

# 测氦在区域构造稳定性研究中的应用

## ——以滇西北部区域构造稳定性研究为例

王运生

(成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 研究表明, 测氦在区域构造稳定性研究中是一种最经济、便利、省时又可靠的地球化学测试手段。在第四系覆盖区, 它不仅确定覆盖层下断裂网络的空间格架、断层产状、断层的相对活动性, 而且还能地震预报提供重要信息。在滇西北部区域构造稳定性研究中, 运用测氦手段首次揭示北西向中甸—永胜断裂的存在、玉龙雪山的隆升机制和为工程区及其外围区域构造稳定性进行客观评价提供了保证。

**关键词:** 测氦; 区域构造稳定性评价; 应用; 断层

**中图分类号:** P548      **文献标识码:** A

在大型、超大型工程项目论证的初期阶段, 区域构造稳定性研究是一项首要的工作。正确、客观地反映区域构造格架、查清断裂的新活动性以及主要断裂未来活动性作出预测是区域构造稳定性研究的关键。常规的地质调查方法难以或根本无法查清第四系覆盖层之下断裂的具体展布情况和断裂间的交切关系, 从而迫使我们寻求新的手段来解决这一重要问题。

西南地区几个大型和超大型水电工程区域构造稳定性研究表明, 配合测氦的野外地质调查能很好地弥补上述之不足。合理地运用测氦技术, 能在有限的勘探工作量前提下, 运用有限的资金, 在有限的时间内对研究区区域构造稳定性作出客观评价, 为工程建设提供科学依据。

### 1 测氦原理

岩石中的放射性元素 Ra(镭)、ThX(钍)和 AcX(锕)衰变时产生 Rn(氡)、Tn(钍射气)和 An(锕射气)。这些射气中有一部分逸散到岩石的孔隙中和裂隙中或进入土壤的空气中变成自由气体, 这种现象叫射气作用。逸散出来的那部分气体, 受扩散和对流作用的影响而发生运移。保留在岩石中的射气是受束缚的, 不能参与扩散与对流。因此, 土壤空气中的射气浓度变化只与岩石中释放出来的那部分射

气有关<sup>[1]</sup>。活动断层一方面由于其破碎带胶结程度差, 有效孔隙度和渗透率高, 成为放射性气体富集和运移的良好通道; 另一方面, 由于断层的新活动性, 使束缚在断裂带两盘岩石孔隙中的放射性气体释放出来成为自由氦。它们能附着于表层堆积物颗粒的表面, 在断层上部的土壤中形成 Rn 射气的富集带, 这一异常富集带就是  $\alpha$ -辐射测量的主要对象。氦射气富集的分布形态与氦的浓度与断层的走向、产状和活动程度有关。

氦是一种放射性气体(铀系衰变过程中的中间产物), 在高压激发下可进一步衰变, 产生 RaA ( $^{218}\text{Po}$ )等短周期子体, 其半衰期为 3.05 min。由于半衰期很短, 因此既不存在探测器污染问题也不存在钍射线干扰影响<sup>[2]</sup>。

外业工作中, 我们使用的是成都理工大学核工系研制的  $\alpha$ -杯测氦仪。该仪器采用静电收集氦衰变的第一代子体 RaA 作为测定对象。首先, 根据遥感解释圈定覆盖层下断层的大致位置, 然后垂直断层走向以 5 m 或 10 m 为间距(偶尔间距达 50 m), 挖坑数十个, 将采样杯杯口朝下置于坑内, 并用沙土覆盖, 待 3 h 之后, 取出采样杯, 立即放入  $\alpha$ -杯测氦仪进行测量、读取脉冲数(以 3 min 累计), 绘出以脉冲值为纵坐标, 以距离为横坐标的脉冲值曲线图。在交通方便的地方, 每组每工作日可以完成两个剖

收稿日期: 2002-06-29.

基金项目: 成都理工大学核技术应用开发四川省重点实验室资助。

作者简介: 王运生(1960-), 男(汉), 安徽潜山人, 博士, 副教授, 专长区域地质与工程地质, 已发表文章 30 余篇。

面的测定,工作不受气候、电线等因素的影响,可靠性与效率均高。

## 2 测氦在区域构造稳定性研究中的应用

### 2.1 确定覆盖层下断层的展布

地表出露的断层在 1:20 万和 1:5 万的区域地质图中已基本得到反映,这些重要的基础资料是进行区域构造稳定研究的基础。通常我们可以依据这些资料在断层露头处获得断层的产状、破碎带特征、活动期次及最新强烈活动的年龄等信息。但令人遗憾的是,大多水电开发工程处在在工作条件恶劣的偏远地区,前人研究程度一般不高,已有的资料尤其是构造格架和断裂的活动性研究难以满足区域构造稳定性评价的需要。在已出版的地质图上断层多表示为被第四系分隔的不连续曲线段,在第四系覆盖层之下这些断层是否继续延伸、贯通?其展布特征如何?在已有的资料中基本上找不到答案。

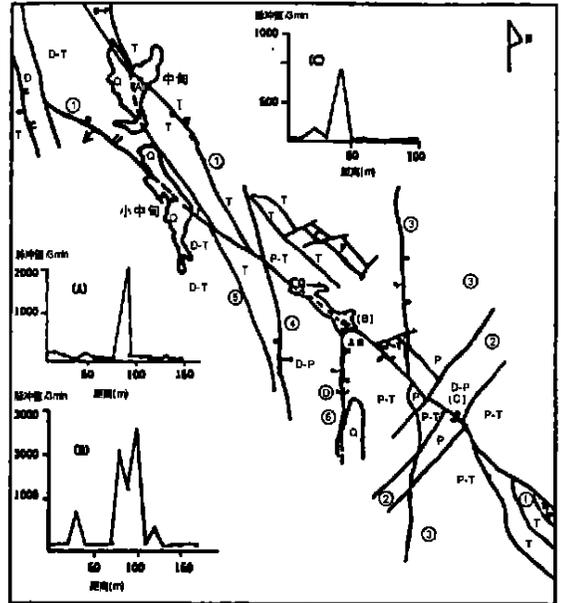
野外调查中,在第四系覆盖区我们充分利用测氦技术很好地解决了上述问题。

滇西北北部地区,在 1:20 万地质图上中甸—永胜间地表出露有一系列断续分布的北西向断层,这些断层是否穿过大具、小中甸、中甸等第四纪盆地,成为该区贯通的一条大断裂?过去由于探测手段的限制,一直未进行过系统研究,区域构造图和大地构造图均未反映出这一断裂。由于这一问题直接影响到滇西北北部区域构造稳定性评价,我们对其十分重视。室内通过遥感解释发现中甸—永胜间线性影像十分明显,室内推断中甸—永胜间应有贯通性大断裂存在(图 1)。实地验证中,在第四纪覆盖的地区,充分运用测氦等技术首次确立 1:20 万地质图上中甸—永胜间断续分布的北西向断层实际上穿过了第四纪盆地(图 1),也就是说从北西向南东这些断层是连续分布的,是一条贯通的断裂带(我们称之为中甸—永胜断裂)。结合  $\alpha$ -辐射测量脉冲值和历史地震活动资料,认为在该区近南北向区域压应力场作用下,中甸—永胜断裂为该区重要的活动断裂和发震断裂。这一进展使滇西北北部的构造格架得到了全面、客观的反映。

### 2.2 确定断层产状

当第四系覆盖层薄、分布范围小且附近还有断层露头时,断层的产状可以通过断层露头的研究来确定。此时,测氦可以确定第四系覆盖层之下断层的具体展布情况。通过对大量跨断层测氦曲线形态

与地表断层产状间对应关系分析,我们发现在断层上盘一侧,脉冲值衰减均低于下盘一侧,即测氦脉冲值曲线形态与断层倾向有很好的对应关系。进一步分析,这一对应关系有其理论依据:构造地质学研究表明,断层上盘岩体通常较下盘破碎,裂隙和孔隙较下盘发育,导气性自然比下盘好,从而导致上盘脉冲值曲线衰减慢于下盘。



①中甸-永胜断裂;②丽江-小金河断裂;③三江口-鹤庆断裂;④楚波-白汉场断裂;⑤金沙江断裂;⑥玉龙雪山东麓断裂;D 泥盆系;D-P 泥盆系-二叠系;D-T 泥盆系-三叠系;P 二叠系-三叠系;T 三叠系;Q 第四系;A、B、C 为  $\alpha$ -辐射测量剖面编号

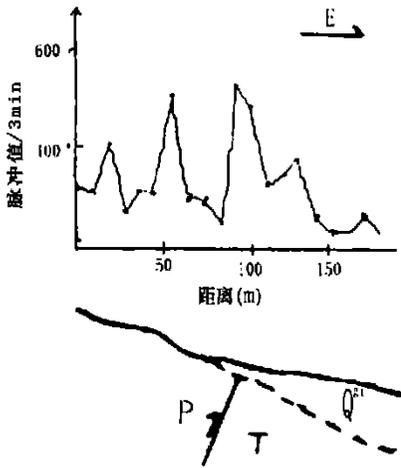
图 1 中甸—永胜断裂平面展布图

Fig. 1 Distribution of Zhongdian-Yongsheng fracture

既然断层倾向和跨断层测氦脉冲值曲线特征存在一一对应关系,我们就可以根据氦气测量脉冲值形态来判断覆盖层之下未知断层的倾向,这对地表露头不好以致地面工作难以确定断层产状或地表无断层露头的情况下十分有用。

滇西北北部玉龙雪山东麓断层由于地表露头不好,前人确定该断层东倾证据并不充分。1995 年,我们在研究玉龙雪山东西两侧断层时,根据测氦脉冲值曲线形态(图 2)认为玉龙雪山东麓断层为西倾之逆断层,而非前人认为的东倾之正断层。这一新认识圆满地解决了玉龙雪山的隆升机制,即高耸的玉龙雪山是在主压应力为近东西向应力场作用下,沿着其东西两侧倾向山内的双剪型断层(西侧为东倾的楚波—白汉场断裂、上虎跳断层、虎跳石断层,

东侧为西倾的玉龙雪山东麓断裂)逆冲抬升的,而非地堑式隆升。正是由于玉龙雪山隆升机制得到了客观反映和中甸—永胜断裂的发现,令人费解的 1996 年丽江大地震的发震机制也得到了圆满解释,即在近南北向区域压应力场作用下,北西向中甸—永胜断裂右旋错动,西倾玉龙雪山东麓断裂(北端被中甸—永胜断裂限制,见图 2)北端形成局部拉张环境,导致玉龙雪山断块向西倾滑而发震。



P 二叠系; T 三叠系; Q<sup>sl</sup> 第四系冰碛  
图 2 玉龙雪山东麓断层  $\alpha$ - 辐射测量

Fig. 2 Radon measurement across yulongxueshan east piedmont fault

## 2.3 确定断层带的宽度

当测线长度足够长时和覆盖层不厚的情况下,测线的曲线形态可以判断断层带的大致宽度。因为断层带的峰值较两盘岩体的本底值高。如在测量楚波—白汉场断裂时,一百余米宽的断层带内各点的脉冲值均高于两盘基岩本底值 1.5 倍以上。

## 2.4 确定断层的相对活动性

在区域稳定性研究中,确定断层的活动性是关键。根据测氡结果可以确定断层带峰值与本底值的比值,比值大小与断层活动性呈正比,因此测氡结果可以用来确定断层的相对活动性。如表 1 所示,滇西北北部地区北西向断裂活动性最高,比值为 24.8 ~ 164.4;其次是北东向断裂,比值为 5.9 ~ 12.8;近南北向断层活动性相对较弱,比值为 2.4 ~ 5.9。此外,若同一条断层其走向在空间上变化较大,在现今区域应力场作用下,往往会表现出不同的活动性。根据测氡结果,可以对断层进行分段,如近南北向略向东凸出的楚波—白汉场断裂,可以海巴洛、鸿文为界分为三段,北段(海巴洛以北)活动性最弱,  $\alpha/\alpha_0 < 2$ ; 中段(海巴洛与鸿文之间)显示弱活动性,  $\alpha/\alpha_0$  为 4.8 ~ 5.9; 南段(鸿文以南)活动性相对较强,  $\alpha/\alpha_0 > 5.9$ 。又如中甸—永胜断裂大致以大具为界,北西段活动性强,  $\alpha/\alpha_0 = 164.4$ , 南东段活动性相对较弱,  $\alpha/\alpha_0 = 24.8$ 。

表 1 滇西北北部断层带  $\alpha$ - 辐射测量结果

Table 1 The results of Rn measurement in the north part of northwest Yunnan

断层分组	$\alpha$ - 辐射测量结果		
	断层带峰值( $\alpha$ )	两盘岩体本底值( $\alpha_0$ )	$\alpha/\alpha_0$
北西向断层	832~2812	17.1~33.6	24.8~164.4
北东向断层	22~57	7.4~9.8	5.9~12.8
近南北向断层	42~89	6.6~37.5	2.4~5.9

## 2.5 地震预报

1995 年,我们在研究玉龙雪山东麓断层时,发现该断层出现明显的高异常现象<sup>[3]</sup>。在滇西北北部地区,近南北向断层带的峰值都比较低,一般 3 min 累计脉冲值都在 100 以内,而且该区本底值也较低,惟独玉龙雪山东麓断裂脉冲值异常高(1995 年 10 月),为 693。由于地形限制,在 300 m 长的测线范围内,测得最低脉冲值为 173.9,高于其他地点本底值近 10 倍。这一异常现象,实际上可能就是丽江大地震震前地下岩体加速破裂,导致氡射气异常的地球

化学前兆。查阅前人资料,近 20 年来,发生在我国的一些大地震如 1969 年的渤海 7.4 级地震、1973 年炉霍 7.9 级地震、1975 年海城 7.3 级地震和 1976 年唐山 7.8 级地震等都出现了不同程度的 Rn 异常<sup>[4]</sup>,这种震前地球化学异常可以帮助地震部门进行地震预报。

## 3 结论

区域构造稳定性研究是为重大工程前期论证服务的,意义十分重大。由于这一阶段勘探工作量少,

但区域构造稳定性研究的可靠程度要求高等特点,新手段的引入势在必行。测氡手段的引入正好解决了这一问题。它具有经济、便利、省时又可靠等特点,不但能较好地解决覆盖层下断层的走向、断层间的交切关系、断层产状、断层的相对活动性的关键性问题,而且通过系统的监测,可以为地震预报提供重要信息,大大地提高了区域稳定性评价的可信度,是一项值得推广的地球化学测试技术。

致谢:本项研究的外业工作是在王士天教授的指导下,李渝生副教授的带领下完成的,本文是研究组全体成员工作的结晶。

#### 参考文献:

- [1] 刘西林, 华爱军. 1937 年菏泽 7.0 级地震极震区的射气观测结果[A]. 见: 汪成民, 等. 断层气测量在地震科学中的应用[C], 北京: 地震出版社, 1991. 136~143.
- [2] 陈建民, 朱宏任, 汪成民, 等. 鲜水河断裂断层气观测研究[A]. 见: 汪成民, 等. 断层气测量在地震科学中的应用[C], 北京: 地震出版社, 1991. 63~66.
- [3] Wang Yunsheng, Wang Shitian, Li Yusheng. The Radon Measurement for Evaluation of the activities of faults and Radon Pollution in Zhongdian - Lijiang Region, Proceedings of ISEEG' 97: International Symposium on Engineering and Environment Geophysics, Chengdu, Sichuan Publishing Housing of Science and Technology, 1997. 360~365.
- [4] 何根巧, 张必敖, 廖元模, 等. 阿尔金断裂北东段断层气体的研究[A], 见: 汪成民, 等. 断层气测量在地震科学中的应用[C], 北京: 地震出版社, 1991. 50~62.

## Application of Radon Measurement to the Study of Regional Tectonic Stability

WANG Yun-sheng

(*Institute of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059 China*)

**Abstract:** Radon measurement is an economical, convenient, timesaving and reliable geochemical method. In the Quaternary cover area, it determines not only the frame, the occurrence of the faults under the cover, but also the relative activities of the faults and the forecast of the earthquake. In the study of regional tectonic stability, the method has solved many important problems such as the regional tectonic frame, the occurrence of the faults under the cover, and the relative activities of the faults. It ensured the perfect result of the study. Its successful application to the study of the primary stage of key engineering region and its fringe area. It is worth to be widely used in the study of regional tectonic stability.

**Key words:** Rn measurement; application to evaluation of regional tectonic stability; fault; northwest of Yunnan