

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1692—2023

公路桥梁灌注桩桩端后压浆设计
与施工技术规范

Technical Specifications for Design and Construction of Cast-in-place Pile Tip
Post-Grouting in Highway Bridge

2023 - 05 - 25 发布

2023 - 06 - 25 实施

陕西省市场监督管理局

发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 2

5 设计 2

6 施工 6

7 质量检验 7

附录 A（资料性） 灌注桩桩端后压浆管路系统布置图 8

附录 B（规范性） 灌注桩桩端后压浆系统安装检查表 11

附录 C（规范性） 灌注桩桩端后压浆记录表 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由陕西省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：陕西交通控股集团有限公司、西安长大公路工程检测中心有限公司、陕西通宇公路研究有限公司、长安大学。

本文件主要起草人：薛振年、王晨、张熠、周志军、魏家乐、李耀国、葛磊、王苗苗、弓斌、汪晓 勇、王君、高伟超、刘浪涛、吴嘉、姜海力、范红英。

本文件由长安大学负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：长安大学

电话：029-82334986

地址：陕西省西安市碑林区文艺南路

邮编：710064

公路桥梁灌注桩桩端后压浆设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了黄土地区公路桥梁灌注桩桩端后压浆一般规定、设计、施工及质量检验等方面的要求。本文件适用于陕西省黄土地区公路桥梁灌注桩桩端后压浆设计与施工。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- JTG 3363-2019 公路桥涵地基与基础设计规范
- JTG/T 3512-2020 公路工程基桩检测技术规范
- JTG/T 3650-2020 公路桥涵施工技术规范
- YS/T 5211-2018 注浆技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

黄土 loess
第四纪期间以风力搬运的黄色粉状沉积物。

3.2

桩端后压浆 post-grouting of pile tip
通过预设于桩身内的注浆导管及与之相连的桩端注浆阀注入水泥浆，使桩端土体（包括沉渣）得到加固。

3.3

注浆工作压力 grouting working pressure
注浆时克服浆液流动阻力并使浆液扩散一定范围所需的注浆阀压力。

3.4

注浆极限压力 grouting limit pressure
当注浆压力升至某一数值而注浆量突然增加时的压力值为注浆极限压力。

3.5

注浆终止压力 grouting end pressure

根据土层性质及注浆点深度计算和试压浆确定的结束时的压力。

4 一般规定

- 4.1 灌注桩桩端后压浆适宜桩长范围为 30 m~70 m。
- 4.2 灌注桩桩端后压浆设计具备的资料应符合 YS/T 5211-2018 中 7.1.2 规定。
- 4.3 后压浆原材料进场时应进行原材料抽检试验，并进行水泥浆液配合比设计。

5 设计

5.1 压浆管路系统

- 5.1.1 压浆管质量应符合 JTG/T 3650-2020 中 9.5.3 要求。
- 5.1.2 利用声测管作为桩端后压浆导管，对于直径小于或等于 1500 mm 的桩，宜布置 3 根压浆管；对于直径大于 1500 mm 的桩，宜布置 4 根压浆管，钻孔灌注桩桩端压浆管路系统布置图见附录 A。

5.2 注浆量和注浆压力

- 5.2.1 单桩桩端理论注浆量应主要考虑桩径、桩长、桩端土层性质，单桩桩端理论注浆量按公式（1）计算：

$$G_c = a_p d \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- G_c ——单桩桩端理论注浆量，以水泥质量计， t ；
- d ——设计桩径， m ；
- a_p ——桩端注浆量经验系数，黄土地区取值范围在1.8~3.2之间，土体孔隙率较大时取高值，土体密实度较高时取低值。

- 5.2.2 注浆终止压力 p_g 应按现场试压浆确定，也可按公式（2）估算：

$$p_g = p_w + \xi \sum r_i h_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- p_g ——压浆终止压力， kPa ；
- p_w ——桩端压浆处静水压力；
- r_i ——第*i*层土有效重度（地下水位以下取浮重度， kN / m^3 ）；
- h_i ——桩侧第*i*层土的厚度， m ；

ξ ——压浆阻力经验系数，与土层类别、密实度及浆液稠度等有关，黄土地区一般取 1.5~2.0，密度大的取高值，相反取低值。

5.2.3 注浆工作压力可按公式（3）计算：

$$p_0 = \beta p_g \dots\dots\dots (3)$$

式中：

p_0 ——注浆点浆液出口正常时注浆工作压力， kPa ；

β ——折减系数，可取 0.85~0.9。

5.2.4 注浆极限压力按公式（4）计算：

$$p_c = \beta \frac{4}{\pi l^2} (G + 0.6\pi d \sum_{sik} q_i h_i) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

p_c ——注浆极限压力， kPa ；

G ——桩身自重（地下水位以下取浮重）， kN ；

q_{sik} ——第 i 层土的桩侧摩阻力标准值， kPa ；

β ——折减系数，0.85~0.9。

5.3 承载力和沉降

5.3.1 桩端后压浆灌注桩单桩极限承载力标准值可通过静载试验确定，设计时按公式（5）估算：

$$Q_{uk} = Q_{zgk} + Q_{zsk} + Q_{sk} = \beta_p A_p q_r \lambda + U \sum_{i=1}^n \beta_i q_{ik} l_i + U \sum_{j=1}^m q_{jk} l_j \dots\dots\dots (5)$$

$$q_r = m_0 \lambda f_{a0} + k_2 \lambda (h - 3) \dots\dots\dots (6)$$

$$[R_a] = Q_{uk} / 2 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Q_{uk} ——桩端后压浆灌注桩（摩擦桩）的极限承载力， kN ；

Q_{zgk} ——桩端阻力， kN ；

Q_{zsk} 、 Q_{sk} ——浆液上返段和浆液未上返段的侧摩阻力， kN ；

β_p 、 β_i ——桩端阻力增强系数、浆液上返范围内第 i 土层侧摩阻力增强系数，按表1取值；

A_p ——桩端面积， m^2 ， 计算桩端面积时采用的直径为设计直径乘以扩大系数1.0~1.3后的直径；

q_r ——修正后的桩端土的承载力特征值， kPa ；

λ_g ——压浆量系数， 为实际压浆量/理论压浆量；

U ——桩身周长， m ， 按设计直径计算；

q_{ik} 、 q_{jk} ——浆液上返段第*i*土层和浆液未上返段第*j*土层桩侧摩阻力标准值， kPa ；

l_i 、 l_j ——浆液上返段第*i*土层厚度和浆液未上返段第*j*土层厚度， m 。采用了泥浆护壁成孔， l_i 取 12 m；采用干作业方式成孔， l_i 取 6 m；

m_0 、 λ 、 k_2 ——清底系数、修正系数和地基承载力随深度的修正系数， 按 JTG 3363-2019中 6.3.3 取值；

f_{a0} ——桩端土的承载力特征值， kPa ；

γ_2 ——桩端以上各层土的加权平均重度， kN / m^3 ；

h ——设计桩长和桩端压浆阀进入土体的深度之和， m ；

$[R_a]$ ——桩基础的容许承载力。

表 1 黄土地区灌注桩桩端后压浆侧阻力增强系数 β_{si} 、端阻力增强系数 β_p

成孔方式	旋挖成孔	冲击成孔
β_p	2.1~2.4	1.9~2.2
β_{si}	1.5~1.8	1.3~1.6

5.3.2 桩端后压浆灌注桩沉降按公式（8）计算：

$$s = \psi \sum_{i=1}^n \frac{\Delta z_i}{E'_{si}} + s_e \dots\dots\dots (8)$$

$$s_e = \xi_e \frac{Ql}{E_c A_{ps}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

s ——桩基整体沉降量， mm ；

ψ ——桩基沉降计算经验系数， 黄土地区后压浆灌注桩一般取0.5；

n ——桩端沉降计算深度范围内土层的计算分层数；

σ_{zi} ——桩基在应力计算点下的第*i*层土中心处产生的竖向附加应力之和， *kPa*；

E'_{si} ——后压浆灌注桩桩端以下第*i*层土的压缩模量（取土层在自重应力和附加应力下的压缩模量）， *MPa*；

Δz_i ——第*i*层土的厚度， *m*；

s_e ——桩身的弹性压缩量， *mm*；

ξ'_e ——桩身压缩系数；

Q ——桩顶附加荷载， *kN*；

l ——桩长， *m*；

E_c ——桩身混凝土的弹性模量， *MPa*；

A_{ps} ——桩身横截面积， *m*²。

5.3.3 压缩模量 E'_{si} 按公式（10）计算：

$$E'_{si} = \phi E_{si} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

ϕ ——注浆土层压缩模量增强系数，按表2取值；

E_{si} ——桩基底面下第*i*层土的压缩模量， *MPa*。

表 2 黄土地区桩端后压浆灌注桩桩端土层压缩模量增强系数参考值

桩端下深度/ <i>m</i>	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.25	>1.25
ϕ	3~4	2~3	1~2	1

5.3.4 桩身压缩系数 ξ_e 按公式（11）～（13）计算：

侧摩阻力为三角形分布时桩身压缩系数：

$$\xi_e = \frac{1}{3}a + \frac{2}{3} \dots\dots\dots (11)$$

侧摩阻力为矩形分布时桩身压缩系数：

$$\xi_e = \frac{1}{2}a + \frac{1}{2} \dots\dots\dots (12)$$

侧摩阻力为梯形分布时桩身压缩系数：

$$\xi_e = \frac{n+2}{3+3n} a + \frac{2n+1}{3+3n} \frac{1}{13}$$

式中：

- a ——桩端与桩顶轴力比；
- n ——桩端与桩顶侧摩阻力比

6 施工

6.1 施工流程

灌注桩桩端后压浆施工流程见图1。

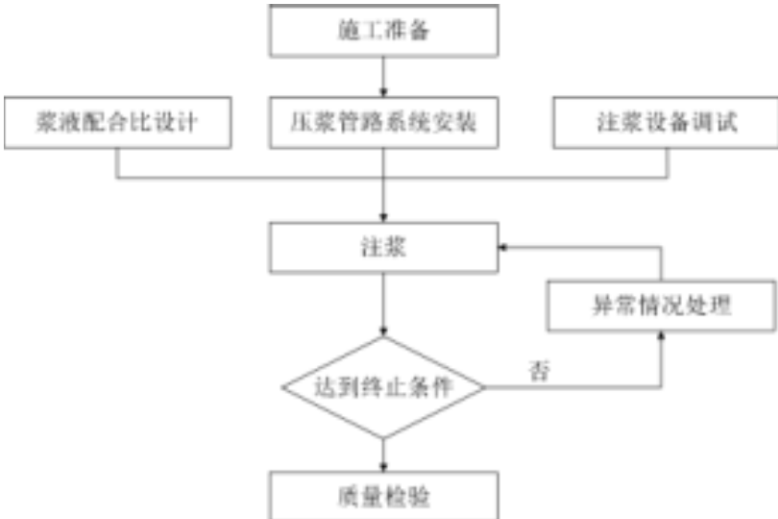


图 1 灌注桩桩端后压浆施工流程

6.2 施工准备

- 6.2.1 注浆工作应在成桩后 7 d~30 d 内进行。
- 6.2.2 施工前应结合工程地质、水文资料及施工条件等工程实际情况编制桩端后压浆施工方案。
- 6.2.3 施工前应修建临时设施，安装注浆设备，标定仪器仪表，准备注浆材料。

6.3 压浆管路系统安装

- 6.3.1 桩端压浆导管的上端应高出桩顶（或工作面）500 mm，桩端压浆阀进入桩端土层的深度不宜小于 350 mm，当持力层为含水率较高的软弱土层及沉渣较厚时应适当加深至 500 mm。
- 6.3.2 桩端压浆阀安装时应缠裹保护，并能在注浆工作压力作用下打开。
- 6.3.3 桩端后压浆系统安装结束后应填写现场检查表，灌注桩桩端后压浆系统安装检查表见附录 B。

6.4 浆液配合比设计及压浆设备调试

- 6.4.1 注浆材料宜选用水泥、水玻璃等硅酸盐材料，水泥强度等级不宜低于 42.5。
- 6.4.2 水灰比根据现场水文地质及压浆工艺进行配制，黄土地区一般控制在 0.6~0.8 之间。
- 6.4.3 压浆设备应满足 JTG/T 3650-2020 中 9.5.5 要求。

6.4.4 灌注桩桩端后压浆大范围施工前对压浆设备进行调试，并开展试压浆工作，形成记录。

6.5 注浆及终止条件

6.5.1 注浆前应对压浆管路及压浆阀等进行注水耐压试验，以防出现漏水、漏浆现象。

6.5.2 注浆量达到设计注浆量的 80%，最后 5 min 的平均注浆压力超过注浆终止压力时，可终止注浆。注浆终止压力对于非饱和黄土一般为 5.0 MPa~8.0 MPa，对于饱和黄土一般为 1.5 MPa~6.0 MPa。

6.5.3 注浆量达到设计注浆量的 80%，最后 5 min 的平均注浆压力小于注浆终止压力的 80%时，应调小水灰比，继续压浆至注浆终止压力。注浆压力和注浆量均达到设计要求时，可终止注浆。

6.5.4 注浆过程中压浆持荷时间为 5 min，浆液流量不宜超过 75 L/min，终止压浆时浆液流量不宜超过 30 L/min。

6.5.5 压浆过程中安全管理和环境保护应符合 YS/T 5211-2018 中 9 规定。

6.5.6 注浆结束后填写施工记录表，灌注桩桩端后压浆记录表见附录 C。

6.6 异常情况处理

6.6.1 施工过程中压浆阀不能正常开启，可适当调高注浆压力，但最高压力不能超过注浆极限压力，用脉冲法冲通管路后正常注浆。

6.6.2 压浆阀全部堵塞不能实施压浆时，可在桩中心和桩周钻孔，重新安装压浆系统实施注浆。钻孔过程中，不应损伤桩基钢筋。

6.6.3 若发现地面冒浆或周围桩孔串浆，可采用堵塞冒浆通道、调整浆液配合比、降低注浆压力、间歇压浆等方法进行处理。

7 质量检验

7.1 灌注桩桩端后压浆质量检验应检查水泥检验报告、仪表检定校准证书、试压浆记录、后压浆施工记录等资料。

7.2 当桩身混凝土强度达到设计要求时，承载力检验应在注浆完成 21 d 后进行，浆液中掺入早强剂时可在注浆完成 14 d 后进行。承载力检验应符合 JTG/T 3512-2020 中有关规定。

附 录 A
(资料性)
灌注桩桩端后压浆管路系统布置图

A. 1 压浆管路系统布置图 (桩径 $d \leq 1500$ mm)

压浆管路系统布置图 (桩径 $d \leq 1500$ mm) 见图A.1。

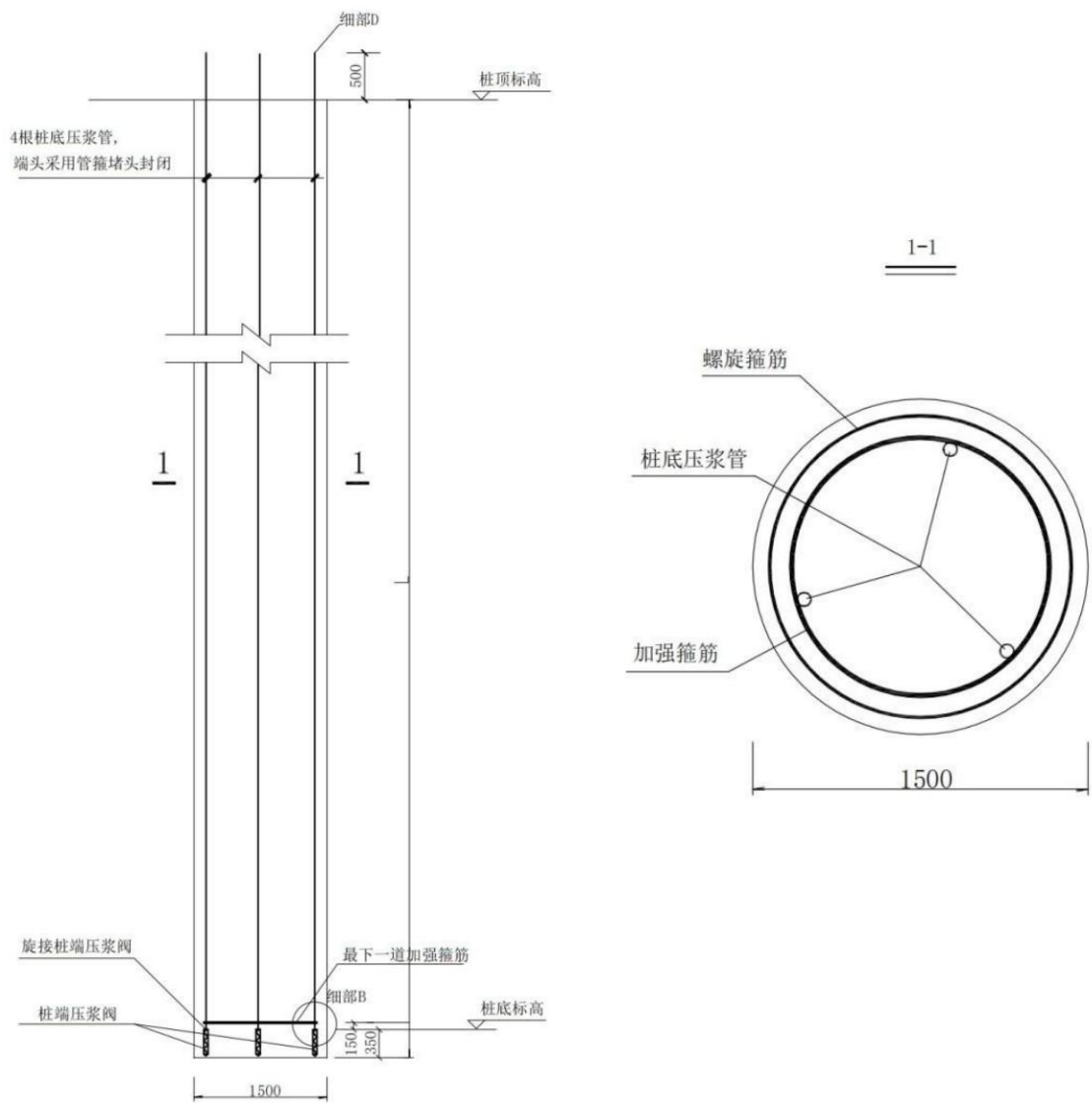


图 A.1 压浆管路系统布置图 (桩径 $d \leq 1500$ mm)

A. 2 压浆管路系统布置图 (桩径 $d > 1500$ mm)

压浆管路系统布置图 (桩径 $d > 1500$ mm) 见图A.2。

A.3 桩端压浆阀细部构造图

桩端压浆阀细部构造图见图A.3。

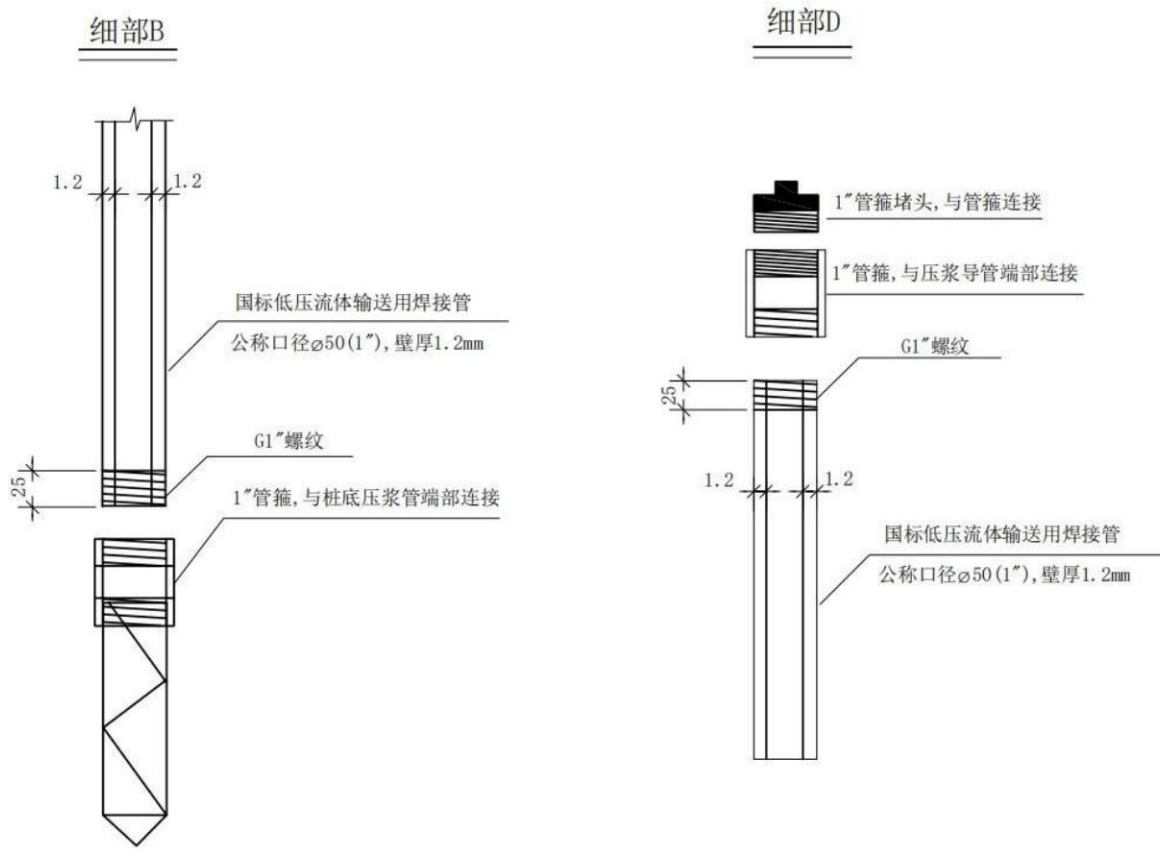


图 A.3 桩端压浆阀细部构造图

附 录 C
(规范性附录)
灌注桩桩端后压浆记录表

灌注桩桩端后压浆记录表见表C.1。

表 B. 2 灌注桩桩端后压浆记录表

合同段						工程名称				
工程部位						桩基施工时间				
水泥名称及强度等级		外加剂 (kg)			压浆时间 (min)					
水灰比		黏度 (s)			设计水泥用量 (kg)					
压力表编号		控制压力 (MPa)			实际水泥用量 (kg)					
压浆管 编号	压水通过情况	压 浆						稳压、复压、补浆		
		开始时间	结束时间	工作	水泥用量	浆液比重	备注	稳压时间	复压时间	备 注
异常情况处理										
施工单位意见:										
记 录			复核			质检				
监理意见:										
签名: 年 月 日										

