

高温气冷堆供热项目厂址选择法规标准适用性研究

王永福, 孙玉良

清华大学核能与新能源技术研究院, 先进核能技术协同创新中心, 先进反应堆工程与安全教育部重点实验室, 北京 100084

摘要 高温气冷堆具有良好的固有安全性, 其高参数蒸汽可以满足石化行业等供热市场的需求。本文给出了高温气冷堆供热机组推广过程中存在的厂址选择法规标准适用性挑战, 并通过高温气冷堆与石化行业用户相互之间的影响分析, 认为现阶段已有开展编制高温气冷堆供热项目厂址选择法规标准的必要。同时综合国内外调研情况发现, 可以充分发挥高温气冷堆的技术优势, 重点关注行业间应急体系的协调性, 鼓励发展高温气冷堆供热项目非居住区、限制发展区、应急计划区“三区合一”的理念。

关键词 高温气冷堆; 厂址选择; 应急简化

高温气冷堆是具有第四代核能系统安全特征的先进堆型。中国长期坚持高温气冷堆研发工作, 作为 16 个国家科技重大专项之一的高温气冷堆核电站示范工程(HTR-PM)于 2012 年正式开工建设, 目前已进入安装和调试阶段。随着 HTR-PM 的顺利建设, 高温气冷堆商业化推广论证工作也在稳步进行。研究表明, 发展高温气冷堆供热应用可以充分发挥高温气冷堆的高温工艺热优势, 同时进一步提高其经济竞争力, 是高温气冷堆商业化推广的重要方向^[1]。

高温气冷堆供热应用离不开配套法规标准支撑。国内外核法规标准体系主要是基于压水堆核电技术建立起来的, 由于高温气冷堆在国际上尚未实现大规模商业化应用, 国内外均缺少专门的高温气冷堆核电站法规标准体系。但是高温气冷堆在结构材料、燃料型式、安全系统、运行模式及应用领域等方面都与压水堆存在显著差异, 配套法规标准的缺失很大程度上限制了高温气冷堆商业化的推广。

本文重点针对高温气冷堆供热应用的厂址选择法规标准进行研究。要实现高温气冷堆热电联产, 应尽可能缩短高温气冷堆与工业设施、人口居住区等邻近用户的距离, 这样对于高温气冷堆的选址安全又带来了新的挑战。需结合高温气冷堆的技术特性, 进一步研究现有法规标准对高温气冷堆商业化推广的适用性, 达到平衡风险和效益的目的。

1 高温气冷堆供热项目选址面临的挑战

核电厂选址的基本任务就是确定厂址与设施相互之间的适宜性, 主要包括两个方面: 一是从厂址安全、环境影响及

执行应急计划可行性方面确定厂址的适宜性; 二是根据厂址及区域内外自然和人为因素等特征, 确定工程设计基准。目前, 中国核电厂选址主要依据《HF 101 核电厂厂址选择安全规定》及其系统导则、《GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和《GB 6249—2011 核动力厂环境辐射防护规定》等。

通过对核电厂选址与火电厂选址要求的对照分析, 能够发现核电厂与火电厂在选址过程中, 对经济技术可行性、环境等方面的要求和原则一致, 但核电厂选址在安全方面有自己的特殊性要求, 主要表现在人口分布、水弥散、大气弥散、应急计划、外部人为事件(其中包括飞机碰撞、军事设施以及生产、储存、处理易燃、易爆和有毒物品的大型工业设施等对核电厂安全的影响)、洪水、燃料和放射性废物的运输、储存等问题。

为避免核电厂厂址周围的外部危险源威胁反应堆安全, 法规标准要求压水堆核电厂厂址最好选在远离人口中心的低人口密度区; 核电厂周围应设置非居住区、限制发展区, 还必须评估一定范围内的工业设施, 其潜在事故是否会对核电站构成威胁。此外, 为满足核电厂执行应急计划可行性方面的基本要求, 按照法规要求, 中国压水堆核电厂均设置有应急计划区(EPZ), 涉及影响应急计划可行性的厂址主要相关因素包括: 厂址区域内人口密度和分布、厂址距人口中心的距离、难以撤离或隐蔽的特殊人群(医院、监狱等)、厂址及附近区域特殊地理条件(地形、河流等)、交通和通信网络及其他工业、农业、生态和环境特征等。

收稿日期: 2016-10-31; 修回日期: 2017-01-19

基金项目: 国家重大科技专项(ZX06901); 华能集团总部科技项目(HNKJ14-H20)

作者简介: 王永福, 博士研究生, 研究方向为高温气冷堆商业化推广, 电子信箱: yongfu_wang@chnp.com.cn

引用格式: 王永福, 孙玉良. 高温气冷堆供热项目厂址选择法规标准适用性研究[J]. 科技导报, 2017, 35(13): 24-28; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.11.003

由于中国核电厂选址法规标准主要针对的是供电应用,即核电厂厂址距离人口中心、负荷中心相对较远。对于高温气冷堆供热项目,考虑输热效率,需要适当缩短与负荷中心的距离。归纳起来,高温气冷堆要想实现缩短与用户之间的距离,从法规层面面临以下两个方面的挑战。

1) 高温气冷堆对邻近用户的影响。为了保护核动力厂周围公众和环境的安全,现行的核动力厂有关法规标准规定了需在核电厂周围设置非居住区、规划限制区半径和应急计划区。鉴于高温气冷堆的供热、供气用途,这些区域的限制可能需要打破。如何平衡法规规定的公众安全距离与供热、供气效率之间的关系是面临的第一个挑战。

2) 邻近用户特别是石化企业对高温气冷堆的影响。按照中国核安全导则的要求,石化企业中很多装置/设施可能引发高温气冷堆外部人为事件,需进行厂址安全评价,以判断高温气冷堆厂址是否可行。如何平衡外部人为事件风险与供热、供气效率之间的关系是面临的第二个挑战。

2 高温气冷堆对邻近用户的影响

现在运行的压水堆核电站基本上属于第二代反应堆或其改进型,堆芯熔化概率不大于 10^{-4} /(堆·年),放射性大量释放的概率不大于 10^{-5} /(堆·年)。切尔诺贝利事故以来,为尽可能地降低核电站对公众的影响程度,国际核能界在应急计划区的设置上制定了划分原则和方法。

中国核电站相关法规标准所采纳的应急计划区划分原则和方法源自于美国核管理委员会(NRC)和美国环境保护局(EPA)项联合发布的《国家和地方政府用于制定轻水反应堆辐射应急响应计划的基础》(NUREG-0396)报告。报告认为,制定应急计划的距离与主要照射途径密切相关。因此,按照不同的照射途径可以建立两种类型的应急计划区,即烟羽应急计划区和食入应急计划区。通过对事故谱的可能后果评价,可以确定烟羽应急计划区和食入应急计划区的边界^[2]。中国目前一些核电站应急计划区的划分情况见表1。

表1 中国目前一些核电站应急计划区的划分情况

Table 1 Emergency planning zones for nuclear power plants of China

核电站名称	烟羽应急计划区/km		食入应急计划区/km
	内区	外区	
秦山核电站	3	7	30
大亚湾岭澳核电站	5	10	50
山东海阳核电站	5	7	30
广东台山核电站	5	10	50

但随着核电技术的发展,核电厂的安全性也得到进一步的改进。先进型核电技术如1000 MW先进非能动压水堆(AP1000)、欧洲压水堆(EPR)、模块式高温气冷堆(MHTGR)以及HTR-PM等都把简化或取消场外应急作为重要的设计目标之一,不断采用固有安全和非能动安全设计,不断提升

核电厂安全水平,预示从技术上具备了简化场外应急计划的可能性。

2.1 压水堆核电站简化场外应急研究现状

早在1999年,美国电力研究所(EPRI)就组织人员对先进轻水堆应急计划区进行了研究,认为先进轻水堆采用非能动设计,堆芯损坏概率低,在堆芯损坏事故中,安全壳的完整性得以保留,并具有较低的场外剂量。建议较大地简化先进轻水堆的场外应急计划,将应急计划区分为半径0.8 km的响应区,4.8 km的通告区和40 km的食入照射途径区,在保留场内应急计划和有限的场外应急防护行动的基础上,免除了早期向公众通告、详细的撤离计划和场外应急计划演习等要求。

但作为核安全监管机构的NRC比较谨慎,认为基于非能动设计特性的反应堆具有比目前核电站设计更低的事故概率,在技术上对外部干预措施的需求可能有限,通过适当修订场外应急措施或修订应急计划区的大小确实可以使社会受益,但发生严重事故的可能性依然存在,应急准备需要继续作为先进核电站纵深防御的一个重要因素,并维持目前根据事故谱的可能后果确定应急计划区的原理。

针对小型先进压水堆(≤ 300 MWe),2011年NRC发布SECY-11-0152提出了基于剂量限值的可变应急计划区划分建议,详见表2。

表2 小型堆的烟羽应急计划区

Table 2 Plume emergency planning zones for small module reactor

EPZ类别	剂量限值/mSv	EPZ区域/km
I	厂址边界处预期剂量 <10	厂址边界
II	厂址边界处预期剂量 ≥ 10	3.2
	3.2 km处预期剂量 <10	
III	3.2 km处预期剂量 ≥ 10	8
	8.0 km处预期剂量 <10	
IV	8.0 km处预期剂量 ≥ 10	16

2.2 高温气冷堆简化场外应急研究现状

高温气冷堆与压水堆在设计理念、系统设置及事故特性上有着巨大差异,因此在分析高温气冷堆的应急计划简化时,应重点关注放射性核素释放的功能性包容、事故分析导则、风险指标等特殊问题。

1) 由于高温气冷堆采用3层各向同性燃料包覆颗粒(TRISO),有效阻止了放射性物质释放到环境中,因而对于安全壳的要求有别于压水堆。

2) 高温气冷堆在事故类型、热工水力瞬态、控制功能、纵深防御和裂变产物屏障等方面与压水堆不同。

3) 由于与压水堆的事故序列完全不同,采用堆芯损坏概率(CDF)和大量放射性物质早期释放概率(LERF)等风险指标无法准确度量高温气冷堆。同时由于采用了概率安全分析方法支持高温气冷堆的设计和审评,必须建立与其适配的

风险指标。

为此, NRC 也开展了大量工作, 并曾试图在美国联邦法规第 10 篇第 50 章 (10 CFR 50) 中增加附录, 明确对高温气冷堆的安全要求。针对未来非轻水堆 (包括高温气冷堆) 的审评, NRC 归纳了 7 个问题^[4-5]:

- 1) 如何具体实现 NRC 提高了的安全期望?
- 2) 如何定义特定的纵深防御特征?
- 3) NRC 的要求如何与国际安全法规标准联系起来?
- 4) 为确定核电站的许可基础, 可以在什么范围应用概率分析方法?
- 5) 考虑安全壳和厂址适宜性的许可决策时, 什么情况下可以使用特定工况相关的事故源项?
- 6) 何种情况下, 获得许可的电厂可以无需承压安全壳?
- 7) 何种情况下, 可以缩小应急计划区 (包括缩小到反应堆非居住区边界)?

在美国能源部 (DOE) 对 MHTGR 的分析表明, 考虑到任何情况下燃料温度均不会超过可能发生燃料失效的临界温度, 而且在事故发生 36 h 后的燃料温度比 60~100 h 后的最高温度的计算值低很多, 这意味着 MHTGR 事故发生到放射性释放之间的延迟时间在 36 h 以上, 比压水堆长很多, 这可以为场外应急响应行动提供足够长的计划和准备时间, DOE 认为 MHTGR 可以在技术上将烟羽应急计划区缩小至厂区边界, 应急计划可以适当简化^[6]。

为满足 HTR-PM 建设, 中国国家核安全局于 2008 年印发了《高温气冷堆核电站示范工程安全审评原则》(试行), 该原则针对 HTR-PM 概率安全目标、纵深防御的设置、安全壳的设置、事故源项的考虑等特殊问题明确了国家核安全局的立场。在开展应急计划区测算时, 采用的应急计划区划分原则和方法未完全依据对压水堆的具体规定, 而是按《GB 17680.1—2008 核电厂应急计划与准备准则》中第 4 节和第 5 节所规定的原则讨论 HTR-PM 的应急计划区划分问题, 根据选取的典型设计基准事故、应急基准释放类及相应包括事故序列释放类源项进行了应急计划区测算。

经测算发现:

1) 对设计基准事故采用包络源项和保守气象条件计算, 结果表明, 所选择的两个事故在各距离处的 2 d 有效剂量、7 d 有效剂量、甲状腺剂量均小于相应的通用干预水平。即, 从设计基准事故角度, 非居住区边界可作为烟羽应急计划区外边界。

2) 对应急基准释放类采用概率论方法, 通过建立模型进行事故后果分析表明, 高温气冷堆发生应急基准释放类时, 其所致场外公众个人剂量, 几乎不可能在非居住区边界外 (甚至 200 m 外) 超过紧急防护行动 (隐蔽、撤离和碘防护) 的通用干预水平。即, 从应急基准释放类的角度看, 非居住区边界可作为烟羽应急计划区外边界。

3) HTR-PM 发生应急基准释放类中的事故时, 只有 Cs-134、Cs-137 这一核素组在牛奶中的污染水平, 可能超过其相

应食品通用行动水平。也就是说 HTR-PM 各应急基准释放类中包络事故源项都比较小, 各核素组在食品中的污染水平只有在非居住区边界以内才可能以极低的概率超过《GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的食品通用行动水平。因此, 从技术角度看, HTR-PM 将食入应急计划区限定在非居住区边界内可以满足标准要求。

因此, 对于高温气冷堆, 从技术上讲烟羽应急计划区、食入应急计划区均可以限定在非居住区范围之内, 实现“三区合一”。

3 邻近用户对高温气冷堆的影响

高温气冷堆在商业化推广过程中的主要应用前景在于工业供汽、居民供热和远期的高温制氢, 从对核电站运行安全性的影响后果来看, 重点研究石化企业的工业设施外部事件 (如爆炸、火灾、易燃、易爆、有毒、窒息和腐蚀性物质的释放) 对高温气冷堆核电站的影响。

尽管石化企业的设计、施工标准规范已十分完善, 但这些规范定义的都是石化企业自身内部及自身与比邻公共区域的关系, 很少或完全没有定义自身与比邻另一个行业之间的关系。

3.1 潜在的爆炸事故影响

中国关于外部人为事件评价的核安全导则现为《HAD101/04 核电厂厂址选择的外部人为事件 (1989)》, 目前正在根据国际原子能机构 (IAEA) 的有关文件修订新版导则《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》。根据国内选址实践, 潜在爆炸源在外部人为事件中占比例较大, 潜在爆炸源对高温气冷堆可能引起空气压力波、爆炸产生的射物撞击、热 (火)、烟雾和灰尘、毒气和窒息气体、由腐蚀性气体、蒸汽云或液体带来的化学腐蚀及地面震动。

国内大量的地面爆炸试验表明, 发生爆炸时, 爆炸产生的空气冲击波的破坏作用是最主要的。因此, 在分析核电站安全级构筑物承受爆炸效应的能力时, 通常只限于检验其承受爆炸冲击波超压的能力。参照 HAD101-04, 根据构筑物破坏等级的划分标准, 确定防护爆炸冲击波的最小距离。当爆炸源与核电站的距离大于设防安全距离值时, 则不必考虑其对核电厂可能的潜在影响。

3.2 潜在的毒害影响

炼化企业加工、处理的物料绝大多数都有不同程度的毒性, 但属于高毒、剧毒的大宗物料只存在苯、丙烯腈、甲苯二异氰酸酯 (TDI) 和二苯甲烷二异氰酸酯 (MDI) 的生产过程中。由于苯是炼化企业处理的多种易燃易爆物料中的一种, 对于高温气冷堆来说, 处理好与炼化企业中广义易燃易爆物料的关系, 就能处理好高毒物料苯的关系, 不必专门针对苯采取防范措施。高温气冷堆如拟向拥有丙烯腈装置、TDI、MDI 的炼化企业供气, 可以把这些装置作为其另一个全厂性罐区对待, 在地势、风向、间距方面考虑周全, 即可不受毒性伤害。

3.3 安全距离的研究现状

各国针对高温气冷堆工艺热利用,对高温气冷堆与供热用户间的安全距离开展了初步研究,形成的研究成果如表3所示。可以看出,美国、日本和俄罗斯的研究成果均表明,当

高温气冷堆与工业设施之间的距离超过110 m,技术上可以确保其运行安全性。对于后续石化行业应用,需要基于当地实际情况开展深入分析,并通过设置一定的安全距离、进行合理的总平面布置,保障高温气冷堆热电联产机组的安全性。

表3 高温气冷堆工艺热利用安全距离

Table 3 Safe distances for high temperature reactor process heat utilization

国家	堆型	工艺热用途	结论建议
美国	高温气冷堆	制氢,化工	不考虑其他的缓解措施,反应堆与工业设施间的距离超过110 m,外部危险源引起的堆芯损毁概率将小于 1.0^{-6} /(堆·年)
日本	高温气冷堆	制氢	当反应堆与工业设施间的距离超过100 m时,技术上可以确保反应堆的安全性
俄罗斯	高温气冷堆	制氢	若单堆产氢能力超过12500 kg/h,且反应堆与制氢设施之间的距离为100 m,则须在制氢设施外储存氢气,以确保反应堆的安全性

4 厂址选择法规完善建议

高温气冷堆优异的高温参数及其固有安全性,能够很好地满足未来供热市场的需求,受到了国内外的广泛关注。但高温气冷堆作为一种新堆型,其法规标准体系仍未建立,沿用压水堆核电站的法规、标准、导则体现不出高温气冷堆的安全技术优势,将制约高温气冷堆的未来推广前景。在《核动力厂环境辐射防护规定(征求意见稿)》中,考虑了供热堆的特殊性,并在标准中明确了相关要求,如4.7节中“对于以供热为目的的核动力厂,设计上必须保证可以不考虑场外应急,确保周边公众的安全”;以及5.6节中“如拟建核动力厂的设计要求允许不考虑实施场外应急,非居住区半径不得小于250 m,规划限制区半径不得小于2 km”。但由于多种原因,在正式定稿的版本中,删除了关于供热堆的内容,其适用范围也明确为“适用于采用轻水堆或重水堆发电的陆上固定式核设施,其他堆型的核动力厂可参照执行”。虽然给安全性能更高的堆型留了余地,但也导致高温气冷堆商业化推广项目的选址,尤其是非居住区、规划限制区和应急计划区的确定缺少依据。

为缓解日益紧迫的环境问题,发挥高温气冷堆的技术优势,实现供热市场能源替代,迫切需要尽快出台或明确高温气冷堆等供热堆型的厂址选择法规标准,在研究法规标准条款时,建议关注以下几点。

1) 充分考虑高温气冷堆的技术优势。高温气冷堆从技术上已经实际地排除大规模放射性物质释放的事故后果,且有足够的应急响应行动时间。可以逐渐放宽场外应急、人口分布、地质条件等方面的要求。

2) 关注应急体系的协调性。以石化行业为例,石化产品也是国家规定的危险化学品之一,其安全生产应急体系经过多年的发展,也趋于完善和成熟。核电与石化行业的结合,应充分体现两个行业的特点,应考虑通用的框架,可以避免应急计划重叠所导致的复杂性和混乱度,并且可以针对类似

的风险提供一致的防护水平。

3) 对高温气冷堆的外部危险源评价方法做出明确规定。要进一步明确对热用户或周围其他外部潜在爆炸源、火源和危险气云的后果评价工作要求,为高温气冷堆的安全设计提供足够裕量的设计输入。

4) 鼓励非居住区、限制发展区、应急计划区“三区合一”。以高温气冷堆向大型石化企业供应蒸汽为例,通过安全结构设计、总平面设计等技术手段,将石化企业对核电站的安全威胁降到最低,实现高温气冷堆供热项目的场外应急的最终简化,并将三区的范围缩小至厂址边界处。

5) 鼓励同一厂址多堆分布式供热。为降低高温气冷堆出现非预计停堆给用户带来的影响,可鼓励在石化产业园布置多个高温气冷堆进行供热,这样在单个高温气冷堆停堆时,既可以减少停堆对整个石化产业园的影响,也可以通过增加其他高温气冷堆供热量弥补停堆造成的供热短缺。

5 结论

针对高温气冷堆供热项目,本文对现有法规标准的适用性进行了研究,提出了高温气冷堆供热应用面临的法规标准挑战。基于全球先进堆型简化应急的现状,以及示范工程的实践经验,对高温气冷堆供热项目与邻近用户的影响进行了分析,并提出了厂址选择法规优化建议。本文研究表明:

1) 高温气冷堆具有良好的安全技术特性,从技术上已经实际地排出大规模放射性物质释放的事故后果,且有足够的应急响应行动时间。通过HTR-PM的建设,已经从技术上验证了“三区合一”的可行性,为简化场外应急奠定了良好的技术基础。

2) 石化行业对高温气冷堆的外部影响,主要影响方式为爆炸和毒害,可以通过强化高温气冷堆的结构设计和优化总平面布置方案得到较好的解决。

3) 美国、日本和俄罗斯的研究成果一致表明,当高温气

冷堆与工业设施之间的距离超过 110 m,技术上可以确保其运行安全性。

结合目前供热市场转型的迫切需求,现阶段已具备编制高温气冷堆供热项目厂址选择法规标准的条件,可以借鉴高温气冷堆的技术优势,重点关注核电、石化两个行业应急体系的协调性,实现非居住区、限制发展区、应急计划区“三区合一”,为后续高温气冷堆供热项目与用户行业的和谐发展奠定坚实的基础。

参考文献 (References)

- [1] 王永福, 孙玉良. 高温气冷堆热电联产技术经济研究[J]. 核动力工程, 2016(3): 181-184.
Wang Yongfu, Sun Yuliang. Technical-economic study on high temperature reactor for combined heat and power generation[J]. Nuclear power engineering, 2016(3): 181-184.
- [2] Nuclear Regulatory Commission. Planning basis for the development of state and local government radiological emergency response plans in support of light water nuclear power plants[EB/OL]. [2016-06-10] <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0396/htm>.
- [3] Nuclear Regulatory Commission. Plan for resolving policy issues related

- to licensing non-light-water reactor designs. [EB/OL]. [2016-06-10]. <https://www.nrc.gov/docs/ML0319/ML031950315.pdf>.
- [4] Nuclear Regulatory Commission. Policy issues related to licensing non-light-water reactor designs[EB/OL]. [2016-06-10]. <https://www.nrc.gov/docs/ML0317/ML031770333.pdf>.
- [5] 华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电站示范工程应急计划区测算专题报告[R]. 北京: 中国华能集团, 2016.
The emergency planning zone evaluation report for Huaneng Shandong Shidao Bay nuclear power plant high temperature gas cooled reactor demonstration project[R]. Beijing: China Huaneng Group, 2016.
- [6] Smith C, Beck S, Galyean B. Separation requirements for a hydrogen production plant and high-temperature nuclear reactor[R/OL]. [2017-03-31]. https://www.researchgate.net/publication/255944846_Separation_Requirements_for_a_Hydrogen_Production_Plant_and_High-Temperature_Nuclear_Reactor.
- [7] Nishihara T, Kunitomi K, Murakami T. Study on the separation distance in the HTGR hydrogen production system (GTHTR300C)[C]. 3rd International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg, South Africa, October 1-4, 2006.
- [8] International Atomic Energy Agency. Advances in nuclear power process heat applications[EB/OL]. [2016-05-15] http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/056/43056255.pdf.

Applicability study of siting regulations and standards for high temperature gas-cooled reactor cogeneration project

WANG Yongfu, SUN Yuliang

Advanced Nuclear Technology Collaborative Innovation Center, Key Laboratory of Advanced Reactor Engineering and Safety, Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract High temperature gas-cooled reactor (HTGR) possesses excellent inherent safety, and the high quality steam from it can be used to meet the heating demand of petrochemical industry and so forth. The challenge for siting regulations and standards during the process of HTGR cogeneration project promotion is revealed in this article. Based on the analysis of mutual effects between HTGR and petrochemical industry user, it is believed that establishing the siting regulations and standards for HTGR cogeneration project is necessary. Combined with the domestic and oversea investigations, it is suggested that the siting regulations and standards establishment should take the technical advantages of HTGR into full account and focus on the coordination of different industry emergency systems. And a trinity concept of non-residential zone, restricted zone and emergency plan zone for the HTGR cogeneration project is proposed.

Keywords HTGR; site selection; emergency simplify

(责任编辑 刘志远)