

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2015.03.11

摘要: 介绍了高压旋喷注浆技术在大型水利水电工程中的应用, 分析了该技术的原理、施工工艺及适用范围。通过工程实例, 验证了该技术的可行性和有效性。结果表明, 高压旋喷注浆技术能够有效提高地基承载力, 防止岩壁坍塌和冒落等。

(1. 武汉大学, 湖北 武汉 430072; 2. 西藏拉洛水利枢纽及灌区管理局, 西藏 拉萨 850000)

关键词: 高压旋喷注浆; 地基加固; 防渗堵漏; 帷幕防护; 路桥基础加固; 地下建筑基础加固; 井巷工程; 破碎地层; 支护加固; 隧道; 各种地下洞室施工

中图分类号: TV543 文献标识码: A 文章编号: 1004-4701(2015)03-0198-03

1 引言

自 19 世纪初法国用木制冲击泵注入黏土和石灰浆液加固地层, 就开辟了灌浆施工的先河^[1-3], 而高压旋喷注浆首先在日本得到应用, 该技术主要用来提高地基承载力及防渗加固。随着国内外大型水利水电工程相继兴建, 高压灌浆技术被证明是处理地质缺陷的有效手段, 其相关理论在工程实践中得到不断发展。随着水泥浆材、化学浆材及复合型灌浆材料的出现, 灌浆技术在水利水电、铁路、工民建等领域及现代土木工程施工中得到拓展应用, 具有巨大潜力和广阔前景。进入 20 世纪, 高压旋喷注浆技术已经应用于土木工程的各个方面, 如复杂地层护壁堵漏、坝基固结和帷幕防渗、路桥基础防渗和加固、地下建筑基础施工中基坑土体的稳定与加固、井巷工程中破碎地层的防渗堵水和支护加固、隧道以及各种地下洞室施工中加固松软破碎地层, 防止岩壁坍塌和冒落等。

为了更好的指导灌浆技术在实际工程中的应用, 本文基于典型工程实例对高压旋喷注浆的应用范围、施工参数中存在问题及灌浆效果进行了深入探讨。

2 高压旋喷注浆技术原理

2.1 施工方法及其固结机理

随着力学理论不断向前拓展及灌浆技术在大型水利水电工程应用实践, 产生一系列裂隙岩体灌浆理论^[4]。主要有: 多孔介质灌浆理论、拟连续介质灌浆理论和裂隙介质灌浆理论。

单管法、二重管法和三重管法是高压旋喷注浆的 3 种基本施工方法。该技术主要利用冲切掺搅作用、挤压、渗透作用、握裹作用形成旋喷桩固结体(如图 1), 以达到加固地基或止水防渗的目的。

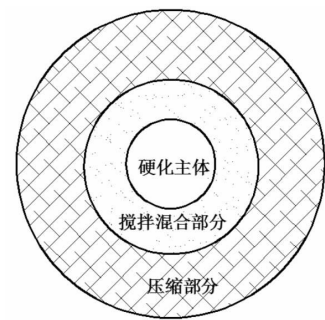


图 1 旋喷固结桩体示意图

2.2 施工工艺

高压旋喷注浆施工工艺流程一般为: 施工准备、定位造孔、试喷、高压喷射灌浆、喷射结束拔管和机具移位等。在施工过程中主要通过控制水压、气压、浆压及其相

收稿日期: 2015-04-05

基金项目: 湖北省水利重点课题(HBSLKY201411)

作者简介: 王强(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事水利水电工程设计与施工。

应的流量、浆液密度及提升速度等施工参数来控制施工质量,根据所喷地层情况合理选取相应的施工参数才能达到理想的灌浆效果。

3 一〃〃/4 ° 〃 乚...• 。

高压旋喷灌浆在我国水利水电工程中应用的典型工程实例及灌浆效果统计见表 1。

从表 1 可以看出,高压旋喷灌浆技术不仅适用于各种土质基础防渗加固,而且适用于沙层、沙砾、沙卵石、漂石、砾石及碎石等各种土质及其混合物基础。灌浆后基础强度明显提高,高压旋喷灌浆是解决坝基强度不足的有效手段之一。土质混合物颗粒粒径越大灌前透水能力越大,灌浆后渗透系数改变越明显,粒径越小,灌浆后渗透系数越小。

实际工程表明,高压旋喷灌浆在砂类土、黄土、粘

表 1 高压旋喷灌浆典型工程实例

工程名称	土质	抗压强度/MPa		渗透系数/(cm/s)		参考文献
		灌前	灌后	灌前	灌后	
新南水库	土坝	2.6	5.9~12.3	$4.27\sim9.98\times10^{-7}$	$0.6\sim6.8\times10^{-7}$	[5]
龙兴寺水库	砂卵石	—	4.2~9.5	透水性大	$3.6\times10^{-5}\sim2.3\times10^{-4}$	[6]
东方红水库	砂层、砂卵石	—	—	3.0×10^{-2}	$1.84\sim4.43\times10^{-7}$	[7]
急水坝	碎石	—	—	—	$<1.0\times10^{-5}$	[8]
林沟水库大坝	砾砂	—	3.0~10.0	1.04×10^{-1}	$<1.0\times10^{-5}$	[9]
小浪底主坝	漂石、卵石、砾石	—	—	—	$<1.0\times10^{-6}$	[10]

性土及淤泥等地层效果较好,在含有较多碎石或砾石的土层应用中一般通过现场试验来确定;该技术既可作为施工中的临时措施(如深基坑侧壁挡土或挡水、防水帷幕等),也可作为永久建筑物的地基加固、防渗处理;随着浆液多样化及施工工艺的发展,该技术的应用范围更加广泛,如土坝防渗加固、钢板桩工程中封闭防渗体系、截流环墙、围堰防渗及各种病险水库土坝的防渗加固等领域。

4 〃1 ㉿,fi2 · ㉿ ~ ... 〃 f ^• 。

4.1 工程概况

王英水库为大(2)型水库,II 等工程,其主要建筑物为 2 级,水库由主坝、副坝、泄洪洞、坝下埋管、水电站等建筑物组成。王英大坝除险加固单位工程包括主坝、泄洪隧洞、坝下涵管等。其主坝为碾压式粘土心墙代料组合坝,坝顶高程为 75.0 m,最大坝高为 53.6 m,顶宽 8.0 m,坝长 225.0 m。心墙土质为粘土,呈黄褐色、棕黄色,硬塑、稍湿,不同程度上含有砂叶岩、石英等碎石,可见铁锰结核及高岭土团块。心墙两侧为过渡层,成分为含碎石粉质粘土。王英主坝粘土心墙部分大体分两层,第一层为碎石,结构松散,渗透性较大,不具备挡水功能;第二层为素填土,压实度未达到要求,天然含水量高于最优含水量上限控制值,素填土上部(26.90 m

高程以上)水平向渗透系数 5.25×10^{-4} cm/s,不满足规范要求,存在严重渗漏现象。

王英大坝除险加固工程主要为大坝心墙加固、坝基帷幕灌浆、大坝上游坝坡加固、左坝肩防渗水泥帷幕灌浆、右坝肩防渗水泥帷幕灌浆及危岩处理、库区左岸 f₁ 断层处理、坝顶防浪墙加固,主要采用高压旋喷灌浆对基础进行加固和防渗。

4.2 施工参数

通过试验确定桩距、孔深、浆液性能、喷射流量、压力、提升速度等,工艺参数见表 2。

表 2 主要施工技术参数

项目	指标
输浆压力/MPa	32~38
输浆率/(L/min)	75~90
输气压力/MPa	0.9~1.2
输气率/(m ³ /min)	6~10
喷嘴提升速度/(cm/min)	10~12
喷嘴旋转速度/(r/min)	8~15
喷嘴个数/个	2
喷嘴直径/mm	1.8~2.0
孔斜率/%	≤1

4.3 灌浆效果分析

表 3 取芯检测统计表

孔号		GS48		GS58		GS70		GS86		GS101	
桩号		0+045		0+065		0+089		0+120		0+150	
测试指标	取样高程/m	30.12	31.92	20.92	21.92	20.22	22.42	21.62	23.42	26.72	27.92
	抗压强度/MPa	3.70	2.15	3.80	2.07	3.60	2.08	3.70	2.12	3.8	2.03
	劈拉强度/MPa	0.34	0.32	0.35	0.34	0.35	0.36	0.36	0.34	0.36	0.33
	渗透系数/(cm/s)	2×10 ⁻⁸	2×10 ⁻⁷	7×10 ⁻⁹	1.5×10 ⁻⁷	9×10 ⁻⁹	1×10 ⁻⁷	3×10 ⁻⁸	2.1×10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁸	1.5×10 ⁻⁷

表 4 取芯检测统计表

孔号		GX57		GX69		GX78		GX82		GX91	
桩号		0+062		0+086		0+104		0+114		0+130	
测试指标	取样高程/m	20.62	22.42	20.72	22.42	21.12	22.52	21.52	23.42	20.02	21.92
	抗压强度/MPa	3.3	2.1	3.5	2.05	3.7	2.12	3.5	2.14	3.6	2.17
	劈拉强度/MPa	0.32	0.30	0.36	0.35	0.35	0.36	0.37	0.34	0.33	0.33
	渗透系数/(cm/s)	6×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁷	3×10 ⁻⁸	2×10 ⁻⁷	1×10 ⁻⁸	1.5×10 ⁻⁷	7×10 ⁻⁹	1×10 ⁻⁷	6×10 ⁻⁹	2.5×10 ⁻⁷

灌浆完毕 28 天后,通过检查孔钻孔取芯,进行室内测试,检验灌浆质量。检测成果如表 3 和表 4。

从表 3、表 4 可以看出,灌浆后土体抗压强度为 1.69~3.96 MPa,平均为 3.12 MPa,比灌浆前具有显著提高,坝基整体性强度及稳定性达到设计要求;劈拉强度为 0.30~0.36 MPa,平均为 0.34 MPa,表明灌浆后土体均匀性较好,土体抗拉剪性能较好;渗透系数为 6×10⁻⁹~2.5×10⁻⁷ cm/s,平均值为 0.9×10⁻⁷ cm/s,小于设计规定的 1×10⁻⁷ cm/s,灌浆后截断渗漏,保护了心墙。检测结果表明灌浆后土体的整体性和均匀性得到明显提高,坝基整体性强度及稳定性达到设计要求。

5 结论

通过高压旋喷灌浆在我国水利工程中应用的典型工程实例分析,主要得出如下结论:

(1)高压旋喷灌浆不仅适用于各类土质基础,而且适用于沙层、沙砾、沙卵石、漂石、砾石及碎石等各种基础及其混合物基础。

(2)典型工程实例分析表明:灌浆后基础强度明显提高,渗透性明显降低,说明高压旋喷灌浆技术是解决基础强度不足和渗透性过大的有效手段。

(3)土质混合物颗粒粒径越大灌前透水能力越大,

灌浆后渗透系数改变越明显,粒径越小,灌浆后渗透系数越小。

参考文献:

[1] Littlejohn G. S. 化学注浆技术 (12)(周彦青译)[J]. 隧道译丛, 1985(5) 1-17.

[2] 张景秀. 坝基防渗与灌浆技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.

[3] Yonekura, R. Recent chemical grouting engineering for underground construction[J]. Proc. Of the International Symposium on Anchoring and Grouting Techniques, Dec., Guangzhou, 1994: 97-113.

[4] 杨米加, 陈明雄, 贺永年. 注浆理论的研究现状及发展方向[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(6): 839-841.

[5] 王惠民. 单管高压旋喷桩灌浆在土坝中应用的探讨[J]. 水利建设与管理, 2013 (9): 13-15.

[6] 李海军, 杨志军, 司天秀. 高压旋喷灌浆技术在处理坝基砂卵石透水层中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2007(9): 59.

[7] 李延超, 孙学峰, 张兴龙. 高压旋喷灌浆技术在东方红水库除险加固工程中的应用[J]. 水利天地, 2003 (7): 39-39.

[8] 张彤. 高压旋喷灌浆技术在急水坝防渗加固中的应用[J]. 广西水利水电, 2010 (1): 39-42.

[9] 齐延伟, 邓丽, 张定华. 高压旋喷灌浆技术在林沟水库除险加固工程中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2014(8): 11-12.

[10] 李立刚. 小浪底高压旋喷灌浆技术及应用实例简述 [J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(2): 40-42.

(下转第 217 页)