

SHIYOU GONGREN JISHU DENGJI PEIXUN JIAOCAI

石油工人技术等级培训教材

油层物性实验工

YOU CENG WUXING
SHI YANGONG

中国石油天然气总公司劳资局

石油工业出版社

石油工人技术等级培训教材

工 验 实 性 物 层 油

中国石油天然气总公司劳资局

江苏工业学院图书馆
藏书章

石 油 工 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

油层物性实验工/中国石油天然气总公司劳资局.
北京:石油工业出版社,1997.11
石油工人技术等级培训教材
ISBN 7-5021-2085-8

I.油…

II.中…

III.油层-物理性质-实验-技术培训-教材

IV.TE 311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 16683 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19 $\frac{3}{4}$ 印张 477 千字 印 1—2000

1997 年 11 月北京第 1 版 1997 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2085-8/TE·1756

定价: 23.00 元

目 录

油层物性实验工技术等级标准.....	(1)
--------------------	-----

第一部分 初 级 工

应 知 理 论

第一单元 有关物理量的概念.....	(4)
一、压力.....	(4)
二、温度和湿度.....	(4)
三、质量和密度.....	(5)
四、浮力与阿基米德原理.....	(5)
五、粘度.....	(6)
六、其它有关物理量.....	(6)
七、物质的形态和热现象.....	(6)
八、气体状态.....	(7)
第二单元 有关化学知识.....	(8)
一、物质的组成.....	(8)
二、物质的分类.....	(9)
三、物质的变化	(10)
四、化学常用的量	(10)
五、有关化学计算	(11)
六、溶液的配制	(12)
第三单元 有关电工知识	(15)
一、电和电路的基本概念	(15)
二、有关电工仪表和电器保护	(17)
第四单元 油层物性实验工作的总体要求和基本知识	(19)
一、油层物性实验的内容	(19)
二、油层物性实验工作的总体要求	(20)
三、实验工作的基本知识	(21)
第五单元 实验室常用玻璃器具	(24)
一、常用玻璃器具的分类及使用	(24)
二、玻璃器具的洗涤、干燥与保存	(27)
三、各种洗涤液的配制与使用方法	(27)

四、在玻璃器具上作永久性标记	(28)
第六单元 实验室常用仪器仪表	(29)
一、实验室常用仪器仪表的分类	(29)
二、仪表的误差及精度	(29)
三、测量压力、温度的仪器仪表	(30)
四、测量湿度、密度、流量的仪器仪表	(31)
五、天平	(32)
六、电热设备	(33)
七、其它仪器仪表	(34)
八、一般分析仪器的维修保养操作注意事项	(37)
第七单元 实验室常用化学试剂	(38)
一、化学试剂的分类	(38)
二、试剂选用与保管	(38)
三、油层物性实验常用试剂	(38)
四、油层物性实验常用干燥剂	(40)
五、油层物性实验常用气体	(41)
第八单元 有关岩石学知识	(42)
一、岩石的概念	(42)
二、岩石的分类	(42)
三、沉积岩的分类	(43)
四、碎屑岩的物质成分	(43)
五、碎屑颗粒的结构特征	(44)
六、碎屑岩的分类	(45)
第九单元 储集层及取心方法	(45)
一、储集层的类型	(46)
二、常见油层的岩石类型	(46)
三、储集层岩石的基本特征	(47)
四、储层非均质性	(50)
五、取心井	(51)
六、取心方法	(51)
第十单元 实验室验收岩心与取样	(52)
一、岩心整理与井场取样要求	(53)
二、实验室验收岩心	(53)
三、实验室取样	(54)
第十一单元 岩样处理	(56)

一、岩样清洗	(56)
二、岩样的解离及胶结物的处理	(58)
三、岩样烘干	(60)
第十二单元 岩石孔隙度测定	(61)
一、方法概述	(61)
二、岩样总体积测定	(61)
三、有效孔隙度测定	(62)
四、总孔隙度测定	(65)
五、质量要求	(65)
六、孔隙度资料在油田开发中的应用	(66)
第十三单元 岩心油水饱和度分析	(66)
一、方法概述	(67)
二、油水饱和度分析样品的取样	(67)
三、蒸馏法	(67)
四、色谱法	(69)
第十四单元 实验室安全防护知识	(70)
一、防火、防爆安全知识	(70)
二、防化学试剂中毒、腐蚀和灼伤的安全知识	(72)
三、其它有关安全及防护常识	(73)

应 会 技 能

项目一	使用电热恒温干燥箱	(76)
项目二	使用电热恒温水浴锅	(77)
项目三	测量液体密度	(77)
项目四	使用普通干燥器	(78)
项目五	制取岩心样品	(79)
项目六	溶剂法除油	(80)
项目七	热解法除油	(81)
项目八	高压洗油仪除油	(82)
项目九	破碎、研磨、筛分及烘干岩样	(83)
项目十	粒度分析前的岩样处理	(84)
项目十一	使用电子天平	(86)
项目十二	饱和煤油法测定岩样孔隙度	(87)
项目十三	现场制备测饱和度岩样	(87)
项目十四	安装与校正扎克斯仪	(88)

项目十五	蒸馏法测油水饱和度	(90)
项目十六	安装与使用高压气瓶	(91)
项目十七	测定石蜡密度	(92)
项目十八	灭火器使用	(93)

第二部分 中 级 工

应 知 理 论

第十五单元 石油与天然气	(94)
一、石油的化学组成	(94)
二、石油的物理性质	(95)
三、天然气的化学组成	(96)
四、天然气的物理性质	(96)
第十六单元 地层和地质时代	(97)
一、有关地层的知识	(97)
二、地层单位及地质时代单位	(97)
第十七单元 岩石渗透率的测定	(100)
一、基础知识	(100)
二、稳压法测定渗透率	(103)
三、流量管法测定渗透率	(107)
四、气测渗透率与气体滑脱效应	(109)
五、渗透率资料在油田开发中的应用与意义	(110)
第十八单元 疏松砂岩孔隙度与渗透率的测定	(111)
一、疏松砂岩岩心的保存	(111)
二、疏松砂岩样品的制备	(111)
三、疏松砂岩物性参数的测定	(112)
第十九单元 岩石粒度分析	(114)
一、概述	(114)
二、筛析法	(116)
三、沉降分析法	(117)
四、 ϕ 值法 (综合法)	(118)
五、质量要求	(120)
六、岩石粒度分析资料的整理与应用	(120)
第二十单元 岩石中碳酸盐、氯化盐含量的测定	(123)
一、碳酸盐含量的测定	(123)
二、岩石氯化盐含量测定	(125)

三、碳酸盐、氯化盐含量分析资料的应用·····	(127)
第二十一单元 岩心伽马测试、荧光检测与照相·····	(127)
一、实验室岩心自然伽马射线测定·····	(127)
二、岩心标本制作·····	(128)
三、岩心荧光检测与岩心照相·····	(129)
第二十二单元 影响储油层物性参数的因素及物性参数间的关系·····	(132)
一、影响岩石孔隙度大小的因素·····	(132)
二、影响岩石渗透率的因素·····	(132)
三、影响岩石物性参数分析结果的其它因素·····	(133)
四、主要物性参数之间的关系·····	(134)
第二十三单元 地层原油的高压物性·····	(135)
一、地层原油的特点及其高压物性参数·····	(135)
二、饱和压力·····	(135)
三、压缩系数·····	(136)
四、溶解气油比·····	(137)
五、气体溶解系数·····	(138)
六、体积系数和收缩率·····	(140)
七、地层原油密度·····	(141)
八、地层原油粘度·····	(141)
九、地层原油的析蜡温度·····	(142)
第二十四单元 天然气的高压物性·····	(144)
一、天然气的组成和分类·····	(144)
二、天然气的分子量、密度和相对密度·····	(145)
三、天然气的状态方程及压缩因子·····	(145)
四、天然气的高压物性参数·····	(146)
五、凝析气(油)的高压物性分析·····	(147)
第二十五单元 地层水的高压物性·····	(149)
一、地层水的分类和特点·····	(149)
二、地层水的高压物性参数·····	(150)
三、确定地层水高压物性参数的相关经验公式·····	(151)
第二十六单元 油藏岩石的润湿性·····	(153)
一、油气层中的界面·····	(153)
二、两相界面上的自由能·····	(153)
三、润湿性的量度指标——接触角·····	(154)
四、油藏岩石润湿性的分类·····	(155)

五、影响润湿性的因素	(156)
六、测定油藏岩石润湿性的方法	(157)
第二十七单元 油气储层中的毛管压力	(160)
一、毛细管和毛细管现象	(160)
二、毛管压力及其表达式	(160)
三、测定油层岩石毛管压力曲线的方法	(161)
四、平均毛管压力曲线的计算	(163)
五、毛管压力曲线在油气田勘探开发中的应用	(164)
第二十八单元 气相色谱知识	(165)
一、气相色谱法简介	(165)
二、气相色谱仪的结构、性能及使用方法	(165)
三、色谱柱的制备	(167)
四、色谱流出曲线及定性定量分析	(168)
五、气相色谱仪的维护	(170)
第二十九单元 误差分析与新方法试验的程序	(170)
一、误差及其产生的原因	(170)
二、误差的表示方法	(171)
三、提高分析结果准确度的方法	(174)
四、新方法试验程序	(175)
五、实验结果可疑值的处理与分析方法的检验	(176)

应 会 技 能

项目十九	做色谱分析的标准曲线	(180)
项目二十	色谱法测定油、水饱和度	(181)
项目二十一	校正渗透率仪	(182)
项目二十二	用高低渗透率仪测定岩样渗透率	(183)
项目二十三	流量管法测量岩样渗透率	(184)
项目二十四	用 ECK-2 型渗透率仪测定岩样渗透率	(185)
项目二十五	氦孔隙仪的调零与检漏	(186)
项目二十六	氦孔隙仪的校正	(187)
项目二十七	氦孔隙仪测定岩样颗粒体积	(188)
项目二十八	密度瓶法测定岩样颗粒体积和密度	(189)
项目二十九	封蜡法测定岩样总体积和密度	(190)
项目三十	体积法测定岩石碳酸盐含量	(191)
项目三十一	压力法测定岩石碳酸盐含量	(192)

项目三十二	滴定法测定岩石氯化盐含量·····	(193)
项目三十三	筛析法分析岩石粒度·····	(194)
项目三十四	吸管法分析岩石粒度·····	(195)
项目三十五	校正岩心伽马射线仪·····	(196)
项目三十六	测定岩心自然伽马曲线·····	(197)
项目三十七	岩心白光照相·····	(198)
项目三十八	哈斯勒岩心夹持器试漏·····	(198)
项目三十九	渗透率仪上、下流管线的试漏·····	(199)
项目四十	校正渗透率仪节流器流量·····	(200)
项目四十一	测定高压地层油样的内压、外压和游离气·····	(201)
项目四十二	测定取样器内样品的饱和压力·····	(202)
项目四十三	测定地层原油粘度·····	(203)
项目四十四	测定地层原油析蜡温度·····	(205)
项目四十五	用品氏粘度计测模拟油粘度·····	(205)
项目四十六	用毛细管界面张力仪测油水界面张力·····	(207)
项目四十七	高压取样器向 PVT 筒内转样·····	(208)
项目四十八	单次脱气分析·····	(209)
项目四十九	双瓶法取气样·····	(211)
项目五十	配制地层水·····	(212)

第三部分 高级工

应知理论

第三十单元	地质构造·····	(215)
一、地质构造的涵义与形成·····		(215)
二、褶皱构造的基本类型和形态分布·····		(215)
三、断裂构造的基本类型和形态分布·····		(216)
四、含油气盆地内构造单元的划分及基本特点·····		(216)
第三十一单元	油气藏和油气田·····	(219)
一、油气藏的概念·····		(219)
二、油气藏的形成·····		(219)
三、油气藏的分类·····		(220)
四、油气田概念及分类·····		(221)
五、石油储量的概念·····		(221)
第三十二单元	油气田勘探·····	(222)
一、油气田勘探的任务·····		(222)

二、油气田勘探中应用的基本方法·····	(222)
三、勘探阶段的划分·····	(223)
第三十三单元 岩心描述 ·····	(224)
一、岩心描述内容与顺序·····	(224)
二、颜色·····	(224)
三、岩心含油气水特征描述·····	(225)
四、矿物成分与胶结物·····	(226)
五、岩石结构与构造·····	(226)
六、沉积旋回及其它方面的描述·····	(228)
第三十四单元 全直径岩心分析 ·····	(229)
一、实验室岩样准备·····	(229)
二、全直径岩心孔隙度的测定·····	(229)
三、全直径岩心油水饱和度的测定·····	(230)
四、全直径岩心气体渗透率的测定·····	(230)
第三十五单元 岩石比表面测定 ·····	(234)
一、岩石比表面的概念及研究的意义·····	(234)
二、比表面测定中的有关概念·····	(234)
三、测定方法·····	(235)
第三十六单元 岩石压缩系数的测定 ·····	(238)
一、岩石压缩系数的概念·····	(238)
二、测定方法·····	(238)
第三十七单元 储油层相对渗透率曲线的测定 ·····	(242)
一、相(有效)渗透率与相对渗透率·····	(242)
二、相对渗透率曲线的特征·····	(243)
三、测定油水相对渗透率曲线的方法·····	(243)
四、平均相对渗透率曲线的标准化整理方法·····	(246)
五、影响相对渗透率曲线的因素·····	(248)
六、相对渗透率曲线的应用·····	(249)
七、三相相对渗透率曲线基本知识·····	(251)
第三十八单元 储油层岩石的孔隙结构 ·····	(252)
一、孔隙结构的基本概念·····	(252)
二、研究孔隙结构的方法·····	(253)
三、压汞毛管压力资料的整理·····	(254)
第三十九单元 单井岩心分析数据的处理与评价 ·····	(259)
一、平均渗透率及孔隙度的计算·····	(260)

二、分析数据的统计与结果表达·····	(261)
三、分析质量的审核与评价·····	(268)
四、单井分析报告的编写要求·····	(268)
第四十单元 微机操作知识·····	(269)
一、计算机系统组成·····	(269)
二、计算机基本设备及使用方法·····	(270)
三、DOS 系统概述 ·····	(272)
四、汉字输入方法·····	(277)
五、微机数据库知识·····	(278)

应 会 技 能

项目五十一 氮孔隙计法测定全直径岩心孔隙体积·····	(283)
项目五十二 测定全直径岩心水平渗透率·····	(284)
项目五十三 测定全直径岩心垂直渗透率·····	(285)
项目五十四 岩心荧光彩色照相·····	(286)
项目五十五 使用全自动筛分仪测定岩石粒度·····	(287)
项目五十六 双气路色谱法测定岩石比表面·····	(288)
项目五十七 静水压缩法测定岩石孔隙体积压缩系数·····	(289)
项目五十八 绘制孔、渗数据直方图·····	(291)
项目五十九 微型计算机的使用·····	(292)
项目六十 使用微机数据库·····	(293)
项目六十一 自喷采油井高压物性取样(锤击式) ·····	(293)
项目六十二 多次脱气分析·····	(294)
项目六十三 测定多级脱气原油粘度·····	(296)
主要参考资料·····	(298)

油层物性实验工技术等级标准

初 级 工

一、知识要求

1. 具有高中（技校）毕业文化知识。
2. 了解油层物理的一般知识。
3. 熟悉本岗位实验项目的意义、实验方法、操作规程和实验数据的计算方法。
4. 掌握简单岩性描述方法与岩心样品的取样原则、制备方法及除油原理和步骤。
5. 了解本岗位实验项目的分析技术标准。
6. 了解本岗位实验分析操作过程中易产生的误差及原因。
7. 熟悉本岗位主要仪器设备的性能、用途。
8. 熟悉本岗位常用化学试剂的名称、性质、用途及保存方法。
9. 掌握本岗位常用仪表、计量器具和玻璃器皿的名称、性能、用途及使用要求。
10. 熟悉本岗位安全操作规程及防护知识。

二、技能要求

1. 能对所取岩样作简单岩性描述。
2. 会进行岩心钻切和岩样除油。
3. 能完成本岗位的实验分析项目，并达到质量要求。
4. 会使用电子天平、真空泵、电热恒温箱及本岗位的专用分析仪器和实验设备。
5. 能判断本岗位所用仪器设备的常见故障，并可作简单的维修保养。
6. 会使用游标卡尺、秒表、流量计及各种压力表，并会使用 and 洗涤常用玻璃器皿。
7. 能配制和使用实验室常用的洗涤液及分析与处理样品所用的溶液。
8. 会计算实验数据和填写试验记录。
9. 能正确执行安全技术规程，会使用灭火器。

三、工作实例

1. 按实验项目要求，选取和钻切岩心样品。
2. 用溶剂抽提法或热解法对岩样进行洗油处理。
3. 测定岩样空气渗透率、有效孔隙度和油、水饱和度（蒸馏抽提法测定）。
4. 检查深井取样器中高压油样，并测饱和压力。
5. 检查和组装深井取样器。
6. 用吸入法测定岩样的润湿性。
7. 用压汞法测定岩样的毛管压力曲线。

中 级 工

一、知识要求

1. 了解石油地质的一般知识。
2. 了解油层物性的基础知识。
3. 了解气相色谱的基础知识。

4. 了解机械制图的一般知识。
5. 了解电工基础知识。
6. 掌握一般的计算机和微机处理数据的知识。
7. 掌握油层物性实验的常规方法、测定原理、实验流程和测试精度。
8. 熟悉常规实验项目的标准化内容和各项标准。
9. 熟悉本岗测试参数的质量检查方法、误差范围及误差产生的原因。
10. 熟悉本岗位常用仪器设备的基本构造、工作原理及主要技术指标。
11. 掌握本岗位主要仪器设备和常用电器一般故障的排除方法。
12. 了解实验技术的管理知识。

二、技能要求

1. 能独立操作完成本岗位的实验分析项目。
2. 能按照试验要求独立安装试验流程。
3. 能分析和解决试验中出现的各种技术问题。
4. 能审查判断试验数据的可靠性及误差范围。
5. 会使用本岗位的主要仪器设备，并能排除常见故障。
6. 能绘制一般的仪器设备机械零件草图。
7. 能根据样品的不同岩性，选用正确的分析方法测试油层物性参数。
8. 会用计算机计算试验结果，填写试验报告。

三、工作实例

1. 用色谱法或常压干馏法测定岩样的流体饱和度。
2. 用自然伽马射线仪测试岩心伽马射线曲线。
3. 岩心彩色照相。
4. 用沉降法和筛析法进行岩石粒度分析。
5. 测定岩石颗粒密度和总孔隙度。
6. 测定岩心碳酸盐含量。
7. 在取样器内测定的低温高粘度油样的饱和压力。
8. 测定地层温度超过仪器所规定的使用温度（125℃）时的高压物性参数。
9. 用压汞法测定特低渗透率岩样毛管压力曲线。
10. 用离心机测定岩样毛管压力曲线。

高 级 工

一、知识要求

1. 了解渗流力学的相关知识。
2. 熟悉油层物性的基础知识。
3. 了解数理统计的一般知识。
4. 熟悉一种计算机语言。
5. 了解国内外油层物性实验分析的方法和技术装备的发展状况。
6. 熟悉本岗位所用新仪器、新设备的主要性能和技术指标。
7. 熟悉本岗位主要仪器设备的检修和调校知识。
8. 熟悉全面质量管理的基本知识。

二、技能要求

1. 能按标准化要求组织完成本岗位的实验分析项目，并能分析、处理实验中遇到的技术难题。

2. 会用计算机整理分析试验资料，能编写实验报告。

3. 能提出实验方法的改进措施和建议。

4. 能组织和指导本岗位仪器设备的安装和调试。

5. 能操作多种分析仪器设备进行油层物性实验与分析。

6. 能收集、综合有关油层物性的技术资料。

7. 能推广和应用新技术，并参与新项目的研究工作，能独立进行实验流程的设计与改进。

三、工作实例

1. 编写单井岩心分析实验报告（包括文字、图表和数据）。

2. 全直径岩心的孔隙度、线性及径向渗透率测试。

3. 用 CMS-200 岩心测试仪测定岩样孔隙体积、孔隙度、气体渗透率、真实渗透率、气体滑脱系数、紊流系数等多项参数。

4. 用微机计算单次和多次脱气的各项参数。

5. 填写高压物性单井分析报告。

6. 测定凝析油的露点。

7. 测定岩样的油—水相对渗透率曲线。

第一部分 初 级 工

应 知 理 论

第一单元 有关物理量的概念

一、压力

1. 压力的概念

均匀而且垂直作用于单位面积上的力称为压力，用公式表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中 F ——作用力，N；

A ——面积， m^2 。

压力的基本单位为帕 (Pa)，即 $1m^2$ 面积上所受的力为 1 N 时的压力为 1 Pa。在实际应用中，则多用千帕 (kPa) 和兆帕 (MPa)。在工程技术中，常用绝对压力和表压力来表示压力。绝对压力 p_1 是指作用于单位面积上的全部压力，即包括自然大气压力 p_0 。表压力 p 是相对压力，即绝对压力超出大气压力 p_0 时的压力。它们之间的关系为

$$p = p_1 - p_0 \quad (1-2)$$

当绝对压力低于大气压力时，这种压力称为负压 p_2 ，也称真空度，其关系式为

$$p_2 = p_0 - p_1 \quad (1-3)$$

两个压力的差称为压差，用 Δp 表示。

测量压力的仪表称为压力表。测量负压的仪表称为真空表。在一些进口仪器中压力的度量有的用某种液体的液柱高度表示，如毫米汞柱 (mmHg)、毫米水柱 (mmH₂O)。

2. 大气压

地球周围被厚厚的空气层包围着，包围地球的空气层又称为大气层。空气内部向各个方向都有压力，大气对浸在它里面的物体的压力称为大气压力，简称大气压或气压。

大气压是由于大气层受到重力作用而产生的，离地面越高，大气层越薄，大气压力越小。大气压不但随高度变化，在同一地点也不是固定不变的。通常把等于 101.325 kPa 的大气压称为标准大气压， $101.325 \text{ kPa} = 760 \text{ mmHg}$ 。

二、温度和湿度

1. 温度与温标

温度是表示物体冷热程度的参量，测量温度的仪表称为温度计。衡量温度的标尺称为温标。温度测量有几种不同的温标：

(1) 摄氏温标 将冰点定为 0 摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)，水沸点定为 100°C ，两点之间等分 100 格，

每格为 1°C 。

(2) 热力学温标 国际单位制中，以热力学温标表示温度称为热力学温度（或绝对温度）。热力学温度用 T 表示，单位是开尔文，简称开，国际符号是 K，它是国际单位制中七个基本单位之一。在下面所述气体状态参量中的温度用热力学温度度量。现在国际上公认的绝对零度是 -273.15°C 。热力学温度 T 和摄氏温度 t 的关系为

$$T = t + 273.15 \quad (1-4)$$

为了简化，可以取 -273°C 为绝对零度。

2. 湿度

通常用空气里的水蒸气的压力来表示空气的干湿程度，空气里所含水蒸气的压力称为空气的绝对湿度。

某温度时空气的绝对湿度与同一温度下水的饱和气压的百分比，称为当时空气的相对湿度。

如果用 p 表示某温度时空气的绝对湿度，用 P 表示同一温度下水的饱和气压，用 B 表示相对湿度，那么

$$B = \frac{p}{P} \cdot 100\%$$

三、质量和密度

1. 质量

物体中所含物质的多少称为质量。物体的质量不随形状、状态和位置而改变。质量单位常用千克 (kg)、克 (g)、毫克 (mg) 来表示。

2. 密度

某种物质单位体积的质量称为这种物质的密度。通常用 ρ 表示密度， m 表示质量， V 表示体积，密度的单位常用 kg/m^3 和 g/cm^3 表示。计算密度的公式可以写作

$$\rho = m/V \quad (1-5)$$

液体的密度一般采用密度计测定。

视密度：液体的密度与温度有关，在某一温度下所观测到的密度称为视密度。

相对密度：在国际单位制中用以取代“比重”这一量的新的名称。其定义为：在共同的特定条件下某一物质的密度与另一参考物质的密度之比。

四、浮力与阿基米德原理

1. 浮力

液体对浸在液体中的物体有向上托起的力，这种力称为浮力。浮力产生的原因如下：

设想一个立方体浸没在水里（图 1-1），它的 6 个表面都受到水的压力，它的左右两侧面、前后两侧面，受到的压力是大小相等、方向相反，互相平衡。上下两面由于深度不同，受到水的压力大小不同：下表面受到水的向上的压力 F' 大于上表面受到水的向下的压力 F ；向上和向下这两个压力差就是液体对浸入物体的浮力 $F_{\text{浮}}$ 。浮力的大小为

$$F_{\text{浮}} = F' - F \quad (1-6)$$

浮力总是竖直向上的。物体在气体中也受到浮力。

2. 阿基米德原理

浸入液体里的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体排开液体受到的重力。

如果用 $V_{\text{排}}$ 表示物体排开的液体的体积， $\rho_{\text{液}}$ 表示这种液体的密度，那么 $G_{\text{排}} =$