

高压喷射注浆法在沉降隔离墙工程中的应用

55-57/60 何良德 徐泽中 苏超 何平 陈小桐 周敏炜

U412.766
U416.1

(河海大学 南京 210098)

(江苏省高速公路建设指挥部 南京 210001)

摘要 介绍锡澄与沪宁高速公路沉降隔离墙高压喷射注浆的施工方法、成功经验及应用前景,分析三重管法成墙原理和混合浆液的特性,给出混合浆液比重、浆液面下沉率、水泥浆损失率、土体置换率、搭接处理长度等估算公式,论述三重管施工工艺及其控制要点。

关键词 沉降隔离墙 高压喷射注浆 三重管法 混合浆液特性 搭接处理

地基处理, 高速公路

锡澄高速公路 N-15 标段位于锡山市东北塘钱巷,与已通车的沪宁高速公路拼接后相互贯通,设置地下连续沉降隔离墙可使沪宁高速公路由于增设拼接路段而产生的附加沉降控制在 2 cm 左右,横坡度改变控制在 0.5% 以内。沉降隔离墙采用高压喷射注浆法进行施工,墙体厚度 0.17 m,高度 25.0 m,钻孔间距 1.65 m,采用双喷嘴单墙折线连接,折墙与隔离墙轴线倾斜夹角 25°,墙体 90 d 无侧限抗压强度大于 1.0 MPa。1997 年 7 月进行现场生产试验,8 月 1 日开工,9 月 23 日完工,共完成钻孔 427 个,总进尺 10885.5 m,隔离墙净投影长度 663.10 m,净投影面积 16577.5 m²。

1 现场生产试验

1.1 三重管法成墙原理

使用分别输送水、气、浆三种介质的三重管^[1,2],由 30 ~ 40 MPa 的水射流外围环绕 0.7 MPa 空气流组成高压水与气复合喷射流,以水气同轴双喷嘴冲击切削土体。土体在强大的动水压力等作用下,发生强度破坏,土颗粒从土层中剥落下来,形成水、气、土混合液,一部分沿注浆管管壁冒出地面,使土体内形成冲切沟槽。随后通过在喷头下端的喷浆嘴

注入 0.5 ~ 1.0 MPa 压力的水泥浆,使水泥浆液与水土浆液进一步混合,一部分上涌与水嘴处水土浆液混合后冒出地面;另一部分留在沟槽内,经过水化作用后形成水泥土固结体。喷射流固定一个方向喷射(定喷)或小角度往复喷射(摆喷)时徐徐提升,最终可形成设计需要的地下连续沉降隔离墙。

1.2 混合浆液特性

浆嘴与水嘴相距较大时,水泥浆喷射流与高压水喷射流互不影响,沿高度可分为浆嘴区和水嘴区两种混合浆液。水嘴区混合液是由高压水、切割的土体和浆嘴区混合浆液上涌部分混合而成,浆嘴区混合浆液是由水泥浆和水嘴区混合浆液混合而成。它们的容重可按式(1)和式(2)估算:

$$\gamma_1 = \frac{\gamma_c Q_c (Q_c + Q_w + Q_s - Q_a) + \gamma_w Q_w Q_s + \gamma_s Q_s^2}{(Q_c + Q_s)(Q_c + Q_w - Q_a) + Q_s^2} \quad (1)$$

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_c Q_c^2 + \gamma_w Q_w (Q_c + Q_s) + \gamma_s Q_s (Q_c + Q_s)}{(Q_c + Q_s)(Q_c + Q_w - Q_a) + Q_s^2} \quad (2)$$

式中 γ_1, γ_2 分别为浆嘴区和水嘴区混合浆液容重, N/m³; γ_c, γ_w 和 γ_s 分别为水泥浆、高压水和土体的容重, N/m³; Q_c, Q_w 分别为浆嘴和水

第一作者简介:何良德,男,讲师,从事港口及航道工程结构研究,曾发表《船闸闸首底板计算方法探讨》等论文。

嘴的流量, m^3/min ; Q_c, Q_a 分别为高压喷射流切割的土体体积及土体中空气体积, m^3/min 。

水嘴区混合浆液冒出地面形成冒浆, 引起的水泥损失率 m 和土体置换率 n 可按式(3)和式(4)估算:

$$m = \frac{Q_c(Q_c + Q_w - Q_a)(1 - \alpha)(1 - \beta)}{[(Q_c + Q_s)(Q_c + Q_w - Q_a) + Q_s^2][(1 - \alpha)(1 - \beta) + \alpha]} \quad (3)$$

$$n = \frac{(Q_c + Q_s)(Q_c + Q_w - Q_a)}{(Q_c + Q_s)(Q_c + Q_w - Q_a) + Q_s^2} \quad (4)$$

式中 α, β 分别为高压喷射注浆时浆嘴区混合浆液和回填注浆用水泥浆, 由于含水量很高, 产生析水沉淀现象所引起的浆液面下沉率, 可通过试验确定。

1.3 现场生产试验

高压喷射注浆形成的墙体质量与施工设备、施工技术参数及原状土特性等条件有关, 因此, 在全面施工之前, 应进行现场生产试验。生产试验包括穿透试验和定、摆喷试验。

穿透试验是在喷射孔两侧设置不同孔间距的观测孔, 在喷射孔进行喷射注浆时, 对观测孔的冒浆情况进行详细观测与记录, 分析判断喷射工艺对地层的洗切穿透能力, 以确定合理的水、气、浆压力及提升速度和孔间距等施工技术参数。按穿透试验确定的施工技术参数, 再进行定、摆喷试验, 对试验墙体进行不同部位的钻孔取样, 便可测得有关墙体厚度、强度、渗透性等指标, 验证是否满足墙体质量要求。

生产试验结果证实, 原设计的施工技术参数是合理的, 施工时应严格控制孔间距和孔斜率, 确保墙体搭接, 采用小摆喷可提高墙体厚度和水泥利用率, 确保墙体质量。试验确定的施工设备、技术参数及工艺可用来指导全面施工。

2 施工设备与技术参数

2.1 施工机具设备

施工中开辟了 5 条作业线, 使用的主要

设备型号、数量及主要性能如下: SGZ—1A 钻机 6 台, 钻孔深 100 ~ 150 m; GS500—3 高喷台车 5 台, 喷深 50 m, 提升高度 15 m; 3D2—SZ—75/50 高压水泵 5 台, 额定压力 50 MPa, 流量 $0.075 \text{ m}^3/\text{min}$; BW—150 泥浆泵 4 台, 额定浆压 1.0 MPa, 浆量 $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$; V—3/10 d 空压机 5 台, 额定气压 1.0 MPa, 气量 $3 \text{ m}^3/\text{min}$; ZJ—400 高速制浆机 4 台, 容量 0.4 m^3 ; BJ—400 拌浆机 4 台, 容量 0.4 m^3 ; 联合搅拌机 1 台, 额定浆压 1.0 MPa, 浆量 $0.08 \text{ m}^3/\text{min}$; 喷头 5 个, 水嘴孔径 17 mm; 喷射管 15 节, 外径 90 mm, 管长 10.70 m。

2.2 施工技术参数

喷射方向与隔离墙轴线倾斜角 25° , 摆动角 $10^\circ \sim 20^\circ$, 摆动频率 6 ~ 8 次/min, 提升速度 8 ~ 12 cm/min; 水压大于 30 MPa, 流量大于 $0.075 \text{ m}^3/\text{min}$; 气压力 0.5 ~ 0.7 MPa, 流量大于 $3 \text{ m}^3/\text{min}$; 浆压 0.5 ~ 1.0 MPa, 流量 $0.026 \sim 0.039 \text{ m}^3/\text{min}$; 浆液水灰比 0.82, 比重 1.60, 采用 425 号普通硅酸盐水泥; 钻孔孔深大于 25.5 m, 孔距小于 1.65 m, 孔径 168 mm, 孔斜小于 1.0%; 每延米水泥用量 369 kg, 每孔水泥用量 9 225 kg。高压水切割土体能力 $0.0224 \sim 0.0337 \text{ m}^3/\text{min}$, 浆嘴区混合浆液比重 1.45 ~ 1.49, 冒浆比重 1.28 ~ 1.33, 混合浆液面下沉率 26.8% ~ 31.0%, 水泥浆液面下沉率 28.6%, 土体置换率 0.88 ~ 0.91, 水泥损失率 0.30 ~ 0.31。

3 施工顺序及工艺

3.1 施工顺序

三重管喷射注浆法施工顺序为: 孔位放样 → 造孔 → 高喷台车就位 → 地面试喷 → 下入喷射管 → 喷射方向、摆动角校准 → 地下试喷 → 提升喷射 → 换杆继续提升喷射 → 终喷 → 下管静压回填 → 清洗器具 → 移开高喷台车 → 间隙性静压回填直至固结体平满孔口。

3.2 喷射注浆工艺

a. 变速提升工艺。沉降隔离墙段地基土主要由第四系全新统冲积成因的亚粘土、

淤泥质亚粘土、粉砂及上更新统沉积成因的亚粘土组成,表面为沪宁高速公路地基处理后的硬土层。各层土质情况沿着深度变化较大,土层密实度有明显差异。为确保质量,要求根据钻孔时获得孔位处地层情况,在不同深度针对不同土层采用不同提升速度。亚粘土层和表面硬土层提升速度 8 cm/min,淤泥质亚粘土、粉砂层提升速度 12 cm/min。

b. 搭接处理工艺。沉降隔离墙高 25.0 m,高压喷射注浆管不能一次提升完成,需分 3 段喷射注浆,2 次卸管时造成注浆间断;在注浆管提升过程,会出现种种故障造成注浆间断。为防止注浆间断造成隔离墙体内出现软弱夹层,并影响隔离墙均匀性,需要进行搭接处理。搭接长度按式(5)计算:

$$a = 0.0025b\Delta t \quad (5)$$

式中 a 为注浆间断后重新喷射注浆时要求注浆管下降高度,cm; b 为注浆间断前 2 h 内喷射高度,cm; Δt 为注浆间断时间,min,大于 2 h 以 2 h 计。

c. 摆喷成墙工艺。为确保墙体厚度,经生产试验确定采用摆喷工艺,摆动角由高喷台车的四连杆机构控制。考虑到注浆管、卡瓦、转盘之间存在相互错动,喷头处摆动角与注浆管在高喷台车底盘处摆动角存在差异,四连杆机构按 20°~30°摆动角进行控制。摆动频率 6~8 次/min。

d. 制浆控制工艺。采用分桶制浆方法,便于计量控制。每 7 包 350 kg 水泥,按水灰比要求加水,在高速搅拌机拌制后,排入普通搅拌机,通过泥浆泵根据注浆管提升速度控制浆量,每桶浆液(0.4 m³)使用时间 10~15 min,应与注浆管提升速度 12~8 cm/min 相适应,保证隔离墙水泥含量的均匀性。采用联合搅拌机连续制浆,不便于计量控制,一般不宜使用。在特殊情况下使用时,可参照分桶制浆控制水泥用量方法进行,即每次堆放 7 包水泥于联合搅拌机进料口,人工均匀喂料,喂料时间控制在 10~15 min,同时调整进

水量,控制好水灰比。

e. 冒浆处理工艺。在喷射注浆过程中,有一定数量的混合浆液沿着注浆管管壁冒出地面。通过对冒浆量、冒浆比重的测量及冒浆颜色的观察,可及时了解地层状况,判断摆喷大致效果和摆喷参数的合理性。当出现不冒浆、断续冒浆、冒浆量或冒浆比重过大或过小等异常情况时,首先应检查提升速度、水气浆的压力及流量,不符合技术参数要求时应采取相应措施进行调整;然后再检查是否有其它情况出现,采取相应措施调整。若水气浆压力过高流量偏低时,说明有堵嘴现象,应及时停喷,拔出注浆管,检查修理相应的喷嘴;若水气浆压力、流量均偏低,应及时停喷,检查修理相应的发生装置。若遇松软土层,可适当加快提升速度;若遇空洞通道时,则应停止提升,继续注浆直至冒浆为止。

f. 回填注浆工艺。三重管法施工时,水、气、浆同时注入,终喷后由于空气的排出、水泥土浆液渗漏、析水和沉淀作用,最终固结体顶部不可能一次平满孔口,经观测最大下降值可达 6~8 m,约占喷射高度的 30%。为确保隔离墙体质量,终喷后应停止供气、供水,将注浆管下放 8 m,借用喷杆进行静压注浆,至孔口返回浓浆后,上提并结合注浆拔出喷杆。高喷台车移位后,还应在后序孔开喷前、卸管时及终喷前,将输浆管放入水泥土浆液沉淀面以下,进行间歇性静压注浆,直至固结体高出孔口 0.5 m 为止。间歇时间不得大于 2 h。

g. 分序喷射及串孔处理工艺。高压喷射注浆施工时,在浆液未硬化前,有效喷射范围内的地基土因受到扰动而强度降低,容易使沪宁高速公路产生附加变形。高压喷射注浆分为两序施工,可减小施工对沪宁高速公路的影响,同时为防止窜孔破坏已喷墙体,相邻孔喷射作业间隔时间不得少于 5 d。如发生串孔现象,应用沙袋堵塞串孔冒浆出口。

(下转第 60 页)

20 m,孔径 130 mm,钻芯取样判断水泥土固结体均匀性,计算该部位墙体厚度。并将所取芯样做成标准试件进行室内抗压试验,检查其是否符合设计要求。

d、跨孔波速试验。在隔离墙体两端各打一个垂直孔,孔深 25.5 m,孔径 130 mm,然后下入 PVC 管,进行跨孔波速试验。检测两孔间经喷射注浆后形成的水泥土的波速,通过与原状土体波速的对比,推断喷射注浆的效果。

3 工程质量评定

工程监理在施工中进行了中间检查,对不符合基本要求的项目,下达了整改和补强通知,施工单位均及时执行。因此,隔离墙工程满足基本要求,质量保证资料基本齐全,可进行工程质量的检验评定。评定结果见表 1,质量等级为优良。

表 1 沉降隔离墙工程质量检验评定

检查项目	规定值或允许偏差值	检查方法	检查频率 (%)	实测平均值	合格率 (%)	规定得分	实际得分
搭接状况	无间隙	现场抽查	3.7		81.25	15	12.19
喷射孔距	≥ 1.5 m	现场抽查	100	1.6 m	98.13	25	22.06
墙体厚度	≥ 17.0 cm	现场抽查	8.0	18.6 cm	91.18	25	22.06
倾斜角	$25^\circ \pm 2^\circ$	现场抽查	8.0	25.12°	88.24	25	22.06
墙底高程	≤ -25.0 m	监理记录	100		100	25	22.92
墙顶高程	≥ 0.0 m	现场抽查	8.4		91.67	25	22.92
墙体垂直度	$< 1\%$	监理记录	100		100	10	10.0
轻型触探	≥ 40 击	现场抽查	4.2	46 击	100	25	25.00
水泥用量	≥ 8487 kg	监理记录	100	9030 kg	100	25	25.00
抗压强度	≥ 1.0 MPa	现场抽查	3.3	2.32 MPa	100	25	25.00
合计						100	92.17
质量保证资料	非正常情况记录不齐,补强认证文件不齐					减分	1.00
工程质量等级评定	得分 88.17,质量等级为优良						

注:以沪宁高速公路边沟底为零高程,水泥用量为每孔用量,抗压强度龄期为 90 d,各项目得分按子项目最小合格率计分。

4 结 语

工程质量检验应贯彻于施工全过程,施工前进行生产试验,通过质量检验验证施工技术参数的合理性;施工过程中进行质量检验,根据检验结果,适当调整施工技术参数,使施工质量和投资最优化;施工后进行质量检验,综合评价工程质量,评定工程质量等级。本文根据沉降隔离墙设计要求,结合高压喷射注浆法施工特点,制定的检验评定方法是合理的,能正确评价沉降隔离墙的工程质量。

参考文献

- 1 交通部公路科学研究所.公路工程质量检验评定标准.北京:人民交通出版社,1994.1~12
- 2 交通部工程建设监理总站.公路工程施工监理规范.北京:人民交通出版社,1995.8~24
- 3 阎明礼.地基处理技术.北京:中国环境科学出版社,1996.315~318

(收稿日期:1997-12-15 编辑:张志琴)

(上接第 57 页)

4 结 语

采用高压喷射注浆法进行沉降隔离墙施工,具有施工简便、造价低、无公害、对沪宁高速公路无影响的特点。经工程质量检验评定,沉降隔离墙工程质量等级为优良,说明高压喷射注浆法采用的施工工艺及技术参数是合理的,施工能满足设计要求,隔离墙工程能够有效地减少锡澄高速公路对沪宁高速公路产生的附加沉降,确保沪宁高速公路安全运行。本工程实践积累的经验有利于进一步了解三重管法成墙机理,提高施工质量,降低造价,拓展了其应用前景。

参考文献

- 1 阎明礼.地基处理技术.北京:中国环境科学出版社,1996.267~314
- 2 《地基处理手册》编写组.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,1989.231~371

(收稿日期:1997-12-15 编辑:张志琴)