

团 体 标 准

T/CECA-G 0342—2025

泵机系统数字化运行能效指标计算方法

Calculation method of energy efficiency index for digitalized operation of pumping system

2025-02-24 发布

2025-02-25 实施

中国节能协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 泵运行能效指标	2
5 管路系统运行能效指标	2
6 传动装置运行能效指标	4
7 电动机和变频器系统运行能效指标	6
8 冷却和润滑系统运行能效指标	8
9 数字化在线监测系统运行能效指标	9
10 泵机集成系统运行能效指标	9
附 录 A （资料性） 泵机系统运行能效监测传感器安装位置和使用说明	11
附 录 B （规范性） 泵机系统能耗计算公式	13
附 录 C （资料性） 阀门和管路阻力特性曲线图和表	17

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国石油大学（北京）和上海凯士比泵有限公司提出。

本文件由中国节能协会归口。

本文件起草单位：中国石油大学（北京）、上海凯士比泵有限公司、浙江金龙电动机股份有限公司、大唐火力发电技术研究院、昆明嘉和智慧科技有限公司、浙江大学、清华大学、重庆大学、南京高精齿轮集团有限公司、江苏大学、江苏华飞宇节能技术有限公司、驰美电动机（浙江）有限公司、朗坤智慧科技股份有限公司、上海汇电电子技术有限公司、杭州哲达科技股份有限公司、凯士比泵阀技术服务（天津）有限公司、烟台龙港泵业有限公司、利欧集团浙江泵业有限公司、道恩集团、中国海洋石油集团有限公司、上海交通大学。

本文件主要起草人：王保钢、罗先武、吴大转、张金亚、王劲松、魏静、武鹏、张志超、邢辉、蔡敬松、麻剑锋、毛旭初、邬明均、马茂生、叶锦武、陈培伦、黄超、朱炯毅、郭梦青、刘东升、单长河、于晓宁、邱焕玲、沙玉俊、许文超、郑剑平、吴献、杨颖、陈兴、陈进、张金凤、陈海、邱宁、郑浩。

本文件为首次发布。

泵机系统数字化运行能效指标计算方法

1 范围

本文件描述了泵机系统数字化运行能效指标计算方法，包括泵、管路系统、传动装置、电动机和变频器系统、冷却和润滑系统、数字化在线监测系统、泵机集成系统运行能效指标能耗与能效计算方法。

本文件适用于泵机系统数字化运行能效指标的计算。

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。

GB/T 755 旋转电动机 定额和性能

GB/T 3216 回转动力泵 水力性能验收试验 1级、2级和3级

GB/T 12497 三相异步电动机经济运行

GB/T 12668.901 调速电气传动系统 第9-1部分：电气传动系统、电机起动器、电力电子设备及其传动应用的生态设计 采用扩展产品法（EPA）和半解析模型（SAM）制定电气传动设备能效标准的一般要求

GB/T 12668.902 调速电气传动系统 第9-2部分：电气传动系统、电机起动器、电力电子设备及其传动应用的生态设计 电气传动系统和电机起动器的能效指标

GB/T 13007 离心泵 效率

GB 18613 电动机能效限定值及能效等级

GB 19762 清水离心泵能效限定值及节能评价

GB/Z 22559.1 齿轮 热功率 第1部分：油池温度在95℃时齿轮装置的热平衡计算

GB/Z 22559.2 齿轮 热功率 第2部分：热承载能力计算

GB/T 22669 三相永磁同步电动机试验方法

GB/T 22670 变频器供电三相笼型感应电动机试验方法

GB 25958 小功率电动机能效限定值及能效等级

GB 30253 永磁同步电动机能效限定值及能效等级

GB 30254 高压三相笼型异步电动机能效限定值及能效等级

GB 32284 石油化工离心泵能效限定值及能效等级

GB/T 38274 润滑系统 能效评定方法

GB/T 39984 泵系统能耗评估

JB/T 11706.1 三相交流电动机拖动典型负载机组能效等级。第1部分：清水离心泵组能效等级

NB/T 10463 变频调速设备的能效限定值及能效等级

T/SEESA 003 止回阀能效等级及评价方法

T/CGDF 00006 泵组运行能效限定值及能效等级

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

泵机系统 pumping system

由泵、电动机、变频器、传动装置及管路阀门、滤网和连接件的管路系统，冷却与润滑辅助系统构成的液体输送系统。

3.2

泵机运行数字化在线监测系统 online monitoring system for digital operational pumping units

由传感器、数据采集仪、无线或有线网络、网关和控制器组成的数字化能耗在线监测系统。其典型配置见附录图 A.1。

3.3

泵机系统总运行能效指标 total operational energy efficiency index of pumping system

泵运行有效输出功率与外部总输入泵机系统运行功率的比值。

4 泵运行能效指标

4.1 一般规定

泵运行能效指标应符合下列规定：

- a) 清水离心泵能效限定值应符合 GB 19762 的规定；
- b) 石化离心泵能效等级应符合 GB 32284 的规定；
- c) 泵系统能耗评估应符合 GB/T 39984 的规定；
- d) 清水离心泵机能效值应符合 JB/T 11706.1 的规定；
- e) 离心泵效率值应符合 GB/T 13007 的规定；
- f) 回转动力泵测量应符合 GB/T 3216 的规定；
- g) 泵机能效限定值及能效等级应符合 T/CGDF 00006 的规定；
- h) 压力、温度、流量、转速和扭矩等传感器安装位置见附录图 A.1，说明见附录表 A.1。

4.2 泵运行能量损耗

泵运行能量损耗按公式（1）计算：

$$P_{bs} = P_{b0} - P_{b1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- P_{bs} —— 泵运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
- P_{b0} —— 泵运行输入的轴功率，单位为千瓦（kW）；
- P_{b1} —— 泵运行有效输出功率，单位为千瓦（kW）。

泵运行输入的轴功率按附录 B.1 计算。泵运行有效输出功率按附录 B.2 计算。

4.3 泵运行能效

泵运行能效应根据泵输出流体有效功率与输入泵的轴功率的比值确定，按公式（2）计算：

$$\eta_{pb} = \frac{P_{b1}}{P_{b0}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- η_{pb} —— 泵运行能效，无量纲；
- P_{b0} —— 泵运行输入的轴功率，单位为千瓦（kW）；
- P_{b1} —— 泵运行有效输出功率，单位为千瓦（kW）。

5 管路系统运行能效指标

5.1 一般规定

管路系统运行能效指标符合下列规定：

- a) 管路系统压力能量损耗应计算或测量泵机系统中阀门和管路（含滤网和连接件等元件）的能量损耗；
- b) 管路能量损耗应为沿程阻力能量损耗和局部阻力能量损耗之和；
- c) 确定准确的管路系统特性、选择匹配的泵型和阻力最小的管路元件，可提高泵机系统运行经济性和能效指标。止回阀能效等级及评价方法应按 T/SEESA 003 执行；
- d) 压力、温度、流量等传感器安装位置见附录图 A.1，说明见附录表 A.1。

5.2 管路系统运行能量损耗

5.2.1 总则

通过确定阀门和管路（含连接件、滤网等单个元件）的压力能量损耗，可得到管路系统中压力能量损耗总和。

5.2.2 阀门运行流体能量损耗

阀门运行时流体能量损耗按公式（3）计算：

$$P_{vf} = 1 \times 10^{-3} Q p_{vf} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P_{vf} —— 阀门运行流体能量损耗，单位为千瓦（kW）；

p_{vf} —— 压力损失，单位为帕斯卡（Pa）；

Q —— 通过阀门流量，单位为立方米每秒（m³/s）。

阀门结构和相应阻力系数见附录图 C.1 和表 C.1。

5.2.3 驱动阀门运行能量损耗

驱动阀门运行能量损耗应包括驱动机构上摩擦力的能量损耗和阀门驱动机构泄漏能量损耗 P_{uf} 。

5.2.4 管路运行能量损耗

管路运行能量损耗计算符合下列规定：

- a) 管路运行时的损失应包括管道沿程损失，与管道相连的弯头、进出口，以及管道截面面积变化造成的局部损失；
- b) 管路运行时的能量损耗 P_{pg} 按附录B.3计算；
- c) 管路阻力系数见附录表 C.2～表 C.7，以及图 C.2～图 C.5。

5.2.5 管路系统运行总能量损耗

管路系统运行总能量损耗按公式（4）计算，阀门驱动机构上摩擦力的能量损耗忽略不计：

$$P_{ps} = \sum_1^{k_f} (P_{vf} + P_{uf}) + \sum_1^{k_g} P_{pg} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P_{ps} —— 管路系统运行总能量损耗，单位为千瓦（kW）；

k_f —— 管路系统中阀门的数量；

k_g —— 管路系统中管路的数量；

P_{vf} —— 阀门运行流体能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{uf} —— 阀门驱动机构泄漏能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{pg} —— 管路运行能量损耗，单位为千瓦（kW）。

5.3 管路系统运行能效指标

5.3.1 阀门运行能效指标

阀门运行能效指标按公式（5）计算：

$$\eta_v = \frac{P_{v1}}{P_{v0}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

η_v —— 阀门运行能效指标，无量纲；

P_{v1} —— 阀门运行液体输出功率，单位为千瓦（kW）；

P_{v0} —— 阀门运行总输入功率，包括液体输入功率和阀门驱动机构输入功率，单位为千瓦（kW）。

5.3.2 管路运行能效指标

管路运行能效指标按公式（6）计算：

$$\eta_{pg} = \frac{P_{pg1}}{P_{pg0}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

η_{pg} —— 管路系统运行能效指标，无量纲；

P_{pg0} —— 管路液体输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{pg1} —— 管路液体输出功率，单位为千瓦（kW）。

6 传动装置运行能效指标

6.1 一般规定

传动装置输出扭矩 N_{b1} 和转速 n_{b1} 应通过与传动装置输出轴联接的扭矩和转速传感器分别测量。传动装置输出功率等于输入泵的轴功率 P_{b0} ，应按照附录 B.1 计算。

扭矩和转速传感器安装位置见附录图 A.1，说明见附录表 A.1。

6.2 传动装置运行能量损耗

6.2.1 齿轮传动运行能量损耗

齿轮传动运行能量损耗应由载荷能量损耗 P_{lj} 和空载能量损耗 P_{nj} 组成。载荷能量损耗 P_{lj} 应按附录 B.4 计算。空载能量损耗 P_{nj} 应按附录 B.5 计算。

6.2.2 带传动运行能量损耗

带传动运行能量损耗应包括由带体弹性变形与滑动引起的能量损耗和轴承摩擦能量损耗。

6.2.3 液力耦合传动运行能量损耗

液力耦合传动运行能量损耗应包括液体在液力耦合器工作腔内流动能量损耗和液体进入工作轮入口处冲击能量损耗，以及工作轮表面与空气、轴承、轴封等机械摩擦能量损耗。

6.2.4 磁力传动运行能量损耗

磁力传动运行能量损耗应包括转子和定子之间摩擦和磁涡流能量损耗。

6.2.5 机电一体变速传动运行能量损耗

传动装置变速调节应通过变频器调节辅助电动机完成。机电一体变速传动运行能量损耗 P_j 应包括机械能量损耗、辅助电动机和变频器能量损耗。

6.3 传动装置运行能效指标

6.3.1 齿轮传动运行能效指标

齿轮传动运行能效指标按公式（7）计算：

$$\eta_{gj} = \frac{P_{gj1}}{P_{gj0}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

η_{gj} —— 齿轮传动运行能效指标，无量纲；

P_{gj1} —— 齿轮传动输出功率，单位为千瓦（kW）；

P_{gj0} —— 齿轮传动总输入功率，包括电动机输入功率、冷却系统输入功率和润滑系统输入功率，单位为千瓦（kW）。

齿轮传动运行能量损耗在数值上等于（ $P_{gj0} - P_{gj1}$ ），单位为千瓦（kW）。

6.3.2 带传动运行能效指标

带传动运行能效指标按公式（8）计算：

$$\eta_{pf} = \frac{P_{pf1}}{P_{pf0}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

η_{pf} —— 带传动运行能效指标，无量纲；

P_{pf0} —— 带传动输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{pf1} —— 带传动输出功率，单位为千瓦（kW）。

带传动运行能量损耗在数值上等于（ $P_{pf0} - P_{pf1}$ ），单位为千瓦（kW）。

6.3.3 液力耦合传动的运行能效指标

液力耦合传动运行能效指标按公式（9）计算：

$$\eta_y = \frac{N_{y1}n_{y1}}{N_{y0}n_{y0}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

η_y —— 液力耦合传动运行能效指标，无量纲；

N_{y0} —— 液力耦合传动输入转矩，单位为牛顿·米（N·m）；

n_{y0} —— 液力耦合传动输入转速，即输入轴转速，单位为转/分钟（r/min）；

N_{y1} —— 液力耦合传动输出转矩，单位为牛顿·米（N·m）；

n_{y1} —— 液力耦合传动输出转速，单位为转/分钟（r/min）。

液力耦合传动运行能量损耗在数值上等于（ $\frac{\pi n_{y0}N_{y0}}{30} - \frac{\pi n_{y1}N_{y1}}{30}$ ），单位为千瓦（kW）。

6.3.4 磁力传动运行能效指标

磁力传动运行能效指标按公式（10）计算：

$$\eta_c = \frac{P_{cl}}{P_{c0}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

η_c —— 磁力传动运行能效指标，无量纲；

P_{c0} —— 磁力传动输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{cl} —— 磁力传动输出功率，单位为千瓦（kW）。

磁力传动运行能量损耗在数值上等于 $(P_{c0} - P_{cl})$ ，单位为千瓦（kW）。

6.3.5 机电一体变速传动运行能效指标

机电一体变速传动运行能效指标按公式（11）计算：

$$\eta_{jf} = \frac{P_{jf1}}{P_{jf0}} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

η_{jf} —— 机电一体变速传动运行能效指标，无量纲；

P_{jf0} —— 机电一体变速传动输入功率，包括辅助系统输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{jf1} —— 机电一体变速传动输出功率，单位为千瓦（kW）。

机电一体变速传动输入功率 P_{jf0} 按附录 B. 6 确定。

机电一体变速传动运行能量损耗 P_j 在数值上等于 $(P_{jf0} - P_{jf1})$ ，单位为千瓦（kW）。

7 电动机和变频器系统运行能效指标

7.1 一般规定

电动机和变频器系统运行能效指标应符合下列规定：

a) 电动机性能及能效应符合 GB/T 755 和 GB 25958。Y 系列高压电动机等异步电动机运行能效应符合 GB 18613，测试结果应满足电动机效率要求或效率曲线要求。三相异步电动机经济运行按 GB/T 12497 执行；

b) 电动机能效应符合 GB 30254，效率测试按 GB/T 22669 或 GB/T 22670 执行。永磁同步电动机能效等级在额定输出功率下实测效率均不应低于 GB 30253；

c) 变频调速设备能效限定值及能效等级按 NB/T 10463 执行；

d) 电压、电流、扭矩、转速等传感器安装位置和使用说明见附录图 A.1 和表 A.1；

e) 应通过与电动机输出轴联接的扭矩和转速传感器，分别测量电动机输出扭矩 N_{b0} 和转速 n_{b0} 。电动机输出功率 P_{ed1} 即为输入泵的轴功率，按附录 B. 1 计算。

7.2 电动机和变频器运行能量损耗

7.2.1 电动机运行能量损耗

异步电动机和永磁同步电动机运行能量损耗，应包括负载能量损耗、空载能量损耗，以及杂散能量损耗。电动机运行负载能量损耗 P_{ld} 按附录 B. 7 计算。电动机空载能量损耗 P_{nd} 按附录 B. 8 计算。电动机运行能量损耗 P_{ed} 按附录 B. 9 计算。

7.2.2 湿定子电动机运行能量损耗

湿定子电动机运行能量损耗应包括电磁涡流能量损耗，以及转子摩擦能量损耗。湿定子电动机能量损耗 P_{qws} 按附录 B.10 计算。

7.2.3 屏蔽电动机运行能量损耗

屏蔽电动机运行能量损耗 P_{gp} 按附录 B. 11 计算。

7.2.4 变频器能量损耗

变频器能量损耗，应包括供电系统损耗、开关损耗、通态损耗。变频器运行能量损耗 P_{bpt} 按附录 B. 12 计算。

7.3 电动机和变频器运行能效指标

7.3.1 电动机运行能效指标

电动机运行能效指标计算应符合下列规定：

a) 异步电动机与永磁同步电动机运行能效指标应按公式 (12) 计算：

$$\eta_{ed} = \frac{P_{ed1}}{P_{ed0}} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

η_{ed} —— 电动机运行能效指标，无量纲；

P_{ed0} —— 电动机输入功率，单位为千瓦 (kW)；

P_{ed1} —— 电动机输出功率，单位为千瓦 (kW)。

b) 对于变频器驱动的电动机，电动机输入功率应与变频器输出功率相等；

c) 对于无变频器驱动的电动机，应通过在电动机接线端采用电流与电压传感器分别测量电动机输入线电流和输入线电压，得到电动机输入功率。输入功率应按公式 (13) 计算：

$$P_{ed0} = \sqrt{3} \times 10^{-3} U_0 I_0 \cos \varphi \dots\dots\dots (13)$$

式中：

P_{ed0} —— 电动机输入功率，单位为千瓦 (kW)；

$\cos \varphi$ —— 电动机功率因数，无量纲；

U_0 —— 电动机输入线电压，单位为伏特 (V)；

I_0 —— 电动机输入线电流，单位为安培 (A)。

d) 应通过与电动机输出轴联接的扭矩和转速传感器，分别测量电动机输出扭矩和转速，电动机输出功率即为输入泵的轴功率，应按附录 B.1 计算。扭矩与转速安装位置和使用说明见附录图 A.1 和表 A.1。

异步电动机与永磁同步电动机运行能量损耗 P_{ed} 在数值上等于 $(P_{ed0} - P_{ed1})$ ，单位为千瓦 (kW)。

7.3.2 湿定子电动机运行能效指标

湿定子电动机运行能效指标按公式 (14) 计算：

$$\eta_{ews} = \frac{P_{ws1}}{P_{ws0}} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

η_{ews} —— 湿定子电动机运行能效指标，无量纲；

P_{ws0} —— 湿定子电动机输入功率，单位为千瓦 (kW)；

P_{ws1} —— 湿定子电动机输出功率，单位为千瓦 (kW)。

湿定子电动机运行能量损耗 P_{qws} 在数值上等于 $(P_{ws0} - P_{ws1})$ ，单位为千瓦 (kW)。

7.3.3 屏蔽电动机运行能效指标

屏蔽电动机运行能效指标按公式 (15) 计算：

$$\eta_{epb} = \frac{P_{pb1}}{P_{pb0}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

η_{epb} —— 屏蔽电动机运行能效指标，无量纲；

P_{pb0} —— 屏蔽电动机输入功率，单位为千瓦 (kW)；

P_{pb1} —— 屏蔽电动机输出功率，单位为千瓦 (kW)。

屏蔽电动机运行能量损耗 P_{qp} 在数值上等于 $(P_{pb0} - P_{pb1})$ ，单位为千瓦 (kW)。

7.3.4 变频器运行能效指标

变频器运行能效指标按公式（16）计算：

$$\eta_{bp} = \frac{P_{bp1}}{P_{bp0}} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

η_{bp} —— 变频器运行能效指标，无量纲；

P_{bp0} —— 变频器输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{bp1} —— 变频器输出功率，单位为千瓦（kW）。

变频器运行能量损耗 P_{bpl} 在数值上等于 $(P_{bp0} - P_{bp1})$ ，单位为千瓦（kW）。

7.4 电动机和变频器系统总运行能效指标

变频器直接驱动电动机运行能效指标按公式（17）计算：

$$\eta_{edb} = \frac{P_{ed1}}{P_{bp0}} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

η_{edb} —— 变频器直接驱动电动机的总运行能效指标，无量纲；

P_{bp0} —— 变频器的输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{ed1} —— 电动机输出功率，单位为千瓦（kW）。

8 冷却和润滑系统运行能效指标

8.1 一般规定

冷却和润滑系统运行能效指标应符合下列规定：

a) 泵机系统中，冷却系统运行能量损耗应包括电动机、冷却循环泵、换热器、输送冷却液的管路系统等运行能量损耗；

b) 泵机系统中，润滑系统运行能量损耗应包括电动机、润滑泵、冷却器、电加热器、输送润滑油的管路系统等运行能量损耗。润滑系统中，电动机、润滑泵、冷却器、电加热器的试验条件及测试应符合 GB/T 38274；

c) 冷却和润滑系统传感器如压力、温度和流量的安装位置和使用说明见附录图 A.1 和表 A.1。

8.2 冷却和润滑系统运行能量损耗

8.2.1 冷却系统运行能量损耗

冷却系统中的泵、阀门和管路能量损耗可按第4章和第5章的规定计算。冷却系统能量损耗 P_{lq} 应按附录B.13计算。

8.2.2 润滑系统运行能量损耗

润滑系统中的泵、阀门和管路能量损耗可按第4章和第5章的规定计算。润滑系统能量损耗 P_{rh} 应按附录B.14计算。

8.3 冷却和润滑系统运行能效指标

8.3.1 冷却系统运行能效指标

冷却系统运行能效指标按公式（18）计算：

$$\eta_{lq} = \frac{P_{lq1}}{P_{lq0}} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

η_{lq} —— 冷却系统运行能效指标，无量纲；

P_{lq0} —— 冷却系统运行总输入功率，包括循环泵电动机输入功率和换热器输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{lq1} —— 冷却系统运行输出有效功率，单位为千瓦（kW）。

冷却系统运行能量损耗 P_{lq} 在数值上等于 $(P_{lq0} - P_{lq1})$ ，单位为千瓦（kW）。

8.3.2 润滑系统运行能效指标

润滑系统运行能效指标按公式（19）计算：

$$\eta_r = \frac{P_{r1}}{P_{r0}} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

η_r —— 润滑系统运行能效指标，无量纲；

P_{r0} —— 润滑系统总输入功率，包括润滑泵电动机输入功率、电加热器输入功率和冷却器输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{r1} —— 润滑系统有效输出功率，单位为千瓦（kW）。

润滑系统运行能量损耗 P_{rh} 在数值上等于 $(P_{r0} - P_{r1})$ ，单位为千瓦（kW）。

9 数字化在线监测系统运行能耗

9.1 一般规定

数字化在线监测系统中采集仪、网关和数据管控平台安装位置 and 使用的说明见附录图 A.1。

9.2 数字化在线监测系统运行能量损耗

数字化在线监测系统运行能量损耗应按下列公式计算。

a) 数字化在线监测系统运行输入功率应按公式（20）计算：

$$P_{a0} = P_{sen} + P_{col} + P_{gat} + P_{sup} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

P_{a0} —— 在线监测系统运行输入功率，单位为千瓦（kW）；

P_{sen} —— 传感器功率，单位为千瓦（kW）；

P_{col} —— 数据采集仪功率，单位为千瓦（kW）；

P_{gat} —— 网关功率，单位为千瓦（kW）；

P_{sup} —— 控制器输入功率，单位为千瓦（kW）。

b) 数字化在线监测系统运行总发热能量损耗 P_{et} 按附录B.15计算。

10 泵机集成系统运行能效指标

10.1 概述

泵、管路系统、传动装置、电动机和变频器系统、冷却和润滑系统、数字化在线监测系统的运行能耗之和，即为数字化泵机系统的总能耗。

10.2 泵机集成系统运行总能量损耗

数字化泵机系统运行总能量损耗按公式（21）计算：

$$P_{all} = P_{bs} + P_{ps} + P_j + P_{ed} + P_{bpt} + P_{lq} + P_{rh} + P_{et} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

P_{all} —— 数字化泵机系统运行总能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{bs} —— 泵运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{ps} —— 管路系统运行总能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_j —— 机电一体变速传动运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{ed} —— 异步电动机与永磁同步电动机运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{bpt} —— 变频器运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{lq} —— 冷却系统运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{rh} —— 润滑系统运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{et} —— 数字化在线监测系统运行总发热能量损耗，单位为千瓦（kW）。

10.3 泵机集成系统运行总能效

数字化泵机系统运行时的总输入功率包括变频器输入功率 P_{bp0} 、冷却系统的输入功率 P_{lq0} 、润滑系统的输入功率 P_{r0} ，以及数字化在线监测系统输入功率 P_{a0} 。数字化泵机系统的总输入功率 P_0 按照公式（22）计算：

$$P_0 = P_{bp0} + P_{lq0} + P_{r0} + P_{a0} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

P_0 —— 泵机系统的总输入功率，单位为千瓦（kW）；
 P_{bp0} —— 变频器的输入功率，单位为千瓦（kW）；
 P_{lq0} —— 冷却系统的输入功率，单位为千瓦（kW）；
 P_{r0} —— 润滑系统输入功率，单位为千瓦（kW）；
 P_{a0} —— 数字化在线监测系统输入功率，单位为千瓦（kW）。

对于采用无变频器驱动的电动机时，则公式（22）等号右边的第一项（即变频器输入功率 P_{bp0} ）须以异步电动机与永磁同步电动机的输入功率 P_{ed0} 或湿定子电动机输入功率 P_{ws0} 或屏蔽电动机输入功率 P_{pb0} 替换。

通常可将泵的输出功率 P_{b1} 视为数字化泵机系统的有效输出功率。此时，数字化泵机系统的总运行能效指标 η_{all} 按照公式（23）计算：

$$\eta_{all} = P_{b1} / P_0 \dots\dots\dots (23)$$

式中：

η_{all} —— 数字化泵机系统的总运行能效指标，无量纲；
 P_0 —— 泵机系统的总输入功率，单位为千瓦（kW）；
 P_{b1} —— 泵运行有效输出功率，单位为千瓦（kW）。

附录 A
(资料性)
泵机系统运行能效监测传感器安装位置和使用说明

A.1 泵机系统能效测量参数，传感器类型，功能和安装位置

泵机系统能效传感器测量参数和安装位置见图A.1。数字化在线监测系统中传感器名称、测量参数、安装位置和功能说明见表A.1。

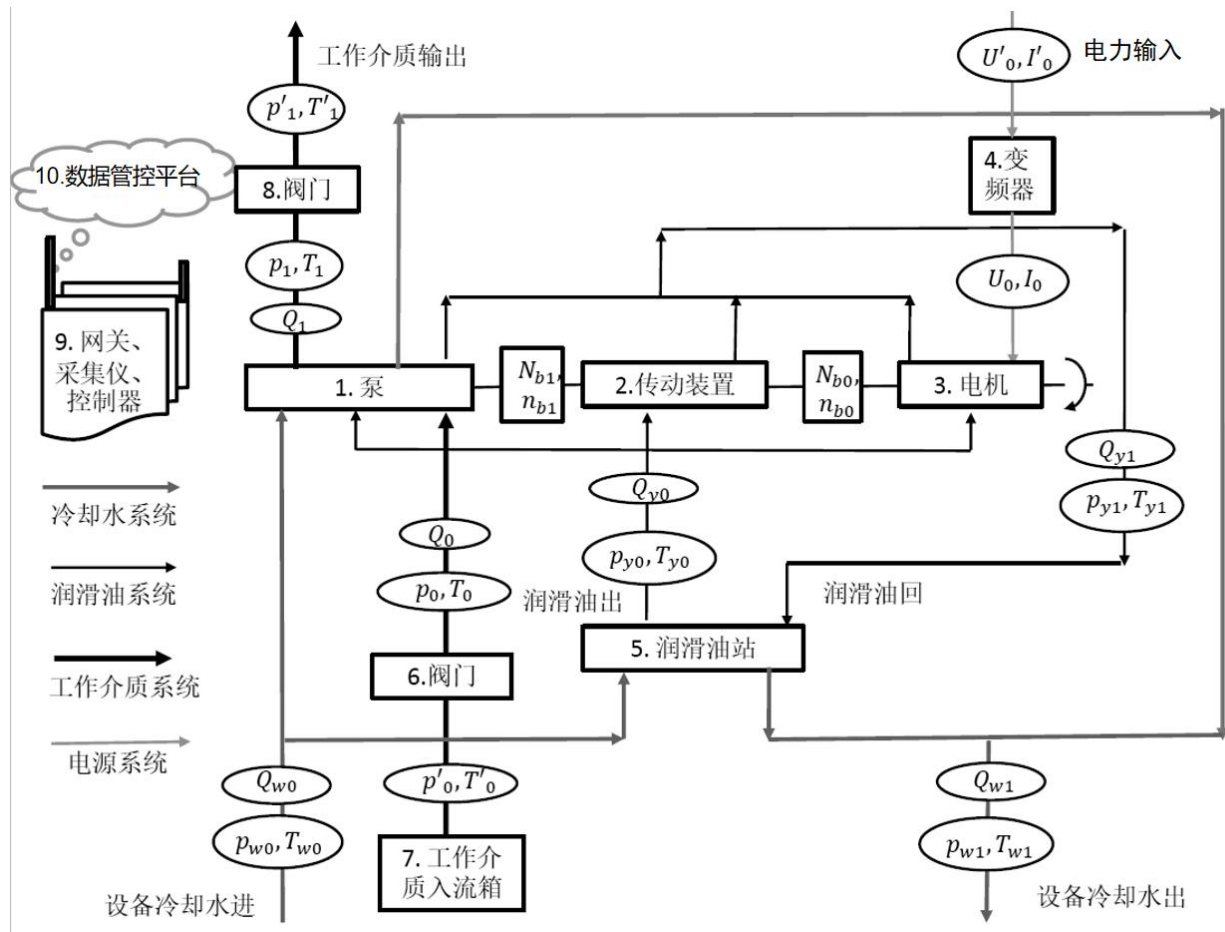


图 A.1 数字化泵机系统中工作介质流程、传感器位置和数据采集传输方式

表 A.1 数据采集系统中传感器名称、测量参数、安装位置和功能说明

测量参数	单位	传感器名称	传感器安装位置	功能
管路系统				
p_0	帕 (Pa)	压力	泵工作介质入流管路阀门后	测量进入泵之前的工作介质压力值
T_0	摄氏度 (°C)	温度	泵工作介质入流管路阀门后	测量进入泵之前的工作介质温度值
p'_0	帕 (Pa)	压力	泵工作介质流入管路阀门前	测量进入阀门之前的工作介质压力值
T'_0	摄氏度 (°C)	温度	泵工作介质流入管路阀门前	测量进入阀门之前的工作介质温度值

测量参数	单位	传感器名称	传感器安装位置	功能
p_1	帕 (Pa)	压力	泵工作介质出流管路阀门前	测量泵输出工作介质压力值
T_1	摄氏度 (°C)	温度	泵工作介质出流管路阀门前	测量泵输出工作介质温度值
p'_1	帕 (Pa)	压力	泵工作介质出流管路阀门后	测量泵最终输出工作介质压力值
T'_1	摄氏度 (°C)	温度	泵工作介质出流管路阀门后	测量泵最终输出工作介质温度值
Q_0	立方米每秒 (m³/s)	流量	泵工作介质流入管路	测量进入泵的工作介质流量值
Q_1	立方米每秒 (m³/s)	流量	泵工作介质出流管路	测量流出泵的工作介质流量值
冷却系统				
p_{w0}	帕 (Pa)	压力	冷却系统管路入口	测量冷却水入流的介质压力值
T_{w0}	摄氏度 (°C)	温度	冷却系统管路入口	测量冷却水入流的介质温度值
p_{w1}	帕 (Pa)	压力	冷却系统管路出口	测量冷却水流出的介质压力值
T_{w1}	摄氏度 (°C)	温度	冷却系统管路出口	测量冷却水流出的介质温度值
Q_{w0}	立方米每秒 (m³/s)	流量	冷却水系统流入管路	测量冷却水入流的介质流量值
Q_{w1}	立方米每秒 (m³/s)	流量	冷却水系统出流管路	测量冷却水流出的介质流量值
润滑系统				
p_{y0}	帕 (Pa)	压力	润滑油系统管路入口	测量润滑油入流的介质压力值
T_{y0}	摄氏度 (°C)	温度	润滑油系统管路入口	测量润滑油入流的介质温度值
p_{y1}	帕 (Pa)	压力	润滑油系统管路出口	测量润滑油出流的介质压力值
T_{y1}	摄氏度 (°C)	温度	润滑油系统管路出口	测量润滑油出流的介质温度值
Q_{y0}	立方米每秒 (m³/s)	流量	润滑油系统流入管路	测量润滑油入流的介质流量值
Q_{y1}	立方米每秒 (m³/s)	流量	润滑油系统出流管路	测量润滑油出流的介质流量值
传动系统				
N_{b0}	牛顿米 (N·m)	扭矩	在电动机和传动装置之间	测量电动机输出轴扭矩
N_{b1}	牛顿米 (N·m)	扭矩	在传动装置和泵之间	测量传动装置输出轴扭矩
n_{b0}	转每分钟 (r/min)	转速	在电动机和传动装置之间	测量电动机输出轴转速
n_{b1}	转每分钟 (r/min)	转速	在传动装置和泵之间	测量传动装置输出轴转速
电动机、变频器				
U'_0	伏特 (V)	电压	外部电源与变频器连线上	测量变频器的输入线电压
I'_0	安培 (A)	电流	外部电源与变频器连线上	测量变频器的输入线电流
U_0	伏特 (V)	电压	变频器和电动机电源连线上	测量电动机的输入线电压
I_0	安培 (A)	电流	变频器和电动机电源连线上	测量电动机的输入线电流

附录 B
(规范性)
泵机系统能耗计算公式

B.1 输入泵的轴功率应按式计算：

$$P_{b0} = 1.047 \times 10^{-4} N_b n_b \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

P_{b0} —— 输入泵的轴功率，单位为千瓦 (kW)；
 N_b —— 泵的输入扭矩，单位为牛顿米 (N·m)；
 n_b —— 泵的工作转速，单位为转每分钟 (r/min)。

B.2 泵的有效输出功率应按式计算：

$$P_{b1} = 1 \times 10^{-3} \rho g Q_1 H \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

P_{b1} —— 泵输出流体有效功率，单位为千瓦 (kW)；
 Q_1 —— 流量，单位为立方米每秒 (m³/s)；
 H —— 扬程，单位为米 (m)，按照公式 (B.16) 计算。

B.3 管路能量损耗应按式计算：

$$P_{pg} = 1 \times 10^{-3} \rho g Q \left(\sum \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

P_{pg} —— 管路能量损耗，单位为千瓦 (kW)；
 Q —— 运行流量，单位为立方米每秒 (m³/s)；
 λ —— 管路沿程阻力系数，无量纲；
 l —— 管路长度，单位为米 (m)；
 d —— 管路内径，单位为米 (m)；
 v —— 管路内液体流动速度，单位为米每秒 (m/s)；
 ξ —— 管路局部阻力系数，无量纲。

B.4 齿轮传动运行载荷能量损耗应按式计算：

$$P_{ij} = P_{bj} + P_{mj} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

P_{ij} —— 齿轮传动运行载荷能量损耗，单位为千瓦 (kW)；
 P_{mj} —— 齿轮传动运行各个齿轮副啮合能量损耗，单位为千瓦 (kW)；
 P_{bj} —— 齿轮传动运行各个轴承能量损耗，单位为千瓦 (kW)。

B.5 齿轮传动空载能量损耗应按式计算：

$$P_{nj} = P_{sj} + P_{vj} + P_{wbj} + P_{lpj} \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

P_{nj} —— 齿轮传动空载能量损耗，单位为千瓦 (kW)；

- P_{sj} —— 齿轮传动空载时各个油封能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{wj} —— 齿轮传动空载时各个齿轮的风阻和搅油能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{wbj} —— 齿轮传动空载时各个轴承的风阻和搅油能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{lpj} —— 传动空载时各个油泵能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.6 机电一体变速传动装置运行输入功率应按式计算：

$$P_{if0} = P_{ed1} + P_e \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

- P_{if0} —— 机电一体变速传动装置运行输入功率，单位为千瓦（kW）；
 P_{ed1} —— 电动机输出功率，单位为千瓦（kW）；
 P_e —— 辅助电动机输入功率，单位为千瓦（kW）。

B.7 电动机运行负载能量损耗应按式计算：

$$P_{ld} = P_{cud1} + P_{cud2} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中：

- P_{ld} —— 电动机运行负载能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{cud1} —— 电动机定子绕组运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{cud2} —— 电动机转子绕组运行能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.8 电动机空载能量损耗应按式计算：

$$P_{nd} = P_{fed} + P_{fwd} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

- P_{nd} —— 电动机空载能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{fed} —— 电动机铁心能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{fwd} —— 电动机风阻能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.9 电动机总运行能量损耗应按式计算：

$$P_{ed} = P_{ld} + P_{nd} + P_{sd} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

- P_{ed} —— 电动机总运行能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{ld} —— 电动机负载能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{nd} —— 电动机空载能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{sd} —— 电动机杂散能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.10 湿定子电动机运行能量损耗应按式计算：

$$P_{qws} = P_{ews} + P_{rws} \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

- P_{qws} —— 湿定子电动机能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{ews} —— 湿定子电动机电磁涡流能量损耗，单位为千瓦（kW）；
 P_{rws} —— 湿定子电动机转子摩擦能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.11 屏蔽电动机运行能量损耗应按式计算：

$$P_{qp} = P_{ep} + P_{rp} \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

式中：

P_{qp} —— 屏蔽电动机能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{ep} —— 屏蔽电动机定子屏蔽套磁涡流能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{rp} —— 屏蔽电动机内磁转子摩擦能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.12 变频器运行能量损耗应按下式计算：

$$P_{bpt} = P_{eps} + P_{sw} + P_{cond} \dots\dots\dots (B. 12)$$

式中：

P_{bpt} —— 变频器能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{eps} —— 变频器供电系统能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{sw} —— 变频器开关能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{cond} —— 变频器通态能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.13 冷却系统运行能量损耗应按下式计算：

$$P_{lq} = 1 \times 10^{-3} (Q_{w0} p_{w0} - Q_{w1} p_{w1}) \dots\dots\dots (B. 13)$$

式中：

P_{lq} —— 冷却系统能量损耗，单位为千瓦（kW）；

Q_{w0} —— 冷却系统流入流量，单位为立方米每秒（m³/s）；

p_{w0} —— 冷却系统入流侧压力，单位为帕（Pa）；

Q_{w1} —— 冷却系统流出流量，单位为立方米每秒（m³/s）；

p_{w1} —— 冷却系统出流侧压力，单位为帕（Pa）。

B.14 润滑系统能量损耗应按下式计算：

$$P_{rh} = 1 \times 10^{-3} (Q_{y0} p_{y0} - Q_{y1} p_{y1}) \dots\dots\dots (B. 14)$$

式中：

P_{rh} —— 润滑系统能量损耗，单位为千瓦（kW）；

Q_{y0} —— 润滑油流入流量，单位为立方米每秒（m³/s）；

p_{y0} —— 润滑系统入流侧压力，单位为帕（Pa）；

Q_{y1} —— 润滑油流出流量，单位为立方米每秒（m³/s）；

p_{y1} —— 润滑系统出流侧压力，单位为帕（Pa）。

B.15 数字化在线监测系统运行总能量损耗应按下式计算：

$$P_{et} = P_{sent} + P_{colt} + P_{gatt} + P_{supt} \dots\dots\dots (B. 15)$$

式中：

P_{et} —— 数字化在线监测系统总能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{sent} —— 传感器发热能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{colt} —— 数据采集仪发热能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{gatt} —— 网关发热能量损耗，单位为千瓦（kW）；

P_{supt} —— 控制器发热能量损耗，单位为千瓦（kW）。

B.16 泵的扬程应按下式计算：

$$H = \frac{p_1 - p_0}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g} + (z_a - z_e) \dots\dots\dots (\text{B. 16})$$

式中：

- H —— 泵的扬程，单位为米（m）；
- p_1 —— 泵出口静压，单位为帕斯卡（Pa）；
- p_0 —— 泵进口静压，单位为帕斯卡（Pa）；
- v_1 —— 泵出口流速，单位为米每秒（m/s）；
- v_0 —— 泵进口流速，单位为米每秒（m/s）；
- z_a —— 泵出口处的液位，单位为米（m）；
- z_e —— 泵进口处的液位，单位为米（m）；
- ρ —— 介质的密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
- g —— 当地重力加速度，单位为米每平方秒（m/s²）。

附录 C
(资料性)

C.1 阀门运行阻力系数与阀门结构和开度的关系

阀门运行阻力系数与阀门结构和开度的关系见表 C.1, 阀门种类和结构形式见图 C.1。

表 C.1 阀门运行阻力系数

阀门类型/管路元件		结构	阻力系数ζ DN=																			备注	
			15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000		
截止阀	闸板阀 d _c =DN	min max	1	0.1 0.65	← 0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	←								→ 0.1 → 0.3	当 d _c <DN 时, 详见注释 1	
	圆形闸阀 d _c =DN	min max	2					0.25 0.32	0.24 0.31	0.23 0.30	0.22 0.28	0.21 0.26	0.19 0.25	0.18 0.23	0.17 0.22	0.16 0.20	0.15 0.19	0.13 0.18	0.12 0.16	0.11 0.15	0.11 0.14		
	旋塞阀 d _c =DN	min max	3	0.10 0.15	0.10 ←	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03 → 0.15						
	蝶阀 PN 2.5 10 PN 16 25	min max	4					0.90 1.20	0.39 1.00	0.38 0.80	0.26 0.70	0.20 0.62	0.14 0.56	0.12 0.50	0.09 0.42	0.06 0.40	0.37 0.33	0.33 0.33	0.33 0.33	0.30 0.30	0.06 0.28	使用于 PN40	
	锻造球阀	min max	5			6.0 6.8	↔ ↔	6.0 6.8															
	铸造球阀	min max	6	3.0 6.0	← ←													3.0 6.0					最佳时 ζ≈2-3
	紧凑型阀门	min max	7	0.3 0.3	0.4 0.9	0.6 1.9	0.6 ←	1.0 ↔	1.1 →	1.9	2.2	2.2	2.3	2.5	2.5								
	角阀	min max	8	2.0 3.1	← ↔	↔	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.7	6.0	6.3	6.6					
	Y 型阀	min max	9	1.5 2.6	← ←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	1.5 2.6						
	直通阀	min max	10	0.6 1.6	← ←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	0.6 1.6					
	止回阀	隔膜阀	min max	11	0.8 2.7	← ←	←	←	←	←	←	←	←	0.8 2.7									
		直通式升降止回阀	min max	12	3.0 6.0	← ←	←	←	←	←	←	←	←	←	3.0 6.0								
立式升降止回阀		min max	13	3.2 3.4	← 3.4	← 3.5	← 3.6	← 3.8	3.2 4.2	3.7 5.0	5.0 6.4	7.3 8.2	4.3 4.6	← ←	← ←	4.3 4.6							从 DN125 开始, 轴向扩大
斜式升降止回阀		min max	14	2.5 3.0	← 2.4	← 2.2	← 2.1	← 2.0	1.9 1.7	1.6 1.5	1.5 ←	←	←	←	1.5 3.0								
底阀		min max	15						1.0 3.0	0.9 ←	0.8 ←	0.7 ←	0.6 ←	0.5 ←	0.4 ←	0.4 ←	0.4 ←	(7.0)	(6.1)	(5.5)	(4.5)	(4.0)	() 表示以组排列时
旋启式止回阀		min max	16	0.5 3.0	← ←	←	←	0.5 0.4	←	←	←	←	←	←	←	←	0.4 3.0	0.3 ←	←	←	←	0.3 3.0	无杠杆止回阀, 详见注释 2
过滤器	水力 v = 4 m/s v = 3 m/s v = 2 m/s	17						0.9 1.8 5.0				3.0 4.0 6.0		3.0 4.5 8.0	2.5 4.0 7.5	2.5 4.0 6.5	1.2 1.8 6.0	2.2 3.4 7.0					
	过滤器	18					2.8	←	←	←	←	←	←	←	←	←	2.8					在清洁状态时	
	滤网	19					1.0	←	←	←	←	←	←	←	←	←	1.0						

注释: 1. 阀门关闭时, 最小流通截面 $d_E < DN$ 时, 阻力系数会增加 $(DN/d_E)^x$, $x=5-6$. 2. 在阀门开度较小时, 流速较低, 阻力系数会增加, 随着流速的增加, 阻力系数以 $\tau \approx 3/\nu$ 不断下降。

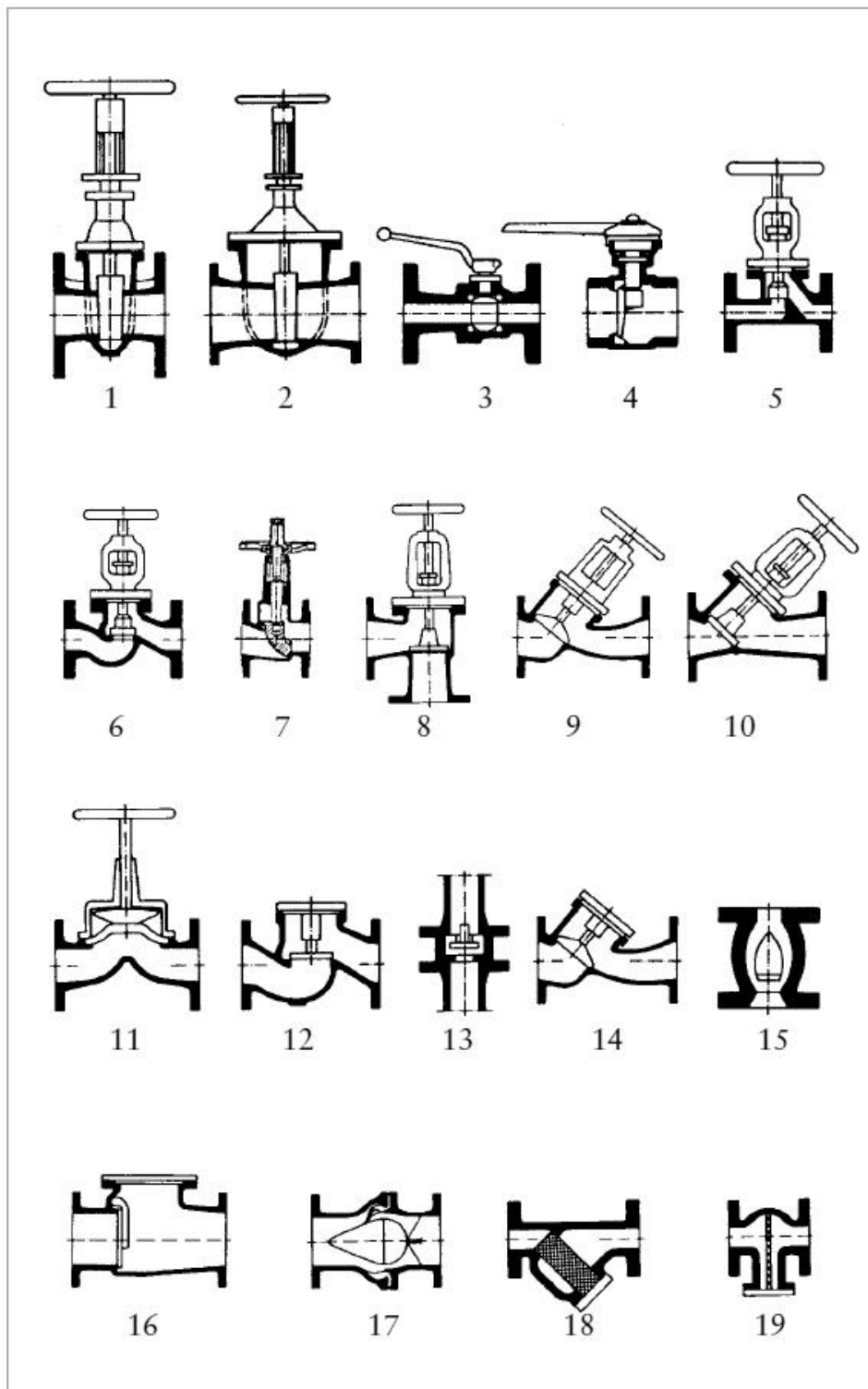
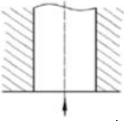
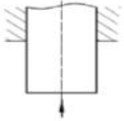
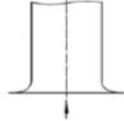
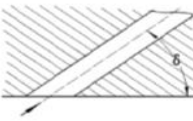


图 C.1 阀门种类和结构形式

C.2 管路进出口阻力系数与形状的关系

管路进出口阻力系数与形状的关系见表 C.2。

表 C.2 管路进出口阻力系数

图示					
管路进口	I	II	III	IV	V
边缘尖锐 ζ	0.5	3			$\delta = 75^\circ \ 60^\circ \ 45^\circ$
边缘光滑 ζ	0.25	0.55	0.20	0.05	$\zeta = 0.6 \ 0.7 \ 0.8$
管路出口					
$\zeta \approx 1$	出口管路有足够长度的直管段，并且截面具有均匀的速度分布				
$\zeta \approx 2$	出口速度分布不均匀，例如安装有阀门，弯头等管路元件				

C.3 管路截面尺寸变化和阻力系数的关系

管路截面尺寸变化和阻力系数的关系见表 C.3。

表 C.3 截面尺寸变化的局部阻力系数

类型	d/D	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
I	$\zeta \approx$	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04
II	$\alpha = 8^\circ \ \zeta \approx$	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01
	$\alpha = 8^\circ \ \zeta \approx$	0.15	0.11	0.07	0.03	0.01
	$\alpha = 8^\circ \ \zeta \approx$	0.23	0.17	0.11	0.05	0.02
III	$\zeta \approx$	4.80	2.01	0.88	0.34	0.11
IV	$20^\circ < \alpha < 40^\circ$ $\zeta \approx$	0.21	0.10	0.05	0.02	0.01

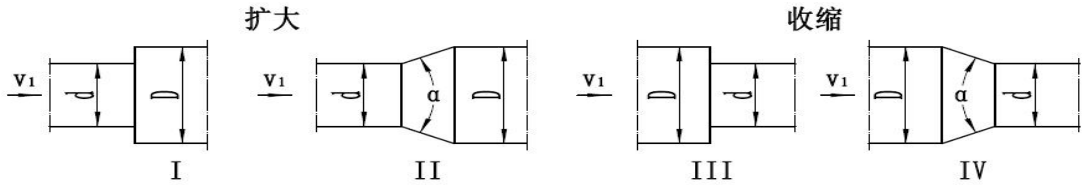


图 C.2 管路截面尺寸变化形式的示意图

C.4 孔板阻力系数和形状的关系

孔板阻力系数和形状的关系见表 C. 4。

表 C. 4 孔板局部阻力系数

是以直径 D 处的速度 v 为基础的						
直径(d/D) ζ ≈	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
面积比(d/D)² ζ ≈	0.09	0.16	0.25	0.36	0. 49	0.64
文丘里管 ζ ≈	21	6	2	0.7	0.30	0.2
标准孔板 ζ ≈	300	85	30	12	4.5	2
水表(体积测量仪) ζ ≈10						
对于额定负荷的家用水表，其压力损失在实践中最大超过 1bar						

注：1. ζ 是以直径 D 处的速度 v 为基础的；
2. 对于额定符合的家用水表，其压力损失在实践中最大超过 1bar。

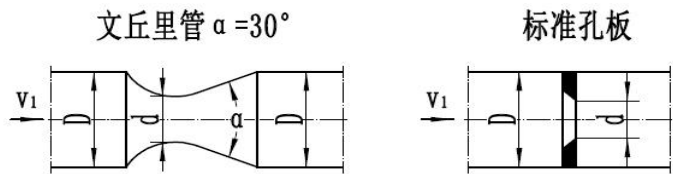
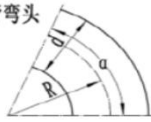
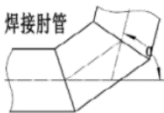


图 C.3 孔板形状示意图

C.5 弯头阻力系数与形状的关系

弯头阻力系数与形状的关系见表 C.5。

表 C. 5 弯头结构阻力系数

弯头类型	α	15°		30°		45°		60°		90°	
	项目	表面		表面		表面		表面		表面	
		平滑	粗糙	平滑	粗糙	平滑	粗糙	平滑	粗糙	平滑	粗糙
	R=0 ζ ≈	0.07	0.10	0.14	0.2	0.25	0.35	0.50	0.70	1.15	1.3
	R=d ζ ≈	0.03	-	0.07	-	0.14	0.34	0.19	0.46	0.21	0.51
	R=2d ζ ≈	0.03	-	0.06	-	0.09	0.19	0.12	0.26	0.14	0.30
	R≥5d ζ ≈	0.03	-	0.06	-	0.08	0.16	0.10	0.20	0.10	0.20
	圆周焊缝数量	-	-	-	-	2	-	3	-	3	-
	ζ ≈	-	-	-	-	0.15	-	0.20	-	0.25	-

C.6 钢管沿程阻力损失与管路流量的关系

钢管沿程阻力损失与管路流量的关系见图 C.4。

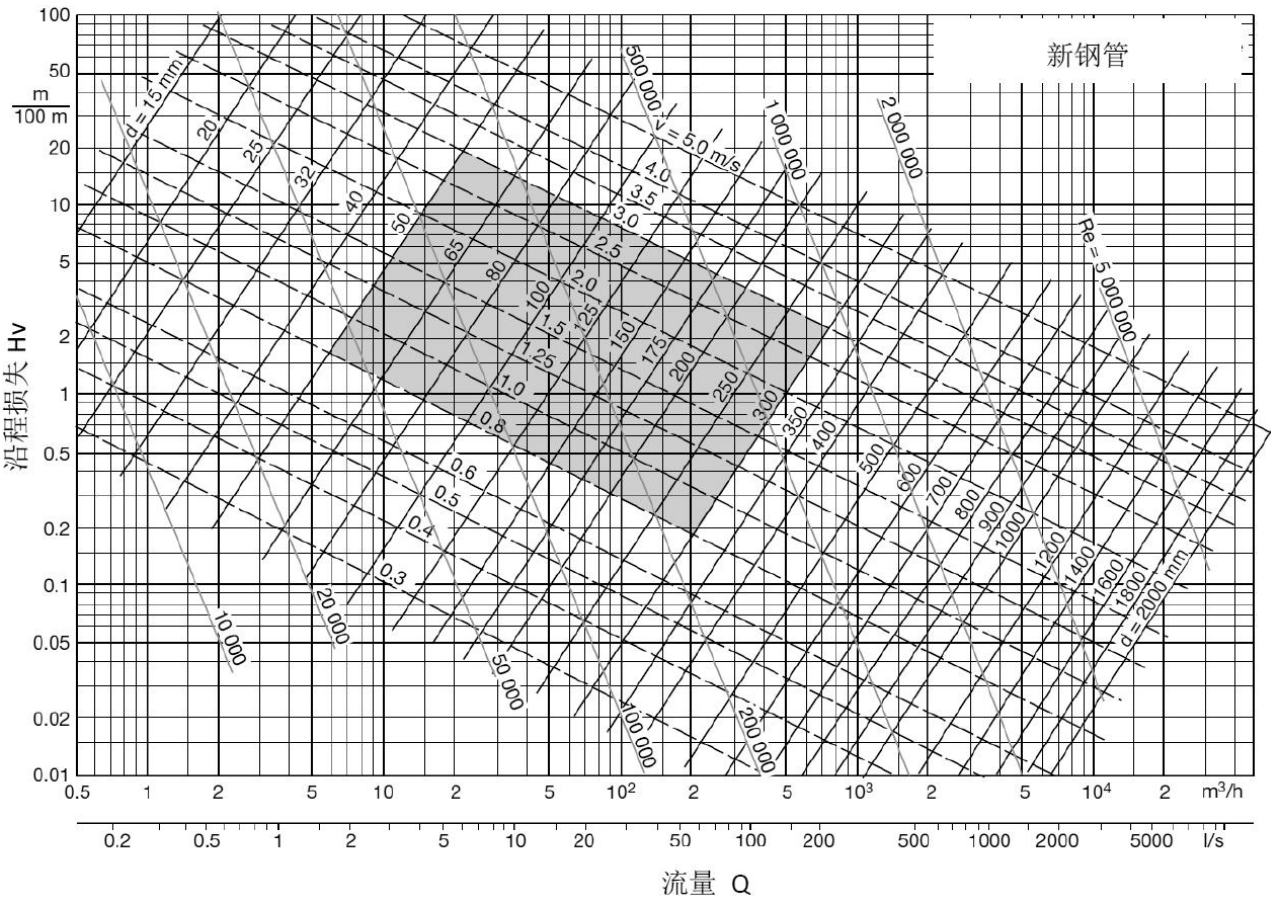


图 C.4 新钢管的沿程损失和流量的关系

C.7 莫迪图

新的工业管道的沿程损失系数和雷诺数、相对粗糙度之间的关系曲线见图 C.5。

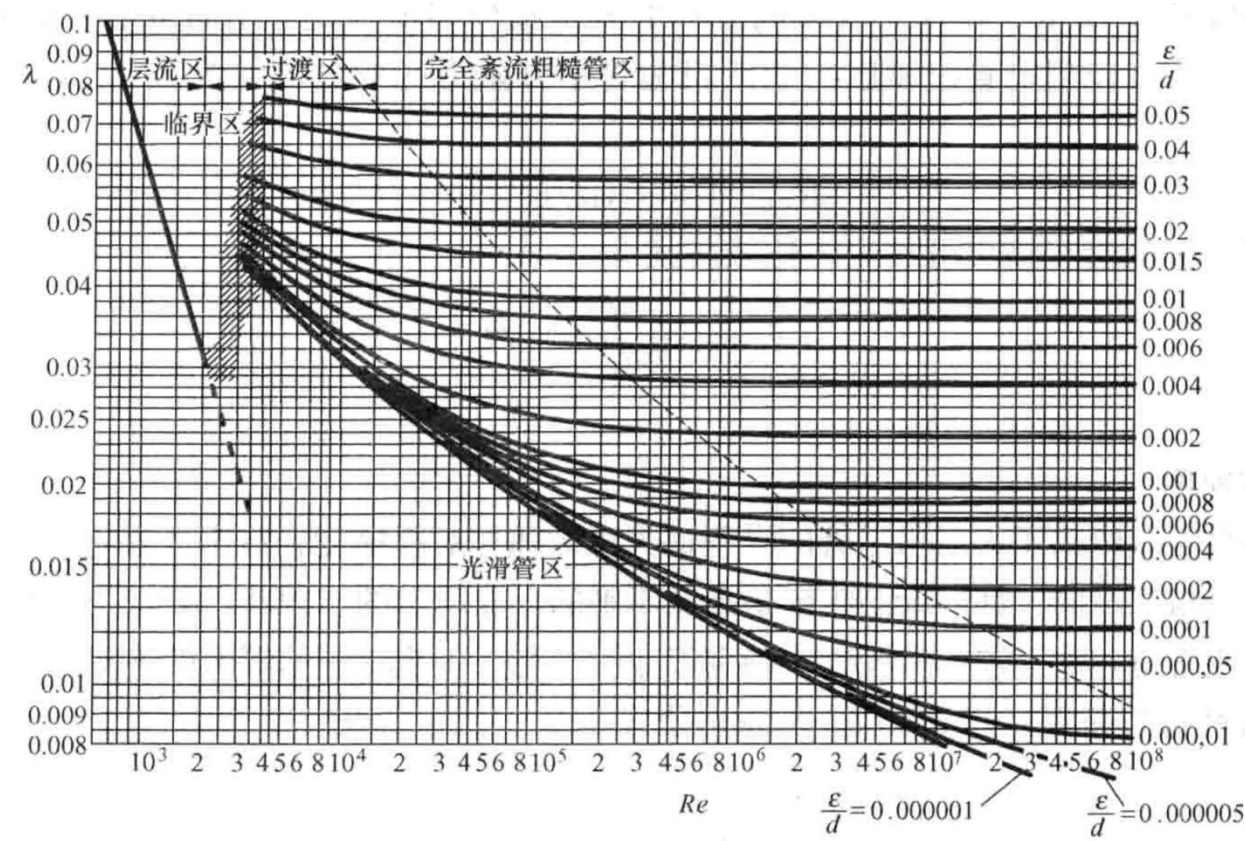


图 C. 5 莫迪图

C.8 分支管路局部阻力系数与管路形状和流体流动方向的关系

分支管路局部阻力系数与管路形状和流体流动方向的关系见表 C.6。

表 C.6 分支管路局部阻力系数

$Q_a/Q \approx$	ζ	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
	$\zeta_a \approx$	-0.4	0.08	0.47	0.72	0.91
	$\zeta_b \approx$	0.17	0.30	0.41	0.51	-
	$\zeta_a \approx$	0.88	0.89	0.95	1.10	1.28
	$\zeta_b \approx$	-0.08	-0.05	0.07	0.21	-
	$\zeta_a \approx$	-0.38	0	0.22	0.37	0.37
	$\zeta_b \approx$	0.17	0.19	0.09	-0.17	-
	$\zeta_a \approx$	0.68	0.50	0.38	0.35	0.48
	$\zeta_b \approx$	-0.06	-0.04	0.07	0.20	-

C.9 管道粗糙度与材料的关系

管道粗糙度与材料的关系见表 C.7。

表 C.7 常用管道的粗糙度 k

管道材质	管道类型	k (μm)
无缝钢管，新管	轧制	20~60
	酸洗	30~40
	镀锌	100~160
焊接钢管，新管	轧制	50~110
	刷涂沥青	45~60
	电镀	8~2
	渗碳	21~28
铆接钢管		1000~10000
钢管，旧管	一般程度锈蚀	100~200
	轻微结垢	200~400
	严重结垢	400~4100
	清洗后	150~200
石棉水泥管，新管		30~100
陶瓷管（排水），新管		200~7000
混凝土管，新管	粗制	1000~3000
	精整	300~700
旋制混凝土管，新管	粗制	200~700
	精整	100~170
钢筋混凝土管，新管	精整	100~170
其它混凝土管，旧管	精整	200~300
金属管		1~2
玻璃管，塑料管		1~2
橡胶管，新管		1.3~1.7
木管，新管		200~1000