

民国时期金允文对津浦铁路蒸汽机车锅炉用水的软化研究

王岳铭, 段海龙*

内蒙古师范大学 科学技术史研究院, 呼和浩特 010022

摘要: 20世纪30年代, 津浦铁路为解决蒸汽机车锅炉用水的水质问题, 对沿线站点用水的水质软化进行了一系列实验和论证, 其中金允文的实验最具代表性。文章以金允文两次实验为重点, 根据相关技术人员的实验报告和历次设备改造公告、规章制度等文献材料, 对津浦铁路在水软化技术上的研究与技术改造进行探讨。可以发现, 金允文的实验技术路线严格, 工作具有科学性和可操作性。他的工作使津浦铁路避免了重复投资等问题。津浦铁路的水软化实验是铁路技术在中国本土化过程中的典型案例, 具有重要价值和积极意义。

关键词: 蒸汽机车; 软化水; 津浦铁路; 铁路化学

中图分类号: F532.9

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2022)05-0459-9

引言

在蒸汽机车时代, 机车锅炉的效率直接影响机车的效率。作为蒸汽动力来源的水, 又是影响锅炉动力效率的主要因素。锅炉用水如果容易形成水垢, 不仅会影响锅炉的使用效率, 还会影响锅炉的使用寿命, 并造成安全问题, 甚至使机车发生运行事故。因为钙镁离子是形成水垢的主要因素, 所以专业上将水中钙镁离子的总浓度量定义

为水的硬度, 降低锅炉水硬度值的处理工序被称为“水软化”。水软化是保障蒸汽机车安全运行的一项重要技术。

金允文(1904—2007), 浙江义乌人, 铁路应用化学专家, 长期进行蒸汽机车锅炉用煤和水质处理、机车车辆润滑、金属防腐等方面的研究, 并从事铁路化学人才的培养, 被称为中国“铁路应用化学工作的开拓者”^[1]。1923年到1927年间, 金允文就读于南京东南大学化学系, 毕业后

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2022-09-25

基金项目: 国家社会科学基金项目“近代化与中国铁路技术标准化历程研究(1881-1949)”(19XZS013)。

作者简介: 王岳铭(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为技术史。

*段海龙(1975—), 男, 理学博士, 教授, 研究方向为铁路史。E-mail: duanhailong0923@163.com (通讯作者)

引用格式: 王岳铭, 段海龙. 民国时期金允文对津浦铁路蒸汽机车锅炉用水的软化研究[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2022, 14(5): 459-467. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.22100302

Wang Y M, Duan H L. Jin Yunwen's experimental studies on boiler water softening concerning the Tientsin—Pukow railway during the Republic of China period[J]. Journal of Engineering Studies, 2022, 14(5): 459-467. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.22100302

留校,担任化学系助教,期间曾参与订购实验药品与器材、设计建设化学实验室等大量的基础性工作。1932年,金允文进入津浦铁路,开始主持铁路化学工作,任铁路机务处帮工程师(相当于现在的“助理工程师”职称),兼任学系主任^[1]^[41]。在津浦铁路工作期间,为解决津浦铁路的锅炉水垢问题,金允文开始研究软化水技术并留下了实验记录。这些实验为津浦铁路的后续技术改进提供了有价值的参考。

1932—1945年,金允文先后在津浦铁路、粤汉铁路、广西全州机厂等单位负责化学技术工作。除主持或创建化验室之外,他还负责分析检验煤、水、油、金属等铁路材料的主要性能和成分,同时负责对金属材料进行热处理和金相组织检查。在抗战期间,针对当时石油资源短缺的问题,金允文用硫化桐油加菜籽油的办法,成功制造出蒸汽机车用的乳化汽缸油,并分别在粤汉、湘桂、黔桂铁路上成功试用^[1]^[41]。

1945—1946年,金允文赴美访问,在纽约中央铁路公司考察了软水技术和机车运用技术,并对美国联邦标准局进行了考察。以此次访问获得的资料为基础,金允文编制了一份涉及化学分析、金属检验、公路实验、汽车实验等方面的设备名单,经交通部批准进行采购,用于建设交通部材料实验所^[2]^[38]。1946—1947年,金允文回国后任南京机厂总工程师。1947—1949年,任交通部材料试验研究所副所长兼化学组组长。1949年9月至1950年2月,金允文参与了筹备铁道部铁道技术研究所的工作,并兼任中国交通大学唐山工学院化学系主任、教授。1950年2月28日铁道部铁道技术研究所成立,金允文任副所长兼化学组(现中国铁道科学研究院金属及化学研究所)组长。1956年铁道科学研究院成立,他被任命为铁道科学研究院金属及化学研究所第一任所长,直至1975年离休^[2]^[39]。

目前对民国时期蒸汽机车锅炉用水软化技术的研究成果较少,且大多散见于机械技术史专著和工业锅炉史中,如沈祖培、徐志琴的“锅炉技术发展史概况”。^[3]但整体上看,目前的技术史研究对

这一课题中技术细节的关注仍有一定不足。本文拟以文献史料为依据,重点分析金允文对津浦路蒸汽机车锅炉水软化技术的研究与相关改进工作,并探讨其历史意义。通过这一工作,可对民国时期蒸汽机车软化水技术史略做一学术弥补。

1 民国时期津浦铁路沿线的水质问题

津浦铁路(Tientsin-Pukow Railway),即由天津西沽站通往南京浦口的铁路干线,修建于1908—1912年。津浦铁路正线全长约1000 km,是中国近现代铁路交通的南北重要干线^[4]。

1911年津浦路南北分段通车,北段线路于济南站和胶济路交汇,在20世纪20年代开通联运业务后形成济南枢纽^[5]。1916年(民国五年)5月,陇海路东扩至徐州,开封至徐州段通车;1925年(民国十四年)陇海路又东扩至海州新浦,陇海路东段完成,徐州枢纽形成^[6]。1934年(民国二十三年),江南铁路、京赣铁路与京沪沪杭甬铁路,三路同津浦铁路开始互办联运业务^[7]。业务量的增大,使得蒸汽机车使用率增高,这就需要为蒸汽机车提供足够的、良好水质的水。在济南、徐州等枢纽站,蒸汽机车用水就成为了重要问题。如济南站等车站,虽然水源水量充沛,但是水硬度较高。津浦铁路的机车锅炉在高负荷情况下长期大量使用未经处理的硬水,会对蒸汽机车的安全运行造成隐患,也会对机车运行效率产生不良影响。津浦铁路区间内水质不良的问题,早在清末就被注意到,但直到民国时期才尝试解决。

为缓解水质带来的问题,1917年(民国六年)津浦路开始实行《津浦铁路机务处洗锅炉规条》,其中规定“机车行六百英里后,即洗炉一次。”^[8]到20世纪20年代,津浦铁路的机车维护规定有所调整,“机车锅炉,每使用一星期或使用一千三百至一千六百公里时,必须洗炉一次,但以水质之差别,得酌量延长及缩短之。”^[9]由于津浦铁路线路长,各站所用的水源成分差异大,津浦铁路管理处才规定各车房有权根据各自所在线路

区间的水质, 酌情修改维护标准。

在机车设计与使用方面, 津浦铁路也有所考虑。当时订购的一些进口机车, 在建造时就做了设计调整, 以适应津浦路的运行条件。其中最具代表性的是德国克虏伯公司 (Krupp AG) 于20世纪20年代末到30年代初为津浦路特制的一批“圣塔菲”2-10-0型机车, 为了适应津浦路的水质与机厂的维护能力, 在原有的德国款式“圣塔菲”2-10-0型机车的基础上进行了修改: 加大锅炉水管间距和锅炉直径, 以减轻水垢堵塞带来的影响, 尽量延长维护周期; 而且还扩大了锅炉人孔 (Manhole) 以便于锅炉维护^[10]。

1933年, 津浦路管理局技术人员钱崇振对津浦路全路的水质做了初步化验。在《津浦铁路机务译报》上翻译美国工程师Cardillo, T.V. 的论文“锅炉用水”时, 钱崇振以译文附录的形式发表了自己的实验数据“附津浦铁路全线机车用水报告说明”。在这一附录中, 他按照地理区划把津浦铁路分为三段: 浦口-徐州, 韩庄-济南, 禹城-西沽; 再将这三段中的站点水质一一化验, 比较数据, 分别找到三段中水质最差的站点。实验结果表明, 徐州、济南、禹城三地分别是以上三段区间水质最差的站点^[11]。

1935年, 钱崇振在《津浦铁路机务译报》第三卷第一期上发表“改良本路锅炉给水之建议”一文, 将整个津浦路的车站用水按照水质等级和日常用量两个参数重新分为四类: 第一类是“硬度高而用量甚多者”, 第二类是“硬度高而用量少者”, 第三类是“硬度较低而固体残渣甚高且用量较多者”, 最后是“可供锅炉给水用者”^[12]。文中, 钱崇振文中所称“第一类水质”的两个车站就是济南站和徐州站。但济南城除地下水外, 可供使用的水源还有济南城内的小清河, 其河水水质尚可, 经简单的沉淀过滤后即可供给机车使用^[13]。1937年, 济南站改造给水设施, 建成一条长四千米管道连接小清河取水点和济南站, 还兴建了配套的澄水池 (沉淀池)、滤水池、清水井、水泵房各一座, 以此解决了过去使用车站井水造成的水垢问题^[13]。但是, 徐州站水质恶劣, 还缺乏替代水源, 成为

了津浦路上的一大亟待改造的关键问题。津浦铁路给水部门长期苦于缺乏适合徐州水质的软水技术和适当的配套设备, 曾使用站内深井水或河水为机车锅炉供水, 但当时对这些水源的评价均为“水质恶劣, 损害锅炉”^[14]¹³。而从徐州站附近的福履集 (现符离集)、韩庄等地打井取水和取附近河水化验的结果发现这些地方的水质也“未见可佳”^[14]¹³。按照当时的评价, 徐州站因为“水锈奇重, 清洗不易”^[14]¹³且“别无大量水源可资更换”^[14]¹³, 所以徐州站的供水成为了“向为本路最感困难久悬未决之问题”^[14]¹³。

但是, 相对于水质软化问题, 徐州站给水设备规模的扩大更为急迫。徐州站在民国初年的几次给水设施改修, 都是扩大给水所规模, 以适应日渐增长的铁路运输量。对徐州站水处理设备的安装只能被暂时搁置。例如从1933—1934年的徐州站给水设施历次改造工程报告中可以发现^[15-18], 直到1937年津浦路提交为徐州站安装沸石软水机的申请为止, 徐州站的供水设备维护与改造都只是进行单纯的规模扩展, 并不涉及水质改良相关的技术改造^[19]。

虽然当时以金允文为代表的一些津浦路的铁路化学技术人员, 已经在报刊上提出了“锅炉与水, 犹人之食料, 食料不洁, 人食之则生疾病”^[12]²¹的观点, 和“水质不净, 若加入锅炉, 则机车损伤。故锅炉用水, 必先经查验; 如水质不合用, 则可先设法清理之”^[12]²¹的建议, 并认为“机车锅炉之水, 须有合宜之性质; 否则效率低降, 靡费燃料”^[20], 还呼吁“非添置软水设备, 无补救之策”^[14]¹³。但是徐州站的软水工作仍然因为各种原因而被津浦路管理部门长期搁置。

2 金允文对津浦铁路水质软化的两次实验

随着津浦铁路的运量在进入20世纪20年代后急剧增加, 硬水造成的机车部件损耗也随之加剧, 以至于“每年炉管炉钣, 因锈蚀修换, 费用繁多”^[19]¹³¹。硬水带来的设备损耗问题和经济问题日益突出。

为解决铁路材料及相关设备的改进工作, 铁路系统一般要设置化验室。化验室工作中, 包含对机车锅炉用水的实验与研究。津浦路机务处于1932年(民国二十一年)夏开始筹建化验室, 1933年建成^{[21]5}。在此之前, 津浦铁路就委托吴淞铁路和交通大学的化验室进行铁路材料化学分析工作^{[21]5}。在1935年, 津浦铁路化验室对铁路化学课题的系统性研究中, 就包含有“徐州车房给水之软水实验”和“水中硬度测定法之比较”的研究内容。^{[21]7}

硬水带来的问题严重影响了津浦铁路的运输, 但又限于经济等原因不能及时解决。时任津浦铁路化验室负责人的金允文, 开始研究适合津浦路环境的实用软化水技术, 并专门针对徐州站的软化水技术方案进行了多次尝试性实验。在这几次水软化实验中, 金允文着重研究石灰法和以石灰法为基础开发的石灰苏打混合法、石灰烧碱混合法等软化水方法。但金允文的研究并不限于此, 他在综合分析徐州站现有情况和前人研究成果的基础上, 对其他的软化水技术也进行了一些实验。

2.1 浦口自来水的软化实验

1932年冬, 金允文对徐州站的水样进行了非正式性质的预实验, 且“稍有结果”^[22]。1933年, 他应津浦铁路浦口电厂请求, 开始对浦口站的自来水进行实验。

浦口电厂建成于1921年, 是津浦铁路的附属设施, 发电主要供给浦口机厂和客车蓄电池, 同时也负责周边居民的供电^[23]。浦口电厂希望金允文在化验浦口水样的同时, 能够“设法改善, 使水锈减少”^{[22]45}。

因为浦口站的水也具有一定硬度, “按浦口自来水硬度颇低, 处理较易, 且检样甚便”^{[22]45}。本着先易后难的想法, 金允文进行了这次水处理实验, 其实验报告也被整理出来正式发布在《津浦铁路机务译报》上。分析结果表明: 浦口自来水固体渣滓多, 且不易被清除; 水中存在一定量的二氧化硅(时称氧化矽); 暂时硬度高, 硫酸盐、氧化镁含量高, 水中金属阳离子浓度高于阴

离子。暂时硬度高表明钙离子和碳酸根离子含量高, 受热后易结成碳酸钙水垢; 高浓度的硫酸盐和镁离子会导致水在锅炉中受热后易析出由钙、镁元素的硫酸盐结成的水垢; 而水中的硅、铁元素受热会生成坚固且难以清理的硅石水垢和铁质水垢; 金属阳离子浓度高于阴离子, 证明水整体呈碱性, 直接使用会产生大量泡沫导致锅炉蒸汽品质下降, 而且过高的碱度还会使铁质构件表面生成易溶于水的铁酸钠($\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{OH})_6]$), 造成锅炉化学腐蚀; 盐分浓度高的水还会在锅炉气管口等液体过饱和处结垢从而造成堵塞^[24]。

为解决以上问题, 金允文在实验中测试了软化水的七个方案^{[22]45}:

1. 过剩石灰软水法。
2. 过剩石灰及碱软水法(碱之有效成分为碳酸钠)。
3. 按第一法多加石灰百分之八。
4. 按第二法石灰及碱各多加百分之二。
5. 过剩石灰及酸性碳酸钠(碳酸氢钠)软水法。
6. 磷酸钠软水法。
7. 煮沸软水法。

经过实验完成后的分析, 金允文认为“当以第六组(磷酸钠法)为最优”^{[22]46}。金允文首先从技术角度分析, 磷酸钠法处理过的水, 碱度(按 OH^- 和 CaCO_3 计)降低至接近0, 同时用肥皂水滴定, 测得水样硬度经磷酸钠处理后降低到1.2°。在经济上, 金允文认为磷酸钠法的优势是“软水处理所得之磷酸镁或磷酸钙沉淀, 不难使之复原”^{[22]46}, 并且磷酸盐矿矿石“分布甚广, 价亦甚廉”^{[22]46}。可以发现, 金允文在比较各个技术路线的效率之余, 还开始对各种技术路线的成本问题有所考虑。

对于之前着重关注的石灰法, 金允文将这次实验方法和前几次徐州站在1932年冬天的实验结果综合, 同满铁的数据进行了对比。按照资料, “第二种及第五种方法, 南满铁路用之已久, 据谓后一种方法, 能使硬度减低至零”^{[22]47}。但是对比徐州站在1932年冬天进行的小规模软化水实验结果, “仅能将该水硬度自31.2°减低至4.5°”^{[22]47}再综合这次预实验使用石灰法的结果, 金允文得到结

论：“今兹处理浦口自来水，亦难得理想的结果，且酸性碳酸钠（碳酸氢钠）之成绩，未见其较碳酸钠（碳酸钠）为优。”^{[22]47}

对过剩石灰法（在第一次实验方法基础上额外增加8%石灰）的评价，金允文综合了几次的实验结果，认为“第三种方法曩时处理徐站给水，得有关优良结果者，反见其不适用。”^{[22]47}即这一方法的可移植性较差。

在此次实验中，一个值得注意的事情是金允文个人对沸石法的认识：“此外有用循环粒Zeolite（现译做沸石：作者注）为软水剂者，惟经使用后，须用食盐处理，使之复生，然后再用。食盐价贵，殊不经济，化验室缺乏此种药品，故未实验。”^{[22]47}从这段话中可知，出于经济原因，金允文当时并不看好沸石法的应用前景。而且还可以从中得知，比起早在1925年就应用了沸石法处理古冶站硬水的北宁路^[25]，当时的津浦路缺乏进行沸石法实验的相关技术资料 and 药品，所以金允文的第一次实验并未对浦口电厂所用自来水进行沸石法技术的实验。

2.2 徐州站水质的软化实验

在浦口电厂实验的基础上，金允文又于1934年对徐州站水样进行实验研究^{[14]13}。水质分析结果表明，徐州站井水的永久硬度远高于浦口，硫酸根、碳酸根、硝酸根、氯离子等阴离子浓度之和远高于金属阳离子浓度，证明当地水呈酸性。高永久硬度的水会导致锅炉内的高压高温部件如火管等处沉积难以清理的硅酸盐水垢（主要成分为二氧化硅和金属的硅酸盐）；而酸性强的水在高温下则对锅炉存在一定的化学腐蚀作用^[24]。

关于软化处理，金允文先做了一系列预实验。他以石灰法为基准方案，测定软化水所需最低反应浓度、最低反应时间，以及对水样加明矾过滤澄清预处理的影响和加热带来的影响，并找出一个可供实验时参考的“标准反应条件”。根据预实验的结果，金允文据此得出以下四条结论^{[14]14-15}：

1. 软水试剂应比计算量多加百分之八左右。
2. 加试剂后应静置两到三小时。

3. 明矾只能促进水质澄清。

4. 终结果似乎无重大影响。

在这次预实验基础上，金允文开始了在以上限定条件下进行的进一步实验。金允文参考了日本人渡边氏（名字不详）的技术研究所式软水法的资料，在预实验后为徐州站井水制订了以下六种实验方案^{[14]16}：

1. 煮沸后过滤。
2. 过剩石灰法。
3. 过剩石灰及碱合用法。
4. 过剩石灰及酸性碳酸钠（碳酸氢钠）法。
5. 磷酸钠软水法。
6. 用过剩石灰及碱法处理大量水样。

根据实验记录，这六种方法效果中最好的是磷酸钠法。水样经磷酸钠法处理后，总硬度大为降低，从原来的353.2°降至0.95°。同时，钙离子的浓度降至5.64，镁离子则被去除^{[14]16}。效果次之的是过剩石灰及碱软水法，这种方法处理过的水，总硬度降低至2.45°；水中钙离子降至13.8，镁离子仅剩微量存在^{[14]16}。金允文得出初步结论，认为“在实验室内，磷酸钠可得最佳结果，过剩石灰及碱软水法次之^{[14]16}”。在以上实验结果的基础上，金允文进行了进一步研究。首先，“用过剩石灰法第一次原水后搅扰十分钟，静置十分钟后滤出，加第二次原水搅扰十分钟，静置半小时，即可过滤……”^{[14]16}在收集处理完毕的滤液后，就进行化验，并发现“滤液中仅残留极微量之碱度，驱除暂时硬度之作用，已告完成，不必加热，与第四节所述之结果（即石灰法初步实验）比较，有显著之优点。”^{[14]16}

接下来的实验中，金允文专注于对石灰及碱合用法进行研究，试图找到最佳的实验方案。

因为在石灰及碱合用法实验中，金允文发现“惟在第二步用碱驱除永久性硬度时，似非加热不可”^{[14]16}，所以金允文在后面又补充了一个控制温度变量的实验。他在第一步用过量石灰法处理水样后，“用等量之水，加等量之碳酸钠，搅扰十分钟，观察其结果^{[14]17}”，并改变温度，观察现象并化验水样的永久硬度值（表1）。

这一步骤是用于测试“过量石灰及碱合用法”在不同实验变量下的效率。这一实验是对前几次实验的补充。就是在这一步中，金允文提出了自己对石灰及碱合用法处理徐州水质的经验总结，“该水经此种方法处理后，水质仍欠优良，盖由于水中杂质减少至某种程度后，浓度过稀，反应甚慢；镁盐又能转换成多种复盐，溶解于水，非有多量石灰留存，不易将其除去。然若加过量石灰水或碱，则锅内生成浓厚之碱液，损坏力不下于水锈。”^{[14]16}这一记录表明，金允文对过量石灰及碱合用法“使用不当时会带来锅炉损坏”这一副作用有了较为深刻的认识。

这一实验与上一次的浦口自来水实验不同的是，金允文在这次的文章中正式研究了成本控制问题。成本控制分为两部分进行讨论，一部分是“每日耗费药品总价”（按每日用水二十万加仑计）^{[14]18}，另一部分则是“每单位硬度·每日的平均费用”^{[14]19}。前者计算的是软水生产量固定时所耗费的资金，后者计算的是单位反应物对应的资金耗费。这两类数据的应用范围，“每日耗费药品总价”倾向于每日水软化量固定时所用资金数目，而“每单位硬度·每日的平均费用”则可以用于计算每日生产量不定的情况下所用方法对应的资金改变量。这一安排可以方便铁路管理人员在制定技术方案时进行参考。

金允文在成本核算表的附注中提出了自己的观点。他认为，磷酸钠作为软水材料优点颇多，磷酸钠法在经济性上也具有独特的优势^{[14]19}。金允文从经济角度出发推荐磷酸盐法的原因有三点：生产过程简单、配套设备管理容易、水处理后的废

料可用作磷肥^{[14]19}。金允文还特别强调实际使用过剩石灰及碱合用法处理水质时，要在成本核算这一步中加入燃料和设备的费用^{[14]19}。另外，从金允文的实验中可以看到，若不计算循环粒的花费，沸石法不失为一个能够平衡软水效率和资金投入的选择^{[14]19}。但是需要说明的是，金允文的实验，因为“至实际上如何设计，非本篇范围所及。”^{[14]19}未考虑净水法配套设备设计的相关事宜。

在对软化水设备的态度上，金允文认为“自行装置简单设备，以求便捷省费，恐不如采购现成之设备合理...将来之管理与调节，尤不可无专人负责，亦此意也。”^{[14]19}由此可见，金允文的想法是希望能在注意管理和技术的前提下，采购成套的商品化设备。

1937年末，津浦铁路决定为徐州站安装软化水设备。最终决定采购沸石法成套设备（即“Zeolite 柔水法”）处理给水所所用水源^[19]。安装计划和用盐免税申请已经分别呈报给铁道部和盐务署，但最终因抗战全面爆发而未能落实。

20世纪40年代末，津浦铁路同上海联邦贸易公司签订合同，装置“电化中和器”即电磁净水器在徐州站进行试用，并计划“商请行总^①在联合国救济器材中，拨给水之软化设备。”^[26]

3 金允文水质软化实验的意义

金允文在实验之后，参考实验结果和成本核算结果，推荐津浦路使用石灰法或磷酸盐类炉内软化法技术路线。对比其他路局的情况，不难发现金允文对水质软化的研究具有一定的实际意义和

表1 金允文过量石灰及碱合用法变量控制实验所得结果^{[14]17}

Table 1 Results of Jin Yunwen's variable control experiment on excessive lime and alkali combination ^{[14] 17}

编号	反应条件	现象	附加条件	附加条件后反应现象	过滤后水永久硬度
1	不加热	无变化	—	—	—
2	加热	即起沉淀	—	—	零
3	不加热	无变化	加少量明矾	无变化	—
4	不加热	无变化	加少量磷酸钠	即起沉淀	零

① 即“行政院善后救济总署”，是国民政府执行联合国善后救济总署工作的机构，隶属行政院。

价值。首先, 金允文的研究为津浦路的后继改造工作提供了完善的技术路线参考, 避免了重复投资。津浦路在1937年提出的沸石法改造方案, 正是管理部门综合考量了金允文所在的机务处化验室的历次水质化验结果和各个技术路线的实验结果之后才决定的。1925年, 北宁路从天津德商新民洋行购买“泼沫替”沸石软水机安装在古冶站^[27]⁶。因为设备使用几年后出现“食盐颇费”的问题, 北宁路从新民洋行请来德国工程师葛莱对软水设备进行了改良^[28]。可即使是开凿了新水源, 对软水设备进行了技术改进, 古冶站的软水生产量却一直不高。“为求节省起见”, 1936年古冶站只能决定将机车锅炉洗涤水从软水改为硬水^[29]。北宁路软水设备使用中暴露的这些问题正是因缺乏事前论证和实验所致。反观津浦铁路徐州站就没有发生此类事件。

其次, 金允文的研究不只是对水质分析和软化水技术研究, 还增加了成本核算因素。从金允文实验得到的成本核算表中看, 在每日处理二十万加仑水的情况下, 沸石法虽然效果劣于石灰与碱合用法和磷酸盐法, 价格高于过剩石灰法, 但是沸石法的优势在于这一技术路线能够平衡软水效率和资金投入, 并且在沸石失效后可以通过食盐来再生沸石, 间接节约成本; 如果能够向盐务署申请到工业食盐的免税权, 还可以在此之上进一步压缩成本。而同时期的沪宁沪杭甬铁路则在民国初年购买“地亚旁药水”软化锅炉水质, 又经总管克礼阿(A.C. Clear)推荐, 改为使用“‘神奇’锅炉药品(magic boiler compound)”软水剂^[30]⁹⁰。按沪宁沪杭甬路的观察, “施用以来, 每次锅炉洗刷后妥为查验, 凡经用此项药水六星期者, 其厚积之杂质积片完全消灭, 且铁管一无燃热或破漏之弊”^[30]⁹⁰。从这段描述中可见其效果显著。但因进口药品带来的经费超支问题开始凸显, 按京沪沪杭甬铁路的估算, “在金贵银贱的年头, 每一磅约值银元四角, 每年两路这一项的消耗, 几达万元左右”^[30]⁸⁹。所以两路于1933年7月正式取消了进口软水剂的购买与使用, 改为使用机车配发路内自制的炉内软水药剂。这种药剂由“糖渣(即制糖

后剩余的甘蔗渣——作者注)、木汁、苏打等物合成”^[30]⁸⁹。京沪沪杭甬铁路的药品采购超支问题正是因为选择软化水方案时, 未能均衡效率和价格两个技术指标, 片面地以水软化效率为据选择购进昂贵的进口药品导致经费超支。但是京沪沪杭甬铁路通过自制药品的方法及时弥补了这个问题。

第三, 金允文的研究在一定程度上影响了津浦路在1937年和20世纪40年代末的改造方案。从技术史的角度看, 一项技术的改进可以有多种方案。但是, 技术路线的选择除了要考虑技术本身, 还要综合考量经济、政治等非技术因素, 这些因素共同作用限制了具体技术应用的决策。在这个角度上进行分析, 不难发现金允文的实验为津浦铁路软化水工艺的选择起到了一定的引导和参考作用。其中, 津浦铁路在20世纪30年代使用的沸石法方案, 正是管理部门“经该处(指金允文所在的津浦铁路机务处)化验结果”^[19], 综合考量了各方案的效率和成本后才决定的。而到了20世纪40年代, 津浦铁路选择试行电磁法软水则是多种因素共同作用的结果。虽然电磁软水法在此之前并未在津浦铁路内经过任何实验, 但是上海联邦贸易公司为津浦铁路提供了电磁软水机的试用品, 为津浦铁路提供了技术论证条件。而津浦铁路也计划在电磁软水机试用完成后, 通过经“行总”向联合国救济署申请的方式获得成品电磁法软水设备^[26]。值得注意的是, 这两次技术改造的共同点是在这两次改造计划中都优先考虑获取成套商品设备而非通过自制设备和药品进行水软化。

4 结语

蒸汽机车时代, 提供蒸汽的水是重要的材料。水质不佳, 不仅会影响机车运行效率, 增加运营成本, 甚至还会引起行车事故。津浦铁路徐州站作为两条干线铁路的交汇站, 水资源匮乏且水质极差, 成为了该站至关重要的问题。但限于预算和工程问题等原因, 对水量的需求急迫于对水质的改善。本文在前人研究的基础上, 分析原始资

料,以金允文在津浦铁路上的两次软化水实验为研究对象,再从这一点出发对津浦铁路的水软化技术的理论实验与技术应用情况进行了探讨,可为相关研究稍做补充。

津浦铁路线路区间长,运输压力大,除蒸汽机车对水质有一定要求之外,浦口电厂等附属设施对水质也有较高的要求。时任津浦铁路化验室主任的金允文在药品、实验器材和技术资料不足的情况下,对浦口站和徐州站的水质软化进行了实验研究,并提出了多种软化水的方案,分析了各种方法的优劣。虽然其研究方法未被完全采纳,但是在后来津浦路对软水设备的改良工作中,能够看到金允文的研究对决策带来的影响。

金允文的研究不仅具有科学价值,而且具有经济价值。而将金允文在津浦路上的软化水技术研究过程对比上文其他路局的软化水工作,也不难看出津浦铁路能够避免其他路局错误的原因。金允文成功的实验,在于他接受过系统的化学教育,并熟练掌握了相关的化学知识,且拥有多年从事应用化学工作的丰富的实践经验。

从工程人才素质的角度分析,在这几次实验中,金允文做到了“循序渐进,谨慎行事”,在津浦铁路化验室“以云设备,诚有待于补充。”^[21]的不利条件下,还是获取了较为精确的实验数据,表现出他扎实的专业能力和严谨的研究态度;除此之外,金允文还展现了自己能快速获取各种软化水前沿知识的能力和灵活运用知识的实践能力。这些能力对金允文的软化水实验起到了积极的影响。

从技术发展的角度进行分析,技术研究往往有一个“借鉴-消化-创新”的过程。在金允文的研究过程中,不难发现金允文参考了技术研究所式软水法,过剩石灰及碱软水法,过剩石灰及酸性碳酸钠软水法和沸石法。但金允文在研究中,并不是对这些方法机械地照搬,而是在此基础上进行创新。金允文先将这些方法在津浦铁路所用的水中进行实验,测试每种方法的效果并给出评价。之后在此基础上,将各种已知的技术方案进行组合和变量控制实验,在前人的基础上得出适合津浦铁路的技术路线。

除此之外,西方铁路技术移植中国,必将经历一个本土化过程。蒸汽机车锅炉用水软化问题是这个过程中的一个技术环节,是中国技术人员进行技术探索的一个案例,是铁路技术本土化的一个缩影。金允文的软化水实验,对于民国时期铁路技术系统在中国本土正常运行有着现实价值和重要意义。

金允文在津浦铁路的软化水实验与研究,不仅在中国铁路工程史上具有重要的历史地位,还可以作为工程社会学研究的一个典型案例。它突出表明,工程技术选择不仅要考虑技术自身情况,还需考虑经济因素及当时签订的订购合同;最终选择从技术上看或许不是最佳方案,却一定是诸多因素角逐、妥协和平衡的结果,这种工程技术选择的社会性值得进一步研究。此外,金允文的实验在铁路化学领域中也很有典型,因此在中国化工史上也具有一定的学术意义。

参考文献

- [1] 《江苏铁路百年》编委会. 江苏铁路百年人物[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 张玉台. 中国科学技术专家传略工程技术编: 铁道卷[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003: 38-39.
- [3] 沈祖培, 徐志琴. 锅炉技术发展史概况[J]. 动力工程, 1982, 2(3): 45-55, 64.
- [4] 张晓玲, 周顺世. 江苏铁路发展史[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015: 31-34.
- [5] 济南铁路局志编纂领导小组. 济南铁路局志1899~1985[M]. 济南: 山东友谊书社, 1993: 69.
- [6] 朱先明, 陈尚之. 苍龙拱珠: 连云港卷[M]. 北京: 文化艺术出版社, 1995: 9-10.
- [7] 黄华平. 国民政府铁道部研究[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2011: 229.

- [8] 佚名. 章程条例: 津浦铁路机务处洗锅炉规条[J]. 中华工程师学会会报, 1918, 5(7): 1-2.
- [9] 津浦铁路管理局. 津浦铁路规章汇编[M]. 津浦铁路管理局, 1936: 541.
- [10] Mahltig P. "German railways" in China: technology as a site of knowledge[J]. *The Journal of Transport History*, 2019, 40(3): 301-321.
- [11] T. V. Cardillo, 钱崇振. 锅炉用水(附表)[J]. 津浦铁路机务译报, 1933, 1(2): 31-36.
- [12] 钱崇振. 改良本路锅炉给水之建议[J]. 津浦铁路机务译报, 1935, 3(1): 20-21.
- [13] 佚名. 铁路要讯: 津浦铁路: (丙)改进济南给水设备[J]. 铁路杂志, 1937, 2(8): 130.
- [14] 金允文. 徐州车房井水之软水试验(附图、表)[J]. 津浦铁路机务译报, 1935, 3(1): 13-19.
- [15] 佚名. 工作报告: 一月来之工务: 九、改良徐州站给水设备[J]. 铁路月刊: 津浦线, 1933, 3(12): 119.
- [16] 佚名. 工作报告: 一月来之工务: 八、徐州站改良客车及车务警务司各公寓给水设备[J]. 铁路月刊: 津浦线, 1933, 3(10): 104.
- [17] 佚名. 工作报告: 本路工作报告(民国二十三年四月份): (乙)工务: 八、改善徐州站给水设备第一期工作(建筑混凝土储水塔等工作)[J]. 铁路月刊: 津浦线, 1934, 4(9): 109.
- [18] 佚名. 工作报告: 一月来之工务: 十、改良徐州站给水设备案内建筑混凝土储水塔等工事[J]. 铁路月刊: 津浦线, 1934, 4(5): 146.
- [19] 佚名. 改良徐站给水, 拟用Zeolite柔水法[J]. 津浦铁路日报, 1936(第1586-1612期): 130.
- [20] 吉衣. 锅炉用水及煤炭经济(附图)[J]. 津浦铁路日报, 1937(1741-1765): 104-105.
- [21] 金允文. 津浦铁路机务处材料化验室概况[J]. 工程周刊, 1934, 3(1): 5-6.
- [22] 金允文. 软水处理之初步试验(附表)[J]. 津浦铁路机务译报, 1934, 1(4): 45-47.
- [23] 佚名. 浦口电气厂小史[J]. 铁路月刊: 津浦线, 1931, 1(7): 137-146.
- [24] 张辉. 工业锅炉水处理技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986: 22-30.
- [25] 佚名. 呈: 京奉路局呈交通部本路请购软水机等项遵向卫德公司订购共价美金六千三百五十六元已于十二月十三日签订合同并由该公司出具汇丰银行美金三百十八元保单一纸以为保证译录合同底稿呈请备案文(中华民国十三年十二月二十七日)[J]. 交通公报, 1925(787): 6.
- [26] 潘世宁. 津浦区铁路机务概况[J]. 世界交通月刊, 1947(5): 44.
- [27] 佚名. 部路要讯: 北宁路古冶车房井水缺少拟掺用河水并拟定滤清办法[J]. 铁道公报, 1935(1205): 10.
- [28] 佚名. 部路要讯: 北宁路零讯一束: (二)改良古冶车房软水机用法[J]. 铁道公报, 1935(1275): 13.
- [29] 佚名. 路事消息: 甲、国内之部: 北宁铁路: 接长古冶车房水管: 为求节省起见, 利用硬水洗炉[J]. 铁道半月刊, 1937, 2(2): 102-103.
- [30] 若云. 两路机车锅炉用水概况[J]. 京沪沪杭甬铁路日报, 1934(876): 89-90.

Jin Yunwen's Experimental Studies on Boiler Water Softening Concerning the Tientsin—Pukow Railway During the Republic of China Period

Wang Yueming, Duan Hailong*

Institute for the History of Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

Abstract: During the 1930s, in order to solve the water quality problem of the Tientsin—Pukow Railway, its management and locomotive maintenance departments conducted a series of experiments and demonstrations on the water softening, and these works were the most representative of Jin Yunwen's experiments. Based on the experimental reports of Tientsin—Pukow Railway technicians, previous equipment upgrading announcements, and rules of the Tientsin—Pukow Railway, this study examines the research and technological transformation of the Tientsin—Pukow Railway in water softening technology. It can be found that the strictness and cost of the water softening experiments are the biggest differences between the Tientsin—Pukow Railway and other railway branches under The Railway Ministry, and these are also important factors for the Tientsin—Pukow Railway to avoid problems such as repeated investment.

Keywords: railway history; water softening; Tientsin-Pukow Railway; railway chemistry