

高压喷射灌浆在新疆某水库除险加固中的应用

张爱华

(兵团勘测规划设计研究院一分院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 对坝基深覆盖层的防渗, 最常规的方法就是采用混凝土防渗墙, 本工程通过高压喷射灌浆与混凝土防渗墙的综合比较, 选择高压喷射灌浆和帷幕灌浆对坝基砂砾石层和强风化层进行防渗处理, 这对新疆土石坝的防渗采用新的工艺设备及方法带来新的发展空间。简要介绍了高压喷射灌浆设计及高压喷射灌浆施工参数选用, 同时简述高压喷射灌浆的施工及在施工中遇到的问题及处理。

关键词: 高压喷射灌浆; 工艺参数的选择; 施工

中图分类号: TV698.23

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2010)05-0057-03

Application of High-pressure Jet Grouting in Stabilization for Dangerous Release in a Certain Reservoir of Xinjiang

ZHANG Ai-hua

(First Branch Office of Investigation and Plan-design Institute of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: For the seepage control of the deep layer of dam foundation, the conventional method is to use concrete cutoff wall. Through comparing this method with high-pressure jet grouting, the high-pressure jet grouting and curtain grouting are selected for the seepage control of the sand gravel layer and weathering layer of dam foundation, which would bring a new development space for the seepage control of earth-rock dams in Xinjiang. Here, the design and construction parameters selection of the high-pressure jet grouting are introduced, and the problems in its construction as well as the treating measures for it are also described briefly.

Keywords: high pressure jet grouting; technology parameter selection; construction

1 工程概况

某水库是一座以灌溉为主的小(1)型拦河式水库, 大坝为碾压式均质土坝, 控制灌溉面积 541.7 hm²。水库始建于 1973 年, 原规划设计总库容 105 × 10⁴ m³, 当时由于受资金限制, 水库完工库容 70 × 10⁴ m³, 坝高 14.62 m, 经过 30 多年的运行, 坝基渗漏严重, 为了水库大坝安全, 每年蓄水库容不超过 55 × 10⁴ m³。根据现场调查了解, 当水库水位超过 960.07 m (对应库容 55 × 10⁴ m³) 时, 坝址区 (距后坝坡脚 5 m 处河床) 严重冒水翻砂。

2009 年 5 月对水库进行了除险加固。加固后坝高 18.50 m, 坝顶高程 961.50 m, 坝顶宽 5 m, 水库坝长 168 m。正常蓄水位 962.54 m, 对应库容 80 × 10⁴ m³, 设计洪水位 963.54 m, 对应库容 90 × 10⁴ m³, 校核水位 964.25 m, 对应库容 105 × 10⁴ m³。

经地质勘察, 老坝体由含砾粉土组成, 坝体填筑质量差。坝基土分为两层, 坝基由第四纪松散砾石和相对隔水的凝灰质砂岩组成。砾石层渗透系数 1.8 × 10⁻² cm/s, 厚度为 9 m, 砾石颗粒组成: 大于 60 mm 粒径组含量 8.5%, 60~40 mm 粒径组含量 11.1%, 40~20 mm 粒径组含量 23.9%, 20~10 mm 粒径组含量 19%, 10~2 mm 粒径组含量 20%, 2~0.5 mm 粒径组含量 6.7%, 0.5~0.25 mm 粒径组含量 1.7%, 0.25~

0.075 mm 粒径组含量 5.1%, <0.075 mm 粒径组含量 3.9%; 下部基岩强风化带渗透系数 3.2 × 10⁻⁴ cm/s。

2 处理方案的选择

该工程的主要任务是防洪和灌溉, 除险加固主要是恢复原库容, 减少坝基渗漏, 保证坝基的渗透稳定, 故主要的处理方案是坝基的防渗处理, 即截断砂砾石透水层。

为了彻底根治, 将老坝体从坝顶以下翻压 4.0 m, 将大坝加高培厚, 加高高度为 4.0 m (为低液限粘土), 对坝基采用三管喷射摆喷灌浆。坝基垂直防渗体设于距上游坡脚 1/3 (16.5 m) 坝底宽度处, 坝基砂砾石层垂直防渗采用高喷灌浆, 强分化层岩基垂直防渗采用帷幕灌浆, 灌后岩基透水性控制在 10 Lu 以内, 截水墙底部嵌入相对不透水层 0.5 m。顶线伸入老坝体 1.5 m。高压喷射灌浆的优点是不需要开挖, 只需要根据设计的防渗体范围钻孔喷浆营造某一几何形状的防渗体, 不破坏坝体, 不需要水库放空, 施工速度快。据统计我国利用该项技术已经成功处理了 100 多座水库。

与现浇混凝土防渗墙比较, 施工难度小, 成墙工效较高, 施工工程量小, 工程投资小。在渗透和结构方面有着独特的稳定性, 高压喷射灌浆可在地基中自动均衡的形成复合结构, 即渗水先经渗透凝结层, 再进入防渗性极强的浆皮层, 最后才能达到墙体核心, 然后沿着相反的层次穿过防渗体。另

外高压喷射灌浆形成的防渗体弹性模量较低,有较强的变形适应性,在适应地基的变形方面较混凝土防渗墙有明显的优越性。混凝土防渗墙在依靠泥浆固壁形成的“泥皮”,相互接触,各道混凝土防渗墙之间的连接处,亦存在所谓的“泥皮”难以完全清除,在结合部位形成诸多薄弱面。而高压喷射灌浆防渗体则属逐渐过渡性接触,在施工过程中按序施工,喷射时对地层起挤压作用,不会导致地基应力“释放”,凝结体的强度由内向外逐渐变小,直到与地基完全一致,这对适应和协调地基变形是十分有利的。

3 高压喷射灌浆设计

高压喷射法就是利用工程钻机钻孔至设计处理的深度后,用高压泥浆泵,通过安装在钻杆(喷杆)杆端置于孔底的特殊喷嘴,向周围土体高压喷射固化浆液(一般使用水泥浆液),同时钻杆(喷杆)以一定的速度边旋转边提升,高压射流使一定范围内的土体结构破坏,并强制与固化浆液混合,凝固后便在土体中形成具有一定性能和形状的固结体。高压喷射灌浆按喷射装置可分为单管喷射、两管喷射、三管喷射。

3.1 加固机理^[1]

高喷法如三管高喷法用压缩空气包裹高压喷射水流冲击破坏搅动土体,同时用低压灌浆泵灌入浆液,浆液被高压水、气射流卷吸带入,同时与被搅动土体混合形成固结体^[2]。加固地基,形成桩、板、墙的原理可用 5 种作用来说明:

(1) 高压喷射流切割破坏土体作用: 喷流动压以脉冲形式冲击土体,使土体结构破坏出现空洞。

(2) 混合搅拌作用: 钻杆在旋转和提升的过程中,在射流后面形成空隙,在喷射压力作用下,迫使土粒向与喷嘴移动相反的方向(即阻力小的方向)移动,与浆液搅拌混合后形成固结体。

(3) 置换作用: 三重管高喷法又称置换法,高速水射流切割土体的同时,由于通入压缩空气而把一部分切割下的土粒排出灌浆孔,土粒排出后所空下的体积由灌入的浆液补入。

(4) 充填、渗透固结作用: 高压浆液充填冲开的和原有的土体空隙,析水固结,还可渗入一定厚度的砂层而形成固结体。

(5) 压密作用: 高压喷射流在切割破碎土体的过程中,在破碎带边缘还有剩余压力,这种压力对土层可产生一定的压密作用,使高喷桩体边缘部分的抗压强度高于中心部分。

3.2 灌浆设计

3.2.1 高喷防渗墙厚度的确定

在 947.00 m 高程前坝脚单排灌浆孔,坝基防渗墙穿透透水层再深入基岩 0.5 m。灌浆钻孔最大深度 15.5 m,其中坝基灌浆最大深度 9.5 m。

高喷防渗墙厚度计算:

计算公式^[3]: $\delta = H/L$

式中: δ 为高压喷射防渗墙厚度; H 为大坝压力水头(即上、下游水位差); L 为灌浆防渗墙允许水力坡降。

压力水头 H 经计算为 17.50 m。允许水力坡降,根据有关高压喷射灌浆实测资料统计,安全系数取 3~5, L 值一般为 200~400,计算结果为 9 cm,构造要求灌浆防渗墙厚度 $\delta = 20$ cm。根据有关实测资料统计,采用三管喷射法单排布孔时灌浆浆液凝结厚度为 20 cm~40 cm,满足设计计算厚度的要求。

经计算,坝基砂砾石高喷灌浆后,实际水力坡降 0.005 小于砂砾石允许坡降 0.03,防渗后坝基渗透是安全的。

3.2.2 帷幕灌浆厚度的设计

坝基、坝肩防渗结合坝体防渗综合考虑,采用预埋灌浆灌法进行坝基、坝肩帷幕灌浆。

帷幕灌浆厚度按下式计算^[4]:

$$T \geq H\beta/I_a$$

式中: I_a 为帷幕允许水力坡降,取 18; β 为通过帷幕的水头衰减系数,取 0.7; H 为水头,取 17.50 m。

经计算灌浆厚度 $T = 0.68$ m。

对于单排孔,帷幕灌浆厚度为孔距为 0.7 倍,即 $T = 0.7 \times 2 = 1.4$ m ≥ 0.68 m,满足设计要求。

3.2.3 坝体、坝基渗漏量计算

3.2.3.1 计算断面的选择

选取河床覆盖层较深的断面,桩号 0+080; 岸坡段覆盖层较浅具有代表性的断面,桩号为坝 0+030。

3.2.3.2 计算参数的选取

老坝体土主要为含砾粉土,渗透系数 $k = 5 \times 10^{-4}$ cm/s; 加高培厚坝体土为低液限粘土,渗透系数 $k = 2 \times 10^{-6}$ cm/s。高喷灌浆防渗体 $k = 1 \times 10^{-8}$ cm/s,基岩强风化带渗透系数 3.2×10^{-4} cm/s,帷幕灌浆防渗体渗透系数 $k = 1 \times 10^{-6}$ cm/s。

3.2.3.3 计算程序

采用北京水利水电科学研究院 2000 年出版的《平面稳定渗流程序》(STSE) 进行计算,计算原理详见《使用说明》。

3.2.3.4 计算结果

典型断面计算结果见表 1。

表 1 各断面渗流量计算结果

| 项目 | 单位 | 坝 0+030 断面 | 坝 0+080 断面 | 合计 |
|----------|--|--------------------|----------------------|------|
| 上、下游水头差 | m | 7 | 17.5 | |
| 加固前单位渗流量 | $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ | 8×10^{-5} | 2×10^{-4} | |
| 加固后单位渗流量 | $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ | 3×10^{-5} | 7.5×10^{-5} | |
| 代表坝段长 | m | 80 | 88 | |
| 加固前年渗流量 | $\times 10^4 \text{m}^3$ | 11.0 | 31.2 | 42.2 |
| 加固后年渗流量 | $\times 10^4 \text{m}^3$ | 3.7 | 10.3 | 14.0 |

由表 1 可以看出,坝体、坝基年渗流量由防渗前的 $42.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ 降到 $14.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ 。

3.2.4 孔距及布置型式

孔距及布置形式的设计合理与否,对造价及质量影响很大,而孔距及布置形式受水文地质情况影响很大,一般通过试验确定。参考大量的工程实践经验,一般在中粗沙、壤土的地层,孔距多采用 1.5 m~2.0 m; 在砾卵石及卵漂石地层,孔距

多采用 1.0 m~ 1.5 m。该工程的地层为砂砾石地层, 采用折线形摆喷, 通过现场试验结合工程实践经验确定为 1.5 m。

3.2.5 高喷灌浆主要施工参数

对于高压喷射灌浆的原理, 在理论上虽可做些计算和分析, 但仅仅是定性的, 要定量地选择离实际应用还有相当的距离, 因此实际工程的应用多依据试验和经验。这些技术参数的确定与被处理地层的工程和水文地质情况是密切相关的。

本工程经过试验及结合目前国内的工程实例(见表 2)确定的工艺技术参数如下:

- 高压水压力 35 MPa~ 40 MPa, 水量 70 L/min
- 压缩空气气压 0.5 MPa~ 0.7 MPa, 气量 60 L/min
- 水泥浆浆压 0.6 MPa~ 1 MPa, 浆量 60 L/min, 进浆密度 1.6
- 提升速度 6~ 8 cm/min, 摆动速度 6 r/min
- 摆动角度 30°。

表 2 高压喷射灌浆主要工艺技术参数(工程实例)^[1,4,5]

| 高喷灌浆种类 | | 三管法 | | | | |
|------------------------------|---|-------------------------|----------|-----------------|---------------|------------|
| 工程实例 | | 国内有关资料 | 弓上水库 | 长江三峡 鹰子嘴围堰 | 青岛市团 污水处理厂 | 苏州河 防汛墙 |
| 适用土质/工程地质 | | 砂土、粘性土、黄土、 杂填土、小粒径砂砾 | 砾卵 石层 | 冲积粉细砂 层、碎块石层 | 花岗岩 | 淤泥质 粘土 |
| 高 喷 灌 浆 参 数 | 水 | | | | | |
| | 压力/MPa | 20.00 | | 32 | | 24 |
| | 流量/(L·min ⁻¹) | 50~ 80 | | 75 | 75 | |
| | 空气 | | | | | |
| | 压力/MPa | 0.70 | 1 | 0.7~ 0.8 | 0.7~ 0.8 | |
| | 流量/(m ³ ·min ⁻¹) | 1~ 3 | 90 | 0.9~ 1.3 | 1~ 1.3 | |
| | 浆液 | | | | | |
| | 压力/MPa | 0.1~ 1 | | 0.05~ 0.5 | | |
| | 流量/(L·min ⁻¹) | 50~ 80 | 160 | 80 | 80 | 90 |
| | 密度 | | 1.45 | 1.6 | 1.6 | 1.55 |
| 提升速度/(cm·min ⁻¹) | 5~ 40 | 10~ 20 | 6~ 12 | 7~ 8 | 20 | |
| 旋转速度/(r·min ⁻¹) | 5~ 20 | 10~ 20 | | | | |
| 灌浆孔孔距/m | | | 0.5 | 1.5 | 2.4 | |
| 摆动角度 | 5°~ 35° | | | 25° | 35° | |

4 施工及施工中遇到的问题及处理

(1) 高压喷射灌浆的施工机具由高压发生装置、钻机、特种钻杆和高压管路四部分组成。主要包括: 钻机、高压泵、空气压缩机、注浆管、喷嘴、流量计、输浆机、制浆机^[6]。

(2) 进行场地平整, 挖好排浆沟, 做好钻机定位, 要求安放水平, 钻杆保持垂直, 且确保钻孔倾斜率不超过 0.3%。钻孔定位后, 利用特种钻杆在设计孔位钻孔利用原浆固壁止设计高程, 设计孔位与实施孔位的偏差应小于 5 cm。

(3) 下三重管喷射, 在地面上进行水、气试喷后下管至设计深度, 调整喷射轴线方向呈折线型(折线的轴线与高喷灌浆钻孔的轴线的夹角为 15°)。

(4) 高压喷射灌浆, 要确保水泥浆充分搅拌和控制好浆液比重、水灰比。严格按施工技术要求来操作, 用技术参数来控制灌浆质量^[7]。

(5) 高压喷射灌浆采用三重管喷射工艺。分两序施工, 经过对部分开挖连接墙段的观察和分析, 当第 1 序墙体的强度不够而切割时, 由于墙体固有的不均匀和第 2 序喷射时穿透能力以及灌填饱和程度的限制, 将附近第 1 序墙体冲散而第 2 序灌填不饱满等原因形成防渗的弱点, 甚至空洞, 故当第 1 序墙体有足够的强度(1 序喷灌 7d 后), 再进行 2 序喷灌连接时, 这样连接防渗效果好, 经对布置的 2 个检查孔进行注水试验(注水试验共 6 段), k 值最大为 8.1 × 10⁻⁶ cm/s, 最小为 6.5 × 10⁻⁷ cm/s, 均满足设计要求。

5 结 语

高压喷射灌浆是强制性破坏原土层结构, 不存在一般注浆的可灌性问题, 只要高压射流能破坏的地层如: 细沙、特细沙、粘性土均可处理, 对块、卵石层、砾石层及集中渗漏的空间, 以各种射流机理加之绕流、位移等作用将地层颗粒予以充填封堵, 该技术在本工程中得到了成功的应用。高压喷灌技术有一定的适用范围, 在方案选择时, 必须经过经济比较, 选择最佳方案。高压喷射灌浆技术参数的选择应根据实际工程的应用多依据试验和经验。

参考文献:

- [1] 董哲仁主编. 堤防除险加固实用技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 180-250.
- [2] 白永年, 等著. 中国堤坝防渗加固新技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 200-240.
- [3] DLT 5200- 2004. 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [4] 能源部、水利部水利水电规划设计研究院. 碾压土石坝设计手册(上册)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989: 700-705.
- [5] 王殿武, 于木洋. 平原水库工程技术研究与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 143-156.
- [6] SL62- 94. 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994: 6-15.
- [7] 刘保军, 党进谦. 册田水库大坝除险加固措施探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(3): 95-96.