

文章编号: 1674—8247(2024)03—0039—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.03.008

## 铁路隧道煤与瓦斯突出危险性判定分析

付开隆 崔建宏 陈明浩 李沧海

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:** 铁路隧道在施工开挖过程中判定具有煤与瓦斯突出危险性, 会导致投资增加和工期延长等问题。本文解读了国家煤矿安监局煤安监技装〔2019〕28 号文附件《防治煤与瓦斯突出细则》与 TB 10120—2019《铁路瓦斯隧道技术规范》中关于煤与瓦斯突出危险性判定的规定。通过对比不同铁路隧道煤与瓦斯突出危险性判定实例, 讨论了铁路隧道各阶段煤与瓦斯突出危险性判定的原则。研究发现: 勘察阶段钻孔内瓦斯测试数据欠准确的原因主要包括: (1) 钻孔内测试深度与施工揭示煤层的深度不一致; (2) 钻孔内煤层深度过大影响测试准确性。

**关键词:** 煤与瓦斯突出; 突出煤层; 突出危险性预测; 瓦斯压力

中图分类号: U453.5 文献标志码: A

## Assessment and Analysis of Coal and Gas Outburst Hazard in Railway Tunnels

FU Kailong CUI Jianhong CHEN Minghao LI Canghai

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Identification of coal and gas outburst hazard during excavation for railway tunnel can lead to increased investment costs and extended construction timelines. This paper interpreted relevant content regarding the determination of coal and gas outburst hazard from the “Detailed Rules for Prevention and Control of Coal and Gas Outbursts,” the attachment of the Document Mei An Jian Ji Zhuang〔2019〕No. 28 issued by the National Coal Mine Safety Administration. It further analyzed related requirements for assessing coal and gas outburst hazard stipulated in TB 10120—2019 “Technical Code for Railway Gas Tunnels” issued by the National Railway Administration. By examining comparative case examples of coal and gas outburst hazard assessments in select railway tunnels, the study discussed the principles guiding such assessments across various stages of tunnel development. In the exploration stage, reasons for the inaccuracy of gas data obtained from borehole testing include: (1) inconsistency between the test depth within the borehole and the actual coal seam depth exposed during construction, and (2) excessive coal seam depth within the borehole compromising test precision.

**Key words:** coal and gas outburst; outburst-prone coal seams; outburst hazard prediction; gas pressure

我国交通基础路网快速发展, 瓦斯隧道越来越多, 为保障隧道穿越煤层安全可靠, 准确判定煤层风

险等级、对突出煤层选择防突措施是实现隧道安全揭煤的保障<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2023-05-21

作者简介: 付开隆(1971-), 男, 高级工程师。

引文格式: 付开隆, 崔建宏, 陈明浩, 等. 铁路隧道煤与瓦斯突出危险性判定分析[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3): 39–44.

FU Kailong, CUI Jianhong, CHEN Minghao, et al. Assessment and Analysis of Coal and Gas Outburst Hazard in Railway Tunnels[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3): 39–44.

2019 年,国家煤矿安全监察局发布了新版《防治煤与瓦斯突出细则》<sup>[2]</sup>,全面贯彻执行“区域防突技术为主、局部防突措施补充”的两个“四位一体”综合防突措施,进入了瓦斯治理安全经济一体化阶段。同年,国家铁路局发布了 TB 10120-2019《铁路瓦斯隧道技术规范》<sup>[3]</sup>,满足了铁路瓦斯隧道勘察、设计、施工及运营的需要,统一了铁路瓦斯隧道技术标准,使铁路瓦斯隧道建设符合技术先进、措施合理、风险可控、运营安全、工程经济等要求。

近些年施工完成的多座铁路隧道,在勘察阶段没有对煤层瓦斯突出危险性进行准确评估,勘察阶段判定没有煤与瓦斯突出危险性,而是在施工开挖后才判定具有煤与瓦斯突出危险性,导致了投资增加,工期延长等问题。本文在解读国家煤矿安监局煤安监技装〔2019〕28 号文下发的《防治煤与瓦斯突出细则》(以下简称《突出细则》)及现行 TB 10120-2019《铁路瓦斯隧道技术规范》(以下简称《铁路规范》)的基础上,结合部分铁路隧道瓦斯突出危险性评估实例,讨论铁路建设各阶段根据《铁路规范》进行煤与瓦斯突出危险性判定存在的问题,分析煤与瓦斯突出危险性判定原则。

### 1 矿井防治煤与瓦斯突出的相关要求

根据《突出细则》,煤与瓦斯突出的判定包括建井前突出危险性评估、突出煤层鉴定及认定、区域突出危险性预测、工作面突出危险性预测 4 个方面。

#### 1.1 建井前突出危险性评估

可研阶段,对矿井开采可能揭露的平均厚度  $\geq 0.3\text{ m}$  的煤层,需开展突出危险性评估。评估结论作为矿井立项及初步设计的依据,并用于指导建井期间揭煤作业。

若新建矿井存在有突出危险的煤层,建井过程中应在巷道揭煤前进行煤层突出危险性认定或鉴定。

#### 1.2 突出煤层鉴定及认定

煤层突出危险性鉴定,首先根据发生的瓦斯动力现象特征进行。若没有瓦斯动力现象,或者根据瓦斯动力现象不能确定为突出煤层,应按照表 1 根据突出危险性指标进行鉴定。

表 1 煤层突出危险性鉴定指标临界值表

判定指标	煤的破坏类型	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	原始煤层瓦斯压力(相对) $P/\text{MPa}$
临界值	Ⅲ~Ⅴ	$\geq 10$	$\leq 0.5$	$\geq 0.74$

若煤层瓦斯指标同时满足表 1 中的 4 项指标临界值,鉴定为煤层具有突出危险性。否则,须通过综

合分析来鉴定,但当  $P \geq 2.0\text{ MPa}$  时,或  $0.5 < f \leq 0.8$  同时  $P \geq 1.50\text{ MPa}$  时,或  $0.3 < f \leq 0.5$  同时  $P \geq 1.0\text{ MPa}$  时,或  $f \leq 0.3$  同时  $P \geq 0.74\text{ MPa}$  时,一般作出煤层具有突出危险性的鉴定。

#### 1.3 区域突出危险性预测

区域突出危险性预测的原则为:(1)煤层瓦斯风化带划分为没有突出危险的区域;(2)突出点分布或具有明显突出预兆的位置与构造带有直接关系时,该构造两侧一定范围及其延伸位置的煤层划分为有突出危险的区域;(3)除上述区域外,应根据吨煤瓦斯含量和瓦斯压力进行预测,预测临界值通过试验考察确定,确定前按表 2 进行预测。区域预测完成后,具有突出危险性的煤层划分为无突出危险区和突出危险区。

表 2 区域预测临界值表

瓦斯含量 $W/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	区域类别
$W < 8$ (构造带 $W < 6$ )	$P < 0.74$	无突出危险区
除上述情况以外的其他情况	—	突出危险区

#### 1.4 工作面突出危险性预测

井巷揭煤工作面突出危险性预测须在距突出煤层最小法向距离 5 m 前进行。井巷揭煤工作面钻屑瓦斯解吸指标的临界值应当根据试验考察确定,在确定前可暂按表 3 中所列的指标临界值进行预测。

表 3 井巷工作面突出危险性预测参考临界值表

煤样	$\Delta h_2$ 指标临界值/Pa	$K_1$ 指标临界值/ $[\text{mL} \cdot (\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})^{-1}]$
干煤样	200	0.5
湿煤样	160	0.4

## 2 铁路隧道评估煤与瓦斯突出危险性相关要求

根据《铁路规范》,煤与瓦斯突出的相关判定包括前期勘察及可行性研究阶段、定测及补充定测阶段、施工阶段。

#### 2.1 前期勘察及可行性研究阶段的判定

隧道通过平均厚度  $\geq 0.3\text{ m}$  的煤层时,应当进行煤与瓦斯突出危险性评估。前期勘察及可行性研究阶段可根据调查的煤层瓦斯含量或瓦斯压力判定瓦斯突出等级:当煤层瓦斯压力  $\geq 0.74\text{ MPa}$  或瓦斯含量  $\geq 8\text{ m}^3/\text{t}$  时,判定煤层具有突出危险性。

#### 2.2 定测、补定测阶段的判定

当隧道洞身位于瓦斯风化带之下,且通过的煤层具有下列特征之一时,应当认定煤层具有突出危险性:(1)邻近工程或矿区已鉴定具有突出危险性的同一煤

层;(2)瓦斯压力 $\geq 0.74\text{ MPa}$ ,尚未进行突出危险性鉴定的煤层;(3)具有瓦斯动力现象的煤层;(4)邻近工程或矿区发生了突出事故的同一煤层。

当按动力现象基本特征不能判定煤层具有突出危险时,需根据测定的煤层突出危险性指标或典型突出预兆综合分析后做出认定结论。无实测资料时,瓦斯突出判定须同时满足表4规定的指标。

表4 判定煤层突出危险性指标临界值表				
判定指标	煤的破坏类型	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	煤层瓦斯压力 $P/\text{MPa}$
临界值	Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ	$\geq 10$	$\leq 0.5$	$\geq 0.74$

2.3 施工阶段的判定

在实施超前探孔、预测孔以及检验孔过程中,钻孔出现夹钻、喷孔以及顶钻等动力现象,或工作面出现明显突出预兆时,应按突出煤层进行管理。

超前突出危险性预测应在距初探煤层位置

10 m(垂距)前开展。危险性预测的临界值宜根据试验确定,当无试验确定的临界值时,可根据实测的瓦斯压力 $P$ 、吨煤瓦斯含量 $W_0$ 按表5进行突出危险性预测。

表5 超前突出危险性预测临界值表	
临界值	突出预测
$P < 0.74\text{ MPa}$ 且 $W_0 < 8\text{ m}^3/\text{t}$	无突出危险
$P \geq 0.74\text{ MPa}$ 或 $W_0 \geq 8\text{ m}^3/\text{t}$	突出危险

3 代表性铁路隧道瓦斯突出危险性判定分析

3.1 林织铁路坪子上隧道

林织铁路是2015年建成通车的单线铁路。坪子上隧道出口段穿越二叠系上统龙潭组( $P_2l$ )煤系地层,隧道全长6302 m,最大埋深约190 m。隧道穿过煤层段地质纵断面如图1所示。

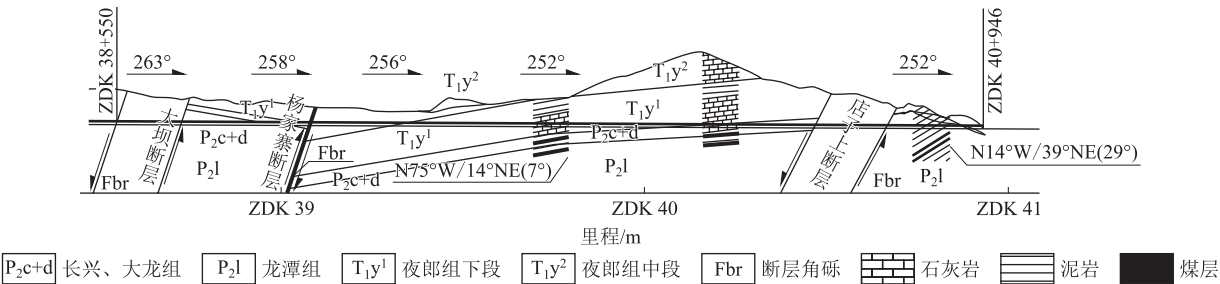


图1 坪子上隧道出口段地质纵断面图

勘察阶段龙潭组( $P_2l$ )煤层瓦斯测试数据如表6所示,根据测试结果判断坪子上隧道没有煤与瓦斯突出危险性。

表6 勘察阶段坪子上隧道煤层瓦斯测试数据表									
测试钻孔编号	测试深度/m	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	计算瓦斯压力梯度 $\lambda(\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1})$	推算全隧道瓦斯最大压力/MPa	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	煤的破坏类型	吨煤瓦斯含量 $W_0(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	突出危险性判定
S-06-1	62.7	0.53	0.0084	1.47	3.101	1.9	I	7.06	无

出口平行导坑施工到龙潭组煤层附近时,超前钻孔中发生了喷孔、顶钻等瓦斯动力现象,现场补充了煤层瓦斯测试,结果如表7所示,测试结果表明煤层具有突出危险性<sup>[4]</sup>。

表7 施工阶段坪子上隧道煤层瓦斯测试数据表							
测试煤层编号	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	煤的破坏类型	吨煤瓦斯含量 $W_0(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	$\Delta h_2/\text{Pa}$	突出危险性判定
PD-M4	1.15	28	0.16	Ⅲ~Ⅳ	13.16	220(湿)	有
PD-M5	0.95	28	0.23	Ⅲ~Ⅳ	11.63	204(湿)	有

勘察阶段与施工阶段煤层瓦斯测试结果存在较

大差异的主要原因为:(1)施工阶段揭示突出煤层位置埋深近200 m,勘察阶段钻孔取煤样位置埋深62.7 m(偏浅);(2)虽然勘察阶段对隧道最大埋深位置的煤层瓦斯压力进行了推算,但煤的破坏类型和瓦斯放散初速度等参数没有相应的推算标准,因而得出4项指标未同时满足突出判定标准的结论;(3)勘察阶段认定煤的破坏类型为I类,但施工阶段则认定为Ⅲ~Ⅳ类,分析属于勘察阶段通过钻孔取出的煤样岩芯被冲洗液冲蚀后细粒成分流失导致误判;(4)勘察阶段推算的瓦斯最大压力(瓦斯压力是主控指标)已超过临界值,但未引起足够重视。

### 3.2 成贵铁路白杨林隧道

成贵铁路为设计时速 250 km 的双线客运专线铁路,2019 年 12 月通车运营。白杨林隧道全长 1 780 m,

最大埋深 210 m。隧道洞身穿越二叠系上统龙潭组 (P<sub>2</sub>l) 煤系地层, 穿越段落埋深 60~210 m。隧道洞身煤层分布纵断面如图 2 所示<sup>[5]</sup>。

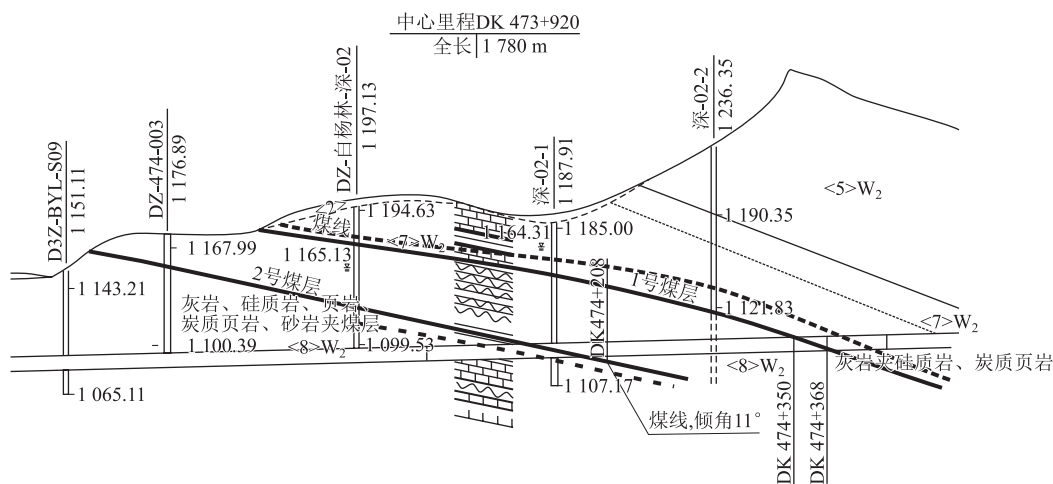


图2 白杨林隧道穿越煤层段纵断面图

勘察期间,对洞身 DZ-白杨林-深-02 深孔进行孔内煤层瓦斯测试工作,具体测试数据如表 8 所示,根据测试数据判定白杨林隧道没有煤与瓦斯突出危险性。

表 8 勘察阶段白杨林隧道煤层瓦斯突出危险性判定表

测试钻孔编号	测试深度 /m	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	瓦斯放散 初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的 坚固性 系数 $f$	煤的 破坏 类型	突出 危险性
DZ-白杨林-深-02	60	0.26	3.241	2.2	IV ~ V	无

隧道施工掌子面掘进至 DK 474+185 时,实施 3 个水平探孔和 1 个俯角探孔均揭示煤层。煤层瓦斯测试数据及结论如表 9 所示。

表 9 施工阶段白杨林隧道煤层瓦斯测试数据表

测试 煤层 编号	测试 深度 /m	瓦斯 压力 $P/\text{MPa}$	煤的破 坏类型	吨煤瓦 斯含量 $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	$\Delta h_2$ /Pa	$K_1$ $/( \text{mL} \cdot (\text{g} \cdot \text{min}^{-1/2})^{-1} )$	突出 危险性 判定
2号	100	1. 073	Ⅳ ~ V	12. 307	322(湿)	0. 95(湿)	有

勘察阶段与施工阶段煤层瓦斯突出危险性判定存在较大差异的主要原因为:(1)与施工阶段揭示突出煤层位置埋深近 100 m 相比,勘察阶段钻孔取煤样位置埋深 60 m(偏浅);(2)施工阶段增加了工作面防突验证工作,验证结果证明需采取防突措施。

### 3.3 渝昆高速铁路昭通隧道

昭通隧道为单洞双线隧道,全长 16.26 km,最大埋深 980 m,隧道于 2019 年开工。DK 377+265~+840 段穿过石炭系大塘阶旧司段( $C_1d^1$ )含煤地层,勘察阶段完成深孔勘探 3 431.1 m/4 孔,其中在洞身附近揭示煤层的 DZ-昭通-02 孔共揭示 9 层煤,取煤样位置深度 915~995 m,单层煤层厚度 0.26~1.66 m,煤层总厚度 7.69 m。煤层与隧道位置关系如图 3 所示,深孔内煤层瓦斯测试结果及突出危险性判定结论如表 10 所示。

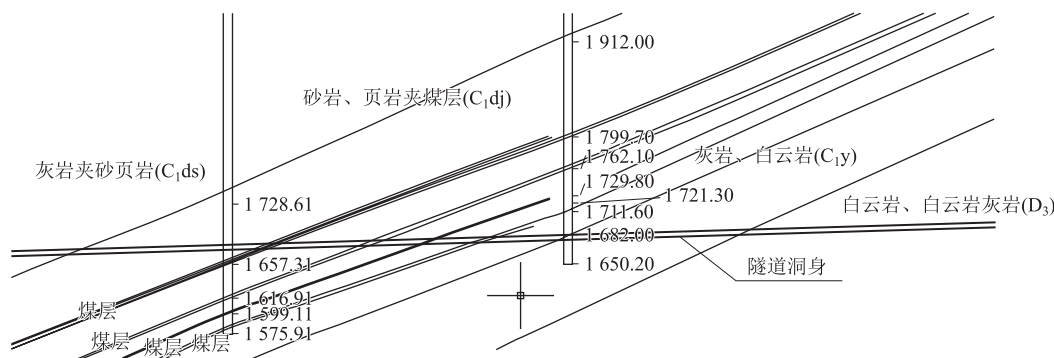


图3 昭通隧道洞身煤层分布纵断面示意图



表 10 深孔瓦斯参数测定结果及突出危险性判定表

煤层组	煤的破坏类型	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	煤层瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	突出危险性判定
M1-9 ~ M1-1	Ⅱ	5 ~ 9	0.3 ~ 0.7	0.72 ~ 0.94	无

施工过程中,煤层瓦斯测试参数及突出危险性判定如表 11 所示。

表 11 施工中煤层瓦斯参数测定结果及突出危险性判定表

煤层组	煤的破坏类型	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	突出危险性判定
M1-9 ~ M1-7	V	11 ~ 22	0.21 ~ 0.36	0.88 ~ 1.83	有

勘察阶段测试结果与施工阶段测试判别结果差别较大的原因,主要是勘察阶段实施的钻孔深度很大(取煤样位置深达 915 ~ 995 m),具体情况为:(1)细粒成分被钻具内冲洗液带走,影响了煤的破坏类型判别,并导致煤的坚固性系数测试结果偏大;(2)煤样取出的时间过长(一般大于 1 h),导致瓦斯放散初速度的测试结果偏小;(3)瓦斯压力测试段封隔难度大,导致瓦斯压力实测值偏小;(4)勘察阶段测试的瓦斯压力(瓦斯压力是主控指标)已超过临界值,但未引起足够重视。

3.4 盘兴铁路盘州隧道

盘兴铁路为设计时速 250 km 的客运专线铁路,于 2022 年初开工建设。盘州隧道全长 4 096 m,出口端穿过  $P_2$  含煤地层。隧道穿过煤层段纵断面如图 4 所示。

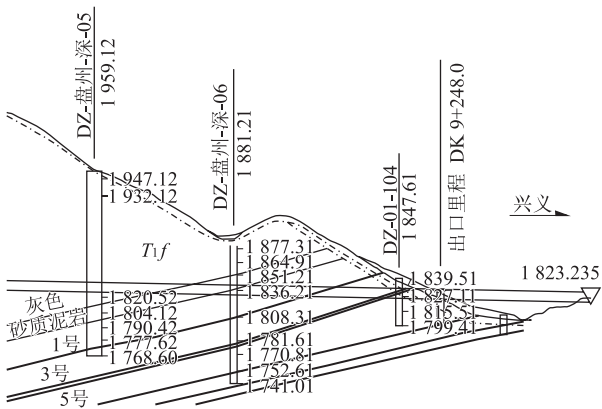


图 4 盘州隧道穿过煤层段纵断面图

隧道出口段 DK 9 + 144 ~ DK 9 + 248 穿越 1 号、3 号、5 号煤层, DZ-盘州-深-05、DZ-盘州-深-06 煤与瓦斯孔内测试结果如表 12 所示。施工阶段对掌子面前方的煤层瓦斯进行了测试,结果如表 13 所示。

表 12 勘察阶段钻孔中实测煤与瓦斯相关参数表

煤层编号	煤层深度 /m	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤的坚固性系数 $f$	煤的破坏类型	突出危险性
C1	72.9	0.87	10	0.7	Ⅲ	有
C3	99.6	1.00	10	0.7	Ⅲ	有
C5	102.6	1.05	12	0.8	Ⅲ	有
C7	128.7	1.30	12	0.35	Ⅳ	有

表 13 施工阶段掌子面煤层瓦斯测试结果表

测试煤层	瓦斯压力 $P/\text{MPa}$	瓦斯含量 $/(m^3/t)$	$K_1$ $/(mL \cdot (g \cdot min^{1/2})^{-1})$	突出危险性
C1	0.12 ~ 0.25	3.94 ~ 5.57	0.2 ~ 0.08(干)	无
C3、C5	0.08	3.35	0.02 ~ 0.07	无

勘察阶段对煤层瓦斯突出危险性评价与施工开挖后评价不一致的原因,主要在于:勘察阶段钻孔实测煤层瓦斯位置大于隧道埋深,得出的突出危险性评价结论与施工阶段测试结论不符。

4 讨论

(1)《突出细则》要求,在新建矿井可研阶段,对采掘工程可能揭露的平均厚度  $\geq 0.3\text{ m}$  的煤层,需进行建井前突出危险性评估。然而《突出细则》未明确评估的具体方法或指标。从实践来看,各矿井基本上在收集邻近矿井瓦斯资料的基础上,结合建井前勘察期间在钻孔内测试的煤层瓦斯参数参考煤层突出危险性鉴定方法进行评估。“建井前突出危险性评估”工作,可以同隧道定测、补定测阶段所做的工作相对应。

(2)《铁路规范》对煤层瓦斯突出危险性判定的标准,与《突出细则》对煤层突出危险性的鉴定标准一致。但《突出细则》在把瓦斯压力和煤层坚固性系数作为主控指标的基础上,进一步补充了鉴定标准: $P \geq 2.0\text{ MPa}$  时,或者  $0.5 < f \leq 0.8$  同时  $P \geq 1.50\text{ MPa}$  时,或者  $0.3 < f \leq 0.5$  同时  $P \geq 1.0\text{ MPa}$  时,或者  $f \leq 0.3$  同时  $P \geq 0.74\text{ MPa}$  时,一般鉴定为突出煤层,以后《铁路规范》修订时宜采纳。

(3)根据《突出细则》,对于具有突出危险性的矿井,应对开采的突出煤层进行区域突出危险性预测,在没有突出征兆情况下当瓦斯含量  $W \geq 8\text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$  (构造带  $W \geq 6\text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ ) 或瓦斯压力  $P \geq 0.74\text{ MPa}$  时预测为突出危险区域,这项规定为已鉴定的突出煤层进行突出危险性区域划分提供了依据。根据《铁路规范》,施工中对平均厚度  $\geq 30\text{ cm}$  的煤层应进行超前突出危险性预测,当瓦斯含量  $W \geq 8\text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$  或瓦斯压力  $P \geq 0.74\text{ MPa}$  时预测为具有突出危险性。

可以看出,《铁路规范》对煤层在施工中进行超前突出危险性预测的标准,参考了《突出细则》进行区域突出危险性预测的标准,但存在以下问题:①《突出细则》针对已鉴定的突出煤层进行区域划分,而《铁路规范》针对评估为无突出危险的煤层开展综合超前防突措施时的判别标准,两者使用基础不一致;②如铁路隧道施工过程执行这项判别标准,势必造成施工过程中的判别标准(按瓦斯含量及瓦斯压力)与勘察阶段的判别标准(按瓦斯压力、瓦斯放散初速度、煤的坚固性系数、煤的破坏类型)不一致。所以,铁路隧道施工过程中,对勘察阶段评估为无突出危险煤层的超前突出危险性预测宜执行定测、补定测阶段的判别标准<sup>[6-8]</sup>。

## 5 结论

(1)《铁路规范》修订时,宜采纳《防治煤与瓦斯突出细则》补充的鉴定标准,即: $P \geq 2.0 \text{ MPa}$ 时,或 $0.5 < f \leq 0.8$ 同时 $P \geq 1.50 \text{ MPa}$ 时,或者 $0.3 < f \leq 0.5$ 同时 $P \geq 1.0 \text{ MPa}$ 时,或 $f \leq 0.3$ 同时 $P \geq 0.74 \text{ MPa}$ 时,一般鉴定为突出煤层。

(2)《突出细则》已明确,瓦斯压力是指相对压力,因而在勘察阶段进行突出危险性评估及施工阶段进行突出危险性预测工作时应采用相对瓦斯压力。此外,瓦斯压力是突出危险性判别的主控指标,当该指标满足突出标准而其他指标不满足时,对煤层的突出危险性应引起重视。

(3)铁路隧道施工过程中,对勘察阶段评估为无突出危险煤层的超前突出危险性预测宜执行定测、补定测阶段的判别标准,不宜采用《突出细则》针对突出煤层进行突出危险性区域划分的标准,建议《铁路规范》修订时予以考虑。

(4)部分铁路隧道勘察阶段的测试结论与施工开挖后的测试结论不一致,这主要由两方面的原因造成:①测试钻孔煤层深度与隧道揭煤深度不一致;②测试钻孔太深,深钻孔内取样及测试具有局限性。这些问题可以从以下两方面改进:①加大勘察阶段勘探力度,确保勘察阶段测试钻孔煤层深度与隧道实际揭煤深度基本一致;②开展深钻孔内取样测试值与实际煤

层瓦斯参数值的对比研究,为以后深埋隧道勘察阶段测试值的应用提供依据。

## 参考文献:

- [1] 吴平,武磊. 瓦斯隧道穿越突出煤层安全技术研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2021, 40(3): 90-94.  
WU Ping, WU Lei. Study on Safety Technology of Gas Tunnel Passing through Outburst Coal Seam [J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2021, 40(3): 90-94.
- [2] 中国国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出细则[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2019.  
National Coal Mine Safety Administration of China. Rules for Prevention and Control of Coal and Gas Outburst [S]. Beijing: China Coal Industry Press, 2019.
- [3] TB 10120-2019 铁路瓦斯隧道技术规范[S].  
TB 10120-2019 Technical Code for Railway Tunnel With Gas [S].
- [4] 万川. 坪子上隧道瓦斯特征分析[J]. 路基工程, 2018(4): 254-257, 262.  
WAN Chuan. Gas Characteristic Analysis for Pingzishang Tunnel [J]. Subgrade Engineering, 2018(4): 254-257, 262.
- [5] 陈燕. 白杨林隧道瓦斯突出预测与过煤层施工技术研究[J]. 路基工程, 2017(2): 229-234.  
CHEN Yan. Forecast on Gas Outburst of Baiyanglin Tunnel and Study on Construction Technology of Coal Seam [J]. Subgrade Engineering, 2017(2): 229-234.
- [6] 戚新红,李晓华,韩真理,等. 杨柳煤矿9煤层煤与瓦斯突出危险性评估[J]. 煤炭技术, 2016, 35(1): 173-175.  
QI Xinhong, LI Xiaohua, HAN Zhenli, et al. Coal and Gas Outburst Risk Assessment of 9 Seam in Yangliu Mine [J]. Coal Technology, 2016, 35(1): 173-175.
- [7] 张忠爱,杨仁春. 渝黔铁路天坪隧道有害气体预测预报方法[J]. 隧道建设, 2017, 37(5): 618-621.  
ZHANG Zhongai, YANG Renchun. Prediction Method for Harmful Gas in Tianping Tunnel on Chongqing-Guiyang Railway [J]. Tunnel Construction, 2017, 37(5): 618-621.
- [8] 李敬. 《铁路瓦斯隧道技术规范》防突揭煤修订内容解读[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(3): 16-20.  
LI Jing. An Interpretation of Revision of Anti-outburst and Coal Mining at the Rock Wall in the "Technical Code for Railway Tunnel with Gas" [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3): 16-20.