

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.01.019

# 电站钢结构中美规范耐火极限要求对比研究

陶林惠, 尹谦钧

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 对中美规范在钢结构耐火极限要求方面的内容进行了归纳, 总结了按照中国规范和美国规范设计电站钢结构时的耐火极限具体要求。针对海外电站总承包项目的具体情况, 在满足安全适用的前提下, 结合进行总承包工程成本控制的目标, 对海外电站项目中各类钢结构建(构)筑物的耐火极限设计提出了建议。

**关键词:** 钢结构; 总承包; 耐火极限; 防火涂料

中图分类号: TM611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)01-0092-04

## Research on Fire Resistance Rating Requirements in Chinese and American Codes While Designing Power-generation Steel Structures

TAO Linhui, YIN Qianjun

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** While designing power-generation steel structures, different rules should be followed using Chinese and American design codes. Fire resistance rating requirements in Chinese and American codes are listed and compared in details. As to oversea EPC projects, this issue comes with more complicated situation. To ensure safety of steel structures, higher requirements of fire resistance rating need to be executed. However, to reduce the building cost of EPC projects, adopting lower requirements seems more beneficial. Balance should be made between safety and economization. In the end, advises are given on fire resistance design of power-generation steel structures in oversea EPC projects.

**Key words:** steel structure; EPC; fire resistance rating; anti-fire coating

目前,越来越多的电力设计院开始承接海外电站总承包项目。在执行海外项目结构设计时,合同中往往规定应首先采用当地规范进行设计。当当地规范不完备时,可选用公认的国际规范,这里的国际规范通常是指美国规范。中国规范只有在被证明不低于当地规范或者国际规范时,才能被采用。

钢结构具有强度高、重量轻、施工方便、工期短等优点,海外电站项目中的建(构)筑物往往采用钢结构,钢材也成了电站中的主要建筑材料。但由于钢材耐火性能差,为保证结构安全,中美规范都对钢结构的防火性能作出了具体规定,钢结构的防火费用也成了钢材成本的很大一部分。因此,对

中美规范钢结构防火要求进行对比研究,了解不同规范体系间的差异,选用既经济又合理的钢材防火涂装方案,对海外项目成本控制具有重要意义。

钢结构防火是一个范围很广的课题。包括建筑物的防火分区要求、防火间距要求、安全疏散距离、安全出口数量、耐火极限要求等,通常是由建筑专业负责主要设计。但其中的耐火极限要求由于涉及到钢结构的防火涂装,往往在《承重钢构件防火及防腐设计说明》中加以规定。本文仅对钢结构的耐火极限要求进行中美规范的对比研究。

### 1 中国规范的耐火极限要求

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)<sup>[1]</sup>规定,钢结构的防火应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016)<sup>[2]</sup>和《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045)的要求,结构构件的防火保护层应

收稿日期: 2015-12-08

作者简介: 陶林惠(1969),女,重庆人,高级工程师,学士,主要从事建筑结构设计研究工作(e-mail)taolinhui@gedi.com.cn。

根据建筑物的防火等级对各不同的构件所要求的耐火极限进行设计。

此外,《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006)<sup>[3]</sup>中针对电厂的建(构)筑物的防火要求有更为详细的说明,其中和构件防火相关的内容见表 1:

表 1 不同构件防火要求

Table 1 Fireproof Requirements for Different Structure Members

结构构件	《火力发电厂与变电站设计防火规范》规定
主厂房(包括汽机房、除氧间、集中控制楼、煤仓间、锅炉房)运煤栈桥	3.0.5 承重构件为不燃烧体的主厂房及运煤栈桥,其非承重外墙为不燃烧体时,其耐火极限不应小于 0.25 h;为难燃烧体时,其耐火极限不应小于 0.5 h。
主厂房内主油箱附近构件	3.0.7 汽轮机头部主油箱及油管道阀门外缘水平 5 m 范围内的钢梁、钢柱应采取防火隔热措施进行全保护,其耐火极限不应小于 1 h。 汽轮发电机为岛式布置或主油箱对应的运转层楼板开孔时,应采取防火隔热措施保护其对应的屋面钢结构;采用防火涂料防护屋面钢结构时,主油箱上方楼面开孔水平外缘 5 m 范围所对应的屋面钢结构承重构件的耐火极限不应小于 0.5 h。
主厂房或集控楼内的电缆夹层的承重构件	3.0.9 主厂房电缆夹层的内墙应采用耐火极限不小于 1 h 的不燃烧体。电缆夹层的承重构件,其耐火极限不应小于 1 h。
栈桥、转运站	3.0.10 当栈桥、转运站等运煤建筑设置自动喷水灭火系统或水喷雾灭火系统时,其钢结构可不采取防火保护措施。
干煤棚、贮煤场	3.0.11 当干煤棚或室内贮煤场采用钢结构时,堆煤高度范围内的钢结构应采取有效的防火保护措施,其耐火极限不应小于 1 h。

目前,在设计国内电厂项目时,对于主厂房、栈桥、转运站等建筑物,都是采用《火力发电厂与变电站设计防火规范》中规定的耐火极限小时数。而对于集控楼,由于属于人员密集的办公场所,通常参照《建筑设计防火规范》中针对民用建筑的耐火极限小时数。因此,集控楼的耐火极限要高很多,防火费用也高。这也是国内项目集控楼往往采用混凝土结构而不是钢结构的一大原因。

## 2 美国规范的耐火极限要求

《美国钢结构设计手册》<sup>[4]</sup>里对结构防火提出了两个有关的特性:可燃性和耐火性。这两个特性决

定了结构体系的选择和设计。

石材、混凝土、砖和钢等属于不可燃材料,木、纸和塑料是典型的可燃材料。与不可燃建筑相比,可燃建筑规范对可燃建筑的容许尺寸的限制程度要多很多。

美标将结构的抗火能力定义为火灾中楼板、墙体、隔断、次梁、主梁和柱等建筑构件防止火灾向邻近空间蔓延或火灾中结构功能仍不丧失的能力。结构抗火规定是以按“建筑结构及材料抗火试验标准方法(Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Material)”(ASTM E119)<sup>[5]</sup>进行试验结果为依据的。ASTM E119 规定的抗火能力以时间来定义,在这段时间里受到“标准火灾”作用的结构构件能够持续抵抗火灾的蔓延或仍不丧失结构功能。

NFPA 5000 (NFPA 5000<sup>®</sup> Building Construction and Safety Code<sup>®</sup> 2009 Edition)<sup>[6]</sup>里根据结构建造方式不同,将结构类型分为 Type I ~ Type V。分类方式的不同直接导致对耐火时限以及细节规定处的不同。

其中 TYPE I 和 II 指的是防火墙、结构构件、墙体、拱、楼板和屋面均是由不可燃材料或(批准后的)有限可燃材料建造。电厂建筑都属于此类。而根据 NFPA 5000 表 7.4.1,可以根据建筑物的尺寸、层数、高度和是否设喷淋系统来决定具体的防火类型子项(如 TYPE I 442, TYPE II 222, 111, 000 等),见表 2。

另外, NFPA 5000 里第 7.4.1.3.7 条特别提到,对于电厂结构(建造方式为 TYPE I 或 TYPE II 的汽轮机、汽机发电机、燃机发电机、余热锅炉等设备厂房),当其特殊灾害可燃物均由自动喷淋系统保护,并满足 NFPA 11, 12, 13, 15, 16, 17, 750, 2001 等规范时,可不受建筑物高度和面积限制。

美标里专门针对电站建筑的防火规范《NFPA 850》<sup>[7]</sup>(《NFPA<sup>®</sup> 850 Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations 2010 Edition》),专门应用于电站的消防指导。值得一提的是, NFPA 850 所有消防体系文件中没有提到涂刷防火涂料的规定。

表2 建筑允许高度和面积  
Table 2 Allowable Building Height and Area

Construction Type	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV		TYPE V											
	442		332		222		111		000											
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N										
Max building height (ft)	UL	UL	420	400	180	160	85	85	75	55	85	65	75	55	85	65	70	50	60	40
OCCUPANCY																				
Assembly >1 000	UL	4	UL	4	12	4	3	2	1	NP	3	2	NP	NP	3	2	3	2	NP	NP
	UL		UL		UL		15	500	8	500	14	000	NP		15	000	11	500	NP	
Assembly >300	UL	4	UL	4	12	4	4	3	2	1	4	2	1	1	4	2	4	2	1	1
	UL		UL		UL		15	500	8	500	14	000	8	500	15	000	11	500	5	500
Assembly ≤300	UL	7	UL	7	12	7	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	4	3	2	1
	UL		UL		UL		15	500	8	500	14	000	8	500	15	000	11	500	5	500
Assembly, outdoor	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	4	3	3	2	4	3	3	2	2	1
	UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL	
Business	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	6	5	5	4	6	5	4	3	3	2
	UL		UL		UL		37	500	23	000	28	500	19	000	36	000	18	000	9	000
Industrial, ordinary hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	3	2	4	3	3	2	5	4	3	2	2	1
	UL		UL		UL		25	500	15	500	19	000	12	000	33	500	14	000	8	500
Industrial, low hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	4	3	5	4	4	3	6	5	4	3	3	2
	UL		UL		UL		37	500	25	000	28	500	18	000	50	500	21	000	15	000

### 3 中美防火规范应用案例

以下通过实例来说明按照中美规范的要求,不同建筑物的耐火极限小时数的确定方法。

1) 某项目燃机房尺寸 22.5 m × 121.1 m × 22.3 m(高), 单层, 单层面积为 2 725 m<sup>2</sup>(29 298 ft<sup>2</sup>)。依据美标 NFPA 5000, 火灾危险性分类为 Ordinary hazard, 单层面积大于 TYPE II(111)所允许的最大面积 25 000 ft<sup>2</sup>, 因此应归为 TYPE II(222), 即梁柱耐火极限均为 2 h。按照中国规范, 梁柱的耐火极限为 0.25 h。主油箱附近构件耐火极限为 0.5 h。

2) 某项目汽机房尺寸 50 m × 30 m × 26.5 m(高), 三层, 单层面积为 1 500 m<sup>2</sup>(16 130 ft<sup>2</sup>)。依据美标 NFPA 5000, 火灾危险性分类为 Ordinary hazard, 面积和层数均符合 TYPE II(111)所允许的数值, 因此可归为 TYPE II(111), 即梁柱防火时限均为 1 h。按照中国规范, 梁柱的耐火极限为 0.25 h。主油箱附近构件耐火极限为 0.5 h。电缆夹层承重构件耐火极限为 1 h。

3) 某项目集控楼尺寸 32 m × 35 m × 21 m(高),

四层, 单层面积为 1 120 m<sup>2</sup>(12 043 ft<sup>2</sup>)。依据美标 NFPA 5000, 火灾危险性分类为 Ordinary hazard, 面积和层数均符合 TYPE II(111)所允许的数值, 因此可归为 TYPE II(111), 即梁柱防火时限均为 1 h。按照中国规范, 对于集控楼, 查阅中国规范时采用《建筑防火设计规范》的民用建筑, 柱的耐火极限为 2.5 h, 梁为 1.5 h。

### 4 结语

本文介绍了按照中国规范和美国规范对于钢结构耐火极限的不同要求。值得一提的是, 针对美标的耐火极限要求, 目前国内各大设计院存在两种不同的理解。一派的观点认为应当按照 NFPA 5000 的要求, 根据建筑物层数、面积、灾害等级决定防火时限。另一派则认为由于 NFPA 5000 已提到对于电厂结构, 可不受层数、面积等的限制, 只需满足特定的防火规范即可, 而针对电厂的特殊防火规范 NFPA 850 中并未提及耐火时限的问题, 因此, 可以按照 NFPA 850 里提到的设置喷淋设施等方式解决电厂的防火问题, 而不用对钢结构采用涂刷防火涂料等防火措施。

针对目前海外项目的具体情况, 由于设计合同的约定, 在运用规范时应在中美规范中按更高的要求选用。而作为工程总承包方, 设计院又往往面临尽量降低成本的巨大压力。鉴于此, 在满足结构安全适用性的前提下, 本文对海外电站项目钢结构的防火设计提出如下建议:

1) 针对主厂房(包括燃机房、汽机房等), 建议按照 NFPA 850 的要求执行, 不可燃物受到防火保护的前提下, 可不对整个结构进行防火涂装, 而是根据《火力发电厂与变电站设计防火规范》, 对主油箱附近构件和电缆夹层的承重结构进行规定小时数的防火涂装。

2) 针对集控楼, 建议按照 NFPA 5000 里关于建筑物层数、面积、灾害等级等特征决定具体耐火极限小时数, 进而确定梁、柱、楼板的具体时限要求。

3) 针对电厂其他建构筑物, 如栈桥、转运站

等, 建议按照 NFPA 850 和《火力发电厂与变电站设计防火规范》的要求执行, 不对整个结构进行防火涂装。

参考文献:

[1] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].

[2] GB 50016—2006, 建筑设计防火规范[S].

[3] GB 50229—2006, 火力发电厂与变电站设计防火规范[S].

[4] ROGER L, BROCKENBROUGH, FREDERICK S. Merritt. 美国钢结构设计手册[K]. 上海: 同济大学出版社.

[5] ASTM E119: Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Material[S].

[6] NFPA 5000: NFPA 5000® Building Construction and Safety Code® 2009 Edition[S].

[7] NFPA 850: NFPA® 850 Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations 2010 Edition[S].

(责任编辑 郑文棠)

(上接第 91 页 Continued from Page 91)

[15] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2008.

[16] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2009.

[17] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2010.

[18] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2011.

[19] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2011.

[20] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2013.

[21] DNV-OS-J101, Det Norske Veritas: Offshore Standard. Design of Offshore Wind Turbine Structures[S]. 2013.

[22] KLOSE M, AMOL Mulve, MARC Mittelstaedt. Grouted Connections-offshore Standards Driven by the Wind Industry[C]// The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference, 2012.

[23] LOTSBERG I, BERTNES H, LERVIK A. Joint Industry Project-capacity of Cylindrical Shaped Grouted Connections with Shear Keys[R]. Norway: Technical Report No. 2011 - 1415, Rev. No. 05. Det Norske Veritas, 2012.

[24] 龙驭球. 弹性地基梁的计算[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981.

(责任编辑 黄肇和)

(下转第 114 页 Continued from Page 114)

[6] 汪猛, 容浩. 小议 IEC 防雷标准中直击雷的防护[J]. 电气应用, 2005(12): 20-23.  
WANG Meng, RONG Hao. Discussion of Direct Lighting Flash in Code for Protecting Against Lightning[J]. Electrotechnical Application, 2005(12): 20-23.

[7] 蒋麦占. 如何处理《建筑物防雷规范设计规范》和 IEC 标准的关系(上)——不能回避规范的适用范围和防雷风险管理[J]. 电气工程应用, 2007(2): 5-11.  
JIANG Maizhan. How to Deal with The Relationship Between <Code for Design Protection of Structures Against Lightning> and IEC Standard(Part 1)-Scope of Application and Risk Management[J]. Application of Electrical Engineering, 2007(2): 5-11.

(责任编辑 郑文棠)