



次声在雷暴探测中的应用

韩金林

(中国科学院声学所)

1989年9月16日收到

本文主要叙述雷暴次声的频率结构及其产生的物理机制。提出用闪电的电磁场脉冲来确定雷暴源的方向,用雷电产生的次声来识别雷声,制作成功 LD 型自动记录雷暴仪。实现了气象台站对于 20km 这一人耳闻雷作用距离范围内的雷暴过程的记录和报警的自动化。

暴过程记录和报警的自动化。

一、前言

雷暴是每个气象台站的重要的气象观测项目之一。但雷暴的观测历来靠耳目目测,常漏记或误记,既辛苦又不准确。国外的雷电定向仪,基本上都采用 Watson-Watt 方法。即利用二只正交的框形天线接收闪电产生的电磁场,分别放大后加到示波管的 X 及 Y 偏转板,产生一条扫描线,即指示了雷电源的方向^[1]。这种方法对于确定上百 km 以外的远程雷电的方向是有效的。但是在 30km 距离范围内,由于雷电频谱的峰值为 7kHz—10kHz,波长为 30km—40km,我们的观测范围正好小于一个波长,因而存在复杂的近场效应。在这一范围内雷电电磁场中的静电场,感应场分量大大超过辐射场分量,因此很难用 Watson-Watt 方法实现定向及自动记录。因为在近场,示波管上显示的是一片紊乱的图形而不是一条定向直线。然而按照气象观测范围规定,气象台站观测人员必须记录雷暴的方向及其起止时间。历史上人工观测雷暴的起止时间是以人耳闻雷作为依据的,而人耳闻雷的作用距离大致为 20km。目前国内还没有能自动记录 20km 这一人耳闻雷距离范围内的雷暴探测仪。我们采用闪电的电磁场脉冲来确定雷暴源的方向,用雷电产生的次声来识别雷声的方法,设计制作了自动记录和报警的 LD 型雷暴仪,实现了气象台站对于雷

二、雷暴次声的频率特性及其产生的物理机制

雷暴过程可产生可听声及次声。关于雷暴次声,国内外学者都研究得比较少。Schmid^[2](1914年),Arabadzhi^[3](1952年)都曾用谐振箱记录到雷暴的次声信号。对于次声频率范围,前者认为在 5Hz 以下,后者得峰值在 0.5 Hz。新墨西哥矿业学院的 Holmes(1971年)等人用频响为 0.3Hz—20000Hz 的电容传声器测量到雷声信号^[4],他们通过绘制等功率线随雷的频率和到达时间的变化,指出雷声动态谱中存在两个峰值强度:一个在闪电之后 13s 出现,这时的峰值频率在 61Hz 处,功率水平值为 81dB;另一个在闪电之后 21s 出现,这时的峰值频率在 5Hz 处,其功率水平值为 83 dB。在 1980 年—1985 年间,我所曾与浙江乐清气象站用频响为 0.1 Hz—20 Hz 的动圈型次声接收器接收并记录到大量的雷暴次声信号。图 1 所示的次声波列就是在 1981 年 4 月 3 日,在静风条件下所记录到的雷暴次声信号波列。该雷暴次声的最大幅度的声压为 12 μ b。从该波列图还可看出雷暴次声信号是从正压开始的。我们选择采样频率为 20 次/s,以 512 个样点对它进行功率谱的分析,其结果如图 2 所示。从图中可以看出:雷暴次声的主要频率范围在 1.3Hz 至

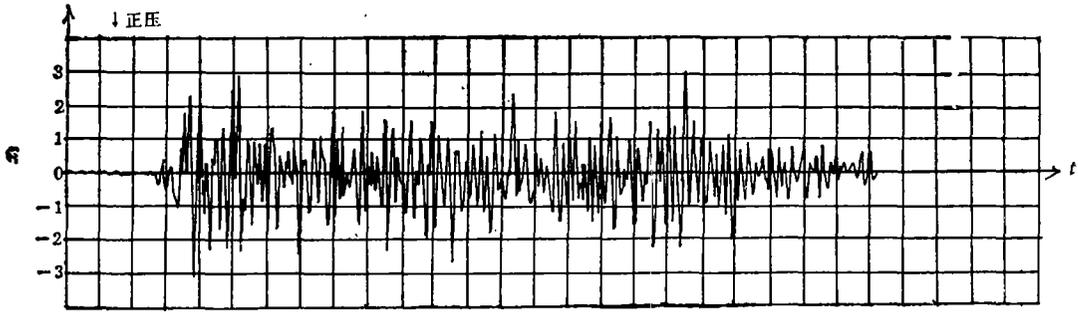


图1 1981年4月3日雷暴次声记录. 静风,雷暴源离测站3.7km,量程0.5V/cm,纸速1cm/s,此图已缩至1/2.

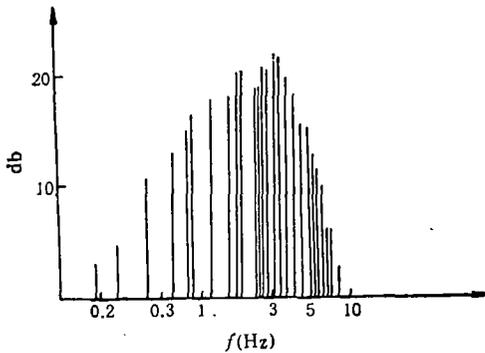


图2 雷暴次声波的频谱

6Hz 之间,优势的雷暴次声频率是 3.5Hz.

关于雷暴次声产生的物理机制,目前国外有人认为是由雷雨云的静电机制产生的^[3].他们认为:当带电的云产生闪电之后,大气压力降低,形成一个负压的声稀疏脉冲,然后大气压力趋于平衡.这样,大气产生一个以负压为起点到正压的声脉冲.这一结论与我们观测到的雷暴次声以正压开始的情况不符.所以我们认为雷暴次声的产生,同闪电产生的热通道有关.当闪电通道中的空气柱,在剧烈增温而迅速膨胀时,就产生冲击波,在向外传播中,冲击波衰变成声波.开始时这种声波的频率很高,经过一定距离后,次声波能才占主要成分.因此可以认为雷暴的可闻声和次声是来自一个声源.

三、自动记录雷暴仪的设计

自动记录雷暴仪的研制,主要是为了气象

台站代替人工对雷声和闪电进行自动记录和报警.这样就要求设计雷暴记录仪必须达到以下几个要求:①能接收,判别和自动记录雷声信号.②能自动判别,自动记录闪电方向.③接收范围为 20 km 以内这一人耳闻雷观测范围.这样,设计自动记录雷暴仪必须采用与以往的雷电定向仪不同的原理.设计的关键是如何能很好地解决雷暴源方向的判别及雷声的识别这两个难题.

1. 雷声的识别

雷声是闪电使空气受高热产生猛烈的膨胀而发出的声音,它含有可听声及次声两种成分.由于雷暴次声信号强,干扰小,所以我们采用雷电产生的次声波来识别雷声.然而在自然界中普通风,台风,地震,火山爆发等自然现象,以及人为进行的火箭发射,核爆炸等都可以向大气辐射次声波.虽然某些次声波源在频率上是可以区别开来的.但是风的次声频谱较宽,因而它成为雷暴次声的主要干扰源.经测量研究,风的次声频谱峰值在 0.1Hz—0.5Hz.一般当平均风速小于 4m/s 时,2Hz—5Hz 的次声分量很弱,随着风速的增大,2Hz—5Hz 的次声分量强度也增加.当测站附近平均风速达到 7m/s—8m/s 时,其 3Hz 分量的幅度与 10km—15km 处的雷暴次声的 3Hz 分量的幅度相当.为了抗风噪声对雷暴次声接收的干扰,我们采用了以下两种措施:①由于闪电和雷声是同一雷暴过程的两个不同效应,因此在我们的自动记录雷暴仪设计中,同时接收闪电的电磁场脉冲和雷

暴的次声信号。如果只有阵风产生的相似于雷暴次声的干扰信号而没有接收到闪电产生的电磁场脉冲，则雷暴仪自动判别为没有发生雷暴过程。考虑到闪电电磁脉冲信号先于雷暴次声信号到达，并按声速为 340m/s 计算，从 20km 处的雷暴过程次声到达测站次声接收器约要 1 分钟，我们在雷声识别中规定，在 1 分钟内有闪电。②根据测站周围风的次声干扰作门限自动调节，当风增大时，门限自动提高。在设计自动记录仪中实现门限自动调节的办法是：用次声接收器接收到的次声信号，一路经过中心频率为 4Hz 的滤波器滤波后提取出雷暴次声信号加到比较器的一端。另一路经过 0.5Hz 滤波器滤波后便得到反映风速大小的 0.5Hz 的次声分量，经整流平滑后加到比较器的另一端作为自动门限调节，只有大于风噪声门限的雷暴次声信号才能通过此比较器。通过多次实验分析，在一秒钟内至少要有连续三个超过此门限的雷暴次声信号通过此比较器，才能判别为一次雷暴过程发生，否则就要产生误判。根据上述两点判别雷声的方法，就可把较大的阵风或偶然因素的随机次声干扰排除在外。另外，根据气象部门的观测，一次延续的雷声，其间可能有短时间的中断或减弱。但这一中断或减弱时间最多不超过 $4-5$ 秒钟。在这一时间间隔之内，要求自动记录雷暴仪判别为一次雷声。

2. 雷暴源方向的判别

雷暴源方向判别的原理是以闪电电磁脉冲的极性作为判别的依据。我们以定向的磁棒天线作为磁场的接收天线。对于电流矩方向向上的闪电即“正闪”（如典型的云地闪电）。“正闪”时，当放电发生在磁棒的左边或右边，则在该磁棒线圈上分别感应出如图 3 所示的感应电压（指第一个脉冲的极性）。反之，对于电流矩方向向下的“负闪”（如典型的云中闪电），则极性相应地反过来。“正闪”和“负闪”可以通过垂直电场天线所接收到的第一个脉冲信号的极性来判别。对于“正闪”电场的第一个脉冲极性是负的，“负闪”则反之。我们用四条相同的磁棒天线作为磁场接收天线。每组二条，互相正交，而

应用声学。

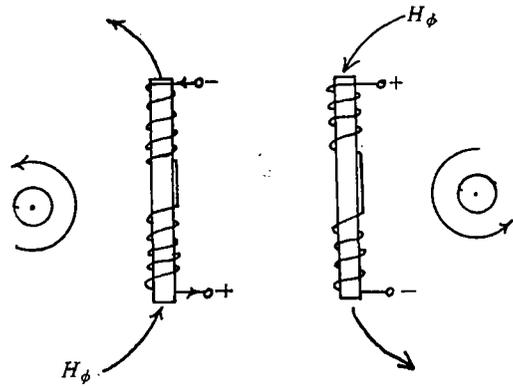


图 3 磁棒线圈上感应出不同的感应电压

两组间相互错开 45° 。四条磁棒所收到磁场信号的极性，经逻辑组合之后，就可以确定雷暴源八个方向中的任何一个。方向判别逻辑原理见图 4。

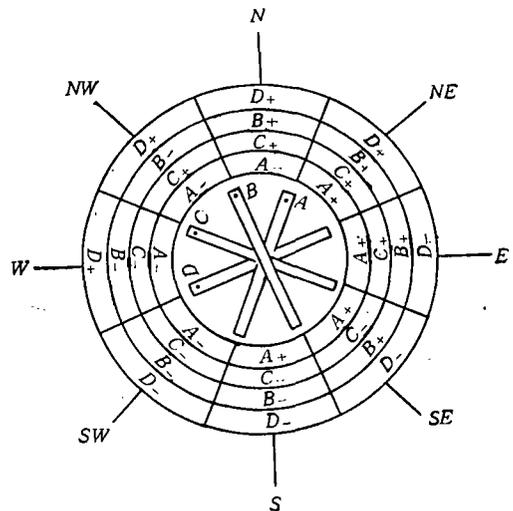


图 4 雷暴源方向判别逻辑原理

3. 自动记录雷暴仪的组成及其性能

根据上述自动记录雷暴仪的设计原理，我们设计并制作了 LD 型自动记录雷暴仪。其结构原理框图如图 5 所示。它是由闪电方向判别电路，雷声识别电路及雷声报警电路等几部分所组成。该自动记录雷暴仪的电磁场信号部分的灵敏度限设计在 $30\text{km}-50\text{km}$ ，略远于可闻雷距离，以便自动开机。次声部分的灵敏度上限设计在 20km 左右。闪电方向判别电路有电磁脉冲放大电路，比较极性判别电路，方向组

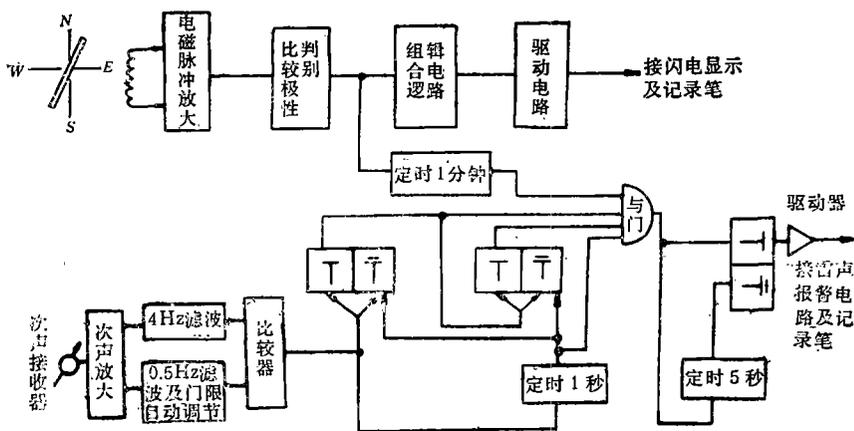


图5 LD型自动记录雷暴仪框图

合逻辑电路及驱动电路等几部分所组成。电磁脉冲放大器将磁棒线圈感应到的 $7\text{kHz} \sim 10\text{kHz}$ 的电磁场脉冲进行放大, 然后经过比较极性判别电路, 一方面选择出超过一定电平的符合电磁场信号接收部分灵敏度限 $30\text{km} \sim 50\text{km}$ 的闪电信号, 并判断其感应电压极性。另一方面将此超过一定闪电电平的电磁场脉冲信号, 经过一分钟的延时加到雷声识别电路四与门中的一个端子, 以便说明一分钟内有闪电。经过极性判别后的闪电电磁场脉冲信号再通过组合逻辑电路组合之后, 就可以决定闪电的八个方向之一。最后通过驱动电路将闪电的方向用灯光显示及在钟筒笔记录器上记录。

在雷声识别原理中曾经提及对一次雷声的逻辑判别作如下设置: ①一秒钟内有三个信号强度超过一定门限的雷暴次声正脉冲。②两次信号之间的间隔不超过 5 秒钟。③一分钟内有闪电。根据这一雷声的逻辑判别原则, 在我们设计的 LD 型雷暴自动记录仪的雷声识别电路中就有次声放大器, 中心频率为 0.5Hz 及 4Hz 的有源滤波器, 自动门限调节电路, 比较器, 计数器, 1s 及 5s 的定时电路。次声接收器接收到次声信号后经次声放大器放大。一路次声信号通过中心频率为 4Hz 的窄带通滤波器滤出雷暴次声信号加到比较器的一端。另一路次声信号经 0.5Hz 滤波器提取出反映测站周围风速大小的风噪声次声信号, 再经整流和平滑后加到

比较器的另一端作为比较器的门限控制调节。当风速增大时, 比较器的门限就自动提高。然后将大于本地风噪声次声门限的雷暴次声脉冲送入计数器进行计数。用通过门限的雷暴次声的第一个脉冲去启动 1 秒钟的定时器, 从而来控制计数器的计数时间。当达到 1 分钟内有闪电, 并且在 1 秒钟内有 3 个信号强度超过一定门限的雷暴次声正脉冲时, 四输入端与门就有输出去触发报警电路的触发器, 使自动记录雷暴仪发出报警信号及记录笔记下雷声信号。另一方面, 四与门的输出经 5 秒钟的延迟定时电路后使报警电路的触发器复位, 这样就达到将两次雷声间隔不超过 5 秒钟的雷声信号, 判别为一次雷声的气象部门观测雷声的要求。

LD 型自动记录雷暴仪具有下列一些功能: ①由闪电信号自动开机, 也可人工开机, 每次开机都自动进行清零。为了便于长期自记, 连续工作设置了自动启闭电路。在自动启闭状态, 若无闪电, 只有值班部分电路工作。当有超过一定门限的闪电信号进入, 自动开机的继电器接通非值班部分的电源, 全机投入工作。②当雷声识别电路接收到超过一定门限的第一次雷声信号, 即发出持续 5 秒钟的报警声。若按键处于多次报警状态, 则可对每次雷声发出报警声。③在任何一次的雷声信号之后 10 分钟内, 若无雷声信号, 则认为该次雷暴过程结束, 非值班部分就自动断电, 等待下一次雷暴过程的

到来。④闪电及雷声信号除灯光显示外，还在气象自记钟上记录。

四、讨 论

雷暴是危害性的天气现象，它是航空飞行的主要危险天气。除此之外，许多强烈发展的灾害性天气系统如冰雹、暴雨等均伴有雷暴。根据我们对雷声的观测记录的初步分析，不同天气系统的雷声在持续时间、强度、频谱等方面各有不同的特点。因而雷暴次声的研究有可能为这些目前还难以预报的天气系统的探测和预报提供信息。雷暴的气象台观测记录也为今后准确的雷暴过程预报提供依据。雷暴的人工观测不仅带有主观性，而且当气象观测人员在白天听雷声，由于白天可闻声噪声干扰多，人眼又无法判断闪电时，常把一些机器的轰鸣声等类似的声音误判为雷声。因此人工闻雷的误判率很高。LD型自动记录雷暴仪经二年多来的使用，接收了几十次的雷暴过程，对雷暴判别的准确率达到90%。满足了气象部门规定80%准确率的要求。雷暴仪探测雷暴的灵敏度稍高于人

耳闻雷。LD型自动记录雷暴仪10%的误判主要都发生在大风时。因为随着风速增大，风噪声的2Hz—5Hz的次声分量也增大。一般当测站附近的风速达到7—8m/s时就可能要误判。我们也对一些气象台站，在雷暴过程起止时刻10分钟的平均风速资料进行过调查。一般气象台测站周围的平均风速大于5m/s的次数只占总次数的12%。但是在海岛山头等地的台站，风速大于5m/s的次数要占到雷暴总次数的36%。对于风速大的地区，我们认为必须采用次声接收器加接长管的声学滤波的办法来抗风噪声的次声干扰，或者采用微计算机进行相关处理以提取雷暴次声信号。

参 考 文 献

- [1] 赵柏林，张骥琛，大气探测原理，气象出版社，1987，429—434。
- [2] Schmidt, W. Über den Donner. Met. Z.31, 1914, 487—498.
- [3] Arabadzhi, V. I. On some characteristics of thunder. Dokl. Akad. Nauk SSSR 82, 1952,377—378.
- [4] Golde, R.H., 雷电，电力工业出版社，1982，321—324。
- [5] 成都气象学院主编，气象学，农业出版社，1979，266—267。

亚运会大学生体育馆空间吸声体的设计和应用

项端祈 陈金京 王 崢 葛砚刚

(北京市建筑设计院研究所)

1989年4月5日收到

大学生体育馆于1988年10月竣工，是亚运会工程中首先交付使用的体育场馆之一，全国农运会的球类、体操等比赛项目和闭幕式在该馆进行，通过使用，普遍反映语言清晰度高、声场均匀、噪声水平低和没有音质缺陷。

该馆采用屋架暴露(球节点网架)不设吊顶的建筑形式，使馆内有效容积巨增，每座占容积13.9m³，是目前国内同类体育馆的2倍。在如此巨大的容积内，用有限的投资和声学处理面积达到预期的声学效果，是通过空间吸声体的合理设计和应用实现的。本文仅就空间吸声体的设计和应用作概要的介绍。

一、概 述

大学生体育馆供亚运会篮、排球、体操和手
应用声学

球比赛之用；亚运会后，则作为北京体育师范学院教学和比赛用。因此，在馆内观众席的配置中，活动座席约占总数的2/3，以便根据不同的使用要求，改变赛场的大小和观众席数量。在