

龙门石窟二莲花洞渗漏水综冶研究

李建厚

龙门石窟研究院, 河南 洛阳 471023

Abstract: The double-lotus cave is an important Longmen grotto carved in the Tang dynasty, which is of exquisite carving art. Due to long-term effect of natural camps, the cave has been suffering from serious geological diseases, such as water leakage, concrete and biological moss. Stone statues in the cave, including the Buddha, disciples, and bodhisattva, have been eroded. Through a series of comprehensive treatments, such as sealing micro-cracks on the surface, drilling grouting structures and repairing holes, water leakage in the cave has been basically fixed for good.

Key words: Longmen grotto, double-lotus cave, water leakage, geological structure, hole drilling and slurry filling

摘要: 二莲花洞是唐代开凿的重要洞窟, 雕刻精美。在自然营力的长期作用下, 洞窟产生了比较严重的地质病害, 如渗漏水、凝浆和生物苔藓等, 洞窟主佛、弟子、菩萨等石刻造像遭受病害侵蚀。通过封堵地表微裂缝、钻孔灌浆构造裂隙和修补窟檐等技术方法的综合治理, 洞窟渗漏水病害基本得到根治, 效果良好。

关键词: 龙门石窟; 二莲花洞; 渗漏水; 地质构造; 钻孔灌浆

龙门石窟二莲花洞承载着我国悠久的佛教历史和劳动人民高超的雕刻技能, 具有极高的研究价值。除了人为破坏以外, 在地质构造长期作用下, 产生了比较严重的渗漏水病害, 并由此演化催生了一系列黏土凝浆、生物苔藓、霉菌、粉化等次生病害。

一 二莲花洞概况

二莲花洞位于龙门石窟东山看经寺北部30米, 开凿于唐代, 洞窟岩石属于薄层泥质石灰岩, 岩性坚硬致密, 地层产状走向北东 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$, 倾向南西, 倾角 $24^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。分南洞(编号2211)和北洞(编号2214), 这是一组经过统一

精心布局规划开凿的双窟, 洞窟形制基本相同, 洞窟轴线方向南西 84° , 穹隆形窟顶, 正中雕刻一朵大莲花。(图一)

(一) 南洞(编号2211)

窟内平面近于马蹄形, 东、南、北三壁下部凿出一个倒“凹”形基坛, 坛高0.62米, 坛上开凿一佛、二弟子、二菩萨、二天王、二力士(天王残失)。南北基坛下部分别开凿有四尊乐伎、舞伎雕像。此洞有两个题记, 一处在南壁弟子与菩萨之间有一后期补刻的凸面立佛像, 其头部右侧有题记“河南府兵曹参军王良辅敬造释迦牟尼像一躯”。在北壁弟子与菩萨之间同样有一后期补刻的凸面立佛像, 头部左侧有题记“河南府兵曹参军王良辅妻韦敬造药师像一躯”。

（二）北洞（编号2214）

洞窟高4.3米，宽4.95米，深5米，三壁设坛，坛高53厘米，开凿一佛、二弟子、二菩萨、二天王、二力士。窟内造像多被盗毁，仅南壁弟子和天王造像保存较好。（图三）北洞窟门外北壁下部有后补小龕和题记“先天二年七月十五日张庭之为父母造一躯”，“先天二年”即713年唐玄宗时期^[2]。

二 主要病害

（一）渗漏水

渗漏水是洞窟主要病害。南洞和北洞的正壁、南壁、顶部以及北壁的前部均存在渗漏水病害，其中南洞正壁和南壁最为严重（图二），形成一条通长约6.5米的弧形渗水带。南壁有6处渗水点，2处位于中部，另4处位于上部，菩萨头顶至弟子肩颈部是一条主要的渗水裂隙。正壁的渗水主要是洞顶的分散式漫流，在正壁主佛肩部最为突出明显，形成一条灰绿色凝浆覆盖区，长1.4~1.6米，宽约0.02米。现以南洞2015年9月25日一天的观察记录为例说明渗漏水状况。当日气温11°~17°，连续4日小雨，上午9时30分，洞窟南壁和顶部近前沿地段渗漏水呈串珠状滴落，最大滴水速度180~183滴/分。上午2小时烧杯接水量434毫升，地面积水最大深度0.06米。洞顶前沿是山坡地表雨水集中排放地段，尽管数年前做过防渗层，但是防渗层与岩石风化层之间仍然发育了众多细小缝隙，雨水冲刷缓渗，缝隙逐渐增大。正壁渗水较缓慢，但持续时间长，一般雨后持续缓渗50天左右，这说明了洞窟渗漏水成因的复杂性。

（二）凝浆

渗漏水催生凝浆、苔藓等次生病害。在南洞和北洞渗漏水位置下方，均存在大面积凝浆覆盖沉积。主要位于正壁下半部、南壁全部、顶部正中位置。呈面状不均匀分布，一般厚度0.005~0.02米，最厚达0.05米，颜色以乳白色、泥灰色和黄褐色为主，质地坚硬，每个洞窟凝浆面积计

约12平方米。（图三）从凝浆颜色特征可以判断，乳白色凝浆是岩体内部构造节理导水作用长期缓渗溶蚀的碳酸盐（主要是碳酸钙和碳酸镁）再次沉积形成，来源较远，属远程水长期缓慢作用结果。泥灰色和黄褐色凝浆是地表强风化带黏土杂质沉积形成，来源较近，成分复杂，属近程水短期快速沉积结果。因此，洞窟凝浆的颜色和成分，为下一步治理渗漏水指明了方向、范围和深度^[3]。

（三）苔藓

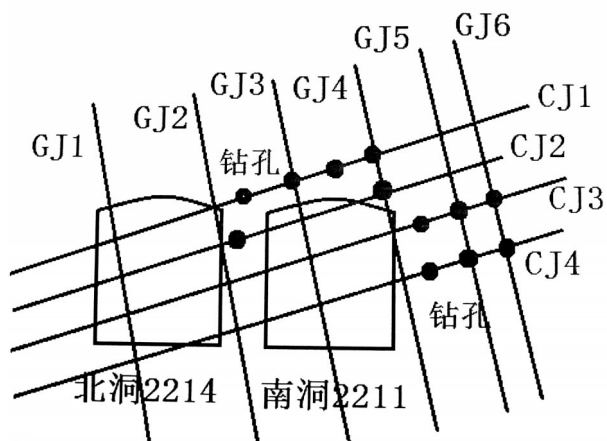
随着洞窟缓慢持续渗漏水，在凝浆表面滋生大面积生物苔藓，颜色从上至下依次为淡绿色、墨绿色和浅灰色等，形态以“根须状”或“瀑布状”为主，面积0.3×0.6~1.2×2.3平方米。淡绿色苔藓的长期滋生，说明洞窟周边岩体构造节理比较发育，导致洞窟渗漏水病害持续发生。

（四）窟檐危石脱落

洞窟门口上部岩石由于长期风化作用脱落坍塌，窟檐损毁，形成冲沟，雨水倒灌回流洞窟，侵蚀洞窟顶部雕刻艺术品。

三 地质构造主导渗漏水成因

据野外地质调查，二莲花洞周围岩质硬性脆易开裂，洞窟处于强风化带中，洞窟顶部岩层厚度1~1.4米，构造节理、层面节理和风化微裂缝等地质构造相互切割交叉发育，在洞窟附近构成上下纵横分布的渗水裂隙网络。宏观上主要发育了两组不同产状的构造节理和一组层面节理。（图四）洞窟周边地表岩石沿着构造节理和层面节理分离或碎裂，形成十分明显的下陷式或“V”字形冲刷陡坎，层次错落，成为地表径流水惯性下泻入渗通道。从南洞（编号2211）和北洞（编号2214）内部渗水点形成的大量泥黄色钟乳状岩溶凝浆和墨绿色生物苔藓状况观察分析，二莲花洞的渗漏水特征严格受地质构造节理和层面节理主导控制。地质构造控制着该区段岩体内部和地表水体的迁移方向、入渗线路和入渗量，构造节理是导致洞窟雨天短期急渗、晴天长期缓渗



图一 洞窟地质构造剖面示意图

的主要成因。

(一) 近东西向构造节理

该组构造节理发育有6条，以图一为例，分别是GJ1、GJ2、GJ3、GJ4、GJ5、GJ6。其中以GJ1、GJ2、GJ3、GJ4节理规模较大，延伸10~26米，产状走向北东45°，倾向南西，倾角68°，宽度0.06~0.08米，纵向切割洞窟，引导山体内部水份溢出。

(二) 近南北向构造节理

该组构造节理发育有3条，以图一为例，分别是GJ7、GJ8、GJ9。其中以GJ7规模较大，延伸约60米，宽度0.07~0.12米，产状走向南北17°，倾向南西，倾角83°，横向切割洞窟中部，导致洞窟顶部雨天大量渗漏水。因构造产状垂直横向切割洞窟中后部，与洞窟横剖面重叠，在图一中无法显示。

(三) 层面节理

该组节理沿着地层产状发育4条，以图一为例，分别是CJ1、CJ2、CJ3、CJ4。其中以CJ1、CJ2、CJ3规模较大，延伸16~30米，节理宽度0.03~0.06米，产状走向北西35°，倾向南西，倾角32°，斜向切割洞窟顶部和南部，主导洞窟南壁渗漏水。

四 综合治理方法

二莲花洞开凿在地质构造非常发育的石灰岩强风化带中，石刻艺术品病害比较严重，亟待综

治。基本综治思路是通过采取清理杂土、粘结碎石、锚固危岩、封护地表风化岩缝和钻孔压力灌浆等技术措施，以期达到阻止、改变或引导水体渗流方向^[4]。具体治理方法是：1.清理洞顶碎石杂土，使用环氧树脂胶泥混合石灰岩碎屑岩块、浅孔灌浆加固洞窟顶部和南部出露的地质构造及其“V”字型风化微裂隙，封堵地表水惯性入渗途径，尽可能减少地表水在洞顶附近的滞留时间；2.根据地质构造发育产状，从洞窟渗水点测算其在地表的出露位置，沿着构造产状倾斜方向布置12个斜向钻孔和12水平钻孔，使用环氧树脂高压灌浆（图二），填充封堵构造节理，切断水体入渗通道，在洞窟周边4~6米范围内，形成立体扇形隔离带；3.锚杆加固危岩，修复洞窟顶部坍塌的岩石，修补窟檐。

五 综治工艺

二莲花洞窟渗漏病害一直处于渐进式发展演化状态中，这是一项需要长期着力研究的科研难题。综治工艺必须从源头着手，从根本上解决导致洞窟病害的症结难题。首先，清理二莲花洞窟地表杂草碎石，剔除已经失效的水泥覆盖层，使用环氧胶泥封护地表裂缝和微裂缝（图三），并预留灌浆孔，使用1~2兆帕小型压力机浅孔灌浆环氧树脂，加固地表岩石风化层，形成地表浅层隔离带，延缓岩石劣化趋势，降低地表水入渗流量。其次，在二莲花洞南洞和北洞门口的右上侧，沿着层面节理走向，布置双排水平钻孔（图二），南洞和北洞各布置6个钻孔，钻杆直径38毫米，钻孔深度8~12米（洞窟深度的2~3倍），分别打穿近南北向发育的GJ7、GJ8和GJ9构造节理，作为下一步灌浆施工的排气通道，确保高压灌浆质量。第三，在二莲花洞南洞和北洞顶部沿着GJ1、GJ2、GJ3、GJ4、GJ5、GJ6近东西向构造节理的倾斜方向，平行排列布置双排斜向钻孔12个，钻杆直径38毫米，倾角30°~45°，钻孔深度8~10米（洞窟高度的1.5~2倍），分别打穿CJ1、CJ2、CJ3和CJ4层面节理，



图二 层面节理水平灌浆钻孔



图三 环氧胶泥封堵地表裂缝

以确保环氧树脂灌浆量和岩体内部立体扇形隔离带的形成。由于钻孔深度较大，为确保灌浆质量，避免钻孔中的泥浆滞留，在灌浆施工前必须通过清水洗孔和高压风干程序，使钻孔穿透的构造裂隙畅通、以利于增强灌入浆液的渗透和固结。施工时灌浆钻孔顺序按照空间位置从低到高，循序渐进，灌浆压力从2兆帕到10兆帕连续梯度增压实施，灌浆材料采用环氧树脂、聚酰胺、二胺和丙酮混合饱和和稀料，施工过程中全方

位观察监视洞窟内渗浆漏浆情况。最后，选用物理化学性能接近的同一地层风化岩石作为修补石材和作旧石粉，认真处理地表残留的综治痕迹，使二莲花洞南洞和北洞地表岩石的纹理和色调与综治前基本保持一致。

六 结语

二莲花洞窟周边地质情况复杂，综治过程中针对洞窟渗漏水主要病害，首次采用了不同以往低压渗流的高压梯度连续灌浆工艺技术，使用了环氧树脂、聚酰胺、二胺和丙酮混合灌浆材料，实现了在二莲花洞窟周边岩体内部形成立体扇形隔离带的预想和目的。经过数年连续观察，综治效果良好，洞窟渗漏水地质病害问题已基本解决，同时遏制了渗漏水催生的凝浆、苔藓等次生病害的演化发展趋势，综治工艺技巧值得推广运用。

- [1] 杨超杰. 龙门石窟总录 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1999.
- [2] 阎文儒. 龙门石窟研究 [M]. 北京: 书目文献出版社, 1995.
- [3] 潘别桐. 文物保护与环境地质 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- [4] 黄克忠. 岩土文物建筑的保护 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.

(责任编辑: 黄林纳)