

龙窑瓷的秘密

■本报记者 韩天琪

近日，江西赣州七里镇窑址发掘出了一处迄今为止窑顶最宽、重修历史最多、烧造持续时间最长的宋代龙窑遗址。龙窑是古代中国南方焙烧陶瓷的主要窑型，但因没有文献记载，加之各地发现的古代龙窑均已坍塌成废墟，诸如龙窑的焙烧方法、演化原因、排烟状况等问题成为长期困扰着人们的谜团。

此次考古发掘领队孙发标认为，此次考古发掘最重要的成果就在于发掘了特大型龙窑，为破解长期困扰古窑址考古界的唐宋龙窑砌筑技术带来了希望。



龙窑因为从山脚绵延至山顶，宛如巨龙而得名。

龙窑的结构特点

我国古代的瓷窑，可分为圆窑和龙窑两大类。形似馒头的圆窑称为馒头窑，有的窑床平面呈马蹄形，故称为马蹄窑。龙窑窑头低窑尾高，前后倾斜，很像一条向下俯冲的龙，所以通称龙窑。

清华大学美术学院陶瓷系副教授邱耿钰在接受《中国科学报》记者采访时表示，圆窑和龙窑最大的区别在于形制和火焰的走向。

“外形差异是显而易见的。在火焰方面，圆窑基本上是半倒焰窑，里面火焰的走向是半倒焰的，而通体的龙窑通常是斜焰窑。”邱耿钰认为这两种窑式的不同与它们所使用的燃料有关，北方以煤为主要燃料，使用圆窑比较方便，南方窑烧木材较多，木材在燃烧时的火焰比煤大，更适合烧龙窑。

龙窑多依山而建，约与水平地面呈10~20度角。窑头、窑中部、窑尾的角度略有不同，后者比前者依次减少5度左右。

据浙江省文物考古所朱伯谦的研究，龙窑一般分窑头、窑床、窑尾三部分。窑头顶部圆，前壁正中的中下部筑有狭长的火门；火门下紧贴窑底处开通风口一个，从此向火膛进风，使燃料充分燃烧。火膛平面常作半圆形，是烧火的地方，称为“燃烧室”。窑室是装烧坯件的地方，是龙窑的主要部位。窑室越长，装烧量越多，产量越高。窑室的底部常常铺有沙层，以保护窑底和防止垫底窑具的移动。

龙窑的挡火墙可以防止窑内火焰流速过快，增加火焰与坯件的接触时间，提高窑内的温度。挡火墙上筑有距离和大小大致相等的烟火弄，使窑内的烟和废气进入烟坑排出。由于龙窑从头到尾有较大

的高度差，因而具有一定的自然抽力，本身就起着烟囱的作用，所以窑尾可以不设烟囱。

横断面以窑头最小，便于烧窑开始时热量集中，利于燃烧，中部最大，窑尾大于窑头而小于中部。拱顶成弧形，两侧上部或窑顶有多排直径约0.15米的投柴孔，窑身两侧有两个窑门。

全窑结构简单，建筑费用较低，不需尺寸严格的拱砖。龙窑作业时，在窑室内码装坯体后，将所有窑门封闭。先烧窑头，由前向后依次投柴，逐排烧成。烧成温度最高达1300℃，并可控制还原焰。

此次七里镇龙窑遗址的发掘工作，在揭示龙窑的结构方面有一个重要发现——窑顶的建造方法。

景德镇陶瓷学院教授郑乃章告诉《中国科学报》记者，目前考古发掘中发掘出的有窑顶的龙窑年代都在明代以后。“窑顶的砌筑对整个窑的保温性能有重要的作用。”郑乃章说，“而学界一直在猜测明代以前的龙窑顶到底是什么样子的。”

此次七里镇龙窑窑壁残留的10多窑顶烧结块揭示了这座龙窑的窑顶建造方法。根据勘测现场的情况，这座龙窑很可能是先用竹片起券，用竹枝编好窑顶，再用黏土、沙子、卵石搅拌的混凝土糊顶。从采集到的窑顶混凝土观察，它的烧结度非常高，硬度达到甚至超过现代混凝土。

这种技术彻底颠覆了过去考古学家认为唐宋龙窑如古墓一样用砖块券顶砌筑的推测，不但首次知道了龙窑窑顶的新筑法，还证明早在北宋时期，我国就发明了一种类似水泥的建筑材料，是科技考古领域的一大新发现。

龙窑的演化历史

龙窑最早出现于商代，建筑简陋，结构简单。三国时期的龙窑长度已超过10米，隋唐时期龙窑结构完全成熟，长度在20~30米左右。宋元时期长度显著增加。到了元代，龙窑的长度普遍缩短。多数在40米左右。

元以前主要为平焰窑，火焰在窑室内沿窑体排列留下的火路一直通向窑尾。元末明初开始出

现分室龙窑，其主要变化即是把龙窑内直通的窑室用匣钵和砖分隔成多个小窑室，即每隔五六米建筑两堵墙，前墙上部向前收与窑顶相连，下部有吸火孔。后墙不到窑顶，使火焰翻越而过。这样，火焰从火膛直喷至隔墙之间，翻越第二堵墙进入下一室。其优点是火焰由平焰变为倒焰，使窑的室内温度与还原气氛更加均衡。

青瓷的摇篮



江西赣州七里镇窑址发掘出的瓷器

龙窑在烧制瓷器时具有以下特点：窑体倾斜设置，所造成的几何压力能克服料垛阻力，使窑在接近零压状态下操作，减少了漏气、吸气现象。由于燃烧段逐渐后移，有效地利用了烟气热量和产品热量，使热损失显著降低，并可提高燃烧温度，缩短生产周期。由于烧成快，窑体散热与蓄热不大，单位产品的热量消耗较少，其热效率接近

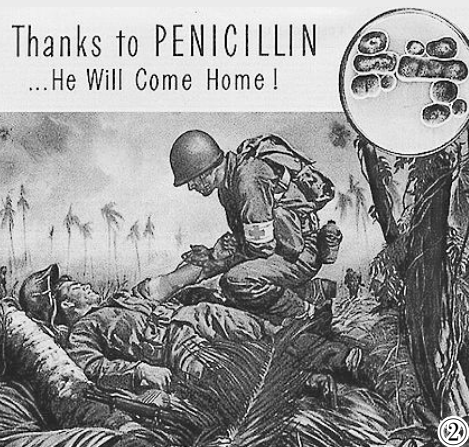
于隧道窑。对于龙窑的烧窑优势，郑乃章认为最重要的是龙窑的热利用率比馒头窑要高得多，是一种具有连续性的窑炉结构。

除此以外，龙窑在烧制青瓷方面的优势让它成为了名副其实的“青瓷摇篮”。

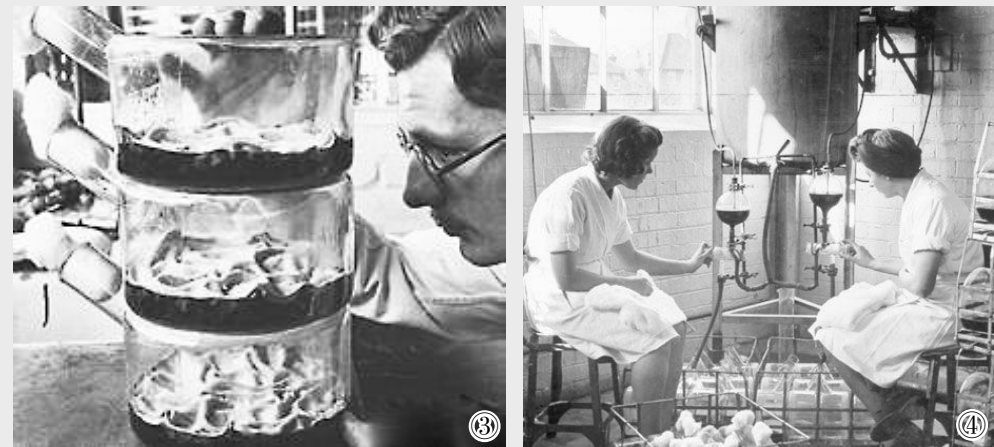
在烧制青瓷为主的我国江苏、浙江等地，龙窑是重要的烧窑窑型，直到现在才被更先进的窑炉所代替，使用时间长达两千余年。“北方的窑多数情况下是烧氧化，而以龙窑为代表的南方窑是烧还原。”邱耿钰说，“还原气氛的烧制方法更有利于烧制青瓷。”

邱耿钰向记者介绍，龙窑造价低，投资少，并且由于龙窑窑床长，装烧面积大，产量高，火焰流通比直焰窑均匀，同时窑壁较薄，冷却快，以还原气氛为主。这些都是烧制青瓷的有利条件。

看图说史



- ① 弗洛里
- ② 二战宣传画：感谢青霉素，伤员可以安然回家
- ③ 实验室技术人员检查盘尼西林培养瓶
- ④ 在盘尼西林霉菌培养瓶中注入培养液



青霉素的应用史

1941年2月12日，澳大利亚病理学家霍华德·沃尔特·弗洛里第一次用他研制的青霉素为一个已处于休克状态的43岁的警察治病，效果显著。这可以说是人类历史上第一次将青霉素用于医疗。

鲜有人知的是，青霉素从发现到真正投入工业化生产、拯救大批人的生命经历了一段艰苦的研究。

1928年，在伦敦帕丁顿圣玛丽医院工作的弗莱明发现了抗生素盘尼西林。他成功地从盘尼西林中分离出青霉菌，并从中提取出了青霉素。弗莱明在1929年发表了研究成果，遗憾的是，这篇论文发表后一直没有受到科学界的重视。

10年后，德国化学家欧内斯特·鲍里斯·钱恩在旧书堆里看到了弗莱明的那篇论文，于是开始做提纯实验。1940年冬，钱恩提炼出了一点点青霉素，这虽然是一个重大突破，但离临床应用还差得很远。

1940年，青霉素提纯的接力棒传到了澳大利亚病理学家霍华德·沃尔特·弗洛里的手中。年轻的弗洛里对弗莱明的发现很感兴趣，开始研究抗菌剂，并且发现抗菌剂能轻易杀死实验区域中的全部细菌。弗洛里意识到人类也许可以发明一种物质，当该物质进入人体后，它能杀死某一类细菌。弗洛里和他的研究团队发现了从霉菌中分离出稳定青霉素的方法。当时第二次世界大战正在全面展开，弗洛里试图说服美国和英国国防部，共同资助及生产青霉素，但是他未能成功。

不久一个意想不到的事件发生。弗莱明的一个朋友病重，因此弗莱明向弗洛里要一些青霉素。弗洛里慷慨解囊相助，将当时全世界仅有的青霉素全部送给了弗莱明。弗莱明朋友服用该药后，奇迹般地康复。弗莱明立刻将此告知媒体曝光，而后媒体聚焦于弗莱明，而不是弗洛里。

此后，弗洛里团队只得到少量经费，仅够继续研发工作。他们从几千公升原料中，成功地提炼出第一支青霉素。该团队如何设计生产青霉素则是二战中靠自力更生而成功的著名故事。1944年，盟军携带青霉素在法国诺曼底登陆。

1945年，因培养青霉素为人类医疗事业作出巨大贡献的弗莱明、弗洛里和钱恩三人一起获得了诺贝尔生理学或医学奖。

(沙森整理)

记忆

解思梅：窥破天机的“千里眼”

■萨苏

1996年，中国第十四次南极考察队所乘的“雪龙”号破冰船在过南纬四十度西风带时遇到强气旋堵路，船摆摆达四十度。就在最危险的时刻，船上装备的美国卫通设备和日本的气象传真机都失灵，无法接收到气象警报和气象传真图了。

根据正常过西风带的经验，一般只有一个气旋出现，“雪龙”号可以在气旋后面穿过西风带。这一次是否仍然可以如此呢？面对威胁和压力，如何解围，所有人的目光都集中在船上担任极地气象预报的领头人解思梅博士及气象班的身上。

解思梅，1941年出生于山东省即墨县的一个普通农民家庭，1961年考入山东海洋学院，1981年作为我国改革开放后第一批公派留学生赴日留学，提出“极冰、大气、海洋相互作用研究的前沿课题”，至今是国际气象界的重点课题。1990年，受日本特别邀请赴日攻读博士学位，获筑波大学理学博士学位，随后致力于我国极地科考气象和冰区导航事业的开创，是我国享受国家特殊津贴的优秀学者。在极地考察中，因为其准确的预报工作，解思梅被船员们称为“雪龙”号上的千里眼。

“千里眼”果然不同凡响，解思梅和她带领的气象预报班同志们利用我国自己开发的“极轨气象卫星接收系统”很快提供了一张清晰的云图，显示在第一个气旋背后，还有两个气旋紧紧尾随，“雪龙”号如果想绕第一个气旋前进，正好就被后面的两个气旋包围了，那后果不堪设想。设备失灵和三个狰狞的气旋，仿佛天地故意设下“雪龙”号下的罗网，却被解思梅博士窥破天机的团队信手破去。“雪龙”号紧急转向，巧妙地穿过危险海域，继续奔赴南极目的地。

2015年元旦刚过，笔者在北京国家海洋环境预报中心略呈冷清的院子里，采访到了解思梅博士。身材不高的解思梅走在北京的街头，很容易淹没在五光十色的人流中，但她清澈的目光和机敏的动作，让我相信这就是那位我要寻找的中国第一位同时参加过南极和首次北极科学考察的女科学家。

采访前，在我心目中这是一个“诸葛近妖”般的人物。实际上，此前便听说过她的不少趣闻。有的八卦性质比较高，比如说她在南极摸过海豹的鼻子；比如说毕业时她选择到北京而不是上海是因为怕热；比如说她五十岁时常被当成不足三十岁；比如说她在到北极科考时带着半自动步枪防范来袭的北极熊等等，这些多少有些难以考证，但有些肯定不是传闻，比如她1981年出国前参加高等数学选拔考试时，仅仅备考一个星期，便在高等数学考试中独拔头筹，不但每道题都做了逆运算，而且“谦逊”地告诉阅卷老师——那其中有一道题记得我大学时候做过……

听到我对她的第一印象，解老师哑然失笑。她说她晕船很厉害，第一次上船出过很多洋相。就说那次过“咆哮的四十度西风带”，当时她印象最深刻的是晃得厉害，但作为气象预报工作者偏偏气候越糟糕越必须坚守岗位，每天只能睡

两三个小时。过西风带船剧烈摇晃时，她刚刚躺下便剧烈摇晃，同房间对面躺着的女队员，企图起来护着桌子上的水杯等物不要掉落，一起身就被甩到了对面解思梅床里侧的墙上，又一起身嗖的一下又被甩回自己床里侧的墙上。这真比武侠电影里的轻功还厉害！

至于那次让“雪龙”号摆脱危机的预报，解老师并不觉得多神奇。她说那是几年努力的结果，可不是一时灵感大爆发。原来，我国极地考察船1988年曾在南极被流冰包围，船体出现了一条两米多长的大口子。幸好该轮是双层壳体，加上处置得当，才得以顺利完成任务。痛定思痛，海洋局方面大力加强对极地气象预报方面的投入，以期从软硬件两方面增强南极考察的能力。

解思梅博士的团队提出了一个十分超前的方案，那就是研制和在“雪龙”号上安装极轨气象卫星的接收和应用系统。当时可以从卫星获得的气象资料，主要是静止气象卫星接收的卫星云图。其轨道较高，所接收的卫星云图分辨率低，分辨不出冰区里的冰缝，难以在冰区中作为导航的依据。所需的图片，只有极轨卫星才能提供。这样的卫星飞行轨道低，速度快，要捕捉和稳定接收其信号很不容易。

国外当时已经有这样的系统了，但价格十分昂贵。我国当时还是空白。为了冰区导航的任务，也只能自己动手了。解思梅博士亲自出马，带领她的研究生和助手们（负责软件信息处理和系统应用系统的研究），联合航天部二院（负责稳定定位系统和川页公司（负责接收系统）共同研制自己的接收系统。极地办给的研制经费还不够买一套国外接收系统的八分之一。但是，中国的知识分子硬是把这套设备研制成功了，3月份立项，8月份地面测试，11月份随船赴南极试验，除了因时间紧做工粗糙点，所需性能一点儿都不差。

正是这套系统，提供了那张关键的三个气旋堵路的卫星云图，让“雪龙”号闯出绝境。如果没有此前的长期努力，谁也没有出神入化的本领凌驾于科学之上。

值得一提的是，解思梅博士在采访中很少提及考察中的艰辛，却讲到了“雪龙”号顺利抵达中山站后，大家在南极过年的往事。当时，队员们挽留解老师在条件比较好的站上过年，可是她觉得同事们还在“雪龙”号上，自己还是赶回去。于是，她在除夕之夜又返回船上，还带了一件随手捡来的礼物——南极冰盖下断下来的冰块，这东西化了之后可比“来自阿尔卑斯山千年冰川”的高级矿泉水更加纯净。

结果，小艇离“雪龙”号还有几十米时，船长的大嗓门便传了过来：“解老师回来啦！解老师回来了……”船员们也一起跟着喊，气氛热烈万分。

“那是我一生最快乐的时刻，为大家做了事情，得到了大家的认可，那种高兴无法用语言形容，这是我一生中最快的时刻。”曾经在动乱时期耽误了十多年青春时光而扼腕不已的解思梅这样说道。

科学史话

在恐龙化石的发现史上，“曼特尔夫妇”的故事充满着浪漫主义色彩。

曼特尔是位乡村医生，他对大自然充满了好奇，尤其喜爱收集和研化石。在他的影响下，他的妻子也慢慢成了一位“自然之友”和化石采集高手。

1822年3月的一天，天气寒冷，曼特尔外出未归。他的妻子担心他会着凉，就带上衣服去迎接他。在一条正修建的公路两旁，新开凿出的陡壁暴露出一层层的岩石。曼特尔夫人出于习惯观察裸露出来的岩层，忽然，一些亮晶晶的东西引起了她的注意。

原来是一些样子奇特、个头很大的动物牙齿化石。曼特尔夫人从未见过这么大的牙齿。兴奋之余，她顾不上给丈夫送衣服，小心翼翼地把这些化石从岩层中取出来带回家。

当曼特尔回到家看到夫人新采集到的化石时也惊呆了：他见过许多远古动物的牙齿化石，但是这么大、这么奇特的牙齿还是第一次见。

随后，曼特尔又在妻子发现化石的地方附近找到了许多类似的牙齿化石和相关的骨骼化石。为了弄清楚来历，他带着这些化石找到了当时法国著名的博物学家居维叶。

居维叶也从未见这类化石，前辈科学家撰写的书籍和论文中也从来没有提到过这种化石。不过，居维叶判断，这些牙齿可能是犀牛的，骨骼是河马的。

曼特尔对这一鉴定很怀疑，他决定继续考证，去各地的博物馆对比标本、查阅资料。两年后，他结识了一位在伦敦皇家学院博物馆工作的博物学家，此人当时正在研究鬣狗。曼特尔带着化石找到他，与他收集的鬣狗的牙齿对比，结果发现两者非常相似。这让曼特尔喜出望外，认为这些化石属于一种与鬣狗同类，但已经绝灭了的古爬行动物，遂把它命名为“鬣狗的牙齿”（中文译为禽龙）。这是科学史上最早记载的恐龙。

曼特尔能够以一种严谨求实的态度探索恐龙的归属问题，迈出了人类科学地研究恐龙、认识恐龙的第一步。

然而，就在禽龙被鉴定的期间，英国地质学家巴克兰却在1824年率先发表了世界上第一篇有关恐龙的科学报告，报道了一块在采石场采集到的恐龙下颌骨化石。巴克兰认为这是一种新型的爬行动物，并命名为“斑龙”，它的拉丁文原意是“采石场的大蜥蜴”。

在历史上，人类早就发现过恐龙的化石，只不过当时由于知识水平有限，还不能对这些化石进行正确的解释。比如，早在1000多年前我国的晋朝，四川省五城县就发现过恐龙化石。但当时的人们并不知道那是恐龙的遗骸，而是把它们当作传说中的龙的骨头。

在曼特尔之前，一位名叫普洛特的英国人也发现并记录了恐龙化石——只是当时他并没有认识到这块化石是恐龙的，甚至都没有把它与爬行动物联系起来。

1677年，普洛特编写了一本牛津郡的自然历史书。在这本书里，普洛特描述了一件发现于一个采石场中的巨大的腿骨化石，并为这块化石画了一张插图，指出这个大腿骨既不是牛的，也不是马或大象的，而是属于一种比它们还大的“巨人”的。

普洛特用文字和插图描绘的这块标本后来的古生物学家鉴定是一种叫巨齿龙的恐龙的大腿骨，这块化石的发现比曼特尔夫妇发现禽龙早145年。

虽然古代中国人早在晋朝就发现了恐龙，普洛特先生虽然早在1677年就发现并描述了巨齿龙，但直到曼特尔夫妇发现了禽龙并与鬣狗进行了对比，科学界才初步确定了这是一种类似于鬣狗的、早已灭绝的爬行动物。

因此，随后发现的新类型的恐龙以及其他一些古老的爬行动物，名称都和鬣狗有关，比如“像鲸鱼的蜥蜴”“森林的蜥蜴”等。随着这些令人恐怖而类似于鬣狗的远古动物的化石不断被发现和发掘，它们的种类积累得越来越多，博物学家们才意识到它们在动物分类学上应该自成一体。

1842年，英国古生物学家欧文用拉丁文给它们创造了一个名称，这个词前面词根意思是“恐怖的”，后面的词根意为“蜥蜴”。从此，“恐怖的蜥蜴”就成了这一大类彼此有一定的亲缘关系、但是却表现得形形色色的爬行动物的统称。我们中国人则既有想象力又有概括力，把这个拉丁名翻译成了“恐龙”。

(赵广立编辑整理)



本版图片来源：百度图片