

江苏建科建筑技术培训中心

防腐防火涂装、钢结构变形

—— 补充讲义 ——



荆杰 高级工程师

2019年全省第三期建设工程质量检测人员培训班 培训课程及分班表

日期	时间		培训方式	培训项目	参培地区
09.11~09.12 周三~周四	全天	08:30 ~17:30	网络培训	△结构性能	全省
				防腐防火涂装、钢结构变形	全省
09.16~09.17 周一~周二	全天	08:30 ~17:31	网络培训	砌体结构	全省
				电线、电缆, △电工套管, △开关, △插座	全省
09.17周二	全天	09:30 ~17:30	报到、办理相关手续, 领取培训讲义		
09.18 周三	上午	08:00 ~12:00	面授培训	混凝土结构及构件实体、后置埋件(1班)	南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州、泰州
	下午	13:30 ~17:30	面授培训	混凝土结构及构件实体、后置埋件(2班)	南通、淮安、盐城、宿迁、徐州、连云港
09.19周四	上午	08:00 ~10:00	面授培训	墙体、屋面材料(1班)	泰州、南通、淮安、盐城、宿迁、徐州、连云港
	上午	10:00 ~12:00	面授培训	墙体、屋面材料(2班)	南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州
	下午	13:00 ~15:30	面授培训	钢结构工程用钢材、连接件	全省
	下午	15:30 ~18:00	面授培训	饰面材料	全省
09.20~09.21 周五~周六	全天	08:30 ~17:30	网络培训	排水管材(件), 给水管材(件), △阀门	全省
				化学分析	全省

备注: 本期学员请按规定的分班班次参加培训。

目 录

1 钢结构防火防腐涂料与检测	1
1.1 钢结构防护的重要性	1
1.2 钢结构防腐蚀	1
1.3 轻型钢结构防火	12
1.4 轻型钢结构的隔热	26
1.5 钢结构防腐检测	27
1.6 钢结构防火检测	28
2 钢结构变形检测	30
2.1 一般规定	30
2.2 检测设备	30
2.3 检测技术	30
2.4 检测结果的评价	31

防腐防火涂装、钢结构变形

1 钢结构防火防腐涂料与检测

1.1 钢结构防护的重要性

轻型钢结构的防护主要包括：防腐蚀、防火和隔热。

轻型钢结构尽管具有承载能力高、自重轻、抗震性能好、工业化程度高、建设速度快和有利环保等诸多优点，但也存在耐腐蚀性能差的缺点。钢结构建筑处于大气环境中，空气中的有害成分（如酸、盐等）、建筑室内外的温度、湿度和通风情况等因素都与钢材的腐蚀程度和速度密切相关。当钢结构建筑因功能需要而长期处于侵蚀性介质环境中（如化工厂房、高温冶炼车间等），钢材的腐蚀问题更为严重。钢结构腐蚀是其在长期的使用过程中不可避免的一种物理化学现象。腐蚀不仅造成结构自身的削弱、影响结构安全，而且还造成经济损失。轻型钢结构因杆件细长、壁薄，一经腐蚀将会严重降低结构的承载能力，特别是薄壁型钢结构的防腐蚀问题更为突出，必须通过可靠的防腐蚀措施阻止和延缓钢结构的腐蚀，保证结构在设计使用年限内的安全和正常使用功能。

钢材是不燃烧材料，但耐火性能差。钢材的机械力学性能，如屈服强度、抗拉极限强度以及弹性模量等，随着温度的升高而降低，出现强度下降、变形增加等问题。钢材在温度 200℃ 以下，材料性能基本不变；当温度超过 200℃ 后，材料弹性模量开始明显降低；当温度接近 600~700℃ 时，钢材的弹性模量仅为常温下的 20%，屈服强度趋近于零。火灾是一种偶然的灾难性荷载（作用）。现代轻型钢结构功能复杂，火灾隐患多，且一旦发生火灾，火势迅速蔓延，人员疏散困难，灭火难度大，若没有很好的防火保护措施，将导致结构温度迅速上升，钢材强度急剧下降，引起结构出现过大的不可恢复的塑性变形，甚至结构倒塌，将造成巨大的人员和财产损失。因此，对轻型钢结构的防火性能应引起足够重视。

1.2 钢结构防腐蚀

1.2.1 概述

现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》（GB/T50046）中规定腐蚀性介质按其存在形态可分为气态介质、液态介质和固态介质，各种介质应按其性质、含量和环境条件划分类别，生产部位的腐蚀性介质类别，应根据生产条件确定。介质对建筑材料长期作用下的腐蚀性可分为强腐蚀、中腐蚀、弱腐蚀、微腐蚀四个等级；同一形态的多种介质同时作用同一部位时，腐蚀性等级应取最高者；同一介质依据不同方法判定的腐蚀性等级不同时，应取最高者。环境相对湿度应采用构配件所处部位的实际相对湿度；生产条件对环境相对湿度影响较小时，可采用工程所在地区的年平均相对湿度；经常处于潮湿状态或不可避免结露的部位，环境相对湿度应取大于 75%。

防护层设计使用年限应根据腐蚀性等级、工作环境和维修养护条件综合确定，可分为低使用年限、中使用年限、长使用年限和超长使用年限：

- （1）低使用年限，使用年限应为 2 年~5 年；
- （2）中使用年限，使用年限应为 6 年~10 年；

(3) 长使用年限，使用年限应为 11 年~15 年；

(4) 超长使用年限，使用年限应为 15 年以上。

腐蚀性等级为强时，桁架、柱、主梁等重要受力构件不宜采用格构式；不应采用冷弯薄壁型钢。对于有防腐设计要求的钢结构来说，钢结构杆件截面的厚度宜符合下列规定：

(1) 钢板组合的杆件，不宜小于 6mm；

(2) 闭口截面杆件，不宜小于 4mm；

(3) 角钢截面的厚度不宜小于 5mm。

防止钢结构过早腐蚀，提高其使用寿命，是设计人员、施工人员和使用单位需要共同关注的问题。除对某些特殊工程、有条件时可以采用耐侯钢和其他耐大气腐蚀性能强的钢材外，在钢结构表面喷涂（涂刷）防腐涂料仍是目前国内外钢结构房屋防腐蚀的主要措施之一。通过喷涂（涂刷）防腐涂料等办法，在钢材表面形成保护膜，将引起腐蚀的各种外界条件（如水分、氧气、二氧化碳、酸气等）与钢材表面尽可能隔离，从而达到保护钢材、防止腐蚀的目的。这种方法效果好，但缺点是耐久性较差，经过一定时期需要维修（维护）。有时，对一些较小尺寸或有特殊要求的钢结构构件也会采用金属覆盖的方法，如电镀、化学镀、熔化镀和金属喷涂（喷铝、喷锌）等。其原理是采用包含大量铝、锌等比铁化学反应能力强的金属涂料（镀层）来覆盖金属表面，铝、锌等金属析出时会放出电子并将电子补给铁起阴极作用从而抑止铁的化学反应，使钢材表面钝化，减小钢材的腐蚀。

由于构件的表面防护比一般装修昂贵得多，因此，对重要构件和次要构件应区别对待，重要构件和维修困难、危及人身安全的部位应采用耐久性较高的保护措施。

1.2.2 钢结构的防腐蚀一般规定

1.2.2.1 一般规定

(1) 钢结构的防腐蚀采用的涂料、钢材表面的除锈等级以及防腐蚀对轻型钢结构的构造要求等，应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》（GB/T50046）和《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第一部分》（GB/T 8923.1）的有关规定。

(2) 冷弯薄壁型钢结构采用化学除锈方法时，应选用具备除锈、磷化、钝化两个以上功能的处理液，气质量标准应符合现行国家标准《多功能钢铁表面处理液通用技术条件》（GB/T 12612）的有关规定。

(3) 对设计使用年限大于或等于 25 年的建筑物，对使用期间不能重新喷涂（涂刷）防腐涂料的结构部位，应采取特殊的防腐蚀措施。

(4) 在轻型钢结构的设计文件中应注明所要求的钢材除锈等级和所采用的涂料（或镀层）及涂层（镀层）的厚度，必要时对特殊的施工要求和方法也应说明。

(5) 钢结构柱脚在地面以下的部分应采用强度等级较低的混凝土包裹（保护层厚度不应小于 50mm），包裹的混凝土高出室外地面不应小于 150mm，室内地面不宜小于 50mm，并宜采取措施防止水分残留；当柱脚底面在地面以上时，柱脚底面高出室外地面不应小于 100mm，室内地面不宜小于 50mm。

1.2.2.2 防腐设计

工业建筑防腐蚀设计应遵循预防为主和防护结合的原则。

“预防为主”是指采取先进的工艺技术措施，采用密闭性好的设备和管道，做到工艺流程中无泄漏或少泄漏，并通过合理地布置生产设备和对腐蚀性介质进行有组织的回收或排放等技术，避免或减轻腐蚀性介质对建筑、结构的腐蚀。

“防护结合”是腐蚀性介质不可避免对建筑物、构筑物产生作用时，防腐蚀设计应根据介质的性质、含量、作用程度和防护层使用年限等因素，因地制宜采取各种有效的保护措施，并在使用中经常维护。

建筑防腐蚀设计考虑的因素比较多，除了介质的种类、作用量、温度、环境条件等因素外，还要预估生产以后的管理水平和维修条件等，而且还应和工艺、设备、通风、排水等专业一起采取综合措施，才能取得较好的效果。

防护层设计使用年限是预估的使用年限。要实现预估的使用年限，应从设计、施工、维护保养等各个环节上正确严格地把控。

“合理设计”是指建筑防腐蚀设计应以本标准为依据，正确分析设计条件，采取合理的防护措施。如果设计不合理，实际使用效果一定很差。例如，某肉类加工厂的地面为了防止脂肪酸的腐蚀作用而采用了耐酸混凝土(即水玻璃耐酸混凝土)；这种地面是耐脂肪酸的。但设计人员忽略了清洗地面时需要用碱水去掉油脂的要求，而水玻璃类材料是不耐碱性介质的，所以这块地面使用不久就被腐蚀破坏了。

“正确施工”是指建筑防腐蚀工程应以现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 为依据，精心施工，确保工程质量。防腐蚀工程的施工与一般建筑装饰工程的施工是有区别的，某防腐蚀工程在混凝土面上施工防腐蚀涂层时采用普通装饰工程的油灰打底，虽然表面很平整，但使用不到3年，就成片脱落。

“正常使用和维护”是指防腐蚀工程的使用单位应提倡文明生产，制定相应的生产、管理制度。例如，某硝铵车间地面上的固态硝铵，应干扫去除，但却采用自来水冲洗，造成液态介质干湿交替作用腐蚀，使厂房损坏严重。

根据《建筑钢结构的防腐蚀技术规程》JGJ/T251-2011:建筑钢结构应根据环境条件、材质、结构形式、使用要求、施工条件和维护管理条件等进行防腐蚀设计。

轻型钢结构防腐蚀的设计原则：

(1) 设计人员应全面考虑建筑物的整体布置，隔离有腐蚀性的介质区域或限制腐蚀介质的来源(如通过改进生产工艺、设备等)，尽可能消除对钢结构腐蚀的有害因素。采用有利于房屋自然通风的建筑和结构布置方案，以降低空气中对钢材腐蚀有害物质的含量。

(2) 尽可能选用含有适量合金元素的耐腐蚀性能较好的低合金钢材(如 15MnVCu、15MnTiCu 等)。一般，含铜(Cu)元素的钢材具有良好的耐腐蚀性能。

(3) 结构设计时应选用不宜受腐蚀的合理方案，简化节点构造，尽量避免出现难以检查、清刷、涂装以及易积水和积灰的死角和凹槽。尽可能选用受力性能好、表面面积小的圆管、方管和矩形管等封闭截面构件。闭口截面构件的端部应焊接封闭以免水气侵入引起锈蚀，封闭的管材内壁可不作防腐蚀处理。

(4) 在构件加工制造和现场拼接过程中要保证焊缝质量，因为焊缝内的夹渣、裂隙等缺陷易引起腐蚀；焊缝的热影响区较易生锈，涂装前应对焊缝及其周围部位仔细进行表面处理，焊皮、熔渣、飞溅物等影响涂层薄膜的生成，应彻底清除干净。

(5) 轻型钢结构构件的端部和转角部位应保证足够的涂层厚度。钢柱埋入混凝土的结合面、高强度螺栓连接的摩擦面以及工地焊缝周围 30~50mm 范围内，不得在工厂预先喷涂（涂刷）涂料。只能在工地安装就位后，对这些部位进行认真清理并按设计规定的涂层结构和涂层厚度进行涂装，并保证其不低于相邻部位的防护等级。尽量避免或减少构件涂装后进行焊接，以防破坏涂层的完整性。对构件运输、安装过程中损坏的涂层，应在构件安装就位后及时清理并按设计规定的涂层结构和涂层厚度进行修复。

(6) 对工厂制作、加工好的构件要妥善堆放，避免钢材表面生锈而导致二次涂装，造成不必要的浪费。

(7) 轻型钢结构应在构件表面涂层出现粉化或出现锈斑时就进行维护，不应拖延至涂层大面积脱落时才维护，以减小表面处理工作量、保证维护质量、节约维护费用；维护时使用的涂料应与原涂层所用的涂料品种尽可能相同或匹配。

冷弯薄壁型钢结构应根据具体情况选用下列相适应的防腐措施：

1 金属保护层（表面合金化镀锌、镀铝锌等）。

2 防腐涂料：

- 1) 无侵蚀性或弱侵蚀性条件下，可采用油性漆、酚醛漆或醇酸漆；
- 2) 中等侵蚀性条件下，宜采用环氧漆、环氧酯漆、过氯乙烯漆、氯化橡胶漆或氯醋漆；
- 3) 防腐涂料的底漆和面漆应相互配套。

3 复合保护：

- 1) 用镀锌钢板制作的构件，涂装前应进行除油、磷化、钝化处理（或除油后涂磷化底漆）；
- 2) 表面合金化镀锌钢板、镀锌钢板（如压型钢板、瓦楞铁等）的表面不宜涂红丹防锈漆，宜涂 H06-2 锌黄环氧酯底漆或其他专用涂料进行防护。

外界条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类可按表 1 采用。

外界条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类

表 1

项次	地 区	相对湿度 (%)	对结构的侵蚀作用分类		
			室 内 (采暖房屋)	室 内 (非采暖房屋)	室 外
1	农村, 一般城市的 商业区基住宅区	干燥, <60	无侵蚀性	无侵蚀性	弱侵蚀性
2		一般, 60~75	无侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
3		潮湿, >75	弱侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
4	工业区, 沿海第五	干燥, <60	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
5		一般, 60~75	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
6		潮湿, >75	中等侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性

注: 1. 标准相对湿度系指当地的年平均相对湿度, 对于恒温恒湿的或有相对湿度指标的建筑物, 按室内相对湿度采用。

2. 一般城市的商业区及住宅区系指无侵蚀性介质的地区, 工业区则包括受侵蚀性介质影响及散发轻微侵蚀性介质的地区。

1.2.3 钢材表面处理

钢材的表面处理(除锈)是钢结构防护工程的主要一环, 表面处理的质量好坏, 关系到防腐涂料能否取得良好效果的关键之一。

钢材在生产过程中, 表面会产生一层均匀的氧化皮; 钢材在储存过程中由于大气的腐蚀而生锈; 钢材在加工工程中在构件表面往往产生焊渣、毛刺和缺陷以及附着油污等污染物。这些氧化皮、铁锈和污染物若不及时清理, 将会影响到防腐涂层的附着力和使用寿命。如果除锈不彻底, 涂层下的金属表面将继续腐蚀扩展, 是涂层破坏失效, 达不到预期的防护效果。工程实际经验表明, 表面处理质量要影响到整个涂装质量的 60%以上, 设计和施工人员应高度重视。

1.2.3.1 锈蚀等级

根据现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第一部分》(GB/T 8923.1), 钢材表面的锈蚀程度分别以 A、B、C、和 D 四个锈蚀等级表示:

A——大面积覆盖着氧化皮而几乎没有铁锈的钢材表面;

B——已发生锈蚀, 并且氧化皮已开始剥落的钢材表面;

C——氧化皮已因锈蚀而剥落, 或者可以刮除, 并且在正常视力观察下可见轻微点蚀的钢材表面;

D——氧化皮已因锈蚀而剥落, 并且在正常视力观察下可见普通发生点蚀的钢材表面。

1.2.3.1 钢材表面处理(除锈)方法

每一处理等级用代表相应处理方法类型的字母“Sa”、“St”或“FI”表示。字母后面的数字，表示清除氧化皮、铁锈和原有涂层的程度。照片上标有处理前原始锈蚀等级和处理等级符号，例如，B Sa2^{1/2}。

喷射清理，Sa

喷射清理前，应铲除全部厚锈层。可见的油、脂和污物也应清除掉。喷射清理后，应清除表面的浮灰和碎屑，喷射清理等级如表 2 所示：

表 2

Sa1 轻度的喷射清理	在不放大的情况下观察时，表面应无可见的油、脂和污物，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。
Sa2 彻底的喷射清理	在不放大的情况下观察时，表面应无可见的油、脂和污物，并且几乎没有氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。任何残留污染物应附着牢固。
Sa2 ^{1/2} 非常彻底的喷射清理	在不放大的情况下观察时，表面应无可见的油、脂和污物，并且没有氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。任何污染物的残留痕迹应仅呈现为点状或条纹状的轻微色斑。
Sa3 使钢材表面观洁净的喷射清理	在不放大的情况下观察时，表面应无可见的油、脂和污物，并且应无氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。该表面应具有均匀的金属色泽。

手工和动力工具清理，St

对手工和动力工具清理，例如刮、手工刷、机械刷和打磨等表面处理，用字母“St”表示。手工和动力工具清理等级描述见表 3：

表 3

St2 彻底的手工和动力工具清理	在不放大的情况下观察时，表面应无可见的油、脂和污物，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质
St3 非常彻底的手工和动力工具清理	同 St2，但表面处理应彻底的多，表面应具有金属底材的光泽

火焰清理，FI

火焰清理前，应铲除全部厚锈层。

火焰清理后，表面应以动力钢丝刷清理。

对火焰清理表面处理，用字母“FI”表式。火焰清理等级描述见表 4：

表 4

FI 火焰清理	在不放大的情况下观察时，表面应无氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。任何残留的痕迹应仅为表面变色（不同颜色的阴影）。
---------	---

有特殊防护要求的情况下，也可采用酸洗除锈或磷化除锈等方法。

常用的钢材表面处理（除锈）方法及特点见表 5。

常用钢材表面处理方法

表 5

处理方法	工艺特点	效果
手工工具除锈	手工作业，主要工具为铲刀、钢丝刷、砂纸尖锤等	只能满足一般涂装要求。保留了无锈的氧化皮，能基本清除浮锈和其他附着物。工具简单、操作方便、费用低；但劳动强度大、效率低、质量较差。
手工动力机械除锈	手工采用电动砂轮机、钢丝刷轮、或风动除锈机等	除锈效果尚可，局部可见表面灰白色金属光泽，适于管型构件或面积不大的钢板以及现场局部涂装修补，施工灵活。
喷砂（丸）除锈	用压缩空气把石英砂粒或钢丸高速喷射到钢材表面，产生冲击和磨削作用，将表面铁锈和附着物清除干净	工效高，除锈彻底，能控制除锈质量，露出粗糙的金属本色，是目前工厂表面处理的首选方法。但构件凹角部位不易清理，卫生条件较差，先进的喷砂机可将砂粒或钢丸的细粉自动搜集、筛除，防止扬尘。
酸洗处理	采用磷酸类或盐酸类化学溶剂浸泡，通过化学作用清除钢材表面油污、氧化皮及铁锈	除锈效果好，工效高，适于形状复杂、小型和薄壁构件。如不用缓蚀剂，会损伤母材；处理后须用中和液彻底清洗后吹干并立即涂一层硼钡底漆；成本较高，需要专门的工艺控制。
磷化处理	构件酸洗或喷砂（丸）处理后，再用浓度 2%左右的磷酸作磷化处理，使钢材表面有一层磷化膜	可组织钢材表面过早返锈，同时能与防腐涂料紧密结合，提高涂层的附着力和防腐蚀性能，适于腐蚀性介质较为严重的环境。成本高，工序多，须专业人员操作。

综合比较来看，表面处理（除锈）效果以酸洗磷化为最好，喷砂（丸）除锈、酸洗处理次之，人工除锈效果最差。薄壁型钢结构应优先采用酸洗磷化处理方法，以延长其维护年限和使用寿命。

1.2.3.2 钢材表面处理（除锈）

钢材表面处理（除锈）质量等级的确定，是轻型钢结构防护设计的主要内容，其质量要求应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第一部分》（GB/T 8923.1）。确定的等级过高，会造成人力浪费，防护费用急剧增加；确定的等级过低，将起不到应有的防护作用。钢材表面处理（除锈）质量等级一般应根据钢材表面的原始锈蚀状况、选用的底漆、可能采用的表面处理（除锈）方法、工程造价及预期的涂装维护周期等因素综合考虑后确定。

不同品种的防腐涂料底漆对表面处理（除锈）的质量要求是不同的。一般而言，常规油性涂料的湿润性和渗透性较好，对除锈质量要求可略低一些；高性能的涂料（如富锌类涂料），对基层表面的处理较高。

与钢材表面处理（除锈）方法对应的质量等级见表 6。

钢材表面处理方法和质量等级

表 6

除锈方法	除锈质量等级	质 量 标 准	
喷砂(丸) 除锈	Sa1	请读除锈	只除去疏松氧化皮、铁锈和附着物
	Sa2	彻底除锈	氧化皮、铁锈和附着物几乎全被除去, 至少有 2/3 面积无任何可见残留物。
	Sa2 $\frac{1}{2}$	非常彻底除锈	氧化皮、铁锈和附着物残留在钢材表面的痕迹是点状或条状的轻微污痕, 至少有 90% 的面积无任何可见残留物。
	Sa3	非常彻底除锈到露出金属光泽	钢材表面的氧化皮、铁锈和附着物都被完全除去, 具有均匀、端点金属光泽。
手工机械 除锈	St2		无可见油脂和污垢, 无附着不牢的氧化皮、铁锈和附着物。
	St3		同上, 但铁锈比 St2 更为彻底, 基材显露部分的表面应具有金属光泽。
酸洗除锈	Be		全部、彻底地除去氧化皮、铁锈、旧涂层和附着物。

轻型钢结构一般防腐蚀要求时, 表面处理(除锈)质量等级可选用 Sa2 或 St2~St3; 防腐蚀要求较高时, 可选用 Sa2~Sa3 或 St3 级。钢构件需热浸锌或热喷锌或喷铝时, 表面处理(除锈)质量等级应选 Sa2 $\frac{1}{2}$ ~Sa3 等级, 同时表面粗糙度应达到 30~35 μm 。

根据《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251-2011, 应符合下表规定的不同涂料表面最低除锈等级:

表 7

项目	最低除锈等级
富锌底涂料	Sa2 $\frac{1}{2}$
乙烯磷化底涂料	
环氧或乙烯基酯玻璃鳞片底涂料	Sa2
氯化橡胶、聚氨酯、环氧、聚氯乙烯萤丹、高氯化聚乙烯、氯磺化聚乙烯、醇酸、丙烯酸环氧、丙烯酸聚氨酯等底涂料	Sa2 或 St3
环氧沥青、聚氨酯沥青底涂料	St2
喷铝及其合金	Sa3
喷锌及其合金	Sa2 $\frac{1}{2}$

注: 1 新建工程重要构件的除锈等级不应低于 Sa2 $\frac{1}{2}$;

2 喷射或抛射除锈后的表面粗糙度宜为 40 μm ~75 μm , 且不应大于涂层厚度的 1/3。

1.2.4 防腐涂料的选用

经表面处理（除锈）后的钢板表面在检查合格后，应在要求的时限内（时间间隔不超过 6 小时）进行涂装。在此期间，钢板表面应保持洁净，严禁沾水、油污等。

喷涂（涂刷）在钢结构构件表面的防腐涂料（俗称油漆）是一种含油或不含油的胶体溶液，将其涂敷在钢材表面，可以结成一层附着坚固的薄膜，防止钢材腐蚀。涂料是由成膜物质、颜料、有机溶剂等组成。涂料一般分底漆和面漆两种。底漆主要起附着和防腐作用，它的漆膜粗糙，与钢材表面附着力强，并与面漆结合好；面漆主要是保护下层的底漆，并起到耐老化作用。面漆对大气和湿气又抗气候性和不透水性，具有一定的防腐性能，它漆膜光泽，增加了建筑物的美感和对紫外线的防护。

轻型钢结构的防腐蚀，除要求对钢材表面进行彻底处理（除锈）外，选择防腐蚀性能好、施工便利、价格合适的涂料及相配套的施工工艺，对于保证结构的正常使用、减少维护费用，起着主要的作用。

防腐涂料品种繁多，性能和用途各异。在进行钢结构防腐蚀设计时，应了解和掌握各类涂料的基本性能和适用条件。每一种类型的涂料都由一定的优缺点，必须根据涂装要求，合理地选用涂料品种。涂料选用时应着重注意以下几方面的问题：

（1）根据工程结构所处的环境，如位于室内或室外、温度和湿度、侵蚀性介质的种类和浓度及后期维护难易程度等，选用合适的涂料。对于酸性介质，可选用耐酸性能较好的酚醛树脂类漆；对于碱性介质，可选用耐碱性能较好的环氧树脂类漆。

（2）注意涂料的配套性，不仅要求底漆与钢材表面的附着力好、底漆与面漆之间也应有良好的粘结力，而且要求漆层间作用匹配、性能匹配、硬度匹配。各漆层间不能出现互溶或咬底现象。如油性底漆（油性红丹漆）不能与强溶剂型面漆（如过氯乙烯漆）配套使用，否则会咬起底漆的漆膜；但磷化底漆或铁红醇酸底漆与过氯乙烯漆配套使用，能取得良好的防腐效果。

（3）根据结构构件的重要性（主要承重构件、次要承重构件或围护结构构件）分别选用不同的涂料品种，或采用相同品种但敷涂不同的涂层厚度和层数。

（4）考虑涂料的施工性能和施工条件的可能性。防腐涂料有的宜涂刷，有的宜喷涂。轻型钢结构一般宜选用干燥快、便于喷涂的常温固化型涂料。

（5）选择的涂料应具有施工过程中良好的稳定性、低毒性、低刺激性和合适的温度和固化要求。面漆应有良好的耐盐雾、耐湿热、耐霉菌、耐化学腐蚀和耐候性能。面漆的色彩要符合建筑美观要求。

（6）选择涂料品种时，既要考虑一次性涂装费用，也要根据涂层的使用年限，将一次性投资与长远效益结合。此外，还要考虑到涂料的产地和供货情况。如果条件许可，应采用较为彻底的表面处理防腐和质量较好的涂料，虽然一次性投资较高，但可大大减少维护次数，对后期生产的影响也

较小, 总体防护费用和综合经济效益还是明显的。

建筑钢结构常用的防腐底漆和面漆分别见表 8 和表 9。

常用的防锈漆

表 8

名称	型号	性能	适用范围	配套要求
红丹油性防锈漆	Y53-1	防锈能力强, 漆膜坚韧施工性能好, 但干燥较慢	适用于室内外钢结构表面防锈打底用, 但不能用于有色金属铝、锌等表面, 因红丹与铝、锌起电化学反应	与油性磁漆、酚醛磁漆和醇酸磁漆配套使用; 不能与过氯乙烯漆配套
续表 8				
名称	型号	性能	适用范围	配套要求
铁红油性防锈漆	Y53-2	附着力强, 防锈性能次于红丹油性防锈漆, 耐磨性差	适用于防锈要求不高的钢结构表面	与酯胶磁漆酚醛磁漆配套使用
红丹酚醛防锈漆	F53-1	防锈性能好, 漆膜坚固, 附着力强, 干燥较快	同红丹油性防锈漆	与酚醛磁漆、醇酸磁漆配套使用
铁红酚醛防锈漆	F53-3	附着力强, 漆膜较软耐磨性差, 防锈性能低于红丹酚醛防锈漆	适用于防锈要求不甚高的钢结构表面防锈打底	与酚醛磁漆配套使用
红丹醇酸防锈漆	C53-1	防锈性能好, 漆膜坚固, 附着力强, 干燥较快	同红丹油性防锈漆	与醇酸磁漆、酚醛磁漆、酯胶磁漆配套使用
铁红醇酸底漆	C06-1	具有良好的附着力和防锈能力, 在一般气候条件下, 耐久性好, 但在湿热性气候和潮湿条件下, 耐久性差些	适用于一般钢结构表面防锈打底	与醇酸磁漆、硝基磁漆和过氯乙烯漆等配套使用
各色硼钡酚醛防锈漆	F53-9	具有联合的抗大气腐蚀性能, 干燥快, 施工方便, 正逐步代替一部分红丹防锈漆	适用于室内外钢结构表面防锈打底	与酚醛磁漆、醇酸磁漆配套使用
乙烯磷化底漆	X06-1	对钢材表面的附着力极强, 漆料中的磷酸盐可使钢材表面形成钝化膜, 延长有机涂层的寿命	适用于钢结构表面防锈打底, 可省去磷化或钝化处理, 不能代替底漆使用; 只能与一些底漆品种(如过氯乙烯底漆等)配套使用, 增加这些涂层的附着力	不能与碱性涂料配套使用
铁红过氯乙烯底漆	G06-4	有一定的防锈性及耐化学性, 但对钢材的附着力不太好, 若与乙烯磷化底漆配套使用, 能耐海洋性和湿热气候	适用于沿海地区和湿热条件下的钢结构表面防锈打底	与乙烯磷化底漆和过氯乙烯防腐漆配套使用
铁红环氧酯底漆	H06-2	漆膜坚韧耐久, 附着力强, 耐化学腐蚀, 绝缘性好, 如与磷化底漆配套使用, 可提高漆膜的防潮, 防盐雾及防锈性能	适用于沿海地区和湿热条件下的钢结构表面防锈打底	与磷化底漆和环氧磁漆、环氧防腐漆配套使用

常用面漆

表 9

名称	型号	性能	适用范围	配套要求
各色油性调和漆	Y03-1	耐候性较酯胶调和漆好, 但干燥时间较长, 漆膜较软	适用于室内一般钢结构	
各色酯胶调和漆	T03-1	干燥性能比油性调和漆好, 漆膜较硬, 有一定的耐水性	适用于一般钢结构面漆	
续表 9				
名称	型号	性能	适用范围	配套要求
各色酚醛磁漆	F04-1	漆膜坚硬, 有光泽, 附着力较好, 但耐候性较醇酸磁漆差	适用于室内一般钢结构面漆	与红丹防锈漆、铁红防锈漆等配套使用
各色醇酸磁漆	C04-42	具有良好的耐候性和较好的附着力; 漆膜坚韧, 有光泽	适用于室内外钢结构面漆	先涂 1~2 道 C06-1 铁红醇酸底漆, 再涂 C06-10 醇酸二道底漆, 最后涂该漆
各色纯酚醛磁漆	F04-11	漆膜坚硬, 耐水性、耐候性及耐化学性均比 F04-1 酚醛磁漆好	适用作防腐和干湿交替的钢结构面漆	与各防锈漆、酚醛底漆配套使用
灰酚醛防锈漆	F53-2	耐候性较好, 有一定的防水性能	适用于室内外钢结构, 多作面漆使用	与红丹或铁红类防锈漆配套使用

1.2.5 防腐涂层结构和厚度

一个完整的防腐涂层结构一般由多层防腐底漆和面漆组成。涂层厚度应适当, 过厚虽然可以增加防护能力, 但涂层附着力和机械性能下降, 且费用增加; 过薄易产生肉眼看不见的针孔和其他缺陷, 起不到预期的防护效果。每一涂层的厚度因涂料品种和施工方法而有所不同, 涂刷施工比喷涂施工的涂层厚; 正常情况下油性漆每一涂层的厚度约为 $35\ \mu\text{m}$, 合成树脂漆为 $25\ \mu\text{m}$, 乙烯漆为 $15\ \mu\text{m}$ 。根据轻型钢结构的使用要求, 一般情况下, 构件表面的涂层干膜总厚度室内不得低于 $125\ \mu\text{m}$; 室外不得低于 $150\ \mu\text{m}$; 涂刷(喷涂)的遍数不应少于 4~5 遍。对于油性基漆, 如红丹防锈漆等, 它固化慢, 渗透性大, 流平性好, 已涂刷为宜; 对于过氯乙烯漆、环氧树脂类漆, 因干燥迅速, 为使涂层均匀平整, 避免针孔, 宜采用喷涂。喷涂工效高, 但涂料利用率稍低, 有一定浪费。

不同环境条件下, 轻型钢结构采用的不同涂料的涂层干膜总厚度见表 10。

钢结构涂装涂层厚度

表 10

涂料名称	防腐底漆和面漆干膜总厚度				
	城市大气	工业大气	海洋大气	化工大气	高温大气
醇酸漆	100~150	125~175			
沥青漆			180~240	150~210	
环氧漆			175~225	150~200	150~200
过氯乙烯漆				160~260	
丙烯酸漆		100~140	140~180	120~160	
聚氨酯漆		100~140	140~180	120~160	
氯化橡胶漆		120~160	160~200	140~180	
氯磺化聚乙烯漆		120~160	160~200	140~180	120~160

近年来，随着工程实际的需要和新产品的研制开发，带锈防腐涂料已有供应。带锈防腐涂料是一种改进的转化型带锈防腐底漆，这种涂料能在钢材表面形成一层具有高效电化学保护性能的薄膜，以起到化锈的防腐底漆作用。该涂料主要用于钢结构中不易除锈的部位或钢结构的维修工程中，尤其适合于高空作业和复杂结构外形只能手工除锈的情况。带锈防腐涂料已在宝钢二期工程、首钢和鞍钢等工程中使用，效果良好，相信将是一种具有发展前景和竞争力的新型防腐涂料。

1.2.6 防腐涂层的保护和维修

防腐底漆的涂装一般在钢结构制造厂进行，面漆的喷涂（涂刷）一般在结构安装就位完成后进行。在运输和安装过程中底漆被损坏的部位应补漆，然后再敷涂面漆。

轻型钢结构防护工程的预期使用年限应以 10~15 年的目标为宜。在使用过程中，涂层长期受紫外线、雨水、温度变化、干湿交替、大气中侵蚀性介质的腐蚀等因素的影响，其防护性能会劣化或失效，有时还会受到机械损伤，故应在结构使用期间注意定期检查，把握好合理的维护期限，对防腐涂层进行维修。

对钢结构表面重新涂装的合理期限应根据构件表面的锈蚀程度（A、B、C、D 四个等级）决定。锈蚀程度为 A 或 B 级时，可以仅在根据表面局部地修补或加涂防腐涂层；待达到锈蚀程度等级 C、D 级时，则必须彻底清除旧涂层，并进行严格的表面处理，此时所需的非户费用将大为增加。

重新涂装时所选用的涂料应与原涂层的涂料品种相同或能匹配。一般应根据钢材表面的腐蚀情况选择适当的重新涂装方法，见表 11 中的建议。

重新涂装方法选用

表 11

锈蚀等级	锈 蚀 程 度	表 面 处 理	除 锈 程 度	重新喷涂（涂刷）遍数
A	无锈蚀	手工除锈	把粉化物和污物刷除	面漆涂层 2 遍
B	局部轻微锈蚀	手工除锈、机械除锈、喷砂（丸）除锈	完好涂层保留，锈蚀部位应露出基材表面	底层涂料 2 遍 面层涂料 2 遍
C、D	全面锈蚀或严重锈蚀	手工除锈、机械除锈、喷砂（丸）除锈	露出基材表面	底层涂料 2 遍 面层涂料 2 遍

1.3 轻型钢结构防火

1.3.1 火灾对钢结构建筑的危害

火是物质燃烧的过程和现象，在人类进化和社会生产力发展过程中起着重要作用，然而，火一

一旦失去控制形成火灾将给人类物质和生命财产造成重大损失。从结构设计人员的角度看，火灾是建筑物在使用阶段可能发生的最危险的灾害之一。火灾发生后，不仅造成建筑物本身的损坏、人员受到严重伤害和其他财产的严重损毁等直接经济损失，而且可能造成建筑物暂停使用、工厂停产、供水和供电中断、建筑物需要维修和加固等问题，从而影响人们的正常生活和工作导致重大的间接经济损失。统计资料表明，火灾造成的平均简介经济损失是直接经济损失的 3 倍以上。各类火灾中，建筑火灾发生次数最多，损失最大，约占全部火灾损失的 80%以上。

建筑物发生火灾时，除烧毁室内外生活设施和生产设备、对人的生命造成重大威胁外，还可能对建筑物的承重结构和建筑门、窗和装饰等围护结构造成破坏。

钢材虽是不燃烧材料，但耐火性能差。未加保护的钢结构在火灾温度作用下，耐火时限仅有 15~25min，其自身温度可骤升至 540℃。当其温度达到 600℃时，钢材基本丧失全部强度和刚度，并因丧失强度、稳定性和严重变形而使结构坍塌破坏。因此当建筑采用钢结构而且无防火保护措施时，一旦发生火灾，结构极易遭到破坏，损失巨大。如 1996 年江苏昆山的一座轻型钢结构厂房发生火灾，30 分钟左右造成 4320m²的厂房烧毁坍塌；1998 年北京某采用钢结构建造的家具城发生火灾，造成该建筑整体倒塌。国内近年来每年发生的建筑火灾多达 5 万起以上，损失超过几十亿元。2005 年 4 月，南京青少年科技活动中心钢结构屋盖发生火灾，30 分钟内造成金属屋面过火面积达 6000m²，损失惨重，同时影响了该建筑的按时投入使用，造成巨额经济索赔；幸运的是，由于该建筑承重钢结构在火灾发生时已经敷涂好了防火涂料，因而没有造成结构垮塌和严重的结构安全问题。

轻型钢结构近年来在我国应用日益增多，但由于结构多采用细长和薄壁的构件，自身抗火能力差，若没有可靠的防火保护措施，火灾造成的危害将更为严重。

1.3.2 轻型钢结构防火设计原则

传统的设计观点认为，建筑防火是建筑设计师需要考虑的问题，结构工程师在结构设计时对结构防火（抗火）考虑不多。诚然，建筑设计师对诸如建筑防火分区、避难层设置、紧急安全疏散出口、消防喷淋等问题的精心考虑对于减轻火灾损失、减少人员伤亡具有重要作用。然而，结构设计人员在防火问题上绝不是无所作为。作为防火分隔的防火墙是支承在结构上的，如果火灾中支承结构发生破坏，防火墙实际起不到防火分隔的作用；建筑避难层下的结构如果没有足够的耐火能力而在火灾中破坏，将造成严重的人员伤亡；倘若建筑物的结构构件（梁、板、柱和楼梯等）在火灾中破坏，将直接影响室内人员的疏散和消防人员进入建筑内灭火，损失更大。因此，结构工程师在进行轻型钢结构设计时，应对结构防火问题高度重视，责无旁贷。

在进行轻型钢结构防火设计时，经常遇到“防火、耐火和抗火”这三个侧重点不同却又相互联系的概念。“防火”是指防火保护和防止火灾，轻型钢结构设计时建筑专业的防火包括：建筑防火措施（如防火分区、消防设施布置、防火墙、防火门等）；结构专业包括：结构采用防火涂料、防火板

对钢结构构件、节点等进行防护。“耐火”是指建筑物的某一防火区域在发生火灾时能忍耐多长时间而不出现火灾蔓延到其他防火区域以及结构或构件在发生火灾时能忍耐多长时间而不出现承载能力过多降低导致结构或构件的破坏甚至坍塌。耐火更强调时间上的意义。“抗火”是指结构或构件抵抗火灾引起的急剧上升的不均匀温度（场）作用，是结构或构件的基本功能要求之一。轻型钢结构的抗火一般通过对结构构件采取防火保护措施、使其在火灾作用下承载能力尽管有所降低但仍能满足此时保证结构安全和稳定的必需的承载要求。结构耐火强调的是结构在火灾发生时的特定荷载和约束条件下的结构耐火时间；而结构抗火强调的是结构抵抗火灾作用的影响时需要考虑的火灾和约束条件。轻型钢结构的防火设计一般指设计时对结构需要采取的防火保护措施，使其在承受火灾发生时特定的荷载和约束条件下，满足结构耐火的的时间要求，确保结构的安全，尽量减少火灾造成的人员伤亡和财产损失，并为火灾后结构的安全鉴定、修复和加固创造必要的条件。

钢结构防火设计应立足于防火保护有效的前提下，针对现场具体条件，考虑构件的承载形式、空间位置及环境因素等，选择施工简便、易于保证施工质量的防火保护措施。

钢结构防火保护措施应和其他施工、作业相匹配。选用防火保护措施时，一方面应考虑不影响前续已完工的施工及后续施工，另一方面还应保证后续施工不影响防火保护的性能。例如，膨胀型防火涂料应与防腐底漆、防腐面漆相容（防腐涂料、防火涂料由里及外的顺序依次为：防腐底漆，防腐中间漆，膨胀型防火涂料，防腐面漆）。为了保证膨胀型防火涂料膨胀不受影响，防腐面漆不应过硬，构件外部应留有足够的膨胀空间，也不应包裹防火毡等。

无防火保护的钢结构的耐火时间通常仅为 15min~20min，达不到规定的设计耐火极限要求，因此需要进行防火保护。防火保护的具体措施，如防火涂料类型、涂层厚度等，应根据相应规范进行抗火设计确定，保证构件的耐火时间达到规定的设计耐火极限要求，并做到经济合理。轻型钢结构的防火设计、施工等要求应符合现行国家规范《建筑设计防火规范》（GB50016）、《高层民用建筑钢结构技术规程》（JGJ99）、《建筑钢结构防火技术规范》（GB 51249）和《钢结构防火涂料》（GB 14907）等的有关规定。根据建筑物和结构构件的重要性及破坏的危险性，确定建筑物的耐火等级，必要时应与消防部门共同商定设防标准；据此考虑到消防灭火时间的需要，确定结构构件（梁、柱、楼板、承重墙等）和建筑部件（防火墙、防火门、吊顶等）的耐火时间。

轻型钢结构的防火设计原则，是在设计所采用的防火措施条件下，能保证结构构件在所规定的耐火极限时间内，其承载能力仍不小于各种作用及其组合所产生的效应。

住宅建筑钢构件的耐火极限(h)不应低于下表的规定。

住宅建筑钢构件的耐火极限(h)

表 12

构件名称	9 层及 9 层以下住宅建筑		10 层及 10 层以上住宅建筑	
	耐火等级			
	一级	二级	一级	二级
承重墙	3.00	2.50	2.00	2.00
柱 柱间支撑	3.00	2.50	3.00	2.50
梁 楼面支撑	2.00	1.50	2.00	1.50
楼板 桁架	1.50	1.00	1.50	1.00
屋顶承重构件 屋面支撑、系杆	1.50	0.50		
疏散楼梯	1.50	1.00		

注：9 层及 9 层以下住宅建筑中设有自动喷水灭火系统保护时，其构件耐火极限可按表中规定值降低 0.5h。

结构承重构件的耐火极限时间的定义为：在标准耐火试验条件下，建筑构件、配件或结构从受到火的作用时起，至失去承载能力、完整性或隔热性时止所用时间，用小时表示。

失去稳定性时指构件在火灾中丧失承载能力，或达到不适宜继续承载的变形。失去完整性是指建筑分隔构件（楼板、隔墙等）一面受火时，构件出现穿透裂缝或穿火孔隙，致使火焰能穿过构件，造成背火面的可燃物起火燃烧。失去隔热性是指分隔构件一面受火时，背火面温度达到 220℃ 以上，造成背火面可燃物起火燃烧。

规范规定的耐火时限是设计人员进行防火设计的基本依据。设计人员还应根据结构和采取的防护措施等具体情况合理运用。例如，在实际结构中，当构件个别截面达到破坏温度时，有时并不会引起该结构构件的立刻破坏，按弹性理论设计的超静定结构仍有一定的强度储备，一根连续梁中的个别截面因达到破坏温度而出现塑性铰，但梁仍具有承载力。结构构件在达到破坏温度前所经历的时间与构件的吸热比和升温比有关。体积相等时，构件的表面积越大，热传导越快，吸热比和升温比就高。薄壁、细长且为开口截面的构件吸收热量稍、升温快，而封闭的管型截面升温相对较慢，耐火性能更好些。若在管型截面构件内灌注混凝土，由于混凝土具有较高的热容量，构件的耐火性能将有较大提高。综合考虑上述因素后，设计人员在满足规范防火要求的前提下，有可能灵活地采取防火措施从而降低防护费用。

1.3.3 轻型钢结构防火设计和措施

1.3.3.1 防火保护材料的种类

轻型钢结构构件必须采取适当的防火保护措施, 才可达到要求的耐火时限。一般采用在钢结构构件表面敷涂或覆盖防火保护材料的方法。常用的防火保护材料有:

(1) 防火涂料

防火涂料是以无机粘合剂与膨胀珍珠岩、耐高温硅酸盐材料等吸热、隔热及增强材料合成的一种防火材料, 喷涂于钢结构构件表面, 形成可靠的耐火隔热保护层, 以提高钢结构构件的耐火性能。根据其阻燃隔热的原理, 可分为膨胀性和非膨胀性两种。根据涂层厚度及性能可分为薄涂型防火涂料(涂层厚度 2~7mm) 和厚涂型防火涂料(涂层厚度 8~50mm)。

钢结构防火涂料的品种较多, 根据高温下涂层变化情况分非膨胀型和膨胀型两大类:

防火涂料的分类(高温下涂层变化情况) 表 13

类型	代号	涂层特性	主要成分	说明
膨胀型	B	遇火膨胀, 形成多孔碳化层, 涂层厚度一般小于 7mm	有机树脂为基料, 还有发泡剂、阻燃剂、成炭剂等	又称超薄型、薄型防火涂料
非膨胀型	H	遇火不膨胀, 自身有良好的隔热性, 涂层厚 7mm~50mm	无机绝热材料(如膨胀蛭石、飘珠、矿物纤维)为主, 还有无机黏结剂等	又称厚型防火涂料

非膨胀型防火涂料, 国内称厚型防火涂料, 其主要成分为无机绝热材料, 遇火不膨胀, 其防火机理是利用涂层固有的良好的绝热性以及高温下部分成分的蒸发和分解等烧蚀反应而产生的吸热作用, 来阻隔和消耗火灾热量向基材的传递, 延缓钢构件升温。非膨胀型防火涂料一般不燃、无毒、耐老化、耐久性较可靠, 适用于永久性建筑中的钢结构防火保护。非膨胀型防火涂料涂层厚度一般为 7mm~50mm, 对应的构件耐火极限可达到 0.5h~3.0h。

非膨胀型防火涂料可分为两类: 一类是以矿物纤维为主要绝热骨料, 掺加水泥和少量添加剂、预先在工厂混合而成的防火材料, 需采用专用喷涂机械按干法喷涂工艺施工; 另一类是以膨胀蛭石、膨胀珍珠岩等颗粒材料为主要绝热骨料的防火涂料, 可采用喷涂、抹涂等湿法施工。矿物纤维类防火涂料的隔热性能良好, 但表面疏松, 只适合于完全封闭的隐蔽工程, 另外干式喷涂时容易产生细微纤维粉尘, 对施工人员和环境的保护不利。目前在国内大量推广应用非膨胀型防火涂料主要为湿法施工: 一是以珍珠岩为骨料, 水玻璃(或硅溶胶)为黏结剂, 属双组分包装涂料, 采用喷涂施工;

另一类是以膨胀蛭石、珍珠岩为骨料，水泥为黏结剂的单组分包装涂料，到现场只需加水拌匀即可使用，能喷也能抹，手工涂抹施工时涂层表面能达到光滑平整。水泥系防火涂料中，密度较高的品种具有优良的耐水性和抗冻融性。

膨胀型防火涂料，国内称超薄型、薄型防火涂料，其基料为有机树脂，配方中还含有发泡剂、阻燃剂、成碳剂等成分，遇火后自身会发泡膨胀，形成比原涂层厚度大数倍到数十倍的多孔碳质层。多孔碳质层可阻挡外部热源对基材的传热，如同绝热屏障。膨胀型防火涂料在一定程度上可起到防腐中间漆的作用，可在外面直接做防腐面漆，能达到很好的外观效果（在外观要求不是特别高的情况下，某些产品可兼作面漆使用）。采用膨胀型防火涂料时，应特别注意防腐涂料、防火涂料的相容性问题。膨胀型防火涂料在设计耐火极限不高于 1.5h 时，具有较好的经济性。目前国际上也有少数膨胀型防火涂料产品，能满足设计耐火极限 3.0h 的钢构件的防火保护需要，但是其价格较高。膨胀型防火涂料在近 20 年取得了很大的发展，在钢结构防火保护工程中的市场份额越来越大。图 2 为不同钢结构防火保护材料在英国的市场份额。

钢结构采用喷涂防火涂料保护时，应符合下列规定：

- ① 室内隐蔽构件，宜选用非膨胀型防火涂料；
- ② 设计耐火极限大于 1.50h 的构件，不宜选用膨胀型防火涂料；
- ③ 室外、半室外钢结构采用膨胀型防火涂料时，应选用符合环境对其性能要求的产品；
- ④ 非膨胀型防火涂料涂层的厚度不应小于 10mm；
- ⑤ 防火涂料与防腐涂料应相容、匹配。

(2) 防火板材及柔性毡状隔热材料

防火板材主要有各种厚度的防火石膏板、水泥蛭石板、硅酸钙板、轻质加气混凝土板和岩棉板等硬质板材。防火板材通过紧固件或粘结剂外贴在钢构件表面，起到防火隔热的作用。其防火性能能满足一般要求，价格较低，但施工较复杂、重量较大，适用于同时有防火与装饰要求的钢结构公共建筑与住宅。

钢结构采用包覆防火板保护时，应符合下列规定：

- ① 防火板应为不燃材料，且受火时不应出现炸裂和穿透裂缝等现象；
- ② 防火板的包覆应根据构件形状和所处部位进行构造设计，并应采取确保安装牢固稳定的措施；
- ③ 固定防火板的龙骨及黏结剂应为不燃材料。龙骨应便于与构件及防火板连接，黏结剂在高温下应能保持一定的强度，并应能保证防火板的包敷完整。

钢结构采用包覆柔性毡状隔热材料保护时，应符合下列规定：

- ①不应用于易受潮或受水的钢结构;
- ②在自重作用下, 毡状材料不应发生压缩不均的现象。

(3) 外包混凝土保护层

在钢构件外侧采用混凝土外包, 可现浇或喷涂成型, 外包混凝土层内需配置钢丝网或小直径钢筋加强, 防止混凝土收缩裂缝或过火时爆裂。现浇外包混凝土的容重大, 应用上受到一定限制。

钢结构采用外包混凝土、金属网抹砂浆或砌筑砌体保护时, 应符合下列规定:

- ①当采用外包混凝土时, 混凝土的强度等级不宜低于 C20;
- ②当采用外包金属网抹砂浆时, 砂浆的强度等级不宜低于 M5; 金属丝网的网格不宜大于 20mm, 丝径不宜小于 0.6mm; 砂浆最小厚度不宜小于 25mm;
- ③当采用砌筑砌体时, 砌块的强度等级不宜低于 MU10。

1.3.3.2 防火材料的选用

轻型承重钢结构宜采用防火涂料或防火板材防火, 目前国内主要采用前者。当采用防火涂料作为轻型钢结构防火保护措施时, 一般应由建筑师和结构工程师按建筑物防火等级和构件的耐火时限(必要时应与消防部门共同商定设防标准), 根据《钢结构防火涂料应用技术规范》(CECS24:90)的规定, 选用合理的涂料种类、涂层厚度及构造做法。

防火涂料应具有:

- (1)良好的绝热性, 要求导热系数小、热容量大;
- (2)在火灾过程中不开裂、不脱落、能牢固地附着在构件表面上, 材料本身具有一定的强度和粘结度, 连接和施工方便;
- (3)不腐蚀钢材, 呈碱性且对钢材有害的成分低;
- (4)不含对人体健康有害的物质, 如石棉等。

防火涂料的生产厂家应提供防火涂料的基本热力学性能、耐火试验的检测报告、质量保证书和长期使用情况调查报告。工程中使用的防火涂料必须有国家专门检测机构对其耐火性能认可的检测报告及生产许可证。设计人员应根据上述技术资料, 结合所设计工程的具体特点和要求, 确定适当的涂料类型和涂层厚度。由于各种新型防火涂料的不断开发并投入实际工程应用, 防火涂料厚度的确定, 宜直接采用实际构件的耐火试验数据。当构件的截面尺寸或形状与试验标准构件不同时, 应按现行的《钢结构防火涂料应用技术规范》(CECS24:90)附录三的方法, 推算所需的防火涂料厚度。不得将用于木结构的饰面型防火涂料用于钢结构防火。

各类防火涂料的特性及其使用范围见表 14。轻型钢结构防火设计时宜优先选用薄涂型防火涂料; 选用厚涂型防火涂料时, 其表面需做装饰面层。表面装饰要求较高时, 可选用超薄型防火涂料。

防火涂料的类别及适用范围

表 14

类别	特性	常用厚度 (mm)	耐火时限 (h)	适用范围
薄涂型防火涂料	附着力强, 可配色, 一般无需外保护层	2~7	1.5	工业与民用建筑楼盖与屋盖钢结构
超薄型防火涂料	附着力强, 干燥快, 可配色, 有装饰效果, 无需外保护层	3~5	2.0~2.5	工业与民用建筑梁、柱等钢结构构件
厚涂型防火涂料	喷涂施工, 密度小, 物理力学强度低, 附着力较低, 需要装饰面层隔护	8~50	1.5~3.0	有装饰面层的民用建筑钢结构柱、梁等构件
露天结构用防火涂料	喷涂施工, 有良好的耐候性	薄涂型 3~10 厚涂型 25~40		露天环境的钢框架、构架等钢结构构件

外包防火材料是绝大部分钢结构工程采用的防火保护方法。根据防火材料的不同, 又可分为: 喷涂(抹涂、刷涂)防火涂料, 包覆防火板, 包覆柔性毡状隔热材料, 外包混凝土、砂浆或砌筑砖砌体, 复合防火保护等。

钢结构防火保护方法的特点与适应范围

表 15

序号	方法		特点及适应范围	
1	喷涂 防火 涂料	(a)膨胀型 (薄型、 超薄型)	重量轻、施工简便, 适用于任何形状、任何部位的构件, 应用广, 但对涂敷的基底和环境条件要求严。用于室外、半室外钢结构时, 应选择合适的产品	宜用于设计耐火极限要求低于 1.5h 的钢构件和要求外观好、有装饰要求的外露钢结构
		(b)非膨胀型(厚型)		耐久性好、防火保护效果好
2	包覆防火板		预制性好, 完整性优, 性能稳定, 表面平整、光洁, 装饰性好, 施工不受环境条件限制, 特别适用于交叉作业和不允许湿法施工的场所	
3	包覆柔性毡状隔热材料		隔热性好, 施工简便, 造价较高, 适用于室内不易受机械伤害和免受水湿的部位	
4	外包混凝土、砂浆或砌筑砖砌体		保护层强度高、耐冲击, 占用空间较大, 在钢梁和斜撑上施工难度大, 适用于容易碰撞、无护面板的钢柱防火保护	
5	复合 防火 保护	1(b)+2	有良好的隔热性和完整性、装饰性, 适用于耐火性能要求高, 并有较高装饰要求的钢柱、钢梁	
		1(b)+3		

轻型钢结构采用防火板材或外包混凝土进行保护时, 不同厚度和不同固定构造的防火板材的耐火性能与耐火时限也应经国家专门检测机构检测认定。板材采用粘结剂与钢构件固定时, 粘结剂应

在预计耐火时间内的火灾作用下不会失去粘结作用。常用的防火保护做法及防火材料的耐火性能可参见表 16, 供设计人员进行轻型钢结构防火设计时参考。

钢构件外包防火材料构造做法与耐火时限

表 16

构件类别	序号	结构和材料特性		外包最小厚度 (mm)					
				耐火时间					
				0.5h	1.0h	1.5h	2.0h	3.0h	4.0h
钢梁 (三面受火)	1		涂有含轻集料的钢板	13	13	15	20	25	
	2	保护材料与钢翼缘面无间隙	涂有含轻集料的钢板, 涂层外敷以 $\phi 1.6@100\text{mm}$ 金属网	10	10	15			
			a. 当涂层厚度不小于 9.5mm b. 当涂层厚度不小于 19mm	10	10	13	20		
3						19	25	38	50

续表 16

构件类别	序号	结构和材料特性		外包最小厚度 (mm)						
				耐火时间						
				0.5h				0.5h		
钢梁 (三面受火)	4		轻质蒸压加气混凝土板外包 (ALC 板)		25		50	75		
	5	外包混凝土	普通混凝土:							
			a. 混凝土不承重 b. 混凝土承重	25	25	25	25	50	75	
6	混凝土	轻质混凝土:								
		混凝土不承重	25	25	25	25	40	60		
钢柱 (四面受火)	1		涂有含轻集料的钢板	13	13	15	20	25		
	2	保护材料与钢翼缘面无间隙	涂有含轻集料的钢板, 涂层外敷以 $\phi 1.6@100\text{mm}$ 金属网	10	10	15				
			a. 当涂层厚度不小于 9.5mm b. 当涂层厚度不小于 19mm	10	10	13	20			
	3		石棉隔热板, 厚度为:							
			a. 单层厚, 搭接长度 6mm b. 双层厚, 其总厚度为			19	25		38	50
	4		实心粘土砖、灰砂砖 (不含涂层)	50	50	50	50	75	100	
	5		膨胀矿渣或浮石砌块	50	50	50	50	60	75	
	6		轻质蒸压加气混凝土砌块 (密度 $457\sim 1200\text{kg/m}^3$)	60	60	60	60			
	7		轻质混凝土砌块	50	50	50	50	60	75	
	8		轻质蒸压加气混凝土板外包 (ALC 板)		25		50	75		
9	外包混凝土	普通混凝土:								
		a. 混凝土不承重 b. 混凝土承重	25	25	25	25	50	75		
10	混凝土	轻质混凝土:								
		混凝土不承重	25	25	25	25	40	60		

1.3.3.3 防火设计与施工要求

(1) 喷涂防火涂料前, 钢结构构件表面应按本章 6.2.2 的要求和规定进行表面处理 (除锈), 喷涂 (涂刷) 2 遍防腐底漆, 底漆成分不能与防火涂料产生化学反应。防火涂料不能对钢结构有腐

蚀作用。

(2) 防火涂料的施工应由专业队伍承担，施工质量应按《钢结构工程施工质量验收规范》(GB50205-2001) 及《钢结构防火涂料应用技术规范》(CECS24:90) 的相关规定进行验收。

(3) 处于室外环境的轻型钢结构，一般不需考虑防火保护。当室外钢结构需要防火保护时，应采用专用的露天防火涂料，并以防腐底漆打底。当环境条件对轻型钢结构尚有防腐要求时，宜选用薄涂型防火涂料，再在其表面敷涂防腐面漆。所用防腐底漆和面漆均不得与防火涂料产生化学反应，应具有良好的相容性。

(4) 重要的钢柱采用防火涂料保护时，一般宜考虑厚涂型防火涂料，且在节点部位应做加厚处理。当所用防火涂料的粘结强度小于或等于 0.05MPa 时，涂层内应设置与钢构件相连的钢丝网。

(5) 承重钢梁采用厚涂型防火涂料时，其重要节点部位宜加厚处理。当为下列情况之一时，涂层内应设置与钢梁相连的钢丝网。

- 1) 承受动力荷载作用或有振动作用的梁；
- 2) 涂层厚度大于或等于 40mm 的钢梁；
- 3) 钢梁表面敷涂的防火涂料粘结强度小于或等于 0.05MPa 时；
- 4) 钢梁腹板高度超过 1.5m 时。

(6) 采用防火板材对轻型钢结构进行防火保护时，对于采用开口截面的钢结构柱，在防火板的接缝部位，应在柱翼缘之间嵌入一块厚度较大的防火材料作横隔板（见图 6-1 示意）。当包覆的防火板等于或大于两层时，各层板应分别固定，板的水平接缝至少应错开 500mm。

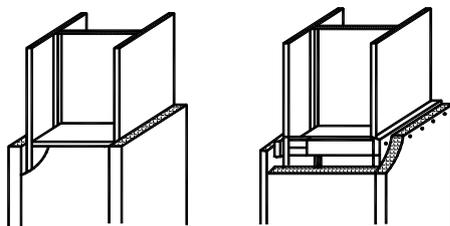


图 6-1 钢柱采用防火板防护

(7) 采用外包混凝土对轻型钢结构进行防火保护时，可采用 C20 混凝土或加气混凝土，混凝土内应配置钢丝网或细钢筋笼进行加固，以固定混凝土，防止混凝土收缩开裂或遇火剥落，如图 6-2 所示。H 型钢柱中如果在翼缘之间用混凝土填实，可大大增加柱的热容量，延缓钢柱在火灾作用下的升温速度。钢丝网与钢构件固定间距以 400mm 为宜，与钢构件表面的净距宜 3mm 以上。

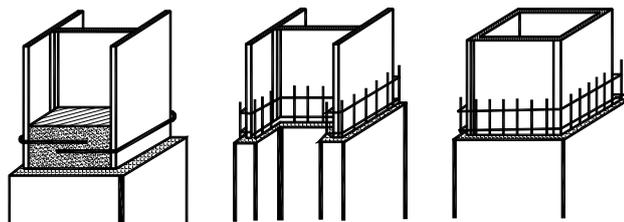


图 6-2 钢柱采用外包混凝土防护

(8) 有防火要求的钢屋盖结构，构件宜选用实腹式截面。若采用桁架结构时，宜采用 T 型钢截面或封闭的圆管、方管和矩形管截面，不宜采用双角钢组合 T 型截面或双槽钢组合工字形截面并采

用节点板连接方式。

(9) 组合楼盖中以压型钢板兼作钢筋并有防火要求时，应选用有自耐火性的板型（如燕尾板），其整体耐火时限应满足承重楼盖的防火要求（必要时应经国家专门检测机构认证），此时不必再用防火涂料保护。同时，若楼盖下方采用不燃烧板材吊顶封闭时压型钢板也可不做防火保护处理。

(10) 屋盖、楼盖承重钢构件的防火材料宜采用薄涂型防火涂料或轻质防火板材，防火材料的重量应计入结构计算的荷载中。

(11) 凡是有防火要求的轻型钢结构工程设计，设计文件中应包括防火设计的内容，具体包括构件耐火时限的确定、防火涂料或板材的类型、厚度、构造做法等，对防火材料的性能、施工方法和验收等技术要求以及所依据的防火设计、施工和材料规范（规程）也应在设计文件中注明。

1.3.4 轻型钢结构基于性能化防火设计的概念、要求和方法

1.3.4.1 基于性能化防火设计的概念

当前国内外建筑结构防火设计规范所采用的方法是根据建筑物类别定出耐火等级，然后根据耐火等级的规定确定结构构件的耐火极限。结构设计人员则根据结构的极限状态，计算出火灾下结构的耐火时间是否符合规范规定的耐火极限要求。该方法的不足之处是显而易见的：

(1) 结构耐火极限要求主要考虑了发生火灾时的危险性、建筑物的重要性和结构构件的重要性，但未从室内人员安全逃生及结构的性能要求角度出发，综合考虑经济及生命损失最小的目标；

(2) 结构构件的耐火时间是基于标准升温曲线确定的，而现有的研究和实际火灾现场情况表明，真实火灾与或火灾密度、通风条件、建筑形式与结构体系等诸多因素有关；

(3) 现行规范以单个构件是否达到火灾下的极限状态来确定结构的耐火时间，未考虑这个结构体系中构件的相互约束和影响，是不符合实际情况的。

综合来看，传统的结构防火设计方法是一种格式化、“处方式”的设计方法，设计人员几乎不需要消防安全工程所要求的特殊技术能力，仅仅依据规范的详细规定进行防火设计，对规范不能有任何的偏离。尽管该方法具有清楚明了、易于执行、没有为不正当的消防安全验收和评估留下余地，但其缺点是建筑防火设计千篇一律，条文内容僵化，与实际情况不尽符合，科学性不强，导致防火设计有时偏于保守，而有时又不安全，同时阻碍了新材料、新技术和创新设计的应用，难以满足现代技术进步的要求。

基于性能化防火设计方法是建立在消防安全工程学基础上的一种全新的、科学的设计方法。它根据建筑物的结构形式、功能与用途、内部可燃物的种类等方面的具体情况，对建筑的火灾危险性和危害性进行定量的预测和评估，从而得到最优化的防火设计方案，为建筑物提供最合理的防火保护。

性能化防火设计方法包括确定消防安全目标，建立可量化的性能要求，采用科学合理的分析计算方法，建立火灾场景，分析建筑物及其内部火灾荷载情况，确定性能设计指标，对设计方案进行安全评估等必要步骤。该方法具有三个鲜明的特征：即安全目标的确定性、设计方法的灵活性和评估验证的必要性。它不同于以往“处方式”规范所带来的固滞的设计思想。

轻型钢结构建筑耐火等级较低，同时经常出现大空间、大跨度的通透空间等突破现有消防防火分区的问题，因而容易形成“超规”的建筑和结构设计方案，现行的“处方式”规范不能很好加以解决。若试图将防火墙、防火门、防火卷帘加水幕等技术措施用到大面积的轻型钢结构建筑中，往往因工艺和功能要求的限制而无法实施。此外轻型钢结构大跨度建筑的高度大多超过 8m，安装消防喷淋系统作用不大。因此，如果不采用新的防火设计方法，现有的规范和技术不能圆满而科学合理地解决一部分轻型钢结构的防火设计问题。

1.3.4.2 基于性能化防火设计的要求

轻型钢结构（也包括其他建筑结构）的防火设计力图达到以下设计目标：

- （1）减轻结构在火灾中的破坏，避免结构在火灾中整体倒塌而造成巨大的人员和财产损失；
- （2）避免结构在火灾中局部倒塌造成人员疏散和消防人员灭火的困难；
- （3）减小火灾后结构的修复费用，缩短灾后结构功能恢复时间，尽量减少间接经济损失。

为达到上述设计目标，需要确定结构的功能目标和相应的结构性能要求。

针对不同的目的，功能目标主要有两个：

（1）轻型钢结构的某些部位的构件或子结构以及结构的整体在火灾发生后的一定时间内不能倒塌，以保证室内人员有足够的时间逃生，同时消防人员有足够的时间进行灭火；

（2）某些重要的结构构件或结构整体在火灾下不能产生影响结构后期继续使用的永久变形或倒塌，以保证灾后结构功能的迅速恢复，减小火灾造成的间接经济损失和总的人员、财产损失。

与功能目标（1）相对应的结构性能要求为：

- （I）轻型钢结构的某些部位的构件在火灾发生后一定时间内（ t_1 ），仍具有足够的承载能力；
- （II）轻型钢结构的某些部位的子结构在火灾发生后一定时间内（ t_2 ），仍具有足够的承载能力；
- （III）轻型钢结构的整体在火灾发生后一定时间内（ t_3 ），仍具有足够的承载能力。

与功能目标（2）相对应的结构性能要求为：

（IV）结构某些重要构件或结构整体，由火灾产生的残余变形不能超过一定限值。残余变形的限值建议根据构件和结构类型参照变形规定偏低限取值。例如，楼面主梁取 $l/400$ ；多层框架柱取 $h/300$ 。

结构耐火时间的确定原则:

假定火灾中建筑室内人员疏散出某一防火分区所需的时间为 T_1 , 则该防火分区内所有结构构件或子结构的耐火时间均应不小于 T_1 , 即

$$(t_1, t_2) \geq T_1 \quad (1-1)$$

上述耐火时间的确定条件是保证建筑室内人员有足够的逃生时间。

针对结构性能要求 (III), 结构整体的耐火时间 t_3 除需保证建筑室内人员有足够的逃生时间外, 尚应保证消防人员有足够的到达现场灭火。设建筑室内全部人员逃生所需的时间为 T_2 , 消防人员到达现场且能控制火势发展所需的时间为 T_3 , 则有

$$t_3 \geq \max (T_2, T_3) \quad (1-2)$$

值得注意的是, 建筑的不同区域内构件的耐火时间 (t_1, t_2) 的要求不尽相同。例如, 对于多高层轻型钢结构, 低层构件的耐火时间应大于较高楼层构件的耐火时间; 对于大跨度结构, 靠近出口处构件的耐火时间应大于远离出口处构件的耐火时间。

影响结构耐火时间的因素较多, 一般建筑室内的火灾荷载密度越大、火源多、容易失火的建筑, 火灾发生后升温速度越快、升温越高, 则结构的耐火时间就越短; 而采用了诸如喷淋灭火装置、消防措施严密或采用了钢结构防火保护措施建筑物, 则可以抑制和延迟结构的火灾升温, 结构的耐火时间就越长。此外, 降低火灾时结构承受的荷载可延长结构达到火灾下结构承载能力极限状态的时间, 相应地延长了结构的耐火时间。

为实现结构防火性能要求, 总的原则是尽量延长结构的耐火时间, 同时缩短建筑室内人员逃生时间和消防人员的灭火时间。

上述结构防火性能化指标的确定, 是进行轻型钢结构建筑防火设计的前提, 是一些经过综合分析得到的科学量化指标。

1.3.4.3 基于性能化防火设计的方法

轻型钢结构性能化防火设计的核心是运用大量的定量分析去解决工程安全评估问题。其中包括:

- (1) 结构防火性能化指标的确定;
- (2) 模拟火场场景和设计火灾, 这涉及到建筑物防火设计的一些重要方面, 如火源、火灾荷载及可燃物种类等, 建立火灾场景的相关参数资料, 它是性能化防火设计的技术条件;
- (3) 采用合适的计算分析方法, 根据设定的火灾场景, 利用火灾工程学理论, 分析和模拟计算火灾发生的可能性或蔓延的程度;
- (4) 采用火灾高温条件下的结构分析与设计理论, 对模拟火灾环境下的轻型钢结构进行性能分析, 掌握整体和局部的结构反应, 确定结构设计方案;

(5) 开展安全评估，即对设计方案进行分析和评估，确定设计方案所能达到的安全等级，优化结构设计方案，编写评估报告。

火灾场景的模拟，应以实际工程为基础，针对实际使用空间的避难途径、消防通道及疏散出口的设置、楼梯设置、建筑物装修材料及内含物质的发热量、避难人员数、避难人员属性等实际情况设定。如今，火灾发展模式在工程计算、计算机评估和概率统计方面都已有较合理的推算与评估方法，使得火灾燃烧的成长速度、热释放率、衰退期等较为复杂的燃烧过程和状态均能相对真实地加以模拟，因而可以较准确地推算出危险状况的发生时间和程度，以寻求确保人员生命安全的避难和逃生对策。对于结构专业的设计人员，上述火灾场景分析构造可能不太熟悉，但可以借助专业人员的帮助完成。

火灾下轻型钢结构的结构性能分析是基于性能化防火设计的重要内容和基础。与传统的结构分析方法不同，该阶段的分析主要是对已初步确定的结构体系和构件在模拟火场的火灾高温条件下的结构性能和反应进行分析。其一般步骤为：

(1) 选用合适的结构分析模型

火灾下的结构性能分析需要考虑结构的材料非线性和几何非线性问题，并且与时间变量相关，可采用非线性有限元程序进行模拟计算。结构模型及其约束条件应该与实际结构在模拟火场的火灾条件下相一致。以火灾时间发展为参考变量，计算出火灾发生后各个特定时间的结构性能和反应，得到结构在火灾下的弹塑性变形和极限承载能力。

(2) 材料物理力学特性的确定

对于轻型钢结构而言，火灾下的结构性能分析需要输入结构承重材料（钢材）在高温下的应力—应变关系，钢材强度及初始弹性模量随温度的变化可参照上海市工程建设规范《建筑钢结构防火技术规程》（DG/TJ-008-2000）确定，也可通过试验或其它相关规范、规程确定。高温下钢材的应力—应变关系通常采用分段折线模型。

(3) 确定构件温度及其变化规律

根据模拟火场的温度变化，由空气温度计算出主要（关键）构件的升温曲线（即构件温度随时间的变化曲线）。由于结构构件的均匀和不均匀温度变化，将对结构产生温度作用（热膨胀力），构件的热膨胀由于受到相邻构件的约束和相互作用，结构的内力分布将发生改变。同时结构材料由于温度的升高，将导致屈服强度的降低、弹性模量的降低。所有这些不利效应的计算确定，将取决于对建筑物不同防火分区内的不同区域的结构构件温度的合理模拟计算结果。

(4) 结构性能与结构反应的计算

火灾高温条件下的结构性能与结构反应的计算需要建筑非线性有限元分析程序完成。计算中需

要考虑结构的材料非线性和几何非线性，其中材料非线性主要考虑结构在高温条件下材料力学性能的非线性变化（弹性模量和屈服强度的降低等）；几何非线性需要考虑结构在火灾高温状态下产生的结构变形，尤其是永久性的塑性和残余变形对结构受力的影响。需要引起设计人员注意的是，在火灾高温条件下，不同区域、不同位置的结构构件的升温是不一定相同的，需要根据上述第（3）步的计算结果模拟确定。

经过对火灾全过程进行结构承载能力和变形的计算，基于承载能力和正常使用极限状态的要求，对结构的进行火灾结构安全性评估，最终对结构设计方案进行优化和分析比较。当发现结构不能满足结构的性能要求时，需要对建筑和结构设计方案进行调整。

在上述各个计算与设计步骤完成后，形成最总的设计方案，编写轻型钢结构性能化防火设计的评估报告。

轻型钢结构防火性能化设计除了结构专业设计人员需要进行相应的工作外，还需要其他专业人员的协助与配合，才能取得最佳的效果。例如，建筑专业对防火分区、人员疏散路径、出口设置、装修材料和保温隔热材料的合理选择、消防喷淋设施的布置等。

综上所述，性能化防火设计理念是以性能和量化分析为基础，以极限状态设计为标准的一种全新的结构防火设计方法。由于轻型钢结构建筑与结构设计方案灵活多样，通过性能化防火设计，可以实现用较低的造价获得与传统规范设计的安全水平相当甚至更高的安全水平，可以有效地优化配置资源。在某些情况下可以减小防火涂料的厚度、降低防火措施的要求甚至可以无需对钢结构进行特殊的防火保护。而对于分析中发现的一些重点隐患部位和区域，则可以适当加强防火保护措施，实现“好钢用在刀刃上”的安全、合理和经济的性能设计目标。

由于轻型钢结构基于性能化的防火设计是一种新的设计方法，当根据工程实际情况需要此项设计时，设计人员还需要适当参考相关的技术资料、借助于合适的计算软件完成。本书在此只是进行了概念和方法的简单介绍，希望起到“抛砖引玉”的作用。

1.4 轻型钢结构的隔热

由于钢材在温度 200℃ 以下，材料性能基本不变；当温度超过 200℃ 后，材料的强度和弹性模量开始明显降低，结构的承载能力下降、变形增大，因此，对于长期受高温作用的轻型钢结构，必须应采取隔热保护措施，其目的是使作用与钢结构构件表面的温度始终不超过 150℃，保证结构的受力性能基本不变，满足其承载能力和正常使用极限状态的设计要求。

轻型钢结构设计时，应根据以下不同情况采取防护隔热措施：

- （1）当结构可能受到炽热熔化金属、气体或熔液侵害时，应采用（耐火）砖、混凝土或耐热材

料做成的隔热层加以保护。

(2) 当结构的表面长期受到辐射热达 150℃ 以上或在短时间内可能遭受火焰作用时，应采取有效的隔热防护措施。增设隔热层、中空钢构件加水套利用流动水循环对钢构件降温以及对构件进行屏蔽（将构件包围在耐火材料组成的墙体或顶棚空隙内）都能对钢构件进行有效的隔热保护。

(3) 屋面和墙面的保温隔热构造均应根据热工计算确定，保温隔热材料应尽量相互匹配，并结合钢构件防火保护措施全面考虑。

(4) 轻型钢结构屋面的保温隔热可采用以下方法之一：

① 在压型钢板屋面下部设带铝箔防潮层的玻璃纤维棉、矿棉或岩棉等保温隔热材料，在底部设置钢丝网或玻璃纤维织物等具有抗拉能力的卷材，以承托隔热材料的自重。

② 金属复合夹心板。

③ 在双层压型钢板中填充保温隔热材料。

(5) 轻型钢结构墙面的保温隔热可采用与屋面相同的做法。除了各种轻质加气混凝土砌块、多孔砖外，墙体两侧采用轻质预制板、水泥纤维板、加筋石膏板等各类硬质防火板材、外做防水措施、中间填充保温隔热材料（必要时还可设置空气隔热层）的轻质墙体也常用于轻型钢结构的内、外墙体中，能够满足保温隔热的要求。

1.5 钢结构防腐检测

1.5.1 一般规定

防腐涂层厚度的检测应在涂层干燥后进行。检测时构件的表面不应有结露。

同一构件应检测 5 处，每处应检测 3 个相距 50mm 的测点。测点部位的涂层应与钢材附着良好。使用涂层测厚仪检测时，应避免电磁干扰。防腐涂层厚度检测，应经外观检查合格后进行。

1.5.2 检测设备

涂层测厚仪的最大量程不应小于 1200 μm ，最小分辨率不应大于 2 μm ，示值相对误差不应大于 3%。测试构件的曲率半径应符合仪器的使用要求。在弯曲试件的表面上测量时，应考虑其对测试准确度的影响。

1.5.3 检测步骤

确定的检测位置应有代表性，在检测区域内分布宜均匀。检测前应清除测试点表面的防火涂层、灰尘、油污等。检测前对仪器应进行校准。校准宜采用二点校准，经校准后方可测试。

应使用与被测构件基体金属具有相同性质的标准片对仪器进行校准，也可用待涂覆构件进行校准。检测期间关机再开机后，应对仪器重新校准。

测试时，测点距构件边缘或内转角处的距离不宜小于20mm。探头与测点表面应垂直接触，接触时间宜保持1s~2s，读取仪器显示的测量值，对测量值应进行打印或记录。

1.5.4 检测结果的评价

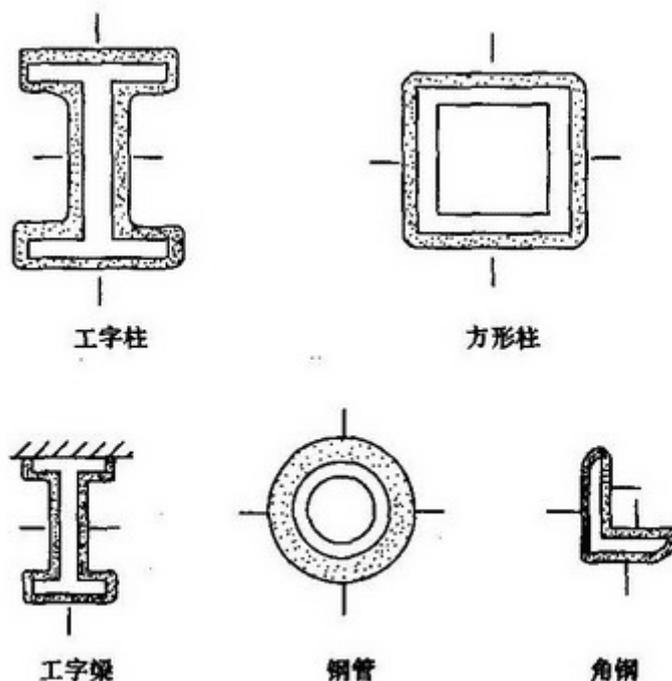
每处3个测点的涂层厚度平均值不应小于设计厚度的85%，同一构件上15个测点的涂层厚度平均值不应小于设计厚度。

当设计对涂层厚度无要求时，涂层干漆膜总厚度：室外应为150 μm ，室内应为125 μm ，其允许偏差应为-25 μm 。

1.6 钢结构防火检测

1.6.1 一般规定

防火涂层厚度的检测应在涂层干燥后进行。楼板和墙体的防火涂层厚度检测，可选两相邻纵、横轴线相交的面积为一个构件，在其对角线上，按每米长度选1个测点，每个构件不应少于5个测点。梁、柱构件的防火涂层厚度检测，在构件长度内每隔3m取一个截面，且每个构件不应少于2个截面。对梁、柱构件的检测截面宜按下图所示布置测点。防火涂层厚度检测，应经外观检查合格后进行。



1.6.2 检测设备

对防火涂层的厚度可采用探针和卡尺进行检测，用于检测的卡尺尾部应有可外伸的窄片。测量

设备的量程应大于被测的防火涂层厚度。检测设备的分辨率不应低于0.5mm。

1.6.3检测步骤

检测前应清除测试点表面的灰尘、附着物等，并应避免构件的连接部位。

在测点处，应将仪器的探针或窄片垂直插入防火涂层直至钢材防腐涂层表面，并记录标尺读数，测试值应精确到0.5mm。

当探针不易插入防火涂层内部时，可采取防火涂层局部剥除的方法进行检测。剥除面积不宜大于15mm×15mm。

1.6.4检测结果的评价

同一截面上各测点厚度的平均值不应小于设计厚度的85%，构件上所有测点厚度的平均值不应小于设计厚度。

2 钢结构变形检测

2.1 一般规定

变形检测可分为结构整体垂直度、整体平面弯曲以及构件垂直度、弯曲变形、跨中挠度等项目。

在对钢结构或构件变形进行检测前，宜先清除饰面层；当构件各测试点饰面层厚度接近，且不明显影响评定结果，可不清除饰面层。

2.2 检测设备

钢结构或构件变形的测量可采用水准仪、经纬仪、激光垂准仪或全站仪等仪器。

用于钢结构或构件变形的测量仪器及其精度宜符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定，变形测量级别可按三级考虑。

2.3 检测技术

应以设置辅助基准线的方法，测量结构或构件的变形；对变截面构件和有预起拱的结构或构件，尚应考虑其初始位置的影响。

测量尺寸不大于6m的钢构件变形，可用拉线、吊线锤的方法，并应符合下列规定：

(1) 测量构件弯曲变形时，从构件两端拉紧一根细钢丝或细线，然后测量跨中位置构件与拉线之间的距离，该数值即是构件的变形。

(2) 测量构件的垂直度时，从构件上端吊一线锤直至构件下端，当线锤处于静止状态后，测量吊锤中心与构件下端的距离，该数值即是构件的顶端侧向水平位移。

测量跨度大于6m的钢构件挠度，宜采用全站仪或水准仪，并按下列方法进行检测：

(1) 钢构件挠度观测点应沿构件的轴线或边线布设，每一构件不得少于3点；

(2) 将全站仪或水准仪测得的两端和跨中的读数相比较，可求得构件的跨中挠度；

(3) 钢网架结构总拼完成及屋面工程完成后的挠度值检测，对跨度24m及以下钢网架结构测量下弦中央一点；对跨度24m以上钢网架结构测量下弦中央一点及各向下弦跨度的四等分点。

尺寸大于6m的钢构件垂直度、侧向弯曲矢高以及钢结构整体垂直度与整体平面弯曲宜采用全站仪或经纬仪检测。可用计算测点间的相对位置差的方法来计算垂直度或弯曲度，也可采用通过仪器引出基准线，放置量尺直接读取数值的方法。

当测量结构或构件垂直度时，仪器应架设在与倾斜方向成正交的方向线上，且宜距被测目标(1~2)倍目标高度的位置。钢构件、钢结构安装主体垂直度检测，应测量钢构件、钢结构安装主体顶部相对于底部的水平位移与高差，并分别计算垂直度及倾斜方向。当用全站仪检测，且现场光线不佳、起灰尘、有振动时，应用其他仪器对全站仪的测量结果进行对比判断。

2.4 检测结果的评价

在建钢结构或构件变形应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205及《钢结构设计标准》GB 50017等的有关规定。

既有钢结构或构件变形应符合现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292、《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144等的有关规定。

《钢结构设计标准》GB 50017相关要求:

吊车梁、楼盖梁、屋盖梁、工作平台梁以及墙架构件的挠度不宜超过下表所列的容许值。

项次	构件类别	挠度容许值	
		$[v_T]$	$[v_Q]$
1	吊车梁和吊车桁架（按自重和起重量最大的一台吊车计算挠度） 1) 手动起重机和单梁起重机（含悬挂起重机） 2) 轻级工作制桥式起重机 3) 中级工作制桥式起重机 4) 重级工作制桥式起重机	$l/500$ $l/750$ $l/900$ $l/1000$	—
2	手动或电动葫芦的轨道梁	$l/400$	—
3	有重轨（重量等于或大于 38kg/m）轨道的工作平台梁 有轻轨（重量等于或小于 24kg/m）轨道的工作平台梁	$l/600$ $l/400$	—
4	楼（屋）盖梁或桁架、工作平台梁（第 3 项除外）和平台板 1) 主梁或桁架（包括设有悬挂起重设备的梁和桁架） 2) 仅支承压型金属板屋面和冷弯型钢檩条 3) 除支承压型金属板屋面和冷弯型钢檩条外，尚有吊顶 4) 抹灰顶棚的次梁 5) 除第 1) 款~第 4) 款外的其他梁（包括楼梯梁） 6) 屋盖檩条 支承压型金属板屋面者 支承其他屋面材料者 有吊顶 7) 平台板	$l/400$ $l/180$ $l/240$ $l/250$ $l/250$ $l/150$ $l/200$ $l/240$ $l/150$	$l/500$ $l/350$ $l/300$
5	墙架构件（风荷载不考虑阵风系数） 1) 支柱（水平方向） 2) 抗风桁架（作为连续支柱的支承时，水平位移） 3) 砌体墙的横梁（水平方向） 4) 支承压型金属板的横梁（水平方向） 5) 支承其他墙面材料的横梁（水平方向） 6) 带有玻璃窗的横梁（竖直和水平方向）	 $l/200$	$l/400$ $l/1000$ $l/300$ $l/100$ $l/200$ $l/200$

注：1) 为受弯构件的跨度(对悬臂梁和伸臂梁为悬臂长度的2倍)；

2) $[v_T]$ 为永久和可变荷载标准值产生的挠度(如有起拱应减去拱度)的容许值， $[v_Q]$ 为可变荷载标准值产生的挠度的

容许值：

3 当吊车梁或吊车桁架跨度大于12m时，其挠度容许值 $[v_T]$ 应乘以0.9的系数；

4 当墙面采用延性材料或与结构采用柔性连接时，墙架构件的支柱水平位移容许值可采用 $1/300$ ，抗风桁架(作为连续支柱的支承时)水平位移容许值可采用 $1/800$ 。

根据截面承载力和塑性转动变形能力的不同，国际上一般将钢构件截面分为四类，考虑到我国在受弯构件设计中采用截面塑性发展系数 γ_x ，本次修订将截面根据其板件宽厚比分为5个等级。

钢梁整体失去稳定性时，梁将发生较大的侧向弯曲和扭转变形，因此为了提高梁的稳定承载能力，任何钢梁在其端部支承处都应采取构造措施，以防止其端部截面的扭转。当有铺板密铺在梁的受压翼缘上并与其牢固相连，能阻止受压翼缘的侧向位移时，梁就不会丧失整体稳定，因此也不必计算梁的整体稳定性。

在结构验算中，要注意理解钢结构承载能力极限状态及正常使用极限状态：

承载能力极限状态可理解为结构或构件发挥允许的最大承载功能的状态。结构或构件由于塑性变形而使其几何形状发生显著改变，虽未到达最大承载能力，但已彻底不能使用，也属于达到这种极限状态；另外，如结构或构件的变形导致内力发生显著变化，致使结构或构件超过最大承载功能，同样认为达到承载能力极限状态。

正常使用极限状态可理解为结构或构件达到使用功能上允许的某个限值的状态。如某些结构必须控制变形、裂缝才能满足使用要求，因为过大的变形会造成房屋内部粉刷层脱落、填充墙和隔断墙开裂，以及屋面积水等后果，过大的裂缝会影响结构的耐久性，同时过大的变形或裂缝也会使人们在心理上产生不安全感。

肩负行业责任，为检测人员素质保驾护航！



 025-8545 8112

<http://jkpx.jsgjc.com>

江苏建科建筑技术培训中心