

前 言

为了适应中小型水电站建设和发展的需要，我们编写了这本《中小型水电站电气设计手册》。本手册系统地介绍了电气主接线、厂用电设计原则、短路电流计算基本方法、中压电气设备的选择和布置、电网及主设备继电保护、水轮发电机组自动化及设备的设计所需的技术资料、图表、主要设备规格及外形尺寸、二次回路设备选择等。在编写过程中，认真贯彻国家现行的政策，符合法规、规程、规范，具有实用性和与规程规范的一致性。本手册既能满足量大面广的使用需要，又反映了新技术、新设备的推广与应用，具有一定的时代性。本手册可供从事水电站及变电所电气设计工程技术人员使用，也可供安装、运行、继电保护整定计算工程技术人员和有关院校师生参考。

手册共十章，第一、二、三、六章由黄瑞梅编写，第四、八章由许建安编写，第五章由朱文强编写，第七、九、十章由陈金星编写，全书由许建安担任主编，黄建森、李锦福任主审。

由于我们的水平有限、经验不足，书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

2002年2月

符 号 说 明

平均	av	故障	f
计算	cal、c	同步发电机	G
反馈	fb	同型	is
系统	s	基本侧	ba
非周期	unp	额定	N、n
最大	max	断路器	QF
相、保护、周期	p	残余、裕度、制动	res
返回	re	整定	set
饱和	sat	中	m
变压器	T	自动重和闸	ARE
自启动	ss	振荡	swi
动作	op	误差	er
去游离	di	关合	on
工作	w	极限	lim
测量	m	电器	e
密度	den	几何均距	gd
几何	geo	假想	ima
时间	t	加速	qu
基准、分支、平衡	b	非	un、n
接线	com	灵敏度	sen
熔断器	FU	精确工作	ac
输入	in	短路	k
配合	ma	差动	d
最小	min	恢复	r
可靠	rel	允许	en
短路	k	高	h
电流互感器	TA	工作	w
线路	L	低	L
零序	0	断开	off
准备动作	po	实用、实际	act
系统、副方	s	临界	cr
冲击	sh	经济	ec
持续	sus	电晕	co
距离	dis	电动稳定	es
相	φ	自然	nat

目 录

前 言

第一章 电气主接线	1
第一节 概述	1
第二节 电气主接线的基本形式	1
第三节 主变压器容量和台数的选择	6
第四节 电气主接线的技术经济比较	7
第五节 选择电气主接线应注意的一些问题	13
第二章 水电站厂用电接线	15
第一节 厂用电的特点及组成	15
第二节 厂用电负荷统计及计算负荷的确定	15
第三节 厂用变压器选择	21
第四节 厂用电接线	22
第三章 短路电流计算	26
第一节 高压网络短路电流计算条件和步骤	26
第二节 高压网络电路元件标么值参数计算	27
第三节 高压网络变换和化简	30
第四节 高压网络三相短路电流计算	32
第五节 高压网络短路电流计算实例	42
第六节 1kV 以下网络短路电流计算	46
第七节 1kV 以下网络短路电流计算实例	59
第四章 电气设备的选择	61
第一节 电气设备选择的一般条件	61
第二节 中压断路器的选择	64
第三节 中压隔离开关的选择	74
第四节 中压熔断器的选择	77
第五节 母线选择	82
第六节 电力电缆选择	88
第七节 绝缘子和穿墙套管选择	94
第八节 互感器选择	97
第五章 电气设备布置	104

第一节	小型水电站电气部分总体布置	104
第二节	屋内电气设备布置	109
第三节	屋外配电装置	113
第四节	电缆布置和敷设	122
第六章	防雷保护与接地	129
第一节	防雷保护	129
第二节	接地	141
第七章	操作电源	155
第一节	概述	155
第二节	直流负荷统计	156
第三节	蓄电池供电的直流系统	157
第四节	交流整流合闸的直流系统	162
第八章	电网及主设备继电保护	170
第一节	电网设计原则和一般规定	170
第二节	继电保护整定计算	172
第三节	35kV 中性点非直接接地电网中的线路保护配置原则	179
第四节	3~110kV 电网继电保护装置运行整定规程	183
第五节	110~220kV 中性点直接接地电网的线路保护	188
第六节	母线保护和断路器失灵保护	192
第七节	自动重合闸	195
第八节	输电线路整定计算	197
第九节	输电线路电流、电压保护	199
第十节	线路横联差动保护	208
第十一节	线路零序电流保护	210
第十二节	线路距离保护	215
第十三节	输电线路自动重合闸整定计算	222
第十四节	发电机保护	225
第十五节	电力变压器保护	231
第九章	水轮发电机组自动化	246
第一节	水轮发电机组自动控制	246
第二节	发电机自动同期	254
第三节	发电机励磁系统	264
第十章	二次回路	279
第一节	电气测量仪表	279
第二节	二次回路设备的选择	280
第三节	保护屏的布置	284

第四节	二次回路编号	286
第五节	电力工程制图标准	289
第六节	保护测量图形符号	298
第七节	限定符号	300
第八节	输配电线路图形符号	301
第九节	电力设备和照明图形符号	302
参考文献		307

第一章 电 气 主 接 线

第一节 概 述

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的关系，直接影响电站的运行、维修和投资。电气主接线由发电机、变压器、断路器、互感器等电器以及它们之间的连接导体所组成，它反映电站的电能从产生、输送到分配的过程。主接线方案选择是电站电气设计的首要环节，必须加以重视。电气主接线的设计原则必须根据有关的经济建设方针和政策，通过全面的技术经济分析比较，最后选定方案。选择电气主接线的基本要求如下：

- (1) 根据电力系统和用户的要求，应保证供电的可靠性和电能质量。
- (2) 接线应简单、清晰，运行灵活，操作方便。
- (3) 维护及检修方便。
- (4) 经济上合理，运行费用低。
- (5) 便于电站机组分期过渡。

第二节 电气主接线的基本形式

一、电气主接线的特点

在选择电气主接线时应充分考虑水电站的一些特点：

(1) 水电站一般离开用电负荷中心较远，发电机电压侧的负荷不大，有的电站发电机电压侧可能没有负荷，电站电能主要通过变压器升高电压后送出。水电站投产后，很少因增加容量而扩建，但随着电力系统的发展，有可能要求电站增加出线回路数，因此在接线中根据系统远景要求和电站的实际可能考虑在配电装置中适当预留备用出线空位还是需要的。

(2) 水轮发电机组具有起动快，出力调整方便，容易实现自动化等特点，所以水电站在系统中适宜于担任峰、腰负荷，因此电站开、停机比较频繁，主变压器的正常投入和切除也可能较多。

(3) 水电站厂用电负荷很小，一般仅占电站容量的1%~3%。负荷主要是低压异步电动机，一般电动机的容量也不大，不允许短时停电的用电负荷也很少，相应厂用电电源部分接线比较简单。

(4) 水电站多数地处偏僻山区，地形狭窄，配电装置的布置容易受到地形的限制，为了减少开挖，不宜采用复杂的接线型式。

(5) 水电站年负荷利用小时数一般不高，特别是水库调节性能较差的电站，在非洪水期，空闲机组较多，因此部分机组以低功率因数运行或作调相运行以改善系统的无功容量

不足。装机台数较多的电站有时装机间隔时间较长，接线中应该考虑分期过渡的问题。电站所在河流如属于梯级开发，则对各级电站应有一个全面的规划，整个梯级的电能如能汇集到一个电站集中送出，这样其余各级电站的接线可以得到很大的简化。

(6) 小型水电站容量有限，装机台数多数在四台以下，相应电站的出线电压级和回路数，以及主变压器的台数都比较少。

(7) 小型水电站分布面广，除少数并入大型电力系统或作孤立运行外，多数在小型或地区性的电力系统中运行。这些系统中用电量大、重要性高的大型工业用电负荷很少，供电对象主要是一些地区范围内的小工业、及小城镇用电，它们对供电可靠性的要求相对不高。系统中，除个别容量较大、重要性较高、属于主力水电站的电气主接线应有较高的要求外，一般电站主接线的标准不宜太高。

(8) 有的小型水电站附近地区有用电要求，主要是农业负荷，虽然用电量不大，但对支持农业用电有重要意义，在主接线设计中也应给予足够的重视。

(9) 小型水电站的机电设备供应往往比较困难和不足。而且小型水电站的运行、管理和维修人员从培训到熟练地工作也要有一个过程。

综上所述，对于小型水电站的电气主接线在满足必要的基本要求前提下，应尽可能采用简单、清晰而又符合实际的接线型式。

电气主接线图中常用设备图形符号见表 1-1。

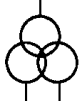
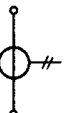
二、发电机电压侧接线

常用的发电机电压接线方式见表 1-2。

三、升高电压侧接线

常用的升高电压侧接线方式见表 1-3。

表 1-1 电气主接线中常用设备的图形符号

设备名称	图形符号	设备名称	图形符号	设备名称	图形符号
三相交流发电机		高压断路器		三相五柱式电压互感器	
双绕组变压器		高压负荷开关		管型避雷器	
电动机的一般符号		自动空气断路器		阀型避雷器	
高压隔离开关		单绕组绕组的电流互感器		熔断器	

续表

设备名称	图形符号	设备名称	图形符号	设备名称	图形符号
带接地刀的 隔离开关		单次级绕组的 电流互感器 (有分开铁芯)		跌落式熔断器	
电感线圈		电阻		母线	
电容器		导线或电缆		电缆终端头	

表 1-2

常用的发电机电压接线方式

接线名称	简 图	优 缺 点	适 用 范 围
单元接线		(1) 主变压器与发电机容量相同, 故障影响范围小, 可靠性高 (2) 接线简单、清晰, 运行灵活 (3) 发电机电压设备最少, 布置简单, 维护工作量小 (4) 继电保护简单 (5) 主变压器与高压电气设备增多, 高压设备布置场地增加, 整个电所接线投资大	对可靠性要求很高的大型电站采用, 而小型电站只在一些特殊情况下采用, 如分期建设的电站, 二期又只有一台机组时
扩大单元接线		(1) 二台 (或二台以上) 机组接一台主变压器, 故障影响范围较大, 主变压器故障或检修时, 两台发电机电容量不能送出, 可靠性略差 (2) 接线简单清晰、运行维护方便 (3) 减少主变压器高压侧出线, 简化高压侧接线和布置, 整个电气接线投资较省	此接线应用范围较广: (1) 当电站在电网中占重要地位, 机组台数又在 4 台及以上时, 可以采用 2 个或 2 个以上扩大单元 (2) 一般电站且近区负荷较小时, 可用一台主变压与多台机组构成一个扩大单元 (3) 分期建设的电站采用
单母线接线		(1) 主变压器数量少, 投资省, 电能损失小 (2) 接线简单明了, 运行方便 (3) 发电机电压配电装置元件多, 增加检修工作量 母线或与母线所连接的隔离开关故障或检修时, 需全厂停电, 可靠性及灵活性较差	一般小型电站, 且近区有较大负荷时广泛采用

续表

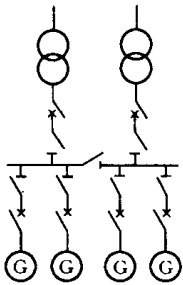
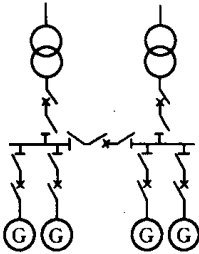
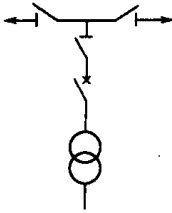
接线名称	简 图	优 缺 点	适 用 范 围
单母线隔离开关分段		(1) 当任一段母线及其所接隔离开关故障或检修时, 只需短时间停机, 待分段隔离开关拉开后, 仍可保持另一段母线所接机组送电, 可靠性与灵活性比单母线稍高 (2) 分段隔离开关故障或检修需全厂停机 (3) 其它优缺点与单母线接线中的 (1) ~ (3) 相同	用分段隔离开关有可能带负载误操作, 因此较少使用
单母线断路器分段		(1) 当任一段母线及其所接隔离开关故障或检修时, 另一段母线的机组可继续向电网送电, 可靠性、灵活性比单母线高 (2) 其它优缺点与单母线接线中的 (1) ~ (3) 相同	(1) 在电网中占有重要地位的小型电站采用 (2) 机组较多且有近区负荷的电站采用

表 1-3

常用的升高电压侧接线方式

接线名称	简 图	优 缺 点	适 用 范 围
变压器—线路组接线		(1) 接线最简单, 设备最少, 投资最省 (2) 线路故障或检修时, 主变停止运行, 反之亦然	单回出线的电站采用
T 型接线		优缺点同变压器—线路组接线	电站在电网中所占比重很小, 附近又有送电线路经过时采用

续表

接线名称	简 图	优 缺 点	适 用 范 围
外桥接线		(1) 接线简单, 高压断路器数量少, 为进出线数减一 (2) 一台主变断路器回路故障或检修, 会影响线路和另一台主体变压器运行 (3) 一回出线故障或检修, 电站一半功率可由一回送出 (4) 桥连断路检修时, 二回出线需要解列运行, 如有穿越通过将受影响。此情况可按图中虚线所示加装跨条解决	(1) 适用于进出线各两回路, 且电站年利用小时数低, 主变压器投、切频繁, 或线路短的电站 (2) 有穿越功率时也宜采用外桥
内桥接线		(1) 接线简单, 高压断路器数量少, 为进出线数减一 (2) 一回出线故障或检修, 不影响主变压器运行 (3) 一台主变压器故障或检修, 需暂切除一回出线, 待主变压器隔离开关拉开后, 可由二回出线送出电站一半功率 (4) 桥连断路器检修的缺点与外桥相同, 亦可加跨条解决	适用于进出线各两回路且电站年利用小时数高, 主变压器不需经常切、合, 或线路较长的电站
单母线接线		(1) 每一进出线回路各自配备一台断路器, 互不影响 (2) 接线简单, 清晰 (3) 进出的正常操作由断路器承担, 隔离开关只作为断路器检修时隔离用, 误操作机会极少 (4) 母线及所连隔离开关故障或检修造成全厂停电, 可靠性及灵活性较差	在多回进出线的电站广泛采用
单母线分段接线		(1) 每一进出线回路各自配备一台断路器, 互不影响 (2) 母线及其所连隔离开关故障, 只影响一段母线及其所连的回路停电, 可靠性及灵活性较高 (3) 分段断路器故障, 全厂暂停电, 拉开隔离开关后, 两段母线解列运行; 分段断路器检修时也解列运行	在电网中占重要地位, 且有多回进出线的电站采用

第三节 主变压器容量和台数的选择

一、主变压器容量的选择

就小型水电站来说，一般接在发电机电压侧的近区和厂用电负荷很小，有的电站甚至没有近区负荷，此时主变压器的容量可按照所连接的水轮发电机容量来选择。如果发电机电压侧接有较大的近区负荷，则主变压器的容量可按照发电机电压侧最小负荷时，能将电站所有剩余的有功功率和无功功率送出去进行选择，考虑到电站的近区用电负荷有一个发展过程，一般难以准确确定，因此在选择主变压器容量时，要考虑适当留有余地。

确定主变压器所需的计算容量后，可按我国现行的变压器标准容量系列选择相近而略大于计算容量的产品。

二、主变压器台数的选择

主变压器台数的选择是电气接线设计中的一个重要问题，它对电站的运行、电气部分的投资及发电机电压侧和升高电压侧的接线型式都有很大的影响，因此必须予以重视。变压器是一个比较可靠的电气设备，发生事故的几率很低，但在电站发、变、送的整个过程中，它又是一个重要的中间环节，一旦发生事故，其严重性和影响都比较大。主变压器台数的选择因素较多，主要取决于该电站在电力系统中的重要性和电站的装机台数。在装机一至三台的小型水电站中，多数采用一台主变；如果电站是系统中的主力电站，为减少因主变事故而对系统的影响，则在装机两至三台时，也可采用两台主变；在装机四台及以上的电站中，一般均采用两台主变，这样比较可靠，运行也较灵活，当电站供电负荷很小时，可退出一台主变运行，以减少在空载时的电能损耗，在电站装机间隔时间较长时，可先采用一台主变，以避免初期主变压器的容量积压。

主变压器台数的选择还应该考虑的一些因素有：

(1) 对于水库调节性能较差的电站应避免在汛期满发时，因主变压器事故而造成大量弃水。

(2) 在梯级电站中，当其它各级电站电能采用较低电压送至某一电站，再由该电站主变升压后集中送出的情况下，该电站主变容量相当于整个梯级电站的容量，此时也不宜仅采用一台。

(3) 电站主要输电线路的回路数多少，有时对选择主变压器也有一定影响。一般来讲线路发生事故的可能性比变压器大得多，如果在仅有一回主要输电线路的情况中，过分强调变压器的可靠性而设置多台，也是不必要的。

小型水电站中很少设置三台特别是三台以上的主变压器。值得一提的是，某些电站的装机容量在系统中所占比重并不大，但是机组台数较多，经过论证，确定采用一台主变压器也是可取的。

电站的近区用电变压器普遍的仅设置一台。

在主变压器的选择中，对电站升高电压用的变压器应采用升压型。35kV 升压型变压器的主抽头电压高于电网额定电压的 10%，以抵消输电线路上的电压损失，保证线路受电端必要的电压水平。目前 10kV 升压型变压器的主抽头电压应高于电网额定电压的 5%，这在

有的情况中是不够的，可根据电站实际需要与制造厂协商。

第四节 电气主接线的技术经济比较

为了正确地选择电气主接线，一般需要根据动能计算提供的水电站参数和系统提供的有关资料，初步拟定几个接线方案。这些方案在满足基本要求的情况下，允许各方案的技术条件有所差异，然后对参加比较的各个电气主接线进行详细的技术经济比较，最后选定技术上先进，经济上合理，分期过渡方便，便于运行管理维护的最优方案，上报审批，作为水电站电气部分设计的依据。

一、技术比较分析

技术比较分析一般从以下几个方面进行：

- (1) 技术上的选择性。
- (2) 供电的可靠性，运行的安全和灵活性。
- (3) 维护与检修的方便，以及布置的合理性。
- (4) 继电保护的简化。
- (5) 电气设备供应的可能。

二、经济比较

选择水电电气主接线时，通常需要提出若干个不同的接线方案进行详细的技术经济比较，然后选定最佳方案。经济比较应从国民经济整体利益出发，计算电气主接线各个比较方案的费用和效率，为选择经济上的最优方案提供依据。

在经济比较中，一般有基建投资（包括主要设备及配电装置的投资）和年运行费用两大项。计算时，可只计算各方案不同部分的基建投资和年运行费用。

1. 电气设备的基建投资费

电气设备的基建投资费一般都用综合经济指标计算，内容主要包括主变压器，35~110 kV 配电装置间隔、发电机电压配电装置间隔、输电线路等。所谓综合经济指标，即电气设备出厂价格、运输及安装费用的总和。

为了便于方案经济比较，表 1-4 和表 1-5 分别列出变压器、各种配电装置间隔等的经济指标。由于各制造厂家价格不一定完全相同及水电站处于不同地区的差价，以及电气设备随物价变动而调价，因此表 1-5 中列出的电气设备综合投资指标仅作为比较时参考。

表 1-4 35kV 三相双绕组变压器综合经济指标（元）

变压器型号	本体价格	综合指标	变压器型号	本体价格	综合指标	变压器型号	本体价格	综合指标
S9—1000	99000	118800	S9—2500	177800	213300	S9—6300	307630	359900
S9—1250	115760	138900	S9—3150	203570	242200	S9—8000	360660	418300
S9—1600	138180	165800	S9—4000	234120	276200	S9—10000	416590	479000
S9—2000	158070	189600	S9—5000	314600	314600	S9—12500	481700	558700

电气设备的基建投资费为上述变压器、配电装置等各项综合投资的总和。

2. 年运行费用

年运行费用包括一年的电能损耗及电气设备每年折旧及维护检修费。

表 1-5

各种电气设备组成的间隔综合经济指标 (元)

柜 型	方 式	金 额	35kV 设备型号及间隔名称	金 额
GG—1AF—03	架空出线	22500	DW2—35 (DW13—35), GW4—35/600A, GW4—35D/600A, LCWD—35, JDJ—35, RW10—35/0.5	
	母线出线	23500		
	电缆出线	21200	外桥接线	220200
GG—1AF—04	架空出线	23600	外桥接线带独立式电流互感器	234400
	母线出线	24300	内桥接线	248000
	电缆出线	22500	内桥接线带独立式电流互感器	262200
GG—1AF—07	架空出线	24100	主变进线间隔	51800
	母线出线	24200	分段断路器间隔	57600
	电缆出线	22100	馈电线间隔	57700
GG—1AF—11	联 络	21200	馈电线带独立电流互感间隔	64800
GG—1AF—12	联 络	22500	联络线间隔	65700
GG—1AF—25	母线出线	25200	联络线带独立电流互感器间隔	72800
GG—1AF—41		10000	DW ₆ —35, 其余设备同联络线	
GG—1AF—49		18200	主变进线间隔	40500
GG—1AF—50		17000	分段断路器间隔	46600
GG—1AF—53		18600	馈电线间隔	46700
GG—1AF—54		19500	馈电线带独立电流互感间隔	53800
GG—1AF—58		20000	联络线间隔	54700
GG—1AF—61		20000	联络线带独立电流互感器间隔	61800
GG—1AF—67		20000	JDJJ ₂ —35 及 FZ ₃ —35 间隔	21500

(1) 电气设备的年折旧及维护检修费, 通常用各种电气设备的基建投资费和折旧维护检修率来计算, 变压器的折旧维护检修率通常取 14%, 配电装置间隔的折旧维护检修率取 10.2%, 架空线路的折旧维护检修率通常取 5%。

(2) 年电能损耗费用即变压器与线路电能损耗 (kW·h) 的价值。小水电属于计划外电量, 应参与市场调节, 随发电成本及物价变动而及时调整, 应按还本付息 7~8 年再加合理的利润确定电价, 目前可按电能损耗每千瓦小时电价 0.20~0.30 计算得到。

线路电能损耗

$$\Delta A = \Delta P_m \tau \quad (1-1)$$

式中 τ ——年最大输送功率损耗小时数, 查表 1-6;

ΔP_m ——在持续最大负荷时的功率损耗, kW。

ΔP_m 可利用功率损耗系数按下式作简便计算

$$\Delta P_m = P_m^2 / K \quad (1-2)$$

式中 P_m ——通过线路的持续最大功率, MW;

l ——线路长度；

K ——线路有功损耗系数，可由表 1-7 和表 1-8 查出。

表 1-6 最大负荷损耗小时数 (τ) 表

$T_{\max}$ (h)	功率因数					$T_{\max}$ (h)	功率因数				
	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00		0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
2000	1500	1200	1000	800	700	5500	4100	4000	3950	3750	3600
2500	1700	1500	1250	1100	950	6000	4650	4600	4500	4350	4200
3000	2000	1800	1600	1400	1250	6500	5250	5200	5100	5000	4850
3500	2350	2150	2000	1800	1600	7000	5950	5900	5800	5700	5600
4000	2750	2600	2400	2200	2000	7500	6650	6600	6550	6500	6400
4500	3150	3000	2900	2700	2500	8000	7400		7350		7250
5000	3600	3500	3400	3200	3000						

表 1-7 6kV 与 10kV 三相架空线路功率损耗系数 K [$\text{kW}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})$]

导线型号	导线电阻 (Ω/km)	$\cos\varphi$									
		0.85		0.85		0.75		0.70		0.65	
		6kV	10kV	6kV	10kV	6kV	10kV	6kV	10kV	6kV	10kV
LJ—16	1.98	76.0	27.4	86.1	31.0	98.0	35.2	112	40.4	130	46.8
LJ—25	1.28	49.2	17.7	55.6	20.0	63.3	24.5	72.3	26.1	84.2	30.3
LJ—35	0.92	35.4	12.8	40.0	14.4	45.5	16.3	52.2	18.8	60.5	21.8
LJ—50	0.64	24.6	8.85	27.8	10.0	31.6	11.4	36.3	13.1	42.1	15.2
LJ—70	0.46	17.7	6.37	20.0	7.20	22.7	8.17	26.1	9.40	30.2	10.9
LJ—95	0.34	13.1	4.71	14.8	5.31	16.8	6.04	19.3	6.95	22.4	8.05
LJ—120	0.27	10.4	3.74	11.7	4.22	13.3	4.80	15.3	5.51	17.8	6.39

表 1-8 35kV 与 110kV 三相架空线路功率损耗系数 K [$10^{-3}\text{kW}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})$]

导线型号	导线电阻 (Ω/km)	$\cos\varphi$							
		0.90	0.85		0.80		0.75		0.70
		110kV	35kV	110kV	35kV	110kV	35kV	110kV	35kV
LGJ—35	0.85		960		1080		1230		1420
LGJ—50	0.65	66.3	735	74.4	827	83.9	945	92.6	1080
LGJ—70	0.46	46.9	520	52.6	585	59.4	668	66.1	770
LGJ—95	0.33	33.7	373	37.8	421	42.6	479	48.5	550
LGJ—120	0.27	27.5	305	30.9	345	34.9	392	39.7	450
LGJ—150	0.21	21.4	237	24.0	268	27.1	305	30.9	350
LGJ—185	0.17	17.3	192	19.5	217	22.0	247	25.0	283
LGJ—240	0.132	13.5		15.1		17.0		19.1	

变压器电能损耗按每年停电检修一个月考虑，年电能损耗费是按其年电能损耗乘以每年千瓦小时电价求得。

年运行费为

$$F = (0.02 \sim 0.03) \times \Delta A + CZ \quad (1-3)$$

式中 Z ——基建投资费用, 元;

C ——折旧维护检修率;

ΔA ——年电能损耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

多台等容量变压器一年的电能损耗, 可按下式计算

$$\Delta A = n \left[\Delta P_0 t + \Delta P_k \left(\frac{S_{\text{cal}}}{S_n} \right)^2 \tau \right] \quad (1-4)$$

式中 n ——运行中变压器台数;

t ——变压器的运行小时数, h ;

ΔP_0 ——变压器额定电压下的空载损耗, kW ;

ΔP_k ——变压器额定容量下的短路损耗, kW ;

S_{cal} ——变压器高压侧的计算负荷, kVA ;

S_n ——变压器的额定容量, kVA ;

τ ——最大负荷损耗小时数, 查表 1-6。

(3) 确定最佳经济方案。在所比较的方案中, 如有一个方案不论其投资或运行费用都比其它方案小, 且能够保证必要的供电可靠性及运行的灵活性, 即可定为选取的方案。但若其中一方案投资较小, 而另一方案的年运行费用较小, 由于一次支付和每年的支出不可比较, 则采用抵偿年限确定。抵偿年限 T_b 可由下式计算

$$T_b = \frac{Z_1 - Z_2}{F_2 - F_1} \quad (1-5)$$

式中 Z_1 、 F_1 ——第一方案的投资和年运行费用;

Z_2 、 F_2 ——第二方案的投资和年运行费用。

我国当前规定标准抵偿年限 T_b 一般为 5~10 年。方案的选择要根据国民经济的方针政策、自然条件等具体条件来确定, 通常情况下, T_b 小于 5 时, 选用投资大的方案; T_b 大于 10, 选用投资小的方案; 若在 5~10 年之间, 应按工程的性质确定选取的方案。

如技术上的相当方案数目超过两个以上时, 为了便于比较, 常采用年计算支出费用最小的方案, 年计算支出费用按下式计算

$$F_{\text{cal}} = F + \frac{Z}{T_b} \quad (1-6)$$

将各方案的 F_{cal} 算出来后, 取其中 F_{cal} 值最小的一个方案。

当各方案在投资或计算费用相反时, 应考虑下列几个条件作为推荐条件:

- 1) 便于分期过渡, 分期投资, 尽量使国家资金能得到最合理的充分利用;
- 2) 技术条件好, 运行管理方便;
- 3) 建设工期明显缩短;
- 4) 便于适应远景发展的要求;
- 5) 有色金属消耗量省;
- 6) 便于就地取材。

主接线技术经济比较可采用列表的方法进行, 见表 1-9。

3. 水电站电气主接线设计例题

表 1-9

电气主接线技术经济比较一览表

项 目 \ 方 案		1	1
接 线 图			
技术比较	可靠性		
	灵活性		
	其 它		
经济比较	总基建投资 Z (元)		
	年运行费用 F (元)		
	抵偿年限或计算费用 T_b 或 F_{cal}		
结 论			

某座小型水电站根据水能利用条件拟装机 $2 \times 1000\text{kW}$, 发电机额定电压为 6.3kV , 中水年每年两台机满载运行 90 天, 一台机满载运行 140 天, 其余 130 天枯水不发电。

电站出线有两回, 一是将电能输送到离本站 2km 的变电所 (该所有 10 、 35kV 两种电压等级) 接入系统; 二是输电给离本站 4km 的农机厂, 该厂二班制, 日最大负荷 500kW , 下半夜不生产仅极少量照明用电。试确定电气主接线方案。

解: (1) 输电电压等级的确定。

先假设采用 10kV 电压等级输电给电网。忽略厂用电和农机厂下半夜极少量的照明用电, 电站送出的最大功率为

$$P_{\max} = 2 \times 1000 = 2000 \text{ (kW)}$$

最大长期工作电流为

$$I_{\max} = \frac{2000}{(\sqrt{3} \times 10 \times 0.8)} = 144 \text{ (A)}$$

根据计算本站年最大负荷利用小时数为

$$T_{\max} = 24(90 + 0.5 \times 140) = 3840 \text{ (h)}$$

查得经济电流密度 $J = 1.15 \text{ A/mm}^2$, 则得导线的经济截面为

$$S_i = 144 / 1.15 = 125 \text{ mm}^2$$

选用接近的标准截面 LGJ-120 可满足机械强度要求和长期发热要求, 并查《水电站机电设计手册》得

$$D_{av} \approx 1.25 \text{ m}, \quad R_0 = 0.27 \Omega, \quad X_0 = 0.35 \Omega$$

则计算电压损失为

$$\begin{aligned}\Delta U \% &= (PR_0 + QX_0)L \times 100 \% / (1000U_n^2) \\ &= (2000 \times 0.27 + 1600 \times 0.335) \times 2 \times 100 \% / (1000 \times 10^2) \\ &= 2.152 \% < 5 \%\end{aligned}$$

由上式计算可见，本电站可以不用 35kV 电压等级输电。

(2) 主接线方案的技术经济比较。

1) 方案拟定：如图 1-1 所示。

2) 技术比较：略。

3) 初估短路电流和初选主要的电气设备：略。

4) 方案技术经济比较见表 1-10。

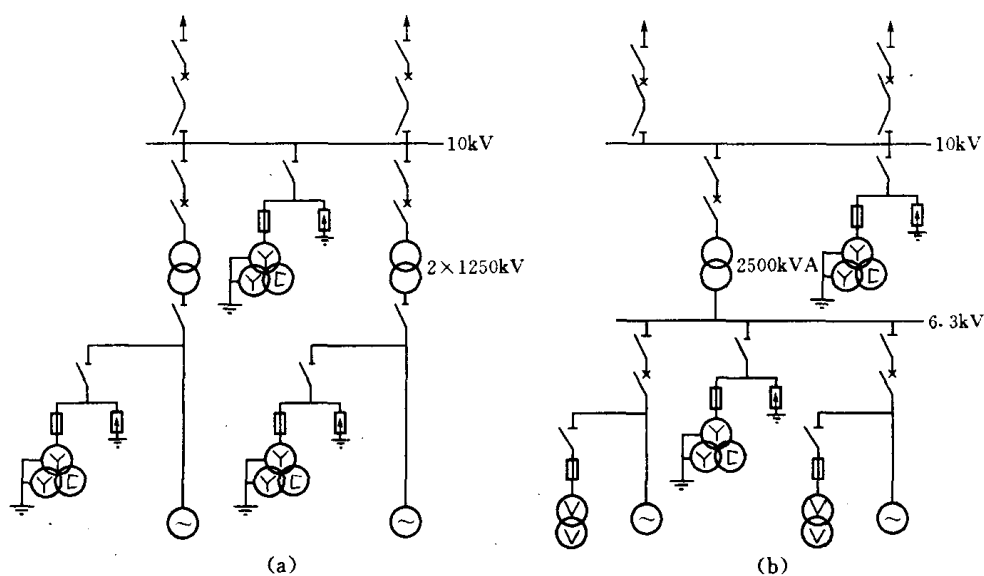


图 1-1 方案比较接线图

(a) 主接线方案 I；(b) 主接线方案 II

表 1-10

方案技术经济比较 (万元)

方 案 I	方 案 II
(一) 电气设备基建投资费	
1) 主变 (参考 35kV 等级综合指标) 1250kVA 两台; $11.576 \times 2 = 23.15$ 2) 配电装置: GG-1AF-04 两块: $2.43 \times 2 = 4.86$ GG-1AF-07 一块: $2.42 \times 1 = 2.42$ GG-1AF-03 一块: $2.35 \times 1 = 2.35$ GG-1AF-54 三块: $1.95 \times 3 = 5.85$ GG-1AF-04 非两块: $1.0 \times 2 = 2.00$ 计: 17.47 3) 总投资 $Z_1 = 23.15 + 17.47 = 40.62$	1) 主变 (参考 35kV 等级综合指标) 2500kVA 两台; $11.576 \times 2 = 23.15$ 2) 配电装置: GG-1AF-04 三块: $2.43 \times 3 = 7.29$ GG-1AF-07 一块: $2.42 \times 1 = 2.42$ GG-1AF-03 一块: $2.35 \times 1 = 2.35$ GG-1AF-54 两块: $1.95 \times 2 = 3.90$ GG-1AF-04 非两块: $1.0 \times 2 = 2.00$ 计: 17.95 3) 总投资 $Z_2 = 23.15 + 17.95 = 41.10$