



中国水电顾问集团西北勘测设计研究院
HYDROCHINA XIBEI ENGINEERING CORPORATION

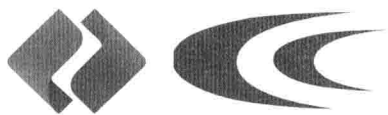
技术专著系列

水电站电气设备 选择与布置

阮全荣 孙帆 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



中国水电顾问集团西北勘测设计研究院
HYDROCHINA XIBEI ENGINEERING CORPORATION

技术专著系列

水电站电气设备 选择与布置

阮全荣 孙帆 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是作者根据多年的工作实践,系统总结了水电站电气设计的主要内容、设计依据及设计方法,提供了设计采用的标准、使用数据、典型图纸、已建电站设计报告及技术规范等,图文并茂、深入浅出,具有很强的实用性。

本书共9章,主要介绍了水电站电气主接线、厂用电接线、主要电气设备选择及布置等方面的内容。各主要章节均配有示例、附表和附图等实用性资料。

本书可供水电工程设计人员使用,也可供水电站检修、运行人员及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站电气设备选择与布置 / 阮全荣, 孙帆编著
· 一 北京: 中国水利水电出版社, 2013.9
(中国水电顾问集团西北勘测设计研究院技术专著系列)

ISBN 978-7-5170-1303-7

I. ①水… II. ①阮… ②孙… III. ①水力发电站—
电气设备—研究 IV. ①TV734

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第238706号

书 名	中国水电顾问集团西北勘测设计研究院 技术专著系列 水电站电气设备选择与布置
作 者	阮全荣 孙帆 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 30.25印张 717千字
版 次	2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	118.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前 言

我国是水电大国，经过多年努力，我国水电装机已从新中国成立初期的 16.3 万 kW 增加到 2010 年的 2.2 亿 kW，水电开发程度达到 27.7%，水电占全国发电装机的比例为 22.3%，对实现非化石能源发展目标和节能减排任务发挥了重要作用。

虽然我国是水能资源大国，总量居世界首位，但相对于发达国家我国水能开发利用程度较低。水能是清洁的可再生能源，具有技术成熟、成本低廉、运行灵活的特点，世界各国都把水电发展放在能源建设的优先位置。我国《能源发展“十二五”规划》也确定了积极有序开发水电的目标。为了适应当前水电站建设和发展的需要，我们编写了《水电站电气设备选择与布置》一书。

本书第 1 章由阮全荣、孙帆和马力编写，主要介绍了水电站电气主接线的选择、主接线中设备配置要求、中性点接地方式及大型水电站主接线特点；第 2 章由孙帆编写，详细论述了厂用电源的引接、厂用电压选择、厂用变压器及厂用电气设备的选择；第 3 章由杨党锋编写，详细介绍了水电站各电压系统短路电流计算方法，并附有计算实例和常用数据曲线等；第 4 章由孙帆编写，重点论述了发电机型式和主要参数的选择、冷却方式型式及选择、发电机主要部件及附属设备的技术要求等；第 5 章由阮全荣编写，着重论述了主变压器型式及主要参数的选择，介绍了变压器主要结构部件及附属设备的技术要求；第 6 章由孙帆编写，全面介绍了各类导体的选择和技术要求，包括软导线、封闭母线、气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）及高压电缆等；第 7 章由康本贤编写，主要介绍了高压电气设备的选择，包括断路器、隔离开关、接触器、熔断器、气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）、交流金属封闭开关设备和控制设备（开关柜）、互感器、避雷器及中性点设备等；第 8 章由孙帆和冯汉夫编写，主要介绍了各种型式厂房的电气设备典型布置，包括主变压器、发电机电压配电装置、厂用设备、控制保护设备及电缆布置；第 9 章由李晖编写，重点介绍了高压配电装置的布置原则和要求、各种型式敞开式配电装置、GIS 和 H-GIS 的布置特点、抗震要求及环境影响因素等。另外，桑志强、谢幼琴、

路秀丽、张李、王靖、何璐及王瀚等同志也参与相关章节的编写，在此一并表示感谢。全书由阮全荣和孙帆主持编写，中国水电规划设计总院于庆贵、王润玲主审。

由于时间和水平所限，书中有不妥之处，恳请读者指正。

作者

2013年9月

于西安

目 录

前言

第 1 章 电气主接线	1
1.1 水电站主接线的设计依据和基本要求	1
1.2 发电机变压器组合方式	3
1.3 高压配电装置的基本接线	5
1.4 主接线中的设备配置	10
1.5 中性点接地方式	16
1.6 大型水电站电气主接线设计特点	18
1.7 抽水蓄能电站电气主接线设计特点	20
1.8 各种典型的水电站电气主接线示例	20
参考文献	33
第 2 章 厂用电系统	34
2.1 水电站厂用电特点	34
2.2 水电站厂用电的设计内容	35
2.3 厂用电源	35
2.4 厂用电电压	36
2.5 厂用负荷	37
2.6 厂用变压器选择	45
2.7 厂用变压器高压侧保护设备选择	48
2.8 开关柜及主要元件选择要求	48
2.9 低压电气设备选择方法	51
2.10 低压导体选择要求	54
2.11 计算实例	58
2.12 各种典型的水电站厂用电接线示例	67
参考文献	76
第 3 章 短路电流计算	77
3.1 电力系统短路电流计算条件	77
3.2 电路元件参数的计算	78
3.3 网络化简	81

3.4	三相短路电流周期分量计算	84
3.5	三相短路电流非周期分量计算	88
3.6	冲击电流和全电流计算	89
3.7	不对称短路电流计算	90
3.8	短路电流热效应计算	93
3.9	厂用电 10kV、6kV 系统短路电流计算	94
3.10	厂用电 0.4kV 系统短路电流计算	96
3.11	工程计算实例	106
3.12	附录	124
	参考文献	134
第 4 章	水轮发电机	136
4.1	概述	136
4.2	水轮发电机类型	136
4.3	使用条件	138
4.4	水轮发电机电气参数	139
4.5	水轮发电机的冷却方式	145
4.6	水轮发电机主要部件及附属设备技术要求	148
	参考文献	156
第 5 章	主变压器	158
5.1	概述	158
5.2	使用条件	158
5.3	基本技术参数	159
5.4	变压器主要部件及附属设备技术要求	170
	参考文献	176
第 6 章	导体设计	177
6.1	概述	177
6.2	导体分类	177
6.3	导体截面的选择和校验	177
6.4	软导线	207
6.5	硬导体	207
6.6	封闭母线	208
6.7	气体绝缘金属封闭输电线路 (GIL)	210
6.8	高压电力电缆	214
6.9	附表	225
	参考文献	238

第 7 章 高压电气设备选择	240
7.1 概述	240
7.2 高压电气设备选择基本要求	240
7.3 高压断路器	243
7.4 发电机断路器	248
7.5 电制动开关	250
7.6 高压隔离开关和接地开关	250
7.7 高压接触器和限流熔断器	253
7.8 气体绝缘金属封闭开关设备	256
7.9 交流金属封闭开关设备	265
7.10 电流互感器	268
7.11 电压互感器	275
7.12 避雷器	279
7.13 中性点接地设备	287
7.14 绝缘子	290
7.15 高压电气设备额定绝缘水平	298
参考文献	302
第 8 章 厂房电气设备布置	304
8.1 概述	304
8.2 总体布置的基本要求	304
8.3 各种型式厂房的典型布置	305
8.4 各种设备的布置要求	311
8.5 电缆的布置与敷设	323
参考文献	331
第 9 章 高压配电装置布置	333
9.1 高压配电装置的型式和设计原则	333
9.2 高压配电装置布置的一般要求	334
9.3 安全净距	334
9.4 6~35kV 配电装置	340
9.5 110~220kV 敞开式配电装置	341
9.6 330kV 敞开式配电装置	354
9.7 500kV 敞开式配电装置	357
9.8 750kV 敞开式配电装置	367
9.9 气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 布置	367
9.10 通道和围栏	369
9.11 污秽地区配电装置	378
9.12 高压配电装置的抗震	381

9.13 其他	382
参考文献	384
附录 A HHLXW 水电站电气主接线设计专题研究报告节录	386
A1 概述	386
A2 电气主接线设计依据和原则	386
A3 发电机与主变压器组合方式选择	390
A4 750kV 高压侧接线选择	393
A5 电气主接线与设备布置	400
A6 结论	401
附录 B LXW 水电站厂用电系统设计专题报告节录	402
B1 概述	402
B2 厂用电源	402
B3 厂用电压	402
B4 厂用电接线	403
B5 结论	404
附录 C LXW 水电站水轮发电机招标文件技术部分节录	405
C1 一般技术条款	405
C2 专用技术条款	420
C3 现场试验	455
附录 D LXW 水电站主变压器招标文件技术部分节录	456
D1 一般技术条款	456
D2 专用技术条款	463

第1章 电气主接线

电气主接线是把发电机、变压器、断路器及隔离开关等各种电气设备通过导体有机地连接起来，并配置电流互感器、电压互感器和避雷器等，构成电站汇集和分配电能的一个系统。电气主接线是水电站电气部分的主体，它与电力系统、电气设备的选择和布置、继电保护等都有密切关系，直接影响电站安全性和经济性。

1.1 水电站主接线的设计依据和基本要求

1.1.1 设计依据

1.1.1.1 接入系统设计单位提供的资料

(1) 现有系统地理接线图及各设计水平年地理接线图，各序阻抗图、潮流、稳定和短路电流计算。

(2) 供电范围和输电方式。

(3) 水电站在电力系统中的位置和作用。

(4) 出线电压等级、出线回路数、各回出线落点、送电容量及输送距离。

(5) 系统的备用容量。

(6) 系统对水轮发电机、主变压器等电站主要电气设备参数和运行方式的要求。

(7) 系统对水电站调度管理和自动化、系统继电保护、安全自动装置及系统通信等方面的要求。

(8) 建议的电气主接线方案。

1.1.1.2 水电站的特点

水电站的水文气象、动能特性、建设规模、枢纽总体布置、地形和运输条件、环境保护及设备特点等都对电气主接线有着直接影响。一般考虑如下几个方面：

(1) 水电站一般远离负荷中心，需采用较高的电压送出。在设计时需尽量简化发电机与变压器的组合方式，简化发电机电压配电装置的接线。

(2) 水电站一般在电力系统中担任调峰、调频和事故备用，开停机频繁，特别是抽水蓄能电站，不仅出线回路少，而且开停机频繁。为了减少高压断路器的操作次数，一般装设发电机断路器。

(3) 水电站一般多处于山区，地形复杂、设备布置和运输困难、出线走廊选择困难，因此设计应尽量简化接线、合理选择设备、减少电压等级数和出线回路数。

(4) 对于梯级开发的水电站，要考虑上下游电站相互间电的联系及水的联系。为了减少弃水，避免浪费水资源，应选择合理的、可靠的接线方案。

1.1.2 设计的基本要求

电气主接线的设计应综合考虑设计依据中的各种因素；满足电力系统对水电站稳定



性、可靠性的要求及运行方式的要求，不致造成水库大量弃水，影响水电站效益和安全运行；同时，应满足供电可靠、运行灵活、检修方便、接线简单、便于实现自动化和分期过渡、经济合理等要求。电气主接线应在全面技术经济比较的基础上确定。按照 DL/T 5186—2004《水力发电厂机电设计规范》的要求，装机容量 750MW 及以上的水电站还应对电气主接线可靠性进行定量计算分析。

1.1.2.1 可靠性

供电可靠性是电力生产和分配的首要要求，电气主接线设计首先应满足可靠性要求。由于电能很难储存，所以发电、送电和用电过程都是在同一瞬间进行，并在任何时刻都要保持着平衡。电力系统各个部分之间必须紧密联系、互相协调、可靠地工作，以保证对用户不间断地供电，无论哪些部分损坏，都将影响整体。

1. 研究主接线可靠性应考虑的因素

(1) 可靠性的客观衡量标准是运行实践，已运行水电站的可靠性统计是主接线可靠性评估的主要依据。

(2) 主接线的可靠性建立在各组成元件的可靠性基础上，因此，主接线设计不仅要考虑一次设备（如变压器、母线、GIS、GIL、断路器、隔离开关、互感器、电缆、架空线路等）的故障率及其对供电的影响，还要考虑继电保护二次设备的故障率及其对供电的影响。各组成元件的可靠性指标可根据运行统计资料确定。

(3) 根据水电站在系统中的地位和作用，定性或定量分析主接线的可靠性。

2. 衡量主接线可靠性的标志

(1) 断路器检修时，对系统供电的影响程度。

(2) 断路器或母线故障以及母线检修时，停运的回路数和停运的时间以及能否保证对重要用户的供电。

(3) 水电站全厂停运的可能性。

3. 大机组超高压主接线可靠性的特殊要求

大型水电站在电力系统中地位非常重要，供电容量大、范围广，出线电压等级高，发生事故对系统稳定运行影响较大，因此可靠性要求非常高。

(1) 任何断路器检修，不影响对系统的连续供电。

(2) 任一台断路器检修和另一台断路器故障或拒动相重合时，不宜切除两台以上机组或相应的线路。

(3) 一段母线故障（或连接在母线上的进出线断路器故障或拒动），宜将故障范围限制到不超过整个母线的四分之一；当分段或母联断路器故障时，其故障范围宜限制到不超过整个母线的二分之一。

1.1.2.2 灵活性

主接线的灵活性应满足以下要求：

(1) 为了调度的目的，可以灵活操作，投入或切除发电机、变压器或线路；能够满足系统在事故运行方式、检修运行方式以及特殊运行方式下的调度要求。

(2) 为了检修的目的，可以方便地停运断路器、母线及其继电保护设备进行安全检修，而不致影响电力网的运行或停止对用户的供电。



(3) 为了扩建的目的, 可以容易地从初期过渡到最终接线, 在扩建过渡时, 无论在一次和二次设备等各方面所需的改造量最小, 停电范围小。

1.1.2.3 经济性

主接线在满足可靠性和灵活性的前提下要做到经济合理。经济性主要考虑以下几点:

(1) 投资省。主接线应简单清晰, 以节省断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等一次设备的投资; 要优化控制保护系统, 以利于运行并节约二次设备和控制电缆投资; 合理地限制短路电流, 以降低设备造价; 根据水电站在系统中的地位和作用, 合理选择电气设备。

(2) 占地面积小。主接线要为配电装置布置创造条件, 以节约用地、土建费用和安装费用。在满足运输条件前提下, 应优先选用三相变压器, 以简化布置。

(3) 电能损失小。经济合理地选择主变压器的型式、容量和数量, 避免两次变压而增加电能损失。

1.1.2.4 其他要求

主接线方案选择比较中, 还应注意以下几点:

(1) 设备选择和布置、进出线及联络线型式和布置对主接线的选择影响。

(2) 定性或定量分析水电站运行费用和事故损失费用对主接线的选择影响。

(3) 扩建时停电的损失费用对主接线选择的影响。

(4) 电气设备制造能力和技术发展、电站运行管理要求和运行维护经验、电力系统的发展和技术要求。

1.2 发电机变压器组合方式

发电机主变压器最大组合容量应不大于所在系统的事故备用容量, 组合方式通过技术经济比较选定。表 1.2-1 简单介绍了几种水电站常用的发电机变压器组合方式。

表 1.2-1 发电机变压器组合方式

接线类型	示意图	特点	适用范围
单母线接线		(1) 接线简单清晰, 设备少, 投资省, 操作方便, 便于扩建和采用成套配电装置。 (2) 母线或母线所连接的元件故障或检修时, 需全厂停电, 可靠性及灵活性较差	发电机组在 3 台及以下, 单机容量 15MW 以下的一般小型水电站, 且有较大的近区负荷
单母线分段接线		(1) 当任一段母线及其所连接的元件故障或检修时, 另一段母线的机组可继续向电网送电。可靠性、灵活性高于单母线接线。 (2) 母线或母线所连接的元件故障或检修时, 母线所连的机组需停电; 分段断路器故障时, 需短时全厂停电。可靠性及灵活性较差	(1) 系统中比较重要的小型水电站。 (2) 有较多的近区供电负荷, 机组台数 6 台及以下, 总装机 100MW 以下, 在系统中不重要的中型水电站



续表

接线类型	示意图	特点	适用范围
单元接线		<p>(1) 接线清晰、运行灵活。</p> <p>(2) 主变压器与发电机容量相同，故障影响范围小，可靠性高。</p> <p>(3) 发电机电压设备少，布置简单，维护工作量小。</p> <p>(4) 继电保护简单。</p> <p>(5) 主变压器及高压电气设备增多，布置场地增加，投资较大</p>	<p>(1) 单机容量 100MW 及以上的机组，且台数在 6 台以下。</p> <p>(2) 单机容量在 45MW ~ 100MW 之间，经过比较采用其他接线不合适时</p>
扩大单元接线		<p>(1) 接线清晰、运行维护方便。</p> <p>(2) 与单元接线相比，任一机组停机，不影响由该单元引接的厂用电源供电。</p> <p>(3) 减少主变压器及高压设备，简化高压侧接线，缩小布置场地，节省投资。</p> <p>(4) 2 台（或 2 台以上）机组接入一台主变压器，故障影响范围比单元接线大。</p> <p>(5) 增大发电机电压短路容量，发电机电压配电装置投资增加</p>	<p>此接线适用范围较广，但需要考虑发电机电压设备短路容量及主变压器的制造和运输条件。同时应考虑如下要求：</p> <p>(1) 水库有足够库容，能避免大量弃水。</p> <p>(2) 具有放水设施，不影响下游正常用水。</p> <p>(3) 有可靠的外来厂用电备用电源。</p> <p>(4) 系统备用容量的大小</p>
联合单元接线		<p>(1) 主变与机组数量相同，但节省了高压设备，减少了主变至开关站的进线回路数，可简化高压侧接线。</p> <p>(2) 一台主变故障或检修，接在本单元的机组需短时停机，通过隔离开关操作后，另一台机组可继续运行，比扩大单元灵活。</p> <p>(3) 主变高压侧有并联母线和隔离开关，增加布置场地。</p> <p>(4) 一台机组停机，但主变压器仍带电，增加空载损耗。</p> <p>(5) 高压进线断路器故障或检修，该单元机组容量全部无法送出，可靠性稍差</p>	<p>当主变压器有足够的布置场地，而且减少主变进线回路及简化高压侧接线对电站的布置和节约投资有利，经过技术经济比较认为联合单元接线适用时</p>

对于扩大单元接线，由于接线的特点必须装设发电机断路器，而对于单元接线和联合单元接线，考虑水电站的特点，一般装设发电机断路器，其主要优点如下：

- (1) 适应水电站开停机频繁的特点，减少高压断路器操作次数。
- (2) 提高厂用电供电的可靠性和灵活性。
- (3) 减小故障范围，提高保护的选择性。
- (4) 便于电站同期操作。
- (5) 发电机断路器的集成可简化发电机配电装置设计和布置。

对于联合单元接线，经过技术经济比较也可不装设发电机断路器，但应在变压器高压侧装设高压断路器。



1.3 高压配电装置的基本接线

根据水电站运行特点，高压配电装置一般采用表 1.3-1 所列接线方式。当有两种升高电压时，其间的联络方式可以采用设置专用的联络变压器或由主变压器兼作联络变压器，兼作联络变压器的主变压器视交换容量不同可采用自耦变压器或三绕组变压器。

表 1.3-1 高压配电装置常用接线

接线类型	示意图	特点	适用范围
变压器— 线路组 接线		<ul style="list-style-type: none"> (1) 接线简单清晰，设备少，投资省。 (2) 线路故障检修时，主变停止运行；反之亦然 	单回出线的电站
变压器— 母线接线		<ul style="list-style-type: none"> (1) 出线采用双断路器，可靠性较高。 (2) 变压器经隔离开关连接到母线上，节省断路器。 (3) 变压器故障时，连接于该母线上的断路器断开，不影响其他回路供电，打开隔离开关，母线即可恢复供电 	330kV 及以上进出线回路数大于 4 回且条件合适，采用本接线方式，通常用于变压器不经切换的变电站
单 母 线 接 线		<ul style="list-style-type: none"> (1) 接线简单清晰，每一进出线回路各自连接一组断路器，互不影响。 (2) 正常操作由断路器进行，隔离开关只作为检修隔离用，减少误操作可能性，继电保护简单。 (3) 进出线回路可不相对应，电能由母线集中，分别向各出线回路供电，配置灵活。 (4) 断路器检修，所连接回路需停电。 (5) 母线或母线所连接的元件故障或检修时，需全厂停电，可靠性及灵活性较差 	220kV 及以下，进出线回路不多的中小型水电站
		<ul style="list-style-type: none"> (1) 一段母线及其所连接的元件故障或检修时，只影响本段母线及其所连接的回路停电，可靠性、灵活性高于单母线接线。 (2) 分段断路器故障，暂时全厂停电，打开隔离开关后，两段母线解列运行，检修时也可解列运行。 (3) 断路器检修，所连接回路需停电。 (4) 母线或母线所连接的元件故障或检修时，母线所连的机组需停电；分段断路器故障时，需短时全厂停电。可靠性及灵活性较差 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 220kV 及以下，进出线回路不多的中小型水电站。 (2) 220kV 及以下，采用 GIS 的大型水电站。 (3) 各电压等级，采用 GIS 的抽水蓄能电站



续表

接线类型	示意图	特点	适用范围
单 母 线 接 线 单 母 线 (分 段) 带 旁 路 接 线		<p>该接线方式包括单母线带旁路、单母线分段断路器兼旁路及单母线分段带旁路三种方式。图示为最后一种。</p> <p>主要作用是出线断路器检修时不影响送电，但隔离开关切换工作量大，继电保护复杂，同时增加设备布置面积及投资</p>	<p>110~220kV 的敞开式配电装置。</p> <p>110kV 出线 7 回以上，220kV 出线 5 回以上宜采用带专用断路器的旁路母线（单母线分段带旁路的接线方式）。</p> <p>随着断路器的制造技术进步和可靠性提高，此接线不推荐采用</p>
双 母 线 接 线 双 母 线 接 线		<p>(1) 接线简单清晰，每一进出线回路各自连接一组断路器，互不影响。</p> <p>(2) 一组母线及所连接设备故障，不影响另一组母线供电，将故障母线所接回路切换到另一组母线后即可恢复供电，运行灵活可靠。</p> <p>(3) 各个电源和各回路负荷可以任意分配到某一组母线，能灵活地适应系统中各种运行方式调度和潮流变化的需要。</p> <p>(4) 扩建方便。</p> <p>(5) 设备数量多，增加布置场地及投资。</p> <p>(6) 隔离开关数量多，切换母线操作过程比较复杂，容易造成误操作，且不利于实现自动化。</p> <p>(7) 母联断路器故障需短时全厂停电，检修时，两组母线解列运行或按单母线运行。</p> <p>(8) 当采用 GIS 时，母线所连隔离开关故障或检修，可能导致全厂停电</p>	<p>110kV 进出线 8 回及以上，220kV 进出线 6 回及以上可采用双母线接线</p>
双 母 线 分 段 接 线		<p>特点与双母线相同，但故障停电范围比双母线小，可靠性灵活性比双母线高</p>	<p>220kV 进出线为 10~14 回时，采用在一组母线上用断路器分段的双母线单分段接线。</p> <p>220kV 进出线为 15 回及以上时，采用在两组母线均用断路器分段的双母线双分段接线。</p> <p>330kV 级以上电压等级每段母线宜接 2~3 个回路</p>



续表

接线类型	示意图	特点	适用范围
双 母 线 接 线 (分 段) 带 旁 路 接 线		<p>该接线方式包括双母线带旁路、双母线母联断路器兼旁路及双母线专用旁路断路器等多种方式。图示为双母线母联断路器兼旁路的其中一种方式。</p> <p>增设旁路母线，主要作用是在进出线断路器检修时，不中断供电。但隔离开关切换工作量大，继电保护复杂，同时增加设备布置面积及投资</p>	<p>110~220kV 的敞开式配电装置。</p> <p>110kV 出线 7 回以上，220kV 出线 5 回以上宜采用带专用断路器的旁路母线。</p> <p>330kV 及以上的敞开式配电装置均采用带专用断路器的旁路母线接线。</p> <p>随着断路器的制造技术进步和可靠性提高，此接线不推荐采用</p>
外 桥 形 接 线		<p>(1) 接线简单、高压断路器数量少；可方便地改为角形或单母线接线。</p> <p>(2) 一台主变压器回路故障，只开断一台断路器，不影响线路和另一台主变压器运行。</p> <p>(3) 回路内断路器故障影响全厂一半电能送出，但桥连断路器故障全厂停电。</p> <p>(4) 一回线路故障，需暂时停止电站一半功率送出，且同时开断两台断路器，打开隔离开关后，电站全部功率可由一回线路送出。</p> <p>(5) 桥连断路器检修，两回线路需解列运行，如有穿越功率通过将受到影响。为此，可加装正常开断运行的内跨条（虚线部分），但此时若任一主变压器回路故障，都将使电站全部停电，且断路器应满足并联开断要求</p>	<p>适用于电站利用小时数较低，担任调峰任务，变压器切合频繁，或线路较短且故障较低的下列电站（有穿越功率时，宜采用外桥形接线）：</p> <p>(1) 220kV 及以下，进出线各 2 回的中小型水电站。</p> <p>(2) 220kV 及以下，进出线各 2 回，采用 GIS 的大型水电站。</p> <p>(3) 各电压等级，进出线各 2 回，采用 GIS 的抽水蓄能电站</p>
桥 形 接 线		<p>(1) 接线简单、高压断路器数量少；可方便地改为角形或单母线接线。</p> <p>(2) 一回线路故障，不影响变压器运行，只需开断一台断路器。</p> <p>(3) 回路内断路器故障影响全厂一半电能送出，但桥连断路器故障全厂停电。</p> <p>(4) 一台变压器故障，同时开断两台断路器，并切除一回线路，打开隔离开关后，电站一半容量向两回线路送电。</p> <p>(5) 桥连断路器检修，两回线路需解列运行，如有穿越功率通过将受到影响。为此，可加装正常开断运行的外跨条（虚线部分），但此时若任一回路故障，都将使电站全部停电</p>	<p>适用于电站利用小时数较高，变压器不经常切合，或线路较长且故障较高的下列电站：</p> <p>(1) 220kV 及以下，进出线各两回的中小型水电站。</p> <p>(2) 220kV 及以下，进出线各两回，采用 GIS 的大型水电站。</p> <p>(3) 各电压等级，进出线各两回，采用 GIS 的抽水蓄能电站</p>



续表

接线类型	示意图	特点	适用范围
桥形接线 双桥形接线		该接线方式同样分为双内桥及双外桥接线，图示为双外桥接线。优缺点与内、外桥接线基本相同，接线简单，高压设备少，投资最省，任一断路器故障，不会造成全厂停机	适用范围与内、外桥接线对应，只是进线回路为三回。此接线比较适合于抽水蓄能电站运行特点
三角形接线		(1) 投资省，平均每一回路只需装设一台断路器。 (2) 接线成闭合环形，没有汇流母线，充分利用每一回路双断路器的特点，任一断路器检修，不影响回路的连续供电，可靠性高，操作方便灵活。 (3) 占地面积小。 (4) 正常运行操作由断路器进行，隔离开关仅作检修隔离之用，减少误操作可能性，便于实现自动化。	(1) 110~220kV 的敞开式配电装置。 (2) 330kV 及以上电压等级的敞开式配电装置、GIS
角形接线 四角形接线		(5) 任一断路器检修都成开环运行，从而降低了接线的可靠性。 (6) 每一进出线回路都连着两组断路器，每一组断路器又连着两个回路，从而使继电保护和控制回路比较复杂，断路器还应满足并联开断要求。 (7) 调峰电站，为提高运行可靠性，避免经常开环运行，一般开停机需由发电机出口断路器承担，因此必须装设发电机出口断路器，并增加了变压器空载损耗	
五角形接线			