体育场馆钢结构重防腐涂装体系

刘新（广州佐敦远洋制漆有限公司， 510620 ）

摘要：概述体育场馆钢结构防腐蚀保护的要求，介绍 ISO 12944 钢结构防腐涂料涂装设计标准的应用，及用于该结构的各类重防腐涂料产品。

关键词：体育场馆；钢结构；重防腐

1 前言

我国的体育事业正在蓬勃发展，很多省市都建成了体育场馆。随着 2008 年奥运会和 2010 年亚运会的申办成功，我国正在和将会建造更多的体育场馆。体育场馆的钢结构处于潮湿大气和污染环境之中，必然会遭受腐蚀。要确保这些具有历史意义的钢结构建筑的完整性，展现钢结构的艺术感染力，采用重防腐涂料进行涂装保护是经济可行的方法。

在体育场馆的涂装设计中，不仅要考虑涂料长期的使用寿命，同时还要考虑到环境保护。用于体育场涂料要体现性能、美感和环保法规这三者之间的最佳结合。

体育场馆钢结构的涂层要达到 15 年以上高耐久性的防腐蚀涂装体系的要求，应该选用重防腐蚀涂料。本文重点介绍了 ISO 12944 钢结构防腐蚀涂装设计标准，并且对重防腐涂料体系中的防锈底漆、中间漆和面漆的应用特点进行了详细的说明分析，最后列举了体育场馆钢结构的重防腐涂料涂装体系。

2 防腐蚀涂装设计标准

体育场馆钢结构的防腐蚀涂装规格书的制订，主要根据 ISO 12944 标准。 ISO 12944 是目前全球公认的权威性标准，它是国际标准化组织为从事涂料防腐蚀工作的业主、设计人员、咨询顾问、涂装承包商、涂料生产企业等汇编的标准，为这些人员、单位和组织机构提供了重要的参考。这份标准同时也通过了欧洲委员会的批准认可，实际上取代了一些国家标准，如英国 BS 5493 、德国的 DIN 55928 等。

应用 ISO 12944 进行防腐蚀涂装设计指导，基本可以分成几个步聚：（ 1 ）确定钢结构的腐蚀环境；（ 2 ）确定保护钢结构的期望年限；（ 3 ）确定涂料品种和涂膜厚度。

2.1 腐蚀环境的确定

在 ISO 12944-2 中定义的腐蚀环境，是我们制订防腐蚀涂装系统的指导，见表 1 。

表 1 腐蚀定义和环境（ ISO 12944-2 ）

	典型环境（仅作参考）	
	外部	内部
C1 很低		在空气洁净的环境下有供暖设
C2 低	轻度的大气污染，大	有冷凝发生，没有供热设施的
C3 中	城市和工业大气，中	高温度和有些污染空气的生产
C4 高	高盐度的工业区和沿	化工厂、游泳池、海船和船厂
C5-1 很高（工业）	高湿度和侵蚀性大气	总有冷凝和高湿度的建筑和区
C5-M 很高（海洋）	高盐度的沿海和近海	总是处于高湿、高污染的建筑

一般来说，边远地区，低污染的地区，有暖气的建筑内部等，是 C1 和 C2 环境，典型的如机场内部钢结构，商业和办公大楼建筑等。

体育场馆一般都位于城市中间，大气中的主要污染物为二氧化硫等，雾气也较大，我们可以把体育场馆的腐蚀环境看作为 C3 ；有些体育场馆可能位于风景秀丽的郊区，大气污染较少，我们可把它定义在 C2 腐蚀环境；处于腐蚀较严重的地区，如海滨、体育场馆的腐蚀环境可以定义为 C4 ；处于严重腐蚀的 C5 环境中体育场馆是相当少的。由于污染的空气对人们健康不利，所以这种环境下不宜举行大型的群众性活动。

2.2 钢结构的耐久性年限的确定

ISO 12944 对于不同的涂料系统，划分了三个耐久性范围，见表 2 。

表 2 ISO 12944 涂料系统耐久性范围

2 中 耐 久 性 (Medium) (5 ～ 15)

3 高耐久性 (High) 15 年以上

需要注意的是预期的耐久性并非法律意义上的担保时间，涂层不可能永远是完好的。涂层久性与涂装方案的设计寿命可以看作是一个概念，都是指涂料系统进行第一次大修前的使用寿命。在此之前，应该定期进行计划性的维修保养工作。对于涂层失效的检查和评估， ISO 12944 标准参照了 ISO 4628 来执行。根据 ISO 4628-3 ， ISO 12944 认为锈蚀在到 Ri3 时进行第一次维护可以达到最好效果（等同于 ASTM D 610 的 6 级）。

对于体育场馆来说，要求的是高耐久性的使用寿命，因此，涂装设计都是在 15 年以上的长效防腐蚀涂层的系统。

2.3 漆膜厚度的确定

钢结构涂层的漆膜厚度设计，在 ISO 12944 中也有明确的说明，它是根据不同的腐蚀环境和不同的使用寿命来定义的，详见表 3 。

表 3 ISO 12944 中腐蚀环境、使用寿命和干膜厚度的关系

腐蚀环境	使用寿命	干膜厚度 / μ m
C2	低	80
	中	120
	高	200
C3	低	120
	中	160
	高	200
C4	低	160
	中	200
	高	240(含锌粉)280(不含锌粉)
C5-1	低	200
C5-M	中	280
	高	320

注：使用含锌底漆时，锌粉含量不能低于 80% （ w/w ）

表 3 中没有列出 C1 环境，是国为这种环境下腐蚀性很低，其它任何规定的涂层系统都足以对处于 C1 环境下的钢结构作出长久性保护。

对于体育场馆来说，定义为 C4 腐蚀环境，要求达到 15 年以上高耐久性的使用寿命，因此其钢结构防腐蚀涂层要求达到 240 μ m （使用富锌底漆）或者 280 μ m(非富锌底漆) 以上的干膜厚度。

3 防锈底漆的选用

在钢结构防腐蚀涂装体系中，防锈底漆的作用至关重要，它要对钢材有良好的附着力，并能起到优异的防锈作用。常用的防锈底漆有环氧富锌底漆、无机富锌底漆和厚浆型改性环氧涂料。

富锌漆由于富含锌粉，对钢材基底有阴极保护作用，因此是首选的防锈底漆。但是，到底是选用环氧富锌底漆还是无机富锌底漆呢 ？只有在涂层局部破损时，富锌漆才起到防锈作用，因此尽管无机富锌底漆在耐热、耐溶剂、耐化学品性能以及导静电方面有着优异的性能，但是实际上如果不是作为单道涂层的防腐蚀系统，而是配合高性能中间漆和面漆，选用环氧富锌底漆和无机富锌底漆在防腐蚀耐久性方面并没有太大的区别。

无机富锌底漆的施工较为麻烦，对于钢材的表面处理，施工设备和施工人员都有着很高的要求。无机富锌底漆必须完全固化后才能涂覆后道中间漆涂层，其固化要依靠较高的相对湿度最好在 65 %以上。无机富锌底漆表面呈多孔性要求使用专门的封闭漆或采用雾喷技术。无机富锌底漆对于漆膜厚度有着严格的要求，过高的干膜厚度会导致漆膜开裂，通常认为 125 μ m 以下是最安全的。相比之下，环氧富锌漆的施工要求则简单得多。环氧富锌底漆采用固化剂来完成固化过程，而且它的重涂间隔相当短，佐敦油漆的 Zin Epoxy Primer 在 23 ℃ 时，只要 1.5h 即可涂覆中间漆，即使在低到 5 ℃ 时，重涂间隔也只要 3h 。

厚浆型改性环氧涂料，也是重要的防锈底漆，它们含有磷酸锌或铝粉等防锈颜料，漆膜坚固耐久，对钢材的附着力强。佐敦油漆的 Jotamastic 87 是碳氢树脂改性的环氧树脂涂料，有普通型、铝粉型和玻璃鳞片增强型等多种产品，单道喷涂可以达到 (100 ～ 300) μ m 的干膜厚度。

4 中间漆的选用

在重防腐蚀涂料系统中，中间漆的作用是增加涂层的厚度以提高整个涂层系统的屏蔽性能。中间漆对于底漆和面漆要有很好的附着力。

最常用的中间漆是环氧云铁中间漆，含有云铁的涂层表面粗糙，对太阳紫外线有反射作用，这使得它没有最长涂装间隔，可以灵活地制订涂装计划。这样在中间漆完成后，就能把钢结构发运到安装现场，然后在安装完毕后再涂覆面漆。

原来的环氧云铁中间漆的固体分为 50 %左右，现在新推出应用的环氧云铁中间漆都在 80 %左右，溶剂含量比原来减少了 30 %。佐敦油漆的 EPOXY HBMIO 体积固体分达 80 %，低 VOC 含量使其在施工时对环境无害。高固体分施工单道涂层可以达到 (100~200) μ m 的干膜厚度，而原先的低固体分的环氧云铁中间漆需要施工 (2 ～ 3) 道才能达到这样的厚度。

中间漆的快干性也显得非常重要。佐敦油漆的 Jotaspeed MIO 快干型环氧云铁中间漆在 23 ℃ 时，只需 3h 即可涂覆面漆，它与快干型防锈底漆配合使用，能大大缩短钢结构制作工期。

5 面漆的选用

面漆的主要作用是遮蔽太阳紫外线以及污染大气对涂层的破坏作用，抵挡风雪雨水，并且要有很好的美观装饰性。高耐候性的防腐蚀面漆主要有丙烯酸聚氨酯面漆、双组分丙烯酸面漆、和最新的改性聚硅氧烷涂料等。

5.1 丙烯酸聚氨酯面漆

羟基丙烯酸树脂与脂肪族多异氰酸酯预聚物配合，可以制成色浅、保光保色性优、户外耐候性好的高装饰性丙烯酸聚氨酯面漆。由于丙烯酸聚氨酯面漆没有最大重涂间隔，所以有些涂料厂家直接将其称为可涂覆聚氨酯面漆，比如佐敦油漆的 Futura AS 可涂覆聚氨酯面漆。厚浆型的丙烯酸聚氨酯面漆单道涂层可达到 80 μ m 的干膜厚度。丙烯酸聚氨酯面漆是目前钢结构防腐蚀体系中应用最为广泛的面漆。

5.2 双组分丙烯酸涂料

双组分丙烯酸涂料被广泛用于需要长期耐久性能且又不能含有异氰酸酯的涂料系统中。由于环保的要求，有些国家和地区对于含异氰酸酯涂料的使用有限制，这时不能再使用丙烯酸聚氨酯涂料。由羧基丙烯酸树脂与环氧树脂交联成膜的双组分丙烯酸面漆，耐久性接近于丙烯酸聚氨酯，具有良好的重涂性，可以覆涂于高性能防锈漆系统上面，也能重涂于丙烯酸聚氨酯面漆表面。 2000 年悉尼奥运会体育场馆涂装体系中，为符合“ 绿色奥运 ”的意义，选用的全是不含异氰酸酯的双组分丙烯酸面漆。

5.3 改性聚硅氧烷涂料

聚硅氧烷用环氧树脂或丙烯酸树脂进行有机改性后形成的无机—有机聚合物，其耐候性能超过聚氨酯涂料 (3 ～ 4) 倍。聚硅氧烷聚合物涂料固体分含量高，符合环保要求，挥发性有机溶剂 (VOC) 含量非常低，不用异氰酸酯来固化，并且它还没有最大涂装间隔。佐敦油漆的 Jotacote PSO 双组分聚硅氧烷面漆，体积固体分在 72 %，漆膜厚度范围在 (60~200) μ m 。与脂肪族聚氨酯面漆相比，改性聚硅氧烷涂料不仅仅在耐候性方面有极大提高，其优异的耐腐蚀性能，以及与无机硅酸锌涂料很好的相容性，使得传统的高性能三道涂层系统——富锌底漆 / 环氧中间漆／聚氨酯面漆，可以变成两道涂层系统——富锌底漆 / 改性聚硅氧烷涂料。不需要使用传统的厚浆型环氧中间漆，显然是提高了涂装生产率，而且可以当天完工，第二天就能发运到现场进行架设。

5.4 金属面漆

以往白色是钢结构建筑的首选面漆颜色，如今要求使用的面漆具有金属感。为了达到这种金属感的效果，在涂膜中主要采用了云母氧化铁和铝粉颜料。

云母氧化铁分为灰云铁和红云铁两种，金属质感面漆中使用的是灰云铁。英国的曼彻斯特体育场采用的是聚氨酯改性的醇酸云铁面漆。澳大利亚墨尔本板球中心使用的面漆也采用了灰云铁作为主要的金属色，内部钢结构采用了环氧富锌底漆和双组分丙烯酸低光泽云铁灰面漆；外部钢结构的涂料系统为环氧富锌底漆 (锌粉含量 90 %) 广陕干型环氧中间漆／双组分丙烯酸低光泽云铁灰面漆。

金属面漆最重要的颜料还是铝粉，如北京的国家大剧院，就使用了具有含铝粉的丙烯酸聚氨酯金属面漆。丙烯酸聚氨酯金属面漆是基于原有的丙烯酸聚氨酯面漆之上配制而成的，它具有杰出的户外耐久性能和长期重涂性，除了传统的银灰色之外，它还可以配制成不同颜色的品种，色彩更为丰富。

6 体育场馆钢结构涂装体系的制订

一个复杂的有着几千甚至上万吨钢结构的体育场馆，要制订一个满足多方要求的防腐蚀体系，是较为困难的。它涉及到涂料的防腐蚀耐久性，涂层的快速干燥性，方便的施工性和绿色环保等等。根据以上分析及 IS0 12944 标准，对于体育场馆的钢结构防腐蚀涂装体系，可以制订出以下方案，见表 4 。

表 4 体育场馆钢结构涂装体系

涂料系统	涂层	产品名称	干膜厚度 / μm
高性能涂料系统	底漆	环氧富锌底漆	75
	中间漆	厚浆型环氧云铁中间漆	125
	面漆	可覆涂聚氨酯面漆	50
极高性能涂料系统	底漆	厚浆型环氧铝粉涂料	200
	面漆	厚浆型聚氨酯面漆	80
	底漆	环氧富锌底漆	80
	面漆	改性聚硅氧烷涂料	120
快干型涂料系统	底漆	环氧富锌底漆	75
	中间漆	快干型环氧云铁中间漆	125
	面漆	可覆涂聚氨酯面漆	50

注：腐蚀环境按 IS0 12944 C 4 ；防腐蚀要求，高耐火性 >15 年。

7 结 语

在上述的涂装体系中，如果不能使用含异氰酸酯涂料的场合，可以选用双组分丙烯酸面漆。需要金属面漆时，只需把聚氨酯面漆换成聚氨酯金属面漆。

对于体育场馆的室内环境，由于腐蚀性较低，通常可以定义为 C2 或 C3 。如果对于涂层光泽没有过高的要求，可以直接采用厚浆型环氧涂料，一道喷涂至 150 μ m 的干膜厚度，而无须采用面漆。

环氧富锌 + 改性聚硅氧烷的涂料系统，专用于要求极佳的防腐蚀性能和优异的耐久性和装饰性的豪华涂装工程。

快干型涂料系统中，在 23 ℃ 时，环氧富锌底漆和快干型环氧云铁中间漆，在 (4~5)h 后即能涂覆面漆，一天内就能完成整个涂料系统的涂装工作。这样就大大加快了钢结构的生产速度，提高了劳动生产率。在这一方面，无论是在时间，还是在施工费用上，对于涂装承包商、总承包商以及业主，都极为有利。