

7.1.4.2 整体法

当使用整体法时,要进行下列计算,因为只有所确定的总代谢率及在恢复阶段活动的已知代谢率(如坐姿)才与工作本身代谢率有关。

首先从部分法得到代谢率,然后按式(19)进行转换:

$$M = \left(M_p \times \frac{t_m + t_r}{t_m} \right) - \left(M_s \times \frac{t_r}{t_m} \right) \dots\dots\dots (19)$$

式中:

M ——纯劳动代谢率,单位为瓦每平方米(W/m^2);

M_p ——部分法测得的代谢率,单位为瓦每平方米(W/m^2);

M_s ——坐姿时的代谢率,单位为瓦每平方米(W/m^2);

t_m ——主要阶段的时间,单位为分(min);

t_r ——恢复阶段的时间,单位为分(min)。

7.2 采用双标水法进行长时间测量

本条只叙述该方法的原理。

首先收集被试者的尿样本底,然后被试者饮下已精确定量的 $^2H_2^{18}O$ 。氘(2H)将示踪体内滞留的水,并且氘从体内的消失速率提供了一种测量水转化的手段。 ^{18}O 将示踪水和碳酸氢盐,在体内碳酸酐酶的作用下,上述两者迅速达到平衡。 ^{18}O 的消失速率提供了一个测量水和碳酸氢盐的联合转换率的手段。因此,碳酸氢盐的转化速率(即被试者体内的二氧化碳生成速率)可以通过这两个速率常数的差异来计算(k_{18} , k_2)。

通过经典的间接测热法的计算,二氧化碳的生成速率可换算成能量消耗速率。同位素初始稀释可用来测量 2H 和 ^{18}O 的空白样,这对计算体成分非常有用。

该方法需要测量至少两个同位素的生物半排期:对于儿童,最短测量时间大约是6天,对于普通成年人大概是12天,对于老年人则可能需要更长的时间。

对比全身测热法和摄入-平衡法,双标水法已经在众多研究中得到了交叉验证。对于稳定状况下的被试者,双标水法与其他的仪器测量法相比,记录结果无显著差异。该方法的整体精度视具体情况而定,约为 $\pm 5\%$ 。

虽然双标水法测量技术上比较简单,但是还有许多复杂的细节使用者必须认真了解。

7.3 直接测热法原理

直接测热法测量的是热量从身体散发到环境中去的能量消耗速率。热传递的途径包括无蒸发热损失的传递方式(辐射、对流和传导)和水分蒸发。直接测热法通常是在一个密闭的空间内对整个身体进行的测量,但也曾利用有热交换的连体服进行测量。热交换中的非蒸发热部分,可利用绝热性不良的测量室壁的温度梯度进行被动测量(梯度层测热法),或从绝热性好的测量室中收集热量进行主动测量(吸热器测热法)。蒸发热会影响周围环境的湿度,需要单独测量。测量的方法是,收集测量室壁上的冷凝水并测定空气中隐性水分含量(不冷凝)或计算其相应的蒸发热。根据蒸发热和非蒸发热之和估算总热量损失。

附 录 A
(资料性附录)

利用第一级方法(筛分法)估算代谢率

本附录根据第1级的检查方法给出了用于简易地表征特定职业或活动平均工作负荷的数据。
这些估算数据由以下两种估算方法给出：

——方法 A1:按照职业分类,估算值见表 A.1;

——方法 A2:按照活动分类,估算值见表 A.2。

表 A.1 各种职业人群的代谢率

职 业	代 谢 率/(W/m ²)
办公室工作	坐着从事的工作
	行政工作
	看门人
工匠	砌砖工
	木工
	玻璃工
	油漆工
	面包师
	屠宰工
	钟表修理师
采矿业	拖运操作员
	采煤工
	焦炉工
冶金行业	鼓风炉工
	电炉工
	用手操作的铸工
	用机器操作的铸工
	翻砂工
钢铁加工行业	打铁
	焊接
	车工、旋工
	钻机操作员
	精密机床操作员
印刷行业	手工排字工
	书籍装订工
农业	园艺师
	拖拉机司机

表 A.1 (续)

职 业	代谢率/(W/m ²)
交通业	卡车司机
	公交车司机
	有轨电车司机
	起重机司机
其他职业	实验室助理
	轿车
	售货员
	秘书

表 A.2 各类活动的代谢率分类

类别	平均代谢率/(W/m ²)		实 例
0 休息	65 (55~70)	115 (100~125)	休息,自由坐姿
1 低代谢率	100 (70~130)	180 (125~235)	轻度手工作业(书写、打字、绘画、缝纫、记账);手臂作业(小的修理工作、检验、组装或分拣轻物件);臂和腿部作业(常规情况下驾驶车辆、操作脚下开关和踏板);站立作业[钻(小部件)、研磨(小部件)、绕线圈、绕小转子、操作低功率工具、有意识的步行(最大速度可达 2.5 km/h)]
2 中代谢率	165 (130~200)	295 (235~360)	持续的手臂作业(钉钉子、填料);腿臂作业(轨道外操作平台车、卡车或建筑设备);剧烈的躯臂作业、搬运重物;使用铲、大锤作业;锯、刨、凿硬木;手工收割、挖掘、以 5.5 km/h~7 km/h 的速度步行。手工推拉重载的手推车或独轮车;切削铸件、安装水泥铸件。其他作业(使用汽锤、组装卡车、抹灰、间隔地使用比较重的材料,锄草、耕地、采摘水果与蔬菜、推拉轻型小推车或独轮车、以 2.5 km/h~5.5 km/h 的速度步行)
3 高代谢率	230 (200~260)	415 (360~465)	剧烈的躯臂作业、搬运重物;使用铲、大锤作业;锯、刨、凿硬木;手工收割、挖掘、以 5.5 km/h~7 km/h 的速度步行。手动推拉重载的手推车或独轮车;切削铸件、安装水泥铸件
4 超高代谢率	290 (>260)	520 (>465)	以最大步幅剧烈活动;用斧作业;猛烈的铲或挖;爬楼道、坡道或梯子;以超过 7 km/h 的速度小步幅快速行走
注: 括号中的值为平均代谢率的取值范围。			

附录 B

(资料性附录)

利用第二级方法(观察法)估算代谢率

根据第2级中的两种观察方法,本附录给出了通常情况下在特定时间内表征工作类型的数据。

——方法1:各种活动的代谢率由列表给出。

——方法2:将基础代谢率与人体特定姿势下的代谢率、特定工作类型下的代谢率以及与工作速度相关的身体动作的代谢率(采用组评价表)相加得到代谢率。

表 B.1 给出了就座状态下被测者肢体部位典型工作负荷的代谢率;表 B.2 给出了人体不同姿势的代谢率;表 B.3 给出了多种具体活动的代谢率;表 B.4 给出了活动记录日志表的样式;表 B.5 给出了日志结果汇总表表的样式。这些表格可用于上述方法中代谢率的计算。

表 B.1 就座状态下的被测者与工作负荷与身体部分有关的代谢率

身体部位	平均值及取值范围	负荷/(W/m ²)		
		轻度	中度	重度
双手	平均值	70	85	95
	取值范围	<75	75~90	>90
单臂	平均值	90	110	130
	取值范围	<100	100~120	>120
双臂	平均值	120	140	160
	取值范围	<130	130~150	>150
躯体	平均值	180	245	335
	取值范围	<210	210~285	>285

表 B.2 不同身体姿势的代谢率

身体姿势	代谢率/(W/m ²)
坐	0
跪	10
蹲	10
站	15
弯腰站立	20

表 B.3 具体活动的代谢率

活 动	代谢率/(W/m ²)
睡眠	40
躺卧	45
坐着休息	55
站立休息	70
在平整的硬路面上行走	

表 B.3 (续)

活 动		代谢率/(W/m ²)
1. 不负重	2 km/h	110
	3 km/h	140
	4 km/h	165
	5 km/h	200
2. 负重	10 kg, 4 km/h	185
	30 kg, 4 km/h	250
步行登山, 硬路面, 平坦		
1. 无负重	坡度 5°, 4 km/h	180
	坡度 15°, 3 km/h	210
	坡度 25°, 3 km/h	300
2. 负重 20 kg	坡度 15°, 4 km/h	270
	坡度 25°, 4 km/h	410
步行下山, 无负重	坡度 5°, 4 km/h	135
	坡度 15°	140
	坡度 25°	180
攀爬 70° 的梯子, 11.2 m/min		
无负重		290
负重 20 kg		360
平坦的硬路面上推或拉耳轴式自卸车, 3.6 km/h,		
推力: 12 kg		290
拉力: 16 kg		375
推独轮车, 路面平坦, 4.5 km/h, 橡胶轮胎, 载重 100 kg		230
锉铁制品	42 次/min	100
	60 次/min	190
用斧子作业, 双手, 斧重 4.4 kg, 15 次/min		290
木工工作	手工锯	220
	电锯	100
	手工刨	300
砌砖, 5 块/min		170
拧螺钉		100
挖壕沟		290
坐着做的工作(如在办公室、家里、学校或实验室的活动)		70
站立着从事轻度活动(如购物、实验室活动、从事轻工业活动)		95
站立着从事中等程度的活动(如售货员、家务劳动、操作机器)		115
机械工具操作		

表 B.3 (续)

活 动	代谢率/(W/m ²)
轻度(调整、组装)	100
中度(装填)	140
重度	210
手工工具操作	
轻度(轻轻擦拭)	100
中度(擦拭)	160
重度(用力钻孔)	230

表 B.4 活动记录日志表

日期	
被试者	
工作地点	
气温/℃	
黑球温度/℃	
空气湿度(RH)/%	
风速/(m/s)	
着装	

表 B.5 日志结果汇总表

职业/工作任务		日期				
类 别	代谢率/(W/m ²)	乘	时间/min	等于	合计	
1 任务 1	M ₁	×		=		
2 任务 2	M ₂	×		=		
		×		=		
i 任务 i	M _i	×		=		
		×		=		
n 任务 n		×		=		
合计						
时间加权代谢率						

附录 C

(资料性附录)

利用第三级方法(解析法)估算代谢率

根据解析法,用典型周期内的心率估算代谢率见表 C.1。

表 C.1 根据被测者年龄、体重推算的代谢率与心率之间的关系

代谢率单位为瓦每平方米 心率单位为次每分钟

性别	年龄/岁	体重/kg				
		50	60	70	80	90
男性	20	$2.9 \times \text{HR} - 150$	$3.4 \times \text{HR} - 181$	$3.8 \times \text{HR} - 210$	$4.2 \times \text{HR} - 237$	$4.5 \times \text{HR} - 263$
	30	$2.8 \times \text{HR} - 143$	$3.3 \times \text{HR} - 173$	$3.7 \times \text{HR} - 201$	$4.0 \times \text{HR} - 228$	$4.4 \times \text{HR} - 254$
	40	$2.7 \times \text{HR} - 136$	$3.1 \times \text{HR} - 165$	$3.5 \times \text{HR} - 192$	$3.9 \times \text{HR} - 218$	$4.3 \times \text{HR} - 244$
	50	$2.6 \times \text{HR} - 127$	$3.0 \times \text{HR} - 155$	$3.4 \times \text{HR} - 182$	$3.7 \times \text{HR} - 207$	$4.1 \times \text{HR} - 232$
	60	$2.5 \times \text{HR} - 117$	$2.9 \times \text{HR} - 145$	$3.2 \times \text{HR} - 170$	$3.6 \times \text{HR} - 195$	$3.9 \times \text{HR} - 219$
女性	20	$3.7 \times \text{HR} - 201$	$4.2 \times \text{HR} - 238$	$4.7 \times \text{HR} - 273$	$5.2 \times \text{HR} - 307$	$5.6 \times \text{HR} - 339$
	30	$3.6 \times \text{HR} - 197$	$4.1 \times \text{HR} - 233$	$4.6 \times \text{HR} - 268$	$5.1 \times \text{HR} - 301$	$5.5 \times \text{HR} - 333$
	40	$3.5 \times \text{HR} - 192$	$4.0 \times \text{HR} - 228$	$4.5 \times \text{HR} - 262$	$5.0 \times \text{HR} - 295$	$5.4 \times \text{HR} - 326$
	50	$3.4 \times \text{HR} - 186$	$4.0 \times \text{HR} - 222$	$4.4 \times \text{HR} - 256$	$4.9 \times \text{HR} - 288$	$5.3 \times \text{HR} - 319$
	60	$3.4 \times \text{HR} - 180$	$3.9 \times \text{HR} - 215$	$4.5 \times \text{HR} - 249$	$4.8 \times \text{HR} - 280$	$5.2 \times \text{HR} - 311$
注:表中 HR 代表心率,HR 乘以左侧数字再减去右侧数字即可计算出代谢率。						

附录 D

(资料性附录)

利用第四级方法(测量法)估算代谢率(根据所测数据计算代谢率的实例)

D.1 用部分法计算代谢率

D.1.1 个人数据

性别:男;
年龄:35岁;
身高:1.75 m;
体重:75 kg;
体表面积:1.90 m²。

D.1.2 测量时间

初始阶段:0.05 h;
主要阶段:0.2 h。

D.1.3 大气压力

$p=100.8$ kPa。

D.1.4 测量的数值

D.1.4.1 气体流量计测量的数值

气体流量计校正系数:0.998;
呼出气温度:26.8 °C;
气体流量计的终止读数:7 981.2 L;
气体流量计的初始读数:7 775.0 L;
通气量:206.2 L。

D.1.4.2 呼出气中氧与 CO₂ 的体积分数

O₂ 体积分数 F_{O_2} :16.2%;
CO₂ 体积分数 F_{CO_2} :4.2%。

D.1.5 按标准状态($\theta=0$ °C, $p=101.3$ kPa,干燥气体)计算呼出气体体积 呼出气体积用通气量及气体流量计的校正系数计算得到。

$$V_{\text{exATPS}} = 206.2 \times 0.998 = 205.8 \text{ L}$$

STPD 还原系数从式(12)计算得来;

$$f = \frac{273 \times (100.8 - 3.52)}{(273 + 26.8) \times 101.3} = 0.874$$

$$V_{\text{exSTPD}} = V_{\text{exATPS}} \times f = 205.8 \times 0.874 = 179.9$$

D.1.6 呼出气体积流量的计算

$$\dot{V}_{\text{ex}} = \frac{V_{\text{exSTPD}}}{t} = \frac{179.9}{0.2} = 899.5$$

D.1.7 耗氧速率的计算

$$\dot{V}_{O_2} = \dot{V}_{\text{ex}} \times (0.209 - F_{O_2}) = 899.5 \times (0.209 - 0.162) = 42.3$$

D.1.8 CO₂ 生成速率的计算

$$\dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_{\text{ex}} \times (F_{CO_2} - 0.0003) = 899.5 \times (0.042 - 0.0003) = 37.5$$

D.1.9 对呼出气体体积收缩效应的考虑

$$\begin{aligned}\dot{V}_{O_2} &= \dot{V}_{ex}[0.265(1-F_{O_2}-F_{CO_2})-F_{CO_2}] \\ &= 899.5 \times [0.265 \times (1-0.162-0.042)-0.162] \\ &= 44.0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{V}_{CO_2} &= \dot{V}_{ex}[F_{CO_2}-(1-F_{O_2}-F_{CO_2})0.380 \times 10^{-3}] \\ &= 899.5 \times [0.042-0.00038 \times (1-0.162-0.042)] \\ &= 37.5 (\text{L CO}_2/\text{h})\end{aligned}$$

D.1.10 代谢率的计算

$$RQ = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}} = \frac{37.5}{44.0} = 0.852$$

$$EE = (0.23RQ + 0.77) \times 0.58 = 5.68 (\text{W} \cdot \text{h}/\text{L O}_2)$$

$$M = EE \times \dot{V}_{O_2} \times \frac{1}{A_{Du}} = 5.68 \times \frac{44.0}{1.9} = 131.5 (\text{W}/\text{m}^2)$$

受所能达到的精度的限制,结果可四舍五入为 132 W/m²。

D.2 用整体法计算代谢率

呼出气体体积缩小及利用 CO₂ 生成计算 RQ,其对最终结果无重要影响,均可免去。

D.2.1 个人数据

与 D.1.1 相同。

D.2.2 测量时间

主要阶段:0.005 h(3 min);

恢复阶段:0.15 h(9 min);

采气阶段:0.2 h(12 min)。

D.2.3 大气压力

$$p = 100.8 \text{ kPa}.$$

D.2.4 测量数据

D.2.4.1 气体流量计测量的数值

气体流量计校正系数:0.998;

呼出气温度:26.8 °C;

气体流量计的终止读数:5 877.5 L;

气体流量计的初始读数:5 707.0 L;

通气量:1 70.5 L。

D.2.5 呼出气中氧的体积分数

体积分数(F_{O_2}):15.5%。

D.2.5.1 标准状态(0 °C, =101.3 kPa,干燥气体)计算呼出气体体积

呼出气体体积 V_{exATPS} 用通气量及气体流量计的校正系数计算得到。

$$V_{exATPS} = 170.5 \times 0.998 = 170.2$$

标准状态气体体积换算系数与 D.1.5 相同。

$$V_{exSTPD} = V_{exATPS} \times f = 170.2 \times 0.874 = 148.8$$

D.2.6 呼出气体体积的计算

呼出气体体积 V_{exATPS} 用通气量及气体流量的校正系数计算得到。

$$V_{exATPS} = 170.5 \times 0.998 = 170.2$$

STPD 还原系数与 D.1.5 相同。

$$V_{\text{exSTPD}} = V_{\text{exATPS}} \times f = 170.2 \times 0.874 = 148.8$$

D.2.7 呼出气体体积流量的计算

$$\dot{V}_{\text{ex}} = \frac{V_{\text{exSTPD}}}{t} = \frac{148.8}{0.2} = 744.0$$

D.2.8 耗氧速率的计算

$$\dot{V}_{\text{O}_2} = \dot{V}_{\text{ex}} \times (0.209 - F_{\text{O}_2}) = 40.2 (\text{L O}_2/\text{h})$$

D.2.9 代谢率的计算

利用 $RQ=0.85$, $EE=5.68[\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}(\text{O}_2)]$, 得到以下结果:

$$M = EE \times \dot{V}_{\text{O}_2} \times \frac{1}{A_{\text{Du}}} = 5.68 \times 40.2 \times \frac{1}{1.9} = 120.2 (\text{W}/\text{m}^2)$$

为了使代谢率与主要阶段相关, 利用公式(19)进行转换, 坐姿代谢率 $55 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

$$M = 120.2 \times \frac{0.2}{0.05} - 55 \times \frac{0.15}{0.05} = 318.8$$

受所能达到的精度的限制, 可四舍五入为 $320 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
热环境人类工效学
代谢率的测定

GB/T 18048—2008/ISO 8996:2004

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 40 千字
2008年11月第一版 2008年11月第一次印刷

*

书号:155066·1-34505 定价 20.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 18048-2008