

基于机械波通信的煤矿井下遇险 人员定位技术方案设计

马俊生¹ 马晓霞²

(1. 山西焦煤安监局; 2. 山西大学)

摘要 本设计方案彻底改变井下通信依赖电磁通信的现状,改用机械波通信方式解决矿难时电磁通信基本中断的问题,确保在条件最恶劣的情况下,井下被困人员与地面救援人员的畅通通信,并确定被困人员在井下的位置。

首先在井下有规律地建立机械波通信基站,矿工下井时每人携带一个能够发出机械波的手持应急装置。矿难发生后,生存下来的矿工通过手持应急装置发出编码机械波求救信号,临近的基站接收机械波,并通过接力方式将求救信号传输到地面服务器。地面服务器根据人员定位模块,精确定位生存矿工的位置。

关键词 煤矿井下 人员定位模块 机械波通信模块 技术设计

目前发生矿难时,救援人员急需定位被困人员的准确井下位置,掌握生存人员的信息,为救援指挥提供科学依据。但由于矿难发生后,电子通信基本中断,因此,本设计方案彻底改变井下通信依赖电磁通信的现状,改用机械波通信方式解决矿难发生后电磁通信基本中断的问题,确保在条件最恶劣的情况下,井下被困人员与地面救援人员的畅通通信,并确定被困人员在井下的位置,为实施救援提供强有力的应急通信保障。

1 研究方案目标

本研究方案的目标是开发一种矿难发生后,在极端恶劣条件下,仍然可以在受困矿工与地面救援人员之间建立畅通通信的技术。与传统通信技术不同,本研究将使用机械波作为通信的信号源,地球作为信号传输的通信介质。本研究将实现:

- (1) 矿难发生后,地面救援人员与地下受困人员畅通通信。
- (2) 设计能够发出求救信号的手持机械波发生器,建立机械波通信传输中继站,中继站之间的距离要求为 10 ~ 100 m。
- (3) 机械波中继站实现无人值守,且无须充电可工作 1 年。

2 主要研究内容及关键技术设计方案

2.1 主要研究内容

目前人类几乎 100% 的信息通信基于电磁波通信,矿难发生后,有线电磁通信电路被破坏,无线电磁信号被屏蔽,电子通信基本中断。因此,在国内外发生的一系列矿难事件

中，很少有井下被困人员与地面实现应急通信的案例。事实证明，基于电磁波的通信系统在应急情况下非常脆弱，必须寻找替代性技术。

从技术角度讲，地球是一个大的导体，因此，对电磁波具有强大的屏蔽作用，这也就是为什么矿难发生后，井下与井上的无线通信基本中断的原因。同时，矿难发生后，有线电磁通信线路一般情况下也被事故破坏，因此，现有矿山赖以通信的各种手段在矿难的情况下均无法使用。

国际、国内均有人员和机构试图采用增加电磁通信的能量，降低电磁通信频率的方式，实现矿难情况下的应急通信。例如，澳大利亚公司曾经先后在山东两煤矿以及山西的大同煤矿安装了规模巨大的井下长波通信系统。但由于成本高昂，维护困难，最终没有推广。事实证明电磁通信不适合作为井下的应急通信手段。必须另辟蹊径，从通信的本源上改变思路。

在人类社会的发展过程中出现过多种通信手段。人类早期使用语音、物体的敲击声接力传递紧急信息；其后使用烽火传递战争信息；在人类历史的很长一段时期内马匹和驿站是长途信息传递的最主要手段；工业革命后，火车、汽车分别成为信息传递的重要手段，只是在人类发明了电磁通信后，电磁通信才逐渐成为信息通信的霸主。

考察人类的通信史，电磁通信并非信息传递的唯一手段。通过考察，发现通信必须具备以下条件。

信源：发出信号的信息源。在电磁通信中是电磁波发生器；在人类的最早期是敲击物品发出的声音。

传输介质：信号损失尽量小的传输介质。在电磁通信中空气和有线传输线路作为传输介质；在人类的最早期，声音的良好介质是空气。

接收和放大系统：接收通过传输介质的信息。在电磁通信中电磁波是接收和放大系统；在人类的最早期是人类灵敏的双耳。

通过以上的考察，新开发的通信系统应当使用新的信源以及接收和放大系统。人类对电磁波源、光源、声源、超声波源、各种机械波源已经有良好的掌握；剩下的就是要考察信号传输介质。电磁理论清晰说明空气是电磁波的良好传输介质，但地球是电磁波的不良传输介质。

机械波理论清晰说明地球是机械波的良好传输介质。事实上大象通过发出的次声波可以向 50 km 以外的同类求偶；石油勘探使用的人工机械波可以在沙漠从 5 ~ 6 km 的地下带来含油结构信息。同时地球中的水和空洞均是机械波的良好传输介质。

因此，以地球作为机械波的良好传输介质，即使发生矿难时，机械波也可以顺利在井下传播。当然，井下的救援信息也可以通过地球传输到地面。

如果在井下建立基于机械波的通信系统，一旦发生意外，基于机械波的通信系统仍然能够正常工作，为救援工作提供科学保障。

2.2 关键技术设计方案

井下机械波通信系统包括两个部分：人员定位模块和机械波通信模块。

2.2.1 人员定位模块

(x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) 、 (x_4, y_4, z_4) 、 (x_5, y_5, z_5) 是地面上的振动信号接收点， (x_0, y_0, z_0) 是被困人员井下点。

如果被困人员在 (x_0, y_0, z_0) 点处能够发出机械振动, 并且这一机械振动被地面上的 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) 、 (x_4, y_4, z_4) 、 (x_5, y_5, z_5) 点接收, 则通过反演可以精确测定被困人员的井下位置 (图 1)。

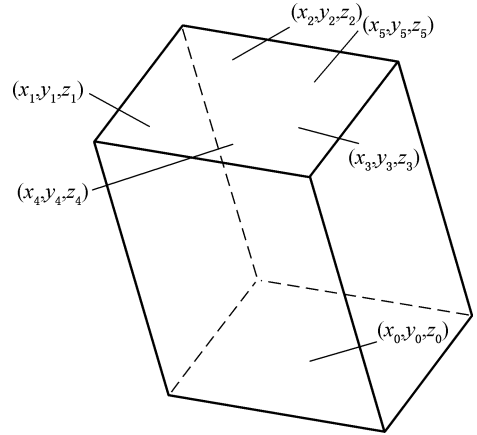


图 1 人员定位示意

设 (x_0, y_0, z_0) 到 (x_1, y_1, z_1) 的传输时间为 t_1 , (x_0, y_0, z_0) 到 (x_2, y_2, z_2) 的传输时间为 t_2 , (x_0, y_0, z_0) 到 (x_3, y_3, z_3) 的传输时间为 t_3 , (x_0, y_0, z_0) 到 (x_4, y_4, z_4) 的传输时间为 t_4 , (x_0, y_0, z_0) 到 (x_5, y_5, z_5) 的传输时间为 t_5 , 其中, (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) 、 (x_4, y_4, z_4) 、 (x_5, y_5, z_5) 已知, (x_0, y_0, z_0) 和介质中的传输速率 v 未知。实际测量的是:

$$\begin{cases} t_1 - t_2 = f_1(x_0, y_0, z_0, v) \\ t_1 - t_3 = f_2(x_0, y_0, z_0, v) \\ t_1 - t_4 = f_3(x_0, y_0, z_0, v) \\ t_1 - t_5 = f_4(x_0, y_0, z_0, v) \end{cases}$$

以上是 4 个未知数, 4 个方程, 由此可以解得被困人员的精确坐标 (x_0, y_0, z_0) 。

2.2.2 机械波通信模块

首先在井下有规律地建立机械波通信基站, 矿工下井时每人携带一个能够发出机械波的手持应急装置。矿难发生后, 生存下来的矿工通过手持应急装置发出编码机械波求救信号, 临近的基站接收机械波, 并通过接力方式将求救信号传输到地面服务器。地面服务器根据人员定位模块, 精确定位生存矿工的位置 (图 2)。

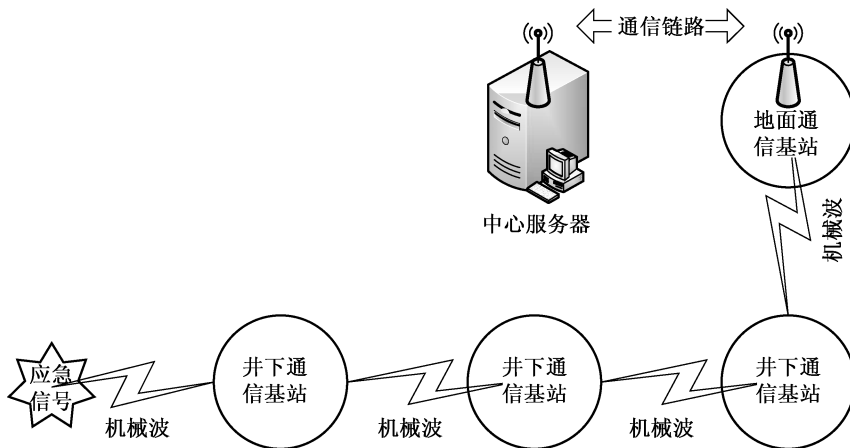


图 2 机械波通信模块

机械波工作的频段可以是次声波、声波或超声波,基站之间的距离视情况安排在 10 ~ 100 m 之间。

通过编码,生存矿工能够发出丰富的求救信息。未来,还可以开发成双向通信系统。

应急机械波发生信源:声学理论证明机械波在地球介质的传输中有一定量的衰减,信源频率越高,信号衰减程度越大。为了保证矿工携带的应急机械波发生器尽量小,应当使用衰减率比较小的低频机械波。机械波的最低频端是次声波,也就是 20 Hz 以下的机械波,其发出信息的速率和早期的电报相似。但是,通常产生次声波需要比较大的信源,为此,拟采用声波合成的方法产生 1 ~ 10 W 左右的次声波。其原理如图 3 所示。

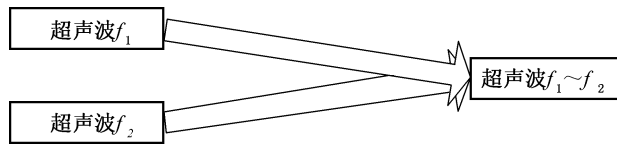


图 3 声波合成

使用超声波源的原因是在小面积上就可以产生 20 W 左右的机械波。其中超声波 f_1 、 f_2 由图 4 所示电路驱动。

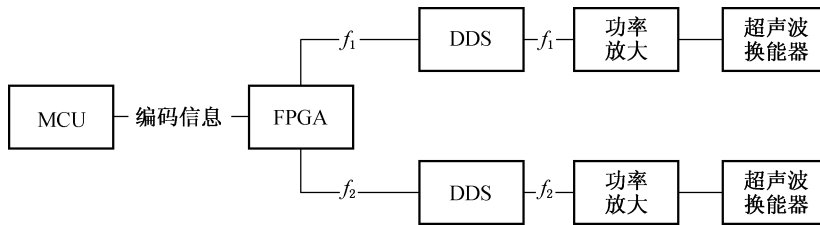


图 4 超声波电路驱动示意

机械波中继站:机械波中继站的主要功能是接收机械波并转发机械波,从而通过接力方式将信息由井下传输到地面或由井上传输到地下。其由图 5 所示部分组成。

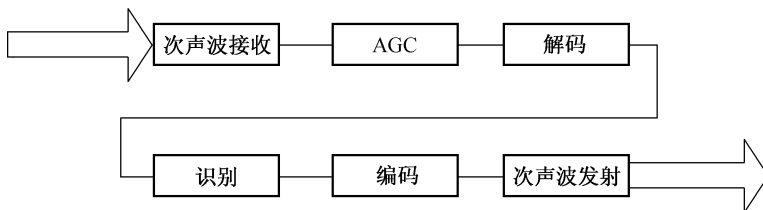


图 5 机械波中继站组成示意

中继站接收到应急信息后先进行 AGC 放大，通过解码和识别决定是否发射。如果识别认定为同一信源同一信息，放弃放大；否则编码发射。防止对同一信息循环发射。

地面通信基站：地面通信基站连接机械波传输系统和地面的常规通信系统。其由图 6 所示部分组成。

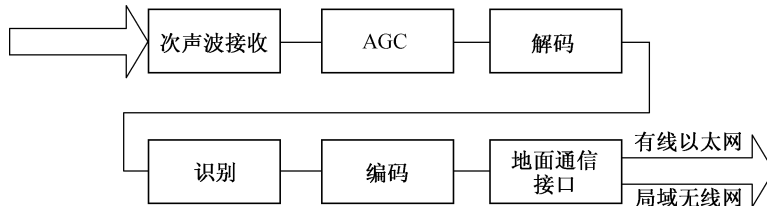


图 6 地面通信基站组成示意

地面通信站接收到应急信息后先进行 AGC 放大，通过解码和识别决定是否发射。如果识别认定为同一信源同一信息，放弃放大；否则编码发射到通信接口，并通过以太网或无线局域网传输到应急中心的服务器。防止对同一信息循环发射。

应急服务器：应急服务器通过大屏幕显示器显示并下载来的应急信息和信源位置；同时，应急服务器还可向井下发出指导信息。

3 考核参数指标要求

- (1) 手持机械波发生器发生频段 10 ~ 300 Hz。
- (2) 手持机械波发生器瞬间发射功率 1 ~ 10 W。
- (3) 手持机械波发生器能够根据需要发出编码信息。
- (4) 通信中继站能够接收 10 ~ 300 Hz 机械波信号。
- (5) 通信中继站能够发出 10 ~ 300 Hz 机械波信号。
- (6) 通信中继站能够编码、解码。
- (7) 通信中继站之间的距离 10 ~ 100 m。
- (8) 手持机械波发生器小于 20 cm × 20 cm × 10 cm，质量小于 500 g。
- (9) 通信中继站防压、防砸、防火、防水。
- (10) 建立 1 个 500 m 以上的通信试验。

4 试验效果评价

通过井上下模拟试验，采用人员定位模块和机械波通信模块核心技术，通过机械波基站接收和放大系统，机械波信号传输稳定，能够实现井下被困人员与地面救援人员的通信畅通，并能确定被困人员在井下的位置，为实施被困人员救援提供了位置定位和应急通信保障。

参 考 文 献

- [1] 林书玉. 功率超声技术的研究现状及其最新进展[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2001, 29(1).
- [2] 王彬. 利用多种震源测量介质波速度变化的实验研究[D]. 中国科学技术大学, 2009.
- [3] 同济大学声学研究室. 超声工业测量技术[M]. 上海: 上海人民出版社, 1977.
- [4] 范百刚. 超声原理与应用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984.
- [5] 胡登翔. 听不见的声音——次声波[J]. 现代物理知识, 2007(3).
- [6] 华兴恒, 尹家增. 次声波及其应用[J]. 物理教师, 2004(9).
- [7] 牛兰杰, 李京华. 次声波在军事上的应用[J]. 探测与控制学报, 2007(S1).