

压气储能内衬洞室热-气-力耦合场理论研究

Theoretical study on thermal-gas-mechanical coupling field for compressed air energy storage lining cavern

马燕^{1,2} 饶秋华^{1,*} 易威¹

Yan Ma^{1,2} Qiuhua Rao¹ Wei Yi¹

(1. 中南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410075;

2. 太原科技大学应用科学学院, 山西 太原 030024)

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

摘要: 压缩空气储能是近年来国际上备受关注的一种能够实现大容量和长时间的电能存储技术, 可以解决太阳能、风能等可再生能源发电不稳定性和间歇性的缺点, 对新能源应用具有极其重要的意义。地下内衬洞室(由密封层、钢筋混凝土衬砌和围岩组成)作为压气储能工程的重要组成部分, 其在长期高温、高压、循环(充气-存储-放气-存储)作用下的稳定性至关重要。然而, 目前压缩空气储能地下内衬洞室热-气-力耦合场研究主要采用数值方法而很少采用理论方法、且理论求解仅仅集中于热-力耦合温度场、应力场及单一的渗流场, 并未考虑气体渗流问题, 仅仅将气体考虑为洞室静压力。因此, 有必要开展压缩空气储能内衬洞室热-气-力耦合场理论研究。

主要研究结论如下:

(1) 基于热-气-力耦合机理, 建立了压气储能地下洞室热-气-力耦合场理论模型, 计算并分析了单层(盐岩)、双层(衬砌-围岩)、三层(密封层-衬砌-围岩)洞室的温度、压力/应力、渗流场随时空的变化规律。理论计算结果和现有文献结果吻合一致, 从而验证了所建立的压气储能地下洞室热-气-力耦合场理论模型的有效性。

(2) 在相同的压气循环工况下, 压气储能地下单层(盐岩)、双层(衬砌-围岩)、三层(密封层-衬砌-围岩)洞室的温度、压力、应力、渗流场随时间的变化规律较为相似, 与洞室层数无关, 温度、渗流、压力、应力场随半径的变化规律依赖于洞室层数特征。

(3) 三层结构洞室比单、双层洞室能量损失更小且稳定性更好, 为最佳结构形式, 增加密封层和衬砌厚度、减少热传导系数/渗透系数可以提高三层内衬洞室的稳定性。

关键词: 压缩空气储能; 内衬洞室; 热-气-力耦合场