

离心浇铸玻璃钢管道的压力顶管设计应用

宓益磊,吴天明,陈鹏,王坤

(宁波市城建设计研究院有限公司,浙江宁波 315012)

摘要:以宁波市某污水干管工程中压力顶管段工程为例,从工艺设计和结构设计两方面,详细阐述离心浇铸玻璃纤维增强塑料顶管的压力顶管的相关计算。玻璃钢顶管是一种化学复合管材,力学性能的可设计性强。工艺设计确定的公称压力、允许顶力、环刚度等管道主要参数宜与市场主流管道厂家进一步确认。宜对最不利段管道进行强度验算、变形验算、抗震验算等结构设计,确保管道结构的安全可靠。

关键词:离心浇铸;玻璃钢顶管;压力顶管;工艺设计;结构设计

中图分类号: TU992.24

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)03-0269-04

0 引言

玻璃纤维增强塑料顶管(简称“玻璃钢顶管”)管道具有水力条件好、质量轻、强度高、管壁摩阻力小等特点,自20世纪90年代起,在市政排水顶管工程中的应用越来越广泛^[1,2]。

王亮^[3]以某截污干管为例,从结构设计角度对缠绕工艺玻璃钢顶管的设计应用进行详细论述。

缠绕工艺玻璃钢顶管属于内径系列,离心浇铸玻璃钢管道为外径系列。两者的计算存在较多不同之处,而且玻璃纤维增强塑料顶管是一种化学复合管材,力学性能的可设计性强,应将工艺设计和结构设计统筹考虑。

本文结合宁波市某污水干管工程中压力顶管段工程设计实例,从工艺设计和结构设计两方面系统讨论离心浇铸玻璃纤维增强塑料顶管的压力顶管设计应用要点。

1 工程概况

1.1 管道条件

宁波市某污水干管工程I标段长约7 km,管径DN1600。其中,压力顶管段约4 km,管道采用离心浇铸玻璃纤维增强塑料顶管,沉井内管道、配件连接管及弯头采用不锈钢316钢管。管道工作压力为0.3 MPa。玻璃钢的顶管连接采用顶管用的玻璃钢套筒柔性接

头——双唇橡胶密封圈密封。管顶覆土5.2~14 m。

1.2 场地地质情况

根据勘察资料,场地内土层自上而下总体为:①素填土、黏土和淤泥质黏土;②淤泥、淤泥质黏土;③粉砂、粉质黏土;④淤泥质粉质黏土。各层物理学指标见表1。

表1 土层指标建议值

土层	承载力 / kPa	压缩模量 / MPa	黏聚力 / kPa	内摩 擦角 / (°)
① ₂ 黏土	90	4.28	23.9	13.3
① _{3a} 黏土	75	2.80	17.0	11.8
① _{3c} 淤泥质黏土	55	2.37	11.9	9.5
② _{2a} 淤泥	50	2.05	9.3	8.2
② _{2b} 淤泥质黏土	60	2.39	11.9	9.7
③ ₁₋₁ 粉砂	140	7.0(变形模量)		
③ _{1a} 粉质黏土	100	4.04	16.9	12.5
③ _{1b} 粉砂夹粉质 黏土	120	3.98		
③ ₁₋₂ 粉砂	190	12.0(变形模量)		
③ ₂ 粉质黏土	100	3.55	15.7	12.9
④ ₁ 淤泥质粉质 黏土	80	3.22	15.1	12.1

根据勘察资料,该场地建筑场地类别为IV类,场地20 m范围内地基土等效剪切波速小于150 m/s。调整后的场地地震动峰值加速度为0.12g,特征周期为0.65 s,相对应的地震烈度为VII度。

2 离心浇铸玻璃钢顶管的工艺设计

玻璃钢压力顶管管道工艺设计主要包括确定管

收稿日期: 2023-02-17

作者简介: 宓益磊(1983—),男,工学硕士,高级工程师,从事给排水设计工作。

道公称压力、允许顶力、尺寸参数、环刚度、中继间的使用情况等。

2.1 公称压力

(1)工作压力。DN1600 玻璃纤维增强塑料顶管,工作压力 $F_{wk}=0.3\text{ MPa}$ 。

(2)设计内水压力标准值。玻璃钢顶管为化学建材管,规范对相关压力的规定见表 2。

参考文献	设计内水压力标准值	水压试验压力
[4]	$1.5 F_{wk}$	—
[5]	—	$1.5 F_{wk}$
[6]	—	$1.5 F_{wk}$,且不小于 0.8
[7]	$1.5 F_{wk}$	$1.5 F_{wk}$,且不小于 0.8

综合管道运行过程中的水锤效应和水压试压等影响因素,建议玻璃纤维增强塑料顶管管道设计内水压力标准值 $F_{wd,k} \geq 0.8\text{ MPa}$ 。

该项目管路上有少量钢制管件,钢管水压试验压力为工作压力 +0.5 MPa,且不小于 0.9 MPa。考虑两种管道一起进行水压试验,该项目最终管道的设计内水压力标准值取 $F_{wd,k} = 0.9\text{ MPa}$ 。

(3)公称压力。管材的公称压力应不小于管道设计内水压力标准值,即 $PN \geq 0.9\text{ MPa}$ 。结合《玻璃纤维增强塑料顶管》(GB/T 21492—2019)和《宁波建设工程造价信息(商情版)》,项目中离心浇铸玻璃钢顶管取公称压力 PN1.0 MPa。

2.2 允许顶力

DN1600 玻璃纤维增强塑料顶管,顶管管段长度为 24 ~ 561 m,如图 1 所示。顶管施工考虑采用泥水平衡式顶管机。

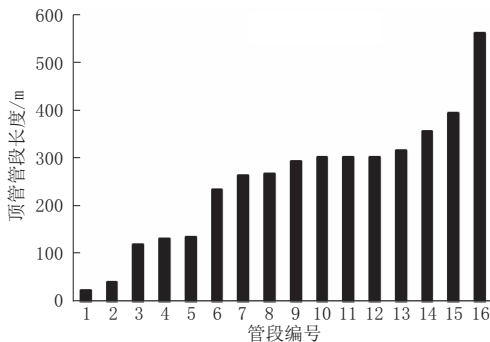


图 1 顶管管段长度分布图

按《给水排水工程顶管技术规程》(CECS 246:2008)^[8]中给出的公式估算管道总顶力标准值 F_0 。

$$F_0 = \pi \times D_1 \times L \times f_k + N_F \quad (1)$$

$$N_F = \frac{\pi}{4} \times D_g^2 \times \gamma_s \times H_s \quad (2)$$

式中: F_0 为管道总顶力标准值,kN; D_1 为离心玻璃钢顶管管道外径,取 $D_1=1\ 638\text{ mm}$; L 为管道经济性顶管设计顶进长度,取 $L=300\text{ m}$,最大顶管设计顶进长度 $L=561\text{ m}$; f_k 为管道穿越层土质基本为淤泥质黏土、粉质黏土、粉质黏土夹粉砂,触变泥浆减阻管壁与土的平均摩阻力,取 $f_k=3.2\text{ kN/m}^2$; D_g 为顶管机外径,取 $D_g=1.1 D_1$; γ_s 为土的重度,取 $\gamma_s=18\text{ kN/m}^3$; H_s 为覆土层厚度取 $H_s=7.1\text{ m}$ 。管道的总顶力标准值估算见表 3。

管道设计顶进长度/m	总顶力标准值/kN	备注
300	5 266	经济性顶管长度:用于确定管材允许顶力,正常情况下使大部分顶管管段能一次性顶进
561	9 564	用于确定中继间使用情况

则管材的允许顶力 F 应不小于 5 266 kN,后续计算取 $F=5\ 266\text{ kN}$ 。

经济性顶管长度是根据所有顶管管段长度虚拟的一个长度,用其计算出来的总顶力来控制管材的允许顶力,较好的控制了工程造价。

2.3 尺寸参数

按文献[8]中有压玻璃钢顶管接头典型样式,如图 2 所示。

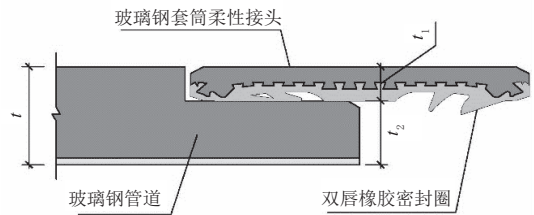


图 2 接头典型样式

(1)玻璃钢套筒柔性接头厚度。有压玻璃钢顶管连接采用顶管用的玻璃钢套筒柔性接头,双层橡胶密封圈密封。套筒厚度 t_1 按下式计算:

$$t_1 \geq f \frac{PN \times DN}{2\sigma_b} + \delta_0 + \delta_1 \quad (3)$$

式中: f 为玻璃钢套筒安全系数,取 $f=6$; PN 为公称压力, $PN=1.0\text{ MPa}$; DN 为公称直径,取 $DN=1\ 600\text{ mm}$; σ_b 为玻璃钢套筒材料抗拉强度,一般取 210 ~ 260 MPa^[7],因本次公称压力较高,取 $\sigma_b=260\text{ MPa}$; δ_0 为内衬厚度,取 $\delta_0=1.2\text{ mm}$; δ_1 为双层橡胶密封圈等效厚度,取 $\delta_1=8\text{ mm}$ 。计算得 $t_1 \geq 27.7\text{ mm}$,取 $t_1=28\text{ mm}$ 。

(2)管道端口壁厚。为满足顶管施工要求管道外表面平齐的需要,离心浇铸玻璃钢顶管整体浇铸完成后,在其管道端口部要进行切削机加工,承受顶管

顶力传递。管道端口壁厚 t_2 按下式计算:

$$F_b = \frac{\pi (t_2 - \delta_0) (D_1 - 2t_1 - t_2 + \delta_0) \sigma_{zh}}{1000}; \frac{F_b}{k_j} \geq F_0 \quad (4)$$

式中: t_1 为玻璃钢套筒厚度, 取 $t_1 = 28$ mm; D_1 为管道外径, 取 $D_1 = 1638$ mm; δ_0 为内衬厚度, 取 $\delta_0 = 1.2$ mm; σ_{zh} 为轴向压缩强度, 一般不小于 90 MPa, 也可根据需要选择 105、120、125 MPa^[7], 本次压力顶管取 $\sigma_{zh} = 120$ MPa; k_j 为顶力安全系数, 取 $k_j = 3.5$; F_0 为管道总顶力标准值, 取 $F_0 = 5266$ kN。经计算, 得 $t_2 \geq 32.7$ mm, 取 $t_2 = 33$ mm。

(3) 管道尺寸及水力性能校核。

离心浇铸玻璃钢顶管为外径系列管道, 壁厚决定管道内径, 关系水力性能和结构设计, 需综合考虑。管道外径 $D_1 = 1638$ mm, 壁厚取 $t = t_1 + t_2 = 61$ mm, 则管道内径 $d_j = 1516$ mm。本次为压力顶管, 水力性能校核采用海曾-威廉公式, 在相同流量 q 和管段长度 l 条件下, 比较水头损失 h_y 。

$$h_y = \frac{10.67q^{1.852}}{C_h^{1.852} d_j^{4.87}} l \quad (5)$$

式中: d_j 参照为参照管管道计算内径, 按公称直径考虑, 取 d_j 参照 = 1600 mm; C_h 参照为内表面按水泥砂浆内衬考虑, 海曾-威廉系数 120~130, 取 C_h 参照 = 120。 d_j 玻璃钢为玻璃钢管计算内径, d_j 玻璃钢 = 1516 mm, 海曾-威廉系数 140~150, 取 C_h 玻璃钢 = 140。计算得 $h_{y \text{ 玻璃钢}} / h_{y \text{ 参照}} = 0.977$, 离心浇铸玻璃钢顶管虽然内径变小, 但是水力性能仍占优势。

2.4 环刚度

离心浇铸玻璃纤维增强塑料顶管的环刚度 SN 按下式计算:

$$SN = \frac{E_p t^3}{12D_0^3} \times 10^6; \quad (6)$$

$$D_0 = D_1 - t$$

式中: E_p 为离心浇铸玻璃钢管的环向弯曲弹性模量一般取 8000~15000 MPa^[7], 本次取 $E_p = 10500$ MPa; $D_1 = 1638$ mm; 管道壁厚 $t = 61$ mm; 管道计算直径 D_0 。计算得 $SN = 50641$ N/m², 取 $SN = 50000$ N/m²。

2.5 中继间的使用情况

中继间的使用情况包括判断是否需要考虑设置中继间, 以及中继间暂定的数量。

按《顶管施工技术及验收规范(试行)》, 计算工作井允许顶力设计值 P :

$$P \leq \frac{R}{\beta}; R = \alpha B \left(\gamma_s H^2 \frac{K_p}{2} \right) + 2CH\sqrt{K_p} + \gamma_s hHK_p \quad (7)$$

式中: 系数 β 为安全系数 1.2~1.6, 取 1.6; 系数 α 为

1.5~2.5, 取 2; B 为后靠墙宽度取沉井内宽, 取 $B = 7$ m; γ_s 为土的重度, 取 $\gamma_s = 18$ kN/m³; H 为后靠墙高度取沉井顶板至底板距离, 取 $H = 7.25$ m; K_p 为被动土压力系数, 按软土取 $K_p = 1.42$; C 为土的黏聚力取 $C = 9.3$ kPa; h 为地面到后靠墙顶部土体高度取地面至沉井顶板距离, 取 $h = 2.5$ m。计算得 $P \leq 11338$ kN, 后续计算, 取 $P = 11338$ kN。

估算最大总顶力标准值 $F_0 = 9564$ kN > 管材允许顶力 $F = 5266$ kN, 且工作井允许顶力 $P = 11338$ kN > 管材允许顶力 $F = 5266$ kN, 则最长管段 561 m 建议设置中继间, 且控制节点为管材允许顶力。

中继间暂定的数量 N 按文献[8]中要求计算:

$$N = \frac{\pi D_1 \times 10^{-3} \times f_k (L + 50)}{0.7 \times f_0} - 1 \quad (8)$$

式中: 管道外径 $D_1 = 1638$ mm; 平均摩阻力取 $f_k = 3.2$ kN/m²; 最大顶管长度 $L = 561$ m; 中继间设计允许顶力取管材允许顶力, $f_0 = 5266$ kN。计算得 $N = 1.7$, 取整数 $N = 2$ 个。

上海某工程^[9]中玻璃钢的实际顶力仅为理论顶力的 30%~50%, 说明淤泥土中只要施工控制好, 摩阻力可以减小很多。因此实际用到的中继间数量和设置要根据实际情况而定, 计算的数量主要用于概预算阶段控制造价。

2.6 工艺设计小结

通过工艺设计, 确定了公称压力、允许顶力、管道壁厚和环刚度等主要参数指标。并征询了市场主流管道厂家, 符合以上管道参数的管道均能正常生产。基本满足前期造价、工程招标工作以及施工控制等对管道主材控制的要求。

3 离心浇铸玻璃钢顶管的结构设计

结构设计主要包括管道强度验算、管道变形验算、管壁截面环向稳定验算、抗浮验算、抗震验算等。

3.1 总体原则

(1) 以最不利管段进行计算, 本项目选取覆土 14 m 顶管管段;

(2) 以现行的各项规范为依据进行验算;

(3) 采用工艺设计确定的设计内水压力标准值、壁厚、环刚度等参数。

3.2 主要取值说明

(1) 规范对参数有规定范围的, 一般按不利值取。比如变形滞后效应系数, 可取 1.0~1.5, 计算中取 $D_1 = 1.5$ 。顶管土弧基础中心角 2α 按 90° 计算。

(2)地勘报告中土层参数,按沉井穿越的较不利土层参数计算。土内摩擦角取 $\varphi=8.2^\circ$,土的黏聚力取 $C=9.3 \text{ kN/m}^2$ 。

(3)利用《玻璃纤维增强塑料顶管》(GB/T 21492—2019)中新增加的长期弯曲应变 S_b ,计算管材环向等效折算抗弯强度标准值 $f_{lm,k}$ 。

(4)土体最大水平位移标准值 U_{ok} ,采用公式^[10]

$$U_{ok} = \frac{K_H g T_g^2}{4 \pi^2}$$
 进行计算。

3.3 计算结果

各项验算结果见表4。

表4 结构验算结果

验算指标	通过要求	结果
管道变形 ^[11] /mm	$\omega_{d,max} \leq \omega_d$	49.4 < 55.3
管道强度 ^[11] /MPa	$\begin{cases} \gamma_0 \eta (\varphi_c \sigma_{th} + \alpha_f r_c \sigma_{tm}) \leq f_{th} \\ \gamma_0 \varphi_c \sigma_{th} \leq f_{th} \\ \gamma_0 \sigma_{tm} \leq f_{th} \end{cases}$	$\begin{cases} 35.3 < 59.0 \\ 14.7 < 59.0 \\ 50.9 < 71.3 \end{cases}$
管壁截面环向稳定 ^[4,11] /MPa	$K_s \left(\frac{F_{v,k}}{D_0} + q_{vk} + F_{vk} \right) \leq F_{cr,k}$	0.42 < 1.61
抗浮 ^[11]	$K_f \frac{\sum F_{GK}}{F_f}$	1.1 < 7.6
抗震 ^[12,13] /mm	$\gamma_{Eh} \Delta_{pl,k} \leq \lambda_c \sum_{i=1}^n [u_d]_i$	22.73 < 96

经验算,各项均能通过,且相对富裕。这个跟本工程为压力顶管管道有一定关系,为了满足工作压力和顶管施工的要求,通过工艺设计确定的管道参数指标要求已经比普通的重力流管高很多,因此结构验算已不是限制因素了。

4 结论

(1)对于玻璃钢管道,早期的规范设计内水压力标准值和水压试验压力相同,都是1.5倍工作压力。较新的规范^[6,7]明确水压试验为1.5倍工作压力,且不小于0.8 MPa。实际工程中,经常碰到多次水压试

验的情况,因此建议管道设计内水压力标准值 $F_{wd,k}$,综合管道运行过程中水锤效应和水压试压等因素,取较大值。

(2)对于长距离多段顶管,建议用管道经济性顶管长度控制管道允许顶力。最大顶管设计顶进长度核算中继间的使用。

(3)离心浇铸玻璃纤维增强塑料顶管为外径系列管道,工艺设计时,宜进行水力性能校核。原则上管道内径不宜增加水损。

(4)玻璃纤维增强塑料顶管建议进行系统性工艺设计和结构设计,确保管道的安全可靠。但压力顶管项目,其结构验算一般不会是限制因素。

参考文献:

- [1] 陈建中,李卓球,徐鹏.大口径长距离玻璃钢顶管的设计与应用[J].中国给水排水,2013,29(18):154-157.
- [2] 周仕刚,王明辉,薛元德,等.大口径玻璃纤维增强塑料管(FRMP)曲线顶管工程的质量控制[J].净水技术,2012,31(3):98-102.
- [3] 王亮.玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管管道结构设计[J].市政技术,2010,28(2):135-138.
- [4] GB 50332—2002,给水排水工程管道结构设计规范[S].
- [5] CECS 129:2001,埋地给水排水玻璃纤维增强热固性树脂夹砂管管道工程施工及验收规范[S].
- [6] GB 50268—2008,给水排水管道工程施工及验收规范[S].
- [7] T/CECS 1130—2022,离心浇铸玻璃纤维增强塑料夹砂管排水埋地管道工程技术规程[S].
- [8] CECS 246:2008,给水排水工程顶管技术规程[S].
- [9] 朱俊杰.新型离心浇铸玻璃钢夹砂管在顶管施工中的应用[J].建筑施工,2020,42(8):1526-1528.
- [10] 《给水排水工程结构设计手册》编委会.给水排水工程结构设计手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [11] CECS 190:2005,给水排水工程埋地玻璃纤维增强塑料夹砂管管道结构设计规程[S].
- [12] GB 55002—2021,建筑与市政工程抗震通用规范[S].
- [13] GB 50032—2003,室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com