



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

第35届全国中学生物理竞赛决赛实验 试题命题及评析

王锦辉

上海交通大学物理与天文学院
教学研究中心

2019.1



主要内容

- ◆ 全国中学生物理竞赛介绍
- ◆ 实验试题命题情况
- ◆ 考试结果评析



一、简介

全国中学生物理竞赛（Chinese Physics Olympiad，缩写为CPhO）由中国科协的领导，中国物理学会主办的课外学科竞赛活动。教育部批准的五项全国中学生竞赛之一。

预赛

理论，满分200分，3小时
全国竞赛委员会统一命题

35届

（理论试卷16道题）
9月8日

复赛

理论+实验，均为3小时。理论满分320分，全国统一命题，实验满分80分，2个实验项目。各省市自治区自行命题。

（理论试卷8道题）
9月22日

决赛

理论+实验，均为3小时。理论满分280分。实验满分120分，2个实验项目。全国统一命题。

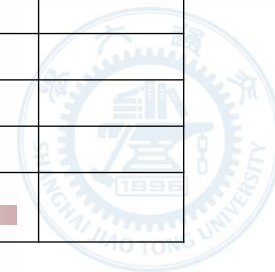
（理论试卷8道题）
10月27日





二、历届全国中学生物理竞赛

届	决赛年月	决赛地点	预赛人数	复赛人数	决赛人数	一等	二等	三等	四等
1	1985.6	北京	43079		76	3	18	52	
2	1986.4	上海	52925		104	4	16	43	38
3	1987.2	天津	58766		105	5	16	52	25
4	1988.1	兰州	57523		101	5	18	45	30
5	1989.1	广州	55855		106	5	18	45	30
6	1989.12	长春	53096		127	9	18	60	36
7	1990.12	福州	54393		105	5	17	47	32
8	1991.9	桂林 南宁	73806		104	9	31	64	
9	1992.10	合肥	60617		101	13	35	53	
10	1993.10	长沙	46843		105	15	34	56	
11	1994.10	西安	65146		109	14	35	60	
12	1995.10	太原	55867		112	16	37	56	
13	1996.10	杭州	86173		114	16	39	59	
14	1997.10	南昌	90067		118	20	41	57	
15	1998.10	大庆	134599		121	20	46	55	
16	1999.10	南京	169282		126	17	46	57	
17	2000.10	武汉	225683		143	25	48	70	
18	2001.10	海口	267363		145	26	53	66	
19	2002.10	郑州	322043		146	27	49	70	
20	2003.10	济南	359835	15380	170	29	58	83	
21	2004.10	重庆	328134	20817	173	29	62	82	





届	决赛年月	地点	预赛人数	复赛人数	决赛人数	一等	二等	三等	四等
22	2005.10	沈阳	363129		167	28	58	81	
23	2006.11	深圳	426673		173	29	62	82	
24	2007.11	宁波	411350		177	33	60	84	
25	2008.10	北京	486601		210	36	75	99	
26	2009.10	上海	483734		280	50	98	132	
27	2010.10	厦门	468547		280	51	95	134	
28	2011.10	西安	522369		280	50	96	134	
29	2012.11	吉林	485193		280	47	94	139	
30	2013.10	大连	480000		320	53	107	160	
31	2014.10	杭州	521322		360	61	120	179	
32	2015.10	长沙	559475		360	102	120	138	
33	2016.10	武汉 黄冈	626370		360	100	122	138	
34	2017.10	重庆	714948		364	100	120	144	
35	2018.10	上海			365	101	119	145	
36		杭州							

三、高校保送和自主招生

高校保送资格：

2011前：高中阶段在全国中学生学科奥林匹克竞赛全国决赛（**数学、物理、化学、信息、生物**）中获得一、二、三等奖的应届高中毕业生

2011及以后：**进入**国家集训队





全国中学生物理竞赛介绍

2018年高校对五项学科竞赛要求汇总

省市	学校名称	物理	
北京 (20所)	北京大学	国三	
	清华大学	在学科奥林匹克竞赛中表现突出的学生	
	北京交通大学	省三	
	北京理工大学	省一	
	中国人民大学	获奖	
	北京化工大学	省二或两项省三	
	北京邮电大学	国三或省二	
	北京中医药大学	省二	
	中国传媒大学	省三	
	北京语言大学		
	对外经济贸易大学	省三	
	中国政法大学		
	北京航空航天大学	省一	
		中央财经大学	省二且外语或文史类竞赛国二
		中国石油大学(北京)	省三
		北京科技大学	省二
		北京师范大学	省三
		华北电力大学(北京)	省二
		北京工业大学	市三
		北京林业大学	省三
天津 (2所)	南开大学	省一	
	天津大学	省一或两个省二	
山东 (3所)	山东大学	省二	
	中国海洋大学	省二	
	中国石油大学(华东)	省三	
上海 (9所)	上海交通大学	省一	
	华东理工大学	省三	
	上海财经大学	省一	
	同济大学	省一	
	华东师范大学	省二	
	东华大学	省三	
	复旦大学	省二	
	上海外国语大学		
	上海大学	省三	

湖北 (7所)	武汉大学	国三
	华中科技大学	国二
	武汉理工大学	省一
	中南财经政法大学	省三
	华中师范大学	省三
	华中农业大学	省三
	中国地质大学(武汉)	省三
陕西 (7所)	陕西师范大学	省三
	西北农林科技大学	省二
	长安大学	省二
	西安电子科技大学	省二
	西北工业大学	省二
	西安交通大学	省二
	西北大学	省三
四川 (5所)	四川大学	国三或省一
	电子科技大学	国三或省二或两个省三
	西南财经大学	省二
	西南交通大学	省三
	四川农业大学	省三
重庆 (3所)	西南大学	省二
	重庆大学	省二
	西南政法大学	省三
湖南 (3所)	湖南大学	省三
	中南大学	省二
	湖南师范大学	省二
浙江 (1所)	浙江大学	省一
吉林 (2所)	吉林大学	省二
	东北师范大学	省二或国三
福建 (2所)	厦门大学	国三或省一或两个省二
	福州大学	省三
广东 (2所)	中山大学	省一
	华南理工大学	省二
江苏 (11所)	南京大学	省一
	苏州大学	省二
	南京理工大学	省二或两个省三
	中国矿业大学	省三
	江南大学	省一
	南京航空航天大学	省二
	南京农业大学	省三
	河海大学	省二
	中国药科大学	省二
	东南大学	省二
	南京师范大学	省一





四、第35届全国中学生物理竞赛

主要日程安排表

日期	时间	内容	地点
10月25日 星期四	08:30-21:30	报到	光大会展中心国际大酒店
10月26日 星期五	16:30-17:30	看理论考场地	上海中学龙门楼
10月27日 星期六	09:00-12:00	理论考试	上海中学龙门楼
10月28日 星期日	08:00-11:40	AB组学生	上海交通大学物理楼
	12:40-16:20	CD组学生	
	17:20-21:00	EF组学生	
10月29日 星期一	13:30-15:30	评分讲座	李政道图书馆报告厅
10月30日 星期二	14:30-17:30	领队与阅卷组面对面查分	陈瑞球楼

决赛时间: 2018年10月25日至11月1日
主办单位: 中国物理学会
 全国中学生物理竞赛委员会
承办单位: 上海物理学会
 上海中学
 上海交通大学





一、命题人工作：

命题（设计试卷、标准答案、评分标准、提示卡、答题卷）

实验仪器的定型（选型，设计、制作和测试，图纸，加工，装配等）

购买仪器（比较厂家、商讨价格、订立合同、收货、点货、核收，订单超25份）

考务协调（考场、监考、阅卷等）

实验调试（69套实验的仪器组装，按规定实验条件测量数据并记录。
编写调试要求，处理分析数据，优化评分标准）

试卷打印并装订（试卷、标准答案、评分标准、提示卡、答题卷）

监考老师培训（撰写监考要求）

考试时巡考，异常情况处理。

阅卷老师培训（阅卷时批改情况记录，学生所犯典型错误）

评讲试卷

查分



二、近年来全国中学生物理实验竞赛情况统计

届别	比赛时间	比赛地点	出题学校	题目简介
26	2009.10.29-11.5	上海	复旦大学	利用负温度系数(NTC)热敏电阻设计制作“数字体温计”和“玻璃材料物理特性的实验研究”
27	2010.10.30-11.4	厦门	厦门大学	发光二极管光电特性, rlc串联电路, 交流电桥
28	2011.10.29-11.2	西安	西安交通大学	直流电源特性的研究, 光电效应的实验研究
29	2012.11.2-11.7	吉林	吉林大学	用电学方法测量金属丝长度(双臂电桥), 用光学方法测量金属丝伸长量(光杠杆, 透镜测焦距, 望远镜), 测金属丝的杨氏模量(拉伸法)
30	2013.10.26-10.31	大连	大连理工大学	用超声光栅测定水中声速, 研究小灯泡的发光问题
31	2014.11.1-11.6	杭州	浙江大学 城市学院	用最小偏向角法测量三片玻璃围成的容器中液体的折射率, 通过整流滤波制作直流电源并测定电源参数, 利用此电源测三个待测电阻
32	2015.10.29-11.5	长沙	湖南师范大学	二极管正向伏安特性精确测量, 测量透明容器和其中液体的折射率
33	2016.10.27-11.3	武汉	武汉大学	测量激光笔波长, 光学方法测细丝直径, 测微安表内阻, 金属丝电阻率, 甲种电池电动势
34	2017.10.26-11.2	重庆	重庆大学	用光栅测波长, 牛顿环中凸透镜的曲率半径测量, 电子秤搭建及定标, 金属丝切变模量的测定



三、时间节点

启动

- 2017年初接受命题任务
- 确定命题方向和分工

初稿

- 2018年1月20日分别提交两套光学和电学全部资料

修改

- 光学试卷2018年8月24日经8轮修改定稿
- 电学试卷2018年10月25日经10轮修改定稿



四、光学试题

[实验题目] (60分)

光学玻璃是一类重要的光学材料，其杨氏模量、折射率等参数经常需要进行测量。利用提供的实验器材测量光学玻璃的杨氏模量、折射率。

[实验器材]

- 1、1.2米长导轨1根
- 2、大一维位移光具座1个，小一维位移光具座2个，固定光具座1个，升降调节光具座1个
- 3、半导体激光器及其电源各1台（电源上有旋钮，可调节激光光强大小）
- 4、白屏1个
- 5、干板架1个（支杆中心距干板架固定夹持面距离为3.13mm）
- 6、辅助透镜（平凸透镜）1个
- 7、扩束镜1个（焦距4.5mm）
- 8、测微目镜1个（分划板离光具座中心距离为37.0mm）
- 9、质量为20.00g槽码12只，质量为20.00g的槽码托盘2只
- 10、玻璃条支架1对
- 11、方形薄不锈钢片2片（边缘基本平直，均可作为狭缝边，其厚度为0.30mm）
- 12、厚光学玻璃1片





- 13、白纸片2张（其中一张备用）
- 14、细线2根（不考虑其质量，其中一根备用）
- 15、窄双面胶1卷
- 16、长光学玻璃条1片
- 17、烧杯1个（盛有适量的水）
- 18、游标卡尺1只
- 19、千分尺1只
- 20、直尺1把
- 21、照明用LED灯1只（用充电宝供电。灯身开关长按为开关控制，短按为5级亮度调节，充电宝上按钮亦为电源开关）



[实验原理及要求]

1、（28分）测量激光波长

1834年洛埃（Humphrey Lloyd）描述了单色点光源掠入射到一片平面玻璃表面上，其反射光束与点光源光束重叠区域产生干涉条纹。该条纹可看成是点光源和关于玻璃表面对称的虚光源产生的干涉结果。此种干涉称为洛埃法干涉。

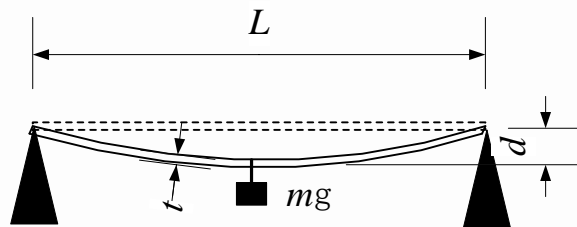
实验要求：

- 1) 画出实验光路示意图，简要写出利用洛埃法干涉测量激光波长的原理及公式。
- 2) 写出各物理量的测量方法、实验步骤，并列出现实验数据。
- 3) 根据对各物理量的测量结果，计算激光波长。

2、（20分）利用单缝衍射测量长玻璃条的杨氏模量

杨氏模量是表征固体材料抵抗形变能力的重要物理量，弯曲法是常用的一种测量杨氏模量方法。厚为 t 、宽为 b 的均匀玻璃条，水平对称地放在相距为 L 的两刀口上，对梁中心施加一向下的重力 mg ，梁的挠度为 d （见图1），此时梁的杨氏模量为

$$E = \frac{L^3 mg}{4t^3 bd}。$$



实验要求：

1) 画出利用单缝衍射法测量杨氏模量的实验装置示意图，写出测量公式（此处有提示卡一，提示实验装置图）

2) 写出实验步骤，列出实验数据，计算杨氏模量

3、（12分）测量厚玻璃片的折射率

将用水浸湿的白纸贴在厚玻璃片的一面，激光从没有纸的另一面入射，则在白纸上可见以入射光点为圆心形似日晕的光环。

实验要求：

1) 画出光路示意图，解释光环产生的原因。（此处有提示卡二，提示原因）

2) 写出实验过程、列出实验数据、测出玻璃片的折射率。

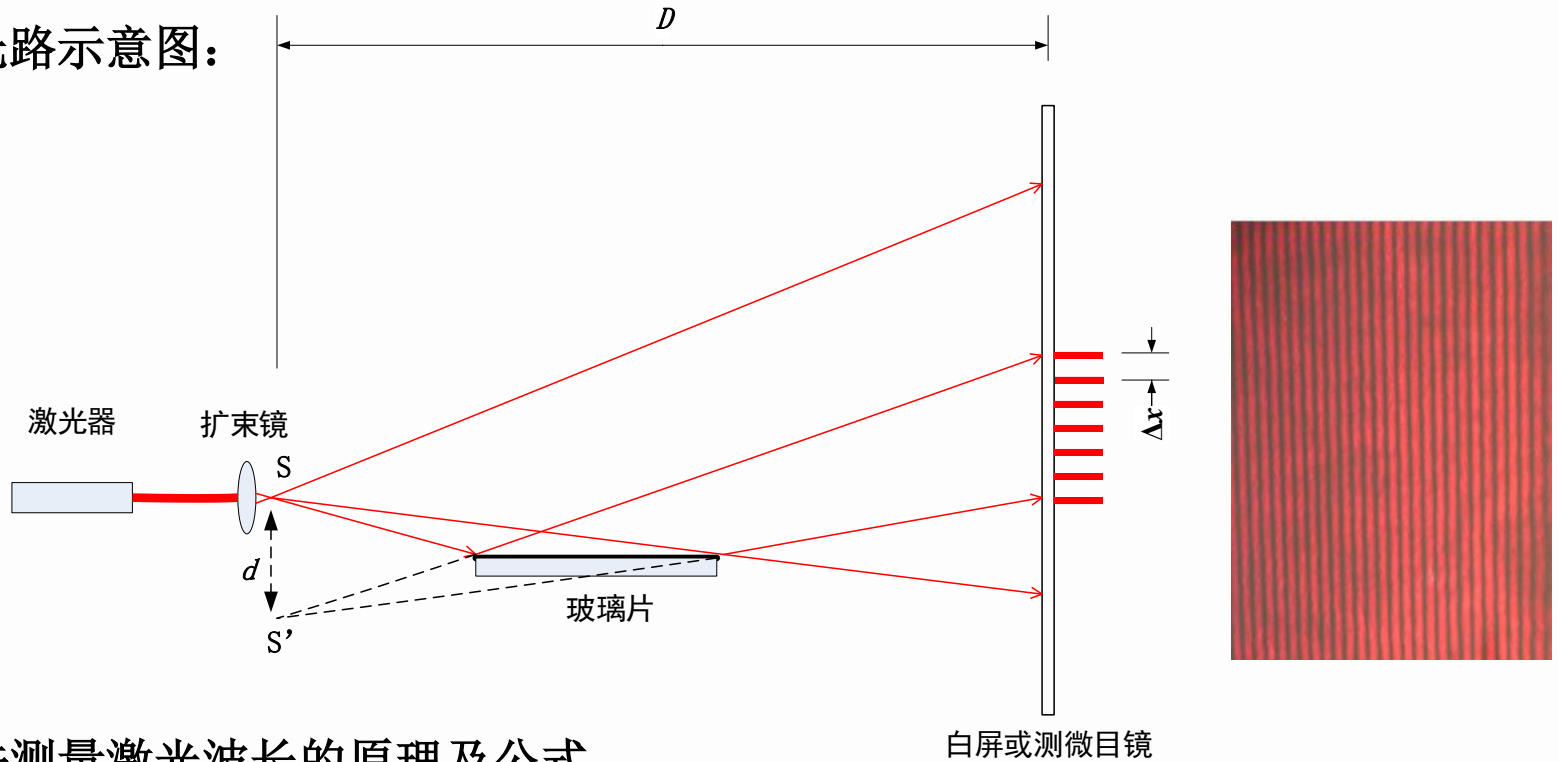




[答案]

1. 利用洛埃法测量半导体激光器的波长

(1) 实验光路示意图:



(2) 洛埃法测量激光波长的原理及公式

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{D}$$





(3) 实光源和虚光源之间距离测量

测量方法1，用共轭法测量实光源和虚光源之间距离 d 。

在玻璃片和屏之间放入辅助透镜，移动辅助透镜，可观察到大像和小像，利用测微目镜分别测量大像时两个光点之间距离 d_1 ，小像时两个光点之间距离 d_2 ，则

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

测量方法2，用物距与像距的比值来测量。

在玻璃片和屏之间放入辅助透镜，移动辅助透镜，可观察到大像和小像，利用测微目镜测量大像或小像时两个光点之间距离 d' ，辅助透镜与扩束镜焦点之间距离 μ ，辅助透镜与测微目镜分划板之间距离 ν ，则

$$d = \frac{\mu}{\nu} d'$$

(4) 实验步骤

- 1) 利用白屏调节激光束平行于导轨
- 2) 利用平行激光束调节其它光学元件同轴等高
- 3) 激光器和白屏之间放入厚玻璃片（夹在干板架上），使得激光束掠射入玻璃片光滑的一面。
- 4) 调节玻璃片前后位置以及倾角，在白屏上观察双光点，使得双光点基本等亮且相距较近。
- 5) 将扩束镜放入激光器与玻璃片之间，观察白屏上等间距干涉条纹。
- 6) 将辅助透镜放入，利用“大像追小像”法调节透镜高度，使得大像和小像中心重合。



- 7) 调节激光器出射光光强, 从最小调到合适值。
- 8) 将白屏换成测微目镜。调节测微目镜高度, 像与分划板上标尺重合。用测微目镜测量大像和小像两光点位置。

或

- 8) 将白屏换成测微目镜。调节测微目镜高度, 像与分划板上标尺重合。用测微目镜测量大像或小像两光点之间距离, 辅助透镜分别与扩束镜、测微目镜之间距离。
- 9) 移去辅助透镜, 观察测微目镜中等间距干涉条纹。
- 10) 利用测微目镜测量条纹间距。连续测量20个或20个以上条纹位置。

或

- 10) 利用测微目镜测量条纹间距。测量连续20个或20个以上条纹的首末位置。

(5) 数据记录与处理

①各元件光具座位置

元件	扩束镜	测微目镜 (测双光源间距)	测微目镜 (测条纹间距)
位置 (cm)	10.00	87.00	117.00

②点光源和虚光源之间距离



测量方法1 共轭法

双光源大像和小像位置

测量次数		1	2	3	4	5	6
大像	右侧光点位置 (mm)	4.425	4.449	4.413	4.487	4.491	4.450
	左侧光点位置 (mm)	1.138	1.165	1.143	1.145	1.123	1.125
小像	右侧光点位置 (mm)	3.225	3.212	3.220	3.222	3.277	3.259
	左侧光点位置 (mm)	1.208	1.198	1.197	1.252	1.253	1.241

$$d_1 = 4.453 - 1.140 = 3.313(\text{mm}) \quad d_2 = 3.236 - 1.225 = 2.011(\text{mm})$$

$$d = \sqrt{d_1 d_2} = \sqrt{3.313 \times 2.011} = 2.581 (\text{mm})$$

测量方法2: 物距像距比

测量大像

测量次数	1	2	3	4	5	6
右侧光点位置 (mm)	4.425	4.449	4.413	4.487	4.491	4.450
左侧光点位置 (mm)	1.138	1.165	1.143	1.145	1.123	1.125
透镜位置 (cm)	45.70	45.70	45.75	45.50	45.35	45.55

$$d = \frac{\mu}{v} d' = \frac{455.9 - 100.0 - 4.5}{870.0 - 455.9 + 37.0} \times (4.453 - 1.140) = 2.581(\text{mm})$$



测量小像：

测量次数	1	2	3	4	5	6
右侧光点位置 (mm)	3.225	3.212	3.220	3.222	3.277	3.259
左侧光点位置 (mm)	1.208	1.198	1.197	1.252	1.253	1.241
透镜位置 (cm)	55.10	55.35	55.40	55.60	55.30	55.45

$$d = \frac{\mu}{v} d' = \frac{553.7 - 100.0 - 4.5}{870.0 - 553.7 + 37.0} \times (3.236 - 1.225) = 2.557(\text{mm})$$

③测量条纹间距

测量方法1：连续测量30个暗条纹位置

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
位置 (mm)	0.188	0.450	0.723	0.988	1.255	1.537	1.806	2.067	2.342	2.627
k	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
位置 (mm)	2.886	3.163	3.444	3.709	3.985	4.260	4.528	4.800	5.089	5.333
k	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
位置 (mm)	5.610	5.900	6.170	6.441	6.710	6.991	7.260	7.532	7.817	8.084

利用计算器对表5数据线性拟合得到的条纹间距 $\Delta x = 0.2727$ (mm)
或用逐差法计算：

$$\Delta x = \frac{\sum_{k=1}^{15} (x_{k+15} - x_k)}{15^2} = \frac{61.355}{225} = 0.2727 \text{ (mm)}$$



测量方法2：重复测量31条暗条纹的首末位置

测量次数	1	2	3	4	5	6
首位置 (mm)	0.189	0.185	0.188	0.192	0.184	0.190
末位置 (mm)	8.352	8.355	8.367	8.357	8.355	8.357

根据表6计算31条暗条纹首位置平均值为0.188mm，末位置平均值为8.357mm。
则

$$\Delta x = \frac{8.357 - 0.188}{31 - 1} = 0.2723 \text{ (mm)}$$

④ 计算激光波长

$$D = 117.00 - 10.00 - 0.45 + 3.70 = 110.25 \text{ (cm)}$$

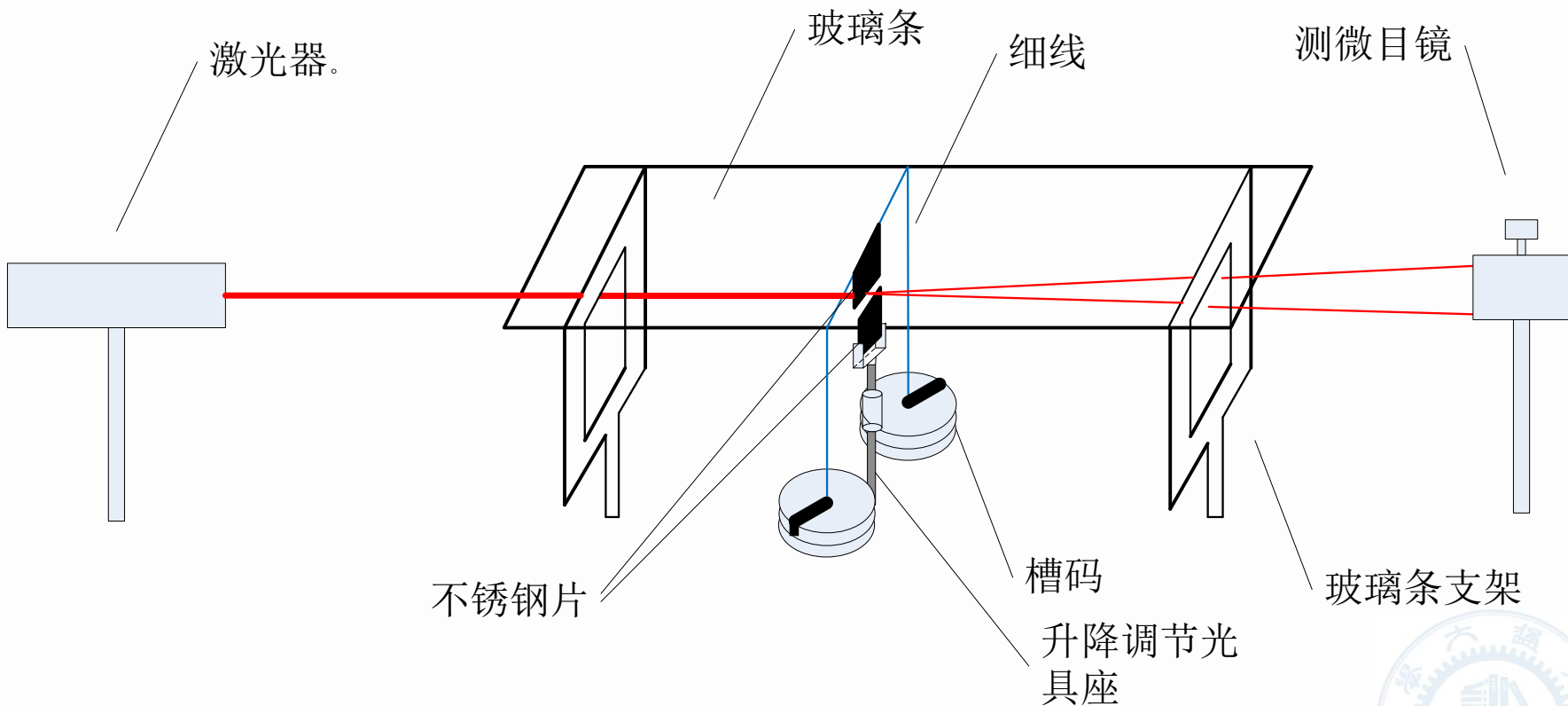
λ (nm)		条纹间距测量方法		
		线性拟合	逐差法	首末位置
点光源和虚光源距 离测量方法	共轭法	638.4	638.4	637.5
	物距像距比(大像)	638.4	638.4	637.5
	物距像距比(小像)	632.5	632.5	631.5

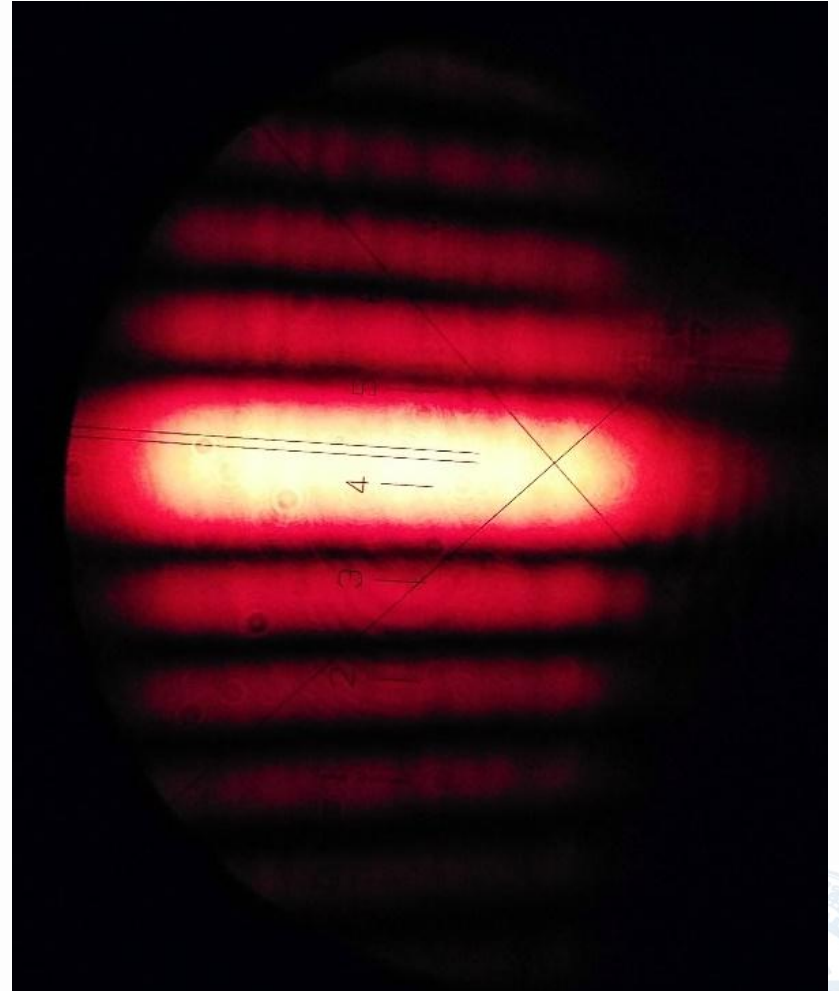
与标准值633.2nm相比

相对误差 (%)		条纹间距测量方法		
		线性拟合	逐差法	首末位置
点光源和虚光源间 距测量方法	共轭法	0.82	0.82	0.68
	物距像距比(大像)	0.82	0.82	0.68
	物距像距比(小像)	-0.11	-0.11	-0.27

2、（20分）利用单缝衍射测量长玻璃条的杨氏模量

（1）实验装置示意图





(2) 利用衍射条纹宽度推导杨氏模量计算公式

$$y = \frac{2\lambda x}{d}$$

式中 λ 为激光波长， x 为狭缝离观察屏（此处为显微镜分划板处）的距离。若狭缝初始宽度为 d_0 ，单缝衍射中央亮纹宽初始宽度为 y_0 ，加上重力 mg 后，狭缝宽度为 d ，单缝衍射中央亮纹宽宽度为 y ，则

$$y_0 = \frac{2\lambda x}{d_0}$$

$$y = \frac{2\lambda x}{d}$$

$$E = \frac{L^3 mg}{4t^3 b (d_0 - d)}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{y_0} - \frac{L^3 g}{8t^3 b E x \lambda} m$$

由(9)式可知 $\frac{1}{y}$ 和 m 成线性关系，通过线性拟合可求出斜率 k ，显然

$$k = -\frac{L^3 g}{8t^3 b E x \lambda}$$

则

$$E = -\frac{L^3 g}{8t^3 b x \lambda k}$$





(3) 实验步骤

- 1) 调节激光器使激光束平行于导轨。
- 2) 将玻璃条一面或两面分别用直尺画平行于窄边的中心线。
- 3) 将上不锈钢片沿中心线利用双面胶固定在玻璃条上。
- 4) 将两只玻璃条支架放在导轨上，调节高度相同，并使支架面与导轨垂直。
- 5) 放入固定有下不锈钢片的升降调节光具座，使得下不锈钢片与两个玻璃条支架距离相同。
- 6) 放入玻璃条，使两不锈钢片边缘对齐。调节下不锈钢片的角度，使两不锈钢片边缘尽可能平行。激光束经过两不锈钢片之间的缝隙得到单缝衍射条纹。
- 7) 调节激光器出射光光强，从最小调到合适值。
- 8) 放入测微目镜，调节高度，使得单缝衍射条纹与分划板上横叉丝重合。
- 9) 用长度合适的细线将两个槽码托盘联到一起，挂到玻璃条上，保持细线与所画中心线重合。
- 10) 改变槽码质量，记录正负一级暗条纹位置（或 $\pm n$ 级暗条纹位置）。

(4) 列表记录实验数据



不同槽码质量正负一级暗条纹位置

m(g)	+1级暗条纹位置 (mm)	-1级暗条纹位置 (mm)
280	6.676	1.895
240	6.385	2.223
200	6.152	2.440
160	5.970	2.645
120	5.830	2.755
80	5.700	2.948
40	5.610	3.020
0	5.522	3.167

各元件光具座位置

元件	升降调节光具座	测微目镜
位置 (cm)	32.00	80.00

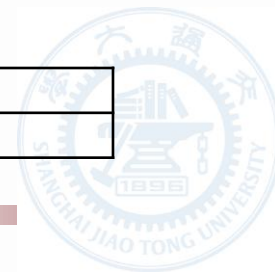
利用千分尺测量玻璃条厚度

千分尺初始读数为-0.003mm

测量次数	1	2	3	4	5	6
t (mm)	3.034	3.024	3.021	3.026	3.025	3.034

利用游标卡尺测量玻璃条宽度

测量次数	1	2	3	4	5	6
b (mm)	60.06	60.04	60.06	60.04	60.06	60.04



利用直尺测量玻璃条在支架之间长度

测量次数	1	2	3	4	5	6
L(cm)	28.01	28.00	28.02	28.00	27.98	28.02

(4) 计算玻璃条的杨氏模量

计算狭缝离显微镜分划板处的距离

$$x=80.00-32.00-(0.313-0.030/2)+3.70=51.40\text{cm}$$

这里 $0.313-0.030/2$ 是下不锈钢片离光具座中心的距离。

计算玻璃条厚度平均值为 3.027mm 。

计算玻璃条宽度平均值为 60.05mm 。

计算玻璃条在两支架之间长度平均值为 28.01cm 。

线性拟合 $\frac{1}{y}$ 和 m 数据，得到 $k=-7.569 \times 10^{-4}/\text{gmm}$

将上述数据代入公式得到杨氏模量

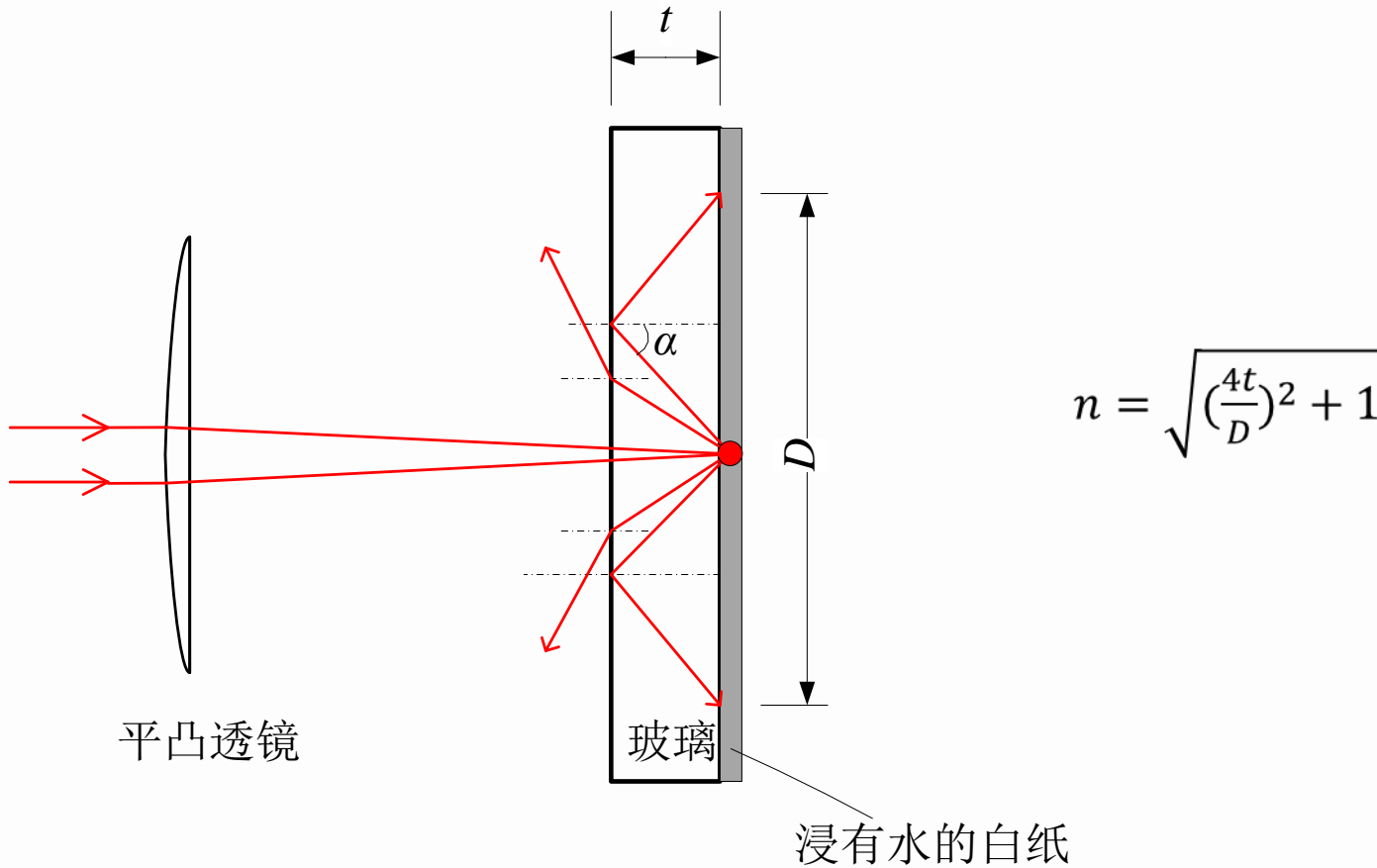
$$E = \frac{0.2801^3 \times 9.794}{8 \times 3.027^3 \times 10^{-9} \times 0.06005 \times 0.5140 \times 633.2 \times 10^{-9} \times 7.569 \times 10^2} = 65.57\text{GPa},$$

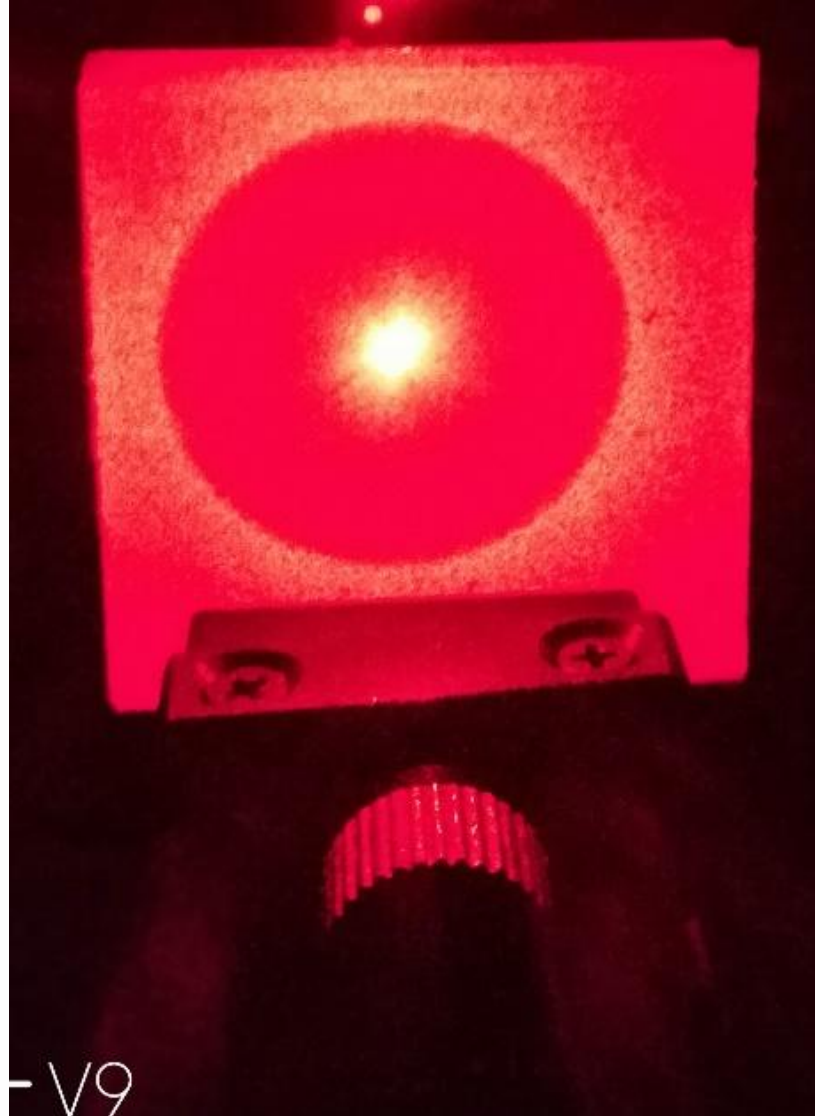
标称值为 65GPa ，相对误差 0.8% 。





3. 测量玻璃的折射率（本部分12分）





(1) 实验数据

测量光环直径，重复测量六次。

测量次数	1	2	3	4	5	6
D (mm)	28.0	28.2	28.3	28.0	28.1	28.0

利用千分尺测量玻璃片厚度，重复测量六次。

千分尺初读数为-0.003 mm

测量次数	1	2	3	4	5	6
t (mm)	8.052	8.051	8.049	8.050	8.049	8.049

$$n = \sqrt{\left(\frac{4t}{D}\right)^2 + 1} = \sqrt{\left(\frac{4 \times 8.050}{28.1}\right)^2 + 1} = 1.521$$

对于波长为633.2nm光的折射率标称值为1.515，相对误差为0.4%



五、电学试题

[实验题目] (60分)

测量电学黑盒子，给出其中元件连接的结构和元件性质。利用黑盒子的电路和介电常数测量仪等测量仪器，测量真空介电常数和给定介质的相对介电常数。

[实验器材]

1) 有4个引出端口的黑盒子（见图10），内部有电路，其特点是任意2个端口都不通过其他端口形成封闭回路。盒内部有电阻、电容和电感，共4只元件，其中电阻值范围在1~30 k Ω ，电容值范围在100~500 pF，电感值见盒子表面标注，电感值在测量电容率时会用到。

2) 双通道数字示波器1台（鼎阳，SDS 1202X）。附示波器快速使用说明书。

3) 双通道信号发生器1台（鼎阳，SDG 1025）。附信号发生器快速使用说明书。

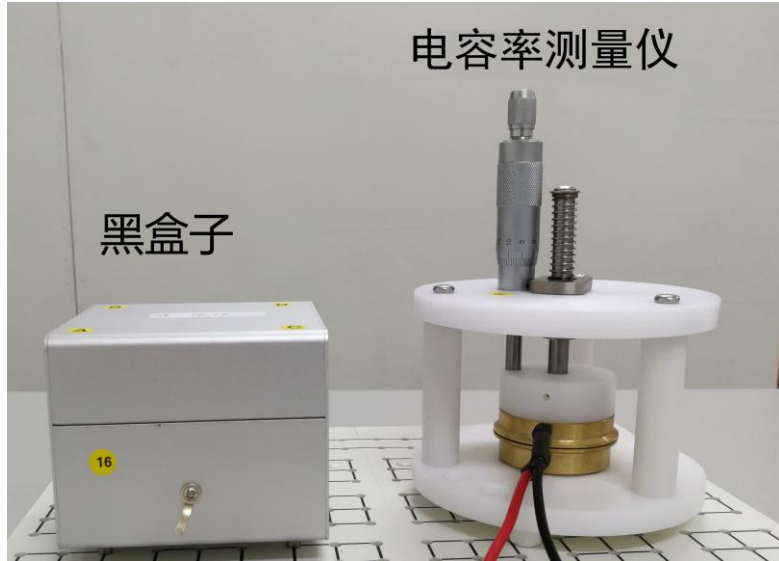
4) 电容率测量仪1台（自行设计加工，见图11）。测量仪有2块圆形电极平板，直径都为50.0 mm。极板间距为零的示数为刚好电接触时的示数加上零位校准值 d_0 （ $d_0=-0.010$ mm）。

5) 用于测量相对电容率的测试样品一片，用于清洁样品表面的纸巾1包，用于帮助堆放介质片的牙签1根，这些都装在塑料盒子中。

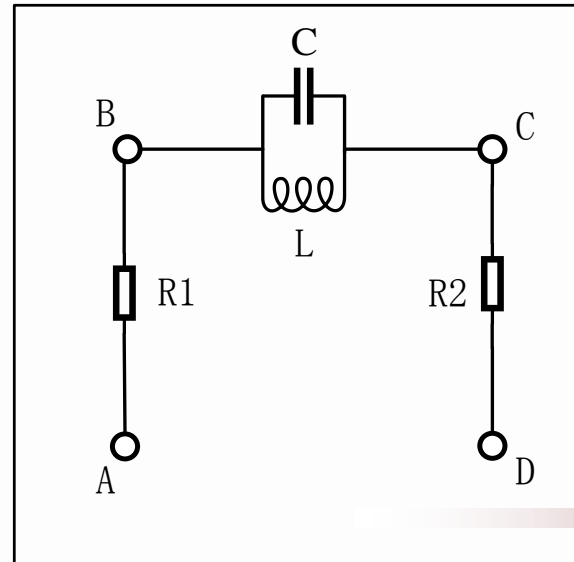
6) 千分尺、游标卡尺各一把。

7) 九孔接线板1块





R_1 为 $30\text{k}\Omega$, R_2 为 $1\text{k}\Omega$, L 约为 10mH , C 为 100pF 。



[答案]

1、确定黑盒子中元件的连接结构，确定元件性质

1) 利用直流法则量电路拓扑结构

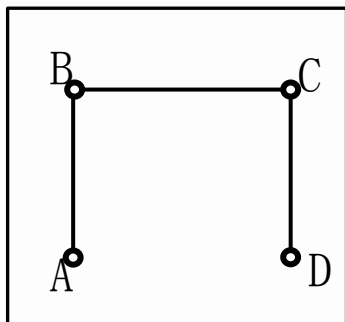
信号源输出信号交流部分频率为 $1\mu\text{Hz}$ ，峰峰值幅度为 4mV ，直流偏置电压为 2V 。因为交流电压与直流电压之比小得多，因此输出信号可以看成是直流。

序号	输入	源	地	CH1	Vdc	CH2	Vdc
1	2.02	B	A	C	2.0	D	2.02
2	2.00	C	A	B	2.00	D	2.02
3	2.00	D	A	B	1.92	C	1.94
4	2.02	A	B	C	-0.012	D	-0.008
5	0.592	C	B	A	-0.0163	D	0.592
6	1.92	D	B	A	-0.009	C	0.034
7	2.00	A	C	B	-0.004	D	-0.007
8	0.592	B	C	A	0.584	D	-0.008
9	2.02	D	C	A	-0.02	B	-0.032
10	2.00	A	D	B	0.056	C	0.06
11	1.92	B	D	A	1.85	C	1.88
12	1.90	C	D	A	1.85	B	1.90

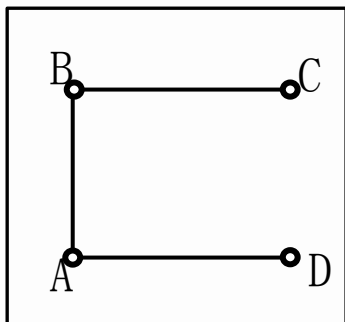


2) 任一支路均不只含电容元件

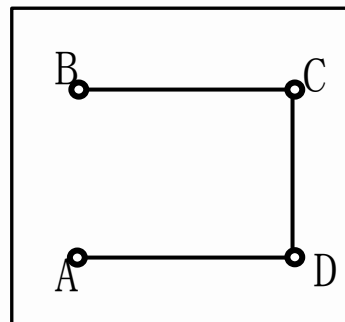
由题目的约束条件, “任意两个端口都不通过其他端口形成封闭回路”可知只有八种连接方式



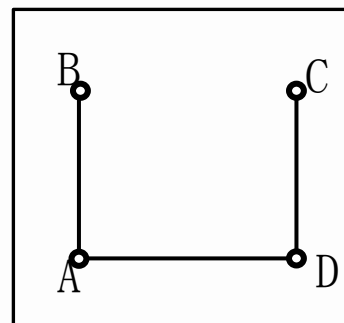
(1)



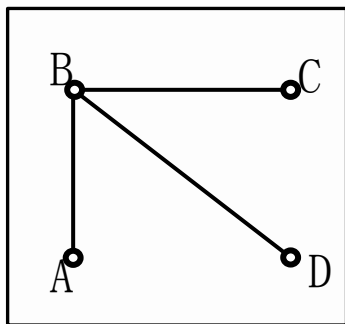
(2)



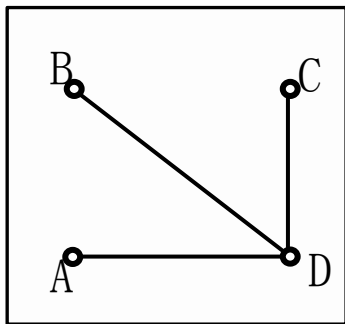
(3)



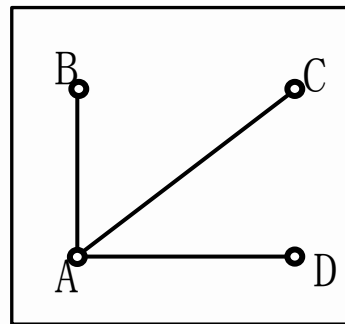
(4)



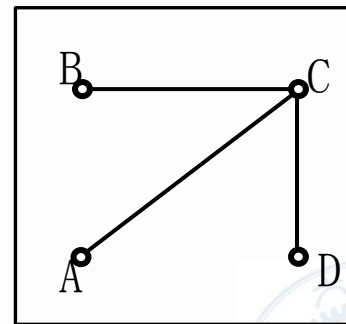
(5)



(6)

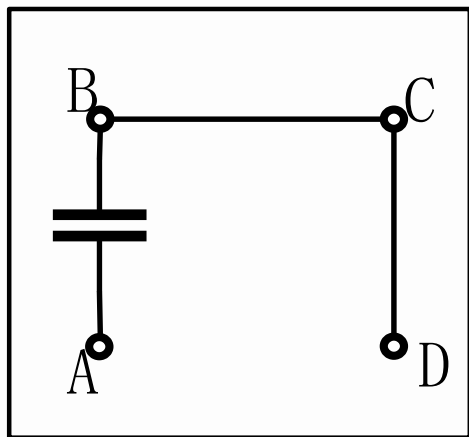


(7)



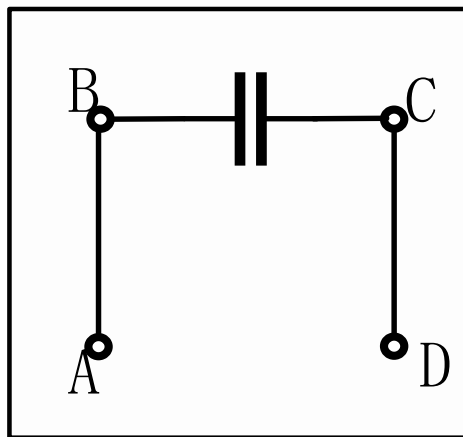
(8)

以结构 (1) 为例



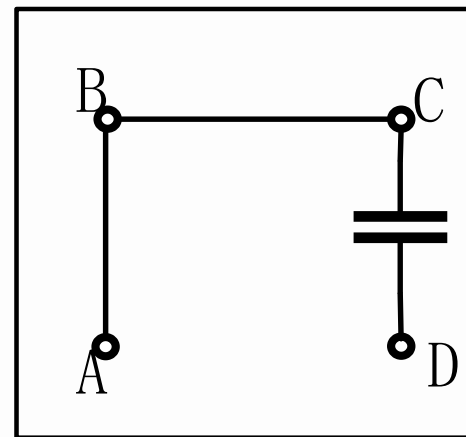
(1)

与表中第12项
测量结果不一致



(2)

与表中第12项
测量结果不一致



(3)

与表中第1项
测量结果不一致



3) 确定连接方式

不同电路拓扑结构测量结果和预期结果

结构	测量方法表中序号	测量结果	预期结果
结构2	1	D点电压为2伏	D点电压为0伏
结构3	12	A点电压为1.85伏	A点电压为0伏
结构4	1	C、D点电压均为2伏	C、D点电压均0伏
结构5	8	D点电压为0伏	D点电压为0.592伏
结构6	11	A、C点电压分别为1.85、1.88伏	A、C点电压均为0伏
结构7	2	B、D点电压分别为2.00、2.02伏	B、D点电压分别为0伏
结构8	8	A点电压为0.584伏	A点电压为0伏





4) 用交流法进行测量电路元件结构。

电感位置判断

将B端接地，D端接信号源，输出正弦信号。示波器通道CH1接D端，示波器通道CH2接C端。则测量结果如表所示。

频率/Hz	CH1/V	CH2/V	相位基准CH1
1k	10.15	0.74	略超前
2k	10.14	1.34	超前
4k	10.16	2.50	超前
16k	10.34	7.43	约超前90°

C支路并非导线直接相连，而是连有电感

。





电容位置判断

C端接地，A端接信号源，示波器通道1，B端接示波器通道2

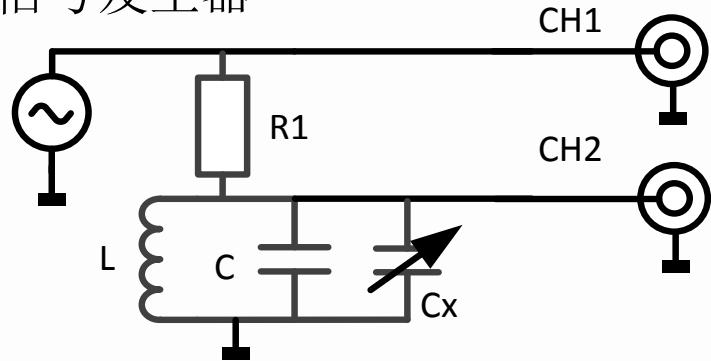
随频率增加到106kHz，通道2观察到一最大值。通道2相对于通道1，相位从超前变为落后，亦即阻抗从感抗变为容抗。因此电容必定与电感并联位于BC端点间。





2. 利用黑盒子的电路和电容率测量仪等测量真空电容率和给定介质的相对电容率

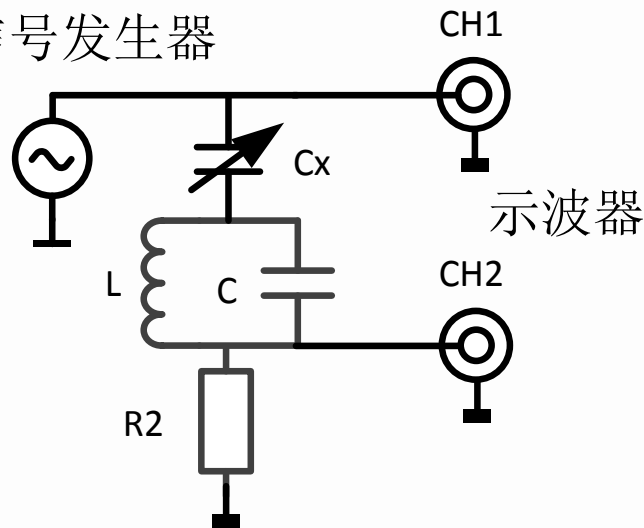
信号发生器



示波器

(a) 并联

信号发生器



示波器

(b) 串联





(1) 真空介电常数

$$\frac{1}{\omega^2 L} = \epsilon_0 \frac{S}{D_x} + C_g$$

测量步骤

- 1)按测量原理图连接；
- 2)设置信号源；示波器设置。
- 3)测量电接触时刻度。
- 4)定位极板初始间距。
- 5)在y-t显示模式下，调整频率到相位大致对准。
- 6)在x-y显示模式下，仔细调整频率，使得相位对准。
- 7)增大x、y轴的灵敏度，使得相位斜线尽可能以伸展。
- 8)记录示数，以0.2mm步长测量6个点。





序号	刻度示数	测量频率
	Dx	f
	mm	kHz
1	7.900	106.18
2	8.100	106.84
3	8.300	107.33
4	8.500	107.71
5	8.700	108.00
6	8.900	108.26

电感L	极板直径	修正值
mH	mm	mm
10.13	50.0	-0.010

电接触测量

次数	1	2	3	4	5	6	平均值
示数	6.	6.	6.86	6.867	6.865	6.867	6.8663
/mm	865	867	7				

$$\varepsilon_0 = 9.14 * 10^{-12} \text{ F/m}$$

ε_0 参考值为: $8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, 相对误差为3.27%。

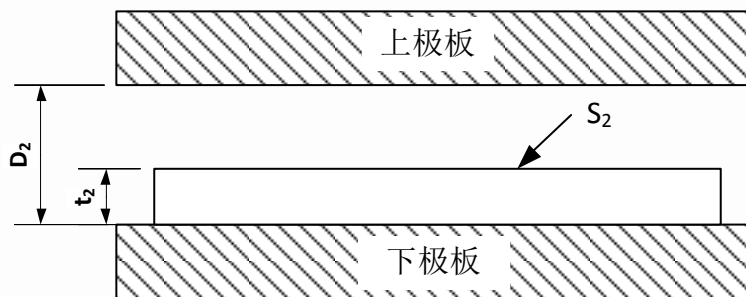
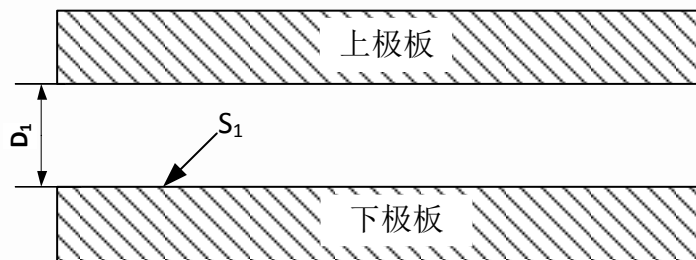




(2) 有机玻璃介电常数

在测量过程中，放入介质后令介电仪的电容值不变；并且忽略边缘效应变化和分布电容变化，则相对介电常数的计算只与几何参数有关，其公式如下：

$$\frac{1}{\epsilon_r} = 1 - \frac{1}{t_2} \frac{(D_2 - D_1)D_2 S_1}{D_1 S_2 + (D_2 - D_1)S_1}$$



主要测量步骤

1. 测量电路与真空介电常数测量相同。
2. 测量介质片的几何尺寸。
3. 初始极板间距定在2.0-2.1mm之间。
4. 调整频率，使得相位对准。
5. 增大极板间距，放入介质片。大致放到极板的中心区域。
6. 调整极板间距，使得再次相位对准，记录示数。





介质片尺寸测量

序号	厚度示数 mm	直径示数 mm
1	6.445	39.76
2	6.447	39.80
3	6.446	39.81
4	6.447	39.78
5	6.443	39.76
6	6.444	39.80
平均值	6.4453	39.785

$$\epsilon_r = 2.79$$

极板位置测量

序号	D1示数 mm	D2示数 mm
1	8.632	9.944
2	8.640	9.952
3	8.641	9.947
4	8.635	9.948
5	8.642	9.942
6	8.630	9.938
平均值	8.6367	9.9452



一、光学试题成绩分析

题号	满分	最高分	平均分	标准偏差
1	28	25	11.2	7.1
2	20	11.1	1.0	1.5
3	12	9.4	0.8	1.7
总分	60	34.8	13.0	7.9

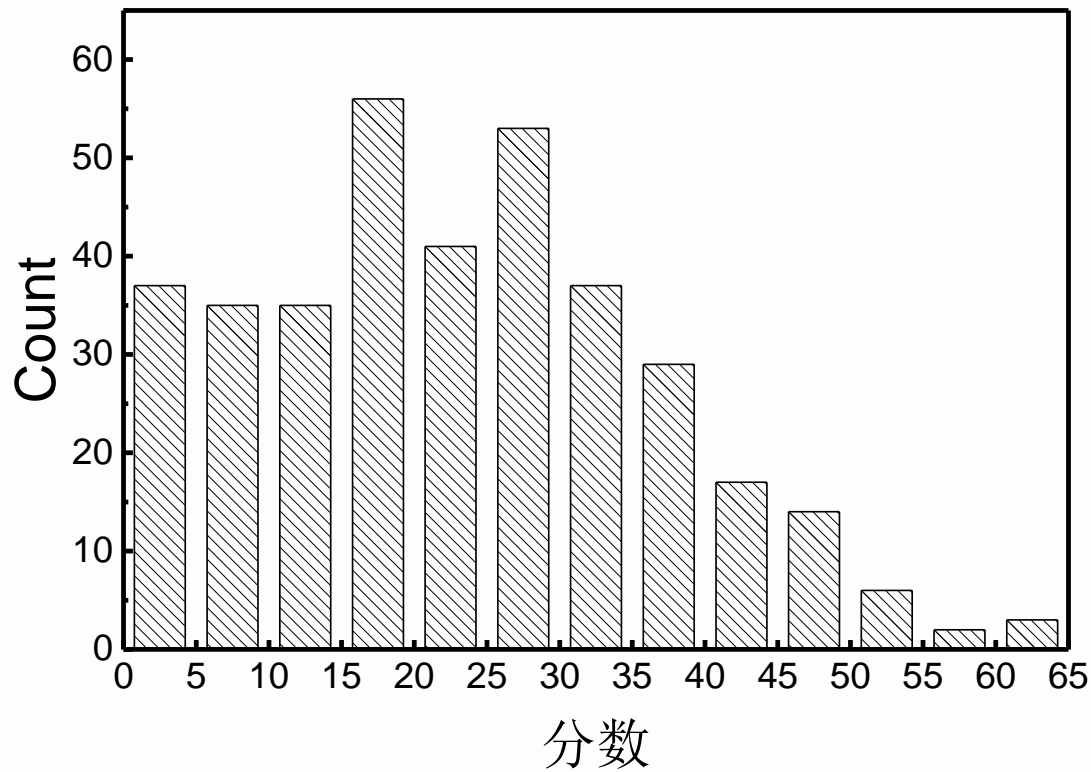
二、电学试题成绩分析

题号	满分	最高分	平均分	标准偏差
1	22	17.8	2.3	4.9
2	38	28.9	7.6	7.4
总分	60	34.8	10.0	8.3



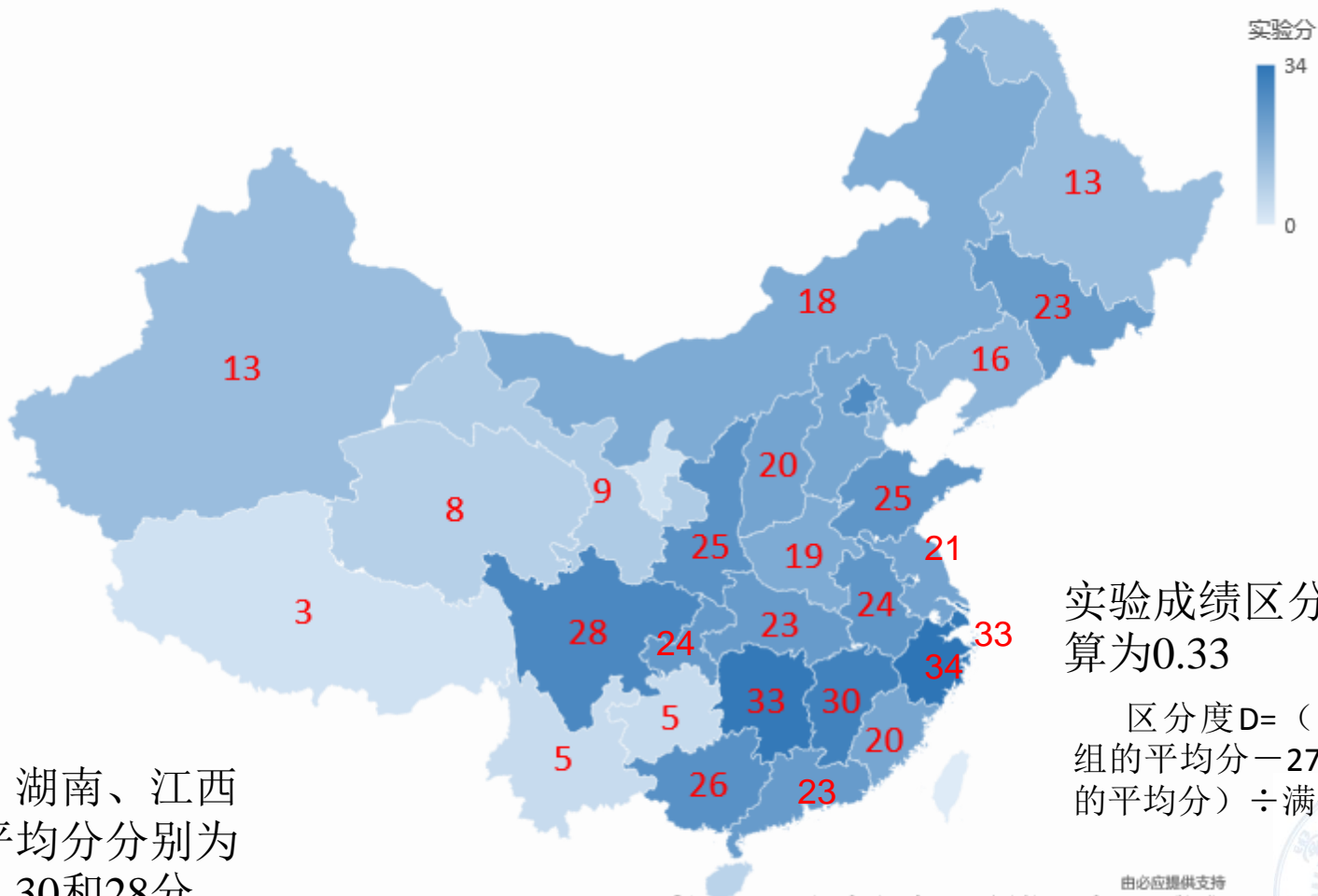


三、实验总成绩分析





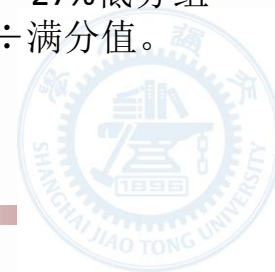
各省平均实验分数分布图



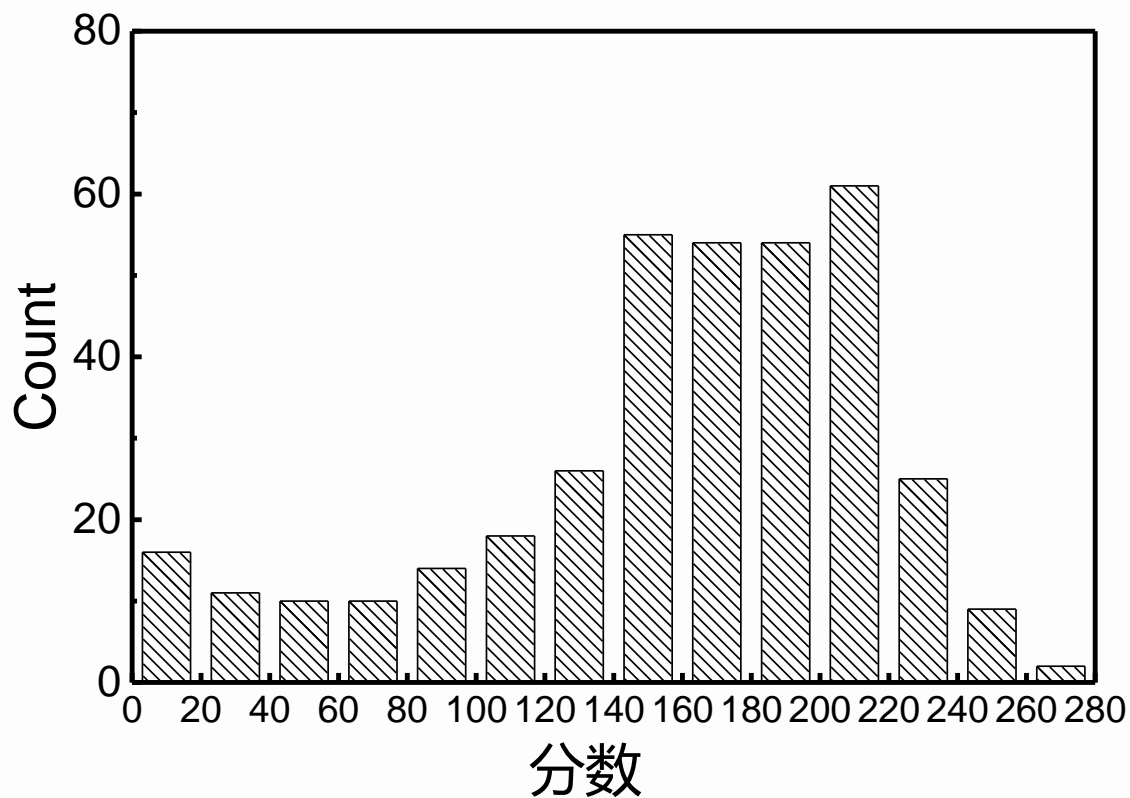
实验成绩区分度经计算为0.33

区分度 $D = (\text{27\%高分组的平均分} - \text{27\%低分组的平均分}) \div \text{满分}$

浙江、上海、湖南、江西、四川省内平均分分别为34, 33, 33, 30和28分。



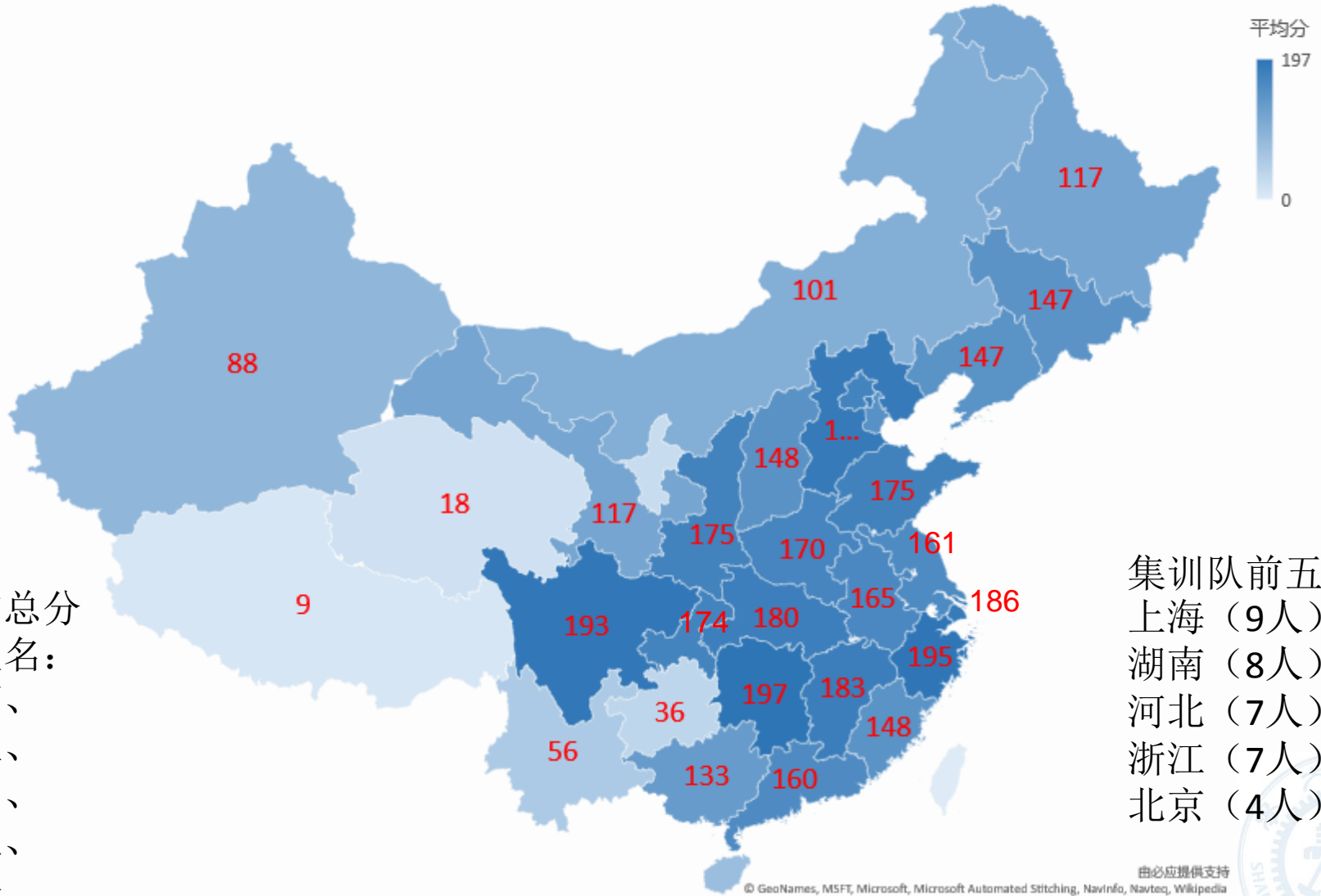
四、理论+实验总成绩分析





考试结果评析

平均总分分布图



平均总分
前五名：
湖南、
浙江、
四川、
河北、
上海

集训队前五名，
上海（9人）、
湖南（8人）、
河北（7人）、
浙江（7人）、
北京（4人）

由必应提供支持
© GeoNames, MSFT, Microsoft, Microsoft Automated Stitching, Navinfo, Navteq, Wikipedia





五、本届实验试题特点

- 1、设计性
- 2、动手能力
- 3、引入日益广泛应用的实验仪器
- 4、知识未超出大纲要求，但要求灵活应用

六、本次决赛的承办可以促进物理实验中心的建设

- 1、竞赛所用设备可用于开设新的实验。
- 2、承办竞赛对实验中心所有老师是一个难得的锻炼机会。
- 3、更加有针对性地培养拔尖人才。





难





上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

谢谢各位与会老师！

顺祝新年快乐！

