

特高压变压器试验大厅屏蔽施工监控要点

刘宇林 徐锦 陈励勤

重庆赛迪工程咨询有限公司 重庆 渝中 400010

【摘要】：特高压（1000kV 交流电力变压器、±1100kV 直流换流变压器）变压器试验站通常要求电磁波频率范围 0.15~5.0MHz 内的电磁屏蔽效能 ≥ 60 dB；在频率 500Hz 下混响时间 < 5 秒；直流耐压 1kV 时，绝缘电阻不小于 10k Ω 。通过采用新型隐形拼装式结构冲孔镀锌波浪屏蔽板，屏蔽板与檩条及檩托连接处的绝缘细部处理，通风口、管道及供配电等穿过屏蔽层的特殊处理等措施，保证了试验站的电磁屏蔽效能、混响时间和整体绝缘效果满足业主的生产需求。

【关键词】：冲孔镀锌铝波浪屏蔽板；电磁屏蔽效能；混响时间；绝缘电阻

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.011

引言

特高压试验站作为高压直流换流变压器及特高压交流变压器的设计与生产的核心技术集成，产品在出厂前都必须经过特高压试验测试，通常要求电磁波频率范围 0.15~5.0MHz 内的电磁屏蔽效能 ≥ 60 dB；在频率 500Hz 下混响时间 < 5 秒；直流耐压 1kV 时，绝缘电阻不小于 10k Ω 。

1 电磁屏蔽原理浅析

试验大厅电磁屏蔽的基本原理是采用屏蔽的措施即用屏蔽材料将被干扰对象封闭起来，形成一个大的法拉第笼，使其内部电磁场强低于允许值的一种措施^[1]。

法拉第笼是一种用于演示等电位、静电屏蔽和高压带电作业原理的设备，它通常由金属或良导体构成，并具有与大地相连的结构。法拉第笼广泛应用于保护敏感电子设备免受外部电磁干扰，同时也用于防止雷击和静电放电造成的伤害。其笼体与大地连通，根据导体静电平衡原理，金属笼体是一个等电位体，其内部电位为 0，在理想情况下电荷均匀分布在球体的表面，在球体里是没有电场的，从而阻断电磁场，起到屏蔽作用^[2]。

法拉第笼对于电流能起到分流和均流的作用。电流对称地流过法拉第笼的金属屏层入地，笼内的电磁场相互抵消削弱，从而降低电磁场的干扰强度^[3]。

2 主要控制指标及屏蔽系统工艺流程

2.1 主要控制指标

(1) 电磁波频率范围 0.15~5.0MHz 内的电磁屏蔽效能 ≥ 60 dB。

(2) 混响时间：要求在频率 500Hz 下混响时间 < 5 秒。

(3) 屏蔽系统绝缘：墙顶面屏蔽檩条直流耐压 1kV 时，绝缘电阻不小于 10k Ω 。

2.2 屏蔽系统工艺流程

按总平面图要求划区→做安装前所有准备→水稳层、PE 膜、屏蔽保护垫层施工→地面屏蔽层施工→土建单位施工至

-0.050→钢构完成墙顶面檩条及其绝缘处理施工→墙顶面屏蔽层施工→屏蔽大门、小门、波导窗、灯罩等安装施工→电气安装（滤波器、线缆、配电箱、大小门的调试、安防设施的安装）→控制室装修施工→电气连通（高压连锁）→环氧地坪施工至 ± 0.000 →第三方性能检测合格→工程竣工。

3 屏蔽板的制作及性能

3.1 屏蔽板的制作

通常试验大厅采用隐形拼装式结构冲孔镀锌铝波浪板屏蔽方案。此方案将屏蔽、吸声、建筑与装饰四者有机的结合为一体，具有非常好的屏蔽效能，同时兼具结构新颖、使用寿命长，施工周期短等优点，是目前国内较为先进且经济的屏蔽方案。

(1) 墙顶面屏蔽板采用 0.6mm 厚的镀锌铝屏蔽板（穿孔率为 2%，孔径 $\phi 0.78$ ），数控冲孔吸音小孔后，经成型机加工成 350mm 宽标准波浪板，多张屏蔽板咬口连接后，接缝采用电阻焊点焊连接，构成一个大块屏蔽板单元。由于屏蔽板采用小波浪形结构，其强度远超平板屏蔽板，在地面平整的情况下，正常的踩踏不会使其变形。

(2) 屏蔽板加工成型后，将 50mm 厚吸音棉毡（容重 16kg/m³ 的离心复合固化细玻璃纤维棉）裁成相应长度，外包塑料膜保护层防止脱落及污染，具体样式如图 1 所示。并用钻尾螺丝将吸音棉固定在屏蔽板背面（吸音棉如下图所示塞入屏蔽板凹槽后，在上端使用钻尾螺丝固定，固定完成后再整体起吊），从而满足试验站在 500Hz 下混响时间不大于 5s 的技术指标。

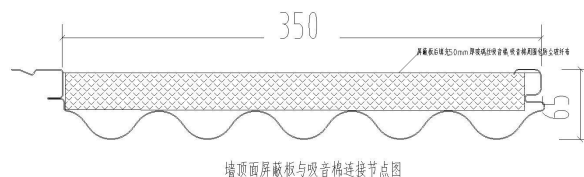


图 1 屏蔽板与吸音棉连接节点详图

(3) 拼接的接缝在点焊焊接完毕以后，应仔细检查焊接

质量。在拼接成大的屏蔽板单元上做吊装用的工装。在制作吊装的工装时应充分考虑工装的承重能力和屈服强度，从而选择制作工装的材料和数量。

(4) 屏蔽板和工装之间的每一个十字交点皆应用 3#角钢连接，3#角钢与工装的接触点采用焊接连接，其焊缝长度不应小于工装方管尺寸的一半。3#角钢与屏蔽板的接触面用强自攻螺丝连接。在连接完毕以后应清理屏蔽板上的杂物，防止起吊时滑落伤人。

3.2 冲孔镀铝锌波浪屏蔽板的性能特点

冲孔镀铝锌波浪板与以往的镀铝锌平板相比较具有以下优点：

(1) 从屏蔽性能上来说，由于采用了半自动点焊连接，屏蔽板连接处的电气连续性更好，屏蔽效能更加安全可靠；

(2) 屏蔽壳体墙、顶部全部采用彩涂镀铝锌板，因为彩涂镀铝锌板具有卓越的耐腐蚀性、耐磨性，安装时板体表面不会留下安装痕迹，安装结束后只需把表面浮尘擦拭干净即可，无需进行内部装修；

(3) 将板体加工成波浪形后其强度远大于普通镀铝锌平板+加强筋结构，且整体平整度更好；

(4) 安装完成后大厅整体视觉上具有强烈的银白色金属质感，同时全波浪冲孔板墙面立体感更强。

4 屏蔽施工控制要点及难点

4.1 地面层屏蔽

(1) 地面屏蔽层采用一层钢板网作为屏蔽体制作材料，四周采用过渡地框与屏蔽墙体相连接，为保证过渡地框不产生变形、移位，地框采用 1.2mm 镀锌钢板折弯制作，具体尺寸根据现场情况调整，保证过渡地框竖向高出±0 地坪 50mm，横向与地面屏蔽网搭接不小于 50mm，焊点间距 100mm。

(2) 清理施工现场，施工现场内不允许有钢筋、焊条头及焊渣等金属杂物。

4.2 墙面、顶面绝缘层

(1) 墙面、顶面屏蔽板通过檩条与钢柱连接，该处的绝缘处理是采用在檩托板处增加绝缘垫块的方式，避免屏蔽檩条与钢柱直接接触，从而达到绝缘的效果。

(2) 由于檩条与檩托板通过螺栓固定，螺栓属于导体，直接安装会造成檩条与檩托板连通，即与大地连通，从而破坏绝缘效果，所以在螺栓外侧须增加绝缘套管（见图 2），使螺栓与檩条不直接接触，确保绝缘层不被破坏。



图 2 檩托板处绝缘垫块以及绝缘套管、螺栓

4.3 屏蔽大门吊装

屏蔽大门采用的型钢将预先进行调平调直处理，确保尺寸满足安装需要，拼缝焊接将进行检漏确保可靠；外侧用彩色压型板做蒙面，颜色与墙板颜色相同。大门轨道梁采用弧形金属罩装置，确保金属罩表面无尖角，金属罩颜色与墙板颜色相同。门扇、门框拼合时，要确保其尺寸精度，特别是对角线误差应控制在允许范围之内。

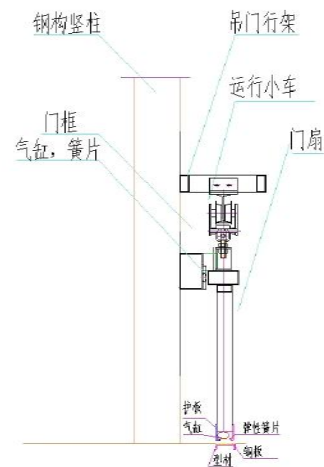


图 3 屏蔽大门吊装示意图

安装时，先把导轨（用工字钢或 H 型钢经特殊处理制作）吊在预先制作的牛腿上并按预定的尺寸调平调直后焊接，焊接方式为满焊。随后再吊门框（用型钢做加固连接），防止吊装过程中变形，初步定位时应保证门框与地面预埋件垂直。门框初步固定后再吊装门扇，门扇吊装到位后，与门框上的转动装置连接，并调整其尺寸位置，确保门框与门扇之间的间隙均匀一致，不出现摩擦簧片现象。

4.4 通风口屏蔽处理

试验大厅所有通风口须增设波导窗作为屏蔽处理。波导窗的主材为锡钢带，经过成型机压制成型后拼接，然后以角钢型材固定，整体浸锡，再在表面喷漆处理。

通风波导窗是由许多小波导组成的波导束，其截面形状为六角形，在同等插入衰减能力条件下，六角形波导的通道面积大于方形波导，从而有利于扩大通风面积，减少换气阻力。

波导通风窗是利用波导高通滤波的原理对电磁波进行屏蔽的，即波导对高于截止频率的电磁波分别予以通过而对低于截止频率的电磁波进行衰减，其衰减量（屏蔽效能）正比于波导的长度。

4.5 管道的屏蔽及绝缘处理

进出屏蔽层的所有管道应采用镀锌钢管无缝连接或者绞丝连接，在穿过屏蔽层处加设波导管，波导管与屏蔽板满焊连接，穿过波导管的金属管相应部位外表加绝缘套管（见图4）。



图4 绝缘套管和波导管

4.6 供配电屏蔽处理

配电箱、插座箱、吊车控制箱、照明、事故照明、安全出口指示灯的所有电源、信号（包含电视信号线、网线、视频信号线、音频信号线、电话线、控制线）进出屏蔽层都必须经过滤波装置（滤波器、光端机）。

5 监理过程把控

针对屏蔽施工的难点和特殊工艺要求，监理部总监组织专业监理工程师集中学习、共同讨论消化设计图纸和施工方案，把每一个结构细部和特殊要求烂熟于心，对于施工的难点反复揣摩、着重强调，并制定出详实又切实可行的监理细则。

在施工过程中严把材料进场关和施工过程，全程严格把控，重点和关键环节全程旁站。在施工过程中和施工技术员及操作员紧密协作、及时沟通协商，对于方案中不近合理部分进行优化，采取最优的施工方案，避免不必要的返工和整改。在满足设计和规范及技术协议的要求前提下，尽量节约费用和缩短工期。

参考文献：

[1] 严向锋.电机试验站抗电磁干扰设计原理简述[J].《电器工业》,2010,2:67-70.
 [2] 林政,黎梓华,唐雷.浅谈如何利用法拉第笼原理防护雷电电磁脉冲[J].《气象研究与应用》,2009,3:83-84+87.
 [3] 黄志鹏.基于 MATLAB 的直击雷时核电厂法拉第笼电磁防护效果研究[J].《现代建筑电气》,2020,6:34-37+42.

监理人员在性能测试和效果检验及试车过程中，严格监督相关方按预定方案实施，保证了全过程真实有效、检测结果可靠。

6 工程实施效果

通过采用新型隐形拼装式结构冲孔镀锌波浪屏蔽板，屏蔽板与檩条及檩托连接处的绝缘细部处理，通风口、管道及供配电等穿过屏蔽层的特殊处理等措施，保证了试验站的整体绝缘效果。同时施工过程中对制作和安装过程的质量严格把控，各项工艺技术指标测试均满足技术协议和规范要求，

(1) 试验站屏蔽效能最小为 68dB，满足设计和技术协议要求，具体检测结果表 1 所示。

(2) 试验站 500Hz 下的混响时间不大于 2.09s，满足设计和技术协议要求，具体检测结果表 2 所示。

(3) 直流耐压 1kV 时，绝缘电阻 $\geq 13k\Omega$ ，满足设计和技术协议要求。

表 1 500KV 及 1000KV 试验站屏蔽效能

| 频率 | 500KV 试验站屏蔽效能 (dB) | 1000KV 试验站屏蔽效能 (dB) |
|---------|--------------------|---------------------|
| 0.15MHz | ≥ 72 | ≥ 68 |
| 1.0MHz | ≥ 81 | ≥ 80 |
| 5.0MHz | ≥ 74 | ≥ 68 |

表 2 频率 500Hz 下混响时间

| 频率 | 500KV 试验站混响时间 | 1000KV 试验站混响时间 |
|-------|---------------|----------------|
| 500Hz | 1.44s | 2.09s |

7 结语

(1) 采用新型隐形拼装式结构的冲孔镀锌波浪屏蔽板，其强度远超平板屏蔽层，用钻尾螺丝将吸音棉固定在屏蔽板背面，从而满足试验站在 500Hz 下混响时间不大于 5s 的技术指标。

(2) 屏蔽板于墙面和顶面檩条连接处的绝缘处理尤其重要，本项目采用在檩托处增加绝缘垫块，螺栓外侧增加绝缘套管，保证了绝缘效果。

(3) 通过在所有通风口处增设波导窗，管道穿过屏蔽层处加设波导管，供配电进出屏蔽层都必须经过滤波装置等措施，确保了试验站整体绝缘效果。