

敦煌莫高窟窟门的一次公益设计和改造实验

A Volunteer Design and Renovation Experiment for the Gate of Mogao Grottoes in Dunhuang

朱捷, 庄慎/ZHU Jie, ZHUANG Shen

摘要: 本文记述了通过社会力量对敦煌莫高窟窟门进行优化改造的公益设计和试验过程, 展示了一扇需要满足安全防护、智能化控制、防风沙和调节通风等复杂要求的门的设计细节。

Abstract: The paper describes the design and experiment process for improving and renovating the gate for Mogao Grotto in Dunhuang through social power, highlighting the design details to achieve security, intelligence control, sand proof and ventilation adjustment.

关键词: 敦煌莫高窟, 智能窟门, 防风沙, 通风调节

Keywords: Mogao Grottoes in Dunhuang, intelligence gate, sand proof, ventilation adjustment

2013年10月, 时任敦煌研究院院长樊锦诗和英国皇家特许建造学会(CIOB)中国区主席孙继伟博士共同发起公益活动, 旨在通过社会力量对莫高窟窟门实施优化改造。12月, CIOB中国东方区负责团队及其组织的上海专家团队, 包括建筑师、电气智能化设计师、专业门窗技术配合方、施工方和施工监理一起到敦煌实地考察(图1、2), 并与敦煌研究院进行了深入的交流, 明确了改造的内容: 一是对莫高窟窟门进行优化改造; 二是实施统一的智能门锁系统。

敦煌研究院对窟门的优化改造提出的具体功能需求包括5部分:

(1) 防护: 作为国家级文物保护单位, 窟门需要满足文物防盗、防破坏等防护要求。

(2) 防风沙: 敦煌位于河西走廊地区, 地理环境具有周期性风沙等特点, 窟门需要肩负戈壁地区防风沙的功能, 以保护洞窟内的文物。

(3) 可调节的通风: 敦煌地区另一气候特征是温湿度差异较大, 而作为国宝的莫高窟壁画对温湿度控制也有一定的标准, 因此窟门也需要满足可调节的通风要求。

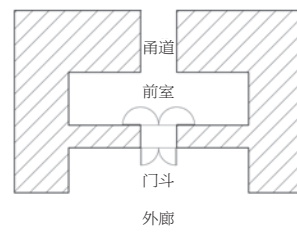
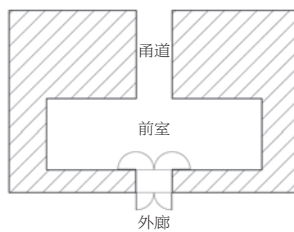
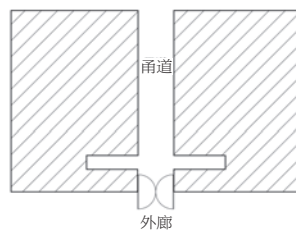
节的通风要求。

(4) 外观: 作为世界级文物以及国家著名景区, 窟门的外观有一定的审美要求, 并应与周围环境相融合。

(5) 智能门控: 莫高窟有一部分洞窟是作为旅游景点对外开放的, 而另一部分洞窟则主要作为专业研究点进行保护, 对于各类窟门需要一套智能系统进行后台统一的管理和运行。

莫高窟洞窟是在山体上开凿而成的, 上层的洞窟通过后加建的混凝土走廊连通。根据门洞与洞窟的连接条件主要可以分为三类(图3-5)。第一类, 无门斗无前室, 通过窟门可直接进入甬道和洞窟。第二类门洞外侧无门斗, 门扇位置在上层靠近狭窄的外廊, 窟门需靠内安装, 利用岩壁厚度兼做门斗功能。内部有前室, 需先通过前室再进入甬道和洞窟。第三类门洞外侧有门斗, 内部有前室。这三类, 对于窟门的设置都形成了不同的条件。

改造前, 莫高窟的现有窟门是1980年代由邵逸夫先生捐赠的。主要为深褐色的铝合金门窗, 尺寸根据各窟门大小不一, 开启方式各异。局部有纱



作者单位: 阿科米星建筑设计事务所
收稿日期: 2017-11-29

1 莫高窟
2 莫高窟岩壁与走廊(1.2 摄影: 庄慎)
3 无门斗无前室入口
4 无门斗有前室入口
5 有门斗有前室入口

门与铝合金窟门组合使用（图 6-7）。

最初的两轮概念设计

阿科米星建筑设计事务所受邀参加了莫高窟窟门改造的公益设计和实施，与其他专业设计共同组成了工作团队，在设计之初提出了两种概念方案。

起初，考虑到窟门的功能复杂，需满足功能众多，工作组的想法是设计内外两道门来组合满足功能：外门承担防护、通风、调节小气候功能；内纱门用于防沙功能（图 8）。相应的，外门厚重，风格与莫高窟风貌协调。内纱门轻巧，形象与室内环境匹配。这样的设计使得单扇门的制作简单，成本可控，组合灵活。但是由于各个洞窟窟门洞口的安装条件各不相同，两道门的设计适应性有限。

发现问题，引发工作组进行了第二轮概念设计。在这次设计里，工作组逐步发现设计中如何既防风沙又能通风是一个难点，因为普通纱门用门纱的孔径来阻挡沙粒并且通风，但小于门纱孔径的沙粒就挡不住，而且门纱和容易被沙粒堵住，不便清洁，也影响通风。对此，工作组查找到在中东运用较多、也较为成熟的防沙百叶的做法，这种百叶

通风与防沙功能可以合二为一。防沙百叶的主体由前后两排竖向的 C 型金属百叶组成，C 型百叶位置在平面上形成前后对扣的形态，间隔错开。错开的叶片之间能有效通风。起风沙时，透过外侧百叶的沙粒由后侧百叶完全阻挡，并沿竖向的间隙落下，由下部的排沙槽导出（图 9）。这期间，曾经考虑过将固定的防沙百叶设计成电动的，使其后 C 型立杆前后能移动，与前面的 C 型立杆形成可开可闭的状态，来控制防沙与通风（图 10）。最终，由于技术复杂，放弃了该想法，设计了新的形式。设计决定采用组合百叶体系的单扇门来取代之前的两道门。新的方案中防沙百叶前置，用来有效阻挡风沙，将可人工调控转动闭合的横向电动百叶置于其后，以调节通风量。这样，就形成了一个既防沙又通风可调的防沙通风百叶系统（图 11）。

整体的门，门架主体为不锈钢，承担防护的牢固度，保证使用的耐久性。门扇表面装饰是经过防风化处理的木材，做成可替换的构件。木材温和亲切，颜色质地与周围环境相融合，形成与莫高窟协调的外观风格。

门扇采用明框样式，边框将门扇分为上中下三部分。门扇上部在钢骨架外安装实木饰面板。门扇中部的木板内嵌入感应智能门锁，下横档向外突出为粗壮的钢木门把。门扇下部就是采用防沙通风的百叶组合，向外侧的防沙百叶 C 型金属竖杆外表面安装木饰条（图 12）。

这一轮的设计概念获得了大家的认可。CIOB 团队和敦煌研究院商议决定先找一个洞窟做样板门试验。经过慎重的考虑，研究院建议用第 74 号窟（图 13）做实验，这是一个较小的普通洞窟，洞窟口为无门斗有前室类型，内部没有珍贵的壁画，也不是旅游或研究的点，平时基本关闭，适合用来作为试验与使用后环境数据监测采集。工作组针对该洞窟进行了样板门试样的深化设计。

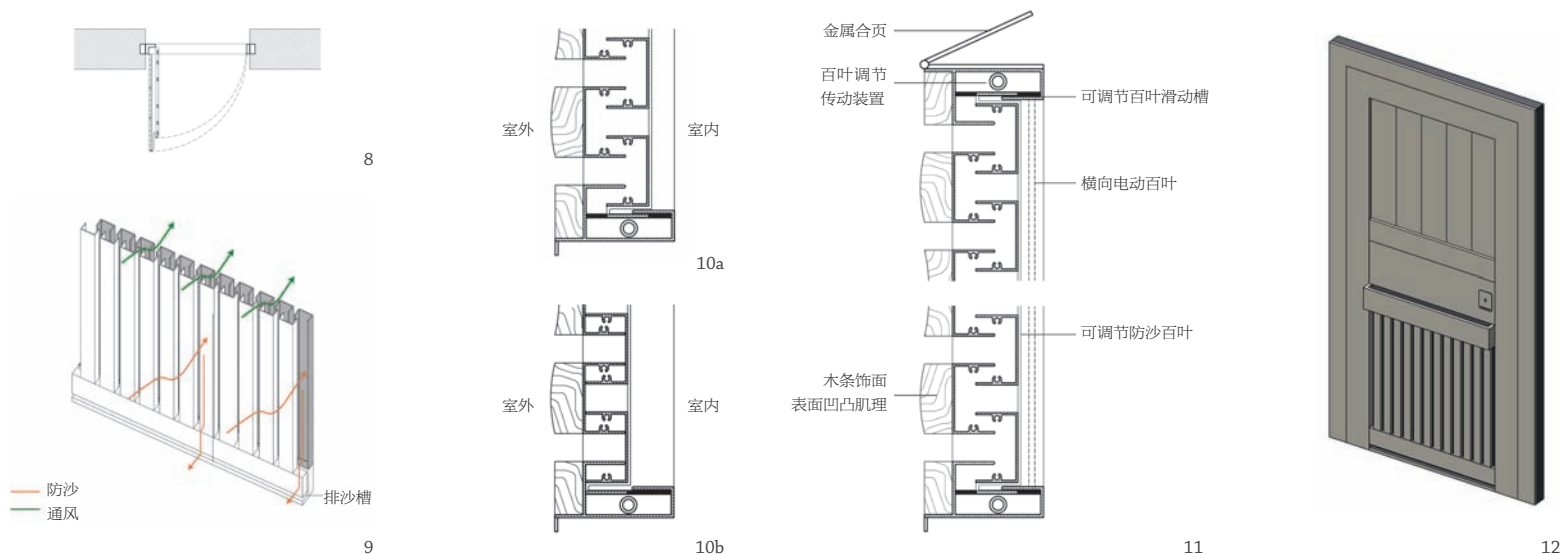
74窟样板门首次实验

样板门是在上海制作的，计划制作完后陆运到敦煌安装。制作也同时是个不断实验调整的过程。开始制作不久就又发现了新问题：复合的门扇太厚了，由于要同时满足完全地阻挡风沙并无极地调节通风量，防沙百叶与转动闭合百叶组合起来的厚度



6 窟门现状

7 局部洞口与窟门立面（6.7 摄影：庄慎）



本身就不小，加上前后饰面，厚度远远大于通常的门扇，这一方面造成门的重量过大，另一方面更麻烦的是超过了所有智能门锁的安装尺寸，必须修改设计。工作团队与敦煌研究院进行了进一步的研讨，研究了简化的可能性，最后认为可用自动感应风沙的电动百叶来承担防沙功能。门扇外侧是竖向的金属格栅，外饰木装饰，内侧则采用新的电动水平金属百叶。这种百叶可以通过设置外装的感应器感应风沙的来临，根据风沙大小，自动采取行动，实现开启或完全关闭，来实现遮挡风沙与通风的功能。为了实现通风效果最大化，门扇上尽量扩大了百叶面积。这个第一版样板门的门架主体同样为金属框，为了与窟门周边褐色砂砾墙体协调，门表面材质采用深褐色的木材与同色烤漆金属板。立面形式与莫高窟整体格调气质相协调，采取当地民居门扇的传统形式语言，框骨宽大，块面清晰，分割比例匀称丰满（图 14）。

门采用智能锁具，支持电子和机械式钥匙两种开启方式，特殊的编码方式使得单个钥匙重复概率为零，多种锁舌确保安全。另外，根据敦煌研究院的要求，工作组还设计了全方位智能化入口管理系统，可无线远程控制门锁的开启。

第一版样板门在上海加工制作后于 2015 年 8 月运达敦煌，安装在 74 号洞窟进行测试，以了解门的材质是否适应当地的环境，门的构造对洞窟文物的保护、室内空气质量的调控是否能达到预期的需求（图 15）。

74窟样板门二次实验

通过试验现场安装的过程，以及在其后几个月的日常使用和测试，工作团队总结出继续优化的两个方面：第一，门需要进一步减重，以方便将来大量运输、搬运的方便，更好地保护产品，节约运费，同时更方便安装；第二，需要简化门定制的复杂度，因为莫高窟的门洞尺寸各异，没有标准尺寸，需要简化定制的难度；第三，需要重新考虑饰面材料的耐候性，木材饰面虽然已经过加工处理，但还是不能适应当地严酷的气候条件，局部出现了变形开裂。

于是工作团队立即再次改良设计。窟门外立面的竖向木格栅百叶由耐候性能更好的铝合金格栅代替，并取消了窟门外侧所有的木材装饰贴面。在铝合金表面采用具有材料质感的 3D 打印技术来模仿木材的视觉效果。通过通风环境的初步数据分析，发现通风面积可以缩小，于是设计保留了上一版门的立面形式，取消了整扇尽量大的通风百叶，而采

用了标准尺寸、模块化设计的百叶通风模块，该模块的水平百叶同样可以感应气候的变化而自动开启和关闭。在门的上方，设置了与下方百叶联动的、同样也是模块化设计的轻型自动排气扇。使得空气可以在电动控制的状态下进行对流和通风（图 16）。

通风系统的模块化设计是这一版窟门最主要的修改与特点，它拥有以下两个主要优点。一方面，采用轻型的、模块化的通风系统，形成与主体门可分离的模式。在保证通风防沙的同时，可以使主体门的加工变得简单，有效减少门的厚度。对比前一版窟门，新版窟门的主体几乎只有原先窟门一半的厚度，大大减轻了门的重量。同时，模块化的通风系统本身也变小巧了，方便其运输和安装。另一方面，针对莫高窟窟门几乎每个大小都不相同的情况，模块化设计也能更好的应对现场大小不一的窟门门洞尺寸。主体门扇可以根据每一个窟门门洞尺寸进行定制，但其通风装置只需要一组标准的通风模块就可以安装在不同的门扇内侧。不仅便于安装，更方便维修和替换，很大程度地节约了窟门的制造成本。

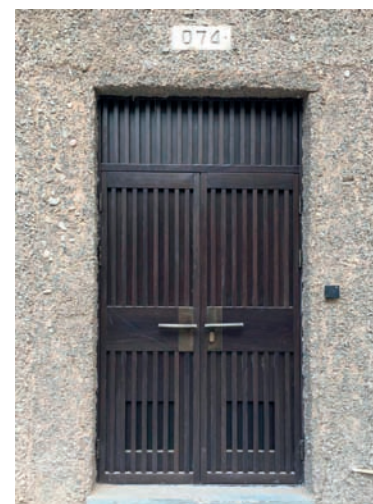
第二版窟门在上海加工完成后于 2016 年 6 月中旬运到敦煌更换，目前还在试验中（图 17）。□



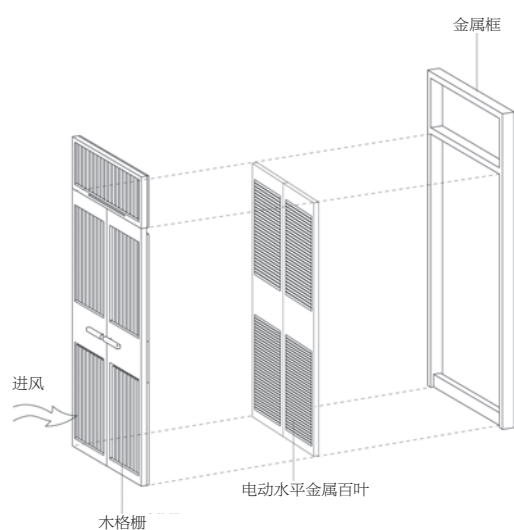
13



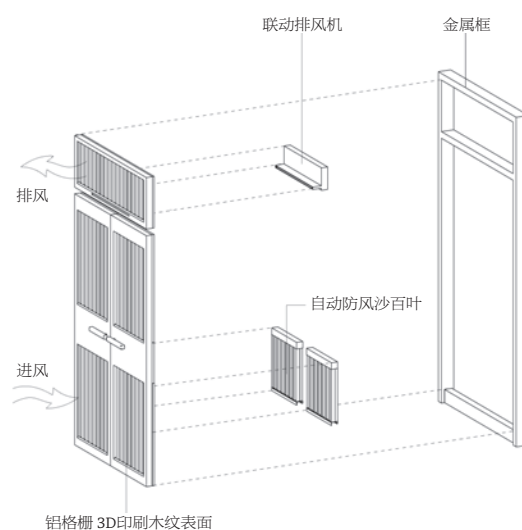
15



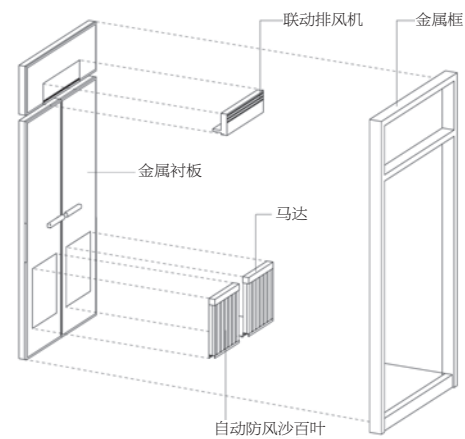
17



14



16a



16b

- 8 莫高窟窟门概念平面
- 9 防风沙百叶原理
- 10a 电动防风沙百叶开启模式
- 10b 电动防风沙百叶闭合模式
- 11 防风沙百叶与横向百叶组合
- 12 莫高窟窟门概念-轴测
- 13 74号窟原窟门资料
- 14 74号窟第一版窟门轴测图
- 15 74号窟第一版窟门照片 (摄影: 朱捷)
- 16 74号窟第二版窟门轴测图
- 17 74号窟第二版窟门照片 (摄影: 刘双雁)

项目信息

项目名称: 敦煌智能门
 客户: 敦煌研究院
 发起者: 樊锦诗 (敦煌研究院名誉院长), 孙继伟 (CIOB中国名誉主席、FCIOB)
 组织协调: 曹宇 (CIOB中国副主席兼东方区主席、FCIOB), 肖红专 (MCI0B), 王旭东 (敦煌研究院院长)

总设计: 庄慎 (阿科米星建筑设计事务所合伙人、MCI0B), 朱捷 (阿科米星建筑设计事务所合伙人)
 智能系统设计: 夏彦 (上海行觉建筑工程咨询有限公司总经理、MCI0B), 周仪芳 (技术总监)
 制作安装: 宋凌月 (上海玻机智能幕墙有限公司总工), 田学勤 (总经理)
 制作安装管理: 周海浪 (MCI0B)