

流体过滤技术译文集

上 册

航空部国营平原机器厂技术情报室

一九八六年十一月

前 言

过滤器是清除液压与气动等各种流体系统的污染，保证系统正常运转的关键性元件。多年来，美、英、日等国对此非常重视，有许多好的经验。我们本着“洋为中用”的原则，并结合我们工厂的科研和生产的实际需要，搜集了近年来国外在流体过滤技术方面的资料，编译了《流体过滤技术译文集》。

译文集的主要内容包括：过滤理论，过滤器的性能和试验，过滤方法、过滤器的使用以及超滤等。可供从事流体过滤技术的工程技术人员参考。

在译文集的编译过程中，得到了航空工业部 301 所、国营第 134 厂、755 厂等单位的大力支持和协助，在此表示感谢。

由于水平所限，错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1 9 8 6 . 9 ,

目 录

≈≈≈≈≈≈≈≈≈

上 册

一、过滤理论及过滤器的研制

1. 高性能空气过滤器的过滤理论 1
2. 电滤气器 11
3. 内燃机废气中颗粒控制系统的研制 18
4. 陶瓷侧壁间流动式内燃机过滤器的热应力 55

二、过滤器的性能和试验

5. 粉尘负荷时空气过滤器的集尘特性 78
6. 过滤试验测试仪器 97
7. 空气滤清器试验标准 106
8. 过滤器的评定方法 138

下 册

三、过滤器的使用与恢复

9. 过滤器的正确使用方法 147
10. 蜂窝状陶瓷内燃机颗粒过滤器的最佳恢复条件 160

四、超滤与滤材

11. 膜滤的原理、用途和方法 179
12. 膜滤器的特点及其最近动向 216
13. 反渗透空心纤维滤芯 246

高性能空气过滤器的过滤理论

日本 山田裕司 官本胜宏

森贞次 小泉彰

1. 前言

随着现代工业的发展,空气净化已经受到人们的关注。在核设施等方面,为防止颗粒状放射性物质的排放,排气设备上使用了许多高性能空气过滤器。以半导体工业为主的电子工业、精密机械工业方面,设备供气空气过滤器在产品质量管理上起着重要作用。于是,与目前情况相适应,空气过滤器制造技术取得了新的进展。目前,市场上已开始出售捕捉效率非常高的过滤器,过滤0.1微米的过滤器就是具有代表性的一种。尽管各个领域空气过滤器应用如此之多,然而有关空气过滤器捕捉特性和捕捉理论仍旧未能在理论上给以充分地说明。

本文就高性能空气过滤器捕捉特性、尤其是以捕捉效率最小的粒径(这里写作最佳过滤粒径)附近的过滤效率为中心进行理论予測和实验。

2 空气过滤器的过滤理论

HEPA型过滤器或者以此为准的高性能空气过滤器使用1微米以下的非常微细的玻璃纤维。据说,基尔希(Kirsch)等人对这种超微细纤维过滤器,在理论和实验上取得了完全一致。按照他们的过滤理论,可用下列求出高性能空气过滤器的捕捉效率 E 。

$$E = 1 - P \quad (1)$$

$$\text{但 } P = \exp \left\{ \frac{4aH\eta}{\pi(1-a)d_f(1+\sigma)\varepsilon} \right\} \quad (2)$$

式中, P 是过滤效率, η 是单一纤维捕捉效率, a 是纤维填充率, d_f 是纤维直径, σ 是纤维径向分布, H 是过滤器厚度, ε 是过滤器不均匀系数。此时的过滤器压力损失 ΔP 为:

$$\Delta P = \frac{16\mu\alpha HV}{K, (1+\sigma)\varepsilon d_f^2} \quad (3)$$

式中：V 是过滤表面速度， μ 是空气粘度系数，K, 是流体力学系数。

如上所述，基尔希 (Kirsch) 等人考虑到过滤纤维直径的偏差、填充率的不均匀性等，通过校正方法，详细解释了实验结果。作者等人进一步考虑到过滤器的厚度分布，增加了下述校正。假设是正规分布，其分布密度函数 $Q(H)$ 为：

$$Q(H) = \frac{\exp\left(-\frac{(H-\bar{H})^2}{\sigma H^2}\right)}{\int_{H-2\sigma H}^{H+2\sigma H} \exp\left(-\frac{(H-\bar{H})^2}{2\sigma H^2}\right) dH} \quad (4)$$

但是，为了使 $\int_{H-2\sigma H}^{H+2\sigma H} Q(H) dH = 1$ ，上式已标准化。此时的过滤效率 P^* 为：

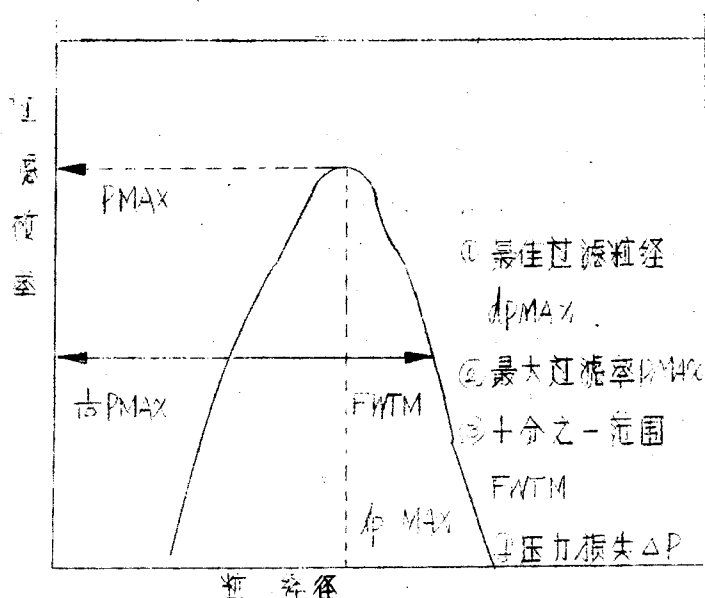
$$P^* = \frac{H+2\sigma H}{H-2\sigma H} P(H) \cdot Q(H) dH$$

为了了解过滤器的捕捉特性，引入以下 4 个特性指标：

- ① 最佳过滤粒径 d_{pMAX}
- ② 最大过滤效率 P_{MAX}
- ③ 十分之一范围 FWTM
- ④ 压力损失 ΔP

如图 1 所示，在 X 轴取颗粒直径，在 Y 轴取过滤效率画出过滤器的过滤效率曲线，特性指标①、②分别对应于曲线顶端 X 座标。Y 座标。指标③表示曲线的形状，意味着在颗粒捕捉中，粒径选择性强大。

图 1. 表示过滤器捕捉特性的指标



3. 根据过滤理论计算捕捉特性的结果

通过数值计算方法，评价表示滤纸基本性状的过滤纤维直径 d_f 、纤维填充力 α 、过滤器厚度 H 等参数，以及过滤表面速度对于过滤器捕捉特性产生的影响。计算选用了滤纸性状已经明确的华特曼 (Whatman) 公司的 GF/A 型过滤器。但是，如表 1 所示，根据测定人员的不同，有关滤纸性状的数据略有差异。这里采用两位测定人员的实际测定数据对上述各个参数作了数值计算。

表 1 华尔特公司的 GF/A 型过滤器滤纸性状

	江见等人	基尔希等人
过滤纤维直径 d_f (微米)	0.486	0.410
纤维径向分布 σ	0.448	1.315
纤维填充率 α	0.046	0.045
过滤器厚度 H (厘米)	0.0423	0.0411
过滤器不均匀系数 k	2.19	1.13

过滤表面速度 V 对 GF/A 型过滤器的捕捉特性产生的影响，如

图2所示,随着过滤表面速度 V 的增大最佳过滤粒径 $d_{P\text{MAX}}$ 与 $V^{-0.26}$ 的比例变小。例如,当 $V=10$ 厘米/秒时,直径0.13微米的颗粒最容易透过。最大过滤效率 P_{MAX} 对过滤表面速度的依赖性很大。过滤表面速度越小,捕捉效率越高。 $\frac{1}{10}$ 范围FWTM稍微依赖于过滤表面速度,过滤表面速度越小,可以透过过滤器的粒径范围越窄,粒径选择性越大。并且,过滤器的压力损失 ΔP 与过滤表面速度成正比例上升。

同样,下边,把过滤器纤维直径 d_f 、纤维径向分布 σ 、填充率 α 、不均匀系数 ϵ 、过滤厚度 H 、过滤厚度分布等作为参数,进行了数值计算。其计算结果如图3~8所示。

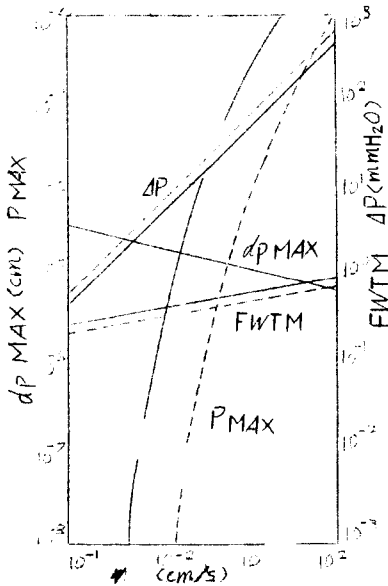


图2 过滤表面速度的影响

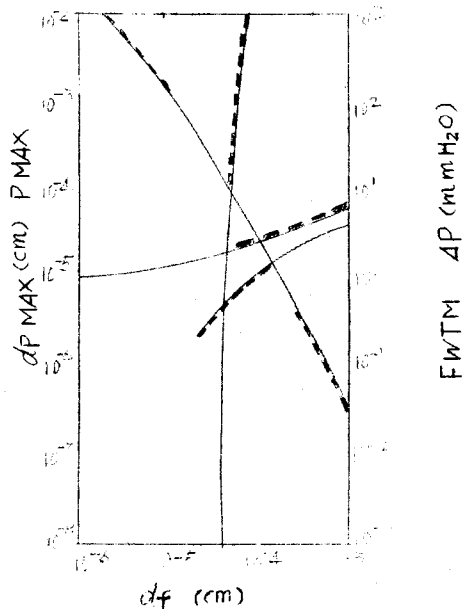


图3 过滤器纤维直径的影响

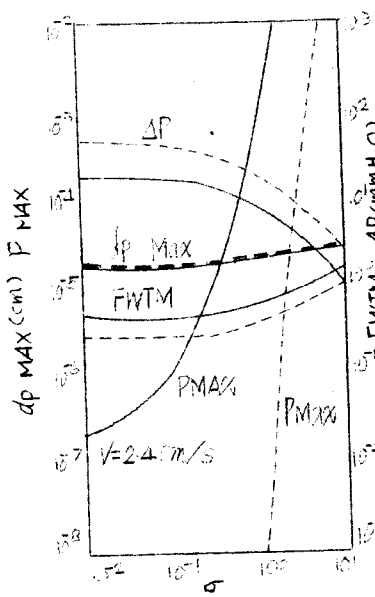


图4 过滤器纤维径向分布的影响

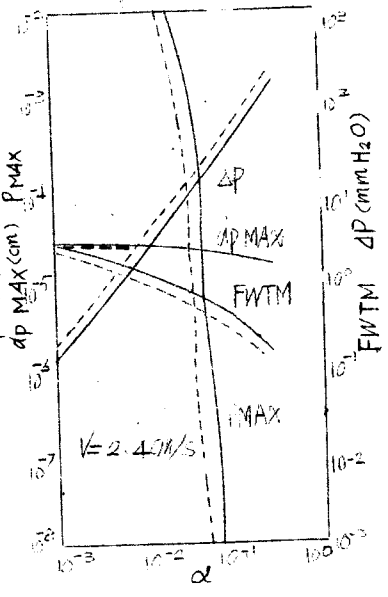


图5 过滤器纤维填充率的影响

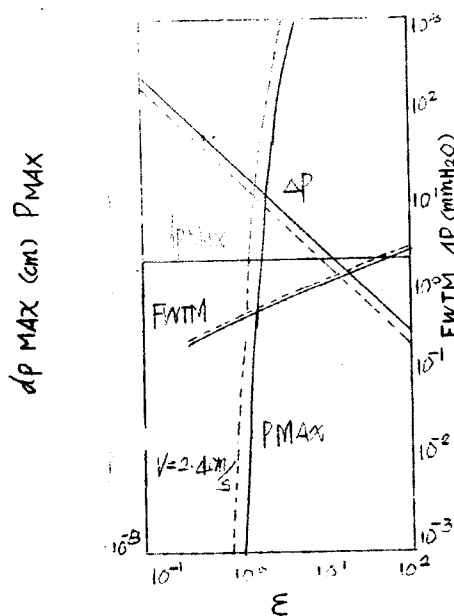


图6 过滤器不均匀系数的影响

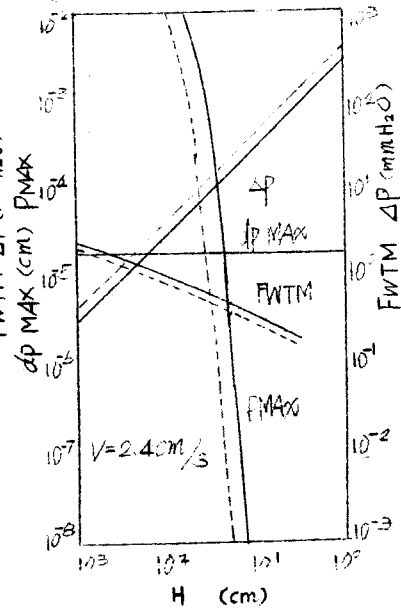
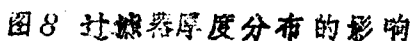


图7 过滤器厚度的影响



为了研究高性能空气过滤器的颗粒捕捉特性，使用了图9所示的实验装置。实验用风道截面145毫米角，长约2米。风道内装有



匀速吸引取样用喷嘴、测定过滤器压力损失用导管及调整风道内空气流量用节流板。试验颗粒采用悬浮二甲酸颗粒(DOP)。被试过滤器是把GE/A型过滤器滤纸保持原来的板状,装在内尺寸为145×145毫米的正方形框架上提供于实验的。位于被试过滤器上游及下游的颗粒数浓度,使用激光式颗粒分析仪(ROYCO公司LAS-236型)或者装有扩散电池DB的冷凝核计数仪CNC(TSI公司)进行测定,尔后根据颗粒浓度比求出颗粒透过率。

5. 捕捉特性测定结果及计算结果之间的比较

使用激光式颗粒分析仪及装有扩散电池的冷凝核计数仪,分别测定过滤表面速度 $V = 2.4$ 厘米/秒的华特曼公司的3枚GE/A型过滤器的二甲酸颗粒的透过率,得到了图10、11中用直方图表示的结果。若把此透过率实测数据同该图上用曲线表示的经过数值计算得到的透过率预测值(以江见等人的滤纸性状数据为基础计算的)相比较,不做过滤器厚度分布修正时($\sigma_H = 0$),两者差距很大。但是,例如,当 $\sigma_H = 0.01$ 进行修正时,计算值就成了用实践表示的曲线,与实验值取得了完全一致。表2是用2中叙述过的①~④特征指标对实验值和计算值进行客观比较的结果,从中可以看出,通过 σ_H 修正,最大透过率、 $\frac{1}{10}$ 范围内的差得到大幅度改善,计算值和实验值趋于一致了。

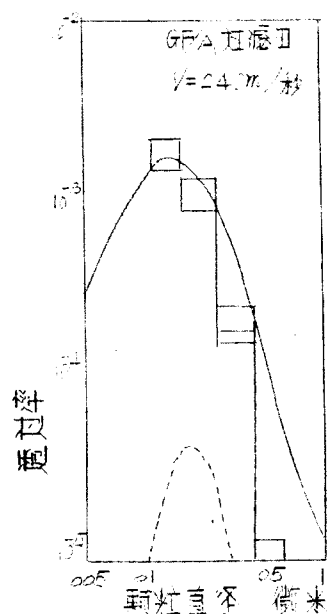


图 1 0 GF/A 过滤器的透
过率 (1)

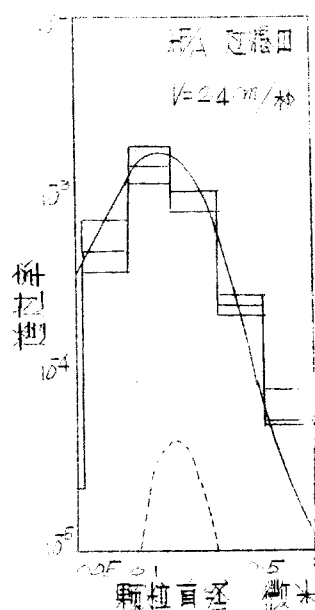


图 1 1 GF/A 过滤器的透
过率 (2)

可是，如图 1 2 所示，当过滤表面速度 $V = 2.4$ 厘米/秒时，这种修正也是极小的。相反，通过修正实验值和计算值之间产生了差值。这种 $\sigma_H = 0.01$ 的修正仍不够，有待于更进一步进行研究。今后，在获得 σ_H 实测数据的同时，有必要汇集许多各种实验条件下的透过率测定数据。

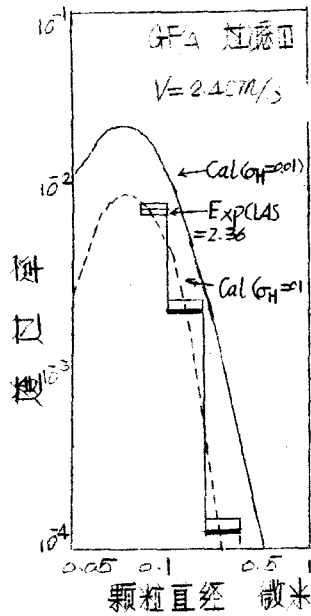


图 1.2 GF/A 过滤器的透过率 (3)

表 2 GF/A 型过滤器捕捉特性的试验值
与计算值的比较

特征指标	理论计算值			实验值
	无修正		修正	
	基尔希等人	江见等人	江见等人	
最佳透过粒径 d_{pMAX} (厘米)	1.88×10^{-5}	1.87×10^{-5}	1.57×10^{-5}	$1.0 \sim 1.8 \times 10^{-5}$
最大透过率 P_{MAX}	1.61×10^{-7}	4.23×10^{-5}	1.73×10^{-3}	1.7×10^{-3}
$\frac{1}{10}$ 范围 FWTM	0.434	0.532	1.06	0.91
压力损失 ΔP (毫米水柱)	15.6	11.5	11.5	13

参考文献：

- 1) Kirsch A.A.et al: Efficiency of Aerosol Filter Made of Ultrafine Polydispersed Fibers Aerosol Sci 6119(1975)
- 2) Eml ,H. et. al: Collection Performance of High Efficiency Air filters. 6th Int. Symp. on Contamination , P219(1982)

(译自日本《空气清净》第21卷第3号)

翻译： 陈志勇

校对： 王靖杰

电 滤 气 器

电滤气器装置适合装在车辆通风和加温系统中。这种装置装有一个任选的进口过滤器(10)。在它后面,装有带正电的电离器(38)。通过电离器的气载微粒带有正电,并且被吸附到交替地带正电的极板和地电势极板的层叠组件内的地电势极板(18)上。净化了的空气通过带负电的滤网(20),并又从那里通过了阴极电离器(22)。空气由风扇(78)通过电离器抽出,风扇装在排气管(76)内,并且加热元件(80)装在哪儿,以便控制进入车辆前的空气温度。

通往滤气器装置的空气进口,进的是外界新鲜空气和再循环空气的混合气体。

阳极电离器由伸展的导线组成,导线装在绝缘框架(38)内,绝缘框架装在交替地带正电的极板和接地极板的层叠组件(18)提供的接地电极板上。

技术规范:

电滤气器结构的改进及有关问题。

发现的应用范围:

本发明的电滤气器,除主要用在汽车,火车、飞机上或类似的交通工具的旅客间里外,还用在其他方面。

本发明的背景:

众所周知,在交通工具的前部位置装上进气口,或者依靠交通工具向前运动产生的气流,或者通过压力环流,使私人汽车或载旅客的公共汽车、火车和飞机内部通风,以便使空气进入到旅客间里;并且当交通工具向前运动时,空气通过旅客间,从通风口向交通工具后部流动。这样,就确保交通工具内空气不断变化,以便保证旅客间里空气新鲜。

当一定的过滤度去除空气中的杂质时,由于普通过滤方法势必会增加流入旅客间的空气阻力,以致需要消耗很大的功率才能使空气循环到旅客间去,所以过滤度数至今一直很小。结果,在拥挤的

地区和城市里，大量被污染的空气就吸进了交通工具内部。本发明的目的，是想提供一种先进的滤气装置。这种装置可以去除进到旅客间里的空气中的飞行杂质。

发明：

根据本发明的一种方式，用于从旅客间里的空气中去除空中杂质的装置带有壳体，壳体上有空气进口和空气出口，有把空气吸进进口并且把它从出口排出去的风扇，在风扇和出口中间，装有一个电力滤气器，此滤气器装有一个阳极电离器，粒子收集孔，负电滤网和一个阴极电离器，和用于提供超高压的辅助电源。辅助电源可固定在接到汽车导电系统的壳体内，或固定在连到电滤气器分开的壳体内。

根据本发明这一方式的特点是组合件适宜于装在交通工具的仪表板上，并有一个适宜于接在汽车引燃器插座中的浮动导线接头（此插座通常装在汽车仪表板上）。

根据本发明的另一种方式，电滤气器带有壳体，壳体上有空气进口和空气出口，在空气进口和出口中间，装有阴极电离器，粒子收集孔，负电滤网和阴极电离器，而此壳体通常装在交通工具通风系统中把空气引到车辆内部的进气道内。汽车导电系统供给电力滤气器各种电压的电源，并可方便地供到相邻的电力滤气部件中，以便减少一些所需要的高压连接件。

根据本发明的第二种方式，不需要用辅助风扇设备（虽然需要时也可以安装），因为通过通风系统进入到汽车里的气流产生通过滤气器部件需要的气流。

在综合本发明两种方式的特点的设备中，可安装辅助设备，以便清除气流中的粒子。这样的辅助滤器最好装在把气流引到电滤气器的空气入口处，以便把很大的粒子在它们到达电力滤气器前就清除掉。可以断定，这样一定能延长滤气器的使用寿命。滤器组件最好是容易更换的易处理滤芯。

本发明会使机动车内的空气变得新鲜，从而使司机更加头脑清醒，更能意识到外界的变化条件。有助于减少事故。

在本发明特定的设备—电滤气器固定在两个进气口之间的接合处，一个进气口是在机动车辆前面排气孔的旁边，另一个是用于汽车内部空气循环，并把循环空气与外边进来的空气混合在一起。混合空气进入电滤气器的进气口。风扇设备固定在滤气器那边，以便吸入通过滤气器的混合空气，并把通过加热器组件的清洁混合空气排入汽车内部。

加热器组件用普通的方法很容易控制，所以能控制压入到汽车内空气的温度。

加热器组件本身就形成了空调设备部件，所以空气的温度可以调高，也可以调低。如果需要的话，还可以调节湿度。

本发明同样适用于旅客运输舱。

关于图的说明：

图1是设备草图，以图解的方式示出了装在机动车里的电滤气器的各种零部件。

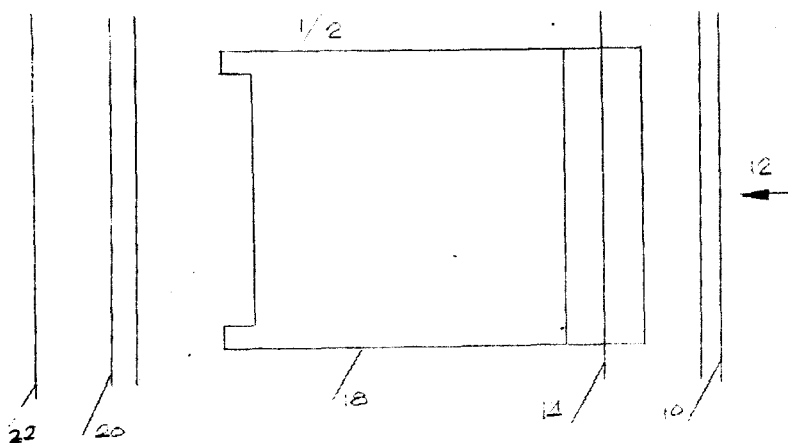


图 1

图2是由许多平行的导电金属板形成的滤气槽的平面图，带高正电位的一部分电极板与另一部分保持地电位的电极板相交错。

图3是九块电极板中一块的平面图，这九块电极板在净化室内都带有正电。

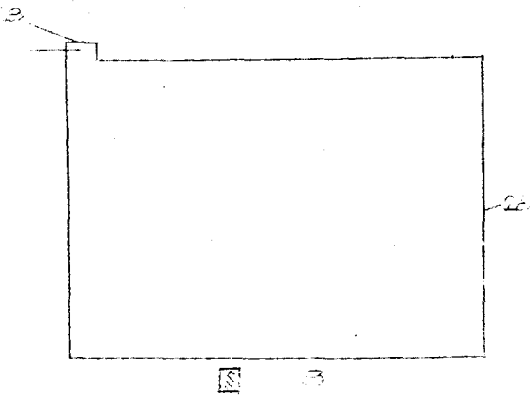


图 3

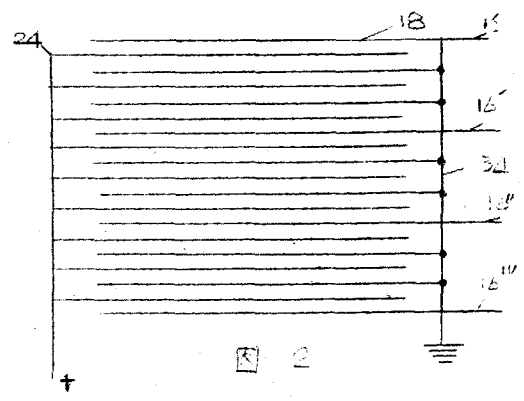


图 2

图4是六块电极板中一块的平面图，这六块电极板在净化室都保持在地电位。

图5是放大的地电位极板的平面图，在空气净化室内，有四个这样的地电位极板。

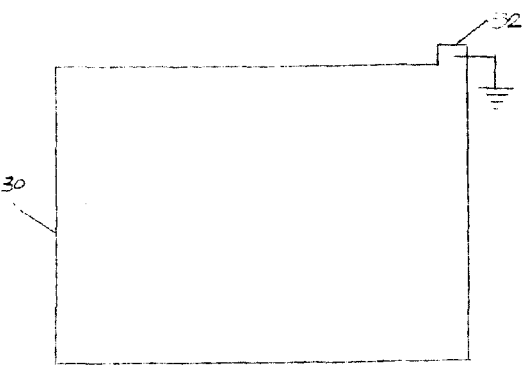


图 4

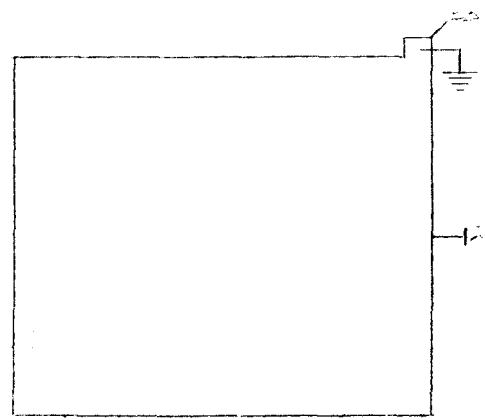


图 5