

# 法门寺合十舍利塔主体塔钻孔灌注桩桩身质量控制

王凉生, 王 荣

(陕西地质工程总公司, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**法门寺合十舍利塔主体塔桩基工程, 设计工程寿命 100 年, 工程质量要求严格, 通过施工中硷碱骨料反应控制以及成孔质量、孔底沉渣、硷灌注、后压浆等环节的质量控制, 工程质量满足要求。

**关键词:**法门寺合十舍利塔; 钻孔灌注桩; 工程寿命; 硷碱骨料反应控制; 质量控制

**中图分类号:** TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)12-0054-03

**Quality Control on Bored Grouting Pile Body of Main Tower of Dagoba in Famen Temple/WANG Liang-sheng, WANG Rong** (Shaanxi Geo-engineering General Corporation, Xi'an Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** Pile foundation of the main tower of palms-together dagoba in Famen Temple was designed for 100 years project service life. The project construction was controlled in alkali-aggregate reaction, borehole completion, sedimentary dregs, cement grouting and post-pressure grouting.

**Key words:** palms-together dagoba in Famen Temple; bored grouting pile; project service life; control of alkali-aggregate reaction; quality control

随着钻孔灌注桩施工工艺技术的日臻完善, 目前建设单位对桩基工程质量提出了更高的要求, 如工程设计寿命 100 年, 桩基施工采取预防硷碱骨料反应的措施; 桩身质量要求 I 类桩 95% 或 98% 以上, 不得出现 III、IV 类桩等。如何确保工程质量 100% 合格, 成为施工中的首要问题。笔者结合法门寺合十舍利塔主体塔钻孔灌注桩的施工实践, 对桩身质量控制的问题进行重点论述。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介及水文地质条件

法门寺合十舍利塔主体塔钻孔灌注桩工程位于陕西省扶风县法门寺镇, 交通便利。工程设计 12 根锚桩, 桩径 1.2 m, 桩长 60 m; 3 根试验桩, 205 根工程桩, 桩径 1.2 m, 桩长 55 m, 设计单桩极限承载力 25600 kN。

场区水文地质条件较为简单, 与桩基钻深范围内有关的地层自上而下为古土壤和黄土互层。桩端持力层为第⑭层黄土或⑯层黄土, 黄土和古土壤均属中压缩性土, 含钙质结核。场地地下水类型为潜水, 施工期间地下水位埋深均在桩顶下 2~3 m 处。

### 1.2 特殊设计要求

(1) 主体塔工程设计寿命 100 年, 其中桩基工程由于长期处于有水环境, 设计要求采取预防硷骨

料反应的措施, 如低碱水泥难以采购, 必须采取其它有效措施抑制硷骨料反应。

(2) 硷灌注充盈系数 1.15~1.25, 主筋保护层 70 mm, 硷强度等级 C45。

(3) 成桩选用旋挖钻机, 桩端及桩侧分 5 段、每段 11 m, 220 根桩全部后注浆, 注浆总水泥用量 < 7.5 t/根。

(4) 除 3 根试验桩外, 余 217 根桩均采用声波透射法检测桩身质量。

## 2 硷碱骨料反应控制措施

### 2.1 硷骨料反应概念

硷骨料反应是硷原材料中的水泥、外加剂、混合材料和水中的碱 ( $\text{Na}_2\text{O}$  或  $\text{K}_2\text{O}$ ) 与骨料中的活性成分反应, 在硷浇筑成形后若干年 (数年至二三十年) 逐渐反应, 反应生成物吸水膨胀使硷产生内部应力, 膨胀开裂, 导致硷失去设计性能。由于活性骨料经搅拌后大体上呈均匀分布, 所以一旦发生硷骨料反应, 硷内各部分均产生膨胀应力, 将硷自身胀裂, 发展严重的只能拆除, 无法补救, 因而被称为硷的“癌症”。

普遍的观点认为硷骨料反应发生的必要条件如下: (1) 硷中碱含量高; (2) 骨料中存在活性二氧化硅; (3) 潮湿、水分存在。从工程应用的角度看, 避

收稿日期: 2008-06-16

作者简介: 王凉生 (1957-), 男 (汉族), 陕西大荔人, 陕西地质工程总公司高级工程师、国家注册咨询工程师 (投资), 探矿工程专业, 从事地基与基础施工和工程咨询工作, 陕西省西安市雁塔北路 100 号。

其必要条件之一,即可避免碱骨料反应。

## 2.2 碱骨料反应的预防措施

### 2.2.1 控制水泥含碱量

水泥中含量低于 0.6% 氧化钠当量 ( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ ) 为低碱水泥,一般情况下低于 0.6% 作为预防碱骨料反应的安全界限。但在低碱水泥无法采购的情况下,应采取如下措施:

- (1) 减少每立方米砼水泥的用量;
- (2) 采用非活性骨料;
- (3) 不采用含碱的砼外加剂;
- (4) 掺加 I 级粉煤灰,其中不得含碱,烧失量、 $\text{SO}_3$  含量、细度、含水量、需水量、CaO 含量等应符合要求;

(5) 砂浆棒膨胀率试验符合要求。

### 2.2.2 对骨料选择使用

如果砼含碱量  $< 3 \text{ kg/m}^3$ , 可以不做骨料活性试验,如果水泥含碱量高或砼总碱量  $> 3 \text{ kg/m}^3$ , 则应对骨料进行活性检测。如检测为活性骨料,则不能使用,或经与非活性骨料按一定比例混合后,经试验对工程无损害时,方可按试验的比例混合使用。

### 2.2.3 掺入混合材料与碱骨料反应抑制剂

掺入某些活性混合材料可缓解、抑制砼的碱骨料反应,如掺入粉煤灰取代一定的水泥也可有效地抑制碱骨料反应。

### 2.2.4 隔绝水和空气的来源

如砼工程发生碱骨料反应的部位能有效地隔绝水和空气的来源,也可取得缓解碱骨料反应对工程损害的效果。

## 2.3 碱骨料反应抑制有效性的试验

由于低碱水泥难以采购,砼试配中除加入 I 级粉煤灰外,另加入由陕西省建筑科学研究设计院科学研究基地生产的碱骨料抑制剂 (KYZ-1 型,粉状,掺量 1% ~ 1.5%), 该抑制剂中含有可以抑制碱骨料反应的阳离子,且具有引气、减水和缓凝的多重作用,可以降低砼的水灰比,增加砼的抗渗能力。砼保持一定的含气量,就可以容纳一定数量的反应产物,从而缓解碱骨料反应的膨胀压力。

### 2.3.1 工程所用骨料的碱活性试验

对工程所用的砂子与石子按照标准进行了碱活性试验,其膨胀值:砂子 0.052%, 石子 0.038%。

根据标准要求,判定此骨料为非活性骨料,因此可以对砼中的碱含量不作要求。

### 2.3.2 掺入掺合料及碱活性反应抑制剂后试件的膨胀值

虽然骨料的膨胀值没有超标,但还有一定的膨胀值,为了进一步降低其在碱环境下的膨胀值,在砼中掺入一定的粉煤灰及碱骨料反应抑制剂,试验结果见表 1。

表 1 加入抑制剂后骨料碱活性试验结果表

骨料品种	粉煤灰掺量/kg	碱骨料反应抑制剂/%	膨胀值/%
砂子	80	1	0.010
石子	80	1	0.005

从表 1 值可看出,加入粉煤灰和抑制剂后,骨料的膨胀值可以进一步降低。因此可以断定碱骨料的抑制是有效的。

### 2.3.3 试验结果

添加碱骨料反应抑制剂后,砂浆棒试件的膨胀率明显降低。因此选用常碱水泥不会产生碱骨料反应。采取一些措施后,可以采用常碱水泥进行施工,同样可以满足砼耐久性的要求。

## 3 旋挖钻机施工质量控制

### 3.1 桩位质量控制

(1) 基准点、基准线的测放用全站仪,尤其是基准点距施工场地较远,或施工场地位于基坑内时。场区桩位测放可用经纬仪,开孔钻进前用相对位置法再次校正桩位。

(2) 严格控制护筒中心与桩位中心的偏差  $< 2 \text{ cm}$ , 护筒用十字交叉法 4 个护桩定位,护桩保留到灌桩结束。

(3) 开孔钻进时,保证钻杆、钻头尖与护筒中心三点一线。

(4) 钢筋笼定位须与护筒中心一致,偏差  $< 1 \text{ cm}$ 。

### 3.2 成孔质量控制

#### 3.2.1 桩孔垂直度

虽然旋挖钻机配置有自动调平系统和监控系统,施工中钻机就位后还必须用水平尺调平,履带下必须填平夯实。保证桩孔垂直度的关键为开孔后的 2~3 m 钻进,必须反复校正,确认无误后方可正常钻进。

#### 3.2.2 桩径控制

一般黄土地层用清水钻进,砂层选用无固相冲洗液或低固相优质泥浆钻进,优质泥浆可适用任何复杂地层的钻进。在不影响成孔效率的前提下,尽可能用双开门筒状钻头钻进成孔。若遇较硬地层、入岩钻进时,必须再用筒状钻头扫孔捞渣一遍。

在任何情况下,孔内必须保持足够的水头高度(1.0~1.5 m以上)。

### 3.3 孔底沉渣控制

(1)一次清孔。由于旋挖钻机成孔机理不同于一般回转钻进,孔内沉渣相对颗粒粗大,因此有必要在成孔将达设计深度前,静置45 min~1 h,进行一次清理,留置距离一般为0.3 m左右。

(2)下完钢筋笼和导管后,必须再次测量孔底沉渣厚度,无论结果如何都必须用导管进行二次清孔。二次清孔的一个重要作用为易于砼的灌注,尤其是桩长40 m以上或大直径桩。

(3)二次清孔完毕至初灌开始的时间间隔 $\geq 30$  min,如超过必须再次清孔,且清孔时间 $\leq 30$  min。

## 4 砼灌注质量控制

(1)超过40 m或桩径 $> 1.5$  m的桩灌注水下砼,宜选用内径较大的300 mm导管,或最小内径的250 mm导管,标准节长度2.5 m,导管连接应平直可靠、密封性好,无论新旧导管,每一项目开工前都必须做气密性试验,要求压力 $\leq 0.8$  MPa。

(2)超长桩宜选用砼罐车运输砼至孔口,使用吊车等机械设备灌注。现场必须备有发电机组,以保证必需的连续作业。

(3)砼初灌量应保证导管埋深0.8~1.2 m,应通过计算确定,一般初灌量 $\leq 3\sim 4$  m<sup>3</sup>砼。

(4)40 m以深为灌注的关键所在,每灌注一次必须测量砼面高度,每次宜卸一节(2.5 m)导管,埋置深度严格控制在2~6 m。

(5)必须保证砼有良好的和易性及流动性,现场搅拌须用电子称计量,每罐车宜测定坍落度1次。

(6)砼灌注时应适量反插导管并缓慢起拔,尤其是接近桩顶时增加反插次数,以保证桩身砼密实和桩周砼饱满。

## 5 后压浆施工质量控制

(1)桩端注浆管宜选用3根,底端选用特制注浆阀,该注浆阀不受砼灌注后时间限制,可在砼浇灌后任何时间打开。

(2)注浆管连接采用钢管套接后两端进行焊接,要求焊接饱满,不得出现砂眼、孔隙,注浆管与钢筋笼宜采用铁丝绑扎牢固,最好不要与钢筋笼点焊焊接。

(3)注浆顺序为先注桩侧,后注桩端。桩侧注

浆顺序为先下后上。

(4)每注浆开始时先注入清水,试压,证明该管阀通畅后才可注入水泥浆。

(5)按设计要求单桩注浆水泥为7.5 t,施工确定桩侧压浆5 t(每注浆层各1 t),桩端浆2.5 t,水灰比为0.5~0.6。

(6)以定量压浆水泥用量控制为主,以注浆压力控制为辅,定量注浆工作压力范围:桩侧压浆 $P_{\min} \geq 0.8$  MPa,桩端浆 $P_{\min} \geq 1.0$  MPa。

(7)施工中如发生桩侧或桩间土溢浆,可采用间歇压浆。溢浆现象是后压浆工艺的正常情况,对于2次间歇压浆后仍溢浆的桩侧,可将剩余浆液自桩端压入。

(8)如桩端一侧压浆管堵塞或损坏,则水泥浆液均由另一侧桩端压浆管压入;如果一侧压浆管注浆压力 $> 6$  MPa,则该桩剩余水泥浆液均由另一侧压浆管压入;如桩侧压浆管部分堵塞或损坏,则由另外桩侧管压入,直至水泥浆液均由桩端压浆管压入。

## 6 工程效果

2001年以来我公司3台旋挖钻机在全国各地施工各类钻孔桩累计砼量约20万m<sup>3</sup>,尤其是大直径超长钻孔桩,工程质量均为优良。法门寺合十舍利塔桩基工程,累计灌注水下砼16405.66 m<sup>3</sup>;钢筋笼和声测管注浆管制安1129.8 t;后注浆水泥1650 t。220根桩,其中声波透射法检测桩身质量217根,Ⅰ类桩215根,Ⅱ类桩2根,Ⅰ类桩占总数的99.19%。3根试桩试压沉降量分别为16.40、14.72、13.79 mm,完全满足单桩极限承载力25600 kN的设计要求。另桩位偏差,随机抽取55根桩进行孔径、孔深、垂直度、孔底沉渣检测等,亦满足规范和设计要求,工程质量优良。

## 7 结语

由于钻孔灌注桩施工的不确定性和风险因素,随着不断出现的新问题,确保其质量达100%合格、完全符合规范和设计要求,尚需继续不懈的努力。

## 参考文献:

- [1] 张承志.集料碱活性的评定与混合材抑制碱骨料反应膨胀有效性的评定[D].南京:南京化工大学,1996.
- [2] 陶兴文.钻孔灌注桩后压浆技术的设计与施工[J].探矿工程,2001,(4).
- [3] 陕西西部建筑工程检测有限责任公司.法门寺合十舍利塔主体塔复式后压浆钻孔桩检测报告[Z].2007.