

关于牙釉 ESR 测年计算方法的讨论

梁任又

(中国科学技术大学结构分析开放实验室 合肥 230026)

摘要 一种新的针对薄层的牙釉样品的电子自旋共振测年方法——ROSY ESR 测年程序是采用 one-group 传递理论计算牙釉中的 β 剂量率,其结果比原有的 DATA 程序计算出的 β 剂量率小,但与统计学中的蒙特卡罗理论计算结果更为接近。本文还采用 ROSY 和 DATA 两种方法计算了湖北郧县遗址的 6 个牙釉样品的年龄,并进行了比较。

关键词 ROSY ESR 测年程序, β 剂量率, One-group 传递理论

中图分类号 O482.53

电子自旋共振(ESR)测年方法自 70 年代建立以来,在样品的选择与处理;实验方法与条件的确定;数据处理与误差计算等方面都发展很快,建立了一套较为完整的测试方法和计算模式。特别是在数据处理与误差计算方面,还有成熟的计算程序可提供给使用者直接计算年龄和误差(如 Grün 的 DATA 程序^[1])。但是与其它测年方法相比,10%—20% 的误差还是相当大的。因此,各国科学家都在努力寻找各种改进方法,以期降低误差,使 ESR 测年方法更为准确、可信。最近, Brennan 与他的研究小组建立了一种新的 ESR 年龄计算方法,并提供了相应的年龄计算程序——ROSY ESR 年龄程序^[2]。它是一种新的针对薄层的牙釉样品的测年程序,但也可推广到热释光和 ESR 测年的其它情况,如丽蚌、薄的燃烧过的燧石等。

1 ROSY 程序

在 ESR 年龄计算中,年剂量的计算主要取决于样品中及样品埋藏环境中的放射性物质对样品的 α 、 β 、 γ 辐射剂量率。而薄层牙釉的厚度一般与 β 粒子在这种材料中的射程(约为 2—3mm)相当。 β 粒子在进入牙釉后,由于受到牙釉组分中各种原子的阻止而快速衰减。其衰减速度与 β 源与牙釉的距离;牙釉和牙质、沉积物等的密度;冰含量等因素有关。因此,采用什么样的模式和衰减系数来计算牙釉中的 β 剂量率,对于年剂量进而对于年龄的计算影响很大。

ROSY 方法是采用 one-group 传递理论来计算牙釉中的 β 剂量率的。One-group 理论认为, β 能量的分布呈很好的平面几何状。并假设全部电子都具有同一的平均能量^[3]。ROSY 程序适用于包围在无限大的基体中呈平面几何状,多达三层的样品。一般大型哺乳动物牙齿的牙釉可以分割成相对的、弯曲度不大的平面。与它相邻的两边可以是牙质或沉积物。ROSY 程序假设所有的层面,包括牙釉都是均质的、平面的和平行的。而来自牙釉每一边的 β 剂量的计算可以假定牙釉是在 2π 的几何平面上被辐照,而此假设同样也适用于来自牙釉内部的 β 剂量的计算。

ROSY 程序对于 α 、 γ 以及宇宙剂量的计算基本与以往的方法相同。

第一作者 梁任又,女,1942 年出生,1967 年毕业于清华大学工程物理系辐射防护与剂量学专业,现从事波谱专业工作,教授

收稿日期 2001-03-14

2 ROSY 方法与其它方法之比较

Brennan 等^[2]提出的 ROSY 方法与以往常用的 DATA 方法相比最大的区别就在于 β 剂量的计算不同。Grün 在 DATA 程序中所采用的是准指数近似计算。它是由 Yokoyama(1982)的工作发展的^[4]。它与 Aitken(1985)的实验结果非常吻合^[5] ;Brennan 等用 One - group 理论对 U、Th、K 的 β 辐射在牙齿材料中的衰减进行了计算,并把它应用到计算 ESR 年龄的 ROSY 程序中去。同时,Brennan 研究小组的 Yang 等对平衡态的辐射源进行了点剂量的测量,得到的 β 剂量随进入牙釉深度的衰减曲线与 One - group 计算结果一致^[6] ;而若将统计学中的蒙特卡洛理论计算用于 β 剂量的计算,将得到相当准确的理论模拟结果。

Brennan^[7]用 ^{234m}Pa 作为 β 源对牙釉进行单面辐射,并假设外围为均质的 SiO_2 。用 ROSY (One - group) 计算了相映的点剂量,并与其它方法结果进行了比较。实验结果显示,无论是 β 剂量随着层中的深度的变化,还是随着牙釉厚度的变化,Grün 的结果均高于 ROSY,而 ROSY 方法的结果与蒙特卡罗的结果较接近,ROSY 的略高。也就意味着 DATA 的年龄结果将最小(见图 1)。

Brennan 采用 ROSY 程序对一些牙釉样品的年龄进行了计算,并与 DATA 程序的结果进行了比较。根据以上理论计算和实验的结果可以看出,两种方法结果差别的大小与如下因素有关:

(1)牙釉获得的 β 剂量与所有其它辐射源来的剂量之比。如内部的 α 剂量、外部的 γ 剂量和宇宙剂量。当内部的 α 剂量比其它剂量的贡献大很多时,该差别可以忽略;当牙质或牙釉中 U 积累都很少时,ROSY 年龄(EU 或 LU)比 DATA 年龄老约 5%—10%,这基本在 ESR 测年的误差范围之内。

(2)当外部剂量较高时,两方法的差别可由几个百分点到 30% 变化,其变化取决于牙釉的厚度、为去除外部 α 剂量贡献而剥去的牙釉厚度以及外部 β 剂量与外部 γ 加上宇宙剂量之比。并根据实验结果推断出,当牙质中 U 积累较高时,ROSY EU 年龄比 DATA 年龄老 19%—30%,ROSY LU 年龄比 DATA 年龄老 16%—23%。

3 关于 ROSY 和 DATA 两种方法的讨论

Grün 多年从事 ESR 测年研究,他发展了牙釉及其它各种样品的 ESR 测年,编写了计算年龄的 DATA 程序^[1]。他的计算方法得到了当时条件下一些实验的支持。Brennan 在近年内发展了一种新的在薄层中 β 衰减的计算方法^[2]。它在与蒙特卡罗理论计算结果的比较上较 Grün 的 DATA 程序结果更为接近,且得到更现代的实验结果的支持。Brennan 的 ROSY 程序在理论上更合理,虽然不优于蒙特卡罗,但它的计算比蒙特卡罗简单。

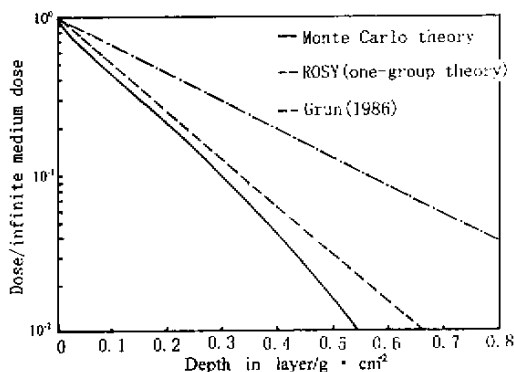


图 1 用蒙特卡罗、One - group 和 Grün 的 3 种理论计算的薄层中 β 点剂量随深度变化的比较

Fig.1 Comparison for various calculation methods of the beta dose at a point with depth in a layer

表 1、表 2 是用 ROSY 和 DATA 两种方法对郧县古人类遗址不同层位的动物牙齿化石进行 ESR 测年工作的结果。

表 1 郧县古人类遗址牙釉化石 ESR 测龄数据

Table 1 The data of teeth fossil samples from Yunxian – man site by ESR dating									
编号	层位	牙釉厚度	每边移去厚度	总剂量	牙釉铀含量	牙质铀含量	沉积物铀、钍、钾含量		
		Enamel	Each enamel	Equivalent	Enamel	Dentine	Sediment		
		No. Layer thickness	removed	dose AD	uranium	uranium	uranium, thorium, potassium		
		/μm	/μm	/Gy	/μg·g ⁻¹	/μg·g ⁻¹	U/μg·g ⁻¹	Th/μg·g ⁻¹	K/%
97YX31	3	1530 ± 229	58 ± 8.7	7293 ± 815	18.5 ± 0.1	65.5 ± 0.1	1.6 ± 0.1	12.0 ± 0.2	2.13 ± 0.01
97YX33	3	1410 ± 212	182 ± 27	6965 ± 472	19.4 ± 0.1	62.2 ± 0.1	1.64 ± 0.1	12.9 ± 0.2	2.7 ± 0.01
97YX34	3	1940 ± 291	40 ± 6	6051 ± 1215	28.6 ± 0.1	17.4 ± 0.1	1.6 ± 0.1	12.0 ± 0.2	2.13 ± 0.01
97YX41	4	1246 ± 19	49 ± 7.4	5058 ± 322	11.6 ± 0.1	77.7 ± 0.1	1.31 ± 0.1	13 ± 0.2	2.65 ± 0.01
97YX43	4	1646 ± 247	68 ± 10	6580 ± 894	24.8 ± 0.1	100 ± 0.1	1.31 ± 0.1	13 ± 0.2	2.65 ± 0.01
97YX5	5	2172 ± 326	87 ± 13	3770 ± 424	6.32 ± 0.1	87.5 ± 0.1	2.55 ± 0.1	10.9 ± 0.2	2.6 ± 0.01

表 2 郧县古人类遗址牙釉化石 ESR 测龄结果比较

Table 2 The results of teeth fossil samples from Yunxian – man site by ESR dating								
样品 编号	沉积物 γ	宇宙剂量 Cosmic dose rate $\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$	沉积物 β	牙质 β	牙釉 α 和	总剂量率 Total dose rate $\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$	EU 年龄	LU 年龄
	剂量率		剂量率	剂量率	β 剂量率		EU age	LU age
	Sediment γ		Sediment β	Dentine β	Enamel $\alpha + \beta$			
	dose rate		dose rate	dose rate	dose rate			
No.	dose rate	$\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$	dose rate	dose rate	dose rate	$\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$	/ka	/ka
	$\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$		$\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$	$\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$	$\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$			
ROSY 程序结果 The results of ROSY								
97YX31	1013	168.5	165.0	625.8	7115 + 1906	10993	663.4 $\pm$ 71.1	1196 $\pm$ 129
97YX33	1130	168.5	175.7	546.7	7421 + 2027	11469	607.3 $\pm$ 39.1	1088 $\pm$ 70.9
97YX34	949.0	168.5	126.1	132.1	10468 + 2956	14799	408.9 $\pm$ 72.2	757.0 $\pm$ 138
97YX41	1139	154.5	243.1	914.0	4448 + 1125	8023.7	630.4 $\pm$ 39.4	1071 $\pm$ 67.6
97YX43	1139	154.5	177.6	911.6	9244 + 2540	14166	464.5 $\pm$ 57.1	847.9 $\pm$ 107
97YX5	978.9	138.2	113.0	586.3	2444 + 708.3	4968.7	758.7 $\pm$ 85.0	1229 $\pm$ 136
DATA 程序结果 The results of DATA								
97YX31	1215		246	1029	8599	11089	657.5 $\pm$ 96.6	1175 $\pm$ 163
97YX33	1364		290	972	8972	11598	600.7 $\pm$ 70.5	1063 $\pm$ 114
97YX34	1125		181	368	12919	14593	414.8 $\pm$ 93.9	764.3 $\pm$ 170
97YX41	1322		347	143.5	5287	8391	602.8 $\pm$ 61.3	1017 $\pm$ 92.4
97YX43	1322		268	1603	11241	14434	455.9 $\pm$ 75.4	827.2 $\pm$ 132
97YX5	1054		160	1100	3017	5331	706.9 $\pm$ 93.3	1164 $\pm$ 146

从表 1、表 2 可以看到,对于郧县样品,ROSY 与 DATA 两种方法的结果相差不大,除了样品 97YX34 外,ROSY 的结果略大。相差最大的是样品 97YX5 的 EU 年龄,但也只大 7.3%。相差最小的 97YX31 的 EU 年龄仅差 0.9%。都在 ESR 测年的误差范围之内。从表中也看出,用 ROSY 方法计算的 β 剂量均小于 DATA 的结果,但郧县样品牙釉中的 U 含量都较高,其产生的 α 剂量率在总剂量率中起主要作用。所以 β 剂量的差别对年龄结果影响不大。而样品 97YX34 的 ROSY 年龄反而比 DATA 年龄小约 1% 左右,也是由于其牙釉中 U 含量太高,其内部的 α 剂量率特别高,它的计算误差控制了结果的误差。我们可以看到,在这个样品中,ROSY 程序所计算的 β 剂量同样比 DATA 的计算结果小。

所以,用 ROSY 程序计算的 β 剂量比 DATA 的计算结果小,从而 ESR 年龄结果比 DATA 更

老。但对于这个实验样品的条件,用 ROSY 或 DATA 两个程序均可,它们相差不大。

致谢 本文所用 ROSY 程序由加拿大 McMaster 大学 Rink W J 教授提供,在此深表感谢。

参 考 文 献

- 1 Grün, R. *Ancient TL*, 1986, **4** 1—8
- 2 Brennan B J, Rink W J, Rule E M, *et al.* *Ancient TL*, 1999, **2** 45—53
- 3 Brien O, Samson K, Sanna S, *et al.* *Nucl Sci Eng*, 1964, **18** 90—96
- 4 Yokoyama T, Nguyen H V, Quaegebeur J P, *et al.* *PACT*, 1982, **6** 103—115
- 5 Aitken M J, Clark P A, Gaffney C F, *et al.* *Nucl Tracks Radia Meas*, 1985, **10** 647—653
- 6 Yang Q, Rink W J, Brinnan B J. *Radia Meas*, 1998, **6** 663—671
- 7 Brennan B J, Rink W J, McGuirl E L, *et al.* *Radia Meas*, 1997, **2** 307—314

A discussion on calculation method of tooth enamel ESR dating

LIANG Renyou

(*Structure Research Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230026*)

Abstract

A new ESR dating method——ROSY ESR dating program is introduced. It enabled us to calculate the beta attenuation in thin layers of tooth enamel based on "One Group" theory. This approach leads to average beta doses which are significantly lower than those from Grün's DATA software, but more close to the results from calculation based on Monte Carlo data. The ages of six tooth enamel samples from Yunxi-an site, Hubei, were determined and compared with each other by using ROSY and DATA programs.

Key words ROSY ESR dating program, β dose rate, One-group transport theory

CLC O482.53