

深地工程热害防控

Prevention and control of deep underground engineering heat hazard

郭平业^{1,2} 卜墨华^{1,2} 金鑫^{1,2} 王蒙^{1,2} 方成^{1,2} 何满潮^{1,2}
Pingye Guo^{1,2} Mohua Bu^{1,2} Xin Jin^{1,2} Meng Wang^{1,2} Cheng Fang^{1,2} Manchao He^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京)隧道工程灾变防控与智能建养全国重点实验室, 北京 100083;

2. 中国矿业大学(北京)力学与土木工程学院, 北京 100083)

(1. State Key Laboratory for Tunnel Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

摘要: 随着资源开采和地下空间开发不断向地球深部进军, 高地温成为许多深地工程建设不可避免的地质灾害之一。高地温导致深地工程湿热环境、加剧围岩变形破坏和诱发支护结构失效, 具体包括降低工人劳动效率、损害工人身心健康、增加机械设备故障、加剧软岩大变形、影响硬岩岩爆过程、增加爆破安全风险、降低锚杆(索)锚固力、劣化混凝土力学性能、热应力导致衬砌开裂等。开展了高地温深地工程围岩变形破坏机理研究, 结果表明, 复杂环境下岩石热导率精准测量对于掌握围岩温度场时空分布特征至关重要, 温压耦合、干湿循环及冷热变化过程中水-岩相互作用、黏土矿物膨胀与收缩、水冰相变及孔-裂隙发育是岩石热导率及其非均匀性改变的主要原因; 当由矿物颗粒热膨胀不均匀性、热传导非均匀性和温度梯度引起的热应力超过岩石局部抗拉强度, 岩石内部将产生微裂纹, 热致裂纹的萌生、扩展、聚结和贯通是围岩物理力学性质劣化的主要诱因; 高温差引起岩石矿物颗粒不均匀收缩、导致围岩及衬砌产生拉应力, 拉应力大小受围岩温度与大气温度之差控制, 拉应力区由调热圈半径和隧道半径决定, 而湿热传递参数、围岩风流温差和围岩热传导是调热圈半径的主控因素。目前, 用于深地工程热害控制的技术包括非人工制冷降温技术和人工制冷降温技术, 其中非人工降温技术包括热源控制技术、热湿环境调控技术和个体防护技术 3 类; 根据制冷工质不同, 可以将人工制冷降温技术分为气冷式、冰冷式和水冷式 3 类。探索适合高温环境的支护结构形式、技术(高温注浆技术和隔水隔热技术等)与材料(耐高温锚杆/索、混凝土和隔水隔热材料等)是控制围岩变形与破坏和预防支护结构失效的主要途径, 实现高地温热害资源化利用是未来深地工程建设面临的挑战之一。

关键词: 深地工程; 高地温; 灾变机理; 热害防控; 热能利用