

# 库存问题和部署后的核试验

包明友;黎源;蜀青

自1958—1961年暂停核试验后，恢复核试验以来的26年时间里，对美国核武器型号进行部署后的核试验，一直被用作确保库存核武器性能连续可靠性的重要手段。一些主要的武器系统，例如北极星和海神导弹弹头都作过这种试验。如果核试验计划中断，大部分问题就有可能被发现。具体来说，只要当初有一项禁试条约冻结库存武器，那么许多武器的设计若交付使用肯定会出现严重缺陷。就发现的问题来看，有些就是暂停核试验带来的后果。早期的问题已经得到解决，并且从中也吸取许多经验；但又出现了另外一些问题，有些还是最近才发现的。美国库存核武器所有新的核武器设计有1/3都接受过部署后核试验，以解决其中出现的一些严重问题，在所有这些问题中，占总数3/4的问题是因为不断进行核试验才被发现的。

尽管在部署的核武器中仅有1/3需要核试验来发现、评估和确定问题，但必须进行核试验才能保持美国全部武器系统的可靠性。各种武器系统都出现过一些问题，而这些问题的判定要由那些在核武器设计和试验方面有着丰富经验的专家们完成。

美国现在的库存武器可靠性非常高，但武器设计研究所提供的武器鉴定书决不是无条件的。在鉴定书上规定的某些条件是很清楚的：比如说，有限寿命部件必须按规定要求更换；武器在从库存场到目标过程中遇到防御威胁或有害环境条件必须在军事特征所规定的限值内。总的来说，这些条件都规定很清楚，但也有一些条件是不太清楚的，但它们同样重要，例如，库存问题的判断、评估和解决必须有适当的程序。究竟什么叫适当程序，只有那些直接负责武器鉴定书的少数几位专家才能确定。以往的经验表明，不经过核试验，上述条件难以满足；以往经验还证明，只有允许进行试验，美国核武器才能保持长期的可靠性。

## 历史背景

在1958—1961年暂停核试验之前，美国库存武器很少出现问题。这其中有几个原因。首先，到1958年，有11种武器型号在平均寿命还不到4·5年就被淘汰；在这样短的时间里，不可能出现或发现任何问题。余下的14种武器型号出在八、九年时间内被淘汰。第二，有4种武器设计相对简单，寿命也大大延长。美国的技术发展非常快，这都是为了适应来自苏联方面的不断变化的威胁，因此，相对来说，早期武器设计要简单一些。第三，美国武器系统更换快。这些因素加上不太严格的安全性要求（按今天的标准衡量），库存武器不大可能出现问题。

第一个现代化武器设计是热核武器MK14。这种武器在1954年部署不久便退役。从1955年开始，着手研制一种尺寸较小效率较高的“助爆”裂变装置，用作单级武器或热核武器的初级（裂变扳机）。

在50年代后期，美国未来战略运载系统的尺寸开始按照可能达到的当量重量比来确定。如果要得到高的当量重量比，必须采用新的助爆和热核技术。同时，人们对安全性更加关注，这就为武器设计增加了难度。

当美国于1958年执行暂停试验协议时，第一批以新的助爆初级为基础的热核武器（用于“天狮星”导弹和B28炸弹的MK27核装置）已准备开始部署，这是1956年完成核试验的成果。在1958年库存的武器中还没有发现任何问题。但不久新的热核武器之一B28炸弹的安全问题就开始引起人们的关注。尽管当时对助爆初级所做的试验中有1/3是“一点”安全试验，但通过最新的数据分析，这些试验都不是最坏情况的试验，这样仍可能留下重大的安全问题（在“一点”安全设计中，高能炸药只在一点上的事故性爆炸不会导致任保有意义的核当量）。因此，迅速放慢了B28的生产和交付。武器科学家根据早期试验得到的数据，将B28的生产改用一种不同的但更安全的设计。如不进行改进，这种武器在部署后作战使用方面将受到极大限制。当然，如果没有早期核试验的数据。这种改进也是不可能的。

美国在1961年恢复试验后，形势发生迅速变化。在1958年总共有18种库存武器，只有一种退役。在暂停试验期间又有7种新型号进入库存。根据库存监测，特别是1961年下半年恢复核试验的结果，人们发现1961库存中的24种武器型号有4种就存在问题，这些问题只能依靠进一步的核试验才能解决。

1961年以后，库存武器中新型号的数目增加很快。截至1964年部署的10种新武器型号中有一半出现了问题，这些问题只有通过进一步核试验才能解决。有些武器要求重新设计，而另外一些只要求重新鉴定，这些工作只能通过进一步核试验和采取适当的库存管理办法才能完成。

到1970年，库存的27种武器型号（23种是1964年库存，4种新设计）中有10种是依赖或今后要依赖部署后的核试验才能保证其继续使用的。如今，许多早期出现的问题已得到纠正。但是，象早期型号的库存情况一样，在1970年两种最新型号中，就有一种需要进行进一步的核试验。同时，人们开始清楚地看到，库存寿命在日益延长。

现在美国武库中的武器型号共有28种，其中17种是1970年前库存的，11种是新型号。在11种新型号中有3种（W79、W80、W84）需要进行进一步核试验；另外一种（B61）虽然可靠性没有问题，但为达到目前的安全、保安和经济要求也要进行大改进或重新设计。

以上历史表明，核试验在维护美国核武器可靠性方面有着至关重要的作用。要做到这一点，从目前的试验经验看，武器科学家的知识和判断是不可缺少的。

要了解所走过的道路，回顾一下1963年肯尼迪总统对全国的讲话是有益的。他的讲话提到了美国针对部分禁试条约采取的保障措施，其中最重要的两点：（A）保持现有的现代化核研究所设施和核技术理论与探索计划，以确保核技术取得不断进展；（B）积极执行、全面、连续不断的地下核试验计划来扩大未来我国军事态势各个领域的知识和改进我们的武器，肯尼迪总统还宣称：“我们希望在将来的新时候，由于其他国家的政策发生变化，从而使签定一项更全面的禁试条约成为可能，但在此之前，我们将继续实施我们的核试验计划。”

### 库存可靠性

库存武器的可靠性主要依赖于以下几个方面：连续的库存监测计划，非核部件质量保证和可靠性试验以及核武器研制过程中对弹头部件及相应核装置进行核试验。连续不断的核试验计划主要用于验证库存武器设计方案，偶而也用于探索研究，锻炼那些新的设计人员，为他们取得经验提供条件，因为终究要求他们承担库存可靠性问题的评估。为确保武器符合要求的性能，对已经发现的库存问题有时也要通过核试验来解决。如果不能进行核试验，库存问题必将引起武器当量和可靠性大幅度下降，作战适用范围受到极大限制，而且越更换型号出现问题越多。

要确定库存问题解决办法是否恰当或这些问题是否会对武器性能产生消极影响，都需要核试验。核试验之所以必要，还因为武器中的物理现象非常复杂，用模型不可能完全模拟，仅用计算和非核试验也不可能进行充分评估。此外，核试验对检查武器设计人员的判断与否正确以及计算和模拟是否“真实”都是必要的。

武器的设计计算就是对某些材料在核爆炸这样的极端条件下的行为所做的多种假设，这些假设常常以有限的实验数据和理论预测为基础，如果不能充分验证，对这些假设的判断是困难的。因此，设计计算必须和实际试验结果作比较，正如在其他一些特别复杂的技术领域所遇到的情况一样，假设有时是不正确的，不完全的或不充分的。

“彻底试验”这个问题最近引起了人们的广泛注意。有人认为大部分库存问题都是由于部署那些没有经过“彻底试验”的武器而带来的后果；同时也有一些人认为，有些新武器都是经过“彻底试验”过的。这些想法都错误的，因为在财政限制条件下，要对武器在各种可预见的从库存场到目标的环境条件，进行试验是不可能的。这些环境条件中还包括有害的贮存或发射环境、设想的防御威胁水平以及多变的的目标条件。另外，在武器进入库存时，不可能知道也不可能预见将来所有的安全和保安要求。安全标准（即有关一点安全、高能炸药爆炸引起钚散落的安全以及内在辐射安全水平等标准）是不断变化的。一旦苏联得新的能力，对此预想的防御水平以及从库存场到目标过程的环境参数也相应变化；因此，“彻底试验”实际上是不可能的。以核试验为依据的武器设计者的判断是至关重要的：①确定什么样的试验在武器鉴定时最重要；②评估后来产生的问题或修改的武器要求。

重要的一点是根本就没有什么“彻底试验”的武器。在一种武器的研制过程中，尽可能地在各种条件下进行试验，尽力确定其可靠运行边界条件。尽量使影响可靠性的因素和影响费用的因素谨慎地保持平衡。

### 用部署后的核试验解决库存问题

简要地介绍用部部署后的核试验发现并解决库存问题。

## 1. 劳伦斯·利弗莫尔国家研究所（LLNL）的设计

1958年以后入库的由LLNL研制的16种武器型号中，有几种后来发现有问题的。其中有6种（Wxx、W84、W79、W68、W47、W45）是通过核试验来解决这些问题的。在这6种型号中，有3种型号（W84、W47、W45）的某些问题是通过核试验发现的，并必须通过进一步核试验决这些问题。现在所有这些问题都已得到纠正。

所有进入库存的这些武器型号，在入库之前都经过广泛的试验。但由LLNL设计的武器中仍有1/3在库存期间出了问题。

Wxx，是LLNL最近研制的一种武器，出现的问题因保密不能公开地详加讨论。这个问题涉及核装置在一定条件下的“一点”安全。要解决这个问题需要进行核试验。

W84，是地射巡航导弹的弹头。这种弹头在研制过程中，强调了安全、保安和灵活性等一整套严格要求。库存硬件与研制试验中所用的硬件比较，作过一些小修改，但这是复杂系统常有的事。一个W84弹头部署一个后对其置信度试验（confidence test）时，发现其当量低于预定值。人们担心的是，这种当量降低表明武器系统的运行存在问题。要查明造成这种当量降低的原因、明确问题大小以及确定解决问题的办法还得进行另外一次核试验。这种库存置信度试验和现在对入库的所有武器系统所做的生产型号验证试验一样，也是一种标准试验，它具有双重目的：一方面验证在武器生产过程中有没有不利因素影响武器；另一方面用来检查某些库存方式和操作对武器的影响。

W79，是8英寸炮弹的核弹头。在生产一个为满足武器作战要求所必需的部件中出了问题。这个部件涉及复杂的设计，在规定的研制时间表内不可能取得满意的设计。所以W79部署时只好采用了一种较简单的设计，改变其作战能力。最后，在这种武器部署后，为满足其作战要求，想出了一种不同的方法，这样要对原设计作改进，这就是说，这个武器装置的物理性能不得不加以改变。因此需要进行一次核试验来验证设计的变动。W79的问题和本报告所介绍的其他问题不同之处是，W79在库存时就已知道它的作战能力与原要求不符。无法用工程手段来解决这个问题，只能另用物理方法改变设计使W79满足全部作战要求，但为验证这种解决办法仍需进行核试验。

W68，是海神潜射弹道导弹的弹头。在进行库存例行检测时，发现W68高能炸药分解，分解产物引起雷管变质。因此，断定库存的W68迟早不能正常使用。如果采用同一种高能炸药（同样会分解）重复地生产W68弹头予以更换，既花费大量金钱又对美国海军的作战能力带来巨大的影响。因此，决定采用一种经济的、技术上切合实际的措施，即采用化学性质更为稳定的高能炸药来重新制造第一枚弹头。

尽管在初始研制阶段对采用更稳定高能炸药的W68弹头型号作过试验，但认为还需要进行一次核试验来验证新设计。因此，在模拟的从库存场到目标过程的极端条件下作了产品的验证试验。令人吃惊的是，既使用新的高能炸药，最后的当量仍然比根据早期试验预想的当量要低。当然，这其中原因除了高能炸药改变之外，弹头的其他部件也有许多改变，比如说，由于生产原材料的厂商停业，弹头的某些材料不得不更改。

至今也无法解释当量下降的原因，虽然有人认为新高能炸药和以前试验过的炸药一样，但其配方可能有细微的变化。不清楚这种当量下降是新高炸药引起的，还是其他变动引起的，或者两者都有关系，如果用原来化学性质不稳定的新生产的高能炸药来重建弹头，可能也会引起当量下降。

尽管W68下降后的当量被认为是可以接受的，但必须重视某些维护措施，使弹头能被在从库存场到目标过程的极端作战条件下，发挥预定作用。海军方面提出，采取维护措施的时间能否放宽一些，因为它们的工作量和有关费用很大，而强调及时采取这些措施对W68具有重要意义。

有人认为，重建的W68弹头生产验证试验是不必要的。以上的结果表明，这种试验是必要的，一方面为了验证重建的产品是否合格，另一方面可通过试验就所需的维护措施和作战使用限制，给海军提供准确的建议。显然，重建的W68弹头相差很大。

重要的一点是，认识到高能炸药的分解及其对雷管变质的影响已引起人们的极大关注。因此，有必

要对重新生产的弹头进行一次试验，以恢复设计人员以及决策者的信心。海神导弹的弹头对国家的安全非常重要，不能使决策者对其可靠性有任何怀疑。

W 4 7，是北极星潜射弹道导弹弹头。这种弹头出现了一些问题必须用部署后的核试验来解决它们。其中有问题还是在一次核试验中才发现的。

首先，在库存维护中发现弹头中的裂变材为被腐蚀。通过一个弹头模拟试验，确定了这种腐蚀的允许限度，所有超出这个限度的弹头都要从库存请出。

在一次核效应试验中发现，W 4 7初级的核材料在反弹道导弹环境中易受损。因此，对这种设计作了改进，纠正了这种缺陷，需要通过一次核试验来确保改进设计性能正常。

另一个问题出在安全装置上；要解决这个问题就要研制和试验一种新的初级。在暂停试验之前，还不能做到使W 4 7具有“一点”安全，后来暂停试验又妨碍研制“一点”安全设计。因此，只能在W 4 7上用一种机械安全装置，使其具有必要的“一点”安全。使用这种装置在当时并不是什么新奇的想法，在别的系统使用这种装置都很成功，直到现在有些系统还使用这装置。但是，W 4 7中的化学腐蚀引起了安全机构严重的可靠性问题，并且这个问题还不能用变通的工程方法解决。在抽查的样弹中，有很大一部分其安全机构不能充分完成它的解保过程，这说明相当一部分W 4 7弹头将成为“哑弹”，并且“哑弹”的数目将随老化而增加。这个问题最后还是用具有“一点”安全的初级代替原有初级才得到解决的，因此需要通过核试验来验证这种新设计。

W 4 5，是海军小猎犬导弹、现已被淘汰的中型原子爆破弹药和陆军小约翰导弹的弹头。这种弹头有一部分是在1958—1961年暂停试验期间研制的，并在1962年进入库存。W 4 5的两个可靠性问题需要进行部署后的核试验来解决。

第一个问题与弹头部件放射性老化有关。当W 4 5进入库存时，武器科学家们认为，这些弹头已经过多次试验，其作战能力在老化条件下不会有多大影响。在暂停试验结束后，武器在老化条件下进行试验时，释放出来的当量只有原来预想的一半。由于这种料想不到的结果，很有必要通过核试验验证库存中的所有W 4 5型号。需要进行5次试验来确定当量以及武器在维护过程中的变化。虽然计算或测量放射性衰变速度比较简单，但问题是，要估计放射性衰变对核武器复杂的运行的影响，则困难得多了。

第二个问题是，炸药部件老化后发生永久性变形，也需要进行一次核试验，来验证采用改进的化学炸药的新设计。

## 2. 洛斯·阿拉莫斯国家研究所（LANL）的设计。

自1958年以来部署的25种LANL研制的武器型号中，三分之一需要进行部署后核试验。W 8 0弹头在准备部署时发现初级设计可能有缺陷。B 6 1新型号虽已投入生产但尚未部署，当时因提出新的核安全要求而中断生产，需要通过进一步核试验来研制更安全的用于替换的初级。虽外7种型号（B 2 8 / W 4 9、B 4 3、W 4 4、W 5 0、W 5 2和W 5 9）都出现一个或多个问题，对这些问题的深入认识和解决都需要进一步的核试验。

W 8 0，空射巡航导弹弹头。在这种武器准备部署之际，做了一次W 8 0从库存场到目标过程所遇到的温度范围的低温极限试验。这次试验结果令人大吃一惊。初级的当量只有预计当量的一小部分，不足以引爆次级系统。这种武器曾作过广泛的非核流体动力学试验，即使在低温极限试验时也没有出现麻烦的迹象。因此，在非核试验和先前的成功核试验基础上，武器的设计人员有充分理由认为，在低温试验中武器能够释放出预定当量。经过对试验后结果的广泛分析，专家们对武器设计作了改进，并重新做了一次低温核试验。这次对改进设计的试验非常成功，这样人们对弹头在上术温度范围内正常运行才有了信心。此后，生产规格也作了相应的修改，这种弹头得到批准后才进入库存。由于人们对这次低温试验所引起的有关弹头在极端温度下运行情况非常关注，稍后，又在高温极限条件下做了一次核试验。

B 6 1，1968年入库的战略核炸弹。1971年，要求对原设计作改进，更重要的是原设计中的安全和保安性能已不能满足当时的要求。因此，专家们研制出一系列B 6 1新设计，新设计改进了安全和保安性能，并采用钝感高能炸药。但除钝感高能炸药外，采用的所有最新技术都没有经过核试验。80年代初，一次核试验表明，B 6 1也有同W 8 0相类似的低温敏感性问题，只不过没有W 8 0那样严重。因此，它的设计还得作进一步改进。

在审议 B 6 1 发展过程时，重要的一点是，从未认为 B 6 1 原设计不可靠，只是不能满足现代化运行要求。B 6 1 的最新型号采用了钝感高能炸药，密码锁以及其他控制使用的装量。

W 5 2，是现已被淘汰的“中士”地对地导弹的弹头。1959年，在弹头准备生产时，在 LANL 发生了两起爆炸事件，死亡6人。这两起爆炸的直接原因是，用在 W 5 2 裂变板机中的高能炸药对事故特别敏感。LANL 研究所只得更换 W 5 2 所用的高能炸药，用一种感度和能量均稍低的炸药替换。这项决定是在暂停试验期间作出的，因此不能用核试验验证新设计，只能依靠非核流体动力学试验和计算机计算进行 W 5 2 重新设计。由于 LANL 科学家对新设计信心很足，所以在 1961 年暂停试验结束后没有立即对 W 5 2 进行试验；W 5 2 于 1962 年 4 月进入库存。当 LANL 最后试验该装置时，它的当量只有预计当量的几分之一。由于当量太低，在交付时军方不接受。LANL 科学家很快对 W 5 2 进行重新设计，在试验失败后 3 个月时间内，成功地做了一次新设计核试验后才进入库存的。

W 5 2 的情况表明，非核试验和计算机计算在评估弹头设计改进方面所起的作用非常有限，尽管 W 5 2 的问题出现在 60 年代初期，而现在的计算机模拟和非核试验能力有了很大提高，但有经验的设计人员还是不会在没有经过核试验的情况下更换武器里的高能炸药。即使以现在的能力，更换中出错的危险性也太大。

B 4 3，是一种战术和战略热核炸弹，在部署后出现过若干问题。1961年，LANL 科学家们认为，B 4 3 的初级并不是在所有条件下都保持“一点”安全的，需要一系列试验才能研制出一种充分安全的型号。

第二个问题是，在 B 4 3 的一次试验中发现它有类似于 W 4 5 弹头的那种放射性老化问题。为了弄清是否可以延长库存 B 4 3 的寿命，对一枚老化的 B 4 3 炸弹进行了试验，结果其当量只有预料的一半。经过进一步核试验和理论上的研究，LANL 有能力为老化的 B 4 3 制定维修措施。

这种当量降低对大家震动很大，部分原因是这种结果并不只是出现在 B 4 3 上，几乎所有相类似的库存武器都有这种情况。

B 2 8 / W 4 9，B 2 8 是战略和战术热核炸弹。W 4 9 是雷神和丘辟特中程弹道导弹以及宙斯盾 D 型洲际弹道导弹的弹头。B 2 8 的问题和 B 4 3 的相似，也是弹头的老化问题。需要作一次老化的 B 2 8 / W 4 9 弹头核试验来检验现行的武器维护措施是否适用。通过计算机模拟和进一步核试验，对这种弹头的行为得到进一步认识，用于 B 2 8 的维护措施也作了进一步的改进。

W 4 4，是反潜导弹（阿斯洛克）的弹头。W 4 4 的问题和 B 4 3 一样也是有关“一点”安全和放射性老化两个方面。采用了与上述相同的解决办法。

W 5 0，是潘兴 I 以及被淘汰的奈基 II 型防空导弹的弹头。W 5 0 也有一点安全问题并且它的放射性老化问题也引起了人们的关注。采用了和 B 4 3 相同的解决办法。

B 5 7，是一种战术和战略炸弹。B 5 7 和 B 4 3 一样也有放射性老化问题，同时又发现它有“一点”安全问题。最后，B 5 7 的初级采用了具有“一点”安全的设计并对它进行了核试验。至于放射性老化问题，采用了和 B 4 3 相同的解决办法。

W 5 9，是民兵 I 型导弹的弹头。W 5 9 也有“一点”安全问题和放射性老化问题。采用了和 B 4 3 相同的解决办法。

## 综合评论

LANL 的 B 2 8 / W 4 9、B 4 3、W 4 4、W 5 0、W 5 7 和 W 5 9 以及 LLNL 的 W 4 5 弹头都有同样的问题——弹头对放射性老化料想不到的敏感。自 60 年代以来，我们已积累了大量经验，并相信象这样一种普遍性的问题，现在比过去少得多。这个具体问题目前已得到解决。因为可用其他武器系统来填补其空缺。但现代化武器设计仍有很多相同点，例如高能炸药、雷管、安全特性等，一旦出现一个普遍性问题。仍能影响库存中大部分武器。所以必须防患于未然。核试验在发现和解决这些问题的过程中起着至关重要的作用。

## 易损性问题

美国战略核武器系统以及非核设施（如预警传感器和通讯设备等）受核爆效应易损性，是一个极其重要的问题。国防核武器局用地下核试验来检测美国武器系统的易损性。如果用计算机和模型来预测受核爆效应的易损性，则不定因素太多。这是因为要准确地模拟复杂的真实核武器系统和用状态方程计算核材料的反应是非常困难的。利用各种加速器和核反应堆进行试验，中子通量和沉积时间与真实核爆炸相比相差甚远。这样，便无法来判断武器所受的综合影响。另外，试样品的大小也常受限制，要通过这种试验来判断整个武器系统的易损性不太可能。

除了民兵 II 型导弹外，所有其余美国战略核武器系统都在地下做过易损性试验，其结果都令人吃惊。保证非核武器系统，如空基指挥、控制和通讯设施等的生存能力，做这样地下核效应试验是非常重要的；效应试验对确保空基 S D I 设施的生存能力也将是必需的。