

JSZ-2型间歇/连续数字式自动测氦仪的研制和应用

李正蒙 李彤起 杨管德*

(兰州地震研究所)

摘 要

JSZ-2型自动测氦仪是观测地下水中氦气浓度连续变化的重要设备。整套仪器由玻璃连续脱气装置,时间程序自动控制装置,闪烁探头脉冲计数装置和数字重复打印记录装置构成。仪器按震情能进行间歇或连续观测,最高可测水氦1000埃曼,误差 $< \pm 10\%$,观测结果和时间同时打印表出。 $Q_{水}=2.0$ 升/分, $Q_{气}=200\sim 450$ 毫升/分,灵敏度 ~ 800 脉冲/分/埃曼,脱气效率 $\sim 50\%$ 。通过各种条件试验和地震现场及定向爆破观测考核,该仪器与国内

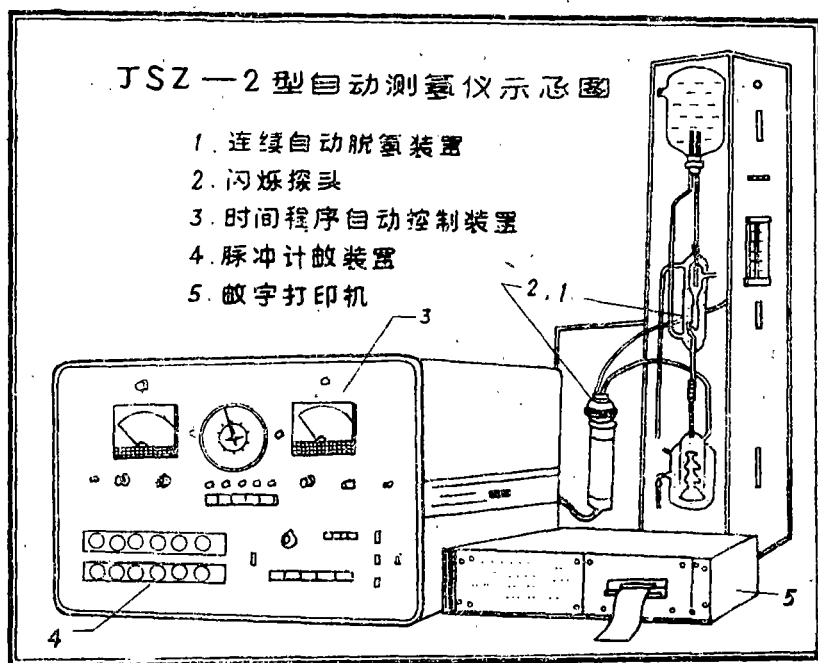


图 1

*赵家骥同志对仪器电路进行了帮助;黄书兴、龙明同志曾参加部分试验工作,在此表示感谢。

外类似连续测氦仪相比,具有直观性好,灵敏度高,准确可靠,操作简便等特点;尤其是玻璃质脱气装置更具有抗腐蚀,易清洗,成本低等优点。故利于普及推广,基本上满足当前水氦观测工作和地震预报的要求。

以地下水中氦气浓度变化预报地震,实践证明是很有希望的。一次强烈地震的孕育和发生,是由于地应力的巨大变化,地壳岩层在应力作用下,将发生形变和破裂,其结果会导致地下水的水系,物理化学特性,地球化学环境,水动力学条件的变化,必然引起地下水中氦气浓度的异常变化。国内的震例表明,震前地下水中氦气浓度呈现明显地长、中、短、临前兆异常变化。岩石破裂模拟实验和人工爆破观测结果也提供了依据。

虽然每次大震前各井孔泉点观测到的氦气异常形态各不相同,但多数在震前数小时至几日内均有突发性的临震异常。可是目前人工单点取样观测方法存在不少问题,数据少不连续,干扰多误差大。使得异常难于识别,且易漏掉临震异常。因之,研制连续自动测氦仪和广泛应用是急待解决的问题。我们研制出的JSZ-2型自动测氦仪(见图1),先后在兰州五泉山(冷泉)和广州从化(温泉)进行过仪器性能条件试验;1976年8月松潘大震后投入现场观测;1977年8月参加固原定向爆破观测试验,均取得良好结果。

一、JSZ-2型自动测氦仪工作原理

JSZ-2型自动测氦仪工作原理见示意图2。当地下水由井孔泉点专门管道经水流量计①流入进水恒压器②后,在一定的静压力下喷入自动脱氦器④,其流量大小用阀门③调节,为了保持脱气时不受外界温度变化影响,恒压器中多余水可导入自动脱氦器恒温水套从②流出。脱出大部分氦气混同水往下冲入气水分离器⑤水氦再次脱出并与水分开。此时,脱出的氦气从上部②③以一定流速压出,而脱氦残水则从下部②④排水口流出。由于脱出氦气中带有水气(尤其是温泉或热水井孔)故先经冷凝器⑥,再进入闪烁室⑦。由于氦射气与内壁硫化锌闪烁晶体作用产生光子,经探头⑩转换成电脉冲信号。但由于该信号比较微弱,脉冲幅度和宽度亦不均匀,且易受各种非信号脉冲和环境因素(如温度)干扰影响,故输入自动定标器⑪先经放大、鉴别、整形,然后被自动定时计数。其脉冲数值再经信息转换器⑫,最后输入数字打印机⑬将结果记录下来。全部观测过程(开机—予热—测量—停机)由时间程序控制器⑭自动进行,观测人员从打印机上取出记录纸条即可了解水氦变化情况。仪器所需的交流、直流高压稳压电源由⑮、⑯、⑰供给。整套仪器由四部分构成,现分叙如下:

1. 时间自动程序控制装置 由间歇时间信号钟(或晶体管钟),琴键开关,电磁继电器,时间继电器,电子交流稳压电源高低压直流稳压电源,指示灯等线路组成。其工

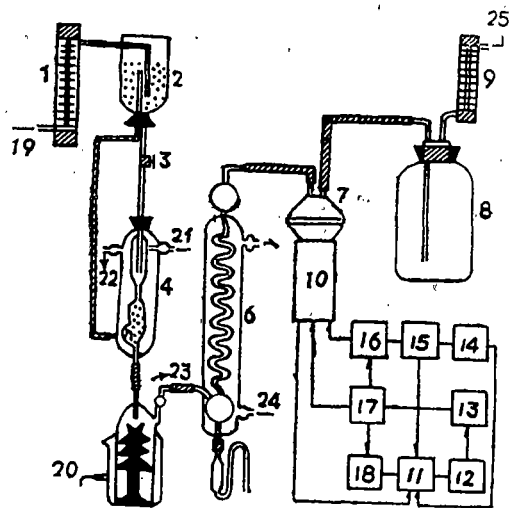


图 2

作过程为：当信号钟的时针每走到整小时，由于接触其上铜片，通过继电器将交流电源接入（时信号按 1、5、7、11；2、10、3、9；4、8；和 6、12 编组分接到琴键开关上获得不同时间间隔）、若为间歇晶体管钟，则每小时输出一方波脉冲信号（它由单结晶体管振荡器，经倒相器、2 分频、10 分频而得），触发驱动单稳延时可控硅开关（延时时间 5~12 分可调）而将交流电源接入。随后使多回路时间继电器运转，并按接通稳压电源，开机予热、定时计数、重复打印和停机休息的程序自动进行。

2. 自动连续脱气装置 为了将氦气从地下水连续不断脱出，根据降低压力，鼓泡搅动，增加比表面积减小其溶解度之原理，采用二次脱气方法，自动连续进行。整套脱气装置主要由进水恒压器、自动脱氢器，气水分离器组成（见图 3）。其工作过程为：地下水自井孔泉点（承压水头高于地面 1.5 米）以一定流速经液流计进入恒压器②，当液面达到一定高度时，在恒定静水压力下冲入自动脱氢器④，此与水泵相似，水在负压下喷雾，产生大量气泡，回转翻动，氦气被脱出。随后连水带泡继续注入气水分离器⑤，由于体积突然变大，水流下冲至宝塔分散淋撒，氦气进一步脱出，从上部管道以一定流速经冷凝器⑥进入闪烁室⑦，而残水则从下部密封水套排水口⑩流出。为使气流平稳，在闪烁室后联结有缓冲器⑧，其气流速度可从气流计⑨上读出。

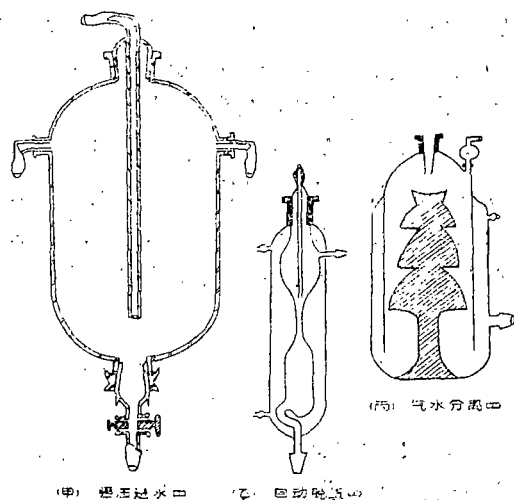


图 3 (甲)、(乙)、(丙)玻璃质连续脱气装置示意图

自动测氦仪的关键部分在于脱气装置，由于观测水中氦气浓度的变化，是建立在闪烁室中氦射气及其子体动态平衡基础上的。因此脱气效率大小，计数率值高低，响应速度快慢、稳定性能好坏等各种基本参数对于判别地震前兆异常关系极大。这些必须根据观测井孔泉点情况（冷水或热水，氦气浓度的大小）和其它实际条件经过实验选择而定。

脱气装置均用硬质玻璃吹制加工而成（见图 3）。

3. 脉冲计数装置 由球形闪烁室，探头、脉冲放大鉴别整形器、自动定标器和高低压直流稳压电源等组成。由于地下水中的氦气经脱气装置不断流进闪烁室，内壁硫化锌晶体与氦气作用，激发闪光而放出光子，再经光电倍增管转换后输出一负脉冲。因该脉冲频率与氦射气浓度成正比，故脉冲信号经过放大整形后，乃被定标器定时计数，根据记录的脉冲频率即可测得氦气浓度。

4. 自动打印记录装置 由脉冲信息转换器，重复打印控制器，时间信号钟和数字打印机组成。由于脉冲计数值不能直接输出打印，故经倒相转换后接入打印机，当计数刚结束，定时分频信号一路作打印指令，即可将数字结果打印在记录纸条上，另一路经单稳延迟线路，使定标器数字管还原归零，再行计数，重复打印。与此同时由定时钟给出时间信号也被打印记录下来。

仪器主要技术指标为：

1. 测量范围: 计数容量为 1~999999 脉冲, 最高可测 1000 埃曼, 其误差 $< \pm 10\%$ 。

2. 仪器可进行间歇和连续观测。平时一般用间歇工作, 共分 1、2、3 和 6 小时四档, 即仪器每隔 1 小时 (或 2、3、6 小时) 自动测量一次, 需时约 10 分钟, 然后停机休息。当有震情时, 则用连续工作。

3. 水氡测量结果由数字打印机自动记录下来, 脉冲定时计数分 1' 和 2' 两档。间歇观测时每次可重复打印 3—5 个数据。连续观测时每小时可打印 55 个数据。观测时间亦被同时打出, 中途停机可从记录纸上查出。

4. 脱气装置为玻璃质二次自动连续式, 其基本参数为:

水流流量 $Q_{\text{水}} = 2.0$ 升/分; 气流流量 $Q_{\text{气}} = 200 \sim 450$ 毫升/分; 灵敏度 ~ 800 脉冲/分/埃曼; 脱气效率 $\sim 50\%$; 稳定度 $< \pm 5\%$; 响应度 < 5 分钟。

5. 电源电压 $\sim 220\text{V} \pm 10\%$, 气温为 $5 \sim 35^\circ\text{C}$, 相对湿度达 80% 时, 仪器均能正常工作, 耗电量约 200W。

二、自动测氡仪性能和条件试验

1. 气流速度问题 气流速度大小直接影响计数率, 试验结果表明其间呈反比关系 (见图 4)。气流速度可通过改变自动脱气器和气水分离器之间距离和在闪烁室出口用螺旋夹或另用玻璃水泵抽等办法来调节。气流速度太快不利水氡值瞬时变化探测, 而易漏去突跳异常; 气流速度太慢则影响探测灵敏度, 或子体污染闪烁室而不利于分辨异常。现用闪烁室体积为 500 毫升, 故我们调节气流速度为 420 毫升/分, 使脱出之氡气流经闪烁室的时间在 1.5 分钟左右效率较佳。

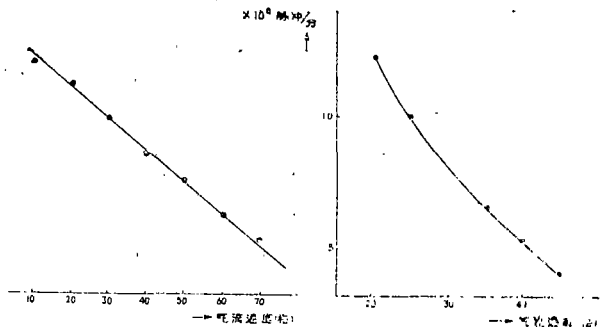


图 4

2. 仪器灵敏度问题 即在脱气装

置各基本参数固定不变的条件下, 一方面探测效率要高, 另一方面当水中氡气浓度有变化时计数响应速度要快。

从图 5 和表 1 可以看出, JSZ-2 型仪比同类型自动测氡仪的计数率为高, 另当闪烁室中氡射气浓度有变化时 (一是断开闪烁室用玻璃水泵抽去氡射气, 二是从脱气室的进气咀鼓入氡射气) 在 5 分钟内脉冲计数变化非常明显。实际上地下水中氡浓度的临震突变在几小时或十小时以内, 故仪器在连续工作下是可以观测到的。

3. 仪器稳定性问题 此为自动测氡仪最重要关键的问题, 它主要取决于自动脱气装置。若脱气过程不稳定, 即便脱气效率很高, 测试记录非常精密准确, 其观测所得数据资料毫无用处, 因它不能真实地反应地下水中氡浓度的变化情况, 更谈不上预报地震, 该仪器测试结果见表 2。从表中可看出, 多次对比测定 (在同一时间分别于进水口和出水口用扩散瓶取样和 FD-125 型仪测试), 其脱气效率均在 $50 \pm 5\%$ 允许变化范围之内, 故可认为脱气性能

是基本稳定的。

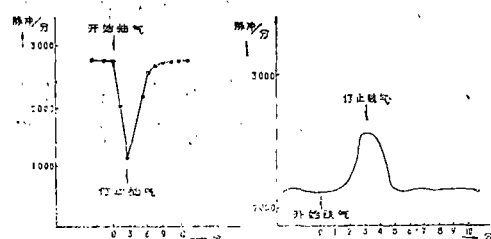


图5 仪器灵敏度试验结果, 甲抽去氨射气试验, 乙鼓入氨标准源试验

4. 脱气装置高度问题 现用脱气装置总高度为150公分, 从进水恒压器液面至气水分离器液面相距为135公分, 经试验证实, 自动脱氨器与前二者距离尤为重要。为了提高气流速度可以加大至气水分离器间距, 但又不能太大, 否则喷水压力不足, 并使气流不稳, 一般固定在40公分为宜。进水恒压器液面可允许在10公分内变化, 对脱气和计数无影响, 但有一基本高度, 这些均由吹制的脱气装置的规格性能来决定, 现用的为65公分。

5. 氩子体污染问题 仪器经一个半月连续工作, 在结束时, 我们切断脱气源, 用玻璃水泵将闪烁室中氨射气子体排除抽去。(见图6)。

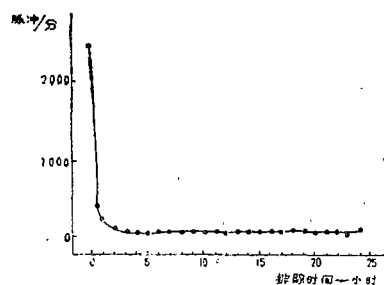


图6 闪烁室氨射气子体污染排除试验

国内外一些自动测氨仪灵

度敏对比情况 表1

仪器型号	计数率 (脉冲/分)		灵敏度 (脉冲/分/埃曼)	
	冷水	热水	冷水	热水
JSZ-2	2427	56904	809	875
FD-128	1159	28000	386	430
日本*	1100		366	
苏联**		9600		240

* 为硫化锌闪烁探头连续记录式测氨仪

** 为闪烁脉冲记录式连续测氨仪

仪器稳定性试验结果 表2

测定次数	氨值测定结果埃曼 (用FD-125型仪)		脱气效率 $\eta\%$
	进 水 口	出 水 口	
1	67.2	32.9	51.0
2	65.2	30.1	53.8
3	62.4	30.6	50.9
4	62.7	30.0	52.1
5	65.1	33.2	49.0
6	63.6	31.1	51.1
7	60.7	27.9	54.0
8	63.4	30.7	51.5
9	63.7	32.7	48.7
10	62.2	29.5	52.5
11	63.8	34.5	46.4
12	65.6	34.0	48.2
13	63.5	30.0	52.8
14	68.1	36.4	46.6
15	63.7	33.3	47.7
平 均 值			50.4

从上图可以看出, 氩子体是可以排除的, 闪烁室亦无多大污染(抽24小时后计数 <30 脉冲/分)而且不需专门真空抽气设备。

三、自动测氡仪地震现场观测结果

1976年8月16~23日四川松潘7.2级地震后,为了监视预报余震和甘川交界地区震情发展趋势我们携带研制的自动测氡仪到地震现场,安装在文县城关公社元茨头泉,于3月28日~10月16日进行了水氡连续自动化观测。

该泉距文县城约3公里,位于元茨头张家沟内近东西向碧石群板岩断层的南侧斜坡上,由于第四系冲积砂卵石为含水层,因沟河切割,地下潜水沿下部透水性较差的亚砂土层的界面溢出而为一浅层渗透下降泉。泉水无色无味无气泡,清晰透明,水温 15.0°C ,矿化度约300毫克/升,氡含量 ~ 3.50 埃曼,流量60立升/分。

泉水自然水头为3米,出露口用水泥密封后,用硬质塑料管引出接入脱气装置。该泉氡浓度变化范围为 $3.19\sim 4.69$ 埃曼(相应脉冲计数为 $2128\sim 3127$ 脉冲/分)。在观测过程中,于松潘—平武震区共发生16次有感余震,其中: $M_s > 5.0$ 级一次,3—4级十五次,这在各种水氡变化曲线上均有明显的对应关系。(见图7、8)。

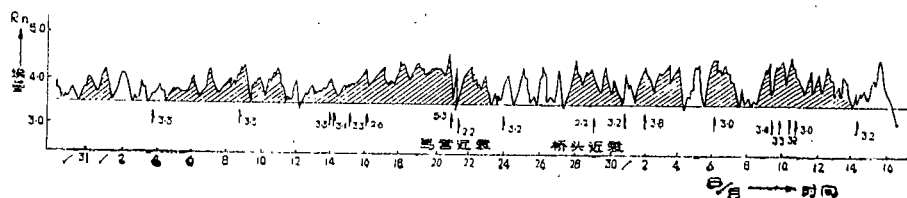


图7 水氡时值变化曲线图

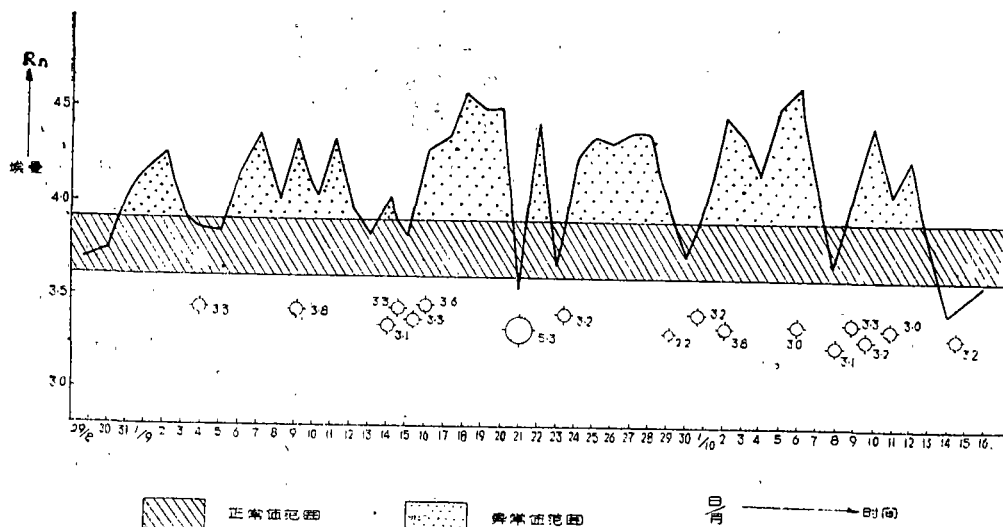


图8 水氡每日定时(8:00)值变化图

元茨头泉虽属浅层下降泉,但由于潜水补给区域广,水化学动态变化较为稳定,加之该泉距震中区亦近(50~60公里),为六度地震烈度区,且地处构造断层上,并受南北地震活

动带制约。故泉水中氡浓度变化能反应地壳深部运动情况,因而余震对应较好。其中在文县境内发生的二次2.2级近震(马营30公里,桥头20公里)亦有所对应。特别是9月21日5.3级强余震,我们作了成功的预报,从图中可以看出,9月15日水氡值开始出现异常,一直延续到20日,与气温时变相关规律破坏,异常幅度高达1.30埃曼(大于20%),震前几小时有临震突跳,下降低值发震。以后根据观测资料一直坚持预报在原震区和文县境内于近期无4级以上地震也是正确的,对解除该地区大震警报提供了依据。

四、定向爆破水氡连续观测结果

宁夏区固原县王洼公社马掌大队兴修水库,于1977年8月30日在斜崖沟进行160吨级硝酸铵炸药的大型定向爆破。为了探讨地壳岩层受力与地下水中氡浓度变化关系,我们在固原北海子井泉安装自动测氡仪,进行了爆破前后水氡的连续观测,同时进行了水温、流量、气温的观测,其结果见图9。

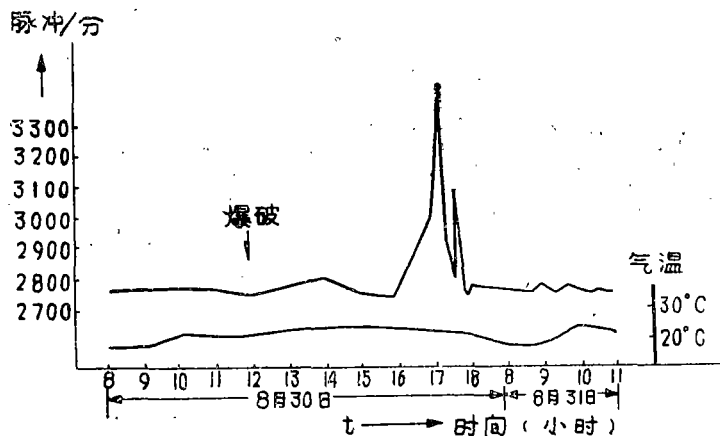


图 9.

该泉为一石油废井,深300米以上,泉山承压自流,水温9.0℃,流量20立升/分,距爆破点正西31公里处,位于断裂构造带上。地下水中氡气浓度在爆破前后突变效应极为显著,其变化幅度高达20%以上(由2750脉冲/分上升到3339脉冲/分)。据周围地震台网记录,爆破能量相当于2.6级地震,而在爆破后数天内于60公里范围内均未发生1.0级以上地震,这充分说明氡气的突变实为爆破信息引起的,且反应较灵敏。尽管人工爆破与天然地震不同,力学过程亦有差异但它再一次有力地证明了氡气与地震间有着密切的内在同源关系。因为二者均为地壳岩层受力作用的结果,既然人工爆破能使地壳岩层突然受力能引起地下水中氡的变化,那么地震前地壳岩层同样受力(为地应力长期积累作用过程)也可以引起地下水中氡的变化。

通过上述各种试验和现场观测,研制的自动测氡仪经受了实践考验,得到了预期效果,达到了设划要求。同时也显示了水氡自动观测在地球化学预报地震上,尤其是预报短临震是大有希望的。

(下转第82页)

参 考 文 献

1. 曾融生等《我国境内瑞利波的相速度》 地球物理学报 1963, Vol. 12, № 2
2. 张诚等《甘肃及邻近地区的地壳厚度》 西北地震学报 1979, Vol. 1, № 2
3. 滕吉文等《柴达木东盆地的深层地震反射波和地壳构造》 地球物理学报 1974, Vol. 17, № 2
4. 曾融生《莫霍界面的重力补偿和地壳结构的基本模式》 地球物理学报 1973 Vol. 16

(上接第28页)

JSZ-2型自动测氦仪具有下述一些特点:直观性好(水氢脱气过程全可看见,若出现不正常现象可及时发现排除);灵敏度高(氦射气进入闪烁室在动态平衡下,若水中氦浓度变化,数分钟内计数值即有反应);准确可靠(消除了人工单点取样观测引入的各种主客观误差,外界条件干扰因素相对减小。脱气稳定,能反应水氢连续变化,观测数据资料质量保证);操作简便(仪器掌握容易,安装调节方便,脱气装置用水量小,经校正好后,无需再行调节,不要人员日夜值班);抗腐蚀(玻璃比金属化学性能稳定);易清洗(喷水口,脱气咀不易堵塞,若有沉积物垢,用稀盐酸即可除去);成本低(全套玻璃脱气装置用费500元)。另外还可进行有线传输。若将玻璃脱气装置配FD-125型仪亦可进行半自动化连续观测,利于普及推广。基本上能满足当前水氢观测和预报地震的要求。但也有一定局限,如玻璃脱气装置怕震易碎,全套仪器体积大搬运不便。现场观测要求工作条件较多(需在井泉点修建观测室,要~220交流供电,要有2米以上水头等)。用于热水观测少。所有这些都需今后革新完善,将自动连续测氦仪向小型轻便;交直流两用,有线传输,无人遥控研制发展,使之更加适应任何地震现场和野外流动水氢观测,为早日实现地震预报做出贡献。

(上接第43页)

- (〔2〕至〔5〕为国家地震局测量大队资料)
- 〔6〕陕甘宁地区垂直形变图及说明书
- 〔7〕甘肃东部地壳形变现状与地震趋势意见 (1976.12)
- 〔8〕关中东部地形变概况和地震趋势意见 (1977.1)
- 〔9〕陕甘宁部分地区形变测量结果及地震趋势意见 (1977.12)
- (〔6〕至〔9〕为国家地震局第二测量大队资料)
- 〔10〕从水平力和垂直力的相互作用讨论我国境内地震的杂音和发生
郭增建等《地球物理学报》 1977.4
- 〔11〕关于大地形变和力之间的关系 努尔(英)
《国外地震》(1976.6、1977.2)