

ICS 19.020

CCS K85

团 体 标 准

T/CSEE XXXX—YYYY

代替 T/XXXX

特高压直流换流站建筑物 电磁屏蔽技术规范

Technical specification of electromagnetic shielding for
UHVDC converter station buildings

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国电机工程学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 建筑物电磁屏蔽要求	1
4.1 总则	1
4.2 阀厅电磁屏蔽效能要求	1
4.3 继电器小室电磁屏蔽效能要求	1
4.4 控制楼电磁屏蔽效能要求	1
4.5 建筑物电磁屏蔽效能计算和测量	1
5 建筑物电磁屏蔽设计	2
5.1 阀厅	2
5.2 继电器小室	2
5.3 控制楼	3
5.4 建筑物门、窗电磁屏蔽设计	3
5.5 建筑物洞口电磁屏蔽设计	3
附 录 A （资料性） 换流站建筑物电磁屏蔽效能计算	4
附 录 B （规范性） 换流站建筑物电磁屏蔽效能测量	10

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》、《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是根据中国电机工程学会《关于印发“中国电机工程学会 2022 年标准计划（第一批）”的通知》[电机咨（2022）号 300 号文]的要求，经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上制定本规程。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会电力建设专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：国网经济技术研究院有限公司、国家电网有限公司、中国电力科学研究院有限公司。

本文件主要起草人：XXXXXXXXXX。

本文件首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条 1 号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

特高压直流换流站建筑物电磁屏蔽技术规范

1 范围

本文件规定了特高压直流换流站阀厅、继电器小室、控制楼、建筑物门窗洞口的电磁屏蔽效能及设计要求。

本文件适用于特高压直流换流站建筑物的电磁屏蔽设计，其他电压等级的换流站也可参考执行。本文件仅考虑辐射干扰的电磁屏蔽，不考虑传导干扰的电磁屏蔽。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 13498 高压直流输电术语
- GB/T 30842 高压实验室电磁屏蔽效能要求与测量方法
- GB/T 50789 ±800kV 直流换流站设计规范
- DL/T2084 直流换流站阀厅电磁兼容导则

3 术语和定义

GB/T 13498、GB 50789 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 法拉第笼 faraday cage

由金属或者良导体形成的笼子。外壳接地的法拉第笼可以有效地屏蔽笼内外的电场和电磁波。

4 建筑物电磁屏蔽要求

4.1 总则

换流站内宜针对阀厅、继电器小室和控制楼内功能性屏柜房间等建筑物采取电磁屏蔽措施。其中控制楼内功能性屏柜房间主要包括：控制室、阀组 VCCP 室、阀组辅助设备室、站辅助设备室、阀厅及控制保护室、站控制保护设备室和通讯机房。

4.2 阀厅电磁屏蔽效能要求

参照 DL/T2084，换流站阀厅的屏蔽效能在 200 MHz 以下宜取为屏蔽效能 40dB 以上。

4.3 继电器小室电磁屏蔽效能要求

全频段的屏蔽效能不宜小于 30dB。

4.4 控制楼电磁屏蔽效能要求

需要采取电磁屏蔽措施的区域，全频段的屏蔽效能不宜小于 30dB。

4.5 建筑物电磁屏蔽效能计算和测量

建筑物电磁屏蔽效能计算参见附录 A。建筑物电磁屏蔽效能测量部位、测量方法、测量结果判定参见附录 B。

5 建筑物电磁屏蔽设计

5.1 阀厅

5.1.1 电磁屏蔽设计总则

5.1.1.1 阀厅宜采用由地面 $\phi 6\text{mm}@200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 钢筋屏蔽网与墙面和屋面的内层压型钢板构成的六面体法拉第笼实现电磁屏蔽功能。压型钢板厚度宜大于 0.6mm。

5.1.1.2 压型钢板间、压型钢板与地面屏蔽金属网间应与主接地网可靠连接。

5.1.2 侧墙或屋顶压型钢板间的连接

每两块侧墙内层压型钢板或屋顶内层压型钢板间搭接长度不应小于 120mm。搭接处宜采用自攻螺栓固定，螺栓间距不应大于 200mm。每 3 个自攻螺栓中应有不少于 1 个采取去漆除脂等措施。

5.1.3 侧墙压型钢板与屋顶压型钢板的连接

侧墙内层压型钢板与屋顶内层压型钢板间应通过附加压型钢板折件搭接，搭接处宜采用自攻螺栓固定，螺栓间距不应大于 200mm。每 3 个自攻螺栓中应有不少于 1 个采取去漆除脂等措施。侧墙内层压型钢板与屋顶内层压型钢板间应通过 35mm² 铜绞线可靠连接。

5.1.4 侧墙压型钢板与地面屏蔽金属网的连接

侧墙内层压型钢板宜通过角钢与地面金属网连接，地面金属网宜与角钢焊接，压型钢板与角钢搭接处宜采用自攻螺栓固定，螺栓间距不应大于 200mm。每 3 个自攻螺栓中应有不少于 1 个采取去漆除脂等措施。

5.1.5 地面屏蔽金属网与主接地网的连接

地面屏蔽金属网每隔 5m 宜通过 150mm² 接地铜绞线与主接地网可靠连接。

5.1.6 门窗

应采用电磁屏蔽门窗。

5.1.7 穿墙套管和封堵材料

5.1.7.1 穿墙套管法兰应与阀厅屏蔽体有良好的电气连接。

5.1.7.2 换流变压器和平波电抗器的阀侧套管与阀厅屏蔽体或含屏蔽网的混凝土墙之间需填加封堵材料。

5.1.7.3 封堵材料宜为三明治层状结构，封堵材料两外侧为导电材料，宜为厚度不小于 0.5 mm 的钢板，中间层宜为绝缘性能良好、介质损耗小、具有一定机械强度的非金属材料。

5.2 继电器小室

继电器小室宜采用由 $\phi 4\text{mm}@50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 镀锌屏蔽钢丝网构成的六面体法拉第笼实现电磁屏蔽功能。继电器小室的地面、四周墙体及顶棚内均应敷设 $\phi 4\text{mm}@50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 镀锌屏蔽钢丝网且各屏蔽钢丝网之间宜通过焊接可靠连接。由镀锌屏蔽钢丝网构成的六面体应与主地网可靠连接。

继电器小室应采用电磁屏蔽门窗。

5.3 控制楼

控制楼内的功能性屏柜房间宜采用由 $\phi 4\text{mm}@50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 镀锌屏蔽钢丝网构成的六面体法拉第笼实现电磁屏蔽功能。各功能性屏柜房间的地面、四周墙体及顶棚内均应敷设 $\phi 4\text{mm}@50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 镀锌屏蔽钢丝网且各屏蔽钢丝网之间宜通过焊接可靠连接。由镀锌屏蔽钢丝网构成的六面体应与主地网可靠连接。

控制楼内各功能性屏柜房间应采用电磁屏蔽门窗。

5.4 建筑物门、窗电磁屏蔽设计

5.4.1 电磁屏蔽门窗应具有良好的抗电磁波穿透能力，电磁屏蔽门窗的屏蔽效能应高于需屏蔽房间的屏蔽指数 6dB。

5.4.2 电磁屏蔽门（窗）扇与门（窗）框应牢固可靠连接，且门（窗）扇与门（窗）框之间宜通过铜绞线相连。

5.4.3 电磁屏蔽门扇应采用厚度不小于 1.2mm 的双面镀锌优质冷轧钢板，冷轧钢板应通过连续焊接成为双层屏蔽壳体。

5.4.4 门扇与门扇之间、门扇与门框之间应具有可靠的电气接触，门扇与门扇之间、门扇与门框之间的缝隙应加装梳形铍铜弹簧片。

5.4.5 阀厅观察窗洞口内侧应敷设 $\phi 1.8\text{mm}@25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 镀锌屏蔽钢丝网，且屏蔽钢丝网应通过金属边框与压型钢板可靠连接。金属边框与压型钢板间宜采用自攻螺栓连接，螺栓间距应不大于 200mm。每 3 个自攻螺栓中应有不少于 1 个采取去漆除脂等措施。压型钢板厚度宜大于 0.6mm。

5.4.6 所有电磁屏蔽门窗均应与建筑物六面体法拉第笼屏蔽系统具有可靠的电气连接，且通过一点接地。

5.5 建筑物洞口电磁屏蔽设计

5.5.1 采取电磁屏蔽措施建筑物的洞口宜预埋金属边框，该金属边框应保证可靠接地，且该金属边框应与建筑物六面体法拉第笼屏蔽系统具有可靠的电气连接。

5.5.2 采取电磁屏蔽措施建筑物的电缆洞口应采用电磁屏蔽型封堵。除电缆洞口外的其他洞口应采取电磁屏蔽措施以满足建筑物整体的电磁屏蔽效能要求。

5.5.3 采取电磁屏蔽措施建筑物内地面电缆沟、地沟各方向抹面中均应敷设金属屏蔽网，金属屏蔽网间、金属屏蔽网与敷设于地面的金属屏蔽网间应可靠连接。

附录 A
(资料性)
换流站建筑物电磁屏蔽效能计算

A.1 屏蔽效能

屏蔽效能定义为在电磁场中同一地点无屏蔽存在时的电磁场强度与加屏蔽体后的电磁场强度之比，用 SE 表示，可按式 (A.1) 计算

$$SE = \frac{E_0}{E_1} \quad (\text{或 } SE = \frac{H_0}{H_1}) \quad (\text{A.1})$$

式中

E_0 、 H_0 —为某点无屏蔽时的电场强度和磁场强度；

E_1 、 H_1 —为同一点加屏蔽后的电场强度和磁场强度。

SE 的单位通常用分贝 (dB) 表示，见式 (A.2)

$$SE = 20 \lg\left(\frac{E_0}{E_1}\right) \quad (\text{或 } SE = 20 \lg\left(\frac{H_0}{H_1}\right)) \quad (\text{A.2})$$

A.2 屏蔽体的屏蔽效能计算

A.2.1 金属网的屏蔽效能

单层屏蔽金属网的屏蔽效能，可按式 (A.3) 和 (A.4) 计算。

磁场：

$$S_1 = 20 \lg \left[\frac{r}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{0.38 \times 10^6}{f} \cdot X_f + 0.478 \left(\ln \frac{c}{a} - 1.5 \right) \right]^2 + \left(\frac{0.38 \times 10^6}{f} \cdot R_f \right)^2}} \right] \quad (\text{A.3})$$

平面波：

$$S_2 = 20 \lg \left[\frac{1}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(0.265 \times 10^{-2} \cdot R_f \right)^2 + \left[0.265 \times 10^{-2} \cdot X_f + 0.333 \times 10^{-8} \cdot f \cdot \left(\ln \frac{c}{a} - 1.5 \right) \right]^2}} \right] \quad (\text{A.4})$$

其中：

$$R_f = \left(1 + \frac{\delta}{3} + \dots \right) \cdot R_0 \quad (\delta < 1)$$

$$R_f = \left(\delta + \frac{1}{4} + \frac{2}{64\delta} + \dots \right) \cdot R_0 \quad (\delta > 1)$$

$$X_f = \left(\delta^2 \cdot \left(1 - \frac{\delta^4}{6} \right) + \dots \right) \cdot R_0 \quad (\delta < 1)$$

$$X_f = \left(\delta - \frac{3}{64\delta} + \dots \right) \cdot R_0 \quad (\delta > 1)$$

$$\delta = 7.55a\sqrt{f\mu_r\sigma_r}$$

$$R_0 = \frac{5.5 \times 10^{-9}}{a^2\sigma_r}$$

以上各式中：

r — 干扰源距金属网的距离 (m)；

c — 金属网的网距 (中心距) (m)；

a — 金属网的网丝半径 (m)；

σ_r — 材料的相对导电率 (对铜)；

μ_r — 相对磁导率；

f — 计算频率 (Hz)。

上述屏蔽效能是根据无限大金属网计算得出的理想结果，金属网的屏蔽效能主要由其反射损耗来决定，适用于 0.1~100MHz 频段，金属网的材质以紫铜和黄铜为宜，屏蔽效能一般大于 40dB。若采用双层网效果更好，其屏蔽效能可达到 60dB 左右。

表 A.1 列出了几种不同网丝半径正方网格钢筋网屏蔽效能值。

表 A.1 不同网丝半径的钢筋网的屏蔽效能值 (dB)

f (MHz)	a=0.001m, c=0.05m	a=0.002m, c=0.05m	a=0.003m, c=0.05m
.1000	87.79	90.75	93.10
1.0000	67.87	70.83	73.17
5.0000	53.92	56.87	59.21
10.0000	47.90	50.85	53.19
100.0000	27.91	30.86	33.20

表 A.2 列出了几种不同规格网格大小的钢筋网屏蔽效能值。

表 A.2 不同网格大小的钢筋网的屏蔽效能值 (dB)

f (MHz)	a=0.002m, c=0.02m	a=0.002m, c=0.05m	a=0.002m, c=0.08m
.1000	105.21	90.75	84.60
1.0000	85.37	70.83	64.66
5.0000	71.43	56.87	50.69
10.0000	65.42	50.85	44.68
100.0000	45.43	30.86	24.68

A. 2. 2 金属板的屏蔽效能

金属板的电磁屏蔽作用可由式(A.5)表示

$$SE=A \cdot R \cdot B \quad (\text{A.5})$$

式中:

A —吸收损耗 (倍数);

R —反射损耗 (倍数);

B —多次反射修正项 (倍数)。

屏蔽效能可按式(A.6)计算

$$SE = e^{\Gamma t} \frac{(1+K)^2}{4K} \left[1 - \left(\frac{1-K}{1+K} \right)^2 e^{-2\Gamma t} \right] \quad (\text{A.6})$$

其中:

$$K = Z_w / Z_s$$

$$\Gamma = \alpha + j\beta \approx (1+j)\sqrt{\pi f \mu \sigma}$$

以上各式中:

t —金属板厚度 (m);

K —空气波阻抗与金属波阻抗比值;

Z_w —空气波阻抗 (Ω);

Z_s —金属波阻抗(属波);

f —电磁波频率(Hz);

μ —波频金属板的磁导率(H/m);

σ —金属板的电导率(S/m);

α —板的衰减因子;

β —因子相移因子。

在计算金属板的屏蔽作用时, 电磁波的传播常数中可只计算衰减因子, 见式 (A. 7)

$$\Gamma = \alpha = \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (\text{A.7})$$

在一般情况下, 空气的波阻抗 Z_w 远大于金属材料的波阻抗 Z_s , 则上式可简化为式 (A. 8)

$$\frac{(1+K)^2}{4K} = \frac{(Z_s + Z_w)^2}{4Z_s Z_w} = \frac{Z_w}{4Z_s} \quad (\text{A.8})$$

金属的波阻抗, 见式 (A. 9)

$$Z_s = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} = (1+j)\sqrt{\frac{\pi f \mu}{\sigma}} \quad (\text{A.9})$$

取模, 见式 (A. 10)

$$|Z_s| = \sqrt{\frac{2\pi f \mu}{\sigma}} \tag{A.10}$$

算例：

镀锌钢板的相对电导率为 0.17，相对磁导率与频率的关系如图 A.1 所示。单层钢板的厚度一般为 0.5~1.5mm。为了进行比较，分别对 0.5mm、1mm、1.5mm 厚的钢板的屏蔽效能进行了计算。

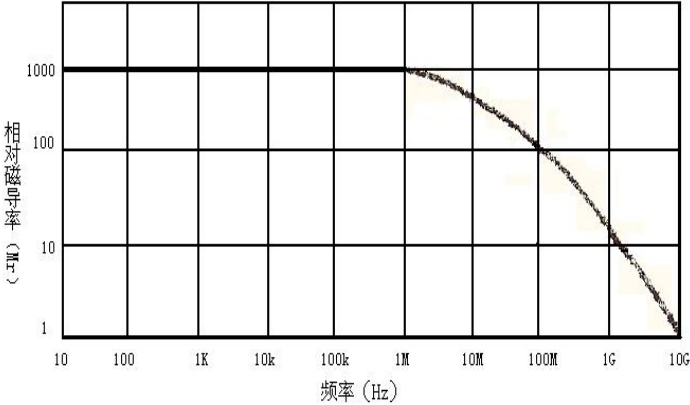


图 A.1 镀锌钢板的相对磁导率与频率的关系

表 A.3 为其屏蔽效能值的计算结果。

表 A.3 0.5mm~1.5mm 厚钢板的屏蔽效能 (dB)

钢板厚度	频率 (MHz)	SE (dB)
0.5mm	.10	427.75
	1.00	1005.84
	5.00	1946.42
	10.00	2508.73
	100.00	2968.68
1mm	.10	699.72
	1.00	1865.89
	5.00	3754.58
	10.00	4882.86
	100.00	5821.16
1.5mm	.10	971.70
	1.00	2725.95
	5.00	5562.75
	10.00	7256.99
	100.00	8673.65

A.2.3 金属板上存在微小缝隙时的屏蔽效能

无限大金属平板上存在微小缝隙时的屏蔽效能可按式 (A.11) 计算

$$SE = 20 \lg \left| \frac{(1+K)^2}{4K} \right| + 27.3 \frac{t}{g} \quad (\text{A.11})$$

式中：

K —缝隙开口处波阻抗与空间入射波的波阻抗的比值，入射场为平面波时， $K = j6.69 \times 10^{-5} fg$ ；

g —缝隙长度（cm）；

f —频率（MHz）；

t —缝隙的深度（cm），也为平板厚度。

算例：

镀锌钢板的相对电导率为 0.17，相对磁导率与频率的关系如图 A.1 所示。单层钢板的厚度一般为 0.5~1.5mm。为了进行比较，分别对 0.5mm、1mm、1.5mm 厚的钢板上分别有 5cm、10cm、15cm、20cm 的缝隙时的屏蔽效能进行了计算。表 A.4 为其屏蔽效能值的计算结果。

表 A.4 0.5mm~1.5mm 厚钢板带缝隙时的屏蔽效能 (dB)

频率 (MHz)	缝隙长度 (cm)	钢板厚度 (mm)		
		0.5mm	1mm	1.5mm
0.1MHz	5	77.74	78.02	78.28
	10	71.59	71.72	71.86
	15	68.02	68.11	68.2
	20	65.5	65.56	65.63
1MHz	5	57.74	58.02	58.28
	10	51.59	51.72	51.86
	15	48.02	48.11	48.2
	20	45.5	45.56	45.63
10MHz	5	37.74	38.02	38.29
	10	31.59	31.72	31.86
	15	28.02	28.11	28.2
	20	25.5	25.57	25.64
100MHz	5	17.57	18.03	18.3
	10	11.63	11.76	11.9
	15	8.12	8.19	8.29
	20	5.65	5.72	5.79

A.3 实际屏蔽体的屏蔽效能

实际屏蔽体的屏蔽效能受多种因素的影响，例如，缝隙、孔洞、屏蔽体形状、屏蔽体尺寸、混合屏蔽、天线效应及滤波等。其中以缝隙、孔洞的泄漏较为普遍。

可按式(A.12)计算实际屏蔽体的屏蔽效能

$$SE_{\Sigma} = -20 \lg \sum_{p=1}^n 10^{\left(\frac{-SE_p}{20}\right)} \quad (\text{A.12})$$

式中：

SE_{Σ} — 实际屏蔽体的总屏蔽效能（dB）；

SE_p — 表示影响屏蔽效能的各种因素的衰减值（即屏蔽效能）（dB）。

从工程实际考虑，屏蔽体屏蔽效能的计算一般不会很精确，因此设计时应留有一定的裕度。实际屏蔽体的屏蔽效能应以最终实测结果为准。

附 录 B
(规范性)
换流站建筑物电磁屏蔽效能测量

B.1 建筑物屏蔽效能测量部位

换流站主要建筑物屏蔽效能测量部位宜包括建筑物大门、墙、穿墙套管处、封堵处、通风口等具有孔、缝的部位。

B.2 10kHz~30MHz 磁场屏蔽效能测量

具体方法参照 GB/T 30842。

B.3 10kHz~30MHz 电场屏蔽效能测量

具体方法参照 GB/T 30842，本方法仅适用于具有底部非导电接触大屏蔽门的换流站高压区域测量。

B.4 30MHz~1GHz 屏蔽效能测量

具体方法参照 GB/T 30842。

B.5 测量结果判定

按 B.2~B.4 得到各位置点所有频率点的屏蔽效能达到 4.2~4.4 的要求,认为换流站建筑物屏蔽效能满足要求。



特高压直流换流站建筑物电磁屏蔽技术规范

编 制 说 明

目 次

1 编制背景	13
2 编制主要原则	13
3 主要工作过程	13
4 标准结构和内容说明	13
5 标准水平说明	13
6 标准实施措施说明	13

1 编制背景

2021年11月19日，电力建设专委会组织召开了《高压直流输电用换流变压器阀侧套管技术规范》等CSEE 标准专家评审会，本标准通过会议评审后立项，由国网经济技术研究院有限公司、国家电网有限公司、中国电力科学研究院有限公司负责起草。

换流站中除了常规交流变电站的设备外，增加了交直流转换设备和直流开关设备等，在运行过程中会产生大量的谐波和电磁干扰。目前，国内外直流换流站建筑物电磁屏蔽设计尚未有统一的技术标准。为规范特高压直流换流站建筑物电磁屏蔽设计，统一技术标准，提高换流站的运行可靠性，保障换流站安全稳定运行，制定本标准。

2 编制主要原则

目前国内外在运特高压直流换流站已经有几十座，其换流站建筑物的电磁屏蔽设计方案得到了工程检验，在运行中积累了丰富的经验，亟待对换流站不同建筑物的电磁屏蔽效能和设计要求进行归纳总结，并形成标准化文件。

3 主要工作过程

2021年11月19日，通过电力建设专委会组织专家组审查，本标准立项。将拟立项标准《±800kV 特高压直流换流站建筑物电磁屏蔽技术规范》名称修改为《特高压直流换流站建筑物电磁屏蔽技术规范》。

2021年12月，国网经济技术研究院有限公司组织专家成立编写组，确定了标准编制的技术路线和主要内容。

2023年2月，完成本文件初稿编写。

2023年6月，电力建设专委会组织专家组审查本文件初稿，编写组根据专家意见进行修改后形成征求意见稿。

4 标准结构和内容说明

本标准具体章节如下：本标准主题章为5章，由范围、规范性引用文件、术语和定义、建筑物电磁屏蔽要求、建筑物电磁屏蔽设计组成。

建筑物电磁屏蔽要求包括总则、阀厅、继电器小室和控制楼电磁屏蔽效能要求，建筑物电磁屏蔽效能计算和测量。

建筑物电磁屏蔽设计包括阀厅、继电器小室、控制楼、建筑物门窗和建筑物洞口电磁屏蔽设计。

5 标准水平说明

目前，未见有关于换流站建筑物直流换流站建筑物电磁屏蔽的相关团标、行标和国标。

6 标准实施措施说明

目前，本标准仍在编制阶段，还未实施。

