



1. 一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,包括由防护墙体(4)构成的堆水腔,设置在堆水腔内的冷却水介质(11),以及悬置在堆水腔中的压力容器(1);其特征在于:所述压力容器(1)底部与堆水腔底面之间设有间隙,所述间隙处设有喷雾喷嘴阵列架(5),所述喷雾喷嘴阵列架(5)上设有若干个喷嘴(9),所述堆水腔底部一侧设有冷却水入口(8),所述冷却水入口(8)与所述喷雾喷嘴阵列架(5)之间连接设有喷雾积水管(6),所述喷雾积水管(6)上设有喷雾水泵(7),喷雾积水管(6)依靠喷雾水泵(7)抽取冷却水入口(8)处的冷却工质,将冷却工质输送至喷嘴(9)后喷射出喷雾流体(10),实现对所述压力容器(1)底部冷却。

2. 根据权利要求1所述的一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,其特征在于:所述喷雾喷嘴阵列架(5)为弧形架,喷雾喷嘴阵列架(5)与喷雾积水管(6)连通,喷雾喷嘴阵列架(5)的弧度与压力容器(1)底部弧度相同。

3. 根据权利要求1所述的一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,其特征在于:所述喷嘴(9)间隔均匀设置在喷雾喷嘴阵列架(5)上,喷嘴(9)与喷雾喷嘴阵列架(5)连通,喷嘴中射出的喷雾流体(10)均朝向压力容器(1)底部弧面的弧心方向。

4. 根据权利要求1所述的一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,其特征在于:所述喷雾水泵(7)设置在堆水腔的外部。

## 一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于核电设备技术领域,涉及一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,具体的说是涉及一种可实现压力容器的快速冷却,以防止压力容器内部的核反应堆融穿罐体导致核物质泄漏严重事故的喷射系统。

### 背景技术

[0002] 核能发电作为一种高效、相对清洁的新型能源,在优化能源结构、缓解能源压力以及潜在的大规模应用的前景方面都具有不可替代的作用,是未来能源发展的主流方向。中国作为一个能源消耗大国,已把核电纳入到重点发展的能源种类中,在核电利用及发展过程中,必须始终将核能安全作为前提条件。

[0003] 以我国广泛使用的压水堆核电站为例,当事故发生时,堆芯内失去冷却介质开始升温、过热,燃料元件由于冷却不足而发生融化,堆芯熔融物落入压力容器下腔室,堆芯熔融物的温度可达1400K,并能持续30分钟之久。压力容器在如此高温下能导致其下腔室发生蠕变失效。如不采取有效冷却措施,将会有熔融物融穿压力容器并导致核物质泄漏和堆外蒸汽爆炸。

[0004] 为有效防止由压力容器融穿而导致的严重事故,国际上广泛采用图1所示的压力容器外部冷却的措施。该措施采用堆腔注水的方法浸没压力容器,通过压力容器下封头及筒体外壁表面沸腾冷却的方式将反应堆内部的热导出,实现熔融物在压力容器内部的滞留而不发生泄露的危险。

[0005] 然而浸没式沸腾的传热能力有限,原因在于浸没式沸腾在面对极高热流密度时(大于 $100 \text{ W/cm}^2$ )极易产生沸腾危机,其产生原因在于设备表面产生的气泡过大,在换热表面上方形成了一个气泡层,阻碍了冷却水对热面的冷却,导致换热面温度急剧上升,压力容器依然有被融穿的危险。国内外对强化浸没式沸腾展开了多种研究,其中纳米流体,微结构换热表面改进是强化浸没式沸腾冷却的研究热点。因此,对于浸没式沸腾的强化研究国内外还处在通过改进冷却介质物性与改善换热表面的被动强化阶段,而对其中的主动的强化传热方面研究甚少。目前浸没式沸腾的临界热流密度CHF(设备在安全温度区间内传热能力极限)仍小于 $200 \text{ W/cm}^2$ ,对于浸没式沸腾的主动式强化传热研究亟待开展。

[0006] 喷雾冷却是近年来兴起的一种主动强化散热手段,它是利用喷嘴将工质雾化成无数个小液滴,液滴高速冲撞换热面达到高热流散热目的,喷雾冷却的CHF能够达到 $10^3 \text{ W/cm}^2$ ,目前喷雾冷却并没有应用至压力容器外部冷却中,原因在于压力容器外部冷却中不仅热流密度大,而且排热总量也十分巨大,而喷雾工质流量往往较少,且液膜上方被导热系数极低的气体所包裹,导致喷雾冷却的传热总量和后续热质传输能力受到限制。为了解决单一浸没式沸腾或单一喷雾冷却中所产生沸腾危机的缺陷,达到强化传热,维持压力容器完整性与增强核设施安全性的目的,提出一种浸没式喷射冷却方式来实现核能应用中的压力容器外部冷却显得十分必要。

## 发明内容

[0007] 本发明是为了克服现有技术中的不足之处,提出一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,通过依靠浸没在冷却水中的喷雾喷嘴阵列对核电站严重事故下压力容器外部喷射冷却工质,通过喷雾产生的巨大强制对流冲击可以有效突破单一浸没式沸腾下形成的气泡层,换热面上方充足的工质保证了用于冷却的工质量,可解决单一浸没式沸腾或单一喷雾冷却中所产生的沸腾危机,达到强化传热,可达到维持压力容器完整性与增强核设施安全性的目的。

[0008] 本发明的技术方案:一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,包括由防护墙体构成的堆水腔,设置在堆水腔内的冷却水介质,以及悬置在堆水腔中的压力容器;其特征在于:所述压力容器底部与堆水腔底面之间设有间隙,所述间隙处设有喷雾喷嘴阵列架,所述喷雾喷嘴阵列架上设有若干个喷嘴,所述堆水腔底部一侧设有冷却水入口,所述冷却水入口与所述喷雾喷嘴阵列架之间连接设有喷雾积水管,所述喷雾积水管上设有喷雾水泵,喷雾积水管依靠喷雾水泵抽取冷却水入口处的冷却工质,将冷却工质输送至喷嘴后喷射出喷雾流体,实现对所述压力容器底部冷却。

[0009] 所述喷雾喷嘴阵列架为弧形架,喷雾喷嘴阵列架与喷雾积水管连通,喷雾喷嘴阵列架的弧度与压力容器底部弧度相同。

[0010] 所述喷嘴间隔均匀设置在喷雾喷嘴阵列架上,喷嘴与喷雾喷嘴阵列架连通,喷嘴中射出的喷雾流体均朝向压力容器底部弧面的弧心方向。

[0011] 所述喷雾水泵设置在堆水腔的外部。

[0012] 本发明的有益效果为:本发明提出的一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,系统由防护墙体、压力容器、喷雾喷嘴阵列架、喷雾积水管、喷雾水泵、喷嘴连接组成,本发明依靠浸没在冷却水中的喷雾喷嘴阵列对核电站严重事故下压力容器外部喷射冷却工质,由喷雾产生的巨大强制对流冲击可以有效突破单一浸没式沸腾下形成的气泡层,与传统的单一喷雾冷却相比,本发明包裹换热面的不再是导热系数极低的气体,取而代之的是一层宏观尺度的液层,换热面上方充足的工质保证了用于冷却的工质量,而液态工质的导热系数要远远大于气体或真空,故总体热量运输能力得到与传统喷雾冷却相比将会得到显著加强。本发明突破了单一浸没式沸腾或单一喷雾冷却中所产生的沸腾危机,达到强化传热的目的,可在核事故下实现压力容器的快速有效冷却,达到持压力容器完整性与增强核设施安全性的目的。

## 附图说明

[0013] 图1 为传统压力容器外部冷却系统结构示意图。。

[0014] 图2 为本发明系统结构示意图。

[0015] 图3 本发明中系统局部放大结构示意图。

[0016] 图中:压力容器1、冷却水液面2、堆芯高温熔融物3、防护墙体4、喷雾喷嘴阵列架5、喷雾积水管6、喷雾水泵7、冷却水入口8、喷嘴9、喷雾流体10、冷却水介质11、热量12。

## 具体实施方式

[0017] 下面结合附图对本发明作进一步说明:

如图2-3所示,一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,包括由防护墙体4构成的堆水腔,设置在堆水腔内的冷却水介质11,以及悬置在堆水腔中的压力容器1;压力容器1底部与堆水腔底面之间设有间隙,间隙处设有喷雾喷嘴阵列架5,喷雾喷嘴阵列架5上设有若干个喷嘴9,堆水腔底部一侧设有冷却水入口8,冷却水入口8与喷雾喷嘴阵列架5之间连接设有喷雾积水管6,喷雾积水管6上设有喷雾水泵7,喷雾积水管6依靠喷雾水泵7抽取冷却水入口8处的冷却工质,将冷却工质输送至喷嘴9后喷射出喷雾流体10,实现对压力容器1底部冷却。

[0018] 如图2-3所示,一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统,喷雾喷嘴阵列架5为弧形架,喷雾喷嘴阵列架5与喷雾积水管6连通,喷雾喷嘴阵列架5的弧度与压力容器1底部弧度相同;喷嘴9间隔均匀设置在喷雾喷嘴阵列架5上,喷嘴9与喷雾喷嘴阵列架5连通,喷嘴中射出的喷雾流体10均朝向压力容器1底部弧面的弧心方向;喷雾水泵7设置在堆水腔的外部。

[0019] 如图2-3所示,一种应用于核电站压力容器冷却的浸没式喷射系统的工作原理如下:压力容器1悬空放置在防护墙体4中,核事故下堆芯高温熔融物3将会掉入压力容器1的下部,此时冷却水入口8将在压力容器1和防护墙体4的间隙处注满冷却水,使冷却水达到冷却水液面2处,喷雾积水管6与喷雾水泵7相连,喷雾积水管6进口与冷却水入口8相连,喷雾积水管6出口与喷雾喷嘴阵列架5的入口相连,喷雾喷嘴阵列架上的喷嘴9与喷雾喷嘴阵列架5的出口处相连,喷雾积水管6依靠喷雾水泵7抽取冷却水入口8处的冷却工质,从而将冷却工质输送至喷雾喷嘴阵列架上的喷嘴9形成喷射出的喷雾流体10到达压力容器1的下部。

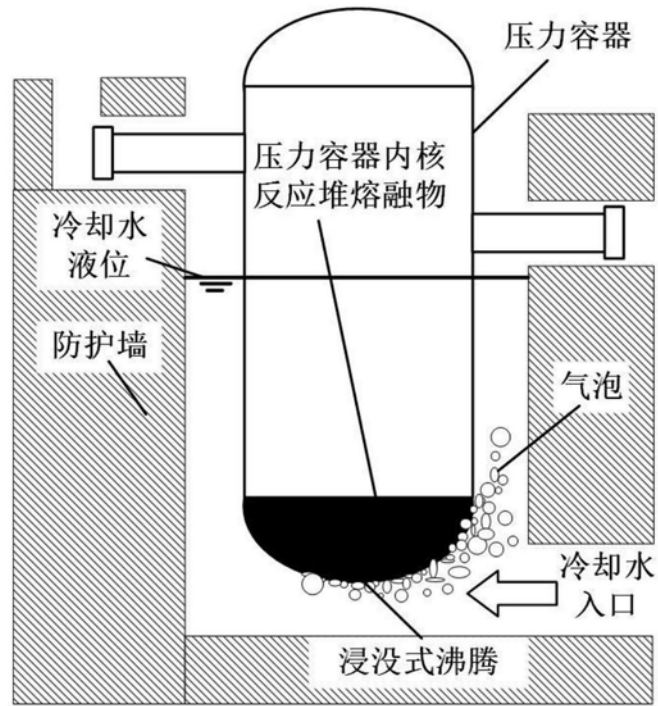


图1

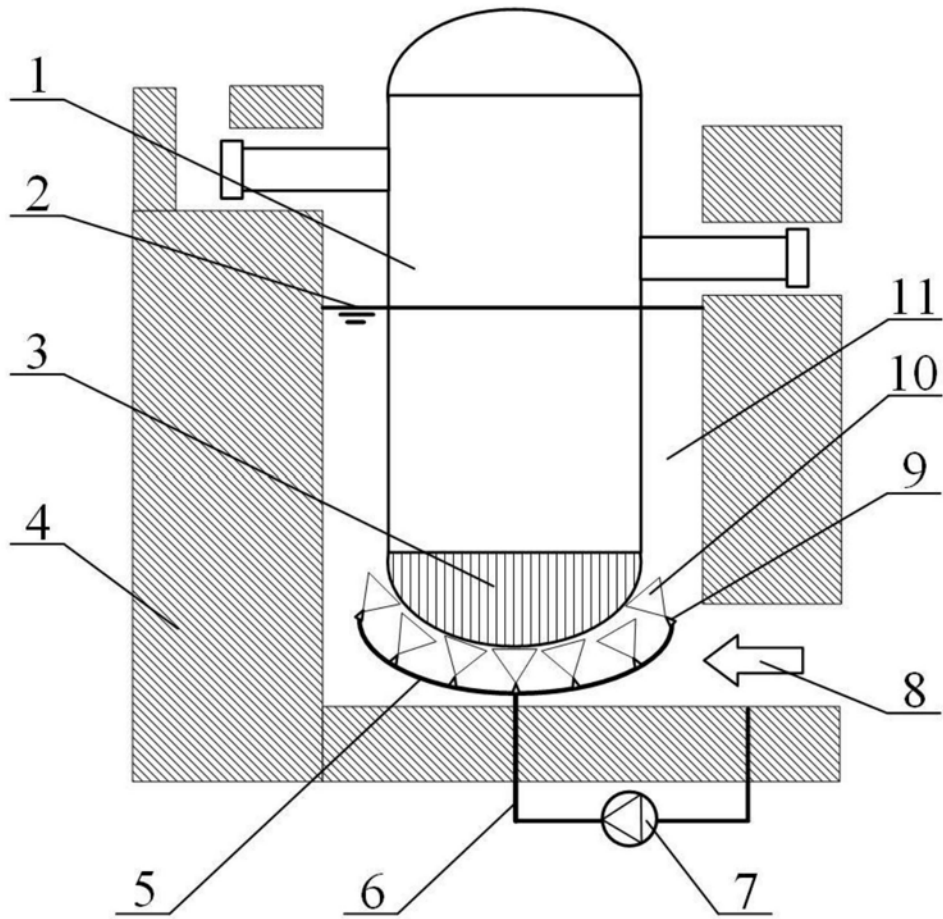


图2

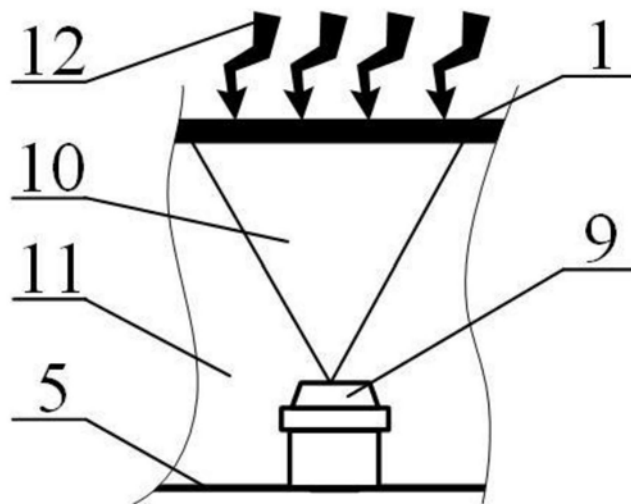


图3