

煤矿底板突水评价突水系数 - 单位涌水量法

乔 伟, 李文平, 赵成喜

(中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 在突水系数 T_s 基础上, 引入反映充水含水层富水性的指标——单位涌水量 q , 并在大量突水实例统计分析基础上, 对突水危险性与突水系数、充水含水层富水性之间的关系进行深入研究, 得到一些规律性的认识; 提出评价底板突水危险性的新方法: 突水系数 - 单位涌水量法, 作为突水系数法的补充, 可为含水层富水性较弱而突水系数较大的深部开采底板突水安全评价提供参考依据。

关键词: 采矿工程; 突水系数的单位涌水量法; 富水性; 深部开采

中图分类号: TD 823.84

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2009)12 - 2466 - 09

WATER INRUSH COEFFICIENT-UNIT INFLOW METHOD FOR WATER INRUSH EVALUATION OF COAL MINE FLOOR

QIAO Wei, LI Wenping, ZHAO Chengxi

(School of Resources and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: Based on the water inrush coefficient T_s , the unit inflow q , an index reflecting water bearing of the aquifer, is introduced. Based on statistical analysis of a large number of examples of water inrush, the relationships between water inrush potential, water inrush coefficient, and the water-enriched properties of aquifer are further researched. The achieved laws of water inrush are discussed. And a new method for evaluating risk of floor water inrush is put forward. The method of water inrush coefficient-unit inflow method can be a supplement for evaluating water inrush coefficients. The achieved results can be provided for evaluating water inrush risk of floor in deep mining of some mining areas, in which the water-enriched properties of aquifer are not obvious but water inrush coefficient is larger.

Key words: mining engineering; water inrush coefficient-unit inflow; water-enriched properties; deep mining

1 引言

我国煤矿床水文地质条件复杂, 特别是岩溶水经常突入矿坑危害生产安全, 华北型煤田下组煤(太原组煤)开采, 普遍受到煤系地层基底奥灰承压含水层的威胁。我国相关领域的专家和学者对底板突水

问题进行了大量的研究, 武强等^[1~3]提出了主控指标体系建设方法、脆性指数法以及 GIS 与 ANN 耦合技术等新型实用方法; 李丽和程久龙^[4]应用信息融合对底板突水预测; 尹会永等^[5]用多源信息复合的方法评价底板突水; 石秀伟等^[6]建立了基于 GIS 的煤层底板突水预测模型; 雷贵生和韩德品^[7]用电法探测了底板潜在突水构造; 于小鸽等^[8]将底板“四

收稿日期: 2009 - 03 - 16; **修回日期:** 2009 - 05 - 19

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40572160)

作者简介: 乔伟(1984 -), 男, 2006年毕业于中国矿业大学地质工程专业, 现为博士研究生, 主要从事岩土工程、水文地质与工程地质方面的研究工作。E-mail: qweiqm@163.com

带”理论应用于底板突水评价;孔海陵和陈占清^[9]用突水因数分析了突水危害性;中国生等^[10]把突变理论应用于底板突水预测;目前,现场实用最多的仍为突水系数法。焦作、峰峰、淄博、肥城、淮北等矿区进行下组煤开采已有 40 余年的历史。早期开采时,一般深度较小,奥灰对开采工作面底板隔水层的水压一般都小于 3 MPa(大部分为 1~2 MPa);经过长期的开采实践和科学研究,相关专家和学者们编制了《矿井水文地质规程》(1984 年)和《煤矿防治水工作条例》(1986 年),明确用突水系数 T_s (底板充水含水层水压除以隔水层厚度)来分析评价底板突水危害程度,其临界值为 0.06~0.15 MPa/m(防治水条例为 0.06~0.10 MPa/m)。开采实践验证,在一般水压下(小于 3 MPa),用突水系数来评价开采的安全性,基本符合实际,这是中国煤矿水文地质学家及相关专业技术人员对煤矿开采水害防治的巨大理论和技术贡献。随着开采深度的逐渐增大,奥灰的水压逐渐增高;深部开采中,底板岩层在高围压下卸荷产生底板破坏带,加之奥灰导升带高度,由水压除以相对隔水层厚度得到的突水系数远远大于规范规程中所规定的上限值。但是在某些井田,下组煤埋深可达 1 200 m,奥灰亦处于向斜构造的核部,奥灰水水压达 7.3~13.0 MPa,为底板超高承压水,突水系数达 0.144~0.256 MPa/m,最小值亦超过规范安全开采突水系数上限,由于奥灰岩层位于深部,在高围压条件下,裂隙不发育,且没有强迳流带,富水性差,钻孔单位涌水量为 0.01~0.10 L/(s·m),含水层连通性不强。突水系数法评价开采危险性已经不能完全适用于深部开采,本文拟在突水系数方法的基础上,引入含水层富水性指标——单位涌水量(q 值),作为突水系数法的补充,建立 T_s - q 法来评价底

板突水危险性。

2 突水系数法的局限性

我国煤矿开采,对于底板水危害程度评价普遍使用突水系数法计算底板临界隔水层厚度,此方法是从长期的、大量的突水实际资料的统计分析中得出的一种规律性的认识,并作为基本规定列入规程规范和煤矿防治水条例中。几经变革,计算公式较为完善,见表 1^[11]。

该公式中 2 个重要指标为水压和相对隔水层厚度,这 2 个指标是评价底板突水危险性的关键因素,包含了含水层和隔水层双重信息,公式简单实用,但是在反映含水层性质这一方面,仅仅考虑了水压,没有考虑 q 值这一关键因素,而且在深部开采中,许多矿区的安全开采深度已经远远超出现行煤矿规程中所规定的 T_s 值指标,在突水系数超过 0.10 甚至 0.15 的一些开采工作面(肥城查庄煤矿 91002 面,奥灰 $T_s = 0.16$;白庄煤矿 10404 面,奥灰 $T_s = 0.17$;淄博矿区一些工作面徐灰突水系数 $T_s = 0.35$,奥灰 $T_s = 0.18$ 等),但开采中实际出水量较小,或经过采取治理措施后实现了安全开采(见表 2)。

3 T_s - q 评价方法初步探讨

3.1 含水层富水性与深度关系现场试验

裂隙的发育往往与地应力有关,地应力越大裂隙闭合程度越大,则含水条件越差,垂直方向最大主应力往往根据深度和岩层重度的乘积计算得到。为了了解一定区域同一裂隙岩溶含水层不同深度内的富水性差异,进行现场试验是非常必要的。在东

表 1 突水系数法公式的沿革^[11]

Table 1 Evolution of formula of the method of water inrush coefficients^[11]

年代	表达式	符号说明	改进原因
20 世纪 60 年代前	$T_s = p/m$	T_s 为突水系数 p 为水压值(MPa) m 为隔水层厚度(m)	焦作防治水会战 首次发现并采用
20 世纪 70 年代末	$T_s = p/(m - C_p)$	C_p 为矿压破坏底板深度(m)	考虑矿上压力活动因素
20 世纪 80 年代初	$T_s = p/(m_0 - C_p) = p / (\sum M_i m_i - C_p)$	m_0 为等效隔水层厚度(m) M_i 为隔水层底板各分层真厚度(m) m_i 为各分层等效厚度换算系数	考虑隔水层岩石结合特点, 隔水性能因素
20 世纪 80 年代中期	$T_s = p/(m - a - bH)$	a, b 均为待定系数 H 为采深(m)	考虑埋藏深度在 隔水层中的作用

表 2 国内部分底板高突水系数工作面实施开采情况

Table 2 Mining condition of some working faces with high water inrush coefficient in China

序号	矿名	地点	水压 p/MPa	突水系数 $T_g/(\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1})$	突水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	水源层
1	肥城大封煤矿	10313 工作面	2.21	0.17	85	五灰、奥灰
2	肥城杨庄煤矿	10706 工作面	2.49	0.15	50	五灰、奥灰
3	肥城查庄煤矿	91002 工作面	3.25	0.16	65	五灰、奥灰、断层回采
4	肥城白庄煤矿	10404 工作面	3.10	0.17	128	五灰、奥灰、断层
5	肥城国庄煤矿	N7107 工作面	1.68	0.31	125	四灰、断层
6	肥城国庄煤矿	N7109 工作面	1.81	0.48	114	四灰、断层
7	淮北朱庄煤矿	III628 工作面	4.22	0.14	未出水	一、二、三灰
8	淮北桃园煤矿	1023 工作面	5.16	0.12	81	一、二、三灰、断层
9	淮北杨庄煤矿	III616 工作面	5.50	0.11	未出水	一、二、三灰
10	淄博黑山煤矿	1088 工作面	6.23	0.13	未出水	奥灰

滩和兴隆庄煤矿进行下组煤勘探时,在不同深度孔深处取样利用声发射方法进行了地应力测量,并对奥灰含水层进行了不同深度处的抽水试验,获得了不同深度处的地应力值(见表 3)和不同深度处奥灰含水层的钻孔单位涌水量、水压值(见表 4)。

表 3 不同深度处地应力值

Table 3 Geostresses at different depths

测试深度/m	水平主应力/MPa	
	最大值	最小值
423	12.70	4.30
436	14.68	5.76
458	20.23	4.12
486	17.55	8.43
499	17.15	5.25
508	14.73	7.08
572	22.34	5.49
646	26.61	11.81
737	23.43	11.66
760	23.55	11.81
762	23.74	11.91
795	23.96	12.18
825	24.04	13.36
840	24.08	12.46

根据表 3,随着深度的加大,水平最大和最小主应力有明显的增大趋势,分析地应力与深度的关系,结果如图 1 所示。

表 4 不同深度处奥灰含水层单位涌水量和水压

Table 4 Unit inflow and water pressure of aquifer in Ordovician limestone at different depths

测试深度/m	单位涌水量/ $(\text{L} \cdot (\text{s} \cdot \text{m})^{-1})$	水压/MPa
544.79	0.024 233	5.25
566.90	0.022 922	5.37
601.20	0.015 234	5.99
643.80	0.017 533	6.26
679.58	0.010 459	6.59
722.23	0.003 874	7.06
768.43	0.005 694	7.45
822.47	0.002 793	8.00
838.50	0.001 632	8.18
840.60	0.005 435	8.16
872.12	0.002 367	8.45
936.50	0.002 779	9.16
964.65	0.000 931	9.42
1 042.05	0.000 484	10.17
1 083.22	0.000 154	10.59

根据表 4 可以得出,随着深度的增加,同一裂隙岩溶含水层(奥灰)的水压呈现增大的趋势,深度与水压的关系见图 2。

根据以上规律和表 4,随着深度的增加,地应力增大,裂隙呈闭合趋势,裂隙岩溶含水层过水能力降低,岩溶水动力环境变差,岩溶发育变弱,裂隙岩溶含水层(奥灰)的富水性有明显的减弱趋势(见图 3)。

经过非线性拟合,得出了裂隙岩溶含水层(奥灰)

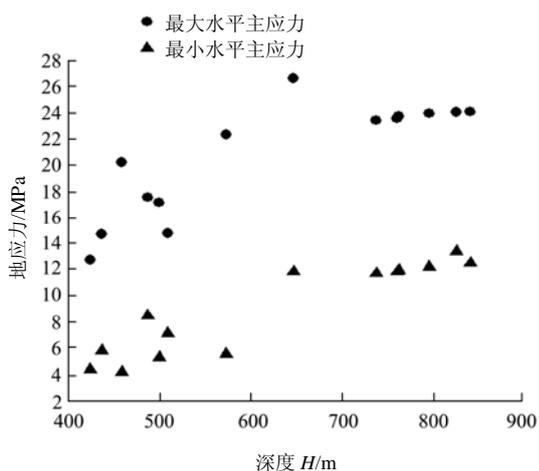


图 1 不同深度处地应力值
Fig.1 Crustal stress at different deepness

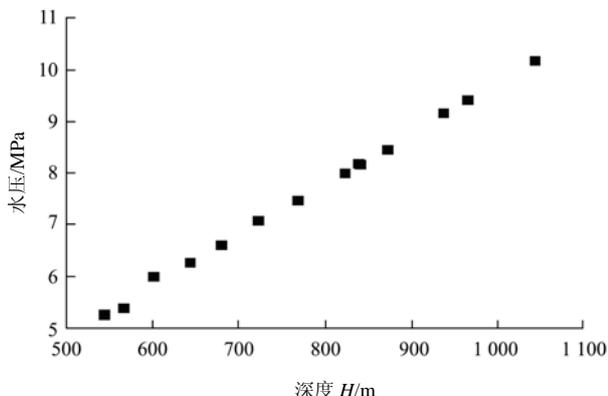


图 2 不同深度处水压值
Fig.2 Water pressure at different deepness

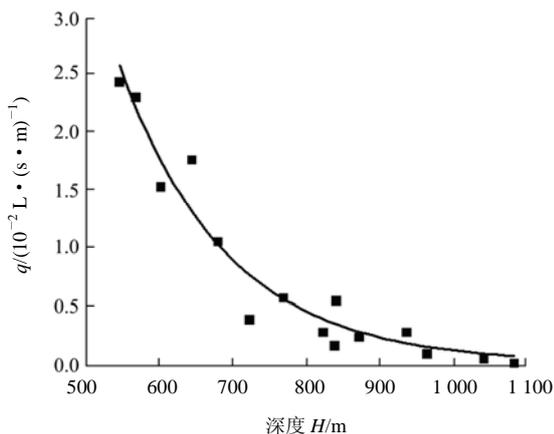


图 3 单位涌水量随深度变化关系曲线
Fig.3 Variation curve of unit inflow vs. depth

埋藏深度与 q 之间的关系如下:

$$q = y_0 + Ae^{-(H-x_0)/t} \quad (1)$$

这里取: $y_0 = 0.017\ 06$, $A = 4.678\ 5$, $x_0 = 4.565\ 4$,

$t = 1.451\ 7$ 。随着深度加大,地应力升高,裂隙岩溶含水层水压呈线性增加,相同隔水层条件下,深部煤层开采突水系数明显大于浅部,含水层富水性呈减弱趋势。

3.2 T_s - q 图特征

本文收集了肥城矿区、焦作矿区和淄博矿区的 216 个突水点资料^[12~15],包括突水点水压,相对隔水层厚度和 q 值,使用以上资料,建立底板突水危险性评价新方法 T_s - q 法。 T_s - q 法的评价方法为建立直角坐标系,纵坐标为突水系数 T_s 值,横坐标为反应含水层富水性的重要指标 q 值(即钻孔单位涌水量,具水文地质勘探抽水试验资料),拟在大量实例基础上,通过统计成图的方法,得到一些规律性的认识。在少量没有收集到 q 值的突水点,对于 q 值的表达使用了近似方法,根据 q 值划分富水性和按天然泉水流量含水层划分富水性进行对比,根据突水点的突水量大小,近似换算出 q 值,作为反映规律的近似值。

3.2.1 肥城矿区 T_s - q 图特征

收集了肥城矿区陶阳煤矿和相庄煤矿 2 个煤矿的 26 个突水点资料。26 个突水实例中,中等突水点(突水量 $>60 \sim 600\ m^3/h$)25 个,小突水点(突水量 $\leq 60\ m^3/h$)1 个,肥城矿区陶阳、相庄两矿中小突水点情况统计见表 5。

表 5 肥城矿区陶阳、相庄两矿中小突水点情况统计
Table 5 Statistics of medium-small water inrush points of Taoyang and Xiangzhuang coalmines in Feicheng mining area

突水特点 类型	在突水统计 总数中占比 例/%	$T_s < 0.015\ MPa/m$ 时	$q > 2.00\ L/(s \cdot m)$ 时
		各突水点所占比例/%	各突水点所占比例/%
小突水点	3.85	0.00	0.00
中等突水点	96.15	3.85	96.15

从表 5 中的统计数据来看,小突水点发生在 $q < 2.00\ L/(s \cdot m)$,且 $T_s < 0.015\ MPa/m$ 时,中等突水点分布数量占突水实例总数的 3.85%,可见突水点分布较少。以 q 值为横坐标,以 T_s 值为纵坐标,得到 T_s - q 坐标,肥城矿区中小突水点 T_s - q 特征图见图 4。

从图 4 可以看出,中等突水点全部位于含水层钻孔单位涌水量 $q > 2.00\ L/(s \cdot m)$,而且当突水系数 $T_s < 0.015\ MPa/m$ 时,中等突水点亦很少。

3.2.2 焦作矿区 T_s - q 图特征

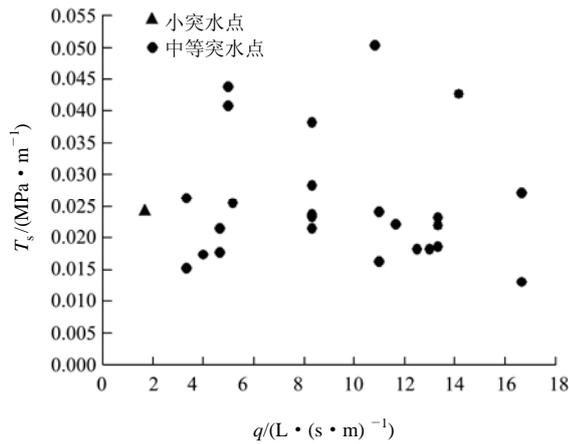


图4 肥城矿区中小突水点 T_s - q 特征图

Fig.4 Characteristic diagram of T_s - q for medium-small water inrush points in Feicheng mining area

收集了焦作矿区韩王煤矿、焦西煤矿、九里山煤矿、李封煤矿、王封煤矿、颜马庄煤矿和中马村煤矿，一共7个煤矿的90个突水点资料。90个突水实例中，中等突水点(突水量 $>60\sim 600\text{ m}^3/\text{h}$)60个，小突水点(突水量 $\leq 60\text{ m}^3/\text{h}$)15个，大突水点及特大突水点(突水量 $>600\text{ m}^3/\text{h}$)15个，焦作七矿突水点情况统计见表6。

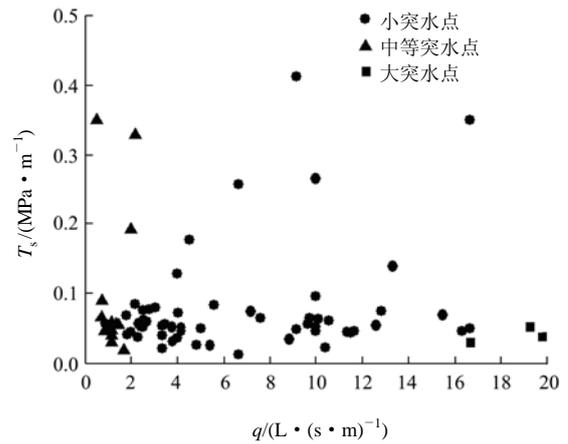
表6 焦作矿区七矿突水点情况统计

Table 6 Statistics of water inrush points of seven mines in Jiaozuo mining area

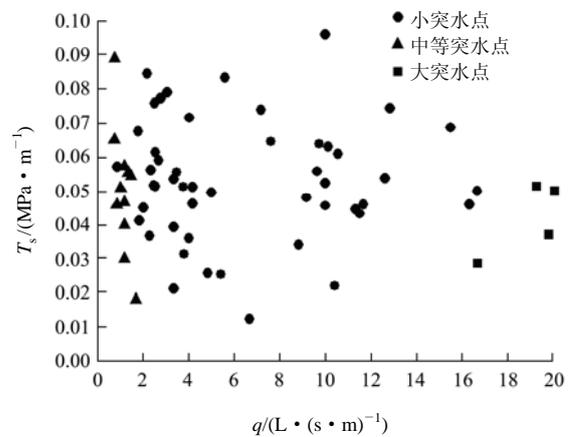
突水点类型	在突水统计总数中占比例/%	$T_s < 0.01\text{ MPa/m}$ 时各突水点所占比例/%	
		$q > 2.00\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 时各突水点所占比例/%	$q < 2.00\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 时各突水点所占比例/%
小突水点	16.7	0	1.11
中等突水点	66.7	0	63.30
大突水点及特大突水点	16.6	0	16.60

根据统计数据可见，小突水点绝大部分是在 $q < 2.00\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 的情况下发生，而当 $q > 2.00\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 大突水点数量占大突水点实例总数的100%，中等突水点数量占中等突水点实例总数的95%；当 $T_s < 0.01\text{ MPa/m}$ 时，没有突水点。以 q 值为横坐标，以 T_s 值为纵坐标，得到 T_s - q 坐标，焦作矿区突水点 T_s - q 特征图见图5。

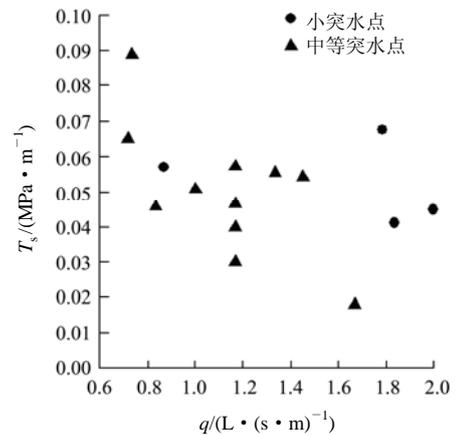
从图5(a)可以看到，小突水点横坐标 q 值大都分布在小于 $2.00\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 的范围内，并且所有的突水点大都分布在突水系数小于 0.10 MPa/m 的范围内，为此，把图5(a)纵坐标范围控制在 $0.00\sim 0.10$



(a)



(b)



(c)

图5 焦作矿区突水点 T_s - q 特征图

Fig.5 Characteristic diagram of T_s - q for water inrush points in Jiaozuo mining area

MPa/m 的范围得到图5(b)，再把图5(b)的横坐标 q 控制在 $0.0\sim 2.0\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 的范围得到图5(c)。

从图5可以看出，小突水点和中等突水点的横坐标分界线大致为 $q = 2.00\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 的直线，并且当

突水系数 $T_s < 0.01 \text{ MPa/m}$ 时, 大中小突水点分布较少。

3.2.3 淄博矿区 T_s - q 图特征

收集了淄博矿区埠村煤矿、黑山煤矿、洪山煤矿、石塔煤矿、双山煤矿、夏庄煤矿和寨里煤矿, 一共 7 个煤矿的 101 个突水点资料。101 个突水实例中, 中等突水点(突水量 $> 60 \sim 600 \text{ m}^3/\text{h}$)30 个, 小突水点(突水量 $\leq 60 \text{ m}^3/\text{h}$)71 个, 淄博矿区七矿中小突水点情况统计见表 7。

表 7 淄博矿区七矿突水点情况统计

Table 7 Statistics of water inrush points of seven mines in Zibo mining area

突水特征	在突水统计总数中占比例/%	$T_s < 0.02$	$T_s < 0.04$	$q > 2.00$
		MPa/m 时各突水点所占比例/%	MPa/m 时各突水点所占比例/%	L/(s·m) 时各突水点所占比例/%
小突水点	70.3	0	5.94	0.0
中等突水点	29.7	0	2.97	29.7

从表 7 中统计情况可见, 当 $T_s < 0.04 \text{ MPa/m}$ 时, 中小突水点数量很少, 仅占突水实例总数的 8.91%; $T_s < 0.02 \text{ MPa/m}$ 时, 没有中小突水发生; 小突水点全部是当 $q < 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 时发生, 中等突水点全部是当 $q > 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 时发生。以 q 值为横坐标, 以 T_s 值为纵坐标, 得到 T_s - q 坐标, 淄博矿区突水点 T_s - q 特征图见图 6。

从图 6(a)可以看出, 中小突水点的横坐标分界线大致为直线 $q = 2.00 \text{ L/(s·m)}$, 而且突水点大都位于突水系数 $T_s < 0.20 \text{ MPa/m}$ 的范围内, 在图 6(a)的基础上进一步扩大纵坐标比例尺, 横坐标不变突水系数在 $0.00 \sim 0.20 \text{ MPa/m}$ 的范围内, 得到图 6(b); 在此基础上纵坐标不变, 横坐标控制在 $0.0 \sim 2.0 \text{ L/(s·m)}$ 范围内, 得到图 6(c)。

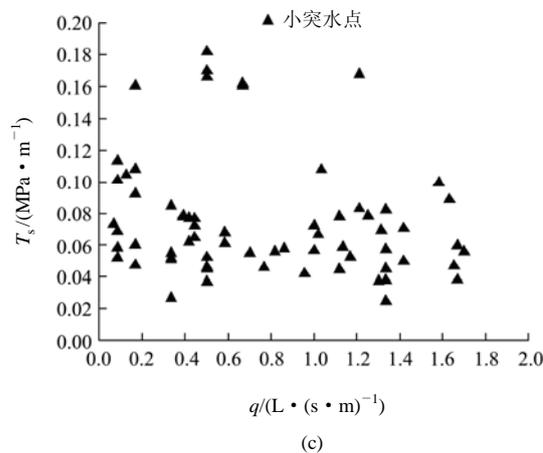
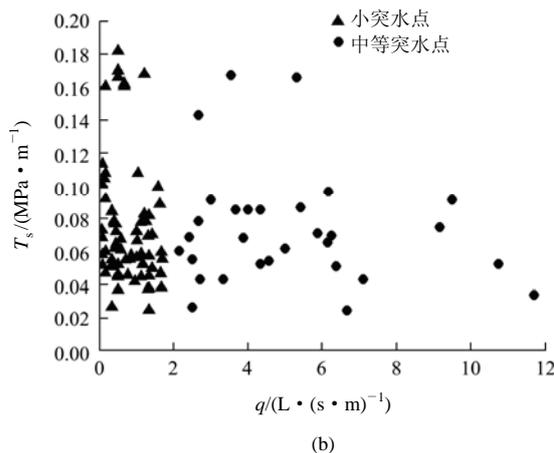
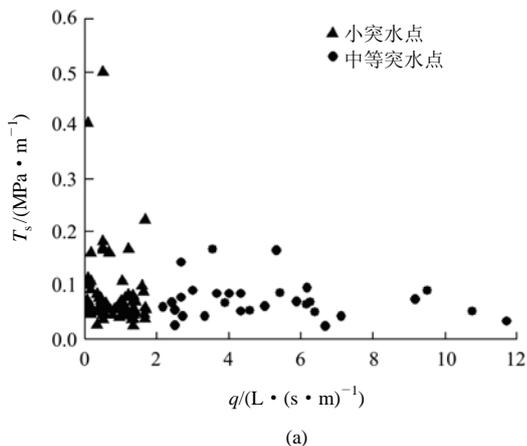


图 6 淄博矿区中小突水点 T_s - q 特征图
Fig.6 Characteristic diagram of T_s - q for water inrush points in Zibo mining area

从图 6 可以看出, 小突水点主要集中在 $q < 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 的范围内, 并且在突水系数 $T_s < 0.04 \text{ MPa/m}$ 的范围内, 小突水点少有分布; 在突水系数 $T_s < 0.02 \text{ MPa/m}$ 的范围内, 中等突水点没有分布。

3.2.4 三矿区综合 T_s - q 图特征

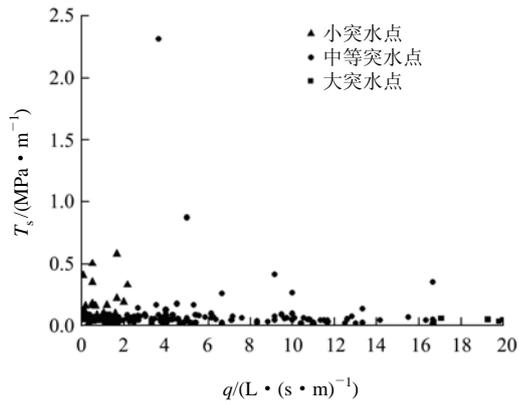
根据以上实例, 综合三矿区共 216 个突水点资料, 其中小突水点(突水量 $\leq 60 \text{ m}^3/\text{h}$)87 个; 中等突水点(突水量 $> 60 \sim 600 \text{ m}^3/\text{h}$)114 个; 大突水点及特大突水点(突水量 $> 600 \text{ m}^3/\text{h}$)15 个, 三矿区突水情况统计见表 8。

从表 8 可以看出, 当 $T_s < 0.04 \text{ MPa/m}$ 时, 各类突水点分布都比较少, 当 $T_s < 0.01 \text{ MPa/m}$ 时, 没有突水点; 大中突水主要发生在当 $q > 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 时, 占大中突水实例总数的 97.7%; 小突水主要发生在当 $0.10 < q < 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 时, 当 $q < 0.10 \text{ L/(s·m)}$ 时, 突水点较少, 只有小突水点, 数量占总突水点实例总数的 3.2%。以 q 值为横坐标, 以 T_s 值为纵坐标, 得到 T_s - q 坐标, 三矿区突水点 T_s - q 特征图见图 7。

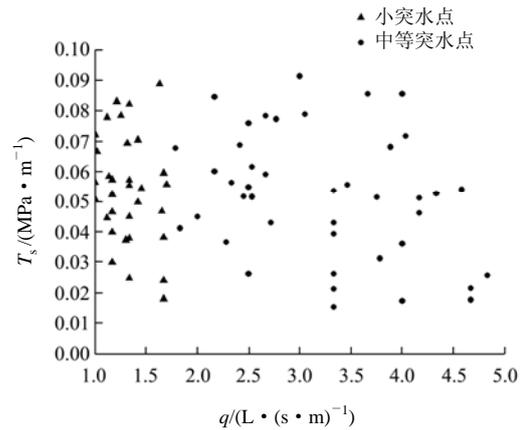
表 8 三矿区突水情况统计

Table 8 Statistics of water inrush points of three mining areas

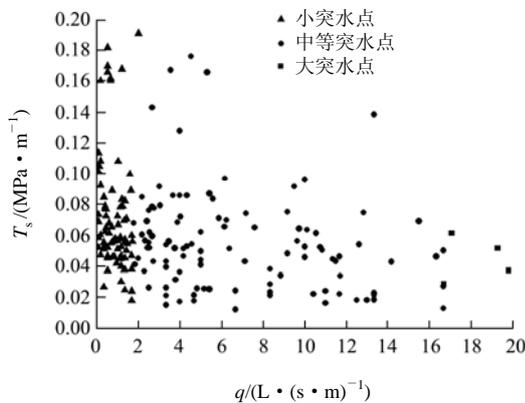
突水点 类型	在突水统计总数 中占比例/%	$T_s < 0.04$ MPa/m 时	$T_s < 0.01$ MPa/m 时	$q > 2$ L/(s · m) 时	$q < 0.1$ L/(s · m) 时	$0.1 < q < 2$ L/(s · m)	$q > 10$ L/(s · m) 时
		各突水点所占比例 /%	各突水点所占比例 /%	各突水点所占比例 /%	各突水点所占比例 /%	时各突水点所占比 例/%	各突水点所占比例 /%
小突水点	40.3	4.2	0	0.5	3.2	36.6	0.0
中等突水点	52.8	15.3	0	51.4	0.0	1.4	13.0
大突水点及 特大突水点	6.9	1.4	0	6.9	0.0	0.0	6.9



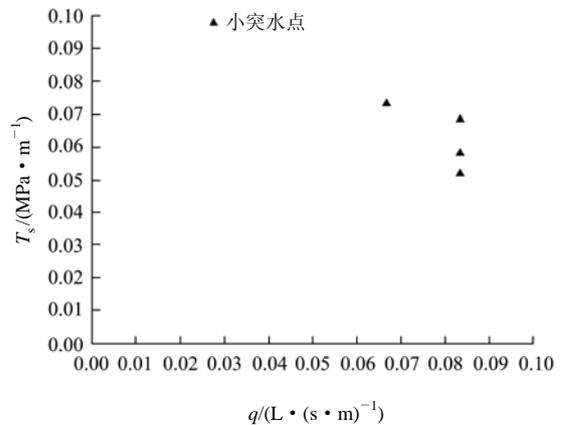
(a)



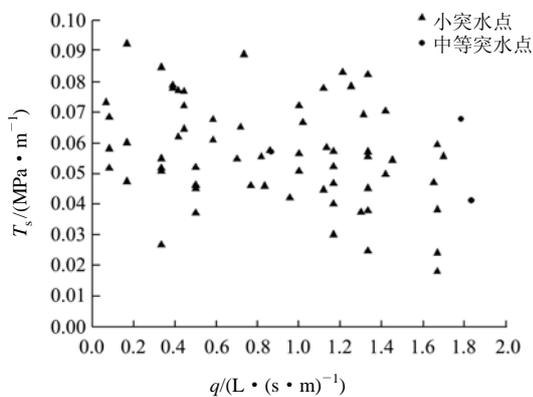
(d)



(b)



(e)



(c)

图 7 三矿区突水点 T_s - q 特征图

Fig.7 Characteristic diagram of T_s - q for water inrush points in three mining areas

图 7(a)可以看出, 小突水点主要集中在 $q < 2.00$ L/(s · m) 的范围内, 突水点大都集中于 $T_s = 0.00 \sim 0.25$ MPa/m 的范围内, 把纵坐标控制在 $0.00 \sim 0.20$ MPa/m 的范围, 得到图 7(b); 把纵坐标控制在 $0.00 \sim 0.10$ MPa/m 的范围, 横坐标控制在 $0.0 \sim 2.0$ L/(s · m) 之间, 得到图 7(c); 纵坐标范围控制在 $0.00 \sim 0.10$

MPa/m, 横坐标范围控制在 1.0~5.0 L/(s·m), 得到图 7(d); 纵坐标范围控制在 0.00~0.10 MPa/m, 横坐标控制在 0.00~0.10 L/(s·m), 得到图 7(e)。

从图 7 可以看出: 小突水点大都位于直线 $q = 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 左侧, 从突水水量来看, 横坐标越靠近 0 点, 突水水量越小; 当突水系数 $T_s < 0.04 \text{ MPa/m}$ 时, 小突水点较少; 当 $q < 0.10 \text{ L/(s·m)}$ 时, 突水点较少, 而当 $q < 0.06 \text{ L/(s·m)}$ 时, 无突水点; 当 $T_s < 0.04 \text{ MPa/m}$, 而 $q > 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 时, 中等突水点增多, 但当 $T_s < 0.01 \text{ MPa/m}$ 时, 突水点很少。

因此, 基于以上结论, 可以得到一些规律性的认识, 大致画出一条折线, 折线与坐标轴之间区域的突水点突水量 $< 60 \text{ m}^3/\text{h}$, 并考虑一定的安全系数, 最终得到折线 A, 折线 A 与坐标轴之间的区域作为底板突水安全性评价的相对安全区域(见图 8)。

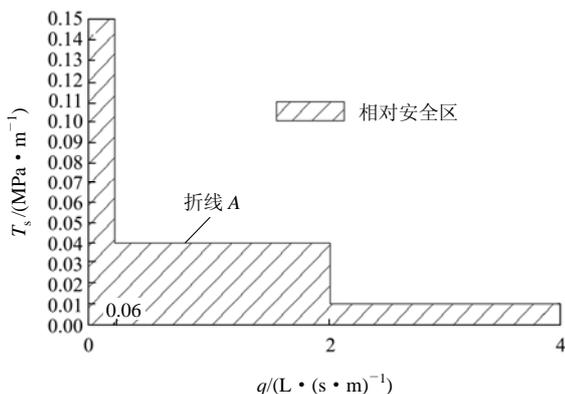


图 8 T_s - q 法相对安全区示意图

Fig.8 Schematic diagram of relatively safe area obtained by method of T_s - q

由于收集突水点实例主要是中小突水点, 所以对于中等突水点和大突水点的界限规律性不强, 但是基于以上统计资料的结果, 中等突水点聚集的范围可以用一条折线大致圈出, 并考虑一定的安全系数, 作为折线 B。折线 A 与 B 之间的距离作为危险区, 即中等突水易发生区域; 折线 B 以外的区域作为高危险区, 即大突水及特大突水易发生区域。最终得到底板突水危险性评价新方法: T_s - q 法(见图 9)。实际应用时, 算取开采或开掘地块的突水系数, 并根据底板含水层的富水性指标 q , 即可在 T_s - q 法示意图坐标上得到对应的一点, 根据此点的位置, 可以大致判断开采或开掘地块的突水危险性。

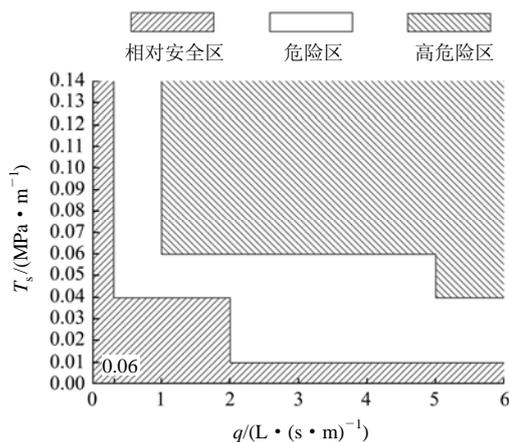


图 9 T_s - q 法示意图

Fig.9 Schematic diagram of T_s - q method

4 结 论

煤层底板突水问题一直是困扰华北型煤田煤炭工业可持续发展的主要水患^[16]。煤层开采底板突水的机制非常复杂, 预测预报困难, 长期开采实践总结出的突水系数法在浅部开采中, 作用巨大, 但是随着深部开采的进行, 在某些特殊情况下, 用突水系数法评价突水危险性有欠妥之处。本文在突水系数法的基础之上, 引入含水层富水性(q 值)这一指标, 建立了新型的底板突水预测预报评价方法: T_s - q 法, 包括了含水层水压、富水性和相对隔水层厚度 3 个指标, 通过大量的统计实例, 得到了一些规律性的认识:

- (1) 当 $q < 0.05 \text{ L/(s·m)}$ 时, 突水统计中没有突水点, 或者突水水量在可控的范围内, 矿井排水系统完全可以排出, 并不对矿井生产带来很大影响。
- (2) 当 $T_s < 0.04 \text{ MPa/m}$, 而 $q > 2.00 \text{ L/(s·m)}$ 时, 中等突水点增多, 但当 $T_s < 0.01 \text{ MPa/m}$ 时, 突水点很少。所以根据《矿井水文地质规程》, 当矿井充水含水层为强含水层, 而突水系数小于 0.01 MPa/m 时, 突水点仍然很少。
- (3) 本文根据突水后突水水量对 T_s - q 法的安全性进行了分区, T_s - q 法作为突水系数法的补充, 在含水层富水性较差而突水系数很大的深部开采具有重要意义。

参考文献(References):

[1] 武 强, 张志龙, 马积福. 煤层底板突水评价的新型实用方法I——主控指标体系的建设[J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 42 - 47.(WU Qiang, ZHANG Zhilong, MA Jifu. A new practical methodology of the coal

- floor water inrush evaluating I—the master controlling index system construction[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 42 - 47.(in Chinese)
- [2] 武 强, 张志龙, 张生元. 煤层底板突水评价的新型实用方法II——脆弱性指数法[J]. 煤炭学报, 2007, 32(11): 1 121 - 1 126.(WU Qiang, ZHANG Zhilong, ZHANG Shengyuan. A new practical methodology of the coal floor water inrush evaluating II—the vulnerable index method[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(11): 1 121 - 1 126.(in Chinese))
- [3] 武 强, 庞 炜, 戴迎春. 煤层底板突水脆弱性评价的GIS与ANN耦合技术[J]. 煤炭学报, 2006, 31(3): 314 - 319.(WU Qiang, PANG Wei, DAI Yingchun. Vulnerability forecasting model based on coupling technique of GIS and ANN in floor groundwater inrush[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(3): 314 - 319.(in Chinese))
- [4] 李 丽, 程久龙. 基于信息融合的矿井底板突水预测[J]. 煤炭学报, 2006, 31(5): 623 - 626.(LI Li, CHENG Jiulong. Floor water irruption prediction based on information fusion[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(5): 623 - 626.(in Chinese))
- [5] 尹会永, 魏久传, 刘同彬. 基于多源信息复合的煤层底板突水评价[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2008, 27(2): 6 - 9.(YIN Huiyong, WEI Jiuchuan, LIU Tongbin. Evaluation of water inrush in seam floor based on multi-originated information complex[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2008, 27(2): 6 - 9.(in Chinese))
- [6] 石秀伟, 胡耀青, 张和生. 基于GIS的煤层底板突水预测理论模型[J]. 太原理工大学学报, 2008, 39(2): 244 - 246.(SHI Xiwei, HU Yaoqing, ZHANG Hesheng. GIS-based forecasting model of floor water inrush in coal mines[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2008, 39(2): 244 - 246.(in Chinese))
- [7] 雷贵生, 韩德品. 矿井电法探测工作面底板潜在突水构造的应用[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(6): 24 - 26.(LEI Guisheng, HAN Depin. Application of mine electric method to probe mine water inrush structure in potential under coal mining face floor[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(6): 24 - 26.(in Chinese))
- [8] 于小鸽, 施龙青, 魏久传. 采场底板“四带”划分理论在底板突水评价中的应用[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2006, 25(4): 14 - 17.(YU Xiaoge, SHI Longqing, WEI Jiuchuan. Application of “Four zones” theory in face floor on evaluation of floor water inrush[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2006, 25(4): 14 - 17.(in Chinese))
- [9] 孔海陵, 陈占清. 龙固煤矿采场底板突水因数与突水危害性分析[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(9): 80 - 81.(KONG Hailing, CHEN Zhanqing. Water-inrush-factor and its application to the analysis of harmfulness of water-inrush in Longgu Coal Mine[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2006, 28(9): 80 - 81.(in Chinese))
- [10] 中国生, 江文武, 徐国元. 底板突水的突变理论预测[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26(2): 216 - 218.(ZHONG Guosheng, JIANG Wenwu, XU Guoyuan. Prediction of water inrush from floor based on catastrophe theory[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2007, 26(2): 216 - 218.(in Chinese))
- [11] 王作宇, 刘鸿泉. 承压水上采煤[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993: 130.(WANG Zuoyu, LIU Hongquan. Mining in confined aquifer[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1993: 130.(in Chinese))
- [12] 葛亮涛, 叶贵钧, 高洪烈. 中国煤田水文地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.(GE Liangtao, YE Guijun, GAO Honglie. China coal field hydrogeology[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2001.(in Chinese))
- [13] 王永红, 沈 文. 中国煤矿水害预防及治理[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.(WANG Yonghong, SHEN Wen. Prevention and control of China coal mine flooding[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1996.(in Chinese))
- [14] 施龙青, 韩 进. 底板突水机制及预测预报[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.(SHI Longqing, HAN Jin. Floor water-inrush mechanism and prediction[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2004.(in Chinese))
- [15] 李金凯. 矿井岩溶水防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.(LI Jinkai. Prevention and control of mine karst water[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1990.(in Chinese))
- [16] 罗立平, 彭苏萍. 承压水体上开采底板突水灾害机制的研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(4): 459 - 462.(LUO Liping, PENG Suping. Mechanism study of water-inrush hazard of floor strata in mining on confined aquifer[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(4): 459 - 462.(in Chinese))