

略论清华简的常规保护与科技保护^{*}

魏 栋^{1, 2}

(1. 清华大学出土文献研究与保护中心, 北京, 100084;
2. “古文字与中华文明传承发展工程”协同攻关创新平台, 北京, 100084)

摘要 清华大学藏战国竹简是一批尚未进行脱水加固处理的饱水竹简。本文简要总结了近年来清华简常规保护工作中积累的一些经验, 包括竹简浸泡液的更换频次、清华简库房的环境质量管控、清华简数字化保护过程中的精细化清污、清华简及其数字编号铭牌的绑缚等。近年, 清华大学着力提升清华饱水竹简的科技保护水平, 在简牍文物保护领域率先将ATP生物荧光检测技术引入饱水竹简的预防性保护工作中, 并取得了较为理想的效果。

关键词 清华简 常规保护 科技保护 ATP生物荧光检测技术

清华简是2008年入藏清华大学的一批战国时代竹简, 是目前已发现的单批数量最大的战国竹简, 包含残片在内共计2499枚。若将残简拼接复原, 有1700余支完简。清华简是典籍类文献, 其内容属于传统四部分类法中的经、史、子三类, 许多篇目涉及中国传统文化的核心内容。由于学术价值重大, 清华简受到国内外学术界甚至一些社会人士的广泛关注。清华简一入藏, 不仅对之进行了抢救性保护, 还对竹简样品进行了一系列的科技检测。除¹⁴C测年外, 还利用SEM、XRD、IR、DTA等现代分析仪器, 从宏观到微观对竹简进行了多角度、多层次的综合分析。这批竹简平均含水率约达到390%, 与现代竹相比, 结晶度、热稳定性下降显著。这些都说明竹简质地十分糟朽脆弱, 被形象地形容为“煮熟了的面条”^[1]。自入藏以来的十余年间, 竹简一直处于浸水状态保存。作为清华简的一线保护工作者, 我们深感责任重大, 一直全力以赴地保护着这批珍贵历史文化遗产。在清华简的长期保护实践中, 我们积累了一些较为实用的经验, 并初步引入了一些科技保护手段。现不揣浅陋, 撰为小文, 既与从事简牍等文物保护的同仁交流, 也希望能够得到指教, 以改进我们的工作。

1 竹简浸泡液的更换频次

清华简入藏时, 竹简表面附着较多从墓葬内带出的泥垢, 并且部分竹简上已经生有霉斑。在保护团队进行揭剥、去污、浸漂、杀菌等一系列抢救性保护处理后, 清华简便进入了长期的浸水状态

^{*} 本研究受到国家社科基金冷门绝学研究专项项目(24VJXG058)、清华大学-国家博物馆文物科技保护联合研究中心自主课题、清华大学自主科研计划文科专项(2023THZWYY04)的资助。

保存阶段。为防止竹简被细菌等微生物侵蚀，保证竹简的安全，在浸泡清华简的蒸馏水中会加入专门配置的特定浓度的杀菌剂——甲硝唑溶液和苯扎溴铵溶液。

竹简浸泡液是清华简最直接的保存环境，浸泡液的状况直接反映了竹简的保存状况。在清华简入藏早期，浸泡液的更换（俗称“竹简换水”）要频繁一些。一方面是由于清华简入藏时虽然经过去污处理，但竹简上面有文字，出于文字保护的需要，去污不可能很彻底；另一方面是由于清华简在地下埋藏2000多年，墓葬棺液等已经渗透到竹简内部，这些竹简内部的污物是逐渐渗出的。经过多次浸泡液更换后，竹简状况逐渐稳定，污物渗出大为减少，于是竹简浸泡液的更换频次变为半年左右一次。2019年，专门为保存清华简而建设的文物库房正式启用，清华简的保存条件大为改善，竹简换水工作也越来越精细化，不再轻易进行大规模换水。我们综合杀菌剂的有效期及每盘竹简浸泡液的状况来研判是否需要进行浸泡液更换。只要杀菌剂还在有效期内，并且竹简浸泡液澄澈透明，没有污物渗出及悬浮物出现等异常情况，我们就不进行换水。目前，距离清华简上次换水已有一年半的时间，绝大部分竹简浸泡液的情况良好，只有个别盘竹简浸泡液有些许浑浊物出现，我们有针对性地进行了换水。换水工作的精细化，换水频次的降低，对于十分“娇气”的战国竹简来说是很有意义的。因为每次换水都会对竹简带来一定损伤，即使这种损伤往往并不为肉眼所见。

2 ATP生物荧光检测技术在清华简日常保护中的应用

肉眼观察竹简及其浸泡液有无异常，是清华简库房日常例行巡查工作的重点，也是判断竹简是否需要进行换水的主要依据。肉眼观察确有必要，但我们也在努力尝试构建一些竹简日常巡查的理化参数及指标，力争使竹简巡查更加科学化，使常规巡查保护工作能够上升到学术高度。2021年，我们将ATP生物荧光检测技术引入到了竹简的日常保护工作中来。

我们知道，饱水简牍保藏期间的安全风险除了来自机械性损伤外，最主要的便是微生物侵蚀。1996年发掘清理的长沙走马楼吴简在饱水保藏期间曾先后于1998年、2001年受到细菌侵袭，部分竹简出现了“蚀斑病”，并有蔓延的趋势。后来经学者研究，筛选出合适的杀菌剂才将病害成功控制住。清华简虽然保存于杀菌剂药水中，但在预防微生物侵蚀方面仍然不可大意。即使凭肉眼及时观察到竹简及其浸泡液出现异常现象，也属于“马后炮”，竹简可能已经受到了一定程度的影响，甚至是侵蚀破坏。我们作为非微生物学专业出身的文保工作者，需要一种便捷、高效、准确的微生物检测设备，而ATP生物荧光检测仪恰好能够满足我们的需求。所谓ATP生物荧光检测，简言之就是利用荧光素酶-ATP（即三磷酸腺苷，普遍存在于活的生物体中）检测法，测定样品中的ATP生物荧光值（RLU），进而推算有无活菌及活菌多少的检测技术。ATP生物荧光检测仪可以快速、准确检测饱水简牍浸泡液的ATP生物荧光值（RLU），进而标示浸泡液中是否存在微生物及微生物相对含量的多少，是竹简库房日常巡查的有力帮手。

清华简在日常保藏中，竹简浸泡液中曾出现了一些浅乳白色悬浮物，我们曾一度很紧张，担心浸泡液的杀菌剂失效，竹简及浸泡液中产生了细菌等微生物。后来，我们利用ATP生物荧光检测仪检测悬浮物的ATP生物荧光值（RLU）为46，并与空白试验和澄清浸泡液的ATP生物荧光值（RLU）进行了对比，对比结果可以完全排除悬浮物为微生物的可能性。此外，通过红外光谱分析和热裂解气质联用分析的办法，进一步判断这些悬浮物的成分主要是杀菌剂苯扎溴铵。

3 清华简及其数字编号铭牌的绑缚

清华简曾长埋地下，构成竹简的纤维素、半纤维素、木质素等降解严重，加上竹简含水率高达390%，因此竹简十分糟朽脆弱，像是“煮熟了的面条儿”。在清华简长期浸水保存中，为了固定竹简、防止竹简随水漂移并且为增强竹简的机械支撑，我们将竹简有字一面贴附在比竹简略长的玻璃条上，并用带孔的椭圆形不锈钢数字铭牌与细绳将竹简进行编号并缠绕绑缚固定，这是简牍文物保护界针对饱水竹简长期浸水保藏的通行做法。

在清华简的长期保藏中，我们曾遇到以下问题，如有的铭牌易脱落，细绳末端易松弛，断裂竹简的拼合处易出现缝隙乃至竹简下部在玻璃条上出现滑移等。我们在实践中摸索出以下经验：

1) 不锈钢数字铭牌应当两面均雕刻上相同的阿拉伯数字编号，铭牌与竹简分别贴附于玻璃条两侧（避免竹简遮挡铭牌数字），同时铭牌不应与玻璃条顶端平齐，而要比玻璃条顶端低一些，如此则绑结铭牌的细绳不会滑脱，进而导致铭牌松动乃至脱落。此外，绑缚铭牌的细绳要多绕几匝，以不影响辨识铭牌上的数字编号为宜。

2) 绑缚竹简的细绳要选择白色化学纤维与天然棉花纤维构成的混纺线。混纺线有一定的柔韧性，在长期水浸状态下也不易腐朽。使用前宜将混纺线在沸水中煮一煮，使其更加柔顺。

3) 用混纺细绳将竹简绑缚于玻璃条上，要注意松紧适度。在竹简的顶端部分要适当加密绕线匝数，在竹简的主体部分要均匀地缠绕而下，把握好绕线密度，到竹简底端也应适当加密绕线匝数，待细绳过渡到竹简底端以下的玻璃条上后，在玻璃条上稍稍用力缠绕数匝，并打活结以固定细绳末端。清华简中有一小部分存在断裂的情况，特别是一些竹简恰好在竹节处断裂，而且断裂处的碴口常常可以严丝合缝地拼接在一起，不易发现竹简本身已经断裂。对于这种情况，我们在绑缚时应当于竹简断裂处及其附近加密绕线匝数。这既能固定竹简的断裂处，使竹简断裂处以下部分不至于在玻璃条上滑移，同时也可以给保护者以提示，提示竹简在细绳加密处存在断裂。除在竹简断裂处及其附近除采用加密绕线的办法外，也可以采用交叉捆线法进行加固和提示。

竹简及其数字编号铭牌的绑缚，对于脆弱竹简的固定、保护起着至关重要的作用。上述绑缚经验看似极其简单，但若有这些经验的“加持”，竹简的绑缚工作可以得到更有效的支持。

4 清华简库房的环境质量管控

除了浸泡液这一清华简最为直接的保藏环境外，库房的温湿度、空气质量、光照辐射、卫生状况等也是清华简保存环境的重要组成部分。因此，不仅要做好对浸泡液的观察、监测，还要做好库房温湿度、空气质量、光照辐射、卫生状况等库房环境质量的管控。

1) 清华简库房较为理想的温度为 $19^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度（RH）为 $55\%\pm 5\%$ 。由于竹简处于浸水状态进行保存，所以湿度对竹简的影响可以忽略不计。调控好温度是核心，要避免温湿度（特别是温度）频繁大幅波动。清华简曾在老库房存放达11年之久，老库房条件虽相对简陋，但配有四台空调，能够满足温度控制的需要。2019年年底搬入新库房后，竹简保藏条件大为改善。新库房配备有专门建设的恒温恒湿机组，并配套有UPS（不间断电源）设备。机组维保人员会定期巡查，物业

则每天巡视，以便为清华简等文物提供理想的温湿度环境。

2) 清华简新库房还配备有新风系统，能够为库房通风换气。此外，恒温恒湿机组自带初效空气过滤器、高效空气过滤器，也有助于使库房保持较好的空气质量。初效空气过滤器约半年更换一次，高效空气过滤器约一年更换一次。

3) 清华简库房闭库时完全处于无光照状态，不存在光辐射问题。人员进入库房时才有光辐射问题。我们采取了物理隔绝光辐射的办法，将竹简有字一面朝下放置，再用不透明的白色塑料盖盖住盛放竹简的不锈钢盘。此外，库房的灯管采用无紫外线灯管。

4) 库房卫生也需要注意。我们在库房外建有风淋室，进入库房要穿上工作服、戴一次性帽子与鞋套，并经风淋室吹淋，以减少尘源进入库房，保证库房的洁净度。此外，每年都会对库房附属区域喷洒杀菌剂、灭鼠剂，防止生物危害。

5 清华简数字化保护过程中的竹简保护、处理

利用现代数字影像技术对清华简进行高质量的图像信息采集，以建立完整的清华简实物图像档案，并为研究人员使用，此即清华简的数字化保护。2008年清华简入藏后不久就由清华大学美术学院摄影工作室采用“饱水拍摄法”采集了高质量的彩色竹简照片。2019年清华大学出土文献中心组织力量对全部清华简采集了一套完整的红外线图像资料。清华简彩色图版、红外线图版，为残断竹简的缀合、散乱竹简的排序编连（可利用简背划痕等信息）、文字释读等提供了坚实基础。

在清华简红外图像信息采集中，涉及对竹简本体处理、保护的操作主要有扫描准备阶段的保护操作（竹简拆线、去污、漂水清污）、扫描阶段的保护操作（取简放入扫描水槽、排版、竹简正面扫描、竹简翻面、竹简背面扫描）、后续阶段的保护操作（取出竹简，添加数字铭牌、玻璃条并进行绑缚）。清华简在入藏之初，即进行过污垢的粗清和细清工作。为文字保护的需要，竹简上还存留有少量的污垢。在经过了十一年的阳离子表面活性杀菌剂药水的浸泡后，竹简上残存的少量污垢实际上已经具备清除的条件。我们在此次清华简数字化保护工作中积累了一些竹简精细化清污的经验。针对不同残存形式的污垢，各有相应的清除办法：第一，污垢仅遮盖住文字的一半。要从字的中间用软硬合适的细毛笔的笔尖向有污垢的一侧轻轻剔除。第二，污垢极薄，就像墙壁上的一层腻子一样渗入到竹简的纹理中。此类污垢只能轻轻拂刷，以减轻对字迹的遮挡，难以做到彻底清除。第三，污垢完全遮盖住文字，表观效果上呈现“硬壳”状。此类污垢忌用软毛笔拂刷，虽然拂刷能减少污垢，但拂刷会使部分污垢渗入竹简的纹理当中。宜使用笔尖稍硬些的毛笔或大小合适的圆头儿薄竹篾片，轻轻剔除“硬壳”。第四，个别竹简残留有少量乳白色物质（析出的杀菌剂）。用毛笔简单剔挑、拂刷即可清除干净。

在扫描阶段，竹简会暂时失去玻璃条的支撑，取、放、排版竹简都需要特别小心。第一，在玻璃水槽中取、放简。将竹简放入扫描用的玻璃水槽，以及将竹简从玻璃水槽中取出，都是较有风险的操作。要借助玻璃条、扁毛笔、水的浮力作用等谨慎操作，忌徒手取、放竹简。第二，竹简翻面。竹简正背面都要扫描，正面扫描完成后需要对竹简进行翻面。左手拇指、食指最好提前戴上乳胶指套，右手持扁宽毛笔轻轻翻动竹简，左手拇指和食指轻轻辅助，借助水的浮力作用将竹简成功翻面。若竹简过长，翻面时还需另外一位操作人员进行协助。第三，合理安排每版竹简

数量并合理排版。玻璃水槽中竹简与竹简之间不能过密。竹简质量较轻，要谨慎操作，防止在水的浮力扰动下竹简发生漂移、碰触、叠压。此外，有的竹简过长，实际排版时在玻璃水槽中要呈对角线放置。

参 考 文 献

- [1] 刘国忠. 走近清华简 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.