

白鹤梁题刻保护工程水下照明系统设计与实践

陈华蕾¹, 尹振强²

(1. 中国三峡博物馆, 重庆 400015; 2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

摘要:白鹤梁题刻原址水下保护工程采用“无压力容器”原理兴建。针对白鹤梁题刻的特点,在满足人们对题刻最佳观赏视觉的前提下,经多方案比选,最终选择 LED 光芯灯的照明方案。LED 光芯灯使用低压电源,在水中安全系数高。采用 3 W 的 LED 芯片,20 颗安装到一个灯具中,置于题刻表面上方 2~3 m 处,灯具外观的前端为半球型透明罩,后端为不锈钢后盖,后盖上设有可水下插拔的水密插座,便于灯具的更换。工程于 2002 年 2 月开工兴建,2010 年 4 月完工运行至今,实现了人们常年在水下观赏题刻的梦想,为水下文化遗产的原址保护提供了成功的工程范例。

关键词:白鹤梁题刻; 文物保护; 水下照明; 三峡库区

中图法分类号: P754 **文献标志码:** A

白鹤梁位于重庆涪陵城北长江江心之中,因早年白鹤群集梁上而得名。它是一块长约 1 600 m,宽约 10~16 m 的天然巨型石梁,东西向延伸,与长江平行,背脊平均标高约为 138 m,天然状态下它长年淹没在江水中,仅在每年的冬末春初长江枯水季节才会露出水面。白鹤梁题刻记载了自唐代广德元年(公元 763 年)至今 1 200 余年间 72 个枯水年份的水位资料,堪称保存完好的世界“第一个古代枯水水文站”和世界罕见的“水下碑林”。1974 年在巴黎召开的国际水文工作会议上,中国代表团以《涪陵石鱼题刻》为题,向大会提交报告,白鹤梁的科学价值得到世界公认。1988 年,国务院公布白鹤梁题刻为全国重点文物保护单位。

1 工程概况

三峡水利枢纽建成后,库区正常水位将提高到 175 m,白鹤梁题刻将永远淹没在长江水下。这一珍贵文化遗产的保护被提为三峡工程库区文物保护的重要课题,经大量研究论证,决定采用“无压力容器”原理兴建白鹤梁题刻原址水下保护工程。采用循环水技术可保持水下保护体内外水压平衡,保证了结构安全和水

质清澈透明,维护了白鹤梁与长江水环境之间的相互关系;采用深水照明和摄像技术,攻克了水下照明和摄像方面的技术难题;应用特殊的潜艇耐压金属结构和特种玻璃技术,使文物、水利、建筑、市政、航道、潜艇、特种设备等多专业、多学科的技术融于一体。

工程由水下保护体、交通及参观廊道、地面陈列馆 3 部分组成,总建筑面积 8 433 m²。2002 年 2 月,白鹤梁题刻保护工程开工建设,2009 年 5 月建成,经过一段时间的设备调试,于 2010 年 4 月完工开馆。

白鹤梁题刻原址水下保护工程的实施,成功解决了深水文化遗产的原址保护问题,建立了世界上第一座遗址类水下博物馆,实现了可供人们常年在水下观赏白鹤梁题刻的梦想,为水下文化遗产的原址保护提供了成功的工程范例。

2 水下照明系统设计

白鹤梁题刻原址水下保护体呈椭圆形平面布置,钢筋混凝土拱壳结构,内长 64 m,宽 16 m,高 6.9 m;题刻位于 40 m 深水之下。针对白鹤梁题刻的特点,在满足人们对白鹤梁题刻观赏最佳视觉的前提下,找到影响可视度的主要因素,比选出理想的题刻水下照明

方案。

2.1 水下照明光源选择

自从第一只灯泡问世以来,人类社会开始使用电能照明。随着科学技术的进步,对照明提出了更高要求,照明方式和设备也逐渐完善,电力设备的种类、品质的提高,为照明系统的多样化创造了条件。为满足白鹤梁题刻水下照明需要,选择 LED 光芯照明设备成为首选,它采用独特的恒压稳流和水密技术,具有可靠的耐压防水功能。

2.2 LED 光芯照明方案

LED 光芯灯是本世纪初出现的大功率照明设备,是自从爱迪生发明灯泡以来,照明史上最具革命性的突破进展。主要特点是:比其他光源的寿命长——超过 10 a;维护费用低;能源效率更好——节能;鲜艳饱和的色彩——没有滤光镜;具有方向性光源可增加系统效率;坚固的半导体照明;动态的色彩控制——可调整白点;明暗可完全控制——颜色不会变动;光源中没有水银;光束没有热或紫外线;具有很强的冷启动能力(可低至 -40°C);仅需较低的操作直流电压。

LED 光芯灯使用的电源为低压,在水中安全系数高,能满足白鹤梁题刻保护工程水下照明使用要求。

2.3 水下照明照度

大功率 LED 光芯照明是将 LED 光芯灯模组组合灯具安装固定在题刻上方,其分布间距与安装位置要充分满足题刻对均匀布光的要求,并兼有附光配置作用。LED 光芯灯的光源经水中传导投射到题刻表面,题刻上的照度决定于光源的强度、水的吸收性能、水中多种颗粒的散射性能、点光源对区域照射的扩展性能、多光源照射的叠加性能等。

(1) 光源处置。LED 光芯照明为深度配光(集中向下照射),在 $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 俯角范围内光照最强,在 $50^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 时光照将减弱。光源到题刻表面的安装高度受保护体空间限制,设定高度为 3 m,光源直径相对于此照明距离来说仅为 $1/200 \sim 1/300$,为点光源。

灯具布置方式通常分为均匀布置和选择布置两种。本工程以均匀布置为主,少量重点部位为选择布置的方式。均匀布置分布为正方形顶点布置和棋式布置,如图 1 所示。

由于 LED 光芯照明的 $VAB = 75^{\circ}$,单个灯头照明如图 2 所示。

当几个灯头同时照明时,其照度叠加,每 4 点组成正方形的照度,最小是单个灯头照度的两倍,且中间最强。LED 灯具照明叠加情况如图 3 所示。

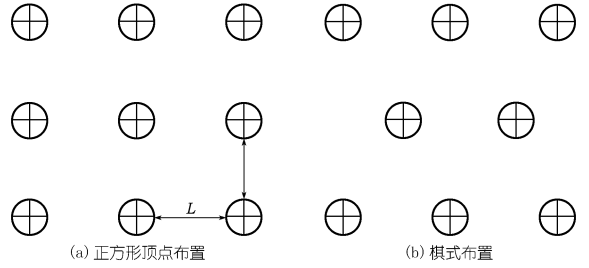


图 1 水下照明灯具布置

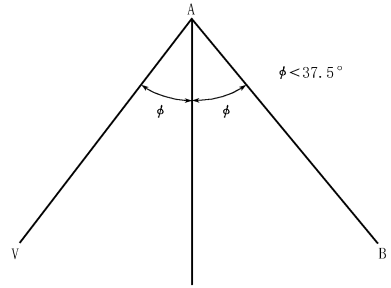


图 2 单个 LED 照明示意

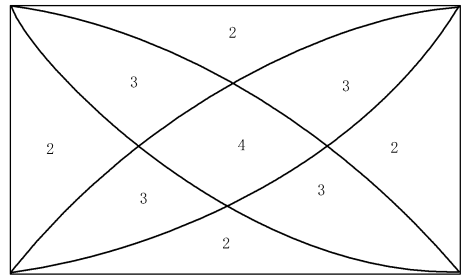


图 3 LED 灯具照明叠加情况

(2) 光在水溶液中传播损耗。光在水溶液中传播受到吸收与散射两方面的损耗。

光的吸收。光以光波的形式传送,光波在水溶液中传播,使水分子作受迫振动,光的部分能量供给水分子振动,振动的能量可转变成分子运动的平均功能,则分子热运动能量增加,水溶液发热,光能量转变为热能,光能消失,即导致光的吸收。

光的散射。光的波长为 $300 \sim 800 \text{ nm}$,即为 10^{-4} mm 级,当水中含有悬浮物及微粒,其直径大于波长数量级时,即产生对光的反射作用,大量杂乱无序的悬浮微粒对光的随机反射,均形成对光的散射效果,使光不能到达题刻表面,光强减弱,照度受损。

为保证本系统光源对题刻表面的照度,除了克服前述水的吸收效应外,所提供保质水的纯度应达到一定要求,满足散射系数不超过 $5 \times 10^{-3} / \text{cm}$ 。

综合光的吸收和散射效应,其照度与距离的平方成反比。

3 水下照明系统的实施

3.1 LED 芯片与灯具结构

LED 芯片每颗为 3 W, 发光效率为 75 Lm/W, 光通量达到 120 ~ 160 Lm。考虑到 LED 恒流驱动集成电路技术已成熟, 在转换效率的可靠性方面可以保障。

采用 3 W 的 LED 芯片, 20 颗安装到一个灯具中, 灯具外观的前端为半球型的透明灯罩, 后端为不锈钢后盖, 后盖上设有可水下插拔的水密插座, 便于灯具的更换。球罩和后盖构成了灯具的密封壳体, 这样的结构重量轻, 耐压强, 防腐性能好。内部是散热基板和灯板, 灯板上均匀布置了 20 颗 LED 芯片。灯具上方还装有可调节光线投射角度的 U 形不锈钢支架。

需要说明的是, 发热是固体光源本身的一个特点, LED 也是如此。它本身所散发的热量是否能及时导出, 将成为影响其寿命的致命因素。工程采用的大功率 LED 的散热部分在设计上有了根本性的改变, 它的散热是通过结构中的散热基板来完成的, 这种结构上的变化, 保证了大功率 LED 的可靠性。

3.2 系统组成

水下 LED 光芯灯具通过水密电缆及穿舱连接器至电源及控制箱处。水密电缆分布在保护体内顶端下的不锈钢桥架内, 每盏灯具布置在不锈钢的吊架上(可调整)。LED 光芯灯具与系统的关键连接点采用

水下插拔连接件。穿舱分线连接器的连接模式为 1 进 6 出, 即每盏 LED 光芯灯模组组合灯由 6 个模组组成, 全部共计 108 盏 LED 光芯灯, 共计 18 组, 每盏灯 60 W。全部灯具可承受水压 5 MPa。电缆经水下集线器与电源连接, 保证了电源与灯具可靠连接和正常供电。

3.3 施工

主要分为干地与水下施工两个阶段进行。

(1) 干地施工。将保护体内的水抽排至与外江水基本平衡, 为施工提供干地条件。主要工作是穿舱连接器、电缆、桥架、灯具吊架的安装和布置。

(2) 水下施工。潜水员在保护体内进行水中施工, 主要工作是电缆敷设、灯具安装和插拔连接(可水下插拔 500 次)。全部 108 盏 LED 光芯灯均匀布置于题刻表面上方 2 ~ 3 m 处。每盏灯具具有自我保护和提示功能, 从而实现了智能控制管理。

4 结语

白鹤梁题刻水下照明工程是国内较早成功应用大功率 LED 光芯灯照明技术的工程, 也是国内唯一的大型深水照明工程。LED 光芯灯照明对文物没有伤害、安全可靠、节能、寿命长、耐压、亮度高、显色性好, 水中保护方便, 操作简单。

经过几年的试运行, 证明达到了设计要求。

(编辑: 徐诗银)

Design and practice of underwater lighting system in protection works of White Crane Ridge Inscription

CHEN Hualei¹, YIN Zhenqiang²

(1. China Yangtze River Three Gorges Museum, Chongqing 400015, China; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The concept of "non pressure vessel" was adopted to construct the underwater protection works of White Crane Ridge Inscription. Aiming at the characteristics of the underwater inscription and for obtaining a perfect viewing effect, the LED lamps were adopted as the lighting solution, which uses low voltage power thus possessing high safety coefficient in water. A lantern, arranged 2 ~ 3m above the inscription, is consisted of 20 LED chips of 3W. The lantern is equipped with hemispheric transparent hood in the front and a stainless steel back cover, on which, a water-sealed socket is designed for convenient lamp maintenance. The construction of lighting system started in February 2002 and was completed in 2010, its operation has fulfilled the dream of watching the inscription underwater, providing a successful case for underwater cultural relics protection in the world.

Key words: White Crane Ridge Inscription; cultural relics protection; underwater lighting; Three Gorges Reservoir area

更正:本刊 2014 年第 10 期,“南水北调中线禹州-长葛段施工投资计划与管理”、“真空压浆技术在跨渠桥梁施工中的应用”、“预应力混凝土箱梁锚垫板施工质量控制”三篇文章中作者陈奇的工作单位应为南水北调中线干线工程建设管理局河南直管建管局。“灌缝机在渠道衬砌面板嵌缝施工中的应用”一文中作者张海霞的工作单位应为葛洲坝集团第五工程有限公司。特此更正。