

商用低温核供热站潜在事故 环境影响和厂址选择

施 仲 齐

(清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084)

摘要 介绍了国外核供热站安全评价和潜在事故环境影响估计. 根据我国拟建中 200MW 核供热站潜在事故后果初步分析结果表明, 商用核供热站靠近城市不会给公众带来不适当的风险. 此外在我国和国际核安全法规和导则框架内还讨论了核供热站的应急计划和选址准则. 由于核供热站的高安全水平, 在其周围不需要场外应急撤离计划, 人口分布不应是核反应堆选址的决定因素. 但从尽可能合理低的辐射防护原则考虑, 建立约 2km 半径的限制发展区和必要的环境辐射应急监测及应急通讯则是有利的.

关键词 商用核供热站, 环境评价, 厂址选择, 事故分析, 应急计划.

在清华大学 5MW 低温核供热站安全运行 3 个供暖季节以后, 国家正计划投资建设 200MW 低温核供热站. 出于经济的考虑, 此种供热站宜布设在接近负荷中心, 即靠近城市或工业区. 这将明显地不同于通常核电站厂址选在低人口密度区的原则. 本文着重从商用供热站潜在事故及其环境影响的分析来讨论供热站的选址、核应急响应计划和靠近人口中心的安全性问题, 因为核反应堆选址对环境的影响, 主要是潜在事故会对公众造成的放射学后果.

1 国外核供热站安全评价和潜在事故环境影响分析的主要结果

在说明我国正计划中的供热站的事故影响分析前, 先介绍一些国家对核供热站进行的安全评价和事故环境影响分析的主要结果.

1.1 瑞典

瑞典对 SECURE 供热堆的安全评价结果早在 70 年代末已经发表^[1]. 它为查明潜在事故和评估事故发生的可能性, 采用了“反应堆安全研究”^[2]所使用的标准事件树和失效树的方法学. 对 SECURE 的研究表明, 除了在装卸燃料期间发生燃料机械损坏, 使放射性的水或气通过一回路及相关系统泄漏外, 不会产生其他放

射性释放的事故. 表 1 是一些典型事故的评价结果.

1.2 德国

德国用失效树和事件树的分析方法对 200MW(热) 供热堆进行了概率论的可靠性研究^[3]. 所考虑的事件是可能影响安全系统设计的所有内部事件和外部事件中的飞机坠毁. 表 2、表 3 分别给出德国对供热堆概率安全分析和典型事件的场外放射学后果.

1.3 前苏联

前苏联对低温核供热站进行的概率安全分析得出, 其堆芯严重损坏的概率不超过 $4 \times 10^{-9}/a$, 其事故类型及其发生概率和对公众造成的剂量分别列于表 4、表 5(根据 1991 年中苏第一次核供热研讨会苏方技术资料).

2 我国拟建核供热站潜在事故环境影响

我国 200MW 低温核供热工业示范站计划在北方城市附近建造, 有几个城市在计划这项工作. 吉林示范站可行性研究阶段的环境报告和厂址报告已经国家有关主管部门批准或认可. 本文

表 1 SECURE 堆典型事故影响分析^[1]

事 故	释放持续 时间 ¹⁾ (h)	概率 (1/a)	群体剂量		500m 处关键居民个人剂量	
			全身 (man·rem)	甲状腺	全身 (rem)	甲状腺
燃料装卸事故	240	5×10^{-9}	0.14	100	1×10^{-4}	0.2
	240	1×10^{-3}	5×10^{-3}	5	2×10^{-7}	0.01
加压气体泄漏	240	5×10^{-8}	0.4	0.04	1×10^{-4}	3×10^{-5}
	240	1×10^{-2}	0.01	0.002	5×10^{-7}	1×10^{-6}
一次水泄漏	240	5×10^{-9}	0.2	0.1	5×10^{-5}	1×10^{-4}
	240	1×10^{-3}	0.005	0.006	2×10^{-7}	3×10^{-6}

1) 1h 释放的剂量是在不利的气象条件 (发生概率为 0.05), 同时在反应堆舱连续通风的假定下计算得到。其它释放情况是假定堆舱被很好隔离。

表 2 德国 200MW 供热堆可靠性分析结果^[3]

初因事件	发生概率	系统不可利用度	为防止堆芯严重损坏必需 采取附加措施的概率
厂外电源丧失	0.1	3×10^{-7}	$< 1 \times 10^{-7}/a$
主热阱丧失	0.5	7×10^{-8}	$< 1 \times 10^{-7}/a$
安全壳外 LOCA	1×10^{-3}	5×10^{-7}	$< 1 \times 10^{-7}/a$
ATWS	$< 1 \times 10^{-6}$	2×10^{-1}	$< 1 \times 10^{-7}/a$
飞机坠毁	$< 1 \times 10^{-7}$	1	$< 1 \times 10^{-7}/a$

表 3 德国 200MW 供热堆事故评价结果^[3]

事故类型	γ 辐射引起的全身剂量 (m rem)	
	地面沉积	气载
电源丧失	无	无
控制棒弹棒	无	无
中间回路泄漏	4×10^{-1}	5×10^{-4}
一回路泄漏	6×10^{-1}	1×10^{-5}
燃料操作事故	7×10^{-3}	8×10^{-3}

主要介绍吉林供热示范站的分析结果, 由此得

出的主要结论对其它城市的拟建核供热站同样是适用的。

2.1 供热站可信事故范围内不会发生堆芯熔化事故

根据拟建供热站典型事故的详细分析 (清华大学核能技术设计研究院, 吉林化学工业公司核供热示范站可行性研究), 在设计基准范围内造成最严重后果的 4 类事故 (断电 ATWS 不

表 4 前苏联低温供热堆事故概率

事故类型	初因事件频率 (1/a)	事故概率 (1/a)	占全部事件概率的百分数 (%)
失水事故:			
· 破管	1.0×10^{-3}	0.1×10^{-10}	0.3
· 压力壳丧失密封性	1.0×10^{-7}	0.69×10^{-10}	2.1
主换热器回路间隔破坏:			
· 联箱破裂	3.0×10^{-4}	0.54×10^{-9}	17
· 换热器管破裂	$< 1.0 \times 10^{-2}$	0.63×10^{-10}	1.9
热网回路停止导出热量	3.5	1.0×10^{-9}	31
失去外电源	0.13	0.73×10^{-9}	22
控制棒机构弹出	$< 1.0 \times 10^{-2}$	$< 1.0 \times 10^{-10}$	3.1
ATWS	8×10^{-6}	0.74×10^{-9}	23
全部事件		3.3×10^{-9}	100

注硼, 注硼管在安全壳内破裂, 安全阀失效常开, 压力壳底裂缝) 下, 200MW 供热堆堆芯始终被水淹没, 不发生堆芯熔化事故, 最小偏离泡核沸腾比、燃料最高温度及燃料最高热焓未超过规定限值. 分析表明, 200MW 供热堆具有很好的安全特性, 所有上述 4 类事故均未出现一般核电站“稀有事故”和“极限事故”的后果, 满足核安全规程的要求.

表 5 前苏联供热站对公众照射的剂量

状况	公众最大剂量 (m rem)		前苏联卫生防护标准 要求允许的剂量 (m rem)
	离供热站距离		
	1km	5km	
正常运行 (每年)	0.01	0.005	20
设计基准事故	1	0.5	
超设计基准事故	2	1	
假想事故：			
外照射	210	105	1×10^3
内照射	120	60	1×10^4

2.2 产生场外放射学后果的事故

低温核供热站向环境释放放射性物质而造成公众放射学后果的可能事故包括:

(1) 安全壳外 - 回路冷却剂管道破裂;

(2) 安全壳内 - 回路冷却剂管道破裂 (其放射性释放和造成的场外后果明显低于前一事事故);

(3) 废气处理系统管道或贮罐的泄漏事故;

(4) 燃料操作时发生的事故.

由于目前国际上还没有一套比较完整的有关低温供热站潜在事故后果分析假定的标准或导则, 对我国拟建的供热站进行的这类安全分析主要是参照德国和美国为评估轻水堆核电厂潜在事故后果使用的假定, 结合拟建中的供热站的具体设计而进行的. 在分析中因可行性研究阶段缺少详尽参数而作偏保守的估计. 事故环境影响计算采用“不利的”气象条件, 并假定事故时为地面释放. 剂量计算结果列于表 6, 均很好地满足我国环保局对核电厂规定的各类事故剂量标准^[4].

根据清华大学 200MW 供热站初步的安全研究, 拟建供热站发生可信事故而造成对公众的照射以及对公众造成的风险是可接受的. 低温供热站建造在城市附近是可行的. 需要指出的是, 由于事故源项假定的差别, 不同国家或单位分析得出的所谓最大可信事故或最大设计基准事故可能不同 (参见表 1-6).

表 6 拟建供热站潜在事故场外剂量

事 故	250m 处个人剂量		集体剂量 (80km 范围内)
	(m Sv)		(man Sv)
	全身	甲状腺	全身
小失水事故	0.012	0.113	0.069
废气泄漏	0.10	0.098	2.54
燃料操作事故	9.1×10^{-4}	6.8×10^{-3}	5.2×10^{-3}

3 核供热站应急计划

3.1 核供热站应急计划背景材料

根据我国核动力厂安全和环境保护的有关管理规定, 核动力厂要进行应急准备, 以应付不测事件. 项目可行性研究阶段, 要论证采取应急措施的可行性. 因此首先要明确核供热站需要什么样的应急计划和准备. 但目前我国和国际上还没有这方面的具体标准. 为此, 先介绍若干背景材料, 包括国家核安全法规技术文件的有

关内容, 可能对决定核供热站应急计划的规模有参考价值.

3.1.1 核安全法规技术文件中的安全设计原则

核供热厂须遵守的安全设计原则包括厂区边界外无撤离、隐蔽等应急行动要求^[5].

3.1.2 国际原子能机构官员的见解

国际原子能机构 (IAEA) 核能和安全部的 P.Giuliani 和 E.Iansiti 在对核供热厂选址发表的文章中指出^[6], 由于供热厂周围人口可

能比核电厂厂址高出 10–100 倍, 这实际上不可能实施撤离。对此, 本文第四节将作进一步说明。

3.1.3 高温气冷堆的应急计划区 [7]

典型的模块高温气冷堆 (MHTGR) 是由 4 个相同的模块组成, 总热功率为 1400MW。由于这种堆型的放射性核素被很好地滞留在燃料颗粒中, 安全性能好, 拟采用半径 425m 的禁区作为应急计划区, 厂外无需隐蔽和撤离的计划。

3.1.4 小功率核电厂的应急计划区

荷兰对不同功率的核电厂要求不同的应急计划区。对于小于 100MW(e) 的核电厂, 其计划撤离的区域半径为 0^[8]。100MW 电功率核电厂热功率约为 300MW, 而本拟建供热站热功率仅为 200MW, 其供热站堆内总放射性量相对大型核电厂小且有比核电厂更高的安全水平, 对供热站不要求场外撤离计划是合理的。

3.2 核供热站应急计划的初步方案

根据核供热站的安全性能和上述分析结果、背景材料, 遵循国际上和我国核设施应急计划的一般原则, 提出如下商用核供热站应急计划的初步方案:

(1) 供热站营运单位应制订核事故或辐射应急计划, 作好应急准备, 以便在一旦发生事故时能快速有效地控制事故, 并减轻其后果。

(2) 应急响应计划只限于场址附近的范围内, 场外无需计划撤离和隐蔽。

(3) 尽管由于供热站的安全性能无需场外应急计划, 但根据辐射防护“尽可能合理地低”的原则, 在离反应堆 2km 半径的限制发展区内的公众可以考虑在万一发生严重事故时采取简单隐蔽等应急措施, 进一步减少附近公众的风险。为此, 在场址附近需设置应急辐射环境监测, 建立供热站与附近单位和公众的必要应急通讯。这些场外的应急响应可以考虑由核供热站营运单位来承担。

4 核供热站选址准则

核供热站的选址同样应考虑核供热站和环境的相互作用, 供热站对环境的影响和与厂址有关的外部事件对供热站安全的影响。笔者认

为仍应在我国核安全局发布的《核电厂厂址选择安全规定》及其安全导则的框架内, 讨论核供热站选址所遵循的准则和导则。我国核电厂选址的总原则是要求严重的放射学后果的概率应该很低。这一原则同样适用于核供热站。但核供热站的场址靠近高人口密度的城市, 这明显不同于核电厂。为了使公众达到与核电厂相同的很低风险水平, 主要靠供热站本身的安全性: ①没有可信的导致堆芯损坏的状态; ②在严重事故后为保证堆芯的冷却和工厂维持在安全停堆状态, 不需要电的、机械的或人为的干预; ③所有严重的放射性释放都被包容^[6,7]。在参考文献 [7] 中, IAEA 的两位官员在分析核电厂选址准则应用于核供热站得出的结论是, 原先对核电厂的厂址要求必须修改。对于供热站, 比较高的人口密度和靠近人口中心的厂址必须接受, 其它的选址准则仍然是有效的 (需要说明, 我国核电厂选址准则基本上沿用 IAEA 的安全标准 NUSS)。

4.1 人口分布

如上所述, 人口分布不再是供热站选址中排除厂址的因素。厂址区域的人口统计仍需研究, 这是为了使厂址的具体位置最优化和就人口分布方面考虑反应堆的潜在影响。

4.2 地震考虑

对其它核电厂所用的技术也适用于评估供热站的设计基准地震地面运动。由于对通常核电厂的附加防线——应急计划在供热站已不存在, 因而供热站应更严格应用有关地震设计的准则。

4.3 大气和水的弥散

有关气象和水力学弥散的分析方法, 对核电厂和供热站应当是相同的。由于供热站靠近人口稠密区, 选择较好的地质条件特别重要, 可防止少量放射性物质泄漏到地下水中。

4.4 外部人为事件

对于供热站拟定的厂址, 对外部人为事件必须仔细地分析, 因为供热站的位置靠近可能导致这些事件的设施 (如工业)。

4.5 供水

如果考虑的场址存在洪水的可能, 对这种现象应给予注意.

总之, 核电厂选址规程不能直接应用于核供热站, 但可以从一些基本概念的分析推导出适用于供热站的选址和设计方法.

考虑到为防止外部事件对供热堆的有害影响以及人们的心理因素和社会可接受性, 对公众提供进一步的防护, 清华大学核能技术设计研究院作为供热站的总包设计院提出了半径为 2km 的范围作为实际隔离区, 在供热站的整个寿命期内限制该区域的发展规模, 保持总人口没有较大的增长, 禁止大型公共设施的发展.

5 初步结论

从拟建的 200MW 低温核供热站的可行性研究和国外对低温供热站的安全研究结果以及有关应急计划、选址准则的讨论, 可以得出如下的初步结论:

(1) 低温核供热站具有很高的安全水平, 可以认为不会发生堆芯熔化事故(堆芯熔化的概率估计小于 10^{-8} /堆·a), 发生放射性释放的各种可信事故造成的环境放射学后果十分轻微.

(2) 根据商用核供热站的安全性, 同时考虑

到它的绝对功率小, 其厂址选择在靠近城市是可以接受的. 供热站不需要计划场外应急撤离和隐蔽. 以供热站周围半径 2km 范围作为实际隔离区, 在此区域内建立必要的应急计划(如应急环境辐射监测, 应急通讯), 将进一步减少对公众的风险.

(3) 供热站的厂址选择除了人口分布外, 其它有关核电厂选址的国家规定仍应结合核供热站的实际执行, 以确保供热站高标准的安全水平.

参 考 文 献

- 1 Bento J P, ManKamo. T *Nuclear Technology*.1978, 38:126
- 2 US.NRC.*Reactor Safety Study*. WASH-1400, Washington, DC, 1975
- 3 Goetzman C et al. *Nuclear Technology*. 1987,79:144
- 4 中华人民共和国国家标准, GB6249-86, 核电厂环境辐射防护规定. 国家环保局 1986-04-23 发布
- 5 核安全法规技术文件, HAFJ0020, 《核电厂设计安全规定》应用于核供热厂设计的技术文件. 国家核安全局, 1991 年 10 月.
- 6 Giuliani P, Iansiti E.*IAEA-TC-483/31*.IAEA, Vienna, 1985:345
- 7 Silady F A, Millunzi A C.*Nuclear Safety*.1990,31(2):215
- 8 Dal A H et al. *IAEA-SM-306/45*, IAEA, Vienna, 1990:319

• 环境信息 •

污染税每年能产生 1500 亿美元收入

据世界资源研究所公布的一项题为“绿色费: 改税怎样才能为环境与经济服务”的研究表明, 污染税每年能产生 1500 亿美元收入, 相当于美国国民生产总值的 1%. 世界资源研究所鼓励征收以下各种税: 交通拥挤的城市公路临时税、燃料的碳含量税以及家庭固体废物收集税. 绿色费可用来为联邦政府、州政府和地方政

府筹款. 例如, 对碳含量征税, 是美国用来履行《气候变化公约》义务, 将温室气体排放量降至 1990 年水平的、耗资最少的方法.

小康译自 *ES&T*. 1993,27 (1): 9

made. It was estimated that annual N_2O -N N_2O emissions over China are about 950 Gg N_2O -N, which is 6% of the global sources, and that natural productions and anthropogenic activities account for 71% and 29% of N_2O annual emissions, respectively. Marine emission is the main part of natural productions, while stationary combustion of coal is the significant contributor to the anthropogenic sources. The estimate of net annual increase in atmospheric N_2O source is roughly 6 Gg N_2O -N.

Key words nitrous oxide, source, greenhouse gases.

Potential Accident Radiological Consequences and Siting of Commercial Nuclear District-Heating Reactor. Shi Zhongqi (Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(3), 1993, pp. 47-51

The safety assessment and potential accident radiological consequences of nuclear district heating plants in some countries are reviewed in this paper. The results of the preliminary accident analysis of a 200MW nuclear heating reactor which is planning to be built near a city in the north of China are given. The review and analysis show that the commercial heating plant provides assurance without undue radiological risk to the public. The emergency planning and siting criteria of the commercial nuclear heating plant are discussed within the framework of Chinese and IAEA nuclear safety codes and guidelines. It is concluded that the planning for off-site emergency evacuation is not required, and that population distribution ceases to be an exclusion factor in the siting due to the high safety level of the heating plant. It is appropriate to establish a limited development area of about 2 km in radius, however, and to plan the some necessary emergency radiological environmen-

tal monitoring and emergency communication based on the ALARA principle.

Key words: Commercial nuclear district heating plant, environmental assessment, siting, accident analysis, emergency planning.

An Approach to Some Problems for Environmental Regionalization. Chen Guojie (Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Chinese Academy of Sciences): *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(3), 1993, pp. 52-56

The theoretical foundation of environmental regionalization includes the theories of social-economic-natural complex ecosystem, sustainable development and regional sciences. Main principles for mapping it out consist of the followings: (1) homogeneity and heterogeneity of the structure and function of a regional environment; (2) inheriting the results of relevant physical and economic regionalizations; (3) keeping integrity of administrative districts at a certain grade; (4) convenience for applying its result to environmental management; (5) principle of boundary associated with a clear cut division in nature. It is also pointed out that the differences exist between environmental regionalization and environmental planning, and several problems are suggested that need to be further studied.

Key words: environmental regionalization, sustainable development, principle for regionalization.

Technical and Economic Analysis for the A/O System of Printing and Dyeing Wastewater Treatment. Li Guangxia, Zhang Yaling (Hubei Institute of Textile Design, Wuhan 430077): *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(3), 1993, pp. 57-59

Mathematical statistics and linear regression were based on the data from the actual operation of two treatment systems, i.e., A/O and