

Rescue Technology for
Disaster Prevention of Railway Tunnel

铁路隧道 防灾救援技术

王明年 于 丽 赵 勇 李 琦 著



科学出版社

铁路隧道防灾减灾技术

王明年 于 丽 赵 勇 李 琦 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

铁路隧道一旦发生火灾,将会造成严重的人员伤亡和重大的经济损失,为提高我国铁路隧道防灾救援技术水平,作者对铁路隧道的防灾疏散与救援技术展开了全面的研究。本书是作者对近些年研究成果的总结,研究成果为铁路隧道的防灾疏散与救援的设计提供了参考,对于解决不同类型铁路隧道防灾疏散设施的通风及土建设计有着重要的理论意义,这将有助于降低铁路隧道的防灾救援工程的建设成本,同时提高人员疏散的安全性和防灾设计的合理性,对我国铁路隧道行业快速稳步发展具有十分重要的意义。

本书可作为铁路隧道工程研究、设计、施工及管理人员的参考用书,亦可作为隧道及地下工程防灾专业的教科书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路隧道防灾救援技术 / 王明年等著. —北京: 科学出版社, 2017.4
ISBN 978-7-03-051002-0

I. ①铁… II. ①王… III. ①高速铁路-铁路隧道-防火 IV. ①U458

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 298100 号

责任编辑: 张 展 于 楠 / 责任校对: 邓利娜
责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017年4月第一次印刷 印张: 25 1/4

字数: 580 千字

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



前 言

随着我国铁路运输行业的快速发展,长大铁路隧道及大规模隧道群数量日益增多。到2020年,铁路隧道总长度预计将达到20000km,长度超过10km的特长铁路隧道总数量将超过200座,总长度超过3000km。其中包含大量的铁路隧道群,如贵广高铁三都同乐段线路,其隧线比达到了87.8%。而到目前为止,我国铁路隧道发生过6起重大火灾,累积伤亡人数约300人,其中,死亡人数为115人,中断行车时间达到2500h,而且,隧道衬砌结构损伤严重,其灾后修复和重建的工程巨大。

为了保障旅客列车在隧道内发生火灾后人员的安全疏散与救援,减少火灾发生造成的经济财产损失,推动我国铁路隧道防灾救援技术的进步,中国铁路总公司开展了“长大隧道及特殊环境防灾安全技术——长大及大规模隧道群的防灾救援技术”(2013T001)、“铁路防灾技术研究——城际铁路隧道及水下铁路隧道防灾救援技术研究”(2015T004-B)和“高原特长隧道运营安全与防灾救援技术研究”(2008G030-C)等项目的研究工作。成兰铁路有限责任公司也及时展开了“成都至兰州线——隧道防灾救援疏散工程设计技术国际咨询”(CLRSJ-2011-03)等项目的研究工作。这些科研项目的研究成果不仅为我国铁路隧道防灾救援工程的设计提供有利参考和指导,而且对构建我国铁路隧道防灾救援体系,完善我国铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范,统一我国铁路隧道防灾疏散救援工程设计标准,提高我国铁路隧道运营管理水平,都具有十分重要的意义。作者作为上述研究项目的主持者和参与者,深刻觉得有义务和责任推广这些研究成果,为我国铁路隧道的防灾救援事业服务。

本书通过对国内外的316组铁路隧道火灾案例进行统计和分析,开发了隧道灾害数据库,探明了铁路隧道灾害特征;通过试验及理论分析,探明了铁路隧道明显段列车火灾烟流的影响范围,结合停车安全距离、火源长度等因素,建立了铁路隧道的分类方法,并明确了铁路隧道防灾救援疏散设施的结构型式;揭示了铁路隧道列车火灾场景及燃烧速率与火灾规模的相关关系,提出了列车火灾规模的确定方法;揭示了铁路隧道火灾温度分布和烟气扩散规律,提出了铁路隧道火灾温度分布和烟流阻力计算方法,建立了紧急救援站火灾网络通风及紧急出口、避难所、横通道等烟流控制通风计算方法;提出了铁路隧道人员必需安全疏散时间的构成及人员疏散的安全时间控制标准,探明了火灾模式下人员疏散特征,建立了铁路隧道紧急救援站、紧急出口、避难所、横通道的人员疏散时间计算方法;提出了铁路隧道紧急救援站、紧急出口、避难所、横通道的设置要求、结构型式、结构设计参数,建立了铁路隧道人员疏散安全评价方法及灾害风险和灾后评估技术;探明了火灾模式下隧道衬砌和围岩的温度分布规律,揭示了在有无防火涂料情况下火灾对衬砌的损伤深度分布规律,并对不同防火涂料厚度、不同燃烧时间、不同火灾规模以及不同围岩级别等条件下的火灾隧道衬砌安全整体稳定性进行了评价;构建了

铁路隧道防灾预警系统,提出了铁路隧道紧急救援站、紧急出口、避难所、横通道的机电控制系统配置标准;给出了“V”字型城际及水下铁路隧道火灾烟气的扩散模式,探明了不同控烟措施下列车携火进站时的烟气规律及活塞风对排烟效果的影响规律,建立了基于列车制动速度的活塞风速计算方法。以上研究成果在成兰铁路隧道和关角隧道等多条铁路隧道中得以应用,同时为《铁路隧道防灾疏散救援设计规范》(TB10020-2017)的修编提供了重要的理论依据。

本书共分为10章,第1章绪论,第2章铁路隧道防灾疏散救援体系,第3章铁路隧道防灾疏散数值模拟方法,第4章铁路隧道火灾烟流及疏散模型试验,第5章铁路隧道烟气控制设计方法,第6章铁路隧道防灾疏散设施设计方法,第7章铁路隧道衬砌结构抗火设计方法,第8章铁路隧道机电控制技术,第9章城际及水下铁路隧道防灾救援疏散设计,第10章铁路隧道防灾工程实例。

本书是在总结了作者近些年来在铁路隧道防灾疏散救援技术方面的研究成果基础上完成的。由王明年、于丽、赵勇、李琦著,其他参与著作人员有严涛、罗欣宇、代仲宇、霍建勋、徐浞源、李博、张子晗、刘祥、王晓亮、谢文强、刘辉、孙志涛等,由中铁第一勘察设计院集团有限公司提供关角隧道相关设计资料,中铁二院工程集团有限责任公司提供成兰线铁路隧道相关设计资料等。同时书中还引用了国内外已有的专著、文章、规范、研究报告等成果。在此对相关编者和作者一并表示感谢。虽然我们尽了很大的努力,但由于学识水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2017年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 铁路隧道火灾数据库	3
1.1.1 基础数据搜集	3
1.1.2 数据库使用方法	6
1.2 隧道火灾案例分析	11
1.2.1 隧道火灾原因分析	11
1.2.2 铁路隧道火灾的特点	13
1.3 国内外研究现状	14
1.3.1 国外研究现状	14
1.3.2 国内研究现状	17
第 2 章 铁路隧道防灾疏散救援体系	25
2.1 铁路隧道防灾救援体系构建	25
2.1.1 构建理念	25
2.1.2 构建目标	25
2.2 铁路隧道防灾救援体系组成	25
2.2.1 防灾救援疏散系统	25
2.2.2 防灾救援空间系统	30
2.2.3 防灾救援设备系统	56
第 3 章 铁路隧道防灾疏散数值模拟方法	58
3.1 铁路隧道火灾烟流数值模拟方法	58
3.1.1 火灾模拟的数值模型	58
3.1.2 火灾动力学模拟模型	59
3.1.3 流体动力学模拟模型 Fluent	65
3.1.4 网络通风计算方法	72
3.2 铁路隧道火灾人员疏散数值模拟方法	81
3.2.1 火灾人员疏散数值模型	81
3.2.2 人员疏散模拟模型 Exodus	83
3.2.3 人员疏散模拟模型 Subfe	94
3.2.4 人员疏散模拟模型 FDS+Eva	97
第 4 章 铁路隧道火灾烟流及疏散模型试验	101
4.1 铁路隧道火灾烟流试验	101
4.1.1 相似准则	101

4.1.2	隧道群火灾及紧急出口和避难所控烟试验	104
4.1.3	火灾烟流规律及随机停车控烟试验	123
4.1.4	紧急出口和避难所的加压防烟试验	130
4.2	铁路隧道火灾人员疏散试验	137
4.2.1	人员疏散原型试验	137
4.2.2	人员疏散现场测试	144
第5章	铁路隧道烟气控制设计方法	146
5.1	铁路隧道火灾蔓延规律	146
5.1.1	隧道火灾蔓延过程	146
5.1.2	隧道火灾温度蔓延时空规律	147
5.2	铁路隧道火灾烟流温度及研究阻力计算方法	149
5.2.1	隧道火灾温度计算方法	149
5.2.2	隧道火灾烟流阻力计算方法	150
5.3	铁路隧道火灾规模的确定	154
5.3.1	列车火灾的规模	154
5.3.2	列车火灾的燃烧速率	158
5.3.3	隧道火灾规模与最高温度及燃烧速率的关系	159
5.3.4	隧道火灾规模的确定	162
5.4	铁路隧道火灾通风排烟设计	165
5.4.1	隧道火灾通风控烟方式	165
5.4.2	隧道火灾通风排烟设计	168
5.4.3	隧道火灾通风排烟风机选型及设计	180
第6章	铁路隧道防灾疏散设施设计方法	183
6.1	火灾烟气对人员的影响	183
6.2	火灾情况下的人员疏散规律	187
6.3	人员疏散时间计算方法	189
6.3.1	《建筑设计防火规范》人员疏散计算方法	189
6.3.2	《地铁设计规范》人员疏散计算方法	190
6.3.3	日本水力模型计算方法	190
6.3.4	疏散时间计算方法	191
6.4	隧道内紧急救援站结构设计参数	195
6.4.1	紧急救援站容量	196
6.4.2	紧急救援站疏散横通道间距和宽度	196
6.4.3	紧急救援站站台长度、高度和宽度	198
6.4.4	紧急救援站内疏散通道宽度	201
6.5	隧道口紧急救援站结构设计参数确定	202
6.5.1	紧急救援站疏散通道数量	202
6.5.2	紧急救援站疏散通道宽度	203

6.5.3 紧急救援站站台长度	205
6.5.4 紧急救援站站台高度	205
6.5.5 紧急救援站站台宽度	206
6.6 铁路隧道横通道结构设计参数	208
第7章 铁路隧道衬砌结构抗火设计方法	209
7.1 隧道衬砌结构防火抗灾现场原型试验	209
7.1.1 试验概述	209
7.1.2 试验设计	209
7.2 火灾模式下衬砌温度场分布	215
7.2.1 有、无防火涂料时衬砌温度分布	215
7.2.2 不同防火涂料厚度时衬砌的温度分布	225
7.2.3 不同火灾规模时衬砌的温度分布	229
7.2.4 高温区不同位置时衬砌温度分布	233
7.2.5 不同燃烧时间下衬砌温度分布	236
7.3 火灾模式下衬砌结构的局部损伤	239
7.3.1 火灾对隧道衬砌力学性能的影响	239
7.3.2 火灾对隧道衬砌结构的损伤范围	245
7.3.3 火灾对隧道衬砌结构的损伤深度	250
7.4 火灾模式下衬砌结构内力及整体安全性	252
7.4.1 不同防火涂料厚度时衬砌的内力及安全性	252
7.4.2 不同火灾规模时衬砌的内力及安全性	263
7.4.3 高温区位置不同时衬砌的内力及安全性	270
7.4.4 不同燃烧时间情况下衬砌的内力及安全性	276
7.4.5 不同围岩级别时衬砌的内力及安全性	284
第8章 铁路隧道机电控制技术	291
8.1 机电控制设施配置原则	291
8.2 机电控制设施配置	291
8.2.1 中央控制管理设施	292
8.2.2 监视控制设施	293
8.2.3 紧急报警设施	294
8.2.4 火灾消防设施	295
8.2.5 疏散诱导设施	296
8.2.6 通风照明设施	300
8.2.7 其他设施	300
8.3 机电控制设备配置规模	302
8.3.1 紧急救援站结构控制设施配置规模	302
8.3.2 紧急出口、避难所结构控制设施配置规模	305
第9章 城际及水下铁路隧道防灾救援疏散设计	308

9.1 “V”字型城际及水下铁路隧道烟流和温度扩散模式	308
9.1.1 隧道火灾“烟囱效应”	308
9.1.2 坡度对火灾隧道温度及阻力影响理论分析	309
9.1.3 坡度对火灾隧道浮力烟流阻力(火风压)影响的理论分析	311
9.2 城际及水下铁路隧道地下车站火灾通风排烟模式	313
9.2.1 地下车站建筑形式	313
9.2.2 地下车站通风排烟模式	314
9.2.3 地下车站火灾烟气分布特性及通风控制模式	315
9.2.4 火灾列车停靠在城际铁路地下车站时人员安全评价	320
9.3 城际及水下铁路隧道携火列车进站时烟气扩散规律特性	321
9.3.1 列车携火进入车站的烟气分布特性	321
9.3.2 最高温度与列车车速的关系	326
9.3.3 列车制动车速与活塞风速的关系	326
9.4 城际及水下铁路隧道地下车站人员疏散救援设计	333
9.4.1 人员疏散时间确定	333
9.4.2 地下车站结构设计参数确定	341
第10章 铁路隧道防灾工程实例	344
10.1 关角隧道防灾救援设计	344
10.1.1 工程概况	344
10.1.2 管理系统设计	344
10.1.3 疏散系统设计	347
10.1.4 土建设施设计	347
10.1.5 通风控烟设施设计	349
10.1.6 机电控制设施设计	352
10.2 成兰线隧道群防灾救援设计	355
10.2.1 工程概况	355
10.2.2 管理系统设计	359
10.2.3 疏散系统设计	360
10.2.4 土建设施设计	375
10.2.5 通风控烟设施设计	383
10.2.6 机电控制设施设计	387
主要参考文献	394

第 1 章 绪 论

我国铁路隧道具有数量多、长度长、分布区域广、所处环境和地质情况复杂等特点。我国铁路隧道现代化修建的标志是 2000 年建成的西康铁路秦岭 I 线特长隧道，之后东秦岭隧道、乌鞘岭隧道、太行山隧道等一批特长铁路隧道陆续建成通车。

随着我国铁路建设的快速发展，近年来，铁路隧道数量越来越多，长度也越来越长，特别是长度大于 10km 的特长隧道总量已超过 350 座，其中，长度大于 20km 的隧道有 13 座，总长约 325km，如表 1-1 所示。高隧线比的隧道群线路层出不穷，如渝利线为 75.6%，川藏线雅安至康定段隧线比为 74.1%，有多条线路的隧线比超过 50%，如表 1-2 所示。另外，随着城市化的不断发展及城市间日益紧密的联系，城际及水下铁路隧道的数量也逐渐增多，如莞惠城际铁路正线全长 99.851km，隧道占线路总长度的 54.52%；武黄城际铁路全长 97km，桥隧所占比例为 71%，如表 1-3 所示。从以上铁路隧道的发展历程可以看出，特长铁路隧道和隧道群数量越来越多，铁路隧道防灾疏散救援工程的建设显得尤为重要。

表 1-1 国内超过 20km 铁路隧道一览表

隧道名称	长度/km	线别	通车时间	线路名称
新关角隧道	32.645	双洞单线	2014 年	西格铁路增建二线
太行山隧道	27.848	双洞单线	2009 年	石太高铁
南吕梁山隧道	23.474	双洞单线	2014 年	晋豫鲁通道
中天山隧道	22.449	双洞单线	2014 年	南疆铁路
青云山隧道	22.161	双洞单线	2013 年	向莆铁路
吕梁山隧道	20.785	双洞单线	2011 年	太中银铁路
乌鞘岭隧道	20.050	双洞单线	2006 年	兰武二线
高黎贡山隧道	34.538	双洞单线	在建	大瑞铁路
平安隧道	28.426	双洞单线	在建	成兰线
西秦岭隧道	28.236	双洞单线	在建	兰渝线
云屯堡隧道	22.923	单洞双线	在建	成兰线
燕山隧道	21.153	双洞单线	在建	张唐铁路
当金山隧道	20.100	单线隧道	在建	敦格线

表 1-2 高隧线比铁路隧道线路一览表

线路名称	隧道座数	隧道长度/km	铁路长度/km	隧线比/%
渝利线	68	184.676	244.269	75.6
川藏线雅安至康定段	36	114.025	153.88	74.1

续表

线路名称	隧道座数	隧道长度/km	铁路长度/km	隧线比/%
三门峡至十堰(襄樊)铁路	64	190.835	280.98	67.92
襄渝线	243	328.592	507	64.81
兰渝线	220	528.696	820	64.48
宜万铁路	123	225.636	377.128	59.83
温福铁路	65	160.723	298.4	53.86
贵广铁路	214	455.868	857	53.19
向莆铁路	117	291.876	603.623	48.35
晋中南线	74	134.504	291.613	46.12
沈丹线	57	90.448	205.57	44
石太客专	32	74.887	189	39.62
牡绥线	16	50.11	137.287	36.5
甬台温铁路	59	88.116	268	32.88
大瑞线	21	103.716	350	29.63
运城至三门峡	6	22.22	82.528	26.92
京沈铁路	100	181.4	687.4	26.39
白河至敦化至东京城际铁路	36	58.3457	234.036	24.93
黔桂线	149	121.211	489	24.79
哈牡客专	39	64.43	289.977	22.22
太中银线	109	159.047	944	16.85
武广客专	228	173.764	1068.8	16.26
包西线	93	151.358	935	16.19
郑西铁路	39	77.332	484.518	15.96
铁力至伊春铁路	8	19.35	121.7	15.90
大西客运专	17	57.8038	477.413	12.11

表 1-3 长度在 5km 以上的城际及水下铁路隧道一览表

隧道名称	长度/km	所属线路	开通时间	备注
松山湖隧道	38.821	莞惠城际铁路	在建	—
东江隧道	15.098	莞惠城际铁路	在建	水下隧道
树木岭隧道	12.86	长株潭城际铁路	在建	—
湘江隧道	12.5	长株潭城际铁路	在建	水下隧道
新八达岭隧道	12	京张城际铁路	在建	—
狮子洋隧道	10.8	广深港高速铁路	2011 年	水下隧道
浏阳河隧道	10.115	京广高铁	2012 年	水下隧道
秦山隧道	5.505	青荣城际铁路	2014 年	—

铁路隧道主要的事故形式是列车火灾、碰撞和脱轨等，其中，火灾是最具破坏力的。由于铁路隧道是管状结构物，一旦发生火灾，隧道内温度迅速升高，烟雾大，疏散扑救困难，危害程度远远高于其他地面事故形式。因此，隧道火灾造成的影响和损害程度是巨大的，其不仅危及人的生命，造成车辆毁坏，交通中断，而且还损伤隧道结构，影响隧道的使用寿命，甚至会导致局部地区生产秩序的混乱或停顿。

铁路隧道内火灾的根源主要是危险货物列车(如油罐车)、旅客列车(如旅客携带易燃易爆品、电气故障等)及隧道设备等。火灾事故主要有旅客列车在隧道中的各种意外着火事故、货物列车和油罐列车在隧道内发生的重大火灾事故。这些事故的损失往往非常惨重。据统计，1976 年以来，国内发生了七次隧道列车重大火灾事故，累计中断行车时间 2500h，人员伤亡超过 300 人(死亡 115 人)，直接经济损失超过 3 千万元，间接经济损失更是无法估计。

随着铁路隧道及隧道群规模的日益增大，一旦发生灾害，必将导致重大伤亡和损失。因此，如何解决好长大铁路隧道及隧道群的火灾疏散与救援问题，已经成为一个十分重要的研究课题。

1.1 铁路隧道火灾数据库

为了从宏观上掌握隧道火灾的主要原因和规律，了解隧道火灾的危害程度，给出有效的救援策略，研究人员利用现代计算机技术，通过对三百多起隧道火灾事故进行调研，建立了数据库系统，指明了下一步的科研方向，同时，对合理组织安全运营管理具有重要的意义。具体体现在如下两个方面。

(1)由于运用计算机技术，运营安全管理决策实现了自动化，使决策更加科学和可靠。

(2)可以借助该数据库系统，建立有效的事故动态控制系统工程。这样，可在对事故总体波动因素和控制因素进行定性分析的基础上，对单个影响因素进行定量化的描述，可以为事故动态宏观控制决策提供可靠的依据。

1.1.1 基础数据搜集

研究人员统计了国内外铁路、地铁和公路火灾共 316 起，其中铁路隧道火灾 42 起，具体信息如表 1-4 所示。

表 1-4 调研的铁路隧道灾害信息

编号	隧道名称	国家	原因简述	时间	灾害损失	长度/m
1	圣地亚哥—德孔波斯特拉隧道	西班牙	列车从西班牙首都马德里开往北部城市费罗尔，在途经圣地亚哥附近时发生脱轨	2013 年 7 月 24 日	—	—
2	乌鞘岭铁路隧道左线	中国	牵引列车的电力机车突然起火	2007 年 7 月 27 日	—	200000

续表

编号	隧道名称	国家	原因简述	时间	灾害损失	长度/m
3	西延线蔺家川铁路隧道	中国	—	2003 年 6 月 12 日	货物列车火灾, 死亡 8 人, 伤 10 人, 中断正线行车 579h, 直接经济损失 561.42 万元	—
4	Mornay 隧道	法国	火灾	2003 年 5 月 2 日	—	2600
5	Tunnel on line Ozieri Chilivani-Decimomannu	意大利	火灾	2002 年 8 月 1 日	—	—
6	Tunnel on line Genova Nervi-Pisa	意大利	在隧道中, 由于能源供应系统发生故障, 引发 538 型机车车头起火, 火灾被车载灭火系统控制在一定范围内	2002 年 5 月 3 日	—	—
7	96 号铁路隧道	法国	火灾	2002 年 5 月 20 日	1 人轻伤	4100
8	Crêtd'eau 隧道	法国	火灾	2002 年 4 月 27 日	—	4000
9	Tunnel on line Nodo di Napoli	意大利	故意使用纸张点燃了斩波器柜	2002 年 3 月 29 日	—	—
10	基茨施坦霍恩山铁路隧道	奥地利	正在隧道内行驶时, 旅客违规吸烟, 导致发生火灾	2000 年 11 月 11 日	155 人死亡, 18 人受伤, 隧道的安全标准过低是导致这场悲剧的重要原因	—
11	Mont Blanc 铁路隧道	法国、意大利	不详	1999 年 5 月 24	火灾持续 15min, 38 人死亡	—
12	St. Gotthard 隧道	瑞士	火灾	1997 年 9 月 17 日	—	16920
13	Exilles 隧道	意大利	火灾	1997 年 7 月 1 日	—	2100
14	Simplon 隧道	瑞士	火灾	1995 年 12 月 20 日	受影响较小, 第二天隧道再次开放	19800
15	St. Gotthard 隧道	瑞士	火灾	1994 年 7 月 5 日	50m 范围内的天花板、路面和设备严重损坏, 隧道封闭 2.5 天	16300
16	Eole 运输线	法国	火灾	1994 年 2 月 1 日	—	—
17	蔺家川铁路隧道	中国	18 辆编组油槽车中有 8 辆起火	1993 年 6 月 12 日	中断行车 579.3h	114
18	东京三田线冲日站至白山站间	日本	电车底部设备脱落, 引发车站变电所的高速度遮断器运作, 使列车紧急停车	1992 年 8 月 29 日	电车受损, 无人员死亡, 乘客步行走出隧道避难	—
19	大瑶山铁路隧道	中国	旅客抽烟引起火灾	1991 年 9 月 18 日	死 12 人, 伤 20 人 (旅客跳车引起受伤)	14295
20	重庆梨子园铁路隧道	中国	油槽列车中部爆炸起火	1990 年 7 月 13 日	人员伤亡 18 人, 其中直接死亡 2 人, 轻伤 5 人, 损坏 30 节车辆, 烧毁汽油 590t 和几百吨大蒜	1776
21	Brenner 隧道	瑞士	火灾	1989 年 5 月 18 日	2 人死亡, 9 人受伤	1236

续表

编号	隧道名称	国家	原因简述	时间	灾害损失	长度/m
22	关西近铁生驹隧道	日本	供电电缆起火, 电车停止在隧道内	1988 年 9 月 21 日	烧毁电缆等设备, 死亡 1 人, 伤患 57 人	—
23	Gare de lyon	法国	制动失灵, 和常备火车撞击	1988 年 6 月 27 日	59 人死亡, 32 人受伤	—
24	陇海线十里山 2 号铁路隧道	中国	钢轨断裂引起油槽列车颠覆发生火灾	1987 年 8 月 23 日	报废 23 辆车辆, 损坏 4 辆, 烧毁汽油超过 1000t, 3 人死亡, 隧道裂损 179m, 损坏线路 763m	179
25	Münden 隧道	德国	—	1987 年 5 月 15 日	—	1200
26	San Benedetto 隧道	意大利	炸弹袭击	1984 年 12 月 23 日	17 人死亡, 120 人受伤; 这场爆炸总共摧毁了两节车厢, 但是没有引发大火	18500
27	Shitzuoka 铁路隧道	日本	—	1979 年 4 月 9 日	大火持续了 159h, 隧道严重损坏 1100m	—
28	昆哥斯拉奇铁路隧道	西班牙	13 辆编组的油槽车因接触网发生故障, 造成洞内停车, 并由推车引发火灾	1978 年 9 月 22 日	车辆烧坏, 死 7 人	1800
29	Saint Julien 隧道	法国	碰撞	1977 年 5 月 20 日	1 人死亡	1000
30	Guadarrama 隧道	西班牙	火灾	1975 年 8 月 14 日	结构严重损坏约 210m	3330
31	Lötschberg 隧道	瑞士	火灾	1972 年 2 月 1 日	3 人受伤	—
32	北陆铁路隧道	日本	15 辆编组列车在隧道中运行至 5.3km 处因电气取暖器漏电引发火灾	1972 年 11 月 6 日	死 30 人, 伤 714 人	13870
33	Crozet 隧道	法国	火灾	1971 年 3 月 20 日	2 人死亡, 200 人受伤	2600
34	克洛次铁路隧道	法国	一列货物列车与一列油罐列车在进入克洛次隧道北口附近时相撞发生碰撞起火	1971 年 3 月 21 日	2 人死亡	266
35	18 号铁路隧道	日本	三辆编组的快车, 在制动过程中, 回路断路器发生故障	1965 年 5 月 17 日	全部车辆被烧毁, 死 1 人, 伤 42 人	1800
36	石北铁路隧道	日本	三辆编组的列车, 最后一辆车的底盘马达失火	1961 年 11 月 7 日	—	4500
37	Penmanshiel 隧道	英国	火灾	1949 年 6 月 23 日	7 人受伤	244
38	生驹山铁路隧道	日本	三辆编组的电车, 由于最前面车辆的电阻器失火而燃烧	1947 年 4 月 16 日	全部车辆被烧毁, 死 28 人, 伤 64 人	3300
39	Armi 隧道	意大利	一氧化碳中毒	1944 年 3 月 3 日	426 人死亡, 60 人受伤	1300
40	Torre 隧道	西班牙	火灾	1944 年 1 月 3 日	91 人死亡, 六节车厢起火	1000

续表

编号	隧道名称	国家	原因简述	时间	灾害损失	长度/m
41	Batignolles 隧道	法国	由于后至火车接到错误的指令驶进隧道,与前面的火车发生追尾	1921 年 10 月 5 日	28 人死亡	1000
42	Welwyn north 隧道	英国	火灾	1866 年 8 月 6 日	3 列火车完全被摧毁	1000

1.1.2 数据库使用方法

1. 功能分析

该数据库系统包括下列两个模块，要求实现的功能分述如下。

(1)数据库管理模块。该模块实现对数据库的载入以及对数据源进行添加、删除和更改等操作。

(2)统计分析模块。该模块实现对数据库进行查询、排序、统计等操作。可方便地以各种方式对数据库进行复杂的查询和排序操作，并可以将查询、排序结果以一定的格式输出到终端(屏幕、打印机等)或文件中。

2. 系统调查

对该系统进行定量调查后，初步确定系统的规模和建设的工作量，通过分析成本和效益之间的关系，以及系统要解决的问题和目标，预测系统建设的可行性(技术问题、软硬件问题)。从理论和实践上证实了该系统的可行性和实用性。

3. 系统分析

该数据库系统的设计采用目前常用的 New Orlens 方法，主要工作是进行用户需求分析、逻辑设计、概念设计和系统的技术要求设计。其流程见图 1-1 所示。

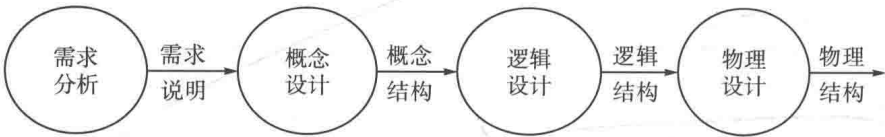


图 1-1 New Orlens 数据库设计流程图

其中，用户需求分析主要是收集用户的要求，并对这些要求进行周密的分析，确定哪些是合理的，哪些是不合理的，哪些要求是能办到的，哪些要求是暂时办不到的，以便确定系统的功能。

概念设计是根据系统要求产生的输出，画出总体逻辑模型图和总体流程图，确定主要的数据结构、数据存储和处理逻辑。在该阶段，采用 E-R 法(entity-relationship approach)按下列步骤进行：①设计局部 E-R 模型；②设计全局 E-R 模型；③对全局 E-R

模型进行优化。

在隧道火灾事故中，E-R 法的实体为隧道火灾事故，其属性为隧道名称、所属国家、隧道长度、时间、伤亡人数及损失情况、火灾原因及概况、备注。

E-R 法数据库关系图如图 1-2 所示。

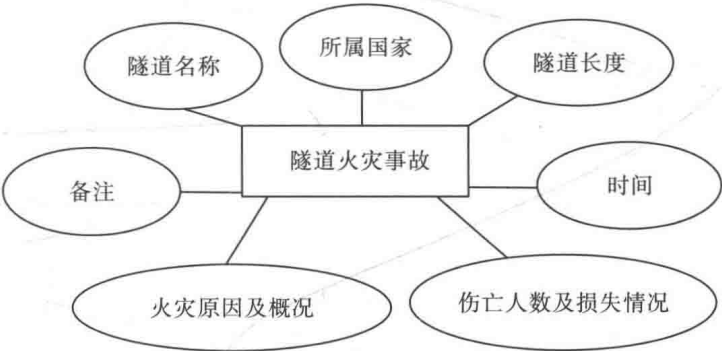


图 1-2 E-R 法数据库关系图

4. 系统设计

现在常用的数据库模型有层次模型、网状模型、关系模型以及面向对象的数据库模型。其中，关系模型由于结构简单、规范，一个关系就是一个二维数据表格，所以结构灵活方便，数据独立性强；同时，基于功能强大的关系代数，该模型可以把二维表进行任意分割和组装，随机地构造出各式各样的用户需要的表格关系，因此，本数据库采用关系型数据库模型。

(1)关系模式。隧道火灾事故，包括隧道名称、所属国家、火灾原因及概况、时间、伤亡人数及损失情况、隧道长度、备注。

(2)关键字。关键字是指能唯一标识一个关系的元组而又不含有多余属性的字段。

(3)关系表。建立的关系表如表 1-5 所示。

表 1-5 隧道火灾事故关系表

隧道名称	所属国家	火灾原因及概况	时间	伤亡人数及损失情况	隧道长度	备注
—	—	—	—	—	—	—

5. 程序设计

(1)开发平台的选择。在 Windows 平台下，面向对象的开发平台有很多种，这些开发系统各具特色。由于 Visual C++ 基于 C/C++ 语言，又来自 Windows 操作系统本身的开发者 Microsoft，是一个运行于 Windows 上的交互式可视化集成开发环境，集程序的代码编辑、编译、连接、调试等于一体，给编程人员提供了一个完整而又方便的开发界面和许多有效的辅助开发工具，因此，在众多的可视化集成开发环境中，Visual C++ 是 Windows 底层编程的最佳选择。所以，本系统以 Visual C++ 为开发平台，研制了隧道火灾数据库系统，该系统可以为隧道防(火)灾提供既有事故资料的查询、统计、分析等

功能。

(2)开发流程。依据软件工程的思想,采用传统的“瀑布模型”,遵循“分析—设计—编码—测试”的基本流程。首先,确定程序要实现的功能,然后确定程序的总体结构和每个模块的内部逻辑结构。接着进行编码,使设计的内容通过计算机语言在机器上实现。最后,进行程序的全面测试。其对应的瀑布模型如图 1-3 所示。

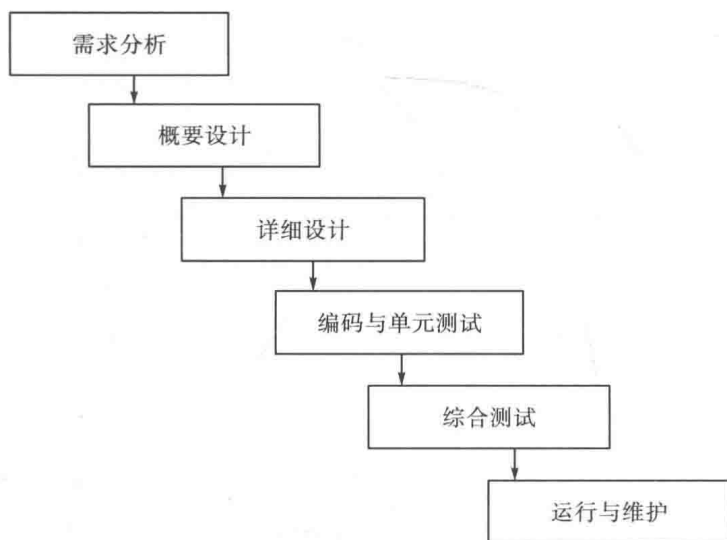


图 1-3 瀑布模型基本流程图

(3)程序实现。程序设计以 Visual C++6.0 为开发平台。Visual C++6.0 对数据库编程具有非常友好的支持,它拥有多种数据库访问方式,其中包括 ODBC(open database connectivity, 开放数据库连接)、DAO(data access objects, 数据访问对象)、ADO(active data objects, 数据对象)等。其中, MFC(Microsoft foundation classes, 微软基础类库)DAO 在编程方法上,与 MFC ODBC 相比并没有多大的差别。但是,依据读者使用的不同的数据库系统,选择不同的接口,会导致应用性能方面存在较大差异。例如,要通过 Microsoft Jet 数据引擎访问 Microsoft Access 数据库,使用 DAO 会有着显著的性能优势。

6. 系统实现

(1)系统界面。该系统采用 Windows 标准的视窗界面(图 1-4),整个系统的界面由主窗口、多文档子窗口(分割窗口)和多个对话框组成(图 1-5)。

(2)操作方式。该系统具有非常直观、灵活、方便的操作方式。如果用户要进行一般的查询操作,则只需用鼠标进行操作就能得到所需的结果,而不需要从键盘输入任何参数。对于有特殊要求的查寻,也只需要从键盘输入少量的数据即可。

(3)查询方法。系统采用自定义查询法。该法首先需要用户通过对话框来构造查询条件,然后执行该查询条件即可得到用户需要的记录集。用户自定义的查询条件可以存盘,以备下次使用,也可局部修改后再次使用。这种查询方法支持用户根据需要构造相当复杂的查询条件。