

高压摆喷灌浆技术在西藏病险水库大坝 防渗中的设计与施工

李焱华¹, 辛建芳², 司马世华²

(1. 长江水利委员会工程建设与管理局, 湖北 武汉 430010; 2. 长江岩土工程总公司(武汉), 湖北 武汉 430010)

摘要:在西藏高原地区第四系冰碛和湖积松散堆积层防渗加固中, 针对高原特殊的气候条件、工程地质与水文地质条件, 通过改进高压摆喷设备与工艺, 优化设计参数, 取得了较好的防渗加固效果。工程实例表明, 在高寒冻融地区, 采用高压摆喷灌浆防渗加固技术, 对砂砾石土坝进行加固处理, 技术可靠, 经济合理, 效果明显, 是一种有效的防渗处理方法, 值得在高原地区进一步推广使用。

关键词: 高压摆喷灌浆; 薄壁防渗墙; 病险水库; 大坝防渗; 高寒冻融地区

中图分类号: TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)10-0052-06

Application of High-pressure Swing Spraying Grouting in the Design and Construction of Dam Seepage Prevention for Dangerous Reservoir in Tibet / LI Yan-hua¹, XIN Jian-fang¹, SIMA Shi-hua² (1. The Bureau of Construction and Management, The Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei 430010, China; 2. Changjiang Geotechnical Engineering Corporation (Wuhan), Wuhan Hubei 430010, China)

Abstract: In the anti-seepage reinforcement for the quaternary ice conical cap and unconsolidated lacustrine accumulative formation, and according to the special plateau climate, engineering geological and hydro-geological conditions, high-pressure swing spraying grouting equipment & technology were improved and design parameters were optimized with ideal reinforcement effect achieved. It was verified by engineering example that in paramos freeze thawing region, seepage prevention by high-pressure swing spraying grouting was technically reliable and economic reasonable with obvious effect, which was worth popularizing in plateau area.

Key words: high-pressure swing spraying grouting; thin-wall anti-seepage wall; dangerous reservoir; dam seepage prevention; paramos freeze-thawing region

0 引言

始于 2001 年的冲巴湖水库除险加固工程的开工建设, 填补了西藏自治区病险水库除险加固工程的空白。高压摆喷灌浆技术在本工程中的成功应用, 又实现了第一次使用该项技术在西藏建造薄壁防渗墙的零的突破。

冲巴湖水库除险加固工程位于西藏日喀则地区康马县境内, 距康马县县城 43 km。水库总库容 $6.61 \times 10^8 \text{ m}^3$, 处在喜马拉雅山北坡, 南与不丹王国相邻, 北为冰碛阶地, 水库为天然高山冰川湖泊, 属大 II 型水库, 设计洪水重现期 500 年。除险加固设计主坝防渗长度 576 m, 右副坝防渗长度 298 m, 大坝高 12 m, 坝顶高程 4580 m。

冲巴湖水库大坝经高压摆喷灌浆加固处理, 实际防渗轴向总长度 876 m, 灌浆 1.05 万余米, 成墙面积 15700 余平方米。防渗加固后, 主坝背水面坡

角线以外 200 m 范围内, 原沼泽地带干枯, 植被枯萎。经过 2 个汛期的考验, 再未发现任何散浸、管涌等渗漏通道现象。

实践证明, 在高寒冻融地区, 采用高压摆喷灌浆防渗加固技术, 对砂砾石土坝进行加固处理, 虽然在西藏水利工程治理中尚属首例, 但高压摆喷灌浆技术在本工程中的成功运用说明, 该技术适应范围广, 技术可靠, 经济合理, 是一种有效的防渗处理方法, 值得在高原地区进一步推广使用。

1 工程地质条件

1.1 地形地貌

冲巴湖为一天然冰川湖泊, 水位 4570 m 左右。东、西、南三面环山, 分水岭高程多在 5200 m 以上。湖周以冰蚀地貌为主, 古冰川遗迹遍布, 见有侧碛垅、中碛垅和终碛垅。唯西北角湖泊出口地形较低,

收稿日期: 2009-04-17

作者简介: 李焱华(1964-), 男(汉族), 湖北武汉人, 长江水利委员会建设与管理局监督处处长、高级工程师, 工程地质专业, 湖北省武汉市江岸区解放大道 1863 号长江岩土工程总公司(武汉)。

出口冲巴涌曲,河谷两侧冰碛阶地高出河床约10 m。河谷宽约39 m,主坝左侧冰碛阶地宽约320 m,为一鞍部地形。

1.2 地层岩性

水库两侧分水岭地带出露石炭-二叠系碳酸盐岩和碎屑岩,有轻度变质,岩石走向NE、倾向SE或NW、倾角 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。南部为喜马拉雅山期花岗岩和花岗质片麻岩。发育有NE和NW向2组断裂。北部及滨湖一带均分布冰碛和冰水或湖积的泥砾、砾卵石和泥质松散堆积物,多有泉水出露。

各建筑物均坐落于第四系冰碛和湖积松散堆积物上,自上而下大致分为3层:即砂砾石夹中、细砂层,厚度 $3 \sim 17.5$ m, $K = 8.3 \times 10^{-5} \sim 3.7 \times 10^{-3}$;粉细砂与粉质粘土或砂壤土互层,厚 $5.5 \sim 20$ m, $K = 1.6 \times 10^{-5} \sim 6.9 \times 10^{-5}$;卵砾石层,厚 $10 \sim 20$ m, $K = 9.12 \times 10^{-3} \sim 5.7 \times 10^{-2}$,相对不透水层砾质粘土,厚度 $5 \sim 10$ m, $K = (2.3 \sim 6.5) \times 10^{-6}$ 。区内水文地质条件简单,按成因有上层滞水和潜水2种类型。上层滞水主要分布在砂砾石夹中、细砂层中,水量较小,潜水主要赋存于粉细砂、卵砾石层中,水量丰富。主要受大气降水、地表水及湖水补给,地下水位随季节性变化明显。

2 高压摆喷防渗墙工程设计与参数优化

2.1 高压摆喷防渗墙设计

水库坝基高压摆喷灌浆设计,主要是在透水砂卵石夹中、细砂层,粉细砂层,卵砾石层内形成封闭的防渗体,同时还起着解决大坝渗流稳定问题的作用。具体设计如下。

(1)大坝基础防渗选用高压摆喷建筑防渗板墙,采用三重管法(喷射气、水、浆液)成墙。

(2)灌浆地层:包括第四系冰碛和湖积松散堆积层,粉细砂与粉质粘土或砂壤土互层、砂及卵砾石层,深入到相对不透水层砾质粘土1.50 m,为悬挂式防渗墙。

(3)设计墙体参数:喷射直径 $D \geq 1.6$ m,灌浆孔沿大坝上游坝肩内边线2 m平行单排布置,孔中心距离1.5 m,摆喷轴线与布孔轴线成 20° 折角,摆角 $25^{\circ} (\pm 5^{\circ})$,搭接长度10 cm,墙厚 $15 \sim 20$ cm。单孔墙体斜接,水平呈锯齿状,分2序孔施工。

(4)灌浆材料:使用32.5 MPa普通硅酸盐水泥,纯水泥浆,浆液密度 ≥ 1.6 g/cm³,水灰比1。

(5)墙体技术指标:墙体28 d抗压强度 ≥ 2 MPa,渗透系数 $\leq 3 \times 10^{-7}$ cm/s,破坏坡降 ≥ 500 ,允

许坡降 $[J]$ 取100,凝结后为水泥土防渗墙体。

(6)厚度验算:

$$B = \Delta H / [J] = 0.1 \text{ m} < 0.15 \text{ m}$$

经防渗墙厚度验算,设计选用墙厚 $15 \sim 20$ cm,采用薄墙施工技术,即可满足要求。

(7)墙体结构形式:摆喷墙设计为折板式结构,详见图1、图2、图3。

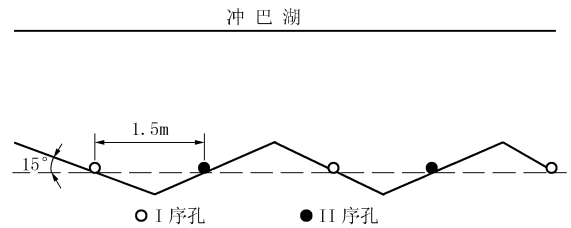


图1 摆喷墙体平面布置示意图



图2 砂砾石层中薄壁高压摆喷防渗墙体

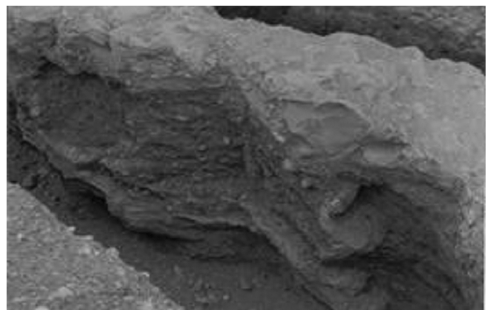


图3 卵砾石层中薄壁高压摆喷防渗墙体

(8)摆喷主要施工技术参数:水压 $35 \sim 38$ MPa,排量 $80 \sim 100$ L/min;气压 $0.6 \sim 0.8$ MPa,排量 1.5 m³/min;浆液压力 $0.15 \sim 0.20$ MPa,流量 80 L/min;水灰比1,提升速度 $6 \sim 9$ cm/min;摆喷角度 5° ,摆速 10 r/min;喷射板墙夹角 150° ;防渗墙厚度 > 20 cm;渗透系数 $K < 5 \times 10^{-7}$ cm/s。

2.2 设计参数的优化

施工前选择有代表性地段对孔间距、摆喷工艺及参数进行了生产性试验。还做了渗透围井试验井3口,开挖后对墙体进行裸眼检测鉴定,围井渗透试验。试验参数详见表1。

表1 高压摆喷生产性试验参数统计表

试验项目	水压 /MPa	气压 /MPa	浆液压力 /MPa	水灰比	流量/(L·min ⁻¹)	提升速度/(cm·min ⁻¹)	板墙夹角/(°)	摆动角/(°)	摆速/(r·min ⁻¹)	孔距 /m	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	实测半径/m	平均墙厚/cm
设计参数	30~36	0.6~0.8	0.15~0.2	1	80	6~8	150	10	10	1.5	$<5 \times 10^{-6}$	2.00	
试验 I	30~35	0.6~0.7	0.2	0.8	80	7~10	150	10	7~10	1.5	3.0×10^{-6}	0.90	15.6
试验 II	36~39	0.6~0.7	0.2	0.8~1	85	8~10	150	15	8~10	1.6	9.8×10^{-7}	1.15	25.2
试验 III	37~40	0.6~0.7	0.2	1.2	90	9~10	150	15	9~10	2.0	1.05×10^{-6}	1.30	26.1

根据试验结果,结合设计要求,同时考虑坝基地质条件的层位变化及库水位作用的影响,经设计工程师和监理同意,最后选定试验 II 参数为施工依据。

3 高压摆喷灌浆施工

3.1 施工方法与施工程序

高喷灌浆钻喷施工分 2 序隔孔作业,先施工 I 序孔,再施工 II 序孔,相邻两孔施工间隔时间 ≥ 24 h。拟喷孔验收合格,地面试喷正常后,再进行高喷灌浆作业。高喷施工流程见图 4。

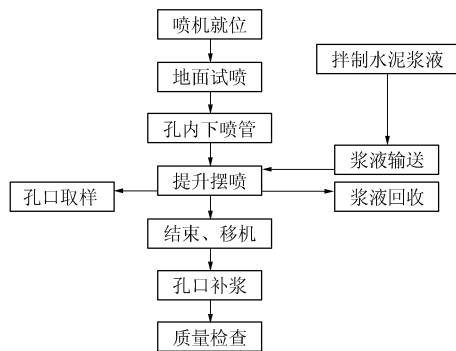


图4 高压摆喷施工流程图

3.2 钻孔与高喷设备配套

设备仪器在高原工作效率按 75% 计算,施工设备选用大一级功率,数量上计划按“二钻一喷”机具配置,即一个机组的施工设备配置 2 台套工程钻机建造灌浆孔,配合 1 台套高喷灌浆设备(SGP300-2)。本工程主要投入的机械设备见表 2。

3.3 高压摆喷成墙施工

高喷成墙施工分钻孔和高喷成墙两部分。

3.3.1 钻孔设计参数

(1) 孔距:根据生产性试验结果确定孔距 1.5 m,在施工过程中遇不良地质条件或轴线转折处应适当加密钻孔,如桩号 0+200 拐弯处加密钻孔 2 个,确保该处墙体有效搭接。

表2 工程主要使用的机械设备表

设备名称	型号	数量	主要性能
高喷台车	SGP300-2	2 台	深度 30 m
高压清水泵	3Dz-SZ	3 台	50 MPa, 80 L/min
空压机	XHP750S	2 台	21.3 m ³ /min
高速制浆机	ZJ-400	4 台	10~15 m ³ /h, 800 r/min
水泵	BW250/50	3 台	5 MPa, 250 L/min
泥浆泵	BW120	4 台	3 MPa, 120 L/min
高压水管	内径 20 mm	800 m	耐压 100 MPa
钻机	100 型/2BS/汽车钻	4 台	100~300 m
气、浆管	内径 25 mm	1200 m	耐压 100 MPa

(2) 孔径:为确保墙体瓶颈部位厚度满足 25~30 cm 要求,根据设计图纸及监理工程师指令,采用 150 mm 孔径。

(3) 孔位与孔斜:孔位偏差控制在 ≤ 5 cm, 钻孔倾斜率控制在 1%。

(4) 孔深:深入实际设计墙底高程 0.3~0.5 m。

(5) 钻孔分序:先施工 I 序孔,再施工 II 序孔。时间间隔 3~5 天,各序孔施工时作好详细班报记录,包括钻进过程的快慢、返浆情况、有无大的孤石及地质异常等情况,供高喷时调整施工参数。

3.3.2 钻孔施工

(1) 按设计要求现场测放线,钢尺量测孔位,孔距 1.5 m,钉木桩标识,分 I 序孔和 II 序孔,报监理工程师确认后施工。

(2) 造孔:钻机就位时分清孔序,开钻前调整钻机,立轴垂直度保证在 1% 以内,钻进过程中适时监控,发现倾斜及时纠正。施工时采用吊锤或水平尺校正钻机立轴垂直度。

(3) 护孔:灌浆导孔用泥浆护壁,回转钻进,终孔孔径 ≤ 150 mm,终孔后立即换浓浆护孔,保证 72 h 内喷杆能顺利下到孔底。施工中安排了部分导孔取心,复核地层岩性。失稳、泥浆漏失时,采取浓浆护壁或套管护壁,确保孔壁稳定。选定的泥浆参数见表 3。

表3 泥浆参数统计表

项目	密度/(g·m ⁻³)	漏斗粘度/s	失水量/[mL·(30 min ⁻¹)]	泥皮厚/mm	塑性指数/(mPa·s)	静切力/Pa	动切力/Pa	pH 值
一般	1.06 ±	28~37	12 ±	0.8~1	10~15	2~4	2~8	8.5~10
极限	<1.1	>20	≥30	≥3	<20	-	<10	≥10

右坝肩桩号0+000~100段地质结构松散,易失稳,泥浆漏失,钻孔施工时采用了泥浆堵漏护壁,局部地段采用了套管护壁,效果较好。I序孔的成功堵漏为II序孔施工提供了有利条件。

3.3.3 水泥浆液制备

采用标号32.5 MPa的普通硅酸盐水泥。根据地层层位变化,浆液水灰比为0.7~0.9,采用高速搅拌机搅拌。纯拌合时间 ≤ 30 s,保证连续制浆。利用孔口回浆时,应根据回浆浆液的密度适当调整水泥加料量,具体加量以所制浆液密度 ≤ 1.65 kg/L即可。

储浆桶内已制成待用的浆液采用低速搅拌机搅拌,以防止沉淀;制成已超过4 h而尚未使用的浆液予以废弃。

为了提高浆液的稳定性,可在加入水泥干料时加入水泥干料量5%的膨润土粉;在发生大量漏浆的情况下,在浆液中加入土料的数量应满足水泥用量 ≥ 0.60 t/m的要求。

不同配比的浆液应留取样品,制成试件,进行浆液和浆液凝固体的物理、力学性能试验。浆液性能试验的内容为:密度、粘度、稳定性、初凝时间及终凝时间。

3.3.4 高压摆喷成墙

(1)设备的安装、调试、就位:施工设备由水、气、浆三大系统组成。该工序主要检查各种设备运转是否正常,管路是否畅通,测试监控仪器是否齐备、完好。调试安装完毕才进行下一道工序。

(2)孔口试喷:设备性能检查调试,台车就位,明确导孔序号和摆角方向。下喷杆前必须进行地面试喷。方法是将预先设置的压力、流量等值加到喷射注浆施工的要求值。检查水流辐射半径、离散、雾化值是否与标准值相符,若不能满足要求时应更换喷嘴。

(3)下注浆管:下注浆管时应对喷头加以保护,防止堵塞。当遇到有喷杆下不到位或下不去的现象时,应视情况采取不同处理措施,只要不发生较严重的塌孔事故,喷管都不难下到位。一般采取以下措施:

- ①送水泥浆或泥浆,边送边摆边下;
- ②送风、送浆,边摆边下;
- ③送风、浆、水,边摆边下。

三种方法关键在于介质的压力及流量,一般不宜过大,如果各种措施均不成功,则只有用钻机通孔处理。

(4)高喷注浆作业:将注浆管下到预定深度后,调整好喷嘴方向及摆动角度,依次送浆、风、水,在孔底摆喷数秒(一般控制在不少于60 s),待泵压、风压升至设计值且孔口返浆密度在1.3~1.4 kg/L后开始提升。摆动角度 $20^\circ/\text{s}$,提升速度7~8 cm/min,水泥浆液密度控制在1.6~1.8 kg/L,高喷过程中,应经常测试水泥浆液密度和回浆密度,当达不到设计要求时,立即暂停喷浆作业并调整水灰比,然后迅速恢复喷浆作业。因表层为人工回填砂砾石,当喷浆管接近桩顶时,从桩顶1 m开始慢速提升喷浆至桩顶。

(5)回填灌浆:由于水泥浆液的析水、凝固收缩,每孔高喷完成后,及时和不间断地进行回灌,直至孔口浆液面不再下沉为止,保证成墙质量。

3.3.5 异常情况处理

(1)土体中有较大空隙引起不冒浆时,适当增大注浆量或采用砂浆充填,填满空隙后再继续喷射。

(2)冒浆量过大时,适当提高喷射压力或缩小喷嘴孔径,亦可加快提升速度,减少冒浆量,但应取得监理工程师批准。

(3)临孔串浆时,适当减小水压,或加快提升速度,或延长相邻孔施工间隔时间。

(4)高压水泵压力突然增大时,可能是一个或两个喷嘴堵塞,应立即停喷,提管处理,当重新下喷杆时,搭接长度 > 0.5 m。

(5)孔位和孔斜偏差超过规定值时应加补高喷孔。

(6)高喷墙之间的搭接处摆喷角度为 60° ,搭接施工时间 > 24 h。

4 墙体质量检查

质量检查在成墙28天后进行,拟采用开挖、钻孔取心和压水试验等检查方法。

4.1 检查点的布置

- (1)墙体轴线上,施工中出现异常的部位;
- (2)地质情况复杂,易对高喷质量产生影响的部位;
- (3)监理认为有必要检查的部位。

4.2 检查频度及合格标准

钻孔取心及孔内压水试验,检查孔数为高喷孔总数的5%,当检查孔数不合格率 $> 10\%$ 时,增加检查孔数量,直到不合格率 $< 10\%$,对不合格者应进行补喷。

合格标准:心样连续完整;压水试验抗渗要求:

室内试验成果满足力学强度和抗渗要求。

4.3 工序质量检验

本工程主体工程是高喷防渗墙,工序质量控制通过各种参数的控制来实现。包括:孔深、孔距、水、气、浆压力及流量,孔序、摆幅及摆角、摆动频率,提升速度、进浆、冒浆密度等。对各种参数制定内控措施,由专人负责定时和不定时检查,发现偏差及时纠正。上道工序不合格严禁下道工序施工,对偏差较大及时采取补救措施,使之合格。现场配备检验仪器仪表有:压力表、流量表、密度计/密度秤、秒表、钢尺、水平仪等。对仪器、仪表现场标定,保证检测数据准确,各道工序严格受控确保工程质量。

4.4 中间质量检验

墙体中间质量检验是在完成一段或一个分部的成墙施工任务后进行,其目的是检验该段墙体是否满足要求,同时也是对前阶段施工的总结。采取的主要措施是:墙体开挖检查、钻孔取心检查、注水试验、墙体取心作抗压强度、抗渗试验等。现场采取项目部自检与监理工程师抽检相结合的方式进行。

4.4.1 墙体开挖检查

龄期已满墙体进行开挖检查,即沿墙轴线每隔100 m左右开挖一处,由监理工程师现场随机指定开挖部位,开挖长度控制在10~30 m,深度2.5~4 m,通过现场鉴定墙体外观质量物理性能指标。主要检查内容有:墙体厚度、辐射半径、接头搭接是否连续、有无夹泥、强度、连续性与整体性等。墙体开挖检查共6段,经现场鉴定和钢尺量测,墙体厚度 ≥ 25 cm,有效辐射半径75~80 cm,接头部位搭接连续,未见夹泥现象,墙体连续性、整体性较好。

4.4.2 钻孔取心检查

高喷成墙达到28天龄期后,在墙体内进行小口径钻孔取心检查墙体质量,通过取心检查墙体的连续性与完整性。根据监理工程师要求,分别对桩号:左0+274、0+335,右0+084等3处共钻取心孔3个,墙深分别为16.0、16.0、24.0 m,取心深度分别为7.2、8.8、9.5 m,心样采取率80%~90%,平均抗压强度3 MPa。

从取出的心样观测墙体连续性与整体性均符合要求。其中2组心样送作抗渗和渗透比降试验。试验结果见表4。

4.4.3 墙体内原位注水试验

对取心孔同时进行注水试验,检查墙体渗透系数,注水试验采用常水头试验。

(1) 注水试验步骤:试验准备→洗孔→注水试

表4 取心检验成果表

孔号	深度/m	桩号	试验编号	渗透系数 $/(cm \cdot s^{-1})$	临界比降	破坏比降
左17	7.2	左0+274	17-1	3.0×10^{-7}	>80	>150
			17-2	2.8×10^{-7}	>80	>150
左90	7.8	左0+335	90-1	4.1×10^{-8}	>80	>150
			90-2	1.8×10^{-8}	>80	>150

注:检测依据《土工试验规程》(SL 237-1999)。

验→封孔→资料整理→数据计算。

(2) 试验方法:对取心孔首先用水泥砂浆封底2~3 m,待到龄期后开始试验,试验前用清水洗净孔内残渣。向孔内注水,待含水量达到一定饱和时,按规范要求开始注水试验,初始观测时间为10 min一次,水位较稳定时每30 min观测一次,稳定读数2~4 h后,试验结束。共进行3次注水试验,试验结果见表5。

表5 钻孔注水试验成果表

钻孔编号	桩号	墙深 /m	试段长 /m	渗透系数 $/(cm \cdot s^{-1})$
注试1号	右0+084	24.0	20.1	2.47×10^{-7}
注试2号	左0+274	16.0	14.0	1.52×10^{-6}
注试3号	左0+335	16.0	13.0	5.3×10^{-7}

注水试验结束后,用水泥砂浆封孔至墙顶高程,保证封孔质量符合设计要求。

4.5 围井试验检测

高喷折板墙的防渗能力,主要衡量指标是墙体及接头部位的渗透系数。为进行比较试验又采用围井做注水试验检测墙体质量。

(1) 围井施工布置:防渗墙的检测按2%的比例布置一处围井,即100个工程孔布置一个围井,在防渗墙施工完成后选定有代表性的地段或施工异常的地段布点。

(2) 围井施工设计:2个新的摆喷孔和2个工程孔组成一个围井,检查2个工程孔的半墙和一个搭接。新的摆喷孔离工程孔轴线0.86 m,两孔中心连线1.00 m,为确保围井有效可靠,将工程摆喷墙接高。围井完成后,在菱形平面中心钻注水孔,清挖井口,下入试验管,堵塞环状间隙、管脚砾石层,管口与地面平。见图5所示。

4.6 效果检测

任意抽检作了1个围井渗透试验(见图6),渗透系数 $K = 5.13 \times 10^{-7} \sim 2.26 \times 10^{-6}$ cm/s,此结果同钻孔注水试验成果比较完全相稳合。施工中,还发现Ⅱ序孔地层中有水泥结石,说明砂、卵砾石层中的渗漏通道被水泥有效堵塞,工程经过3年汛期的

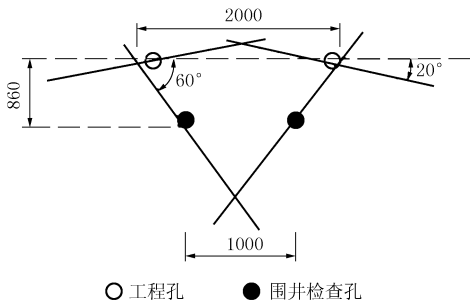


图 5 围井试验平面示意图

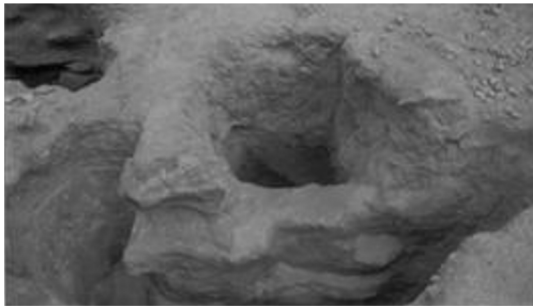


图 6 高压摆喷渗透试验围井图

考验,未发现任何渗漏现象。

5 结论

(1) 青藏高原地区,在砂、卵砾石地层中,采用高压摆喷灌浆技术,建造地下防渗墙,加固水库大坝,进行防渗处理,技术可行,经济合理,效果明显。

(2) 施工前,应充分研究设计文件、图纸和施工场地的水文、工程地质资料,同时应作好生产性灌浆试验,确定合理的施工工艺与参数。

(3) 高压摆喷防渗墙施工,宜选在枯水期,低水头时进行,汛期高水位期间,不宜施工,若硬要施工,则必须采取一系列切实可行的保障措施,如孔距加密、浆液浓度加大、掺入速凝剂等等。

参考文献:

- [1] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [2] 曾国熙,等. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [4] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.
- [5] 白永年,等. 中国堤坝防渗加固新技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

我国冻土带成功钻获天然气水合物实物样品

中国地质调查局网站消息 在新中国成立 60 周年即将来临之际,我国的天然气水合物勘查又获重大突破。国务院参事、国土资源部总工程师、中国地质调查局副局长、总工程师张洪涛在国土资源部 2009 年 9 月 25 日举办的新闻发布会上,向社会发布了我国陆域冻土带天然气水合物勘查的重大成果。冻土带天然气水合物钻探工程项目首席科学家祝有海介绍了钻探发现天然气水合物的过程。

2008 年 11 月,国土资源部在青海省祁连山南缘永久冻土带(青海省天峻县木里镇,海拔 4062 m)成功钻获天然气水合物实物样品;2009 年 6 月继续钻探,获得宝贵的实物样品,并对样品进行了室内鉴定,获得一系列原始数据。这是我国继 2007 年 5 月在南海北部钻获天然气水合物之后的又一重大突破。

首次在我国陆域发现天然气水合物,使我国成为世界上第一次在中低纬度冻土区发现天然气水合物的国家,也是继加拿大 1992 年在北美麦肯齐三角洲、美国 2007 年在阿拉斯加北坡通过国家计划钻探发现天然气水合物之后,在陆域通过钻探获得天然气水合物样品的第三个国家。这一重大突破,证明了我国冻土区存在丰富的天然气水合物资源,对认识天然气水合物成藏规律、寻找新能源具有重大意义,同时也再次证明了我国天然气水合物的调查与研究处于国际领先水平。

中国高度重视陆域永久冻土区天然气水合物的调查与研究工作。2002 年国土资源部在启动海域天然气水合物调查时,同步部署陆域永久冻土区天然气水合物的相关调查研究工作,2004 年由中国地质调查局负责组织开展资源远景调查和钻探技术研发,编制出我国第一份冻土区天然气水合物稳定带分布图,圈定了有利区带。

在前期研究成果基础上,钻探验证工程上马。2008 年,由中国地质调查局负责,组织中国地质科学院矿产资源研究所、勘探技术研究所和中国煤炭地质总局青海煤炭地质 105 队等精干队伍,选择成矿

条件相对有利的祁连山南缘—青海省天峻县永久冻土区实施钻探工程,于 11 月 5 日发现并成功钻取天然气水合物实物样品。样品具有天然气水合物所具有的独特标志,岩心表面见白色棉絮状晶体,能直接点火燃烧,岩心不断冒出气泡和水珠,伴生晶型完好的自生碳酸盐和黄铁矿,天然气水合物分解后岩心呈蜂窝状构造,这一成果得到了国内外专家的学术认定。

在此基础上,国土资源部 2009 年又部署了一批钻探实验井,6 月再次钻获天然气水合物样品,经现场红外热像仪检测证实为水合物的矿层,并经当今世界上最先进的激光拉曼光谱仪检测,显示出标准的天然气水合物特征光谱曲线,其特征与墨西哥湾实物样品和我国合成样品完全一致。

新发现的天然气水合物位于祁连山南缘永久冻土层之下,井深 130~396 m,呈薄层状、团块状,赋存于泥质粉砂岩、细砂岩、泥岩的裂隙面上,组分主要是甲烷气体,还有少量乙烷、丙烷等烃类气体,是一种纯度高、类型新的水合物资源。

我国是世界上第三冻土大国,冻土区总面积达 215 万 km²,具备良好的天然气水合物赋存条件和资源前景。据科学家粗略估算,远景资源量至少有 350 亿 t 油当量。

天然气水合物是“后石油时代”的重要替代能源。我国在冻土区发现这一潜在资源,必将极大地开拓人类寻找新资源的视野,为经济社会可持续发展提供新型能源。目前,人类对天然气水合物的认识还相当有限。在科技部的支持下,有关海域天然气水合物的“863”项目、“973”项目已经启动,相关调查及开发技术研究也已纳入国土资源部“十二五”规划,与加拿大、德国等国际合作正在推进。我们有条件、有能力彻底摸清陆域天然气水合物的赋存条件、形成机理和分布特征,海域、陆域齐头并进,加快天然气水合物勘查、评价、开发和环境效应研究。