

温度疲劳试验系统中的石英灯和液氮 气体加热制冷控制解决方案

Quartz Lamp and Liquid Nitrogen Gas Heating Refrigeration Control Solution In Temperature Fatigue Test System

摘要：在液氮低温冷却控制系统中，目前大多数都采用自增压液氮罐作为低温源，但存在的问题是罐内压力无法精密调节、喷射液氮温度和流量不稳定、冷却温度无法准确控制以及冷却温度范围较窄等问题。为此本文提出了液氮罐内电加热压力调节解决方案，可很好的规避自增压液氮罐方式存在的问题，可实现宽泛区间内的低温温度和降温速度的精密控制。结合可编程分程PID控制器和石英灯加热器，更是能很好的实现高低温冷热交替温度的准确控制。

1. 问题的提出

在很多高等级工件和军用部件中需要进行温度疲劳试验，以降低采用了新材料、新结构及新工艺所带来的温度疲劳风险和提高安全性。温度疲劳试验是包含一些列升温过程和降温过程的温度交替过程，升温过程一般采用石英灯管阵列作为发热元件，降温过程一般采用强制冷却装置。

在石英灯非接触加热过程中，灯管阵列中每根灯管的间距，距试验件的高度都经过精确计算，因此升温过程中试验件的升温速率和各区域的温度场均匀性都能得到保证。相对于升温过程，对于喷射液氮这种最常用的强制冷却方式，现有控制手段的不准确性使得试验件的降温速率和温度均匀性很难得到保证。比较典型的液氮喷射冷却系统如图1所示。

在图1所示的温度交替控制系统中，石英灯管阵列作为加热器为工件提供加热，来着自增压液氮罐的喷射液氮为工件提供冷却，液氮喷射流量由液氮调节阀进行控制。具体温度交替试验中，分程式PID控制器采集工件温度分别控制加热器加热功率和液氮喷射流量，使工件温度按照设定的升降温曲线进行变化，但这种冷却系统存在以下问题：



图1 液氮流量调节式温度交替控制系统

(1) 自增压液氮罐是通过向液氮罐内导入室温大气使得罐内液氮汽化后的罐内压力增大来驱动液氮排出，很难实现微小液氮气体或液体的排出，因此自增压液氮罐常被用来直接灌注液氮，无法进行较精细的冷却温度控制。

(2) 在室温大气进行液氮罐后，汽化液氮使得罐内压力增大但无法控制，虽然出于安全考虑采用了安全阀，但罐内压力的不稳定使得所排出的液氮温度自身也不稳定。

(3) 液氮罐的进气采用手动调节阀进行控制，所以排出液氮的流量和温度基本无法控制，因此无法满足不同冷却温度和冷却速度对液氮流量的精细化调节和快速响应要求。

(4) 尽管在液氮排出管路中采用了液氮调节阀来改变液氮喷射流量，但这种对温度严重不稳定流体进行流量调节的方式，很难做到冷却温度的准确控制，且液氮调节阀的流量调节精细度也十分有限。虽然可以通过加热器进行一些辅助调节，但液氮流体的温度和压力不稳定是无法进行冷却温度精密控制的主要原因。

(5) 自增压液氮罐的液氮喷射冷却方式作为一种液氮流量调节，往往会因为液氮调节阀开度的变化使得液氮罐在大部分时间内其内部压力向较高方向变化。由于有安全阀进行放气，这往往会造成很多液氮的无效损失。

(6) 由于在液氮管路中增加了液氮调节阀，调节阀一方面破坏了液氮管路的整体隔热防护，另一方面还需要对调节阀本身进行低温隔热防护。液氮在排出管路上的冷量损失以及受环境温度不稳定的影响，也是较难实现低温精密控制的因素之一。

为了解决冷热温度交变过程中液氮强制冷却存在的上述问题，本文提出了一种采用液氮罐内直接电加热方式的液氮喷射流量调节解决方案，通过液氮罐内压力的精密控制，快速和精密调节液氮喷射流量，由此可很好地实现冷却温度和冷却速度的精密控制。

2. 解决方案

解决方案所涉及的液氮电加热调压式温度交变控制系统如图2所示，即在密闭液氮罐内直接放置一个电加热器，通过改变此电加热器的加热功率来调节液氮罐内的压力。由于加热功率可以非常精确的进行控制，这使得液氮罐内的压力也可以实现准确调节，因此这种低温介质受控排出的方式可以进行较宽泛的低温区间进行冷却，既可以排出液氮气体，也可以排出液滴和流体，且响应速度快。

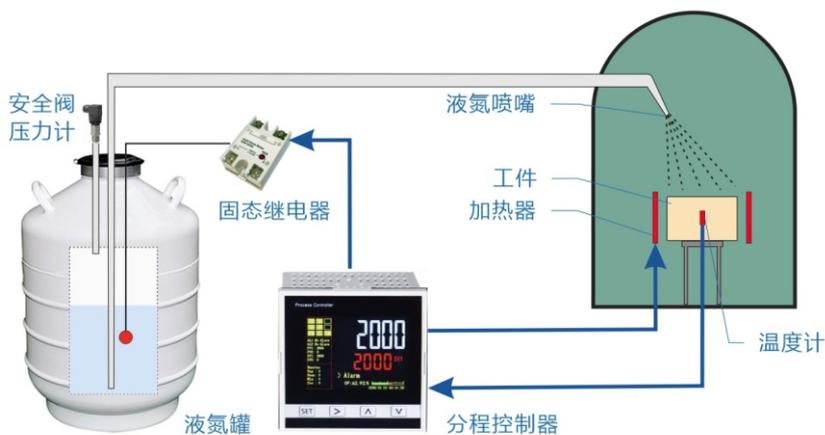


图2 液氮压力调节式温度交变控制系统

解决方案中的另一个关键是采用了可编程的分程式PID控制器，即根据温度范围可自动进行加热和制冷控制。控制器具有编程功能，便于周期性的温度交变控制程序的设定。

3. 总结

综上所述，采用液氮罐内电加热压力调节解决方案，可完全消除目前采用自增压液氮罐存在的罐内压力无法精密调节、喷射液氮温度和流量不稳定和冷却温度无法准确控制等问题，可很好的实现宽泛区间的低温温度精密控制。结合可编程分程PID控制器，可很好的实现高低温冷热交变温度的准确控制。