



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105352996 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 24

(21) 申请号 201510684586. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2015. 10. 20

G01N 25/22(2006. 01)

G01N 33/22(2006. 01)

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院

(72) 发明人 仲晓星 曾杰 王晓玲 任宏伟 汤研 杨正杰

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

权利要求书2页 说明书5页

(54) 发明名称

一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法

(57) 摘要

一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法,属于测试煤田火区温度变化的模型试验方法。首先根据火区原型范围、地层情况以及确定的火区模型与原型几何比尺和相似关系 $G_m = G_p C_L C_{\rho c}$ 、 $E_m = E_p C_L C_{\rho c}$ 、 $v_m = v_p$ 、 $\lambda_m = \lambda_p C_L C_{\rho c}$ 、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$ 、 $(\rho c)_{sp} = (\rho c)_{sm}$ 、 $\lambda_{sp} = \lambda_{sm}$ 、 $\beta_m = \beta_p$ 、 $L_m = L_p C_L$ 、 $U_m = U_p C_L$ 、 $d_m = d_p C_L^{1/4}$, 确定模型火区材料的物性参数和模型火区尺寸;然后根据原型火区及确定的模型火区尺寸和材料参数搭建模型火区,获得燃烧层开采后的覆岩情况;最后根据速度相似关系 $V_m = V_p C_L^{1/2}$ 和体积火源产热速率相似关系 $Q_{Lm} = Q_{Lp} C_L$, 控制模型火区风速和火源产热速率,同时利用布置的测温元件监测模型火区覆岩的温度变化,解决了现有地下煤田火区模型试验无法实现含内热源热流固耦合条件下火区覆岩温度变化测试的不足,测试结果较热流、流固耦合模型试验更准确,在本领域内具有广泛的实用性。

1. 一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法,其特征是:模型测试方法,步骤如下:

(1) 根据原型火区情况以及确定的火区模型与原型几何比尺和相似关系 $G_m = G_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $E_m = E_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $\nu_m = \nu_p$ 、 $\lambda_m = \lambda_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$ 、 $(\rho c)_{sp} = (\rho c)_{sm}$ 、 $\lambda_{sp} = \lambda_{sm}$ 、 $\beta_m = \beta_p$ 、 $L_m = L_p C_L$ 、 $U_m = U_p C_L$ 、 $d_m = d_p C_L^{1/4}$, 确定模型火区材料的物性参数,其中 G_m 和 G_p 分别为模型和原型的剪切模量, MPa; C_L 为模型与原型的几何比尺,量纲为 1; C_{ρ_s} 为模型与原型的煤岩固体密度比,量纲为 1; E_m 和 E_p 分别为模型和原型的弹性模量, MPa; ν_m 和 ν_p 分别为模型与原型的泊松比,量纲为 1; λ_m 和 λ_p 分别为模型和原型的拉梅常量, MPa; ε_m 和 ε_p 分别为模型和原型的体积应变,量纲为 1; $(\rho c)_{sm}$ 和 $(\rho c)_{sp}$ 分别为模型和原型的煤岩体积热容, J/(K·m³); λ_{sm} 和 λ_{sp} 分别为模型和原型的固体的导热系数, W/(m·K); β_m 和 β_p 分别为模型和原型的固体的热膨胀系数, K⁻¹; L_m 和 L_p 分别为模型和原型的特征长度, m; U_m 和 U_p 分别为模型和原型的位移, m; d_m 和 d_p 分别为模型和原型的粒子直径, m;

(2) 按照原型火区范围、地层情况和火区模型与原型几何比尺确定模型火区各地质层以及燃烧层采空区与燃烧区的尺寸和位置,然后根据步骤(1)中确定的物性参数,搭建模型火区并在模型火区燃烧层上部布置测温元件和在燃烧层采空区内等间距布置热量可控的电加热器;

(3) 根据步骤(2)中已经确定的模型火区燃烧层采空区的尺寸和位置对模型燃烧层开挖,达到预先确定的燃烧层采空区开挖尺寸后停止开挖,获得燃烧层开采后的覆岩情况;

(4) 根据速度相似关系 $V_m = V_p C_L^{1/2}$ 和体积火源产热速率相似关系 $Q_{V_m} = Q_{V_p} C_L$, 确定模型火区风速和燃烧层电加热器的产热速率,其中 V_m 和 V_p 分别为模型和原型的火区风速, m/s; Q_{V_m} 和 Q_{V_p} 分别为模型和原型的体积火源产热速率, W;

(5) 选择燃烧层点、线、面的某一加热方式,根据已确定的风速对火区供风,将电加热器调整至已确定的产热速率,开启电加热器,同时打开火区覆岩内的测温元件和火区外部的红外热成像仪对供热条件下火区覆岩各测点的火区温度进行监测和记录;

(6) 根据各测点的温度记录结果和外红热成像图,作出火区各测点温度随测试时间的变化曲线,即得到火区覆岩温度的变化情况。

2. 根据权利要求 1 所述的一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法,其特征是:所述的模型火区燃烧层上部测温元件布置,燃烧层采空区上覆岩层中的最上层测温元件距表面距离均不超过 10cm、测温元件纵向层间距控制在 10~30cm 之间、测温元件横向层间距控制在 10~40cm 之间、采空区上部最外层的测温元件距离采空区边界的最近水平距离控制在 0~50cm 之间。

3. 根据权利要求 1 所述的一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法,其特征是:所述的燃烧层采空区内电加热器布置,相邻电加热器间距控制在 2~8cm 之间、燃烧层采空区内最外层电加热器距离采空区边界最近水平距离控制在 0~10cm 之间。

4. 根据权利要求 1 所述的一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法,其特征是:所述的点、线、面加热方式,其特征是通过开启单个不连续的电加热器来模拟点火源,开启煤层任一方向上相邻的 2 个及 2 个以上电加热器来模拟线火源,开启煤层任意相邻数

个能组成一个面的电加热器来模拟面火源。

一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测试煤田火区温度变化的模型试验方法,特别是一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法。

背景技术

[0002] 在我国新疆、内蒙、山西等省(自治区)现存大面积煤田火区。煤田火区不仅烧毁大量煤炭资源,还会释放有毒有害气体,严重破坏生态环境,直接影响到我国煤炭资源的可持续性发展和生态文明建设。掌握地下煤田火区温度场的变化是火区高温区的反演和开展有针对性的治理基础。然而地下煤火系统是一个含内热源的热-流-固多场耦合热交换系统。目前,涉及多场耦合的相似试验方法多以热-流或者流-固为主,对于地下煤田火区含内热源的热-流-固耦合条件下的模型试验还未见报道,还没有一种适合于测试地下煤田火区热交换过程中覆岩温度变化的模型试验方法。

发明内容

[0003] 本发明的目的是要提供一种测试地下煤田火区覆岩温度变化的模型试验方法,解决现有的模型方法无法体现地下煤火区含内热源的热-流-固多场耦合特性的问题。

[0004] 本发明的目的是这样实现的:模型测试方法,步骤如下:

[0005] (1) 根据原型火区情况以及确定的火区模型与原型几何比尺和相似关系 $G_m = G_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $E_m = E_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $\nu_m = \nu_p$ 、 $\lambda_m = \lambda_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$ 、 $(\rho c)_{sp} = (\rho c)_{sm}$ 、 $\lambda_{sp} = \lambda_{sm}$ 、 $\beta_m = \beta_p$ 、 $L_m = L_p C_L$ 、 $U_m = U_p C_L$ 、 $d_m = d_p C_L^{1/4}$, 确定模型火区材料的物性参数,其中 G_m 和 G_p 分别为模型和原型的剪切模量, MPa; C_L 为模型与原型的几何比尺,量纲为 1; C_{ρ_s} 为模型与原型的煤岩固体密度比,量纲为 1; E_m 和 E_p 分别为模型和原型的弹性模量, MPa; ν_m 和 ν_p 分别为模型与原型的泊松比,量纲为 1; λ_m 和 λ_p 分别为模型和原型的拉梅常量, MPa; ε_m 和 ε_p 分别为模型和原型的体积应变,量纲为 1; $(\rho c)_{sm}$ 和 $(\rho c)_{sp}$ 分别为模型和原型的煤岩体积热容, J/(K·m³); λ_{sm} 和 λ_{sp} 分别为模型和原型的固体的导热系数, W/(m·K); β_m 和 β_p 分别为模型和原型的固体的热膨胀系数, K⁻¹; L_m 和 L_p 分别为模型和原型的特征长度, m; U_m 和 U_p 分别为模型和原型的位移, m; d_m 和 d_p 分别为模型和原型的粒子直径, m;

[0006] (2) 按照原型火区范围、地层情况和火区模型与原型几何比尺确定模型火区各地质层以及燃烧层采空区与燃烧区的尺寸和位置,然后根据步骤(1)中确定的物性参数,搭建模型火区并在模型火区燃烧层上部布置测温元件和在燃烧层采空区内等间距布置热量可控的电加热器;

[0007] (3) 根据步骤(2)中已经确定的模型火区燃烧层采空区的尺寸和位置对模型燃烧层开挖,达到预先确定的燃烧层采空区开挖尺寸后停止开挖,获得燃烧层开采后的覆岩情况;

[0008] (4) 根据速度相似关系 $V_m = V_p C_L^{1/2}$ 和体积火源产热速率相似关系 $Q_{V_m} = Q_{V_p} C_L$, 确

定模型火区风速和燃烧层电加热器的产热速率,其中 V_m 和 V_p 分别为模型和原型的火区风速, m/s ; Q_{V_m} 和 Q_{V_p} 分别为模型和原型的体积火源产热速率, W ;

[0009] (5) 选择燃烧层点、线、面的某一加热方式,根据已确定的风速对火区供风,将电加热器调整至已确定的产热速率,开启电加热器,同时打开火区覆岩内的测温元件和火区外部的红外热成像仪对供热条件下火区覆岩各测点的火区温度进行监测和记录;

[0010] (6) 根据各测点的温度记录结果和外红热成像图,作出火区各测点温度随测试时间的变化曲线,即得到火区覆岩温度的变化情况;

[0011] 所述的模型火区燃烧层上部测温元件布置,燃烧层采空区上覆岩层中的最上层测温元件距表面距离均不超过 $10cm$ 、测温元件纵向层间距控制在 $10 \sim 30cm$ 之间、测温元件横向层间距控制在 $10 \sim 40cm$ 之间、采空区上部最外层的测温元件距离采空区边界的最近水平距离控制在 $0 \sim 50cm$ 之间。

[0012] 所述的燃烧层采空区内电加热器布置,相邻电加热器间距控制在 $2 \sim 8cm$ 之间;燃烧层采空区内最外层电加热器距离采空区边界最近水平距离控制在 $0 \sim 10cm$ 之间。

[0013] 所述的点、线、面加热方式,其特征是通过开启单个不连续的电加热器来模拟点火源,开启煤层任一方向上相邻的 2 个及 2 个以上电加热器来模拟线火源,开启煤层任意相邻数个能组成一个面的电加热器来模拟面火源。

[0014] 有益效果,由于采用了上述方案,针对地下煤田火区热交换过程中所表现出来的含内热源的热-流-固多场耦合特性,在预先确定模型和原型长度比尺的情况下,模型试验过程中通过模型材料物性参数相似关系、火区风速相似关系和体积火源产热速率相似关系之间的约束实现热-流-固多场耦合;基于体积火源产热速率相似关系,通过在燃烧层预先布置产热速率可控的加热器的方式解决了之前多场耦合模型试验无内热源的问题;试验过程中通过模拟燃烧层的开采获得火区形成前的覆岩初始情况;在以上前提下,最后通过布置在火区覆岩内的测温元件和火区外部的红外热成像仪监测燃烧层产热下的地下煤田火区覆岩温度的变化。本发明解决了现有地下煤田火区模型试验无法实现含内热源热流固耦合条件下火区覆岩温度变化测试的不足,测试结果较热流、流固耦合模型试验更准确,在本领域内具有广泛的实用性。

具体实施方式

[0015] 该模型测试方法,步骤如下:

[0016] (1) 根据原型火区情况以及确定的火区模型与原型几何比尺和相似关系 $G_m = G_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $E_m = E_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $\nu_m = \nu_p$ 、 $\lambda_m = \lambda_p C_L C_{\rho_s}$ 、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$ 、 $(\rho c)_{sp} = (\rho c)_{sm}$ 、 $\lambda_{sp} = \lambda_{sm}$ 、 $\beta_m = \beta_p$ 、 $L_m = L_p C_L$ 、 $U_m = U_p C_L$ 、 $d_m = d_p C_L^{1/4}$, 确定模型火区材料的物性参数,其中 G_m 和 G_p 分别为模型和原型的剪切模量, MPa ; C_L 为模型与原型的几何比尺,量纲为 1; C_{ρ_s} 为模型与原型的煤岩固体密度比,量纲为 1; E_m 和 E_p 分别为模型和原型的弹性模量, MPa ; ν_m 和 ν_p 分别为模型与原型的泊松比,量纲为 1; λ_m 和 λ_p 分别为模型和原型的拉梅常量, MPa ; ε_m 和 ε_p 分别为模型和原型的体积应变,量纲为 1; $(\rho c)_{sm}$ 和 $(\rho c)_{sp}$ 分别为模型和原型的煤岩体积热容, $J/(K \cdot m^3)$; λ_{sm} 和 λ_{sp} 分别为模型和原型的固体的导热系数, $W/(m \cdot K)$; β_m 和 β_p 分别为模型和原型的固体的热膨胀系数, K^{-1} ; L_m 和 L_p 分别为模型和原型的特征长度, m ; U_m 和

U_p 分别为模型和原型的位移, m; d_m 和 d_p 分别为模型和原型的粒子直径, m;

[0017] (2) 按照原型火区范围、地层情况和火区模型与原型几何比尺确定模型火区各地质层

[0018] 以及燃烧层采空区与燃烧区的尺寸和位置, 然后根据步骤 (1) 中确定的物性参数, 搭建模型火区并在模型火区燃烧层上部布置测温元件和在燃烧层采空区内等间距布置热量可控的电加热器;

[0019] (3) 根据步骤 (2) 中已经确定的模型火区燃烧层采空区的尺寸和位置对模型燃烧层开挖, 达到预先确定的燃烧层采空区开挖尺寸后停止开挖, 获得燃烧层开采后的覆岩情况;

[0020] (4) 根据速度相似关系 $V_m = V_p C_L^{1/2}$ 和体积火源产热速率相似关系 $Q_{V_m} = Q_{V_p} C_L$, 确定模型火区风速和燃烧层电加热器的产热速率, 其中 V_m 和 V_p 分别为模型和原型的火区风速, m/s; Q_{V_m} 和 Q_{V_p} 分别为模型和原型的体积火源产热速率, W;

[0021] (5) 选择燃烧层点、线、面的某一加热方式, 根据已确定的风速对火区供风, 将电加热器调整至已确定的产热速率, 开启电加热器, 同时打开火区覆岩内的测温元件和火区外部的红外热成像仪对供热条件下火区覆岩各测点的火区温度进行监测和记录;

[0022] (6) 根据各测点的温度记录结果和外红热成像图, 作出火区各测点温度随测试时间的变化曲线, 即得到火区覆岩温度的变化情况;

[0023] 所述的模型火区燃烧层上部测温元件布置, 燃烧层采空区上覆岩层中的最上层测温元件距表面距离均不超过 10cm、测温元件纵向层间距控制在 10 ~ 30cm 之间、测温元件横向层间距控制在 10 ~ 40cm 之间、采空区上部最外层的测温元件距离采空区边界的最近水平距离控制在 0 ~ 50cm 之间。

[0024] 所述的燃烧层电加热器布置, 相邻电加热器间距控制在 2 ~ 8cm 之间; 燃烧层采空区内最外层电加热器距离采空区边界最近水平距离控制在 0 ~ 10cm 之间。

[0025] 所述的点、线、面加热方式, 其特征是通过开启单个不连续的电加热器来模拟点热源, 开启煤层任一方向上相邻的 2 个及 2 个以上电加热器来模拟线热源, 开启煤层任意相邻数个能组成一个面的电加热器来模拟面热源。

[0026] 实施例 1: 以新疆某煤田火区为原型进行火区模型试验。该火区范围为 300m(长) × 200m(宽) × 60m(高)、煤层厚 8m, 燃烧层(煤层)顶板距离地表 36m。煤层为长焰煤, 其上部为粉砂岩, 下部为粗砂岩。火区燃烧层采空区范围为 130m(长) × 92m(宽) × 8m(高); 在水平剖面上, 采空区距离原型火区各边界距离(左边界起顺时针方向)分别为 52m、150m、56m、20m; 燃烧区位于采空区内部范围为 90m(长) × 52m(宽) × 8m(高), 在水平剖面上, 燃烧区距离采空区边界的距离均为 20m。原型火区风速为 3m/s, 燃烧区放热速率为 6000kW。

[0027] (1) 选取火区模型与原型几何比尺 C_L 为 1:100, 根据原型火区地层情况和相似关系 $G_m = G_p C_L C_{\rho s}$ 、 $E_m = E_p C_L C_{\rho s}$ 、 $v_m = v_p$ 、 $\lambda_m = \lambda_p C_L C_{\rho s}$ 、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$ 、 $(\rho c)_{sp} = (\rho c)_{sm}$ 、 $\lambda_{sp} = \lambda_{sm}$ 、 $\beta_m = \beta_p$ 、 $L_m = L_p C_L$ 、 $U_m = U_p C_L$ 、 $d_m = d_p C_L^{1/4}$, 确定模型火区材料物性参数。

[0028] (2) 表 1 模型火区材料物性参数表

[0029]

参数	材料					
	粉砂岩 (覆岩)		粗砂岩 (底板)		煤层 (长焰煤)	
	原型	模型	原型	模型	原型	模型
厚度/m	36	0.36	16	0.16	8	0.08
弹性模量/MPa	5400	53.0	5250	50.9	4050	39.4
抗压强度/MPa	48.5	0.46	61.7	0.60	50.3	0.49
密度/(kg/m ³)	2630	2581	2200	2134	850	826
泊松比	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27
平均粒径/cm	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5
比热容/(J/(kg·K))	854	870	902	930	993	1022
导热系数 (W/(m·K))	3.2	3.1	2.8	2.6	0.1	0.1
热膨胀系数 (10 ⁻⁵ /K)	0.6	0.6	0.2	0.2	0.8	0.8

[0030] (3) 按照原型火区范围尺寸、地质情况和模型与原型几何比尺 1:100, 确定模型火区的尺寸为 300cm(长)×200cm(宽)×60cm(高)、煤层厚 8cm, 燃烧层(煤层)顶板距离地表 36cm。火区燃烧层采空区范围为 130cm(长)×92cm(宽)×8cm(高), 在水平剖面上, 采空区距离模型火区各边界距离(左边界起顺时针方向)分别为 52cm、150cm、56cm、20cm; 燃烧区范围为 90cm(长)×52cm(宽)×8cm(高), 在水平剖面上, 燃烧区距离采空区边界的距离均为 20cm。

[0031] (4) 然后参照表 1 确定的物性参数搭建模型火区并在模型火区燃烧层上部布置测温元件和在燃烧层采空区内等间距布置热量可控的电加热器。测温元件选用热电偶, 上覆岩层共布置两层热电偶, 热电偶等间距布置, 热电偶纵向层间距为 20cm, 最上层距表面距离为 10cm, 第二层热电偶距离煤层顶板 6cm, 每层的热电偶之间相邻间距为 35cm, 两层热电偶最外层距离模型火区燃烧层采空区边界的最近水平距离(左边界起顺时针方向)分别为 6cm、28cm、38cm、32cm; 燃烧层采空区内共布置一层电加热器, 电加热器直径为 14cm, 相邻电加热器间距均为 5cm, 电加热器距离燃烧层采空区边界均为 1cm, 共布置 35 个电加热器, 其中燃烧区布置 15 个电加热器。

[0032] (5) 根据(1)中已经确定的模型火区各地质层的尺寸、位置对模型燃烧层开挖, 达到预先确定的燃烧层采空区开挖尺寸后停止开挖, 获得燃烧层开采后的覆岩情况。

[0033] (6) 按照风速相似条件 $V_m = V_p C_L^{1/2}$, 确定对模型的供风风速为 0.30m/s; 根据体积火源产热速率相似关系 $Q_{V_m} = Q_{V_p} C_L$, 确定模型燃烧区的放热速率为 60kW, 燃烧区单个电加热器放热速率为 4kW。

[0034] (7) 根据原型火区燃烧区为面火源分布的特征, 选择模型火区燃烧区的加热方式为面加热。将供风风速调为 0.30m/s, 对火区供风; 将燃烧区的每个电加热器的功率调至 4kW, 同时打开燃烧区内的 15 个加热器, 并同时开启火区外部的红外热成像仪和覆岩内的热电偶对供热条件下火区覆岩各测点的火区温度进行监测和记录。

[0035] (8) 根据各测点的温度记录结果和外红外热成像图,作出火区各测点温度随测试时间的变化曲线,即得到火区覆岩温度的变化情况。