

水利电力部技术改进局

火力发电厂循环水 冷却设备的运行和試驗导則

中国工业出版社

水利电力部技术改进局

火力发电厂循环水 冷却设备的运行和試驗导則

中国工业出版社

本导则主要叙述火力发电厂密闭式循环水系统和冷却设备的运行和维护问题，其中主要包括冷却设备的运行原理；喷水池和冷水塔的验收、投入和正常运行、维护监督和缺陷消除等内容。还有专章详细介绍冷却设备的试验方法，其中包括试验的种类和目的、试验前的准备工作、测量项目和测量方法，以及试验资料的整理方法等。

本导则供从事火力发电厂汽轮机运行和试验的技术人员参考。

水利电力部技术改进局
火力发电厂循环水冷却设备的运行和试验导则

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南街甲1）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 毫米·印张 $2\frac{3}{16}$ ·插页2·字数44,000

1962年11月北京第一版·1964年6月北京第三次印刷

印数4,569—9,087·定价(科六)0.35元

*

统一书号：15165·1250(水电-218)

前 言

我国有許多火力发电厂采用密閉式的循环水系統。冷却設備和整个循环水系統的正确运行是减少发电厂的煤耗和厂用电的重要环节。

在很多情况下，由于部分电厂人員对循环水系統和冷却設備的运行注意不够，使电厂的經濟性和可靠性有所降低。在炎熱的夏季，个别电厂的机組出力还受到限制。

国内外火力发电厂循环水系統和冷却設備的調整試驗的經驗証明，在許多情况下，采用比較簡易的措施，就有可能来改善冷却設備的运行，提高其运行經濟性。

本导則的目的在于总结經驗，交流經驗，进一步提高和改善火力发电厂密閉式循环水系統和冷却設備的运行和試驗水平。

在編写本导則时，还参考了苏联电站部技术改进局、全苏热工研究院等机构已出版的有关这方面的运行和試驗規程資料。

有上述冷却設備的电厂，可以根据本导則并結合具体情况，制定适用于本厂的运行規程。本导則也可供有关专业人員进行上述冷却設備試驗研究时参考。

11572/09

目 录

前言

第一章 总論	3
第一节 密閉式循环水系統和冷却設備的类型	3
第二节 冷却設備的运行原理, 各季节热傳导的分配情况, 水的不可回收損失	4
第三节 循环水系統的排污和循环水处理	5
第四节 冷却設備与汽輪机凝汽器运行的关系	11
第二章 噴水池	13
第一节 总則	13
第二节 噴水池的驗收和投入运行	17
第三节 噴水池的运行維護和监督	19
第四节 噴水池运行不良的原因及消除的方法	21
第三章 冷水塔	25
第一节 总則	25
第二节 冷水塔的驗收、运行和投入运行	26
第三节 冷水塔的运行維護和监督	27
第四节 冷水塔冬季的运行維護	30
第四章 冷却設備的試驗	32
第一节 試驗的种类和目的	32
第二节 試驗前的准备工作	33
第三节 試驗时的測量項目及試驗条件	35
第四节 測量仪表及測量方法	40
第五节 試驗資料的整理原則	62

前 言

我国有許多火力发电厂采用密閉式的循环水系統。冷却設備和整个循环水系統的正确运行是减少发电厂的煤耗和厂用电的重要环节。

在很多情况下，由于部分电厂人員对循环水系統和冷却設備的运行注意不够，使电厂的經濟性和可靠性有所降低。在炎热的夏季，个别电厂的机組出力还受到限制。

国内外火力发电厂循环水系統和冷却設備的調整試驗的經驗証明，在許多情况下，采用比較簡易的措施，就有可能来改善冷却設備的运行，提高其运行經濟性。

本导則的目的在于总结經驗，交流經驗，进一步提高和改善火力发电厂密閉式循环水系統和冷却設備的运行和試驗水平。

在編写本导則时，还参考了苏联电站部技术改进局、全苏热工研究院等机构已出版的有关这方面的运行和試驗規程資料。

有上述冷却設備的电厂，可以根据本导則并結合具体情况，制定适用于本厂的运行規程。本导則也可供有关专业人員进行上述冷却設備試驗研究时参考。

目 录

前言

第一章 总 論	3
第一节 密閉式循环水系統和冷却設備的类型	3
第二节 冷却設備的运行原理, 各季节热傳导的分配情况, 水的不可回收損失	4
第三节 循环水系統的排污和循环水处理	5
第四节 冷却設備与汽輪机凝汽器运行的关系	11
第二章 噴水池	13
第一节 总則	13
第二节 噴水池的驗收和投入运行	17
第三节 噴水池的运行維護和监督	19
第四节 噴水池运行不良的原因及消除的方法	21
第三章 冷水塔	25
第一节 总則	25
第二节 冷水塔的驗收、运行和投入运行	26
第三节 冷水塔的运行維護和监督	27
第四节 冷水塔冬季的运行維護	30
第四章 冷却設備的試驗	32
第一节 試驗的种类和目的	32
第二节 試驗前的准备工作	33
第三节 試驗时的測量項目及試驗条件	35
第四节 測量仪表及測量方法	40
第五节 試驗資料的整理原則	62

第一章 总 論

第一节 密閉式循环水系統和冷却设备的类型

1. 为了冷却由发电厂凝汽器出来的循环水，一般采用噴水池以及各种类型的自然通风和机力通风冷水塔。

2. 任何一种类型冷却设备的循环水系統是由下列的主要部分组成(图 1)：

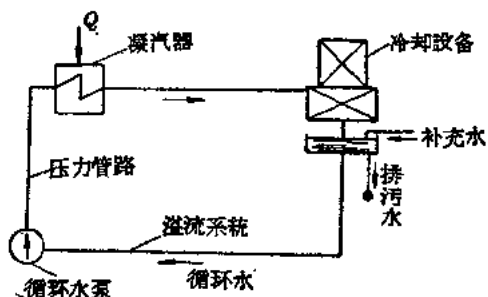


图 1 循环水系統示意图

- (1) 由冷却设备到循环水泵吸水井的循环水溢流系統；
- (2) 循环水泵到凝汽器的压力管路；
- (3) 由凝汽器到冷却设备的管路。

3. 在一般情况下，由冷却设备到循环水泵吸水井的供水系統，都是采用钢筋混凝土或其他材料筑成有盖的水沟，由循环水泵經凝汽器到冷却设备(噴水池或冷水塔等)的管路都是受压力的。

4. 噴水池和冷水塔各具有下列优缺点：

噴水池的优点是：设备費用比較便宜、施工期短、运行

維護簡單，在冬季和冷水塔比較冷卻水溫可較低。噴水池的缺點是：佔地面積較大、要採用較大的冷卻倍率、冷卻效果較不穩定、易受風速和風向的影響、水被吹走的損失很大；此外在冬季噴水池容易在廠區內形成大霧，使附近的設備和建築物上結冰，因此，在廠區平面布置上要求離開發電廠和建築物較遠，因而延長了管道，擴大了廠區。

自然通風冷水塔的優點是：建築所佔的面積不大、水被吹走的損失小、水蒸汽從很高的高度排出，因此冷卻設備可以直接安裝在發電廠設備或建築物等附近、冷卻效果比較穩定。自然通風冷水塔的缺點是：與噴水池比較造價較高、運行維護較複雜，特別是在冬季運行條件下容易結冰，冷卻水溫較高，且木質結構需要經常進行檢修維護。

機力通風冷水塔的優點是：可以採用預製的標準部件、施工期短、布置比較緊湊、主要材料消耗量少、與其他型式冷卻設備比較，冷卻效果很高，而且冷卻效果穩定。機力通風冷水塔的缺點是：風機的額外電力消耗很大、運行比自然通風冷水塔更複雜。

第二節 冷卻設備的運行原理，各季節熱傳導的分配情況，水的不可回收損失

5. 冷卻設備的運行原理，就是使水向周圍空氣中散熱。拿噴水池來說，水的熱量就是從水點的總表面散發出去；在冷水塔里就是通過淋雨裝置的水膜表面，以及當水點打在淋雨裝置上濺散形成的小水滴的表面散熱。

蒸發和對流散熱的比例，在不同的季節有所變化。夏季散熱基本上是由於水的蒸發，冬季相反，是由於對流接觸，也就是由於水和空氣的溫度差。

6. 冷却设备水的损失应包括蒸发损失、吹走损失和渗漏损失。

下面列举在不同季节各种类型冷却设备的不可回收的水损失数值：

(1) 水的蒸发和吹走损失 喷水池和冷水塔的水的蒸发和吹走损失，以占冷却水流量的百分比值计算，它决定于冷却设备运行季节和运行时水温差。

在表 1 内列举了冷水塔和喷水池在不同季节内运行水温差 Δt 为 $6 \sim 12^{\circ}\text{C}$ 时的蒸发和吹走损失。

表1 循环水温差 Δt 为 $6 \sim 12^{\circ}\text{C}$ 时的蒸发和吹走损失

序号	名 称	循环水的蒸发损失为总水量的%值			循环水的吹走损失为总水量的%值
		夏 季	春季秋季	冬 季	
1	小型喷水池	1.0~1.8%	0.8~1.5%	0.5~1.0%	1.5~3.5%
2	中型、大型喷水池	1.0~1.8%	0.8~1.5%	0.5~1.0%	1.0~2.5%
3	所有结构的塔型冷水塔	1.8~1.8%	0.8~1.5%	0.5~1.0%	0.5~1.0%
4	机力通风冷水塔	1.8~1.8%	0.8~1.5%	0.5~1.0%	0.25~0.5%

(2) 水的渗漏损失 对于喷水池和冷水塔来说，渗漏损失的数值，根据不同的地质条件一般约为循环水总水量的 $0.2 \sim 0.5\%$ ，同时随冷却设备的水负荷减小而百分数有所提高。

第三节 循环水系统的排污和循环水处理

7. 采用喷水池和冷水塔时，必须定期进行循环水系统的排污，以避免凝汽器表面结垢，从而破坏凝汽器的正常运行。排污的经济数值决定于补偿不可回收的水损失所需要的

水量及其价值，如果为了稳定循环水的暂时硬度，而排污水的费用超过循环水化学处理的费用时，则应进行化学水处理。

8. 凝汽器铜管结垢时，一方面使热传导不良，另一方面由于凝汽器管阻力增大，使冷却水流量减少，从而使凝汽器的冷却倍率降低，使汽轮机的真空降低。

为了说明结垢对于凝汽器运行的影响，在图2、3、4内列举一台汽轮机凝汽器由于结垢而使水阻增大，水量减少和真空恶化的关系曲线。

从列举的关系曲线可以看出，当结垢的厚度等于0.5毫

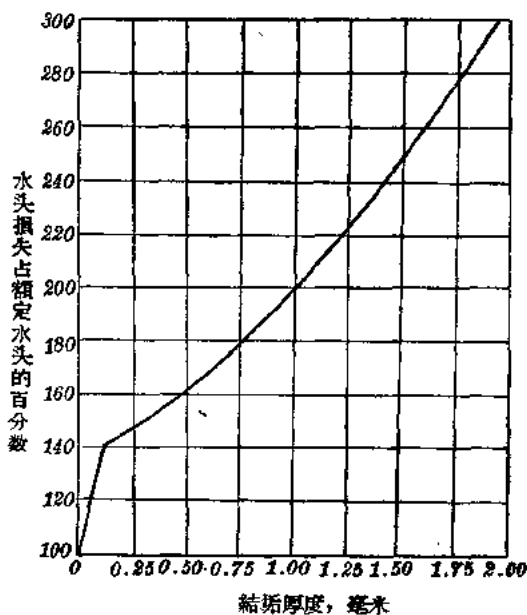


图2 在水量一定时凝汽器水头损失和结垢厚度的关系曲线

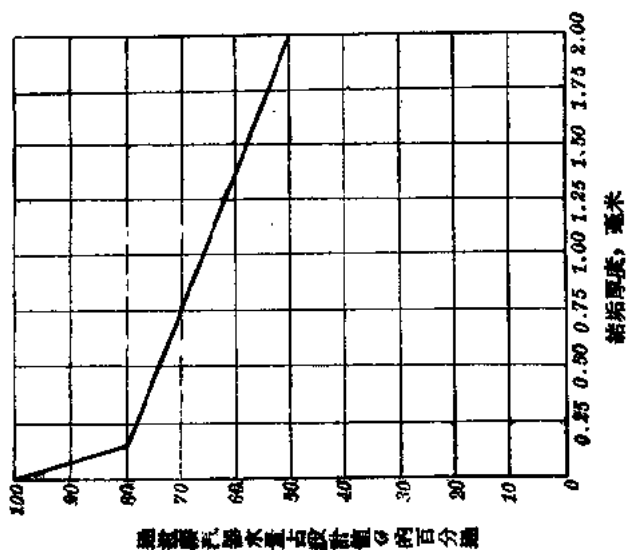


图 3 在一定水头 H 时通过蒸汽器的水量和凝结厚度的关系曲线

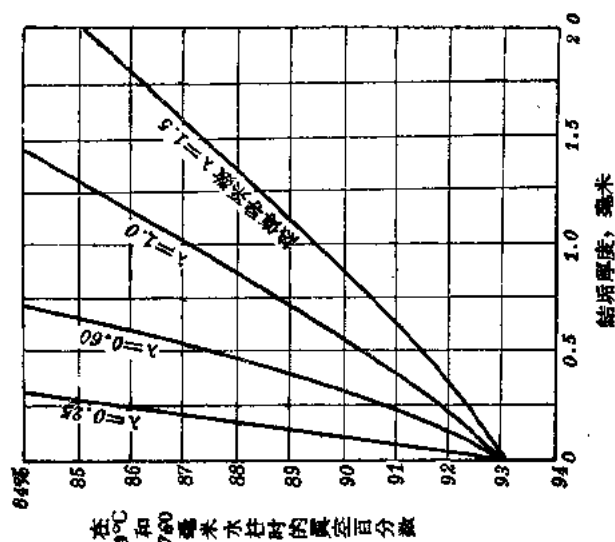


图 4 在蒸汽器中当冷却水温为 27°C 时真空恶化和凝结厚度与凝结热传导系数 λ 的关系曲线

米时, 冷却水的流量降低到 75%, 而真空则由 93% 下降到 87.4% (热传导系数为 $\lambda=0.60$)。

9. 为了防止汽轮机凝汽器铜管结垢, 所需的排污水量决定于水的蒸发损失量、排污水的碳酸盐硬度、水温 and 游离二氧化碳的数量。

10. 在确定循环水系统形成结垢的碳酸盐硬度允许值(确定排污量所必需的) 时, 可以根据图 5 上曲线来进行。横座标上的 A 值, 可按下列公式来计算:

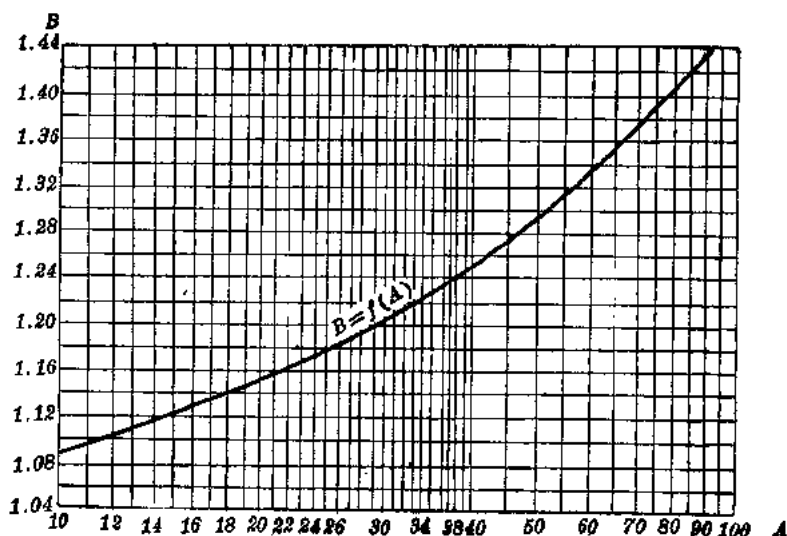


图 5 排污量计算图

$$A = 100 \cdot K \frac{\text{CO}_2 \cdot P_1}{\alpha a_0^3},$$

式中 CO_2 ——补充水中二氧化碳的实际含量, 毫克/升;

P_1 ——蒸发水量占循环水总水量的百分数;

α ——二氧化碳的损失占补充水中二氧化碳初含量的百分数；

K ——决定于水温的系数，可按图 6 曲线确定；

a_0 ——补充水的碳酸盐硬度，度。^①

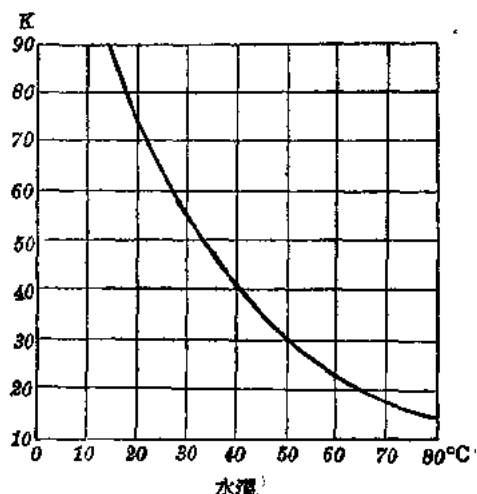


图 6 水温与系数 K 的关系

11. 排污量可根据以下关系计算：

$$P_2 = \frac{P_1}{B-1} - P_1,$$

式中 P_2 ——吹走损失占总水量的百分数。

计算例题：

已知 $P_1 = 15\%$, $P_2 = 1.5\%$, $a_0 = 8^\circ$, $\text{CO}_2 = 50$ 毫克/升，水温 $t = 30^\circ\text{C}$ 。

解：

① 1 度相当于 10 毫克/升氧化钙 (CaO) 的含量。

由图 6 可以找出水温 $t=30^{\circ}\text{C}$ 时的 $K=57.5$ 。

假設設備系統中二氧化碳的耗損（水中原含量 $\text{CO}_2\%$ ） $\alpha=70\%$ ，則可得：

（ α 值由試驗測定，一般为 $60\sim 90\%$ ）

$$A = 100 \cdot K \frac{\text{CO}_2 P_1}{\alpha a_0^2} = 100 \cdot 57.5 \frac{50 \cdot 15}{70 \cdot 8^2} = 12.0。$$

然后根据图 5 上的 A 值，可以得出 $B=1.1$ 。

所以所需的排污量为：

$$P_2 = \frac{1.5}{1.1-1} - 1.5 = 13.6\%。$$

12. 凝汽器銅管內部表面，若有有机粘质的附着物，对汽轮机凝汽器的运行也同样具有很大的影响，这种附着物会值热傳导剧烈地恶化并降低冷却水流量。

当凝汽器銅管壁附有有机污物，虽經每次清洗后，但历时不久凝汽器运行仍会迅速恶化。防止有机附着物的根本办法，就是对循环水进行氯处理。

在进行氯处理时，一般都采用漂白粉。很少在进行氯处理时，直接把液体氯加到循环水中去。

为了保证循环水氯处理取得良好的效果，必須正确的規定氯处理的方式、加药的延續時間和相隔時間，以及汽轮机凝汽器出口水中余氯的数量，后者一般为 $0.1\sim 0.3$ 毫克/升。

氯处理方式的选择随冷却水质、有机脏污程度、温度条件、季节而有所不同，故应結合各厂的具体条件来进行。

循环供水設備系統中預防結垢的方法，除上述的方法外，尚可根據各厂的具体条件，进行炉烟、酸类、磷酸物质处理。循环水化学处理正确方式的确定，应由电厂化学分場負責进行。

第四节 冷却设备与汽轮机凝汽器运行的关系

13. 汽轮机凝汽器内排汽温度 t_n 为:

$$t_n = t_1 + \Delta t + \delta t,$$

式中 t_1 ——凝汽器的入口水温, °C;

Δt ——循环水通过凝汽器的温升, °C;

δt ——凝汽器中的传热端差, °C。

在冷却设备的一定运行方式下, 水温 t_1 是由冷却设备的热力特性来确定的。

循环水通过凝汽器的温升 Δt 决定于冷却水流量和凝汽器的蒸汽负荷, 这些数值之间有下列的关系:

$$G \cdot \Delta t = D_n (i_n - i_k),$$

式中 G ——通过凝汽器的循环水量, 吨/时;

D_n ——进入凝汽器的汽轮机排汽量, 吨/时;

i_n ——进入凝汽器的排汽热焓, 大卡/公斤;

i_k ——凝结水的热焓, 大卡/公斤;

Δt ——循环水通过凝汽器的温升, °C。

对于工业性试验可采取 $i_n - i_k = 530 \sim 550$ 大卡/公斤。

凝汽器的传热端差, 仅间接地决定于冷却设备的运行, 这可以由下列公式看出:

$$\delta t = \frac{\Delta t}{\frac{k \cdot F_k}{e \cdot a} - 1},$$

式中 k ——凝汽器内平均传热系数, 大卡/米²·时;

F_k ——凝汽器的冷却面积, 米²。

温升 Δt 和传热端差 δt , 间接地决定于冷却设备和整个

循环供水系统运行良好的程度。

如图3所示,凝汽器铜管结垢会减少冷却水量,从而提高 Δt ,并减少传热量,也就是提高了 $\delta\%$ 值。

因此,冷却设备和整个循环水系统的运行情况,会严重

表2 我国部分地区热季保证率90%时的气象参数

地名	气象参数			地名	气象参数		
	$\theta^{\circ}\text{C}$	$\tau^{\circ}\text{C}$	$\varphi\%$		$\theta^{\circ}\text{C}$	$\tau^{\circ}\text{C}$	$\varphi\%$
长春	25.8	22.7	77	新乡	29.5	25.4	71
佳木斯	25.4	21.5	72	洛阳	30.0	25.8	73
牡丹江	30.0	23.2	54	郑州	29.8	25.4	70
哈尔滨	26.0	21.9	72	西安	30.9	24.6	58
阜新	27.5	23.5	70	宝鸡	28.0	22.5	60
沈阳	27.2	23.8	75	银川	24.5	20.5	68
抚顺	27.3	23.7	77	天水	24.5	22.8	86
本溪	26.4	23.5	80	兰州	24.2	21.5	78
北京	28.0	24.3	73	张掖	24.0	20.7	73
天津	28.4	25.2	80	玉门	24.0	19.0	62
保定	29.3	25.0	74	酒泉	24.3	20.1	66
石家庄	29.5	28.0	89	重庆	31.4	30.3	91.2
邯郸	29.6	24.7	66	南充	30.5	25.8	68
承德	25.8	22.3	68	内江	30.4	25.6	67
唐山	28.0	25.2	82	宜宾	30.5	30.0	95
大同	25.0	21.0	70	贵阳	24.7	22.2	80
太原	26.3	21.3	67	遵义	26.0	22.1	70
阳泉	26.2	21.5	64	昆明	21.4	20.2	89
长治	24.3	20.7	76	开远	27.0	25.2	86
淄博	29.7	25.4	70	榕峰	21.0	19.9	90
焦作	29.8	25.8	73				

注: θ ——空气的干球温度, $^{\circ}\text{C}$;

τ ——空气的湿球温度, $^{\circ}\text{C}$;

φ ——空气的相对湿度, %。