

# 监控 PLC 程序缺陷导致风闸异常投入的故障分析

李 毅

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局,四川 彭山 620860)

**摘 要:**在水电站大量应用 PLC 进行设备控制的情况下,故障的发生提醒我们除了要重视 PLC 硬件的质量外,还应加强对 PLC 程序的检查,不仅要检查开入信号和开出命令与外部实际接线的一致性,同时也要检查程序控制的逻辑正确性,减少和消除程序 BUG 的存在,以便能保障机组的安全稳定运行。

**关键词:**(PLC);自动开机;风闸投入;故障原因

**中图分类号:**X924.3;U472.42      **文献标识码:** B      **文章编号:**1001-2184(2014)03-0141-06

## 1 概 述

随着可编程控制技术的飞速发展,大量的可编程逻辑控制器(简称 PLC)已广泛应用在水电机组控制系统中。机组监控由最初的中控台上的控制按钮和表计被计算机监控系统所代替,不仅实现了机组的自动控制,也节省了运行人员数量,提高了工作效率。因此,计算机监控系统在水电站机组安全运行中起到了关键性作用。

## 2 计算机监控系统

计算机监控系统按布置位置,可划分为上位机系统和下位机系统。上位机系统一般布置在中控室,主要包括网络服务器、操作员站、工程师站等,其功能是监控整个水电站设备运行状况,向对应机组或开关站的下位机下达操作指令。下位机系统一般布置在机旁和开关站,简称现地 LCU,根据其控制对象的不同,可分为机组 LCU、公用 LCU 和开关站 LCU。主要包括 PLC、触摸屏、继电器和各种表计,其功能是监控机组、公用设备或开关站设备的运行状况,接收上位机指令,向上位机传送机组状态信息,控制操作调速器、励磁等系统。

计算机监控系统一般由硬件和软件两大部分组成,硬件部分主要包括 CPU 模块、DI 模块、AI 模块和 DO 模块,以及电源模块和继电器等,软件部分主要包括上位机的监控程序、通讯程序、数据库和下位机的控制程序,其中下位机的控制程序主要用于控制机组各系统的操作,是计算机监控程序中最为重要的部分。由于各个水电站机组控

制的要求不同,因此下位机控制程序一般都是在工地现场编写,而往往受编程人员工作经验、调试工期短等问题的影响,其控制程序容易出现一些影响机组正常运行的问题。

下面就某水电站因机组 LCU 的 PLC 控制程序缺陷造成在机组自动开机过程中出现风闸自动顶起的故障作具体分析。

## 3 自动开机过程中风闸自动顶起的故障原因

某水电站第三台机组在完成 72 小时试运行并完成消缺工作后,准备再次开机并网后移交电厂,但在机组自动开机过程中出现了风闸自动顶起的故障。当时的计算机监控系统报文如下:

15:19:22:767 3号机开机条件准备好 动作

15:30:38:495 3号机 LCU 把手现地位置

动作

15:30:38:495 3号机 LCU 把手远方位置

复归

15:31:35:435 3号机停机到发电令 动作

15:31:35:435 3号机开机令过程(触摸屏用) 动作

15:31:35:435 3号机开技术供水偏心球阀(开出) 动作

15:31:36:023 3号机开技术供水偏心球阀(开出) 复归

15:32:14:547 3号机手动停机 动作

15:32:14:879 3号机停机到发电令 复归

15:32:14:879 3号机停机令过程 动作

15:32:14:879 3号机复归反向充气电磁阀(开出) 动作

收稿日期:2014-05-30

|                                                                                                                                                              |                                                         |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| 15:32:14:879 3 号机调速器停机令(开出) 动作                                                                                                                               | 置 复归                                                    | 15:44:20:865 3 号机技术供水总阀全关位   |
| 15:32:14:879 3 号机励磁停机令(开出) 动作                                                                                                                                | 置 动作                                                    | 15:44:44:313 3 号机技术供水总阀全关位   |
| 15:32:14:879 3 号机分发电机断路器第二跳闸线圈(开出) 动作                                                                                                                        | 置 复归                                                    | 15:45:36:510 3 号机技术供水总阀全关位   |
| 15:32:14:879 3 号机分发电机断路器第一跳闸线圈(开出) 动作                                                                                                                        | 置 动作                                                    | 16:00:44:685 3 号机技术供水总阀全关位   |
| 15:32:16:021 3 号机复归反向充气电磁阀(开出) 复归                                                                                                                            | 置 复归                                                    | 16:25:37:417 3 号机技术供水总阀全开位   |
| 15:32:16:618 3 号机停机令过程 复归                                                                                                                                    | 置 动作                                                    | 16:25:55:651 3 号机技术供水总阀远方位   |
| 15:32:16:618 3 号机调速器停机令(开出) 复归                                                                                                                               | 置 动作                                                    | 16:32:49:585 3 号机触摸屏发关技术供水   |
| 15:32:16:618 3 号机励磁停机令(开出) 复归                                                                                                                                | 动作                                                      | 16:32:49:585 3 号机关技术供水偏心球阀   |
| 15:32:16:618 3 号机分发电机断路器第二跳闸线圈(开出) 复归                                                                                                                        | (开出) 动作                                                 | 16:32:50:146 3 号机触摸屏发关技术供水   |
| 15:32:16:618 3 号机分发电机断路器第一跳闸线圈(开出) 复归                                                                                                                        | 复归                                                      | 16:32:50:146 3 号机关技术供水偏心球阀   |
| 15:32:16:286 3 号机手动停机 复归                                                                                                                                     | (开出) 复归                                                 | 16:32:50:703 3 号机技术供水总阀全开位   |
| 从此段报文分析可知,15:31 操作人员在现地 LCU 的触摸屏下发了机组停机到发电的指令,监控程序开始执行停机到发电流程,在发出开技术供水偏心球阀命令后,15:32 操作人员又按动了停机按钮,监控程序开始执行停机流程。询问操作人员后得知,当时要求机组开机至空转,结果误发停机到发电令,因此就马上按动了停机按钮。 |                                                         |                              |
| 15:33:06:353 3 号机停机到空转令 动作                                                                                                                                   | 置 复归                                                    | 16:33:25:116 3 号机技术供水总阀全关位   |
| 15:33:06:353 3 号机开技术供水偏心球阀(开出) 动作                                                                                                                            | 置 动作                                                    | 16:33:33:230 3 号机冷却水已关闭 动作   |
| 15:33:06:924 3 号机开技术供水偏心球阀(开出) 复归                                                                                                                            | 从此段报文分析可知,在 15:39 到 16:33 这段时间内,操作人员分别在现地和远方操作技术供水偏心球阀。 |                              |
| 15:39:05:287 3 号机停机到空转令 复归                                                                                                                                   | 16:33:34:342 3 号机停机到空转令 动作                              | 16:33:34:342 3 号机触摸屏发空转令 动作  |
| 15:39:05:287 3 号机开机超时 动作                                                                                                                                     | 16:33:34:342 3 号机开机令过程(触摸屏用) 动作                         | 16:33:34:342 3 号机开技术供水偏心球阀   |
| 从此段报文分析可知,15:33 操作人员在现地 LCU 的触摸屏下发了机组停机到空转的指令,监控程序执行停机到空转流程,在发出开技术供水偏心球阀命令后,由于在规定时间内未收到球阀全开信号,流程不能继续执行,导致开机超时。                                               |                                                         |                              |
| 15:39:21:744 3 号机技术供水总阀远方位 置 复归                                                                                                                              | (开出) 动作                                                 | 16:33:34:892 3 号机触摸屏发空转令 复归  |
| 15:43:54:394 3 号机技术供水总阀全关位                                                                                                                                   | 16:33:35:472 3 号机技术供水总阀全关位 置 复归                         | 16:33:35:472 3 号机开技术供水偏心球阀   |
|                                                                                                                                                              | (开出) 复归                                                 | 16:33:41:671 3 号机技术供水总管无压 复归 |

|                                        |                                            |                                         |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 16:33:41:686 3 号机技术供水总管有压<br>动作        | 动作                                         | 16:34:26:678 3 号机调速器开机令(开出)             |
| 16:33:43:371 3 号机 2#推力冷却水有流<br>动作      | 复归                                         | 16:34:36:875 3 号机导叶全关以下通 复归             |
| 16:33:45:469 3 号机上导冷却水有流 动作            | 16:34:36:875 3 号机启动吸排油泵(开出)                | 动作                                      |
| 16:33:45:469 3 号机 1 号推力冷却水有流<br>动作     | 16:34:37:433 3 号机导水叶全关以下通<br>(水机 PLC) 复归   | 16:34:38:540 3 号机导叶空载以下通 复归             |
| 16:33:46:028 3 号机空气冷却器水有流<br>动作        | 16:34:40:214 3 号机启动吸排油泵(开出)                | 复归                                      |
| 16:33:46:603 3 号机水导冷却水有流 动作            | 16:34:44:298 3 号机机组 5% 额定转速<br>复归          | 16:34:45:544 3 号机机组电加热器退出<br>动作         |
| 16:33:46:603 3 号机机组冷却水正常 动作            | 16:34:46:661 3 号机导叶空载以上通 动作                | 16:34:47:783 3 号机导叶稍高于空载以下<br>通(拐点) 复归  |
| 16:34:09:714 3 号机技术供水总阀全开位<br>置 动作     | 16:34:47:783 3 号机机组电气转速 5% (水<br>机 PLC) 复归 | 16:34:48:337 3 号机导叶空载以下通(水<br>机 PLC) 复归 |
| 16:34:09:714 3 号机开主用密封水电磁阀<br>过程 动作    | 16:34:48:337 3 号机导叶拐点(水机 PLC)<br>复归        | 16:34:48:414 3 号机机组 20% 额定转速<br>复归      |
| 16:34:09:714 3 号机开启主用密封水电磁<br>阀(开出) 动作 | 16:34:49:480 3 号机制动闸全部落下 复归                | 16:34:49:480 3 号机制动器位置开关 13<br>落下位置 复归  |
| 16:34:10:290 3 号机主轴密封水主用电动<br>阀全关位置 复归 | 16:34:49:480 3 号机制动器位置开关 16<br>落下位置 复归     | 16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 2 落<br>下位置 复归  |
| 16:34:16:544 3 号机主轴密封水主用电动<br>阀全开位置 动作 | 16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 4 落<br>下位置 复归     | 16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 5 落<br>下位置 复归  |
| 16:34:16:544 3 号机开启主用密封水电磁<br>阀(开出) 复归 | 16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 6 落<br>下位置 复归     | 16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 8 落<br>下位置 复归  |
| 16:34:17:113 3 号机主轴密封水有流 动作            | 16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 9 落               |                                         |
| 16:34:17:113 3 号机各导冷却水流量正常<br>动作       |                                            |                                         |
| 16:34:17:113 3 号机复归空气围带电磁阀<br>(开出) 动作  |                                            |                                         |
| 16:34:17:679 3 号机空气围带有压 复归             |                                            |                                         |
| 16:34:17:679 3 号机复归空气围带电磁阀<br>(开出) 复归  |                                            |                                         |
| 16:34:22:251 3 号机主轴密封水延时有流<br>动作       |                                            |                                         |
| 16:34:22:808 3 号机拔接力器锁定电磁阀<br>(开出) 动作  |                                            |                                         |
| 16:34:22:808 3 号机接力器锁定投入位置<br>复归       |                                            |                                         |
| 16:34:23:365 3 号机接力器锁定拔出位置<br>动作       |                                            |                                         |
| 16:34:23:365 3 号机拔接力器锁定电磁阀<br>(开出) 复归  |                                            |                                         |
| 16:34:23:365 3 号机调速器开机令(开出)            |                                            |                                         |

下位置 复归

16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 10

落下位置 复归

16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 14

落下位置 复归

16:34:50:037 3 号机制动器位置开关 15

落下位置 复归

16:34:50:037 3 号机机组制动闸下腔有压  
动作

16:34:50:037 3 号机机组制动闸下腔无压  
复归

16:34:50:589 3 号机制动器位置开关 1 落

下位置 复归

16:34:50:589 3 号机制动器位置开关 3 落

下位置 复归

16:34:50:589 3 号机制动器位置开关 7 落

下位置 复归

16:34:50:589 3 号机制动器位置开关 11

落下位置 复归

16:34:51:142 3 号机制动器位置开关 12

落下位置 复归

16:34:52:225 3 号机机组电气转速 20%  
(水机 PLC) 复归

从此段报文分析可知,16:33:34 操作人员再次在现地 LCU 的触摸屏下发了机组停机到空转的指令,监控程序执行停机到空转流程,流程执行正常,16:34:23 发调速器开机令,到此时流程控制开出已完成,然而在 16:34:49 故障发生,风闸被异常顶起。询问操作人员后得知,当时没有人去手动操作风闸,因此,分析是风闸制动电磁阀动作导致了风闸异常顶起。

根据设计图纸分析,风闸电磁阀无单独的操作按钮,只受机组监控 PLC(控制机组的自动开、停机操作和事故停机、紧急事故停机操作)和水机保护 PLC(控制机组的事故停机和紧急事故停机操作,与监控 PLC 构成双重保护)的控制。同时对风闸电磁阀控制回路接线进行了检查,其接线正确,无寄生回路存在,因此初步判定是机组监控 PLC 或水机保护 PLC 发出了控制指令。

监控 PLC 控制风闸电磁阀的程序见图 1:

从图 1 的控制程序分析可知,监控 PLC 在三种条件下控制制动电磁阀的开出:一是在停机过

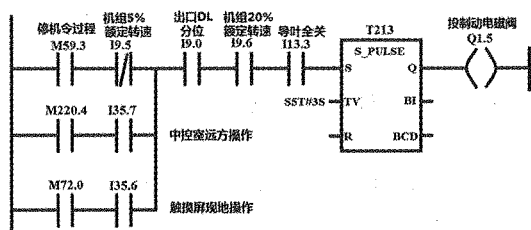


图 1 监控 PLC 控制风闸制动电磁阀程序图

程中,二是中控室远方操作,三是触摸屏现地操作。当时监控 PLC 的控制权限在现地,中控远方无法进行操作,同时操作人员也没有在触摸屏进行制动电磁阀的操作,而且通过报文可知监控 PLC 在故障时刻执行的是停机到空转流程,同时 I13.3“导叶全关”信号已在 16:34:36 复归、I9.6“机组 20% 额定转速”信号也在 16:34:48 复归,监控 PLC 开出制动电磁阀投入指令的条件不满足,因此可完全排除监控 PLC 程序的问题。

水机保护 PLC 控制风闸电磁阀的程序见图 2:

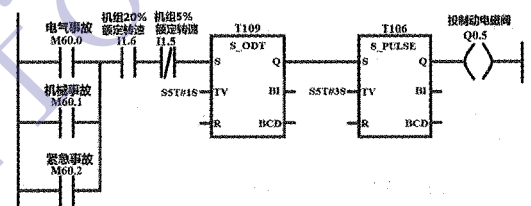


图 2 水机保护 PLC 控制风闸制动电磁阀程序图

从图 2 的控制程序分析可知,水机保护 PLC 只有在事故停机或紧急事故停机的情况下控制制动电磁阀开出。从当时的监控报文分析,没有任何事故停机信号开入,似乎也能排除水机保护 PLC 程序的问题。

如果两个 PLC 的控制程序均正常,那问题出在什么地方呢?为此,对监控 PLC 和水机保护 PLC 的控制程序进行了全面检查,发现水机保护 PLC 的事故停机和紧急事故停机启动程序存在隐患。

从图 3 分析可知,当外部信号开入满足 M60.0(电气事故停机)、M60.1(机械事故停机)或 M60.2(紧急事故停机)的动作条件后,水机保护 PLC 将正常执行停机流程。但如果在流程执行完毕、机组停机后,操作人员没有按动复归按钮,则其动作状态将一直保持。

同时也对当时的监控报文重新进行了梳理,发现了两条关键信息:“16:34:47:783 3 号机机组电气转速 5%(水机 PLC)复归”、“16:34:52:





无法自动开机的。

为验证分析结果的正确性,专门进行了 4 次试验。

第 1 次试验:分别取下监控 PLC 和水机保护 PLC 的控制风闸制动电磁阀的开出继电器,然后在触摸屏发停机到空转令,机组能自动开机至额定转速。风闸没有自动投入。

第 2 次试验:取下监控 PLC 的所有开出继电器,然后为监控 PLC 模拟一个电气事故信号并保持,触摸屏显示机组开机条件未准备好,无法开机。

第 3 次试验:首先拆下风闸制动电磁阀的接线插头,用万用表监测插头两端的电压为 0,同时取下监控 PLC 的控制风闸制动电磁阀的开出继电器和水机保护 PLC 除控制风闸制动电磁阀以外的开出继电器,然后给水机保护 PLC 模拟一个脉冲型的电气事故信号。在触摸屏上发停机到空转令,机组能自动开机,但在 5% 额定转速信号接点复归后,万用表监测到插头两端有 220 V 的电压。

第 4 次试验:准备工作与第 3 次试验相同,只是在给水机保护 PLC 模拟一个脉冲型的电气事故信号后,按动了复归按钮。然后在触摸屏上发停机到空转令,机组能自动开机至额定转速。万用表监测到插头两端的电压始终为 0。

通过这 4 次试验,完全确认了对于在机组自动开机过程中风闸自动投入的故障分析结论是正确的。

#### 4 水机保护 PLC 程序和接线的缺陷及改进

水机保护 PLC 程序和接线的缺陷有如下 3 点:

(1) 风闸制动电磁阀控制程序中未引入“导叶全关”信号。

(2) 没有输出水机保护 PLC 程序中事故停机、紧急事故停机状态的二次接线至监控 PLC,使得监控 PLC 无法判断水机保护 PLC 的状态。

(3) 水机保护 PLC 未配置触摸屏,操作人员无法观察水机保护 PLC 的输入、输出信号和程序中的事故停机、紧急事故停机状态,容易忽略事故停机后的复归操作。

针对以上 3 点缺陷,对水机保护 PLC 程序作了如下修改:对于第 1 点缺陷,在风闸制动电磁阀控制程序中加入了“导叶全关”信号;对于第 2 点缺陷,在程序中加入输出至监控 PLC 的停机状态,增加对应的开出继电器接线至监控 PLC 开

人,同时在触摸屏增加水机 PLC 停机令状态的显示,并在监控 PLC 程序的开机条件判据 M62.6 中增加对这两个信号的判断(当这两个信号有任意一个存在时,则开机条件不满足);对于第 3 点缺陷,在程序中加入延时自动复归命令。修改后的程序分别见图 7、图 8、图 9 和图 10。

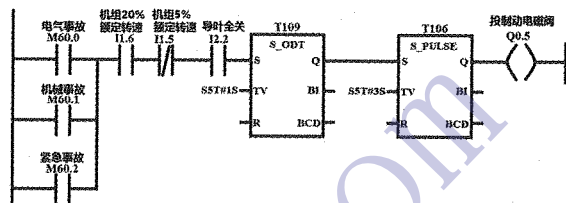


图 7 修改后的水机保护 PLC 程序 (加入“导叶全关”信号)

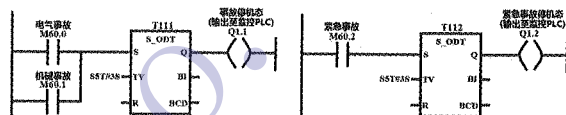


图 8 修改后的水机保护 PLC 程序 (加入停机态输出至监控 PLC)

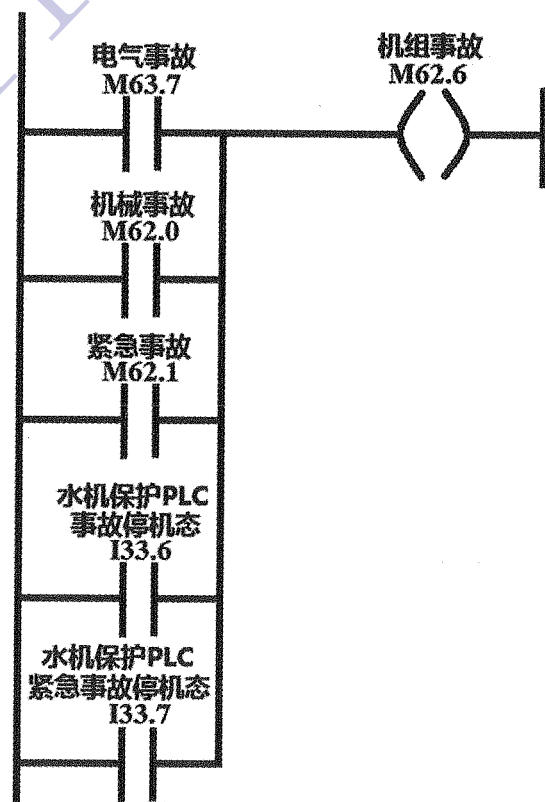


图 9 修改后的监控 PLC 程序  
(在开机条件判据 M62.6 中加入水机保护  
(下转第 158 页))

困难一:工区上下游受 S211 复建公路影响,管限制及危险路段长达百公里,对外交通、设备物资运输难度增大。

困难二:高陡环境边坡治理、深窄河谷开挖施工难度大,环境边坡的治理占工程直线工期近 1 年。主/被动防护网达 18.5 万立方米;深厚覆盖层基坑开挖达 75 米、455.8 万立方米,对工程进度有一定影响。

困难三:面板堆石坝高达 223.5 米,河谷宽高比约 1:1.25,在已建、在建的面板堆石坝中,属于特别狭窄的河谷。大坝堆石体的后期变形时间长、变形量相对较大,对于面板的运行条件不利。

.....

困难虽多,也难不住披荆斩棘、勇往直前的大渡河征服者。

饱览猴子岩水电站大坝施工现场的热烈场面,已是下午 6 点。按照预定计划,入住猴子岩水电公司营地。由于这里河道极其狭窄,两岸峭壁

入云,我们从半空飘飘然坠入谷底,再从谷底盘旋着爬上半空,便是公司员工们安身立命之所,在这里,你才真正能读懂什么是“白云深处有人家”。这块能够安营扎寨的地盘,是猴子岩公司在半山腰仅有的一块坡度很大的坡地上“开垦”出来的。尽管地盘极其有限,寸土寸金,公司还腾出一块地来为当地建了一所学校,为职工修了既可锻炼身体又可打发时日的篮球场。这里,上不着天,下不着地,生活的艰苦可想而知。

入住时刻,记者还了解到一则最新消息,在我们到来之前的几天,即 5 月 23 日,猴子岩水电站首台 4 号机组首节尾水肘管的顺利吊装就位,每台机组肘管共分 10 节,总重量 122.083 吨,肘管进口直径为 7956 毫米。肘管的成功安装,标志着该电站地下厂房工程由土建施工向机电安装转序。这是只在外面观景台上不能看到的场景。夜,听不见大渡河的奔流声。(下部分载增刊 1)

(责任编辑:姚国寿)

(上接第 146 页)

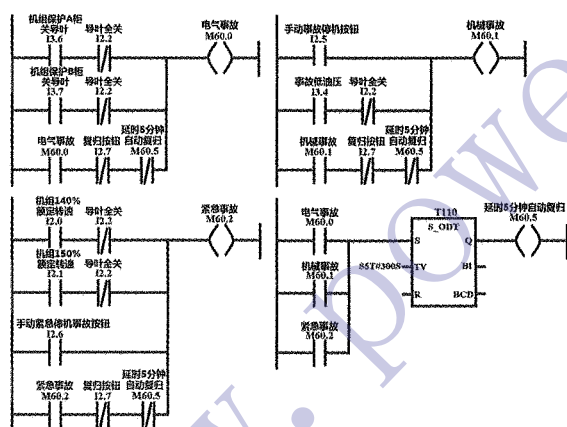


图 10 修改后的水机保护 PLC 程序  
(加入延时自动复归命令)

PLC 的停机态信号)

## 5 结 语

在水电站大量应用 PLC 进行设备控制的情况下,通过此次故障的发生,提醒我们除了要重视 PLC 硬件的质量外,还应加强对 PLC 程序的检查,不仅要检查开入信号和开出命令与外部实际接线的一致性,同时也要检查程序控制的逻辑正确性,减少和消除程序 BUG 的存在,以便能保障机组的安全稳定运行。

作者简介:

李 毅(1977-),男,重庆合川人,四川大学电气工程及其自动化专业本科毕业,高级工程师,就职于中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局电气试验室,从事水电站机组安装调试工作。

(责任编辑:卓政昌)

## 国网八大特高压获准 华北联网有望

近日,1 000 千伏淮南-南京-上海特高压交流工程获得国家发改委核准。该工程为落实《大气污染防治行动计划》,国家即将批准建设的 12 条输电通道之一,其中包括国家电网公司 4 条特高压交流工程和 4 条特高压直流工程。2014 年 5 月 13 日,国家电网公司向外界公布了此消息。电力行业知情人士表示,中国国际工程咨询公司(下称“中咨公司”)“有前提条件的”认同电力规划设计总院制定的电网投资方案。该方案由国家能源局委托中咨公司进行评估。此外,随着华东电网最后一条线路(淮南-南京-上海特高压交流工程)于 4 月下旬获批,特高压交流的步伐有望迈向华北电网。