

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl<sup>7</sup>

G01N 25/72

## [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97101246.6

[45]授权公告日 2001年8月8日

[11]授权公告号 CN 1069408C

[22]申请日 1997.2.25 [24]颁证日 2001.5.23  
[21]申请号 97101246.6  
[73]专利权人 中国科学院金属研究所  
地址 110015 辽宁省沈阳市沈河区文化路72号  
[72]发明人 黄毅 许聪 徐军 李伟  
审查员 丁惠玲

[74]专利代理机构 中国科学院沈阳专利事务所  
代理人 张晨

权利要求书1页 说明书4页 附图页数3页

[54]发明名称 一种压力容器的热图无损检测方法

[57]摘要

一种压力容器的热图无损检测方法,其特征在于在压力容器表面涂以 $\epsilon$ 值大于0.9红外涂料;将容器置于由热屏蔽板构成的背景前;对压力容器进行打压,升压速度大于1MPa/秒,同时用红外热像仪获取压力容器热图,通过计算机对系列热图的对比找出热图中红外冷发射最明显的地方,即对应于应力最大位置;对压力容器卸压,同样取得热图,通过计算机对系列热图的对比,找出热图中红外热发射最明显的地方,即对应于应力最集中的位置。本发明提供了一种压力容器在工作状态下的实际应力分布情况以及潜在的缺陷的无损检测方法。

ISSN 1008-4274

# 权 利 要 求 书

---

1. 一种压力容器的热图无损检测方法,其特征在于检测步骤如下:

(1) 在压力容器表面涂以红外涂料,要求红外涂料的表面比发射率  $\varepsilon$  值大于0.9;

(2) 将涂过红外涂料的压力容器置于由热屏蔽板构成的背景前,热屏蔽板为表面粗糙对红外线产生漫散射的材料;

(3) 在压力容器的工作压力范围内,对压力容器进行打压,升压速度大于1MPa/秒,同时用红外热像仪获取初始、过程中及终结状态的压力容器热图,通过计算机对系列热图的对比找出热图中红外冷发射(IRCE)最明显的地方,即对应于应力最大位置;

(4) 对压力容器卸压,同样取得初始、过程中及终结状态的热图,通过计算机对系列热图的对比,找出热图中红外热发射(IRHE)最明显的地方,即对应于应力最集中的位置。

# 说明书

## 一种压力容器的热图无损检测方法

本发明涉及安全评估和无损检测技术,特别提供了一种用于压力容器的热图无损检测方法。

压力容器在工业领域及航天领域都有着广泛的应用,其工作的安全性、使用寿命和经过一段时间使用后被损伤和出现缺陷的程度一直是人们所关注的主要问题,长期以来,一些常规的无损探伤和检验方法虽然能够对压力容器进行探伤和检测缺陷,但是这些方法一般是在非工作状态下进行的静态检测,检测到的结果也只能在有缺陷或有伤时候才能反映和说明问题,对于压力容器大工作状态下的实际应力分布情况以及潜在的缺陷,这些方法就无能为力了。

本发明的目的在于提供一种压力容器在工作状态下的实际应力分布情况以及潜在的缺陷的无损检测方法。

本发明提供了一种压力容器的热图无损检测方法,其特征在于检测步骤如下:

- (1) 在压力容器表面涂以红外涂料,要求红外涂料的表面比发射率  $\varepsilon$  值大于 0.9;
- (2) 将涂过红外涂料的压力容器置于由热屏蔽板构成的背景前,热屏蔽板为表面粗糙对红外线产生漫散射的材料;
- (3) 在压力容器的工作压力范围内,对压力容器进行打压,升压速度大于 1MPa/秒,同时用红外热像仪获取初始、过程中及终结状态的压力容器热图,通过计算机对系列热图的对比找出热图中红外冷发射(IRCE)最明显的地方,即对应于应力最大位置;
- (4) 对压力容器卸压,同样取得初始、过程中及终结状态的热图,通过计算机对系列热图的对比,找出热图中红外热发射(IRHE)最明显的地方,即对应于应力最集中的位置。

固体材料在受力载荷的状态下,根据热弹性效应,其本身的温度将要发生变化,这种温度场的变化与材料本身的应力与应变有关。特别地,在弹性范围及绝热条件下,物体的温度变化与其应力的关系如(1)式所示

$$\sigma = -K \Delta T / T_0 \quad (1)$$

式中,  $\Delta T$  是物体温度的增量,  $T_0$  是物体在不受力时的温度,  $K$  为常数,是由物体的热性能和弹性性能决定的,  $\sigma$  是物体的应力。按照此表达式,可以得出弹性拉伸

载荷引起降温,而弹性压缩载荷则引起温度升高。在金属中也存在此种效应,虽然在温度变化上很小。本发明将此种效应分别定名为红外冷发射(IRCE)相对应于弹性拉伸载荷和红外热发射(ICHE)相对应于弹性压缩载荷。同样作为金属构件的压力容器,在弹性应力条件及绝热情况下,也存在有红外冷发射(IRCE)和红外热发射(IRHE)。IRCE和IRHE的强弱以及其热图型貌是与压力容器的应力集中区和缺陷区有关的,本发明所提出的技术方案正是基于这一点完成的。通常情况下,工况使用的压力容器表面红外发射特性极不均匀,有的表面比发射率 $\epsilon$ 极低( $<0.2$ ),故不可能获得任何真实的红外发射信息。采用提高压力容器表面比发射率 $\epsilon$ 值的红外涂料,(要求 $\epsilon>0.9$ )它使工况下的压力容器表面 $\epsilon$ 值趋于一致,而且对压力容器表面不产生任何腐蚀等影响,这一类红外涂料可以为油漆,粘土,炭黑等。为防止周围环境及压力容器自身红外辐射对检测的影响,采用表面粗糙对红外线漫散射的材料和结构的热屏蔽板是测试成功之关键,热屏蔽板的材料可以为具粗糙表面的各种塑料,纸张,木制板材等。

本发明热图无损检测方法对压力容器在工作状态的应力分布情况进行检测有着以下几个优点:

1. 可以真实地反映出压力容器在工作状态下的应力分布状态,压力容器上的应力最大处和应力集中区通过分析便可直观地得到。

2. 如果容器存在某种缺陷和损伤以及腐蚀等,通过这种方法的检测都能够予以诊断出来,特别在某些缺陷还在萌发期时该方法就能早期预测出来。这是其它检测手段所做不到的。

3. 完全的非接触,无损害的检测,也无需对被测体施行射线照射,操作简便,效率高,可对被测物进行长期的监测比较,乃至建立数据库档案。

4. 可开发成便携式检测系统,随时对现场使用的压力容器进行检测,并且比较安全。下面通过实施例详述本发明。

附图1 20升钢球实物照片;

附图2 20升钢球在压力为10MPa时的热图,其中暗兰色区域显示IRCE较大;

附图3 20升钢球加压20MPa时的热图;

- 附图 4 20 升钢球随应力增加而变化的热图；
- 附图 5 20 升钢球卸压后 1 秒的热图；
- 附图 6 20 升钢球卸压后 4 秒的热图；
- 附图 7 0.6 升钢瓶打爆试验初始压力为 5MPa 热图；
- 附图 8 0.6 升钢瓶压力为 10MPa 热图；
- 附图 9 0.6 升钢瓶压增至 30MPa 热图；
- 附图 10 0.6 升钢瓶压力加至 80MPa 热图；
- 附图 11 0.6 升钢瓶在打爆过程中热图的变化；
- 附图 12 2 号 0.6 升钢瓶打爆试验热图压力为 0MPa；
- 附图 13 2 号 0.6 升钢瓶在压力为 30MPa 时的热图；
- 附图 14 2 号 0.6 升钢瓶在压力升至 80MPa 时的热图；
- 附图 15 2 号 0.6 升钢瓶压力 85MPa 热图。

#### 实施例

测试步骤如下：

1. 对所要测试的压力容器的几何形状, 尺寸和规格进行了解和实测, 为将来定标作好准备
2. 用高比发射率的黑色快干漆均匀喷涂在样品的表面, 以保证样品的表面发射率均匀一致
3. 采用表面粗糙的原木胶合板(具有红外漫反射性能)将压力容器与周围热辐射环境隔离
4. 将红外热像仪探头置于合适的位置, 连接好红外热象仪的各项部件, 如监视器和磁带记录仪等。接上电源, 开机初调。
5. 开机后, 观察监视器上的显示屏中的被测物的红外影象, 调整探头方位, 对准被测物后记下一幅在压力容器不受压时的原始象。
6. 开始给压力容器加压, 同时开启磁带记录装置以每 4 秒一幅象的速度进行热图捕捉与记录, 每记一幅象时应同时记下对应的压力值；
7. 待压力增至一定水平后(需根据具体情况而定), 可延长记录的时间间隔。
8. 在卸压时, 开始以 2 秒一幅象的速度记录热象直至压力减为 0。
9. 将探头换一个方位以测量样品的其它观察面, 然后重复步骤 3 至步骤 8。
10. 将升压时记录下来的热图输入计算机中进行图象处理, 定分析温度分布的变化和压力值, 随着压力的增加, 样品的温度会有所下降, 压力越

大,温度下降越明显,这种现象被称为红外冷发射(IRCE),在热图中找出IRCE最明显的地方,这个地方就对应于应力最大的位置,计算该处的 $\Delta T/T_0$ 值,然后将该值代入(1)式就得出在某个压力下的最大应力值。其它点的应力值也可由这种方法求出。于是,就可了解整个容器的应力分布状态。

11. 将卸压后的压力容器的热图逐一输入到计算机中进行图象处理。卸压时,压力不断减少,容器的温度将上升,这种现象称作红外热发射(IRHE),通过观测IRHE可以找出应力集中的位置,也使得应力分布梯度变得更明显。

以上方法为压力容器热图无损检测方法的基本步骤和规程,下面举一些实例来说明这个方法的使用。

首先说明分析IRCE的方法,图1是20升钢球实测时的场景图,钢球的材料是37SiMnCrNiMoV钢。图2为打压考核过程中压力为10MPa时的一张热图。根据IRCE,其上温度较低的暗蓝色区域为应力最大的区域。随着压力的增加,这个冷区域将随着扩大。图3为该球在压力为20MPa时的热图。图4显示了压力从低到高的一系列热图变化,从该图可以看出IRCE变化的趋势以及IRCE的中心位置,在热图图象处理中可以获得每一点的温度值,该温度值的变化将作为未来定量分析的数据可以通过公式(1)转换为应力值。其次,关于IRHE的分析可见图5,图6,图5为容器开始卸压时的热图,图6是卸压后4秒的热图。从这两张图上可以看出在球的焊缝附近区域的温度变化较为明显,即IRHE较明显,说明这个区域是一个应力集中区域。接下来再举一些在破坏性打压考核试验中通过热图检测压力容器爆破位置的实例。图7至图11是0.6升钢瓶(材料为D6AC钢)打爆试验中获取的几个热图。图7为5MPa时的热图,图中小箭头所指位置是将来要爆破的位置,它是该气瓶的最大应力集中区域,图8是压力为10MPa时的热图,这张图反映出的前头所指的位置出现微小的IRCE。但还不十分明显,待到压力增至30MPa时该区域的IRCE便很明显了。图9是压力为30MPa时的热图,当压力容器出现塑性及屈服以后,该区域出现IRHE且十分突出与明显,见图10所示的异常区正是即将爆破的位置,图11展示了0.6升钢瓶打爆过程热图的一系列变化。图12至图15是另一只0.6升的钢瓶在打爆试验中的热图,从这些图中也可看出IRCE和IRHE的变化,实际的爆破位置正是箭头所指的地方。

# 说明书附图

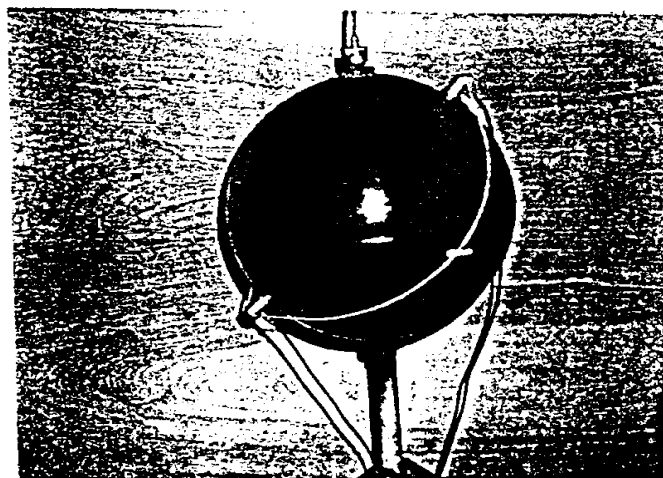


图 1

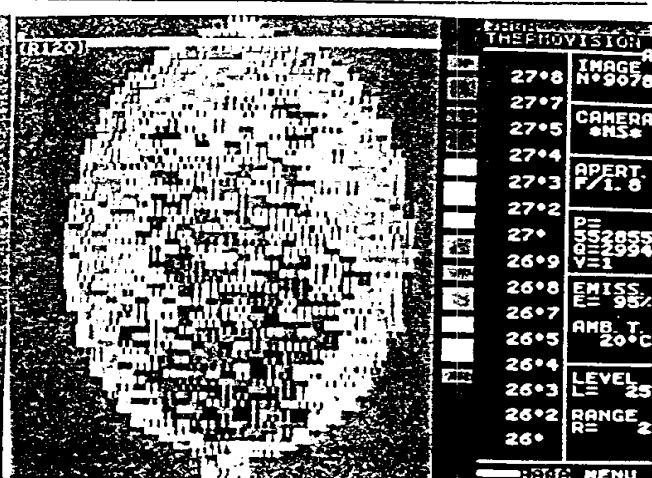


图 2

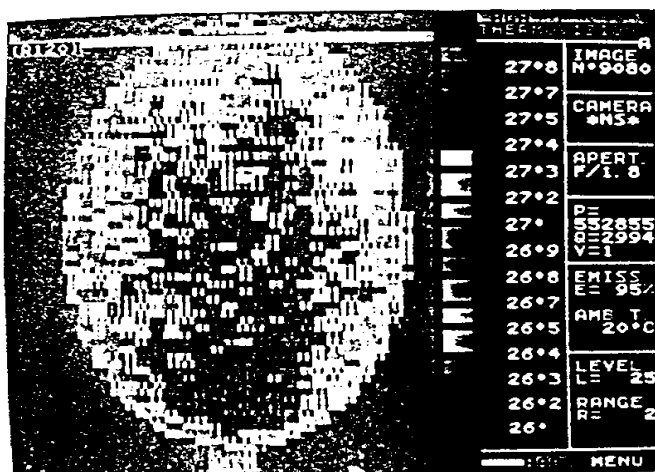


图 3

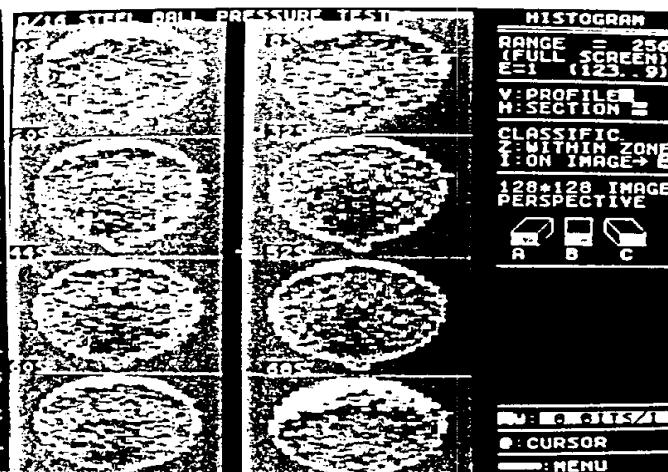


图 4

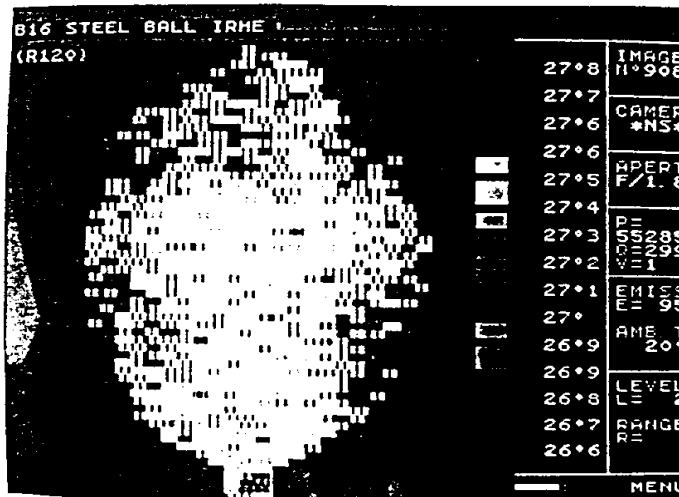


图 5

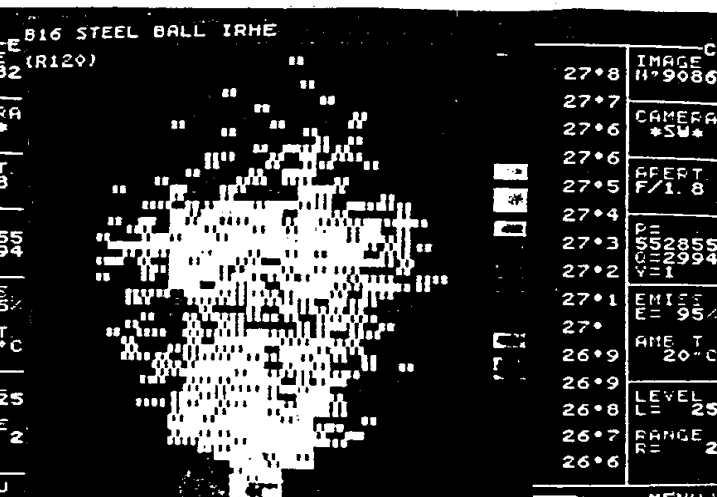


图 6

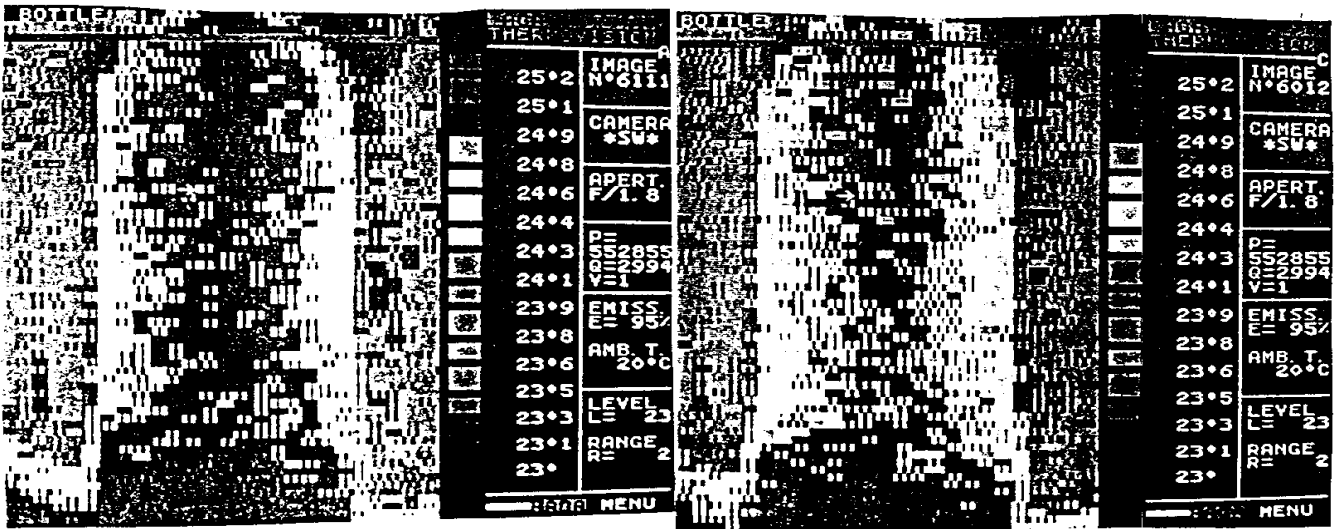


图 7

图 8

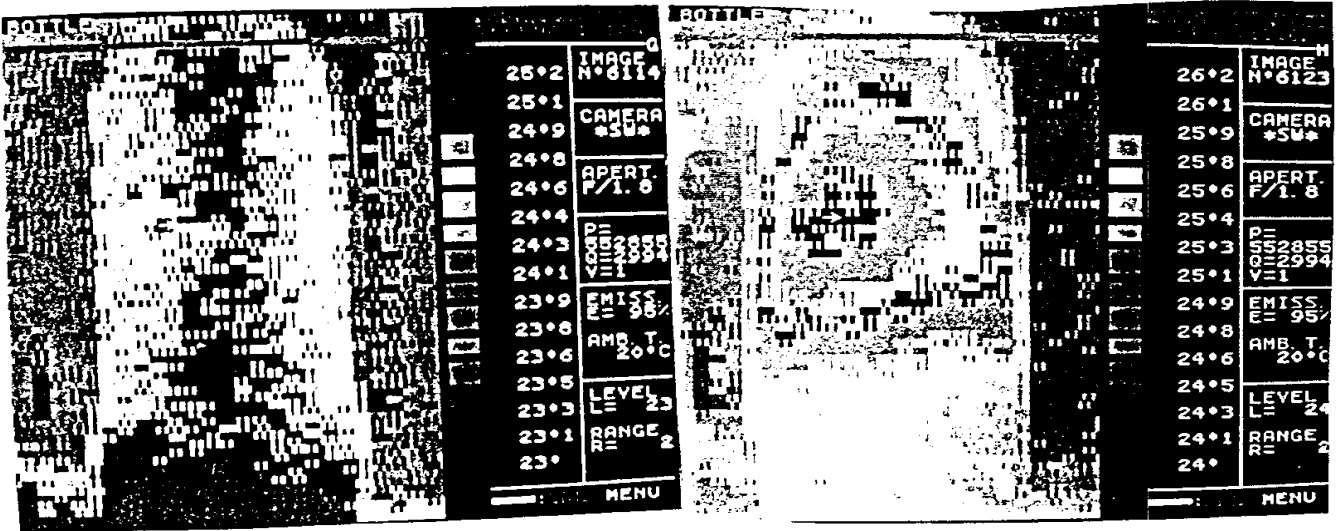


图 9

图 10

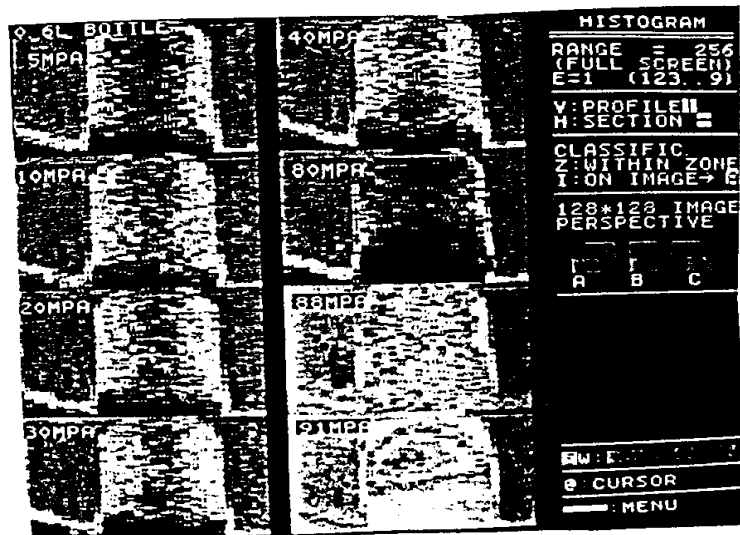
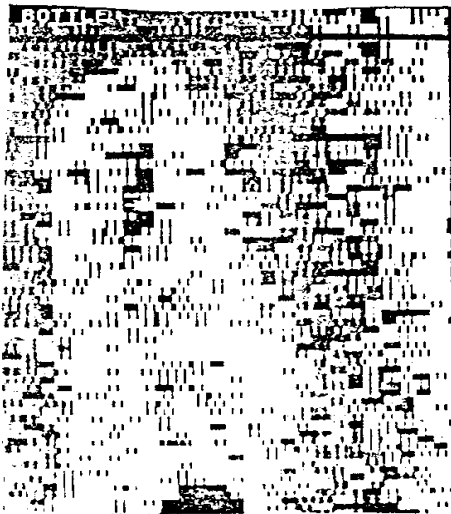
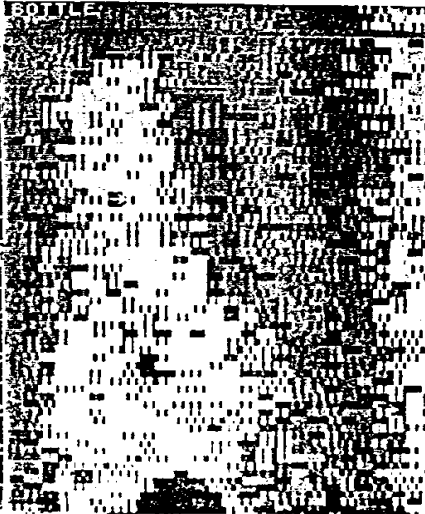


图 11





24*2	IMAGE N°6069
24*1	CAMERA *SM*
23*9	APERT. F/1.8
23*8	EMISS. E=95%
23*7	AMB. T. 16°C
23*6	LEVEL L=22
23*4	RANGE R=2
22*4	MENU



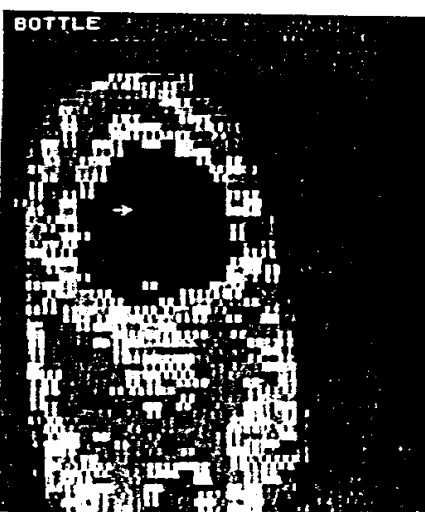
24*2	IMAGE N°6072
24*1	CAMERA *SM*
23*9	APERT. F/1.8
23*8	EMISS. E=95%
23*7	AMB. T. 16°C
23*6	LEVEL L=22
23*4	RANGE R=2
22*4	MENU

12

13



FRAME/FIELD	
D:	128*128 (FP)
H:	64*128 (FT)
L:	READ OSCAR+
V:	VISU
K:	CALIBRATION
N:	AUTOM. RANGE
M:	TEMP. SCALE
N+V+K+N+T	ZONE
MENU	



27*6	IMAGE N°6090
27*3	CAMERA *SM*
26*6	APERT. F/1.8
26*3	EMISS. E=95%
26*	AMB. T. 16°C
25*6	LEVEL L=22
25*3	RANGE R=10
23*	MENU

14

15