

防火涂料在石油化工行业中的应用与经济效益分析

张亭亭 (中国石化工程建设有限公司, 北京 100000)

摘要: 随着我国经济的高速发展和科学技术的突飞猛进, 石油化工装置向大型化、集群化、高层化发展, 通过对钢结构喷涂防火涂料, 可以增加钢构件的耐火性和隔热性, 有效控制钢结构构件升温不要太快, 温度不要太高, 由于防火涂料有着简洁, 有效, 合理, 且经济的优势, 因此在石油化工领域得到广泛的推广和应用, 本文通过案例分析防火涂料在石化领域实践中存在的问题与解决方案, 为行业规范制定和实施提供参考。

关键词: 防火涂料; 石油化工; 防火涂料应用; 经济效益

中图分类号: TQ637.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0035-03

Application and Economic Benefits Analysis of Fireproof Coatings in the Petrochemical Industry

Zhang Tingting (Sinopec Engineering Construction Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: With the rapid economic development and technological advancements in China, petrochemical facilities are trending toward large-scale, clustered, and high-rise construction. By applying fireproof coatings to steel structures, the fire resistance and thermal insulation of steel components can be enhanced, effectively controlling the rate of temperature rise and ensuring it does not exceed safe limits. Due to their simplicity, effectiveness, rationality, and cost-efficiency, fireproof coatings have been widely adopted and applied in the petrochemical industry. This paper analyzes the issues encountered in the practical application of fireproof coatings within the petrochemical sector and proposes corresponding solutions, providing references for the formulation and implementation of industry standards.

Keywords: fireproof coatings; petrochemical; application of fireproof coatings; Economic benefits

1 石油化工钢结构常用防火涂料的原理与种类

1.1 防火涂料的防火原理

第一, 主要是因为它自身是难燃性, 也是不燃性的, 使钢结构构件不会与大气直接接触, 从而延缓了钢构件的着火点, 降低了燃烧的速率; 第二, 除了自身的难燃和不燃之外, 阻燃涂层还具有很小的热传导率, 能够延缓火焰的温度到被保护物品的转移; 第三, 在高温下, 防火涂料会释放出一种不可燃的惰性气体, 它将被保护的对象在加热过程中分解出的可燃气体进行稀释, 从而让它不容易着火或者燃烧得更慢些; 第四, 一种含氮气的阻燃涂料, 在加热时会释放出一种自由基, 如 ON, HN_3 , 它能与有机自由基结合, 从而使反应停止, 从而降低温度; 第五, 在高温下, 膨胀型阻燃涂层会产生大量的气泡, 生成含碳泡沫绝缘层, 将钢结构构件包裹并隔离开来, 减慢热量与钢构件的传递, 阻止物质着火燃烧或因温度升高而造成的强度下降。

1.2 石油化工钢结构防火涂料种类

①根据防火目标的不同, 可分为: 一般钢质结构的防火涂料, 特质专用的耐火涂料; ②根据胶粘剂的种类, 可划分为 (也就是根据分散介质的不同而定): 溶剂型钢结构防火漆及水碱性型钢结构防火漆; ③根据用途将其分成: 室内外防火涂料; ④按使用厚度分

为: 超薄型 (CB) 钢结构防火涂料, 薄型 (B) 钢结构防火涂料, 厚型 (H) 钢结构防火涂料; ⑤根据火灾时, 钢结构耐火涂料发生火灾时的状态 (也就是防火机制): 膨胀型和非膨胀型钢结构防火涂料 (遇到火膨胀, 形成多空碳化层, 涂层厚度 $< 7\text{mm}$, 包括超薄型和薄型钢结构防火涂料) 和非膨胀型钢结构防火涂料 (遇到火不膨胀, 自身有良好的隔热性, 以无机绝热材料为主, 掺加无机粘结剂等组成, 涂层厚度 $8\sim 50\text{mm}$, 即厚型钢结构防火涂料) [1]。

2 防火涂料在石油化工装置中的实际应用

2.1 项目概况

某沿海项目中一套化工装置内几个具有代表性的钢结构单体, 根据场地勘察结果, 拟建石油化工装置场地原属于低山残丘及滨海海滩地貌 (即钢结构需要进行防腐蚀保护), 建筑场地基本稳定, 对结构防火有关的地质条件和数据, 参阅岩土工程勘察报告: 气象条件: 年平均气温: $22.1\text{ }^\circ\text{C}$; 平均相对湿度: 78.0% ; 年平均降雨 1887.2mm ; 地面粗糙度类别: A类; 年平均风速; 基本风压 0.76kN/m^2 ; 基本雪压: 0kN/m^2 ; 属于纤维类温度场。

2.2 项目设计

钢结构防火材料应根据使用条件、材料性能、耐火极限等选用质量符合要求的烃类防火产品, 并应符

合《石油化工钢结构防火保护技术规范》SH/T 3137-2013的有关规定。构筑物构件的耐火极限不应低于2h,室内构件耐火极限按GB 50016-2014(2018年版)及SH/T 3137-2013采用,室外或露天工程的钢结构,严禁选用室内型钢结构防火涂料。根据《石油化工企业设计防火标准GB 50160-2008(2018年版)》,《石油化工钢结构防火保护技术规范》SH/T 3137-2013《建筑设计防火规范》GB 50016-2014(2018年版)等的有关规定^[2]。

案例一:工程条件归纳。结构形式:五层钢框架结构(某装置内设备承重钢框架ST-1D,用于支撑2台立式设备和部分工艺管道);建筑种类:丙类框架;工程设防烈度:7度;抗震设防分类:丙类;框架梁跨度8.0m*8.0m;钢结构材质:Q235B;建筑高度:17.5m(根据上游专业提出的资料,承重钢框架需要设计5层钢框架平台才能满足工艺要求)即标高11.500m位置,设备支座与钢框架支撑梁(设备支撑梁)通过螺栓连接);火灾以烃类物质为主的火灾;耐火等级:二级;设计使用年限:主体结构50年,围护结构25年。

承重钢框架ST-1D,按照钢柱,框架梁,设备支撑梁,水平撑,柱间支撑(垂直支撑),钢平台次梁,钢格栅板,螺栓等构件来进行防火设计,防火涂料具体做法如下:进行钢结构设计时,对于承重钢框架ST-1D,需要喷涂防火涂料的钢(钢柱截面HW300X300,材质Q355B),防火涂料的喷涂高度从钢柱脚(即基础顶标高)到标高12m范围,因为立式设备的支座在标高11.5m位置,为了安全起见,实际防火涂料范围要高出设备支座高度(设备的支座在标高11.5m);需要喷涂防火涂料的钢梁(钢梁材质Q355B),按照梁的受力分类,框架梁(与钢柱相连的梁)需要喷涂防火涂料,设备支撑梁,需要喷涂防火涂料,平台次梁与框架外挑平台梁则不需要喷涂防火涂料。

此承重钢框架水平支撑一概不喷涂防火涂料;柱间支撑(垂直支撑)按照柱子的防火高度喷涂防火涂料,即在标高12m以下位置的柱间支撑需要喷涂防火涂料。承重钢框架ST-1D的钢平台铺板,采用钢格栅板,由于部分框架位于爆炸危险区内,所以平台铺板采用复合钢格栅板(即先铺设一层花纹钢板,再铺设一层钢格栅板),不在爆炸危险区的平台只需要铺设钢格栅板。

设备支座外露的普通螺栓、螺母及垫片,采用与主体结构(即框架梁)相同的防腐蚀措施或防火措施。外露的高强螺栓、螺母及垫片在终拧后,在需要防火的位置喷涂防火涂料,防火涂料做法与钢结构主体一致^[3]。

案例二:工程条件归纳。结构形式:单层门式钢架(某装置内压缩机厂房,厂房的主要受力构件采用钢结构,用于支撑2台起重机和部分撬装设备,工艺管线等);建筑种类:乙类构筑物;工程设防烈度:7度;抗震设防分类:乙类;建筑高度:29m(根据上游专业提出的资料,门式刚架需要设计2层主要钢平台才能满足工艺要求。从室外地坪到厂房屋顶,总高度29m,撬装设备和部分卧式设备零零散散布置在压缩机厂房的钢平台上,设备支座与钢平台支撑梁通过螺栓连接。厂房内有一层压缩机操作平台,即标高11.500m位置);火灾以烃类物质为主的火灾;耐火等级:二级;设计使用年限:主体结构50年,围护结构25年。

进行钢结构设计时,对于压缩机钢结构厂房,门式刚架柱下端采用焊接箱型厂房柱(钢柱截面尺寸H1200x800x36x36,材质Q355B)需要喷涂防火涂料,防火涂料的喷涂高度从室外地面(此厂房钢柱脚采用外包式,室外地面标高+0.200m)到标高12.2m范围。

需要喷防火涂料的钢梁(钢梁材质Q355B),按照梁的受力分类,框架梁(与钢柱相连的梁)需要喷涂防火涂料,撬装设备支撑梁,需要喷涂防火涂料,平台次梁以及外挑平台梁需要喷涂防火涂料。

此压缩机钢结构厂房水平支撑一概不喷涂防火涂料;柱间支撑(垂直支撑)按照柱子的防火高度喷涂防火涂料,即在标高12.2m以下位置的柱间支撑喷涂防火涂料。

压缩机钢结构厂房的钢平台铺板,采用钢格栅板,由于压缩机钢结构厂房没有位于爆炸危险区内,所以平台铺板采用钢格栅板。

设备支座外露的普通螺栓、螺母及垫片,采用与主体结构(即框架梁)相同的防腐蚀措施或防火措施。外露的高强螺栓、螺母及垫片在最后拧好后,在需要防火的位置喷涂防火涂料,防火涂料做法与钢结构主体一致。

对于压缩机钢结构厂房的檩条和系杆,按照钢结构防火规范来讲,我们的防火主要针对的是钢结构主体结构的相关构件,包括柱、梁、支撑、系杆等。一般情况下不包含维护构件,包括檩条、拉条及隅撑,但是如果这些维护构件做了主体结构的一部分,这些维护结构也是需要按照主体结构的要求,进行防火涂料的涂刷,钢结构防火规范将第二类檩条(檩条兼做系杆)的防火需要是做了特殊要求的,需要按照与屋面支撑、系杆,同样的耐火极限,规范中缺少的是对于门式刚架结构中如果隅撑和檩条构成的系统作为梁的面外弹性约束作用时,此时,檩条和隅撑也是作为

主体结构的一部分,这种情况下的隅撑,也是要做防火涂料涂刷的。当然,檩条自然也需要刷防火涂料,并且这类薄壁截面,最好是涂刷膨胀性防火涂料。

2.3 防火涂料的判别方法和选用规定

防火涂料是否可用:根据产品说明防火涂料,满足2.5h耐火极限。设计中设计师计算的等效热阻值为0.35,是否可以采用该涂料产品,按照钢结构防火规范,结合对应的升温进行换算,得到等效热阻。发现计算完毕后如果涂层厚度是2.01mm,85min,大概是1.5h耐火极限,计算得到的等效热阻为0.13;按照涂层厚度4.1mm,2.5h,计算等效热阻为0.21。显然如果设计中计算的防火涂料等效热阻需要0.35,该产品是无法满足设计要求的。实际上还是要求设计中材料膨胀性涂料的时候,不要计算出过大的热阻,如果计算的等效热阻过大,会导致无法实现施工中材料落地^[4]。

防火涂料的质量受多种因素的影响,不同的生产厂家,由于生产原材料,生产工艺等因素影响,产品质量是不同的,即使是同一个生产厂家,相同类型不同批次的产品质量也会有差异,因此选用防火涂料产品时,应该仔细甄别:①观察涂料外观:优质的防火涂料应色泽均匀,无杂质,而劣质的防火涂料则含有杂质,颜色不均匀,有沉淀物;②检查产品标识:正规厂家生产的防火涂料应有明确的产品标识,生产日期,保质期,合格证书等信息。合格的防火涂料应具备国家消防产品型式认证证书和型式检验合格报告,选用产品报告证书均齐全的产品;③闻涂料气味:优质的防火涂料气味应较淡,无刺激性气味,劣质防火涂料有刺激性气味或有异味;④试验防火性能:可通过小样试验来检验防火涂料的防火性能,合格的膨胀型防火涂料受火灼烧时,表面会凸起,形成致密碳层,而劣质防火涂料,他则会不发泡,表面还会掉渣。

3 防火涂料在工程使用中存在的问题及解决方案

①检测标准问题:市场上某些制造企业所提供的钢结构防火涂料型式认证证书,可能不具备所有的耐火界限时间或者也不一定在其他时间,这就对钢结构防火涂料工程的施工质量现场测试造成一些问题;这时需要采取的措施是严格按照国家标准核实防火涂料产品的各项指标,保证防火涂料质量和性能符合要求,提高建筑物的防火安全性能。②层间粘结不牢:在钢结构厚型防火涂料施工过程中,可能会出现层间粘结不牢的情况,这时需要采取的措施包括现场配合比实验,调整现场分层,以及在层间粘贴耐碱网格布等。③钢结构基层处理不到位:如果钢结构基层处理不到位,可能会影响到防火涂料的效果,这时需要清除钢结构表面的油污等杂物,刨片打磨除锈,并在缺

陷处填补,堵抹平厚型钢结构防火涂料。④忽视钢构件的表面清理:如果忽视了钢结构构件的表面清洁工作,可能会对防火涂料的性能产生影响。⑤没有相应资格的建筑团队:若建筑团队没有相应的建筑资格,就会造成技术人员的短缺,从而对工程的质量产生影响。⑥未做好工程前期规划:在工程实施之前,若不制定科学的施工计划,将不能按照规范要求对工程质量进行检查。⑦关于防火涂层的竣工验收:在施工前,若不制定一套科学的施工计划,就会造成施工时不能按照规范要求对施工质量进行检验,同时,防火涂料的竣工验收问题也是一大难题。

4 防火涂料在石油化工行业应用的经济效益

钢结构防火涂料的初始投入较高,材料成本约每平方米80-120元rmb(达到2h耐火标准)。施工费用因工程复杂度而异,通常占材料成本60%-80%。但可减少保险费用支出,长期来看更加具有经济性^[5]。传统涂料的材料成本较低,约每平方米30-50元rmb。施工简便,人工成本相对较低。但是需要更频繁的维护和重涂,长期维护成本较高,且无法提供防火保护,可能增加火灾风险带来的潜在损失。在实际应用中,需要根据具体情况选择市场上供应的钢结构防火涂料,首选兼具实用性和经济性,既是企业节约使用和维修成本,也为企业提升经济效益做贡献。

5 结束语

通过防火涂料的防护措施,减缓高温时钢结构构件强度和弹性模量的衰减,控制钢结构构件升温不要太快,温度不要太高,基于结构抗火的能力大于钢结构抗火需求的方法,涂料、油漆类的化学物品,一般需要隔一段时间进行维护。随着科技的发展,如果防火涂料在单次使用时间上可以延长,这势必是一大突破,研发出新颖和经济多样的产品,满足市场的需求。

参考文献:

- [1] 钟永光,钱颖,于庆东.系统动力学在国内外的发展历程与未来发展方向[J].河南科技大学学报,2006,27(4):101-104.
- [2] 曹洪法,沈英娃.生态风险评估研究概述[J].环境化学,1991(3):26-30.
- [3] 刘帝祥,唐鸿初,陈杭滨.方钢管混凝土柱与型钢梁外环板刚性节点性能研究[J].浙江工业大学学报,2011(39).
- [4] SH/T 3137-2013.石油化工钢结构防火保护技术规范[S].北京:中华人民共和国国家发展和改革委员会,2013.
- [5] 韩林海,杨有福.现代方钢管混凝土结构技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2007:11-20.