

江苏省电机工程学会

苏电机学会函〔2026〕5号

江苏省电机工程学会关于征求 《配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源安 全技术要求》等2项团体标准意见的函

各有关单位：

根据《江苏省电机工程学会团体标准管理办法》相关规定，由江苏思极科技服务有限公司牵头起草的《配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源安全技术要求》、国网江苏省电力有限公司经济技术研究院牵头起草的《输变电工程软土地基原位固化技术规范》等2项江苏省电机工程学会团体标准已完成征求意见稿的编制工作，现公开征求意见。各有关单位、专家如有意见，请填写《江苏省电机工程学会团体标准意见征求表》（附件），于2026年9月7日前发送至学会联系人邮箱 jseetb@163.com，或来函与我会联系。

联系人：陈老师 025-85083026；王老师 025-85083734。

- 附件：
1. 江苏省电机工程学会团体标准意见征求表
 2. 征求意见稿-配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源安全技术要求
 3. 编制说明-配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源安全技术要求

4. 征求意见稿-输变电工程软土地基原位固化技术规范
5. 编制说明-输变电工程软土地基原位固化技术规范



江苏省电机工程学会团体标准意见征求表

标准名称				
承担起草 单位	单位名称			
	联系人		联系电话	
	电子邮箱			
提意见单位 或专家	单位名称			
	专家姓名		联系电话	
	电子邮箱			
	通讯地址			
条文编号	具体的修改意见和建议及其理由/资料			

(不够请另附页)

团 体 标 准

T/JSEE 00XX-20XX

配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电 源安全技术要求

Safety technical requirements for lithium iron phosphate DC backup power
supplies of distribution network equipment

（征求意见稿）

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

江苏省电机工程学会 发布

目 次

前言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 2

5 安全要求 2

 5.1 电池组安全要求 2

 5.2 电池管理系统（BMS）安全要求 3

 5.3 结构与防护安全要求 3

 5.4 电气安全要求 3

 5.5 电磁兼容要求 3

 5.6 环境适应性要求 4

6 试验条件 4

 6.1 一般条件 4

 6.2 测量仪器、仪表准确度 4

7 检验方法 4

 7.1 检验项目索引 4

 7.2 外观与结构检验 5

 7.3 过充电保护试验 5

 7.4 过放电保护试验 5

 7.5 外部短路保护试验 5

 7.6 过温保护试验 5

 7.7 内部短路及外部明火试验 6

 7.8 壳体阻燃试验 6

 7.9 电池模块安全性试验 6

 7.10 数据采集试验 6

 7.11 报警和保护试验 6

 7.12 绝缘电阻检测试验 6

 7.13 容量检验 6

 7.14 绝缘电阻试验 6

 7.15 介质强度试验 7

 7.16 电磁兼容试验 7

 7.17 环境适应性试验 7

8 检验规则 7

 8.1 检验分类 7

 8.2 同一型式判定 7

 8.3 判定规则 8

9 标志、包装、运输和存储 8

 9.1 标志 8

 9.2 包装 8

 9.3 运输 8

 9.4 存储 8

10 运行维护 8

 10.1 日常巡视 8

 10.2 定期检测 9

 10.3 故障处理 9

 10.4 应急处置 9

附录 A （规范性） 绝缘电阻测试方法 11

 A.1 试验条件 11

 A.2 测试仪器要求 11

 A.3 测试方法 11

 A.4 湿热条件下的测量 11

参 考 文 献 12

前 言

本文件按照 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。

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。

本文件由江苏省电机工程学会提出并归口。

本文件起草单位：江苏思极科技服务有限公司，国网江苏省电力有限公司，国网江苏省电力有限公司电力科学研究院，国网江苏省电力公司南京供电分公司，国网江苏省电力公司苏州供电分公司，国网江苏省电力公司无锡供电分公司，国网安徽省电力有限公司，国网安徽省电力公司合肥供电分公司，国网福建省电力有限公司电力科学研究院，国网福建省电力公司福州供电分公司，国网福建省电力公司厦门供电分公司，国网福建省电力公司三明供电分公司，福建和盛高科技产业有限公司，湖南湘源微能电力科技有限公司。

本文件主要起草人：王海、朱卫平、肖为健、史明明、奚巍民、丁正阳、邵明驰、杨启明、戴健、朱睿、王曙宁、吴凯、罗翔、周力、胡金峰、陈建坤、赵晔、刘洋、戴欢、陈荣、温绍林、汪逸帆、赵子宁、郭凤泽、操瑞青。

配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源安全技术要求

1 范围

本文件规定了配网设备中配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源（以下简称“后备电源”）的安全技术要求，描述了相应的检验方法、检验规则以及标志、包装、运输、存储和运行维护要求。
本文件适用于配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源的检验、验收、运行及维护。

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 191 包装储运图示标志
- GB/T 2408 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12h+12h 循环）
- GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
- GB/T 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 5095（所有部分） 电子设备用机电元件 基本试验规程和测量方法
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 34131—2023 电力储能用电池管理系统
- GB/T 35732—2025 配电自动化终端技术规范
- GB 38031—2025 电动汽车用动力蓄电池安全要求
- YD/T 983 通信电源设备电磁兼容限值及测量方法

3 术语和定义

GB/T 35732—2025、GB 38031—2025 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

配电自动化终端 distribution automation remote terminal unit

安装在配电网馈线回路和配电变电站、开关站、配电站等场所，具备与配电自动化主站或子站及相邻终端通信、向主站或子站传送配电设备运行状态和量测信息、执行主站或子站下发命令、实现故障检测/识别/定位/隔离和非故障区域恢复供电等功能的终端设备。

[来源：GB/T 35732—2025，3.1]

3.2

磷酸铁锂直流后备电源 DC backup power supply for distribution automation remote terminal unit

为配电自动化终端提供直流后备电源的装置，由磷酸铁锂电池组、电池管理系统（BMS）及相关辅助电路构成，在供电电源失电时自动切换供电。

注：以下简称“后备电源”

3.3

电池管理系统 battery management system; BMS

监视电池单体或电池组的状态，为电池提供通信接口、安全保护和管理的电子装置。

3.4

热失控 thermal runaway

电池单体放热连锁反应引起电池温度不可控上升的现象。

[来源：GB 38031—2025，3.16]

3.5

电池单体 cell

构成电池组的基本组成单元，能将化学能转化为电能的最小元件。

3.6

电池模组 battery module

由多个电池单体以串联、并联或串并联方式组合而成，作为一个单元进行管理和安装的电池组合体。

3.7

荷电状态 state of charge; SOC

电池剩余容量与其额定容量的比值，以百分比表示。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BMS: 电池管理系统 (Battery Management System)

SOC: 荷电状态 (State of Charge)

SOE: 能量状态 (State of Energy)

FTU: 馈线终端 (Feeder Terminal Unit)

DTU: 站所终端 (Distribution Terminal Unit)

EMC: 电磁兼容 (Electromagnetic Compatibility)

5 安全要求

5.1 电池模组安全要求

电池模组安全要求主要包括：

- a) 电池模组按照7.3进行过充电保护试验，应不起火、不爆炸；
- b) 电池模组按照7.4进行过放电保护试验，应不起火、不爆炸；
- c) 电池模组按照7.5进行外部短路保护试验，应不起火、不爆炸；
- d) 电池模组按照7.6进行过温保护试验，应不起火、不爆炸；
- e) 电池模组按照7.7进行内部短路及外部明火试验，应不起火、不爆炸；
- f) 电池模组壳体应按照7.8进行阻燃试验，应达到GB/T 2408规定的V0级阻燃要求；

g) 锂离子电池模组的安全性应按照7.9进行试验，应符合GB/T 35732—2025中8.4.2.3 d) 的规定。

5.2 电池管理系统（BMS）安全要求

电池管理系统安全要求主要包括：

- a) BMS应具备电池单体电压、电池单体温度、电池组电压、电池组电流等参数的数据采集功能，采集误差及采样周期应符合GB/T 34131—2023中表1的规定；
- b) BMS应具备报警和保护功能，报警信息应根据严重程度分为一级、二级和三级，报警触发条件及BMS响应要求按表1的规定；

表 1 报警触发条件及响应要求

等级	触发条件	BMS 响应要求
一级报警	a) 单体电压≥充电截止电压或≤放电截止电压； b) 电池组温度≥制造商规定的最高运行温度； c) 绝缘电阻≤报警阈值（由制造商规定）； d) 检测到电池组内部短路故障。	BMS 应在 300 ms 内发出停机指令，并在 5s 内断开充放电回路。
二级报警	a) 单体电压接近限值（一般为限值的 95%，由制造商规定）； b) 电池组温度接近最高运行温度（一般为限值的 90%）； c) SOC 异常（如 SOC 跳变≥20%）； d) 单体电压极差超过制造商规定值。	BMS 应在 300 ms 内发出降低运行功率指令或限功率运行信号。
三级报警	a) 通信异常（与终端或上级监控系统通信中断超过 30s）； b) 数据采集偏差超出允许范围； c) 均衡功能异常但未影响安全。	BMS 应记录告警信息并上传至监控系统，加强运行监视。

注：具体报警阈值由制造商在产品技术文件中明确规定，并应在型式检验时予以验证。

- c) BMS报警内容应包含：电压越限、电压极差越限、电流越限、温度越限、绝缘电阻越限、通信异常等；
- d) BMS应具备均衡功能，均衡方式可采用主动均衡或被动均衡；
- e) BMS应具备与配电自动化终端通信的功能，通信接口宜采用RS-485或以太网，支持Modbus通信协议或IEC 60870-5-104通信协议。

5.3 结构与防护安全要求

结构与防护安全要求主要包括：

- a) 后备电源外壳应采用厚度不小于0.8mm的冷轧钢板或厚度不小于2 mm的阻燃材料，防护等级不应低于GB/T 4208规定的IP65；
- b) 后备电源内部应采用隔热阻燃材料（燃烧性能不低于GB/T 2408规定的V0级）进行填充；
- c) 后备电源以20A电流放电1min，其接线端子不应熔断，外观不得出现异常；
- d) 后备电源的接插件应符合GB/T 5095（所有部分）的规定；
- e) 后备电源宜采用支持快速插合和分离的电连接器。

5.4 电气安全要求

电气安全要求主要包括：

- a) 后备电源的额定电压宜采用直流24V或48V，应符合GB/T 35732—2025中6.2.5 b) 的规定；
- b) 后备电源在主电源失电后，应保证完成“分-合-分”操作并维持终端及通信模块至少运行4 h，应符合GB/T 35732—2025中8.4.2.1 a) 的规定；
- c) 后备电源的绝缘电阻在正常条件下不应小于5 MΩ（用250V兆欧表测量），在湿热条件下（40℃，93%RH，4 d）不应小于1MΩ；

- d) 后备电源的各带电回路与外壳之间应能承受500 V工频电压、持续1min的介质强度试验（按7. 15 进行），无击穿、无闪络，泄漏电流不应大于5mA。

5.5 电磁兼容要求

电磁兼容要求主要包括：

- a) 后备电源的电磁兼容要求应符合GB/T 35732—2025中第7章的规定；
- b) 静电放电抗扰度试验应按GB/T 17626. 2的规定进行，试验等级为3级（接触放电6kV，空气放电8kV），试验过程中及试验后后备电源应能正常工作；
- c) 射频电磁场辐射抗扰度试验应按GB/T 17626. 3的规定进行，试验等级为3级（10 V/m，80 MHz～2. 7 GHz），试验过程中及试验后后备电源应能正常工作；
- d) 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验应按GB/T 17626. 4的规定进行，试验等级为3级（电源端口2kV，信号端口1kV），试验过程中及试验后后备电源应能正常工作；
- e) 浪涌（冲击）抗扰度试验应按GB/T17626. 5的规定进行，试验等级为3级（线对地2kV，线对线1kV），试验过程中及试验后后备电源应能正常工作；
- f) 传导骚扰限值及辐射骚扰限值应符合YD/T 983的规定。

5.6 环境适应性要求

环境适应性要求主要包括：

- a) 后备电源应能在以下环境条件下正常工作：
 - 1) 环境温度：-40℃～+70℃（存储/运输）、-20℃～+55℃（运行）；
 - 2) 相对湿度：5%～95%（无凝露）；
 - 3) 大气压力：70kPa～106kPa。
- b) 后备电源应按7. 17进行环境适应性试验，试验后外观应无损坏，功能应正常；
- c) 对于沿海或高盐雾地区的应用，后备电源外壳应按GB/T 2423. 17进行盐雾试验，试验时间48 h，试验后外壳应无腐蚀，防护等级应保持不变。

6 试验条件

6.1 一般条件

- 6.1.1 除另有规定外，试验环境温度应为 15℃～35℃，相对湿度应为 25%～75%，大气压力应为 86kPa～106kPa。
- 6.1.2 试验前，应按制造商提供的充电方法将后备电源的 SOC 调整至 100%。
- 6.1.3 试验过程中的充放电方法及终止条件由制造商提供。

6.2 测量仪器、仪表准确度

测量仪器、仪表准确度应不低于以下要求：

- a) 电压测量装置：±0. 5% FS；
- b) 电流测量装置：±0. 5% FS；
- c) 温度测量装置：±1℃；
- d) 时间测量装置：±0. 1 s；
- e) 绝缘电阻测量装置：按GB/T34131—2023中7. 2. 5的规定。

7 检验方法

7.1 检验项目索引

表 2 检验项目索引

序号	检验项目	安全要求 条款	检验方法 条款	型式检验	出厂检验	到货检验
----	------	------------	------------	------	------	------

表 2 检验项目索引（续）

序号	检验项目	安全要求条款	检验方法条款	型式检验	出厂检验	到货检验
1	过充电保护	5.1.a)	7.3	●	●	—
2	过放电保护	5.1.b)	7.4	●	●	—
3	外部短路保护	5.1.c)	7.5	●	○	—
4	过温保护	5.1.d)	7.6	●	○	—
5	内部短路及外部明火	5.1.e)	7.7	●	—	—
6	壳体阻燃	5.1.f)	7.8	●	—	—
7	电池模块安全	5.1.g)	7.9	●	—	—
8	数据采集功能	5.2.a)	7.10	●	●	●
9	报警和保护功能	5.2.b)、 5.2.c)	7.11	●	●	●
10	均衡功能	5.2.d)	7.10/7.11	●	○	—
11	通信功能	5.2.e)	7.11	●	●	●
12	结构与防护	5.3	7.2	●	●	●
13	绝缘电阻（常温下）	5.4.c)	7.12/7.14	●	●	●
14	介质强度	5.4.d)	7.15	●	●	○
15	电磁兼容	5.5	7.16	●	○	—
16	环境适应性	5.6	7.17	●	—	—
17	容量检验	—	7.13	●	●	●

注：“●”表示必做项目，“○”表示选做项目，“—”表示不要求。

7.2 外观与结构检验

外观与结构检验方法如下：

- 目视检查后备电源壳体、指示灯、外部接口及接线端子，应完好、无锈蚀；
- 检查内部电芯品牌应与产品技术文件一致；
- 检查电芯间连接应采用镍片进行可靠焊接，焊接拉力应符合制造商技术文件要求；
- 检查外壳防护等级证明文件或按GB/T 4208的规定进行防护等级验证试验。

7.3 过充电保护试验

过充电保护试验方法如下：

- 试验对象为后备电源；
- 按制造商规定的方法将后备电源调整至正常工作范围的中间SOC（推荐50%SOC）；
- 使用外部充电设备以制造商规定的最大充电电流进行充电，直至BMS自动终止充电电流或发出终止充电信号。若BMS未在合理时间内终止充电，应在电池电压达到 manufacturer规定值的120%时人工停止试验；
- 试验后观察1h，应符合5.1.a)的要求。

7.4 过放电保护试验

过放电保护试验方法如下：

- 试验对象为后备电源；
- 按制造商规定的方法将后备电源调整至正常工作范围的较低SOC（推荐10%SOC）；
- 以制造商规定的稳定放电电流进行放电，直至BMS自动终止放电电流或发出终止放电信号；
- 试验后观察1h，应符合5.1.b)的要求。

7.5 外部短路保护试验

— 12 —

外部短路保护试验方法如下：

- 试验对象为后备电源，SOC调整至50%；
- 将后备电源的正负极端子用电阻不超过 $5\text{m}\Omega$ 的铜导线直接短路，持续至BMS终止短路电流或试验达到1h；
- 试验后观察1h，应符合5.1.c)的要求；
- 对于额定电流小于20A的后备电源，外部短路电阻可适当增大至 $10\text{m}\Omega$ ，具体值由制造商在产品技术文件中规定。

7.6 过温保护试验

过温保护试验方法如下：

- 试验对象为后备电源，SOC调整至50%；
- 将后备电源置于环境试验箱中，以 $(5\pm 2)^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温升速率升高环境温度，同时对后备电源进行0.5C充电和0.5C放电循环，直至BMS触发过温保护；
- 记录BMS触发过温保护的動作温度和响应时间；
- 试验后观察1h，应符合5.1.d)的要求。

7.7 内部短路及外部明火试验

内部短路及外部明火试验方法如下：

- 本试验适用于型式检验，由具备资质的试验机构按制造商提供的试验方案执行；
- 内部短路试验：按GB 38031中规定的方法（如针刺、机械挤压或镍铬丝加热）触发电池单体热失控，观察2h，电池组应不发生起火、爆炸，且热失控触发后5min内应发出明确报警信号；
- 外部明火试验：将后备电源置于通风橱中，用标准本生灯火焰（温度约 800°C ）直接灼烧电池组外壳5min，移开火焰后观察1h，电池组应不起火、不爆炸；
- 本试验具有一定的危险性，应在具备安全防护条件的专业试验场所进行。

7.8 壳体阻燃试验

壳体阻燃试验方法如下：

- 试验对象为后备电源壳体材料样品（厚度与实际壳体一致）；
- 按GB/T 2408规定的垂直燃烧试验方法（方法B）进行试验；
- 试验要求：燃烧速率不应大于 $75\text{mm}/\text{min}$ ，或满足V0级要求（即：单个试样火焰燃烧时间 $\leq 10\text{s}$ ，总燃烧时间 $\leq 50\text{s}$ ，无燃烧滴落物引燃脱脂棉）；
- 对于外壳为全金属材料的后备电源，本条要求不适用。

7.9 电池模组安全性试验

电池模组安全性试验方法如下：

- 按GB/T 35732—2025中8.4.2.3 d)规定的方法进行电池模块安全性试验；
- 试验项目应包括：过充电、过放电、短路、挤压、加热等，试验过程中及试验后电池模块应不起火、不爆炸。

7.10 数据采集试验

数据采集试验方法如下：

- 按照GB/T 34131—2023中7.4.1（电池电压）、7.4.2（电池组电流）、7.4.3（温度）的规定进行，试验结果应符合5.2.a)的要求；
- 电压采集误差应不超过 $\pm 0.5\%\text{FS}$ 或 $\pm 5\text{mV}$ （取较大值）；温度采集误差应不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；电流采集误差应不超过 $\pm 0.5\%\text{FS}$ 。

7.11 报警和保护试验

报警和保护试验方法如下：

- 按照GB/T 34131—2023中7.6的规定进行，试验结果应符合5.2.b)和5.2.c)的要求；

- b) 试验应验证以下报警功能：
- 1) 模拟单体过压/欠压，验证一级报警及保护动作；
 - 2) 模拟温度过高，验证一级报警及保护动作；
 - 3) 模拟绝缘电阻降低，验证绝缘电阻越限报警；
 - 4) 模拟通信中断，验证三级报警功能；
 - 5) 验证报警信息上传功能，确认报警等级、报警内容、时间戳等信息的正确性。

7.12 绝缘电阻检测试验

按照 GB/T 34131—2023 中 7.10 的规定进行，试验结果应符合 5.4.c) 的要求。

7.13 容量检验

容量检验方法如下：

- a) 在环境温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下，以后备电源标称容量的 0.2C 电流进行恒流放电；
- b) 放电至单体电芯电压达到制造商规定的放电终止电压（推荐值为 2.5V，由制造商在技术文件中明确）时停止放电；
- c) 记录放电时间，计算放电容量。放电容量不应低于标称容量的 80%；
- d) 对于容量衰减至标称容量 80% 以下的后备电源，应按 10.2.c) 的规定启动活化流程。

7.14 绝缘电阻试验

按附录 A 的规定进行，试验结果应符合 5.4.c) 的要求。

7.15 介质强度试验

介电强度试验方法如下：

- a) 将后备电源的所有带电端子短接后连接到耐压测试仪的高压端，外壳（地）连接到测试仪的低端（接地端）；
- b) 试验电压：500VAC，频率 50Hz；
- c) 升压方式：从 0V 开始，以不超过 500V/s 的速率匀速升高电压至 500V；
- d) 保持时间：施加 500 V 试验电压持续 1min；
- e) 试验过程中应无击穿、无闪络现象，泄漏电流不应大于 5mA；
- f) 试验后，后备电源的功能应正常。

7.16 电磁兼容试验

电磁兼容试验方法如下：

- a) 静电放电抗扰度试验：按 GB/T 17626.2 的规定进行，试验等级 3 级。试验过程中后备电源不应发生误动作，试验后功能应正常；
- b) 射频电磁场辐射抗扰度试验：按 GB/T 17626.3 的规定进行，试验等级 3 级（10V/m）。试验过程中后备电源不应发生误动作，试验后功能应正常；
- c) 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验：按 GB/T 17626.4 的规定进行，试验等级 3 级。试验过程中后备电源不应发生误动作，试验后功能应正常；
- d) 浪涌（冲击）抗扰度试验：按 GB/T 17626.5 的规定进行，试验等级 3 级。试验过程中后备电源不应发生损坏，试验后功能应正常；
- e) 传导骚扰和辐射骚扰试验：按 YD/T 983 的规定进行，测试结果应符合 YD/T 983 中 Class A 限值要求。

7.17 环境适应性试验

环境适应性试验方法如下：

- a) 高温运行试验：按 GB/T 24231.2 进行，将后备电源置于 $+55^{\circ}\text{C}$ 环境试验箱中，以 0.2C 电流进行充放电循环 2 h，功能应正常，外壳温度不应超过 70°C ；

- b) 低温运行试验：按GB/T 24231.1进行，将后备电源置于-20℃环境试验箱中，以0.2C电流进行充放电循环2 h，功能应正常；
- c) 湿热试验：按GB/T 2423.4规定的40℃/93%RH条件，持续4d，试验后绝缘电阻应符合5.4.3的要求，外观应无腐蚀、无凝露引起的绝缘下降；
- d) 温度变化试验：按GB/T 2423.22规定的方法Nb进行，高温+55℃、低温-20℃，转换时间不超过3min，循环次数5次，试验后外观及功能应正常；
- e) 盐雾试验（适用于沿海或高盐雾地区）：按GB/T 2423.17进行，试验时间48h，试验后外壳应无腐蚀，防护等级应保持不变。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验分类如下：

- a) 后备电源的检验分为型式检验、出厂检验和到货检验三类；
- b) 型式检验应按第7章及表2规定的全部项目进行，在下列情况下应进行型式检验：
 - 1) 新产品定型鉴定时；
 - 2) 正式生产后，如设计、工艺、关键材料（电芯、BMS芯片）有较大改变可能影响产品性能时；
 - 3) 产品停产超过一年恢复生产时；
 - 4) 正常生产每三年进行一次；
 - 5) 出厂检验结果与前次型式检验结果有较大差异时。
- c) 出厂检验应按表2中“出厂检验”规定的项目逐台进行，合格后方可出厂；
- d) 到货检验由使用单位在到货时组织进行，检验项目由供需双方在合同中约定，一般应包括外观检查、数据采集功能验证和容量抽检。

8.2 同一型式判定

8.2.1 同一型式判定由制造商和使用单位协商确定，同时满足以下条件的可视为同一型式：

- a) 电芯型号、规格及供应商不变；
- b) BMS 核心硬件（主控芯片、采集芯片）版本和关键保护参数不变；
- c) 电池组结构设计和热管理方案不变；
- d) 外壳材质、结构设计和防护等级不变。

8.2.2 变更主要安全相关部件（如电芯类型、BMS硬件版本、保护参数设定值）时，应重新进行型式检验。

8.3 判定规则

判定规则如下：

- a) 出厂检验项目全部合格，则判定该台产品出厂检验合格；
- b) 型式检验项目全部合格，则判定型式检验合格；
- c) 任一检验项目不合格时，应分析原因并进行整改，整改后可重新送检。重新检验时应对不合格项及可能受影响的相关项目进行复测；
- d) 安全项（5.1、5.4.c）、5.4.d）不合格即判定型式检验不合格，不允许复测。

9 标志、包装、运输和存储

9.1 标志

产品标志要求如下：

- a) 后备电源本体上应设置永久性铭牌，铭牌内容应包括：
 - 1) 产品名称、型号；
 - 2) 额定电压（V）、额定容量（Ah）；

- 3) 生产厂家名称及联系方式;
- 4) 生产日期及批次号;
- 5) 安全警告标志(如“禁止拆解”“高压危险”“可回收”等)。
- b) 铭牌应清晰、耐久,在正常运行条件下不应脱落或模糊不清。

9.2 包装

产品包装要求如下:

- a) 后备电源的包装应满足防潮、防震、防碰撞的要求,符合GB/T 191的规定;
- b) 包装箱内应附有产品合格证、使用说明书、出厂检验报告及必要的技术文件。

9.3 运输

产品运输要求如下:

- a) 装卸和运输过程中应避免剧烈震动、较大的外力冲击,禁止抛掷、翻滚、倒置、挤压以及过高的堆垛;
- b) 运输过程中要防止雨淋、暴晒和高温环境;
- c) 锂电池货物应遵守《危险货物道路运输安全管理办法》的相关规定。

9.4 存储

产品存储要求如下:

- a) 电池模组通常以30%~70%荷电状态储存,在环境温度为-5℃~50℃、相对湿度不大于90%的清洁、干燥、通风的室内,应避免与腐蚀性物质接触,应远离火源及热源;
- b) 从制造之日起,每贮存3个月应按制造厂家要求方法补充电,充电温度范围为0℃~50℃;
- c) 电池模组存储超过12个月时,应进行容量检测,确认容量不低于标称容量的80%后方可投入运行。

10 运行维护

10.1 日常巡视

日常巡视主要包括以下要求:

- a) 运行中的后备电源,应定期进行巡视检查(推荐周期不超过1个月);
- b) BMS运行状态指示灯显示正常,无故障报警;
- c) 外壳无裂纹、无变形、无漏液、无烟熏或起火迹象;
- d) 接线端子连接紧固,无氧化、无过热变色;
- e) 无异常声音、异常气味;
- f) 通过监控系统远程检查SOC、单体电压、温度等参数,应在正常范围内。

10.2 定期检测

定期检测主要包括以下要求:

- a) 容量检测:应定期对后备电源进行容量检测,定期远程核容测试每6个月开展一次,10小时率容量测试为基础测试方式;当测试结果显示电池容量衰减至标称值80%以下时立即触发运维告警;
- b) 深度放电核容测试:每年可开展一次100%深度放电核容测试,作为容量衰减评估的依据;
- c) 活化流程:当电池容量衰减至标称值90%以下或内阻增加至初始值150%时,自动启动活化流程;活化操作应按以下步骤进行:
 - 1) 以0.1C电流恒流充电至单体电压达到充电截止电压(推荐3.65V),静置30min;
 - 2) 以0.2C电流恒流放电至单体电压达到放电终止电压(推荐2.5V),静置30min;
 - 3) 重复1)和2)步骤,共2~3次;
 - 4) 最后一次放电容量与首次放电容量之比即为容量恢复率;活化后电池容量恢复率 $\geq 95\%$ 视为活化成功;

- 5) 活化后容量恢复率仍低于95%的电池，建议及时更换。
- d) 压差检查：放电结束后，BMS采集的单体电芯最大电压与最小电压的差值不应大于30mV；
- e) BMS报警及保护功能验证：应定期（不超过12个月）对BMS的报警和保护功能进行抽检验证，确保报警阈值和保护动作的准确性。

10.3 故障处理

10.3.1 当后备电源出现以下情况时，应立即退出运行并更换：

- a) BMS 充电回路或放电回路开路，导致无法正常充放电；
- b) 任何单体电芯电压低于 2.0V（深度过放）；
- c) BMS 发出绝缘电阻越限一级报警；
- d) 外壳出现可见变形、裂纹或漏液；
- e) 出现烟雾、异味或异常发热；
- f) BMS 通信功能持续丧失超过 24h 且无法恢复；
- g) 连续两次活化后容量恢复率仍不达标（<95%）。

10.3.2 故障诊断应按以下步骤进行：

- a) 按 7.13 进行容量检验，放电时间不足 10 min（按 0.2C 放电）的，判定为不合格；
- b) 放电结束后，按 10.2.d) 检查电芯压差，超差的判定为不合格；
- c) 检查 BMS 日志，确认是否存在一级报警记录。

10.4 应急处置

10.4.1 锂离子电池火灾危险性：磷酸铁锂电池在热失控时可能释放可燃气体（主要是氢气和一氧化碳），遇明火会发生燃烧。灭火时应使用大量水冷却电池，禁止关闭水源过早。

10.4.2 当发现后备电源出现冒烟、起火或疑似热失控迹象时，应立即采取以下应急措施：

- a) 迅速切断后备电源的上游供电回路（拉开上级开关或拔掉电源插头）；
- b) 疏散周边人员，设立警戒区域，禁止无关人员靠近；
- c) 使用大量水（首选）或水基灭火器进行灭火和冷却，禁止使用二氧化碳灭火器、干粉灭火器或泡沫灭火器（这些灭火剂无法有效冷却电池，可能导致复燃）；
- d) 如火势无法控制，立即拨打 119 报警，并告知火灾类型为“锂离子电池火灾”；
- e) 灭火过程中，灭火人员应佩戴正压式空气呼吸器，防止吸入有毒气体。

10.4.3 灭火后的处理：

- a) 起火的后备电源应在室外安全场所单独存放至少 24h，由专业人员处理；
- b) 禁止非专业人员拆解、触摸起火后的电池组；
- c) 处理后的废弃物（包括受损电池组）应按危险废物处置要求交有资质的单位处理，不得随意丢弃。

10.4.4 安装有后备电源的场站应配备适用于锂离子电池火灾的灭火器材（推荐水基灭火器，每组不少于2具），并定期检查其有效性（每半年检查一次）。

附录 A
(规范性)
绝缘电阻测试方法

A.1 试验条件

- A.1.1 试验环境温度为 15℃~35℃，相对湿度为 25%~75%。
- A.1.2 试验应在无电磁干扰、无强制对流空气的场所进行。

A.2 测试仪器要求

- A.2.1 绝缘电阻测试仪：输出电压 250 V DC，准确度不低于±5%读数。
- A.2.2 测试仪应定期校准，并在校准有效期内使用。

A.3 测试方法

- A.3.1 使后备电源处于正常接通状态（但不处于充电或放电状态）。
- A.3.2 将后备电源的所有外部端子用短接线连接在一起，作为测试端。
- A.3.3 将绝缘电阻测试仪的正极连接到测试端，负极连接到后备电源外壳（接地端）。
- A.3.4 开启绝缘电阻测试仪，设置测试电压为 250 V DC。
- A.3.5 施加电压时间应不小于 5 s，待读数稳定后记录测量值。
- A.3.6 将测试线极性反转（正极接外壳，负极接测试端），重复测量一次，取两次测量的较小值作为最终结果。
- A.3.7 试验结果应符合 5.4.3 的要求：正常条件下不应小于 5MΩ，湿热条件下不应小于 1MΩ。

A.4 湿热条件下的测量

- A.4.1 湿热条件测量应在环境试验箱中进行，按 GB/T 2423.4 规定的 40℃/93%RH 条件持续 4 d 后，在不取出试样的情况下立即进行绝缘电阻测量。
 - A.4.2 测量方法按 A.3 的规定执行。
-

配电自动化终端用磷酸铁锂直流后备电源 安全技术要求

（征求意见稿）

编 制 说 明

目 次

1	目的意义	1
2	任务来源	1
3	编制过程	1
4	主要内容及技术指标确立	1
5	重大分歧意见的处理过程和依据	2
6	与相关法律法规和标准的关系	2
7	推广实施建议	3
8	起草单位和起草人员信息及分工	4

1 目的意义

后备电源是支撑配电自动化不间断工作的关键保障单元，当前以铅酸电池为主的后备电源因为“寿命短、可靠性低、环境适应性差和状态无法准确监控、维护成本高”的问题，已经无法满足智慧配电网对配电自动化设备后备电源高可靠性和智能化的要求。江苏、福建和安徽等多个省份已经开始在配电自动化设备后备电源中应用磷酸铁锂电池技术。本项目针对磷酸铁锂电池在电网运行中可能存在的安全性和日常运维等问题，彻底杜绝因为锂电池起火引发的安全事故，同时对锂电池的运行状态进行监控，避免黑盒运行，提前发现隐患，从而大幅提升电力系统磷酸铁锂后备电源的安全性、可靠性和免维护能力，实现主动运维和精准运维，从而提升电力系统的供电可靠性，降低后备电源的全生命周期投资，为磷酸铁锂电池技术的安全应用提供了相应标准。

2 任务来源

本文件是根据江苏省电机工程学会下达的《江苏省电机工程学会关于印发“江苏省电机工程学会 2025 年第一批标准计划”的通知》（苏电机学会〔2025〕17 号）的要求进行编制的。该项目在《江苏省电机工程学会 2025 年第一批团体标准计划项目表》中列为第 3 项，标准名称确定为《配网设备磷酸铁锂直流后备电源安全技术要求及运行维护规范》，属于团体标准制定计划，编制周期为 2025 年 4 月至 2026 年 4 月。本文件由国网江苏省电力有限公司江苏思极科技服务有限公司提出立项申请并牵头组建起草工作组，旨在通过磷酸铁锂电池技术应用电力配网设备提供了相应的安全要求和运维规范，解决当前后备电源运维痛点，适应智能配电网发展需求。

3 编制过程

2025 年 4 月 25 日正式立项。

2025 年 5-10 月由国网江苏思极科技服务有限公司牵头组织成立《配网设备磷酸铁锂直流后备电源安全技术要求及运行维护规范》团体标准起草组。标准起草组成立后，成员按照分工，分别开展了相关资料的收集分析和调研工作，在汲取现有工作经验成果并充分学习借鉴其它地方和行业标准化工作优秀案例的基础上，经起草组反复推敲、讨论、修改、完善，于 2025 年 10 月初步形成了立项草案。

2025 年 11-12 月内部研讨和实验验证。

2026 年 5 月中期评估，征求意见。

4 主要内容及技术指标确立

4.1 主要内容

本规范共分为 10 个章节，核心内容包括：

范围：明确规范适用于国家电网有限公司范围内配电自动化馈线终端、站所终端、站所配置磷酸铁锂电池作为直流系统后备电源的规划、设计、采购、建设（或改造）、运维、验收和检测等工作。

规范性引用文件：列出规范编制过程中参考的国家标准、行业标准，确保规范内容的合规性与协调性。

术语和定义：界定配网设备、直流电源系统、磷酸铁锂电池、电池单体、电池模块、电池管理系统等关键术语的含义，统一表述口径。

符号和缩略语：明确 BMS 等常用缩略语的定义，便于规范的理解与执行。

安全要求：明确包括电池组、电池管理系统、结构与防护、电气、电磁兼容、环境适应性等安全要求。

试验条件：界定包括锂电池检测的一般条件和测量仪器仪表准确度。

检验方法：明确锂电池检验的各项项目要求

检验规则：界定检验分类和同一型式判定和判定规则等相关内容。

标志、包装、运输和储存：界定包括标志、包装、运输和、运输储存和安装要求。

运维维护：包括维护工作涉及的日常巡视、定期检测、故障处理和应急处置。

4.2 主要技术指标确立

本文件的技术指标均依托国家标准（GB/GB/T）、行业标准（YD/T）、中国电力企业联合会团标（T/CEC）、国际标准（IEC）制定，部分指标结合配网设备实际应用场景进行细化。本文件的技术指标既遵循现有国家、行业、企业标准的通用要求，又结合配网设备磷酸铁锂直流后备电源的现场应用场景（如终端运行功耗、户外/极端环境、运维实操性）进行了针对性细化（如容量适配要求、现场快速检测方法、运维安全规范），确保指标的合规性、实用性和安全性。

5 重大分歧意见的处理过程和依据

本文件编制过程中，起草组广泛征求参编单位、行业专家及设备运维方意见，共形成 2 项重大技术分歧，起草组通过现场调研、数据收集分析、专题专家论证、结合现行国家标准/行业标准要求的方式，对分歧意见进行充分研讨并形成统一结论，具体处理过程和依据如下：

5.1 关于远程核容测试周期的分歧

5.1.1 分歧意见

参编单位对磷酸铁锂直流后备电源的远程核容测试周期形成两种不同意见：

意见一：建议远程核容测试周期设定为每 3 个月一次，通过高频次核容及时验证电池实际容量，提前发现容量衰减隐患，保障后备电源可靠性；

意见二：建议远程核容测试周期设定为每 6 个月一次，认为磷酸铁锂电池存在充放电循环寿命限制，过于频繁的核容测试会增加电池充放电次数，加速电池容量衰减，缩短设备整体使用寿命，同时增加运维成本。

5.1.2 处理过程及依据

起草组针对上述分歧开展专项工作：首先收集配网磷酸铁锂后备电源在不同核容周期下的容量衰减实测数据、运维成本统计资料及设备故障案例；其次结合 DL/T637-2019《电力用阀控式铅酸蓄电池运行维护规程》中“铅酸蓄电池每 6 个月进行一次容量测试”的现行行业规范要求，组织电网运维单位、电池设备厂家、电力行业专家开展专题论证会，综合评估核容周期对电池寿命、运维效果及成本的影响。

经论证，起草组形成统一结论：定期远程核容测试每 6 个月开展一次，10 小时率容量测试为基础测试方式，当测试结果显示电池容量衰减至标称值 80%以下时立即触发运维告警，可在兼顾运维效率的前提下及时发现容量衰减问题；同时补充每年开展一次 100%深度放电核容测试，通过深度放电消除电池极板硫酸盐化问题，实现“容量验证+电池维护”双重目标，既避免高频核容对电池的过度损耗，又能保障后备电源长期运行性能。该结论已纳入标准运维规程章节，明确了不同核容方式的周期、测试方法及告警阈值。

6 与相关法律法规和标准的关系

本文件的编制严格遵循国家相关法律法规要求，与现行国家标准、行业标准、电力企业标准无重复、无矛盾，同时严格贯彻“有标采标、无标制标”的编制原则，对通用技术指标直接引用现行标准，对配网设备磷酸铁锂直流后备电源的特有应用场景制定针对性技术要求，填补了行业标准空白，与现有相关标准形成有效互补。

6.1 与现行标准的引用关系

- a) 基础试验方法：引用GB/T 7261《继电保护和安全自动装置基本试验方法》，作为配网磷酸铁锂后备电源各项性能试验的通用方法依据；
- b) 通信协议：引用GB/T 19582《基于Modbus协议的工业自动化网络规范》，统一后备电源在线监测系统的通信接口及协议标准；
- c) 电池管理技术：引用DL/T 2226《电力用阀控式铅酸蓄电池组在线监测系统技术条件》、GB/T 34131《电化学储能电站用锂离子电池管理系统技术规范》，明确电池管理系统（BMS）的功能、监测指标及技术要求。

6.2 与现有相关标准的关联与差异

本文件与 DL/T 724《电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程》、DL/T 2226《电力用阀控式铅酸蓄电池组在线监测系统技术条件》等现有电力蓄电池相关标准存在技术关联，但应用场景、技术侧重点、运维模式存在显著差异，具体如下：

- a) 应用场景差异：现有标准主要针对变电站、发电厂等室内、恒温、大容量的站用直流电源系统，而本文件聚焦配电自动化终端（DTU/FTU）配套的磷酸铁锂直流后备电源，该类设备具有容量小（12Ah~40Ah）、分布广、运行环境恶劣（户外/高温/高湿）、现场维护难度大的特点，是现有标准的补充和细化；
- b) 技术侧重点差异：现有标准多关注蓄电池直流电源系统的基础监测、事后维修，而本文件针对性提出适应户外严酷环境的在线巡检装置技术要求，破解配网末端设备运维“盲管”难题；
- c) 运维模式差异：本文件创新性引入远程核容和主动运维机制，明确通过在线巡检装置开展定期短时放电核容、远程深度核容的技术流程，实现从传统“人工现场周期巡检”向“远程自动巡检+缺陷工单驱动”的运维模式转变，大幅提升配网后备电源运维效率。

6.3 本文件的创新点与标准空白填补

本文件在现有标准体系基础上，结合配网设备磷酸铁锂直流后备电源的实际应用需求，实现三项核心创新，填补了行业特定场景的标准空白：

- a) 明确户外恶劣环境适配要求：针对配网后备电源的户外运行特点，细化设备环境适应性、防护等级、耐候性等技术指标，填补了户外小容量磷酸铁锂后备电源安全技术要求的行业标准空白。
- b) 综上，本文件是对现有电力蓄电池直流电源相关标准体系的完善和补充，与现行标准协调一致、各有侧重，共同构成覆盖电力系统不同场景的蓄电池直流电源安全技术及运维标准体系。

7 推广实施建议

7.1 培训宣贯

组织开展规范宣贯培训活动，邀请规范起草专家对各省市电力公司、运维单位、设备厂家的技术人员及管理人员进行培训，解读规范的核心内容、技术指标及实施要点，确保相关人员准确理解和掌握规范要求。

编制规范解读手册、操作指南及培训课件，通过线上学习平台（如电力行业培训网站、企业内部学习系统）提供资源共享，方便相关人员随时学习查阅。

7.2 试点应用

选择城市核心区、郊区等不同负荷场景的配电自动化终端开展规范试点应用，按照规范规定对锂电池巡检内容、周期及管理流程开展运维工作，积累实践经验。

建立试点应用跟踪评估机制，定期收集试点站点的运行数据、健康度评估结果、异常处理情况等信息，分析规范实施效果，总结存在的问题并提出优化建议，为规范的全面推广奠定基础。

7.3 行业推广

借助江苏省电机工程学会的平台优势，在行业内举办规范应用交流会，分享试点应用经验，推广先进的运维模式与技术方案，扩大规范的影响力。

建议将本规范纳入电力行业相关运维管理工作的考核评价体系，推动各单位积极贯彻执行规范要求，实现配电自动化终端直流后备电源的标准化、规范化管理。

8 起草单位和起草人员信息及分工

起草单位和起草人分工见表 1。

表 1 主要起草人分工表

序号	主要起草人员	工作单位	职务职称	项目分工
1	王海	江苏思极科技服务有限公司	高级工程师	项目总负责人，统筹规范编制全流程，搭建标准整体框架结构，审核全文技术内容与逻辑体系，协调解决编制过程中的重大问题
2	朱卫平	国网江苏省电力有限公司	高级工程师	负责标准全章节技术内容编写、合稿与统稿，统筹征求意见阶段的意见收集、梳理及修改完善工作，把控技术指标与配网运维实际需求的适配性
3	肖为健	江苏思极科技服务有限公司	高级工程师	负责项目整体规划与组织协调，制定编制进度计划，推进各参编单位分工落地，对接江苏省电机工程学会完成申报、审查等对接工作
4	史明明	国网江苏省电力有限公司南京供电分公司	正高级工程师	参与“技术要求”章节起草，重点完善电池系统保护、自诊断功能要求，补充南京地区配网锂电池现场应用故障案例与防控措施
5	奚巍民	江苏思极科技服务有限公司	高级工程师	负责“运维规程”章节核心内容起草，明确磷酸铁锂电池维护基本原则、日常维护内容及检修流程，制定不同健康状态下的运维策略
6	丁正阳	江苏思极科技服务有限公司	高级工程师	负责“基本参数”章节起草，界定配网磷酸铁锂电池电压等级、额定容量、工作环境等核心参数，验证参数与 FTU/DTU 终端的适配性
7	邵明驰	江苏思极科技服务有限公司	高级工程师	负责“现场检测方法”及“储运要求”章节起草，制定外观、充放电、焊接工艺等检测标准，明确电池运输、储存、安装的安全技术要求
8	杨启明	国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司	高级工程师	负责“规范性引用文件”“术语和定义”章节起草，梳理国标、行标及企标，统一“磷酸铁锂电池”“电池管理系统”等核心术语表述
9	戴健	国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司	高级工程师	协助完善“现场检测方法”章节，补充无锡地区配网锂电池现场快速检测实操要点，优化检测流程的安全性与便捷性
10	朱睿	国网江苏省电力有限公司电力科学研究院	高级工程师	负责技术指标的科学性验证，通过试验分析磷酸铁锂电池在配网户外环境下的性能特性，为技术要求制定提供试验数据支撑

表 1 主要起草人分工表（续）

序号	主要起草人员	工作单位	职务职称	项目分工
11	王曙宁	国网江苏省电力有限公司常州供电分公司	高级工程师	结合安徽地区配网运维需求，协助优化“运维规程”章节，补充皖南、皖北不同区域的锂电池运维差异化要求
12	吴凯	国网安徽省电力有限公司	高级工程师	提供安徽地区磷酸铁锂电池试点应用数据，协助完善“异常处理”相关条款，补充高湿、低温环境下的电池运维防控措施
13	罗翔	国网福建省电力有限公司电力科学研究院	高级工程师	参与电池安全技术要求论证，结合沿海高盐雾环境特性，补充电池防腐、绝缘等特殊安全要求，优化电池结构设计条款
14	周力	国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司	高级工程师	协助编制现场检测作业相关附件，补充检测过程中的风险预控措施，审核检测步骤的逻辑性、安全性与实操性
15	胡金峰	国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司	高级工程师	参与“技术要求”章节本地化验证，补充无锡地区箱式 DTU/FTU 锂电池设备的环境适配建议，优化电磁干扰防护要求
16	陈建坤	国网江苏省电力有限公司南京供电分公司	高级工程师	提供南京城区核心配网锂电池应用案例，协助完善“安全要求”章节，补充密集负荷场景下的电池防火、散热技术要求
17	赵晔	国网安徽省电力有限公司合肥供电分公司	高级工程师	结合合肥城区配网特点，协助完善“现场检测方法”，补充城市核心区配网终端锂电池的快速检测与验收标准
18	刘洋	国网江苏省电力有限公司	高级工程师	统筹全省配网磷酸铁锂电池应用需求，从管理层面提出规范技术方向建议，协调省内各地市数据资源支撑标准编制
19	戴欢	国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司	高级工程师	协助完善“储运要求”章节，补充锂电池运输、仓储过程中的温湿度控制、防碰撞等实操要求，制定储运过程的安全规范
20	陈荣	国网福建省电力有限公司厦门供电分公司	高级工程师	提供站房后备电源技术和运维要求
21	温绍林	福建和盛高科技产业有限公司	高级工程师	确保标准要求与产品实际生产能力匹配
22	汪逸帆	国网福建省电力有限公司福州供电分公司	高级工程师	提供环网柜后备电池技术要求，现网电源模块参数等
23	赵子宁	国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司	高级工程师	参与编制过程中的重大技术分歧论证，重点审核远程核容、活化操作等核心条款，确保技术要求的合理性与落地性
24	郭凤泽	湖南湘源微能电力科技有限公司	高级工程师	提供锂电池管理系统（BMS）技术方案，协助完善 BMS 功能要求与通信协议，优化电池状态监测与数据交互条款
25	操瑞青	国网福建省电力有限公司三明供电分公司	工程师	协助整理锂电池应用技术资料，参与规范附录编制，绘制电池检测、安装相关示意图，完善标准技术支撑材料

团 体 标 准

T/JSEE 00X-XXXX

输变电工程软土地基原位固化技术规范

Technical specification for in-situ solidification of soft soils in transmission and
transformation projects
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电机工程学会 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 基本规定 2

5 设计 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 固化材料设计 2

 5.3 原位固化浅层处理 4

 5.4 原位固化硬壳层-桩体复合地基 5

6 施工 5

 6.1 一般规定 5

 6.2 施工准备 5

 6.3 施工设备 6

 6.4 施工工艺 6

 6.5 质量控制 7

7 验收 8

 7.1 一般规定 8

 7.2 原位固化浅层处理 8

 7.3 原位固化硬壳层-桩体复合地基 9

附录 A （规范性）原位固化硬壳层双层地基表面承载力计算 10

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分 标准化文件的的结构和起草规则》的规定起草。

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。

本文件由江苏省电机工程学会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司经济技术研究院、东南大学、江苏兴力工程管理有限公司、国网江苏省电力有限公司、江苏省电力公司送变电公司。

本文件主要起草人：王旭、范忠、黄峥、吴静云、储方舟、栾阳、刘浩、黎冰、石梁、戴阳、穆腾飞、朱建民、朱晶晶、刘益平、陆伟刚、戴如章、石晗、姚丽娟、丁静鹄、王俊、鄢博、陈俊杰、戚文、陈红、张建峰。

输变电工程软土地基原位固化技术规范

1 范围

本文件规定了输变电工程建设中软土地基原位固化的设计、施工与验收的技术要求。
本文件适用于输变电工程软土地基原位固化技术的设计、施工与验收。

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 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 176 水泥化学分析方法
GB/T 1345 水泥细度检验方法
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB 5085.3 危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别
GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB 50007-2011 建筑地基基础设计规范
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB/T 50123 土工试验方法标准
GB 55003 建筑与市政地基基础通用规范
DL/T 5024-2020 电力工程地基处理技术规程
JC/T 479 建筑生石灰
JC/T 681 行星式水泥胶砂搅拌机
JGJ 79 建筑地基处理技术规范
JTG/T D31-02-2013 公路软土地基路堤设计与施工技术细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

原位固化技术 in-situ solidification technique

利用固化剂采用原位固化设备对软土进行固化处理，使土体达到一定强度和其它使用要求，实现土体原位利用和满足地基处理要求的技术。

3.2

原位固化系统 in-situ solidification system

由强力搅拌头、挖掘机、固化材料自动供料系统、储料装置及控制系统等组成的原位固化成套设备系统。

3.3

强力搅拌头 power mixing head

通过挖掘机液压系统驱动，实现三维搅拌，保证固化材料与软土地基中的软土实现强力均匀搅拌的专用设备。

3.4

软土 soft clay 天然孔隙比大于或等于 1.0、天然含水量大于液限、具有高压缩性、低强度，高灵敏度、低透水性和高流变性，且在较大地震力作用下可能出现震陷的细粒土，包括淤泥、淤泥质土等。

[来源：JGJ 83-2011, 2.1.1, 有修改]

3.5

原位固化浅层处理 in-situ shallow solidification

对地表层深度一般不超过 5m 的软弱土体进行原位固化处理的一种浅层处理方法。

3.6

原位固化硬壳层 in-situ solidification hard crust

利用原位固化技术处理软土地基，形成具有一定厚度和强度的人工硬壳层。

3.7

原位固化硬壳层双层地基 double-layered ground of in-situ solidification hard crust

原位固化硬壳层与下卧软土层形成的双层地基。

3.8

硬壳层-桩体复合地基 hard crust-pile composite foundation

原位固化硬壳层与刚（或柔）性桩竖向增强体共同承担荷载的人工复合地基。

3.9

原体试验 prototype test

为满足地基处理设计和施工需要，在代表性场地进行的实体试验。

[来源：DL/T 5024-2020, 2.1.10]

4 基本规定

4.1 软土地基原位固化技术应根据上部荷载、土质条件、地下水特征、工程特性、施工条件、环境情况和经济效益等进行综合比较，合理确定固化方案。

4.2 新建输变电工程软土地基原位固化处理前应进行原体试验。当建设场地对拟采用地基处理方案有成熟经验或在前期进行过同类型的原体试验的电力工程的扩建、改建工程可不进行原体试验；对于扩建工程，当场地或工程条件有较大变化时，宜进行地基处理原体试验。

4.3 施工阶段实际地质情况与地勘报告不符时，应及时联系勘察单位进行重新勘察，设计单位应根据新的勘察结果进行动态设计，修正设计方案。

4.4 原位固化设计与施工应符合现行国家和行业有关技术要求、环境保护、安全生产与消防等方面的规定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 软土地基原位固化设计应满足地基承载力、沉降和稳定性的要求，并应符合 GB 55003、GB 50007 和 DL/T 5024 的规定。

5.1.2 固化材料设计应结合当地原材料情况、软土性质、地下水位，根据相关工程经验或采用室内配合比设计确定。固化处理后，土体无侧限抗压强度应满足工程需求。

5.1.3 基于原位固化技术的处理方案包括原位固化浅层处理和原位固化硬壳层-桩体复合地基两大类，应根据构筑物对地基的要求及场地地基条件进行综合分析，确定加固方法和范围。

5.2 固化材料与配合比设计

- 5.2.1 固化材料与配合比设计包括固化剂、外加剂的选择与配合比设计。
- 5.2.2 输变电工程软土地基原位固化处理中，固化剂宜采用无机类材料。当固化剂采用无机类材料时，应符合下列规定：
- a) 水泥应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不应低于 42.5 级，并符合 GB 175 的相关规定，且不同等级、厂牌、品种及出厂日期的水泥不得混用；
 - b) 石灰应选用生石灰粉，其氧化钙和氧化镁总量不应小于 75%，并符合 JC/T 479 中的有关规定；
 - c) 粉煤灰等级应大于 II 级，并符合 GB/T 1596 中的有关规定；
 - d) 粒化高炉矿渣粉（简称：矿渣粉）不应低于 S95 级，并符合 GB/T 18046 中的有关规定；
 - e) 工业废渣作为固化材料使用时，其浸出液中可溶性重金属离子含量最大值应符合 GB 5085.3 的有关规定。
- 5.2.3 外加剂包括早强剂、缓凝剂、减水剂及稳定剂等，其技术要求应符合 GB 50119 中的有关规定。
- 5.2.4 根据地基承载力设计要求，依据附录 A 中关于承载力计算的公式反算得出固化处理后土体的无侧限抗压强度要求，并根据式（1）估算室内固化土试样的无侧限抗压强度，进而开展室内配合比试验。

$$f_u = \eta f_{cu} \tag{1}$$

式中：

- f_u ——固化处理后土体的 90d 无侧限抗压强度（kPa）；
- η ——强度折减系数，一般取 0.60-0.85，加固深度小、搅拌均匀程度高时取大值；
- f_{cu} ——与现场原位固化配合比相同的室内固化土试样，在标准养护条件下的 90d 无侧限抗压强度（kPa）。

- 5.2.5 固化材料室内配合比试验应按下列步骤进行：
- a) 对原状土进行取样试验，明确土体含水率、液塑限、湿密度、压缩模量及有机质含量等指标，如有特殊要求应增加其他相关指标测试；
 - b) 根据原状土种类和性质，确定固化材料类型，按无侧限抗压强度设计要求确定固化材料基准掺量；
 - c) 配合比试验应至少采用三组，其中一组配合比为基准值，另外两组配合比在基准值的基础上分别增加和减少 1%~2%的固化材料用量；
 - d) 完成无侧限抗压强度测试，并进行配合比调整与确定。
- 5.2.6 室内配合比试验宜采用干法拌制，在没有相关工程经验的情况下，固化材料类型及基准掺量可按表 1 进行选取。

表 1 固化材料推荐掺量

28d	原状土含水率									
无侧限抗压强度 (kPa)	50%		60%		70%		80%		90%	
	固化材料掺量质量百分数（%）									
	水泥	其它固化材料	水泥	其它固化材料	水泥	其它固化材料	水泥	其它固化材料	水泥	其它固化材料
50	1.5	2~3	2	1~2	2	3~5	3	1~3	4	1~2
80	2	2~3	3	0~1	3	1~3	4	1~3	5	0~1
100	2	3~4	3	1~2	3	3~5	4	3~5	5	1~4
130	3	0~2	3	3~4	4	0~2	5	0~1	5	4~5
160	3	2~4	4	0~2	4	2~3	5	2~3	6	0~2
200	3	5~6	4	2~4	4	4~6	5	4~6	6	3~4

注：

- 1 固化材料掺量=固化材料质量/原状土质量，其它固化材料指石灰、粉煤灰、矿渣粉或土壤固化剂等；
- 2 当原状土的有机质含量大于 5%时，应添加石灰，或将水泥改为石灰，或添加部分有机固化剂，具体的固化材料类型及掺量应根据试验确定。有机质含量超过 10%的土，应做清除废弃处置；
- 3 固化剂材料设计时，各原材料掺量应采用原状土质量的百分比表示。

5.2.7 室内配合比试验应采用机械搅拌，搅拌机可参照 JC/T 681 规定进行选择。

5.2.7.1 当采用干法拌制时，应符合下列规定：

- a) 将风干土与固化材料混合均匀后，再加水搅拌至均匀，加水量应使拌合后固化土含水率与原状土保持一致；
- b) 拌合水可一次加入，也可逐次加入，当逐次加入时，应逐次拌和 1min，且从加水至搅拌结束，搅拌时间不应少于 10min，且不应超过 20min；
- c) 试样成型、养护及测试应符合 GB/T 50123 中相关规定执行。

5.2.7.2 当采用湿法拌制时，水灰比宜取 0.5~0.9，且水泥掺量应在表 1 的基础上增加 1%。

5.2.8 以无侧限抗压强度为指标，根据不同工程的设计要求和实测结果对固化材料配合比进行调整，宜选择符合设计要求且经济性好的配合比。

5.3 原位固化浅层处理

5.3.1 当场硬壳层厚度小于 1.5m 且下卧软土层厚度小于 5.0m 时，宜采用原位固化浅层处理的方式进行地基加固。

5.3.2 浅层固化处理深度根据地基承载力要求进行计算，并结合经济性综合考虑确定。

5.3.3 原位固化浅层处理的固化材料设计应按照本文件 5.2 节要求进行。

5.3.4 原位固化浅层处理软土地基的深度宜为 0.8m~5.0m，其应根据软土厚度、固化硬壳层表面及下卧层的承载力确定，并应符合式（2）的要求：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (2)$$

式中：

p_z ——相应于荷载效应标准组合时，固化层底面处的附加应力（kPa）；

p_{cz} ——固化层底面处的自重应力（kPa）；

f_{az} ——固化层底面处经深度修正后的下卧层承载力特征值（kPa）。

5.3.5 采用原位固化浅层处理时，应对原位固化硬壳层表面承载力与下卧层承载力进行计算，并应符合下列规定：

- a) 初步设计阶段，可采用太沙基公式对原位固化硬壳层表面承载力进行验算，按均质地基考虑，计算时将原位固化加固区及加固区以下土层参数根据荷载影响深度计算加权平均值，具体计算方法按 GB 50007 的有关规定执行；
- b) 施工图设计阶段，原位固化硬壳层表面承载力应通过现场载荷试验确定；
- a)
- b)
- c) 原位固化浅层处理软土地基需对下卧层承载力进行验算，固化层底面处的附加应力应依据应力扩散理论进行，具体按式（3）或式（4）进行计算：

条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (3)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{lb(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (4)$$

式中：

b ——矩形基础或条形基础底边的宽度（m）；

l ——矩形基础底边的长度（m）；

p_k ——相应于荷载效应标准组合时，荷载底面处的平均压力设计值（kPa）；

p_c ——荷载底面处的自重应力（kPa）；

z ——固化层的厚度 (m)；

θ ——压力扩散角 (°)，取 $25^\circ \sim 45^\circ$ ，当水泥土无侧限抗压强度在 $0.1\text{MPa} \sim 2.0\text{MPa}$ 之间时可内插求得；

d) 原位固化浅层处理软土地基承载力计算时，应取原位固化硬壳层表面承载力和下卧层承载力的安全系数较小值进行设计验算。

5.3.6 原位固化浅层处理软土地基每边宜超出基础底面边缘 $0.5\text{m} \sim 2.0\text{m}$ ，且处理宽度应满足应力扩散的要求，按式 (5) 计算确定。

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \quad (5)$$

式中：

b' ——固化层底面宽度 (m)。

5.3.7 原位固化浅层处理软土地基时沉降应符合设计要求，沉降计算包括原位固化加固区与原位固化硬壳层下部土层压缩量两部分，具体计算应符合下列规定：

a) 原位固化加固区变形仅考虑其自身的压缩变形，可根据固化土体的压缩模量进行计算；

b) 原位固化硬壳层下各土层压缩变形之和采用分层总和法计算，可按 GB 50007-2011 5.3.5 节计算。

5.3.8 原位固化浅层处理软土地基时，稳定性分析可采用圆弧滑动法进行，可按 JTG/T D31-02-2013 4.2 节计算。

5.4 原位固化硬壳层-桩体复合地基

5.4.1 原位固化硬壳层-桩体复合地基的桩体类型主要分为刚性桩复合地基和柔性桩复合地基两大类。

5.4.2 原位固化硬壳层-桩体复合地基应结合软土层厚度及其性状指标等情况，根据沉降和稳定控制标准，合理确定原位固化硬壳层的加固厚度和刚（柔）性桩类型。

5.4.3 原位固化硬壳层-桩体复合地基的硬壳层厚度应满足桩体施工操作和应力扩散的要求，宜在 $0.8\text{m} \sim 3.0\text{m}$ 之间进行选取。

5.4.4 原位固化设计前固化土应进行室内配合比试验，具体要求应符合本文件 5.2 节的规定。

5.4.5 刚（柔）性桩桩体材料、桩体平面布置、桩长的确定以及桩帽的设计要求宜按照 JGJ 79 中的相关规定进行。

5.4.6 原位固化硬壳层-桩体复合地基承载力验算按照 JGJ 79 中的相关规定进行，其中桩顶及桩间硬壳层底部附加应力计算可采用应力扩散法确定。

5.4.7 原位固化硬壳层-柔性桩复合地基按照加固区沉降量和加固区下卧层沉降量进行计算；原位固化硬壳层-刚性桩复合地基按桩身压缩量、桩端平面以下沉降量以及桩端刺入量进行计算。

5.4.8 原位固化硬壳层-桩体复合地基整体稳定性分析可根据圆弧滑动法进行验算。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 采用原位固化技术施工前，应编制专项施工组织设计方案，并采取合适的施工工艺和环保措施。

6.1.2 固化材料的存储与运输应符合相关规定，并提供质保单，实际施工用固化材料应与室内试验用固化材料类型完全一致。

6.1.3 原位固化系统中机械设备及相应型号的选择，应根据工程规模、设计要求、施工条件与环境条件综合确定。

6.1.4 施工前应选取典型场地位置进行原位固化试验，原位固化试验面积不小于 30m^2 ，通过试验现场验证、调整并确定最佳配合比、施工方法、施工设备参数和施工工艺。

6.1.5 采用原位固化硬壳层-桩体复合地基时，应进行成桩工艺和成桩强度试验，当成桩质量不符合设计要求时，应在调整设计与施工有关参数后，重新进行试验。

6.2 施工准备

6.2.1 施工前，应收集下列资料：

a) 拟处理区域的岩土工程勘察报告；

b) 原位固化工程设计施工图；

c) 原位固化工程施工组织设计；

- d) 拟处理区域和邻近区域内的环境条件，必要时还需提供固化材料对环境影响相关报告等调查资料；
- e) 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料。

6.2.2 施工前应结合工程的主要特点，调查输变电工程周边交通条件和场地环境，并完成料场、设备场地及施工便道等建设。

6.2.3 施工前应完成固化材料施工配合比及施工工艺验证，具体应按下列规定进行：

- a) 根据施工图设计要求，按照本文件 5.2 节规定进行固化材料配合比室内试验；
- b) 依据本文件 5.2 节的规定，按确定的最佳室内配合比进行现场试搅和工艺试验，并对固化土进行相应的试验检测，各项技术指标应符合设计要求；
- c) 基于原位固化试验结果，确定最终的固化材料施工配合比和施工工艺，为实际施工提供技术依据。

6.3 施工设备

6.3.1 原位固化系统的主要设备功能与技术参数应符合下列要求：

- a) 强力搅拌头应有 2 个及以上且按一定角度对称分布在连接杆和喷嘴的两侧，通过挖掘机液压系统驱动实现三维搅拌，转动方向为横向转动，搅拌头转速在 50r/min~120r/min，搅拌头连接杆的悬臂长度为 3.0m~7.0m；
- b) 挖掘机用于提供搅拌头搅拌与移动时的动力，根据所用强力搅拌头尺寸来适配挖掘机动力，以保证搅拌头液压驱动力和搅拌的稳定性；
- c) 采用干粉施工时，自动供料系统供料压力不应小于 0.8MPa，采用湿法施工时，自动供料系统供料压力不应小于 3MPa；
- d) 强力搅拌头宜具备定位系统，保证固化范围内的搅拌全覆盖，避免漏搅。

6.4 施工工艺

6.4.1 原位固化浅层处理软土地基的施工过程中，施工工艺符合下列规定：

- a) 施工前应按设计要求进行现场施工放样，并完成清表、排水及回填找平等场地准备工作；
- b) 对固化区域进行分块固化处理，区块大小宜取 10m²~30m²，区块尺寸宜取 5.0m×5.0m 或 5.0m×6.0m；
- c) 根据试验确定的固化材料施工配合比及固化区块处理范围，确定各固化区块的固化材料用量，采用固化材料供料系统设置固化材料供料速率，喷料速度控制在 100kg/min~200kg/min（粉剂）和 80kg/min~150kg/min（浆剂）；
- d) 采用强力搅拌头按垂直上下搅拌并喷射固化材料的方式实现软土地基的原位拌合固化，每个搅拌位置上下搅拌次数不应小于 2 次，强力搅拌头在土体中提升或下降的速率应控制在 0.05m/s~0.1m/s，且各固化区块间的复搅搭接宽度应大于 10cm；
- e) 原位固化处理过程中应严格控制喷浆（粉）的时间和喷入量，且不得中断喷浆（粉），因故中断或喷浆（粉）不足时，应进行复搅。

6.4.2 原位固化浅层处理宜采用边固化边推进的形式进行。对于一般软土地基，采用原位垂直上下拌合固化方式，而对于表层存在硬壳层的土体，应采用翻松后再固化方式。

6.4.3 原位固化联合水泥搅拌桩等柔性桩形成硬壳层-桩体复合地基的施工，应根据施工条件选择合适的施工工法：

1 当原地基不能提供机械设备及施工所需承载力时，应先原位固化处理，待地基承载力满足柔性桩施工要求后，再进行水泥搅拌桩等柔性桩的施工；水泥搅拌桩施工停浆标高应位于现场固化层顶面。

2 当原地基能够提供机械设备及施工所需承载力时，宜先进行水泥搅拌桩等柔性桩施工，后进行原位固化处理，并应符合下列规定：

- a) 水泥搅拌桩施工时，水泥搅拌桩的停浆标高应位于原地面；
- b) 原位固化处理时，当水泥搅拌桩处的强度过高无法进行搅拌时，应先将此处进行翻松，再进行原位固化处理。

6.4.4 原位固化联合预应力管桩等刚性桩形成硬壳层-桩体复合地基的施工，应根据施工条件选择合适的施工工法：

1 当原地基不能提供机械设备及施工所需承载力时，应先原位固化处理，后进行刚性桩的施工，并应符合下列规定：

- a) 原位固化处理后，地基承载力达到刚性桩施工要求后，方可进行刚性桩的施工；

- b) 在原位固化处理区域内进行刚性桩的施工，带盖板刚性桩施工时桩体顶面标高应控制在桩帽顶面与原位固化层顶面持平；不带盖板刚性桩施工时，桩顶伸入固化层 50cm 左右，桩顶以上部分采用台阶开挖形式对桩孔进行回填，回填采用素混凝土或高掺量固化土，桩顶应设置等同桩径大小的圆形钢板。

2 当原地基能够提供机械设备及施工所需承载力时，宜先进行刚性桩施工，后进行原位固化处理，并应符合下列规定：

- a) 预制桩施工时，预制桩打设前应采用钢板或混凝土对桩顶进行封闭，打设至固化层设计标高下 5cm~20cm；
- b) 原位固化处理时，在有刚性桩存在的部位，当采用强力搅拌头进行施工时，搅拌固化部位可远离管桩顶部超过 5cm~20cm。

6.4.5 固化土养护应符合以下规定：

- a) 当固化区域搅拌完成后，宜采用符合设计要求的填土材料对搅拌后的土体进行堆载预压，预压后应进行整平养护，养护时间应在 7d 以上；
- b) 养护时如遇雨天应在固化场地表面铺设塑料薄膜，同时加强场地排水，减少雨水影响。

6.5 质量控制

6.5.1 施工过程中应做好原位固化浅层处理施工质量管理，并应符合下列规定：

- a) 施工中，应建立健全并认真执行现场试验、质量检查、工序交接、固化材料的贮运与保管等规章制度，施工、试验、检测、验收应做到原始记录齐全、数据准确和资料完整；
- b) 每道工序完成后，均应进行检查验收，合格后方可进入下一道工序施工，经检测不合格的工序应进行翻修，直至达到合格要求；
- c) 原位固化使用的原材料，其检验项目应符合表 2 的规定：

表 2 原材料检验项目

项目		检测频度	质量要求或允许误差	试验方法
固 化 材 料	细度（粉体状）	每批次 2 个样品	80μm 筛余量小于等于 10%	水泥细度检验方法，GB/T 1345
	固体含量（液体状）	每批次 2 个样品	符合设计要求	均匀性试验，GB 8077
	化学成分（必要时）	每批次 2 个样品	符合设计要求	水泥化学分析方法，GB/T 176

- d) 原位固化浅层处理施工过程中，应随时对施工质量进行检测，质量检查的内容、频率、质量要求或允许误差和方法应符合表 3 的规定：

表 3 原位固化浅层处理施工质量检测要求

项次	项目		检测频度	规定值 或允许偏差	检查方法
1	固化材料掺量（%）		每个台班汇总一次，取平均值	设计值 ～设计值+0.5	施工记录
2	浅层固化厚度（mm）		单个区域或每 500m ² 测试点不少于 4 处	设计值 ～设计值+200	钻孔取样
3	浅层固化宽度（mm）			设计值 ～设计值+100	米尺，量测
4	强度	无侧限抗压强度（MPa）	单个区域或每 500m ² 测试点不少于 4 处	不小于设计要求	无侧限抗压强度试验
		锤击数			动力触探试验

5	承载力 (kPa)	单个区域或每 500m ² 测试点不少于 1 处, 且总数不少于 4 个点	不小于设计要求	荷载板试验
注: 对于处理深度变化处测点数量适当增加。				

e) 采用原位固化代替置换法对软土全部进行固化时, 应对处理后地基土强度进行检测, 承载力应符合设计要求。

6.5.2 施工过程中应做好原位固化硬壳层-桩体复合地基的施工质量管理, 并应符合下列规定:

- 施工质量管理应贯穿施工全过程, 并坚持全程的施工监理, 施工过程中应随时检查施工记录和计量记录, 并按设计规定的施工工艺对原位固化土和刚(柔)性桩进行质量检验, 每道工序完成后, 均应进行检查验收, 合格后方可进入下一道工序施工;
- 原位固化施工中的原材料和质量检验要求, 按表 2 和表 3 的规定执行;
- 水泥搅拌桩和预应力管桩等桩体施工质量检验要求应符合 DL/T 5024、GB 55003 和 GB 50007 的有关规定。

7 验收

7.1 一般规定

7.1.1 原位固化地基处理施工质量验收时, 应提供下列文件和记录:

- 工程设计文件应包括有关设计的文件、图纸以及设计变更文件等;
- 原材料质量合格证件;
- 原材料检查或试验记录;
- 原体试验报告;
- 固化施工记录。

7.1.2 原位固化处理的各分项工程应按本文件的质量控制要求进行施工质量管理, 各分项工程完成后应进行自检、交接检验, 并形成记录文件, 经监理工程师检查验收后, 方可进行下一分项工程的施工。

7.1.3 实测项目为关键项目时, 其合格率不得低于 95%, 实测项目为一般项目时, 其合格率不得低于 80%, 否则该检查项目为不合格。

7.2 原位固化浅层处理

7.2.1 原位固化浅层处理技术用于输变电工程软土地基加固时, 应符合下列规定:

- 固化材料及施工设备应符合本文件 5.2 节及 6.3 节相关规定, 施工过程应连续不中断, 固化材料掺量应符合本文件表 3 中相关规定;
- 硬壳层强度和承载力应符合设计要求;
- 固化层表面应平整、且排水良好。

7.2.2 原位固化浅层处理的实测项目应符合表 4 的规定。

表 4 原位固化浅层处理实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	浅层固化厚度 (mm)		设计值 ~设计值+200	钻芯取样或静力触探确定, 单个区域或每 500m ² 测试点不少于 4 处
2	浅层固化宽度 (mm)		设计值 ~设计值+100	米尺量测, 单个区域或每 500m ² 测试点不少于 4 处
3△	强度	无侧限抗压强度 (MPa)	不小于设计要求	室内无侧限抗压强度试验, 单个区域或每 500m ² 测试点不少于 4 处
		锤击数		动力触探试验, 单个区域或每 500m ² 测试点不少于 4 处

4	固化材料掺量（%）		不小于设计要求	查施工记录
5△	承载力（kPa）		不小于设计要求	荷载板试验，单个区域或每 500m² 测试点不少于 1 处，且总数不少于 4 个点
6	均匀性	厚度	每 100m 厚度差异不超过 15% （以厚度大值为基准）	
		强度	场地所有测点处强度极大值、 极小值与均值的比值处于 （0.75，1.25）范围内	
注：“△”标识的实测项目为关键项目，其他为一般项目。				

7.2.3 输变电工程软土地基经原位固化浅层处理后, 其表面应平整、无坑洼。

7.3 原位固化硬壳层-桩体复合地基

7.3.1 原位固化硬壳层-桩体复合地基施工应符合下列规定:

- 原位固化硬壳层的基本要求应符合本文件第 7.2.1 条的规定;
- 桩体施工前应进行成桩试验, 施工工艺应符合 DL/T 5024 和 GB 50007 的有关规定。

7.3.2 原位固化硬壳层-桩体复合地基的实测项目包括下列内容:

- 原位固化硬壳层实测项目应符合本文件表 4 的规定;
- 水泥搅拌桩等桩体实测项目应符合 DL/T 5024 的有关规定;
- 原位固化硬壳层-桩体复合地基表面应平整、无坑洼。

附录 A
(规范性)

原位固化硬壳层双层地基表面承载力计算

原位固化浅层加固软基时，表面承载力计算可参照原位固化硬壳层双层地基承载力计算方法确定，主要根据荷载的影响深度 $d_{\max}$ 与原位固化处理厚度 H 之间的关系来确定滑动面的位置，进而通过极限平衡法获得地基承载力极限值，荷载影响深度可根据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的规定进行计算。

A.1 当 $d_{\max} < H$ 时，按照均质地基处理。

A.2 当 $d_{\max} > H$ 时，根据原位固化处理范围与主动土压力区域的关系，确定滑移线的形状，分别计算黏聚力引起的地基承载力与地基土自重引起的承载力，具体分以下两种情况进行：

A.3 当 $d_{\max} > H \geq \frac{B}{2} \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$ 时，主动土压力区域处于原位固化处理厚度范围之内，滑移线简图如图 A.1 所示，并结合太沙基理论整体剪切模式给出了滑移线（螺旋线）公式

$$r = r_0 \exp(\theta \tan \varphi_x) \quad (\text{A.1})$$

式中：

r ——滑动区的边界对数螺旋曲线（m）；

r_0 ——滑动边界起始矢径（m），按 $r_0 = AF$ 计算；

θ ——积分点到 A 点距离（m）；

φ_x ——复合摩擦角（°），根据角度 $\angle OAF = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_x}{2}$ 进行计算。

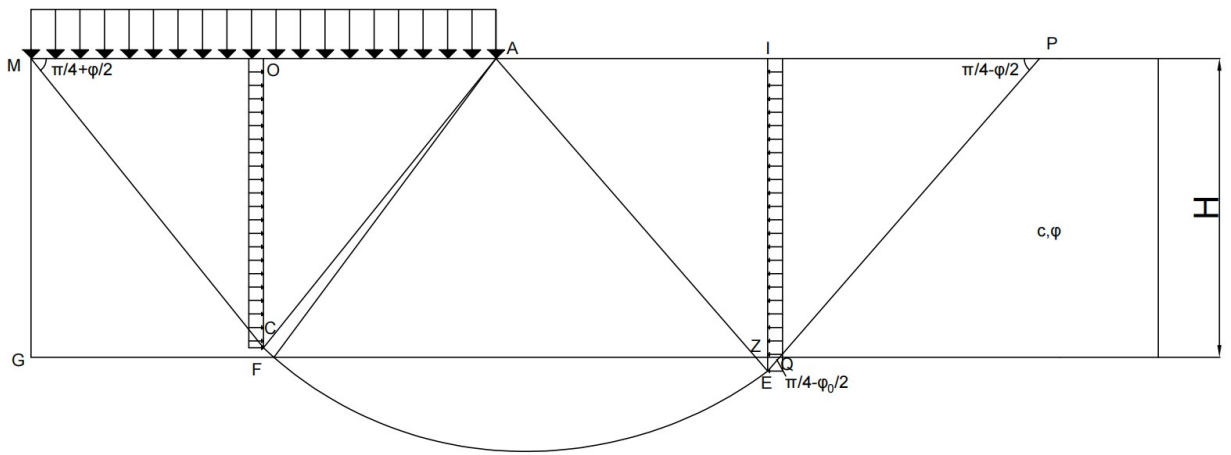


图 A.1 滑移线简图

a) 黏聚力引起的承载力 q_{u1} 按式 (A.2) 计算：

$$q_{u1} = (M_1 + M_3 - M_2) / \left(\frac{B^2}{8}\right) \quad (\text{A.2})$$

式中： $M_1 = \int_0^\beta c r_1^2 d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}-\beta} c_0 r_2^2 d\theta$ ；

(其中: $r_1 = r_0 e^{\theta \tan \varphi}$, $r_2 = r_0 e^{\beta \tan \varphi} e^{\theta \tan \varphi_0}$, $\frac{H}{r_0 e^{\beta \tan \varphi}} = \sin(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \beta)$);

$$M_2 = p_{a1} \frac{\sigma c^2}{2} \quad (\text{其中: } p_{a1} = q_{u1} \tan^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) - 2c \tan(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}));$$

$$M_3 = p_{b1} \frac{H^2}{2} + p_{b2} EQ (\frac{EQ}{2} + H)$$

(其中: $p_{b1} = 2c \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$, $p_{b2} = 2c_0 \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2})$, $EQ = r_0 e^{\beta \tan \varphi} e^{\frac{(\pi}{2} - \beta)\varphi_0} \sin(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2}) - H$)

式中:

M_1 、 M_2 、 M_3 ——弯矩 (kN·m);

q_{u1} ——黏聚力引起的承载力 (kPa);

β —— $\angle CAF$ (°);

c ——原位固化处理后土体黏聚力 (kPa), 可按 $c = 0.291 f_{cu} + 34.7$ 初步计算确定, f_{cu} 为固化土的室内无侧限抗压强度 (kPa);

φ ——原位固化处理后土体内摩擦角 (°), 当固化土的无侧限抗压强度在 0.1MPa~2.0MPa 范围内时, φ 可在 25~45° 内取值, 强度高时取大值;

c_0 ——下卧层土体黏聚力 (kPa);

φ_0 ——下卧层土体内摩擦角 (°)。

H ——硬壳层处理厚度 (m);

B ——荷载宽度 (m)。

b) 地基土自重引起的承载力 q_{u2} 按式 (A.3) 计算:

$$\begin{aligned} & q_{u2} \tan^2 \alpha_1 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \alpha_1 \\ &= \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2(\frac{\pi}{2} - \alpha_1) + \frac{EZ}{2} \left[\gamma H \tan^2(\frac{\pi}{2} - \alpha_1) + (\gamma H + \gamma_0 EZ) \tan^2(\frac{\pi}{2} - \alpha_1) \right] \\ &+ \int_{\beta}^{\frac{\pi}{2}} (\gamma_1 - \gamma_0) H \frac{r_2 \sin(\alpha - \theta)}{\cos \varphi_x} d\theta + \int_{\beta}^{\frac{\pi}{2}} \gamma_1 H \frac{r \sin(\alpha + \theta) \sin(\alpha - \theta)}{\cos \varphi_x} d\theta \\ &+ \int_0^{\beta} \gamma_1 H \frac{r \sin(\alpha + \theta) \sin(\alpha - \theta)}{\cos \varphi_x} d\theta \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

式中:

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}; \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2};$$

q_{u2} ——地基土自重引起的承载力 (kPa);

γ_1 ——原位固化处理后土体重度 (kN/m³);

γ_0 ——下卧层土体重度 (kN/m³)。

A.4 当 $d_{\max} > \frac{B}{2} \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}) > H$ 时, 主动土压力区域超过原位固化处理厚度, 滑移线简图如图A.2:

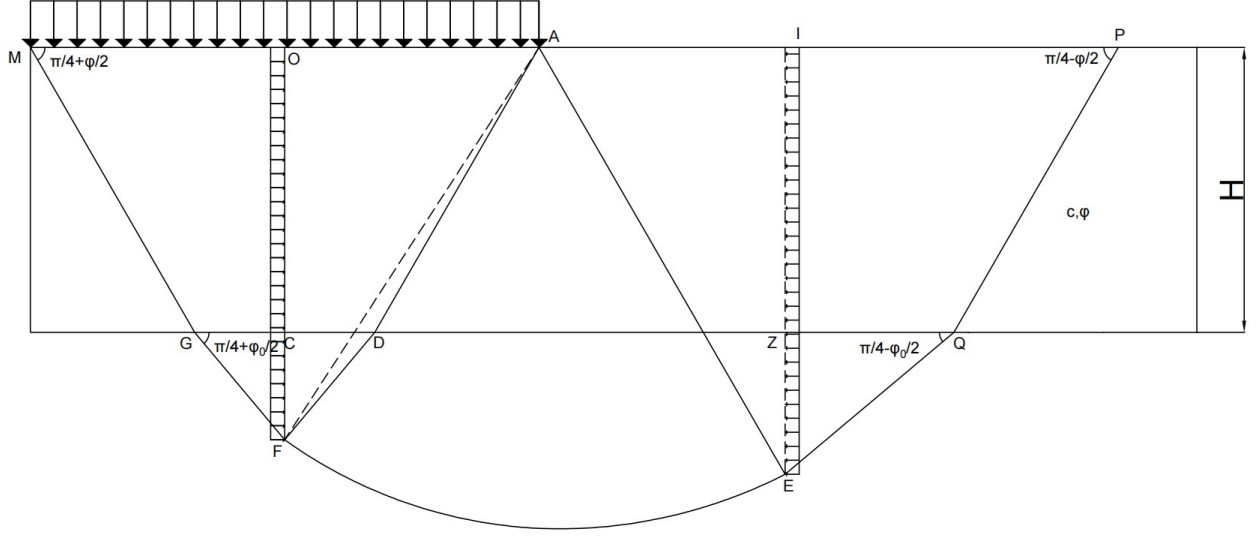


图 A.2 滑移线简图

a) 黏聚力引起的承载力 q_{u1} 按式 (A.4) 计算:

$$q_{u1} = \frac{M_1 + H^2 \cot\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c_0 \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right) EZ \left(\frac{EZ}{2} + H\right) + cH^2 \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + 2c_0 CF \left(\frac{CF}{2} + H\right) \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2}\right)}{\frac{B^2}{8} + \frac{H^2}{2} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + CF \left(\frac{CF}{2} + H\right) \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2}\right)} \quad (\text{A.4})$$

式中:

$$M_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} c_0 r \cos \varphi_0 ds = \int_0^{\frac{\pi}{2}} c_0 r^2 d\theta = \frac{c_0 B^2 \csc^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_x}{2}\right)}{8 \tan \varphi_x} (e^{\pi \tan \varphi_x} - 1);$$

$$CF = \frac{B_2}{2} \cot\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2}\right); \quad EZ = AF e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi_x} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) - H;$$

b) 地基土自重引起的承载力 q_{u2} 按式 (A.5) 计算:

$$q_{u2} = \frac{A}{\tan^2 \alpha_1 H + \tan^2 \alpha_2 CF} \quad (\text{A.5})$$

其中 A 为:

$$A = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_1\right) + \frac{EZ}{2} \left[\gamma H \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_1\right) + (\gamma H + \gamma_0 EZ) \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_2\right) \right]$$

$$+ \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \alpha_1 + \frac{CF}{2} \left[\gamma H \tan^2 \alpha_1 + (\gamma H + \gamma_0 CF) \tan^2 \alpha_2 \right] \quad (\text{A.6})$$

$$- \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\gamma_1 - \gamma_0) H \frac{r \sin(\alpha - \theta)}{\cos \varphi_x} d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \gamma_1 H \frac{r^2 \sin(\alpha + \theta) \sin(\alpha - \theta)}{\cos \varphi_x} d\theta$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}; \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2};$$

$$CF = \frac{B_2}{2} \cot\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_0}{2}\right); \quad EZ = AF e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi_x} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) - H;$$

$$AF = \frac{B}{2 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}; \quad \frac{B_2}{2} = \frac{B}{2} - H \cot\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right);$$

$$OF = OC + CF = H + CF; \quad \angle ADF = \beta = \pi - \frac{\varphi}{2} + \frac{\varphi_0}{2}。$$

以上两种情况下均给出了黏聚力引起的承载力 q_{u1} 和地基土自重引起的承载力 q_{u2} ，最终地基极限承载力 q_u 按式 (A.7) 计算：

$$q_u = q_{u1} + q_{u2} \quad (\text{A.7})$$

输变电工程软土地基原位固化技术规范

（征求意见稿）

编 制 说 明

目 次

1 目的意义	1
2 任务来源	1
3 编制过程	1
4 主要内容及技术指标确立	1
5 重大分歧意见的处理过程和依据	2
6 与相关法律法规和标准的关系	2
7 推广实施建议	3
8 起草单位和起草人员信息及分工	3

1 目的意义

江苏省位于中国东部沿海中心地带，长江与淮河下游，水网密布，历史上受黄河、长江、淮河等大江大河及海洋交互沉积作用影响深远，软土地基分布极广。建在承载能力差的软土地基上的变电站易出现不均匀沉降，严重威胁变电站的运营安全，所以必须对地基进行加固。原位固化是一种新型的地基处理技术，利用强力搅拌头将固化剂与地基中的软土进行原位搅拌混合，形成强度高、稳定性好的加固体，进而提高地基承载力。该技术绿色、环保、高效，不仅可解决换填法造成的资源浪费和环境污染等问题，还具有加固效果好、施工快、费用省等优点。该技术已应用于我省的无锡鲸塘220千伏变电站工程和望江-莫愁220千伏线路工程，并取得了良好的效果。

由于原位固化技术是近几年来发展的新技术，虽已在电力工程、土木工程和交通工程得到了推广应用，但目前尚无针对性的地基检测和质量验收标准，从而导致在工程应用中无法客观准确地评估技术的可靠性，工程验收无依据，若出现质量问题则不易划分责任。为此，本文件规定了输变电工程建设中软土地基原位固化的设计、施工与验收的技术要求，为规范新建、扩建及改建的输变电工程软土地基原位固化技术设计、施工、质量检验与验收的工作提供技术标准和依据。

本文件的制定将为软土地基原位固化技术在江苏电力行业中的推广应用提供技术支撑，对促进输变电工程建设提质增效、节能减排、降低造价具有重要意义，同时也为碳达峰、碳中和目标的实现提供新的技术路径。

2 任务来源

2025年7月3日，江苏省电机工程学会印发《江苏省电机工程学会2025年第二批标准计划》的通知（苏电机学会〔2025〕32号），下达本标准立项通知。

为贯彻落实《国家标准化发展纲要》，深入实施标准化战略，进一步健全行业高质量发展标准体系，本文件是根据江苏省电机工程学会印发的《江苏省电机工程学会2025年第二批标准计划》通知的要求，文件编制组经广泛调查研究，认证总结实践检验和研究成果，参考有关国际标准和国内标准，结合江苏省的区域特点，并在广泛征求意见的基础上编制而成。

本文件编制承担单位为国网江苏省电力有限公司经济技术研究院，具体由东南大学、江苏兴力工程管理有限公司、国网江苏省电力有限公司、江苏省电力公司送变电公司等单位共同开展。

3 编制过程

2025年7月7日，项目正式启动，国网江苏省电力有限公司经济技术研究院联合东南大学等单位成立了文件编制组，并就文件编制工作进行了分解部署，编制标准草案。

编制组首先对文件内容进行调研，开展了国内外相关标准、文献资料的收集与调研工作，同时对行业相关的标准进行了系统性梳理，结合输变电工程的特点，总结出目前存在的主要问题。部署标准制定工作计划，确定标准体系架构，明确了标准编制的目的、思路、任务、分工及进度要求，完善标准草案，形成讨论稿；

2025年11月26日，组织召开标准专题论证会；

标准编制组组织召开内部研讨会，就标准的作用定位，主要技术内容等关键问题进行研讨，并形成完善标准讨论稿及编制说明。

2026年1月，完成标准讨论稿及编制说明。

4 主要内容及技术指标确立

4.1 主要内容

本文件按照GB/T 1.1—2020和GB/T 20001.5《标准编写规则 第5部分：规范标准》的规定起草，主要内容如下：

1. 目次；

2. 前言；

3. 正文共设7章。第1章“范围”，规定了本标准的范围；第2章“规范性引用文件”，列出了本规范所引用的文件；第3章“术语和定义”，描述了原位固化技术、原位固化系统等9个术语的定义；第4章“基本规定”，规定了与设计、施工、检测环节相关的总体要求；第5章“设计”，规定了固化材料配合比设计以及原位固化设计方案；第6章“施工”，规定了输变电工程软土地基原位固化施工准备、施工设备、施工工艺与质量控制要求；第7章“验收”，规定了输变电工程软土地基原位固化验收要求。

4. 附录。

本文件按照《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》（GB/T 1.1-2000）的有关要求，开展本文件制定工作。

4.2 主要技术指标确立

本文件中的主要技术指标主要包括原位固化土无侧限抗压强度的折减系数、无侧限抗压强度与抗剪强度指标之间的关系，以及原位固化土强度检测方法。

对于原位固化土无侧限抗压强度的折减系数，是通过开展室内固化土的无侧限抗压强度试验获得强度数据，同时在采用原位固化技术处理的地基中取芯测其无侧限抗压强度，然后进行统计对比分析进而提出折减系数。

对于无侧限抗压强度与抗剪强度指标之间的关系，是在室内开展不同水泥掺量的固化土无侧限抗压强度试验和三轴剪切试验，分别获得无侧限抗压强度和抗剪强度指标黏聚力和内摩擦角，将数据进行统计对比分析进而提出无侧限抗压强度与抗剪强度指标之间的定量关系。

对于原位固化土强度的检测方法，编制组依托实际工程开展了静力触探试验、动力触探试验和钻孔取芯做无侧限抗压强度试验，从实操性角度确定了动力触探试验和钻孔取芯做无侧限抗压强度试验是合适的方法。

5 重大分歧意见的处理过程和依据

本文件无专家或单位提出异议。

6 与相关法律法规和标准的关系

本文件的编写符合《中华人民共和国建筑法》、《中华人民共和国电力法》等相关法律的规定。

关于软土地基原位固化技术，目前尚无国家标准和行业标准。

与本规范相关的《建筑与市政地基基础通用规范》（GB 55003）规定了勘察成果要求、天然地基与处理地基、桩基、基础、基坑工程、边坡工程等内容。该规范是地基基础领域技术法规体系的顶层文件，整合了原有多部标准的强制性条文，并提出了统一、强制的底线要求。本规范符合《建筑与市政地基基础通用规范》（GB 55003）的要求。

《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）规定了换填垫层法、预压法、强夯法、复合地基（如水泥土搅拌桩、CFG桩等）等各类方法的技术要求。该规范无原位固化技术内容，所以本规范与《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）不冲突、不重复。

《电力工程地基处理技术规程》（DL/T 5024）规定了换填垫层法、预压法、强夯法、复合地基（如水泥土搅拌桩、CFG桩等）等各类方法的技术要求。该规范无原位固化技术内容，所以本规范与《电力工程地基处理技术规程》（DL/T 5024）不冲突、不重复。

中国工程建设标准化协会于2021年发布了《道路软土地基强力搅拌就地固化技术规程》（T/CECS 978-2021）；浙江省市场监督管理局于2021年发布了《公路工程强力搅拌就地固化设计与施工技术规范》（DB33/T 2383-2021），这两份规程（规范）针对道路（公路）工程中的就地固化设计与施工做出了规定。由于输变电工程的性质、规模、对地基基础的技术要求以及质量检验的要求等与道路工程都有所不同，所以本文件以输变电工程为背景，有针对性地编制了本标准。

7 推广实施建议

(1) 试点示范工程

选择典型的输变电工程项目，进行流态固化土技术试点应用工程，将成功案例推广到更多项目中。

(2) 加强宣传

通过学术会议、行业论坛、技术宣讲、专业杂志等渠道宣传标准的效果、优势、效益和重要性，提高行业内的认知度和接受度。

8 起草单位和起草人员信息及分工

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司经济技术研究院、东南大学、国网江苏省电力有限公司、江苏兴力工程管理有限公司、江苏省电力设计院有限公司、江苏省电力公司送变电公司。

本文件主要起草人：王旭、范忠、黄峥、吴静云、储方舟、栾阳、刘浩、黎冰、石梁、戴阳、穆腾飞、朱建民、朱晶晶、刘益平、陆伟刚、戴如章、石晗、姚丽娟、丁静鹄、王俊、鄢博、陈俊杰、戚文、陈红、张建峰。

表 1 起草单位和起草人员信息及分工

序号	主要起草人员	工作单位	职务职称	项目分工
1	王旭	国网江苏省电力有限公司经济技术研究院	院长/高级工程师	负责构建标准框架结构
2	范忠		副院长/高级工程师	制定计划、技术指导
3	黄峥		副所长/高级工程师	组织协调、框架结构制定
4	吴静云		专职/高级工程师	技术资料要点收集整理
5	储方舟		专职/高级工程师	技术要点整理
6	栾阳		专职/高级工程师	术语和定义章节编写
7	刘浩		专职/高级工程师	规范资料收集整理
8	石晗		专职/高级工程师	设计章节编写
9	姚丽娟		专职/高级工程师	设计章节编写
10	丁静鹄		专职/高级工程师	设计章节编写
11	王俊		专职/高级工程师	施工章节编写
12	鄢博		专职/中级工程师	施工章节编写
13	陈俊杰		专职/高级工程师	施工章节编写
14	戚文		专职/高级工程师	验收章节编写
15	陈红		五级职员/高级工程师	验收章节编写
16	张建峰		专职/高级工程师	验收章节编写
17	黎冰	东南大学	副教授	标准框架结构制定
18	石梁	国网江苏省电力有限公司	副处长/高级工程师	设计、施工、验收章节校核
19	戴阳	江苏兴力工程管理有限公司	副总经理/高级工程师	验收章节编写
20	穆腾飞		主任/高级工程师	术语与定义、施工章节校核
21	朱建民		专职/高级工程师	施工章节校核
22	朱晶晶	江苏省电力设计院有限公司	副主任/高级工程师	设计章节校核
23	刘益平		主任/高级工程师	设计章节编写
24	陆伟刚		专职/高级工程师	设计章节编写
25	戴如章	江苏省电力公司送变电公司	首席专家/教授级高工	施工章节编写

