

# 法标项目桩底压浆施工技术分析

张学斌

(中交路桥建设有限公司, 北京 101100)

**摘要** 科特迪瓦阿比让 Cocody 桥(建成后以现任总统名字命名为瓦塔拉大桥)项目采用法国规范设计。法标区压浆施工中的相关控制参数是通过本地区类似项目的经验和现场压浆试验的采集数据获取。以法标压浆规范的相关规定为依据,以本地区类似项目的经验为参考,在现场开展土层渗透系数、土层标贯值(SPT)、地勘报告、现场压浆试验等现场测试工作,法标认为现场测试试验和压浆试验可以验证类似项目经验值是否适合本项目,或对经验值进行修正以满足本项目的压浆施工要求。法标的压浆控制指标的侧重点与中国标准不同,主要以压浆压力值为主要控制要素,压浆流量值和压浆量作为辅助参考值进行控制。压浆试验除了验证压浆方法外,也可以测试压浆水泥浆的性能和压浆设备的性能是否能满足压浆需求。

**关键词** 压浆; 渗透系数; 标贯值

**中图分类号**: TU74

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.001

## 0 引言

瓦塔拉桥项目前期桩基荷载试验证明桩基的桩侧承载力较低,为了有效控制桩基工程数量,经过反复论证,桩端承载能力取值最小值达到了 4 MPa,最大值达到了 5.005 MPa,远超过中国标准的中、粗砂层的桩端承载力(1 450 kPa),业主综合各方意见,最终采用法国标准的取值,同时为了保证结构安全,确定采用桩底压浆技术来保证桩基结构受力安全。

## 1 测试试验

按照法国标准 NF EN 12715-2000 特殊岩土工程施工一注浆中规定,在开始压浆前期应进行现场勘查,主要勘查项目包括土层渗透系数、土层标贯值(SPT)、地勘报告、现场压浆试验等。

## 2 压浆材料

### 2.1 水泥浆配置

法国标准 NF EN 12715-2000 规定压浆水泥浆的使用,应以压浆试验期间获取的经验为依据或以本地区类似项目的经验为依据,确定拟用水泥浆性能的极限标准。所用水泥浆的性能应符合相关规范和环境要求。应根据测试试验数据评估水泥浆的使用性能,并选择性掺入外加剂来改善水泥浆的性能。

外加剂为搅拌工序中少量加入的有机产品或无机产品,以改良水泥浆的性能,可控制拌制后水泥浆的参数,如粘度、凝固时间、稳定性、强度、抗力、粘聚力和渗透性。

### 2.2 水泥浆检测

现场进行压浆作业前需要先检测制备的水泥浆是否满足设计要求,以保证水泥浆能顺利压入桩底并起到加固地层的作用。水泥浆的检测项目主要包括黏度和比重,黏度测量使用马氏漏斗,漏斗孔直径为 4.75 mm,测试的粘度为 946 mL 的浆液流过漏斗孔的时间,比重测量使用比重计<sup>[1]</sup>。

浸润压浆采用灰水比 C/E=1.0 的浆液,添加 2% 的膨润土,用于提高水泥浆的稳定性,理论黏度控制在 30 ~ 40 s,比重控制在 1.47 ~ 1.53 g/cm<sup>3</sup>,膨润土提前两天进行拌制,以便完全膨化。收紧压浆采用灰水比 C/E=1.67 的浆液,添加 0.1% 的 Tempo12 型减水剂,用于提高水泥浆的流动性,改善水泥浆的工作性能,配比为水泥:水:外加剂=1 060:636:1.066,理论黏度为 36 ~ 45 s,比重为 1.67 ~ 1.73 g/cm<sup>3</sup>。

## 3 压浆设备

压浆设备一般包括压浆泵、制浆机、储浆筒、灌浆记录仪、压力和流量传感系统等,本项目根据监理要求压力和流量需要定量输出,对已有的压浆泵进行现场改良,增加一台小型变频器,可满足定速输出的要求。

### 3.1 压浆设备配置

法国标准 NF EN 12715-2000 规定应根据拟用压浆技术选择压浆泵和压浆系统。应在距压浆点尽可能近的地方测量压浆压力损失。压浆系统应能抵抗可能发生的最大压力冲击波。

一般情况下，在水泥浆压浆泵和钻孔口处测试压浆压力。然而，输送系统中水头的变化、摩擦损耗会使此“工作压力”与作用于地层的“有效压力”不同，需要进行现场测试压力损失情况，准确掌握最大压力的取值范围（见表 1）。

泥浆输送管应具有足够的安全系数，且可承受最大预期泵压力。该管道直径应容许足够大的压浆流量，以避免搅拌均匀的水泥浆在管道中堵塞。在压浆过程中应对储浆容器中的浆液进行不间断的搅动，直到水泥浆压注完成，以防沉降<sup>[2]</sup>。

3.2 压浆设备测试

在开始压浆前要提前进行压浆设备标定，主要为压力值和压浆流量量。采用清水进行，按照压浆方案的流量值将清水注入 100 L 的量桶内，然后对比压浆记录仪显示的流量值和量桶内的水量是否相同；再进行压力测试，将压浆管（可承受 22.5 MPa 的压力）一端与压浆机相连，另外一端与控制阀相连，测试时将控制阀关闭，进行加压，缓慢连续加压，对比压浆记录仪显示的压力值和压力表显示的实时压力值是否相同。如果标定时发现设备异常，需要更换设备重新标定。完成压力和压浆量的测试后，才可进行正常的压浆施工。

4 压浆施工

桩底压浆工程是在钻孔灌注桩成桩后，通过预设于桩身内的压浆导管及与之相连的桩端压浆器向土层中压入浆液的技术，一般通过控制压浆压力、压浆流量、压浆量将可泵送的水泥浆压入桩底岩土层，对桩底一

定范围的砂层及桩底沉渣进行挤密及固结，从而能有效地修复桩基固结的工艺缺陷，并能有效地提高桩基的承载能力<sup>[3]</sup>。

4.1 压浆施工方法的选取

根据阿比让地区类似压浆项目的经验，采用浸润压浆(Injection D'imprégration)和收紧压浆(Injection D'Serrage)两个阶段。浸润压浆是用水泥浆填充渗透性土层颗粒间的可进入孔隙，而不破坏地层的完整性。收紧压浆是验证浸润压浆的压浆效果，同时进一步对桩端砂层孔隙进行封堵，使桩端承载能力满足设计要求。

4.2 工艺原理

该工艺的基本原理是在混凝土灌注桩的基础上进行桩底压浆工序，在混凝土灌注桩成桩后通过预埋于桩身的取芯管和声测管压入纯水泥浆或其他特制的水泥浆，改善和固化桩端砂层，使桩底一定范围的砂层得到强化，从而提高桩基的整体承载力<sup>[4]</sup>。

4.3 施工工艺流程

桩基桩底压浆工艺流程主要包括压浆设备调试→地质钻机就位、水泥浆配置→钻孔→安装注浆塞→浸润压浆→洗孔→第二次钻孔→收紧压浆<sup>[5]</sup>（见图 1）。

4.4 单桩压浆施工顺序

本项目共有 4 种不同直径的桩基，采用已有声波探测管作为压浆管道，根据法标 NF P94-160-1 超声波检测规定，不同桩径的声波探测管的数量也不同，1 200 mm 的桩设置 3 根声测管（内径 80 mm/ 外径 90 mm）和 1 根取芯管（内径 102 mm/ 外径 114 mm），1 600 mm

表 1 压力损失测量数据

| 记录时间    | 流量 (L/min) | 压浆泵压力 P1 (MPa) | 压浆点压力 P2 (MPa) | 压力损失 (%) |
|---------|------------|----------------|----------------|----------|
| 0:00:00 | 40.00      | 1.14           | 1.13           | 0.9      |
| 0:00:10 | 40.00      | 1.17           | 1.16           | 0.9      |
| 0:00:20 | 40.00      | 1.07           | 1.05           | 1.9      |
| 0:00:30 | 40.00      | 1.13           | 1.11           | 1.8      |
| 0:00:40 | 40.00      | 1.44           | 1.41           | 2.1      |
| 0:00:50 | 40.00      | 1.89           | 1.86           | 1.6      |
| 0:01:00 | 40.00      | 1.86           | 1.85           | 0.5      |
| 0:01:10 | 40.00      | 2.03           | 2.01           | 1.0      |
| 0:01:20 | 40.00      | 2.05           | 2.04           | 0.5      |
| 0:01:30 | 40.00      | 3.13           | 3.11           | 0.6      |

（注：在现场压浆压力损失测量，在压浆泵和压浆点处各安装一个压力计，压浆管路采用 50 m 长的耐磨高压胶管，压浆管可承受的最大压力是 22.5 MPa，选择设计压浆的最大流量进行试验，同时采集两点的压力值。）

的桩设置 4 根声测管 (80/90) 和 1 根取芯管 (102/114), 2 000 mm 和 2 200 mm 的桩设置 5 根声测管 (80/90) 和 1 根取芯管 (102/114)。

按照现场压浆试验情况和类似压浆项目的经验可知, 每根桩基要严格按照顺序进行压浆, 采用 S 形的顺序可以减少因压浆固结砂层而对周围未压浆管道的压浆量的影响, 也可以对桩侧沉渣起到较好的改善效果。

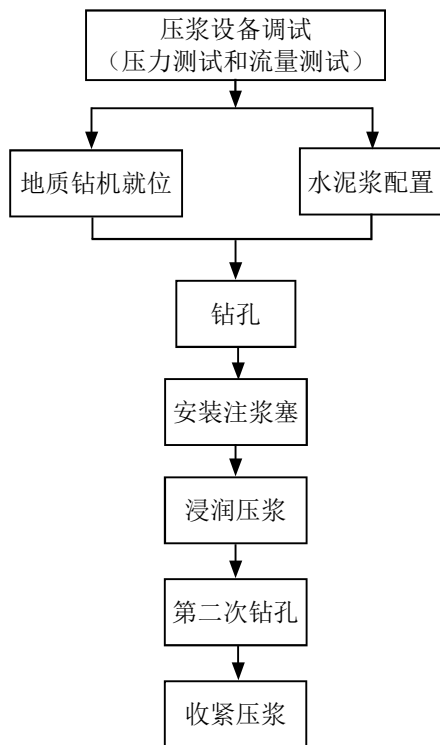


图 1 压浆施工工艺流程图

#### 4.5 浸润压浆

浸润压浆的结束标准根据压浆量和压力值来判断, 压浆过程中进行流量控制, 达到 1 MPa, 或者设计压浆量, 即可停止压浆。

浸润压浆按照 40 L/min 的速度和 1 MPa 的控制压力开始压浆, 如果以 40 L/min 的速度压浆时, 压力达到 1 MPa, 但是压浆量距离理论压浆量很远时, 则将流量调到 60 L/min, 直到压力达到 4 Mpa, 如果未出现上述情况, 则: (1) 如果 V 达到 300 L, 且压力等于 1 MPa, 则停止压浆; (2) 如果在未达到 1 MPa 压力的情况下压浆量达到  $V=300$ , 则将流量降低至 20 L/min, 总共注入 400 L, 并尝试达到 1 MPa 的压力, 如果达到 1 MPa, 则停止压浆; (3) 如果未达到 1 MPa 的压力, 则停止压浆一小时, 以 20 L/分钟的流速恢复并尝试达到 1 MPa 的压力, 但总压浆量不大于 500 L。

单根压浆管压浆结束后, 使用注浆塞关闭注浆管,

防止其他管路压浆时浆液从已压浆管溢出, 其他管按照同样的方法进行。单个管子浸润压浆结束 1 个小时后, 用清水将声测管底部 5 m 以上的水泥浆进行置换。

#### 4.6 收紧压浆的控制标准

收紧压浆的结束标准按照压浆量和压力值来综合判断, 压浆过程中进行流量控制, 在浆量达到设计值和压力大于 4 MPa 时, 即可停止压浆。

收紧压浆按照 20 L/min 的速度开始注浆, 压力值控制在 4 ~ 6 MPa, 具体操作如下:

1. 如果压力达到 4 MPa, 但是未压入水泥浆, 则将流速增加到 60 L/min, 并将压力控制在 4 ~ 6 MPa, 持续稳压 5 min, 即可停止压浆。

2. 如果能够压入水泥浆 (并接近 V), 则: (1) 达到 4 MPa 的压力且未达到体积 V, 则保持压力 5 min 后停止注浆; (2) 如果达到 V 并且压力大于 4 MPa, 则停止注浆; (3) 如果达到 V 却未达到 4 MPa 的压力, 则将流量降低至 15 L/分钟, 并尝试达到 4 MPa 的压力; (4) 如果未达到 4 MPa 的压力但浆量达到 1.5 V, 则停止注浆一小时, 以 15 L/min 的速度恢复注浆, 并尝试达到 4 MPa 的压力; (5) 如果达到 2 V 并达到 4 MPa 的压力, 则停止注浆; (6) 如果达到 2 V 而未达到 4 MPa 的压力, 则停止注浆一小时, 以 15 L/min 的速度恢复注浆, 并尝试达到 4 MPa 的压力 (不超过 3 V), 并停止注浆。

#### 5 结束语

法国压浆规范 NF EN 12715-2000 与欧标压浆规范 EN 12715:2000 具有等同性, 关于压浆没有规定详细的参数和指标, 只提供了如何获得这些参数和指标的方法, 基本是通过施工地区类似项目的经验值和现场试验的数据来确定最终的压浆方案及相关参数。法标区压浆施工是以法标为依据, 在现场反复试验的情况下, 由监理工程师最终确认压浆施工的方法和各项指标。

#### 参考文献:

- [1] 吴善印. 桥梁工程大直径超深钻孔桩桩底压浆施工技术 [J]. 智能城市, 2021(10):35-36.
- [2] 许志伟. 建筑工程灌注桩后注浆施工技术研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 09(18):85-87.
- [3] 罗康权. 坝基固结灌浆施工技术研究 [J]. 广东建材, 2024, 40(04):119-121.
- [4] 张勇. 建筑工程后注浆施工技术要点 [J]. 砖瓦世界, 2024(18):52-54.
- [5] 尹坤文. 建筑工程施工中灌注桩后注浆施工技术 [J]. 科学技术创新, 2024(09):166-169.