



中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 24-2014

代替HJ/T 24-1998

环境影响评价技术导则 输变电工程

Technical guidelines for environmental impact assessment of electric
power transmission and distribution project

（发布稿）

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2014-10-20 发布

2015-01-01 实施

环 境 保 护 部 发 布

目 次

前 言..... II

1 适用范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 基本规定..... 2

5 工程概况与工程分析..... 8

6 环境现状调查与评价..... 9

7 施工期环境影响评价..... 11

8 运行期环境影响评价..... 11

9 环境保护措施及其技术、经济论证..... 14

10 环境管理与监测计划..... 14

11 公众参与..... 15

附 录 A（规范性附录）输变电工程环境影响报告书专项设置和编制要求..... 17

附 录 B（规范性附录）输变电工程环境影响报告表的格式和要求..... 19

附 录 C（资料性附录）高压交流架空输电线路下空间工频电场强度的计算..... 22

附 录 D（资料性附录）高压交流架空输电线路下空间工频磁场强度的计算..... 29

附 录 E（资料性附录）直流架空输电线路合成电场强度的简化理论计算程序和计算步骤..... 30

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》，规范输变电工程建设项目环境影响评价工作，防止输变电工程建设项目污染环境，制定本标准。

本标准规定了输变电工程建设项目环境影响评价的内容、方法等技术要求。

本标准是对《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T 24—1998）的修订。

本标准首次发布于 1998 年，原标准起草单位为北方交通大学，本次为第一次修订。修订的主要内容：

——适用范围覆盖了 110kV 及以上电压等级的交流输变电工程、±100kV 及以上电压等级的直流输电工程；

——增加了直流输电工程评价内容要求；

——增加了生态、声、水、公众参与等因素的评价内容要求。

自本标准实施之日起，《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T 24—1998）废止。

本标准的附录 A、附录 B 为规范性附录，附录 C～附录 E 为资料性附录。

本标准由环境保护部科技标准司、辐射源安全监管司组织制订。

本标准主要起草单位：环境保护部辐射环境监测技术中心。

本标准环境保护部 2014 年 10 月 20 日批准。

本标准自 2015 年 1 月 1 日起实施。

本标准由环境保护部解释。

环境影响评价技术导则 输变电工程

1 适用范围

本标准规定了输变电工程建设项目环境影响评价工作的内容和方法。

本标准适用于 110kV 及以上电压等级的交流输变电工程、 $\pm 100\text{kV}$ 及以上电压等级的直流输电工程建设项目环境影响评价工作。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

- GB 3096 声环境质量标准
- GB 8702 电磁环境控制限值
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- HJ 2.1 环境影响评价技术导则 总纲
- HJ/T 2.3 环境影响评价技术导则 地面水环境
- HJ 2.4 环境影响评价技术导则 声环境
- HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响
- HJ/T 169 建设项目环境风险评价技术导则
- HJ 681 交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）
- DL/T 1089 直流换流站与线路合成场强、离子流密度测量方法
- 《环境影响评价公众参与暂行办法》（环发〔2006〕28 号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 输变电工程 electric power transmission and distribution project

将电能的特性（主要指电压、交流或直流）进行变换并从电能供应地输送至电能需求地的工程项目。

本标准所指输变电工程可以分为交流输变电工程和直流输电工程，其中交流输变电工程包括输电线路和变电站（或开关站、串补站），直流输电工程包括输电线路、换流站和接地极系统。

3.2 输电线路 transmission line

用于电力系统两点间输电的导线、绝缘材料、杆塔等组成的设施。

3.3 变电站 substation

电力系统的一部分，其功能是变化电压等级、汇集配送电能，主要包括变压器、母线、线路开关设备、建筑物及电力系统安全和控制所需的设备。

3.4 开关站 switching substation

有开关设备，通常还包括母线，但没有电力变压器的变电站。

3.5 串补站 series compensator station

实现电力系统输电线路串联补偿的电力设施。站内安装有串联补偿成套装置和相关辅助设施及建筑物、构筑物。

3.6 换流站 converter station

安装有换流器且主要用于将交流转换成直流或将直流转换成交流的变电站。一般由安装在一个地点的一个或多个换流器，与相应的建筑物、变压器、电抗器、滤波器、无功补偿设备、控制、监视、保护、测量设备和辅助设备组成。

3.7 接地极系统 earth electrode system

在直流输电工程中，为实现正常运行或故障时以大地或海水作电流回路运行而专门设计和建造的一组装置的总称。它主要由接地极线路、接地极馈流线和接地极组成。

3.8 电磁环境敏感目标 electromagnetic environment-sensitive target

电磁环境影响评价需重点关注的对象。包括住宅、学校、医院、办公楼、工厂等有公众居住、工作或学习的建筑物。

3.9 工频电场 power frequency electric field

随时间作 50Hz 周期变化的电荷产生的电场。度量工频电场强度的物理量为电场强度，其单位为伏特每米 (V/m)，工程上常用千伏每米 (kV/m)。

3.10 工频磁场 power frequency magnetic field

随时间作 50Hz 周期变化的电流产生的磁场。度量工频磁场强度的物理量既可以用磁感应强度也可以用磁场强度，它们的单位分别为特斯拉 (T) 和安培每米 (A/m)，工程上磁感应强度单位常用微特斯拉 (μT)。

3.11 合成电场 total electric field

直流带电导体上电荷产生的电场和导体电晕引起的空间电荷产生的电场合成后的电场。度量合成电场强度的物理量为电场强度，其单位为伏特每米 (V/m)，工程上常用千伏每米 (kV/m)。

3.12 标称电场 nominal electric field

直流带电导体上电荷产生的电场（不包括空间电荷形成的电场）。度量标称电场强度的物理量为电场强度，其单位为伏特每米 (V/m)，工程上常用千伏每米 (kV/m)。

4 基本规定

4.1 工作程序

输变电工程环境影响评价工作一般分为三个阶段：前期准备、调研和工作方案阶段、分析论证和预测评价阶段、环境影响评价文件编制阶段。编制环境影响报告书的输变电工程环境影响评价工作程序及各阶段主要工作内容如图 1 所示。编制环境影响报告表的输变电工程环境影响评价各阶段工作内容较编制报告书工作内容可适当简化。

4.2 评价依据

- 4.2.1 输变电工程环境影响评价应依据国家环境保护法律法规、国家与地方环境保护相关标准、行业规范、城乡规划相关资料、工程资料，以及规划环境影响评价（如有）相关资料等开展。
- 4.2.2 环境保护法律法规，主要包括环境保护、生态保护、环境影响评价、污染防治等国家法律法规，相关地方法规、部门规章，以及环境功能区划。
- 4.2.3 环境保护相关标准，主要包括环境影响评价技术导则、环境质量标准、国家与地方污染物排放标准，以及环境监测等相关标准。
- 4.2.4 行业规范，主要包括输变电工程建设、设计、施工等技术规范及环境保护有关规范。
- 4.2.5 城乡规划相关资料，包括环境保护规划、生态建设规划等。
- 4.2.6 工程资料，包括工程可行性研究报告及其评审意见、综合经济部门同意开展工程前期工作的意见、工程相关勘察报告、环境影响评价任务委托书等。
- 4.2.7 电网规划或其它相关规划环境影响评价报告书及其审查意见（如有），特别是涉及工程选线选址、线路走向、架线方式等规划方案的指导性意见。
- 4.2.8 环境影响评价文件应附当地有关部门关于同意选线选址的意见，当工程方案涉及自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区等环境敏感区时，应有相应政府主管部门的意见。对于工程沿线未划定环境功能区的，需附当地环境保护主管部门确认适用标准的相关文件。

4.3 评价内容

- 4.3.1 输变电工程环境影响评价应包括施工期和运行期，并覆盖施工与运营的全部过程、范围和活动。
- 4.3.2 输变电工程施工期和运行期的环境影响评价一般应考虑电磁、声、废水、固体废物，以及生态等方面的内容。报告书的专项设置及编制要求见附录 A，报告表的具体格式和要求见附录 B。
- 4.3.3 在进行输变电工程环境影响评价时，应按评价工作程序对工程推荐方案进行评价，从环境保护的角度论证工程选线选址、架设方式、设备选型与布局，以及建设方案的环境可行性。
- 4.3.4 当工程穿越已建成或规划的居住区、文教区或自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区等环境敏感区时，报告书中需增加线路方案比选及替代方案的环境可行性论证的内容。通过工程造价、环保投资、土地利用等方面的综合对比，进行规划符合性、环境合理性、工程可行性分析，必要时提出替代方案，并进行替代方案环境影响评价。
- 4.3.5 输变电工程环境影响报告书应说明电网规划环境影响报告书（如有）审查意见及其落实情况，并根据规划环评的审查意见进行工程方案的符合性分析。
- 4.3.6 改扩建输变电工程环境影响评价应按评价工作程序的基本要求，说明本期工程与已有工程的关系。报告书应包括前期工程的环境问题、影响程度、环保措施及实施效果，以及主要评价结论等回顾性分析的内容。若前期工程已通过建设项目竣工环境保护验收，还应包括最近一期工程竣工环境保护验收的主要结论。
- 4.3.7 输变电工程环境影响报告书总结论是全部评价工作的结论，需概括和总结全部评价工作，可包括环境正面影响（如架空线路改造为地下电缆时电磁影响降低）的评价内容。
- 4.3.8 包含在已批复的规划环评中的输变电工程，在进行工程环评时可依据规划环评及其审查意见适当简化环境影响评价内容。

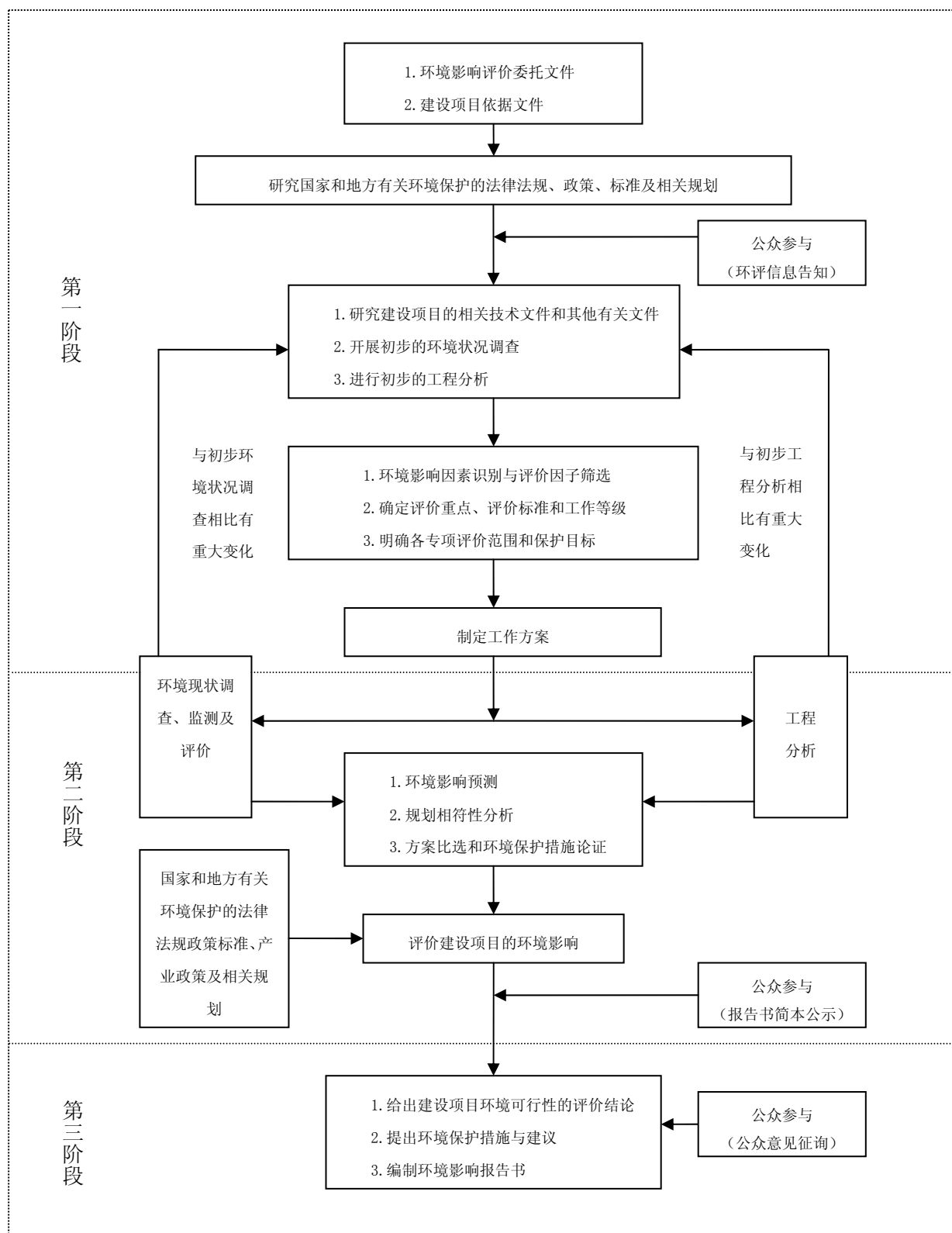


图 1 输变电工程环境影响评价的工作程序及内容

4.4 评价因子

输变电工程建设项目的主要环境影响评价因子见表1。

表1 输变电工程主要环境影响评价因子汇总表

评价阶段	评价项目	现状评价因子	单位	预测评价因子	单位
施工期	声环境	昼间、夜间等效声级, L_{eq}	dB (A)	昼间、夜间等效声级, L_{eq}	dB (A)
运行期	电磁环境	工频电场	kV/m	工频电场	kV/m
		工频磁场	μT	工频磁场	μT
		合成电场	kV/m	合成电场	kV/m
	声环境	昼间、夜间等效声级, L_{eq}	dB (A)	昼间、夜间等效声级, L_{eq}	dB (A)
	地表水	pH ^a 、COD、BOD ₅ 、NH ₃ -N、石油类	mg/m ³	pH ^a 、COD、BOD ₅ 、NH ₃ -N、石油类	mg/m ³
^a pH值无量纲。					

4.5 评价标准

4.5.1 环境质量评价的标准应根据建设项目所在地区的要求执行相应环境要素的国家或地方环境质量标准。

4.5.2 污染物排放标准应执行相应的国家或地方污染物排放标准, 应优先执行地方污染物排放标准, 其执行标准应符合地方环境保护行政主管部门的要求。

4.5.3 当建设项目执行的环境保护标准国内尚未制定, 在经环境保护行政主管部门同意后可参照执行国际通用标准或国外相关标准。

4.6 评价工作等级

4.6.1 电磁环境影响评价工作等级

电磁环境影响评价工作等级划分为三级, 一级评价对电磁环境影响进行全面、详细、深入评价; 二级评价对电磁环境影响进行较为详细、深入评价; 三级评价可只进行电磁环境影响分析。工作等级的划分见表2。

开关站、串补站电磁环境影响评价等级根据表2中同电压等级的变电站确定; 换流站电磁环境影响评价等级以直流侧电压为准, 依照表2中的直流工程确定。

进行电磁环境影响评价工作等级划分时, 如工程涉及多个电压等级或涉及到交、直流的组合时, 应以相应的最高工作等级进行评价。

4.6.2 生态环境影响评价工作等级

生态环境影响评价工作等级划分参照HJ 19中生态环境影响评价工作等级的划分。

输变电工程中架空线路工程对生态敏感区的影响为点位间隔式, 架空线路工程(含间隔)生态影响评价工作等级可在依据HJ 19判断的基础上, 结合HJ 2.1中有关评价工作等级调整的原则, 评价等级向下调整不超过一个级别, 并说明调整的具体理由。

4.6.3 声环境影响评价工作等级

声环境影响评价工作等级划分按照HJ 2.4的规定执行。

表2 输变电工程电磁环境影响评价工作等级

分类	电压等级	工程	条件	评价工作等级
交流	110kV	变电站	户内式、地下式	三级
			户外式	二级
		输电线路	1. 地下电缆 2. 边导线地面投影外两侧各10m范围内无电磁环境敏感目标的架空线	三级
			边导线地面投影外两侧各10m范围内有电磁环境敏感目标的架空线	二级
	220~330kV	变电站	户内式、地下式	三级
			户外式	二级
		输电线路	1. 地下电缆 2. 边导线地面投影外两侧各15m范围内无电磁环境敏感目标的架空线	三级
			边导线地面投影外两侧各15m范围内有电磁环境敏感目标的架空线	二级
	500kV及以上	变电站	户内式、地下式	二级
			户外式	一级
		输电线路	1. 地下电缆 2. 边导线地面投影外两侧各20m范围内无电磁环境敏感目标的架空线	二级
			边导线地面投影外两侧各20m范围内有电磁环境敏感目标的架空线	一级
直流	±400kV及以上	--	--	一级
	其他	--	--	二级
注：根据同电压等级的变电站确定开关站、串补站的电磁环境影响评价工作等级，根据直流侧电压等级确定换流站的电磁环境影响评价工作等级。				

4.6.4 地表水环境影响评价工作等级

地表水环境影响评价工作等级划分按照 HJ/T 2.3 的规定执行。

4.7 评价范围

4.7.1 电磁环境影响评价范围

电磁环境影响评价范围见表3。

表3 输变电工程电磁环境影响评价范围

分类	电压等级	评价范围		
		变电站、换流站、 开关站、串补站	线路	
			架空线路	地下电缆
交流	110kV	站界外30m	边导线地面投影外两侧各30m	电缆管廊两侧边缘各 外延5m（水平距离）
	220~330kV	站界外40m	边导线地面投影外两侧各40m	
	500kV及以上	站界外50m	边导线地面投影外两侧各50m	
直流	±100kV及以上	站界外50m	极导线地面投影外两侧各50m	

4.7.2 生态环境影响评价范围

变电站、换流站、开关站、串补站生态环境影响评价范围为站场围墙外 500m 内；不涉及生态敏感区的输电线路段生态环境影响评价范围为线路边导线地面投影外两侧各 300m 内的带状区域，涉及生态敏感区的输电线路段生态环境影响评价范围为线路边导线地面投影外两侧各 1000m 内的带状区域。

4.7.3 声环境影响评价范围

变电站、换流站、开关站、串补站的声环境影响评价范围应按照 HJ 2.4 的相关规定确定；架空输电线路工程的声环境影响评价范围参照表 3 中相应电压等级线路的评价范围；地下电缆可不进行声环境影响评价。

4.8 环境保护目标

附图并列表说明评价范围内各要素相应环境敏感区的名称、功能、与工程的位置关系以及应达到的保护要求。

应给出电磁环境敏感目标的名称、功能、分布、数量、建筑物楼层、高度、与工程相对位置等情况。

应给出生态保护目标的名称、级别、审批情况、分布、规模、保护范围，说明与工程的位置关系，并附生态敏感区的功能区划图。

4.9 评价重点

各要素评价等级在二级及以上时，应作为评价重点。

4.10 电磁环境影响评价的基本要求

4.10.1 一级评价的基本要求

对于输电线路，其评价范围内具有代表性的敏感目标和典型线位的电磁环境现状应实测，对实测结果进行评价，并分析现有电磁源的构成及其对敏感目标的影响；电磁环境影响预测应采用类比监测和模式预测结合的方式。

对于变电站、换流站、开关站、串补站，其评价范围内临近各侧站界的敏感目标和站界的电磁环境现状应实测，并对实测结果进行评价，分析现有电磁源的构成及其对敏感目标的影响；电磁环境影响预测应采用类比监测的方式。

4.10.2 二级评价的基本要求

对于输电线路，其评价范围内具有代表性的敏感目标的电磁环境现状应实测，非敏感目标处的典型线位电磁环境现状可实测，也可利用评价范围内已有的最近 3 年内的监测资料，并对电磁环境现状进行评价。电磁环境影响预测应采用类比监测和模式预测结合的方式。

对于变电站、换流站、开关站、串补站，其评价范围内临近各侧站界的敏感目标的电磁环境现状应实测，站界电磁环境现状可实测，也可利用已有的最近 3 年内的电磁环境现状监测资料，并对电磁环境现状进行评价。电磁环境影响预测应采用类比监测的方式。

4.10.3 三级评价的基本要求

对于输电线路，重点调查评价范围内主要敏感目标和典型线位的电磁环境现状，可利用评价范围内已有的最近 3 年内的监测资料；若无现状监测资料时应进行实测，并对电磁环境现状进行评价。电磁环境影响预测一般采用模式预测的方式。输电线路为地下电缆时，可采用类比监测的方式。

对于变电站、换流站、开关站、串补站，重点调查评价范围内主要敏感目标和站界的电磁环境现状，

可利用评价范围内已有的最近 3 年内的电磁环境现状监测资料，若无现状监测资料时应进行实测，并对电磁环境现状进行评价。电磁环境影响预测可采用定性分析的方式。

5 工程概况与工程分析

5.1 工程概况

5.1.1 工程一般特性

包括工程名称、建设性质、建设地点、建设内容、建设规模、线路路径、站址、电压、电流、布局、塔型、线型、设备容量、跨越情况、职工人数等内容，并应附区域地理位置图、总平面布置示意图、线路路径示意图（应明确线路与环境敏感区相对位置关系）等。工程组成中应包括相关装置、公用工程、辅助设施等内容。直流工程应说明接地极系统情况。

5.1.2 工程占地及物料、资源等消耗

包括永久和临时占地面积及类型，对工程占用基本农田、基本草原的情况也应列表说明。说明主要物料、资源的数量、来源、储运方式等情况。

5.1.3 施工工艺和方法

包括施工组织、施工工艺和方法等。

5.1.4 主要经济技术指标

包括投资额、建设周期、环保投资等。

5.1.5 已有工程情况

按本标准 4.3.6 条要求，说明已有工程情况。

5.2 与政策、法规、标准及规划的相符性

从可持续发展战略角度出发，分析评价输变电工程与国家产业政策、法规、标准及所涉地区的相关规划（包括环境保护规划、生态建设规划等）的相符性：

——分析是否满足环保、规划等相关部门对工程提出的基本要求；

——分析工程线路形式（单回路或多回路等）、线路路径、站址及总平面布置的环境合理性；

——分析工程是否尽量避开居住区、文教区、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区等环境敏感区；

对分析中发现的相关问题提出对策措施，必要时给出工程线路、站址选择或调整的避让距离要求。

对于确实无法避让的自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区等环境敏感区，在取得相关主管部门意见的前提下，可仅作意见符合性分析。

5.3 环境影响因素识别与评价因子筛选

对工程在施工期的噪声、废水、扬尘、弃渣、生态影响等环境影响因素进行分析。

运行期的环境影响因素分析以正常工况为主。分析各环境影响因素，包括电磁、生态、噪声、废水等的产生、排放、控制情况。

对电磁及噪声源应说明其源强及分布，对废水排放源应说明种类、数量、成分、浓度、处理方式、排放方式与去向等。

在环境影响因素识别的基础上，进行施工期和运行期的评价因子筛选，明确评价参数。

5.4 生态环境影响途径分析

对施工期，主要从选线选址、施工组织、施工方式、生态敏感区的影响等方面分析工程生态影响途径。

对运行期，主要从运行维护角度分析工程的生态影响途径。

5.5 可研环境保护措施

对工程可行性研究报告拟采取的环境保护和生态恢复措施按环境要素分类予以描述。

6 环境现状调查与评价

6.1 区域概况

包括行政区划、地理位置、区域地势、交通等，并附地理位置图。

6.2 自然环境

6.2.1 地形地貌

根据现有资料，概要说明工程所涉区域的地形特征、地貌类型（山地、丘陵、平原、河网等）。若无可查资料，应做必要的现场调查。

6.2.2 地质

根据现有资料，概要说明工程所涉区域的地质状况。

6.2.3 水文特征

根据现有资料，概要说明输变电工程所涉水体与工程的关系及其水文特征。

6.2.4 气候气象特征

利用工程所在地气象台（站）的现有统计资料，概要说明所涉区域的气候、气象特征。

6.3 社会环境

根据现有资料，概要说明工程所涉地区人口数量、交通运输和其他社会经济活动等情况。

6.4 电磁环境现状评价

6.4.1 监测因子

- a) 交流工程：工频电场、工频磁场；
- b) 直流工程：合成电场；
- c) 换流站工程：工频电场、工频磁场、合成电场。

6.4.2 监测点位及布点方法

监测点位包括电磁环境敏感目标、输电线路路径和站址。

——敏感目标的布点方法以定点监测为主；对于无电磁环境敏感目标的输电线路，需对沿线电磁环

境现状进行监测，尽量沿线路路径均匀布点，兼顾行政区及环境特征的代表性；站址的布点方法以围墙四周均匀布点监测为主，如新建站址附近无其他电磁设施，则布点可简化，视情况在围墙四周布点或仅在站址中心布点监测。

——监测点位附近如有影响监测结果的其他源项存在时，应说明其存在情况并分析其对监测结果的影响。

——有竣工环境保护验收资料的变电站、换流站、开关站、串补站改扩建工程，可在扩建端补充测点；如竣工验收中扩建端已进行监测，则可不再设测点；若运行后尚未进行竣工环境保护验收，则应以围墙四周均匀布点监测为主，并在高压侧或距带电构架较近的围墙外侧以及间隔改扩建工程出线端适当增加监测点位，并给出已有工程的运行工况。

——给出监测布点图。

——敏感目标监测点位的要求见本标准 4.10 条；对于线路沿线无电磁环境敏感目标时，线路电磁环境现状监测的点位数量要求见表 4。

——分析监测布点的代表性。

表 4 输电线路沿线电磁环境现状监测点位数量要求

线路路径长度（L）范围	$L < 100\text{km}$	$100\text{km} \leq L < 500\text{km}$	$L \geq 500\text{km}$
最少测点数量	2 个	4 个	6 个

6.4.3 监测频次

各监测点位监测一次。

6.4.4 监测方法及仪器

按照 HJ 681、DL/T 1089 的规定选择

6.4.5 监测结果

列表给出监测结果，同时可辅以图、线形式说明，并附质量保证的相关资料。

6.4.6 评价及结论

对照评价标准进行评价，并给出评价结论。

6.5 声环境现状评价

声环境现状调查和评价的内容、方法、监测布点参照 HJ 2.4 中声环境现状调查和评价工作要求执行。声环境现状监测的方法按照 GB 3096、GB 12348 中的规定执行。

6.6 生态环境现状评价

参照 HJ 19 的要求，依据本标准确定的评价等级和范围，开展生态现状调查和评价。

6.7 地表水环境现状评价

概要说明输变电工程污水受纳水体的环境功能及现状。

7 施工期环境影响评价

7.1 生态环境影响评价

按照 HJ 19 的规定，依据本标准确定的评价等级和范围，开展生态环境影响评价。

7.2 声环境影响分析

按照 HJ 2.4 的规定执行。

从对周边噪声敏感目标产生的不利影响的时间分布、时间长度及控制作业时段、优化施工机械布置等方面进行分析。

7.3 施工扬尘分析

主要从文明施工、防止物料裸露、合理堆料、定期洒水等施工管理及临时预防措施方面进行分析。

7.4 固体废物影响分析

主要从弃渣、施工垃圾、生活垃圾等处理措施方面进行分析。

7.5 污水排放分析

主要从文明施工、合理排水、防止漫排等施工管理及临时预防措施方面进行分析。

8 运行期环境影响评价

8.1 电磁环境影响预测与评价

8.1.1 类比评价

8.1.1.1 选择类比对象

类比对象的建设规模、电压等级、容量、总平面布置、占地面积、架线型式、架线高度、电气形式、母线形式、环境条件及运行工况应与拟建工程相类似，并列表论述其可比性。

类比评价时，如国内没有同类型工程，可通过搜集国外资料、模拟试验等手段取得数据、资料进行评价。

8.1.1.2 类比监测因子

- a) 交流工程：工频电场、工频磁场；
- b) 直流线路工程：合成电场；
- c) 换流站工程：工频电场、工频磁场、合成电场。

8.1.1.3 监测方法及仪器

按照 HJ 681、DL/T 1089 的规定选择。

8.1.1.4 监测布点

对于类比对象涉及到的电磁环境敏感目标，为定量说明其对敏感目标的影响程度，也可对相关敏感目标进行定点监测。

选择监测路径时应考虑结果是否能反映主要源项的影响。给出监测布点图，并给出监测现场照片。

8.1.1.5 类比结果分析

类比结果应以表格、趋势图线等方式表达。

分析类比结果的规律性、类比对象与拟建工程的差异；分析预测输变电工程电磁环境的影响范围、满足对应标准或要求的范围、最大值出现的区域范围，并对其正确性及合理性进行论述。

对于架空输电线路的类比监测结果，必要时进行模式复核并分析。

8.1.2 架空线路工程模式预测及评价

8.1.2.1 预测因子

- a) 交流线路工程：工频电场、工频磁场；
- b) 直流线路工程：合成电场。

8.1.2.2 预测模式

根据交流架空输电线路的架线型式、架设高度、相序、线间距、导线结构、额定工况等参数，计算其周围工频电场、工频磁场的分布及对敏感目标的贡献。交流架空输电线路工频电场强度的预测模式参见附录 C；交流架空输电线路工频磁场强度的预测模式参见附录 D。

根据直流架空线路工程的架线型式、架设高度、线间距、导线结构、额定工况等参数，计算其周围合成电场的分布及对敏感目标的贡献。双极直流架空线路合成电场强度的预测参见附录 E 中的计算方法。

8.1.2.3 预测工况及环境条件的选择

模式预测应给出预测工况及环境条件，应针对电磁环境敏感目标和特定的工程条件及环境条件，合理选择典型情况进行预测。塔型选择时，可主要考虑线路经过居民区时的塔型，也可按保守原则选择电磁环境影响最大的塔型。

8.1.2.4 预测结果及评价

预测结果应以表格和等值线图、趋势线图的方式表述。预测结果应给出最大值，给出最大值、符合 GB 8702 限值的对应位置，给出典型线路段的电磁环境预测达标等值线图。

对于电磁环境敏感目标，应根据建筑物高度，给出不同楼层的预测结果。

通过对照评价标准，评价预测结果，提出治理、减缓电磁环境影响的工程措施，必要时提出避让敏感目标的措施。

8.1.3 交叉跨越和并行线路环境影响分析

330kV 及以上电压等级的输电线路工程出现交叉跨越或并行时，可采用模式预测或类比监测的方法，从跨越净空距离、跨越方式、并行线路间距、环境敏感特性等方面，对电磁环境影响评价因子进行分析。并行线路中心线间距小于 100m 时，应重点分析其对环境敏感目标的综合影响，并给出对应的环境保护措施。

8.1.4 电磁环境影响评价结论

根据现状评价、类比评价、模式预测及评价结果，综合评价输变电工程的电磁环境影响。

8.2 声环境影响预测与评价

8.2.1 线路工程类比评价

8.2.1.1 选择类比对象

线路工程的噪声源强可采用类比监测的方法确定，并以此为基础进行类比评价。类比对象应选择与拟建工程建设规模、电压等级、容量、架线型式、线高、环境条件及运行工况类似的工程，并充分论述其可比性。

8.2.1.2 监测方法及仪器

按照 GB 12348 的规定选择。

8.2.1.3 监测布点

a) 类比线路工程噪声源强。对类比对象应以导线弧垂最大处线路中心的地面投影点为监测原点，沿垂直于线路方向进行，测点间距 5m，依次监测至评价范围边界处。各监测值需扣除该环境背景值，得出不同距离的线路工程噪声源强值。

b) 类比声环境敏感目标。在类比对象周边的声环境敏感目标适当布点进行定点监测，并记录监测点与类比对象的相对位置。

8.2.1.4 类比分析评价结论

类比结果应以表格或图线等方式表达。

根据线路工程噪声源强类比监测结果，分析线路工程噪声源强，预测线路工程噪声的影响范围、满足对应标准的范围、最大值出现的区域范围，并对其正确性及合理性进行论述。分析预测工程对周边声环境敏感目标的影响程度及可以采取的减缓和避让措施。

8.2.2 模式预测及评价

8.2.2.1 预测模式

对于变电站、换流站、开关站、串补站的声环境影响预测，可采用 HJ 2.4 中的工业声环境影响预测计算模式预测其声环境影响。主要声源的源强可选用设计值，也可通过类比监测确定。

进行厂界声环境影响评价时，新建建设项目以工程噪声贡献值作为评价量；改扩建建设项目以工程噪声贡献值与受到现有工程影响的厂界噪声值叠加后的预测值作为评价量。

进行敏感目标声环境影响评价时，以敏感目标所受的噪声贡献值与背景噪声值叠加后的预测值作为评价量。

8.2.2.2 预测结果及评价

预测结果应以表格和等声级图的方式表达。

对照标准，评价预测结果。

8.2.3 声环境影响评价结论

在现状评价、类比评价、模式预测及评价的基础上，综合评价工程的声环境影响，提出噪声治理、减缓的工程措施，必要时提出避让敏感目标的措施。

8.3 地表水环境影响分析

根据评价工作等级的要求和现场调查、收集资料以及区域水体功能区划，主要从水量、处理方式、

排放去向、受纳水体以及处理达标情况等方面对变电站、换流站、开关站、串补站工程的地表水环境影响进行分析评价。生活污水主要评价因子包括 pH、COD、BOD₅、NH₃-N、石油类。换流站存在冷却水外排时，应结合其主要影响因子分析对受纳水体的影响。

8.4 固体废物影响分析

对变电站、换流站、开关站、串补站内废旧蓄电池、生活垃圾等固体废物来源、数量进行分析，提出贮存条件，并明确处置、处理要求。

8.5 环境风险分析

对变压器、高压电抗器、换流器等事故情况下漏油时可能的环境风险进行简要分析，主要分析事故油坑、油池设置要求，事故油污水的处置要求。

9 环境保护措施及其技术、经济论证

9.1 污染控制措施分析

针对环境影响或工程内容提出明确、具体的环境保护措施，如选线的要求、避让具体居民区的要求、抬高线高的要求等。生态保护措施和恢复措施应落实到具体时段和具体点位上，并特别注意施工期的环保措施。对变电站、换流站、开关站、串补站等产生的危险废物（如废旧蓄电池、废变压器油等）的收集、管理和处置，应提出相应的环保措施。

9.2 环保措施的经济、技术可行性分析

输变电工程环境保护措施应按照技术先进、可行和经济合理的原则，进行方案比选，推荐最佳方案。对于关键性、创新性的环境保护设施，应调查国内外同类设施实际运行结果，分析、论证该环境保护设施的有效性与可靠性。结合环境影响评价结果，论证工程拟采取的环境保护措施实现达标排放、满足环境质量要求的可行性。

9.3 环境保护措施

指出可能存在的环保问题，并给出对策措施。对工程可研环境保护措施给出补充建议。各项环保措施应明确责任单位和完成期限，对于承建工程的单位应明确其环保职责。

9.4 环保投资估算

按工程实施的不同时段，分别列出其环保投资额，并分析其合理性。给出各项措施及投资估算一览表，计算环保投资占工程总投资的比例。

绿化费用、避让环境敏感目标增加的工程费用、噪声治理费用、生态恢复补偿费用、污水处理设施费用等均应包括在环境保护投资之中。

10 环境管理与监测计划

10.1 环境管理

环境管理应从环境管理机构、施工期环境管理与环境监理、环境保护设施竣工验收、运行期环境管理、环境保护培训、与相关公众的协调等方面做出规定。

环境管理的任务应包括：环境保护法规、政策的执行，环境管理计划的编制，环境保护措施的实施管理，提出设计、投标文件的环境保护内容及要求，环境质量分析与评价，环境保护科研和技术管理等。

应根据工程管理体制与环境管理任务设置环境管理体制、管理机构和人员。

应提出降低或减缓因临近线路工程（330kV 及以上），由静电引起的电场刺激等实际影响的具体要求，并建立该类影响的应对机制。

10.2 环境监理

对于涉及自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区等环境敏感区的输变电工程，评价中应提出开展施工期工程现场环境监理工作的建议。其中包括：

- 分别说明业主、施工单位、监理单位等在施工期工程现场环境监理职责；
- 施工期环境工程现场主要监理内容。

10.3 环境监测

10.3.1 环境监测任务

- a) 制定监测计划，监测工程施工期和运行期环境要素及评价因子的动态变化；
- b) 对工程突发性环境事件进行跟踪监测调查。

10.3.2 监测点位布设

监测点位布设应针对施工期和运行期受影响的主要环境要素及因子。监测点位应具有代表性，并优先选择已有监测点位。

10.3.3 监测技术要求

- a) 监测范围应与工程影响区域相符；
- b) 监测位置与频次应根据监测数据的代表性、生态环境质量的特征、变化和环境影响评价、工程竣工环境保护验收的要求确定；
- c) 监测方法与技术要求应符合国家现行的有关环境监测技术规范和环境监测标准分析方法；
- d) 监测成果应在原始数据基础上进行审查、校核、综合分析后整理编印，并报环境保护主管部门；
- e) 应对监测提出质量保证要求。

11 公众参与

11.1 公众参与的对象和形式

公众参与的对象应具有广泛性、代表性、区域均衡性和随机性，包括直接受影响的居民、单位、利益相关公众等。

公众参与可根据输变电工程的实际需要和具体条件，选择采取公告、调查公众意见、咨询专家意见、座谈会、论证会、听证会等形式，公开征求公众意见。

11.2 公告环境信息及征求意见的主要事项

按照《环境影响评价公众参与暂行办法》中两个阶段公告的要求进行信息公示。

11.3 选线选址过程中的相关单位意见及咨询专家意见

相关单位以法人形式参与输变电工程的选线选址或对输变电工程发表意见也是一种公众参与形式。

在工程审批、技术评估或其他过程中环境保护专家、特定专业的专家、关心工程建设的专家，对工程的意见和建议也是一种公众参与形式。咨询专家意见以文件或会议纪要为主。

11.4 调查公众意见

11.4.1 方法

调查公众意见的方法主要有问卷调查、访谈或者座谈会、论证会、听证会等。调查公众意见宜使用统一的调查问卷，以便于对调查对象的意见作统计分析。调查问卷应简洁明了，以选项为主，辅以必要的意见与建议的征询内容。

11.4.2 样本数

调查样本总数一般不小于 80 份，单个变电站、换流站、开关站、串补站一般不少于 30 份；对于评价范围内电磁环境敏感目标数量少时，调查样本总数可适当减少。同时，调查样本中评价范围内的样本数不少于总数的 60%。

11.4.3 调查内容

调查内容应包括对工程实施的态度，还可包括：对工程的了解程度、对当地环境问题的认识与评价、对工程选线选址的态度、对工程主要环境影响（包括相关特征因子对自然环境、生态、电磁等因素的影响）的认识及态度、对工程采取环境保护措施的建议、对工程环境敏感目标的认识、不支持工程建设的原因等。

调查问卷中还应包含工程基本情况简介、调查对象的基本资料搜集（如姓名、年龄、性别、文化程度、职业、地址、联系电话、与工程的位置关系）、调查人员的联系方式等内容。

11.4.4 调查结果

简述调查样本数、有效样本数、调查对象的数量、基本资料统计情况、相关团体及基层组织的数量、受调查的单位名称和数量等。可用统计表的形式表示。

统计调查对象对各调查内容表达意见的人数及其比例、提出意见和建议的情况。需注意有关调查表、纪要等需存档备查。

11.5 公众参与结果

按有关单位意见、咨询专家意见、调查公众意见、公告反馈意见等进行归类与统计分析，并在归类分析的基础上进行综合评述。对每一类意见，均应进行认真分析、给出采纳或未采纳的建议并说明理由。对不支持工程建设的公众要进行回访，并给出原因分析和处理建议。

附录 A (规范性附录)

输变电工程环境影响报告书专项设置和编制要求

A.1 专项设置内容

输变电工程环境影响报告书一般应包括工程分析、环境现状调查与评价，施工期环境影响评价（其中生态影响评价等级为三级以上时设专题，声、大气、地表水作一般性分析，振动、地下水、固废、电磁的内容不涉及），运行期环境影响评价（其中电磁、声设专题，地表水、固废、环境风险作一般性分析，大气、振动、地下水的内容不涉及），环境保护措施及其经济技术论证，环境管理与监测计划，公众参与，评价结论和建议等专项。

各专项内容除 A.2 中已进行单独说明外，均按本标准正文中相应内容编写。

A.2 编制内容

A.2.1 前言

简要说明建设项目的特点、环境影响评价的工作过程、关注的主要环境问题及环境影响报告书的主要结论。

A.2.2 总则

A.2.2.1 编制依据

A.2.2.2 评价因子与评价标准

分列现状评价因子和预测评价因子，给出各评价因子所执行的环境质量标准、排放标准或控制限值。评价因子可按本标准 4.4 中表 1 要求选用；评价标准可按本标准 4.5 节要求选用。

A.2.2.3 评价工作等级

A.2.2.4 评价范围

A.2.2.5 环境保护目标

A.2.2.6 评价重点

A.2.3 工程概况与工程分析

A.2.3.1 工程概况

A.2.3.2 与政策法规等相符性分析

A.2.3.3 环境影响因素识别

A.2.3.4 生态影响途径分析

A.2.3.5 可研环境保护措施

A.2.4 环境现状调查与评价

A.2.4.1 区域概况

A.2.4.2 自然环境

A.2.4.3 社会环境

A.2.4.4 电磁环境

A.2.4.5 声环境

A.2.4.6 生态

A.2.4.7 地表水环境

A.2.5 施工期环境影响评价

A.2.5.1 生态影响预测与评价

- A. 2. 5. 2 声环境影响分析
- A. 2. 5. 3 施工扬尘分析
- A. 2. 5. 4 固体废物环境影响分析
- A. 2. 5. 5 污水排放分析
- A. 2. 6 运行期环境影响评价
 - A. 2. 6. 1 电磁环境影响预测与评价
 - A. 2. 6. 2 声环境影响预测与评价
 - A. 2. 6. 3 地表水环境影响分析
 - A. 2. 6. 4 固体废物环境影响分析
 - A. 2. 6. 5 环境风险分析
- A. 2. 7 环境保护措施及其经济、技术论证
 - A. 2. 7. 1 污染控制措施分析
 - A. 2. 7. 2 措施的经济、技术可行性分析
 - A. 2. 7. 3 环境保护措施
 - A. 2. 7. 4 环保措施投资估算
- A. 2. 8 环境管理与监测计划
 - A. 2. 8. 1 环境管理
 - A. 2. 8. 2 环境监理
 - A. 2. 8. 3 环境监测
- A. 2. 9 公众参与
 - A. 2. 9. 1 公众参与过程
 - A. 2. 9. 2 第一次公告
 - A. 2. 9. 3 第二次公告
 - A. 2. 9. 4 公众调查
 - A. 2. 9. 5 公众意见采纳情况
- A. 2. 10 评价结论与建议

在概括全部评价工作的基础上，简洁、准确、客观地总结建设项目实施过程中各阶段的生产和生活活动与当地环境的关系，明确一般情况和特定情况下的环境影响，规定采取的环境保护措施，从环境保护角度分析，得出项目是否可行的结论。应包括输变电工程的建设概况、环境现状与主要环境问题、环境影响预测与评价结论、达标排放稳定性、法规政策及相关规划相符性、环保措施可靠性和合理性、公众参与接受性、总结论与建议等内容。

A. 2. 11 附件和附录

附件应包括环评委托书、评价标准的批复文件、相关主管部门批文；还可包括输变电工程依据文件、环境现状及类比监测质量保证文件、引用文献资料及其他必要文件、资料等。

附录 B

(规范性附录)

输变电工程环境影响报告表的格式和要求

B.1 报告表的格式

B.1.1 封面格式

建设项目环境影响报告表

项目名称：_____

建设单位：_____

编制单位：

编制日期：XXXX 年 XX 月

B.1.2 资格证书缩印件

附按原样边长三分之一缩印的资质证书正本缩印件。缩印件上应当注明所承担项目的名称及环境影响评价文件类型，并加盖评价机构印章和法定代表人名章。

B.1.3 评价单位及评价人员情况

评 价 单 位：_____（公章）

项 目 编 号：_____

报 告 名 称：_____

项 目 负 责 人：_____
（职业资格登记证编号：_____）

主要编制人员情况				
姓名	职称	证书	职责	签名

B.1.4 报告表正文格式

按照国务院环境保护主管部门提出的建设项目环境影响报告表的内容与格式要求，填写输变电工程环境影响报告表正文相关表格内容。

B.2 专题评价及附件附图**B.2.1 专题评价**

应设电磁环境影响专题评价，其评价等级、评价内容与格式按照本标准有关电磁环境影响评价要求进行。

涉及生态敏感区时，应设生态专题评价，其评价等级、评价内容与格式按照本标准有关输变电工程生态评价要求进行。

根据需要开展公众参与工作的，应设公众参与专题评价，其内容与格式可参照本标准有关公众参与专题编制要求，必要时可降低深度。

B.2.2 环境影响报告表应附以下附件、附图

附件1 同意项目开展前期工作的文件

附件2 其他与环境影响评价有关的文件

附图1 地理位置图（含站和线路，反映行政区划、水系等）

附图2 变电站（或开关站、串补站、换流站）总平面布置示意图

附图3 线路路径示意图

附图4 环境保护措施布置图

附图5 各专题评价所需图件

.....

附录 C
(资料性附录)

高压交流架空输电线路下空间工频电场强度的计算

C.1 单位长度导线上等效电荷的计算

高压输电线上的等效电荷是线电荷，由于高压输电线半径 r 远远小于架设高度 h ，所以等效电荷的位置可以认为是在输电导线的几何中心。

设输电线路为无限长并且平行于地面，地面可视为良导体，利用镜像法计算输电线上的等效电荷。

为了计算多导线线路中导线上的等效电荷，可写出下列矩阵方程：

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \cdots & \lambda_{1m} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \cdots & \lambda_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \lambda_{m1} & \lambda_{m2} & \cdots & \lambda_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots (C1)$$

式中： U ——各导线对地电压的单列矩阵；
 Q ——各导线上等效电荷的单列矩阵；
 λ ——各导线的电位系数组成的 m 阶方阵 (m 为导线数目)。

$[U]$ 矩阵可由输电线的电压和相位确定，从环境保护考虑以额定电压的 1.05 倍作为计算电压。由三相 500kV (线间电压) 回路 (图 C.1 所示) 各相的相位和分量，则可计算各导线对地电压为：

$$\begin{aligned} |U_A| &= |U_B| = |U_C| \\ &= \frac{500 \times 1.05}{\sqrt{3}} \\ &= 303.1 \text{ kV} \end{aligned}$$

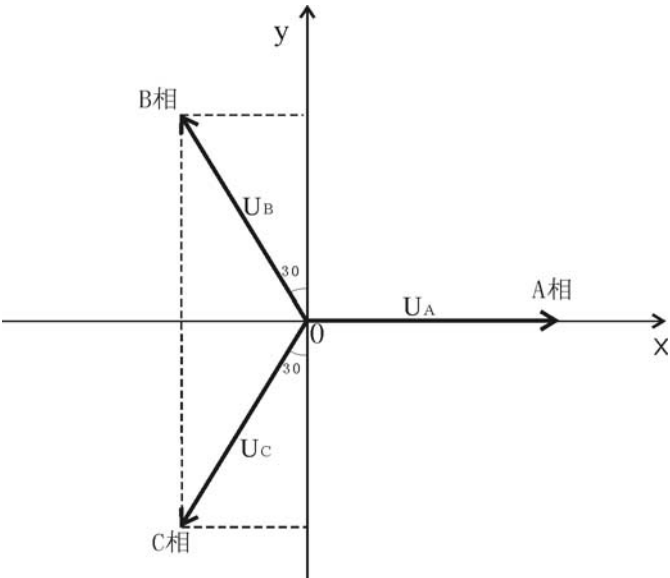


图 C.1 对地电压计算图

各导线对地电压分量为：

$$U_A = (303.1 + j0) \text{ kV}$$

$$U_B = (-151.6 + j262.5) \text{ kV}$$

$$U_C = (-151.6 - j262.5) \text{ kV}$$

$[\lambda]$ 矩阵由镜像原理求得。地面为电位等于零的平面，地面的感应电荷可由对应地面导线的镜像电荷代替，用 $i, j, \dots$ 表示相互平行的实际导线，用 $i', j', \dots$ 表示它们的镜像，如图 C.2 所示，电位系数可写为：

$$\lambda_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{R_i} \quad \dots\dots\dots (C2)$$

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{ij}}{L_{ij}} \quad \dots\dots\dots (C3)$$

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ji} \quad \dots\dots\dots (C4)$$

式中： ϵ_0 ——真空介电常数， $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m}$ ；

R_i ——输电导线半径，对于分裂导线可用等效单根导线半径代入， R_i 的计算式为：

$$R_i = R \cdot \sqrt[n]{\frac{nr}{R}} \quad \dots\dots\dots (C5)$$

式中： R ——分裂导线半径，m；（如图 C.3）

n ——次导线根数；

r ——次导线半径，m。

由 $[U]$ 矩阵和 $[\lambda]$ 矩阵，利用式（C1）即可解出 $[Q]$ 矩阵。

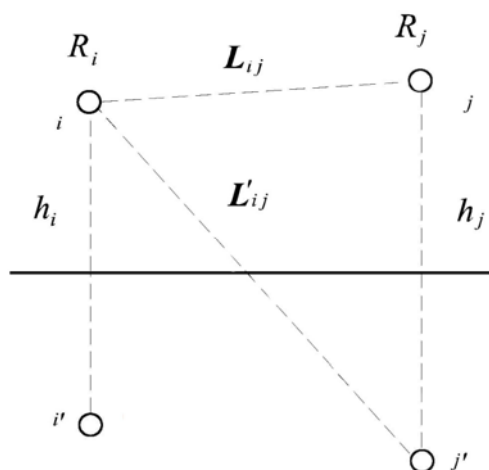


图 C.2 电位系数计算图

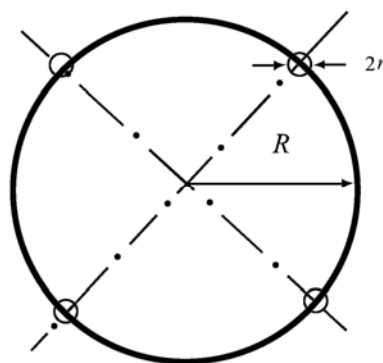


图 C.3 等效半径计算图

对于三相交流线路，由于电压为时间向量，计算各相导线的电压时要用复数表示：

$$\overline{U_i} = U_{iR} + jU_{iI} \quad \dots\dots\dots (C6)$$

相应地电荷也是复数量:

$$\overline{Q_i} = Q_{iR} + jQ_{iI} \quad \dots\dots\dots (C7)$$

式 (C1) 矩阵关系即分别表示了复数量的实部和虚部两部分:

$$[U_R] = [\lambda][Q_R] \quad \dots\dots\dots (C8)$$

$$[U_I] = [\lambda][Q_I] \quad \dots\dots\dots (C9)$$

C.2 计算由等效电荷产生的电场

为计算地面电场强度的最大值, 通常取设计最大弧垂时导线的最小对地高度。

当各导线单位长度的等效电荷量求出后, 空间任意一点的电场强度可根据叠加原理计算得出, 在 (x, y) 点的电场强度分量 E_x 和 E_y 可表示为:

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^m Q_i \left(\frac{x-x_i}{L_i^2} - \frac{x-x_i}{(L'_i)^2} \right) \quad \dots\dots\dots (C10)$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^m Q_i \left(\frac{y-y_i}{L_i^2} - \frac{y+y_i}{(L'_i)^2} \right) \quad \dots\dots\dots (C11)$$

式中: x_i, y_i ——导线 i 的坐标 ($i=1, 2, \dots, m$);

m ——导线数目;

L_i, L'_i ——分别为导线 i 及其镜像至计算点的距离, m。

对于三相交流线路, 可根据式 (C8) 和 (C9) 求得的电荷计算空间任一点电场强度的水平和垂直分量为:

$$\begin{aligned} \overline{E_x} &= \sum_{i=1}^m E_{ixR} + j \sum_{i=1}^m E_{ixI} \\ &= E_{xR} + jE_{xI} \quad \dots\dots\dots (C12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{E_y} &= \sum_{i=1}^m E_{iyR} + j \sum_{i=1}^m E_{iyI} \\ &= E_{yR} + jE_{yI} \quad \dots\dots\dots (C13) \end{aligned}$$

式中: E_{xR} ——由各导线的实部电荷在该点产生场强的水平分量;

E_{xI} ——由各导线的虚部电荷在该点产生场强的水平分量;

E_{yR} ——由各导线的实部电荷在该点产生场强的垂直分量;

E_{yI} ——由各导线的虚部电荷在该点产生场强的垂直分量。

该点的合成的电场强度则为：

$$\begin{aligned}\bar{E} &= (E_{xR} + jE_{xI})\bar{x} + (E_{yR} + jE_{yI})\bar{y} \\ &= \bar{E}_x + \bar{E}_y \dots\dots\dots (C14)\end{aligned}$$

式中：

$$E_x = \sqrt{E_{xR}^2 + E_{xI}^2} \dots\dots\dots (C15)$$

$$E_y = \sqrt{E_{yR}^2 + E_{yI}^2} \dots\dots\dots (C16)$$

在地面处 ($y=0$) 电场强度的水平分量：

$$E_x = 0$$

C.3 计算举例

C.3.1 计算条件

如图 C.4 所示结构的单回路 500kV 三相架空输电线路，导线水平状架设，采用 $n=4$ 的分裂导线，求 P 点 ($x=15\text{m}$, $y=1\text{m}$) 处工频电场强度值。

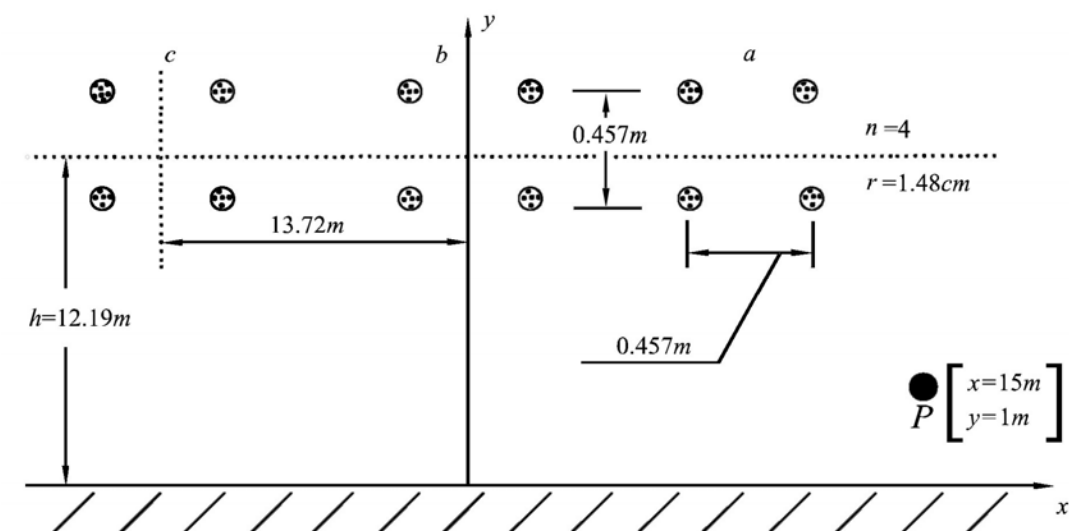


图 C.4 计算例图

C.3.2 单位长度导线上等效电荷计算

$$\text{分裂导线半径 } R = 0.457 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.323 \text{ m}$$

$$\text{等效导线半径 } R_i = 0.323 \times \sqrt[4]{\frac{4 \times 0.0148}{0.323}} = 0.211 \text{ m}$$

导线对地电压 $U_a = (303.1+j0) \text{ kV}$

$$U_b = (-151.6+j262.5) \text{ kV}$$

$$U_c = (-151.6-j262.5) \text{ kV}$$

依此可写成实部和虚部两个矩阵：

$$[U_R] = \begin{bmatrix} 303.1 \\ -151.6 \\ -151.6 \end{bmatrix} \quad [U_I] = \begin{bmatrix} 0 \\ 262.5 \\ -262.5 \end{bmatrix}$$

电位系数：

$$\lambda_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{R_i} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times (4.75)$$

$$\lambda_{12} = \lambda_{21} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{12}}{L_{12}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times (0.71)$$

$$\lambda_{13} = \lambda_{31} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{13}}{L_{13}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times (0.29)$$

根据导线的对称关系，可知：

$$\lambda_{22} = \lambda_{33} = \lambda_{11}$$

$$\lambda_{23} = \lambda_{32} = \lambda_{12}$$

依此写出电位系数矩阵：

$$[\lambda] = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix}$$

则按式 (C1) 可得：

$$[U_R] = [\lambda][Q_R]$$

$$[U_I] = [\lambda][Q_I]$$

即：

$$\begin{bmatrix} 303.1 \\ -151.6 \\ -151.6 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1R} \\ Q_{2R} \\ Q_{3R} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 262.5 \\ -262.5 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1I} \\ Q_{2I} \\ Q_{3I} \end{bmatrix}$$

对上述两矩阵方程求解，可得等效电荷的矩阵值：

$$[Q_R] = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} 71.359 \\ -38.008 \\ -30.590 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ c/m}$$

$$[Q_I] = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} -5.886 \\ 65.819 \\ -64.742 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ c/m}$$

C.3.3 计算 P 点处工频电场强度的水平分量和垂直分量

各导线的坐标如图 C.5 所示，则由 P 点 ($x=15\text{m}$, $y=1\text{m}$) 坐标可得：

$$r_1^2 = (h-y)^2 + (x-d)^2 = 126.855 \text{ m}^2$$

$$r_2^2 = (h-y)^2 + x^2 = 350.22 \text{ m}^2$$

$$r_3^2 = (h-y)^2 + (x+d)^2 = 950.05 \text{ m}^2$$

$$r_4^2 = (h+y)^2 + (x-d)^2 = 175.61 \text{ m}^2$$

$$r_5^2 = (h+y)^2 + x^2 = 398.98 \text{ m}^2$$

$$r_6^2 = (h+y)^2 + (x+d)^2 = 998.81 \text{ m}^2$$

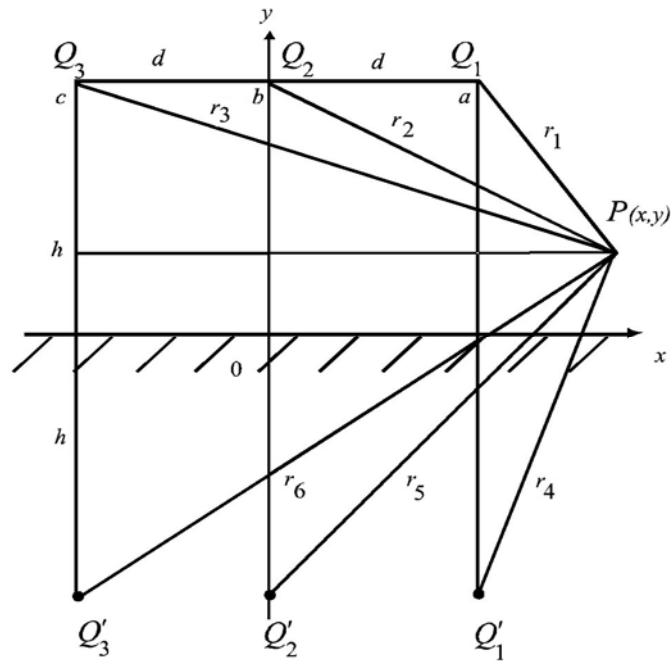


图 C.5 各导线坐标图

实部电荷 Q_R 在 P 点产生的场强水平分量：

$$E_{xR} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1R}(x-d)}{r_1^2} - \frac{Q_{1R}(x-d)}{r_4^2} \right] + \left[\frac{Q_{2R}x}{r_2^2} - \frac{Q_{2R}x}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3R}(x+d)}{r_3^2} - \frac{Q_{3R}(x+d)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -0.044 \text{ kV/m}$$

虚部电荷 Q_I 在 P 点产生的场强水平分量为：

$$E_{xI} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1I}(x-d)}{r_1^2} - \frac{Q_{1I}(x-d)}{r_4^2} \right] + \left[\frac{Q_{2I}x}{r_2^2} - \frac{Q_{2I}x}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3I}(x+d)}{r_3^2} - \frac{Q_{3I}(x+d)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -0.233 \text{ kV/m}$$

所以，P 点的场强水平分量为：

$$\overline{E_x} = (-0.044 - j0.233) \text{ kV/m}$$

$$E_x = \sqrt{0.044^2 + 0.233^2} = 0.24 \text{ kV/m}$$

实部电荷 Q_R 在 P 点产生的场强垂直分量：

$$E_{yR} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1R}(y-h)}{r_1^2} - \frac{Q_{1R}(y+h)}{r_4^2} \right] + \left[\frac{Q_{2R}(y-h)}{r_2^2} - \frac{Q_{2R}(y+h)}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3R}(y-h)}{r_3^2} - \frac{Q_{3R}(y+h)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -8.420 \text{ kV/m}$$

虚部电荷 Q_I 在 P 点产生的场强垂直分量：

$$E_{yI} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[\frac{Q_{1I}(y-h)}{r_1^2} - \frac{Q_{1I}(y+h)}{r_4^2} \right] + \left[\frac{Q_{2I}(y-h)}{r_2^2} - \frac{Q_{2I}(y+h)}{r_5^2} \right] + \left[\frac{Q_{3I}(y-h)}{r_3^2} - \frac{Q_{3I}(y+h)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -1.698 \text{ kV/m}$$

所以，P 点的场强垂直分量为：

$$\overline{E_y} = (-8.420 - j1.698) \text{ kV/m}$$

$$E_y = \sqrt{8.420^2 + 1.698^2} = 8.59 \text{ kV/m}$$

附录 D
(资料性附录)

高压交流架空输电线路下空间工频磁场强度的计算

由于工频情况下电磁性能具有准静态特性，线路的磁场仅由电流产生。应用安培定律，将计算结果按矢量叠加，可得出导线周围的磁场强度。

和电场强度计算不同的是关于镜像导线的考虑，与导线所处高度相比这些镜像导线位于地下很深的距离 d ：

$$d = 660 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (\text{D1})$$

式中： ρ ——大地电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

f ——频率，Hz。

在很多情况下，只考虑处于空间的实际导线，忽略它的镜像进行计算，其结果已足够符合实际。如图 D.1，不考虑导线 i 的镜像时，可计算在 A 点其产生的磁场强度：

$$H = \frac{I}{2\pi\sqrt{h^2 + L^2}} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (\text{D2})$$

式中： I ——导线 i 中的电流值，A；

h ——导线与预测点的高差，m；

L ——导线与预测点水平距离，m。

对于三相线路，由相位不同形成的磁场强度水平和垂直分量都应分别考虑电流间的相角，按相位矢量来合成。合成的旋转矢量在空间的轨迹是一个椭圆。

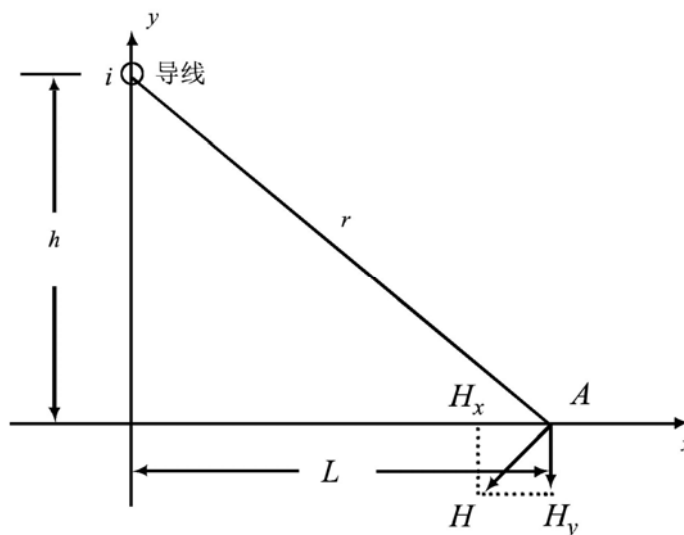


图 D.1 磁场向量图

附录 E (资料性附录)

直流架空输电线路合成电场强度的简化理论计算程序和计算步骤

E.1 方法来源

决定直流输电线路环境影响的重要参数是离子流密度和由导线上电荷、空间电荷共同产生的合成电场强度。由于线下整个空间存在因电晕产生的大量空间电荷，使这种计算变得相当复杂。

本标准推荐采用解析计算办法，采用 Deutsch 假设，认为空间电荷不影响场的方向，仅影响其大小。

E.2 基本假设

E.2.1 空间电荷只影响场强幅值而不影响其方向，即 Deutsch 假设。

$$E_s = A \cdot E \quad \dots\dots\dots (E1)$$

式中：

E_s ——空间电荷存在时合成电场强度，kV/m；

A ——合成电场强度与标称电场强度的比值，标量函数；

E ——标称电场强度，kV/m。

E.2.2 电晕后导线表面电位保持在起晕电压值 V_0 ，当导线对地电位为 V 时，导线表面的 A 值为 A_e ：

$$A_e = V_0 / V \quad \dots\dots\dots (E2)$$

采用逐步镜像法或模拟电荷法，沿无空间电荷场强的电力线计算无空间电荷下场强 E 。

E.3 标量函数 A 的计算

$$A^2 = A_e^2 + \frac{2\rho_e A_e}{\varepsilon_0} \int_{\varphi}^V \frac{d\varphi}{E^2} \quad \dots\dots\dots (E3)$$

$$\rho_m = \varepsilon_0 (V - V_0) / \int_0^V \int_{\varphi}^V \frac{d\eta}{E^2} d\varphi \quad \dots\dots\dots (E4)$$

式中：

ρ_e ——导线表面电荷密度，nC/m³，可用弦截迭代法求出；

ε_0 ——真空介电常数，pF/m；

φ ——无空间电荷时空间某点的电位，kV；

ρ_m ——导线表面平均电荷密度，nC/m³，为弦截迭代法求出 ρ_e 的初值；

η ——积分变量。

E.4 合成电场强度 E_s 的计算

E_s 按 (E1) 式计算。