

一、特高压试验基地概述

特高压直流试验基地位于北京市昌平区,是中国国家电网公司为特高压工程建设需要而建立的 4 个试验研究基地之一。其余三个分别是特高压交流试验基地(湖北武汉)、特高压杆塔试验基地(河北霸州)、西藏高海拔试验基地(西藏羊八井 4300)。这四个试验研究基地构成了一套功能完整的特高压试验研究体系,主要进行一些工程需要的前期科学研究、基础性机理性研究以及设备型式试验等。

Испытательная база постоянного тока ультравысокого напряжения (постоянный ток УВН) расположена в районе Чангпинг в Пекине. Это одна из четырех испытательных баз, построенных SGCC для проектов УВН. Остальные три такие испытательные базы являются базами переменного тока ультравысокого напряжения (переменный ток УВН). Одна из них - испытательная база переменного тока в Ухане, в провинции Хубэй, другая испытательная база переменного тока расположена в Баджоу в провинции Хэбэй, а третья - это высокогорная испытательная база переменного тока, которая находится в Янгбаджине, на Тибете. Четыре испытательные базы представляют собой полнофункциональную испытательно-исследовательскую систему УВН, которая в основном занимается экспериментальными научными исследованиями, исследованиями фундаментальных механизмов и испытаниями типов оборудования для проектов по УВН.

四基地共创 30 余项世界第一, 59 项专利, 目前已开展 200 余项关键技术研究, 为中国国家电网公司第一条特高压交流试验示范工程和第一条特高压直流示范工程的顺利建设和安全运行提供了重要的科学依据。

Четыре испытательные базы завоевали более 30 мировых рекордов и получили 59 патентов. На настоящий момент, было проведено более 200 ключевых технических исследований, которые обеспечивают научную основу

для успешного строительства и эксплуатации первых демонстрационных проектов постоянного и переменного тока УВН.

1. 特高压直流试验基地

特高压直流试验基地占地 26 万平米，由户外试验场、特高压直流试验线段、电晕笼、试验大厅、绝缘子及避雷器试验室、污秽及环境试验室、特高压直流换流阀试验室等 8 大部分组成。其中线段部分占地 18 万平米。于 2007 年 2 月 23 日全面开工建设， 2009 年 2 月 22 日，通过总体验收。已被国资委授予特高压工程技术国家工程试验室。

Испытательная база постоянного тока УВН, занимающая площадь в 260 000 м², в основном состоит из восьми частей: открытая испытательная площадка; Секция испытательной линии постоянного тока УВН; камера коронного разряда; Испытательный зал; Разрядная и изоляционная лаборатории; Лаборатория по исследованию загрязнений и охране окружающей среды; Лаборатория тиристорного клапана постоянного тока УВН, при этом Секция испытательной линии занимает 18000 м². Строительство испытательной базы было начато 23 февраля 2007 года и закончено 22 февраля 2009 года. SASAC (Государственная комиссия Государственного Совета по надзору и управлению активами) сделала данную базу Главной государственной лабораторией по технологии УВН.

试验基地可以开展电磁环境、外绝缘、系统运行安全、设备试验技术与运行特性等方面的全方位试验研究。

На испытательной базе можно проводить комплексные исследования, такие как имитация электромагнитной среды, внешняя изоляция, безопасная эксплуатация энергосистемы, исследования технологии тестирования оборудования и его эксплуатационных характеристик

截至目前，试验基地开展了 $\pm 1000\text{kV}$ 、 $\pm 800\text{kV}$ 、 $\pm 660\text{kV}$ 等多个电压等级 40 余项关键技术研究项目，已成功应用于宁东—山东 $\pm 660\text{kV}$ 、向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 、镜屏—苏南 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程中，开展的 $\pm 1000\text{kV}$ 级直流输电系统系列科研项目为今后 $\pm 1000\text{kV}$ 输电工程设计提供了参考依据。

试验基地还承担了意大利、日本、印度等国家特高压产品的委托试验。

На настоящий момент было проведено более 40 ключевых технических исследований уровней напряжения $\pm 1,000\text{kV}$, $\pm 800\text{kV}$ и $\pm 660\text{kV}$, которые были успешно использованы в проектах по передаче постоянного тока $\pm 660\text{kV}$ Нингдонг-Шаньдун, $\pm 800\text{kV}$ Сияньжиаба-Шанхай и $\pm 800\text{kV}$ Джинпинг-Суан. Кроме того, результаты исследования системы $\pm 1,000\text{kV}$ DC дают ссылки на разработку проектов по передаче $\pm 1,000\text{kV}$.

Испытательная база также провела испытания продукции УВН для Италии, Японии, Индии и других стран.

二、特高压直流试验基地试验设施

1、污秽及环境试验室

采用直径 20 米、高 25 米的金属罐体式结构，是我国目前最大的高原综合复杂气候环境模拟试验室，具有污秽-覆冰-淋雨-低气压多功能，同时，它可为不同行业的高原环境试验提供场所。可应用于小型直升机、高原军需装备、车辆及其他高原装备的整机环境考核。

（功能）进行直流 $\pm 1000\text{kV}$ 电压等级、交流 1000kV 电压等级长串绝缘子、站用支柱绝缘子及大型套管等在不同海拔条件下(最高模拟海拔 5500 米)的污秽、覆冰和淋雨等外绝缘特性试验。

（设备）

人工气候罐及其保障系统

800kV/6A 试验变压器

±1000kV/2A 直流电压发生器

(成果)

- 自 2009 年初至今, 本试验室已经圆满完成和正在开展多项有关绝缘子串和站用支柱绝缘子在不同气候环境下的污秽外绝缘与覆冰外绝缘的科技项目。

Лаборатория по загрязнению и охране окружающей среды

Металлическая экранированная камера диаметром 20 м и высотой 25 м является самой большой лабораторией в Китае, исследующей многофункциональные загрязнения и климат. Она может создавать различные виды искусственного климата и условия окружающей среды, в том числе загрязнение, ледовое покрытие, брызги дождя и низкое атмосферное давление. При этом, для того, чтобы провести оценку окружающей среды она может работать как высокогорный полигон для продукции многих отраслей промышленности, таких как производство небольших вертолеты, высокогорной военной техники, транспортных средств и другое высотное оборудование.

Лаборатория по загрязнению и охране окружающей среды может выполнять тесты DC ± 1,000kV и AC 1,000kV на предмет загрязнения, гололеда и брызг дождя для длинно-струнных изоляторов, стационарных стержневых изоляторов, а также для втулок больших размеров в различных условиях на разных высотах (самая большая высота моделирования составляет 5500 метров).

Лаборатория включает в себя резервуар искусственного климата и систему его поддержки, испытательный трансформатор 800kV/6A и генератор постоянного напряжения ±1000kV/2A.

С начала своей работы в 2009 году, лаборатория успешно выполнила и продолжает осуществлять ряд исследований по вопросам загрязнения и обледенения внешней изоляции для длинно-стержневых изоляторов, а также для стационарных стержневых изоляторов при разных климатических условиях и состояниях окружающей среды

2、户外试验场

主要用于进行 $\pm 800\text{kV}$ 电压等级特高压直流输电工程的外绝缘特性试验研究，包括输电线路和换流站、变电站设备和空气间隙的外绝缘等，同时兼顾 $\pm 1000\text{kV}$ 直流输电系统研究的要求。

户外试验场选用了 $7.2\text{MV}/480\text{kJ}$ 冲击电压发生器和 $\pm 1600\text{kV}/0.5\text{A}$ 直流电压发生器设备，设计建造了净空尺寸 $50\text{m}\times 60\text{m}$ 的门型塔和两座 45m 高的锚塔。

除了完成科研工作外，户外试验场还完成了多项重要的外委试验工作，其中包括国际上的委托试验，如由日本 NGK 公司委托对为印度电力公司生产的大吨位瓷绝缘子进行的型式试验。这项试验工作量大，试品布置有较大难度。试验的完成受到了国外公司的高度评价，提高了试验基地在国际上的知名度。

Открытый полигон

Открытый полигон в основном предназначен для исследований внешних изоляционных характеристик по проектам передачи $\pm 800\text{kV}$ УВН постоянного тока, в том числе для линий электропередач, для оборудования конвертерных станций и подстанций, а также для исследования воздушного зазора с учетом требований к проведению исследований системы передачи постоянного тока $\pm 1000\text{KV}$.

Сооружения в основном включают в себя: комплект оборудования импульсного напряжения $7200\text{kV}/480\text{kJ}$ для работы в открытой среде, генератор постоянного тока $1600\text{kV}/0.5\text{A}$, одни башенные ворота $50\text{m}\times 60\text{m}$ и две натяжные якорные вышки.

Помимо научных исследований, на открытой испытательной площадке был проведен ряд важных внешних консигнированных испытаний, в том числе международных, таких как испытания типов крупнотоннажного фарфорового изолятора, производимого индийской энергетической корпорацией по заказу «NGK Company». Это испытание предполагает большой объем работы, а сами тестовые задания достаточно сложные. Успешное выполнение было высоко оценено зарубежными компаниями, что значительно повысило уровень международной осведомленности об этой испытательной базе.

3、试验大厅

试验大厅是研究交、直流输电技术和运行技术必备的试验研究设施之一。

试验大厅的净空尺寸为 86m×60m×53m（长×宽×高）。

特高压直流试验基地的试验大厅为特高压等级，其主要功能是研究特高压交、直流输变电设备的内、外绝缘性能，如变压器、电抗器、GIS 组件、避雷器、绝缘子和套管等。

- (1) 输变电设备（包括部件）工频、直流耐受及放电试验。
- (2) 输变电设备（包括部件）雷电冲击、操作冲击耐受及放电试验。
- (3) 设备介损、局部放电试验。
- (4) 导线（跳线）、金具和绝缘子可见电晕及无线电干扰试验。
- (5) 设备绝缘子、套管人工淋雨试验。
- (5) 塔头间隙放电试验。
- (6) 雷电机理及防雷新技术试验。
- (7) 输变电设备性能检测方法的研究。
- (9) 变压器、电抗器、绝缘子、避雷器等产品的型式试验、进出口产品检验、产品质量仲裁检验。

冲击电压发生器、工频试验变压器及直流电压发生器，这三大主设备的成套装置。

为实现局部放电和无线电干扰试验时不受外界电磁波干扰的功能，并能开展电晕特性等相关的试验研究，大厅需采取六面屏蔽措施。

Испытательный зал

Испытательный зал является одним из необходимых объектов для передачи постоянного тока/переменного тока и для производственной технологии.

Размеры испытательного зала - 86м × 60м × 50м (высота). Мощность его электромагнитного экранирования достигает 70 дБ.

Основная функция испытательного зала - выполнение исследований по возможностям внутренней и внешней изоляции от электропередачи постоянного тока УВН и от трансформаторного оборудования, в том числе от трансформаторов, реакторов, ГИС, разрядников, изоляторов и втулок. Испытания в основном включают в себя:

- 1) Испытания частоты напряжения сети переменного тока, тест на то, какое можно выдерживать напряжение и тест на разрядку передаточного и трансформационного оборудования (в том числе его компонентов);
- 2) Испытания импульса от молнии и от коммутационного оборудования;
- 3) Испытания на предмет диэлектрических потерь и испытание измерения частичных разрядов;
- 4) Испытания видимых коронных помех и радиопомех на проводах (перемычках), на металлической арматуре и на изоляторах;
- 5) Испытания брызгов искусственного дождя на изоляторах и втулках;
- 6) Испытания воздушного зазора разряда трансмиссионной вышки;
- 7) Испытание механизма освещения и испытание новой технологии для защиты от молний;
- 8) Исследования по методам контроля свойств трансформаторного и передаточного оборудования;
- 9) Типовые испытания трансформатора, реактора, изолятора и разрядника, контроль качества импортных и экспортных товаров, а также тест качества арбитража;

Основное оборудование включает в себя: трансформатор тестирования частоты питания 1500kV, генератор постоянного напряжения $\pm 2400\text{kV}$, а также генератор импульсного напряжения 6mV.

Для того чтобы избежать помех от внешних электромагнитных волн при тестировании частичного разряда и радиопомех и при изучении характеристики коронного разряда, зал испытаний был экранирован на предмет защиты от электромагнитного излучения на шести поверхностях.

4、避雷器试验室

避雷器试验室应具有进行直流超特高压避雷器各项电气性能测试的手段和开展特高压避雷器电气性能试验研究、测试、检验及试验方法研究的能力，可进行 $\pm 800 \sim \pm 1000 \text{ kV}$ 避雷器元件的主要型式试验，这主要包括：

- 雷电、操作和陡波冲击电流试验
- 直流老化性能试验
- 动作负载试验
- 分流特性试验

避雷器试验室需要根据特高压直流避雷器的特点，开发研制新的试验装置，建立必要的试验手段，配备的主要试验设备应包括：冲击电流发生器（陡波、雷电、操作、缓波前、大电流、长持续时间等各种波形）、动作负载试验设备、加速老化试验设备、分流特性试验设备、直流背靠背电源等。

Арретирная лаборатория

Арретирная лаборатория имеет устройства для проверки поведения различных электрических разрядников постоянного тока УВН и имеет возможность проводить исследования электрических свойств, проводить испытания, проверки и изучение метода испытаний для УВН разрядников. Здесь можно проводить основные испытания разрядника типа $\pm 800 \pm \sim 1000 \text{ KV}$, в том числе:

- Испытания на предмет импульсов от молнии, коммутации и резкого подъема напряжения тока
- Испытания на предмет старения постоянного тока
- Испытания на предмет операционной производительности
- Испытания на предмет характеристик параллельного подключения

По характеристикам разрядников постоянного тока УВН, лаборатория разработала новые экспериментальные устройства и разработала необходимые методы испытаний, включая основное оборудование: генератор импульсного тока (крутые всплески, молнии, переключения, медленный фронт, высокий ток, длительное время и другие сигналы); тестовое устройство операционной производительности, тестовое устройство ускоренного старения, испытательное оборудование на предмет характеристик параллельного подключения, генератор ВТВ постоянного напряжения, и т.д.

5. Изоляционная лаборатория

Размеры изоляционной лаборатории составляют 29м × 32м × 25м (высота). Лаборатория имеет оборудование мирового класса по определению уровня треска и тепломеханическое оборудование для проведения испытаний электрических/механических и материальных свойств изоляторов и втулок в проектах передачи постоянного тока УВН. Она проводит испытания напряжения и нагрузки, уровня треска, тепломеханических и электромеханических характеристик и частоты энергии, постоянного тока, молний и крутых всплесков, такие как испытания переднего импульсного напряжения.

Сооружения в основном включают в себя:

Генератор импульсного напряжения 1200KV

Испытательный трансформатор частоты электроэнергии 500 кВ

Испытательный прибор тепломеханических свойств 600kN

Прибор измерения напряженности 2000kN/15м

Прибор измерения уровня треска 700kN м/14м.

В мае 2008 года Изоляционная лаборатория успешно провела первое в мире испытание крупнотоннажного опорного изолятора УВН на предмет сбоя прогиба при нагрузке.

6. Испытательная линия УВН постоянного тока

Общая протяженность испытательной линии УВН постоянного тока составляет 1080 м., она является самой длинной испытательной двухцепной линией в мире. Испытательная линия была введена в эксплуатацию 28 июня 2007 года, она состоит из трех пролетов, при этом средний проход предназначен для измерения, а его протяженность составляет 300 м.

Испытательный участок линии содержит источник напряжения постоянного тока и шесть вышек. Источник напряжения постоянного тока представляет собой дипольный генератор $\pm 1200\text{KV} / 0.5\text{A DC}$. Шесть вышек - это терминальная вышка, полярностная транспозиционная вышка, две входные вышки и две натяжные вышки, при этом высота ворот вышки составляет 88 м, а ширина - 80 м. На каждой вышке установлено по две регулируемые балки, так что испытательные линии могут постоянно перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Основные функции линии испытательного участка состоят в исследовании электромагнитной обстановки на линии передачи постоянного тока сверхвысокого напряжения/ ультравысокого напряжения с тем, чтобы определить методы прогнозирования электромагнитной среды линий постоянного тока УВН в связи с испытаниями коронной камеры, а в сочетании с методом моделирования испытаний электромагнитной среды, проводить исследования электромагнитной среды различной конфигурации ЛЭП постоянного тока сверхвысокого напряжения/ ультравысокого напряжения.

7. Коронная камера

Это крупнейшая в мире коронная камера размерами 70 м × 22 м × 13 м (высота) с двойными рамами, при этом рамка может быть снята. В этой камере можно исследовать коронные характеристики проводника постоянного тока УВН, например, радиопомехи, акустический шум и коронные потери. Камера может имитировать природные условия, такие как туман и дождь.

В целях удовлетворения требований проекта по постоянному току УВН и в целях развития отечественного производства оборудования постоянного тока УВН $\pm 800\text{kV}$, было проведено множество исследований, например, испытание внешней изоляции и коронный тест. Результаты поддержали демонстрационный проект по постоянному току УВН Сияньгджиба-Шанхай.

设计和建设 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程，可以部分借鉴国外的研究结果，但因我国气象条件复杂，而不同的大气环境对高压试验研究结果包括电磁环境的影响都很大，各国研究得出的结果也有差异，因此，必须根据我国国情进行大量的试验研究工作，并总结超高压直流工程的经验来合理解决电磁环境问题。为此，国家电网公司决定在特高压直流试验基地建设特高压直流试验线段，用于研究特高压直流线路的电磁环境，包括合成电场、离子流密度、无线电干扰和可听噪声等。

При проектировании и строительстве проектов по постоянному току УВН $\pm 800\text{kV}$ можно частично использовать результаты зарубежных исследований, но поскольку речь идет о другой атмосферной среде, которая сильно воздействует на результаты испытаний высокого напряжения, такой как электромагнитная среда, результаты в разных странах различаются. Для сложных погодных условий в Китае необходимо провести множество испытаний с учетом национальных условий Китая, а также обобщить опыт проектов постоянного тока ультравысокого напряжения для решения проблем электромагнитной среды. С этой целью в SGCC было решено построить секцию испытательной линии постоянного тока УВН на базе постоянного тока УВН, чтобы изучать электромагнитную среду линий постоянного тока ультравысокого напряжения, в том числе в сочетании с электрическим полем, плотностью ионного тока, радиопомехами и акустическим шумом.