

乏燃料管理： 大陸之現況與未來

王 驹

大陆现有核电站的分布



11 个反应堆已经建成，22个在建

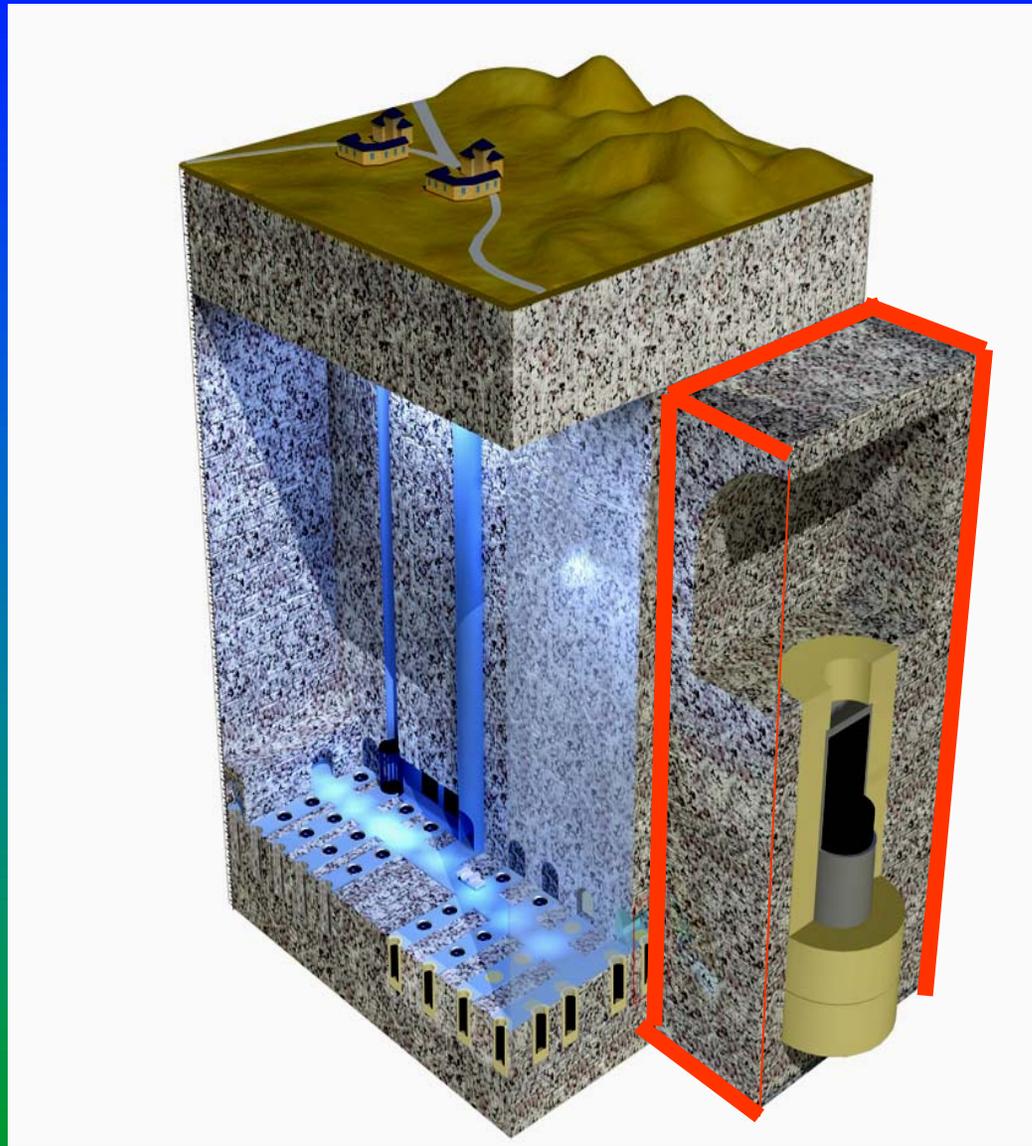
- **核电装机容量:**
 - 建成: 40 GW**
 - 在建: 18 GW**
- **这些核电站全寿期产生的乏燃料总量为:**
 - 83,000 tHM**

- 建成 70 GW
- 在建 30 GW

- 这些核电站全寿期产生的乏燃料总量为：
138,000 tHM

- 乏燃料先在堆暂存 (on-site storage)
- 大亚湾核电站已有一部分乏燃料运到了中央湿法储存设施中，该设施容量：550 tHM
- 对乏燃料采取闭合燃料循环战略
- 把乏燃料作为一种资源

- 乏燃料实行后处理(reprocessing), 一座 400 kg HM/d 的乏燃料后处理中间实验工厂正在建设中
- 后处理产生的高放废液将进行玻璃固化 (vitrification)
- 对高放废物实行集中的深地质处置
- 高放废物的最终形态: 玻璃固化体, CANDU乏燃料等
- 地质处置库围岩: 花岗岩 或粘土岩
- 地质处置概念设计: 多重屏障系统
- 地质处置库多重屏障包括: 废物体、废物罐及其外包装、缓冲回填材料(膨润土)和经过精心选择的天然地质体。



多重屏障概念

组织机构框架

国家环境保护部
国家核安全局
Regulatory body

Ministry of Environment
Protection
(MoEP)

National Nuclear
Safety Admin.
(NNSA)

国家原子能机构
Project and fund control

China Atomic Energy
Authority
(CAEA)

China National Nuclear Corporation (CNNC)
-- possible implementation body
中国核工业集团公司

BRIUG

CNPE

CIAE

CIRP

4个开展高放废物地质处置研究的核心单位

- **核工业北京地质研究院 (BRIUG):**
牵头单位，负责选址和场址评价、工程屏障研究、性能评价等
- **中国原子能科学研究院 (CIAE):** 负责核素迁移等研究
- **中国辐射防护研究院 (CIRP):** 负责安全评价
- **中国核电工程公司 (CNPE) 和核工业第四研究设计院**
负责工程设计
- **中国科学院和一些大学也参与了研究开发，如南京大学、同济大学、兰州大学、北京大学、清华大学等**

- 2003年颁布：**放射性污染防治法**
- 其中第43条规定：高水平放射性废物采用集中的深地质处置。
- 这是国家法律第一次规定高放废物地质处置的要求。

- 2006: 国家原子能机构和科技部、环保部联合发布：
高放废物地质处置研究开发指南
- 2007: 国务院在核电中长期发展规划中规定：
在2020年之前建成中国高放废物处置库地下实验室

高放废物地质处置长远规划

- 2009--2020 :
实验室研究和处置库选址阶段
- 2020--2040
地下现场实验阶段
- 2040—21世纪中叶
处置库建设阶段

各阶段目标

- 2009--2020 :

完成各学科领域实验室研究开发任务，初步选出处置库场址并完成初步场址评价，确定地下实验室场址，完成地下实验室的可行性研究，并建成地下实验室；

- 2020--2040

完成地下实验室现场试验，完成场址详细评价，并最终确认处置库场址，掌握 处置库建造技术，完成处置库设计和可行性研究；

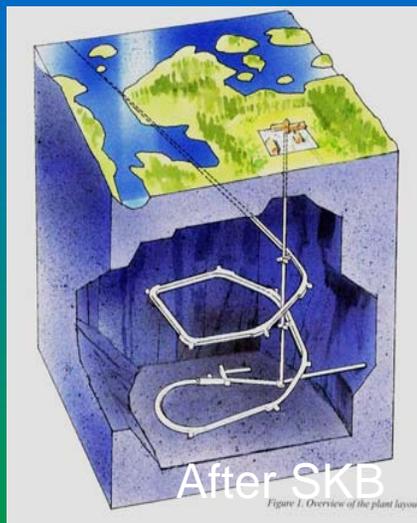
- 2040—21世纪中叶

2050年前后建成处置库，开展示范处置，并开始接受高放废物。

选择场址



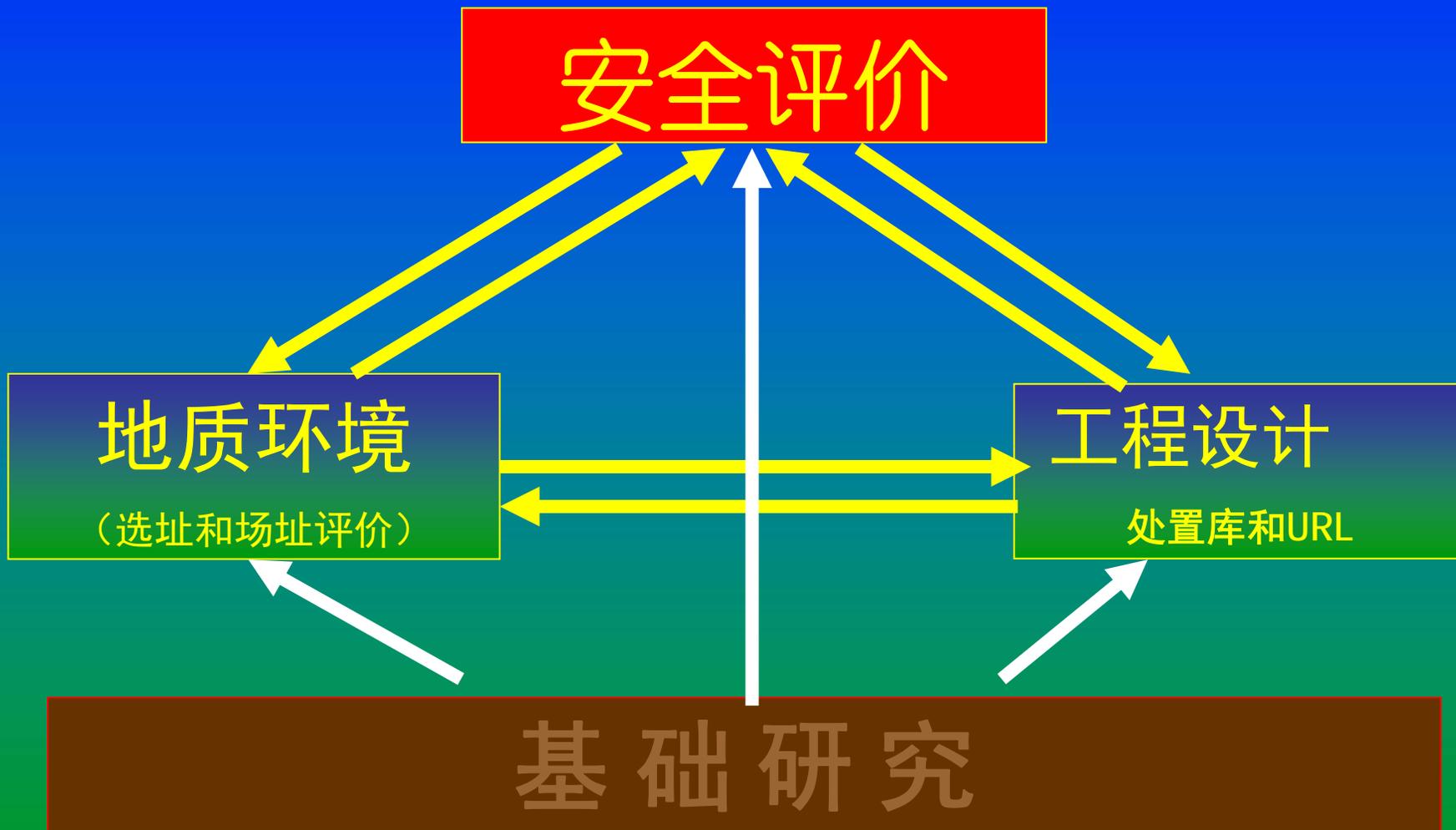
建设地下实验室



建设处置库



- 顶层设计和战略研究
- 工程设计和工程屏障研究开发
- 选址和场址评价
- 核素迁移研究
- 安全评价



高放废物地质处置主要进展

在全国筛选了5片地区：

- 华南预选区
- 华东预选区
- 西南预选区
- 内蒙古预选区
- 西北预选区（甘肃北山）

经过初步对比, 确定甘肃北山为重点预选区

从1990年起开始在北山开展研究

中国地质图

Geological Map of China

0 400 800 km

甘肃北山预选区

内蒙古预选区

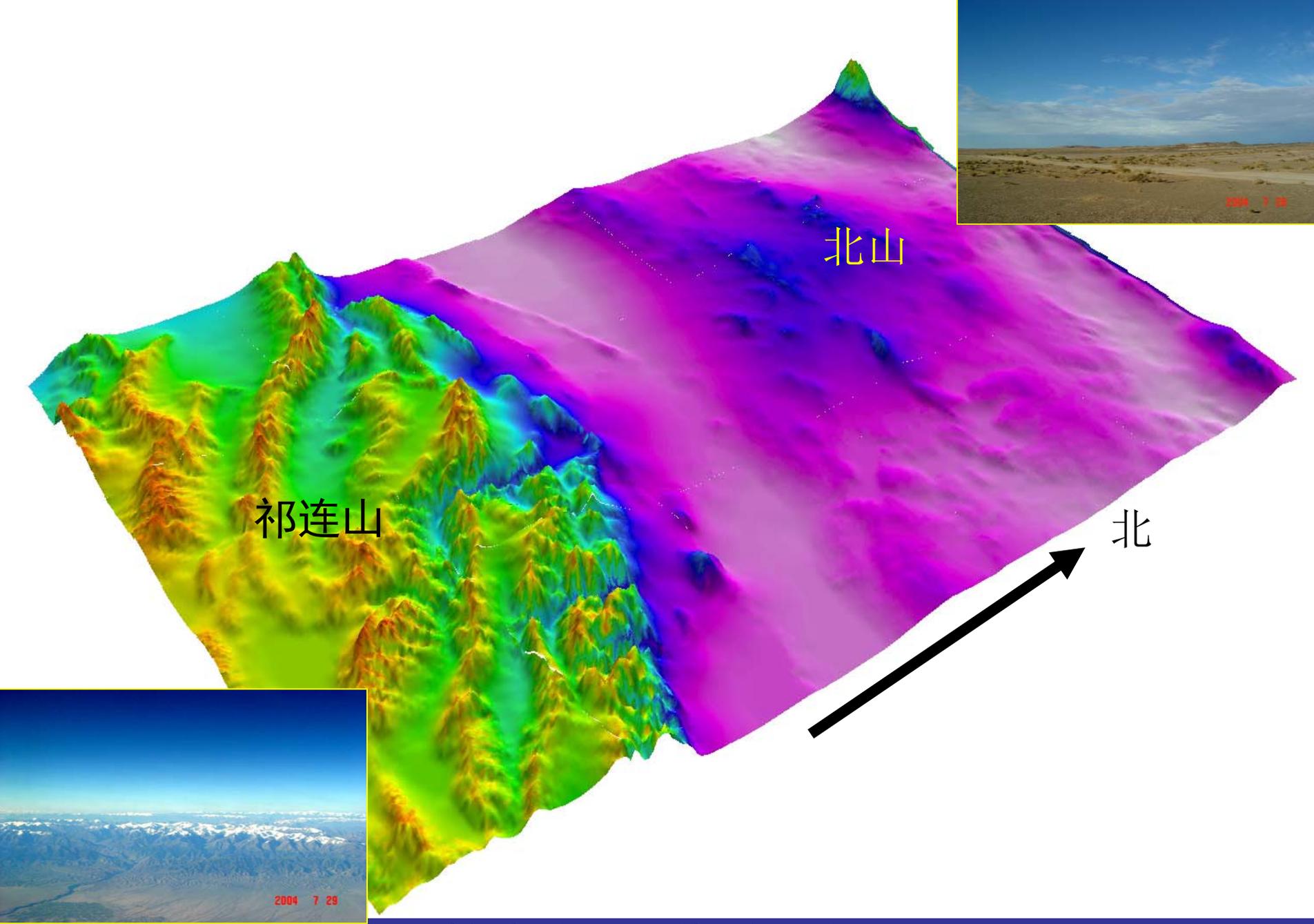
西南预选区

华东预选区

华南预选区

- | | |
|--------------------|-----------------------------------|
| 第四系
Quaternary | 太古界
Archaean |
| 第三系
Tertiary | 花岗岩
Granite |
| 中生界
Mesozoic | 玄武岩
Basalt |
| 古生界
Palaeozoic | 基性-超基性岩
Basic-ultrabasic rocks |
| 元古界
Proterozoic | 断层
Fault |

高放废物深地质处置库预选区示意图



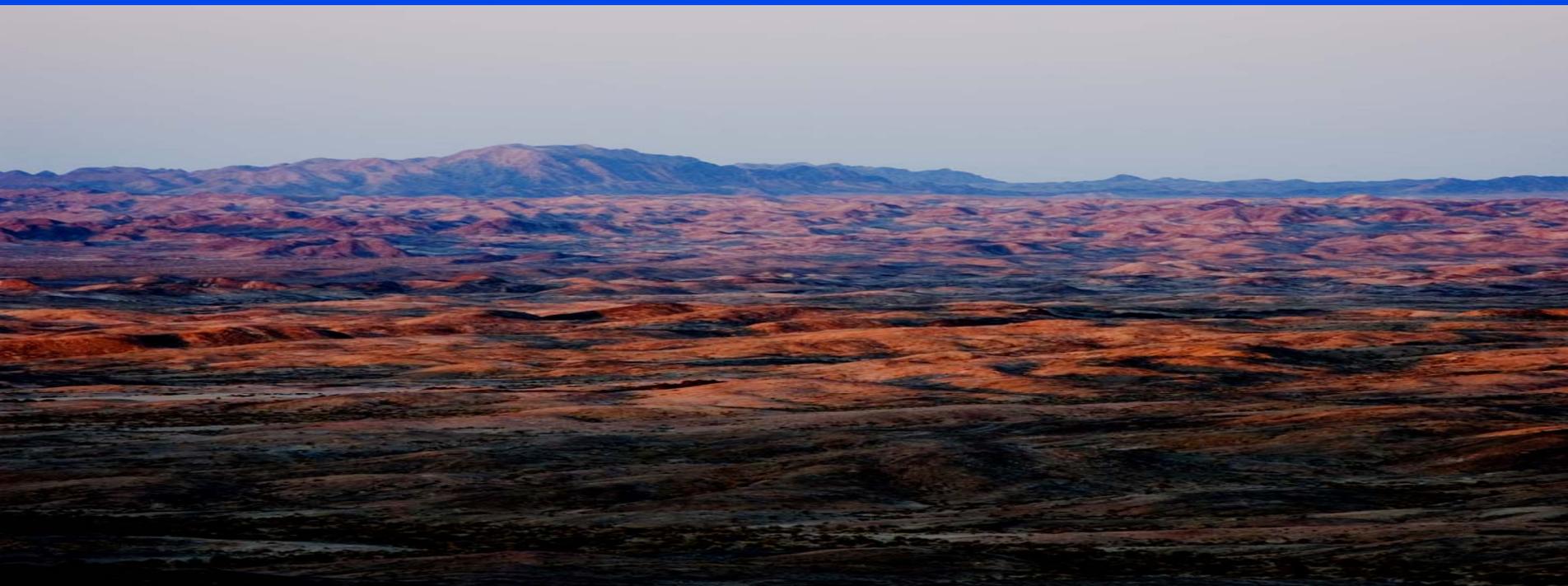
祁连山

北山

北

甘肃北山3维地形图

甘肃北山场址晨曦

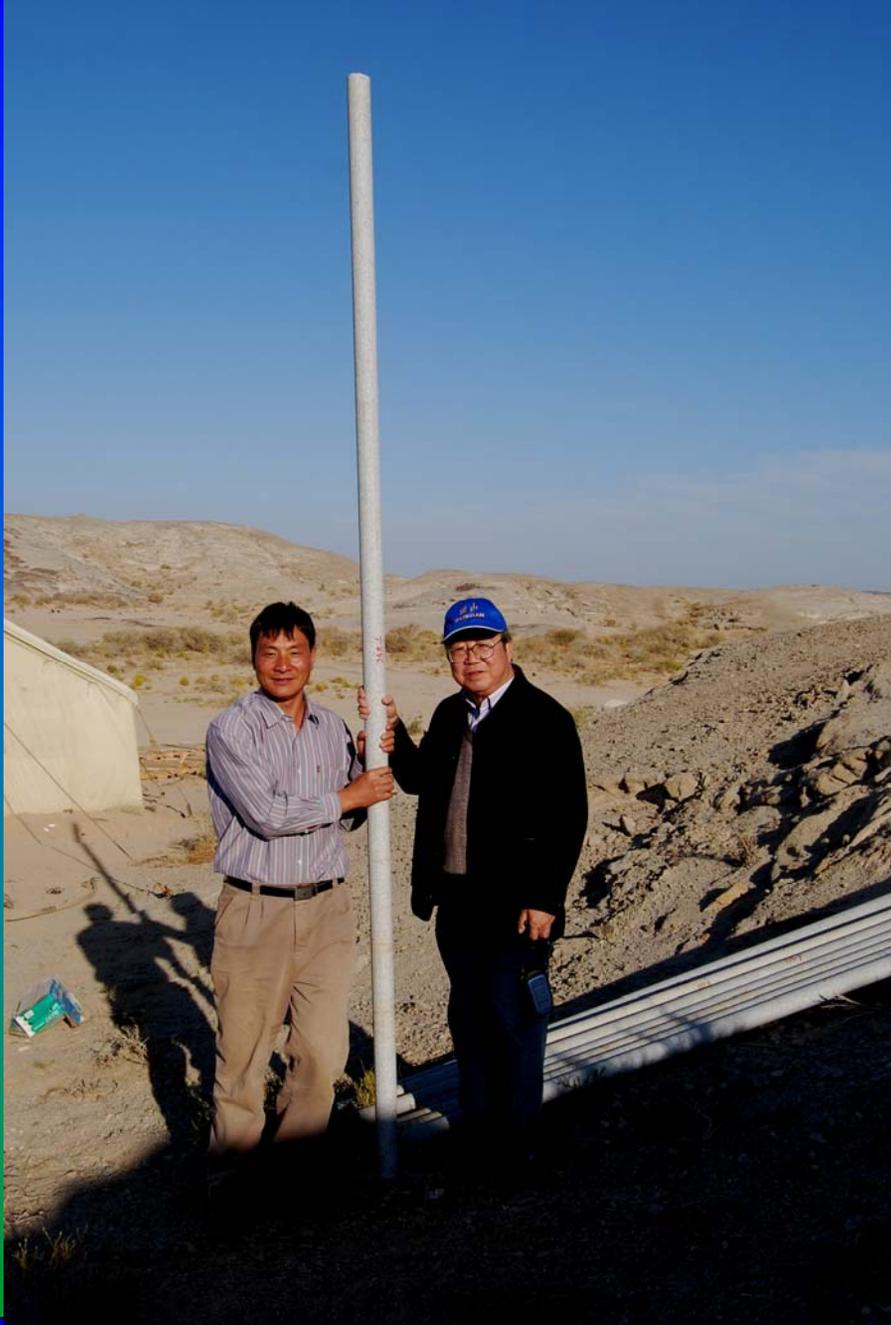


甘肃北山完整出露的花岗岩





甘肃北山场址评价施工的钻孔： BS01, BS02, BS03, BS04



甘肃北山钻孔中的完整岩心

2008-09-27

- 人口稀少
- 交通方便
- 土地无耕种价值
- 动植物资源贫乏
- 矿产资源稀缺
- 经济发展缺乏基础

- 气候干燥
- 地处戈壁
- 地形平缓
- 地壳稳定
- 地表水不发育
- 地下水贫乏
- 花岗岩体完整
- 岩体工程质量优良和
- 工程地质条件适宜

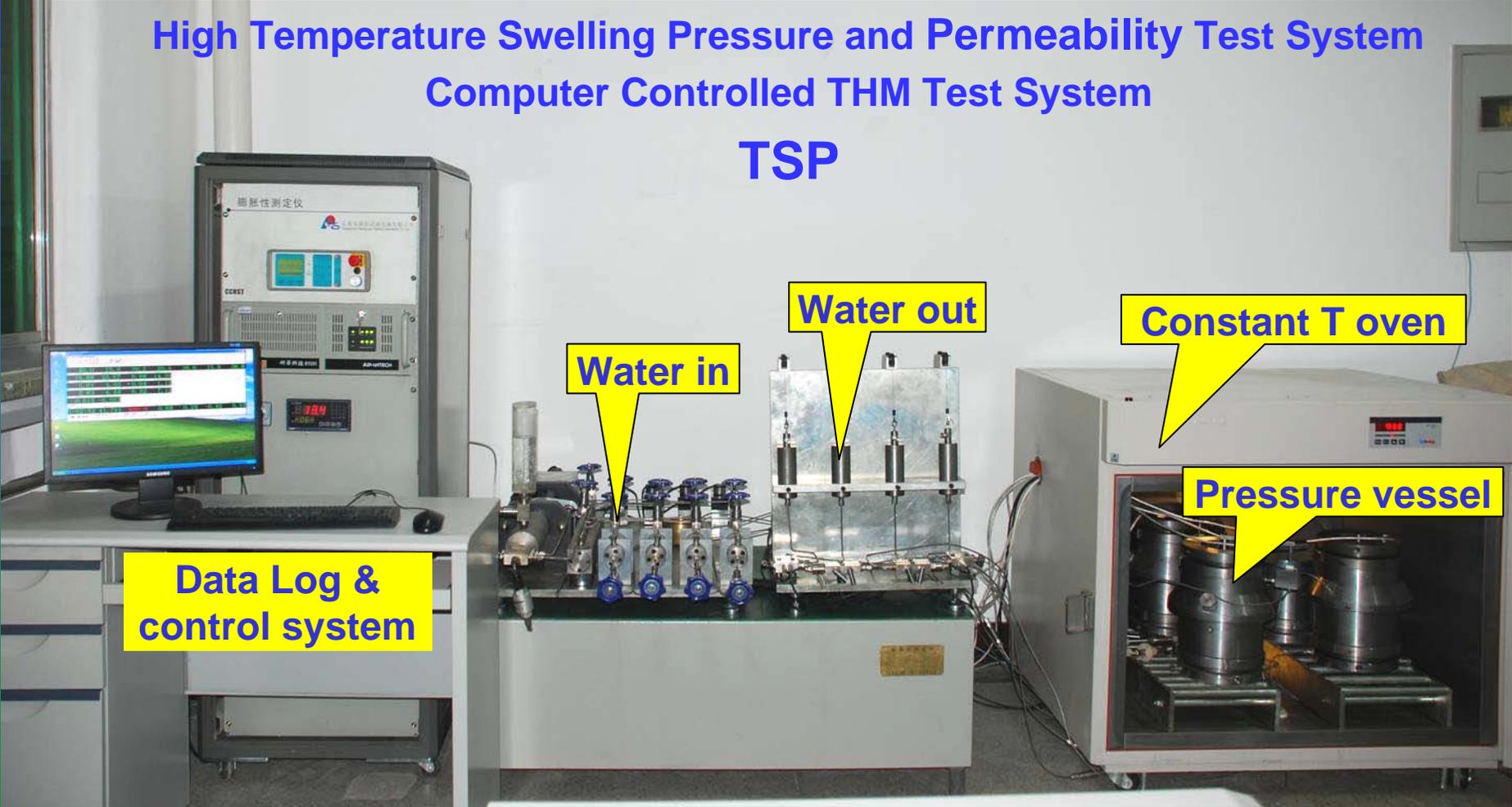
已经选址内蒙古高庙子膨润土矿床作为
缓冲回填材料的首选材料
该矿床储量: 160 M ton



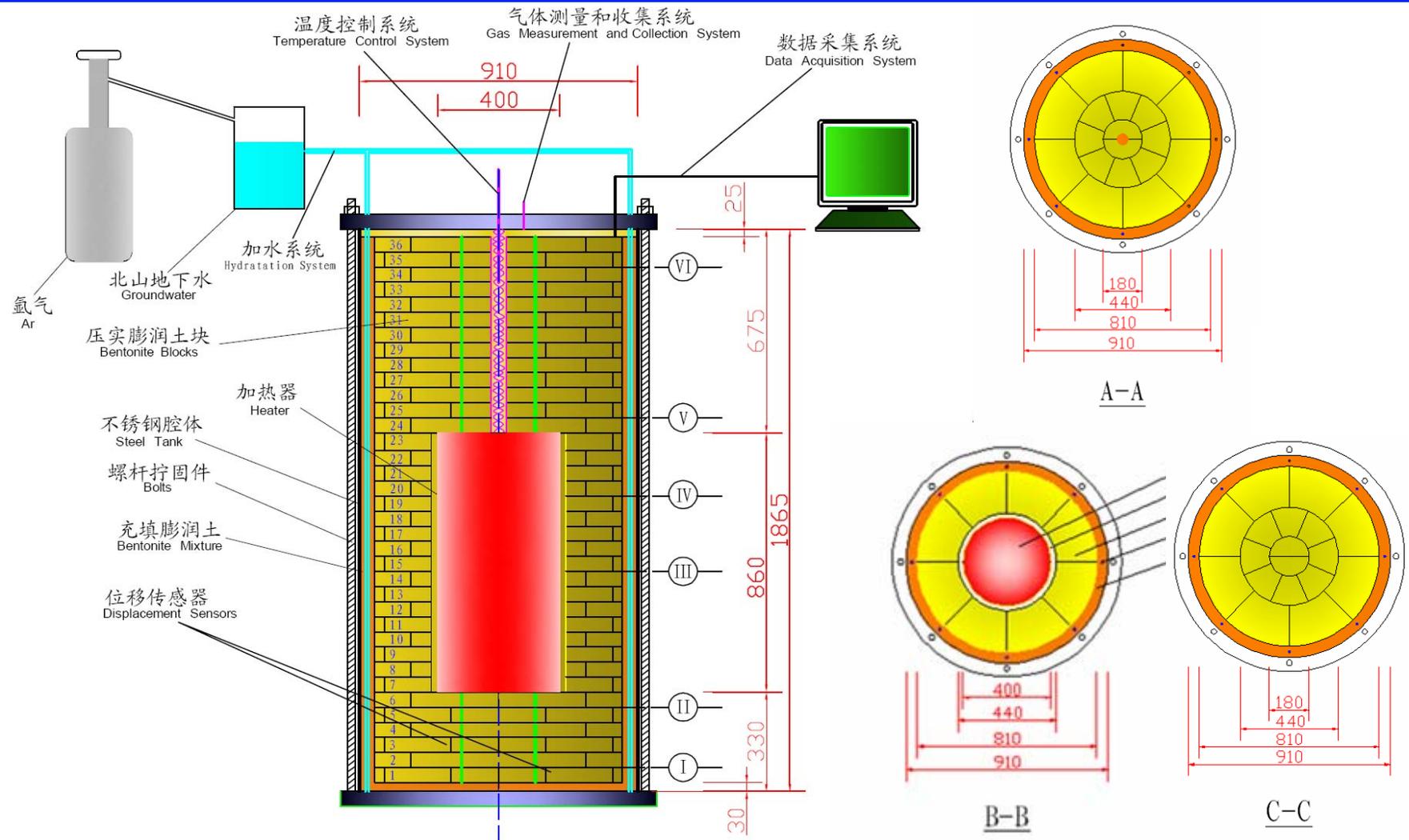
膨润土的高温膨胀实验

High Temperature Swelling Pressure and Permeability Test System
Computer Controlled THM Test System

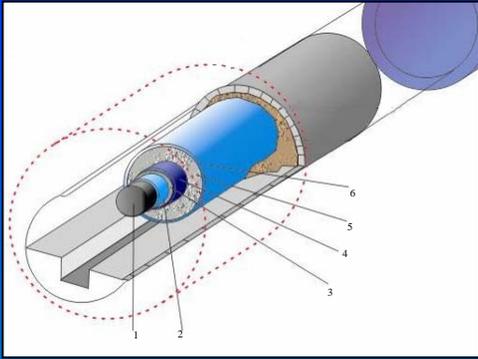
TSP



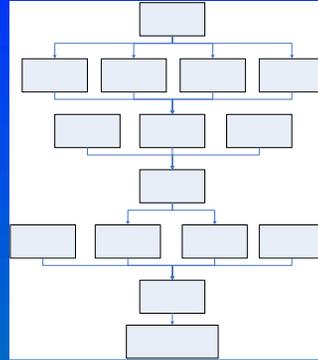
膨润土大型台架实验：China-Mock-up



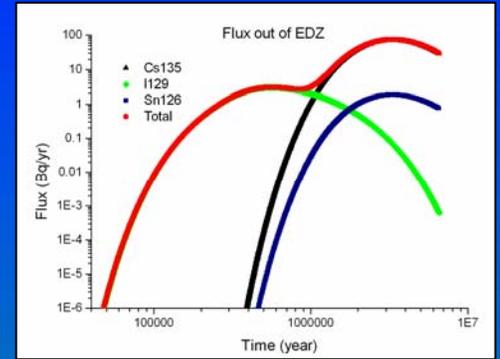
玻璃固化体-缓冲材料-黏土岩系统中的核素迁移



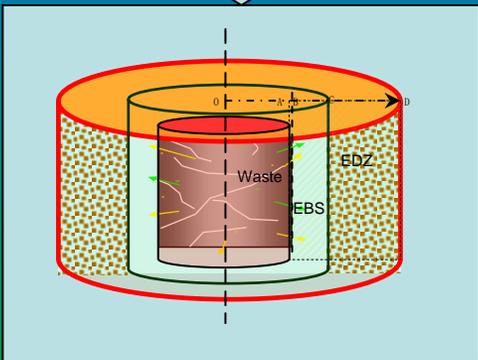
玻璃废物-缓冲材料-黏土岩系统概念模型
1-废物体,2-废物罐,3-填充料,4-外包装,5-缓冲材料,6-外壳
Conceptual Model of Vitrified waste-Buffer-Clay System
1-Waste form,2-Canister,3-Filler,4-Overpackage,5-Buffer,6-Envelope



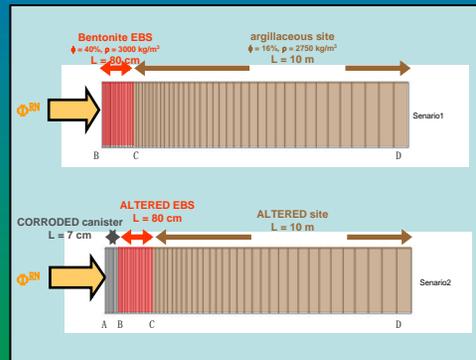
基于 Porflow 的性能评价流程图
Flowchart of Performance Assessment Based on Porflow Software



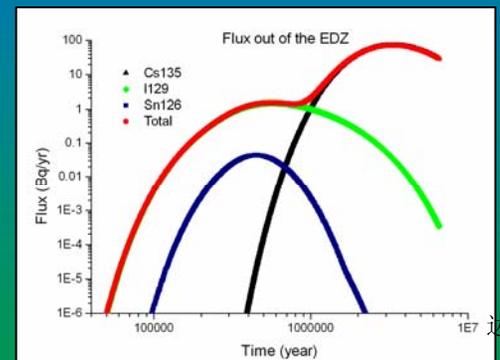
核素在系统外边界的通量随时间的变化(情景1)
Flux of Radionuclide at outer boundary in Scenario1



玻璃废物-缓冲材料-黏土岩系统简化模型
OA-玻璃固化体半径,AB-废物罐厚度,BC-缓冲材料,CD-黏土岩(开挖扰动区)
Simplified Model of Vitrified waste-Buffer-Clay System
OA-Inner Radius of Canister ,AB-Thickness of Canister ,BC-Buffer ,CD-Clay (EDZ)



系统研究单元网格化及其边界条件
Senario 1-情景1, BC-膨润土, CD-扰动区(黏土岩); Senario 2-情景2, AB-废物罐的厚度。
图中L为长度, Φ 为有效孔隙度, ρ 为密度。上下界面为不透水层。
Meshing of System and Boundary Conditions of Different Scenarios
AB-Corroded Canister, BC-Bentonite EBS,CD-EDZ, L-Length, Φ -Porosity ρ -Density



核素在系统外边界的通量随时间的变化图(情景2)
Flux of Radionuclide at outer boundary in Scenario2

系统尺寸

系统初步

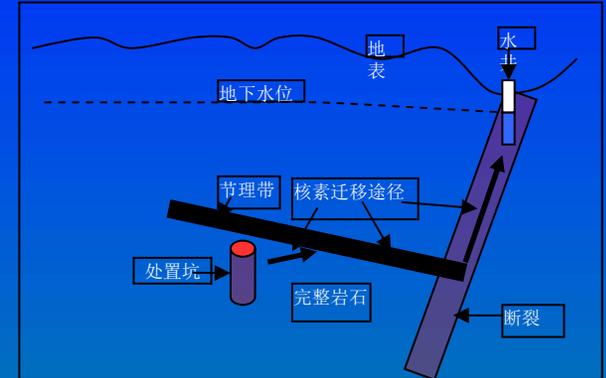
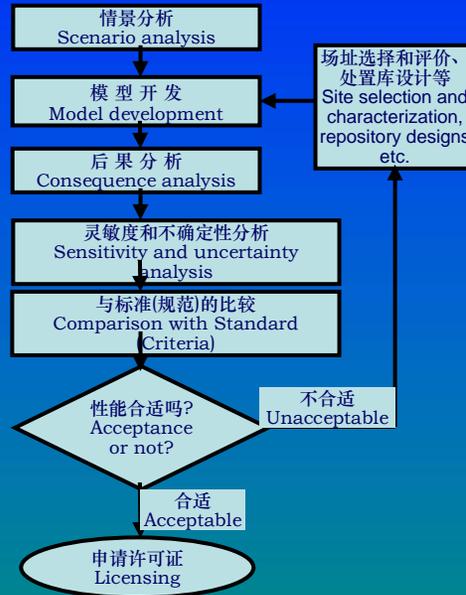
边界条件



性能评价 PERFORMANCE ASSESSMENT

高放废物处置库系统性能评价可以正确预测放射性废物处置系统的长期放射性影响，在场址选择和评价、处置库设计与建造、场址许可证申请、获得公众认可、保证处置库长期安全运行等方面均有重要意义。

Performance assessment of high level radioactive waste disposal system is able to evaluate the potential long term radiological impacts of a radioactive waste disposal system, plays a critical role in site selection, site characterization, repository designs and construction, site licensing and gaining public acceptance, assuring long term safe operation of disposal system.

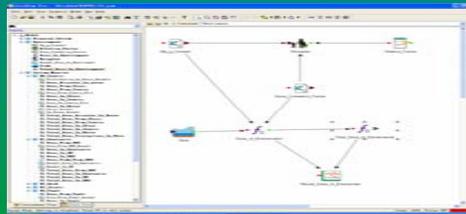


北山预选区地质屏障概念模型
Conceptual model of geological barrier for Beishan site

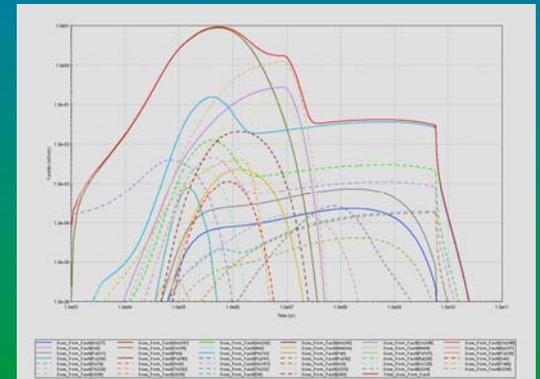


工程屏障概念模型
Conceptual model of engineered barrier

性能评价过程
Procedure of performance assessment



IAEA 援助性能评价软件—GOLDSIM
GOLDSIM, a PA software



处置库系统毒性释放率
Toxicity release rate from repository system

国内学术交流, 2008-09-23, 敦煌

第二届废物地下处置学术研讨会

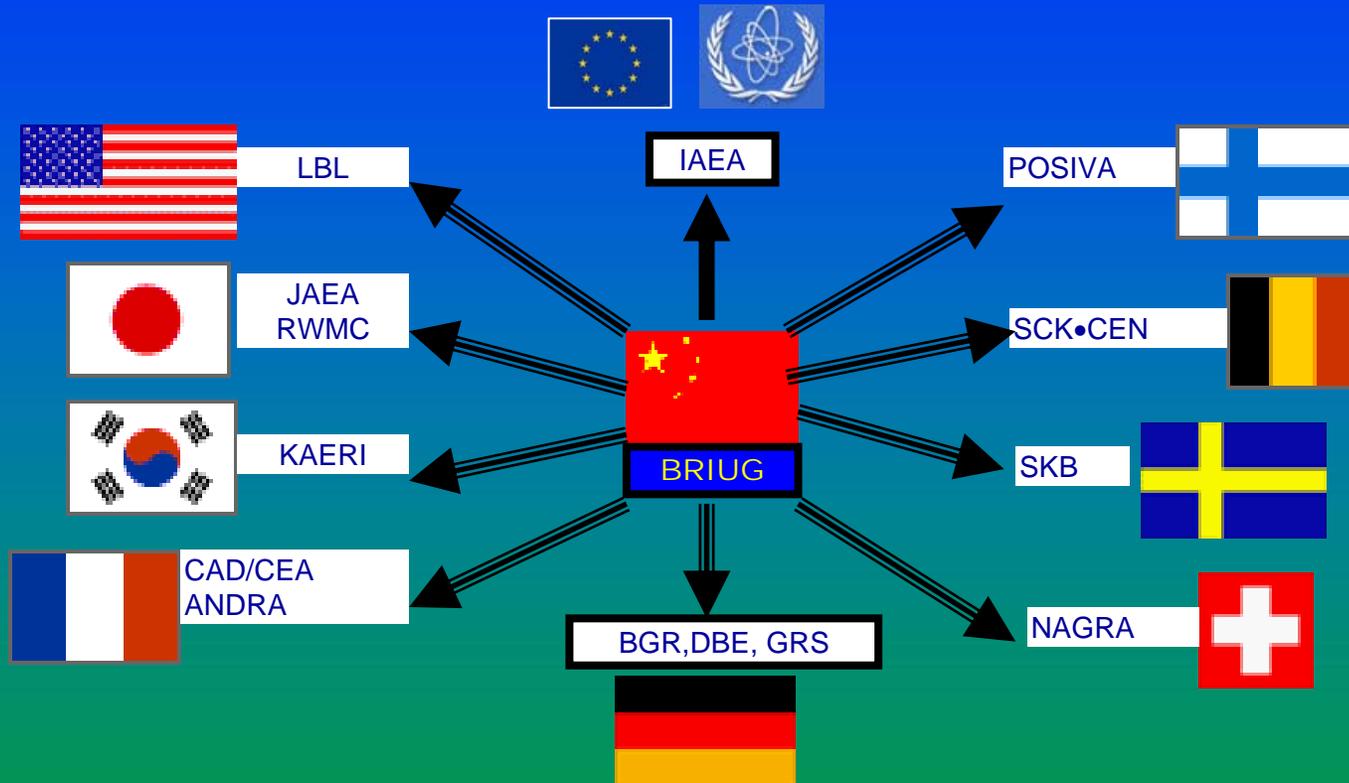


国内专家考察北山，2008-09-27





国际交流与合作



**Director General of the
International Atomic
Energy Agency,**

Dr. ElBaradei

**visiting BRIUG,
in front of core
sample from
Beishan site**

2009-04-21



北山日出



谢谢