

郑长钧 李大光

---

---

双曲线  
自然通风  
冷却塔的  
检修

---

---



## 内 容 提 要

本书主要介绍双曲线自然通风冷却塔检修。全书共分九章，简单地介绍了自然通风冷却塔的结构和工作原理；详细阐述了自然通风冷却塔的循环、腐蚀的各种表现形式及原因。自然通风冷却塔的检修方法、施工机具及安全注意事项；最后介绍了自然通风冷却塔的防腐与施工的关系及水泥网格板的不同加工方法等。

本书仅供具有初中以上文化程度和技术工人进行技术培训之用，也可供有关技术人员参考。

### 双曲线自然通风冷却塔的检修

郑长钧 李大光

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经销

北京市地质局印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 4.75印张 10.3千字 4插图

1980年4月第一版 1990年4月北京第一次印刷

印数 0001—1570册

ISBN 7-120-00792-0/TK·136

定价 4.80元

## 前 言

双曲线自然通风冷却塔系发电厂主要辅助建筑之一，是循环水冷却的重要设备。它的工作效果直接关系到生产中的计划指标、汽耗、煤耗、厂用电、用水量等项目。

循环水在炎热季节温度较高，影响机组安全发电与经济运行，严重时限制机组的出力。因此冷却塔的冷却效果尤为重要。

近十年来，电力建设的速度也逐渐加快。全国各地相继建成了许多双曲线自然通风冷却塔。随着电力工业的发展，冷却塔呈现出越来越高，冷却面积越来越大的趋势。

作者为了较全面地了解冷却塔的工作和运行情况，在东北、华北、西北、中南、山东等地，对30年代至80年代建成的大、中、小型冷却塔，进行了走访和调研，搜集了部分资料；同时作者分别在东北、华北、西北等地区发电厂，承担过冷却塔的检修和有关冷却效果的测试工作，初步掌握了冷却塔工作状态，特编写出冷却塔的检修一书，供实际工作中参考。

本书在编写过程中力求理论联系实际，以实际为主，深入浅出，图文并茂，通俗易懂。本书第一、六、七章由北京电力科学研究所郑长钧编写，其余为辽宁抚顺发电厂李大光编写，李大光进行统稿工作。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，加之水平有限，难免存在错误和不妥之处，恳请使用单位和读者提出宝贵意见。

作 者

1988年12月

# 目 录

前 言	
第一章 双曲线自然通风冷却塔的功用 及其工作原理	( 1 )
第一节 双曲线自然通风冷却塔的结构	( 1 )
第二节 双曲线自然通风冷却塔的工作原理	( 7 )
第二章 双曲线自然通风冷却塔的损坏 及其原因分析	( 9 )
第一节 通风筒损坏及原因分析	( 10 )
第二节 人字柱、挡水台、散水坡的损坏及原因分析	( 14 )
第三节 爬梯、避雷针、塔顶围栏的损坏及原因分析	( 15 )
第四节 贮水池、环状水沟、竖井的损坏及原因分析	( 15 )
第五节 淋水架构、水槽的损坏及原因分析	( 16 )
第六节 淋水填料、喷嘴、溅水碟的损坏及原因分析	( 18 )
第三章 自然通风冷却塔通风筒及其它 部位的检修与材料应用	( 21 )
第一节 通风筒的检修与工艺要求	( 22 )
第二节 人字柱、挡水台、散水坡的检修与工艺要求	( 34 )
第三节 贮水池、环状水沟、竖井的检修与工艺要求	( 37 )
第四节 防冻檐、防冻槽、爬梯、避雷针的检修及工艺要求	( 40 )
第五节 冷却塔检修用的主要材料	( 41 )
第六节 筒壁检修中的几种材料应用(速凝剂及涂料)	( 48 )
第四章 自然通风冷却塔塔芯部分的检修	( 68 )
第一节 淋水架构的检修及工艺要求(含混凝 土立柱、主梁、次梁)	( 68 )
第二节 水槽的检修及工艺要求	( 70 )

---

第三节	淋水填料、喷溅装置的检修及工艺要求.....	(73)
第五章	自然通风冷却塔的检修方法、 施工机具及安全注意事项.....	(79)
第一节	冷却塔的检修方法.....	(79)
第二节	冷却塔筒壁检修的施工机具和施工机械使用常识.....	(81)
第三节	冷却塔检修的安全注意事项.....	(97)
第六章	自然通风冷却塔的防冻.....	(106)
第一节	冷却塔结冰的危害.....	(106)
第二节	冷却塔的防冻工作与效果.....	(107)
第三节	防冻与施工.....	(111)
第七章	水泥网格板的加工方法和工艺要求.....	(112)
第八章	自然通风冷却塔检修施工组织设计举例.....	(121)
第九章	自然通风冷却塔检修材料与人工消耗计划...	(132)

# 第 一 章

## 双曲线自然通风冷却塔的 功用及其工作原理

双曲线自然通风冷却塔是火力发电厂（下称发电厂）及大型工业企业的重要冷却设备。在当今世界水源日益紧张的情况下，双曲线自然通风冷却塔是节约用水，保证冷源设计温度的一项极有效的措施。它不仅能提高热效率，降低能源消耗，而且能防止水源热污染。因此，双曲线自然通风冷却塔在我国需要冷源的工业企业中，特别在大型发电厂中得到日益广泛的应用。

为了能引起全国电力部门广大工程技术人员及各级领导对双曲线自然通风冷却塔的重视，本章将着重介绍自然通风冷却塔的结构及其工作原理，在介绍这两节前也稍事简述一下双曲线自然通风冷却塔的功用。

### 第一节 双曲线自然通风冷却塔的结构

发电厂是将热能转变为电能的工厂。提高发电厂热能的有效利用率是提高发电经济性的唯一途径。要提高热能的有效利用率除要尽量减少热机内的各项损失外，主要依靠两个方法：一是开源，即使热机的进口温度尽量接近热源所能提供的最高温度，一是节流，即尽量降低热机的出口温度。对发电厂来说就是要提高汽轮机的进口参数，降低进入凝汽器

的乏汽参数。

在发电厂中要实现上述要求，首先要提高蒸汽锅炉的出口压力和温度，因为水的汽化温度是与汽化时的压力成正比的，不提高压力，蒸汽温度是难以提高的。这是大型发电厂普遍采用高温高压锅炉的重要原因。

在发电厂的大型锅炉中，炉膛的最高温度为 $1600^{\circ}\text{C}$ 左右，这就是热源温度。但是要将进入汽轮机的蒸汽温度提高到这样的温度在当今的科学发展的条件下是不可能的，因为能承受这么高温度且能稳定工作的金属还不存在。目前世界上最先进的锅炉所能生产出的蒸汽，其温度为 $600^{\circ}\text{C}$ 左右，压力在 $22.4\text{MPa}$ 。而在发电厂中，世界上最先进的汽轮机，其蒸汽进口温度一般也只有 $570^{\circ}\text{C}$ ，因为再高，金属性能不稳定，容易造成事故，这是发电厂所绝对不能允许的。所以说在发电厂中，从热力学观点出发，开源即提高蒸汽参数受当前科学发展水平的限制，进展艰难，代价巨大。但节流，即降低汽轮机排汽温度，其可行性比开源要大得多，而且在各个发电厂内就可以解决。对于闭式循环的发电厂来说，只要维持好凝汽器和冷却塔在设计工况下运行，基本上就能达到节流的目的，提高热效率和保持发电厂在较高的经济水平上运行。但是，有许多发电厂由于对冷却塔运行维护不够，使循环水温比设计值要高数摄氏度。根据可靠数据，在采用闭式循环的发电厂中，循环水每降低 $1^{\circ}\text{C}$ ，一般能提高效率 $0.47\%$ ，对高压发电机组能提高 $0.35\%$ ，对使用核燃料的发电机组能提高 $0.7\%$ 。由此可见在发电厂中降低循环水温的重要价

例如一台 $10\text{万kW}$ 机组，如果降低循环水温 $1^{\circ}\text{C}$ ，即可增发出力 $350\sim 470\text{kW}$ 。对于大型发电厂，其经济效益更可观，而所花的代价甚微，要采取的措施也简单，仅要维护好冷却

塔的正常运行即可。检修工作，能使冷却塔保持完好状态，是维护冷却塔的前提。为了便于检修工作的开展，必须对冷却塔的结构有一基本了解。

双曲线自然通风冷却塔是由通风筒、淋水装置和贮水池三部分组成，见图1-1。现简述如下：

(1) 通风筒是双曲线自然通风冷却塔的主要部分。它是以钢筋混凝土为材料的薄壳结构，呈双曲线形。通风筒包括筒壁、刚性环和环梁三部分并由人字柱支持住。

筒壁的厚度根据自重、风荷载和温度应力等计算确定。筒壁由下而上至喉口逐渐减薄，由喉口开始向上逐渐增厚。其最小壁厚一般为120~140mm。小塔取小值；大塔取大值。筒壁内设防水层。

刚性环位于通风筒的顶部，见图1-1的5。刚性环的作用是增加塔顶的刚度，其上设有供检修用的环形通道。环形通道宽600~800mm，每1.5m左右留一检修孔。环顶设有避雷针以防雷击，并设有围栏。

环梁位于通风筒的下部，见图1-1的3，其作用是将上部荷载均匀地传给人字柱2。环梁高度为2~3m，厚度为

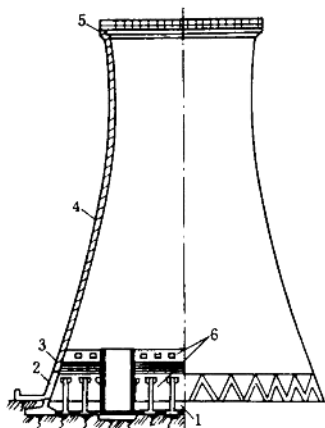


图 1-1 双曲线自然通风冷却塔剖面图  
1—贮水池；2—人字柱；3—环梁；4—筒壁；5—刚性环；6—淋水装置



400~650mm，仍是随塔的大小而变动。

通风筒工作条件十分恶劣。筒内壁经常接触凝结水，外壁处于变化的大气中，故极易损坏。如果施工质量不符合要求，甚至会造成恶性事故。

(2) 淋水装置由支承架构、配水系统、喷溅装置和淋水填料组成。支承架构一般为钢筋混凝土梁柱，在其上设置配水系统和喷淋装置。配水系统有管式和槽式两种。前者由塑料主配水管组成；后者由主水槽、分水槽和配水槽组成，如图1-2所示。喷溅装置是将循环水流喷溅成细小的水滴，再射向四周，扩大水与冷空气的热交换面积，提高冷却效率的装置。喷溅装置有两种形式：一种是由陶瓷制成的喷嘴和溅水碟所组成；另一种是用ABS塑料制成的反射I型和反射II型喷溅装置，见图1-3。陶瓷制成的喷溅装置由于易碎且安装不易准确，目前已很少采用。淋水填料按材料分有水泥网格板、水泥弧形板条、石棉水泥弧形板条，也有塑料、石棉波纹板和蜂窝纸板等。

(3) 贮水池贮存淋水装置喷溅冷却后的水。水池中的水经滤水装置后从回水沟进入凝汽器。贮水池内水深一般为1.5~2m。池壁与基础可采用合并布置，也可采用分离布置，见图1-4。池底作防水处理以提高抗渗性。

双曲线自然通风冷却塔根据水流和空气的热交换方式的不同，还可分为逆流式冷却塔和横流式冷却塔两种。逆流塔中水和冷却空气逆向流动，水由上向下，空气由下向上。横流塔中水和空气正交接触，水由上向下，空气水平流动。逆流式冷却塔在我国发电厂中得到广泛采用；横流塔近年来在我国开始使用。

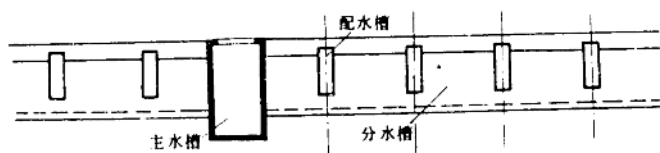


图 1-2 槽式配水系统简图



(a)

图 1-3 喷裁装置图示(一)

(a) 磁喷嘴;

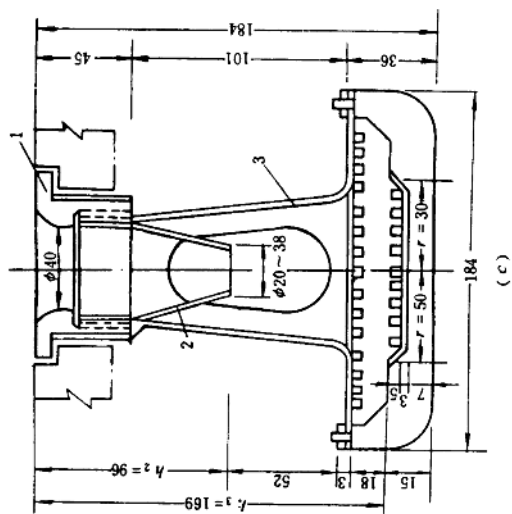
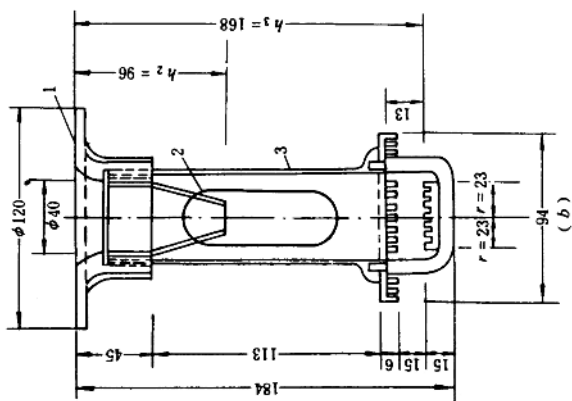


图 1-3 喷嘴装置图(二)

(b) 反射 I 型, (c) 反射 II 型

1—接头; 2—喷嘴套管; 3—喷嘴盘

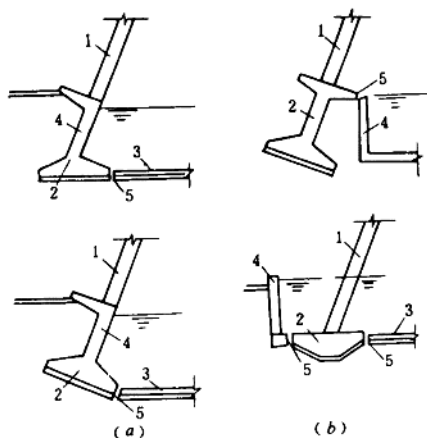


图 1-4 贮水池的构造形式

(a) 合并布置; (b) 分离布置

1—人字柱; 2—环形基础; 3—底板; 4—池壁; 5—伸缩沉降缝

## 第二节 双曲线自然通风冷却塔 的工作原理

由汽轮机凝汽器出来的循环水经压力管道，通过阀门进入冷却塔的竖井，然后分流到各主水槽，经分水槽再流向配水槽。

水槽上设有喷嘴，水流依靠水槽的水位静压力，通过喷嘴喷溅形成水花，洒在淋水填料层上，其喷溅水滴逐步向下流动，造成多层次溅散。由于选用淋水填料的形式不同，循环水形成水滴式，水膜式或薄膜点滴混合式的水状体与进塔

的冷空气进行热交换工作。借助冷却塔的通风筒的自然抽力，塔内热气流逐步排到塔外大气中。通过热交换降低水温的淋水落入圆形贮水池内，经回水沟道，通过循环水泵再进入汽轮机凝汽器继续冷却汽轮机乏汽，形成密闭式循环。

自然通风横流冷却塔的工作原理与自然通风逆流冷却塔相似。其不同之处是淋水填料全部设在塔筒壁的人字柱外围，不设水槽，设有配水盘，喷嘴设在配水盘上。水流通过喷嘴形成的水花，洒在淋水填料层上并与进塔冷空气的流动方向形成直角进行热交换。热空气同样依靠冷却塔通风筒的抽力排到塔外大气中。自然通风横流冷却塔见图1-5。

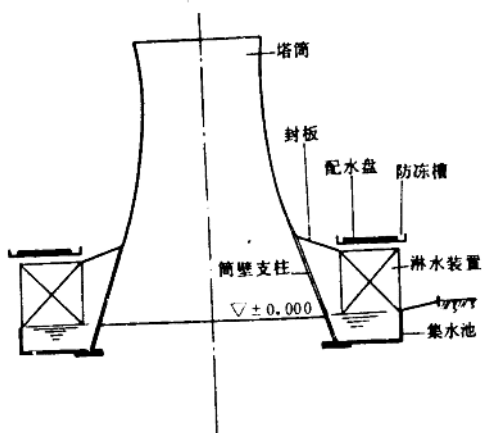


图 1-5 自然通风横流冷却塔

## 第 二 章

### 双曲线自然通风冷却塔的损坏及其原因分析

双曲线自然通风冷却塔损坏的原因是多方面的，但综合起来不外下列两点。

#### 1. 自然界造成的原因

由于自然界造成双曲线自然通风冷却塔损坏的常见原因如下：

(1) 地球的构造运动造成的损坏，如地震、坍方、地球断层活动，火山爆发或重新喷射，所有这些都使地面上的建筑物，包括双曲线自然通风冷却塔倒塌或严重损坏。这种损坏的形式由冷却塔基础破坏开始，然后或瞬时或逐渐波及塔筒和其他部分。

(2) 自然界的风霜雨雪，四季气候的更替，白天和黑夜的温差，所有这些，也会使双曲线自然通风冷却塔严重损坏并引起腐蚀，但其损坏程度和损坏速度不象由于(1)所述原因那么严重。

#### 2. 人为原因

双曲线自然通风冷却塔遭到人为破坏主要是人们在生产或生活中考虑不周而引起的破坏，这也有如下三方面：

(1) 塔区附近矿藏的开采、放炮或无节制地抽取地下水均可使冷却塔遭到破坏。

(2) 设计不合理或选址不当造成冷却塔的破坏。

(3) 施工时未能按设计要求,或施工质量达不到标准,或材料不合格所造成的破坏。

由于上述原因,双曲线自然通风冷却塔的破坏形式是多种多样的。本章的主要内容就是详细探讨这方面的问题。

## 第一节 通风筒损坏及原因分析

综观整个冷却塔,面积最大、位置最高、最易变腐蚀且不易维护的是筒壁部分。其形状多为双曲线型,筒壁混凝土厚度由下往上逐渐改变。

筒壁腐蚀的最直观现象是:筒壁混凝土变质,强度降低;混凝土整体性受到破坏,严重时稍一敲击即松散掉块;钢筋外露且直径明显变细,甚至钢筋全部腐蚀掉。

筒壁发生破坏时首先表现为混凝土强度降低;严重的会产生孔洞,孔洞小如豆粒,大到一平方米左右。筒壁损坏进一步发展时,则筒壁变形起鼓、凹陷,局部筒壁混凝土表层翘起和起层剥落。筒壁腐蚀的另一种表现形式是裂纹。裂纹包括纵向、横向、交叉成 $45^\circ$ 角的深大裂纹、深浅不等的裂纹和大面积的龟纹。还有由于孔洞和裂纹造成的渗水,漏水等。

造成上述现象的直接原因有五,详述如下。

### 1. 筒壁受各种循环水质的影响

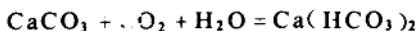
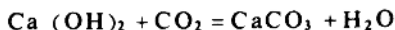
冷却塔筒壁每时每刻都与附着在其表面的冷凝汽水发生作用。由于凝结水与发电厂等生产单位排出的烟气中的 $\text{SO}_2$ 和 $\text{CO}_2$ 等物质相溶会使其成为一种酸性的浸蚀介质。还有的循环水本身常含有不同数量的酸类和盐类。这些都直接使筒壁遭受腐蚀。

据某厂在一座冷水塔内部不同标高分别取四组冷凝水试

样的分析,其中硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )含量为34.294~38.699mg/l,重碳酸根( $\text{HCO}_3^-$ )含量为121.35~161.65mg/l。筒壁混凝土与这种水接触时使受到酸性介质的腐蚀。由于筒壁在冷凝汽水的长期渗透影响下,混凝土内部的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 也会逐渐溶解,形成混凝土中石灰质的流失,从而产生混凝土溶出型腐蚀。在冷凝汽水长期侵蚀作用下,混凝土强度逐渐减弱,渗水性增大,渗水程度也不断扩展。由于渗水程度不断扩展又使混凝土进一步分解,混凝土强度和密实性的降低,又进一步使渗水向纵深发展,使筒壁腐蚀越来越严重。

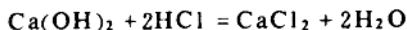
综上所述,筒壁在运行中受如下几种作用:

(1) 受碳酸水的作用 其化学反应式为:



而重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 可溶于水,使硬化的水泥严重破坏。

(2) 各种酸的侵蚀作用 循环水中常含有不同数量的酸类。不论哪种酸类,均能与水泥中的氢氧化钙发生反应,对水泥产生不同程度的腐蚀,其反应式为:

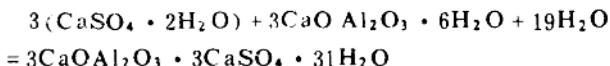


生成的氯化钙( $\text{CaCl}_2$ )极易溶于水,强度甚低。二水石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )不仅溶于水,而且结晶时,体积膨胀,使水泥破坏;同时 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 还能与水泥中的含水铝酸钙作用,生成破坏性更大的含水硫铝酸钙。

(3) 盐类的侵蚀作用 若循环水中含有某种盐类如石膏( $\text{CaSO}_4$ ),硫酸镁( $\text{MgSO}_4$ )等,则这些盐类将与水泥发生化学反应。以 $\text{CaSO}_4$ (或 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )溶液为例,



它与水泥中的含水铝酸钙化合，经如下反应：



生成的 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ (含水硫铝酸钙)结晶时吸收大量的水，体积增大2~2.5倍，使已硬化的水泥严重溃裂。

## 2. 筒壁在冬季受反复冻融作用的侵蚀

在冬季，特别是我国北方地区，水塔在冬季停塔或启动将会造成筒壁受冻和融化。当水塔在冬季经常运行的情况下，由于外界气温的变化，筒壁外表层混凝土所受到的反复冻融，一年能达数十次以上。从东北某厂在冬季一些实际测定温度来看筒壁内侧均在摄氏零度以上，故水塔在运行时筒壁内表层尚不至冻结，而筒壁外侧夜间经常处于零度以下。多次地反复冻融引起混凝土组织的破坏是严重的。这种作用在混凝土渗水部位反映更为明显。因为水结冰时较原体增大8%~9%，故使混凝土产生膨胀应力。由于混凝土内部渗水量大，所产生的破坏程度也大。所以在漏水的施工缝附近或较酥松部位的外层混凝土损坏程度也较为严重。经检修后的筒壁在这种冻融作用下，外表的喷浆层也易产生与内部混凝土分离，龟裂和剥落等情况。从一般冷却塔筒壁混凝土腐蚀的程度来看，这种反复冻融的危害是十分严重的。

东北某厂一座检修过的淋水面积850m<sup>2</sup>、高45m的冷却塔每隔3~4m左右便有一条通长的贯穿性裂纹。裂纹长20m左右，最宽处达2mm左右。裂纹的产生引起筒壁渗水、漏水并加快混凝土的损坏。筒壁混凝土的损坏如继续下去势必引起筒壁倒塌。深大裂纹的出现也表明结构的损坏。这些筒壁纵向裂纹产生的原因除原设计水平钢筋较少外，由于渗水