

300吨的九龙壁 是如何运到故宫的?

故宫里使用的巨石有数万块,其中最大的一块是摆放在保和殿后面的雕有九条游龙的大石雕,重约300吨。《两宫鼎建记》曾简要记载,长石雕是隆冬时节在人工冰道上被拖运来的。

故宫是中国历史文化最具代表性的建筑,如此庞大的建筑结构体系不禁使人感慨先人的智慧与建筑技巧。2013年11月4日,北京科技大学机械工程学院副教授李疆、清华大学摩擦学国家重点实验室副研究员陈皓生及普林斯顿大学机械与航空工程系教授霍华德·斯通在美国《国家科学院学报》上发表研究报告,指出中国古代兴建故宫时,曾制造人造冰道,并以水为润滑剂,拖运了重达300吨的巨石,再次以现代科学方法向世界展现了中华民族无穷的智慧。



滑动摩擦 比滚动摩擦更安全可靠

去年夏天,李疆与清华大学摩擦学国家重点实验室副研究员陈皓生带着第一次到访中国的普林斯顿大学机械与航空工程系教授霍华德·斯通参观故宫,讨论起大石雕运输中的润滑问题。事后他们查阅文献,却未发现从现代工程科学角度进行相关分析的研究,因此他们决定一探究竟。

据李疆介绍,明代的人们在巨石运输中就已经认识到,在低速重载情况下,滑动摩擦方式比滚动摩擦方式更为安全可靠。而且,故宫巨石运输采用了冰面润滑的方式,并且通过在冰面泼水形成水膜作为润滑剂,来实现减轻阻力的目的。通过比较发现,这种运输方式比用传统的木橇、滚子及普通的冰面润滑更加省力,且更适合北京当时的环境状况。为此,研究者通过滚动与滑动的摩擦系数的对比,说明了该方法是合理的。

从理论上来说,由于冰面比木质表面更加坚固和平滑,故宫兴建者采用制造人工冰道,使作为巨石垫板的木板与冰面接触(而非古埃及以木板铺路,实现木板与木板的接触),大大减小了摩擦力。李疆等人根据古籍记载和合理推算,从现代实验的角度,估测以同样的方式运输123吨的巨石大致需要工匠数为300人以下,因此可以推测运输300吨的巨石的人数不可能超出太多。然后,他们推算了以木板为轨道拖运123吨巨石所需的人数为354人,虽接近预期人数,但明显在运输300吨以上的九龙壁时很可能失败。进而可以推论,当时最为可行的方法是铺设冰道,在冰道上拖运巨石。这种便利方法与北京的气候环境有关,与长期处于热带的埃及相比,北京拥有使用冰的天然优势——寒冷的冬天。古籍记载,运送巨石的时间是在冬至前后,在15、16世纪时北京1月的平均气温是在零下3.7摄氏度(上下0.5度),虽然没有天然的河流为运输提供冰道,但人们在运输过程中每半公里就会凿坑取水以保证冰道的用水。

中国的古人 不在冰上拖运巨石?

古老的故宫始建于明成祖朱棣永乐四年(公元1406年),至永乐十八年(公元1420年)落成,曾于1557年至1561年、1597年至1627年由于大火进行两次大规模重建。据称最初的建设投入工匠23万人,民工士兵上百万,是几代人劳动的结晶。故宫巧妙的修建技术也吸引着后来无数中外研究者为其倾尽心血。故宫里使用的巨石有数万块,其中最大的一块是摆放在保和殿后面的雕有九条游龙的大石雕,重约300吨。《两宫鼎建记》曾简要记载,长石雕是隆冬时节在人工冰道上被拖运来的。

尽管长石雕的拖运过程始终没有详尽的记载和科学论证,北京科技大学机械工程学院副教授李疆却通过翻看500年前的记载,发现一个相似的情况:在1557年,有一队劳工通过类似的方式拖运一块重约123吨的巨石,经过70多公里的行程将其运到故宫。由此可以对机械工程史上“由于在公元前1500年时中国的车轮已经充分发展,因此中国古代没有出现以人力在冰上拖运巨石的案例”这一观点进行补充和修正。

润滑剂 背后的科学

根据巨石运到故宫的距离和时间,专家们估算拖动一个123吨的巨石所需的平均速度是每秒8厘米。如此低的速度,加上极小的摩擦力是不会使冰面自动融化成水进而在冰道与木板之间形成润滑剂的。因此李疆等人研究了除摩擦生热外的能使水膜产生和保持的其他方法,即在拉动时直接在前面泼水,这一点在古埃及也有类似的记载。通过现代物理研究可知,冰上低速运动物体的摩擦力比高速运动时大得多,但是在接近零度时以水膜为润滑的摩擦力非常小,因而在泼水作为润滑剂的情况下,纵使每秒8厘米的低速滑动只会有极小的摩擦力。由于在明代北京日间零下3.7摄氏度的情况下,水在2分钟内不可能完全冻结,因此水膜是可以维持并保证运输的。当然,古人也可能使用热水来延缓冻结。所以,研究者可以得出在故宫九龙壁拖运时,不仅采用制造冰道的方式减缓摩擦,还在长途运输时向冰道泼水作为润滑剂。

著名的中国科技史研究者李约瑟曾指出,古代的中国并没有建立起西方以数学为基础的科学体系,中国古代的先进技术是一种经验体系,难以称之为科学。然而,当我们伫立凝望故宫,当学者们用现代科技手段重新审视故宫的兴建技术时,不禁为我们先人的智慧所折服。李疆也评价说:“明代的巨石运输方式说明,当时人们对低速重载的润滑研究达到了很高水平。紫禁城的兴建与郑和七下西洋都发生在15世纪前期,巨石运输的例子说明当时的陆地运输技术并不比航海技术逊色。”

>>相关链接

沿用至今的 古代搬运重物技术

搬运重物技术已有几千年的历史。早期的文明古国大多有搬运数十吨巨石兴建宫殿或宗教建筑的记载,甚至在现代社会,一些现代搬运手段无法承受的重物也需要借助古人的搬运智慧。

搬运重物最为“出名”的古埃及在公元前2400年就曾运用圆木来兴建金字塔,即工匠们在路面上铺圆木,让巨石在圆木上滚动前进,从而筑成历史上不朽的奇观。公元前700年的亚述帝国,也曾运用滚动方式来运输重物。由此可知,在古文明时期,人类已经意识到滚动搬运比滑动搬运更为省时省力。在这一点上,古代的中国人似乎走得更远,根据古文献及考古研究发现,中国在公元前1500年即出现了车轮,至春秋战国时期,结构精巧、装饰精美的车轮已广泛应用于负重、出行、战争之中。

然而,滑动运输始终没有退出历史舞台,尤其是在路面环境更为恶劣的情况下运输更为巨大的物体时,滑动拖曳因其易于控制的优势依旧发挥着作用。在公元前1880年的古埃及,人们曾在道路上铺设木板,在木板上拖运了一座60吨的巨石像;1934年加拿大北部的人们曾以牵引机为动力,在冰面拖运一台28吨重的采矿机器。直至今日,传统的滑动仍然在发挥着作用,1999年美国北卡罗来纳州在钢轨上拖运4400吨的哈特拉斯海角灯塔。(据《中国文化报》)