

瓦斯隧道 施工技术与管埋

WASI SUIDAO SHIGONG JISHU YU GUANLI

雷升祥 著

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY & ROAD TRANSPORT PUBLISHING HOUSE

100045 Beijing, China

内 容 简 介

本书总结了国内外瓦斯隧道施工的实践与经验,从理论上分析了瓦斯隧道的基本属性、瓦斯爆炸的条件、煤与瓦斯突出的预测预报,以及预防煤与瓦斯突出的措施,重点介绍了瓦斯隧道施工通风设计方法、瓦斯隧道爆破技术与工艺、瓦斯隧道施工机械化配套模式,同时结合隧道工程实践,介绍了揭煤施工技术和瓦斯隧道监测安全综合管理等方面的经验和做法。

本书可供隧道及地下工程建设者包括建设、设计、科研、施工、监理工作者以及大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

瓦斯隧道施工技术与管理/雷升祥著. —北京:
中国铁道出版社,2011.9
ISBN 978-7-113-12665-0

I. ①瓦… II. ①雷… III. ①瓦斯隧道—隧道施工
IV. ①U459.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 034499 号

书 名: 瓦斯隧道施工技术与管理
作 者: 雷升祥 著

责任编辑: 陈小刚 电话: 010-51873065 电子邮箱: cxgsuccess@163.com
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 张玉华
责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 三河市华业印装厂
版 次: 2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷
开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 14 字数: 272 千
书 号: ISBN 978-7-113-12665-0
定 价: 39.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010) 51873170, 路电(021) 73170(发行部)
打击盗版举报电话: 市电(010) 63549504, 路电(021) 73187

前言

伴随着隧道及地下工程的修建，大量的地质灾害接踵而至，造成了严重的生命和财产损失，教训惨痛。人们在改造自然过程中，也在不断地认识自然，探索自然规律，防止灾害发生。瓦斯事故是隧道及地下工程中一个重要的地质灾害，给建设者们带来了巨大的威胁。研究瓦斯隧道施工技术对于预防瓦斯突发性事故，减少灾害性损失具有极其重要的意义。

瓦斯隧道属于高风险隧道，施工难度大、技术要求高、安全风险大。要保障瓦斯隧道施工安全，从管理角度讲，必须做到：讲科学、循规章、抓通风、重监控、强基础。

必须讲科学。施工方案要科学合理，设备配备要科学合理，防范措施要科学合理，来不得半点虚伪，来不得一丝大意。切忌不讲标准、不按标准施工；切忌盲目蛮干、违章作业、违章指挥、心怀侥幸。

必须循规章。违章就是违法，违章就是犯罪，违章就是杀人！纵容、迁就违章也是犯罪！规章制度是用鲜血换来的总结，所以执行制度不能打折扣，安全管控要做到“一个工点不漏、一个死角不留、一个环节不缺”。工作要不凑合、不麻木、不盲目，治理要下重手、出重拳、用铁律。安全工作管多严都不算严，管多宽都不算宽，管多远都不算远。宁听骂声不听哭声。

必须抓通风。瓦斯隧道的通风是安全的重要环节。良好的通风设计、通风方案、通风专业化管理是降低瓦斯积聚、降低瓦斯浓度、保障瓦斯在安全浓度范围内的关键手段。

必须重监控。按照规范要求，对各工作面进行实时监测，收集、分析、反馈信息。准确而及时的信息是科学决策的基础。

必须强基础。方案审查是安全的技术基础。总经理、总工程师要负起技术方案和施工组织设计的审核工作，选定科学的方案、合理的工法，严格执行相关规范及规程，实施标准化作业。教育培训是安全的素质基础。要在项目工地建立“职工夜

校”，对全体参建职工进行技术、安全和质量教育培训，切实使职工明白什么是危险、什么不能做，真正做到“正确地做事，做正确的事”，提升全员的技术素养、安全意识及整体素质。工程队是安全的作业基础；没有专业化的工程队、架子队，靠分包、大包，安全工作就可能随时出现漏洞。工程队是标准化作业的基础，标准化作业是安全的管理基础。标准化、规范化作业，防止盲目蛮干、不懂装懂、瞎指挥、违章违规是堵塞安全漏洞的重要举措。只有坚持“上标准岗、做标准事”，安全才能有保障。

从技术角度来说，在组织瓦斯隧道施工中，我们需要掌握瓦斯的属性、爆炸与煤层突出的条件、瓦斯隧道的通风、瓦斯隧道的设备配套、瓦斯隧道预报与监测、瓦斯隧道的爆破、瓦斯隧道施工工艺、气密性混凝土等等。

我现在虽然主要从事管理工作，但仍然深爱着我的专业，从来没有放松过对隧道施工技术的研究与学习，特别是对预防隧道施工风险，确保施工安全倾注了一定的心血与精力。我融汇十一年前在研究生阶段学习研究的成果，并结合近年来瓦斯隧道施工技术、工法及装备技术的发展，重新深化研究并集成此书，旨在对瓦斯隧道施工有所指导，特别是随着西南地区高速铁路项目的上场，应对大量瓦斯隧道施工更显借鉴之义。在成书过程中，参考了大量的文献资料，在书后进行了列举，仍担心挂一漏万，如未列出，对原作者深表歉意。

在此，特别感谢我的导师，西南交通大学土木学院院长、博士生导师高波教授给予我的倾心指导，他治学严谨，教诲不倦，他的工作作风、学术造诣、师德品格都使我终身受益；感谢我的同事罗汝洲等在编辑过程中的辛苦工作；感谢中国铁道出版社；感谢我的夫人李淑媛对我工作的倾情支持！

限于水平，有些问题研究得不够深刻，论述也未必适当，疏漏甚至错误之处在所难免，诚请专家和读者不吝赐教，予以斧正！如蒙赐教，请发邮件至：leishengxiang@cr13g.com，不胜感激。

雷升祥

2010年9月12日于北京

目 录

第 1 章	瓦斯隧道概述	1
第 2 章	瓦斯的基本属性	8
2.1	瓦斯的组成	8
2.2	瓦斯的形成	10
2.3	瓦斯的特性	11
2.4	瓦斯的储存	12
2.5	煤的吸附与解吸	15
2.6	瓦斯压力	17
2.7	瓦斯放散初速度	18
第 3 章	瓦斯爆炸	19
3.1	瓦斯爆炸的基本理论	19
3.2	瓦斯爆炸的危害	20
3.3	瓦斯爆炸的条件及其影响因素	24
3.4	煤尘爆炸	28
3.5	矿井灭火	29
3.6	瓦斯爆炸典型案例	33
3.7	瓦斯爆炸原因分析	38
3.8	瓦斯爆炸的预防措施	39
第 4 章	煤与瓦斯突出	43
4.1	煤层瓦斯突出的征兆	44
4.2	煤与瓦斯突出的一般规律	44

4.3	岩石与二氧化碳的突出·····	46
4.4	工作面瓦斯的涌出规律·····	46
第5章	煤与瓦斯突出的预测预报 ·····	54
5.1	可燃性瓦斯检测方法的种类及仪器·····	55
5.2	瓦斯监测的内容·····	62
5.3	煤与瓦斯突出的预测预报·····	62
5.4	监测仪器与手段·····	72
5.5	华蓥山隧道施工监测·····	74
第6章	煤与瓦斯突出预防 ·····	78
6.1	防突一般措施和程序·····	78
6.2	防突措施·····	80
第7章	瓦斯隧道施工组织 ·····	85
7.1	综合调查分析·····	85
7.2	确定瓦斯隧道等级·····	85
7.3	低瓦斯隧道施工·····	85
7.4	制订施工技术方案·····	86
7.5	制定施工管理制度·····	86
7.6	制定安全施工规程,编制施工工艺细则·····	92
7.7	动态设计动态施工·····	92
7.8	成立专门队伍·····	93
7.9	瓦斯隧道的次生问题·····	93
7.10	瓦斯隧道施工特殊管理系统·····	99
第8章	瓦斯隧道爆破施工技术 ·····	100
8.1	开挖断面·····	100
8.2	爆破器材·····	101
8.3	爆破工艺·····	106
8.4	案例:华蓥山隧道爆破实践·····	109
第9章	瓦斯隧道通风 ·····	113
9.1	通风设计流程·····	113

9.2	洞内有害气体的种类和性质	113
9.3	通风设计标准	115
9.4	通风设计参数	116
9.5	瓦斯隧道施工通风量的计算	117
9.6	有效通风长度	118
9.7	瓦斯超限与积聚	122
9.8	通风管理	124
9.9	案例:华蓥山隧道施工通风设计	126
第10章	揭煤段施工方法	130
10.1	揭煤施工流程	130
10.2	揭煤段施工工艺	131
10.3	石门揭煤	136
10.4	案例:华蓥山隧道的揭煤施工	137
10.5	瓦斯隧道塌方处理技术	144
第11章	瓦斯隧道施工机械配套	146
11.1	瓦斯隧道施工设备配套原则	146
11.2	隧道运输方式的选择	147
11.3	隧道瓦斯爆炸危险性评判	148
11.4	防爆设备选型的判据	148
11.5	防爆设备的分类	149
11.6	防爆设备	150
11.7	瓦斯隧道防爆设备配套方案	164
11.8	施工供电	165
11.9	瓦斯检测仪器	167
11.10	洞内机电设备管理若干规定	167
第12章	瓦斯隧道衬砌	169
12.1	混凝土的孔结构	169
12.2	瓦斯隧道永久衬砌结构	169
12.3	气密性混凝土配合比试验及检测	171
12.4	瓦斯隧道衬砌结构施工工艺要求	176

第 13 章	瓦斯隧道地质超前预报	178
13.1	瓦斯隧道地质超前预报的特点	180
13.2	瓦斯隧道地质超前预报方法的选择	180
13.3	案例	181
第 14 章	瓦斯隧道危险源辨识与应急预案	185
14.1	瓦斯隧道危险源辨识	185
14.2	瓦斯隧道应急预案	189
第 15 章	瓦斯隧道安全综合管理	203
15.1	安全理论	203
15.2	瓦斯隧道预防和控制措施	205
15.3	安全检查	205
15.4	案例 1:家竹箐隧道瓦斯安全管理	206
15.5	案例 2:华蓥山隧道瓦斯安全管理	208
参考文献	211

第 1 章 瓦斯隧道概述

瓦斯事故是隧道及地下工程的一种重要的地质灾害。全世界自有煤矿工业以来最大的一次瓦斯爆炸事故,发生于 1942 年 4 月 26 日我国本溪煤矿,死亡 1 527 人。这是在日本侵略时期,煤矿瓦斯爆炸引发了一系列煤尘爆炸造成的。

随着科学技术的不断发展,瓦斯防治技术日新月异。但由于瓦斯的突发性和变化性特点,一些瓦斯爆炸事故仍不断发生,有的后果惨重,教训极其惨痛。如 2010 年 3 月 31 日 19 时 22 分,河南省洛阳市伊川县国民煤业公司发生一起特大煤与瓦斯突出事故,并引起瓦斯涌出井口发生爆炸和燃烧,造成 44 人遇难、4 人失踪、4 人受伤;2010 年 7 月 31 日凌晨 2 点 40 分,山西阳泉煤业集团刘沟煤矿,一阵沉闷的爆炸声在煤矿职工宿舍附近响起,距离爆炸地点最近的 6 排职工宿舍瞬间被气浪推倒,造成 17 人死亡、104 人受伤,其中 7 人伤势严重;2010 年 8 月 3 日 8 点 58 分,贵州省遵义市仁怀市明阳煤矿发生一起煤与瓦斯突出事故,造成 16 人死亡。

许多事故的发生,从技术角度看,基本上是人们缺乏瓦斯防治科学技术,违背科学规律,盲目蛮干,所从事作业的劳动者素质不足以承担这类高风险作业等原因造成的。但也要看到,煤矿安全事故的频发,不全是技术因素造成的,很大程度上是利益驱动的结果,是不讲安全、不愿投入、疯狂而破坏性开采的恶果。

在铁路、公路交通隧道施工领域,瓦斯隧道施工技术相对于煤矿行业仍处于落后状态,事故并不鲜见。如 1959 年 1 月 27 日和 6 月 26 日,贵昆铁路岩脚寨隧道施工中发生两起瓦斯爆炸事故,70 余人遇难,伤亡惨重,并烧毁支撑 131 排,引起塌方,被迫停工 76 d;1994 年达成线炮台山隧道瓦斯爆炸事故,死 13 人,伤 3 人;2005 年 12 月 22 日下午 2 时许,四川都汶高速董家山隧道右洞施工过程中,发生特大瓦斯爆炸事故,死亡 44 人,11 人受伤。表 1.1 为国内典型瓦斯隧道施工情况。

据统计,在以往所建成的 4 886 座(1989 年统计数据)总长 2 270 km 的隧道中,瓦斯隧道仅有 11 座总长 33 km。从这些数据可以看出,瓦斯隧道只占众多各种类型隧道工程的 1.45%。瓦斯隧道比例少、施工经验少、技术发展落后、防爆施工装备不配套、没有系统的管理制度与规程是造成这种局面的客观原因。

煤矿行业防治瓦斯技术明显处于交通隧道防治瓦斯技术的前列,而煤矿地下巷道施工与交通隧道施工中的防治瓦斯技术,有其共性,又有其特殊性,完全教条地生搬硬套,执行起来有难度,实施过程有困难,会带来一系列问题。如瓦斯浓度 0.3%

作为一般隧道与瓦斯隧道施工的分界控制线,确实很严格,也很安全。超过 0.3%浓度标准,若按照《煤矿安全规程》施工,全部配置防爆设备,势必大大增加隧道工程造价,很可能造成浪费;若不配置防爆设备,又怕万一瓦斯爆炸造成重大事故。比较起来,二者至少存在一定的差异,见表 1.2。

表 1.1 国内典型瓦斯隧道施工情况

序号	隧道名称	隧道类别	隧道全长 (m)	煤层瓦斯情况	主要防治瓦斯技术措施	施工情况
1	家竹箐	铁路单线	4 990	①穿越煤层厚 0.5 m 以上煤系地层 26 层。 ② 瓦斯含量高达 20.17 m ³ /t, 最大压力 1.585 MPa	①钻孔探测。 ②钻孔排放。 ③巷道式通风。 ④其他措施	①发生瓦斯强喷最多一次喷煤粉 5 t。 ②大变形
2	岩脚寨	铁路单线	2 714	穿普(定)郎(岱)煤田,进口段长 948 m 段为三迭系乐平煤地层,隧道 7 次穿煤,最大厚 8.92 m,最大瓦斯逸出量达 150 m ³ /h		①1959 年 1 月 27 日平导掘进 242 m 发生爆炸。 ②1959 年 6 月 26 日非防爆开关引发第二次爆炸。两次爆炸重大人员伤亡
3	中梁山	公路双线	左:3 160 右:3 130	通过龙潭组煤系地层		发生瓦斯燃烧停工 89 d
4	炮台山	铁路单线	3 078	通过侏罗系红色地层,曾发生隧道下 2 600 m 以下伏二叠系许家阁煤系瓦斯上逸出	改过去压入式通风改为巷道式通风	1994 年 4 月 3~4 日,先后在出口平导内发生瓦斯燃烧,爆炸,死亡 13 人
5	沙木拉达	成昆线	6 379	在通过白垩系红色岩层时,曾发生大量有害气体		造成 51 人晕倒
6	云台山	侯月	8 145	隧道穿越 1 850 m 煤系地层,5 次遇煤,瓦斯逸出量 0.037~0.42 m ³ /min,瓦斯压力 0.09~0.32 MPa	①巷道式通风。 ②进口及斜井工区采用防爆设备	
7	华菱山	公路双线	左:4 706 右:4 684	左右线分别两次遇煤,最大煤层厚度 3.75 m,设计提供最大瓦斯逸出量 17.68 m ³ /min,瓦斯压力 1.87 MPa	①双管路通风。 ②无轨运输	
8	分水	铁路单线	4 747	煤层为侏罗系下统珍珠冲组及三叠系上统须家河组,煤系地层总长约 2 760 m,穿煤总长小于 7 m	①巷道式通风。 ②进口按瓦斯隧道设防	

续上表

序号	隧道名称	隧道类别	隧道全长 (m)	煤层瓦斯情况	主要防治瓦斯技术措施	施工情况
9	乌蒙山1号	六沾复线	6 451	平均海拔在 2 200 m 以上,地质复杂,有溶洞、涌泥、突水、泥岩、煤层、瓦斯等,是我国铁路现有隧道开挖典型的高瓦斯隧道重难点工程之一		
10	朱嘎隧道		5 194	在 DK444 + 140 ~ +210段揭露 P2(梁山组)煤系地层,共计 6 层煤,最大埋深 355 m。瓦斯压力为 1.34~1.7 MPa,厚度为 0.2~2.1 m,含量为 11.5~12.74 m ³ /t	根据地质超前预报结果采取措施,最终顺利通过煤层	有轨运输
11	上清河		4 238	横穿普洱山背斜,轴部为断层,断层裂缝下约 40 m 伏有超级瓦斯煤层,隧道穿越 P2L 煤系地层		开挖至 DK1+216 即将进入断层带时,坑道四周有大量地下水涌水,并伴有瓦斯溢出,其中大量瓦斯喷出有两次
12	新寨		4 409	进口段及中部主要为泥盆系、石炭系和二叠系石灰岩、白云岩等可溶性岩层,在中部穿越石炭系下统大塘阶旧司组(C _{1d})煤系地层。隧道穿过箐门倒转背斜的轴部,厚 50~160 m	施工至 K365+290 时遇到煤系地层,确认煤层共 5 层,煤厚 0.8~1.5 m,瓦斯压力 0.86~1.58 MPa	对设计掘煤措施作了一些调整,安全通过煤系地层
13	金洞		9 108	进口段穿过两处瓦与煤系地层,在 DK337+480~+520 穿越吴家坪组含煤地层,煤层厚 0.2~1.05 m;在 DK338+600~+650 穿越梁山组含煤地层,煤层厚 0.05~0.15 m	研究制订了瓦斯与煤系地层施工技术及安全措施,收到良好效果,确保了安全施工	

序号	隧道名称	隧道类别	隧道全长 (m)	煤层瓦斯情况	主要防治瓦斯技术措施	施工情况
14	歌乐山		4 050	隧道近垂直穿越中梁山,属剥蚀低山地貌,最大埋深 280 m。穿越地层主要有砂黏土、砂岩、泥岩夹砂岩及灰岩以及薄层煤等	进口段煤层瓦斯压力 0.23 MPa,瓦斯溢出量 0.1~0.2 m ³ /min。灰岩地层中甲烷含量 0.6%,CO ₂ 0.18%,甲烷绝对溢出量为 0.06 m ³ /min	
15	曾家坪 2 号		2 478	所穿越地层内含瓦斯,岩性主要为页岩	估算瓦斯含量为煤含量的 20% (游离瓦斯),页岩层瓦斯含量为 0.052 m ³ /t	
16	天生桥		2 450	隧道穿越砂岩、白云岩、页岩、石灰岩和煤等岩层。其中在 DK656+830~657+210 段穿越 10 层煤,部分有突出危险,被列为瓦斯防范段	最大瓦斯压力 1.2 MPa,最大瓦斯含量为 10.43 m ³ /t,属于高瓦斯隧道	
17	新苏家寨		698	在 DK134+756~+794 穿越 30# 煤层,厚 0.4~0.8 m,埋深浅且隧道位于瓦斯风化带内,属于瓦斯隧道,无瓦斯突出现象	采用分段防爆及瓦斯综合治理措施,将瓦斯浓度降到 0.25% 以下,安全顺利通过瓦斯段	
18	正阳		3 364	隧道中部有 2 段煤系地层,距进口端 1 100 m 处煤系地层为你岩、页岩夹煤线,埋深 230 m;距出口端 1 590 m 处煤系地层为灰岩夹煤、黏土岩,紫红色泥岩中间夹 3 m 左右煤层,埋深 180 m	由于采取了合理的通风方式,有效地控制了隧道内瓦斯浓度,安全完成隧道施工任务	

从施工上看,煤矿部门通过多年积累,有行之有效的生产管理制度,有专门的防爆防突装备,有经验丰富的专业队伍,有配套的应急救护机构,而交通部门在这一方面尚有差距。

研究瓦斯隧道施工技术,意义重大:①现实意义。当前,高速铁路建设隧道较多,特别是西南地区存在大量的瓦斯隧道。研究瓦斯隧道施工技术对于交通隧道的施工具有直接的指导作用,特别是合理的机械配套、合理的通风方案、合理的揭煤方案等等对工程进度、工程投入、工程质量、工程安全具有最直接的影响,起关键性作用。②社会意义。研究瓦斯隧道施工技术对防止瓦斯隧道施工发生爆炸、煤层突出等事故具有特别重要的社会意义。技术发展与进步可以直接指导施工,避免各类事故,避免人员伤亡。③经济意义。研究成熟的瓦斯隧道施工技术,对少走弯路,减少投入,节约资金,提高经济效益具有特别重要的作用。④技术意义。研究形成一套成熟的瓦斯隧道施工技术,有利于科技进步,为今后瓦斯隧道施工积累宝贵的经验。

表 1.2 煤矿与交通隧道区别

序号	项 目	交通隧道	煤矿巷道
1	断面	60~120 m ² 左右	60 m ² 左右
2	长度	单口掘进长度一般 1 km 以下	一般超过 1 km
3	平面设计	简单线性(有利通风)	复杂、巷道、横通道交错(不利通风)
4	纵坡	纵坡小	纵坡大(根据煤层走向设计)
5	埋深	浅埋,除越岭隧道外,一般不超过 200 m	深埋,一般超过 200 m
6	使用年限	长久	短
7	方向可变异性	差,遇危险煤系地层难以改变线路方向	遇危险煤系地层可改变方向或绕行
8	后期透气性要求	渗透系数 1×10^{-11} , 满足安全运营	后期废弃
9	支护	要求标准高	标准低

瓦斯隧道工程正是由于受工程实践少这种大反差关系制约,导致缺乏瓦斯隧道施工经验和技術储备,从而使我国瓦斯隧道施工技术发展相对缓慢。1991年开始,铁道部建设司组织了以隧道局为主编的6个参编单位,经过近两年时间的整理,终于定稿并颁布了我国第一部《铁路瓦斯隧道施工技术暂行规定》,填补了这一空白。2002年3月16日,铁道部颁布了最新的《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB 10120—2002)。

按照《铁路瓦斯隧道技术规范》定义,瓦斯隧道分为低瓦斯隧道、高瓦斯隧道及瓦斯突出隧道三种。瓦斯隧道的类型按隧道内瓦斯工区的最高级确定,瓦斯隧道工区分为非瓦斯工区、低瓦斯工区、高瓦斯工区、瓦斯突出工区共四类。

低瓦斯工区和高瓦斯工区可按绝对瓦斯涌出量进行判定。当全工区的瓦斯涌出量小于 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,为低瓦斯工区;大于或等于 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,为高瓦斯工区;瓦斯隧道只要有一处有突出危险,该处所在的工区即为瓦斯突出工区。

判定瓦斯突出必须同时满足下列 4 个指标。

- ① 瓦斯压力 $P \geq 0.74 \text{ MPa}$ 。
- ② 瓦斯放散初速度 $\Delta P \geq 10 \text{ mmHg}$ 。
- ③ 煤的坚固性系数, $f \leq 0.5$ 。
- ④ 煤的破坏类型为Ⅲ类及以上。

煤的破坏类型按照煤的破碎程度可划分为五种类型。

第Ⅰ类,煤未遭破坏,原生沉积结构、构造清晰;

第Ⅱ类,煤遭轻微破坏,呈碎块状,但条理结构和层理仍然可以识别;

第Ⅲ类,煤遭破坏,呈碎块状,原生结构、构造和裂隙系统已不保存;

第Ⅳ类,煤遭强破坏,呈粒状;

第Ⅴ类,煤遭破坏,破碎成粉状。

其中,第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类型的煤具有煤与瓦斯突出的危险。

在瓦斯地层中修建隧道存在 3 方面技术困难。

① 瓦斯爆炸危险。瓦斯浓度在爆破限界内,一遇火源即发生爆炸。

② 煤层瓦斯突出。存在着煤层、瓦斯突出的可能,在地应力和瓦斯的共同作用下,煤层瓦斯突然喷出,造成灾害。

③ 围岩变形控制。瓦斯地层一般为软弱围岩,尤其是瓦斯层中的软分层,用手可捻成粉碎状,稳定性差,围岩变形大,可能出现大变形,易引起隧道塌方,对施工方法、支护等要求高。

实质上,我们常常遇到的是低瓦斯隧道。低瓦斯隧道与高瓦斯隧道的区别较大,技术方案、措施、投入不同。

低瓦斯隧道的界定:预计或实测全工区瓦斯涌出强度 $\leq 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。这是个严格的判定标准。超过这个指标,就应按照高瓦斯隧道施工组织。过去,只要有瓦斯,不分高瓦斯、低瓦斯,即使隧道不长,通过煤层少而短,一律采用防爆设备,基本上属于套用煤矿安全规程,投入大,很不经济。2002 年版《铁路瓦斯隧道技术规范》,把低瓦斯隧道区别开来,具有十分重要的现实意义。

对低瓦斯隧道,要有以下正确认识。

① 低瓦斯隧道也是瓦斯隧道。现场最容易犯的低级错误是轻视低瓦斯隧道,麻痹大意,不严格按照安全规程办事,常常诱发事故。

② 低瓦斯隧道不同于高瓦斯隧道。高瓦斯隧道的风险极大,低瓦斯隧道的风险相对较小。

③低瓦斯隧道可以采用非防爆设备。这具有十分重要的意义,可以减少投入,增加设备选型的灵活性。

④低瓦斯隧道的瓦斯涌出浓度管理。由于采用非防爆设备,工区任何一点,瓦斯浓度不得超过 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$,降低强度等级进行管理。

⑤低瓦斯隧道防爆关键在通风。良好的通风设计是防止瓦斯爆炸的关键。只有良好的通风才能保证瓦斯浓度 $\leq 0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

第 2 章 瓦斯的基本属性

2.1 瓦斯的组成

地下空气的有害气体,主要是 CH_4 、 CO 、 H_2S 、 CO_2 和 NO_2 。上述这些有害气体,在隧道(矿井)中总称为瓦斯。瓦斯是隧道(矿井)内有害气体的总称。因其主要为沼气,故俗称沼气,主要成分为甲烷(CH_4)。瓦斯的主要组成成分见表 2.1。

表 2.1 瓦斯的主要组成成分

气体名称	比重	爆炸下限(%)	爆炸上限(%)	气体名称	比重	爆炸下限(%)	爆炸上限(%)
甲烷(CH_4)	0.55	5	16	乙烷(C_2H_6)	1.04	3.22	12.45
二氧化碳(CO_2)	1.53			丙烷(C_3H_8)	1.6	2.17	7.35
一氧化碳(CO)	0.97	12.5	75	丁烷(C_4H_{10})	0.6	1.55	8.55
二氧化氮(NO_2)	1.59			硫化氢(H_2S)	1.2	4.3	45.5
氢气(H_2)	0.07	4	74.2				

瓦斯是一种易燃、易爆、易扩散的有害气体,各类瓦斯的化学组成、成因、来源、采掘时的涌出特征见表 2.2。

表 2.2 各类瓦斯特征表

瓦斯类型	主要组分	瓦斯成因	巷道中瓦斯主要来源	在采掘时涌出的特征	主要组分的涌出强度
①空气	N_2, O_2	化学、生物化学和放射性成因气体的混合物变质的生物化学	空气	—	—
②沉积岩、瓦斯石油和地蜡	CH_4 , 重烃	变质的生物化学	有用矿物	普通,喷出式,突出	每吨石油 110~200 m^3 沼气和 2 m^3 蒸气
天然气	CH_4 , 重烃	变质的生物化学	有用矿物	普通,喷出式,突出	10~20 m^3 /t 可燃物,在喷出时 250 m^3 /t 喷出岩石

续上表

瓦斯类型	主要组分	瓦斯成因	巷道中瓦斯主要来源	在采掘时涌出的特征	主要组分的涌出强度
煤	CH ₄	变质的生物化学	有用矿物	普通,喷出式,突出	100~150 m ³ /t煤,突出时500~600 m ³ /t喷出煤
盐	CH ₄ , H ₂ , N ₂	变质的生物化学	有机物,瓦斯迁移	普通,喷出式,突出	1~2 m ³ /t盐,突出时400~600 m ³ /t喷出盐
含硫的	H ₂ S, N ₂ , H ₂	变质的生物化学	有用矿物,瓦斯迁移	普通,喷出式	0.03~0.1 m ³ /(d·t)
分散的	CO ₂ , CH ₄ , H ₂	变质的生物化学	分散的有机物	普通,喷出式,突出	<0.1~0.3 m ³ /(d·t)可燃物
③侵入岩和变质岩瓦斯	CO ₂ , N ₂ , H ₂	化学和放射性化学	汞和岩石	普通,喷出式,突出	<1~1.5 m ³ /t可燃物
④火山瓦斯	CO ₂ , N ₂ , H ₂	化学	岩浆体	普通,喷出式,突出饱和瓦斯的岩石和多孔岩石	3~10 m ³ /(d·t), 5~7 m ³ /t喷出岩石, 200~300 m ³ /t喷出煤
⑤放射性岩石瓦斯	He, Rn	放射性和放射性化学	具有放射性的物质	普通	<0.2~1.5 Ci/(cm ³ ·s)
⑥现代沉积层瓦斯	CO ₂ , N ₂	生物,化学	水仓,水池,沼泽	普通	由于量少,时间短,没有定量评定
⑦生产过程瓦斯爆炸	N ₂ H ₂ O	化学	爆破物质,被爆破的岩石	爆破区	1 kg炸药产生40~100 L CO
排气	CO ₂ , CO, NO ₂ , N ₂ H ₂ O, CH ₂ O, C ₃ H ₄ O, NO ₂	化学	发动机内部燃烧	发动机工作时排气	发动机功率每1 hp(=746 W)有害有毒气体总量0.03~0.1 m ³ /t
火灾瓦斯蒸汽空气混合物与烟雾的爆炸	H ₂ O	化学	在火区的物质,岩石,材料,爆炸	在发生火灾和爆炸时强烈涌出	1 m ³ 木材得到570 m ³ CO, 1 kg煤尘得到1.5 m ³ CO