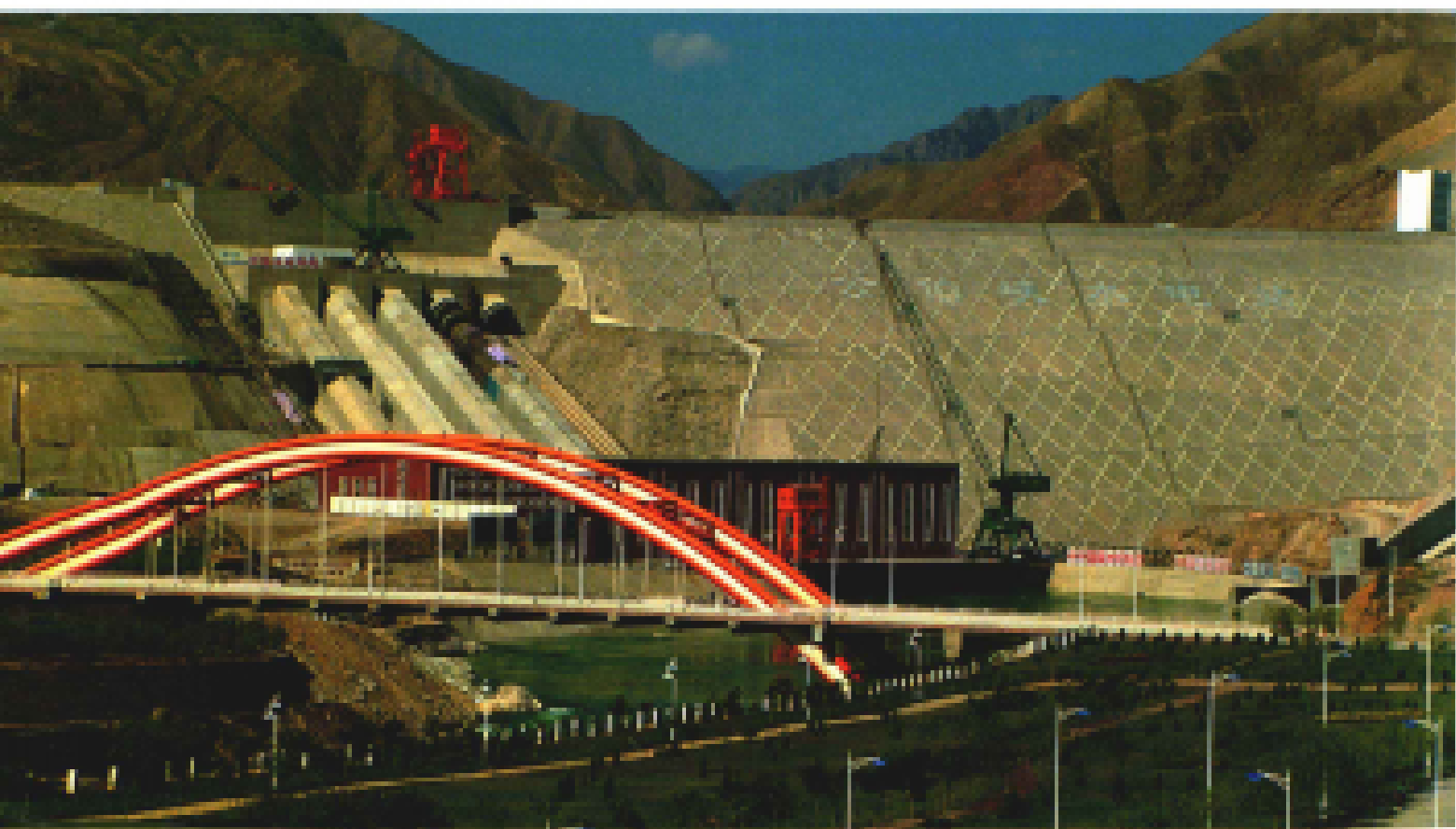
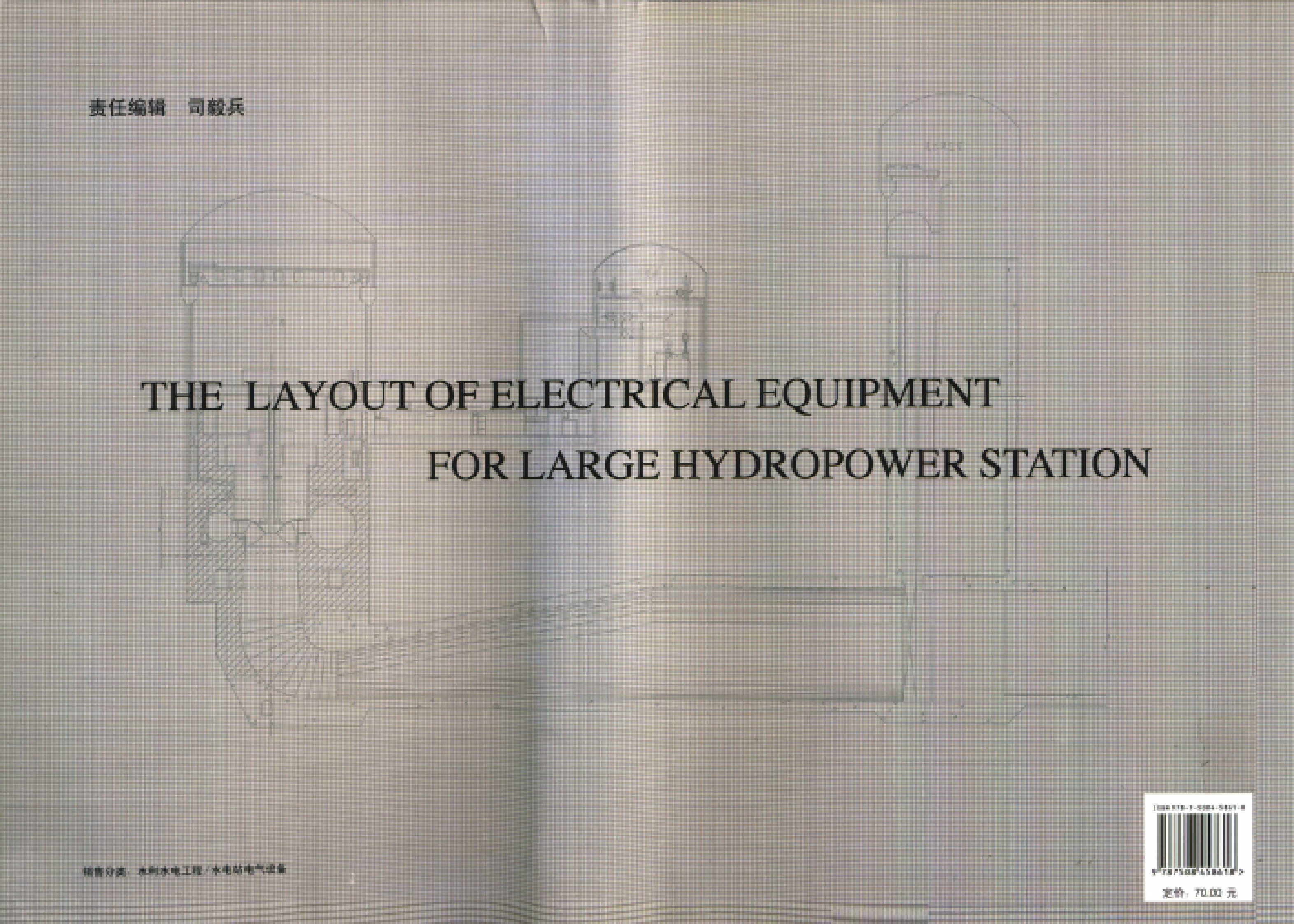


大型水电站 电气设备布置图册

《大型水电站电气设备布置图册》编委会 编



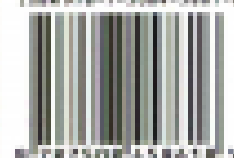
责任编辑 司毅兵



THE LAYOUT OF ELECTRICAL EQUIPMENT FOR LARGE HYDROPOWER STATION

销售分类：水利水电工程/水电站电气设备

ISBN 7-1-5084-5861-8



9 787150 845861 >

定价：70.00 元

大型水电站电气设备布置图册

《大型水电站电气设备布置图册》编委会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分两篇。第1篇为大型水电站电气设备布置；第2篇为工程实例图集。本书全面总结了大型水电站电气设备布置的设计经验，着重介绍了大型水电站设计中电气设备布置的基本要求，收集整理了我国20世纪90年代以来已经运行和在建的有代表性的水电站的电气设备布置图纸，图文并茂，并按地下厂房电站、抽水蓄能电站、地面厂房电站进行分类，按装机容量大小排列顺序，以方便读者参阅，达到易读实用的目的。

本书可供水电工程设计人员、工程建设管理人员和运行管理人员查阅、参考，也可供高等院校相关专业的教学和科研人员参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

大型水电站电气设备布置图册/《大型水电站电气设备布置图册》编委会编. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

ISBN 978-7-5084-5861-8

I. 大— II. 大— III. 水力发电站—电气设备—布置 (图册) —图集 IV. TV734-64

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第134630号

书 名	大型水电站电气设备布置图册
作 者	《大型水电站电气设备布置图册》编委会 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994, 63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
开 本	420mm×297mm 8开 17.5印张 314千字
版 次	2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷
印 数	0001—2100册
定 价	79.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《大型水电站电气设备布置图册》编委会名单

技术顾问

李定中 于庆贵 任树峰

主 编

魏广恒 阮全荣 康本贤

参 编

王华军 石凤翔 李 晖 孙 帆 桑志强 杨党锋 解统成 靖 峰 王耀辉 张 轩
李 勇 徐立佳 邓双学 夏富军 冯真秋 杨建军 邵光明 陈正标 腾 军 陈寅其

主编单位

西北勘测设计研究院

参编单位

水力发电工程学会电气专业委员会

水利水电电气信息网

长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

黄河水利委员会勘测规划设计研究院

华东勘测设计研究院

成都勘测设计研究院

昆明勘测设计研究院

中南勘测设计研究院

广东省水利电力勘测设计院

沈阳互感器有限责任公司

前 言

随着改革开放的深入进行和经济建设的快速发展,我国水电工程的建设规模和装机容量不断扩大,发展迅速,截至 2006 年,全国水电装机 1.29 亿 kW,居世界之首。我国水电资源极为丰富,能够用于发电的水能资源近 5.4 亿 kW,是目前世界上水电建设规模最大和发展速度最快的国家。根据国家可再生能源发展规划的要求,今后一个时期,我国可再生能源发展的重点是水能、生物能、风能和太阳能,到 2020 年,我国水电装机将达到 3 亿 kW。“西部大开发”和“西电东送”战略的实施、电力结构的调整和可持续发展战略的实施,为我国进一步加快水电开发创造了难得的历史机遇。

电气设备的合理布置对于大型水电工程的整体设计起着举足轻重的作用,不仅影响电气设计方案的顺利实施,还将影响到电站厂房、开关站等土建设计方案的确定,甚至对电站枢纽方案也会有一定影响。合理的电气设备布置方案,可以尽可能节省工程综合投资,方便电站运行人员的操作与维护。因此,如何优化电气设备布置,就成为摆在广大设计人员面前的一项重要课题。为了促进大型水电工程电气设备的合理选择及优化布置,达到运行可靠、节省投资、节能降耗、提高经济效益等目的,特编写了《大型水电站电气设备布置图册》工程设计实用工具书。

为方便广大读者更好地了解电气设备布置的基本要求和特点,编者全面总结了大型水电站电气设备布置设计经验,并收集整理了我 20 世纪 90 年代以来已运行和在建的有代表性水电站的电气设备布置图纸,按地下厂房电站、抽水蓄能电站、地面厂房电站分类,按装机容量大小排列顺序,以方便读者参阅。本书共包括两部分内容:大型水电站电气设备布置和工程实例图集。本书着重介绍了大型水电站设计中的电气设备布置基本要求,总结设计经验,并收集了大量典型工程实例,图文并茂,以期达到易读实用的目的。本书可供水电工程设计人员、工程建设管理人员和运行管理人员查阅、参考,也可供高等院校相关专业的教学和科研人员参阅。

本书在编写过程中,得到了水利水电电气信息网各会员单位的大力支持,他们提供了宝贵的资料和有益的建议,在此表示衷心感谢!由于资料来源渠道很多,规范化工作较为繁杂,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2008 年 5 月

目 录

前言

第 1 篇 大型水电站电气设备布置	001	向家坝水电站	027
第 1 章 水电站枢纽电气布置的基本要求	001	龙滩水电站	034
第 2 章 水电站主要电气设备	001	拉西瓦水电站	043
2.1 主变压器	001	小湾水电站	051
2.2 高压断路器	002	锦屏一级水电站	058
2.3 高压隔离开关	003	二滩水电站	066
2.4 气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)	003	构皮滩水电站	071
2.5 发电机电压配电装置	004	小浪底水电站	076
2.6 高压电缆	006	彭水水电站	082
2.7 气体绝缘金属封闭输电线路 (GIL)	006	第 2 章 抽水蓄能电站	087
2.8 厂用电系统设备	007	惠州抽水蓄能电站	087
第 3 章 主要电气设备布置	008	天荒坪抽水蓄能电站	092
3.1 主变压器布置	008	桐柏抽水蓄能电站	097
3.2 开关站布置	008	泰安抽水蓄能电站	101
3.3 发电机电压配电装置布置	011	第 3 章 地面厂房电站	108
3.4 进线段与联络线的布置	013	三峡左岸水电站	108
3.5 厂用电电气设备布置	014	李家峡水电站	113
第 2 篇 工程实例图集	016	景洪水电站	121
第 1 章 地下厂房电站	017	公伯峡水电站	126
溪洛渡水电站	017		

第 1 篇 大型水电站电气设备布置

工程设计工作是一门涉及技术、经济和方针政策等诸多方面的综合应用技术科学，是把先进技术转化为生产力的纽带。水电站电气设备布置设计是按电气主接线要求，对水电站主厂房、副厂房、主变压器与开关站以及其他电气设备的相对位置作合理布置。合理的选择电气设备与制定布置方案密切相关，水电站电气设备选择和布置与电力负荷的性质及容量、电气主接线及运行方式、环境与地形条件、安装与维护要求等因素有关，应合理采用新技术、新设备和新材料，以适应水电厂的特点、规模和发展规划；应坚持节约用地和节能降耗的原则，满足环境保护的要求；应做到技术先进、经济合理、运行可靠和安装维护方便。

电气设备布置关系到水电站的安全运行、工程投资以及经济效益，是水电站电气设计的重要课题。

第 1 章 水电站枢纽电气布置的基本要求

水电站枢纽电气布置主要是对水电站主厂房、副厂房、中央控制室、主变压器与开关站的相对位置作技术性的合理布置。水电站枢纽电气布置的一般要求如下：

(1) 考虑水电站长期安全运行要求。为了保证设备运行可靠，便于正常的维护巡视，减少事故和故障的发生，或事故发生时能及时处理不使事故扩大，应将水电站主厂房与中央控制室、副厂房、主变压器以及开关站之间的布置距离尽量缩短。

(2) 综合水电站枢纽的地形、地质条件、自然环境和水工建筑物在布置上的特点等，尽量减少土建工程量，使总造价经济合理，并考虑避免施工交叉，缩短建设周期。

(3) 结合水电站的电气主接线、机组台数、机组容量、高压开关站型式、进出线及联络线型式、送出电压等级和出线回路数等因素，合理选择电气设备布置。

(4) 结合考虑初期发电及分期过渡的布置方案，以避免或减少与施工设施的干扰，减少停电损失费用和停电时间。

(5) 主变压器和开关站场地的设计防洪标准一般与主厂房一致。进厂道路路面高程应尽量高于尾水最高洪水位。

(6) 应考虑各个布置方案的电能损失费用。

(7) 枢纽电气设备布置应便于高压开关站的型式选择和布置、进出线及联络线型式选择和布置、动力和二次电缆的敷设。

(8) 电气设备布置应合理采用成熟的新技术、新设备和新材料，应坚持节约用地和节能降耗的原则，满足环境保护的要求。

第 2 章 水电站主要电气设备

水电站主要电气设备包括：主变压器、并联电抗器、高压配电装置、发电机配电装置、高压电缆、金属封闭气体绝缘线路、厂用电设备等。

2.1 主 变 压 器

变压器是用来交换交流电压和电流而传输交流电能的一种静止电器。水电站的主变压器专指升压变压器和联络变压器。按相数分为单相式、三相整体式和组合三相变压器；按绕组数分为双绕组、三绕组和自耦变压器。变压器是水电站主要的电气设备之一。

大型水电站主变压器一般指容量在 200MVA 及以上，高压侧电压从 220kV 到 750kV 的大型变压器。从可靠性和安装施工方面考虑，变压器本体一般都在工厂组装后运到现场，其运输重量可能超过数百吨，且运输体积大，因此受运输条件限制是大型变压器选型的主要制约因素。

只要运输条件满足，三相整体变压器一般可比单相变压器组降低投资 30% 左右，降低耗损 15%~20%，应优先采用三相变压器。20 世纪，我国的铁路运输能力约为 200t 以下，由铁路运输重量及尺寸极限决定的变压器最大单台容量约为

450MVA左右,例如:由沈阳变压器厂生产的青海李家峡水电站三相变压器,运输重量为198t。目前我国的铁路运输能力发展迅速,2004年我国已制造出载重380t的钳夹车和载重320t的大型凹底平车,并成功地运输了保定变压器厂生产的SFP72000/500三相一体变压器。其本体运输重量为331t,运输尺寸为(9905mm×3890mm×4570mm),改变了铁路不能运输大型发电工程三相整体变压器的局面。

当铁路运输不能实现时,可采用水路或公路运输。三峡工程的主要大件和重件,例如三峡工程左岸SFP—800MVA/500变压器采用了水路运输,这主要是由电站所处的地理位置和条件而定的;西安变压器厂为三峡工程生产的290MVA整流变压器,运输重量达262t,则采用了公路运输。

当运输条件困难,但布置场地不受限制时,可选用单相变压器组。例如拉西瓦水电站主变压器采用单相变压器组,额定电压 $800/\sqrt{3}$ kV,额定容量 3×260 MVA。

当运输条件和布置场地均受限制时,宜选用三相组合式变压器。例如我国西南地区,多采用三相组合式变压器,即在工厂做成三个单相变压器,运到工地后,再组合成装上三相连接件、引出套管的组合结构。这种结构的变压现场安装周期相对较长,工艺较复杂。我国龙滩水电站的500kV、780MVA升压变压器,就采用这种结构。另外也可采用现场组装三相变压器ASA,这种变压器一般都能满足运输条件的要求,但变压器安装时间长,对安装场地、设备和环境条件、安装工艺要求严格,目前水电站运行业绩较少。

2.2 高压断路器

断路器是能关合、承载、开断运行回路正常电流,也能在规定时间内关合、承载及开断规定的过载电流(包括短路电流)的开关设备。

高压断路器在水电站高压配电装置中,是不可缺少的重要设备。126kV及以上的高压断路器主要分为少油断路器和SF₆断路器两大类,其中少油断路器由于可靠性差、断口多、断流容量小、检修周期短、不利于防火等问题,在大型水电站设计中已不再选用。目前大型水电站110kV及以上系统中主要采用SF₆断路器。

SF₆断路器是以SF₆气体作为灭弧和绝缘介质。其特点是开断性能可以较好的适应电力系统中各种运行状态的变化,除完成一般的开、合负荷电流及短路电流任务外,还能适应系统特殊工况的开断任务,诸如开断小电流、近区故障、失步操作以及发展性故障和并联开断等。所以SF₆断路器自20世纪50年代问世以来发展很快,现已成为110~750kV高压系统中最主要的操作设备。

SF₆断路器之所以具有强大的生命力,是因为它具有如下特点:

- (1) 可靠性高,性能稳定,断流容量大。
- (2) 体积小,噪音低。
- (3) 结构简单,断口少,126~550kV SF₆断路器均可制成单断口,800kV每相可做到2个断口。
- (4) 允许开断次数多,检修周期长,维护运行方便。
- (5) 可与其他电气设备组合成SF₆气体绝缘金属封闭开关设备(GIS),将大大缩小高压配电装置的占地面积,减少维护工作量。

SF₆断路器从外型结构上可以分为瓷柱式和罐式两种型式。瓷柱式SF₆断路器,其SF₆只承担灭弧任务,对地绝缘由支持瓷套管承担。罐式SF₆断路器其灭弧等带电元件都封闭于接地的金属外壳内,用两个充SF₆气体的瓷套出线,并可安装电流互感器。其特点是结构紧凑占地面积小、抗震性能好、耐污秽能力强、运行维护方便,其造价较瓷柱式贵。252kV及以下SF₆断路器的操动机构为弹簧、液压和气压操动机构;363~800kV SF₆断路器采用液压、液压弹簧和气压操动机构。

目前我国各主要开关制造厂均能设计制造126~800kV SF₆断路器。126~550kV SF₆断路器参考外形尺寸见表2-1。

表 2-1 126~550kV SF₆ 断路器参考外形尺寸表

型式	额定电压 (kV)	外形尺寸 (横向×纵向×高, mm×mm×mm)	相间距 (mm)	重量 (kg)	与其他设备间距 (mm)
瓷柱式 断路器	126	4000×800×4900 (三极)	1700	1500 (三极)	距互感器 2500~3000 距隔离开关 3500
	252	1100×800×7200	3000~4000	3500	距互感器 4000 距隔离开关 6000
	363	1300×4800×7000/带合闸电阻 1300×4800×6500/不带合闸电阻	5000	7200	距互感器 6500~7000 距隔离开关 9000
	550	1300×6400×8500/带合闸电阻 1300×6400×7500/不带合闸电阻	8000	12000	距互感器 7500 距隔离开关 13000
罐式 断路器	126	3200×2050×3600 (三极)	1500	3400 (三极)	距隔离开关 3500
	252	900×3200×5200	3000~4000	17000	距隔离开关 8500
	363	1200×4700×6800	4000~5000	22000	距隔离开关 9000
	550	1200×6500×8200	8000	24000	距隔离开关 14000

2.3 高压隔离开关

隔离开关是指在分闸位置时，触头间有符合规定要求的绝缘距离和明显的断开标志。在合闸位置时，能承载正常回路条件下的电流及规定时间内的异常条件（例如短路）下的电流的开关设备。在水电站高压配电装置设备中，隔离开关的需要量很大，约为断路器数量的3~4倍。合理地选择隔离开关的结构型式，对水电站高压配电装置布置设计具有明显的技术经济意义。

高压隔离开关按基本结构可分为三大类：

(1) 单柱式隔离开关。每极的静触头悬挂于母线或独立的支座上，其动触头都用单独的底座或框架支撑，其断口方向与底座平面垂直。根据导电杆的动作方式又可分为双臂折架式、单臂折架式和伸缩式。

单柱式隔离开关无笨重的底座，占地面积小，可直接布置在架空母线的下面，减少配电装置的面积，尤其适用于水电站开关站的布置设计。但在破冰能力和恶劣气候条件下稳定可靠工作方面显得还不够理想，且无法装设两组接地刀闸。

(2) 双柱式隔离开关。每极有两个可转动的触头，分别安装在单独的瓷柱上，且在两支柱之间接触，其断口方向与底座平行。根据导电杆的动作方式分为水平回转式、双刀垂直回转式、单刀垂直回转式及水平伸缩式等。

双柱式隔离开关具有结构简单、体积小、重量轻、电动稳定度高、破冰能力强、分闸时极间距离较大、合闸时瓷柱受较大弯曲力等特点。水平回转式相间距离较大，而垂直回转式相间距离较小，所以330kV及以上电压等级线路型隔离开关多采用垂直回转式。

(3) 三柱式隔离开关。有两个相互串联的断口，其断口方向与底座平面平行，使回路在两处断开。按导电杆回转方向基本分为水平回转式与垂直回转式两种。由于其打开后中间的导电杆不带电，不占用相间空间，相间距离较小。但由于瓷柱的增多，纵向尺寸较大。

隔离开关的型式多样，品种繁多，各有特点。隔离开关结构型式的选择，应根据开关站的布置特点、工作条件和使用要求等因素，经过技术经济比较确定。

目前国内各主要开关制造厂均可生产126~800kV各种结构型式的隔离开关。126~550kV常用隔离开关参考外形尺寸见表2-2。

表 2-2 126~550kV 常用隔离开关参考外形尺寸表

型式	额定电压 (kV)	外形尺寸 (长×高, mm×mm)	相间距 (mm)	重量 (kg)
单柱剪刀式	126	2100 (分闸状态, 设备高度) 4200 (合闸状态, 设备高度)	1700	300
	252	3400 (分闸状态, 设备高度) 6500 (合闸状态, 设备高度)	3000	600
	363	5500 (分闸状态, 设备高度) 9000 (合闸状态, 设备高度)	4000	900
	550	7000 (分闸状态, 设备高度) 12000 (合闸状态, 设备高度)	7000	1600
双柱水平回转式	126	1600×1750	2000	300
	252	3500×3000	4000	600
双柱垂直回转式	252	4000×4500	3000	950
	363	5000×6500	5000	2500
	550	6500×8500	8000	4000
三柱水平回转式	126	2500×1850	2000	500
	252	4500×3000	3000	800
	363	6500×4200	5000	1500
	550	8600×6000	8000	3000

2.4 气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)

气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 是将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器 (TA)、电压互感器 (TV)、避雷器、母线等元件按电气主接线的要求，依次连接，封闭于接地的金属外壳内，采用气体作绝缘介质的高压配电装置。当前绝缘介质大都采用 SF₆ 气体。

功能单元是 GIS 的基本组合单元。通常每套 GIS 具有若干不同功能单元，例如架空进出线单元、电缆进出线单元、变压器单元、母线联络单元、计量和保护单元等。功能单元由标准化的元件组成，各元件通过法兰连接起来，故具有积木式特点，可适应不同形式电气主接线的要求。

在结构上，GIS 的高压带电部分置于接地的金属外壳中，壳体内充有绝缘气体。辅助回路分别集中装置在各元件或 (和) 单元的控制柜中。在总体配置上，通常采用一个功能单元占用一个隔位 (亦称间隔)，并以其宽度尺寸或占用空间大小

作为衡量小形化程度的主要指标。GIS 与传统型高压电器设备相比有如下特点：

(1) 外形尺寸显著减少。126~550kV GIS 的占地面积只有传统型开关站的 30%~15%，而占用的空间只有 20%~10%。

(2) 运行安全。全部高压带电部件都置于密封外壳内，运行人员不会触及，也没有火灾危险。

(3) 可靠性高。各元件工作不受外界环境和气候条件影响，特别适用于高海拔、重污秽地区。

(4) GIS 可以整体或若干元件组成一体运输，现场安装简便。电寿命长，维护工作量很少。

(5) GIS 即无明显的噪声，也不会产生无线电干扰，因此对环境没有不良影响。

(6) 适应性强，因重心低、脆性元件少，所以抗震性能好。

(7) 由于 GIS 最大限度地减少或避免大气的绝缘，对超高压和特高压等级特别有利。

GIS 的布置按断路器采用水平断口或垂直断口的不同，可分为立式或卧式。母线分为单相式和三相共筒式两种类型，363kV 及以下的 GIS 一般采用三相共筒式，550kV 及以上 GIS 一般采用单相式。

GIS 设备可布置在户外，也可布置在户内。目前，国内主要开关制造厂均可生产 126~550kV 电压等级的 GIS 设备。

2.5 发电机电压配电装置

2.5.1 母线

用金属外壳将导体连同绝缘等封闭起来的组合体称作金属封闭母线。每相具有单独金属外壳且各相外壳有空隙隔离的金属封闭母线称为离相封闭母线。三相导体封闭在同一个金属外壳内的金属封闭母线称为共箱封闭母线。

2.5.1.1 离相封闭母线

离相封闭母线主要用于大容量发电机和主变压器之间的连接，离相封闭母线的壳通常采用全连式，即每相外壳电气上连通，分别在三相外壳首末端处短路并接地的离相封闭母线。离相封闭母线的导体和外壳一般采用纯铝圆形结构，每相导体同一断面上采用一个或多个绝缘子支撑。离相封闭母线的冷却方式可采用自然冷却或强迫冷却。当离相封闭母线的额定电流小于 25kA 时，宜采用空气自然冷却方

式；当额定电流大于 25kA 时，可采用强迫冷却方式。自冷式离相封闭母线参考外形图如图 2-1 所示，参考外形尺寸见表 2-3。

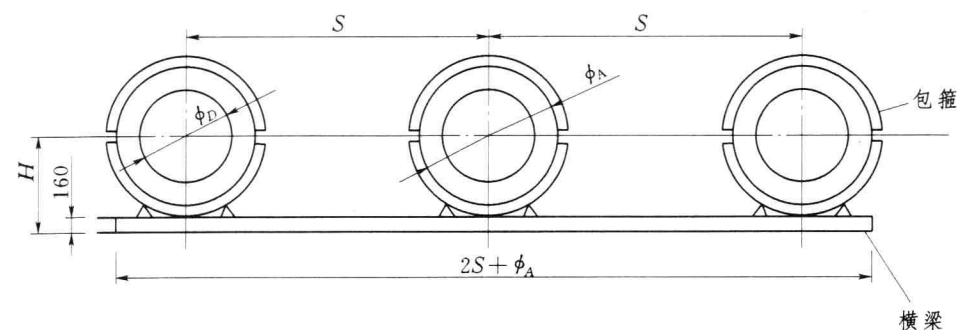


图 2-1 自冷式离相封闭母线参考外形图

表 2-3 自冷式离相封闭母线参考外形尺寸表

额定电流 I (A)	外形尺寸 (mm)				重量/三相每米 (kg)
	导体 ϕ_D	外壳 ϕ_A	相间距 S	高度 H	
$I \leq 4000$	130~200	600~750	≥ 850 (1000)	570~650	110~252
$4000 < I \leq 8000$	200~300	650~750	≥ 900 (1000)	590~650	150~283
$8000 < I \leq 10000$	350~400	800~900	≥ 1050 (1150)	660~700	250~367
$10000 < I \leq 14000$	500	1050	≥ 1300	705~770	370~480
$14000 < I \leq 16000$	600	1150	≥ 1400	745~805	480~520
$16000 < I \leq 18000$	650	1200	≥ 1450	830~880	540~560
$18000 < I \leq 23000$	750~850	1300~1400	≥ 1600 (1700)	870~970	650~750
$23000 < I \leq 26000$	900~1000	1450~1550	≥ 1800 (1900)	940~990	890~1100

2.5.1.2 共箱封闭母线

共箱封闭母线主要用于中、小容量发电机和主变压器之间的连接及厂用分支回路。导体采用矩形、槽形、管形的铜或铝材，外壳一般为铝板制成的罩箱，外壳电气上全部连通，多点接地。

共箱封闭母线导体之间通常是不分隔的，如果导体之间进行分隔，称为隔相共箱封闭母线。下面仅列出不隔相共箱封闭母线的参考尺寸，见表 2-4 和表 2-5；采用隔相封闭母线时，母线宽度尺寸应适当加大。

表 2-4 不隔相共箱封闭母线（矩形导体）参考尺寸表

额定电压 (kV)	3.15	6.3	10.5	35
额定电流 (A)	外形尺寸 (宽 L×高 H, mm×mm)			
400~3150	L: 700~800* 780~880** H: 400~470* 320~350**	L: 750~900* 900~1060** H: 520~560* 370~460**	L: 800~900* 1000~1060** H: 560~570* 420~470**	L: 1500~1630* 1700~1850** H: 920~1070* 880~990**
3500~4500	L: 750~860* 780~880** H: 440~560* 370~480**	L: 830~910* 900~1060** H: 520~560* 420~460**	L: 880~960* 1000~1060** H: 560~570* 460~490**	L: 1630~1700* H: 1070*

注 表中*代表导体垂直布置的母线尺寸；**代表导体水平布置的母线尺寸。

表 2-5 不隔相共箱封闭母线（槽形导体）参考尺寸表

额定电压 (kV)	3.15	6.3	10.5	15.75
额定电流 (A)	外形尺寸 (宽 L×高 H, mm×mm)			
3000	800×470	860×520	960×570	1200×820
3500	850×470	920×520	1020×570	1300×870
4000	910×490	980×540	1080×590	1300×870
5000	1010×520	1080×570	1180×620	1400×870
6000~6400	1100×550	1140×600	1240×650	1500×920

2.5.2 发电机断路器

直接连接在发电机主回路的断路器称为发电机断路器。常用的发电机断路器有两种类型，SF₆ 断路器和真空断路器。

2.5.2.1 SF₆ 发电机断路器

SF₆ 发电机断路器额定电压为 17.5~36kV，额定电流范围为 6300~28000A，额定短路开断电流范围为 63~160kA，广泛应用于大、中型水电站。SF₆ 发电机断路器通常与离相封闭母线连接，每相外壳为圆筒形铝合金结构，壳内可按需要选择安装断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器和避雷器等电器元件，如图 2-2 所示，三相断路器有共同的整体基座构架。断路器的相间距应按母线要求设计，外壳与封闭母线外壳通常采用焊接方式，形成密闭连通的整体，以实现封闭母线外壳整体全连结构的电气要求。隔离开关和接地开关能通过外壳上的观

察窗检查其触头的实际位置，操动机构装有分闸次数计数器。

每台断路器配备一台控制柜，柜中包括所需的全部机械和电气控制元件。控制柜正面设有电器操作位置模拟图，用来指示断路器、隔离开关及接地开关触头的实际位置。

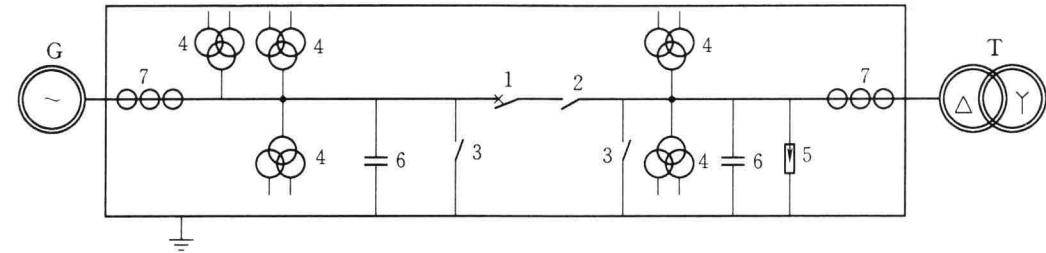


图 2-2 发电机断路器元件配置图

1—断路器；2—主回路串联隔离开关；3—接地开关；4—电压互感器；5—避雷器；6—电容器；7—电流互感器

SF₆ 发电机断路器布置示意图如图 2-3 所示，推荐的布置尺寸见表 2-6 所示的 SF₆ 断路器外形尺寸表。

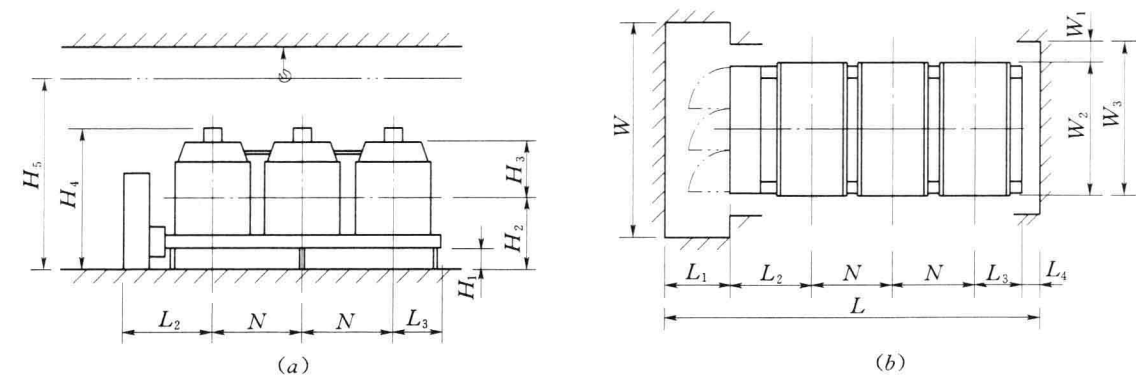


图 2-3 发电机断路器布置示意图

(a) 立面布置；(b) 平面布置

2.5.2.2 真空发电机断路器

真空发电机断路器额定电压为 12~17.5kV，额定电流范围为 1200~8000A，额定短路开断电流范围为 50~75kA，广泛应用于中、小型水电站。真空发电机断路器通常与电流互感器、接地开关等组合在高压开关柜内。真空发电机断路器柜参考尺寸见表 2-7。

表 2-6 与离相母线连接的 SF₆ 断路器外形尺寸表

参数 (kA)	尺寸 (mm)														
	L ₁ *	L ₂	L ₃	L ₄ *	N*	L*	W ₁ *	W ₂	W ₃ *	W*	H ₁ *	H ₂ *	H ₃	H ₄ *	H ₅ *
8.5 80	1000	1715	610	400	1100~ 1800	5925~ 7325	400	2202	3000	4000	458	1200~ 1500	862	2062~ 2362	3750~ 4050
10.5 80 100	1000	1715	610	400	1100~ 1800	5925~ 7325	400	2202	3000	4000	458	1200~ 1500	862	2062~ 2362	3750~ 4050
13 100 130	1000	1715	610	400	1200~ 1800	6125~ 7325	400	2202	3000	4000	458	1200~ 1500	979	2179~ 2479	3750~ 4050
18 100 130	1000	1715	610	400	1200~ 1800	6125~ 7325	1000	2202	4200	5200	458	1200~ 1500	979	2889~ 3189	3750~ 4050
28 160	1200	2000	1100	100	2000~ 2100	8400~ 8600	400	3200	4000	5000	470	1600	877	3400	4800

注 表中带 * 的尺寸均为最小尺寸。

表 2-7 真空发电机断路器柜参考尺寸表

参 数			外形尺寸 (mm)		
额定电压 U _额 (kV)	额定电流 I _额 (kA)	额定短路开断 电流 I' _额 (kA)	宽	深	高
12	≤5	<63	1000~1400	1800~2300	2200~2500
18	≤5	<75	1200~1600	1400~2300	2300~3000
24	≤5	<75	1200~1600	1600~2400	2400~3000

2.5.3 其他

与离相封闭母线配套的盘柜均为单相式，参考尺寸见表 2-8。

表 2-8 盘柜参考尺寸表

名 称	配 置	参考外形尺寸 (宽×深×高, mm×mm×mm)
电压互感器柜	三组电压互感器	(780~1200) × (1200~1800) × (2200~2700)
	四组电压互感器	(780~1200) × (2000~3000) × (2000~2500)
电压互感器避雷器组合柜	各一组	(780~900) × (2000~2500) × (2000~2200)

2.6 高 压 电 缆

本书所述高压电缆系指 110~500kV 电力电缆。高压电缆有充油电缆和挤包绝

缘电缆两类。挤包绝缘电缆主要型式为交联聚乙烯电缆。交联聚乙烯电缆与充油电缆相比，有着优良的电、热、机械性能，不需要供油设备及相应的检测设施，无油化利于防火。交联聚乙烯电缆敷设安装方便，尤其适用于高落差敷设场所，可靠性高、基本无维护、损耗低，已成为高压电力电缆的主导产品。20 世纪 90 年代以来，我国大型水电工程高压电缆全部采用交联聚乙烯电缆 (XLPE) 和低密度聚乙烯 (LDPE) 电力电缆。由于 LDPE 电缆耐温低 (允许运行温度 70℃)，在 20 世纪 90 年代后期已不再采用，而 XLPE 电缆由于耐温高 (允许运行温度 90℃) 而广泛应用于水电工程。

XLPE 电缆由导体、导体屏蔽层、绝缘层、绝缘屏蔽层、缓冲层和金属套、外护套构成。导体一般采用紧压绞合圆筒导体 (800mm² 及以下) 或分割导体结构 (1000mm² 及以上)。金属护套有铅护套、皱纹铝护套、铝 (铜) 塑复合护套、不锈钢护套和铜护套，各有特点，可按实际需要选择。

(1) 铅护套耐腐蚀性较强，主要用在腐蚀性较强的场所，例如酸性土壤中直埋的电缆等。

(2) 皱纹铝护套重量轻，强度高，安装性能好，能承受较大的拉力和压力，各种敷设条件均适用。

(3) 铝 (铜) 塑复合护套重量最轻，适合于高落差敷设的电缆，但不能承受过大拉力和压力，防潮性能差。

(4) 当电缆载流量特别大，为减少金属套的耗损可采用不锈钢或铜套。

为满足防火要求，XLPE 外护套应具有一定的阻燃性能。XLPE 电缆终端可分为 SF₆ 终端、油浸终端和空气终端。XLPE 电缆与 GIS 相连应采用 SF₆ 终端；与变压器直接相连宜采用 SF₆ 终端，也可采用油浸终端；与架空导线连接则采用空气终端。

目前我国主要电缆生产厂家，均可生产 110~500kV XLPE 电缆，但 330~500kV 电缆投入商业运行的尚少。

按当前国内外电缆制造水平，仅可生产电压为 500kV 及以下的电缆。其电缆截面最大为 2500mm²，载流量约为 2000A。更高电压，如 750~1100kV，或载流量大于 2000A 时，可考虑选择气体绝缘金属封闭输电线路。

2.7 气体绝缘金属封闭输电线路 (GIL)

气体绝缘金属封闭输电线路 (Gas Insulated Transmission Line, 简称 GIL) 是一种采用 SF₆ 气体或 SF₆ 和 N₂ 混合气体绝缘，外壳与导体同轴布置的高电压、大

电流电力传输设备。

GIL 具有输送容量大（电流最大可达 8000A）的特点，随着水电站装机规模的增力、出线电压的提高（拉西瓦水电站出线电压 750kV）、输送容量的增大，使 GIL 在水电站得到广泛应用。

采用 GIL 的优点可归纳为以下几点：

- (1) 输送容量大和电能损失小。
- (2) 部件的模块化。
- (3) 可靠性和安全性高。
- (4) 不受敷设高差和弯曲半径限制。
- (5) 维护工作量小。
- (6) 对环境影响小。

GIL 按最大可能运输的直线长度或根据现场吊运安装尺寸的直线段长度分为一个母线单元，在现场组装，来加长 GIL 长度。现场组装可采用焊接连接或法兰连接，并按布置图要求选用如下标准单元后，完成全部线路的组合安装。

- (1) 直线单元。
- (2) 转变角度单元。
- (3) 连接单元（适用于设备及出线套管的连接段）。
- (4) 伸缩节单元（用来吸收热膨胀伸缩和调整尺寸）。
- (5) 调整单元（用来调整尺寸）。

标准单元的长度受制造、运输、安装等条件限制。除受场地布置、安装及设计制造等影响和在局部采用非标准设计外，GIL 应尽可能多采用标准单元，标准单元包括标准长度直线段、标准连接、标准弯头等结构，以方便现场安装、维护及减少备用单元等。GIL 参考外形图如图 2-4 所示，电气参数见表 2-9，参考尺寸见表 2-10。

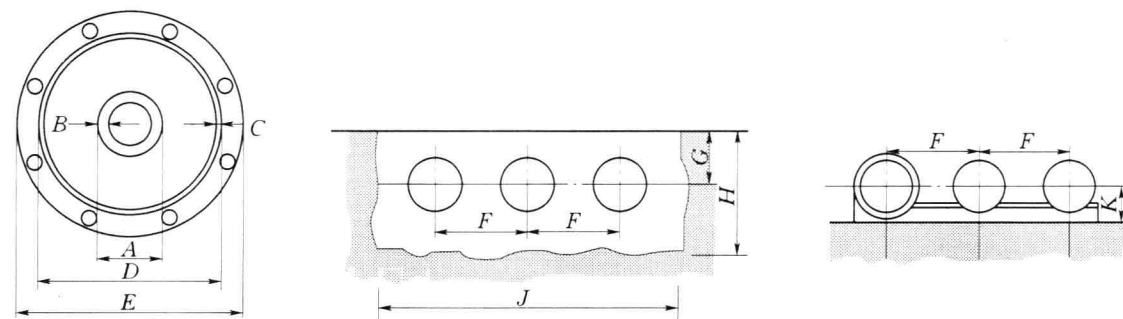


图 2-4 GIL 参考外形图

表 2-9 GIL 电气参数表

电压等级 (kV)	145	242	362	550	800
额定电压 (kV)	121/145/169	242/300	362	420/550	800
1min 工频耐压 (kV)	215/310/365	425/460	500	680/740	960
雷电冲击耐压 (kV)	550/650/750	900/1050	1050/1300	1425/1550	2100
操作冲击绝缘水平 (kV)	—	720/750	850/950	1050/1175	1425
额定电流 (A)	2500	3000	3500	4500	5000
短路电流 (kA)	63	80	100	100	100
外壳内径 (mm)	226.1	292.1	362.0	495.3	609.6
导体外径 (mm)	88.9	101.6	127.0	177.8	177.8

表 2-10 GIL 参考尺寸表

电压等级 (kV)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
72.5	51	12.7	6.4	165	229	305	610	613	1016	210
145/172	89	15.2	7.6	241	343	368	914	1219	1270	241
242/300	102	12.7	7.6	307	406	457	914	1219	1524	318
362	127	12.7	6.4	375	483	559	914	1219	1829	356
420	152	12.7	6.4	470	610	660	914	1321	2134	457
550	178	12.7	6.4	508	648	711	914	1321	2286	457
800	178	12.7	6.4	622	749	813	1067	1524	2642	533
1200	203	12.7	9.5	762	889	1016	1219	1676	3099	610

2.8 厂用电系统设备

厂用电设计，应按照水电站的运行、检修、初期发电和分期过渡等需要作全面考虑，并根据电站电气主接线、动能特性、运行方式、枢纽布置条件及自然环境特点等具体情况，合理地制订设计方案，以保证水电站安全和经济运行的要求。

厂用电设备包括 12kV (7.2kV) 和 0.4kV 高低压开关柜、厂用变压器等。大型水电站 12kV (7.2kV) 高压开关柜一般采用成套开关设备，例如金属铠装移动式开关柜（手车式），内装真空开关，而 0.4kV 则采用抽屉式低压开关柜。厂用变压器一般采用环氧浇注干式变压器，国产环氧浇注干式变压器最大容量已达 25MVA，最高电压为 35kV。干式变压器具有体积小、重量轻、安装容易、维护方

便、没有火灾和爆炸危险等特点，特别适用于水电站防火防爆要求。

第3章 主要电气设备布置

3.1 主变压器布置

(1) 主变压器应优先采用三相式。当运输条件和布置场地均受限制时，宜选用三相组合变压器；当运输条件受限制但布置场地不受限制时可选用单相变压器。

(2) 主变压器布置应尽量靠近发电机，以缩短发电机电压母线长度，减少母线电能损耗。

(3) 主变压器布置首先应考虑按机组段布置，但不可跨越伸缩缝和沉降缝。

(4) 主变压器布置要综合考虑运输、安装、检修、与母线的连接、高低侧出线方式、防火、防爆等因素。

(5) 主变压器布置要考虑其中任何一台变压器运出或安装检修时，不应妨碍其他变压器的正常运行。变压器布置场地应尽量与安装场地及对外交通在同一高程，以方便搬运。

3.2 开关站布置

3.2.1 开关站型式

开关站是水电站的重要组成部分。开关站是按电气主接线将各个设备元件有规则排列组成一个完整装置，完成电力分配和输送任务。水电站开关站主要可分为三种类型，即敞开式、混合式（H-GIS）、气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）。

(1) 敞开式开关站历史悠久、技术成熟、使用面广。在我国 220~500kV 开关站，国际上 110~1150kV 的高压、超高压、特高压敞开式开关站，目前都有运行。我国的葛洲坝水电站 500kV 水电站早在 20 世纪 80 年代就已建成投运。

(2) 大型水电站一般地处深山峡谷，当采用敞开式开关站时由于占地面积大，土建开挖量巨增而造价增加、工期增长，减少开关站占地面积是设计工作的重要课题。1987 年我国第一座 330kV GIS 开关站在青海龙羊峡水电站建成投产，此后，我国建设的大型水电站主要采用 GIS 开关站。目前，我国已具备生产 126~550kV GIS 的生产能力，其技术性能和制造水平日趋完善。GIS 开关站具有占地面积小、空间尺寸小、可靠性高、安装工期短等特点。

(3) 为了降低投资，便于采用架空进、出线，但占地面积又不宜太大，20 世纪 70 年代国外出现合理使用空气和 SF₆ 两种绝缘介质组成的 H-GIS 配电装置。其特点是将用量大的母线采用敞开式母线（软母线或铝管母线），而将占地面积较大的设备，例如断路器、隔离开关、互感器、避雷器等，则采用户外金属封闭气体绝缘开关设备。因此 H-GIS 开关站既具有 GIS 开关站的特点，又具有敞开式开关站造价较低廉、适用于架空进出线的特点。

大型水电站开关站型式选择涉及因素很多，并直接影响电站的枢纽布置。开关站的型式选择要从枢纽总体布置、基础处理、工程交通、进出线布置、控制和保护、运行管理、水雾影响、施工干扰、初期发电、工程投资等诸方面进行多方案技术经济比较，并将设备选型和开关站站址选择结合在一起进行综合评价，使开关站设计满足如下要求：

(1) 提高开关站的运行可靠性和经济性。根据各水电站的具体情况，首先要优选开关站的接线和型式，提高开关站每个元件的可靠性，尽量延长不检修时间。

(2) 布置清晰、运行管理方便、占地面积小，并能可靠地适应各种环境条件。

(3) 降低无线电干扰水平，静电感应场强，满足超高压及特高压环境保护的要求。

3.2.2 敞开式开关站布置

3.2.2.1 敞开式开关站类型

敞开式开关站是用空气作为绝缘介质，按选定的电气主接线将各个设备元件有规则排列组成一个完整的装置，完成电力分配任务。敞开式开关站的布置方式按电气设备和母线布置的不同，可分中型、半高型、高型 3 个类型。按其在一个间隔内布置断路器数量的多少又可分为单列式布置（即在一个间隔内布置一台断路器，一回进线，一回出线），双列式或三列式布置（即在一个间隔内布置两台或三台断路器，进出线各一回）。

3.2.2.2 中型布置

中型布置是将电气设备放在一定高度支架上，使带电部件保持必要的离地高度，运行人员能安全地在地面进行操作维护，布置清晰，运行检修都非常方便。但中型布置的缺点是占地面积较大。

中型布置能适应于各种电压等级的各种主接线，特别是 330kV 及以上的超高压开关站，中型布置在水电站开关站设计中应用很广。

3.2.2.3 半高型和高型布置

半高型布置将两组或一组母线及其隔离开关升高，其余电气设备直接布置在升

高母线下，也有将断路器和隔离开关分别布置在不等高的两层上。高式布置是将两组母线和母线隔离开关上下重叠布置，电气设备装设在母线侧面。

半高型和高型布置突出的优点是较大地压缩了配电装置的占地面积。当中型布置采用软母线配电装置占地面积为 100% 时，则一般半高型为 50%~55%，高型为 40%~45%，且布置较清晰。缺点是土建结构较复杂，抗地震性能差，运行维护较不便，特别是当上层母线或设备检修时，对下层设备要采取必要的防护措施。半高型和高型布置在缩小占地面积、减少投资（征用土地费用和减少土石方开挖量）等方面有明显的优点，但布置时应注意满足检修方面的要求。110、220kV 电压等级，除地震烈度较高地区以及土地资源占用效果系数较低的地区外，过去一般采用半高型和高型布置的配电装置。随着 GIS 的产量提高，价格下降，目前半高型和高型布置已很少采用。

3.2.2.4 母线布置

敞开式开关站按其母线采用钢芯铝绞线还是采用铝合金管形母线，可分为软母线配电装置和管形母线配电装置两类。

(1) 软母线配电装置。适用于各种电压等级和各类布置型式的配电装置，抗地震性能好，技术成熟，被广泛采用。软导线在风和短路电动力作用下，弧垂摇摆幅度较大，致使配电装置占地面积增加。另外为适应大容量交换的软母线其结构较复杂。

(2) 管形母线配电装置。管形母线配电装置具有占地面积小，与典型设计的软母线配电装置相比，其占地面积可缩小 30%~35%。其具有布置清晰，直观性强；运行维护方便；架构简单，节省了钢材和土建量；母线通流容量大，起晕电压高，无线电干扰小等优点，在国内已广泛采用。目前已投运的超高压开关站，大部分采用管形母线配电装置。

管形母线配电装置按其支撑方式不同，可分为支持式和悬挂式两类。前者适用于地震烈度小的地区；后者抗震性能好，适用于地震烈度较大的地区。两者相比，支持式铝管母线配电装置更能发挥这种配电装置的优点。为降低造价，国内多采用软导线作为设备间的连接线，也可采用铝管连接的方式。圆形截面管形母线使用最为广泛，由于一些具体情况的不同，国内外也有采用异形、分裂结构型管形母线。

3.2.2.5 超高压配电装置的特点

超高压配电装置有如下特点：

(1) 超高压配电装置规模大、交换容量大，一旦发生事故造成的后果极为严重，因此保证运行安全可靠、减少事故率成为头等重要问题。

(2) 330kV 及以上电压等级的设备高、大、重，必须采用机械化安装检修。因此，在设计开关站时，除应保证必须的电气距离外，还应考虑设备运输、安装检修方便及其对辅助设施的配置要求。

(3) 运行电压高，从环境保护出发，对电晕、无线电干扰水平，静电感应场强都有一定的要求，并应尽量缩短检修人员在高电场下的作业时间。

(4) 除断路器、隔离开关为操作电器外，其他均属静止设备，这些设备大都在净化车间中生产及组装。而静止设备的寿命由绝缘老化决定，为延长设备的使用寿命，减少事故率，应尽量避免设备在现场解体，为此应加强日常运行中的检查、监测工作，做到防微杜渐。

根据上述特点，对超高压配电装置，应重视以下几点：

(1) 为缩短在高空、高电场地区的作业时间，提高检修质量，保证人身安全，对设备的检修尽量做到机械化、单元化、工厂化。

(2) 为能及时判断主要设备在运行中发生的异常现象，需配备必要的监测手段。

(3) 考虑到水电站既要管运行，又要管检修的特点，配备比较齐全的辅助设施是必要的。

3.2.2.6 缩小敞开式开关站占地面积的主要因素

从国情出发，节省用地是一项战略性方针。在建设中小少占地，不占良田和避免大量土石方开挖，是一项必须认真贯彻的重要政策，特别是在土地资源占用效果系数较高的地区更是如此。在主接线和进、出线回路数相同的情况下，敞开式配电装置占地面积大致与其电压等级的平方成正比。实践证明，压缩占地面积是一个综合的技术经济指标。

为找出缩小敞开式配电装置占地面积的主要矛盾所在，对相同主接线和电压等级的配电装置采用不同的母线、设备和布置方式进行比较，结果表明：在同一主接线下，由于选用隔离开关及母线型式不同，其占地面积差别颇大。如 220kV 配电布置，软母线方案占地面积为管形母线方案的 1.52 倍；500kV 配电装置中双柱式隔离开关方案占地面积为悬吊式隔离开关方案的 2.19 倍。

因此，缩小敞开式开关站占地面积的主要因素如下：

(1) 首先要因地制宜，择优选择配电装置的型式及其布置方式。

(2) 母线和隔离开关两者在高压配电装置中不仅占地面积的比重很大,且隔离开关的数量大大超过断路器,择优选用母线和隔离开关的型式对缩小高压配电布置的占地面积具有举足轻重的地位,在多母线接线的配电装置中尤其如此。

3.2.3 GIS 开关站布置

3.2.3.1 基本要求及一般原则

GIS 开关站的布置应首先了解 GIS 的结构特点。GIS 由各种独立的标准元件组成,各元件间都通过法兰连接起来,连接所需母线长度可以调整,故具有积木式特点。因此,对于不同的电气主接线和场地,可将 GIS 各种元件组合成不同的布置形式。

一般情况下,断路器结构型式对布置影响较大。户内 GIS 断路器一般选用立式结构,可减少厂房跨度和面积;户外 GIS 的断路器一般选用卧式结构,方便架空进出线,减少分支管道长度。

GIS 配电装置母线可分为分相式和三相共筒式两种类型,363kV 及以下的 GIS 配电装置母线多数采用三相共筒式,550kV 及以上的 GIS 配电装置母线以分相式为主。母线布置与电气主接线密切相关,一般而言,对于立式结构断路器,母线布置在断路器两侧;对于卧式结构断路器,母线可布置在断路器的上面或下面,视具体情况确定。

GIS 布置时,必须考虑其安装、检修、起吊、运行巡视、现场试验以及 SF₆ 气体回收装置搬运所需的空间和通道,并留有安装场地。一般按下列几方面校验:

(1) 同一间隔内的 GIS 配电装置,应避免设备跨土建结构缝布置。对断路器而言,三相机械同步性能的要求以毫秒计,若同一间隔跨土建结构缝,土建结构缝产生的不均匀沉陷将使上述性能难以得到保证。

(2) GIS 布置时,应满足一个间隔内的断路器等设备检修时不能影响未检修间隔的正常运行。

(3) GIS 两侧应设置安装、检修和巡视的通道。主通道宜设置在靠断路器的一侧,其宽度应满足检修 GIS 配电装置中最大设备单元搬运所需要的空间和 SF₆ 气体回收装置搬运所需宽度,一般情况应不小于 2m;另一侧通道供巡视用,其宽度应满足操作、巡视和补气装置对隔室补气的要求,一般不宜小于 1.2m。

(4) GIS 户内布置时,必须校验运输单元在安装、检修时所需的起吊搬运空间;并应在室内一端设置安装场地,其长度一般取 2~3 个间隔宽度。

(5) 现地汇控柜一般布置在主通道一侧,与每个间隔对应布置。

(6) GIS 布置时,应考虑现场试验设备的布置场地和耐压试验所需空间。耐压试验所需的空间,根据现场耐压试验方案考虑。

3.2.3.2 GIS 户内布置环境保护要求

(1) 纯净的 SF₆ 气体无毒性,空气中 SF₆ 气体浓度过大时,对人的呼吸有窒息作用,且经电弧分解的氟化物有毒。因此,GIS 室空气中 SF₆ 气体浓度在正常运行时不宜大于 1000 μ L/L,短时可放宽为 1250 μ L/L。

(2) GIS 室内应设置通风装置,沿地坪两侧布置进风口和排风口,进风口底部距室内地坪不宜大于 300mm,排风出口设置在易于扩散的通风处。通风装置设计应按事故情况时排气使 GIS 室空气中 SF₆ 气体浓度小于 1000 μ L/L。

(3) 应设置检测空气中 SF₆ 气体浓度的探测仪,当空气中 SF₆ 气体浓度超过标准时,探测仪应发出报警信号。探测仪分固定式和移动式,一般宜选用固定式。

(4) GIS 发生故障造成气体外逸时,人员应立即撤离现场,并立即采用强力通风,换气控制不得少于 15min 一次。事故发生后,任何人员进入 GIS 室内必须穿防护服、戴手套及防毒面具。

3.2.3.3 GIS 户外布置环境保护要求

户外 GIS 配电装置应将与控制楼或电缆廊道连接的电缆沟、孔、洞进行封堵,防止泄露的 SF₆ 气体进入控制楼或电缆廊道。

3.2.3.4 GIS 接地

为保证人身和设备安全,GIS 配电装置的主要回路、辅助回路、设备构架以及所有的金属部分均应接地。GIS 配电装置接地点较多,一般设置接地母线,将 GIS 的接地线与接地母线连接,接地母线与接地网多点连接。接地母线一般采用铜排,截面应满足短时耐受电流的要求。

(1) 分相式 GIS 配电装置有两种接地方式,即全连式外壳多点接地和非全连式外壳一点接地。非全连式外壳一点接地,外壳受邻相磁场作用产生的涡流只能屏蔽部分邻相磁场,电磁感应的作用在外壳上产生较高的感应电压,钢构架产生涡流损耗使钢构架发热,并且会对控制系统产生较大的电磁耦合干扰;全连式外壳多点接地使三相外壳在电气上形成一闭合回路,当导体通过电流时,在外壳上感应出与导体电流大小相当、方向相反的环流,可使外部磁场几乎为零。因此,GIS 配电装置的外壳接地广泛采用全连式外壳多点接地。

三相共筒式 GIS 配电装置的外壳接地可采用多点或一点接地。