



现代化人工影响天气 装备技术概论

于子平 主编

现代化人工影响天气 装备技术概论

于子平 主编

内容简介

中国气象科学研究院与中国兵器科学研究院在涉及人工影响天气的关键、核心技术领域,如双偏振气象雷达、新型火箭作业系统、无人机作业与探测系统、机载云粒子测量系统、微波辐射计系统、新型催化剂等方面开展深入合作研究,突破一些瓶颈技术,发展我国新一代人工影响天气高新技术。本书共分八部分四十一章,从指挥控制技术、雷达技术、微波技术、激光技术、无人机技术、火箭技术、高炮技术等方面系统介绍了我国现代化人工影响天气的研究成果。本书内容丰富,图文并茂,数据翔实。

本书可供人工影响天气业务技术、作业人员,特别是装备维修保养人员应用和参考,也可做培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代化人工影响天气装备技术概论/于子平主编.

北京:气象出版社,2014.11

ISBN 978-7-5029-6049-0

I. ①现… II. ①于… III. ①人工影响天气-概论

IV. ①P48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 260644 号

Xiandaihua Rengong Yingxiang Tianqi Zhuangbei Jishu Gailu

现代化人工影响天气装备技术概论

于子平 主编

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.qxcbs.com>

责任编辑:隋珂珂

封面设计:燕 彤

印 刷:北京京华虎彩印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:870 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版

定 价:100.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:汪勤模

责任技编:吴庭芳

印 张:34.25

印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

《现代化人工影响天气装备技术概论》

编写人员名单

于子平	王东吉	王晋华	杜运理	李春化
卢建平	张 敏	张全秀	麻 林	稽振涛
柴 智	伍 波	夏志宇	李建兵	秋兴利
蒲小兵	李海庆	房轶丁	王 乐	钱 毅
施昌建	汤长俊	李娟娟	王文才	高大勇
刘存忠	金作龙	魏志强	孙海铎	苏小敏
史晓丁	冯永宁	刘永德		

序

我国现代人工影响天气事业从 1958 年开始,经过了五十多年的风雨历程。不论是业务规模还是技术水平都得到了长足的发展,特别是近三十年,我国人工影响天气装备和科学技术水平均取得了显著的提高,已跃居为世界人工影响天气大国。

我国是一个水资源严重短缺、气象灾害频发的国家。人均占有水资源量不足世界平均的四分之一,预计到 21 世纪中叶,我国人均水资源量仅为 1700 立方米,将成为联合国评价的用水紧张国家。我国水资源时空分布十分不均匀,由于季风气候影响,各地降水主要发生在夏季,大部分地区汛期连续 4 个月的降水量占全年的 60%~80%,导致大部分河川也是夏季丰水、冬季枯水,水资源中大约 2/3 左右是洪水径流量。这些事实和现实决定了干旱灾害是我国必须长期面临的主要气象灾害,与粮食安全、生态环境安全、社会稳定等重大问题密切相关。

大气降水是陆地水资源的主要来源。自然降水来自于空中水汽,而大部分空中水汽在我国上空流过,并未形成降水落到地面,实际转化为地面降水的不到 20%,因此,大气水资源开发潜力巨大,努力发展人工影响天气关键技术,积极开发利用大气水资源具有十分重要的战略意义。

为进一步提高我国人工影响天气装备技术水平,实现从人工影响天气大国到强国的战略性转变,在中国气象局和中国兵器集团双方领导的共同努力下,中国气象科学研究院与中国兵器科学研究院于 2009 年 2 月签订了《人工影响天气装备技术联合研发战略合作伙伴协议》。该协议提出充分利用各自的专业优势和研发力量,在涉及人工影响天气的关键、核心技术领域,如双偏振气象雷达、新型火箭作业系统、无人机作业与探测系统、机载云粒子测量系统、微波辐射计系统、新型催化剂等方面开展深入合作研究,突破一些瓶颈技术,发展我国新一代人工影响天气高新技术,并共同探讨 57 mm 高炮及弹药用于人影作业的可行性。

经过五年的艰苦努力,双方的合作研究取得了丰硕的成果,很多核心技术填补了国内空白。《现代化人工影响天气装备技术概论》一书系统地介绍了各研究成果的关键技术。

我相信,随着这些技术的不断完善和业务应用,必将对我国人工影响天气事业的发展产生重大的推动作用。最后借此机会,对人工影响天气装备研发付出艰辛努力的双方科研团队以及关心和支持我国人工影响天气事业发展的各界领导表示衷心感谢。

郭学良

中国气象局人工影响天气中心副主任

中国气象科学研究院研究员、博士生导师

中国气象学会人工影响天气专业委员会主任委员

2014 年 10 月

目 录

绪 论

第 1 章 中兵新型人工影响天气系统	(3)
1.1 引言	(3)
1.2 设计理念	(4)
1.3 总体方案	(4)
1.4 项目研制过程	(16)
1.5 达到的主要技术指标	(24)
1.6 结论	(28)

指挥控制技术

第 2 章 辅助决策与指挥控制技术	(31)
2.1 辅助决策与指挥控制的总体概念	(31)
2.2 辅助决策与指挥控制系统组成	(33)
2.3 雷达预警作业指挥决策	(42)
2.4 作业流程	(46)

雷达技术

第 3 章 双偏振天气雷达简介	(51)
3.1 偏振概念	(51)
3.2 双偏振天气雷达参数	(51)
3.3 双偏振天气雷达的配置方式	(53)
第 4 章 气象雷达回波信号数据质量控制	(56)
4.1 气象回波信号的信号特征	(56)
4.2 气象回波信号的功率谱表示	(57)
4.3 由相关函数估计速度和谱宽	(59)
4.4 信号质量因子的讨论	(60)
4.5 数据质量控制	(61)
4.6 影响谱宽的因素	(64)

第 5 章 天气雷达信号处理简介 (65)

5.1 天气雷达信号处理器..... (65)

5.2 信号处理器的工作模式..... (66)

5.3 地物对消处理..... (68)

5.4 谱矩计算..... (69)

5.5 门限计算设置..... (70)

5.6 使用随机相位编码解速度模糊..... (71)

第 6 章 气象雷达组成以及分系统描述 (73)

6.1 双偏振天线和馈线实现方案..... (73)

6.2 速调管发射机技术原理..... (75)

6.3 固态发射机基本原理..... (76)

第 7 章 固态发射机与脉冲压缩 (78)

7.1 引言..... (78)

7.2 脉冲压缩..... (80)

7.3 多普勒敏感性..... (83)

7.4 距离遮挡..... (84)

7.5 多个子脉冲构成的发射波形..... (86)

7.6 长、短脉冲宽度的考虑因素 (87)

第 8 章 天气雷达标定分析 (90)

8.1 太阳法测定正北..... (90)

8.2 雷达标定..... (91)

8.3 整机相位噪声测量..... (92)

8.4 水平偏振 H 和垂直偏振 V 的一致性 (92)

8.5 对双偏振天气雷达的标定要求..... (94)

第 9 章 雷达选型和使用中的若干问题 (95)

9.1 雷达波段选择..... (95)

9.2 雷达速度测量距离、速度和谱宽测量范围的讨论 (96)

微波技术

第 10 章 微波辐射计基本原理 (105)

10.1 黑体辐射及其定律..... (105)

10.2 大气辐射传输理论..... (106)

10.3 大气温湿参数的探测..... (107)

第 11 章 国产新型地基多通道微波辐射计 (109)

11.1 系统总体简介..... (109)

11.2 关键分系统介绍..... (110)

11.3 主要功能的实现..... (117)

11.4 目前达到的功能和指标..... (121)

11.5 系统技术特点..... (121)

第 12 章 仪器的验证试验	(123)
12.1 验证试验情况	(123)
12.2 亮温观测数据比较	(123)
12.3 大气温湿廓线数据比较	(124)
12.4 与进口同类仪器对照	(126)
12.5 仪器研制成果评价及讨论	(128)
第 13 章 仪器的使用、维护、保养	(132)
13.1 仪器的初始化操作	(132)
13.2 液氮标定安全准则	(133)
13.3 软件操作及说明	(133)
13.4 程序文件说明	(139)
13.5 仪器的维护	(144)

激光技术

第 14 章 激光粒子探测系统	(149)
14.1 激光技术的应用	(149)
14.2 中兵人工影响天气激光粒子探测系统	(158)

无人机技术

第 15 章 人工影响天气无人机探测系统	(177)
15.1 总体方案	(177)
15.2 试验和方案改进	(187)
15.3 人工影响天气无人机探测系统关键技术与创新点	(189)
第 16 章 人工影响天气无人机作业系统	(191)
16.1 总体方案	(191)
16.2 飞行器分系统设计和制造	(192)
16.3 地面站分系统设计	(195)
16.4 飞行试验及方案改进	(195)
16.5 无人机机载碘化银焰条研制过程	(199)
16.6 人工影响天气无人机作业系统使用说明	(203)
16.7 人工影响天气无人机作业系统常规检查与维护	(204)
16.8 人工影响天气无人机作业系统关键技术与创新点	(205)
第 17 章 催化剂焰条	(207)
17.1 催化剂简介	(207)
17.2 催化剂焰条	(208)
17.3 催化剂的使用、维护、保养	(210)

火箭技术

第 18 章	火箭总体方案	(215)
18.1	目标设计	(215)
18.2	流程设计	(215)
18.3	系统构成	(216)
18.4	系统功能设计	(217)
第 19 章	火箭弹设计	(220)
19.1	火箭弹总体设计	(220)
19.2	火箭弹总体设计方法	(221)
19.3	动力装置	(223)
19.4	火箭主要设计参数的确定	(232)
第 20 章	火箭弹飞行原理	(237)
20.1	火箭弹运动原理	(237)
20.2	空气动力及力矩	(239)
第 21 章	火箭飞行力学	(255)
21.1	作用在火箭弹上的力和力矩	(255)
21.2	火箭弹的运动方程	(255)
21.3	火箭弹的弹道特性	(257)
21.4	火箭弹的密集度问题	(259)
第 22 章	火箭气动布局	(266)
22.1	稳定装置的基本类型及参数的选择	(266)
22.2	尾翼几何参数的选择	(268)
第 23 章	火箭引信技术	(272)
23.1	引信的一般知识	(272)
23.2	引信的分类	(274)
23.3	火箭引信的基本要求	(276)
第 24 章	火箭动力装置	(278)
24.1	固体火箭发动机的特点、工作原理	(278)
24.2	固体火箭发动机的推力	(280)
24.3	主要性能参数	(282)
24.4	固体火箭发动机的推进剂及点火药	(284)
24.5	固体火箭发动机的设计问题	(287)
第 25 章	防雹增雨火箭	(292)
25.1	防雹增雨火箭弹发展概况	(292)
25.2	防雹增雨火箭弹分类	(292)
25.3	ZBZ—HJ 系列高效防雹增雨火箭弹	(293)
25.4	高效防雹增雨火箭弹基本构成	(294)
25.5	火箭弹体播撒技术优势	(296)

第 26 章	远程自动控制火箭发射系统	(297)
26.1	数字化远程自动控制火箭发射系统技术方案	(297)
26.2	技术指标	(297)
26.3	关键技术	(299)
26.4	安全性	(301)
26.5	可操控性	(302)
26.6	设计改进	(303)
第 27 章	火箭远程指挥平台	(305)
27.1	火箭远程作业指挥控制平台	(305)
27.2	自动控制火箭发射系统	(312)
27.3	火箭远程作业流程	(316)

高炮技术

第 28 章	数字化人工影响天气高炮的总体设计	(319)
28.1	57 mm 高炮系统改造方案	(319)
28.2	系统改造内容	(320)
28.3	关键部件设计	(321)
28.4	总体联调试验	(331)
28.5	GPS 定位检测标定装置	(332)
28.6	技术规范的编制	(333)
第 29 章	应用前景	(334)
29.1	高炮人工影响天气作业环境	(334)
29.2	57 mm 高炮的基础条件	(334)
29.3	57 mm 高炮应用于人工影响天气系统的优势	(335)
29.4	57 mm 高炮与 37 mm 高炮弹道性能对比表	(336)
第 30 章	技术指标与作业流程	(338)
30.1	改造效果	(338)
30.2	作业功能与技术指标	(338)
30.3	作业流程	(340)
第 31 章	系统保留的机械结构	(343)
31.1	自动机和反后座装置	(343)
31.2	瞄准机	(373)
31.3	炮车	(388)
31.4	火炮的稳定性	(402)
第 32 章	数字化操控	(406)
32.1	控制原理	(406)
32.2	电机及控制器	(408)
32.3	角位移传感器	(410)
32.4	角度显示器	(412)

32.5	电发射装置·····	(413)
32.6	火炮配电箱·····	(415)
32.7	作业控制终端·····	(418)
32.8	作业控制终端硬件连接·····	(421)
32.9	作业控制终端使用·····	(421)
32.10	操控流程说明·····	(426)
第 33 章	57 mm 防雹增雨弹·····	(428)
33.1	作用原理·····	(428)
33.2	设计输入·····	(428)
33.3	结构及工作原理·····	(429)
33.4	发射作业要求·····	(432)
33.5	故障及处理方法·····	(435)
33.6	注意事项·····	(436)
33.7	57 mm 高炮防雹增雨弹包装、标志·····	(436)
33.8	57 mm 高炮防雹增雨弹运输·····	(437)
33.9	57 mm 高炮防雹增雨弹贮存·····	(437)
33.10	57 mm 高炮防雹增雨弹弹道图射表使用方法·····	(438)
第 34 章	弹药的结构设计·····	(440)
34.1	引信的选择及设计·····	(440)
34.2	弹体结构设计·····	(442)
34.3	炸药选择·····	(447)
34.4	催化剂配方与剂量·····	(447)
34.5	发射装药部分·····	(448)
第 35 章	弹丸破片破碎性控制·····	(451)
35.1	破片类型·····	(451)
35.2	自然破片·····	(451)
35.3	半预制破片的形成·····	(454)
35.4	破片在空气中的飞行规律·····	(456)
35.5	破片对地面人员的威胁分析·····	(457)
第 36 章	弹丸的结构特征数计算·····	(460)
36.1	经验算法·····	(460)
36.2	基本算法·····	(460)
第 37 章	弹丸飞行稳定性设计·····	(462)
37.1	稳定性概念·····	(462)
37.2	急螺稳定性·····	(462)
37.3	追随稳定性·····	(465)
37.4	飞行稳定性的综合解法·····	(465)
37.5	动态稳定性·····	(466)
第 38 章	弹丸强度设计·····	(468)
38.1	载荷分析·····	(468)

38.2	弹丸发射强度核算	(468)
第 39 章	靶场试验方法	(473)
39.1	基本内容及要求	(473)
39.2	弹丸静态参数测量	(474)
39.3	破碎性(破片质量分布)试验	(476)
39.4	弹丸发射膛压的测定	(476)
39.5	弹丸内外弹道性能试验	(481)
39.6	弹丸飞行稳定性试验	(487)
39.7	弹丸发射强度	(490)
39.8	弹体装药发射安定性试验	(492)
第 40 章	57 mm 数字化人工影响天气高炮操作流程	(494)
40.1	火炮通电操作流程	(494)
40.2	火炮的技术检查	(495)
40.3	火炮常见故障及处理方法	(498)
40.4	火炮的日常维护和保养	(499)
40.5	火炮的安全管理	(507)
第 41 章	人工影响天气高炮控制技术	(513)
41.1	人工影响天气高炮作业现状	(513)
41.2	数字化理念的形成	(513)
41.3	系统模块设计	(516)
41.4	系统试验验证	(522)
41.5	形成数字化装备	(523)
附录 A	天气雷达回波模型和气象方程	(524)
A.1	气象粒子对电磁波的散射	(524)
A.2	气象粒子散射截面积	(526)
A.3	气象雷达方程	(527)
结束语		(532)

绪 论

第1章 中兵新型人工影响天气系统

1.1 引言

人工影响天气技术(以下简称“人影”)在我国历经五十余年的发展。从实际作业面积到基础装备的数量我国堪称是世界人影大国。近年来我国人影技术在全国各行业的支持和努力下得到了长足发展,特别是在大尺度天气的增雨防雹作业、在奥运会和国庆六十周年等大型活动保障过程中得到了世界瞩目的效果。中国的人影技术也像今天的中国一样以自信的步伐迈向民族之林,走向世界。但是必须看到我国人影技术与先进的发达国家相比还存在着一定的不足,这些不足主要表现在三个方面:一是探测技术落后,主要探测设备依赖于进口,没有掌握先进的生产工艺技术和核心的软件算法;二是作业方法单一,主要以 37 mm 高炮和比较简陋的火箭作业为主,其安全性、可靠性、作业范围、作业准确性和及时性都存在一定差距,甚至经常出现伤人毁物的安全事故;三是作业功效不明显,焰条管壳材料强度低,燃烧不可靠不稳定,造成催化剂无法有效的播撒。这些问题严重影响和阻碍着我国人影技术发展进步,如何从基础上提高我国人影的整体技术水平,如何以现代技术引导我国人影技术装备赶超世界先进水平,成为我国现代工业和科学技术的重要课题。中兵新型人工影响天气系统就是在这样一个大的历史背景中诞生的,而这本书也是在这套现代化装备技术引导下编写的。

为了打造一套真正代表国家技术水准的人影装备系统,也为了真正赶超世界先进水平,2009年2月,中国兵器科学研究院与中国气象科学研究院签署了联合研发战略合作伙伴协议,动员了两家科研人员启动了现代化装备的研发工作。

中兵新型人工影响天气系统是一套融监测、预警、辅助决策、远程指挥控制以及人影作业于一体的高技术装备体系,主要分为三大系列,十一种装备。第一系列是辅助决策与指挥控制系统;第二系列是拥有自主知识产权的气象探测系统,包括双偏振天气雷达、微波辐射计、激光云粒子分析仪、激光雨滴谱、无人机探测系统;第三系列是人工影响天气作业系统,主要包括无人机作业系统、高效防雹增雨火箭弹、远程控制自动火箭发射系统、57 mm 数字化人影高炮、57 mm 高炮防雹增雨装备、新型冷暖云催化剂系列。该系统可广泛应用于天气灾害的监测、防治,包括人工增雨、防雹、消雾等人工影响天气领域。系统的研制成功填补了我国多项技术的空白,大幅度提高了我国人工影响天气的探测和作业整体能力和技术水平,是我国人工影响天气领域更新换代的首选装备。同时,该系统也可以灵活组网,任何一种装备都可以配合气象装备进行独立的探测作业等,也可以走出国门与世界各种气象装备配合进行独立探测与作业。

1.1.1 系统研制背景

人工影响天气是指为避免或者减轻气象灾害,合理利用气候资源,在适当条件下通过科技手段对局部天气的物理、化学过程进行人工影响,使其向着有利于人类生活和生产的方向发展。

在打破垄断、填补空白、实现历史超越的大背景下,中国兵器科学研究院与中国气象科学研究院联合开展了新型装备体系的开发论证工作,从技术指标制定到知识产权拥有都做了严谨而有创意的论证与设计,在充分利用兵工技术基础的同时,开发人员还围绕着人影的实际需求做了大胆的技术创新,历经五年,最终形成了中兵人影装备体系。这个体系的形成凝聚着中国兵器工业集团的科研团队与中国气象局人影研发团队的共同心血,也体现了我国现代科研人影工作者敢打硬仗、永不服输的、争创世界一流的志气与精神。

1.1.2 项目来源

按照 2010 年 9 月 27 日工信部《国防科工局关于 2011 年军用技术推广专项项目建议书的批复》(科工技〔2010〕1239)文件精神和中国兵器工业集团科技部《关于印发集团公司军品技术开发项目立项综合论证评审意见的通知》要求,中兵人影形成了首批产品研制工作。包括:104 厂的新型催化剂系列、123 厂的 57 mm 高炮防雹增雨弹、127 厂的远程控制自动火箭发射系统、218 厂的无人机作业和探测系统、743 厂的高效防雹增雨火箭弹、206 所的双偏振雷达和微波辐射计、209 所的激光云粒子分析仪、212 所的时序控制器和装定器、计算所的辅助决策与指挥控制平台等等。

为进一步完善产品系列,加强关键技术突破,根据 2010 年度集团公司军品科研开发项目计划(兵科字〔2010〕152 号),2011 年 5 月通过第二批项目立项评审,包括 209 所激光雨滴谱仪、206 所接收相参双偏振多普勒天气雷达、计算所的中兵智能无人机探测作业综合系统、641 厂的 57 mm 高炮防雹增雨弹引信系统、7323 厂的 57 mm 数字化人影高炮系统和 104 厂的人影系列催化剂等。

1.2 设计理念

在此系列产品的开发研制中,在团队中一直存在着一个追求导向,那就是瞄准世界一流装备,填补国内空白,彻底打破国外在该领域的技术垄断,提高我国人影的综合技术水准,使我国人影技术真正走向世界。

1.3 总体方案

在研制过程中,中国兵器科学研究院与中国气象科学研究院组成的联合研发团队与各省市人工影响天气办公室进行广泛接触,依据用户需求和建议,形成了装备总体发展思路和具体的研发计划。

在总体方案设计方面,以数字化为依托,以科学作业为目标,坚持探测、预警、指挥、作业一体化的同时,做到既可以系统独立完成从探测到作业的全过程数字化功能,又可以使单一装备能与现有装备灵活组网,形成单体装备的现代化节点,确保单体装备的先进性和融合性。

经过总体协同规划,顶层设计,中兵新型人工影响天气系统从体系上主要分为三大系列,十一套装备。系统结构组成示意图如图 1-1 所示。

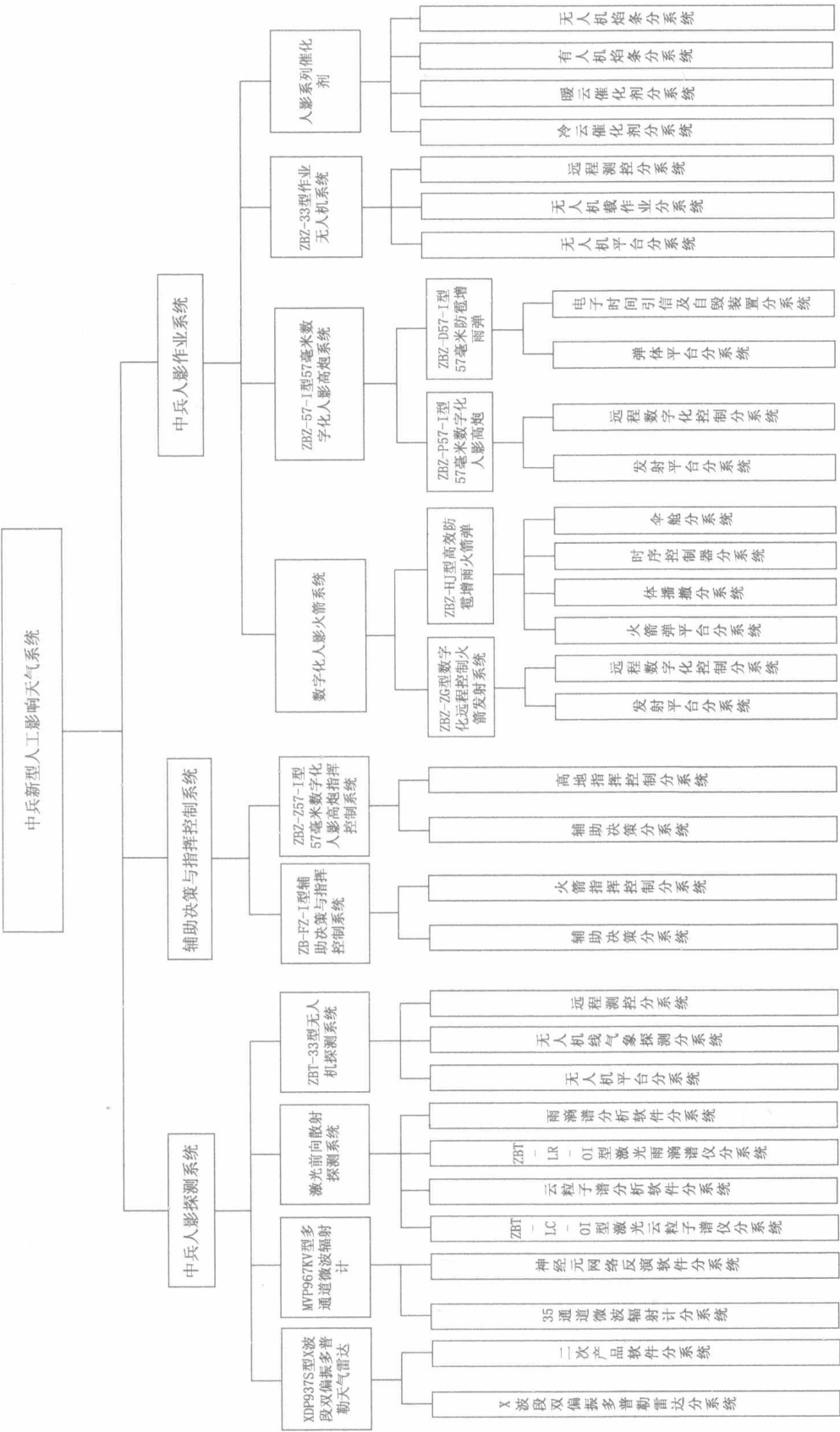


图1-1 中兵新型人工影响天气系统总体结构图