**《空气动力学基础》复习要点**

# 第一章 空气动力学：一些引述

1. 【P15】 空气动力学涉及到的物理量的定义及相应的单位；

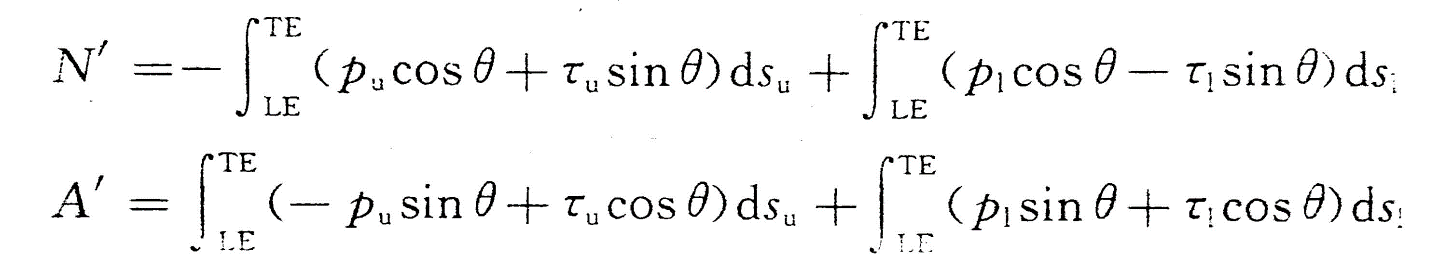
**压强（） 密度（ ） 温度 速度**

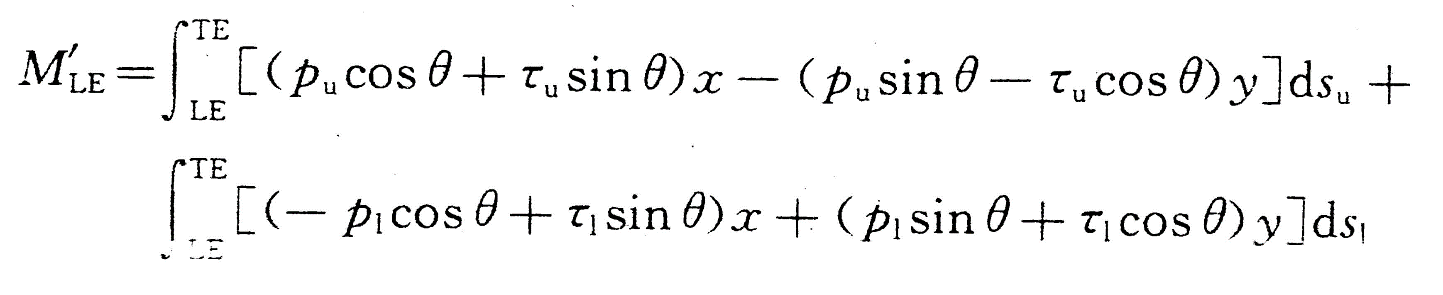
1. 【P19】 空气动力及力矩的定义、来源及计算方法；

The aerodynamics forces and moments on the body are due to only two basic sources:

1. **Pressure distribution over the body surface;**
2. **Shear stress distribution over the body surface;**

即：1、物体表面压力分布；2、物体表面剪切应力分布。





1. 【P19】 空气动力的参照系有哪两种（体轴系、风轴系）？二维情况下，风轴系和体轴系中的两个方向分量分别称为什么力（升力、阻力；法向力、轴向力）？已知迎角，能够写出体轴系和风轴系气动力之间的关系式。（即掌握图 1.17 和式 1.1 与 1.2）



1. 【P23】 力矩的符号约定是什么？力矩定义在哪个坐标系？

抬头为正，低头为负；力矩定义在体轴系。

1. 【P24】 动压、升力系数、阻力系数、法向力系数、轴向力系数、力矩系数、压强系数、摩擦力系数的表达式，以及表达式中每个变量的含义。







where  is the freestream pressure.

1. 【P32】 压力中心的定义。压力中心位置 *xcp* 的计算方法。例如例题 1.4。
2. 【P34】 什么是量纲分析，为什么要进行量纲分析，其理论依据。

力学中，所有的物理量都可以用质量、长度和时间的（组合）形式来表达，而不同物理量间的关系可以通过量纲分析简单估计。

1. 【P34】 **熟练掌握白金汉定理**，并能够应用于具体问题的求解，例如（1.38）式的推导过程、课后习题 1.7, 1.8。

简明过程如下：

1. 确定已知量，及其量纲（*N*个，其中基本量纲*K* 3个）；
2. 设*N-K*个无量纲量（用*N*个已知量的次方相乘）；
3. 无量纲内的三个量纲的次方项应为0；
4. 【P41】 流动动力学相似性的定义（3 条）。保证两个流动动力学相似的标准是什么（2 条）？掌握如何判断两个流动是否相似，例如例题 1.5, 1.6。

Consider two different flow field over two different bodies. By definition, different flows are dynamically similar if:

1. **The streamline patterns are geometrically similar.**
2. **The distributions of .etc. throughout the flow field are the same when plotted against common nondimensional coordinates.**
3. **The force coefficient are the same.**

相似性定义：1、几何相似，2、基本量相等，3、力系数相同。

相似的标准：1、几何相似，2、变量相似；

判断的标准：1、几何相似，2、*M*、*Re*相等。

1. 【P62】 黏性效应的表现方面有哪些（摩擦、热传导或扩散）？无黏假设（理想流动）是如何建立的（忽略黏性效应）？

无黏假设： 流动中没有摩擦、热传导或扩散；

1. 【P62】 流动问题的分类，判断标准，各有什么样的特点；什么是连续介质流动 ？

(连续介质与自由分子；有粘、无粘；可压、不可压)

1. 【P64】 流动按照马赫数范围进行分类可以分成哪些类型的流动？各自的马赫数范围是多少？

**Subsonic**

**Transonic**

**Supersonic**

**Hypersonic**

1. 【P68】 粘性及流动分离对气动力的影响（特别是典型构型）
2. **剪切力一般只存在于速度梯度较大的地方；**

Shear stress has a meaningful effect on the flow only where the velocity gradient are substantial.

1. **流动从物面分离，将急剧改变物面的压力分布，从而引起压差阻力的大幅增加。**

When the flow separates from the surface, it dramatically changes the pressure distribution over the surface resulting in a large increase in drag called pressure drag.

1. 【P73】 从壁面剪应力、气动加热的角度比较层流和湍流的区别，了解造成这种区别的物理原因。（参考 P73 页层流和湍流描述的译注，可知湍流中的微团无规则脉动会导致附面层速度型较为饱满，如图 1.53，使得壁面处速度梯度变大，见 P75 表达式，所以导致剪应力变大，气动加热更严重）
2. **层流中的流线是光滑而有规律的，并且流体微团沿着流线平稳的移动。**
3. **在湍流中流线破裂，并且微团的运动是毫无规律的。**
4. 飞行器及其部件（特别是翼型）升、阻力、力矩气动特性

**★本章课后题【P. 98‐101】：1.3、1.4、1.5、1.7、1.8、1.9、1.13、1.15**

# 第二章 空气动力学基本原理和控制方程

1. 梯度，散度，斯托克斯三个定理；
2. 描述流体的模型；

【P117】 熟记四种流体运动分析模型（固定在空间的有限控制体、随流动一起运动的有限控制体、固定在空间的无限小流体微团、随流动一起运动的无限小流体微团）

1. 速度散度的数学描述及物理含义。

【P120】 熟记速度散度的物理意义，了解其推导过程。

1. 【P125】 流动的基本控制方程的理论依据（三大守恒定律），推导过程要了解，特别是要掌握方程中每一项数学表达式中的物理含义；
2. 【P126】 质量流的定义和表达式（2.43）；质量通量的定义和表达式（2.44）。
3. 【P128】 记住连续方程的几种表达形式（2.48）、（2.52）、（2.108）。
4. 【P134】 由 N‐S 方程（2.70a‐c）得到 Euler 方程（2.72a‐c）的推导过程中引入了哪些假设？
5. 【P140】 对于二维物体阻力的测量方法，掌握不可压流动阻力计算公式（2.84），若给定风洞出口的速度型表达式和入口速度值，能够计算实验段中该二维物体的阻力。
6. 【P149】 连续方程、动量方程、能量方程中**一共含有多少个独立变量**（密度、压强、速度*u*、*v*、*w*，内能）？还需要什么方程才能使控制方程组**封闭**（热力学状态关系式、理想气体状态方程）？
7. 【P150】 熟练掌握实质导数的含义，各项的意义，能够写出某具体物理量的实质导数表达式。
8. 【P158】 流动的迹线、流线、染色线的定义和区别。
9. 【P161】 掌握流线的微分方程表达式（2.117 *a*‐*c*），能够计算流线方程，例如习题 2.3-2.5。
10. 【P163】 掌握角速度、涡量、应变率的表达式。

流体微元（团）的旋转角速度，旋度（涡量），变形（应变率）的定义及描述；

1. 【P174】 掌握计算环量的两种方法（2.136 式的线积分方法、2.137 式的面积分方法），并应用于实际问题的计算，例如某给定速度场的某矩形区域的环量计算。
2. 【P177】 流函数的定义和物理意义描述。熟记由流函数计算速度的表达式（直角坐标系的2.150*a*‐*b*，柱坐标系的 2.151*a*‐*b*）。
3. 【P181】 速度势的含义和简单导出过程。熟记由速度势计算速度的表达式（直角坐标系的 2.156，柱坐标系的 2.157）。流函数与速度势的区别与联系。

**★本章课后题（P. 198‐199）：2.1、2.3、2.4、2.5、2.6、2.7、2.8、2.9、2.11**

# 第三章 无黏不可压缩流动的基础

1. 【P207】 已知方程（3.1），掌握伯努利方程的推导过程。伯努利方程是三大控制方程中的哪一个方程的特殊形式？P207 伯努利方程成立的条件。P209 无旋和有旋流中，伯努利方程成立的条件有什么差别。
2. 【P210】 流动需要满足的三大方程为连续方程、动量方程、能量方程，但是为什么无粘不可压流动分析中不需要考虑能量方程。
3. 【P210】 熟练掌握使用伯努利方程求解具体问题中流动速度或者压强，例如例题 3.1，3.2。
4. 【P213】 连续方程在不可压准一维流动中的表达形式（）。
5. 【P215】 掌握文德利管入口速度  表达式（3.26）的推导过程，并能够应用（3.26）式完成具体问题的计算（例如例题 3.3）。
6. 【P217】 掌握低速风洞实验段风速  表达式（3.32）的推导过程，并能够应用（3.32）式完成具体问题的计算（例如例题 3.4） 。
7. 【P224】 掌握静压、动压、总压的概念，掌握皮托‐静压测量计的工作原理，例题 3.7‐3.10。
8. 【P233】 压强系数的定义式，各项的含义，方程（3.38）的推导和应用
9. 【P235】 “速度的散度为零”是三大控制方程中哪一个方程的特殊形式？成立的条件是什么？
10. 【P236】 明晰定常无旋不可压流动的控制方程（即拉普拉斯Laplace方程） 主要的推导依据和成立条件；
    1. 针对速度要满足的条件：一是散度为零（怎么来的？在什么样的条件下，速度散度才能为零），二是旋度为零。
    2. 速度所要满足的边界条件。
11. 【P238】 采用基本流动叠加得到合成流动的数学原理是什么（控制方程是拉普拉斯方程，而拉普拉斯方程是线性方程，其解满足叠加原理）？
12. 【P239】 无黏流动壁面边界条件的表达形式（三种），无穷远边界条件表达形式。
13. 【P241】 四种基本流动分别是什么？包括公式中出现的每一项的指代含义，例如偶极子中的强度是怎么定义的，具有什么样的量纲，第四章、第五章还出现了源面、涡面，也给出了强度的定义，又指代的是什么。
14. 【P241】 已知均匀流的来流速度为 *u*=*V*，*v*=0，如何得到势函数和流函数？
15. 【P243】 已知源或汇流的 ，如何得到势函数和流函数？
16. 【P243】 源或汇流中存在奇点的物理量是散度还是旋度？（散度）
17. 【P247】 已知均匀流的流函数和源流的流函数，如何计算合成流动的驻点的极坐标位置？
18. 【P250】 已知均匀流、源流、汇流的流函数，计算图 3.23 中 *OA* 和 *OB* 的表达式，即式（3.81）
19. 【P251】 能够用语言描述清楚偶极子流动的定义，即一个源流和汇流在什么情况下能够得到一个偶极子流动。
20. 【P254】 哪几种基本流动叠加后能够得到无升力圆柱绕流？
21. 【P254】 已知均匀流和偶极子的流函数，如何计算无升力圆柱绕流的驻点坐标？
22. 【P257】 掌握无升力圆柱绕流表面 *Cp* 计算公式（3.101），并会应用此式进行问题求解，例如例题 3.13。
23. 【P243】 涡流中存在奇点的物理量是散度还是旋度？（旋度）
24. 【P264】 已知涡流的 *V*表达式（3.105）和 *Vr*=0，如何计算流函数和势函数。
25. 【P266】 绕圆柱有升力流动有哪几种基本流动叠加得到？
26. 【P267】 已知无升力圆柱流动的流函数（3.92）和涡流的流函数（3.117），如何计算有升力圆柱绕流的驻点位置（至少掌握图 3.33*a* 和 3.33*b* 对应的情况）。
27. 【P273】 库塔‐茹科夫斯基定理的表达式，会应用该表达式计算具体问题。
28. 【P282】 知晓**库塔‐茹科夫斯基定理**并不是产生升力的原因，只是“翼型上压强和剪应力分布是升力的来源”的另一种表现形式而已。
29. 【P286】 数值源板块法中，某一单位长度源强为  的源板块在其本身控制点 *i* 处所产生的法向速度是多少？切向速度是多少？（/2, 0）

**★本章课后题（P. 309‐311）：3.2、3.3、3.4、3.5、3.6、3.7、3.8、3.9、3.10、3.11、3.15、3.16、3.17、3.18**

# 第四章 绕翼型的不可压缩流动

1. 机翼气动特性研究两步走的策略。（先翼型后机翼）
2. 【P318】掌握翼型的各部位名称和术语。（翼型的几何描述）
3. 【P321】翼型的气动特征参数有哪些（对照图 4.9）（常见翼型的升阻力及力矩气动特性）
4. 【P322】不可压黏性流动中翼型所受到的阻力有哪些构成？型阻 Profile drag 是什么？形状阻力 Form drag 又是指什么？
5. 【P325】 能够用自己的语言给出涡面的定义 。
6. 【P328】 掌握并理解（4.8）式，及其表明的含义 。
7. 低速无粘绕流的理论求解体系；
8. 针对薄翼型的薄翼理论；

【P330】 结合图 4.16，掌握并理解：

**对于薄翼型，可以用布置在弯度线上的涡面来代替翼型。**

1. 【P333】 库塔条件的定义（三条）；库塔条件的数学表达式：(TE)=0 。
2. 【P336】 基于开尔文环量定理和起动涡的概念，能够用自己的语言描述翼型上环量是如何产生的，即能够描述图 4.21。
3. 【P347】 经典薄翼型理论中对称翼型的结论（3 条）。
4. 【P339‐341】 推导经典薄翼型理论中，引入适当的近似假设后，将涡面布置在***弯度线***上，那么此时流动所需要遵循的两大条件是什么？（弯度线是流线，后缘库塔条件）
5. 【P339‐341】 推导经典薄翼型理论中，引入适当的近似假设后，将涡面布置在***弦线***上，那么此时流动所需要遵循的两大条件是什么？（弯度线是流线，后缘库塔条件）
6. 【P348‐353】 经典薄翼型理论中有弯度翼型的结论（3 条，对应对称翼型的 3 条）
7. 【P338‐357**】** 能够熟练应用经典薄翼型理论的结论进行具体问题的计算，相关例题和习题。
8. 【P363】数值涡板块法中，某一单位涡强为的涡板块在其自身控制点 *i* 处所诱导产生的法向速度是多少？切向速度是多少？（0，/2）（即 4.80 式中当 *j=i* 时，*Ji,i*=0）
9. 粘性对翼型阻力的影响，层流、湍流、转捩等的不同影响；
10. 真实的翼型绕流现象，重点掌握翼型失速，定义，产生的原因，分类，对气动特性的影响；
    1. P384 真实黏性流动中，翼型流动分离必然导致升力下降，阻力增加；P389 薄翼型的失速类型属于前缘失速，厚翼型的失速类型属于后缘失速；类平板的薄翼失速属于前缘失速；判给定翼型气动特性好坏的两个重要的品质因数是升阻比和 大升力系数；P393 常用的增升装置有后缘襟翼、前缘襟翼、前缘缝翼等。
    2. 影响翼型 大升力系数的因素。（厚度、雷诺数）
11. 压力中心，气动中心，零升迎角；

**★本章课后题（P. 407‐409）：4.1、4.2、4.5、4.6、4.7、4.10、4.11、4.12、4.14**

# 第五章 绕有限展长机翼的不可压缩流动

1. 什么是下洗，对机翼的气动特性有什么影响；
2. 【P415】 有限翼展机翼与翼型之间有什么区别？
3. 【P415】 有限翼展机翼上下翼面上的展向流动速度的方向分别是什么？（翼梢‐翼根 or 翼根‐翼梢）
4. 诱导阻力的产生机理；
5. 【P417】 掌握图 5.6，能够画出 5.6 的示意图，并用自己的语言描述诱导阻力 *Di* 是如何产生的。
6. 【P421】 已知毕奥‐萨瓦定理（5.5）式，推导无限长涡丝的诱导速度为式（5.10），半无限长涡丝的诱导速度为式（5.11）。
7. 【P243】 能够理解和区别几何扭转和气动扭转的概念，知道如何判别某一个给定机翼是否具有几何扭转和气动扭转。
8. 【P429】 普朗特升力线理论基本方程（5.23）简明地指出了哪三种角度之间的什么样的关系式？（几何迎角=有效迎角+下洗迎角）
9. 【P432】 熟记椭圆形升力分布所产生的下洗迎角表达式（5.42），诱导阻力系数表达式（5.43），并应用于具体问题的求解。
10. 【P437】 熟记一般升力分布所产生的诱导阻力系数表达式（5.61）；已知参数δ，能够求解具体问题，例如例题 5.2。
11. 【P440】 熟记展弦比 AR 对诱导阻力系数以及公式（5.61）中参数δ的影响。（诱导阻力下降，δ 增加）（参考公式 5.61 以及图 5.20）
12. 【P443】 熟记椭圆形升力分布机翼的升力线斜率公式（5.69）和一般升力分布机翼的升力线斜率公式（5.70），并能够熟练求解具体问题，例如例题 5.1‐5.4。（注意：角度的单位一定要换算成弧度）。

**★本章课后题（P. 484‐486）：5.1、5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7**