

模块组合式录像系统 (MIVS):

新一代图象监视设备

世界各地接受安全保障的核设施将采用新型录像系统

K. -J. Gärtner 和 E. W. Dawes

这些年来,在国际原子能机构 (IAEA) 安全保障体系的监视设备中,起主力作用的是一种 8 mm 摄影机,它一直在监视着世界各地受安全保障的核设施。*然而,机构最近正在逐步淘汰这些摄影机,改用当今到处都有的先进录像系统。实际上,全世界已没有人继续生产 8 mm 的胶卷和摄影机。机构用现代化录像系统替下大约 290 座核设施中正在老化的 8 mm 摄影机的这一工作,无论从技术、质量保证、费用效益,还是从时间安排的角度,无疑都是一项艰巨的任务。

本文描述了可取代 8 mm 胶卷摄影机的 3 种备选录像系统的开发过程,这些新系统是通过 IAEA 与日本、德意志联邦共和国和美国签订的安全保障支助计划开发的。文章回顾了各个领域取得的进展,并描述了其中的一个系统——模块组合式录像系统 (MIVS)——的性能和优点,该系统将在整个 90 年代作为安全保障的主要工具加以布署。

三种录像系统的开发情况

在安全保障支助计划名下开发的三种录像系统,其实际可得性正在成为一个日益重要的考虑因素。目前,这三种系统的可供使用状况各不相同,因为他

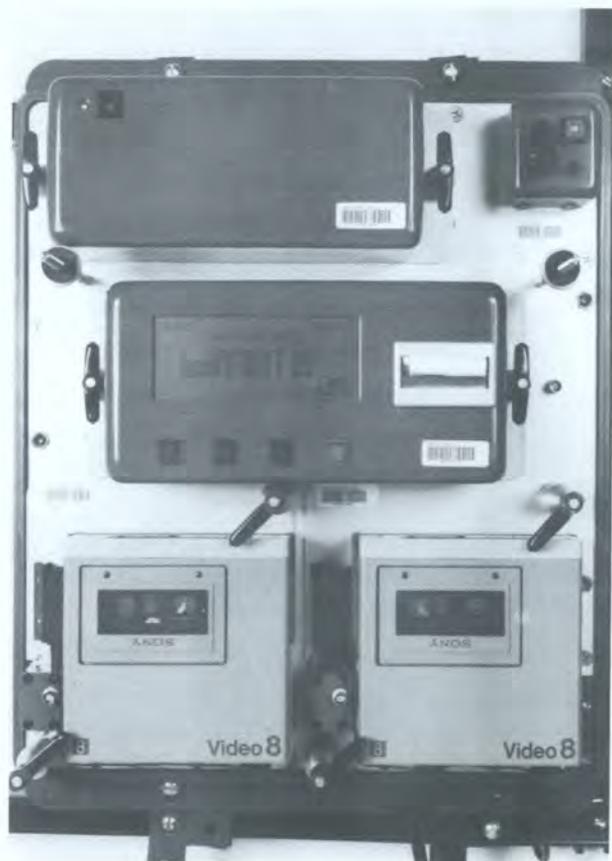
Gärtner 先生是 IAEA 安全保障司的工作人员。Dawes 先生是在 IAEA 安全保障司工作的美国专家。

* 这种摄影系统是美能达公司制造的。

们采用的基本原理各异,研究与开发的起步时间也不尽相同:

- MIVS 是按照 IAEA 与美国签订的协议于 80

此处所示为 MIVS 去掉保护壳后的情景,其特点是模块式结构,易于维修。图中自上至下依次为控制模块、显示模块和两个磁带录像机模块。



年代中期由美国着手开发的，位于新墨西哥州阿尔伯克基的圣地亚国家研究所 (SNL) 是主要设计承包商。MIVS 使用了 8 mm 录像机技术和一个创新的录像鉴别系统。经过反复的试验和改进，IAEA 最近已订购了 50 套 MIVS 产品，即将布署在世界各地的核设施上。

- 日本的项目称为 COSMOS，这是一个小型的监视和监测系统。待目前正在进行的开发性评价完成之后，可望在 1991 年拿出产品。

- 德意志联邦共和国差不多已经完成了一种系统的开发，称作防破坏电视网络 (TRTL)。这是个多摄像机系统，对每个录像频道都能作录像信号鉴别，并带有一个共用的控制台。

机构正在考虑所有这三个项目，但基于 MIVS 的性能、可靠性和已可以得到正式产品等方面的理由，目前先采用 MIVS。因此，本文以下部分只讨论 MIVS。

任务和要求

在应用 8 mm 胶卷摄影机从事安全保障监视的 18 年间，摄影机系统达到了高度可靠、经济和广受用户欢迎的程度。* 为达到这一水平，花费了多年的心血，并不断改进产品售后服务。

1976 年以来，IAEA 在小型闭路电视 (CCTV) 系统方面也取得了一些经验。** 与 8 mm 胶卷摄影机相比，CCTV 有几项优点，其中包括图象容量大、质量高、感光灵敏度高、可附有日期与时间标记，而且辐射灵敏度低。*** 此外，CCTV 无需烦琐的胶卷冲洗过程就能在现场直接查看记录到的信息。

MIVS 将在 90 年代后期成为安全保障监视的主要工具。在认识到这种新设备的重要性以后，IAEA

和 SNL 的工作人员便着手共同保证 MIVS 项目各个阶段的成功，包括设计开发、实验验证、选择制造商、以及使用先进的现场后勤服务和设备更替措施，以确保新设备保持高度的可靠性。(有关 MIVS 的大事记见附框。)

卓有成效的组织工作

鉴于替换胶卷摄影机的工作十分重要，1988 年 7 月成立了一个临时的专门工作组。这个小组曾就替换过程所需的协调工作提出了建议，实际的替换工作于 1989 年开始，将于 1994 年结束。该小组由系统开发、安全保障作业、质量保证和采购方面富有经验的人员组成。在开始阶段，它必然会面临着许多跨工种、跨部门的活动。

工作组直接负责规定和拟订建议所需的各项活动，这些建议涉及该项目的任务、人财物的需求、项目进度及责任分工。1989 年 1 月，总体的实施计划得到批准。目前，实施这一计划的各项活动正在通过正常的渠道加以落实。如有必要，工作组组长会继续对工作进展情况及具体问题进行检查和提出报告。

这一计划相当复杂，目前包括 200 多项任务，为了使这一项目的计划既周密又能灵活调整，应用了一个先进的个人计算机软件包来协助管理。* 这个软件包吸收了成熟的和成功的工程管理技术。它能有效和高效地显示出各项任务之间的相关性，即任务的轻重缓急关系，促使项目的组织者对该计划中出现的任何关键性延误及时进行调整。

MIVS 的实施方案

1986 年，机构采纳了 SNL 提出的实施方案，这一方案把 MIVS 从立项直到在现场成功使用分为 10 个具体步骤。这些具体步骤最初是 1982 年一个咨询小组提出来的，规定了成功地开发和和使用安全保障设备所需的一些活动。当把这套办法应用于 MIVS 计划时，这 10 个步骤大体上分为：鉴别需求；评价国家政府 / 设施运营者提出的要求；编制和核准系统的

* "IAEA Film Camera Surveillance Development and Practice", by D. E. Rundquist and R. E. Kerr, *ESARDA Proceedings* (1980).

** "Future Trends in Compact TV Surveillance Systems", by K.-J. Gärtner, B. Heaysman, and P. Vodrazka, *INMM Proceedings* (1985).

*** "Transition to CCTV Surveillance for Safeguards", by K.-J. Gärtner, B. Heaysman, R. E. Kerr, and D. E. Rundquist, *INMM Proceedings* (1987).

* "Replacement Programme Safeguards Surveillance Units", by K.-J. Gärtner, *INMM Proceedings* (1989).

MIVS 计划大事记 (1985—1989 年)

1985 年 10 月: IAEA 要求在美国支助计划中列入 MIVS 计划。

1986 年 2 月: SNL 提交了一份有关设计和性能的技术条件的建议书。

1986 年 6 月: 在 SNL 召开会议, 技术条件定稿。

1986 年 7 月: IAEA 负责安全保障的副总干事正式认可了这份技术条件说明书。

1986 年 12 月: IAEA 同意了由 SNL 提出的鉴定试验计划。

1987 年 2 月: 一套 MIVS 的样机在 IAEA 进行了表演。

1987 年 7 月: SNL 与承包商签订了生产 16 套装置的审查合同。这些装置将用于可靠性示范和现场考验, 开始执行独立的咨询计划, 审查 MIVS 低风险过渡方案。

1987 年 8 月: SNL 着手广泛的 VTR (磁带录像机) 试验。

1988 年 3 月: 16 套 MIVS 装置成功地通过了 168 小时的验收试验。

1988 年 4 月: 在 IAEA 开始对 10 套 MIVS 装置进行为期 5 个月的可靠性试验。

1988 年 7 月: IAEA 召开用新型录像系统替换现存胶卷摄影机的工作组会议。

1988 年 8 月: 开始制订 MIVS 计算机化的项目规划。

1988 年 9 月: MIVS 为期 5 个月的可靠性试验成功地结束。IAEA 和 SNL 联合发表了可靠性报告。

1988 年 11 月: 开始对 IAEA 视察人员进行 MIVS 培训。

1988 年 12 月: SNL / IAEA 开始为生产 MIVS 编写招标文件。SNL 着手进行 MIVS 设计改进, 并完成了两套 MIVS 装置的环境试验。第一套 MIVS 在现场边安装边调试。

1989 年 2 月: 继续进行现场调试试验和培训视察员。

1989 年 4 月: 发布了生产 MIVS 的招标通告。招标文件列有专门的质量要求。

1989 年 6 月: 规定并批准了 SNL 在美国支助计划中的后援地位。

1989 年 7 月: IAEA 开始对候选制造厂进行评价。签订了一份 MIVS 生产合同。

1989 年 8 月: 对 MIVS 作了提高生产效率方面的进一步改进。

1989 年 9 月: 承包商收到了一台原始的“产品样机”。审查承包商初步的制造和质量计划。

1989 年 11 月: 继续制订涉及备件与售后服务、现场可靠性预测、IAEA 验收试验和现场安装等方面的规划。

1989 年 12 月: 第一套产品装置在承包商所在地经 IAEA 审查并运至 IAEA。

1990 年 1 月: 第二套和第三套产品装置准备按计划进行环境试验。

1990 年 2 月: 第一套产品装置被安装在现场。

1990 年 3 月: 审查承包商最终的制造和质量计划。

根据与 IAEA 订立的合同, 美国 Aquila 技术集团公司的一个小组负责研制 MIVS。



技术条件；编制和核准性能和可靠性要求；进行验证性试验；样机的开发、试验和示范；选择商业供应商制造 16 套现场评价用的装置；进行性能和可靠性鉴定试验，包括现场评价；产品订货；以及正式启用。*

MIVS 现已成功地走过了这些阶段，第一套产品已经安装在现场。

MIVS 的低风险过渡方案 (LRTS)

如前所述，鉴于 MIVS 计划意义重大，费用又高，因而要使机构确信在 MIVS 的过渡阶段能够做到低风险（前面所述的 10 个步骤可以看作是过渡阶段）。

1987 年 4 月，一咨询公司获得了美国安全保障支助计划下的一个合同，负责与 IAEA 工作人员

一道草拟这份 LRTS。* 方案制订工作需要深入评价与过渡阶段中每一步相关的风险，而且要求采用在当时说来是最好的实践（如果没有就应创立新的实践和新的做法），直到算出的风险小到不能再小为止。

由于使用了这种规划方法，结果找出了 MIVS 计划中的 73 种潜在风险，其中的许多风险只要应用已有的最好实践就能完全克服，因而可以不算。其余的则要求专门为 MIVS 开发新的和更好的实践。目前，除了编写技术文件和核对 LRTS 方面还有一些工作要做外，其余的工作已基本完成，因而可以认为 MIVS 项目的这个过渡阶段已经完成。

业已证明，使用 LRTS 这种规划方法带来的好处是无法估价的，特别是当它被用于生产和实用阶段时更是如此。因此机构打算有选择地把 LRTS 方法应用于未来的设备开发和实用中。

MIVS 的生产承包商

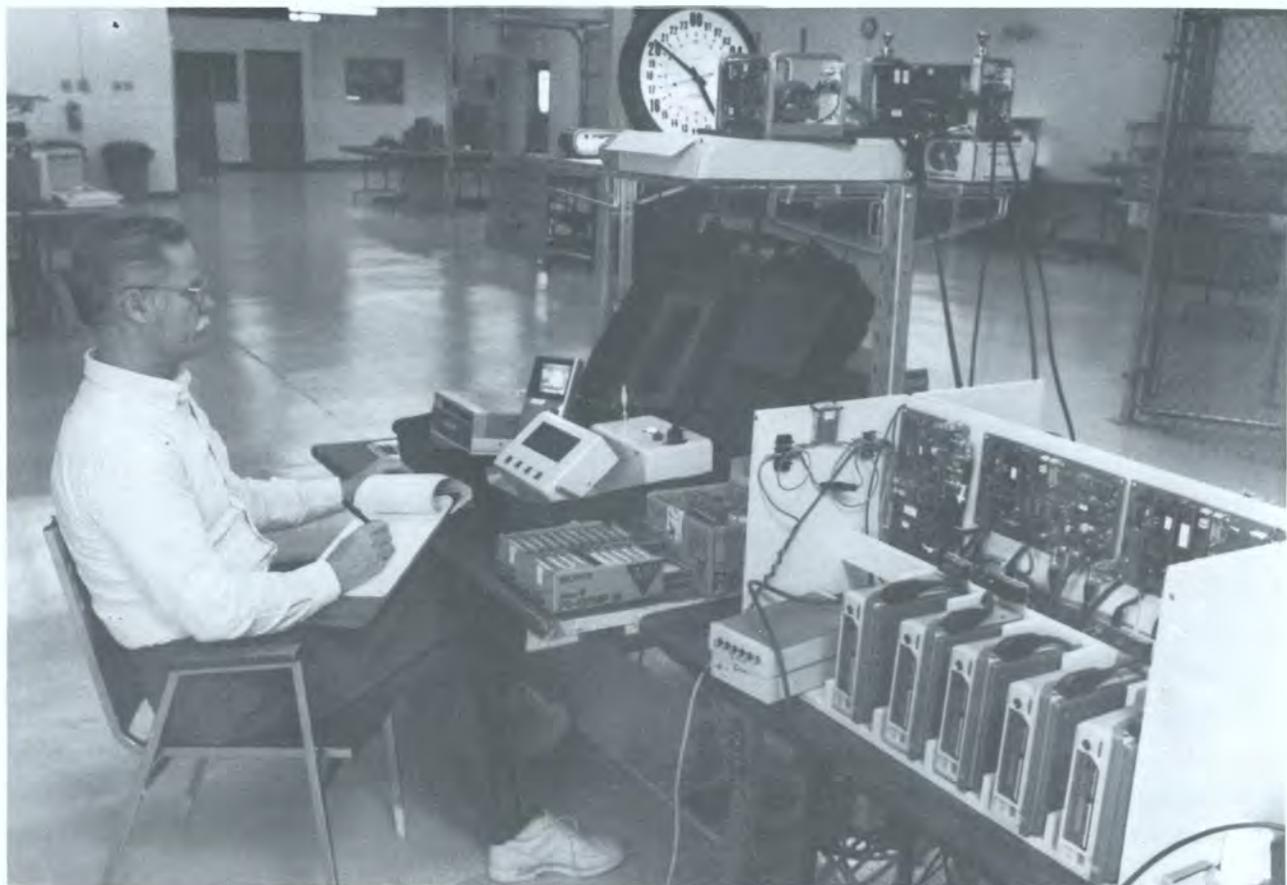
在签订合同之前，机构的安全保障司和行政司，

* “Development of Plan for Ensuring a Low-Risk Transition of the MIV System for Design, Test, Production into IAEA Implementation”, by E. Karlin, Report POTAS, Task D. 60 (May 1989).

* “Program Plan for the Modular Integrated Video System”, by K.-J. Gärtner, B. Heaysman, R. Holt, and C. S. Sonnier, *INMM Proceedings* (1986); and “The Modular Integrated Video System (MIVS) Program in Perspective”, by S. L. Schneider, C. S. Sonnier, and K.-J. Gärtner, *INMM Proceedings* (1988).

MIVS 和 8 mm 摄影机系统比较

特性	8 mm 摄影机系统 (双体美能达)	MIVS
记录原理	两架 8 mm 摄影机	两架 8 mm 电视录像机
单个装置平均录制的图象数	7200 (黑白), 3600 (彩色)	26 000 (黑白)
视察工作间隔	25 天内每 5 分钟拍 1 张	90 天内每 5 分钟录制 1 张
感光灵敏度	约 25 勒克司	约 0.05 勒克司
时间/日期标记	无	有
安装位置	与拍摄/控制装置一起被固定在一个架子上	可远离记录/控制台达 60 米
电源	两节五号干电池	交流电源, 100—240 伏交流电。带有可用 3 小时的备用电池
现场维修方案	整个系统替换	显示、电源和磁带录像机模块可快速装拆
可靠性	7000 张图象置信度为 90% 的条件下超过 0.98	26 000 张图象置信度为 90% 的条件下超过 0.98
投资额	约 2300 美元	约 13 000 美元
运行费用, 胶卷—磁带/90 天	10 美元 (未处理的)	20 美元
尺寸 (长×宽×高)(mm ³)	330×200×230	控制单元: 640×500×160; 录像机: 300×200×230
实际工作重量	6.5 公斤	总计 28 公斤



MIVS 通过了广泛的试验。图示为一名技术员正在检测磁带录像机。(来源: Aquila Technologies Group Inc.)

在 SNL 的设计人员和质量保证人员的协助下, 草拟了招标文件。文件中给出了在 MIVS 生产期间承包商应提供高质量的工程服务和维修服务的具体要求。然后把这些招标文件发给美国和欧洲的几家公司。

1989 年 7 月 27 日是一个重要的日子, 机构向位于新墨西哥州阿尔伯尔基的 Aquila 技术集团公司发出了生产 MIVS 的订单。选择这个公司是基于下述三个原因: 该公司在开发采用录像磁盘和录像磁带技术的先进录像系统方面曾投入大量精力; 这个公司全盘接受 IAEA 在招标文件和附加的质量要求文件中提出的有关制造、工程服务和质量控制方面的各项要求; 其报价颇具竞争力。

为了支持选定的承包商, SNL 被指定为 IAEA 驻生产现场的工程和质量保证监督人。这项工作列入美国的支助计划, 受该计划的管理, IAEA 安全保障司的工作人员则以视察该承包商工厂的方式保持联系。此外, 合同签订之后, 承包商的高级经理已经两次访问了机构。

这些工作在 90 年代的大部分时间内将继续进

行, 以便生产其余的 MIVS 及其备件。重申一下, 由于 MIVS 项目十分复杂, 业已证明这些相互沟通和进行协调的会晤是非常重要的。

设备设计

MIVS 是一种由微机控制的 CCTV 系统。按照设计, 它能在 3 个月的视察间隔期内每隔 5 分钟以自动监视方式工作一次。* 它可安装在易于获得市电供应的那些受安全保障的设施中, 并最好把这种电视摄像机与记录和控制设备分开安装。为了防止断电, 这个系统配备了一个至少可维持 3 小时的备用电池。(有关 MIVS 与 8 mm 摄影机系统的特性比较见附表。)

模块概念与售后服务。MIVS 的硬件是模块式结构, 这使得维修和服务比较简单。MIVS 的两个基

* "A Video Authentication Technique", by C. S. Johnson, *INMM Proceedings* (1987).

本部件是摄像机单元和记录控制单元。两者各自被装在一个由 IAEA 加封的防破坏外壳内。

摄像机单元由一个 CCD (电荷耦合器件) 电视摄像机和录像鉴别电路组成。记录控制单元包括 4 个能在正常视察期间很容易更换的模块, 即一个电源模块, 一个显示模块和两个相同的记录模块。电源模块包括一个通用的交流/直流电源, 一个备用电池和一个记录事件用的打印机, 如记录视察间隔期内的录像次数和破坏事件。显示模块装有整个系统的控制部件、帮助准备和检查系统用的液晶显示板 (LCD) 以及鉴别电路的接收部分。

录像的鉴别。摄像机单元和记录控制单元之间用一根长度不超过 60 米的复合电缆 (一根同轴电缆加一对铜导线) 连结。设想这条电缆是可以与别的电缆靠近的, 那么, 为了保证 IAEA 电视摄像机产生的信号能不被窜改地记录下来, MIVS 必须有一套高级的鉴别系统。* 检测到的破坏事件被记录在非易失性存储器中, 并与视频信号一起记录在录像带上。每当视察员视察时, 存储器中的所有数据都能传给打印机输出。

监视和备份录像机。对 MIVS 系统整体可靠性起重要作用的是它的磁带录像机 (VTR) 子系统。设计工作之早期就已认识到, 为了保证 MIVS 能不间断地监视, 这种日夜工作的 VTR 必须有备份。

不间断监视的严格定义如下: 两台 VTR 交替地 (并且独立地) 记录图象, 且要求连贯的两帧图象不会全都丢失。备份实际上就是保证了在 VTR 发生机械故障或电子故障时图象不会全都丢失。

IAEA/SNL 在对 1988 年 4—9 月期间所记录到的 300 多万帧图象进行可靠性试验的过程中, 对照上述要求进行了全面评价。在此实验期间监视从未中断过。此外, SNL 为了评估这些录像机的机械耐用性, 1986—1989 年期间用 165 台 VTR 记录了

1000 万帧图象。

在分析了这些数据及 VTR 环境试验的数据以后, 机构确定了维修替换政策, 即部署在现场的 MIVS 装置中的 VTR 每两年维修更换一次。这一政策也考虑到了费用效益问题。*

监视记录与审查装置。SNL 还研制了一种目的在于评价 MIVS 监视活动的审查装置, 作为 MIVS 系统的一个重要部分。** MIVS 可以按任意时间间隔记录 (1—99 分钟) 图象。记录的每帧图象都标有时间、日期、图象序号和破坏事件。

4 种破坏事件是指: 打开 MIVS 机箱, 断电, 录像鉴别功能故障及触发性事件的记录。

审查装置可为视察员处理此类信息。它能丢失的图象、任何破坏事件, 以及超过 15 秒的录像中断等事件进行汇总。这个系统也能调整成一旦发现上述情况便自动地停下来, 允许工作人员手动核对, 或者是允许不停机地实时显示探测到的情况的个数。

如前所述, 各种事件的数据也被存入电子存储器中。视察员每次视察时, 这些数据被传输给打印机输出, 作为视察报告的一部分。

小结

MIVS 是一种重要的新型监视系统, 即将被 IAEA 安全保障司正式采用。它的开发是政府、私营公司和安全保障司共同合作的一次成功的尝试。

此次开发并获成功, 是使用经过考验和证实的项目与计划管理技术, 以及使用相应的工程和质量保证手段的结果。

当 MIVS 进入推广与实用阶段以后, 上述这些工作也不会减少多少。

* "Video Tape Recorder Reliability Requirements for the Modular Integrated Video System (MIVS)", by E. Dawes, *INMM Proceedings* (1989).

** "Modular Integrated Video System (MIVS) Review Station", by M. L. Garcia *INMM Proceedings* (1989).

* "The Modular Integrated Video System (MIVS)", by S. L. Schneider and C. S. Sonnier, *INMM Proceedings* (1987).