



找矿利器 物探尖兵

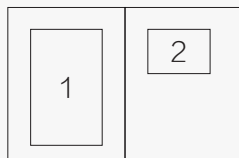
——我国自主研制的首套吊舱式时间域直升机航空电磁勘查系统

□ 文图 / 陈 斌 王言章 曹学峰

第一作者简介 陈斌，教授级高级工程师，应用地球物理学学士、工商管理硕士、固体地球物理学博士。先后参加和主持完成 20 多项航空物探调查和研究、国家“863 计划”课题以及技术和经费预算标准研制项目，获得省部级科技进步奖特等奖 1 项、二等奖 2 项。

时间域直升机航空电磁勘查是当前国际上发展十分迅速的一种资源勘查方法，与传统的地面物探方法相比，它具有快速、高效、环境适应性强、纵向分辨率高、探测深度大等优点，可进行大面积、高精度的测量工作，尤其适合于我国多山多丘陵的地形，可极大地降低工作难度，提升探测的效率，达到较好的效果。





1 河南桐柏飞行之一
2 河南桐柏飞行之二

我国幅员辽阔、地大物博，地质矿产资源丰富，但大部分矿产资源都深埋在地表下，勘查开采成本高、难度大。进入 21 世纪后，经济的快速发展，使得我们对资源需求量成倍增加，快速、高效地勘查开发多金属和战略性新兴矿产、地下水等资源，已成为摆在我们面前的一项重要任务。

为满足资源快速勘查，特别是大深度探测的需求，由中国国土资源航空物探遥感中心牵头，联合吉林大学和成都理工大学等高校，成功研制成了我国首套吊舱式时间域直升机航空电磁勘查系统。该系统在大磁矩电磁发射、高精度信息接收、大尺寸稳态吊舱研制及电磁数据快速处理与解释技术方面取得了一系列技术进步和先进的成果，填补了我国在此领域的空白，为我国地学研究、资源勘查提供了有力支撑。

系统如何诞生

资源深藏于厚厚的地层下，“看不见、摸不着”，要想做到有的放矢地开发利用，首先要完成精确的资源勘查，特别是向地球深部发展，加大探测深度，拓展找矿空间，对赋存于深厚地层下的资源做“透视扫描”，从而确定地下资源的分布情况。

传统的电磁勘查方法基于地球物理原理，一是在地面开展各种物探勘查，例如传统的地面时间域电磁探测方法需要在地面布设人工场源，仪器设备需要进行大面积安装布放，虽然可以获取相当精准的地质信息，但是存在设备笨重、装置大、野外劳动强度大以及效率低下的缺陷，而且有些地区难以进入，无法开展地面勘查工作。考虑到我国地形复杂，山区、丘陵、植被高度覆盖区的面积占国土面积 2/3 以

上，这一情况使得我国地面电磁探测工作受到更大的制约。二是在空中开展传统的频率域航空电磁勘查，由于频率域航空电磁法勘探深度在 150 米以内，除了应用于浅部目标体外，国内外总体使用量都在减少。

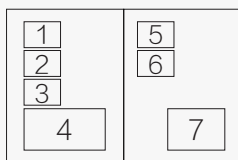
近十几年来，国外直升机时间域系统快速发展，我国受电磁技术水平、材料和器件、飞机平台和飞行员技能等多方面的限制，在时间域航空电磁探测领域起步较晚，落后于一些发达国家。为打破发达国家技术垄断，课题组在“十一五”“十二五”期间依靠国家“863 计划”的支持，成功研制出我国首套具有自主知识产权的吊舱式时间域直升机航空电磁勘查系统，此系统英文全称为“China Helicopter Time-domain Electromagnetic Survey System”，简称“CHTEM”，这一研究成果填补了国内空白。该系统由



我国自主设计研制，采用了直升机移动平台，成功地攻克了多项技术难关，融合了国内多项先进技术，集成了主动源发射、宽频带接收等关键技术，探测深度可达 300~500 米（不同区域的地质条件不同，探测深度也相应变化）。此外，电磁采样点密集，相邻电磁采样点的间距仅为 2.5 米，是采用同样技术的地面探测方法采样点的点距近 1/50，极大地提高了沿测量方向的异常分辨率，而单位时间内完成的测量千米数是地面方法的数百倍。作为多金属矿产和地下水资源等的“透视镜”系统，CHTEM 具有快速、高效、精准等多项优点。经过不断创新改进和多次飞行试验，CHTEM 系统目前已经投入到实际应用中。在核心技术上达到国际同类主流勘查系统的水平，为我国时间域直升机航空电磁勘查系统技术开发研究、应用、发展奠定了坚实基础。

CHTEM 系统自研发以来已分别在河南省桐柏县、内蒙古自治区克什克腾旗热水镇、黑龙江省富锦市、黑龙江省宝清县多次完成改进试验和试生产任务。迄今为止，累计完成测量约 10 000 千米，获得了大量飞行试验、勘查数据，为矿产和水资源勘查提供了宝贵资料。





- 1 吊舱模拟试验
- 2 河南桐柏地区试验飞行
- 3 内蒙古赤峰地区试验飞行
- 4 黑龙江富锦地区试验飞行

的研制是一项集地球物理技术、电子技术、材料技术、空气动力学技术、计算机软件技术及信号处理技术于一体的综合研究工作，在系统研制的同时，形成了一个专业化研究团队。团队成员结构合理，专业领域丰富，年龄分布均匀，整体研究能力强，已经具有一定的国际影响力，研究工作促进了我国航空电磁勘查技术的进步，引领了该项技术的发展。

CHTEM 吊舱

利用空气动力学原理，完成了半径为 6 米的吊舱设计和制作，支撑发射线圈、补偿线圈和接收线圈。吊舱经过特殊材料选择以及工艺加工，使用专用缆绳悬挂于直升机机舱外部，吊舱在受到缆绳强大的牵引力时，要做到不会发生不合理的机械变形。此外，在直升机以每小时 80~90 千米的速度飞行时，整个吊舱支架要保持水平。稳定的吊舱支架是飞行探测的基础，合理优异的机械性能是探测质量的保障。

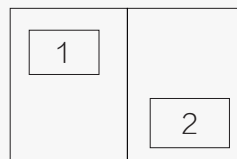
- 5 CHTEM 系统组成
- 6 CHTEM 系统研发团队
- 7 我国自主研发的时间域直升机航空电磁勘查系统主机安装在飞机上

CHTEM 系统的成功研制，是国内在这一领域技术优势单位强强联合、通力协作的结果，研究成果受到国内一致好评和广泛关注，《中国国土资源报》《科技日报》都做了报道。目前，CHTEM 系统经过不断改进和完善，已达到国际先进水平。

系统构成揭秘

CHTEM 系统由吊舱、发射子系统、接收子系统等构成。它





1 我国自主研发的时间域直升机航空电磁勘查系统发射机
2 内蒙古赤峰飞行一瞬

CHTEM 发射子系统

利用大功率发射技术，CHTEM 系统发射机能够产生大发射电流，通过发射线圈的最大发射电流可超过 510 安，发射频率可选择 25~125 赫兹。

多频率可选、大功率电流发射可控，可以针对不同地质环境条件做出相应调整等特点，使得地下介质的激发效果达到最优，从而使二次场信号达到理想幅值，为信号接收提供保障，以实现最优探测的目的。

CHTEM 接收子系统

利用电磁响应信号接收和多参数采集融合技术、噪声抑制与干扰场的消除技术，CHTEM 系统接收机可以实现多通道、低噪声数据采集。

高性能的数据接收和采集，确保了获得的地下地质体信息的质量，是后期处理与解释、精确确定探测目标体的前提和基础。

数据处理解释子系统

为完成飞行测量时的数据质量控制、现场快速处理，以及后期处理、解释与成图，自主研发的 CHTEM 处理解释软件系统有许

多功能模块。原始数据经过处理后，消除了绝大部分采集过程中不可避免的噪声，信噪比提高，信号质量增强。降噪水平和信号质量的提高，意味着探测深度增加、精度提升，也使得后期地质解释更加准确。

CHTEM 系统探测三步曲

CHTEM 系统以直升机为飞行和装载平台，在机舱内部安装电磁发射机、接收机和辅助设备。在机舱外部挂载电磁吊舱系统，用来支撑安装电磁发射线圈、信号补偿线圈以及电磁接收线圈，整套系统由直升机提供电源。CHTEM 的勘查工作过程可分为以下三个阶段：

第一阶段，电磁激发阶段。电磁激发有点像是向大地“喊话”，不同的是这种“喊话”使用的是强电磁信号。通过使用 CHTEM 系统的发射机，产生高达 510 安的大电流，并输入到发射线圈中。发射线圈将产生强大的电磁场（称为“一次场”），向下迅速传播、扩散。

第二阶段，地下介质感应。一次场通过空间传播，能够激发地下地质体产生电磁响应，这种电磁响应我们称之为“二次场”。不同的地下物质会产生不同特性和大小的二次场。

第三阶段，信号接收。接收到的二次场信号与地下介质的特性、位置、深度等密切相关，包含了丰富的地质信息，是我们进行地质解释的最关键参数。基于法拉第电磁感应定

律，CHTEM 系统使用多匝线圈感应来接收二次场信息，产生电压信号，由接收机接收、存储。

在这三步曲的过程中，为达到更大的探测深度，需要有足够大的发射磁矩，把发射电流和发射线圈做得足够大，发射线圈半径通常在几米至几十米范围内。此外，为精细获得地下地质体产生的信号，并防止一次场在接收线圈内产生出饱和电压，损坏接收设备，需要有规定尺寸以及特定位置的一次场补偿线圈，最大限度地抵消一次场。探测过程中，探测数据与空间位置严格同步对应是系统正常工作的前提条件，这就需要完成系统的整体集成，让辅助测量设备获得精确的实时空间位置信息。

通过“发射—感应—接收”三步，完成给广阔深厚的地下地质体做“电磁透视”的过程。接下来，对接收到的数据做相应处理，便可获得地下的“电磁

图像”。之后，再“读图识物”进行反演解释便可。最终，地下资源的分布便可一目了然地呈现出来。当然，实际应用中每个勘查区会有自己的地质特点和更多的要求，需要专业技术人员加以甄别和处理。

系统研制过程中，中国国土资源航空物探遥感中心带领课题组克服重重困难，突破国外技术封锁，实现了我国在直升机时间域航空电磁勘查领域零的突破。CHTEM 系统的研制成功，加大了探测深度，为我国开展大面积、高精度深部矿产和水资源调查，以及环境评价提供了新的方法技术和工作手段，也为今后开展全国电法扫面工作提供了技术和工具的储备，对于解决资源环境问题具有重要的意义。■

（第一作者单位：中国国土资源航空物探遥感中心）

