

团 体 标 准

T/CMES 24012-2023

工程机械 能量回收系统节能性能 测试方法 第1部分：总则

Construction Machinery Testing Methods for Energy-saving
Performance of Energy Recovery System Part 1: General

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律法规或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不得以任何形式或手段复制、再版或使用本标准及其章节（包括电子版、影印件、发布在互联网及内部网络等）以及用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路9号主语国际4座11层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

| | |
|---------------------------------|----|
| 目 次..... | II |
| 前 言..... | IV |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 术语和定义..... | 1 |
| 4 测试条件..... | 3 |
| 4.1 测试环境..... | 3 |
| 4.2 测试场地..... | 3 |
| 4.3 测试用仪器设备..... | 3 |
| 4.4 测试机器状态..... | 4 |
| 4.5 热车..... | 4 |
| 5 测试方法..... | 4 |
| 5.1 数据采集点..... | 4 |
| 5.2 耗油量的测量方法..... | 5 |
| 5.3 耗电量的测试方法..... | 7 |
| 6 瞬时可回收功率计算..... | 7 |
| 6.1 采用直线转化模块转化的瞬时可回收功率..... | 7 |
| 6.2 采用旋转转化模块转化的瞬时可回收功率..... | 8 |
| 6.3 采用液压元件转化的瞬时可回收功率近似计算方法..... | 8 |
| 6.4 采用电气式回收的瞬时可回收功率近似计算方法..... | 8 |
| 6.5 复合式能量转化..... | 8 |
| 7 瞬时回收功率计算..... | 8 |
| 7.1 液压式能量回收..... | 8 |
| 7.2 电气式能量回收..... | 8 |
| 7.3 机械式能量回收..... | 9 |
| 7.4 复合式能量回收..... | 9 |
| 8 可回收能量计算..... | 9 |
| 8.1 采用直线转化模块转化的可回收能量..... | 9 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 8.2 采用旋转转化模块转化的可回收能量..... | 9 |
| 8.3 采用液压转化元件转化的可回收能量的近似计算方法..... | 9 |
| 8.4 采用电气式回收的可回收能量的近似计算方法..... | 9 |
| 8.5 复合式能量转化..... | 10 |
| 9 回收能量计算..... | 10 |
| 9.1 液压式能量回收..... | 10 |
| 9.2 电气式能量回收..... | 10 |
| 9.3 机械式能量回收..... | 10 |
| 9.4 复合式能量回收..... | 10 |
| 10 回收效率及节能率计算..... | 10 |
| 10.1 瞬时回收效率..... | 10 |
| 10.2 能量回收效率..... | 11 |
| 10.3 综合节能率..... | 11 |
| 图 1 直接消耗流量的测量方法..... | 5 |
| 图 2 发动机进油和回油的流量测量方法..... | 6 |
| 图 3 使用副油箱测量燃油消耗量的方法..... | 6 |
| 表 1 测量准确度..... | 3 |

前 言

本文件按照 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的规定起草。

本文件起草单位：华侨大学、机械工业信息研究院、北自（北京）检测科技发展有限公司、天津工程机械研究院、江苏汇智高端工程机械创新中心有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、浙江大学、太原理工大学、长安大学、哈尔滨工业大学、上海理工大学。

本文件主要起草人：林添良、席敏、张青松、贾晓雯、权龙、姜继海、孙辉、张斌、王峰、龚文、沈伟、葛磊、叶敏、任好玲、陈其怀、缪骋、付胜杰、付新容、刘子皓。

本文件为首次发布。

中国机械工程学会标准征集委员会

工程机械 能量回收系统节能性能 测试方法

第 1 部分：总则

1 范围

本标准界定了工程机械能量回收系统节能性测试与评价的相关术语和定义，描述其能量回收效率和综合节能率的计算等方法。

本部分规定了工程机械能量回收系统节能性能的测试条件、测试方法、计算评价方法的通用要求。

本部分适用于以下工程机械及其特定工况条件：

T/CMES 24013 中规定的叉车

T/CMES 24014 中规定的旋挖钻机

T/CMES 24015 中规定的挖掘机

T/CMES 24016 中规定的装载机

本部分也适用于以上机型延伸出的安装其他属具的情况。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 28750 节能量测量和验证技术通则

GB/T 31341 节能评估技术导则

GB/T 40064 节能技术评价导则

GB/T 41350 再制造 节能减排评价指标及计算方法

3 术语和定义

规范性引用文件界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 循环工况 working cycle

机器进行规定的循环动作工况。

3.2 单一工况 single cycle

机器仅进行单一动作的工况。

3.3 可回收能量 recoverable energy

能量回收过程，机器具备的动能、势能除去空气阻力、摩擦阻力等各项阻力损耗的能量后剩余的能量总额。

3.4 回收能量 energy recovered

机器搭载的能量回收系统，能量回收作业中回收的能量总额。

3.5 能量回收效率 energy recovery efficiency

机器工作过程中，回收能量与可回收能量的比值。

3.6 液压式能量回收 hydraulic energy recovery

将可回收能量转化为液压能的回收方式。

3.7 电气式能量回收 electric energy recovery

将可回收能量转化为电能的回收方式。

3.8 机械式能量回收 mechanical energy recovery

将可回收能量转化为机械能的回收方式。

3.9 复合式能量回收 composite energy recovery

将可回收能量转化为两种或多种能量的回收方式。

3.10 储能装置 energy storage device

安装在机器上储存能量（液压能、电能、机械能等）的装置，如：动力蓄电池、超级电容、液压蓄能器、飞轮、电池等或其组合。

3.11 循环工况能量回收率 energy recovery rate under working cycle

机器在循环工况下的能量回收效率。

3.12 单一工况能量回收率 energy recovery rate under Single cycle

机器在单一工况下的能量回收效率。

3.13 瞬时回收功率 instantaneous recovery power

能量回收系统在某一时刻回收的功率。

3.14 瞬时可回收功率 instantaneous recyclable power

能量回收系统在某一时刻可被回收的功率。

3.15 瞬时回收效率 instantaneous recovery efficiency

能量回收系统在某一时刻，瞬时回收功率与瞬时可回收功率的比值。

3.16 峰值可回收功率 peak recovery power

在整个能量回收过程中，能量回收系统最大的瞬时可回收功率。

3.17 峰值回收功率 peak recovery power

在整个能量回收过程中，能量回收系统最大的瞬时回收功率。

3.18 峰值回收效率 peak recovery efficiency

在整个能量回收过程中，能量回收系统最大的瞬时回收效率。

3.19 综合节能率 energy saving ratio

在相同工况下、完成相同作业量下，搭载能量回收系统机器所节省的能量占对比机型消耗总能量的百分比。

4 测试条件

4.1 测试环境

测试时，所处的环境应符合下列规定：

- a) 无雨、无雾；
- b) 环境温度为 5°C~35°C；
- c) 风速不超过 5 m/s；
- d) 空气相对湿度≤95%；
- e) 海拔≤2000 m。

4.2 测试场地

- a) 测试场地应坚实平整，保证测试样机不下陷，测试场地的坡度不应大于 2°。
- b) 测试场地应无障碍物，其最小面积应大于测试机器所需场地，并应满足测试样机回转、行走等需要。

4.3 测试用仪器设备

测试用仪器设备应在检定或校准有效期内。使用前应进行检查，仪器设备应符合表 1 的规定。

表1 测量准确度

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 准确度 | 分辨率 |
|------|------|-------|-------|------|
| 长度 | 米 | m | ±0.5% | 0.1 |
| 质量 | 千克 | kg | ±2% | 1 |
| 时间 | 秒 | s | ±0.1% | 0.01 |
| 力 | 牛顿 | N | ±1% | 1 |
| 压力 | 兆帕斯卡 | MPa | ±2% | 0.01 |
| 功率 | 瓦特 | W | ±2% | 0.1 |
| 转速 | 转每分钟 | r/min | ±2% | 0.1 |
| 速度 | 米每秒 | m/s | ±2% | 0.1 |
| 扭矩 | 牛顿米 | N·m | ±2% | 0.1 |
| 能量 | 焦耳 | J | ±2% | 0.1 |
| 流量 | 升每分钟 | L/min | ±2% | 0.01 |
| 电压 | 伏 | V | ±2% | 0.1 |
| 电流 | 安 | A | ±2% | 0.1 |

4.4 测试机器状态

4.4.1 样机要求

测试样机分为对比样机与目标样机(如不测试整机综合节能率,则无需对比样机),均宜为新机,符合出厂验收合格的规定。

对比样机与目标样机应为同一规格的机器,且其主要参数应保持一致。对比样机为不具备能量回收功能的机器,目标样机为搭载了能量回收系统的机器。如测试样机的能量回收系统可通过切换系统等方式开启或关闭,则可用同一台样机在能量回收系统开启和关闭情况下进行对比测试。

测试样机应装备齐全,无污泥、油污、碰伤,显示器、警告标牌等应字迹清楚。

测试样机的燃油、电储能单元电量、液压油、冷却液、润滑油等应按使用说明书的要求加注或充至规定的数值。

测试机器应按制造商规定进行充分跑合。对比样机与目标样机的整车总质量差异应不大于 10%。

4.4.2 测试要求

在测试时,与机器运行状态无关的空调、照明灯等附属装置应处于关闭状态。

测试过程,宜由同一位操作人员操作。

4.5 热车

正式测试前需对机器充分预热,检查机器的工作性能,确保测试样机各零部件、液压系统及各种仪表正常工作,发动机的水温(纯电驱动型机器的电池、电动机和电机控制器的冷却水温)、机油温度、液压油油温达到规定值

5 测试方法

5.1 数据采集点

5.1.1 可回收能量/功率数据采集点

5.1.1.1 直接测量法数据采集点

可回收能量/功率数据采集点宜靠近能量回收系统输入单元,如:

- 1) 采用液压泵/马达转化可回收能量的,采集液压泵/马达输入轴的转速、转矩;
- 2) 采用液压缸转化可回收能量的,采集液压缸活塞杆力、速度、位移;
- 3) 采用机械系统回收的,采集转化单元输入轴转速、转矩;
- 4) 采用发电系统回收的,采集发电单元输入轴转速、转矩。

5.1.1.2 近似测量法数据采集点

1) 采用液压泵/马达转化可回收能量的,可采集转化液压泵/马达进出口压力、流量作为近似计算值;

2) 采用液压缸转化可回收能量的,可采集液压缸两腔口压力、流量作为近似计算值;

3) 采用发电系统转化可回收能量的,可采集发电系统母线电压、电流值作为近似计算值。

5.1.2 回收能量/功率数据采集点

回收能量/功率的数据采集点宜靠近能量储存单元或二次使用单元,如:

- 1) 采用蓄能器等液压储能单元回收能量的,采集液压蓄能器进出口压力、流量;

- 2) 采用飞轮等机械方式储能的，采集飞轮等机械储能装置连接轴的转速、转矩；
- 3) 采用动力蓄电池等电储能单元存储能的，采集电储能单元与系统连接处的电压、电流；
- 4) 回收系统输出能量给分动箱、变速箱等直接使用的，采集分动箱、变速箱等与回收系统连接轴的转速、转矩。

5.2 耗油量的测量方法

5.2.1 通则

耗油量可采用燃油称重法、流量计法或使用副油箱的测量方法进行测量，当发生争议时，应采用燃油称重法作为仲裁方法。

5.2.2 燃油称重法

断开测试样机的原动力供油系统，在供油泵前面接入外部测试容器，称量在测试前后测试容器内燃料的质量变化，按公式（1）计算燃油消耗的质量：

$$f = m_1 - m_2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- f ——测试燃油消耗，单位为克（g）；
- m_1 ——测试作业前测试容器质量，单位为克（g）；
- m_2 ——测试作业后测试容器质量，单位为克（g）。

5.2.3 流量计法

5.2.3.1 直接消耗流量测量方法

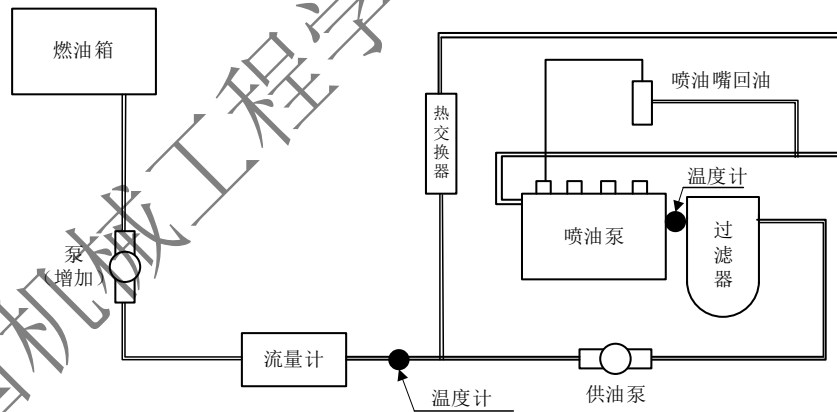


图1 直接消耗流量的测量方法

直接消耗流量测量方法的连接示例如图 1 为防止由喷油装置喷油嘴回油产生气泡，可增加（回油管加压）供油泵。为控制发动机进油口燃油温度在设定温度以下，必要时可增加热交换器。使用柴油密度计测量燃油密度，按公式（2）计算燃油消耗的质量：

$$f = \rho \times V \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ρ ——燃油密度，单位为克每毫升（g/mL）；
- V ——测试时消耗的燃油体积，单位为毫升（mL）。

5.2.3.2 发动机进油和回油的流量测量方法

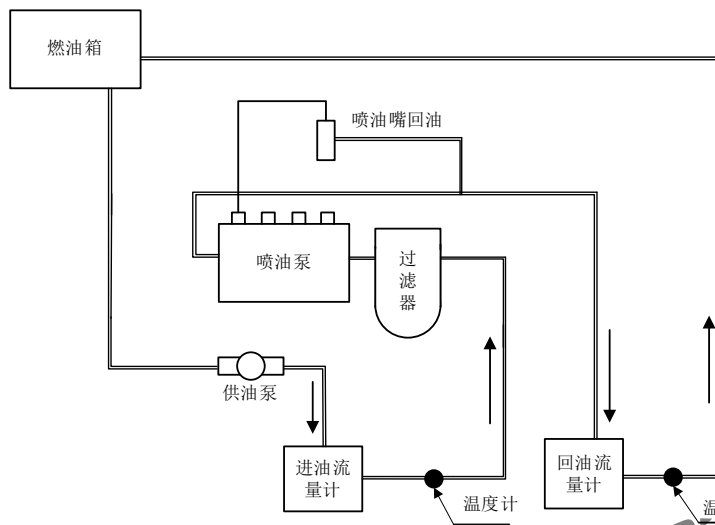


图2 发动机进油和回油的流量测量方法

发动机进油和回油流量测量方法见图 2 进油口和回油口的流量应同时测量，两流量计的特性（流量和误差特性）应保持一致。此外，应确保回油流量测量管路中没有气泡产生。使用柴油密度计测量燃油密度，按公式（3）计算燃油消耗的质量：

$$f = \rho (V_{in} - V_{out}) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

V_{in} ——测试时进油流量计进油体积，单位为毫升（mL）；

V_{out} ——测试时回油流量计回油体积，单位为毫升（mL）；

5.2.4 副油箱测量法

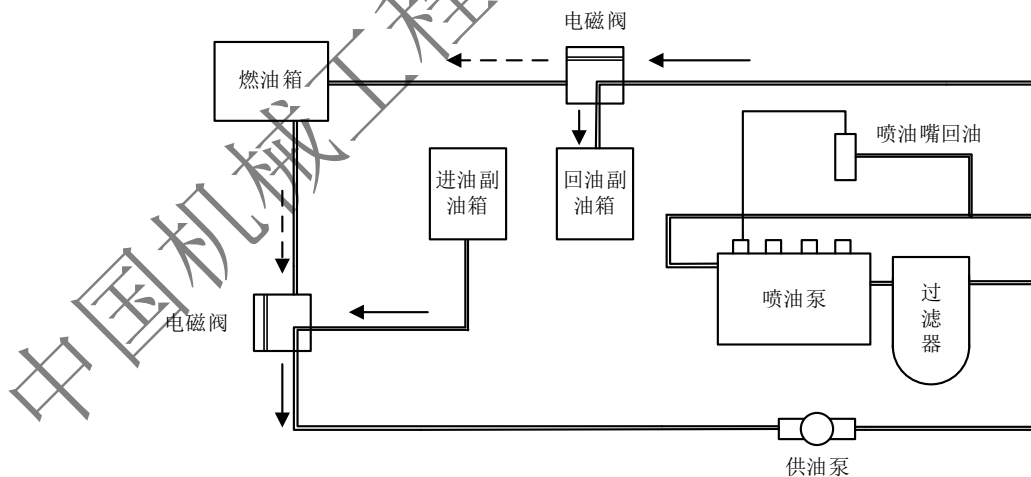


图3 使用副油箱测量燃油消耗量的方法

使用副油箱测量燃油消耗量方法的示例见图 3 为保证测量副油箱质量的精度，应排除测量时的外界影响因素（如风等）。应避免副油箱拆装时漏油、发动机侧气泡混入。按公式（4）计算燃油消耗的质量：

$$f = m_1 - m_2 \dots\dots\dots (4)$$

5.2.5 燃油能量消耗量

燃油能量消耗量按式（5）计算：

$$F_c = f \times q \dots \dots \dots (5)$$

式中：

F_c ——消耗的能量，单位为焦耳（J）；

q ——燃料热值，单位为焦耳每克（J/g）；

5.3 耗电量的测试方法

5.3.1 通则

耗电量可以采用母线电参数数据采集法或整机显示屏直接读数法，当发生争议时，应采用母线电参数数据采集法作为仲裁方法。电压、电流、力、速度等采集频率不低于 20Hz。

5.3.2 母线电参数数据采集法

在机器母线上选取适当的、安全的、可接近的连接点，安装电压、电流传感器，通过采集系统（可以外置），采集实验过程中的消耗和回收的电压、电流数据，利用计算公式进行耗电量计算。采用母线电参数数据采集法，所消耗的能量用式（6）计算：

$$F_c = \int_0^t U_{bat} I_{bat} dt \dots \dots \dots (6)$$

式中：

U_{bat} ——母线电压，单位为伏特（V）；

I_{bat} ——母线电流，单位为安培（A）；

t ——测试持续时间，单位为秒（s）。

5.3.3 电储能单元容量读取法

直接从整车驾驶室或者储能单元电量显示窗口读取电量数值。一段时间内容量数值的变化量乘以储能单元总容量即为这段时间的耗电量。采用电储能单元容量读取法，所消耗的能量用式（7）计算：

$$F_c = 3.6 \times 10^6 \times Q \times \Delta SOC \dots \dots \dots (7)$$

式中：

Q ——电储能单元的总电量，单位为度（kW·h）；

ΔSOC ——测试前后的荷电状态之差，用百分数表示（%）

6 瞬时可回收功率计算

6.1 采用直线转化模块转化的瞬时可回收功率

采用直线转化模块（如：液压缸等）转化可回收能量的，瞬时可回收功率用式（8）计算：

$$P_r = F_1 v_1 \dots \dots \dots (8)$$

式中：

P_r ——瞬时可回收功率，单位为瓦特（W）；

F_1 ——直线转化模块受到的力，单位为牛顿（N）；

v_1 ——直线转化模块的运动速度，单位为米每秒（m/s）。

6.2 采用旋转转化模块转化的瞬时可回收功率

采用旋转转化模块（如：液压泵、飞轮、电机等）转化可回收能量的，瞬时可回收功率用式（9）计算：

$$P_r = \frac{20}{191} \times T_1 N_1 \dots \dots \dots (9)$$

式中：

T_1 ——旋转转化模块转矩，单位为牛米（N·m）；

N_1 ——旋转转化模块转速，单位为转每分（r/min）。

6.3 采用液压元件转化的瞬时可回收功率近似计算方法

采用液压元件进行能量转化的，瞬时可回收功率用式（10）近似计算：

$$P_r = \frac{50}{3} \times \Delta P_1 Q_1 \dots \dots \dots (10)$$

式中：

ΔP_1 ——液压转化元件两腔压力差值，单位为兆帕斯卡（MPa）；

Q_1 ——液压转化系统流量值，单位为升每分钟（L/min）；

6.4 采用电气式回收的瞬时可回收功率近似计算方法

采用电气系统进行能量转化的，瞬时可回收功率用式（11）近似计算：

$$P_r = U_1 I_1 \dots \dots \dots (11)$$

式中：

U_1 ——转化过程电气系统电压值，单位为伏特（V）；

I_1 ——转化过程电气系统电流值，单位为安培（A）；

6.5 复合式能量转化

采用两种或多种系统元件进行转化可回收能量的，瞬时可回收功率用式（12）计算：

$$P_r = \sum_{i=1}^n P_{ri} \dots \dots \dots (12)$$

式中：

P_{ri} ——各子系统转化的瞬时可回收功率，可包括液压系统、电气系统、机械系统或其他组合，单位为瓦特（W）。

7 瞬时回收功率计算

7.1 液压式能量回收

采用液压系统进行能量回收的，瞬时回收功率用式（13）计算：

$$P_u = \frac{50}{3} \times \Delta P_2 Q_2 \dots \dots \dots (13)$$

式中：

P_u ——系统瞬时回收功率，单位为瓦特（W）；

ΔP_2 ——液压系统回收元件两腔/回收前后压力差值，单位为兆帕斯卡（MPa）；

Q_2 ——液压储能单元流量值，单位为升每分钟（L/min）。

7.2 电气式能量回收

采用电气系统进行能量回收的，瞬时回收功率用式（14）计算：

$$P_u = U_2 I_2 \dots \dots \dots (14)$$

式中：

U_2 ——电气储能单元电压值，单位为伏特（V）；

I_2 ——电气储能单元电流值，单位为安培（A）；

7.3 机械式能量回收

采用机械系统进行能量回收的，回收能量用式（15）计算：

$$P_u = \frac{20}{191} \times T_2 N_2 \dots \dots \dots (15)$$

式中：

T_2 ——机械回收系统转矩，单位为牛米（N·m）；

N_2 ——机械回收系统转速，单位为转每分（r/min）。

7.4 复合式能量回收

采用多种能量的回收方式进行能量回收的，回收能量用式（16）计算：

$$P_u = \sum_{i=1}^n P_{ui} \dots \dots \dots (16)$$

式中：

P_{ui} ——各子系统回收的能量，可包括液压式、电气式、机械式或其组合，单位为瓦特（W）

8 可回收能量计算

8.1 采用直线转化模块转化的可回收能量

采用直线转化模块（如：液压缸等）转化可回收能量的，可回收能量用式（17）计算：

$$E_r = \int_0^t F_1 v_1 dt \dots \dots \dots (17)$$

式中：

E_r ——可回收能量，单位为焦耳（J）；

t ——能量回收持续时间，单位为秒（s）。

8.2 采用旋转转化模块转化的可回收能量

采用旋转转化模块（如：液压泵、飞轮、电机等）转化可回收能量的，可回收能量用式（18）计算：

$$E_r = \frac{20}{191} \times \int_0^t T_1 N_1 dt \dots \dots \dots (18)$$

8.3 采用液压转化元件转化的可回收能量的近似计算方法

采用液压元件进行能量转化的，可回收能量用式（19）近似计算：

$$E_r = \frac{50}{3} \times \int_0^t \Delta P_1 Q_1 dt \dots \dots \dots (19)$$

8.4 采用电气式回收的可回收能量的近似计算方法

采用电气系统进行能量转化的，可回收能量用式（20）近似计算：

$$E_r = \int_0^t U_1 I_1 dt \dots\dots\dots (20)$$

8.5 复合式能量转化

采用多种系统/元件进行转化可回收能量的，可回收能量用式（21）计算：

$$E_r = \sum_{i=1}^n E_{ri} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

E_{ri} —各子系统转化的可回收能量，可包括液压系统、电气系统、机械系统或其他组合，单位为焦耳（J）。

9 回收能量计算

9.1 液压式能量回收

采用液压系统进行能量回收的，回收能量用式（22）计算：

$$E_u = \frac{50}{3} \times \int_0^t \Delta P_2 Q_2 dt \dots\dots\dots (22)$$

式中：

E_u ——系统回收能量，单位为焦耳（J）。

9.2 电气式能量回收

采用电气系统进行能量回收的，回收能量用式（23）计算：

$$E_u = \int_0^t U_2 I_2 dt \dots\dots\dots (23)$$

9.3 机械式能量回收

采用机械系统进行能量回收的，回收能量用式（24）计算：

$$E_u = \frac{20}{191} \times \int_0^t T_2 N_2 dt \dots\dots\dots (24)$$

9.4 复合式能量回收

采用多种能量的回收方式进行能量回收的，回收能量用式（25）计算：

$$E_u = \sum_{i=1}^n E_{ui} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

E_{ui} —各子系统回收能量，可包括液压系统、电气系统、机械系统或其他组合，单位为焦耳（J）。

10 回收效率及节能率计算

10.1 瞬时回收效率

对可回收能量进行回收时，循环工况、单一工况等工况的瞬时回收效率可用式（26）计算：

$$\eta_{IRE} = \frac{P_u}{P_r} \times 100\% \dots\dots\dots (26)$$

式中：

η_{IRE} ——瞬时回收效率（%）；

10.2 能量回收效率

对可回收能量进行回收时，循环工况、单一工况等工况的能量回收效率可用式（27）计算：

$$\eta_{RE} = \frac{E_u}{E_r} \times 100\% \dots\dots\dots (27)$$

式中：

η_{RE} ——能量回收效率（%）；

10.3 综合节能率

计算能量回收系统整机的综合节能率，可用式（28）计算：

$$\eta_{ES} = \frac{F_{c,a} - F_{c,b}}{F_{c,a}} \times 100\% \dots\dots\dots (28)$$

式中：

η_{ES} ——整机综合节能率（%）；

$F_{c,a}$ ——对比样机消耗的能量，单位为焦耳（J）；

$F_{c,b}$ ——目标样机消耗的能量，单位为焦耳（J）。

中国机械工程学会标准征求意见稿

参考文献

- [1] GB/T 28750 节能量测量和验证技术通则。
- [2] GB/T 31341 节能评估技术导则。
- [3] GB/T 40064 节能技术评价导则。
- [4] GB/T 41350 再制造 节能减排评价指标及计算方法。

ICS 3.100

CCS J 20

关键词：工程机械、能量回收系统
