

给水泵变频改造液偶功能是否保留问题的探讨

张鹏飞[✉], 权凯

(广州智光节能有限公司, 广州 510535)

摘要: [目的] 对火力发电厂液力耦合器调节的锅炉电动给水泵组进行变频节能改造, 分析是否需要保留液力耦合器的调节功能。[方法] 通过对液力耦合器本身能耗的理论分析, 同时对同类型机组给水泵变频改造后的实际案例的运行情况进行对比, 从安全、节能等方面对火力发电厂液力耦合器调节的锅炉电动给水泵组变频改造是否保留液力耦合器调节功能进行探讨。[结果] 液力耦合器调节的锅炉电动给水泵组变频改造不保留液力耦合器方案比保留液力耦合器方案总体的节能率高、经济、安全性也有足够保证。[结论] 液力耦合器调节的锅炉电动给水泵组变频改造, 不保留液力耦合器调节功能方案更为适用。

关键词: 液力耦合器; 变频调速; 给水泵; 节能对比

中图分类号: TM611; TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S2-0107-06
开放科学(资源服务)二维码:



Feed Water Pump Frequency Conversion Transformation Function of Fluid Coupling the Discussion on Whether to Retain

ZHANG Pengfei[✉], QUAN Kai

(Guangzhou Zhiguang Energy Efficiency Co., Ltd., Guangzhou 510535, China)

Abstract: [Introduction] Hydraulic coupler in thermal power plants of electric boiler feed water pump set of frequency conversion energy-saving renovation, analysis of whether to retain the hydraulic coupling regulating function. [Method] Through theoretical analysis of energy consumption of hydraulic coupling itself, at the same time, feed water pump frequency conversion to the same type unit after transforming, comparing the running situation of the actual cases from the aspects of safety, energy saving and other hydraulic coupler in thermal power plants electric adjustment of boiler feed water pump group of inverter whether keep hydraulic coupling regulating function were discussed. [Result] Electric hydraulic coupler to adjust the boiler feed water pump group of inverter is not retained hydraulic coupling plan than keep hydraulic coupling overall energy saving rate is high, the economic, security and enough guarantee. [Conclusion] Electric hydraulic coupler to adjust the boiler feed water pump group of inverter, don't keep hydraulic coupling regulating function scheme is more suitable.

Key words: hydraulic coupling; frequency control of motor speed; feed water pump; energy saving

当前国内燃煤火力发电机组全配置锅炉电动给水泵基本采用液力耦合器进行调速, 而液力耦合器滑差调节产生的热耗损失, 直接影响到全厂的供电煤耗、发电成本等指标, 相比液力耦合器间接调速, 高压变频器直接调节给水泵电动机可降低给水泵组的用电损耗^[1]。故此, 各种给水泵变频节能改造方案^[2]便应运而生。国内发电厂锅炉液偶调速给水泵改造当前主要有两种不同理念的改造方案:

给水泵纯电调型的变频调速改造方案(不保留液力耦合器调节功能)与电液并存型变频调速方案(保留液力耦合器调节功能)。

纯电调型的变频调速改造方案即将液力耦合器(以下简称“液偶”)改造成为或者更换成为增速齿轮箱, 改造后只有变频一种调节手段, 同时前置泵与给水泵电动机脱离^[3], 单独增加电动机驱动; 电液并存型变频调速方案有变频和工频两种调节手段, 前置泵不做改造, 仍然由给水泵电动机驱动, 改造后调速运行, 变频调节时因前置泵未进行改

造,为防止给水泵发生汽蚀在高负荷段液偶匀管位置100%,变频器调节给水流量,低负荷段变频器固定频率,液偶匀管调节给水流量。

上述两种方案在实践中皆有应用,从安全、节能、投资回报等多方面考虑,哪一种方案更为适应当前火力发电厂的实际情况,众说纷纭。为探讨两种方案的实际适用性,首先从理论出发,通过对液偶能耗的多方面分解,得出液偶能耗损失点及针对性解决方法,其次采集已完成的给水泵变频改造后实际案例的运行数据进行比对、运行工况进行分析。综合探讨液偶调节的锅炉电动给水泵组变频改造不保留液偶方案与保留液偶方案哪一个方案更为适用。

1 液偶调节电动给水泵的节能潜力

1.1 液偶调速的滑差热损耗

以600 MW等级机组为例,每台液偶工作油损耗热量在1.278 9 GJ左右,工作油冷油器冷却水量145 t/h,水的比热 $4.2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{C}$,工作油冷油器冷却水入/出口温差 2.1 C ,折合功率损耗不少于350 kW,若一台机组年运行7 000 h,年平均负荷率80%,单台液偶一年损耗电量超过245万度,两台就是490万度。

1.2 给水泵电动机偏离最佳运行经济点的损耗。

按国工况内火电机组设计规范,给水泵的设计工作点对应机组ECR水泵容量的1.2倍。机组年平均负荷在65%ECR~90%ECR之间,给水泵电动机经常处于远离额定负荷的工况下运行,而电动机运行于额定负荷下才有最高的效率^[4]。因电动机偏离最佳运行经济点的损耗占液偶调速电动给水泵总损耗的60%~75%。

1.3 间接调速方式的特性损耗

液偶调速方式为液力滑差间接调速,给水泵转速的变化不是由给水泵电动机直接产生,所以,偏离“功率和转速的三次方成正比”的高效运行方式,在液偶调速方式下,给水泵电动机始终在恒速运转,损耗了一定的功率^[4],占液偶调速电动给水泵总损耗的15%~20%。

2 两种方案的改造特点

2.1 纯电调型的变频调速改造方案特点(方案一)

通常,液偶调速电动给水泵占全厂厂用电率2.5%~3.1%,其中有30%功耗因技术方面的缺陷而被浪费,若采取有针对性的技术措施,降低液偶调速电动给水泵的能耗就可以实现节能的目的,取消液偶的纯电调变频调速具有最高相对节能量,如图1所示。

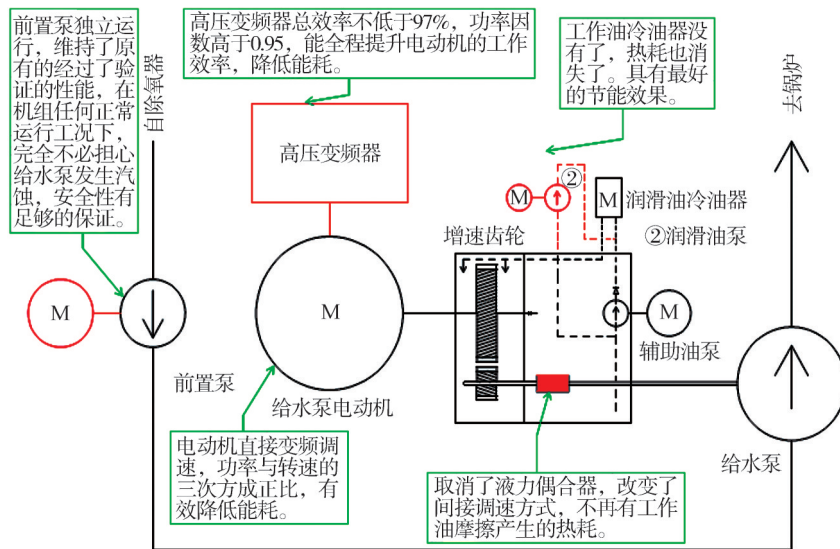


图1 纯电调变频调速节能分析图

Fig. 1 Pure electric adjustable frequency control of motor speed and energy saving analysis diagram

1) 给水泵电动机增配高压变频器,高压变频器总效率不低于97%,功率因素高于0.98,能全程

提升电动机的工作效率,降低能耗。

2) 取消液偶调节功能,改变了间接调速方式,

不再有工作油摩擦产生的热耗。

3) 电动机直接变频调速, 功率与转速的三次方成正比, 有效降低能耗。

4) 润滑油泵、前置泵外置独立运行。

2.2 电液并存型型的变频调速改造方案特点(方案二)

基于“给水泵变频调速, 变频器坏了怎么办”

的考虑, 设计了电液并存变频调节改造方案, 给水泵调速变频工作方式下, 液力耦合器勺管开至100%, 如图2所示。

- 1) 给水泵电动机增配高压变频器, 变频调速。
- 2) 液偶保留, 变频调速时液偶勺管开度至100%。
- 3) 工作油泵、润滑油泵外置独立运行, 冗余配置, 运行方式一用一备。

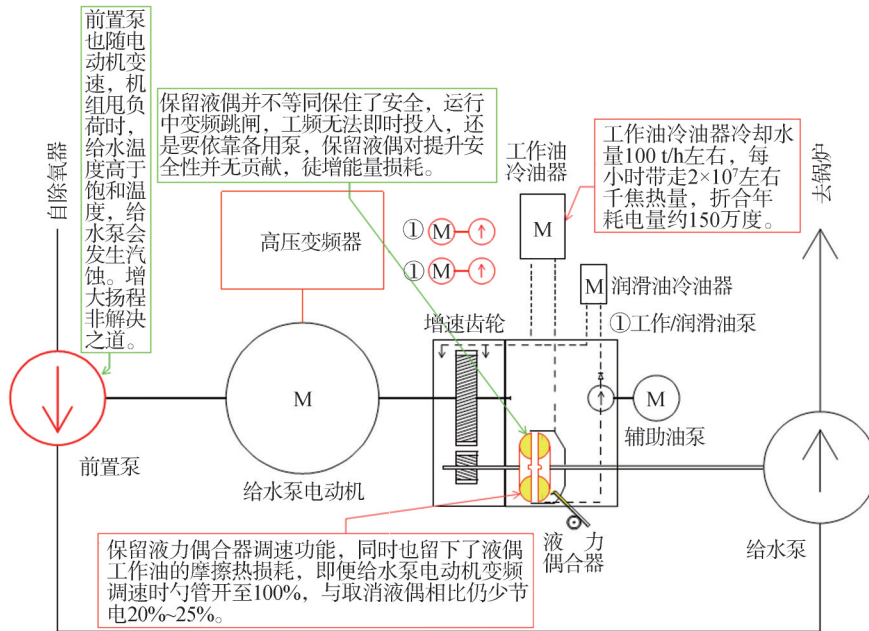


图2 电液并存变频调速节能分析图

Fig. 2 Electro-hydraulic coexist frequency control of motor speed and energy saving analysis diagram

4) 前置泵维持原有驱动方式, 随给水泵电动机变频变速。

3 两种方案的节能量对比

3.1 液力耦合器的滑差损耗

保留液偶调节功能, 变频器控制给水泵电动机转速时, 液偶勺管开至100%, 液偶的泵轮和涡轮存在固有滑差, 产生热量而消耗电动机的能量, 液偶铭牌给出最低3%滑差固有损耗数据, 但实际消耗的能量远比说明书给出的要高。液偶生产厂家公开资料给出的液偶效率曲线, 如图3所示。

由上图3可见, 即便液偶勺管开至100%, 液偶的滑差损耗也接近8%, 而不是常规说明书所述的小于3%, 当然, 通过实际运行测量出数据, 则结果更为可靠和真实。

3.2 实践对比

大同某发电厂, 2号机组(600 MW 亚临界)

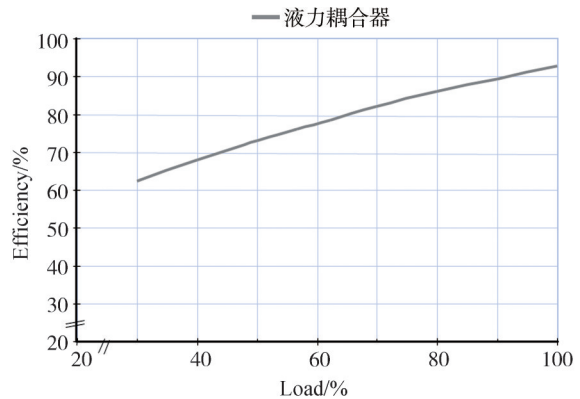


图3 液力耦合器公司给出的液偶效率曲线

Fig. 3 Hydraulic coupling company fluid coupling efficiency curve is given

采用纯电调型的变频调速改造方案改造(方案一), 于2016年12月份投运。晋城某发电厂, 8号机组(600 MW 亚临界, 与大同某发电厂机组类型一致)采用电液并存型型的变频调速改造方案(方案二),

于2018年5月份投运，两台同类型机组采用不同不同改造方案，改造后运行数据对比如表1所示。

表1 两个案例节能改造运行数据对比

Tab. 1 Energy-saving reconstruct two case run data contrast

负荷/MW	大同某电厂改造前后电流差/A		晋城某电厂改造前后电流差/A		方案一改造前后电流差—方案二改造前后电流差/A	
	A 电动给水泵	B 电动给水泵	A 电动给水泵	B 电动给水泵	A 电动给水泵	B 电动给水泵
420	190.51	193.19	115	110	75.51	83.19
450	175.27	184.86	113	106	62.27	78.86
480	163.44	191.65	101	93	62.44	98.65
530	169.74	191.52	87	79	82.74	112.52
570	149.14	158.02	73	63	76.14	95.02
平均值	169.62	183.85	98	90	71.62	93.85

1) 从表1中可以验证“纯电调方案比电液并存方案总体的节能率”的差异，机组实发功率570 MW时，纯电调方案改造前后电流差比电液并存方案改造前后电流差平均高85.58 A，减少电流27.86%，420 MW~570 MW负荷间两种方案改造前后电流差平均相差82.73 A，具体数值经过锅炉给水泵电机有功功率表的校正，纯电调方案的节电率比电液并存方案高25%左右。

2) 上述两个电厂皆采用合同能源管理方式(EMC)运作锅炉电动给水泵改造项目，节能量^[7]的测算需有国家认可且具备资质的第三方来完成，这些通过国家认证在政府备案的第三方节能测试机构给出的节能量数据具有绝对公信力，纯电调方案节能量高于电液并存方案的结论进一步得到权威性的确认。

3) 经已完成改造的电厂生产报表同比对比，采用纯电调方案的给水泵变频调速改造对降低厂用电率有不低于1%的贡献^[1]。液力耦合器相当一台大功率的电炉子，空耗电能，一年几百万度电都被液偶工作油冷油器消耗掉，保留液偶留下不可忽视的能量损耗。电液并存方案节能效果肯定不如纯电调方案。

4 两种方案的运行安全性对比

4.1 保留液力耦合器的变频调速并没有提高泵组的安全性

对机组配置3台50%MCR容量给水泵的给水系统来说，电动机变频调速后再保留液力耦合器，不能提高给水系统的安全性能，原因如下：

给水泵变频调速仍然保留液器伴随运行，实际上是对高压变频器设备质量安全存在担忧，考虑一

且在运的变频器故障退出，还可以转换成工频液偶调速，此种考虑没有必要。运行中的变频给水泵突然跳闸，工频液偶调速根本不能即时投入运行，第一时间还是连锁启动工频液偶的备用泵，备用泵的勺管在备用时通常放在10%~30%的开度上，输出转速比为30%~45%，备用给水泵是在半出力状态连锁启动，厂用电系统可以接受这种负荷冲击，而变频给水泵运行时，伴随运行的液偶勺管开度置于100%，变频跳闸的瞬间工频如果飞车合闸，等于给水泵全负荷启动，对厂用电系统产生何种影响无从估计，至少从以往的经验中发现要么拉低厂用电电压引发其他辅机设备跳闸，要么给水泵无法启动。

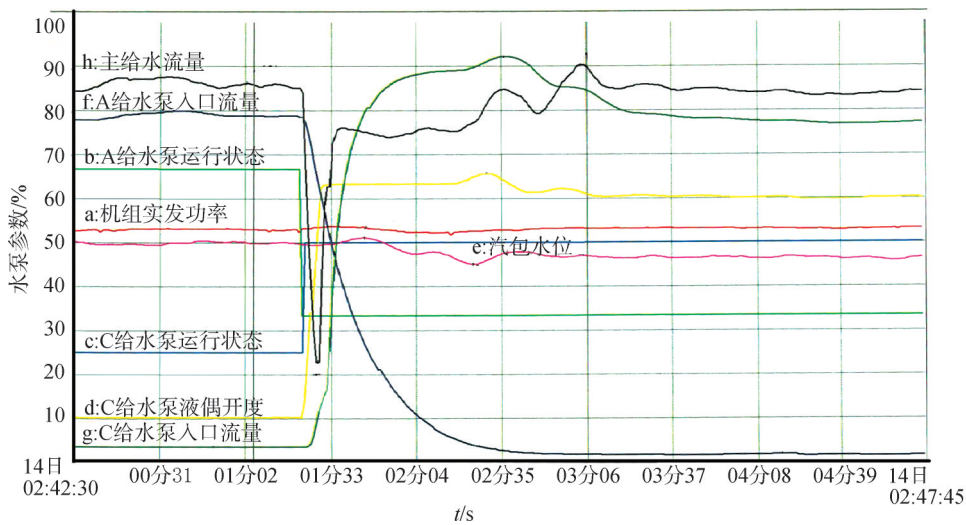
伴随运行的液偶起不到给水泵变频跳闸即连锁启动转入工频运行的作用。留着液偶伴运行除了多耗能源无其他用处，给水泵组都配置备用泵组，安全裕度已经足够宽泛，没有必要过度冗余，设备不是多多益善，反而增加故障点。变频给水泵跳闸靠的是备用泵。变频给水泵跳闸工频液偶备用泵即时连锁的实际记录如表2所示。

亚临界300 MW等级以上机组配置3台50%MCR容量给水泵。控制策略都是两合并列运行的给水泵若其中一台因故退出运行，立即启动备用泵，如果3 s后备用泵启动不成功，则超驰为RB控制。上述宁夏某330 MW机组电厂实地调研考察。获取了给水泵跳闸连锁的不同时间的两次记录，如实的记录了六盘山热电厂给水泵变频改造后的两次变频运行泵A跳闸（跳闸原因为MCC中控继电器故障，更换后再没有出现故障，与变频器无关。）即时成功连锁工频备用C泵（没有进行变频改造）的主要参数和DCS趋势图，如图4、图5所示。

表2 宁夏某330 MW机组电厂电动给水泵变频改造后抢水记录

Tab. 2 A 330 MW power plant in ningxia electric feed water pump frequency conversion after transforming water records

参数	(2013年10月14日)		(2013年11月9日)	
	A泵跳闸成功联锁C泵		A泵跳闸成功联锁C泵	
发电机实发功率/MW	272.8	275.5	272.01	212.95
汽包水位/mm	-33.27	16.25	-68.00	15.88
总给水流量/(m ³ ·h ⁻¹)	575.2	1 053.3	160	632
A泵出口流量(变频)/(m ³ ·h ⁻¹)	A泵跳闸前	跳闸后	A泵跳闸前	跳闸后
	494.8	15.3	646	14.15
C泵出口流量(工频)/(m ³ ·h ⁻¹)	C泵热备用	C泵跟踪运行	C泵热备用	C泵跟踪运行
	30.1	610.7	29.36	756.3
C泵液偶管开度(备用泵)/%	10.35	65.00	10.36	65.56



注: a为机组实发功率; b为A给水泵运行状态; c为C给水泵运行状态; d为C给水泵液偶开度; e为汽包水位; f为A给水泵入口流量; g为C给水泵入口流量; h为主给水流量。

图4 趋势记录A泵跳闸成功联锁C泵(2013年10月14日)

Fig. 4 A pump tripping interlock successful C pump trends record(on October 14, 2013)

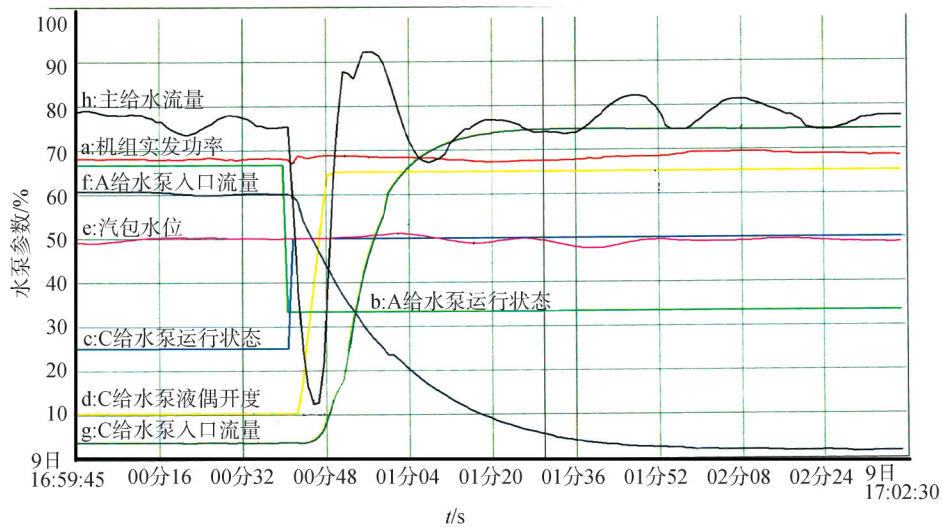
4.2 变频器的可靠性值得信任

在给水泵组变频改造方案技术中, 坚持保留液偶功能最重要的理由就是“如果变频器一旦异常退出, 保留液偶还能工频运行”。从系统角度出发, 两用一备的给水泵组, 已经具有足够的安全备用容量。其中一台在运变频调速泵退出, 备用泵即时可以投入运行。变频器是否能够在短时间内恢复正常工作, 用实际运行案例来回答最为有力和恰当。最早用于国内首台330 MW等级机组容量为6.900 MVA/6kV国产高压变频器已运行长达七年, 从未出现过导致退出运行的故障, 足以说明变频器可靠性是值得信任的。变频器的运行安全需要多方面综合设计, 如变频器的容量选择、

运行环境的布置、环境的防尘降温, 种种因素都对变频器的安全运行有直接影响, 若按标准要求设计, 变频器的运行安全和维护性能完全不会低于液力偶合器。

5 结论

从安全角度考虑, 随着电力电子技术的不断突破, 变频器的可靠性和维护的便利性完全满足电厂长期运行安全的要求, 再而火力发电厂电动给水泵都设计了备用泵, 无论采用方案一还是方案二, 若变频出现问题首先都是联启备用泵, 所以液偶改造后的安全完全有保证。从节能方面考虑, 通过上述理论及实际运行数据分析, 纯电调



注: a为机组实发功率; b为A给水泵运行状态; c为C给水泵运行状态; d为C给水泵液偶开度; e为汽包水位; f为A给水泵入口流量; g为C给水泵入口流量; h为主给水流量。

图5 趋势记录A泵跳闸成功联锁C泵(2013年11月9日)

Fig. 5 A pump tripping interlock successful C pump trends record (on November 9, 2013)

方案比保留液力耦合器方案总体的节能率高出25%。根据国内按纯电调改造的案例,可降低综合厂用电率0.9%~1.2%。通过查阅分析改造设备的公开资料,采集已完成的实际运行案例的多个工况下的运行数据,理论固然重要,实用才是王道,结合理论经过实践证明纯电调方案最为安全、经济。

在本次液偶改造方案分探讨过程中,火力发电厂配置的给水泵电动机额定转速一般为1 500 r/min或者3 000 r/min,被驱动对象给水泵的额定转速在6 000 r/min左右,故给水泵改造前需要液偶调速的同时还需液偶的大小齿轮组进行增速,给水泵变频改造后采用变频器替代液偶调速但仍需液偶增速。据了解,当前已有转速可达6 000 r/min以上的高速电动机,那么将来新建电厂可以考虑高速电机直连给水泵加变频器调节转速方案的可行性,省去电动机与给水泵中间的机械增速传递设备,节省投资成本、能耗及设备空间。

参考文献:

- [1] 徐甫荣. 发电厂锅炉给水泵变频改造方案分析(下) [J]. 变频器世界, 2014(5): 71-73+80.
XU F R. Power plant boiler feed water pump frequency conversion retrofit scheme analysis (bottom) [J]. The World of Inverters, 2014(5): 71-73+80.
- [2] 周云健. 火力发电厂电动给水泵调速系统变频改造可行性探

讨 [J]. 科技创新导报, 2016, 13(14): 35-36+38.

ZHOU Y J. Thermal power plant electric feed water pump speed control system of inverter feasibility study [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016, 13(14): 35-36+38.

- [3] 张武志, 陈国松. 带前置泵的电动给水泵变频改造 [J]. 发电与空调, 2017, 38(2): 46-49.

ZHANG W Z, CHEN G S. With the electric feed water pump booster pump frequency conversion transformation [J]. Power Generation & Air Condition, 2017, 38(2): 46-49.

- [4] 欧卫海. 液偶调速电动给水泵节能改造方案解析——行星齿轮变矩调速器与变频器方案对比 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊1): 22-26.

OU W H. Boiler feedwater pump hydraulic coupler energy saving retrofit scheme——compare of planetary gear torque speed solution and variable frequency drive solution [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 22-26.

作者简介:



张鹏飞

张鹏飞 (通信作者)

1989-, 男, 陕西西安人, 广州智光节能有限公司电厂技术研究部技术副经理, 工程师, 自动化专业学士, 主要从事火力发电厂节能改造项目研究及施工工作 (e-mail) zpf1989111@163.com.

(责任编辑 李辉)