

单叶双曲面与现代建筑

孙 蕾 谷德峰

直线在空间中连续移动，扫过的曲面称为直纹面。由直线生成的曲面结构简单，工程上易于实现。空间中直线移动的过程，充满着流动的韵律感。因此，双曲抛物面、单叶双曲面、莫比乌斯环面等直纹面在现代建筑设计中得到了广泛使用。例如广州星海音乐厅(图 1)，采用了双曲抛物面结构(图 2)，飞檐翘角，如天鹅展翅高飞。哈萨克斯坦图书馆(图 3)采用莫比乌斯环面设计，扭动的环面使得墙面在不同的角度变化，墙、屋顶、地板没有边界地连续转换，仿佛在科幻世界里穿越。在众多类型的直纹面中，单叶双曲面是最受设计师青睐的结构之一，下面介绍几个采用单叶双曲面结构的经典建筑，以及与单叶双曲面形态相似的直纹面结构建筑。



图 1 星海音乐厅

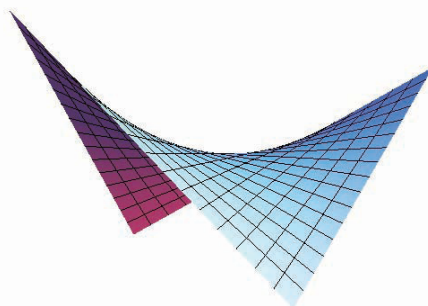


图 2 双曲抛物面

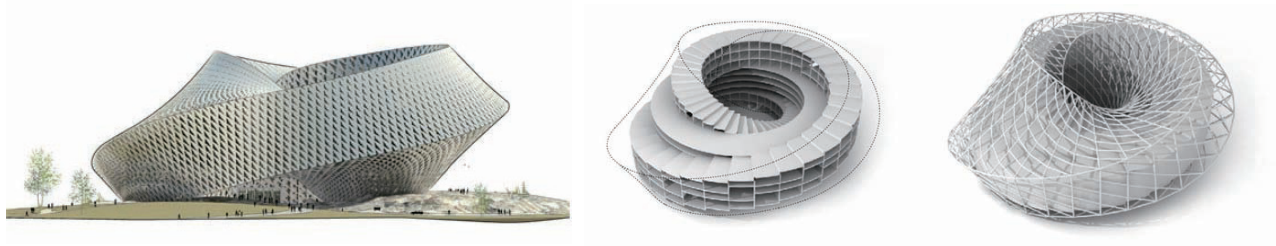


图 3 哈萨克斯坦图书馆内部、外部结构均采用莫比乌斯环面设计

直纹面在数学上的定义如下：如果曲面 S 的参数表示为

$$\mathbf{r}(u, v) = \mathbf{a}(u) + v\mathbf{b}(u),$$

其中， $\mathbf{a}(u)$ 和 $\mathbf{b}(u)$ 是光滑向量函数，并且 $\mathbf{b}(u) \neq \mathbf{0}$ ，则称该曲面是直纹面。

由直纹面的参数表示知：当 u 固定时，其描绘的是一条直线，称为直纹面

的母线, $\mathbf{b}(u)$ 为母线的方向。当 $v = 0$ 时, 描绘的是一条曲线 $\mathbf{r} = \mathbf{a}(u)$, 称为直纹面的准线。可见直纹面是沿准线光滑变化的直线族。

单叶双曲面的标准方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1.$$

它的参数方程表示为

$$\begin{cases} x = a \cos \theta - v a \sin \theta \\ y = b \sin \theta + v b \cos \theta \\ z = cv \end{cases}.$$

向量形式为

$$\mathbf{r}(\theta, v) = \mathbf{a}(\theta) + v\mathbf{b}(\theta),$$

准线方程为

$$\mathbf{a}(\theta) = \{a \cos \theta, b \sin \theta, 0\},$$

母线的方向为

$$\mathbf{b}(\theta) = \{-a \sin \theta, b \cos \theta, c\}.$$

特别地, 如果 $a = b$, 准线方程是圆周, 旋转单叶双曲面可以看成是一条直线绕另一条不相垂直的异面直线旋转而成, 也可以看成是一条双曲线绕着轴旋转一周得到, 如图 4 所示。所以过单叶双曲面的任意一点, 都存在两条不同的直线经过该曲面。这种曲面中处处蕴含直线的奇特结构使得曲面建筑可以用直线实现, 建筑结构轻巧稳定, 易于实现, 因此受到世界各地建筑师的青睐。

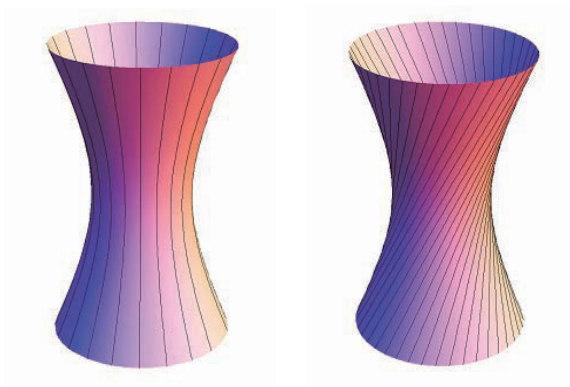


图 4 旋转单叶双曲面: (a) 双曲线绕虚轴旋转 (b) 绕不相垂直的异面直线旋转

1. 日本神户港塔

1963 年落成使用的日本神户港塔 (图 5) 塔高 108 米, 采用旋转单叶双曲面结构。同一时期日本大多数塔采用的都是法国埃菲尔铁塔 (图 6) 上小下大

的方尖塔结构，其中最著名的要数的日本东京铁塔（图7）。因此神户塔的出现当时在日本建筑界是一个伟大突破。该塔的设计理念源于一种传统乐器日本手鼓（Tsuzumi，图8）。日本手鼓的上下鼓面面间由线绳缠绕，形态上与单叶双曲面有几分相似。受到这种启发，神户塔的外形采用了标准的单叶双曲面结构。神户塔外围32支红色的直钢柱连接圆形塔顶和塔的底座，倾斜交织，形成旋转单叶双曲面。神户塔也是世界上第一个使用网格状单叶双曲面结构的塔。标准的单叶双曲面形状非常稳定，这使得神户港塔庄重严肃，像一位屹立于港口之畔的日本武士，保护船只安全抵岸。夜晚塔身灯光亮起，光彩夺目，与城市夜景交相辉映。神户塔的设计将现代设计理念与日本传统风格相融合，成为当地著名地标之一。



图5 日本神户港塔



图6 法国埃菲尔铁塔



图7 日本东京铁塔

日本人似乎对旋转单叶双曲面情有独钟，除了神户塔外，金沢火车站的大门设计也采用了这种建筑结构。金沢火车站始建于1898年，2005年重建后的火车站采用巨大的不锈钢网格结构，穹顶镶嵌着3000多块玻璃窗格，熠熠生辉，超现代气息扑面而来。火车站的大门高14米，两个红褐色木质门柱采用的就是日本手鼓状旋转单叶双曲面结构，古朴典雅，散发着浓郁的日本风格，使得在超现代风格的建筑上仍然能找到永恒经典的归属感。

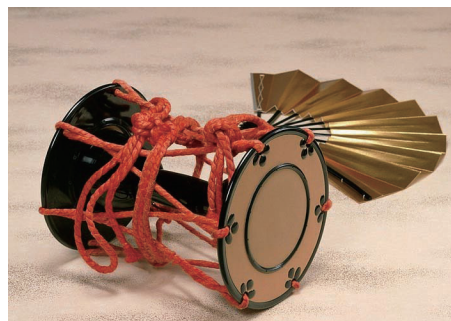


图8 日本手鼓 Tsuzumi



图9 金沢火车站