
SARAD 测量仪器用户手册

RTM2200

氦钍测量仪

使用说明书

目录

1	仪器基本操作和使用	4
1.1	开始使用仪器	4
1.1.1	仪器面板简介	4
1.1.2	开始测量	5
1.1.3	查看数据	5
1.1.4	停止测量	6
1.2	软件使用	6
1.2.1	dCONFIG 介绍	6
1.2.2	连接仪器	8
1.2.3	设置参数	8
1.2.4	dVISION 介绍	12
1.2.5	连接仪器	13
1.2.6	软件操作	13
2	RTM2200 测量原理	17
2.1	简介	17
2.2	氡的衰变链	17
2.2.1	氡的性质	19
2.2.2	氡钍子体性质	19
2.3	半导体探测器	20
2.4	测量能谱	21
2.5	测量下限	22
2.6	误差	23
2.7	干扰测量因素	24
3	典型测量方案	25

3.1	室内空气中氨浓度测量方法.....	25
3.1.1	测量前准备	25
3.1.2	测量过程.....	25
3.2	土壤中氨浓度测量方法	25
3.2.1	测量前准备	25
3.2.2	测量过程.....	26
3.3	土壤氨析出率测量方法	26
3.2.3	测量前准备	26
3.2.4	测量过程.....	26
3.2.5	数据处理.....	26
3.4	水中氨浓度测量方法	27
3.4.1	测量前准备	27
3.4.2	测量过程.....	27
3.4.3	数据处理.....	27
4	使用注意事项和简单问题排除.....	29
4.1	使用注意事项	29
4.2	电源及电池	29
4.3	简单问题排除.....	30
5	技术参数	32

1 仪器基本操作和使用

1.1 开始使用仪器

本章内容为介绍 RTM2200 型氡钍测量仪（下文简称 RTM2200）的操作和使用，作为初次接触仪器的使用者来说，应该仔细阅读完该部分。

为了让用户能更好、更方便的进行测量，我们仍在不断的改进仪器以使其更加趋于完善，因此不同批次的仪器在外观、性能、以及操作上可能有细微差别。我们虽然同时也在不断的完善用户手册，但是也无法完全避免可能出现的偏差，因此当您在使用中如果对说明手册存在疑问时，请及时联系我们。

1.1.1 仪器面板简介

仪器前面板如图所示：



面板最左下角是进气孔和出气孔，进气口带有过滤器（图中未安装），有 in（进口）和 out(出口)提示，液晶屏左下角为电源接口，屏幕正下方为屏幕开关和充电指示灯，屏幕右下角为数据线接口，屏幕右侧有 USB 接口（一些旧的型号可能没有此 USB 接口）。

请检查 RTM2200 进气口是否正确安装了过滤器，任何情况下，也不要让仪器在没有过滤器的情况下使用，灰尘进入后会损坏仪器的薄膜泵。

首先，启动仪器。如果是刚刚收到的全新的仪器，需要开启内置电源，开启方法参考下文 4.3 中操作。

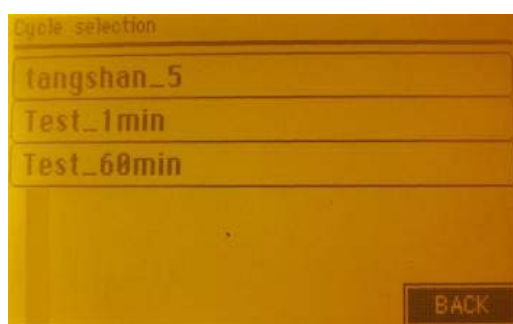
仪器启动后点击屏幕开关后屏幕显示：



START:开始测量 CYCLE : 循环模式 INTERVAL:测量数据 INFO : 仪器配置信息

1.1.2 开始测量

开始要选择测量模式，点击屏幕上的“CYCLE”键选择测量模式，如下图：



点击所需要选择的测量模式即可。选择后，屏幕显示会返回主界面。通常在对室内空气进行测量时，建议设置 1-2 小时的周期进行测量。仪器最多可以设置 16 种测量模式，当需要修改时需要将仪器连接到电脑，使用“dconfig.exe”软件进行设置，具体设置方法可见下文中软件设置部分。

屏幕返回主界面之后，点击“START”，即可开始测量，这时仪器会按照之前选择的测量模式中的设置进行采样测量，屏幕显示如下：



STOP:停止测量

INFO : 仪器配置信息

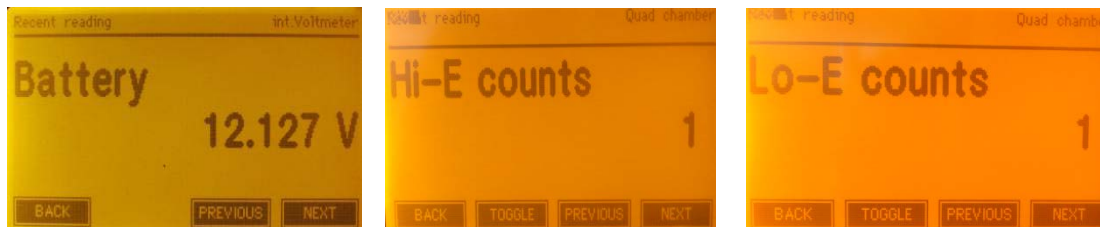
RECENT : 最近一次测量数据

INTERVAL : 所有成功完成的测量数据

1.1.3 查看数据

仪器在测量过程中，可以查看测量状态参数，包括已经测量时间、周期剩余时间、采样周期数、储存空间等数据。

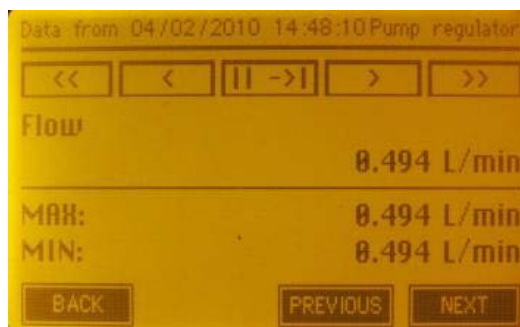
测量中也能查看测量数据，这不会干扰测量。在测量界面点击“RECENT”，出现以下界面：



继续点击 PREVIOUS 或者 NEXT 前后翻页显示其他数据，如上图所示。图中有“TOGGLE”的还能显示更多相关数据。数据显示更新时间为 1 秒（氡浓度相关数据更新时间较长）。

仪器还提供了查看 α 、 β 计数的功能，以应对偶发性的突然环境变化，供专业人员参考。测量结束后，还可将数据导出到电脑，使用软件可以查看测量到的 α 能谱以供进行进一步分析（ β 粒子只提供计数功能），具体使用方法见下文。

在主界面点击“INTERVAL”可显示所有已测量的数据，显示如下：



与之前操作类似，可以点击“PREVIOUS”和“NEXT”查看其它类别数据，包括电池电压、氡浓度、钍浓度、温度、相对湿度、气压等数据。屏幕顶部显示的是数据完成测量的时间，下面的箭头“<”和“>”可以切换到前后测量的数据，“<<”和“>>”可以切换到第一次测量数据和最后一次的测量数据。

仪器内置储存卡容量为 2G，断电也不会丢失数据。

1.1.4 停止测量

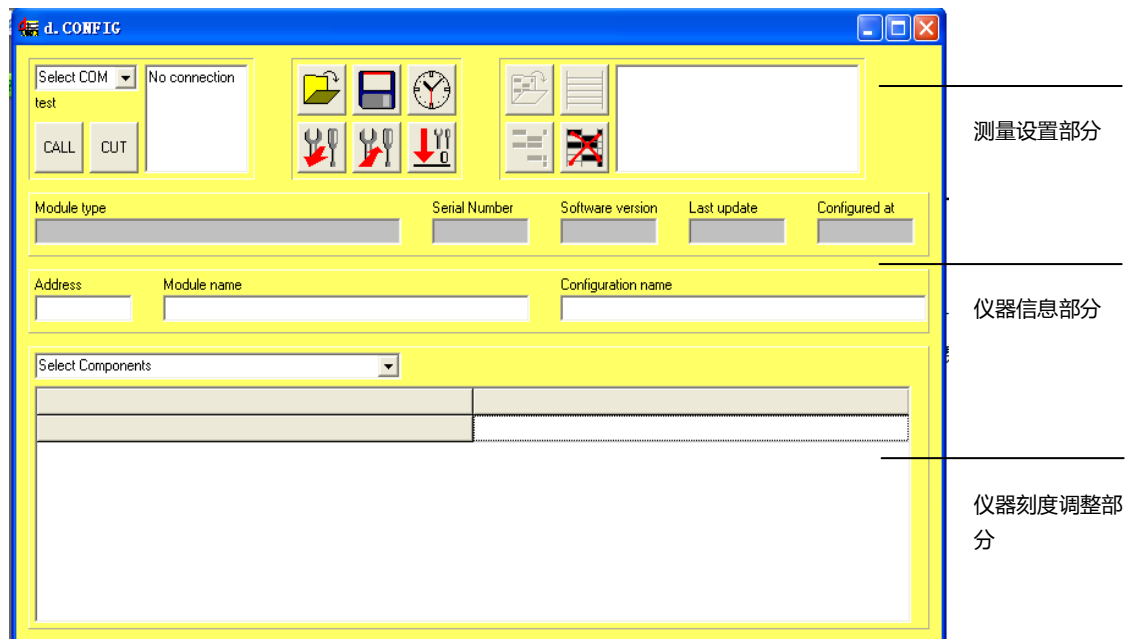
在主界面点击“STOP”，采样测量会立即停止。之后仪器会进入待机状态。

1.2 软件使用

软件包括 dCONFIG 和 dVISION，dCONFIG 为仪器设置软件，dVISION 为仪器控制和数据读取处理软件。

1.2.1 dCONFIG 介绍

dCONFIG 是电脑端对仪器进行设置的软件，使用它可以很容易的按照使用者的预想设计测量方法。双击 “dCONFIG.exe” 启动软件，软件界面如图：



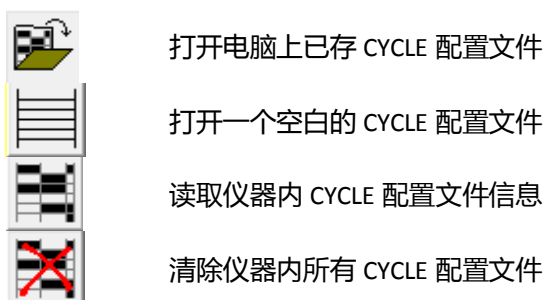
测量设置部分，可以读取仪器测量设置，新建或修改删除测量设置，并将这些设置写入仪器。

仪器信息部分，灰色框内显示仪器型号、序列号、软件版本、更新时间等信息，不可修改。白色框内为仪器开机初始面板显示信息，用户可根据需要修改，不影响测量。

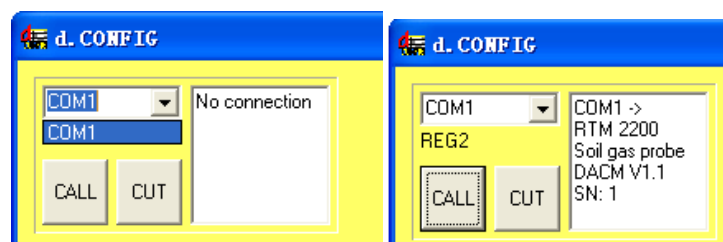
仪器刻度调整部分，位于软件界面下半部分，内部是仪器刻度设置数据，通常情况下请勿修改。

测量设置部分按键详细功能如下所示：

CALL	连接仪器
CUT	断开仪器
	时钟同步，用于同步电脑与仪器的时间
	打开电脑上已保存的配置文件
	保存当前配置文件
	读取仪器配置信息，每次连接并选择串口后，应该首先点击此按钮
	写入配置信息，对仪器配置信息修改。一定先确认写入信息正确再行写入！
	重置所有仪器配置信息，使用后，仪器内所有参数变为 0，等于初始化仪器！请不要随意使用！如果不慎点击之后，请及时联系我们！



1.2.2 连接仪器



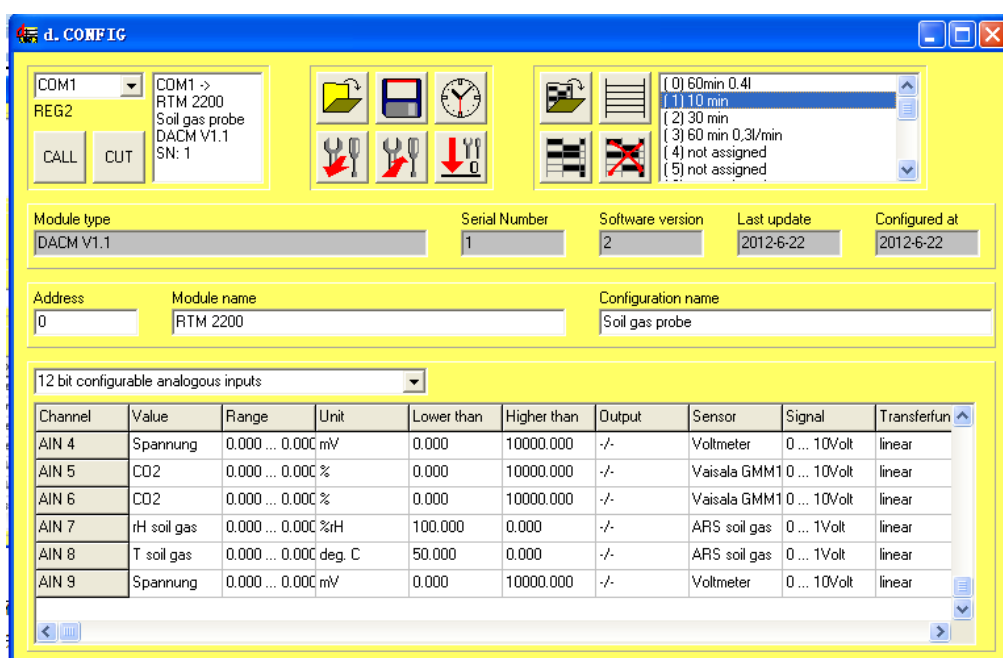
将仪器通过适配线连接到电脑，点击左上角的“Select COM”，在下拉列表中选择正确的端口（图中例为 COM1，视连接接口会有所变化），然后点击“CALL”连接仪器。连接成功后，会在右侧空白窗口显示仪器型号等信息。

1.2.3 设置参数



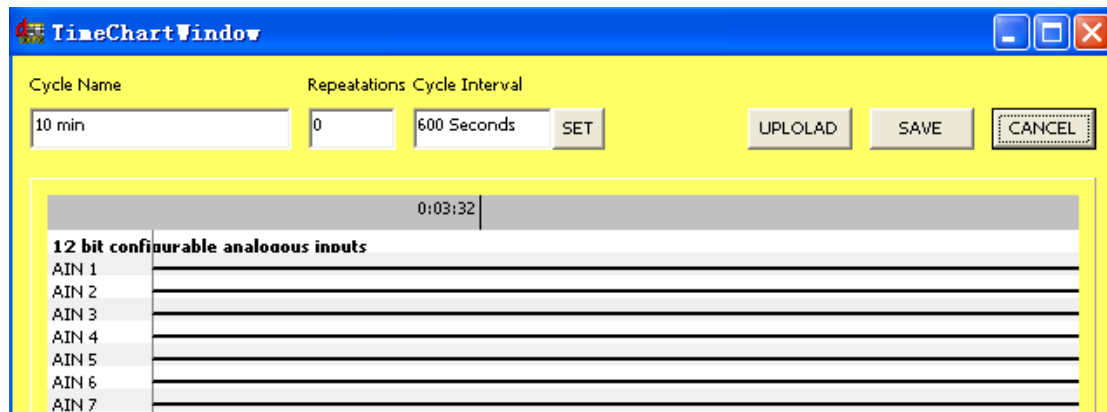
点击 ，读取仪器内部设置参数，软件会有短时间的不响应。读取完成后，会提示“Configuration loaded”（设置读取完成）。

首先，应同步仪器时间到电脑，仪器时间如果不正确可能会导致测量数据显示异常，或者误判测量时间导致测量错误。

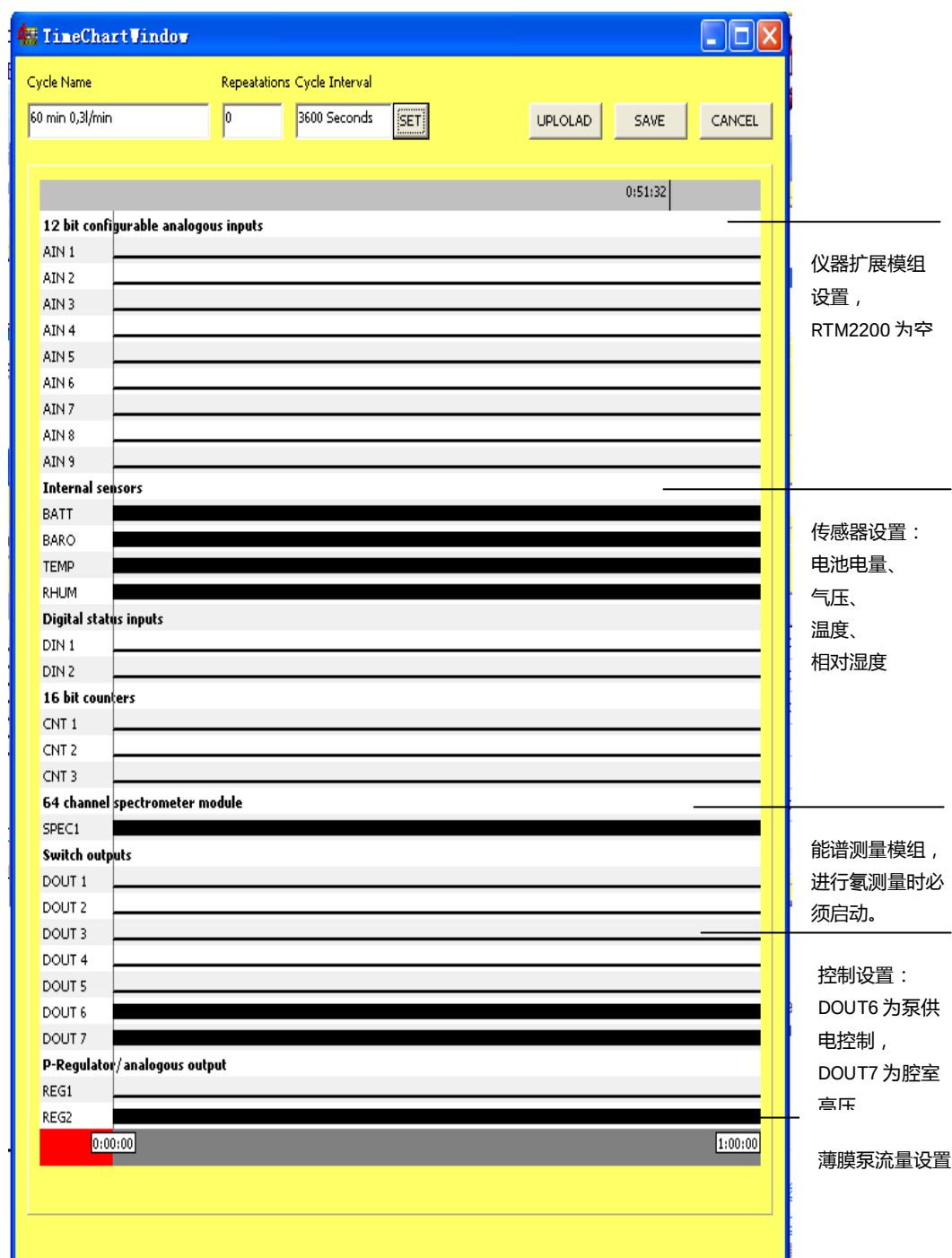


注意！窗口内下半部分有仪器刻度校准设置，切勿更改！

点击 ，读取仪器内的循环设置。仪器内已有循环设置会在右侧空白窗口中依次排列显示。仪器最高可保存 16 个循环设置，未设置的空白位置会显示为 “not assigned”。



当需要新建一个新的测量循环设置的时候，点击  键。设置测量周期时，点击 “SET” 键，在弹出窗口中输入所需要的测量循环周期（以秒为单位），输入完成后点击 “OK”。如果实际情况允许的情况下，建议设置较长时间。RTM2200 测量是以周期为单位的，每个周期记录一次测量数据，其中电池电压、气压、温度、相对湿度以及流速是每个测量周期结束时的瞬时值，而氡浓度等氡测量相关数据则是对入射探测器的 α 粒子进行持续测量，在每个周期结束时根据测量到的 α 粒子进行氡测量数据的计算并储存结果。

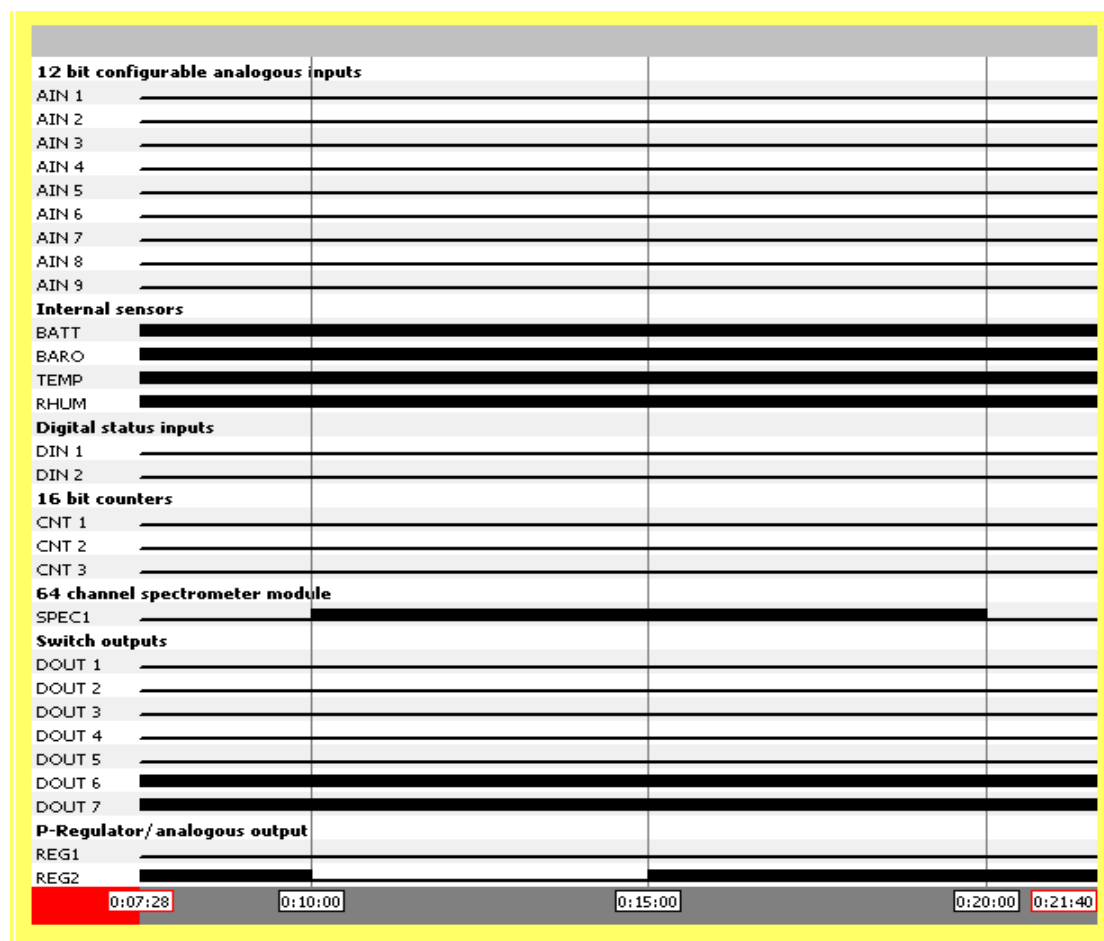


接下来是对硬件的设置，常规情况下，可以按照上图设置。细线代表关闭，粗线代表开启，左键单击对应细线即可控制开启关闭。通常情况下，需要开启“BATT（电池）”、“BARO（气压）”、“TEMP（温度）”、“RHUM（相对湿度）”、“SPEC1（能谱）”、“DOUT6（泵供电控制）”、“DOUT7（腔室高压）”和“REG2”。其中“REG2”比较特别，这是设置薄膜泵流速的选项，单击后在弹出窗口中输入所需流速（单位：L/min）。设置完成后，请“Cycle Name”下输入测量循环命名，在这里推荐将循环周期和流速作为命名，如“10min 0.3L”，以便仪器中识别选择。

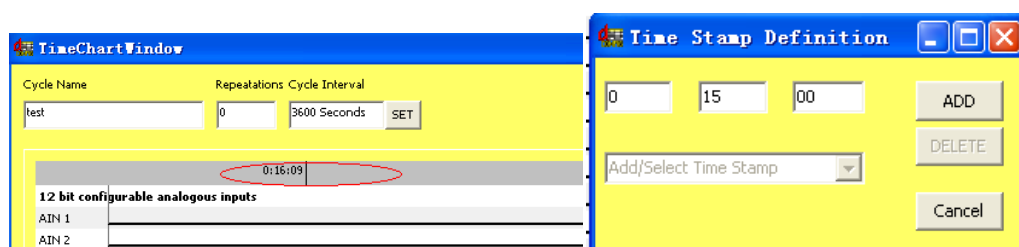
流速大小对于氢气浓度测量没有影响，不过较高的流速可以增加总采样量，降低采样的不均匀性影响。

对于常用的循环设置，可以点击“SAVE”，将该设置保存在电脑以便下次使用。

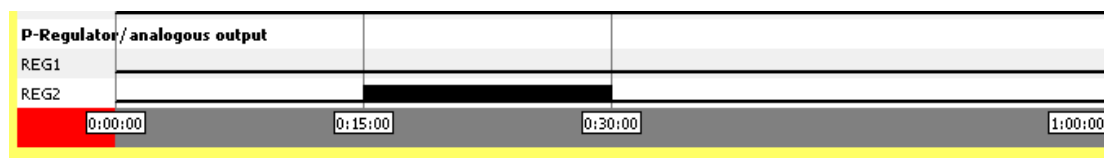
以上是简单的测量设置，当在需要一些复杂的流程式测量方案，如某段时间薄膜泵开启或关闭，则需要用到时序工作模式了。时序测量模式适合对于仪器和氢测量原理有一定了解的专业人员使用。



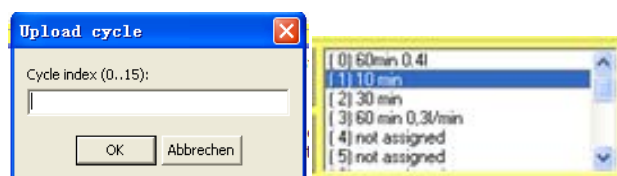
设置时序测量，首先仍然是设置测量周期，这里以 60 分钟为例。然后设置分段时间点，将鼠标移动至灰色区域，会显示时间标签，这里无需准确选择时间，然后左键单击，弹出时间设置窗口，从左到右依次是时、分、秒，这里设置为 15 分钟。



类似的，可以设置多个时间点，这里设置 15 分钟和 30 分钟两个，将 60 分钟的循环周期分为了 3 部分。



接着，点击启动各个组件，将时间段内需要启动的组件开启，如上图，薄膜泵将在每个周期的第 15-30 分钟中开启。类似的，对仪器的其他部分完成设置。



检查所有设置无误后，点击“UPLOAD”向仪器写入数据，会弹出确认提示框，确认后会出现编号输入窗口（见上图左），选择一个未被使用的位置的编号（见上图右，not assigned 即为未使用位置）输入。如果在这里输入的编号代表位置已被占用，那么之前的该位置的设置

会被覆盖。写入完成后，建议再点击  一次读取仪器设置以确认是否正确写入。仪器最高可预设 16 个测量方案。

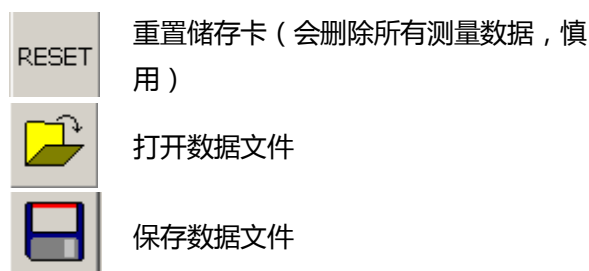
对于仪器参数设置如果有任何疑问，也可以随时联系我们。

1.2.4 dVISION 介绍

dVISION 是在电脑上控制和查看仪器的软件，能通过数据线实现连接仪器，下载仪器测量数据，PC 端控制仪器工作和查看工作状态等功能。

双击“dVISION.exe”启动软件，软件启动如图





1.2.5 连接仪器

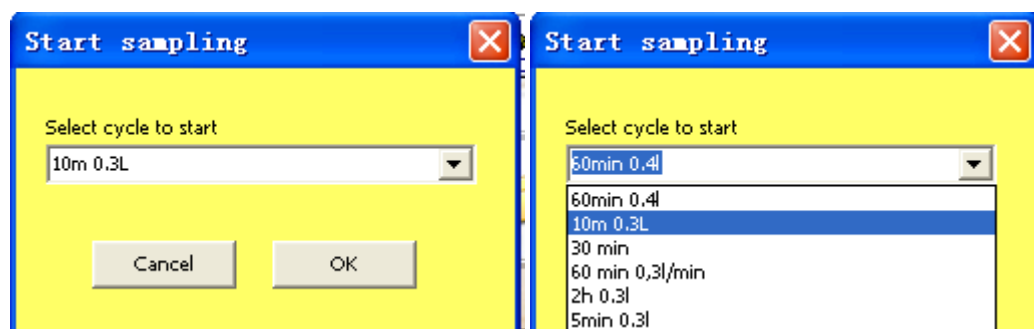
仪器数据连接线连接完成后，点击软件窗口的“COM”，选择正确的端口，然后点击“CALL”进行连接。连接成功后，中部的空白处会显示连接端口以及仪器型号等信息。

连接完成后应首先同步仪器与电脑的时间，仪器时间如果不正确可能会导致测量数据显示异常，或者误判测量时间导致测量错误。

1.2.6 软件操作

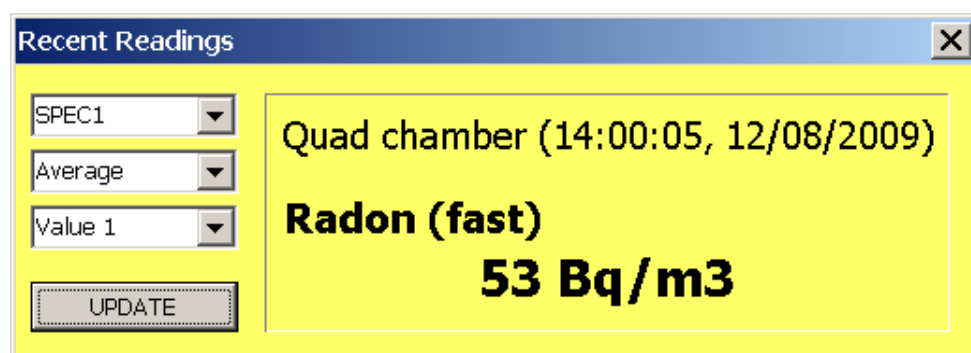
成功连接仪器后，即可开始使用软件操控仪器。

点击  键，可从 PC 端启动仪器开始测量，弹出窗口如图：



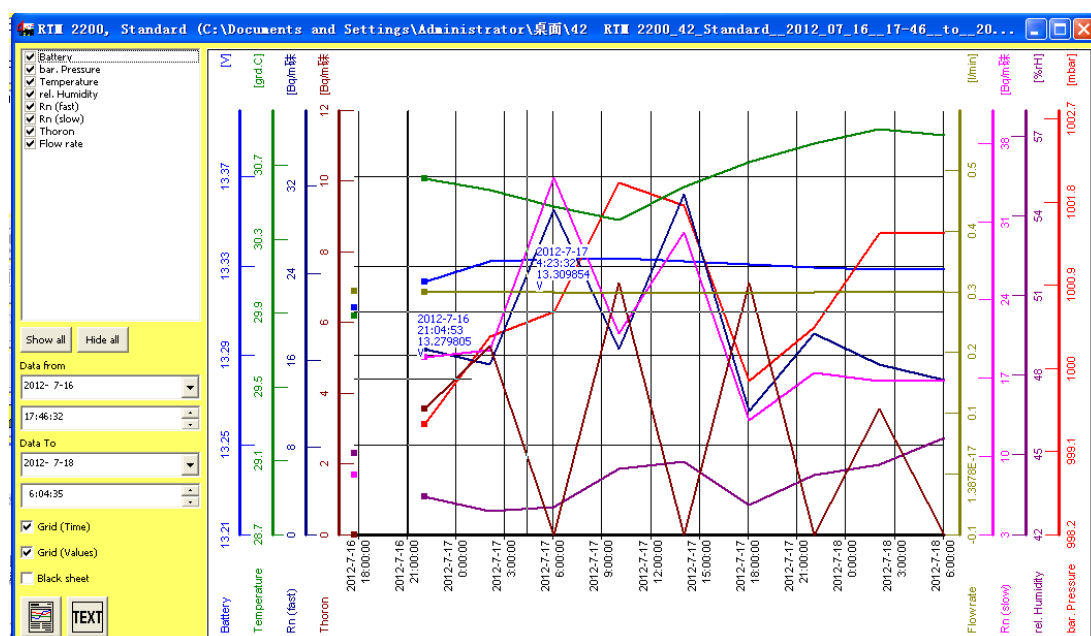
选择所需要的测量循环（这些测量循环方案是储存在仪器中的，需要预先使用 dCONFIG 进行设置，参考上文中 dCONFIG 设置部分），点击“OK”确认，测量会在几秒后开始。

测量过程中，可以使用软件读取即时数据。点击  键，弹出窗口如图：



从 3 个下拉菜单中选择对应数据，点击“UPDATE”，显示如上图所示。测量完成后如需

下载仪器测量数据，点击  键，在弹出窗口中输入合适的时间区间，然后点击“OK”，这时会弹出读取窗口，读取过程持续数秒，请勿点击鼠标或者进行其他操作。读取完成后，软件会弹出数据显示窗口。（见下图）



仪器测量的各项参数会以不同颜色的线条在图中显示，纵坐标轴在左右两侧，横坐标轴为时间。多次测量的数据点之间不会有连连线。

窗口左上部分可勾选需要在图表查看的测量数据，参数意义如下所示：

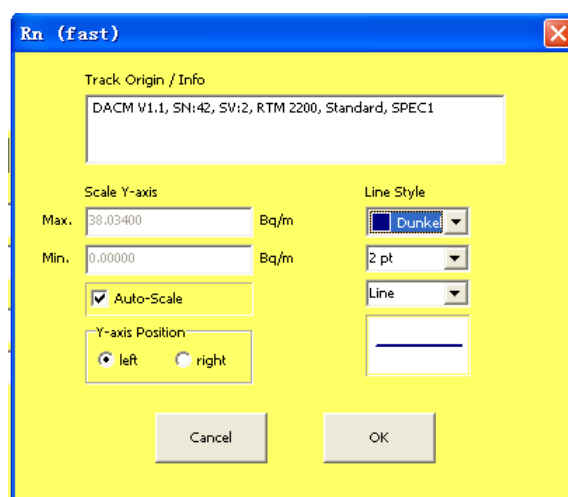
☒ Battery	Battery-电池电压
☒ bar. Pressure	bar.Pressure-气压
☒ Temperature	Temperature-温度
☒ rel. Humidity	rel.Humidity-相对湿度
☒ Rn (fast)	Rn(fast)-快速模式下氡浓度
☒ Rn (slow)	
☒ Thoron	
☒ Flow rate	

Rn(slow)-慢速模式下氡浓度

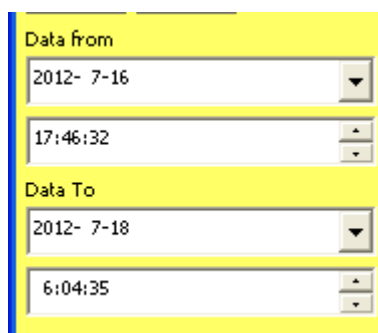
Thoron-钍射气浓度

Flow rate-流速

双击某一选项，可以对该类数据在图表中的显示进行设置，如 Y 轴数值范围、位置，显示曲线颜色、形状等。（见下图）

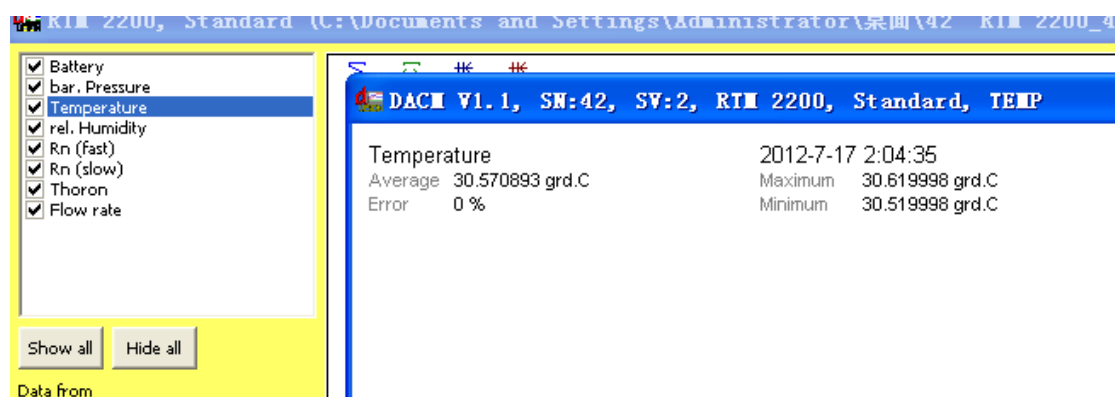


当只需要显示部分时间段的数据时，可以在左侧的菜单中设置显示区间。上两行分别为起始时间，下两行为结束时间，设置完成后图表中显示会即时更新。（见下图）

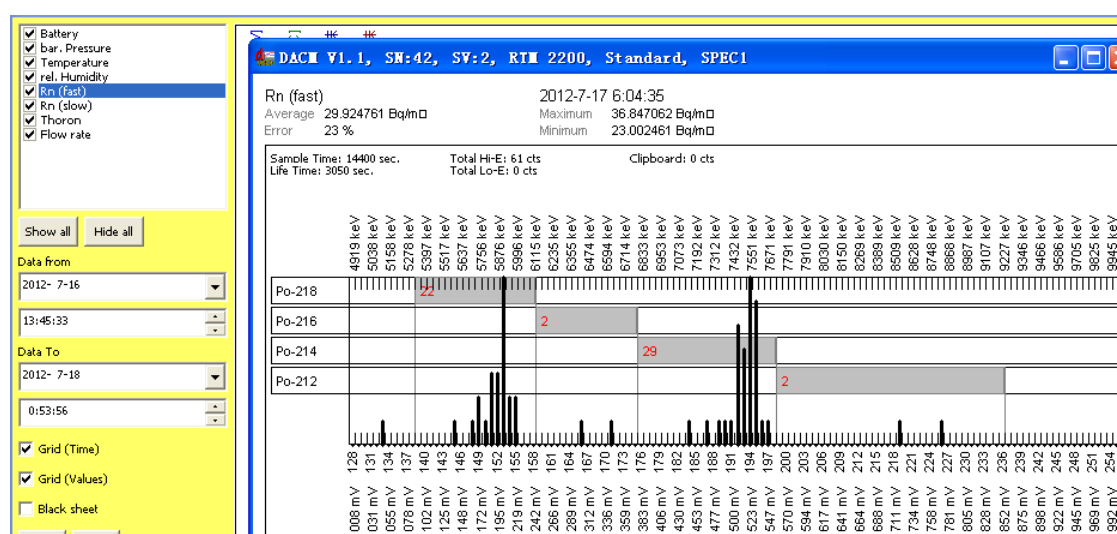


这里介绍一些快捷操作，当需要放大某段数据进行查看时，首先用鼠标左键点击需要放大的区间的左端，然后用鼠标右键点击需要放大区间的右端，即可放大查看感兴趣的区域。需要恢复时，可以双击“Data from”和“Data to”字样，恢复初始显示范围。

用鼠标左键单击选择左上角某一参数（如 Temperature、Rn(fast)等），然后按住键盘的左 Ctrl 键同时鼠标左键选择图标上某个测量区间，即可显示该参数在所选区间内的情况，包括最大值、最小值和平均值以及误差。例如当选择 Temperature（温度）时：

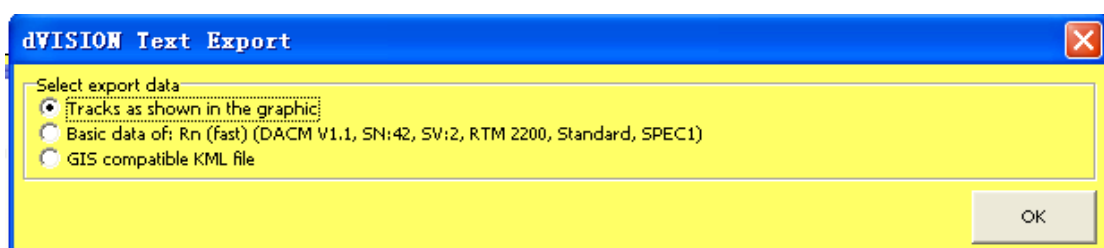


特别的，当选择的是氡浓度参数如（Rn(fast)、Rn(slow)、Thoron）时，会显示该区间的测量能谱：（图中为选择 Rn(fast)）



图中横轴为能量，纵轴为计数，图中灰色区域从左到右依次为 ^{218}Po 、 ^{216}Po 、 ^{214}Po 、 ^{212}Po 对应区间（如图中 ^{218}Po 计数为 22），为分析测量提供参考决策。

当需要导出数据时，可点击  键，将测量数据导出为 txt 文本文档模式。



第一项是输出图表中显示的数据。第二项是所选项目的数据。

2 RTM2200 测量原理

2.1 简介

本章主要内容是氡测量相关知识，包括氡以及子体性质、测氡仪测量原理、算法以及误差等。如果仅仅只是操作仪器，并不需要记住这些内容，但是了解关于氡测量的相关知识对于更好的进行氡测量工作会有较大帮助。

2.2 氡的衰变链

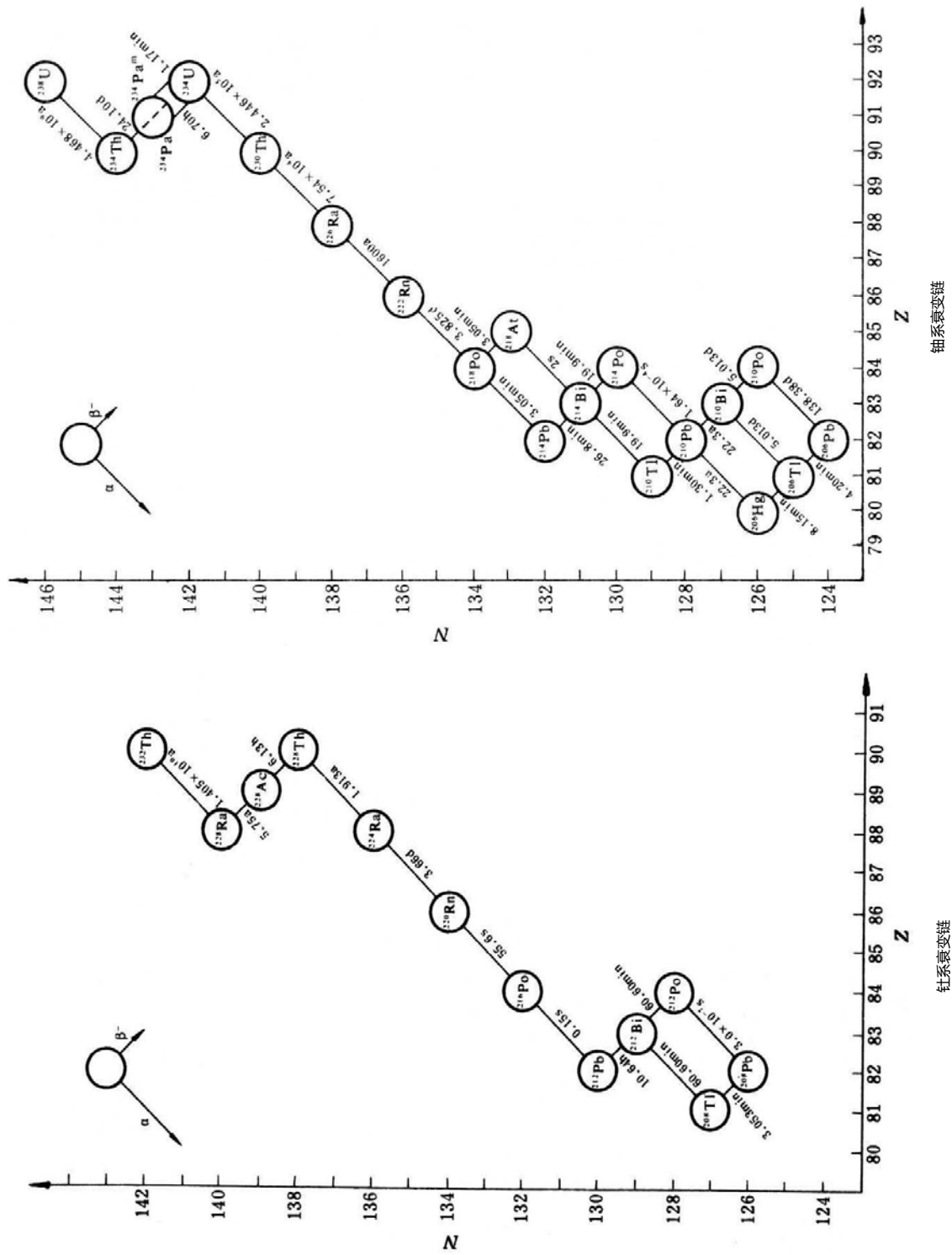
氡有 34 种已知的同位素，其中对我们有较大影响的主要是氡-222、氡-220。氡-222 属于铀系衰变链中的元素，而氡-220 则是钍系衰变链中的元素。

这些核素都属于放射性核素，会按照各自的半衰期沿着衰变链逐渐衰变，发生 α 、 β 衰变转变为其他核素，中途还会伴随发生 γ 跃迁发出 γ 射线，由于 RTM2200 仅对 α 粒子进行能谱测量，因此这里将不会重点考虑其他类型的衰变。

α 衰变是不稳定原子核自发放射 α 粒子的过程， α 粒子是电荷数为 2，质量数为 4 的氦核。 α 粒子在发射时带有一定动能，动能大小取决于原子核内的能级，而不同的原子核内的能级也有所差异，因而能通过测量发射的 α 粒子能量来对 α 衰变核素进行识别。

氡的衰变链中除了产生 α 粒子之外，还有 β 粒子和 γ 射线，但他们不会对测量产生任何实质性的干扰。 β 粒子虽然也能在半导体探测器中产生脉冲，但是由于能量远低于 α 粒子，很容易被能量幅度甄别剔除，而且大部分的 β 粒子都穿透了探测器敏感区域。至于 γ 射线，由于其穿透力极强，绝大多数都直接穿透探测器，沉积能量也极少，不会对探测形成干扰。

铀系和钍系衰变链：



2.2.1 氡的性质

氡气是无色无味的气体，标准大气压和温度下，一个单原子气体的氡密度为 9.73 kg/m^3 ，氡密度大约是空气密度的 8 倍，是室温中最重的气体。氡属于惰性气体，极难与其他物质发生化学反应。

氡-222 是 α 衰变核素，半衰期为 3.82 天，衰变时释放出一个能量为 5.49 MeV 的 α 粒子，并转变为钍-218。在封闭环境且没有其他的氡的进出的情况下，大约 3.82 天之后氡-222 浓度会下降一半，但是对于单个氡原子来说，随时都可能发生衰变，也可能一直不衰变。在氡浓度恒定的情况下，单位时间内衰变的氡原子数基本恒定，但并非定值，而是一个波动的数值，之后的误差讨论中会详细解释这对测量的影响。

氡-222 衰变的后续核素称为钍子体。

氡-220 也是 α 衰变核素，半衰期为 55.3 秒，由于来自于钍衰变释放因此又称为钍射气。衰变时放出一个 6.29MeV 的 α 粒子并转变为钍-216。后续衰变核素称为钍子体。

2.2.2 钍子体性质

钍子体包括钍-218、钍-214、镭-212、钍-214 和钍-210 等，与其母体氡惰性气体元素不同，都是属于金属元素，易于附着在物质表面，而且新衰变形成的钍子体都带有电荷，很容易吸附在空气中的粉尘、颗粒、水蒸气表面形成较大的气溶胶颗粒。

钍-218 半衰期为 3.05 分钟， α 衰变时放出一个能量为 6 MeV 的 α 粒子。由于其较短的半衰期，通常新衰变产生的钍-218 会在 15 分钟基本衰变完毕，当在有氡来源的情况下，15 分钟左右便会形成放射性平衡，即新产生的钍-218 与衰变消失的钍-218 量相等。钍-218 有 99% 以上的几率会发生 α 衰变为钍-214，其余极少数发生 β 衰变形成镭-218，由于产额极少，测量中可不考虑。

钍-214 半衰期为 26.8 分钟，为 β 衰变核素，衰变产生镭-214。

镭-214 半衰期为 19.8 分钟，有 99% 以上的几率发生 β 衰变，产生钍-214。

钍-214 为 α 衰变核素，衰变时放出一个 7.69MeV 的 α 粒子，半衰期仅为 1.64×10^{-4} 秒，因此形成后会迅速衰变，变为钍-210。

钍-210 也是 α 衰变核素，衰变时放出 5.30MeV 的 α 粒子，半衰期长达 23.3 年。由于其半衰期较长，因此存在时间也较长，在氡测量领域，它的积累会对非 α 能谱测量型仪器（例如 lucas 闪烁室，电离室等）形成严重的干扰，RTM2200 型测氡仪由于能测量 α 能谱，能将其干扰完全剔除。

钍子体包括钍-216、钍-212、镭-212、钍-210、钍-208、钍-208，也都属于金属元素。其中钍-216 为 α 衰变核素，半衰期为 0.15 秒，放出能量为 6.78MeV 的 α 粒子变为钍-212。钍-212 为 β 衰变核素，半衰期为 10.64 小时，衰变形成镭-212。

铋-212 半衰期为 60.6 分钟，有 1/3 几率发生 α 衰变放出能量为 6.05MeV 的 α 粒子形成钋-208,2/3 几率发生 β 衰变变为钋-212。钋-208 之后会继续发生 β 衰变变为铅-208，而钋-212 则放出一个能量为 8.78MeV 的 α 粒子后也衰变为铅-208。

2.3 RTM2200 型氡钍测量仪工作原理

RTM2200 型氡钍测量仪属于 α 能谱测量型氡钍测量仪器，通过对氡子体衰变的 α 能谱进行测量并分析计算得出环境中的氡浓度。

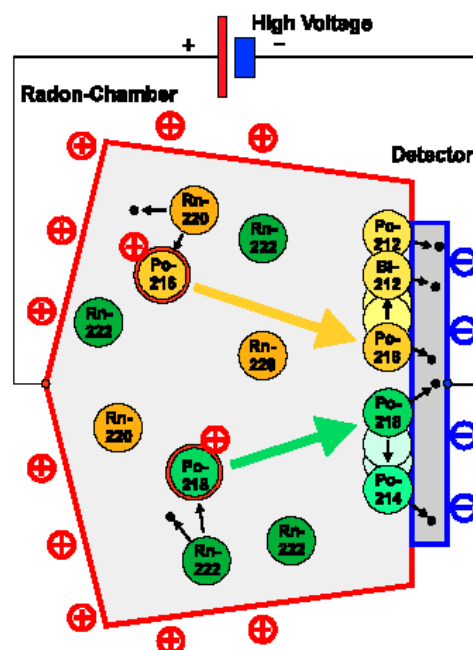
通过进气孔将外界的气体吸入，进气孔处的过滤器会过滤去空气中已有的氡钍子体(它们通常都以气溶胶形式存在，颗粒较大)、尘埃颗粒、气溶胶等。气体中的氡气能通过过滤器进入仪器内的腔室中，并发生衰变产生氡钍子体（如钋-218），新形成的氡钍子体都带有电荷，在腔室内的高压电场作用下会被吸附在腔室内的半导体探头表面。氡子体在半导体探测器表面继续衰变，放出的 α 粒子便会被半导体收集测量，通过测量能谱和统计计数，就能得出各种氡子体浓度并进而计算获得对应的空气中氡浓度。RTM2200 型氡钍测量仪在测量氡气的快速模式下会对钋-218 进行计数计算，在慢速模式情况下会对钋-214 和钋-218 共同计数计算。而钍射气浓度则由钋-216 和钋-212 计数计算得出。

2.3 半导体探测器

RTM2200 型氡钍测量仪采用 Sarad 公司自产的深层离子注入型半导体探测器，探头性能可靠，稳定性好，能量分辨率高，噪声低。

Radon/Thoron Decay Chains (simplified)

Radon (Rn-222)			Thoron (Rn-220)		
Nuclide	Half Life	Energy (α)	Nuclide	Half Life	Energy (α)
Rn-222	3.8235d		Rn-220	55.8s	6.385MeV
↓ α		5.49MeV	↓ α		6.385MeV
Po-218	3.05m		Po-216	146ms	6.778MeV
↓ α		6.002MeV	↓ α		6.778MeV
Pb-214	26.8m		Pb-212	10.64h	
↓ β			↓ β		
Bi-214	19.9m		Bi-212	60.55m	6.080MeV
↓ β			↓ α		6.080MeV
Po-214	184 μ s	7.687MeV	Tl-208 Po-212	3.06m	
↓ α			↓ β		
Pb-210	22.3y		Pb-208	stable	8.786MeV
↓ β					
Bi-210	5.01d				
↓ β					
Po-210	138.4d				
↓ α		5.305MeV			
Pb-206	stable				



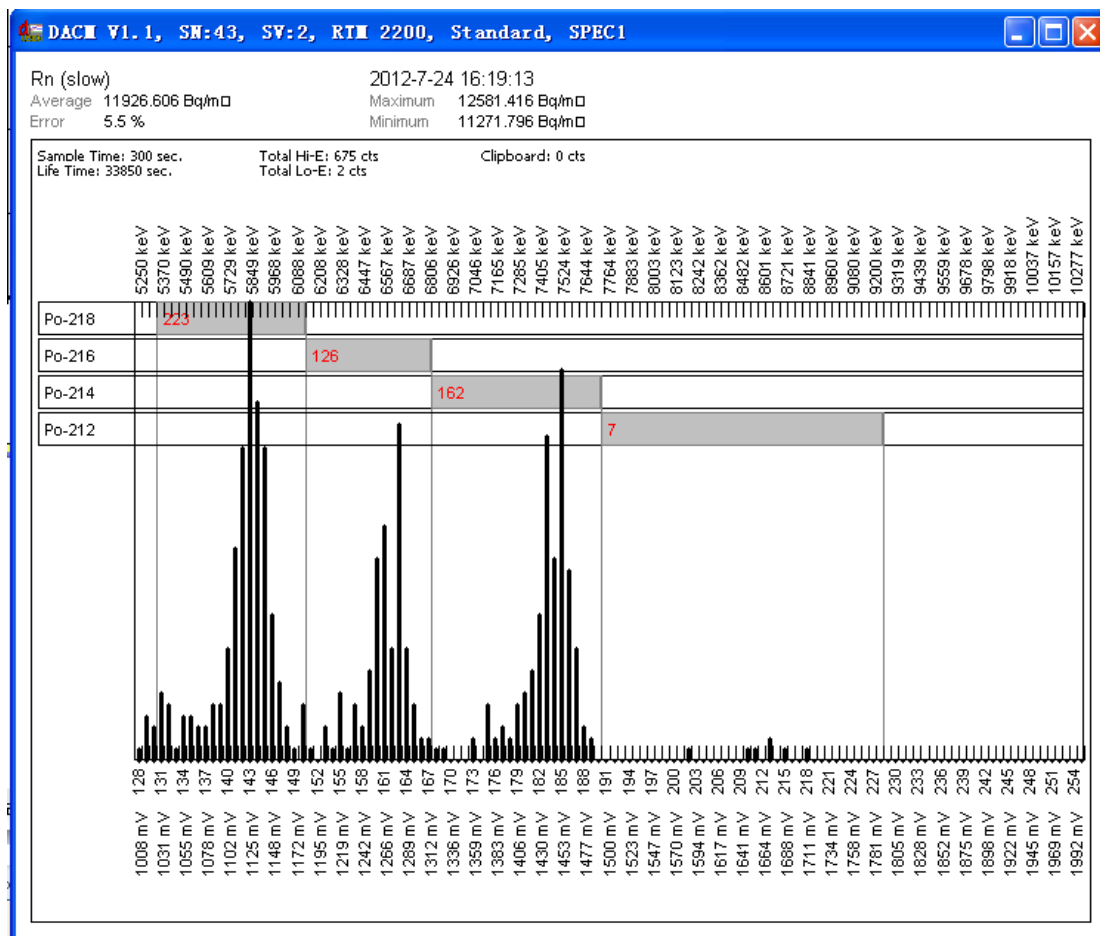
半导体表面收集的氡子体发生衰变产生的 α 粒子，进入半导体内后会形成电离，由于半导体内部加有电场，电离产生的电子、空穴对会在电场作用下向两极移动。入射粒子能量越高，就会产生越多的电子、空穴对，从而在输出回路中产生更高幅度的脉冲信号，进而能对入射粒

子能量进行测量。脉冲信号的幅度与入射 α 粒子能量相关，而脉冲的数量则与入射 α 粒子的数量相同，探测器对这些信号进行整形放大后传输到后续电子学电路中进行处理。

2.4 测量能谱

氡以及子体在 α 衰变时发射的 α 粒子是单能的，但是单能的 α 粒子在产生后，会受到周围物质的作用而损失能量，因而进入探测器的 α 粒子能量会出现展宽。

这是由 RTM2200 型氡钍测量仪测量土壤中氡浓度时所测量到的 α 能谱。



图中横坐标为能量，从左到右，能量逐渐增高；纵坐标为计数，每个计数代表一个 α 粒子被记录，峰越高代表计数越高。该能谱图从左到右分成了四个分区（图中灰色区域），从左到右依次是钋-218、钋-216、钋-214、钋-212的计数区域，能量在该区域内的 α 粒子即视为是该核素衰变放出的 α 粒子（还需考虑峰拖尾影响），其中氡-222的浓度是由钋-218（快速模式）和钋-214（慢速模式）确定的，而氡 220 的浓度则是由钋-216 和钋-212 确定。

2.3.1 放射性平衡以及测量模式

由于测量环境中气体充满内部腔室开始衰变需要一段时间，因此并非开始测量后马上就能获取数据。

以氡-222 为例，吸入气体中的氡-222 在腔室内衰变产生钋-218，在腔室高压电场作用下被收集到半导体探测器表面。钋-218 半衰期为 3.05 分钟，在刚刚开始收集时，衰变的钋-218 数量较少，探测器表面附着的钋-218 的量会继续上升。但是随着收集量的逐渐上升，衰变的钋-218 也会逐渐增多，但吸入气体中的氡-222 浓度恒定的话，最终探测器表面衰变的钋-218 的量会等于新产生收集的钋-218 的量，形成放射性平衡。这时，才能将仪器测量到的钋-218 计数与待测量气体的氡-222 浓度建立关系。

达到放射性平衡通常需要 5 个半衰期就足够了，因此对钋-218 而言，开始测量后大约 15 分钟即可达到平衡，这是氡气浓度测量的最小反应时间，也就是说当开始测量或者氡浓度变化 15 分钟后，仪器才能得出准确的氡气浓度。

RTM2200 型氡钍测量仪测量氡浓度时，有两种计算模式：快速模式和慢速模式。

快速模式，仪器仅仅将钋-218 计数进行计算，反应时间短，只需 15 分钟。但是该模式下灵敏度（3.2 cpm/(kBq/m³)）较低，适合在高浓度下测量，低浓度下误差较大。

慢速模式，仪器将钋-218 和钋-214 计数综合计算，测量计数较高，因而灵敏度也较高（7 cpm/(kBq/m³)），但是由于钋-214 位于氡衰变链的后端，且中间有数个半衰期较长的核素，因而反应时间也较长，需 2 小时的反应时间，该模式适合在低浓度情况下使用。

2.5 测量下限

测量下限是指仪器在给定的测量时间内所能测量到的最小不为零的数值。

在给定的测量时间内，最少需要测量到一个计数，才能得出一个不为零的测量值。当氡浓度极低，而测量周期也很短的话，测量到的计数很可能就是 1 或者 0，由于放射性统计涨落，将会经常出现连续的测量周期内 0 个计数，而某个测量周期测量计数为 1 这样的情况。这时进行计算，计数为 0 的测量周期内氡浓度为 0，而计数为 1 的测量周期内氡浓度却很高。为了避免这个情况，需要设置一个足够长的测量周期。

测量周期越长，测量下限就会越低。

当仪器在一个测量周期内所测量到的计数小于 16 时，统计涨落应使用泊松分布来推算。下表给出了 3 个不同置信度下测量下限所需的平均计数值

置信度	所需平均计数值
63.2%	1
95%	3
99.75%	6

不同测量周期下，测量下限的计算公式：

$$C=N/(T*S)$$

式中 C：测量下限；N：所需要的平均计数值（参见上表）；T：预设的测量周期；S：仪器灵敏度。

2.6 误差

测量不可避免的会存在有误差，尤其是在放射性测量中，由于放射性统计涨落导致的统计误差是测量的最主要的误差。

统计误差的产生原因是放射性衰变的随机性。大量的氡-222 原子的一般会在 3.82 天后数量减少一半，浓度越高，单位时间内衰变的放射性核素的量会越稳定，反之，低浓度情况下，单位时间内衰变的放射性核素的量的波动也会越大。由于 RTM2200 型氡钍测量仪测量的是放射性核素的活度浓度，同样受此波动影响，因此即使在外界真实氡浓度恒定的情况下，也会有着一定的涨落。

统计误差 E ，当置信度为 $k\sigma$ 时，可以使用以下公式进行估算：

$$N = C(Rn) \cdot T \cdot S,$$

$$E[\%] = 100\% \cdot k \cdot 1 / \sqrt{N};$$

式中， N 为计数， $C(Rn)$ 为估计氡浓度， T 为测量时间， S 为仪器灵敏度（对 RTM2200，快速模式为 3.2 cpm/(kBq/m³），慢速模式为 7 cpm/(kBq/m³））。

RTM2200 型氡钍测量仪内部软件以及集成了统计误差计算功能，会给出测量值的在当前统计误差下可能的氡浓度真值范围。

以下是几个常用测量周期下，RTM2200 型氡钍测量仪的测量氡浓度时的典型放射性统计误差（1- σ 置信度，即 63.2%）：

快速模式下不同浓度和周期下典型测量统计误差

	0.02 kBq/m ³	0.2 kBq/m ³	1 kBq/m ³	10 kBq/m ³
5 分钟	>100%	55.9%	25%	7.91%
10 分钟	>100%	39.52%	17.68%	5.59%
30 分钟	72.17%	22.82%	10.21%	3.23%
1 小时	51.03%	16.14%	7.22%	2.28%

慢速模式下不同浓度和周期下典型测量统计误差

	0.02 kBq/m ³	0.2 kBq/m ³	1 kBq/m ³	10 kBq/m ³
--	-------------------------	------------------------	----------------------	-----------------------

2 小时	24.40%	7.72%	3.45%	1.09%
4 小时	17.25%	5.46%	2.44%	0.77%
6 小时	14.09%	4.45%	1.99%	0.63%
8 小时	12.20%	3.86%	1.73%	0.55%

实际测量时，我们当然希望尽量降低误差，当实际情况允许时，可以尽量提高测量周期，增大计数量，能有效降低统计误差，当测量周期超过 2 小时时，可以使用慢速模式以进一步降低统计误差。

放射性统计误差外的其他因素影响相比极小，通常不作为主要因素考虑。

2.7 干扰测量因素

RTM2200 型氡钍测量仪由于其独特的多个小腔室设计，使得它在没有损失灵敏度的情况下还能避免空气中水蒸气的影响，不需要像其他测氡仪那样需要准备和更换干燥管，适合长时间无人值守测量，受周围环境因素影响极小。但是测量工作中，为了获得更加精确的结果，仍然需要注意一些事项。

氡是单原子气体，极易发生扩散，因此在有空气对流的环境下，很容易被稀释消散。因此在氡浓度测量工作中，要尽量避免干扰环境，如在测量室内氡浓度时，应关闭门窗以及通风设施。

RTM2200 型氡钍测量仪虽然对于水蒸气不敏感，可以直接吸入潮湿气体，但是仍然需要警惕凝结水。通常来说由于仪器内部电路以及泵在运行时会产生热量，因此仪器温度一般会高于周围环境温度，不会产生凝结水。但是假如仪器刚刚从较低温度下移动到较高温度下进行测量时（比如说从制冷空调的办公室离开立即到室外测量），这个问题就需要注意了，水蒸气进入后很可能会在仪器管道以及内部腔室凝结，不仅会干扰测量，腔室内的凝结水还可能形成水滴，威胁仪器安全。

在需要进行连续多次测量时，建议在每次测量后的间隔时间内用新鲜空气对仪器内腔室进行循环，方法很简单，只需要不停止泵运行，让仪器进气口和排气口都在新鲜空气中即可。与之前提到的放射性平衡原理类似，当使用快速模式测量时，只需要 15 分钟的循环即可使仪器内氡计数降低到本底水平，慢速模式则需要 2 小时的时间。如果不进行这个步骤，当下一个待测量的氡浓度较低时，那么最开始的几个测量值很可能会偏高，但是对更高氡浓度的测量不会受影响。

3 典型测量方案

作为实际使用参考，以下介绍 RTM2200 型氡钍测量仪的几个典型的测量方法，对空气、土壤以及水中氡浓度的测量方法进行介绍。仪器适合这些场合但并不限于这些场合使用，配合适当的附件，RTM2200 型氡钍测量仪几乎可以适应所有的需要测量气体氡浓度的场合，例如水中镭含量的测量、材料氡析出率测量等。

以下测量方法仅供参考，如与国家及部门行业相关标准规定相冲突，请以相关标准规定为准。

3.1 室内空气中氡浓度测量方法

3.1.1 测量前准备

- a) 将仪器电池完全充满，设置合适的测量周期，一般室内氡浓度较低，建议使用 2 小时测量周期，慢速模式。检查仪器进出气口有无堵塞。
- b) 在新鲜空气环境中启动仪器抽气 15 分钟。
- c) 移动至需要测量的位置准备测量，如需长时间（24 小时以上）测量，需连接外置电源。

3.1.2 测量过程

- a) 启动仪器开始测量。测量开始后，尽量保持周围环境条件稳定，关闭门窗、避免人员出入以及关闭通风设施。
- b) 等待完成测量周期后，停止测量。可现场读取数据或将仪器带回连接至电脑进行进一步分析。

3.2 土壤中氡浓度测量方法

3.2.1 测量前准备

- a) 测量地点在测量前 24 小时内不应有降雨。
- b) 将仪器电池完全充满，设置合适的测量周期，由于土壤中氡含量通常较高，因此一般可设置 5 分钟为采样周期，快速模式。检查仪器进出气口有无堵塞。
- c) 在新鲜空气环境中启动仪器抽气 15 分钟。
- d) 选择合适的位置钻孔，然后插入采样管，注意采样管与土壤之间要尽量保持密封，避免外界空气进入。
- e) 用塑胶管（普通橡胶管会吸附氡）连接测氡仪和采样管，注意将测氡仪进气口接入到采样管，出气口不接。

3.2.2 测量过程

- a) 启动仪器开始测量。土壤氡浓度通常在 15 分钟后会达到饱和。
- b) 测量时应有人值守监视。原因是，测量地点可能会由于土壤潮湿和板结，导致抽气不畅，此时应考虑更换测量地点。另外，由于土壤中可能存在有水，可能会被仪器吸入导致损坏，当发现水进入塑胶管时，应立即压住导管阻止水继续进入，并停止仪器抽气。
- c) 等待测量完成，可现场读取数据或待以后连接电脑读取。
- d) 当需要连续多点测量时，完成一点测量后，应在空气继续保持抽气一段时间（建议 15 分钟），再开始下一点的测量。

3.3 土壤氡析出率测量方法

3.2.3 测量前准备

- a) 测量地点在测量前 24 小时内不应有降雨。
- b) 将仪器电池完全充满，设置合适的测量周期，由于土壤中氡含量通常较高，因此一般可设置 10 分钟为采样周期，快速模式。检查仪器进出气口有无堵塞。
- c) 在新鲜空气环境中启动仪器抽气 15 分钟。
- d) 选择合适的测量地点，清理土壤地面，土壤地面不留有落叶杂草以及大石块，用土铲按照土壤析出率附件（选配）外形尺寸挖出一个平整地表（深度 1cm 左右）。
- e) 将土壤析出率附件放入，沿四周掩埋土壤密封并压实。
- f) 连接管线，使用塑胶管将仪器进气口连接至土壤析出率附件顶部中央的接口，排气口连接至附件侧面的接口。

3.2.4 测量过程

- a) 启动仪器，开始测量。
- b) 等待测量完成，可现场读取数据或待以后在电脑上读取。

3.2.5 数据处理

仪器测量结果为土壤表面析出的氡浓度，可以通过很简单的计算得出土壤表面氡析出率。

设析出率为 E ，时间 t_0 测量氡析出浓度为 C_0 ，时间 t 后测量氡析出浓度为 C_t ，土壤测量附件以及仪器腔室内体积为 V ，测量土壤面积为 S ，可使用以下公式计算时间间隔 t_0-t 时间内的土壤析出率：

$$E = \frac{(C_t - C_0) * V}{(t - t_0) * S}$$

对于多点测量数据，还可以将数据导出后在电脑进行线性拟合，以获得更好的效果。

3.4 水中氡浓度测量方法

3.4.1 测量前准备

- a) 选择合适的测量周期，对于 2000 Bq/m^3 左右浓度的情况，可以设置 10 分钟作为采样周期，快速模式。检查仪器进出口有无堵塞。野外现场使用还需将仪器电池充满。
- b) 在新鲜空气中抽气 15 分钟。
- c) 将塑胶管连接至仪器进出气口。
- d) 对需测量的水体进行采样，采样过程中应尽量保持平稳，采样后将采样容器迅速移动到仪器附近。由于水中氡极易逸出，采样过程中的晃动，极易导致氡逸出而至测量氡浓度低于实际值。
- e) 插入导气管并封闭好容器，连接塑胶管，注意检查连接气体流向，保证插入水中的导气管连接的是仪器的出气口，如连接至进气口将会导致水吸入仪器中造成损坏。

3.4.2 测量过程

- a) 检查管线连接无误之后，开启仪器开始鼓气测量，刚开始时需注意鼓气情况，避免发生水鼓入仪器情况。
- b) 等待测量完成，可现场读取数据或返回后在电脑上读取。

3.4.3 数据处理

仪器测量结果为水中析出氡浓度，在鼓泡一段时间后，水中析出氡浓度与水中剩余氡浓度会达到平衡，进而可以通过测量到的水中析出氡浓度反推出水中氡浓度。

使用“Sarad Radon in Water”这一软件，只需要将测量结果和一些已知参数输入，便可以很方便的得出水中氡浓度，您可以向我们索取这一软件以及相关资料。

SARAD Radon in Water Calculator 

Water Sampling Configuration

Description
RTM2200

SAVE
OPEN

Water Volume Air Volume Correction
100 ml 130 ml 1

Water Sampling Conditions

Water Temperature Conversion Factor
22 °C 1

Displayed Radon Concentration
0 Bq/m3

Radon in Water Concentration
0 Bq/L

CALCULATE

4 使用注意事项和简单问题排除

4.1 使用注意事项

1. 建议定期清空储存器数据

仪器的内置储存卡可储存 2G 的数据，足够应对任何场合，但是仍然建议在测量大量数据后及时读取数据进行存档，数据在电脑中做好备份后建议清空仪器储存器（操作参考软件操作部分），这样可以加快以后读取数据速度。

2. 储存注意

仪器的维护和维护并不需要特别的条件，与一般仪器储存类似，避免储存在高温、低温、高湿环境与水以及腐蚀性物质接触即可。平时为避免异物进入仪器进口气口，可用短塑胶管两端套在进口气口以密闭。长期储存时，为避免可能的电池过放电导致电池报废，建议断开电池并且定期（3 个月）进行充电（参考 4.3 中操作）。

3. 必须使用过滤器进行测量

RTM2200 使用外置过滤器滤去气体中已有的氡子体以及尘埃颗粒，如果不使用过滤器进行测量，不仅测量结果会有偏差，吸入的尘埃还可能导致内置薄膜泵损坏。

4. 避免仪器进水

仪器并未考虑防水，野外使用仪器应避免其遭到雨淋。抽气时应特别注意防止水吸入，发现开始吸入水时，应立即压住进气管线并停止测量。如发生意外吸入水事件，应打开后盖关闭仪器电源（参考 4.3 中操作），然后尝试倒出吸入水，之后将仪器放在干燥环境中，并联系我们寻求帮助。

4.2 电源及电池

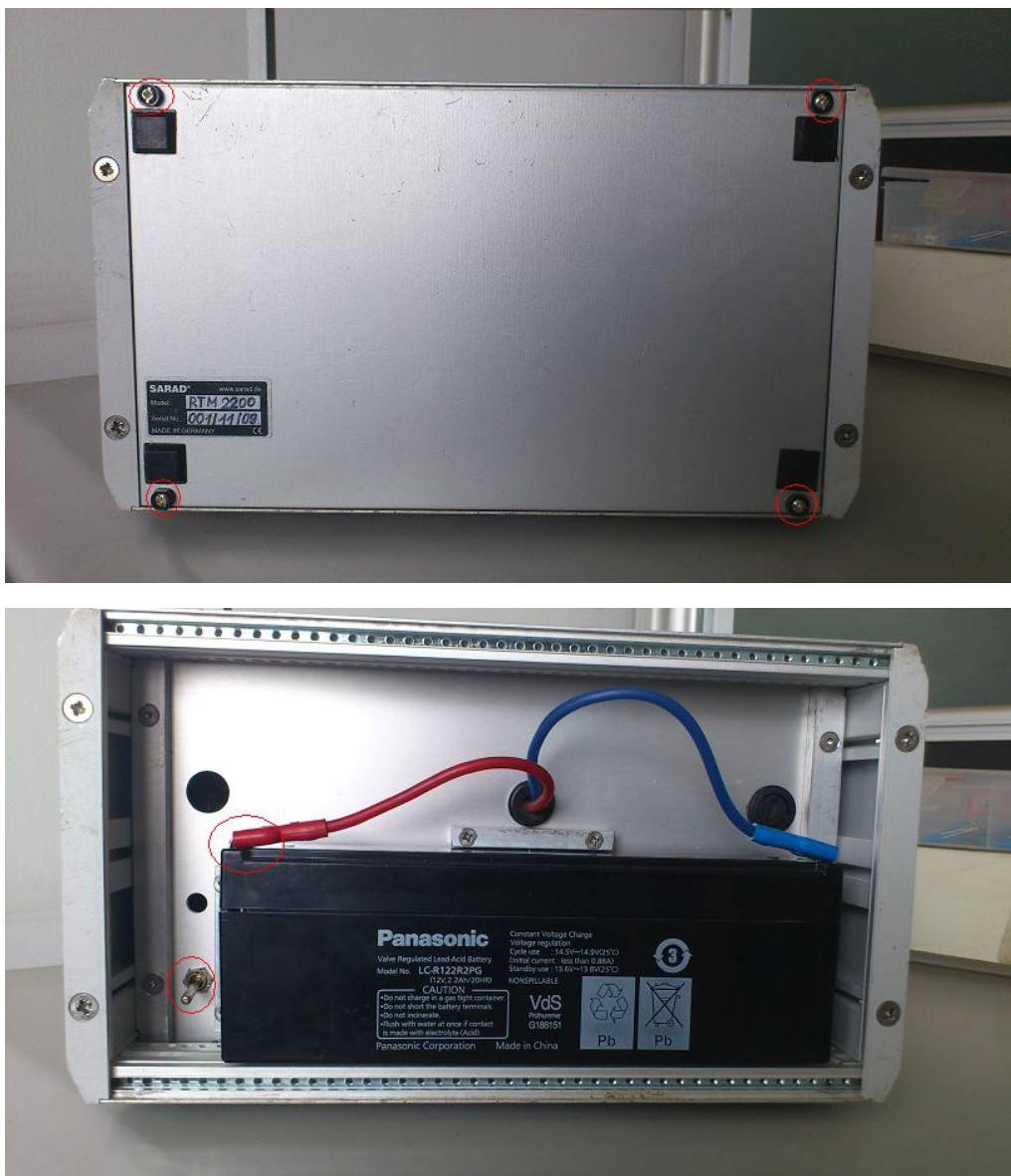
仪器可使用内置电池或外接电源供电。对仪器进行充电非常简单，只需将电源适配器插入仪器前面板的电源插孔，然后将电源适配器插头连接至交流电源插座，仪器会自动对内置电池进行充电，充电过程无需干预，充满后会自动停止充电，充电数日后移除电源适配器即可。

仪器会对内置电池电压进行检测，当电压低于 11.2 V 时，仪器会立即中止当前测量以保护电池，此时无法手动重新启动测量，这时应连接电源适配器进行充电。如果这时仍不进行充电，当电池电压进一步下降时，仪器内电路会自动关闭，这时仪器将无法启动。电池充满时电池电压大约为 13.2V，这时仪器会自动停止充电。通常数小时左右充电即可完成。

当需要长时间测量（超过 24 小时）时，需要连接外置电源，与充电相同，将电源适配器连接交流电源后再连接仪器即可。

仪器电池充满情况下，可以待机 1 个月以上的的时间，通常不需要关机，不使用时仪器会自动进入待机状态。通常建议不使用时，2 个月进行一次充电。但是当长期（超过 2 个月）不使

用时，建议将电池充满并且关闭电源断开电池。方法是，使用螺丝刀旋下机箱背面的 4 颗螺丝，取下后背板（见下图）。



取下后盖之后，拨动开关关闭电源，并轻轻将红色电源线拔出。然后合上后盖，旋紧后盖螺丝即可。当需要重新启用仪器时，可按照类似操作连接并启动电源。

4.3 简单问题排除

RTM2200 型氨钎测量仪已经经过了大量实践应用考验，每台仪器出厂时也经过了大量的测试，但是实际应用中不可避免的会出现一些问题。

以下简述一下使用中可能问题以及解决方法，这些问题并不常见，但是可能出现。

问题描述	可能原因和解决方法
屏幕显示有乱码。	可等待仪器屏幕关闭后再手动开启屏幕。
点击屏幕开关后屏幕无显示。	电池电量不足或未开启电源。连接外置电源线，打开仪器后盖检查电源插线和电源开关。
屏幕有显示，可进行选择和查看选项等操作，但无法启动测量。	电池电量不足。连接外置电源线即可开始测量。
测量时噪声异常大，测量结果中流量值极低。	进出气口堵塞或过滤器堵塞。检查进出气口情况，如有必要可更换过滤器。
测量时仪器面板上红灯亮。	滤膜或仪器堵塞，应更换滤膜。
DVISION 可连接仪器但无法读取数据或读取异常。	测量前未校准时间。可在校准时间后重新开始测量。
屏幕有显示，但无法进行任何操作；或测量过程中，仪器在运行但屏幕无法启动。	死机。打开仪器后盖，关闭电源数秒后再开启。

如果出现问题，您也可以随时联系我们。

5 技术参数

RTM2200 型氩钍测量仪

氩气浓度测量模组

探头	4×200mm ² 深层离子注入式硅半导体
内置腔室大小	250ml(整个气体回路空间)
测量范围	0 ~ 10MBq/m ³
灵敏度	3cpm/(kBq/m ³) (快速模式) 7cpm/(kBq/m ³) (慢速模式)
响应时间	15 分钟 (快速模式) 120 分钟 (慢速模式)
测量/分析	氩、钍浓度 所有单个周期能谱以及浓度时间曲线

附加探测功能

相对湿度	0 ~ 100%，精确度±2%
温度	-20 ~ 40°C，精确度±0.5°C
大气压强	800 ~ 1200mbar，精确度±0.5%
流量计	0 ~ 4l/min，精确度±5%

常规参数

测量	可同时驱动所有探测器，按照各自预设测量方案进行测量
测量时间方案	存储 16 个预设测量时间方案
数据储存	2GB 容量闪存卡
控制/显示	6×9cm 触摸屏
数据接口	USB、RS232
电源	内置 12V 充电电池 连接适配器后可连接 220V 交流市电
尺寸/重量	235×140×255mm 6kg
软件	dCONFIG：对仪器进行设置，新建/修改测量方案 dVISION：仪器控制与数据传输，图形化控制与管理