

培训核监管人员

它不是用于核弹的那种浓缩铀。

但粉末和芯块是置于国际原子能机构保障下的核燃料工艺的关键部件。视察员在瑞典进行前前后后的学习。



1

世界上大部分核电厂所用的燃料都是在“燃料生产”设施用浓缩铀制成的。

每年，国际原子能机构的视察员小组都核实民用核计划的和平性质——他们的工作覆盖置于国际保障下的22个国家中的约41个燃料生产厂。



2

天然铀包含三种不同的同位素，即铀-238、铀-235和铀-234。在核工业中，同位素被分离以提高一种同位素相对于另一种同位素的浓度，目的是达到能够维持核链式反应的较高的（或浓缩的）铀-235丰度。

光是用于核燃料的低浓铀无法被用来制造核炸弹。但这种材料可被转用并成为研制核炸弹的供料——这也正是国际原子能机构实施保障的主要原因。



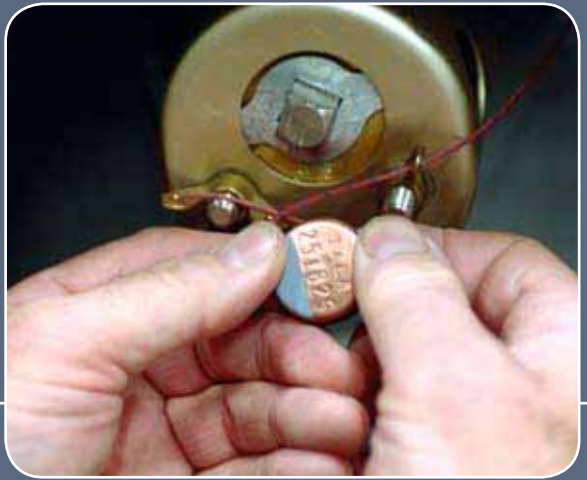
3 视察员曾在这座设施测试他们的新技术。在未经过培训的人员看来，工厂的地面上是一条条的电线和管道，给人一种有序的杂乱印象。视察员必须了解各种各样的工厂配置，这样他们才能察觉转用敏感材料的迹象。



4 视察员正在控制室内观看屏幕上显示的工厂运行流程图。计算机程序监控关键的运行，包括管道内温度、传导性测量、批料重量、沉淀水平、Ph值平衡和化学流量等。闭路电视照相机按规格放大图片，为操作人员提供来自控制室的关键指标。



5 视察员除检查圆桶外还要检查桶里面的东西。他们利用先进的工具——例如锗探测器和碘化钠（如图所示）来探测浓缩水平。大部分浓缩材料都释放 γ 射线。核工业的这些工具能帮助视察员核实设施记录的准确性。



6 一旦圆桶内的物质被核实，视察员便贴上一个国际原子能机构的金属封记——通常用来防止篡改。这些封记可以提供任何未经授权试图获取保障材料的重要证据。



7

视察员的另一项工作是核实铀转化过程中的浓缩水平。图为视察员正在观察工厂操作员小心地提取UF₆样品以进行同位素成分分析。



8

UF₆取样过程最终产生浓缩的二氧化铀，即“黄饼”。样品被置于炉内烘烤3小时以模拟铀转化工艺。然后，样品被送往国际原子能机构设在奥地利塞伯斯多夫的保障分析实验室进行浓缩水平分析。



9

设施操作员正在小心地从倾斜的储料器中取样。粉末状的样品被倒进2个小玻璃瓶（小图）。



10

金属盒内盛装一盘盘制成的燃料芯块。每个芯块都略大于铅笔橡皮，含有将被用在核电厂的浓缩二氧化铀。



11

视察员利用与掌上电脑相连的微型多通道分析仪核实芯块的浓缩水平。



12

上到源处有时是接近组件进行关键性测量的唯一途径。此图为起重机将一位视察员升到空中以测量活性长度。

13

一旦经过全面培训，视察员小组一年将有100多天在全球各个场址活动，以确保和平的核材料和活动仍被用于和平目的。

照片摄于2005年11月在西屋原子AB公司瑞典韦斯特罗斯的一个燃料生产厂内进行的一次保障培训演练期间。瑞典核电检查局和国际原子能机构保障培训科间的合作使场址访问成为可能。

照片：Dean Calma；文字：Linda Lodding

领先一步

国际原子能机构保障视察员如何适应情况

John Bohannon

Paulus Nangonya经常回忆起他的事业最终让他感到骄傲的那一刻。那是2005年12月在日本，当时一位朋友走上来说， “你赢得了，” 看着他迷惑的神情，这位朋友解释道，“诺贝尔奖！”

29岁的工程师Nangonya是国际原子能机构的一位核视察员。Nangonya和他在维也纳原子能机构工作的同事（与国际原子能机构总干事穆罕默德·埃尔巴拉迪一起）获得了2005年度诺贝尔和平奖。当Nangonya在三年前开始这项工作，他说，他不确信这份工作是否适合他。像任何一门科学研究学科一样，核视察需要综合的科学与技术知识以及怀疑性思考。此外，核视察的工作还需要足够敏锐的侦探和外交技巧，以处理敏感的政治问题。为满足这份工作的全部要求，Nangonya说，“你必须明白你怎样才能适合于大环境。现在，我明白了。”

Nangonya生活和工作的地方远离他在南非纳米比亚的家乡小城奥沙卡蒂。在1996年获得进入中国上海大学学习工程的奖学金后，他认为他正在朝工业领域迈进。在上海，他完成了应用电子学专业的本科学位，同时也练就了一口流利的中国普通话。但当他的一位导师告诉他，最后一年的研究项目——通过无线电装置遥控重型机械系统——在核熔毁期间将是非常有用的时，他的事业出现了一次意外的转折。这位教授问他，“你是否考虑过为国际原子能机构工作？”

他没有考虑过。尽管纳米比亚对于核工业而言十分重要——该国是全球第五大铀矿石生产国，明年还有可能跻身第三位——但是没有几个纳米比亚人有丰富的核专业知识。

紧张的培训

Nangonya通过参加原子能机构的保障学员培训计划于2002年加入国际原子能机构。保障学员培训计划是一门只对发展中国家公民开放的核技术基础课程。在结束了一年的培训计划后，Nangonya申请了国际原

子能机构的核视察员职位。他得到了这个职位，并且随后接受了所有新被雇用的视察员必须完成的为期三个月的课程培训。



来自纳米比亚的29岁工程师Paulus Nangonya是国际原子能机构有史以来最年轻的视察员。

Nangonya的大部分培训内容都涉及预期的课题：核燃料循环的前前后后，如何核实每一克被报告的钚和铀都在它们应在的地方，以及如何发现非法活动的迹象。他认为，培训是“紧张的。”

每年，国际原子能机构都会雇用15~30名一般为30多岁的核视察员，其中许多人的背景都远离核物理。国际原子能机构高级培训官员Perpetua Rodriguez说，很难准确预测原子能机构在某一年会关注什么，因为这取决于“业务处需要什么具体背景。”她说，一个视察小组需要各种背景的成员。视察员们的专业多种多样，从物理、工程和化学到计算机科学甚至生物学；动植物样品通常在探查未报告的核材料中发挥作用。Nangonya说，“我的长处是了解各种仪器怎样工作和发生故障。”在Nangonya申请那年，国际原子能机构正好需要他的专业。

自1987年起就开始担任视察员的Rodriguez说，除了技术方面的专业知识以外，视察员还必须学习重要的社会和心理技能，这正是核视察与理论科学最大的不同之处。Rodriguez说，当你是一位在大学实验室工作的科学家时，“你可以沉浸在自己的个人世界

中，但当团队需要在视察中做一些工作时，”例如，核实罐内是否含有一定量的UF₆，“这些工作必须现场就做。”团队合作是这项工作的最大特点之一，Nangonya说，这是一份他认真地承担着的责任。“因为你正在处理的是致命的材料，因此，每天你都是把你的生命托付在你队员的手上。你们密不可分。”

核视察员必须学会信任他们的同事，但在他们培训期间，他们必须学会不信任他人。你必须像警察一样思考，Nangonya说，怀疑每一件事，直到你自己能够证明它。“对于初来乍到者而言，这种世界观的改变是困难的，”Rodriguez说，因为科学是建立在信任的基础上的。在核视察领域中，你绝不会知道谁可能正在将核材料偷走用于制造炸弹或卖往黑市，因此怀疑每一个人 and 每一件事直到得到其他证明是非常有用的。

Nangonya毫不费劲就养成了这种思考方式。他说，“你只需比潜在的欺骗者领先一步”。使Nangonya和其他视察员能够领先核欺骗者的一件事是将他们的侦探工作与实验相结合。通常是该领域的核视察员首先发现燃料循环中的安全薄弱环节。但确认一种以前不知道的欺骗手段——和发现一种实用的探查方法——通常需要视察员定期与国际原子能机构设在奥地利塞伯斯多夫的研究实验室合作，以检验他们的想法和改善视察过程。Rodriguez说，尽管有博士学位不是一个必要条件，但它确实可以是一种优势。

核视察员的工作使Nangonya的业内共同爱好者们津津乐道，“一件设备，我们需要，就能得到，就是这样。我们必须处于最前沿。”从定制的便携式计算机到能探测一块灰尘中的最微弱放射性的仪器，核视察员的工具箱一定会让詹姆斯·邦德都嫉妒。

但“我们一点儿都不像詹姆斯·邦德，”Nangonya说。采取谨慎的外交而非隐蔽的诡计是一贯的作法。甚至当核视察员发现坏消息时，例如最近发现伊朗可能进行秘密核计划，视察员并不是制裁者。

“当这些发现已被证实时，国际原子能机构总干事会报告理事会，由理事会决定是否应将发现结果报告给联合国安理会，”Rodriguez说，“在某种意义上，我们的工作帮助各国履行国际义务。”

保持低姿态

这份工作也会碰到一些紧张的时刻。在第一次海湾战争爆发前，在伊拉克的视察员就曾受到死亡威胁，Rodriguez说。除了你的队员，“你独自在外面，”她说——既没有安全人员一路保护你，也没有医护人员随同照顾你。“我保持着一种低姿态，”Rodriguez说，

“我从来不用标有巨大U.N.字样的汽车，并且在我遇上当地人时，我也从不讨论我的工作。”

到目前为止，Nangonya说，他还从未遇上危险，也没在工作中发现严重的辐射照射风险。他说，视察员例行在奥地利的国际原子能机构研究实验室接受监测，很少见到危险剂量。

这项工作的真正缺点是过于平凡，例如频繁的旅行。原子能机构250名视察员被分成3组，各负责全球1/3的地区。Nangonya负责东亚地区。仅日本一个国家就有50多个核场址。但对Nangonya而言，旅行根本不是什么缺点。“许多视察员一开始就知道他们正在干什么，他们喜欢旅行，就像我一样。”但其他人就有一个痛苦的适应过程，就像Nangonya的一位有了孩子的同事，她可以在原子能机构内部进行调整以便能长期呆在维也纳。因此还是有调整的空间，Nangonya说，但并不大。作为一名核视察员，“你的中间名应该是‘生活在路上’，”他说。

Nangonya的工作需要超常程度的仔细和精确，因此伴随着一些不寻常的技术程序。在这次采访期间，Nangonya的一位同事顺访他的办公室并放下一些文件。就像科幻电影中的镜头一样，Nangonya拿出一个激光器先扫描了这位视察员手腕上的条形码，然后扫描自己的。每一次敏感文件被递送时，时间和送交人与接受人的身份都被记录在一个中央计算机系统内。“这项工作就是必须这样完成的。对此我并不介意，”他说。毕竟，一次错误可能意味着一场政治灾难。

一些人有可能成为终身视察员，但通常人们会选择回到工业界或学术界，Nangonya说——尽管许多来自发展中国家的视察员认为很难在本国找到一份与他们非常具体的专业相匹配的工作。但Nangonya的情况却并非如此，“在纳米比亚，我将很容易地为我受到的核培训找到用武之地，”他说。

但他还没有准备开始寻找。除了世界观光和新式装置以外，核视察还意味着它是一个在世界中发挥积极作用的组织的一部分。Nangonya说：“核黑市有害，但没有国际原子能机构它将更有害得多。”去年诺贝尔奖被授予国际原子能机构及其总干事这一事实就是对这项工作重要性的认可。“现在，那是一份令人满意的工作，”他说。

John Bohannon是《科学》杂志的特约记者。本文初见于2006年5月5日《科学事业》杂志；经美国科学促进协会许可转载。