

# “抗张强度”名词规范性与测试方法探讨

刘 洋<sup>1,2</sup>, 张幼振<sup>2</sup>

(1. 西安科技大学能源学院, 陕西 西安 710054; 2. 煤炭科学研究总院 西安研究院, 陕西 西安 710054)

**[摘 要]** 抗张强度是《煤矿防治水规程》中防水煤柱重要的计算参数, 准确地确定其值对矿井的安全生产和合理开发煤炭资源都具有十分重要的意义。然而, 抗张强度和抗拉强度是否指的同一个参数, 如何对其进行测试, 至今仍困惑着国内很多研究人员。为了说明这个问题, 对《煤矿防治水规程》中涉及到抗张强度计算的2个模型进行了受力分析和公式推导, 研究得出了规程中所用到的抗张强度参数实质上是指的《岩石力学》中的抗拉强度, 规范了该参数的名称, 并对岩石和岩体抗拉强度的测试方法进行了评述。

**[关键词]** 抗张强度; 抗拉强度; 岩石; 岩体; 原位测试

**[中图分类号]** TD745

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1006-6225 (2010) 03-0018-04

## Discussion on Normative of the Word “Tension Strength” and Its Test Method

LIU Yang<sup>1,2</sup>, ZHANG You-zhen<sup>2</sup>

(1. Energy School Xian University of Science & Technology Xian 710054, China;

2. Xian Research Institute China Coal Research Institute Xian 710054, China)

**Abstract** Tension strength is an important calculation parameter in waterproof pillar design stipulated in Water Prevention Regulations for Coal Mine. Its precise value is very important for safety mining and rational coal resource development. However, whether tension strength is tensile strength or not is a problem for many researchers. For the problem, this paper made force analysis and formula deduction of 2 models calculated by tension strength in the Regulation. Result showed that tension strength in the Regulation was actually tensile strength in rock mechanics, which standardized name of the parameter. It also commented test methods for tensile strength of rock and rock mass.

**Key words** tension strength; tensile strength; rock; rock mass; in-situ test

防水煤柱留设是矿井防治水工作的重要内容, 从煤矿安全生产的角度讲, 其作用是防止地表水、地下水(松散层孔隙水、含导水断层、导水陷落柱、含水层)、老窑水溃入巷道或工作面而留出的一定宽度或高度的部分煤层<sup>[1]</sup>。在防水煤柱留设计算中, 煤层的抗张强度作为计算的重要参数之一, 其值的大小, 直接影响到煤柱的尺寸, 煤柱过大, 造成资源浪费, 反之, 则存在安全隐患, 对开采不利。然而, 在《岩石力学》众多教材中根本就没有抗张强度概念<sup>[2]</sup>, 更无从谈起其测试方法, 参阅涉及“抗张强度”的研究文献<sup>[3-5]</sup>, 笔者分析发现其测试的方法与原理与岩石力学中获取“抗拉强度”参数过程一样, 据此初步判断《煤矿防治水规程》(以下简称规程)中涉及的抗张强度就是指的抗拉强度, 这两个参数指的是同一个值。

本文将规程中“含水或导水断层阻隔水煤柱留设”和“掘进巷道底板隔水层承受的安全水压计算”这两个牵扯到煤的抗张强度计算的受力示

意图简化成力学模型, 从力学角度出发推导出煤柱留设和底板隔水层能够承受的安全水压计算公式, 然后将推导出的计算公式与规程中现有公式进行比较, 分析评价这两个参数是否具有 consistency。

### 1 力学模型推导与分析

#### 1.1 含水或导水断层阻隔水煤柱宽度计算公式

##### 1.1.1 计算公式推导

规程中含水或导水断层阻隔水煤柱的留设如图1所示<sup>[6]</sup>。

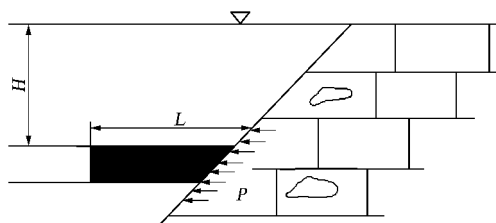


图1 阻隔水煤柱的留设

**[收稿日期]** 2009-06-16

**[作者简介]** 刘 洋 (1978 - ), 男, 江苏盐城人, 工程师, 博士研究生。

将其简化后的力学模型如图 2所示。

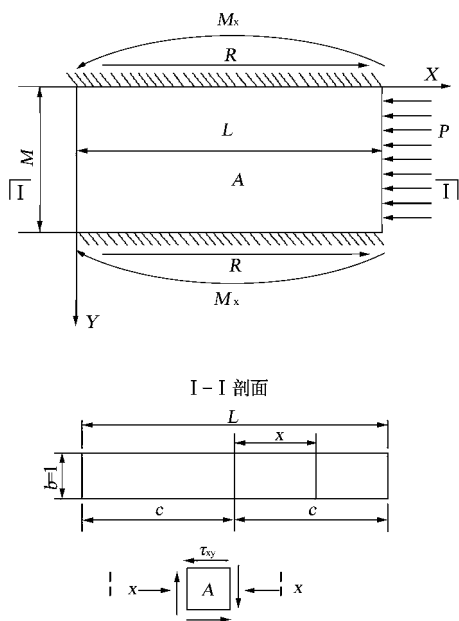


图 2 煤柱上任意点的应力分析

通过材料力学方法可求得梁内任意点的正应力  $\sigma$  为：

$$\sigma = \frac{M_x \cdot x}{J_z} \quad (1)$$

式中， $M_x$ 为该点所在断面的弯矩； $x$ 为该点离断面中性轴的距离； $J_z$ 为对中性轴的断面矩。

取梁的单位宽度，可得梁的断面矩  $J_z = L^3 / 12$  ( $L$ 为煤柱的留设宽度)，则梁内任意一点  $A$ 处的正应力为：

$$\sigma = \frac{12 \cdot M_x \cdot x}{L^3} \quad (2)$$

由于煤体与顶、底板岩层岩性不同，因此，含水或导水断层阻隔水煤柱可按照“简支梁”力学模型计算。煤柱在侧向水压作用下，最大弯矩发生在梁的两端，即顶、底板位置处，其两端断面的最大弯矩为：

$$M_{\max} = -\frac{1}{8} PM^2 \quad (3)$$

在该处的最大拉应力  $\sigma_{\max}$ 为：

$$\sigma_{\max} = \frac{12 \cdot M_{\max} \cdot x}{L^3} = \frac{12 \times \frac{1}{8} PM^2 \times \frac{L}{2}}{L^3} = \frac{3PM^2}{4L^2}$$

当  $\sigma_{\max} = K_p$ 时，即煤层在该处的正应力达到该处的抗拉强度极限，煤层将在该处拉裂，此时 (3) 式可变为：

$$K_p = \frac{3PM^2}{4L^2} \quad (4)$$

再由 (4) 式变换可求得煤柱留设的临界宽度为：

$$L = \frac{M}{2} \sqrt{\frac{3P}{K_p}} \quad (5)$$

由于煤体的不均一性和其他一些因素影响，留设煤柱宽度需有一定的安全系数，安全系数视具体情况而定，一定取 2~5。则 (5) 式可变为：

$$L = 0.5KM \sqrt{\frac{3P}{K_p}} \quad (6)$$

### 1.1.2 结果分析

规程中含水或导水断层阻隔水煤柱留设的宽度计算公式如下：

$$L = 0.5KM \sqrt{\frac{3P}{K_p}} \quad (7)$$

式中， $L$ 为煤柱留设的宽度，m； $K$ 为安全系数（一般取 2~5）； $M$ 为煤层厚度或采高，m； $P$ 为水压，MPa； $K_p$ 为煤的抗张强度，MPa。

从 (6) 和 (7) 2个公式及计算参数比较可以发现，除了参数  $K_p$ 表达的物理意义不一样外，计算公式表达形式和参数是完全一样的。因此，规程中含水或导水断层阻隔水煤柱留设的宽度计算公式中所用的煤的抗张强度指的是煤的抗拉强度。

## 1.2 巷道底板隔水层承受的安全水压计算公式

### 1.2.1 计算公式推导

规程中掘进巷道底板隔水层承受水压如图 3所示<sup>[6]</sup>：

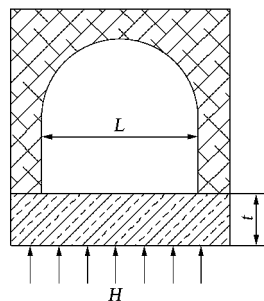


图 3 掘进巷道底板隔水层承受的水压

将其简化后的力学模型如图 4所示。

梁内任意一点  $B$ 处的正应力为：

$$\sigma = \frac{12My}{t^3} \quad (8)$$

由于底板岩层岩性一致，可按照“固定梁”力学模型计算。煤层底板岩层受到底部向上水压作用下，最大弯矩发生在梁的两端，即巷道底板两侧位置处，其两端断面的最大弯矩为：

$$M_{\max} = -\frac{1}{12} HL^2$$

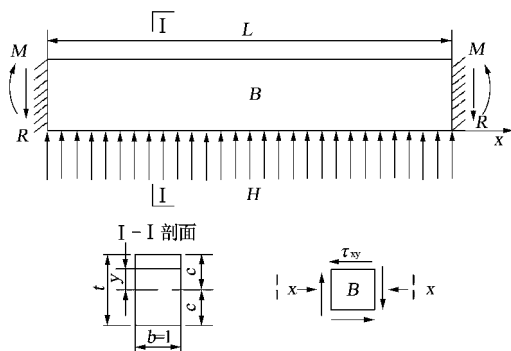


图 4 底板隔水层任意点的应力分析

在该处的最大拉应力  $\sigma_{\max}$  为:

$$\sigma_{\max} = \frac{12 \cdot M_{\max} \cdot y}{t^3} = \frac{12 \times \frac{1}{12} H L^2 \times \frac{t}{2}}{\frac{t^3}{2}} = \frac{H L^2}{2 t^2} \quad (9)$$

当  $\sigma_{\max} = K_p$  时, 即巷道底板隔水层在该处的正应力达到该处的抗拉强度极限, 底板隔水层将在该处开裂, 此时 (9) 式可变为:

$$K_p = \frac{H L^2}{2 t^2} \quad (10)$$

再由 (10) 式变换可求得底板隔水层承受的临界水压为:

$$H = 2 K_p \frac{t^2}{L^2} \quad (11)$$

由于底板隔水层具有自重, 可以抵消  $\gamma t$  的水压压力, 因此, 底板隔水层能够承受水压为:

$$H = 2 K_p \frac{t^2}{L^2} + \gamma t \quad (12)$$

### 1.2.2 结果分析

规程中掘进巷道底板隔水层承受的安全水压计算公式如下:

$$H = 2 K_p \frac{t^2}{L^2} + \gamma t \quad (13)$$

式中,  $H$  为底板隔水层能够承受的安全水压,  $10^{-2}$  MPa;  $t$  为隔水层厚度, m;  $L$  为巷道宽度, m;  $\gamma$  为底板隔水层的平均密度,  $t/m^3$ ;  $K_p$  为底板隔水层的平均抗张强度,  $10^{-2}$  MPa。

同样, 从 (12) 和 (13) 2 个公式及计算参数比较可以发现, 除了参数  $K_p$  表达的物理意义不一样外, 计算公式表达形式和参数是完全一样的。因此, 规程中掘进巷道底板隔水层承受的安全水压计算公式中所用的抗张强度实际就是抗拉强度。

## 2 抗拉强度测试方法研究

岩石的抗拉强度是指在瞬时载荷作用下导致岩石黏聚性破坏的极限应力。通常所指的抗拉强度是

指岩石在单向拉伸应力条件下的极限应力。其测试方法按照实验条件的不同主要分为实验室内岩石测试和现场原位抗拉强度测试。

### 2.1 实验室岩样测试

在实验室条件下测定岩石材料抗拉强度的方法较多, 测定方法的不同试验结果差别较大, 归结起来主要分两类<sup>[7]</sup>: 直接拉伸法和间接拉伸法。

(1) 直接拉伸法 需特制一金属帽套, 将圆柱体试件两端牢固粘结在金属帽套中, 帽套夹在万能试验机上进行拉伸试验。ISRM 建议帽套直径  $\leq (D + 2\text{mm})$ , 帽套厚度  $\geq 15\text{mm}$ , 两端连接装置长度  $\geq 2D$ 。粘结材料可用环氧树脂粘结剂或 914 快速粘结剂。这种试验方法成功率不高, 很少使用。

(2) 间接拉伸法 主要包括劈裂法、弯曲法、径向扩张法等。间接拉伸法中, 劈裂法的试件状态符合理论分析, 能够较准确地按公式计算抗拉强度; 完成试验又比较简单, 与其他拉伸法比较, 测试结果最接近直接拉伸法<sup>[8]</sup>, 因此, 在国内外得到广泛采用, 是国际岩石力学学会推荐的测试抗拉强度的方法之一, 我国的地质、煤炭、水电等部门均采用此方法测定岩石的抗拉强度。

### 2.2 现场原位测试

在现场条件下煤 (岩) 层原位抗拉强度测试的方法主要是水压破裂法, 该方法是从为增加油井产量的射井方法移植发展而来的岩体应力实测方法。其要点是: 将钻孔的一段用特制橡胶塞封闭; 对封闭段用压裂泵 (石油工业专用) 加压至破裂压力, 孔壁岩石因超过抗拉强度  $K_p$  而破裂; 此后为保持裂纹张开, 需维持一定的水压力, 此时的水压力比破裂压力要低, 这样分析整个测试过程水压致裂曲线, 峰值点就是煤 (岩) 体的抗拉强度。

另一种现场测试方法是套筒致裂法<sup>[3, 5]</sup>, 其实质就是利用耐高压橡皮套筒, 对测试钻孔中某一段逐步加压, 直至钻孔出现拉性裂缝为止。现场测试中钻孔破裂的条件是: 孔壁切向拉应力  $\sigma_{\theta}$  与煤体抗拉强度  $K_p$  相等, 即

$$\sigma_{\theta} = K_p \quad (14)$$

式中,  $\sigma_{\theta}$  表示致裂时孔壁上破裂处的切向拉应力, 与煤体中的主应力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  以及探头作用在钻孔孔壁上的内压  $P_b$  有关,  $P_b$  是第 1 次向钻孔逐渐加压直至孔壁破裂时的压力, 称为破裂压力。根据弹性力学理论, 可将孔壁破裂的条件式 (14) 改写为:

$$3 \sigma_2 - \sigma_1 + K_p = P_b \quad (15)$$

由于煤体的主应力  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  是未知的, 仅根据式 (15) 还不足以确定煤体抗张强度  $K_p$ 。为此,

需在钻孔内压卸除后再一次对钻孔逐渐加压,直至第1次加压时使孔壁破裂的裂纹再次拉开,此刻的钻孔内压称为重张压力,记为 $P_r$ ,与主应力的关系为

$$3\sigma_2 - \sigma_1 = P_r \quad (16)$$

与式(15)的区别是,由于裂纹的重新拉开不需要克服煤体抗张强度,因此 $P_r$ 比 $P_b$ 小。将式(15)与式(16)相减,得

$$K_p = P_b - P_r \quad (17)$$

由式(17)可见,只要能获得破裂压力 $P_b$ 和重张压力 $P_r$ ,煤体抗张强度 $K_p$ 也就确定了。

### 2.3 测试方法评述

在防隔水煤柱的留设计算中,煤层抗拉强度虽然是最重要的计算参数,但是鉴于多种原因及开采条件所限,目前大多数煤矿均采用经验值或根据室内测试值进行折减,没有原位测试值,煤柱留设是否合理很难保证。因此,在矿井生产过程中,建议有条件的矿井开展煤层抗拉强度原位测试,为煤矿防隔水煤柱的合理留设提供了科学依据。没有条件的矿井至少应取煤样进行实验室内测试,以保证防水煤柱的留设。

## 3 结论

在煤矿生产及防治水工作中,经常会遇到导水断层、封闭不良的钻孔、井田技术边界防隔水煤柱的留设及采空区水超前探放超前距的确定等问题,都需要合理留设防隔水煤柱。抗拉强度作为防隔水煤柱设计的重要参数,准确的确定其值对矿井的安全生产和合理开发煤炭资源都具有十分重要的意义。本文研究的主要结论如下:

(1)对“含水或导水断层防隔水煤柱留设”和“掘进巷道底板隔水层承受的安全水压”这两

个牵涉到煤的抗张强度计算的受力示意图简化成力学模型,从力学角度出发推导出各自的计算公式。

(2)将力学模型推导出的计算公式及参数与规程中现有公式及参数进行了逐项比较,分析得出了规程中所用到的抗张强度参数实质上是指的《岩石力学》中的抗拉强度,这两个参数是一致的,为了使参数规范化和国际化,建议相关专家将规程中参数的名称进行修正。

(3)对岩石和岩体的抗拉强度的测试方法分别进行了介绍,并对其优缺点分别进行了评价,指出在防隔水煤柱留设计算过程中,为了避免或减少浪费勘探程度极高的煤炭资源,各矿区应开展煤层抗拉强度原位测试,为煤矿防隔水煤柱的合理留设提供科学依据。

### 【参考文献】

- [1] 国家煤炭工业局·建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]·北京:煤炭工业出版社,2000.
- [2] 黄醒春·岩石力学简明教程 [M]·北京:高等教育出版社,2005.
- [3] 庞迎春·煤层抗张强度原位测试研究 [J]·煤炭技术,2006,25(10):101—103.
- [4] 闫立宏,吴基文·淮北杨庄煤矿煤的抗拉强度试验研究与分析 [J]·煤炭科学技术,2002,30(5):39—43.
- [5] 俞万禧,魏善斌·巷道围岩应力及力学性质的套筒致裂试验研究 [J]·岩石力学与工程学报,1992,11(2):200—208.
- [6] 中华人民共和国煤炭工业部·矿井水文地质规程试行 [M]·北京:煤炭工业出版社,1984.
- [7] 国家煤炭工业局·岩石力学 [M]·北京:煤炭工业出版社,2000.
- [8] 孙广忠·岩体力学基础 [M]·北京:科学出版社,1983.
- [9] 李先炜·岩块力学性质 [M]·北京:煤炭工业出版社,1983.

【责任编辑:邹正立】

(上接81页)

903.6kPa 工作面设计采出率85%。

系列工业性试验中,研制的各型端头及超前支护液压支架所存在的主要问题是:前期研制的架型有倒架、拉移千斤顶弯曲、内架与外架工作面不互换、支架移动和电缆水管移动相互干涉、立柱涨缸、锚固装置易跑偏、端尾支架的支护强度与切顶力不足等现象。在阶段性成果及持续改进过程中,支架结构性能逐步实现了与工作面设备的总体协调配套。最终形成了适应兖州矿区综放工作面煤层赋存条件和安全高效生产要求的ZT24500/18/35型运输巷端头及超前支护液压支架,ZT103500/22/38

型沿空轨道巷端头及超前支护液压支架。

## 4 结论

试验与应用实践证明,端头及两巷超前支护液压支架左右迈步式结构设计合理,操作与维护方便,支护强度高。与工作面过渡支架、中间支架、前后部刮板输送机、采煤机、转载机等设备的总体配套运动关系协调。实现了综放工作面端头及两巷超前支护的机械化。同时,由于该项技术取消了传统的单体支柱支护方式,因而改善了职工的作业环境,提高了矿井安全高效生产装备水平。

【责任编辑:王兴库】