

# 《公路工程隧道防火涂料》

## 交通行业标准编制说明

（征求意见稿）

《公路工程隧道防火涂料》编制组

2016年10月

## 目录

1. 工作简介.....	3
1.1 任务来源.....	3
1.2 协作单位.....	3
1.3 主要工作过程.....	3
1.4 标准主要起草人及其工作内容.....	4
2. 标准编制原则和确定标准主要内容.....	4
2.1 标准编制的原则.....	4
2.2 制定的理由和目的.....	5
2.3 标准编制和主要试验验证分析.....	8
3. 预期的经济效果、社会效果及环境效果分析.....	16
4. 采用国际标准和国外先进标准情况.....	17
5. 与有关的现行法律、法规及标准的关系.....	17
6. 重大分歧意见的处理经过和依据.....	17
7. 其他应予说明的事项.....	17

# 《公路工程隧道防火涂料》行业标准编制说明

## 1. 工作简介

### 1.1 任务来源

根据交通运输部交科技发[2015]114号文件《关于下达2015年交通运输标准化计划的通知》，下达了《公路工程隧道防火涂料》行业标准（项目编号：JT 2015-155）的标准制定项目。该标准由交通运输部公路科学研究院等单位参加起草。

### 1.2 协作单位

本标准主要有交通运输部公路科学研究院、内蒙古路桥有限公司、中路高科（北京）公路技术有限公司等单位共同起草编制。交通运输部公路科学研究院与中路高科（北京）公路技术有限公司负责标准的起草工作和试验验证分析工作，内蒙古路桥有限公司负责产品的调研工作。

### 1.3 主要工作过程

2015年7月成立隧道防火涂料起草组；

2015年9月11日，标准负责起草单位在北京市召开了第一次行业标准工作会议。在会上交流了产品生产与应用情况，讨论了标准制定的内容，安排了调研与验证试验内容，明确了分工，制定了工作方案与计划，筹组了标准起草小组。会上，经讨论达成了如下共识：1) 标准名称初步拟定为“公路工程隧道防火涂料”；2) 初步界定标准的适用范围为：工厂生产的用于交通等行业的公路工程隧道混凝土结构表面的防火涂料；3) 将升温曲线定为三类，ISO型：按GB/T 9978.1规定的标准温升曲线，HC型：按GA/T 714规定的HC升温曲线，RABT型：按GA/T 714规定的RABT升温曲线；4) 将公路工程隧道防火涂料的毒性指标分为两部分进行，第一部分为一般要求，即常温下要求，涂料中不宜采用苯类溶剂、石棉等对人体有害的物质以及涂层实干后不应有刺激性气味；第二部分为毒理性要求，即高温下的毒理性测试。5) 隧道防火涂料本体以及硬化物性能包括：状态、干燥时间、粘结强度、干密度、耐水性、耐酸性、耐碱性、耐冻融循环性能、耐湿热性、毒性以及耐火性。

2015年10月~2016年9月，进行试验验证工作和标准起草工作。验证试验工作由交通运输部公路科学研究院主要负责，试验样品为市场销售产品或由施工企业提供样品。第一阶段试验由交通运输部公路科学研究院主要负责，主要对采用的试验方法进行研究并细化，以减少不同试验室的试验误差，提高方法的复演性、可比性和准确性。第二阶段试验由交通运输部公路科学研究院负责，对生产企业所送试样一式两份进行并行试验。第一、二阶段试验2016年9月前完成后。标准负责起草单位根据调研与验证试验结果起草行业标准征求意见稿（草案）。

2016年9月16日，标准负责起草单位在北京市召开了第二行业标准工作会议，共有生产与施工企业、科研院所等5家单位的10名代表参加会议。在会上，汇报了第一、二阶段验证试验情况与试验结果，对行业标准征求意见稿（草案）提出了修改意见。会上对征求意见稿（草案）作了如下修改：1）英文译名改为“Tunnel fire resistive coating in highway engineerings”；2）范围改为“本标准规定了适用于隧道防火涂料的范围、术语和定义、产品分类、要求、试验方法、检验规则、标志、标签、包装、运输与贮存”以及“本标准适用于公路工程隧道混凝土结构表面的防火涂料”。会议认为：现在起草的《公路工程隧道防火涂料》行业标准将耐火性分为三个等级分别要求具有十分重要的意义。在此基础上，修改《公路工程隧道防火涂料》征求意见稿（草案），形成正式文本，撰写行业标准编制说明。

2016年10月17日，由全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会组织召开了标准征求意见稿会，形成标准征求意见稿，准备进行意见征集。

## 1.4 标准主要起草人及其工作内容

本标准的主要起草人：王稷良、刘胜军、侯荣国、宝群群、刘英、彭鹏、李思李、柯国炬等。

王稷良、侯荣国、刘英等负责标准的起草工作；彭鹏、李思李、柯国炬负责产品性能验证工作；刘胜军、宝群群负责产品的调研工作。

## 2. 标准编制原则和确定标准主要内容

### 2.1 标准编制的原则

本标准的编制原则是依据 GB/T 1.1—2009 给出的原则，严格按照工信部[2009]89 号文

件相关要求和有关标准、政策法规进行编制的。制定本标准应满足我国技术发展和生产需要，充分体现行业进步和发展趋势，符合国家产业政策，推动了行业技术水平的提高。标准文本格式、条款主要是依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写规则》进行编写。本标准的主要内容是对公路工程隧道防火涂料提出性能要求，规定了该产品的范围、分类、要求、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、贮存和运输等内容。

## 2.2 制定的理由和目的

隧道防火涂料是专门针对隧道侧壁和拱顶在火灾中免受烧损而专门设计的一类专用防火涂料，它喷涂在隧道内拱顶和侧壁的表面，起防火隔热保护作用，使用它可防止隧道内钢筋混凝土在火灾中迅速升温而导致强度降低，避免混凝土炸裂、衬内钢筋破坏失去支撑能力而导致隧道垮塌。

在国外，为解决隧道防火问题，世界各国进行了多方面的研究和探索。隧道防火涂料在国外生产已经有 40 多年的历史，目前主要的生产商有 CAFCO 国际公司和 CERAMICOAT 有限公司，还有很多的英国公司，他们在隧道防火涂料的研发领域有很强的实力。例如 CAFCO 国际公司的产品 CAFCO300、CAFCO800、MK-6 等产品已经被用于很多工程当中，并显示了良好的防火性能。CAFCO 国际公司在英国、美国、法国、意大利、卢森堡、韩国、新加坡、印度、澳大利亚、西班牙及我国的台湾、香港等地均设有生产基地，防火涂料施工面积已达 3000 多万平方米。

我国对隧道结构进行防火保护工作始于 20 世纪 80 年代中期，但限于当时的技术、经济状况，除了上海延安东路越江隧道等有限的几个隧道喷涂了防火涂料外，其它隧道的结构都没有采取防火措施。真正根据有关隧道设计规范设计、建造隧道，还是近几年的事，而隧道防火涂料的应用，则是从 2000 年前后开始的。当时，一些企业将厚型钢结构防火涂料或混凝土楼板防火涂料甚至电缆防火涂料作为隧道防火涂料使用，而这些涂料保护的物体是不同的，电缆防火涂料是专用于电缆的被动防火保护的涂料，按 ISO 834 曲线升温，耐火极限最多 20 min，根本抵挡不了隧道的火灾。电缆防火涂料的有效成分几乎全是有机物质，有机物质的通性是性质不稳定，因而其耐久性差，更致命的是火灾时，涂料会产生有害物质，在隧道中绝对不能选用。有的企业用现有的预应力楼板防火涂料来代替隧道防火涂料，但预应力楼板防火涂料与隧道防火涂料的使用环境不同，后者应耐潮湿，且车辆通过时会产生强风及震动。由于预应力楼板防火涂料不能承受烃类火灾，因此预应力楼板防火涂料

不能代替隧道防火涂料。厚型钢结构防火涂料或混凝土楼板防火涂料耐火极限较高，但它们存在以下几个问题。

(1) 涂层太厚。如按 ISO 834 曲线升温，耐火性能达到 3 h，一般涂料涂层厚度约需 20~30 mm；由于涂层较厚，需要多次喷涂，施工困难。如按碳氢曲线升温，由于厚型钢结构防火涂料或混凝土楼板防火涂料不能承受快速升温的热冲击，可能在几分钟内就发生爆裂，不能满足隧道的特殊防火要求。

(2) 黏结强度低。厚型钢结构防火涂料的黏结强度一般为 0.105 MPa，混凝土楼板防火涂料黏结强度一般为 0.115 MPa，车辆在隧道通行时，会产生强风和震动，将它们用于隧道，不能满足隧道的实际需要，如重庆某隧道使用了某企业的涂料，通车后，常有涂层脱落，影响了车辆通行，已成为交通隐患。

(3) 未注重涂层毒性研究，一旦发生火灾，将影响火灾的扑救和隧道的修复。

(4) 耐水性较差，涂层长期处于隧道的潮湿环境中，会结水、返卤，甚至脱落。

因此这几种涂料均不能充当隧道防火涂料，必须开发隧道专用的防火涂料。考虑到隧道本身的特点，隧道防火涂料的生产与选用，根据其应用环境，应遵循以下原则：

(1) 涂料燃烧时应无有毒气体产生，以便于隧道火灾的扑救及隧道的修复。

(2) 隧道渗水是一个世界性难题，至今没有彻底解决，车辆通过时，会产生强风及震动。因此，在选用隧道防火涂料时，不仅要考虑涂料的耐火性能，还必须重点兼顾涂料的粘结性及耐水性。

(3) 隧道工程工期较紧，施工量大，因此，应充分考虑施工的方便性和施工效率，涂料应既可以人工涂抹，又可以机械喷涂。

(4) 为使涂料能广泛应用同时又具有较强的市场竞争优势，必须充分考虑产品的价格。

我国隧道防火的研究起步较晚，但发展较快。1983 年~1984 年，研制出用于涂覆建筑物钢结构的 LG 钢结构防火隔热涂料和涂覆保护建筑物预应力混凝土楼板的预应力混凝土楼板防火隔热涂料，促进了我国建筑结构用防火涂料的发展。2001 年以后，国内学者提出了以硅酸盐为主要粘结剂，以氢氧化铝、膨胀蛙石、三硅酸镁等为填充料，四硼酸钠为防火助剂的隧道防火涂料；针对隧道砌体不耐高温的特点，研制了一种以无机胶凝材料为主的耐潮湿环境的水硬性隧道防火涂料，该涂料可同时应用于钢结构和混凝土的防火保护；开发了新的物理膨胀阻燃剂，以可膨胀石墨为主，制取了一种无卤、环保、并具有优良防火性能的物理膨胀型防火涂料。

上述报道的隧道防火涂料的制造均是以水玻璃、水泥、白水泥、高铝水泥、磷酸盐类等无机物为黏结料；以珍珠岩，膨胀蛭石，微空硅酸钙，硅藻土、粉煤灰玻璃微珠、海泡石粉、滑石粉等为填充骨料；以玻璃纤维、钢纤维、聚丙烯纤维等为增强材料；以含结晶水的铝、镁、硼、锌的氧化物等为阻燃剂；以上产品其组分主要由无机材料构成。目前，这些产品还在强度、柔性、耐水性、耐酸蚀性和对高低温变化的适应性等方面均还存在不足。

而我们从国内外各类防火涂料的文献专利看出，用于保护不燃性建筑结构的涂料包括有机膨胀型厚浆涂料和轻体无机防火喷涂料两类。在火灾温度下，有机膨胀涂料的碳质泡沫层，易逐渐消失而降低防火隔热作用，即使是最好的涂料，涂层增至 417 mm 时，耐火极限也只有 1h。而无机喷涂料，由于密度轻，热导率小，耐火性能好，随涂层厚度不同，可满足 1~2h 甚至更长时间的耐火要求。但纯粹的无机物构成的喷涂料，容易出现硬而脆产生龟裂脱落等不利情况。因此，在隧道防火涂料的研究中，一般应采用非膨胀型的、无污染的水性有机—无机复合涂料的研究技术路线。

如今，世界许多国家已经建立了隧道防火涂料的测试标准，如英国 BS476，美国 ASTM E-119 (UL 263)，德国 DIN 4102，还有国际标准 ISO 834。这里以美国为例，美国消防法规 (NFPA) 502《隧道、桥梁、高架桥和天桥等有效通道结构的防火标准》规定：隧道内主体承重构件耐火极限应为 4h。美国定义的大型隧道防火功率为 100MW 以上，是我国进行的模拟实体建筑火灾强度的 10 倍，温度可达 1200℃ 以上，属于典型的烃类火灾。由于我国隧道防火涂料研制起步晚，2006 年以前还没有相应的国家或行业标准，生产企业纷纷按自己制订的企业标准进行生产和销售，产品的耐火性能是按公安部颁布的公共安全行业标准 GA 98-1995《预应力混凝土楼板防火涂料通用技术条件》和 GB/T 9978-88《建筑构件耐火试验方法》进行试验的。

2006 年 3 月 1 日实施的 GA98-2005《混凝土结构防火涂料》(在 GA 98-1995《预应力混凝土楼板防火涂料通用技术条件》基础上进行修订得到的)，新增了隧道防火涂料的试验方法和技术要求。隧道防火涂料耐火性能的测试修改参考了 BS EN1363-2:1999《耐火试验 第二部分：可选程序和附加程序》和 GT-98063 98-CVB-R1161《隧道防火保护 第一部分：沉埋隧道耐火试验程序》，其核心是其升温曲线是按碳氢时间—温度曲线进行升温的，要求 1~2min 内温度迅速达到 800℃，20~30min 温度达到 1100℃，较 GB/T 9978-88 耐火试验方法严格得多。

国内隧道防火涂料生产企业主要有以下八家：上海汇丽涂料有限公司、长沙威特消防新材料科技有限公司、四川天府防火材料有限公司、成都大地岩工程技术开发公司、洛阳佛尔

达消防产品有限公司、广州泰保防火材料有限公司、北京新亚防火防水涂料有限责任公司。

由于应用领域不同，同为防火涂料，对材料性能要求有一定的差异，其试验方法有共同之处，但也有不同之处。因此，制定《公路工程隧道防火涂料》行业标准，统一产品质量要求与试验方法，对保证产品质量，保证工程建设质量具有重要的意义。

## 2.3 标准编制和主要试验验证分析

### 2.3.1 标准的名称

隧道防火涂料是一种涂覆在公路、铁路隧道混凝土结构表面，能形成耐火隔热保护层以提高其结构耐火极限的专用防火涂料。其特性为：涂层密度较小、高温时耐火隔热。由于隧道是半封闭空间，所以隧道环境有湿度大，通风差，产生的烟尘不易消散，车辆产生的震动大等特点。隧道火灾往往是由机动车油箱着火引起，火灾温度能达 1 000 ℃以上。因此，研制的隧道防火涂料要具备以下技术性能：

- 1) 与混凝土具有良好的黏结力，凝固干燥快；
- 2) 涂层必须具备耐高温性（1 000 ℃以上），优良的耐水性、耐碱性、耐酸性、耐冷热循环性、耐冻融性；
- 3) 涂料具有环保性，遇火时不会产生有毒气体；
- 4) 施工简便，操作容易。

### 2.3.2 范围

公路工程隧道防火涂料是指隧道内混凝土结构表面的防火涂料。

### 2.3.3 产品分类

GB50016-2014《建筑设计防火规范》中规定，单孔和双孔隧道应按其封闭段长度和交通情况分为一、二、三、四类，并应符合表 1 的规定。

表 1 单孔和双孔隧道分类

用途	一类	二类	三类	四类
	隧道封闭段长度 L (m)			
可通行危险化学品等机动车	L > 1500	500 < L ≤ 1500	L ≤ 500	—
仅限通行非危险化学品等机动车	L > 3000	1500 < L ≤ 3000	500 < L ≤ 1500	L ≤ 500



仅限人行或通行非机动车	—	—	L>1500	L≤1500
-------------	---	---	--------	--------

交通隧道的火灾危险性主要在于：1) 现代隧道的长度日益增加，导致排烟和逃生、救援困难；2) 不仅车载量更大，而且需通行运输危险材料的车辆，有时受条件限制还需采用单孔双向行车道，导致火灾规模增大，对隧道结构的破坏作用大；3) 车流量日益增长，导致发生火灾的可能性增加。隧道承重结构体的耐火极限应符合下列规定：1) 对于一、二类隧道，火灾升温曲线应采用 RABT 标准升温曲线，耐火极限分别不应低于 2.00h 和 1.50h；2) 对于通行机动车的三类隧道，火灾升温曲线应采用 HC 标准升温曲线，耐火极限不应低于 2.00h；3) 其他类别隧道承重结构体耐火极限的测定应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分：通用要求》GB/T9978.1 的规定；对于三类隧道，耐火极限不应低于 2.00h；对于四类，耐火极限不限。

依据 GB50016-2014《建筑设计防火规范》的要求，本标准按耐火试验升温曲线分为：

- a) ISO 型：按 GB/T 9978.1 规定的标准温升曲线进行升温 and 测量的隧道防火涂料；
- b) HC 型：按 GA/T 714 规定的 HC 升温曲线进行升温 and 测量的隧道防火涂料；
- c) RABT 型：按 GA/T 714 规定的 RABT 升温曲线进行升温 and 测量的隧道防火涂料，分为 I 型和 II 型。

为了模拟隧道火灾的实际场景，国外许多学者对此进行了大量的研究，建立了不同类型的标准火灾曲线（见图 1），专门针对不同环境下火灾温度随着时间的变化规律进行描述。由于隧道长度、交通量以及隧道内通风系统的不同，导致火灾后温度随时间变化的曲线也会不一样。隧道属于半封闭式空间，一旦发生火灾，热量持续时间较长，温度不易下降。图 1 中 ISO 标准火灾曲线最高温度不高，持续时间达不到长大隧道的实际火灾标准，所以不宜用来描述隧道火灾曲线。另外 RWS、RABT 以及 HC 曲线虽然温度随时间的曲线不同，但均能反映火灾升温速度快、持续时间长等特点。

RWS 曲线是 1979 年在荷兰实验室进行的一系列研究基础上总结出来的。该曲线主要针对油罐车的燃烧情况进行模拟，固定潜热值在 300MW，大火持续燃烧 2h，最高温度能达到 1300℃以上，随着燃料的减少，火灾温度随之下降，假设消防员在受火两小时后在接近火源地开始灭火，使得温度继续下降。最终得出 RWS 火灾曲线。

RABT 曲线是由德国制定的隧道火灾曲线，该曲线是由一系列实验（尤里卡等项目）结果发展而来的。假设火灾温度在 5min 就能快速升温至 1200℃，高温持续 40min 左右迅速冷却 110min。此曲线是专门针对卡车进行的模拟，升温状况对一些特殊类型的车辆火灾较适用。最高温度持续时间长短可根据现场实际情况进行调节。RABT 曲线 I 型升温阶段为 1.5 小时，RABT 曲线 II 型升温阶段为 2 小时。

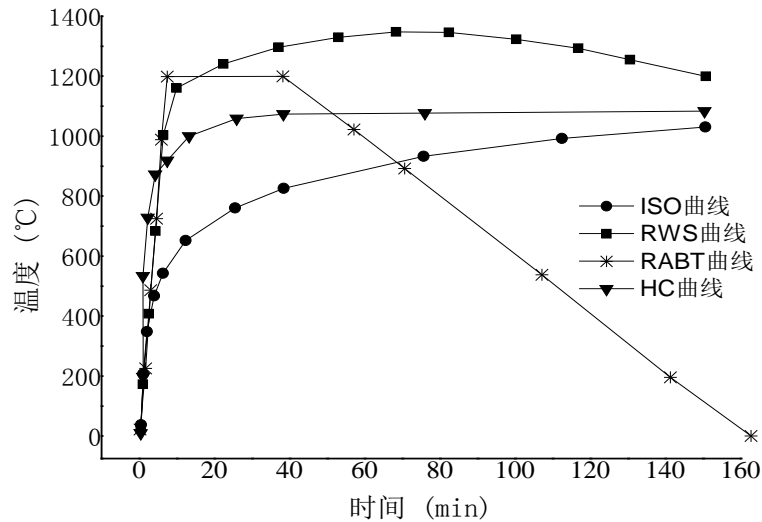


图 1 不同火灾曲线

HC 曲线是针对小型石油火灾进行制定的，最早被用于海洋和石化工程，现用于隧道火灾研究当中，温度在十几分钟就能达到 1100°C 左右，充分体现了火灾燃烧的特征。

### 2.3.4 技术要求

#### 1) 一般要求

- (1) 涂料中不宜采用苯类溶剂、石棉等对人体有害的物质。
- (2) 涂料可用喷涂、抹涂、辊涂、刮涂和刷涂等方法中任何一种或多种方法施工，并能在通常的自然环境条件下干燥固化。
- (3) 涂层实干后不应有刺激性气味。

涂料配方设计重要原则之一就是，尽量保证原材料中不要掺加有毒有害物质，而且燃烧过程也不要产生有毒有害物质，这不仅能保证其不会污染环境，而且有利于营救工作的及时进行和隧道结构的维修。

#### 2) 在容器中的状态、干燥时间（表干）

绝大多数地下工程，时间紧迫、任务繁重。这就要求，在保证隧道主体结构正常施工的前提下，隧道防火涂料的施工要求灵活、方便，对于机械施工方便的地方，尽量采用机械喷涂；对于适合人工涂抹的地方要合理的运用人工涂抹，达到施工方便的原则。

防火涂料要求在容器中的状态为，经搅拌后呈均匀稠厚液体，无明显沉降与结块现象。在干粉涂料与水混合的比例一定的情况下，当减水剂掺量较少时，并不能使涂料配方中的胶凝成分得到很好的分散，很难施工。如图所示状态。



图 2 加入少量高效减水剂的涂料浆图 3 加入过量高效减水剂的涂料浆

### 3) 粘结强度

黏结强度低。厚型钢结构防火涂料的黏结强度一般为  $0.105\text{M Pa}$ ，混凝土楼板防火涂料黏结强度一般为  $0.115\text{M Pa}$ ，车辆在隧道通行时，会产生强风和震动，将它们用于隧道，不能满足隧道的实际需要，如重庆某隧道使用了某企业的涂料，通车后，常有涂层脱落，影响了车辆通行，已成为交通隐患。粘结剂的控制合理与否，对涂料的研制、性能及施工应用等方面有重要影响。作为防火涂料的粘结组分，应该能与混凝土砌体结构很好的粘结（在高温、风力等作用下不脱落）、燃烧时不产生有毒烟气、适应隧道长期的潮湿环境、施工方便等特点。相比于有机粘结材料，无机材料具有耐烧时间长、产烟对环境无污染、价格低等优点。所以，粘结组分优选无机材料。高铝水泥强度高、耐火性能优异，完全吻合耐火要求，但是其粘结强度较低，如果单用高铝水泥作为粘结剂，涂料不易与混凝土砌体结构很好的粘结，容易引起涂层脱落现象，所以应搭配粘结效果更好的材料复合使用。普通硅酸盐水泥的粘结力强、价格低廉，这无疑是很好的粘结剂选择，经试验，二者配合使用，对涂料粘结效果确实起到了一定的作用，但还是不足以达到预期的目标。可再分散乳胶粉，就是一种很好的粘结材料，其不但粘结性能好，而且还具有耐水、耐潮湿、变形性好的特点。当发生火灾时，涂层中极易受损伤的是有着不同膨胀系数的材料组合在一起的地方，受热时，这些地方会出现应力聚集现象，对结构造成破坏。

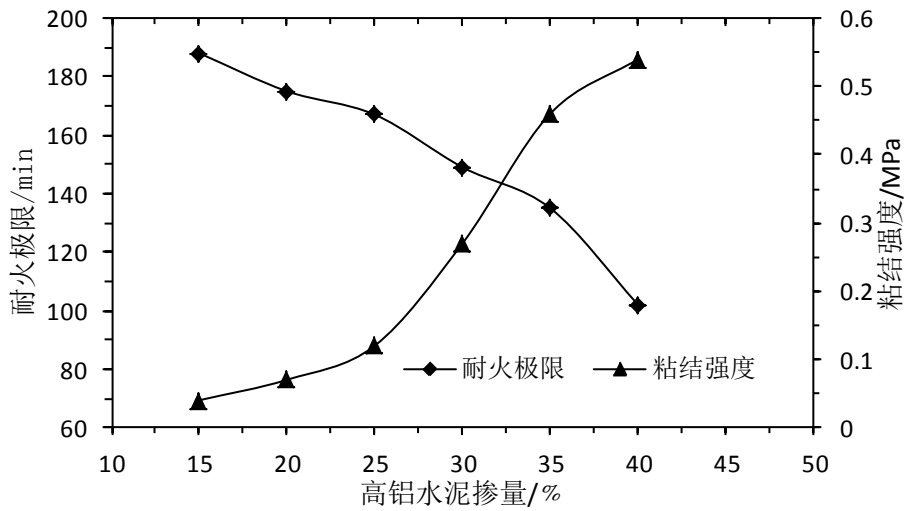


图4 高铝水泥不同掺量对耐火极限和粘结强度的影响

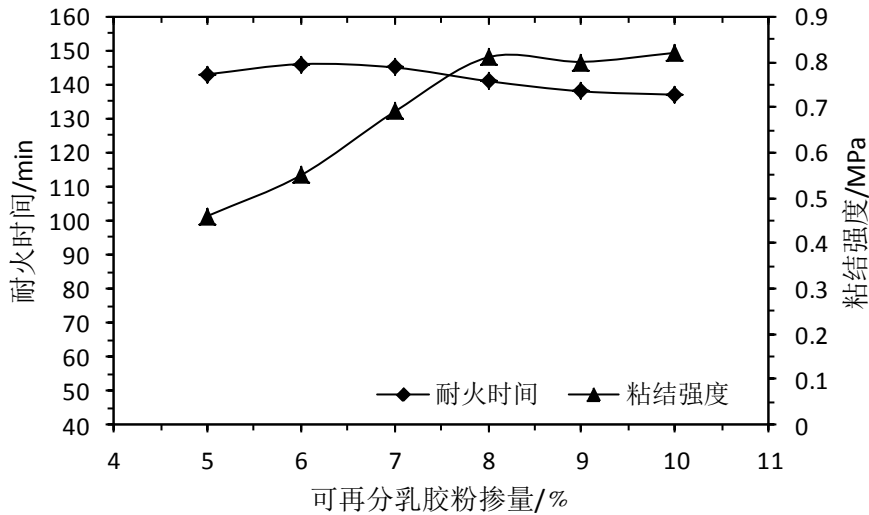


图5 可再分散乳胶粉掺入量对耐火极限和粘结强度的影响

从图4和图5可以看出，通过优化防火涂料的配合比，完全可以改善防火涂料的粘接强度，且可以大幅度提高防火涂料的粘接强度。通过查阅相关文献，大量的研究表明，通过优化组分，防火涂料的粘接强度完全可以满足大于0.3MPa的要求，且很多研究结果表明，粘接强度可以远超现有标准的要求。

#### 4) 耐水性、耐酸性、耐碱性

一般来说，涂料所处环境多为气候潮湿，隧道渗水已经是一个历史性的难题，很难有一个根治的办法。加之车辆往来带来外力作用，都会对涂料的相关性能造成不同程度的干扰。因此，要求涂料配方在具有足够长的耐火时间的同时，还要注意其与基材的粘结力和耐水性能。

### 5) 产烟毒性

发泡材料在隧道防火涂料中最重要的作用是，形成稳定的隔热泡沫层，在阻碍热量传递的同时可依靠理化反应吸热，从而有效降低高温对涂层的破坏程度。首先，升温过程中，分散在涂料中的成炭剂，在脱水成炭催化剂的催化作用下脱水成炭，炭化物在相应的发泡剂产物催化下，形成良好的炭层。其次，高温作用下，涂层开始膨胀，而发泡体系能够及时吸收热量，同时生成难燃性气体，冲淡了空气中的氧气和其它有害气体，使基材受到极大程度的保护，把火灾造成的伤害程度最大程度的减小。一般防火涂料的发泡材料多选用：聚磷酸铵（APP）、三聚氰胺（MEL）和季戊四醇（PE）。在满足涂料配方耐火性能以及各项理化性能的前提下，宜选用高温条件下，对环境友好的阻燃剂材料。根据以往的研究，含卤素的涂料阻燃剂，在高温作用下，易分解出副产物卤化氢；产物毒性大、严重污染环境、对隧道内被困人员的人身安全造成伤害，不宜选择。

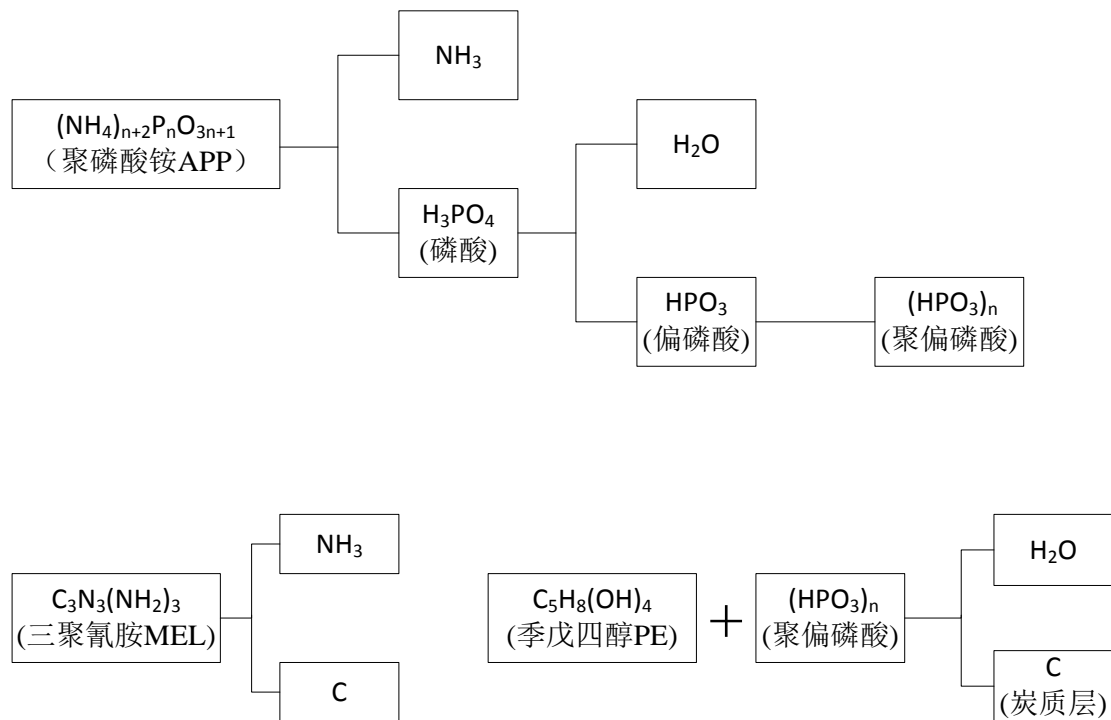


图 6 发泡体系受热分解过程

### 6) 耐火性能

耐火性能指标引用 GB28375 的相关技术指标做为参考。世界各国对隧道防火要求介绍了 4 种火灾类型曲线，即 ISO834 标准时间-温度曲线（纤维质类）、碳氢化合物火灾曲线、RWS 曲线和 RABT 曲线。ISO834 曲线的研究可以追溯到 20 世纪 40 年代，是以常见的

建筑材料的燃烧为基础。

隧道内车流量大，燃油、化合物多，而燃油、化合物的燃烧率远远高于纤维质类材料的燃烧率，因此，对于因为燃油燃烧的耐火试验就需要另外一种形式的火灾曲线碳氢化合物火灾曲线。碳氢化合物火灾曲线是依据一种标准化的火灾绘制的，它在燃油燃烧、石化燃料燃烧方面是可行的。在荷兰 TNO 实验室研究基础上，发展出了 RWS 曲线，它假设在最糟糕的火灾情况下，潜热值为 300MW 燃油或者油罐车持续燃烧 120 分钟，该曲线模拟油罐车在隧道中的燃烧情况，最初温度迅速上升，接着随着燃油的减少而逐步下降，多发生在比较封闭，热量不能或很少向外散发的场合（如隧道等）。德国通过一系列实验（如 Eureka 项目）的研究发展了 RABT 曲线，该种曲线可满足某些特殊的要求，在实验室中，温度快速上升，高温平台保持 30 分钟，然后冷却时间为 110 分钟。目前，荷兰和比利时应用 120min 的 RWS 火灾曲线，瑞士采用 180min 的 RWS 火灾曲线，法国应用类似于 RWS 的升温曲线，但最高温度比 RWS 低 50℃，日本和德国应用 120min 的 RABT 曲线进行隧道防火保护，爱尔兰对于所有的新隧道都应用 180min 的炭氢类曲线。我国隧道防火要求：一、二类隧道内承重结构体的耐火极限应采用“RABT 时间-温度曲线”测试，一类不应低于 2.00h，二类不应低于 1.5h；三类隧道的耐火极限应采用“炭氢时间-温度曲线”测试，不应低于 2.00h；四类隧道的耐火极限不限；水底隧道的顶部应设置抗热冲击、耐高温的防火衬砌，其耐火极限应与相应隧道类别匹配；隧道内装修材料除嵌缝材料外，应采用不燃材料。

### 2.3.5 试验方法

#### 1) 试验条件

理化性能试件的制备、养护和理化性能试验均应在温度 10℃-35℃、相对湿度 40%-85% 的环境条件下进行，有特殊规定的产品除外。

#### 2) 试件制备

(1) 试件底板应符合 JC/T 626 纤维增强低碱度水泥建筑平板的规定，试件底板的尺寸和数量见表 2。

表 2 试件底板尺寸与数量

序号	项目	尺寸/mm	数量/块
1	干燥时间	150×70×(4~10)	1
2	粘结强度	70×70×(6~10)	10
3	耐水性	150×70×(4~10)	3
4	耐酸性	150×70×(4~10)	3

5	耐碱性	150×70×(4~10)	3
6	耐冻融循环性能	150×70×(4~10)	4
7	耐湿热性	150×70×(4~10)	3

(2) 按涂料产品的施涂工艺要求, 将待测涂料施涂于试件底板的表面上。隧道防火涂料涂层厚度(5±1) mm。达到规定厚度后, 再适当抹平和修边, 使其均匀平整。涂好的试件涂层面向上, 水平放置干燥养护。测试耐水性、耐酸性、耐碱性、耐冻融循环性、耐湿热性的试件在养护期满后, 用石蜡和松香混合溶液(质量比为 1: 1)将试件四周边缘和背面封闭, 试件边缘封边宽度 2 mm~3 mm。

### 3) 在容器中的状态

按 GB 14907 的规定进行测试。

### 4) 干燥时间

按 GB/T 1728 中规定的指触法进行测试。

### 5) 粘结强度

按 JG/T 24 中规定的进行测试。

### 6) 干密度

按 GB 14907 中规定的进行测试。

### 7) 耐水性

按 GB/T 1733 中规定的浸水试验法进行测试。试验期间, 每隔 24h 应观察一次试件, 观察是否有开裂、起层、脱落、发胀和变色现象, 直至达到规定测试时间。测试过程中, 涂层不得有开裂、起层、脱落现象, 允许涂层有轻微发胀和变色现象, 测试的 3 个试件中至少 2 个符合要求方可判为合格。

### 8) 耐酸性

将试件短边朝下垂直浸入 3% 的盐酸溶液中, 浸入深度为试件的 2/3。试验期间, 每隔 24h 应观察一次试件, 观察是否有开裂、起层、脱落、发胀和变色现象, 直至达到规定测试时间。测试过程中, 涂层不得有开裂、起层、脱落现象, 允许涂层有轻微发胀和变色现象, 测试的 3 个试件中至少 2 个符合要求方可判为合格。

### 9) 耐碱性

将试件短边朝下垂直浸入饱和氢氧化钙溶液中, 浸入深度为试件的 2/3, 饱和氢氧化钙溶液的配制按 GB/T 9265 的规定进行。试验期间, 每隔 24h 应观察一次试件, 观察是否有开裂、起层、脱落、发胀和变色现象, 直至达到规定测试时间。测试过程中, 涂层不得有开裂、

起层、脱落现象，允许涂层有轻微发胀和变色现象，测试的 3 个试件中至少 2 个符合要求方可判为合格。

#### 10) 耐冻融循环性能

试件 4 块为 1 组，其中留 1 块作为对比样，其他 3 块试件在常温下放置 24h 后，将试件置于 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的自来水中 18h，然后将试件放入 $(-20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的低温箱中 3h，再将试件从低温箱中取出，立即放入 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中 3h，为 1 个循环，直至达到规定测试次数。试验期间，每次循环结束后应观察一次试件，观察是否有开裂、起层、脱落、发胀和变色现象，直至达到规定测试时间。测试过程中，涂层不得有开裂、起层、脱落现象，允许涂层有轻微发胀和变色现象，测试的 3 个试件中至少 2 个符合要求方可判为合格。

#### 11) 耐湿热性

按 GB 14907 的规定的试验方法进行试验。试验期间，每隔 24h 应观察一次试件，观察是否有开裂、起层、脱落、发胀和变色现象，直至达到规定测试时间。测试过程中，涂层不得有开裂、起层、脱落现象，允许涂层有轻微发胀和变色现象，测试的 3 个试件中至少 2 个符合要求方可判为合格。

#### 12) 产烟毒性

按 GB/T 20285 的规定进行测试。

#### 13) 耐火性能

按 GB/T 28375 的规定进行试验。

### 3. 预期的经济效果、社会效果及环境效果分析

仅公路隧道而言，我国公路隧道总数已达 1782 座，长度 704km，分别是 1979 年之前 4.7 倍和 13.5 倍，我国已成为世界上隧道和地下工程最多、隧道结构最复杂、隧道建设发展速度最快的国家之一，鉴于隧道火灾的惨痛教训，隧道消防安全问题已引起了有关部门的高度重视。“十三五期间”，国家将大量投入资金，用于地铁、轨道交通、高铁、桥梁等，这些工程都需要大量的防火涂料，因此，制定《公路工程隧道防火涂料》行业标准，在全国范围内统一产品技术要求与试验方法，有利于提高产品质量，促进保证防火涂料的发展，保证基础设施工程质量的“百年大计”。



#### 4. 采用国际标准和国外先进标准情况

部分技术指标借鉴 GB 14907 《钢结构防火涂料》与 GB 28375 《混凝土结构防火涂料》。未查到国外相关标准规范。

#### 5. 与有关的现行法律、法规及标准的关系

本标准为新编标准，防火涂料部分指标借鉴了国内部分相关标准，如 GB 14907 《钢结构防火涂料》与 GB 28375 《混凝土结构防火涂料》等相关标准。本标准结合防火涂料的特殊要求，对相关指标进行了优化，并提出一些新的技术指标对隧道防火涂料进行规范。

#### 6. 重大分歧意见的处理经过和依据

暂无。

#### 7. 其他应予说明的事项

无其他说明事项。