

## 印度航母锅炉爆炸——折射出我国高温隔热材料性能测试中存在的严重问题

India Aircraft Carrier Boiler Explosion——Reflects Serious Problems in Performance Testing of High Temperature Insulation Materials in China



摘要：本文介绍国内耐火砖及其隔热性能测试技术现状，非常清楚的说明了印度航母锅炉爆炸的主要原因很可能就是我国民用耐火砖及其测试技术不过关。本文的另一个目的是借印度航母锅炉爆炸事故，使大家对高温隔热材料及其性能测试有一个清晰的认识和引以为戒，为今后选择合理的测试方法和手段提供参考。

关键词：印度航母、锅炉爆炸、耐火砖、隔热性能、导热系数

## 1. 引言

前几年，印度从俄罗斯引进的航母发生了大范围的锅炉爆炸事故，造成人员和设施的重大损失，印度和俄罗斯这两个欢喜冤家由此打起口水仗。印度抱怨俄国航母制造技术不过关，俄国指责印度航母使用技术不到位，挣来吵去相互推卸责任，最终把问题责任归结到用于航母锅炉隔热的“中国耐火砖”上，似乎是先进的俄罗斯制造技术加上印度高超航母使用技术被中国落后的耐火砖脱了后腿。

尽管我们看不到印俄两国针对航母锅炉耐火砖隔热性能上做出的分析报告，但可以从国内耐火砖及其隔热性能测试技术现状进行分析，同样可以得出问题确实出在中国耐火砖上的结论。

本文介绍国内耐火砖及其隔热性能测试技术现状，非常清楚的说明了印度航母锅炉爆炸的主要原因很可能就是我国民用耐火砖及其测试技术不过关。本文的目的是借印度航母锅炉爆炸事故，使大家对高温隔热材料及其性能测试有一个清晰的认识和引以为戒，为今后选择合理的测试方法和手段提供参考。

## 2. 当前国内耐火砖和隔热性能测试水平

### 2.1. 耐火砖材料水平

国内耐火砖和相应的高温隔热材料，多年来一直是饱受诟病的一类产品，由于使用温度不高（1200℃以下）和使用环境不是很苛刻，在工业领域的多年来国产耐

火砖一直勉强能够使用，而考核一个国家耐火砖的最高水平就是看耐火砖是否能在航母锅炉上得到使用。

舰用锅炉在工作过程中，炉膛内最高温度超过  $1800^{\circ}\text{C}$ ，起热防护作用的耐火砖要在很小的厚度范围内，使迎火面  $1800^{\circ}\text{C}$  的高温传到背火面时低于  $300^{\circ}\text{C}$ ，并且能抵抗住内部气流、火炮射击、导弹发射和大风浪航行形成的强烈振动和冲击，否则锅炉的钢铁外壳就可能发软变形，因此对耐火材料有很高要求。

在舰用耐火砖使用上，我们军工部门曾对国内外的耐火砖进行过详细的调研和考察，但国产耐火砖无一能达到使用要求。为了，海军工程大学杨自春教授带领的团队开展了多年艰苦研究，确定用新型陶瓷材料取代传统的耐火砖材料，在制造工艺上提出了“梯度密度”的概念，利用新技术、新工艺，做出的新型耐火陶瓷样品，大幅度提高产品的耐火和隔热性能。成品在国产驱逐舰上的实验中不断改进，最后奇迹般的超过进口产品耐火度的 2 倍，而成本仅有进口产品的  $1/6$ 。这不能不说是个奇迹，一举解决了国产武器的巨大问题缺陷。2017 年 1 月 9 日，在北京人民大会堂举行的 2016 年度国家科学技术奖励大会上，杨自春教授凭借研制的“舰船新一代高温热防护材料和技术”荣膺国家科技进步奖二等奖。

## 2.2. 高温隔热性能测试水平

高温热防护材料的另一项核心技术就是隔热性能测试技术。到目前为止国内耐火材料隔热性能测试标准还是冶金行业标准 YB/T 4130-2005 “耐火材料导热系数试验方法（水流量平板法）” [1]。此标准借鉴了美国 ASTM C201 “耐火材料导热性的标准测试方法” [2] 和英国 BS 1902-505 “耐火材料导热系数标准测试方法（平板/水量热计法）” [3]，并从技术难度和制造成本考虑，此标准还大幅度简化了上述英美标准测试方法，因此按照 YB/T 4130-2005 标准执行的相应测试设备在实际测试中存在以下严重问题：

(1) 英美标准测试方法的导热系数测试范围为  $0.05\sim 28\text{W/mK}$ ，YB/T 4130 标准中标称的范围为  $0.03\sim 2\text{W/mK}$ 。尽管 YB/T 4130 标称可以对隔热材料导热系数低至  $0.03\text{W/mK}$  进行测试，但大量应用证明 YB/T 4130 只能勉强测试大于  $0.5\text{W/mK}$

的导热系数，对小于  $0.5\text{W/mK}$  的导热系数测试误差极大。

(2) 国内很多耐火材料和隔热材料权威检测机构采用执行 YB/T 4130 标准的高温导热仪进行的大量测试证明，YB/T 4130 标准导热仪测试的导热系数值普遍大幅度偏低，也就是会将普通隔热性能的材料测试出优良隔热性能的超低导热系数结果，这往往会误导隔热材料设计和使用单位。

鉴于国内在高温隔热性能测试技术上存在的严重问题，国内军工系统为了满足军工产品的需求，分别开展下以下两方面的研究并获得了满意的结果：

(1) 为了对舰用高温热防护材料进行隔热性能评价，海军工程大学杨自春教授带领的团队曾采用过 YB/T 4130 标准和相应设备进行过测试考核，但同样发现测试结果误差大、导热系数大幅度偏低的严重问题。为此，杨自春团队自行开发的高温测试方法和设备，尽管没有任何文献报道，不知具体采用什么方法，但在以往会议交流过程中杨自春教授称已经圆满解决了这个测试难题。

(2) 我们航天系统涉及到大量高等级高温隔热材料的使用，需要准确测量不同温度、不同真空度和不同气氛下的隔热材料导热系数，以了解空间环境和星际环境下材料的隔热性能。为此，我国航天系统不惜重金引进过 3~4 套德国耐驰公司的防护热板法高温导热仪，但由于耐驰公司的防护热板法高温导热仪最高温度只能达到  $700^{\circ}\text{C}$ ，而且还经常发生高温故障，所以目前常用的最高温度仅为 500 多度。同样，航天系统也采用过 YB/T 4130 标准和相应设备，同样出现测试结果太离谱的现象。为真正解决更高温度的导热系数准确测量，中国飞机强度研究所[4]、哈工大[5]和航天材料工艺研究所[6]分别采用热流计法和非稳态阶跃式平面热源法研制了高达  $1500^{\circ}\text{C}$  的真空型高温导热仪，上海依阳实业有限公司根据热流计法研制生产了最高温度  $1000^{\circ}\text{C}$  的高温导热仪[7]。这些设备的研制和应用，很好的解决了航天系统高温隔热材料的测试评价难题。

### 3. 印度航母锅炉爆炸事故中耐火砖问题分析

综上所述，我国耐火砖造成了印度航母锅炉爆炸事故，我们分析主要原因如下：

(1) 海军工程大学杨自春教授带领的团队研制生产的舰用高温热防护材料已经非常成熟，并成功替代进口耐火砖在舰船中得到了应用。我国这些军工系统的高温热防护材料目前根本就没有转为民用和扩散到社会上，因此更不可能还销售给印度军方，因此印度军方得到的中国耐火材料只能是廉价低性能的民用耐火砖产品。

(2) 国产民用耐火材料一般都会经过国内耐火材料权威机构进行检测，能进行高温耐火材料检测的国内民用产品权威检测机构无一例外采用的都是 YB/T 4130 标准和相应导热仪，对国内民用耐火砖的导热系数测试结果一定会远低于实际导热系数，出具的检测报告自然会满足航母锅炉隔热性能的要求。但自从印度航母锅炉爆炸事故后，国内个别权威检测机构已经不再采用 YB/T 4130 标准和相应导热仪出具导热系数低于  $0.03\text{W/mK}$  的检测报告，以避免不必要的风险和责任。

(3) 一般来说，按照军工配套产品的订购管理规程，所订购材料除了需要生产厂家出具材料性能检测报告之外，还需要订购机构或第三方进行验证检测。也就是说印度军方订购了中国耐火砖后，除了中国耐火砖厂家出具中国权威结构的检测报告外，还需要在印度国内进行第三方验证检测。但从我们查到的相关资料可以看出，印度直到 2017 年才仿制完成德国耐驰的防护热板法高温导热仪[8]，但测试温度范围仅为  $50\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。由此可见，在印度军方当年进口中国耐火砖时，要么没有进行印度国内的第三方测试，要么印度国内第三方测试与中国国内测试一样存在问题。

(4) 印度航母锅炉爆炸后，印度，特别是俄罗斯一定会对锅炉耐火砖进行全面检测，检测结果一定差于设计指标要求，由此印度和俄罗斯会认定中国耐火砖存在问题而造成锅炉爆炸。

总之，如果印度航母锅炉使用了从中国引进的耐火砖，那一定是中国民用级别的耐火砖，而错误的导热系数测试结果一定很低并在纸面上满足航母锅炉的高温隔热要求，这才误导印度军方将这些品质较低的中国耐火砖堂而皇之的使用在航母锅炉上，使得这些“物美价廉”的耐火砖给印度航母带来了灾难。

## 4. 总结

本文仅从高温隔热材料的隔热性能角度分析印度航母锅炉爆炸的原因，也有可

能其他性能对锅炉用高温隔热材料带来严重影响。本文希望通过印度航母锅炉爆炸事故来展现目前国内耐火材料及其隔热性能测试技术方面存在的严重问题，以使印度航母锅炉爆炸事故能为我们提供更好的警示作用。

本文的另一个重点是说明目前国内采用的 YB/T 4130 标准和相应导热仪，由于 YB/T 4130 标准在照搬国外标准过程中过于简化，获得的导热系数测试数据基本都是错误的，测试的导热系数严重偏低，因此在使用 YB/T 4130 标准和相应导热仪时要十分谨慎。有关简化国外标准带来的误差影响将专文进行分析。

## 5. 参考文献

- (1) YB/T 4130-2005 耐火材料导热系数试验方法（水流量平板法）
- (2) ASTM C201-93 (2019) Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories.
- (3) BSI - BS 1902-5.5 Methods of testing Refractory materials - Part 5: Refractory and thermal properties - Section 5.5 Determination of thermal conductivity (panel/calorimeter method) (method 1902-505).
- (4) 秦强, 蒋军亮, 王琦, et al. 大温差测试条件下热防护材料高温导热系数试验方法[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(35):56-60.
- (5) 解维华, 张博明, 杜善义, et al. 高温绝热毡有效热导率的理论分析与实验研究[J]. 材料研究学报, 2006, 20(6).
- (6) 杨景兴, 何凤梅, 陈聪慧, et al. 高温长时使用隔热材料热导率评价[J]. 复合材料学报, 2013(s1):279-282.
- (7) 高温热流计法导热仪 (TC-HFM-1000): 上海依阳实业有限公司;  
<http://www.eyoungindustry.com/2011/1122/7.html>
- (8) Reddy K S, Jayachandran S. Investigations on design and construction of a square guarded hot plate (SGHP) apparatus for thermal conductivity measurement of insulation materials[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2017, 120: 136-147.