

## 热点关注

# 国家清史纂修工程重大学术问题研究专项 课题成果：清光绪帝死因研究报告

钟里满（中央电视台清史纪录片摄制组）

耿左车 李军 邢宏伟（清西陵文物管理处）

王珂 张永保 邹淑芸 夏普 李义国（中国原子能科学研究院反应堆 工程研究设计所）

张新威 张大明 宋朝锦 潘冠民（北京市公安局法医检验鉴定中心）

2003年中央电视台清史纪录片摄制组到河北省易县清西陵采访，得知 1980年曾对清光绪帝及清隆裕皇后所葬崇陵棺槨（于 20 世纪 30 年代末期被盗）进行清理并重新封闭，而光绪帝、隆裕皇后的头发被移至棺槨外，在清西陵管理处库房保存至今，经与北京市公安局法医检验鉴定中心专家初步研讨之后，征得河北省文物局和保定市文物管理部门及清西陵文物管理处的同意，将多根（两小缕）清光绪帝头发送至中国原子能科学研究院反应堆工程研究设计所 29 室进行测试。由此，中央电视台清史纪录片摄制组、清西陵文物管理处、中国原子能科学研究院反应堆工程研究设计所 29 室和北京市公安局法医检验鉴定中心的有关专家逐步形成了目标清晰的“清光绪帝死因”专题研究课题组。该课题在研究过程中，纳入《国家清史纂修工程重大学术问题研究专项课题（清光绪帝死因研究）》。



## 初步检验

头发是人的重要组成部分，参与人体代谢并能“记录”特定时期人体积蓄的某些元素信息。因此，依据头发不同截段的微量元素含量，可推测不同时期人体微量元素的摄取水平，进而探求微量元素在人体内的变化情况、研究人体与外界环境之间的关系。一般成年人发每天约生长 0.35 - 0.5 毫米，一个月生长约 1 厘米，也就是说，1 厘米头发可反映出人体内约一个月的新陈代谢史。

### （一）微量元素检测

2003 年，首先采用中国原子能科学研究院微型反应堆仪器中子活化法（核分析方法）测定了提取于光绪帝的两小缕头发，其方法是：将光绪帝的头发按照国际原子能机构（IAEA）推荐的方法清洗，自然晾干，剪切成 1 厘米长的截段，第一缕头发长度为 26 厘米，剪切成 26 小段；

第二缕头发长度约为 65 厘米，剪切成 59 小段，其中第 1、59 段长度分别为 4.5 和 3.5 厘米。逐一编号、称重和封装，入堆辐照后逐段检测光绪帝头发中的元素含量。

检测结果显示，光绪帝的两缕头发中含有高浓度的元素砷（As）且各截段含量差异很大（见图 1、图 2，检测数据见附表 1、附表 2）。由图可见，光绪帝两缕头发中砷的分布均出现了近似正态分布的高峰。第 1 缕头发的砷高峰值出现在第 10 段（2404 微克 / 克）和第 19 段（262 微克 / 克），第 2 缕头发的砷高峰值出现在第 26 段（362.7 微克 / 克）和第 45 段（202.1 微克 / 克）。

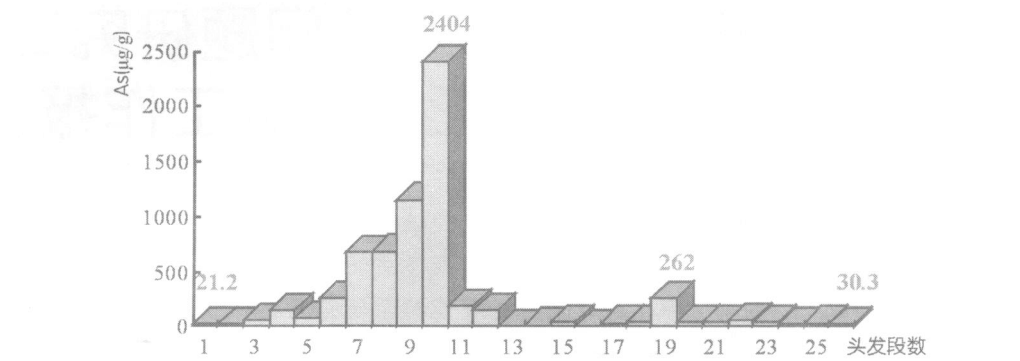


图 1 清光绪帝第一缕头发 As 的分布

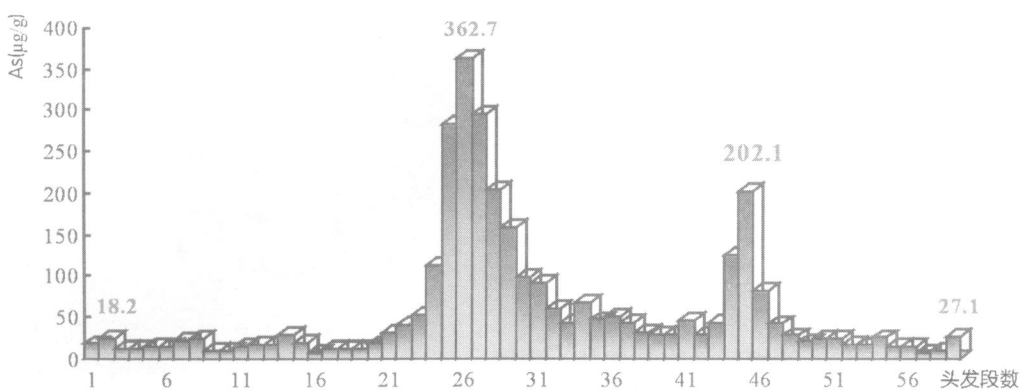


图 2 清光绪帝第二缕头发 As 的分布

砷在自然界分布很广，多以硫化物和氧化物形式存在，主要有雄黄（二硫化二砷）、雌黄（三硫化二砷）、砒霜（三氧化二砷）等，其中砒霜（三氧化二砷）是剧毒的砷化合物。尽管许多研究表明砷可能是人体的必须微量元素（正常人每天的摄入量约为 20μg 以下），但过量的砷会使人中毒甚至死亡。正常人的全血砷含量为 0.03—0.31μg/L，血清砷含量为 0.02—0.2μg/L，头发砷含量为 0.25—1.0 μg/g。由此看出，光绪帝头发上的两处高含量砷与正常值相比明显异常。

(二) 相似条件对比实验

光绪帝头发中的砷含量明显高于正常值，且高含量截段分布异常。为证实其异常现象，研究工作以光绪帝为中心，以关联性和可比性为原则，对同一时期、同一类别的人和物进行了一系列的对比实验，并结合当时的具体情况进行综合分析以求得验证异常情况的确定性。

1. 光绪帝发砷与清代人和当代健康人发砷本底值的对比实验

做对比实验的清代人的头发分别是隆裕皇后头发和清末一草料官干尸头发。草料官与光绪帝为同时代、同性别的人；隆裕皇后与光绪帝不仅为同时代人，且生活环境相同；做对比实验的当

代人的头发，分别采自中国原子能科学研究院的 5 名职工，均为男性。

以上三组对比分析结果见表 1。表 1 中还引用了人发成分分析标准物质（国家一级标准物质，GBW09101）的数据，该标准物质由中国科学院上海原子核研究所在上世纪八十年代采集上海市十八岁健康青年的头发研制而成。

表 1 光绪帝发砷与清代人和当代健康人发砷本底值的对比

头发来源	As, $\mu\text{g/g}$	备 注
当代人	0.14	n = 5, 健康, 平均身高 170cm
当代人	0.59	国家一级标准物质 GBW09101
隆裕皇后	9.20 *	与光绪帝生活环境相同的同时代人
清末草料官	18.2	北京南苑出土的干尸
光绪帝	2404	光绪帝两缕头发中砷含量的最高值

由表 1 可以看出，光绪帝两缕头发中砷含量的最高值（ $2404\mu\text{g/g}$ ）不仅远远高于当代人的发砷本底值，而且也远远高于其同时代人的发砷本底值，是清末草料官发砷含量的 132 倍，是隆裕皇后发砷含量的 261 倍。

2. 光绪帝的发砷与周围环境的砷含量对比实验

前后两次采集光绪帝棺椁内、墓内和清西陵陵区的环境样品，第一次采集的样品用中子活化分析法，第二次采集的样品用原子荧光光度分析法，检测结果列于表 2。

由表 2 可见，光绪帝棺椁内、墓内和清西陵陵区环境样品的砷含量远远低于光绪帝头发的砷高峰值，这表明，光绪帝头发上高浓度砷物质并非来自环境的污染。

表 2 光绪帝的发砷与周围环境的砷含量对比

采样区域	样品名称	砷 ( $\mu\text{g/g}$ )	
		第一次采样	第二次采样
棺椁内	帷幔碎屑	16.4 ~ 29.0 (3) **	0.390 ~ 28.0 (2)
	帷幔碎屑、香料等残渣	5.71 ~ 7.06 (2)	0.429 ~ 6.59 (8)
	粉末	11.2 (1)	—
墓内	棺盖上土	—	24.4 ~ 24.8 (2)
	被盗遗迹土	—	2.90 ~ 2.94 (2)
	墓室墙根土	4.00 (1)	—
	棺椁旁地面土	5.17 (1)	—
	离墓室地面 20 厘米处土	1.36 (1)	—
	墓内渗入水	—	0.0066 (2)
陵区	环境土	8.97 (1)	2.58 ~ 4.67 (2)
	河水	0.032 (1)	0.0009 (1)
	井水	—	0.0009 ~ 0.0146 (2)
光绪帝	两缕高砷发截段	2404	—

\* 隆裕皇后发梢砷含量（ $10.49\mu\text{g/g}$ ）和发中段砷含量（ $7.91\mu\text{g/g}$ ）的平均值。

\*\* 括号内数字为检测样品份数。

### (三) 假设类比实验

光绪帝头发的异常高砷含量截段既不在发根处、也不在发梢处，依据头发生长规律和砷中毒机理，光绪帝头发上的高含量砷不应是正常摄入代谢形成。而其棺椁内没有高含量砷的随葬物品，棺椁周围环境的砷含量也不高。为探究光绪帝发砷含量高的成因，进行假设同类对比研究，将其头发与当代慢性砷中毒患者的发砷进行对比研究，同时进行模拟验证实验。

#### 1. 假设同类对比研究

以冯友根 《警惕：过量服用牛黄解毒片可引起慢性砷中毒》（中国中医药报，2004年12月29日第7版）报道的患者为例。该患者为治疗疾病，4年来平均每天服用规定量4倍的牛黄解毒片（含雄黄， $As_2S_3$ ），造成慢性砷中毒以致生命垂危，于2004年5月中旬确诊并接受治疗。取其长发两缕，一缕是连根拔下的（带毛囊），另一缕为梳理时自然掉下的（不带毛囊），两缕头发细黄、干枯，从外观上观察与光绪帝头发类似。该患者头发的处理和分析方法与光绪帝相同，图3、图4为这两缕头发的发砷分布图（分析数据见附表3、附表4）。

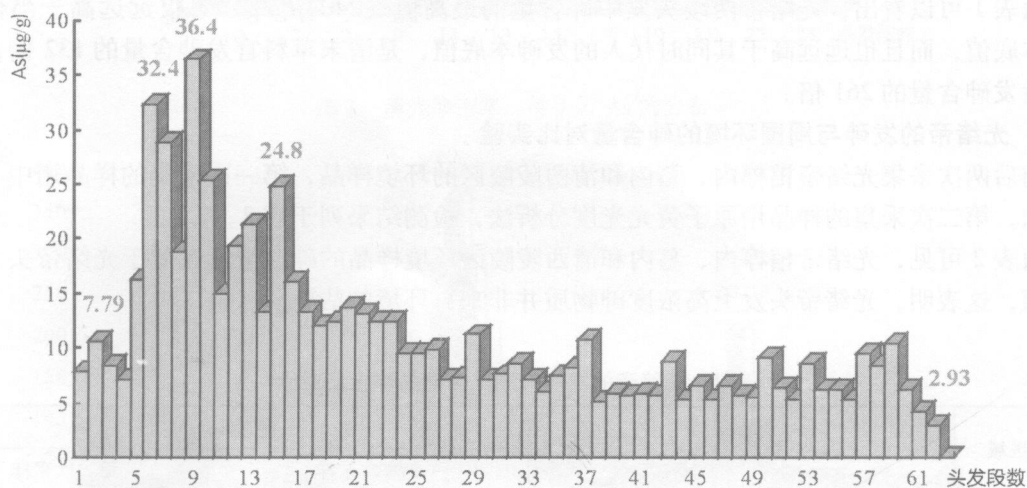


图3 慢性砷中毒患者头发 As 的分布图（带毛囊）

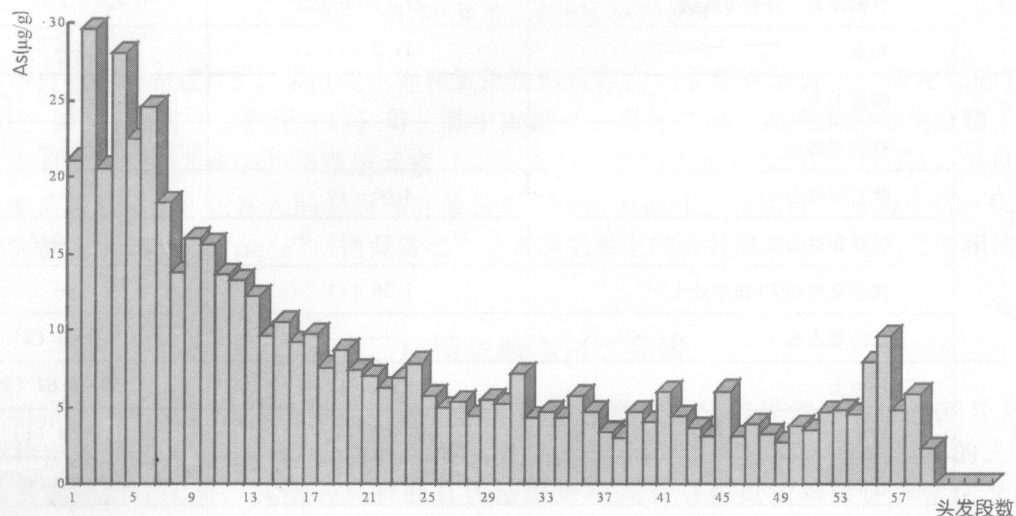


图4 慢性砷中毒患者头发 As 的分布图（不带毛囊）

比较图1~图4，可以发现光绪帝的发砷分布形态与慢性砷中毒患者砷的分布趋势完全不同：

(1) 慢性中毒患者的发砷分布在距离发根很近的位置出现了一个极大值区域，而光绪帝的则

是呈近似正态分布的高峰，不在发根也不在发梢。

(2) 最高含量值显著不同。光绪帝发砷的最高含量为  $2404\mu\text{g/g}$ ，是慢性中毒患者最高含量 ( $36.4\mu\text{g/g}$ ) 的 66 倍。

因此，光绪帝的发砷来源与慢性中毒患者不同，不是新陈代谢的结果，而是另有其他来源。

2. 模拟实验研究

头发的主要成分是含硫的角质蛋白，约占 97%，砷与蛋白质的巯基 ( $-\text{SH}$ ) 有很强的亲和力，通过与蛋白质的巯基 ( $-\text{SH}$ ) 形成稳定的螯合物而进入头发。为确定能否形成近似正态分布的高峰值，进行了模拟实验研究。

取一段当代健康人头发，长度为 10cm，清洗干燥后，放在一层棉花上，棉花下垫一层聚乙烯薄膜。用定量滴管取砷霜溶液 ( $\text{As}_2\text{O}_3$  浓度为  $1.28\text{mg/mL}$ ，北京市公安局提供)，体积为  $36.5\mu\text{L}$ ，一次性滴在头发的第五厘米处，放置 24 小时，清洗并分段检测；另取同一人的头发，清洗后分段检测砷的本底含量。图 5 为这两缕头发的砷分布图 (数据见附表 5)。

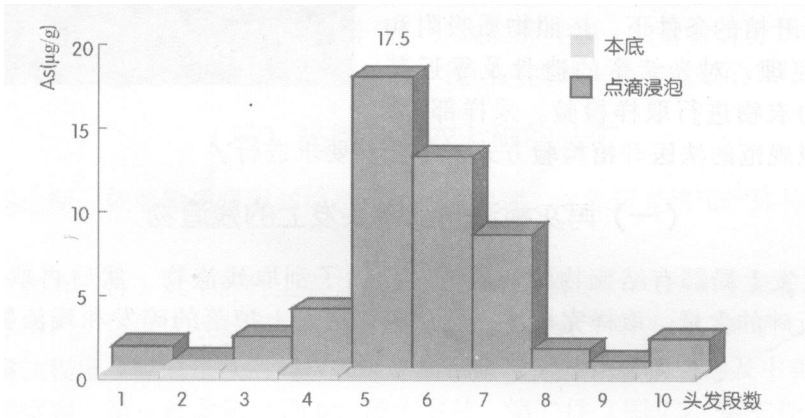


图 5 头发本底及点滴浸泡后的砷分布图

图 5 表明：外界的砷化合物不经过自身机体代谢，也可以吸附、渗透到头发内，而且可以形成近似正态分布的高峰。由此推测，光绪帝发砷分布高峰不是新陈代谢的结果，而含有高浓度砷的物质沾染可以形成。

(四) 初检分析

研究证实，光绪帝头发中的最高砷含量  $2404\mu\text{g/g}$ ，是同年代生活环境相似的成年人隆裕皇后头发砷含量 ( $9.20\mu\text{g/g}$ ) 的 261 倍，是同年代成年人清代草料官头发砷含量 ( $18.2\mu\text{g/g}$ ) 的 132 倍，表明光绪帝头发中的最高砷含量确实属于异常现象。

光绪帝头发中的最高砷含量  $2404\mu\text{g/g}$  是其棺槨内物品最高砷含量 (帷幔碎屑  $29.0\mu\text{g/g}$ ) 的 83 倍，是墓内外环境样品最高砷含量 (棺槨盖上土  $24.8\mu\text{g/g}$ ) 的 97 倍，表明光绪帝头发中的高含量砷元素非棺槨内物品及墓内外环境所造成。

光绪帝头发中的最高砷含量  $2404\mu\text{g/g}$  是当代慢性砷中毒患者头发最高砷含量 ( $36.43\mu\text{g/g}$ ) 的 66 倍，而且砷含量分布曲线与后者也截然不同，表明光绪帝头发中高含量的砷元素非慢性砷中毒形成。

从光绪帝头发的异常高砷含量截段位置看，其既不在发根处、也不在发梢处，依据头发生长规律和砷中毒机理，光绪帝头发上的高含量砷不应是正常摄入代谢形成。

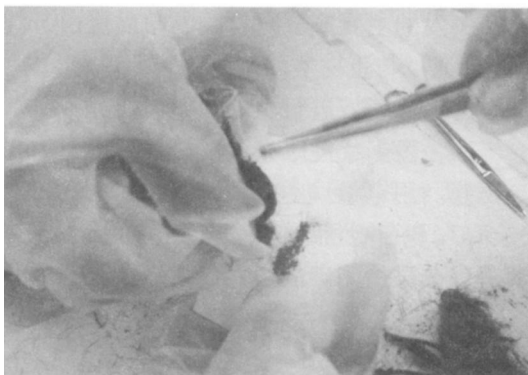
综上所述，造成光绪帝头发上高含量砷元素异常现象的成因只能来自其自身尸体的沾染。

## 全面查证

2006年后，课题组听取并研究了刑事技术、法医学等多领域专家意见，决定按照案件侦查思路和专业技术规范，争取开棺检验，扩大取样分析范围，以进一步确证光绪帝砷化合物的来源。

由于光绪帝的棺槨于 1980 年清理后严密封存，不能再次开棺，为达到扩大取样分析范围，再次提取光绪帝头发残渣物及散落的头发，并首次提取光绪帝遗骨及衣物样品（1980 年崇陵光绪帝棺槨清理后保存在清西陵的文物库房），进行砷的分布研究。

在不可重新开棺的条件下，依照物质吸附和信息转换还原原理，对光绪帝的遗骨及靠近其尸体特殊部位的衣物进行取样检验。采样部位、采样方式均按照规范的法医开棺检验方式、方法和要求进行。



### （一）再次检测光绪帝头发上的残渣物

光绪帝的头发上局部有结痂物状的残渣，用镊子刮取残渣物，然后再取刮掉残渣物的头发，分别分析砷的含量。取样完毕后，把从整体头发上掉落的碎发和残渣物也分别取样。如右图所示。

表 3 清光绪帝头发及粘结的残渣物的砷含量

样品名称	As, $\mu\text{g/g}$
从头发上刮取的残渣物	913
刮掉残渣物的头发（未清洗）	363
掉落的碎发（未清洗）	304
掉落的残渣物	3060

由表 3 可以发现，残渣物的砷含量明显高于头发，说明这些残渣物是光绪帝头发高含量砷的来源，由此进一步证实了光绪帝的发砷分布高峰值由含高浓度砷的物质污染形成。前期研究已表明，如此高含量的砷，既非光绪帝自身自然代谢生成，也非环境的污染，由此进一步断定：这些残渣物的唯一来源只能是光绪帝中毒死亡后的尸体。

### （二）光绪帝遗骨表面附着物检测

1980 年对光绪帝棺槨进行清理后，部分遗骨保存于清西陵文物库房内，共有肩胛骨、环椎骨、脊椎骨、肋骨等 7 块遗骨。砷中毒死者尸体腐败后，器官组织中的砷可能会沾染到骨骼上。通过刮取光绪帝 7 块遗骨表面的附着物进行砷含量检测，以证实光绪帝尸体内是否存在高含量的砷化合物。该项检测是判断光绪帝是否死于砷中毒的重要依据，结果列于表 4。

表 4 清光绪帝遗骨中的砷含量

样品名称	As, $\mu\text{g/g}$
遗骨瓶内碎屑	690
环椎骨上刮下的碎屑	12.3
肩胛骨 1 刮下的碎屑	15.6
肩胛骨 2 刮下的碎屑	242
肋骨上刮下的碎屑	24.3
脊椎骨 1 刮下的碎屑	1269
脊椎骨 2 刮下的碎屑	9.13
小块碎骨刮下的碎屑	58.2
环椎骨粘连的绿色布丝	33.7
环椎骨粘连的黄色布丝	41.4

由表 4 可见，装存光绪帝遗骨的瓶内碎屑、一块肩胛骨和一块脊椎骨分别检测到了高含量的砷，表明光绪帝某些遗骨表面沾染了大量的砷，说明这些砷来源于腐败的尸体。

### （三）光绪帝葬衣上砷的分布

为验证上述论断，依照物质吸附和信息转换还原原理，对靠近光绪帝尸体特殊部位的衣物取样检测。

光绪帝的衣物有五件，其中四件上衣（或外衣），一条裤子，1980 年从棺槨内清理出后保存于清西陵文物库房内。依据上衣的完好程度，分别编为第一件至第四件，裤子编为第五件。

殡葬衣物腐蚀程度及穿着层次对间接验证光绪帝是否为砷化合物中毒及中毒状况至关重要。在取样过程中观察到，第一件龙袍（图 6）最为完整，第二件（图 7）、第三件（图 8）较为完整，而第四件（图 9）和第五件（图 10、图 11）为残片。尸体腐败对穿着衣物侵蚀的一般规律是衣物的侵蚀程度由内向外逐步减轻，也就是说，越靠近尸体的衣物腐烂越严重，反之则越轻，由此推定图 6—图 9 的排列顺序即为四件上衣由外到内的穿着顺序。



图 6 第一件衣物



图 7 第二件衣物

第一件较为完整的龙袍，选择 19 个部位取样。第二件较为完整的夹衣，选择 18 个部位取样。第三件部分完好的双层短上衣，选择 20 个部位取样。第四件残破的上衣碎成三片，两只袖子各为一片，图 9 左下的躯干部为一片，共选择 15 个部位取样，其中左袖取 5 点，右袖 6 点，躯干部 4 点。第五件为双层夹裤残片，仅存裆部以上部分，选择 25 个部位取样（图 10、图 11）。

前三件较为完整的上衣中，胃腹部位均有多处明显腐蚀脱落形成的窟窿，为检测尸体胃腹部

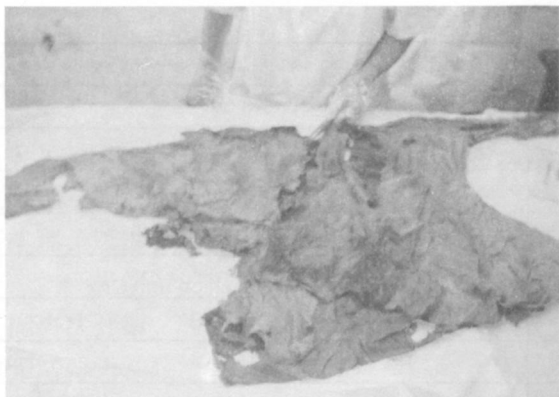


图8 第三件衣物

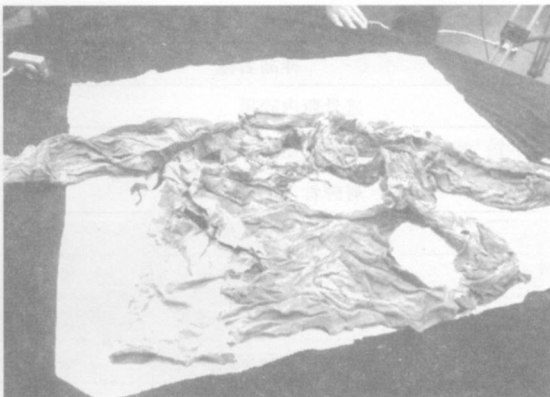


图9 第四件衣物



图10 第五件衣物（裤子正面）



图11 第五件衣物（裤子反面）

位砷含量，在窟窿周边取多个点位。在夹裤的后内层可见大片的痂状物，面积约  $20 \times 30\text{cm}^2$ ，在3个取样点位刮取了4个痂状物样品。每件衣物取样完毕后，掉落的碎屑中除有衣物纤维外，还有一些残渣，也分别取样检测。

在部份取样点上采集了二份样品，一份用中子活化法（NAA），第二份用原子荧光光度法（AFS），检测结果见表5~表9。

表5 第一件衣物砷的分布

取样部位	As, $\mu\text{g/g}$		取样部位	As, $\mu\text{g/g}$	
	NAA	AFS		NAA	AFS
小襟右肩前领旁	4.62	—	左后肩（胛骨区）	1.87	1.91
小襟右肩后领旁	2.70	0.84	前左大襟（胃区）-1	4.50	—
后背（胃区）-1	1.81	—	前左大襟（胃区）-2	4.07	1.71
后背（胃区）-2	2.02	—	系带（红色）	26.0	22.3
后背（胃区）-3	1.23	—	左袖（肘区）	2.67	2.19
后背（胃区）-4	1.70	—	下系带黄色与袍相连	2.50	3.58
后背（胃区）-5	1.67	2.26	左襟下摆底部	2.78	2.98
左肩前	2.23	2.36	龙袍抖落残渣	94.1	—
左领口	3.98	—	龙袍抖落纤维	85.0	—
左肩前下	2.52	—			—



表 6 第二件衣物砷的分布

取样部位	As, $\mu\text{g/g}$		取样部位	As, $\mu\text{g/g}$	
	NAA	AFS		NAA	AFS
右侧衣领	1.66	—	左肩后	1.07	—
后领窝	3.22	1.52	左肩（胛骨区）	1.22	11.0
后背（胃区）- 1	1.70	1.88	左前襟（胃区）- 1	12.2	4.73
后背（胃区）- 2	2.48	—	左前襟（胃区）- 2	3.44	1.96
后背（胃区）- 3	1.62	—	与夹衣相连系带	5.20	—
后背（胃区）- 4	7.79	13.0	左袖（肘区）	1.49	—
后背（胃区）- 5	2.15	—	左襟下摆底部	2.54	—
右前襟（胃区）	1.58	1.11	抖落残渣	308	—
左肩前	2.30	—	抖落纤维	14.7	—

表 7 第三件衣物砷的分布

取样部位	As, $\mu\text{g/g}$		取样部位	As, $\mu\text{g/g}$	
	NAA	AFS		NAA	AFS
右领口尖	3.40	2.03	左肩（胛骨）	2.15	—
右后肩	3.96	—	左前襟（胃区）- 1	3.20	6.23
后背（胃区）- 1	6.12	8.47	左前襟（胃区）- 2	2.33	12.4
后背（胃区）- 2	3.98	7.66	系带	3.23	8.14
后背（胃区）- 3	3.80	—	系带上粘附的残片	87.1	142
后背（胃区）- 4	2.71	6.92	左后背	2.77	2.18
后背（胃区）- 5	3.21	5.32	左袖（肘区）	1.16	11.5
右前襟（胃区）	6.34	16.0	左前襟下摆底部	2.60	—
左肩前	5.92	—	抖落的残渣	44.4	—
左肩后	2.46	—	抖落的纤维	9.67	—

表 8 第四件衣物砷的分布

取样部位	编号	As, μg/g		取样部位	编号	As, μg/g
		NAA	AFS			NAA
左袖	1	254	819	右袖	1	377
	2	290	—		2	2439
	3	802	298		3	599
	4	164	359		4	758
	5	285	294		5	723
躯干	1	706	421		6	379
	2	329	543	抖落的残渣	1	2182
	3	520	584		2	1067
	4	237	403	抖落的纤维	1	139

表 9 第五件衣物砷的分布

取样部位	编号	As, $\mu\text{g/g}$	取样部位	编号	As, $\mu\text{g/g}$
		NAA			NAA
前外层	1	11.0	后外层	1	3.56
	2	1.61		2	9.64
	3	2.31		3	6.47
	4	4.17		4	1.73
	5	3.22		5	8.21
	6	3.16		6	3.13
	7	2.02		7	3.51
	8	6.79		8	9.92
	9	4.33		9	3.07
后内层	1	217	抖落的残渣	10	7.69
	2 - 1	36.6		1	9.86
	2 - 2	14.6			
	3	4.09			
	4	6.36			
	5	2.80			
	6	3.63			

检测数据结果表明：从同一件衣物看，第一件至第三件，每件衣物的胃区部位、系带和领肩部部位的含砷量较高；从穿着层次看，第四件衣物（内层衣物）的含砷量大大高于第一件至第三件；从尸体的特殊部位看，衣物掉落下来的残渣（胃肠内容物）的砷含量极高，大量的砷化合物曾存留于光绪帝尸体的胃腹部，并在随尸体腐败过程中会进行再分布，有多个去向，并由里向外侵蚀衣物，由此造成了衣物被以胃内容为主的高含砷物质侵蚀污染；裤子后内层被以肠内容为主的高含砷物质侵蚀污染；其骨骼被尸体胃肠内容高含砷物质直接污染，而其衣物的领肩部位和头发上的高量砷则源自其腐败尸体的溢流污染。

## 毒物判定

前期对所有样品的检验结果仅为砷元素的含量，而其化合物的种类及有关毒性的确切信息并未明确。因为不同种态的砷化合物具有不同的毒性。如：无机砷的毒性大于有机砷；三价砷的毒性大于五价砷。砒霜（三氧化二砷）就是剧毒的三价砷化合物。另外，人体摄入的砷化合物的总量对其是否中毒及中毒死亡具有决定意义。为此，一是对光绪帝衣物中残渣样品高含量砷的砷种态（即砷价态或形态）进行分析，采用了液相色谱/原子吸收光谱联用分析法研究不同种态砷的比例关系，以判定可能导致光绪帝中毒死亡的砷化合物种类；二是对光绪帝尸体中的砷化合物总量进行测算，进而和人体砷中毒致死量进行比较，以推定其摄入的砷化合物是否能对其人体造成致命的伤害。

### （一）对光绪帝衣物中残渣样品种态的分析

在光绪帝衣物残渣中取样进行不同种态砷的比例关系分析（见表 10）。

表 10 清光绪帝衣物中残渣样品种态分析结果

残渣来源	各种态砷占总砷的百分比,%			
	三价砷	五价砷	二甲基砷	一甲基砷
第一件衣物	4.23	85.4	5.99	4.37
第二件衣物	9.67	48.4	38.5	3.48
第四件衣物	29.3	56.6	13.9	0.22

由表 10可见，光绪帝胃肠内容物沾染的衣物上残渣的砷化合物以剧毒的三价砷和有毒的五价砷为主，而微毒的有机砷化合物占少部分。由于不同种态的砷化合物在生物机体内存在迁移、转换、代谢过程，上述结果不能直接反映光绪帝死前胃肠内容物的砷化合物种态。为确定是何种砷化合物，进行了小鼠模拟验证实验。

(二) 对砒霜中毒死亡小鼠脏器砷种态的转换分布分析

选 7只体重相近的小鼠，3只作为空白对照，4只以砒霜溶液灌胃，灌胃砒霜溶液分两种，浓度分别为 2.7 mg/mL (小鼠 1和小鼠 2) 和 2.0mg/mL (小鼠 3和小鼠 4)，第一天灌 0.1mL，第二天灌 0.5mL，约 3h后死亡，取 4只小鼠胃及其胃容物进行分析，结果列于表 11。另外，取小鼠 1的肝脏及心脏合并匀浆，小鼠 3也同样处理，再放置不同时间，研究不同种态的砷随时间而转换，结果列于表 12。

表 11 砒霜急性中毒死亡小鼠胃及其内容物中 As的分布 (μg/g)

组别		三价砷	五价砷	甲基砷	三价砷,%
灌胃砒霜溶液		2112.3	—	—	100
空白组 (n=3)		—	—	—	—
中毒组 (n=4)	小鼠 1	27.8	0.923	—	96.8
	小鼠 2	59.2	0.611	—	99.0
	小鼠 3	91.166	0.903	—	99.0
	小鼠 4	27.8	0.923	—	96.8

表 12 小鼠肝脏及心脏中不同种态的砷随时间转换结果 (μg/g)

样品名称	三价砷		五价砷	二甲基砷	检测时间
	含量	%			
砒霜 2小鼠 1	0.832	26.7	1.354	0.926	死亡时
	0.055	1.88	2.840	0.0288	死后 11天
	—	—	3.157	0.082	死后 24天
砒霜 1小鼠 5	0.957	47.6	0.128	0.925	死亡时
	0.238	11.5	1.710	0.119	死后 11天
	—	—	2.216	0.043	死后 24天

由表 11可见，砒霜急性中毒死亡小鼠胃容物中，虽有少量三价砷转变为五价砷和二甲基砷，但三价砷仍占绝大多数 (96%以上)。表 12中的动物实验结果表明砒霜的三价砷所占的比例随时间的推移逐渐降低，五价砷随之增高，五价砷即由三价砷转换。由此推断光绪帝胃肠内容物中三价砷的比例，在死时 (100年前) 远不止 29.3%。可以断定，光绪帝胃肠内容物中三价砷和五价砷均来自于砒霜。

### (三) 对光绪帝尸体中砒霜总量的测算

人体中的砒霜总量是判断受体是否会中毒死亡的重要依据。根据相关研究，人口服砒霜（三氧化二砷）60—200毫克就会中毒死亡。因受检材条件限制，难以准确测算光绪帝尸体中的砒霜总量，只能通过对其遗留在头发上和衣物上的部分砒霜量值进行测算，由此得知光绪帝尸体中的砒霜总量不会低于此值。结果见表 13。

表 13 清光绪帝第四件衣物及残渣、头发残渣中砒霜测算值

样品名称及样品数		平均砷浓度, $\mu\text{g/g}$	样品重量, g	砷含量, mg	砒霜量, mg
第四件衣物	左袖 (n=5)	359	69	24.8	32.7
	右袖 (n=6)	879	90	79.1	104.4
	躯干 (n=4)	448	88	39.4	52.0
	残渣 (n=2)	1205	3.63	4.4	5.8
	头发残渣 (n=2)	3237	1.535	5.0	6.6

由表 13 可知，仅光绪帝头发残渣、第四件衣物及其残渣中的砒霜总量就高达约 201.5 mg。

## 结论

本课题在不能开棺直验且时隔久远、检材条件很差等不利因素困扰下，由光绪帝发砷研究入手，通过对其头发不同截段砷含量的异常分布情况的分析验证，发现并证实了导致其违背常规的砷元素分布的特殊原因，即光绪帝头发上的高含量砷并非为慢性中毒自然代谢产生，而是来自于外部污染。通过对其遗骨表面砷元素的检测 and 对其殡葬衣物被侵蚀的规律以及衣物上砷元素含量的分布情况分析，进一步证实了光绪帝的腐败尸体是砷元素污染的唯一来源。由砷种态分析得知，光绪帝遗骨、头发、衣物中高含量的砷化合物为剧毒的三氧化二砷，即砒霜；经过科学测算，光绪帝摄入体内的砒霜总量明显大于致死量。因此，研究结论为：光绪帝系砒霜中毒死亡。

柴之芳 《活化分析基础》，北京：原子能出版社，1982年。

IAEA/RL/41H [R] . 1977.

王三根 《微量元素与健康》，上海：科学普及出版社，2004年第 73页。

马成林、贾冬舒 《科学补充维生素和微量元素知识问答》，北京：金盾出版社，2005年第 132页。

冯友根 《警惕：过量服用牛黄解毒片可引起慢性砷中毒》，《中国中医药报》，2004年 12月 29日第 7版。

唐志华 《微量元素砷与人体健康》，《广东微量元

素科学》，2003.10 (3)；10 - 13。

孔祥瑞 《必须微量元素的营养生理及临床意义》，合肥：安徽科技出版社，1982年第 393 - 398页；刘志民 《现代实用毒物分析》，北京：人民卫生出版社，1984年第 347 - 349页；公安部教材编审委员会 《刑事技术学》，北京：群众出版社，2001年第 837页；《砷中毒——职业病》，<http://www.39.net/disease/dzzyb/170487.html>, 2008 - 10 - 8 引自百度百科。

致谢：本课题研究过程中的 X 射线荧光分析法、原子荧光光度法、液相色谱/原子吸收联用分析法由普析分析中心协作完成，尤其在砷种态分析中作出主要贡献，在此对普析分析中心的大力支持表示感谢，对田禾、张长洋、郑清林、杨景广、刘德海、杨志全等人的辛勤劳动表示感谢。在本文编撰过程中得到了北京市公安局李锁平、北京市政法委戎鑫、北京市人民检察院郝东浩的大力支持和帮助，在此表示感谢。对李慎之研究员的帮助表示感谢。