静。  
主控大厅发指令，声声熟耳牵连心。  
倒数五四三二一，启动按钮重万钧。  
轰隆巨响火光闪，平地升起蘑菇云。  
烟柱滚滚似蛟龙，直冲九霄入天庭。  
千辛万苦化春雷，含泪拥抱喜气盈。  
首都号外满城飞，举国锣鼓通宵庆。  
消息传遍五大洲，有人振奋有人惊。  
昔日睡狮今日吼，威震四海保和平。