

液压和气动传动装置 的可靠性

[苏]T. A. 瑟里岑 著

曾德尧 译 耿惠彬 校

3

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了液压和气动传动装置的可靠性理论。研究了失效模型,对可修复传动装置和不可修复传动装置,分别给出了计算可靠性数量指标的方法。书中还叙述了技术诊断的理论基础,以及有储备的传动装置的综合方法。并有具体计算例题。

本书可供从事传动装置的设计和制造工程技术人员使用,也可供大专院校作为教学参考书。

Надежность Гидро-и Пневмопривода

Т. А. Сырицын

МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

1981

*

液压和气动传动装置的可靠性

(苏)Т. А. 瑟里岑 著

曾德尧 译 耿惠彬 校

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 $1/32$ 印张 9 198千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷 印数: 0,001—2,865册

ISBN 7-118-00287-9/TH21 定价: 4.60元

译 者 序

液压和气动传动装置以结构紧凑，重量轻，运转平稳，可有效防止过载，易于实现自动控制等优点著称。现已在船舶、机械、冶金、石化及国民经济各部门等多种领域中获得广泛应用，发挥着巨大的技术经济效益。因而，液压和气动传动装置的运行可靠性问题日益受到重视，许多国家的有关人士和部门竞相研究和探讨，以期得到满意的解决。

本书从分析液压和气动传动装置的失效机理出发，分别论述了可靠性的指标，装置统计性能的确定方法，可靠性的计算方法，可靠性指标定额的确定和预测，失效诊断方法，以及装置的储备方法等。内容丰富，论证严密，列有例题，实用性强。

中文译名主要参照了有关的国家标准和部颁标准，个别难定者，曾尽可能作了多方查证，经反复推敲后慎重定名。对于原书中“失效”与“故障”前后混用的现象，亦尽力作了区分。

译校过程中，曾多次求教于柳曾兴同志，并承他通阅全稿，谨表示衷心感谢。

译者水平有限，如蒙读者指正译文谬误，不胜感谢。

目 录

序言	1
第一章 液压和气动传动装置失效的机理	4
1.1 失效的定义和分类	4
1.2 决定传动装置可靠性的因素	9
1.3 失效模型	19
1.4 传动装置的元件分类	35
第二章 传动装置可靠性的数量指标	40
2.1 不可修复的传动装置的可靠性指标	40
2.2 可修复的传动装置的可靠性指标	46
第三章 传动装置统计特性的确定方法	56
3.1 各种方法的一般特性和获取信息的方式	56
3.2 随机量的分布律	59
3.3 未知分布参数的确定	66
3.4 分布律的近似确定法	82
第四章 液压和气动传动装置可靠性的计算方法	84
4.1 可靠性计算和检验的一般任务	84
4.2 传动装置可靠性的一般方程式	87
4.3 不超过法	92
4.4 工作能力储备的统计系数	97
4.5 传动装置工作能力的条件	102
4.6 寿命指数	108
4.7 寿命储备系数	119
4.8 结构图法	122
第五章 传动装置可靠性指标定额的确定和预测	131

5.1 确定可靠性指标定额的一般原则·····	131
5.2 按效益指标确定可靠性定额·····	134
5.3 传动装置元件可靠性的评定标准·····	140
5.4 可靠性指标的预测·····	145
第六章 传动装置的故障诊断方法 ·····	169
6.1 故障诊断的任务和步骤·····	169
6.2 对象的描述·····	171
6.3 故障诊断方法·····	173
6.4 状态特征·····	179
6.5 状态特征的信息性·····	203
6.6 状态判别 判别规则·····	208
6.7 诊断系统的结构·····	217
第七章 传动装置的储备 ·····	220
7.1 储备法·····	220
7.2 单独储备·····	223
7.3 公共储备·····	226
7.4 备用子系统的最佳数目·····	239
7.5 多通道传动装置·····	244
7.6 多通道液压机械式传动装置的静特性·····	249
7.7 多通道传动装置的刚度·····	251
7.8 多通道电液传动装置的特性·····	257
7.9 多通道传动装置参数的选择·····	264
参考文献 ·····	271
名词对照表 ·····	273

序 言

液压和气动传动装置广泛应用于机械制造业的各个领域，用作过程控制系统和自动化系统的执行机构、各种运输工具驾驶系统的随动传动装置以及各种用途的机器和设备的工作机构的传动装置。在前述的所有场合下，液压和气动传动装置都是复杂的主系统的子系统，它对主系统的功能和效率产生影响。

所谓机器质量，是指机器按其用途满足一定要求而应具备的性能的集合。这个集合，包括随系统用途而异的各种性能，其中之一就是可靠性。

根据苏联国家标准 ГОСТ13377-75 的规定，**液压和气动传动装置的可靠性**系指完成规定功能并随时使规定的运行指标值处于与运行、技术保养、修理、储存及运输的状态和条件相对应的机器的规定范围内的性能。

如定义所述，可靠性是一种综合性能（图0-1）。

在讨论图 0-1 所示的可靠性性能之前，先解释一下定义传动装置状态的几个术语。

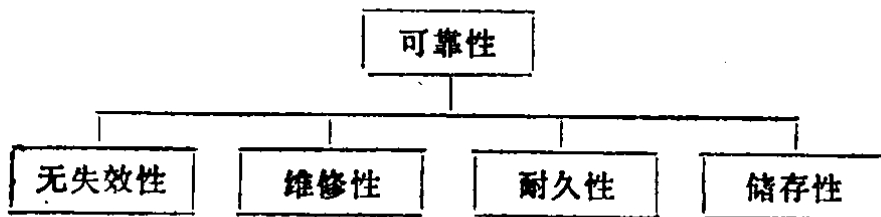


图0-1 可靠性的组成

能工作状态（工作能力）——产品（液压和气动传动装置）完成规定功能并使规定的参数值处于标准技术文件规定的范围内的状态。

失效——产品丧失工作能力的事件。失效可以是丧失功能（损伤、功能联系中断等），也可以是表征工作能力的参数（产量、效率等）发生不应有的变化。

无失效性——在某一段时间或某一工作时间内，传动装置持续地保持工作能力的性能。

耐久性——在规定的技术维护和修理制度的条件下，传动装置保持工作能力直至极限状态的性能。极限状态由技术文件规定的特性确定。一般来说，极限状态指的是传动装置由于下列各种原因而必须终止运行的状态：安全上不允许，规定参数超过规定范围，运行效率下降，必须作中修或大修。

储存性——在储存和（或）运输期间及其之后，传动装置保持正常和能工作状态的性能。

维修性——传动装置易于预报和发现失效、损坏的原因，并予以修理和经过技术维护消除后果的性能。对可修复的传动装置，消除失效系采用修理的方法恢复传动装置的工作能力；对不可修复的传动装置，则采用更换失效元件的方法。

是否适合于技术维护，应视根据运行条件而采用的传动装置的结构形式确定。传动装置的结构应能保证易于检视、调整和更换失效的元件。

前述各项性能（无失效性、耐久性、维修性和储存性）的集合，决定了传动装置完成规定的功能并在规定的期限内使规定的运行指标保持在规定范围的性能，亦即设备的运行

可靠性。根据用途和使用条件的不同，传动装置分为可修复的和不可修复的两类。

可修复的产品系指发生失效后可恢复工作能力者，其修复工作由维修制度规定。

不可修复的产品系指其工作能力在发生失效后由于技术或运行原因不可能恢复者。

对不可修复的产品来说，耐久性一词与无失效性的意义是相同的。

可靠性是与产品的设计、生产和运行过程直接相关的，因而可靠性问题实质上是一个技术问题。

有助于生产高可靠性的技术设备的计算方法和各种计算可靠性数量指标的方法的总和，构成可靠性的理论基础。

因此，可靠性问题可以相应地概括为可靠性保证和可靠性计算（监测）两个方面。如果说第一方面主要是依靠传统的设计和工艺方法，以生产高质量的设备及其正确使用的话，则第二方面需要应用专门的数学计算方法。

可靠性理论发展的初期，产生过上述两个方面互相矛盾的倾向，这主要是有关可靠性的专门人材的培养特点所引起的。设计和工艺人员认为计算产品可靠工作的数量指标是无益的。

但是，从事概率论和数学统计方法的专家，由于不明白技术问题的特点，常常在保证产品高质量方面过份强调数学方法的作用。对各种计算方法有时评价过低的另一原因，还在于为了提高产品的可靠性（质量）必须增加投资。人们心理上不习惯为生产数量相同而可靠性较高的产品增加投资，以及难于确认和检验可靠性，这在某种程度上也阻碍了数学方法的应用。

第一章 液压和气动传动装置失效的机理

1.1 失效的定义和分类

为了对可靠性进行分析和作定量评价，必须区别由“失效”、“损坏”、“损伤”和“缺陷”等概念所定义的事件。

失效——产品丧失工作能力的事件。对于每种不同的产品（传动装置），失效的特征由标准技术文件规定。

损坏——传动装置的一种状态，在这种状态下，装置的工作不满足标准技术文件的任何一条要求。

损伤——传动装置或其组成部分受到高于标准技术文件规定的外界条件作用，致使其完好性遭受破坏的事件。

有两种不同程度的损伤，一种是致命的，它是失效的原因；另一种是非致命的，此时工作能力未受到破坏。但是，这种非致命的损伤若不及时予以排除，仍可转化为致命的损伤并随之引起失效。例如，液压传动装置液压缸外表面上的划痕绝不会影响其工作能力，但若经长时间的使用，被划伤表面的腐蚀可能成为传动装置失效的原因。

为了评价产品质量，引用一个称为“缺陷”的概念。

“缺陷”系指产品的每一个不符合技术文件要求的情况。缺陷是产生失效的初始原因。在相当多的情况下，缺陷和损伤不会立即暴露，但随后不可避免地会导致失效。

失效可以根据各种不同的特征加以分类，主要是按产生失效的原因、形成失效之前传动装置各参数变化的性质、失

效对工作能力的影晌程度及预报的可能性等来分。图 1-1 示出失效的分类。

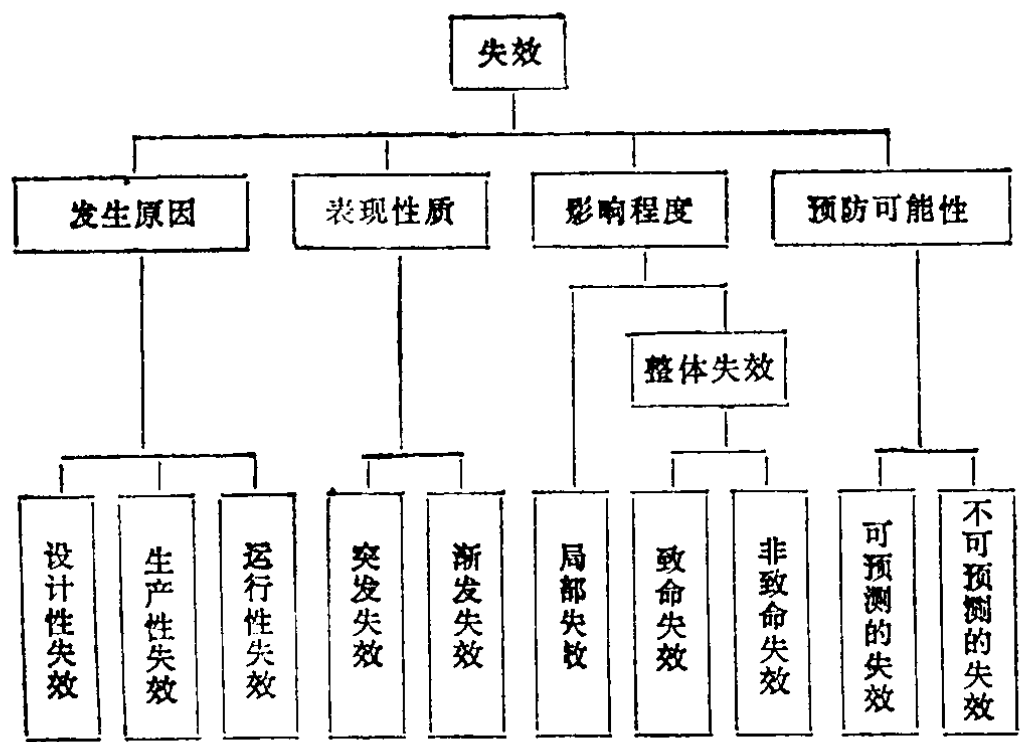


图1-1 失效分类表

“设计性失效”系由设计中的错误造成，诸如违反国家标准要求，降低强度储备，拟定装置原理方案和结构中的错误等所引起。

“生产性失效”产生的原因是违反制造工艺，制造中不遵守设计文件的要求，使用不合乎标准要求材料和配套元件，生产过程中质量检查不足等等。

一般，设计性失效和生产性失效在运行初期暴露。这类失效亦可在工厂进行工作条件试验时发现。

“运行性失效”系指传动装置的规定工作条件受到破坏，违反技术文件载明的操作规程，操作人员水平低劣，自然老化及磨损等等。运行性失效不仅在运行初期而且在其随后的

整个运行过程中均可发生。

失效根据其表现性质可分为突发的和渐发的两种。若选择矢量 y （压力、流量、转速等）作为表征传动装置工作能力的综合参数，则突发失效和渐发失效可按综合参数的变化速度来区分（图1-2）。

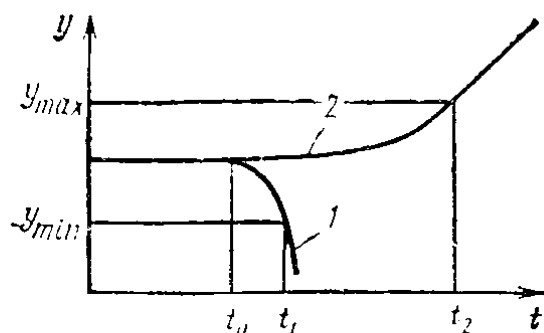


图1-2 输出参数与失效时间和形式的关系曲线

1—突发失效；2—渐发失效。

凡综合参数变化速度为有限值（曲线2）者，属渐发失效。传动装置的性能受到老化、磨损、疲劳损坏逐渐积累和工作过程参数变化的影响，其变化结果不可逆者，就是渐发失效。属于传动装置渐发失效的有：输出部件由于机电变换器特性变化引起的速度降低，过滤器和节流元件堵塞，阀门附件阻滞等等。

“突发失效”（曲线1）是综合参数在一个或几个扰动作用下发生剧烈的、跳跃式的变化（变化速度趋向无限大），扰动可由各种内部缺陷、工作状态受到破坏或操作人员误操作所引起。属于突发失效的有：节流元件或电液放大器喷嘴突然堵塞，结构元件由于未考虑到的载荷而引起的静力破坏，阀门附件卡死等等。发生突发失效之前，通常会有不易觉察的隐蔽缺陷或元件性能变化。

发生渐发失效时，传动装置的特性随着时间的推移逐渐

发生变化,当然原则上可能利用专门的监测系统或经过专门的试验预测到失效开始的时间,以及采取可以保持传动装置工作能力的相应的措施。可以预测到的渐发失效称为可预测渐发失效。若取失效发生的初始时刻为 t_0 ,失效的结束时间为 t_a ,则 $\Delta t = t_a - t_0$ 称为失效显露时间。

状态监测系统具有一定的快速性 t_k ,它取决于监测系统的线路布置和装置结构,还取决于被监测参数的变化速度。 $\Delta t > t_k$ 时,失效是可预测的, $\Delta t < t_k$ 时,失效是不可预测的,并可划归到突发失效类。

按照影响传动装置工作能力的程度,失效又可分为整体失效和局部失效两类。整体失效指传动装置完全丧失工作能力,局部失效指传动装置就完成本身的功能而言是保持着能力的,但工作效率有所降低。

对于承担重要功能的机器的传动装置来说,失效分为致命失效和非致命失效。

液压传动装置各种典型的失效列于表 1-1^[26,33]。

表中所列为综合性数据,即不管液压传动装置的用途和具体结构如何,数据均取平均值,并基于大量实例。

分析表 1-1 中的数据,可获得下列实质性结论。

提高传动装置的可靠性是一项综合性的技术任务,必须在设计、生产和运行的各个阶段加以贯彻。根据传动装置的用途和使用条件的不同,设计、生产和运行各环节在失效原因方面的比重各异。譬如,对于那些在设计、工艺和运行的质量方面有着特殊要求的特殊传动装置来说,就发生失效的原因而言力求达到均衡;对于那些运行条件恶劣的传动装置(建筑机械、筑路机械、农机的传动装置等),大部分失效是由运行因素引起的。

表 1-1

失效的性质和原因	失效百分比 (%)
α . 发生原因	
设计性失效	20
生产性失效	90
运行性失效	30
β . 参数变化性质	
突发失效	40
渐发失效	60
其中:	
可预测的失效	20
不可预测的失效	80
θ . 表现特征	
不密封	45
参数不符合规定要求	15
丧失功能	15
动态稳定性被破坏	10
动力元件损坏	15
τ . 传动装置元件失效	
管路和软管	35
方向阀	20
自动控制元件	10
节流阀和滤器	25
动力元件	10

在所有的失效中, 可预测的失效所占的部分是微不足道的。

传动装置最薄弱的元件是管路、软管和滤器, 因此在设计和生产中应特别给予注意。

进一步提高传动装置工作介质的压力, 看来会增加与元件密封不良有关的失效百分比。

1.2 决定传动装置可靠性的因素

传动装置的设计、生产和运行应完全满足技术要求和符合标准规定的技术状态。要用分阶段检验的方法来检查是否满足了全部要求。尽管如此，传动装置在运行过程中仍会出现失效。这是因为传动装置的工作条件极其复杂，各种工作过程中各种因素的影响会使装置的性能参数值发生变化。此外，在设计、生产和运行中还会发生下列现象：材料物理性能和强度性能不一致，工艺过程不稳定和不统一，外力和载荷不固定。影响传动装置工作能力的所有工作过程可以分为下列三类：

1. **高速过程**。这个过程的特点是参数变化的速度很高，参数变化的周期不到百分之几秒。属于这种过程的有由机械振动和共振引起的元件振动，工作液体的压力脉动等。这种过程会影响元件的相互联系和相对位置，从而使传动装置的工作循环畸变。

2. **中速过程**。这个过程贯穿在机器的连续工作循环中，其持续时间以分和小时计。属于这种过程的有工作介质和工质的温度变化、湿度变化、工作液体的物理性能变化和密封的性能变化等。这种过程会引起传动装置的特性逐渐发生变化。

3. **慢速过程**。这个过程延续于整个运行期间。属于这种过程的有摩擦表面的磨损，材料的自然老化和疲劳，季节性温度、湿度变化等。它们都是发生运行性失效的原因。

除上述参数变化的过程以外，还有许多无法预知和计及的偶然因素影响传动装置的工作能力。所有上述的各个过程，就其本身的性质而言是必然会出现的，但对每一台具体

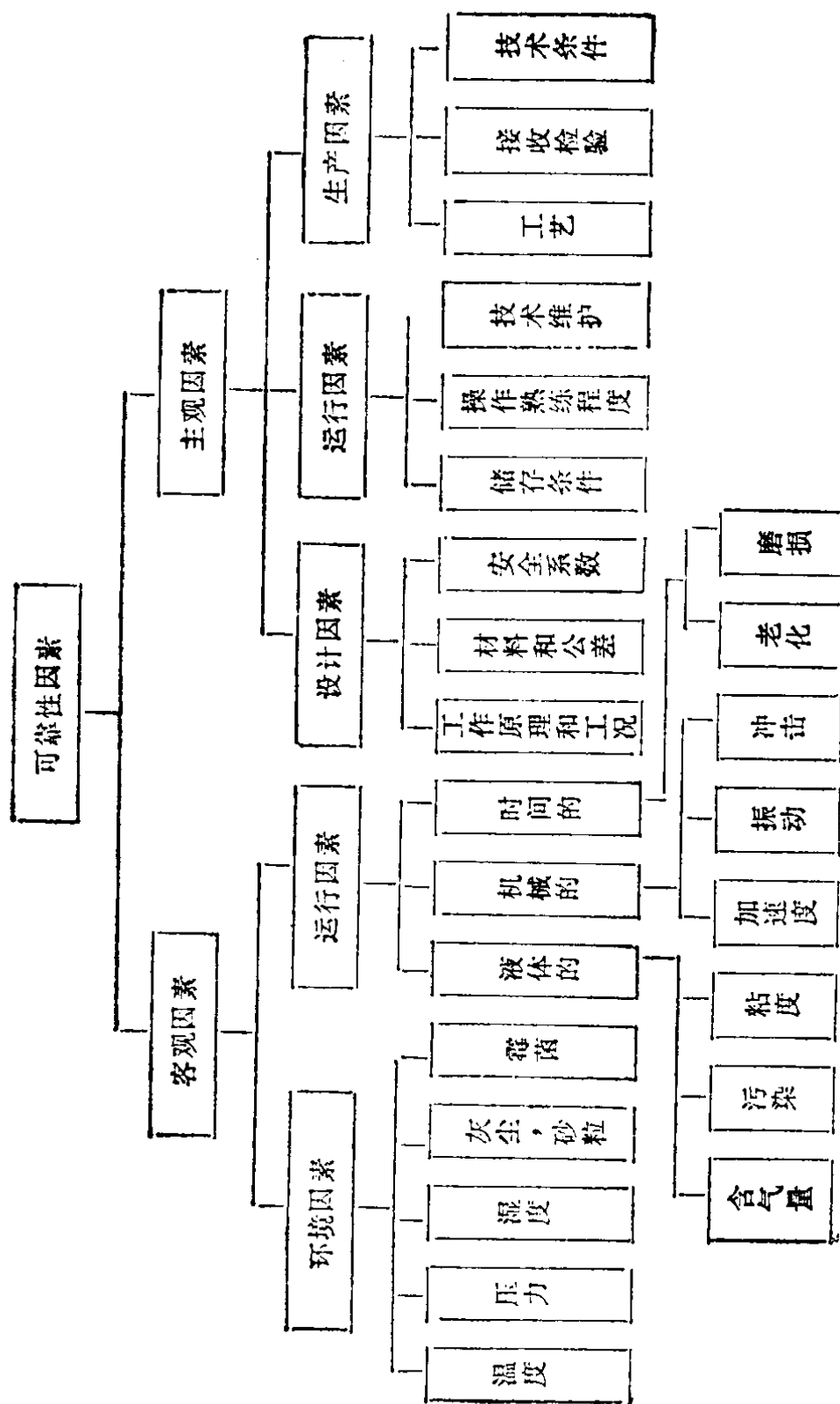


图1-3 决定可靠性的因素

的传动装置来说，以哪一个变化过程出现却是偶然的。决定传动装置可靠性的因素分类列于图 1-3。

气候因素。温度、湿度、大气压力、太阳辐射等均为气候因素。因素的影响程度取决于传动装置的用途和使用条件。

一般来说，正常的运行条件是：周围介质温度为 $293 \pm 10\text{K}$ ，空气相对湿度为 $60 \pm 20\%$ ，大气压力为 $1000 \pm 67\text{kPa}$ ，空气中无灰尘和其他杂质。显然，这种条件只有在精心布置的房间内获得。

温度是一种最活泼的外界环境因素。温度升高，大部分材料的机械性能恶化，弹性模量减小，强度极限降低。高温会引起多种塑料和橡胶材料老化。浸渍和润滑材料丧失粘性会引起泄漏，使机械元件过热。

低温会降低材料的机械强度，减小塑性，增加脆性，增大润滑剂粘度。

冷热交替变化对结构特别有害。温度剧变不仅使强度特性变化，还会改变线性尺寸，最终会破坏焊接连接，引起零件变形以及其他后果。譬如，复杂运动的随动传动装置（运输设备的舵轮传动装置），其外部元件的温度变形会改变作用在传动装置工作机构上的力，这在工质低温工况下特别明显。

降低温度会严重影响机器停车时密封处的密封性。这是因为丧失密封性与下列两种因素有关：密封中的接触压力和工作液体的粘度。

空气湿度也和温度一样，对传动装置工作能力的影响很大。材料吸收空气中的水蒸汽的性能称为吸湿性。吸湿性分为两类：一类是表面吸湿性，称为吸附性；另一类是整体吸

湿性，称为吸收性。相对湿度为60~70%时，材料表面会出现水分子层；湿度继续升高，水分子层变为多水分子层，水膜的厚度会达到数十微米。随着时间的推移，由于材料的吸收作用或密封性受到破坏，表面上的水分逐渐侵入材料的内部。水分的穿透速度视通道的大小和阻力而定。通道半径大于 $20\text{ }\mu\text{m}$ 者，水分呈液体状侵入传动装置；孔径小于 $20\text{ }\mu\text{m}$ 者，水分以蒸汽形式侵入。水分会引起材料锈蚀，改变导体和绝缘的机械性能和电气性能。

周围介质充满着大量灰尘。灰尘，特别是砂粒，会加速运动副的磨损，污染工作液体，堵塞节流阀件和通道。

液体作用。传动装置中传送动力的载体是液体或气体，因此，凡能改变工质特性的所有作用均会成为失效的来源。

液体作用指工作液体的净化程度、含水量及其温度特性。

对建筑机械和筑路机械传动装置发生的大量失效的分析表明，绝大多数失效均由工作液体受污染所致。为使系统免于污染，液体在供入系统之前和已在系统中的液体均须予以净化。但现有的各种净化方法不可能圆满完成这一任务。

在预备提供使用的工作液体中一般已经含有杂质。图1-4 示出 $\Pi\text{M}\Gamma-10$ 液压油中污物颗粒的分布密度 $\Delta n/N$ 和颗粒尺度 $d(\text{ }\mu\text{m})$ 的关系。液体贮存期间，由于为改善性能而使用的添加剂不

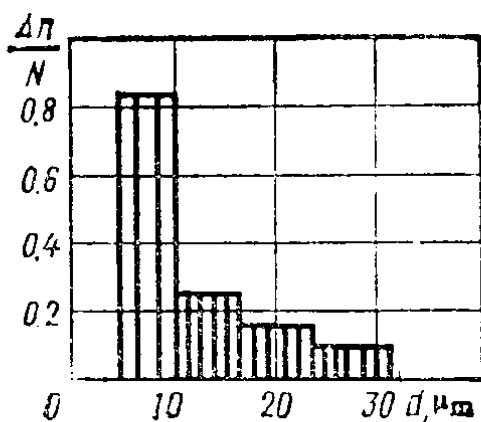


图1-4 已污染液体中分子的分布密度