

✖ ✖

✱ ✱ ✱ ✱

水利电力部规划设计院
内蒙电力勘测设计院

冷却塔防冻措施调查

前 言

在寒冷地区发电厂采用的冷却塔，冬季运行中的最大危害是结冰问题。冷却塔结冰后不但影响冷却效率，严重时会造成淋水装置的倒塌，并使塔体遭到冻融破坏降低其使用年限。随着革命和建设的需要，大机组大容量电厂的迅速发展，新建大型冷却塔不断投入运行，冷却塔的防冻关系到电厂的安全经济运行。为此，最近对东北地区几个电厂进行了现场调查，并参加了东北电管局4月1日在抚顺电厂召开的冷却塔运行管理的专业会议，学习到许多经验。

东北地区发电厂过去由于对冷却塔冬季运行缺乏经验，结冰问题给冷却塔的安全运行带来许多危害。每年冬季由于受冻而使许多冷却塔遭到不同程度的损坏，必须投入大量人力、材料进行抢修，但仍赶不上使用要求。有些塔被迫带病运行，加以该地区电力紧张，机组有时还要超铭牌运行，也要求冷却塔提高出力，情况十分被动。东北电管局十分重视这个问题，召开过几次冷却塔专业会议，交流了运行管理经验，使冷却塔的管理水平不断提高。目前有些电厂冷却塔在防冻方面做得较好，如哈尔滨热电厂能把一座纸蜂窝填料的冷却塔运行六年不结冰，塔体基本保持良好，并逐步做到降低水温，

提高出力。抚顺电厂在担负调峰任务，负荷变动频繁的条件下，能保持13座冷却塔冬季运行不结冰，并逐步做到降低水温提高出力。其它电厂也各有自己的经验。总之，近年来在冷却塔的运行管理方面由“兼管”改为“专管”后，已逐步由打冰→化冰→防冰，进而向降低水温，提高出力迈进了一步。在塔的维修方面也由“修塔”转为“养塔”延长了塔的使用年限，不但为国家节约了大量人力物力，还多发了电。这是工人同志抓革命促生产，不断总结经验，提高运行管理水平的结果。

此次调查目的，在于总结各单位对冷却塔的防冻经验，提出较好的防冻措施，供设计、施工及运行单位参考。

此次调查只限于自然通风冷却塔。

由于我们政治思想水平低，了解也不够全面，错误之处，希批评指正。

一、结冰情况及原因分析

冷却塔在冬季运行时，由于气温低，循环水量减少，若运行管理不当，会引起严重结冰现象，甚则导致淋水装置倒塌。结冰原因与气温水温、负荷及塔型等都有关系，而主要的因素是气温。但结冰与气温并不存在着必然的因果。如哈尔滨热电厂在气温达 $-26^{\circ}\text{C} \sim -35^{\circ}\text{C}$ 时保持出水温在 $14 \sim 16^{\circ}\text{C}$ 。而冷却塔不结冰；而另一些电厂在零下十多度气温下则结冰严重，说明矛盾是既对立又能统一的。根据

现场调查，冷却塔结冰主要有以下几处：

1. 进风口结冰：

沿塔筒下部防冻簷的端部形成一道很薄的冰帘，严重者下垂至水面。主要由于外围水量过小，部份水滴在防冻簷端部停留时间过长遇冷而结冰。开始只零星的挂冰，影响进风，最后大量冷风被迫由其它部位流入，逐渐扩大挂冰范围，便连成冰帘。这种冰帘除了对进风有影响外，对塔体无大损害，且容易打碎。

2. 人字支柱抱冰

一般只发生在局部的人字支柱上，在柱子的内侧及根部形成上小下大的冰堆。迎风一侧的柱子由于风把水滴吹向塔内而不散落在柱上，故迎风侧柱子不结冰。结冰多发生在背风一侧的柱子上。此外，由于防冻簷根部漏水，或无防冻簷，或其它原因有小股水流自环梁流到柱子上也会结冰。此种结冰能使柱子受冻融而逐渐损坏。冬季有风时，冷却塔的防冻簷如果没有足够的水量形成水簷，就会发生这种结冰现象。

3. 淋水装置结冰

当冬季水负荷低，冷却塔管理不好，引起淋水装置局部或全部结冰。尤其是在梁与柱子的结点处，往往挂上很大的冰块。结冰的原因有：

(1) 水塔无专人管理，磁咀堵塞不正，淋水不匀、淋水密度过小或淋水填料变形、损坏，形成冷风短路，造成淋水装置局部水量过小而结冰或者水从梁上流到柱子结点处产生潜流现象而结冰。通常在柱的迎风

面结冰，逐渐增大，形成偏心荷载。严重时会使柱子弯折而使淋水装置倒塌。如哈尔滨电厂1号塔在1969年冬季就发生过淋水装置由于结冰而倒塌1/3的事故。

(2) 有些冷却塔淋水装置外围支柱太靠近进风口，只有少量的水滴散落在支柱上，遇冷即结冰。有时结冰会延及梁上，严重时会使淋水架构倒塌。

(3) 塔筒下段锥度太大，使溅散后的水滴大部份不能落在外围支柱上，支柱受水过少，遇冷而结冰。如哈尔滨发电厂3号塔外围柱子结冰严重而该厂5号塔因塔筒下段锥度不大，外围支柱就不结冰。

4. 塔顶结冰：

塔顶刚性环内、外缘由于水汽聚积，在塔顶结成很大冰块。当塔筒内缘的冰块掉落时会砸坏淋水装置，塔筒外缘的冰块会砸坏塔筒下部的爬梯平台。如鸡西电厂塔顶结冰，就发生过这种情况。抚顺电厂4号5号塔顶外缘塔冰，冰块厚达3.0米。分析原因有：

(1) 塔顶内缘结冰，是由于塔筒喉部以上扩散段锥度较大，使出口汽流过慢，凝结的水滴散落在塔顶下风向一侧的刚性环上遇冷而结冰。如抚顺电厂的13座冷却塔中，其中6座是属于此种塔型，塔顶均普遍结冰，其余7座塔顶扩散段锥度较小，出口汽体流速大，故塔顶不结冰。

(2) 塔顶外缘结冰，多发生在塔群的情况。一般由于上风向塔出

口的水汽附在下风向塔顶的外缘而结冰。也有如上所述原因由于出口汽体流速过慢而落在本塔顶外缘而结冰的情况。

总的来说，冷却塔结冰的原因是由于少量的水附在构件表面遇到大量的冷空气冻结成冰。“水”“冷空气”和“附着面”是构成结冰的三个条件，这三个条件是冷却塔运行时客观存在的，也是热交换过程不可少的。当三者处在统一状态时，就能达到良好的冷却效果。当它们之间失掉平衡时，就会转化为结冰。因此，要达到防冻目的，就必须了解它们之间的矛盾和相互间的联系，才能提出解决矛盾的方法。冬季气温低是提高冷却塔效率的有利条件。例如东北地区目前每天发电约一亿度，若循环水温降低 1°C 则每天能节煤4000吨。因此，向冷却塔要煤、要电是有潜力可挖的。如何做到既能保持较低水温运行而又不结冰，这就是对冷却塔防冻的目的和要求。

三、冷却塔的防冻经验与措施

通过初步调查，总结东北一些电厂的防冻经验，可概括为以下几点：

1. 以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真学习无产阶级专政理论，狠批修正主义路线，贯彻“鞍钢宪法”，深入开展“工业学大庆”运动，领导要重视冷却塔运行维修，要象对汽机一样，作为一项重要设备管好用好。

冷却塔是电厂的主要设备之一。过去由于受刘邓的修正主义办企业路线的影响，对冷却塔的运行维护重视不够，无专人负责管理，不管工况如何，只要能运行就行。长期处于无人管理状态，损坏严重。以致夏季水温偏高，直接影响汽机出力；冬季结冰严重，损坏淋水装置，每年耗费大量人力、材料修复，影响电厂安全经济生产。

如哈尔滨热电厂的冷却塔过去每到冬季为了防冬就挂上挡风板，当通风条件变坏，水温升高，汽机真空下降时，又把挡风板拿掉，造成冷却塔水温忽高忽低。冷却塔结冰也没人管，冰越结越大、越多以致影响通风，水温升高，真空下降，维持不了运行，就用人打冰。白天打掉的冰，远抵不上晚上结的多，这样日积月累整个冷却塔全是冰，成为一个“冰塔”，压塌了淋水装置。最严重的是1969年一号塔结冰直到水槽上面，冰块重20~30吨，一号塔淋水装置被压塌了三分之一，严重的威胁了电厂的安全生产，最后不得不停塔重新修复。仅更换淋水装置就花费40多万元，因停塔影响发电的损失就更大。

哈尔滨等电厂总结了过去的经验教训，发动群众狠批修正主义，认真学马列主义、毛泽东思想，提高了认识，决心作冷却塔的主人。成立了冷却塔运行维护班，设专人管理。

冷却塔班在两条路线斗争中诞生。成立后还存在着激烈的思想斗争。有的人认为“搞冷却塔运行不光彩，无技术，不如搞机、电、炉神气”。冷却塔班工作条件艰苦不愿干。”等思想。针对种种错误思想，厂党委用毛泽东思想进行教育，树立全心全意为人民服务的思想，树立革命的苦乐观，艰苦创业的精神。经过多年不懈的努力，哈尔滨热电厂抚顺电厂的冷却塔班成了先进班组，工作作出了可喜的成绩。

2. 加强管理，向冷却塔要煤要电。

哈尔滨热电厂、抚顺电厂等设专人管理冷却塔，每年入冬前（10月初）对全厂冷却塔进行清扫，对正喷嘴与磁碟中心，打开外圈防冻喷嘴，堵塞内部部份喷嘴，消除缺陷，为冬季运行作好准备。冬季过后（4月下旬或5月上旬），再进行同样的清扫、对正工作，堵塞外圈防冻喷嘴打开冬季堵塞的内部喷嘴，全塔淋水密度调正均匀，准备过夏。冷却塔班冬季全班轮流日夜值班，负责巡回检查、抄录表记、及调正运行；夏季少数人值班其余人员进行塔内调整及维修工作。

冷却塔班以《实践论》《矛盾论》为思想武器，学习大庆人“三老四严”的精神，管理冷却塔的认识水平发生了几次飞跃：由打冰到化冰，再由化冰到防冰，进而到不结冰，经济运行。掌握了规律，成了冷却塔的主人。

室外气温、风向、循环水量、负荷大小是随时变化的。必须及时掌握这变化的客观规律。有计划有目的地安排调整冷却塔的运行才能做到不结冰，又经济运行。哈尔滨热电厂总结的经验为“四勤”就是：勤检查——检查冷却塔运行情况，发现异常现象作好记录，找出原因、消除缺陷。勤联系——与主盘连系，了解负荷变化的趋向，循环水泵的运行台数，及时掌握负荷的变化。与气象台站勤连系，及早掌握天气的突变，作好预防措施。勤调整——根据负荷、天气的变化调整喷嘴、挡风板及运行塔数。勤分析——分析各种异常现象，总结经验，提高运行水平。哈尔滨热电厂、抚顺电厂冷却塔班由于作到了“四勤”保证了冷却塔的安全经济运行。

哈尔滨热电厂的运行经验规定：室外气温在 $-10 \sim -15^{\circ}\text{C}$ 时水温保持 $11 \sim 13^{\circ}\text{C}$ ；气温在 $-16 \sim -25^{\circ}\text{C}$ 时，水温保持 $12 \sim 14^{\circ}\text{C}$ ；气温在 $-25 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 时，水温保持在 $14 \sim 16^{\circ}\text{C}$ 。既不结冰又能经济运行。该厂设专人管理前，1970年冬季循环水平均温度为 21.64°C ，管理后1973年冬季循环水平均温度降低到 14.59°C 。1973年全年平均温度比1970年全年平均温度降低 6.08°C ，节约标准煤6688吨。同时也节省了大量作检修用的人力与材料。哈尔滨热电厂仅是一座10万千瓦的电厂，冷却塔管理得好，就有这样大的节约，大容量的电厂其效益更为可观。

哈尔滨热电厂有两座 2000M^2 冷却塔，冬季只运行纸蜂窝填料的一号塔，他们掌握了外界因素与结冰的关系，采取调整挡风板数量。

位置即措施，使循环水温在 $12\sim14^{\circ}\text{C}$ 下长期运行不结冰。

该厂2号塔为木淋水装置，1969年以前无专人管理，年久失修，损坏严重。冷却塔班同志在不停塔条件下，坚持三年，修补了12000块淋水板，使冷却塔恢复了完好，冷却效率有了很大提高，1973年7月份循环水平均为 27.6°C 比1972年降低了 1.5°C 。

抚顺电厂冷却塔过去冬季冷却水温在 $18\sim20^{\circ}\text{C}$ 时仍结冰严重。设专人管理后，冬季冷却水温在 10°C 左右，7号塔最低可达 5.5°C 而不结冰。随着管理水平的提高，循环水温也不断下降，如1973年就比1972年全年平均水温下降 1.32°C 。在降低水温的同时，保持了冷却塔淋水装置的完好，节约了大量维修材料及费用。

1975年，抚顺电厂发现3号塔有25-30%的喷嘴与磁碟不对正，水溅散不好，经对正后水温即下降 0.53°C 。以该塔的水负荷计算，如在没对正的条件下，要水温下降 0.53°C ，则该塔的面积需由原来的 850M^2 增加到 1034M^2 。即增加 21.64% 。相当于增加基建投资10万元。

以山东辛店 3500M^2 冷却塔为例，在设计采用的气象条件下，如发生上述咀、碟不对正的情况，要使水温不恶化 0.53°C ，则冷却塔面积需增大到 4186M^2 ，才能达到原设计水温，即增加 19.6% 。相当于增加基建投资 37.7 万元。

冷却塔加强管理后，淋水装置的使用寿命可以延长，可节省大量

材料与修缮费用。淋水装置的基建费约占冷却塔总造价的 $1/3$ 。

目前淋水装置每平方米的造价约为200元左右。如淋水装置使用年限15~20年计算，一座100万瓩的电厂，冷却塔淋水装置延长使用一年，就可节约25~33万元。

同样若一座100万瓩的电厂，冷却塔全年平均水温不恶化 1°C ，每年就可节省标准煤10,200吨，或多发电三千万度。

由以上事例可见，加强冷却塔的运行管理，使冷却塔能经常正常运行，是大有可为的。

3. 少量的水与大量冷空气接触是结冰的主要原因，故冬季停用部份冷却塔，加大冷却塔的淋水密度，是防冰的有效措施之一。

冷却塔设计水负荷是按夏季水负荷设计的。

冬季气温、水温较低，循环水量也较夏季少。水少就引起配水不均，水少的地方就会结冰。即使配水均匀，但淋水密度过小，与大量冷空气接触也将造成结冰的条件。东北各厂一般采用冬季停用部份塔和加大淋水密度的措施。如阜新电厂总装机容量55万瓩，冬季基本上满负荷运行。该厂有15座冷却塔（6座 1250M^2 ，4座 1520M^2 ，5座 2000M^2 ）。该厂运行经验是：气温 -5° 以下停塔， -5° 以上开塔。气温在 -20°C 以内 1250M^2 及 1520M^2 的塔各停一座， 2000M^2 的塔停两座，停塔的面积相当于冷却塔总面积的20%。气温 -20°C 以下再停 1250M^2 及 1520M^2 的塔一座，停塔的面积相当于冷却塔总面积的40.4%。又如抚顺电厂装机容量

量 $25 \cdot 2$ 万瓦，1975年冬季运行七座塔，相当于冷却塔总面积的 $54 \cdot 5\%$ 。该厂在系统中有调峰作用，负荷变动大，根据负荷、水温（水温高于 $13 \sim 14^\circ\text{C}$ ）变化冬季还要调整运行塔的数量。

进入冬季前根据冬季负荷、冷却塔的具体状况，（如淋水装置型式与变电站等建筑物的距离等），编制冷却塔冬季运行方式及管理细则，如抚顺电厂1975年冬季运行方式中就规定：水温高于 $13 \sim 14^\circ\text{C}$ 投入备用塔（2，8，12号塔作为备用塔）；3，6号塔因系纸蜂窝填料，故规定气温在 0°C 以上时，方可投入运行以防冻坏。阜新电厂规定1号塔冬季不运行，以防冷却塔出口水气溶在邻近变电站上。

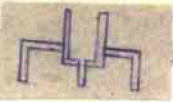
冬季运行的冷却塔，要作到不挂挡风板而又不结冰，就须按平均淋水密度在 $5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 时以上安排冷却塔运行座数。

冬季停塔要注意：（1）停运的塔一般避免在冬季投入，防止冻融损坏。（2）停运塔的水池要用热水循环保温，防止冻坏。（3）在冷却塔进水管的筒体底部及上部设直径约50毫米的放水管，塔在冬季停运时，打开放水管，使筒内积水保持流动，防止冻裂。（4）冬季停运的塔要注意取水口处支柱在水池水位线附近的混凝土冻酥问题。设计考虑采取相应的防冻措施，如涂环氧树脂或抹防水砂浆等。

5 加大外围水量，形成水帘减少冷空气的进塔量，是防冻的有效途径。

冬季在运行塔上加大外围水量，才能达到防冻目的。加大外围水量的目的，在于塔外围形成一道水帘，减少冷空气的进塔量，同时把水

也对进塔空气起到预热作用，可防止塔内结冰。抚顺、阜新、鸡西及哈尔滨发电厂等单位都有比较成功的经验。但同一个厂同样的冷却塔由于外圈水量小也有结冰严重的教训。

鸡西发电厂5号塔与4号塔面积与塔型完全相同，5号塔为槽式配水，靠筒壁430毫米有一圈配水槽，槽上喷嘴直径大，间距小。4号塔为槽—管式配水（），最外一圈喷嘴距筒壁927毫米。管子易堵不便清洗，喷嘴变形，且与塔中心不对正等原因，造成塔外圈水量少，配水不均，结冰严重。5号塔不但不结冰，而且在相同条件下水温较4号塔低1~2℃。抚顺电厂8号塔最外圈配水槽距塔壁较大，结冰严重。后来在靠筒壁处加一圈水槽，外圈水量增大，基本上不结冰。

目前加大冷却塔外圈水量的办法，各厂不完全相同，大致为：

(1)加密外圈喷嘴——当水槽环形布置时将最外3~5圈水槽及喷嘴间距逐渐减小，最外一圈最小，水槽近靠筒壁。加密的喷嘴夏季堵住，冬季运行。目前大型冷却塔采用方格布置形式配水，可考虑将靠近筒壁的喷嘴较正常间距加密一倍。不论那种布置形式，都要求喷嘴布置均匀。(2)靠近筒壁处加一条防冻水槽。该槽稍低于一般配水槽100毫米左右，也可齐平。槽上装有喷嘴，喷嘴间距为正常的二分之一左右。该水槽冬季运行，夏季关闭。(3)靠近筒壁的三条配水槽逐渐加深，使水深增大，喷嘴出水量增多。抚顺电厂改建的冷却塔都是在外三圈水槽分别加深20，30，50毫米。(4)以闸

板调节主水箱或分水箱的水量，使外围水量增多，内圈水量减少。

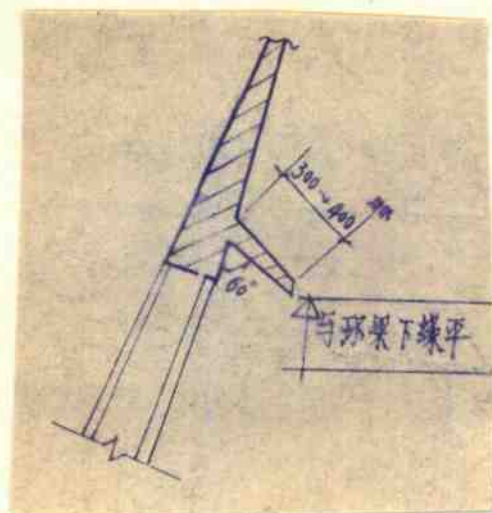
上述的几种办法，都是行之有效的。结合目前大型冷却塔设计的配水系统的布置形式考虑：采用冬季能减少内部水量，加大外围水量的措施为宜。

据东北各厂的运行经验，冬季外围喷嘴的淋水密度应保持在 $7 - 8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 为好。

5、精心设计，消除可能造成结冰的缺陷。

冷却塔设计时，要充分考虑防冰措施。根据东北各电厂的经验，在设计方面应考虑：

(1) 防冻簷：在冷却塔进风口的上缘设一圈防冻簷，防冰簷起到收集筒壁凝结水流，防止水流沿筒壁流至人字支柱上结冰。同时使水形成水帘，防止冷空气进入塔内。防冻簷可按下图形式，效果较好。



(2) 配水系统：最外面配水槽尽量靠近筒壁，喷嘴加密，喷嘴直径加大。为便于调节冷却塔内外圈水量，喷嘴间距不宜过大。当电厂只有1~2座冷却塔，或单元式供水系统时，喷嘴数量宜多，间距宜小。喷嘴数量、间距可考虑分别按以下两种情况确定：(A) 冬季：按冬季循环水量，外圈（3 M左右）淋水密度不低于 $7 \sim 8 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$ 时，内圈淋水密度在 $4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$ 左右。计算喷嘴间距及直径；(B) 夏季：按最大设计循环水量，全塔平均分配水量，或外圈（全塔的一半面积）大于平均淋水密度15%左右，内圈（全塔的另一半面积）小于平均淋水密度15%左右，计算喷嘴间距及直径。冬季堵一部分内圈喷嘴，打开所有外圈喷嘴；夏季堵一部分外圈喷嘴，

打开内圈喷嘴，这样既满足夏季又满足冬季要求。

(3) 淋水装置的梁柱，淋水装置的最外一圈柱，在满足梁跨度要求下，要适当向里移，减少挂冰机会。梁的下缘不要低于进风口上缘，冬季可减少与进塔冷空气接触，以免在此处结冰，夏季也可减少进风阻力。

(4) 塔型：塔型与冷却塔结冰有一定的关系。如哈尔滨发电厂五号塔塔筒喉部以下曲率小（约为 $1:0.24$ ）三号塔塔筒喉部以下曲率大（约为 $1:0.4$ ），在相同淋水密度下三号塔结冰严重，五号塔不结冰。由于曲率大，在进风口处筒壁水量少，容易结冰。

撫順、鸡西电厂冷却塔多，形成塔群。塔顶结冰有的严重，有的不严重。分析原因和塔群布置及塔的高度有关，塔本身的水滴和邻塔的水滴都是导致结冰的原因。但喉部以上曲率大小也有一定的关系。撫順电厂1~6号塔喉部以上曲率比7~13号塔为大，出口气流速度低，水滴易落在塔顶，也是构成塔顶结冰的原因之一。

6、精心施工，严格达到设计要求。

冷却塔施工质量的好坏，直接影响冷却塔的效率及冬季结冰的程度。施工时：(一)全部水槽必须达到设计要求的标高，才能保证配水均匀。否则有的部位溢水，有的部位无水或少水。溢水则夏季影响冷却，水少或无水则冬季易结冰。鸡西电厂7号塔水槽安装不平，最大差6厘米。冬季结冰严重。(二)淋水填料交接处不能留有间隙，有间隙处空气大量流过形成配风不均，以致夏季冷却效果差，冬季容易结冰。(三)磁嘴、磁碟中心对正，保持良好的溅散效果。对正时要带水作业。(四)水槽磁嘴、磁碟填料、貯水池都要在施工完毕后，清扫干净，防止脏物堵塞喷嘴及进入循环水系统影响运行。

7、建立必要的规章制度，保持安全经济运行：

发动群众，建立必要的规章制度，真正使工人是管理企业

的主人。如撫順电厂制定有《冷水塔运行管理制度》，哈尔滨热电厂制定有《水塔维护班岗位责任制》，黑龙江省电业管理局制定有《冷却塔暂行管理制度》等都是对冷却塔的安全经济运行起到保证作用的必要制度。

8、发扬大协作精神，及时消除一切缺陷：

东北一些电厂的冷却塔分别由不同的分场管理。哈尔滨电厂属于修缮分场，撫順电厂运行属汽机分场，维修属修缮分场。两种不同的建制各有优缺点，可根据具体情况定。但是不论属那个分场管，管理人员一定要固定，才能积累经验，摸索出规律，不断提高管理水平。

运行维修分别属两个分场管时，都要发扬大协作精神，主动作工作。如撫順电厂冷却塔运行班主动承担冷却塔的小修，清理工作，作到有缺陷修理及时，保持冷却塔经常完好。免除了小缺陷不修，天长日久愈坏愈严重的现象。若运行人员不主动修，提到修缮分场修，由于工作安排往往不能作到修理及时，影响运行。修缮分场修建冷却塔时，充分听取运行班对冷却塔的改进意见，能作到的尽量作到，不断改进，不断提高，相互协作。使运行的冷却塔完好无缺，正在修建的冷却塔个个有所改进，有所提高。

9、大搞科学实验，不断总结提高：

科学实验是三大革命运动之一，在冷却塔运行中，通过科学实验做到心中有数，充分发挥设备的潜力。如撫順电厂每改建一座塔作一套热力试验，掌握水塔特性。通过试验也总结了冷却塔不结冰的合理运行方式。如7号塔当冬季水量在 $7000\text{ m}^3/\text{时}$ 以上时，就不结冰。哈尔滨热电厂也对低蜂窝填料的一号塔作了全面的试验，都取得了较完整的资料。阜新、二道江等电厂也开展了这方面的工作，都为电厂冷却塔的经济运行提供了可靠的数据。