

±800 kV 新松换流站换流阀外冷却系统选型与设计

邓晓, 何勇, 余波

(西南电力设计院有限公司, 四川成都 610021)

摘要: 换流阀外冷却系统的冷却方式主要有水冷却和空气冷却两种。依托 ±800 kV 新松换流站工程设计, 对水冷却、空气冷却两种外冷却方式进行了技术经济分析、比较。结果表明, 空气冷却方式无需水源、亦无排污, 是一种节水、环保的冷却方式, 并且运行维护相对简单; 结合站用水源条件, 空气冷却方式的使用期内等额年费用亦较低。推荐新松换流站阀外冷却系统采用空气冷却方式。

关键词: 换流阀; 外冷却系统; 水冷却; 空气冷却

中图分类号: TM621.8 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)05-0043-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.05.009

Type Selection and Design for Outside Cooling System of Converter Valve in ±800 kV Xinsong Converter Station

Deng Xiao, He Yong, Yu Bo

(South West Electric Power Design Institute Co. Ltd., Chengdu 610021, Sichuan, China)

Abstract: Water cooling and air cooling are two major methods for outside cooling system of converter valve. Based on the project design of ±800 kV Xinsong converter station, the technical and economic analysis and comparison between water cooling and air cooling are carried out. The results shows that, air cooling method is a water-saving and environmentally friendly method without water and pollution, and its operation and maintenance are relatively simple. Moreover, combined with the condition of station water supply, the equal annual cost in the period of using air cooling method is lower. So air cooling method is recommended for outside cooling system of converter valve in ±800 kV Xinsong converter station.

Key words: converter valve; outside cooling system; water cooling; air cooling

0 引言

滇西北至广东 ±800 kV 特高压直流输电工程是贯彻落实国家大气污染防治行动计划的重点输电工程, 工程建成投产后将滇西北水电送至珠三角地区, 每年至少可减少珠三角地区煤炭消耗 5.2×10^6 t, 减少二氧化碳排放量 1.9×10^7 t, 减少二氧化硫排放量 9400 t, 节能减排效益明显。该工程直流输送容量为 5000 MW, 额定电压为 ±800 kV, 额定电流为 3125 A; 西起云南省大理州 ±800 kV 新松换流站, 东至广东省深圳市 ±800 kV 东方换流站, 输电线路总长大约 1900 km。

换流站是直流输电系统中完成交、直流电能转换的站点, 而换流阀是换流站内实现交、直流电能转换的核心设备。换流阀内的晶闸管元件在运行过程中因功率损耗所转换的热量会导致晶闸管元件温度

上升, 温升一旦超过晶闸管的最高结温, 晶闸管就会损坏, 因此换流阀需要使用冷却介质循环吸热排放到阀厅外, 确保晶闸管结温保持在正常允许的范围之内^[1-4]。因此, 换流阀冷却系统是确保换流阀安全可靠运行的重要保障。

±800 kV 新松换流站位于云南省大理白族自治州剑川县羊岑乡, 站址海拔高度 2328 m。站址附近无可靠河流水源, 在 20 km 范围内有大干场水库、玉华水库、剑湖 3 个主要水库(湖泊), 其富裕水量均能满足换流站用水要求; 站址地区四季温差小, 夏无酷暑, 冬无严寒, 多年极端最高气温仅 32.7 ℃。因此, 换流阀外冷却系统具有采用水冷却的水源条件, 同时也具有采用空气冷却的气象条件。下面依托 ±800 kV 新松换流站工程设计, 对水冷却、空气冷却两种外冷却方式进行了技术经济比较, 完成了换流阀外冷却系统的选型与设计, 最终在南方电网

域内 ±800 kV 换流站的换流阀外冷却系统设计中首次采用了空气冷却方式。

1 设计条件

1.1 水源条件

站址附近无可靠河流水源,在 20 km 范围内有大干场水库、玉华水库、剑湖 3 个主要的水库(湖泊) 根据换流站用水量计算分析,3 个水库(湖泊)的富裕水量均能满足换流站的用水要求。

表 1 站址水源

水源名称	水源概况
大干场水库	水质较好,水库水位高于站址约 210 m,采用自流供水,供水管道长度 17 km。
玉华水库	水质较好,水库水位高于站址约 100 m,采用取水泵船提升取水,供水管道长度 26 km。
剑湖	水质较差,水库水位低于站址约 140 m,采用取水泵船提升取水,供水管道长度 21 km。

1.2 环境条件

站址地区属低纬高原山地季风气候,受太阳辐射、大气环流、地理地貌等因素的相互作用,其主要气候特征是:四季温差小,垂直差异明显,雨热同季,干湿季分明,具典型的立体气候特征。夏秋两季受西南暖湿气流、海洋季风和西南季风控制,雨量充足,6 月至 9 月降雨量占全年降雨量的 80% 以上;冬春两季受南支西风气流、大陆季风控制,晴天多,日照充足,空气干燥,雨量特少。站址主要环境条件见表 2。

表 2 站址主要环境条件

项目	数值
多年平均气压/hPa	769.2
多年最高气压/hPa	782.4
多年最低气压/hPa	757.9
多年平均气温/℃	11.7
年平均最高气温/℃	19.9
年平均最低气温/℃	5.9
多年极端最高气温/℃	32.7(1977-06-18)
多年极端最低气温/℃	-11.5(1983-01-06)
最大日温差/℃	28.2
多年平均相对湿度/%	70
多年平均风速/(m·s ⁻¹)	3.1
平均最大风速/(m·s ⁻¹) (10 m 高、10 min、100 年一遇)	23.7
经常性风向	SSW
海拔高度/m	2328
地震基本烈度/度	VIII

2 换流阀冷却系统方案设计

2.1 冷却系统概述

晶闸管换流阀是换流站的核心设备之一,在换流站中承担交-直流转换功能,其内部的晶闸管元件在运行过程中将产生大量的热。大部分热需要由冷却介质通过热交换带走,才能使晶闸管元件的运行温度不高于 80℃,以保证元件的正常使用并防止其老化。因此在影响换流阀运行可靠性的多种因素中,散热是至关重要的一个。所以选择适当的冷却方式,并进行合理的设计,是使晶闸管阀的潜力得到充分发挥、提高系统可靠性不可缺少的重要环节之一。冷却介质的选择应考虑电绝缘性、化学稳定性、对材料的腐蚀性、对环境的影响和易燃性及应用的普及程度。可用的冷却介质有水、油、空气和氟利昂等,由于水在比热容、换热系数和对环境的影响等方面具有优势,综合考虑节约用水及保证冷却水的纯度,目前换流阀内冷却系统均采用闭式循环冷却水系统,冷却介质为去离子纯净水或蒸馏水。

与换流阀晶闸管元件进行了热交换而升温的阀冷却水,须经过二次冷却(外冷却)降低水温后再进入换流阀进行热交换,如此周而复始地循环。故换流阀冷却系统主要由两个循环系统组成,即阀内冷却系统和外冷却系统。

换流阀内冷却系统为闭式循环水系统,主要是为晶闸管阀提供冷却水,吸收工作中换流阀所散发出的热量,以维持换流阀的正常工作温度。外冷却系统为开式循环系统,是通过室外换热设备将换流阀内冷却水中的热量排入大气从而降低内冷却水的水温。

新松换流站直流输送容量为 5000 MW,直流额定电压为 ±800 kV,直流电流为 3125 A。±800 kV 直流场采用典型直流双极接线,换流区采用每极 2 组 12 脉动阀组串联接线。全站设极 1 高端阀厅、极 1 低端阀厅、极 2 高端阀厅、极 2 低端阀厅,相应设置 4 套换流阀组。每套换流阀组设置一套独立的阀冷却系统,4 套系统配置完全一致。换流阀采用 5 in 阀片,换流阀冷却系统主要技术参数如表 3 所示。

表3 换流阀冷却系统主要技术参数

序号	项目	数量
1	阀最大损耗/kW	3816
2	阀冷系统额定冷却容量/kW	6000
3	内冷却水额定流量/(m ³ ·h ⁻¹)	272
4	换流阀进水温度额定值/°C	44.4
5	换流阀进水温度报警值/°C	46.4
6	换流阀进水温度跳闸值/°C	49.4
7	换流阀最高出水温度/°C	64
8	内冷却水电导率允许值/(μs·cm ⁻¹)	<0.3
9	阀入口处最大压力/MPa	0.8
10	阀体额定流量时压降/MPa	0.32
11	内冷却水含氧量/(μg·L ⁻¹)	<200

2.2 外冷却系统方案设计

换流阀外冷却系统需对阀组提供足够的冷却容量,以保证阀组安全可靠运行。换流阀外冷却系统的冷却方式主要有两种:水冷却方式和空气冷却方式。根据工程条件,可采用全水冷却、全空气冷却或空气冷却串联辅助水冷却的方式。

2.2.1 水冷却方式

水冷却方式的主要换热设备为密闭式蒸发型冷却塔,外冷却系统主要设备包括:密闭式蒸发型冷却塔、喷淋水泵、喷淋水池、喷淋水过滤及软化装置、加药装置、自循环旁路过滤系统等。

与换流阀晶闸管元件进行了热交换而升温的阀内冷却水由循环水泵升压进入密闭式蒸发型冷却塔的换热盘管内进行冷却,阀外冷却喷淋水经喷淋水泵升压后进入密闭式蒸发型冷却塔,均匀喷洒到冷却塔内的换热盘管内表面,同时冷却塔所设置的风机不停地向上抽风,使内冷却水中的热量通过喷淋水的蒸发排入大气,从而降低内冷却水的水温。冷却塔出水回流至冷却塔下面的喷淋水池中循环使用。水冷却系统流程见图1所示。

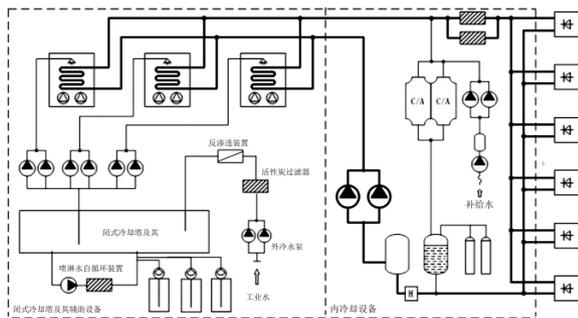


图1 水冷却方式系统流程

由于喷淋水不断的蒸发将造成喷淋水含盐量逐渐增加,为了控制盐类浓度,防止喷淋水在冷却塔换

热盘管外壁结垢而影响传热效率,需对外冷却水系统进行连续排污并连续补水。补充水进水池之前需进行软化处理,从而控制外冷却循环水系统的浓缩倍率,使循环水的含盐量维持在某一数值。

为了减少外冷却水的耗量,未蒸发的喷淋水将回收并循环使用,需设置室外喷淋水池收集喷淋水。考虑到在喷淋补水系统发生故障或检修时冷却系统可继续运行一段时间,喷淋水池容积按300 m³考虑。

每套换流阀外冷却系统选用3台冷却塔(3×50%容量),当其中1台冷却塔被完全切除后(冷却塔进出口阀门关闭),另外2台冷却塔仍具有足够的冷却容量。每台冷却塔装有2台可调速轴流式风机,每台冷却塔对应2台喷淋水循环泵(一运一备)。

根据新松换流站环境条件及阀冷系统设计参数进行计算,得到每套阀组水冷却方案主要技术参数如表4所示。

表4 水冷却方案主要技术参数

名称	技术参数
额定冷却容量/kW	6000
极端最高湿球温度/°C	22.1
设计介质流量/(m ³ ·h ⁻¹)	282
冷却塔进塔水温/°C	56
冷却塔出塔水温/°C	44.4
冷却塔数量/台	3
冗余量	50%
总用电负荷/kW	350
最大补水量/(m ³ ·h ⁻¹)	11
喷淋水池容积/m ³	300
外冷设备总占地面/m ²	18×8

换流站阀厅为“面对面”布置方式,配合电气总平面布置方案,每组3台冷却塔及水池布置于每极高、低端换流变压器侧空地上。为节省占地,缩短管道长度,减少管路损失,喷淋水池布置于地下,而冷却塔布置于水池上。

喷淋水泵、喷淋水过滤及软化装置、加药装置及自循环旁路过滤系统均布置在阀内冷设备间内。

2.2.2 空气冷却方式

采用空气冷却方式时,外冷却系统的主要换热设备为空气冷却器,空气冷却器由换热管束、风机、百叶窗、风箱、构架及附件(平台、梯子)等组成。

与换流阀晶闸管元件进行了热交换而升温的阀内冷却水由循环水泵升压送至室外空气冷却器内的翅片管束,同时空气冷却器所设置的风机不停地向

翅片管束送冷风,通过热水和冷风之间的热交换,使翅片管束内的水得以冷却,降温后的冷却水再进入换流阀,如此周而复始地循环^[5],其冷却系统流程见图2所示。

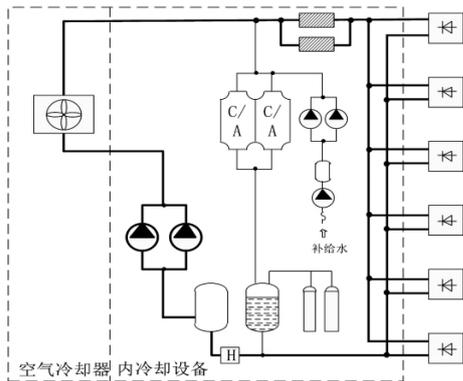


图2 空气冷却系统流程

空气冷却器的配置需满足在极端最高温度且换流阀达到最大负荷时,其总换热面积仍有35%的冗余度。

根据新松换流站环境条件及阀冷系统设计参数进行计算,考虑到热岛效应影响,新松换流站的设计环境温度为极端环境最高温度加3℃热岛效应,得到每套阀组空气冷却方案的主要技术参数如表5所示。

表5 空气冷却方案主要技术参数

名称	技术参数
额定冷却容量/kW	6000
设计环境温度/℃	35.7
设计介质流量/(m ³ ·h ⁻¹)	282
空冷器入口水温/℃	56
空冷器出口水温/℃	44.4
空冷器数量/台	8
冗余量	35%
总用电负荷/kW	570
补水量/(m ³ ·h ⁻¹)	无
外冷设备总占地尺寸/m ²	19×13

采用空气冷却器时,因空气的换热效率比水低,设备体积较大,且考虑到安装、检修条件,空气冷却器不能紧靠阀厅布置,需布置到离阀厅较远的空地上。

2.2.3 空气冷却串联辅助水冷却方式

结合气象条件及换流阀的进水温度,当采用常规空气冷却方式不能满足冷却要求时,需串连运行一套辅助冷却系统。当环境温度或内冷水进阀温度较低时,只运行空气冷却器;当环境温度或内冷水进阀温度较高时,自动投运辅助冷却系统。

由于新松换流站极端最高气温仅为32.7℃,气象条件较好,进阀水温与室外气温的温差较大,在夏季高温季节,采用全空气冷却方案即可满足换流阀冷却要求,故不考虑增设辅助水冷的方案。

3 换流阀外冷却系统方案选择

新松换流站换流阀外冷却系统具有采用水冷却的水源条件,同时也具有采用空气冷却的气象条件。根据站址水源及气象条件对水冷却及空气冷却两种冷却方式进行了技术经济比较,以选择经济合理的换流阀外冷却方案。

3.1 方案技术比较

两方案技术比较见表6所示。

表6 换流阀外冷却方案技术比较

项目	水冷却方式	空气冷却方式
换热效率	高	低
设备占地面积	小	大
水源要求	高(两路水源)	无
补给水管	两路水源,敷设困难	一路水源,敷设较简单
耗水量	大	无
耗电量	小	大
工业水池	大	无
净水设备	处理量大	处理量小
废水排放	大	无
设备噪声	小	大
运行	较复杂	简单
维护及检修	水有腐蚀和水垢,需进行清理,工作量较大	空气腐蚀性低,无需清垢,工作量小

根据技术比较可以看出,空气冷却方案无需水源,亦无排污,运行维护简单,设备占地面积虽然较大,但相应的泵房及水池占地面积较小。水冷却方案换热效率高、占地小、噪音低,但水冷却方案对水源要求高、站外输水管线较长,喷淋水需要经常加药,冷却塔换热盘管外壁表面易结垢,运行管理维护较复杂,并且存在排污问题,对环境有一定的影响。

3.2 方案经济比较

经济比较采用年费用最小法(动态),年费用最小法之年费用的计算公式为

$$NF = (Z_0 - L) \times S_n + L \times i + U$$

式中: NF 为使用期内等额年费用; Z₀ 为工程投资; S_n 为年固定费用率,取 S_n = 0.097; U 为年运行费用; L 为工程残值,取 L = 0; i 为投资回收率,取 i = 9%; n 为经济使用年限,按30年考虑。

经济比较主要是有关水源、取水设施及管道、冷却设备、运行费用等方面的比较。经济比较结果如表7所示。

表7 换流阀外冷却方案经济比较

编号	项目	水冷却方案 /万元	空气冷却方案 /万元
一	固定费用		
1	阀外冷却设备	10 400	11 600
2	喷淋水池	150	
3	综合水池及泵房	500	150
4	工业水泵	30	
5	工业水管	40	
6	取水许可费用	40	20
7	取水泵船	400	
8	站外补给水管	2000	200
9	净水处理设备	250	50
10	固定费用合计	13 810	12 020
二	年运行费		
1	年电费	350	600
2	年水资源费	45	
3	年加药费	80	
4	年维修费	276	240
5	年运行费合计	751	840
三	使用期内等额年费用	2091	2006

从表7可以看出,空气冷却方案初投资费用较水冷却方案低,且折算到使用期内的等额年费用也较低。

3.3 方案选择

合理选择换流阀外冷却系统冷却方式,对保障换流站安全运行具有重要意义。

由于新松换流站站用水源均较远,输水管线较长,敷设困难,运行管理复杂;站址区夏季气象条件较好,多年极端最高气温仅为32.7℃,具有采用空气冷却方式的气象条件,采用空气冷却方式既能保证换流阀的安全运行,又不会使空冷系统配置过大;同时,空气冷却方式没有水的蒸发损失,也无风吹和排污损失,节水效果明显,既消除了运行维护的不便,也避免了因水雾、排水而对站区周围环境的影响,有利于保护当地的自然环境。综合技术分析,经济比较结果,新松换流站换流阀外冷却方案推荐采用空气冷却方案。

4 海拔高度对换流阀外冷却系统设计的影响

新松换流站站址海拔高度2328 m,地处高海拔地区。大气压力及空气密度均受海拔高度影响,海拔

高度每升高1000 m,相对大气压力降低约12%,空气密度降低约10%。因此,相对低海拔地区,新松换流站空气冷却器的设计需考虑以下几方面的影响。

4.1 对散热量的影响

随着空气密度的降低,空气冷却器的散热量会大幅度地减少。因此在空冷塔选型计算过程中,应充分考虑空气密度变化所带来的影响,如传热系数、空气质量、空气流量、风机外压等,并把这些参数融入空气冷却器的选型计算中进行精确的散热量计算。

空冷器的换热量计算公式为

$$Q = Gc_p(t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中: Q 为散热量, kW; G 为单位时间内空气质量流量, kg/s; c_p 为空气定压比热, kJ/(kg·℃); t_1 、 t_2 分别为空气进、出口温度, ℃。

其中空气质量流量与空气密度成正比关系,故空气密度越低,散热量越小,因此为保证有足够的冷却能力,需加大空冷器的传热面积。

4.2 对电动机出力的影响

在海拔较高地区,电动机的出力由于空气密度的减少而有所减少(空气密度减少时,电动机的散热量减少,会影响其出力)^[6]。风机的电动机功率 P_M 的计算公式为

$$P_M = K \frac{q_v P \rho_q}{1000 \eta_1 \eta_2} \quad (2)$$

式中: K 为电动机容量安全系数,取1.15; q_v 为体积流量, m³/s; P 为风机全压, Pa; ρ_q 为计算条件下的空气密度; η_1 、 η_2 为分别为风机效率和传动效率。

结合当地气压769.2 hPa,则当地空气密度是标准大气压力的0.86倍,因此风机输出功率仅为在海拔1000 m以下标准大气压力时的86%,在选用风机的电动机时应加以考虑,根据具体情况设计风机电动机额定容量,以保证合适的裕度。

5 结 语

1) 新松换流站站址20 km范围内有大干场水库、玉华水库、剑湖3个主要水库(湖泊),其富裕水量均能满足换流阀外冷却系统采用水冷却方式的用水量要求,站址具有采用水冷却方式的水源条件;站址多年极端最高气温32.7℃,考虑3℃热岛效应后,设计环境温度为35.7℃,低于进阀水温8.7℃,站址具有采用空气冷却方式的气象条件。

2) 从技术比较来看,相比水冷却方式,空气冷却方式无需水源、亦无排污,是一种节水、环保的冷却方式,并且运行维护简单。从经济比较来看,结合新松换流站站用水源条件,空气冷却方式的使用期内等额年费用较低。因此,综合考虑,新松换流站换流阀外冷却系统推荐采用空气冷却方式。

3) 新松换流站站址海拔高度为2328 m,地处高海拔地区,大气压力及空气密度均受海拔高度影响,空气冷却器的设计需考虑海拔高度对于散热量、电机出力的影响。

参考文献

[1] 阮卫华,王大伟,张民幸. ±800 kV 哈密换流站阀外冷技术方案的比较与选择[J]. 电网技术,2013,37(7):1820-1825.

[2] 温玉婷,冷明全,吴健超. 高海拔地区换流阀冷却系统设计及选型[J]. 广西电力,2013,36(2):32-34.
[3] 刘辉. 换流站换流阀冷却系统的选型研究[J]. 吉林电力,2012,40(1):30-32.
[4] 许根富,尚立新. 高压晶闸管换流阀外水冷却系统分析[J]. 中国电力,2009,42(12):42-44.
[5] 马义伟. 空冷器设计与应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998.
[6] 陆志厚. 高海拔地区电站风机设计的相关研究[J]. 电站辅机,2007(3):40-45.

作者简介:

邓晓(1972),本科,高级工程师、注册公用设备工程师(给水排水),主要从事发、变电工程给排水设计研究工作;
何勇(1986),本科,工程师、一级注册结构工程师,主要从事变电工程土建设计研究工作。

(收稿日期:2018-05-25)

(上接第24页)

表2 同一220 kV变电站供电的10 kV线路合环计算值与实测值对比

项目	SCADA 合环前电流值 /A	主站计算合环前电流值 /A	SCADA 合环后电流值 /A	计算合环后电流值 /A	录波器冲击电流 /A	计算冲击电流 /A
凤凰站 935 断路器	0	0	316.80	324.87	455.22	461.84
乐山站 925 断路器	83.36	84.95	265.92	281.25		

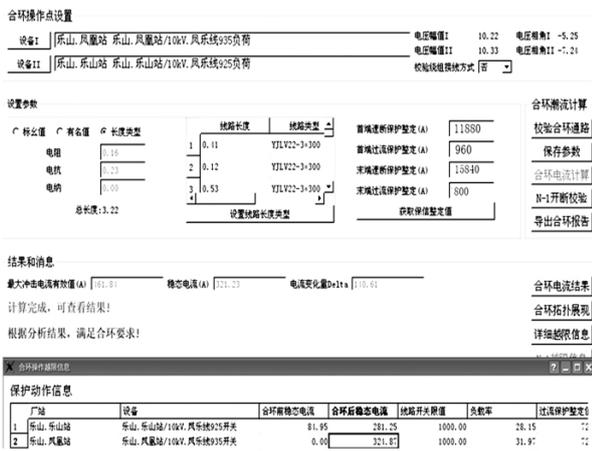


图9 合环计算结果

与实际操作采集的数据值基本吻合。

4 结 语

通过配电网合环在线校核软件进行计算,耗时短,效率高。基于全网实时模型的在线计算,合环电流数据准确性大幅提高,合环操作的指导性更强,能有效保证配电网合环安全与实际合环稳态和暂态数据的对比,表明一体化配电网合环在线校核软件计算结果正确,满足实践运行要求。

参考文献

[1] 谭斌,丁宇洁,陈忠益,等. 配电网电磁合环倒供电条件分析及计算校核[J]. 中国电机(技术版),2016(4):1-4.
[2] 陆凌. 基于合环潮流在线计算的配电网合环管理[C]. 智慧城市电力科技论坛论文集,2014,176(1):57-59.

作者简介:

王玺(1987),工程师,主要从事电力系统分析、电网调度工作;

刘巍(1986),高级工程师,主要从事电网调度工作。

(收稿日期:2018-06-19)

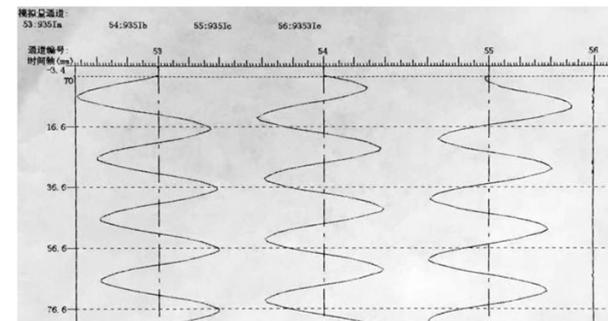


图10 故障录波装置实测

率为1.45%。主配电网在线校核应用计算的数据