

深层搅拌桩的防渗效果分析

张 杰¹ 李法虎¹ 于兴修²

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院 北京 100083 ; 2. 临沂师范学院 山东 临沂 276000)

摘要 针对水利工程中大坝及基础渗漏问题,通过现场及室内实验,分析深层搅拌桩处理基础渗漏的效果,结合山东省分沂入沭调尾拦河坝基础及其回水段截渗处理的工程实例,介绍了深层搅拌桩的设计方法、渗控措施以及深层搅拌桩设计中需要注意的问题,认为深层搅拌桩连续墙是处理大坝及河道基础渗漏的一种有效方法。

关键词 深层搅拌桩 基础渗漏 截渗墙设计 渗控措施

中图分类号 :TU473 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2004)07-0033-03

山东省分沂入沭调尾拦河坝基础处理及其回水段截渗工程是国务院治淮东调南下工程整体规划设想的关键性工程,是水利部淮河水利委员会和山东省的重点建设工程项目。沂沭河流域目前已建成大中型水库 39 座,小型水库 761 座,塘坝 1.27 万座,沂沭河干、支流上建有大、中、小型拦河闸坝 128 座。一般年份这些工程拦蓄河川径流量达 25 亿 m^3 ,占河川径流的 54.5%;其中 9 座大型水库拦蓄利用量 7.2 亿 m^3 ,占总拦蓄量的 28.8%。这些水库多建于国家经济困难时期,兴建时仓促上马,工程经过几十年运行后,状况令人担忧,大多数库区地质情况复杂,除泥砂淤积减少库容外,水库渗漏也造成了库容的严重损失。以 9 座大型水库为例,年渗漏量为 1.76 亿 m^3 ,占总库容的 24.4%。因此,对这些工程基础进行截渗处理,对水资源的利用具有极大的战略意义,将为本地区国民经济的持续健康发展提供重要的保障。

基坑被动区土体的加固是一种经济有效的技术措施,它不仅能减小桩身内应力、桩身水平位移以及地面沉降,同时还可防止被动土体的破坏和管涌现象的发生。被动土压力区的加固一般采用压力注浆法^[1]。软土地基的深层搅拌加固技术是通过机械的切削搅拌作用来实现的,不可避免地会有一些未被粉碎的小土颗粒团。在水泥拌入后,不但出现水泥浆包裹土颗粒团的现象,而且土颗粒团之间的大孔隙则由水泥充填。加固后的水泥土中形成一些水泥较多或较少的微区,因此在水泥土中不可避免地会产生强度较大且水稳定性较好的水泥土区和强度较

低的土块区。两者在空间相互交错,从而形成了一种独特的水泥土结构。因此,水泥和土之间的强制搅拌越充分,土块被粉碎得越小,则水泥在土中分布得越均匀,水泥土结构强度的离散性越小,其宏观的总体强度也就越高。本文采用深层搅拌桩以及高压喷射灌浆技术措施,通过对地基截渗处理的室内外试验,测定基础截渗的效果及其影响因素,为有效地增加蓄水量和减小渗漏损失提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验区基本概况

治淮重点工程山东省分沂入沭调尾拦河坝及其回水段截渗工程是国务院历次治淮会议要求加快东调南下工程建设步伐的一个步骤,是苏鲁两省人民的一项“束洪”和“甘露”工程。

分沂入沭工程位于山东省临沂市临沂、郯城、临沭 3 县(区)交界处,该工程联系沂河、沭河两大水系,上起沂河刘家道口枢纽,下接沭河大官庄枢纽,是分泄沂河洪水使之东流入海的主要分洪水道。山东省分沂入沭调尾拦河坝工程根据山东省地震局地震烈度评定委员会文件震烈字[1993]09 号文确定大官庄枢纽主体工程可按Ⅱ度设防,分沂入沭调尾拦河坝地处大官庄枢纽,设计烈度采用Ⅱ度。本区位于沂沭断裂带(郯庐断裂带山东段)的南部,是一条规模巨大、活动强烈的深大断裂带,断层破碎带内岩性混杂,多充填有断层泥及全风化岩石的矿物颗粒,为工程地质条件不良的天然地基。断层带内岩层透水性极不均匀,透水率在 $1.4 \times 10^{-6} \sim 1.42 \times 10^{-4}$ 之间。

试验区多年平均降雨量为 850 mm.降雨量年内分布极不均匀,夏季 6~8 月份降雨量占全年的 60%~70%,同时降水量年际间变化也较大,并且常常出现连丰连枯的现象.流域径流全为大气降雨补给,多年平均径流深约为 300 mm.汛期 6~8 月份降雨量占全年的 60%~70%,而枯水季节径流量很小.径流的年际间变化也较大,枯水年的年径流量仅为丰水年的 1/6.

分沂入沭调尾拦河坝及其回水段截渗工程坝址区的砂层岩性主要为砾质中粗砂-砾质粗砂,砾石含量在 6%~56.5%(平均为 20.8%),不均匀系数为 2.7~7.8(平均为 4.45),相对密度为 0.10~0.83(平均为 0.41),标准贯入击数 $N_{63.5}$ 为 4~32 击(平均为 11.34 击).土层成因滨海相沉积,其他性质见表 1.

表 1 山东省分沂入沭调尾拦河坝不同成因软土的性质参数

土名	含水量/%	天然密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	孔隙比 e	液性指数 I_L	塑性指数 I_p	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	无侧限抗压强度 q_u/kPa
淤泥	50.0	1.73	1.39	1.21	22.8	1.33	24
淤泥质粉质黏土	36.4	1.83	1.03	1.26	10.4	0.64	26
淤泥质黏土	68.4	1.56	1.80	1.71	21.8	2.05	19

1.2 试验设计

试验区地势平坦,距离截渗地点较近,采用围井措施并进行抽水试验.

a. 在深层搅拌桩条件下通过围井试验,在现场测定渗透系数,取岩芯做室内注水试验,并利用探地雷达进行扫描检测桩体的密实度和形状.通过这些方法确定深层搅拌桩的基础截渗效果.

b. 在研究深层搅拌桩和高压喷射灌浆工艺结合条件下,采用旁观检查和利用取芯机械进行取芯,进行室内压水试验、抗压试验和抗剪切试验等确定此工艺对防渗效果和地基承载力的影响.

c. 在拦河坝的坝后和部分试验区分别测定透水系数(L_u)以及桩基承载力,从而调查深层搅拌桩对基础截渗及增强基础强度的整体效果.

1.3 施工过程与工艺

深层搅拌桩作为重力式挡土防渗墙在分沂入沭调尾拦河坝及其回水段工程中采用板式连续墙.试验布置成封闭式长方形(15 m×6 m),长边平行于坝轴线.搅拌桩桩径为 0.5 m,桩距 0.30 m(图 1),桩与桩之间搭接 0.20 m,搭接部分墙厚 0.40 m.桩底进入全风化基岩 0.5 m,桩长 5.5~6.3 m,桩倾斜误差小于 1%,加固剂采用 425 号普通硅酸盐水泥,掺入比(以重量计)为 18%.

深层搅拌桩截渗施工采用 PH—5G 多头深层搅拌桩机,具体工艺流程(喷浆法)如下:定位→将水泥

过筛入搅拌池,按设计水灰比配浆→下沉喷浆搅拌至桩底→上提喷浆搅拌(以自动记录仪记录为准)→下沉喷浆搅拌至桩底→上提喷浆搅拌至桩顶→下沉喷浆搅拌至桩底→上提喷浆搅拌至地面(完毕).

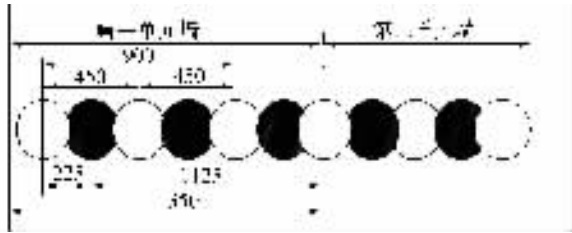


图 1 深层搅拌桩重力式挡土防渗墙示意图(单位: mm)

2 试验结果

2.1 抽水试验

为了检验深层搅拌桩连续墙的截渗效果,在 2003 年 1 月底进行了多孔完整井稳定流综合抽水试验,试验由小到大连续做 3 个降深,试验过程按(SHL-81)《水利水电工程钻孔抽水试验规定》进行操作.

将连续封闭槽作为一个大井来测试墙体的渗透情况.试验时的涌水量来自封闭槽的储水量、通过墙体的水平渗漏量以及墙底绕渗量三部分组成.平衡状态时第一部分为零,而第三部分因其位置及渗透强度无法确定,仅能归入第二部分.假定通过截渗墙体的渗透性是均一的,用墙体单宽流量按达西公式计算渗透系数,并称其为综合渗透系数以区别墙体的渗透系数.计算结果见表 2,平均降深为 6.88×10^{-5} cm/s.

表 2 墙体综合渗透系数 10^{-5} cm/s

时段	第一降深	第二降深	第三降深
H ₁ ~H ₂	6.41	7.88	10.78
H ₃ ~H ₄	3.83	5.07	7.33

2.2 钻探取样及室内试验

从深层搅拌桩连续墙墙体上随机钻探取样.表层 1.0 m 取芯率低,且不完整,取芯破碎,块径 4~7 cm.地面下 1.0~4.6 m 段桩体固结良好,取芯均为直径 110 mm 的圆柱状,长度不同,最长的达 32 cm,取芯率率约为 70%,样本完整、坚硬、密实.粗砂砾石层与水泥砂浆相似,砾石粗砂胶结一体;4.65~5.10 m 段取芯较破碎,仅有个别段呈圆柱状,大部分呈块状.取出的块状芯样水泥含量较低,固结较差.不同位置的芯样室内测试项目及结果见表 3.

2.3 现场开挖

为了进一步验证深层搅拌桩连续墙的施工质量,3 月下旬进行了局部开挖.开挖位置选择在北侧,其中约 50 根搅拌桩开挖至基岩,深度为 5.0 m.

表 3 不同位置芯样的室内测试项目及结果

取样孔	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	抗压强度/ MPa	弹性模量 $E_{0.4}/\text{MPa}$
1 号	1.1×10^{-5}	3.35	4 571
	2.2×10^{-6}	9.36	13 315
	6.3×10^{-6}	11.30	16 440
2 号	1.7×10^{-6}	5.95	6 534
	5.6×10^{-8}	11.60	15 252

注:1 号孔和 2 号孔的破坏坡降均大于 300。

根据现场开挖的情况看,墙体穿过的两层含砾中粗砂层及底部卵石粗砂层与水泥砂浆强度接近。墙体(即桩与桩之间)连续紧密,基本在一条线上,墙面光滑。桩体轮廓清晰完整,无渗漏或滴水现象,截渗效果良好。在开挖过程中,共有 3 根桩底部(桩与基岩结合部位)产生渗透破坏:1 根桩在西侧,挖至基岩后约 0.5 h,桩底出露的卵石被人为铲掉后,因扰动产生破坏,桩底突然冒水并伴有冒砂现象;另外 2 根桩分布在东侧,挖至 4.60~4.70 m 时开始冒清水,再向下挖就产生渗透破坏,砂粒被冲出,手摸桩底有淘空现象,仅存卵石,此时墙内外水位差为 3.5~3.8 m。

3 截渗效果讨论

根据室内外试验结果及现场开挖观察,本工程中采用深层搅拌桩处理粗砂砾石中的渗漏试验是成功的,截渗效果良好,墙体外形完整,表面光滑,轮廓清晰,桩与桩连接紧密,无任何漏水现象。综合渗透系数为 10^{-5}cm/s 数量级,墙体渗透系数为 10^{-6}cm/s 数量级,比基础的天然状态(10^{-2}m/s 数量级)降低 3~4 个数量级。墙体强度、弹性模量、渗透破坏坡降远超过设计要求(表 3)。由于本工程下部为微风化基岩,其表面有 20~25cm 的卵石粗砂层,深层搅拌桩桩机动力条件有限,钻头切削能力低,桩体难以伸入微风化基岩。若钻头尖部恰好遇到较大卵石时,桩底与基岩表面就会留下一部分“空白区”,因此这一部位水泥含量少(或没有水泥),强度低,在高水头作用下易于产生破坏。连续墙开挖观测时冒水的 3 根桩下部均发现存在有较大的卵石,这是造成桩底破坏及现场抽水试验综合渗透系数偏大的主要原因。

虽然桩底未达到基岩面,但由于水泥水解反应的扩散作用可以达到一定的范围,经固结也可以提高基础的抗渗破坏能力,因此其底部“空白区”仍有一定强度。例如,西侧 1 根桩破坏时的水力坡降约为 3.8,东侧 2 处桩破坏时的水力坡降分别为 3.1 和 3.6,而底部粗砂砾石层天然状态产生渗透破坏的临界坡降约为 0.9~1.0。桩底产生破坏时的水力坡降

远大于砂层天然状态的临界坡降。根据计算结果,本工程竣工后坝基的坡降不会超过 0.25,所以即使在最不利的情况下,也难以发生渗透破坏。

就本工程的地质条件而言,关键是如何保证桩底与基岩的良好接触,从而使桩与基岩胶结为一体。在目前的施工条件下,可以采用如下的一些改进措施:①降低钻头的出灰(浆)口,使喷出的加固剂尽可能多地接触基岩。这可以通过降低钻头底部叶片喷口或缩短底部尖端长度加以实现。②增加搅拌力矩、增大钻头对卵石的搅动能力,防止卵石阻碍钻头的钻进。在钻机钻头遇到卵石时,利用钻头的转动避开卵石或挤开卵石,达到继续钻进的目的。③采用喷浆工艺并增加复搅次数及复搅深度。这样可以增强对底部卵石的搅动,从而增大水泥的扩散范围,提高桩底与基岩的胶结强度。④严格执行施工操作规程,改善施工工艺。如提前供浆(灰);加大供浆(灰)压力;加强复搅,增加桩底部的水泥含量等。

4 结 论

分析入沭调尾拦河坝及其回水段截渗工程中深层搅拌桩湿法施工的试验数据和现场观测显示,水利工程的基础截渗,由于其战线长和地质情况复杂,采用喷浆工艺对于基础截渗有较好的效果。①采用深层搅拌桩作为粗砂砾石层的截渗措施时,截渗效果显著,墙体的渗透系数可达 10^{-6}cm/s 数量级。此时的加固剂可选用 425 号普通硅酸盐水泥,掺入比为 18%。②深层搅拌桩增大了墙体的抗渗透破坏能力,其破坏坡降大于 300。水泥增强了桩底部的胶结作用,即使在连续墙底部强度最薄弱的位置,产生渗透破坏时的水力坡降均大于 3.0,而天然粗砂砾石层的破坏临界坡降为 0.9~1.0。工程竣工后坝基的坡降不会超过 0.25,所以即使在最不利的情况下,也不会发生渗透破坏。

参考文献:

[1] 蔡伟铭. 加固基坑支护被动土体的效果分析[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
[2] 阮善发, 丁建奇. 公路软土地基处理中的深层搅拌桩施工[J]. 公路, 1997(10): 32~36.
[3] 姜福兴, 王春秋. 采动覆岩空间结构及其与应力场的动态关系探讨[A]. 雷廷武. 中国科协第 46 次“青年科学家论坛”文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999. 70~79.
[4] 冯绍元, 丁跃元, 姚彬. 用人工降雨和数值模拟方法研究降雨入渗规律[J]. 水利学报, 1998(11): 17~20.

(收稿日期 2004-02-19 编辑: 高建群)