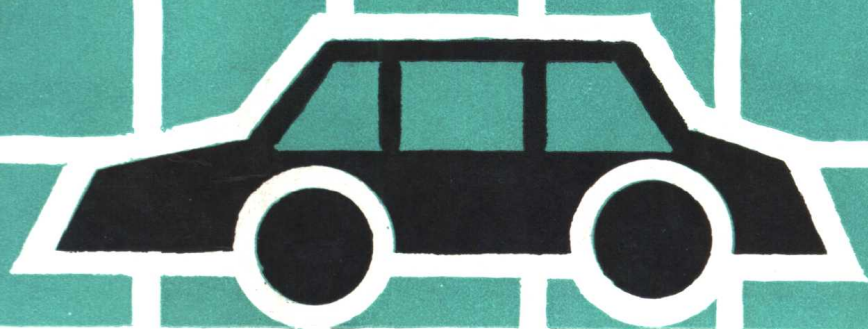


国外汽车排放 污染物标准选编

国家环境保护局大气环境管理处 编



中国环境科学出版社

国外汽车排放污染物标准选编

国 家 环 境 保 护 局
大 气 环 境 管 理 处 编

中国环境科学出版社

1 9 8 9

内 容 简 介

本书编入了国际标准化组织(简称ISO)及欧洲经济委员会(简称ECE)、苏联、日本、美国等发达国家和地区汽车排放污染物的标准、测试方法、控制技术和管理法规。这些资料反映了汽车排放污染物标准在什么情况下,由单项排放控制标准到多项排放控制标准,由简单工况标准到复杂工况标准的发展过程以及为适应排放标准所需要的控制技术和测量技术。

本书适合环境保护部门、汽车管理部门、汽车制造厂家及有关研究单位和大专院校的科技人员、研究人员、管理人员、教师和学生阅读参考。

国外汽车排放污染物标准选编

国家环境保护局大气环境管理处 编

责任编辑 李文湘

*

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

三河县二百户印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1989年7月第 一 版 开本 787×1092 1/16

1989年7月第一次印刷 印张 24 3/8

印数 1—2000 字数 577千字

ISBN 7-80010-358-7/X·207

定价: 8.50元

前 言

为了便于从事汽车排放污染物控制工作的技术人员、管理人员、研究人员等了解国外汽车排放污染物控制法规和控制技术的发展过程，我们选编了ISO、ECE及苏联、日本、美国汽车排放污染物标准、测试方法、控制技术和管理法规等有关资料，供环境保护部门、汽车管理部门、汽车制造厂家、有关研究单位和大专院校的有关人员参考。

本书由国家环境保护局大气环境管理处汇编。参加译校的工作人员有许拔民、周永尧、陆坤元、陆孝宽、冯召舒、宋乃扬、沈曾意、延宗、周开金、王祎垂、陈偲、赵淑琴、刘树成、李树生、范国宝、王裕民、郝振友、康展权、许心凤等同志。译文由中国汽车技术研究中心高级工程师许拔民同志审定。对于这些同志所做的大量工作，在此一并致谢。

由于本书涉及欧、亚、美、非四大洲20多个国家，范围大内容多，错误之处请批评指正。

国家环境保护局
大气环境管理处
1988.4.

目 录

国 际 标 准

道路车辆——测定柴油机在稳定工况时排气烟度的仪器	
ISO 3173-1974(C)	(3)
道路车辆——怠速时排气中一氧化碳浓度的确定	
ISO 3929-1976 (C)	(31)
道路车辆——一氧化碳分析仪——技术要求	
ISO 3930-1976 (C)	(34)
道路车辆——柴油机排气烟度测量仪器 (技术报告)	
ISO/TR 4011-1976 (C)	(38)
道路车辆——压缩点火 (柴油) 发动机排气不透光度的测量——加载减速试验	
ISO 7644-1988(C)	(54)
道路车辆——压缩点火 (柴油) 发动机排气不透光度的测量——稳定单速试验	
ISO 7645-1988(C)	(58)

苏 联 标 准

苏联汽车排放污染物标准综述	(63)
汽车柴油机排气烟度标准和测量方法	
ГОСТ 19025-1973	(65)
柴油车排气烟度标准和测量方法	
ГОСТ 21393-1975	(73)
汽油车排气中一氧化碳含量标准和测量方法	
ГОСТ 172203-1977	(76)

欧洲经济委员会法规

欧洲经济委员会 (ECE) 汽车排放物法规 综述	(81)
第15号法规: 关于发动机排放气体污染物批准火花点火发动机车辆的统一规定	(84)
第24号法规: 关于发动机排放污染物批准柴油发动机的统一规定	(115)

日本标准

日本汽车排放物法规综述.....	(145)
汽车怠速时排气中一氧化碳的测定方法	
JIS D1028-1979	(156)
汽车修理(保养)用一氧化碳测定仪性能试验方法	
JIS D1029-1979	(169)
柴油车排气烟度测量方法	
JIS D1101-1979	(176)
测量柴油车排气烟度用滤纸式烟度	
JIS D1004-1971	(178)
曲轴箱排放物控制系统试验方法	
JASO E002-1971	(186)
汽油车蒸发气体测定方法	
JASO E005-1972	(203)
用氢火焰离子化分析仪测定汽车排气中总碳氢化合物浓度的方法	
JASO E006-1973	(212)
滤纸及滤板的厚度和松密度试验方法	
JIS P 8118-1976	(227)
滤纸和纸板的透气度试验方法	
JIS P 8117-1976	(229)
汽车排气中一氧化碳、二氧化碳及碳氢化合物浓度的连续测定方法	
JIS D1030-1976	(232)
测量柴油车排气烟度用不透光式烟度计	
JIS D8005-1979	(244)
用化学发光法测定汽车排气中氮氧化物浓度的方法	
JASO E003-1973	(247)
汽车排气定容取样法	
JASO E004-1981	(260)

美国标准

美国汽车排放物标准和法规综述	(277)
柴油机排放物测量规程	
SAE J1003-1973	(292)
柴油机排烟的测量	
SAE J255-1978	(297)
曲轴箱排放物控制试验规程	
SAE J900-1980	(310)

柴油机排烟测定规程	
SAE J35-1973	(319)
汽油轿车和轻型货车燃油蒸发排放物的测量	
SAE J170-1982	(327)
用密闭室方法测定汽油轿车和轻型货车的燃油蒸发排放物	
SAE J171-1982	(340)
评定全流消光式烟度计性能的测量规程	
SAE J1157-1976	(356)
附表：本书中用到的非许用计量单位与标准计量单位换算表	(382)

国 际 标 准

道路车辆——测定柴油机在稳定 工况时排气烟度的仪器

ISO 3173-1974(C)

前 言

ISO (国际标准化组织) 是各国国家标准学会 (ISO会员团体) 的一个世界性联合会。国际标准的制订工作由ISO的技术委员会负责进行。每一会员团体对已经设有技术委员会确定的某一专题感兴趣时, 有权派代表参加该委员会, 各个与ISO有联系的国际组织, 官方的和非官方的, 也可参加此项工作。

国际标准草案被技术委员会采纳后, 在ISO理事会承认其为国际标准之前, 应分发给各会员团体, 征求赞同意见。

国际标准ISO3173由ISO/TC22道路车辆技术委员会拟定, 并于1973年11月分发给各会员团体。

下列国家的会员团体已赞同此标准:

澳大利亚	伊 朗	瑞 士
奥地利	爱尔兰	泰 国
比利时	意大利	土耳其
巴 西	荷 兰	联合王国
捷克斯洛伐克	新西兰	美 国
阿拉伯埃及共和国	波 兰	苏 联
法 国	罗马尼亚	南斯拉夫
匈牙利	南非共和国	

下列国家的会员团体, 由于技术上的立场, 表示不赞同此标准:

日 本	德意志联邦共和国	瑞 典
-----	----------	-----

1. 范 围

本国际标准规定用于测量驱动道路车辆柴油机在稳定工况时排气遮光性用仪器的一般要求和安装。这些仪器通称为“烟度计”。¹⁾

第7和8条款详述必须进行的试验,以鉴定某一特定设计的烟度计是否符合国际标准,以及在使用中必须进行的检验,以检验烟度计在使用时仍然符合本国际标准。第9条款例举应用以记录检定试验结果的试验报告格式。

2. 用 途

本国际标准涉及驱动道路车辆用柴油机的烟度计。不包括:

- 自由活塞发动机
- 固定式发动机
- 船用发动机
- 铁道牵引用发动机
- 航空发动机
- 农业拖拉机及土木工程用特种车辆的发动机。

3. 烟度计原理

测量原理是光线透射过一定长度的被测介质,以到达接收器(例如光电管)的入射光的比例来评价介质的遮光性。

4. 烟度计特性

4.1 基本条件

被测气体应封闭于一具有无反射内表面的或等同的光学环境的盒中。

在确定通过气体的光通道有效长度时,应计入保护光源及光电管的机构可能造成的影响。

这一有效长度应该在仪器上指明。

烟度计的指示标尺度应具有两种量程,一是吸收光线的绝对单位,从0至 ∞ (m^{-1}),另一是与光通量到达光电管有关的从0至100%的暗度单位;两种标尺均应包括从全通量时的0至完全遮光时的满刻度。

气体的烟度应系指环境压力和100℃。

4.2 结构要求

4.2.1 总 则

结构应要求在稳定工况下测量室充满均匀不透光度的排烟。

这一条件应可以认为已经满足,假如:

- a) 对于密度不变、温度不变烟度为 $1.7m^{-1}$ 的烟,用一只响应时间为1s的记录仪

1) 仪器及其安装的说明最初以包括在C.E.C.技术要求No. A-01-T-70和A-01-M-70中的C.E.C.的成果为依据,这些技术要求用以满足联合国欧洲经济委员会29工作组的要求而制定的。

测量, 在10s的时间内烟度计指示仪的输出变化不超过 0.075m^{-1} 。

b) 如烟室为隔开式, 在不同截面的平均温度差别不大于 7°C 。

4.2.2 烟室及烟度计体

由于内部反射或散射而造成的, 投射在光电管上的散射光应减至最小 (例如利用内表面刷成无光泽的黑色和采用适宜的总布置)。

光学特性应要求当烟室充满光吸收系数接近 1.7m^{-1} 的烟时散射和反射的综合效果在烟度刻度上不超过 0.1m^{-1} 。

4.2.3 光源

光源应是具有色温在2800至3250K范围内的白炽灯。

4.2.4 接收器

接收器应包括具有与人眼适应光曲线相似的光谱反应曲线的光电管 (最大响应在550~570nm范围内, 430nm以下和680nm以上小于该最大反应的4%)。

电路设计, 包括指示仪器, 应使光电管与接收光强度之间关系变化不超出电路调节的范围和光电管的工作温度范围。

4.2.5 测量刻度

光吸收系数 K 按下式计算

$$\phi = \phi_0 \times e^{-KL}$$

式中 L 为通过气体的光通道有效长度;

ϕ_0 为测量室充满清洁空气时光电管所接收的光通量;

ϕ 为测量室充满烟时光电管接收的光通量。

当一种型号的烟度计的有效长度 L 不能直接按其几何尺寸评定时 确定有效长度 L 应:

——用7.7.5b*所述方法

——或用已知有效长度的另一种型号的烟度计来校正。

0至100不透光度刻度与光吸收系数之间的关系由下式给出

$$K = -\frac{1}{L} \log_e \left(1 - \frac{N}{100} \right)$$

式中 N 为不透光度刻度读数;

K 为光吸收系数的相应值。

烟度计的指示刻度应使光吸收系数 1.7m^{-1} 的读出精度为 0.025m^{-1} 。

4.2.6 测量仪器的调整和标定

当光通量通过充满清洁空气的烟室、或具有相同特性的小室时, 光电管及指示器的电路应调整得使指针能重新调到0。

随灯的关闭, 测量电路即断开或短路, 光吸收系数刻度的读数应调到 ∞ , 随测量电路再接通它应保持在 ∞ 。

应在开灯时进行中间检验, 利用置于测量室中的一个遮光片代表气体, 光吸收系数 K , 按4.2.5那样测得, 已知在 1.6 与 1.8m^{-1} 之间。所知的 K 值应该测准至 0.025m^{-1} 以内。

* 原文中无此款号疑有误——译校者注。

检验就是验证当遮光片位于光源与光电管之间时此值相当于指示表上的读数在 0.05m^{-1} 以内。

4.2.7 被测气体和清扫空气的压力

烟室内的排气压力与大气压力之差应不大于 4mbar 。对具有光吸收系数 1.7m^{-1} 的气体，烟室内的气体和清扫空气的压力变化应不使光吸收系数的变化大于 0.05m^{-1} 。

烟度计应配备适当的仪器以评定烟室内的压力。它应能以 0.1mbar 的精度读出压力值。

气体和清扫空气压力变化的极限应由仪器的制造厂说明。

4.2.8 被测气体的温度

烟度计应配备适当的仪器以评定烟室内气体的平均温度。制造厂应规定使用极限，平均温度必须能指示至 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

烟室内每一点的试验气体的温度在烟度计测量的瞬间应不低于 60°C ，烟室内平均温度应不超过 120°C 。

如平均使用温度 ($t^\circ\text{C}$) 不是 100°C ，则烟度计读数应以下式校正至 100°C

$$K_{\text{校正}} = K_{\text{实测}} \frac{(t + 273)}{373}$$

在此温度范围内假设存在的全部水份为汽态而所有其它未凝结的非固态微粒（即未凝结、未燃烧的燃料或润滑油）在正常的全负荷排烟中是不重要的。在这些条件下因温度影响的校正公式是有效的。若排烟含有不正常量的非固态成份校正公式无效，建议要更严格的限制超过 100°C 基准的温度范围。

4.3 设计细则

在烟室前的任何前室和减压阀必须不影响进入烟室气体的不透光度特性，对烟度为 1.7m^{-1} 的气体不超过 0.05m^{-1} 。

在设计作为间歇使用的烟度计，应装有一温度传感器，置于控制进入烟室气体的旁通阀的上游。旁通系统的流量应该当调整至制造厂的规定时，两个旁通位置之间的气样温度变化小于 5°C 。

5. 数据和测试仪表要求

5.1 制造厂提供的数据

5.1.1 在取样时代表所推荐的排气温度和压力的较低的极限也代表有关的清扫空气压力的较高极限和正常的试验台环境条件下的烟柱的有效长度。

5.1.2 烟室进口的气样压力极限。

5.1.3 有关的清扫空气供给量极限，应该包括调整规定。

5.1.4 在给定测量位置的温度（例如环境空气和排气气样）极限和它们与烟室中气样平均温度的关系。

5.1.5 烟度计体内清扫空气的漏气量和有关的测量条件的限制。

5.1.6 有关所用的接头、已定的相当的孔板的尺寸极限的说明。

5.1.7 流量数据

a) 进入烟度计的气样总流量作为按5.1.3所述的清扫空气压力极限和按5.1.6出口

条件的烟室进口处压力的函数关系。

b) 经烟室的气样流量作为按5.1.3所述的清扫空气压力极限和按5.1.6出口条件的烟室进口处压力的函数关系。此数据只在烟度计烟室上游装有减压阀时才需要。

5.1.8 光源的工作限度，择其一：

a) 光源触点处电压的限度和灯泡寿命的说明；

b) 以颜色标定滤色器读数的限度。

5.1.9 光电管的表面温度，超过时光电管输出特性剧烈改变。

5.1.10 光电管光谱特性，包括滤色器，若采用时。

5.1.11 烟度计满意地工作的电源电压的限度（若灯和鼓风机为独立供电时须另给出电压限度）。

5.1.12 烟度计的技术说明，包括电路图、烟室和相连部分（例如空气道和烟道）的尺寸图，附公差。

5.1.13 烟度计维修数据，包括清洗时间间隔及特殊的使用注意事项，特别是要说明该设计是用作连续还是间歇工作的，在后一种情况下的每次记录读数前烟流经烟度计所需的时间。

5.2 对仪器的要求

5.2.1 仪器应适合于测量下列项目：

a) 烟室进口处的排气压力。

b) 制造厂规定的测量气样温度点的温度。

c) 清扫空气的压力（若用时）。

d) 旁通（若装有的话）上游的排气温度。

e) 灯电压（除非采用为检查色温而用色泽滤色器的单独的方法）。

f) 光电管电路的输出（即指示排气的烟度）。

5.2.2 控制器应适合以下项目：

a) 光电管电路的灵敏度。

b) 清扫空气的流量。

5.2.3 必须要检查的单独条款如下：

a) 光电管及其电路检查精度用的滤色器。

b) 检查渗漏（当用清扫空气时）用的孔板（或与其相当的仪器）。

c) 检查排泄管压力损失特性的孔板（或与其相当的仪器）。

6. 烟度计的装备

6.1 取样式烟度计

取样探头与排气管横截面的比率应不小于0.05。取样探头插入排气管中的部份应不影响发动机的性能。

取样探头应是一支具有开端迎着上游气流的管子，它被置于排气管或被要求的膨胀管的轴线上。取样探头应位于烟气分布大致均匀的地方。为此，取样探头应尽可能被置于排气管的下游（或者，如果必要，置于一个膨胀管中）。因而，如果 D 为取样探头处的排气管直径，则取样探头的端部被置于取样点的上游长度至少有 $6D$ ，下游长度至少有

3D的直线部份。如果采用膨胀管,应不允许在连接处漏入空气。

在排气管中的压力和取样线路中压力降的特性应使取样探头收集的烟样相当于由等动力取样所得到的烟样。如果必要,可以在取样线路中尽可能接近取样探头的地方,接入一个为阻尼波动、设计紧凑而有足够容量的膨胀箱。还可以安置一个冷却器。膨胀箱和冷却器的结构应不使排气成份有过份的搅动。

在不影响发动机性能的条件下,排气管中可以安置一个蝶形阀或其它增加取样压力的工具,位于取样探头的下游,距取样探头至少3D处。

取样探头、冷却装置、膨胀箱(如要求的话)和烟度计之间的连接管应尽可能短。同时要满足在4.2.7和4.2.8中所述的压力和温度要求。这个管应从取样处至烟度计倾斜向上,并应避免急剧的弯曲,以免蓄积烟尘。带有水收集器的烟度计,假如取样管不弯曲而烟尘和水不致蓄积的话,取样管可不再提高。

试验的时候应作检查,保证在被观察的烟室中具有4.2.7涉及的压力和4.2.8涉及的温度要求。

6.2 全流式烟度计

下面是一般注意事项:

——排气管和烟度计的连接管的接合处不得有空气自外面渗入。

——排气与烟度计的连接管应尽可能短。从排气管至烟度计的管路系统应倾斜向上,并应避免急剧的弯曲,以免蓄积烟尘。带有水收集器的烟度计,只要取样管不弯曲而烟尘和水不致蓄积的话,取样管可不再连续提高。

——试验的时候应作检查,保证在被观察的烟室中具有4.2.7涉及的压力和4.2.8涉及的温度要求。

——也可以在烟度计的上游装一冷却系统。

7. 烟度计定型检验

7.1 范围和用途

本款规定的程序应用于检验符合条款4和5的某种烟度计型式。包括全流式和取样式烟度计,以及带有和不带有清扫空气的装置。各个部份不都适用于所有的烟度计,任何给定的条款的适用性决定于烟度计的结构细则,要看其采用的是连续工作还是间歇工作的仪表。可能每项目都要参考条款4和5中的试验涉及到的个别附款。

7.2 一般条件

为了检验烟度计型式是否符合规范,首先需要检查由规范要求烟度计上装备的某些仪表和控制装置,并要检查由制造厂规定的某些运转限制和参数。检验试验包括检查规范所要求的仪器的特性,并在制造厂要求的范围内,检查烟度计是否真正满足规范的性能要求。为进行检验试验,除了通常烟度计上配备的仪表之外,可能需要添加某些仪表。

对于已有的众所周知的试验技术(如光学和电学的),本试验不作详细描述,除此之外,要给出详细的规程。然而这些规程不可能概括所有可能的烟度计设计和试验装置。因此,替代的方法,只要与所描述的方法在精度上和响应要求上相当,是容许采用的。不论是用于哪里的记录器,根本的是要考虑记录器对电路的响应或灵敏度的影响。

7.3 定义

使用下列符号:

K ——气体的光吸收系数(烟度),测量单位 (m^{-1});

L ——烟度计烟柱的有效长度,以米为单位 (m);

N ——烟度计的不透光度刻度,以百分率计 (%);

t ——温度,以摄氏温度单位 ($^{\circ}\text{C}$)

7.4 制造厂提供的数据 (5.1)

检查制造厂提供的数据,包括规范中5.1规定的全部项目。

7.5 仪表的要求 (5.2)

检查制造厂提供的标准仪表是否符合规范中5.2的仪表要求。

7.6 仪表的校验

7.6.1 色温 (4.2.3)

检查在指示状况范围内(例如用灯泡接触电压或用着色检查滤光器的读数)光源的色温是否在2800~3250K之间。

7.6.2 光电管对不同波长和温度的响应 (4.2.4)

检查光电管和滤光器组合特性在550~570nm范围内是否有一最大响应;并且在430~680nm之间小于最大响应的4%。

检查光电管工作在制造厂规定的最高温度时,光电管的响应是否是不变的。

7.6.3 测量电路和标定的精度 (4.1和4.2.6)

a) 检查仪表在制造厂指定的电源电压范围内是否能够满意地调节零点。并且检查当灯关闭时,不管测量电路接通与否,刻度读数是否为无穷大。

b) 检查不透光度刻度的精度,在10%到95%暗度之间至少检查六点。这项检查可以在光学试验台上进行,或用已知精度为 $\pm 0.5\%$ 的中等密度的遮光片,还可以用其它相当的方法。如果刻度误差经常小于1%,则不透光度刻度应该被认为是满意的。该项试验应该在制造厂给定的正常的和最大的光电管温度下进行。

注——使用已知密度的遮光片,应该考虑到这样一个事实,通过遮光片的光并不完全正比于它的密度,因为它还受到玻璃和空气之间遮光片的两个边界的反射的影响。

c) 检查随烟度计供应的标定用遮光片的吸收性能,按照光电管和滤光器特性在430~680nm范围内积分,吸光性应在标定用遮光片上注明数值的 $\pm 0.05\text{m}^{-1}$ 内。

d) 检查随烟度计供应的标定滤光器产生的指示器读数是否是在它注明数值的 $\pm 0.05\text{m}^{-1}$ 内。

7.7 关于内部设计的流动特性的校验

7.7.1 温度分布 (4.2.1和4.2.8)

7.7.1.1 目的

为了决定气体在100 $^{\circ}\text{C}$ 时的烟度,须要证实的是否用制造厂提供的温度指示器实际上确定了测量室中气体的平均温度。这种状况从比较温度指示器的读数和烟室中温度分布测量结果便能得到证实。该项试验还可以校验气体的最低和最高温度是否符合4.2.8中的那些规定,并且对于由中间进气而分为两半部的烟度计,可校验其两半部之间的温差是否在容许范围内。

7.7.1.2 试验的准备

为了测定温度的分布,必须测量沿烟室中心线各点的温度。任何温度传感器必须保持在绝热良好的支座内并且对气体的流动不能有不良影响。一个满意的方法是用0.1mm金属丝端部相接的热电偶通过烟室的中心线。然而这种测量系统须要采用假的灯泡和光电管,其上带有钻孔,以便穿过金属丝。热电偶必须同样用于测量接近清扫气与烟气混合区的清扫空气的温度。

7.7.1.3 试验程序

用排气或热空气供给烟度计,沿烟室中心线逐点测量温度分布,并且测量接近混合区的清扫空气温度,要在下列稳定条件下进行:

- a) 制造厂推荐的最低气样温度和最小气样流量(最低气样压力和最高清扫空气压力);
- b) 制造厂推荐的最高气样温度和最小气样流量(最低气样压力和最高清扫空气压力);
- c) 制造厂推荐的最高气样温度和最大气样流量(最高气样压力和最低清扫空气压力);

7.7.1.4 评价

沿烟室中心线划出温度分布曲线。对于采用清扫空气的烟度计,用附录A的方法校正空气与烟气的混合气的温度分布并进行如下的评价:

- a) 在三种试验条件下计算平均温度 t_a , t_b 和 t_c ,并且校验当用绝对温度(K)表示时,它们是否与制造厂提供的指示器测出的温度相符,差别要在5℃之内。
- b) 在(7.7.1.3a)试验条件下,校验试验气体跟清扫空气混合之前的温度应不低于60℃。
- c) 计算在7.7.1.3a)和b)试验条件下的平均温度,并验证

$$\frac{t_b + 273}{t_a + 273} \leq 1.06$$

校验在7.7.1.3c)试验条件下,最高平均温度不超过120℃。

d) 在7.7.1.3b)试验条件下,找出自烟室入口处到指示温度相当于平均温度的横截面的距离 l_m 。对于校验试验的其它部份来说,这点的温度被认为相当于烟室中气样的平均温度。但是,对于烟室中间进气的烟度计,要分别确定烟室两半部的 l_{m1} 和 l_{m2} 。对于校验试验的其它部份来说,烟室中的平均温度被认为是两个热电偶的平均读数,每半部中的热电偶的安装处离中心的距离为0.5($l_{m1} + l_{m2}$)。一个适宜的热电偶设计示于图1-1。

e) 对于烟室中间进气的烟度计,要校验在任何一种试验条件下,在两半部中的平均温度的差别不大于7℃。

7.7.2 读数的稳定性 (4.2.1)

7.7.2.1 目的

在用清扫空气的烟度计中,在烟室的端部可有一相当大的空气和排气的混合区;这种混合可以引起涡流和有效长度的改变,导致读数的不稳定性产生可能的误差。同样地,烟室中的气流被分开,例如采用中央进气的情况,有两个烟室(一半烟室)之间的