

葛继贵

(成都建筑材料工业设计研究院有限公司规划建筑设计事务所)

【中图分类号】：TU32

【文献标识码】：B

轻钢结构建筑具有较多的优点，如建设周期短、造价低、结构自重小、强度高可作大跨度、外观造型美观、材料可再生利用、施工环境好、建筑造型现代感强等，因此在现代民用和工厂建设中得到越来越多的采用。如随着钢结构设计理论、制造、安装等方面技术的迅猛发展，各地建成了的大量高层钢结构建筑、轻钢结构、高耸结构、市政设施等。近年来，轻型钢结构在单层工业厂房中被广泛应用，如机械加工车间、电气装配车间、各类库房等。尽管单层钢结构厂房应用的行业、建筑种类很多，工艺过程和设计标准的要求各不相同，但钢结构一个致命的弱点，那就是建筑本身消防问题，必须在设计中予以合理解决。根据现行建筑设计防火规范的要求，由于无保护的轻钢结构耐火等级低，要满足大空间、大跨度厂房的使用要求，建筑内部除了必须划分成很多防火分区间外，还必须对结构部件采用防火保护。这样一来，这类建筑不仅防火分区及其构造处理上存在困难，还影响工艺生产线的流畅；并且防火保护也增加了建筑的成本，这极大地影响着轻钢结构建筑的上述特点发挥。因此，在钢结构的应用上必须加以经济比较，在钢结构建筑的消防设计上应因地制宜，针对不同的建筑和生产类别，合理运用规范，借助消防管理部门的技术支持，采取合理有效技术措施，既能保证建筑消防安全，又能保证生产工艺的畅通，进而降低建设成本，才能最大限度地发挥出轻钢结构建筑的优势。现根据本人的设计实践，就上述设计问题进行初步探讨：

1 钢结构建筑的消防问题

首先我们来分析一下钢结构建筑的火灾特点。钢结构建筑的梁、柱、屋架是建筑的骨架，它的安全性直接关系到整幢建筑的安全，它们大都采用钢材，钢材虽然是不燃材料，但其耐火性能很差，随着温度的变化，其力学指标会发生很大的改变，承载力和平衡稳定性会随温度升高而大幅度下降。钢结构在温度达到350℃、500℃、600℃时，其强度分别下降1/3、1/2、2/3，在高温条件下其内部应力也会发生改变，使钢结构承重体系出现问题，按理论计算，在全负荷下，钢结构失去平衡稳定性的临界温度为500℃，一般火场温度都在800℃~1000℃左右，在这样的高温条件下，无任何保护的钢结构很快就会出现塑性变形，大约15分钟内就会倒塌。2002年9月11日，美国纽约的世界贸易大厦在恐怖袭击中倒塌，导致300多名消防队员无辜丧生。飞机满载燃油撞击大楼后，造成大楼承

重的钢结构筒体的保护层被破坏，在强烈的高温作用下，钢结构筒体承载强度迅速下降，短短20分钟后这个世界最著名建筑就消失在我们面前。2003年我国青岛市的正大食品厂钢结构厂房发生特大火灾，造成厂房大面积倒塌，很多工人葬身火海；1972年天津市体育馆发生火灾，致使屋顶坍塌，造成巨大人员伤亡。这些众多的火灾案例都暴露出了钢结构建筑存在的一个致命弱点就是耐火性极差，这就给我们广大建筑设计人员提出了一个新的课题，怎样才能做好钢结构建筑的防火设计，使钢结构建筑更好地服务于我们的经济建设。

2 单层轻钢结构建筑的防火设计

如何才能做好钢结构建筑的防火设计呢？总结设计实践，就单层轻钢厂房类建筑的设计上，我认为应该做到以下三个方面：

2.1 建筑耐火等级与防火分区的合理确定

根据建筑物的火灾危险性和重要性，在《建筑设计防火规范》的限定范围内合理确定建筑的耐火等级。耐火等级的确定，与建筑的功能要求、防火分区大小、建筑防火设施的配置类别、建筑的经济指标等有着密切的关系。各种厂房建筑由于其使用功能要求和重要程度的不同，火灾危险性存在差异，设计时要根据业主提供的建筑使用功能要求，根据《建筑设计防火规范》的要求，确定建筑物的火灾危险性（生产类别），进而经过综合比较后，确定建筑的耐火等级。耐火等级的高低，与建筑使用功能、建筑造价密切相关。若不加比较的将建筑耐火等级定得过高，虽然大面积大空间的使用功能得到保证，但花费在钢结构的保护和消防设施上的费用很高，建筑经济性得不到保证；反之，则大面积的建筑需要分成若干个面积较小的消防单元（防火分区间），由于防火分隔的出现，势必影响工艺流程设备的布置和流畅（况且各种防火分隔在厂房建筑中的实际实施存在着各不相同的困难，后述）。因此，合理确定建筑的耐火等级，直接影响钢结构厂房的使用功能和建筑的经济性，也就直接影响采用钢结构的优越性。

根据《建筑设计防火规范》，单层工业厂房中无保护的钢柱、梁或屋架的耐火时间均为0.25小时，建筑物的耐火等级连四级也达不到，不能满足建筑消防安全标准的要求，是不能直接使用的。只有对建筑的钢柱、梁或屋架等承重构件实施有效的防火保护，适度提高建筑的耐火等级后，能在其耐火时间限定的相应耐火等级的厂房建筑中使用。众所周知，单层厂房，大多是大跨度、大空间、室内无分隔而通透，为了有效地把火灾控制在较小的范围

内，《建筑设计防火规范》要求在建筑内设置防火分区，并明文规定各级耐火等级建筑的防火分区的最大面积。目前大多数单层厂房建筑面积一般都超过 $5\ 000\ m^2$ ，按规范要求，按最低生产类别为戊类、耐火等级定为四级假定，规范允许的最大防火分区面积为 $1\ 500\ m^2$ ，则这么大面积的厂房，至少要分四个防火分区。当然，可以提高建筑的耐火等级，可以扩大每个分区的面积，减少防火分区的数量。但提高建筑的耐火等级后，花费在结构上的防火保护费用也就极大地增加；有的建筑类型，在分区面积扩大到一定的程度，需要增设自动喷水灭火系统等，增加建筑造价。因此，在耐火等级的确定上，应以适用、安全、经济为选择时考虑的因素。

防火分区在普通民用建筑中较易实现，如在门、厅、楼梯等处采取一些技术措施，用防火墙、防火门、防火卷帘加水幕都可以较好的解决，若建筑内设有自动喷水灭火设备，每层最大允许建筑面积还可增加一倍。但若试图把这些技术措施平移到大面积的轻钢结构厂房，就会遇到问题。

以我院设计的成都雅致公司单层厂房为例，厂房的使用功能为钢制品加工，建筑面积为 $8\ 400\ m^2$ ，生产类别为戊类，规范要求的最低耐火等级为四级。如果直接把建筑耐火等级定为四级，则其建筑将按每个防火分区面积不超过 $1\ 500\ m^2$ 分为6个部分，中间将采用5道防火墙（或防火卷帘或水幕）；即使增加自动喷水灭火系统，最大防火分区面积也不过 $3\ 000$ 平方米，也需要分成三个分区并设置2道防火墙（或防火卷帘或水幕）。这样的话，工程造价增加不少，还存在很多不利因素（后面分别论述）。综合建筑功能和造价等因素的比较，由于生产类别低，建筑防火分区扩大后不要求增设自动喷水灭火系统，为此，我们将建筑的耐火等级定为二级，最大限度地满足建筑功能需要（整个厂房按一个防火分区考虑）。尽管钢结构保护上花费的费用较高，但与采用耐火等级较低而必须设置防火墙（或防火卷帘或水幕）增加的费用要少得多，也更适合这类建筑的使用。

2.2 建筑防火分隔的措施及利弊

工业建筑厂房中普遍使用的防火分区间的分隔措施和民用建筑一样，主要有防火墙（实体墙）、防火卷帘、水幕及自动喷水灭火系统，其各自的优点及局限性，分别叙述如下：

2.2.1 防火墙与防火分区

因成套设备生产线的工艺要求，不可能用防火墙把厂房一分两半，这样截断了连贯的生产线设备，也不利于物料及半成品、成品的运输。而且，从生产管理的角度，业主也不会接受这样的方案。

2.2.2 防火卷帘与防火分区

民用建筑中通用的防火门与防火卷帘，在面对大跨度的轻钢结构厂房时，也不很合适。如某刨花板车间，单跨达 $36\ m$ ，如何定制这样大跨度的防火卷帘呢，这样的卷帘，因跨度太大，在收放时很难控制，容易卡在滑槽里，且造

价又高，工程实践中极少见。

2.2.3 自动喷水灭火与防火分区

能否在整个车间设自动喷水灭火装置，使允许的防火分区面积增加一倍，从而满足规范要求呢。这有两个问题：

（1）单层轻钢结构车间的高度大多远超过 $8\ m$ ，而根据《自动喷水灭火系统设计规范》第4.3.2条，超过 $8\ m$ 的大空间建筑物，安装闭式喷头的作用就不大了。

（2）有的戊类四级单层轻钢车间面积达 $10\ 000\ m^2$ ，需分6~7个防火分区，若全车间安装自喷，则防火分区允许面积虽扩大一倍，但仍然不够（安装自喷后，防火分区的允许面积从 $1\ 500\ m^2$ 扩大到 $3\ 000\ m^2$ ，但仍小于 $10\ 000\ m^2$ ）。

2.2.4 独立水幕的防火分区

用独立的水幕作防火分隔，作一条防火水幕带，区域宽 $5\ m$ ，流量 $2\text{升}/\text{秒}\cdot\text{米}$ 。这种分隔方式很灵活，不像防火墙要把车间截成几部分，也没有大跨度防火卷帘的麻烦，理论上多大的跨度都行，一般正常生产时，就好像它不存在，一旦有火灾需要防火分隔时，它可以立即实现有效分隔。但是，单独水幕作防火分隔也有三大难题：

（1）需水量太大，水池造价高。仍以跨度 $24\ m$ 计算，水幕供水量为 $2\text{升}/\text{秒}\cdot\text{米}$ ，按消防历时2小时考虑，则水幕贮水量应为 346立方米 ；要是分区数多的话，那么消防水池贮水量就大的离谱；再加上室内外消火栓的贮水量，则消防水池的造价相当高。

（2）水幕启动时，大量的水突然喷泄而下，会对昂贵的生产设备造成较大的损失。如果车间内发生了局部较小的火灾，几支灭火器加一支水枪就能解决，此时冒然启动水幕防火分隔，则也许水幕的大水造成的损失会比局部火灾的损失更大。因此需严格掌握水幕的启动时机。它只适于火势烧了一个防火分区，并有蔓延之势时启动。为防止误动作造成损失，大多采用人工手动启动，因为通常只依靠几个闭式喷头来启动水幕的方式在这里不可靠。

（3）有效维护麻烦，没有办法试水，来检验水幕系统可靠性。理论上，如果车间建造安装时，先安装消防设施，再安装生产设备，则有机会在水幕安装完毕，但生产设备还未安装时，让水幕试水。但是，在工程实践中，为早日投产，大多把生产设备当作第一重要，一到货立即安装，消防设施都排在了后面。那么，在水幕安装完毕后，大家将永不知道它的实际喷水情况如何（除非发生大火灾，才有机会一试），但如果平时无法试水维护，在关键时刻水幕工作不正常怎么办。

试水的问题只好在技术上近似解决，在设计时，消防泵房水幕泵的出水管上可设试水管及试水阀门，利于平时检验水幕泵的工作状态。但车间上方的水幕管与水幕喷头是否阻塞，喷水是否均匀，就无法测试了。

2.2.5 综合以上几个方面的因素，我们认为，在钢结构厂房的消防设计中，在经济比较后，应优先采用适当提高建筑的耐火极限扩大每个防火分区的面积，单栋厂房内尽可能地不分区或少分区，最大限度地保障工艺流程的完整和顺畅。

2.3 钢结构厂房常用防火保护法或措施

设计时要选用恰当的钢结构防火保护法。目前我国

钢结构主要采用三种保护方法：喷涂法、包敷法、水淋冷却法，它们都是通过一定的技术手段来提高钢结构的耐火极限。具体而言，喷涂法就是在钢结构表面涂上一层防火涂料，形成一个保护膜，从而提高建筑构件的耐火极限，它有厚型和薄型之分，不同厚度的涂层其耐火极限不同；包敷法是采用砖、混凝土、硅钙板等材料将钢结构包裹，从而形成保护层，提高构件耐火极限；水淋冷却法是在钢结构上部布置自动喷淋系统，发生火灾时，启动喷淋在钢结构表面形成一层连续的水膜，达到保护作用。我们在设计时，要根据不同建筑对构件耐火极限的要求，通过科学比较，选出最恰当的防火保护方法，达到经济和安全要求。目前实际工程上，较为经济、用的最广泛的方法是喷涂法。轻钢结构厂房的承重构件一般为钢柱、钢梁、桁架、网架及钢檩条，要提高建筑的耐火等级，只有提高承重构件的耐火极限。解决的方法，可在柱、梁表面覆以一定厚度的防火涂料，将会使被保护构件的耐火时间大大提高，以满足各级建筑耐火等级对建筑不同构件耐火时间的要求。如覆以 1.5 cm 厚的 LG 防火隔热涂料或 2 cm 厚的 LY 防火隔热涂料保护层，其耐火时间可达 1.5 小时 ~ 2.3 小时，这样，建筑物的耐火等级可按三级考虑，但应注意，应要求轻钢结构厂家在作结构计算时考虑防火涂层的重量。

3 钢结构建筑设计时要充分考虑人员疏散问题

由于钢结构建筑自身存在的弱点，我们在设计时要充分考虑人员疏散的因素，将人员密度指标和钢结构建筑的特点综合起来考虑，加强对安全疏散路线、疏散距离、疏散宽度的设计要求，保证人员疏散时间小于建筑构件的耐火极限，确保火灾时人员能安全逃生，避免群死群伤火灾事故的发生。

4 建筑设计防火规范在轻钢结构厂房类建筑中的适用性

现行《建筑设计防火规范》GBJ16087（2001 年版）是多层民用及工业建筑防火设计的通用规范，其内容对民用建筑的各种类型均有相对完善的条款限制，但对工业类建筑的要求就比较笼统，这在设计过程中就产生了很多的分歧，且在规范执行过程中也轻重不一。工业建筑的类型很多，有很多厂房在防火规范中没有相应的条款（如生产非燃烧介质的车间、存储非燃烧介质的库房等），实际设计中大多是采用近似套用的方法，就高不就低，这无形增加了建设成本，造成浪费。

现行《建筑设计防火规范》GBJ16087（2001 年版）中划分的生产类别最低为戊类（实际工程中还有比这类别更低的建筑），其火灾危险性特征为常温下使用或加工非燃烧物质的生产，按建筑耐火等级为四级做分析，可以看出，即使在消防等级如此低的建筑类型中，钢结构如不加保护是不能使用的。即使按四级保护，每个防火分区间的面积也才 1500 平米，还需要加设防火分

隔设施，这在实际工程中不很现实。如成都雅致公司的成品库房，其堆放的物质为钢制品，建筑四周无维护结构，均为透空，无论从火灾隐患、堆放物品的火灾危险性特征、还是消防扑救方面看，均可以不加设消防措施，因为其建筑本身和堆放物质均不具备自燃的条件，同时建筑附近也不存在火灾隐患，如果一味地按规范设计，对建筑结构进行防火保护并增加一定的防火分隔和灭火设施，将大大增加建筑造价，造成建设方极大的浪费。但在现行规范还没有修订的情况下，作为设计人员又不能自作主张地降低建筑的消防设级别。我们的做法是，和建设方一道将建筑方案提供给消防部门，就消防问题事先和消防部分进行探讨和沟通，得到技术上的认可和支持。最后的结论是，对这类建筑均可直接采用不加保护的钢结构作为建筑的承重结构，并不增加其他消防设施。我们认为，在现行建筑设计防火规范还没有修订，或修订后还有比较笼统的条款的情况下，需要就具体项目作具体分析，就不能对应规范条款或条款有明显不切合实际的情况时，采用这种设计思路不失为一种好的方法。

5 钢结构的适用条件

钢结构尽管有很多的优点，也得到了极大的应用，但我们应清晰的认识到，具有这种优点的建筑也有其适用范围，涉及到建筑安全、建筑经济等方面的问题。钢结构的耐火、耐腐蚀、密闭等方面存在的问题，是具体设计中建筑结构形式选择必须考虑的问题。如生产和存放生产类别较高（如甲级及以上）物质的建筑中，由于要求建筑耐火等级较高，防火分隔和灭火设施的配置、安装和构造复杂，建筑防火保护和消防设施构造处理上耗费较大。通过与采用钢筋混凝土结构的同类建筑的比较，钢结构显得很不经济。

6 总 结

综上所述，因轻钢结构有很多的优点，已经成为建筑结构形式的主要选择之一。我们深信，在倡导节能、绿色、环保的今天，钢结构将扮演越来越重要的角色。但是，我们还必须清晰的认识到，在经济还不是很发达、在防火保护技术和措施还不很成熟且费用较高的今天，还须正确合理地分析其适用场合，做出经济比较，因地制宜地选择采用。只有充分发挥出了钢结构大部分优势，采用钢结构作为建筑结构才有实际的意义。就钢结构建筑中存在的消防问题，仍需在设计中不断探索和总结，尽力找出更好的方案。对《建筑设计防火规范》，在设计中不能被动地执行，对其中的不明确、笼统的条款，应以积极的态度，客观地分析，并借助消防管理部门权威和技术力量，就具体建筑的消防问题在规范上存在的“盲点”，取得相应的技术支持。随着经济的不断发展，新的建筑类型会不断出现，新的建筑技术的应用与建筑上，这给我们的消防设计带来新的挑战。为此，设计人员需多方面考虑问题，在分析比较中寻找更合适、经济的案，在保证建筑的安全、经济的前提下，最大限度地发挥建筑结构材料的优势，才能设计出经济、适用的建筑产品来，更好地为经济建设服务。[ID : 2724]