

输电电缆

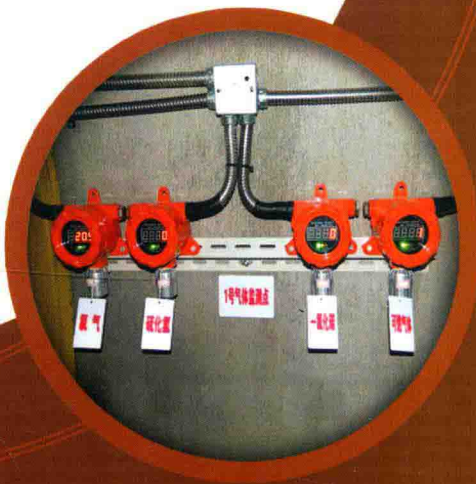
六

防

工作手册

防有害气体

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

输电电缆



工作手册

防有害气体

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为总结我国输电缆线路“六防”工作取得的成果,指导输电缆线路运维检修、技术监督、交接验收等工作,提高输电缆的精益化与规范化管理水平,提升输电缆线路安全运行水平与可靠性,国家电网公司运维检修部组织编写了《输电缆“六防”工作手册》,包括防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常和防有害气体6个分册。

本书为《输电缆“六防”工作手册 防有害气体》分册,包括概述、防有害气体工作保障、有害气体检测与个体防护、有害气体防治措施、有害气体中毒急救和典型案例6章。

本书是输电缆线路运行维护、检修和管理人员的工作手册,可作为输电缆线路相关专业技术及管理人员的业务指导书、培训教材及学习资料,也可作为大专院校相关专业师生的自学用书与阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输电缆“六防”工作手册. 防有害气体 / 国家电网公司运维检修部组编. —北京: 中国电力出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5198-1222-5

I. ①输… II. ①国… III. ①输电线路—电力电缆—电力工程—工程施工—安全技术—手册 IV. ①TM726—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 240906 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 闫姣姣 罗翠兰(010-63412433/2428)

责任校对: 郝军燕

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 11 月第一版

印 次: 2017 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 7.25

字 数: 120 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 30.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 任 杜贵和

副主任 张祥全 黄 清 王 剑

主 编 王 剑

副主编 李文杰 姜海波 赵永强

参 编 柏 仓 李鸿泽 郭湘奇 王永强

赵 轩 王光明 张志坚 王雨阳

马菲菲 邓 鹏 高 超 张竟成

郑晓红 刘 浩 任志刚 何光华

饶文彬 李文杰 姜 芸 吴明祥

杨 静 杨 波 陈 杰 曹京荣

李陈莹 王海亮 陈 伟

前 言

随着我国经济的快速发展,输电电缆越来越广泛地应用,高压电缆线路运行长度逐年增加,据统计,2012~2016 年国家电网公司输电电缆线路以 10% 以上的年平均增速稳步增长。在实际运行中,外力破坏、有害气体、电缆过热、着火、进水和附属设备异常严重影响输电电缆安全运行,它们会导致电缆线路组部件老化、产生缺陷,造成电缆线路火灾,发生绝缘击穿故障和人身伤害。因此,改善电缆线路通道运行环境,提升高压电缆线路安全运行水平,一直是输电电缆线路精益化管理的重要工作。

截止到 2016 年底,国家电网公司 110 (66) kV 及以上高压电缆线路回路长度超过 2 万千米。据统计,外力破坏、火灾、水害、过热、附属设备异常以及有害气体是造成输电电缆线路运行故障、威胁运行维护人员人身安全的重要因素。近几年发生的多起电缆线路故障,造成了巨大的社会影响以及财产损失。对此,国家电网公司高度重视输电电缆线路的防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常、防有害气体(简称“六防”)工作,组织开展了“六防”隐患排查、重要输电电缆通道风险评估与治理,立项支持相关技术的研究,在机理及防治理论、电缆线路及通道监测、病害治理、防治装置及设备、抢修及恢复技术、高压电缆线路运维管理等方面取得了一系列成果。输电电缆“六防”工作的开展,有效地改善了输电电缆的外部运行环境,使输电电缆线路安全运行水平逐年提升。

为总结我国输电电缆线路“六防”工作取得的成果,指导输电电缆线路运维检修、技术监督、交接验收等工作,优化电缆运行环境、避免人为事故、避免人身伤害,提高输电电缆的精益化与规范化管理水平,提升输电电缆线路安全运行水平与可靠性,国家电网公司运维检修部组织编写了《输电电缆“六防”工作手册》,包括防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常和防有害

气体 6 个分册。在编制过程中，编写组广泛调查研究，通过提炼和展示国家电网公司系统各输电电缆线路运检单位工作亮点，总结经验和不足，参考有关国家法律、法规和国家电网公司相关标准、规定和规范，经多次讨论修改和征求意见，体现了输电电缆“六防”工作的关键技术和管理成果，凝聚了国家电网公司输电电缆线路运维、管理、科研工作者的集体智慧。

本书为《输电电缆“六防”工作手册 防有害气体》分册，包括概述、防有害气体工作保障、有害气体检测与个体防护、有害气体防治措施、有害气体中毒急救和典型案例 6 章。由国网江苏省电力公司、国网北京市电力公司、中国电力科学研究院等单位编写。

由于编写人员水平有限，书中难免存在不妥或疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 7 月



目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 有害气体简介	1
1.2 有害气体产生原因及主要分类	2
1.3 有害气体的危害	8
1.4 防有害气体的重要意义	10
第 2 章 防有害气体工作保障	12
2.1 组织体系构建	12
2.2 相关规程及制度要求	16
2.3 防有害气体事故应急预案	20
第 3 章 有害气体检测与个体防护	22
3.1 气体传感器种类	22
3.2 有害气体检测方式	29
3.3 有害气体检测仪	30
3.4 气体检测要求	40
3.5 有害气体作业环境分级	41
3.6 有害气体伤害评估要求	41
3.7 有害气体检测程序	42
3.8 个体防护	48

第4章 有害气体防治措施	53
4.1 防有害气体的一般要求	53
4.2 隐患巡视	53
4.3 预防措施	55
4.4 治理措施	65
第5章 有害气体中毒急救	70
5.1 常见有害气体中毒症状	70
5.2 应急处理程序	72
5.3 急救措施	73
5.4 抢救过程注意事项	82
5.5 创伤处理	84
第6章 典型案例	89
6.1 违章作业导致中毒	89
6.2 盲目施救导致中毒	90
6.3 井下未通风导致沼气中毒	91
6.4 电缆火灾导致中毒	92
附录A 电缆通道防气体伤害工作网络成员表	94
附录B 防护设备设施配置表	95
附录C 部分有毒气体预报值和预警值	100
附录D 直读式气体检测仪选择和性能要求表	101
附录E 电力行业常见生产性毒物接触限值	103
附录F 基本概念	105
参考文献	107

概 述

随着城市的快速发展，电力需求不断增长，城市的电力电缆数量也不断增加。城市高压电力供电线路的入地化成为趋势，高压电缆不仅节省了宝贵的城市地面空间，还具备使用安全、检修便捷等优点。高压电缆一般敷设在电缆隧道、工作井、电缆沟、排管等构筑物内，这些构筑物都属于有限空间，平时自然通风不良，人员出入极少，长期运行会产生有害气体。这些有害气体的存在对高压电缆运维人员构成了巨大的威胁。

1.1 有害气体简介

一般情况下，有害气体是指无毒的、但在特定环境中违背人们的意愿，能够给社会造成损失或给人体造成伤害的气体。例如，氮气、氦气、氩气等惰性气体虽然没有毒，但如果在空气中的含量过高，也可导致人体窒息，从而引起人体机能发生病变，造成伤害。又如，氧气在空气中含量过低，会造成人体缺氧性病变，造成伤害；含量过高，又极易发生火灾、爆炸及其他危害。

有毒气体是指气体通过呼吸道吸入或与皮肤、眼睛等接触，且作用于人体，并能引起人体机能发生暂时或永久性病变的一切气体。例如，氨气（ NH_3 ）、氯甲烷（ CH_3Cl ）、一氧化碳（ CO ）、二氧化硫（ SO_2 ）、硫化氢（ H_2S ）等有毒气体，烟雾和混有毒粉尘的气体；还包括其他有毒固体、晶体、液体等挥发的有毒气体，如液氯、液氨、硫酸、苯、苯酚、间甲酚、沥青、硫黄等挥发的有毒气体。

特别需要说明的是，本文为表述方便，将有毒有害气体统称为有害气体。

1.2 有害气体产生原因及主要分类

1.2.1 有害气体产生原因

空气是人类和生物赖以生存和一刻也不能缺少的物质条件，而清新的空气则是人类健康的保证。正常地表空气中主要组成成分包括氧气、氮气、稀有气体、二氧化碳、其他气体和杂质（臭氧 O_3 、一氧化氮 NO 、二氧化氮 NO_2 、水蒸气 H_2O 等），各组成成分比例如图 1-1 所示。

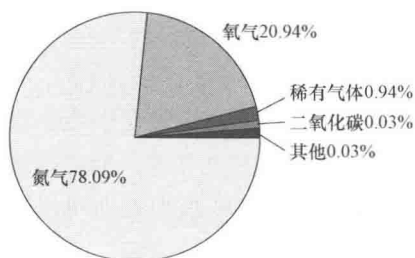


图 1-1 地表空气主要组成成分比例

氧气、氮气及稀有气体是空气中恒定的部分。其中氮占 78.09%、氧占 20.94%，氩占 0.93%，这三种气体就占大气总量的 99.96%。大气中上述气体的比例通常是比较恒定的。

二氧化碳、水蒸气等是空气中可变的部
分。在正常状态下，二氧化碳含量为 0.03%，水蒸气含量为 0~4%，这些气体含量可受地

区、季节、气象和人类生活、生产活动影响。

除了上述两部分气体，空气中还包括二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、硫化氢、氨、氯、氟、碳氢化合物等污染物，主要是由火山爆发、地震、森林火灾和人为污染产生。这部分气体含量受地区、污染程度等影响。

由于地表空气能够自由流动，处于开放系统，因此气体组成的体积分数可以长期保持基本不变。由于高压电缆敷设在隧道、工作井等有限空间，长期自然通风不畅，长期运行后会导致空气中的各种气体含量发生变化。

在相对封闭的地下电缆构筑物中，由于各种原因使得空气中的各种气体成分发生了重要变化。地下空气含量变化主要原因如图 1-2 所示。

1. 地下渗漏

大量植物沉积埋藏在地下深处，在缺氧情况下经地层高温高压的作用下在进入煤的变质碳化过程中会产生气体，其中主要成分是俗称沼气的甲烷、二氧化碳、一氧化碳、氮、重烃及其化合物，包括乙烷、丙烷、丁烷等气体。这些气体通常在碳质岩内或者附近发现，尤其在煤层、页

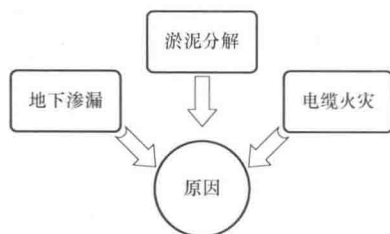


图 1-2 地下空气含量变化主要原因
(其他管道渗漏)

岩和含油层以及其他产生瓦斯的岩石上的多孔地层，另外在泥炭、有机粉砂和有机体在潮湿环境下腐烂的地方也会存在。同时，在电缆构筑物周围可能存在燃气管道及其他气体管道，这些管道若发生泄漏，气体也会渗入构筑物周边的土壤。

电缆隧道、工作井等构筑物施工完成后，会有施工缝、伸缩缝等缝隙存在，虽然进行了封堵，但是长期运行后可能会产生缝隙；混凝土衬砌施工质量差，蜂窝、孔隙、裂缝多，同时构筑物周边的地质扰动、大型施工等可能会都导致构筑物的混凝土产生裂缝。构筑物周边围岩中形成的各种气体会通过这些空隙以及裂缝进入构筑物中，地下气体渗入电缆构筑物示意图如图 1-3 所示。

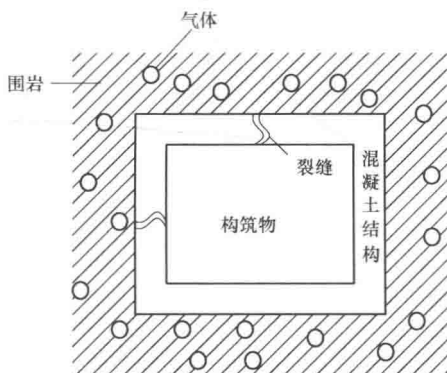


图 1-3 地下气体渗入电缆构筑物示意图

2. 淤泥分解

在雨季，雨水会夹杂着泥土、垃圾等通过电缆通道上的窨井盖或者裂缝流入电缆构筑物中。若不及时处理，泥土越积越多最终形成淤泥。淤泥里面有很多腐烂了的有机质，由于淤泥中缺少氧气，淤泥里的微生物多是厌氧微生物，有机质在腐烂和被这些微生物分解时会产生气体，俗称沼气。

沼气的产生过程是一个由多种细菌参与的多阶段的生化反应过程，整个过程可分为水解、产酸、产甲烷三个阶段：

(1) 水解阶段是一些兼性细菌分泌胞外酶使纤维素、脂肪等大分子物质水解成细菌可吸收的溶解物质的过程，此过程有少量二氧化碳和氨产生。

(2) 产酸阶段是细菌把水解产物分解为挥发性脂肪酸、挥发醇及一些醛酮类物质的阶段，该过程产生二氧化碳、氨、硫化氢、氢等气体。能够进行水解和酸性消化的细菌种类很多，一般在有氧和厌氧条件下均能存活，统称为产酸菌。

(3) 产甲烷阶段是在厌氧环境中由甲烷细菌以挥发性脂肪酸等易降解物

质为底物产生甲烷的过程。该过程对环境条件的要求较高，如 pH 值要在 6.4～7.8；须为厌氧环境；甲烷细菌种类少，繁殖速度慢，代谢活力不强，合适温度范围狭窄等。

沼气主要成分为甲烷和二氧化碳，并包括一些恶臭气体。恶臭气体具有成分复杂、毒性强、气量大、排放持续性长的特点，其主要成分如表 1-1 所示。恶臭气体的含量具体取决于底物的有机物成分和消化的状态。例如：硫化氢通常在沼气成分中通常仅占 0.005%～0.08%，当污水中含有大量蛋白质或硫酸盐时，硫化氢的含量会达到 1%。

表 1-1 恶臭气体主要成分		
名 称	分 子 式	气 味
硫化氢	H ₂ S	臭鸡蛋味
甲硫醇	CH ₃ -SH	卷心菜腐烂味
甲硫醚	CH ₃ -S-CH ₃	大蒜味
二甲二硫	CH ₃ -S-S-CH ₃	烂甘蔗臭
氨	NH ₃	尿臭

3. 电缆火灾

高压电缆组成成分中包含众多有机化合物：高压电缆主绝缘材料主要使用交联聚乙烯；外护套主要由塑料、橡胶两大类有机化合物组成，其分类见表 1-2；在铝护套和外护套之间还存在电缆沥青成分。当电缆发生火灾或者击穿爆炸时，这些有机物会发生燃烧。

表 1-2 外护套材料分类	
外护套材料	分 类
塑料	聚氯乙烯（PVC）
	聚乙烯（PE）
	其他（聚丙烯，聚酰胺，聚四氟乙烯）
橡胶	天然橡胶
	丁苯橡胶
	乙炳橡胶
	含氯合成橡胶（氯丁橡胶、氯化聚乙烯、氯磺化聚乙烯橡胶）
	其他（反式异戊橡胶、顺式异戊橡胶）

有机化合物的燃烧过程如图 1-4 所示。有机化合物首先在外部热源辐照的条件下,开始发生热降解或有氧存在下的热氧化降解,产生可燃性挥发物。所产生的可燃性挥发物从有机化合物表面释放出来,向空气相扩散,并与空气中的氧化剂混合。该混合物被点燃,产生有焰燃烧。燃烧时挥发物将进一步热氧化降解,产生更易燃烧的小分子可燃物。燃烧生成大量的热,并生成一系列的燃烧产物从燃烧区释放出来。这些产物有 H_2O 、 CO_2 、烟和有毒气体(黑色颗粒、 CO 、 HCl 、 HCN 和 SO_2 等)。燃烧产生的热量一部分被燃烧产物和周围的冷环境带走,而另一部分则反馈给聚合物材料表面,使聚合物进一步受热进行热降解和热氧化降解,从而连续产生可燃性挥发产物,并扩散到有焰燃烧反应区。

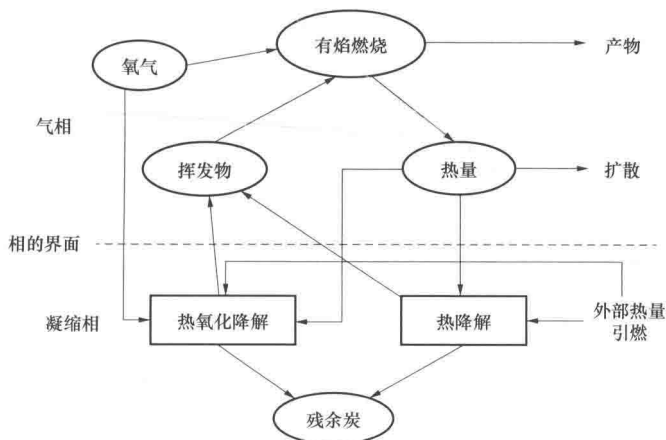


图 1-4 有机化合物燃烧过程

1.2.2 有害气体主要分类

本书中的有害气体特指有毒有害气体,有毒有害气体从基本概念上讲就是可能对生命和财产造成危害的气体。从气体可能产生的危险的角度上讲,其一般可划分为以下三类:

- (1) 可燃气体。可能引起爆炸、燃烧的可燃性气体,如天然气、瓦斯等。
- (2) 有毒气体。可能引起人员中毒的无机和有机类有毒气体,如一氧化碳等。
- (3) 窒息气体。可能由于存在量过大而引起氧气不足,造成人员窒息的气体,如二氧化碳等。

在电缆地下封闭构筑物,如电缆沟道、隧道、电缆夹层、变电站电缆开关室等空气中,一氧化碳、硫化氢、二氧化碳、甲烷(CH_4)的含量较正常空气重的含量大大增加,成为构筑物中的主要有害气体。

1. 一氧化碳

在标准状况下，一氧化碳为无色、无臭、无刺激性的气体。相对分子质量为 28.01，密度 1.25g/L，冰点为-205.1℃，沸点-191.5℃。在水中的溶解度甚低，极难溶于水。一氧化碳毒性大，它与人体血红素的亲和力大于氧与人体血红素的亲和力的 250~300 倍。人体吸入含一氧化碳的空气后，一氧化碳很快与血红素结合而大大降低血红素吸收氧的能力，使人体各部分组织和细胞产生缺氧，引起窒息和血液中毒，严重时造成死亡。当空气中一氧化碳浓度达 0.4%时，人在很短时间内就会失去知觉，若抢救不及时就会中毒死亡。一氧化碳对全身的组织细胞均有毒性作用，尤其对大脑皮质的影响最为严重。

空气中的一氧化碳浓度达到 50ppm 时，健康成年人可以承受 8h；达到 200ppm 时，健康成年人 2~3h 后，轻微头痛、乏力；达到 400ppm 时，健康成年人 1~2h 内前额痛，3h 后威胁生命；到 800ppm 时，健康成年人 45min 内，眼花、恶心、痉挛，2h 内失去知觉，2~3h 内死亡；达到 1600ppm 时，健康成年人 20min 内头痛、眼花、恶心，1h 内死亡；达到 3200ppm 时，健康成年人 5~10min 内头痛、眼花、恶心，25~30min 内死亡；达到 6400ppm 时，健康成年人 1~2min 内头痛、眼花、恶心，10~15min 死亡；达到 12 800ppm 时，健康成年人 1~3min 内死亡。

2. 硫化氢

硫化氢是无色、剧毒、酸性气体分子量为 34.08，蒸汽压为 2026.5kPa/25.5℃，闪点为<-50℃，熔点是-85.5℃，沸点是-60.4℃，相对密度为 1.19（空气=1）。能溶于水，易溶于醇类、石油溶剂和原油。燃点为 292℃。有一种特殊的臭鸡蛋味，嗅觉阈值为 0.000 41ppm，即使是低浓度的硫化氢，也会损伤人的嗅觉。浓度高时反而没有气味（因为高浓度的硫化氢可以麻痹嗅觉神经）。

硫化氢为易燃危化品，与空气混合能形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸，其爆炸极限 4.3%~46%。并产生有毒的二氧化硫气体。在空气充足时，硫化氢燃烧时产生蓝色火焰，燃烧生成二氧化硫（SO₂）和水（H₂O），化学方程式如式（1-1）所示，二氧化硫气体会损伤人的眼睛和肺；若空气不足或温度较低时，则生成游离态的硫（S）和水，化学方程式如式 1-2 所示。



硫化氢是刺激性气体，几乎全部经呼吸道吸收，也可以经皮吸收。硫化氢可直接作用于脑，低浓度起兴奋作用；高浓度起抑制作用，引起昏迷、呼吸中

枢和血管运动中枢麻痹。因硫化氢是细胞色素氧化酶的强抑制剂，能与线粒体内膜呼吸链中的氧化型细胞色素氧化酶中的三价铁离子结合，而抑制电子传递和氧的利用，引起细胞内缺氧，造成细胞内窒息。因脑组织对缺氧最敏感，故最易受损。

硫化氢的中毒可因其不同的浓度和接触时间而异。浓度越高则中枢神经抑制作用越明显，浓度相对较低时黏膜刺激作用明显。硫化氢的最大安全浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。虽然在此浓度下开始很易闻到其臭，但硫化氢可以麻痹嗅觉神经，长期接触就不再敏感。人吸入 $70\sim 150\text{mg}/\text{m}^3/1\sim 2\text{h}$ ，出现呼吸道及眼刺激症状，吸 $2\sim 5\text{min}$ 后嗅觉疲劳，不再闻到臭气。吸入 $300\text{mg}/\text{m}^3/\text{h}$ ， $6\sim 8\text{min}$ 出现眼急性刺激症状，稍长时间接触引起肺水肿。吸入 $760\text{mg}/\text{m}^3/15\sim 60\text{min}$ ，发生肺水肿、支气管炎及肺炎，头痛、头昏、步态不稳、恶心、呕吐。吸入 $1000\text{mg}/\text{m}^3$ 数秒钟，很快出现急性中毒，呼吸加快后呼吸麻痹而死亡。

3. 二氧化碳

二氧化碳是空气中常见的化合物，可由碳与氧反应生成。二氧化碳常温下是一种无色无味、不助燃、不可燃的气体，密度比空气大，略溶于水，与水反应生成碳酸。固态二氧化碳压缩后俗称为干冰。工业上可由碳酸钙强热下分解制取。

二氧化碳密度较空气大，当二氧化碳少时对人体无危害，但其超过一定量时会影响人（其他生物也是）的呼吸，原因是血液中的碳酸浓度增大，酸性增强，并产生酸中毒。主要症状有头痛、头眩晕、耳鸣、气急、胸闷、乏力、心跳加快，面颊发绀、烦躁、谵妄、呼吸困难，如情况持续，就会出现嗜睡、淡漠、昏迷、反射消失、瞳孔散大、大小便失禁、血压下降甚至死亡。

因为二氧化碳比空气重，所以在低洼处的浓度较高。以人工凿井或挖孔桩时，若通风不良则会造成井底的人员窒息。 CO_2 的正常含量约 0.03% ， CO_2 的浓度达 1% 会使人感到气闷、头昏、心悸，达到 $4\%\sim 5\%$ 时会使人感到气喘、头痛、眩晕，而达到 10% 的时候，会使人体机能严重混乱，使人丧失知觉、神志不清、呼吸停止而死亡。

4. 甲烷

甲烷分子式是最简单的有机化合物，其在常温常压下是无色、无味、无臭、无毒气体，沸点 -161.4°C ，比空气轻，是极难溶于水的可燃性气体。甲烷和空气成适当比例的混合物，遇火花会发生爆炸。甲烷化学性质相当稳定，跟强酸、强碱或强氧化剂（如 KMnO_4 ）等一般不起反应。在适当条件下会发生氧化、热

解及卤代等反应。

甲烷对人基本无毒，但浓度过高时，使空气中氧含量明显降低，使人窒息。当空气中甲烷达 25%~30%时，可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速、共济失调。若不及时脱离，可致窒息死亡。皮肤接触液化本品，可致冻伤。

甲烷也是优质的民用燃料，自燃点为 538℃，燃烧时呈蓝色火焰，最高温度可达 1400℃，纯甲烷的发热量为 36.8kJ/m³，沼气的发热量为 23.4kJ/m³。甲烷和空气的混合气在点燃时会发生爆炸，在空气的体积爆炸范围为 5%~15%。在工业生产特别是矿井环境中，甲烷爆炸的事故时常发生。

1.3 有害气体的危害

有害气体（即有毒有害气体）的危害是随时存在的。一个电缆工人下井进行一次例行电缆线路检测时，可能就处于一种危险环境中。一个貌似干净的密闭地下管道深处，一只死老鼠在腐败分解过程中所消耗掉的氧气就会使整个管井处于一种缺氧的状态。而其本身有机物质的腐烂也会产生硫化氢和一氧化碳等气体。这样，下到管井中的工人可能遇到的有毒有害气体的威胁就包括了氧气不足的窒息危险和有毒气体的中毒问题。同时，随着城市管道的复杂程度越来越大，这条电缆管道旁边的另一条煤气管道恰好发生了可燃气体的微量泄漏，泄漏的不断积累又使得本不该存在可燃气体的电信管井中出现可燃气体浓度超标。此时，若工人下井时他的维修工具和梯子发生碰撞产生的火星，就可能在整个管井中发生严重的爆炸事件。

在城市市政工程中，大量有机物质伴随着雨水、污水等会被携带至密封不严的电缆沟道中，一旦处于合适的温度湿度下，它们就会发生腐烂而生成大量的甲烷气体，这些气体会在电缆沟道中扩散，一旦遇到合适的空间发生积累，就形成了气体爆炸的隐患，也许刚好一个加油站的地下油罐发生了泄漏，而泄漏的汽油又恰进入到下水道中，这些不断积累的可燃气体在遇到火源的情况下，就会发生严重的爆炸事故。

1.3.1 毒害性

有毒气体的毒害性可以通过吸入或皮肤接触途径计入人体，他们与人体组织发生化学或者物理化学作用，从而造成人体器官的损坏，破坏人体的正常生理机能，引起工程或器质性病变，导致暂时性或者持久性病例损害。在电缆构筑物中存在的有毒气体主要是 CO 和 H₂S。硫化氢正常状态下的最高允许容许

浓度 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，停留时间为 8h；一氧化碳含量不超过 24ppm ($30\text{mg}/\text{m}^3$) 时，可较长时间工作。

1.3.2 窒息性

窒息是指因外界氧气不足或其他气体过多或者呼吸系统发生障碍而呼吸困难甚至停止呼吸。有限空间的作业场所空气中的含氧量应不低于 19.5%。在电缆构筑物中引起缺氧窒息的气体主要为甲烷、二氧化碳，他们本身是无毒气体，但是在高浓度下会使空气氧分压降低，致使机体动脉血血红蛋白氧饱和度和动脉血氧分压降低，导致组织供氧不足，引起缺氧窒息。例如空气中的甲烷含量达到 25%~30% 时就会使人发生头痛、头晕、恶心、注意力不集中、动作不协调、乏力、四肢发软等症状。若空气中甲烷含量超过 45% 以上时，就会因严重缺氧而出现呼吸困难、心动过速、昏迷以至窒息而死亡。

1.3.3 燃烧性

有毒有害气体中的甲烷、一氧化碳均可以燃烧，这些可燃气体燃烧时，往往同时伴有发光、发热等激烈反应，燃烧产物的提及急剧膨胀，从而对周围的人员或环境造成巨大的压力冲击和高温破坏。

1.3.4 爆炸性

爆炸是物质在瞬间以机械功的形式释放出大量气体和能量的现象，压力的瞬时急剧升高是爆炸的主要特征。在电缆构筑物中，能够引起爆炸的气体主要为 CH_4 和 H_2S 。爆炸事故具有很大的破坏作用，爆炸的冲击波容易造成重大伤亡。同时，受限空间发生爆炸、火灾，往往瞬间或很快耗尽受限空间的氧气，并产生大量的有毒有害气体，造成严重后果。如甲烷爆炸事故中相有当部分人员为一氧化碳中毒死亡，不仅仅是爆炸冲击波造成死亡。

如图 1-5 所示为 2015 年 2 月在四川成都龙泉驿区在建的五洛路 1 号隧道发生瓦斯爆炸，造成 4 人死亡，19 人受伤。由于爆炸的冲击力巨大，造成爆炸点附近的 1 条 35kV、3 条 10kV 线路不同程度损伤和跳闸，万兴乡、洛带镇共计 7380 户用户供电受到影响。

1.3.5 腐蚀性

腐蚀是指金属与周围介质发生化学或电化作用而导致的变质和破坏。在电缆构筑物中，



图 1-5 隧道瓦斯爆炸现场