

## 2.3 寒区沙质地基蒸发塘防渗关键技术研究

### ➤ 简要信息

【获奖类型】应用一等奖

【任务来源】内蒙古大唐国际克什克腾煤制天然气有限责任公司

【课题编号】岩 0203022012

【课题起止时间】2011 年 12 月~2013 年 6 月

【完成单位】中国水利水电科学研究院

【主要完成人】温彦锋、李维朝、谢定松、蔡 红、严 俊、梁向前、张 磊、  
宋建正、田继雪

### ➤ 立项背景

煤制气是通过能源高效转化，将劣质煤转为清洁高效的天然气。它迎合了国家战略需求，是“富煤”中国破解“少气”窘境的利刃。项目所依托的内蒙古大唐国际克什克腾旗煤制天然气项目，是我国第一个经国家核准的煤制天然气示范项目，其生产的天然气可以供应北京及沿线地区，大幅缓解首都“气荒”。

煤制天然气会产生无法处理的高有机物、高含盐废水。而依托项目厂址的上、下游均为国家自然保护区，生态系统脆弱，水资源短缺，无接纳水体。国家环保部对该项目环评报告书批复中，要求污水零排放，防止污染周边水体。为了保证项目实施、保护脆弱环境、满足严格的环保要求，废水不能直接排放到自然环境中，而是必须通过输送、自然蒸发等措施加以贮放，因此蒸发塘是该煤制天然气项目必不可少的一部分。

依托项目所在地气候环境特殊，温差大、冬季温度极低，工程建设难度大。蒸发塘选址区为沙质地基，透水性强，周边缺少可防渗的粘土层，为防止废液渗入塘周土体造成污染，选择合适的防渗材料、采用合理的防渗结构来代替常规的以粘土为底层的防渗材料是蒸发塘建设的迫切需要。

上述高标准的防渗要求、特殊的地基条件和恶劣的气候条件，带来很多疑难问题，主要有沙质岸坡稳定性、防渗结构稳定性、防渗材料耐久性、环境风险可控性、蒸发塘施工运行等五大类。针对这五大类问题，内蒙古大唐国际克什克腾煤制天然气有限公司于 2011 年委托中国水利水电科学研究院进行了“大唐克旗

煤制气蒸发塘防渗关键技术研究”，力图解决克旗蒸发塘设计、施工和运行中存在的一些关键问题，并为今后类似工程提供借鉴。

### ➤ 详细科学技术内容

本项目针对沙质岸坡稳定性、防渗结构稳定性、防渗材料耐久性、环境风险可控性、蒸发塘施工运行等五大类寒区沙质地基蒸发塘防渗关键技术，综合运用成果调研、现场试验、室内模型试验和数值分析方法，提出了一套防渗结构设计理论和分析方法，研究成果可对寒区沙质地基蒸发塘的设计、施工和运行提供指导。

#### (1) 寒区沙质岸（坝）坡的稳定性研究

采用“过程模拟”的计算方法，系统研究了沙质开挖岸坡和堆石填筑坝坡在施工、蓄水和结冰三个施工运行阶段过程中的稳定性、应力分布与变形分布演化，评价了沙质开挖岸坡和堆石填筑坝坡在施工、运行阶段的变形与稳定，提出了沙质岸（坝）坡的稳定性设计分析方法。



图1 竣工贮废液后的蒸发塘

#### (2) 防渗结构的稳定性研究

总结分析了不同锚固类型的作用机理及相应锚固稳定性计算方法，确定了锚固沟的几何特征参数对单宽锚固力的敏感性，最后通过防渗结构拉拔破坏和土体剪切破坏两种破坏模式的敏感性对比分析，对锚固结构的设计、施工提出了实用的建议与参考。

在人工防渗结构各材料间界面剪切试验的基础上，研究了不同界面间的强度特征与应力应变关系，分析了外界条件对材料和防渗结构的影响，指出了克旗蒸发塘防渗结构中的最软弱界面，为防渗结构在施工、运行中的稳定分析奠定基础。

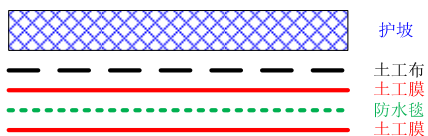


图2 蒸发塘设计防渗结构

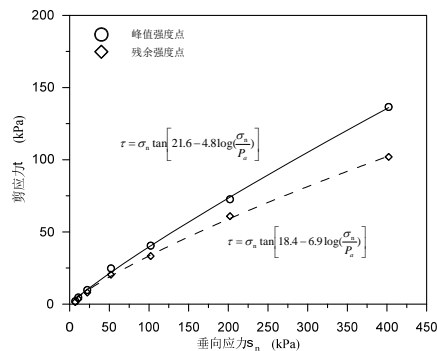


图3 糙面土工膜-GCL 界面峰值残余强度包络线

针对克旗防渗层和护坡的施工过程、蓄水过程、运行结冰过程，进行了二维断面、三维凸形坡和三维全景的防渗结构施工运行全过程数值，分析了护坡铺设、蓄水压力、冰压力等条件对防渗结构的影响，指出了地形条件对防渗结构安全运行的影响，评价了该蒸发塘防渗结构施工、运行全过程中的安全性。

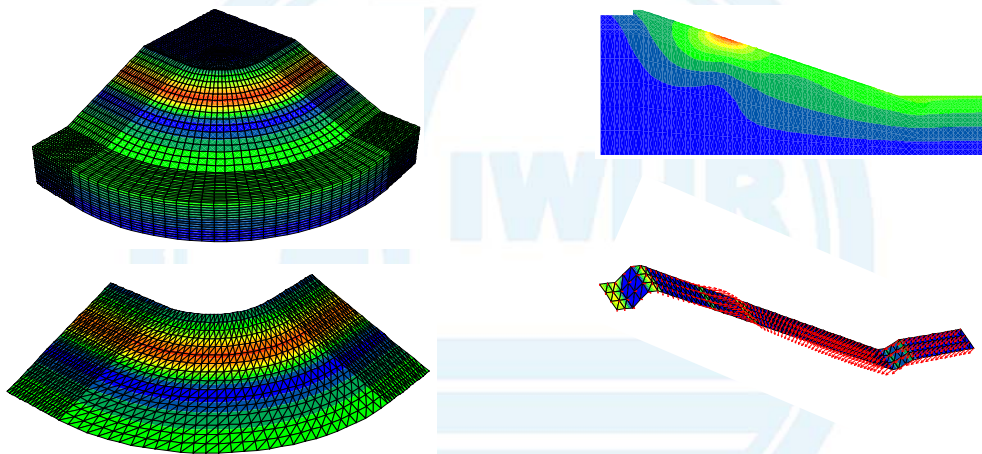


图4 结冰条件下防渗层运行响应

### (3) 材料耐久性研究



图5 试验溶液配比

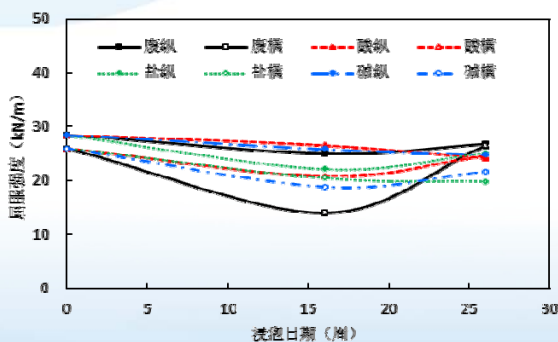


图6 土工膜屈服强度随浸泡日期变化

在综合分析国内外研究现状的基础上，针对蒸发塘防渗结构的特征与工作环境，进行了防渗材料的耐腐蚀试验、冻融试验，分析了酸、碱、克旗废液和冻融循环次数对防渗材料物理力学性能的影响，对蒸发塘防渗材料在寒区、废液环境

下的耐久性进行了评估。

#### (4) 环境风险可控性研究

总结分析了国内外防渗结构缺陷渗漏量的计算方法,开展了防渗结构缺陷条件下的室内渗漏模型试验与相应工况下的数值计算分析,评估了防渗结构缺陷渗漏的风险,探明了防渗结构中 GCL 的渗漏量控制效果及自愈式机理,指出了防渗结构缺陷渗漏的风险,建议了应对措施。



图7 渗漏水在 GCL 上的径向扩散

#### (5) 寒区蒸发塘施工、运行研究

系统总结了寒区护坡破坏类型及破坏机理,对比分析了常用的寒区护坡结构形式的适用性,计算了克旗模袋混凝土护坡的稳定性,在总结国内外同类型工程全年蒸发量、防破冰、清淤、监测等方法、技术和措施的基础上,对依托项目的施工运行提供建议。



图8 模袋混凝土护坡

### ➤ 发明及创新点

在国内首次对大型露天危险废液场地—蒸发塘的防渗关键技术,进行了全面而深入的研究,主要创新点归纳如下:

#### (1) 人工防渗材料在寒区大型露天废液处理中的应用

研究了 HDPE 和 GCL 材料的耐腐蚀性、抗氧化、耐低温、抗冻融等特性,论证了人工防渗材料在寒区大型露天废液处理中的长期耐久性和可靠性。

(2) 提出了经济适用的寒区透水性地基废液的防渗结构，并从长期稳定性和长期渗漏量控制及便于施工的角度进行了论证。

通过锚固结构稳定性、防渗结构界面剪切特性和运行条件下防渗结构的受力与变形三方面研究，证明了防渗结构的长期稳定性；通过不同缺陷类型和不同缺陷尺度条件下防渗结构的渗漏特征、防渗结构点状破损条件下污染物运移和防渗结构在不同运行阶段下的渗漏率，证明了防渗结构的长期渗漏量控制的可靠性。

针对当前国内外对于垃圾填埋场、固液废弃物的防渗结构多采用的双层结构施工复杂、易对防渗材料产生施工破坏的缺点，提出了满足稳定和渗漏控制的单层结构，既保证了防渗效果的可靠性，减慢了施工影响，也降低了工程造价。

### ➤ 与当前国内外同类研究、同类技术的综合比较

当前国内对固体废弃物渗滤液防渗研究开展较多，其中主要以垃圾填埋场的渗滤液防渗研究为主，而关于工业废液的防渗研究较小。但垃圾填埋场的选址要求比较严格，地基一般都会铺设粘土层，而不会直接采用透水地基。并且垃圾填埋场渗滤液的水头远小于蒸发塘的水头，渗滤液的腐蚀性也弱于工业废液。国外虽然有在透水性地基上建造蒸发塘的案例、有在寒区建造蒸发塘的案例、也有建造废液蒸发塘的案例，但相关研究均聚焦于单点问题，没有透水性地基、寒区、腐蚀性废液三项不利条件皆存的蒸发塘案例与成套的研究。即从目前掌握的资料看，国内外尚未有同类研究、同类技术。

本研究成果表明，在寒区透水地基上建造腐蚀性废液蒸发塘是成功的。成果具有广阔的推广应用前景，并能够带来可观的经济效益。

### ➤ 成果应用情况及社会效益

项目研究所依托的蒸发塘已运行一个完整的周期，研究成果得到了有效验证，为今后蒸发塘选址、防渗材料选择、防渗结构设计以及防护措施等方面提供了有力支持，对逐步完善蒸发塘设计理论和方法具有重要的推动作用。该工程在废液处理方面具有良好的示范效应，解决了在寒区且透水性好的沙质地基上建造废液蒸发塘的关键技术难题，为防范废液贮放对环境产生影响，提供了设计依据，具有非常好的社会效益，以及突出的环境效益。