

附件 3

# 《直流输电工程合成电场限值及其 监测方法（征求意见稿）》编制说明

环境保护部辐射环境监测技术中心

环境保护部核与辐射安全中心

二〇一八年八月

## 目 录

1	项目背景 .....	15
2	标准制订的必要性.....	15
3	国内外相关标准情况.....	17
4	标准制订的基本原则和技术路线.....	17
5	标准主要技术内容说明.....	20
6	与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析.....	24
7	实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议.....	26
8	行业产排污情况及污染控制技术分析.....	26
9	实施本标准的环境、社会、经济效益和实施成本分析.....	26
10	实施本标准的经济、技术、管理措施的可行性分析 .....	27
11	标准技术审查情况 .....	27
12	标准征求意见和处理情况 .....	28
	附表.....	29
	附件 2-开题论证会议纪要.....	39
	附件 3-标准技术审查会议纪要.....	41
	附件 4-文献检索报告.....	43

# 《直流输电工程合成电场限值及其监测方法（征求意见稿）》

## 编制说明

### 1 项目背景

#### 1.1 任务来源

为健全电磁环境标准体系，完善国家环境保护标准体系，满足电磁环境管理需要，促进直流输电工程可持续发展，保障公众健康，生态环境部决定制订《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》。

根据原环境保护部核设施安全监管司《关于印发〈核与辐射安全监督管理 2014 年项目计划〉的通知》（环核设函〔2014〕4 号）要求，环境保护部辐射环境监测技术中心和环境保护部核与辐射中心（以下简称两中心）承担直流输电工程电磁环境限值标准研究和直流输电工程电磁环境监测方法研究工作，两中心成立标准编制组，主要成员有曹勇、邢劲松、赵顺平、邵海江、傅宗、朱滢、王冠、李育敏、刘贵龙、吴剑、叶垚栋、郁丹炯、顾燕楠、李夏、穆晨暘（15 人）。

#### 1.2 工作过程

2014 年，标准编制组开展资料收集、方案设计等前期准备工作。

2015 年，标准编制组编制完成直流输电工程电磁环境限值标准研究报告。

2016 年，标准编制组编制完成直流输电工程电磁环境监测方法研究报告。

2017 年 3 月，原环境保护部辐射源安全监管司在杭州组织标准论证会，形成《直流输电工程电磁环境限值研究》和《直流输电工程电磁环境监测方法研究》专家咨询审议意见。

2017 年 5 月，环境保护部辐射环境监测技术中心印发《关于征求直流输电线路地面合成电场测量方法和管理限值意见的函》，征求九个省级辐射环境监测机构意见。

2017 年 6 月，原环境保护部辐射源安全监管司在北京再次组织专家对标准进行咨询审议。

2017 年 10 月，标准编制组委托浙江大学环境过程研究所对国内外关于《直流输电工程电磁环境限值》和《直流输电工程地面合成电场测量方法》的相关文献进行了检索查阅。

2018 年 7 月，标准编制组形成《直流输电工程合成电场限值及其监测方法（征求意见稿）》。

### 2 标准制订的必要性

#### 2.1 行业概况

近年来，我国的电力建设得到了快速发展，电网装备水平达到世界先进水平，特高压输电技术和电网建设居世界之首。

2005年，国家发展改革委办公厅印发了《国家发展改革委关于开展百万伏级交流、±800万伏级直流输电技术前期研究工作的通知》，由国家发展改革委牵头组织国家电网公司等单位开展±800kV级直流输电技术前期研究工作。2010年，向家坝-上海±800kV特高压直流示范工程投运，额定输电容量6400MW，线路长度约1900km。其成功实践极大推动了直流特高压技术推广应用步伐，锦屏-苏南、哈密南-郑州、溪洛渡-浙西、宁东-浙江、酒泉-湖南、上海庙-山东、锡盟-江苏、晋北-南京±800kV特高压直流工程已建成投运，单回容量已提升至8000MW；目前，正在建设准东-华东±1100kV特高压直流输电工程。

到2020年前，还将规划建设13回特高压直流工程，见表2-1，将西部和北部能源基地的电力向东部负荷中心高效送出。

表2-1 至2020年特高压直流输电工程规划

±800kV 特高压 直流工程	蒙西 ~ 湖北	陕北 ~ 江西	陇东 ~ 徐州	呼盟 ~ 山东	锡盟 ~ 河南	扎鲁特 ~ 山东	呼盟 ~ 河北	乌东 德 ~ 浙江	白鹤 滩 ~ 湖北	哈密 北 ~ 重庆	俄罗斯 ~ 河北	俄罗斯 ~ 辽宁	蒙古 ~ 河北
综合能源基地	鄂尔多斯盆地			内蒙古东部地区			西南地区		新疆	其他基地			

直流输电工程，特别是超、特高压直流输电工程的建设，迫切需要制定国家环境保护相关标准，以规范直流输电工程的环境影响评价和竣工环境保护验收，满足环境保护的要求，实现环境友好和资源节约的有机统一。

## 2.2 直流合成电场限值的制订与应用

2005年，由于特高压电网建设正处在示范阶段，未建立相应的环境标准，原国家环保总局根据当时直流输电工程环境影响环评审批工作需要，编制了《关于特高压交、直流输电线路电磁环境暂行指标的的建议的报告》。该报告规定以30kV/m作为直流输电线路下方最大合成电场强度控制指标，25kV/m作为邻近民房的最大合成电场强度，同时满足80%测量不超过15kV/m为控制指标。

2008年，国家发改委结合我国已建成投运的特高压直流输电工程实际情况，发布了国家电力行业标准《±800kV特高压直流线路电磁环境参数限值》(DL/T1088-2008)，该标准规定线路临近民房时，民房处的合成场强限值为25kV/m，且80%的测量值不得超过15kV/m；线路跨越农田、公路等人员容易到达区域的合成场强限值为30kV/m；线路在高山大岭等人员不易到达地区的限值按电气安全距离校核。

2012年，国家能源局发布了国家电力行业标准《±800kV特高压直流换流站电磁环境限值》(DL/T275-2012)，规定了换流站最大合成电场不超过30kV/m。

## 2.3 环境管理情况

近年，随着经济社会的发展，直流输电工程的建设加快，线路通道与周围电磁环境敏感目标距离相邻。随着人民生活水平日益提高和公众对自身所处环境质量意识的增强，人体暴露在直流输电工程中是否存在潜在的健康影响，已成为公众关注点。

依据《环境影响评价技术导则 输变电工程》(HJ24-2014)对直流输电工程电磁环境的评价因子为合成电场,不涉及其他因子。

现阶段规定环境中电场、磁场、电磁场暴露水平的限值标准为《电磁环境控制限值》(GB8702-2014),该标准没有对直流输电工程(0Hz 频段)的限值作出规定,也就是说,极容易引起公众关注的直流输电工程处在《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)约束之外。且只有电力行业标准规定了直流输电工程地面合成电场及测量方法的行业标准,至今未有相应的国家标准。

因此,制订《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》标准不仅具有理论意义,而且对工程环境管理也有重要的指导意义。无论从保护环境方面还是指导行业健康发展方面,制订《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》标准是非常必要的。

### 3 国内外相关标准情况

#### 3.1 国际组织情况

美国电子电气工程师协会(IEEE)根据静电感应导致的暂态电击试验结果,认为没有必要因为暂态电击而制定防护标准。

其他国际组织也没有针对直流输电线路电场限值制定国际标准。

#### 3.2 国外标准情况

尽管没有针对直流输电线路电磁场限值的国际标准,但也有许多国家针对各国直流输电线路现状制定了相应的电磁场环境标准限值。如加拿大、俄罗斯、美国、日本、前苏联、巴西等。

#### 3.3 我国标准情况

2005年,原国家环境保护总局制定了《关于特高压交、直流输电线路电磁环境暂行指标的建设的报告》,该报告作为直流输电工程的环评审批依据。2008年,国家发改委结合我国已建成投运的特高压直流输电工程实际情况,发布了国家电力行业标准《±800kV特高压直流线路电磁环境参数限值》(DL/T1088-2008)。2012年,国家能源局发布了国家电力行业标准《±800kV特高压直流换流站电磁环境限值》(DL/T275-2012)。

## 4 标准制订的基本原则和技术路线

### 4.1 基本原则

本标准以《中华人民共和国环境保护法》为主要依据,与我国其他现行标准规范相协调。本标准在沿用电力行业标准中的有关内容的基础上,拓展完善直流输电工程合成电场限值及其监测方法,力求做到针对性、科学性与可操作性。

- (1) 本着有利于保护环境,完善电磁环境管理体系。
- (2) 本标准的制定有利于合理利用国家资源和可持续发展,推进直流输电工程的建设。

- (3) 从实际出发，做到切实可行，制定本标准与国内现有电力系统相应标准协调配套。
- (4) 有利于促进国家输配电网的优化建设，保障电力安全稳定。
- (5) 积极调研国外各国现行限值标准，以利于国际间接轨。

## 4.2 编制依据

- 1 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》GB/T 1.1-2009
- 2 《国家环境保护标准制修订工作管理办法》国环规科技〔2017〕1号
- 3 HJ 168 环境监测 分析方法标准制修订技术导则
- 4 HJ 24 环境影响评价技术导则 输变电工程
- 5 DL/T 275 ±800kV 特高压直流换流站电磁环境限值
- 6 DL/T 1088 ±800kV 特高压直流线路电磁环境参数限值
- 7 DL/T 1089 直流换流站与线路合成场强、离子流密度测量方法

## 4.3 技术路线

本标准制订所采取的技术路线如图 4-1 所示。

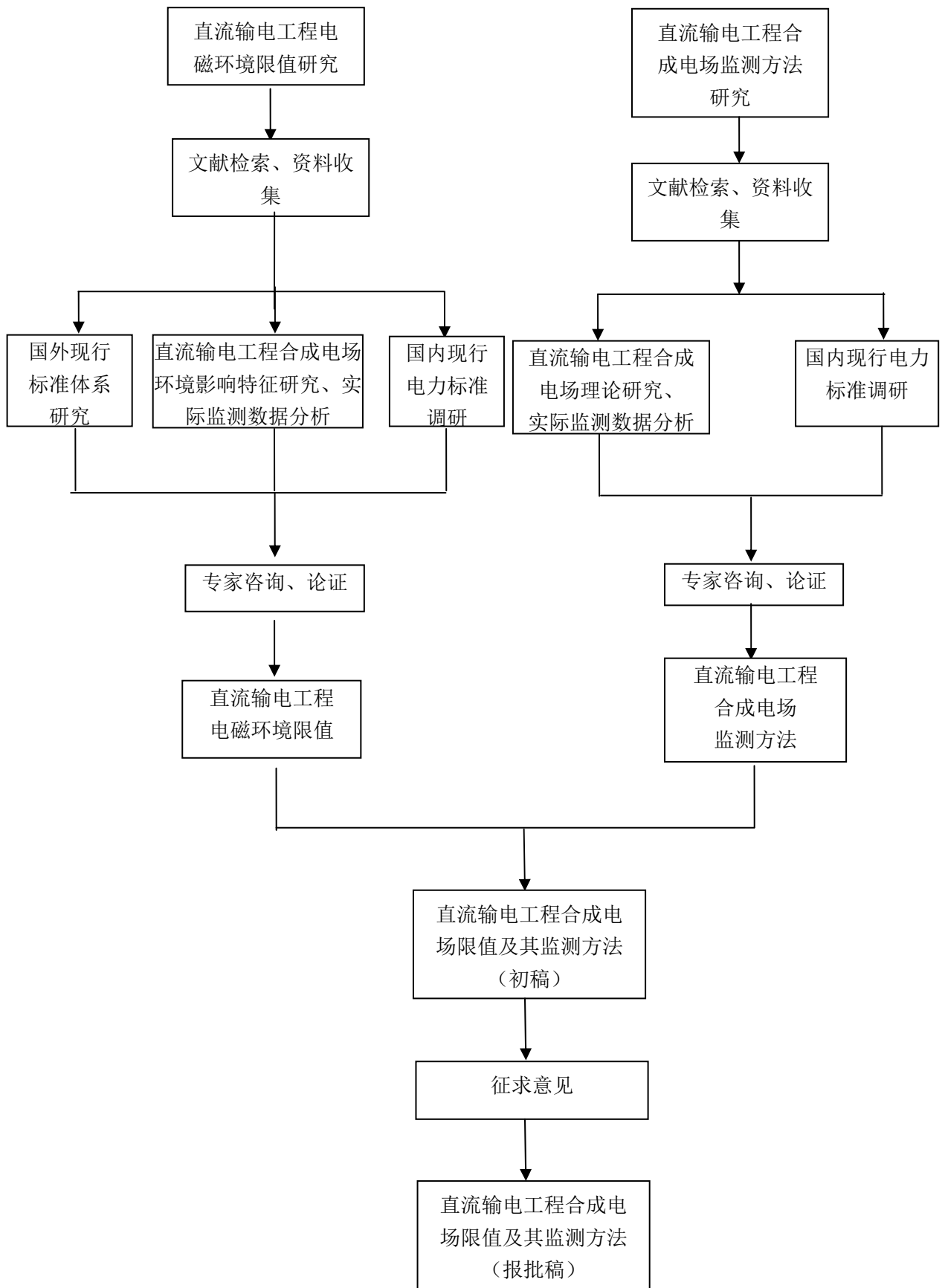


图 4-1 本标准制订技术路线图

## 5 标准主要技术内容说明

### 5.1 关于“前言”

本章按照《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》GB/T 1.1-2009和《国家环境保护标准制修订工作管理办法》（国环规科技〔2017〕1号）要求，给出了本标准的编制目的、内容、提出单位、起草单位、批准单位、实施时间、解释单位等内容。

### 5.2 关于“适用范围”

本章给出了标准的适用范围。规定了直流输电工程合成电场限值及其监测方法。规定了本标准适用于±100kV及以上电压等级的直流输电工程。其他电压等级的直流输电工程合成电场限值及其测量方法可参照本标准执行。

本章根据环境保护部《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《环境影响评价技术导则 输变电工程》给出了本标准的适用范围，涵盖了±100kV及以上电压等级的直流输电工程。±100kV以下电压等级的直流输电工程属于豁免环评工作的范围，±100kV以下电压等级直流输电工程可以免于评价。

### 5.3 关于“规范性引用文件”

本章列出标准中规范性引用的文件，该文件经过标准条文的引用后，成为标准应用时必不可少的文件。

### 5.4 关于“术语和定义”

本章给出了相关术语及定义。术语及定义在参考相关标准的基础上直接引用或结合本标准特点稍做修改。

参考HJ 24《环境影响评价技术导则 输变电工程》，并参照DL/T 275《±800kV特高压直流换流站电磁环境限值》，给出了“直流输电工程”和“合成电场”定义；参照HJ 24《环境影响评价技术导则 输变电工程》，给出了“电磁环境敏感目标”定义。

### 5.5 关于“限值”

本章给出了直流输电设施合成电场环境的限值。限值数据是便于直接监测的量。考虑我国电力设施的建设和经济社会实际，对直流输电线路下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所，提出了附加的合成电场限值及其使用条件。

#### ①环境敏感目标限值

目前，我国尚未建立直流输电工程环境保护标准，现阶段直流输电工程的环评审批均依据原国家环境保护总局《关于特高压交、直流输电线路电磁环境暂行指标的的建议的报告》执行。该报告规定以25 kV/m作为邻近民房的地面最大合成电场强度，同时满足80%测量不超过15 kV/m为控制指标。结合我国已建成投运的特高压直流输电工程实际，国家发改委于



2008 年 11 月发布了国家电力行业标准《±800kV 特高压直流线路电磁环境参数限值》(DL/T1088-2008),该标准规定线路临近民房时民房处地面合成场强限值为 25 kV/m,且 80% 测量值不得超过 15 kV/m。考虑到上述限值在国内环境保护监管、电力设计中已实施多年,因此本标准合成电场的控制限值仍以上述限值作为其控制指标。

对于直流输电工程直流磁场限值,基于目前对其直流磁场的环境影响研究,本标准没有提出直流磁场控制限值的主要考虑如下:

1、已颁布实施的《环境影响评价技术导则 输变电工程》(HJ24-2014)于 2015 年 1 月 1 日实施,新环评导则明确了在直流输电工程的电磁影响因子中,没有纳入直流磁场因子。

2、稳定的直流电流产生直流磁场。磁场的一个基本特性是对运动的电荷产生力的作用,称为洛伦兹力。人体内的血液流动和神经传递都可以看作是电荷的运动,因此会受外界磁场的影响。直流磁场的生物效应主要是人和动物体内运动电荷在磁场内受力的作用所产生的反应。试验表明,当小动物暴露在 1T(特斯拉)的静磁场中时,会在血管壁上积累电荷,但不会对动物血液流动产生任何影响。当外界磁场达到 15T 时,可以阻碍 10% 的血液流通。没有试验表明动物暴露在静磁场中会产生慢性影响,更没有产生与癌症有关的影响。在高达 2T 的静磁场下,未发现对动物的生长、行为和生理产生影响;老鼠暴露在高达 1T 的静磁场下,未发现对胎儿有任何影响。有一些动物在 4T 以上时会产生不适感,这是因为它们是靠地球磁场来辨认方向的,直流磁场会扰乱它们的判断,但对人类不存在此种影响。可见,关于静磁场对动物和人的影响研究大都关注 1T 级及其以上的磁场,而远小于该等级的磁场未发现对人体或动物的任何健康影响。

3、实际直流输电工程产生的磁场是非常小的,以至于目前还没有一个国家专门制定标准对其予以限制。国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)在《Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)》(1998 年)中规定了 1Hz 以下磁场的公众暴露限值为 40mT;2009 年,新发布的《Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields》规定,对于一般公众暴露,身体任意部位的暴露限值为 400mT。我国±800kV 直流输电工程的地面最大磁场理论计算结果仅几十  $\mu\text{T}$ ,与地磁处于相同水平,只有 ICNIRP(国际非电离辐射防护委员会)新发布导则建议的公众暴露限值的 1/8000,如果以 ICNIRP 新发布导则建议的 400mT 作为直流磁场的限值,完全可以满足标准限值要求。

综上,只有当直流磁场达到 1T 级的水平时,才有可能对人体健康产生影响。而直流输电线路产生的磁场水平仅在几十  $\mu\text{T}$  左右,与地磁处于相同水平,因此,暂不制订直流输电工程的磁场限值。

## ②架空输电线路线下限值

我国架空输电线路下存在大量的农田等可耕作土地,也会存在畜牧和水产养殖场,还有其他一些公众偶尔停留或活动的场所,如公路。但公众在此停留或活动时间短。考虑我国输变电工程大规模建设的实际需要,经过代价利益分析和公众健康风险评估,认为直流架空输

电线路走廊内的农田和公众偶尔停留或活动的场所，全部采用环境敏感目标的电场强度限值，在经济上不合理，也没有必要。因此，本标准将原国家环境保护总局《关于特高压交、直流输电线路电磁环境暂行指标的建设的报告》和《±800kV 特高压直流线路电磁环境参数限值》(DL/T1088-2008)标准规定的 30kV/m 作为架空输电线路下的农田和公众偶尔停留或活动的场所的电场强度限值。

### ③对直流合成电场控制值的相关说明

#### 1、工频电场与直流合成电场限值规定

GB8702-2014《电磁环境控制限值》中指出，为控制电场、磁场、电磁场所致公众曝露，环境中的工频电场场量参数的方均根值不应超过 4kV/m。

DL/T1088-2008《±800kV 特高压直流线路电磁环境参数限值》中，给出了合成电场的控制值为，“±800kV 直流架空输电线路邻近民房时，民房处地面的直流合成场强限值为 25kV/m，且 80%的测量值不得超过 15 kV/m。线路跨越农田、公路等人员容易到达区域的合成场强限值为 30 kV/m。……”

#### 2、时变电磁场的基本限值与导出限值

ICNIRP 导则《限制时变电场、磁场和电磁场暴露的导则（300 GHz 以下）》中指出：以“确定的健康效应为基础”的时变电磁场的限值，称为基本限值。在 1 Hz ~ 10 MHz 频率范围内，基本限值用人体内电流密度表示，以防止对神经系统功能造成影响。但是用电流密度表示的基本限值在实际操作中不易或不能进行测量，所以又通过基本限值用数学模型以及在特定频率下通过实验室研究结果推导出以场的形式表示的导出限值。导出限值表示场与暴露个体的最大耦合状态，同时考虑了较大的安全因子，因此可提供最有效的防护。对于工频电场，通过这种方法从基本限值中获得由场强表示的导出限值。相关标准中所见到的工频电场 4kV/m，就是通过这样的方法，考虑了足够的安全因子，从基本限值导出的。它在实践中非常容易进行测量，便于工程应用。

#### 3、关于静电场和直流合成电场

ICNIRP 导则还指出，未提供小于 1 Hz 频率的电场值，因为这是静态电场。对于大多数人而言，能感觉到烦恼的体表电荷不会发生在 25kV/m 的场强之下。但应避免让人紧张或烦恼的火花放电。

由于静电场亦即直流电场，不能像工频电场那样在人体内感应出交变电流来，因此，也就不存在人体内电流密度的基本限值，而是以因静电导致的积累在人体表面的电荷引起的“让人紧张或烦恼的火花放电”来作为衡量静电场的依据。

直流合成电场是高压直流输电的一种特有现象，它是由标称电场（直流静电场）与空间电荷的电场之和而合成。DL/T1088 中所规定的直流合成场强数值，虽然也是通过人体感受试验统计得出的，但并没有像工频电场那样经过严格意义的人体生理、感受等试验的验证。直流输电线路附近的标称电场也远小于 25kV/m，

输电线路附近的空间电荷与夏日雷云或冬季人体日常所带有电荷相同，其对人体是否产生影响有待进一步研究（一般认为，负离子，也就是负极性空间电荷，有益于人体健康。）

此外，用 DL/T1088 所规定的数值来规范直流输电工程的合成电场，从工程实践和环境保护的角度看是可行的。

综上，由于直流合成电场或直流静电场不会产生感应现象，故而不适用基本限值和导出限值的说法。

## 5.6 关于“监测技术要求”

### 5.6.1 监测仪器

规定了监测仪器的要求，与 DL/T 1089-2008 的要求保持一致。

### 5.6.2 环境条件

规定了监测工作的环境条件，与 DL/T 1089-2008 的要求保持一致。

明确了风速为“离地 2m 处”，主要是为了明确风速为监测时的风速，而非当天的气象风速，符合现行实际操作。

### 5.6.3 监测方法

规定了监测方法的通用要求，与 DL/T 1089-2008 的要求保持一致。

将场磨直接放置在地面上进行监测，主要基于以下二方面原因：一是在地面之上的点引入任一探头都将扰动待测电场，因而地面上方的电场测量比地面的更难以测量，且测量的值是探头摆放后产生的扰动电场而非待测电场。二是现有监测仪器是基于均匀场的原理设计测量的，并不能准确测量扰动电场。综上所述，在监测合成电场时，监测仪器需直接放置在地面上，而不是和监测交流输变电工程一样，监测仪器探头架设在地面上方 1.5m 处。

### 5.6.4 监测布点

规定了监测布点的具体要求，其中对直流架空输电线路、换流站以及电磁环境敏感目标的监测布点要求与 DL/T 1089-2008 的要求保持一致。

在直流架空输电线路的衰减监测中，明确了两相邻监测点的距离一般取 5m，为了能测出最大值，要求在监测最大值时，两相邻监测点间的距离可取 2m。

对于直流电缆输电线路合成电场水平不进行监测，主要基于以下考虑：直流电缆输电线路分为陆缆和海缆两种，除海缆外层增加覆盖及混合沥青的钢丝铠装层以增加机械强度和防腐能力外，二者构造基本相同。在实际运行中，运行的电缆内部导体带有与其运行电压极性相同的电荷；绝缘层内的电场按照一定规律分布；而在外层导体上会感应出相应数量且极性与内部导体相反的电荷；由于电缆外层导体是接地的，这些电荷将被中和而使得外部导体电荷为零，从而不会在其外部产生电场，也就是通常的屏蔽的原理。综上所述，并结合电缆运行的实际情况（电缆运行规程）可知，直流电缆在正常工作时，电缆内部的电场分布和大小并不影响电缆外部附近的电场分布和大小；其外部电场为零，不受运行电压的影响。

在换流站监测中，根据 HJ 24-2014《环境影响评价技术导则 输变电工程》换流站的评价范围为站界外 50m，故删除了换流站内合成电场的监测。

对电磁环境敏感目标的监测，取消在平台上的监测，主要是在建（构）筑物阳台（平台）监测时，由于阳台（平台）不是开阔地，当监测仪器放置进去，仪器本身就会引起更大的扰动，监测时无法准确测量该区域的待测电场；仪器的原理都是基于均匀场的情况下的，而阳台（平台）本身不是均匀场，在阳台（平台）监测时，现有仪器无法准确监测该区域的合成

电场值。

### 5.6.5 数据记录与处理

规定了数据记录与处理的具体要求，与 DL/T 1089-2008 的要求保持一致。

强调了“等时间间隔采样”，保证数据的合理性。

### 5.7 关于“质量保证”

原则性规定了开展监测的人员、仪器、数据处理等要求，与 HJ 681-2013《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》的要求保持一致。

## 6 与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析

对于 0Hz 频段，电磁环境管理中主要涉及的是直流输电设施的合成电场，为此，标准编制组研究了主要国家、地区及国际组织有关合成电场相关法令和标准。美国没有制订统一的联邦标准，一些州和部门制定了各自标准；主要国家和地区及国际组织有关合成电场限值见表 6-1，本标准与电力行业标准比较见表 6-2。

表 6-1 主要国家和地区有关合成电场限值

美国	能源部：合成电场限值为30kV/m。 North Dakota 州：合成电场限制值为33kV/m。 Minnesota州：直流线路无电晕时线下的电场强度限制值为12kV/m。
加拿大	输电线路下最大合成电场为 25kV/m。
巴西	±600kV 直流输电线路最大合成电场不超过 40kV/m。
前苏联	在设计±750kV 输电线路时规定了不同情况下的最大合成电场，无人居住时取 25kV/m，有人居住时取 10kV/m。
日本	日本环境理事会规定直流输电线路下方最大合成场强值不超过 15 kV/m
欧盟	CEIENV 50166-1 标准，直流电场的公众暴露限值为 14kV/m。

从各国标准情况分析可以知道：

- (1) 不同国家和地区对直流输电线路的电场限值规定存在着较大的差异。
- (2) 一些国家针对不同环境制定不同的合成电场限值。如前苏联分别针对不同区域制定了±750kV 直流输电线路下合成电场标准限值，要求居民区、非公众活动区、交通难遇到大的区域合成场强分别小于 10kV/m、25kV/m、30kV/m。

本标准作为控制直流输电工程合成电场的限值标准，针对架空输电线路附近不同环境制定不同的合成电场控制限值，符合国际主流标准。

表 6-2 本标准与电力行业标准比较

	直流输电工程合成电场限值及其监测方法	DL/T275-2012 标准 DL/T1088-2008 标准 DL/T1089-2008 标准
限值	<p>直流输电工程周围电磁环境敏感目标处合成电场强度限值为 25 kV/m，且 80%的测量值不得超过 15 kV/m。</p> <p>直流输电线路下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所合成电场强度限值为 30 kV/m。</p>	<p>换流站：最大合成电场不超过 30 kV/m</p> <p>线路：线路临近民房时，民房处的合成场强限值为 25 kV/m，且 80%的测量值不得超过 15 kV/m；线路跨越农田、公路等人员容易到达区域的合成场强限值为 30 kV/m；线路在高山大岭等人员不易到达地区的限值按电气安全距离校核。</p>
监测条件	风速 2m/s	风速（离地 2 m 处）小于 2 m/s
监测布点	<p><b>输电线路监测：</b></p> <p>① 监测时两相邻监测点间的距离一般取 5 m，若在监测最大值时，两相邻监测点间的距离可取 2 m。</p> <p>② 直流电缆输电线路不进行合成电场监测。</p>	<p>① 测量时两相邻测量点间的距离可以任意选定，但在测量最大值时，两相邻测量点间的距离应不大于 5m</p> <p>② 未提及</p>
	<p><b>换流站监测：</b> 不涉及换流站内部监测</p>	<p>换流站内合成电场测量：换流站合成电场测点应选择在换流站直流侧场地的巡视走廊、直流母线下等直流区域位置。</p>
	<p><b>电磁环境敏感目标测量：</b> 不涉及敏感目标楼顶平台上监测</p>	<p>民房楼顶平台上测量：应在距离周围围墙和其他固定物体不小于 1m 的区域内测量，若楼顶平台的几何尺寸不满足这个条件，则不进行测量</p>
数据记录	监测仪器应具有自动记录功能，自动记录合成电场	可采用手动记录测量，间隔 30s 记录一次读数
质量保证	<p>监测机构应当具备与所从事的合成电场监测业务相适应的能力和条件。</p> <p>监测点位置的选取应具有代表性并符合监测布点要求。</p> <p>监测所用仪器应与所测量对象在频率、量程、响应时间等方面相符合。</p> <p>监测仪器应定期校准，并在其证书有效期内使用。每次监测前后均检查仪器，确保仪器在正常工作状态。</p> <p>监测人员应经业务培训，现场监测工作须不少于两名监测人员才能进行。</p> <p>监测中异常数据的取舍以及监测结</p>	未提及

	<p>果的数据处理应按统计学原则处理。</p> <p>监测时尽可能排除干扰因素，包括人为的干扰因素和环境干扰因素。</p> <p>应建立完整的监测文件档案。</p>	
--	--	--

本标准是在电力行业标准同等转化的基础上，结合实际应用，绝大部分标准的指标及要求与电力行业标准处于同一水平，甚至更优。

在相关章节中，针对不同的内容，提出开展监测的人员、仪器、数据处理等要求，主要是考虑体现全程序（过程）质量保证和控制的要求。

## 7 实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议

实施本标准是对直流输电类工程进行环境管理的依据，摆脱项目管理中参考会议纪要、电力行业标准的做法，具有重要的环境和社会效益，可为科学解释、直流输电工程的环境监管、监测提供技术支撑。

本标准适用于直流输电工程的环境管理与监测，其限值是分析比较各国直流电磁环境标准制定政策、框架及趋势，并结合直流电磁环境暴露健康风险评估，采用模拟环境下直流电磁场非热效应动物实验的生物学评估方法，提出静电场曝露限值建议。行业单位、科研院所应在政府部门的领导和支持下，实行合理可行尽量低原则，定期或不定期跟踪本行业环境保护标准的国外发展动向，跟踪最新的研究方法和研究成果。

本标准自发布之日起即可实施。

## 8 行业产排污情况及污染控制技术分析

合成电场是直流输电工程的重要环境参数。环境保护部颁布实施的《建设项目环境影响评价技术导则—输变电工程》将合成电场作为评价直流输电工程电磁环境评价的唯一因子。

直流输电工程合成电场污染控制技术，如换流站采用 BOX-IN 的换流变，直流线路增加导线分裂数、导线架设高度等措施，进而从根本上控制合成电场限值。

## 9 实施本标准的环境、社会、经济效益和实施成本分析

本标准为电力行业标准同等转化，执行本标准，与现行的电力行业标准相比较，带来的环境效益无明显区别。

实施本标准后，对电力行业新、改、扩建项目从项目建设就能做到高标准，为现有的直流输电技术，经济可行的情况下提出控制限值，减轻电力行业的电磁环境影响状况，具有显著的社会及经济效益。

实施本标准，与现行的电力行业标准相比较，对监测因子进行了简化，取消了离子流密度、直流磁场等进行监测，并明确直流电缆地面合成电场免于监测，故有效的降低了实施成本。

## 10 实施本标准在经济、技术、管理措施的可行性分析

### 10.1 经济可行性分析

从直流输电设施实施近 20 年实践来看,首先是超过限值的直流输电工程所占百分比小;其次是即便超标,均可以通过较为经济的、可操作的方式,如避让、拆迁、抬高等,以实现满足标准限值要求。

### 10.2 技术可行性分析

本标准在直流输电工程(0Hz 频段)电磁环境限值研究基础上,规定了直流输电工程的合成电场限值,现阶段的研究对(0Hz 频段)其他工程的电磁环境研究不够,所以本标准只适用直流输电工程。本标准提出的直流输电工程的电磁环境敏感目标(住宅、学校、医院、办公楼、工厂等有公众居住、工作或学习的建筑物)的环境限值,合成电场强度限值为 25 kV/m,且 80%的测量值不得超过 15 kV/m,对于直流输电设施周围环境其他场所的限值,本标准基本采用了目前实际评价和管理的限值要求,从目前管理情况来看,技术上是完全可行的。

### 10.3 管理措施可行性分析

本标准采用了限值指标,并明确了监测点位,有明确的限值控制和监测要求,环保部门执法有明确的指标可依据,从环保管理的角度看,实施本标准在管理上是可行的。

本标准只适用于环境,对公众健康(不针对植入电子医疗装置、带有包含磁铁材料植入物的特殊人群),现阶段的研究结果,不足以支撑对其电子医疗设备产生的影响。

## 11 标准技术审查情况

2017 年 6 月 8 日,原环境保护部辐射源安全监管司在北京主持召开了《直流输电工程电磁环境限值》和《直流输电工程地面合成电场测量方法》专家咨询审议会。经审查,形成限值标准会议纪要意见如下:

关于合成场限值

(1) 本标准是直流输电工程的电磁环境标准,是《电磁环境控制限值》的重要补充,对规范直流输电工程环境保护具有重要意义。

(2) 编制单位对《标准》的征求意见回复进行了汇总、分析和修改,满足标准修订有关程序和技术要求,与会专家对标准内容、格式给予肯定。

(3) 修改意见:

- 1、对直流输电工程直流磁场限值进行调研;
- 2、术语中增加直流磁场、标称电场、电磁环境敏感目标的定义;删除附录 A 的计算方法;
- 3、“4 限值”按地面合成场强、直流磁场分开描述;完善豁免内容表述。

关于合成场测量方法

(1) 本标准是直流输电工程电磁环境监测标准，对规范直流输电工程电磁环境监测具有重要意义。

(2) 编制单位对《标准》的征求意见回复进行了汇总、分析和修改，满足标准修订有关程序和技术要求，与会专家对标准内容、格式给予肯定。

(3) 修改意见：

- 1、增加换流站电磁环境监测方法内容。
- 2、修改测量时气象条件要求。
- 3、规范测量探头的摆放要求和金属板尺寸，明确现状监测可参考本标准。
- 4、完善数据记录和处理要求，补充质量保证。

标准编制组对上述会议纪要审查意见进行了认真分析，采纳或原则采纳并予以落实。

## 12 标准征求意见和处理情况

2017年5月18日，环境保护部辐射环境监测技术中心印发了《关于征求直流输电线路地面合成电场测量方法和管理限值意见的函》，向具备直流合成场测量能力的省级辐射监测机构征求意见。

本次征求意见单位合计9家，回函提出书面修改意见8家，未回函单位1家。本标准返回的意见合计65条，采纳、部分采纳和原则采纳42条，未采纳的23条。征求意见和处理情况见附表1标准征求意见情况汇总处理表。



## 附表

标准征求意见情况汇总处理表

《直流输电工程地面合成电场环境限值》					
序号	标准条款编号	意见内容	提出单位	处理意见及理由	备注
1		建议“地面合成电场”改为“地面合成电场强度”，并在限值中统一用语	北京市辐射安全技术中心	不采纳。度量地面合成电场强度的物理量为电场强度。	
2	2	因引用的文件均不含日期，建议删除“凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。”		采纳。	
3	2	建议引用文件增加《直流输电线路地面合成电场测量方法》		采纳。	
4	3.1	“直流输电工程对环境的电磁影响主要包括合成电场”建议改为“直流输电工程对环境的电磁影响主要包括地面合成电场强度和离子流密度”或“直流输电工程对环境的电磁影响主要为地面合成电场强度”		采纳。	
5	3.2	“地面合成电场”定义建议引用《±800kV 特高压直流线路电磁环境参数限值》（DL/T1088）中的定义		采纳。	
6	4	1、建议“限值”改为“限值 E <sub>95</sub> ”；2、建议“80%的测量值”、“50%测量值”，分别改为“E <sub>80</sub> ”、“E <sub>50</sub> ”等		不采纳。建议《直流输电工程地面合成电场监测方法》对此问题进行阐述说明。	
7	5	1、建议删除“从电磁环境监测角度”；2、“直流地下输电电缆”建议改为“直流输电电缆”		采纳。	
8		增加“直流输电工程定义”	上海市辐射环境	采纳，补充术语“直流输电工程”。	

9		建议标准中“临近”均改为“邻近”	监督站	不采纳。根据《环境影响评价技术导则-输变电工程》(HJ24-2014)和《±800kV特高压直流线路电磁环境参数限值》(DL/T 1088-2008)均采用“临近”。	
10	4.1(4)	限值如何按电气安全距离校核	安徽省辐射环境监督站	采纳。根据会议要求,删除线路在高山大岭等人员不易到达的地区的限值按电气安全距离校核。	
11	4.2	换流站围墙外无民房,临近民房时采用不同限值标准,但无具体距离指标不好区分。		采纳。	
12	4.1、4.2	为何一个是“30kV/m”,一个是“50%值不超过30kV/m”?		采纳。	
13	5	是否需要说明小于多少电压等级的直流输电工程可以豁免		不采纳。	
14	3.1	建议在条款3.1中明确“直流输电工程电磁环境”与《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中“电磁环境”的差异,避免误读为标准重复。	江西省辐射环境监督站	采纳。	
15	2	建议对第2条中引用的电力行业标准注明年份。环境标准由其独立性,对所监管的行业标准修订版本的适用性应保留意见。		不采纳。已注明“凡是不注日期的引用文件,其有效版本适用于本标准。”	
16	4.1(4)	建议对第4.1条(4)点中“电气安全距离”具体数值列表明确。		采纳。根据会议要求,不考虑线路在高山大岭等人员不易到达的地区的限值按电气安全距离校核。	
17	5	第5条内容为监测方法内容,建议放置于测量方法文件中。或者将其内容优化为:从电磁环境保护管理角度,直流地下输电电缆产生的合成电场可免于管理。(参照8702标准写法)		采纳。	
/	/	无	山东省核与辐射环境管理中心	/	
/	/	无	河南省辐射环境安全技术中心	/	
18		“电磁环境”术语已经较为明确,且在此标准中并无特殊含义,建议不再作定义	四川省辐射环境	原则采纳。	

19		直流输电工程的限值建议不仅限于地面场强。一是直流项目工程设计基本考虑的地面场强的控制；二是目前中国农村房屋已2层以上或正逐步改建为2层以上，直流工程附近房屋楼顶阳台和平台是距离更近、场强更大的区域。应当对此设置电磁环境限值。而该限值不应计较是否为畸变所致场强，因人群在此区域活动，人体所受即是此畸变场，建议其限值仍为25kV/m，80%的测量值不超过15kV/m。	管理监测中心站	不采纳。建议《直流输电工程地面合成电场监测方法》对此问题进行阐述说明。	
20	3	基于上条建议，术语定义“合成电场”，“地面合成电场”为其地面情形。		不采纳。建议《直流输电工程地面合成电场监测方法》对此问题进行阐述说明。	
21	5	关于“豁免”，建议采用两个方案： 1 标准名为电磁环境，字面含义应包括静磁场，可作出限值规定：10mT。鉴于其超标可能性极小，与地下电缆的合成电场一起，豁免监测。有污染纠纷时，可以监测。 2 不载明“豁免”，因此处“豁免”是豁免监测，并非豁免监管，因此可不在限值标准中载明。确有必要，在《测量方法》中载明地下电缆的监测豁免。		不采纳。1、根据会议纪要要求，调研了直流磁场，直流输电工程的直流磁场水平与地磁相差不大，大约是 ICNIRP（国际非电离防护委员会）新发布导则建议的公众暴露限值的1/8000，因此一定满足限值要求。对于这一水平的磁场，人类早已习惯，不会对健康造成不利影响。从这个意义上讲，直流输电工程可以不考虑磁场问题。2、建议《直流输电工程地面合成电场监测方法》对此问题进行阐述说明。	
22	6	增加《直流输电线路地面合成电场测量方法》	广西辐射环境监督管理站	采纳。	
23	4.1	在4.1 直流输电线路第（2）、（3）条与“4.2 直流换流站”第（2）条凳三条内容中“合成场强”建议改为“合成电场”	甘肃省核与辐射安全中心	采纳。	

标准征求意见情况汇总处理表

<b>《直流输电工程地面合成电场监测方法》</b>					
序号	标准条款编号	意见内容	提出单位	处理意见及理由	备注
1		建议“地面合成电场”改为“地面合成电场强度”，并在《限值》中统一用语	北京市辐射安全技术中心	不采纳。度量地面合成电场强度的物理量为电场强度。	
2		为与《直流输电工程电磁环境限值》相对应，建议《测量方法》中应体现“直流换流站测量方法”内容		采纳。根据会议纪要，增加换流站合成电场监测方法内容。	
3	1	“本标准适用于高压、超高压和特高压直流输电线路的环境监测和工程评价”，建议与《直流输电工程电磁环境限值》对应，改为“本标准适用于±100kV及以上电压等级的直流输电线路的环境监测和工程评价。其他电压等级的直流输电线路可参照本标准执行”。		部分采纳。改为“本标准适用于±100千伏以上电压等级的直流架空线路和换流站。”根据环境保护部《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《环境影响评价技术导则 输变电工程》，±100kV以下电压等级的直流输电工程属于豁免环评工作的范围，因此本标准不涉及±100kV以下电压等级直流输电工程。鉴于屏蔽原理，不会在直流电缆外部产生电场，故不对地下电缆的监测提出要求。	
4	2	因引用的文件均不含日期，建议删除“凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本”		采纳。	
5	2	因附录B中部分内容来源于《工频电场测量》，建议引用文件增加“GB/T 12720《工频电场测量》”		不采纳。已参照 DL/T1089-2008 修改附录。	

6	5	“测量设备或人员应离开直流合成电场仪测量探头 3m 以远” 建议改为“直流合成电场仪测量探头应距离人员 3m 以远；与其他测量设备及固定物体的距离应不小于 1 米”		部分采纳。已参照 DL/T1089-2008 修改为“测量仪应与监测人员保持足够远的距离（至少要 2.5m），避免在场磨处产生较大的电场畸变，与固定物体的距离应该不小于 1m，以减小固定物体对监测值的影响。”	
7	6	(1) 测量探头安放方式一的测量数据准确性是否经过验证； (2) 方式一如果采用，建议增加“测量数据修正”相关内容； (3) 方式一“两相邻探头之间的距离不小于 0.5m”，“0.5m”是否合适，建议距离不小于 1m； (4) “在不高于地面 300mm 的位置放置面积大于 1m <sup>2</sup> 的正方形金属平板”与条款 4 中“测量时旋转伏特计的上表面距地高度应不大于 100mm”，建议高度表述一致		原则采纳。根据会议纪要，规范测量探头的摆放要求。	
8	7	(1) 建议完善线路邻近民房的地面合成电场测量布点情况 (2) 建议增加直流换流站围墙外监测布点内容		采纳。根据会议纪要，增加换流站合成电场监测方法内容。	
9	8.1	(1) 近年来很多研究性监测表明，大气中颗粒物浓度对合成电场强度测值有一定影响，建议可以记录颗粒物总体情况，如“晴天、雾霾或沙尘”，条件允许情况下，可记录测量期间的 PM <sub>2.5</sub> 、PM <sub>10</sub> 或 TSP 数值； (2) “记录数据不小于 100 个”建议改为“且记录数据不小于 100 个”； (3) 记录内容增加输电线路塔编号、测试开始和结束时间等； (4) “接近距离”改为“最近距离”		(1) 不采纳。 (2) 不采纳。 (3) 采纳。根据会议纪要，已完善数据记录与处理要求。 (4) 采纳。根据会议纪要，已完善数据记录与处理要求。	
10	8.2	鉴于实际测量中由于通信原因可能造成数据缺失，建议 EN 的描述采用 DL/T1089-2008 的方式		采纳。	

11	附录 B.2	<p>(1) “在直流合成电场仪每个量程的 33%~100% 范围，至少均匀地预选三点场强值”，实际在中国计量院校准时，最大电场强度为 30kV/m，是最大量程的 30%，无法达到 33%~100% 范围值；</p> <p>(2) “当 <math>\left  \frac{E'-E}{E} \right  \times 100\% \leq 3\%</math> 时，则认为直流合成电场仪合格”，建议探头布置方式二时，误差改为 5%；</p> <p>(3) 经实际校准，当金属板尺寸从边长 1m 降至 0.7m、0.6m 时，探头校准误差逐渐变大；依此类推，撤掉金属板采用探头布置方式一时，在量程的 33%~100% 范围内，探头校准误差基本大于 5%；因此，对于校准、测量时方式一数据质量是否可靠，是否需要做数据修正，建议开展进一步研究。</p>			原则采纳。根据会议纪要，规范测量探头的摆放要求。
12		建议增加换流站相关测量方法，并将标准名改为《直流输电工程合成电场测量方法》。			原则采纳。根据会议纪要，增加换流站合成电场监测方法内容。
13		增加“良好接地”的定义。			不采纳。
14		增加“无雨、无雾、无雪、无冰雹”；“测量设备”建议改为“自动数据采集装置”。	上海市辐射环境监督站		原则采纳。根据会议纪要，修改测量时气象条件要求。
15		建议增加进行合成电场测量时，直流合成电场仪测量探头距离固定物体最小距离的要求。			采纳。
16		建议统一标准中的“临近”与“邻近”。			采纳。
17	5	未对天气情况中雨、雪、雾做出限制	安徽省辐射环境监督站		采纳。根据会议纪要，修改测量时气象条件要求。
18	7	临近民房的地面合成场测量时，具体应如何布设点位，居民院内、二楼人员可到达平台是否需布设点位？			不采纳。对民房平台监测不做要求。
19		适用范围建议与限制保持一致性；删除“工程评价”	江西省辐射环境		采纳。

20	电力行业标准标注年份。环境标准有其独立性，对所监管的行业标准修订版本的适用性应保留意见。	监督站	不采纳。已注明“凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。”
21	第4条第2段内容归类至第6条中，作为测量方法的一部分内容		采纳。
22	第5条第2段要求风速小于2m/s，而且是在空旷区域30min测量时间，现实很难达到，建议优化描述；相对湿度为30-80%是否有具体依据，如没有，建议改为“符合仪器使用条件”。		不采纳。参照DL/T1089-2008，明确要求“风速小于2m/s”“地势平坦、远离树木杂草、没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上”。相对湿度已作调整。
23	第5条第3段建议改为“测量探头与测量人员距离保持在3m以上，且与其他固定物体的距离应该不小于1m”。		原则采纳。已参照DL/T1089-2008修改为“测量仪应与监测人员保持足够的距离（至少要2.5m），避免在场磨处产生较大的电场畸变，与固定物体的距离应该不小于1m，以减小固定物体对监测值的影响。”
24	建议探头的安放方式给出优先选择项。		原则采纳。根据会议纪要，规范测量探头的摆放要求。
25	建议给出布置点示意图； 考虑设备大多以10个探头基数成套，而且测量时间较长，建议对测量布点距离进行优化，比如改为“以极导线投影下方为起点，沿着垂直于线路方向两侧以2m为间隔布点，其中内侧布点至正负极边导线中间位置，外侧布点至极导线投影外不少于50m处”，既尽可能测出最大值，又能掌握随着距离增加后数值变化趋势； 正负极两侧是否均要监测，请明确。		部分采纳。已参照DL/T1089-2008改为“输电线路地面合成电场测量点应选择在极导线档距中央弧垂最低位置的横截面方向上，如图1所示。测量时两相邻测量点间的距离可取5m，但在测量最大值时，两相邻测量点间的距离可取2m。一般测至距离边导线对地投影外50m处即可。”正负极两侧均要监测，已明确。
26	建议给出监测记录表格参考样式。		不采纳。

27		第 1 条建议给出“陆地直流输电电缆地面合成电场的测量可参考本标准”所叙述的“陆地直流输电电缆”的定义，是否是地下电缆。		不采纳。鉴于屏蔽原理，不会在直流电缆外部产生电场，故不再对地下电缆的监测提出要求。	
28		第 3 条建议增加高压、超高压和特高压直流输电线路的定义。		不采纳。根据环境保护部《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《环境影响评价技术导则 输变电工程》，±100kV 以下电压等级的直流输电工程属于豁免环评工作的范围，改为“本标准适用于±100 千伏以上电压等级的直流架空线路和换流站。”	
29		第 5 条建议明确“周围的地面应平整”和“测量地点周围应无建筑物”中“周围”的具体距离。	山东省核与辐射环境管理中心	不采纳。已参照 DL/T1089-2008 改为“监测地点应选在地势平坦、远离树木杂草、没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上。”	
30		建议明确“临近民房”的具体距离，多远距离算是临近。同时应考虑距楼房较近情况，建议在该条中增加楼顶平台的监测布点方法。		不采纳。已修改为“电磁环境敏感目标”，已明确评价范围。	
31		建议根据《直流输电工程电磁环境限值》中的限值要求确定数据处理中需要记录的 E <sub>N</sub> 值		不采纳。已参照 DL/T1089-2008 数据处理描述。	
32		建议附录 B 中明确测量探头的直径与平行板长度比值的最小要求。		不采纳。已参照 DL/T1089-2008 修改。	
/		无	河南省辐射环境安全技术中心	/	
33		直流输电工程必然包含换流站，建议将换流站合成场测量方法一并纳入。否则会造成一个项目，同时采用环境标准和电力行业标准的问题。	四川省辐射环境管理监测中心站	采纳。根据会议纪要，增加换流站合成电场监测方法内容。	



34		第 1 条第 2 段与《限值》中的“豁免”相抵触。		采纳。鉴于屏蔽原理，不会在直流电缆外部产生电场，故不再对地下电缆的监测提出要求。	
35		关于金属板高度。第 4 条第二款和第 6 条第二款出现两个实质性的金属板高度（场磨上表面通常即铺设金属板），不一致。高度越低，畸变越小，建议可以根据目前监测仪器生产商一般情况作出经济可行的规定：如 200mm。		采纳。	
36		建议增加设施附近房屋阳台或平台处合成电场测量方法。		不采纳。	
37		“测量地点周围还应无建筑物、树木和其他电力线路”。建议修改为：测量地点周围 3m 内还应无建筑物、树木和其他电力线路。		不采纳。参照 DL/T1089-2008，要求“地势平坦、远离树木杂草、没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上”。	
38		<p>(1) “在线路档距中央导线弧垂最低位置下方地面”，弧垂最低位置不一定在档距中央，建议修改为：“在线路档距间导线弧垂最低位置下方地面”；</p> <p>(2) “两相邻测量点之间的距离可取 2.5m，”，第一次布点测量两相邻测量点之间的距离为 5m，为满足规范要求，在最大值测量点两侧的相邻测量点中间各增加一个测量点即可满足 2.5m 要求；</p> <p>(3) “具体测量点的布置应满足测量条件的要求”，前面没有提及线路邻近民房的地面合成电场测量条件。建议增加测量点与周围反射体距离等测量条件的要求。</p>	广西辐射环境监督站	<p>(1) 不采纳。参照 DL/T1089-2008 和 HJ681-2013 确定测点在“极导线档距中央弧垂最低位置的横截面方向上”。</p> <p>(2) 不采纳。</p> <p>(3) 采纳。已补充。</p>	
39		探头上表面与金属板上表面同高度，即不高于地面 300mm，与 4 测量仪器中第二款，“测量时旋转伏特计的上表面距地高度应不大于 100mm”要求不一致。建设调整为一致。		采纳。	

40	“测量应在风速小于 2m/s 且相对湿度为 30%~80%的条件下进行”建议考虑将相对湿度下限进行下调；建议增加“无雨无雾无雪的好天气下进行测量”。	甘肃省核与辐射安全中心	原则采纳。根据会议纪要，修改测量时气象条件要求。	
41	“放置面积大于 1m <sup>2</sup> 的正方形金属平板”建议改为“放置面积不小于 1m <sup>2</sup> 的正方形金属平板”。		不采纳。参照 DL/T1089-2008 修改为“放置面积为 1m×1m 的正方形金属平板”。	
42	进行临近民房监测时建议增加“与固定物体或围墙不小于 1m”的要求。		采纳。	

## 审议意见

2017年3月22日，环境保护部辐射源安全监管司在杭州组织召开《直流输电工程电磁环境限值标准研究》专家咨询审议会，会议成立了专家组，名单附后。会议听取了浙江省辐射环境监测站对研究报告的汇报，经审议，形成专家审议意见如下：

- 1、该任务研究报告系统分析了直流输电工程电磁环境影响特征，完成了任务的各项研究内容，达到了研究的各项目标。
- 2、合成电场限值适用于所有电压等级直流输电工程。
- 3、建议直流输电工程电磁环境限值单独发布文件，暂不纳入GB8702。

专家组组长签字：



## 审议意见

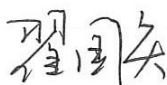
2017年3月22日，环境保护部辐射源安全监管司在杭州组织召开《直流输电工程电磁环境监测方法研究》专家咨询审议会，会议成立了专家组，名单附后。会议听取了浙江省辐射环境监测站对研究报告的汇报，经审议，形成专家审议意见如下：

1、该任务研究报告系统阐述了直流输电工程电磁环境监测方法，完成了任务的各项研究内容，达到了研究的各项目标。

2、监测方法需明确测量时段长度，采样间隔；明确采用自动记录方式；并记录监测时2m高度处风速，风向等环境条件。断面测量时需强调同时布点同时测量。


3、建议两中心结合电力标准《±800kV 特高压直流线路电磁环境参数限值》（DL/T1088-2008），统一主要参数。

专家组组长签字：




### 附件 3-标准技术审查会议纪要

#### 直流输电工程电磁环境限值会议纪要

送审标准名称	直流输电工程电磁环境限值		
主持审查单位	环境保护部辐射源安全监管司		
标准起草单位	环境保护部辐射环境监测技术中心、中国电力科学研究院		
会议召开时间	2017年6月8日	地点	北京
<p>2017年6月8日，环境保护部辐射源安全监管司组织了本标准专家咨询审议会，参加会议的有环境保护部核与辐射安全中心、北京市辐射安全技术中心、四川省辐射环境管理监测中心站、甘肃省核与辐射安全中心、中国科学院电工研究所、浙江大学、北京交通大学的有关专家和代表。</p> <p>专家组听取了标准起草单位关于标准征求意见汇总情况及采纳与否初步意见的汇报，并按提出单位对标准征求的反馈意见逐一进行讨论，形成意见如下：</p> <p>一、本标准是直流输电工程的电磁环境标准，是《电磁环境控制限值》的重要补充，对规范直流输电工程环境保护具有重要意义。</p> <p>二、编制单位对《标准》的征求意见稿回复进行了汇总、分析和修改，满足标准修订有关程序和技术要求，与会专家对标准内容、格式给予肯定。</p> <p>三、修改意见</p> <p>1、对直流输电工程直流磁场限值进行调研。</p> <p>2、术语中增加直流磁场、标称电场、电磁环境敏感目标的定义；删除附录A的计算方法；</p> <p>3、“4限值”按地面合成场强、直流磁场分开描述。完善豁免内容表述。</p>			
专家组组长： 			

## 直流输电工程电磁环境监测方法会议纪要

送审标准名称	直流输电工程电磁环境监测方法		
主持审查单位	环境保护部辐射源安全监管司		
标准起草单位	环境保护部辐射环境监测技术中心 环境保护部核与辐射安全中心		
会议召开时间	2017年6月8日	地点	北京
<p>2017年6月8日，环境保护部辐射源安全监管司组织了本标准专家咨询审委会，参加会议的有北京市辐射安全技术中心、四川省辐射环境管理监测中心、甘肃省核与辐射安全中心、中国科学院电工研究所、浙江大学、北京交通大学、中国电力科学研究院的有关专家和代表。</p> <p>专家组听取了标准起草单位关于标准征求意见汇总情况及采纳与否初步意见的汇报，并按提出单位对标准征求的反馈意见逐一进行讨论，形成意见如下：</p> <p>一、本标准是直流输电工程电磁环境监测标准，对规范直流输电工程电磁环境监测具有重要意义。</p> <p>二、编制单位对《标准》的征求意见回复进行了汇总、分析和修改，满足标准修订有关程序和技术要求，与会专家对标准内容、格式给予肯定。</p> <p>三、修改意见</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、增加换流站电磁环境监测方法内容</li> <li>2、修改测量时气象条件要求；</li> <li>3、规范测量探头的摆放要求和金属板尺寸，明确现状监测可参照本标准。</li> <li>4、完善数据记录和处理要求，补充质量保证。</li> </ol> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">专家组组长： </p>			



## 文献检索报告 (3)

——直流输电工程电磁环境限值

浙江大学环境过程研究所

二〇一七年十月

## 一、项目研究内容简介

国内外直流输电工程电磁环境(合成电场、直流磁场)曝露限值标准科学依据研究。国内外直流输电工程电磁环境(合成电场、直流磁场)及参数限值标准研究。

## 二、检索策略

### (1) 检索数据库

数据库名称	访问方式
中国知网	<a href="http://www.cnki.net/">http://www.cnki.net/</a>
万方数据	<a href="http://g.wanfangdata.com.cn/">http://g.wanfangdata.com.cn/</a>
维普期刊	<a href="http://lib.cqvip.com/">http://lib.cqvip.com/</a>
Web of Science	<a href="http://webofknowledge.com/WOS">http://webofknowledge.com/WOS</a>
Engineering Village	<a href="http://www.engineeringvillage.com/">http://www.engineeringvillage.com/</a>
IEEE Xplore	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/">http://ieeexplore.ieee.org/</a>
国家标准全文公开系统	<a href="http://www.gb688.cn/bzgk/gb/index">http://www.gb688.cn/bzgk/gb/index</a>
环境保护部_标准文本	<a href="http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/">http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/</a>
中国专利公布公告	<a href="http://epub.sipo.gov.cn/">http://epub.sipo.gov.cn/</a>
美国专利	<a href="http://patft.uspto.gov/">http://patft.uspto.gov/</a>
欧洲专利	<a href="https://worldwide.espacenet.com/">https://worldwide.espacenet.com/</a>

### (2) 检索词

中文	英文
直流输电	DC transmission
电磁环境	electromagnetic environment
合成电场	electric field
磁场	magnetic field
参数	parameter
曝露限值	exposure limits or exposure limitation

### (3) 检索式

主题 = 直流输电 and 电磁环境 and 曝露限值



主题 = 直流输电 and 电磁环境

主题 = 直流输电 and 电磁环境 and 参数限值

主题 = 直流输电 and 合成电场 and 曝露限值

主题 = 直流输电 and 磁场 and 曝露限值

#### (4) 检索年限

1979年~2017年

### 三、检索结果

利用第二章检索策略，共检索出 71 篇文献，其中包括标准与导则 7 篇、论文 64 篇，具体目录如下所示。

#### (1) 标准与导则

- 3-1 GB 8702-2014 电磁环境控制限值[S].
- 3-2 DL/T 1088-2008  $\pm 800\text{kV}$  特高压直流线路电磁环境参数限值[S].
- 3-3 DL/T 275-2012  $\pm 800\text{kV}$  特高压直流换流站电磁环境限值[S].
- 3-4 ICNIRP 2009 Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields
- 3-5 ICNIRP 1998 Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300Ghz)
- 3-6 IEEE Std C95.6-2002 IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3kHz[S].
- 3-7 ICNIRP 2010 Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz to 100kHz)

#### (2) 论文

- 3-8  $\pm 800\text{kV}$  直流输电线路电磁环境限值研究[J]. 中国电力, 2006.
- 3-9  $\pm 800\text{kV}$  特高压直流输电线路电磁环境参数的研究[J]. 电源技术应用, 2015.
- 3-10  $\pm 800\text{kV}$  特高压直流输电线路电磁环境参数控制指标研究[J]. 电网与清洁能源, 2008.
- 3-11 高压直流输电工程电磁环境研究[D]. 华中科技大学, 2006.
- 3-12 特高压直流输电线路电磁环境影响研究[D]. 华北电力大学, 2009.

- 3-13 特高压直流输电线路电磁环境的研究[D]. 北京交通大学, 2012.
- 3-14 电磁场暴露限值科学依据的探讨[J]. 环境与职业医学, 2010.
- 3-15 电磁场暴露限值问题分析[J]. 电力技术, 2009.
- 3-16 有限元法分析特高压直流线路对人体的影响[J]. 高电压技术, 2008.
- 3-17 直流输电线路合成电场与带电作业人员体表电场分析研究[D]. 重庆大学, 2015.
- 3-18 直流输电线路合成电场控制指标问题分析[J]. 高电压技术, 2012.
- 3-19 云南至广东 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路电磁环境影响研究[D]. 电子科技大学, 2006.
- 3-20 特高压直流输电线路电晕起始场强与线下合成电场的研究[D]. 重庆大学, 2014.
- 3-21 高压输电线路电磁环境研究[D]. 华中科技大学, 2012.
- 3-22 高压直流及交直流并行输电线路电磁环境研究[D]. 山东大学, 2011.
- 3-23 超高压交流输电电磁场和直流输电合成电场的研究[D]. 北京交通大学, 2007.
- 3-24  $\pm 800\text{kV}$ 直流输电线路对邻近树木影响的研究[J]. 电网技术, 2012.
- 3-25  $\pm 800\text{kV}$ 直流输电线路电磁环境问题研究[D]. 广西大学, 2011.
- 3-26  $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流输电线路电磁环境研究[J]. 中国电力, 2014.
- 3-27  $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路导线电磁环境影响水平预估[C]. 中国电机工程学会电磁干扰专业委员会第十届学术会议, 2007.
- 3-28  $\pm 500\text{kV}$ 高压直流输电线路电磁环境影响评估[J]. 机电工程技术, 2016.
- 3-29  $\pm 500\text{kV}$ 同塔双回直流输电线路的电磁环境研究[D]. 华南理工大学, 2010.
- 3-30  $\pm 500\text{kV}$ 直流输电系统电磁环境调查研究[J]. 高电压技术, 2006.
- 3-31  $\pm 500\text{kV}$ 直流线路可听噪声频谱特性及影响因素分析[C]. 高海拔地区输变电设施电磁环境学术会议, 2010.
- 3-32  $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路电磁环境研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2008.
- 3-33  $\pm 800\text{kV}$ 与 $\pm 500\text{kV}$ 同塔双回线路不同塔型布置的电磁环境[J]. 中国电力, 2015.
- 3-34  $\pm 1100$ 千伏特高压直流输电电磁环境试验研究通过验收[J]. 云南电力技术, 2016.
- 3-35  $\pm 1500\text{kV}$ 特高压直流输电技术前期研究[J]. 高电压技术, 2017.
- 3-36 超高压直流输电线路电场环境研究[D]. 浙江大学, 2006.
- 3-37 高海拔地区特高压直流试验线段下的地面合成电场强度特性[J]. 高电压技术,

- 2013.
- 3-38 《高压直流输电线路电磁环境特性》IEC 国际标准正式发布[J]. 中国标准报道, 2104.
- 3-39 共走廊交直流输电线路的地面电场分布研究[J]. 现代电力, 2013.
- 3-40 柔性直流输电系统电磁环境分析[J]. 高电压技术, 2009.
- 3-41 特高压直流技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007.
- 3-42 特高压直流输电线路电磁环境的预测研究[D]. 郑州大学, 2012.
- 3-43 特高压直流输电线路电磁环境及对地距离探讨[J]. 山东电力技术, 2016.
- 3-44 特高压直流输电线路合成电场强度对人体影响分析[J]. 广东电力, 2016.
- 3-45 特高压直流输电线路下人体电场效应研究[J]. 山东工业技术, 2017.
- 3-46 特高压直流输电线下电场和电晕损耗分析[D]. 重庆大学, 2012.
- 3-47 特高压直流输电线下合成电场分布的影响因素[J]. 高电压技术, 2009.
- 3-48 同塔交直流输电线路混合电场研究[J]. 电网技术, 2014.
- 3-49 我国±500kV 直流输电工程的电磁环境问题[J]. 电网技术, 2005.
- 3-50 AN EXPOSURE CHAMBER FOR STUDIES ON HUMAN PERCEPTION OF DC ELECTRIC-FIELDS AND IONS[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1994.
- 3-51 Analysis of Conductors' Surface Electric Field of UHVDC Transmission Lines Based on Optimized Charge Simulation Method[J]. High Voltage Engineering, 2008.
- 3-52 Analysis of the Ionized Field Under HVDC Transmission Lines in the Presence of Wind Based on Upstream Finite Element Method[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 2010.
- 3-53 Characterization of the High-Frequency Conducted Electromagnetic Noise Generated by an Arc Tracking Between DC wires[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, 2016.
- 3-54 Conductor Surface Conditions Effects on the Ion-Flow Field of Long-Term Operating Conductors of the HVDC Transmission Line[J]. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, 2017.
- 3-55 ENVIRONMENTAL-EFFECTS OF THE NELSON RIVER HVDC TRANSMISSION-LINES: RI, AN, ELECTRIC-FIELD, INDUCED VOLTAGE,

- AND ION CURRENT DISTRIBUTION TESTS[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1982.
- 3-56 Evaluation of the Electromagnetic Environment Around Underground HVDC Lines[J]. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, 2010.
- 3-57 Evaluation of the Magnetic Field Generated by the Inverter of an Electric Vehicle[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 2013.
- 3-58 Experimental Investigation of the Corona Discharge in Electrical Transmission due to AC DC Electric Fields[J]. MATEC Web of Conferences, 2016.
- 3-59 Limiting electric fields of HVDC overhead power lines[J]. Radiat Environ Biophys, 2014.
- 3-60 MAGNETIC FIELD UNDER THE 3000 V DC ELECTRIC OVERHEAD TRACTION SYSTEM[J]. Acta Geod Geoph Hung, 2008.
- 3-61 Magnetic fields and childhood cancer- an epidemiological investigation of the effects of high-voltage underground cables[J]. Journal of Radiological Protection, 2015.
- 3-62 Occupational magnetic field exposures of garment workers- Results of personal and survey measurements[J]. Bioelectromagnetics, 2003.
- 3-63 Perception of local DC and AC electric fields in humans[J]. Bioelectromagnetics, 2005.
- 3-64 Simulation of Ion-Flow Field at the Crossing of HVDC and HVAC Transmission Lines[J]. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, 2012.
- 3-65 Study on electromagnetic radiation of ultra-high voltage power transmission line[C]. International Conference on Computer Science and Information Technology, 2008.
- 3-66 Study on Overhead Transmission Line Magnetic Field Harmonics of VSC-HVDC[J]. IEEE, 2006.
- 3-67 Study on the field effects under reduced-scale DC AC hybrid transmission lines[J]. The Institution of Engineering and Technology, 2013.
- 3-68 Study on the Parameters of UHV DC Electric Field Meter[J]. IEEE, 2010.
- 3-69 Test facility for human exposure to AC and DC magnetic fields[J]. Bioelectromagnetics, 1999.



## 文献检索报告（4）

——直流输电工程电磁环境监测方法

浙江大学环境过程研究所  
二〇一七年十月

## 一、项目研究内容简介

梳理国内外现行直流输电工程相关法规、标准,结合国内外直流输电工程监测要求,提出直流输电工程电磁环境监测的方法和仪器要求。研究分析监测过程中测量条件、仪器的安放、测点的布置的合理性。

## 二、检索策略

### (1) 检索数据库

数据库名称	访问方式
中国知网	<a href="http://www.cnki.net/">http://www.cnki.net/</a>
万方数据	<a href="http://g.wanfangdata.com.cn/">http://g.wanfangdata.com.cn/</a>
维普期刊	<a href="http://lib.cqvip.com/">http://lib.cqvip.com/</a>
Web of Science	<a href="http://webofknowledge.com/WOS">http://webofknowledge.com/WOS</a>
Engineering Village	<a href="http://www.engineeringvillage.com/">http://www.engineeringvillage.com/</a>
IEEE Xplore	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/">http://ieeexplore.ieee.org/</a>
Google Scholar	<a href="https://xs.glgoo.net/">https://xs.glgoo.net/</a>
国家标准全文公开系统	<a href="http://www.gb688.cn/bzgk/gb/index">http://www.gb688.cn/bzgk/gb/index</a>
中国环境保护部	<a href="http://www.mep.gov.cn/">http://www.mep.gov.cn/</a>
美国专利	<a href="http://patft.uspto.gov/">http://patft.uspto.gov/</a>
欧洲专利	<a href="https://worldwide.espacenet.com/">https://worldwide.espacenet.com/</a>

### (2) 检索词

中文	英文
直流输电	DC transmission
电磁环境	electromagnetic environment
监测方法或测量方法	monitoring method or measurement method
测量仪器	measuring instrument
测点布置	measuring point arrangement

### (3) 检索式

主题 = 直流输电 and 电磁环境 and 监测方法 or 测量方法

主题 = 直流输电 and 电磁环境 and 测量仪器

主题 = 直流输电 and 电磁环境 and 测点布置

主题 = 直流输电 and 电磁环境

#### (4) 检索年限

1979 年~2017 年

### 三、检索结果

利用第二章检索策略，共检索出 72 篇文献，其中包括标准 12 篇、论文 60 篇，具体目录如下所示。

#### (1) 标准

- 4-1 GB/T7349-2002 高空架空输电线、变电站无线电干扰测量方法[S].
- 4-2 DL/T 1088-2008  $\pm 800\text{kV}$  特高压直流线路电磁环境参数限值[S].
- 4-3 Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying-Electric and magnetic Fields(1HzTO100kHz)[S].
- 4-4 IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines[S].
- 4-5 IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz[S].
- 4-6 IEEE Guide on the Prediction, Measurement, and Analysis of AM Broadcast Radiation by Power Lines[S].
- 4-7 IEEE Standard Definitions of Terms Relating to Corona and Field Effects of Overhead Power Lines[S].
- 4-8 IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, no. 6, November-December 1977 Corona Performance Of A Conductor Bundle For Bipolar HVDC Transmission At 750 kV[S].
- 4-9 HJ/T24-1998 500kV 超高压送变电工程电磁环境影响评价技术规范[S].
- 4-10 HJ681-2013 交流输变电工程电磁环境监测方法[S].
- 4-11 Q/GDW229-2008- $\pm 800\text{kV}$  直流输电系统架空接地极线路施工及验收规范及编制说明[S].
- 4-12 HJ/T61-2001 辐射环境监测技术规范[S].

## (2) 论文

- 4-13 110kV 输变电工程电磁辐射污染的影响分析及防治对策[J].河北电力技术,2004.
- 4-14 220kV 及以上电压等级变电站电磁场分布规律研究[D].山东大学,2014.
- 4-15 深圳市 220kV 马坳至交椅输变电线路电磁环境影响研究[D].东北林业大学,2012.
- 4-16 我国 $\pm 500$ kV 直流输电工程的电磁环境问题[J]. 电网技术,2005.
- 4-17  $\pm 500$ kV 青藏直流输电线路导线选型研究[J]. 云南电力技术,2012.
- 4-18  $\pm 500$  kV 直流输电系统电磁环境调查研究[J]. 高电压技术,2006.
- 4-19  $\pm 500$ kV 三沪直流输电线路电磁环境测试分析[J]. 高电压技术,2007.
- 4-20  $\pm 500$ kV 直流输电工程环境影响评价[J]. 环境科学与技术,2006.
- 4-21  $\pm 800$ kV 云广特高压直流线路合成电场仿真计算与测试分析[J]. 电力自动化设备,2015.
- 4-22  $\pm 800$ kV 直流输电线路的导线选型研究[J]. 中国电机工程学报,2007.
- 4-23  $\pm 800$ kV 直流输电线路电磁环境限值研究[J]. 中国电力,2006.
- 4-24  $\pm 800$ kV 特高压直流输电线路的电磁环境研究[J].高压电器,2007.
- 4-25  $\pm 800$ kV 特高压直流输电线路电磁环境参数的计算研究[J]. 电网与水力发电进展,2008.
- 4-26  $\pm 800$ kV 特高压直流输电线路电磁环境参数控制指标研究[J]. 电网与清洁能源,2008.
- 4-27  $\pm 800$ kV 特高压直流输电线路工程导线选型研究[D].广西大学,2015.
- 4-28 甘肃地区 $\pm 800$ kV 直流输电架空线路导线选型研究[D].华北电力大学,2012.
- 4-29 高海拔 $\pm 800$ kV 直流输电线路电磁环境测量[J]. 南方电网技术,2011.
- 4-30 云南—广东 $\pm 800$ kV 特高压直流线路无线电干扰仿真计算与测试分析[J]. 高电压技术,2013.
- 4-31 云南至广东 $\pm 800$ kV 特高压直流输电线路电磁环境影响研究[D].电子科技大学,2009.
- 4-32 基于有限元法的 $\pm 800$ kV 特高压直流输电线路离子流场计算[J]. 电工技术学报,2010.
- 4-33  $\pm 800$  kV 与 $\pm 500$  kV 同塔双回线路不同塔型布置的电磁环境[J]. 中国电力,2015.



- 4-34  $\pm 800\text{kV}$  与  $\pm 500\text{kV}$  同塔双回直流输电线路电磁环境研究[J]. 电网技术,2015.
- 4-35  $\pm 1100\text{kV}$  特高压直流输电线路按电磁环境条件的导线设计[J]. 高电压技术,2012.
- 4-36  $\pm 1500\text{kV}$  特高压直流输电技术前期研究[J]. 高电压技术,2017.
- 4-37 输变电工程的电磁环境影响分析[J]. 机电信息,2013.
- 4-38 高压输电线、变电站电磁场环境测量方法研究[D].重庆大学,2005.
- 4-39 高压直流输变电项目电磁环境监测探讨[J]. 科技创新与应用,2014.
- 4-40 高压直流输电工程电磁环境研究[D].华中科技大学,2006.
- 4-41 高压直流输电线路电磁环境影响的监测和分析[J]. 合肥师范学院学报,2015.
- 4-42 高压直流及交直流并行输电线路电磁环境研究[D].山东大学,2011.
- 4-43 高压直流输电线路离子流场计算及其工程应用[D].华北电力大学(河北),2007.
- 4-44 应用大截面导线的特高压直流输电线路极间距优化研究[J]. 陕西电力,2013.
- 4-45 特高压直流输电线路电磁环境的计算研究[D].华中科技大学,2007.
- 4-46 特高压直流输电线路电磁环境的研究[D].北京交通大学,2012.
- 4-47 特高压直流输电线路合成电场强度对人体影响分析[J]. 广东电力,2016.
- 4-48 特高压直流输电线下合成电场分布的影响因素[J]. 高电压技术,2009.
- 4-49 特高压直流线路电磁环境指标计算及测量[J]. 南方电网技术,2011.
- 4-50 特高压双极直流输电线路地面合成电场计算[A].中国电工技术学会电工测试专业委员会,2008.
- 4-51 超高压交流输电电磁场和直流输电合成电场的研究[D].北京交通大学,2007.
- 4-52 交直流并行输电线路电磁环境的研究[D].山东大学,2012.
- 4-53 A Comparison of Methods for Calculating Audible Noise of High Voltage Transmission Lines A report prepared by a Task Force of the Corona and Field Effects Subcommittee[J]. IEEE Journals & Magazines,1982.
- 4-54 Analysis of Corona Losses on DC Transmission Lines\_1-Unipolar Lines[J]. IEEE Journals & Magazines,1969.
- 4-55 DC Electric Field Effects During Measurements of Monopolar Charge Density and Net Space Charge Density Near HVDC Power Lines[J]. IEEE Journals & Magazines,1989.
- 4-56 Design of the DC  $\pm 500\text{kV}$  Full Scale Transmission Test Line in Gochang[J]. IEEE

- Conference Publications,2009.
- 4-57 Degree of Corona Saturation for HVDC Transmission Lines[J]. IEEE Journals & Magazines,1990.
- 4-58 Determination of Dangerous Region of the Electromagnetic Pollution Caused by the Electric Fields around Power Line[J]. IEEE Conference Publications,2009.
- 4-59 Electrical Environment of the Uprated Pacific NW/SW intertie[J]. IEEE Journals & Magazines,1989.
- 4-60 Electromagnetic interference from transmission lines located in central region of Saudia Arabia[J]. IEEE Journals & Magazines,1989.
- 4-61 Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF EMF) Survey of Residential Areas Around Transmission Lines[J]. IEEE Conference Publications,2007.
- 4-62 Boundary Condition Improvements on Ion Flow Field Calculation of HVDC Bipolar Transmission Lines[J]. IEEE Conference Publications,2008.
- 4-63 The study on the radio interference from  $\pm 800\text{kV}$  Yun Guang UHVDC transmission line[J]. IEEE Conference Publications,2006.
- 4-64 Investigating contributing factors to HVDC corona noise[J]. IEEE Conference Publications,2005.
- 4-65 Particle-in-cell Simulation of Bipolar dc Corona[J]. IEEE Journals & Magazines,1994.
- 4-66 Performance of a long-Term Unattended Station for Measuring DC Fields and Air Ions From an Operating HVDC Line[J]. IEEE Journals & Magazines,1989.
- 4-67 Study on Reduction in Electric Field ,Charged Voltage, Ion Current and Ion density Under HVDC Transmission Lines by Parallel Shield Wires[J]. IEEE Journals & Magazines,1989.
- 4-68 The Effect of HVAC-HVDC Separation in a Hybrid Corridor[J]. IEEE Journals & Magazines,1989.
- 4-69 Corona Studies For Bipolar HVDC Transmission At Voltages Between  $\pm 600\text{ kV}$  And  $\pm 1200\text{ kV}$  Part 1\_ Long-Term Bipolar Line Studies[J]. IEEE Journals & Magazines,1981.

- 4-70 Formulas For Predicting Audible Noise From Overhead High Voltage AC And DC Lines[J]. IEEE Journals & Magazines,1981.
- 4-71 Quick And Efficient Method For Low-Frequency EMF Evaluation Of Electric Power Systems Considering Multiple Sources With Different Frequencies And Harmonics[J].IET Conference Publications,2009.
- 4-72 Study Of Population Exposure To Magnetic Fields Due To Secondary Utilization of Transmission Line Corridors[J]. IEEE Journals & Magazines,1995.



- 3-70 Tests on Electromagnetic Environment of Ultra HVDC Transmission Lines in High Altitude Region[C]. Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2010.
- 3-71 Ultra High Voltage Transmission in China Developments, Current Status and Future Prospects[J]. Proceedings of the IEEE, 2009.

