

SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG DIANQI YICI SHEJI WENDA

水利水电工程 电气一次设计问答

◎ 沈文兰 李建国 著



 黄河水利出版社

水利水电工程电气一次 设计问答

沈文兰 李建国 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

作者从事水利水电工程电气专业设计多年,在大量的国内外电气一次设计和工程实践的基础上,从设计、施工相关的角度,将学习体会和工作经验以解题分析问答的方式总结编写在本书中,其大部分内容曾在多个单位里对电气设计人员进行过培训。本书侧重于实用性,融入了电气新产品、新技术、新规范,希望对电气设计新手起到设计指南及培训效果,并对从事电气设计、施工和安装等工作多年的专业人员有一定的借鉴作用。

本书共分 13 章,包括电气设计概述和接入电力系统、电气主接线、短路电流计算、厂用电设计、变压器选择、高压电器选择、导体选择和电缆线路的设计、变电站和高压配电装置布置、防雷与过电压保护、接地、低压电器的选择、电气节能与照明、架空线路的设计。

本书可供从事电气设计、施工和安装等工作的专业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程电气一次设计问答/沈文兰,李建国
著. —郑州:黄河水利出版社,2015. 12

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1293 - 9

I. ①水… II. ①沈… ②李… III. ①水利水电工程 - 电气设备 - 一次系统 - 系统设计 - 问题解答
IV. ①TV53 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 286239 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:9

字数:210 千字

印数:1—1 000

版次:2015 年 12 月第 1 版

印次:2015 年 12 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

前 言

1982 年编写的《水电站机电设计手册电气一次》自发行以来,曾长期作为水利水电工程的电气设计人员的必备工具书。随着水利水电建设的蓬勃发展,电气一次设计人员也在逐步发展壮大,电气新产品、新技术不断涌现,但该手册中很多内容现已陈旧过时,特别是其所引用的电气标准或规范,与现今我国和国际的电气标准或规范都有较大的差距。为了弥补缺陷、提高电气设计水平,一些单位开始着手编写内部资料以培训电气设计人员。我们在编写电气设计人员内部培训教材的基础上进行了重新整编,形成了本书。编写本书的目的就是总结多年来在国内外电气设计工作中经常遇到的问题,融入电气新产品、新技术、新规范,并尝试与国际标准接轨,对相关的新规程进行解读,希望对电气设计新手起到设计指南及培训效果,并对从事电气设计、施工和安装等工作的专业人员有一定的借鉴作用。

本书的编写得到了中水北方勘测设计研究有限责任公司同仁们的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

限于经验与水平,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月

目 录

前 言

第 1 章 电气设计概述和接入电力系统	(1)
第 2 章 电气主接线	(9)
第 3 章 短路电流计算	(19)
第 4 章 厂用电设计	(25)
第 5 章 变压器选择	(39)
第 6 章 高压电器选择	(49)
第 7 章 导体选择和电缆线路的设计	(64)
第 8 章 变电站和高压配电装置布置	(74)
第 9 章 防雷与过电压保护	(84)
第 10 章 接 地	(93)
第 11 章 低压电器的选择	(105)
第 12 章 电气节能与照明	(123)
第 13 章 架空线路的设计	(131)
参考文献	(137)

第1章 电气设计概述和接入电力系统

1. 水利水电和电气工程的设计程序主要分哪几个阶段?项目建议书是做什么的?与设计文件有什么关系?哪些阶段属于电力工程设计的前期工作?编制的初步设计文件应满足什么需要?

答:完整的设计程序主要分为规划设计、预可行性研究、项目建议书、可行性研究、初步设计、标书设计(技术设计)、施工图设计这七大主要设计阶段。此外,在设计中还有下列工作:在施工期间的施工配合和设计驻工地代表、设计回访和总结等,在初步设计之前还有编制设计任务书或设计大纲。有的工程项目对初步设计还增加了补充初步设计或扩大初步设计等阶段。

在国外项目实际操作时,往往有被叫作方案设计、概念设计、轮廓设计、详细设计等的设计阶段。在比较小的变电和建筑电气项目中,实际操作时设计阶段有可能被简化或合并。

项目建议书是工程规模、进度和主要协作关系的重要文件,是编制设计文件的基本依据;所有新建、扩建和改建的工程项目都要按照规定的程序和内容编制项目建议书(或计划任务书)。在项目建议书(或计划任务书)及其以前的阶段,都是属于电力工程设计的前期工作,包括规划设计阶段、方案设计阶段、预可行性研究阶段等。

设计文件是安排基本建设项目和组织施工的主要依据,设计单位应保证设计内容完整、技术先进、经济合理、保护环境,并对设计质量负责。

编制的初步设计文件应满足下阶段编制施工招标文件、主要设备材料订货和编制施工图设计文件的需要,并应满足设备材料采购、非标准设备制作和施工的需要,应注明建设工程合理的使用年限。

2. 根据《建设工程勘察设计管理条例》,编制建设工程设计文件应以什么为依据?又是哪些的主要依据?国家对工程项目投资的主要依据是哪个设计阶段的哪项内容?它具体是哪三项内容的主要依据?委托工程设计业务的建设工程项目应具备什么样的条件?

答:根据《建设工程勘察设计管理条例》第二十五条,应以下列规定为依据:项目批准文件,城市规划,工程建设强制性标准,国家规定的建设工程勘察、设计深度要求。铁路、交通、电力、水利等专业建设工程,还应以专业规划的要求为依据。其中的工程建设强制性标准,是直接涉及环境保护、人民生命财产安全的技术要求,并用法规形式固定下来作为监督依据的标准部分。

通过审查并批准的初步设计文件之中的设计概算是设计文件的重要组成部分,是确定建设项目总投资、考核设计经济合理性和建设成本的主要依据。

条件:①建设工程项目可行性研究报告或项目建议书已获批准;②已经办理了建设用地规划许可证等手续;③法律、法规规定的其他条件。

3. 电气一次与电气二次专业如何区分? 电气一、二次的主要设计内容有哪些? 重点是什么?

答: 电气一次与电气二次专业的划分是从苏联开始沿用下来的, 在我国用在水利电力行业特别是电力设计院和部属水利水电设计院, 在西方发达国家和 IEC 并没有这样的提法。

电气一次是电力的主体专业, 属于“强电”范围。电气一次设备是指直接生产、转换和输配电能的设备, 即电力主回路及其设备。

电气一次设计内容是一次设备及其接线, 对象是电源和电能输送、供配的主回路。其具体的设计内容有接入电力系统、电气主接线、短路电流计算、导体和电气设备的选择和计算、电气设备的布置(包括电缆敷设)、厂用电、过电压保护、接地、照明, 其中的电气主接线、电气设备的选择、电气设备的布置这三项内容是电气一次设计内容的核心和重点, 设计人员的主要活动是设计一次接线图、布置安装图、计算书。

电气二次属于“弱电”范围, 是指电力的二次回路及其设备, 保护、监控、自动化是主要内容, 包括励磁、继电保护、计算机监控、远动及自动化、直流系统和操作电源、测量、信号等。电气二次设备是指对一次设备进行监察、测量、控制、保护、调节的设备。

4. 对水利水电工程初步设计或可行性研究设计报告中电气一次内容的编制有什么具体规定和要求?

答: 初步设计报告编制要求: ①接入电力系统方式: 确定水电站或变电站与电力系统的连接方式、电压等级、进出线回路数及输送容量, 说明电力系统对本电厂的运行方式、主要设备参数、无功补偿及系统稳定措施等方面的要求。②电气主接线: 经方案比较和经济技术论证, 选定电气主接线方案, 说明分期过渡方式及措施; 选定厂用电电源连接方式及坝区供电方式。③主要设备选择: 提出短路电流计算成果表; 选定主要电力设备, 提出设备的型号、规格、数量及主要技术参数; 对电力设备重大件运输及现场组装等特殊问题, 采用新型设备和重大新技术有论证。④设备布置: 说明总体布置, 确定主副厂房的主要电力设备布置, 主变压器场和开关站的型式、布置和进出线方式。⑤过电压保护及接地: 确定绝缘配合原则和中性点接地方案, 提出过电压保护方式; 确定全厂接地设计方案, 提出接地计算成果, 对高电阻土壤接地特殊要求有论证并提出解决措施。⑥附图: 电力系统地理接线图、电气主接线(包括厂用电及近区供电)方案比较图、电气主接线图、厂用电及近区供电接线图、主副厂房电气设备布置图、开关站电气设备布置方案比较图、开关站电气设备布置图。

可行性研究设计报告与上述内容虽然类似, 但在深度要求上有所降低, 例如可行性研究属于初选阶段, 尚不具备“选定”或“确定”的条件, 内容和图纸可适当简化。

5. 设计技术交底主要有哪些内容?

答: 设计技术交底的主要内容有: 工程设计的主要意图, 施工中注意解决的问题, 施工单位和监理单位对施工图中一些问题的答疑, 此外还可能有对设计修改、变更的说明。

6. 电力生产的主要特点是什么? 《中华人民共和国电力法》所规定的电网运行的原则是什么? 电力系统与电力网有何区别? 输电网与配电网有什么区别?

答: 电力生产的主要特点是同时性、实时性、连续性、整体性(集中性)、快速性、随机

性,过渡过程特别短,电能不能大量储存。

电网运行的原则是统一调度、分级管理。

电力网是电力系统的一部分,发电厂、电力网和负荷组成电力系统;电力网主要是线路和变电站所连接的网络。

输电网是电力网中的主网架,是通过输电线将发电厂与变电站连接起来的电力网络。配电网是从输电网或地区发电厂通过配电设施分配给用户的电力网,配电设施包括配电线路、配电所内设备、配电变压器等。

7. 火电厂、水电厂、核电厂、风电厂及光伏发电系统等各自有哪些主要特点? 微电网有哪些特点?

答:火电厂的主要特点:①布局灵活,装机容量大小可按需确定;②一次性建设投资少,仅为同容量水电厂的1/2,建造工期短(三四年),发电设备年利用小时数较高,约为水电厂的1.5倍;③耗煤量大,加上运费和大量用水,单位发电量成本比水电厂要高出三四倍;④动力设备繁多,机组控制操作复杂,厂用电量和运行人员多,运行费用高;⑤大型机组从停机到开机并带满负荷的时间很长,机组启动附加耗用大量燃料;⑥若担负急剧升降的负荷,必须付出更多附加燃料消耗,比运行平均煤耗增加约1/4;⑦担负调峰、调频或事故备用时相应事故增多,强迫停运率、厂用电率都提高,因此从经济性和供电可靠性方面考虑应尽可能担负较均匀负荷;⑧对空气和环境的污染较大。

水电厂的主要特点:①可综合利用水能资源,而水能是由太阳能通过地球大气水循环转化来的,属于可再生能源范畴;②发电成本低、效率高,不用燃料,人员少,厂用电率低;③运行灵活,设备简单,易于自动化,机组启动快,能适应负荷急剧变化,适合承担系统的调峰、调频或事故备用;④借助水库进行储蓄、调节水能,若能兴建抽水蓄能电厂,可扩大利用水能源;⑤不污染环境,大型水库能调节空气温度和湿度,改善自然生态;⑥建设投资较大,工期较长;⑦受河流地形、水量及季节气象条件限制,发电量受到水文气象条件的约束,发电不均衡;⑧由于水库兴建,淹没土地,搬迁移民,给农业和自然界生态带来许多不利影响。

核电厂的特点:①节省燃料,需要的燃料重量仅为火电厂的七八万分之一,是减少二氧化碳排放的替代能源;②发电成本稳定,对燃料价格波动不敏感,能够平抑能源价格波动;③容量越大越经济,可建在地下、山洞、水下、空气稀薄的高原地区;④输出为恒定负荷,可担负电网基荷,电网中尽可能以抽水蓄能电厂作为核电配套项目来调整电网峰谷负荷急剧变化;⑤有核辐射放射性,污染严重,目前已经掌握了运营经验。

以风力发电和太阳能发电为主要代表的新能源发电,主要特点有:可再生、分布广、低污染,能量密度低、单机容量小,间歇性、周期性、随机性、波动性,大量采用电力电子技术。有分散和集中开发两种典型的接入电网方式。

风电厂的主要特点:①风电厂实际的发电功率季节性和随机性非常明显,机组满出力运行时间少,因为风能有着显著的地域性、季节性、随机性、间歇性的特点;②属于无污染的再生新能源,突出优点是环境效益好,不排放任何有害气体和废物;③单机容量比较小,但机组台数多、布置分散成群,占地和间距比较大,而且风电机组基础使用面积较小,不影响农田和牧场的正常生产,同时也开发了旅游资源,风力发电机常布置于山脊位置,可占

据荒滩野岭,虽然占地受限制较少,但要考虑林区保护等问题;④风电场内的集电线路比较长,线路损耗大;⑤以机组造价为主,所占比重大,单位千瓦投资和成本高,资本回收期比较长,风险大。

独立的太阳能光伏发电系统由太阳能电池方阵、蓄电池、控制器、交直流逆变器构成,投资大、成本高是主要的问题,蓄电池实际运行寿命远低于预期的理论寿命,运行中需要不断更换的数量比较大,运行、维护成本也比较高。

微电网是由若干微型电源的分布式发电系统、储能系统和负荷构成的,可同时提供电能和热能的独立网络。微电网的特点:既可以和公共电网并联运行,也可以单独运行;可覆盖传统电力系统难以达到的偏远地区,提高该地区的供电可靠性和电能质量。

8. 小型孤立电网的水电站设计中要注意什么特殊问题?

答:孤网中突变负荷相对值较大,造成频率波动峰值 β_1 过大,属于大波动问题,直接影响着电能质量和运行可靠性。

解决办法:①对于小型水电机组,用增大飞轮矩 GD^2 的办法增大 T_a 值,是减小孤网频率波动峰值的有效措施,也有利于机组空载及甩负荷后的稳定性,宜优先考虑,此办法简单易行、经济实用;②在电站规划设计时,应尽可能减少引水系统的水流加速时间常数 T_w ,以便选用调节速度较快、开关机时间较短的水轮机组;③为了适应孤网运行时接力器的频繁动作,调速器应配置较大的蓄能器和较大的电机油泵,对于负荷变化特别频繁的情况,可考虑采用通流式调速器;④配置全自动励磁,励磁调节器的电压调差率应取较大的正值。

9. 接入电力系统的设计依据是什么?它包含哪些主要内容?发电厂等水利水电工程应向接入系统设计单位索取哪些资料?

答:接入电力系统的设计依据是发电厂等水利水电工程所在接入系统的地理位置、地位和作用、规模、运行方式及系统负荷的分布。

包含的内容主要有:①电力系统现状;②电力需求预测;③电力电量平衡;④接入系统方案(包括有功和无功潮流及电压调整、短路电流、电力系统稳定性的三大计算);⑤对发电厂电气主接线及有关电气设备参数的要求;⑥结论和建议。

发电厂等水利水电工程应向接入系统设计单位索取的资料有:①系统地理接线图,各序阻抗图,潮流、稳定和短路电流计算资料;②供电范围;③输电方式;④发电厂在电力系统中的位置和作用;⑤出线电压等级、回路数、各回出线落点及送电容量;⑥系统对发电机主要参数、进相和调相运行、工况转换等的要求;⑦系统对主变压器额定电压、调压范围和方式、中性点接地方式等的要求;⑧输电杆塔的基本塔型、电气参数和防雷性能;⑨系统对水电厂调度管理和自动化、系统继电保护和安全自动装置及系统通信等方面的要求;⑩还需要在发电厂设置并联电抗器、主变压器中性点电抗器、提高系统的稳定的设施等的专题论证报告。

10. 电力系统有哪些适宜于调峰的机组?水电站机组如何实现黑启动?

答:适宜于调峰的机组有水轮发电机组、抽水蓄能机组、可以调峰运行的汽轮发电机组及燃气轮机等。

水电站的黑启动是指在交流厂用电消失的情况下,依靠剩余的油压和蓄电池储能,在

尽可能短的时间内将机组开启,并接带厂用电负荷与电网负荷。电网发生大面积停电的情况下,水电站的黑启动对于快速恢复电网的运行具有重要意义。由开机到空载状态的自动开机流程图可知,黑启动主要受到调速器系统、励磁装置、监控系统、直流电源、冷却水、密封水及其他辅助条件(厂房排水等)的影响。水轮发电机黑启动的关键在于交流厂用电丢失时,机组甩额定负荷一次后,其残余操作油压尚能将机组开启,且励磁系统能使发电机升压至额定值,并接带厂用电与电网负荷。

11. 用户功率因数低的主要危害是什么?应采取哪些措施提高功率因数?

答:用户功率因数低的主要危害:①增加供电线路电能的损失;②增加线路电压损失;③降低供电设备的有效利用率;④增加用电企业的电费开支。

提高功率因数的措施:①加装无功补偿装置,采用电容器补偿或同步电动机补偿;②利用新技术加强用电设备维护;③调整负荷,提高设备利用率;④减少大马拉小车现象,提高设备使用效率。

12. 无功功率补偿的基本原则是什么?无功功率补偿的方式如何掌握?电力系统中无功功率的主要消耗者是什么?

答:无功功率补偿的基本原则是:避免通过远距离线路输送无功电力,系统上下级之间(多级变压器)不应有大量的无功电力交换,应以分散就地补偿、低压补偿、降损为主,采用分(电压)层和分(供电)区无功平衡。

无功功率补偿的方式为集中补偿与分散补偿相结合,以分散补偿为主;高压补偿与低压补偿相结合,以低压补偿为主;调压与降损相结合,以降损为主。

无功功率的主要消耗者是异步电动机;一般工业企业消耗的无功功率中,感应电动机约占70%,变压器占20%,线路等占10%。目前约有1/2的电动机在额定功率的60%以下运行,因此要合理选择电动机和变压器,使电动机平均负荷为其额定功率的45%以上,变压器负荷率为60%以上,最佳为75%~85%。通常,正常运转的电动机和其他电气设备总的综合功率因数(自然功率因数)约为0.8,而电网规程规定的用户功率因数为0.9及以上,此时由系统提供给用户的无功功率约为有功功率的44%。

13. 请分别写出对主变压器及用户端负荷进行电容器补偿的无功功率计算公式。

答:主变压器: $Q = \left(\frac{I_0\%}{100} + \frac{u_k\%}{100} \beta^2 \right) S_e$,其中 $I_0\%$ 为变压器的空载电流百分值, $u_k\%$ 为变压器的阻抗电压百分值。用户端负荷补偿: $Q = P_e (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$,其中 $\tan \varphi$ 可由 $\cos \varphi$ 推导出数值, φ_1 和 φ_2 分别为补偿前后的相位角。

14. 电压和频率是反映什么指标的?无功控制与有功控制有哪些差别?

答:电压和频率是反映电能质量的主要指标。电压反映了电力系统无功功率供需平衡的基本状态,电压的高低反映无功出力的大小;频率反映了电力系统有功功率供需平衡的基本状态,频率的高低反映有功出力的大小,可通过增加发电机有功出力、减负荷的方法使得频率上升。电能质量的第三个指标是波形畸变(谐波)。

在交流输电系统中,无功控制与有功控制的差别如下:①有功功率的发出与消耗比较集中,基本限于各个发电厂和负荷点,网络上损耗相对较小;而无功功率则不同,由于各个元件的电抗远大于电阻,因此各个元件上消耗的无功相对较大;同时存在线路对地电容及

大量补偿用并联电容器,所以无功功率的发出与吸收遍及网络各个部分,具有极大的分散性。②有功功率的平衡反映在电网频率变化上,而电网各部分无功功率能否平衡将直接影响到每个部分的系统电压。③在供电网中因线路电抗占有主导地位,根据理论推导可近似认为:无功功率的流动取决于两点间电压相量的相位角差值,有功功率的流动取决于两点间电压相量的幅值差。

15. 什么是电压偏移、电压降落、电压损耗? 各级电压的供电电压允许偏差及持续时间是多少? 在哪里考核?

答:电网中某点的实际电压与电网额定电压的代数差叫作电压偏移,受输电线路或变压器两端电压相位差的影响;线路的首端电压和末端电压的矢量差叫作电压降落;电压损耗是指两端电压的数值差,即输电线路或变压器一端的运行电压与线路额定电压的数值差。

电力部门所规定的发电厂和变电站母线电压允许偏差值:①500(330) kV 母线正常运行方式时最高运行电压不得超过系统标称电压的 $+10\%$,向空载线路充电时在暂态过程衰减后线路末端电压不应超过系统标称电压的 1.15 倍,持续时间不应大于 20 min;②发电厂和 500 kV 变电站的 220 kV 母线,正常运行方式时为标称电压的 $0 \sim +10\%$,事故时为系统标称电压的 $-5\% \sim +10\%$;③发电厂和 220(330) kV 变电站的 110 kV 母线,正常运行方式时为标称电压的 $-3\% \sim +7\%$,事故时为系统标称电压的 $\pm 10\%$;④发电厂和变电站的 10(6) kV 母线,目前一般取为系统标称电压的 $0 \sim +7\%$,农村低压架空电力线路,自配电变压器二次侧出口至线路末端(不包括接户线)不大于额定低压配电电压 380/220 V 的 7%。

16. 改善用电电压质量有哪些措施?

答:改善用电电压质量的措施有:①提高用电功率因数,合理选择无功补偿设备和容量,使无功就地平衡;②合理选择供电半径和供电线路电压,做好网络规划,尽量减少线路过长、迂回及交叉供电、功率倒送等不合理供电状况;③合理选择供电线路的导线截面,有条件时按照经济电流密度选择导线截面;④合理配置变配电设备及其安装位置,淘汰更换高能耗变压器;⑤适当配置调压措施,例如增加电容器补偿和变压器有载调压装置;⑥搞好三相负荷平衡并防止过负荷运行,一般要求配电变压器低压出口电流不平衡度不超过 10%,低压干线及主干支线始端的电流不平衡度不超过 20%。

17. 电力系统频率偏差的允许值及持续时间是多久?

答:电力系统频率是 50 Hz,3 GW(300 万 kW)及以上的系统不得超过 ± 0.2 Hz,在不足 3 GW 的系统中不得超过 ± 0.5 Hz。同时要保证电钟所表示的时间的正确性,任何时间的偏差分别不应大于 ± 30 s(3 GW 及以上的系统)和 ± 1 min(不足 3 GW 的系统)。在电力系统非正常状况下,供电频率的偏差不应超过 ± 1.0 Hz。

18. 电力系统谐波的主要危害是什么? 公共电网的谐波电压控制的标准为多少?

答:电力系统谐波的主要危害是:①干扰邻近的通信系统;②影响部分有功和无功电能表计量;③导致电动机、电工设备的铁损和铜损增加;④使某些保护和自动装置误动。

引起谐波的主要设备是非线性负载:轧机、电解槽、充电装置、开关电源、电力机车等整流设备,炼钢熔炉、陶瓷窑炉、电石炉、电弧焊、气体放电灯等电弧设施,采用变频器的风

机、水泵、电梯等设备。

标称电压为 380 V 的公共电网,谐波电压总畸变率为 5.0%,其中奇次谐波电压含有率为 4%,偶次谐波电压含有率为 2%;标称电压为 10 kV 的公共电网,谐波电压总畸变率为 4.0%,其中奇次谐波电压含有率为 3.2%,偶次谐波电压含有率为 1.6%;标称电压为 35 kV 的公共电网,谐波电压总畸变率为 3.0%,其中奇次谐波电压含有率为 2.4%,偶次谐波电压含有率为 1.2%;标称电压为 110 kV 的公共电网,谐波电压总畸变率为 2.0%。

19. 中性点非直接接地系统方式电网单相接地电容性故障电流的允许值是多少?属于大接地短路电流系统的高压系统,接地电流(单相或二相)应大于多少?电力系统中性点三种运行方式有哪些优缺点?

答:3~10 kV 为 30 A,20 kV 及以上为 10 A,当超标时中性点应装设消弧线圈(系统以架空线路为主时)或改为中性点电阻接地系统方式(系统以电缆线路为主时)。属于大接地短路电流系统的高压系统,接地电流(单相或二相)应大于 500 A。

电力系统中性点三种常见运行方式的主要优缺点:

(1) 中性点不接地系统的优点:发生单相接地时,三相用电设备能正常工作,允许暂时继续运行 2 h 之内,因此可靠性高;其缺点:发生单相接地时,其他两完好相的对地电压升高到线电压,是正常时的 $\sqrt{3}$ 倍,因此绝缘要求高,增加绝缘费用。

(2) 中性点经消弧线圈接地系统的优点:除有中性点不接地系统的优点外,还可以减小接地电流;其缺点类同于中性点不接地系统。

(3) 中性点直接接地系统的优点:发生单相接地时,其他两完好相的对地电压不升高,因此可降低绝缘费用;其缺点:发生单相接地短路时,短路电流大,要迅速切除故障部分,从而使供电可靠性差。

20. 消弧线圈接地方式有什么优缺点? 中性点经低电阻接地方式有什么优缺点?

答:消弧线圈接地方式的优点:①电网运行的可靠性最高,单相接地后可维持运行 2 h,适用于架空线路;②单相接地故障电流最小,对瞬时故障能自动熄弧;③重复故障可能性小;④单相接地的异常过电压通常可控制在 2.8 倍相电压以下,操作过电压一般不大于 4 倍相电压;⑤采用自动调谐产品运行管理维护简单,自动跟踪补偿消弧系统的运行经验证明,装置可以在欠补、全补、过补状态工作,不会发生串联谐振过电压;⑥对通信的感应危害小;⑦故障点对地电位低,人身和设备的安全性好;⑧综合技术装备水平较高。

消弧线圈接地方式的缺点:①单相接地时非故障相电压升高到线电压,绝缘保护水平最高;②单相断线接地点 8 m 以内不得有人进入,以防伤人;③新研制的小电流接地选线保护装置具有灵敏、不需整定等优点,但技术仍不够成熟,退出率比较高。

中性点经低电阻接地方式的优点:①绝缘保护水平最低,过电压最小,单相接地的异常过电压低,能将单相接地时的过电压抑制在 2.8 倍运行相电压以下;②重复故障可能性较小,系统运行简单,是多电源、超大城市电网的入选方案,适用于电缆线路和绝缘导线线路,供电可靠性较高;③继电保护简单、灵敏度高,可用简单零序电流保护,运行维护相对简单;④对通信的感应危害低阻接地大,高阻接地则小;⑤综合技术装备水平包括接地装置投资及综合费用,低阻接地最高,高阻接地较高;⑥人身和设备的安全性低阻接地差,高阻接地较好。

中性点经低电阻接地方式的缺点:①单相短路电流大,故障点地电位高,故要求零序保护继电器尽快切除故障;②供电可靠性低,一般以重合闸补救;③对通信、电子设备干扰稍大。

21. 单元接线的发电机接地故障电流的允许值是多少?

答:发电机接地故障电流的允许值见表 1-1。

表 1-1 发电机接地故障电流的允许值

发电机额定电压(kV)	6.3	10.5	13.8 ~ 15.75	18 ~ 20
发电机额定容量(MW)	≤50	50 ~ 100	125 ~ 200	≥300
电流允许值(A)	4	3	2	1

注:对额定电压为 13.8 ~ 15.75 kV 的氢冷发电机为 2.5 A。

22. 根据《供电营业规则》第 47 条,对供电设施的运行维护责任分界点是如何规定的?

答:供电设施的运行维护管理范围按产权归属确定:①公用低压线路供电的,以供电接户线客户端最后支持物为分界点,支持物属供电企业;②10 kV 及以下公用高压线路供电的,以客户厂界外或配电室前的第一断路器或第一个支持物为分界点,第一断路器或第一个支持物属供电企业;③35 kV 及以上公用高压线路供电的,以客户厂界外或客户变电站外第一基电杆为分界点,第一基电杆属供电企业;④采用电缆供电的,本着便于管理维护的原则,分界点由供电企业与客户协商确定;⑤产权属于客户且由客户运行维护的线路,以公用线路分支杆或专用线路接引的公用变电站第一基电杆为分界点,专用线路第一基电杆属客户的,在电气上的具体分界线,由供用双方协商确定。

23. 《国家电网公司防止电网重大事故的十八项反事故措施》中防止电网重大十八项事故包含哪些内容?

答:反事故技术保护措施简称反措,包括以下内容:①防止人身伤亡事故;②防止系统稳定破坏事故;③防止机网协调事故;④防止电气误操作事故;⑤防止枢纽变电站全停事故;⑥防止输电线路事故;⑦防止输变电设备污闪事故;⑧防止直流输电和换流设备事故;⑨防止大型变压器损坏事故;⑩防止互感器损坏事故;⑪防止开关设备事故;⑫防止接地网和过电压事故;⑬防止直流系统事故;⑭防止继电保护事故;⑮防止电网调度自动化系统与电力通信网事故;⑯防止垮坝、水淹厂房事故;⑰防止火灾事故;⑱防止交通事故。

第2章 电气主接线

1. 什么是电气主接线？选择主接线的原则是什么？基本要求是什么？

答：电气主接线是指发电厂、变电站、电力系统中传输电能的通道，是由发电机、变压器、断路器、隔离开关、互感器、母线、线路等各种一次电气设备按照一定连接顺序所组成的输电（生产和汇集电能）和分配电能的电路，排在电气设计中最重要、最核心的首要位置。主接线是以电源和引出线为基本环节，以母线为中间环节构成的电能通道；主接线的作用是表明电能的生产、汇集、转换、分配关系和运行方式，是运行操作、切换电路的依据，决定着配电装置的数量及设备与系统的连接方式，对供电可靠、运行灵活、检修方便及经济合理起着决定性作用。

选择原则首先应根据该站在电力系统中的地位、规划容量、负荷性质、线路和变压器等连接元件总数、设备特点等条件来确定；其次要满足三特性：①可靠性；②灵活性；③经济性。

基本要求：①接线简单、清晰，操作方便；②供电安全、可靠；③运行和调配灵活，性能优良；④经济合理；⑤便于分期过渡和扩建。

2. 单母线接线的主要特点是什么？

答：主要优点：断路器与进出线回路数相等，造价低，结构简单，接线清晰，操作简便，隔离开关仅用于检修而不作为操作电器，断路器和隔离开关之间容易做成可靠的联锁，有效地防止误操作事故；采用设备少，节省主变压器和高压断路器等投资，减少场地，运行费用低，扩建容易；有利于采用成套配电装置或手车式断路器，布置简化紧凑；一回线路对应一组断路器，便于实现自动化、远动化；从发电机引出直配电线路较为方便。

主要缺点：供电可靠性比较低，当母线和母线隔离开关故障或需要维护、检修时，就要全部回路停电；当母线上任何一个连接元件发生故障或检修时，均需整个变电站全部停电；当任何一台出线断路器需要检修时，其所在的电路一定要停电。发电机配电装置较单元接线多，增加维修工作量。

适用范围为对二三类负荷供电的一般工业、企业和容量较小的变电站。

3. 单母线分段接线的主要特点是什么？

答：主要优点：

(1) 当其中一段母线或母线隔离开关需要维护、检修时，可拉开分段断路器或分段隔离开关，则另一段母线仍可正常工作；可逐段轮流检修母线和母线隔离开关，以减小母线故障的影响范围，提高供电可靠性。

(2) 当其中一段母线发生故障时，继电保护装置可迅速跳开分段断路器和故障母线上的电源，而没有故障的一段母线仍可正常工作。

(3) 对重要用户可从不同母线段引双回路供电（两回线路分别接在两段母线上），可达到较高的供电可靠性；有时单母线分段断路器可用分段隔离开关代替，能节省断路器和

隔离开关各一台;但是当一段母线发生故障时,全部电气装置仍会短时停电,须在分段隔离开关将故障母线分开后,才能恢复非故障母线段的正常供电。

(4)当任何一台出线断路器需要检修时,其所在的电路仍要停电。

其特点是保留单母线接线的优点,并限制了故障范围,提高了供电的连续性(两段母线同时停电的概率很小)。适用范围:对一二类负荷供电及供电可靠性要求较高和容量较大的变电站,不十分重要且回路数不多的水电站,出线电压 35 ~ 60 kV 回路数少于 8 回、110 ~ 220 kV 回路数少于 4 ~ 6 回。

4. 单母线(分段)带旁路母线接线的主要特点是什么?

答:主要优点:

(1)检修任何一台进线断路器时,可用旁路断路器和旁路隔离开关代替该进线断路器,可实现不中断该进线回路的供电,供电方式比较灵活。

(2)在单母线分段接线方式采用旁路母线时,为了节省投资少用断路器,可将分段断路器兼作旁路断路器;旁路母线可与任意一段母线连接,正常运行时旁路母线不带电,但是在分段断路器用作旁路断路器工作时,两段母线不能并列运行。

(3)如果在分段断路器兼作旁路断路器的接线方式中,在两段母线之间装设一组隔离开关,当分段断路器用作旁路断路器工作时,两段母线可以并列运行,但此时只相当于单母线,当一段母线发生故障时将使整个电气装置停电,必须在拉开分段隔离开关后,才能恢复非故障母线段的正常供电。

主要缺点:

(1)加了配电装置,设备数量、投资增加,占地面积增大。

(2)使断路器和隔离开关之间的联锁变得复杂化,操作比较复杂,容易产生误操作而酿成事故。

(3)保护及二次回路接线复杂。

适用范围为对供电可靠性要求较高、容量比较大、进出线回路比较多、投资比较大的二类负荷情况。规程规定:电压 35 kV 出线在 8 回以上、电压 110 kV 出线在 6 回以上、电压 220 kV 出线在 4 回以上的屋外配电装置方可加旁路母线,6 ~ 10 kV 屋内配电装置一般不加。

5. 双母线接线的主要特点是什么?

答:主要优点是可靠性较高、运行方式灵活:

(1)线路故障、断路器拒动或母线故障,只停一条母线及所连接的元件。

(2)检修工作母线时,可把工作母线上的全部回路切换到备用母线上,再将工作母线退出运行进行检修,不会发生停电;可在任何元件不停电情况下轮流检修母线;也便于试验,在个别回路需要单独试验时,可将该回路分开单独接至一条母线。

(3)检修任一回路的母线隔离开关,仅停该回路(只停该元件和一条母线),其余回路可不停电,将其余回路切换到另一组母线上后,该隔离开关便可停电进行检修。

(4)两组母线可以同时运行,并投入母联,将负荷和电源适当搭配,重要用户由分别接于两组母线上的双回路供电,不会中断对重要用户的供电,兼有单母线分段的作用。

(5)扩建方便,向双母线左右两侧顺延扩建,施工时不会引起原有已运行失败的长期

停电,也均不会影响两组母线上电源和负荷的自由组合。

(6)还可以衍生出双母线分段接线、双母线叉接分段接线等其他接线方式。

(7)运行调度灵活,通过倒闸操作可以形成不同运行方式,例如单母线、单母线分段运行。

主要缺点:

(1)接线和操作都比较复杂,切换母线倒闸过程比较复杂,作为操作电器的隔离开关,在倒闸时容易发生误操作,因此要有比较复杂的联锁机构,二次回路和防误闭锁接线复杂。

(2)使用设备多,母线隔离开关要增加很多,增加母线长度并使得每回路增加一组母线隔离开关,占地较大,配电装置构架增加,结构也复杂得多,投资较多,所以经济性比较差。

(3)检修任一回路的出线断路器或母线故障时,仍将全站短时停电。

适用范围为对供电可靠性要求高、容量大、进出线回路比较多的一二类负荷供电情况。

采用双母线分段接线可有效缩小故障停电范围,提高接线可靠性;特别是双母线双分段接线,比双母线单分段接线只多一台分段断路器和一组母线电压互感器及避雷器,占地面积相同,但可靠性明显提高,可以做到在双重故障情况下不致造成配电装置全停,而且运行方式灵活,可通过母联断路器或分段断路器将系统分割几个互不连接部分,以达到限制短路电流、控制潮流、缩小故障停电范围等的目的。一般适用于比较重要的大中型水电站,出线电压 110 kV 回路数不少于 8 回、220 kV 回路数不少于 6 回。

6. 双母线带旁路母线接线的主要特点是什么?

答:主要优点:在双母线接线的基础上增加旁路母线、旁路断路器和旁路隔离开关,可不停电检修任一进出线断路器,供电可靠性高。

主接线中安装旁路母线的目的是断路器检修或因故停运时临时代路,以减少用户停电次数,从而提高了供电的可靠性。

主要缺点:建设投资比较大,占地面积大,操作比较复杂。

适用范围:一二类负荷供电、35 kV 8 回路及以上、110 kV 7 回路及以上、220 kV 5 回路及以上的线路才考虑这种接线方式。

7. 桥形接线的主要特点是什么?

答:桥形接线属于无母线类主接线之一,使用断路器数量相对比较少,是在单元式接线的基础上发展而来的(将两个线路一变压器单元通过一组断路器连在一起),是节省断路器的接线方式,主要优点:

(1)四条回路(二进二出)只用 3 台断路器,使用设备较少,占地面积小,节省投资,建设费用低。

(2)简单清晰、运行灵活、操作简便、工作可靠,还可采用备用电源自投装置。

(3)扩建方便,容易过渡,随着进出线回路数增多,可方便地扩建为单母线或双母线接线方式。

内桥接线的主要优点:①接线简单,高压断路器数量少,设备比较简单;②开关站布置

比较简单,占地面积小;③线路投切方便,运行灵活性好,特别是某一线路故障跳闸不影响其他回路运行,还可采用备用电源自投装置。

内桥接线的主要缺点:①变压器故障和投切时会影响一条线路,当变压器故障或检修时,会使电站一半机组停电,连接桥断路器故障时则全站需短时停电;②一台变压器故障需同时开断两台断路器,并切除一回线路,要停掉一路电源和桥断路器,并且把变压器两侧隔离开关拉开,然后再根据需要投入线路断路器,操作步骤较多,继电保护装置也比较复杂;③连接桥断路器检修时,两回线路需解列运行,如有穿越功率通过,则将受到限制;④线路侧断路器检修或故障时,将停运线路,也可加装正常开断运行的外跨条(带双隔离开关),但若此时任一回线路故障,都将使全站停电,且断路器要满足并联开断的要求;⑤变压器正常操作时影响穿越功率。

外桥接线的主要优点:①接线简单,高压断路器数量少;②开关站布置较简单,占地面积小;③变压器投切比较方便,特别是某一变压器故障跳闸不影响其他回路运行(只断开一台断路器),变压器在检修时操作比较简单,继电保护回路也较为简单。

外桥接线的主要缺点:①变压器回路的断路器故障或检修时会使得电站一半机组停电,连接桥断路器故障时则全站需短时停电。②线路故障和投切时会影响一台变压器,变压器倒电源操作时需先停变压器,暂时影响电站一半功率送出,且同时开断两台断路器,拉开线路侧隔离开关后电站全部功率可由一回线路送出,运行的灵活性差。③连接桥断路器检修时,两回线路需解列运行,如有穿越功率通过,则将受到限制。④当变压器回路断路器外侧的电气设备发生故障时,将造成电力系统大面积停电,变压器回路断路器检修或故障时,将停运变压器;为了在检修变压器回路的断路器时不中断变压器的正常运行,可加装正常开断运行的跨条,跨条上装两组隔离开关和电流互感器,以满足运行操作和继电保护要求,但若此时任一组变压器回路故障,都将使全站停电,且断路器要满足并联开断的要求。

适用范围为 35 ~ 220 kV 配电装置、具有两路电源的变电所,还可作为建设初期的过渡接线。内桥接线适用于故障较多的长线路和变压器不需要经常切换的情况;当线路位于多雷电日地区或重污染地区且线路故障率较高时,也应采用内桥接线。外桥接线适用于线路较短、没有穿越功率,以及担负系统调峰任务、变压器切合频繁或变压器按照经济运行的需要经常切换的情况,可以扬长避短。同时,当系统有穿越功率经过时,为避免穿越功率流经 3 个断路器,也应采用外桥接线。

此外,还有双桥接线。当有三回进线和两回出线时,将一台变压器连接在两个连接桥断路器之间构成双内桥接线;当有三回出线和两回进线时,将一回出线连接在两个连接桥断路器之间构成双外桥接线。

8. 多角形接线的主要特点是什么?

答:多角形接线属于无母线类主接线之一,接线呈闭合环形,充分利用每一回路双断路器的特点,总的进出线回路数等于断路器台数,使用断路器台数较少。

主要优点:检修任一断路器时不会中断供电,对进出线完全不会停电,而且操作简便,只需断开该台断路器和两侧隔离开关即可检修,停电检修和事故处理时倒闸操作简单;由于没有母线,不存在母线故障和母线检修问题。隔离开关只用于检修而不作为操作电器,