

三峡库区白鹤梁题刻保护方案的探索

The Probe of the Preservation Alternative of the Ancient Hydrometric Station——Baiheliang

沈之良

(清华大学水利系, 教授      北京    100084)

一、概况

白鹤梁题刻始于唐广德元年(公元 763 年),迄今已有 1 239 年。题刻共有 165 段, 3 万余字, 记录了 1 200 余年间长江的 72 个枯水水文年, 留下了极其珍贵的水文资料, 堪称世界上保存完好的唯一古代水文站。白鹤梁纵长约 1 600m、宽约 25m(见封二附图)。全梁可分 3 段, 其中的中段长 220m, 题刻最为集中精细(见封二附图)。随着三峡的蓄水运用, 全梁将淹没于水中。

石梁表层的浅色砂岩, 岩层厚仅 1~ 2m, 以 14. 5° 倾角, 北向长江主航道, 岩层构造节理和层面节理纵横交切; 沙岩以下为泥质页岩, 岩性软弱, 易冲刷淘空, 形成深槽。已发现有 5 处深坑, 平均坑深均在 13m 以上。

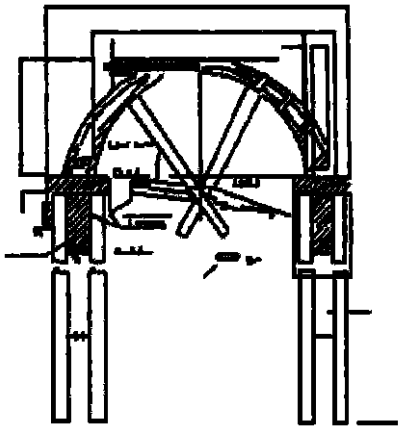
三峡蓄水前期水位 156m, 防洪汛限水位 145m, 正常蓄水位 175m。当水库正常蓄水位时, 涪陵水位 177m; 水库淤积后, 涪陵水位可达 185. 21m。如以梁底基岩高程 135m 计算, 则相应的水深为 42m(淤积前)和 50. 21m(淤积后)。

随着三峡水库蓄水, 白鹤梁将沉没于水底, 题刻本身亦将不复为世人可见, 为此, 需对题刻中的最珍贵部分, 进行人工保护。

二、保护方案和规划设计中  
必须遵守的条件

现将笔者在 3 年前(1998 年 12 月)参加讨论的白鹤梁题刻保护方案简介如下。

该方案采用双层钢筋砼壳体结构(见附图 1)。壳体高 11. 65m, 其平面投影为一椭圆形, 长轴 120m, 短轴 28. 99m。壳顶高程 150. 15m, 端部高程 138. 50m。壳体内为大气压, 外部即为三峡水库的蓄水所包围, 壳体内部的净面积为一长 110m、宽 22. 31m 的椭圆形面积, 参观者可从岸旁的电梯进



附图 1 双层壳体方案

入壳体内参观。

壳体下部设一基础梁, 其截面积约为 8m 高、6m 宽。梁底设 82 根直径为 1. 5m 的砼桩基。

水库蓄水后, 壳体下基岩高程 135m 处所承受的水头, 在泥沙淤积前为 42m(177. 0m- 135. 0m), 淤积后为 50. 21m(185. 21m- 135. 0m)。

为加固基岩和减少渗流, 在基础处分设固结灌浆孔和防渗帷幕孔各 1 道。帷幕深度, 估计约 25m。

本方案估算的静态投资为 3. 7 亿元。

白鹤梁保护方案规划设计必须遵守以下条件:

- (1) 技术的可行性, 要保证结构的安全和可靠;
- (2) 经济的合理性, 要做到投资节省、效益显著;
- (3) 必须遵从文物保护的原则。例如: 可逆性(Reversibility), 是指移去为保护而增添的材料或构件后, 仍可恢复文物的原状; 可识别性, 是指为保护所增添的措施、材料易于识别其新旧等。

三、上述建议方案可能存在的问题

1. 地基上抬问题 设计中虽有固结和帷幕灌浆, 试图去增强基岩和减少渗漏, 但问题是这些措施在页岩中不起作用。因为页岩颗粒细小, 风化后

变成粘土,其粒径小于 0.005m,而水泥颗粒常在 0.08~0.09mm 之间,两者相差达 16~18 倍,故灌浆失效。这是工程的常识,今举例加以说明。如帷幕灌浆有效,则壳体内外水头差 50m,将沿着 50m 长(近似为所设帷幕深度 25m 的两倍)的渗径逐渐消耗;在终端 1m 处,平均剩余水头为 0.5m,所产生的渗透压力为  $0.5t/m^2$ 。砂、页岩容重可达  $2.5t/m^3$  左右,所以岩石稳定、不会上抬;而实际情况是一旦帷幕失效,渗透途径将缩短。假设缩短到 5m,则内外水头差 50m 将在此 5m 水平渗径上消耗,其终端处的 1m 渗径,将消耗 10m 水头,此时所产生的平均渗透压力将达  $5t/m^2$ ,比岩石自重超出 1 倍,故砂、页岩本身,包括题刻,就有可能被上抬,发生破坏的严重后果。以上分析是将渗流均匀地消耗简单化,实际上,由于岩石中裂隙和层理的错综复杂,末端的剩余承压有可能会更大,故存在的上抬危险性也会更大。对此我们必须有清醒的认识。

2. 整体向江心滑动的问题 白鹤梁位于长江与支流乌江交汇处以上约 1km 的大弯道处,石梁的基岩长期受到弯道环流、泥砂和卵石 3 者的冲刷和磨损,已形成了临江心一侧深度超过 13m 的深坑 5 处和深槽 1 条,加上岩石层理的倾角  $14.5^\circ$ ,以及层理间云母的存在,使层间的摩擦系数更进一步降低,在壳体自重、水重和岩石自重的分力作用下,有时还有地震惯性力的作用,整个壳体就有可能产生滑动,从而导致整个建筑物的破坏,其后果将不堪设想。

3. 壳体厚度不足的问题 据对壳体的拱顶和拱端处渗流水力坡降  $J$  的计算,在正常高水位 177m 和淤积后水位 185.21m 两种不同水位时,拱顶  $J$  可达 42~55,拱端处可达 54~65。这些数值均超出现在在砼重力坝廊道设计所允许的  $J=10\sim20$  的 2~6 倍。如长期在此渗流坡降中运行,由于渗流对砼中矿物成分的破坏,使砼遭受侵蚀的危险,从而将缩短建筑物的使用寿命。如加厚壳体,就会使造价增加,产生经济上的不合理性。

4. 碍航问题 白鹤梁位于长江大弯道处,由于河道中环流的存在,增加了过往船只对白鹤梁壳体建筑物撞击的可能性。虽然可以采取一些防撞的工程和预防措施,但也不能保证免于万一。一旦撞击发生,后果堪虞。现举撞击发生时可能产生的撞击力算例,来说明撞击力的估算数值如下。设船舶的质量为 1000t,撞击发生时的航速为 3m/s,则据力学中冲量  $F \cdot T$ (其中  $F$  为撞击力,  $T$  为撞击历时)与动量  $MV$ (其中  $M$  为质量,  $V$  为速度)相等的公式,如撞击历时分别采用 1 秒或 0.1 秒,则撞击力  $F$  可达 3000t 和 30000t。这是一个巨大的荷载,非一般壳体结构所能承受。

5. 不符合“可逆性”原则 由于设计中的基础

梁周长近似达 300m、高达 8m、宽达 6m 左右,则在施工开挖中必然会对地基的砂、页岩和题刻本身产生破坏。破坏一旦发生,则被破坏部分的基岩和题刻,便永远无法复原。这就说明,采用此类结构根本不能符合文物保护所必须遵守的“可逆性”原则。

总之,白鹤梁题刻保护的任何设计方案,都必须确保工程设计的尽善尽美、万无一失,符合本文提出的 3 个必须遵守的条件。只有这样进行保护,我们才无愧于国家、无愧于我们的先辈和子孙后代。

#### 四、笔者设想的白鹤梁题刻的壳体保护方案

针对白鹤梁题刻双层钢筋砼壳体方案中可能存在的问题,笔者提出如下设想。

1. 地基上抬的问题 关键在于控制建筑物建成后渗流的方向。应将渗流方向改变成自上而下,而非目前状况下的自下而上。因为渗流方向自下而上,必然会产生向上的渗压或上举力。反之,若渗流是自上而下时,必然会产生向下的挤压力,岩层就不会上抬。要达到此目的,就必须在壳体建筑物的基岩下部,布设一道小平排小廊道系统来收集渗水,使题刻底下的渗流方向改成自上而下,上抬问题即可解决。同时,为了保证防渗帷幕的有效性,在页岩中不宜采用常规的水径灌浆帷幕,而应采用砼防渗墙。

2. 整体向江心滑动的问题 首先,要对现有的深槽和深度超过 13m 的 5 处深坑,进行清基并回填砼,来防止冲坑或冲槽的进一步扩大。其次,可采用加大或加密钢筋砼桩基以及采用锚杆等办法,来增强地基的抗滑能力,从而防止滑动的产生。

3. 壳体厚度不足的问题 可考虑采用高标号的抗渗砼,如抗渗标号  $S_{10}$  或  $S_{12}$ ,其允许承力坡降分别可达 30~50 或 50 以上。

4. 碍航问题 由于白鹤梁位于长江的大弯道,河道中的环流是一个客观的存在,人力是无法改变这一现状的,但我们仍可采用一些现代化的防撞工程或措施,或采用先进的预警系统,来尽量减少此类不幸事故的发生。

5. 遵守“可逆性”原则 必须尽量减少基岩的开挖尺寸,不破坏任何现有的题刻,一旦要求恢复原状时,可用人工摹拟(Imitation)办法,使基岩恢复原状。

以上设想,目的仅仅是为了抛砖引玉,希望热心此保护项目的有识之士予以关注,共同探索,以求尽速达成共识,供决策部门采纳和实施。

(责任编辑 蔡德诚)