
一种绿色的非药剂的冷却水处理系统 保持科罗拉多纪念医院热交换器洁净

Colorado Springs, Colorado, April 7, 2005

By: Jim Jackson & Terry Hazlewood

2005 年纪念医院冷凝器年度检查

2005 年 4 月 4, 5 和 6 三天, 纪念医院空调机组的冷凝器打开进行年度检查和维护。这次检查结果是冷却塔的水不用化学药剂情况下近 15 个月后的结果 (备有证明文件)。这 15 个月期间只用了一种处理技术, 就是 EST (电化学水垢处理)。

让人特别感兴趣的是, 干净的冷凝器列管是在不加任何化学药剂, 浓缩倍率在 20 到 60+ 之间的条件下运行 15 个月的结果。像接下来所述, 冷却塔浓缩倍率在 100 天以上没有低于 40, 甚至有 30 天高达 65。在此期间, 朗格缪尔系数 (LSI) 达到 +2.4, 停留时间 (75% 衰减) 超过 43 天。

本报告叙述了年度设备检查的发现和关于这种新技术 EST 水处理系统的效应的讨论。陈述的数据显示了节水、系统化学、浓缩倍率以及腐蚀、结垢和微生物控制。祝好运!

检查小结

在 2005 年 4 月的第一周, 7 位经验丰富的工程师检查了纪念医院空调机组的冷凝器。在过去的日子里他们检查过很多热交换器, 其中 3 位工程师还检查过这种用化学药剂和不用化学药剂的特别冷凝器。其中一位还是使用化学药剂期间负责该客户的厂方销售代表。他们 3 位一致同意在近年来打开检查的冷凝器中, 这个用新的不用化学药剂处理的冷凝器, 比以往用化学药剂处理的冷凝器状态差不多, 甚至更好。到场的每个人都同意这个冷凝器列管的表面没有水垢, 腐蚀和微生物得到了和化学药剂一样好的控制。

与此同时, EST 技术带给纪念医院的收益

在与良好化学维护实现的防腐、阻垢和微生物控制相当或者超出原有的结果的同时, 纪念医院运用 EST 技术之后获得了下述收益:

1. 冷却塔排放水每年减少 740,000 加仑 (2,800m³/年)。
2. 在此 15 个月期间, 绝对没有购买任何水处理化学药剂, 操作工没有处置和暴露于化学品中, 不用添加药剂、控制添加量、浓水排放或者回收药剂以免影响环境。
3. 无需退还装载化学的储罐了。
4. 无需保留冷却水使用的化学品的“材料安全数据表”(MSDS)了。
5. 测试化学残留量的次数大大减少了。

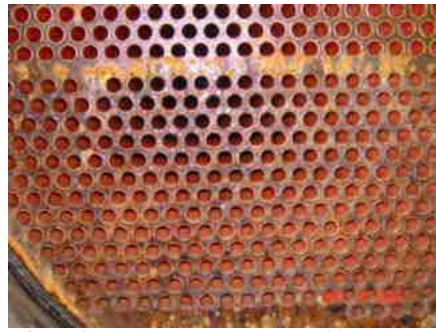
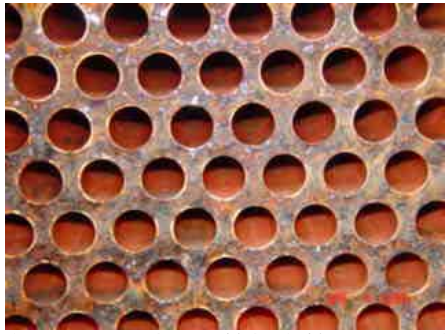
纪念医院冷却水处理历史回顾

纪念医院有三台 1250TR 的空调机组, 安装 8 年了。2003 年 12 月 20 日之前, 纪念医院的 HVAC 冷却塔使用传统的化学药剂处理。这个碱性的技术工艺使用标准的阻垢剂和缓蚀剂。2001 年之前, 交互使用两种非氧化性杀生剂来控制微生物污染。然而, 按照 CTI (美国冷却塔研究所) 关于控制军团菌的建议, 2001 年开始加溴或者氯。腐蚀和微生物控制结果多年来一直很好, 但是持续的剩余卤素的存在, 导致管板上形成许多结节。因此, 他们有兴趣寻找一个替代处理技术。

EST 推荐为化学处理的替代技术。EST 技术的优势在于减少水消耗、相近的防腐和阻垢能力、可比的处理成本以及相当或超出的微生物控制。再加上化学处理可以大大减少, 甚至可能完全取消化学药剂。

结果, 医院在冷却塔系统里选择安装了 EST, 并于 2003 年 12 月 20 日开始投入运行。至今, 没有用任何化学药剂。

冷凝器检查结果



这两张#3 凝结器的管板和管子的照片摄于 4/4/05。这个用了 8 年的热交换器的凝结器铜管非常清洁，没有软的或者硬的垢。同时用光学显微镜检查了管子的内表面，发现热交换器几英尺深处也是很清洁。铜管上没有腐蚀的迹象。一些管板和管子末端发现了节结（腐蚀斑），但是和用化学药剂的结果比较，渗透深度是最小的。

虽然在第一次通过的管子内壁存在极少数的可见的粘滑的污染物，但是第二次通过的管板和端板上没有任何生物膜污染。而且，冲洗管子排出的水是非常干净的，而且其中没有任何可能存在于管子内壁的明显的碎片、水垢或者粘土。

EST 工作基础

和旁流过滤器相似，EST 要求水流过反应室，以便拿掉适当的矿物质和杀死细菌。在纪念医院大约 100 gpm 的水从循环水中引出来，通过 EST 之后，然后回到冷却塔中。通过精确的分析测试，通过 EST 的结垢矿物质含量得到了可以看见的降低。在 EST 中发生的这种实际的化学反应，区别于任何一种其他的机械式和电磁式的处理方式。

EST 中的循环

通过电解，水中的矿物质沉淀出来并去除，这就是 EST 的工作原理。反应室中维持的工作电流大约为直流 7 安培。结果是，在阴极（反应室内壁）附近形成高浓度的氢氧根，这种升高的 pH 环境（pH 大约为 13），让易结垢的矿物质预先结垢，并从水中析出。

EST 内的结垢

实际上，阴极附近局部的高氢氧根浓度形成的化学环境，和用石灰处理形成的冷石灰软化环境类似。当然，冷石灰软化处理主要用来给水去除钙、镁和硅。

与此同时，电流也将一小部分的氯离子转化成游离氯和微量臭氧。这两个产物提供了杀生效应，结合安培电流及局部高的和低的（阳极）pH 区域，维持了 EST 之外的一个事实的消毒环境。

EST 本身是一个碳钢制造的圆柱状的容器，直径大约为 24 英寸，深为 36 英寸。固定在碳钢盖子上由两个阳极和一个气动刮刀。阳极柱直径大约为 1 英寸，直伸到容器底部。电极用拥有专利的钛镍氧化物制成，以便耐受局部低 pH 环境。圆形的塑料刮刀每次清洗时用来擦掉内壁预沉淀出来的矿物质。

阳极和 EST 的刮刀

清洗周期和清洗时间取决于每天要去除的矿物质以及从冷却塔中去掉的水量，以维持冷却塔中水系统的化学和微生物平衡。矿物质平衡通过分析监测冷却水的化学性质来决定，从而在 PLC 上可以设置每天需要清洗的次数。每天补加的新水的电导率记录下来，用来帮助估计系统中矿物质的波动范围。

每次清洗开始时，四个气动球阀控制着流入 EST 内的水的方向和辅助的离心分离机。清洗的第一步，进出口阀门关闭，EST 底部的排污阀门打开。刮刀在活塞的推动下在反应室内自上而下运动，刮掉内壁软的预先沉淀出来的水垢，并和冲洗水一起从底部排出。排污的时候，进水阀门打开，以便冲洗排放区域。15 秒钟后，排污阀门关闭，刮刀回到反应室的顶部，出水阀门打开，EST 重新工作。最后一步很短（约 15 秒），离心分离机底部冲洗。

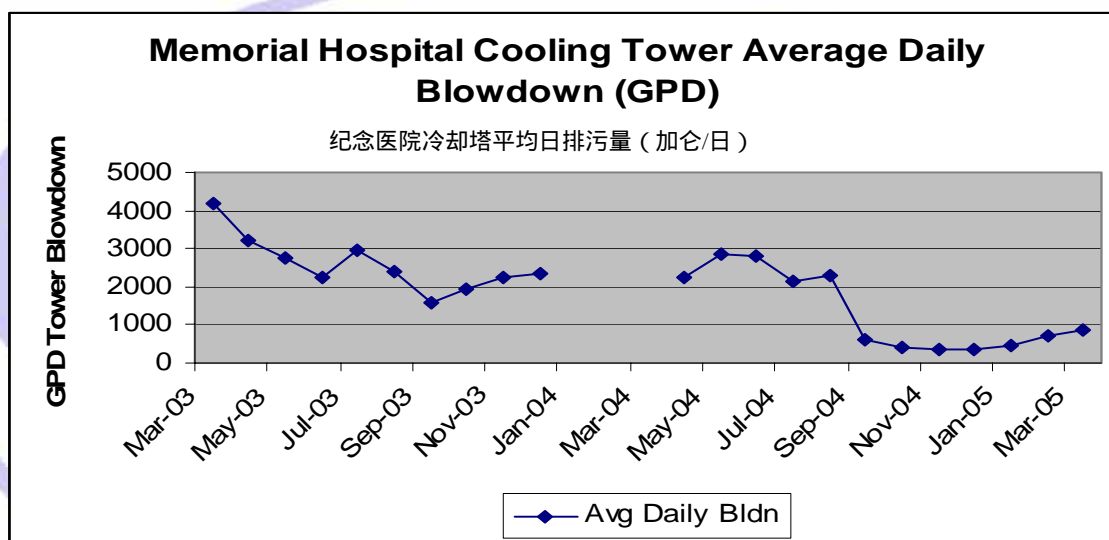
纪念医院使用 EST 的管理目标

医院管理的最基本的目标当然是自身空调系统的可靠性，在最小腐蚀的情况下维持热交换器表面清洁，并且设备运行效率高，使用寿命长。

操作工人的安全性也是一个重要的因素，EST 让工人们避免了处理或暴露在危险化学物质的风险。在控制军团菌方面，EST 的细菌控制能力被证明非常有效。

环境督察是另外一个重要的区域管理目标。降低水消耗已经成为工业和商业用户的一个关键目标。因为 EST 除掉了一大部分水中的结垢矿物质，真正浪费的浓排放水量大大减少。与此同时，医院管理部门也实现了尽可能节约每一加仑自来水的目标。节约用水和清洁控制之间的平衡是正在寻求的目标，特别是在补给水水质经常变动的情况下。

EST 水处理节省的浓缩排放量:

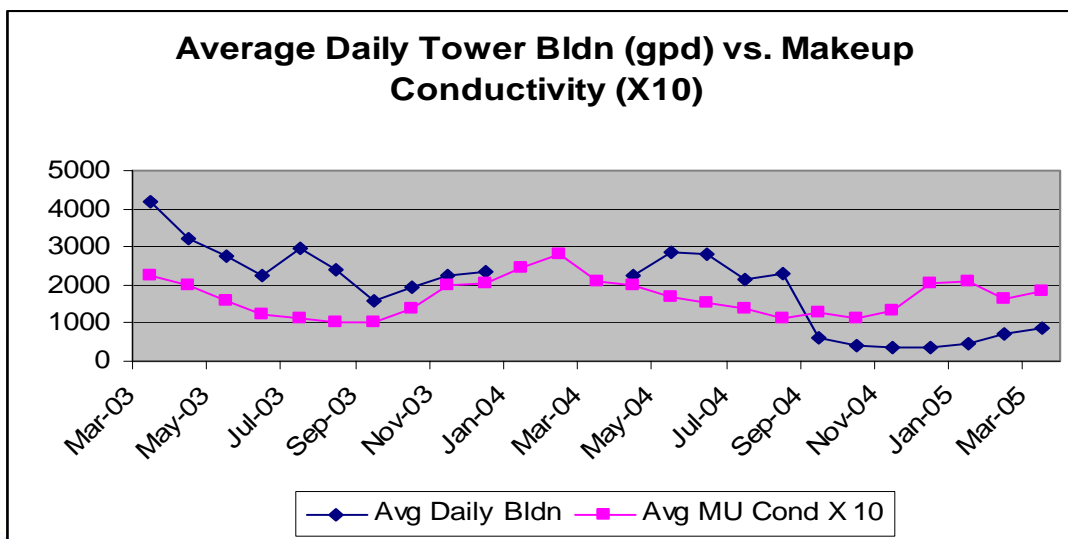


图表中给出的是两年内每个月的日平均浓缩排放量。前 10 个数据是 2003 年的，代表当时用的是化学水处理药剂。中间缺失的三个数据是 2004 年早期安装 EST 之后，新的流量计还没有装上。随后 2004 年和 2005 年的数据是 EST 运行后的浓缩排放量。

2003 年较大的下降趋势是由于自来水矿物质含量（电导率）变化的结果，这一点将在后面讨论。

EST 从 2003 年 12 月 20 日投入运行，从 04 年 1 月到 8 月是研究 EST 的化学性能，所以浓缩排放量和使用化学药剂时一样。从 04 年 9 月中旬开始，EST 冲洗（浓缩排放通过冲洗的次数来控制）次数从每天 12 次降到每天 4 次。与此同时，从 9 月开始日平均浓缩排放量明显下降。2003 年的 10 个数据平均结果，使用化学药剂处理的日平均浓缩排放量为 2580 加仑。而经过优化后的 EST 系统，从 04 年 9 月到 05 年 3 月的日平均浓缩排放量为 528 加仑。因此日平均浓缩排放量减少了 2052 加仑。这就等于说一年节省的浓缩排放水量为 749,000 加仑（2,835m³/年）。

自来水电导率对化学药剂水处理浓缩排放量的影响，而 EST 不受影响



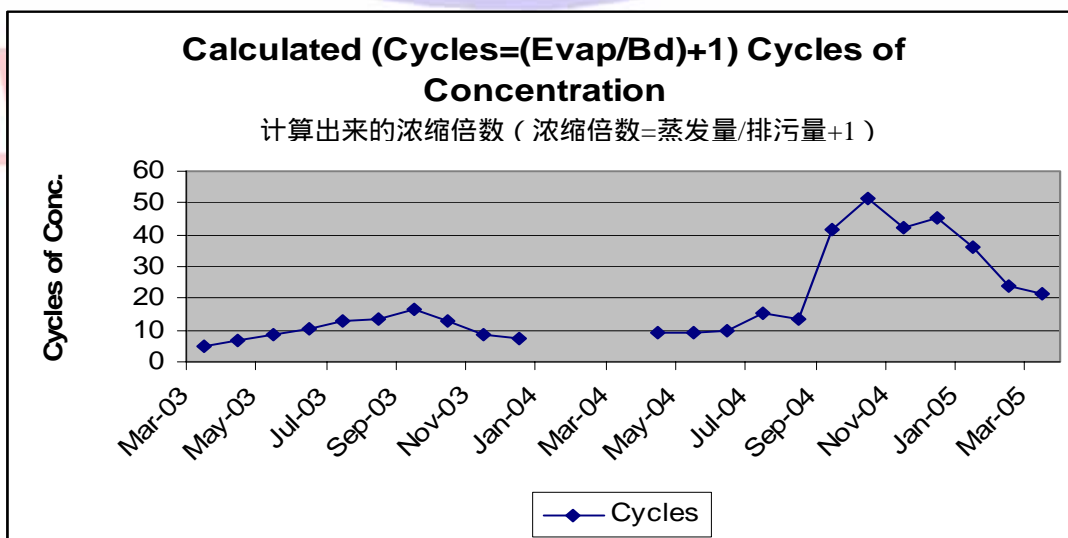
本图可以看出日平均浓缩排放量（蓝色）随自来水月平均电导率（紫色）变化的趋势。2003年冷却塔采用的是化学药剂处理。注意到浓缩排放量是如何随电导率变化而变化的，虽然2003年7月和8月两个月例外，这期间热交换器热负荷非常高。注意到后面的7个蓝色的点和电导率是相对一致的，这些点代表了优化后的EST浓缩排放量。

电导率是测量水的导电能力的最简单的方法，电流通过溶解于水中的矿物质离子传导，矿物质含量愈高，水的导电性能愈高。

安装EST之前，采用的化学药剂处理，冷却塔的浓缩排放量用电导率仪自动控制。设定的排放电导率为1200-1500 uS。因此，当自来水的电导率增加时，浓缩排放量也会增加。通过水表的读数计算的浓缩倍率从5（2003年3月，电导率为226uS）到16（2003年9月份的平均电导率只有103uS）。

和化学药剂处理不同，EST的浓缩排放量由时间控制，所以浓缩排放量完全独立于自来水的电导率。因为每次冲洗用的水量基本上一样（纪念医院的冲洗量约为100加仑），所以改变冲洗次数就改变了浓缩排放量。

减少浓缩排放量对浓缩倍率的影响



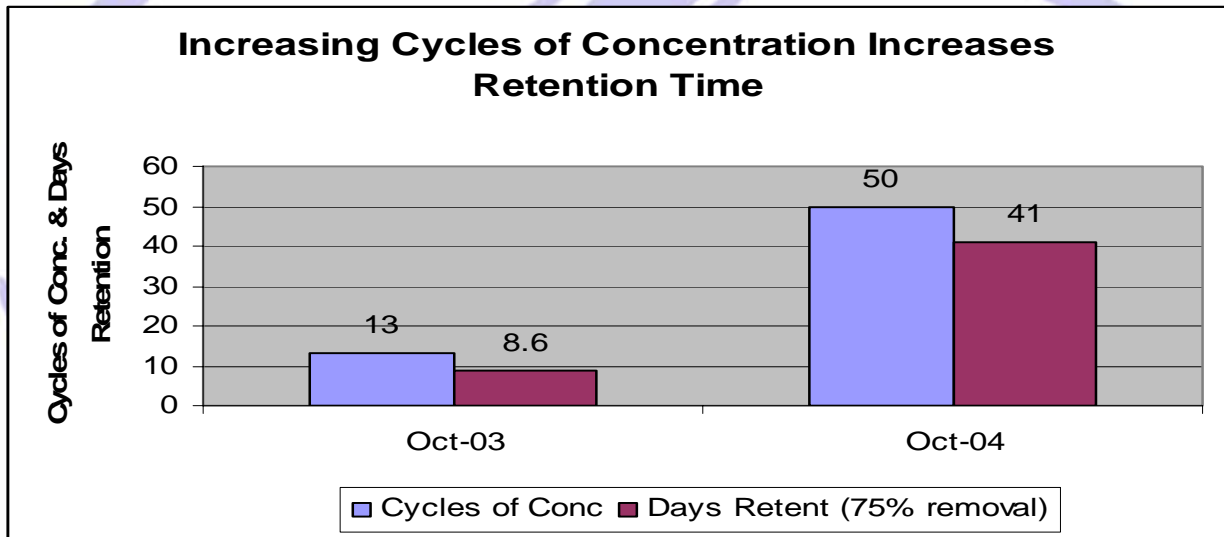
浓缩倍率显示了自来水中的矿物质经过冷却塔蒸发（蒸发掉的只有水）之后被浓缩的程度。

像前面提到的，2003年采用化学药剂处理期间的计算浓缩倍率相对较低，只有5~16之间。当EST控制的浓缩排放量在2004年9月中旬减少之后，计算浓缩倍率急剧增加。实际上，2004年9月和10月的计算EST浓缩倍率比2003年同期高出了3倍。而且，在04年9月16日到19日期间基于硫酸根分析得出冷却塔的浓缩倍率为54。这个54倍的浓缩倍率与水表读出的同期月平均结果非常接近。

因为冷却塔补加水和浓缩排放水的流量都有水表测量，而且医院也提供了历史数据，所以这里的浓缩倍率通过这个公式计算：浓缩倍率 = (蒸发量 / 浓缩排放量) + 1。这个简化的公式没有把风吹飘洒损失的量计算在内，但是目前新型高效率的冷却塔飘洒带走的水量很少。

在过去，一个高负荷的冷却塔的浓缩倍率无法达到20倍的浓缩倍率，主要就因为飘洒。然而，现在，纪念医院三座马力 (Marley) NC 系列的冷却塔的飘洒只有循环量的0.02%。事实上，结合较好地运行冷却塔，使其在低于额定的循环速度下运行，还能够进一步减少飘洒的量。另外，塔顶的风扇不到高温时候不开启，通过人工到塔顶检查保证极少的飘洒脱离系统。

增加的浓缩倍率对水/固形物在系统中停留时间的影响



减少浓缩排放量就意味着进入系统中的矿物质、颗粒物或者细菌将会在系统中停留更长的时间。上图显示，采用化学药剂处理期间的03年10月，浓缩倍率为13，停留时间为8.6天。反过来，在采用EST后的04年的10月，浓缩倍率为50，停留时间为41天。

增加停留时间带来的威胁是高浓度的矿物质、颗粒物和细菌沉积到热交换器或者系统中其他我们不希望的地方的可能性就增加了。相应的，随着浓缩排放量减少，停留时间增加，保持系统清洁的工作就要加强。如果可能的话，那些流速较低的区域，象冷却塔塔池，就需要更加频繁的清洁。对于停留时间，根据浓缩倍率衰减75%的时间来计算，计算公式为：1.386 X (系统体积/浓排体积 gpd)。本系统体积为1200加仑。

化学分析浓缩倍率 vs. 流量计计算浓缩倍率 不同方法得到的浓缩倍率比较

日期	8/29/04	9/7	9/16	10/8	10/19	11/9	11/23	12/9	1/6/05	1/25	1/28	2/9	2/25	3/17
流量读数计算浓缩倍率	12	32	70	64	60	56	38	64	25	37	31	17	21	25
硫酸根浓缩倍率		11	30	69	63	50	19	19	19	27	28	22	27	20
流量读数浓缩倍率的月平均值	14	42		52		42		45		36		24		21

从表中可以看出，有几个月的两种方法得到的浓缩倍率出现了相当大的偏差。然而，在 2004 年 10 月和 11 月的前半段，所有的浓缩倍率都很高。即使在这极高的浓缩倍率情况下，冷冻机通路温度仍然保持在 2 华氏度。应该提醒的是，EST 的反冲洗次数直到 04 年 7 月 9 日才减少，因此浓缩倍率直到 04 年 9 月 16 日才开始增加。

有几个因素会影响这两个计算结果。影响化学分析浓缩倍率的结果的几个关键因素，自来水硫酸根的波动、在冷却塔中停留时间过长、冷却塔中硫酸盐吸收和释放到水垢中、以及进行硫酸根分析时较高的稀释倍数。

流量计流量计算浓缩倍率的波动主要在于寒冷天气里结冰和暖和天气里融化引起的临时损失。另外，像前面提到的，实际飘洒损失是个未知因素，但是这个有希望降低到相当低的水平。

用硫酸根计算浓缩倍率的原因

在前面提到，EST 运用电解的原理将水中可能结垢的矿物质去除。不同百分比的钙、镁和硅在阴极预先结垢后去除。相对较小比例的氯离子转换成氯气，当冷却塔洒水时遗失。因此，系统中的离子被去除或者挥发遗失，根据他们计算的浓缩倍率就人为地降低了，因此不适合用来计算真实的浓缩倍率。

考虑到 EST 阴极和阳极的化学环境，硫酸根与其他反应物比较，在正常浓度下具有相对比较高的惰性。因此，在所有容易检测的化学物质中，硫酸根在冷却水中保持最好的溶解性。所以，迄今为止，只有硫酸根被选作测定浓缩倍率的主要的化学标识物。接下来还有更多的证据会支持硫酸根溶解性。

EST 对多种离子去除效果的影响

从化学的角度，对于任何选定的离子或者离子基，浓缩倍率都有下面的共识决定：冷却塔冷却水浓度/补水浓度。因此，如果冷却水中的硫酸根浓度为 600ppm，补加水中为 20ppm，浓缩倍率就是 30。就正常情况来说，用化学药剂处理的目标是让所有的物质都处于溶解状态，因此大多数的垢生成的离子的浓缩倍率应该相同。

水质分析显示了对结垢离子的去除

例子	电导率	pH	P-碱度	M-碱度 (CO ₃)	钙离子	镁离子	Silica	SO ₄	Cl-
自来水	197	7.8	0	48	38	22	8	26	14
冷却水	2422	8.6	36	320	273	299	73	622	300
倍率	13			7	7	14	10	24	23

上面分析的每一个数据都是 05 年 1 月 6 日到 05 年 3 月 17 日期间六组样品的平均结果。测试结果又分成 3 组，每组用不同的色系标示。红色代表去除效率最高，橙色代表去除效率处于第二位，蓝色和绿色代表去除效率最低。

碳酸钙(CaCO₃)在 EST 阴极形成预沉淀效果最明显，重碳酸盐和碳酸盐碱度测试结果为总碱度，用甲基橙碱度标示；因为在阴极附近的高 pH 环境下这两种物质的溶解性最差，钙和碱度浓度受影响的程度最大。像表中较低的倍率，是因为 EST 预沉淀和去除了很大一部分自来水中的钙和碱度。

第二，象在冷石灰软化工艺中一样，镁和硅在阴极附近的碱性条件下也被预沉淀出来。尽管他们的去除效率只有钙的一半，但是降低的比例还是相当稳定的。电导率浓缩倍率降低原因在于总的离子浓度的降低。这也和冷石灰软化工艺中的化学反应情况类似。

电解去除离子的另外一种方式是将氯离子转变成氯气，然后当冷却水流经冷却塔时飘散掉。这种去除离子的形式比硬度预沉淀去除的效果要低很多，但是，这种降低依然是显而易见的。然而，毋庸置疑的，循环水中余氯的含量实际上一直为 0.05~0.1ppm。

如上表所示，粒子测试的结果，硫酸根浓缩倍率最高。这里没有考虑水的温度和其它因素。因此，因为硫酸根测试容易，所以用来实际检测估计浓缩倍率。

EST 对腐蚀的控制

虽然缓蚀剂可以和 EST 联合使用，我们也进行了多项努力，来评估不加药剂的结果。直至今日，还没有发现明显的腐蚀现象。然而，如果减缓腐蚀是纪念医院的一个目标，缓蚀剂也可以使用。

和标准的碱性化学处理程序一样，EST 制造的含碳酸钙的碱性冷却循环水的腐蚀性很低。在 2005 年 1 月 6 日到 3 月 17 日期间的 LSI 计算结果平均为+2.0，参见表格“水质分析显示了对结垢离子的去除”。在 2004 年 10 月，LSI 达到了一个最高点，+2.4，然而在 2005 年 2 月中旬又到达一个低谷，+1.6。下表列出了腐蚀率，结合相应的平均 LSI 值，可以看出低碳钢在低 LSI 值情况下表现出比较高的腐蚀倾向。

LSI 和腐蚀样片分析

In/Out	Days Exposed	平均 LSI	低碳钢	铜	镀锌管
11/9/04 to 12/9/04	30	+2.25	1.8 mpy	0.25 mpy	
12/9/04 to 1/6/05	28	+1.85	2.3 mpy	0.23 mpy	
1/6/05 to 3/17/05	70	+1.85	2.6 mpy		0.58 mpy
Average mpy rates			2.2 mpy	0.24 mpy	0.58 mpy

和工业标准的腐蚀速率比较（低碳钢<5mpy；铜<0.5mpy），上表结果的腐蚀速率都低于这个标准。实际上，热交换器的铜质列管末端和列管内部看起来维持得很好。列管的颜色看上去象一枚古便士暗淡的色泽，没有任何管道蚀刻、边缘腐蚀或者蚀损斑。铜管表面事实上看上去比刮片显示的结果要好。

关于碳钢腐蚀和热交换管板和盲端发现的实际情况，在非常浅的蚀损斑下面发现了一些节结。节结的数量和热交换器在冷却循环水中工作的时间没有直接的比例关系。

在冬季的几个月，热交换器每两天或一周才运行很短的一段时间。检查之前大约 1.5 个月，操作工开始每周让水流经热交换器 5 天，每次只有 5~10 分钟。检查前一周开始，由于外面的温度比较高，一台冷凝器循环的时间更长一些。在腐蚀节结方面，这一台冷凝器看起来比其它的状态要好一些，而且也是最好的一台。循环量第二多的冷凝器看起来比循环量最少的冷凝器也好一些。因此，在闲置时期流过热交换器的流量将会增加。

EST 对微生物的控制

电解对水垢的影响已经做了清楚的描述。与此同时，阴极和阳极的化学反应，配合特别的流量设计，反复地将细菌暴露于破坏性的环境中，每次流经反应室就会暴露在极高和极低的 pH、电击、和其它几种氧化消毒环境之中。

- **暴露 EST 环境 10 次/天**

EST 以旁流的方式安装，也就是说，大约 110gpm 的冷却水取出来经过 EST 处理后再回到系统中去。旁流量设计时基于系统中所有的冷却水每天经过 EST 系统至少 10 次。因此，同样地，每个来自空气中或者水中悬浮物里的细菌，都会在 24 小时之内经过苛刻的 EST 环境大约 10 次。

- **pH**

微生物对多种突然的环境变化很敏感。其中一个尤其敏感的参数是 pH 值（水的酸度或者碱度变化）。实际上，水的 pH 值哪怕简单地改变很少几个单位，就能够事实上消除某些微生物的生长。

如前文讨论的，阳极附近会形成高浓度的氢氧根，从而在反应室内壁附近造成极高的碱性环境，pH 值达到 13。相反，在阳极附近，一直维持着低 pH 的酸性环境。

因此，寄生在冷却水悬浮物上面的细菌适应了轻微弱碱性环境，pH 值在 8.5 到 9.0 之间。这个 pH 值是使用 EST 处理冷却循环水时控制的范围。于是，因为冷却水切向进入和离开反应室，不断地循环就会反复将细菌置于低 pH 值区和高 pH 值区。结果就是细菌每次通过反应室时都经历了多次变化的 pH 值环境。

- **暴露在电流中**

EST 在反应室中维持大约 7.5 安培 30 伏特的直流电流。因此，细菌每次经过反应室时都会暴露在 7.5 安培的电流中。

- **产生氯气、臭氧和氧自由基**

由于阴极发生的化学反应，少量的氯离子转化成游离氯，因此循环水中余氯维持一个较小的数量，约 0.1ppm。这个余氯，就像向水中添加漂白粉一样，通过氧化作用杀死细菌。同时，在阴极还产生了臭氧和氧自由基，这两个氧化性物质，和氯类似，具有杀生剂的作用。

纪念医院的微生物监控程序

在 2004 年 11 月 9 日，纪念医院对经过 EST 处理后的冷却水中的微生物进行了检测。实际上，他们通过检测五种不同的微生物来监测不同类型的细菌群落。结果表明 EST 处理后的冷却水中细菌群落密度惊人地低。

三种不同的琼脂培养基被用来测试总的好氧菌、酵母和霉菌，以及厌氧硫酸盐还原菌（SRB）。冷却水浸泡后的琼脂培养基立即放到培养箱中培养 2~7 天。在不同的时间点，培养基计数，并对结果作说明。另外，用自由 ATP 和总 ATP 检测来表示细菌瞬间读数。而且，最后，针对军团菌检测，他们请了一个在 Pittsburg PA 的独立实验室。

循环冷却水细菌检测结果总结

日期	自由 ATP	总 ATP	事实 ATP ul	总菌群/ml	真菌/酵母菌群/ml	硫酸盐还原菌 (SRB)
3/17/05	22	40	18	0	0	0
2/22/05	5	28	23	0	0	0
2/9/05	4	28	24	0	0	0
1/25/05	4	33	29	0	0	0
1/6/05	4	56	52	0	0	0
12/9/04	5	24	19	0	0	0
11/23/04	5	23	18	0	0	0
11/9/04	19	95	76	100	0	0

ATP 测试就是测定一种在所有活体细胞中发现的化学物质——三磷酸腺苷。为了确定水中细菌贡献的 ATP 的量，实际上要进行两项测定。实际的细菌 ATP 的量是通过总的 ATP 减去自由 ATP 的结果。

一般来说，在冷却循环水系统中，ATP 含量低于 300 就能保证整体的洁净的结果。

循环冷却水中得到的 ATP 含量和琼脂平板计数得到的结果一样，代表事实上的消毒情况。不管事耗氧菌，还是酵母、真菌和 SRB 结果都一样。

固着细菌（附着生物膜）测试结果小结:

日期	样片放置时间 (天)	自由 ATP	总 ATP	事实 ATP	总菌群/ml	真菌/酵母菌群/ml	硫酸盐还原菌
3/17/05	36	200	1700	1500	100/ml	0	0
2/9/05	34	150	1100	950	10/ml	0	0
1/6/05	28	120	1600	1480	100/ml	0	0
12/9/04	17	54	1200	1146	100/ml	0	0
11/23/04	14	160	2100	1940	1,000/ml	0	0

因为在循环水系统中获得相对的消毒状态是可能的，但是系统表面上还会滋生生物膜，所以纪念医院要进行生物挂片测定。生物挂片测定得出的数据必须和实际观察到的结果作比较。也就是说，如果挂片上 ATP

和/或菌群数维持在某一个范围内，与此同时，系统表面是清洁的，于是就可以建立一个可以接受的粘附细菌测定控制范围。如果，不管什么原因，粘附细菌和菌群数有上升的趋势，系统就存在细菌污染的危险。

一个循环水系统中的 ATP 含量和菌群数没有必要一定和另外一个系统相关。因为很多环境因素会影响细菌的生长，每一个循环水系统应该分别评估。

生物挂片测定程序

为了搞清楚细菌可能生长的场所，一种特别的镍/铬网状样片放在循环水系统中腐蚀点的一个支架上。这个折叠的网状样片提供了最大的表面积供附着和捕获微生物。样片在系统中放置 2~8 周。

放置结束后，没有任何接触，样片小心地从支架上取下，放到盛有 99ml 的无菌水中。瓶子晃动 60 秒，以便网上的细菌脱落下来，分散到水中。2 分钟静置后，这些水拿来检测几种细菌。

生物挂片试验数据分析

由于样片的表面积大，所以样片提供了很好的相关信息。因为每一个系统的化学和生物性质不同，基础数据编辑后和实际观察到的结果对比。冷却塔系统中，那些处理过的水流过的地方，水流连续而且流速较高的地方，都没有发现生物粘泥。

在以前采用化学药剂处理的系统里，固着细菌数量在杀生剂失效时会急速爆发。同时，监测点的位置生物粘泥快速增长也说明了杀生剂失效了。同时，如果固着细菌数量剧增，可以合理地解释为交换器内生成了粘泥或者其它不易监测到的区域滋生了粘泥。

细菌检测和系统观测之间的关系

在纪念医院冷却循环水和固着细菌检测结果都表明了优异的杀生效果。定期的拜访观测，发现冷却塔池、腐蚀样片等也得到了很好的控制。在处理水充分流动的区域，金属表面也是非常干净，没有粘泥。

军团菌检测结果

在 05 年 3 月 8 日去水样（经过一夜）送到 Pittsburg, PA 的独立实验室进行军团菌检测。检测报告结果是所送样品军团菌检测结果显阴性或者样品中没有检出军团菌。

EST 处理系统可靠性观察

类似 2005 年 4 月 6 日的情况，医院冷却塔系统的运行状况比得上以前用化学水处理时的结果。在正常的操作参数下，冷凝器的可实现温度保持得很好。

即使在 EST 循环量比建议的量低的情况下，系统的运行参数看起来都很好。2005 年 1 月 18 日，EST 进水管到上安装了流量计，那一天的流量只有 45gpm，可是建议的流量却是~110gpm。2005 年 2 月 2 日，改造管到后，流量增加到 120gpm。从那天起，冷却塔填料一直很干净，而且冷却塔池滞留区看起来更好了。

EST 处理结论/观察结果

1. EST 工作的非常可靠。免费为客户更换了一个电极。没有其它的机械问题需要修理或者更换。
2. 循环泵的吸水和排水管道经过改造增加了流经设备的流量，流量增强加后结垢和微生物控制比原始设计得到了改善。
3. 只用 EST 处理的月排放费用比 EST 和化学药剂联合使用节省的水量略低。
4. EST 控制允许的日平均排放量从化学药剂处理时的 2580gpd 到 582gpd。这相当于每年节省科罗拉多泉城自来水 740,000gpy。
5. 节省自来水消耗的同时，系统的效率没有明显的损失，冷却器的列管看起来很干净，而且没有水垢。
6. 节省水的同时，实现了不向环境中排放任何化学药剂。
7. 减少浓水排放的结果，浓缩倍率从使用化学药剂时的 16 倍，增加到使用 EST 时的最高 60 倍。而且浓缩倍率增加没有造成工作效率明显的变化。

-
8. 由于浓缩排放率减少，冷却水在系统中的停留时间增加了差不多 5 倍。2004 年 10 月浓度衰减 75% 的停留时间超过了 40 天。然而，停留时间的增加没有造成系统效率任何降低。
 9. 通过跟踪自来水电导率 2 年的变化，发现了一个可以重复的、循环的趋势。这个趋势经过 EST 处理后，没有带来任何负面效应。
 10. 自来水循环往复的电导率波动，导致了化学药剂处理时的不可忽略的水量消耗。用 EST 控制之后，这种消耗得到了彻底根除。
 11. 和其它一般用来测定的 EST 去除的离子比较，硫酸根逐渐成为了浓缩倍率的标记离子。
 12. 低碳钢的腐蚀率测试结果，平均腐蚀率略微高于 2 mpy。这里，这个腐蚀率是可以接受的，但是如果必要的话，还能够通过机械的或者化学的方法加以改善。闲置期增加冷凝器循环水的流量，会使得热交换器的腐蚀节结降到最小。
 13. 虽然铜质样片分析结果显示平均腐蚀率为 0.24 mpy，热交换器列管看起来非常好。如果真的需要，可以配合加极微量的缓蚀剂。
 14. EST 控制为省区非常有效。但是，如果需要保证，可以少量添加溴或者氯。

