



EPTCHINA.CN
中国电力科技网

SXEC 苏夏

第十届“大机组供热改造与优化运行技术2018年会”



温新宇

神华国华（北京）电力研究院有限公司设计技术室主任工程师，教授级高级工程师，高级技师，国华电力公司汽机专家。长期从事火力发电厂生产管理和设计管理工作，有丰富的生产现场实践经验。在汽轮机冷端优化、节能降耗、直接和间接空冷、冷端节水技术上进行了大量的科研、实践和推广工作。发表论文20余篇，著作2部。

供热机组凝结水泵变频技术深度节能策略研究

2018年10月10-12日

中国·常熟

供热机组

凝结水泵变频技术深度节能策略研究

神华国华（北京）电力研究院有限公司

温 新 宇

2018.10.11

1. 变频凝结水泵和系统的设计与选型
2. 供热机组凝结水泵变频运行现状
3. 供热机组变频凝结水泵节能选型配置
4. 凝结水泵变频技术深度节能策略
5. 凝结水泵变频技术深度节能效果
6. 结语

1、变频凝结水泵与系统的设计与选型

1.1 设备选型

《GB50660-2011大中型火力发电厂设计规范》

- 工业抽汽式供热机组或工业、采暖双抽式供热机组，每台机组宜装设2台凝结水泵；每台泵的容量应分别按100%设计热负荷工况下的凝结水量和50%最大凝结水量计算，应取较大值。
- 对凝汽采暖两用机组，宜装设3台容量各为最大凝结水量50%的凝结水泵。
- 对于常规纯凝机组宜装设2台凝结水泵，容量为最大凝结水量的100%，也可装设3台，单台容量50%。

部分文献中供热机组凝结水泵配置推荐方案（300MW级）

序号	设计院	作者	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
1	华北电力设计院	袁**	2*110% 一拖二	2*110% 一拖一	3*55% 工频	3*55% 一拖二+ 工频	3*55% 一拖二+ 一拖一	3*55% 一拖一
2	山西省电力勘测设计院	闫*	2*100% 一拖二	2*100% 一拖一	3*50% 一拖二	3*50%一 拖二+一 拖一	3*50%一 拖一	
3	辽宁电力勘测设计院	杨**	2*100%	2*100% 一拖二	3*50%	3*50%一 拖二+一 拖一		
4	东北电力设计院	王*	2*100%	2*100% 加变频	3*50%	3*50%加 变频		
5	中南电力设计院	杨*	2*100% 一拖二				3*50%一 拖二+一 拖一	

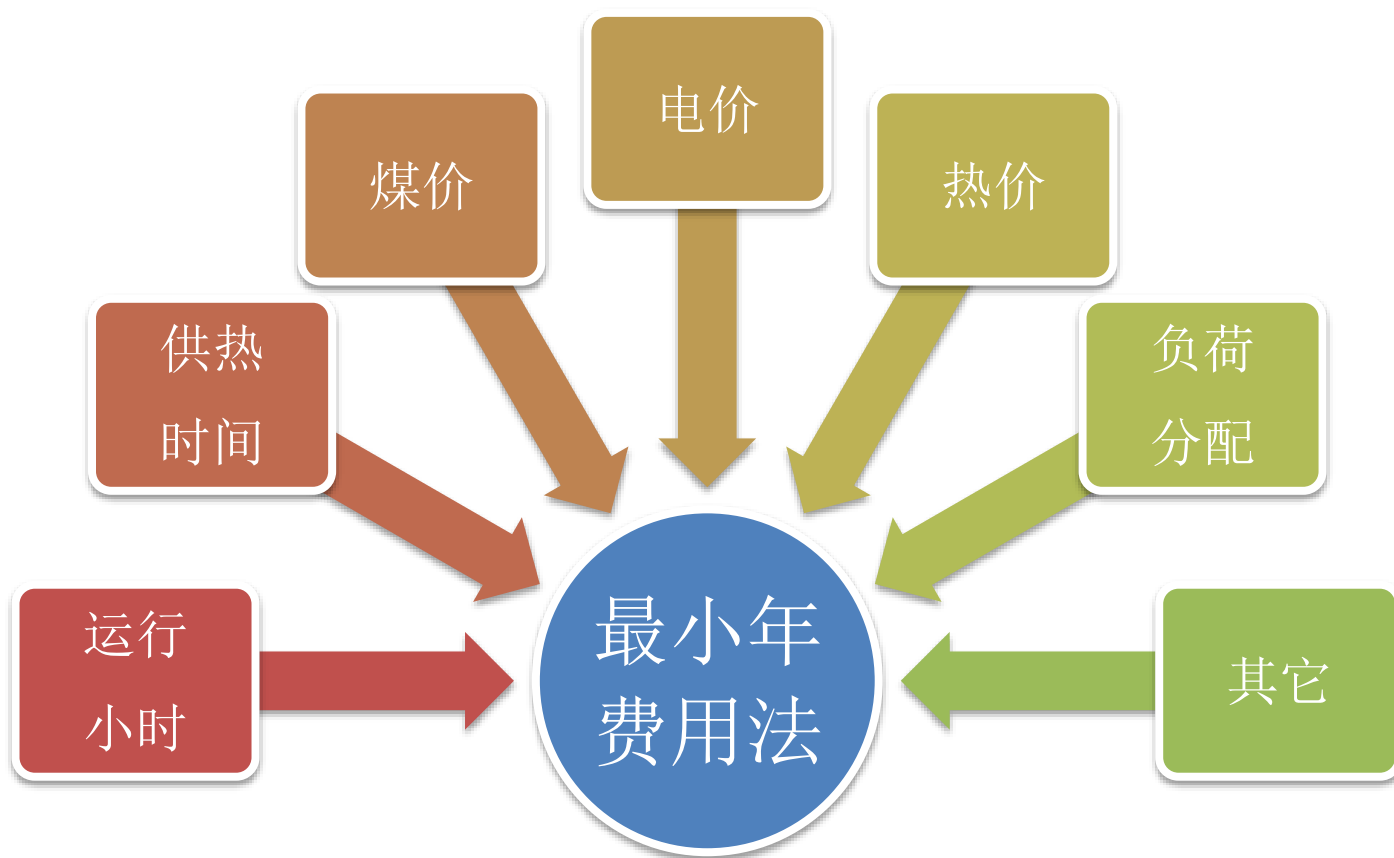
表1 300MW级供热机组凝泵变频配置方案

方案 编号	凝泵数量 /台	凝泵流量 /%	电机数量 /台	电机功率 /KW	变频器数 量/台
1	2	110	2	约1100	1
2	2	110	2	约1000	2
3	3	55	3	约550	0
4	3	55	3	约550	1
5	3	55	3	约550	2
6	3	55	3	约550	3

袁雄俊在《300级供热机组凝结水泵变频方案探讨》中利用最小年费用法，提出对于300MW级供热机组，设置3台55%容量凝结水泵，配备2-3套变频器是经济合理的。

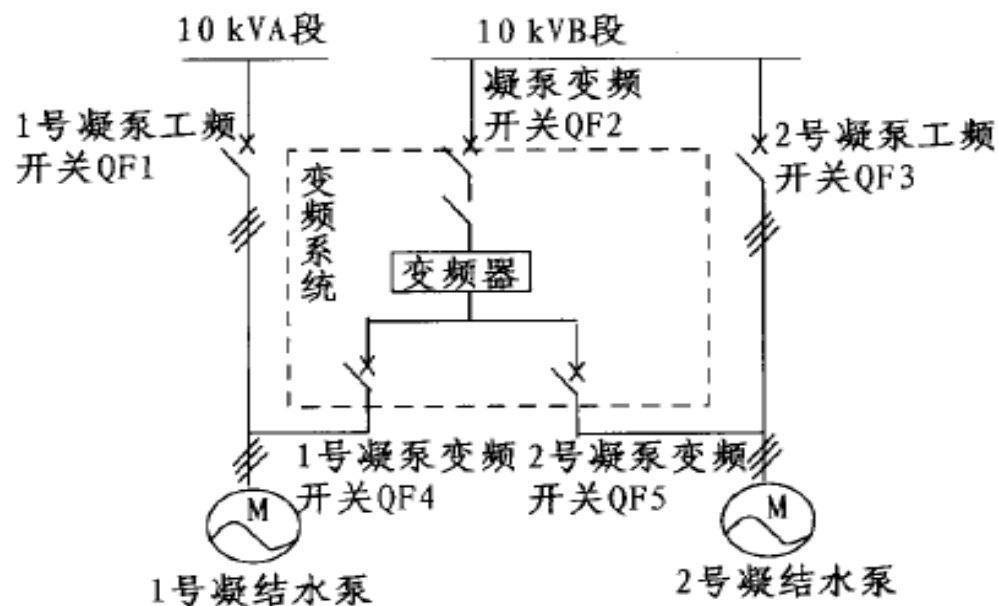
6厂1000MW超超临界机组凝结水泵选型比较

厂别	XZ	SZ	NH	TS	JL	JX
配置	3×50%	3×50%	3×50%	3×50%	2×100%	2×100%
型号	9.5LDTN B-6PJ	NLT400- 500×5S	NLT400- 500×5S	NLT400- 500×5S	11LDTNB- 4PJ	TDM-VB5
轴功率 (kW)	1142	1318.2	1334	1246	2231	2930
流量 (m³/h)	920	1136	1230	1246	1905	2382
扬程 (mH ₂ O)	378	351	330	352	370	330
转速 (r/min)	1480	1480	1480	1480	1480	1000
效率%	83	82.1	82.4	79	86	84
电机功率 (kW)	1800	1600	1600	1600	3000	2950

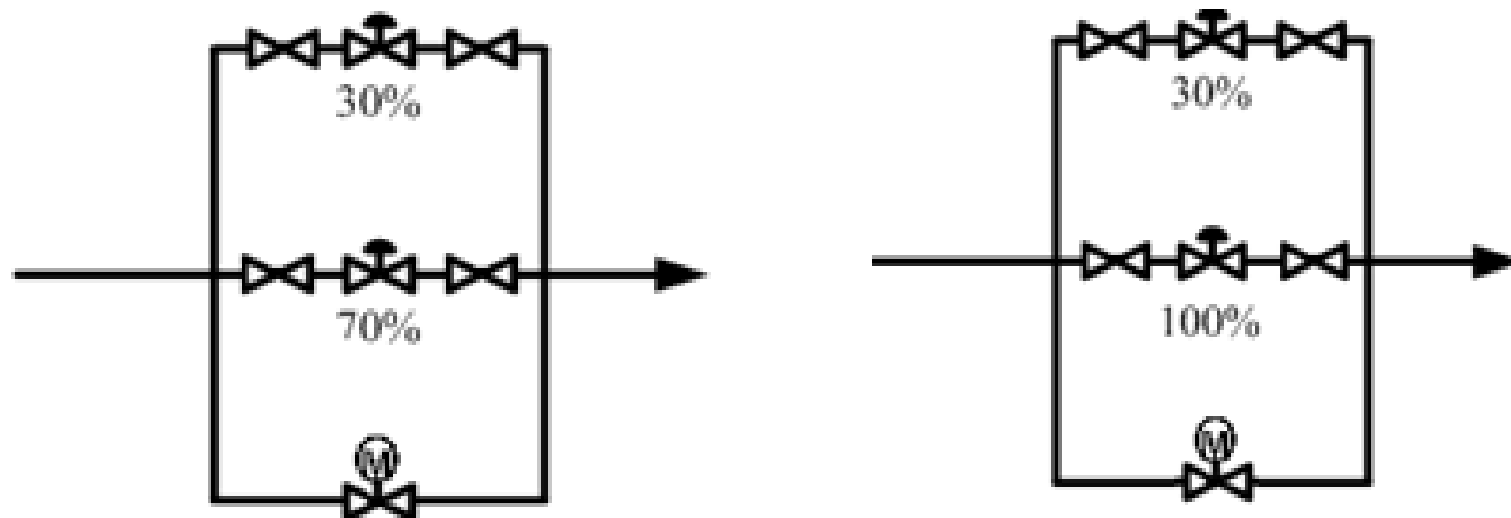


- 对于纯凝机组，凝结水泵是电厂随机组负荷变化特性最明显的辅机设备，适宜调速方式。
- 对于供热机组的凝结水流量季节性变化很大，冬季供热工况的凝结水流量只有夏季非供热工况的**1/4**左右。灵活性和适应性要求较高。
- 对于超（超）临界机组，对水质的要求较高，热网疏水较多回至热井，对于亚临界机组，热网疏水较多回至某级低压加热器出口。

凝结水泵变频装置通常采用和“一拖二”模式，如图：

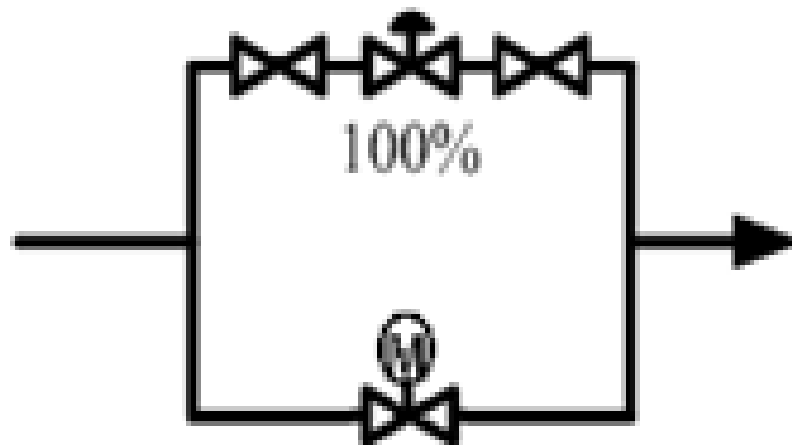


1. 2除氧器水位调节阀组的设置



双阀系统

1. 2除氧器水位调节阀组的设置



单阀系统

2、供热机组凝结水泵变频运行现状

2.1 设备选型和配置

(1) 凝结水泵设计扬程和容量选型偏大。原因：

- 设计扬程计算中，介质流动阻力按汽轮机调节阀全开工况时的凝结水流量加20%裕量计算；
- 辅机制造厂提供的低压加热器、精处理装置和轴封冷却器的保证压降偏大；
- 凝结水泵出口容量按110%最大凝结水量计算；
- 除氧器采用滑压运行，其实际工作压力低于最大工作压力。

2.2逻辑控制功能

（1）机组低负荷阶段凝结水变频调节与除氧器水位调节阀组调节匹配性不好。

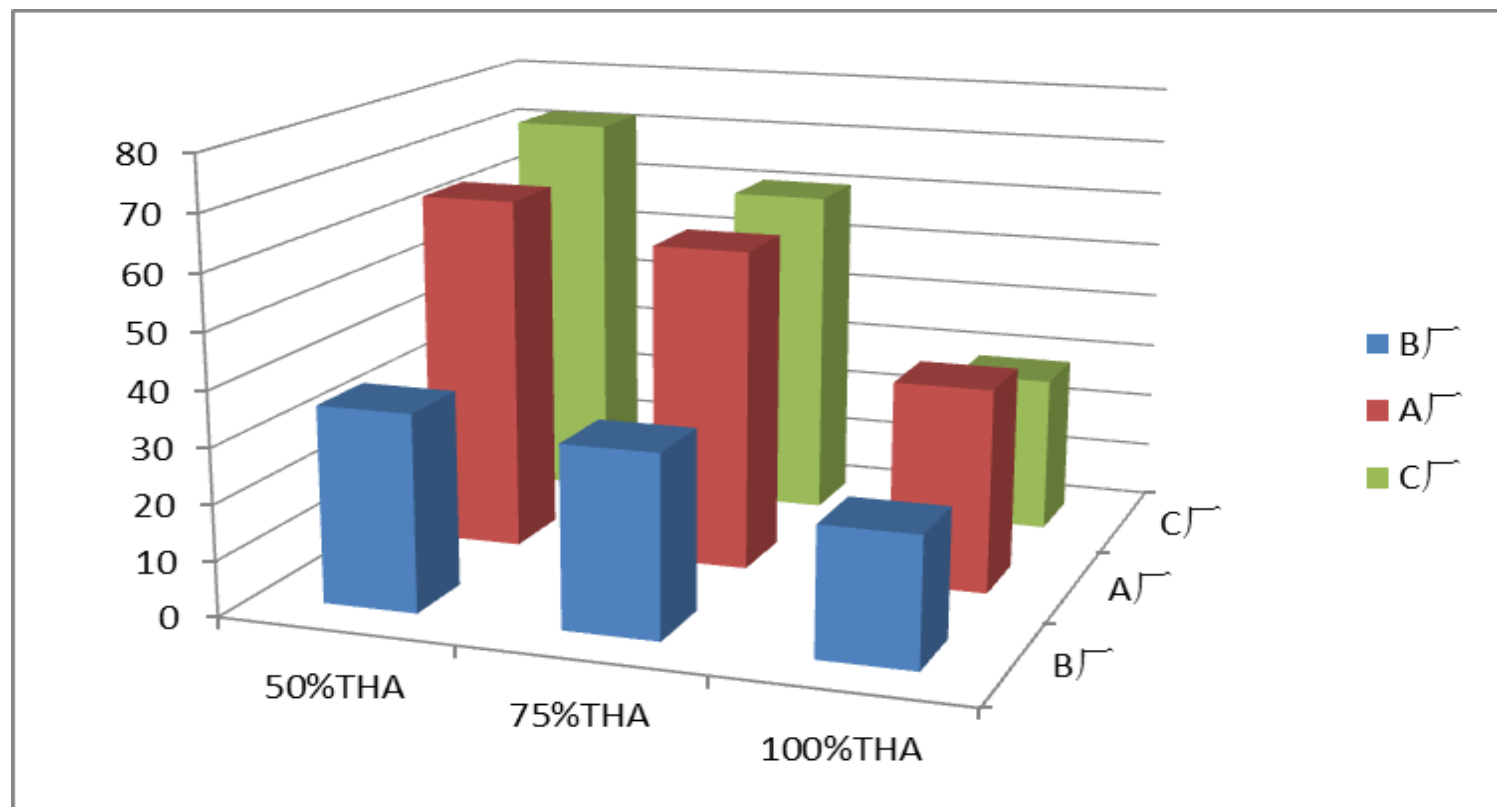
（2）控制逻辑不能满足凝结水泵跳闸等事故工况的需要，为防止事故情况下除氧器水位失控，除氧器水位调节阀不能全开或凝结水泵调频范围受限。

2.3运行与节能效果

（1）受凝结水系统运行压力、变频装置过热、凝结水泵及电机轴承振动、管道振动等因素的制约，机组正常运行中凝结水泵不能实现全程变频运行。

供热机组凝结水泵变频运行现状

(2) 不同机组不同工况下凝结水泵变频与工频相比节能率差异较大。



3、供热机组变频凝结水泵节能选型配置

3.1 凝结水泵及电机

(1) 适当降低凝结水泵设计扬程和容量的设计裕量，减小老化裕量的份额，参照同类型加热器和精处理装置的实际运行阻力修正计算阻力。

➤ 建议介质流动阻力按汽轮机调节阀全开工况时的凝结水流量加5%~10%裕量计算，凝结水泵出口容量按103%~105%最大凝结水量计算。

3.1 凝结水泵及电机

(2) 纯凝大机组 $2 \times 100\%$ 容量配置较 $3 \times 50\%$ 容量配置在技术经济、运行方式、系统配置上更有优势。据估算，1000MW等级机组 $2 \times 100\%$ 容量凝结水泵变频方案要比 $3 \times 50\%$ 容量工频方案耗电率低0.08%。

➤ 对于供热机组， $2 \times 100\%$ 容量配置与 $3 \times 50\%$ 容量配置没有明显差异。主要取决于运行方式。

2017年中电联指标竞赛凝结水泵单耗数据				
分类	300MW 供热	300MW 纯凝	600MW 供热	600MW 纯凝
数值 (%)	0.1735	0.1742	0.195	0.1949

3.1 凝结水泵及电机

（3）除氧器水位调节阀组优先选用100%容量单阀系统或30%与100%容量配合的双阀设计，有效降低系统阻力，但小开度下的流量特性应满足调节要求。

（4）凝结水泵电机、支撑部件、轴承的强度和固有频率应能满足工频和变频运行要求。

3.2变频装置

（1）随着国产高压变频器技术的成熟广泛应用，对于 $2 \times 100\%$ 容量配置的凝结水泵，采用“一拖一”模式更为可靠和灵活，可提高变频装置的可靠性，提高变频运行时间，减少耗能量。

（2）适当增加变频器功率单元容量可以满足热力系统调节对频率变化速率的需要。建议按照凝结水泵电机容量的1.2倍选择变频器容量。

4、凝结水泵变频技术深度节能策略

1 凝结水泵最小流量的选取

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

表 2 凝结水泵不同频率下的最小流量计算值

频率	25Hz	30 Hz	35 Hz	40 Hz	45 Hz	50 Hz
最小流量 计算值	235	282	329	376	423	470

表 3 凝结水泵不同频率下的最小流量保护值

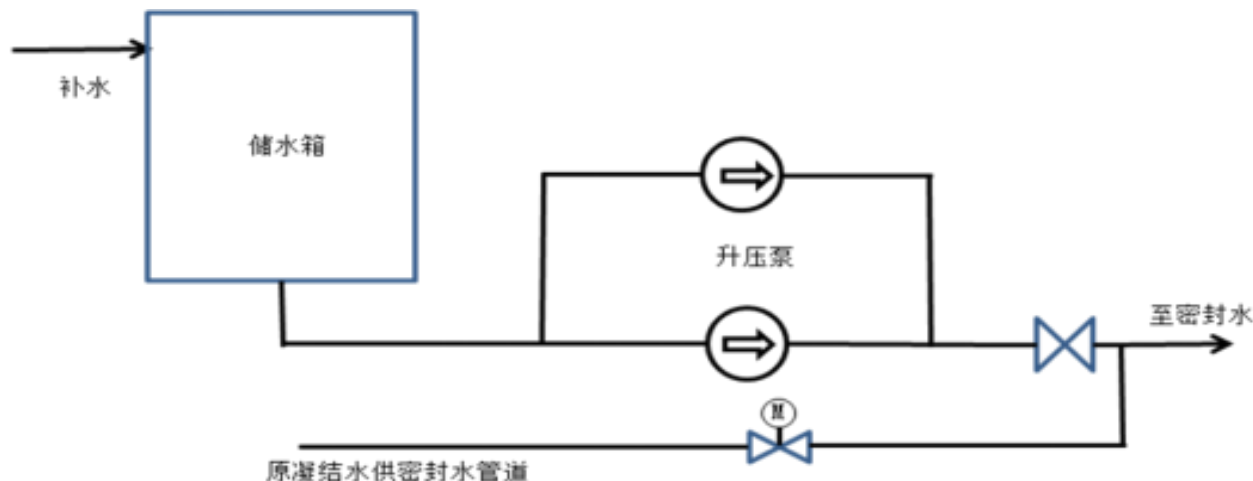
频率	25Hz	30 Hz	35 Hz	40 Hz	45 Hz	50 Hz
最小流量 保护值	250	300	350	400	450	500

推荐：凝结水泵最小流量定值按计算流量的1.06倍设定。

2 凝结水泵最低出口压力的确定

针对制约凝结水泵出口压力降低的因素采取针对性措施：

- (1) 通过试验适当降低给水泵密封水压力要求值。
- (2) 增加给水泵密封水管道泵。



2

凝结水泵最低出口压力的确定

(3) 建立给水泵密封水回水温度与凝结水泵变频装置的连锁逻辑。

(4) 在机组启动或事故工况下通过提高变频凝结水泵转速或启动工频凝结水泵来保证旁路减温水的需要。

3

除氧器水位自动控制方案的确定

平衡点：保证满足凝结水泵出口最小压力要求与除氧器水位的前提下，除氧器水位调节阀全开对应的负荷点。

- 平衡点工况流量越低，变频方式整体节能效果越好。
- 推荐控制方式：凝结水泵变频器投自动跟踪调节除氧器水位，除氧器水位主调阀保持凝结水系统压力不低于定值压力。变频切手动后，控制逻辑自动转换为除氧器水位主调阀自动跟踪调节除氧器水位。

4

凝结水泵跳闸联动方案的制定

凝结水泵跳闸备用泵联动方式分为工频联动和变频联动。

- 工频联动：除氧器水位调节阀快速参与流量控制，
除氧器水位调节阀保护关至一定阀位。
- 变频联动：启动后自动升至高于原频率3~5Hz运行。



凝结水泵变频改造控制方案讨论及效果分析

岳晓光

(国投晋城热电有限公司, 山西 晋城 048000)

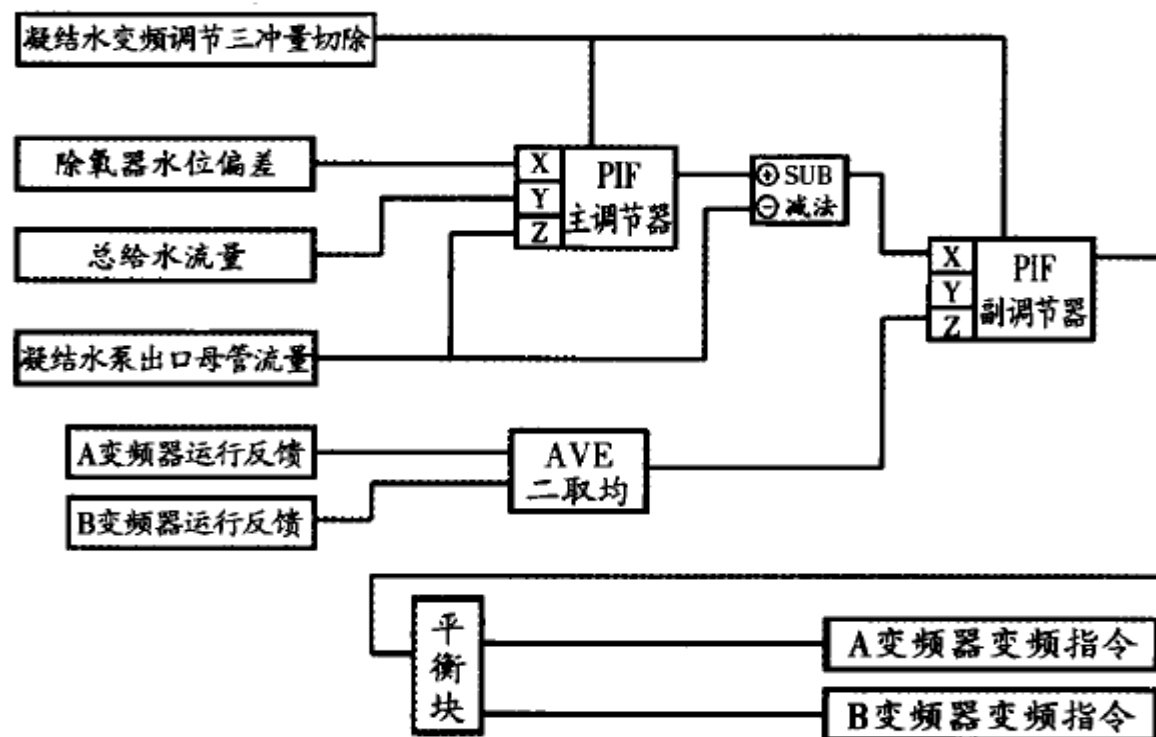


图2 凝泵变频自动控制策略

5

适应凝结水系统一次调频技术的需要

6

对选型偏大的凝结水泵进行改造

某 300MW 机组凝结水泵取一级叶片前后节能效果对比 (%)

机组 负荷率	凝泵耗电率		节电率
	取一级叶片后	取一级叶片前	
70.0	0.39	0.44	11.36
74.7	0.35	0.43	18.60
79.3	0.345	0.38	9.21
82.3	0.34	0.39	12.82

5、凝结水泵变频技术深度节能效果

某660MW超临界空冷机组凝结水泵节电率

负荷 (MW)	凝结水流量 (t/h)	工频电功率 (kW)	变频电功率 (kW)	节电率 (%)
660	1604	2055	1470	28.47
600	1470	1975	1180	40.25
550	1349	1920	994	48.23
500	1240	1859	843	54.65
450	1158	1810	715	60.50
400	997	1743	603	65.40
350	902	1690	529	68.70
300	788	1627	456	71.97

6、结语

1. 凝结水泵的设计选型应符合现场实际，遵循设计依据的前提下参考实际运行数据。
2. $2 \times 100\%$ 和 $3 \times 50\%$ 容量选择结合实际运行需要，有条件的采用一拖一方式，除氧器上水阀推荐采用单阀系统。
3. 凝结水泵最小流量、最低出口压力值、最低转速的设定是深度节能的关键参数，应结合现场试验确定。
4. 优化除氧器水位控制逻辑和跳闸联动逻辑可有效提高节能效果。
5. 改造项目应对系统进行相应改造和逻辑变更。

谢谢聆听

Thank you for your attention