

77-79, 82

# 高压旋喷注浆法加固已竣工桥涵地基的应用

已竣工桥涵

石广余 韩寿乔 刘 锋

U443.17

(华北石油地质局第九普查勘探大队·榆次·030600)

高压旋喷注浆法加固已竣工桥涵地基具有针对性和技术优势;同时具有对桥涵损伤小、费用低、进度快、较小影响道路行车,加固质量后效果可靠等优点。该技术已在太旧高速公路上得到了成功应用。

关键词 高压旋喷 加固 地基 已竣工桥涵



岩土工程

一般情况下,桥涵竣工后施工场地狭窄,桥下或涵内净空低,由于桥台、板梁、涵壁、盖板、基础等的限制,灌注桩、深层搅拌桩、灰土桩、分层压实、强夯等地基加固处理方法无法施工;静压注浆法由于成孔工作量大,灌注很难做到定向、定量、定域,因而加固效果难以控制。高压旋喷注浆法则克服了上述加固方法的弱点,具有对桥涵损伤小、费用低、进度快、较小影响道路行车、加固质量和效果可靠优点,成为已竣工桥涵地基加固的最佳方法。

## 1 施工工艺及施工设备机具

### 1.1 桩点定位

按设计图进行桩点放样后,钻机根据桩点位置停放就位,就位后应保持钻塔垂直和便于操作。

### 1.2 导孔钻进

导孔钻进采用的钻机要便于靠近桥台或涵壁,需配备泥浆泵、起吊塔,转盘需要较大的扭矩,钻头要镶嵌高强度合金。由于欲加固的地基位于桥涵基础以下,导孔钻进一般要钻穿砼基础、砂石垫层及分层压实后的地基,为防止路基、砂石垫层泡水沉降,成孔通常采用回转法干钻取芯,下套管至砂石垫层底界,也可用跟管钻进法钻至砂石层底界,下部软弱土层可用水冲法泥浆循环钻进。

### 1.3 浆液配制

配制浆液的设备由圆柱形水罐、电机、搅拌叶片组成,此外还需一个容积较大的贮浆罐。根据试验确定的水、水泥、添加剂等的配比,先加入清水,边搅拌边加入水泥,然后加入各种添加剂,充分搅拌均匀放进贮罐以备灌注。

### 1.4 旋喷成桩

旋喷成桩设备主要有高压泵、浆液输送管线、旋

喷钻机、钻杆、喷头。高压泵产生 20 MPa ~ 25 MPa 的高压脉动浆液喷射流由高耐压强度的浆液输送管送到旋喷钻机上的钻杆和喷头,高压喷射流由喷头上的喷嘴喷出。旋喷由下而上按施工设计确定的泵压、喷头旋转速度和提升速度进行喷注,直到喷嘴提升到基础地面以上喷桩结束。

### 1.5 返浆处理

旋喷过程中总有一部分浆液夹带一定量的土粒从导孔中冒出,这部分混合物称为返浆,返浆除部分可用于回灌外,其余可通过沟渠排放或用车拉走,以免影响其它作业。

### 1.6 喷注设备机具清洗

一根桩施工结束后,可根据机具设备移到新桩点所需时间、浆液析水沉淀速度及浆液凝固时间等确定喷注设备机具是否需要清洗。每天停工前须将搅拌罐和贮浆罐中的剩余浆液排放掉,并彻底清洗浆液配制和喷注设备、机具。

### 1.7 浆液回灌

浆液回灌决定着桩顶质量,旋喷桩喷注完成后 6 h ~ 8 h 内,桩体呈流塑状态,要逐渐析水沉淀,桩侧地基土吸收桩体水分也使桩体缩小,导致桩体逐渐下沉,对于已竣工的桥涵地基加固,势必造成桥涵基础底面与桩顶脱空,因此必须在水泥土凝固前经常从孔眼灌入水泥浆液或喷注时返出的浆液,保证基础底面与桩顶耦合良好。

## 2 质量监测

根据国家行业标准《建筑地基处理技术规范 JGJ79—91》,喷桩可采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入、载荷试验或压水试验等进行检验,但对于加固已竣工桥涵地基的旋喷桩,上述方法有的无法作业,有的很难进行或检验费用太多,根据施工经验,控制质量可从施工参数设计的审验、施工过程中的监控、

施工后检查3方面着手,包括:

1)地基加固前,在欲进行地基加固的桥涵附近用所设计的施工参数试桩1根~2根,3天后开挖量测桩径,制作试块做抗压强度试验以推算满龄期后的桩体强度,观测桩身质量,并以此作为调整施工参数和施工中质量监控的依据;

2)把好材料关,主要是保证所用水泥质量,对水泥要进行不定期抽检;

3)检查监控浆液配制情况,严格按设计的水灰比进行配浆;

4)监督检查喷注时高压浆泵压力不能低于设计压力,喷头提升速度和旋转速度不得高于设计要求,且压力、喷头提升速度和旋转速度应比较稳定;

5)观测检查每米成桩所用浆液数量、返浆量、返浆稠度和土与浆液搅拌的均匀度,可判断喷注参数及喷注进程是否正常;

6)卸钻杆时分段提升喷注的搭接长度,停喷后再喷的搭接长度须大于10cm,以防断桩;

7)每桩不定段地制作返浆试块,养护28d后做抗压强度试验,其平均桩体强度比实际桩体强度略小或相近;

8)每天施工后,检查导孔钻进、浆液配制、旋喷成桩等作业组的班报,发现问题及时整改;

9)施工前,施工过程中及施工结束后对桥涵基础进行沉淀观测,可验证施工方法的合理性和检验加固效果。

通过以上监控和试桩检验、返浆试块检验,基本能掌握旋喷桩的桩径、桩体强度、桩身质量等重要参数,判断成桩质量和加固效果。

### 3 工程实例

#### 3.1 工程概况

太旧高速公路中段K63+299桥宽11.74m\*2,中间留有伸缩缝,由4个高7.83m,下部宽4.12m,上部宽1.2m的桥台支承空心板梁,桥跨度13.0m,桥基础为素混凝土,厚2.0m,基础下有1.5m厚的砂砾石垫层。

该桥建成后基础及桥身下沉,根据对桥上12个点观测,1995年10月17日至11月17日一个月累计沉降量最大253mm,最小187mm,两半桥桥台沿沉降缝错开56mm,1995年12月初中段指挥部聘请晋、浙、津等地专家和设计施工单位技术人员分析、研究并进行了详细工程地质勘察,确定下沉原因是基础下部地基承载力不能满足上部荷载要求,且基

础范围内地基土层厚差异较大,需对地基进行加固处理。针对具体情况,设计、施工单位提出3种加固方案。

1)用人工挖孔及混凝土灌注桩进行地基托换。由于不能损坏基础而灌注桩需置于基础以下,基础下的砂砾石垫层及其下部软塑一流塑状土很难进行挖孔作业;桥台背后需挖穿7.5m~8.0m的砂石压实路基,工作量和作业难度大,基础下1m左右的桩很难灌注;施工费用高、工期长;施工人员人身安全及加固效果难以保证。

2)静压注浆法。拟在桥台四周设计注浆孔,并设计部分定向斜孔向桥台基础下部中间部位注浆。专家们认为:注浆成孔数量多,定向孔施工复杂,成本高,方向和角度难以保证,注浆时,注入地基的浆液数量及浆液扩散区域不易被控制和确定;地下结石体大小、强度、形态及分布无法预知,其加固效果难以保证。

3)高压旋喷注浆法。在桥台四周布设旋喷桩,其桩径、桩长、桩体强度、桩的数量等可根据地基承载力及基础上部荷载进行计算,具有施工质量易于控制、加固效果可靠、工期短、费用低等优点,经专家、设计人员比选、评价,决定采用旋喷桩对小桥地基进行加固处理。由原桥梁设计部门设计,4桥台共布旋喷桩27\*4根,桩径70cm,有效桩长15.0m,累计桩长1620延m,每桩台1~9号桩桩身强度不小于7.0MPa,10~27号桩桩身强度不小于6.0MPa。地基加固过程中需防路基进水和减少桥梁附加沉降。

#### 3.2 施工概况

由于桥已建成,桥台背周围路基已铺好,本着保护桥基础、控制桥梁和两边路基沉降,保证加固效果的原则,其地基加固分6个工序。

##### 3.2.1 施工参数设计

根据设计图及说明,考虑桥周边实际情况、高寒季节(日平均气温-10℃左右),施工的具体问题及设备机具情况,对成孔工艺及参数、配浆工艺及浆液参数、喷注工艺及参数、返浆回灌、沉降观测等进行了设计和验证。

##### 3.2.2 成孔工艺及参数

根据施工现场的施工条件,为减少对桥的损伤、保护小桥周围布局及防止桥身及周围路基产生较大的附加沉降,对每幅桥台的1~27号桩采用3种不同钻孔工艺;1~8号桩点位于桥下,净空低,成孔用WT50型低塔全液压工程钻机,填土、基础、砂砾石

垫层均采用泥浆循环跟管钻进,成孔孔径  $\varnothing 90$  mm; 9~15号桩点位于桥台侧面,钻机无法靠近,成孔前先搭好脚手架,将 DPPI00 钻机停于路基上,人在脚手架上作业,因路基距护坡填土有 1.2 m~7.5 m 不等间距,钻进架空进行,填土、基础、砂砾石垫层均采用跟管钻进,成孔孔径  $\varnothing 110$  mm; 16~27 号桩点位于路基上,成孔需钻穿厚 7.5 m~8.0 m 分层压实的砂卵石路基,为防止路基泡水,采用 DPP-100 钻机,  $\varnothing 127$  钻头及岩芯管取芯干钻成孔后,下入  $\varnothing 108$  套管,基础及其下部采用泥浆循环回转钻进、淀粉造浆护壁工艺,成孔孔径  $\varnothing 90$  mm。

### 3.2.3 配浆工艺及浆液参数

根据施工设计和所要求的桩体强度,每幅 1~9 号桩采用 S25 # 普通硅酸盐水泥, 10~27 号桩用 425 # 普通硅酸盐水泥,浆液水灰比 0.8:1,针对水灰比小、浆液稠、冬季浆液易冻、粘度大、流动性差、易析水沉淀、需增加桩体早期强度等情况,采用 40℃~50℃ 温水,加防冻剂(三乙醇胺、亚硝酸钠)、悬浮剂(钠土)、早强剂(S0Be 水玻璃)等制浆,其浆液配比是:水:水泥:亚硝酸钠:三乙醇胺:钠土:水玻璃 = 0.8:1:0.01:0.0005:0.02:0.015,配出的浆液密度  $1.55 \text{ g/cm}^3$ ,粘度 30 s。

### 3.2.4 喷注工艺及参数

高压喷射注浆浆液高压由 TCL-400 型高压泵产生,其浆液喷射压力 20 MPa~25 MPa;喷射作业用 WTS0 全液压钻机,喷头装喷嘴一个,直径 2.8 m,提升速度(20~25) cm/min,转速(20~30) r/min,浆液流量(80~100) l/min,每延米成桩用水泥(290~320) kg。地土基较硬时,喷注压力大,提升和旋转速度低,以保证桩径。

### 3.2.5 返浆回灌

为避免桩顶与基础底面之间出现脱空现象,喷注作业完成后 12 h 内经常从钻孔孔眼回灌返浆或浆液,每次回灌至导孔溢满。

### 3.2.6 沉降观测

为获取桥梁沉降信息,在每幅桥台上布设观测

点 3 个,全桥共 12 个,桥外(20~60) m 布设原点 2 个,观测时间为施工前半个月,施工中 33 天,施工完成后半个月,累计观测 66 d。

### 3.3 成桩质量和加固效果

按业主及设计要求,施工细节和施工参数由监理工程师监控。现场难以监控的桩体强度和桩径,通过返浆试块和两根试桩确定。通过检测,返浆试块的最大强度 11.0 MPa,最小强度 6.2 MPa,平均强度 7.6 MPa;通过试桩开挖检验,桩体最大强度 10.2 MPa,最小 7.4 MPa,平均强度 7.9 MPa;桩径最大 82 cm,最小 74 cm,平均 75 cm,桩体灰土搅拌均匀,固结良好,达到设计要求。施工前半月上 12 个点的平均沉降速度为 3.1 mm/周,加固过程的 33 天中平均沉降速度为 3.6 mm/周,加固完成后半个月平均沉降速度 1.4 mm/周,随着桩体龄期的增加,沉降逐渐消失。可见加固过程中未产生明显的附加沉降,加固后沉降逐步减弱,加固效果良好。

## 4 结论

1) 高压旋喷注浆法加固已竣工桥涵地基具有针对性和技术优势,具有对桥涵损伤小、费用低、进度快、加固质量和效果可靠等优点,成为已竣工桥涵地基加固的最佳方法。

2) 高压旋喷注浆法加固已竣工桥涵地基包括桩点定位、导孔钻进、浆液搅拌、旋喷成桩、返浆处理、喷注设备机具清洗、浆液回灌等 7 个工序。各工序应准备充分衔接良好,一气呵成,严禁施工中断,以免造成成桩事故或设备事故。

3) 高压旋喷注浆法加固已竣工桥涵地基的质量检验及控制,可从施工参数设计的审验(试桩验证)、施工过程中监控(把好水泥质量关、泥浆配制关、施工参数符号设计及其它现场工艺)、施工后检查(资料检查,现场沉降观测)等方面来实现,从而保证成桩质量和加固效果。

4) 在现场施工中应根据桩位选择不同的设备、工艺及技术参数。

## APPLICATION OF HIGH PRESSURE ROTATING - SPRAY - CASTING METHOD TO CONSOLIDATION OF THE COMPLETED GROUND OF BRIDGE

Shi Guangyu, Han Shouqiao, Liu Feng

The high - pressure rotating - spray - casting method has many advantages in technique for consolidation of the completed ground of bridge. In addition, it is characterised by low damage of bridge, low cost, fast construction, little impacts on traffic transportation and striking consolidation effects. This technique was successfully used in the treatment of old expressways.

**Key words** high - pressure rotating spray, consolidation, ground, completed bridge

(下转第 82 页)

### 3 分析与讨论

金刚石合成过程中石墨向金刚石转化机理,至今众说纷纭,主要学说有直接转变说<sup>[3,4]</sup>,溶剂说<sup>[5,6]</sup>和催溶说<sup>[7,8]</sup>等,在有触媒材料参与下,溶剂说理论已被许多实验现象证实的是一种具有较高普遍性的理论。根据溶剂说的观点:石墨转化为金刚石的过程,是石墨碳源向溶剂触媒中扩散,直至达到“过饱和”状态后,再以金刚石结构结晶析出的过程。因此,触媒中固溶石墨碳的存在不仅可以使混合石墨粉的碳原子(团)从触媒粉外面向溶剂触媒中扩散,而且能使原固溶碳在触媒内部的碳源从“内部”向四周的触媒溶剂扩散,从而增加了碳向触媒溶剂的扩散渠道,导致金刚石的形核率增加和合成金刚石单产的提高。

另一方面,文献<sup>[9]</sup>认为合成腔体内压力场、温度场的稳定性和金刚石单晶形核、生长环境中充足碳源的供给,是获取完整金刚石晶形的关键所在。由上分析可见,触媒中固溶碳的存在增加了的扩散渠道,从而,缩短了碳原子(团)的扩散距离,有利于金刚石晶种环境中生长碳源的供给,使金刚石单晶的

晶形更加完整、饱满。

### 4 结论

1)采用快速急冷方法,可获得含有大量固溶石墨碳的 Ni—Mn 粉末触媒,固溶石墨碳的形态有球状、带状和团絮状。

2)粉末触媒中固溶碳存在有利于扩大碳向溶剂触媒中扩散,提高金刚石的形核率和合成单产。

3)固溶碳在金刚石的形核过程中,有利于金刚石单晶生长环境中碳源的供给,从而使含固溶碳的 2 号粉末触媒合成的金刚石晶形较为完整。

#### 参考文献

- 1 В. В. Соболеву, В. Я. Слободкин, С. И. Тубенко, А. Д. Шардур, А. Р. Лоев. СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 1992(4): 16-20
- 2 陈振华,等.中南矿冶学院学报,1992,22(增刊第1期):11
- 3 Gardini A A, Jyellings J E. Amer. Miner., 1962, 47: 1993
- 4 刁清泉.吉林大学学报(自然科学版),1974(2):52-63
- 5 Пяткин Ю А. Неорганические Материалы, 1968(4): 175
- 6 刘光照.新型无机材料,1972(2):25
- 7 Strong H M. J. Chem. Phys., 1963, 39: 2057
- 8 高 濂.科学通报,1982(1):21-22
- 9 郝兆印,陈宇飞.工业金刚石通讯,1995(5):6-14

## PREPARATION OF POWDER CATALYST CONTAINING GRAPHITE AND ITS DIAMOND SYNTHESIC RESEARCH

Yi Jianhong

The powder catalyst containing graphite has been made by rapid solidified method. Using this catalyst, the diamond synthesis has been investigated with cubic high pressure apparatus. The results show that, first, under the high solidified velocity, much graphite has been solidified in the catalyst material with the shape of globular, strip and others shapes. Second, the graphite contained in catalyst is useful to dissolve and transmission of graphite in solvent catalyst, and can also increase the diamond nucleating ratio and synthetic quantity.

**Key words** rapid solidified, method, powder catalyst containing graphite, diamond synthesis, nucleating ratio, synthetic quantity

#### 第一作者简介:

易建宏 男,1965年生。1986年毕业于中南矿冶学院材料系,1996年在中南工业大学粉末冶金研究所获博士学位。现任中国有色金属学会粉末冶金及金属陶瓷学术委员会秘书长。主要从事粉末冶金科研和教学工作。

通讯地址:湖南省长沙市 中南工业大学粉末冶金研究所粉末冶金国家重点实验室 邮政编码:410083



(上接第79页)

#### 第一作者简介:

石广余 男,1963年生,助理工程师。现为华北石油局第九普查勘探大队建设工程公司旋喷公司经理,主要从事岩土工程的管理与施工。

通讯地址:山西省榆次市道北街99号 华北石油地质局第九普查勘探大队 邮政编码:030600

