

# Analysis of Cracking Reasons and Elimination Measures of E-Type Container of Electrolytic Chlorine Production System in Nuclear Power Plant

Bin Liu Fanglian Chen Wenhui Tan

SunRui Marine Environment Engineering Company Ltd., Qingdao, Shandong, 266101, China

## Abstract

E-type container is the core equipment of the electrolytic chlorine production system. Due to the particularity of its structure and material, its cover plate is easy to be impacted by water hammer of sea water pump, resulting in water leakage, cracking and even collapse, which greatly affects the stability of the system operation. Taking the electrolytic chlorine system of a nuclear power plant as an example, through dismantling the repaired vessel, this paper analyzes the cracking causes from the aspects of system design, type selection calculation, structural design, assembly implementation and field operation, and thus obtains a feasible scheme for fault elimination.

## Keywords

E-type container; cause of cracking; elimination measures

# 核电厂电解制氯系统 E 型容器开裂原因及消除措施分析

刘斌 陈方连 谭文慧

青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司, 中国·山东 青岛 266101

## 摘要

E 型容器是电解制氯系统的核心设备, 由于其结构及材料的特殊性, 在现场调试及使用过程中, 其盖板容易受到海水泵水锤冲击导致漏水、开裂甚至崩坏等故障, 极大地影响了系统运行的稳定性。论文以某核电厂电解制氯系统为例, 通过对其返修的该容器进行拆解, 从系统设计、选型计算、结构设计、装配实施及现场操作等方面对其开裂原因进行分析, 并据此得出了切实可行的故障消除方案。

## 关键词

E 型容器; 开裂原因; 消除措施

## 1 引言

水锤又称水击, 是水(或其他液体)在输送过程中, 由于阀门、水泵等突然开启或关闭、骤然启闭导叶等原因, 使介质流速发生突然变化, 同时压强产生大幅度波动的一种现象。其中, 原先导通的流道突然关闭时产生的水锤被称之为正水锤, 其破坏力极大; 原先关闭的流道突然导通时产生的水锤被称之为负水锤, 其破坏力相比正水锤较小。

由水锤产生的瞬时压力可达正常工作压力的几十倍甚至于数百倍, 压力过高, 将引起流道的破裂。反之, 压力过低又会导致流道的瘪塌, 这种压力的冲击波会沿管道传播, 极易导致管道局部超压而造成管道破裂、损坏设备及阀门接头等。因此, 水锤效应防护设计是流体系统设计中关键性的工艺技术之一。

## 2 核电厂电解制氯系统及容器结构概述

中国淡水资源有限, 人均水资源量仅为世界人均水平的 28%, 在核电厂冷却循环系统中采用海水代替淡水已成共识, 而海水用于核电厂冷却系统存在生物滋生堵塞管道以及在蒸汽冷凝器中形成生物膜影响冷却效率的问题, 综合考虑经济、安全及稳定运行, 电解海水制取次氯酸钠对循环冷却水进行氯化处理是解决这两个问题的有效手段。

### 2.1 系统概述

如图 1 所示, 核电厂电解制氯系统流程一般为海水经过海水泵升压后, 进入自动反冲洗过滤器, 除去海水中的较大颗粒物质后进入电解装置。整流变压装置将高压交流电转化成直流电供给电解装置。流经电解装置的海水被直流电电解

产生次氯酸钠溶液及氢气进入次氯酸钠储罐。氢气在次氯酸钠储罐顶部通过空气稀释至 1% 以下并排入大气中。次氯酸钠溶液通过加药泵或重力自流进入加药点，典型系统流程如下图所示。

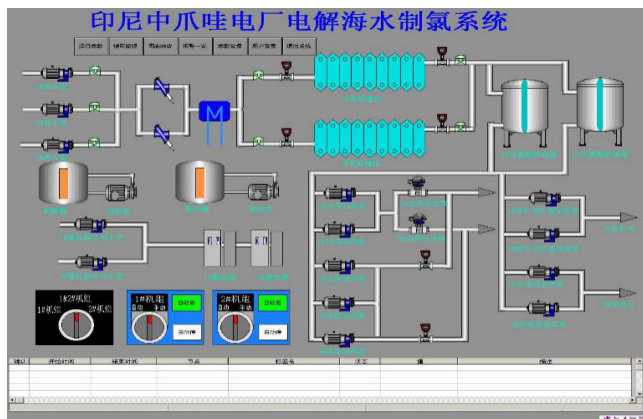


图 1 核电厂电解制氯系统

## 2.2 容器结构概述

E 型容器壳体从上到下共分 4 层，依次命名为 1 层板，2 层板，3 层板及 4 层板，通过螺栓连接组合而成，其中，1 层板、2 层板和 3 层板为受水锤冲击形成造成损坏的部件。

## 3 故障分析及消除措施

### 3.1 故障描述

某核电电解海水制氯系统自 2013 年 5 月份开始运行，至 2013 年 11 月份陆续出现了 E 型容器 1 层板开裂。出现此问题后，工程人员至核电现场对问题容器进行解体更换维修及更换作业。如图 2~3 所示，在解体更换维修过程中，发现问题容器除 1 层板有开裂问题外，2 层板和 3 层板同样存在损坏的现象。维修时使用扭力扳手对容器紧固螺栓的力矩进行测试，发现已存在力矩不均的现象，如图 2、图 3 所示。



图 2 损坏现象

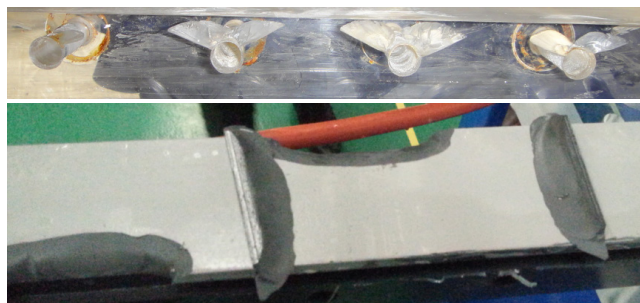


图 3 损坏现象

### 3.2 故障分析

E 型容器 1 层板材料采用某透明塑料，它的优点是具有较高的透光度，相对密度小，绝缘性能良好，有一定的强度和韧性，加工成型工艺比较简单；它的缺点是使用温度低，表面硬度小，不耐磨损，在受到较大的应力或在某种有机溶剂作用时会产生微裂纹，这种微裂纹在光线照耀下闪烁着银光，故称银纹。严重的银纹会影响材料的透明度。另外，高分子透明材料在长期使用中，由于受到紫外线和湿热环境的影响，会发生降解反应，使表面发黄。采用原料生产的情况下，其物理性能为：密度  $1190\sim 1200\text{Kg/m}^3$ ，硬度 M-100，拉伸强度  $50\sim 77\text{MPa}$ ，弯曲强度  $90\sim 130\text{MPa}$ ，杨氏模量  $2.74\text{GPa}$ ，断裂伸长率  $2\%\sim 3\%$ ，从物理性能参数来看，它属于硬度较大，韧性较小的材料<sup>[1]</sup>。

2 层板和 3 层板材质为某硬质塑料，工业生产中，其物理性能为：密度  $1400\text{Kg/m}^3$ ，无固定熔点， $80\sim 85^\circ\text{C}$  开始软化， $130^\circ\text{C}$  变为粘弹态， $160\sim 180^\circ\text{C}$  开始转变为粘流态，抗拉强度  $60\text{MPa}$ ，冲击强度  $5\sim 10\text{KJ/m}^2$ 。

E 型容器出现开裂问题，首先考察其运行压力是否超过了容器的设计压力，经过对现状进行考察，该核电电解海水制氯系统中，海水泵扬程为  $0.5\text{MPa}$ 、流量为  $200\text{m}^3/\text{h}$ 。一期系统海水母管压力为  $0.35\text{MPa}$  左右，二期系统海水母管压力为  $0.3\text{MPa}$  左右，一期二期 E 型容器入口压力均稳定在  $0.22\sim 0.23\text{MPa}$ ，运行压力并未超过容器设计压力。

电解制氯系统是典型的流体系统，因此必然可能存在水锤冲击的问题，经过前期分析，排除其他故障可能性后，最终确定水锤冲击及容器结构设计不合理是导致 E 型容器出现开裂问题的主要原因，结合电解制氯系统的特点，对系统参数及设计进行分析，确定以下几个方面为导致故障产生的主要因素并制定对应的消除措施。

### 3.2.1 E型容器前母管未开启泄水阀门

E型容器前母管设计有1/2排水泄水管路,该管路原设计作用为解决实际运行机组所需水量与海水泵流量的匹配问题,在解决水锤问题对系统进行分析时,发现此泄水管路在系统中的设计位置及能力可有效起到如调压井或泄压管的作用<sup>[4]</sup>,通过在项目现场进行对比试验,当海水泵(工频)开启时,观察E型容器前压力表的瞬时压力,开启泄水阀门与未开启泄水阀门相比,前者约为后者的3倍<sup>[2]</sup>,前者的瞬时压力已大大超过了E型容器的设计压力,极易导致盖板产生裂纹,继而引发更大的裂纹。

### 3.2.2 海水泵工频启动,未采用变频设计

异步电动机在全压启动时,从静止状态加速到额定转速,水的流量从零猛增到额定流量,在极短时间内流量的巨大变化将引起对管道和设备的较大冲击,通过对海水泵采用变频设计,延长流量从零增大到额定流量的时间,可以有效的减小海水泵启动时对管道和设备的冲击<sup>[3]</sup>。通过对采用工频海水泵和变频海水泵的两个项目进行对比试验,采用变频海水泵时,E型容器前压力表的压力升高平稳,压力跳动值未超过容器的设计压力。

### 3.2.3 E型容器结构设计未考虑长期运行的变形影响

经现场实测,长期运行的2层板与新加工的2层板相比较,两侧螺栓孔的横向间距扩大了1~2mm,平均每侧扩大了0.5~1mm,2层板螺栓孔与盖板边缘距离为15mm。2层板板材的断裂伸长率为2%~3%,即0.3~0.45mm,即使是0.5mm

的平均最小形变量也已经超出其断裂伸长量的极限。

针对此情况,对2层板螺栓孔的开孔尺寸进行调整,考虑长期运行产生的变形影响,将螺栓孔直径尺寸扩大1.2mm,从设计源头提高容器的耐冲击能力。

## 4 结论

(1)水锤本质上是由大量流体在短时间内的冲击造成的,开启泄水阀门与海水泵采用变频设计,是从流体的量和流体到达额定流量的时间两个方面对水锤现象进行消除。

(2)E型容器的1层板、2层板及3层板均为高分子聚合物材质,固定螺栓材质为316L,两者的物理强度相差较大,在进行容器装配时,紧固力矩应严格控制,不能过大,否则可能会对容器板造成不可逆的损伤。

(3)E型容器结构设计时,应结合材料特点充分考虑长期运行的影响。

## 参考文献

- [1] 马占鏢,甲基丙烯酸酯树脂机器应用[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [2] 李青青,黄仕元,王艳辉,等.加压排水系统水泵启动工况瞬态分析[J].水利规划与设计,2019(11):137-141.
- [3] 王娜.泵站压力管道的水锤研究[J].水利规划与设计,2016(01):85-88.
- [4] 李都望.长距离污水压力管道系统的设计[J].给水排水,2015(51):361-362.