

盛和晞

1.42

双曲线冷却塔事故 分析及处理

中国电力出版社

992893

双曲线冷却塔事故 分析及处理

盛 和 晞

中国电力出版社

内 容 提 要

本书专门叙述和分析国内外近 30 年来火力发电厂双曲线冷却塔出现的事故、存在的问题、处理的措施及教训,共收集工程实例 20 个。本书共分四章:第一章介绍冷却塔地基基础事故及处理;第二章介绍冷却塔风筒事故及处理;第三章介绍冷却塔水池、淋水装置事故及处理;第四章为结论。

本书可供从事火电厂冷却塔勘测、设计、施工、运行管理、科研的工作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

双曲线冷却塔事故分析及处理/盛和晞编著. —北京:中国电力出版社, 1998

ISBN 7-80125-701-4

I. 双… II. 盛… III. ①火力发电-冷却塔-事故分析 ②火力发电-冷却塔-事故-处理 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09229 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京鑫正大印刷厂印刷

各地新华书店经售

1998 年 7 月第一版 1998 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 6 印张 132 千字

印数 0001—2070 册 定价 7.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

双曲线冷却塔是火力发电厂循环冷却水系统中的重要构筑物，目前世界各国均有一整套冷却塔设计、施工、运行的规范或规定。世界各国已建的冷却塔大部分是成功的，运行是正常的；但也有极少数存在问题并出现过事故。本书专门叙述和分析世界各国近 30 年来冷却塔出现的事故、存在的问题、处理措施及教训，目的有二：

其一，帮助我们了解引起冷却塔事故的原因，从中吸取教训，加深对现行冷却塔有关规范规定的理解。事故往往给人们以强烈的震撼并启发人们思考探索其原因。

冷却塔的事故或破坏原因主要有以下四个方面：

(1) 自然因素：冷却塔承受的主要荷载有自重、风、温度、地震力、水荷载、结冰荷载和地基不均匀沉降的影响等。冷却塔往往受到不可预见的自然力作用，如大风、强烈地震、山崩、滑坡或某些潜在的地质因素等，这些都可能引起破坏。冷却塔长期受气象环境的影响，如侵蚀、冻融等也可能引起损坏。

(2) 勘测设计因素：对于冷却塔所处的自然条件调查研究不全面或分析处理不正确，对冷却塔工作条件估计不足以及设计指导思想片面等，均可能造成冷却塔有潜在性的缺陷。

(3) 施工因素：所用的建筑材料和施工方法不当，缺乏有效的质量检查监督制度等，均会使工程质量达不到设计要求。从统计资料看，施工因素造成冷却塔事故的占冷却塔各

种事故的大部分，故应引起重视。

(4) 运行管理因素：火力发电厂的运行人员对冷却塔的运行管理往往不够重视，没有建立完善的运行管理制度，对发现的缺陷没有及时维修和处理，以致发展成事故。

其二，为冷却塔事故的处理提供一些可借鉴的经验和方法。本书收集了有关冷却塔事故和处理方法的工程实例共20例，可归纳为以下三部分。

(1) 冷却塔地基基础事故及处理（实例6个）；

(2) 冷却塔风筒事故及处理（实例12个）；

(3) 冷却塔贮水池、淋水装置事故及处理（实例两个）。

目前，关于冷却塔的设计理论和计算分析已有很多研究成果，但对于冷却塔事故的分析研究则很少。为了从实践中吸取教训，积累经验，不断提高冷却塔的设计、施工、运行管理水平，本书着重以工程实例介绍这方面的经验教训。

本书所引实例给出了电厂名和冷却塔编号，以便读者进一步调查了解。

电力部电力规划设计总院教授级高级工程师何蓬江同志对全书进行了审阅，深表谢意！

编 者

1997年8月

目 录

前 言

第一章 冷却塔地基基础事故及处理	1
第一节 环形基础混凝土施工缺陷及处理.....	1
第二节 环形基础温度裂缝及处理	10
第三节 环形基础刚度不足和主水槽的推力 等造成冷却塔裂缝及处理	38
第四节 中央竖井沉陷及处理	56
参考文献.....	58
第二章 冷却塔风筒事故及处理	59
第一节 风对冷却塔的破坏及教训	59
第二节 施工造成风筒的初始几何缺陷及处理	78
第三节 风筒少配钢筋的处理.....	121
第四节 风筒施工过快混凝土强度不足而坠落.....	122
第五节 风筒“V”形破坏缺口、裂缝及设置 刚性环.....	125
第六节 风筒渗水及处理.....	149
第七节 风筒混凝土剥蚀及处理.....	149
第八节 冷却塔的震害及抗震设计.....	154
参考文献	162
第三章 冷却塔水池、淋水装置事故及处理	164
第一节 冷却塔水池底板隆起及处理.....	164
第二节 淋水装置钢筋混凝土损坏及处理.....	172
第三节 塑料淋水填料的材质问题.....	178

第四节 淋水装置配水不匀的影响.....	182
参考文献	183
第四章 结论.....	184

第一章 冷却塔地基基础 事故及处理

第一节 环形基础混凝土施工 缺陷及处理

一、上安火电厂#1 冷却塔环形基础混凝土施工缺陷及 处理^[1]

华能国际电力开发公司所属上安火电厂位于河北省井陘县上安乡境内。电厂规划容量 2400MW，一期工程安装两台 350MW 机组，配两座 6500m^2 双曲线自然通风冷却塔，塔高 125m，喉部高度 97.5m，喉部半径 26.325m，通风筒底高度 9m，底部半径 46.575m，48 对人字柱，倒 T 型基础，底宽 7m，基础环中心半径 50.935m，地基为 I 级非自重湿陷性黄土，采用强夯法处理。冷却塔基础混凝土按设计要求分两次浇注，先浇环基底板，待人字柱吊装结束后再浇池壁。由于冬季施工，混凝土中加入了早强剂，并搭设帆布棚，棚盖内通蒸汽保温养护。拆除环基模板时，即发现混凝土表面有以下缺陷：

(1) 蜂窝麻面比较严重，分布较广，有的地方钢筋外露，手指能伸进石子缝中。

(2) 有的地方石子呈松散堆积状态，下面是空的，有漏振混凝土。

(3) 在拆除模板的混凝土面上，有清晰可见的施工冷缝。

根据上述暴露的质量问题，推断环基内部混凝土的密实度难以保证，为此委托河北省建筑工程质检中心对#1冷却塔环基混凝土的质量进行检查，采用钻芯法进行抗压抗拉强度及抗冻性试验并配合超声波跨孔测试法对混凝土密实度进行检验。检测结果表明：

(1) #1冷却塔环基混凝土大部分不含蜂窝、孔洞，其抗压、抗拉强度满足设计要求。

(2) 环基底部受拉钢筋以上的混凝土6%不密实。

(3) 环基底至受拉筋之间部分混凝土有蜂窝，占底面积的18.5%。

(4) 冻融50次，混凝土抗压强度损失40%，试样抗冻不合格。

(5) 推测混凝土抗渗标号达不到设计要求。

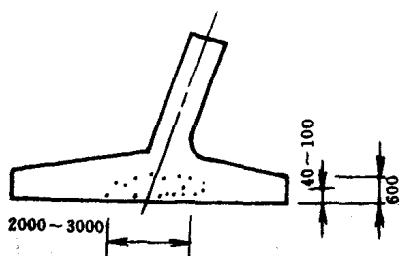


图 1-1 不密实混凝土
的主要位置

不密实的混凝土的部位和状况见图 1-1,图 1-2。

(一) 造成环基质量问题的原因

#1冷却塔环基混凝土是在冬季最寒冷时期浇注的，由于施工操作不当及管理不严造成#1冷却塔环基质量事故。

(二) 混凝土缺陷的危险性

冷却塔是电厂的高耸薄壳结构，对基础变形十分敏感，故环基的质量将直接影响冷却塔和电厂生产的安全。

#1冷却塔建于湿陷性黄土地基上，采用强夯法进行地基处理。为减少湿陷，要求地基严格防水；若环基混凝土不密实渗水，将影响地基承载力或发生不均匀沉降。

基底混凝土有蜂窝状孔洞，显著地降低了这部分混凝土

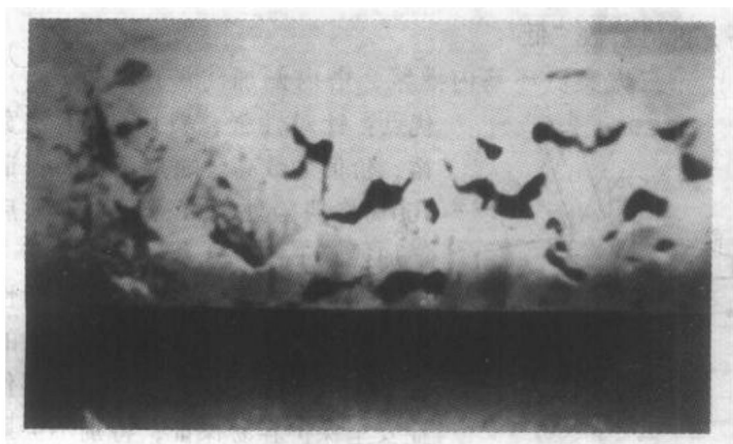


图 1-2 不密实混凝土的实物照片

的弹性模量及其与钢筋的协同作用。抗冻抗渗标号不够，将影响构筑物寿命，故必须补强。

(三) 补强方案的选择

一个由建设、施工、设计科研单位组成的处理研究小组对补强措施考虑了三个方案。

第一方案：在现有环基上再浇筑一层钢筋混凝土（图 1-3）。优点：施工方便，工期宽裕。缺点：针对性一般，工作量大，费用高，价值系数“中”。

第二方案：环基上加筑一环基（图 1-4）。优点：可靠性强。缺点：新旧环基受力分配难于计算，工期长，费用



图 1-3 加筑钢筋混凝土加固层

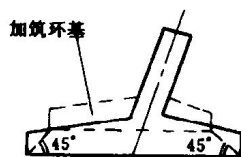


图 1-4 加筑环基

高，价值系数“低”。

第三方案：环基内灌浆，塔内侧加防渗层（图 1-5）。

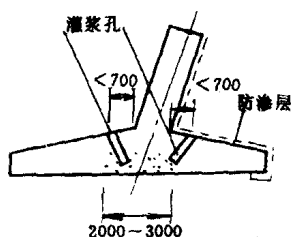


图 1-5 向不密实部位
补充灌浆

优点：针对性强，费用低，工期宽裕，价值系数高。缺点：不易保证 100% 将缺陷处理好，需在补救后增加检验工作。

在三种方案中，灌浆法针对性强，经济易行，可以满足对质量的最低要求；施工期较宽裕；双层作业安全保护容易保证；特别不会影

响整个塔的施工工期，最终被采用。

（四）补强方案的实施、效果及费用

1. 技术要求

内外侧孔距均为 4m，打孔方向朝底部中心倾斜，以求接近环基中心线，孔口距池壁底部不大于 700mm，钻孔角度与位置可以适当调整，以尽量不伤钢筋为准。每个孔都必须进行风压试验，风压 0.1~0.2MPa，以判定缺陷类型：开放型或封闭型。开放型裂隙封闭方法：用环氧胶泥封闭，环氧胶泥的配方为：水泥（#525，过筛）：环氧树脂：二丁脂：乙二胺 = 1:1:0.1:0.1。封闭型缺陷处理方法：采用负压灌浆，备用真空泵，并在封闭孔口时用两根管子。

灌注水泥浆配制：将铝粉称出一次拌合的用量，加入铝粉量 2% 的洗衣粉，洗涤去油后漂洗备用。水泥浆的水灰比控制在 0.7~1.0，先注水，再加水泥（普通 #425 或 #525 水泥过 5mm 筛），再加 $(0.8 \sim 1.0) / 10000$ 水泥量的铝粉，搅拌 3min。备用 1kgDH-3 型高效减水剂。

灌注机械选用大于或等于 0.8MPa 压力且保证连续作业

的机型。首次灌浆压力 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ ，阻力较大时可适当加压，待各漏气部位开始漏浆时停泵。1~2h 后（视气温情况而定）二次灌浆，压力用 0.6MPa ，待压力表升压至 0.8MPa 维持 2min 停泵。4h 后取出灌浆嘴，封填其余部分混凝土。

2. 灌浆及防渗层施工

河北省建筑工程质量检测中心与河北省水利工程局灌浆队于 1987 年 7 月 8 日开始施工，共 41 个灌浆孔，灌浆工作于 7 月 19 日结束。水泥用量 22t，其中管路用浆 7.8%，跑浆 5%。环基内部防渗层采用天津五层防水做法，由施工单位自行施工。

3. 效果检测

质检中心于 1987 年 7 月 16 日至 17 日对环基进行了灌浆效果检查，均匀分布钻取 $\phi 50$ 孔 12 个， $\phi 25$ 孔 3 个。中间不密实的灌浆效果见图 1-6，钢筋以下垫层以上灌浆效果见图 1-7。

通过检测对本工程灌浆效果得出以下结论：受拉筋以下

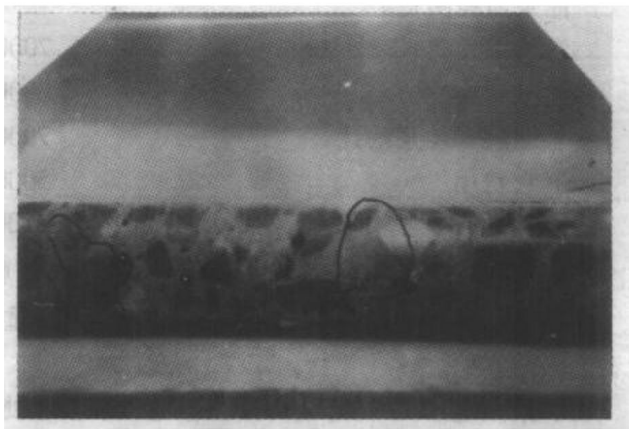


图 1-6 中间不密实处灌浆后的效果

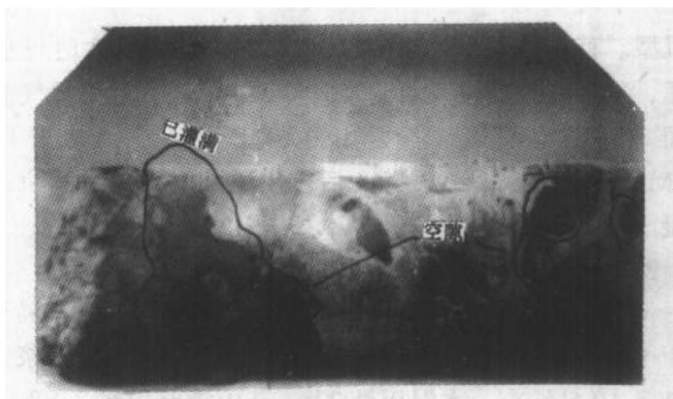


图 1-7 钢筋以下垫层以上灌浆后的效果

垫层以上灌浆效果良好，基本上达到密实，能保证混凝土与受拉钢筋的握裹。环基中部由于孔隙之间没有完全相通，仍有小部分孔隙没有灌实。凡是贯通的孔隙灌浆密实程度能保证在 90% 以上。

4. 处理费用 (1987 年物价水平)

灌浆前检测费	48900 元
灌浆工程费	7000 元
灌浆后检测费	26000 元
五层防水砂浆约计	7000 元
其它费用	5000 元
小计	93900 元

该冷却塔已投入运行并处于密切观察中,尚未发现异常。

冷却塔环形基础混凝土施工还有产生更为严重缺陷的。请看下面的实例。

二、荥阳电厂#2 冷却塔环形基础施工缺陷及处理^[2]

郑州市西郊荥阳电厂#2 冷却塔塔高 42m, 淋水面积

600m²，底部直径 32.8m，为倒 T 形环基。环基混凝土已浇注完毕，人字柱钢筋绑扎一部分。1987 年 11 月 12 日环基拆模，发现多处蜂窝麻面，尤其是两条水平施工缝（底板与池壁分缝处一条，池壁中部一条水平施工缝）浇注质量差，将整体环基变成上、中、下三节。详见图 1-8。

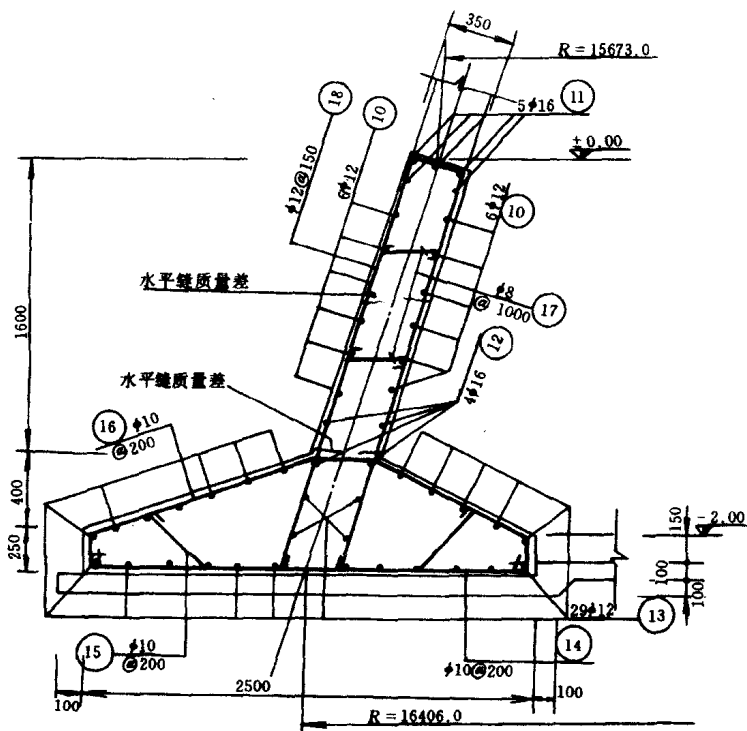


图 1-8 荏阳电厂#2 冷却塔倒 T 型环基结构图

(一) 冷却塔环基施工缺陷 (见图 1-9 及图 1-10)

(1) 环基外表面在 -1.6 ~ -0.8m 范围内出现大面积的蜂窝、露筋现象，蜂窝面积占此范围总面积的 1/3 以上，蜂

窝深度一般为 10~20cm, 个别地方清除薄弱混凝土后, 35cm 厚的池壁已经贯通。

(2) 环基底板与池壁连接处, 施工缝处理不当, 存在明显的疏松砂浆层。

(3) 在 -0.5~-0.8m 的施工缝附近有露石、露筋, 甚至夹有木屑、水泥袋等杂物。

(4) 环基混凝土中夹有泥块。

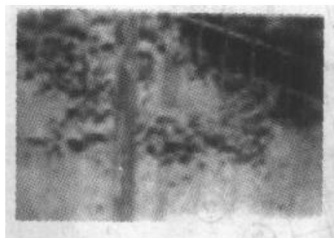


图 1-9 环基施工缺陷
照片之一



图 1-10 环基施工缺陷
照片之二

(二) 补强措施 (见图 1-11)

冷却塔环基是整个塔筒和 24 对人字柱的基础, 又是下部水池的池壁, 受力复杂。本工程环基施工缺陷较为严重, 经计算分析研究, 确定如下补强措施:

(1) 下部施工缝处结构受力大, 原施工中薄弱地方多。采取凿除薄弱混凝土后二次灌浆和两侧加固混凝土措施。

(2) 上部施工缝处结构受力较小, 原施工中薄弱地方少, 采取凿除薄弱混凝土后二次浇灌混凝土。

(3) 为了增加环基上、中、下三节的整体性, 在水池壁外圈整个增加厚 15cm 的新浇钢筋混凝土受力层。

(4) 在 24 对人字柱基础处, 沿外池壁增加高 1.6m、宽 1.2m、厚 25cm 的钢筋混凝土层, 以增加环基混凝土的传力作用。

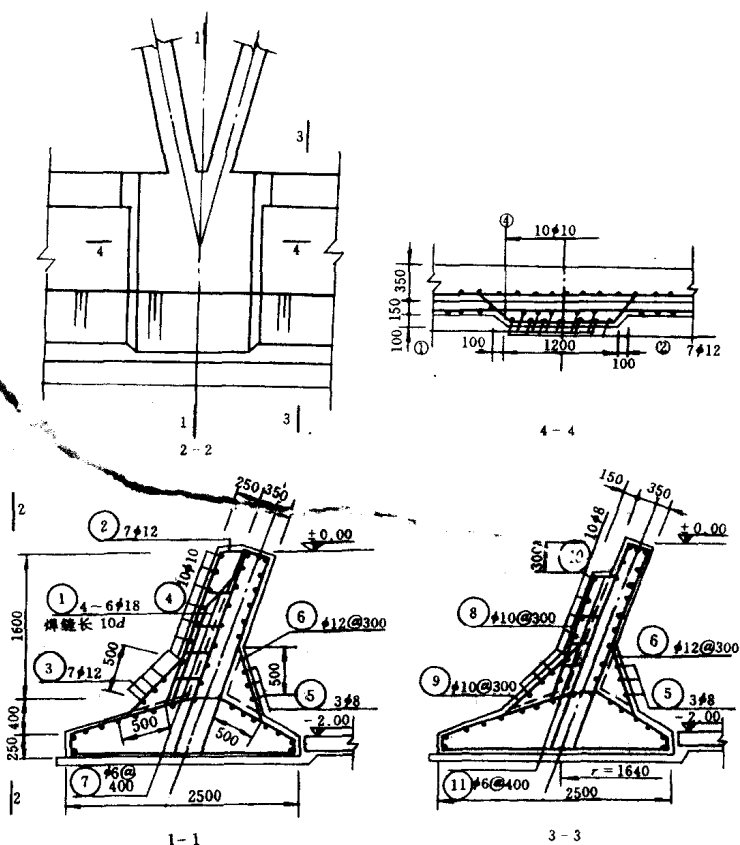


图 1-11 补强措施

(5) 补强混凝土内新增钢筋应与原基础中对应钢筋焊接。采取单面焊，焊接长度为 $10d$ (钢筋直径)。

(三) 施工技术要求

(1) 认真检查与凿除全部蜂窝麻面处的薄弱混凝土，与新浇混凝土的接触面应全部凿毛，使老混凝土中的石子露出，清洗刷干净。

(2) 原则上新增钢筋与老混凝土中钢筋应进行焊接, 焊接处不得烧损混凝土。焊缝长 $10d$ 。

(3) 按照钢筋混凝土施工规范, 先将凿掉蜂窝处混凝土浇好, 然后大面积浇筑新增混凝土。混凝土 C25, 骨料最大粒径 $2\sim 4\text{cm}$ (灌洞处为 2cm), 中粗砂。

(4) 水池内壁抹 $1:2$ 防水砂浆厚 20mm 。

该工程环基经补强后冷却塔建成运行至今情况正常。

三、小结

冷却塔环形基础是最先施工的混凝土结构部位, 当施工组织不善, 施工尚未走入正规, 就有可能在这较大体积的混凝土工程中出现漏振, 发生蜂窝麻面、混凝土分层处不密实等施工质量问题。而冷却塔环基既是整个塔筒的基础, 又是水池的池壁, 受力复杂, 功能重要, 一旦出现问题, 必须认真对待, 慎重处理。

从以上两例可以看出, 不重视施工管理, 不严格控制施工质量, 往往给工程的安全和今后使用造成很大影响。工程质量问题的事后处理, 不但费时, 浪费财力物力, 而且难以达到原设计的完整性, 我们应给予足够的重视。

第二节 环形基础温度裂缝及处理

一、首阳山电厂 4500m^2 冷却塔环基裂缝

首阳山电厂 4500m^2 自然冷却塔在施工中产生环基裂缝。

位于河南省洛阳市东 30km 的首阳山电厂一台 200MW 汽轮发电机组配一座 4500m^2 自然通风冷却塔, 高 105m , 为环板基础, 其结构设计如图 1-12。设计要求以图中虚线为界分下、上两次浇注, 混凝土 C20、S4。塔的地基为 I