



照片来源: Sodel, Phototheque EdF

能源与核动力规划研究

回顾在阿尔及利亚、约旦和泰国做的研究及所取得的经验

L. L. Bennett、P. E. Molina 和 T. Mueller

任何真心想开辟核动力计划的国家，都必须在细心研究未来的能源需求、供应方案、经济和财政影响、对基础设施及技术转让的要求等问题的基础上，及早作出决定。IAEA 能够按照一套成熟的程序帮助感兴趣的成员国进行此类研究。这套程序包括三个大阶段：

- 第一阶段是分析涉及相当长一段时间（通常是 20—30 年）的国家核动力发展计划的经济生存能力。

- 第二阶段是向该国提供选定这样一种动力发展计划会给财政和基础设施带来哪些影响方面的信息资料。IAEA 能够协助该国估测这样一种决定对其财政收支平衡的影响，及估价本国工业在核电厂建设中所能起的作用。最后一项是为采用核动力时可能需要的人员设计相应的培训计划。

- 第三阶段是协助该国在建造第一座核电站之前进行可行性研究，提出准备工作和组织工作方面的要求。

本文集中介绍 IAEA 制订的在第一阶段（即分析核动力计划的经济生存能力阶段）提供援助的程序。经验表明，这样的研究应当考虑该国的全部能源需求，和每种可供选择的能源形式（特别是电力）在满足这一需求的过程中可以担负的份额。这样一来，这种研究实际上就成了能源与核动力规划（ENPP）研究。

为了进行 ENPP 研究，首先要组建一个由本国负责组织这项研究的专家组成的多学科小组以及由

2—3 名 IAEA 专家组成的小组。* 为阿尔及利亚、约旦、泰国、埃及、印度尼西亚、马来西亚、突尼斯、土耳其、委内瑞拉和南斯拉夫等国进行的 ENPP 研究 ** 已经完成，其中为埃及、约旦、土耳其和南斯拉夫所做的研究，是在世界银行的参与和合作下进行的。

本文具体回顾了为阿尔及利亚、约旦和泰国进行的 ENPP 研究，重点介绍此类研究的目标和组织工作方面的主要成绩，以及从中取得的主要经验。

阿尔及利亚的 ENPP 研究

这项研究的目标是，研究核能在供应阿尔及利亚未来几十年所需的部分电力方面可能起的作用。

这项研究是由 IAEA 的 2 名专家和阿尔及利亚国家电力和天然气公司的 5 名职员共同组成的联合小组进行的。尽管没有正式为这项研究成立多学科的本国专家小组，但阿尔及利亚各机构和各组织的专家之间的直接接触，使这些机构和组织实际参与了这项工作。事实证明，这样的参与对于资料的搜集来说是至关重要的。尤其是，这种参与有利于选择不同的发展

* 关于 ENPP 研究过程中采取的各个步骤的更详细情况，见 IAEA Bulletin, Vol. 24, No. 3。

** 关于头三项研究的更详细资料，见“Energy and Nuclear Power Planning Study for Algeria, IAEA (1984); Energy and Electricity Planning Study for Jordan up to year 2015, IAEA-TECDOC-439 (1987); 和 Energy and Nuclear Power Planning Study for Thailand, IAEA-TECDOC-518 (1989)。关于其他国家的 ENPP 研究的技术报告尚未写好。

Bennett 先生是 IAEA 核动力处规划和经济研究科科长，Molina 和 Mueller 先生是该处职员。

前景,以保证这些发展前景能充分反映出各个部门已安排的和可预见到的所有发展规划,并为现有设备的技术改进和新技术的采用创造条件。

这项研究始于1980年,1983年胜利结束。之所以用了这么长的时间,是因为“能源需求分析模型”(MAED)的研制工作是同时进行的。这种模型是ENPP研究使用的经济分析工具之一。*为了反映出长期的发展趋势,评价能源政策的影响,以及为了考察扩大发电系统方面的长期趋势,选择了1979-2015年作为被研究的时期。

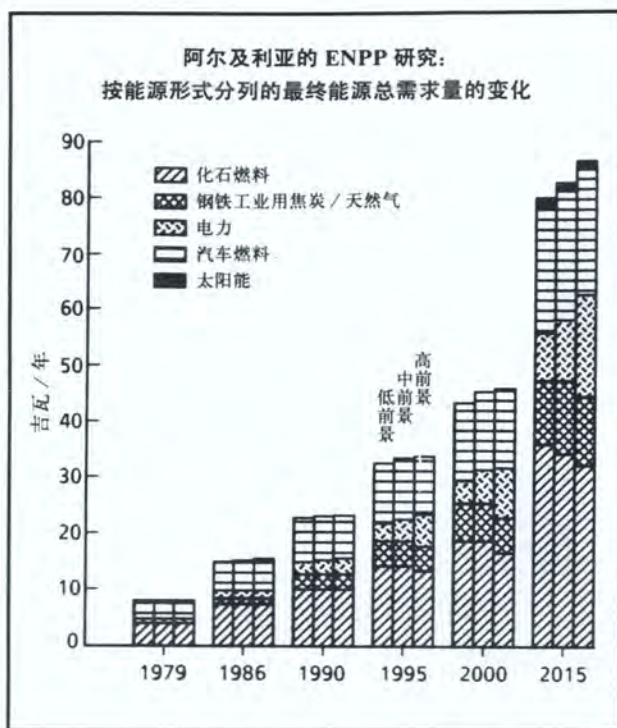
研究目的设定以后,便根据大体上相等的最终能源需求量和差别很大的各种电力需求量,选择了一些社会经济的和技术的发展前景。共选择了低、中、高三种发展前景。

这三种发展前景中相同的要素是人口增长率、国内生产总值(GDP)的发展趋势、社会经济的发展、能源政策(包括节能政策)。这些要素均取自阿尔及利亚的五年发展规划(1980-1984年)以及对远期的某些外推。这三种发展前景之间的差异在于按部门考虑的能源的各种最终用途的比电耗、电力在各部门中的市场占有率,以及新能源(特别是太阳能)的市场占有率。

在分析如何扩大发电系统时,作为候选机组的有各种规模的燃气机组(汽轮机机组和燃气轮机机组)和核电机组。

由MAED得出的最终能源需求结果与各种发展前景的假设值是一致的,也就是说远期的最终能源需求是十分类似的(每年约81-87吉瓦),并且电力在每一种发展前景中的贡献都显著地高于基准年份(1979年),达到总需求量的10.4-20.8%(因前景而异)。(见附图。)

还使用另一种经济模型——维也纳自动系统规划程序包(WASP)——对这些发展前景中的发电系统如何扩大问题进行了分析。**WASP的分析表明,不管是哪种前景,发电系统的扩大基本上都能通过燃



气机组(其中一半以上是蒸汽式火电机组)实现。核电机组(装机容量1200 MW)仅在电力需求较高的高前景中出现。(见下页附表。)

在确定每种发展前景的最优化解决方案时,特别注意了两个重要因素:这些解决方案所引起的基建投资额和天然气——阿尔及利亚财政收入的主要来源——需求量,因为它们对阿尔及利亚的经济有很大的影响。

进行过的各种敏感性分析证实,核电在下列情况下具有经济优越性:

- 天然气(当地燃料)的价格上涨到高出参考价格10%左右;
- 燃天然气的蒸汽机组的投资费用每年比参考值多增长0.5%;
- 供现值算法使用的贴现率由每年10%的参考值下降到每年7.5%。

约旦的 EEP 研究

这项研究是应世界银行的请求开展的,当时世界银行正在为约旦从事一项能源管理和能源规划方面的综合性咨询研究。

在约旦这种特定情况下,在这项研究之初就认识到,鉴于电网的预期规模和市场上能买到的动力反

* 见 *Model for Analysis of Energy Demand (MAED): Users' Manual*, IAEA-TECDOC-386 (1986), 和 *Expansion Planning for Electrical Generating Systems: A Guidebook*, IAEA Technical Reports Series 241 (1984)。

** 关于 WASP 的简介载于 *Expansion Planning for Electrical Generating Systems: A Guidebook*, IAEA Technical Reports Series 241 (1984)。

按前景分列的阿尔及利亚发电装机容量的发展和核电的作用

低 前 景	中 前 景	高 前 景
1986—2015 年安装 16 575 MWe, 包括: — 11 100 MW GS 5 475 MW GT	1986—2015 年安装 23 550 MWe, 包括: — 17 100 MW GS 6 450 MW GT	1986—2015 年安装 38 025 MWe, 包括: 14 400 MW PWR 13 800 MW GS 9 825 MW GT
2010 年时最大的年度基建投资: $4\,354 \times 10^6$ DA (1979 年值) (即 0.7 % GDP)	2009 年时最大的年度基建投资: $4\,024 \times 10^6$ DA (1979 年值) (即 0.8 % GDP)	2009 年时最大的年度基建投资: $9\,979 \times 10^6$ DA (1979 年值) (即 1.7 % GDP)
累计基建投资: 61.5×10^9 DA (1979 年值)	累积基建投资: 85.5×10^9 DA (1979 年值)	累计基建投资: 188×10^9 DA (1979 年值)
2015 年的天然气年需求量: 18.2×10^9 m ³	2015 年的天然气年需求量 24.6×10^9 m ³	2015 年的天然气年需求量: 19.2×10^9 m ³
累积天然气需求量: 279×10^9 m ³	累积天然气需求量: 379×10^9 m ³	累积天然气需求量: 416×10^9 m ³

注: 本表仅包括按电力扩大计划增加的装机容量, 即未包含早已正式确定的增加量。

DA = 阿尔及利亚第纳尔。PWR = 加压轻水反应堆。GS = 燃气蒸汽机组。GT = 燃气轮机组。

应堆的规模, 未来 20 年内该国根本不可能考虑核选择。因此, 决定进行能源与电力规划研究 (EEP), 在 IAEA 和约旦主管部门的合作下, 利用 IAEA 的规划方法 (MAED 和 WASP) 分析未来 20—30 年内约旦的能源与电力需求。

这项 EEP 研究的主要目标是, 提供预测能源与电力长期需求和制定发电系统扩大方案用的规划方法; 初步建成能源统计数据库; 给当地职员提供一套将计算机程序用于规划的培训程序; 并提供使用上述方法得到的能源与电力需求预测结果以及扩大发电系统的规划。

此项研究是由几名 IAEA 专家和约旦电管局 (JEA) 的一些专家组成的联合小组进行的。EEP 研究的实际工作始于 1983 年 9 月, 当时将准备使用的计算机程序装进了 JEA 的计算机, 并开始收集数据。这项研究持续了约 21 个月。

1981—2010 年间各种形式能源 (包括电力) 需求量的估算值, 是利用 MAED 模型产生的。在得出这些估算值时, 考虑了进行该项研究时已载于全国和各部门的发展规划中的政策, 以及根据过去观察到的趋势预测的发展。

从约旦未来的各种可能发展前景中选择了三种, 供分析能源需求之用。按照该国早已拟定的各种发展规划全部实现时可能达到的预测值的大小, 把它们划分为低、中、高三种发展前景。中前景是当前发展趋

势的可能性最大的延伸; 低 (悲观的) 前景和高 (乐观的) 前景则代表偏离中等发展趋势的两种极端情况。

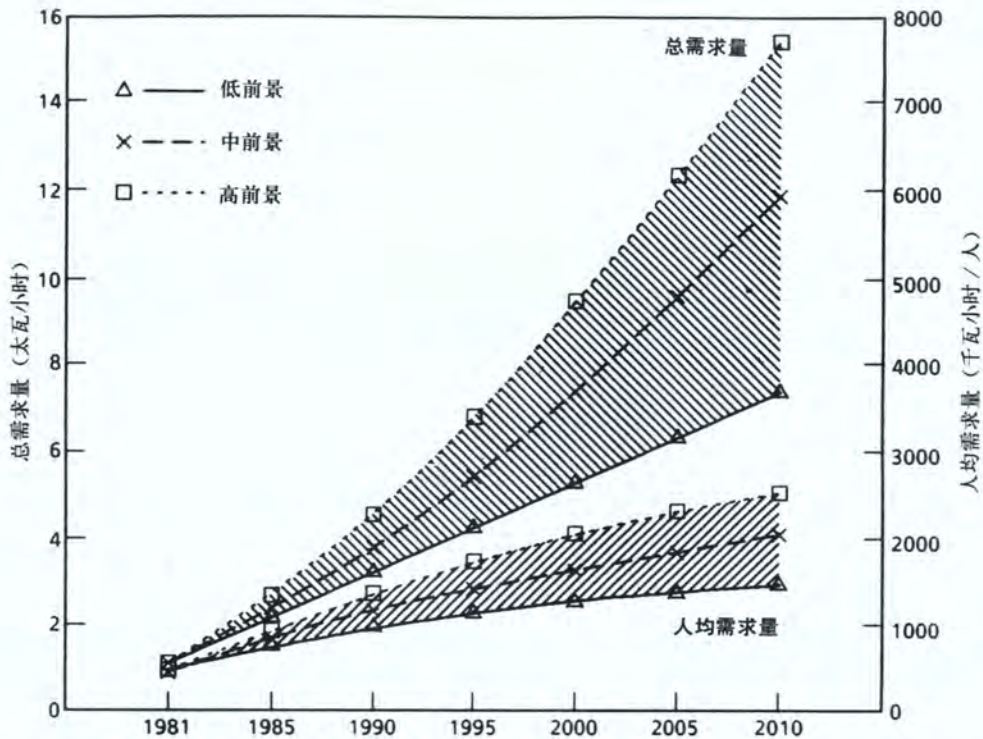
关于这三种前景的分析结果表明, 最终能源总需求量明显增加, 1981—2010 年间增加 3—5 倍。从人均角度看, 增幅没有这么大。(参看下页上图。) 根据这些结果, 2010 年的需求量峰值将达到 1491 MW (低前景), 2449 MW (中前景) 和 3272 MW (高前景)。

利用 WASP 模型对发电系统于 1989—2000 年间应如何进一步发展作了分析。此项分析所涉及的时期较短, 是因为考虑到大型电厂的建造周期一般较长, 若要在 1997 年之前满足扩大电力系统的需求, 必须在近几年内就对电力部门的投资作出决定。

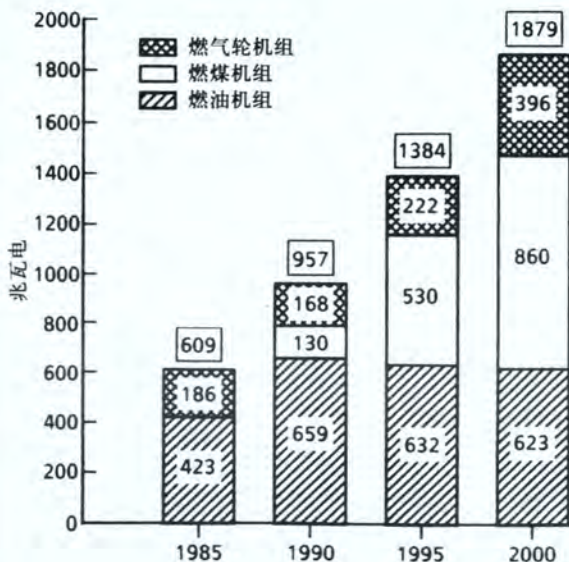
当时只对中发展前景作了分析, 求得了为满足未来电力需求而建造新电厂的最佳日程表。这样做的原因是, 其它发展前景的结果可通过简单地将中前景的这个最佳日程表提前 (对高前景) 或推迟 (对低前景) 而获得。(见下页左下图。)

这项有关扩大约旦发电系统的研究, 其研究范围被严格限制在经济领域。在这种情况下, 按基荷方式运行的燃煤蒸汽机组在满足约旦电力需求方面似乎能起十分重要的作用, 同时以燃气轮机组满足调峰的需要。现有的和已决定要建的供应中间负荷的机组将继续使用石油, 但燃油机组在发电系统中的作用将逐步减弱。

约旦的能源与电力规划研究：与各种前景相对应的
电力总需求量和人均需求量的发展趋势



约旦的能源与电力规划研究：基于中发展前景的电力
系统总装机容量扩大规划的最佳日程表



泰国的 ENPP 研究

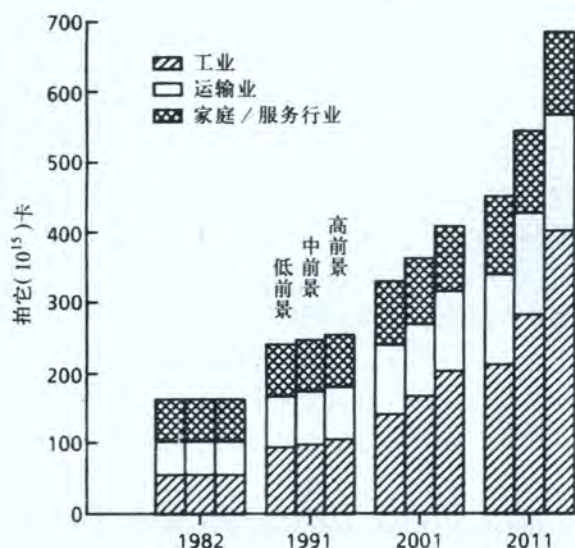
这项研究有三个主要目标：针对几种社会经济和技术发展前景，采用系统工程的规划程序，评估核动力在优化的国家电力发展规划中可能起的作用；培训和辅导泰国专家小组掌握能源与电力规划方法及相关的计算机技术；并发展该国未来从事 ENPP 研究的能力。

该项研究的结果连同属于初步可行性这一层次的其他研究结果，预计对作出核动力在该国有无生命力的结论能提供比较好的依据。

为达到上述目标，泰国指派了一个专家小组，让他们与 IAEA 专家一道从事各项工作。这个专家小组是以泰国和平利用原子能委员会的一个分委员会、或者说它的一个职能部门的形式建立起来的。该专家小组由泰国和平利用原子能署、国家能源管理局、国家经济和社会发展委员会，以及泰国电力生产管理局等单位的专家组成。

这项研究始于 1984 年，当时选定 1982 年作为研究工作的基准年份，因为它是国家能源管理局那时可

泰国的 ENPP 研究：按部门分列的
最终能源需求量的变化



注：“工业”类包括制造业、建筑业、矿业和农业。“最终能源”包括非商业性能源。

提供完整而一致的能源消费量统计资料的最近年份，还因为 1982 年是泰国第 5 个五年经济与社会发展计划的第一年。

在拟定供 MAED 研究用的各种发展前景时，曾特别注意找出影响能源需求的最主要因素。最后决定分析四个主要驱动力对最终能源需求的影响。这四个驱动力是人口、经济（GDP）、能源密集度以及电力在各种能源最终用途市场的占有率。当时根据该国的政策和一些基本假设，拟定了低、中、高三种前景，以反映上述诸因素的可能发展。每种前景覆盖的研究时期均为 30 年，即从 1982 年到 2011 年。

按照这些假设，预计这三种前景的泰国能源总需求量的增长趋势是类似的，只不过各自达到的数值不同而已。（见附图。）到 2011 年，工业部门（包括制造业、建筑业、矿业和农业）的需求量在能源总需求量中占据的份额最大，其中增加得最多是制造业。因此，这些结果与政府发展工业的政策和期望工业对 GDP 作出较大贡献的想法是一致的。

利用 WASP 分析电力系统扩大规划得到的结果表明，使用各种当地资源（水力、褐煤和天然气）的全部候选机组都应被选中，成为优化解决方案的组成部分。此外，由这些结果可看出，2000 年以前，应

充分利用当地的各种资源以满足现有发电机组以及由扩大规划选定的那些机组的要求。2000 年以后，应让燃煤机组和核电机组居主导地位。

对于核电机组的纯建造费（即不包括建造期间的利息）和贴现率，做了灵敏度分析。对于核电机组（900 MW）纯建造费的分析得出这样的结论，即这种费用以参考费用为基础加减 20 % 时，上述的优化解决方案基本不变。另一方面，正如人们所预料的，贴现率改为每年 10 % 而不是参考贴现率 12 %，对核电机组有利。

取得的经验

从 IAEA 的角度看，从这些 ENPP 研究中取得了一些重要的经验——主要是在组织工作和基本方法方面。

研究范围。在初步可行性这一层次评估核电方案的经济性时，将研究范围定为分析今后 20 到 30 年间的能源和电力总需求以及使满足这一需求的发电系统最优化，看来是非常合适的。

鉴于环境问题的重要性越来越大，未来的 ENPP 研究必须更加明确地考虑预定的能源消费量的增加以及各种发电手段对环境的影响。

只有研究结果表明从事核动力计划有明显的经济优越性，该国也愿意这样搞时，才可以着手更加详细的研究。

本国专家组的组成。请各个国家级能源规划部门的专家参加这一小组，这一点非常重要。在许多情况下，这样的 ENPP 研究工作，意味着国家级的一些专门组织首次有效地参与了国际合作性质的联合活动。当然，这样做也会带来一些实际问题，特别是因为 ENPP 研究要持续两年之久，被委派到联合研究小组工作的本国专家要在相当长的一段时间内脱离其本职工作。不过，采用联合小组这种方式也有许多重要的好处。这种方式可使 ENPP 的研究成果更能在该国得到信任与认可，并有利于将基本规划方法有效地转让给该国。

对本国专业人员的培训。使本国专业人员掌握 ENPP 研究的基本规划方法的培训工作，是用在职培训与参加 IAEA 相应学科的正规培训班相结合的办法进行的。由于 IAEA 培训班是按年度安排的，未必能与各国的 ENPP 研究的时间表合拍，这就使各国在安排本国专业人员参加这样的培训班方面出现一

些实际问题。如果对 ENPP 研究感兴趣的国家, 在申请进行 ENPP 研究之前派一些本国专家参加培训, 可使这一问题得到缓解。

关于规划的基本方法。MAED 和 WASP 这两种模型是解决国家级能源战略问题的适用工具。所有的 ENPP 研究, 都证实 MAED 和 WASP 在这方面是有用的。尽管普遍认为这两个模型有许多优点, 但它们也有某些不足之处。

MAED 模型。这一基本方法的结构相当简单, 但数据需要量很大。定义发展前景时要具体说明被确认为对能源需求量的影响较大的主要因素(人口、工业产量、运输需求量等)的变化情况。此外, 对电力需求量的处理要非常具体, 从而使描述主要消费者类型电力消费模式所需的信息量增加。

由于 MAED 模型所需数据量很大, 因而 ENPP 研究的这个阶段在本文所评述的所有研究中都是耗时最多的阶段。即使这样, 所有的本国专家组都认识到这一阶段的工作是非常有益的, 因为它使规划人员能够看到该国能源方面的全貌, 包括该国的能源消费情况, 以及由影响能源需求的各种社会经济与技术因素的变化使未来可能出现的进展等。最重要的是, 这使他们能够体会到决策能对这种发展产生什么样的影响。

在大多数 ENPP 研究中共同遇到的问题是, 能源和电力消费量的统计资料不够详尽和可靠。因此, 鉴于可用于研究的时间有限, 确定各种前景的数据时往往采用实用主义的办法解决。在有了一些初始数据之后就用模型进行试算, 并根据这些模拟结果及与本国参加这项研究的专家进行的磋商, 逐步调整这些数据。

在详细分析电力需求方面的各种要求时, 也遇到同样的问题, 因为在大多数发展中国家中, 缺乏各部门的电力消耗统计数据。因此, 常用的办法是边调查边分析, 只取在他们所从事的行业内被认为典型的或有代表性的消费者的数据。尽管这样做有某些缺陷, 但能使人们对消费者的情况有一个较好的了解。此外, 这还可使规划人员提醒电力供应部门的管理机构注意这类信息的重要性; 还给开辟对消费者情况进行系统研究与分析的项目提供了机会。这种项目不仅能为规划研究, 而且能为税率结构和电力需求的管理提供坚实的基础。大多数 ENPP 研究推荐了一批与此类似的项目, 这些项目的研究时间往往需要持续二三年。在突尼斯, 确实已实施过一个项目。

WASP 模型。虽然 WASP 的程序编制技术相当复杂, 但它所需的信息和数据通常是本国电力公司手中就有的。一些基本问题, 正如在这些研究项目中所观察到的那样, 涉及到如何确定某些技术和经济参数, 例如贴现率和未来电力系统结构的可靠性水平等。这些问题一直是利用 WASP 可进行灵敏度研究这一本领处理的。在作灵敏度研究时, 参考值取自现行的本国实践或由本国专家和金融组织(如世界银行和亚洲开发银行)提供。

IAEA 能够在提供如何选择 WASP 分析用的各种技术和经济参数(特别是核电机组的参数)的实施细则方面进行帮助。不过, 这类数值最终仍需由该国参照自己以往的经验(如果有这样的资料当然最好)或处于相似发展阶段邻国的类似核电机组的资料自行决定。

IAEA 将继续保持审议和更新 MAED 和 WASP 这两个模型的计划, 以便使它们适应能源和电力规划条件不断在变化的这种形势。对大多数发展中国家的现有条件, 将给予特别的注意。

一揽子援助方案

为改善 IAEA 援助的效果, 机构已为有意制定核动力规划的发展中国家拟订了“一揽子援助方案”(IPA)。这个方案使 IAEA 目前在核动力的规划和实施方面的单项活动与发展中国家发展其基础设施特别是人力资源的需要得到统一。*

IPA 的主要目的, 是为制定核动力规划的活动提供一个十分明确的按顺序排列的方案。它涉及从规划活动的一开始直至本国主管部门批准实施第一个核电项目为止的全过程。

IPA 还需要辅以新建的核规划顾问组(NUPAT)对感兴趣国家的出访。NUPAT 的第一次出访是 1990 年 6 月(摩洛哥), 并计划在 1990 年下半年进行另一次出访(马来西亚)。

这些活动, 连同 ENPP 及与之相关的研究, 在制定完美的能源规划和确保顺利发展方面, 正在给发展中国家提供重要的服务。

* 《发展中国家制订能源、电力和核动力规划问题》, K. F. Schenk 等, 《国际原子能机构通报》中文版第 30 卷第 2 期(1988 年)。