

组合侧喷式野外人工模拟降雨装置

陈文亮

(中国科学院西北水土保持研究所)

人工模拟降雨装置，根据它的用途，可分为室内人工模拟降雨装置和野外人工模拟降雨装置两大类。前者在设计、安装等条件方面较后者有许多有利的地方，例如水、电的供给以及装置的结构等均不受地点和运输条件的限制。还有，对一些影响降雨的自然因素，如风、温湿度等可以加以控制，但对于降雨所研究的对象——不同的土壤、地形、坡度、植被，耕作等因素，前者却较后者受到很大的限制；相反，后者更能接近自然状态，直接对其进行研究。

所以研制发展野外人工模拟降雨装置，具有重要的意义，目前国内外都非常重视。国外一些国家，主要研制和采用一些较轻型携带式或车载式的降雨器，降雨器的结构为振荡式、圆盘旋转式，其降雨高度较低，一般为1—3米；散水面积小，一般是几个平方米；降雨量也很小。

在国内，由于我国的土壤、地形、坡度、植被以及降雨等自然条件比较复杂，对水土流失的影响也比较严重，同时还受到一些试验条件、水电供给和交通运输等的限制。这样，要求我们研制能够在一些有代表性的坡面上，进行不同的土壤侵蚀模拟试验，而且要求具有一定的降雨覆盖面积，有一定的降雨高度，产生的最大降雨强度要达到4毫米/分钟以上这样一种野外人工模拟降雨装置。为了满足野外的试验任务，国内现有的和正在研制的野外降雨装置，总的倾向，主要是打算发展中型和较大型的降雨装置。

本文介绍我所近年来研制的一种组合侧喷式野外人工模拟降雨装置。本装置喷头采用方侧式喷头，经过组合具有散水面积大、降雨强度高、粒径较大的特点。整套装置由CS4型供水消防车、车载分水箱、降雨喷头、降雨装置座架、供水管路、防风篷等部分组成。

一、CS4型供水消防车

CS4型供水消防车，由长春消防器材厂生产，供水系统的主要性能：

- 1、水罐容积：4,000升。
- 2、水泵 型号：DS35型中置式单级离心水泵；
转速：3,240转/分钟； 流量：35升/秒；
压力：5公斤/平方厘米； 扬程：43米；
最大吸水深度（利用排气引水）：7米；
引水时间（利用排气引水）≤35秒。
- 3、进出水管路：进水管100毫米，出水管65毫米。

二、分水箱

分水箱的主要尺寸：

容积700×250×200毫米，进水管65毫米；

出水管40毫米（再分两条25毫米接管）。

该分水箱同时可接六个喷头，即可控制三组喷头的供水，车载搬运。

分水箱的进水口为65毫米的消防栓与供水消防车出水口用水带相连接。通过安装在分水箱上的三组40毫米的出水口进行分水，每组又分成两个可控制的25毫米的水阀门，用25毫米的胶管与降雨喷头接管相连接，分别或同时给喷头供水。分水箱装有回水管，其上还装有压力表，用来调节分水箱的供水压力。

为了方便搬运分水箱，将分水箱安装在专用的推车上。

三、降雨装置

降雨装置由降雨喷头、降雨装置座架、接管等部分组成。

（一）降雨喷头：

1、组成。降雨喷头采用方侧式喷头。喷头由喷头体、出流孔板、碎流挡板以及碎流挡板支架、螺钉等构件组成（图1）。

2、安装。按图1的顺序装配，然后将喷头体安装在供水接管的上端，供水接管通过三个法兰与降雨装置座架相连接。

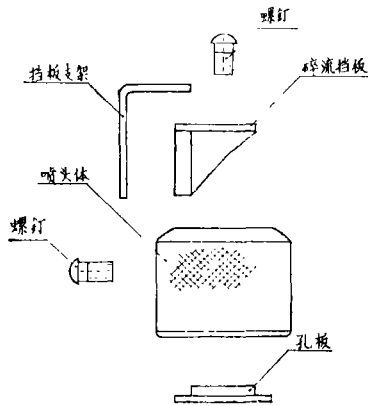


图1 喷头

3、原理。水流经过供水接管流到喷头的孔板上，由孔板的锥形面和锥顶上的集流孔进行集流。集流形成水柱，水柱射向碎流挡板上，经过碎流挡板被分散，形成近似扇形碎流面喷射出去，散落下来形成降雨。

4、各构件的性能：

（1）喷头体是固定孔板、碎流挡板等构件，并作连接供水接管之用；

（2）孔板是一个锥顶角为 156° 的锥形面板，锥顶角上有出流孔，孔径有 $\phi 5$ 、 $\phi 7$ 、 $\phi 9$ 、 $\phi 11$ 、 $\phi 13$ 、 $\phi 15$ 毫米等6种规格。孔板有集流和控制出流水柱大小的作用，也就是在同一个压力下，使用不同规格孔径的孔板，可以改变出流量，用来获得不同的降雨强度和不同雨滴粒径的降雨。

（3）碎流挡板有一碎流面，是由一个夹角为 165° 的两个平面构成，碎流面的水平抛射角为 45° 。碎流挡板的作用是将出流水柱粉碎，抛射出去形成降雨。

（二）喷头的组合。本降雨装置有一个活动的喷头座架，增加了喷头的个数，在每一个座架

上装有三个不同规格的喷头，组成三组。这样，在进行试验时，在同一个压力下，不需更换另外孔径的孔板，就可以模拟7种不同降雨强度的降雨，而且能获得降雨强度较大的降雨。如果将6种孔径的孔板进行更换组合，在同一个压力下，可以模拟41种不同降雨强度的降雨。

为了使座架上的三个喷头在降雨时在喷头附近不造成相互遮挡或重叠，三根喷头供水接管的安装高度不能相同，每两个喷头的高差均为5—10厘米。同时三个喷头也不在一个垂直面上。

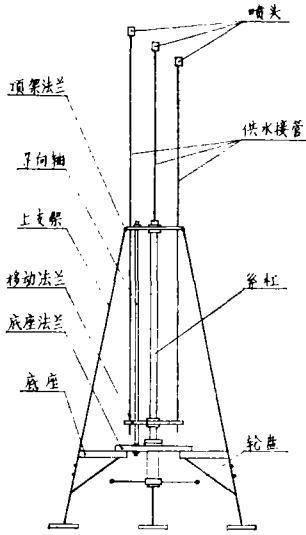


图2 降雨座架

(三) 降雨装置座架 (图2)。座架是降雨装置的一个重要组成部分，由于降雨装置所承担的任务以及工作场所不同，对降雨座架的设计要求也不同。因要在不同地形、不同坡度的坡面上进行模拟降雨，同时要保证有一定的降雨高度。这样，在设计时，要特别考虑装置的活动性与装置的适应性，也就是要求装置要具有易于安装、拆卸、调整，重量轻，易于移动，运输方便等特点。

本装置的座架，其零部件的连接方式，大部分采用活结方式；材料多数采用管料，杆件的尺寸均小于2米；重量为几公斤，最重的底座架也只有十几公斤。

降雨装置座架由底座架、上支架、丝杠、导向轴、法兰、轮盘等部件组成。

座架高2米，底面由三根管支撑，中心距为0.6米，喷头供水接管6米，可调高度1.2米。喷头合计高度为8—9.2米，加上喷头喷高1—1.5米，实际降雨高度超过10米。

(四) 供水系统 (图3)。由供水车开启水泵，通过100毫米的吸水管将河沟、湖塘或蓄水池的水吸入水罐，运往试验区。然后供水车开启水泵将水通过65毫米的出水管（水带）压入分水箱，再通过分水箱上装的三组阀门控制，用25毫米的胶皮软管与喷头供水接管相连接，给降雨喷头供水。

为了减轻由于供水接管高度过高引起的变形，以及有利运输，供水接管采用轻型铝合金管，而且将其截成长度小于2米，用管接头连接起来。

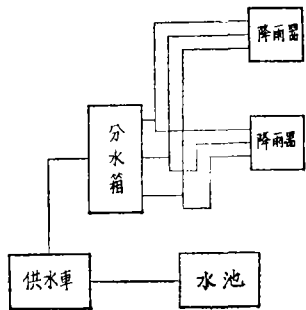


图3 供水系统

四、降雨装置降雨性能的测定分析

本降雨装置降雨性能的测定，由于影响降雨的因素较多，条件比较复杂，但只要根据本降雨装置的特点，找到影响降雨的诸因素，并弄清它们之间的主要方面，就易于进行测定。影响本降雨装置降雨的因素，主要有供水压力、喷头的高度、喷头座架的相对位置、试验小区的尺寸，以及一些自然因素，如温度、风速等。

对于自然因素的影响，除了风速较大的情况下采用防风篷挡风外，一般的情况下，自然因素暂不考虑。

本降雨装置是选用黄委牟金泽等同志所设计的喷头，现仅就在保证降雨装置工艺要求的条件下，以降雨强度为指标，测定影响降雨强度的诸因素，并以此来对降雨装置性能进行分析讨论。

1、组合式降雨喷头的降雨强度的分布。从组合降雨装置的降雨强度分布测定 (表1)，与实测黄土高原最大点雨量所得的平均降雨强度 (表2) 来比较，可以看到，本降雨装置通过不同

表 1 降雨强度分布表

孔板规格 组合 (毫米)	压 力 (公斤/平方厘米)	降 雨 区					
		面 积 (平方米)	雨 强 (毫米/分)	面 积 (平方米)	雨 强 (毫米/分)	面 积 (平方米)	雨 强 (毫米/分)
9	1.8	8×4.5	0.91	8×2.25	1.08	6×2.25	1.23
11	1.8	8×4.5	1.48	8×2.25	1.68	6×2.25	1.78
13	2.3	8×4.5	1.84	8×2.25	1.93	6×2.25	1.93
15	1.8	8×4.5	1.91	8×2.25	1.97	6×2.25	1.84
9,11	1.8	8×4.5	2.62	8×2.25	2.77	6×2.25	3.59
9,13	1.8	8×4.5	2.97	8×2.25	3.08	6×2.25	3.67
7,11,15	1.8	8×4.5	3.47	8×2.25	3.62	6×2.25	4.45
9,11,13	2.3	8×4.5	4.22	8×2.25	4.42	6×2.25	4.73

注：喷头高度和座架距离均为 8 米；仅选择了几组组合降雨资料来说明。

表 2 实测黄土高原最大点雨量表

历 时 (分)	雨 量 (毫米)	平均降雨强度 (毫米/分)
5	59.1	11.82
10	59.1	5.91
15	59.3	3.95
20	63.9	3.20
30	79.8	2.66
45	93.0	2.07
60	115.1	1.92
90	137.8	1.53
10小时00	1,400.0	2.33
17小时10	288.2	0.28
24小时00	408.7	0.28
24小时00	365.0	0.24

规格的喷头的组合降雨，在选择的试验小区面积上，基本上能获得两者相似的平均降雨强度；也说明了本组合式降雨装置，能满足黄土高原地区的人工模拟降雨试验。

2、降雨高度。降雨动能与动量是引起土壤侵蚀的重要参数之一，而动能与动量是决定于雨滴的终点速度；而粒径不同的雨滴要达到相应的终速度，则与雨滴的降落高度有关。根据劳斯等人的研究，为了使所有不同粒径的雨滴都能达到相应的终速度，最小的降落高度需要20米，而降落的高度为10米，就可以满足95%以上不同粒径的雨滴达到其相应的终速度。本降雨装置的设计降雨高度最大为10米以上，根据测定，随着降雨高度增加，降雨分布的均匀性也随之改善。

3、降雨面积的分布。降雨面积的大小分布是随着供水压力的变化而变化，两个或两组喷头对喷降雨时，还要受到喷头座架的相对距离大小的影响。

(1) 单个喷头降雨时(其降雨分布如图 4—1)，降雨面积的变化情况，在喷头高度为 8 米，压力为 0.5—1.2 公斤/平方厘米时，其喷宽 B 平均为 10 米，最大的前喷距离 R_1 平均为 6 米，最小的前喷距离 R_2 平均为 2 米，平均前喷中心距离 R 约为 4 米。

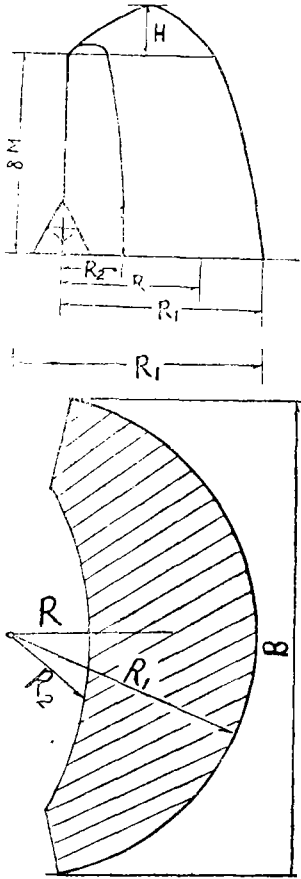


图 4—1 降雨面积的分布 (单个喷头)

(2) 两个或两组喷头对喷时 (其降雨分布如图4—2), 就会形成重叠的降雨区, 要在重叠的降雨区得到分布较均匀的降雨和获得一定的降雨强度, 必须选择好重叠的降雨区。而重叠的降雨区的大小决定于两个喷头的相对距离, 即喷头座架的相对距离 L ; L 过大重叠的降雨区则小, L 过小重叠的降雨区的降雨则不均匀; 两者都不能保证获得分布较均匀的降雨和一定的降雨强度。所以在压力变化大的情况下, 对喷头座架的距离 L , 要适当地调整选择。根据测定, 距离 L 的大致范围如下: 当降雨高为 8 米时, 压力在 0.5—1 公斤/平方厘米时取 距离 $L = 7—8$ 米; 压力在 1—1.5 公斤/平方厘米时, 距离 $L = 8$ 米; 压力超过 1.5 公斤/平方厘米时, 距离 $L = 8—9$ 米。

4、不同规格孔板孔径的选择。在前面降雨喷头部分已介绍过, 孔板的孔径有 $\phi 5$ 、 $\phi 7$ 、 $\phi 9$ 、 $\phi 11$ 、 $\phi 13$ 、 $\phi 15$ 毫米等 6

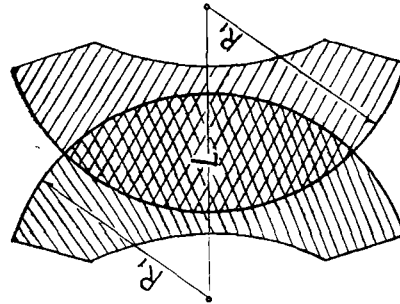


图 4—2 对喷降雨面积的分布

种规格, 在一定的压力下, 不同孔径的孔板, 可以获得不同的降雨强度。根据测定, 不同规格的孔板有其适宜的压力范围: 压力小于 1.2 公斤/平方厘米时, $\phi 5—13$ 毫米孔径的孔板降雨分布较好, 一般适于室内压力不高的情况下选用, $\phi 15$ 毫米的孔板较差; 压力大于 1.2 公斤/平方厘米时, $\phi 9—15$ 毫米的孔板降雨分布较好, 适于压力较大的室外选用。 $\phi 5—7$ 毫米的孔板, 特别是 $\phi 5$ 的孔板, 压力稍增大雨滴容易雾化, 同时雨滴细小, 极容易受空气扰动的影响。

四、防风篷的初步设计

在野外, 进行人工模拟降雨试验中, 遇到的一个比较困难的问题, 就是防风问题, 如这个问题解决不好, 就会给试验带来极大的困难。由于试验小区的大小和位置, 是根据降雨喷头的撒水面积的大小范围来确定。本降雨装置的喷头所形成的雨滴分布较均匀的降雨覆盖面积约为 8×3 米, 所以小区尺寸应选择在坡长小于 8 米、宽度小于 3 米; 当降雨装置的位置被固定, 小区的位置也相应的被固定。这样, 靠近刚离开喷头而喷射出来的雨滴, 若受到风吹拂, 降雨就会偏离试验小区, 部分或大部分落到小区之外。偏离的程度, 主要决定于风速的大小。同时在风速一定的情况下, 随着降雨高度的增加, 偏离也将变的更加严重。例如, 在喷头的高度为 8 米时, 离开喷头 10 厘米处的雨滴偏移 1 厘米, 落地时就偏移 80 厘米。另外在野外, 风向常常不定, 所以单面挡风, 双面挡风都不能彻底解决问题。在考虑设计中, 我们采用了四面挡风 (需要时加顶) 的设计。同时还要考虑防风篷的活动性, 重量轻, 易于安装拆卸, 运输方便。目前只进行了初步设

植树种草 改善生态环境

——琼江流域调查纪实

王俊英

(四川省水土保持办公室)

(一)

琼江(又名安居河,有的地图上叫关渡河)是嘉陵江的支流,发源于乐至,流经遂宁、安岳、潼南、铜梁等县,在铜梁安居镇汇入嘉陵江。这五个县除铜梁有少部分低山外,绝大部分是丘陵,在四川盆地中部有一定的代表性。该流域总幅员面积8,772平方公里,人口483.79万,每平方公里人口密度551人,最高的遂宁达617人,最低的潼南495人。耕地面积526万亩,占幅员面积的0%,每人平均1.05亩。这里属亚热带湿润季风气候,春早、夏长、秋短、冬无严寒,无霜期长,雨热丰富。年平均气温16.8℃(乐至)至17.9℃(潼南)。年平均降雨量1,000毫米左右,但降雨年内分布不均,夏秋集中了年雨量的70%以上,常出现旱洪灾害,对农业生产威胁较大。

解放后,在党和政府的领导下,流域内在五十年代就开始了以治水改土为中心的水土保持工作,取得了一定成绩。三十多年来,五县兴修水利工程4万多处,蓄水工程总水量近9亿立方米,有效灌溉面积213万亩,占耕地面积40.4%,保证灌溉面积139万亩,占总面积26.5%。坡改梯、土变田40多万亩,植树造林保存面积43万亩,四旁植树2.3万多株,对减少水土流失,促进农业生产起到一定的作用。

但由于流域地形起伏,坡耕地多,岩层松软,易于风化,紫色土抗蚀力弱,加之降雨集中,且多以暴雨形式出现,地面径流迅猛等自然因素,尤其受“左”的错误影响,片面强调以粮为纲和几次严重破坏,森林覆盖率显著下降。据1975年森林普查统计,铜梁最高为10.3%,安岳1.02%,其他三个县不到1%。同时铲草积肥、开荒种植等原因,水土流失仍然十分严重。

根据调查资料,五县水土流失面积为6,535.4平方公里,占总面积的74.5%。水土流失面积比重较大的是乐至县,占81.5%、遂宁79.9%、潼南76.8%、安岳72.8%,水土流失面积占幅员

计,尚未加工使用。

小 结

本组合式降雨装置,主要是为野外人工模拟降雨而设计的。在野外,会受到许多物质的或自然条件的限制。降雨装置的用水,我们使用消防供水车来供给。测试仪表的用电,目前尚未解决,给测试工作带来了一定的困难。这方面的工作,我们尚在考虑解决之中,打算采用直流电源或车载发电机供电。风的影响,我们初步设计了防风篷。由于所要求的降雨高度较高,防风篷的建筑面积较大,虽在设计中尽量考虑使结构简单,重量减轻,但是对野外流动工作来说,防风篷还是有些笨重,是否能适应野外作业,这只是一种初步的尝试。