

高压定向喷射灌浆构筑防渗板墙技术的研究

王宝玉 查振衡 曲广兴

张灿峰

(山东省水利科学研究所, 济南)

(泰安市水利机械厂)

提 要

根据坝基帷幕防渗技术的要求, 在高压旋喷桩和帷幕灌浆设备的基础上, 研制、组装成高压喷射灌浆专用设备, 研究提出了高压定向喷射灌浆构筑防渗板墙技术工艺。通过多次进行板墙、围井试验, 以及在坝基砂砾层构筑防渗板墙的工程实践, 证明该项技术能够构筑厚度均匀、致密连续的板墙。板体之间、板与基岩之间接触牢固, 符合防渗要求。施工速度快, 且比较经济合理。这项技术可用于低水头坝基砂砾层止水防渗、截潜流等工程。已取得的工艺参数, 可供设计、施工因地制宜选用。

一、前 言

我国修建的拦河土坝和防洪土堤为数众多。不少堤坝地基因未作防渗处理或防渗措施不当, 渗漏严重、危及安全。过去沿用的帷幕灌浆方法, 对多数坝堤地基砂砾层, 存在着可灌性差和浆液扩散范围小的弊病, 形不成均匀防渗帷幕。

1977年6月, 山东省水利科学研究所, 曾在尼山水库坝基砂砾层进行过定向喷射灌浆试验, 利用射流切割搅动作用, 在地层中形成板墙状凝结体。1982年初, 山东省水利科学研究所和泰安市水利机械厂在国内铁路、冶金系统旋喷桩基础上, 按帷幕防渗要求, 研制组装成新的高压定向喷射灌浆设备, 用于构筑防渗板墙, 曾先后在白浪河水库土坝坝后、泰安市水利机械厂模型试验槽、大冶水库土坝坝体上进行了试验, 并应用于坝基砂砾层防渗工程, 取得成功。

二、基 本 原 理

高压喷射灌浆, 是利用高速水气射流破坏地层结构, 并随之将浆液充填、掺混入地层中去的一种方法。高压水射流, 水气同轴喷射, 切割、掺搅地层, 同时浆液跟随高速水气流, 在低压条件下掺搅进入地层, 形成冲填凝结体。作用原理示意如图1。

水气同轴喷射, 在地层中的喷射速度和作用长度, 与喷射压力、流量及地层情况有关。试验证明: 喷射压力愈高, 喷嘴直径愈大, 喷射作用时间愈长, 则穿射速度和长度愈大; 地

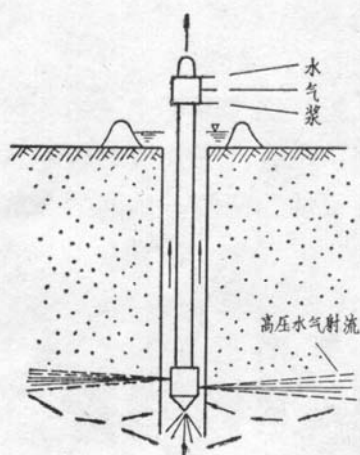


图1 高压喷射灌浆作用原理示意图

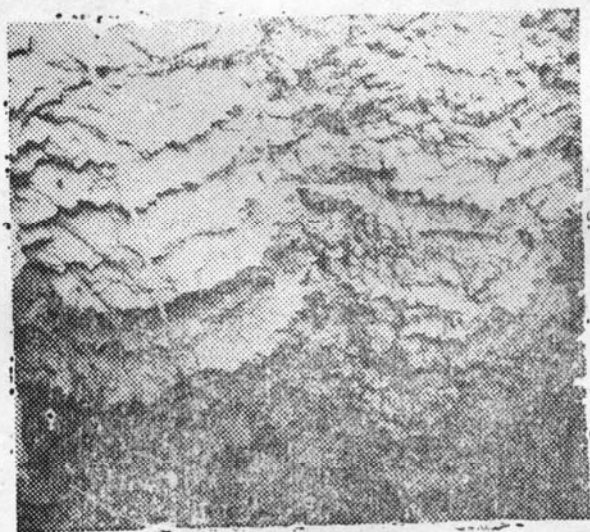
层愈硬, 则穿射速度和长度愈小。

不同的高压喷射灌浆工艺, 可形成不同结构的凝结体。在喷射过程中, 如边旋转、边提升, 则形成圆柱状凝结体, 称旋喷桩; 如只提升, 不旋转, 固定喷射方向, 则可形成板墙状凝结体, 称定喷板。两种形状的凝结体如图2所示。

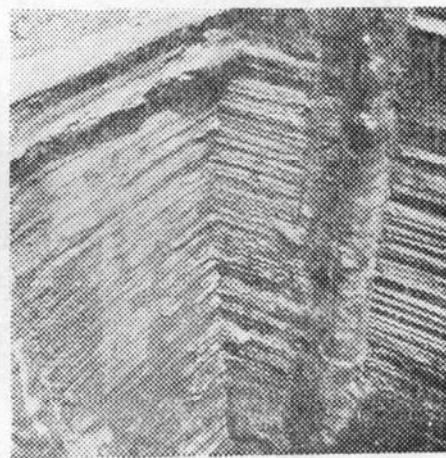
高压定向喷射灌浆, 形成定喷板, 主要是由以下四种作用的结果。

(一) 切割沟槽作用

水射流在 $200 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ 的泵压力作用下, 从直径 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 的喷嘴喷出, 出口速度约 $150 \sim 200 \text{ m/s}$ 。高速水流冲击土体, 使土体承受很大的动压力和沿孔隙作用的水力劈裂力, 以及由脉动压力和连续喷射造成的土体强度疲劳等综合作用, 使土体破坏。水气同轴喷射, 高速水气流沿喷射方向切削搅动土体, 与同时灌入的浆液掺混。随着缓慢提升, 便沿喷射提升方向形成一条切割沟槽如图3。切割的长度、宽度与喷射能量、提升速度以及地质条件有关。



(a) 旋喷桩



(b) 定喷板

图2 两种形状的凝结体

(二) 升扬置换作用

水气同轴喷射, 压缩空气在水束周围形成气幕, 保护水束, 减小摩阻, 使水射束能量不过早消散, 增加了喷射切割长度。在喷射切割过程中, 喷射切割末端, 水、气、浆与地层中被切割下来的细颗粒掺混, 形成夹气混合液, 沿切割沟槽及孔壁与喷射管的间隙冒出地面, 由于压缩空气在浆液中分散成气泡, 使冒出浆液呈沸腾状, 增加了升扬挟带能力, 切割沟槽内的细颗粒成分更容易被带出地面, 改良了地层的组成成分。

(三) 充填挤压作用

浆液沿已形成的沟槽充填, 沟槽底部的浆液浓稠, 上部浆液细稀。浆液与水、气掺混稀

释并挟带地层中部分细颗粒冒出地面，地层中大量土粒与浆液混合，充填到切割的沟槽之中。浆液灌注是连续进行的，结束喷射以后，浆液静压、充填灌注仍在进行，这样既可充填钻孔因浆液凝结而出现的“凹陷”，也有利于浆液对板墙两侧土体的挤压和渗透，使板墙和两侧土体的结合更加密实。

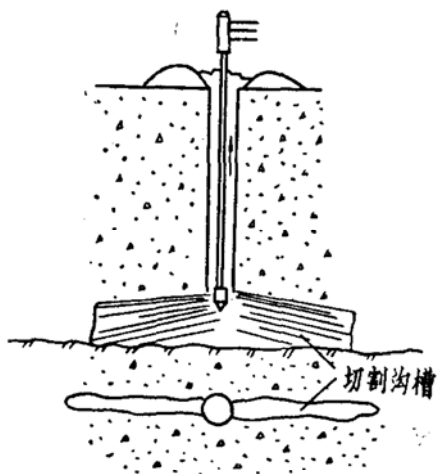


图3 切割沟槽

(四) 渗透凝结作用

高压喷射灌浆构筑的防渗体，除板墙本身外，还有在脉冲和静压灌注作用下，浆液向沟槽两侧土体孔隙渗透形成的浆液渗透凝结过渡层，它与板墙结为一体，有着很强的防渗性。渗透凝结层的厚度，视土体级配及渗透性而定。在渗透性较强的砂砾层，厚度达20cm，在渗透性较弱地层，如细砂层或粘土层，厚度则很薄。

三、设备及工艺

(一) 高压喷射灌浆设备

高压定向喷射灌浆技术，能否应用于工程实践，关键在于所用设备的性能及基本参数的选择。按防渗板墙施工要求，组装的高压定向喷射灌浆设备，如图4。现将各组成部分的性能，分别叙述如下：

1. 水系统：选用三柱塞高压水泵，工作压力可控制在 $250 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ ，排水量控制

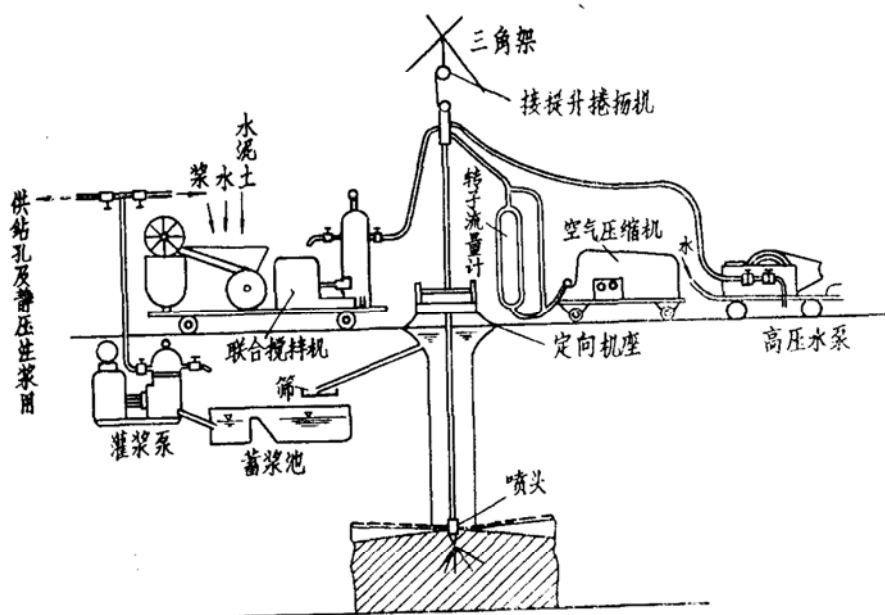


图4 高压喷射灌浆设备组装示意图

75~150 l/min。泵排水出口处 安装高压截止阀。输水管用 $\phi 19\text{mm}$ 的钢丝缠绕高压胶管。

2. 气系统: 选用 3m^3 空气压缩机, 工作压力控制在 $7\sim 8\text{ kg/cm}^2$ 。输气管路上安装转子流量计, 用以测调气量, 控制排气量 $0.8\sim 1.2\text{m}^3/\text{min}$ 。

3. 浆系统: 用 WJG80 型搅灌机, 排浆量 $80\sim 100\text{ l/min}$ 。该机可搅制各种配比的水泥浆、粘土与水泥混合浆、纯泥浆等。水泥、土、水等材料输入进料口, 经高速搅拌成浆, 由滚筛将大颗粒及杂质筛除。制成的浆液经灌浆泵、胶管送至孔口, 可连续进料灌注。

4. 喷射装置: 包括高压水龙头、喷射管、喷头三部分, 水、气、浆经高压龙头、喷射管路送至喷头。喷头部分, 水嘴按最佳射流形式选择如图 5。气嘴与水嘴同心套放, 环状间隙 $1\sim 2\text{ mm}$ 。为适应防渗要求, 改善与岩层界面的结合质量, 将水气喷嘴改为下倾斜式, 下倾角 $10\sim 20^\circ$, 如图 6。这样, 在岩层界面凹凸不平以及风化破碎情况下, 均可将岩面喷射切割、刷洗干净, 使形成的凝结体与基岩结合密实。

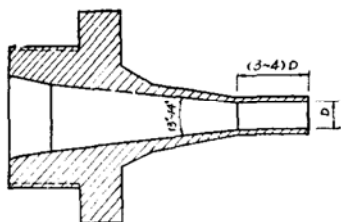


图 5 喷嘴形式

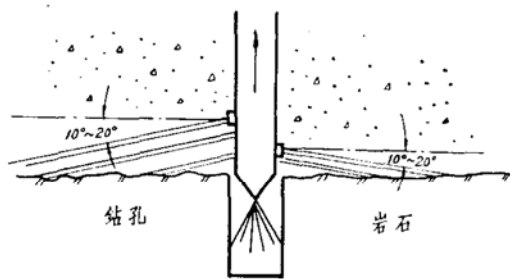


图 6 下倾斜喷头

5. 定向、旋转及提升装置: 喷射管路中的键槽通过孔口定向机座, 控制定向或旋转。如需旋转可通过调速电机控制。卷扬机控制喷射管路的提升速度。

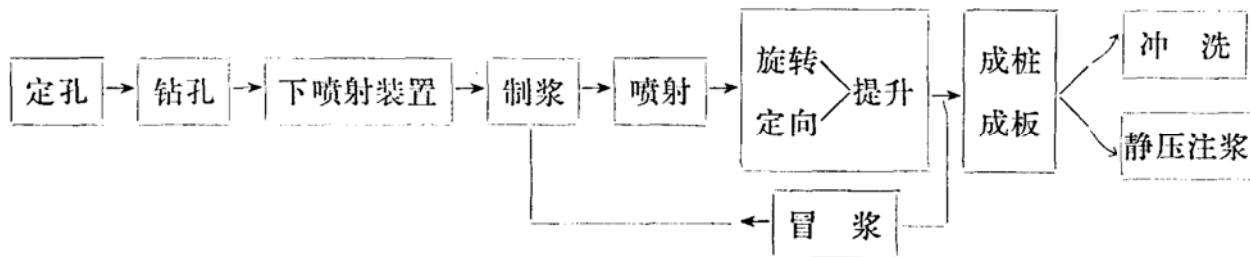
6. 造孔装置: 岩心钻机, 合金钻头, 泥浆循环护壁造孔。在土层及砂砾层中, 可利用高压射水方法, 喷射管边旋转、边向下射水直接钻入地层。

7. 浆液回收利用系统: 喷射灌注过程中, 孔内水、气、浆以及地层中部分颗粒成分, 被升扬带出地面, 称作冒浆。冒浆经沉砂、过滤后, 用回浆泵输送回搅灌机内, 掺加水泥, 搅拌加稠重新使用。适应于坝基砂砾层含泥量少和防渗体对弹性模量要求较低的情况。浆液的回收程度应视地质情况和构筑物的性能要求而定。

(二) 高压喷射灌浆工艺流程

根据不同的目的和要求, 可按图 7 工艺流程形成桩或板。

施工作业流程如下:



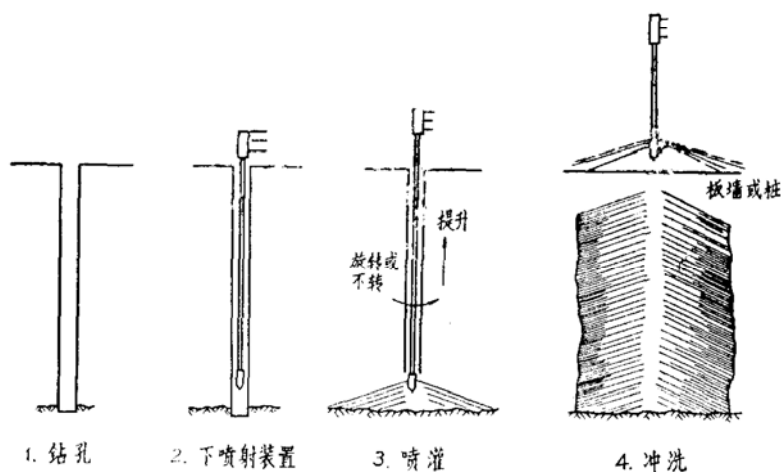


图7 高压喷射灌浆施工程序

(三) 施工步骤和要求

1. 用岩心钻机，合金钻头，泥浆循环护壁造孔，控制孔斜不超过1%，岩石以下应深钻0.5~1.0m。
2. 将喷射装置下到孔底，定准喷射方向。
3. 接通水、气、浆喷射管路，喷射灌注2~3分钟，将孔内护壁泥浆置换排除掉，待水泥浆液冒出后，经沉淀导入储浆池，由回浆泵送回搅灌机，掺加水泥，使浆液比重达到1.6~1.7g/cm³，重新使用。
4. 按要求速度提升喷射装置。在提升过程中，水、气、浆各项工作参数，如压力、排量等均需符合规定要求。喷射灌浆质量主要依靠各个设备的仪表来控制。
5. 全孔喷射完毕，随即对设备、管路进行清洗和检修，并对喷孔进行静压灌浆，延续时间应到孔口液面不再析水下沉。

(四) 施工组织

施工队每套设备每班需配备技术人员、技工、壮工共28人，工作分工如表1。

表1 高压定喷灌浆人员组合

工 种	分 工	人 数	备 注
高压水泵手	送高压水	2	机械2人，进料5人
空压机手	送压缩空气	1	
搅 灌 工	搅灌浆液	7	
钻 工	钻 孔	5	
喷 射 工	定向提升	6	包括静压灌浆 进浆、冒浆、回浆
检 测 工	检测浆液比重、流量	2	
机 修 工	机电维修	3	
技 术 员	记 录	1	
工程师或技术员	指 挥	1	
合 计		28	

(五) 设备及工艺特点

通过试验采用的高压喷射灌浆设备和施工工艺, 具有以下几方面的特点:

1. 连续作业性强。水、气、浆等各系统, 机械性能稳定, 可做到协调流水作业。设备结构紧凑、轻便, 拆卸、移动方便、管路输送距离远, 适应于坝顶、坝坡以及狭窄场地布置施工。

2. 喷射压力较高, 可以在泵压 $250\sim 300\text{kg/cm}^2$ 情况下, 连续工作。

3. 喷射装置压力损失较小, 工作安全可靠。改水平喷射为下倾斜喷射, 有利于解决风化及凹凸不平岩层界面的喷射连接问题, 使板墙与岩层紧密结合。双向双喷嘴工作状态稳定, 解决了单向喷射时的震动、扭曲、歪斜等不稳定问题, 在喷射管路刚度满足要求的前提下, 可实现准确定向喷射, 需要时也可进行摆动或旋转喷射。

4. 浆液搅制灌注设备性能稳定, 工作效率高, 这是保证高压喷射灌浆质量和效率的技术关键。浆液回收利用系统较为合理, 可以因地制宜地采用。

四、板 墙 试 验

为了探讨定喷构筑板墙的有效施工方法, 作了多种喷射形式的试验, 定喷试验孔深一般 $2\sim 3\text{m}$ 。在现场进行了开挖检查, 试验证明, 高压定向喷射灌浆, 可以在粘性土层和砂层中, 形成比较均匀的板墙状凝结体, 其结构如图8。单向喷射板墙的最大长度为 4.5m , 一般 $1.5\sim 3.5\text{m}$ 。双向双喷嘴的最大长度为单喷嘴的两倍, 达 $8\sim 9\text{m}$ 。钻孔处形成直径 $20\sim$

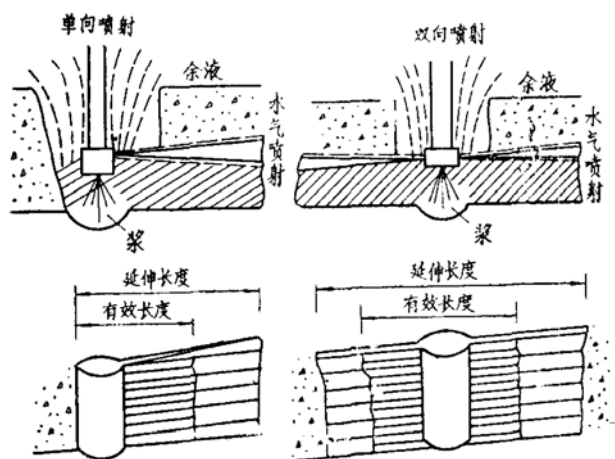


图8 定喷形成的板墙结构

高速水气流连续携带浆液析水凝结的结果。在砂砾层中, 板墙的两侧有渗透凝结层, 如图10。其厚度与地层颗粒级配有关。颗粒越粗, 渗透系数越大, 渗透凝结层越厚, 一般 $2\sim 20\text{cm}$ 。

影响定喷板墙性状的因素较多, 压力和泵量是最重要的因素。在达到要求压力的前提下, 喷嘴直径越大, 板墙越厚。提升速度过快, 板的长度变化大, 容易留下缺口。从喷射情况看, 提升速度控制在 10cm/min 左右比较适宜。单向喷射, 喷射流的反作用力使喷射管路产生倾斜。双向喷射受力均衡, 稳定性好, 容易控制, 板的均匀连续性好。尽管双向喷嘴较之单向喷嘴能量分散, 为了解决喷射稳定问题, 采用双向喷射形式是必要的。喷射流受大颗粒物体如卵石、块石以及碳酸钙结核等阻挡, 可能出现漏喷带, 在含有大颗粒的孔段, 应放

50cm 的桩柱体。板墙厚度, 粘性土层一般 $5\sim 13\text{cm}$, 砂砾层一般 $10\sim 20\text{cm}$ 。在均匀土层中, 沿喷射方向, 板墙厚度变化不大, 仅在其尾部稍有增厚。在粘性土中, 喷射板墙表面平整, 可以看到喷射流的痕迹。在板墙的铅垂方向, 则呈有起伏的微波形状。在砂砾层中, 因有渗透层, 板墙常常是粗糙不平的。板墙厚度均匀没有缺口的长度, 称之为有效长度。有效长度以外, 由于喷射流束扩散, 能量衰减, 板墙体厚度开始变得不均匀, 尾部不连续。

板墙断面多呈木纹结构, 如图9。这是高

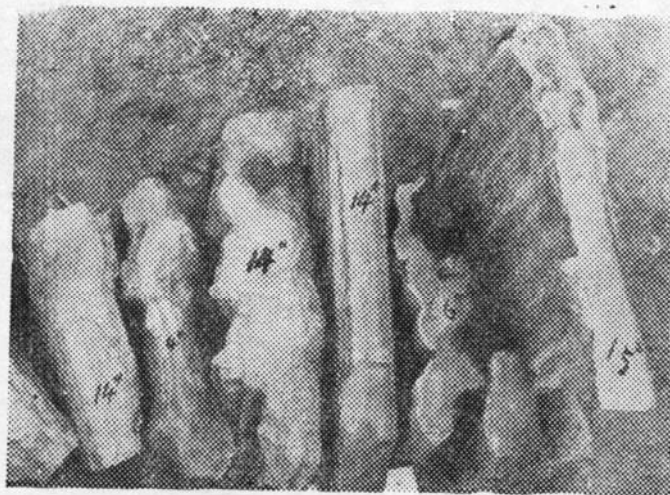


图9 板的纹理构造

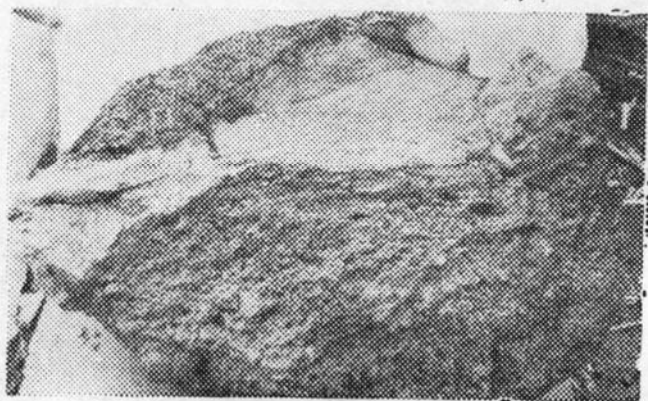


图10 渗透凝结层

慢提升速度,采用复喷或局部摆动旋喷形式,均可避免产生漏喷带,保证板墙连续。

定喷试验中,曾布置导向孔试验。所谓导向孔,即沿喷射方向布孔,使射流流束对准该孔,产生定向冒浆作用。导向孔与喷射孔间距不超过2m,可正常冒浆,间距大于2m冒浆不连续,时停时冒。导向孔对喷射方向要求很严,若喷射方向稍有偏离,则导向孔不冒浆。导向孔重复使用时,往往由于先期喷射的浆体,已产生沉淀或固结作用,阻力太大,失去冒浆作用。

板墙如何连接,是帷幕防渗技术的一个关键问题。试验、研究了直线对接和折线连接两种形式。定喷板墙沿直线排列,首尾相接,可以最大限度地利用定喷板墙的有效长度,喷孔间距大,但要求喷射方向准确,对接可靠,在工艺上较困难。定喷板墙折线型喷射连接,容易施工,连接可靠,同时改善了板墙的受力条件。试验证明,只要在板墙的有效长度以内,两块板体按一定角度交接,均能紧密结合。折线连接存在两种

连接形式,一种是“切割式”连接,先期板墙强度不大。后期喷射流可以把板切割开,形成穿插连接;另一种是“焊接”式连接,先期形成的板,凝结强度大,喷射流难以将其切开,则在射流作用下,浆液与前者形成所谓“焊接”连接。经检查两种连接形式,均不存在接缝问题。连接处由于切割或冲刷作用,其凝结强度是有保证的。

选有代表性的样品,进行了物理力学性能试验,结果列成表2。

表2 定喷板墙物理力学性能

板号	土质	抗压强度 (kg/cm ²)	抗折强度 (kg/cm ²)	弹性模量 ($\times 10^4$ kg/cm ²)	干容重 (g/cm ³)	渗透系数 (cm/s)	水泥含量 (%)
2*	粗砂			1.65	1.65	10^{-5}	41.4
2*	中砂	150~200	13~16	1.9	1.54	2.3×10^{-6}	31.7
10*	粉质粘土	200~250	25~50	2.4	1.71	1.4×10^{-7}	48.1
3*	砂质粘土	60~80	16~22	1.97	1.55	2.14×10^{-8}	26.5

工程应用中,可参考表3所列的数据,通过试验控制和判断板墙形成的条件和性状,还可考虑采用摆动喷射形式或采用双向四喷嘴形式,使板墙厚度达到设计要求。

表3 双向定喷板墙尺寸表

地 层	厚度(——板 层—— 渗透凝结层) (cm)		最 大 长 度 (m)	有 效 长 度 (m)
	水嘴直径2mm	水嘴直径3mm		
粘性土层	$\frac{4 \sim 7}{0}$	$\frac{6 \sim 9}{0}$	3.0~8.0	2.0~5.0
中细砂层	$\frac{6 \sim 9}{2 \sim 7}$	$\frac{8 \sim 12}{2 \sim 7}$	3.0~6.0	2.2~5.5
砂 砾 层	$\frac{12 \sim 30}{7 \sim 20}$	$\frac{20 \sim 60}{7 \sim 20}$	2.9~5.5	2.7~5.0

注: 渗透凝结层厚度, 指板体一侧厚。

五、围 井 试 验

为了验证高压定向喷射灌浆构筑的板墙状凝结体能否用于帷幕防渗, 先后在白浪河水库土坝坝后和大冶水库土坝进行了围井试验, 围井布置成边长为1.8m的正方形。白浪河围井地层构造及砂砾层颗粒组成如图11。大冶围井地层构造及砂砾层颗粒组成如图12。围井施工结果列入表4。白浪河围井共计用水泥23.35t, 平均每孔用水泥5.84t, 折合每米用水泥0.67t。大冶围井共计用水泥61.85t, 平均每孔用水泥15.46t, 折合每米用水泥0.86t。围井施工半月后, 进行了开挖检查。围井顶部板墙连接状况如图13。围井板墙正交, 呈切割式连接, 围井以外延伸长度有的多达1.9m。白浪河围井沿内壁向下开挖, 直挖至井底。板墙与土层结

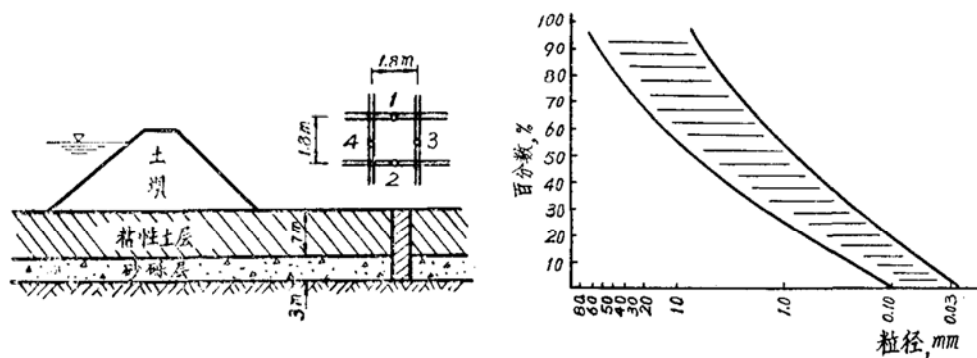


图11 白浪河围井地层构造及砂砾层颗粒组成

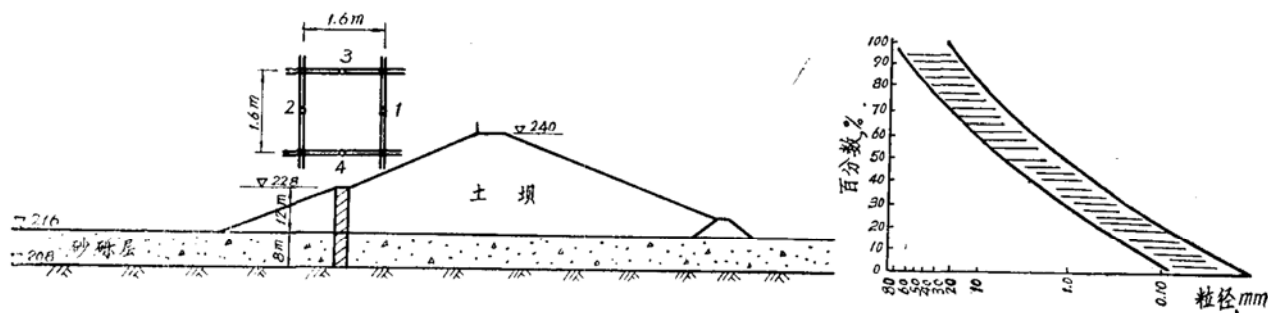
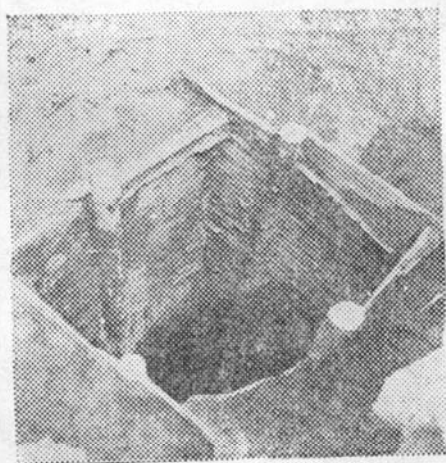


图12 大冶围井地层构造及砂砾层颗粒组成

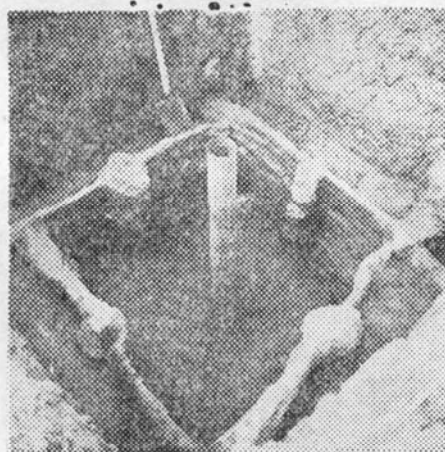
表4 围井试验成果表

围井名称	孔号	时间 月/日	喷嘴 (mm×个数)	平均提升速度 (cm/min)	历时 (min)	水		气		浆液			回浆		板墙高 (cm)	水泥	
						压力 kg/cm ²	流量 (l/min)	压力 kg/cm ²	流量 (l/min)	压力 kg/cm ²	流量 (l/min)	比重 (g/cm ³)	流量 (l/min)	比重 (g/cm ³)		全孔用量 t	每米用量 (t/m)
白浪河	1	4/15	2×2	5.7	170	250	75	7	0.93	20	60	1.5~1.7		1.2~1.3	880	6.75	0.76
	2	4/16	2×2	8.1	110	250	75	7	0.80	20	70	1.5~1.6	100	1.2~1.3	890	8.0	0.90
	3	4/15	2×2	8	107	250	75	7	0.80	20	40	1.4~1.5		1.2	850	4.0	0.47
	4	4/17	2×2	7.7	132	250	75	7	1.00	20	70	1.55	126	1.2	880	4.6	0.52
合 计															3500	23.35	0.67
大冶	1	12/3	3×2	(13) 6.15		240	122	7.5	0.80	8	73	1.7	143	1.27	1800	14.1	0.78
	2	12/4	3.2×2	(16) 6.50		230	142	7.5	1.20	6	73	1.65	134	1.20	1800	15.5	0.86
	3	12/9	3.2×2	(14) 5.8		230	150	7.5	1.06	10	79	1.6~1.7	205	1.25	1800	16.75	0.93
	4	12/10	3.2×2	(14.7) 5.6		240	150	7.5	1.23	11	75	1.6~1.8		1.25	1800	15.50	0.86
合 计															7200	61.85	0.86

注：大冶围井提升速度括号里是土中，括号外是砂层中。



(a)白浪河围井



(b)大冶水库围井

图13 围井顶部形状

合紧密，用高压射水冲刷后，才显示出板墙平整光滑的表面。砂砾层中，因渗透凝结层的原因挖成圆桶形，无任何支撑，井壁稳定完好。

两个围井均进行抽、注水试验，白浪河围井用潜水泵在井内抽水，水位由41m降至井底37.27m，全井渗水量0.67m³/h，计算板墙渗透系数约为5.8×10⁻⁵cm/s；大冶围井在中心造孔，做抽、注水试验，测算板墙渗透系数为1×10⁻⁵cm/s，板墙较原地层透水性低约1000

倍。从开挖检查和抽、注水情况看, 围井板墙结构连接严密, 未发现充填凝结不良现象, 防渗效果较好。

六、工程应用

根据板墙不同的设计要求, 板墙布设可以按多排, 也可以布置成桩板结合形式, 各种可能采用的形式如图14。

1983年4月, 莱芜县大冶水库, 采用这项技术构筑了坝基防渗墙。该水库为均质土坝, 最大坝高24m, 河槽段长147m, 河槽复盖砂砾层厚约7~9m, 未清基, 粘土防渗铺盖长50m。土坝断面如图15。坝前228m高程平台轴线(即施工板墙轴线)地质剖面如图16。砂砾层干容重 $1.6\sim 1.9\text{ g/cm}^3$, 标准贯入击数 $N_{63.5}=10\sim 24$, 渗透系数约为 $100\sim 150\text{ m/d}$ 。均质土坝及铺盖系用中塑土填筑, 干容重在 $1.5\sim 1.6\text{ g/cm}^3$, 标准贯入击数 $N_{63.5}=5\sim 15$, 渗透系数为 $10^{-7}\sim 10^{-8}\text{ cm/s}$ 。砂砾层以下为基岩, 右岸为白垩系侵入闪长岩。左岸为下奥陶系白云质石灰岩, 两类岩石在河槽

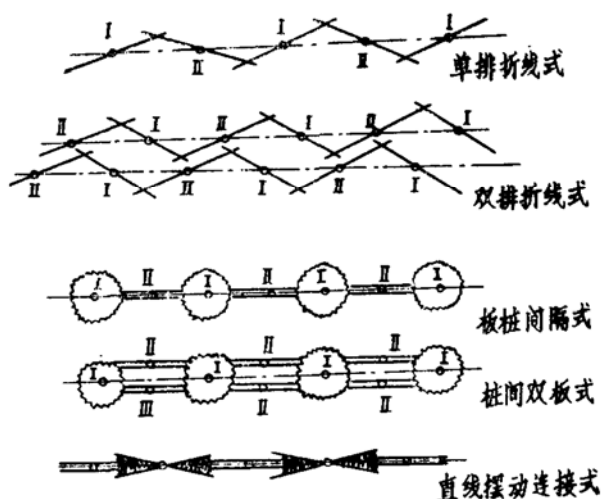


图14 高压定喷防渗布置形式

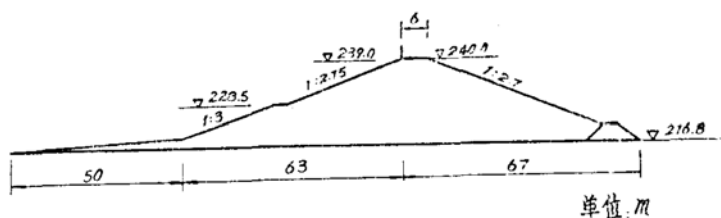


图15 大冶水库土坝断面

0+237附近以侵入形式接触。白云质石灰岩, 岩溶裂隙发育, 渗漏性较强。水库建成蓄水后, 渗漏严重。

1982年冬, 在坝前平台围井试验的基础上, 进行了高压定喷灌浆防渗板墙工程设计, 定喷板墙施工轴线设计在228m高程坝前平台上。定喷孔间距, 按围井试验结果, 定为1.8m, 全线布82孔, 孔深21~22m。采用折线连接形式。

按板墙试验的结果, 在砂砾层中板墙厚度可取为20cm。大冶水库坝基承受总水头约为20m, 即板墙承受的水力坡降约为100。考虑到板墙两侧, 存在着较厚的渗透胶结层, 实际水力坡降比此值小得多, 所以防渗及稳定性是满足要求的。

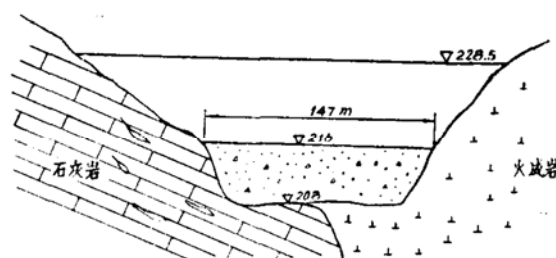


图16 大冶水库平台轴线地质剖面图

为防止板墙与坝体土结合不严,造成接触绕渗,板墙应插入填土层,插入深度按下式计算。

$$e = \frac{h - jd}{2j}$$

式中 e ——板墙插入深度;

h ——作用水头;

j ——接触面允许坡降,取 $5 \sim 6$;

d ——板墙厚度。

大冶水库,确定板墙插入深度 4 m 。为保证板墙与基岩结合紧密,要求孔深插入基岩 1.0 m ,采用下倾斜 15° 水嘴,适当延长喷灌时间。

大冶水库坝基防渗治理,包括两项主要工程:①在砂砾层高压定喷灌浆构筑防渗板墙;②在板墙以下坝基石灰岩进行帷幕灌浆。高压定喷灌浆施工,从1983年3月开始,用两个月的时间,构筑防渗板墙 1821 m^2 ,防渗效果较好。

七、结 语

1. 高压旋喷灌浆技术,国内从七十年代中期开始引进研究应用,但仅限于用以提高地基承载力。我们从水利工程帷幕防渗要求出发,在高压旋喷和静压灌浆设备的基础上,研制组装了高压定向喷射灌浆专用设备。通过多次进行板墙和围井试验,特别是通过在坝基砂砾层构筑防渗板墙的工程实践,提出了较为系统的高压定喷灌浆构筑防渗板墙技术工艺,目前可用于低水头土坝坝基防渗,也可以用于松散地层的防渗堵漏、截潜流和临时性围堰等工程。这项新技术,具有广泛的应用前途。

2. 板墙及围井试验表明,在有效喷射范围内,板墙均匀连续,方位准确稳定,不论是“切割”式连接或“焊接”式连接,均不存在接缝或连接不牢问题,板墙渗透系数可达 $1 \times 10^{-6} \sim 10^{-8}\text{ cm/s}$,板墙两侧随地基颗粒级配及透水性的不同,形成厚度不等的渗透凝结过渡层,渗透稳定性较好,加之板墙处于大坝预压的砂层地基中,砂层的可压缩变形小,有利于板墙的变形稳定。板墙厚度可参照混凝土防渗墙和有保护层的粘土防渗墙的水力坡降值确定。

3. 定喷防渗板墙应用于实际工程的布置形式,以折线型为宜。为了保证板墙的连续和连接可靠,钻孔斜率不得大于 1% ;喷射方向定位要准确;各设备的工作参数和工艺参数必须按规定严格控制。静压灌浆是提高板墙及钻孔桩柱密度的重要环节,不可忽视。

4. 定喷板墙技术,适用于砂砾层、粘性土层、淤泥层、填土层,但砂砾层含碎、卵石粒径须小于 15 cm ;粘性土层、淤泥等含碎、卵石或硬质碳酸钙结核等粒径须小于 10 cm 。含粒径大于上述范围的地层,应通过试验慎重确定能否应用,必要时可在局部含大颗粒地层位置,进行慢速旋转喷射,以形成连续的防渗帷幕。

5. 高压定喷灌浆帷幕防渗体的单位面积造价为 $70 \sim 100$ 元,较旋喷桩套接防渗体约节省经费一半多,较槽形混凝土防渗墙约节省经费 $50 \sim 80\%$,比较经济,便于推广应用。

高压定喷灌浆是一项新技术,施工工艺尚不完善,对作用机理还需继续研究。在应用方面,除防渗外还可望采用格板结构,提高软弱地基的承载力,改善边坡稳定性。使这项技术向更广阔的领域发展。

参加这项研究工作的还有：山东省水利科学研究所段富贵、陈述杰、于建民；泰安市水利机械厂米再华、赵志宏；潍坊地区白浪河水库许明忠、邓建孟；莱荒县水利局刘庆忠、刘会仁。

Construction of the Impervious Wall by the Directional Jet Grouting Method

Wang Bao-yu

Cha Zhen-heng

Qu Guang-xing

(Shandong Water Conservancy Research Institute, Jinan)

Zhang Can-feng

(Taian Hydraulic Machinery Factory)

Abstract

According to the technical requirement of the grout curtain to prevent the leakage in the foundation of dam, the special apparatus of the jet grouting method has been studied and equipped. In this paper, the technology to construct impervious wall by the jet grouting method is presented.

This wall is in contact with the bedrock securely and its thickness is evenly and densely. The working speed is faster and construct cost is less.

The set of the technique can be used to construct impervious curtain in the sand and gravelly soil foundation of lowhead dam and cut-off wall. The technical parameters which have been obtained can be used to design and construction under suitable conditions.