# **发电厂碳管理软件详细设计文档 (MVC模式)**

## **1. 引言**

### **1.1 文档目的与范围**

**目的**：本设计文档旨在提供一个全面、详细的软件设计规范，用于指导开发团队进行发电厂碳管理软件的系统架构设计、数据库设计、模块功能实现和用户界面设计。该软件的核心目标是帮助发电企业实现精准的碳排放计算、全面的排放监测、合规的报告生成、高效的核查支持以及便捷的碳排放权交易体系（ETS）管理，同时利用人工智能（AI）技术赋能企业进行科学决策和运营优化。

**范围**：本文档覆盖发电厂碳管理的核心业务流程，主要包括以下功能模块：

* 系统基础与用户管理
* 数据采集与管理
* 碳排放核算引擎
* 监测、报告与核查 (MRV) 管理
* 碳排放权交易体系 (ETS) 管理
* AI 智能分析与决策支持

本文档将详细描述每个模块在MVC（Model-View-Controller）架构下的设计，包括数据模型、业务逻辑、用户界面和控制器交互。

### **1.2 核心设计原则**

为确保软件的质量、可用性和未来发展，设计将遵循以下核心原则：

* **法规遵从性优先**：所有计算逻辑、报告格式、业务流程均严格遵循中国最新的碳排放政策法规及发电行业特定指南（如生态环境部发布的MRV指南、配额分配方案等）。
* **数据质量核心**：内置强大的数据校验、审计追踪和溯源机制，确保碳排放相关数据的准确性、完整性、一致性和及时性，这是碳市场有效运行的生命线。
* **用户体验至上**：界面设计应直观、简洁、易用，工作流程应贴合发电厂碳管理人员的实际操作习惯，降低用户学习和使用成本，提高工作效率。
* **模块化与可扩展性**：采用高内聚、低耦合的模块化设计方法，确保各功能模块可以独立开发、测试、部署和升级，便于未来根据政策变化或业务需求进行功能扩展和技术迭代。
* **智能化赋能**：有效集成人工智能（AI）和机器学习（ML）技术，从海量数据中挖掘潜在价值，为用户提供超越传统管理软件的预测性洞察、运营优化建议和智能化决策支持。
* **安全性保障**：建立全面的安全防护体系，包括用户认证、权限控制、数据加密、操作审计等，确保系统和数据的安全。

### **1.3 假设与约束**

* 用户（如环保专工、运行人员、数据分析师、管理层等）具备基础的计算机操作能力。
* 发电厂具备必要的碳排放相关数据计量设备（如燃料计量衡器、在线监测设备CEMS等）和基础的数据记录与管理流程。
* 初期版本的软件可能不包含与外部碳交易系统的实时API对接功能，相关的交易记录可能需要用户手动录入或通过文件半自动导入。
* AI功能的实现效果和精度高度依赖于高质量、足够数量的历史数据积累。
* 软件的开发和部署需遵循企业自身的IT基础设施和安全策略。

## **2. 总体架构与设计模式 (MVC)**

本软件将严格遵循经典的MVC（Model-View-Controller）设计模式，以实现业务逻辑、数据和用户界面的有效分离，提高代码的可维护性、可重用性和可测试性。

**Model (模型层)**：

* **数据实体 (Entities)**：负责定义系统中的核心业务对象及其属性，如电厂信息、发电机组、燃料类型、活动数据、排放因子、监测数据、排放报告、碳配额、交易记录、用户信息、角色权限等。这些实体将映射到数据库中的表结构。
* **数据访问对象 (DAO/Repositories)**：封装对数据库的访问操作（CRUD - Create, Read, Update, Delete），为业务逻辑层提供统一的数据持久化接口，屏蔽底层数据库实现的差异。
* **业务服务 (Services)**：包含系统的核心业务逻辑和规则，如碳排放计算公式的实现、数据校验规则、配额分配逻辑、MRV流程管理、AI算法模型的调用与集成等。服务层调用DAO与数据库交互，并向控制器层提供业务功能接口。
* **工具类 (Utils)**：提供项目中通用的辅助功能，如日期时间处理、单位换算、数据格式化、加密解密、文件操作等。

**View (视图层)**：

* **用户界面 (UI) 组件库**：采用统一、标准化的UI组件库（如Ant Design, Element UI等，或企业自定义组件库），确保软件整体界面风格的统一性和用户体验的一致性。
* **页面模板与布局**：针对不同功能模块和用户角色设计标准化的页面布局和交互模式，如数据录入表单、数据显示表格、配置界面、仪表盘、报告预览等。
* **数据可视化**：集成成熟的图表库（如ECharts, D3.js, Chart.js等），实现丰富的报表、仪表盘和数据分析结果的可视化展示，帮助用户直观理解数据和趋势。
* **用户交互逻辑**：处理用户的界面操作事件（如点击、输入、选择等），并将用户意图传递给控制器。

**Controller (控制器层)**：

* **API 端点 (Endpoints)**：作为模型层和视图层之间的协调者，定义清晰、规范的RESTful API接口（或其他合适的接口协议），接收来自视图层（或外部系统）的请求。
* **请求处理与参数校验**：负责接收和解析用户请求，对传入的参数进行有效性校验（如格式、类型、范围等），防止无效或恶意请求对系统造成影响。
* **流程协调与业务调用**：根据用户请求调用模型层中相应的业务服务来处理业务逻辑，并将处理结果（数据或状态信息）传递给视图层进行展示，或返回给API调用方。
* **会话管理与安全控制**：管理用户会话状态，协调用户认证和授权逻辑，确保用户操作符合其权限设定。

这种分层架构有助于团队并行开发，降低模块间的依赖，并使得系统更容易适应需求变化。

## **3. 核心功能模块详细设计**

以下将对软件的各个核心功能模块，按照MVC模式进行详细设计。

### **3.1 系统基础与用户管理 (System Foundation & User Management)**

**功能概述**：提供软件系统运行的基础支撑环境，包括但不限于用户账户管理、多层级角色与精细化权限控制、系统参数配置、全面的操作审计日志以及基础的数据字典管理。

#### **3.1.1 Model (模型层)**

**数据实体 (Entities):**

* **User**:
  + userId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 用户唯一标识。
  + username (VARCHAR(50), NN, UQ, IX): 登录用户名。
  + passwordHash (VARCHAR(255), NN): 加密存储的用户密码。
  + passwordSalt (VARCHAR(100), NN): 密码加密盐值。
  + roleId (BIGINT, FK->Role.roleId, NN): 用户所属角色ID。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, 可空): 用户所属电厂ID (若适用集团化管理)。
  + department (VARCHAR(100), 可空): 所属部门。
  + realName (VARCHAR(50), NN): 真实姓名。
  + contactPhone (VARCHAR(20), 可空): 联系电话。
  + email (VARCHAR(100), UQ, 可空): 电子邮箱。
  + accountStatus (ENUM('ENABLED', 'DISABLED', 'LOCKED', 'PENDING\_APPROVAL'), NN, DEFAULT 'ENABLED'): 账户状态（启用、禁用、锁定、待审批）。
  + lastLoginTime (DATETIME, 可空): 最后登录时间。
  + consecutiveLoginFailures (INT, DEFAULT 0): 连续登录失败次数。
  + accountLockoutUntil (DATETIME, 可空): 账户锁定截止时间。
  + passwordLastChanged (DATETIME, NN): 密码最后修改时间。
  + forcePasswordChange (BOOLEAN, DEFAULT FALSE): 是否强制下次登录修改密码。
  + createdBy (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 创建人ID。
  + createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
  + updatedBy (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 更新人ID。
  + updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
* **Role**:
  + roleId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 角色唯一标识。
  + roleName (VARCHAR(50), NN, UQ): 角色名称 (如“环保专工”、“运行人员”、“数据审核员”、“系统管理员”、“集团管理员”)。
  + description (VARCHAR(255), 可空): 角色描述。
  + isSystemRole (BOOLEAN, DEFAULT FALSE): 是否为系统预定义角色（不可删除）。
  + createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
  + updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
* **Permission**:
  + permissionId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 权限唯一标识。
  + permissionIdentifier (VARCHAR(100), NN, UQ, IX): 权限标识符 (例如 data\_entry:fuel\_consumption:create, report:annual:generate, user\_management:user:read)。采用“模块:资源:操作”的命名方式。
  + permissionName (VARCHAR(100), NN): 权限友好名称 (如“录入燃料消耗数据”、“生成年度报告”、“查看用户列表”)。
  + description (VARCHAR(255), 可空): 权限描述。
  + module (VARCHAR(50), NN): 所属功能模块。
  + createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
* **RolePermissionMapping**:
  + roleId (BIGINT, PK, FK->Role.roleId): 角色ID。
  + permissionId (BIGINT, PK, FK->Permission.permissionId): 权限ID。
* **SystemConfig**:
  + configId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 配置项唯一标识。
  + configKey (VARCHAR(100), NN, UQ, IX): 配置项键名 (如 ets.current\_compliance\_year, grid\_emission\_factor.national.2023, password.min\_length)。
  + configValue (TEXT, NN): 配置项值 (根据数据类型存储，如JSON、数字、字符串)。
  + description (VARCHAR(255), 可空): 配置项描述。
  + dataType (ENUM('STRING', 'NUMBER', 'BOOLEAN', 'JSON', 'DATE', 'PASSWORD'), NN): 数据类型。
  + isEditableByAdmin (BOOLEAN, NN, DEFAULT TRUE): 是否允许管理员通过UI编辑。
  + module (VARCHAR(50), 可空): 所属模块。
  + validationRules (TEXT, JSON格式, 可空): 值的校验规则 (如最小/最大值，正则表达式，枚举列表)。
  + updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
  + updatedBy (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 更新人ID。
* **AuditLog**:
  + logId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 日志唯一标识。
  + userId (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 操作用户ID (系统操作时可为空)。
  + username (VARCHAR(50), 可空): 操作用户名。
  + timestamp (DATETIME, NN, IX): 操作发生时间戳。
  + operationType (VARCHAR(50), NN, IX): 操作类型 (如 USER\_LOGIN\_SUCCESS, USER\_LOGIN\_FAILURE, DATA\_CREATE, DATA\_UPDATE, REPORT\_GENERATE, CONFIG\_CHANGE)。
  + module (VARCHAR(50), NN): 操作发生的模块。
  + resourceType (VARCHAR(50), 可空): 被操作的资源类型 (如 User, FuelConsumptionData, AnnualReport)。
  + resourceId (VARCHAR(100), 可空): 被操作的资源ID。
  + details (TEXT, JSON格式, 可空): 操作详情，可包含操作前后的数据快照或关键参数。
  + clientIpAddress (VARCHAR(45), 可空): 客户端IP地址。
  + userAgent (TEXT, 可空): 客户端User-Agent。
  + status (ENUM('SUCCESS', 'FAILURE'), NN): 操作结果。
  + failureReason (TEXT, 可空): 操作失败原因。
* **DataDictionary**: (可选，用于管理系统中枚举值或分类代码)
  + dictId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 字典ID。
  + dictCode (VARCHAR(50), NN, UQ): 字典编码 (如 FUEL\_TYPE, UNIT\_TYPE)。
  + dictName (VARCHAR(100), NN): 字典名称。
  + items (TEXT, JSON格式): 字典项列表，每个项包含 itemValue 和 itemName。

**业务逻辑 (Services):**

* **用户认证服务 (AuthenticationService)**:
  + login(username, password): 验证用户凭据，成功则生成并返回会话凭证 (如JWT)，记录登录成功日志，重置连续登录失败次数。失败则增加失败次数，判断是否需要锁定账户，记录登录失败日志。
  + logout(sessionToken): 使会话凭证失效。
  + changePassword(userId, oldPassword, newPassword): 修改密码，校验旧密码，确保新密码符合密码策略。
  + resetPassword(userId): 管理员重置用户密码（生成随机密码或发送重置链接）。
  + forgotPassword(emailOrUsername): 忘记密码流程，如发送密码重置邮件。
* **用户授权服务 (AuthorizationService)**:
  + checkPermission(userId, permissionIdentifier): 校验用户是否拥有特定权限。
  + getUserPermissions(userId): 获取用户拥有的所有权限列表。
* **用户管理服务 (UserService)**:
  + CRUD操作：createUser, getUserById, updateUser, deleteUser, listUsers (支持分页、筛选、排序)。
  + lockAccount(userId), unlockAccount(userId), enableAccount(userId), disableAccount(userId)。
* **角色管理服务 (RoleService)**:
  + CRUD操作：createRole, getRoleById, updateRole, deleteRole, listRoles。
  + assignPermissionsToRole(roleId, permissionIds[]), getRolePermissions(roleId)。
* **系统配置服务 (SystemConfigService)**:
  + getConfigValue(configKey): 获取配置项值 (优先从缓存读取)。
  + setConfigValue(configKey, configValue, updatedBy): 设置配置项值，进行校验，清除缓存。
  + getAllConfigs(): 获取所有配置项。
* **审计日志服务 (AuditLogService)**:
  + logOperation(AuditLog logEntry): 异步记录操作日志。
  + searchLogs(criteria, page, size): 根据条件查询审计日志。
* **密码策略管理**:
  + 密码复杂度校验逻辑。
  + 密码有效期检查与强制修改提醒。
  + 历史密码比对逻辑。

#### **3.1.2 View (视图层)**

* **登录页面**:
  + 输入字段：用户名、密码。
  + 操作按钮：登录。
  + 链接：“忘记密码？”。
  + 错误提示区域：显示登录失败原因。
* **主布局/导航栏**:
  + 顶部导航：显示当前登录用户名、修改密码入口、退出登录按钮。
  + 左侧菜单：根据用户角色动态生成可访问的功能模块菜单。
* **用户管理页面**:
  + 用户列表：表格展示用户名、真实姓名、角色、状态、最后登录时间等。支持搜索（按用户名、姓名）、筛选（按角色、状态）。
  + 操作：新建用户、编辑用户、删除用户（逻辑删除）、重置密码、启用/禁用账户、解锁账户。
  + 新建/编辑用户表单：包含所有User实体相关字段的输入控件，角色通过下拉列表选择。
* **角色管理页面**:
  + 角色列表：表格展示角色名称、描述。
  + 操作：新建角色、编辑角色、删除角色（系统角色不可删）。
  + 新建/编辑角色表单：输入角色名称、描述。通过权限树或穿梭框（Shuttle）为角色分配权限。
* **权限列表页面 (通常仅超级管理员可见)**:
  + 以树状或分组列表形式展示所有可用权限及其描述。
* **系统配置页面**:
  + 按模块分组展示所有可配置项。
  + 根据配置项的数据类型提供合适的编辑控件（输入框、数字输入、开关、下拉选择、日期选择器、JSON编辑器）。
  + 提供“保存”和“恢复默认值”（若适用）按钮。
  + 对敏感配置的修改应有二次确认。
* **审计日志查询页面**:
  + 筛选条件：用户、时间范围（日期选择器）、操作类型（下拉或多选）、模块（下拉或多选）、关键词（文本输入）。
  + 日志列表：表格分页展示日志详情（操作人、时间、类型、模块、IP、结果、简要描述）。点击可查看完整日志详情（包括操作前后数据快照）。
* **个人中心页面**:
  + 显示当前用户信息。
  + 修改个人资料表单。
  + 修改密码表单（输入旧密码、新密码、确认新密码）。

#### **3.1.3 Controller (控制器层)**

* **AuthenticationController**:
  + POST /api/auth/login: 处理登录请求，调用AuthenticationService.login。
  + POST /api/auth/logout: 处理登出请求。
  + POST /api/auth/change-password: 处理修改密码请求。
  + POST /api/auth/forgot-password: 处理忘记密码请求。
* **UserController**:
  + GET /api/users: 获取用户列表（支持分页、查询参数）。
  + POST /api/users: 创建新用户。
  + GET /api/users/{userId}: 获取指定用户信息。
  + PUT /api/users/{userId}: 更新指定用户信息。
  + DELETE /api/users/{userId}: 删除指定用户。
  + PUT /api/users/{userId}/reset-password: 重置用户密码。
  + PUT /api/users/{userId}/lock: 锁定用户。
  + PUT /api/users/{userId}/unlock: 解锁用户。
* **RoleController**:
  + GET /api/roles: 获取角色列表。
  + POST /api/roles: 创建新角色。
  + GET /api/roles/{roleId}: 获取指定角色信息（包括权限）。
  + PUT /api/roles/{roleId}: 更新指定角色信息（包括权限分配）。
  + DELETE /api/roles/{roleId}: 删除指定角色。
* **PermissionController**:
  + GET /api/permissions: 获取所有权限列表（通常按模块分组）。
* **SystemConfigController**:
  + GET /api/system-configs: 获取所有或按模块分类的系统配置项。
  + PUT /api/system-configs/{configKey}: 更新指定配置项的值。
* **AuditLogController**:
  + GET /api/audit-logs: 查询审计日志（支持分页、查询参数）。
* **全局异常处理器 (GlobalExceptionHandler)**: 捕获控制器层抛出的各类异常（如权限不足、参数校验失败、业务异常），返回统一格式的错误响应给前端。
* **权限拦截器 (AuthorizationInterceptor)**: 在请求到达具体Controller方法前，校验用户会话的有效性及操作所需的权限。

### **3.2 数据采集与管理 (Data Acquisition & Management)**

**功能概述**：负责全面、准确、高效地采集、存储、校验和管理发电厂碳排放核算所需的各类基础数据（如燃料消耗、发电量、煤质参数等）和相关的支撑文档，确保数据的完整性、一致性、及时性和可追溯性。

#### **3.2.1 Model (模型层)**

**数据实体 (Entities):**

* **Plant**: (基本信息同3.1.1节)
  + plantCode (VARCHAR(50), UQ, IX): 电厂代码 (企业内部编码或官方编码)。
  + legalEntityName (VARCHAR(255), NN): 法人单位名称。
  + address (VARCHAR(255)): 详细地址。
  + contactPerson (VARCHAR(50)): 主要联系人。
  + contactPhone (VARCHAR(20)): 联系电话。
  + industryType (VARCHAR(50), DEFAULT '发电行业'): 所属行业。
* **GeneratingUnit**:
  + unitId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 机组唯一标识。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 所属电厂ID。
  + unitName (VARCHAR(100), NN): 机组名称/编号。
  + unitCode (VARCHAR(50), UQ, IX, 可空): 机组官方编码。
  + unitType (VARCHAR(50), NN): 机组类型 (如“I类：≥300MW常规燃煤”、“II类：<300MW常规燃煤”、“III类：非常规燃煤（含CFB）”、“IV类：燃气机组”等，需与配额分配基准线分类严格对应)。
  + designedCapacityMW (DECIMAL(10,2), NN): 设计装机容量 (MW)。
  + commissionDate (DATE, 可空): 投产日期。
  + primaryFuelType (VARCHAR(50), NN): 主要设计燃料类型。
  + boilerInfo (TEXT, JSON格式, 可空): 锅炉信息 (型号、额定蒸发量、蒸汽参数等)。
  + turbineInfo (TEXT, JSON格式, 可空): 汽轮机信息 (型号、额定功率、冷却方式等)。
  + generatorInfo (TEXT, JSON格式, 可空): 发电机信息。
  + isCHP (BOOLEAN, DEFAULT FALSE): 是否为热电联产机组。
  + environmentalFacilities (TEXT, JSON格式, 可空): 主要环保设施信息 (脱硫、脱硝、除尘工艺及投运日期)。
  + status (ENUM('ACTIVE', 'INACTIVE', 'DECOMMISSIONED'), DEFAULT 'ACTIVE'): 机组状态。
  + createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
  + updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
* **FuelType**:
  + fuelTypeId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 燃料类型唯一标识。
  + fuelName (VARCHAR(100), NN, UQ): 燃料名称 (如烟煤、无烟煤、褐煤、天然气、柴油、燃料油等，需与官方指南一致)。
  + fuelCode (VARCHAR(20), UQ, IX, 可空): 燃料官方标准代码。
  + category (ENUM('SOLID', 'LIQUID', 'GAS', 'OTHER'), NN): 燃料物理形态（固态、液态、气态、其他）。
  + defaultUnit (VARCHAR(20), NN): 默认计量单位 (如 t, Nm³, kg)。
* **DataSource**:
  + dataSourceId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 数据来源唯一标识。
  + sourceName (VARCHAR(100), NN, UQ): 数据来源名称 (如“手动录入-班组日报”、“DCS实时接口”、“LIMS化验数据”、“供应商结算单扫描件”、“皮带秤计量系统”)。
  + sourceType (ENUM('MANUAL\_INPUT', 'AUTOMATIC\_INTERFACE', 'FILE\_UPLOAD', 'EXTERNAL\_SYSTEM'), NN): 来源类型。
  + interfaceDetails (TEXT, JSON格式, 可空): 若为接口类型，存储接口配置信息 (如API地址、认证方式、同步频率、数据点映射规则)。
* **ActivityData**: (燃料消耗、发电量、供热量、购入电量等活动水平数据)
  + activityDataId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 记录唯一标识。
  + unitId (BIGINT, FK->GeneratingUnit.unitId, NN): 关联机组ID。
  + fuelTypeId (BIGINT, FK->FuelType.fuelTypeId, 可空): 关联燃料类型ID (如为燃料消耗数据)。
  + dataItemIdentifier (VARCHAR(100), NN, IX): 数据项标识符 (如 FUEL\_CONSUMPTION\_COAL\_IN\_FURNACE, PURCHASED\_ELECTRICITY\_GRID, NET\_GENERATION\_UNIT1, HEAT\_SUPPLY\_UNIT1)。
  + dataItemName (VARCHAR(255), NN): 数据项名称 (如“入炉煤消耗量”、“外购电量-电网”、“1号机组发电量”、“1号机组供热量”)。
  + reportingPeriod (DATE, YYYY-MM-DD格式, NN, IX): 数据所属日期 (对于日/班数据)。对于月度数据，可是月份第一天。
  + recordFrequency (ENUM('HOURLY', 'DAILY', 'SHIFT', 'BATCH', 'MONTHLY'), NN): 记录频率。
  + startTime (DATETIME, NN, IX): 记录周期开始时间。
  + endTime (DATETIME, NN, IX): 记录周期结束时间。
  + value (DECIMAL(18,6), NN): 数值。
  + unit (VARCHAR(20), NN): 单位 (如 t, MWh, GJ)。
  + dataSourceId (BIGINT, FK->DataSource.dataSourceId, NN): 数据来源ID。
  + entryUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN): 录入/采集用户ID。
  + entryTimestamp (DATETIME, NN): 录入/采集时间。
  + dataStatus (ENUM('RAW', 'SUBMITTED', 'VALIDATED\_ERROR', 'VALIDATED\_OK', 'AUDITED\_REJECTED', 'AUDITED\_APPROVED', 'MODIFIED', 'CONFIRMED'), NN, DEFAULT 'RAW'): 数据状态。
  + originalValue (DECIMAL(18,6), 可空): 若发生修正，记录原始值。
  + modificationReason (TEXT, 可空): 修正原因。
  + modifiedBy (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 修正人ID。
  + modifiedAt (DATETIME, 可空): 修正时间。
  + dqcpMonitoringPointId (BIGINT, 可空): 关联的DQCP监测点ID。
  + remarks (TEXT, 可空): 备注。
* **ParameterData**: (燃料热值、元素碳含量等参数数据)
  + parameterDataId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 记录唯一标识。
  + fuelTypeId (BIGINT, FK->FuelType.fuelTypeId, NN): 关联燃料类型ID。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 所属电厂ID (用于区分不同电厂的同种燃料参数)。
  + parameterIdentifier (VARCHAR(100), NN, IX): 参数标识符 (如 COAL\_LHV\_AR, COAL\_CARBON\_CONTENT\_AR, NATURAL\_GAS\_LHV\_AR)。
  + parameterName (VARCHAR(255), NN): 参数名称 (如“煤收到基低位发热量”、“煤收到基元素碳含量”、“天然气收到基低位发热量”)。
  + samplingDate (DATE, NN, IX): 采样日期。
  + analysisDate (DATE, 可空): 化验/分析日期。
  + value (DECIMAL(18,6), NN): 参数值。
  + unit (VARCHAR(20), NN): 单位 (如 MJ/kg, %, tC/t)。
  + analysisMethod (VARCHAR(255), NN): 分析方法/标准依据 (如 GB/T 213, GB/T 30733)。
  + dataSourceId (BIGINT, FK->DataSource.dataSourceId, NN): 数据来源ID (如LIMS系统, 化验单)。
  + labReportNumber (VARCHAR(100), UQ, IX, 可空): 化验单号/报告编号。
  + labName (VARCHAR(255), 可空): 检测机构名称。
  + isCMAOrCNASCertified (BOOLEAN, 可空): 检测机构是否具备CMA/CNAS资质。
  + dataStatus (ENUM('RAW', 'SUBMITTED', 'VALIDATED\_ERROR', 'VALIDATED\_OK', 'AUDITED\_REJECTED', 'AUDITED\_APPROVED'), NN, DEFAULT 'RAW'): 数据状态。
  + entryUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN): 录入用户ID。
  + entryTimestamp (DATETIME, NN): 录入时间。
  + dqcpMonitoringPointId (BIGINT, 可空): 关联的DQCP监测点ID。
  + remarks (TEXT, 可空): 备注。
  + 煤炭特有参数示例 (需要明确存储，而非仅在备注中):
    - mar\_value (DECIMAL(5,2), 可空): 收到基水分 (%)。
    - mad\_value (DECIMAL(5,2), 可空): 空气干燥基水分 (%)。
    - cad\_carbon\_content (DECIMAL(5,2), 可空): 空气干燥基碳含量 (%)。
    - cd\_carbon\_content (DECIMAL(5,2), 可空): 干燥基碳含量 (%)。
    - har\_value (DECIMAL(5,2), 可空): 收到基氢含量 (%)。
    - sar\_value (DECIMAL(5,2), 可空): 收到基全硫 (%)。
    - aar\_value (DECIMAL(5,2), 可空): 收到基灰分 (%)。
    - var\_value (DECIMAL(5,2), 可空): 收到基挥发分 (%)。
* **SupportingDocument**:
  + documentId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 文档唯一标识。
  + relatedEntityType (ENUM('ActivityData', 'ParameterData', 'DQCP', 'Verification', 'Transaction'), NN): 关联的实体类型。
  + relatedEntityId (BIGINT, NN, IX): 关联的实体记录ID。
  + fileName (VARCHAR(255), NN): 原始文件名。
  + storedFileName (VARCHAR(255), NN, UQ): 存储系统中的文件名或路径/对象键。
  + fileType (VARCHAR(50), NN): 文件MIME类型 (如 application/pdf, image/jpeg)。
  + fileSizeKB (INT): 文件大小 (KB)。
  + uploadTimestamp (DATETIME, NN): 上传时间。
  + uploadUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN): 上传用户ID。
  + description (TEXT, 可空): 文档描述。
  + validFrom (DATE, 可空): 文档有效期起。
  + validTo (DATE, 可空): 文档有效期止（如校验证书）。
* **DataValidationRule**:
  + ruleId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 规则唯一标识。
  + ruleName (VARCHAR(255), NN, UQ): 规则名称 (如“燃煤低位发热量合理范围校验”)。
  + targetDataItemIdentifier (VARCHAR(100), 可空, IX): 适用的活动数据项标识符。
  + targetParameterIdentifier (VARCHAR(100), 可空, IX): 适用的参数数据项标识符。
  + validationType (ENUM('RANGE', 'LOGIC\_CONSISTENCY', 'COMPLETENESS', 'TREND\_ANOMALY', 'DQCP\_COMPLIANCE'), NN): 校验类型。
  + ruleExpression (TEXT, NN): 规则表达式或逻辑描述 (如 value >= 8 && value <= 30 for LHV in MJ/kg; 或引用一个更复杂的校验函数)。
  + errorMessageTemplate (VARCHAR(255), NN): 校验失败时的错误提示信息模板。
  + severityLevel (ENUM('ERROR', 'WARNING', 'INFO'), NN, DEFAULT 'ERROR'): 错误/告警级别。
  + isEnabled (BOOLEAN, NN, DEFAULT TRUE): 是否启用该规则。
  + scope (VARCHAR(50), 可空): 适用范围 (如特定机组类型、燃料类型)。

**业务逻辑 (Services):**

* **数据校验服务 (DataValidationService)**:
  + validateActivityData(ActivityData data) 和 validateParameterData(ParameterData data): 根据DataValidationRule库中的规则对单条数据进行校验。
  + batchValidateData(List<Data> dataList): 批量校验。
  + 范围校验: 根据配置的上下限判断数据是否越界。
  + 逻辑一致性校验:
    - 物料平衡: 如煤场期末库存 = 期初库存 + 入厂 - 消耗 ± 盘点误差。
    - 能效关联: 单位发电/供热燃料消耗率是否在合理区间（可基于历史数据或设计值动态调整阈值）。
    - 水分关系: Mar ≥ Mad。
    - 参数关联: 如元素碳含量与低位发热量的大致关系。
  + 完整性校验: 检查指定报告周期内（如日、月）必需的数据项是否都已按时录入。
  + 趋势异常检测: (可结合AI模块) 比较当前数据点与历史同期、近期均值、标准差，识别突变、持续偏离等。
  + DQCP符合性校验: 检查实际数据的监测频率、方法、来源等是否与已批准的DQCP中规定的要求一致。
* **数据修正与版本控制服务 (DataCorrectionService)**:
  + 提供已审核数据的修正流程，记录修正前的值、修正原因、修正人、修正时间。所有修正操作必须有严格的审计。
* **支撑文档管理服务 (DocumentManagementService)**:
  + uploadDocument(file, metadata): 处理文件上传，存储文件，保存元数据，并建立与业务数据的关联。
  + downloadDocument(documentId): 下载文档。
  + linkDocumentToEntity(documentId, entityType, entityId): 关联文档。
  + (可选) OCR服务接口，用于从图片中提取文本。
* **外部数据源集成服务 (ExternalDataSourceService)**:
  + syncDataFromDCS(config): 根据配置从DCS/PI等实时系统拉取数据，进行清洗、转换、聚合。
  + syncDataFromLIMS(config): 从LIMS系统获取化验数据。
  + 错误处理与重试机制。
* **数据导入/导出服务 (DataImportExportService)**:
  + generateImportTemplate(dataItemType): 生成标准Excel导入模板。
  + importDataFromExcel(file, dataItemType): 解析Excel，逐条校验数据，返回导入结果（成功条数、失败条数及错误详情）。
  + exportDataToExcel/CSV(criteria): 根据查询条件导出数据。
* **数据聚合服务 (DataAggregationService)**:
  + 将日/班/批次的ActivityData和ParameterData按月、按季度、按年进行汇总（求和、加权平均等）。例如，月度平均煤质参数需按月耗煤量加权平均。

#### **3.2.2 View (视图层)**

* **数据采集仪表盘/工作台**:
  + 显示待录入数据任务、近期数据质量告警、数据提交状态概览。
* **数据录入表单 (按数据类型区分)**:
  + 燃料消耗录入: 选择机组、燃料类型、日期/班次，输入消耗量。系统根据DQCP提示应使用的计量设备和数据来源。
  + 发电/供热量录入: 选择机组、日期/班次，输入发电量、供热量、上网电量、厂用电量等。
  + 购入电量录入: 输入购入电量、供应商信息。
  + 煤质参数录入: 选择燃料类型、采样日期，输入各化验指标值（Car, NCVar, Mar, Mad等），关联化验单号和支撑文档。提供收到基、空气干燥基、干燥基之间的辅助换算工具。
  + 所有表单均应有清晰的单位提示、输入校验（实时）、数据来源选择、备注字段。
  + 支持“暂存”和“提交审核”操作。
* **数据查询与浏览页面**:
  + 提供强大的多条件组合筛选器（时间范围、机组、燃料类型、数据项、数据状态、数据来源等）。
  + 以可配置的表格形式展示数据，支持列排序、列显隐、数据导出。
  + 关键数据项（如日耗煤量、日发电量、月平均低位热值）可提供趋势图表展示。
* **支撑文档管理模块**:
  + 文档上传界面：支持拖拽上传、批量上传。
  + 文档库：列表展示已上传文档，提供预览（PDF, 图片）、下载、编辑元数据、删除、版本管理（可选）。
  + 文档关联界面：在查看具体业务数据时，可方便地关联或查看已关联的支撑文档。
* **数据质量中心/告警处理模块**:
  + 集中展示所有数据校验失败的告警（按级别、类型、数据项分类）。
  + 提供告警详情、问题数据追溯链接、建议处理措施。
  + 用户可对告警进行处理（如确认问题并修正数据、标记为误报、分配给他人处理），记录处理过程。
* **数据审核工作流页面**:
  + “我的待办”列表：显示分配给当前用户的待审核数据批次。
  + 审核详情页：展示待审核数据的完整信息、校验结果、关联文档。
  + 审核操作：通过、驳回（需填写驳回理由）。
* **数据导入/导出向导**:
  + 引导用户选择导入/导出的数据类型，下载模板/配置导出参数。
  + 导入后显示成功/失败摘要，提供错误报告下载。

#### **3.2.3 Controller (控制器层)**

* **ActivityDataController & ParameterDataController**:
  + POST /api/activity-data 或 /api/parameter-data: 创建新的数据记录（录入）。
  + GET /api/activity-data 或 /api/parameter-data: 查询数据记录（支持复杂查询参数）。
  + PUT /api/activity-data/{id} 或 /api/parameter-data/{id}: 更新数据记录（如修正）。
  + POST /api/activity-data/batch 或 /api/parameter-data/batch: 批量创建/更新数据。
  + POST /api/activity-data/validate 或 /api/parameter-data/validate: 主动触发数据校验。
* **DocumentController**:
  + POST /api/documents/upload: 上传支撑文档。
  + GET /api/documents/{id}: 获取文档元数据。
  + GET /api/documents/{id}/download: 下载文档。
  + POST /api/documents/link: 关联文档到业务实体。
* **DataImportExportController**:
  + GET /api/import/template?type={dataType}: 下载导入模板。
  + POST /api/import?type={dataType}: 执行数据导入。
  + POST /api/export?type={dataType}: 执行数据导出（请求体中包含筛选条件）。
* **DataValidationController**:
  + GET /api/validation/rules: 获取数据校验规则列表。
  + POST /api/validation/rules: 创建/更新校验规则 (管理员权限)。
  + GET /api/validation/alerts: 查询数据质量告警。
  + PUT /api/validation/alerts/{alertId}/status: 更新告警处理状态。
* **DataAuditController**: (用于数据审核流程)
  + POST /api/data-audit/submit: 提交数据进行审核。
  + GET /api/data-audit/tasks: 获取当前用户的待审核任务。
  + POST /api/data-audit/approve/{dataId}: 审核通过。
  + POST /api/data-audit/reject/{dataId}: 审核驳回。

### **3.3 碳排放核算引擎 (Carbon Emission Calculation Engine)**

**功能概述**：严格遵循国家发布的核算指南和方法学（当前主要依据《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》及其后续修订版），精确、可追溯地计算发电厂在特定报告期内的温室气体（目前主要是CO2）排放量。

#### **3.3.1 Model (模型层)**

**数据实体 (Entities):**

* **EmissionFactor**:
  + factorId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 排放因子唯一标识。
  + factorIdentifier (VARCHAR(100), NN, UQ, IX): 因子标识符 (如 COAL\_DEFAULT\_CC\_CONVENTIONAL\_2022, GRID\_FACTOR\_NATIONAL\_2023, NATURAL\_GAS\_OXIDATION\_RATE)。
  + factorName (VARCHAR(255), NN): 因子名称 (如“常规燃煤机组单位热值含碳量缺省值(2022版)”，“2023年全国电网平均排放因子”，“天然气碳氧化率”)。
  + factorType (ENUM('CARBON\_CONTENT\_PER\_UNIT\_HEAT', 'OXIDATION\_FACTOR', 'GRID\_EMISSION\_FACTOR', 'LHV\_DEFAULT', 'ELEMENTAL\_CARBON\_DEFAULT'), NN): 因子类型 (单位热值含碳量CC, 碳氧化率OF, 电网排放因子EF电力, 低位发热量NCV缺省值, 元素碳含量Car缺省值)。
  + value (DECIMAL(18,8), NN): 因子数值。
  + unit (VARCHAR(30), NN): 单位 (如 tC/GJ, %, tCO2/MWh, GJ/t, tC/t)。
  + applicableFuelTypeId (BIGINT, FK->FuelType.fuelTypeId, 可空): 适用燃料类型ID。
  + applicableUnitType (VARCHAR(50), 可空): 适用机组类型 (如“常规燃煤”、“非常规燃煤CFB”)。
  + applicableRegion (VARCHAR(50), 可空): 适用区域 (如“全国”、“华北电网”)。
  + effectiveStartDate (DATE, NN): 生效起始日期/年份。
  + effectiveEndDate (DATE, 可空): 失效截止日期/年份。
  + sourceReference (TEXT, 可空): 来源依据 (如“环办气候函〔2022〕485号 附录A”，“生态环境部公告202X年第X号”)。
  + version (VARCHAR(20), 可空): 版本号。
  + isCurrent (BOOLEAN, NN, DEFAULT TRUE): 是否为当前有效版本。
* **CalculationFormula**:
  + formulaId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 计算公式唯一标识。
  + formulaIdentifier (VARCHAR(100), NN, UQ): 公式标识符 (如 FOSSIL\_FUEL\_COMBUSTION\_BY\_CARBON\_CONTENT\_METHOD1, PURCHASED\_ELECTRICITY\_EMISSION\_CALC)。
  + formulaName (VARCHAR(255), NN): 公式名称。
  + expressionDefinition (TEXT, JSON或XML格式, NN): 公式结构化定义，包含输入参数、计算步骤、引用的因子类型等。
  + applicableEmissionSourceType (VARCHAR(50), NN): 适用排放源类型 (如“化石燃料燃烧”、“外购电力”)。
  + conditions (TEXT, 可空): 适用条件 (如“元素碳含量实测数据可用时”)。
  + sourceReference (TEXT, 可空): 来源依据。
  + version (VARCHAR(20), NN): 版本号。
* **EmissionResult**:
  + resultId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 排放结果唯一标识。
  + unitId (BIGINT, FK->GeneratingUnit.unitId, 可空): 关联机组ID (若为机组级排放)。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 关联电厂ID。
  + reportingPeriodType (ENUM('MONTHLY', 'ANNUAL'), NN): 报告周期类型。
  + reportingPeriod (VARCHAR(7) for YYYY-MM or VARCHAR(4) for YYYY, NN, IX): 报告周期。
  + emissionSourceType (VARCHAR(50), NN): 排放源类型。
  + fuelTypeId (BIGINT, FK->FuelType.fuelTypeId, 可空): 关联燃料类型ID (若为燃料燃烧排放)。
  + co2EmissionAmount (DECIMAL(18,6), NN): CO2排放量 (单位: tCO2)。
  + calculationTimestamp (DATETIME, NN): 计算执行时间戳。
  + calculationFormulaVersionId (BIGINT, FK->CalculationFormula.formulaId, NN): 使用的计算公式版本ID。
  + inputDataSnapshot (TEXT, JSON格式, NN): 计算时使用的关键输入数据快照 (如该周期的燃料消耗量、平均低位发热量、平均元素碳含量、购入电量等及其版本/ID)。
  + factorsUsedSnapshot (TEXT, JSON格式, NN): 计算时使用的排放因子快照 (因子标识符、值、版本)。
  + calculationLogId (BIGINT, FK->CalculationLog.logId, 可空): 关联的详细计算日志ID。
  + status (ENUM('PRELIMINARY', 'CONFIRMED', 'REPORTED'), DEFAULT 'PRELIMINARY'): 结果状态。
* **CalculationLog**:
  + logId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 计算日志ID。
  + triggeredByUserId (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 触发计算的用户ID。
  + startTime (DATETIME, NN): 计算开始时间。
  + endTime (DATETIME, NN): 计算结束时间。
  + status (ENUM('SUCCESS', 'FAILURE', 'PARTIAL\_SUCCESS'), NN): 计算状态。
  + errorMessage (TEXT, 可空): 若失败，记录错误信息。
  + details (TEXT, JSON格式, 可空): 更详细的计算过程步骤和中间结果。

**业务逻辑 (Services):**

* **核心CO2排放计算逻辑 (CO2CalculationService)**:
  + 化石燃料燃烧排放 (E燃烧) (严格按照《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》最新版公式):
    - 方法一 (基于实测元素碳含量): E燃烧 = ∑i (FCi × Carar,i × OFi × 44/12)
      * FCi: 第 i 种化石燃料在报告期内的消耗量 (从 ActivityData 获取已确认数据, 单位: 煤/油为t, 气为10⁴Nm³)。
      * Carar,i: 第 i 种化石燃料在报告期内对应消耗量的收到基元素碳含量 (从 ParameterData 获取加权平均后的已确认数据, 或按指南规则处理缺失。单位: 煤/油为tC/t, 气为tC/10⁴Nm³)。
      * OFi: 第 i 种化石燃料的碳氧化率 (从 EmissionFactor 获取对应燃料和年份的有效因子, 单位: %)。
      * 44/12: CO2与C的分子量比值 (系统常量)。
    - 方法二 (基于缺省单位热值含碳量): E燃烧 = ∑i (FCi × NCVar,i × CCi × OFi × 44/12)
      * FCi: 同上。
      * NCVar,i: 第 i 种化石燃料收到基低位发热量 (从 ParameterData 获取加权平均后的已确认数据，或从 EmissionFactor 获取缺省值。单位: 煤/油为GJ/t, 气为GJ/10⁴Nm³)。
      * CCi: 第 i 种化石燃料的单位热值含碳量 (从 EmissionFactor 获取对应燃料、机组类型和年份的有效缺省因子, 或基于实测 Carar,i 和 NCVar,i 计算得到 CCi = Carar,i / NCVar,i。单位: tC/GJ)。
      * OFi: 同上。
    - 参数获取优先级: 严格遵循指南规定，优先使用实测值。例如，元素碳含量 (Carar,i) 实测可用时，必须使用方法一。
  + 购入使用电力产生的排放 (E电力): E电力 = AD电力 × EF电力
    - AD电力: 报告期内购入使用的电量 (从 ActivityData 获取已确认数据, 单位: MWh)。
    - EF电力: 对应报告年份的电网排放因子 (从 EmissionFactor 获取官方发布的全国或区域（若适用）平均电网排放因子, 单位: tCO2/MWh)。
  + 发电设施总排放量 (E总): E总 = E燃烧 + E电力
* **排放因子管理与选用逻辑 (EmissionFactorService)**:
  + getEffectiveFactor(factorIdentifier, date, criteria): 根据因子标识符、核算日期和适用条件（燃料、机组类型等）从因子库中获取唯一有效的排放因子值。
  + 因子库的更新与版本管理：管理员根据官方发布更新因子，旧版本因子保留用于历史追溯。
* **燃料特性参数处理逻辑 (FuelParameterService)**:
  + 收到基换算: 提供函数将空气干燥基(ad)或干燥基(d)的煤质参数（如碳含量）使用收到基水分(Mar)和空气干燥基水分(Mad)换算为收到基(ar)参数。例如：Carar=Cadad × (100−Mar)/(100−Mad) 或 Carar=Cdd × (100−Mar)/100。 (注：此处公式原文有误，应为 Carar = Cadad \* (100-Mad)/(100-Mar) 或 Carar = Cdd \* (100-Mar)/100，但按用户要求不修改内容，保留原文 Car=Cad × (100−Mad)/(100−Mar) 或 Car=Cd × 100/(100−Mar) )
  + 加权平均: 实现按燃料消耗量对燃料参数（NCV, Car等）进行月度或年度加权平均计算。
    - 月平均值 = ∑(日/批参数值×日/批消耗量)/∑(日/批消耗量)
    - 年平均值 = ∑(月平均参数值×月消耗量)/∑(月消耗量)
  + 处理缺失数据：当某日/批次无实测参数时，遵循指南规定处理（如使用近期平均值、当月平均值、缺省值，并记录处理方法）。
* **单位换算逻辑 (UnitConversionService)**: 内置常用单位（能量、质量、体积、热值等）之间的转换因子和函数。
* **数据聚合逻辑 (DataAggregationService)**: 将日/班/批次的活动数据和参数数据按月、按年进行汇总（求和、加权平均）。
* **生物质混烧处理逻辑**:
  + 在计算 E燃烧 时，明确从 FCi 中剔除生物质部分的消耗量。
  + 单独计算和报告生物质消耗量、热量及其在总热量中的占比，但不计入CO2排放总量。
* **核算结果版本控制与追溯**:
  + 每次执行核算，都应记录详细的 CalculationLog，包括输入数据快照、使用的因子和公式版本。
  + 若输入数据或计算参数发生变更导致重新核算，应生成新的 EmissionResult 记录，并与旧记录建立关联或版本关系。

#### **3.3.2 View (视图层)**

* **排放因子库管理界面**:
  + 列表展示所有排放因子，支持筛选（按类型、燃料、年份、状态）、排序。
  + 提供新增、编辑（严格权限控制，对已使用的因子一般只允许停用旧版、新增新版）、查看历史版本功能。
  + 清晰展示每个因子的数值、单位、适用条件、来源依据、生效期。
* **计算公式查看界面 (通常为只读)**:
  + 以易于理解的方式展示当前系统中使用的计算公式及其参数说明、来源。
* **排放核算任务界面**:
  + 选择核算周期（如月份、年份）、核算对象（单个机组、全厂汇总）。
  + 提供“开始核算”按钮。
  + （可选）“重新核算”选项，并可选择是否使用最新的因子/数据，或基于历史快照复现计算。
* **排放结果展示与分析界面**:
  + 汇总表: 按排放源 (燃料燃烧、购入电力)、机组、燃料类型、时间维度 (月度、年度) 以表格形式展示CO2排放量。
  + 趋势图: 使用折线图、柱状图展示排放量的时间序列变化、同比/环比变化。
  + 构成分析: 使用饼图、堆叠柱状图展示各排放源、各燃料类型对总排放量的贡献比例。
  + 下钻功能: 允许用户从全厂总排放逐级下钻到特定机组、特定燃料的月度甚至日度排放贡献及计算明细。
* **核算过程追溯/审计界面**:
  + 当用户查看某条具体的 EmissionResult 时，系统能清晰展示：
    - 本次计算使用的公式版本。
    - 本次计算使用的每个排放因子的具体数值、来源和版本。
    - 本次计算依赖的关键活动数据和参数数据的具体数值、来源和录入时间（可链接到原始数据记录和支撑文档）。
    - 可视化计算链路图（可选），展示从原始数据到最终排放结果的计算流程。

#### **3.3.3 Controller (控制器层)**

* **EmissionCalculationController**:
  + POST /api/calculations/execute: 接收用户发起的排放核算请求（参数包括报告期、核算对象范围、是否强制使用最新数据等）。
    - 协调ActivityDataService和ParameterDataService获取指定周期和对象范围内、已确认的活动数据和参数数据。
    - 调用FuelParameterService进行必要的参数加权平均和基准转换。
    - 调用EmissionFactorService获取适用的排放因子。
    - 调用CO2CalculationService执行核心计算逻辑。
    - 将核算得到的排放结果和计算日志保存到数据库。
    - 返回计算任务的状态和结果摘要给前端。
  + GET /api/emission-results: 查询历史排放结果（支持按周期、机组、排放源等条件筛选和分页）。
  + GET /api/emission-results/{resultId}/trace: 获取指定排放结果的详细计算追溯信息。
* **EmissionFactorController**:
  + GET /api/emission-factors: 获取排放因子列表。
  + POST /api/emission-factors: 新增排放因子 (管理员权限)。
  + PUT /api/emission-factors/{factorId}: 更新排放因子 (管理员权限)。
  + GET /api/emission-factors/effective?type=...&date=...: 获取指定条件下当前有效的因子。
* **CalculationFormulaController**:
  + GET /api/calculation-formulas: 获取计算公式列表及定义。

### **3.4 监测、报告与核查 (MRV) 管理 (MRV Management)**

**功能概述**：全面支持数据质量控制计划 (DQCP) 的电子化创建、审批、执行跟踪与版本管理；自动化生成符合国家最新规范的年度温室气体排放报告和月度（若要求）关键数据信息化存证；提供便捷、高效的工具以支持第三方核查机构的核查工作及企业内部的不符合项整改闭环管理。

#### **3.4.1 Model (模型层)**

**数据实体 (Entities):**

* **DQCP (Data Quality Control Plan)**:
  + dqcpId (BIGINT, PK, AutoIncrement): DQCP唯一标识。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 所属电厂ID。
  + versionNumber (VARCHAR(20), NN): 版本号 (如 "V1.0", "V2.1")。
  + effectiveDate (DATE, NN): 生效日期。
  + status (ENUM('DRAFT', 'PENDING\_APPROVAL', 'APPROVED', 'REJECTED', 'SUPERSEDED', 'ARCHIVED'), NN, DEFAULT 'DRAFT'): DQCP状态。
  + authorUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN):编制人ID。
  + approvalUserId (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 审批人ID。
  + approvalTimestamp (DATETIME, 可空): 审批时间。
  + approvalComments (TEXT, 可空): 审批意见。
  + documentLink (VARCHAR(255), 可空): 指向完整的DQCP文档（如PDF）的链接或附件ID。
  + createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
  + updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
* **DQCPSection**: (用于结构化存储DQCP内容，或者DQCP内容直接以富文本/Markdown形式存储在DQCP.content字段)
  + sectionId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 章节ID。
  + dqcpId (BIGINT, FK->DQCP.dqcpId, NN): 关联的DQCP ID。
  + parentSectionId (BIGINT, FK->DQCPSection.sectionId, 可空): 父章节ID (用于层级结构)。
  + sectionOrder (INT, NN): 章节顺序。
  + title (VARCHAR(255), NN): 章节标题 (如“1. 企业基本情况”, “3.2 燃料消耗量监测”)。
  + content (TEXT, NN): 章节具体内容 (可为富文本或Markdown)。
* **DQCPMonitoringPoint**: (DQCP中定义的具体监测点/参数要求)
  + monitoringPointId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 监测点唯一标识。
  + dqcpId (BIGINT, FK->DQCP.dqcpId, NN): 关联的DQCP ID。
  + pointName (VARCHAR(255), NN): 监测点/参数名称 (如“入炉煤皮带秤A”，“燃煤收到基元素碳含量化验”)。
  + dataItemOrParameterIdentifier (VARCHAR(100), NN, IX): 关联的ActivityData或ParameterData中的标识符。
  + monitoringMethod (TEXT, NN): 监测方法描述。
  + monitoringEquipment (VARCHAR(255), 可空): 监测设备型号、精度。
  + monitoringFrequency (VARCHAR(100), NN): 监测频率 (如“每日一次”、“每批次”、“每月至少一次”)。
  + responsibleDepartment (VARCHAR(100), 可空): 负责部门。
  + responsiblePersonRole (VARCHAR(50), 可空): 负责角色。
  + recordKeepingRequirements (TEXT, 可空): 记录保存要求。
  + qualityControlMeasures (TEXT, 可空): 质量控制措施。
  + calibrationRequirements (TEXT, 可空): 校准要求 (频率、规程依据等)。
* **EmissionReport**:
  + reportId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 报告唯一标识。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 所属电厂ID。
  + reportYear (INT, NN, IX): 报告年度。
  + reportType (ENUM('ANNUAL\_EMISSION\_REPORT', 'MONTHLY\_DATA\_FILING', 'SELF\_ASSESSMENT\_REPORT'), NN): 报告类型。
  + status (ENUM('DRAFT', 'PENDING\_INTERNAL\_REVIEW', 'INTERNAL\_REVIEW\_REJECTED', 'PENDING\_SUBMISSION', 'SUBMITTED\_TO\_AUTHORITY', 'VERIFICATION\_IN\_PROGRESS', 'VERIFIED\_WITH\_ISSUES', 'VERIFIED\_OK', 'ARCHIVED'), NN, DEFAULT 'DRAFT'): 报告状态。
  + version (INT, DEFAULT 1): 报告版本号 (每次重大修改后递增)。
  + generatedContentLink (VARCHAR(255), 可空): 指向生成的报告文件(PDF/XML)的链接。
  + submissionTimestamp (DATETIME, 可空): 提交至主管部门的时间。
  + authorUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN): 编制人ID。
  + createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
  + updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
  + relatedEmissionResultIds (TEXT, JSON数组格式, 可空): 关联的年度/月度EmissionResult记录ID列表。
* **EmissionReportSectionData**: (用于存储年度报告各附表C.1-C.7的结构化数据)
  + reportSectionDataId (BIGINT, PK, AutoIncrement)。
  + reportId (BIGINT, FK->EmissionReport.reportId, NN)。
  + sectionIdentifier (VARCHAR(20), NN, IX): 报告章节标识符 (如 "C.1", "C.3.1\_Coal")。
  + dataContent (TEXT, JSON格式, NN): 该章节的结构化数据内容。
* **VerificationRecord**:
  + verificationId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 核查记录唯一标识。
  + reportId (BIGINT, FK->EmissionReport.reportId, NN, UQ): 关联的排放报告ID。
  + verificationBodyName (VARCHAR(255), NN): 核查机构名称。
  + leadVerifierName (VARCHAR(100), 可空): 主任核查员姓名。
  + verificationStartDate (DATE, 可空): 核查启动日期。
  + onSiteVerificationDates (TEXT, JSON数组格式, 可空): 现场核查日期列表。
  + verificationReportDate (DATE, 可空): 核查报告出具日期。
  + verificationConclusion (ENUM('CONFORM', 'BASICALLY\_CONFORM', 'NON\_CONFORM', 'NOT\_VERIFIED'), 可空): 核查结论。
  + verifiedEmissionAmount (DECIMAL(18,6), 可空): 核查机构确认的CO2排放量 (tCO2)。
  + verificationReportLink (VARCHAR(255), 可空): 指向核查报告扫描件的链接。
  + status (ENUM('SCHEDULED', 'IN\_PROGRESS', 'COMPLETED', 'CLOSED'), DEFAULT 'SCHEDULED'): 核查状态。
* **VerificationNonConformity**:
  + nonConformityId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 不符合项唯一标识。
  + verificationId (BIGINT, FK->VerificationRecord.verificationId, NN): 关联的核查记录ID。
  + description (TEXT, NN): 不符合项描述。
  + clauseReference (VARCHAR(100), 可空): 违反的指南条款或DQCP条款。
  + severityLevel (ENUM('MAJOR', 'MINOR', 'OBSERVATION'), DEFAULT 'MINOR'): 严重程度。
  + correctiveActionPlan (TEXT, 可空): 整改措施计划。
  + responsibleUserId (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 整改负责人ID。
  + dueDate (DATE, 可空): 整改截止日期。
  + rectificationStatus (ENUM('OPEN', 'IN\_PROGRESS', 'PENDING\_VERIFICATION', 'CLOSED\_EFFECTIVE', 'CLOSED\_INEFFECTIVE'), DEFAULT 'OPEN'): 整改状态。
  + rectificationEvidenceLink (VARCHAR(255), 可空): 整改证据链接。
  + closureDate (DATE, 可空): 关闭日期。
* **ComplianceCalendarTask**:
  + taskId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 任务唯一标识。
  + taskName (VARCHAR(255), NN): 任务名称 (如“提交2023年度排放报告”，“完成6月份煤质化验数据录入”)。
  + taskType (ENUM('DATA\_ENTRY', 'DATA\_REVIEW', 'REPORT\_GENERATION', 'REPORT\_SUBMISSION', 'VERIFICATION\_SUPPORT', 'COMPLIANCE\_SURRENDER', 'DQCP\_REVIEW', 'EQUIPMENT\_CALIBRATION'), NN): 任务类型。
  + dueDate (DATETIME, NN, IX): 截止日期时间。
  + assignedToUserId (BIGINT, FK->User.userId, 可空): 分配给的用户ID。
  + assignedToRoleId (BIGINT, FK->Role.roleId, 可空): 分配给的角色ID。
  + status (ENUM('TODO', 'IN\_PROGRESS', 'COMPLETED', 'OVERDUE', 'CANCELLED'), NN, DEFAULT 'TODO'): 任务状态。
  + priority (ENUM('HIGH', 'MEDIUM', 'LOW'), DEFAULT 'MEDIUM'): 优先级。
  + description (TEXT, 可空): 任务详细描述或操作指引。
  + relatedEntityType (VARCHAR(50), 可空): 关联实体类型 (如 EmissionReport, DQCPMonitoringPoint)。
  + relatedEntityId (BIGINT, 可空): 关联实体ID。
  + reminderSettings (TEXT, JSON格式, 可空): 提醒设置 (如提前N天提醒)。
  + completionTimestamp (DATETIME, 可空): 实际完成时间。
  + recurringPattern (VARCHAR(100), 可空): 重复模式 (如CRON表达式，用于周期性任务)。

**业务逻辑 (Services):**

* **DQCP管理服务 (DQCPManagementService)**:
  + createDQCP(dqcpData): 创建新的DQCP草稿。
  + submitDQCPForApproval(dqcpId): 提交审批。
  + approveOrRejectDQCP(dqcpId, approverId, comments, isApproved): 审批DQCP。
  + createNewVersionFromDQCP(dqcpId): 基于现有版本创建新版本进行修订。
  + getDQCPDetails(dqcpId, version): 获取特定版本DQCP详情。
  + trackDQCPExecution(dqcpId): (核心逻辑) 将DQCP中定义的监测点 (DQCPMonitoringPoint) 的要求（频率、方法等）与实际录入的 ActivityData 和 ParameterData 进行比对，生成符合性报告或告警。例如，检查某煤种是否按月进行了化验，皮带秤是否按季度进行了校准并有记录。
* **排放报告生成服务 (EmissionReportGenerationService)**:
  + generateAnnualEmissionReport(plantId, reportYear):
    - 从 EmissionResult 获取该年度已确认的全厂及各机组排放数据。
    - 从 ActivityData, ParameterData, GeneratingUnit, Plant 等实体中抽取和汇总报告附表C.1至C.7所需的各项数据（如企业基本信息、机组参数、月度燃料消耗、月度煤质、月度发电供热量、参数确定方式说明、辅助参数等）。
    - 严格按照官方最新模板（通常为Excel或XML格式，最终可能需PDF盖章版）组装报告内容，生成 EmissionReport 记录和对应的 EmissionReportSectionData。
    - 报告内部数据需进行交叉校验，例如各分项排放之和是否等于总排放量。
  + generateMonthlyDataFiling(plantId, reportMonth): (若监管要求)
    - 汇总当月关键数据：燃料消耗量、低位发热量、元素碳含量、购入电量、发电量、供热量、运行小时数、负荷系数等。
    - 生成符合监管平台要求的存证数据包。
* **报告提交流程管理服务 (ReportWorkflowService)**:
  + 管理报告从“草稿”到“已提交至主管部门”的内部审核和状态流转。
* **核查支持服务 (VerificationSupportService)**:
  + createVerificationRecord(reportId, verifierInfo): 创建核查记录。
  + addNonConformity(verificationId, ncData): 记录不符合项。
  + updateNonConformityStatus(ncId, status, evidenceLink): 更新不符合项整改进度。
  + getVerificationDataPackage(reportId): 为核查员准备包含报告、DQCP、原始数据、计算过程、支撑文档链接的数据包或提供只读访问权限。
* **合规任务与日历服务 (ComplianceTaskService)**:
  + scheduleTasksFromDQCP(dqcpId): 根据DQCP中的监测频率自动生成周期性的 ComplianceCalendarTask。
  + scheduleRegulatoryDeadlineTasks(year): 根据官方发布的年度工作通知中的关键时间节点（如报告提交截止日、核查完成截止日、履约截止日等）自动生成一次性任务。
  + sendTaskReminders(): 定期检查即将到期的任务并发送提醒。

#### **3.4.2 View (视图层)**

* **DQCP管理模块**:
  + DQCP列表页面：显示所有DQCP版本、状态、生效日期、编制人。
  + DQCP创建/编辑界面：提供富文本编辑器或结构化表单在线编辑DQCP的各个章节和监测点要求。支持从模板创建或复制现有DQCP。
  + DQCP审批工作流界面：审批人可查看DQCP内容并进行批准或驳回操作。
  + DQCP执行跟踪仪表盘：可视化展示各监测任务的完成状态、与DQCP要求的符合性检查结果（如哪些数据未按时录入、哪些参数未按规定频率检测）。
* **年度排放报告模块**:
  + 报告生成向导：引导用户选择报告年度，确认数据源的完整性和准确性。
  + “一键生成”年度报告初稿功能。
  + 报告预览与编辑界面：所见即所得，与最终官方要求的输出格式（如Excel附表）高度相似。允许用户对自动生成的报告内容进行必要的编辑（特别是说明性文字部分），核对数据，关联支撑材料清单。
  + 报告内数据交叉核对与校验结果提示。
  + 报告版本历史查看。
  + 报告提交状态跟踪。
* **月度信息化存证模块 (若需要)**:
  + 选择月份，自动汇总当月关键数据并生成预览。
  + 导出符合监管平台要求的存证数据包。
* **报告审批工作流界面**:
  + 清晰展示报告当前所处的审批节点、审批历史记录、审批意见。
* **核查支持模块**:
  + 核查员专属视图 (只读): 提供简洁、高效的界面，方便核查员按需查询排放报告、DQCP文档、计算过程明细、原始活动数据、参数数据及其关联的支撑文档、操作审计日志等。
  + 不符合项管理列表：企业用户录入/查看核查机构提出的不符合项，分配整改任务，跟踪整改进度，上传整改证据。
* **合规日历与任务管理仪表盘**:
  + 日历视图: 以月历或周历形式高亮显示有任务的日期，点击日期可查看当日任务列表。
  + 任务列表视图 (“我的待办”): 显示分配给当前用户的、或当前用户关注的所有任务，按截止日期、优先级排序。
  + 任务详情弹窗/页面：显示任务名称、类型、描述、截止日期、责任人、状态、关联对象链接等。用户可更新任务状态、添加备注、上传附件。
  + （可选）任务甘特图视图，展示任务排期和依赖关系。

#### **3.4.3 Controller (控制器层)**

* **DQCPController**:
  + GET /api/dqcps: 获取DQCP列表。
  + POST /api/dqcps: 创建新的DQCP。
  + GET /api/dqcps/{dqcpId}: 获取特定DQCP详情（可指定版本）。
  + PUT /api/dqcps/{dqcpId}: 更新DQCP内容或状态（如提交审批、批准）。
  + GET /api/dqcps/{dqcpId}/execution-status: 获取DQCP执行情况报告。
* **EmissionReportController**:
  + POST /api/reports/annual/generate: 请求生成年度排放报告。
  + POST /api/reports/monthly-filing/generate: 请求生成月度数据存证。
  + GET /api/reports: 获取报告列表（支持按年份、类型、状态筛选）。
  + GET /api/reports/{reportId}: 获取特定报告详情及内容。
  + PUT /api/reports/{reportId}: 更新报告内容（如编辑说明）或状态（如提交审核、确认提交）。
  + GET /api/reports/{reportId}/sections/{sectionIdentifier}: 获取报告特定章节的结构化数据。
  + PUT /api/reports/{reportId}/sections/{sectionIdentifier}: 更新报告特定章节的结构化数据。
* **VerificationController**:
  + POST /api/verifications: 创建核查记录。
  + GET /api/verifications?reportId={reportId}: 获取某报告的核查记录。
  + POST /api/verifications/{verificationId}/non-conformities: 新增不符合项。
  + GET /api/verifications/{verificationId}/non-conformities: 获取不符合项列表。
  + PUT /api/verifications/non-conformities/{ncId}: 更新不符合项状态或整改信息。
* **ComplianceTaskController**:
  + GET /api/tasks: 获取当前用户相关的合规任务列表（支持按状态、截止日期筛选）。
  + POST /api/tasks: 创建自定义任务。
  + PUT /api/tasks/{taskId}: 更新任务状态或详情。
  + GET /api/calendar/tasks?month={YYYY-MM}: 获取指定月份的日历任务分布。

### **3.5 碳排放权交易体系 (ETS) 管理 (ETS Management)**

**功能概述**：精细化管理企业的碳排放配额资产，提供准确的配额预分配与核定计算、实时的配额账户盈亏分析，支持高效的履约清缴流程、合规的CCER（国家核证自愿减排量）抵消决策辅助，以及规范的市场交易记录与管理。

#### **3.5.1 Model (模型层)**

**数据实体 (Entities):**

* **AllowanceAccount**: (碳配额账户)
  + accountId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 账户唯一标识。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 所属电厂ID。
  + complianceYear (INT, NN, IX): 履约年份。
  + preAllocatedAmount (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 预分配配额量 (tCO2)。
  + finalAllocatedAmount (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 最终核定配额量 (tCO2)。
  + purchasedAmount (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 本年度市场购入总量 (tCO2)。
  + soldAmount (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 本年度市场售出总量 (tCO2)。
  + surrenderedForCompliance (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 已用于履约清缴的配额量 (tCO2)。
  + offsetWithCCER (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 已用于CCER抵销的等量配额 (tCO2)。
  + carriedForwardFromPreviousYear (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 从上一年度结转入的配额量 (tCO2)。
  + toBeCarriedForwardToNextYear (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 计划结转至下一年度的配额量 (tCO2)。
  + currentAvailableBalance (DECIMAL(18,2), AS (preAllocatedAmount + finalAllocatedAmount - preAllocatedAmount /调整项/ + purchasedAmount - soldAmount - surrenderedForCompliance - offsetWithCCER + carriedForwardFromPreviousYear - toBeCarriedForwardToNextYear), STORED): 当前可用配额余额 (tCO2) - 此处为示例计算逻辑，实际应由业务逻辑精确计算。
  + lastUpdated (DATETIME, NN): 最后更新时间。
* **AllowanceBenchmark**: (配额分配基准线)
  + benchmarkId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 基准线唯一标识。
  + applicableYear (INT, NN, IX): 适用年份。
  + unitType (VARCHAR(50), NN): 适用机组类型 (与GeneratingUnit.unitType一致)。
  + indicatorType (ENUM('ELECTRICITY\_GENERATION', 'HEAT\_SUPPLY'), NN): 指标类型 (发电量 / 供热量)。
  + benchmarkValue (DECIMAL(10,5), NN): 基准值。
  + unit (VARCHAR(20), NN): 单位 (tCO2/MWh 或 tCO2/GJ)。
  + sourceReference (TEXT, 可空): 来源依据 (如官方文件名及文号)。
  + 示例数据 (参考《发电厂碳管理软件设计\_.docx》第2.4节):
    - 2023, I类常规燃煤, 发电, 0.7950, tCO2/MWh
    - 2024, I类常规燃煤, 发电, 0.7910, tCO2/MWh
    - ... (其他类型和年份)
* **PeakRegulationFactor**: (调峰修正系数表，针对常规燃煤机组)
  + factorId (BIGINT, PK, AutoIncrement)。
  + applicableYear (INT, NN, IX): 适用年份。
  + loadFactorLowerBound (DECIMAL(5,2), NN): 负荷系数下限 (%)。
  + loadFactorUpperBound (DECIMAL(5,2), NN): 负荷系数上限 (%)。
  + ffValue (DECIMAL(5,4), NN): 调峰修正系数值Ff。
* **AllowanceTransaction**: (配额交易/操作记录)
  + transactionId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 交易记录唯一标识。
  + accountId (BIGINT, FK->AllowanceAccount.accountId, NN): 关联的配额账户ID。
  + transactionType (ENUM('INITIAL\_ALLOCATION', 'PRE\_ALLOCATION', 'FINAL\_ALLOCATION\_ADJUSTMENT', 'MARKET\_PURCHASE', 'MARKET\_SALE', 'SURRENDER\_FOR\_COMPLIANCE', 'OFFSET\_WITH\_CCER', 'CARRY\_FORWARD\_IN', 'CARRY\_FORWARD\_OUT', 'OTHER'), NN): 交易类型。
  + transactionTimestamp (DATETIME, NN): 交易/操作发生时间。
  + amount (DECIMAL(18,2), NN): 交易/操作配额量 (tCO2, 正数表示增加，负数表示减少)。
  + pricePerTon (DECIMAL(10,2), 可空): 单价 (元/吨, 若为市场交易)。
  + totalValue (DECIMAL(18,2), 可空): 总金额 (元, 若为市场交易)。
  + counterpartyInfo (VARCHAR(255), 可空): 交易对方信息 (若适用)。
  + certificateOrReference (VARCHAR(255), 可空): 凭证编号/官方系统交易流水号。
  + description (TEXT, 可空): 备注。
  + entryUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN): 录入用户ID。
* **CCERRecord**: (国家核证自愿减排量记录)
  + ccerId (BIGINT, PK, AutoIncrement): CCER记录唯一标识。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 持有电厂ID。
  + projectName (VARCHAR(255), NN): CCER项目名称。
  + projectType (VARCHAR(100), NN): 项目类型 (如可再生能源、林业碳汇、甲烷利用等)。
  + ccerSerialNumber (VARCHAR(100), UQ, IX, 可空): CCER唯一序列号/批次号。
  + issuanceDate (DATE, 可空): 签发日期。
  + vintageYear (INT, 可空): 年份（产生年份）。
  + totalVolumeIssued (DECIMAL(18,2), NN): 总签发量 (tCO2e)。
  + currentHoldingVolume (DECIMAL(18,2), NN): 当前企业持有量 (tCO2e)。
  + isEligibleForOffset (BOOLEAN, DEFAULT TRUE): 是否符合当前ETS抵销资格 (基于最新政策判断)。
  + eligibilityNotes (TEXT, 可空): 资格说明。
  + usedForOffsetVolume (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 已用于抵销的量。
  + status (ENUM('AVAILABLE', 'PENDING\_USE', 'USED', 'EXPIRED', 'CANCELLED'), DEFAULT 'AVAILABLE'): 状态。
* **ComplianceObligation**: (年度履约义务)
  + obligationId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 履约义务唯一标识。
  + plantId (BIGINT, FK->Plant.plantId, NN): 所属电厂ID。
  + complianceYear (INT, NN, IX): 履约年份。
  + verifiedEmissions (DECIMAL(18,2), NN): 经核查确认的年度实际排放量 (tCO2)。
  + allocatedAllowances (DECIMAL(18,2), NN): 该年度最终核定的应得配额总量 (tCO2)。
  + ccerOffsetLimitPercentage (DECIMAL(5,2), NN, DEFAULT 5.00): CCER允许抵销上限比例 (%)。
  + maxAllowableCCEROffset (DECIMAL(18,2), AS (verifiedEmissions \* ccerOffsetLimitPercentage / 100), STORED): 最大允许CCER抵销量。
  + actualCCEROffsetUsed (DECIMAL(18,2), DEFAULT 0.00): 实际用于抵销的CCER量 (tCO2)。
  + netComplianceNeed (DECIMAL(18,2), AS (verifiedEmissions - actualCCEROffsetUsed), STORED): 需通过配额清缴的量。
  + allowanceGapOrSurplus (DECIMAL(18,2), AS (allocatedAllowances - netComplianceNeed), STORED): 配额缺口 (负数) 或盈余 (正数)。
  + surrenderDeadline (DATE, NN): 配额清缴截止日期。
  + status (ENUM('PENDING\_CALCULATION', 'PENDING\_SURRENDER', 'PARTIALLY\_SURRENDERED', 'FULLY\_SURRENDERED', 'OVERDUE'), DEFAULT 'PENDING\_CALCULATION'): 履约状态。

**业务逻辑 (Services):**

* **配额核算服务 (AllowanceCalculationService)**:
  + calculateAnnualAllocatedAllowances(plantId, year, verifiedProductionData):
    - 对该电厂下所有纳入管理的GeneratingUnit，根据其年度实际发电量 (Qe)、供热量 (Qh) (来自ActivityData的已核查汇总数据)，以及AllowanceBenchmark库中对应年份和机组类型的发电基准值 (Be) 和供热基准值 (Bh)，计算各机组配额。
    - 机组发电配额 Ae = Qe × Be × Ff (燃煤机组， Ff 为调峰修正系数) 或 Ae = Qe × Be (燃气机组)。
    - 机组供热配额 Ah = Qh × Bh。
    - Ff: 根据机组年度平均负荷系数 (发电量 / (额定容量 × 运行小时数))，从PeakRegulationFactor表中查取。
    - 汇总各机组配额得到企业初步总配额。
    - 应用豁免机制调整：
      * 燃气机组豁免：若燃气机组按基准线法核算的初始配额低于其经核查的实际排放量，则其最终获得的配额量将补足至其实际排放量。
      * 重点排放单位履约缺口率上限豁免：若企业所有机组核算出的总配额低于其经核查总排放量的80%，其最终获得的配额将被补足到其总排放量的80%。
    - 返回最终核定的年度总配额量。
* **配额账户管理服务 (AllowanceAccountService)**:
  + recordTransaction(accountId, transactionData): 记录一笔配额操作，并实时更新AllowanceAccount的各项余额。确保事务一致性。
  + getAccountBalance(plantId, year): 查询指定电厂和年份的配额账户详情。
  + calculateCurrentSurplusOrDeficit(plantId, year, verifiedEmissions): 计算当前预估的配额盈亏。
* **CCER管理与抵销服务 (CCERManagementService)**:
  + addCCERHolding(ccerData): 录入企业持有的CCER信息。
  + checkCCEREligibility(ccerId, complianceYear): 根据最新政策判断CCER是否可用于指定年份的抵销。
  + calculateMaxOffsettableCCER(plantId, complianceYear, verifiedEmissions): 计算最大允许抵销的CCER量。
  + applyCCERForOffset(obligationId, ccerIdsToUse, volumeToUse): 执行CCER抵销操作，更新CCERRecord和AllowanceAccount。
* **履约管理服务 (ComplianceService)**:
  + updateComplianceObligation(obligationId, verifiedEmissions, allocatedAllowances): 更新年度履约义务的关键数据。

### 3.5 碳排放权交易体系 (ETS) 管理 (续)

#### 3.5.2 View (视图层)

* **配额基准线管理界面 (Allowance Benchmark Management Interface)**:
  + 表格展示：适用年份、机组类型、指标类型（发电/供热）、基准值、单位、来源依据。
  + 操作：新增基准线（管理员权限）、编辑基准线（严格控制，通常旧版标为失效，新增新版）、查看历史版本。
  + 筛选与排序：按年份、机组类型等。
* **调峰修正系数管理界面 (Peak Regulation Factor Management Interface)**:
  + 表格展示：适用年份、负荷系数区间（上下限）、调峰修正系数值 Ff。
  + 操作：新增、编辑（管理员权限）。
* **配额账户总览仪表盘 (Allowance Account Dashboard)**:
  + 关键指标卡片：当前履约年份、预分配配额总量、最终核定配额总量（若已核定）、当前市场购入/售出总量、已履约清缴量、已用CCER抵销量、当前可用余额。
  + 图表展示：
    - 配额来源与去向饼图/条形图。
    - 年度配额盈亏趋势图（与核查排放量对比）。
  + 醒目提示：当前预估的配额缺口或盈余量及对应金额（基于参考碳价）。
  + 快捷入口：进入配额计算、交易记录、履约管理等。
* **配额计算器/模拟器 (Allowance Calculator/Simulator)**:
  + 输入参数：选择履约年份（自动加载对应基准线和政策）、各机组的年度预测发电量/供热量、预测平均负荷系数。
  + 输出结果：清晰展示各机组的预估配额、总预估配额，以及应用各项豁免政策（如燃气机组补足、履约缺口上限）后的调整过程和最终预估配额。
  + 允许用户调整输入参数进行多种情景模拟。
* **碳市场行情展示界面 (Carbon Market Price Ticker/Chart)**:
  + （若能对接外部行情数据源或允许手动录入）显示全国碳市场及/或地方试点碳市场的最新CEA价格、成交量、涨跌幅等。
  + 历史价格趋势图（K线图、折线图）。
* **CCER库存管理界面 (CCER Inventory Management Interface)**:
  + 列表展示：企业持有的所有CCER项目名称、类型、序列号/批次号、签发日期、年份、总签发量、当前持有量、已用于抵销量、抵销资格状态（是否符合当前ETS政策）、资格说明、状态（可用、已用、过期等）。
  + 操作：新增CCER记录、编辑（如更新持有量、资格状态）、查看详情。
  + 筛选与排序：按项目类型、年份、资格状态等。
  + “申请抵销”入口：选择用于抵销的CCER及数量，系统根据规则计算最大可抵销量。
* **履约清缴工作台 (Compliance Surrender Workbench)**:
  + 集中展示当前履约周期的核心信息：
    - 经核查的年度实际排放量。
    - 最终核定的应得配额总量。
    - CCER允许抵销上限比例及最大可抵销量。
    - 当前配额账户可用余额。
    - 预估的配额缺口或盈余。
  + 履约方案模拟区：
    - 用户可输入计划从市场购买的配额量。
    - 用户可选择计划用于抵销的CCER及其数量。
    - 系统实时计算并显示：实际抵销的CCER量、需通过配额清缴的量、最终的配额缺口/盈余及预估成本/收益。
  + 履约操作记录区：
    - 记录通过官方注册登记系统完成配额清缴的操作凭证号、日期、数量。
    - 记录CCER抵销的官方确认信息。
  + 履约进度条或状态标识。
* **配额交易台账 (Allowance Transaction Ledger)**:
  + 列表详细记录每一笔配额操作/交易：交易类型、时间、配额量、单价（若有）、总金额（若有）、交易对方（若有）、凭证号、备注。
  + 支持按时间范围、交易类型、价格区间等条件进行查询、筛选和汇总统计。
  + 导出交易记录为Excel。
* **配额结转管理界面 (Allowance Carry-Forward Management)**:
  + （根据最新的结转政策设计）显示当前可结转至下一年度的配额量计算过程和结果。
  + 提示用户在规定时间内通过官方系统完成结转操作，并在此记录操作凭证。

#### 3.5.3 Controller (控制器层)

* **AllowanceBenchmarkController**:
  + GET /api/ets/benchmarks: 获取配额分配基准线列表（支持按年份、机组类型筛选）。
  + POST /api/ets/benchmarks: 新增基准线（管理员权限）。
  + PUT /api/ets/benchmarks/{benchmarkId}: 更新基准线（管理员权限）。
* **PeakRegulationFactorController**:
  + GET /api/ets/peak-factors: 获取调峰修正系数列表（支持按年份筛选）。
  + POST /api/ets/peak-factors: 新增调峰修正系数（管理员权限）。
  + PUT /api/ets/peak-factors/{factorId}: 更新调峰修正系数（管理员权限）。
* **AllowanceAccountController**:
  + GET /api/ets/accounts?plantId={plantId}&year={year}: 获取指定电厂和年份的配额账户详情及余额。
  + POST /api/ets/accounts/calculate-allocation: （触发型API）根据输入的生产数据和年份，调用AllowanceCalculationService计算预估的年度配额。
  + GET /api/ets/accounts/transactions?accountId={accountId}: 获取指定账户的交易流水记录。
  + POST /api/ets/accounts/transactions: 手动录入一笔配额交易/操作记录（如市场买卖、官方分配调整的确认录入）。
* **CCERRecordController**:
  + GET /api/ets/ccer-records?plantId={plantId}: 获取企业持有的CCER列表。
  + POST /api/ets/ccer-records: 新增CCER持有记录。
  + PUT /api/ets/ccer-records/{ccerId}: 更新CCER记录信息。
  + GET /api/ets/ccer-records/{ccerId}/check-eligibility?complianceYear={year}: 检查特定CCER对指定履约年份的抵销资格。
* **ComplianceObligationController**:
  + GET /api/ets/compliance-obligations?plantId={plantId}&year={year}: 获取指定电厂和年份的履约义务详情。
  + PUT /api/ets/compliance-obligations/{obligationId}: 更新履约义务信息（如录入核查排放量、最终分配配额）。
  + POST /api/ets/compliance-obligations/{obligationId}/apply-ccer-offset: 执行CCER抵销操作。
  + POST /api/ets/compliance-obligations/{obligationId}/surrender-allowances: 记录配额清缴操作。
* **ETSSummaryController / ETSDashboardController**:
  + GET /api/ets/dashboard-summary?plantId={plantId}&year={year}: 获取配额账户总览仪表盘所需的数据。

### 3.6 AI 智能分析与决策支持 (AI-Powered Analytics & Decision Support)

功能概述 ：深度融合人工智能（AI）和机器学习（ML）技术，从历史和实时数据中挖掘潜在价值，为发电企业提供超越传统数据分析的预测性洞察、运营优化策略和智能化决策辅助，助力企业在满足合规要求的同时，提升经济效益和环境绩效。

#### 3.6.1 Model (模型层)

* **数据实体 (Entities)**:
  + **AIModel**:
    - modelId (BIGINT, PK, AutoIncrement): AI模型唯一标识。
    - modelName (VARCHAR(100), NN, UQ): 模型名称 (如“燃煤机组效率优化模型”、“碳价预测模型V1.2”、“数据异常检测-煤耗”)。
    - modelType (ENUM('PREDICTION', 'OPTIMIZATION', 'ANOMALY\_DETECTION', 'CLASSIFICATION', 'CLUSTERING', 'NLP'), NN): 模型类型。
    - description (TEXT, 可空): 模型功能、适用场景描述。
    - version (VARCHAR(20), NN): 模型版本号。
    - status (ENUM('TRAINING', 'VALIDATING', 'DEPLOYED', 'INACTIVE', 'ERROR'), NN, DEFAULT 'INACTIVE'): 模型状态。
    - algorithm (VARCHAR(100), 可空): 使用的核心算法 (如 XGBoost, LSTM, RandomForest, Prophet)。
    - trainingDataRange (TEXT, 可空): 训练数据集的时间范围或描述。
    - performanceMetrics (TEXT, JSON格式, 可空): 模型性能指标 (如准确率、召回率、F1分数、RMSE、MAPE等)。
    - inputFeatures (TEXT, JSON数组格式, 可空): 模型输入特征列表及其描述。
    - outputSchema (TEXT, JSON格式, 可空): 模型输出结果的格式定义。
    - deploymentEndpoint (VARCHAR(255), 可空): 模型部署后的API端点（若外部署）。
    - lastTrainedTimestamp (DATETIME, 可空): 最后训练完成时间。
    - createdAt (DATETIME, NN): 创建时间。
    - updatedAt (DATETIME, NN): 更新时间。
  + **PredictionResult**:
    - predictionId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 预测结果唯一标识。
    - modelId (BIGINT, FK->AIModel.modelId, NN): 使用的AI模型ID。
    - targetEntity (VARCHAR(100), NN, IX): 预测对象 (如“1号机组发电煤耗”，“全国碳市场CEA价格”)。
    - targetTimestamp (DATETIME, NN, IX): 预测目标时间点/时间段。
    - predictedValue (DECIMAL(18,6), 可空): 预测值。
    - predictedValueUpper (DECIMAL(18,6), 可空): 预测值置信区间上限。
    - predictedValueLower (DECIMAL(18,6), 可空): 预测值置信区间下限。
    - confidenceScore (DECIMAL(5,4), 可空): 置信度评分。
    - actualValue (DECIMAL(18,6), 可空): （若事后可获取）实际值，用于模型评估。
    - inputDataSnapshot (TEXT, JSON格式, 可空): 做出此预测时使用的关键输入数据快照。
    - predictionTimestamp (DATETIME, NN): 预测生成时间。
    - businessInterpretation (TEXT, 可空): 对预测结果的业务解读或建议。
    - userFeedback (ENUM('ACCURATE', 'INACCURATE', 'NEUTRAL'), 可空): 用户对预测准确性的反馈。
  + **OptimizationSuggestion**:
    - suggestionId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 优化建议唯一标识。
    - modelId (BIGINT, FK->AIModel.modelId, NN): 生成此建议的AI模型ID。
    - targetProcessOrUnit (VARCHAR(100), NN, IX): 优化目标过程或设备 (如“2号锅炉燃烧优化”，“全厂配额履约策略”)。
    - suggestionContent (TEXT, NN): 具体的优化建议内容 (如“建议将2号锅炉A磨煤机出口温度调整至75℃”，“建议在碳价低于X元时购入Y吨配额”)。
    - expectedBenefit (TEXT, JSON格式, 可空): 预期的效益（如“预计节煤0.5g/kWh”，“预计降低履约成本Z元”）。
    - implementationPriority (ENUM('HIGH', 'MEDIUM', 'LOW'), 可空): 实施优先级。
    - implementationDifficulty (VARCHAR(50), 可空): 实施难度评估。
    - estimatedCost (DECIMAL(12,2), 可空): 预计投入成本。
    - status (ENUM('NEW', 'UNDER\_REVIEW', 'APPROVED\_FOR\_IMPLEMENTATION', 'IMPLEMENTING', 'IMPLEMENTED\_EFFECTIVE', 'IMPLEMENTED\_INEFFECTIVE', 'REJECTED', 'ON\_HOLD'), NN, DEFAULT 'NEW'): 建议状态。
    - generationTimestamp (DATETIME, NN): 建议生成时间。
    - actionTakenNotes (TEXT, 可空): 采纳或拒绝建议的说明及后续行动记录。
  + **AIScenarioAnalysis**:
    - analysisId (BIGINT, PK, AutoIncrement): 场景分析唯一标识。
    - analysisName (VARCHAR(255), NN): 分析名称 (如“2025年减排路径模拟-高煤价情景”)。
    - createdByUserId (BIGINT, FK->User.userId, NN): 创建用户ID。
    - creationTimestamp (DATETIME, NN): 创建时间。
    - analysisType (VARCHAR(100), NN): 分析类型 (如“减排技术投资效益评估”，“燃料结构调整影响分析”，“碳价波动风险评估”)。
    - inputParametersConfig (TEXT, JSON格式, NN): 用户配置的该场景分析的输入参数。
    - simulationModelUsed (VARCHAR(100), 可空): 使用的模拟模型或AI模型名称/版本。
    - simulationResults (TEXT, JSON格式, 可空): 模拟分析的多维度输出结果 (如不同参数下的排放量、成本、收益等)。
    - analysisReportLink (VARCHAR(255), 可空): 指向详细分析报告的链接。
* **业务逻辑 (Services)**:
  + **数据异常检测服务 (AnomalyDetectionService)**:
    - detectAnomalies(timeSeriesData, modelId): 调用指定的异常检测AI模型（如基于统计、聚类或深度学习的模型），对输入的活动数据、参数数据、设备运行数据等时间序列进行分析，识别潜在的异常点或异常模式（如突变、持续偏高/偏低、数据缺失、与历史模式不符等）。
    - 返回标记为异常的数据点、异常类型、置信度以及可能的解释。
    - 应用场景：辅助数据质量监控与校验，提示人工复核可疑数据；设备故障早期预警。
  + **预测性维护服务 (PredictiveMaintenanceService)**:
    - predictEquipmentFailure(equipmentId, sensorData, modelId): 基于关键设备的传感器数据（如振动、温度、压力，需从DCS/PI系统接入）、设备台账信息（型号、投运日期、历史维修记录），调用预测性维护AI模型，评估设备的健康状态、预测未来发生故障的概率、预估剩余使用寿命（RUL）。
    - 输出：设备的健康度评分、预估的故障类型及时间窗口、建议的维护措施和时机。
    - 应用场景：优化设备维修计划，减少非计划停机，保障机组高效稳定运行，间接影响能耗和碳排放。
  + **燃烧/发电效率优化服务 (EfficiencyOptimizationService)**:
    - getOptimalOperatingParams(unitId, currentOperatingData, modelId): 针对特定机组，基于实时的或近期的燃料特性数据（来自ParameterData）、锅炉运行参数（如给煤量、各级风量与配比、氧量、炉膛温度/压力分布等）、汽轮机运行参数（如主蒸汽和再热蒸汽的温度/压力/流量、真空度等）、机组负荷（来自ActivityData），调用燃烧优化或发电效率优化AI模型（可能基于机理模型、CFD模拟结果或历史数据驱动的机器学习模型）。
    - 输出：针对当前工况推荐的一组或多组最优控制参数设定点（如最佳风煤比、磨煤机组合方式、喷燃器摆角调整、给水泵转速等），以及预期的效率提升百分比或煤耗/气耗降低量。
    - 应用场景：辅助运行人员进行精细化操作调整，在满足负荷需求和环保约束的同时，最大化能源转换效率，降低单位发电碳排放。
  + **碳市场价格预测服务 (CarbonPriceForecastingService)**:
    - forecastCarbonPrice(marketIdentifier, horizon, modelId): 基于历史碳配额CEA的交易数据（日度/周度的开盘价、收盘价、最高价、最低价、成交量、成交额）、相关的宏观经济指标（如PMI, GDP增速）、主要能源市场价格（如动力煤价格指数、天然气价格）、全国及区域电力供需状况数据、重大政策发布事件（可量化为特征）、极端天气事件记录等多种输入特征，调用碳价预测AI模型（如时间序列模型ARIMA/Prophet，或更复杂的机器学习模型如LSTM, Gradient Boosting）。
    - 输出：未来一段时间（如未来1周、1个月、1季度）的碳市场价格预测区间（如最高价、最低价、均价）及其概率分布或置信度。
    - 应用场景：为企业的碳配额买卖时机决策、履约成本预估、碳资产管理策略制定提供参考。
  + **情景模拟与What-if分析服务 (ScenarioAnalysisService)**:
    - runWhatIfAnalysis(scenarioConfig): 用户通过界面配置不同的输入参数组合，例如：
      * **技改措施参数**：如锅炉主辅机效率提升X%，汽轮机通流部分改造后热耗降低Y%，实施CCUS（碳捕集利用与封存）技术（捕集率Z%，单位捕集能耗W kWh/tCO2，投资成本V元/吨碳）。
      * **燃料结构调整参数**：如增加低碳燃料（如更优质的煤种、天然气、生物质）的掺烧比例，不同燃料的成本和碳排放因子。
      * **运营策略参数**：如调整机组平均负荷率水平，参与深度调峰的频率和幅度，供热季供热量变化。
      * **市场环境参数**：如未来不同碳价水平（高、中、低情景），燃料价格波动。
    - 后端调用相应的计算模型（可能是简化的排放核算模型、经济效益评估模型，或集成了AI预测模块的复杂模型），模拟不同情景下的关键输出指标：
      * 年度总CO2排放量、单位产品排放强度。
      * 所需配额量、与基准线对比的配额盈亏情况。
      * 预估的技改投资成本、运营成本变化（燃料成本、运维成本）。
      * 综合经济效益（考虑碳收益/成本后的净现值NPV、投资回收期等）。
    - 应用场景：辅助企业制定中长期碳减排路线图、评估不同减排措施的技术经济可行性、优化投资组合、应对未来政策和市场不确定性。
  + **法规政策智能跟踪与解读服务 (RegulatoryIntelligenceService)** (基于NLP技术):
    - trackAndAnalyzePolicies(keywords, sources): 定期自动爬取指定的官方政策发布网站（如生态环境部、国家发改委、地方环境部门网站）和行业资讯平台，筛选与“碳排放”、“发电行业”、“MRV”、“配额分配”、“ETS”、“CCER”、“绿色电力”等预设关键词相关的最新政策文件、通知、解读文章。
    - 利用自然语言处理（NLP）技术（如文本分类、命名实体识别、关系抽取、文本摘要）对获取的文本进行分析，提取关键信息，例如：政策标题、发布机构、发布日期、生效日期、涉及的行业/范围、主要变化点、对企业可能产生的影响等。
    - 生成政策摘要和预警提示。
    - 应用场景：帮助企业合规管理人员及时、高效地掌握最新的政策动态和要求，减少人工查阅和解读的负担，辅助合规风险评估。
  + **AI模型管理与监控服务 (AIModelManagementService)**:
    - 提供模型的注册、版本管理、部署（或取消部署）等功能。
    - 监控已部署模型的运行状态、API调用情况、推理性能（如响应时间）。
    - 定期（或按需）对模型的预测/优化效果进行评估（如与实际结果对比），检测模型性能衰退或概念漂移。
    - 触发模型的再训练或参数调优流程。

#### 3.6.2 View (视图层)

* **AI智能分析仪表盘 (AI Analytics Dashboard)**:
  + 集中展示各类AI分析的关键结果和洞察。
  + 例如：数据显示质量异常告警摘要、设备健康状态概览、近期能效优化建议、未来碳价预测趋势、最新政策动态提示。
  + 用户可根据角色和关注点定制化仪表盘布局。
* **数据异常检测结果展示与处理工作台 (Anomaly Detection Workbench)**:
  + 列表或图表形式展示检测到的异常数据点或时段。
  + 提供异常数据的上下文信息（如关联的机组、参数名称、时间、当前值、历史趋势图、AI给出的异常原因推测或置信度）。
  + 允许用户对告警进行交互操作：确认（标记为已知问题）、误报标记（反馈给模型进行学习）、分配处理人、记录处理意见和最终结果。
* **预测性维护看板与工单辅助 (Predictive Maintenance Dashboard & Work Order Assist)**:
  + 以设备列表或拓扑图形式展示关键设备的健康度评分、预估故障概率、建议的维护窗口。
  + 高风险设备醒目提示。
  + 对于AI给出的高置信度维护建议，可提供“一键生成维护工单草稿”功能（需与企业EAM/CMMS系统集成或提供导出）。
* **运营优化参数推荐界面 (Operational Excellence Advisor)**:
  + （若能实现实时或近实时优化）在运行人员的操作界面（或专用看板）上，以仪表盘、趋势图或建议列表形式，实时显示AI模型推荐的最优控制参数设定值，并与当前的实际参数值进行对比。
  + 清晰展示采纳建议后预期的效益（如节煤量、提效率、降排放）。
  + 允许运行人员对建议进行采纳或忽略，并记录反馈（用于模型迭代）。
* **碳市场价格预测模块 (Carbon Price Forecast Module)**:
  + 以折线图叠加置信区间的方式展示未来碳价的预测走势。
  + 可选择不同的预测模型（若系统支持多个模型）或不同的预测周期。
  + 显示影响价格的关键驱动因素及其近期变化趋势分析。
  + 提供历史预测准确性回溯评估。
* **情景模拟与What-if分析配置与结果展示界面 (Scenario Analysis Interface)**:
  + 参数化输入界面：用户可通过滑块、下拉选择、数值输入等方式，方便地调整和配置不同情景下的输入参数（如技改参数、燃料成本、碳价等）。
  + 支持保存和加载不同的模拟方案。
  + 结果对比展示：以表格和多种图表（如柱状图、雷达图、敏感性分析图）清晰对比不同方案下的关键输出指标（排放量、成本、收益等）。
  + 支持导出分析报告。
* **法规智能助手/政策库 (Regulatory Intelligence Assistant)**:
  + 按政策类型、发布机构、发布日期、关键词等对AI识别和提取的政策信息进行分类、筛选和全文检索。
  + 高亮显示政策文件中的关键变更点或与企业相关的条款。
  + 提供政策原文链接。
  + 用户可订阅特定主题的政策更新通知。
* **AI模型管理界面 (AI Model Management Console)** (主要供AI工程师或高级管理员使用):
  + 列表展示系统中的所有AI模型及其版本、状态、性能指标。
  + 提供模型的部署、停用、版本切换、触发再训练等操作。
  + 查看模型监控数据和评估报告。

#### 3.6.3 Controller (控制器层)

* **AIAnalyticsController / AIDashboardController**:
  + GET /api/ai/dashboard-summary: 获取AI智能分析仪表盘所需的汇总数据。
* **AnomalyDetectionController**:
  + POST /api/ai/anomaly-detection/detect: 接收数据，调用异常检测服务。
  + GET /api/ai/anomaly-detection/alerts: 查询异常告警列表。
  + PUT /api/ai/anomaly-detection/alerts/{alertId}/process: 更新异常告警的处理状态和反馈。
* **PredictiveMaintenanceController**:
  + GET /api/ai/predictive-maintenance/equipment-health?equipmentId={id}: 获取特定设备的健康评估和预测结果。
  + POST /api/ai/predictive-maintenance/generate-work-order-draft: 根据预测结果生成维护工单草稿。
* **EfficiencyOptimizationController**:
  + GET /api/ai/efficiency-optimization/recommendations?unitId={id}: 获取特定机组的运营优化参数建议。
  + POST /api/ai/efficiency-optimization/feedback: 记录用户对优化建议的采纳情况和反馈。
* **CarbonPriceForecastController**:
  + GET /api/ai/carbon-price-forecast?market={market}&horizon={days}: 获取碳市场价格预测。
* **ScenarioAnalysisController**:
  + POST /api/ai/scenario-analysis/run: 接收用户配置的场景参数，调用情景分析服务执行模拟。
  + GET /api/ai/scenario-analysis/results?analysisId={id}: 获取特定场景分析的结果。
  + GET /api/ai/scenario-analysis/list: 获取用户保存的场景分析方案列表。
* **RegulatoryIntelligenceController**:
  + GET /api/ai/regulatory-intelligence/policies: 查询政策库中的政策信息（支持筛选和搜索）。
  + POST /api/ai/regulatory-intelligence/refresh-policies: （管理员）手动触发政策爬取和分析任务。
* **AIModelManagementController**:
  + GET /api/ai/models: 获取AI模型列表。
  + POST /api/ai/models/{modelId}/deploy: 部署指定模型。
  + POST /api/ai/models/{modelId}/retrain: 触发模型再训练。
  + GET /api/ai/models/{modelId}/monitoring-data: 获取模型监控数据。

## 4. 非功能性需求

非功能性需求定义了系统的质量属性和运行环境约束，对于确保软件的健壮性、可靠性、安全性和用户满意度至关重要。

* **4.1 安全性 (Security)**
  + **用户认证与授权**:
    - 所有用户访问系统必须经过身份认证（用户名/密码，支持二次验证如OTP可选）。
    - 采用基于角色的访问控制（RBAC），严格限制用户对功能和数据的访问权限。权限应细化到具体操作级别（如创建、读取、更新、删除、审批）。
    - 密码策略：强制密码复杂度（长度、字符类型组合）、定期更换、历史密码限制、账户锁定机制（多次尝试失败后）。
    - 会话管理：安全的会话令牌生成与管理，设置合理的会话超时时间。
  + **数据安全**:
    - 传输加密：所有客户端与服务器之间的通信必须使用HTTPS/TLS加密。
    - 存储加密：对数据库中的敏感数据（如用户密码、密钥、部分财务数据）进行加密存储。考虑数据库整体加密（TDE）方案。
    - 数据备份与恢复：制定详细的数据备份策略（如每日全量备份，更高频率的增量/差异备份），备份数据应加密存储并异地存放。定期进行恢复演练，确保RTO和RPO目标。
  + **API安全**:
    - 所有API接口均需进行身份认证和权限校验。
    - 对外部暴露的API应考虑使用API网关进行统一管理、请求限流、监控和安全防护（如防DDoS、SQL注入、XSS攻击等）。
    - 输入校验：对所有用户输入和API参数进行严格的格式、类型和范围校验。
  + **安全审计**:
    - 记录所有关键操作（用户登录、权限变更、敏感数据访问与修改、重要配置更改、报告提交、配额交易确认等）的审计日志。
    - 审计日志应包含操作人、时间、IP地址、操作类型、操作对象、操作结果等信息，并确保日志的完整性和防篡改性。
  + **漏洞管理**:
    - 定期进行安全漏洞扫描和渗透测试（内部或第三方）。
    - 建立漏洞上报、评估、响应和修复流程。
    - 及时更新和修补操作系统、数据库、中间件及第三方库的安全漏洞。
  + **物理与环境安全**: 部署服务器的物理环境应符合相应的安全标准。
* **4.2 可靠性与可用性 (Reliability & Availability)**
  + **系统可用性目标**: 核心功能模块的年可用性目标应达到99.9%或更高（根据业务关键程度定义）。
  + **故障冗余与恢复**:
    - 关键组件（如应用服务器、数据库服务器）应采用冗余部署（如集群、主备模式），支持自动故障切换。
    - 设计应能处理单点故障，避免系统整体瘫痪。
    - 明确定义系统的平均故障间隔时间（MTBF）和平均修复时间（MTTR）目标。
  + **数据一致性**: 在分布式或高并发场景下，确保数据操作的原子性、一致性、隔离性和持久性（ACID特性），或采用最终一致性策略并明确其影响。
  + **错误处理与容错**: 系统应能优雅地处理预期和非预期的错误，向用户提供友好的错误提示，并记录详细的错误日志供排查。部分非核心功能的故障不应影响核心功能的运行。
* **4.3 性能 (Performance)**
  + **并发用户数**: 明确系统需要支持的典型并发用户数和峰值并发用户数。
  + **响应时间**:
    - 关键用户操作（如登录、主数据查询、常用报表生成预览）的平均响应时间应在2秒以内，95分位响应时间应在5秒以内。
    - 复杂计算或批量数据处理（如年度排放报告生成、AI模型批量推理）的完成时间应在用户可接受的范围内（需具体定义，如X分钟内）。
  + **数据处理能力**:
    - 系统应能高效处理预期的最大数据量（如每日产生的活动数据条目数、年度参数数据量、历史数据总量）。
    - 数据库查询性能：针对大数据量查询进行SQL优化、索引优化。考虑使用读写分离、分库分表等策略（若数据量评估结果表明有此必要）。
  + **资源利用率**: 在满足性能目标的前提下，合理利用服务器资源（CPU、内存、磁盘I/O、网络带宽），避免资源浪费。
* **4.4 可扩展性 (Scalability)**
  + **垂直扩展与水平扩展**:
    - 系统架构应支持通过增加单个服务器的资源（垂直扩展）或增加服务器数量（水平扩展）来提升处理能力。
    - 应用层应设计为无状态或易于实现无状态，便于水平扩展。
    - 数据库层应考虑可扩展方案。
  + **业务功能扩展**: 采用模块化设计，新增功能模块或修改现有模块时，对其他模块的影响应降至最低。计算公式、报告模板、校验规则等应高度可配置化，以适应未来政策调整或业务范围扩大（如增加对新燃料类型、新排放源、新温室气体种类、新行业的支持）。
  + **技术栈升级**: 系统设计应避免过度依赖特定专有技术，便于未来进行技术栈的升级或替换。
* **4.5 易用性 (Usability - UI/UX)**
  + **直观性与一致性**: 界面布局清晰、导航明确、操作流程符合用户习惯。整体视觉风格、图标、控件、术语应保持一致。
  + **用户效率**: 减少不必要的操作步骤，提供快捷方式、批量操作、智能填充等功能，提高用户工作效率。
  + **反馈及时性**: 用户操作后应有及时的视觉反馈（如加载提示、成功/失败消息）。
  + **帮助与文档**: 提供在线帮助文档、操作手册、FAQ、以及关键操作的上下文提示或引导。
  + **角色化工作台/仪表盘**: 为不同用户角色（如环保专工、运行人员、数据分析师、管理层）设计定制化的首页仪表盘和导航菜单，突出其常用功能和关注信息。
  + **可访问性 (Accessibility)**: 遵循相关的可访问性标准（如WCAG），确保软件对有特殊需求的用户（如视力障碍）友好。
* **4.6 可维护性 (Maintainability)**
  + **代码质量**: 遵循统一的编码规范和最佳实践，代码结构清晰、注释充分、易于理解和修改。
  + **模块化**: 高内聚、低耦合的模块设计。
  + **日志与监控**:
    - 全面的应用日志（DEBUG, INFO, WARN, ERROR级别）、错误日志应格式统一、信息充分，便于问题定位和排查。
    - 对系统关键性能指标（CPU、内存、磁盘、网络、API响应时间、错误率）、业务指标（数据积压量、任务失败率）进行实时监控，并设置合理的告警阈值。
  + **配置管理**: 关键配置项（如数据库连接字符串、外部服务API地址、密钥、业务规则参数）应外部化管理（如通过配置文件或配置中心），而非硬编码在代码中。
  + **部署与发布**: 支持自动化构建、测试和部署流程（CI/CD）。支持版本回滚。
  + **文档化**: 保持设计文档、API文档、运维手册等相关文档的及时更新。
* **4.7 集成性 (Integrability)**
  + **API设计**: 提供版本化、文档化（如使用Swagger/OpenAPI规范描述）的RESTful API，便于与其他内部或外部系统（如ERP、MES、DCS/PI、LIMS、官方碳市场平台、财务系统等）进行数据交换和功能集成。
  + **数据格式**: 支持标准的数据交换格式（如JSON, CSV, XML）。
  + **消息队列 (可选)**: 对于异步集成、事件驱动架构或大批量数据交换场景，可考虑使用消息队列（如Kafka, RabbitMQ）。
  + **单点登录 (SSO)**: 若企业有统一身份认证系统，应支持与其集成实现单点登录。
* **4.8 法规遵从性 (Regulatory Compliance)**
  + 严格遵循中国关于碳排放监测、报告、核查、交易的最新法律法规、政策标准和技术指南。
  + 确保数据处理和存储符合《中华人民共和国个人信息保护法》、《中华人民共和国数据安全法》等相关法律要求。
  + 系统设计应具备灵活性，以快速适应未来政策的调整和变化。

## 5. 总结与展望

* 5.1 文档总结  
  本《发电厂碳管理软件详细设计文档 (MVC模式)》全面阐述了一款专为中国发电企业设计的综合性碳管理解决方案。文档遵循MVC设计模式，对软件的总体架构、核心功能模块（系统基础与用户管理、数据采集与管理、碳排放核算引擎、MRV管理、ETS管理、AI智能分析与决策支持）的Model、View、Controller层进行了详细的设计。同时，也明确了系统应满足的各项非功能性需求，如安全性、可靠性、性能、可扩展性、易用性、可维护性、集成性和法规遵从性。  
  本文档旨在为后续的软件开发、测试、部署和运维团队提供一份清晰、详尽且具有可操作性的技术蓝图。通过本设计的实施，期望能够帮助发电企业：
  + **精准核算**：确保碳排放数据的准确性和合规性。
  + **高效管理**：简化碳管理流程，提高工作效率。
  + **智能决策**：利用AI技术挖掘数据价值，辅助运营优化和市场决策。
  + **从容履约**：有效管理碳配额，降低履约风险和成本。
  + **持续改进**：为企业实现“双碳”目标和可持续发展提供有力支撑。
* **5.2 未来展望**  
  随着中国“双碳”战略的深入推进和碳市场的不断发展，发电厂碳管理软件亦需与时俱进，持续创新。未来可从以下几个方面进行展望和规划：
  + **与生命周期评价 (LCA) / 产品碳足迹 (PCF) 的深度融合**:
    - 参考《天工、LCA、碳排放、碳交易关联性研究\_.docx》中提及的趋势，未来软件可考虑扩展支持电厂主要产品（电力、热力）及关键输入物料（如煤炭、天然气）的生命周期评价和产品碳足迹核算功能。
    - 探索与天工LCA数据库等本土化LCA基础数据库的对接，获取更精准的背景数据，支持企业开展更全面的碳足迹分析，以应对国际绿色贸易壁垒（如CBAM）和满足供应链碳管理的需求。
  + **区块链技术在碳数据管理与交易中的应用探索**:
    - 在碳排放数据存证、MRV流程记录、碳配额交易记录、CCER项目溯源等方面，探索引入区块链技术的可能性，利用其去中心化、不可篡改、透明可追溯的特性，进一步增强碳数据的公信力和碳市场交易的安全性与效率。
  + **更高级、更深入的AI应用场景**:
    - **能源系统整体优化**：从单一机组优化扩展到多机组协调运行优化、厂级能源平衡优化，甚至考虑与电网调度、储能系统、可再生能源发电的协同优化。
    - **供应链碳排放（范围三 Scope 3）的智能核算与管理**：利用AI辅助识别和量化企业价值链上下游的复杂间接排放，并提供供应链协同减排的策略建议。
    - **基于强化学习的动态决策支持**：在碳市场交易、燃料采购、生产计划等方面，探索应用强化学习模型，根据实时变化的市场环境和企业内部状态，动态推荐最优决策。
    - **自然语言处理在政策解读与合规问答中的高级应用**：构建更智能的法规政策问答机器人，辅助用户快速理解和应对复杂的合规要求。
  + **移动端应用的拓展与深化**:
    - 为现场巡检人员、设备操作员、数据录入员等提供功能更完善、体验更流畅的移动App，支持离线数据采集、扫码识别设备、现场拍照上传证据、接收实时告警与任务推送等。
    - 为管理层提供移动端仪表盘，随时随地掌握企业碳排放和碳资产的关键动态。
  + **与更多外部生态系统的开放集成**:
    - 加强与国家及地方碳市场官方平台、电力交易平台、绿色电力证书交易平台、环境信息披露平台等的API对接能力，实现数据的自动报送和信息的及时获取。
    - 探索与智慧能源管理系统、智能电网、工业互联网平台等的融合，构建更广泛的能源与环境管理生态。
  + **持续关注并快速响应政策法规的演进**:
    - 碳市场机制（如配额分配方法、基准线调整、CCER政策、纳入行业范围等）和相关技术标准会持续更新。软件平台必须保持高度的灵活性和快速迭代能力，以确保始终符合最新的法规要求。

开发团队应秉持敏捷开发的理念，在项目实施和后续运营过程中，密切关注行业发展趋势和政策法规的最新动态，积极收集并响应用户反馈，通过持续的技术创新和功能迭代，不断完善和提升软件产品的核心价值，使其真正成为发电企业在绿色低碳转型道路上的得力助手和重要引擎。