

# 补充勘探孔综合检测手段在复杂地质条件下的运用及分析

蔡海燕, 王波

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610081)

**摘要:**工程前期地勘资料是否准确对工程实施阶段具有很大的影响。当地勘资料不能完全指导坝体深孔帷幕灌浆施工技术要求时,需增加相应的地质勘探孔,以便于指导施工。补充地质勘探孔的探测手段除取芯、注水以外,还有灌注砂浆、灌注水泥浆、孔内摄像(孔内电视)、声波测试等综合检测手段。本工程采用上述综合检测手段对补充勘探孔是一次有益的探索,取得了较好的成果,对类似复杂地质条件下的工程施工具有一定的参考价值。

**关键词:**补勘孔;综合检测手段;复杂地质条件;运用及分析;斜卡水电站

中图分类号:TV7;TV522

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)06-0044-05

## 1 概述

斜卡水电站位于四川省甘孜州九龙县斜卡乡,属于高寒地带,海拔3 100多m,极端最低气温为-15.6℃,最大风速20.7 m/s,最大坝高110 m,坝顶高程3 168 m。

该电站地质条件复杂,坝区内右岸地质条件以古老的松动变形体为主,左岸地质条件以倾倒体为主。坝区内地质构造主要表现为拉裂型裂隙和随机分布的层间挤压破碎带,其岩层宽大、贯通性裂隙极为发育且分布极广。大坝趾板揭露的岩石为变质砂板岩夹少量板岩。

针对大坝基础地质条件的复杂性,为进一步详细探明地质状况,我们采用综合检测手段对补充地质勘探孔进行了检测和分析,以作为前期地质勘探资料的补充,从而为施工期正确处理和解决电站坝基张拉、贯通型裂隙防渗工程施工难度大等问题提供帮助,确定快速、高效、经济的施工方案,从而保证斜卡水电站按期或提前具备蓄水电发电条件。

## 2 补勘孔的布置与施工

### 2.1 补勘孔的布置

在大坝左右岸共布置了12个帷幕灌浆补充勘探孔,其中左岸布置了5个,右岸布置了7个,补勘孔深度达1 665.66 m,孔深及工程量见表1。

### 2.2 补勘孔的施工

施工步骤及方法如下。

(1)施工准备。包括进行准确的孔位放样;

表1 补勘孔孔深及工程量统计表

孔号	部位	孔口高程/m	设计孔深/m	实际孔深/m
GB3-1-12		3 140.08	155	157.3
GB5-1-5		3 121.6	140	142.7
GB7-1-6	左岸	3 101.44	135	137.8
GB9-2-2		3 090.39	123.99	127.19
GB10-1-6		3 086.32	129.57	130.87
GD3-1-12		3 089.1	110	112
GD-1-8		3 107.05	80	82.3
YCG-2-8		3 123.28	170	170.6
GD10-1-4	右岸	3 129.06	170	171.8
GD12-1-5		3 137.65	80	80.8
GD14-1-1		3 145.2	170	178
GD16-1-7		3 155.23	170	174.3
合计			1 633.56	1 665.66

(2)钻孔。补勘孔采用XY-2型回转钻机钻进,开孔孔径为168 mm,终孔孔径为91 mm,从上到下逐段进行钻孔,逐段安装灌浆塞进行灌注直至孔底,段长2~5 m;

(3)钻孔检测。包括孔斜测量、压水试验和孔内电视等,每段钻孔完成后,对钻孔孔斜进行测量,然后对孔段进行压水试验,收集数据,压水试验结束后,待孔内水澄清,用孔内电视观察孔内的裂隙发育情况,确定砂浆配合比;

(4)灌注。与钻孔施工交替进行,每段钻孔完毕,根据每段钻孔的检测结果确定灌注材料;钻孔若有返水孔,则采用水泥浆灌注;钻孔无返水孔时,则采用自密实砂浆灌注;

(5)灌注结束。每段灌注砂浆至孔口时停止灌注,待凝4 h后进行扫孔并进行灌后压水,当灌

收稿日期:2014-09-06

后该孔段压水达到检查标准后方可进行下段施工;当灌后压水达不到检查标准时,继续进行砂浆灌注,直至达到结束标准;

(6) 灌注效果检查。全孔灌注完成后,待凝14 d,通过钻孔取芯、分段压水试验、灌后声波检测并通过孔内电视对灌注效果进行检查;

(7) 封孔。全孔灌注效果检查合格后,采用全孔水泥浆灌注封孔,封孔灌注结束后,孔口抹

平。

### 3 勘探成果

#### 3.1 地质情况

孔内电视、砂浆灌注及取芯结果表明:此岩层的裂隙宽度大小不等(裂隙宽度范围为0.1~300 cm,平均裂隙宽度为1 cm),裂隙数量多(平均每m裂隙条数为2.1条)。孔内电视拍摄到的裂隙情况见图1。

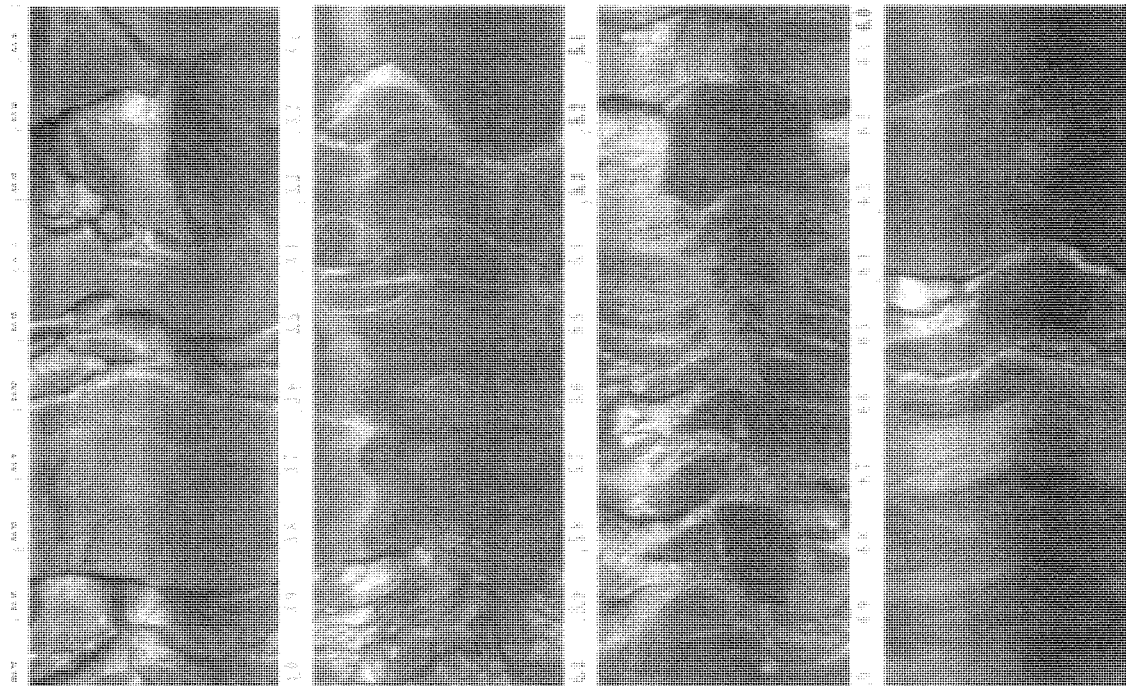


图1 孔内电视拍摄到的裂隙情况

#### 3.2 注水成果及透水率分析

##### 3.2.1 注水成果

施工中,对部分钻孔进行了灌前注水,注水结果表明:其流量大,大部分无回水(表2)。

表2 灌前部分灌浆孔的注水结果统计表

孔号	相应孔深/m	注水情况
GB3-1-12	105.74~	记录5 min, $Q=162$ L/min, 无回水
	110.74	
GB5-1-5	116.85~	记录10 min, $Q=114.3$ L/ min, 无回水
	121.85	
GB7-1-6	116.85~	记录7 min, $Q=330$ L/min, 无回水
	121.85	
GB9-2-2	101.14~	记录15 min, $Q=263.4$ L/ min, 无回水
	106.14	
GB10-1-6	106.14~	记录15 min, $Q=192.7$ L/ min, 无回水
	111.14	
GD6-1-8	62.1~	记录5 min, $Q=140.2$ L/ min
	68.53	
GD16-1-7	156.4~	记录15 min, $Q=72.1$ L/ min
	158.1	

##### 3.2.2 透水率

(1) 补勘孔透水率频数、频率统计见表3。

孔深在0~40 m范围内,帷幕灌浆补勘孔压水试验平均透水率为70.6 Lu;孔深在40~80 m范围内,平均透水率为45.4 Lu;孔深在80~120 m范围内,平均透水率为25.8 Lu;孔深在大于120 m范围内,平均透水率为67.8 Lu。左岸施工的补勘孔GB5-1-5第027段次孔深为127.7~132.7 m,透水率为1408 Lu,该部位可能存在宽大裂隙或空洞,从而造成透水率偏大,属于异常现象。在将这一段排除、不进行统计时,在孔深大于120 m范围内,平均透水率为31.3 Lu。可见,以孔深80 m处为分界线,孔深在0~80 m范围内的平均透水率>孔深80 m以下的平均透水率。

从表2中可以看出,在透水率大于100 Lu的范围内,孔深大于80 m的部位出现了89次,无压

表3 补勘孔透水率频数、频率统计表

孔深 /m	平均透水率 /Lu	总段数	透水率段数/频率 /%											
			<3		3~5		5~10		10~50		50~100		>100	
			段数	频率	段数	频率	段数	频率	段数	频率	段数	频率	段数	频率
0~40	70.6(不含∞,34段)	94	3	3	6	6	5	5	26	28	12	13	42	45
40~80	45.4(不含∞,41段)	96	11	1	7	7	34	35	6	6	47	49		
80~120	25.8(不含∞,32段)	81	/	/	2	2	12	15	30	37	2	2	35	43
120m以下	67.8(不含∞,25段)	73	3	4	5	7	10	14	21	29	4	5	30	41
总计	58.4(不含∞,132段)	344	7	2	14	4	34	10	111	32	24	7	154	45

无回的孔段出现了75次,分别为47%、39%;孔深小于80m的部位出现了64次,无压无回的孔段出现了57次,频率分别为41%、37%。

在透水率大于100 Lu的范围内,孔深小于80m的部位出现的频率比孔深大于80m的地层高6%;出现无压无回的段次高2%。

由此可以发现,孔深0~80m孔段岩体破碎,发育有多条宽大、贯通性裂隙或构造带,可灌性比孔深大于80m的部位好。

(2) 透水率频率曲线图分析

补勘孔透水率频率曲线见图2。

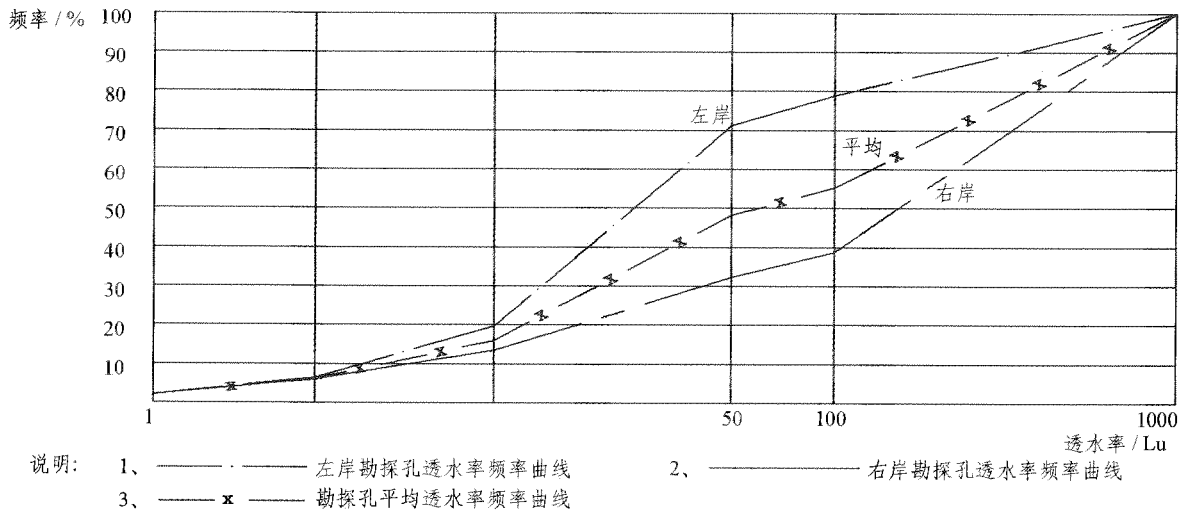


图2 补勘孔透水率频率曲线图

在10~50 Lu范围内,左岸透水率频率曲线坡度最陡,远远大于右岸在这个范围内出现的段数,上升幅度最大;而在大于100 Lu范围内,右岸透水率频率曲线坡度最陡,远远大于左岸在这个范围内出现的段数,上升幅度最大。

虽然左岸也有透水率大于100 Lu的段次出现,但其远远小于右岸的段数。可见,右岸地质条件相对于左岸更复杂,发育有多条大裂隙或空洞。

3.3 单位注灰量及其频率分布

补勘孔单位注灰量频数、频率统计见表4。

表4 补勘孔单位注灰量段数、频率统计表

部位	单位注入量 /kg·m <sup>-1</sup>	总段数	单位注灰量段数/频率 /%											
			<10		10~50		50~100		100~300		300~600		>600	
			段数	频率	段数	频率	段数	频率	段数	频率	段数	频率	段数	频率
左岸	422.4	142	7	5	8	6	7	5	40	28	55	39	25	18
右岸	891.6	202	77	38	4	2	6	3	20	10	26	13	69	34
总计	695.1	344	84	24	12	3	13	4	60	17	81	24	94	27

帷幕灌浆补勘孔单位注入量为695.1 kg/m,其中分布在小于10 kg/m范围内的频率为24%。因右岸进行了73段次灌注砂浆,故在表3数据统计时,这73段按注灰量为0 kg进行统计,导致在

小于10 kg/m的范围内出现段数84次,实际出现段数为11次,频率应为3%;在10~50 kg/m范围内的频率为3%;在50~100 kg/m范围内的频率为4%;在100~300 kg/m范围内的频率为17%;

在 300 ~ 600 kg/m 范围内的频率为 24%; 在大于 600 kg/m 范围内的频率为 27%。补勘孔的单位注入量主要集中在小于 300 ~ 600 kg/m、大于 600 kg/m 三个范围内。

左岸补勘孔单位注入量为 422.4 kg/m, 主要集中在 300 ~ 600 kg/m 范围内, 共占左岸施工总

段数的 39%。右岸补勘孔单位注入量为 891.6 kg/m, 主要集中在大于 600 kg/m 的范围内, 共占右岸施工总段数的 34%。左岸单位注入量比右岸少 52.6%。

补勘孔单位注灰量频率曲线见图 3。

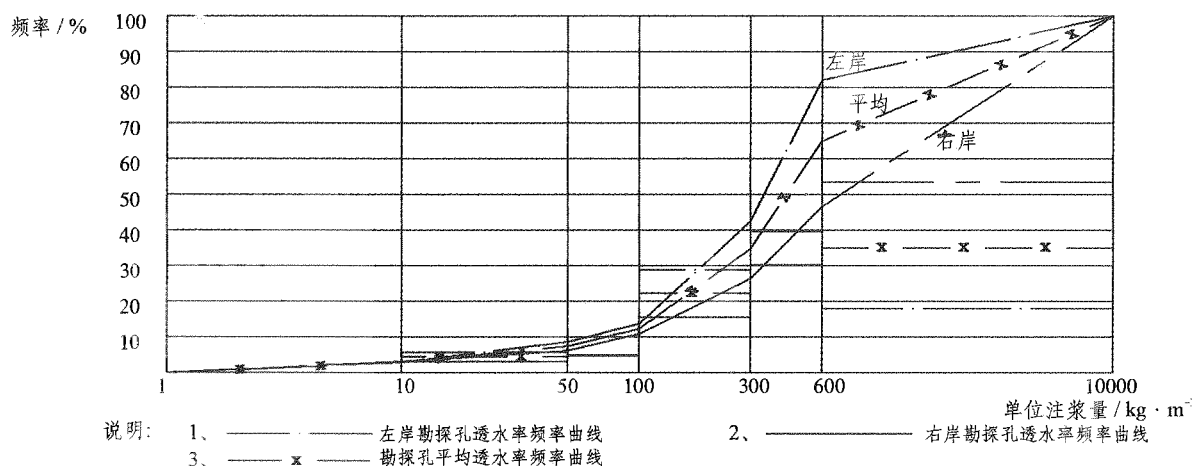


图 3 补勘孔单位注灰量频率曲线图

从单位注灰量频率曲线图中可以看出, 在小于 100 kg/m 的范围内, 左、右岸曲率相近; 在 100 ~ 600 kg/m 范围内, 左岸频率曲线上升幅度明显大于右岸, 坡度最陡; 在大于 600 kg/m 的范围内, 右岸频率曲线上升幅度明显大于左岸, 坡度最陡。

可见, 右岸地质条件比左岸差, 与压水试验成果相符。

3.4 灌浆过程中特殊情况的分析

(1) 灌注砂浆情况分析。

根据压水试验成果, 对于透水率无穷大的补勘孔孔段, 采用自密实砂浆灌注后待凝 4 h 后再扫孔后采用水泥浆液灌注的方式。

左岸补勘孔施工过程中未采用自密实砂浆进行灌注, 而右岸地质条件差, 施工的补勘孔中有 73 段次采用自密实砂浆进行灌注, 有 4 个补勘孔孔口段采用砂浆灌注且部分灌注砂浆的段次连续, 推测右岸岩体破碎, 存在较大的裂隙或空洞。

右岸补勘孔共灌注砂浆 256.89 m<sup>3</sup>。砂浆灌注结束后复灌水泥浆时共灌注灰量 254.11 t。可见, 右岸地质条件复杂, 采用砂浆能够将大裂隙或空洞填充饱满, 但对于缝宽小于 3 mm 的裂隙填充效果不明显。采用水泥浆液灌注后, 浆液充分填充到砂浆未灌至的地方, 对灌浆质量的提高有极大的帮助。补勘孔灌注砂浆情况统计见表 5。

表 5 补勘孔灌注砂浆情况统计表

部位	孔号	注入砂浆量 / m <sup>3</sup>	复灌灰量 / t	灌注砂浆段次
右岸	GD3-1-12	26.17	29.71	005,006,008,012,014,015
	GD6-1-08	12.9	13.07	010,012,013
	GD10-1-4	24.58	45.07	001,004,005,006,007,008,013,014,016,017,018,023,025,028
	YCG-2-8	5.3	4.05	029,032
	GD12-1-5	22.21	8.2	001,002,005,007,008,009,010,011,012,013,015,016
	GD14-1-1	48.21	80.9	001,002,003,004,005,007,008,009,010,011,012,013,016,017,018,019,020,021,022
	GD16-1-7	117.52	73.11	001,002,003,004,005,007,008,009,010,011,012,014,015,016,017,018,019
合计	256.89	254.11		

(2) 透水率小、但单位注入量大的孔段分析。

在补勘孔施工过程中, 约有 6% 的孔段进行压

水试验时透水率小于 40 Lu,但灌浆时单位注灰量 达到 1 t/m。部分特殊孔段的统计情况见表 6。

表 6 部分透水率小、但单位注入量大的孔段统计表

部位	孔号	孔深 /m	透水率 /Lu	单位注灰量 /kg · m <sup>-1</sup>	灌浆压力 /MPa	灌注时间 (h: min)	备注
右岸	GD3-1-12	107~112	4.8	962.9	0.84	2:35	灌浆未结束
	GD6-1-8	37.3~42.3	32.1	966.3	1.51	3:46	
	GD6-1-8	47.3~52.3	30.3	1 014	1.59	3:26	
	GD10-1-4	36.8~41.8	28.3	1 142.3	0	2:16	灌浆未结束

出现这种现象的主要原因为:透水率、单位注灰量均为比值关系。在压力、段长一定的情况下,透水率仅与流量有关系,受时间长短影响小;而单位注灰量则与注入量有关系,为累积值,受时间长短影响大;进行压水试验时压力相对较小,通过裂隙的流量相对较小。而进行灌浆时压力相对较大,浆液在大压力作用下可能将细微裂隙撑开,将浆液充分填充至裂隙中。

从表 6 中可以看出,灌注时间均在 2 h 以上,而灌浆最大压力为 1.5 MPa。可见,灌注时间长是出现这种现象的主要因素。

### 3.5 补勘孔岩芯

左岸施工的 5 个补勘孔岩芯取芯率集中在 60%~70%,获得率集中在 47%~54%,RQD 集中在 30%~45%,岩芯完整性较差,多为柱状岩芯,岩芯长度为 13~19 cm,部分岩芯长度达 80 cm。柱状岩芯截面为圆形,部分为楔形,少量岩芯截面存在锈染。

右岸施工的 7 个补勘孔岩芯取芯率集中在 40%~50%,获得率集中在 20%~35%,RQD 集中在 10%~24%,岩芯完整性差,岩体破碎,多为碎块状岩体,直径为 2~4 cm。

与右岸相比,左岸岩芯较完整,地质条件相对较好。右岸岩芯破碎,地质条件差,与压水试验成果及灌浆成果相符。

### 3.6 孔内电视

补勘孔中的 GB9-2-2 孔局部孔段孔内电视图像见图 4。

### 3.7 声波成果

利用地球物理测试手段进行了检测。采用 CE-9201 型声波测试仪和 DZQ24 型地震仪在水耦合下进行了单孔的声波测试和两孔之间岩体的地震波 CT 测试。单孔声波测试采用自下而上逐点检测,点间距为 20 cm,测试探头采用一发双收装置,发射与接收换能器均在同一孔中。地震波

CT 测试采用 12 道串状检波器,测试时,在一孔不同位置设置检波器,其间距为 1 m;在另一个孔的不同位置设置激发点,其间距为 2 m。完成一侧孔激发后,两孔互换,其结果见图 5。

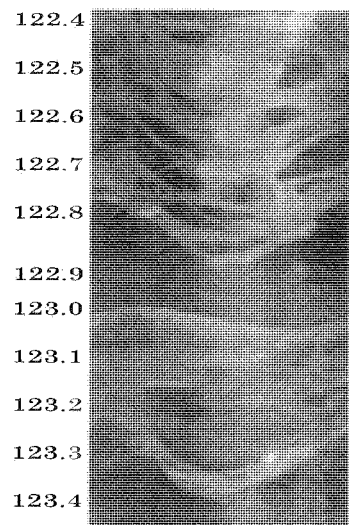


图 4 补勘孔局部孔内电视图

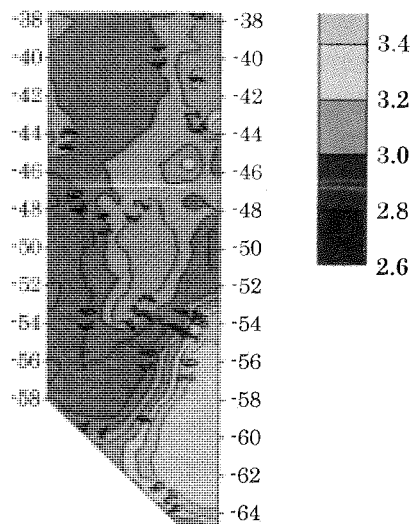


图 5 部分孔段声波 CT 速度分布色谱图

(下转第 52 页)

检查油滤的情况,清除油滤上可能存在的污物。

检测运行状态、报警功能应可靠,润滑系统工作时无振动,泵(电机)运行正常。

③安全制动系统(含液压泵站)的检测及试验。

进行此项试验时,要求相应的电气和控制设备能投入运行,运行显示和运行保护正常。要求所有安全制动器的松闸和上闸时间一致,动作时间差不大于1 s。

(2)主电机控制试验。

接通动力电源,将主电机的测速电机超速控制接点导通显示电机超速后,主电机方能启动。

润滑站向减速器供油并发出允许主机工作指令后电机才能启动。

(3)整机空载试验。

检测电机转速、卷筒转速、电机电流、液压站等的运行状态、润滑站各部分的运行状态、各部分的噪音、轴承温升、所有密封性能、系统的振动和平稳性。在斜架车模拟运行至驼峰部位时检验摩擦驱动装置工作的合理性。

### 3.2 垂直升船机的机电联调

垂直升船机的联调试验。

(1)减速器润滑系统、干稀油润滑系统工作性能的验证。

(2)升船机机械系统的空载运行性能的验

(上接第48页)

由该组声波测试结果可见,整体速度分布范围为1 500~4 800 m/s。大部分速度色谱成红色-浅红色,速度大于3 500 m/s;左侧上部和右侧下部局部速度偏低,为2 600~3 300 m/s。说明此补勘孔周围岩层完整性一般,局部存在岩体破碎或强风化岩体,应采用压浆处理。

### 4 结 语

通过对斜卡水电站复杂地质条件下采用孔内摄像(孔内电视)、声波测试等综合勘探手段,使勘探施工在看得见的条件下进行,对勘探手段是一次新的探索,具有重大工程推广价值,同时亦为斜卡水电站坝趾帷幕灌浆施工顺利实施提供指导依据,可为今后的帷幕灌浆工程提供重要的参考价值和指导意义。

证。

(3)按五段运行图进行整机的运行,正、反向运行各三次,验证系统的五阶段速度图运行功能。

(4)模拟正常工作状态和事故状态下的制动过程,检验工作制动器、安全制动器和电动机在制动过程中动作是否协调,检验安全制动系统的工作性能。

(5)检测全部安全制动器和全部工作制动器动作的同步性。

(6)检测在正常工作状态转变为事故状态的过程中及各种事故工况下控制系统的适应性。

### 3.3 机电联调的结果

升船机机械设备和电力拖动与控制设备的设计、制造、安装、设备性能及参数指标正确、合理。

### 4 结 语

丹江口水电站升船机经过厂内预拼装及机电联调,已经证明其性能稳定可靠,总体满足项目技术要求。丹江口升船机已在工地安装、调试完成,于2013年4月通过工程验收和特种设备检验检测,经过“干运”、“湿运”两种模式实船测试,运行情况良好,2013年12月正式通船使用。

作者简介:

江健炜(1967-),男,四川夹江人,分厂技术副厂长,工程师,从事水利水电工程机械制造及组装工作。

(责任编辑:李燕辉)

因此,在今后遇到类似或其它地质条件下进行勘探时,可以借鉴同类综合勘探手段及方法并注意以下几点:第一,适宜加密加深勘探孔;第二,采用取芯、注水、灌注自密实砂浆、注水泥浆、孔内摄像(孔内电视)、声波测试等多种勘探手段相结合;第三,在施工过程中,及时整理、分析勘探资料并完善勘探手段。

参考文献:

[1] 蔡胜华,黄智勇,董建军,等,著. 注浆法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

作者简介:

蔡海燕(1977-),男,四川巴中人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

王 波(1974-),男,四川内江人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)