

大亚湾核电站

辐射监测系统KRT培训教材

编写：姜爱苟

审核：刘成夫、顾景智

批准：杨茂春

大亚湾核电站保健物理处

2002年9月30日

目 录

第一章 前言

第二章 辐射探测器的探测原理、测量特性、主要应用范围

1、气体探测器

1.1 气体探测器的测量原理

1.2 电离室

1.3 正比计数器

1.4 G-M计数器

2、闪烁探测器

3、半导体探测器

第三章 KRT系统

1、系统回路的组成

2、设备的功能

3、通道功能和分类

第四章 KRT通道与被监测系统的关系及常见故障

1、KRT001MA

2、KRT02/03/04MA

附件一、关于KRT通道指示值从零上漂或下漂的说明

3、KRT05/06MA

4、KRT007MA

5、KRT008/09/028MA

附件二、KRT008MA误发二级报警的处理

6、KRT010/015MA

7、KRT011/012/013/014MA

8、KRT016/017/021MA

附件三、1KRT016MA频发“MF”故障的原因分析

附件四、1KRT016MA测量腔进水的原因分析

9、KRT018/019MA

10、KRT022/023MA

11、KRT026MA

12、KRT032/033/034MA

13、KRT036MA

14、KRT041MA

15、KRT051-055、501-502, 508-512MA

16、KRT505MA

17、KRT901MA

18、KRT904MA

附件五、KRT通道报警处理流程

第五章 KRT系统的定期试验

- 1、定期试验的目的
- 2、定期试验的方式
- 3、定期试验的周期

第一章 前言

该教材是根据运行人员的培训要求编写。其目的是使学员了解辐射探测器的探测原理、特性、主要应用范围，了解掌握KRT系统基本组成、工作原理、功能、与被测系统的关系、常见故障现象及原因，了解KRT系统的定期试验。

第二章 辐射探测器

概括地讲，核辐射探测器的主要作用是把进入探测器灵敏区域的核辐射转变成为信号处理设备能够觉察出来的信号，例如电信号、光信号、声信号、热信号等。

凡是对辐射敏感，且可通过各种方法能将此敏感效应加以定性、定量记录的物质均可用作辐射探测器。辐射防护领域常用的辐射探测器包括气体探测器、闪烁探测器、半导体探测器、固体径迹探测器和热释光探测器等。本章重点介绍核电站常见的几种辐射探测器。

1、气体探测器

气体探测器包括电离室、正比计数器和G-M计数器等。由于它们把核辐射转变成为电信号的物理过程都是在探测器内充特定气体的特定体积中进行的，所以它们统称为气体探测器。它们虽是早期的核辐射探测器，但由于它具有其它类型探测器不能取代的结构简单、性能稳定、价格低廉、适应较宽的温度范围等特点，至今仍有着广泛的应用。

1.1 气体探测器的原理

带电粒子通过气体时与气体分子发生电离碰撞，使气体分子电离和激发，产生离子对。气体探测器就是基于上述原理，通过电极对离子的收集并经后续电路来实现辐射测量。为了实现不同的测量目的，需要选择不同的工作气体、探头结构和高压范围。极间电压（高压）的变化直接影响气体探测器收集离子对的数量和探测器的工作状态，这种关系见图1。

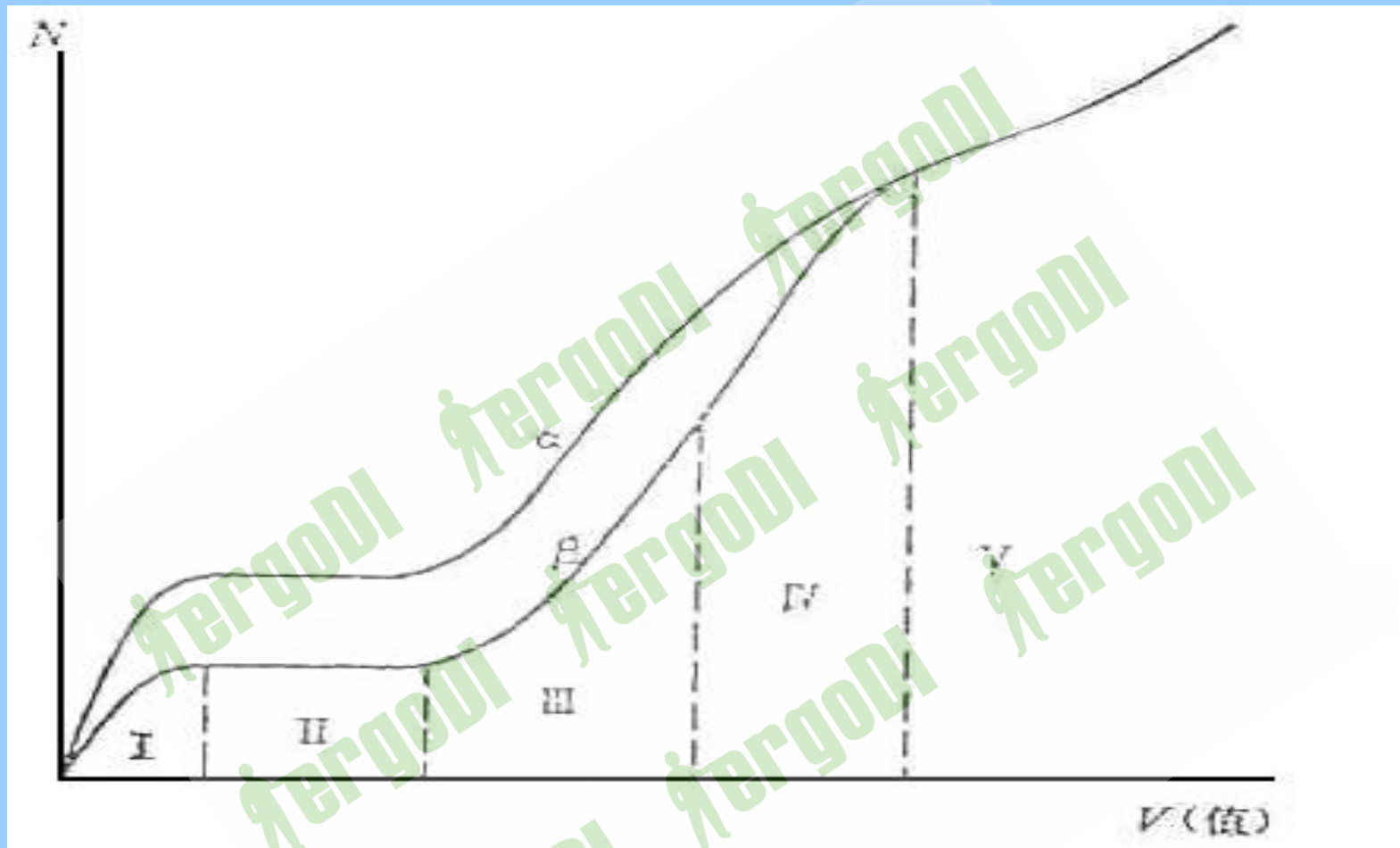


图1 气体探测器电极收集到的离子对数目与外加直流电压的关系
I、复合区； II、饱和区（电离室工作区）； III、正比区（正比计数器工作区） IV、有限正比区； V、G-M工作区（G-M计数器工作区）

- I、复合区：**电压很低时，弱电场无法阻止离子对的复合，所能收集到的电离电流很小。其特点是电极收集到的离子对数目 N 低于由带电粒子产生的离子对数目 N_0 。 N_0 有一部分因为复合而消失。
- II、饱和区：**随着电压的增加，复合作用减少，电离电流增加，到一定值时将达到饱和，这一区域为电离室区（II区）。其特点是 N 正好等于 N_0 。
- III、正比区：**随着电压继续增加，原电离产生的电子在电场作用下与气体分子发生碰撞，这类碰撞逐级增加，最后形成“雪崩”现象，此时电离电流的增殖与极间电压的关系稳定，收集电极上感生的脉冲幅度与原电离产生的脉冲幅度成正比关系，这个区域称为正比区III区）。其特点是对某一确定的探测器，当 V 一定时， $M=N/N_0$ 是定值。

IV、有限正比区：

工作电压继续增加时，由于光子在气体或阴极表面引起的光电发射以及正离子在阴极上的二次电子发射，使得电子增加，同时，阳极周围大量的正离子形成的“空间电荷效应”使阳极周围电场减弱，限制了次级离子的增加。电离电流与工作电压的比例关系不固定，但仍与原电离有关，该区域称为有限正比区（IV区）。其特点是M的数值于 N_0 的大小有关系， N_0 比较大时M就比较小，也就是说N与 N_0 的正比关系受到限制。

V、G-M工作区：电压再增大时，气体的放大系数随电压急剧上升，并失去与原电离的正比关系，只要有粒子入射就会产生一个幅度相同的信号，此区称为**G-M区（V区）**。其特点是**N**保持定值，仅由计数器的结构与外加电压的数值所决定，与 **N_0** 无关，所以，看到了两条曲线的重合。当电压进一步增加时，电子雪崩发展成为自激放电，进入连续放电区（**VI区**）。

通常按极间电压的范围将气体探测器分为电离室、正比计数器和**G-M计数器**。

1.2 电离室

电离室工作在上述的电离室区。其工作电压相对较低，在这个过程中，没有气体放大。

电离室分两种类型，一种是记录单个辐射离子的脉冲电离室，主要用于测量重带电粒子的能量和强度。其输出信号的最大幅度与粒子的能量成正比。由于电子的漂移速度比正离子大三个数量级，这就决定了脉冲前沿主要是电子脉冲的贡献，是脉冲的快成份，而离子脉冲构成了脉冲的慢成份。通过调节电路的时间常数，可以制成离子脉冲电离室和电子脉冲电离室，前者可用于测量带电粒子的能量，但计数率太高时脉冲重叠，使得能量分辨率降低。后这计数率可以较高，但要分析粒子的能量时需采用屏栅电离室。

另一种是记录大量辐射粒子平均效应的电流电离室和累积效应的累积电离室，主要用于测量强度或通量、剂量或剂量率。可以将工作电压设在饱和区的某一范围内。此外还有可用于绝对测量 β 剂量的外推电离室、用于测量环境剂量的高气压电离室、用于 γ 剂量标准的自由空气电离室等等。

KRT001/009/010/011/012/013/014017/021/018/019/022/023/026/036/041/051-055/501/502/508-512MA其探头类型属于电离室。其中，KRT017/036/041MA等为差分电离室，目的是为了减少周围环境对测量的影响，提高探测灵敏度。

1.3 正比计数器

气体探测器工作在正比区时，称为正比计数器，通常有圆柱型、钟罩型、平行板型等。流气式正比计数器适合于长期连续使用的需要。

在强度不变的放射源照射下，探测器输出脉冲随工作电压的变化曲线称为坪曲线。它包括起始电压、坪长、坪斜等指标。正比计数器的坪长一般大于150V，坪斜小于1%-5%/100V。

正比计数器具有以下特点：

- 1 脉冲幅度较大，约比电离室脉冲大100-10000倍，不必用高增益的放大器；
- 2 灵敏度高，只要发生一次电离就可以记录，可用于探测低能或低比电离的粒子，如软 β 、 γ 和X射线等；
- 3 脉冲宽度比G-M计数器窄，可作快速计数，寿命也较长；
- 4 可以根据需要固定或流气式充气，如测量中子时可充 BF_3 及其它含H气体，通常充有惰性气体加少量多原子分子气体，如90%Ar+10% CO_2 、90%Ar+10% CH_4 等；

正比计数器的主要缺点是脉冲幅度随工作电压的变化加大，易受外来电磁干扰。

C2门、CBO为充有90%Ar+10% CO_2 的流气式正比计数器。

1.4 G-M计数器

盖革-米勒（G-M）计数器工作于G-M区。其结构大多为端窗型（也称钟罩型）和圆柱型。

按充气气体性质，G-M计数器可分为充纯单原子或双原子分子的非自熄计数器和混有纯多原子分子气体的自猝熄计数器。自猝熄计数器又可分为有机自猝熄和卤素自猝熄计数器两种。

描述G-M计数管特性的参数主要有：

1) 坪曲线，包括起始电压、坪长和坪斜。

起始电压通常为几百到1千伏左右。坪斜要求约小越好，一般在5%/100V--10%/100V范围内。坪长约在100V-300V之间，坪长较长工作就会更稳定。

2) 死时间、恢复时间和分辨时间。

由于工作在G-M区，前一次计数完成后，需要场强恢复到足以维持到放电的强度，这段时间称为死时间，然后电场对正离子进行收集，直到正离子完全被收集，这段时间为恢复时间。分辨时间是在考虑了计数管和计数系统两方面因素的前提下，两次连续计数之间的间隔时间。分辨时间短，可以提高计数率的上限。

3) 探测效率。

G-M计数管对带电粒子的探测效率通常可接近100%，对光子的探测效率与光子的能量、管壁材料的原子序数等有关。

4) 寿命。

随着计数管的使用，猝熄气体不断解离而失去猝熄能力。因此计数管在使用时，切忌加过高电压，以免缩短寿命。

5) 温度效应。

环境温度过低过高均会影响计数管的性能，不过在通常的环境温度下其性能稳定。

G-M计数管具有灵敏度高、脉冲幅度大、稳定性高、制作和使用方便等特点，但它也有不能区分粒子的类型和能量、分辨时间长等缺点，计数率太高时可能发生堵塞现象，使用时应该注意。

电厂使用的大部分可携式表面污染监测仪及长杆剂量监测仪的探头均为G-M计数管。KRT016MA其探头属于G-M计数管。

2、闪烁探测器

闪烁探测器的工作原理是基于下面事实，射线照射在某一闪烁体上，使其中的原子和分子受激而发出荧光，将荧光的光信号通过光电倍增管转换为电信号并加以放大获得测量结果。

光子打到光电倍增管的光阴极上，发生光电效应，产生电子，电子经过光电倍增管各打拿极的倍增放大后输出信号，该信号经射极跟随器的耦合、前置放大从探头输出进入后续电子线路。

闪烁探测器由闪烁体、光电倍增管和相应的电子仪器（包括射极跟随器和后续电路）三个主要部分组成。

闪烁体按其化学成份可分为无机闪烁体和有机闪烁体。常用的无机闪烁体有NaI(Tl)、CsI(Tl)、ZnS(Ag)等。有机闪烁体又分为塑料闪烁体、有机晶体闪烁体和有机液体闪烁体。

NaI(Tl)对 γ 射线的探测效率高,可分辨 γ 的能量,可用于 γ 谱仪。但易碎、潮解,需密封使用。如C1门、衣物分拣机、可携式 γ 谱仪、CPO工具污染监测仪、KRT002/003/004/005/006/028/032/033/034/505/901/904MA等使用NaI(Tl)闪烁体。

CsI(Tl)对 γ 射线的探测效率比NaI(Tl)高,但能量分辨率较差。不易破碎和潮解。

ZnS(Ag)对 γ 射线不灵敏,但对 α 粒子的探测效率几乎100%。 α 表面污染监测仪常使用ZnS(Ag)作闪烁体。如SMIA70 α 探头。

液体闪烁体是将发光物质溶于有机溶液而制成的。通常用于测量 ^3H 、 ^{14}C 等低能 β 辐射。

塑料闪烁体用途广泛,可测量 β 、 γ 、 α 、中子等各种辐射。能量分辨率差,一般只用作强度测量。如FJ-2206、FJ-2207表面污染监测仪、CSM γ 信号报警仪、KRT007/008MA等。

在选择光电倍增管倍增管时，要考虑其光谱范围是否与闪烁体的发射光谱相匹配、放大倍数、时间特性、暗电流和本底脉冲等方面的指标。

闪烁探测器也具有相应的坪曲线，工作电压一般在1000V左右，电压太低（如低于500V），放大倍数较小，不能发挥其作用，电压过高时，虽然放大倍数增加，但噪声计数也增多，也会缩短光电倍增管的寿命。也可通过实验，得出信噪比与电压之间的关系曲线，比值最大处为最佳工作电压。严禁探头爆光，否则可能烧毁光电倍增管。比较探头在避光和见光时的读数，可以判断探头是否漏光。

3、半导体探测器

半导体探测器的工作原理：在半导体的PN结区载流子很少，当带电粒子射入结区后，损失能量，形成电子-空穴对，在外加电场的作用下，电子和空穴向两极漂移，于是在输出回路中形成电信号。

目前半导体探测器主要有两类，一类是PN结半导体探测器，它包括扩散结半导体探测器、面垒型半导体探测器和离子注入型半导体探测器。另一类是锂漂移探测器。目前我国的结型半导体探测器主要是金硅面垒探测器。

金硅面垒探测器适合于 α 射线及 α 能谱的测量。为了较少反向电流，锗锂漂移探测器要在低温（液氮）下保存和工作。

高纯锗探测器是利用高纯材料可以制作出耗尽层较厚的PN结探测器的原理制成的。它需要在底温下使用，但不需要在低温下保存。

硅（锗）锂漂移探测器与高纯锗探测器的测量性能相似，都可用于探测 β 射线和低能 γ 射线，适于测量 γ 射线的能谱。如扫描式全身计数器（WBC）使用高纯锗探测器。

半导体探测器的优点：

- 1) 能量分辨率高。适于谱仪测量系统；
- 2) 能量线性范围宽；
- 3) 金硅面垒探测器还具有脉冲上升时间快，体积小等优点。

主要缺点是：

- 1) 易产生辐照损伤；
- 2) 输出脉冲幅度小；
- 3) 对测量线路要求高；
- 4) 性能受温度影响等。

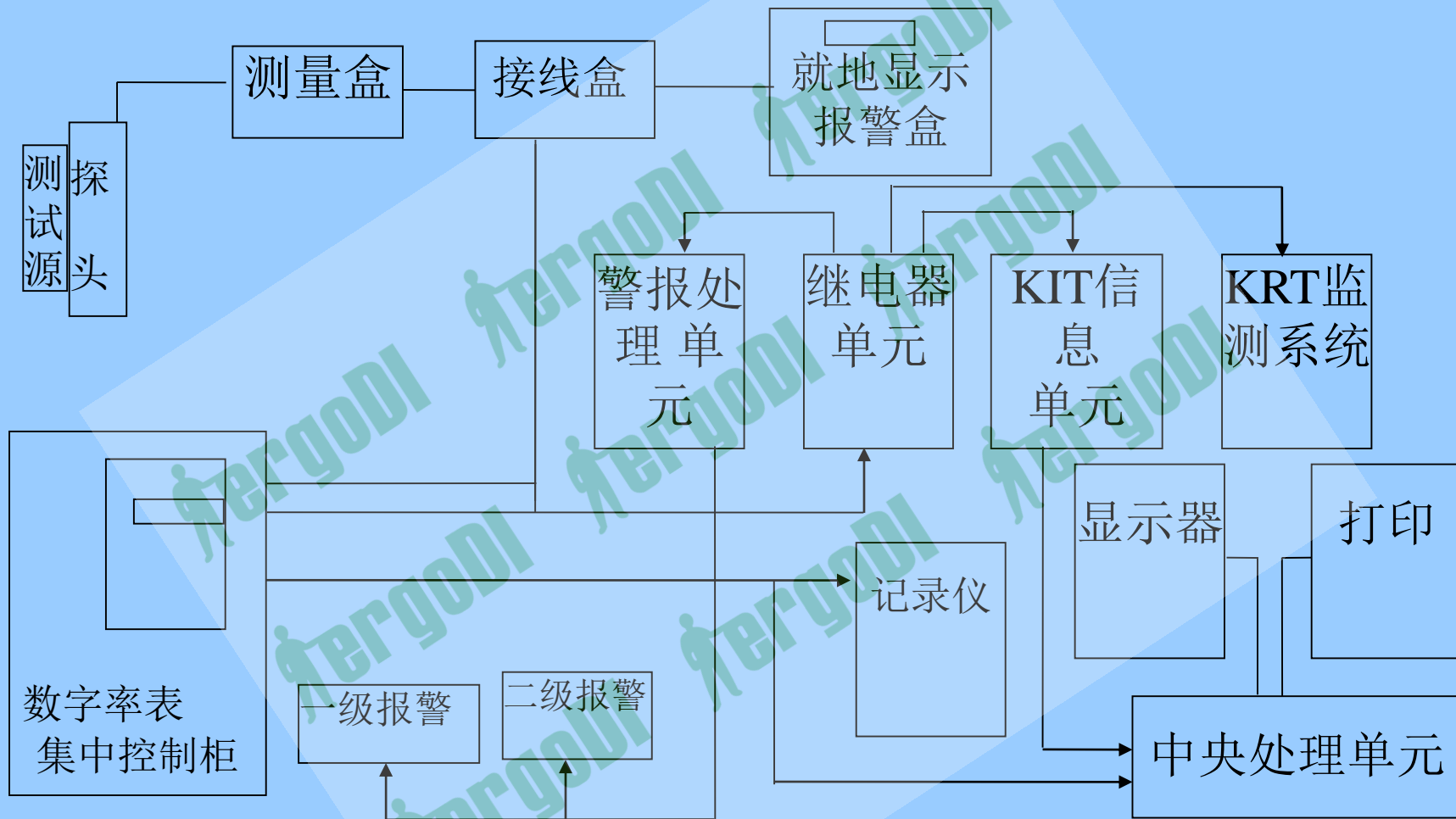
第三章、KRT系统的组成

1. 系统回路

KRT系统的测量通道是由一些标准的部件（元件）所组成。根据每个通道的功用不同，有不同的组合。一般由探测子系统、集中处理子系统、信号子系统和继电器柜等组成。图一是一个典型的集中控制测量通道的回路。

KRT PAMS通道有自己专门的集中处理柜和供电电源，启动通风系统，自动工作的一些通道也有专门的集中处理单元和供电系统。

KRT系统测量示意图



主要由探测器、测量盒、接线盒、就地信号盒、电气盒、处理模块、集中机柜等组成。

2、设备的功能

2.1探测器

2.1.1闪烁探测器：将入射粒子射线的能量变成光能，其光谱要满足相连的光电倍增管灵敏度对光谱的要求。

KRT通道：NaI(02/03/04/05/06/028/32/33/34/505/901/902)MA07/08(塑料)

2.1.2计数管：在圆形充气计数管外壳与中心电极之间建立电场，使射线粒子能够电离充入气体的气体分子。

KRT通道：016MA

2.1.3电离室：电离室的电场使被测的放射性在电离室内产生电离电流。

——差分电离室：由两个独立的电离室相对组装在一起，被监测的气体仅穿透差分电离室中一个电离室。（09/017/36/41/51-55MA）

——简单电离室：（021/18/19/22/23/10/15/508-512/11-14MA）

2.2 测量盒

2.2.1 光电倍增管探测器CM/PM测量盒

- 将来自闪烁探测器的电荷脉冲变成电压脉冲，并将脉冲信号送到处理模块（INR）
- 给探测器供高压

2.2.2 计数管CM/GM测量盒

- 保证将来自GM计数管的实际脉冲放大和成形，并将放大成形后的脉冲送到INR
- 给探测器供高压

2.2.3 电离室CM/CI测量盒

- 将电离室产生的非常弱的电荷变成电压脉冲，并送到INR。
- 给探测器供高压

2.3 接线盒（连接盒）CR

- 将从处理模块送来的220V电源以变压器去耦
- 收集从测量盒、源试验和电气盒得到的数据

2.4 就地信号盒

- 处理和信号盒CB42：用于 γ 报警信号站处理，保证具有处理模块INR相同的功能，它测量信号的频率并产生模拟和通-断数据。信号处理的功能包括声响报警和灯光报警。
- 测量显示盒CBA：就地显示经过集中摸件INR处理过的信号测量值。

2.5 电气盒

电站机组中所有电气盒都从驱动器箱中得到380V（017/021MA除外220V）就地电气盒内能够调节48V电压，使之能够传输数据或故障，压力流量灯信号到集中摸件中去。

2.6 处理摸件INR203和INR MV51

该设备安装在中央机柜内，用于启动电气通道，以便测量和处理由探测器提供的信号频率并产生模拟数字和开-关数据。（简易处理摸件MRA13- γ 报警信号站、扫描处理摸件CSC-036MA、便携式简易处理摸件CODI）

2.7 集中机柜

INR、CSC、MRA测量通道的处理摸件都安装在四个机柜里，每个机柜有220V50Hz连续供电，非PAMS机柜有48V连续供电。所有PAMS机柜都有将220V AC变为48V DC的变压器。

- 1) 9KRT501AR
- 2) 1/2KRT001AR
- 3) 1/2KRT003AR（属PAMS通道A系列）
- 4) 1/2KRT004AR（属PAMS通道B系列）

所有集中控制柜下方均有2排按键，蓝色按键用于阻止相应通道的报警输出，白色按键用于控制检验源以检查探测器。

3、系统功能和分类

3.1 KRT系统的功能和特点

3.1.1 KRT系统的主要功能

KRT系统是与电厂运行工况直接相关的辐射监测系统，它执行以下四种功能：

1) 防止核电站工作人员受到高剂量照射。

对控制区有关区域进行 γ 剂量率、中子剂量率的实时监测，并提供测量结果和报警信号，避免工作人员受到高剂量照射：

- 利用便携式KRT仪表对控制区进行定期巡测；
- 利用固定式KRT通道对风险较大的场所进行连续监测。

2) 防止核电站周围的居民（公众）受照。

除非发生了严重事故导致安全壳局部破裂，一般放射性流出物只是经过预先设计的少数排放路径，往环境排放。居民受照主要来自流出物排放的放射性，为保护居民免受照射，KRT系统要监测排放的流出物，确保污染水平不超过管理部门设定的限值。流出物包括：气体流出物、液体流出物。

3) 屏障完整性有效性的监测。

核电厂三大屏障的完整性和有效性并不是永久的或完善的。某种屏障自身会慢慢的或偶然的失效，但也并不意味着立刻会产生严重的危害。因此，KRT系统对屏障完整性有效性的监测有着重要的意义。

4) 为保护工作人员或公众而启动自动的安全措施。

这些安全措施均以KRT系统提供的监测数据为基础，导致隔离系统阀门关闭或改变通风系统的管路（如经碘过滤器后再排放）。

3.1.2 KRT系统的特点：

- 连续监测；
- 快速响应；
- 能给出综合（全局）的报警信号；
- 不与实验室的测量混淆，实验室测量属精确测量；
- 能为辐射安全分析提供信息。

3.2 KRT系统的分类

1. 按照监测对象和功能，KRT系统可分为两个子系统：

- 工艺和流出物监测系统；
- 区域和气载放射性监测系统。

2. KRT系统可以分为若干组，其中：

- 34个单机组测量通道能给出集中信息和就地显示信息；
- 11个机组公用测量通道，也能给出集中和就地显示的信息；
- 2个可移动测量通道，无集中处理信息的功能。

3、每个通道均由标准元部件组成，按不同的布置可分为下列一些标准通道：

- 气溶胶、碘和气体测量；
- 利用采样室测量水中放射性活度；
- 从贮存罐或管道外部测量其中的放射性活度；
- 从管道外面测量 ^{16}N 的活度；
- 高湿度气体中活度的测量；
- 房间内 γ 照射量率的测量；
- 主控室空气中放射性活度的测量；
- 事故后反应堆安全壳内空气中的放射性活度的测量；
- 通风管道中气体放射性活度的测量；
- 污水池（地坑） γ 放射性测量；
- 测量通风管道空气中气溶胶、碘放射性的可移动装置；

其中一部分测量通道，属于“事故后监测系统”（PAMS），满足事故后监测的某些设计要求和功能。

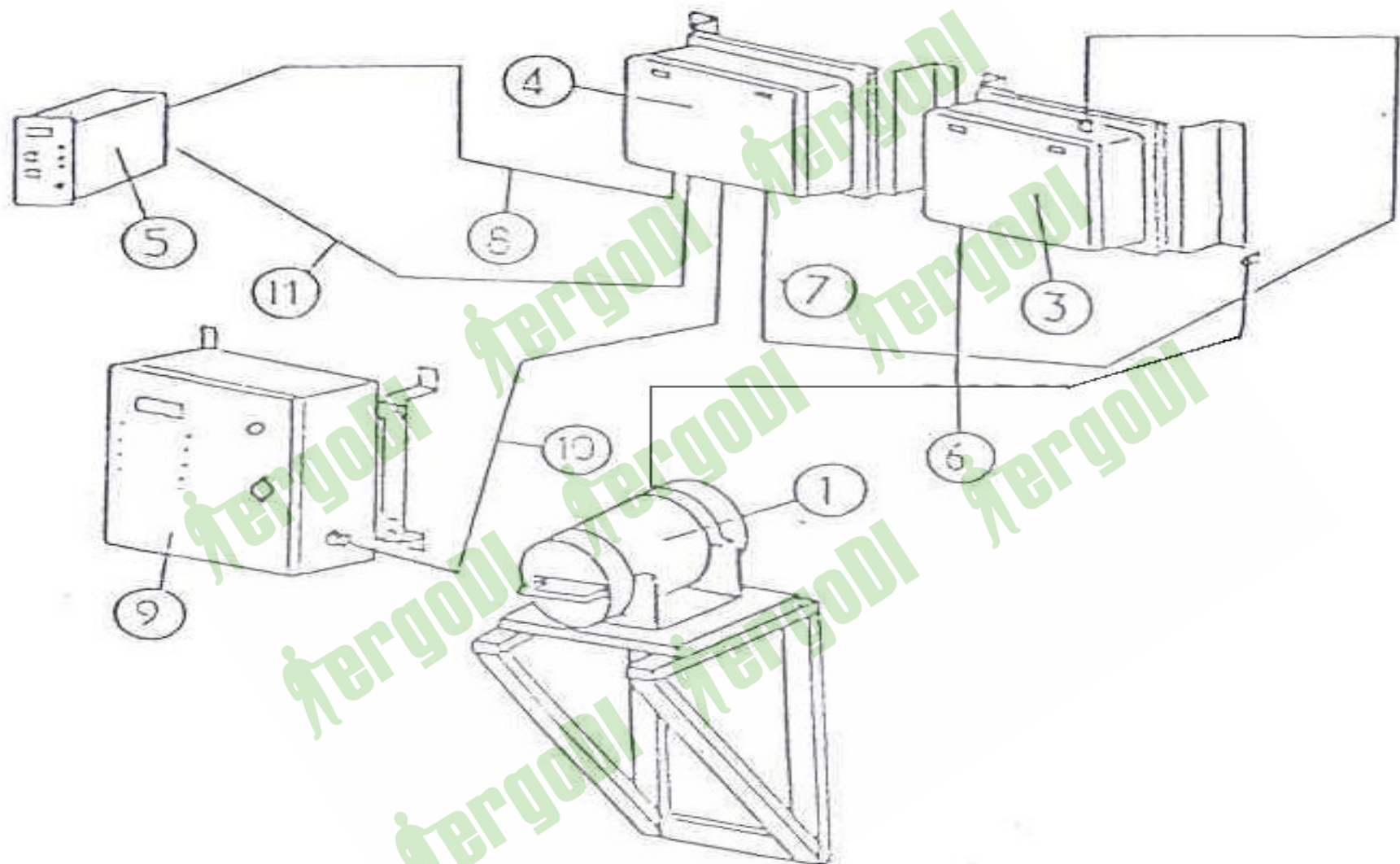
第四章、通道功能与被监测系统的 关系及常见故障

1、 KRT001MA

监测对象：反应堆冷却剂的 γ 放射性(RCV)

通道功能：通过监测一回路冷却剂的辐射水平反映第一道屏障的完整性。

通道类型：电离室探头测量RCV下泄管道的 γ 放射性，在N293设有就地显示器。



超阈值报警的可能原因：

---- 监测对象剂量率增高（燃料组件破损或管道内壁活化腐蚀产物积存增加）。

---- 外部放射性物质导致场所剂量率高（射线探伤、高放物品等）。

---- 大修期间的氧化过程可能导致监测对象剂量率升高和触发报警。

注：

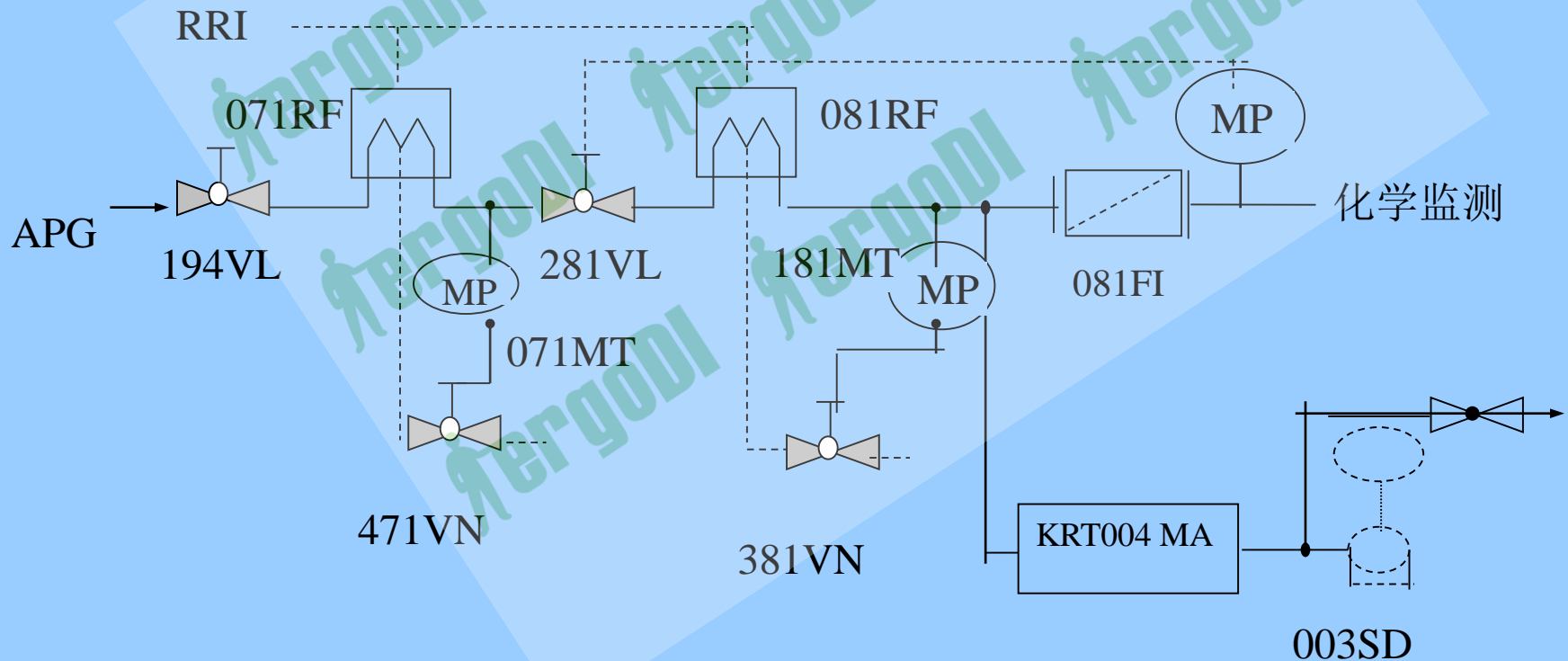
特殊情况下，冷却剂放射性水平也可由1KRT026MA给出，但必须注意在相关取样阀打开一定时间后才能使样品具有代表性；二是该通道与KRT001MA 的测量结果不一定相同，只能参考其变化趋势。

2、KRT02/03/04MA

监测对象： APG排污水（SG2/SG3/SG1）

通道功能： 监测蒸汽发生器的泄漏。

通道类型： NaI探测器测量连续流经测量室的APG水，在N296设有就地显示装置。



超阈值报警的可能原因：

- SG蒸发器的一回路/二回路有泄漏。
- 外部放射性物质导致场所剂量率高引起超阈值误报警。

低流量故障“MF”报警的可能原因：

- REN194/195/196VL 或 REN281/282/283VL 关闭与故障
- 取样回路堵塞，水脏、流量低（KRT001/002/003SD的报警定值是2L/min，正常流量4-7.5L/min，）
- RRI冷却能力不足，取样管线温度大于45℃

注:

在安全壳内因事故被隔离的情况下，KRT002MA的测量数据不再具有代表性。

确认是低流量故障时，由化学人员调节流量至正常看报警是否消失，如报警不能消除或其它原因引起的故障报警，通知仪表人员检修。

该通道无取样泵。

经验反馈:

停堆后，因APG流量的变化，会触发故障报警。

机组启动初期，二回路水质较差，流体中的微小杂质很可能积聚在取样系统REN的一些管路中，尤其是部分阀门、滤网、热交换器这类易沉积杂质的设备角落，使通道频繁触发低流量报警。

。

附件一、关于KRT通道指示值从 零上漂或下移的说明

(KRT02/03/04/028MA)

1. KRT各通道都有一个测量范围，在该范围内测量误差一般不超过 $\pm 20\%$ 。
2. KRT系统在安装调试时根据现场实际情况均对各通道的参数进行了设定，但后来因环境本底的变化、设备的检修、定期试验及现场实测的需要人为更改过一些通道的参数（不影响准确性）。经一段时间的运行后，原显示值会发生一些变化，如从某一数值下跳到零，也有从零跃升到某一数值。如果这些变化均在通道测量范围的下限之下，则可认为是正常的。当（1）通道显示值在测量范围以外时，测量误差会增大（大于或远大于 $\pm 20\%$ ），（2）通道显示值远离测量范围后，在其测量灵敏度是一定的前提下，通道的小计数很难通过数字转换变为统一的一个数值。

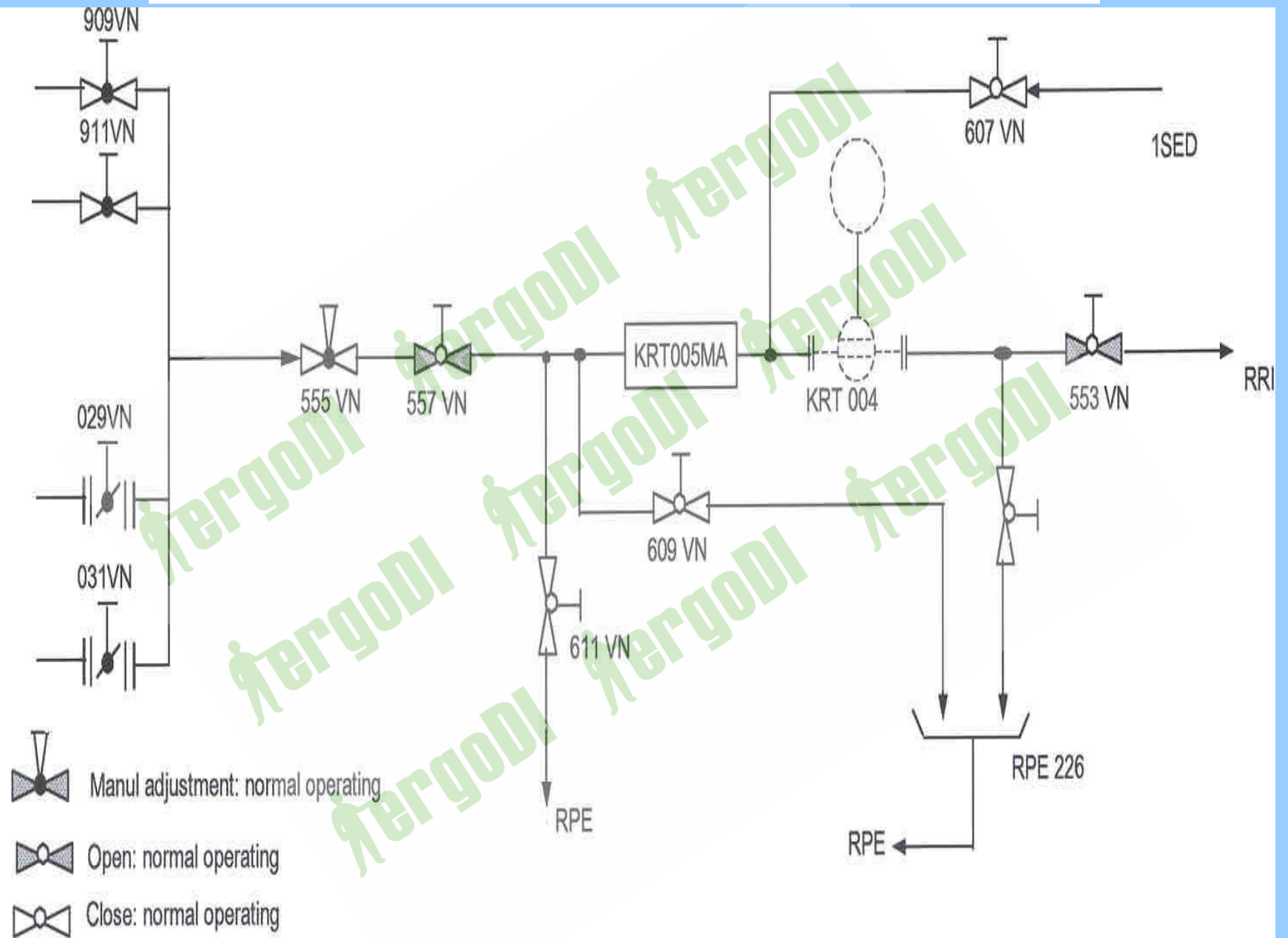
3. 2000年4月到6月，MIC与KRT厂家人员对所有通道进行了一次检定，个别通道的一些参数因偏差较大而做了适当修改，当然这些修改是依据检定的结果，这样做只能进一步保证各通道测量的准确性。因此，只要各通道出现的测量显示值波动低于其测量下限，就可以认为是正常的波动，一旦某通道的测量显示值在其测量范围之内再出现类似的波动就不正常了，应通知相关单位及时处理。

3、KRT05/06MA

监测对象：设备冷却水系统（RRI）

通道功能：通过探测设备冷却水RRI中的 γ 放射性，来监视有关热交换器的泄漏情况。

通道类型：NaI探测器测量流经取样室水的放射性。



超阈值报警的可能原因:

---- 有关的热交换器(REN, TEP, RRA, TEU, RCV, RCP, PTR)发生泄露。

---- 外部放射性物质导致场所剂量率高(射线探伤、高放物品等)。

注:

正常情况下, (A、B列005/006MA) 一列运行, 另一列停运, 停运的这列在集中控制柜有低流量故障“MF”报警。此时主控室没有故障报警信号, 当KRT05/06MA同时低流量时, 主控室才有故障报警信号。

该通道无取样泵。

4、KRT007MA

监测对象: 冷凝器气体 (CVI)

通道功能: 通过探测冷凝器中非凝气体的 β 放射性来监测蒸汽发生器一、二次侧间的泄漏。

通道类型: 利用塑料闪烁体探测器测量高湿度气体 β 放射性。

超阈值报警的可能原因:

---- 外部放射性物质导致场所剂量率高（射线探伤、高放物品等）。

---- 蒸汽发生器有泄漏。

该通道主要设备有滤纸、压差计、测量腔、放射性测量系统和泵组成。来自CEX的非凝结气体经CVI抽气泵进入DVN系统，KRT007MA并联在CVI抽气到DVN通道上。

故障报警的可能原因:

因被测气体CVI系统湿度过大，使过滤纸压差异异常，造成KRT001PO停泵而触发“MF”故障报警。

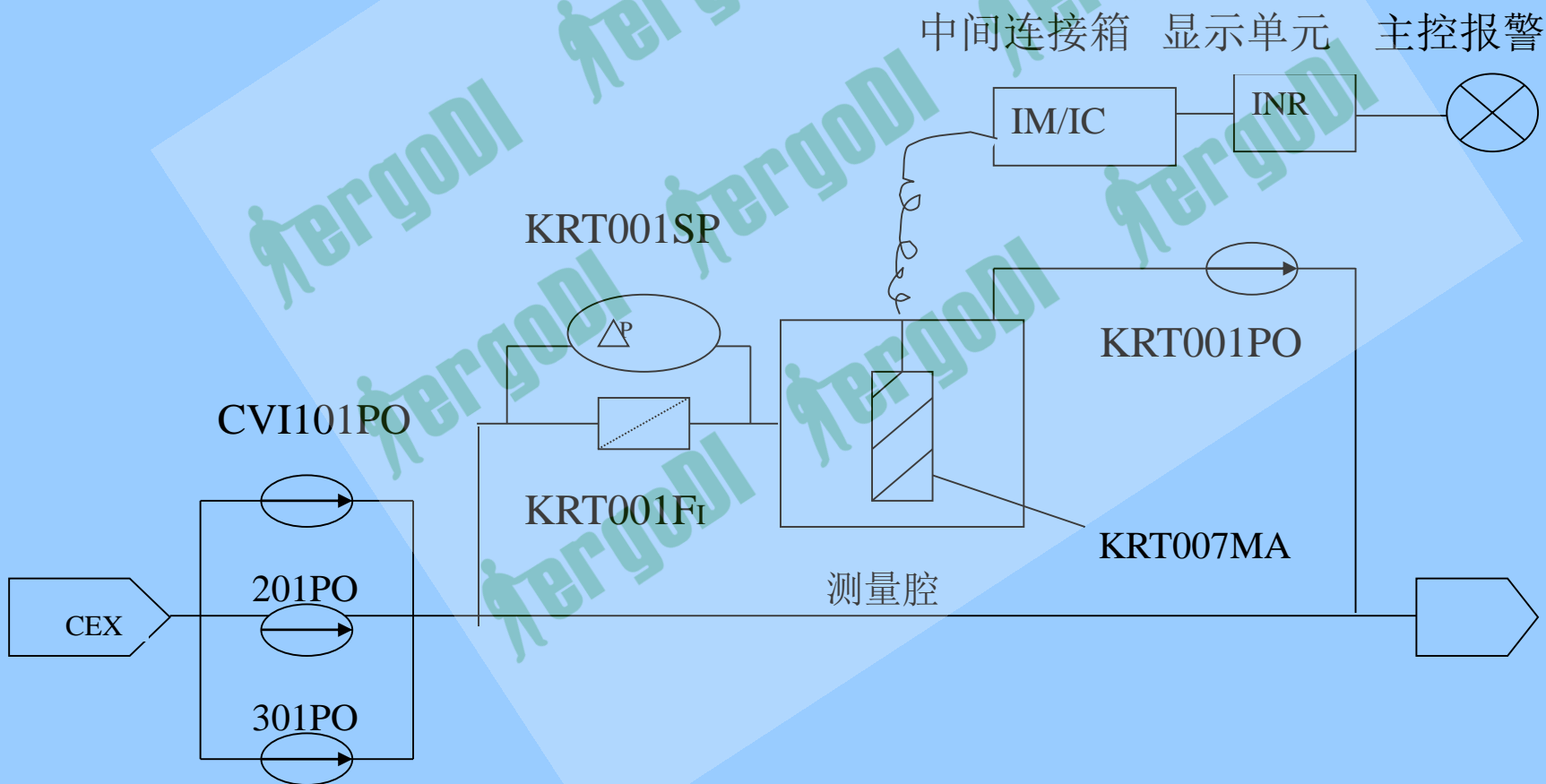
注:

如有任一蒸发器一、二次侧间的泄漏，除KRT007MA放射性报警外KRT02/03/04MA和KRT032/033/034MA中的一组两个通道会发生高放射性报警，但三个通道的报警在时序上有一定差异。

如果CVI泵排大气的隔离阀105/205/305VA处于开启状态，则该通道失去监测功能

在9DVN风机全停时，该通道不可用。

该通道的系统示意图如下：



5、KRT08/09/028MA

监测对象：反应堆厂房气溶胶、惰性气体、碘的放射性（ETY）

通道功能：探测反应堆厂房气体中气溶胶的 β 放射性、惰性气体的 β 放射性、碘的 γ 放射性。

通道类型：通过连续取样,塑料闪烁体探头测量气溶胶 β 放射性的变化率。差分电离室对连续的空气样品进行 β 放射性测量。NaI探头测量碘放射性。

超阈值报警的可能原因：

---- 一回路系统或它的辅助系统有泄漏使反应堆厂房内气体放射性水平升高。

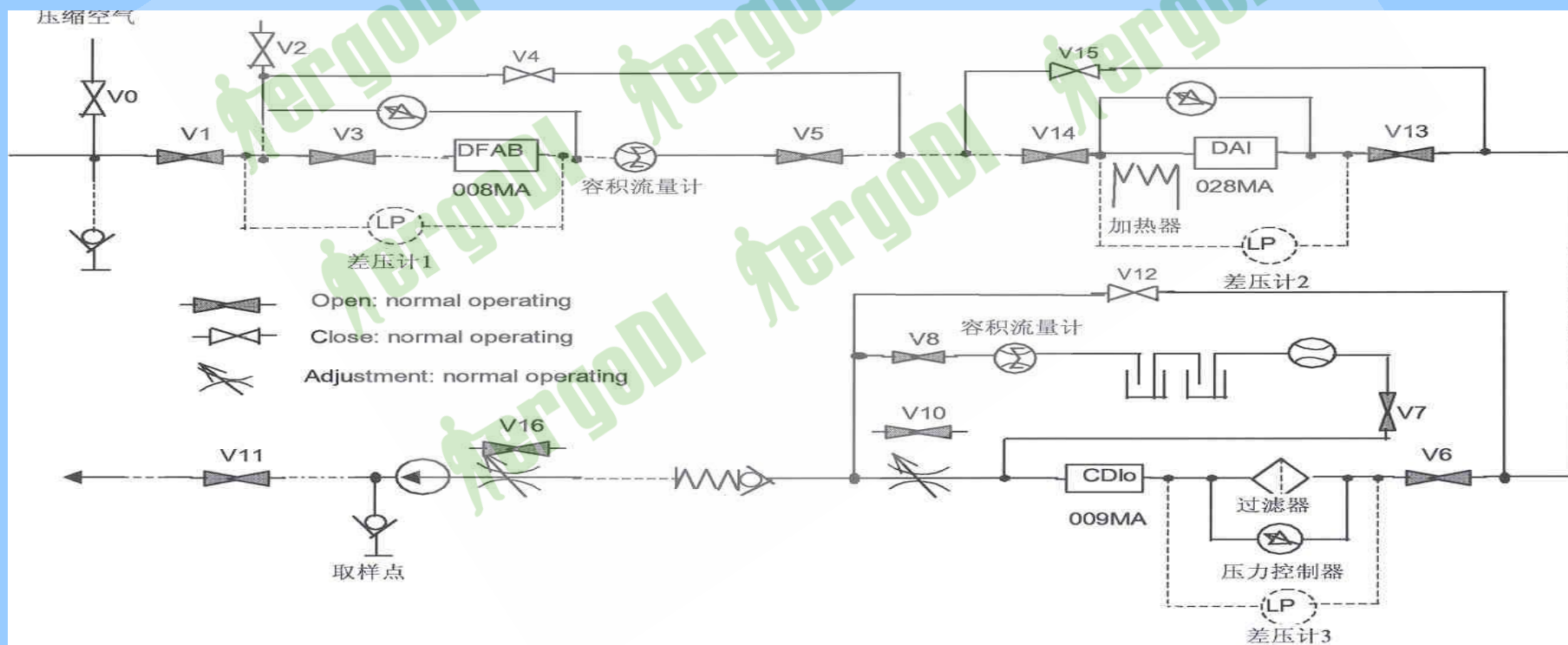
故障报警的可能原因

---- 因滤纸问题引起压差变化、或管线流量变化、跳泵等。

注:

若因倒电使电源极性接反或ETY042/043/044/045VA隔离, 则该通道不能启动。KRT009MA二级报警会触发ETY、EBA、RPE系统一些阀门的自动动作。

事故工况下, 此通道被隔离, 测量值不能代表安全壳内的空气放射性水平, 此时安全壳内的放射性水平由KRT022和KRT023MA给出。



附件二、KRT008MA误发二级报警的处理

1. 故障现象：

KRT008MA自电站投产以来一直存在着瞬发“高放射性”异常报警信号的问题，每次持续十几分钟到一小时不等，然后自行恢复。

2. 状态跟踪：

该通道测量的是滤纸上单位时间内截留的放射性活度量的变化。开始的时候，电站的有关专业技术人员，包括厂家都认为是反应堆厂房内氦本底较高，当每次自动更换取样滤纸后由于滤纸上氦气子体放射性的突变使测量值上升并触发报警。

2000年七月，OPH/HR接管KRT系统的运行管理责任后，对该通道的报警进行了长期的跟踪和调研，发现有时KRT008MA自动走纸后并未引起测量值的突变和触发报警，而有时出现报警时KRT008MA也未更换滤纸，这与以前的判断结论大为不同。这一结果说明氦本底高和自动换纸不一定是造成误报警的根本原因。厂家接到我方的信息后也无法解释这一现象，不能给出真正的根本原因。

2000年底，厂家要求在KRT008MA触发误报警时记录相关的电平信号。2001年元月在1KRT008MA上联接了一台记录仪，连续监视和记录其异常信号，但一直到2001年4月中旬该通道才发了一次误报警，经OPH和MIC将记录整理后交给了厂家。在TEM接管该通道以后，也多次与厂家技术人员联系，但至今没有给出确定性意见。

3. 故障原因:

根本原因不明。

4. 处理措施:

1) 在机组正常运行期间 (RX厂房无人)

主控操作员根据KRT008/009/028MA 3个通道的高放射性信号取2个来判断其真伪并采取相应的行动。

2) 在机组大修期间

OPH运行值在得到KRT008MA触发高放射性报警后,立即进RX厂房取空气样,根据测量结果判断真假报警,采取进一步行动。

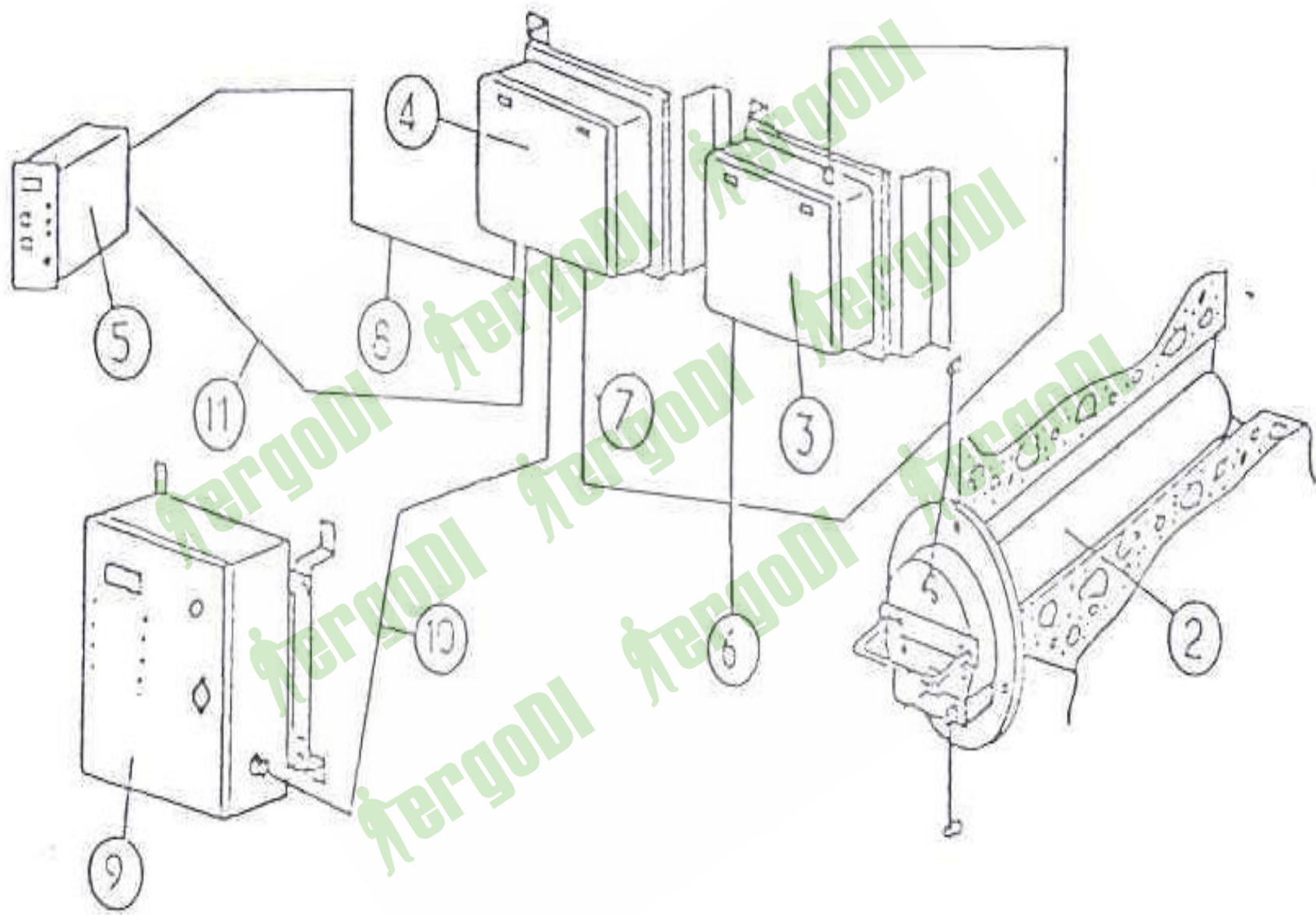
5. 改造

8月2日，KRT小组召开会议，一致认为KRT008MA的误报警现象主要是由于其设计缺陷造成的，单纯依靠自身的技术力量无法解决，包括厂家（MGP），须通过改造或更新该设备。已提出ESR，TEN将在KRT小组工作的基础上继续向三菱和/或新的可能供货商联系，争取年底前确定改造方案。

6、KRT010/015MA

监测对象：RCV001FI/TEP001FI处的 γ 放射性。

通道类型：电离室探测器安装在装有RCV001FI、TEP001/002FI坑的水泥墙内。



超阈值报警的可能原因：

---- RCV/TEP除盐床前端过滤器的 γ 放射性升高。

经验反馈

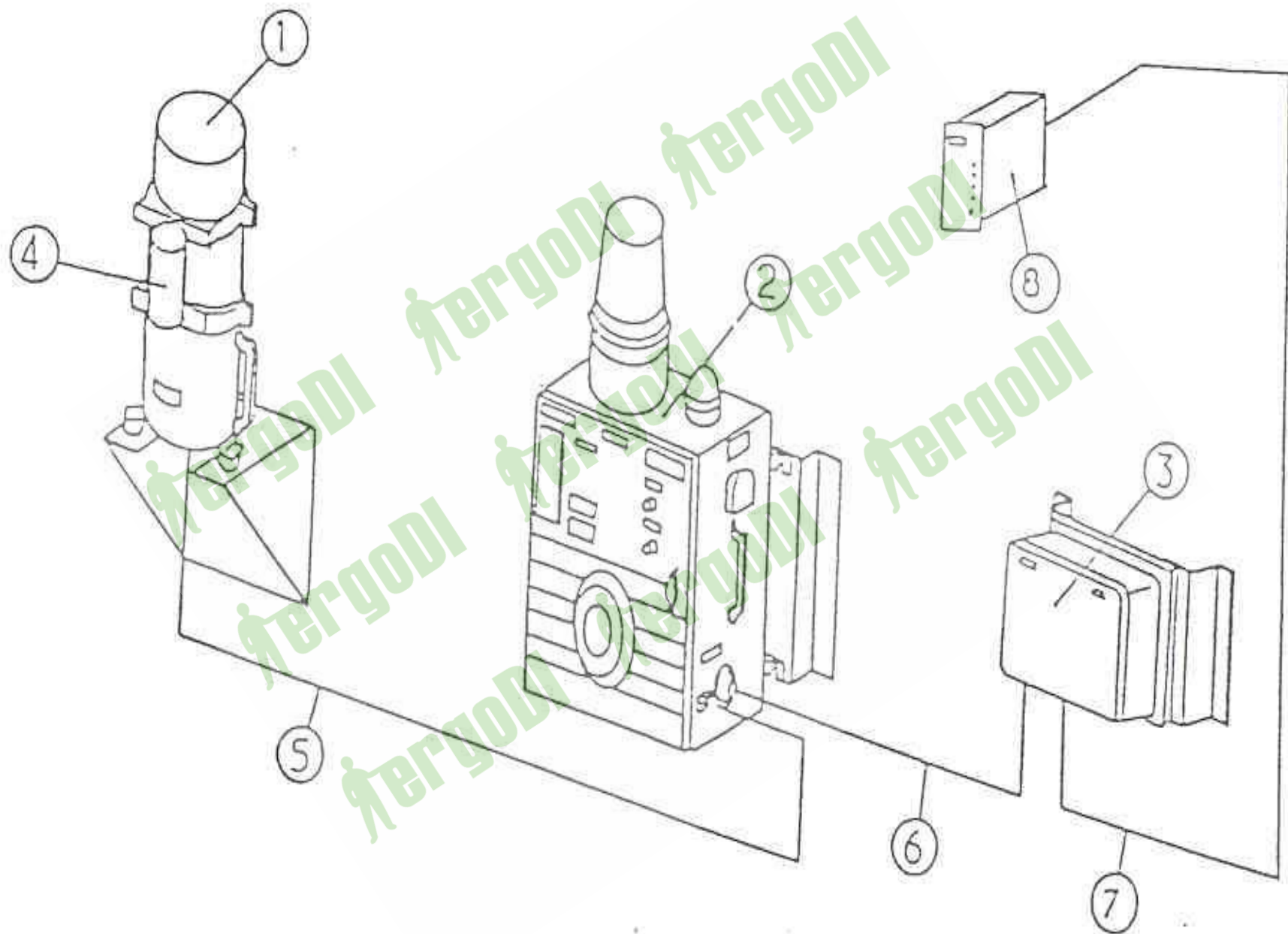
大修期间的氧化和大修后机组升温升压过程可能因大量活化腐蚀产物的脱落而导致剂量率升高使该通道触发报警。

如从辐射防护信息咨询系统上看有相当一段时间内该通道的数据保持一恒定值或略有下降（连续），表明该过滤器未在线运行，通知运行人员专门调查原因。

7、KRT011/012/013/014MA

监测对象：RX（KX）水池水面 γ 放射性（PTR）

通道类型：电离室探测器安装在RX（KX）厂房换料水池边或墙上。



超阈值报警的可能原因

- 由于燃料装卸事故引起反应堆水池表面剂量率升高。
- 水池内的水的比放过高。
- 内部构件、大盖等装卸时引起水池表面剂量率升高。
- 水池的水位异常下降引起的水池表面剂量率升高。
- 外部放射性物质导致场所剂量率高（射线探伤、高放物品等）

8、KRT016/017/021MA

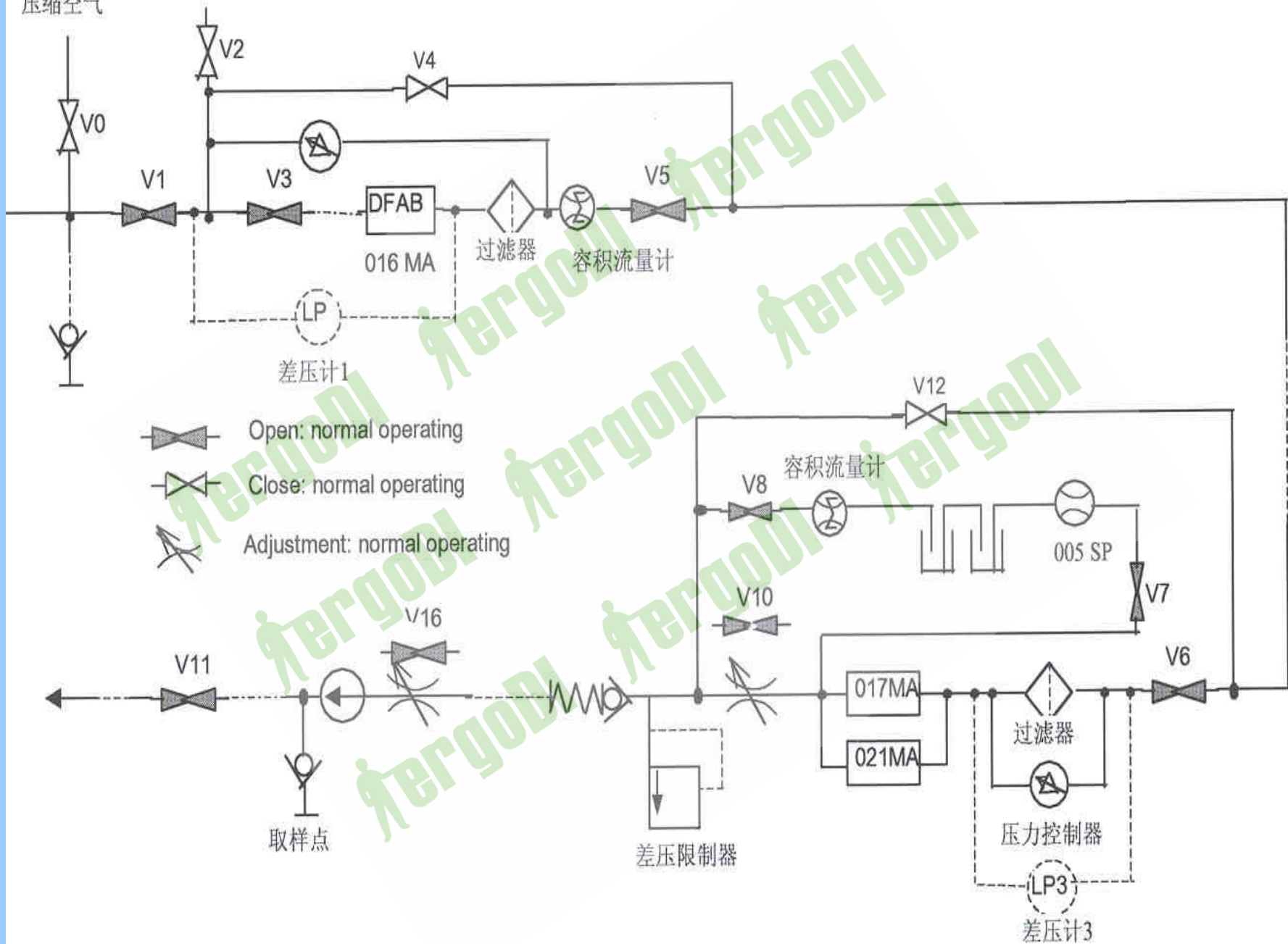
监测对象与通道类型

016MA用G-M记数管测量气溶胶过滤器和碘收集器上的总 β 放射性。

017MA用差分电离室对连续的空气样品进行 β 放射性测量。

021MA用电离室监测事故后烟囱气体的放射性。
(高量程)

压缩空气



超阈值报警的可能原因

--- TEG排放、RX厂房排气（有空气污染）和相关系统及设备的破损造成放射性泄漏。

注：

1KRT016/017/021MA与2KRT017MA互为冗余，事故工况下仅以KRT021MA的监测结果为依据估算气体的排放。

通道二级报警会自动关闭ETY扫气、TEG罐的排放和投入碘过滤器。

经验反馈

如因相关系统和设备破损导致KRT017MA异常升高，1&2KRT036MA也会有相应的支路在此之前发现。

极个别情况下1&2KRT017MA偶发高放射性报警信号，但很快会自动消除，原因不明。

附件三、1KRT016MA频发“MF”故障的原因分析

通过长期跟踪和统计，发现KRT016MA的“MF”故障报警出现的时间大都是从取样操作完后几小时到几天不等，直接原因是测量腔压差高引起的。KRT016MA有一个可在一定范围内调节的测量腔，滤膜和碘盒均放在测量腔内。在测量腔的进、出气口上有一压力控制开关KRT004SP（设定值是5~50mbar，无显示功能）。只要测量腔内压力超出其设定值时，就会产生“MF”故障报警信号。

进行ETY、TEG排放时，环境人员需更换样品，之后必须对测量腔进行重新安装与调节，由于无压力显示，对测量腔压力调节全凭感觉，这就造成更换KRT016MA样品时，经常产生“MF”故障的根本原因。

纠正行动:

----“压差高”问题:

OPH提交定值修改单，MIC实施将“1KRT004SP”的定值由“5----65mbar”调整为“5----100mbar”。

----“电缆线接触不良”问题:

由OPH牵头、MIC配合，进行“试验源”试验，以验证使用加长电缆线对测量精度的影响，MIC提出TSD管理。

附件四、1KRT016MA测量腔进水的原因分析

1KRT016/017/021MA共用一台泵，通过取样管采集经烟囱（1号机取样口位置：51.45m;2号机取样口位置：51.25m）排出的DVN废气，对废气进行放射性测量。016MA的功能是监测沉积在过滤器上的放射性和活性炭过滤器捕集的碘放射性。

1、事发当日下了暴雨，怀疑雨水从取样口被吸入？

据查：2001年6月9日，1KRT016MA同样出现过因滤纸被打湿（未观察到测量腔有水）造成该泵跳闸事件。从设计上看，其取样口开口向下，正常情况雨水不会进入管内。该设备自1993年投入运行以来，仅有2001年滤纸被打湿的1次记录，这两次事件相同的背景是“暴雨过后”，是否是巧合？由于烟囱（高度62.3m,直径3m）无顶盖，016MA取样口离烟囱口10m，开口处有一定的负压，在暴雨等其它适合的气候环境条件下，不能排除雨水被吸入的可能，但2KRT016MA从未发现过进水现象，且1KRT016MA在事后的几场大雨中也未导致同样的异常。

2、因暴雨等其它适合的气候环境条件，高湿度气体进入 1KRT016MA 取样管线后被凝结成水，进入测量室？

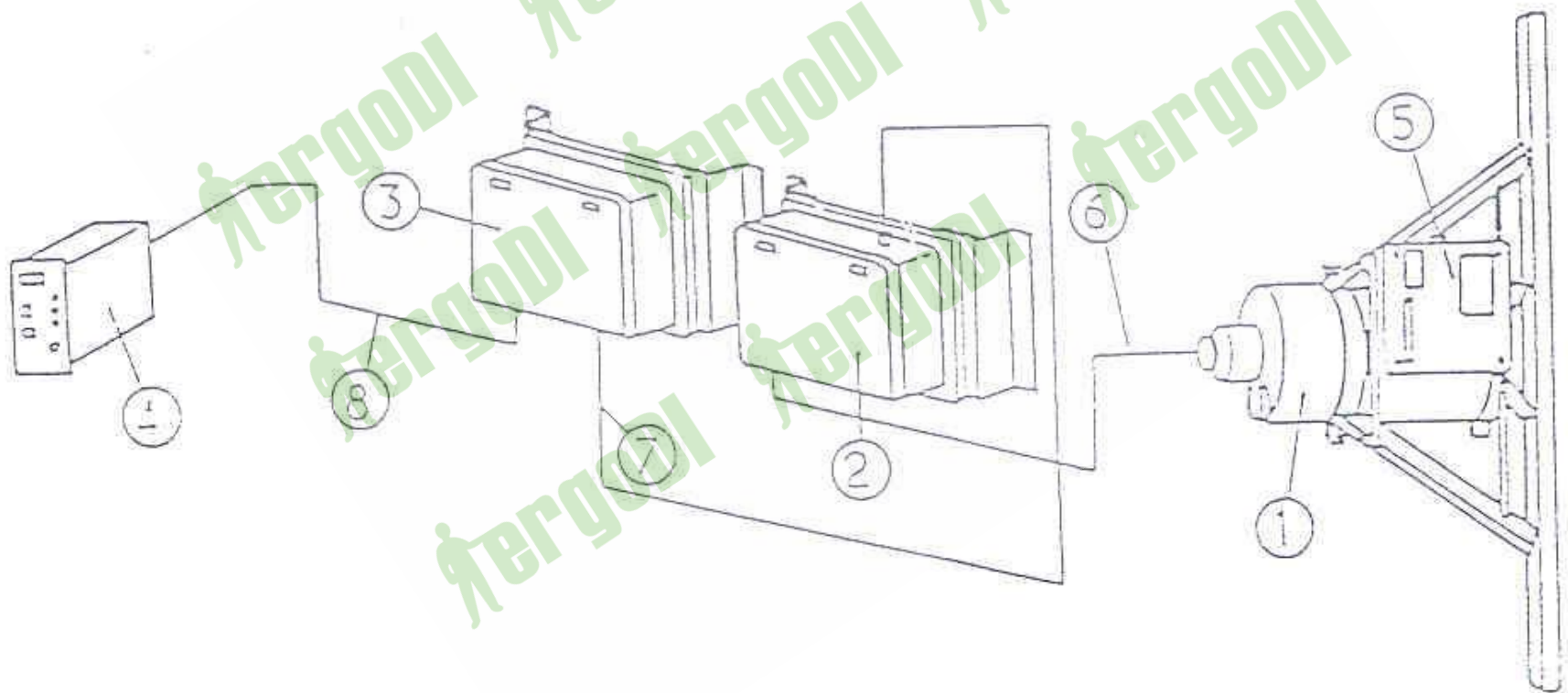
1KRT016MA 与 2KRT016MA 所不同的是：① 取样口的位置，2KRT016MA 的取样口在 1KRT016MA 取样口的下方 20cm；② 测量装置的高度，1KRT016MA 在 11.5m，2KRT016MA 在 19m；所以，1KRT016MA 取样管的长度多出 2KRT016MA 取样管的长度约 7.7 米，无法验证该条件的不同是造成 1KRT016MA 进入冷凝水的原因。

因此，1KRT016MA 测量腔室进水的根本原因不明。

9、KRT018/019MA

监测对象与通道类型

KRT018/019MA用于监测主控室空气的 γ 放射性，电离室 CG3 直接测量DVC中空气的 γ 辐射。



超阈值报警的可能原因

----主控室内空气被放射性污染。污染源来自厂区被沾污的空气

注:

KRT018/019MA互为冗余。二级报警后，将DVC切换至碘过滤器支路

关注碘过滤器效率试验

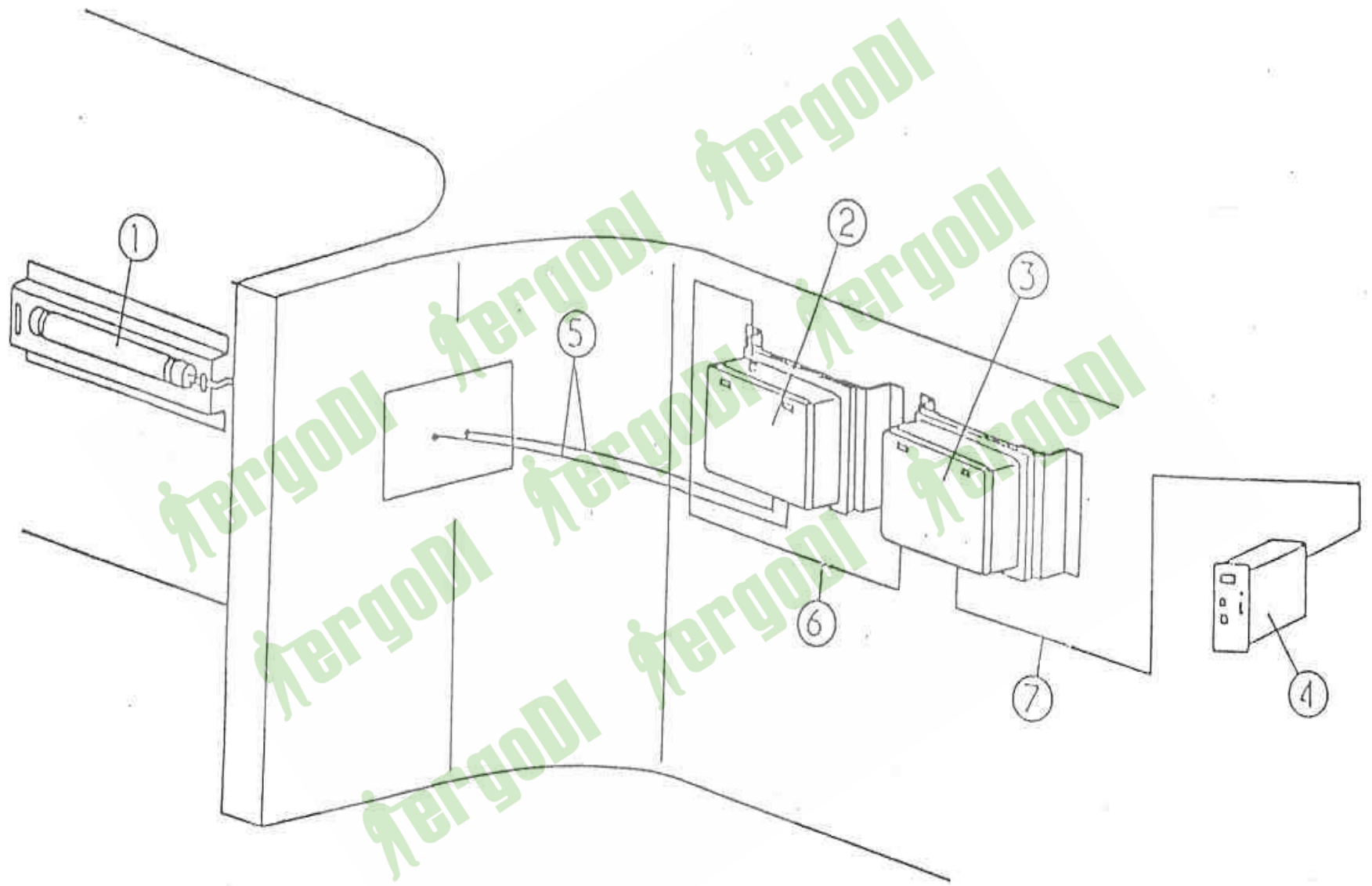
因空气潮湿，该通道误发放射性报警

10、KRT022/023MA

监测对象与通道类型

KRT022/023MA事故后RX气体。

电离室监测事故后反应堆厂房内的总辐射水平。PAMS通道（事故后监测通道）。



超阈值报警的可能原因

--- 反应堆发生严重事故后因第二道屏障失效而导致整个反应堆厂房剂量率升高。

注：

KRT022/023MA互为冗余。

事故期间，本通道的数据是环境释放源项的重要参考依据。

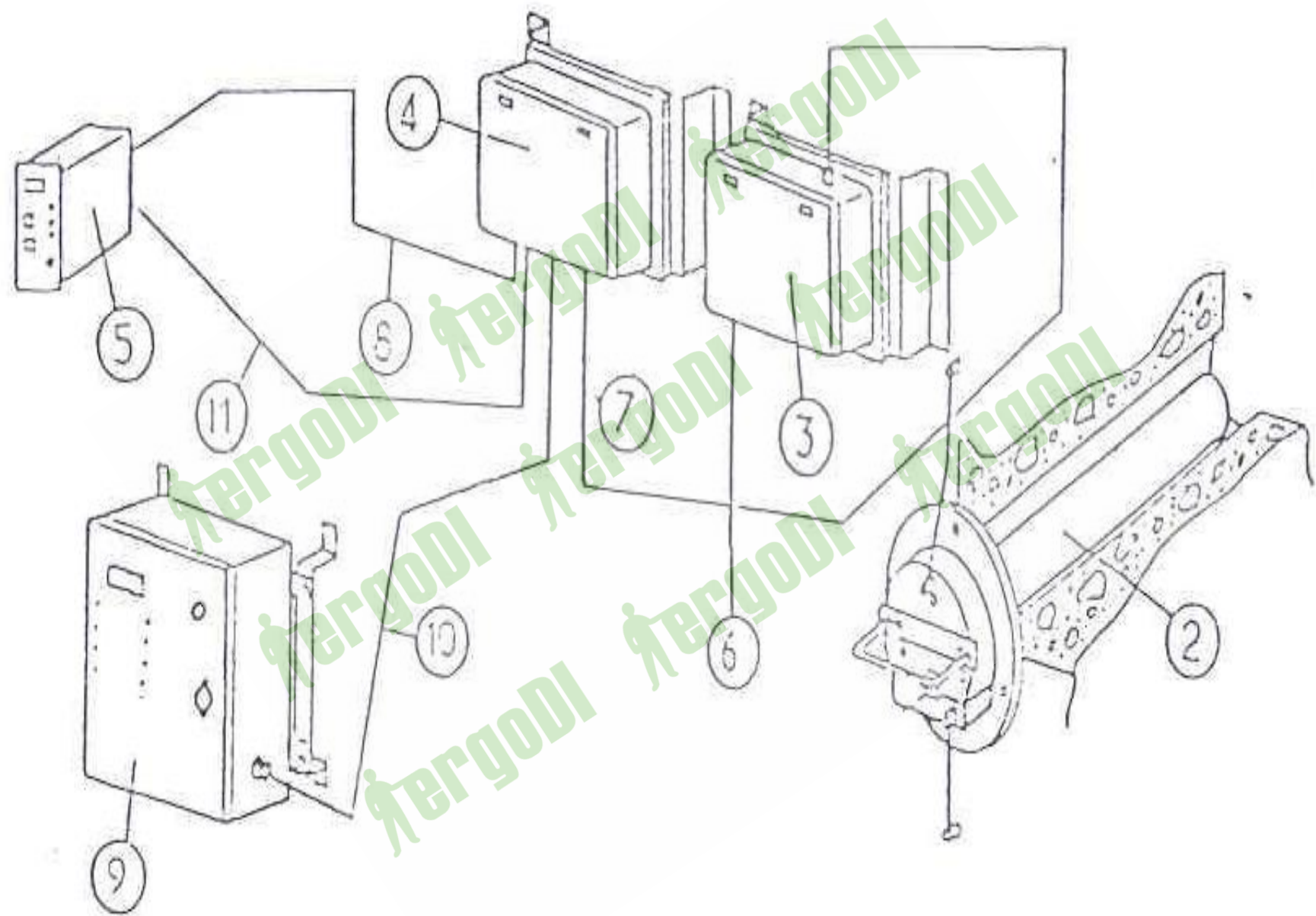
在101大修后发现信号线被接反而认为在第一周期内不可用。

11、KRT026MA

监测对象与通道类型

监测反应堆冷却剂取样水的辐射水平。

由墙里边的探测器对取样管线进行直接测量。



超阈值报警的可能原因

---- 由于负荷变化或燃料包壳破损,一回路放射性升高引起超阈值报警。

注:

通道二级报警会自动隔离相应的反应堆冷却剂取样管线,从而限制取样人员的辐射照射。

安全壳事故情况下,B阶段隔离信号使REN系统各阀门关闭,通道1KRT026MA的测量不再具有代表性。

2KRT026MA曾发生过因测量盒故障而导致本通道测量显示值持续上升和接近报警阈值

12、KRT032/033/034MA

监测对象与通道类型

NaI探头监测蒸发器蒸汽中的N-16、总 γ 放射性,诊断蒸汽发生器一、二次侧的泄漏。

超阈值报警的可能原因

---- SG蒸发器的一/二回路有泄漏。

探测器附近有放射性物质导致场所辐射水平高（射线探伤、高放物品等）。

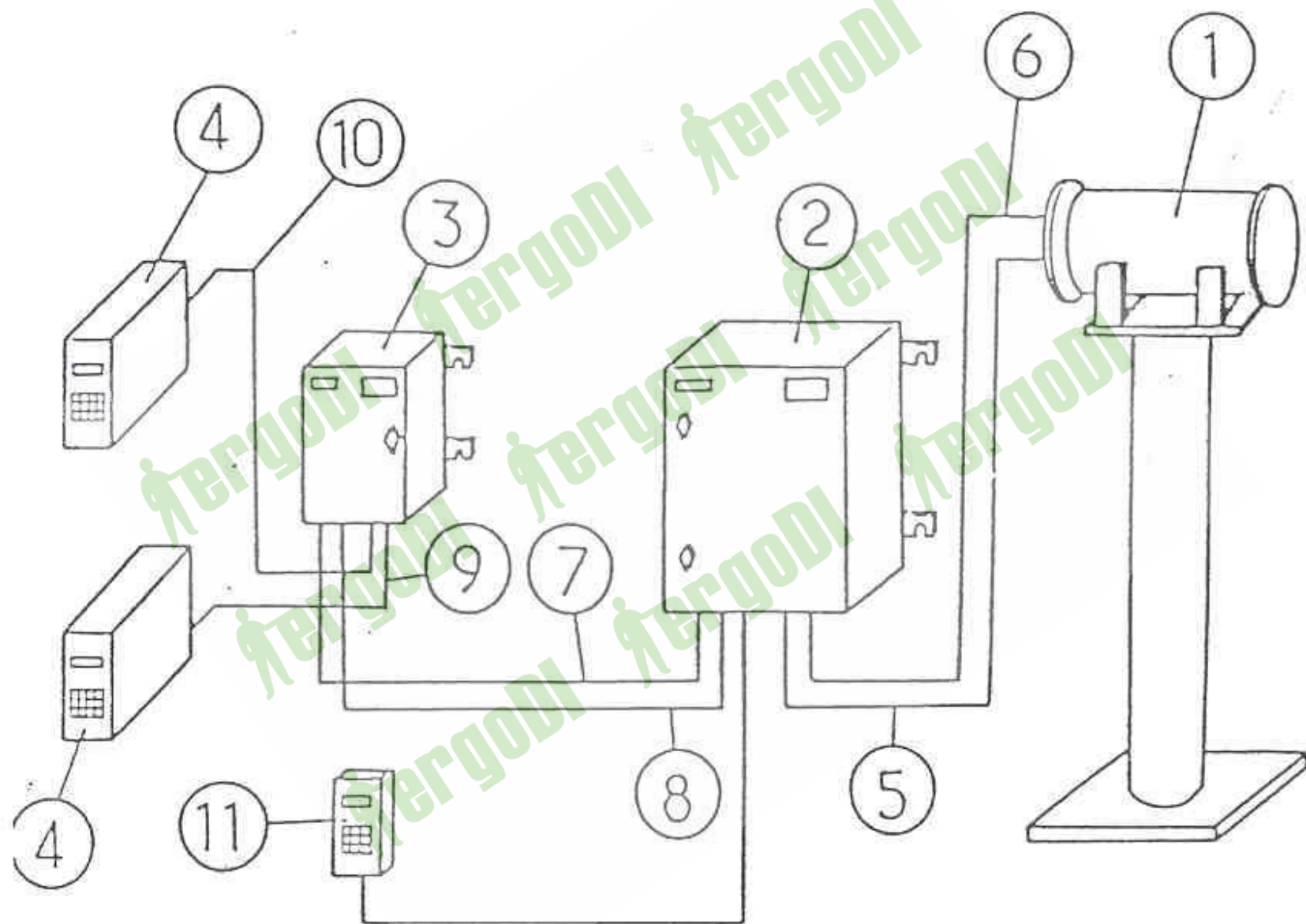
注：

2KRT032MA曾发生过短暂高放射性误报警事件。

在探测器周围有射线探伤时应停运该通道，而不应仅把信号隔离掉。

停堆后或堆功率 $<20\%$ ，INRMV51自动显示 $<20\%PN$ 或 <0.5 ，同时发“DD”流量低信号。

二核PRE-SART CH-1建议：目前N16探测器的检测限太低，为 0.5 L/H ，应可提高至 0.1 或 0.3 L/H 左右。

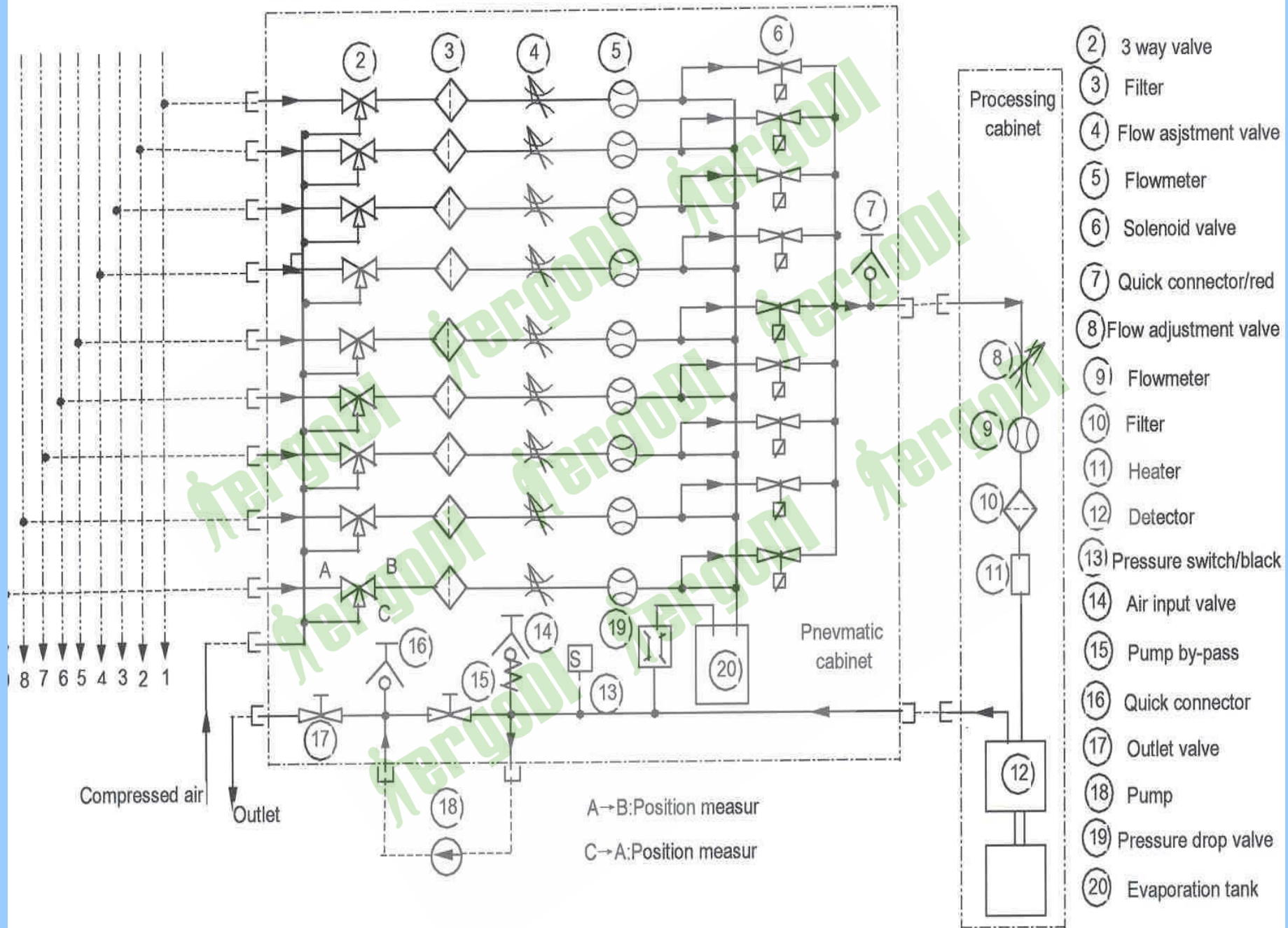


13、KRT036MA

监测对象与通道类型

监测DVN.DVK.DVW气体的 β 放射性

电离室探头自动、连续地探测七个区域内系统或设备的泄漏。



超阈值报警的可能原因

---- 在NX、WX、KX厂房有系统或设备泄漏。

注：

若是真实报警，则启动查漏程序。

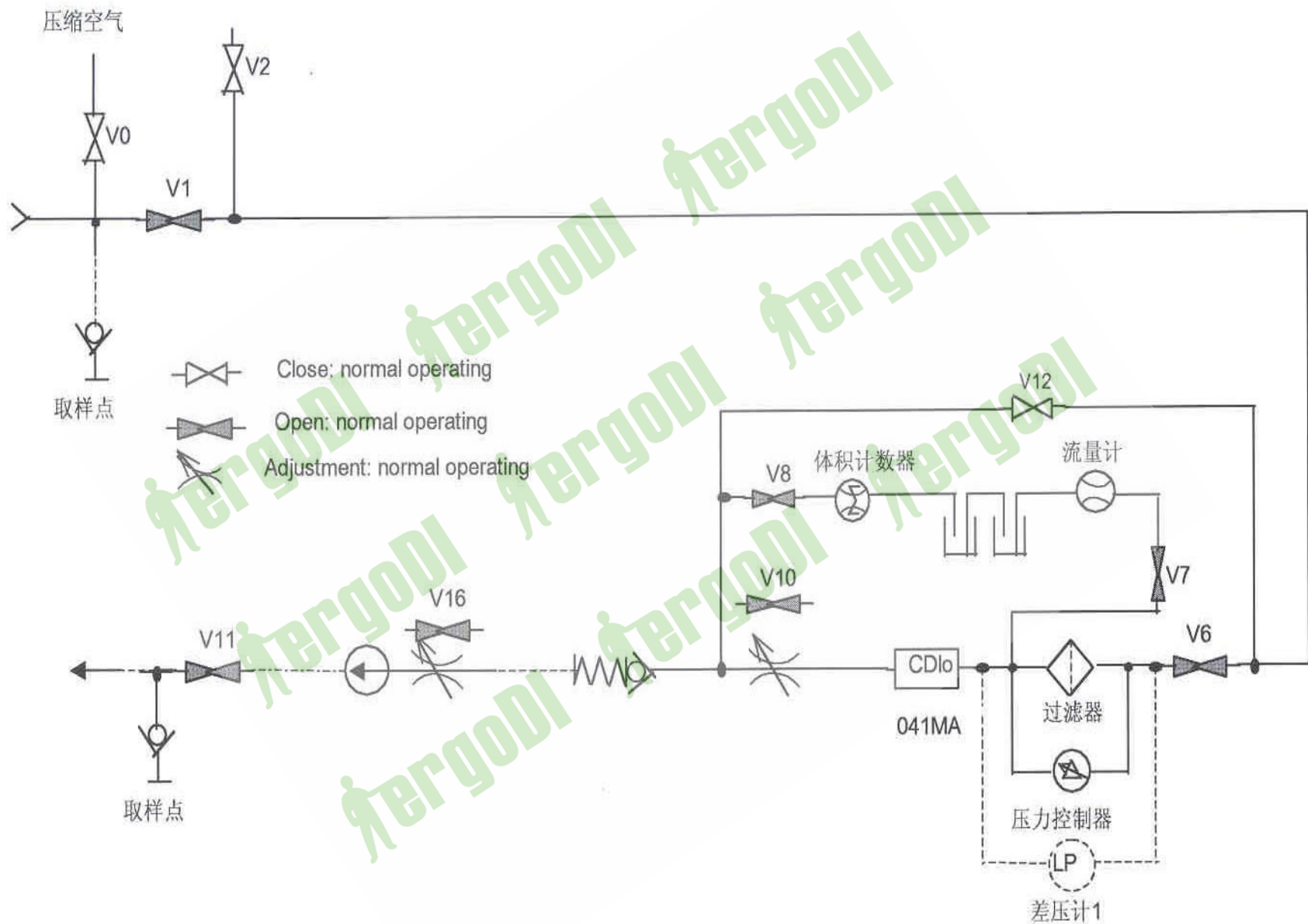
执行LHP001时，多次造成停泵事件，或因倒电使电源极性接反，通道不能启动。高放粒子曾造成2KRT036MA报警。

14、KRT041MA

监测对象与通道类型

通过EBA监测反应堆厂房内的气体放射性（大修期间）。

差分电离室对连续的空气样品进行 β 放射性测量。



超阈值报警的可能原因

---- 一回路系统或它的辅助系统的异常放射性和泄漏
使反应堆厂房内气体放射性水平升高。

故障报警的可能原因

滤纸脏压差大（更换滤纸），造成停泵。

注：

EBA投运前，确认该通道的可用性。

通道报警可自动隔离安全壳换气通风系统EBA和核岛排气和疏水系统RPE的阀门，这期间增加了厂房内人员的内污染风险。

15、KRT051-055、501/502、508-512MA

监测对象与通道类型

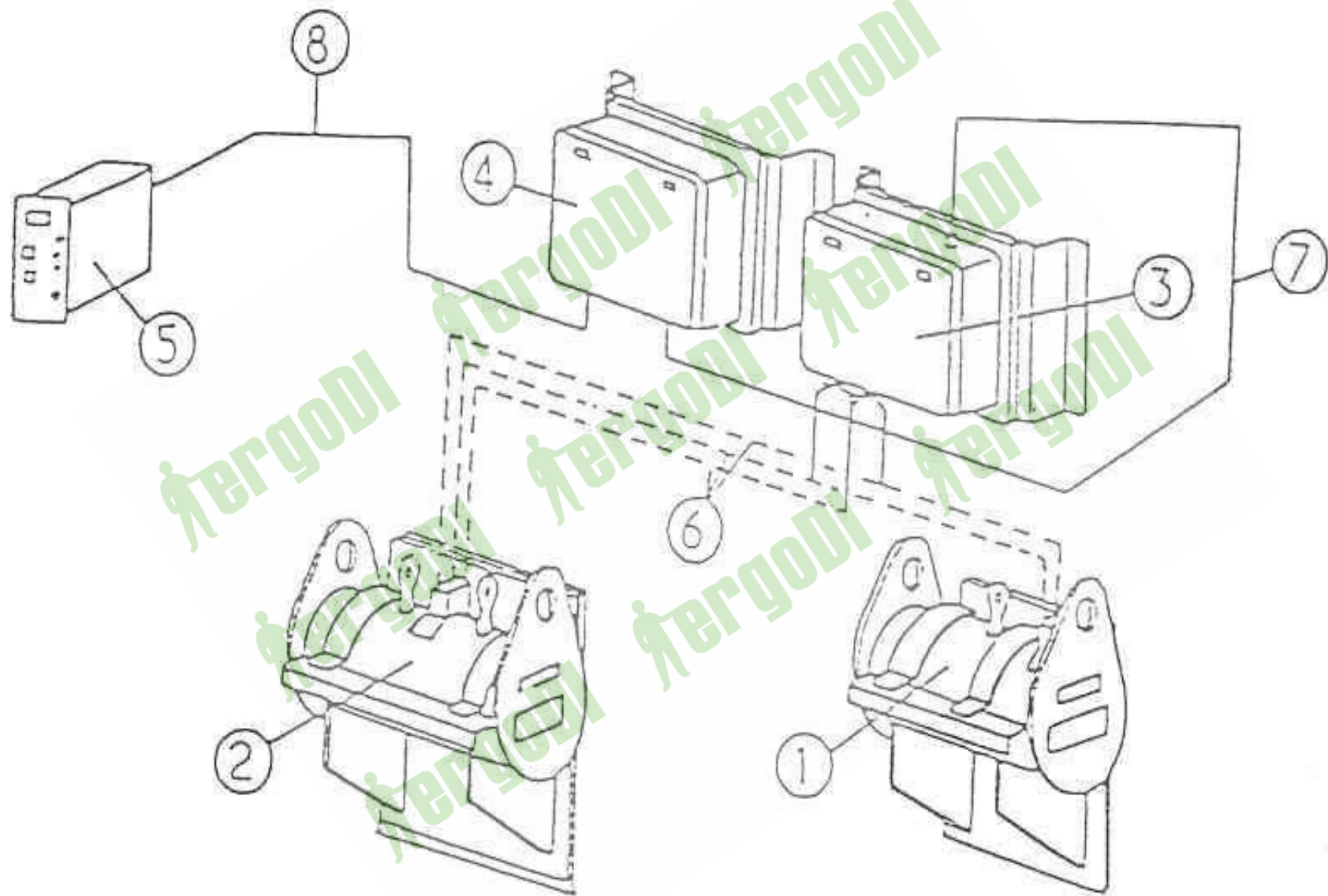
电离室探头从地坑的水面的上方探测液体的剂量率
监测事故后高放射性流体的泄漏

051-055MA： KX 厂房 污水 坑 （
RPE008/012/009/013/014PS）

501-502MA： NX 厂房 污水 坑 （ 9RPE01 、
9RPE02/03PS）

508-511MA： TES废树脂罐（002-003BA）， 509MA
： TES浓缩液罐001BA，

510-512MA： TES废物桶站



超阈值报警的可能原因

---- 事故工况下，一回路的水泄漏到反应堆厂房外或其它异常,使地坑收集到水的放射性升高。

注:

二级报警可自动隔离RPE水坑通往TEU的阀门和泵。

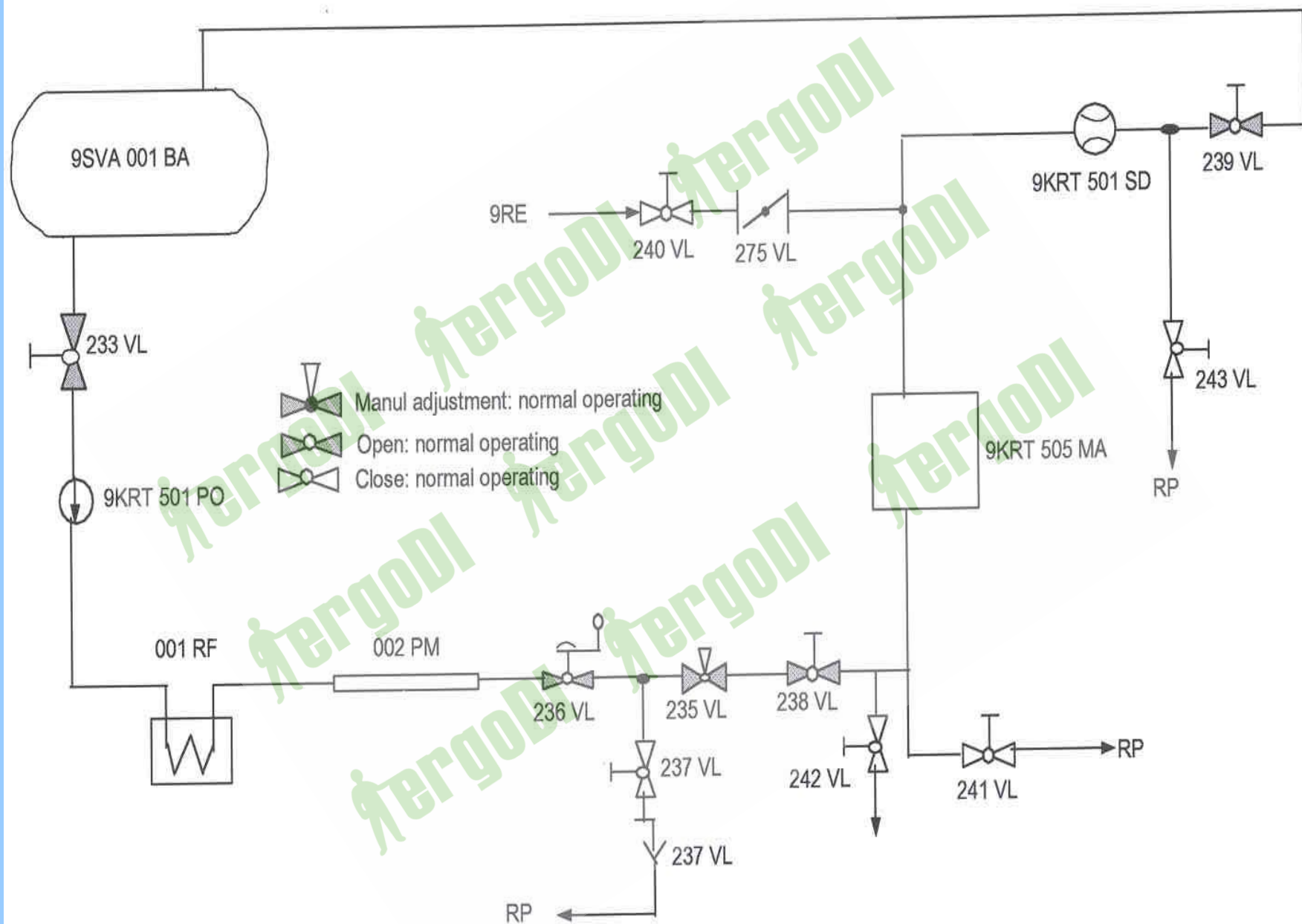
高放废液传输可能触发KRT通道报警。

KRT512MA报警后迅速组织人员撤离并限制人员进入，张贴相应的辐射警告标志。

16、9KRT505MA

监测对象与通道类型

通过辅助循环取样水室，NaI探头监测（SVA001BA冷凝水贮存箱）冷凝水的放射性



超阈值报警的可能原因

---- TEP, TEU蒸发器和TEP除气器的热交换器有泄露。

常见故障现象

闪发放射性报警，其原因是测量盒故障及电缆接触不良等。

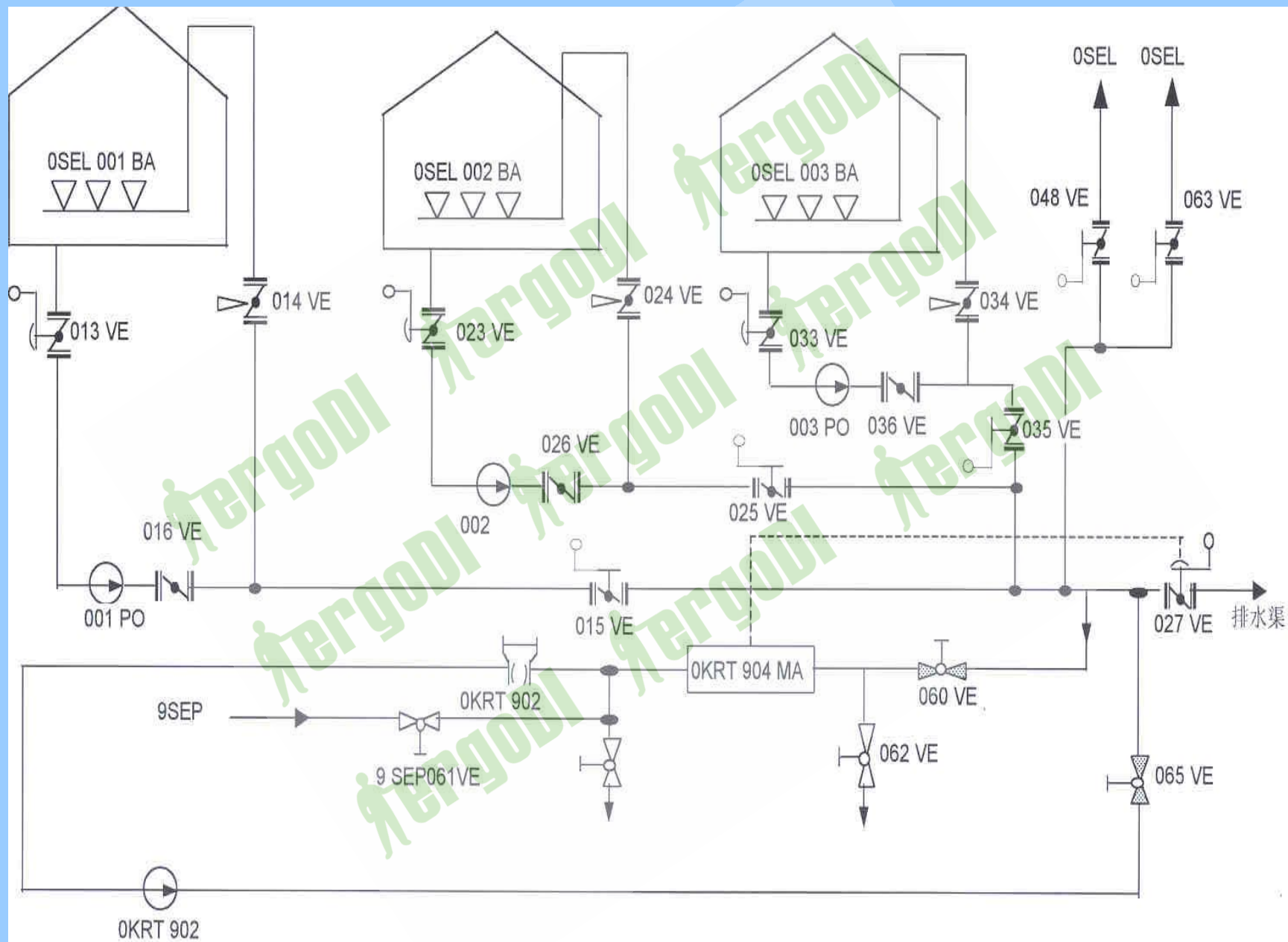
注：

在9KRT505MA检查出TEP, TEU蒸发器和TEP的除气器的其中某个确实存在泄露时，运行人员可能手动停运向蒸汽转换系统的疏水，而开启相关阀门将疏水送往RPE。

17、KRT901MA

监测对象与通道类型

连续取样，NaI探头监测排放的TER废液 γ 活度。（排放时如果超出二级报警阈值，则自动中止TER的排放）。



超阈值报警的可能原因

---- 排放的放射性液体比活度超标

故障报警的可能原因

“取样回路堵塞、电磁阀锈蚀、轴封漏水、泵运行噪声大”等原因但造成该通道故障的根本原因不清。

注：

如TER001/002/003BA被意外沾污会导致QA厂房内辐射水平的升高，严重时会使OKRT901MA报警和影响TER的正常排放

18、KRT904MA

监测对象与通道类型

通过取样水室、监测排放SEL废液的 γ 放射性（排放时如果超出二级报警阈值，则自动中止SEL的排放）。

超阈值报警的可能原因

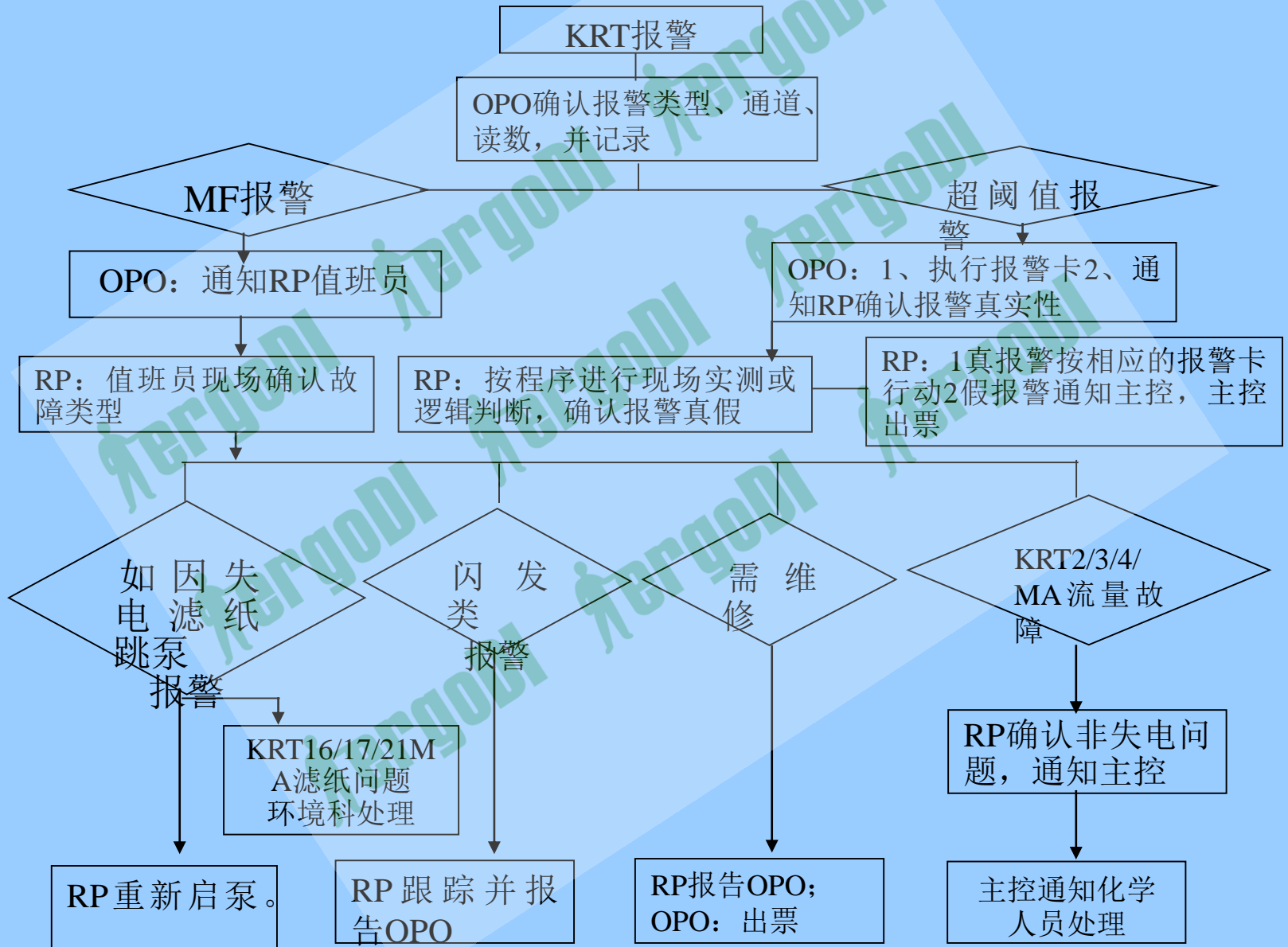
---- 液体排放的放射性超标。

注：

该通道因设计缺陷，取样口较高，正常情况下因通道无水，该泵是停运的，当排放时，由运行人员启动该泵。

该通道不是原设计而是后加的，因此，在15米控制柜和主控无相关报警信号引发高放射性报警的外部放射性可能来自QB厂房周围其他厂房或带射线的操作

附件五、KRT通道报警处理流程



第五章、KRT系统的定期试验

1. 定期试验的目的

KRT系统的定期试验，以验证它们的运行状态是正常的，这对于电厂的安全至关重要。其中最重要的是检查当测量值高于设定的阈值时能否正常报警，以及相应的安全措施能否自动启动。

2. 定期试验的方式

2.1 KRT通道日巡检

由倒班值每日早班，对KRT集中控制柜各通道进行检查，记录测量显示值，跟踪通道的运行状态，把结果录入辐射防护咨询系统。

2.2 阈值检查

检查集中控制柜或就地信号箱，确认各KRT通道运行正常。记录各KRT通道阈值设置，以验证是否与标准值一致。在检查1/2KRT007MA阈值的同时，停泵更换滤纸，通道记不可用；其它通道阈值检查不影响设备的可用性。

2.3 阈值触发试验，

检查当测量值高于阈值时能否发出正常的报警（控制柜和主控室），并且超过二级阈值时，能否启动相应的安全措施（相关阀们的自动动作）

2.4通道刻度（通道计数评价）

用通道试验源或外源测试，以检查KRT通道测量的准确性。

3、定期试验的周期

所有通道的阈值检查每四周做一次。由于KRT011MA、KRT012MA、KRT041MA在机组运行期间不投运，可不予考虑。

阈值触发试验和通道刻度每年一次或一个换料周期，通道刻度时可同时进行阈值触发试验。

以下通道的定期试验的时间安排与大修有关：

- KRT011、012、013、014MA需在堆芯装料前24小时做阈值触发试验
- KRT041MA需在EBA系统投入运行前做阈值触发实验
- KRT022、023MA可在堆芯装料期间做通道刻度和阈值触发试验
- 大修前配合运行处RPE试验做KRT051~055MA、KRT501、502MA阈值触发试验。

参考文献：

1. 辐射防护手册第二分册，辐射防护监测技术，原子能出版社。
2. 高等学校教材，原子核物理实验方法，原子能出版社。
3. KRT系统运行手册。
4. KRT通道定期试验程序。
5. KRT通道的相关报告。