

# 构皮滩水电站机电设计

王建华, 赵鑫, 刘惠来

(长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 构皮滩水电站装设5台600 MW超大型水轮发电机组, 机电设计时在机组、电气设备选择上存在许多特点及难点。本文介绍机电设计时如何根据该电站参数特点, 在进行综合分析的基础上确定合理的机组参数; 根据该电站接入系统方式及在电力系统中的作用、装机规模、机组台数, 在分析比较后确定其电气主接线方案, 选择相关的电气设备, 选定控制、保护系统方案及设备。

**关键词:** 电气工程; 水轮发电机组; 电气主接线; 电气设备; 构皮滩水电站

**中图分类号:** TV734      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1007-0133(2006)05-0055-05

## 0 概述

构皮滩水电站是贵州乌江干流开发中的关键性工程, 其主要任务是发电, 并兼顾航运、防洪及其他。本电站装设5台600 MW水轮发电机组, 多年平均发电量为96.67亿kW·h, 是“西电东送”南部通道中承东启西、承南启北的骨干支撑电源点, 主要向广东供电, 同时满足贵州本省用电要求。电站水轮发电机组的最大运行水头为200 m, 加权平均水头为186.15 m, 额定水头为175.5 m, 最小水头为144.0 m。电站接入系统方式为: 以500 kV一级电压接入系统, 出3回500 kV线路, 其中2回接入拟建的施秉变电站、1回为备用。考虑到构皮滩水电站在电力系统中的地位和作用, 为确保电站的安全稳定运行, 应选择具有高可靠性的电气主接线方案, 为此: 发电机变压器的组合采用一机一变单元接线方式, 发电机出口装设断路器; 高压侧接线采用3/2接线。按初期少人值班、远期无人值班(少人值守)的原则, 采用全计算机监控系统。

## 1 水轮发电机组

### 1.1 水轮机水力参数分析

#### 1.1.1 水轮机工作特点

(1) 鉴于构皮滩水电站在电力系统中作用大、机组开停机次数多及增减负荷频繁, 要求机组能够在尽可能大的负荷范围内安全、稳定运行, 以最大限度地满足电网的调度要求。

(2) 根据径流系列操作、统计, 构皮滩水电站的运行水头在额定水头175.5 m以上的出现几率约为91%, 在加权平均水头186.15 m及以上的出现几率约为67%, 即机组绝大部分时间将在水轮机额定水头以上运行。

#### 1.1.2 水轮机比转速和比速系数

水轮机比转速 $n_s$ 和比速系数 $K$ 是水轮机的重要特征参数之一, 它表征水轮机的综合经济水平。选用较高比转速的水轮机将带来较大的经济效益, 但是, 比转速的提高往往受到水轮机的水力稳定性、空化、磨蚀以及刚强度等性能的制约, 因而需根据电站的具体情况对比转速 $n_s$ 和比速系数 $K$ 进行综合比较分析, 择优选取。

为合理确定构皮滩水电站水轮机的比转速, 在对国内外同水头段的大型混流式水轮机的比转速及比速系数进行统计分析的同时, 还利用国内外制造厂推荐的混流式水轮机的比转速与水头关系统计式或经验公式结合构皮滩水电站的具体情况进行了分析计算。

目前, 国内外已投产的、额定水头在150~200 m之间的混流式水轮机的比转速在131~180.4 m·kW之间, 比速系数在1 734~2 317之间。从实际使用情况看, 大部分电站的比转速在140~160 r/min之间, 比速系数在1 900~2 050之间, 均为统计计算值下限, 可以说, 对于高水头、大容量水轮发电机组而言, 选择的水轮机参数水平均较统计计算值要低。

构皮滩水电站水轮机容量大、使用水头高、尺寸大, 水轮机参数水平选择时应把水轮机的长期稳定运行放在首位, 比转速和比速系数的选择应稳妥。经综合比转速和比速系数统计资料, 构皮滩水电站水轮机的额定点比转速宜在150~167 m·kW之间选取, 相应比速系数在2 000~2 200之间。

收稿日期: 2006-04-24

作者简介: 王建华(1963-), 男, 山东省济宁市人, 高级工程师(教授级), 从事水利水电工程机电设计工作。

### 1.1.3 单位转速、单位流量和效率

除选择合理的水轮机比转速外,还应合理匹配水轮机单位转速和单位流量,以保证水轮机的高效、安全、稳定运行。国内外大型机组生产厂家在总结了国内外众多混流式水轮机性能参数的基础上,提出了单位转速和单位流量之间合理匹配的统计分析式。综合各厂统计分析式分析结果,水轮机额定点比转速为  $167 \text{ m}\cdot\text{kW}$  时的最优单位转速约为  $66 \text{ r/min}$ 、单位流量约为  $0.66 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 水轮机额定点比转速为  $153 \text{ m}\cdot\text{kW}$  时的最优单位转速约为  $64 \text{ r/min}$ 、单位流量约为  $0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

水轮机的效率是评价水轮机能量特性的重要指标,直接影响电站的发电效益。国内最新开发的、适合本电站的模型水轮机最优效率在 94% 以上。随着三峡工程水轮机设计技术的引进,以及国内水电合资厂家与外方的技术共享,国内厂家生产的水轮机效率已达到或接近国外先进水平。因此,构皮滩水电站水轮机模型最高效率应在 94% 以上。

### 1.1.4 空蚀性能

水轮机空蚀性能的好坏直接影响机组运行的安全可靠性和电站的经济性,一般用空化系数来表征水轮机的空化性能。采用不同经验公式计算的本电站水轮机模型的空化系数  $\sigma_m$  和装置空化系数  $\sigma_y$  的偏差不是很大。由于本电站机组在系统中承担调峰、调频任务,水轮机运行范围宽,为保证机组的安全、稳定运行,水轮机应有较小的模型空化系数和较大的装置空化系数,以保证有足够的安全裕度。对于比转速  $167 \text{ m}\cdot\text{kW}$  方案,模型空化系数不宜高于 0.078,装置空化系数不宜低于 0.115; 对于比转速  $153 \text{ m}\cdot\text{kW}$  方案,模型空化系数不宜高于 0.068,装置空化系数不宜低于 0.10。

### 1.1.5 水力稳定性

由于混流式水轮机的叶片不能调节,水轮机只有在最优工况的较小范围内有一个无涡区,在该范围内没有涡带且压力脉动较小,偏离该工况,水轮机将存在稳定性问题及空化破坏的潜在危险。国内外大型水电站包括单机容量与构皮滩水电站接近的依泰普、大古力、古里、隔河岩、二滩水电站等大型机组的实际运行均不同程度存在不稳定运行的情况,如与构皮滩水电站运行条件相近的二滩水电站自首台机组发电以来,大部分机组的转轮产生了叶片裂纹,并存在一个典型的不稳定运行区。

大型混流式水轮机的水力稳定性主要受下述因素的影响:

(1) 尾水管涡带: 出现在无涡区以左的部分负荷是混流式水轮机在部分负荷工况下必然出现的一种现象,也是影响机组振动及稳定性的重要因素之一。国内外机组运行的经验表明,随机组尺寸加大

尾水管涡带对机组稳定性的影响也趋于增大。

(2) 叶道涡流: 叶道涡流是机组振动发生的激振源,当叶道涡流发展到一定程度时将在叶片负压面造成空化,使压力脉动急剧增加,并引发高频振动或与机组产生共振。

(3) 转轮进水边空化: 混流式水轮机在高水头或低水头工况运行时,由于水流冲角过大,易在转轮叶片进口的负压面或正压面产生空化。叶片进口的空化危害性较大,除对转轮叶片产生破坏外,对机组的稳定性也有很大影响。

水轮机水力稳定性指标,国际上尚没有统一的标准可循,从目前掌握的资料看,不同水电站的水轮机对尾水管压力脉动值的敏感程度不同。多大的压力脉动值才会对机组的安全运行构成威胁,目前还没有一致的看法,但有一点认识是共同的,即尾水管压力脉动值的大小与机组的安全运行直接相关,尤其是对大型水轮机。

综合考虑后认为,构皮滩水电站水轮机尾水管压力脉动的最大相对幅值不应大于 6%,相应压力脉动的绝对幅值应不超过 12 m; 在水轮机正常运行区间内,不应有明显的叶道涡区,不应发生转轮叶片进水边空化。

## 1.2 原型水轮机主要参数选择

### 1.2.1 额定转速

按上述确定的水轮机参数水平,不同额定转速方案的水轮机主要参数见表 1。

表 1 构皮滩水电站不同额定转速方案水轮机主要参数

水轮机主要参数	额定转速 $n_r / (\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	
	136.4	125
额定点比转速 $n_s / (\text{m}\cdot\text{kW})$	167	153.1
比速系数 $K$	2 212	2 028
转轮直径 $D_1 / \text{m}$	6.6	7.1
额定功率 $N_r / \text{MW}$	612	612
额定流量 $Q_r / (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	385.5	384.7
额定点效率 $\eta_r / \%$	92.4	92.6
额定点单位转速 $n_{1r}' / (\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	67.95	66.99
额定点单位流量 $Q_{1r}' / (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	0.668	0.576
最高效率 $\eta_{\max} / \%$	$\geq 95.5$	$\geq 95.6$

当机组单机容量增大、转速提高时,发电机单位体积的损耗要增加,此时若采用传统的空气冷却方式不能满足发电机散热的要求,而需采用冷却效能高的冷却方式(即内冷方式),以提高水轮发电机的极限容量。发电机槽电流的大小是被用来作为判别发电机冷却方式的一个重要参数,一般来说,空冷大容量发电机的槽电流应不超过 6 500 A,内冷发电机的槽电流则在 9 000 A 左右较合适。

对于 136.4 r/min 转速方案,水轮机参数水平较先进合理,但发电机的设计却不很合理:若采用全

空冷方式, 定子绕组只能采用  $11 \times 4$  的支路组合方式, 但采用这种接线方式, 由于槽电流太低(仅 3 888 A), 并受发电机电负荷和转子飞逸线速度的限制, 定子内径受限制且槽数很多, 发电机不仅在电磁设计上存在缺陷, 还会导致其高度和重量大大增加, 显然是很不经济的; 若采用定子绕组内冷、定子铁心和转子绕组空冷的冷却方式, 虽发电机的电磁设计较合理, 但内冷系统运行要求高、设备多, 会降低机组运行的可靠性, 加之地下厂房的布置有困难、内冷技术在我国尚不成熟, 故不宜选用。

对于 125 r/min 转速方案, 通过采用合适的接线方式, 可以将槽电流控制在 6 500 A 以下, 发电机可以采用全空冷方式, 水轮机参数水平也相对较为稳妥, 仍属较先进水平, 且发电机可采用全空冷方式, 运行管理更为方便, 发电机的通风设计和电磁设计易于协调合理。因此, 构皮滩水电站机组的额定转速确定为 125 r/min。

### 1.2.2 转轮直径

按选定的水轮机额定转速及相应的单位参数水平计算, 构皮滩水电站水轮机转轮的进口直径  $D_1$  选定为 7.0 m。

### 1.2.3 安装高程

按选定的水轮机额定转速及模型水轮机空化特性计算, 并考虑下游河床冲刷值, 水轮机安装高程应不高于 423.84 m, 再考虑水电站水力过渡过程的要求, 最终确定构皮滩水电站装机高程为 416.8 m。

## 1.3 机组最终主要参数

通过以上水轮机水力参数分析, 构皮滩水电站机组的主要参数最终设计为: 机组额定转速 125 r/min、最大飞逸转速 245 r/min, 水轮机额定功率 609 MW、转轮直径 7.0 m、额定流量  $381.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、额定效率 92.85%、最高效率 96.11%、加权平均效率 94.539%、装机高程 416.8 m、导叶高度 1.26 m、导叶分布圆直径 8.437 m; 发电机为三相立轴半伞式交流同步发电机, 定子绕组连接为 Y 形连接, 中性点通过二次侧带负载电阻的接地变压器接地, 发电机额定容量 666.7 MVA、额定电压 18 kV、额定功率因数(滞后)0.9、额定频率 50 Hz。

## 2 电站接入系统方式及电气主接线

### 2.1 电站接入系统方式

根据电力系统规划设计部门对构皮滩水电站接入系统方案的审查意见, 构皮滩水电站接入系统方式最终确定为: 以 500 kV 一级电压接入系统, 出 3 回 500 kV 线路, 其中 2 回接入拟建的施秉变电站(500 kV 交、直流换流站)、1 回备用。

### 2.2 电气主接线

考虑到构皮滩水电站在电力系统中的地位和作

用, 为确保水电站的安全稳定运行, 应选择具有高可靠性的电气主接线方案。

#### 2.2.1 发电机和变压器的组合方式

发电机和变压器的组合考虑了单元接线方式、联合单元接线方式、扩大单元接线方式几种, 但由于受对外交通运输重量的限制, 最终只能采用单元接线或联合单元接线方式。

对于联合单元接线, 结合高压侧的接线方式从经济上看由于只有 3 回进 500 kV 串, 可减少 500 kV 高压配电装置的开关数量, 设备的投资将减少(若 500 kV 高压配电装置采用 GIS, 联合单元接线方式可节省设备投资约 4 200 万元左右)。但从可靠性计算结果知, 联合单元接线停 1 台机组的频率较低, 停 2 台机组的频率是单元接线的 45.8 倍, 在考虑双重故障的严重工况下也有停 3 台和 4 台机组的可能性, 将对电力系统的稳定性造成较大的影响。

对于单元接线, 虽然停 1 台机组的频率较高, 为联合单元接线的 2.76 倍, 但只有在考虑双重故障的严重工况下才可能停 2 台机组且频率很低。虽然由于有 5 个 500 kV 回路进线串其设备的投资稍高, 但从电网安全角度考虑, 构皮滩水电站发电机和变压器的组合方式最终采用了同时停 2 台机组频率很低的单元接线方式。

本电站参与电网的调峰、调频, 机组起停频繁, 需考虑在各机组单元回路装设单元断路器。综合比较后最终确定在发电机-变压器单元回路装设发电机断路器。

#### 2.2.2 500 kV 侧电气主接线

对 500 kV 侧电气主接线比选了以下 4 个方案:

(1) 3/2 接线: 3/2 接线在中国、美国、加拿大等多个国家得到广泛应用。

(2) 2 串进线 3/2、1 串进线双断路器、出线双断路器: 国内外的研究表明, 出线采用双断路器、进线采用双开关或 3/2 接线是可靠性高的一种接线方式之一。

(3) 4/3 接线: 4/3 接线在国内外均有成功的应用经验, 属于较成熟的接线方式之一。

(4) 双母线: 双母线接线在国内外也有成功的应用经验, 且目前 500 kV 接线也开始流行简单、可靠的接线原则, 同时经济上具有优势。

以上 4 个方案的可靠性指标都较好, 其停电损失相对差别较小。其中: 方案(4)的停电损失较其他方案多, 且存在母联故障造成全厂停电的可能, 其停 5 台机或 3 回线路的故障率最高(如果在水电站满发的情况下出现这种情况对电力系统的稳定会产生较大的影响), 同时该方案母线上任一元件故障将使该段母线的的所有元件切除, 因而停 2 台机、1 回线路或 2 回线路和 3 台机的几率也较大, 从可

靠性指标分析也是这样,因此该方案与其他 3 个方案相比有较明显的弱势,故不推荐该方案;方案(2)的可靠性指标与方案(1)和方案(3)差异不大,但停 3 台机的几率较高,停 5 台机的几率也较方案(1)和方案(3)高,同样也存在全厂停机的可能,且停 2 回以上线路的几率较方案(1)和方案(3)高,故此方案不推荐;方案(3)的可靠性指标相对最好,但该方案的缺陷是仅有 3 个串,一旦串上的元件故障或检修将形成单环接线,对水电站的安全稳定运行有一定的影响,如果串数较多可以考虑采用 4/3 接线,另外该方案的继电保护相对较复杂些;方案(1)各项可靠性指标均较好,且接线清晰,特别是对电力系统稳定影响较大的停 3 台机或 2 回线路的频率很低,3/2 接线的运行经验也非常成熟,符合电力系统对主接线的要求。

综合比较后,构皮滩水电站发电机变压器的组合采用一机一变的单元接线方式,发电机出口装设断路器,高压侧接线采用 3/2 接线。

### 3 主要电气设备

#### 3.1 主变压器

根据本电站的地理位置和交通情况,主变压器的选型主要受运输条件的限制。结合目前的设备布置场地规划,本电站可选择单相变压器组、三相组合式变压器或现场组装式三相变压器 3 种形式。

经从变压器运输、设备投资、布置占地面积等方面综合比较后,为保证变压器的整体质量、安装工期和运行安全可靠,决定不采用现场组装式三相变压器;就单相变压器组和三相组合式变压器 2 种形式而言,从防火性能、设备的可靠性和实用性等方面综合比较,最终推荐采用单相变压器组。

单相变压器主要参数为:额定容量 223 MVA,高压侧额定电压  $550/\sqrt{3} - 2 \times 2.5\% \text{ kV}$ ,低压侧额定电压 18 kV,联接组别为 I/10,三相变压器组为  $Y_N d_{11}$ ,中性点接地方式为直接接地。

#### 3.2 500 kV 配电装置及高压引出线

由于受地下洞室结构稳定性的影响,开关站布置在地下将增大主变洞室结构尺寸,对地下厂房洞群结构稳定性不利,因此开关站只能布置在地面。

就配电装置的选型而言,由于国内制造厂多年来的技术引进消化,GIS 设备国产化程度提高,其价格有大幅下降的趋势;而且 GIS 技术特性远优于 CS 设备,具有运行可靠性和安全性高、运行维护和检修工作量小、布置安装方便、占地面积小、开关站土建工程量小、施工难度低等优点,因此构皮滩水电站经比选后最终采用 GIS 设备。GIS 采用一倍半接线,共 12 台断路器。

本电站对 500 kVXLPE 电缆和气体绝缘金属封闭线路(GIL)这 2 种 500 kV 高压引出设备进行了比选,从设备价格、设备布置等方面综合比较后,最终确定采用 500 kVXLPE 电缆。

### 4 计算机监控系统

#### 4.1 主要监控对象及外接系统

构皮滩水电站计算机监控系统监控范围包括水轮发电机组及辅助设备、公用设备、开关站设备、大坝泄洪闸门等。

基于本电站枢纽的主要任务是发电,电站计算机监控系统的主控级兼作整个枢纽自动化的信息管理中心,大坝安全监测系统、水情测报及水库调度系统、火灾报警与联动控制系统、图像监控与安全保卫系统等均作为它的子系统。本电站计算机监控系统的主控级设有与各子系统的通信接口,以实现与这些系统之间的信息交换。计算机监控系统设有与乌江梯级调度计算机监控系统的通信接口,接受梯级调度指令,实现“四遥”功能,可根据省电力调度的要求将相关信息送至省调,也可接受省调下达的各种控制调节和调度命令。

#### 4.2 监控系统结构及配置

构皮滩水电站计算机监控系统采用分层分布式结构,整个系统分厂站级和现地控制单元级 2 层。

厂站级设备主要包括 2 台数据服务器及外围设备、4 台操作员工作站、1 台工程师工作站、1 台培训工作站、1 台网关工作站、1 台通讯工作站、1 台外设服务器、4 台打印机、1 套 GPS 时钟装置、1 套模拟屏控制器及模拟屏、1 套信息网网络设备、2 套控制网网络设备、1 台便携式工作站及控制台、椅等设备。

现地控制级设备包括机组现地控制单元 LCU1 至 LCU5、公用现地控制单元 LCU6、开关站现地控制单元 LCU7 及泄洪闸集控现地控制单元 LCU8。每套 LCU 配置双电源模块、双 CPU 模块、双网络接口模块。现地控制单元采用现场总线连接远程 I/O 及现地智能监测设备。现场总线采用开放、通用的协议,传输介质采用光纤。系统各功能分布在系统的不同节点上,每个节点严格执行指定的任务并通过系统网络与其他节点进行通信。

监控系统采用 2 层网络结构,分为控制网层和信息网层。控制网主要用于系统内各节点设备之间的连接和信息交换,采用冗余交换式快速以太网,传输介质采用光纤,网络传输速率不低于 100 Mbps。信息网主要用于厂站层计算机间的信息交换及打印输出,采用基于 TCP/IP 协议的交换式快速以太网,网络传输速率不低于 100 Mbps,传输介质采用光纤及双绞线。

### 4.3 监控系统功能设计

构皮滩水电站计算机监控系统的主要功能包括:

(1) 数据采集和处理功能: 包括对电站设备运行数据的自动采集, 接收水情测报及水库调度、大坝安全监测、泄水闸集控、火灾报警与联动控制及电站图像监控系统的有关数据信息; 对所采集的数据进行分析、处理、计算, 形成电站及枢纽监控与管理所需的数据; 对一些重要数据作为历史数据予以整理、记录、归档。

(2) 控制和调整功能: 包括机组的开停机操作、同期操作、机组辅助设备的操作; 机组有功、无功调整; 全厂公用设备的选择操作和自动操作; 断路器及隔离开关的合闸和跳闸操作; 自动发电控制、自动电压控制、电力系统稳定监视与控制; 泄水闸的控制、包括成组控制和选孔控制等。

(3) 监视功能和人机接口功能: 包括由计算机系统对电站设备进行自动监视和由运行值班人员通过计算机人机接口对电站设备进行监视。

(4) 其他功能: 包括运行管理与指导功能、时钟同步功能、系统通信功能、培训仿真和软件开发功能、系统自诊断及远程诊断与维护等。

## 5 继电保护及故障录波

### 5.1 继电保护的设计原则

继电保护设备必须满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求, 并具有良好的工艺结构, 便于调试和运行维护及检修更换, 具体配置如下:

(1) 发变组保护、500 kV 系统保护及 T 区保护均采用 2 套完全冗余的微机保护系统, 每套保护中的主保护尽量采用不同原理实现。

(2) 冗余的 2 套保护的电流回路接于电流互感器不同的 2 组副绕组上, 电压回路接于不同的 2 组电压互感器上或同一电压互感器不同的二次绕组上; 冗余的 2 套保护的出口跳闸接点分别接至断路器的 2 个跳闸线圈。

(3) 每套保护采用相互独立的双直流电源供电, 只要一路直流电源正常即能保证保护装置的正常运行; 当 2 路电源均消失时, 应确保保护装置不误动。

(4) 保护装置内部应有完整的自检功能(包括硬件自检以及软件自检)。当自检发现装置异常时, 应闭锁保护的跳闸回路, 并发报警信号。

(5) 采取可靠的抗干扰措施, 防止大气过电压和电磁波侵入装置内部造成元件损坏和保护误动, 确保在电厂强电磁干扰下保护不发生误动。

(6) 500 kV 设备保护所使用的电流互感器和电压互感器应满足暂态特性的误差要求, 以保证保护

的正确动作;

(7) 保护装置应具有友好的人机接口界面, 整定简单、调试方便、便于维护;

(8) 各保护配置的保护区域应有重叠, 以消除保护死区。

### 5.2 发变组保护的配置

发电机-变压器组保护按双套保护系统分别组屏的原则分别装于 2 块保护盘, 每块盘配置完整的主后备保护, 2 块盘保护功能完全独立。发变组保护的配置初步确定如下:

(1) 发电机保护配置有纵差保护、横差保护、负序功率方向保护、裂相保护、定子一点接地保护、定子过电压保护、定子过负荷保护、发电机后备保护、负序电流保护、失磁保护、发变组过激磁保护、失步保护、励磁绕组一点接地保护、励磁绕组过负荷保护、轴电流保护、PT 断线闭锁装置及 CT 断线闭锁装置。

(2) 主变压器保护配置有纵差保护、零序保护及非电量保护。

(3) 厂用变压器及励磁变压器保护配置有变压器差动保护、过电流保护、过负荷保护及非电量保护。

另外, 在条件许可时, 发变组保护系统应具有监测定子绕组绝缘均匀下降、机组振动及气隙监测、定子铁芯局部过热、发电机及变压器局部放电检测等非电量监测的功能。

### 5.3 500 kV 系统保护

500 kV 系统保护包括 500 kV 母线保护、T 区保护、500 kV 断路器保护、500 kV 线路保护及并联电抗器保护。

每组 500 kV 母线配置 2 套微机型母线差动保护; 每套母线保护设置 1 块单独的保护盘并采用不同原理实现。母线保护跳闸回路设置有复合电压闭锁电路以防止保护误动。

500 kV 断路器保护包括断路器失灵保护和三相不一致保护; 500 kV 断路器设置断路器保护盘。

### 5.4 故障录波的配置

(1) 为记录电力系统发生故障或振荡的准确时间和电气量的波形, 设置 500 kV 系统故障录波装置。

(2) 考虑到构皮滩水电站发电机、变压器容量大, 发生故障后影响大, 为记录发电机、变压器故障的准确时间、电量或非电量的波形, 单独装设发电机、变压器故障录波装置。

(3) 500 kV 系统故障录波装置及发变组故障录波装置均具有与电站综合自动化系统的数据通讯接口及与上级调度部门的远传通讯接口。