

仿生学里的小结构大力学

□宋凡

我们生活的世界和大自然经历了亿万年的演化。演化的过程是,物竞天择,优胜劣汰。通过这种演化过程,现存地球上的生物,不管是动物或者是植物都具备了一种与自身生活环境相适应的特殊形态,或者说是功能。而这种特殊的形态或功能,是我们人类不具备的。因此,自古以来,人类都崇尚师法自然,取长补短。为了追求更美好的过程,便出现了仿生。

提到仿生,我们最先想到的是形态仿生,形态仿生最先想到的就是大型建筑物的仿生,比如:鸟巢和迪拜水母酒店,都是体现了对大自然美的追求。另外一种生物的功能仿生。比如说,我们向鸟类学习,便发明了飞机;向蝙蝠学习,便获得了雷达。

今天我想讲贝壳的微结构。贝壳可以说是大自然给我们人类的最好的礼物,因为它优美的外貌,很多人将其作为珍藏品。在工业建筑结构上,最有名的是悉尼歌剧院,它就是依据贝壳设计出来的,结构也好,形状也好,都是贝壳。

什么是贝壳的微结构?比如,一支粉笔拿到手上一掰就断了,说明它很容易掰断。而小贝壳是很难掰断的。这说明它们两个之间存在力学性能的差异。而它们的成分都是大于95%的碳酸钙晶片。

为什么相同的成分会有这么大的性能差异呢?

我们研究发现,贝壳,它是一种有序的结构,而粉笔是一种无序的结构。正是这种有序和无序的差异导致了它们力学性能上的巨大差异。

截至目前,我们已经发现了5万多种贝壳,但是5万种贝壳当中实际上只有7种微结构。在这7种微结构当中,一种叫作珍珠母的,它具有最好的力学性能。珍珠母,顾名思义就是珍珠妈妈,就

是生珍珠的地方。它就在贝壳的最内层,所有的珍珠就在这儿产生。所以说它的成分和珍珠完全一样。珍珠母跟砖墙一样,由六角形碳酸钙的小板一块一块地堆积而成,而中间是5%的有机基质。正是因为这种结构,珍珠母的断裂功是形成它的碳酸钙晶片断裂功的3000倍;产生的变形是它本身晶片产生变形的10倍以上。

珍珠母实际上是一种陶瓷材料,又称生物陶瓷。现在世界陶瓷材料研究最大的目标就是克服它的脆性,增加它的韧性。这是世界陶瓷研究的最根本的问题。另外,珍珠母的综合指标是最好的。航空发动机里面的叶片现在用陶瓷,但是性能不好;坦克的外皮防护装甲全部是陶瓷的。陶瓷的韧性在我们工业和现在需求上是极其迫切的。因此,它才会导致现在大家对仿生的这种热情。

这么好的韧性是怎么产生的呢?1995年,美国一组科学家发现:原来珍珠母是通过三个特征来达到它的韧性的。第一个,就说它要断的时候,那个一块块的晶片它要这么拔出来,在这个拔的过程当中,消耗了大量的能量;第二个,在它断裂过程当中裂纹穿透,它不是像一般的裂纹,咧!就开裂了,它是拐来拐去地这么拐,也耗费了大量的能量;第三个,它在拐来拐去的过程当中,它有有机基质要做桥连,就是有机基质要把这个裂纹拉着了。

1997年,加州理工大学的一组科学家,他们研究珍珠母的有机基质,发现在有机基质里面存在大量的孔洞。这个孔里面是什么?他们说不清楚。然后他们根据孔洞的形貌,提出了一个假设:就是说这个孔洞里面是一种矿物桥。这种矿物桥,穿过有机基质把上下的层片连接在

一起。但是他们没有看到孔洞。紧接着世界上大概,我知道有六个小组,要找出矿物桥。2000年,我们通过一系列的实验和艰苦的工作,发现了矿物桥。

矿物桥确实可以极大地提高这种层状材料的力学性能。有了这些研究,我们再进一步实验发现,矿物桥还可以阻挡裂纹的扩展。由此解释了刚才我们说的大家做出来的层状材料的韧性不能和珍珠母相比,就是矿物桥造成的。

我们在做这个实验的时候,意外地发现了一件很有趣的事情,在珍珠母的变形过程当中,它存在负泊松比效应。负泊松比效应是说一根棍子,我在拉的过程当中,中间会变细。当我拉的时候中间变粗,这就叫作负泊松比效应。珍珠母在变形的某一阶段它就存在这样一种效应,而这种效应就导致了珍珠母在外力的作用下它可以体积吸收功率11倍,而降低它的变形功到40%。这样珍珠母就可以有更大的韧性和更大的变形能力。

这件事情说明生物的制造是非常好的一种制造。我们平时说的环境优良型制造,都是生物制造。现在我们人类的合成技术,比如说陶瓷,高温高压都需要大量的耗能,无论怎么消耗也合成不出矿物桥的微结构。

我刚才讲了陶瓷的韧性问题,下面再讲一个陶瓷的难题,叫作热震。

热震是什么?我先给大家一个基本的概念,比如说航天飞机,大家都知道这些飞机是要飞到外太空去的,然后从外太空再回到地球上来。回到地球上来的时候,它的速度很高,都是十个马赫左右,它会和大气层摩擦产生热,能够产生大概2000℃到3000℃的高温。高温容易把航天飞机表面东西烧蚀了。烧蚀有可能导致材料的破坏,甚至飞机的瓦解,这就是热震。

而热震是陶瓷材料的一种特性,别的金属材料没有这个特性。其实刚才说的比较高大上,热震说白了就是煮鸡蛋的时候,把它煮熟了拿起来丢到凉水里面,啪!鸡蛋壳炸了,这就是热震。热震的本质是当加载的速度很快,超过一个温差的时候,它的强度一下就降下来了。

我们说到热震是陶瓷材料的特征,是它的本性。那我们怎么把这种热震克服了?又回到煮鸡蛋,煮鸡蛋的时候是煮熟了鸡蛋,把鸡蛋拿出来通过空气再丢到水里炸了,热震发生了。那我们通过这段空气时,它并没有发生热震。掉到水里面才发生热震。也就是说作为一个介质,空气是一个介质,水是一个介质,这两个介质之间一定存在着某种东西让鸡蛋不会发生热震。那称为表面热阻,就是说空气的表面热阻。实际上比水里面的表面热阻大得多。

我们开始向自然学习,实际上这种结构是有的,我们所想到的,其实自然界都有,只不过是他们没有发现而已。

比如:荷叶也有一种效应,叫作疏水效应。疏水效应是把荷叶取下来,楞把它放到水里,塞到水里面去,在荷叶的表面和水之间沉积了一层空气。其实蜻蜓也是疏水的。下雨的时候只有蜻蜓可以在雨中飞翔,因为它是超疏水。荷叶实际上它的表面是一种分级式结构,这种纳米结构就是不停地分级,这样造成了水滴上去后,水接触角越大,表示它的疏水性越好。荷叶可以达到160°的疏水角,它是一种超疏水的。所以建筑物、运输工具都希望用这种结构。如果它是自清洁的,我们房子——高层建筑,一下雨就把它冲得干干净净,就不用人工去洗了。

蜻蜓的结构和荷叶稍有不同,它是一种随机的这种结构。而这种随机的结构,疏水效应更好,它水接触角可以达到173°。我们找到了生物里面的东西,下面我们就该仿生了。我们就在材料表面——陶瓷表面,陶瓷原来是大概70°的疏水角。我们就做仿生,做出了像蜻蜓表面一样的,这个表面水接触角能够达到120°。当然和蜻蜓的表面那是没法比。

大自然的生物,经历了亿万年的进化,获得了与其生存相适应的状态和功能,这些都值得我们人类怀着崇敬的心理去学习。E

(本文系中国科学院力学研究所研究员宋凡在北京大学医学院“CC讲坛”的发言,本刊记者陈婉整理报道,未经作者审阅)