

重庆市工程建设标准

夹砂玻璃钢 (GRP) 塑料 (PE) 复合顶管
管道技术规程

Technical specification for composite jacking pipeline of
glass reinforced plastic (GRP) and polyethylene (PE)

DBJ50/T-148-2012

主编单位:重庆市康伯特塑料有限公司

参编单位:重庆市科德塑胶有限公司

批准部门:重庆市城乡建设委员会

施行日期:2012年11月1日

2012 重 庆

重庆工程建设

重庆市城乡建设委员会文件

渝建发[2012]128 号

关于发布《夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管 技术规程》的通知

各区县(自治县)城乡建委,两江新区、北部新区、经开区、高新区建设局,有关单位:

现批准《夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管技术规程》为我市工程建设推荐性标准,编号为:DBJ50/T-148-2012,自2012年11月1日起施行。

本规程由重庆市城乡建设委员会负责管理,重庆康伯特塑胶有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市城乡建设委员会

二〇一二年八月二十日

重庆工程建设

关于同意重庆市
《夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管管道
技术规程》等五项地方标准备案的函

建标标备[2012]130号

重庆市城乡建设委员会：

你委《关于〈夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管管道技术规程〉等五项工程建设地方标准备案的申请》收悉。经研究，同意《夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管管道技术规程》等五项标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号：

《夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管管道技术规程》

J 12148-2012

《重庆市住宅电气设计标准》 J 12149-2012

《混凝土用机制砂质量及检验方法标准》 J 12150-2012

《挤压成型预应力混凝土空心板生产技术操作规程》 J 12151-2012

《注塑型塑料检查井应用技术规程》 J 12152-2012

该五项标准的备案公告，将刊登在近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

住房和城乡建设部标准定额司

二〇一二年九月十一日

重庆工程建设

重庆工程建设

前 言

根据重庆市城乡建设委员会渝建【2010】265号,《关于印发2010年工程建设标准制订,修订项目计划的通知》的要求,制订本规程。

在本规程的编制过程中,规程编制组进行了广泛的调查研究,认真总结和研讨了国内顶管管材,参照国内外有关标准,在广泛的征求意见的基础上,通过反复讨论、修改、完善,最后邀请有关专家定稿,制定本规程。

本规程分别为:总则、术语、顶管工程勘察、复合顶管管道、水力计算、顶管结构设计、顶管施工、顶管施工监测及验收标准、附录、条文说明。

本标准由重庆市城乡建设委员会负责管理,由主编单位负责具体技术内容的解释,在使用中发现需要修改或补充之处,请将意见和资料寄解释单位。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：重庆康伯特塑胶有限公司

参 编 单 位：重庆市科德塑胶有限公司

主要起草人：汤 浩 汤尚斌 汤 玮 吴德伦 杨宗奇
周 炯

审 查 专 家：王 圃 李光成 刘啓明 汤先绪 赵光年
(按姓氏笔画排序)盛国荣 程吉健

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	顶管工程勘察	3
3.1	一般规定	3
3.2	地下水勘察	3
3.3	布孔要求	4
3.4	勘察报告	5
3.5	提供岩土物理力学指标的基本要求	6
4	复合顶管管道	7
4.1	管道构造	7
4.2	分类和标记	7
4.3	原材料	9
4.4	连接	10
5	水力计算	11
5.1	复合顶管的流速、流量	11
5.2	污水管最大设计充满度	11
6	顶管结构设计	13
6.1	一般规定	13
6.2	承载能力极限状态计算规定	13
6.3	正常使用极限状态验算规定	15
6.4	管道允许顶力验算	16
6.5	管道强度计算	16
6.6	稳定验算	17
6.7	管道竖向变形验算	18
6.8	顶管结构上永久作用标准值	18

6.9 顶管结构上可变作用标准值及其准永久值系数	20
7 顶管施工	21
7.1 施工组织设计	21
7.2 顶管机	22
7.3 顶管机的选择	23
7.4 顶力估算	24
7.5 减阻措施	25
7.6 测量	26
7.7 顶进设备	27
7.8 顶进	28
7.9 进洞	29
7.10 减少地面沉降措施	29
8 顶管施工监测及验收标准	31
8.1 顶管施工监测	31
8.2 工程验收标准	31
附录 A 管道在满流条件下管径、坡度、流速、流量关系表($n=0.01$)	34
附录 B 不同充满度的流水断面系数表($n=0.010$)	38
附录 C 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数	40
附录 D 地面车辆荷载对管道作用标准值的计算方法	41
引用标准名录	43
本规程用词说明	44
条文说明	45

Contents

1	General principles	1
2	Terms	2
3	Engineering investigation of Pipe Jacking	3
3.1	General Regulations	3
3.2	Groundwater investigation	3
3.3	Requirements of hole arrangement	4
3.4	Investigation report	5
3.5	Basic requirements of provision for soil physical and mechanical index	6
4	Composite jacking pipe	7
4.1	Pipeline construction	7
4.2	Classification, marking	7
4.3	Raw materials	9
4.4	Connection	10
5	Hydraulic calculation	11
6	Jacking pipe structure design	13
6.1	General regulations	13
6.2	Load limit state checking calculation	13
6.3	Normal use limit state checking calculation	15
6.4	Pipe jacking force checking calculation	16
6.5	Regulations of pipe strength calculation	16
6.6	Stability checking	17
6.7	Pipeline vertical deformation checking calculation	18
6.8	Permanent effect standard value on pipe jacking structure	18

6.9	variable effect standard value and permanent value coefficient of pipe jacking structure	20
7	Pipe jacking construction	21
7.1	Construction organization design	21
7.2	Jacking machine	22
7.3	Selection of jacking machine	23
7.4	Jacking force estimation	24
7.5	Measures of resistance reduction	25
7.6	Measurement	26
7.7	Jacking equipment	27
7.8	Drive	28
7.9	Entering tunnels	29
7.10	Measures of surface settlement reduction	29
8	Standard for monitoring and acceptance of pipe jacking	31
8.1	Monitoring of pipe jacking	31
8.2	Engineering acceptance standard	31
Appendix A	Table of relationships between the pipe diameter, slope, velocity and flow of pipeline in full flow($n=0.01$)	34
Appendix B	Table of water - section coefficient in different fullness ($n = 0.01$)	38
Appendix C	Related parameters of pipeline structure design	40
Appendix D	Reference	41
	Normative standard	43
	Explanation of wording in this code	44
	Explanation of provisions	45

1 总 则

1.0.1 为了在给水处理工程顶管工程中贯彻国家的技术经济政策,力求做到技术先进,经济合理,安全适用,确保质量,特制定本规程。

1.0.2 本规程主要适用于大于等于 DN300,使用顶管机顶进的排水工程的设计、施工和验收。

1.0.3 本规程根据《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 及《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50322 规定的原则制定。

1.0.4 执行本规程设计时,材料和施工质量应符合《夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管》Q/KBT03-2011 及《给水排水工程施工及验收规范》GB 50268 等有关标准要求。

1.0.5 执行本规程时排入管道污水的水温和水质应符合现行标准《污水排入城市下水道水质标准》CJ343-2010。

1.0.6 执行本规程时,尚应符合国家、行业、地方现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管管道 composite jacking pipeline of glass reinforced plastic (GRP) and polyethylene (PE)

复合顶管管道是在管内外双平的塑料(PE)缠绕管外缠绕玻(GRP)增强层而形成的复合顶管管道。

2.0.2 顶管施工技术 pipe jacking

在不开挖地表的情况下,利用液压顶进工作站,从顶进工作坑,将待铺设的管道顶入,从而在顶管机之后直接铺设管道的非开挖地下管道施工技术。

2.0.3 顶管机 jacking machine

安装在顶进管道最前端的,用于掘进、防坍、出泥、导向等的顶管机构。

2.0.4 顶力 jacking force

通过管端头对复合管道施加的轴向载荷。

2.0.5 环刚度 ring stiffness

具有环形截面的管材或管件在外荷载作用下抗挠曲(径向变形)能力的物理参数。单位是 N/m^2 。对于均质平壁管可用公式计算确定;对于复合管可通过试验确定。

2.0.6 直径变形率 diameter deformation rate

管材在外压荷载作用下,管内径竖向弹性变形的极限值与加荷载前管材内径的比值。用百分数表示。

2.0.7 公称直径 nominal diameter

管材的标准直径,单位为(mm)。

3 顶管工程勘察

3.1 一般规定

3.1.1 顶管工程设计,应有沿顶管轴线左右 30m 范围的勘察资料;包括沿线的地形、地貌、地层结构特征,地下管网的属性、尺度和空间分布,地下水位。

3.1.2 沿顶管线 60m 范围的地形图和地下管线平面图比例尺为 1: 500;地下管线的节点、特征点、管道属性、材料、尺度和空间位置应有文字资料。

3.1.3 当顶管工程地段有不良地质条件时,如滑坡、暗河、潜蚀、流沙、管涌、地震液化地层等,其勘察范围应适当扩大,应查明其工程地质特性,评价对顶管工程的影响程度并提出处理建议。

3.1.4 当有地下障碍物时,应查明地下障碍物及邻近地段地下埋设物的分布范围、埋置深度和特性。

3.1.5 当顶管管线范围内存在对人有害气体和其他有害物质时,应查明分布位置。

3.2 地下水勘察

3.2.1 地下水勘察时,主要应查明常年地下水的高程和分布,同时应调查地下水历史上的最高水位和最低水位。

3.2.2 应测定地下水的 PH 值、氯离子、钙离子和硫酸根离子等的含量并对混凝土、钢、铸铁及橡胶的腐蚀程度做出评价。

3.2.4 当地下有承压水分布时,应测定承压水的压力,并评价对顶管施工的影响。

3.3 布孔要求

3.3.1 顶管勘察探孔应布置在管道设计轴线的两侧,陆上各10m、水上各20m范围内,但不宜布置在顶管管体范围。管道穿越小河道或主要道路时,应在河道两岸和道路两侧及绿化带内布置勘探孔。

3.3.2 矩形工作井和接收井勘探孔应布置在四角,圆形井勘探孔沿周边均匀布置。

3.3.3 顶管勘察的勘探孔间距应符合表3.3.3的规定。

表 3.3.3 顶管勘察勘探孔间距(m)

场地类别	I类场地	II类场地	III类场地
勘探孔间距	30 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150

在管道穿越暗埋的河、湖、沟、坑地段和可能产生流沙及地震液化的地段,勘探孔应适当予以加密。

在管道穿越铁道、公路和河谷的地段,勘探孔间距以能控制地层土质变化为原则,宜采用30m~100m,但在穿越铁道、公路地段时,不宜少于2个勘探孔;在穿越河谷的地段时,不应少于3个勘探孔。

3.3.4 工作井和接收井勘探孔的间距不宜超过30m。孔的数量不宜少于2个。

3.3.5 顶管的勘探孔深度在一般情况下应达到管底设计标高以下3m~5m;遇有下列情况之一时,应适当增加勘探孔深度:

- 1 当管道穿越河道时,勘探孔深度应达到河床最大冲刷深度以下4m~6m,并应满足管底勘探深度要求;

- 2 当基底下存在松软土层或未经固结的回填土时,勘探孔深度应适当增加;

- 3 当基底下存在可能产生流沙、潜蚀、管涌或地震液化地层

时,应予以钻穿;

4 当采取降低地下水位施工时,勘探孔深度应钻至管底以下5m~10m;

5 当已有资料证明,或勘探过程中发生粘性土层下存在承压含水层,且其水压较大,需要降水施工时,勘探孔应适当加深,并应测量其水压。

3.3.6 工作井和接收井的勘探孔深度可取井底下5m,特殊情况应适当加深。

3.4 勘察报告

3.4.1 勘察报告由文字和图表构成,应满足相应设计阶段的技术要求。工程地质条件简单和勘察工作量小的工程,可适当简化勘察报告的内容。

3.4.2 初步勘察报告,应阐述场地工程地质条件、评价场地稳定性和适应性,为合理确定平面布置、选择顶进标高,防治不良地质现象提供依据。

3.4.3 详细勘察报告,应提供顶管段和工作井、接收井设计和施工所需的各土怪物理力学性质设计参数,以及地下水和环境资料,并作出针对性的分析评价、结论和建议。

3.4.4 施工勘察报告,应满足设计、施工的具体要求,提供相应的资料,并作出结论和建议。

3.4.5 勘察报告文字部分应包括下列内容:

- 1 勘察目的和任务要求;
- 2 拟建顶管工程的基本特性;
- 3 勘察方法和工作布置说明;
- 4 场地地形、地质(地层、地质构造)、地貌、岩土性质、地下水及不良地质现象的阐述和评价;
- 5 地基与斜坡上土的稳定性评价;

6 岩土参数的分级及选用；

7 建议地基处理方案；

8 工程施工及使用期间可能发生的岩土工程问题的预测及监控、防治措施的建议；有关顶管工程设计及施工措施的建议。

3.4.6 勘察报告图表部分应包括以下内容：

1 勘探点平面布置图；

2 工程地质柱状图；

3 工程地质剖面图；

4 原位测试成果图表；

5 室内试验成果图表；

6 岩土工程计算简图及计算成果图表；

7 建议地基处理方案的图表。

必要时，可附特殊性岩土分布图、综合工程地质图，或工程地质分区（段）图、地下水等水位线图、素描及照片等。

3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求

3.5.1 岩石和土的物理力学性质指标，应按工程地质区（段）及层位分别统计，当同层土指标差别较大时，应进一步划分土质单元，并分别进行统计。

3.5.2 在勘察报告中，应提供岩土参数的平均值、最大值、最小值、子样数、均方差和变异系数。

3.5.3 土层物理力学性质参数表必须具有下列内容：土的颗粒分析、密实度、垂直和水平渗透系数、粘聚力、内摩擦角、土与混凝土、钢和玻璃钢等材料的摩擦系数、土的变形模量、泊桑比、地基承载力及其他必需的常规参数。

4 复合顶管道

4.1 管道构造

玻璃钢 (GRP) 塑料 (PE) 复合顶管由内衬管和外增强层管组成。内衬为排水用管内外双平缠绕管。在双平缠绕管外表面上, 采用定长缠绕工艺, 在一定长度的内衬管道上, 逐层缠绕一玻璃钢增强层管。复合顶管一端为承插口, 另一端为承插头, 见图 4.1。

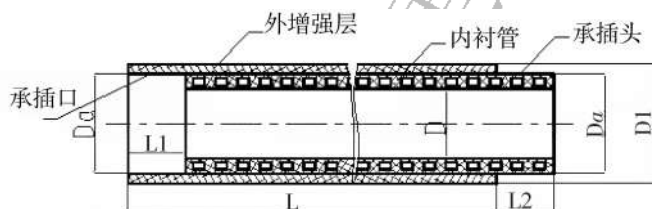


图 4.1 复合顶管构造

D ——复合顶管内径; D_1 ——复合顶管外径; D_2 ——复合顶管承插口内径;
 L_1 ——复合顶管承插头长度; L_2 ——复合顶管承插口长度; L ——复合顶管有效长度。

4.2 分类和标记

4.2.1 分类

产品按公称直径、轴向压缩强度等级、环刚度等级进行分类。

4.2.1.1 公称直径 (DN)

公称直径 (mm): 300、400、500、600、700、800、900、1000、1200、1400、1600、1800、2000、2200、2400、2600、2800、3000。

4.2.1.2 轴向压缩强度等级

轴向压缩强度等级 (MPa): 65、75、90、105。

4.2.1.3 环刚度等级 (SN)

。

环刚度等级 (KN/m^2): $\text{SN}2 \geq 2$, $\text{SN}4 \geq 4$, $\text{SN}6 \geq 6$, $\text{SN}8 \geq 8$, $\text{SN}12.5 \geq 12.5$, $\text{SN}16 \geq 16$ 。

注:其他公称直径、轴向压缩强度等级、环刚度等级可由供需双方协商确定。

4.2.2 允许顶力

详表 4.2.2。

表 4.2.2 允许顶力

公称直径 DN(mm)	允许顶力 F(Kn)
300	142
400	269
500	383
600	517
700	737
800	918
900	1294
1000	1556
1200	2153
1400	2930
1600	3827
1800	4844
2000	5980
2200	7236
2400	8612
2600	10107
2800	11721
3000	13456

4.2.3 标记

复合顶管按产品代号、公称直径、压缩强度等级、刚度等级和本标准号进行标记。

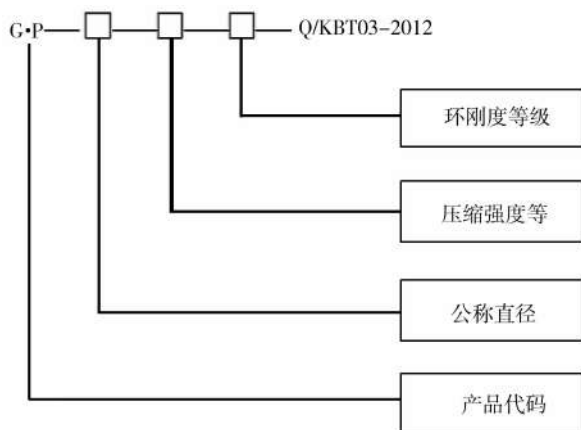


图 4.2.3 标记

示例:公称直径为 1000mm,轴向压缩强度为 65MPa、环刚度等级为 $2\text{KN}/\text{m}^2$ 。

4.3 原材料

4.3.1 原材料

4.3.1.1 复合顶管内衬层管材料

复合顶管内衬层管材料为高密度聚乙烯(HDPE)。高密度聚乙烯应符合《高密度聚乙烯树脂》GB 11116 标准的规定。

4.3.1.2 复合顶管外增强层管材料

4.3.1.2.1 树脂

不饱和聚酯树脂应符合《纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂》GB/T8237 的规定。

4.3.1.2.2 玻璃纤维及其制品

应采用无碱玻璃纤维及其制品,无碱玻璃纤维及其制品应符合相应的国家标准或行业标准的规定。

4.3.1.2.3 石英颗粒

石英颗粒应采用天然的或经加工处理的优质硅砂,其 SiO_2 含量(质量分数)应不小于 95%,含水量(质量分数)不大于 0.2%,粒度为 25 目~40 目。

4.4 连接

4.4.1 连接形式

复合顶管采用承插连接形式,如图 4.4.1。

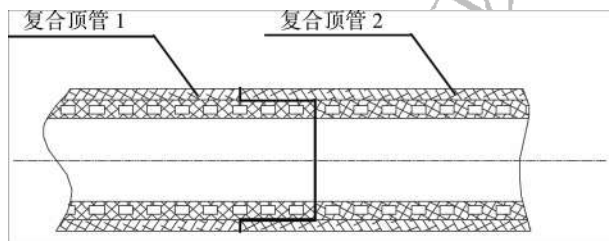


图 4.4.1 复合顶管连接形式

4.4.2 密封介质

复合顶管连接密封介质采用不饱和树脂。施工安装中,在复合顶管承插头的外园面上和承插口的内园面上,都应均匀涂敷一层不饱和树脂,涂敷的长度与复合顶管承插头长度和复合顶管承插口的长度一致。

5 水力计算

5.1 复合顶管的流速、流量

可按下式计算:

$$Q = A \cdot V \quad (5.1.1)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (5.1.2)$$

式中: Q ——流量(m^3/s);

A ——水流有效过水断面面积(m^2);

V ——流速(m/s);

R ——水力半径(m);

I ——水力坡度(‰);

n ——管壁粗糙系数,按本规程设计时,采用 $n=0.010$ 。

5.2 污水管最大设计充满度

污水管最大设计充满度应符合表 5.2. 要求

表 5.2 最大设计充满度

公称直径 DN(mm)	最大设计充满度
300	0.55
350 ~ 450	0.65
500 ~ 900	0.70
≥ 1000	0.75

5.3 当用于雨水、污水合流管道时,管道应按满流计算;

5.4 管道的最大设计流速不宜大于 $5\text{m}/\text{s}$;

5.5 管道所采用的最小设计流速,应符合下列规定:

5.5.1 污水管道,在设计充满度下不应小于 0.6m/s ;

5.5.2 按满流设计的雨水管道与合流管道,最小流速为 0.75m/s ;

5.5.3 管道输送高含沙水流时,最小设计流速应大于泥沙的不淤流速。

5.6 管道在满流条件下管径、坡度、流速、流量、关系表见附录 A,管道在不同充满度的流水断面系数表见附录 B。

6 顶管结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量管道结构的可靠度,除管道的稳定验算外,均应采用分项系数的设计表达式进行设计。

6.1.2 夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合管按柔性管计算。

6.1.3 管道结构设计应计算下列两种极限状态:

1 承载能力极限状态:顶管结构纵向超过最大顶力破坏,管壁因材料强度被超过而破坏;柔性管道管壁截面丧失稳定;管道的管段接头因顶力超过材料强度破坏。

2 正常使用极限状态:管道的竖向变形超过正常使用的变形限值。

6.1.4 管道结构的内力分析,均应按弹性体系计算,不考虑由非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

6.2 承载能力极限状态计算规定

6.2.1 管道结构按承载能力极限状态进行强度计算时,结构上的各项作用均采用设计值。

作用设计值,应为作为代表值与作用分项系数的乘积。

6.2.2 管道按强度计算时,应采用下列极限状态计算表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (6.2.2)$$

式中: γ_0 ——管道的重要性系数;污水管道取1.0;雨水管道取0.90;

S ——用用效应组合的设计值；

R ——管道结构抗力设计值，按相应标准确定。

6.2.3 作用效应的组合设计值，应按下式确定：

$$S = \gamma_{G1} C_{G1} G_{1k} + \gamma_{G,w} C_w F_{w,k} + \gamma_{G,h} C_h F_{h,k} + \gamma_{G,w} C_{Gw} G_{wk} \\ + \varphi_c \gamma_Q (C_{Q,wd} F_{wd,k} + C_{Qv} Q_{vk} + C_{Qm} Q_{mk} + C_{Qt} F_{tk}) \quad (6.2.3)$$

式中： γ_{G1} ——管道结构自重作用分项系数，可取 $\gamma_{G1} = 1.2$ ；

$\gamma_{G,w}$ ——竖向水土压力作用分项系数，可取 $\gamma_{G,w} = 1.27$ ；

$\gamma_{G,h}$ ——侧向水土压力作用分项系数，可取 $\gamma_{G,h} = 1.27$ ；

γ_{Gw} ——管内水重作用分项系数，可取 $\gamma_{Gw} = 1.2$ ；

γ_Q ——可变作用的分项系数，可取 $\gamma_Q = 1.4$ ；

C_{G1} 、 C_w 、 C_h 、 C_{Gw} ——分别为管道结构自重、竖向和侧向水土压力及管内水重的作用效应系数；

$C_{Q,wd}$ 、 C_{Qv} 、 C_{Qm} 、 C_{Qt} ——分别为设计内水压力、地面车辆荷载、地面堆积荷载、温度变化的作用效应系数；

G_{1k} ——管道结构自重标准值；

$F_{w,k}$ ——竖向水土压力标准值；

$F_{h,k}$ ——侧向水土压力标准值；

G_{wk} ——管内水重标准值；

$F_{wd,k}$ ——管内设计内水压力标准值；

Q_{vk} ——车行荷载产生的竖向压力标准值；

Q_{mk} ——地面堆积荷载作用标准值；

F_{tk} ——温度变化作用标准值；

φ_c ——可变荷载组合系数，对柔性管道取 φ_c

$=0.9$;对其他管道取 $\varphi_c = 1.0$ 。

6.2.4 承载力极限状态强度计算的作用组合,应根据顶管实际条件按表 6.2.4 的规定采用。

6.2.4 承载力极限状态强度计算的作用组合表

管 材	永久作用				可变作用		
	计算工况	管自重 G_1	竖向和水平 上压力 F_w	管内水重 G_w	管内水压 F_{wd}	地面车辆堆载 Q_v, Q_m	温度作用 F_1
复 合 管	空管期间	√	√			√	√
	管内滴水	√	√	√		√	√
	使用期间	√	√	√	√	√	√

6.2.5 施工期间管道纵向尚应对允许顶力进行验算。

6.3 正常使用极限状态验算规定

6.3.1 管道结构按正常使用极限状态进行验算时,各项作用效应均应采用作用代表值。

6.3.2 当验算构件截面的最大裂缝开展宽度时,应按准永久组合作用计算。作用效应的组合设计值应按下式确定:

$$S = \sum_{i=1}^n C_{Gk} G_{ik} + \sum_{j=1}^n \varphi_{Gj} C_{Gj} Q_{jk} \quad (6.3.2)$$

式中: φ_{Gj} ——第 j 个可变作用的准永久值系数,应按本规程第 6.9 节的有关规定采用;

C_{Gk}, C_{Gj} ——永久荷载和可变荷载作用效应系数;

G_{ik}, Q_{jk} ——永久荷载和可变荷载标准值。

6.3.3 正常使用极限状态验算时,作用组合工况可按本规程表 6.2.4 的规定采用。

6.3.4 管道在准永久组合作用下长期竖向变形允许值,不应超过 $0.05 D_0$ 。

6.4 管道允许顶力验算

6.4.1 夹砂玻璃钢(GRD)塑料(PE)复合管顶管传力面允许最大顶力可按下列式计算:

$$F_{db} = 0.5 \frac{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3}{\gamma_{Q,d}} f_b A_p \quad (6.4.1)$$

式中: F_{db} ——管道允许顶力设计值(N);

φ_1 ——材料受压强度折减系数,可取 0.90;

φ_2 ——偏心受压强度提高系数,可取 1.00;

φ_3 ——材料脆性系数,可取 0.80;

f_b ——受压强度设计值(N/mm²);

A_p ——管道的最小有效传力面积(mm²);

$\gamma_{Q,d}$ ——顶力分项系数,可取 1.3。

6.5 管道强度计算

6.5.1 管道的强度应按下列公式计算:

$$\gamma_0 \eta_1 (\varphi_c \sigma_{th} + d_f \gamma_c \sigma_{tm}) \leq f_{th} \quad (6.5.1)$$

$$\gamma_0 \varphi_c \sigma_{th} \leq f_{th} \quad (6.5.2)$$

$$\gamma_0 \sigma_{tm} \leq f_{tm} \quad (6.5.3)$$

式中: σ_{th} ——管道内设计水压力产生的管壁环内向等效折算拉伸应力设计值(MPa);

σ_{tm} ——在外压力作用下,管壁最大的环向等效折算弯曲应力设计值(MPa);

f_{th} ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值(MPa);

f_{tm} ——管材的环向等效折算抗弯强度设计值(MPa);

α_f ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值与等效折算抗弯强度设计值的比值;

γ_c ——管道的压力影响系数。对重力流排水管道应取 1.0,

对有压力管道可按表 6.5.1 取值；

η_1 ——应力调整系数，可取 0.8。

表 6.5.1 管道压力影响系数

管道工作压力 F_{wd} (MPa)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
γ_0	0.93	0.87	0.80	0.73	0.67

注：其他工作压力的影响系数可取线性插值。

6.5.2 管道设计内水压力产生的管壁环向等效折算拉应力按下式计算：

$$\sigma_{th} = \frac{\gamma_0 F_{wd,k} D_0}{2t} \quad (6.5.2)$$

式中： $F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值 (MPa)；

γ_0 ——管道的内水压力分项系数，可取 1.4。

6.5.3 管道的外压力作用下，管壁最大的环向等效折算弯曲应力可按下式计算：

$$\sigma_{tm} = D_f E_p \left(\frac{\omega_{d,max}}{D_0} \right) \left(\frac{t}{D_0} \right) \quad (6.5.3-1)$$

$$S_N = \frac{E_p t^3}{12 D_0^3} \times 10^6 \quad (6.5.3-2)$$

式中： $\omega_{d,max}$ ——管道的最大长期竖向变形 (mm)，可按本规程公式 (6.7.1) 计算；

E_p ——管材的环向弯曲弹性模量 (MPa)；

D_f ——管道的形状系数，刚度等级 (S_N) 为 15000 N/m² 时，可取 $D_f = 3.8$ ；刚度等级为 2000 N/m² 时，可取 $D_f = 3.2$ ；

t ——管壁厚度 (mm)。

6.6 稳定验算

6.6.1 管道的管壁截面环向稳定验算，应满足下式的要求：

$$F_{\sigma,k} \geq K_{\sigma}(F_{w,k} + Q_{ik} \times 10^{-3} + F_{ik}) \quad (6.6.1)$$

式中: $F_{\sigma,k}$ ——管壁截面环向失稳的临界压力标准值(N/mm^2);

K_{σ} ——管壁截面环向稳定性抗力系数,不应低于 2.5;

$F_{w,k}$ ——管外水土压力标准值(N/mm^2);

Q_{ik} ——地面堆载或车辆轮压传至管顶的压力标准值(N/mm^2)。

6.6.2 管壁截面环向失稳的临界压力按下式计算:

$$F_{\sigma,k} = \frac{8 \times 10^{-6} S N (n^2 - 1)}{(1 - v_p^2)} + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + v_s)} \quad (6.6.2)$$

式中: n ——管壁失稳时的折皱波数,其取值应使 $F_{\sigma,k}$ 为最小并不小于 2 的正整数;

E_d ——管侧土的变形模量(N/mm^2);

v_p ——管材的泊桑比,可取 0.3;

v_s ——管两侧土的泊桑比,一般对砂性土取 0.3,对粘性土取 0.4。

6.7 管道竖向变形验算

6.7.1 管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大长期竖向变形 $\omega_{d,\max}$ 可按下式计算:

$$\omega_{d,\max} = \frac{(F_{w,k} + \varphi_q Q_{ik}) D_1 k_b}{8 \times 10^{-6} S N + 0.061 E_d} \quad (6.7.1)$$

式中: k_b ——竖向压力作用下变形系数按本规程附录 A 确定;

φ_q ——地面作用传递至管顶压力的准永久值系数。

6.8 顶管结构上永久作用标准值

6.8.1 管道结构自重标准值可按下列公式计算:

$$G_{1k} = \gamma \cdot \pi \cdot D_0 \cdot l \quad (7.8.1)$$

式中: G_{1k} ——单位长度管道结构自重标准值(kN/m^2);

t ——管壁设计厚度(m);

γ ——管材重度,可按实际情况取值。

6.8.2 作用在管道上的竖向土压力,其标准值应按覆盖厚度和力学指标确定。

1 当管顶覆盖层厚度小于或等于1倍管外径或覆盖层均为淤泥土时,管顶上部竖向土压力标准值应按下式计算:

$$F_{w,k1} = \sum_{i=1}^n \gamma_x h_i \quad (6.8.2-1)$$

管拱背部的竖向土压力可近似化成均布压力,其标准值为:

$$F_{w,k2} = 0.215 \gamma_x R_2 \quad (6.8.2-2)$$

式中: $F_{w,k1}$ ——管顶上部竖向土压力标准值(kN/m^2);

$F_{w,k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值(kN/m^2);

γ_x ——管道上部 i 层土层重度(kN/m^3),地下水位以下应取有效重度;

h_i ——管道上部 i 层土层厚度(m);

R_2 ——管道外半径。

2 当管顶覆土层不属上述情况时,顶管上竖向土压力标准值应按下式计算:

$$F_{w,k3} = C_j (\gamma_x B_t - 2C) \quad (6.8.2-3)$$

$$B_t = D_1 [1 + \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})] \quad (6.8.2-4)$$

$$C_j = \frac{1 - \exp(-2K_a \mu \frac{H_z}{B_t})}{2K_a \mu} \quad (6.8.2-5)$$

式中: $F_{w,k3}$ ——管顶竖向土压力标准值(kN/m^2);

C_j ——顶管竖向土压力系数;

B_t ——管顶上部土层压力传递至管顶处的影响宽度(m);

D_1 ——管道外径(m);

φ ——管顶土的内摩擦角($^\circ$);

- C ——土的粘聚力(kN/m^2),宜取地质报告中的最小值;
- H_s ——管顶耕至原状地面埋置深度(m);
- $K_a\mu$ ——原状土的主动土压力系数和内摩擦系数的乘积,一般粘性土可取 0.13,饱和粘土可取 0.11,砂和砾石可取 0.165。

3 当管道位于地下水位以下时,尚应计入地下水作用在管道上的压力。

6.9 顶管结构上可变作用标准值及其准永久值系数

6.9.1 管道设计水压力的标准值,可按表 6.9.1 采用,准永久值系数可取 0.7,但不得小于工作压力。

表 6.9.1 设计水压标准值

管材类型	工作压力	设计水压力(Mpa)
复合顶管	F_{wk}	$(1.4 \sim 1.5) F_{wk}$

6.9.2 管道在运行过程中可能产生的真空压力,其标准值可取 0.05Mpa 计算,其准永久值系数可取 $\varphi_q = 0$ 。

6.9.3 地面堆积荷载传递到管顶处竖向压力标准值 q_{mk} ,可按 10kN/m^2 计算,其准永久值系数可取 $\varphi_q = 0.5$ 。

6.9.4 地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 q_{mk} 可按本规程附录 D 规定确定,其准永久值系数应取 $\varphi_q = 0.5$ 。当埋深大于 2m 时可不计冲击系数。

地面堆积荷载与地面车辆轮压可不考虑同时作用。

6.9.5 温度作用标准值,可按温差 $\pm 20^\circ\text{C}$ 计算,其准永久值系数可取 $\varphi_q = 1.0$ 。

7 顶管施工

7.1 施工组织设计

7.1.1 施工组织设计应包括下列主要内容:

1 工程概况:应主要介绍施工场地的特征,水文地质和工程地质概况。

2 编制依据及采用标准。

3 承包商或施工单位简介。

4 施工准备工作计划。

5 施工顺序与施工进度计划。

6 施工方法和施工设备选择。

7 施工平面布置图。

8 应采取的主要施工技术措施,包括以下内容:

1)顶管机出洞的施工方法;

2)顶管机的定向和水平测量方法,采用测量仪器,测量精度分析;

3)顶管机进洞和施工方法;

4)减少管壁摩阻力;

5)出泥的方法和弃土的处置;

6)地面隆起、沉降和对周边挤压的控制;

7)解决工程难点的技术保障措施;

8)顶管设备型号、规格、性能和数量。

7.1.2 施工安全、质量和文明措施

1 工作井和接收井的设计;

2 工作井和接收井的开挖和支护;

3 顶管设备的安装,起重设备的安全;

- 4 工作井施工区的安全警示与标志;
- 5 工作时间安排。

7.1.3 施工环境保护

- 1 地表植被、公共实施的保护措施;
- 2 施工水供给与排放;
- 3 出渣路线与渣车清洁;
- 4 施工噪声控制。

7.1.4 施工应急预案

- 1 组织机构与职责;
- 2 责任人的联系方式;
- 3 工程应急抢险措施。

7.2 顶管机

7.2.1 不同性能的土质应采用不同类型的顶管机:地下水位以上的顶管可采用敞开类顶管机;地下水位以下的顶管应采用具有平衡功能类型的顶管机。

7.2.2 敞开类顶管机有:

1 机械式顶管机——采用机械掘进的顶管机,可用于岩层、硬土层和整体稳定性较好的土层;

2 挤压式顶管机——依靠顶力挤压出土的顶管机,可用于流塑性土层;

3 人工挖掘顶管机——采用手持工具开挖的顶管机,可用于地基强度较高的土层。

7.2.3 平衡类顶管机有:

1 土压平衡式顶管机——通过调节出泥舱的土压力稳定开挖面,弃土可从出泥舱排出的顶管机,可用于淤泥和流塑性粘性土;

2 泥水平衡式顶管机——通过调节出泥舱的泥水压力稳定

开挖面,弃土以泥水方式排放出顶管机,可用于粉质土和渗透系数较小的砂性土;

3 气压平衡式的顶管机——通过调节出泥舱的气压稳定开挖面,弃土以泥水方式排放出的顶管机,可用于有地下障碍物的复杂土层。

7.3 顶管机的选择

7.3.1 顶管机选择应根据管道穿越土层的物理力学特征、有无地下水、是否存在有毒气体、地下障碍物情况和需要保护的构筑物等因素,应按表 7.3.1 经技术经济比较后确定。

表 7.3.1 顶管机选型参考表

土层		敞开式顶管机			平衡式顶管机		
		机械式	挤压式	人工挖掘	土压挖掘	泥水平衡	气压平衡
地下水	胶结土层、强风化岩	★★					
	稳定土层	★★		★			
	松散土层	★	★	★★			
下水位以下地层	淤泥 $f_d > 30 \text{ kPa}$		★		★★	★	★
	粘性土 含水量 $> 30\%$		★★		★★	★	★
	粉性土 含水量 $< 30\%$				★	★★	★
	粉性土				★	★★	★
	砂土 $k < 10^{-4} \text{ cm/s}$					★★	★★
	砂土 $k < 10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ cm/s}$					★	★★
	砂砾 $k < 10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$					★	★
	含障碍物						★

注:★★—首选机型;★—可选机型;空格—不宜选用。

7.3.2 顶进土层单一时宜选用表中的“首选机型”;在复杂土层顶进时,应根据可能有的土层选择“可选机型”或“首选机型”。

7.3.3 含砾石地层可选用具有相应破碎能力的泥水平衡顶管机。

7.3.4 地面沉降有严格要求时,应选择对正面阻力有精确计量装置的平衡式顶管机。

7.4 顶力估算

7.4.1 管道的总顶力可按下列估算:

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F \quad (7.4.1)$$

式中: F_0 ——总顶力标准值(kN);

D_1 ——管道的外径(m);

L ——管道设计顶进长度(m);

f_k ——管道外壁与土的平均摩阻力(kN/m^2),可按本规程表 7.5.13 采用;

N_F ——顶管机的迎面阻力(kN)。

7.4.2 不同端口顶管机的迎面阻力计算可按 7.4.2 表选用。

表 7.4.2 顶管机迎面阻力(N_F)的计算式

顶管机端面	常用机型	迎面阻力 N_F (kN)	式中符号
刃口	机械式 人工挖掘式	$N_F = \pi(D_g - z)zR$	z —刃口厚度(m)
喇叭口	挤压式	$N_F = \frac{\pi}{4}D_g^2(1 - e)R$	e —开口率
网格	挤压式	$N_F = \frac{\pi}{4}D_g^2\alpha R$	α —网格截面参数, 可取 $\alpha = 0.6 \sim 1.0$
网格加气压	气压平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4}D_g^2(\alpha R + P_n)$	P_n —气压(kN/m^2)
大刀盘切削	土压平衡式 泥水平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4}D_g^2\gamma_s H_s$	γ_s —土的厚度(kN/m^2) H_s —覆盖层厚度(m)

注: 1 D_g —顶管机外径(m);

2 R —挤压阻力(kN/m^2),可取 $R = 300 \text{ kN/m}^2 \sim 500 \text{ kN/m}^2$ 。

7.4.3 当估算总顶力大于管节允许顶力设计值或工作井允许顶力设计值时,应设置中继间。

7.4.4 设计阶段中继间的数量可按下式估算:

$$n = \frac{\pi D_1 f_k (L + 50)}{0.7 \times f_0} - 1 \quad (7.4.4)$$

式中: n ——中继间数量(取整数);
 f_0 ——中继间设计允许顶力(kN)

7.5 减阻措施

7.5.1 长度超过40m的大直径顶管,应采取措施减少管壁摩阻力。

7.5.2 扩孔减阻应满足下列技术要求:

- 1 扩孔后管周间隙可取 10mm ~ 30mm;
- 2 地下水以上顶管时,管底弧形支承面角度宜取 120°;
- 3 扩孔间隙在地下水以下时应压注减阻泥浆;无地下水处可涂抹非亲水减阻剂。

7.5.3 膨润土触变泥浆技术参数应满足表 7.5.3。

表 7.5.3 触变泥浆技术参数(N_p)的计算式

比重	1.1g/cm ³ ~ 1.6g/cm ³	失水量	< 25 cm ³ /30min
静切力	100Pa 左右	稳定性	静置 24h 无离析水
粘度	>30s	PH	< 10

7.5.4 触变泥浆可用于粘性土、粉质土和渗透系数不大于 10⁻⁵ m/d 的砂性土。渗透系数较大时应另加化学稳定剂。

7.5.5 地下水有酸或碱离子时,应就地采用地下水调配触变泥浆。

7.5.6 渗透系数大于或等于 10⁻² cm/s 的粗砂和砂砾层直采用高分子化学泥浆。

7.5.7 石蜡、废油脂等非亲水减阻剂可用于无地下水的硬土层。

7.5.8 顶管机后部断面缩小处应设置一组主注浆孔;在每个中继间处应设注浆孔。根据顶进速度应在预留孔上设置补浆孔,补浆孔的间距可按下式估算:

$$L_m = T \times V \quad (7.5.8)$$

式中: L_m ——补浆孔间距(m);

V ——每天平均顶进速度(m/d);

T ——减阻泥浆失效期(d),可取 $T=6-10d$

7.5.9 注浆管出口处应设泥浆单向阀,出口压力应大于地下水压力。

7.5.10 主注浆口的实际浆量,对于粘性土和粉土不应大于理论注浆量的1.5~3倍,对于中粗砂层应大于理论压浆量的3倍以上。

7.5.11 主注浆孔应与管道顶进同步注浆,先注浆顶进。中继间注浆孔的注浆应与中继间启动同步,运行中连续注浆。

7.5.12 管道在覆盖层较薄的流塑性土层中顶进,注浆量不宜过大,防止地面拱起及管道上浮。

7.5.13 采用触变泥浆减阻的顶管,管壁与土的平均摩阻力可按表7.5.13采用。

表 7.5.13 触变泥浆减阻管壁与土的平均摩阻力(KN/m^2)

土的种类		软粘土	粉性土	粉细土	中粗砂
触变泥浆	复合管	2.4-3.2	3.2-5.6	5.6-8	8-10.4

注:玻璃纤维增强塑料夹砂管可参照钢管乘以0.8系数。

7.5.14 采用其他减阻泥浆的摩阻力应通过试验确定。

7.6 测量

7.6.1 顶管施工应建立地面与地下测量控制系统。

7.6.2 测量控制点应设在不易扰动、视线清楚、便于校核和易于保护处。

7.6.3 顶管施工测量的相对坐标的X轴线就为工作井穿墙管中心与接收井的墙管中心(无接收井时采用设计管道终点的中心)的连线。

7.6.4 直线顶管的方向测量,当顶进长度不超过300m时,可采用经纬仪;超过300m时,宜采用激光经纬仪;超过1000m时,应在管内设置测站采用经纬仪导线法测量。

7.6.5 曲线顶管的方向测量,应在管内设置若干测站,用导线法

测量。

7.6.6 管内水准测量仪器,当顶进长度不超过 200m 时,可使用水准仪;超过 200m 时,宜使用水位连通器;轴线高度偏差大于管道内径的 $1/3$ 时,应采用微测压计。

7.6.7 测量成果应有精度分析,并提供管道终点测量可能达到的最大误差。

7.6.8 原始记录和测量分析资料应完整存档。

7.7 顶进设备

7.7.1 导轨应符合下列规定;

1 导轨支架应采用钢材制作。固定在工作井底板上的导轨在管道顶进时不可产生位移。其整体刚度和强度应满足施工要求。

2 导轨对管道的支承角度宜为 60° ,导轨的高度应保证管中心对准穿墙管中心,导轨的坡度应与设计轴线一致。

3 导轨安装的允许偏差应满足下列要求;

1) 轴线位置:3mm;

2) 顶面高程:0 ~ +3mm;

3) 两轨净距: ± 2 mm。

7.7.2 主顶站千斤顶的性能和安装宜满足下列规定;

1 千斤顶的行程宜不小于 1000mm,单只顶力宜不小于 1000KN。

2 千斤顶安装应符合下列规定:

1) 除铰接式千斤顶外,千斤顶应安装在支架上;

2) 千斤顶数量应为偶数,设置在管道两侧,并与管中心左右对称。每只千斤顶均应与管轴平行;

3) 千斤顶的合力中心应低于管中心,其尺寸宜为管道外径的 $1/10 \sim 1/8$;

4) 千斤顶应同步运行。

7.7.3 主站油泵安装应符合下列规定；

1 油泵应与千斤顶性能相匹配。油泵流量宜满足顶进速度 100mm/min 的要求；

2 油泵宜设置在千斤顶附近，油管应顺直，转角少；

3 除遥控顶管外，主油泵的运行应受控于顶管机。

7.7.4 顶铁安装应符合下列规定：

1 顶铁应满足传递顶力、便于出泥和人员出入的需要；

2 顶铁的两个受压面应平整，互相平行；

3 宜采用 U 型或弧形刚性顶铁；

4 与管尾接触的环形顶铁应与管道匹配，顶铁与混凝土管或玻璃纤维增强塑料夹砂管之间应加木垫圈。

7.8 顶进

7.8.1 进入操作的顶管，应在顶管机内发指令。

7.8.2 主顶站应装设计量准确的油压表，严格防止顶力超限。

7.8.3 顶管机偏差测量觇标宜接近前端。觇标设在顶管机第二段上的，应借助仪器通过计算转换成顶管机前端面偏差。

7.8.4 管道偏差测量每顶进 500mm 不宜少于 1 次，在纠偏阶段不宜少于 2 次。

7.8.5 顶管纠偏记录应包括如下内容：日期、时间、顶进长度、顶进总长度、各组纠偏油缸的纠偏量、锁紧压力和上下纠偏角及左右纠偏角。

7.8.6 工作井中的顶进记录应包括如下内容：日期、时间、顶进长度、顶进总长度、启动顶力和正常顶力。

7.8.7 顶管机的偏差测量记录应包括如下内容：日期、时间、顶进长度、顶进总长度、方向测量和水准测量数据。

7.8.8 中继间油压应有记录。

7.8.9 采用触变泥浆减阻时的注浆记录应包括如下内容：日期、

时间、顶进总长度、注浆压力和注浆量。

7.8.10 应根据纠偏记录及时绘制顶管机顶进轨迹,指导纠偏。

7.8.11 顶管机纠偏应根据管道偏差的大小、偏差发展趋势而确定,使顶管机轨迹过渡平稳。

7.8.12 顶管机旋转需要校正时,对大刀盘顶管机应采用改变刀盘的旋转方向校正,其余顶管机可以管内采取单边配重校正。

7.8.13 经较长时间停顿的管道,在启动前应加大补浆量、连续补浆及增加补浆点,直至顶管启动。

7.8.14 在流塑性土层中的长距离顶管,应防止管道纵向失稳。

7.9 进洞

7.9.1 顶管机进洞前的3倍管径范围内,应减慢顶进速度,减小管道正面阻力对接收井的不利影响。

7.9.2 进洞口的临时闷板宜加水平支撑便于顶管机接近闷板。

7.9.3 接收孔轴线上可安装临时支架,防止顶管机头下落。

7.9.4 接收孔处于饱和砂土层时,应进行土体加固。

7.9.5 管道进洞后应按设计要求封闭接收孔,防止水土流入井内。

7.10 减少地面沉降措施

7.10.1 在不稳定土中应选择有平衡功能的顶管机,不应采用开敞式挖掘顶管。

7.10.2 建立地面观察点,并通过试顶确定具有平衡功能顶管机的平衡参数。

7.10.3 顶管施工时应采取以下措施:

- 1 减少减阻泥浆套的厚度;
- 2 不可采用大角度纠偏;
- 3 严格控制出泥量,不可超量出泥。

7.10.4 在道路下顶进,当路面沉量超过10mm时,应钻孔取样检查土体孔隙比变化。

7.10.5 顶管结束后应采用水泥砂浆加固减阻泥浆。

重庆工程建设

8 顶管施工监测及验收标准

8.1 顶管施工监测

8.1.1 施工监测的范围应包括地面以上和地面以下两大部分。地面以上应监测地面沉降和地面建筑物的沉降、位移和损坏。地面以下应监测在顶管扰动范围内的地下构筑物、各种地下管线的沉降、水平位移及漏水、漏气。

8.1.2 施工监测的重点应放在邻近建筑物(构筑物)、堤岸及可能引起严重后果的地下管线及其他重要设施。

8.1.3 在设置监测点时,应避开各种可能对其产生影响的因素,以确保不被损坏。

8.1.4 观察裂缝应记录地面和结构裂缝的生成时间、裂缝的长度及宽度发展状况。

8.1.5 所有监测点必须在顶管施工开始前进行埋设、布置。

8.1.6 观测点应定时测定,测定数据就保持连续、真实、可靠。

8.2 工程验收标准

8.2.1 顶进贯通后的管道允许偏差应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 顶管管道顶进允许偏差(mm)

检查项目			允许偏差	检查频率		检查方法
			复合顶管	范围	点数	
1	直线顶管	顶进长度	50	每管节	1点	用经纬仪
		<300m				
		300m≤顶进长度	100			
		<1000m				
		顶进长度≥1000m	L/10			

续表 8.2.1

检查项目				允许偏差	检查频率		检查方法
				复合顶管	范围	点数	
2	直线顶管内底高程	顶进长度 < 300m	$D_1 \leq 1500$	+30, -40	每管节	1点	用水准仪或水平仪测量
			$D_2 \geq 1500$	+30, -50			
		300m ≤ 顶进长度 < 1000m		+30, -80			用水准仪测量
		顶进长度 ≥ 1000m		+80, -100			

8.2.2 水平管道垂直顶升施工的允许偏差应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 水平管道内垂直顶升施工的允许偏差 (mm)

检查项目			允许偏差	检查频率		检查方法
			复合顶管	范围	点数	
1	顶升管帽盖顶面高程		±20	每根	1点	用水准仪测
2	顶升管管节安装	管节垂直度	≤1.5‰H	每节	各1点	用垂线量
		管节连接面平行度	≤1.5‰D ₁ , 且≤2			用钢尺量
3	顶升管节间错口		≤20			
4	顶升管道垂直度		0.5‰H	每根	1点	用经纬仪、 钢尺测量
5	顶升管的中心轴线	沿水平管纵向	30	各1点	各1点	
		沿水平管横向	20			
6	开口管顶升口中心轴线	沿水平管纵向	40	每处	1点	
		沿水平管横向	30			

注: H 为垂直顶升管总长度 (mm); D_1 为垂直顶升管外径 (mm)。

8.2.3 顶管竣工后管道的闭水试验结果应满足现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的要求。

8.2.4 地面沉降应满足下列规定:

1 顶管造成的地面沉降不应造成道路开裂, 大堤及地下设施损坏和渗水。

2 顶管造成的地面沉降时不应超过下列规定:

1) 土堤小于或等于 30mm;

2)公路小于或等于 20mm;

3)顶管穿越铁路、地铁及其它对沉降敏感的地下设施时,累计沉降时还应符合国家相关的规定。

3 当检测数据达到沉降限值 70%时,应及时报警并启动应急事故处理预案。

重庆工程建设

附录 A 管道在满流条件下
管径、坡度、流速、流量关系表 (n=0.01)
 (规范性附录)

表 A.0.1 (DN300-1200) 管径、坡度、流速、流量关系表

公称直径 DN (mm)	400		500		600		800		1000		1200	
管内径 D (mm)	400		500		600		800		1000		1200	
坡度 I	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
‰	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s
0.1	0.2154	0.0271	0.2500	0.0491	0.2823	0.0798	0.3420	0.1718	0.3969	0.3115	0.4481	0.5066
0.2	0.3047	0.0383	0.3536	0.0694	0.3992	0.1128	0.4837	0.2430	0.5612	0.4406	0.6338	0.7164
0.3	0.3732	0.0469	0.4330	0.0850	0.4890	0.1382	0.5924	0.2976	0.6874	0.5396	0.7762	0.8774
0.4	0.4309	0.0541	0.5000	0.0981	0.5646	0.1596	0.6840	0.3436	0.7937	0.6231	0.8963	1.0132
0.5	0.4817	0.0605	0.5590	0.1097	0.6313	0.1784	0.7647	0.3842	0.8874	0.6966	1.0021	1.1327
0.6	0.5277	0.0663	0.6124	0.1202	0.6915	0.1954	0.8377	0.4209	0.9721	0.7631	1.0977	1.2409
0.7	0.5700	0.0716	0.6614	0.1298	0.7469	0.2111	0.9048	0.4546	1.0500	0.8242	1.1857	1.3403
0.8	0.6094	0.0765	0.7071	0.1388	0.7985	0.2257	0.9673	0.4860	1.1225	0.8811	1.2675	1.4328
0.9	0.6463	0.0812	0.7500	0.1472	0.8469	0.2393	1.0260	0.5155	1.1906	0.9346	1.3444	1.5197
1.0	0.6813	0.0856	0.7906	0.1551	0.8927	0.2523	1.0815	0.5433	1.2550	0.9851	1.4171	1.6019
1.1	0.7145	0.0897	0.8292	0.1627	0.9363	0.2646	1.1343	0.5699	1.3162	1.0332	1.4863	1.6801
1.2	0.7463	0.0937	0.8660	0.1700	0.9780	0.2764	1.1847	0.5952	1.3747	1.0792	1.5524	1.7548
1.3	0.7768	0.0976	0.9014	0.1769	1.0179	0.2877	1.2331	0.6195	1.4309	1.1232	1.6158	1.8265
1.4	0.8061	0.1012	0.9354	0.1836	1.0563	0.2985	1.2796	0.6429	1.4849	1.1656	1.6768	1.8954
1.5	0.8344	0.1048	0.9682	0.1900	1.0934	0.3090	1.3245	0.6654	1.5370	1.2065	1.7356	1.9620
1.6	0.8618	0.1082	1.0000	0.1963	1.1292	0.3191	1.3680	0.6873	1.5874	1.2461	1.7926	2.0263
1.7	0.8883	0.1116	1.0308	0.2023	1.1640	0.3289	1.4101	0.7084	1.6363	1.2845	1.8477	2.0887

续表 A.0.1

1.8	0.9140	0.1148	1.0607	0.2082	1.1977	0.3385	1.4510	0.7290	1.6887	1.3217	1.9013	2.1492
1.9	0.9391	0.1180	1.0897	0.2139	1.2306	0.3478	1.4907	0.7489	1.7298	1.3579	1.9534	2.2081
2.0	0.9635	0.1210	1.1180	0.2194	1.2625	0.3568	1.5294	0.7684	1.7748	1.3932	2.0041	2.2655
2.2	1.0105	0.1269	1.1726	0.2301	1.3242	0.3742	1.6041	0.8059	1.8614	1.4612	2.1020	2.3761
2.4	1.0555	0.1326	1.2247	0.2404	1.3880	0.3908	1.6754	0.8417	1.9442	1.5262	2.1954	2.4817
2.6	1.0986	0.1380	1.2748	0.2502	1.4395	0.4068	1.7438	0.8761	2.0235	1.5885	2.2851	2.5831
2.8	1.1400	0.1432	1.3229	0.2596	1.4938	0.4222	1.8097	0.9092	2.0999	1.6484	2.3713	2.6806
3.0	1.1800	0.1482	1.3693	0.2687	1.5463	0.4370	1.8732	0.9411	2.1736	1.7063	2.4546	2.7746
3.5	1.2746	0.1601	1.4790	0.2903	1.6702	0.4720	2.0233	1.0165	2.3478	1.8430	2.6512	2.9970
4.0	1.3626	0.1711	1.5811	0.3103	1.7855	0.5046	2.1630	1.0867	2.5099	1.9708	2.8343	3.2089
4.5	1.4452	0.1815	1.6771	0.3291	1.8938	0.5352	2.2942	1.1526	2.6622	2.0898	3.0062	3.3982
5.0	1.5234	0.1913	1.7678	0.3469	1.9962	0.5641	2.4183	1.2149	2.8062	2.2028	3.1688	3.5820
6.0	1.6688	0.2096	1.9365	0.3800	2.1868	0.6180	2.6491	1.3309	3.0740	2.4131	3.4713	3.9239
7.0	1.8025	0.2264	2.0917	0.4105	2.3620	0.6675	2.8613	1.4375	3.3208	2.6064	3.7494	4.2383
8.0	1.9270	0.2420	2.2361	0.4388	2.5251	0.7136	3.0589	1.5368	3.5495	2.7864	4.0083	4.5310
9.0	2.0439	0.2567	2.3717	0.4654	2.6782	0.7569	3.2445	1.6300	3.7649	2.9554	4.2514	4.8058
10.0	2.1544	0.2706	2.500	0.4906	2.8231	0.7978	3.4200	1.7182	3.9685	3.1153	4.4814	5.0658
12.0	2.3601	0.2964	2.7386	0.5375	3.0926	0.8740	3.7464	1.8822	4.3473	3.4126	4.9091	5.5493
14.0	2.5492	0.3202	2.9580	0.5805	3.3408	0.9440	4.0465	2.0330	4.6956	3.6860	5.3025	5.9939
16.0	2.7252	0.3423	3.1623	0.6206	3.5710	1.0092	4.3259	2.1733	5.0198	3.9405	5.6686	6.4078
18.0	2.8905	0.3630	3.3541	0.6582	3.7876	1.0704	4.5883	2.3052	5.3243	4.1796	6.0124	6.7965
20.0	3.0468	0.3827	3.5355	0.6938	3.9925	1.1283	4.8365	2.4299	5.6123	4.4057	6.3377	7.1641

表 A.0.2(DN1500~3500)管径、坡度、流速、流量关系表

公称直径 DN (mm)	1500		1800		2000		2500		3000	
管内径 D(mm)	1500		1800		2000		2500		3000	
坡度 I	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
‰	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s	m ³ /s
0.1	0.5200	0.9185	1.7797	4.5265	1.9092	5.9949	5.6599	27.7689	6.3914	45.1554
0.2	0.7354	1.2989	2.1164	5.3829	2.2704	7.1291	6.1722	30.2823	6.9699	49.2423
0.3	0.9007	1.5909	2.3422	5.9572	2.5126	7.8897	6.4931	31.8566	7.3323	51.8024
0.4	1.0400	1.8370	2.5169	6.4014	2.7000	8.4780	6.7308	33.0230	7.6007	53.6991
0.5	1.1628	2.0538	2.6613	6.7686	2.8549	8.9644	6.9212	33.9571	7.8157	55.2180
0.6	1.2738	2.2498	2.7854	7.0843	2.9830	9.3825	7.0807	34.7399	7.9959	56.4909
0.7	1.3758	2.4301	2.8948	7.3626	3.1054	9.7511	7.2185	35.4158	8.1514	57.5899
0.8	1.4708	2.5979	2.9931	7.6126	3.2109	10.0821	7.3400	36.0119	8.2886	58.5593
0.9	1.5601	2.7555	3.0825	7.8401	3.3068	10.3834	7.4489	36.5460	8.4116	59.4278
1.0	1.6445	2.9045	3.1648	8.0493	3.3951	10.6605	7.5476	37.0305	8.5231	60.2157
1.1	1.7247	3.0463	3.2411	8.2434	3.4769	10.9176	7.6381	37.4743	8.6252	60.9373
1.2	1.8014	3.1817	3.3124	8.4247	3.5534	11.1577	7.7216	37.8841	8.7196	61.6037
1.3	1.8750	3.3117	3.3793	8.5950	3.6252	11.3832	7.7992	38.2651	8.8072	62.2232
1.4	1.9457	3.4367	3.4425	8.7557	3.6930	11.5961	7.8718	38.6212	8.8892	62.8023
1.5	2.0140	3.5573	3.5024	8.9080	3.7573	11.7978	7.9400	38.9557	8.9662	63.3462
1.6	2.0801	3.6739	3.5594	9.0529	3.8184	11.9897	8.0043	39.2712	9.0388	63.8593
1.7	2.1441	3.7870	3.6137	9.1912	3.8767	12.1728	8.0652	39.5700	9.1076	64.3451
1.8	2.2063	3.8968	3.6658	9.3235	3.9325	12.3480	8.1230	39.8537	9.1729	64.8065
1.9	2.2667	4.0086	3.7156	9.4504	3.9860	12.5165	8.1781	40.1239	9.2351	65.2460
2.0	2.3256	4.1076	3.7636	9.5723	4.0375	12.6776	8.2307	40.3820	9.2945	65.6656

续表 A.0.2

2.2	2.4391	4.3081	3.8543	9.8031	4.1348	12.9833	8.3294	40.8660	9.4059	66.4526
2.4	2.5476	4.4996	3.9391	10.0187	4.2257	13.2688	8.4205	41.3129	9.5088	67.1794
2.6	2.6516	4.6834	4.0187	10.2212	4.3112	13.5370	8.5051	41.7283	9.6044	67.8549
2.8	2.7517	4.8602	4.0939	10.4124	4.3918	13.7902	8.5843	42.1167	9.6938	68.4864
3.0	2.8483	5.0308	4.1651	10.5935	4.4682	14.0301	8.6586	42.4815	9.7777	69.0796
3.5	3.0765	5.4338	4.3287	11.0097	4.6437	14.5813	8.8271	43.3080	9.9679	70.4236
4.0	3.2889	5.8090	4.4757	11.3835	4.8014	15.0763	8.9758	44.0369	10.1357	71.6089
4.5	3.4884	6.1614	4.6094	11.7236	4.9448	15.5268	9.1088	44.6901	10.2861	72.6710
5.0	3.6771	6.4947	4.7325	12.0865	5.0768	15.9412	9.2296	45.2825	10.4224	73.6344
6.0	4.0281	7.1146	4.9532	12.5979	5.3136	16.6847	9.4423	46.6364	10.6627	75.3318
7.0	4.3508	7.6846	5.1478	13.0928	5.5224	17.3402	9.6260	47.2277	10.8701	76.7974
8.0	4.6512	8.2152	5.3225	13.5373	5.7098	17.9288	9.7880	48.0226	11.0531	78.0900
9.0	4.9334	8.7135	5.4816	13.9418	5.8804	18.4646	9.9332	48.7349	11.2170	79.2483
10.0	5.2002	9.1849	5.6279	14.3140	6.0374	18.9574	10.0649	49.3809	11.3657	80.2989
12.0	5.6965	10.0615	5.8903	14.9815	6.3190	19.8415	10.2969	50.5193	11.6277	82.1499
14.0	6.1530	10.8677	6.1218	15.5701	6.5672	20.6211	10.4973	51.5022	11.8540	83.7482
16.0	6.5778	11.6180	6.3296	16.0987	6.7902	21.3211	10.6739	52.3690	12.0535	85.1578
18.0	6.9768	12.3228	6.5187	16.5797	6.9931	21.9582	10.8323	53.1457	12.2322	86.4208
20.0	7.3542	12.9884	6.6927	17.0223	7.1797	22.5443	10.9759	53.8503	12.3944	87.5665

附录 B 不同充满度的流水断面系数表($n=0.010$)
(规范性附录)

H_0/D_i	$\theta(^{\circ})$	$\theta(\text{rad})$	$\sin\alpha$	A	a 比 (断面比)	β	$\beta^{0.667}$	$\beta^{0.667}$ 比 (流速比)	$a\beta^{0.667}$ 比 (流量比)
1.000	360.0	6.2832	0.0000	0.7845	1.0000	0.2500	0.3967	1.0000	1.0000
0.983	333.0	5.7695	-0.5000	0.7824	0.9962	0.2717	0.4193	1.0570	1.0530
0.950	308.0	5.3808	-0.7848	0.7707	0.9813	0.2865	0.4344	1.0590	1.0745
0.933	300.0	5.2359	-0.8660	0.7627	0.9711	0.2913	0.4392	1.1071	1.0751
0.900	286.0	4.9968	-0.9598	0.7446	0.9481	0.2980	0.4460	1.1243	1.0659
0.854	270.0	4.7124	-1.0000	0.7141	0.9092	0.3031	0.4510	1.1369	1.0337
0.810	256.6	4.4784	-0.9728	0.6814	0.8676	0.3043	0.4522	1.1399	0.9890
0.750	240.0	4.1887	-0.8660	0.6318	0.8044	0.3017	0.4497	1.1336	0.9119
0.700	227.2	3.9653	-0.7337	0.5874	0.7479	0.2963	0.4443	1.1200	0.8376
0.600	203.1	3.5447	-0.3923	0.4921	0.6266	0.2777	0.4255	1.0726	0.6721
0.500	180.0	3.1416	0.0000	0.3927	0.5000	0.2500	0.3967	1.0000	0.5000
0.400	156.9	2.7384	0.3923	0.2933	0.3734	0.2142	0.3578	0.9019	0.3368
0.300	132.8	2.3178	0.7337	0.1980	0.2521	0.1709	0.3078	0.7759	0.1956
0.250	120.0	2.0944	0.8660	0.1536	0.1956	0.1446	0.2779	0.7005	0.1370
0.200	106.2	1.8535	0.9603	0.1117	0.1422	0.1205	0.2438	0.6146	0.0874
0.150	91.1	1.5900	0.9998	0.0738	0.0940	0.0928	0.2048	0.5163	0.04853
0.147	90.0	1.5708	1.0000	0.0714	0.0909	0.0908	0.2019	0.5090	0.04627
0.100	73.7	1.2863	0.9598	0.0408	0.0520	0.0635	0.1590	0.4008	0.02084

1、符号:

H_0 ——管内水深(m)

D ——管道内径(m)

H_0/D ——管道水流充满度；

θ ——管道断面水深圆心角；

α —— $= (1/8)(\theta - \sin\theta)$ ；

α 比(断面比)——不同 h_0/D 时的 α 值与 $h_0/D = 1$ 时的 α 值的比值；

β —— $= (1/4)(1 \sin\theta/\theta)$ ；

$\beta^{0.667}$ 比(流速比)——不同 h_0/D 时的 $\alpha \cdot \beta^{0.667}$ 值与 $h_0/D = 1$ 时的 $\alpha \cdot \beta^{0.667}$ 值的比值；

$\alpha \cdot \beta^{0.667}$ 比(流量比)——不同 h_0/D 时的 $\alpha \cdot \beta^{0.667}$ 值 $h_0/D = 1$ 时的 $\alpha \cdot \beta^{0.667}$ 值的比值。

2、说明：附录 A 为复合管($n=0.01$)在满流条件下，不同管径、不同水力坡降的流速、流量关系。附录 B 是管内水流在不同充满度时的水流有效断面面积、流速、流量于管内漫流状态，即可得出不同管径、不同水力坡降在不同充满度时的流速、流量。当管道内径与附录 A 中管道内径不同时，则按本规程计算式(4.1.1)和(4.1.2)重新计算满流时的流速、流量。

附录 C 柔性管道在各种荷载作用下的 最大弯矩系数和竖向变形系数

C.0.1 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数可按表 C 采用。

表 C 最大弯矩系数和竖向变形系数

项目	弯矩系数			变形系数
	管道自重 k_{gm}	竖向压力 k_{vm}	管内水重 k_{wm}	竖向压力 k_b
系数	0.033	0.138	0.083	0.089

注:支承角取 $2\alpha = 120^\circ$ 。

附录 D 地面车辆荷载对管道作用 标准值的计算方法

D.0.1 地面车辆荷载对管道上的作用,包括地面行驶的各种车辆,其载重等级、规格形式应根据地面运行要求确定。

D.0.2 地面车辆荷载传递到管道顶部的竖向压力标准值,可按下列方法确定:

1 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力标准值可按式计算(图 D.0.2-1):

$$q_{ik} = \frac{Q_{ik}}{(\alpha_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)} \quad (\text{D.0.2-1})$$

式中: q_{ik} ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值(kN/m^2);

Q_{ik} ——车辆的 i 个车轮承担的单轮压标准值(kN);

α_i —— i 个车轮的着地分布长度(m);

b_i —— i 个车轮的着地分布宽度(m);

H ——自车行地面至管顶的深度(m)。



(a) 顺轮胎着地宽度的分布

(b) 顺轮胎着地长度的分布

图 D.0.2-1 单个轮压的传递分布图

2 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值,可按式计算(图 D.0.2-2):

$$q_{ik} = \frac{nQ_{ik}}{(\alpha_i + 1.4H)(nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{ij} + 1.4H)} \quad (\text{D.0.2-2})$$

式中: n ——轮胎的总数量;

d_{by} ——沿车轮着地分布宽度方向,相邻两个车轮间的净距(m)。

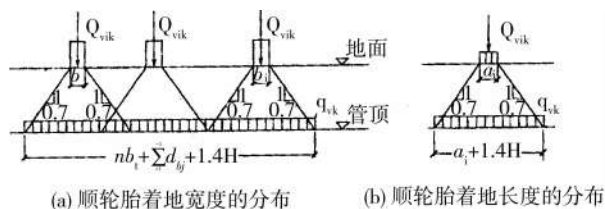


图 D.0.2-2 两个以上单排轮压综合影响的传递分布图

3 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值,可按下式计算:

$$q_{nk} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{vik}}{\left(\sum_{i=1}^{m_a} a_i + \sum_{j=1}^{m_a-1} d_{by} + 1.4H \right) \left(\sum_{i=1}^{m_b} b_i + \sum_{j=1}^{m_b-1} d_{by} + 1.4H \right)} \quad (\text{D.0.2-3})$$

式中: m_a ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数;

m_b ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数;

d_{by} ——沿车轮着地分布长度方向,相邻两个车轮间的净距(m)。

引用标准名录

- 1 《玻璃纤维增强塑料顶管》 GB/T21492
- 2 《高密度聚乙烯缠绕管》 GB/T19472
- 3 《玻璃纤维增强塑料夹砂管》 GB/T21238
- 4 《室外排水设计规范》 GB50014
- 5 《给水排水工程管道结构设计规范》 GB50332
- 6 《给水排水管道施工及验收规范》 GB50268
- 7 《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》 GB50032
- 8 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB50068
- 9 《工程结构可靠度设计统一标准》 GB50153

本规程用词说明

1 为便于执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时,写法为“应按……执行”或“应符合……要求(规定)”。

3 非必须按所指定标准执行时,写法为“可参照……执行”。

重庆市工程建设标准

夹砂玻璃钢 (GRP) 塑料 (PE) 复合顶管
管道技术规程

DBJ50/T-148-2012

条文说明

2012 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	49
2	术语	50
3	顶管工程勘察	51
3.1	一般规定	51
3.2	地下水勘察	51
3.3	布孔要求	51
3.4	勘察报告	52
3.5	提供岩土物理力学指标的基本要求	52
4	复合顶管管道	53
5	水力计算	54
6	顶管结构设计	57
6.1	一般规定	57
6.2	承载能力极限状态计算规定	57
6.3	正常使用极限状态验算规定	58
6.4	管道允许顶力验算	58
6.5	管道强度计算	59
6.6	稳定验算	60
6.7	管道竖向变形验算	61
6.8	顶管结构上永久作用标准值	61
6.9	顶管结构上可变作用标准值及其准永久值系数	62
7	顶管施工	63
7.2	顶管机	63
7.3	顶管机的选择	63
7.4	顶力估算	64
7.5	减阻措施	64

7.6	测量	66
7.7	顶进设备	67
7.8	顶进	68
7.9	进洞	70
7.10	减少地面沉降措施	70
8	顶管施工监测及验收标准	71
8.1	顶管施工监测	71
8.2	工程验收标准	71

1 总 则

夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合顶管管材是一种新型化学复合管材,具有重量轻、耐腐蚀、管壁光滑,过流能力大,密封性能好、使用寿命长、运输安装方便、施工速度快、工期短等特点。用作非开挖技术的顶管用管材,具有良好的使用性能、但在设计上存在不同于一般排水管的特殊要求。

第1.0.1、1.0.2、1.0.3、1.0.4、1.0.5条明确了编制本规程的目的和使用范围。

第1.0.6~1.0.8这几条明确了编制依据及其它相关标准衔接关系。

2 术 语

2.0.1、2.0.2、2.0.3、2.0.4、2.0.5、2.0.6、2.0.7、2.0.8 均为本规程中采用的管材专用名词。

重庆工程建设

3 顶管工程勘察

3.1 一般规定

3.1.1 应查明地层结构特征及各类土的空间分布,供顶管选位参考,发现不稳定土层或岩石层应特别提示。

3.2 地下水勘察

3.2.1 地下水勘察时的水位不是最高水位也不是最低水位。最高水位和最低水位应向当地水文部门查询。

3.3 布孔要求

3.3.1 勘探孔布置在轴线两侧,不要布置在轴线上,以避免对顶管的不利影响。

3.3.3 本条参照现行行业标准《市政工程勘察规范》CJJ 56,场地分类见下表。

表 3.3.3 场地分类

I 类土	II类土	III类土
1. 按现行的国家规范《建筑抗震设计规定》GB50011划分的对建筑抗震危险的场地和地段。 2. 不良地质现象强烈发育。 3. 地质环境已经或可能受到强烈破坏。	1. 按现行的国家规范《建筑抗震设计规定》GB50011划分的对建筑抗震不利的场地和地段。 2. 不良地质现象不一般发育。 3. 地质环境已经或可能受到一般破坏。	1. 地震设防烈度为 6 度或 6 度以下,或按现行的国家规范《建筑抗震设计规定》GB500011 划分的对建筑抗震有利的场地和地段。 2. 不良地质现象不发育。 3. 地质环境基本未受破坏。

续表 3.3.3

I类土	II类土	III类土
4. 地形地貌复杂。5. 岩土种类多,性质变化大,地下水对工程影响大,且需特殊处理。 6. 变化复杂,作用强烈的特殊性岩土。	4. 地形地貌较复杂。 5. 岩土种类较多,性质变化较大,地下水对工程有不利影响。 6. 不属于 I 类的一般特殊性岩土。	4. 地形地貌简单。 5. 岩土种类单一,性质变化不大,地下水对工程无影响。 6. 非特殊性岩土。

注:1 表中未列项目可按其复杂性比照推定;

2 从 I 类开始,向 II 类、III 类推定,6 项中其中一项属于 I 类,即划为 I 类,划为 I 类场地,依次类推。

3.4 勘察报告

3.4.1~3.4.6 勘察报告内容应根据任务要求,勘察区的地理、地质特征和工程地质环境特征,以及市政工程建设项目的具体情况确定。为便于工作,本节规定了勘察报告内容的基本要求,这些内容可根据上述原则作适当增减。对地质条件简单和勘察工作量小的工程,勘察报告可适当简化,采用图表形式,并附必要的文字说明。

3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求

3.5.1~3.5.3 本节要求提供的物理力学的基本要求,是针对顶管工程的必需资料。第 3.5.3 条所列的土层物理力学系数是顶管设计和施工的必需参数,不同于一般的工程勘察项目。勘察部门编写勘察报告时应参照勘察行业的有关规范编写。

本章的内容主要参考了现行行业标准《市政工程勘察规范》GJJ 56 和上海市工程建设规定《地基基础设计规范》DGJ 08-11。

4 复合顶管管道

4.1 硬聚氯乙烯及高密度聚乙烯的粗糙率系数 n , 选用值为 0.010。规定的计算公式与《室外排水设计规范》(GB50014) 的规定是一致的。

4.2 ~ 4.5 最大设计充满度、最小设计流速、最大设计流速等, 是根据《室外排水设计规范》(GB50014) 确定的。考虑到缠绕管粗糙系数小、耐磨损的特点, 在有充分依据的前提下, 对最小设计流速、最大设计流速的要求可作适当放宽。

5 水力计算

5.1.1 规定的管道结构设计验算内容都参照《给排水工程管道结构设计规范》(GBJ50332)制定的。

5.1.2 管道的刚性由下式判别

$$\lambda = (E/E_d)(\delta/D_c)^3$$

当 $\lambda < 1$ 时,为柔性管;当 $\lambda > 1$ 时为刚性管。

式中: λ ——管道刚性指数;

E ——管道材料弹性模量;

E_d ——管区填土的综合变形模量;

δ ——管壁厚度;

D_c ——管径中径。

缠绕管的 λ 远小于 1,属于柔性管。

柔性管与刚性管在力学性能上有差别,主要表现以下几个方面:

1 柔性管所承受的竖向压力往往小于管侧土所受的竖向土压力;

2 柔性管的变形较大,设计计算时不能忽略变形的影响,在结构分析时定要注意采用力学公式的前提条件是否满足;

3 柔性管在发生变形时,管道周围填土产生抗力,约束管道变形的发展这种机制管土共同承担上部荷载的承力系统。管道周围(管区)填土质量的好坏对管道的工作状态影响较大。

4 柔性管抗地震特性以及适应地基不均匀沉降等方面都优于刚性管,这已为国内外工程实例所证实。

5.1.3 塑料材料的蠕变和应力松弛现象发生的充分必须条件是持久作用力,各种材料的长期强度指标则是反映了在上述条件下,材料的应力和应变力随时间的变化过程,并不表明材质强度

的降低。很显然在持久负荷作用下塑料材料必然产生持久的应力,因而会产生蠕变及应力松弛,所以采用的强度指标应为长期强度设计值。当 PE 缠绕管道受到可变荷载和偶然荷载作用时,没有做足够时间发生蠕变和应力松弛,因此在结构计算中应采用材料的短期强度设计值。这一原则在美国 AASHTO《高速公路及桥梁设计规程》中也作了明确的规定。

复合管道的强度均取决于 PE 缠绕管和玻璃钢的刚度及强度,因此结构分析中应按 PE 缠绕管和玻璃钢的强度计算。

本规程第 5.1.2 ~ 5.2.10 条主要参照《给排水工程管道结构设计规范》(GBJ50332)制定的。其计算公式均为通用的计算方法。

5.2.1 国外规范 AS2566、AWWAC950 和 AASHTO 等都规定管道长期容许变形率为 5%。经过对埋设多年的 PE 缠绕管的观测与研究证实,5%的变形率对管壁强度及管内水流流态无甚影响,资料显示当管道变形率为 5%时,对管道水流充满度影响仅为 0.25%,国外埋地 17 年的 PE 管的强度降低在 5% ~ 10% 范围内,从施工方面考虑,满足 5%的变形率的管区填土密实度要求,国内施工技术水平不难达到。

城镇排水管道几乎无可避免地受到了边荷载的作用,而施工荷载在室外排水工程总是要发生的,为了控制管道总变形率,有必要对施工变形加以限制,有关实测结果表明,只要按规定施工,施工结束时管道变形一般不超过 3%,而发生在运行期的滞后变形仅占前者的 25% ~ 50%。

5.2.7 在组合荷载作用下,垂直方向的管道变形国内外(除日本外)广泛采用 Spangler 修正的 Iowa 公式(也称为 Spangler 公式或 Iowa 公式),因此本规程与同类规范一致,也采用这一公式进行计算。Spangler 认识到,在土壤管子系统中,像所有包括土壤的工程系统一样,管子两边土壤的固结作用在管子安装以后,还随着时间在继续。他的经验证明,变形可能在 40 年里增长 30%。因此,

他建议采用变形滞后系数 1.5, 作为保守的设计方法。但 Spangler 公式(或 Iowa 公式)中采用的荷载是永远柔性管打 Marston 荷载。对于大多数埋地管道安装工程来说, 棱柱荷载至少为 Marston 荷载的 15 倍, 如果设计采用棱柱土荷载, 设计应采用变形滞后系数 $D_L = 1.0$ 。

美国聚乙烯波纹管协会(CPPA)资料《聚乙烯波纹管的结构设计方法》中的变形设计也采用 Iowa 公式, 公式中 W_c 为棱柱土荷载, 变形滞后系数 D_L 用棱柱土荷载时等于 1.0。《聚乙烯波纹管的结构设计方法》中还提到: 在设计方法用棱柱土荷载来计算土壤负载。棱柱土荷载有时称为柱状负载, 它的定义是直接管材外直径以上的土壤棱柱体的重量。这是非常保守的做法, 因为这是管材可能承受的最大的土壤荷载。在现实中, 因为土壤颗粒间的摩擦和凝聚, 实际的负载要明显地小于棱柱土荷载。

5.2.8 该部分内容参考了国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332 的规定。

5.2.9 由于资料较少, 缠绕管的抗外压稳定计算还不能采用基于概率的极限状态法。稳定安全系数的取值, 国内一般都取 2.00。

5.2.10 条都是国内通常采用的管道抗浮进似计算公式。

5.2.11 顶力计算根据《玻璃纤维增强塑料顶管》GB/T21492 - 2008 标准中附录 F 顶力计算方法来计算。

6 顶管结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量管道结构的可靠度,除管道的稳定验算外,均应采用分项系数的设计表达式进行设计。

6.1.2 夹砂玻璃钢(GRP)塑料(PE)复合管按柔性管计算。

6.1.3 管道结构设计应计算下列两种极限状态:

1 承载能力极限状态:顶管结构纵向超过最大顶力破坏,管壁因材料强度被超过而破坏;柔性管道管壁截面丧失稳定;管道的管段接头因顶力超过材料强度破坏;

2 正常使用极限状态:管道的竖向变形超过正常使用的变形限值。

6.1.4 管道结构的内力分析,应按弹性体系计算,不考虑由非线性变形所引起的塑性内力重分布。

6.2 承载能力极限状态计算

6.2.4 顶管的计算分四个工况:顶管期间、空顶期间、管内满水、使用期间。

顶管期间管内不可能有水、水压,也没有温差作用,顶管计算只考虑顶力。当采取注浆减阻并且浆液确实饱满时,管外水压力和地面堆载可以不计,只承受减阻泥浆压力,此工况不是受力控制工况,所以在计算组合中不考虑。管内满水工况不同于使用工况,因为管内静水压力,对管壁横截面弯矩起控制作用。当不使用减阻泥浆施工时,施工阶段管道计算可参照使用阶段工况设

计,并应考虑顶力作用,但不考虑温度作用。

6.2.5 验算柔性管截面稳定时,竖向土压和侧向土压应分别按本规程第 6.8.2 条和第 6.8.3 条所列公式计算,地面车辆或地面堆积荷载是否考虑视计算土柱高度决定。

使用期间承载能力和稳定验算时,对于钢管应扣除腐蚀厚度,对于玻璃纤维增强塑料夹砂管应考虑老化系数和长期作用的强度值。而施工阶段则不应考虑这些因素。

6.3 正常使用极限状态验算规定

6.3.1 管道结构按正常使用极限状态进行验算时,各项作用效应均应采用作用代表值。

6.3.2 当验算构件截面的最大裂缝开展宽度时,应按准永久组合作用计算。作用效应的组合设计值应按下式确定:

$$S = \sum_{i=1}^n C_{G_i} G_{ik} + \sum_{j=1}^n \varphi_{q_j} C_{q_j} Q_{jk} \quad (6.3.2)$$

式中: φ_{q_j} ——第 j 个可变作用的准永久值系数,应按本规程第 6.9 节的有关规定采用;

C_{G_i}, C_{q_j} ——永久荷载和可变荷载作用效应系数;

G_{ik}, Q_{jk} ——永久荷载和可变荷载标准值。

6.3.3 正常使用极限状态验算时,作用组合工况可按本规程表 6.2.4 的规定采用。

6.3.4 钢管内防腐为水泥砂浆时,其最大竖向变形不应超过 $0.02D_0$,超过此值以后,砂浆会因此而开裂。如果采取措施提高水泥砂浆抗裂性能,钢管变形也可以控制到 $0.03D_0$ 。如果先顶管,水泥砂浆在顶管后再抹,水泥砂浆就不易开裂。

6.4 管道允许顶力验算

6.4.1 夹砂玻璃钢(GRD)塑料(PE)复合管顶管传力面允许最

大顶力可按下式计算:

$$F_{db} = 0.5 \frac{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3}{\gamma_{Q,d}} f_b A_p \quad (6.4.1)$$

式中: F_{db} ——管道允许顶力设计值(N);

φ_1 ——材料受压强度折减系数,可取 0.90;

φ_2 ——偏心受压强度提高系数,可取 1.00;

φ_3 ——材料脆性系数,可取 0.80;

f_b ——受压强度设计值(N/mm²);

A_p ——管道的最小有效传力面积(mm²);

$r_{Q,d}$ ——顶力分项系数,可取 1.3。

6.5 管道强度计算

6.5.1 管道的强度应按下列公式计算:

$$\gamma_0 \eta_1 (\varphi_c \sigma_{th} + d_f \gamma_c \sigma_{tm}) \leq f_{th} \quad (6.5.1)$$

$$\gamma_0 \varphi_c \sigma_{th} \leq f_{th} \quad (6.5.1)$$

$$\gamma_0 \sigma_{tm} \leq f_{tm} \quad (6.5.1)$$

式中: σ_{th} ——管道内设计水压力产生的管壁环内向等效折算拉伸应力设计值(MPa);

σ_{tm} ——在外压力作用下,管壁最大的环向等效折算弯曲应力设计值(MPa);

f_{th} ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值(MPa);

f_{tm} ——管材的环向等效折算抗弯强度设计值(MPa);

α_f ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值与等效折算抗弯强度设计值的比值;

γ_c ——管道的压力影响系数。对重力流排水管道应取 1.0,对有压力管道可按表 6.5.1 取值;

η_1 ——应力调整系数,可取 0.8。

表 6.5.1 管道压力影响系数

管道工作压力 F_{wd} (MPa)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
γ_0	0.93	0.87	0.80	0.73	0.67

注:其他工作压力的影响系数可取线性插值。

6.5.2 管道设计内水压力产生的管壁环向等效折算拉应力按下式计算:

$$\sigma_{th} = \frac{\gamma_0 F_{wd,k} D_0}{2t} \quad (6.5.2)$$

式中: $F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值(MPa);

γ_0 ——管道的内水压力分项系数,可取 1.4。

6.5.3 管道的外压力作用下,管壁最大的环向等效折算弯曲应力可按下式计算:

$$\sigma_{em} = D_f E_p \left(\frac{\omega_{d,max}}{D_0} \right) \left(\frac{t}{D_0} \right) \quad (6.5.3-1)$$

$$S_N = \frac{E_p t^3}{12 D_0^3} \times 10^6 \quad (6.5.3-2)$$

式中: $\omega_{d,max}$ ——管道的最大长期竖向变形(mm),可按本规程公式 6.7.1-1 计算;

E_p ——管材的环向弯曲弹性模量(MPa);

D_f ——管道的形状系数,刚度等级 (S_N) 为 15000N/m² 时,可取 $D_f = 3.8$;刚度等级为 2000N/m² 时,可取 $D_f = 3.2$;

t ——管壁厚度(mm)。

6.6 稳定验算

6.6.1 管道的管壁截面环向稳定验算,应满足下式的要求:

$$F_{\sigma,k} \geq K_x (F_{w,k} + Q_{ik} \times 10^{-3} + F_{vk}) \quad (6.6.1)$$

式中: $F_{\sigma,k}$ ——管壁截面环向失稳的临界压力标准值(N/mm²);

K_x ——管壁截面环向稳定性抗力系数,不应低于 2.5;

$F_{w,k}$ ——管外水土压力标准值(N/mm^2);

Q_{ik} ——地面堆载或车辆轮压传至管顶的压力标准值
(N/mm^2)。

6.6.2 管壁截面环向失稳的临界压力按下式计算:

$$F_{\sigma,k} = \frac{8 \times 10^{-6} S N (n^2 - 1)}{(1 - \nu_p^2)} + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + \nu_s)} \quad (6.6.2)$$

式中: n ——管壁失稳时的折绕波数,其取值应使 $F_{\sigma,k}$ 为最小并
不小于 2 的正整数;

E_d ——管侧土的变形模量(N/mm^2);

ν_p ——管材的泊桑比,可取 0.3;

ν_s ——管两侧土的泊桑比,一般对砂性土取 0.3,对粘性土
取 0.4。

6.7 管道竖向变形验算

6.7.1 管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大长期竖向变
形 $\omega_{d,\max}$ 可按下式计算:

$$\omega_{d,\max} = \frac{(F_{w,k} + \varphi_q Q_{ik}) D_1 k_b}{8 \times 10^{-6} S N + 0.061 E_d} \quad (6.7.1)$$

式中: k_b ——竖向压力作用下变形系数按本规程附录 C 确定;

φ_q ——地面作用传递至管顶压力的准永久值系数。

6.8 顶管结构上永久作用标准值

6.8.2 管项覆盖层的竖向土压力公式取自现行国家标准《给水
排水工程管道结构设计规范》GB 50332 附录 D。

原公式只考虑土的内摩擦角 φ ,未考虑的粘聚力 C ,本规程

根据美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCD 27-00 考虑了内摩擦角和粘聚力共同作用,对于顶管而言比较符合真实情况,但由于粘聚力在土工试验时离散性较大,为确保安全,建议 C 值取试验成果的最低值。砂性土也可考虑 C 值,美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCD 27-00 规定:对于粉质砂土 C 可取 4800 N/m^2 。干燥的松砂时 C 取 0。美国标准取 $B_t = D_1$,本规程在送审稿查后决定取 $B_t = D_3[1 + tg(45^\circ - \frac{\varphi}{2})]$,与现行国家标准《给水排水管道结构设计规范》GB 50332 协调一致。关于 K_{α} ,本规程则按美国标准《预制混凝土管顶管设计规范》ASCD 27-00 按土质分别取值。

6.8.3 当覆盖层土体部分在地下水以上,部分在地下水以下时,地下水以上土重取实重,地下水以下土重取有效重度。

管道处于地下水以下时,计算竖向压力和水平侧压力时都采用水土分算。有地下水时计算结果比没有地下水时要小,因此地下水位应选取较低的水位比较安全。

6.9 顶管结构上可变作用标准值及其准永久值系数

6.9.1 本规程表 6.9.1 摘自现行国家标准《给排水工程管道结构设计规范》GB 50332。

6.9.4 地面堆积荷载与地面车辆轮压不考虑同时作用,当垂直土压力计算的土柱高度大于顶管埋深时,这两项都可不考虑。

6.9.5 温差指冬季或夏季管内水温与顶管埋置深度的土体温度之差。

7 顶管施工

7.2 顶管机

7.2.1 说明

有无地下水,对土的性能影响很大。顶管机根据有无地下水分为两大类。地下水位以下的大多数土层不够稳定,一般需要采用具有平衡功能的顶管机。

目前我国顶管已处于发展成熟期,顶管机的机型很多,性能各异。仅以泥水平衡式顶管机为例,还可分为泥水平衡、泥水土压平衡、带轧石功能的、带破岩功能的泥水平衡顶管机,其中一些机型比较成熟,还有一些不够成熟,还需要时间的考验,所以把某些顶管机列入规程,条件还不够成熟。

纵观国内外的顶管机,用平衡功能分类是比较可行的,既有指导意义,又有实用价值。例如世界上第一条超千米的顶管工程——德国汉堡下水道顶管工程所采用的是气压平衡式机型。如今有了许多高性能顶管机,但气压平衡式在复杂地层中仍然被采用,而且还在提高。

7.3 顶管机的选择

7.3.1~7.3.4 根据单一地层选择顶管机可直接按本规程表7.3.1选取。根据复杂地层选择顶管机就比较复杂,要选择对所有土层均符合“可选机型”或“首选机型”的机型。适合复杂地层顶管机早期常用的是气压平衡式,现在趋向于泥水平衡式。国外除泥水平衡式外还有混合式机型。

混合式机型是专门为特定工程而研制的,有其局限性,不是

通用机型。

7.4 顶力估算

1 为什么称估算?

经过多年来的施工实践,影响顶力的主要因素是土的性质、管道弯曲大小和施工技术水平高低。在同样的土层中顶管,施工人员操作方法不同,顶力也有所不同。因此顶力计算公式有一定误差。

2 估算公式中不反映土压力。

本规程的估算公式不采用与土层高度有关的理论公式。原因如下:

- 1) 以往的理论公式,计算顶力普遍偏大,实际上很少采用此类公式指导施工。
- 2) 现代的顶管队极短的顶管外,都需要减阻措施。减阻的基本措施是扩孔。地下水位以上的顶管,极大部分土层比较稳定,扩孔后管道不直接承受土压力作用这是显而易见的。地下水位以下的顶管,扩孔后管道与土层之间压注减阻泥浆,管道是浮在泥浆套中向前移动的,管道不直接承受土压力作用。
- 3) 实践证明管道顶力与覆盖层高低无关。最直观的证明是采用中继间的顶管,经测试同一中继间在不同深度的覆盖层下经过时,中继间的顶力对覆盖厚度变化无明显反映。

7.5 减阻措施

7.5.2 目前顶管减阻的基本措施是扩孔。地下水位以上的顶管,通常按 120° 扩孔,如果土质硬、阻力大,可按图 2 所示的顶管

头扩孔,方法简单,但是在顶管完工后,对空隙应采取吹砂措施,保证管道在使用阶段的受力。用超挖扩孔不是好办法,管道的摩阻力主要是由管道与土在管底摩擦造成的,施工时可在管底涂抹非亲水减阻剂进一步减少摩阻力。如忽略管道弯曲,管道顶进阻力可按管道自重乘以摩擦系数估算。

地下水位以下顶管的扩孔,四周扩大成圆形。扩孔后的间隙注满减阻泥浆(减阻泥浆包括膨润土触变泥浆和化学泥浆),管道浮在泥浆中向前移动。

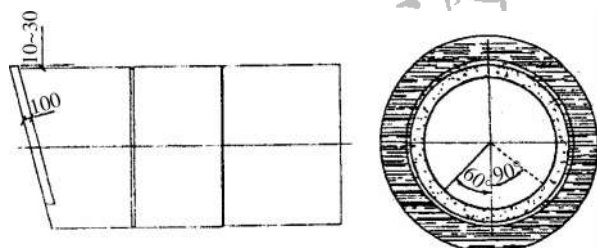


图2 无地下水稳定土层的扩孔示意图

7.5.8 预留注浆孔。

管道中增加预留注浆孔是近年来的经验,这对减小管道摩阻力、预防摩阻力突升是很好的办法。管道在顶进过程中,由于种种原因摩阻力突升时有发生。遇到这种情况可采用增虽加补浆孔,加大补浆量来减少摩阻力,使管道恢复正常顶进。最典型的例子是2004年发生广东省过陈村水道的顶管,管道内径DN2200的钢管,全长近400m。管道顶进到170余米时,顶力猛增到12000Kn,后背墙体移动,顶管被迫停止。经过一个多月后背墙重建施工,很担心管道能否启动。增加顶力又怕管道受损,已经没有余地。后决定用增加补浆孔大面积补浆。每隔6m增设一环补浆孔,每环3孔。全面连续注浆后,管道在第四天顶动,不久顶力很快下降到近8000kN,管道恢复正常顶进。

经过不断的摸索,有经验的施工人员,已经找到注浆的办法保持管道在低摩阻力下顶进的规律。这就是备足补浆孔,哪里摩

阻力大,就在哪里补浆,防患于未然,而且非常经济。

7.5.9 补浆孔间距。

补浆孔的间距与泥浆的稳定性、泥浆的流失有关。公式中减阻泥浆失效期“T”值的取用,泥浆稳定、流失少的土层取大值,反之取小值。当管道顶进速度减慢时,可按此经验公式启用补浆孔,特别是遇事故阶段,更应如此。泥浆是否失效,还可通过打开未启用的补浆孔取样检查,但要避开管顶的补浆机,因为管道在泥中是浮的,管顶与土接触紧密,不能反映真实情况。在管道的弯曲段,又要避开弯曲段内的补浆孔,此处管道的管壁与土可能直接接触,也不能反映泥浆的真实情况。

7.5.13 补浆能使摩阻力降低,但是处在流塑性土中的管段,如不加限止大量补浆,注浆压力足够使洞穴扩大。覆盖层薄,扩大方向必然向上。

7.6 测量

关于长距离顶管和曲线顶管和曲线顶管中定向测量的说明。

在全球定位系统尚未引入顶管机以前,长距离顶管和曲线顶管中定向测量的基本方法是经纬仪导线法。

1 管道内布置多台全站仪,依靠全站仪的优势,在短时间内通过计算机测定经纬仪导线,指出管道顶进方向。

2 管道内设置一台普通经纬仪,一个规标,两者均布置在顶管机的后部。顶管机上的标尺、经纬仪、后视标觇标三者间保持一定的距离,并与管道固定,随管顶进而推进。施工中管道的指向就是靠三者的关系确定的,由经纬仪指向。三轴坐标是根据事先测定的实际管轴线计算所得。施工中可以根据顶管机顶进方向。采用这一方法,速度快、相对精度高,能满足顶管施工的需要。但不能消除经纬仪导线误差。

VMT 公司的 SLS - RV 导向系统,同样是建立在经纬仪导线

法之上的,与上面的第二种方法是同一类型的。它的优点是已商品化。

在长距离顶管中,为了提高定向误差,采用陀螺经纬仪是可行的。1986 年在我国第一根超和距离顶管中采用的是中误差为 10s 的陀螺经纬仪,如采用 5 秒级、1 秒级的陀螺经纬仪,顶管定向精度还会进一步提高。

7.7 顶进设备

主油缸合力中心宜低于管中心,宜低于管道外径的 $1/10 \sim 1/8$ 。顶管机正面阻力可分妥成三角形和矩形两部分,矩形部分的合力中心通过管中心,三角形部分的合力中心低于管中心。如果是特殊的矩形断面顶管机,三角形荷载的合力中心离低面为高度的 $1/3$,即此断面中心低高度的 $1/6$,正面阻力计算图式详见图 4。

因为此处管道是圆形断面,三角形荷载的合力中心计算如下:

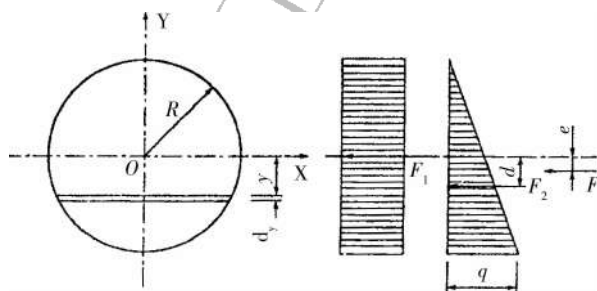


图 4 正面阻力计算图纸

假设三角形的底边压力强度为 q ,三角形阻力的强度方程为:

$$P = \frac{q}{2R}(R - y)$$

三角形阻力:

$$F_2 = \frac{q}{2} \cdot \pi R^2 = \frac{\pi R^2}{2} \cdot q$$

三角形阻力的合力中心可通过积分求得：

$$F_2 d = \int_0^R \frac{q}{2R} (R - y) \cdot y \cdot 2\sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy$$

$$= q \left[\int_0^R y \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy - \int_0^R \frac{1}{R} y^2 \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy \right]$$

积分后得

$$\frac{\pi R^2 q}{2} \cdot d = -\frac{\pi}{8} q R^3$$

$$d = -\frac{1}{4} R$$

三角形阻力的合力中心比管中心低 $R/4$ 。由此可见，圆形断面与矩形断面的三角形阻力合力中心是有区别的。

$$e = \frac{F_1 \cdot O + F_2 \cdot d}{F} = \frac{F_2 d}{F_1 + F_2}$$

当 $F_1 = 0$ 时， F_2 的合力中心就是 F 的合力中心。当 $F_1 > F_2$ 时， F 的合力中心接近管中心。这说明覆盖层较厚时，不能忽视三角形阻力的影响，顶力的合力中心要低于管中心，低近 $R/4$ 。管道穿墙时，顶管机入土较浅，土的支承面较小，支撑面的应力就较大，顶管机容易下沉。入土深度增加后支撑面应力很快就减少，顶管机不再下沉。为了防止穿墙初期顶管机下沉，顶力的合力中心也应偏下。

一方面覆土较薄时，合力中心需要下移，另一方面，穿墙时为防止管道下偏，合力中心也需要下移。所以顶力合力中心一般要求低于管中心，低 $R/5 \sim R/4$ 。

7.8 顶进

7.8.3 顶管机测量觇标宜接近管端。顶管纠偏依据的是顶管机

端面的中心偏差,但顶管机偏差测量觇标无法进入出泥舱,又要避开动力设备,往往设在第二段,所以觇标上测得的偏差不能代表顶管机端部偏差,特别是在纠偏阶段差别更大。觇标越接近管端,两者差别就越小。如果能换算到端部,对纠偏更有利。建议按图5推算顶管机端部中心偏差来指导纠偏。这一方法已经在多个工程中实施,收到了很好的效果。

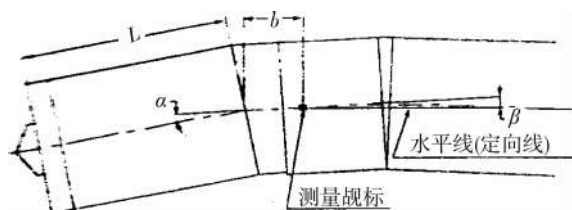


图5 管端偏差推算图

7.8.11 顶管机纠偏不宜追求零偏差。

1 追求零偏差必然要经常纠偏,效果适得其反,因为纠偏角存在误差,小偏差纠偏反而会造成管轴线摆动。

2 顶管机的测定偏差还有误差的,假设1000m的方向中误差是 $\pm 50\text{mm}$,如果测量偏差为“0”,实际偏差可能是 $+50\text{mm}$,也可能是 -50mm ,在此范围内都是正确的。也就是如偏差在中误差范围内,纠偏是没有必要的。根据误差理论,再结合顶管施工,只有偏差超过2倍中误差才可以考虑纠偏,纠偏前还应根据偏差的大小、发展趋势决定如何纠偏,并力求管道轴线平稳过渡。

7.8.14 顶管应防止管轴线纵向失稳。

防止管道失稳是近年来从工程中提出来的,到目前为止已有数个工程发生管道失稳,后果严重,因此必须引起注意。本条中列举的管道失稳原因,有的已在工程上发生,有的经分析很有可能发生,例如曲线顶管的转弯半径过小。下面是几个实例:

1 不稳定土体会造成管轴线移动,例如深圳妈湾工程中,由于填海造地,深层土移动,造成管轴线下沉和偏移。

2 厦门污水排海工程顶管,管道大部分处于软土层,土体承

载低(容重仅 1.39kN/m^3),再加上施工偏差大,顶管机通过软土层后遇上砂层,顶力增加,造成中继间上拱,最大达 1.6m 。后来通过外力将管轴线基本复位,管道才得以继续顶进。

3 某一工程由于覆盖层薄,管道轴线又向上弯曲,中继间移到弯曲段,侧向分力使覆盖层向上移动,因此造成管轴线向上弯曲,达 1.28m 。

4 软粘土中触变泥浆过量注浆,也会造成轴线移动。某一工程,管道在淤泥质土层中顶进,由于过量压注触变泥浆,土层抬高,洞穴扩大,管道向上移动约 800mm ,这一情况却正好发生在管道向下弯曲段,虽没有造成不良后果,但这一管道上浮的事实,是值得引起注意的。过量压浆造成管道上浮也可能造成管道失稳。

7.9 进洞

7.9.1 进洞前减慢顶进速度。

进洞多发的事故是顶管机正面阻力太大,造成接收孔闷板被顶开,或板桩墙向井内鼓起,结果造成涌土、塌方和流砂。最好的解决办法是减慢顶进速度,减少顶管机的正面阻力,使顶管机平稳地进入墙洞,接近闷板。这种情况对周围的土体扰动最小,可避免上述不良后果。

7.10 减少地面沉降措施

7.10.4 在路面下顶进,如果发生超量出泥的情况,路面不会立刻下沉,如果施工时路面已经发生了较大的坍塌,会使路面下方塌方严重,并产生孔洞。

因此,在路面下顶进应采取以下措施:

1 顶管机的正面阻力宜取大值,可将路面转换成等代土体高度计算正面阻力;

- 2 加强地面沉降观察,严格控制地面下沉。

重庆工程建设

8 顶管施工监测及验收标准

8.1 顶管施工监测

顶管是非开挖作业,施工中必须保障地面上相关建筑和设施的安全,施工方案中应有监测点布置和监测方案的内容,由于监测对象的重要性可能有所不同,监测内应相应变化。

8.2 工程验收标准

8.2.1 在本规程表 8.2.1 中,顶管管道顶进允许误差,来源于现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268。

8.2.2 在本规程表 8.2.2 中,水平管道内垂直顶升施工的允许偏差来源于现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268。

8.2.4 土堤和公路级别不同要求也应不同,本规程所列土堤是指防洪大堤;公路是指国家级公路。本规程第 8.2.4 条中第 1 款和第 2 款应同时执行。