

“1019 任务”四十年

郝柏林*

崔俊芝**

1969 年 3 月,中苏边界发生珍宝岛事件,全国进入备战状态.许多人员、单位、设备和资料都要迁往“文化大革命”前就已经按照“进山、隐蔽、分散”原则开始建设的“三线”地区.当年 10 月 19 日,周恩来总理和中央文化革命领导小组共同召开广播通讯系统的会议,检查战备情况.会上不少部门反映天线太大,不易隐蔽.于是会议决定组织天线小型化的全国性会战,由总参通讯兵部牵头.这就是“1019 任务”.

当时在工农兵毛泽东思想宣传队领导下的中国科学院,已经有一部分青年研究人员通过了清理阶级队伍的过程,可以“抓革命、促生产”了.然而连续几年的群众运动,已经使除少数国防任务以外的研究工作,几乎全部停顿.“1019 任务”正好给渴望做一点事情的年轻人一个机会,而且事关国防,可以少受干扰地搞“业务”.当时科学院承担了“1019 任务”下达的“套介质天线”、“超导天线”等课题.本文的两位笔者就是因为这项任务而相识、合作并且结下多年友谊的.

那时中国科学院计算技术研究所已经编入军队序列,番号为京字 116 部队.中国科学院物理研究所(以下简称物理所)则因为涉及多个军兵种感兴趣的设备和技术,无法被单一兵种“接管”,仍然是一个“地方”单位.郝柏林主动找到驻物理所军代表,请求为套介质天线组织理论计算.军代表同意后,郝首先同物理所原磁学室(二室)理论组负责人蒲富恪,分头找到早些时候被军代表作为“理论脱离实际典型”而解散的原物理所理论研究室(七室)和二室理论组的部分成员,希望他们回来做计算.有人明确表示“做理论太担风险”,拒绝归队.最后只有蔡俊道、冯克安等少数人加入.在上级军代表协调下,中国科学院数学研究所方程室派来了罗佩珠、李才中¹⁾、王厘尔三人;京字 116 部队派来了崔俊芝、凌连生、刘唐三人;中央广播事业局派来了“文化大革命”前已经是八级工程师的潘振中.潘比大家都年长,被大家尊称为“潘八级”.这些青年知识分子,就这样因为一个共同的革命目标,从五湖四海走到一起来了.初步组织了队伍,立即开始学习.郝柏林开始为大家补讲程序设计基本知识,蒲富恪讲授电磁场理论基础,潘振

中为大家介绍天线理论.

理论计算只是“1019 任务”的一小部分.还有一个更大的实验组,最初由物理所电介质物理室和磁学室的研究人员组成.不久,蒲富恪借助定性分析说明,对于环形天线振子,电介质可能起些作用,而对于偶极振子,磁介质可能起作用.由于我们的任务是要缩小几百千瓦级的中波广播天线的尺寸,而这些天线都是半波偶极振子,电介质物理室的人马大部分就撤出了任务组,实验组由磁学室的林泉²⁾负责.然而,电介质室的李从周曾经长期同装甲兵合作研制穿甲弹用的陶瓷引信.他知道坦克用的 4.8m 通讯天线,曾经在演练中因与高压电线接触而导致恶性事故,就带几个人留下来同我们继续奋斗.

说起中波广播天线,我们一开始就闹了个小笑话.任务开始不久,潘八级带领大家到北京东郊双桥去参观中央人民广播电台的中波天线.在一片田野上走了很长一段路,还没有见到想象中的天线,潘八级却说“到了”.原来不远处一根竖直的钢结构,就是中波天线.那是以大地为镜面的一个半波振子,自己只有四分之一波长,立在一块陶瓷绝缘墩上.而人们司空见惯的挂在支柱之间的水平金属线,则多是短波天线.

对于天线振子,最少要计算到几个波长,才能得到场强和角分布等“远场”特征;而为了要提供所套介质的设计参数,又必须考虑远小于天线本身的近场分布.尺寸悬殊,只是困难的一个方面,采用一组双曲型坐标变换把远近两端、步长相差极大的网格连续地联系起来,就可以部分地解决这个问题,但由此引入的差分格式的病态性仍然存在.更困难的是

2009-08-04 收到

* 参加“1019 任务”时为中国科学院物理研究所助理研究员,现任复旦大学物理系教授.1980 年当选中国科学院院士

** 参加“1019 任务”时为中国科学院计算技术研究所实习研究员,现任中国科学院数学与系统科学研究院研究员.1995 年当选中国工程院院士

1) 李才中因为解决“两地关系”问题,在任务结束前就调往成都

2) 林泉后来曾任科技部基础司司长、科技部秘书长

数值求解波动方程时,如何自动选取由中心向外发射的解.解析处理时,这就是著名的索末菲(Sommerfeld)边界条件,例如,必须从同样满足方程组的两个汉开尔函数中选取对应向外传播的一个.这类似于在数值求解常微分方程时,提示计算机从两个可能的解中选取在无穷远处有界的那一个.我们还遇到另一方面的困难,即拉普拉斯方程 $\Delta\phi=0$ 和亥姆霍兹(Helmholtz)方程 $(\Delta+k^2)\phi=0$ 数值行为的巨大差别.对于前者,由于在一定边界条件下具有强椭圆型性质,求解不算太困难;然而对于后者,由于拉普拉斯算子的负本征值,亥姆霍兹方程不具有强椭圆型性质,数值求解相当困难,迭代过程通常要发散.为了避开这两个困难,王厘尔带来了她爱人邬华谟的建议:从波动方程退回到原来的麦氏方程组,把定义在无界域上的退化的椭圆型方程的定态解问题还原成含时间的一阶双曲型方程组的初值问题,模拟从天线振子加电时刻起的物理过程,最终达到稳定的周期解,得到所要求的辐射场.物理本身保证电磁波只会向外传播,在无穷远处加零条件或在有限远处加完全吸收条件就可以求解了.后一种边界条件相当于在完全吸收电磁波的无线电暗室中做天线实验.如何有效地设定求解区域以及定义远场边界条件,是一个十分困难的问题,处理不好会造成极大的计算误差.

忽略向天线输送射频信号的馈线对天线振子所带来的对称破坏,整个问题具有轴对称性.电磁场的6个分量就只剩下3个.每一点的电场变化,引起附近磁场变化;同样,每点的磁场变化引起附近的电场变化.这说明数值求解时,要把电场和磁场的网格交错布置,形成“棋盘”格式.原来每个格点上只有相应的场量,情况比较简单.然而,我们为照顾远近场尺寸悬殊而引入的坐标变换,却为每个点带来一个依赖坐标的系数;好在它与时间无关,可以一次算出,存储起来以备后面计算使用.

另一条可能的计算途径,是求解描述天线辐射的积分方程.这样做的好处,是可以自然地把边界条件包含进来.积分方程分两大类:第一类积分方程的未知函数,完全在积分符号下面.这样的方程很难有适定的解,因为可以在一个解上加减任意的函数,积分仍然成立.第二类积分方程的未知函数同时出现在积分号内外,具有唯一解.天线问题导致一个极“弱”的第二类积分方程,只有未知函数的一个点的值落在积分外面.为了有效地求得数值解,还得下不少功夫.于是郝柏林和蒲富恪分工,郝负责微分方程,蒲管积分方程.

对于我们的数值研究做出“秘密”贡献的还有一位特殊人物,他就是数学界的前辈冯康先生³⁾.当年他正因为多种“特务”嫌疑而被隔离审查.崔俊芝等三人接受了小天线电磁场计算任务后,深感物理知识不足.崔从冯康的档案中了解到他具有很强的物理背景,便冒着政治风险向军代表和工宣队谏言,让冯协助做些理论工作.开明的军代表和工宣队领导同意了崔的建议,附加条件是:一、不能影响冯交代“特务”罪行;二、必须在严格控制下,冯只做理论部分;三、工作方式限制在崔、冯之间.根据研究进度,崔每天早上八点向冯布置“作业”,冯下午六点交“作业”,由崔检查后再确定第二天的“作业”.这种“互动”方式持续了相当长时间,至少有一个月.冯非常认真地完成每次“作业”,有效地保证了小天线计算的顺利进行.冯康参加计算的主要内容是核查麦氏方程及其差分格式,处理远场边界条件;分析亥姆霍兹方程及相应积分方程的性质;核对亥姆霍兹方程的差分格式和远场边界条件等.“文化大革命”之后,冯向崔谈起这段经历时说,这是他在最不幸的年代里(1966—1971)度过的最充实的时段.冯康参与计算的情况,在很长时间里对于“1019任务组”的其他成员都是保密的.

这里必须介绍一下当时所用的计算机的软硬件情况.我们使用的是中国科学院计算技术研究所研制的109丙机,它采用分立的晶体管元件和磁芯存储器,内存有16384个字,字长48个二进制位.109丙机没有操作系统、编译系统、数据管理和进程管理等系统软件,所有的程序都是由用户使用基本的机器指令,一个操作一个操作地直接编写出代码,包括输入数据和打印结果在内.对于计算机用户,这个过程的复杂程度可想而知.小天线数值计算的程序设计主要由崔俊芝、刘唐和凌连生三人共同完成,而计算方法和整个计算流程由崔负责.这比起1960年代初为研制我国第一颗原子弹所用的104机,要强大多倍,然而还是无法同当前被淘汰的最低档的个人计算机相比.我们只能使用 40×40 的网格来覆盖从原点到无穷远的整个空间.即使是这样的计算机全国也只有两台,获得一次上机的时间相当困难.有时为了上机做一次计算,就要从中关村换4次公共汽车,到达靠近南苑机场的东高地.先在招待所租两个床位,躺下睡觉.半夜闹钟响了,匆忙赶往机房.先

3) 冯康(1920—1993),应用数学和计算数学家,1980年当选为中国科学院数理学部委员(院士)

帮助前面的用户卸纸带、磁带,收拾打印纸,再站到总控制台前,“总清除”之后在一排开关上手拨好“起始地址”,按“启动”钮开始输入程序,进行运算。

进机房时如果忘记打开电扇,以后再热也不能开电扇。反之,如果事先忘了关电扇,再冷也不敢碰开关。否则机器就可能“跳动”。从中央计算单元引出的一些信号,通到音响设备上,计算员可以“监听”运算过程。大矩阵在消去法迭代过程中变得越来越小,音频响应的频率也越来越高,可以清楚地听见迭代结束,转入天线参数的计算。记得有一次,郝崔二人已经在机房中坚持了近 6 个小时。天亮前,两人都疲惫不堪。崔说,我知道音响开关在哪里;可以把它关上,让我们在控制台前休息一会儿。结果开关一响,机器跳动,前功尽弃。

“1019 任务”在许多部队单位以群众运动方式推行。战士们发明了各种各样的小天线。南京军区的一位通讯兵找了一把铜茶壶,焊上一个铜柄,就用它与北京军区通起话来。于是“以通为主”就成了全国参加小天线研发的各个单位群众运动的指导方针。林彪的儿子林立果拿了几架战士们创造的小天线,向林彪汇报。林彪听了以后说,看来只要方向对头,有小学初中文化就够了。

1970 年春天是整个计算组最艰苦的时期。一面学习,一面试算各种方案,进展极为缓慢。5 月初,中国科学院军代表在中关村召开各单位革命委员会负责人的“五七指示”学习班⁴⁾。院军代表在讲话中批评了中国科学院的“1019 任务”,说“你们到底要走什么路线?是南京军区的铜茶壶路线还是物理所的小天线路线:请了两个留学生算,越算越糊涂”。那两个留学生就是先后从苏联回来的蒲富恪和郝柏林。“1019 任务”内外的革命群众对于理论计算小组发出了“脱离实际”的种种指责。蒲富恪私下对郝柏林说,“我们哪里是脱离实际!我们是脱离理论,对数值计算的理论知道得太少”。郝柏林找到驻物理所的军代表王铁军,询问还能不能继续计算,并且表示如果在物理研究所连数值计算都不容许做了,那本人就要求调离物理所,到工业部门去从事数值计算工作。王铁军的态度比较缓和,希望我们继续努力。同时为了减缓理论队伍受到的压力,“掩护”数值工作继续进行,郝柏林带领崔、刘、王等多人主动到 798 厂去“联系实际”,参加天线实验。

位于北京东北郊酒仙桥的 798 厂是 1950 年代由东德援建的无线电元件厂,主要生产“黑”“白”两类产品。白品是做电阻、电容的陶瓷材料,黑品是做

记忆磁芯和天线棒的磁性材料。这座拥有 3000 名职工的企业,当时号称是远东第一大厂。“文化大革命”对 798 厂也有所冲击,许多工程师、技术员被下放当工人。然而主要由于军工任务要求,生产基本没有中断。“1019 任务”所要求的一些磁性材料也在这里试制。我们从中国科学院来的几个人,到车间班组代替了原来的技术员。北京大学物理系的高才生张耀西,毕业分配来厂做技术员;因为名字受到批判,把“耀”西改为“药”西。张是郝柏林的高中同班同学,他的实践经验肯定比郝多,然而发生在“弯曲时空”里的那场“平移”,却把他推到不能用武的最底层。“文化大革命”之后,张药西曾担任过 798 厂的总工程师。

在“以通为主”的方针指导下,我们每天顶着烈日在天线馈线上拉“行波比”,在远场用场强仪测信号强度。如果馈线和天线的阻抗匹配不好,一部分射频信号从馈电点反射回来,在馈线上形成驻波,“行波比”就降低,辐射效果也必然变差。我们的劳动属于最高温工种,享受最好的冷饮待遇。那时的酒仙桥基本上是一个工人小镇,有一座小酒馆。我们时而去那里浅酌。

寻找材料靠“炒菜”,效果评价看“试通”,设计方案不断改来改去。为了贯彻实战条件下的“以通为主”的方针,专门派有一个小组到处于我国地理中心附近的中国科学院陕西韩城授时天文台去做发射实验,在新疆、东北和海南岛检测信号场强。然而,整个“1019 任务”还是进展缓慢。如果不是发生了林彪折戟沉沙、机毁人亡的“913 事件”,真不知道事情将会如何收场。

1971 年“913 事件”之后,国防科工委和总参通信兵部的许多领导都自顾不暇,“1019 任务”也再无人问津。由于始终未能研制出性能稳定、可以全天候使用的小天线,不少单位干脆停掉了小天线研制,上级也从来没有下达过结束“1019 任务”的指令。在这种形势下,以中国科学院物理研究所为基地的套介质天线研制队伍,倒得以在没有任何干扰的情况下安心从事实验研究和理论计算。到 1973 年底,微分方程和积分方程两条途径都走出困境,开始系统调试天线参数,并且同林泉领导的实验组配合,比较系统地检验了理论计算结果,甚至总结出设计套磁介质天线振子的技术路线。我们的基本结论是:在牺牲效率和频带宽度的前提下,可以通过套用磁性介质,

4) 1966 年 5 月 7 日,毛主席写信给林彪,提出干部应当轮流下放等意见。“文化大革命”中,各地据此建立了大批“五七干校”

缩小天线振子的尺寸. 自身重量是套介质天线的另一个弱点, 不过对于坦克天线这不是问题, 因而还获得过好评.

1974 年初, 郝柏林执笔写了 3 份计算工作报告, 又同潘振中、林泉一起写了实验结果和理论计算对比的总结. 这些材料油印了若干册存档和交给任务参加者留念. 然后, 郝又执笔向物理所革命委员会写了一份“关题报告”, 宣告“1019 任务”结束. 在我们的科学生涯中, 曾写过多次开题报告, 也曾被“专家组”检查验收; 由自己写“关题报告”仅此一回. 1976 年 10 月初, 在华国锋领导下粉碎了“四人帮”, 国内政治生活逐步恢复正常. 于是郝柏林以那 4 份油印报告为基础, 写了两篇论文, 送到复刊不久的《物理

学报》⁵⁾. 《物理学报》赠送的抽印本, 加上用稿费购买的刊物, 给前后参加过套磁介质天线任务组的 52 位成员每人两本. 这是许多人四年多辛勤劳动的唯一书面记录, 或许在不久后开始的研究单位定职定级中还曾起了一点作用. 积分方程的研究结果更为理论性, 就由作者们署名发表⁶⁾. 套磁介质天线的研究获得了 1978 年中国科学院颁发的重大成果奖.

- 5) 论文 1: 中国科学院物理研究所、计算技术研究所天线计算组. 天线辐射场作为初值问题求解. 见《物理学报》1977, 26: 341—352
论文 2: 北京天线小组. 套磁介质的小振子天线. 见《物理学报》1978, 27: 615—630
6) 论文 3: 冯克安、蔡俊道、蒲富格. 天线理论中的第二类积分方程. 见《物理学报》1978, 27: 187—201

• 物理新闻和动态 •

DNA 与蛋白质的相互作用

在 DNA 序列中, 有部分序列是为建立生物细胞所保持的, 但这部分序列需要由蛋白质来获取. 这种与 DNA 结合的蛋白质称为“DNA 结合蛋白质”, 它是必不可少的操作细胞. 它们具有复制 DNA, 转基因的开启和关闭, 把基因输送到蛋白质生产的模板上等功能. 因此科学家们需要了解蛋白质是如何与 DNA 结合的, 也就是说, 蛋白质是如何寻找到与 DNA 相结合的正确序列部位的. 最近, 法国 Pierre and Marie Curie 大学的 V. Dahirel 教授和他的同事们对这个问题进行了研究, 他们利用计算机模拟和解析运算两种方法来考虑 DNA 与蛋白质间的相互作用.

研究组把 DNA 与蛋白质考虑成一个简单的几何体, 而忽略了它们复杂的原子结构. 首先将 DNA 设定成一个细长的带电圆柱体, 其直径为 2 nm, 而蛋白质有 4 种形状, 即球体、圆柱体、一侧具有凹痕的圆柱体和立方体, 带凹痕的目的是为了易于和 DNA 产生配对结合. 蛋白质的直径约为 5 nm 左右. 在进行蒙特卡罗模拟时, 让 DNA 的表面带有负电荷, 这时带正电荷的蛋白质将趋向 DNA. 球体与圆柱体的蛋白质在接近 DNA 时一直保持着相互吸引; 但对有凹痕的两种蛋白质, 当它们与 DNA 的距离接近于 0.1—0.75 nm 时, 两者间却显示出排斥作用, 两者间距离的远近决定于蛋白质上电荷量的多少. 模拟结果表明, 当蛋白质与 DNA 之间处于一个合适的距离时, 这时吸引与排斥相互抵消, 蛋白质就像一个小精灵似的可在 DNA 棒上自由地上下滑动. 为了解释排斥力的来源, 研究组对生物分子的离子在溶液中溶解时的作用进行了解析计算, 他们发现, 若 DNA 表面的负电荷要比蛋白质的正电荷多时, 溶液中的正离子将会被吸引到 DNA 的表面, 随着蛋白质与 DNA 间的间隙逐步被填满, 其中的离子将被束缚在内并产生了一个高离子浓度区, 而水分子就会渗透到这个区域, 从而使间隙附近的渗透压对蛋白质产生排斥作用. 研究组分析了 77 组蛋白质结构的数据, 发现“DNA 结合蛋白质”的平均电荷大约是 DNA 表面电荷的 17%. 在这种不平衡的电荷模式下, 蛋白质与 DNA 间的距离在 0.5 nm 时, 两者间的吸引与排斥抵消, 这时蛋白质可以在 DNA 序列上自由滑动, 来寻找出 DNA 上的正确序列部位, 并与它牢牢地结合, 形成“DNA 结合蛋白质”.

V. Dahirel 教授研究组的工作对蛋白质与 DNA 结合的这个临界生物过程, 提供了一个比较完整的物理图像, 清晰地阐述了蛋白质是如何沿着 DNA 序列滑动的机制, 这点对于了解功能蛋白质的产生是非常关键的.

(云中客 摘自 Physics Review Letters, 5 June 2009)