

中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 42533—2023/ISO/TR 10686:2013

液压传动 系统 系统清洁度与构成 该系统的元件清洁度和油液污染度理论 关联法

Hydraulic fluid power—System—Method to relate the cleanliness of a hydraulic system to the cleanliness of the components and hydraulic fluid that make up the system

(ISO/TR 10686:2013, Hydraulic fluid power—Method to relate the cleanliness of a hydraulic system to the cleanliness of the components and hydraulic fluid that make up the system, IDT)

2023-05-23 发布

2023-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和单位 2

5 基本注意事项 3

6 元件至系统的清洁度预测(自下而上法) 5

7 系统至元件的清洁度预测(自上而下法) 7

8 单位容积清洁度和单位表面积清洁度之间换算 8

附录 A (资料性) 元件几何特征的测定 9

附录 B (资料性) 由各元件清洁度计算系统总成清洁度的示例 10

附录 C (资料性) 表面清洁度对油液污染度的影响 14

附录 D (资料性) 容积与表面积的关联 16

附录 E (资料性) 元件清洁度与零件清洁度的关联 17

参考文献 20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用 ISO/TR 10686:2013《液压传动 液压系统清洁度与构成该系统的元件清洁度和液压油液污染度理论关联法》，文件的类型由 ISO 的技术报告调整为我国的国家标准化指导性技术文件。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——为与现有标准协调，将标准名称改为《液压传动 系统 系统清洁度与构成该系统的元件清洁度和油液污染度理论关联法》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国液压气动标准化技术委员会(SAC/TC 3)归口。

本文件起草单位：北京欧洛普过滤技术开发公司、中国石化润滑油有限公司、河南济源钢铁(集团)有限公司、天津市罗根科兴科技有限公司、新乡平原航空技术工程有限公司、航空工业(新乡)计测科技有限公司、新乡市平菲液压有限公司、天津鸿河科技有限公司、九江七所精密机电科技有限公司、北京化工大学、中国矿业大学(北京)。

本文件主要起草人：杨森、付晓先、周波、李永健、曲丹丹、魏峰、杜立鹏、吕寄中、胡晓林、刘勇、李方俊、卢继霞。

引 言

液压系统的初始清洁度水平会影响其性能和使用寿命。在系统制造和组装后出现的颗粒污染物如不清除,会在系统中循环,并对系统元件造成损坏。为了减少这种破坏的可能性,将油液、液压传动系统内表面和系统元件清洁到指定等级。

理论上,已经安装完成的液压系统最终清洁度,能够用组成系统的元件和加入系统的油液中颗粒污染物总和来预测。

反过来,每个单独的元件和加入系统液体的要求的清洁水平可以根据最终系统所需的洁净度水平进行预测。本文件为这种预测方法提供理论基础。

液压传动 系统 系统清洁度与构成 该系统的元件清洁度和油液污染度理论 关联法

1 范围

本文件描述了以下常用方法：

- a) 关联系统清洁度与构成该系统的元件清洁度和油液污染度；
- b) 预测加入油液的液压系统安装完成后的最终清洁度，最终清洁度的预测基于系统中每个元件的清洁度和所加油液的污染度；
- c) 计算和管理构成系统的元件、组件以及油液的污染度要求，以便达到系统最终目标清洁度（RCL）。

 本文件规定的方法适用于任意尺寸的颗粒预测，也能够用于液压传动以外的其他油液系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 5598 流体传动系统及元件 词汇 (Fluid power systems and components—Vocabulary)

 注：GB/T 17446—2012 流体传动系统及元件 词汇 (ISO 5598:2008, IDT)

3 术语和定义

ISO 5598 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

湿表面积 wetted surface area

A

系统正常运行时，元件或系统接触到系统油液后的触油表面积。

注：符号 A_c 或 A_s 分别表示元件或系统的湿表面积。

示例：

带有两个齿轮的液压油泵（见图 1），其湿表面积能够计算为泵体（两个端盖和带有进出油口的壳体）的内表面积加上两个齿轮的外表面积之和。

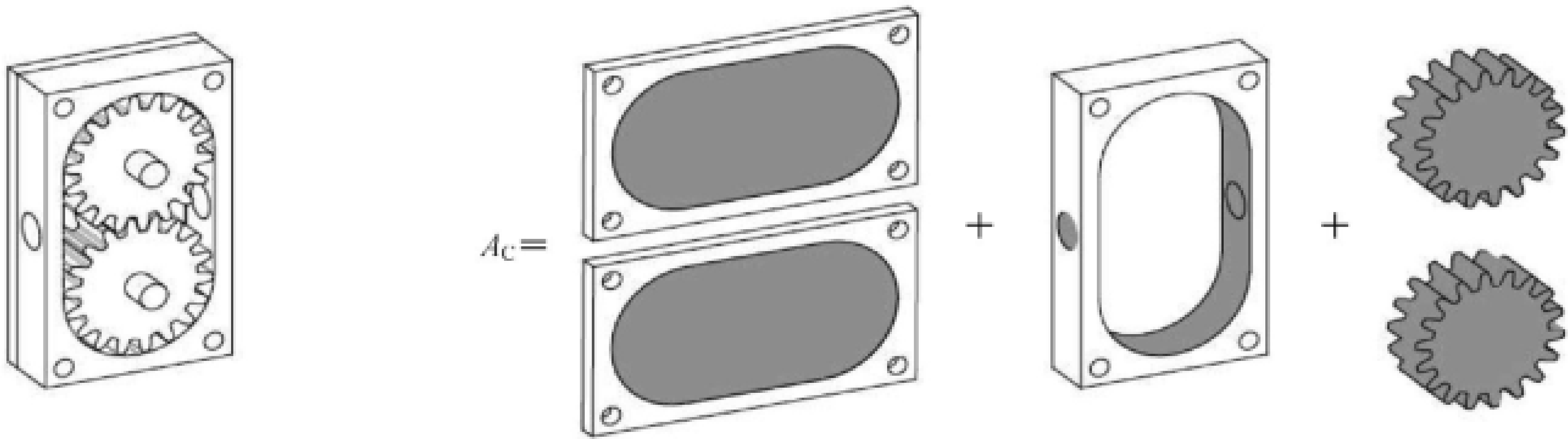


图 1 外啮合液压齿轮泵的湿表面积示意图

3.2

湿容积 **wetted volume**

容纳容积 **contained volume**

V

元件或系统在规定的最终使用运行状态下,内部与所容纳的系统油液体积等值的容积。

注: 符号 V_C 或 V_S 分别表示元件或系统的湿容积。

示例:

带有两个齿轮的液压油泵(见图 2)。湿容积可用泵体的容积减去两个齿轮的体积进行计算,或测量充满泵的油液的体积。

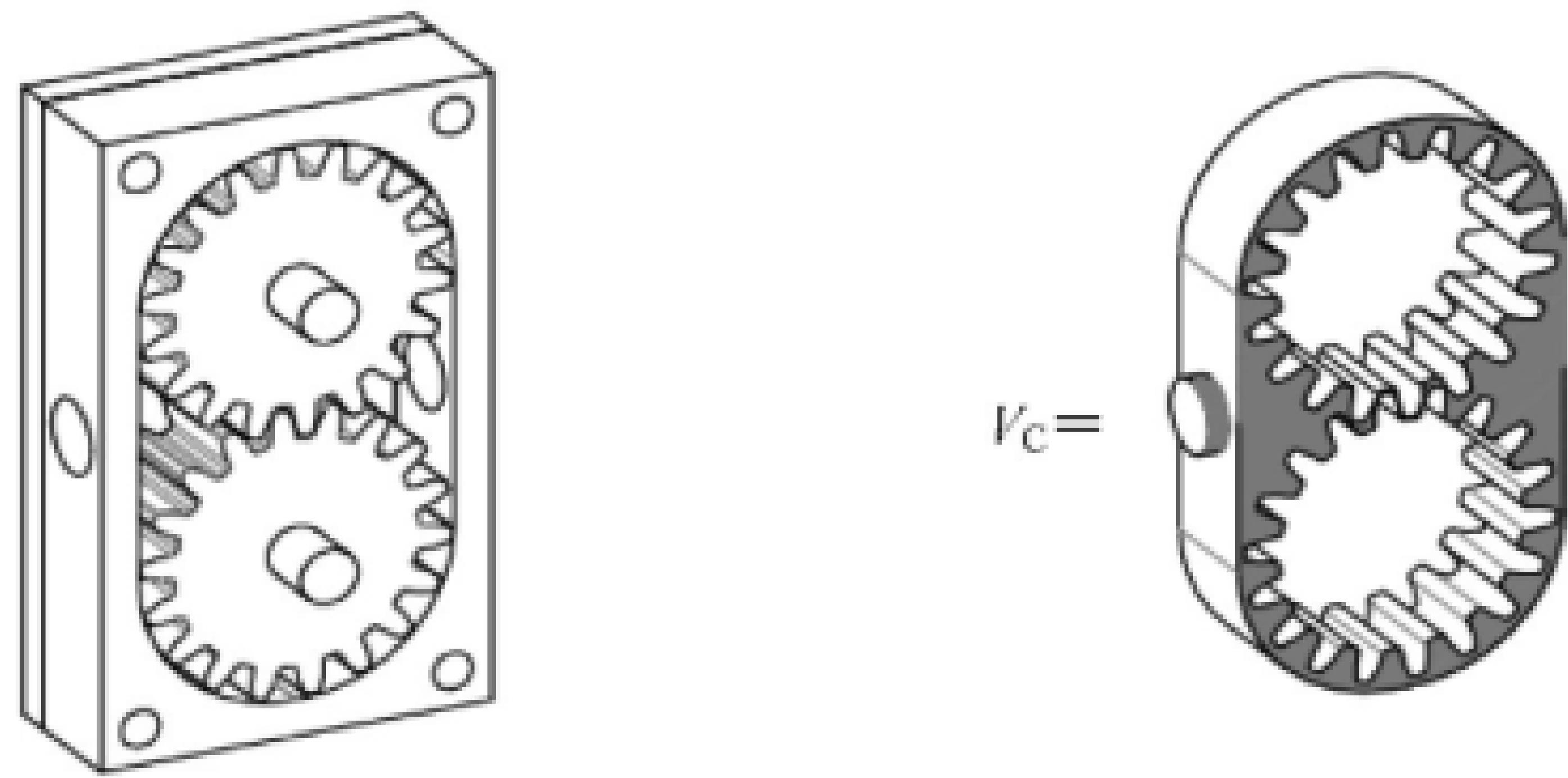


图 2 外啮合液压齿轮泵的湿容积示意图

4 符号和单位

表 1 列出的符号和单位适用于本文件。

表 1 符号和单位

符号	定义	单位
N_A	总成装配过程中侵入的给定尺寸的颗粒数	个
N_C	元件中给定尺寸的颗粒数	个
N_{Ci}	元件 i 中给定尺寸的颗粒数	个
N_S	未填充油液系统中给定尺寸的颗粒数	个
N_F	填充系统的油液中给定尺寸的颗粒数	个
N_{SF}	填充油液后的系统总成中给定尺寸的颗粒数	个
N_X	组件 X 中给定尺寸的颗粒数	个
A_C	元件的湿表面积	cm^2
A_S	未填充油液系统的湿表面积	cm^2
V_C	元件的湿容积	cm^3 (mL)
V_{Ci}	元件 i 的湿容积	cm^3 (mL)
V_S	未填充油液系统湿容积	cm^3 (mL)
V_F	填充系统的油液体积	cm^3 (mL)
V_{SF}	系统总成湿容积	cm^3 (mL)
V_X	组件 X 的湿容积	cm^3 (mL)

表 1 符号和单位 (续)

符号	定义	单位
C_c	元件的清洁度—— N_c/V_c	个/cm ³ 或个/mL
C_{ci}	元件 i 的清洁度	个/cm ³ 或个/mL
C_s	未填充油液系统的清洁度—— N_s/V_s	个/cm ³ 或个/mL
C_F	系统油液污染度—— N_F/V_F	个/cm ³ 或个/mL ^a
C_{SF}	系统总成清洁度—— N_{SF}/V_{SF}	个/cm ³ 或个/mL
^a 如果相关的颗粒尺寸是 ISO 4406 中包含的[即自动颗粒计数的 4 μm(c)、6 μm(c)、14 μm(c),显微镜计数的 5 μm 或 15 μm],则清洁度能够用 ISO 4406 标准等级代码表示。		

5 基本注意事项

5.1 颗粒污染

5.1.1 总则

液压系统中颗粒污染物生成和发展的物理和化学原理是多种多样且复杂的。本章涵盖系统清洁度有关联的一些基本原则。

5.1.2 系统中污染物分布的均匀性

当系统首次稳定运行时,如果没有系统过滤器或冲洗用过滤器,颗粒污染物被认为在整个系统中是均匀分布的。即:颗粒污染物在系统及元件的湿表面和系统的油液中均匀分布。因此认为所有油液和所有的湿表面具有相同的清洁度。

5.1.3 组件和颗粒污染物的实际位置

颗粒污染物附着在元件表面,或悬浮在油液中(见图 3)。即使颗粒污染物附着在元件的整个表面上,也仅考虑那些附着在湿表面上的颗粒污染物,因为只有它们才能进入油液并对系统造成损害。

5.1.4 组件污染物的理论位置

应用第 6 章、第 7 章描述的预测方法,认为附着在中空元件和组件湿表面的颗粒污染物就是悬浮在各组件中空容积中的颗粒污染物[见图 3b)]。

因为只有颗粒污染物从元件表面进入油液,才能增加油液污染并可能损坏系统,上述观点适用。中空元件、组件和系统的清洁度能够与油液的污染度相关联。

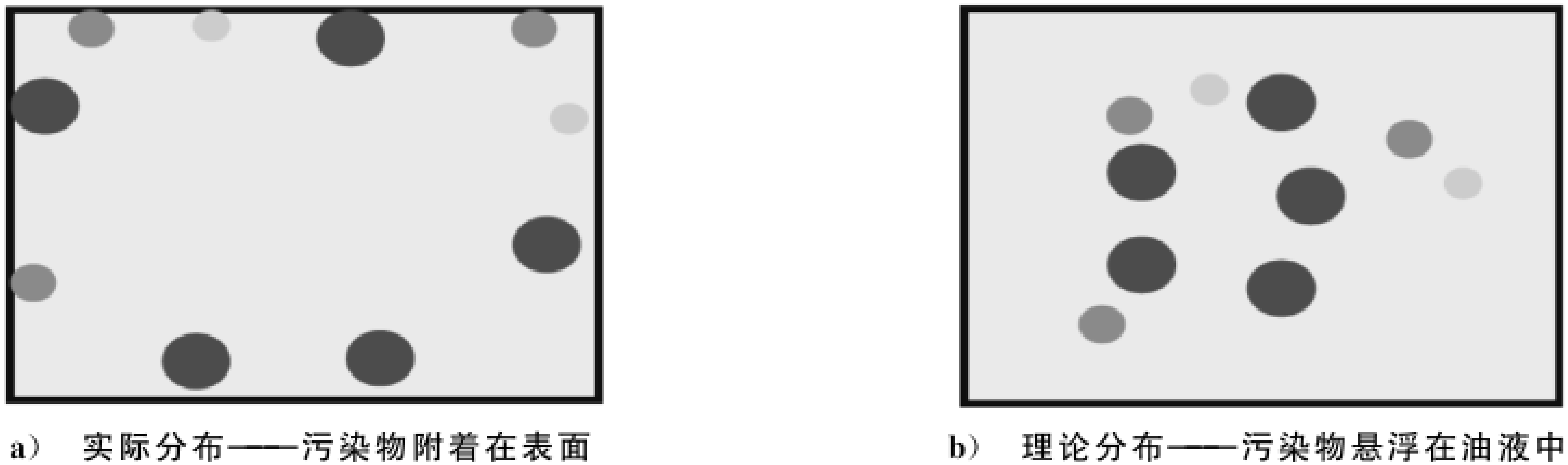


图 3 单位容积清洁度概念示意图

5.1.5 整体清洁度方法



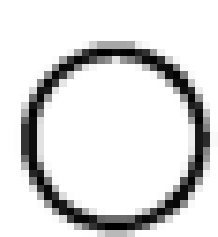
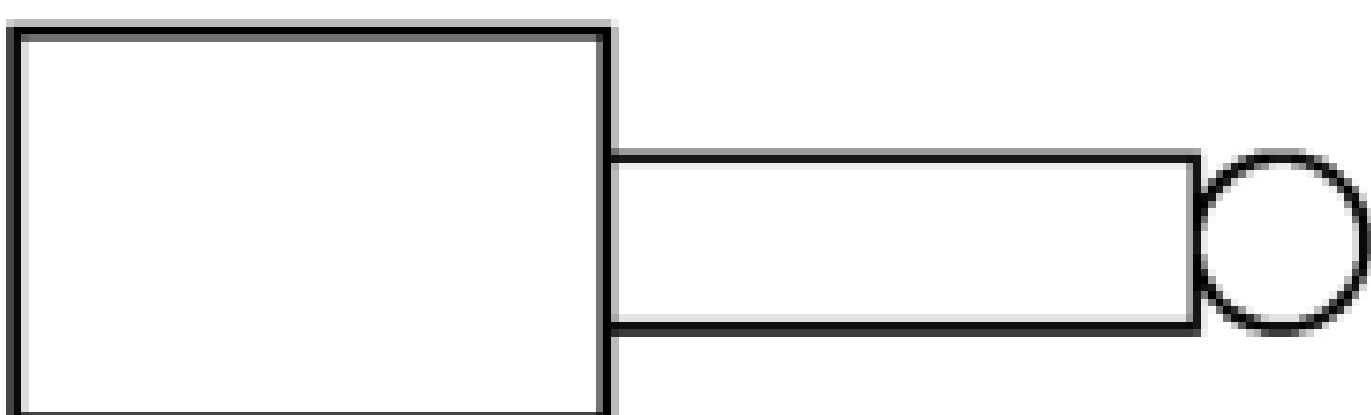
5.1.5.1 总成清洁度

在大多数液压回路结构中,使用下列表述:

- a) 当元件组装成组件,组件组装成系统时,颗粒污染物的数量是累加的,湿容积也是累加的;
- b) 未填充油液系统总成的清洁度是各元件内部和表面附着的颗粒污染物总数量与所有元件湿容积之和的比值;
- c) 未填充油液系统总成的清洁度既不是其组成元件的清洁度之和,也不是各个元件清洁度的平均值。

相关概念说明及示例见表 2。

表 2 清洁度计算示例表

项目	N_{Gi}	V_{Gi} mL	C_{Gi} mL^{-1}
元件 1 	5	10	$5/10=0.5$
元件 2 	5	2	$5/2=2.5$
元件 3 	2	1	$2/1=2$
总成 4 	$N_{C4} = \sum N_{Gi}$ $N_{C4} = 12$	$V_{C4} = \sum V_{Gi}$ $V_{C4} = 13$	$C_{C4} = \sum N_{Gi} / \sum V_{Gi}$ $12/13=0.92$
注: $C_{C4} \neq C_{C1} + C_{C2} + C_{C3}$, $C_{C4} \neq (C_{C1} + C_{C2} + C_{C3})/3$ 。			

5.1.5.2 填充油液的组件清洁度

当容积为 V_X 的中空组件,每毫升含有 N_X 个给定尺寸的颗粒污染物,填充满每毫升含有 N_F 个相同尺寸颗粒污染物的油液时,填充油液的组件清洁度为 $(N_X + N_F)/V_X$ 。

5.2 系统知识

5.2.1 系统结构

有必要准确了解位于所关注元件上游和下游的元件,以及元件所属的组件和组件所属的系统。

有必要了解如何管理每个零件的清洁度(即通过提高部分组件的清洁度,以降低对其他组件的清洁度要求),保证整体清洁度符合目标清洁度(RCL)要求。

5.2.2 几何特征

5.2.2.1 组件 X 的湿容积 (V_X)

组件的湿容积能够通过试验测量、计算机工程制图工具计算或从整个系统的 V/A 值得到,见附录 A。

5.2.2.2 组件 X 的湿表面积 (A_X)

组件的湿表面积能够通过计算机工程制图工具计算得到。

5.2.2.3 容积与表面积之比 (V/A)

当清洁度要求用单位表面积表示时,为应用清洁度预测方法,需将其换算为单位容积。换算方法见附录 D。

6 元件至系统的清洁度预测(自下而上法)

6.1 原则

6.1.1 假设装配过程无任何污染颗粒侵入元件。

注:实际上,这一假设在现实中并不成立。但是,通过比较总成装配元件的实际清洁度和根据本文件计算得出的理论清洁度,能够估算装配过程中侵入的污染物。

6.1.2 如果已知装配过程有污染物侵入,则能够将其计入相关组件的组成元件或组件侵入的污染物中。

6.1.3 液压系统安装完成后的污染颗粒是组成该系统的各组件带入的污染颗粒和填充油液带入的污染颗粒的总和。

6.1.4 组件的污染颗粒是构成该组件的每个元件带入的颗粒总和。

6.1.5 如果已知每个元件的清洁度和油液的污染度,则能够从理论上预测系统的最终清洁度。采用清洁度预测(CP)方法时装配过程中元件、未填充油液系统、油液和运行系统的清洁度关系见图 4。

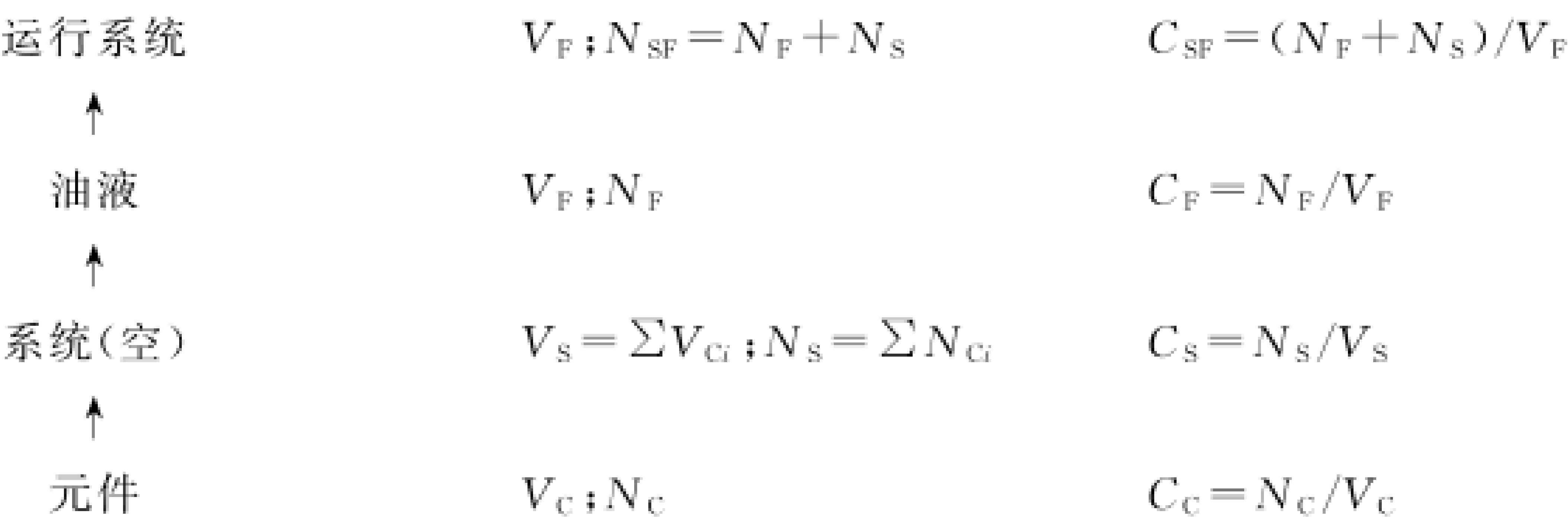


图 4 采用清洁度预测(CP)方法时装配过程中元件、未填充油液系统、油液和运行系统的清洁度关系图

6.2 元件清洁度的确定

6.2.1 概述

C_C 能够用元件单位湿容积[每毫升(mL^{-1})]的颗粒数表示。通过组成此元件的各零件的清洁度能够测量或计算该元件的清洁度(见附录 E)。

6.2.2 测量

测量是确定元件清洁度的首选方法。使用 ISO 18413 中定义的检验方法,测量被装配在系统(或组件)中的受污染元件的 N_C 。如果 N_A 是已知的,使用公式(1)计算元件的清洁度,单位为个/mL:

$$C_C = \frac{N_C + N_A}{V_C} \dots\dots\dots (1)$$

6.3 系统总成清洁度的预测

6.3.1 C_S 能根据组成该未填充油液系统的元件的清洁度来预测和计算。清洁度能够由 N_S 表示。该方法同样适用于构成系统的组件。

系统由 n 个元件组成,元件 i 的清洁度为 C_{Ci} ,每个元件带入 N_{Ci} 个颗粒(见 7.2)。使用公式(2)计算 n 个元件带入系统的 N_S :

$$N_S = \sum_{i=1}^n N_{Ci} \dots\dots\dots (2)$$

6.3.2 由 n 个元件构成的未填充油液系统,其湿容积为 V_S ,使用公式(3)计算 C_S :

$$C_S = \frac{N_S}{V_S} \dots\dots\dots (3)$$

注:系统的湿容积约等于每个元件湿容积之和。

6.3.3 如果 N_A 是已知的,使用公式(4)计算 C_S :

$$C_S = \frac{N_S + N_A}{V_S} \dots\dots\dots (4)$$

6.4 液压系统总成安装完成后的清洁度预测

6.4.1 液压系统总成安装完成后的清洁度,能够根据未填充油液系统的清洁度和油液的污染度预测。

6.4.2 使用公式(5)计算 N_S (式中 C_S 见 6.3):

$$N_S = C_S \times V_S \dots\dots\dots (5)$$

6.4.3 使用适当的颗粒计数方法测量油液的污染度(例如,根据 ISO 4407 的显微镜计数或按照 ISO 11500 的自动计数),并表示为单位容积的颗粒数($C_F = N_F/V_F$,例如,由 ISO 4406 级别定义的最大颗粒数)。使用公式(6)计算填充油液侵入到未填充油液系统中的 N_F :

$$N_F = C_F \times V_F \dots\dots\dots (6)$$

注 1: V_F 可能与 V_S 不同。例如,当系统容积被部分填充时。

注 2: ISO 4407 和 ISO 11500 给出的结果可能稍有不同。重要的是使用相同的方法来评估系统和其组成元件的污染程度。

6.4.4 使用公式(7)计算液压系统总成安装完成后的 C_{SF} :

$$C_{SF} = \frac{N_S + N_F}{V_F} \dots\dots\dots (7)$$

6.5 实际预测

6.5.1 具有相同清洁度元件的总成

假设总成装配过程没有侵入污染物(即 $N_A = 0$),能够预测由 n 个 C_{Ci} 相同的元件组装成的未填充油液系统清洁度,未填充油液系统清洁度与元件的清洁度相同($C_S = C_C$)。实际预测过程的示例见表 3,类似示例见表 B.2。

表 3 用元件的清洁度来预测总成的实际清洁度示例

项目	N_{Ci}	V_{Ci} mL	C_{Ci} mL^{-1}
元件 1:D13272EZ.EPS	10	10	$10/10=1$
元件 2:D13272FZ.EPS	2	2	$2/2=1$
元件 3:D13272GZ.EPS	1	1	$1/1=1$
总成 4:D13272HZ.EPS	13	13	$13/13=1$

6.5.2 填充相同污染度油液的系统

向清洁度为 C_s 的未填充油液系统填充与其具有相同污染度[即 $C_F = C_s$, 单位体积(每毫升)中 $N_F = N_s$]的油液时,系统油液单位体积[每毫升(mL^{-1})]中的颗粒数为原来的 2 倍,如公式(8)所示:

$$C_{SF} = \frac{N_s + N_F}{V_F} = 2 \frac{N_F}{V_F} = 2 \frac{N_s}{V_s} \dots\dots\dots (8)$$

注:如果油液的污染度按照 ISO 4406 表示,假设组装的未填充油液系统的清洁度与填充油液的污染度相同,液压系统总成安装完成后的清洁度,能够预测为比油液污染度等级高出一个 ISO 4406 标准等级代码。事实上,平均每增加一个 ISO 4406 标准等级代码,在 1 mL 油液中的颗粒数量是原来的 2 倍。

7 系统至元件的清洁度预测(自上而下法)

7.1 原则

7.1.1 液压系统总成安装完成后的目标清洁度能够由其使用的 C_{SF} 表述,也能够使用符合 ISO 4406 要求的标准等级代码来表示。

7.1.2 根据自下而上的清洁度预测方法(见第 6 章),元件和组件的污染物计入由它们累加的容积之和中($N_s = \sum N_{Ci}, V_s = \sum V_{Ci}, C_s = N_s/V_s$),而未填充油液系统的污染物和填充油液的污染物($N_{SF} = N_s + N_F$)计入相同的 V_F 中。由于等式($N_{SF} = N_s + N_F$)有多种解决方案,用户既能够指定相同的规格要求,也能够根据技术和(或)经济因素管理和权衡这些要求。

7.2 相同清洁度需求的说明

7.2.1 未填充油液系统清洁度和填充油液的污染度均等于整个系统清洁度要求的一半。即 $C_s = C_F = C_{SF}/2, N_s/V_s = N_F/V_F = N_{SF}/2V_{SF}$ (单位为个/mL)。

注:如果使用基于几何级数 2(如 ISO 4406)的等级代码或分级表示清洁度,则未填充油液系统的清洁度和油液所需的污染度为一个更小的等级代码。根据 ISO 4406,若液压系统总成安装完成后要求的清洁度等级代码为 18/16/13,能通过控制未填充油液系统清洁度等级代码为 17/15/12、加注油液污染度等级代码为 17/15/12 来实现。

7.2.2 按照 6.5.1 中描述的原则,对于未填充油液系统总成清洁度的需求,能够完全转换为对于构成它的所有组件和元件的清洁度要求,即 $C_s = C_c = C_{SF}/2$ (单位为个/mL)。应用示例见表 2。

7.3 不同清洁度要求的说明

7.3.1 对于油液和构成系统的所有元件,达到给定的清洁度要求在经济上或技术上未必可行,因此清洁度预测方法允许在符合最终系统运行清洁度要求的前提下,根据各自需求进行单独管理。

7.3.2 为了满足这些要求,能够应用附录 B 描述的计算机化的清洁度预测(CP)方法,它提供的软件允许在清洁度(组件单位容积的颗粒数)和所有组件的 ISO 4406 标准等级代码间进行转换。应用示例见附录 B。

- 注 1: 系统总成首次运行的可靠性取决于组成系统的元件对颗粒污染物的敏感度。多数情况下,元件越复杂(即 V/A 值越小)对污染物越敏感。
- 注 2: 由于在系统总成首次运行时,油液流经元件并完全转移到元件下游,因此在没有合适过滤器的情况下,需要确保污染敏感元件的上游没有污染等级较高的元件。

8 单位容积清洁度和单位表面积清洁度之间换算

8.1 V/A 值

所有系统、组件和元件都有湿容积,其目标清洁度单位为个/mL,因此第 6 章、第 7 章所规定的清洁度预测(CP)方法能够适用。但相关数据需慎重解读,如表 B.1 所示。系统通常比某些组件更为简单,其 V/A 值比复杂敏感元件 V/A 值更高(例如,泵与阀)。

8.2 表面清洁度对油液污染度的影响

如图 1 所示,首次运行时,元件中的颗粒污染物能转移到填充油液里,然后被带入下游元件中。污染表面对两个拥有不同 V/A 值元件的油液污染度的影响,见附录 C。

附录 A
(资料性)
元件几何特征的测定

A.1 A_c 的测定

尽可能使用计算机工程制图工具计算元件湿表面积。如果不能,使用现有已知 A_c 的形状相同的元件进行计算。否则,使用湿容积计算。

A.2 V_c 的测定

A.2.1 计算方法

如果计算机工程制图工具提供此项计算功能,则 V_c 能够通过电子手段计算得到。

A.2.2 试验方法

A.2.2.1 确保元件内部干燥。

A.2.2.2 只开启一个或几个必要的端口,关闭其他所有端口,使元件完全充满油液。

A.2.2.3 制备体积(V_1)约为元件预计容积 1.3 倍的试验油液,并将试验油液放置在容器中。

注 1: 重要提示——试验油液与元件材料相容,且黏度小于 5 mm²/s。

注 2: 测量容器中试验油液的净重,然后除以密度,得到体积。

A.2.2.4 向元件内小心添加试验油液,根据需要轻缓移动元件避免空气混入,以便元件内部充满试验油液。

A.2.2.5 确定容器中试验油液体积(V_2)。

A.2.2.6 使用公式(A.1)确定 V_c :

$$V_c = V_1 - V_2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

附录 B
(资料性)

由各元件清洁度计算系统总成清洁度的示例

B.1 概述

根据清洁度预测(CP)方法的原则,允许绘图部门和液压系统设计者开发和使用自有软件去模拟元件、组件、填充液和整个系统的不同清洁度。如果已知组成系统的元件清洁度,清洁度预测(CP)方法和应用软件能够预测组装系统的清洁度。清洁度预测(CP)方法能够用于从理论上量化装配较脏或较清洁元件或向系统注入较脏或较洁净油液时,对系统总成清洁度的影响。本附录使用电子表格解释这个计算方法。

B.2 系统

简单示例:系统由六个元件组成(见图 B.1),其几何特征见表 B.1。

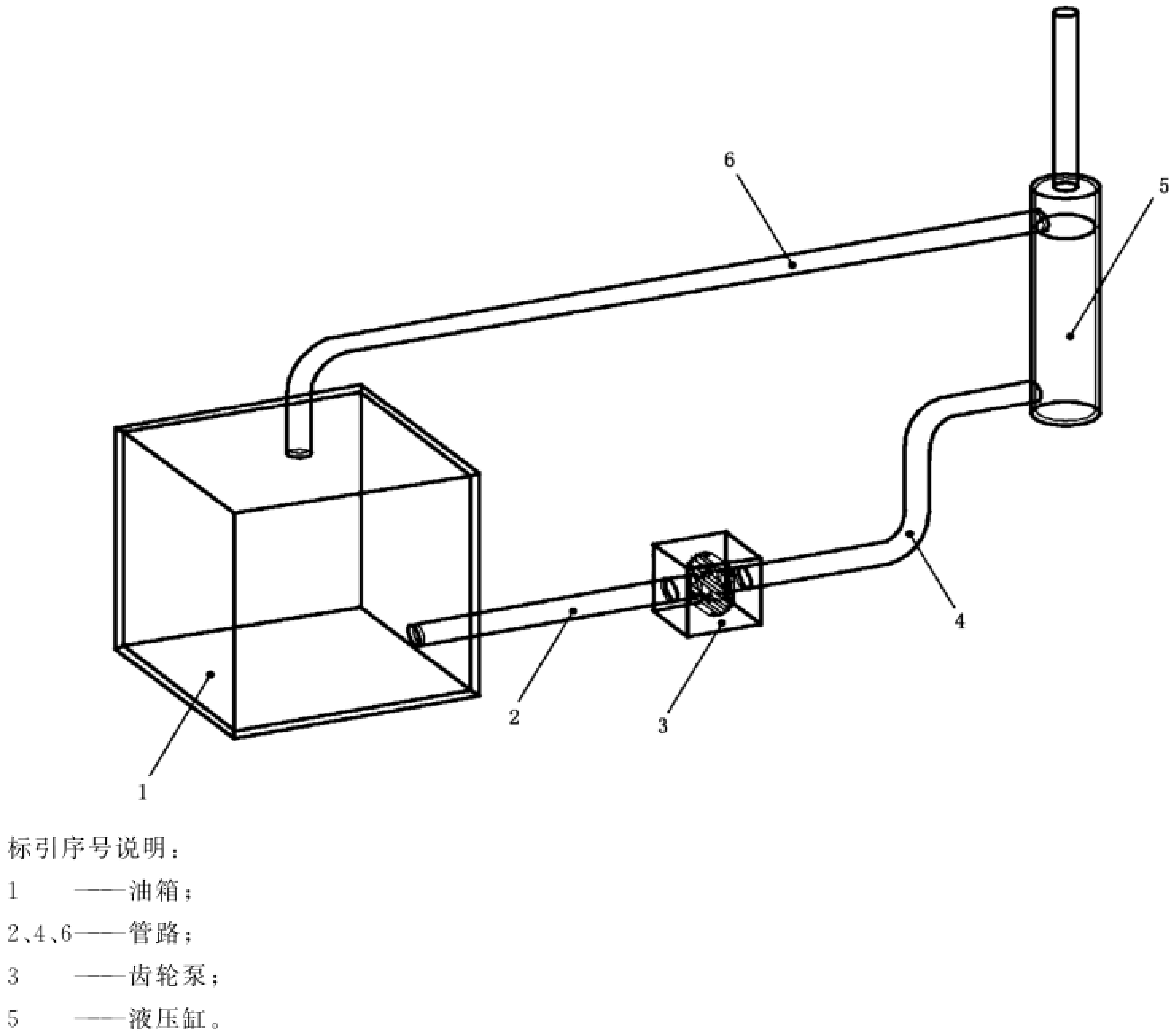


图 B.1 简单的液压原理示意图

表 B.1 图 B.1 中液压元件和总成系统的几何特性

项目		V/mL	A/cm ²	V/A 值 mL/cm ²
油箱	(1)	885	553	1.6
管路	(2)	5.3	26.6	0.2
	(4)	8.5	42.3	0.2
	(6)	17.2	85.9	0.2
齿轮泵	(3)	1.8	31.5	0.05
液压缸	(5)	31.2	55.0	0.56
系统总成		949	794	1.19
填充油液		684	—	—

B.3 颗粒清洁度等级模拟计算

通过元件的容积及其清洁度和油液的体积及其污染度能够预测系统总成的清洁度(输入每个元件的 *N* 值,自动计算清洁度),也能够通过对清洁度的管理获得给定的最终结果(输入清洁度,自动计算每个元件的 *N* 值)。

B.3.1 计算过程

- 计算表格的组成如下。
- 有尽可能多的行,列出所有关注组件(从简单到复杂)、系统总成、填充油液以及安装完成后的液压系统。
 - 第一列列出了上述组件。
 - 第二列列出了各组件的颗粒数。元件和油液中的颗粒数是测得的,各组件和未填充油液系统中的颗粒数是各元件的颗粒数之和;安装完成后的液压系统,包含的颗粒数是未填充油液系统和填充油液两者颗粒数的总和。
 - 第三列列出了各元件、组件、系统、油液的湿容积。安装完成后的液压系统的湿容积等于填充油液的体积。
 - 第四列列出各组件的清洁度,通过比较表格中的单位容积颗粒数确定元件的清洁度和油液的污染度,表达方式与 ISO 4406 一致。

B.3.2 运作模式

- B.3.2.1** 在 B.3.1 计算表格的第一列填写除了组件、未填充油液系统和安装完成后的系统所在行以外的各项。在 B.3.1 计算表格的第三列填入各组件的容积,通过软件计算各个组件和系统的清洁度。
- B.3.2.2** 如果需要,在 B.3.1 计算表格的第四列中列入假设的元件清洁度,以量化其对操作系统清洁度的影响。

B.3.3 示例

- B.3.3.1** 组成系统的所有组件的清洁度计算示例见表 B.2。

表 B.2 总成系统的清洁度计算示例

项目		每个元件中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数 ^a	容积/mL	每毫升中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数	组件 X 的清洁度 (C_x)
油箱	(1)	4 430	885	5	9
管路	(2)	30	5.3	5	9
	(4)	40	8.5	5	9
	(6)	90	17.2	5	9
泵	(3)	10	1.78	5	9
液压缸	(5)	160	31.2	5	9
系统总成		4 700	949	5	9
填充油液		3 400	684	5	9
整个系统		8 200	684	12	10
注：本示例中的清洁度由 ISO 4406 规定的颗粒数确定。					
^a 表中每个元件中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数是 ISO/TR 10686:2013 中的 100 倍。					

B.3.3.2 通过改变系统总成中某个元件(包括油液)的目标清洁度,实现对系统各个元件相对清洁度的管理,同时满足系统总成安装完成后目标清洁度的示例,见表 B.3 和表 B.4。

表 B.3 在填充了超净油液的系统中的应用示例

项目		每个元件中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数 ^a	容积/mL	每毫升中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数	组件 X 的清洁度 (C_x)
油箱	(1)	2 210	885	3	8
管路	(2)	30	5.3	5	9
	(4)	40	8.5	5	9
	(6)	170	17.2	10	10
泵	(3)	70	1.78	40	12
液压缸	(5)	80	31.2	3	8
系统总成		2 600	949	3	9
填充油液		0	684	0	2
整个系统		2 600	684	4	9
^a 表中每个元件中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数是 ISO/TR 10686:2013 中的 100 倍。					

表 B.4 在由易清洗元件和污染元件组成的系统中的应用示例

项目		每个元件中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数 ^a	容积/mL	每毫升中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数	组件 X 的清洁度 (C_X)
油箱	(1)	40	885	0	2
管路	(2)	10	5.3	3	8
	(4)	90	8.5	10	10
	(6)	170	17.2	10	10
泵	(3)	2 310	1.78	1 300	17
液压缸	(5)	160	31.2	5	9
系统总成		2 800	948.98	3	9
填充油液		400	684	1	6
整个系统		3 200	684	5	9
^a 表中每个元件中大于 $X(\mu\text{m})$ 的颗粒数是 ISO/TR 10686:2013 中的 100 倍。					

附录 C
(资料性)

表面清洁度对油液污染度的影响

C.1 概述

本附录以外啮合齿轮泵与油箱为例说明了各元件、组件和系统的初始清洁度对系统运转初期加入的油液的污染度的影响。

该示例基于 B.1 中描述的包含两个元件的简单系统：油箱和外啮合齿轮泵。假设它们被超净油液完全充满，没有任何颗粒污染物。

C.2 计算

C.2.1 数据

以外啮合齿轮泵与油箱为例，其容积、表面积等典型数据见图 C.1。

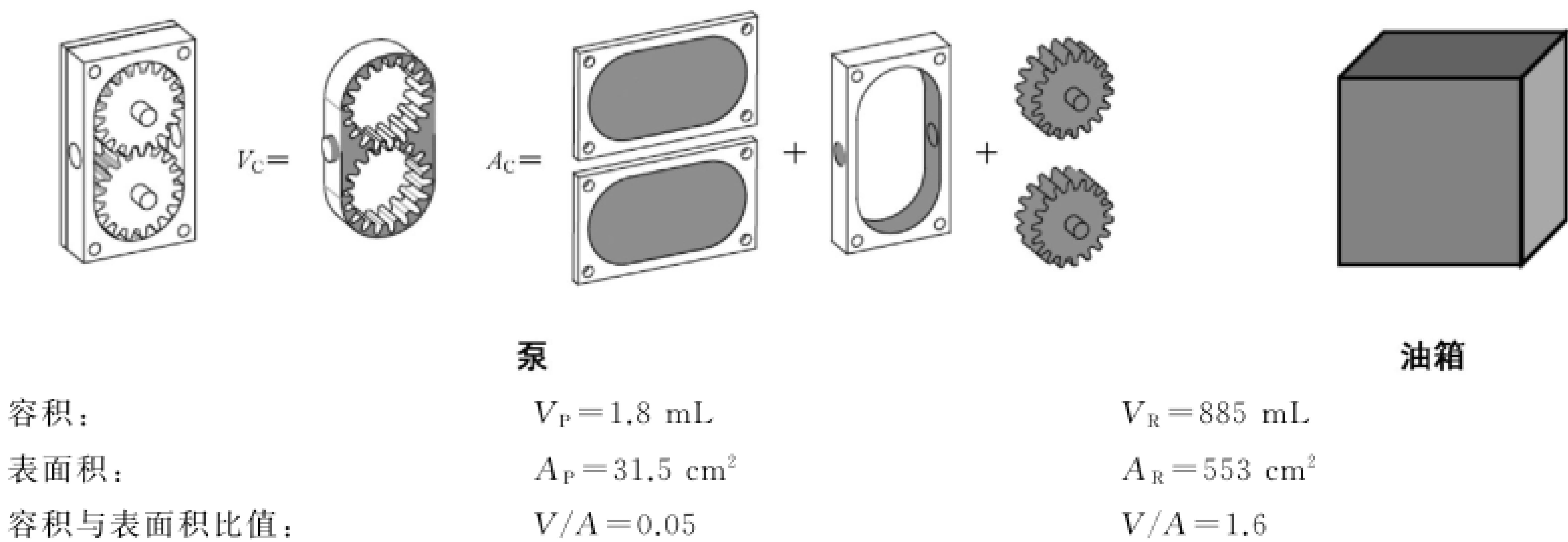


图 C.1 外啮合齿轮泵与油箱的图解

C.2.2 相同表面清洁度的计算示例

C.2.2.1 如果油箱和外啮合齿轮泵的表面清洁度是相等的，则 $N_R/A_R = N_P/A_P$ 。为此，假设该清洁度为 500 个/cm²。

注：当不同元件在同一清洗设备中一起清洗时，它们的表面清洁度实际上是相同的。

C.2.2.2 计算两个元件中的颗粒数：

- 油箱： $N_R = 500 \times 553 = 276\,500$ (个)；
- 泵： $N_P = 500 \times 31.5 = 15\,750$ (个)。

C.2.2.3 假设两个元件被超净油液($N_F = 0$)充满，污染物颗粒从表面进入油液中(见图 C.1 外啮合齿轮泵与油箱的图解)。最终的油液污染度计算如下：

- 油箱： $C_R = N_R/V_R = 276\,500/885 = 312.4$ (个/mL)；
- 泵： $C_P = N_P/V_P = 15\,750/1.8 = 8\,750$ (个/mL)。

对油液而言，泵中每毫升的颗粒数是油箱中的 28 倍($8\,750 \div 312.4$)。

C.2.3 相同容积清洁度的计算示例

C.2.3.1 如果油箱和外啮合齿轮泵的容积清洁度是相等的，则 $N_R/V_R = N_P/V_P$ 。为此，假设这个清洁

度为 320 个/cm² 或 320 个/cm²。

C.2.3.2 计算两个元件中的颗粒数：

——油箱： $N_R = 320 \times 884 = 282\,880$ (个)；

——泵： $N_P = 320 \times 1.8 = 576$ (个)。

C.2.3.3 假使这些污染物粘附在两个元件的湿表面，最终的表面清洁度计算如下：

——油箱： $C_R = N_R / A_R = 282\,880 / 553 = 511.5$ (个/cm²)；

——泵： $C_P = N_P / A_P = 576 / 31.5 = 18$ (个/cm²)。

油箱的湿表面每平方厘米包含的颗粒数约为泵的湿表面的 28 倍(511÷18)。

C.3 实践结果

C.3.1 相同表面清洁度

相同表面积清洁度首次试机实际运行时，油液离开油箱时的 ISO 4406 标准等级代码为 15 级，油液离开泵时的 ISO 4406 标准等级代码为 20 级，升高了 5 个 ISO 4406 标准等级代码。如果泵下游的元件对污染物比较敏感，且没有过滤器保护，则该元件可能在系统总成首次运行时损坏。然而，随着内部污染物被冲出，从泵内出来的相对较高的污染物浓度的持续时间不足 1 s。

C.3.2 相同容积清洁度

指定相同容积清洁度的实际结果，是要使安装完成后的液压系统达到指定的清洁度，则所有元件需要具有相同的容积清洁度，并通过容积与面积之比得到表面清洁度。因此，几何结构复杂的元件需要比简单元件更加仔细地进行清洗。

C.3.3 清洁度管理

如果由于技术或经济原因难以达到要求的表面清洁度，用附录 B 中描述的实用软件实现清洁度预测(CP)方法来管理此类需求，在理论上预测含有更多污染元件(即污染度较高)对系统总成清洁度的影响。

附录 D
(资料性)
容积与表面积的关联

D.1 容积与表面积的比值(几何因子)

液压系统的几何结构能够通过因子 G 来表示,因子 G 是 V_s 与 A_s 的比值,即: $G=V_s/A_s$ 。
单个元件的几何形状用因子 G' 来表示,因子 G' 是 V_c 与 A_c 的比值,即: $G'=V_c/A_c$ 。
组件越复杂, V/A 越小。多种液压元件的 V/A 典型值见表 D.1。
当 G 或 G' 及其所属元件的容积已知时,可用于计算元件或零件的湿表面积。相反地,它们也可用于将表面积清洁度转换为容积清洁度。

表 D.1 多种液压元件的 V/A 典型值

液压元件	V/A 典型值 mL/cm ²
油箱	1~5
管路	0.2
液压缸	0.5~0.6
泵	0.001~0.05
阀	0.001
完整过滤器	0.05~2
完整系统	0.2~4

D.2 表面积清洁度转换为容积清洁度

将单位湿表面积的清洁度(个/cm² 或等效物)转换为单位湿容积的清洁度(个/mL),需要了解元件、组件或系统的 V/A 值或它所属的元件或系统。此时,容积清洁度等于表面积清洁度除以 V/A 。

D.3 容积清洁度转换为表面积清洁度

将单位湿容积的清洁度(每毫升颗粒数)转换为单位湿表面积的清洁度(个/mL),需要了解元件、组件或系统的 V/A 值。此时,表面积清洁度等于容积清洁度乘以 V/A 。

附录 E
(资料性)
元件清洁度与零件清洁度的关联

E.1 概述

第 6 章和第 7 章说明了将多个元件的清洁度与完整系统的清洁度相关联,并以从元件到系统的方式预测总成清洁度,用从整个系统预测到逐个元件的方法确定每个元件的清洁度。

第 6 章和第 7 章中提到的方法,都能够从元件扩展到零件,直到覆盖整个工业系统的需求。

本附录说明了从元件预测到其组成的所有零件,反之亦然。由于某些零件没有湿容积,只有一个湿表面积(例如,泵的齿轮和端盖),因此建议使用一个简单的关系,将零件的湿容积转换为其湿表面积。

E.2 总则

表 E.1 列出了与零件相关的信息。

表 E.1 零件相关符号和单位

符号	说明或解释	单位
N_P	零件内部和/或零件表面给定尺寸的颗粒数	个
N_{Pi}	零件 i 内部和/或零件 i 表面给定尺寸的颗粒数	个
A_P	零件的湿表面积	cm^2
A_{PT}	零件的总表面积	cm^2
V_P	零件的湿容积	个/ cm^3 或个/mL
C_P	零件的清洁度(N_P/V_P)	个/ cm^3 或个/mL

E.3 元件的清洁度预测(自下而上法)

E.3.1 概述

元件的污染是组成该元件的各个零件所带入的颗粒物数量的总和。

E.3.2 零件清洁度的测定

E.3.2.1 概述

用于装配元件的零件的 C_P ,能够通过测量或计算获得并以 N_P 表示。

E.3.2.2 测量

测量是确定零件清洁度的首选方法。使用适当且经验证的方法能够对待组装零件的 N_P 进行测量。有关实际细节,参见 ISO 18413。

如果已经提取 A_{PT} , A_P 上的 N_P 使用公式(E.1)计算:

$$N_P = N'_P \times \frac{A_P}{A_{PT}} \dots\dots\dots (E.1)$$

E.3.2.3 计算

如果已知 C_P (单位为个/mL 或个/cm³) 和相关几何特征 [V_P 或 A_P], N_P 使用公式 (E.2) 或公式 (E.3) 计算。

$$N_P = C_P \times V_P \dots\dots\dots (E.2)$$

$$N_P = C_P \times A_P \dots\dots\dots (E.3)$$

E.3.3 预测

E.3.3.1 根据 6.2.2 能够测量元件的清洁度。

E.3.3.2 C_C 也能根据组成元件的每个零件的清洁度进行预测 (计算)。通过每个零件 (P_i) 侵入元件 N_{Pi} 个颗粒, 由 n 个零件组成的元件中的颗粒数使用公式 (E.4) 计算:

$$N_C = \sum_{i=1}^n N_{Pi} \dots\dots\dots (E.4)$$

E.3.3.3 如果元件的湿容积是 V_C , 则其 C_C 用公式 (E.5) 计算:

$$C_C = \frac{N_C}{V_C} = \frac{(\sum N_{Pi})}{V_C} \dots\dots\dots (E.5)$$

E.4 依据元件清洁度要求确定零件清洁度

E.4.1 空心零件

当制造元件的零件具有自身的湿容积时, 其清洁度要求用个/mL 表示, 零件的清洁度与元件清洁度的规格相同。

E.4.2 实体零件

E.4.2.1 将实体零件 (即无湿容积) 的目标清洁度用个/mL 为单位表示时, 需要知道其组成元件的几何参数 V_C/A_C (或 G')。

E.4.2.2 用容积目标清洁度 (单位为个/mL) 乘以 V_C/A_C (或 G') 能够转换为表面积目标清洁度 (单位为个/cm²)。

E.4.2.3 如果不知道元件的 V_C/A_C , 则需要知道组成元件的所有零件的 A_{Pi} ($A_C = \sum A_{Pi}$)。在这种情况下, 通过 C_C (单位为个/mL) 乘以 V_C [单位为每毫升 (mL⁻¹)] 计算总的颗粒数 (N_C), 然后将 N_C 除以元件的湿表面积 A_C 得到 C_C , 即 $C_C = N_C/A_C$ (单位为个/cm²)。然后假设污染物的表面颗粒数相同, 则零件的 C_P 与元件的 C_C 相同, 即 $C_P = N_P/A_P = C_C = N_C/A_C$ (单位为个/cm²), 见图 E.1。

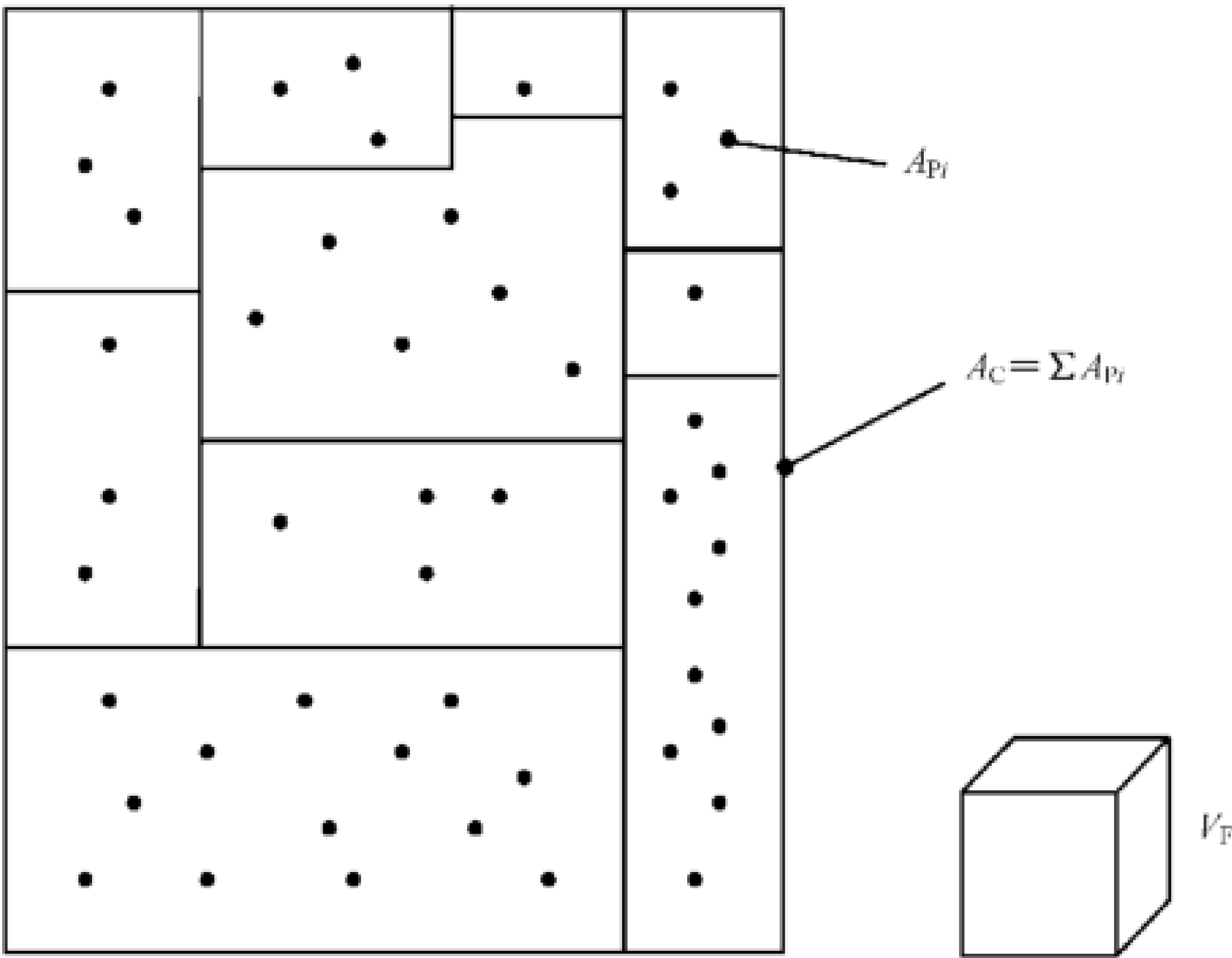


图 E.1 表面污染物和湿容积的关系示意图

E.4.2.4 在缺少元件几何数据时(V_c/A_c 值未知),能够使用系统的几何因子 V_s/A_s 。如果 V_s/A_s 也未知,则能够使用 G 因子[正常运行时 V_F 与 A_s 的比值]。然后,用单位容积颗粒数(个/mL)表示的目标清洁度(如 ISO 4406 等级代码)乘以 G 因子,能够转换为用单位表面积颗粒数(单位为个/cm²)表示的目标清洁度,见公式(E.6)所示:

$$C_P = (C_{SF} - 1) \times G$$

.....(E.6)

式中:

- C_P ——零件的清洁度,单位为个/cm²;
- C_{SF} ——根据 ISO 4406 表示的安装完成后系统的目标清洁度;
- G —— V_F/A_s 值。

E.4.2.5 慎重解读数据很重要,如 5.2.2.3 所示,系统通常比某些元件简单得多。其 V/A 值可能远高于复杂敏感元件(如泵或阀)的 V/A 值。表 B.1 中报告的实际值说明了这一点。

参 考 文 献

[1] ISO 4406 Hydraulic fluid power—Fluids—Method for coding the level of contamination by solid particles

[2] ISO 4407 Hydraulic fluid power—Fluid contamination—Determination of particulate contamination by the counting method using an optical microscope

[3] ISO 11500 Hydraulic fluid power—Determination of the particulate contamination level of a liquid sample by automatic particle counting using the light-extinction principle

[4] ISO 16431 Hydraulic fluid power—System clean-up procedures and verification of cleanliness of assembled systems

[5] ISO 18413 Hydraulic fluid power—Cleanliness of parts and components—Inspection document and principles related to contaminant collection, analysis and data reporting
