

乐山大佛风化剥蚀及渗水病害防治对策

周骏一

(四川旅游发展研究中心, 乐山师范学院, 四川 乐山 614004)

摘要: 世界遗产乐山大佛位于四川盆地西南部丘陵区, 由白垩系夹关组 (K_{1j}) 紫红色砂岩雕刻而成, 但砂岩风化强烈, 给大佛的保护带来极大的困难。长期以来, 乐山大佛的保护受到国内外多方关注, 众多专家学者进行了潜心研究, 相关部门也采取了许多保护措施。但乐山大佛的保护目前仍面临两个主要问题, 一是大佛遭受日晒雨淋、风化剥蚀, 二是佛身受到渗水病害威胁。要保护好乐山大佛, 就必须彻底解决上述两个问题。通过对乐山大佛风化剥蚀及渗水病害机理的探讨, 有针对性地提出了相应解决办法和治理措施。

关键词: 乐山大佛; 风化剥蚀; 渗水病害; 防治对策

中图分类号: P512.1

文献标识码: A

世界遗产乐山大佛位于四川盆地西南的丘陵区, 由紫红色砂岩雕刻而成。作为中国西部唯一的自然与文化双遗产, 乐山市和四川省的重要的旅游景区之一, 如何合理开发利用和保护好这一民族的瑰宝、全人类的共同遗产, 是我们当代人的历史责任, 也是政府相关部门的职责所在。

从古至今, 乐山人民对大佛极其关心和爱护, 上世纪分别于 1914 年、1929~1934 年、1962~1963 年、1972~1975 年、1996 年, 进行了 5 次较大规模的维修; 进入 21 世纪以来, 在 2001 年、2003~2004 年, 2 次对大佛及其周边环境进行了一系列维修保养, 对大佛的保护起到了重要作用。但是乐山大佛面临的主要危险并未消除, 日晒雨淋、风化剥蚀, 大气污染、酸雨侵蚀、佛身渗水、生物病害等对大佛的威胁仍然存在。乐山大佛面部、胸部的整容式维护, 已由原来平均每 10~20 a 1 次, 缩短到了每 5~7 a 1 次。而这种整容式维护, 并不能从根本上解决上述乐山大佛面临的主要威胁。

根据 2006 年中科院成都山地所利用地质雷达

进行无损检测的结果: 大佛腹部和胸部区域, 表面风化层厚度已经有 2.6~3.6 m^[1]。可见大佛躯体遭受风化程度之强烈, 远超出人们通常的想象。地表水、地下水目前仍然在经乐山大佛佛身渗流。大佛躯体未风化岩层所剩厚度已不多, 我们不能等到大佛躯体岩石全部都成了风化岩层, 甚至成粉粒状掉落时再进行保护, 那时为时已晚。如何有效地保护好乐山大佛, 解决大佛日晒雨淋和佛身渗水这两个关键的问题, 已显得十分迫切和紧要。¹⁾

1 风化剥蚀的主要原因

1.1 物理风化

乐山大佛位于大渡河、岷江、青衣江三江交汇处的凌云山。凌云山总走向为 N35°W, 山脊呈“之”字形, 中部略高, 东西两侧稍低, 海拔约 470 m, 属红层丘陵区“丹霞地貌”景观。大佛雕凿于凌云山主峰西侧临江面的陡崖处, 地势较山顶低十多米, 夏季暴雨时有来自后山的地表径流排向岷江, 大佛景区内

收稿日期 (Received date): 2009-02-06; 改回日期 (Accepted): 2009-03-06.

基金项目 (Foundation item): 乐山市软科学计划项目 (乐山市科技局资助, 项目编号 09RK006)。[Leshan Soft Sciences Plan Project (Leshan Science and Technology Bureau, No. 09JK 006).]

作者简介 (Biography): 周骏一 (1954-), 男, 四川人, 副教授, 主要从事旅游资源开发与保护等方面研究。[Zhou Junyi (1954-), male, born in Sichuan, associate professor, is mainly engaged in aspects and so on tourist resources development and protection studies.] E-mail: zhouyun0254@126.com, zhouyun0254@sina.com. Tel: 0833-2980771, 0833-2605661.

1) 周骏一. 关于进一步做好乐山大佛保护工作的提案. 乐山师院民盟支部, 2008.01.1~3.

发育断面呈“V”型的树枝状冲沟,表明地表径流冲刷作用较强。

大佛建成于公元 803 年,同时完工的还有为大佛遮风挡雨的 13 层楼阁式建筑物——大像阁,对大佛的保护起到至关重要的作用,后因战火被毁。历史上,乐山大佛有楼阁覆盖保护的时间约为 450 a,处于露天状态的时间约为 750 a^[2]。由于长时间佛体处于露天环境,受日晒雨淋,大佛砂岩受季节和昼夜温差变化影响,导致热胀冷缩等物理风化作用加剧,佛身砂岩已风化蚀损严重^[3,4]。笔者实地调研发现,与相距仅 115 km,地理环境差异不大,同属

“红层砂岩”摩崖石刻,但有挡雨建筑物的四川荣县大佛相比(荣县大佛修成于公元 1092 年,只比乐山大佛晚建成 289 a),裸露的乐山大佛,其风化剥蚀程度要强烈得多(图 1)。荣县大佛整个佛体均未暴露于露天环境,至今大佛脸部还残存有历史上维修的彩绘,表明其受风化剥蚀厚度不大,且荣县大佛与其两侧没有挡雨建筑的石刻小佛像相比较,小佛像风化剥蚀程度也明显强烈得多(图 2)。可见露天环境下,热胀冷缩、雨水淋滤等物理风化作用是导致乐山大佛毁损的重要原因之一。



图 1 四川荣县大佛及其脸部残存的彩绘

Fig. 1 Sichuan Rongxiang County Big Buddha and survival painting on its face

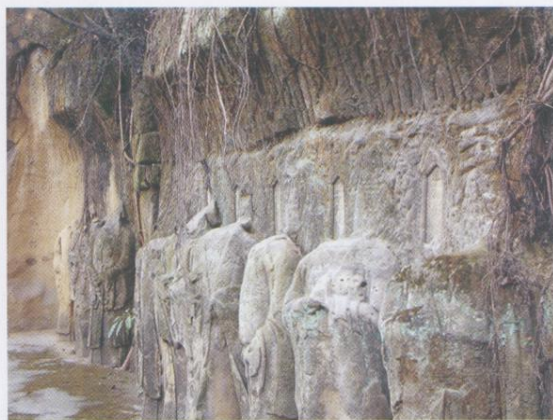


图 2 荣县大佛两侧小佛像风化剥蚀程度强烈

Fig. 2 Small buddha statues on both sides of the Rongxiang County Buddha strong degree of weathering erosion

1.2 化学风化

1.2.1 岩性特征导致容易风化

雕凿大佛的岩石为白垩系下统夹关组(K_{1j})紫红色砂岩,属于四川盆地红层基岩,为一套陆相沉积

的碎屑岩。作者多年研究发现,四川红层基岩有一个共同特点,就是胶结物中碳酸钙含量相对较高。四川的红层砂砾岩,从矿物成分看,主要是硅酸盐类矿物,按理说应有很好的抗蚀性。但这些硅酸盐

类矿物主要存在于砂粒或砾石中, 在连接砂粒或砾石之间的胶结物中, 硅酸盐类矿物含量很低, 铁质、碳酸盐类矿物含量反而比一般砂砾岩高。铁质、碳酸盐类矿物不耐酸, 大气中的 CO_2 气体融入水中形成碳酸, 以雨水、地表水或地下水形式流经大佛躯体时, 对大佛砂岩胶结物产生强烈的溶蚀破坏, 所以无论是大佛砂岩, 还是四川其他红层石质遗产, 它们的抗水蚀性相对较差^[5, 6]。由于大气中始终存在 CO_2 气体, 所以碳酸型水对裸露于露天环境下的大佛基岩的破坏是始终存在的。

1.2.2 酸雨对砂岩淋滤溶蚀破坏作用强烈

由于大佛基岩胶结物中铁质、碳酸钙含量相对较高, 所以雕凿乐山大佛的岩石极易受到酸雨淋滤溶蚀的破坏。

四川是我国大气污染和酸雨危害较严重的省份之一, 乐山位于四川盆地中心偏南位置, 乐山大气污染和酸雨危害以工业污染、生活污染、交通污染为主, 由于处于成都—德阳—绵阳经济发达区的下游、下风口, 亦有部分由高空气流带来的“外源”污染。乐山市降水酸度一年中最大值出现的季节是冬季、春季, 最小是夏季、秋季, 其酸雨特征及其变化规律与四川省总体酸雨特征和变化规律基本一致。^[6, 7]

乐山工业及生活燃煤含硫量高, 位于乐山大佛上风方向的部分厂矿烟囱至今尚未安装脱硫除尘装置, 加上近些年汽车数量大增, 导致汽车尾气排放的氮氧化物增多, 乐山大佛基岩受到大气污染形成的碳酸、硫酸、硝酸等酸性雨水破坏的危害是很大的。

1.3 生物风化

乐山市中区年均降雨量达 1 300 mm 左右, 年均气温 16.4~17.5℃, 空气相对湿度 81.00% 左右, 气候温暖湿润, 使大佛岩石常年处于较湿润状态, 为苔藓、真菌和植物的生长提供了有利条件, 佛身裸露基岩表层常着生一些小草、苔藓类植物, 加速了大佛裸露基岩的破坏。其破坏机理, 一是植物根系生长的“根劈”作用对基岩的物理破坏; 二是植物根系的生长不断吸收由分解岩石矿物成分而来的养分, 这是一种对基岩的生物化学破坏作用; 三是植物根系分泌的有机酸对岩石矿物的分解破坏作用; 四是植物的呼吸作用产生大量的 CO_2 气体, 使得植被与裸露基岩表层之间的土壤中, CO_2 含量高出大气 CO_2 正常含量数十乃至数百倍^[8], 加之佛身常年处于湿润状态, 使 CO_2 气体能大量溶入水中, 导致这些部位岩石的酸性分解作用十分强烈。所以对大佛的保

护, 注意随时清除佛身裸露基岩表层着生的小草、苔藓类植物, 显得尤为重要。

2 渗水病害的主要机理

2.1 渗水病害主要由化学溶蚀作用造成

渗水水流对佛身造成的破坏一是物理冲刷, 二是化学溶蚀。由于渗水流量小, 水流速度缓慢, 物理冲刷破坏作用小, 佛身渗水病害主要由化学溶蚀作用造成。由于大佛砂岩胶结物中含有碳酸钙, 地表及地下水中溶解有 CO_2 气体, 因而渗水能溶蚀大佛砂岩胶结物, 导致岩石出现溶孔、溶缝、溶槽, 甚至分解为粉粒。其作用机理类似于碳酸盐岩分布区的“喀斯特”作用。在溶蚀大佛岩石的过程中, 地下水中溶解的 CO_2 气体也不断消耗殆尽, 溶蚀破坏作用强度也不断减弱甚或停止。但流动的地下水, 由于不断有含新鲜 CO_2 气体的地下水流补给, 其溶蚀破坏作用强度不会降低, 反而会随着溶孔、溶缝、溶槽的增大, 得到更多新的 CO_2 气体补给, 破坏作用强度增大。佛身渗水, 是因为流动的地下水对大佛的溶蚀破坏作用很大。以往采取的消除大佛身体内积水, 在佛身上引排渗水的方法, 不能从根本上解决佛身渗水病害问题, 彻底解决的方法应该是不让有水体通过佛身渗流。

2.2 渗水来源、类型及危害

乐山大佛景区属地表及地下水的排泄区, 佛身渗水的来源是大气降水。大气降水通过基岩裂隙渗入岩层转化为地下水, 并通过佛身渗流, 对大佛岩石造成危害。

组成乐山大佛躯体的红色砂岩, 为中厚层—巨厚层砂岩夹薄层泥岩、页岩互层, 岩层走向为北东—南西向, 倾向北西, 倾角 5°左右, 产状极为平缓。其中砂岩属于含水层, 间夹的薄层泥、页岩为局部隔水层。

乐山大佛景区的地下水类型主要是基岩裂隙水。进一步可划分为表层风化带基岩裂隙潜水、层间裂隙水和构造裂隙水三类。区域上, 乐山大佛景区的地下水径流方向是由北东流向南西。上述三类地下水中的后两类均具有一定承压性。

2.2.1 风化带裂隙潜水

大佛基岩的表层风化裂隙主要分布在砂岩的裸露面上。乐山一带红层基岩风化裂隙带厚度一般有数十厘米至数米, 个别地方可达数十米。裂隙常呈

网纹状分布,相互联通性较好,因而大佛基岩表层风化裂隙潜水近于呈面状分布,受大气降水补给,经短程径流后就近排向当地河流溪谷。大佛景区紧邻的岷江河谷、麻浩崖等周围溪谷均为风化裂隙潜水的排泄地。其水量及地下水动态特征明显受当地气象、气候条件的影响。一次降雨后,大佛佛身渗水量的明显增加,表明风化裂隙潜水对大佛基岩的影响不容忽视。该类渗水由于与地表、大气沟通,能不断得到含新鲜 CO_2 气体的水流补给,渗水的化学溶蚀破坏作用很强,对大佛基岩的危害也很大。

2.2.2 层间裂隙水

大佛基岩的层间裂隙主要分布在薄层泥岩、页岩与中厚层-巨厚层砂岩之间的层面处。由于薄层泥岩、页岩具有隔水作用,使上覆砂岩中地下水难于下渗,只能沿层面顺层流动,故可称其为顺层裂隙水。大佛基岩层间裂隙水的渗出部位也往往是砂岩和泥岩、页岩的分界处。由于大佛躯体不同高度上分布有薄层泥岩、页岩,导致了躯体不同高度上都有顺层裂隙水渗出。

层间裂隙水沿岩层倾向方向由南东流向北西,部分经由大佛躯体渗出,排向岷江河谷。笔者实地调查发现,该层间裂隙水补给来源有二:一是位于大佛景区的东南面,原乐山岷江氮肥厂一带,侏罗纪(J)与白垩纪(K)地层分界处,即白垩系岩层沿倾向方向的上游露头区,属于近源补给;另一补给源则属于远源补给,来自沿岩层走向方向的地下水上游方向,即北东方向(岷江上游方向的砂岩露头区)。该类佛身渗水量及动态特征受当地气象、气候条件的影响较风化带裂隙潜水小。其中,近源补给的层间裂隙水因流程短,水中所含新鲜 CO_2 气体相对远源补给的层间裂隙水为多,其化学溶蚀破坏作用也相对较强,对大佛基岩的危害也比远源补给的层间裂隙水为大。

2.3.3 构造裂隙水

大佛基岩的构造裂隙主要分布在砂岩内部。由于大佛基岩受地质构造作用影响不强,岩层产状平缓,断裂不发育,因而基岩内部的构造裂隙较少,但并非没有。赋存在构造裂隙中的地下水即为构造裂隙水。大佛基岩构造裂隙水一般呈脉状分布,具有一定承压性,其补给主要源自前述沿岩层走向的北东方向,属远源补给,水量稳定,动态特征受当地气象、气候条件的影响不明显。由于构造裂隙单体规模较大,常切穿含水层和局部隔水层,沟通不同层位

的层间裂隙水,并有可能与表层风化裂隙水通联,造成大佛体内“积水”或自大佛体内向外渗水现象,其水量较大,对大佛基岩的危害不容忽视。

3 病害防治对策

3.1 防治风化剥蚀方案

恢复重建大佛头顶原有的古建筑,是彻底解决大佛遭受日晒雨淋、风化剥蚀和酸雨侵蚀的最好方案。即使没有酸雨侵蚀,大佛遭受日晒雨淋,风化剥蚀依然存在。考虑到即使解决了近源污染、远源污染在短期内也难以有效解决,乐山市工业也需要大力发展,而工业的发展或多或少会带来一些污染,所以根本的解决措施,就是尽快恢复修建大佛头顶原有的古建筑“大像阁”。既能有效地为大佛遮风挡雨,防止日晒雨淋,减少风化剥蚀及酸雨侵蚀,又能恢复大佛旧貌,增加新的景观看点,吸引更多回头客,进一步发展旅游;同时也符合世界遗产保护公约修旧如旧、恢复原貌的原则规定。在技术力量上,我国已成功地对北京故宫、西藏布达拉宫等遗产进行了大规模维护修缮,积累了丰富的修复经验,具有一批高水平的古建筑设计人员和施工队伍,完全可以胜任大像阁的复原设计和修复工作。资金问题上,可考虑政府拨款、社会捐赠、宗教筹款,或向世界遗产保护组织申请援助等多种渠道解决。

3.2 根治乐山大佛佛身渗水病害方案

据了解,在2001年3~4月的大佛维修工程中,为防大佛渗水的水蚀危害,采取了“在佛身通过



图3 孔洞多风化严重的乐山大佛

(图片引自 www.eku.cc/tp/xzy/zyfg/362248.htm 5K 2007-09-13)

Fig 3 Leshan Giant Buddha has been seriously weathering
with many holes in the body

(Figure quoted from www.eku.cc/tp/xzy/zyfg/362248.htm 5K
2007-09-13)

铺设五道暗管导流,再经过抹灰层处理”的防渗措施^[9],现在看来效果并不好。笔者认为,大佛身体已有很多孔洞(图 3),表面风化严重,岩层经过长期风化剥蚀,强度很低,在大佛身体上或附近岩体上做任何防渗工程均会使岩体进一步破碎,危及大佛安全。应尽量避免在大佛躯体上或靠佛身很近位置的岩石上施工,解决佛身渗水的方案,再也不能在乐山大佛躯体上或靠佛身很近位置的岩石上,采取堵截、疏排水工程,而应从区域范围内弄清大佛周边地下水分布径流情况,利用大佛所在凌云山体规模小,又与周围山体基本分离,仅“基座”相连特点,在大佛所在凌云山与周围山体间地势低洼处,进行帷幕灌浆堵截或挖沟疏排(明、暗渠均可,或二者结合使用)流向大佛的地下水,同时对大佛所在凌云山采取全面的防大气降水渗透措施。其治理原则应是截断水源,不让有水体通过佛身渗流,而不应该是让水流入大佛体内再设法引流排往体外。因为在水体流经佛身的过程中,对大佛岩石的破坏总是存在的。

4 转变观念与乐山大佛的保护

那种认为“乐山大佛几百年来,已习惯了露天裸露环境”的观念必须要转变。对绝大多数世界遗产及生态环境而言,最大的破坏往往就来自我们人类自身。在大佛景区,要尽早恢复重建大佛头顶原有的古建筑,彻底解决大佛遭受日晒雨淋、风化剥蚀和酸雨侵蚀问题,尽快组织力量对大佛周边区域地下水径流、分布情况作出精确勘查,出台相应防治对策。在大佛所在凌云山与周围山体间地势低洼处,进行帷幕灌浆堵截或挖沟疏排流向大佛的地下水,同时制定对大佛所在凌云山采取全面科学防渗的具体措施。从根本上解决大佛佛身的渗水病害。

要尽早制定科学合理的旅游环境容量,合理规划大佛景区周围的城市建设、工矿建设规模,控制常住人口数量,切实把大佛景区水、气中的 CO_2 、 SO_2 和 NO_x 含量降下来。位于大佛上风、上游方向的工厂烟囱近期应尽早安装“脱硫除尘”装置,远期应搬迁到下游和下风方向去(如五通桥区以下)。大佛景区周边居民、厂矿应尽快搬迁,现阶段应取缔大佛周边 10 t 以下工业及生活用燃料锅炉,居民和厂矿均应改用天然气、液化气、沼气、电等能源。应取消大佛头顶山上的人造景观“苏园”小溪、东方佛都内人造小溪(或采取有效的防渗措施),消除大佛人为

渗水危害。

对乐山高新技术开发区大渡河边的厂房应搬迁或后退 100~200 m,避免河谷风把新的大气污染传输至大佛。调整乐山市工业布局,把污染大的厂矿迁至五通桥区以下的岷江河下游和下风方向去,减少对乐山市区和大佛景区的污染。今后新建工厂,也应考虑放在五通桥区等下游、下风方向上。只有转变观念,采取科学合理的治理措施,才能真正切实保护好乐山大佛。

参考文献 (References)

- [1] Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy. Leshan Giant Buddha radar nondestructive testing report (Selection) [A]. In: Research on Protection and Utilization of World Heritage—Leshan Grand Buddha [C]. Beijing: Central Literature Publishing House, 2007: 26~29 [中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 乐山大佛地质雷达无损检测报告(节选) [A]. 见: 乐山大佛世界遗产地保护与利用研究 [C]. 北京: 中央文献出版社, 2007: 26~29]
- [2] Huo Fangping. A textual research on the discovery of Daxiang pavilion image and repair and damage time of Leshan Giant Buddha [A]. In: Research on Protection and Utilization of World Heritage—Leshan Grand Buddha [C]. Beijing: Central Literature Publishing House, 2007: 169~174 [胡方平. 乐山大佛大像阁图象的发现及其维修毁坏时间考辨 [A]. 见: 乐山大佛世界遗产地保护与利用研究 [C]. 北京: 中央文献出版社, 2007: 169~174]
- [3] Zhou Junyi, Li Xiaojia, Jia Shuyuan. Simulation acid rain to Leshan Giant Buddha bedrock influence and prevention countermeasure [J]. *Geological Disasters and Environmental Protection*, 2005, 16(1): 79~84 [周骏一, 李晓, 贾疏源. 模拟酸雨对乐山大佛基岩影响及其防治对策 [J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(1): 79~84]
- [4] Qin Zhong, Zhang Jie, Pen Xueyi et al. Sichuan Leshan Giant Buddha weathering preliminary study [J]. *Geographical Research*, 2005, (6): 9~16 [秦中, 张捷, 彭学艺, 等. 四川乐山大佛风化的初步探讨 [J]. 地理研究, 2005, (6): 9~16]
- [5] Zhou Junyi. Paying attention to the protection and research on the uncovered bedrock of Leshan great Buddha body of legacy of the world [A]. In: Tourism Development Study (2) [C]. Beijing: Chinese Literature and History Publishing House, 2004: 108~112 [周骏一. 重视对世界遗产乐山大佛佛身裸露基岩的研究和保护 [A]. 见: 旅游发展研究, 第 2 辑 [C]. 北京: 中国文史出版社, 2004: 108~112]
- [6] Zhou Junyi. Sichuan red rock mountainous region lithica/traveling landscape protection research [J]. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(Suppl): 97~100 [周骏一, 四川红层山地石质旅游景观保护研究 [J]. 山地学报, 2008, 26(增刊): 97~100]
- [7] Zhou Junyi, Liu Guo, Ma Xiamen. Acid precipitation characteristics of the Regulation and Control Measures of Leshan area [J]. *Geological Disasters and Environmental Protection*, 2004, 15(3): 31~

- 34[周骏一, 刘国, 马小梅. 乐山地区酸性降水特征、规律及防治对策 [J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(3): 31~ 34]
- [8] Zhu Hejian, He Yigen. Soil Geography [M]. Beijing Higher Education Publishing House, 1992: 48 [朱鹤健, 何宜庚. 土壤地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 48]
- [9] Pen Xueyi, Liu Liping. World heritage Leshan Giant Buddha protection project outline (selection) [A]. In Research on Protection and Utilization of World Heritage - Leshan Grand Buddha [C]. Beijing Central Literature Publishing House, 2007: 42~ 47[彭学艺, 刘利平. 世界遗产乐山大佛保护工程概述 (节选) [A]. 乐山大佛世界遗产地保护与利用研究 [C]. 北京: 中央文献出版社, 2007: 42~ 47]

tion project outline (selection) [A]. In Research on Protection and Utilization of World Heritage - Leshan Grand Buddha [C]. Beijing Central Literature Publishing House, 2007: 42~ 47[彭学艺, 刘利平. 世界遗产乐山大佛保护工程概述 (节选) [A]. 乐山大佛世界遗产地保护与利用研究 [C]. 北京: 中央文献出版社, 2007: 42~ 47]

The Prevention Countermeasures of Leshan Giant Buddha Weathering Erosion and Seepage Harm

ZHOU Junyi

(Sichuan Tourism Development Research Center, Teachers College of Leshan, Leshan 614004 Sichuan, China)

Abstract The world heritage, Leshan Giant Buddha is located in the southwestern hills of Sichuan basin, carved from the purple red sandstone of Cretaceous system Jiaguan group (K₁j). But the sandstone weathering is intense, bringing most difficulty with the protection of the great Buddha. Ever since, Leshan Giant Buddha's protection has called domestic and foreign attention in every field, numerous experts have concentrated on the study, and the related departments have also taken many protective measures. But Leshan Giant Buddha's protection still faces two major problems at present, one is that the big Buddha is still exposed to the sun and rain, the other is that the Buddha body is also suffering from the seepage harm. To protect Leshan Giant Buddha, we must solve thoroughly the two problems. This text is to put forward the corresponding solution and curative measures through the research into preventing and controlling Leshan Giant Buddha's weathering and seepage harm.

Key words Leshan Giant Buddha; weathering erosion; seepage harm; prevention countermeasures