

“高压直流送电工程的电磁环境的影响的评价技术规范”

（征求意见稿）

编制说明

1 编制目的

高压直流输电工程目前我国发展很快，在我国电力 2025 年远景规划中还将有数十条直流输电工程建成，直流输电在“西电东送”战略中发挥着十分重要的作用。但是到目前，由于没有相应的环境影响评价规范，使得直流输电工程的环境影响评价和审查都无标准可循。所以，编制目的是建立高压直流送电工程的电磁环境的影响的评价技术规范。其主要内容是确定或推荐直流送电工程的无线电干扰、合成电场，以及接地极的电磁环境参数的评价指标、测量方法等。

2 编制依据和编制过程

本规范编制任务是由国家环境保护总局核安全司辐射处下达，由武汉高压研究所承担，北京交通大学和北京市环境保护监测中心协作。

$\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程的电磁环境影响与交流 500kV 输变电工程的电磁环境影响应有一致的评价程序及评价报告书格式，所以本规范是以 HJ/T24-1998《 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》为基础，结合国外的研究资料 and 我国实际工程设计和有关测量数据进行编制的。

规范的编制过程中，得到了国家电网公司项目“直流输电工程的电磁影响研究”的支持。2004 年底，提交了“高压直流送电工程的电磁环境的影响的评价技术规范”初稿，并由国家环境保护总局核安全司辐射处组织专家进行了讨论，根据专家提出的意见，经修改后形成了征求意见稿，2005 年 5 月发送给具有环境影响评价资质的有关电力设计院和有关专家征求意见。2005 年 6 月，在国家电网公司有关部门的组织和协调下，对直流合成电场的评价标准和评价方法形成了统一的意见，在统一的意见的基础上形成了本次提交的“高压直流送电工程的电磁环境的影响的评价技术规范”新的征求意见稿。

国家环境保护总局于 2005 年 10 月 26 日在北京对《 $\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流输电线路电磁环境指标的研究》报告提出的控制指标组织召开了专家审查会。

与会专家认为：直流特高压架空输电线路电磁环境的影响的评价因子选择，即合成电场、

离子流密度、直流磁场、无线电干扰和可听噪声，是合理的；各评价因子的以下控制限值是可行的。

以 30kV/m 作为直流输电线路下方最大地面合成场强的控制指标；以 25kV/m 作为邻近民房的最大合成场强，同时满足 80%测量值不超过 15kV/m 为控制指标,应在监测方法中规定风速、风向要求。

以 100 nA/m² 为输电线路下方离子流密度的控制指标。

直流输电线路产生的磁场参照目前国际上有关机构的暴露限值规定，以 10mT 为直流输电线路的直流磁场的控制指标。

以 58dB(μ V/m)为距极导线投影外侧 20m 处 0.5MHz 的无线电干扰电平的控制指标。

可听噪声按当地功能区划的声环境标准执行，无功能区划的地区按《城市区域环境噪声标准》(GB3096-93)的相关规定评价。

上述指标和本规范的限值是一致的。

3 条文说明

3.1 关于术语

本规范列出了 6 条术语，除接触电势外，为直流输电工程的电磁环境影响的主要评价因子。列出术语的目的在于帮助评价单位或本规范的使用者理解直流输电的特殊性，便于评价工作的开展。

3.2 关于评价范围

本规范的评价范围的确定，充分吸取已有的输变电环境影响评价的经验，在 HJ/T24-1998《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》的相关的因子的评价范围基础上，作了压缩的调整，以便更易于操作、减少工作量，也符合这些因子的有实际意义的影响范围。尤其是无线电干扰，大量的测试经验表明，0.15~30MHz 范围，距线路 100m 以外，测量的数据已基本不反映线路的情况了，所以本规范把无线电干扰的评价范围减小到距极导线 100m。

3.3 评价标准

合成场强和离子流是高压直流输电的特有现象，也是与交流输电环境影响的重要差别之一。就超高压交流输电线路而言，线路导线电晕时，由于电压的交替变化，所产生的离子绝大部分被限制在导线附近，基本上不存在这些离子离开导线的运动。而超高压直流输电线路的电场则比较复杂，在导线无电晕（或不计及电晕及其产生的离子时），导线周围及线下地面的电场只决定于导线电压和线路的几何尺寸，即仅存在“静电场”，或所谓的标称场；导线电晕时，离子在电场力的作用下，向反极性的导线和地面运动。这样在两极

导线和极导线与地之间都存在离子，亦即空间电荷，它们同时也产生电场，从而改变了地面的场强，形成了合成场强。

由于标称场强在实际的监测中的不可监测性，而且在高压直流输电线路附近，人们所能处的也只有合成场，所以本规范采用合成场强作为直流输变电工程环评监测的因子。

早在上世纪八十年代后期，我国建设第一条直流输电工程—— $\pm 500\text{kV}$ 葛-上直流输电工程时，由国际知名的咨询公司提供的设计咨询中，指出了线下最大合成场强为 30kV/m 的控制值，随着该工程的建成和运行，我国出版了电力的行业标准 DL436-91《高压直流架空送电线路技术导则》，该标准采纳了 30kV/m 。本规范也采用了 30kV/m 为线下最大合成场强。

对于邻近民房处的合成场强控制，本规范则充分考虑了对人保护。即“以 25kV/m 作为邻近民房的最大合成场强的评价标准，且 80% 测量值不超过 15kV/m ”。以下为取值依据。

国际非电离辐射防护委员会 (ICNIRP) 的有关导则指出，对暴露在 100kHz 以下的电场和磁场下的有关的生物和健康影响，“主要的相互作用的机制是感应组织中的电流。对于频率从大于零到 1Hz ，作为制定基础限值和参照水平的生物学基础有 ICNIRP 提供”。该导则给出的适用于一般公众的暴露参照水平中虽没有直接给出 1Hz 以下的电场强度的水平值，但在注释中指出，频率低于 1Hz 的电场强度值，因为它实际上属静电场，对大多数人来说因表面电荷而引起的烦恼的感觉不会发生在 25kV/m 场强之下。引起紧张或烦恼的火花放电应该避免。

美国 BPA 的 $\pm 500\text{kV}$ 试验线的试验（计算的最大标称电场为 9.8kV/m ，最大合成电场为 30kV/m ）。

——放在直流线路附近的绝缘物体上将会有积累电荷，而且产生对地的电位差。直流电压时电荷累积的函数，但它不能超过物体的临界电晕电压。例如，刺蒺藜栅栏不会产生 25kV 以上的电压，因为在这个电压下铁线上的毛刺会产生电晕，从而使电压保持稳定。即使这样的电压也是极少见的，因为这需要极干燥的条件。

——典型电流水平和存储能量仅能到有电击感觉的火花放电的程度。各种储存能量与人在尼龙地毯上走动后接触门把手的直流电击相近。这种电击的能量水平一般约为 $3\sim 4.5\text{mJ}$ 。因此，在线路走廊内，长 40m 的栅栏仅在天气十分干燥的条件下才可能达到这个储存水平。在线路走廊内，与线路平行，距离导线 4.6m 的 240m 栅栏可以产生 50mJ 的电击能量，可划入产生烦恼感觉的一类。 250mJ 的电击使非常不舒服的，在线路走廊内 1500m 与线路平行的栅栏才能产生这样的能量。然而这种情况是很少见的。在任何情况下，只要

栅栏有一个金属桩子就足以将能量降低到“感觉”水平以下。面积为 186m^2 的房屋，距线路 30m ，假设屋顶是金属的，那么就它储存能量及短路电流的大小来说是没有任何问题的。

——在相对湿度 60% 的条件下，用 9 个人做感受试验，结果表明，当人对地绝缘良好时， 22kV/m 的直流电场可以产生人头皮轻微刺痛的感觉，试验人员认为，无论感觉的程度还是电场强度都与湿度有关。试验人员报道，穿普通的鞋，在线路附近只在极少数情况下电场强度大于 30kV/m ，发根才有刺痛感。

——进行试验的研究人员在直流线路走廊内停留过数百小时，没有感受到电场和经受过任何电击。

我国的电力科学研究院曾有试验，在 $-17\sim-28.6\text{kV}$ （负极线下的电场较高），部分人的头发有向上竖起的情况，但没有不舒服的感觉，但是出现个别的电击刺痛感。

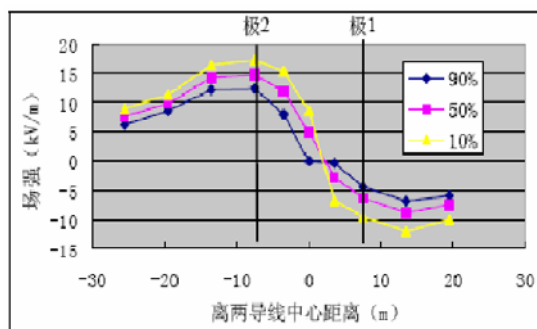


图 1 ±500kV 天广直流线路合成场强

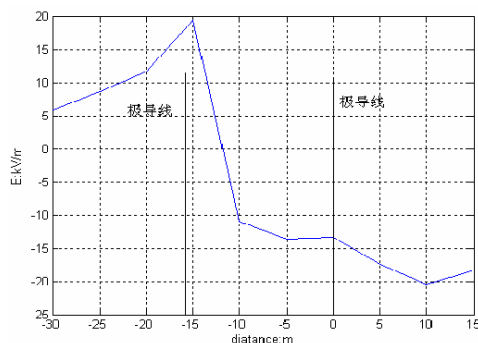


图 2 ±500kV 龙政直流线路合成场强

现在我国已有 5 条 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程在运行，在对其中 4 条的全线环境影响调查情况，无健康影响的反映，无引起恼人的电击投诉。

综上所述，直流电场的健康影响是没有阈值规定的， 30kV/m 以下的电场中引起刺痛感电击是存在的，但这与人体对地绝缘和空气干燥程度密切相关，所以邻近民房时，最大合成场强不超过 25kV/m 、 50% 测量值不超过 15kV/m ，以最大限度地减少电击引起的不适或不快感。

除在直流合成电场中的感受外，人截获离子流的感受也是直流输电线路的环境效应。国外的研究表明，要得到同样的感受程度，流过人体的直流电流要比交流大 5 倍以上，而站立在直流输电线路下人的截获电流，又比直流感觉的临界值小 2 个数量级，因此一般不会有任何感觉。考虑到 DL436-91《高压直流架空送电线路技术导则》已对离子流密度作了限制，同时我国也需要更多地积累这些数据，本规范以 100 nA/m^2 为输电线路下方离子流密度的评价标准。

直流磁场的产生与交流输电线路产生的工频磁场的机理相同，即电流产生磁场，但直流磁场是由正负两个方向的电流产生，计算分析更为简单。ICNIRP 的导则给出一般公众的磁场暴露参照水平（1Hz 以下），即 40mT。表明直流磁场对人的影响远比交流磁场要小。本规范在计算分析了实际±500kV 和设计中的±800kV 输电线路的磁场水平后，取了 ICNIRP 的暴露参照水平 1/4 作为磁场评价标准，即 10mT。这样取值也是为了缩小磁场监测仪表的量程选择，方便本规范的使用者。

输电线路的无线电干扰限值是反映了各种天气条件的、具有统计意义的值，即所谓的 80% 值。交流输电线路无线电干扰的 80% 值一般为雨天的某个水平。根据 CISPR 18-2 的第一修改版，直流输电线路无线电干扰的 80% 值则是以好天气的某个水平为代表（如图 3 所示）。好天气时双极直流输电线路的无线电干扰约等于或小于相应的交流输电线路，雨天时则低于交流输电线路。直流输电线路的无线电干扰在好天气的平均值的预估公式如下，CISPR 18-2 指出，该公式的计算结果增加 3dB~4dB 即为 80% 值，本标准建议取值 3dB。该公式已列入本规范的附录中。

$$E = 38 + 1.6(g_{\max} - 24) + 46 \lg r + 5 \lg n + 33 \lg \frac{20}{D}$$

式中：E——距离 D 处的无线电噪声场强，dB(μV/m)；

g_{\max} ——导线最大表面电位梯度，kV/cm；

r——导线或子导线半径，cm；

n——分裂导线数；

D——参考点到最近导线的直接距离，m。

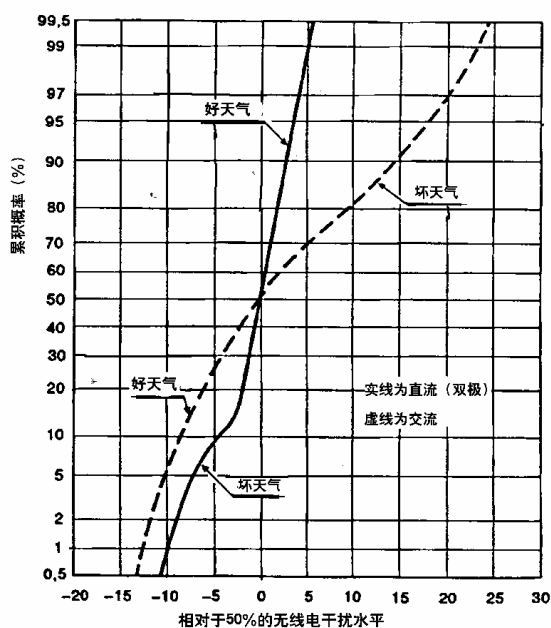


图 3 交流和直流输电线路的无线电干扰水平的累计分布

所以在评价标准上，±500kV 高压直流输电线路直接引用了 500kV 交流输电线路的控制限值 GB15707-1995《高压交流架空送电线无线电干扰限值》中规定的 55dB。根据目前所掌握的设计资料，我国即将设计和建设的±800kV 高压直流输电线路，采用输送容量相对小的线路设计推荐的 5×720 导线，预测的无线电干扰也可以满足 55dB 的要求（考虑了可能的高海拔影响）。所以本标准的无线电干扰评价标准对±500kV 和±800kV 不分别规定。

±500kV 高压直流输电线路的可听噪声水平相对较低，所以本规范没有专门规定。但是换流站的噪声问题，从我国已运行的直流输电工程看，是一个值得注意的环境影响因子。换流站的噪声评价标准按照国家标准 GB/T14623—93《城市区域环境噪声测量方法》进行，换流站所属区域由当地环保部门确定。

接地极也是高压直流输电的特点之一，接地极的极址一般与换流站分处两地，除接地引下线外，其它地方都是人畜可以自由出入的，应该防止接地极的入地电流引起的电位分布，而在人出入的地方产生跨步电压。在国内外大量的测试基础上提出了在最大短时工作电流下，接地极的附近跨步电压不大于 $(5+0.03\rho)$ V， ρ 为土壤表层电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)。

3.4 关于合成电场和离子流密度的测量条件

由于目前的直流电场测量装置不能适应潮湿的雨天下的测量，而且雨天还有未知影响因素，所以本规范采用了 GB15707-1995《高压交流架空送电线无线电干扰限值》的好天气的概念，即无雨、无雪、无雾的天气。建议合成电场和离子流密度在好天气下实施测量。由于离子受风的影响很大，所以合成场强测量及统计，特别规定了测量时的风速限制。按风速分级中，和风是比较容易出现的天气情况，根据国际惯例，和风对应于 4~6m/s 的风速，所以本规范规定合成场强的测量在小于 5m/s 的风速下进行。

3.5 关于第 5 章节

由于直流输电工程的电磁环境影响尚有一些问题还有待研究，比如离子本身对人的影响、离子吸附尘埃的污染问题等，即使本规范定出了评价标准的因子，如直流磁场，也需进一步积累数据和资料，所以本规范设置了“其他”的章节。这在国际标准中也是有例子的。

目前我国尚未有直流输电线路的无线电干扰对无线电台站影响的标准，根据已有的直流输电线路运行和实测经验，我国±500kV 直流输电线路的无线电干扰水平低于 500kV 交流输电线路的水平，所以本规范建议参照现有国家标准的交流 500kV 的相应条款。

3.6 附录的设置

本规范设置了 5 个附录，附录 A 是参照了 HJ/T24-1998《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》的第 2 章的内容，为了精减标准正文，突出评价标准和评

价范围，所以设置了附录 A。

附录 B~附录 D 给出了直流输电线路的电场、磁场和无线电干扰的计算方法，由于它们与交流线路的相应方法有一定的差别，所以本规范作为标准的附录列出，以指导直流输电工程的环境影响评价。

附录 E 作为资料的附录，供使用者参考。

4 关于风速的说明

根据湖北省气象局提供的 2001 年和 2002 年间、 $\pm 500\text{kV}$ 葛南线、龙政线经过的麻城地区的风速的时时监测数据统计，在统计时间内，按照风速大小统计结果如图 4，因此将测量风速定在 3m/s 以下是合理的。

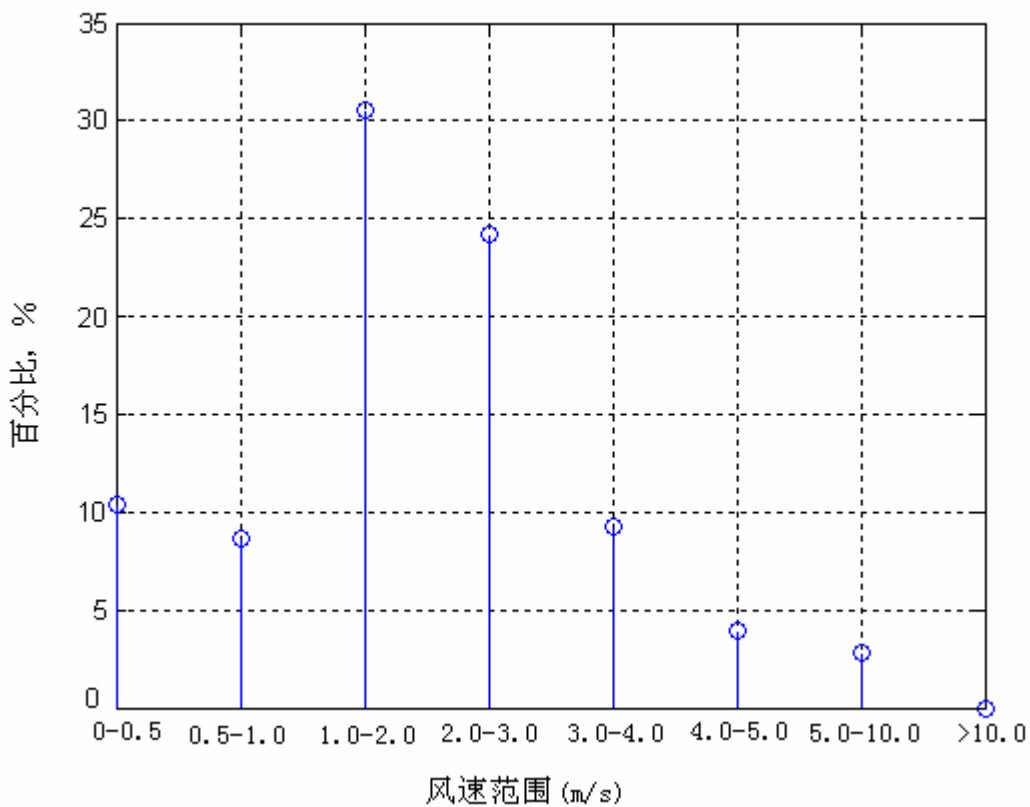


图 4 湖北麻城地区 2001 年、2002 年风速大小统计分布图