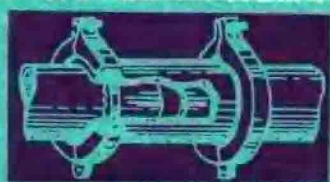


[苏] B·M·萨波什尼柯夫 著 杨绍孔 译

机液路与气路系统 的安装和试验

FEI JI YE LU YU QI
LU XI TONG DE AN
ZHUANG HE SHI YAN



内 容 简 介

本书系统地阐述了飞机液路与气路系统的工作条件及装配和检查的主要工艺过程。着重地分析了导管上的作用载荷和安装应力的计算方法；叙述了系统清洁度检查、系统密封性试验、性能试验、工作液过滤、系统加油和清洗的各种方法及设备；列举了这些系统各种试验台和检查仪器的原理图及主要技术性能以及导管的各种连接方式。

本书可供从事飞机液路、气路系统方面工作的工程技术人员、工人、及航空高等院校师生参考。

Монтаж и испытания гидравлических и пневматических систем на летательных аппаратах.

В. М. Сапожников

《Машиностроение》1972.

*

飞机液路与气路系统的安装和试验

[苏]В. М. 萨波什尼柯夫 著

杨绍礼 译

王绍博 校

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张9¹/₂ 200千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷 印数：0.001—1,500册

统一书号：15034·1921 定价：1.00元

译 序

本书介绍了飞机液路和气路系统的安装、检查和试验方面的一些基本经验；阐述了这些系统的工作条件及装配和检查的主要工艺过程；着重地分析了导管上的作用载荷和安装应力的计算方法；叙述了系统清洁度检查、系统密封试验、性能试验、工作液的过滤、系统加油和清洗的各种方法及设备；列举了液路气路系统各种试验台和检验仪器的原理图及其主要技术性能，以及导管的各种连接方式。

本书适用于航空工程技术人员、航空高等院校的师生、研究生和其它有关专业人员。

该书是根据一九七二年苏联机械工业出版社出版的《Монтаж и испытания гидравлических и пневматических систем на летательных аппаратах》一书译成的。

在该书翻译过程中李钟延、王维忠、辛文业、关大权等同志曾给予热情帮助，译者对此深表谢意。

原书排版印刷错误较多，译者已予纠正，不一一加注了。

目 录

序	1
第一章 液路与气路系统的工作条件	3
§ 1 用途及工作特点	3
§ 2 系统元件承受的载荷	9
§ 3 故障及缺陷	12
第二章 关于液路和气路系统元件设计的建议	15
§ 1 对导管及管接头的基本要求	15
§ 2 导管连接方式的选择	18
§ 3 导管的强度计算	35
§ 4 管路元件与结构元件的间隙	41
§ 5 紧固件的配置	44
§ 6 关于工艺性的建议	49
第三章 弹性和弹塑性变形区系统元件的装配应力	56
§ 1 概述	56
§ 2 弹性变形范围内导管上的作用力	57
§ 3 弹塑性变形范围内导管上的作用力	66
§ 4 装配应力对导管连接疲劳强度的影响	97
§ 5 导管对接处（接头内）的装配应力容许标准	119
第四章 液路和气路系统元件安装及检查的工艺方法	128
§ 1 一般要求	128
§ 2 液路和气路系统元件的安装工艺	131
§ 3 设备、工具和仪器	135
§ 4 安装工作质量检验	137

第五章 液压系统的清洗和注油工艺方法	144
§ 1 概述.....	144
§ 2 工作液过滤方法及设备.....	146
§ 3 液压系统机械杂质的定性和定量分析.....	151
§ 4 清洗和过滤质量.....	160
§ 5 关于清洗注油设备设计的建议	164
§ 6 液压系统清洗与注油工艺方法.....	166
§ 7 工作间与设备.....	171
第六章 工作液清洁度的检查方法及设备	182
§ 1 检查方法分类.....	182
§ 2 工作液清洁度的初步检查.....	184
§ 3 工作液清洁度的最后检查.....	187
§ 4 液体中固体污垢颗粒组成分析装置研制的理论问题.....	194
§ 5 液压、燃油和滑油系统清洁度客观检验方法 和手段的发展远景.....	207
第七章 液路和气路系统密封试验的工艺方法	217
§ 1 概述.....	217
§ 2 系统密封试验方法和手段.....	218
§ 3 试验方法和状态的选择.....	233
§ 4 系统密封试验设备与装置.....	240
§ 5 系统元件的密封和强度试验方法及手段.....	245
§ 6 系统元件的密封和强度试验设备及装置.....	251
§ 7 液路、气路系统及其元件密封性客观检验方法 和手段的发展远景.....	256
第八章 液路和气路系统性能试验工艺方法	261
§ 1 概述.....	261
§ 2 液压系统试验工艺方法.....	266
§ 3 液压系统性能试验设备及装置.....	268

§ 4 气路系统试验工艺方法·····	276
§ 5 气路系统性能试验设备及装置·····	277
§ 6 液路气路系统自动化综合性能试验方法及 设备的发展远景·····	279
第九章 液压系统再生油液的滤清与应用 ·····	288
§ 1 对油液的过滤要求·····	288
§ 2 油液过滤的工艺方法·····	289
§ 3 油液过滤的质量检查·····	291
第十章 安全技术 ·····	292
参考文献 ·····	295

序

由于现代飞机液路和气路系统的结构极其复杂，所以管路的安装质量对整个系统的工作可靠性和使用寿命，有着特殊意义。管路的全部工序通常分为安装、试验和调整三个主要部分。

统计数字表明，液路和气路系统安装、检查和试验的工作量，大约占飞机所有系统安装和试验总工作量的20~30%。

近十年来，为改进液路与气路管路零件和组合件的工艺性及互换性；进行了大量的科研工作。在改进系统元件的制造及其安装工艺和研究出了新的试验方法与设备，以及在检查导管工艺质量的仪器等方面，都进行了许多工作。

在计算导管安装应力及其强度特性和研制液压油污染颗粒组分分析仪器等方面，也开展了许多理论工作。

本书将介绍飞机液路和气路系统实际安装、试验和检查中取得的一些最重要成果。同时也叙述了由作者与某些飞机制造厂、科研和教育部门共同进行的管路安装方面的实验和理论研究成果。书中第二、三章引用的计算公式和符号取自参考文献〔2, 22〕。

第一章介绍了液路与气路系统的工作条件，讨论了系统使用中作用于元件上的各种载荷。这里，对液路和气路系统使用中见到的一些缺陷和故障，进行了分析。

已经查明，使用中的大量缺陷和故障，都是由于机上管路的安装和检验质量不好而造成的。

第二章介绍了有关液路和气路系统设计、机上导管敷设及系统结构元件安装要求方面的建议，并且讨论了紧固件的合理配置方案。

第三章探讨了弹性变形和弹塑性变形区导管及管接头安装应力的计算理论基础。

第四章包括机上各系统的安装与检验工艺方法的改进，以及保证管路安装精度较高，工作时产生应力最小的各种工具和设备等方面的问题。

本书的后几章（五～九章）讨论了系统的注油与清洗，以及密封试验和性能检查等工艺方法，工作液的过滤和再生等问题。

在本书的最后一章中叙述了航空工厂安装、试验和检查机上液路及气路系统时技术安全方面的一些基本情况。

第一章 液路与气路系统的工作条件

§ 1 用途及工作特点

现代飞机制造中，除动力装置的燃油和滑油系统外，在飞行操纵系统的传动中，越加广泛地采用液压系统。液压传动装置主要用于传递操纵力以偏转舵面和副翼、收放襟翼、启闭舱门、收放起落架、操纵前轮转弯、调整进气道整流锥或可调斜板等。

气压传动装置在飞机系统中使用较少。电气传动装置的应用，在某些情况下，也受到了限制，因为电动机的重量很大，由电动机到执行机构的机械传动复杂，而且使飞机电气网路的负荷过大。

飞机液路和气路系统的工作有许多特点。根据这些特点，对整个系统的可靠性及每个附件、导管和管接头的工作质量，都提出了很高的要求。由于系统装有大量对工作状态反应敏感的复杂附件、管路敷设线路很长（一架飞机达2~2.5千米）、管接头数量很多、所以产生缺陷和故障的可能性也随之增大。

由于飞机座舱和各舱内系统元件的增加，使操纵系统传动装置的安装、维护和修理条件，以及机上各系统安装工艺性的改进，变得更加复杂。例如，近十五年来，飞机传动装

置的附件数量增加了二倍，管路总长增加了一倍，而飞机的有效容积只增加了一半。

现代液压系统的特点是系统的工作压力由 40 公斤力/厘米² 猛增至 280 公斤力/厘米² 以上。预计最近几年，工作压力可能增至 350 公斤力/厘米²，因此必将增大管路元件的载荷，增加系统油液渗漏的可能性。液压与气压系统的工作可靠性和寿命，在很大程度上取决于飞机的使用特点和发动机的功率。经动力加热的元件所承受振动的大小，以及温度的高低，对液压和气压传动装置的工作有很大影响。

做为液压系统的工作液，矿物油与合成油得到了最广泛的应用。矿物油具有液压泵、液压马达、执行机构与伺服阀工作所必需的良好润滑性能。但是，它们的使用温度范围有限，例如 AMГ-10 油的使用温度为 $-54 \sim +135^{\circ}\text{C}$ ，故不能满足现代飞机的要求。此外，矿物油易燃，资源不足，粘度很大。近几年来，液压系统采用了新的抗燃耐高温合成液压油，其性能优于矿物油。

目前，在液压系统设计中有一种提高系统工作压力的趋势。由于提高液压系统工作压力，可以在几乎不增加附件尺寸和重量的情况下，提高液压传动功率；或在保持传动功率不变的条件下，减小附件的尺寸和重量。

传动功率与工作液压力之间的关系用下式表示：

$$N = \frac{pQ}{7500}$$

式中 Q —— 系统流量 (厘米³/秒)；

p —— 系统工作压力 (公斤力/厘米²)。

从图1, 6 中可以看出，系统压力大约增至 250 公斤力/厘米²

范围时，液压传动装置的重量（质量）便减小。液压传动装置的重量（质量）在系统压力增大条件下随飞机飞行重量（质量）增加而增大的速度是相当迟缓的（见图 1，a）。

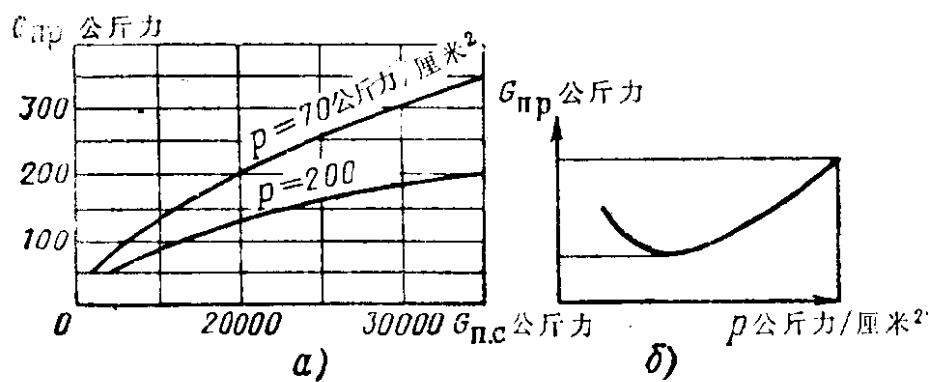


图 1 液压传动装置重量（质量） $G_{пп}$ ，与系统压力和飞行重量 $G_{п.с}$ （a）以及系统使用液压 p （б）的关系

系统的流量与传动装置工作部分的容积及其运动速度有关。工作部分的运动速度是一个变量，它取决于传动装置的工作条件。由此可知，系统的流量同样是一个变量。因此，计算液压传动装置时，整个液压系统的流量定义为把蓄压器放压过程是考虑在内的，全部传动机构同时工作的最大流量的总和。液压系统执行机构所需的压力，由压力源经压力管路提供、经过调节并进行分配。液压泵的型别，液压系统的供压部分可分为可变流量和定流量的两种型式。

设计供压部分时，必须对液压系统进行以下的考虑：系统的工作压力；清除油液中机械杂质；产生并在需要时调节压力；检查压力值；蓄压器充压；向用油装置传递油液压力；系统内部泄漏补偿；保证系统和用油装置所需的工作状态；发出系统故障信号（灯光和声响等）。

设计供压部分时，应当考虑到连接地面检查和试验设备的可能性。在回油管路和切换装置中设有缓冲装置，因为油

液由压力管路流向回油管或者反向流动时都会引起液压撞击。

现代飞机的燃油系统，由于耗油量很大，也成为一种完整的管路系统、主泵和辅助泵及各种附件的复杂设备(图2)。除机身装有主燃油箱外，还悬挂副油箱。燃油从油箱内流出，经系统供给发动机使用。燃油的消耗量通过油量表检查，它可直接显示出系统的剩余油量。有时，客机上安装左右两套构造相同的单独的燃油系统(见图2)。

现代飞机动力装置的滑油系统也同样复杂，它包括重要的管路、泵以及保证滑油冷却、过滤和油气分离的各种专用附件。

气压系统的工作介质为气体。它与液体不同，其密度和温度是随系统的压力而变化的。而液体的密度通常则认为是一个常数，它与系统的压力无关。

研究不可压缩液体的运动定律时，一般应用比较通用的气体运动定律，此时将液体视为气体的个别情况，取介质密度为常数。

气压系统，尽管有一些主要优点，如制造费用低廉，使用比较简便，而且它的外场充气设备(压气机和冷气瓶)与飞机发动机冷气起动时广泛采用设备是相同的，但在其它一些性能指标，仍远远劣于液压系统。

在某些飞机(特别是重型飞机)上，气压系统经常与液压传动系统配合使用，作为应急放下起落架和护板等的应急系统(图3)。气压系统的压力(供给)源可以采用发动机带动的压气机或采用各种容积的冷气瓶等。可以列入气路系统的还有飞机氧气系统，空气调节系统，附属于液压系统中用

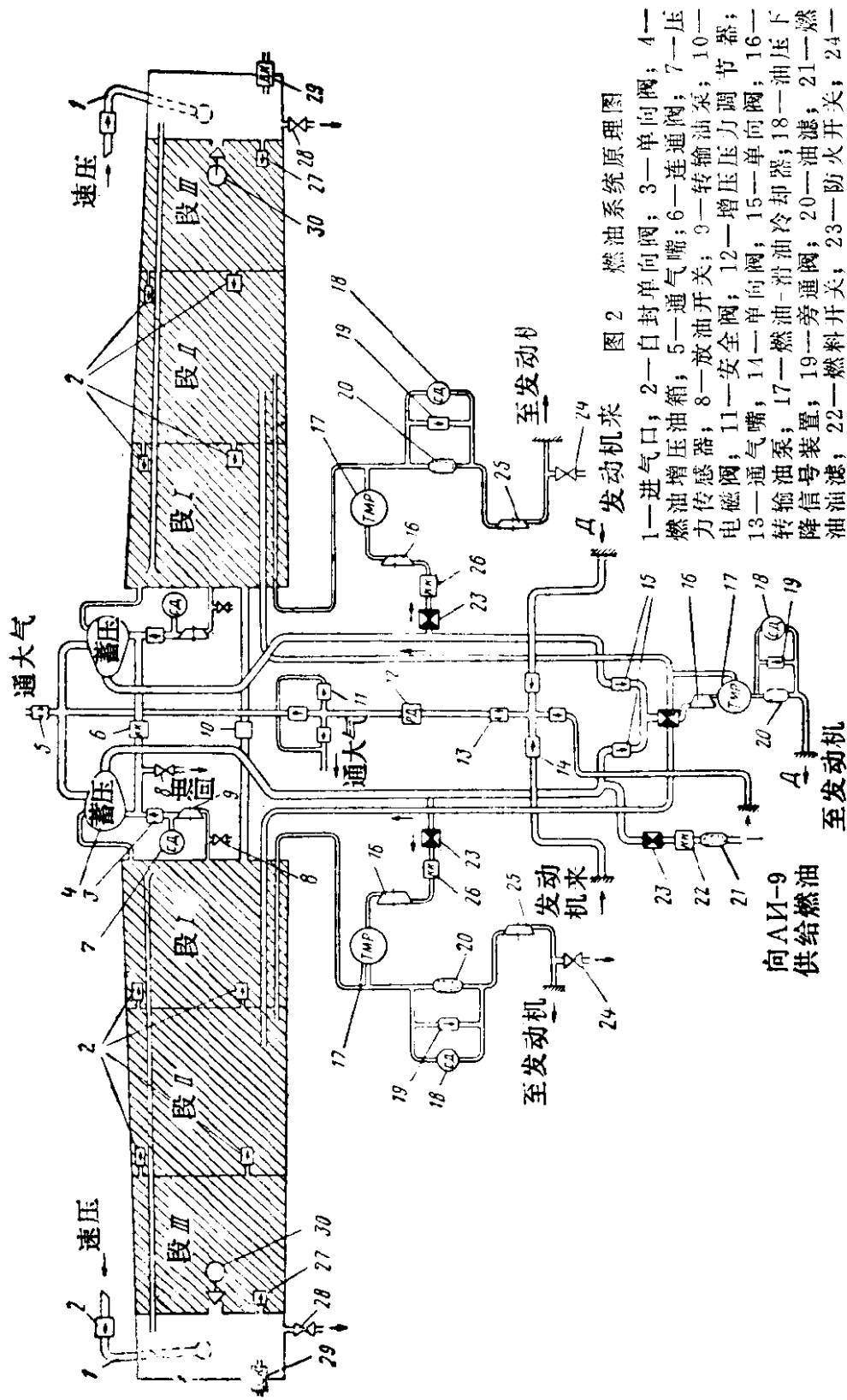


图2 燃油系统原理图

1—进气口；2—白封单向阀；3—单向阀；4—燃油增压油箱；5—通气嘴；6—连通阀；7—压力传感器；8—放油开关；9—转输油泵；10—电磁阀；11—安全阀；12—增压压力调节阀；13—通气嘴；14—单向阀；15—燃油-滑油冷却器；16—旁通阀；17—燃油-滑油冷却器；18—油压下降信号装置；19—旁通阀；20—油滤；21—燃油流量阀；22—燃料开关；23—防火开关；24—溢流阀；25—吸油泵；26—燃料开关；27—通气阀；28—放油开关；29—安全阀；30—浮子活门。

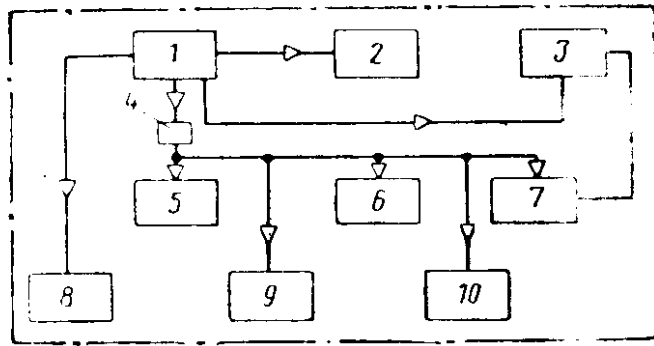


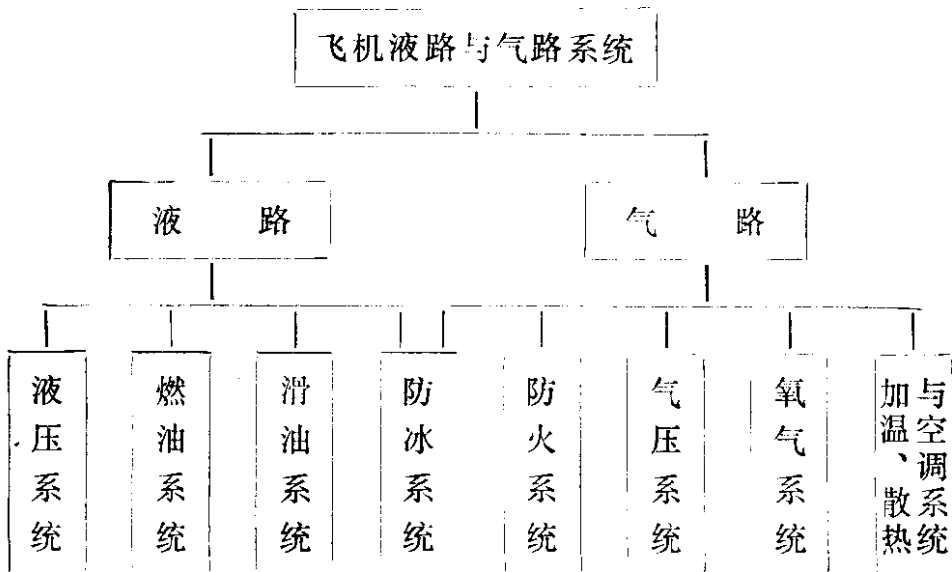
图3 气压系统典型结构图

1—压力源部分；2—一起落架应急放下部分；3—应急刹车操纵机构部分；
4—空气调节部分；5—防冰系统操纵部分；6—充弹部分；7—一起落架
主轮刹车部分；8—座舱盖开启、投放及密封操纵部分；9—切断供油
油路部分；10—减速伞操纵部分。

于机轮刹车，减速伞投放的冷气管路。

由此可见，在不同类型的飞机上采用的液路和气路系统
有各式各样的。简图1所列的是飞机的典型系统项目表。

简 图 1



§ 2 系统元件承受的载荷

液路和气路系统是在温度经常改变和载荷（静载荷、重复静载荷、交变载荷和动载荷）相当复杂的条件下进行工作的。这些载荷使导管的轴向、径向同时产生弹性和弹塑性变形。

导管和管接头应力的大小，不仅与它所承受载荷的大小有关，而且与其作用频率有关。导管的固有振动频率与外作用的干扰频率相重合是特别危险的。这时便出现共振，而且即使在作用力很小的情况下，变化应力也能增大数倍。

液压管路导管和管接头承受的载荷特别大。导管及管接头产生的应力，在数值上应等于各静载荷和动载荷所形成应力的总和。在个别情况下，导管和管接头还可能由于承受扭转而引起载荷。

分析导管的受力状态时，不必考虑计算和关系都很复杂的薄壁理论，只利用从金属疲劳强度理论⁽¹⁵⁾导出的较简单的公式。

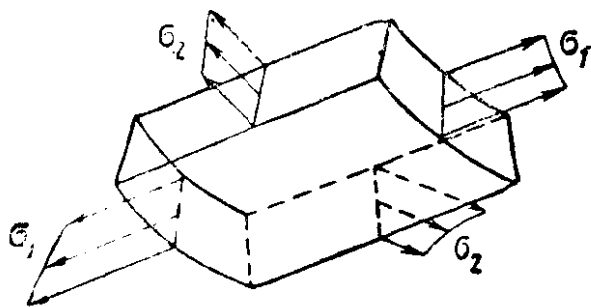


图 4 作用于导管管段的应力图

图 4 示出了标明其主要应力，剖开的导管管段。轴向应力 σ_1 等于沿导管轴线作用的各项应力之和：

$$\sigma_1 = \sigma_1^A + \sigma_1^{A^*} + \sigma_1^M + \sigma_1^T + \sigma_1^Q + \sigma_1^B$$

式中 σ_1^A ——由内部压力引起的常值应力；

$\sigma_1^{A^*}$ ——由内部压力引起的变化应力；

σ_1^M ——装配应力；

σ_1^T ——热应力；

σ_1^3 ——维护使用中产生的应力；

σ_1^B ——由于振动而产生的应力。

所有应力值用公斤力/毫米²表示。

切向应力 σ_2 等于管壁上沿线方向所作用各应力之和：

$$\sigma_2 = \sigma_2^A + \sigma_2^{\Delta A} + \sigma_2^O + \sigma_2^{\Delta O} + \sigma_2^M + \sigma_2^T + \sigma_2^B$$

式中 σ_2^A ——由内部压力引起的常值应力；

$\sigma_2^{\Delta A}$ ——由于变形导管内部压力而引起的变化应力；

σ_2^O ——有椭圆度时的常值应力；

$\sigma_2^{\Delta O}$ ——导管有椭圆度时由内部压力引起的变化应力；

σ_2^M ——装配应力；

σ_2^T ——热应力；

σ_2^B ——由于振动引起的应力。

为了评定导管的受力状态，必须知道上述各分应力的数值。对互相关系的分析，必要时将有助于查明导管使用中的损坏原因和采取必要措施以增大结构强度。

表 1.1 列举了液压系统钢导管内各应力的计算数据●。可以看出，轴向应力中最危险的是振动应力。振动应力与装配应力相叠加，可能成为导管破坏的一种原因。破坏部位通常出现在管卡附近或导管扩口处，四周呈现裂纹。

最危险的切向应力是在导管具有椭圆度的情况下产生的。内部工作液压力变化时，常值应力 σ_2^O 即转变为变化应力，因为在这种情况下压力变化能改变导管的截面形状和使导管纵向产生裂纹。

● 计算公式见参考文献[15]的109~120页。

表1.1 20A钢制 12×1 毫米($D_H \times S$)^① 导管在系统
工作压力为 210公斤力/厘米² 时的轴向和周向应力值

符 号	各 应 力 名 称	应 力 (公斤力/毫米 ²)		分 布 特 点	
		沿外径	沿内径		
轴 向 应 力	σ_1^A	由内部压力引起的常值应力	0.3	0.3	沿导管横截面均匀分布
	$\sigma_1^{\Delta A}$	由内部压力引起的变化应力	0.3	0.3	沿导管截面均匀分布
	σ_1^M	装配应力	可达屈服极限值		无规则
	σ_1^T	热应力 $\Delta t = 30^\circ\text{C}$	0.57	0.57	沿横截面均匀分布
	σ_1^B	使用应力	—	—	与弯曲时相同
	σ_1^B	交变应力	达10	—	与弯曲时相同
切 向 应 力	σ_2^A	由内部压力引起的常值应力	9.55	11.65	沿导管截面非均匀分布
	$\sigma_2^{\Delta A}$	变化应力	2.24	2.73	内表面应力最大， 外表面应力最小
	σ_2^O	截面椭圆度 $K = 10\%$ 时的常值应力	24.21	29.78	
	$\sigma_2^{\Delta O}$	椭圆度 $K = 10\%$ 时由内部压力引起的变化应力	6.35	6.97	
	σ_2^M	装配应力	相当小 - 5.55		无规则
	σ_2^T	热应力	5.55	- 5.55	沿导管截面非均匀分布
	σ_2^B	交变应力	—	—	沿导管截面非均匀分布

① D_H —导管外径； S —壁厚。