

An Auxiliary Device for Reducing Respiratory Resistance of Masks

Mingjun Gao

Abstract:

Masks have become the most basic health protection barrier for people during the epidemic, but wearing masks for a long time often leads to difficulty breathing and a feeling of suffocation. The device designed in this project uses a fan to reduce the difference in air pressure between the inside and outside of the mask to improve the smoothness of inhalation, significantly improving the suction resistance of the mask while not affecting its original exhalation resistance. The device is small in size and can be carried around, powered by a power bank. All materials can be obtained from the market, and the cost is low, making it more suitable for ordinary people to use.

改善口罩呼吸阻力的辅助装置

摘要：

口罩成为疫情期间人们最基本的健康保护屏障，但长时间佩戴口罩，常常会感到呼吸困难且憋闷的感觉。本项目所设计的装置使用风扇使口罩内部与外部空气压力差变小以改善吸气顺畅性，对口罩的吸气阻力有明显改善，同时不影响口罩的原呼气阻力。该装置体积小能随身携带，采用充电宝供电，材料全部可从市场上获得，成本低，比较适合普通人使用。

一、概述

今年全球面临着前所未有的疫情，口罩成为人们最基本的健康保护屏障。由于防护要求，人们在佩戴口罩时需要保证口罩在脸上压得很紧，而且口罩不能随意脱卸，在长时间佩戴口罩时，常常会感到呼吸困难且憋闷的感觉。尤其是一些医护人员，一天内需要长期配套几小时，甚至十几小时。呼吸困难甚至还能导致生命危险，曾有报道说有学生带着高防护口罩跑步造成休克。

要解决口罩的长期配套的舒适性，就需要从口罩的构造开发分析。口罩通常采用多层过滤材料组成，空气经过层层过滤才能进入，受到过滤层的阻碍。口罩的过滤性能越好，呼吸的阻力就很大。

药店购买的口罩通常标出了呼吸阻力，这些数据是用专业仪器测量的。本次项目中为了能比较准确的知道口罩的阻力，采用了 AS510 型手持式微压计来测量口罩内外的压力差（具体测量方法参见附录）。比如 KN95 口罩，当呼气时，口罩内外的压力差是+40Pa，当吸气时，口罩内外的压力差是-40Pa。专业的 KN99 口罩在本项目中没有测试，按照网上查询数据呼吸的压力差可以达到 100~200Pa。

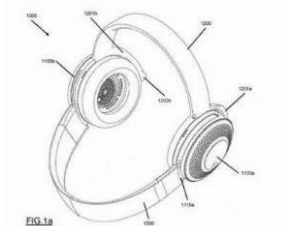
从压力差数据就可以看出，防护性能越是好的口罩，就会越加呼吸困难。要想缓解佩戴口罩后的呼吸憋闷，直接的方式就是要降低呼吸阻力，减小口罩内外的压力差。

在很多过滤性能良好的口罩中（例如 KN95 口罩），会在口罩前部加入一个排气阀，呼气时空气直接经过阀门排出，不经过口罩过滤层，几乎没有了阻力，减轻了呼吸憋闷感。这个排气阀也证明了减小压力差是辅助呼吸的主要方法。当然排气阀在吸气时仍会因为它的特殊设计而关闭，吸气的阻力没有减小，没有彻底解决佩戴口罩时呼吸困难的问题。这个排气阀也启发了我在口罩上进行改良的思路，希望从解决吸气问题方面做考虑的辅助呼吸的装置。

我首先查询了辅助呼吸的仪器，1）医疗用呼吸机，价格昂贵，需要专门的医护人员才能操作；2）家用供氧机，价格较低，是用于体弱者在家中增氧，与辅助呼吸关系不大；3）家用呼吸机，通常用于帮助打鼾的人入睡，价格较贵。最主要是这些仪器都是要放置在一个固定位置，没法随身使用。另外还查询到海外有些专用口罩，如 Dyson 口罩，脸部有一个透明挡片，两边都有风扇，用头箍固定在头上。这种专用口罩还处于专利申请阶段，而且只能在专业领域使用，普通人很难买得起。

表 1、不同辅助呼吸仪器的对比

种类	图片	用途	价格
医疗用呼吸机		危重病人抢救	几万到十几万
家用供氧机		供氧，保健	千元
家用呼吸机		减轻打鼾	几千元

Dyson 口罩		过滤病毒	未上市
----------	---	------	-----

本项目所设计的装置希望能随身携带，成本较低，能用于普通人，而不是特定病人。思路是使用风扇将外部空气在经过过滤之后（加压）挤进口罩内部，使口罩内部与外部空气压力差变小以改善吸气顺畅性。

二、系统设计

本项目所设计的装置由三部分组成：口罩、带风扇的气密盒和带传感器的单片机。详细配件和成本清单参见附录。

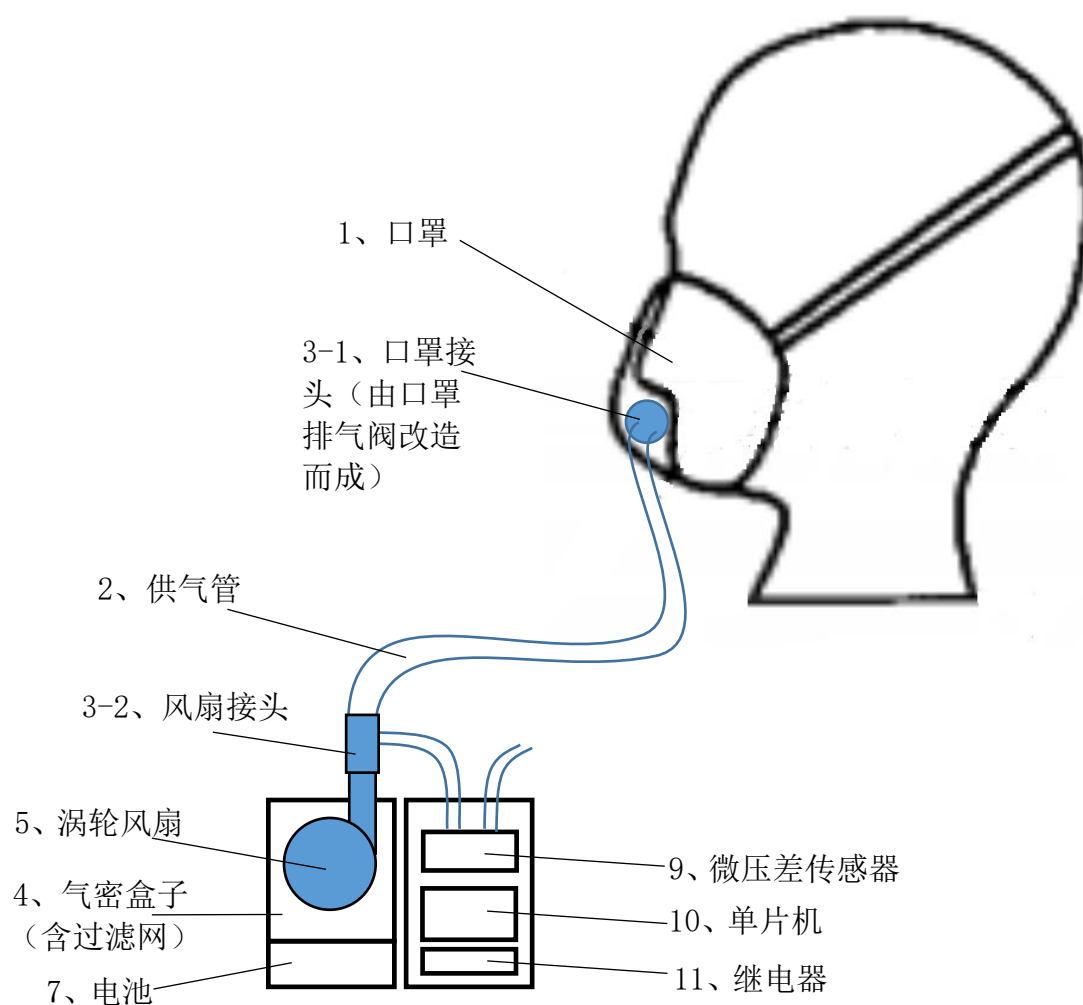


图 1、系统设计图

第一步：从药店购买带排气阀的口罩（1），将排气阀卸下，装上 3D 打印的供气管接头（3-1）。



图 2、将口罩的排气阀改造成供气管接口

第二步：将涡轮风扇（5）装入 3D 打印的气密盒子（4）中，盖上过滤网（6）。风扇的电源线连上电池（7），风扇的排气口接上供气管接头（3-2）。



图 3、气密盒（内含涡轮风扇）、过滤网和电池

第三步：用供气管（2）将口罩（1）和带风扇、滤网的气密盒（4）连接起来。打开电源，风扇开始给口罩供气、加压。



图 4、风扇气密盒与口罩相连

第四步：风扇一直开着让装置变得十分耗电，所以需要检测何时是吸气何时是呼气来自动控制开关。解决方法便是加入微压差传感器（9）感应呼吸时产生的微小压力差，然后用单片机（10）读取压力差值，如果是负压值，就判断是吸气，如果是正压值，判断为呼气，从而通过继电器（11）来控制风扇的开关。

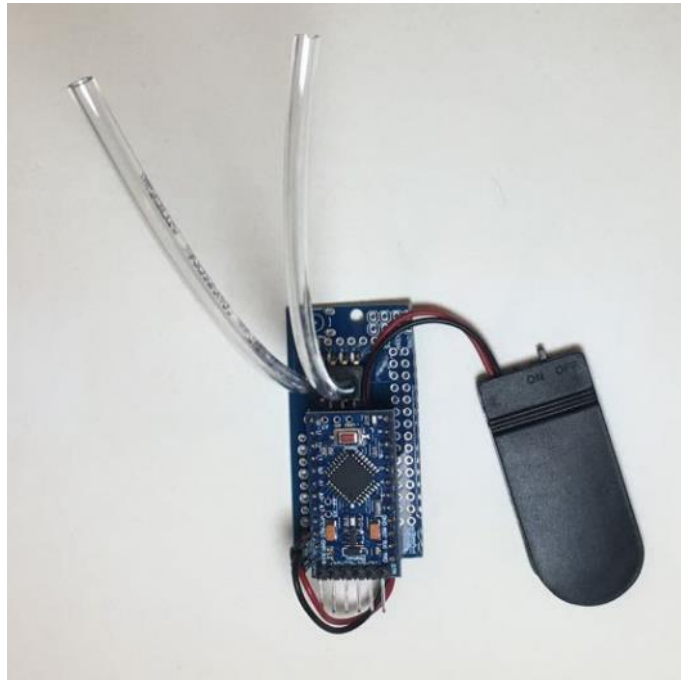


图 5、微压差传感器和单片机(用纽扣电池供电)

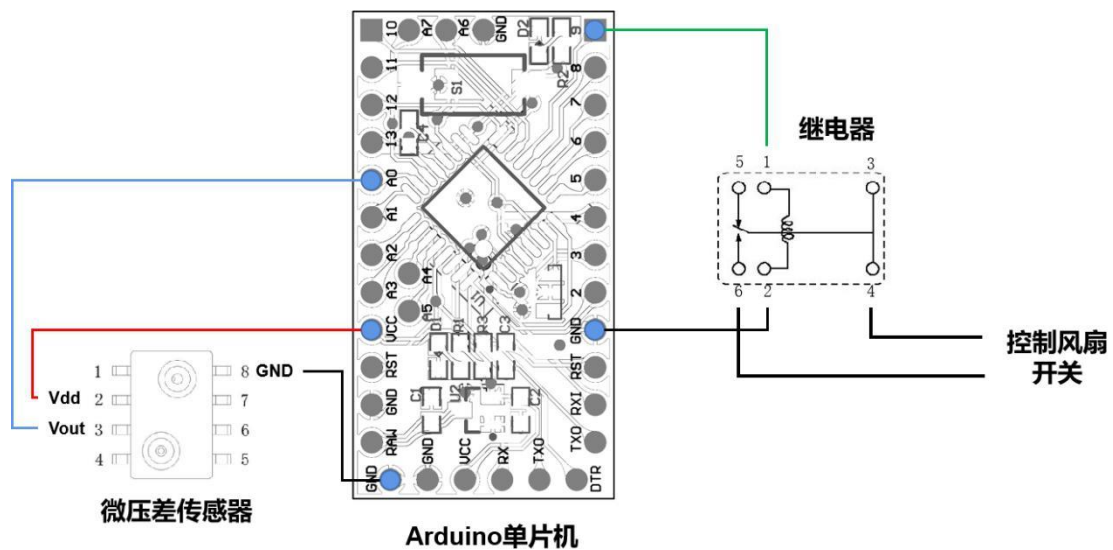


图 6、管脚连接示意图

表 2、单片机代码设计

```
int sensorPin = A0; // select the input pin for the differential pressure
int relayPin = 9; // select the output pin for the relay
int ledPin = 13; // select the pin for the LED
int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor

void setup() {
  // declare the ledPin as an OUTPUT:
```

```

pinMode(relayPin, OUTPUT);
pinMode(ledPin, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // read the value from the sensor:
    sensorValue = analogRead(sensorPin);    //读取传感器模拟量
    Serial.println(sensorValue);

    if (sensorValue < 400) {                //表示开始吸气
        digitalWrite(relayPin, HIGH);      // 开启风扇
    }
    else if (sensorValue > 420) {           //表示开始呼气
        digitalWrite(relayPin, LOW);       // 关闭风扇
    }

    // 闪烁 LED，表示运行中
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    delay(500);
}

```

三、测试

测试 1、不开风扇，AS510 测试呼吸时口罩内外压力差

时间（秒）	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
压力差（Pa）	-17				-18	-29	40		38	-16	-20	-19	34		-4	-29	20

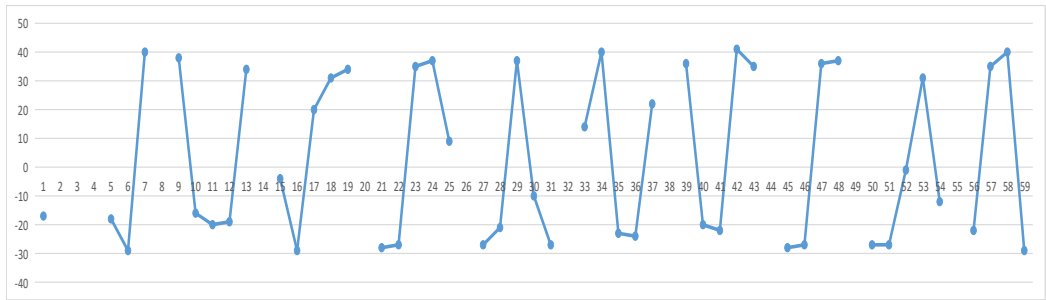
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31	34		-28	-27	35	37	9		-27	-21	37	-10	-27		14	40	-23	-24	22

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	36	-20	-22	41	35		-28	-27	36	37		-27	-27	-1	31	-12		-22	35

61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
40	-29										49	-19	-27	4		42	-40	-34	

81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
		-17	-23		48	-20		-23	46	39	-24	-25			47	-20	-23		

101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116				
24	-30	-21	48		-17	-27	-24	46	21		-26	-5	48	-20	-24				



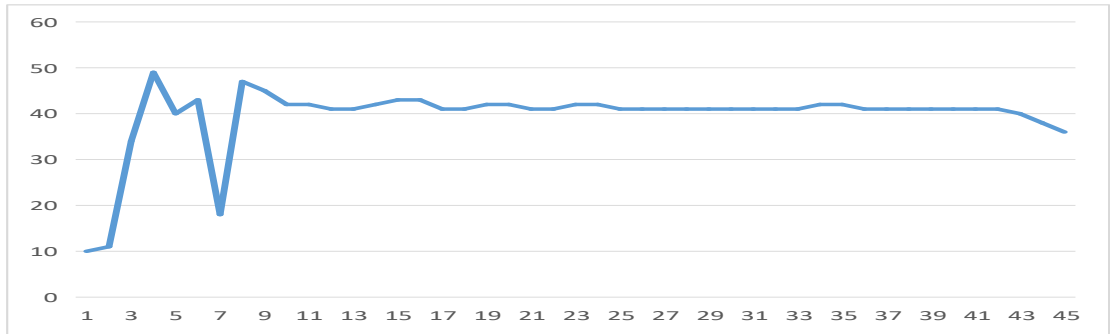
呼气气压最大约 40pa，吸气气压最小约-30Pa

测试 2、打开风扇，屏住呼吸，AS510 测试口罩内外压力差

时间（秒）														16	17	18	19	20
压力差（Pa）														10	11	34	49	40

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
43	18	47	45	42	42	41	41	42	43	43	41	41	42	42	41	41	42	42	41

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	41	41	41	41	41	41	41	42	42	41	41	41	41	41	41	41	40	38	36



风扇稳定后，口罩内外压力差基本保持在 40Pa。

测试 3、打开风扇，AS510 测试呼吸时口罩内外压力差

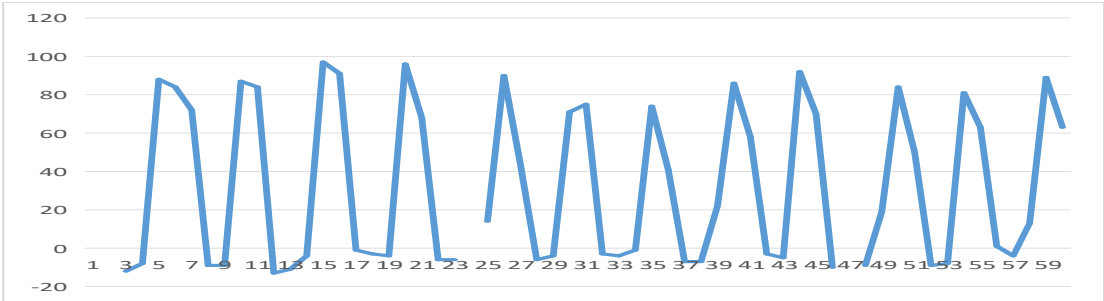
时间（秒）	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
压力差（Pa）	42	42	40	108	\$	\$	72	92	-2	-6	17	77	58	-10	-6	85	79

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
37		-12	-8	88	84	72	-9	-9	87	84	-13	-11	-4	97	91	-1	-3	-4	96

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
68	-6	-6		14	90	44	-6	-4	71	75	-3	-4	-1	74	41	-7	-7	22	86

61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
58	-3	-5	92	70	-10		-9	19	84	50	-9	-8	81	63	1	-4	13	89	63

81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
-9	-9	13	78	-2	-3	-2	90		60	-7	-5	1	97	57	-10	11	94	52	-19



呼气压力差最大值约 90Pa, 吸气压力差最小值约-10Pa。

可以看出，相比测试 1 中的吸气压力差绝对值减少了 20Pa，对吸气阻力有明显改善。但呼气压力差绝对值增大了 50Pa，呼气阻力变大了。

测试 4、呼吸时 Arduino 单片机自动开关风扇，AS510 测试呼吸时口罩内外压力差

时间（秒）	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-------	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

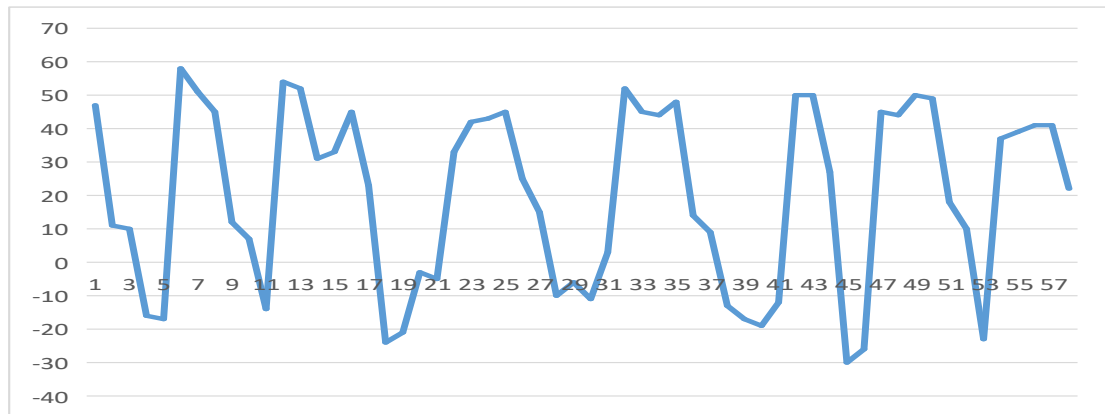
压力差 (Pa)	51	25	-2	-23	-24	-23	57	57	39	17	-22	-15	3	9	19	52	48
----------	----	----	----	-----	-----	-----	----	----	----	----	-----	-----	---	---	----	----	----

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
11	-26	-21	-5	32	35	44	-19	-22	-24	62	63	57	25	2	6	-29	-28	38	47

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
47	11	10	-16	-17	58	51	45	12	7	-14	54	52	31	33	45	23	-24	-21	-3

61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
-5	33	42	43	45	25	15	-10	-6	-11	3	52	45	44	48	14	9	-13	-17	-19

81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98		
-12	50	50	27	-30	-26	45	44	50	49	18	10	-23	37	39	41	41	22		



对风扇进行控制后，呼气时关闭风扇，相比测试 3（开着风扇）压力差最大值从 90Pa 降低到了约 50Pa，呼气阻力变小了，和测试 1（无风扇）基本相当；

吸气时打开风扇，相比测试 3（开着风扇）压力差绝对值最大值从 10Pa 提升到了 20Pa，呼吸阻力变大了，但仍好于测试 1（无风扇）。这说明风扇的单片机控制没有跟上吸气的节奏。

四、总结

本项目所设计的装置对吸气压力差从 30Pa 减小到 10Pa(风扇一直开)和 20Pa（风扇自动开关），对口罩的吸气阻力有明显改善。同时通过在呼气时关闭风扇，可以使得呼气阻力与原口罩相当，即不改变口罩的呼气阻力。

该装置体积小，能随身携带；采用市场上常见材料，总成本小于 100 元；电池采用常见 5V 充电宝，容易获得。比较适合普通人使用。

设计过程中遇到过几次难关：

1、风扇是否可以做到口罩内部？原先尝试了 12mm、18mm 等直径的风扇，贴在口罩内部，发现打开风扇后气压差无明显变化。分析原因可能是两点：1）风扇尺寸小，功率太小；2）风扇无法和口罩内层贴合，无法将外部空气吸入。这次尝试否决了风扇内置的方向，而且找出了一条关键原则“风扇功率要大，同时气密性也很重要”，指导了后续设计。

2、风扇如何自动开启、停止？原先尝试的是使用物理弹簧开关，因呼吸产生的力太小所以无法触发开关。打开 AS510 微压差测量仪后发现内部使用的是微压差传感器，就在网上搜索到了类似器件，价格很便宜。这样就利用口罩内外压差解决了风扇开关触发问题。

本次设计的装置还有很多不足之处，比如自动控制判断条件比较简单，开启、停止风扇与呼吸节奏不合拍，需要优化。另外风扇盒偏大，最好能找到更小巧且功率足够大的风扇，就可以直接安装到口罩的外侧，从而省去供气管，更加方便使用。

附录

1、辅助呼吸装置材料清单

编号	名称	数量	图片	来源
1	KN95 口罩 (带呼气 阀)	1 个		药店
2	供气管	1 根		淘宝，波纹管，2 米， 3.6 元
3	口罩接头 和风扇接 头	2 个		使用“123D Design”设计，3D 打印
4	气密盒	1 个		使用“123D Design”设计，3D 打印， 112mm*66mm*35mm
5	涡轮风扇	1 个		淘宝，5V，14.7 元
6	过滤网	1 个		京东，10 元

7	电池	1 个		充电宝, 5V
8	USB 调速开关	1 个		淘宝, 7 元
9	微压差传感器	1 个		淘宝, 48 元
10	单片机	1 个		淘宝, Arduino Pro Mini, 12.5 元
11	继电器	1 个		淘宝, HKE HRS1H-S-DC5V, 0.93 元
12	电池盒	1 个		淘宝, CR2032 电池盒-2 节翻盖, 0.98 元
13	PCB 板	1 片		淘宝, 7 元

2、测量仪器

AS510 型手持式微压计（淘宝上 150 元左右），测量范围是 $0\sim 100\text{hPa}$ ，测量精度是 $\pm 0.03\text{hPa}$ 。



图 7、AS510 型手持式微压计

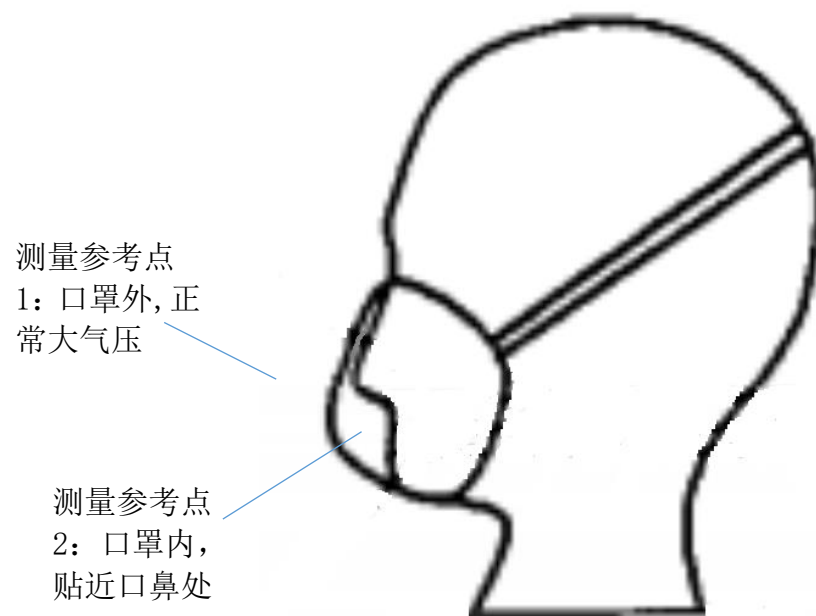


图 8、测量口罩内外气压差示意图

测量方法：

1) 打开 AS510 的电源，清零

- 2) 将 AS510 的一根气管插入口罩内，贴近口鼻处；
- 3) 将另一根气管放在口罩外
- 4) AS510 的显示屏上显示的就是口罩内外的气压差

参考资料

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1657684801743438775&wfr=spider&for=pc>

戴森申请“耳机式口罩”专利，它能隔绝新冠病毒吗？

<https://baike.baidu.com/item/%E5%91%BC%E5%90%B8%E6%9C%BA/5050363?fr=aladdin>

呼吸机（医疗机器）

<https://s.taobao.com/search?q=%E5%AE%B6%E7%94%A8%E5%91%BC%E5%90%B8%E6%9C%BA>

家用呼吸机

<https://s.taobao.com/search?q=%E5%AE%B6%E7%94%A8%E4%BE%9B%E6%B0%A7%E6%9C%BA>

家用供氧机