**《热能与动力工程测试技术》试题I**

姓名： 学号： 专业： 得分：

一、 填空题（20分，每空1分）

1. 幅频特性和相频特性共同表达了测量系统的频率响应特性。

2. 测量值与真值之差称为误差。

3.当激光照射到跟随流体一起运动的微粒上时，散射光、入射光之间的频率偏离量称作多普勒频移。

4.电磁流量计（简称EMF）是基于（法拉第）电磁感应进行工作的。

5.光电式转速传感器是利用光电元件对光的敏感性来测量转速的，可分为投射式、反射式两种。

6.测振系统分为机械测振系统、电子测振系统、光学测振系统

7.传声器是一种声-电信号转换器件，有动圈式、压电式、电容式等种类。

8.温标有热力学温标、国际实用温标、摄氏温标、华氏温标四种。

9.就大多数测量而言，其随机误差都服从正态分布规律。

二、 是非题（10分，每题2分）

1.振动测量的主要参数为位移、速度、加速度。（×）

2.从本质上讲，液位测量是一门检测气体-液体之间分界面的技术。（×）

3.差压式液位计的理论依据是可压缩流体（液体）的静力学原理。（×）

4. A计权网络模拟人耳40phon等响度曲线设计，主要衰减人耳不敏感的低频声音，对中频段声音有一定衰减 。（√）

5. 声功率级不能直接测得，可在一定条件下利用声压级进行换算。（√）

三、 简答题（共35分）

1.测量系统的输出量与输入量之间关系可采用传递函数表示，试说明串联环节、并联环节及反馈联接的传递函数的表示方法。（10分）

1. 答：串联环节：



并联环节：

正反馈环节：

负反馈环节：



2.什么叫做传递误差？为何测量系统中采用负反馈可以提高测量精度？（10分）

答：误差传递就是指一个物理量的误差收多个物理量影响时，每个物理量该变量引起该物理量的变化量。(传递误差是针对整个系统而言，而非系统中的疏失误差) 在系统中引入负反馈开辟了补偿顺联环节误差的新途径，因为在系统的误差计算公式中，顺联与负反馈误差的符号相反，可以减小或抵消误差，使整个系统误差大大减小，以提高测量精度。

3.试说明为何水银温度计可作为精密标准温度计？（5分）

答：水银不粘玻璃，不易氧化，在相当大的温度范围内保持液态，在200℃以下，其膨胀系数几乎和温度成线性关系。

4.简述光纤流量计和超声波流量计的工作原理、特点。（10分）

答：

a.光钎流量计

工作原理：在节流元件前后分别安装一组敏感膜片和Y形光钎，膜片感受流体压力的作用而产生位移，Y形光钎根据输入输出光强的相对变化测量膜片位移的大小，由位移量就可以确定节流压差，从而确定被测流量的大小。

特点：利用光钎传感技术检测节流元件前后的差压。

b.超声波流量计：

工作原理：超声波在顺流和逆流中的传播速度差与介质的流动速度v有关，测出这一传播速度差就可求得流速，进而可换算为流量。

特点：1）非接触测量，不扰动流体的流动状态，不产生压力损失。2）不受被测流体物理、化学特性（如粘度、导电性等）的影响。3）输出特性呈线性。

三、 计算题（共5分）

3.用皮托管－U型管装置测量空气流动，测得压差为19.7kPa，绝对静压为100kPa，空气温度15℃，皮托管的校正系数为1，试计算空气流速。（10分）

假设空气可压缩

假设空气不可压缩

【提示：气流马赫数Ma可按下式估算】

解：（1）可压缩

查表得

则

（2）不可压缩

4.用一阶系统对100Hz的正弦信号进行测量时，如果要求振幅误差为10%以内，时间常数应为多少？如果用该系统对50Hz的正弦信号进行测试，其幅值误差和相位误差为多少？（10分）

解：（1）

则 

（2）

τ取7.71×10-4时，



相位误差小于等于13.62°

**《热能与动力工程测试技术》试题II**

姓名： 学号： 专业： 得分：

一、 填空题（20分，每空1分）

1.测量系统的动态特性一般可以从 时（间）域和 频（率）域

两方面进行分析。

2.用试验测定动态参数的方法有频率响应法、阶跃响应法、随机信号法

3.使用玻璃管液体温度计应注意 零点漂移、露出液柱的校正这两个问题。

4.接触式测温方法中又有膨胀式、热电式例如常用的有水银温度计、热电阻温度计、热电偶温度计。非接触式测温方法中主要包括基于经典热辐射理论的热辐射测温方法和基于激光技术的和散射光谱法、激光干涉法等。

5.皮托管利用流体总压与静压之差来测量流速。

6.探头的头部尺寸决定了皮托管测速的空间分辨率，受工艺、刚度、强度和仪器惯性等因素的限制，目前最小的皮托管头部直径约为0.1～0.2mm 。

7.液位测量的技术主要基于相界面两侧物质的物性差异或液位改变引起有关物理参数变化现象。

二、 是非题（10分，每题2分）

1. 传递函数是指零初始条件下输出量的拉普拉斯变换与输入量的拉普拉斯变换之比。（√）

2. 传递函数既描述了系统的动态性能，也说明了系统的物理结构。（×）

3. 从敏感元件与被测对象的接触状态分，测温方法有接触式和非接触式。（√）

4. 皮托管测速为接触式测量，而LDV为非接触式测速方法。（√）

5. 恒流式热线风速仪通过测定热线的电阻值就可以确定流体速度的变化。（√）

三、 简答题（共35分）

1. 试述测量系统的动态响应的含意、研究方法及评价指标。（10分）

答：

含义：在瞬态参数动态测量中，要求通过系统所获得的输出信号能准确地重现输入信号的全部信息，而测量系统的动态响应正是用来评价系统正确传递和显示输入信号的重要指标。

研究方法：对测量系统施加某些已知的典型输入信号，包括阶跃信号、正弦信号、脉冲信号、斜升信号，通常是采用阶跃信号和正弦信号作为输入量来研究系统对典型信号的响应，以了解测量系统的动态特性，以此评价测量系统。

评价指标：稳定时间ts、最大过冲量Ad。

2. 简述接触式和非接触式温度测量方法各自的特点。（10分）

答：

1）由于接触式温度测量方法必须将敏感元件与被测对象接触，因此容易破坏被测温度场，非接触式温度测量方法则无此问题。

2）接触式温度测量中敏感元件与被测对象达到热平衡需要一定时间，所以产生的时间滞后比较大；非接触式温度测量直接测量被测物体的热辐射或者光波信号，响应速度较快。

3）由于敏感元件材料有耐温极限，所以接触式测温有温度限制范围，非接触式测温则无此问题。

3. 进行动态压力测量时有哪些误差来源？如何减少误差？（5分）

答：动态压力测量系统中，压力传感器安装在需要进行压力测量的部位，其间有空腔和管道的情况是很多的，甚至是无法避免的。这会严重影响传感器的动态特性，造成动态压力测量的失真，这一点在进行动态压力测量时必须予以考虑。

空腔和管道的容积，导压管长度和内径对动态压力测量时的容腔效应和滞后有很大的影响。采用较小的空腔容积，较短的导压管和较大的内径，可增大系统的固有频率，减小时间常数，降低容腔效应和滞后的影响。

4. 从信号处理、实际应用等角度对比分析LDV三种基本光路系统的特点。（10分）

答：基本光路系统大致有三种，即参考光束系统、单光束系统和双光束系统。在参考光束系统中，光束经微粒散射后强度将大大削弱，系统需采用1：9的比例将光源发射的光束分割成参考光与信号光，以得到高信噪比和高效率的多普勒信号。单光束系统要求两散射光接收孔的孔径适当，孔径过大会使光电检测器接收到的频率信号加宽，过小将使检测器接收到的散射光信号太弱，都会降低测量精度。另外，这种系统对光能的利用率很低，且需要遮蔽周围环境的光线，目前已经较少应用。双光束系统的速度分量*vn*和差拍信号*fD*之间的关系与其他两种在表达形式上完全相同，但其多普勒频移与光电检测器的接收方向无关，因此得以最广泛应用。

四、 计算题（共35分）

1.将一台柴油机放置在广场上进行噪声测量，在其中心位置半径1m的半球内测量8个点，声压级分别为80、81、83、80、81、83、82、81dB（A），求该柴油机的平均声压级和声功率级；当测量球面半径变为2m时，平均声压级的测量值将变成多少？（10分）

.解：声压级平均值：,

代入求得；

声功率级,

,，在广场上测量故V为无穷大，因此;

;

故=89.5。

当测量球面半径变为2m时,=95.52。

2.车间内有三台压气机，单台压气机的噪声级为90dB（A），求三台压气机同时工作时的噪声级。（5分）

3.用量程为0～10A的直流电流表和量程为0～250V的直流电压表测量直流电动机的输电流和电压，示值分别为9A和220V，两表的精度皆为0.5级。试问电动机输入功率可能出现的最大误差为多少？(提示：电动机功率*P=IV*)（10分）

解：仪表基本误差△I=10×0.5%=0.05A △U=250×0.5%=1.25V

由常用函数相对误差和绝对误差可知函数y=u1u2的绝对误差为±（u1△u2+u2△u1）

故最大误差△P=±（U△I+I△U）=±（220×0.05+9×1.25）=±25W

4. 用传递函数为1/(0.0025*s*+1)的一阶系统进行周期信号测量。若将幅值误差限制在5%以下，试求所能测量的最高频率成分，此时相位差是多少？（10分）

解：，

则或

相位差:

**《热能与动力工程测试技术》试题III**

姓名： 学号： 专业： 得分：

一、 填空题（20分，每空1分）

1.噪声评定的指标有响度级、计权声级、统计声级、等效声级

2.动测量的主要参数为：频率、振幅、相位

3.根据测压原理的不同，压力测量方法可分为重力与被测压力的平衡法、弹性力与被测压力的平衡法、利用物质某些与压力有关的物理性质进行测压三类。

4.力和压力测量时，应变片的温度补偿方法有桥路补偿、应变片自补偿两种。

5.测量内燃机缸内动态压力时，常用的上止点位置确定方法有磁电法、气缸压缩线法、电容法三种。

6.排放测量系统的取样方法一般有直接取样法、全量取样法、比例取样法、定容取样法四种。

7.利用色谱进行混合物组分判别的基本依据是色谱流出曲线。

二、 是非题（10分，每题2分）

1. 石英压电晶体传感器可用于测量10~20kHz的静态压力。（×）

2.使用液柱式压力计测量压力，读数时，对水和酒精，眼睛应与凹面持平；对水银，应与凸面持平。（√）

3.不同气体组分在色谱柱中的保留时间不同，所以，测量保留时间即可测量组分的浓度。（×）

4.磁电式转速传感器结构简单，无需配置专门的电源装置，缺点在于脉冲信号会因转速过高而减弱。（×）

5.测量导电液体的电容式液位计主要利用被测液体液位变化时可变电容传感器两电极之间充填介质的介电常数发生变化，从而引起电容量变化这一特性进行液位测量。（×）

三、 简答题（共35分）

1. 比较分析用于导电液和非导电液的电容式液位传感器的不同结构，简述各自的工作原理。（10分）

答：

测量导电液：不锈钢棒、聚四氟乙烯套管以及容器内被测的导电液体共同组成一个圆柱形电容器，其中不锈钢棒和被测导电液体构成电容器的两个电极，聚四氟乙烯套管为两电极间的绝缘介质。液位升高时，两电极极板的覆盖面积增大，可变电容传感器的电容量就成比例地增加。测量导电液体的电容式液位计主要利用传感器两电极的覆盖面积随被液体液位的变化而变化，从而引起电容量的变化。

测量非导电液：两根同轴装配、相互绝缘的不锈钢管分别作为圆柱形可变电容传感器的内、外电极，外管管壁上布有通孔，以便被测液体自由进出。测量非导电液体的电容式液位计主要利用被测液体液位变化时可变电容传感器两电极之间充填介质的介电常数发生变化，从而引起电容量变化。

2.简述电阻式、电容式、压电式压力传感器的测量原理及在压力测量中的应用场合。（10分）

答：电阻式传感器又称应变式传感器，是应用最为广泛的测力传感器，它是通过感受被测构件的变形并将应变转换成电阻的变化实现测量的。

电容式传感器是通过将力作用下位移的变化转换为电容量的变化进行力与压力测量的。

压电传感器的工作原理是基于某些物质的压电效应，这些物质在外力作用下表面会产生电荷，经过电荷放大器的放大，可以实现压力的测量。热能与动力工程测量中，常用石英晶体作为压电材料。

电阻和电容式压力传感器常用于静态或准静态压力的测量，压电式传感器主要用于动态压力的测量。

3.为什么热电偶要进行冷端温度补偿？冷端温度补偿有哪些方法？（5分）

答：热电偶热电势的大小是热端温度和冷端的函数差，为保证输出热电势是被测温度的单值函数，必须使冷端温度保持恒定；热电偶分度表给出的热电势是以冷端温度0℃为依据，否则会产生误差。因此，常采用一些措施来消除冷锻温度变化所产生的影响，如冷端恒温法、冷端温度校正法、补偿导线法、补偿电桥法。

4.简述NDIR红外不分光分析仪的工作原理。（10分）

答：在排放气体所含的主要成分中，非对称分子气体，如CO、CO2、H2O、NO等在红外区均有特定的吸收带（波段）。这种特定的吸收带对于某一种分子是确定的、标准的，其特性如同“物质指纹”。也就是说，根据特定的吸收带，可以鉴别分子的种类，这是红外光谱分析的基本依据。当需要测定混合气体中某种已知组分的含量时，可以采用不分光的方法，通过测量特定吸收带内待测组分对红外辐射的吸收程度，即可确定其浓度。这种不分光测量方法的理论基础是比尔（Bill）定律，它描述了气体对一定波长的红外辐射的吸收强度与气体浓度之间的关系。

四、 计算题（共35分）

1.某一阶测量仪器的传递函数为1/(0.04*s*+1)，若用它测量频率为0.5Hz、1 Hz、2 Hz的正弦信号，试求幅值误差。（10分）

，

（1）当f=0.5Hz时，



（2）当f=1Hz时，



（3）当f=2Hz时，



2.对某二阶系统进行动态标定时，测得最大过冲=1.5以及在响应曲线上由n个周期取平均值的衰减周期=2*s*。试求该系统的阻尼比及系统固有频率。（5分）

解：

3.某管道流体压力测量装置如图所示。已知压力表的精度为0.5级，量程为0～600kPa，表盘刻度100格代表200kPa，即分度值为2kPa，测量时指示压力读数为300kPa，读数时指针来回摆动±1格，∆ℎ≤0.05𝑚。压力表使用条件大多符合要求，仅环境温度值高于标准值(20±3℃)10℃，该压力表温度修正值为每偏离1℃时造成系统误差为仪表基本误差的4%。试估算测量结果的系统误差。（10分）

解：

（1）仪表基本误差

；

（2）环境温度造成的系统误差



（3）安装误差

由于压力表没有安装在管路同一水平面上，

而是高出。为减少这一误差，在高h处装一放气阀，因为高h处的水柱产生的压力是恒定的，故可对读数进行修正，管路中的实际压力值。



所以可求得安装误差为：





（4）读数误差



于是总系统误差为

若按算术综合法，则为

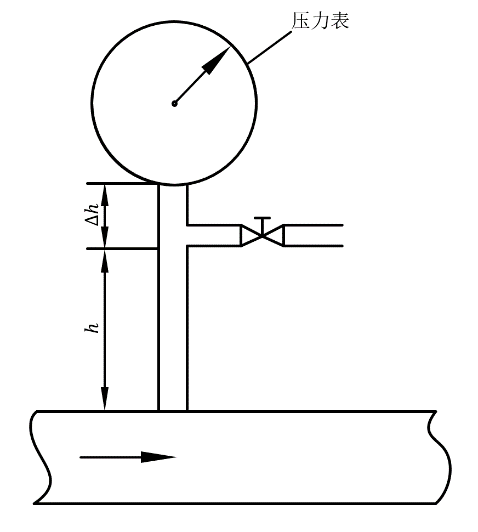




若按几何综合法，则为







4.某一离心式转速表满刻度读数为2000r/min，精度级为1级。试求用此转速表测量转速，当指针值为200 r/min与1500 r/min时，可能出现的最大相对误差。（10分）

.解：

当示值为200 r/min时的最大相对误差为：



当示值为1500 r/min时的最大相对误差为：



可见，采用确定量程和精度等级的仪器进行测量时，被测量量值越小，其相对误差越大。因此，选择测量仪器的量程时，需要对被测量的量值范围做预估，尽可能使测量值接近于仪器的满刻度。

**试卷I参考答案**

一、 填空题

1.幅频特性、相频特性

2.测量值、真值

3.散射光、入射光

4.（法拉第）电磁感应

5.投射式、反射式

6.机械测振系统、电子测振系统、光学测振系统

7.动圈式、压电式、电容式

8.热力学温标、国际实用温标、摄氏温标、华氏温标

9.正态分布

二、 是非题

1.× 2.× 3.× 4.√ 5.√

三、 简答题

1. 答：串联环节：



并联环节：

正反馈环节：

负反馈环节：



2.答：误差传递就是指一个物理量的误差收多个物理量影响时，每个物理量该变量引起该物理量的变化量。(传递误差是针对整个系统而言，而非系统中的疏失误差) 在系统中引入负反馈开辟了补偿顺联环节误差的新途径，因为在系统的误差计算公式中，顺联与负反馈误差的符号相反，可以减小或抵消误差，使整个系统误差大大减小，以提高测量精度。

3.答：水银不粘玻璃，不易氧化，在相当大的温度范围内保持液态，在200℃以下，其膨胀系数几乎和温度成线性关系。

4.答：

a.光钎流量计

工作原理：在节流元件前后分别安装一组敏感膜片和Y形光钎，膜片感受流体压力的作用而产生位移，Y形光钎根据输入输出光强的相对变化测量膜片位移的大小，由位移量就可以确定节流压差，从而确定被测流量的大小。

特点：利用光钎传感技术检测节流元件前后的差压。

b.超声波流量计：

工作原理：超声波在顺流和逆流中的传播速度差与介质的流动速度v有关，测出这一传播速度差就可求得流速，进而可换算为流量。

特点：1）非接触测量，不扰动流体的流动状态，不产生压力损失。2）不受被测流体物理、化学特性（如粘度、导电性等）的影响。3）输出特性呈线性。

四、 计算题

1. 解：（1）

则 

（2）

τ取7.71×10-4时，



相位误差小于等于13.62°

2.解：

由于：,

当，则有（Hz）

（Hz）

3. 解：（1）可压缩

查表得

则

（2）不可压缩

4. 解：（1）

则 

（2）

τ取7.71×10-4时，



相位误差小于等于13.62°

**试卷II参考答案**

一、 填空题

1.时（间）域、频（率）域

2.频率响应法、阶跃响应法、随机信号法

3.零点漂移、露出液柱的校正

4.膨胀式、热电式、水银温度计、热电阻温度计、热电偶温度计、经典热辐射理论、散射光谱法、激光干涉法

5.总压、静压

6.0.1～0.2mm

7.相界面两侧物质的物性差异、液位改变引起有关物理参数变化

二、 是非题

1.√ 2.× 3.√ 4.√ 5.√

三、 简答题

1.答：

含义：在瞬态参数动态测量中，要求通过系统所获得的输出信号能准确地重现输入信号的全部信息，而测量系统的动态响应正是用来评价系统正确传递和显示输入信号的重要指标。

研究方法：对测量系统施加某些已知的典型输入信号，包括阶跃信号、正弦信号、脉冲信号、斜升信号，通常是采用阶跃信号和正弦信号作为输入量来研究系统对典型信号的响应，以了解测量系统的动态特性，以此评价测量系统。

评价指标：稳定时间ts、最大过冲量Ad。

2.答：

1）由于接触式温度测量方法必须将敏感元件与被测对象接触，因此容易破坏被测温度场，非接触式温度测量方法则无此问题。

2）接触式温度测量中敏感元件与被测对象达到热平衡需要一定时间，所以产生的时间滞后比较大；非接触式温度测量直接测量被测物体的热辐射或者光波信号，响应速度较快。

3）由于敏感元件材料有耐温极限，所以接触式测温有温度限制范围，非接触式测温则无此问题。

3.答：动态压力测量系统中，压力传感器安装在需要进行压力测量的部位，其间有空腔和管道的情况是很多的，甚至是无法避免的。这会严重影响传感器的动态特性，造成动态压力测量的失真，这一点在进行动态压力测量时必须予以考虑。

空腔和管道的容积，导压管长度和内径对动态压力测量时的容腔效应和滞后有很大的影响。采用较小的空腔容积，较短的导压管和较大的内径，可增大系统的固有频率，减小时间常数，降低容腔效应和滞后的影响。

4.答：基本光路系统大致有三种，即参考光束系统、单光束系统和双光束系统。在参考光束系统中，光束经微粒散射后强度将大大削弱，系统需采用1：9的比例将光源发射的光束分割成参考光与信号光，以得到高信噪比和高效率的多普勒信号。单光束系统要求两散射光接收孔的孔径适当，孔径过大会使光电检测器接收到的频率信号加宽，过小将使检测器接收到的散射光信号太弱，都会降低测量精度。另外，这种系统对光能的利用率很低，且需要遮蔽周围环境的光线，目前已经较少应用。双光束系统的速度分量*vn*和差拍信号*fD*之间的关系与其他两种在表达形式上完全相同，但其多普勒频移与光电检测器的接收方向无关，因此得以最广泛应用。

四、 计算题

1.解：声压级平均值：,

代入求得；

声功率级,

,，在广场上测量故V为无穷大，因此;

;

故=89.5。

当测量球面半径变为2m时,=95.52。

2.解：

3.解：仪表基本误差△I=10×0.5%=0.05A △U=250×0.5%=1.25V

由常用函数相对误差和绝对误差可知函数y=u1u2的绝对误差为±（u1△u2+u2△u1）

故最大误差△P=±（U△I+I△U）=±（220×0.05+9×1.25）=±25W

4.解：，

则或

相位差:

**试卷III参考答案**

一、 填空题

1.响度级、计权声级、统计声级、等效声级

2.频率、振幅、相位

3.重力与被测压力的平衡法、弹性力与被测压力的平衡法、利用物质某些与压力有关的物理性质进行测压

4.桥路补偿、应变片自补偿

5.磁电法、气缸压缩线法、电容法

6.直接取样法、全量取样法、比例取样法、定容取样法

7. 色谱流出曲线

二、 是非题

1.× 2.√ 3.× 4.× 5.×

三、 简答题

1.答：

测量导电液：不锈钢棒、聚四氟乙烯套管以及容器内被测的导电液体共同组成一个圆柱形电容器，其中不锈钢棒和被测导电液体构成电容器的两个电极，聚四氟乙烯套管为两电极间的绝缘介质。液位升高时，两电极极板的覆盖面积增大，可变电容传感器的电容量就成比例地增加。测量导电液体的电容式液位计主要利用传感器两电极的覆盖面积随被液体液位的变化而变化，从而引起电容量的变化。

测量非导电液：两根同轴装配、相互绝缘的不锈钢管分别作为圆柱形可变电容传感器的内、外电极，外管管壁上布有通孔，以便被测液体自由进出。测量非导电液体的电容式液位计主要利用被测液体液位变化时可变电容传感器两电极之间充填介质的介电常数发生变化，从而引起电容量变化。

2.答：电阻式传感器又称应变式传感器，是应用最为广泛的测力传感器，它是通过感受被测构件的变形并将应变转换成电阻的变化实现测量的。

电容式传感器是通过将力作用下位移的变化转换为电容量的变化进行力与压力测量的。

压电传感器的工作原理是基于某些物质的压电效应，这些物质在外力作用下表面会产生电荷，经过电荷放大器的放大，可以实现压力的测量。热能与动力工程测量中，常用石英晶体作为压电材料。

电阻和电容式压力传感器常用于静态或准静态压力的测量，压电式传感器主要用于动态压力的测量。

3.答：热电偶热电势的大小是热端温度和冷端的函数差，为保证输出热电势是被测温度的单值函数，必须使冷端温度保持恒定；热电偶分度表给出的热电势是以冷端温度0℃为依据，否则会产生误差。因此，常采用一些措施来消除冷锻温度变化所产生的影响，如冷端恒温法、冷端温度校正法、补偿导线法、补偿电桥法。

4.答：在排放气体所含的主要成分中，非对称分子气体，如CO、CO2、H2O、NO等在红外区均有特定的吸收带（波段）。这种特定的吸收带对于某一种分子是确定的、标准的，其特性如同“物质指纹”。也就是说，根据特定的吸收带，可以鉴别分子的种类，这是红外光谱分析的基本依据。当需要测定混合气体中某种已知组分的含量时，可以采用不分光的方法，通过测量特定吸收带内待测组分对红外辐射的吸收程度，即可确定其浓度。这种不分光测量方法的理论基础是比尔（Bill）定律，它描述了气体对一定波长的红外辐射的吸收强度与气体浓度之间的关系。

四、 计算题

1.，

（1）当f=0.5Hz时，



（2）当f=1Hz时，



（3）当f=2Hz时，



2.解：

3.解：

（1）仪表基本误差

；

（2）环境温度造成的系统误差



（3）安装误差

由于压力表没有安装在管路同一水平面上，

而是高出。为减少这一误差，在高h处装一放气阀，因为高h处的水柱产生的压力是恒定的，故可对读数进行修正，管路中的实际压力值。



所以可求得安装误差为：





（4）读数误差



于是总系统误差为

若按算术综合法，则为





若按几何综合法，则为





4.解：

当示值为200 r/min时的最大相对误差为：



当示值为1500 r/min时的最大相对误差为：



可见，采用确定量程和精度等级的仪器进行测量时，被测量量值越小，其相对误差越大。因此，选择测量仪器的量程时，需要对被测量的量值范围做预估，尽可能使测量值接近于仪器的满刻度。