

大榭开发区商业石油储备项目

海岛凝灰岩地下水封洞库围岩精细化分级研究

技术要求

编制：孙树功

审核：李景宽

批准：李俊彦



中海油石化工程有限公司

大榭商储 EPC 项目部

2025 年 06 月 15 日

技术要求

一、工作目的

地下水封洞库是一种高效、环保的地下储存方式，广泛应用于液体能源的储存。由于海岛地质环境的特殊性，洞库围岩稳定性直接影响水封系统的安全性。

目前国内完成的海岛地下水封洞库均是在花岗岩地区进行的，其围岩分级标准与建设经验均是基于花岗岩地层建立的。本工程位于浙江省东部海岛的凝灰岩区，现有应用于花岗岩地层的分级标准及施工经验难以适应于海岛凝灰岩地层，造成围岩分级结果及对应的设计施工措施具有较大局限性。

海岛凝灰岩具有复杂的物理力学性质，其围岩分级的精确性对于洞库设计、施工及运营的安全至关重要。因此，需要针对东部海岛凝灰岩区地下水封洞库进行围岩精细化分级专题研究，确立适用于海岛凝灰岩地下水封洞库围岩的精细化分级标准。该研究不但“首次”提出海岛凝灰岩地下水封洞库围岩精细化分级标准，填补国内该领域的空白，而且对其他凝灰岩地区海岛的设计与施工有重要的借鉴及指导意义。

二、工作内容和范围

根据海岛凝灰岩地下水封洞库分级标准尚未在国内外得到充分研究与应用的现状，研究所需的内容较为广泛和复杂。为了更加系统和高效地展开研究工作，根据科学方法论的指导，将研究内容划分为**科学探索**和**工程应用**两大部分。以下将分别对这两个部分的研究内容进行详细介绍。

科学探索部分主要致力于理论和基础知识的建立，通过岩相学特征与矿物成分分析、岩体力学特性研究及结构面特征的分析，系统揭示凝灰岩的内在性质及其对围岩稳定性的影响。这一部分的研究将通过实验室试验、现场观测和数值模拟等方法，深入探索岩体及其结构特征的力学表现，为后续的分级标准制定提供坚实的理论支持。

工程应用部分则侧重于将科学探索的成果应用于实际工程中，通过制定围岩精细化分级方案和针对不同围岩等级的控制措施，保障洞库的施工与运营安全。该部分将通过典型工程案例验证所制定的分级方案的合理性与有效性，确保研究成果能够直接服务于实际工程需求，并为未来同类项目的设计与施工提供可参考的技术依据。

2.1 科学探索部分研究内容

(1) 文献调研与现状分析

本研究将首先系统性地检索国内外关于围岩分级的文献，特别关注地下水封洞库相关的研究成果。将分析并总结各类分级标准，包括国家标准、行业标准以及地方性标准，以确定其适用性和局限性。通过对比不同标准的评估方法与适用范围，挖掘出可以借鉴的理论和实践经验，为后续研究打下坚实的基础。同时，分析国内外相关案例，探讨成功与失败的经验，以便更好地指导本研究的开展。

(2) 岩相学特征与矿物成分分析

通过岩芯采样和显微镜下的薄片分析，研究海岛凝灰岩的岩相学特征，如颗粒结构、基质和胶结物类型。利用X射线衍射（XRD）、扫描电子显微镜（SEM）等技术，分析岩石的矿物成分及含量，确定影响其力学性能的关键矿物。

(3) 岩块力学特征研究

在实验室、工程现场条件下进行三轴试验及点载荷试验，测定凝灰岩的抗压、抗剪及抗拉强度等力学参数，初步评估岩体的力学特征。将实验结果与岩相学和矿物成分分析结果结合，深入理解岩体力学特征的内在机制。

(4) 围岩结构面几何及强度特征研究

通过现场调查和岩芯观察，识别并测量凝灰岩中的主要结构面，包括节理、裂隙、断层等。记录结构面的几何参数，如方位、间距、长度和开度。基于结构面特征，采用离散元方法（如3DEC、UDEC等）建立结构面网络模型，模拟围岩的力学行为和稳定性，分析结构面对围岩强度的影响。

在实验室进行不同尺度及强度等级的岩体结构面抗剪强度试验，获得抗剪强度参数、剪切模量、剪胀特征和尺寸效应规律。

(5) 综合分析及渗流特征研究

结合岩块力学特征与结构面网络分析，评估围岩的整体稳定性。考虑结构面对围岩强度和稳定性的削弱作用，并分析地下水渗流对围岩的影响。通过渗透试验和数值模拟，探讨渗流特征对围岩力学性能的影响，特别是在水封系统中表现。

2.2 工程应用部分研究内容

(1) 影响海岛凝灰岩地下水封洞库关键因素分析及权重影响研究

从宏观层面分析海岛凝灰岩地下水封洞库在岩体构造特性、埋深、洞径、平面布局的稳定性分析方法。进一步，通过收集和分析现有的地质数据，分析围岩的宏观特征（岩体 RQD、节理分布情况、节理面粗糙度、优势节理与洞室轴线的关系）、地应力、地质构造和地下水状态、储存压力等因素，如何影响岩体质量和围岩的分级结果。建立一个多维度模型，综合考虑不同影响因素的相互作用，为围岩分级提供更加准确和全面的理论基础。同时，通过定量分析，将识别出关键影响因子及其权重，探讨这些因素在实际工程应用中的重要性。

(2) 围岩精细化分级体系研究

基于以上研究，结合主要影响因素，制定海岛凝灰岩地下水封洞库围岩的精细化分级方案。通过综合考虑岩体质量、节理特征、渗流影响、地应力等因素，形成适用于依托项目的围岩分级标准。进一步，通过对已完成施工的地下水封洞库围岩分级进行系统分析，收集实际施工后的围岩分级数据，并与初始设计进行比较，利用统计分析方法识别规律和趋势，从中总结有效的分级方法与经验，以探讨围岩特性与分级结果之间的关系。

(3) 物探技术与不确定性理论结合下的海岛凝灰岩围岩特性研究

本研究计划结合高密度电法、微动测试、钻孔波速试验等物探技术，获取海岛凝灰岩地下水封洞库围岩的物理参数，以支持围岩的精细化分级。通过提取波速、动态模量和泊松比等关键物理参数，分析其对围岩质量的

影响，并将这些数据纳入围岩分级指标体系，优化分级标准，提高其在工程实践中的适用性和精确性。在此基础上，依据地质不确定性理论，研究将分析物探结果与施工期间围岩力学性质之间的差异性，重点探讨如何利用不确定性理论来描述这些差异。这包括量化围岩在不同施工条件下的力学行为及其变化，以更好地理解围岩响应的复杂性。研究将通过构建不确定性模型，评估各物理参数的变异性，从而为围岩的安全性和稳定性评估提供更加科学的依据。最终，研究将为海岛凝灰岩地下水封洞库的设计与施工提供重要的理论支持和实用指导，确保工程的安全性与有效性。

(4) 不同围岩等级的控制措施

针对不同等级的围岩，提出初步的控制思路，如通过优化支护措施、调整开挖步骤、加强监测等手段，确保洞库的安全与稳定。具体控制策略将在进一步的研究中确定，并根据实际工程应用情况进行调整和优化。运用计算机仿真技术构建三维模型，模拟围岩分级及支护措施，在施工过程中的表现。通过动态仿真评估不同分级标准在实际施工中的适用性，模拟结果将用于比较施工前后围岩的变化，分析不同因素对围岩稳定性的影响，通过现场实测进一步验证分级方法及支护方案的可靠性。

(5) 工程应用与验证

研究将在理论和操作层面构建围岩精细化分级的系统框架，整合各项研究成果，设计一套清晰的围岩分级操作流程，确保分级标准在实际应用中便于实施。针对不同等级的围岩，提出优化支护措施、调整开挖步骤和加强监测等控制思路，以确保洞库的安全与稳定。依据典型工程案例进行应用研究，通过地下油封洞库的位移和应力测试结果，采用反分析技术验证验证围岩分级方案和初步控制措施的合理性和有效性。总结工程应用中的经验教训，进一步完善围岩分级体系，为未来类似工程提供指导和参考。

三、工作成果及要求

3.1 工作成果

(1) 乙方受甲方委托，对大榭开发区商业石油储备项目地下水封洞库

开展海岛凝灰岩地下水封洞库围岩精细化分级研究。

(2) 成果明细

成果明细及所有权统计表

序号	成果名称	数量	成果所有权
1	《大榭开发区商业石油储备项目 海岛凝灰岩地下水封洞库围岩精 细化分级》研究报告	1 份	石化工程
2	《海岛凝灰岩地下水封洞库围岩 分级标准化操作手册》	1 份	石化工程
3	国内外重要期刊发表论文	1 篇	石化工程
4	发明专利	1 项	石化工程

(3) 提供纸质成果最终稿 10 份，电子可编辑版成果文件 1 份，电子光盘刻录文件 3 份。

3.2 技术要求

1. 乙方按甲方要求，依据国家现有法律、法规和相关规范对大榭商储项目地下洞库开挖开展海岛凝灰岩地下水封洞库围岩精细化分级研究，海岛凝灰岩地下水封洞库围岩精细化分级标准，涵盖关键影响因素及其权重，为工程设计和施工提供科学依据。

2. 合同签订后 5 日内，乙方应安排研究人员开展研究工作，研究周期暂定 2 年（2025 年 08 月 01 日至 2027 年 07 月 31 日）。

3. 乙方应提供高效、及时的服务，各项成果文件按期交付。

4. 派驻现场的研究人员，其产生的费用（住宿费、餐费、基本工资、

工资补贴、交通费等）由乙方负责。

3.3 其他要求

1. 投标人资质业绩和技术人员要求，
- (1) 投标人必须是在中华人民共和国境内，具有合法有效的营业执照的企业（具有岩土工程勘察综合甲级资质）或投标人为具有地质工程相关专业的境内高校或科研院所；
- (2) 具有大型岩质地下工程勘察业绩或岩质地下工程地质相关的研究业绩；
- (3) 参与研究的主要人员均为中级及以上职称或研究生及以上学历。

2. 保密要求

在整个工作过程中以及对本工作的成果，乙方应该遵守承诺，严格保密，未经招标人同意，不得以书面、电子、口头等任何方式向其他单位或个人透露本工作的技术或商务秘密。

3. 技术服务费清单报价样式

内容	单价 (元)	数量	单位	合计 (元)	备注
食宿费			天		研究生/工 程师
			天		副教授/高 级工程师

			天		教授/教高
交通费			人次		
研究报告		1	份		
手册		1	份		
论文		1	篇		国内外重要 期刊
专利		1	项		发明专利
总计	****万元				