

减少火电机组蒸汽吹灰系统的故障次数

(浙能嘉华发电有限公司)

一、背景与挑战

(一) 行业背景

结焦、积灰是燃煤电站锅炉运行中存在的难题，在锅炉设计时通常配有一定数量的吹灰器，吹灰器对防止锅炉受热面积灰、结焦，避免尾部烟道、空气预热器二次燃烧，提高传热效率，保证锅炉机组的安全经济安全运行起到十分重要作用。蒸汽吹灰器以其吹灰介质价廉易得、吹灰用时短、吹灰效果显著等优点得到广泛应用。目前，大多数电厂的燃煤锅炉，尤其是炉膛、水平烟道等位置均安装蒸汽吹灰器。

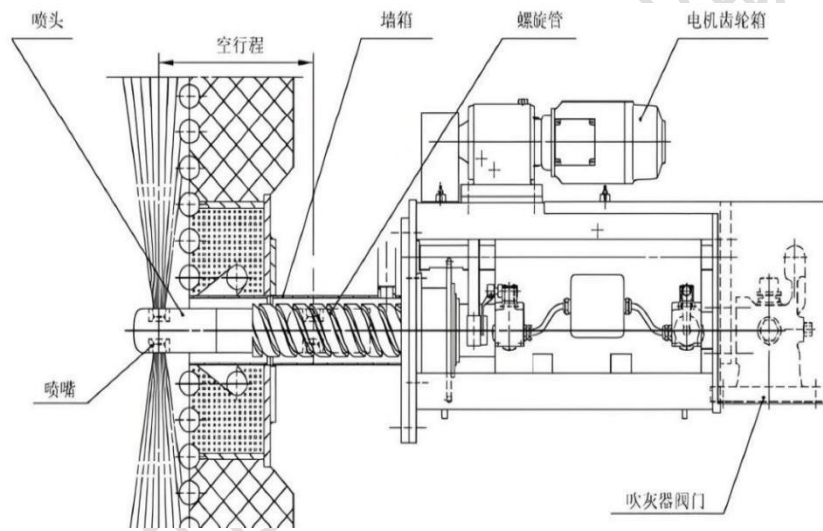


图 1-1、蒸汽吹灰器结构图

(二) 企业设备现状

浙江浙能嘉华发电有限公司，简称嘉兴发电厂，全厂所属 9 台机组先后分四期且全部作为国家重点建设项目建成投产，其中 8 号机组锅炉共布置了长伸缩式吹灰器（长吹）50 支、短伸缩式吹灰器（短吹）104 支，共计 154 支蒸汽吹灰器；锅炉本体的吹灰器的汽源抽自再热器的入口管道，设置一个蒸汽减压站。蒸汽减压后送往吹灰器，吹灰器采用程序控制。吹灰管路系统由吹灰汽源减压站、流量检测报警装置、疏水装置、管道及弯头、仪表、管道和弯头支吊架及导向装置、吹灰器固定件及密封件等组成，如图所示。

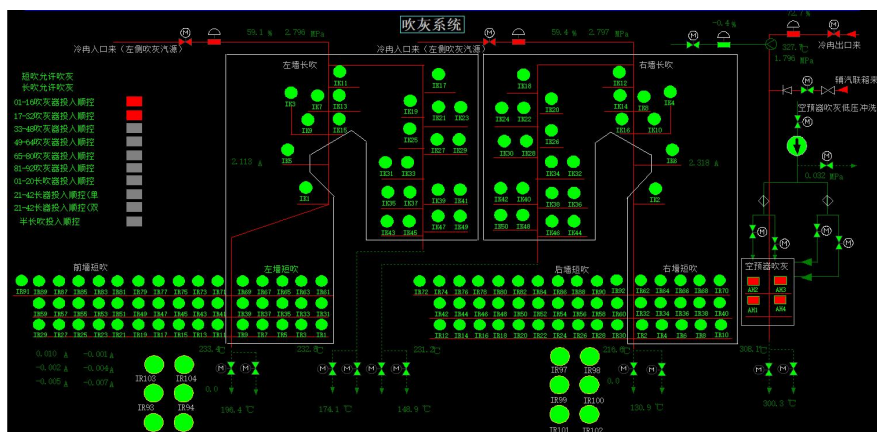


图 1-2、8 号机蒸汽吹灰系统布置图

通过对 2024 年 5 月至 12 月期间的数据统计，由图表调查表明，公司 8 号机组蒸汽吹灰系统月均故障次数达 4.25 次/月，明显高于同类型先进机组，例如国能九江电厂 2 号机组的月均 1.75 次。

表 1-1、蒸汽吹灰系统故障与先进机组对比表

月份	5	6	7	8	9	10	11	12	总计	月均
机组	月	月	月	月	月	月	月	月	(次)	(次)
九江 2 号机	1	2	2	0	3	1	2	3	14	1.75
嘉华 8 号机	4	5	4	3	3	5	4	6	34	4.25

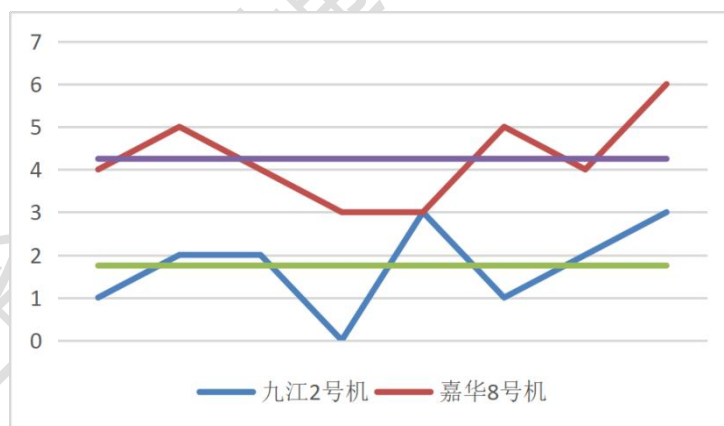


图 1-3、2024 年各机组蒸汽吹灰系统故障次数

经系统分层调查，发现故障主要集中在吹灰器故障，其中长吹故障占吹灰器故障的 83.9%。进一步深挖分析，发现长吹故障现象包括电动机故障、吹灰枪管卡涩、提升阀泄漏等，而提升阀泄漏占长吹故障的 92.3%，是导致系统故障的核心症结所在，如图所示。

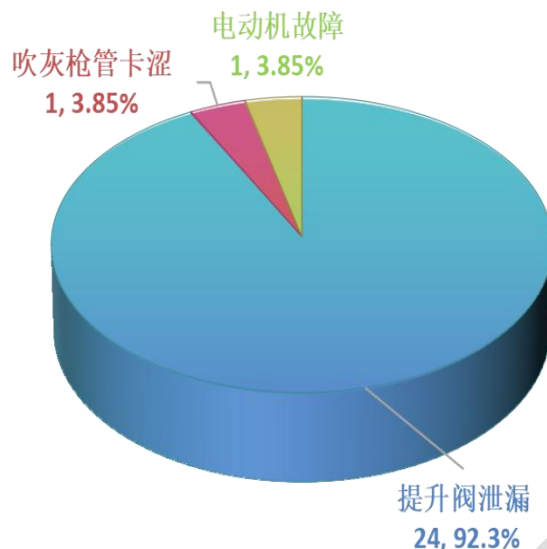


图 1-4、长吹故障分层调查统计图

提升阀泄漏不仅造成蒸汽浪费，更可能导致吹灰器枪管吹损、甚至水冷壁管泄漏等重大设备事故，严重影响机组安全经济运行。

（三）现存核心挑战

1、运行工艺缺陷：原吹灰程序暖管疏水仅 480 秒，蒸汽过热度不足 20℃，饱和蒸汽含水冲刷提升阀密封面，长期运行造成阀内漏频发。

2、监测手段落后：仅依靠人工巡检判断泄漏，内漏初期无法识别，轻微泄漏平均 6.2 小时后才被发现，小漏持续扩大为设备故障。

3、缺乏预警体系：无实时在线监测报警机制，故障被动检修，备品损耗、人工检修成本高，存在四管泄漏安全隐患。

4、元件拆装困难：传统测温元件焊接固定，吹灰器检修拆卸工序繁琐，测量误差大，无标准化适配方案。

（四）项目目标可行性论证

1、目标设定依据

横向比较：同类型机组

小组成员对 2024 年 5 月至 12 月期间，国内其他同类型燃煤机组的蒸汽吹灰系统故障次数进行调查，调查结果见下表：

表 1-2 国内其他燃煤机组故障次数调查统计表

同类型机组	国能神 华九江	华润曹妃 甸	国投北疆	国华粤电 台山
月均故障次数	1.75	1.92	1.83	1.68

从表 1-2 可知，2024 年 5 月至 12 月期间，国内其他同类型机组的故障次数都未超过 1.92 次/月。

纵向比较：症结解决程度测算

为设定本次项目的目标值，小组调查了公司 8 号机组之前提升阀泄漏的情况，发现在 2018 年 5 月至 12 月间一共发生了 5 次，为历史最佳数据，具体数据见下表：

表 1-3、2018 年 5-12 月嘉华电厂 8 号机提升阀泄漏次数

月份	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	频数 (条)
提升阀泄 漏次数	1	0	0	1	0	2	1	0	5

小组认为，通过努力，可以将历史最佳的故障次数作为目标设定的依据，则可测算小组解决症结的程度为： $(24 - 5) / 24 \times 100\% = 79.17\%$ 。

目标值测算

由于项目症结“提升阀泄漏”产生的故障次数为 24 次，通过现状调查、目标的理论测算，小组认为，如果能够将故障问题解决 79.17%，那么每月可减少 8 号机组蒸汽吹灰系统的故障次数为：

$34 \times 79.17\% \times 91.2\% \times 83.9\% \times 92.3\% \div 8 = 2.376$ 次/月
 现实际为 $34 \div 8 = 4.25$ 次/月，那么最优可降低至 $4.25 - 2.376 = 1.874$ 次/月。

2、设立项目目标

根据上述调查情况讨论分析，小组将目标值设定为：将 8 号机组蒸汽吹灰系统故障次数由平均每月 4.25 次降低至平均每月 2 次。

二、解决方案与创新点

（一）整体解决方案

小组成员通过树图对“提升阀泄漏”进行了系统原因分析，共梳理出 7 项末端因素。针对影响症结的 7 个末端因素，小组成员分工负责，制定计划，逐个要因确认，排除非要因，小组成员以 IK11 为试验对象，在提升阀后的蒸汽母管上安装一个实时监测的高精度流量变送器，验证上述末端因素对提升阀泄漏的具体影响，如图所示。



图 2-1、现场调查图

通过调查、测量、试验等方法逐一确认，最终锁定两大要因：

1. 暖管疏水时间短
2. 运维人员发现时间迟



图 2-2、原因分析树图

针对上述要因，小组制定并实施了以下对策：

1. 优化吹灰程控逻辑，延长暖管疏水时长

（1）填写逻辑修改单：延长吹灰暖管疏水时间至 600 秒。

- (2) 打开 DCS 工程总控，进入吹灰启动逻辑。
- (3) 找到吹灰疏水函数功能块，修改参数值。
- (4) 下装修改后的参数值。

2. 搭建基于 DCS 与 IDAS 网络的提升阀内漏在线监测系统

(1) 考虑到吹灰器后续枪管拆卸检修，常见的元件集热块焊接方式存在拆装不方便的弊端，小组针对现场实际安装需要，设计定制了一种抱箍安装、带集热块一体式铠装热电偶元件。

集热块弧度贴合度较好，能适用于长吹的枪管尺寸，并且由于铠装元件卡套固定，即便在集热块与枪管之间有间隙也能进行插入深度的调节，增加接触面积，减少测量的误差。

(2) 依据现场吹灰器分布区域，从锅炉 5 楼到 9 楼，在左右侧各布置 2 个安装点，分别安装 2 台、3 台 IDAS 前置机进行温度信号的收集，通过 RS485 通讯电缆串联各个前置机形成吹灰器壁温 IDAS 网络后输送至 DCS 系统吹灰控制柜内的 LC 通讯卡，实现各个温度信号与 DCS 系统的实时传输。

(3) 利用 DCS 逻辑组态中每个吹灰器投用进行时的“前进”和“后退”两个状态，设置提升阀后枪管温度超过 80° 达到一定时间后，报提升阀内漏报警。由于吹灰器吹灰结束后实际冷却降温需要一定的时间，小组成员额外设置了 15 分钟的延时。

(4) 在 DCS 系统主页面新增了“吹灰系统提升阀壁温”链接模块以及单独的“吹灰器提升阀后管壁温度”显示画面，实时显示各测点温度。同时，在大屏报警画面增加提升阀内漏报警。

(二) 项目核心创新点

1. 工艺创新

量化确定吹灰最优暖管疏水阈值 600 秒、蒸汽过热度 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ，形成公司机组蒸汽吹灰运维标准化运行工艺，从介质品质源头抑制提升阀密封冲刷磨损。

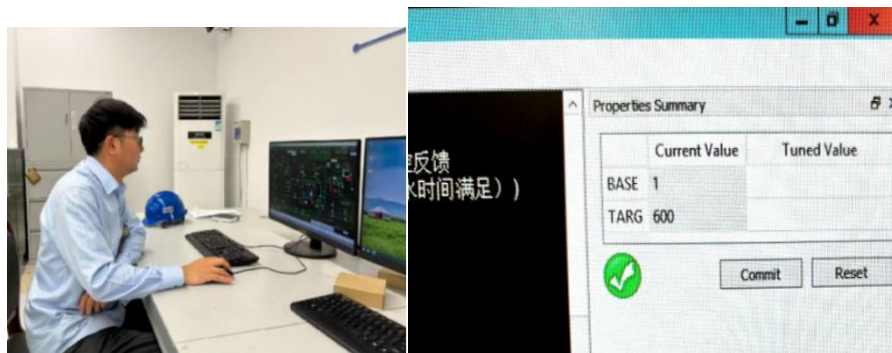


图 2-3、修改吹灰暖管疏水时间参数

浙江浙能嘉华发电有限公司热工逻辑修改需求单

编号: 202510139

热力系统名称: 8号炉本体吹灰系统

热工机组: 8号机组

修改理由:
根据设备管理部G字20240408号《吹灰器疏水专题会议纪要》要求, 修改本体吹灰系统疏水逻辑。

修改内容:
8号锅炉本体吹灰程控要求疏水疏水温度大于180℃延时480s, 疏水完成。
修改为:
8号锅炉本体吹灰程控要求疏水温度均大于180℃延时600s, 疏水完成。

图 2-4、填写吹灰逻辑修改单

2. 硬件结构创新

研发并应用了一种基于抱箍安装、带集热块的一体式铠装热电偶元件（已获得实用新型专利），解决了高温高压设备上测温元件拆装不便、测量不准的行业难题，为类似设备的状态监测提供了一种新的技术解决方案，如图所示。



图 2-5、温度元件在吹灰器现场安装图



图 2-6、温度元件专利证书

3. 数字化监测创新

开发了基于 DCS 与 IDAS 网络的提升阀内漏在线监测系统，实现了从“故障后维修”到“预警式维护”的转变，提升了设备管理的智能化、数字化水平。



图 2-7、在吹灰器区域安装布置 IDAS 前置机与提升阀内漏报警 DCS 逻辑

4. 管理流程创新

将智能报警、标准化疏水参数纳入企业运维规程，建立“实时预警—1 小时处置—每日状态核查”闭环管理机制，形成一套标准化设备管控方案。

吹灰器提升阀内漏在线监测装置
巡检与维护规定

JHJH-WI-YB-2025-008

批准： 王翔
审核： 许伟、江川
编写： 姜春光

发布时间：2025 年 11 月 10 日
实施时间：2025 年 11 月 10 日

图 2-8 吹灰器提升阀内漏在线监测装置巡检与维护规定封面

三、成果与效益

(一) 安全质量效益

1. 改造后机组吹灰系统月均故障由 4.25 次降至 1.625 次，长期巩固期稳定至 1.17 次/月，超额完成月均故障≤2 次设定目标；提升阀泄漏故障占比由 92.3%大幅下降，消除了因蒸汽内漏引发枪管吹损、水冷壁泄漏重大设备风险，机组本质安全水平显著提升。

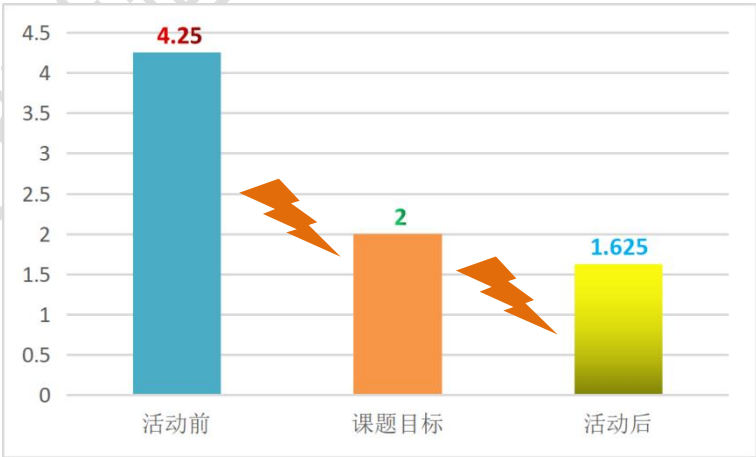


图 3-1、活动前后 8 号机蒸汽吹灰系统故障平均次数对比

2. 智能预警系统累计精准报警 30 余次，多次提前处置微小内漏，避免缺陷扩大，全年未发生吹灰系统衍生机组降负荷事件。
3. 改造全程无设备停运、无安全事故，无负面影响，经

锅炉、仪控、设备管理多专业联合评估，方案安全可靠，可长期稳定投运。

安全评估认证
此次 QC 小组活动通过增加提升阀内漏在线监测装置、延长吹灰暖管疏水时间，有效解决了蒸汽吹灰系统故障次数过多的问题。通过提前预警内漏故障，有效避免了因蒸汽泄漏加剧而导致的吹灰器枪管吹损、甚至水冷壁管泄漏等重大设备事故，极大地提升了机组的本质安全水平。
部门意见： 认证可靠。可投入机组正常运行。


图 3-2、安全评估认证

(二) 经济效益

本项目投入成本主要用于定制热电偶、IDAS 前置机及通讯设备，一次性投资约 15.2 万元。对策实施后，故障率大幅下降，带来了持续且显著的经济回报：

1、每年因减少提升阀、枪管、电机等备件更换，可节约备品备件及材料费用约 30 万元。

2、在线监测系统的投用能够实时监测蒸汽吹灰器状态，减少吹灰器故障发生的概率，减少运行人员对吹灰器状态巡检强度，以及吹灰器检修人员工作强度，及早对吹灰器故障进行报警，减少因吹灰器故障所造成的四管泄漏的问题。经测算，每年可避免电量损失约 200 万千瓦时，折合经济效益约 80 万元（按上网电价 0.4 元/千瓦时计算）。

运维人员故障判断和处理时间平均每月减少 60 工时，折合每年节约人工成本约 20 万元，如图所示。

财务证明	
项目名称	降低 8 号机组蒸汽吹灰系统故障次数
应用单位	浙能嘉华发电有限公司 8 号机组
目前该课题成果在公司 8 号机组上应用成效显著，取得了显著的综合效益。项目一次性投资约 15.2 万元，活动实施后，在 2025 年度内实现节约备品备件及材料费用约 30 万元，通过技术改进有效避免电量损失约 200 万千瓦时，折合经济效益约 80 万元。 此外，该成果节约了人力物力的投入，有效保障了锅炉受热面清洁状态，提升了传热效率，对降低机组煤耗、减少碳排放具有积极作用，有力支持了国家“双碳”战略目标的推进与实现。  2025 年 12 月	

图 3-3、财务证明

（三）社会效益

1、通过提前预警内漏故障，有效避免了因蒸汽泄漏加剧而导致的吹灰器枪管吹损、甚至水冷壁管泄漏等重大设备事故，极大地提升了机组的本质安全水平。

2、大幅提升了运行人员的监盘效率，增强了满意度和信任度。

3、机组运行可靠性增强，为电网提供稳定电力，为周边企业提供可靠热源，切实履行了能源企业的社会责任，提升了企业社会形象。

4、吹灰系统稳定高效运行保证了锅炉受热面清洁，提高了传热效率，有助于降低机组煤耗，减少碳排放，契合国家“双碳”战略目标，具有积极的环保效益，如图所示。

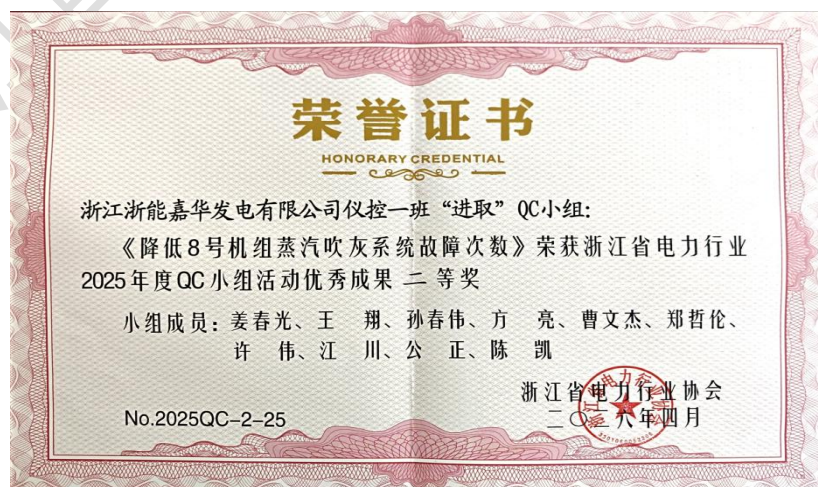


图 3-4、获得 2025 年度浙江省电力行业优秀 QC 成果二等奖

四、可复制性与展望

（一）可复制推广价值

1. 改造成本低、适配性强：依托电厂现有 DCS 系统，仅新增测温元件、IDAS 前置采集设备，无需大规模控制系统改造，适用于国内配备蒸汽吹灰器的燃煤发电机组。

2. 技术方案标准化：形成完整成套解决方案，包含疏水参数标准、测温元件选型、IDAS 组网方案、DCS 报警逻辑、运维管理制度全套文件；

3. 内部落地验证成熟：成果已在嘉华发电 3、4、5、9 号机组全面推广，各机组吹灰故障频次均实现显著下降，运行数据稳定，如图所示。

推广应用价值评估

《降低 8 号机组蒸汽吹灰系统故障次数》QC 课题成果对蒸汽吹灰疏水时间进行了延长，同时开发了一套提升阀内漏在线监测装置，具有较强的创新性及实用性。

经实际测试，公司 2、3、4、5、8 号机组应用该成果后，累计准确报警达 30 多次，蒸汽吹灰系统故障率大幅下降，月均故障次数降低至 1.625 次/月，满足了公司对防磨防爆的要求并且提升了客户满意度。该方案技术路线清晰、改造成本低、效果显著，具备在集团内乃至电力行业大规模推广的潜力，推广应用前景广阔。



图 3-5 推广应用价值评估

4. 行业通用性高：提升阀内漏是燃煤电厂共性痛点，本项目技术路线清晰、改造成本低、效果显著，具备在集团内乃至电力行业大规模推广的潜力，应用前景广阔。

（二）未来展望

1. 智能化升级：后续计划接入机组大数据平台，基于长期温度、故障数据建立 AI 预测模型，实现吹灰器内漏故障提前预判，进一步减少人工监控工作量；

2. 全设备覆盖：将监测方案拓展至短吹、空预器吹灰设备，实现全厂锅炉吹灰设备智能监测全覆盖；

3. 行业标准输出：总结项目运行数据与改造经验，参与编制电厂蒸汽吹灰系统运维优化行业参考规范，向行业输出可落地数字化治理方案；

4. 持续项目攻关：小组下一步聚焦 8 号机组送风机动叶高频故障问题，沿用本次 PDCA 循环方法，持续挖掘机组设备降故障、提效能创新点。

五、项目团队

表 5-1、团队简介

小组名称	浙江浙能嘉华发电有限公司维护部仪控一班“进取”小组					
小组人数	10		联系人		曹文杰	
培训时数	40 小时/人		联系电话			
活动项目	减少火电机组蒸汽吹灰系统的故障次数					
活动情况	活动时间		2025.01-2026.05			
	成员参加率				100%	
小组成员情况						
序号	姓名	性别	年龄	职称	岗位	组内分工
1	曹文杰	男	23	助理工程师	班员	组长
2	姜春光	男	35	工程师	点检	组员
3	方亮	男	34	助理工程师	技术员	组员
4	王翔	男	37	工程师	点检	组员
5	郑哲伦	男	33	助理工程师	班员	组员
6	孙春伟	男	52	高级工程师	专工	组员
7	许伟	男	54	工程师	班长	组员
8	江川	男	34	工程师	副班长	组员
9	公正	男	35	工程师	班员	组员
10	陈凯	男	36	助理工程师	班员	组员