

无线电通信技术在人工影响天气作业中的应用研究

马其斌 静恩祺 袁俊肖 罗 丹
天津市蓟州区人工影响天气办公室 天津 301900

摘 要：本文聚焦于无线电通信技术在人工影响天气作业中的应用。首先阐述了人工影响天气作业对通信的特殊需求，接着深入剖析无线电通信技术的特点与优势，探讨其在作业指挥调度、作业设备监控、数据传输与反馈等关键环节的具体应用，分析应用过程中面临的干扰、覆盖范围等问题并提出相应解决策略，最后对其未来发展趋势进行展望，旨在为提升人工影响天气作业的通信保障水平提供理论支持与实践参考。

关键词：无线电通信技术；人工影响天气作业；通信保障

引言

人工影响天气作业作为一项重要的气象干预手段，在防灾减灾、水资源调控、生态环境改善等方面发挥着不可替代的作用。其作业过程涉及多个环节与众多设备的协同运作，且通常在较大范围内开展，对通信的实时性、可靠性和稳定性提出了极高要求。无线电通信技术凭借其独特的优势，成为满足人工影响天气作业通信需求的关键技术之一。

1 人工影响天气作业对通信的特殊需求

人工影响天气作业具有作业区域广泛、作业时间紧迫、作业设备分散且需实时协同等特点。在作业过程中，指挥中心需要实时掌握各个作业点的天气状况、设备运行状态等信息，以便及时下达准确的作业指令；作业设备需将采集到的数据迅速、准确地回传至指挥中心，为决策提供依据；同时，各作业点之间也需要保持通信畅通，以实现协同作业。这就要求通信系统具备大范围覆盖、高实时性、强抗干扰能力以及灵活的组网方式等特点，以确保在复杂的气象环境和地理条件下，实现信息的可靠传输与共享。

2 无线电通信技术的特点与优势

无线电通信技术利用无线电波进行信息传输，具有诸多显著特点与优势。首先，其覆盖范围广，不受地理条件的限制，能够在山区、海洋、沙漠等复杂地形区域实现通信覆盖，满足人工影响天气作业大范围作业的需求。其次，无线电通信具有较高的实时性，能够快速传输信息，确保指挥中心与作业点之间的实时沟通，及时应对作业过程中出现的各种情况。此外，无线电通信技术还具有灵活的组网方式，可根据作业需求灵活构建不同类型的通信网络，如星型、网状、树状等，实现设备之间的有效连接与协同工作。同时，随着技术的不断发展，无线电通信的抗干扰能力也在不断增强，能够在复

杂的电磁环境中稳定工作，保障通信的可靠性^[1]。

3 无线电通信技术在人工影响天气作业中的具体应用

3.1 作业指挥调度

在人工影响天气作业中，指挥中心扮演着核心角色，承担着对整个作业进行统一指挥与调度的重要职责。无线电通信技术犹如一座坚实的桥梁，为指挥中心与各作业点之间搭建起了实时、高效的通信通道。通过先进的无线电通信设备，指挥中心能够实时向作业点传达精准的作业指令，这些指令涵盖了作业时间、作业地点、作业方式等关键信息。在人工增雨作业中，气象条件的复杂性和多变性要求作业指令必须及时、准确。指挥中心根据气象雷达、卫星云图等监测设备提供的实时数据，结合气象模型的分析结果，迅速制定出合理的作业方案。然后，利用无线电通信设备将作业指令迅速传达给各个作业点，确保作业人员能够在最佳时机开展作业。例如，当监测到某一区域上空出现适合增雨的云层时，指挥中心会立即通知该区域附近的作业点，告知他们具体的作业时间、发射角度和催化剂用量等信息，作业人员根据指令迅速调整设备参数，实施增雨作业。同时，作业点也能够及时向指挥中心反馈作业进展情况、设备运行状态以及遇到的问题等重要信息。这使得指挥中心能够全面掌握作业动态，根据实际情况及时调整作业方案。在作业过程中，可能会出现设备故障、气象条件突然变化等情况，作业点及时反馈这些信息后，指挥中心可以迅速组织技术人员进行远程指导或协调其他资源进行支援，确保作业的顺利进行。例如，在某次人工防雹作业中，一个作业点的高炮在发射过程中出现故障，作业人员立即通过无线电通信设备向指挥中心报告了故障情况。指挥中心迅速联系附近作业站点进行作业，有效遏制了恶劣天气的发展，达到了联防的作用，避免了恶劣天气对农业造成的影响。

3.2 作业设备监控

人工影响天气作业涉及多种关键设备,如火箭发射架、高炮、飞机播撒设备等,这些设备的正常运行是保障作业成功的基石。无线电通信技术为实现对作业设备的远程监控与管理提供了有力支持。通过在设备上安装先进的无线电通信模块,能够将设备的运行参数、故障信息等实时传输至监控中心。监控人员可以随时通过专门的监控软件或终端设备,直观地了解设备的状态。例如,对于火箭发射架,无线电通讯模块可以实时传输发射架的温度、压力、角度等参数,以及电池电量、通信状态等信息。监控人员可以根据这些参数判断发射架是否处于正常工作状态,提前发现潜在的安全隐患。一旦设备出现故障,无线电通信模块会立即将故障信息发送至监控中心,监控人员可以迅速定位故障设备,并根据故障代码和相关信息判断故障类型,及时通知维修人员前往现场进行维修处理,避免因设备故障影响作业进度。同时,无线电通讯还可以实现对设备的远程控制,如远程启动、停止设备等。这大大提高了设备管理的效率和便捷性。在人工增雨作业中,当指挥中心根据气象条件决定启动某个作业点的火箭发射架时,可以通过无线电通信系统向该发射架发送启动指令,发射架接收到指令后自动完成发射准备工作并实施发射^[2]。作业完成后,指挥中心可以远程发送停止指令,使发射架进入安全状态。这种远程控制方式不仅减少了人工操作的工作量 and 时间成本,还提高了作业的安全性和准确性。例如,在飞机播撒作业中,地面监控中心可以通过无线电通信实时获取飞机的飞行状态、播撒设备的运行情况等信息,并根据需要对飞机进行指挥调度。当飞机接近作业区域时,监控中心可以远程控制播撒设备开始工作,根据云层的高度和厚度调整播撒量和播撒速度,确保播撒作业的准确性和安全性。

3.3 数据传输与反馈

人工影响天气作业过程中会产生大量的数据,这些数据对于分析作业效果、改进作业方法具有至关重要的意义。无线电通信技术为数据的快速传输与反馈提供了有力保障。作业现场的气象观测设备可以通过无线电通信将采集到的气象数据实时传输至指挥中心。这些气象观测设备包括温度传感器、湿度传感器、风速风向仪、降水传感器等,它们能够实时监测作业区域的气象要素变化。通过无线电通讯网络,这些数据可以迅速、准确地传输到指挥中心的的处理系统。指挥中心利用这些数据进行实时分析和决策,及时调整作业方案。例如,在人工增雨作业中,气象观测设备实时传输的温度、湿

度、云层厚度等数据可以帮助指挥中心判断云层的发育情况和增雨潜力,从而决定是否增加或减少作业点的数量,调整催化剂的用量和发射高度等参数,以提高作业效果。同时,作业完成后,作业点可以将作业效果评估数据通过无线电通信回传至指挥中心,为后续的作业提供参考依据。作业效果评估数据包括降水量的增加量、冰雹的减少量、云层的消散情况等。通过对这些数据的分析和研究,可以总结作业中的经验教训,发现存在的问题和不足,进而改进作业方法和技术。例如,在人工防雹作业中,通过对作业前后冰雹降落情况数据的对比分析,可以评估作业的效果,如果发现某些区域的防雹效果不理想,可以进一步研究该区域的气象特点和冰雹形成机制,调整作业策略,如增加作业频次、改变作业方式等,以提高防雹作业的整体效果。

4 无线电通信技术在应用中面临的问题及解决策略

4.1 干扰问题

在人工影响天气作业中,无线电通信面临着多种干扰的挑战,这些干扰严重影响通信质量,可能导致信息传输错误或中断,对作业的安全和效果构成威胁。自然干扰是其中之一,雷电、太阳黑子活动等自然现象会产生强烈的电磁辐射,干扰无线电通信信号。雷电产生的电磁脉冲具有极高的能量和极宽的频谱,能够在瞬间对无线电通信设备造成损坏或干扰,导致通信中断。太阳黑子活动会引起地球电离层的扰动,影响无线电波的传播,导致信号衰减、失真或中断。人为干扰也不容忽视,其他无线电设备的发射信号、工业干扰等会对人工影响天气作业的通信频段产生干扰。随着无线通信技术的广泛应用,各种无线电设备不断增加,频段资源日益紧张,不同设备之间的频率冲突时有发生。工业干扰主要来自于大型电气设备、电力线路等,它们在运行过程中会产生电磁噪声,干扰附近的无线电通信。为解决干扰问题,可采用多种技术手段。一方面,采用抗干扰能力强的调制解调技术和编码技术。先进的调制解调技术可以对信号进行优化处理,提高信号在干扰环境下的传输可靠性。例如,采用扩频调制技术,将信号的频谱扩展到较宽的频带上,使信号的能量分散在更宽的频率范围内,从而降低干扰对信号的影响。编码技术则可以对传输的数据进行编码处理,增加数据的冗余度,使接收端能够在存在干扰的情况下准确恢复原始数据。另一方面,合理规划无线电频段是避免干扰的重要措施。通过对不同频段的使用情况进行详细分析和评估,根据人工影响天气作业的需求和特点,选择合适的频段进行通信,避免与其他无线电设备产生频率冲突。此外,还

可以采用跳频、扩频等通信技术。跳频技术通过快速改变信号的载波频率,使干扰信号难以持续对通信进行干扰,增强通信的隐蔽性和抗干扰能力。扩频技术则通过扩展信号的频谱,降低信号的功率谱密度,使信号在干扰环境下仍然能够被正确接收和解调^[3]。

4.2 覆盖范围问题

尽管无线电通信具有较广的覆盖范围,但在一些偏远地区或复杂地形区域,仍可能存在通信覆盖盲区,这给人工影响天气作业带来了一定的困难。在偏远山区,由于山脉的阻挡,无线电信号的传播会受到严重影响,导致信号衰减较大,无法覆盖到一些深山中的作业点。在沙漠地区,广阔的沙地和缺乏反射物也会使无线电信号的传播距离受到限制,出现通信覆盖不足的情况。此外,在一些复杂地形区域,如峡谷、森林等,地形和植被会对无线电信号产生吸收和散射作用,进一步削弱信号强度,造成通信盲区。为扩大通信覆盖范围,可以采用中继站技术。中继站是一种能够接收、放大和转发无线电信号的设备,通过在合适的位置设置中继站,可以将信号进行中转和放大,延伸通信距离,实现更大范围的通信覆盖。例如,在山区作业中,可以在山顶或高处设置中继站,将来自指挥中心的信号接收下来,经过放大处理后再转发给山下的作业点,同时将作业点反馈的信号转发回指挥中心,从而解决山区通信覆盖问题。例如,在海上或偏远地区的作业中,可以通过卫星通信设备与指挥中心保持联系,及时传输作业信息和气象数据。

4.3 安全性问题

无线电通信在传输过程中存在信息被窃取、篡改等安全隐患,这对于人工影响天气作业的保密性和安全性构成严重威胁。在人工影响天气作业中,通信信息涉及到作业方案、气象数据、设备状态等重要内容,如果这些信息被非法获取或篡改,可能会导致作业失败,甚至引发安全事故。例如,敌对势力可能会窃取人工增雨作业的方案和气象数据,干扰作业的正常进行,破坏农业生产或水资源调配。同时,信息篡改也可能使指挥中

心做出错误的决策,影响作业效果和安全性。为保障通信安全,可采用加密技术对传输的信息进行加密处理。加密技术通过对信息进行加密变换,将原始信息转换为密文,只有在掌握正确解密密钥的情况下才能将密文还原为原始信息。常见的加密算法有对称加密算法和非对称加密算法。对称加密算法使用相同的密钥进行加密和解密,加密和解密速度快,但密钥管理难度较大;非对称加密算法使用公钥和私钥进行加密和解密,公钥可以公开,私钥由用户自己保存,安全性较高,但加密和解密速度相对较慢。在实际应用中,可以根据通信的安全需求和性能要求选择合适的加密算法。同时,建立严格的用户认证和访问控制机制,防止非法用户接入通信网络。用户认证通过对用户的身份进行验证,确保只有合法的用户能够访问通信系统;访问控制则根据用户的权限和角色,限制用户对系统资源的访问和操作,保障通信系统的安全运行。

结束语

无线电通信技术在人工影响天气作业中具有重要的应用价值。其独特的优势能够满足人工影响天气作业对通信的特殊需求,在作业指挥调度、设备监控、数据传输与反馈等方面发挥着关键作用。然而,在应用过程中也面临着干扰、覆盖范围、安全性等问题,需要通过采用先进的技术手段和管理策略加以解决。展望未来,无线电通信技术将不断创新,与新兴技术深度融合,为人工影响天气作业提供更加高效、可靠、智能的通信保障,推动人工影响天气事业不断向前发展。

参考文献

- [1]朱友富.无线电通信技术在配电运维远程监控中的应用[J].集成电路应用,2025,42(05):220-221.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2025.05.092.
- [2]陈进强,杨连英.多普勒天气雷达在人工影响天气中的应用[J].气象科技,2002,30(002):127-128.
- [3]韩杰,孙明霞,孙颖.多普勒天气雷达在人工影响天气中的应用[J].现代农业研究,2017,000(004):66-66.