

# 变电工程设计电气专业主设人工作手册

## 专题报告

1100kV 气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）

中国电力工程顾问集团  
华北电力设计院工程有限公司变电电气室  
2011 年 12 月

# 目 录

<b>1</b>	<b>前 言 .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>1100KV GIS 技术参数及特点 .....</b>	<b>2</b>
2.1	1100kV GIS 型式 .....	2
2.2	1100kV GIS 主要技术参数 .....	2
2.3	1100kV GIS 主要技术特点 .....	4
<b>3</b>	<b>1100KV GIS 布置型式 .....</b>	<b>5</b>
3.1	1100kV GIS 布置型式选择的基本原则 .....	5
3.1	GIS 主要布置型式及特点 .....	6
3.2	1100kV GIS 布置型式的初步选择 .....	8
3.3	1100kV GIS 吊装方案 .....	9
3.4	1100kV GIS 布置型式的技术经济比较 .....	17
3.5	1100kV GIS 纵向尺寸的确定 .....	19
<b>4</b>	<b>1100KV GIS 远景扩建方案 .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>1100KV GIS 外壳的接地 .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>1100KV GIS 状态监测 .....</b>	<b>27</b>

# 1 前 言

1000kV 配电装置相对于 500kV 配电装置，其运行电压更高，设备均压环表面电场强度更大，因此电晕放电产生的环境影响问题更加突出，尤其是可听噪声、无线电干扰及静电感应问题。同时，由于 1000kV 户外敞开式设备安装高度更高、重心更高，抗震性能降低。1100kV 特高压 SF<sub>6</sub> 气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）与其他型式配电装置相比，其显著优点为：①可以大幅度缩小占地面积；②设备带电部分全部封闭在金属外壳内，可避免高电压对环境的电磁污染；③设备绝缘性能不受周围大气条件影响，能提高运行可靠性；④可大幅度简化设备连接、金具型式和架构设计；⑤耐震性能强；⑥延长设备检修周期。因此，晋东南 1000kV 变电站以及后续的皖电东送工程、锡盟~南京输变电工程 1000kV 配电装置均选用了 GIS 设备。

根据主变压器、1000kV 高压并联电抗器和 GIS 连接方式的不同以及进出线侧避雷器、电压互感器(CVT)是否纳入 GIS 等的区别，GIS 供货范围主要有以下方案：

(1) 方案一：主变压器、高抗和 GIS 的连接采用架空软导线，进出线侧的避雷器、CVT 及高抗回路的接地开关、避雷器、CVT 均采用户外敞开式设备。

(2) 方案二：主变压器和 GIS 的连接采用架空软导线，高抗和 GIS 采用 GIS 管道母线(GIB)直接相连。进出线侧的避雷器、CVT 采用户外敞开式设备，高抗回路的接地开关、避雷器、CVT 纳入 GIS 内。

(3) 方案三：主变压器、高抗和 GIS 的连接均采用 GIS 管道母线(GCB)直接相连。进出线及高抗回路设备均纳入 GIS 内。

综合考虑以上三方案的综合性能、造价及 1000kV 敞开式设备的制造能力等因素，1100kV GIS 确定采用方案一。

本专题介绍了目前 1100kV GIS 的主要技术参数及特点，并在对 GIS 各种布置型式进行研究的基础上，结合变电站总体规划、电气主接线方案、1000kV 出线及主变进线架构的尺寸及布置，综合考虑 GIS 的封闭母线投资、运输通道、设备安装、运行维护、故障检修及远期扩建等问题，介绍 1100kV GIS 合理的布置型式，并对 1100kV GIS 的接地方案及状态监测进行了概述。

## 2 1100kV GIS 技术参数及特点

### 2.1 1100kV GIS 型式

1100kV GIS 电气接线为一个半断路器接线。GIS 设备中包括断路器、电流互感器、隔离开关、检修接地开关、母线及其避雷器等元件。

目前 1100kV GIS 的主要生产厂家为平高电气股份有限公司(以下简称平高)、新东北电气(沈阳)高压开关有限公司(以下简称沈高)、西安西电开关电气有限公司(以下简称西开)。其中,平高和沈高的 1100kV 断路器采用双断口串联、液压操动机构,装设~600Ω合闸电阻。断路器与合闸电阻设置在同一壳体内。隔离开关采用电动弹簧操作机构,装设 500Ω阻尼电阻。

西开的 1100kV 断路器采用四断口串联结构、液压操作机构,装设~600Ω合闸电阻。断路器与合闸电阻分别设置在独立的壳体内。隔离开关采用电动弹簧操作机构,装设阻尼电阻。

### 2.2 1100kV GIS 主要技术参数

型号: ZF-1100

额定电压: 1100kV

额定电流: 8000A/9000A(母线)、6300A(进出线回路)

额定短路关合电流: 170kA

额定短时耐受电流: 63kA(有效值)

额定短路持续时间: 2s

额定峰值耐受电流: 170kA

额定绝缘水平: 见表 2.2-1

**表 2.2-1 GIS 额定绝缘水平(kV)**

项目	相对地	断口间
额定雷电冲击耐受电压(1.2/50μs, 峰值)	2400	2400+900
额定操作冲击耐受电压(250/2500μs, 峰值)	1800	1675+900
额定工频 1min 耐受电压(方均根值)	1100	1100+635

### (1) 断路器

额定电压：1100kV

额定电流：6300A

断口数：2/4

额定短路开断电流：63kA（有效值）

首相开断系数：1.3

直流分量时间常数：120ms

开断时间：≤50ms

分闸时间：≤30ms

合闸时间：≤120ms

合分时间：≤50ms（金属短接时间）

重合闸无电流间隔时间：0.3s

额定操作顺序：O-0.3s-CO-180s-CO

分合闸不同期性：极间 同极断口间

分闸不同期性 ≤3ms ≤2ms

合闸不同期性 ≤5ms ≤3ms

合闸电阻：600Ω、接入时间 8~11ms

操动机构型式：液压操动机构

机械稳定性（寿命）：5000 次

额定短路开断电流下的连续开断能力（电寿命）：16 次

开断额定电流的次数：1000 次

### (2) 隔离开关

开、合小电流能力

开、合电容电流（有效值）：2A

开、合电感电流（有效值）：1A

开、合母线转移电流的能力：

转移电压：400V

开合电流（有效值）：1600A

开合次数：100 次

阻尼电阻取值：500Ω。

操动机构型式：电动弹簧式操动机构

机械稳定性（寿命）： $\geq 2000$  次

### （3）接地开关

操动机构型式：电动弹簧式操动机构

机械操作次数： $\geq 2000$  次

### （4）电流互感器

额定一次电流：3000~6000A（TPY、5P），1500~3000~6000A（0.2、0.2S）

额定二次电流：1A

准确级：TPY、5P20、0.2s、0.2

## 2.3 1100kV GIS 主要技术特点

1100kV GIS 主要技术特点为：

（1）对于 500kV 及以下电压等级电网，直流分量衰减的时间常数为 45ms，断路器的额定短路关合电流为断路器额定电压下额定短路开断电流的 2.5 倍。特高压交流电网感抗较大，根据科研结论，直流分量衰减的时间常数为 120ms，因此断路器的额定短路关合电流选取为断路器额定短路开断电流的 2.75 倍，即当 1100kV 断路器的额定开断电流选用 63kA 时，对应的额定关合电流取 170kA。

（2）根据科研成果，结合 500kV 系统的运行经验，1000kV 系统采用安装 1000kV 并联电抗器中性点接地电抗器的方式补偿潜供电流，而不通过高速接地开关（HSGS）强制熄灭潜供电流。

（3）断路器的灭弧室采用主断口与电阻断口并联开断的设计，有效地降低了分合操作时产生的系统过电压。主断口采用动触头带动静触头反向运动的双动结构，开断性能优异。

（4）断路器采用液压操动机构，液压操动机构为整体模块式构造，无管路、无渗漏，外观简洁，机械寿命达到 5000 次；

（5）隔离开关采用带有并联电阻的结构，有效降低了操作时的过电压。动触头设有消弧装置，开断环流能力达到 8000A/400V。

（6）为便于安装、运行维护，在设备的适当位置设置了波纹管，以方便安装调试、满足地基不同沉降要求以及由温差引起的热胀冷缩，为此部分支撑采用滑动模块。

(7) GIS 采用状态监测装置，能够对以下参量进行监测：断路器机械特性、灭弧室弧触头的损耗、气体压力、局部放电。

### 3 1100kV GIS 布置型式

#### 3.1 1100kV GIS 布置型式选择的基本原则

按照主接线的要求，根据站址的地形条件，总体布置的安排、出线方向、设备材料的供应情况以及施工条件等进行配电装置的布置和结构设计。配电装置一般应满足以下基本要求：

- (1) 节约用地；
- (2) 运行安全和操作巡视方便；
- (3) 考虑检修和安装条件；
- (4) 保证导体和电器在污秽、地震和高海拔地区的安全运行；
- (5) 节约三材，降低造价；
- (6) 注意设备选型；
- (7) 施工便利、扩建方便；
- (8) 根据地形地质情况，因地制宜地利用地形，尽量减少土石方量；
- (9) 出线方便。应尽量避免线路交叉跨越。在不可避免时，力求做到交叉跨越最少。

根据上述特点，1100kV GIS 布置型式选择的基本原则初步可归纳为以下几个方面：

- (1) 尽量压缩占地。
- (2) 结构简单、布置清晰。
- (3) 设备尺寸与出线、主变压器配电装置尺寸匹配。
- (4) 应具有良好的运输和吊装条件，满足 GIS 设备安装(不带电)和设备检修(周围设备带电)时吊装和运输的空间活动范围要求。
- (5) 应避免 1000kV 出线交叉跨越。
- (6) 便于运行维护。
- (7) 检修和扩建时应尽量缩短停电时间或不停电。

### 3.1 GIS 主要布置型式及特点

特高压变电站 1000kV 配电装置采用 GIS 设备,为一个半断路器接线。1100kV GIS 布置型式的确定应考虑:①尽量压缩占地;结构简单、布置清晰;②设备尺寸与配电装置间隔宽度匹配;③应具有良好的运输和吊装条件,满足设备安装(不带电)和设备检修(周围设备带电)时吊装和运输的空间活动范围要求;④检修和扩建时应尽量缩短停电时间或不停电。

对于 GIS,一个半断路器接线的典型布置方案主要有“单列式”布置和“一字型”布置等两大类布置型式,其中“单列式”布置又分为典型单列式布置、常规斜连单列式布置、高位斜连单列式布置,如图 3.1-1 所示;一字型布置,根据主母线布置方式的不同,可分为母线分相布置、母线集中布置在主变压器侧、母线集中布置在出线侧等方式,如图 3.1-2 所示。

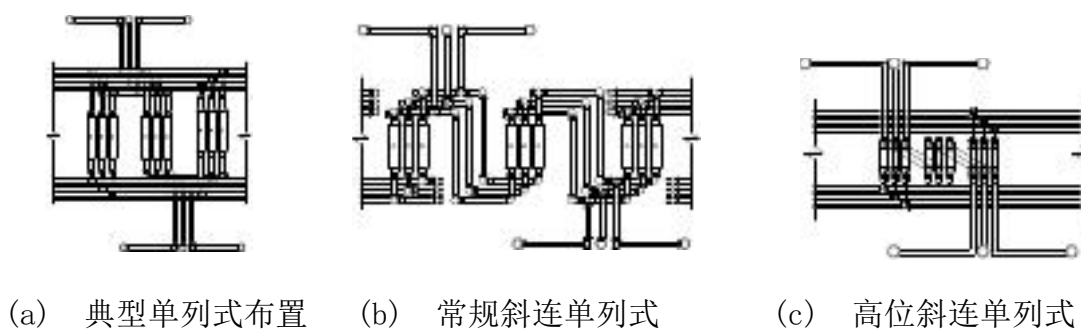


图 3.1-1 一个半断路器接线单列式布置示意图

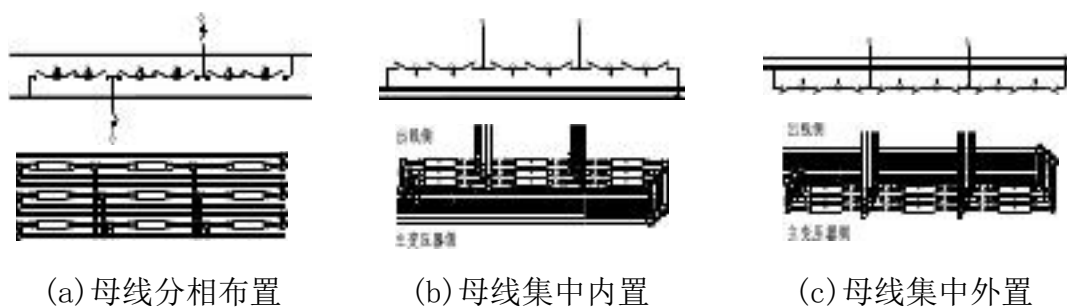


图 3.1-2 一个半断路器接线一字型布置示意图

单列式布置为断路器垂直于主母线布置。典型接线单列式布置不易于实现交叉接线,适宜于向两侧出线和进出线数量相当的接线形式,一个半断路器接线中对于同一串的两个元件只能向不同的方向出线。常规斜连单列式布置是在典型接线单列式布置基础上发展而来的,其特点是:易于实现交叉接线,出线方向灵活,但横向尺寸较典型单列式布置大,断路器间的分支母线较长,设备造价增加;GIS 主母线距



离基础表面较近，需要设置横跨主母线的工作台。高位斜连单列式布置是在常规斜连单列式布置基础上演变而来的，其特点与常规斜连单列式布置基本相同，不同之处在于由于断路器的斜连分支母线采用高位布置，斜连分支母线不占横向空间，因此该布置方式的横向尺寸较常规斜连单列式布置的横向尺寸小；串中连接母线较高，需加强支撑件。

一字型布置为断路器平行于主母线布置。一字型布置进出线方向灵活，纵向尺寸最小。一字型布置中，母线分相布置方案主母线高位布置，便于巡视，但存在设备的抗震性能降低、安装检修不方便等缺点；母线集中布置方案，配电装置均为低位布置，安装检修方便，配电装置功能分区清晰，整体美观。其中，母线集中布置内置方案，出线分支母线短，但断路器单元安装检修需选用大吨位吊车，运行人员巡检也不够方便；母线集中布置外置方案，设备的吊装及运输可利用主变压器运输道路，吊装半径较小，可选用较小吨位的吊车，运行巡视均较方便，但出线分支母线长度较母线内置方案稍长。

综上所述，各布置型式的主要特点如表 3-1 所列。

表 3-1 GIS 布置型式的特点

布置方式	优 点	缺 点
典型单列式布置	串内设备连接的分支母线较短。	不易实现交叉接线。
常规斜连单列式布置	易于实现交叉接线，进出线方向灵活。	串中分支母线长，增加造价。
高位斜连单列式布置	易于实现交叉接线，进出线方向灵活。	串中分支母较长；整个 GIS 设备较高，检修维护不方便。
母线分相“一字型”布置	纵向尺寸小，交叉接线、进出线方向灵活。串中连接母线较短。	需选用大吨位吊车跨过主母线吊装断路器；主母线较高，抗震性能降低。
母线集中在主变压器侧的“一字型”布置	纵向尺寸小，交叉接线、进出线方向灵活。出线分支母线不与主母线交叉。	设备吊装、运行人员巡检较不便。
母线集中在出线侧的“一字型”布置	纵向尺寸小，交叉接线、进出线方向灵活。设备吊装、运行巡检较方便。	出线分支母线与主母线交叉，分支母线较长。

### 3.2 1100kV GIS 布置型式的初步选择

以典型的特高压变电站为例，变电站电气总平面布置依次为 1000kV 配电装置区、主变压器及无功补偿装置区、500kV 配电装置区。1000kV 配电装置采用 GIS 设备，线路向东、西方向出线。1000kV 并联电抗器采用“一”字型布置在架空出线的下方。主变压器及无功补偿装置布置在 1000kV 配电装置和 500kV 配电装置之间。主变压器防火墙间距为 22.5m。

根据 1000kV 出线架构和主变配电装置区的布置，分析 1100kV GIS 各种典型布置型式的实际尺寸及对特高压工程的适应性，确定可选的 1100kV GIS 布置型式。

#### 方案 1：典型接线单列式布置

典型接线单列式布置不易于实现交叉接线，适宜于向两侧出线和适应进出线数量相当的接线形式，一个半断路器接线中对于同一串的两个元件只能向不同的方向出线。一般很难满足特高压变电站 1000kV 出线规划要求，且横向尺寸 1000kV 出线架构宽度不相匹配。因此，该方案不适用于特高压变电站。

#### 方案 2：常规斜连式单列式布置

常规斜连式单列式布置易于实现交叉接线，出线方向灵活，较易满足特高压变电站接线型式要求和出线方向的要求。其横向尺寸较典型单列式布置大，但需适当拉开串间距以匹配 1000kV 出线架构宽度。同时，本方案断路器间的分支母线较长，串内连接管道弯头及伸缩节最多，设备造价增加；主母线离基础表面较近，需要设置横跨主母线的工作台，安装及维护均不便。因此，该方案不适用于典型的特高压变电站。

#### 方案 3：高式斜连式单列式布置

高式斜连式单列式布置易于实现交叉接线，出线方向灵活，较易满足特高压变电站接线型式要求和出线方向的要求。由于断路器的斜连分支母线采用高式布置，斜连分支母线不占横向空间，其横向尺寸为单列式布置中最小，因此横向尺寸与出线架构宽度不相匹配。同时，串中连接母线较高，需加强支撑件。因此，该方案不适用于特高压变电站。

#### 方案 4：一字型布置

一字型布置交叉接线、进出线方向灵活，较易满足特高压变电站接线型式要求和出线方向的要求。纵向尺寸最小、横向尺寸最长，占地面积小。根据平高、沈高

和西开提供的设备外形尺寸,每个完整串宽度分别为 71m/68m/69.5m,设备横向尺寸与 1000kV 出线架构宽度较相匹配。

母线分相的一字型布置方案主母线高位布置,分支母线中心距地面距离为 4.4 米,主母线中心距地面距离为 5.7 米,虽便于日常运行巡视,但检修维护断路器时需跨过主母线吊装断路器,且最外侧相断路器较远,需选用大吨位吊车。同时,母线高位布置降低了 GIS 的抗震性能。因此,该方案为本工程可选方案,但对于地处高地震烈度的特高压变电站不推荐。

综上所述,一字型布置方案进出线方向灵活,较易满足特高压变电站接线型式、出线方向的要求,纵向尺寸最小,横向尺寸与 1000kV 配电装置间隔宽度相匹配,节约占地。因此,一字型布置方案是最为适用于典型特高压变电站 1100kV GIS 的布置型式。

### 3.3 1100kV GIS 吊装方案

#### 3.3.1 吊装要求

(1) GCB 单元吊装要求

GCB 单元(含 CT)是 GIS 设备中最重的安装单元。平高 GCB 单元的重量为 35t,外形尺寸为(长×宽×高):10610×1892×3722mm;沈高 GCB 单元的重量为 20t,外形尺寸为(长×宽×高):6520×1920×3710mm;西开 GCB 单元的重量为 10t,外形尺寸为(长×宽×高):9800×2005×3550mm,其外形如图 3.3-1 所示。

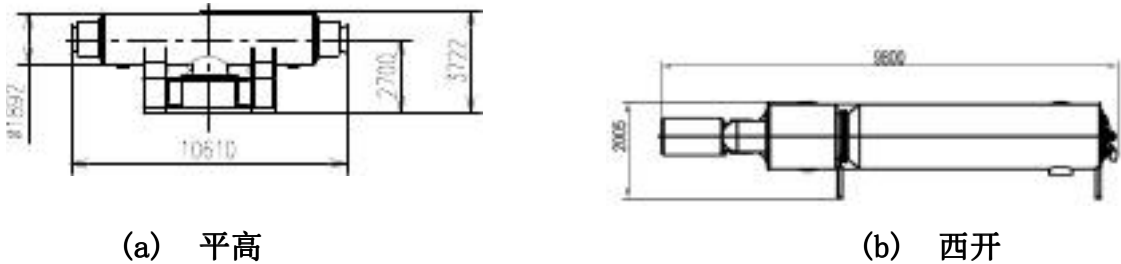


图 3.3-1 GCB 单元外形图

为缩短分支母线长度、节省占地,吊车按单侧布置考虑,不考虑布置在 GIS 两侧的方案,且吊车布置在站内侧(主变压器侧),可利用主变压器运输道路。

采用一字型布置时,吊车吊装 GCB 的作业情况如图 3.3-2 所示。由图可知,母线分相的一字型布置吊装 GCB 单元时,吊车只要满足起吊 10t 时,作业半径达到 30m,即可满足要求,因此需选用 160t 吊车;母线集中内置的一字型布置吊装 GCB 单元时,

吊车只要满足起吊 35t 时，作业半径达到 22m，即可满足要求，因此需选用 300t 吊车；母线集中外置的一字型布置吊装 GCB 单元时，吊车只要满足起吊 35t 时，作业半径达到 13m，即可满足要求，因此需选用 160t 吊车。

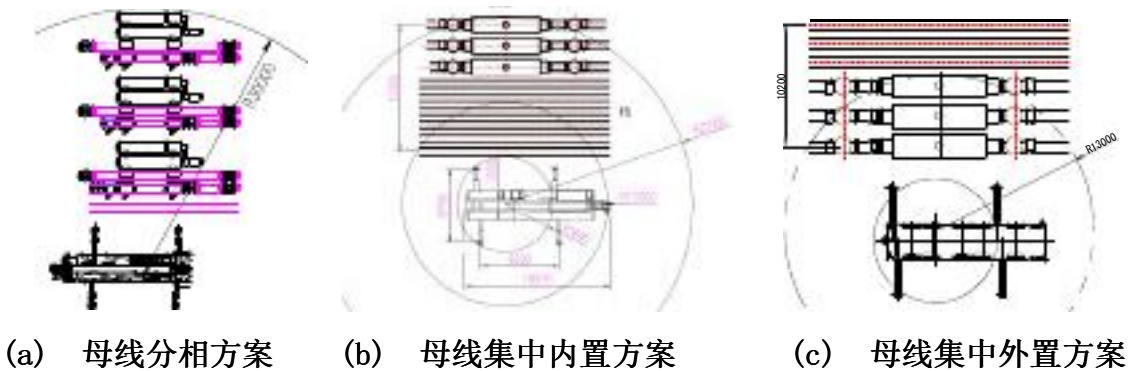


图 3.3-2 吊装 GCB 吊车作业半径示意图

### (2) 套管吊装

1000kV 套管是 GIS 设备中最长的安装单元，其重量为 12t，外形尺寸为 14200×2000×1800mm，外形如图 3.3-3 所示。因此，套管的吊装重量按 13t 考虑。套管安装后，均压环顶部距地面高度约为 17m，套管与 GIS 接合面距地面高度为 5m。

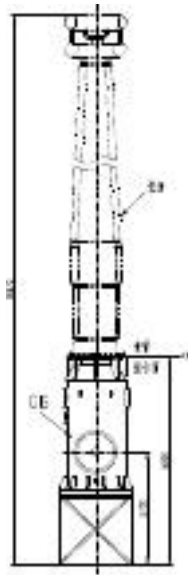


图 3.3-3 套管外形示意图

套管的吊装主要有二大步骤：①起立。套管由水平状态立起为竖直状态，并放置在安装台上；②吊装。套管改为竖直状态后，拆卸运输用保护罩，后安装在 GIS

上。吊车吊装套管时，要求的作业半径一般不大，选用 45t 吊车即可满足要求，套管起吊高程为 2m，套管上方的进出线架构高度应满足套管吊装的要求。

### (3) 隔离开关单元吊装

隔离开关(含接地开关)单元是 GIS 设备中最高安装单元。平高 DS/ES 单元的重量为 6.9t，外形尺寸为(直径×高)：1500×4380mm；沈高 DS/ES 单元的重量为 7t，外形尺寸为(长×宽×高)：2862×2185×3952mm；西开 DS/ES 单元的重量为 1.9t，外形尺寸为(宽×高)：2432×3934mm。DS/ES 单元外形如图 3.3-4 所示。

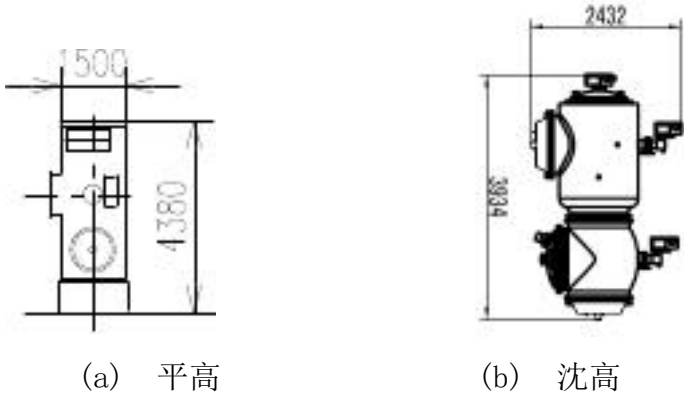


图 3.3-4 DS/ES 单元外形图

采用一字型布置时，吊车吊装 DS/ES 单元的作业情况如图 3.3-5 所示。由图可知，母线分相的一字型布置吊装 DS/ES 单元时，吊车只要满足起吊 1.9t 时，作业半径达到 25m，即可满足要求，因此可选用 60t 吊车；母线集中内置的一字型布置吊装隔离开关单元时，吊车只要满足起吊 7t 时，作业半径达到 23m，即可满足要求，因此可选用 160t 吊车；吊车按布置在主母线侧考虑，由图 5-13 可知，母线集中外置的一字型布置吊装隔离开关单元时，吊车只要满足起吊 7t 时，作业半径达到 24m，即可满足要求，因此可选用与吊装 GCB 单元相同的 160t 吊车。

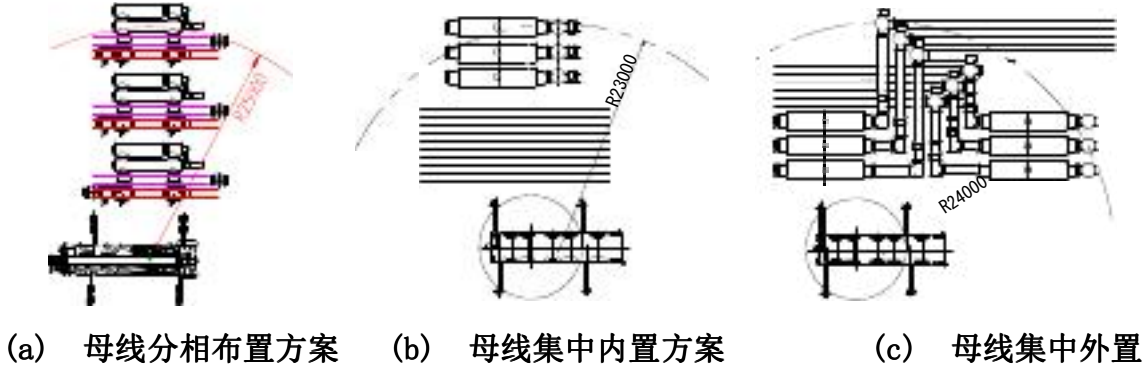


图 3.3-5 吊装 DS/ES 吊车作业半径示意图

#### (4) 母线避雷器吊装

母线避雷器安装单元的重量为 14000kg，外形如图 3.3-6 所示。

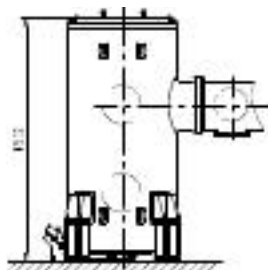


图 3.3-6 LA 单元外形图

采用一字型布置时，吊车吊装 LA 单元的作业情况如图 3.3-7 所示。由图可知，母线分相布置的一字型布置吊装避雷器单元时，吊车只要满足起吊 14t 时，作业半径达到 25m，即可满足要求，因此可选用 160t 吊车；母线集中内置的一字型布置吊装避雷器单元时，吊车只要满足起吊 14t 时，作业半径达到 12m，即可满足要求，因此可选用 100t 吊车；母线集中外置的一字型布置吊装避雷器单元时，吊车只要满足起吊 14t 时，作业半径达到 28m，即可满足要求，因此可选用与吊装 GCB 单元相同的 160t 吊车。

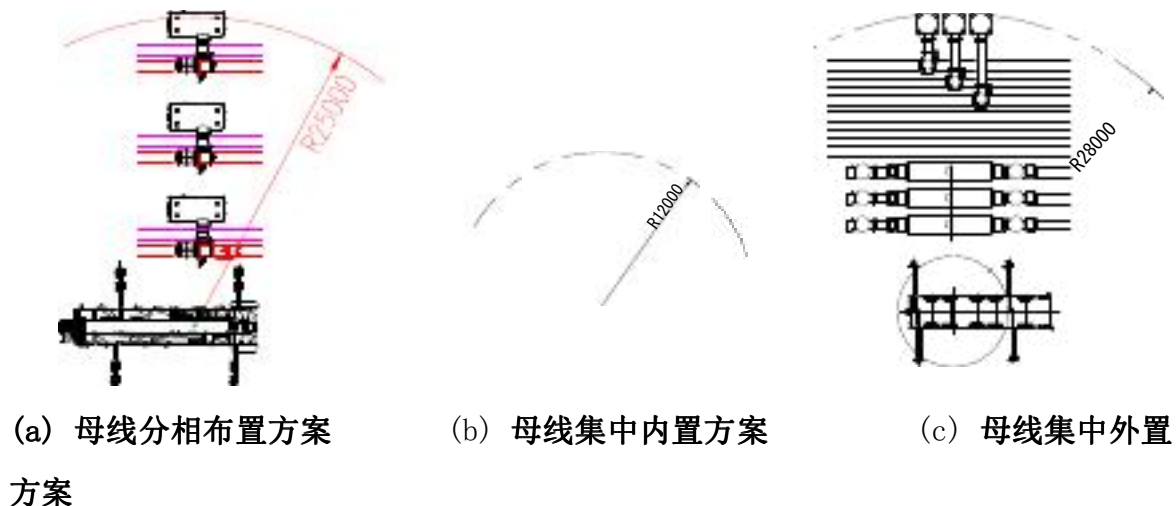


图 3.3-7 吊装 LA 吊车作业半径示意图

#### (5) 母线 PT 吊装要求

母线 PT 安装单元的重量为 4000kg，外形如图 3.3-8 所示。

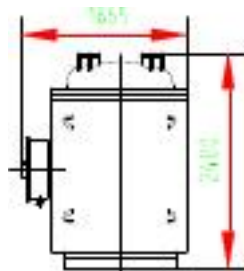


图 3.3-8 PT 单元外形图

母线集中内置的一字型布置吊装 PT 单元时，吊车只要满足起吊 4t 时，作业半径达到 12m，即可满足要求，因此可选用 45t 吊车；母线集中外置的一字型布置吊装避雷器单元时，吊车只要满足起吊 4t 时，作业半径达到 28m，即可满足要求，因此可选用 60t 吊车。

根据以上分析，对 GIS 各安装单元的吊装要求汇总如表 3-2 所示。可见，母线集中外置的一字型布置方案设备的吊装及运输可利用主变压器运输道路，吊装半径较小，可选用较小吨位的吊车，运行巡视均较方便。母线集中外置的一字型布置 GCB 单元吊装需选用 300t 吊车，该吊车较难以租赁。

表 3-2 GIS 各安装单元的吊装要求

安装单元	吊装重量			吊车作业半径			吊车吨位		
	平高	沈高	西开	母线分相	母线内置	母线外置	母线分相	母线内置	母线外置
断路器	35t	20t	10t	30m	22m	13m	300t	300t	160t
套管	7t	12t	7t	高程 2m			45t	45t	45t
隔离开关	7t	7t	1.9t	25m	23m	24m	60t	160t	160t
母线避雷器	14t	14t	—	25m	12m	28m	160t	100t	160t
母线 PT	4t	4t	—	—	12m	28m	—	45t	60t

### 3.3.2 吊车的布置

根据以上 GIS 各安装单元的吊装要求，并结合考虑在相邻间隔带电和不带电情况下安装和检修，确定吊车的平面位置及空间活动范围。母线分相一字型布置方案、母线集中内置方案、母线集中外置一字型布置方案下吊车的平面布置图分别如图 3.3-9、3.3-10、3.3-11 所示。



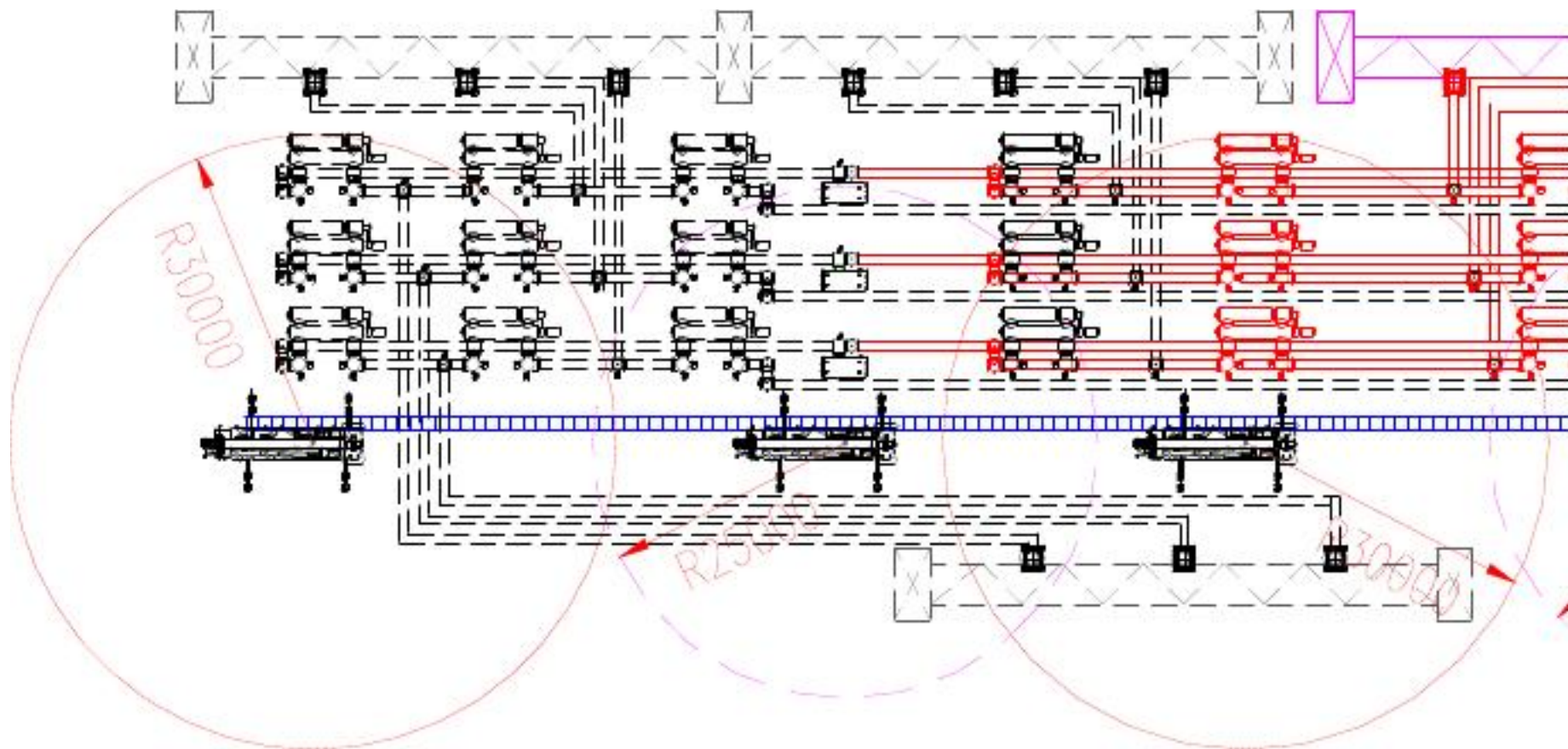


图 3.3-9 吊车平面布置图(母线分相)



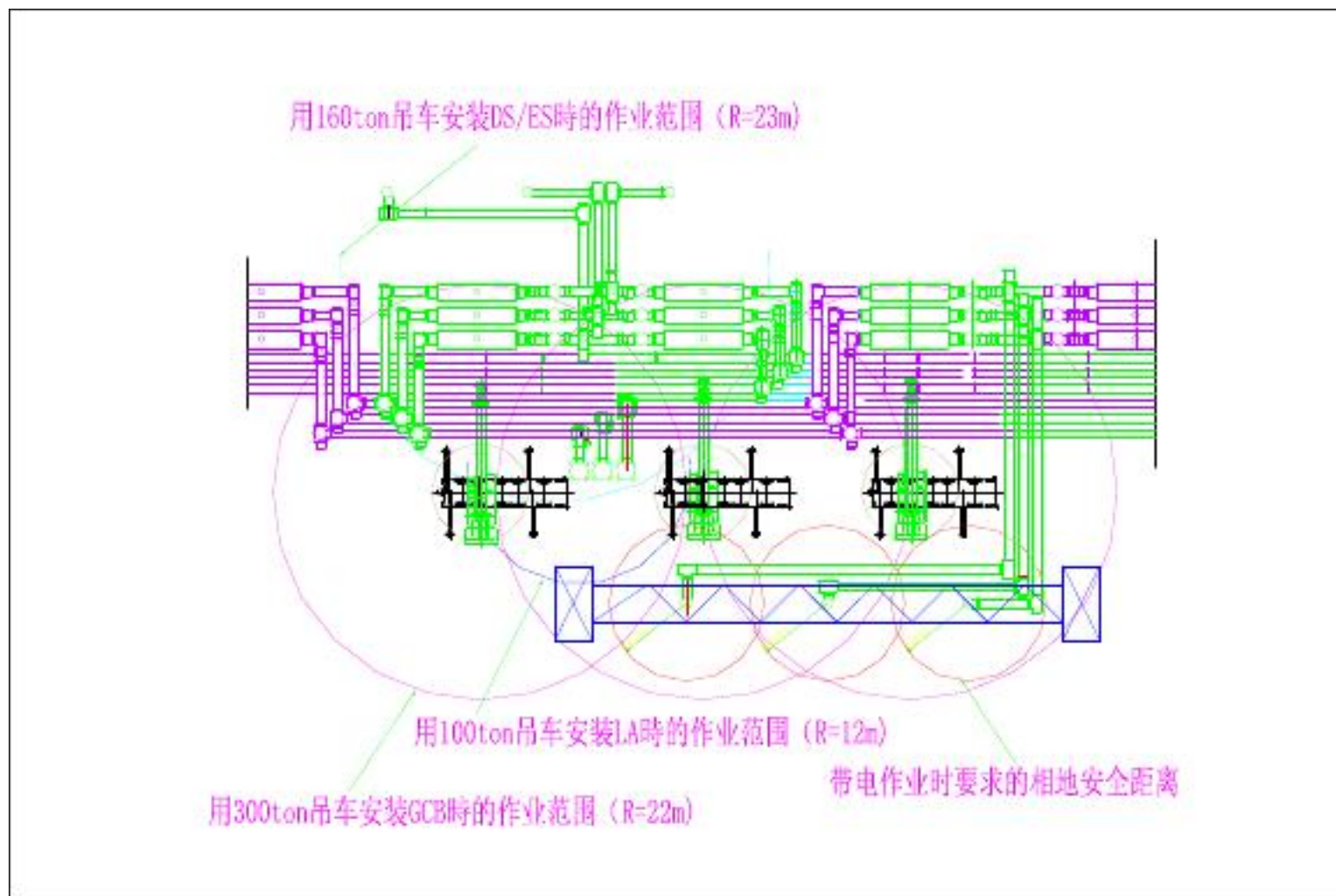


图 3.3-10 吊车平面布置图(母线集中内置)

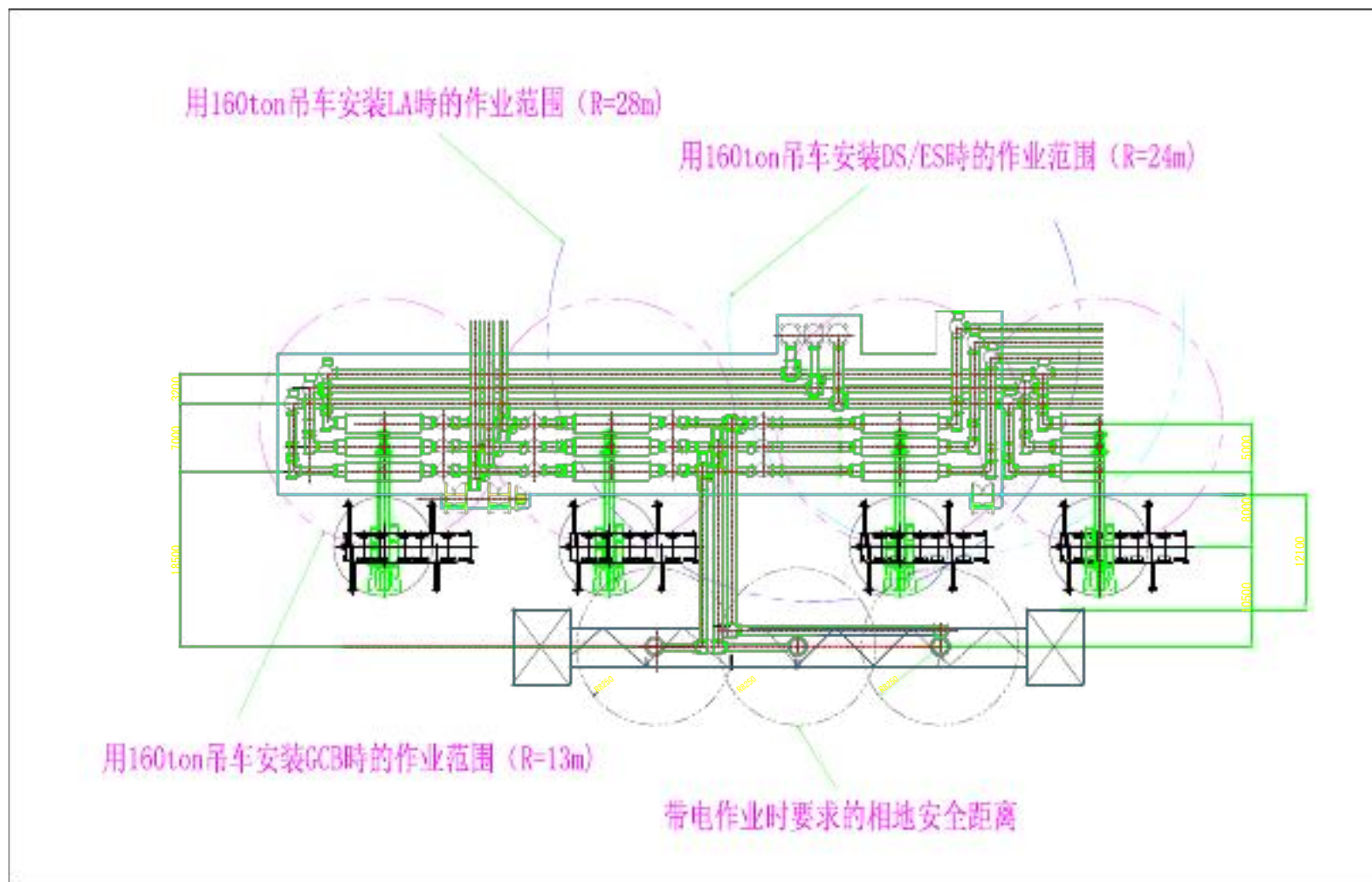


图 3.3-11 吊车平面布置图(母线集中外置)

### 3.4 1100kV GIS 布置型式的技术经济比较

一字型布置方案进出线方向灵活，满足特高压变电站接线型式、出线方向的要求，纵向尺寸最小，横向尺寸与 1000kV 配电装置间隔宽度相匹配，节约占地。以典型特高压变电站为例，变压器侧进出线为 6 回，出线侧出线为 8 回，一字型布置分别见图 3.4-1~3。对一字型布置的三种方案进行经济比较。三种布置方案的设备本体差价主要取决于母线长度，其比较如 3-3 表所列。

表 3-3 GIS 布置方案母线长度比较

	母线分相布置	母线集中内置	母线集中外置
主母线长度(单相米)	2552	2567	2567
分支主母线长度(单相米)	1984	1991	2051
母线总长度(单相米)	4536	4558	4618

根据一字型布置三种方案的吊装要求，母线分相布置方案中，断路器单元的吊装需采用 160t 吊车；母线集中内置方案中，断路器单元的吊装需采用 300t 吊车；母线集中外置方案中，断路器单元的吊装需采用 160t 吊车。三种布置方案的吊车租赁费用比较如 3-4 表所列，其中每个断路器单元按需一个台班(8 小时)计算。

表 3-4 吊车租赁费用比较

吊车吨位	租赁单价	母线分相布置	母线集中内置	母线集中外置
160t	2 万/台班	126	—	126
300t	4 万/台班	—	252	—

综合考虑母线及吊车租赁费用，以母线集中外置为基准，各方案与此方案的差价如表 3-5 所示，其中母线按 8 万/单相米计算。

表 3-5 GIS 布置方案经济比较

	母线分相布置	母线集中内置	母线集中外置
母线费用差	-492	-480	0
吊车租赁费用差	0	126	0
总费用差	-492	-354	0

综合考虑技术经济性，推荐采用母线集中外置的一字型布置方案。

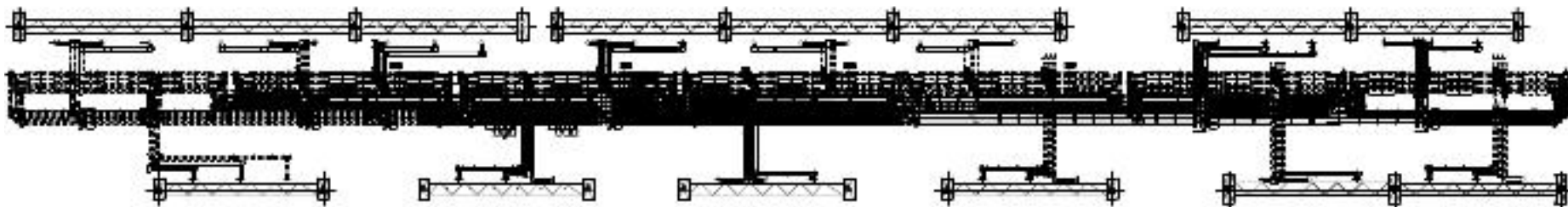


图 3.4-1 母线集中内置的一字型布置方案

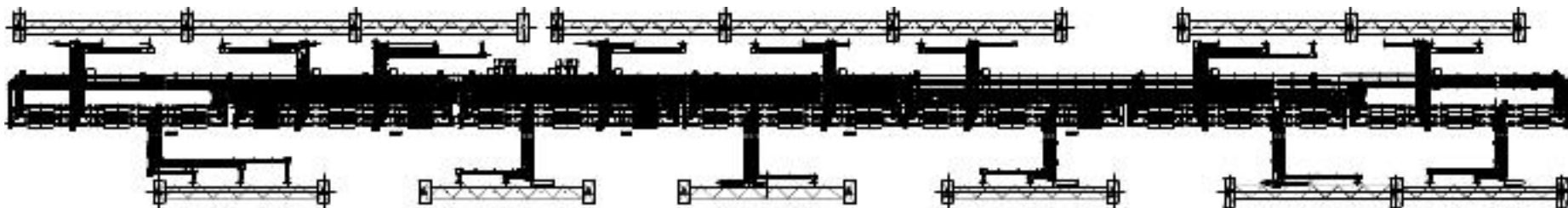


图 3.4-2 母线集中外置的一字型布置方案

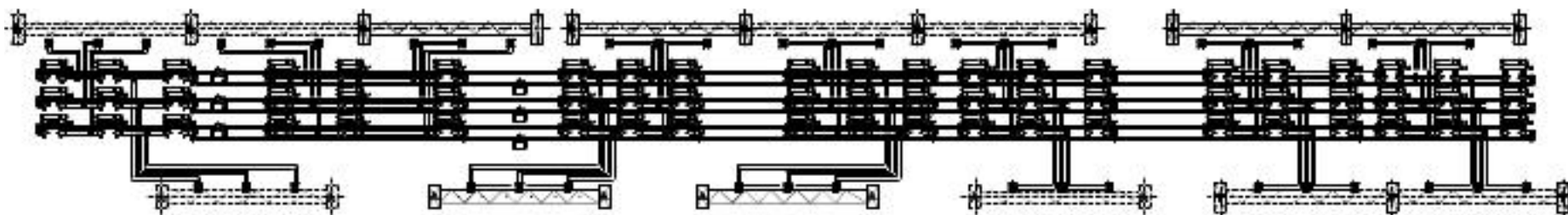


图 3.4-3 母线分相的一字型布置方案

### 3.5 1100kV GIS 纵向尺寸的确定

GIS 配电装置纵向尺寸为 GIS 进出线套管中心线间的纵向距离，其主要取决于设备本体的纵向尺寸及 GIS 运输、吊装的要求。纵向尺寸的大小直接影响进出线分支母线的长度，对设备造价影响大。

#### (1) 设备本体的纵向尺寸

目前，具备生产 1100kV GIS 产品能力的制造厂家有平高、沈高及西开三家企业。设备外形尺寸如下表所列。

表 3-6 不同厂家设备的主要外形尺寸

	厂家	布置方案	设备横向尺寸 (m, 每个完整串)	设备纵向尺寸*(m)
1	平高	双断口 母线集中外置的一字型布置	71	18.5
2	沈高	双断口/四端口 母线集中外置的一字型布置	68	19/22.5
3	西开	四断口 母线集中外置的一字型布置	69.5	22.5

注\*：设备纵向尺寸为设备本体的纵向尺寸，不含进出线分支母线及套管。

#### (2) GIS 配电装置纵向尺寸的确定

GIS 配电装置纵向尺寸为 GIS 进出线套管中心线间的纵向距离，其主要取决于设备本体的纵向尺寸、进线侧纵向尺寸(即进线套管至设备本体的距离)及出线侧纵向尺寸(即出线套管至设备本体的距离)。

进线侧纵向尺寸主要由以下因素决定：

- a 吊车带电吊装时与进线高压套管均压环保证相地安全净距；
- b 吊车支持脚与电缆沟外沿的间距不应小于 1000mm；
- c 吊车支持脚间的间距；
- d 基础外沿与最内侧断路器的间距；
- e 吊车支持脚与 GIS 基础外沿的间距不应小于 1000mm。

出线侧纵向尺寸由以下因素决定：吊车带电吊装母线或母线设备时与出线高压套管均压环保证相地安全净距。

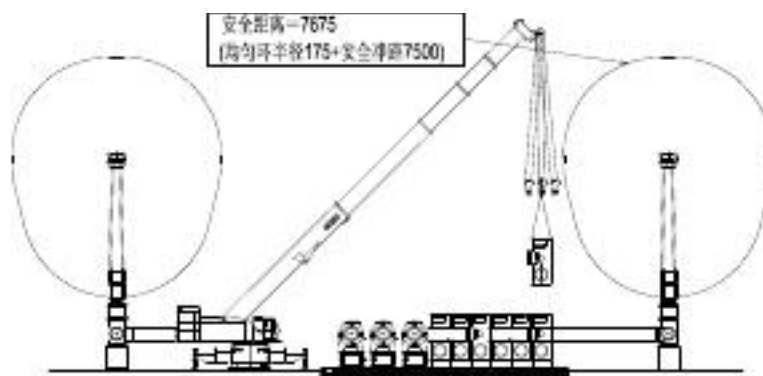


图 3.5-1 1100kV GIS 吊装安全距离校验图

2009 年 12 月 08 日，国家电网公司特高压建设部在西安组织召开了 1000kV 淮南-上海(皖电东送)输变电工程特高压 GIS 布置方案研讨会。西开电气以皖南变电站为例，介绍了 1100kV GIS 的工程设计方案。与会专家建议厂家考虑在主变压器侧单侧吊装的方案，根据带电检修和安装要求确定 GIS 进出线套管间的纵向尺寸。

主变进线吊装侧进线套管至设备本体距离 18.5m，设备本体至出线套管间距离 10m。结合厂家资料，平高及沈高 GIS 配电装置进出线套管间纵向尺寸确定为 44.5m，西高 GIS 配电装置由于其四端口断路器布置在外侧，其纵向尺寸确定为 51m(设备吊装时需考虑吊车支脚局部加固处理)。

## 4 1100kV GIS 远景扩建方案

GIS 远景扩建方案确定的主要原则为施工方便、不停电或尽量缩短远景扩建时的停电时间。GIS 扩建方案的重点为：①合理确定本期及远景供货范围；②合理配置 1100kV GIS 分隔气室及过渡气室。根据专家及运行单位的意见，断路器、隔离开关、避雷器、SF6 套管应采用单独隔室。

1100kV GIS 远景扩建最常见的是从不完整串扩建为完整串，主接线如下图所示，主要考虑以下二种扩建方案：

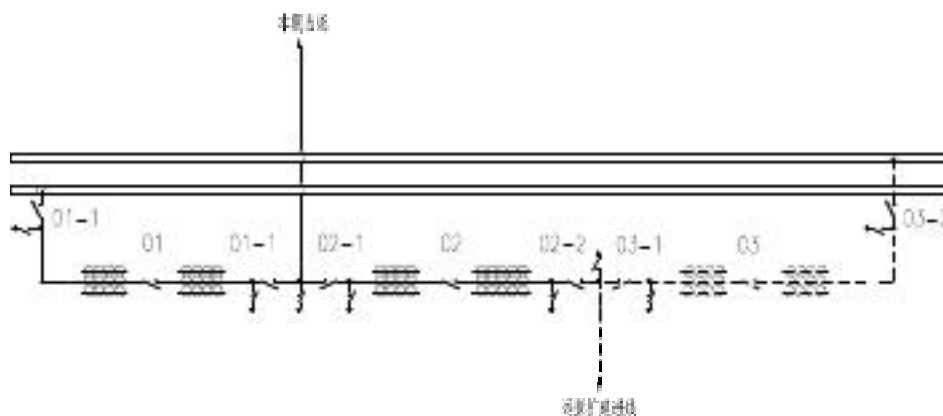


图 4-1 扩建主接线

方案一：本期上与本期出线有关的断路器(01 号 CB 和 02 号 CB)及二侧隔离开关/接地开关，在隔离开关 02-2 与串中分支母线 a 的连接处设置中间气室。

该方案在完成扩建部分的现场试验后的主要扩建步骤为(如图 4-2 所示)：

- a) 打开所有与 2M 相连的母线断路器，闭合 2M 的接地开关，使 2M 不带电；
- b) 气体处理，使各气室压力满足要求，即降低中间气室及扩建相关母线气室的气压，将需拆除的串中分支母线气室的气压降至 0MPa；
- c) 需拆除的串中分支母线气室回空气后拆除，并待后续步骤中使用；
- d) 将需扩建的断路器(03 号 CB)及其二侧隔离开关/接地开关单元就位；
- e) 完成需扩建的断路器及其二侧隔离开关/接地开关与母线气室和中间气室的连接，其中扩建部分的串中分支母线可利用步骤 c 中拆下的分支母线；
- f) 气体处理：所有扩建相关的气室的气压恢复到额定气压；
- g) 2M 接地开关分闸，闭合所有打开的断路器及其二侧隔离开关，完成扩建设备的带电。

该方案本期供货范围最小，全部为一个不完整串所需的设备，但在扩建过程中与扩建相关的 2M 需暂时停电，尽管在一个半断路器接线中允许一条母线检修或停电的情况。

方案二在方案一的基础上本期增上一组母线隔离开关和中间气室，以实现扩建过程中母线不停电，即本期上与本期出线有关的断路器(01 号 CB 和 02 号 CB)及二侧隔离开关/接地开关，以及远景扩建断路器(03 号 CB)的母线侧隔离开关(03-1 号 DS)。在串中分支母线 a 与 02-2 号 DS 及 03-1 号 DS 连接处分设中间气室 ZQ1、ZQ2。

该方案在完成扩建部分的现场试验后的主要扩建步骤为(如图 4-3 所示)：



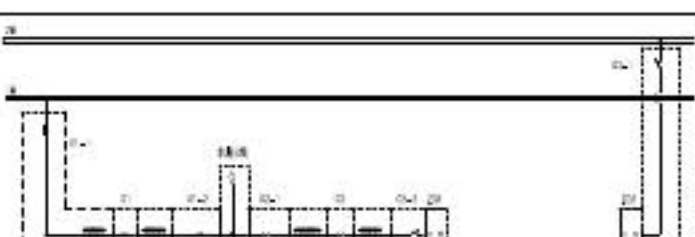
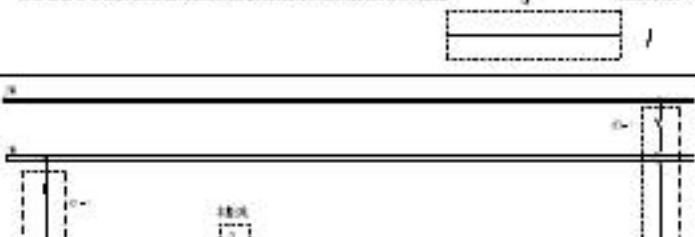

- a) 打开断路器 02 及与 2M 相连的隔离开关 03-1；

- b) 气体处理，使各气室压力满足要求，即降低中间气室 ZQ1、ZQ2 的气压，将需拆除的串中分支母线气室的气压降至 0MPa；
- c) 需拆除的串中分支母线气室回空气后拆除，并待后续步骤中使用；
- d) 将需扩建的断路器(03 号 CB)及隔离开关/接地开关单元就位；
- e) 完成需扩建的断路器及隔离开关/接地开关与中间气室的连接，其中扩建部分的进出线分支母线可利用步骤 c 中拆下的分支母线；
- f) 气体处理：所有扩建相关的气室的气压恢复到额定气压；
- g) 闭合串中打开的断路器(02 号 CB 和 03 号 CB)及其二侧隔离开关，完成扩建设备的带电。

与方案一相比，该方案本期供货范围较大，需增上远景扩建断路器(03 号 CB)的母线侧隔离开关(03-1 号 DS)、部分串中分支母线(代替远景扩建断路器的位置)和一个中间气室，但可实现远景不停电扩建，远景投资与方案一相当。考虑到特高压变电站的重要性，推荐采用该方案。





顺序	主接线	作业内容
①		本期上11、03号GIS及其二期02/05、01号GIS的母排及05(03-1号)、在串中分文母排a与12、1号05和01、1号05两分支分文母排01、02
②		打开03号GIS及05侧开关03-1
③		降低中间气室01、02的气压，分支母排a的气压降至0.04后拆除，并留存在备修库中备用
④		充氮扩建部分与中间气室01及02的绝缘，其中可利用留下的分支母排a作为引出分支母排的一部分
⑤		各气室均恢复到额定气压后，闭合02/05、03/05，准备恢复带电运行

说明：虚线框为气室



新充气压下的中间气室



降压后中间气室

图 4-3 GIS 远景扩建方案示意图(方案二)

## 5 1100kV GIS 外壳的接地

由于变电站/开关站主接地网采用镀锌扁钢，为避免 1100kV 开关设备的外壳感应电流经主接地网流通而导致主接地网过热，同时为限制 1100kV 开关设备外壳暂态地电位升高、保障开关设备的安全运行，对 1100kV 开关设备设置专用辅助接地网。

1100kV GIS 在本体上设置连接分相壳体的相间汇流排，以降低接地引下线及辅助地网中流过的感应电流。三相设备外壳通过相间汇流排短接后，在正常运行时，设备外壳上会产生一个方向相反而其数值几乎与母线导体上流过的电流相等的感应电流，使得壳外的剩余磁场大为降低，设备周围的支架、基础及接地网中几乎不存在热损耗或温升。GIS 外壳接地引下线中通过的电流也降为 7% 工作电流以下（三相并行部分）。同时，相间汇流排的设置也可有效抑制 GIS 管路末端及套管出线部的暂态地电位升高（TGPR）。

采用三维涡流解析薄板近似法对 GIS 壳体表面电流、相间汇流排电流和接地引下线电流进行了解析计算，解析模型如图 5-1 所示。

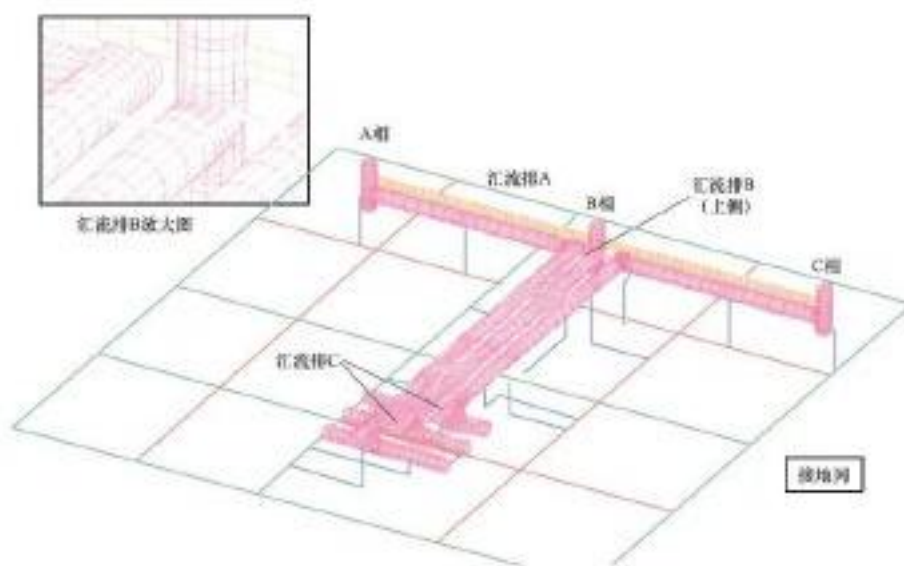


图 5-1 1100kV GIS 接地电流解析三维模型

计算结果表明：

（1）套管部位的接地引下线电流最大，约为 12% 的 GIS 工作电流，GIS 中部的接地引下线电流约为 7% 的 GIS 工作电流；

（2）套管部位的相间汇流排电流约为 40% 的 GIS 工作电流，GIS 中部的相间汇流排电流最大约为 63% 的 GIS 工作电流。1100kV GIS 辅助地网采用镀锌扁钢，GIS

接地引下线采用扁铜。

根据相间汇流排的电流分布及铜材的温升限值，确定 GIS 相间汇流排的布置如图 5-2 所示。

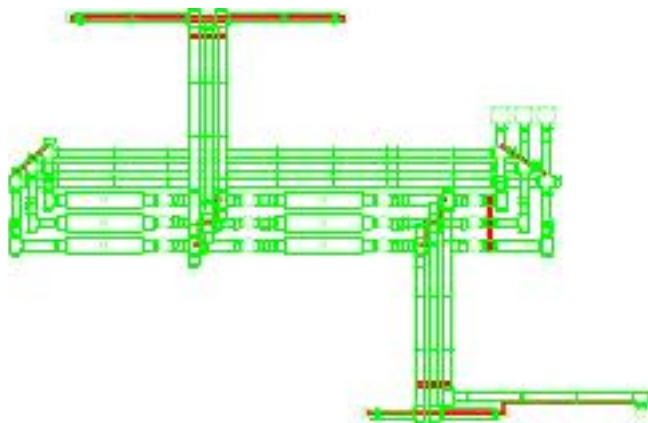


图 5-2 1100kV GIS 相间汇流排的布置

辅助地网的布置对接地引下线电流及 GIS 暂态地电位升高有直接影响，研究表明：

(1) 若辅助地网网格过密，由于辅助地网低阻抗化，会造成端部接地引下线电流增加。对辅助地网网格间距分别为 3m~6m 的情况进行了计算。根据计算结果，即使辅助地网网格间距从 6m 减小到 3m，也不会对辅助地网电流有太大的影响，但会使端部接地引下线电流大幅增加。

(2) 减小辅助地网网格间距，对抑制 GIS 管路末端及套管出线部的暂态地电位升高效果不明显；但减小接地引下线长度，并从辅助地网交叉点引接可有效抑制 GIS 管路末端及套管出线部的暂态地电位升高（TGPR）。

基于以上研究成果，晋东南变电站 1100kV GIS，除在在本体上设置连接分相壳体的相间汇流排外，设置专用辅助地网。辅助地网采用 70mm×10mm 的镀锌扁钢，网格间距为 5m，外缘交叉处就近与主接地网交叉处可靠连接，接地引下线采用 70mm×6mm 的铜带。考虑到接地引下线长度越短对抑制 GIS 外壳暂态地电位升高越有效，并为抑制钢铜混合地网的电化学腐蚀，兼顾施工方便，辅助接地网敷设于基础二次浇灌层下，如图 5-3 所示。

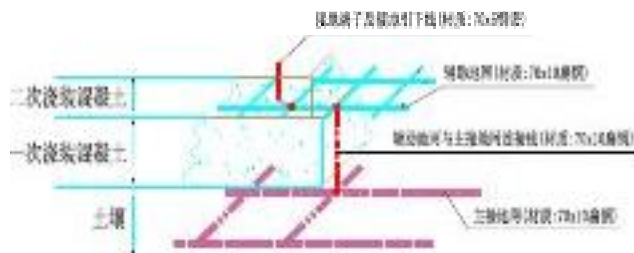


图 5-3 1100kV GIS 辅助地网连接图

## 6 1100kV GIS 状态监测

为确保特高压交流关键设备的安全、可靠运行，实现状态检修，1100kV GIS 配置状态监测装置。通过对有关参数、信号的采集和分析，检出内部的初期故障及其发展趋势。维护人员可根据检出的数据进行综合分析，诊断设备的状态，及时检修，减少损失，避免恶性事故的发生，提高电网的安全经济运行水平。

状态监测装置前置单元均由主设备厂商成套配置，后台诊断分析系统由二次监控厂商集成，即保证了前置传感单元与主设备的可靠连接和在线检测功能的准确实现，又满足了不同厂商、不同前置单元通信接口方式与后台系统的集成接入。

1100kV GIS 设备状态监测装置包括气体压力传感器、温度传感器、各种电流传感器及自动监视单元，对局部放电、SF<sub>6</sub> 气体密度、跳合闸线圈参数等进行在线监视，其中局部放电监测点布置如图 6-1 所示。

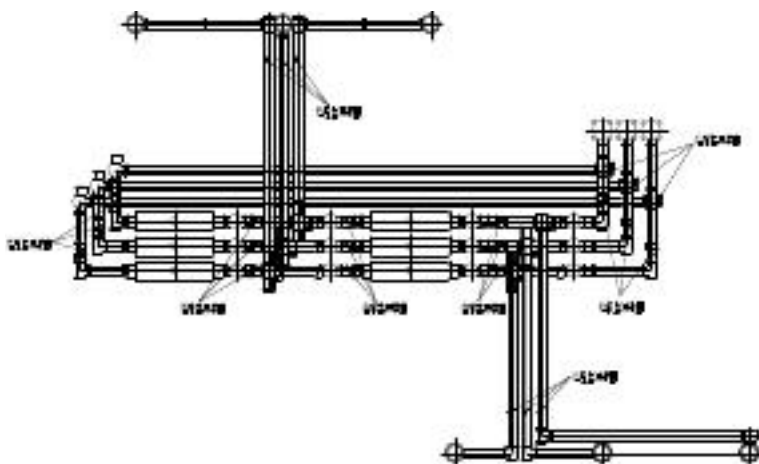


图 6-1 1100kV GIS 局部放电监测点布置图

各就地采集数据通过接口上送状态监测集成系统，对采集数据进行分析诊断。整套系统满足了各主要设备状态监测的技术要求，系统功能完善，界面明确，为运行人员实时监视设备运行状态，保证变电站安全可靠运行提供了重要保证。