

# 煤系岩石工程地质性质指标变异性研究\*

隋旺华 周圣武 姜振泉 (中国矿业大学 徐州 221008)  
于震平 (中国地质大学 北京 100083)

**摘要** 对山东金山矿区 3 煤覆岩及底板工程地质性质类型的物理力学性质指标的变异性进行了研究,用 K-S 法进行的概率分布类型拟合检验表明,各指标基本服从正态分布;另外,还对煤系岩石物理力学性质指标的关联性及各向异性特征进行了初步分析,为煤矿工程地质可靠度研究提供了依据。

**关键词** 变异性 工程地质性质 力学性质 煤系 概率分布 相关性 各向异性  
**中国图书资料分类法分类号** TD313.3  
**作者简介** 隋旺华 男 33 岁 博士 副教授 水文地质与工程地质

## 1 引言

在煤矿工程地质问题分析及地质工程设计中,煤系岩石的工程地质性质指标是必不可少的,它们是评价井巷、采场围岩稳定性、预计开采围岩破坏高度及分析其它煤矿工程地质问题的重要基础资料。以往煤田地质勘探中也对煤层顶底板的物理力学性质进行试验,常以平均抗压强度表征其性质,从未系统地研究过指标的变异特性。事实上同一工程地质

类型的岩石,由于地质条件的变异性,取样、试验条件等因素的影响,各指标必然存在着不确定性和随机性。同时受工程条件和经费等的限制,人们不可能对岩石的工程地质性质作非常全面、系统的了解,这就要求我们充分应用已获得实验(或实测)数据,对岩石的工程地质性质指标进行可靠的估计,这种建立在统计分析基础上的估计是进行工程地质可靠度研究的重要内容之一。

## 2 工程地质类型——统计单元

工程地质类型(ET)是在工程地质单元划分时

\* 煤炭科学基金项目(94 地 10106)和中国矿大基金项目资助

c. 用  $AR(p, q)$  模型来改进核函数模型残差的方法是有效的。

d. 红岩煤矿非线性核函数模型比线性模型预测精度高,说明其岩溶地下水系统主要是非线性系统。

## 参考文献

- 1 S G Rao, A R Rao. Recursive estimation of kernels of nonlinear rainfall-runoff models. *J. of hydrology*, 1987;95:341~364
- 2 詹炳善等. 贵州普定地下系统岩溶水流量的核函数模拟. 人类活动与岩溶环境. 北京:北京科技出版社, 1994;293~299
- 3 韩宝平等. 南桐矿区岩溶管道流对煤矿开采的影响. 地下水, 1996;(4):175~176

(收稿日期 1997-05-28)

## THE ESTIMATION OF WATER YIELD OF HONGYAN COAL MINE WITH KERNEL FUNCTION

Li Chaofeng Yu Zhiwei Han Baoping (China University of Mining and Technology)

**Abstract** Based on Volterra kernel function, this paper establishes linear and non-linear kernels model of the water yield of the Hongyan coal mine in Nantong mining area, and introduces the recursive algorithm of calculating kernel function model. At the same time it analyses the error of estimated result, and improves the model with AR model.

**Keywords** water yield of mine; kernel function; recursion theory; Hongyan coal mine

对岩石进行的最高级程度的鉴别,每一工程地质类型的岩性特征和物理状态都是均匀的,其物理力学性质可以用样品的统计值来表征。煤系工程地质类型的划分<sup>[1]</sup>是对岩石物理力学性质指标进行概率统计和确定计算或设计参数的基础。本文的统计分析就是以工程地质类型为单元进行的。金乡矿区 3 煤覆岩及底板(下石盒子组和山西组)自上而下主要工程地质类型及特征如下:

- a. 砂质泥岩类型(ET 1) 上部含大量鲕粒,含铝质较高;下部夹薄层粉砂岩,水平—微波状层理;
  - b. 中细砂岩类型(ET 2) 夹薄层粉砂岩,水平—微波状层理,含泥、钙质结核;
  - c. 泥岩类型(ET 3) 深褐色泥岩;
  - d. 中细砂岩类型(ET 4) 具水平—微波状层理;
  - e. 泥岩类型(ET 5) 灰黑色泥岩、砂质泥岩夹煤线,具水平层理,易碎,含少量植物化石;
  - f. 中粗砂岩类型(ET 6) 水平—斜层理发育,高角度剪切裂隙发育;
  - g. 粉砂岩类型(ET 7) 水平—斜层理,高角度裂隙发育;
  - h. 砂质泥岩类型(ET 8) 含植物叶部化石,局部见大量黄铁矿,为 3 煤直接顶板;
  - i. 泥岩类型(ET 9) 致密、性脆,水平层理发育,含黄铁矿星点,裂隙发育,含植物化石,为 3 煤直接底板;
  - j. 中细砂岩类型(ET 10) 水平层理发育,下部发育混浊状层理,含泥质包裹体。
- 以上除 e、i、j 外,均裂隙发育,并被方解石充

填。

### 3 工程地质性质指标概率分布类型拟合检验

在上述工程地质类型的主要工程地质性质指标中选取常用的密度  $\rho$ 、抗拉强度  $T$ 、抗压强度  $P$ 、弹性模量  $E$ 、泊松比  $\mu$  和抗剪强度( $C$ 、 $\varphi$ ) 进行统计分析。采用柯尔莫哥洛夫—斯米尔诺夫(Kolmogorov-Smirnov) 方法(简称 K-S 方法),以抗拉强度  $T$  的分布拟合检验为例,若有  $n$  个数据  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$ ,这时的积累相对频率为:

表 1 砂质泥岩(ET 1) 抗拉强度 K-S 法检验表

$i$	$t_i/\text{MPa}$	$\ln t_i$	$F_n(t)$	$F(t)$	$D$
1	0.27	-1.31	0.053	0.006	
2	0.39	-0.94	0.11	0.074	
3	0.45	-0.80	0.16	0.15	
4	0.48	-0.73	0.21	0.20	
5	0.56	-0.58	0.26	0.34	
6	0.58	-0.54	0.32	0.38	
7	0.60	-0.51	0.37	0.41	
8	0.62	-0.48	0.42	0.45	
9	0.62	-0.48	0.47	0.45	
10	0.66	-0.42	0.53	0.52	
11	0.66	-0.42	0.58	0.52	
12	0.67	-0.40	0.63	0.54	0.09
13	0.71	-0.34	0.68	0.61	
14	0.76	-0.27	0.74	0.68	
15	0.88	-0.13	0.79	0.81	
16	0.89	-0.12	0.84	0.82	
17	0.98	-0.02	0.90	0.88	
18	1.07	0.068	0.95	0.93	
19	1.18	0.166	1.0	0.96	

注: $\ln t \sim N[-0.435, 0.348^2]$ ,  $D(=0.09) < d(=0.271)$ , 假设成立( $\alpha=0.05$ )

表 2 各物理力学性质指标的数学特征

工程地质 类型代码	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		抗拉强度/MPa		抗压强度/MPa		弹性模量/ $10^3 \text{MPa}$		泊松比	
	$E(x)$	$D(x)$	$E(x)$	$D(x)$	$E(x)$	$D(x)$	$E(x)$	$D(x)$	$E(x)$	$D(x)$
ET 1	2.56	0.0010	0.69	0.061	27.77	141.19	7.29	12.58	0.16	0.0033
ET 2	2.32	0.0024	0.41	0.033	14.88	18.17	6.83	0.53	0.12	0.0008
ET 3	2.36	0.0047	0.44	0.012	未统计					
ET 4	2.46	0.0058	2.18	0.64	47.03	440.08	13.36	394.21	0.16	0.0029
ET 5	2.51	0.0016	0.63	0.021	40.13	286.98	12.47	7.50	0.26	0.012
ET 6	2.59	0.0052	4.43	5.04	93.54	263.91	36.13	129.01	0.18	0.0024
ET 7	2.60	0.0022	0.98	0.031	未统计					
ET 8	2.56	0.0029	1.38	0.54	72.69	65.50	23.21	61.96	0.20	0.0026
ET 10	2.68	0.00078	2.54	0.45	93.74	935.15	28.30	56.12	0.19	0.0004

注: $E(x)$  为数学期望; $D(x)$  为方差

$$F_n(t) = \begin{cases} 0 & t < t_1 \\ i/n & t_i \leq t \leq t_{i+1} \\ 1 & t \geq t_n \end{cases}$$

另外,假设抗拉强度符合对数正态分布,即  $\ln t \sim N[\mu, \sigma^2]$ , 求出其累积分布函数值  $F(t)$ , 若  $F(t)$  与  $F_n(t)$  之差的最大绝对值 ( $D = \max |F_n(t) - F(t)|$ ) 小于某一数值  $d$  ( $d$  随数据数  $n$  和置信度  $1 - \alpha$  变化, 见文献 2), 则表明在置信度  $1 - \alpha$  下可以接受此假设。对砂质泥岩类型 ET1 的计算结果如表 1。用图 1 表示,  $F_n(t)$  由阶梯状线表示,  $F(t)$  由圆滑曲线表示,  $F_n(t)$  落在  $F \pm d$  两条曲线之间, 则表示此检验可以被接受, 否则该假设被否定。

依次对工程地质类型的各种物理力学性质指标的概率分布类型进行检验, 结果表明均服从对数正

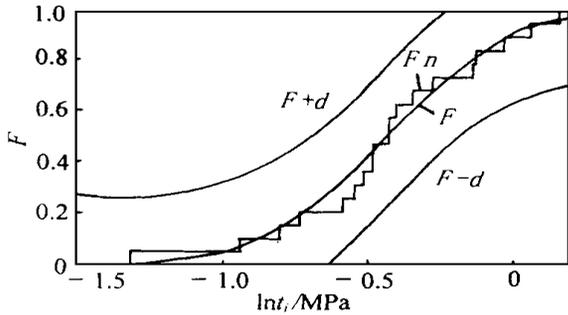


图 1 砂质泥岩(ET1)抗拉强度分布的 K-S 检验

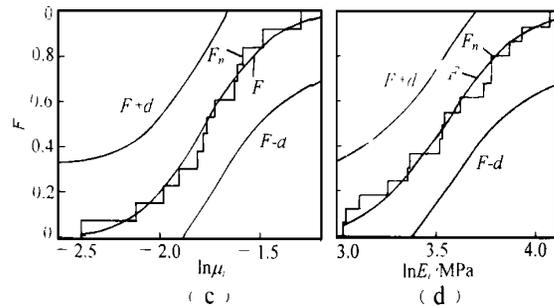
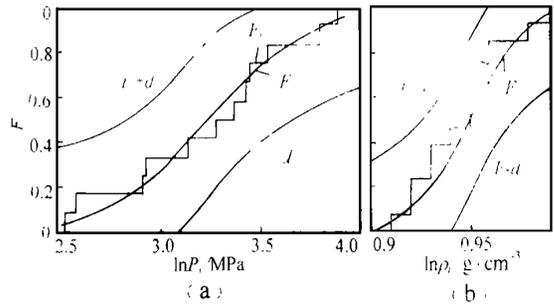


图 2 各指标的 K-S 检验示例

a-- 抗压强度(ET1); b-- 密度(ET1);  
c-- 泊松比(ET6); d-- 弹性模量(ET6)

表 3 岩样 20(砂质泥岩)垂直层理与平行层理的力学指标

指标	抗拉强度/MPa	抗压强度/MPa	弹性模量/ $10^3$ MPa	泊松比	C/MPa	$\Psi$ ( $^\circ$ )
垂直层理	0.088 ~0.12	31.6	5.9	0.11	0.26	46
平行层理	0.96	3.0	7.0	0.21	0.43	37

表 4 三轴试验结果

岩样	层理	变形模量/ $10^3$ MPa		C/MPa		$\Psi$ ( $^\circ$ )	
		平行	垂直	平行	垂直	平行	垂直
中砂岩	水平层理发育	65.8	25.6	15.92	14.99	36	42
中细砂岩	水平及混浊状层理	47.9	42.1	17.24	15.15	32	45
泥岩		26.2	17.9	8.70	5.18	42	48
砂质泥岩		25.9	24.1	22.00	17.41	21	31

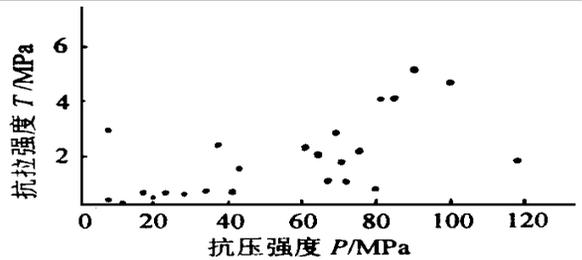


图 3 岩石抗压强度与抗拉强度关系散点图

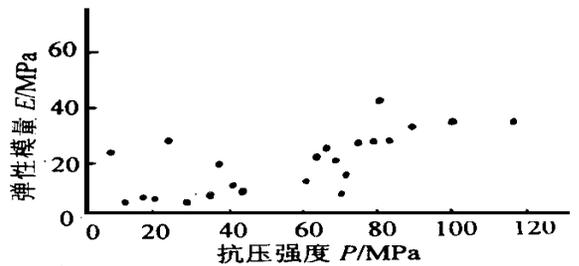


图 4 岩石抗压强度与弹性模量关系散点图

态分布(如图 2), 各参数的数学特征见表 2, 据此可以求出某置信度下的双侧或单侧置信区间, 用于计算或设计。

### 4 参数间的关联分析

岩石的物理力学性质间存在着一定的关系, 反映在指标上, 一般抗压强度高的岩石, 其抗拉强度、抗剪强度和弹性模量也大, 泊松比则小。对金乡矿区煤系岩石大量试验数据进行的相关分析也大致如此, 但参数间的定量关系并不明显, 个别岩石并不完

全遵循这一常理(图 3 和图 4)。这提醒我们在选用物理力学性质指标分析工程地质问题时,应该全面考虑,根据岩体变形破坏机理选择适合的指标表征岩体的性质,如在研究开采覆岩破坏时,通常采用抗压强度对覆岩的分类就不符合开采覆岩拉张破坏和剪切破坏为主的力学机理。

## 5 各向异性特性

煤系岩石垂直层理和平行层理的力学性质存在较大的差异,试验表明,层理越发育,力学性质差异越大。如水平层理发育的砂质泥岩(岩样 20)沿层理方向的抗拉强度为 0.96 MPa,垂直层理方向则仅为 0.088~0.12 MPa,减少约一个数量级;平行层理方向的抗压强度较垂直层理方向有较大降低,弹性模量显著增大,泊松比明显减小,反映了平行层面受力时岩体刚度较大(表 3)。三轴试验表明,平行层理切取的岩样抗剪强度指标  $C$  值较垂直层理切取的岩样  $C$  值要大,而  $\Phi$  值小,见表 4。

## 6 结论

a. 由于地质条件、取样和试验条件等的差异,煤系岩石的物理力学性质指标均存在变异性;K-S 法检验表明,金乡矿区煤系各工程地质类型的主要物理力学指标的概率分布服从对数正态分布,因此在一定试验数据基础上,在一定置信度下给出指标的置信区间比单纯用平均值表征其性质更能反映岩体的实际性状。

b. 煤系岩石各物理力学性质指标间存在着一定的关联,但无明确的定量关系;煤系岩石的力学性质存在着明显的各向异性,因此在分析工程地质问题时,应根据工程岩体受力条件选取合适的物理力学性质指标。

## 参考文献

- 1 隋旺华.煤系岩石工程地质类型划分探讨.水文地质工程地质.1994;21(3):51~53
- 2 野中保雄.可靠性数据的收集与分析方法.北京:机械工业出版社,1988;36~39

(收稿日期 1997-10-14)

# THE VARIABILITY OF INDICES OF ENGINEERING GEOLOGIC PROPERTIES IN COAL-MEASURES ROCKS

Sui Wanghua Zhou Shengwu Jiang Zhenquan (China university of Mining and Technology)

Yu Zhenping (China university of Geosciences)

**Abstract** The variability of physical and mechanical properties of various engineering geological types in the overburden and floor of coal seam No. 3 in Jinshan coalfield, Shangdong Province, is studied in this paper. The Kolmogorov-Smirnov tests for fitting of distribution show that the indices mainly fit logarithmic normal distribution. Moreover, the relationship among indices and the anisotropy of coal-measures rocks is preliminarily analyzed. The results are basis for probability research of coal mine engineering geology.

**Keywords** variability; engineering properties; mechanical properties; coal measures; probability distributions; correlations; anisotropy

## “大口径基桩孔硬岩嵌岩研究”课题通过评审

湖南煤田地质局和所属煤勘二队共同完成的“大口径基桩孔硬岩嵌岩研究”课题,近日通过中国煤田地质总局及有关省局领导和专家评审。

湖南煤勘二队担负广东珠海淇澳特大桥桩基工程的施工任务。该工程孔深 20~90 m, 平均孔深 40 m, 孔径 1.2~2.4 m, 均要求在微风化花岗岩中入岩 1 m。花岗岩坚硬、孔径又大, 入岩难度大。对于长

期从事煤田勘探的队伍来说, 更是难上加难。为此该队组织工程技术人员在入岩工艺、钻进方法、钻头制作等方面攻关, 有效地解决了孔径大、入岩难的问题。珠海淇澳特大桥桩基工程运用这一成果, 不仅提高了钻进效率, 加快了施工进度, 而且工程质量也明显提高, 被评为优质工程。

(湖南省第二煤田地质勘探队 李华)