

合金鋼在超臨界、超超臨界鍋爐管的應用

金屬中心產業研究組 ITIS 計畫

洪鼎倫

2016 年 11 月

一、前言

在電力發展中，火力發電為目前最可靠的發電方式，雖然會排放溫室氣體，但目前來說仍為全球電力發展的主流。因火力發電鍋爐主蒸氣每上升 1 °F 就會減少熱耗率 0.016%，因此目前全球的火力發電廠均思考如何升高鍋爐的蒸氣來減緩熱耗率。作法上，各火力發電廠均以先提高溫度再調整壓力作為提升火力發電機組效率的手段，然而鍋爐及其周邊設施的材質的組成在提升鍋爐的溫度關係非常密切，材料在提升火力發電效率上非常重要。因此本文將介紹合金鋼在超臨界鍋爐的相關應用。

二、超臨界、超超臨界鍋爐管的材料選用

超臨界、超超臨界火力發電機組水蒸氣的工作參數為 550~700 °C /27~35MPa，為符合工作參數的限制，目前火力發電廠所使用的耐高溫材料主要為合金鋼、奧氏體不銹鋼和鎳基高溫合金，相關元素成分如【表 1】所示。

合金鋼具有較小的耐熱膨脹係數，導熱速度快，在較高的啟動速率下不會造成嚴重的熱疲勞，是火力發電鍋爐中的管材的首選，其中 F91、T91 及 P91 等合金鋼具有 9~12% 的鉻含量，主要用在火力發電的集/過熱管材中。

相對於合金鋼，奧氏體不銹鋼具有更高的耐熱強度，同時因為在合金中添加更高的鉻元素，使其具有更好的防腐性能，鍋爐管常見的奧氏體不銹鋼有 316、316FR、304 及 HR3C 等。

鎳基合金為目前最新發展的耐熱合金，由於具有較好的耐熱、耐蝕及抗氧化的特性，在 700 °C 以上的火力發電機組鍋爐以此種合金為主流。目前主要的合金有 Haynes230、CCA617、In740H 等，主要用在 700 °C 以上的鍋爐管。

表 1 典型耐熱合金/合金鋼的元素成分

單位：%

材料	鐵	鉻	鎳	錳	矽	鉬	鈮	鎢	鈦	鋁	銅	鈮	碳	氮
F91	Bal.	8.37	0.21	0.45	0.28	0.9	0.076	-	-	0.022	0.17	0.22	0.1	0.048
HCM12A	Bal.	10.83	0.39	0.64	0.27	0.3	0.054	1.89	-	0.001	1.02	0.19	0.11	0.063
316	Bal.	17.1	10.01	1.48	0.4	2.04	-	-	-	-	-	-	0.08	-
A1-6XN	Bal.	20.5	24	0.4	0.4	6.2	-	-	-	-	0.2	-	0.02	0.22
800H	Bal.	20.42	31.59	0.76	0.13	-	-	-	0.57	0.50	0.42	-	0.07	-
In625	5	21.5	57.9	0.5	0.5	9	3.7	1	0.4	0.4	-	-	0.1	-
Haynes230	3	22	52.7	0.5	0.4	2	5	14	-	0.3	-	-	0.1	-

資料來源：中國電機工程學報(2016)/金屬中心 ITIS 計畫整理

目前火力發電鍋爐管的材料選擇上主要考量的因素除了耐高溫及耐腐蝕以外，同時必須考量材料的冷加工、熱加工及其經濟效益。9%~12%鉻含量的合金鋼(鉻含量超過 10%以上歸類為不銹鋼)耐熱上限為 625~650°C，如果超過 650 °C 則其耐熱強度及抗氧化性會降低，但是這類的合金鋼的經濟性及加工性都優其其他二種材料，且其膨脹係數也較低，因此仍有廠商以此類鋼種為基底進行研發，如日本 JFE 公司。奧氏體不銹鋼及鎳基合金的耐熱度都較高，奧氏體不銹鋼可達 670 °C，鎳基合金更可以達到 700 °C 以上，但是這二種合金的成本較高，鎳基合金的導熱係數較差，膨脹係數又較高，為這類材料的缺點。

三、超臨界鍋爐管用合金鋼發展現況

火力發電機組的主要效率決定於蒸汽的壓力及溫度參數，參數越高，效率越高，但其工作參數越高，對於所使用材料的耐熱、抗壓及耐腐蝕性的要求就越高。超臨界、超超臨界鍋爐的主要結構為鋼管，所使用的材例為各種的耐熱鋼，主要含有 2%Cr 的 T/P22、T/P23 低合金鋼，含 9%Cr 的 T/P91 和 T/P92 高合金鋼。

歐洲蠕變合作委員會(European Creep Collaboration Committee, ECCC)建議 T/P91 合金鋼只適合用在蒸汽參數在 593 °C/25MPa 或者 580 °C/30Mpa 的火力發電機組。目前合金鋼管在超臨界、超超臨界鍋爐承壓構件鍋爐管的使用範圍如【表 2】所示。

表 2 合金鋼在超臨界、超超臨界火力發電鍋爐承壓構件鍋爐管使用範圍

承壓構件	超臨界	超超臨界
水冷壁	T1、T2、T11	T1、T2、T11、T23/T24
過熱器	T12、T22、T23、T91	T12、T22、T23、T91、T92
再熱器	T23、T91、T92	T23、T91、T92
主蒸汽段	P91	P92
再熱熱段	P91	P91、P92

資料來源：特殊鋼(2016)/金屬中心 ITIS 計畫整理

日本新日鐵目前也有投入超臨界、超超臨界鍋爐管的開發，主要開發有合金鋼管、奧氏體不銹鋼管及鎳基合金管。所開發的合金鋼管為 HCM2S(T23)，其強度為傳統鍋爐管 T22 的 2 倍，具有高衝擊韌性和良好的焊接性能，焊接時不需要先預熱，焊接後也不需要再熱處理。其可以替代 T22 及 R102 鋼，用於火力發電鍋爐的過熱器及再熱器。

相較於日本新日鐵的多元化發展，JFE 鋼鐵則較集中於開發新的合金鋼管，主因在於該公司認為合金鋼管具有優良的耐熱強度、抗氧化性及焊接性。目前該公司開發出來的鋼管有加入 2.25% 鎢的 T/P23。該鋼管因為加入的鎢，而具有更高的高溫強度，因為低碳、低鋁及低氮而具有良好的焊接性和耐 HAZ(焊接熱影響區)裂紋性能。另外，該公司也研發出加 9% 鉻的 T/P92 鋼管，因該鋼管有添加鎢，因此被用於環境條件較為嚴苛的主蒸汽管、過熱器及再熱器，其也會用於不銹鋼的替換材料。另外，JFE 所研發出來的 T/P92 鋼管的導熱係數等物理性質都與原本 T/P91 鋼管相同，但是因為該鋼管的薄壁化、輕量化，可以減輕焊接的複雜度，可帶來較高的效率及降低成本。

四、結語

火力發電機組因為其具有穩定的電力供應能力，其可預見的未來，火力發電將無法被取代。但是因為溫室氣體排放的限制，未來超臨界、超超臨界的火力發電機組將會取代目前的亞臨界的發電機組，因此對於該火力發電鍋爐管的需求將會浮現。目前主要的材料有合金鋼、不銹鋼及鎳基合金，合金鋼因具有經濟性、加工易及低膨脹係數的優點，使得合金鋼管在超臨界、超超臨界火力發電鍋爐管的市場上，仍然佔有利基點。

如欲瞭解更深入的產業情報，請洽 MII 金屬情報網 <http://mii.mirdc.org.tw/>。