

煤矿非金属管道系统失效原因分析及对策研究

李冰晶

安标国家矿用产品安全标志中心有限公司，北京

收稿日期：2023年12月3日；录用日期：2024年1月4日；发布日期：2024年1月12日

摘要

非金属管道系统断路是影响非金属瓦斯抽采管道系统失效原因之一，通过对近年来煤矿非金属管道事故的梳理，从原材料的生产、产品的选型、后期安装使用及维护等方面进行总结归纳，制约煤矿井下非金属管道安全使用的主要矛盾是非金属管道在抽采瓦斯过程中产生火花形成断路、产品选型不匹配等。总结出合理的选型，严谨的设计、相对应的法规政策规范及科学的管理和使用可有效地减少煤矿非金属瓦斯管路系统事故的发生，为解决煤矿井下非金属管道系统的安全使用提供参考。

关键词

非金属，断路，火花，对策分析

Cause Analysis and Countermeasure Research on Failure of Non-Metallic Pipeline System in Coal Mine

Bingjing Li

China Mining Products Safety Approval and Certification Center, Beijing

Received: Dec. 3rd, 2023; accepted: Jan. 4th, 2024; published: Jan. 12th, 2024

Abstract

The open circuit of non-metallic pipeline system is one of the reasons that affect the failure of non-metallic gas drainage pipeline system. Through combing the accidents of non-metallic pipeline in coal mines in recent years, this paper summarizes the production of raw materials, the selection of products, the later installation and use, and the maintenance. The main contradiction restricting the safe use of non-metallic pipelines in coal mines is that non-metallic pipelines produce sparks in the process of gas drainage to form open circuit and product selection does not

match. It is concluded that reasonable selection, rigorous design, corresponding laws and regulations, scientific management and use can effectively reduce the occurrence of non-metallic gas pipeline system accidents in coal mines, and provide reference for solving the safe use of non-metallic pipeline system in coal mines.

Keywords

Non-Metal, Broken Circuit, Sparks, Countermeasure Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于其轻巧、耐腐蚀、耐久、低流动阻力、易操作、可靠的特点，非金属管材在煤炭行业中得到了普遍的采用，成功地实现了对瓦斯的快速、准确的排出，从而保障了煤炭行业的安全与稳定。随着煤炭行业的发展，非金属瓦斯抽放管路系统的应用日益普及，然而，因为缺乏充分的认知，以及缺乏必要的技术支持，近年来，非金属瓦斯抽采管路安全性受到的威胁日益加大，为深入研究非金属管路的安全特性，准确抓住非金属管材安全控制与管理的关键点，杜绝类似事故再度重演，促进非金属管道系统在煤矿井下的安全应用，通过对近年来发生事故情况进行深入剖析[1]-[6]，梳理可能存在的安全隐患，借鉴用户对非金属管道在应用过程中的生产、储存、使用与后期维护管理情况的成功经验，提出合理化建议。促进产品制造企业严格按照标准法规组织生产、矿山企业严格依规选择、使用矿用装备，保证煤矿安全生产。

2. 典型事故案例中反映出的问题

2.1. 皖北某矿

2011年，皖北某矿的采煤工作面出现了严重的瓦斯爆炸和燃烧事故。事故发生后对PVC管路进行检测。单根管材内表面电阻合格，连接法兰盘试验表面电阻不合格。

事故直接原因

1) 管道中瓦斯浓度分析

事故发生时传感器读数如表1所示，瓦斯浓度均在可控范围内。

Table 1. Data change of gas extraction metering system

表 1. 瓦斯抽采计量系统数据变化

安装地点	时间	瓦斯浓度/%	温度/℃	负压/kPa	流量/(m ³ ·min)
6156 管路 (12 寸)	3:25	2	28	31	31
	3:30	1	100	21	21
6155 管路 (12 寸)	3:39	6	29	22	10
	3:40~3:46	11~100	100	22	10

2) 静电产生原因分析

事故发生后对非金属瓦斯管路及法兰盘进行检测，结果表明单根管路内表面电阻合格，连接法兰盘整体管路电阻不合格。如表 2 所示。

Table 2. Anti-static test results of pipe
表 2. 管材抗静电检测结果

管型	标准	实测电阻值/ Ω	结果
$\Phi 315$ mm PVC		7.0×10^3	合格
		1.7×10^4	
$\Phi 315$ mm PVC (带法兰盘)	L = 1200 mm R < 1.0×10^6	4.0×10^3	不合格
		4.0×10^8	
$\Phi 500$ mm PVC $\Phi 500$ mm PVC (带法兰盘)		2.1×10^9	不合格
		1.5×10^8	
$\Phi 500$ mm PVC $\Phi 500$ mm PVC (带法兰盘)		1.2×10^5	合格
		未检测	不合格

2.2. 山西某矿

2012 年，山西某矿的瓦斯抽采系统发生火灾。经过专业人士的鉴定，发生火灾的主要原因在于 PE 管道中残留的干燥煤粉和管壁之间的摩擦，造成了静电的释放，从而引起了一些管路的破坏。

2.3. 大同某矿

在对塑料喷浆管的静电进行实测发现管子外沿管路方向的静电火花，并伴有轻微的爆裂声。

事故直接原因

实际使用的为普通塑料管作喷浆管，测试其静电电位高达 10 kV 以上，并且有火花放电现象，喷头操作人员有触电感。

2.4. 河南某矿

管路检查过程中，发现瓦斯抽放管路法兰盘存在放电问题。

事故直接原因

瓦斯抽放管为聚氯乙烯软管，通过钢管连接放水器，聚氯乙烯软管为不导电体，整体管路形成断路，连接处聚集大量的静电，且在弯头处形成涡流，造成电荷积聚，一旦与带电体接触，产生放电现象[7] [8] [9]。

2.5. 陕西某矿

2023 年，子长县某矿对回风顺槽抽放管路进行管路气密性测试时，发生管道爆裂导致 1 人死亡。

事故直接原因

矿井将不符合公称压力强度要求的管路作为瓦斯抽放管使用，作业人员进行气密性试验时发现管路漏气，违反《安全技术措施》“先停止供气、放压至零再进行处理”的规定，带压检查维修作业。该管道在漏气附近爆裂，可能与管道安装过程中，该部位存在局部应力集中有关。也就是说，工人在管道安

装中，由于不规范的操作，使爆破部位发生了扭曲或者拉伸、弯曲等，使该部位存在应力集中。

3. 存在问题的综合分析

3.1. 标准滞后

煤矿井下非金属管材参考执行的标准，一般都以国家标准、行业标准为基础。目前存在的主要问题是可参照的煤矿类标准严重滞后，可参照的标准为 MT 558-2005 系列标准，发布后至今尚未更新，与实际脱节。主要表现在以下几方面。

3.1.1. 原材料的差异

目前非金属管材使用的原材料大概分为两级即 PE80 和 PE100 级。GB/T 13663.1-2017 [10]标准中，PE80 和 PE100 级对混配料的耐候性、流动性和抗老化性能有明确要求。GB/15558.1-2015 [11]标准中对原料的分子量大小和分布提出了量化指标，即“耐快速裂纹扩展”和“耐慢速裂纹增长”，而 MT 558.1-2005 [12]标准并未对原材料性能有明确要求，未进行等级划分，对于混料的方式也并未指明。

3.1.2. 温度的压力折减系数

GB/T 13663.1-2017 标准中规定了给水管材对温度的压力折减系数；CJJ63-2018 [13]规定了燃气管材对温度的压力折减系数。管材的压力等级对温度特别敏感，但 MT 558.1-2005 标准却无此规定。长期性能和耐老化性能对管材的定期更换和后期维护具有指导意义。

3.2. 生产中存在的问题

3.2.1. 工艺过程把控不严

采用不符合要求等级的原材料，会造成管道混料不均、出现沙眼、壁厚偏差超标、阻燃、抗静电达不到标准要求等缺陷。采用三层共挤工艺生产的聚乙烯管也是内外层分层绝缘，三层共挤管材内外层的厚度对管材的抗静电性有决定性影响，一旦连接管件未进行特殊处理，致使整个管道系统内外层之间互不导通。

3.2.2. 管件的问题

管材在管道系统中仅仅是组成部分之一，管道系统还包括各类管件，如接头、三通、弯头等，企业给用户供货时，一般都配套相应的管件。如使用普通管件，使阻燃抗静电合格的管材组成了一个断路管路系统，造成安全隐患。

3.3. 产品选型、使用、安装存在的问题

产品选型时未按照相关设计规范进行合理选型。用户对产品不熟悉，日常保养维护不当。暴力安装与拆卸，在使用前未进行安全评估与压力测试。缺乏必要的手段对入井前的产品阻燃及抗静电性能的安全测试。安装布置管道时未能有效的固定在专用管道架上，导致整个管路系统处于未接地状态，静电积聚，产生隐患。

使用维护管理中存在的问题

1) 未及时清除管道内粉尘、煤渣

在抽采瓦斯过程中，粉尘、煤渣不断产生，使得管道中粉尘浓度越来越大，煤渣积聚越来越多，煤渣与粉尘不断摩擦，静电电荷将不断积聚，给整个管路系统造成潜在的危害。

2) 未及时检测管路系统密封情况

管道安装完之后，抽出的瓦斯容易对管道连接处造成腐蚀。由于密封性差，巷道新鲜空气容易从封

孔处进入瓦斯管道，从而导致瓦斯浓度发生降低，可能达到爆炸极限浓度。

3) 受到机械冲击产生损坏破裂

管道在使用过程中受到其他机械的冲击碰撞，使得管道损坏破裂，达不到使用压力要求，造成事故隐患。

4) 未定期检查接地情况

为了防止静电积聚，在管道安装时采取了有效的接地措施。然而，由于没有进行检查和维护，管道甚至出现了虚接的情况，导致静电无法有效排出，积聚在断路处，增加对接地金属的放电几率，增加了静电事故的风险[14] [15]。

4. 预防对策

通过对典型事故反应出的问题进行详细分析，结合在使用过程中问题的反馈，建议从以下几方面进行完善。

4.1. 完善法规标准，形成标准体系

煤矿用非金属管材产品结构、类型繁多，根据安标国家中心 2017 年《煤矿用非金属管材实施规则》中发布的管材类型有 15 种之多，随着技术进步，还有进一步增加的趋势，而相关产品技术标准参照执行 MT 558 系列标准，由于使用工况存在本质区别，这些标准作为煤矿非金属管材参照标准存在一定的局限性：一是此类标准中仅对管材进行限制，二是缺乏对管件、连接件及相关零元部件的技术要求，三是对非金属管道使用年限未做规定。因此，建议尽快开展非金属管材及配件标准的制修订工作，加强对煤矿井下非金属管材进行标准化研究，完善准入制度。

4.2. 严格产品准入，形成方式多样监督机制

非金属管材是非金属管到系统的重要组成部分，部分煤矿企业滥用无导电性的普通管件，以致于管路系统出现断路，从而导致瓦斯抽放过程中产生的静电无法及时排出，静电形成局部聚集，严重危害了安全生产。为确保非金属管道的安全运行，其性能必须达到相应的标准要求，在安全标志的管理中已涵盖管路整体抗静电的要求。加强对管道系统的安全监督，无论是哪种类型的管材，都必须按照规定的连接方式进行测试，以确保安装完成后的表面电阻符合要求。

为确保矿山安全生产形势的持续稳定，督促矿用装备生产企业落实安全主体责任，扩大监督范围，确保抽样场所、样品来源、抽检样品与实际销往煤矿产品一致性，形成生产侧、用户侧和市场侧的监督闭环管理，促进产品制造企业严格按照标准法规组织生产，保障管道系统持续稳定满足煤矿安全生产要求和相关标准规范要求。

4.3. 设计出台安装规范，健全静电防治措施

GB 40881-2021 [16]为矿井低浓度气体管线运输提供了详细的指导，然而，由于人们在认识和理解方面的欠缺，导致了该系统在实际操作中存在着严重的静电问题。建议出台非金属瓦斯抽放系统设计、安装、验收规范。煤矿非金属管道系统严禁使用不符合相关标准要求的非金属管道和配件，设计安装时应尽量平直，尽量减少流量调节阀数量及操作；直径改变时应设置过渡节，消除抽放管中的高流速区和涡流区。此外，非金属瓦斯抽放系统应具备除尘装置、除渣装置、接地装置、跨接装置。

4.4. 科学使用，严格管理

科学合理的维护管理是煤矿非金属管道系统安全的基本保障。通过增加使用环境的空气湿度、控制

管道内气体流速、加强后期对管道系统维护, 定期检查, 建立静电监控监测系统, 维护煤矿安全生产。

5. 结论

煤矿井下非金属管道安全使用是一个系统工程, 只有不断创新原材料配方体系, 建立成熟稳定的生产工艺, 科学合理的设计和使用, 与管材同步发展的配套管件, 借鉴管道连接大量成功实践、完善标准体系, 不断发展管理理念, 才能确保与提升整个管道系统质量, 进而推动煤矿井下管道输送系统的可持续发展。

参考文献

- [1] 郝玉双. 2003-2021年中国煤矿安全生产事故统计及研究热点分析[J]. 能源技术与管理, 2023, 48(1): 192-196.
- [2] 李永密. 预防金属非金属地下矿山中毒窒息事故[J]. 劳动保护, 2014(11): 106-107.
- [3] 张培森, 张晓乐, 董宇航, 等. 2008-2021年我国煤矿事故规律分析及预测研究[J]. 矿业安全与保, 2023, 50(2): 136-140.
- [4] 王建国, 傅文, 刘颖. 2012-2016年我国煤矿较大以上瓦斯事故发生规律分析研究[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(6): 108-111, 116.
- [5] 徐腾飞, 王学兵. 近十年我国低瓦斯煤矿瓦斯爆炸事故统计与规律分析[J]. 矿业安全与环保, 2021, 48(3): 126-130.
- [6] 丁利军. 近年山西省煤矿安全事故分析[J]. 能源与节能, 2022(9): 198-200.
- [7] 付恩三, 白润才, 刘光伟, 等. “十三五”期间我国煤矿事故特征及演变趋势分析[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(12): 88-94.
- [8] 汪宝发, 胡祖祥. 煤矿瓦斯爆炸事故现状统计及规律分析[J]. 煤炭技术, 2022, 41(9): 148-151.
- [9] 张绪雷. 矿用非金属瓦斯抽采管静电安全性的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2017.
- [10] 全国塑料制品标准化技术委员会(SAC/TC 48). GB/T 13663.1-2017. 给水用聚乙烯(PE)管道系统第1部分: 总则[S]. 北京: 标准出版社, 2017.
- [11] 全国塑料制品标准化技术委员会(SAC/TC 48). GB/15558.1-2015. 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统第1部分: 管材[S]. 北京: 标准出版社, 2015.
- [12] 煤矿安全标准化技术委员会. MT558.1-2005. 煤矿井下用塑料管材第1部分: 聚乙烯管材[S]. 北京: 标准出版社, 2005.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ63-2018. 聚乙烯燃气管道工程技术规程[S]. 北京: 标准出版社, 2018.
- [14] 张亚伟, 李怀庆, 王兵建, 等. 煤矿井下事故预防对策研究[J]. 中州煤炭, 2011(8): 110-112.
- [15] 陈莞尔. “十三五”时期我国煤矿事故分析及防治措施[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(10): 6-7.
- [16] 中国国家标准化管理委员会. GB 40881-2021. 煤矿低浓度瓦斯管道输送安全保障系统设计规范[S]. 北京: 标准出版社, 2021.