

文章编号: 1674—8247(2017)06—0062—06

铁路瓦斯隧道瓦斯设防结构体系的构建

高 杨 朱 勇 曹 磊 李济良

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:随着工程建设的不断深入,铁路瓦斯隧道的瓦斯防护问题日益突出,现行规范及规定中关于瓦斯设防结构体系建设方面的不足也逐步显现,因此开展瓦斯设防体系构建方面的研究对系统性解决瓦斯防护问题具有重大现实意义。文章以铁路、公路相关规范中,瓦斯的设防要求研究为切入点,梳理其设防思路,解剖其设防结构体系,分析其存在的不足之处。并结合已建成瓦斯隧道瓦斯设防体系的实际功能和经验教训,总结确定了影响瓦斯隧道运营安全的关键因素,提出了瓦斯隧道的处理原则及构建原则,明确了瓦斯设防结构体系组织部分,对构建完备的铁路瓦斯隧道防护体系具有重大的指导意义。

关键词:铁路隧道; 瓦斯设防; 体系构建

中图分类号: U456.3⁺2

文献标志码: A

Construction of Gas Fortification Structure System for Railway Gas Tunnel

GAO Yang ZHU Yong CAO Lei LI Jiliang

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

Abstract: With the continuous deepening of engineering construction, the gas protection problems of railway gas tunnels have become increasingly prominent. The shortcomings of the current codes and regulations concerning the construction of gas fortification structural systems are also gradually emerging. Therefore, the research on the construction of gas fortification systems has great practical significance to solve the problem of gas protection systematically. Based on the research on the fortification requirements of gas in the railway and highway codes, this paper does up the thinking of gas fortification, dissects the gas fortification structure system and analyzes its deficiencies. And then combined with the practical functions, experience and lessons learned of the gas fortification system of the completed gas tunnel, the key factors influencing the operation safety of gas tunnels are summarized, the treatment principles and construction principles of gas tunnels are put forward, and the organizational part of gas fortification structure system is clarified, which has great guiding significance for building a complete railway gas tunnel protection system.

Key words: railway tunnel; gas fortification; system construction

TB 10120—2002《铁路瓦斯隧道技术规范》^[1]颁布实施已逾 15 年,这本参照和借鉴能源安规[1992]1017 号《煤矿安全规程》、煤安字[1995]30 号《防治煤与瓦斯突出细则》,在南昆线家竹箐隧道、天生桥隧道和达成线炮台山隧道等铁路瓦斯隧道修建技术科研及

工程实践基础上编制的首部瓦斯隧道技术规范,对铁路瓦斯隧道的设计、施工起到了重要的引领和指导作用。然而,随着大量瓦斯隧道修建和运营,TB 10120—2002《铁路瓦斯隧道技术规范》在瓦斯设防结构体系建设方面的不足逐步显现。为保证交通隧道的运营安

收稿日期:2017-11-13

作者简介:高杨(1960-),男,教授级高级工程师。

引文格式:高杨,朱勇,曹磊,等. 铁路瓦斯隧道瓦斯设防结构体系的构建[J]. 高速铁路技术,2017,8(6):62—67.

GAO Yang, ZHU Yong, CAO Lei, et al. Construction of Gas Fortification Structure System for Railway Gas Tunnel [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(6): 62—67.

全,有必要分析 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》所采用的瓦斯隧道设防思路,解剖其确定的瓦斯设防结构体系,总结已建成瓦斯隧道瓦斯设防体系的实际功能和经验教训。这将有助于把握瓦斯设防要素,建立瓦斯隧道设防标准,合理运用工程材料,构建安全、有效、合理、经济的瓦斯设防结构体系。

1 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》确定的瓦斯防治措施

瓦斯工区根据不同段落地层吨煤瓦斯含量、瓦斯压力等赋存条件,划分为非瓦斯地段和三级、二级、一级含瓦斯地段等级,并采取以复合衬砌封闭为主的组合防瓦斯措施,以此构建一个由多重封闭层组成的瓦斯设防结构体系。瓦斯地段等级划分如表 1 所示,衬砌防瓦斯措施如表 2 所示。

表 1 瓦斯地段等级划分表

地段等级	吨煤瓦斯含量 (m³/t)	瓦斯压力 P/MPa
三级	<0.5	P < 0.15
二级	≥0.5	0.74 > P ≥ 0.15
一级	—	P ≥ 0.74

表 2 衬砌防瓦斯措施表

封闭措施	瓦斯地段等级		
	三级	二级	一级
围岩注浆	—	—	选用
喷射混凝土中掺气密剂	—	选用	采用
设置瓦斯隔离层	—	采用	采用
模筑混凝土中掺气密剂	采用	采用	采用
模筑混凝土中掺钢纤维	—	—	采用
施工缝气密处理采用	采用	采用	采用

为防止地下水在全封闭衬砌后滞留引起水压上升,导致衬砌开裂而漏水、漏气,规范规定:在全封闭衬砌段内设纵向透水管,透水管终点宜设水气分离装置,分离出的瓦斯气体可用管道引出洞外,在高处放散。尽管该项措施不以降低瓦斯压力为目的,但具有部分排放瓦斯的能力。

TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》对瓦斯的防治以封闭瓦斯为基本原则,以围岩注浆封堵圈、初期支护、瓦斯隔离板、二次衬砌组合形成多重瓦斯封闭体系,以设置运营机械通风作为运营安全最终保障。

为了保证喷混凝土、衬砌混凝土对瓦斯的有效封闭,规范规定含瓦斯地段喷混凝土厚度不应小于 15 cm、模筑混凝土衬砌厚度不应小于 40 cm。掺气密剂的喷混凝土透气系数不应大于 10^{-10} cm/s,掺气密剂的模筑混凝土透气系数不应大于 10^{-11} cm/s。

尽管 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》给出了各瓦斯地段等级的原始瓦斯环境条件,但缺少

设置封闭结构后各级防瓦斯等级需达到的封闭标准,仅就运营通风提出了“瓦斯隧道在运营中,瓦斯浓度在任何时候、任何地点都不得大于 0.5%”的要求。

在运营通风中提出了“隧道内瓦斯浓度不得大于 0.5%,隧道内瓦斯浓度达到 0.4% 时必须启动风机,瓦斯浓度降到 0.3% 以下时可停止通风”。

2 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》的瓦斯设防体系和缺陷

TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》的瓦斯设防体系是以复合式衬砌为主体的封闭性结构,是以封堵与封闭为基本手段的封堵型设防体系。其瓦斯设防体系由围岩注浆封堵圈、喷气密性混凝土、瓦斯隔离层、气密性二衬组合而成,未主动采取瓦斯的排放减压措施。从这个意义看,其设防体系是不完善的。由于缺少采取封闭措施后,隧道内瓦斯状态的相关标准,针对不同的瓦斯赋存环境,封闭措施的确定、设计参数的选择、建筑材料的选用、封闭效果的评价都无根基,设防体系设计是盲目的。

隧道结构在施做相当一段时间内处于一个变化的围岩环境内。在煤系地层中,由于围岩变形较大、围岩状态调整时程较长,作为瓦斯封闭措施的围岩注浆封堵圈、喷气密性混凝土、气密性二衬多处于不稳定的工作环境内。这些改良的围岩、具有气密性能的材料均会产生材料劣化现象,不考虑此因素而试图控制瓦斯入渗量是困难的。尤其将复合式衬砌的初期支护——喷混凝土赋予了封闭瓦斯的功能,并要求厚度不小于 15 cm,是有违对初期支护与围岩共同变形的开裂变形特性基本认知的。因此,防瓦斯结构设防体系应有相应的预防或保障措施,而 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》仅提出混凝土掺加钢纤维增加衬砌抗裂性能、减少瓦斯入渗。

在瓦斯地层中,决定瓦斯入渗量的主要因素是瓦斯压力。除以鸡窝状赋存的煤体或囊状非煤瓦斯赋存体外,就隧道体量而言,地层瓦斯赋存量是巨大的,吨煤瓦斯含量对瓦斯入渗量影响不大。由于瓦斯压力是控制瓦斯入渗量的主要因素,降低封闭结构外部的瓦斯压力、排放部分地层瓦斯将在相同的瓦斯入渗量条件下,大幅简化瓦斯封闭结构体系设计和施工难度,提高封闭效果的保证率和工程的可行性。而 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》并未将瓦斯排放作为一个主要的瓦斯设防措施,缺少系统的瓦斯排放要求。

按照《煤矿安全规程》(2016 版)^[2],矿区各种工程部位、各主要工序安全生产瓦斯浓度的限值为 1.0%,与之相比,TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术

规范》对隧道内允许瓦斯浓度、风机启动瓦斯浓度、风机停止瓦斯浓度的要求过于苛刻,给封闭体系设计带来困难,使运营通风压力过大,尤其是对未实现分段通风条件的长或特长隧道。若衬砌施做后有较大量瓦斯渗入,此规定可能造成风机频繁启停或不间断工作。

除了封闭功能外,TB 10120-2002《铁路瓦斯隧道技术规范》对组成瓦斯设防结构体系各功能单元的作用、各功能单元的相互作用缺少综合分析,可能导致在措施选择时出现偏差。

TB 10120-2002《铁路瓦斯隧道技术规范》缺少隧道内瓦斯环境的标准,也就缺失了工程质量的评价基础,更难以建立运营监测、维护、设备劣化评价体系。

3 相关规范确定的瓦斯设防体系

3.1 TB 10003-2016《铁路隧道设计规范》中的瓦斯设防要求

TB 10003-2016《铁路隧道设计规范》^[3]提出煤系地层根据吨煤瓦斯含量和瓦斯压力两项指标划分瓦斯地段等级,非煤瓦斯地层按实测瓦斯压力确定,但未给出具体判定参数。明确了瓦斯隧道应根据瓦斯地段等级设置瓦斯设防段,将瓦斯地段等级作为设计基础。该规范是在已开始对TB 10120-2002《铁路瓦斯隧道技术规范》进行修编的情况下编写完成的,囿于规范分工,该规范对瓦斯隧道的规定是提纲挈领的,没有给出具体设计方法和参数。但从相关规定中可以看出,该规范已体现了对瓦斯须进行综合防治的基本概念。

(1)设计内容要求对瓦斯隔离和瓦斯排放进行系统设计,强调瓦斯设防段应根据瓦斯赋存条件,采用预注浆或开挖后注浆的方式减少瓦斯涌出量,对瓦斯压力大且补给源大的瓦斯地段,可结合辅助坑道条件等设置机械抽排系统。体现了对瓦斯防止实行排堵结合、综合治理的设计理念。

(2)规定瓦斯设防段应采用复合式衬砌,并根据瓦斯赋存和排放条件、围岩注浆及初期支护封闭效果,选择瓦斯隔离层、衬砌背后注浆、二次衬砌抗渗混凝土等措施。由不问效果的多层封闭改为按照需要选择封闭措施组合,逐渐清晰了瓦斯设防结构体系的设计概念。

(3)在TB 10003-2016《铁路隧道设计规范》的条文说明中,仍然将0.5%作为瓦斯隧道内瓦斯浓度限值,要求瓦斯浓度达到0.4%需启动风机通风直至将浓度降到0.3%。

3.2 JT 52/02-2014《贵州省高速公路瓦斯隧道设计技术指南》中的瓦斯设防要求

JT 52/02-2014《贵州省高速公路瓦斯隧道设计

技术指南》^[4]中,没有明确提出隧道防瓦斯结构体系的设计原则。从指南内容看,采用按含瓦斯地段瓦斯压力确定结构设防等级,根据不同设防等级采取注浆封堵、衬砌封闭、排气卸压等组合措施。衬砌结构进行防渗设计,采取隔离、封闭与加固措施,衬砌采用复合式衬砌以形成封闭瓦斯的多道防线。对于运营环境提出“瓦斯隧道运营中的浓度不得大于0.5%”的要求。

(1)JT 52/02-2014《贵州省高速公路瓦斯隧道设计技术指南》认为TB 10120-2002《铁路瓦斯隧道技术规范》设防等级考虑吨煤瓦斯含量指标时,Ⅱ、Ⅲ级吨煤瓦斯含量界限仅为0.5 m³/t,数值小、不合理,故仅根据含瓦斯地层瓦斯压力提出瓦斯隧道结构设防等级,如表3所示。

表 3 瓦斯隧道结构设防等级			
隧道结构设防等级	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
瓦斯压力 P/MPa	$P < 0.2$	$0.2 \leq P < 0.74$	$P \geq 0.74$

根据相关研究成果,当衬砌材料透气系数为 $1 \times 10^{-11} \text{ cm/s}$ 、瓦斯压力为0.2 MPa、隧道穿越瓦斯长度为50 m时,20 min瓦斯入渗量可达0.1 m³,可能造成瓦斯积聚,故将0.2 MPa作为Ⅱ、Ⅲ级分界指标。当瓦斯压力为0.74 MPa时,有突出危险性,压力大、入渗量也大,故将0.74 MPa作为Ⅰ、Ⅱ级分界指标。

(2)JT 52/02-2014《贵州省高速公路瓦斯隧道设计技术指南》提出,Ⅰ级设防地段宜采取“以排为主,排堵结合”的原则实施排气卸压,段落较长时宜在衬砌背后预埋通向大气的降压管,有平导时可从平导向正洞施做降压钻孔。这与其他规范、指南的规定不同。同时明确提出,瓦斯地层宜根据现场瓦斯含量及压力状况,结合衬砌设防等级,综合选用超前帷幕注浆、超前周边注浆、围岩径向注浆的堵气方式。由此可见,JT 52/02-2014《贵州省高速公路瓦斯隧道设计技术指南》强调采取综合的瓦斯处理措施,隐现了综合防治瓦斯结构体系的雏形,从其提出的公路隧道支护防瓦斯措施中可见一斑,如表4所示。

表 4 公路隧道支护防瓦斯措施			
防瓦斯渗透措施		设防等级	
		Ⅲ	Ⅱ Ⅰ
系统锚杆类型			宜采用注浆型 采用注浆型
初期支护最低要求	厚度	15 cm	
	强度等级	C20	C25
防水板(作为瓦斯隔离层)			宜全封闭 全封闭
二次衬砌最低要求	厚度	40 cm	
	强度等级	C30	C35
施工缝防气处理		1~2道	2道及以上

(3)Ⅰ、Ⅱ级瓦斯防护段瓦斯段排水系统的水气分离装置和顶部纵向排气管形成瓦斯排放系统,降低

瓦斯压力并减少可能的瓦斯入渗量。当瓦斯压力超过 0.5 MPa 时,除采用封闭式结构外,宜在衬砌背后注浆封闭瓦斯通路。设防等级为Ⅰ级且设防长度较长时,宜在衬砌后预埋通向大气的降压管。有平导时,可在平导内施做降压孔。

3.3 DB 51/T 2243 – 2016《公路瓦斯隧道技术规程》中的瓦斯设防要求

DB 51/T 2243 – 2016《公路瓦斯隧道技术规程》^[5]没有明确提出隧道防瓦斯结构体系的设计原则。从规程内容看,采用按含瓦斯地段瓦斯压力确定结构设防等级,根据不同设防等级采取以结构封闭为主要措施的复合衬砌结构以形成封闭瓦斯的的多道防线。对隧道内的瓦斯环境,通过运营通风设计中稀释瓦斯需风量的计算,间接提出隧道内瓦斯浓度为 0.5%。通风管理中要求隧道内瓦斯浓度大于或等于 0.3%时,应开启风机,大于或等于 0.5%时应禁止通行。

(1) DB 51/T 2243 – 2016《公路瓦斯隧道技术规程》按瓦斯压力确定衬砌结构防护等级,如表 3 所示。其依据、研究背景等与 JT 52/02 – 2014《贵州省高速公路瓦斯隧道设计技术指南》相同。

(2) DB 51/T 2243 – 2016《公路瓦斯隧道技术规程》注重复合衬砌自身的防瓦斯渗漏功能,强调瓦斯隔离板的隔离封闭作用,要求防护等级为一级的衬砌结构应设置全封闭瓦斯隔离层,防护等级为二级的衬砌结构宜设置全封闭瓦斯隔离层,施工缝的透气性系数为 1.0×10^{-11} cm/s,但对于围岩注浆封堵等措施比较淡化。其提出的衬砌结构防瓦斯措施如表 5 所示。

表 5 衬砌结构防瓦斯措施

防瓦斯措施		衬砌结构防护等级		
		一	二	三
喷射混凝土	厚度	15 cm		
	强度等级	C25	C20	
二次衬砌 (含仰拱)	厚度	40 cm		
	抗渗等级	P12	P10	P8
	强度等级	C40	C35	C30

(3) DB 51/T 2243 – 2016《公路瓦斯隧道技术规程》借助一、二级瓦斯防护段瓦斯段排水系统的水气分离装置和顶部纵向排气管形成瓦斯排放系统,降低瓦斯压力,并减少可能的瓦斯入渗量。

从以上分析来看,在瓦斯隧道建设积累经验的支撑下,各规范、规程、指南都不同程度地摒弃了 TB 10120 – 2002《铁路瓦斯隧道技术规范》的弊端和不足,瓦斯设防结构体系正逐步向综合防治的设计方法迈进,但由于所处地域不同,瓦斯隧道建设经历的差异,瓦斯设防结构体系的构建还缺乏一个清晰的技术

路线,设计原则还亟待厘清。

4 影响瓦斯隧道运营安全的关键因素

铁路瓦斯隧道影响运营安全的关键因素是瓦斯压力,直接因素是建成或运营后隧道瓦斯的浓度。煤矿系统长期的安全生产实践表明,在通风状态良好的前提下,矿井内瓦斯浓度在 1.0% 及以下时,正常的生产活动是安全的。因此,可以认定,隧道内瓦斯浓度是隧道运营安全的上限,或称其为红线。只要隧道内任何时间、任何地点瓦斯浓度低于 1.0%,隧道内的运营活动、工程活动就是安全的。为有效管控隧道内的瓦斯浓度,应综合考虑隧道的重要性、隧道内个别区域人员聚集的可能、瓦斯出现局部异常所需要的处置响应过程、隧道长度、隧道内救援应急通风设备功能等,将隧道或隧道区段按允许瓦斯浓度划分为若干瓦斯环境等级,进行瓦斯浓度的控制管理。这也就是建立了瓦斯隧道的设防标准,满足相应标准就可进行相应的工程和运营活动,但若出现瓦斯意外,突破了这一标准,则应启动或加强通风、维修等,使隧道内瓦斯浓度恢复到允许范围内,以确保运营安全。导致建成隧道出现瓦斯环境改变的原因有以下几个主要方面:

(1) 扰动后,开挖硐室对周边瓦斯的袭夺、吸引作用,造成滞后性地出现瓦斯涌入量加大和地层瓦斯压力的逐渐回复,当瓦斯排放系统出现堵塞、失效时,瓦斯压力及涌入量将快速增加。

(2) 在岩性较软的含瓦斯地层,尤其是煤系地层中,围岩变形的时程往往较长,但衬砌结构工作环境变化导致围岩封堵圈、二次衬砌结构出现破损时,会导致瓦斯涌入量的急剧变化。

(3) 建筑材料劣化是一个不容忽视的重要因素。设计选择瓦斯隔离板、高抗渗性混凝土作为封闭瓦斯材料,由于施工工艺等因素的影响,材料性能会产生实际上的“劣化”,而随着时间的推移,材料性能会出现真正的劣化,这些问题都可能致使瓦斯涌入量的增加。

5 瓦斯隧道的“堵、排、封、风”措施的综合运用

在赋存瓦斯的环境中,在瓦斯运移、压力等的长期作用下,任何材料的防有机气体渗透都有其局限性。绝对隔绝瓦斯是不可能的,将瓦斯渗透降到一个极低的水平将严重影响隧道施工、材料选择和工程投资,而实际上,隧道内瓦斯浓度保持在一定水平以下是可以保证安全运营的,这一安全的瓦斯水平是受瓦斯赋存条件、瓦斯隔离措施、隧道长度及断面、自然风及列车风的影响、运营通风设备能力及运行模式诸因素控制

的。不同的隧道可以有不同的允许瓦斯浓度、隧道内相同的允许瓦斯浓度可以采用不同的瓦斯封堵、排放、封闭等措施组合得以实现。高杨等人在《铁路瓦斯隧道分类分级标准探讨》^[6]一文中,按洞内允许的瓦斯浓度将瓦斯隧道瓦斯环境等级分为一至五级,以此为基础,本文提出“建立瓦斯设防结构体系,以防止瓦斯向隧道内过度渗透”的理念。

要减少入渗隧道的瓦斯量,首要是限制外部瓦斯的来源。对断层、节理密集带等瓦斯运移通道,结合施工加强围岩的预加固,采取注浆方式封堵瓦斯运移径路,减少隧道开挖对周边瓦斯的袭夺;对于煤层则可通过注浆降低煤体渗透性;采用“堵”的方式可有效减少地层对入渗瓦斯的补给。

入渗隧道的瓦斯量是随外部瓦斯压力增加而增加的,瓦斯压力足够大时带来的结构破坏,会导致封闭瓦斯的衬砌丧失封闭作用。采用设置完善的地层挖排放系统进行“排”,不仅可有效降低瓦斯压力,还能通过排放分流减少入渗瓦斯的补给。可以说排放是减少瓦斯入渗、维护瓦斯隧道运营瓦斯环境最为有效的手段。

采用瓦斯隔离层、气密性二次衬砌的目的是构筑一道封闭瓦斯的重要防线,也是目前瓦斯隧道减少瓦斯入渗量的主要手段,在瓦斯隧道设计初期甚至是唯一手段。多年的瓦斯隧道修建经验告诉我们,尽管“封”是对瓦斯处理的有效手段,但由于设计方法的缺陷、施工工艺的瑕疵、材料劣化等导致的整体封闭效果不佳的情况时有发生。

隧道通风是保证隧道内瓦斯环境符合安全要求的最后一道防线,也是隧道建成后应对瓦斯意外情况的唯一手段。

如同隧道对地下水的处理一样,单纯依靠衬砌、瓦斯隔离层被动封闭,存在相当的技术难度,个别条件下甚至是不可行的。因此建立衬砌背后瓦斯引导排放(包括主动引排和被动引排),降低瓦斯压力、减少瓦斯补给来源,分流并控制可能进入隧道的瓦斯量可能会事半功倍,且能避免现有建筑材料固有的弱点和结构对工作环境的依赖性。煤系地层,尤其是具有煤与瓦斯突出危险性的煤系地层,由于较大断面铁路隧道开挖和防突的需要,对围岩进行加固是常用手段,充分利用这一手段,在加固围岩的同时,对岩体中瓦斯渗透通道进行封堵,也可起到减少瓦斯入渗、降低瓦斯入渗压力的作用。隧道内瓦斯浓度是直接决定运营安全的条件,在采用上述措施后,通风是保证和维护运营隧道瓦斯环境等级的最后措施。基于以上认识,单一的瓦斯处理措施都有其局限性,要有效防治瓦斯,就应该综合运用“堵、排、封、风”的措施,建立完善的瓦斯设防

结构体系。本文认为“加强围岩封堵、重视引导排放、适度隔离封闭、辅以系统通风、确保运营环境”应作为铁路瓦斯隧道瓦斯防治处理和瓦斯设防结构体系构建的基本原则。

6 瓦斯隧道瓦斯设防结构体系的构建

复合式衬砌的结构形式可采用多种材料形成多层的瓦斯隔离、封闭结构,较为适合构建具有不同组合功能的防瓦斯结构,故瓦斯设防结构体系应采用复合式衬砌为主体。根据瓦斯赋存条件、不同工程措施组合的防瓦斯效果和隧道内容许瓦斯浓度(运营隧道瓦斯环境等级)进行优化选择,根据需要进行组合,充分发挥各单元的功能优势,而不片面地采用所有措施,以达到“措施合理、风险可控、运行安全、工程经济”的要求。构建瓦斯设防结构体系的功能单元及其功能如下:

(1)围岩封堵圈:当瓦斯赋存量大,补给条件好,瓦斯压力大,对施工安全、通风、运营安全影响显著时,利用预注浆、径向注浆等方式在隧道周边一定范围内封闭、修复围岩裂隙,封堵瓦斯运移通道,形成围岩封堵圈,减少周边瓦斯向隧道运移、渗透。同时起到加固围岩、形成稳定衬砌工作环境的作用。对于突出煤层,还可利用注浆提高煤(岩)体强度,降低突出风险或控制突出规模。

(2)初期支护:按围岩稳定需要以喷射混凝土、钢架、锚杆等组合构建,主要功能为控制围岩变形、减少或修复围岩损伤、防止围岩裂隙的过度发展,维护围岩封堵圈的结构性能和对瓦斯渗透通道发展的约束功能,保证隧道二次衬砌工作在一个相对稳定的工作环境中。根据试验,C20 喷混凝土材料本体透气系数大于 1.0×10^{-10} cm/s, C25 喷混凝土材料本体透气系数小于 1.0×10^{-10} cm/s,都具有相当的抗气体渗透能力。但新奥法的基本原理是允许初期支护随围岩变形而变形开裂,在以软弱围岩为主体的煤系地层,这种变形开裂更为明显,裂缝将成为气体渗透的主要通道。故初期支护从结构受力变形特性上不具备抗气体渗透的性能,单纯增加厚度或采用气密性材料,不能改变这一基本属性。喷混凝土的砂浆虽具有局部封闭围岩裂隙的作用,但其保证率较低,封闭裂隙瓦斯的能力并不强。喷混凝土厚度应根据控制围岩变形、保持初期支护系统刚度的需要确定。基于此,应取消喷混凝土厚度不小于 15 cm,可选用气密性混凝土的规定。

(3)瓦斯引排系统:设置于初期支护与瓦斯隔离层之间,其主要功能为分流、引排渗入初期支护的瓦斯,减少向瓦斯隔离层和二次衬砌渗透的瓦斯量,降低

渗透压力。可采用铺设透气管路与洞外排放系统连接的被动引排方式。对瓦斯补给源广泛、瓦斯压力大且恢复快的地段,也可采用机械抽排的主动引排方式。瓦斯引排系统应充分利用隧道所设置的辅助坑道作为引排通道或实现分段引排。实际设计中,可根据所选择的隔离层、二次衬砌材料和厚度,结合隧道内允许瓦斯浓度,反算作用于衬砌外缘的允许瓦斯压力,此压力与地层瓦斯压力差是排放方式选择、管路设计的基础。

(4) 瓦斯隔离层:设置于初期支护与二次衬砌之间,以本体透气性系数不大于 1.0×10^{-15} cm/s 的高分子卷材为主体,与防刺穿垫层共同构成。影响瓦斯隔离层对瓦斯封闭效果的主要因素是卷材的接缝、悬挂点等防渗漏薄弱点,应采用宽幅卷材,尽量减少接缝。也可采用具有防瓦斯功能的聚合物,通过喷膜工艺无缝构建。

(5) 二次衬砌:是瓦斯隔离的措施之一,也是保护瓦斯隔离层的重要措施。一般由具有较高抗气体渗透能力的混凝土构成,其施工缝、变形缝应采用相应的封闭措施,若采用无缝法施工或能降低瓦斯隔离层接缝的渗透性,二次衬砌可仅采用普通混凝土。作为抵御瓦斯向隧道内渗透的最后一道防线,考虑隧道内设备、器件的安装影响,二次衬砌厚度不应小于40 cm。其材料的抗气体渗透能力根据对外圈瓦斯封闭和排放效果的预估和隧道内允许瓦斯浓度确定。根据试验,按正常工艺制作的混凝土,强度越高,其抗渗等级越高、抗气体渗透能力越强。采用改善混凝土配比、提高混凝土强度的常规措施,尤其是调整混凝土骨料级配,可提高混凝土抗气体渗透能力。根据成贵铁路工地试验成果,按目前工地混凝土的生产方式,使混凝土透气系数小于 1.0×10^{-12} cm/s 并非难事。提高混凝土本体抗渗透性固然重要,但防止混凝土衬砌结构性裂缝、非结构性裂缝的产生和发展对确保衬砌具有预想的抗瓦斯渗透功能同样重要。考虑到隧道结构长期处于围岩应力、应变不断调整的环境中,故提出二次衬砌工作应在一个相对稳定的荷载环境中进行,即保证二次衬砌的工作环境,防止衬砌结构开裂,破坏其整体抗渗功能。施工过程中应采取加强初期支护、适时施作二次衬砌等措施。同样,混凝土收缩、徐变引起的非结构性裂缝的贯通会降低抗渗能力,当这些裂缝受衬砌工作环境改变演化为结构性裂缝时,影响会更大,采用纤维混凝土、钢筋混凝土可以较好地抑制裂缝的产生和发展。

(6) 机械通风:保证洞内瓦斯环境等级,防止瓦斯集聚,一般可结合隧道运营通风、维修换气通风、防灾

救援通风需要设置,也可独立设置。设计应考虑自然风、列车活塞风的影响。

7 结束语

瓦斯隧道的瓦斯防治必须建立隧道瓦斯设防标准,或称隧道瓦数环境等级。在瓦斯安全限值的控制下,根据隧道特征、功能等因素,管控运营期间隧道内瓦斯浓度确保安全,因此建立隧道瓦斯设防标准是构建瓦斯设防结构体系的基础。

与地下工程防排水工程相似,瓦斯隧道的瓦斯处理应该遵循“以排放为主、以封堵为辅、因地制宜、综合防治”的处理原则,瓦斯设防结构体系应采用“加强围岩封堵(堵)、重视引导排放(排)、适度隔离封闭(封)、辅以系统通风(风)、确保运营环境”的构建原则。

瓦斯设防结构体系由围岩注浆封堵圈、初期支护、瓦斯排放系统、瓦斯隔离层、二次衬砌、运营通风系统六个功能单元组成,既各司其职,又相辅相成,设计、施工都应根据瓦斯赋存的原始条件,按照保证运营安全的需要进行选择组合。在实施过程中,通过对瓦斯的监测检测,进行信息化动态设计与施工。

瓦斯检测、监测系统和设备运行的信号、通讯、控制系统是隧道瓦斯防治的另一个重点,是保证瓦斯防治系统有效运转、确保运营安全不可或缺的重要组成部分,需另行加以研究。

参考文献:

- [1] TB 10120 - 2002 铁路瓦斯隧道技术规范[S].
TB 10120 - 2002 Technical Code for Tunnels in Gas - contained Ground[S].
- [2] 国家安全生产监管总局令[2016] 第87号,煤矿安全规程[S].
State Administration of Work Safety Order [2016] No. 87, Coal Mine Safety Regulations[S].
- [3] TB 10003 - 2016 铁路隧道设计规范[S].
TB 10003 - 2016 Code for Design of Railway Tunnel[S].
- [4] JT 52/02 - 2014 贵州省高速公路瓦斯隧道设计技术指南[S].
JT 52/02 - 2014 Design Guidelines for Expressway Gas Tunnel in Guizhou Province[S].
- [5] DB 51/T 2243 - 2016 公路瓦斯隧道技术规程[S].
DB 51/T 2243 - 2016 Technical Regulation for Highway Gas Tunnel [S].
- [6] 高杨,杨昌宇,郑伟. 铁路瓦斯隧道分类分级标准探讨[J]. 隧道建设,2017,37(11):1-7.
GAO Yang, YANG Changyu, ZHENG Wei. Discussion on Standards of Classification of Railway Gas Tunnel [J]. Tunnel Construction, 2017,37(11):1-7.

(编辑:刘会娟 张红英)