

核反应堆用潜望镜的研制

郎奎亨 傅东辉 王海萍 聂喜有

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 在核反应堆停堆后、堆内尚有较强的 γ 射线,堆内水的温度也较高。本文阐述了在这种环境下能正常工作的潜望镜的特殊性能,并且给出了解决这些特殊要求的技术方法。

1 引言

我们研制的这种潜望镜是用于观察原子能科学实验用核反应堆内部情况的。在反应堆停堆两周后,将潜望镜插入堆中,对堆内进行观察,此时,堆内 γ 射线辐照强度为 $2.6 \times 10^5 \text{Gy/h}$,水温为 65°C 。因此,在研制这种潜望镜时要着重考虑这种使用环境的特殊性。

2 技术要求

2.1 光学性能

要求目视观察,潜望镜内装照明。对不同物距,线视场及分辨线度要求如下:

物距(mm)	线视场(mm)	分辨线度(mm)
≥ 20	≥ 18	0.04
≤ 110	≤ 30	0.07
≤ 500	≤ 70	0.25
≤ 800	≤ 100	0.33
≤ 1200	≤ 120	0.5

说明:物距是指从窗口外表面到被观察物体之距离;线视场是指被观察面之直径;分辨线度是指在被观察面上能发现不透明物体的尺寸。

2.2 机构性能

潜望镜入水深度 $\leq 5800\text{mm}$,入水部分最大外径 $\leq 58\text{mm}$,在水下部分镜管可升降 1350mm 、电动、水密。

目镜横置,对堆内可进行垂直与水平观察,手动转换。观察者位置不动。可观察方位 360° 角,手动。

2.3 其它要求

要求潜望镜在堆内每次可正常工作 2 小时,由 γ 射线辐照引起的光学元件透过率下降不影响观察;尽量减少操作人员接受 γ 射线辐照的剂量。

3 研制中重点解决的技术内容

3.1 光学系统

经过论证计算,最后选用四级成像的显微系统。光学系统图见图 1。

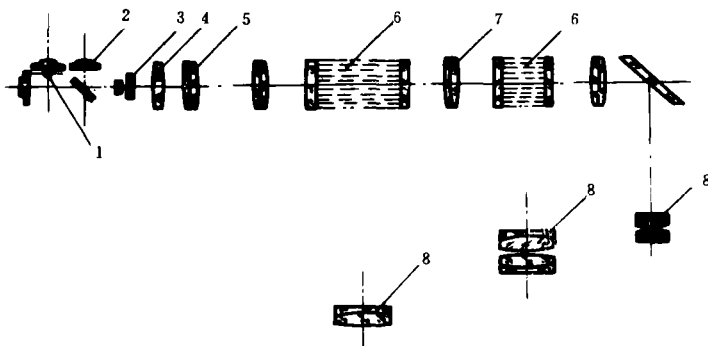


图 1 光学系统图

1—灯泡;2—窗口;3—物镜;4—场镜;5—转像镜组;6—水;7—转向镜组;8—目镜

其中物镜可沿轴向移动,进行调焦,以观察不同距离处之目标;各转像镜组的两透镜间为平行光路,改变其间距离不影响观察;最后一级为成像在无穷远处的虚像系统,以适应於人眼通过目镜观察。

照明灯泡置於下端侧窗口内。因为使用环境有较强的 γ 射线辐照,在技术上采取了如下措施。

a. 采用在给定 γ 射线辐照强度下能正常工作的光学玻璃。为此,我们组织了专门人员研制了高耐辐射光学玻璃,经多次试制得到了比较满意的结果。所获得的玻璃在高强度 γ 射线辐照下,变色较小—透过率下降不多,其辐照寿命优于国外商品,见图 2 光学玻璃耐辐照实验曲

线。

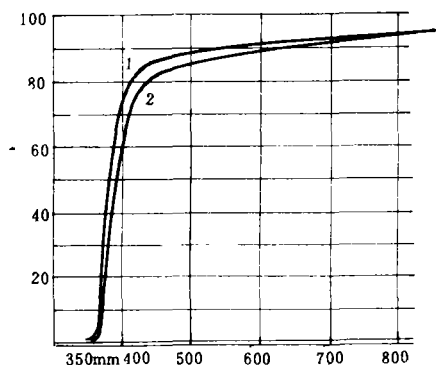


图 2 光学玻璃耐辐照实验曲线

图 2 中曲线 1 是高耐辐照 K₉ 玻璃在未受辐照前的光谱透过率曲线,曲线 2 是接受 2.0×10^8 拉德剂量的 γ 射线辐照后的光谱透过率曲线。从两条曲线的对比可算出在可见光谱段内玻璃透过率下降不大於 5%,达到了使用环境的要求。

b. 各透镜组的胶合均采用了光胶合方法,这样可避免在强 γ 射线辐照下透镜粘合胶透过率下降或失效。

c. 对部分光学透镜增透膜进行了耐 γ 射线辐照实验,从实验中观察到氟化镁增透膜适用於这台潜望镜的辐照环境。

d. 为减少 γ 射线从镜管中射出量,减少对观察者的辐照,我们在光路中加入两段充满水的水管,用以屏蔽 γ 射线。其优点是水在 γ 射线辐照下不会变色,不影响光学系统的透过率。当然,水液要十分清洁。

e. 照明灯的泡壳采用了耐辐照强度较高的 JGS2 光学石英材料制造。这可防止光壳在 γ 射线辐照时迅速变黑而影响照明。

3.2 机械对构

装配后的潜望镜外形如图 3 所示。图中 1 调平底座;2 支架;3 脚踏板;4 主镜系统;5 目镜。

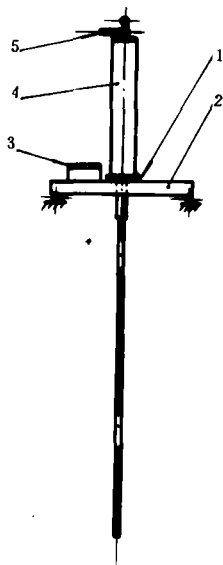


图 3 潜望镜外形

其中1调平底座;4主镜系统与5目镜组成潜望镜主机,而2支架与3脚踏板是支承潜望镜主机的台架。

潜望镜最大高度为7700mm,可入水部份镜管尺寸为 $\varphi 60 \times 5900\text{mm}$ 。

调整台强架在反应堆上的位置,可使潜望镜对反应堆内任意处进行观察。

在机械结构设计中主要考虑的技术内容如下。

a. 潜望镜伸入反应堆部份的结构都采用了耐 γ 射线辐照、耐腐蚀材料。如铝材选用LT21或LD2,钢材选用1Cr18Ni9Ti或1Cr17Ni2,密封材料选用硅橡胶等。

b. 潜望镜入水部份在室温下移入温度为65C的反应堆中,温度变化比较大,因此在结构设计中均应考虑这个情况。例如在设计屏蔽 γ 射线的水管时就有水膨胀的空间,见图4。

从图4中可以看到,该结构并非简单的在水管端部留下一个膨胀空间。因为液面的微小晃动就会影响光学系统的成像质量。

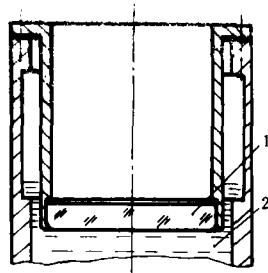


图4 水管端部结构

1—平板玻璃;2—水

图4中所示的这种结构要使水管在室温下,管内液面亦应略高于平板玻璃的下表面,这样,液面的波动就不会影响光学系统成像。同时为了不使管内水液膨胀产生的压力过大而破坏结构,其膨胀空间应的足够大的体积。

c. 要想使镜管水密性能好,应尽量减少可能渗漏的环节。因此,我们将该潜望镜伸入水中部分设计为一整体无缝圆管,而其升降部分放置在水面上。

d. 潜望镜的镜管升降、物镜调焦部分的传动机构均采用了蜗轮蜗杆减速机构,这就保证了运动机构的自锁性能。同进均设计了行程保护装置。

4 样机性能

潜望镜装调后进行了冷试验,经质检部门检测,其性能如下。

4.1 光学性能

物距(mm)	线视场(mm)	线分辨率(mm)
20	18	0.04
110	30	0.07
500	70	0.10
800	100	0.15
1200	120	0.20

4.2 机械运动性能

升降范围(0~1345)mm,速度 0.196m/min。

电动调焦时间<8s。

手动方位旋转舒适。

4.3 水密性能

经 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力水 24 小时无渗漏。

从上述检测结果分析,该潜望镜达到了预想的技术指标,在光学系统的分辨率上还有所提高。

最后说明一下,该潜望镜的光学设计由王立升、周秀良同志承担、电学设计孙东泽、陈兰峰同志承担,在此一并致谢。

Development of a Periscope Used for Nuclear Pile

Lang Kuiheng, Fu Donghui, Weng Haiping and Nie Xiyou

(Changchan Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The γ ray still quite strong and the water temperature high after the pile stops operation, This paper describes the characteristic of the periscope for normal operating in the environment above and represents methods for solving specific requirements above.