

FICHA DESCRITIVA

Transporte do Ciclo de Combustível Nuclear

Materiais Back End (da etapa final)

Dedicado ao transporte seguro, eficiente e confiável de materiais radioativos



Transporte do Ciclo de Combustível Nuclear – Materiais Back End (da etapa final)



Introdução

Atualmente, a energia nuclear aprovisiona aproximadamente 16% da eletricidade mundial, disponibilizando energia limpa, isenta de carbono e economicamente acessível para milhões de pessoas no mundo todo. O uso de reatores nucleares para produzir eletricidade tem exigido uma ampla gama de transportes de material radioativo durante as últimas décadas. Estes transportes têm apoiado todas as etapas do ciclo de combustível nuclear, desde a mineração de urânio, ao processamento de combustível e seu transporte aos locais do reator, até o reprocessamento de combustível para reciclagem e armazenamento de combustível queimado.

O transporte de materiais radioativos é estritamente governado por um sistema estabelecido de regulamentos internacionais e sua adoção tem resultado num excepcional recorde de segurança. Em mais de meio século nunca houve um único incidente de transporte.

Os transportes do ciclo de combustível nuclear são comumente designados como *front end* (etapa inicial) ou *back end* (da etapa final). Os materiais da etapa inicial

abrangem todas as operações, desde a mineração de urânio a fabricação de novos agrupamentos de combustível para carregamento dentro dos reatores, ou seja, o transporte de concentrados de minério de urânio para usinas de conversão de hexafluoreto de urânio, das usinas de conversão, para as usinas de enriquecimento, das usinas de enriquecimento aos fabricantes de combustível, e dos fabricantes de combustível para as várias usinas de energia nuclear. A etapa final abrange todas as operações relacionadas com o combustível queimado que sai dos reatores, incluindo o encaminhamento dos elementos do combustível queimado, das usinas de energia nuclear, para instalações de reprocessamento para reciclagem, e o subsequente transporte dos produtos reciclados. Alternativamente, se a opção de um único uso for escolhida, o combustível queimado é transportado para instalações temporárias de armazenamento, pendentes de sua disposição final.

Esta ficha descritiva abrange o transporte de materiais da etapa final.

Quais são os materiais da etapa final?

O combustível utilizado na usina de energia nuclear gera eletricidade por três a cinco anos. Após este período, ele se torna menos eficiente e precisa ser substituído. Este combustível queimado contém ainda 96% do urânio original, porém também cerca de 3% de produtos residuais e 1% de plutônio. Neste estágio, o combustível queimado pode ser enviado para armazenamento, pendente de sua disposição final, ou reprocessado para recuperar o urânio e o plutônio.

O urânio residual pode ser reciclado. O plutônio que é produzido no reator é físsil, isto é, ele pode suportar uma reação nuclear em cadeia. Ele pode ser combinado com urânio para produzir o combustível Óxido Misto (MOX, sigla em inglês). Os produtos residuais são transformados numa forma vitrificada insolúvel e sólida, através de um processo de vitrificação e armazenados, pendente de sua disposição final, por exemplo, dentro de um repositório geológico profundo.

Porque os materiais da etapa final têm que ser transportados?

Assim que o combustível queimado for removido do reator nuclear, ele pode ser armazenado temporariamente nas

dependências da usina de energia, enviado para um local temporário de armazenamento fora da usina, ou enviado para usinas de reprocessamento. O transporte para instalações interinas de armazenamento é normalmente doméstico, enquanto que os transportes para usinas de reprocessamento são internacionais também.

Uma série de países, incluindo o Japão, Alemanha, Suíça, Bélgica, os Países Baixos, a França, Rússia, Índia e Reino Unido reprocessam uma parte de seus combustíveis queimados. As principais instalações comerciais de reprocessamento/reciclagem estão localizadas na França e no Reino Unido. Os países que enviam seus combustíveis queimados para a França ou para o Reino Unido para reprocessamento retêm a propriedade de todos os produtos, incluindo quaisquer produtos residuais, os quais devem ser retornados para eles. Após o envio para o país de origem, o material residual é armazenado para disposição eventual. O plutônio retornado como combustível MOX é carregado dentro de reatores para produção de eletricidade.

O transporte de materiais da etapa final em escala industrial teve início no princípio dos anos 60, quando a energia



nuclear começava a se tornar uma importante fonte de eletricidade em diversos países mundialmente. O combustível queimado foi o primeiro dos produtos da etapa final a ser transportado. Posteriormente, o plutônio era retornado ao país de origem, inicialmente como pó de plutônio e ultimamente como combustível MOX. O primeiro carregamento de resíduo vitrificado de alto nível aconteceu em 1995, e muitos outros carregamentos deste tipo têm sido realizados desde então, por via marítima e ferroviária.

Como é transportado este material?

Regulamentos rigorosos, abrangentes e reconhecidos universalmente

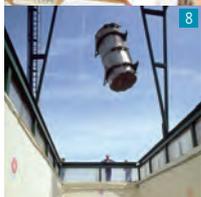
O transporte de materiais da etapa final, da mesma forma que com o transporte de todos os outros materiais radioativos, é cuidadosamente regulado para proteger as pessoas, as propriedades e o meio ambiente. Os Regulamentos da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, sigla em inglês) para o Transporte Seguro de Material Radioativo, foram publicados pela primeira vez em 1961 e sofrem revisões periódicas para estarem em consonância com os desenvolvimentos científicos e tecnológicos.

Atualmente, os Regulamentos da IAEA têm sido adotados ou utilizados como base para regulamentos em mais de 60 países membros. Além disso, as principais organizações responsáveis pelo transporte por via térrea, aérea, marítima, e por águas navegáveis internas, já incorporaram os Regulamentos da IAEA em seus próprios regulamentos. Paralelamente, o Modelo dos Regulamentos das Nações Unidas para o Transporte de Materiais Perigosos (United Nations Model Regulations for the Transport of Dangerous Goods) têm sempre sido referidos aos Regulamentos da IAEA. Como resultado, os Regulamentos se aplicam a transportes de material radioativo em praticamente qualquer parte do mundo.

Os materiais da etapa final são essencialmente produtos sólidos

A natureza sólida dos produtos – combustível queimado, combustível MOX, e resíduos vitrificados de alto nível – é um importante fator de segurança. Os materiais se caracterizam pela estabilidade a longo prazo e pela baixa solubilidade na água e por permanecerem contidos numa forma sólida após qualquer acidente. O combustível queimado e o combustível MOX são ambos feitos de

pastilhas cerâmicas que são contidas em tubos de metal de liga de zircônio (barras de combustível). A diferença está no conteúdo; o combustível queimado contém urânio (96%), plutônio (1%) e produtos fissionáveis (3%) e é altamente radioativo, enquanto que o combustível MOX é composto de óxidos de urânio e de plutônio e tem um baixo nível de radioatividade. No caso de resíduos vitrificados de alto nível, o processo de vitrificação possibilita que os produtos fissionáveis sejam incorporados num vidro fundido, que será então colocado dentro de um recipiente de aço inoxidável, onde o mesmo se solidifica. Como resultado, os produtos fissionáveis são imobilizados e o produto vitrificado altamente radioativo é protegido pelo recipiente de aço inoxidável.



Materiais da etapa final são transportados em embalagens específicas

De acordo com os Regulamentos da IAEA, o combustível queimado, o combustível MOX, e o resíduo vitrificado de alto nível, são transportados em embalagens de transporte especialmente projetadas, conhecidas como frascos ou barris (nomeados embalagens Tipo B nos Regulamentos). Elas são especialmente projetadas para o material radioativo

que elas retêm, proporcionando proteção para as pessoas, propriedades e o meio ambiente, contra radiação e foram desenhadas para resistir acidentes graves. Os tamanhos das embalagens Tipo B variam entre tamanho de barril, até o tamanho de caminhão, mas são sempre de excepcional resistência e altamente protegidos.

As embalagens devem satisfazer testes rigorosos. A filosofia dos Regulamentos da IAEA é que a segurança é garantida pela embalagem, independentemente do modo de transporte utilizado. De acordo com estes Regulamentos, o design da embalagem deve satisfazer uma série de testes rigorosos de impacto, fogo e de imersão, em particular:

- dois testes de queda livre – uma queda livre de 9 metros dentro de uma superfície inflexível e uma queda livre de 1 metro sobre uma barra de aço de perfuração; possivelmente repetidos nos piores ângulos de queda;
- um teste de incêndio subsequente onde a embalagem tenha sido submetida a um fogo de 800°C e com labaredas que o envolvam completamente por 30 minutos;
- teste de imersão onde o barril seja então submetido a condições equivalentes a 15 metros de submersão por



8 horas. Para barris desenhados para materiais com radioatividade mais elevada existe um teste de imersão de 200 metros por 1 hora.



Estes testes garantem que as embalagens resistam acidentes em transporte que envolva colisões, incêndios ou submersão, situações que podem realisticamente ser concebidas e, no caso de materiais fisséis, garantirem que não possa ocorrer uma reação em cadeia. Os órgãos nacionais competentes devem certificar a embalagem Tipo B. Assim que o design da embalagem seja aprovado, tal embalagem poderá ser utilizada para transporte sobre superfície por caminhão, trem ou navio.

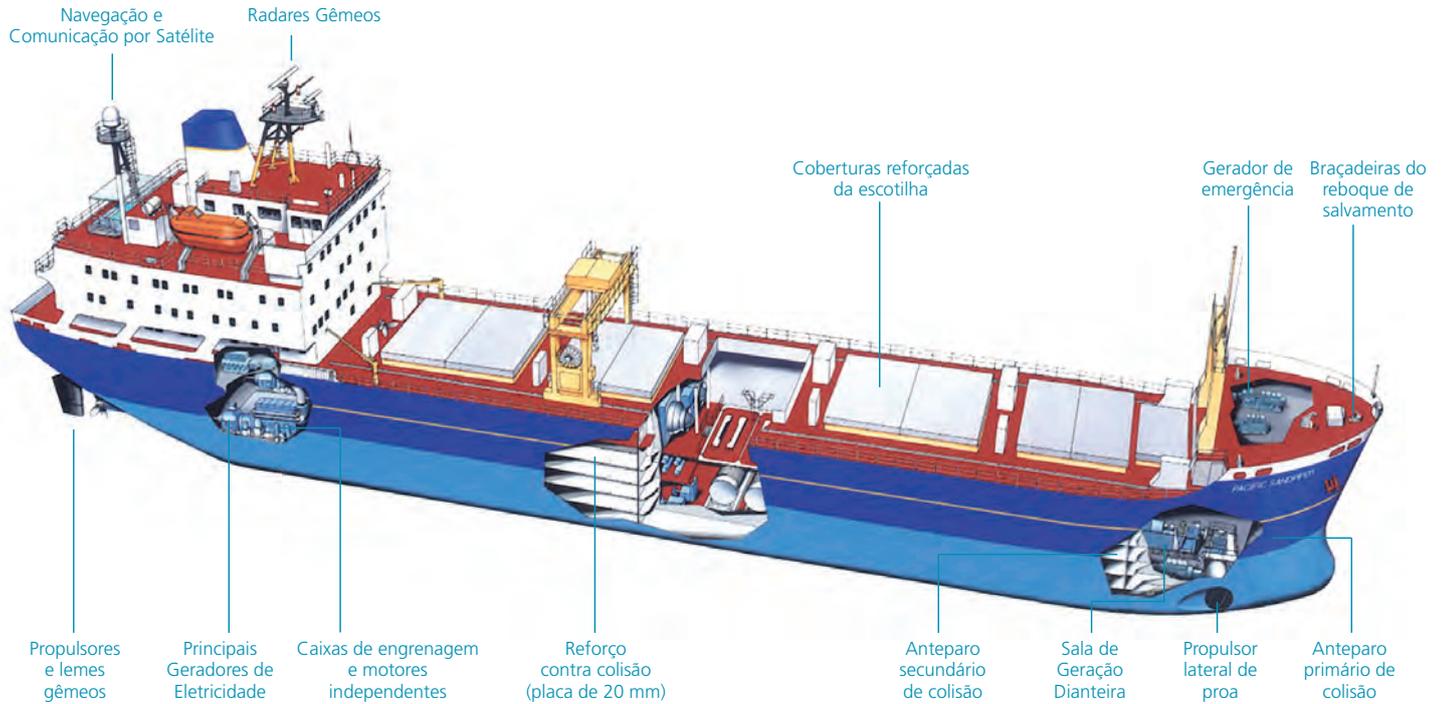


Os regulamentos para o transporte aéreo de materiais radioativos da etapa final, em embalagens designadas como Tipo C, também foram introduzidos. Os requisitos para uma embalagem Tipo C incluem testes adicionais, visando assegurar que ela possa manter sua integridade sob condições acidentais em transporte aéreo. Este tipo de embalagem ainda não foi desenvolvido.

Demonstrações de segurança

Diversos testes demonstrativos foram realizados para mostrar a grande margem de segurança e a robustez das embalagens Tipo B. Por exemplo, engenheiros e cientistas no Sandia National Laboratories¹ realizaram uma ampla gama de testes durante os anos 70 e 80 nas embalagens Tipo B. Estes testes incluíram testes de impacto do caminhão numa velocidade de 98 e 138 km/h, onde carretas transportando embalagens colidiram em barreiras de concreto com espessura de 3 metros, e uma locomotiva a diesel colidiu numa embalagem Tipo B numa velocidade de 131 km/h durante uma simulação no cruzamento de uma via ferroviária.² Semelhantemente, o Conselho Central de Geração de Eletricidade do Reino Unido realizou uma demonstração pública em 1984 onde um trem de 140 toneladas, viajando numa velocidade de 164 km/h, colidiu numa embalagem Tipo B.³ Avaliações após as colisões demonstraram que as embalagens sofreram apenas danos superficiais e não teriam liberado seus conteúdos. Embora espetacular, estes testes de demonstração não foram tão graves como a série de testes da IAEA resumidos acima. Isto demonstra que a série de testes da IAEA é, de modo conservador, representativa dos acidentes no mundo real.

Características de segurança de um navio construído com um propósito



Transporte marítimo: navios construídos con un propósito

No caso de transporte marítimo de materiais da etapa final, o design do navio contribuí para a seguranga ofrecida pelas embalagens de transporte. Em 1993, a Organização Marítima Internacional (IMO, sigla em inglês) introduziu um instrumento voluntário, o Código para o Transporte Seguro de Combustível Nuclear Irradiado, Plutônio e Resíduos Altamente Radioativos, em Frascos à Bordo de Navios (Code for the Safe Carriage of Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Wastes in Flasks on Board Ships), o Código INF, complementando os Regulamentos da IAEA. Estas provisões complementares cobrem principalmente o design e a construção e equipamentos de navios. O Código INF foi adotado em 1999 e tornou-se obrigatório em janeiro de 2001. O mesmo introduziu características avançadas de seguranga para navios transportando combustível queimado, combustível MOX ou resíduos vitrificados de alto nível. O design básico para os navios, em conformidade com a mais elevada classificação de seguranga do Código INF (conhecido como INF3), é uma construção de casco duplo ao redor das áreas de carga, com estruturas resistentes a impactos entre os cascos,

e duplicação e separação de todos os sistemas essenciais, para oferecer uma alta confiabilidade e sobrevivência em caso de acidente. Durante as três últimas décadas, os navios do tipo INF3 têm sido utilizados para transportar materiais de etapa final entre a Europa e o Japão.

Companhias especializadas em transporte

As companhias de transporte experientes e especializadas têm rotineiramente transportado com eficiência materiais da etapa final em escala industrial desde os anos 60. Estas companhias possuem sistemas de transporte bem desenvolvidos e administram cuidadosamente os transportes de materiais da etapa final por todo o mundo, seguindo os procedimentos de seguranga exigidos. Como exemplo, há planos abrangentes e eficazes de resposta em situações de emergência, incorporando sistemas emergenciais para todos os modos de transporte. Eles são rotineiramente testados para garantir que a saúde pública e o meio ambiente estejam bem protegidos numa eventualidade pouco provável de um acidente.

Os fatos falam por si só

O transporte internacional de materiais do ciclo de combustível nuclear tem exercido um papel essencial em levar os benefícios da energia nuclear às pessoas de todo o mundo. Estes transportes têm apoiado todos os estágios do ciclo de combustível nuclear, incluindo mineração de urânio, fabricação de combustível, reprocessamento de combustível, gestão de combustível queimado e armazenamento de resíduos. O transporte de materiais do ciclo de combustível nuclear é rigorosamente regulado, garantindo que o transporte do ciclo de combustível nuclear possa ser realizado de maneira segura, não apenas sob condições normais, como também sob todas as condições acidentais de transporte, que possam ser realisticamente previstas. Em mais de meio século nunca houve um incidente significativo de transporte que tenha envolvido a liberação de material radioativo.

Referências

- 1 Sandia National Laboratories é um laboratório de segurança nacional, operado para o Departamento de Energia dos EUA (USA Department of Energy) pela Sandia Corporation, uma companhia da Lockheed Martin (responsável pela realização de uma ampla variedade de projetos de pesquisa e desenvolvimento de energia)
- 2 “We Crash, Burn and Crush”; A History of Packaging (“Nós Despedaçamos, Queimamos e Comprimos” Uma História de Acondicionamento no Sandia National Laboratories 1978 – 1997, C.J. Mora e P.McConnell, a 12ª. Conferência Internacional sobre Embalagens e Transporte de Material Radioativo (PATRAM 98, sigla em inglês), p1616
- 3 “Transporting Spent Nuclear Fuel: An Overview”, (“Transportando Combustível Nuclear Queimado: Uma Visão Geral”) Departamento de Energia dos EUA, Órgão de Gestão de Resíduos Radioativos da Cidadania, março de 1986, p. 14

Fotografias

- 1 Transporte por Via Ferroviária de Combustível Queimado no Reino Unido
- 2 Transporte por Rodovia de combustível queimado no Japão
- 3 Navio construído com um propósito, Porto de Mutsu-Ogawara no Japão
- 4 Pastilha de combustível MOX
- 5 Barra de agrupamento de combustível MOX
- 6 Operação de descarregamento de um tonel de combustível MOX
- 7 Métodos computacionais avançados são utilizados para o design de tonéis de transporte
- 8 Teste de queda da IAEA
- 9 Teste de incêndio da IAEA
- 10 Operações de descarga
- 11 Navio construído com um propósito
- 12 Carregamento do tonel de resíduos vitrificados de alto nível no porão de armazenamento do navio



WNTI

WORLD NUCLEAR TRANSPORT INSTITUTE

Remo House
310-312 Regent Street
London W1B 3AX
United Kingdom
Tel: +44 (0)20 7580 1144
Fax: +44 (0)20 7580 5365
Web: www.wnti.co.uk
Email: wnti@wnti.co.uk

