

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50423 - 2013

油气输送管道穿越工程设计规范

Code for design of oil and gas transportation pipeline
crossing engineering

2013 - 12 - 19 发布

2014 - 07 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

油气输送管道穿越工程设计规范

Code for design of oil and gas transportation pipeline
crossing engineering

GB 50423-2013

主编部门:中国石油天然气集团公司

批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期:2 0 1 4 年 7 月 1 日

中国计划出版社

2013 北 京

中华人民共和国国家标准
油气输送管道穿越工程设计规范

GB 50423-2013

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 4.625 印张 114 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

☆

统一书号: 1580242·299

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 267 号

关于发布国家标准 《油气输送管道穿越工程设计规范》的公告

现批准《油气输送管道穿越工程设计规范》为国家标准，编号为 GB 50423—2013，自 2014 年 7 月 1 日起实施。其中，第 3.3.3、4.1.2、5.1.9、6.1.9、7.2.9 条为强制性条文，必须严格执行。原《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423—2007 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2013 年 12 月 19 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2011 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》(建标〔2011〕17 号)的要求,本规范由石油工程建设专业标准化委员会组织中国石油天然气管道工程有限公司会同有关单位在国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423—2007 的基础上进行修订而成。

修订过程中规范编制组结合近年来油气管道穿越工程的建设实践,经广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国际标准和国内先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本规范。

本规范共分 8 章和 7 个附录,主要技术内容为:总则,术语,基本规定,挖沟法穿越设计,水平定向钻法穿越设计,隧道法穿越设计,公路、铁路穿越设计,焊接、试压及防腐等。

本规范修订的主要技术内容是:1)在“3 基本规定”中,删除了原规范的“3.5 铁路(公路)穿越”、“3.6 隧道穿越位置的选择”两节,将其内容纳入相关章节中;2)在 3.2.2 条中增加了冲沟穿越的设计系数,在山岭隧道内敷设的管道按照隧道不同分级采用了不同的设计系数;3)在“4 挖沟法穿越设计”中,取消了“裸管敷设”的要求与计算内容;对河床采砂、采矿人为活动对管道的影 响提出了要求;4)在“5 定向钻法穿越设计”中,对回拖力计算公式进行了修正;5)在“6 隧道法穿越设计”中,对盾构、顶管隧道埋深根据国内外有关规范作了修订,补充规定了隧道防水等级要求,对钻爆法的隧道衬砌参数根据工程实践经验、结合管道隧道自身特点进行了修订,增加了盾构隧道结构计算要求,对顶管顶力公式进行了修订,对中继站的布置提出了具体要求;6)在“8 焊接、试压及防腐”中,增加 8.2.8 条,对定向钻法穿越工程管道回拖前

后测径和严密性试压提出了具体要求。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由石油工程建设专业标准化委员会负责日常管理,由中国石油天然气管道工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国石油天然气管道工程有限公司(地址:河北省廊坊市和平路 146 号,邮政编码:065000)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国石油天然气管道工程有限公司

参 编 单 位:胜利油田胜利勘察设计院集团有限公司

铁道第三勘察设计院集团有限公司

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司

主要起草人:史 航 程梦鹏 张文伟 简朝明 李国辉

蒲高军 刘建武 张邕生 闫庆华 安玉红

孟庆余 甘继国 王晓峰 李 强 马晓成

许 杰 向 波 陈文备 詹胜文 马红昕

高 红 王 鸿 陆 江 张志广 刘其民

李志勇 陈 杰 王贵涛 刘艳东 唐培连

杨 威 左雷彬 铁明亮 马志富 任启瑞

主要审查人:王树宽 赵炳刚 张怀法 刘崑辉 梁羽腾

谭明星 尹刚乾 王小林 廖德义 庞鑫峰

李晓曦 胡银学 于景龙 樊黑钦

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(4)
3.1	基础资料	(4)
3.2	管道材料与计算	(5)
3.3	水域穿越	(6)
3.4	山岭、冲沟穿越	(9)
4	挖沟法穿越设计	(11)
4.1	埋设要求	(11)
4.2	水下管段稳定	(12)
4.3	作用与组合	(14)
4.4	管段计算	(15)
4.5	防护工程设计	(17)
5	水平定向钻法穿越设计	(21)
5.1	敷设要求	(21)
5.2	管段计算	(22)
6	隧道法穿越设计	(24)
6.1	一般规定	(24)
6.2	作用	(26)
6.3	作用组合与作用计算	(27)
6.4	钻爆法隧道衬砌设计	(29)
6.5	盾构法隧道设计	(34)
6.6	顶管法隧道设计	(36)
6.7	竖井工程	(38)

6.8	斜巷工程	(43)
6.9	工程材料	(44)
6.10	防水与排水	(45)
6.11	隧道附属设施	(47)
6.12	隧道内管道安装	(47)
7	公路、铁路穿越设计	(49)
7.1	一般规定	(49)
7.2	无套管穿越设计	(50)
7.3	有套管穿越设计	(52)
8	焊接、试压及防腐	(54)
8.1	焊接、检验	(54)
8.2	清管、测径及试压	(54)
8.3	防腐	(55)
附录 A	偏压隧道衬砌作用计算方法	(57)
附录 B	浅埋隧道衬砌作用计算方法	(59)
附录 C	盾构隧道、顶管隧道作用计算	(61)
附录 D	盾构管片内力计算	(63)
附录 E	顶管法隧道结构计算	(66)
附录 F	无套管穿越公路土压力产生的管道应力计算	(71)
附录 G	无套管穿越公路车辆荷载产生的管道 循环应力计算	(75)
	本规范用词说明	(80)
	引用标准名录	(81)
	附:条文说明	(83)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirement	(4)
3.1	Basic data	(4)
3.2	Material and calculation	(5)
3.3	Water areas crossing	(6)
3.4	Valley and gully crossing	(9)
4	Pipeline crossing by open-cut excavating	(11)
4.1	Laying requirement	(11)
4.2	Crossing section stabilization	(12)
4.3	Loads and combination	(14)
4.4	Calculation of pipeline	(15)
4.5	Hydraulic structure protection	(17)
5	Pipeline crossing by horizontal directional drilling	(21)
5.1	Laying requirements	(21)
5.2	Calculation of pipeline	(22)
6	Pipeline crossing in tunnel	(24)
6.1	General requirements	(24)
6.2	Action	(26)
6.3	Combination and calculation of loads	(27)
6.4	Lining design of tunnel by digging	(29)
6.5	Design of tunnel by shield digging	(34)
6.6	Design of tunnel by jacking	(36)
6.7	Shaft	(38)

6.8	Inclined shaft	(43)
6.9	Materials	(44)
6.10	Waterproof and drainage	(45)
6.11	Ventilation and lighting	(47)
6.12	Pipeline installation in tunnel	(47)
7	Railway and highway crossing	(49)
7.1	General requirement	(49)
7.2	Uncased crossings	(50)
7.3	Cased crossings	(52)
8	Welding, pressure test and anticorrosion	(54)
8.1	Welding and inspection	(54)
8.2	Pressure test, pigging and gauging	(54)
8.3	Anticorrosion	(55)
Appendix A	Calculation for the asymmetry pressure on the tunnel lining	(57)
Appendix B	Calculation of shallow buried tunnel lining	(59)
Appendix C	Load for the jacking and shield tunnel lining	(61)
Appendix D	Calculation of the segment internal force for the tunnel by shield digging	(63)
Appendix E	Calculation of the force for the tunnel by shield digging	(66)
Appendix F	Pipe stress calculation for uncased crossings of highway by earth pressure	(71)
Appendix G	Cyclic stress calculation for uncased crossings of highway by vehicle load	(75)
	Explanation of wording in this code	(80)
	List of quoted standards	(81)
	Addition; Explanation of provisions	(83)

1 总 则

1.0.1 为了在油气输送管道穿越工程(以下简称穿越工程)设计中贯彻国家有关法规政策,确保工程质量、安全、环保、经济合理,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于油气输送管道在陆上穿越天然或人工障碍的新建和扩建工程设计。

1.0.3 穿越工程设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

- 2.0.1 管道穿越工程** pipeline crossing engineering
管道从天然或人工障碍物下部通过的建设工程。
- 2.0.2 穿越管段** crossing section
穿过天然或人工障碍物地段的管道,其长度包括穿越障碍物的长度和两侧连接段的长度。
- 2.0.3 水域** water areas
天然形成或人工建造的河流、湖泊、水库、沼泽、水塘、养殖塘、水渠区域。
- 2.0.4 设计洪水** designing flood
与工程等级所规定的设计洪水频率相对应的洪水数据,包括设计洪水流量、设计洪水水位、设计洪水流速。
- 2.0.5 冲沟** gully
水流冲刷形成的沟壑。
- 2.0.6 水下管道稳定** underwater section pipeline stabilization
水下管段不产生漂浮或移位的条件。
- 2.0.7 水平定向钻穿越** crossing by horizontal directional drilling
用水平定向钻机敷设穿越管段。
- 2.0.8 隧道穿越** pipeline crossing in tunnel
在隧道中敷设穿越管段。
- 2.0.9 钻爆法隧道** tunnel by digging
采用爆破开挖地下坑道方法修筑的隧道。
- 2.0.10 盾构隧道** tunnel by shield digging
用盾构机掘进建造的隧道。
- 2.0.11 顶管法隧道** tunnel by pipe jacking

用顶管机掘进建造的隧道。

2.0.12 斜巷 incline, inclined shaft

纵向坡度大于 10° 的倾斜隧道,通常指管道陆上隧道或水域穿越隧道平巷两侧的斜隧道。

2.0.13 竖井 shaft

为满足隧道施工、运营管理而修建的地下直立井筒状的构筑物。

2.0.14 沉井 sinking well

竖井的一种,在地面上分段预制竖井并通过挖土分段沉入到地下一定深度后形成的地下构筑物。

2.0.15 地下连续墙 underground diaphragm wall

采用专用挖掘机械在地层中成槽或成孔并用泥浆充填护壁后,浇注钢筋混凝土或插入预制混凝土构件所形成的地下连续墙体结构。

2.0.16 钻孔咬合桩 drilling bitten pile

平面布置的相邻桩圆周相嵌、相互咬合而形成的混凝土“桩墙”。

2.0.17 型钢水泥土搅拌墙 section steel and cement soil mixed wall

在连续套接的三轴水泥土搅拌桩内插入型钢形成的复合挡土止水围护结构。

2.0.18 三轴水泥土搅拌桩 soil-cement pile mixed by three shafts

以水泥作为主固化剂,通过三轴搅拌机将固化剂和地基土强制搅拌,使地基土硬化成具有连续性、抗渗性和一定强度的桩体。

2.0.19 作用 action

施加在结构上的集中力或分布荷载和引起结构外加变形或约束变形的间接作用。

3 基本规定

3.1 基础资料

3.1.1 穿越工程设计前,应取得所输介质物性资料及输送工艺参数。介质物性资料及输送工艺参数的要求应符合现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 和《输气管道工程设计规范》GB 50251 的有关规定。

3.1.2 穿越工程设计应符合管道工程专项评价的结论及批复意见。

3.1.3 选定穿越位置后,根据设计阶段的要求,按照现行国家标准《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539 和《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568 的有关规定,应取得下列资料:

1 工程测量资料,包括 1:200~1:2000 平面地形图与断面图;

2 工程地质报告,包括 1:200~1:2000 地质剖面图、柱状图、岩土成分及物理力学指标、地震、水文地质及工程地质勘察的结论意见。

3.1.4 水域穿越勘察钻孔布置应符合下列要求:

1 挖沟埋设穿越管段,应布置在穿越中线上。

2 水平定向钻、隧道敷设穿越管段,应交叉布置在穿越中线两侧各距 15m~30m 处,交叉勘探点间距宜为 50m~100m。在岩性变化复杂时,局部钻孔间距可为 15m~30m。

3.1.5 位于设计地震动峰值加速度 $a \geq 0.1g$ 地区的河流大中型穿越工程,应查清下列四种情况,并取得量化指标:

1 有无断层,断层活动性质,断层一次性最大可能错动量;

2 地震时两岸或河床出现开裂或错动的情况;

3 地震时地基土液化的资料；

4 地震时两岸滑坡或崩塌的可能性及参数。

3.1.6 穿越管道及隧道抗震设防应按照现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB 50470 的有关要求设计。

3.1.7 穿越管段应根据现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规程》GB/T 21447 的有关规定，取得防腐蚀控制设计所需的相关环境资料。

3.2 管道材料与计算

3.2.1 穿越工程用于输送油、气的钢管，应符合现行国家标准《石油天然气工业管线输送用钢管》GB/T 9711 的有关规定，并应根据所输介质性质、钢管规格、钢材等级、使用条件补充有关技术条件要求。对于管径小于 DN300，设计压力小于 6.3MPa 的输油钢管或设计压力小于 4.0MPa 的输气钢管，可采用符合现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163、《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479、《高压锅炉用无缝钢管》GB 5310 要求的无缝钢管。

3.2.2 符合本规范第 3.2.1 条的钢管，其许用应力应按下列公式计算。

$$\text{输油} \quad [\sigma] = F\Phi\sigma_s \quad (3.2.2-1)$$

$$\text{输气} \quad [\sigma] = F\Phi t\sigma_s \quad (3.2.2-2)$$

式中： $[\sigma]$ ——输送油气钢管的许用应力(MPa)；

σ_s ——钢管的规定最小屈服强度(MPa)；

Φ ——钢管焊缝系数，符合本规范 3.2.1 条要求标准的钢管， Φ 取 1.0；

t ——温度折减系数，当设计温度小于 120℃时， t 值取 1.0；

F ——强度设计系数，按表 3.2.2 取值。

表 3.2.2 强度设计系数

穿越管段类型	输气管道地区等级				输油管道
	一	二	三	四	
Ⅲ、Ⅳ级公路有套管穿越	0.72	0.60	0.50	0.40	0.72
Ⅲ、Ⅳ级公路无套管穿越	0.60	0.50	0.50	0.40	0.60
Ⅰ、Ⅱ级公路、高速公路、铁路 有套管或涵洞穿越	0.60	0.60	0.50	0.40	
长、中、长山岭隧道、多管 敷设的短山岭隧道	0.60	0.50	0.50	0.40	
水域小型穿越、短山岭隧道	0.72	0.60	0.50	0.40	0.72
水域大、中型穿越	0.60	0.50	0.40	0.40	0.50
冲沟穿越	0.60	0.50	0.50	0.40	0.60

注：1 穿越渡槽、桥梁、古迹可视其重要性按水域穿越取用设计系数。

2 输气管道地区等级划分应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 的有关规定。

3.2.3 穿越段钢管的直径与壁厚之比应小于 100，并应满足各种穿越条件下的管道径向稳定要求，壁厚应按下式计算。

$$\delta = \frac{PD}{2[\sigma]} \quad (3.2.3)$$

式中： δ ——钢管计算壁厚(mm)；

P ——输送介质设计内压力(MPa)；

D ——钢管外直径(mm)；

$[\sigma]$ ——输送钢管许用应力(MPa)。

3.3 水域穿越

3.3.1 穿越工程应获得设计所必需的水文资料；穿越水域上、下游建有对工程有影响的水库时，应取得通过水库防洪调度后的设防洪水及冲淤资料；位于库区的工程，还应取得库岸再造影响范围资料。

3.3.2 选择的穿越位置应符合线路总体走向,应避开一级水源保护区。对于大、中型穿越工程,线路局部走向应按所选穿越位置进行调整,并应符合下列要求:

1 穿越位置宜选在岸坡稳定地段。若需在岸坡不稳定地段穿越,则应对岸坡作护岸、护坡整治加固工程。

2 穿越位置不宜选择在全新世活动断裂带及影响范围内。

3 穿越宜与水域轴线正交通过。若需斜交时,交角不宜小于 60° ,采用定向钻穿越时,不宜小于 30° 。

3.3.3 水域穿越工程应按表 3.3.3 划分工程等级,并应采用与工程等级相应的设计洪水频率。桥梁上游 300m 范围内的穿越工程,设计洪水频率不应低于该桥梁的设计洪水频率。

表 3.3.3 水域穿越工程等级与设计洪水频率

工程等级	穿越水域的水文特征		设计洪水频率
	多年平均水位的水面宽度 (m)	相应水深 (m)	
大型	≥ 200	不计水深	1% (100 年一遇)
	$\geq 100 \sim < 200$	≥ 5	
中型	$\geq 100 \sim < 200$	< 5	2% (50 年一遇)
	$\geq 40 \sim < 100$	不计水深	
小型	< 40	不计水深	2% (50 年一遇)

3.3.4 对于季节性河流或无资料的河流,水面宽度可按不含滩地的主河槽宽度选取;对于游荡性河流,水面宽度应按深泓线摆动范围选取,若无资料,宜按两岸大堤间宽度选取;若采用挖沟法穿越,当施工期水流流速大于 2m/s 时,中小型工程等级可提高一级;有特殊要求的工程,可提高工程等级。

3.3.5 穿越管段可采用挖沟法埋设、水平定向钻法敷设、隧道法敷设形式。大中型穿越工程应作方案比选。

3.3.6 穿越长度和埋深应符合下列要求:

1 穿越长度宜涵盖设计洪水淹没范围。主河道的穿越长度应包括两岸防洪堤,并满足堤防保护的距離要求。当两岸无防洪堤时,主河道的穿越长度应根据管道使用期间可能的河床摆动范围确定。

2 当两岸设有防洪堤坝及规划防洪堤坝时,穿越的起始位置及堤下埋深应满足水利主管部门规定。

3 当工程建在水库泄洪影响范围内时,穿越管段埋深应综合泄洪时的局部冲刷及常规泄水的清水冲刷深度确定。

4 新建或规划库区内的穿越工程,穿越长度和埋深应满足库岸再造作用后的稳定性要求。

3.3.7 穿越管段与公路桥梁、铁路桥梁、水下隧道并行敷设的最小距离应根据穿越形式确定,并应符合下列要求:

1 当采用开挖管沟埋设时,管道中线距离特大桥、大桥、中桥、水下隧道最近边缘不应小于 100m;距离小桥最近边缘不应小于 50m。

2 当采用水平定向钻穿越时,穿越管段距离桥梁墩台冲刷坑外边缘不宜小于 10m,且不应影响桥梁墩台安全;距离水下隧道的净距不应小于 30m。

3 当采用隧道穿越时,隧道的埋深及边缘至墩台的距离不应影响桥梁墩台的安全;管道隧道与公路隧道、铁路隧道净距不宜小于 30m。

4 当不能满足上述要求时,应协商确定。

3.3.8 水域穿越管段与港口、码头、水下建筑物之间的距离,当采用大开挖穿越时不宜小于 200m,当采用定向钻穿越、隧道穿越时不宜小于 100m。

3.3.9 当采用水平定向钻或隧道穿越河流堤坝时,应根据不同的地质条件采取措施控制堤坝和地面的沉陷,防止穿越管道处发生管涌,不应危及堤坝的安全。水平定向钻入土点、出土点及隧道竖井边缘距大堤坡脚的距离不宜小于 50m。

3.3.10 穿越通航的水域,管段的埋深应避免船锚或疏浚机具对管道的损伤。两岸应按现行国家标准《内河交通安全标志》GB 13851 的有关规定设置标志。

3.3.11 当穿越管段区域河道内有对河床的形态及地质条件产生影响的挖砂、采矿活动时,管道的穿越长度、埋设深度应位于影响范围以外,并应采取必要的防护措施。

3.3.12 通过饮用水源二级保护区的水域大型穿越工程,输油管道在两岸应设置截断阀室。截断阀室应设置在便于接近、不被设计洪水淹没处。输气管道在两岸可不设截断阀室。

3.3.13 挖沟法穿越管段,不应在设计洪水位浸淹范围内设置锚固墩。

3.3.14 地震时易发生土壤液化的开挖法穿越管段,不宜将穿越管段沟埋在液化层内。确需埋入液化地层内时,应采取换土、软体排、土工布袋压载措施,不应采用混凝土马鞍型压重块稳管。

3.3.15 穿越沼泽地区,应根据不同的沼泽类别采用支架法、换土法、砂桩加固法、填石法、预压法或筑堤法敷设穿越管段。

3.4 山岭、冲沟穿越

3.4.1 山岭隧道与铁路隧道、公路隧道交叉时,竖向净间距不宜小于 30m。

3.4.2 山岭隧道的高程应满足输送工艺要求。

3.4.3 管道穿越泥石流沟时,管道应在泥石流堆积区稳定层内深埋,管顶埋深不应小于 1.0m,并在管道上方设置排洪构筑物。

3.4.4 选择冲沟穿越位置时,应避开可能发生滑坡、崩塌的地段。

3.4.5 穿越湿陷性黄土冲沟,应综合设计沟顶的截水、排水、导水工程、坡面的防护工程、沟底的稳管及防冲蚀工程,导水沟宜将水导入天然泄水沟中。采用开挖斜巷方式穿越高陡边坡时,洞身应进行回填,洞口应做防水处理。

3.4.6 开挖穿越深而陡的黄土冲沟,应结合边坡不可恢复原状的

特点,对所形成的新断面做水工保护及水土保持工程设计。

3.4.7 管道不宜从土层未固结稳定的淤土坝上游穿越,当确需穿越时,应对土层厚度、固结程度、地质条件作岩土评价,并应采取安全措施。

3.4.8 符合工程条件的山岭、冲沟可采用定向钻法或顶管法隧道方式穿越。

3.4.9 管道不宜在狭窄冲沟内顺沟敷设。如受条件限制难以避开时,应进行专项水文调查研究,查明设计冲刷深度及冲沟稳定性,作为穿越工程设计的依据。

4 挖沟法穿越设计

4.1 埋设要求

4.1.1 挖沟法穿越水域的位置,除结合线路走向外,应选择岸坡稳定、水流冲淤变化幅度不大、不影响有关水域的规划实施、地震断裂活动影响较小且施工条件较好的地段。

4.1.2 挖沟法穿越管段的最小埋深,应根据工程等级与相应设计洪水冲刷深度或疏浚深度要求确定,并应符合表 4.1.2 的规定。当河流深泓线反复摆动时,穿越管段在深泓线摆动范围内埋深均应满足设计冲刷深度或疏浚深度要求。

表 4.1.2 挖沟法穿越管段的最小埋深(m)

水域情况	大型	中型	小型
有冲刷或疏浚的水域,应在设计洪水冲刷线 下或设计疏浚线下,取其深者	≥ 1.5	≥ 1.2	≥ 1.0
无冲刷或疏浚的水域,应埋在水床底面以下	≥ 1.5	≥ 1.3	≥ 1.0
河床为基岩,并在设计洪水下不被冲刷时,管 段应嵌入基岩深度	≥ 0.8	≥ 0.6	≥ 0.5

注:1 当水域有抛锚或疏浚作业时,管顶埋深应达到防腐层不受机械损伤的要求;

2 以下切为主的河流上游,埋深应从累积冲刷线算起;

3 基岩段所挖沟槽应用满槽混凝土覆盖封顶,应达到基岩标高;

4 当管道有配重或稳管结构物时,埋深应从结构物顶面算起;

5 基岩内管道埋深尚应根据岩性、风化程度确定,强风化岩、软岩埋深应加大。

4.1.3 采用围堰导流或降水措施开挖的管沟,其断面尺寸应按照地质条件、水文条件、开挖深度和底宽、施工季节、排水设施设计确定。

4.1.4 水下挖沟时,应根据机具试挖成沟情况确定管沟尺寸。若无此资料,宜按表 4.1.4 试挖管沟。

表 4.1.4 水下开挖管沟推荐尺寸

土壤类别	沟底最小宽度 (m)	管沟边坡	
		沟深 $\leq 2.5\text{m}$	沟深 $> 2.5\text{m}$
淤泥、粉细砂	$D_0 + 2.5$	1 : 3.5	1 : 5.0
中粗砂、卵砾石	$D_0 + 4.0$	1 : 2.5	1 : 3.0
砂土	$D_0 + 3.0$	1 : 2.5	1 : 4.0
黏土	$D_0 + 3.0$	1 : 2.0	1 : 2.5
岩石	$D_0 + 2.0$	1 : 0.5	1 : 1.0

- 注:1 沟底最小宽度指管道敷设所需最小净宽,不包括回淤;
 2 在深水区管沟底宽应增加潜水员潜水检查操作的宽度;
 3 若遇流沙,沟底宽度和边坡由试挖确定;
 4 D_0 为管身结构的外径,当多条管道并行穿越敷设时, D_0 为管道外径之和及管道间隔的总宽度。

4.1.5 当水下穿越管段采用稳管措施时,稳管配重物不应损伤管道防腐涂层。

4.1.6 岩石管沟挖深除应满足本规范第 4.1.2 条设计埋深要求外,还应超挖 200mm;管道入沟前,沟底应先铺设压实后厚度为 200mm 的砂类土、细土或混凝土垫层。

4.1.7 穿越区域的地下水或岩土层具有腐蚀性时,除管段自身防腐满足要求外,稳管措施所用材料应有抗腐蚀的性能。

4.2 水下管段稳定

4.2.1 水下穿越管段沟埋敷设后,不应发生管段漂浮和移位。

4.2.2 当水下穿越管段埋深不符合本规范第 4.1.2 条要求时,抗漂浮应按下列公式计算;

$$W \geq K(F_s + F_{dy}) \quad (4.2.2-1)$$

$$W \geq K \frac{F_{dx}}{f} + F_s + F_{dy} \quad (4.2.2-2)$$

$$F_{dx} = C_x \gamma_w D_0 v^2 / (2g) \quad (4.2.2-3)$$

$$F_{dy} = C_y \gamma_w D_0 v^2 / (2g) \quad (4.2.2-4)$$

$$F_s = \pi \gamma_w D_0^2 / 4 \quad (4.2.2-5)$$

式中: W ——单位长度管段总重力(包括管身结构自重、配重层重;不含管内介质重量)(N/m);

K ——稳定安全系数,大、中型穿越工程取 1.30,小型穿越工程取 1.20;

F_s ——单位长度管段静水浮力(N/m);

F_{dy} ——单位长度管段动水上举力(N/m);

F_{dx} ——单位长度管段动水推力(N/m);

f ——管段与河床的滑动摩擦系数,根据试验或工程经验确定;无试验时,采用三层 PE、环氧粉末涂层的管段与河床摩擦系数可取 0.25;采用其他涂层或加配重层的管段,可取 0.30;

C_y ——浮力系数,取 0.60;

C_x ——推力系数,取 1.20;

D_0 ——管身结构(含防护、配重层)的外径(m);

γ_w ——所穿水域水的重度(N/m³);

v ——管段处设计洪水水流速度(m/s);

g ——重力加速度,取 9.80m/s²。

竖向弹性敷设穿越管段,管段总重力 W 还应减去管段向上的弹性抗力。其单位长度的弹性抗力应按下列公式计算:

$$q = \frac{384 E_s I f_c}{3L^4} - 0.0246615(D - \delta)\delta \quad (4.2.2-6)$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \quad (4.2.2-7)$$

$$f_c = R - \sqrt{R^2 - \frac{L^4}{4}} \quad (4.2.2-8)$$

$$R \geq 3600 \sqrt[3]{\frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\alpha^4} D^2} \quad (4.2.2-9)$$

式中： q ——弹性敷设管段单位长度抗力(N/m)；
 E_s ——钢管弹性模量，取 2.1×10^{11} (N/m²)；
 I ——钢管截面惯性矩(m⁴)；
 D ——钢管的外径(m)；
 d ——钢管的内径(m)；
 δ ——钢管的壁厚(m)；
 f_c ——弹性敷设的矢高(m)；
 L ——弹性敷设起终点间的水平长度(m)；
 R ——弹性敷设设计曲率半径(m)，不应小于 $1000D$ ；
 α ——管段弹性敷设转角(°)，宜小于 5° 。

4.2.3 当水下穿越管段埋深符合本规范第 4.1.2 条要求时，不需作抗移位验算，但应按下式进行抗漂浮核算：

$$W_1 \geq KF_s \quad (4.2.3)$$

式中： W_1 ——单位长度管段的总重力(包括管身结构自重、配重层重、设计洪水冲刷线至管顶的岩土层重；不含管内介质重量)(N/m)；

K ——稳定安全系数，大、中型穿越工程取 1.2，小型穿越工程取 1.1；

F_s ——单位长度管段静水浮力，按本规范式(4.2.2-5)计算。

在竖向弹性敷设穿越管段时， W_1 应减去按本规范式(4.2.2-6)计算的弹性抗力。

4.2.4 水下管道应根据具体的工程地质、水文条件确定稳管形式。

4.3 作用与组合

4.3.1 水下穿越管段的作用计算应包括永久作用、可变作用和偶然作用，并按下列要求计算：

1 永久作用应包括输送介质的内压力、管段自重、输送介质重、管周土压力、静水压力、动水压力、温度变化产生的温度应力、

强制弹性变形产生的变形应力；

2 可变作用应包括试运行或试压时管内的水重与内压力、清管作用、施工拖管或吊管外力作用；

3 偶然作用应包括地震影响、落石冲击力、沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力作用。穿越管段位于设计地震动峰值加速度 $a \geq 0.1g$ 的地区，应计算地震造成的土压力、地基土液化作用；有活动断层时的断层位移作用。

4.3.2 穿越管段结构计算时，应根据敷设形式、所处环境、运行条件及可能发生的工作状况进行作用组合。主要组合应为永久作用；附加组合应为永久作用与可能发生的可变作用之和；特殊组合应为永久作用与偶然作用之和。

4.3.3 穿越管段的钢管许用应力，应按本规范第 3.2.4 条的许用应力乘以不同的作用组合提高系数，许用应力提高系数应按表 4.3.3 确定。

表 4.3.3 许用应力提高系数

荷载组合	提高系数
主要组合	1.0
附加组合	1.3
特殊组合	1.5

4.4 管段计算

4.4.1 穿越管段应根据设计选用壁厚和管材等级，核算强度、刚度及稳定性。

4.4.2 核算穿越管段的强度应分别计算轴向应力、环向应力和弯曲应力，根据作用组合计算出的各单项应力之和均应小于或等于相应的钢管许用应力。

1 内压产生的环向应力应按下式计算：

$$\sigma_h = \frac{pd_s}{2\delta} \quad (4.4.2-1)$$

2 内压与温度变化产生的轴向应力应分别按式(4.4.2-2)与式(4.4.2-3)计算:

1)当管段轴向变形不受约束时:

$$\sigma_a = \frac{pd}{4\delta} \quad (4.4.2-2)$$

2)当管段轴向变形受约束时:

$$\sigma_a = E_s \alpha (t_1 - t_2) + \mu \sigma_h \quad (4.4.2-3)$$

3 弹性敷设产生的弯曲应力应按下式计算:

$$\sigma_b = \pm \frac{E_s D}{2R} \quad (4.4.2-4)$$

式中: σ_h ——管段钢管的环向应力(MPa);

σ_a ——管段钢管的轴向应力(MPa);

σ_b ——管段钢管的弯曲应力(MPa);

p ——管道设计压力(MPa);

d ——钢管内径(mm);

D ——钢管外径(mm);

δ ——钢管壁厚(mm);

E_s ——钢材的弹性模量,取 2.1×10^5 (MPa);

μ ——钢材的泊桑比,取 0.3;

α ——钢材的线膨胀系数,取 1.2×10^{-5} [m/(m·°C)];

t_1 ——管道安装闭合时的环境温度(°C);

t_2 ——管道输送介质在穿越处的温度(°C);

R ——管段弹性敷设曲率半径(mm)。

4 其他作用引起的环向应力、轴向应力和弯曲应力,应根据实际可能发生的情况进行计算。

5 各单项应力叠加后应按下列公式核算:

$$\sum \sigma_a \leq [\sigma] \quad (4.4.2-5)$$

$$\sum \sigma_h \leq [\sigma] \quad (4.4.2-6)$$

许用应力 $[\sigma]$ 应按不同组合按表 4.3.3 取用;当温度应力按式(4.4.2-3)算出为负值时,应力叠加应保留“—”号;弯曲应力的

“+”或“-”选取应按最不利条件确定。

4.4.3 穿越管段计算各单项应力后,应按下式核算当量应力。

$$\sigma_e = \sum \sigma_h - \sum \sigma_a \leq 0.9\sigma_s \quad (4.4.3)$$

式中: σ_e ——穿越管段钢管的当量应力(MPa);

$\sum \sigma_h$ ——各作用产生的环向应力代数和(MPa);

$\sum \sigma_a$ ——各作用产生的轴向应力代数和(MPa);

σ_s ——穿越用钢管的规定最小屈服强度(MPa)。

4.4.4 当按本规范第4.4.2条式(4.4.2-3)计算出穿越管段承受轴向压应力时,应按下列公式核算管段的轴向稳定。

$$N \leq nN_{cr} \quad (4.4.4-1)$$

$$N = [E_s \alpha (t_1 - t_2) + (0.5 - \mu) \sigma_h] A \quad (4.4.4-2)$$

式中: N ——由温度和内压产生的轴向压力(MN);

N_{cr} ——管段开始失稳时的临界轴向力(MN),按现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 附录 K 的规定计算;

n ——安全系数,对于大型穿越工程, $n=0.7$;中型穿越工程, $n=0.8$;小型穿越工程, $n=0.9$;

α ——钢材的线膨胀系数,取 $1.2 \times 10^{-5} [m/(m \cdot ^\circ C)]$;

μ ——钢材的泊桑比,取 0.3;

A ——穿越管段钢管管壁的截面积(m^2)。

4.5 防护工程设计

4.5.1 防护设计应根据水域特性、水文参数、水域及周边地貌、地质情况,结合防护位置,采用适宜的护岸、护底、护脚、稳管和地表排水防护措施。

4.5.2 在河流上设置导流构筑物时,应根据河道的河势、地质、水文参数、河道演变规律和防护要求规划治导线,并应避免冲刷农田、村庄、道路和管道。

4.5.3 防护工程采用的建筑材料,应符合相关材料标准的规定;

填筑材料宜就地取材。不应采用重黏土、粉砂、淤泥、盐渍土或有机质土壤填筑。填筑物应分层夯实或压实,达到规定的密实度要求。

4.5.4 防护工程的设计洪水频率宜与穿越工程设计洪水频率相同,护岸顶应高出包括浪高和壅水在内的设计洪水位 0.5m。若堤岸顶低于设计洪水位,护岸宜作至堤顶。

4.5.5 护岸工程基础基底埋深宜在水床面下不小于 1m 处,同时宜满足设计冲刷线下 1m 和冰冻线下 0.3m 的要求。在护岸工程基础埋深无法满足上述条件的情况下,可采取抛石、石笼、混凝土柔性板措施护脚。护脚于垂直水流方向的防护长度不应小于设计洪水冲刷深度的 1.5 倍。

4.5.6 护岸工程顺水流方向的长度,应根据实地水流形态、岸坡地质条件及施工扰动岸坡情况确定,应大于施工开挖的岸坡宽度。

4.5.7 浆砌石、混凝土或钢筋混凝土板护坡面下方,应有 100mm~200mm 厚的级配良好的砂砾石垫层。

4.5.8 浆砌石、混凝土或钢筋混凝土板的护坡,每隔 10m~20m 应设置伸缩缝,在对应的基础上应设置沉降缝,缝宽 20mm~30mm,以沥青麻筋或沥青板条填塞。

4.5.9 浆砌石护岸工程应设置排水孔,并在排水孔处设置反滤层。排水孔应设于常水位 0.3m 以上。

4.5.10 护岸工程与调治构筑物均应核算坡面滑动、沿弧面或不均匀土体的折线面滑动的抗滑稳定性。抗滑稳定安全系数可取 1.15~1.30。

4.5.11 浆砌石护坡厚度可按下列公式计算:

$$T = \frac{P_{sj}}{(\gamma_s - \gamma_0) \cos \alpha} \quad (4.5.11-1)$$

$$P_{sj} = P_{sj1} + P_{sj2} \quad (4.5.11-2)$$

$$P_{sj1} = \eta \mu \gamma_0 \bar{v}^2 / 2g \quad (4.5.11-3)$$

$$P_{sj2} = \xi \gamma_0 \bar{v}^2 / 2g \quad (4.5.11-4)$$

式中： T ——浆砌片石（浆砌混凝土块）护坡厚度（m）；

α ——护面斜坡与坡脚水平线的夹角；

P_{sj} ——动水作用于护坡的上举力（ N/m^2 ），浆砌护坡只计算静上举力 P_{sj1} ，干砌护坡还应计算脉动上举力 P_{sj2} ；

P_{sj1} ——动水作用于护坡的静上举力（ N/m^2 ）；

P_{sj2} ——动水作用于干砌护坡上的脉动上举力（ N/m^2 ）；

η ——与护面结构有关的系数，浆砌护面取 1.1~1.2，干砌护面取 1.5~1.6；

μ ——与护面透水性有关的系数，浆砌护面取 0.3，干砌护面取 0.1；

ξ ——脉动压力系数，可按现场的实测值取用，或按水利部门护坦脉动压力试验所得最大值 0.4 取用；

\bar{v} ——河水的平均流速（m/s）；

g ——重力加速度，取 $9.8m/s^2$ ；

γ_s ——砌石的密度（ N/m^3 ）；

γ_0 ——河水的密度（ N/m^3 ）。

4.5.12 采用石笼护基或护底时，石笼基底应铺 0.2m~0.4m 的平整垫层；若地基为基岩，可将石笼用钢筋锚固在基岩上。根据需要可对石笼进行灌浆处理。

4.5.13 护底石笼的顺水流平铺段长度应大于自石笼顶面至设计洪水冲刷线深度的 1.5 倍。

4.5.14 当冲刷深度较大或常水位水深较大时，宜采用混凝土板之间铰连接的柔性混凝土防护板，铺设于护坡基础处或作护底用。混凝土板的厚度可按本规范 4.5.11 规定计算， γ_s 为混凝土板的重度， μ 值取 0.3。

4.5.15 柔性混凝土板的护底垂直河流的平铺长度可按下式计算，并应符合本规范 4.5.5、4.5.13 的要求。

$$L = \sqrt{1+m^2} \cdot h_{\Delta z} + B_1 \quad (4.5.15)$$

式中： L ——平铺长度(m)；

m ——边坡系数，按 1.0~0.5 取用；

$h_{\Delta x}$ ——防护深度(m)，根据冲刷确定；

B_1 ——安全长度(m)，可取 2.0m。

5 水平定向钻法穿越设计

5.1 敷 设 要 求

5.1.1 穿越断面应选择在水域形态稳定的地段,两侧场地应满足布设钻机、泥浆池、材料堆放和管道组焊的要求。

5.1.2 采用弹性敷设时,穿越管段曲率半径不宜小于 1500 倍钢管外径;且不应小于 1200 倍钢管外径。

5.1.3 水平定向钻敷设穿越管段的入土角宜为 $6^{\circ}\sim 20^{\circ}$,出土角宜为 $4^{\circ}\sim 12^{\circ}$,应根据地质条件、穿越管径、穿越长度、管段埋深和弹性敷设条件确定。

5.1.4 穿越深度应符合下列规定:

1 水域穿越管段管顶埋深不宜小于设计洪水冲刷线或疏浚深度线以下 6m;

2 穿越铁路、公路、堤防建(构)筑物时,穿越深度应符合有关技术规定;

3 穿越管段埋设深度应避开挖砂、采石、抛锚作业的影响。

5.1.5 穿越管段应根据地基土层的稳定性和密实性,采取防止地表塌陷的措施。

5.1.6 在水平定向钻穿越的管段上,除管端封头外不应有任何附件焊接或附加于管体上。若需在水域两侧设止水环,可在回拖完成后在穿越管段两端设置,并保持防腐涂层的完整。

5.1.7 定向钻不宜在卵石层、松散状砂土或粗砂层、砾石层与破碎岩石层中穿越。当出入土管段穿过一定厚度的卵石、砾石层时,宜选择采取套管隔离、注浆固结、开挖换填措施处理。

5.1.8 管道回拖经计算需要采取降浮措施时,宜内设充水管配重。

5.1.9 定向钻穿越施工应采用环保型泥浆,并应循环使用。

5.1.10 一次穿越距离过长或穿越出入土点两侧均有套管时,宜采用导向孔对穿工艺施工。

5.1.11 岩石层、卵砾石层等对管道存在划伤可能地段的定向钻穿越管道回拖时,应采取措施保护管道不受损伤,其防腐层或外层保护层应耐划伤。

5.2 管段计算

5.2.1 水域穿越管段埋深符合本规范第 5.1.4 条要求时,可不核算水平定向钻穿越管段的水下稳定性。

5.2.2 管段承受的作用与组合宜按本规范第 4.3 节的规定,根据实际发生的条件选取。

5.2.3 穿越管段回拖时,钻机最大回拖力可按下式计算值的 1.5 倍~3.0 倍选取。

$$F_L = L \cdot f \left| \frac{\pi \cdot D^2}{4} \gamma_m - \pi \cdot \delta \cdot D \cdot \gamma_s - W_f \right| + K \cdot \pi \cdot D \cdot L \quad (5.2.3)$$

式中: F_L ——计算的拉力(kN);

L ——穿越管段的长度(m);

f ——摩擦系数,取 0.3;

D ——钢管的外径(m);

γ_m ——泥浆重度(kN/m³),可取 10.5~12.0;

γ_s ——钢管重度(kN/m³),取 78.5;

δ ——钢管壁厚(m);

W_f ——回拖管道单位长度配重(kN/m);

K ——黏滞系数(kN/m²),取 0.18。

5.2.4 穿越管段在扩孔回拖时,应按下列公式核算空管在泥浆压力作用下的径向屈曲失稳。

$$P_s \leq F_d \cdot P_{yp} \quad (5.2.4-1)$$

$$P_{yp}^2 - \left[\frac{\sigma_s}{m} + (1 + 6mn)P_{cr} \right] P_{yp} + \frac{\sigma_s P_{cr}}{m} = 0 \quad (5.2.4-2)$$

$$m = \frac{D}{2\delta} \quad (5.2.4-3)$$

$$n = \frac{f_0}{2} \quad (5.2.4-4)$$

$$P_{cr} = \frac{2E_s \left(\frac{\delta}{D} \right)^3}{1 - \mu^2} \quad (5.2.4-5)$$

式中： P_s ——泥浆压力(MPa)，可按 1.5 倍泥浆静压力或回拖时泥浆的实际动压力选取；

σ_s ——钢管屈服强度(MPa)；

F_d ——穿越管段强度设计系数；

P_{yp} ——穿越管段所能承受的极限外压力(MPa)；

P_{cr} ——钢管弹性变形临界压力(MPa)；

E_s ——钢管弹性模量(MPa)，取 2.1×10^5 ；

δ ——钢管壁厚(mm)；

D ——钢管外径(mm)；

μ ——泊桑比，取 0.3；

f_0 ——钢管椭圆度(%)；

γ ——泥浆重度(kN/m^3)。

6 隧道法穿越设计

6.1 一般规定

6.1.1 隧道位置的选择应符合下列要求：

1 隧道穿越位置应符合管道线路总体走向，线路局部走向宜根据穿越点位置进行调整。

2 隧道位置的选定应根据洞口地形、地质、交通、弃渣场地、施工条件、周围环境条件及要求确定。

3 隧道穿越方案，应通过区域工程地质调查、测绘、结合管道线路以及隧道施工、使用条件进行多方案技术经济比选确定。

4 水域隧道工程不应影响堤防及附近建(构)筑物的安全，并根据已规划尚未建设的建(构)筑物对隧道结构的影响确定。

5 对需设置辅助坑道和使用通风设施的隧道，应分析设置条件和要求。

6 水域隧道竖井宜选择在 50m 范围内无永久性架空输电线路，30m 范围内无永久性建(构)筑物的地方。

6.1.2 隧道轴线应选择在稳定的地层中，不宜穿越工程地质及水文地质极为复杂地段，宜避开溶洞、暗河、采空区。

6.1.3 隧道结构的设计应以地质勘察资料为依据，地质勘察应符合现行国家标准《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568 的有关规定，按不同设计阶段及施工方法，确定隧道工程勘察的内容和范围。对于长隧道或地质条件复杂的中长隧道，亦可按照工程要求提前相应的勘察阶段。隧道施工中应通过对地层的观察和监测反馈进行验证，并修正结构设计。

6.1.4 隧道结构的设计，应减少施工中和建成后对环境造成的不

利影响；同时分析因隧道建设造成周围环境的改变对结构的作用。

6.1.5 隧道结构的净空尺寸应满足隧道施工、管道安装、运营管理的要求，并应分析施工误差、结构变形和位移的影响。

6.1.6 水域盾构、顶管法隧道上部所需覆土层的最小厚度，应根据工程地质、水文地质条件、设备类型因素决定，应大于 2.0 倍隧道外径，且低于设计冲刷线以下 1.5 倍隧道外径，并应满足隧道抗漂浮要求。对于冲淤变化大、砂土液化、挖砂取石、船舶抛锚水域的隧道，应增大埋深。

6.1.7 隧道结构应按施工和正常使用阶段进行强度、刚度和稳定性计算。对于混凝土结构，应进行抗裂验算或裂缝宽度验算。当计入地震作用或其他偶然作用因素时，可不验算结构的裂缝宽度。

6.1.8 隧道弃渣设计时，应合理选择弃渣场地，支挡构筑物结构设计应满足设计洪水下的安全要求，渣场综合布置与植被恢复应符合环保及水土保持要求。

6.1.9 隧道设计、施工应贯彻环境保护的原则，采用环保型泥浆并循环使用，废弃泥浆处理应达标并定点排放。

6.1.10 隧道防水应按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关要求分级，隧道防水等级应符合表 6.1.10 的要求。

表 6.1.10 隧道防水等级

隧道方式	防水等级
山岭钻爆法隧道	四级
水域钻爆法隧道	四级
水域盾构法隧道	二级
水域顶管法隧道	三级

6.1.11 隧道施工时应进行围岩及衬砌结构变形监测和施工环境监测。

6.1.12 隧道分级应符合表 6.1.12 的要求。

表 6.1.12 隧道分级

分级	重要性系数	性 质
1	1.1	全国性输油(气)干线、支干线
2	1.0	省、区、油(气)田输油(气)干线隧道和支线隧道

6.1.13 隧道分类应符合表 6.1.13 的要求。

表 6.1.13 隧道分类

隧道类型	长隧道(m)	中长隧道(m)	短隧道(m)
山岭钻爆法隧道	$L \geq 1500$	$1500 > L > 500$	$L \leq 500$
水域钻爆法隧道	$L \geq 1000$	$1000 > L > 500$	$L \leq 500$
水域盾构法隧道	$L \geq 1200$	$1200 > L > 800$	$L \leq 800$
顶管法隧道	$L \geq 400$	$400 > L > 200$	$L \leq 200$

6.2 作 用

6.2.1 隧道结构上的作用分类宜按表 6.2.1 进行。在确定作用的数值时,应综合施工和使用年限内发生的变化情况,符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

表 6.2.1 隧道结构上的作用分类

作用分类	作用名称
永久作用	结构自重
	围岩变形压力
	土压力
	结构上部或破坏棱体范围的设施及建筑物压力
	水压力及浮力
	预加应力
	混凝土收缩及徐变影响
	地基下沉影响
包括管身结构自重、配重层重、保温层重、输送介质自重的自重作用	

续表 6.2.1

作用分类	作用名称
可变作用	地面活载
	地面活载引起的土压力
	包括千斤顶顶力、注浆压力的施工作用
	温度变化的影响
	试运行时的水重与内压力
偶然作用	落石冲击力
	地震影响
	沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力作用

注:1 盾构、顶管隧道结构设计计算时,应验算施工状态下千斤顶额定顶力及其偏心弯矩对盾构管片或顶进管道的影响,偏心量可按 20mm 验算;

2 盾构环片拼装起吊作用可按 2.50 倍最大管片的重量产生的拉力来核算抗拔阻力;

3 注浆压力根据隧道工法不同,可选用不同的注浆压力,通常比施工时水头压力高 0.05MPa~0.10MPa,并根据实际情况调整。

6.2.2 作用在结构上的水压力,应根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化幅度,区分不同的围岩条件,按静水压力或把水作为土的一部分计入土压力。

6.2.3 作用于山岭隧道衬砌上的偏压压力,应根据地形、地质条件、围岩分级以及外侧围岩的覆土厚度、地面坡度确定。

6.3 作用组合与作用计算

6.3.1 当采用概率极限状态法设计隧道结构时,结构的作用设计值应按下式计算:

$$F_d = \gamma_f F_k \quad (6.3.1)$$

式中: γ_f ——作用分项系数;

F_k ——作用标准值。

6.3.2 隧道结构的作用应根据不同的极限状态和设计状态进行组合。宜按作用结构自重加围岩压力或土压力的基本组合进行设计,基本组合中各作用分项系数取 1.10;按基本组合加偶然荷载

的偶然组合核算时,各作用分项系数取 1.0。

6.3.3 结构自重标准值宜按结构设计尺寸及材料标准重度计算确定。

6.3.4 钻爆法深埋隧道结构衬砌计算时,对于不存在显著偏压及膨胀力的围岩,垂直及水平均布压力的作用标准值可按下列规定确定:

1 围岩垂直均布压力宜按下列公式计算确定:

$$q = \gamma h \quad (6.3.4-1)$$

$$h = 0.41 \times 1.79^s \quad (6.3.4-2)$$

式中: q ——围岩垂直均布压力(kPa);

γ ——围岩重度(kN/m³);

h ——围岩压力计算高度(m);

s ——围岩级别。

2 围岩水平均布压力可按表 6.3.4 确定。

表 6.3.4 围岩水平均布压力

围岩级别	I~II	III	IV	V	VI
水平均布压力	0	<0.15 q	(0.15~0.30) q	(0.30~0.50) q	(0.50~1.00) q

6.3.5 隧道偏压衬砌计算时,围岩压力宜按本规范附录 A 的要求计算确定。

6.3.6 浅埋隧道的作用宜按本规范附录 B 的要求计算确定。

6.3.7 盾构隧道、顶管隧道的作用宜按本规范附录 C 的要求计算。

6.3.8 对稳定性有严格要求的钢拱架和截面厚度大、变形受约束的结构,均应计算温度变化和混凝土收缩徐变的影响。

6.3.9 结构构件就地建造或安装时,作用在构件上的施工作用,应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。

6.3.10 在最冷月平均气温低于 -15℃ 地区和受冻害影响的隧道,宜根据当地的自然条件、围岩冬季含水量资料通过计算确定冻胀力。

6.3.11 结构计算时灌浆压力应按灌浆机械可能使用的最大作用

力计算确定。

6.4 钻爆法隧道衬砌设计

6.4.1 钻爆法隧道分为山岭钻爆法隧道和水域钻爆法隧道。对于水域和山体相连的地形条件需要采用隧道穿越时,宜连续穿越。

I 山岭钻爆法隧道

6.4.2 隧道平面设计宜采用直线型,根据管线路由、管道补偿要求和进洞口、出洞口的位置,也可采用折线型,折线处转角、曲率半径应满足施工布管要求。隧道纵断面设计根据进洞口、出洞口高程差和工程地质条件,可采用单一坡、人字坡和折线坡,纵向坡度不宜大于15%,不应小于0.3%,折线段坡度不宜大于25%。

6.4.3 隧道洞口位置应符合下列要求:

1 隧道洞口位置应根据地形、地质、水文条件,同时结合环境保护、洞外管道工程及施工条件、使用要求,通过综合分析比较确定。

2 隧道应早进洞,晚出洞;隧道洞口宜选择在坡面稳定、地质条件好、无不良地质现象、便于管道衔接、出渣方便处,并少占农田。

3 隧道进出口应高于山沟设计泄洪水位。在泥石流发育段应防止其堵塞隧道进出口。

4 隧道进出口高程应满足管道输送工艺系统的要求;高程差大的隧道,应提出长、陡坡度段隧道施工和管道安装的要求。

6.4.4 隧道洞口工程的设计应符合下列要求:

1 洞口宜与坡面正交;当采取斜交时,洞口覆盖层厚度不宜小于5m,其边、仰坡宜采取喷锚加固、网锚加固或其他加固措施。

2 当洞口处有坍方、落石、泥石流时,应采取清刷、延伸洞口、设置明洞或支挡构筑物措施。

3 隧道洞口边坡、仰坡根据洞门结构设计,采取加固防护措施,宜采用绿化护坡。

- 4 隧道洞口应设洞门封堵。
- 6.4.5 隧道设计下列情况宜设明洞：
 - 1 洞顶覆盖层薄，难于采用暗挖法施工的；
 - 2 隧道洞口存在边坡坍塌、岩堆、落石、泥石流不良地质的危害的；
 - 3 为了保护洞口的自然景观不改变自然边坡的；
 - 4 有检修车辆通行要求的；
 - 5 管道敷设有特殊要求的。
- 6.4.6 隧道应设衬砌。对于净宽度不大于 5m 的隧道，Ⅵ级、地下水发育的Ⅴ级、Ⅳ级围岩段应采用模筑混凝土复合式衬砌，地下水不发育的Ⅴ级、Ⅳ级围岩段隧道可采用喷锚衬砌或复合式衬砌，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩段隧道宜采用喷锚衬砌。
- 6.4.7 衬砌结构应根据围岩级别、水文地质条件、埋置深度、结构工作特点，结合施工条件，通过工程类比和结构计算确定，必要时，还应经过试验验证。隧道衬砌设计应符合下列规定：
 - 1 宽度不大于 5m 的隧道宜采用直墙式衬砌，宽度 5m 及以上的隧道可根据围岩类别计算采用直墙圆拱或曲墙型式。
 - 2 因地形或地质构造引起有明显偏压的地段，应采用偏压衬砌；Ⅴ、Ⅵ级围岩的偏压衬砌应采用钢筋混凝土结构；Ⅳ级围岩的偏压衬砌宜采用钢筋混凝土结构。
 - 3 隧道洞口段衬砌应加强，加强长度应根据地质、地形条件确定，隧道洞口加强衬砌长度应不小于 5.0m；当洞口段围岩级别已经进行了浅埋地表影响修正时，应按降低后的围岩级别设计衬砌，不需另行加强。
 - 4 围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段延伸，延伸长度宜为 5m~10m。
 - 5 偏压衬砌段应延伸至一般衬砌段内 5m 以上。
 - 6 硬软地层分界处及对衬砌受力有不良影响处，应设置变形缝。
- 6.4.8 复合式衬砌设计应符合下列规定：

1 衬砌设计应包括围岩在内的支护结构、断面形状、开挖方法、施工顺序和开挖后支护与衬砌的断面闭合时间因素,充分发挥围岩的自承能力。

2 衬砌的初期支护宜采用喷锚支护,二次衬砌可采用模筑混凝土或湿喷混凝土,等厚截面,连接圆顺。

3 衬砌的设计参数宜采用工程类比法确定,并通过理论分析进行验算。当无类比资料,二次衬砌采用模筑混凝土时,可按表 6.4.8 的设计参数选用,并根据现场围岩量测信息对支护参数进行调整。

表 6.4.8 复合式衬砌的设计参数

围岩 级别	初期支护						二次衬砌厚度(mm)		
	喷射混凝土 厚度(mm)		锚杆			钢筋网 (mm)	钢架间 距(m)	拱、墙	底板或 仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度 (m)	间距 (m)				
Ⅲ	50~80	—	局部 设置	1.5~ 2.0	1.2~ 1.5	必要时 设置@ 250×250	不设	200	—
Ⅳ	80~100	—	拱、墙	2.0~ 2.5	1.0~ 1.2	必要时 设置@ 250×250	不设	200~250	200
Ⅴ	100~ 120	100~ 150	拱、墙	2.5~ 3.0	0.8~ 1.0	@200 ×200	0.8~ 1.0	250~ 300	250~ 300
Ⅵ	通过试验确定								

注:1 衬砌参数根据隧道净宽确定,大于 3m 的取上限,小于或等于 3m 的取下限;

2 隧道衬砌钢结构混凝土保护层厚度不应小于 30mm。

6.4.9 喷锚衬砌设计应符合下列规定：

1 喷锚衬砌内部轮廓应预留 50mm~100mm 作为必要时补强用。

2 喷锚衬砌应采用无碱湿喷混凝土工艺；上层喷锚工序与初期支护喷锚工序应跟进及时。

3 遇下列情况不宜采用喷锚衬砌：

- 1) 地下水发育或大面积淋水地段；
- 2) 能造成衬砌腐蚀或膨胀性围岩的地段；
- 3) 最冷月平均气温低于 -15°C 的地区的隧道洞口段；
- 4) 有其他特殊要求的隧道。

4 喷锚衬砌的设计参数应经计算确定，I~III 围岩段可按表 6.4.9 选用；IV 级、V 级段围岩需进行单独设计。

表 6.4.9 喷锚衬砌的设计参数

围岩级别	I~II	III
设计参数	喷射混凝土厚度 50mm~80mm	喷射混凝土厚度 80mm~100mm，拱部 设置锚杆和钢筋网，锚杆长 1.5m~2.0m， 间距 1.2m~1.5m

注：钢筋网保护层厚度不应小于 30mm。

6.4.10 根据围岩条件情况隧道可采用整体式衬砌，设计应符合下列规定：

1 隧道洞口段，当线路中线与地形等高线斜交，围岩为 I~III 级时，宜采用斜交衬砌。

2 最冷月平均气温低于 -15°C 的地区的洞口段应设置变形缝。

3 围岩地段拱部衬砌背后应压注不低于 M20 的水泥砂浆。

6.4.11 初期支护的组成应根据围岩的性质及状态、地下水情况、隧道断面尺寸及其埋置深度条件确定。

1 系统锚杆应沿隧道周边在岩面上按梅花形均匀布置，其方向应接近于径向或垂直岩层，并根据使用目的和围岩性质及状态确定锚杆的类型、锚固方式、长度，对自稳时间短、初期变形大的

软弱围岩地层,应采用长锚杆或自钻式锚杆注浆加固围岩。

2 对1款的软弱围岩地层,或当对地面下沉量有严格限制时,加强初期支护的刚度应采用钢架。根据围岩条件的不同,宜选择仅在隧道拱部设置的钢架或在拱部及墙部设置的开口式钢架。在软弱围岩中应采用封闭式钢架。格栅钢架主筋的直径不宜小于18mm,各排钢架间应设置钢拉杆,其直径宜为20mm~22mm。

3 松散、破碎或膨胀性围岩中宜采用钢筋网喷射混凝土作初期支护,其厚度不宜小于100mm,钢筋网应以直径6mm~8mm的钢筋焊接而成,网格间距宜为150mm~250mm,钢筋网搭接长度不应小于1个网孔。

6.4.12 衬砌仰拱应具有与其使用目的相适应的强度、刚度和耐久性。仰拱厚度宜与拱、墙厚度相同。仰拱的初期支护宜采用钢筋网喷射混凝土,必要时宜加设锚杆、钢架或采用早强喷射混凝土。在软弱围岩有水地段或最冷月平均气温低于 -15°C 地区的洞口段,仰拱应加强。

6.4.13 隧道设计应根据不同的地质、水文条件,提出具体的施工勘察和监测要求,并根据施工勘察及监测的实际情况,现场修正相关设计参数。

6.4.14 隧道底板应按下列要求设计:

- 1 I~II级围岩隧道可不设底板;
- 2 III~IV级围岩隧道的底板可采用素混凝土结构;
- 3 V级围岩隧道的底板宜采用钢筋混凝土结构;
- 4 VI级围岩隧道的底板应采用钢筋混凝土仰拱结构,其钢筋应与隧道主体钢筋相连;
- 5 隧道底板厚度应通过结构计算确定,不宜小于200mm;
- 6 底板水沟断面尺寸应根据隧道出水量、坡度计算确定,应满足排水要求。

II 水域钻爆法隧道

6.4.15 符合下列条件的地域穿越可采用钻爆法隧道设计方案:

- 1 地表下岩层分布较浅；
- 2 穿越岩石 RQD 值不宜小于 50；
- 3 节理裂隙不发育、断层破碎带较少；
- 4 水下段主体围岩分级为 I ~ IV 级。

6.4.16 根据两岸洞口处地形、地质条件，隧道纵断面设计可采用竖井与平巷结合、斜巷与平巷结合及单侧竖井、单侧斜巷与平巷相结合的不同型式；平巷段宜采用人字坡，坡比不宜小于 0.5%；斜巷与平巷结合段应设马头门，马头门尺寸应满足管道施工要求。

6.4.17 隧道埋设深度应根据穿越地段工程地质和水文地质条件通过多方案比选后确定，宜在中、微风化岩层中通过，并应避免岩溶发育地层。

6.4.18 隧道衬砌可按本规范第 6.4.7 条~第 6.4.15 条的要求设计，应采用防水混凝土，抗渗等级不应低于 P6；现浇混凝土衬砌及底板厚度不应小于 250mm。

6.4.19 隧道设计应采取下列施工防水、防坍塌措施：

- 1 留设隔水岩柱；
- 2 超前探水；
- 3 超前地质预报；
- 4 注浆堵水。

6.5 盾构法隧道设计

6.5.1 盾构法隧道设计应依据工程地质、水文、环境、穿越工程条件进行，并应与其他可能的穿越方式做技术、经济比较。地质条件复杂、地下水发育的山岭长隧道，亦可采用盾构法隧道方式。

6.5.2 盾构隧道纵断面布置应符合下列要求：

- 1 隧道的坡度不宜超过 5%，且不应小于 0.3%；曲线顶进曲率半径不应小于 1000 倍输送管道外径，且不应小于 1000m。
- 2 防洪堤脚下部隧道埋深不宜小于 3 倍隧道外径，并应避免开堤防基础及其他构筑物及其影响，按要求对大堤进行沉降观测并

控制沉降量。

3 盾构机进洞、出洞宜避开强透水层,当不能避开时,应做地层改良或其他防涌水措施。

4 隧道穿越宜避开软、硬频繁变化的地层交界层位。

5 隧道不宜长距离在卵石地层中穿越,并应避开岩溶发育地层。

6.5.3 盾构机选型应根据工程地质、水文地质条件,经工程经济、技术比选后确定,水域穿越宜优先采用泥水平衡式盾构机。

6.5.4 盾构法施工的隧道衬砌设计应符合下列要求:

1 在满足工程使用、结构受力的前提下,宜选用装配式单层衬砌;

2 宜采用圆形结构;

3 装配式衬砌接头应是具有一定刚度的柔性结构,应限制作用下变形和接头张开量,满足受力和防水要求。

6.5.5 隧道结构的计算模式应根据地层情况、衬砌构造特点及施工工艺确定。在岩石中应结合衬砌与围岩共同作用及装配式衬砌接头影响确定计算模式;在软土地层中宜采用错缝拼装,衬砌结构应计算环间剪力传递的影响。

6.5.6 惯用法管片截面内力可按本规范附录 D 的规定计算。

6.5.7 隧道应进行抗漂浮稳定性及地基承载力验算,并应符合下列要求:

1 隧道抗漂浮系数不应小于 1.15。

2 地基承载力验算包括:

1)施工时盾构机底部地基承载力验算;

2)管道试压、运营时隧道结构地基承载力验算,应以处于最不利条件的单环进行验算。

6.5.8 隧道装配式衬砌的构造应满足下列要求:

1 隧道衬砌宜采用块与块、环与环间用螺栓连接的环片。

2 衬砌环宽宜采用 1000mm~1500mm,可能情况下宜选用较大的宽度。

3 衬砌厚度应根据隧道直径、埋深、工程地质及水文地质条件,使用阶段及施工阶段的作用情况计算确定,宜为隧道外直径的0.05倍~0.06倍。

4 衬砌环的分块数量与拼接形式,应根据盾构设备性能、隧道直径和受力要求确定。

6.5.9 衬砌制作和拼装精度,应根据设备的性能及防水要求,达到能够正确拼装、整体结构受力基本均匀的要求。

6.5.10 管片应进行抗渗试验、预埋螺栓孔应进行抗拔性能试验,试验标准应符合现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082有关要求。

6.5.11 管片壁后注浆应根据工程地质条件、地表沉降状态、环境要求及设备情况选择注浆方式及注浆参数,每环管片的注浆量可按下式计算:

$$Q = \pi \cdot D \cdot B \cdot t \cdot k \quad (6.5.11)$$

式中: Q ——每环注浆量(m^3);

D ——盾构管片外径(m);

B ——盾构管片长度(m);

t ——设备外径与盾构管片外径的差值,无设备外径时可取0.1m;

K ——填充系数,可取1.5~2.5,根据掘进地层情况确定。

6.6 顶管法隧道设计

6.6.1 顶管法隧道顶进工艺的选择,应根据穿越层位岩土性质、顶进管管径和材质、地下水位、周边地上与地下建筑物、构筑物和各种设施因素,经技术经济比较后确定,并应符合下列规定:

1 在黏性土层中需要控制地面隆陷时,可采用土压平衡顶管法。

2 在粉砂土层中需要控制地面隆陷时,可采用加泥式土压平衡法或泥水平衡顶管法。

3 在卵砾石、节理裂隙及地下水发育的破碎岩石中顶进时,

应采用泥水平衡顶管法。泥水平衡式顶管机在岩石中或在含有卵石、碎石的地层中顶进时,应配置能够更换刀具的密封舱,并具有大块岩石二次破碎功能。

4 采用气压平衡法顶进时,穿越岩土渗透性系数不应大于 10^{-4} m/s。

5 在全断面岩层顶管中,应采用封闭式岩盘顶管机。

6.6.2 隧道纵断面布置应符合下列要求:

1 隧道的坡度根据顶管机的性能确定,且不应小于 0.3%,宜从低端始发。

2 隧道曲线顶进曲率半径不应小于 1000 倍油气管道外径,且不应小于 300m。

3 防洪堤脚下隧道埋深不宜小于 3 倍隧道外径,并应避开堤防基础及其他构筑物及其影响,按要求对大堤进行沉降观测并控制沉降量。

4 隧道进、出洞应避开强透水层,当不能避开时,应作地层改良。

5 隧道穿越地层宜避开软、硬频繁变化的地层交界层位。

6 隧道不宜长距离在卵、砾石地层穿越,应避开岩溶发育地层。

6.6.3 顶管隧道设计计算应按下列要求进行:

1 应按本规范表 6.2.1 要求的作用组合计算,验算顶力作用,并作为后背和顶进设施设计的依据。设计时应满足顶进过程中承受上部可变作用时的安全要求。

2 顶进工作管的允许顶力、结构的强度、顶进管道的稳定性计算应按本规范附录 E 规定。

6.6.4 掘进工作管的总顶力可按下式估算:

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F \quad (6.6.4)$$

式中: D_1 ——顶进工作管外径(m);

f_k ——触变泥浆减阻管壁与岩土的平均摩阻力(kN/m^2),可按表 6.6.4-1 选用;

L ——顶管设计长度(m);

N_F ——顶管机的迎面阻力,可按表 6.6.4-2 选用。

表 6.6.4-1 触变泥浆减阻管壁与土的平均摩擦力(kN/m²)

土的种类		软黏土	粉性土	粉细土	中粗砂
触变泥浆	混凝土管	3.0~5.0	3.0~8.0	8.0~11.0	11.0~16.0
	钢管	3.0~4.0	4.0~7.0	7.0~10.0	10.0~13.0

表 6.6.4-2 顶管机的迎面阻力计算公式

顶管机端面	常用机型	迎面阻力 N_F (kN)	式中符号
网格加气压	气压平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 (\alpha R + P_n)$	α —网格截面系数,可取 0.6~1.0 P_n —气压(kN/m ²)
大刀盘切削	土压平衡式 泥水平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 r_s H_s$	r_s —土的重度(kN/m ³) 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/m²),土层可取 $R=300\sim 500$;岩石可取 $R=1000\sim 1500$ 。

6.6.5 顶进长度大于 100m 的顶管法隧道,宜加设中继站。中继站的设置应符合下列要求:

1 应根据估算总顶力、管材允许顶力、工作井允许顶力和主顶千斤顶的顶力四者比较确定,应取最小值作为控制顶力。

2 当顶进钢筋混凝土管时,第一道中继站离顶管机机头的距离不宜大于 30m。

3 中继站顶力裕量,宜大于分段总顶力的 50%。

6.6.6 水域穿越顶进钢筋混凝土管结构抗渗等级、接口形式及质量要求应符合现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640 中Ⅲ级管的有关要求。

6.7 竖井工程

6.7.1 本节适用于下列竖井结构:放坡开挖或护壁施工的明挖结构、用沉井法施工的结构、用钻爆法施工的暗挖结构、以地下连续墙构成的竖井结构、钢板桩竖井结构。

6.7.2 井筒断面的结构形式应根据地质条件、隧道施工设备尺

寸、竖井深度、管道安装和施工因素确定,宜选用圆形钢筋混凝土结构,当隧道施工设备及施工条件有其他要求时,亦可选用矩形或多边形断面。

6.7.3 竖井与钻爆法隧道连接处,若采用马头门结构,其衬砌结构应加强。

I 沉井法施工的结构

6.7.4 沉井深度不宜大于 50m。

6.7.5 沉井下沉自重扣除水浮力作用后,应大于下沉时土对井壁的摩阻力,当刃脚需嵌入岩石层时应采取辅助开挖的措施。

6.7.6 沉井底节可采用钢筋混凝土结构、钢结构。

6.7.7 沉井刃脚应按下列情况验算:

1 沉井下沉过程中,应根据沉井接高的具体情况,取最不利位置,按刃脚切入土中 1m,验算刃脚向外弯曲强度。作用在井壁上的土压力和水压力根据下沉时的具体情况确定,作用在井壁外侧的计算摩擦力不应大于 0.5 倍井壁外侧的主动土压力。

2 当沉井沉至设计高程,刃脚下的土已掏空时,应验算刃脚向内弯曲强度。此时作用在井壁上的水压力,按设计和施工中的最不利水压力计算,土压力按主动土压力计算。

6.7.8 井壁应按竖直方向和水平方向分别进行验算,并应符合下列规定:

1 在竖直方向上,应按沉井外侧四周作用由摩阻力把沉井箍住,刃脚下土已挖空进行井壁垂直拉应力验算,混凝土沉井接缝处拉应力由接缝钢筋承受,并验算钢筋的锚固长度。

2 在水平方向上,应按本规范第 6.2.1 条的水平作用,将沉井作为水平框架进行验算。在验算刃脚斜面以上高度等于该处壁厚的一段井壁时,除承受该段井壁范围内的水平作用外,还应承受由刃脚悬臂传来的水平力。

6.7.9 沉井的平面尺寸应根据隧道施工设备、管道施工要求和地基容许承载力确定,并应符合阻力较小、受力合理、简单对称和施

工方便的要求。棱角处宜用圆角或钝角。沉井外壁可做成竖直的或台阶形,台阶的宽度宜为 100mm~200mm。

6.7.10 沉井井壁变截面台阶宽度可采用 100mm~200mm。沉井最下部台阶宜设在底板以上,距底板面不宜小于 1 倍凹槽处壁厚。

6.7.11 沉井刃脚根据地质情况,可采用尖刀或带踏面的刃脚,刃脚的踏面底宽宜为 50mm~400mm,刃脚斜面与水平面夹角宜为 45° ~ 60° 。刃脚的竖向钢筋应设置在水平钢筋的外侧,并应锚入刃脚根部以上。

II 钻爆法施工的暗挖结构

6.7.12 钻爆法施工的竖井结构设计,初期支护及二次衬砌的设计参数,可采用工程类比法确定,并通过理论分析进行验算。

6.7.13 复合式衬砌设计应包括围岩在内的支护结构、开挖方法、施工顺序因素,应充分发挥围岩的自承能力。

6.7.14 复合式衬砌的初期支护,宜采用喷射混凝土、格栅钢架或锚杆为主要支护手段;二次衬砌宜采用模筑混凝土。

6.7.15 喷锚支护参数,应根据围岩级别、竖井断面尺寸等因素,通过计算或采用工程类比法确定。

6.7.16 松散堆积层、含水砂层及软弱围岩的竖井设计应遵守下列规定:

1 衬砌应采用钢筋混凝土结构。

2 通过松散堆积层或含水层时,施工时宜从地表或沿竖井周边向围岩注浆进行预加固;施工中宜采用超前小导管注浆或管棚超前支护措施。

3 应根据具体情况对地表水和地下水做出妥善处理。

III 放坡开挖或护壁施工的明挖结构

6.7.17 明挖结构应根据工程地质、水文地质、开挖深度、施工方法条件来进行设计,并进行抗浮、整体滑移及地基稳定性验算。

6.7.18 明挖结构的围护结构宜采用地下连续墙、钻孔咬合桩、型

钢水泥土搅拌墙以及高压旋喷桩。

6.7.19 明挖结构的衬砌应符合下列规定：

- 1 宜采用整体式钢筋混凝土衬砌或装配式钢筋混凝土构件。
- 2 地下连续墙、钻孔咬合桩、型钢水泥土搅拌墙以及高压旋喷桩支护宜作为主体结构侧墙的一部分与内衬墙共同受力。墙体的结合方式根据使用、受力及防水要求，宜选用叠合式或复合式构造。当满足耐久性要求时，宜将地下连续墙作为主体结构的单一侧墙。

6.7.20 明挖法围护结构应符合下列规定：

1 根据工程特点、工程地质、水文地质条件和环境保护要求确定其安全等级及地面允许最大沉降量和围护墙的水平位移控制要求，选择支护形式、地下水处理方法和基坑保护措施。

2 桩、墙式围护结构的设计应根据设定的开挖工况和施工顺序按竖向弹性地基梁模型逐阶段计算其内力及变形。当计入支撑作用时，应计入每层支撑设置时墙体已有的位移和支撑的弹性变形。

3 围护结构的设计，在确定计算土压力时，应综合围护墙的平面形状、支撑方式、受力条件及基坑变形控制要求因素，结构宜按墙背土压力随开挖过程变化的方法分析。

4 桩、墙式围护结构的设计，在软土地层中，水平基床系数的取值宜根据挖土方式、时限、支撑架设顺序及时间影响确定。

5 竖井基坑应进行抗滑移和倾覆的整体稳定性、基坑底部土体抗隆起和抗渗流稳定性以及抗坑底以下承压水的稳定性验算。

6.7.21 地下连续墙应符合下列规定：

1 地下连续墙单元槽段的长度和深度，应根据竖井结构的使用要求和结构特点、工程地质和水文地质条件、施工条件和施工环境因素以及类似工程的实际经验确定，必要时应进行现场成槽试验。

2 地下连续墙相邻墙段之间宜采用不传力的接缝方式，当有

特殊要求时,接缝构造应满足传力和防水要求。接缝位置应与竖井内部结构相接处错开。

3 当地下连续墙与主体结构连接时,预埋在墙内的受力钢筋、钢筋连接器或连接板锚筋,均应满足受力和防水要求,其锚固长度应符合构造规定。钢筋连接器的性能应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。

4 地下连续墙的墙面倾斜度不宜大于 1/300,局部突出不宜大于 100mm。

5 地下连续墙应进行纵向、横向内力计算及抗隆起稳定性验算。

6 现浇地下连续墙的混凝土强度等级不应低于 C25。

6.7.22 当采用钻孔咬合桩、型钢水泥土搅拌墙、高压旋喷桩作为竖井外围结构时,宜按照上述三种方式地基处理的有关规范执行。

6.7.23 型钢水泥土搅拌墙应符合下列规定:

1 型钢水泥土搅拌墙适用于填土、淤泥质土、黏性土、粉土、砂性土、饱和黄土地层。对淤泥、泥炭土、有机质土以及地下水具有腐蚀性和无工程经验的地区,应通过现场试验确定其适用性。

2 型钢水泥土搅拌墙中三轴水泥土搅拌桩的直径宜采用 650mm、850mm、1000mm;内插型钢宜采用 H 型钢。

3 型钢水泥土搅拌墙的选型应根据竖井开挖深度、周边的环境条件、场地工程地质和水文地质条件、竖井形状与规模、支撑或锚杆体系的设置情况综合确定。

4 型钢水泥土搅拌墙的计算变形容许值应根据周边环境条件和竖井开挖深度综合确定。

5 型钢水泥土搅拌墙的墙体计算抗弯刚度,只应计算内插型钢的截面刚度。在进行支护结构内力和变形计算以及竖井抗隆起、抗倾覆、整体稳定性各项稳定性分析时,支护结构的深度应取型钢的插入深度,不应计入型钢端部以下水泥土搅拌桩的作用。

6 水泥土搅拌桩的入土深度,除应满足型钢插入要求外,尚

应满足竖井抗渗流稳定性的要求。

6.8 斜巷工程

6.8.1 斜巷口应高出所在位置设计洪水水位以上 0.5m;当不满足要求时,应采取防洪措施。

6.8.2 斜巷设计坡度应根据提升量、斜巷长度、坡度及洞口地形确定,并应符合下列规定:

- 1 采用箕斗提升,不应大于 35° ;
- 2 采用串车提升,不应大于 25° ;
- 3 采用胶带输送机提升,不应大于 15° 。

6.8.3 斜巷应设置宽度不小于 0.7m 的人行道;当斜巷长度每超过 50m 时,应设置躲避洞,躲避洞的净空尺寸宽、深、高分别不宜小于 1.5m、1.0m、1.8m;当斜巷坡度大于 15° 时,应设置台阶及扶手。

6.8.4 斜巷底部的马头门应能满足隧道内所需的材料和设备通过的要求。

6.8.5 斜巷出口段和地质较差的地段,宜采用复合式衬砌或整体衬砌;马头门应根据围岩类别作衬砌;井口段、通过地质较差的井身段及马头门的上方宜设壁座。

6.8.6 斜巷底部应根据设计涌水量选择集、排水方式和相应的设施。

6.8.7 斜巷施工运输应采取下列安全措施。

1 运输轨道应设防爬措施,每根钢轨应装两组以上防爬设备。

2 提升机应设置深度指示器自动示警,并应有防卷装置。

3 运输斗车之间、斗车与钢丝绳之间应有可靠的连接装置,并应加装保险绳。

4 井口应设置挡车器,并应经常关闭;有车辆行驶打开时,人员不得通行。

5 每隔 100m 应在轨道上设防跑车装置一处,接近井底时应再设一处。

6 提升机房、井口、井底均应有联系信号,并有专人值守。

6.9 工程材料

6.9.1 隧道结构的工程材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境因素选用,并应符合可靠性、耐久性和经济性要求。工程所用的建筑材料,均应符合国家现行有关标准。

6.9.2 混凝土的原材料和配比、最低强度等级、最大水灰比和单方混凝土的胶凝材料最小用量应符合耐久性要求,满足抗裂、抗渗、抗冻和抗侵蚀的需要。隧道结构设计混凝土的最低设计强度等级应符合表 6.9.2 的规定。

表 6.9.2 隧道设计混凝土的最低设计强度等级

钻爆法	喷锚衬砌/喷锚支护	C20/C25
	混凝土/钢筋混凝土衬砌	C25/C30
盾构法	装配式钢筋混凝土管片	C50
顶管法	钢筋混凝土顶管	C50

6.9.3 工程所用钢材应符合国家现行有关标准的规定,其许用拉应力和许用压应力不应超过其规定最低屈服强度的 60%,许用剪应力不应超过其规定最低屈服强度的 45%,支承应力不应超过其规定最低屈服强度的 90%。

6.9.4 普通混凝土和喷锚支护结构中的钢筋及预应力混凝土结构中的非预应力钢筋宜采用 HRB400、HRB335 或 HRB300 级钢筋;预应力混凝土结构中的预应力钢筋,宜采用预应力钢绞线、钢丝,或采用热处理钢筋。

6.9.5 钢筋混凝土管片间的螺纹紧固件的连接形式及其机械性能等级应满足构造和结构受力要求,表面应进行防腐蚀处理。

6.9.6 喷锚支护喷射混凝土应采用湿喷;速凝剂宜采用无碱系列环保型产品,水泥强度不宜低于 42.5 级。

6.9.7 初期支护的钢架宜采用型钢、钢筋或钢管制成,钢管和型钢以及锚杆垫板材质宜为 Q235A。

6.10 防水与排水

6.10.1 隧道防水与排水应符合下列规定:

1 应采取可靠的设计、施工措施,保障结构物和设备的正常使用。对地表水和地下水应作妥善处理,洞内外应形成一个完整的防排水系统。

2 隧道防水应满足:衬砌不漏水,安装设备的孔眼不渗水;隧道排水通畅,不浸水;在有冻害地段的隧道,衬砌背后不积水,凝冻季节洞口应封闭,排水沟不冻结。

3 隧道修建及运营中的排水有可能影响周围环境的,应采取防止水土流失、保证水系正常流动的措施。

6.10.2 钻爆法隧道应采取以下防水措施:

1 隧道衬砌防水应充分利用混凝土结构的自防水能力,其抗渗等级不应低于 P6,根据埋置深度采用的抗渗等级不应低于 P8。在有冻害和最冷月平均气温低于 -15°C 的地区,防水混凝土的等级应提高。

2 防水混凝土结构的厚度不应小于 250mm,裂缝宽度不应大于 0.2mm,并不应贯通。当衬砌为钢筋混凝土时,迎水面主筋保护层厚度不应小于 50mm。

3 复合衬砌初期支护与二次衬砌之间可铺设防水板或系统盲管、盲沟。

4 围岩破碎、富水、易坍塌地段及地下水、岩溶发育存在突水、突泥可能的特殊地质地段应进行超前地质预报,遇水应注浆堵水或采取其他防水措施。

5 地下水有侵蚀性时,应针对侵蚀类型,压注抗侵蚀浆液,敷设防水、防蚀层,采用抗侵蚀性混凝土措施。

6 最冷月平均气温低于 -15°C 地区,对地下水的处理应以

堵为主。

6.10.3 钻爆法隧道洞口防水与排水应符合下列规定：

- 1 隧道和明洞的洞口应设置截水沟和排水沟。
- 2 多雨地区，宜采取措施防止洞口仰坡范围内地表水下渗和冲刷。

3 截水沟设置应符合下列要求：

- 1) 应设置在洞顶边仰坡外不小于 5m；
- 2) 截水沟坡度应根据地形设置，不应小于 1%。当纵坡过陡时应设计急流槽或跌水连接，水沟截面尺寸根据流入截水沟的汇水区流量确定。水量大时，应根据地形将水引至沟谷或涵洞处排泄。

6.10.4 盾构法隧道防水应符合下列规定：

- 1 盾构法隧道结构混凝土抗渗等级不应低于 P12。
- 2 盾构隧道衬砌结构防水措施选择应符合表 6.10.4 的规定。

表 6.10.4 盾构隧道防水措施选择

防水措施	衬砌结构自防水	接缝防水			
		弹性密封垫	嵌缝	注入密封胶	螺孔密封圈
选项	必选	必选	宜选	可选	应选

3 管片接缝应设置密封垫沟槽。防水材料的规格、技术性能和螺孔、嵌缝槽部位的防水措施除应满足设计要求外，应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规定。

4 管片接缝密封垫应满足在设计水压下和接缝最大张开或错位下不渗漏的要求。

6.10.5 顶管法隧道钢筋混凝土套管的防水应符合下列规定：

- 1 隧道防水应以套管自防水为基础，接缝防水为重点。
- 2 钢筋混凝土套管钢承插口接头应采用橡胶密封垫填充。
- 3 弹性密封填料根据周围环境条件可采用丁腈橡胶、氯丁橡胶及三元乙丙橡胶。

6.10.6 盾构及顶管机头设备进出洞防水应根据具体的地质、水文条件进行专项设计,可采用降水、地层改良、加设止水环、止水板一项或多项措施。

6.11 隧道附属设施

6.11.1 需要维修作业或后期有安装工程的水下隧道,应设置抽排水设施。

6.11.2 水封运营隧道的竖井应采用可检查、维修的方式封井。

6.11.3 非水封运营的水下隧道,其竖井或巷道洞口部位应设固定式可燃气体监测仪。

6.11.4 隧道洞门型式应满足管道安装、检修、保护及洞内外管道连接要求。

6.12 隧道内管道安装

6.12.1 山岭隧道的平巷、斜巷内管道宜采用支墩架空敷设或覆土敷设;水域隧道内管道宜采用支墩架空敷设。

6.12.2 隧道内的管道布置应满足安装需要,除顶管隧道外,宜保留人员行走、查看管道的空间。

6.12.3 隧道内的管段应根据管道输送介质压力、管段重力的轴向分力及管段安装温度与运行温度差作用进行轴向稳定性验算。当不满足要求时,宜选择加强支座锚固力、设置补偿器进行变形补偿措施。

6.12.4 水域隧道应对内部管段进行抗漂浮核算,并应采取稳管措施。

6.12.5 当采用支墩架空敷设时,宜采用滑动或滚动支座。管道对接环焊缝不应设置在支座处。支承点间距应满足管段的强度与稳定要求。

6.12.6 隧道内支墩架空安装管道的构件材料可选用普通钢材和不锈钢;当选用普通钢材时,所有钢构件其表面均应采用耐环境腐

蚀的防腐层或设置牺牲阳极保护措施。管道连接件应采用同一金属材质。构件设计中宜避免难于检查、清刷的死角和凹槽。

6.12.7 管道和管支座、锚固墩、锚固件之间应有良好的绝缘。

6.12.8 水域隧道宜充水运营；陆上隧道洞门宜按照封闭运营进行设计。

7 公路、铁路穿越设计

7.1 一般规定

7.1.1 油气管道不宜与公路、铁路反复交叉穿越;需要与公路、铁路交叉时,其穿越点宜选在公路、铁路的路堤段和管道的直线段,穿越宜避开高填方区、路堑、路两侧为同坡向的陡坡地段。当条件受限时也可从公路、铁路的桥梁下交叉穿越。

7.1.2 在穿越公路、铁路的套管或涵洞内,输送管道不应设置水平或竖向弯管。

7.1.3 穿越铁路或二级及以上公路时,应采用顶进套管、顶进箱涵或水平定向钻穿越方式,并满足路基稳定性的要求。对三级及三级以下公路穿越,可采用挖沟法埋设。当套管或涵洞内空间充填细土将穿越管段埋入时,可不设检漏管及两端的封堵。

7.1.4 采用钢套管穿越公路的管段,对管道阴极保护形成屏蔽作用时,应增加牺牲阳极保护。

7.1.5 新建公路、铁路与已建管道交叉时,应设置保护管道的涵洞,涵洞尺寸应满足管道运营维护要求。

7.1.6 油气管道与公路、铁路宜垂直交叉,在特殊情况下,交角不宜小于 30° 。油气管道与公路、铁路桥梁交叉时,在对管道采取防护措施后,交叉角可小于 30° ,防护长度应满足公路、铁路用地范围以外3m的要求。

7.1.7 油气管道穿越公路、铁路时,其穿越点四周应有足够的空间,满足管道穿越施工、维护及邻近建(构)筑物和设施安全距离的要求。

7.1.8 油气管道不应利用公路、铁路的排水涵洞进行穿越。

7.1.9 油气管道穿越公路、铁路时,套管顶部最小覆盖层厚度应

符合表 7.1.9 的要求。

表 7.1.9 套管顶部最小覆盖层厚度

穿越分类	位置	最小覆盖层(m)
铁路穿越	铁路路肩以下	1.7
	自然地面或者边沟以下	1.0
公路穿越	公路路面以下	1.2
	公路边沟底面以下	1.0

7.1.10 管道穿越公路、铁路时,输送管道或套管的底部应放置在密实而均匀的地层上。

7.1.11 采用套管穿越公路、铁路时,套管内径应大于输送管道外径 300mm 以上。套管采用人工顶管施工方法时,套管内直径不宜小于 1m。

7.1.12 采用套管穿越公路、铁路时,套管长度宜伸出路堤坡脚、排水沟外边缘不小于 2m;当穿过路堑时,应长出路堑顶不小于 5m。被穿越的公路、铁路有扩建规划时,应按照扩建后的情况确定套管长度。

7.1.13 采用涵洞穿越铁路时,涵洞净空高度不宜小于 1.8m,涵洞内宽度不宜小于输送管道外径加 2.5m。

7.1.14 采用直接钻孔法敷设穿越管道或者套管时,其钻孔孔径直径不应超过输送管道或者套管外直径 50mm。

7.2 无套管穿越设计

7.2.1 无套管穿越管段设计应进行强度、疲劳、变形、稳定计算。

7.2.2 无套管穿越管段承受的作用除按本规范第 4.3.1 条规定的以外,可变作用应包括车辆荷载,偶然作用应包括地基不均匀变形。

7.2.3 无套管穿越管段结构计算,应根据实际可能发生的情况进行作用组合。主要组合应为永久荷载与车辆荷载之和;附加组合应为永久荷载与可能发生的可变荷载之和;特殊组合应为主要荷

载与偶然作用荷载之和。主要组合按本规范第 7.2.4 条～第 7.2.7 条计算,其他组合根据实际情况进行计算分析。

7.2.4 无套管穿越公路的土压力产生的管道应力计算,应符合本规范附录 F 的规定。

7.2.5 公路车辆荷载产生的管道循环应力计算,应符合本规范附录 G 的规定。

7.2.6 管道内部压力产生的管道环向应力应按本规范第 4.4.2 条第 1 款规定计算。

7.2.7 穿越公路的管道应按本规范第 4.4.2 条与第 4.4.3 条进行强度核算。

7.2.8 无套管穿越公路的管道,应按下列方法进行管道环向焊缝和轴向焊缝疲劳复核。

1 环向焊缝疲劳应按下式进行复核。

$$\sigma_{Lh} \leq \sigma_{FG} \cdot F \quad (7.2.8-1)$$

式中: σ_{Lh} ——车辆荷载产生的管道轴向循环应力(kPa);

σ_{FG} ——钢管环向焊缝耐疲劳极限值(kPa),按表 7.2.8 取值;

F ——设计系数,按本规范表 3.2.2 选用。

2 轴向焊缝疲劳应按下式进行复核。

$$\sigma_{Hh} \leq \sigma_{FL} \cdot F \quad (7.2.8-2)$$

式中: σ_{Hh} ——管道环向循环应力(kPa);

σ_{FL} ——管道纵向焊缝耐疲劳极限值(kPa),按表 7.2.8 取值。

表 7.2.8 钢管环向、纵向焊缝耐疲劳极限值 σ_{FG} 、 σ_{FL}

钢材等级	最小屈服强度 σ_s (MPa)	最小抗拉强度 (MPa)	σ_{FG} (MPa)		
			所有类型焊缝	电阻焊	埋弧焊
L 175(A25)	175	315	83	145	83
L 210(A)	210	335	83	145	83
L 245(B)	245	415	83	145	83
L 290(X42)	290	415	83	145	83

续表 7.2.8

钢材等级	最小屈服强度 σ_s (MPa)	最小抗拉强度 (MPa)	σ_{FG} (MPa)	σ_{FL} (MPa)	
			所有类型焊缝	电阻焊	埋弧焊
L 320(X46)	320	435	83	145	83
L 360(X52)	360	460	83	145	83
L 390(X56)	390	490	83	159	83
L 415(X60)	415	520	83	159	83
L 450(X65)	450	535	83	159	83
L 485(X70)	485	570	83	172	90
L 555(X80)	555	625	83	186	97

注:根据材料的规定屈服强度选取材料的耐疲劳极限值,材料的规定屈服强度与表中数据不完全相同时,耐疲劳极限值应选用最接近且小于材料的规定屈服强度对应钢材等级的耐疲劳极限值。

7.2.9 采用无套管的开挖穿越管段,距管顶以上 500mm 处应埋设钢筋混凝土板;混凝土板上方应埋设警示带。

7.2.10 采用无套管挖沟法穿越管段,回填土必须压实或夯实。路面恢复应达到现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTJF 80/1 的要求。

7.2.11 无套管穿越公路的管段,应验算无内压状态下,管段的径向变形。验算方法根据输送介质的类型,应按现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 和《输油管道工程设计规范》GB 50253 的有关规定进行。

7.3 有套管穿越设计

7.3.1 采用涵洞、套管等保护方法穿越公路、铁路时。宜采用钢筋混凝土涵洞、钢筋混凝土套管或者钢质套管。

7.3.2 钢筋混凝土涵洞、套管的设计应根据穿越公路、铁路的不同要求,分别执行现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTGD 60、《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1 的有关规定。

7.3.3 钢质套管设计宜按本规范第 7.2 节中无套管穿越计算,强度设计系数 F 应执行本规范第 3.2.2 条有关规定,套管的外径与壁厚之比不应小于 70,且最小壁厚不应小于 7mm。

7.3.4 套管中的输送管道应设置绝缘支撑,设计中应提出保持管道防腐涂层完整性的技术要求。

7.3.5 当一根套管中设置两根或者两根以上输送管道时,应使不同输送管道之间、输送管道与套管之间互相绝缘。

8 焊接、试压及防腐

8.1 焊接、检验

8.1.1 管道焊接应按现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251、《输油管道工程设计规范》GB 50253 与《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369 的有关规定执行。

8.1.2 水域大、中型穿越管段、山岭长隧道、山岭中长隧道、铁路、二级与二级以上公路的穿越管段,对接接头焊缝均应进行 100% 射线探伤检验和 100% 超声波探伤检验。

8.1.3 采用射线探伤检验和超声波探伤检验应按现行行业标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 进行验收,Ⅱ级及以上为合格。

8.2 清管、测径及试压

8.2.1 穿越管段试压前应进行清管,试压后应再进行清管,输气管道应进行干燥处理。

8.2.2 水域大、中型穿越,山岭长隧道、铁路、高速公路、一级公路穿越管段应单独进行试压。水域小型穿越管段、山岭中长隧道、山岭短隧道、二级及以下的公路穿越管段,在试压条件许可的前提下可与所在线路段合并进行试压。

8.2.3 单独进行试压的穿越管段试压前应进行清管、测径。

8.2.4 穿越管段应分强度试压与严密性试压两阶段进行,严密性试压应在强度试压合格后进行。在稳压时间内压降不大于试验压力的 1% 为合格。

8.2.5 穿越管段应采用无腐蚀性洁净水作为试压介质。试压时环境温度不宜低于 5℃;若环境温度在 5℃ 以下试压,应采取防冻

措施。

8.2.6 单独试压的穿越管段,强度试验压力不应小于该处设计内压力的 1.5 倍,强度试压稳压时间不应少于 4h;试压时的环向应力不宜大于钢管的屈服强度的 90%。穿越管段的严密性试验的压力不应低于该处设计内压力、稳压时间不应少于 24h。

8.2.7 重要的水域水平定向钻穿越管段,除应在回拖前按照本规范第 8.2.3 条~第 8.2.6 条进行清管、测径、试压以外,回拖后宜进行第二次严密性试压,第二次严密性试压的压力为设计压力,稳压时间不应小于 4h。

8.2.8 穿越管段与两端线路管段连接处的焊口不应强力组装,不应出现使连接管段发生强制变形的连接。

8.3 防 腐

8.3.1 穿越管段应按现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规程》GB/T 21447 进行腐蚀控制设计。

8.3.2 穿越管段应根据穿越工程需要选取适宜的防腐涂层。当所选防腐涂层种类与线路段相同时,应比相邻线路管段提高一个等级,或采用该种涂层标准中的最高级。防腐涂层的防腐、补口及补伤,应按管段所用防腐涂层的相关标准要求执行。

8.3.3 水平定向钻穿越段位于岩石、卵石、砾石段地层时,宜选择耐磨、耐划伤的管道防腐涂层;或在防腐层外侧施加保护层。

8.3.4 管道支撑件、护管或稳管构筑物处于腐蚀性环境中时,应采用相应的防腐蚀措施。

8.3.5 水域大中型穿越管段的一端应设置阴极保护的测试点,小型穿越管段可与一般线路段结合不单独设阴极保护测试点。

8.3.6 大型水域穿越管段若有接地或独立采用牺牲阳极保护,管段两端宜设置绝缘接头。

8.3.7 穿越管段的稳管构筑物、隧道中的支护管段构筑物或构件,应与管段绝缘,但不应对管段产生电屏蔽。

8.3.8 穿越管段的补口和补伤,应按照管段所用防腐涂层的相关标准要求执行,并应按照管道施工安装、运营环境条件提出相应的技术要求。

8.3.9 穿越管段敷设时应达到所选用涂层等级的漏电检测要求;安装时不应损伤防腐涂层的完整性,安装完毕后,应再对管段进行检漏,应达到所选用涂层等级的漏电检测要求。

附录 A 偏压隧道衬砌作用计算方法

A. 0. 1 偏压隧道设计时,在假定偏压分布图形与地面坡度一致(图 A. 0. 1)作用下,其垂直压力宜按下列公式计算:

$$Q = \frac{\gamma}{2} [(h+h')B - (\lambda h^2 + \lambda' h'^2) \tan \theta] \quad (\text{A. 0. 1-1})$$

$$\lambda = \frac{1}{\tan \beta - \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta} \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

$$\lambda' = \frac{1}{\tan \beta' - \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta' - \tan \varphi_c}{1 + \tan \beta' (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta} \quad (\text{A. 0. 1-3})$$

$$\tan \beta = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1)(\tan \varphi_c - \tan \alpha)}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (\text{A. 0. 1-4})$$

$$\tan \beta' = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1)(\tan \varphi_c + \tan \alpha)}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (\text{A. 0. 1-5})$$

式中: h ——内侧由拱顶水平至地面的高度(m);

h' ——外侧由拱顶水平至地面的高度(m);

B ——隧道宽度(m);

γ ——围岩重度(kN/m^3);

θ ——顶板土柱两侧摩擦角($^\circ$);当无实测资料时,宜按表 A. 0. 1 选取;

λ ——内侧的侧压力系数;

λ' ——外侧的侧压力系数;

α ——地面坡度角($^\circ$);

φ_c ——围岩计算摩擦角($^\circ$);

β ——内侧产生最大推力时的破裂角($^\circ$);

β' ——外侧产生最大推力时的破裂角($^\circ$);

表 A. 0.1 顶板土桩两侧摩擦角 θ 取值

围岩级别	I ~ III	IV	V	VI
θ 值	$0.9\varphi_c$	$(0.7\sim 0.9)\varphi_c$	$(0.5\sim 0.7)\varphi_c$	$(0.3\sim 0.5)\varphi_c$

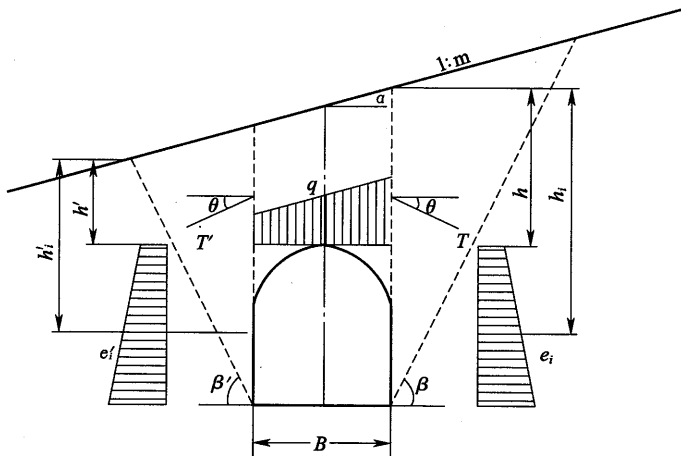


图 A. 0.1 偏压隧道衬砌作用(荷载)计算图式

A. 0.2 在荷载作用下的水平侧压力宜按下列公式计算:

$$\text{内侧:} \quad e_i = \gamma h_i \lambda \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

$$\text{外侧:} \quad e_i = \gamma h_i' \lambda'' \quad (\text{A. 0. 2-2})$$

式中: h_i ——内侧任一点 i 至地面的距离(m);

h_i' ——外侧任一点 i 至地面的距离(m)。

附录 B 浅埋隧道衬砌作用计算方法

B.0.1 地面基本水平的浅埋隧道，所受作用具有对称性（图 B.0.1）。计算应符合下列规定：

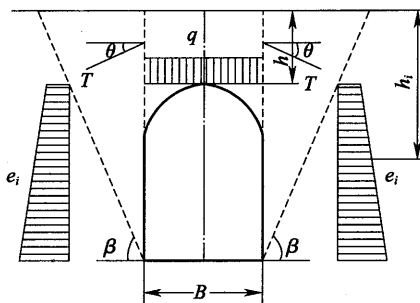


图 B.0.1 地面基本水平线浅埋隧道作用计算

1 垂直压力应按下列公式计算：

$$q = \gamma h \left(1 - \frac{\lambda h \tan \theta}{B} \right) \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\lambda = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta]} \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\tan \beta = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1) \tan \varphi_c}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (\text{B.0.1-3})$$

式中： B ——隧道宽度(m)；

γ ——围岩重度(kN/m^3)；

h ——洞顶至地面高度(m)；

θ ——顶板土柱两侧摩擦角($^\circ$)，为经验数值；

λ ——侧压力系数；

φ_c ——围岩计算摩擦角($^\circ$)；

β ——产生最大推力时的破裂角(°)。

2 水平压力应按下式计算：

$$e_i = \gamma h_i \lambda \quad (\text{B. 0. 1-4})$$

式中： h_i —内外侧任意点至地面的距离(m)。

B. 0. 2 当洞顶至地面高度 h 小于深埋隧道垂直作用计算高度 h_a 时，取 $\theta=0$ ，应属超浅埋隧道。

B. 0. 3 当洞顶至地面高度 h 大于等于 2.5 倍深埋隧道垂直作用计算高度 h_a 时，式(B. 0. 1-1)不适用，应按深埋隧道计算。

附录 C 盾构隧道、顶管隧道作用计算

C.0.1 作用在结构上的竖向土压力,其标准值应按覆盖土层厚度及其物理力学指标确定。

1 当结构顶覆盖土层为淤泥质土时,隧道顶竖向土压力标准值应按下列式计算:

$$F_{sv.k1} = \sum_{i=1}^n r_{si} h_i \quad (\text{C.0.1-1})$$

隧道拱背部的竖向土压力可近似地简化成均布压力,其标准值为:

$$F_{sv.k2} = 0.215 r_{si} R_2 \quad (\text{C.0.1-2})$$

式中: $F_{sv.k1}$ ——隧道顶上部竖向土压力标准值(kN/m²);

$F_{sv.k2}$ ——隧道拱背部竖向土压力标准值(kN/m²);

r_{si} ——隧道上部第*i*层土层重度(kN/m³),地下水以下取有效重度;

h_i ——隧道上部第*i*层土层厚度(m);

R_2 ——隧道外半径(m)。

2 隧道顶覆土层不属上述情况时,隧道顶竖向土压力标准值应按下列公式计算:

$$F_{sv.k3} = C_j (r_{si} B_t - 2C) \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$B_t = D_1 \left[1 + \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$C_j = \frac{1 - e^{-2K_a \mu \frac{H}{B_t^3}}}{2K_a \mu} \quad (\text{C.0.1-5})$$

式中: $F_{sv.k3}$ ——隧道顶上部竖向土压力标准值(kN/m²);

C_j ——隧道竖向土压力系数;

B_t ——隧道上部土层压力传递到管顶处的影响宽度(m);

D_1 ——隧道外径(m)；

φ ——隧道顶土体的内摩擦角(°)；

C ——土体的黏聚力(kN/m²)；

H_s ——隧道顶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，黏性土可取 0.13，饱和黏土可取 0.110，砂和砾石可取 0.165。

3 当盾构、顶管隧道穿越岩层时，隧道顶部竖向岩石应按下式对水、土压力分算：

$$F_{sv,k4} = r_s H_s + \alpha r H_w \quad (\text{C. 0. 1-6})$$

式中： $F_{sv,k4}$ ——隧道顶上部竖向土压力标准值(kN/m²)；

r_s ——穿越围岩容重；

H_s ——隧道围岩松动影响高度(m)，一般取 1 倍~2 倍隧道外径；

α ——水压影响系数，一般取 0.2~0.8；穿越围岩节理、裂隙发育，渗透系数不小于 10^{-3} cm/s 且其上没有隔水土层时，取 0.8，穿越围岩微、弱透水或围岩上有较厚隔水层时，取 0.2；

H_w ——隧道顶至设计洪水位高差(m)。

C. 0. 2 作用在隧道上的侧向土压力，采用水土分算，土的侧压力为主动土压力，地下水压力按静水压力计算，水的重度可取 10kN/m³。主动土压力可按下列公式计算：

$$F_{h,k} = \left(F_{sv,ki} + \frac{r_{si} D_1}{2} \right) K_a - 2C \sqrt{K_a} \quad (\text{C. 0. 2-1})$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (\text{C. 0. 2-2})$$

式中： $F_{h,k}$ ——隧道侧向土压力标准值(kN/m²)，作用在隧道中心；

K_a ——主动土压力系数；

φ ——隧道顶土体的内摩擦角(°)。

C. 0. 3 温度作用标准值，其准永久作用系数可取 1.0。

附录 D 盾构管片内力计算

D.1 隧道截面内力计算的基本原则

D.1.1 隧道的结构计算,应根据施工过程中的每个阶段和竣工后的状态下的作用分别进行计算。

D.1.2 隧道横截面的设计作用,应以作为设计对象的隧道区间内最不利的条件为基础进行确定。

D.1.3 钢筋混凝土管片的非静定力或弹性变形计算,可不计算钢筋影响,将混凝土全截面视为有效截面进行计算。

D.1.4 管片截面内力计算可采用惯用计算法、修正惯用计算法、梁弹簧模型法。

D.2 隧道截面内力惯用法与修正惯用法计算

D.2.1 隧道管片结构受力计算可按图 D.2.1 进行。

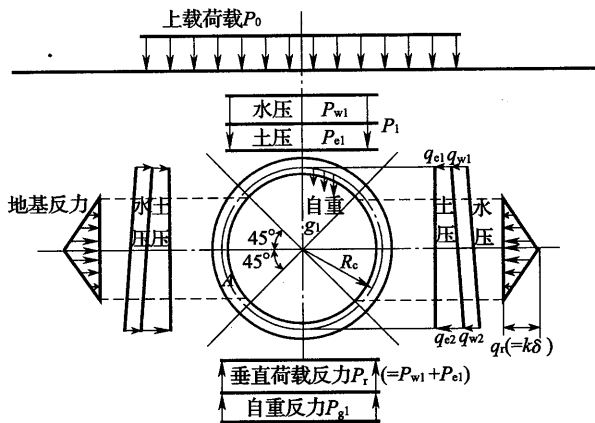


图 D.2.1 隧道管片结构受力计算图

D. 2. 2 惯用计算法和修正惯用计算法的隧道管片截面内力计算公式可按表 D. 2. 2。

表 D. 2. 2 惯用计算法和修正惯用计算法的隧道管片截面内力计算公式

作用	弯矩	轴向力	剪力
垂直作用 ($P_{e1} + P_{w1}$)	$M = \frac{1}{4}(1 - 2\sin^2\theta) \times (P_{e1} + P_{w1})R_c^2$	$N = (P_{e1} + P_{w1})R_c \sin^2\theta$	$Q = -(P_{e1} + P_{w1})R_c \sin\theta \cos\theta$
水平作用 ($q_{e1} + q_{w1}$)	$M = \frac{1}{4}(1 - 2\cos^2\theta) \times (q_{e1} + q_{w1})R_c^2$	$N = (q_{e1} + q_{w1})R_c \cos^2\theta$	$Q = (q_{e1} + q_{w1})R_c \sin\theta \cos\theta$
水平三角形作用 ($q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}$)	$M = \frac{1}{48}(6 - 3\cos\theta - 12\cos^2\theta + 4\cos^3\theta)(q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1})R_c^2$	$N = \frac{1}{16}(\cos\theta + 8\cos^2\theta - 4\cos^3\theta)(q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1})R_c$	$N = \frac{1}{16}(\sin\theta + 8\sin\theta \cos\theta - 4\sin\theta \cos^2\theta)(q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1})R_c$
水平地基反力 ($q_r = k\delta$)	当 $0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ 时 $M = (0.2346 - 0.3536 \cos\theta)k\delta R_c^2$ 当 $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $M = (-0.3487 + 0.5\sin^2\theta + 0.2357\cos^3\theta)k\delta R_c^2$	当 $0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ 时 $N = 0.3536k\delta R_c \cos\theta$ 当 $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $N = (-0.7071\cos\theta + \cos^2\theta + 0.7071\sin^2\theta \cos\theta) \times k\delta R_c$	当 $0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ 时 $Q = 0.3536k\delta R_c \sin\theta$ 当 $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $Q = (\sin\theta \cos\theta - 0.7071 \cos^2\theta \sin\theta)k\delta R_c$
自重 ($P_{g1} = \pi g_1$)	当 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $M = (\frac{3}{8}\pi - \theta \sin\theta - \frac{5}{6}\cos\pi)gR_c^2$ 当 $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ 时 $M = [-\frac{1}{8}\pi + (\pi - \theta) \sin\theta - \frac{5}{6}\cos\theta - \frac{1}{2}\pi \sin^2\theta]gR_c^2$	当 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $N = (\theta \sin\theta - \frac{1}{6}\cos\theta)gR_c$ 当 $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ 时 $N = (-\pi \sin\theta + \theta \sin\theta + \pi \sin^2\theta - \frac{1}{6}\cos\theta)gR_c$	当 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $Q = -(\theta \cos\theta + \frac{1}{6}\sin\theta)gR_c$ 当 $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ 时 $Q = [(\pi - \theta) \cos\theta - \pi \sin\theta \cos\theta - \frac{1}{6}\sin\theta]gR_c$

续表 D. 2. 2

作用	弯矩	轴向力	剪力
管片环 水平直径 点的水平 方向变位 (δ)	不算衬砌自重引起的地基抗力 $\delta = \frac{[2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2})]R_c^4}{24(\eta EI + 0.0454kR_c^4)}$ 计算了衬砌自重引起的地基抗力 $\delta = \frac{[2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2}) + \pi g]R_c^4}{24(\eta EI + 0.0454kR_c^4)}$ EI 为单位宽度弯曲刚度		

D. 2. 3 当利用惯用算法、修正惯用算法时,混凝土管片主体、管片接头的弯矩设计值应分别按下列公式计算:

$$M_z = (1 + \zeta)M_g \quad (\text{D. 2. 3-1})$$

$$M_t = (1 - \zeta)M_g \quad (\text{D. 2. 3-2})$$

式中: M_c ——管片主体弯矩设计值(N·m);

M_t ——管片接头弯矩设计值(N·m);

M_g ——惯用算法弯矩计算值(N·m);

ζ ——弯矩增减系数(0~1.0),地基反力大的坚硬地基取低值,地基反力小的软弱地基取高值。

D. 2. 4 管片主体的剪力设计值取主体最大计算剪力值,同时应对斜向受拉钢筋进行应力校核。

D. 2. 5 管片接头的剪力设计值取主体最大计算剪力值,应对每处接头的全部螺栓进行应力校核。

D. 2. 6 当利用惯用算法、修正惯用算法时,不能计算环间设计剪力值,但可由垂直水、土压力及自重求解每一环的剪力值。

附录 E 顶管法隧道结构计算

E.1 管道允许顶力计算

E.1.1 钢管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算：

$$F_{ds} = \frac{\varphi_1 \varphi_3 \varphi_4}{r_{Qd}} f_s A_p \quad (\text{E.1.1})$$

式中： F_{ds} ——钢管管道允许顶力设计值(N)；

φ_1 ——钢管受压强度折减系数，可取 1.00；

φ_3 ——钢管脆性系数，可取 1.00；

φ_4 ——钢管顶管稳定系数，可取 0.36；当顶进长度小于 300m 且穿越土层均匀时，可取 0.45；

f_s ——钢管受压强度设计值(N/mm²)；

A_p ——管道的最小有效传力面积(mm²)；

r_{Qd} ——顶力分项系数，可取 1.30。

E.1.2 钢筋混凝土管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算：

$$F_{dc} = 0.5 \times \frac{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3}{r_{Qd} \varphi_5} f_c A_p \quad (\text{E.1.2})$$

式中： F_{dc} ——混凝土管道允许顶力设计值(N)；

φ_1 ——混凝土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 1.05；

φ_3 ——材料脆性系数，可取 0.85；

φ_5 ——混凝土强度标准调整系数，可取 0.79；

f_c ——混凝土受压强度设计值(N/mm²)。

E.2 套管强度验算

E.2.1 钢套管管壁截面的最大组合折算应力应满足下列公式：

$$\eta\sigma_{\theta} \leq f \quad (\text{E. 2. 1-1})$$

$$\eta\sigma_x \leq f \quad (\text{E. 2. 1-2})$$

$$r_0\sigma \leq f \quad (\text{E. 2. 1-3})$$

$$\sigma = \eta \sqrt{\sigma_{\theta}^2 + \sigma_x^2} - \sigma_{\theta}\sigma_x \quad (\text{E. 2. 1-4})$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{N}{b_0 t_0} + \frac{6M}{b_0 t_0^2} \quad (\text{E. 2. 1-5})$$

$$N = \varphi_c \gamma_Q F_{\text{wd},k} r_0 b_0 \quad (\text{E. 2. 1-6})$$

$$M = \varphi \frac{(\gamma_{G1} k_{\text{gm}} G_{1k} + \gamma_{G,SV} \kappa_{\text{vm}} F_{\text{sv},k} D_1 + \gamma_{GW} \kappa_{\text{wm}} G_{\text{wk}} + \gamma_Q \varphi_c \kappa_{\text{vm}} Q_{\text{ik}} D_1) r_0 b_0}{1 + 0.732 \frac{E_d}{E_p} \left(\frac{r_0}{t_0}\right)^3} \quad (\text{E. 2. 1-7})$$

$$\sigma_x = \nu_p \sigma_{\theta} \pm \varphi_c \gamma_Q \alpha E_p \Delta T \pm \frac{0.5 E_p D_0}{R_1} \quad (\text{E. 2. 1-8})$$

$$R_1 = \frac{f_1^2 + \left(\frac{L_1}{2}\right)^2}{2f_1} \quad (\text{E. 2. 1-9})$$

- 式中：
- σ_{θ} ——钢管管壁横截面最大环向应力(N/mm²)；
 - σ_x ——钢管管壁横截面最大纵向应力(N/mm²)；
 - σ ——钢管管壁的最大组合折算应力(N/mm²)；
 - η ——应力折算系数，取 0.9；
 - f ——钢材的强度设计值(N/mm²)；
 - b_0 ——管壁计算宽度(mm)，取 1000mm；
 - φ ——弯矩折算系数，有水内压时取 0.7，无内水压时取 1.0；
 - φ_c ——可变作用组合系数，取 0.9；
 - t_0 ——管壁计算厚(mm)，使用期间试算时设计壁厚应扣除 2mm，施工期间不扣除；
 - r_0 ——管的计算半径(mm)；
 - M ——在作用组合作用下钢管管壁截面上的最大环向弯矩设计值(N·mm)；

- N ——在作用组合作用下钢管管壁截面上的最大环向轴力设计值(N);
- E_d ——钢管管侧原状土的变形模量(N/mm²);
- E_p ——钢管管材的弹性模量(N/mm²);
- K_{gm} 、 K_{vm} 、 K_{wm} ——分别为钢管管道自重、竖向土压力和管内水重作用下管壁截面的最大弯矩系数,分别取0.083、0.138、0.083;
- D_1 ——管道外直径(mm);
- Q_{ik} ——地面堆载或车载传递至管道顶压力的较大标准值;
- ν_p ——钢管管材泊松比,可取0.3;
- α ——钢管管材线膨胀系数;
- ΔT ——钢管的计算温差;
- R_1 ——钢管顶进施工变形形成的曲率半径(mm);
- f_1 ——顶进管道直线顶进允许偏差(mm),可按表E.2.1确定;
- L_1 ——出现偏差的最小间距(mm),视顶管直径和土质决定,一般可取50m。

表 E.2.1 顶管管道直线顶进允许偏差(mm)

项 目		允许偏差			
		钢筋混凝土管		钢管	
1	直线顶管 水平轴线	顶进长度 $L < 400\text{m}$		50	130
		$400\text{m} \leq$ 顶进长度 $L < 1000\text{m}$		100	200
		顶进长度 $L \geq 1000\text{m}$		$L/10$	$100 + L/10$
2	直线顶管 内底高程	顶进长度 $L < 300\text{m}$	$D_1 < 1500$	+30, -40	+60, -60
			$D_1 \geq 1500$	+40, -50	+90, -90
		$300\text{m} \leq$ 顶进长度 $L < 1000\text{m}$		+60, -90	+100, -100
		顶进长度 $L \geq 1000\text{m}$		+90, -100	+150, -100, - $L/10$

E. 2. 2 钢筋混凝土顶管管道在组合作用下,管道横截面的环向内力可按下列公式计算:

$$M = r_0 \sum_{i=1}^n K_{mi} P_i \quad (\text{E. 2. 2-1})$$

$$N = \sum_{i=1}^n K_{ni} P_i \quad (\text{E. 2. 2-2})$$

式中: M ——管道横截面上的最大弯矩设计值($N \cdot \text{mm}/\text{m}$);
 r_0 ——圆管的计算半径(mm),即自圆管中心至管壁中心的距离;
 N ——管道横截面上的轴力设计值(N/m);
 P_i ——作用在隧道上的第 i 项作用设计系数;
 K_{mi} ——弯矩系数,应根据作用类别取土的支撑角为 120° ,可按表 E. 2. 2 选用;
 K_{ni} ——弯矩系数,应根据作用类别取土的支撑角为 120° ,可按表 E. 2. 2 选用。

表 E. 2. 2 圆形刚性管弯矩系数

作用类型	内力系数					
	K_{mA}	K_{mB}	K_{mE}	K_{nA}	K_{nB}	K_{nE}
垂直均布作用	0.154	0.136	-0.138	0.209	-0.021	0.500
结构自重	0.100	0.066	-0.076	0.236	-0.048	0.250
隧道上部土重	0.131	0.072	-0.111	0.258	-0.070	0.500
管内充水及其他结构重量	0.100	0.066	-0.076	-0.240	-0.208	-0.069
侧向主动土压力	-0.125	-0.125	0.125	0.500	0.500	0

注:A—隧道底部;B—隧道顶部;E—隧道中部两侧。

E. 3 套管稳定性验算

E. 3. 1 钢管管壁截面的临界压力应按下式计算:

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2-1)}{3(1-\nu_p^2)} \left(\frac{t}{D_0}\right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2-1)(1+\nu_s)} \quad (\text{E. 3. 1})$$

式中： n ——管壁失稳时的褶皱波数，其取值应使临界压力最小并不小于 2；

ν_s ——管两侧土体的泊松比，应根据土工实验确定，一般对砂性土可取 0.30，黏性土可取 0.40；

ν_p ——钢材的泊松比，取 0.30；

D_0 ——管壁中心直径(mm)；

E_p ——管材弹性模量(N/mm²)；

E_d ——管侧土的变形模量(N/mm²)。

E.3.2 钢管管道在土压力和地面作用下产生的最大竖向变形应按下式计算：

$$\omega_{c,\max} = \frac{k_b r_0^3 (F_{sv,k} + \psi_q Q_{ik}) D_1}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (\text{E.3.2})$$

式中： k_b ——竖向压力作用下管道竖向变形系数，取 0.089；

ψ_q ——地面作用传递至管顶压力的准永久作用系数；

I_p ——钢管截面模量(mm⁴/m)；

r_0 ——圆管的计算半径(mm)，即自圆管中心至管壁中心的距离。

附录 F 无套管穿越公路土压力 产生的管道应力计算

F.0.1 土压力产生的管道环向应力 σ_{He} 可按下式计算：

$$\sigma_{He} = K_{He} B_e E_e \gamma D \quad (\text{F.0.1})$$

式中： σ_{He} ——土压力产生的管道环向应力(kPa)；

K_{He} ——钻孔方式土压力产生管道环向应力的刚度系数；

B_e ——土压力埋深影响系数；

E_e ——土压力挖掘系数；

γ ——土壤的容重(kN/m³)，如果有岩土试验取实际试验值，一般可取 15.9kN/m³；

D ——穿越管道外直径(m)。

F.0.2 土压力产生管道环向应力的刚度系数 K_{He} ，可根据土壤反作用模量 E' 和管道的壁厚与外直径的比值 δ/D ，按表 F.0.2-1 取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图 F.0.2 确定；采用钻孔施工方法的土壤反作用模量 E' ，可按表 F.0.2-2 取值。在无勘察资料的情况下， E' 一般可取 3.4MPa。采用开挖夯实管沟回填方法， E' 应高于钻孔施工方法；

表 F.0.2-1 钻孔方式土压力产生管道环向应力的刚度系数 K_{He}

δ/D	E' (MPa)			
	1.4	3.4	6.9	13.8
0.01	8500	6500	4600	3350
0.02	3100	2800	2400	2000
0.03	1400	1320	1260	1200
0.04	750	750	750	750

续表 F. 0. 2-1

δ/D	E' (MPa)			
	1.4	3.4	6.9	13.8
0.05	650	650	650	650
0.06	450	450	450	450
0.07	350	350	350	350
0.08	200	200	200	200

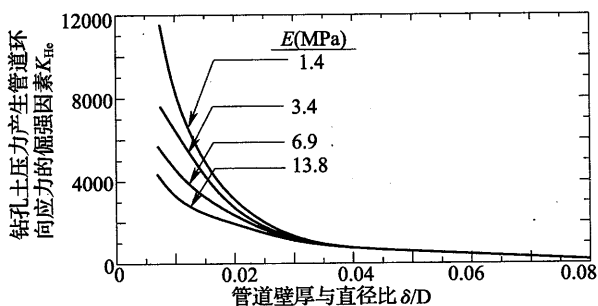


图 F. 0. 2 钻孔方式土压力产生管道环向应力的刚度系数 K_{He}

表 F. 0. 2-2 采用钻孔施工方法的土壤反作用模量 E'

土壤状态	E' (MPa)
高塑性的软塑~可塑黏性土和粉土	1.4
低~中塑性的软塑~可塑黏性土和粉土、 松散砂和砾石	3.4
硬塑~坚硬的黏性土和粉土、中密的砂和砾石	6.9
密实~很密实的砂和砾石	13.8

F. 0. 3 钻孔方式土压力产生管道环向应力的埋深影响系数 Be ，应根据土壤分类和管线埋深与钻孔直径的比值 H/B_d ，按表 F. 0. 3 取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图 F. 0. 3-1 确定；在不能确定钻孔直径 B_d 的情况下，宜取 $B_d = D + 50\text{mm}$ ；对于开挖施工方法，宜取 $B_d = D$ 。

表 F.0.3 钻孔方式土压力产生管道环向应力的埋深影响系数 B 。

H/B_d	土壤类型	
	A	B
2	0.64	0.64
4	0.99	0.77
6	1.17	0.99
8	1.27	1.10
10	1.35	1.15
12	1.36	1.17
14	1.36	1.17
16	1.36	1.17
18	1.36	1.17
20	1.36	1.17
22	1.36	1.17
24	1.36	1.17
26	1.36	1.17
28	1.36	1.17
30	1.36	1.17

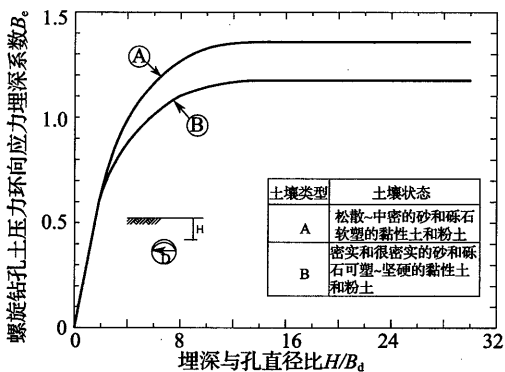


图 F.0.3 钻孔方式土压力产生管道环向应力的埋深影响系数 B 。

F.0.4 钻孔方式土压力产生管道环向应力挖掘系数 E_e ，应根据钻孔直径与管线直径比值 B_d/D ，按表 F.0.4 取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图 F.0.4 确定；在不能确定钻孔直径时，宜取 $E_e=1.0$ ；对于开挖敷管施工方法，宜取 $E_e=1.0$ 。

表 F.0.4 钻孔方式土压力产生管道环向应力的挖掘系数 E_e 。

B_d/D	E_e
1.00	0.83
1.05	0.91
1.10	0.95
1.15	1.08
1.20	1.18
1.25	1.29
1.30	1.40

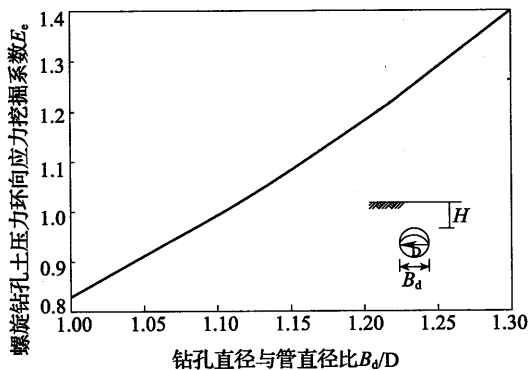


图 F.0.4 钻孔方式土压力产生管道环向应力的挖掘系数 E_e 。

附录 G 无套管穿越公路车辆荷载产生的管道循环应力计算

G.1 车辆荷载产生的管道环向循环应力计算

G.1.1 车辆荷载产生的管道环向循环应力 σ_{Hh} 应按下式计算：

$$\sigma_{Hh} = K_{Hh} G_{Hh} R L F_i \omega \quad (G.1.1)$$

式中： σ_{Hh} ——车辆荷载产生的管道环向循环应力(kPa)；

K_{Hh} ——公路车辆荷载产生环向循环应力的刚度系数，可按表 G.1.1-1 取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图 G.1.1-1 确定；

G_{Hh} ——公路环向循环应力的几何因素，可按表 G.1.1-2 取值，当不能从表中直接获取数据时，应按图 G.1.1-2 确定；

R ——公路路面类型系数，可按表 G.1.1-3 取值；

L ——公路车辆车轴类型系数，可按表 G.1.1-3 取值；

F_i ——冲击系数。冲击系数是输送管线在穿越处理深 H 的函数，按表 G.1.1-4 取值，当不能从表中直接获取数据时，可内插确定；

ω ——车轮均布荷载标准值，取双轴 $\omega=583\text{kPa}$ 。

表 G.1.1-1 公路车辆荷载产生管道环向应力的刚度系数 K_{Hh}

δ/D	E_r' (MPa)		
	34.00	69.00	138.00
0.01	19.50	13.00	6.50
0.02	19.00	14.00	9.50
0.03	13.50	11.00	8.50
0.04	8.70	8.00	6.00

续表 G. 1. 1-1

δ/D	$E_r'(\text{MPa})$		
	34.00	69.00	138.00
0.05	6.50	6.00	4.50
0.06	4.50	4.00	3.50
0.07	2.65	2.60	2.00
0.08	1.35	1.30	1.25

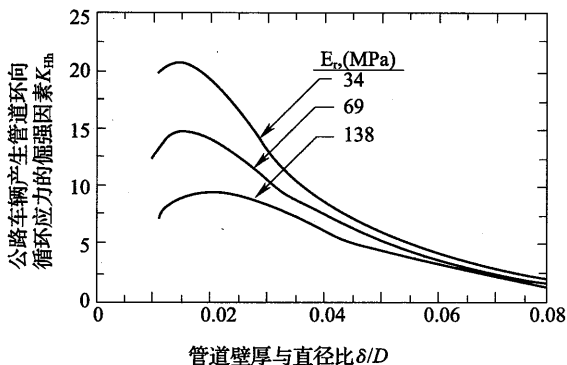


图 G. 1. 1-1 公路车辆荷载产生管道环向应力的刚度系数 K_{Hh}

表 G. 1. 1-2 公路环向循环应力的几何因素 G_{Hh}

$D(\text{mm})$	$H(\text{m})$			
	0.90~1.20	1.80	2.40	3.00
100	1.45	1.35	0.85	0.65
200	1.40	1.34	0.84	0.64
300	1.30	1.05	0.83	0.63
400	1.20	0.95	0.82	0.62
500	1.15	0.90	0.76	0.60
600	1.13	0.87	0.72	0.58
700	1.10	0.85	0.67	0.57
800	1.00	0.80	0.65	0.55
900	0.99	0.79	0.63	0.50
1000	0.95	0.74	0.62	0.45

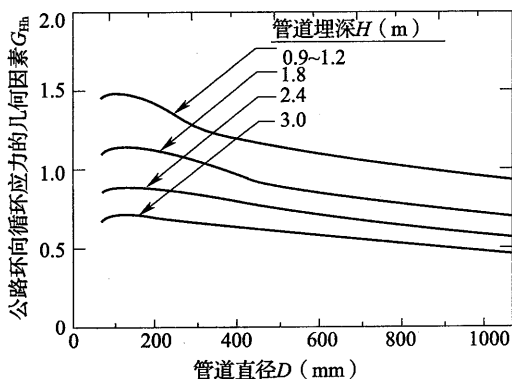


图 G. 1. 1-2 公路环向循环应力的几何因素 G_{Hh}

表 G. 1. 1-3 公路路面类型系数 R 和车轮车轴类型系数 L

管道埋深 $H < 1.2\text{m}$ 、直径 $D \leq 305\text{mm}$			
路面类型	车轴类型	R	L
刚性路面	双轴	0.90	0.65
弹性路面	双轴	1.00	0.75
无路面	双轴	1.20	0.80
管道埋深 $H < 1.2\text{m}$ 、直径 $D > 305\text{mm}$ ；埋深 $H \geq 1.2\text{m}$ 的各种管径			
路面类型	车轴类型	R	L
刚性路面	双轴	0.90	0.65
弹性路面	双轴	1.00	0.65
无路面	双轴	1.10	0.65

表 G. 1. 1-4 公路车辆荷载冲击系数 F_i

$H(\text{m})$	F_i
1	1.50
2	1.45
3	1.35
4	1.26
5	1.18
6	1.10

公路车辆荷载产生环向循环应力的刚度系数 K_{Hh} , 应根据土壤弹性模量 E_r 和管道的壁厚与直径的比值 δ/D 确定。其中, 土壤弹性模量 E_r , 应按表 G. 1. 1-5 取值。

表 G. 1. 1-5 土壤弹性模量 E_r

土壤状态	E_r (MPa)
软塑~可塑黏性土和粉土	34
硬塑~坚硬的黏性土和粉土、中密的砂和砾石	69
密实~很密实的砂和砾石	138

G. 2 车辆产生的管道轴向循环应力计算

G. 2. 1 车辆荷载产生的管道轴向循环应力 σ_{Lh} 应按下列式计算:

$$\sigma_{Lh} = K_{Lh} G_{Lh} R L F_i w \quad (G. 2. 1)$$

式中: σ_{Lh} ——车辆荷载产生的管道轴向循环应力(kPa);

K_{Lh} ——公路车辆荷载产生管道轴向循环应力的刚度系数, 按表 G. 2. 1-1 取值, 当不能从表中直接获取数据时, 应按图 G. 2. 1-1 确定;

G_{Lh} ——公路轴向循环应力的几何因素, 按表 G. 2. 1-2 取值, 当不能从表中直接获取数据时, 应按图 G. 2. 1-2 确定。

表 G. 2. 1-1 公路车辆荷载产生管道轴向应力的刚度系数 K_{Lh}

δ/D	E_r' (MPa)		
	34	69	138
0.01	14.50	9.50	6.00
0.02	14.00	9.50	7.00
0.03	12.00	8.50	6.00
0.04	9.50	7.00	4.50
0.05	8.50	6.50	4.20
0.06	7.60	5.10	3.20
0.07	7.40	4.90	3.00
0.08	7.20	4.80	3.00

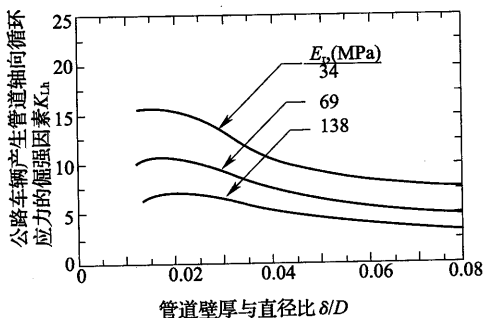


图 G. 2.1 公路车辆荷载产生管道轴向应力的刚度系数 K_{Lh}

表 G. 2.1-2 公路轴向循环应力的几何因素 G_{Lh}

D(mm)	H(m)			
	0.90~1.20	1.80	2.40	3.00
100	1.85	1.74	1.72	1.65
200	1.35	1.25	1.15	1.10
300	1.20	1.05	0.90	0.85
400	1.17	0.95	0.85	0.75
500	1.10	0.90	0.82	0.70
600	1.05	0.87	0.75	0.65
700	0.95	0.85	0.73	0.63
800	0.90	0.84	0.70	0.60
900	0.87	0.75	0.65	0.55
1000	0.85	0.65	0.62	0.50

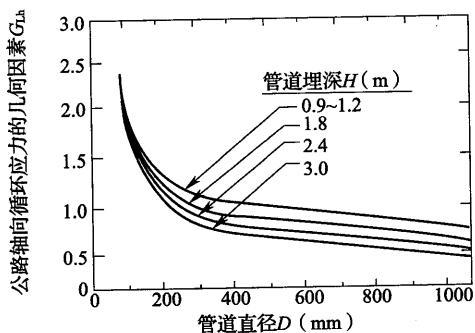


图 G. 2.1-2 公路轴向循环应力的几何因素 G_{Lh}

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 《输气管道工程设计规范》GB 50251
- 《输油管道工程设计规范》GB 50253
- 《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369
- 《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB 50470
- 《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568
- 《高压锅炉用无缝钢管》GB 5310
- 《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479
- 《内河交通安全标志》GB 13851
- 《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539
- 《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163
- 《石油天然气工业管线输送用钢管》GB/T 9711
- 《钢质管道外腐蚀控制规程》GB/T 21447
- 《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082
- 《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640
- 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 《公路桥涵设计通用规范》JTGD 60
- 《公路工程质量检验评定标准》JTJF 80/1
- 《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109
- 《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1

中华人民共和国国家标准

油气输送管道穿越工程设计规范

GB 50423-2013

条文说明

修 订 说 明

本规范是在《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423—2007的基础上修订而成的,上一版的主编单位是中国石油天然气管道工程有限公司,参编单位是胜利油田胜利工程设计咨询有限责任公司、铁道第三勘察设计院、中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司,主要起草人员是:刘崑辉、张怀法、赵炳刚、程梦鹏、陈文备、邹大庆、安玉红、蒲高军、张扈生、王立暖、甘继国、任亮、荣士伦、向波、孙克玉、詹胜文、李志勇、陈杰、王晓峰、李强。

本规范修订过程中,编制组进行了调查研究,总结了我国近年来管道穿越工程建设的实践经验,同时参考了国内外的先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《油气输送管道穿越工程设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

2	术 语	(89)
3	基本规定	(90)
3.1	基础资料	(90)
3.2	管道材料与计算	(91)
3.3	水域穿越	(91)
3.4	山岭、冲沟穿越	(94)
4	挖沟法穿越设计	(97)
4.1	埋设要求	(97)
4.2	水下管段稳定	(97)
4.3	作用与组合	(98)
4.4	管段计算	(99)
4.5	防护工程设计	(99)
5	水平定向钻法穿越设计	(101)
5.1	敷设要求	(101)
5.2	管段计算	(103)
6	隧道法穿越设计	(105)
6.1	一般规定	(105)
6.2	作用	(109)
6.3	作用组合与作用计算	(109)
6.4	钻爆法隧道衬砌设计	(111)
6.5	盾构法隧道设计	(117)
6.6	顶管法隧道设计	(122)
6.7	竖井工程	(123)
6.8	斜巷工程	(126)

6.9	工程材料	(126)
6.10	防水与排水	(127)
6.12	隧道内管道安装	(128)
7	公路、铁路穿越设计	(130)
7.1	一般规定	(130)
7.2	无套管穿越设计	(131)
7.3	有套管穿越设计	(132)
8	焊接、试压及防腐	(133)
8.1	焊接、检验	(133)
8.2	清管、测径与试压	(133)
8.3	防腐	(134)

2 术 语

2.0.1 管道穿越工程,按照其穿越障碍物不同,分为水域穿越工程、山岭及冲沟穿越工程、公路及铁路穿越工程及其他障碍物穿越工程。

水域穿越工程按施工方法分别有挖沟法、水平定向钻法、隧道法穿越,其中隧道法穿越又分为钻爆法隧道、顶管法隧道及盾构法隧道;山岭冲沟穿越方法分别有开挖法、斜巷道法、水平定向法穿越;而公路、铁路穿越可采用顶管、顶箱涵、水平定向钻法,低等级公路可采用挖沟法穿越。

3 基本规定

3.1 基础资料

3.1.1 穿越工程是输送管道建设的关键工程,为确保满足输送油气管道质量的要求,达到平稳安全营运的目的,就必须有准确的输送介质的物性资料与输送工艺参数,如设计的输量、管径、压力、温度、介质腐蚀性等资料,为工程材料选用和结构计算提供基础依据。

3.1.2 本条是根据国家相关法规的规定,从工程安全出发,要求设计前应根据工程项目已作出的各项评估报告及有关法规,合理选定穿越工程位置和穿越方案。

3.1.3 为确保穿越工程设计的科学、可靠性,本条规定了应取得工程测量、工程地质、水文地质基本资料,作为设计方案、工程布置及结构计算的基础。

3.1.4 根据不同的穿越方式,为获取地质资料而布置的地质钻孔点位布置不同,一是为了尽可能准确地反映地质状况,二是为了防止施工时因钻孔透水造成施工中的风险或事故,特制定本条规定。另外,在岩性变化较大,特别是相邻勘探点出现地层突变的地方,由于钻孔布设间距较大,资料上有时反应不出来这种变化,这也会给施工留下隐患。故规定岩性变化复杂时应加密钻孔,以求相对准确地反映出地层岩性。

3.1.5 管道如果要穿越断层,地震发生时,可能因为活动断层错动或地表开裂、地层滑动、地基土液化、两岸滑坡而破坏,因此要求取得这些方面的量化资料,核算管道的安全性。

3.1.6 抗震设计是油气管道穿越设计的重要内容,包含隧道等结构抗震设计和穿越管道抗震设计。应按照现行国家标准《油气输

送管道线路抗震技术规范》GB 50470 的规定执行。

3.1.7 穿越管段因腐蚀而发生事故是主要原因之一,故本条规定按现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规程》GB/T 21447 的要求,要取得管道防腐设计中所需的基本资料。

3.2 管道材料与计算

3.2.1 钢管是油气输送的载体,也是管道工程中采用的最大宗材料,钢管选用应满足现行国家标准《石油天然气工业管线输送用钢管》GB/T 9711 的要求。同时为便于小口径、压力较低的管道穿越工程的钢管采购,可采用几项符合现行国家标准的无缝钢管。

3.2.2 本条规定的钢管许用应力是依据现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 和《输油管道工程设计规范》GB 50253 的规定,并参照美国的《烃类和其他液体输送管线系统》ASME B31.4 和《输气和配气管线系统》ASME B31.8 的规定制定的。

考虑到穿越管段的重要性,以及环境保护、穿越段维护抢修的困难等因素,穿越管段强度设计系数小于同类地区段埋地管道的强度设计系数,以此提高强度安全裕量。但对于大量存在于管道工程中的Ⅲ、Ⅳ级公路有套管穿越,为避免沿线管壁厚度的频繁变化,也考虑到维护抢修容易,且有足够的安全裕量,故采用与埋地管道相同的设计系数。

本次修订中,山岭隧道按照分级不同,规定了不同的设计系数,同时为提高冲沟穿越安全度,对冲沟穿越的安全系数进行了专门规定。

3.2.3 为了保证穿越管段的强度和结构稳定性要求,结合《烃类和其他液体输送管线系统》ASME B31.4 与《输气和配气管线系统》ASME B31.8 的有关规定,制定本条的壁厚计算及要求。

3.3 水域穿越

3.3.1 水文资料是水域穿越设计的基本依据。本条规定获取水

文资料及水库影响资料的要求,以确保工程在设计洪水标准下的安全。对于位于规划库区的穿越,设计前应调查清楚水库设计蓄水位、库岸再造影响范围等,避免库岸再造对穿越的不利影响;而对于位于水库下游的穿越段,应注意水库泄洪及清水冲刷造成的不利影响。

3.3.2 规定了水域穿越位置选择的要求。特地指出了应避开饮用水源一级保护区,这是国家法律条文的要求。

1 为保证穿越管道安全,本款规定穿越位置应选在岸坡稳定地段。否则应作防护构筑物来保证岸坡的稳定。

2 考虑到活动断层的错动有可能破坏水下穿越管段,且水下抢修困难,因此规定了不宜将穿越位置选在活动断层上。

3 制定本款是为了缩短水域穿越长度,也满足现行国家标准《内河通航标准》GB 50139 的相关要求。若因地形、两岸规划要求或地物的影响,穿越斜交角可以减小。

3.3.3 本条为强制性条文,规定了水域穿越等级划分与相应的设计洪水频率,是根据我国近 50 年管道穿越水域工程设计、施工、运营的经验教训总结出来的,也符合现行国家标准《防洪标准》GB 50201 的要求。本规范此版修编将水域小型穿越工程的设计洪水频率提升为 50 年一遇。

鉴于桥梁设防洪水在Ⅰ级以上公路、骨干铁路的大桥与特大桥中为 300 年一遇标准,考虑到桥梁墩台的一般冲刷加局部冲刷深度大,影响范围可能波及其上游管道安全,故提出桥梁上游 300m 范围内的穿越工程采用的设计洪水频率不应低于该桥的设计洪水频率。

3.3.4 本条针对难以按照表 3.3.3 进行等级划分的河流穿越提出了划分要求。

3.3.5 本条规定穿越型式选择的比选要求。方案比选是穿越设计的重要一环,关系到工程的安全及技术经济合理性。比选中,着重对地质和水文条件的适应性、方案的可靠性进行比较,并满足环

保要求,降低工程风险,节约工程投资。

3.3.6 本条规定了水域穿越工程的长度与埋深应考虑的外界环境条件。管道水域穿越的长度不仅包括水体本身,也包括两岸洪水(蓄水)淹没范围、防洪堤及堤外防护带,水库区段还包括泄洪影响范围。新建水库区域尚应考虑库岸再造作用对岸坡稳定性的影响。

3.3.7 水域穿越管段与桥梁间的最小距离,除考虑自身安全与施工要求外,还应考虑对桥梁墩台的影响,开挖法穿越对河床的扰动大,施工所占场地较大,所以要求距离桥梁远一些;水平定向钻、水下隧道穿越为免开挖穿越方式,对河床和水体无干扰,可以距离桥梁近一些,本条中数据是根据多年来国内外管道穿越工程的经验确定的。管道与陆上段桥梁、引桥间距可不受本条限制。

3.3.8 港口、码头附近,有船只抛锚、航道疏浚作业,甚至发生沉船等风险;水下建筑物(如海底游乐设施类)是人员活动频繁之地,为了穿越管段施工和运营的安全,并满足现行国家标准《内河通航标准》GB 50139—2004“穿越航道的水下电缆、管道、涵管和隧道等水下过河建筑物必须布设在远离滩险、港口和锚地的稳定河段”的要求,制订本条规定。

3.3.9 采用水平定向钻或隧道敷设穿越有堤坝的水域时,当管道(隧道)口径大、地基土的自稳性差且堤坝下穿越深度较浅的情况,曾经出现过堤坝裂缝和地面的沉陷的现象,对堤防造成了险情。为此,本条规定应采取措施控制沉降,不应危及堤坝安全。一般是通过加深堤坝下的埋设深度、控制掘进速度,钻爆隧道采用加强的支护措施,来控制对大堤的影响。

3.3.10 本条规定了穿越通航水域时,埋深要考虑船锚或疏浚机具对管道的损伤,两岸还应设置标志,以警示过往船只或施工作业者注意水下管道的位置。

3.3.11 近些年在河床内挖掘砂石材料,或采挖矿石、矿砂的活动非常频繁,这些活动不仅会直接破坏所在河段的埋设管道,而且破

坏了自然河床的冲淤规律,对上下游一定范围内的穿越管道形成很大威胁。设计中一定要充分关注穿越河段内是否有类似的挖沙采石活动,应将管道穿越点选择在挖沙采石区域以外,若确实难以避免这类活动,应考虑将管道布置在挖沙采石范围以外,包括更长的穿越长度、更深的穿越深度。

3.3.12 根据国家相关法规,管道应避免饮用水源一级保护区,但有些地段可能穿越饮用水源二级保护区;一些大型的水域穿越虽然不属于水源保护区,但也应降低输油管道所输油品万一出现的污染,所以,规定了水源地与大型水域输油管道穿越工程应在两岸设置截断阀。阀室的位置应考虑便于操作的交通条件,并不应在设计洪水条件下被淹没。由于输气管道不会污染水源,可不设截断阀室。

3.3.13 挖沟埋设的水下穿越管段,一旦被洪水冲刷裸露出来,由于水流的涡激振动,可能会在锚固墩嵌固处出现破坏。如马惠宁输油管道穿越环江,在1981年夏季发生 $200\text{m}^3/\text{s}$ 流量的洪水时,杨旗与寺沟的两处管道在弯头处断裂;而花旗沟穿越同样被冲出裸露,因该处无锚固墩,就没发生断管事故。为安全计,规定了本条要求。

3.3.14 土壤液化易使埋设的穿越管段上浮,管段会受到水流冲击,可能造成管段的损坏,对于开挖穿越的管道应对液化土层采取处理措施,使之不产生液化。在液化土层中设置混凝土压重块,土壤液化时压重块容易倾覆,或带动管道下沉,所以液化地层不应采用。

3.3.15 本条提出了穿越沼泽地区的敷设方法。由于沼泽类型不同,各地能够就近获得的建筑材料不同,自然环境影响程度也有差异,因此本条提出多种敷设和地基处理的方法,供设计人员因地制宜选择采用。

3.4 山岭、冲沟穿越

3.4.1 油气输送管道山岭隧道与公路、铁路山岭隧道相交时的竖

向距离,结合交通隧道邻近建设的经验,以及近年来西气东输二线、川气东送管道、中缅油气管道与公路、铁路隧道相交叉的经验,在两倍洞径的距离完全可以保证隧道的稳定性,采用30m净距是较为安全的。同时应考虑隧道施工中的岩石爆破震动速率,经过涩宁兰输气管道的爆破试验证明,当爆破震动速率不大于14cm/s时,对输气管道不会产生不利影响,所以,设计中尚应控制爆破的振动值。

3.4.2 输油管道在翻越山岭时,有时需要设置泵站提高扬程以翻越沿线的高点,采用隧道穿越山体可以有效降低沿线的高程,可能减少泵站数量,这是液体管道输送系统的优化。所以,选择隧道穿越的高程应满足输送工艺要求。

3.4.3 泥石流对地面建筑物或浅埋构筑物具有极大的破坏力,泥石流的上游侵蚀区和中游流通区的强烈冲刷会对埋地管道产生损毁,而在出口堆积区能形成相对稳定的、破坏力小的区域,该区域会有大量的堆积物。本条的规定利用了泥石流沟特性而制定。管道在泥石流堆积区适当深埋,或在管道上方设置排洪构筑物,都是有效的做法。

3.4.4 有些近期的扩展的冲沟或者黄土湿陷性大的冲沟,往往因为施工扰动,再加之后期雨水冲蚀,易形成新的滑坡,危及已埋设管道的安全。本条规定应选择岸坡稳定的地段穿越冲沟,避开可能有地质灾害产生的地段。

3.4.5 在湿陷性黄土地区,水是造成黄土沉陷、边坡坍塌、形成冲沟的根本原因。为了确保穿越黄土冲沟管段的安全,本条规定了沟顶截排水、沟坡防护、沟底稳管的措施。

3.4.7 在湿陷性黄土地区冲沟中,当地居民在沟谷中修建一些淤土坝,经若干年后就会淤积成小片平地,淤起后向上游再筑坝淤地,经过数年乃至数十年后形成一级一级的阶地,作为农田耕种。管道经常穿过此类地段。有的部分由于土层淤积时间短,土质尚未固结稳定。管道下沟回填后,遭遇强暴雨时,有可能将土坝冲

毁,造成严重的水土流失并危及管道安全。管道应尽可能避开此类地段,如难以避开,应加强水工保护等安全措施。

3.4.8 对场地条件许可、地层条件适合于定向钻、顶管隧道施工的,一般是黄土、软岩等地层,也可以采用定向钻、顶管隧道、人工开挖巷道的方法穿越山体、冲沟,特别是黄土冲沟穿越,上述方法相对开挖穿越可以大量减少穿越难度,有利于自然地貌的保护和管道的安全性。定向钻穿越山体仅仅在地层条件非常均匀的土壤或软岩中才适用,当勘察深度不足或地层变化较大时存在较大风险,应慎用。

3.4.9 狭窄的冲沟内山洪发生时流速较大,冲刷深度大,管道顺沟敷设容易受到洪水冲蚀,一般应避开狭窄的冲沟。如确实不能避开,设计应进行详细的资料调查,根据冲刷及下切深度,确定合理的管道埋深,并增设防止冲刷下切的工程措施。

4 挖沟法穿越设计

4.1 埋设要求

4.1.1 本条规定穿越水域管段采用挖沟埋设穿越方法时的位置选择要求,既考虑管段的安全,又要兼顾水域整治的工程规划。

4.1.2 本条为强制性条文,规定了在水域挖沟法设计中管段的最小埋深要求,是在总结近 50 年国内管道施工、运营管理经验和教训的基础上提出的。对于存在挖砂、取石、采矿等导致河床冲刷下切较大的开挖穿越,管道埋设深度还应加大。同时,当采用压重块稳管时,管段埋设深度应从压重块顶部算起。

4.1.7 制定本条是为了保护管道及附属设施免受腐蚀性介质侵蚀。

4.2 水下管段稳定

4.2.1 水下的穿越管段的设计埋深必须保证在设计冲刷线之下一定深度,才能保证管段不应产生飘浮和移位。在没有达到上述埋深时,受到水流的浮力与动力的作用,可能引起管段飘浮或移位,影响管段的安全。

4.2.2 开挖法穿越管段虽然要求埋设在冲刷深度以下,但由于各种其他因素的影响,有时埋深达不到 4.1.2 条规定的深度;还有在缺少水文资料或水域水文情况较复杂的情况下,为了安全起见,可以对穿越管段做假设在设计洪水冲刷下出现露管时的稳定性核算,相当于在水中裸管敷设,在水流作用下,为防止漂管,就要求管段总重大于或等于水浮力,即

$$W \geq (F_s + F_{dy}) \quad (1)$$

为了确保管段稳定,应该有大于 1 的稳定安全系数 K ,得出抗

漂浮式(4.2.2-1) $W \geq K(F_s + F_{ds})$ 。

根据管道与河床摩擦力必须大于或等于动水推力,且有一定稳定安全系数才能确保管段不移位,推导出式(4.2.2-2):

$$f(W - F_s - F_{dy}) \geq KF_{dx} \quad (2)$$

推导可得:

$$W \geq K \frac{F_{dx}}{f} + F_s + F_{dy} \quad (3)$$

其中 F_s 为静水浮力,即式(4.2.2-3);而动水上举力与推力根据水力学理论可得:

$$F_{dy} = C_y \gamma_w D_0 V^2 / (2g) \quad (4)$$

$$F_{dx} = C_x \gamma_w D_0 V^2 / (2g) \quad (5)$$

上举力系数 C_y 和推力系数 C_x 是根据前苏联的水工实验及我国天津大学海工系的水力实验,当雷诺数 $Re = 10^5 \sim 10^7$ 时, $C_x = 1.0$, $C_y = 0.6$;当雷诺数 $Re = 10^4 \sim 10^5$ 时, $C_x = 1.2$, $C_y = 0.6$;为安全计,本规范取 $C_x = 1.2$, $C_y = 0.6$ 。

各符号意义见本规范第 4.2.2 条。

另外,在竖向弹性敷设管段时,若弹性敷设的曲率半径形成的管段矢高大于管道自重产生的弹性弯曲变形时,管段会产生向上的弹性抗力,因此在抗漂浮与抗移位的计算中应减去此向上之力。式(4.2.2-6)是按照管段两端简支梁模型推算出的,如果两端可以滑动,抗力应小于式(4.2.2-6)的计算值,故有利于管段的稳定安全。

4.2.3 当管段在水下埋深达到本规范 4.1.2 条要求时,一般不会受到动水的上举力与推力的作用,故只需核算静水浮力会不会引起漂管。本条旨在提醒相关人员不论管段是否稳定,一律采取稳管措施的做法是不恰当的,这样无疑增加工程不必要的投资。

4.3 作用与组合

4.3.1 本条列出了水下穿越工程结构有可能承受的作用。对某一个具体的穿越工程,并非都存在这些载荷与作用,应按具体情况采用。

4.3.2 关于作用组合方式,设计时应考虑三种情况:

1 各种作用出现的概率。对于经常性的作用,按主要作用组合考虑;对于作用产生的概率较大,又并非同时存在的,选择列入附加组合;对偶然出现的作用,加入主要组合,作为特殊组合。

2 地质与水文条件。

3 敷设方式与结构特殊性。

4.3.3 钢管是弹塑性材料,在不同载荷组合作用时效影响不同的条件下,其许用应力应采用不同标准,以许用应力提高系数表示。设计人员在核算时,务必要根据不同作用组合,选用不同的许用应力。以设计系数较高的输油管道为例,穿越管段选用 0.6 的设计系数,各种组合情况下,其许用应力及安全系数可见表 1:

表 1 许用应力及安全系数表

作用组合情况	许用应力提高系数	提高后的许用应力 $[\sigma]$	安全系数 $\sigma_s/[\sigma]$
主要组合	1.00	$0.60\sigma_s$	1.67
附加组合	1.30	$0.78\sigma_s$	1.28
特殊组合	1.50	$0.9\sigma_s$	1.11

从表 1 中可以看出,在短暂的偶然作用的作用下,按提高后的许用应力核算,也有 11% 的强度安全储备,不至于发生管段的强度破坏。对于输气管道而言,由于选用的设计系数小于输油管道,其强度安全储备更高。据此制定了本条规定。

4.4 管段计算

4.4.1 本条规定了挖沟法穿越管段的核算内容。

4.4.2~4.4.4 根据穿越管段的核算内容,这四条可分别从材料力学或有关试验报告中找到推导来源,并列出来供设计人员使用。公式(4.4.2-3)考虑管道无轴向位移,公式(4.4.4-2)考虑管道可轴向位移。

4.5 防护工程设计

4.5.1 水域挖沟法穿越的防护工程,对保证管道的安全至关重要

要,应根据不同的地形地貌、地质条件、水文条件合理进行防护设计。

4.5.2 在河流上设置导流工程会改变河流的正常流态,即改变了河床原来的冲淤规律,一般不允许设置,仅需要对岸坡做必要的防护。本条提醒设置导流构筑物时的考虑因素。

4.5.3 选用建筑材料是保证防护工程质量最基本的要求,填筑材料宜就地取材,但不能采用影响填筑体稳定性的土壤种类。

4.5.4 对防护工程采用与穿越工程同等的设计洪水频率是必要的,以保证防护工程的功能,并规定了防护工程的高度要求。

4.5.5 对于冲刷深度较深的河流,若要求防护工程基础埋设于冲刷线以下1m,其工程量和施工难度很大,基于水利工程、公路工程的经验,采取了一定范围和体积的抛石、石笼等可靠措施后,防护工程的基础底面标高可以适当提高。

4.5.10 为保证护岸与调治工程的稳定性,本条规定应对其坡面进行抗滑稳定性核算。根据工程的大小及重要性选取抗滑稳定安全系数。

4.5.11 护坡工程浆砌石的厚度、干砌石砌块尺寸的计算是依据砌块的重量要大于等于水流动力作用的条件推算得出的。设计人员在设计护坡时,应提出选用护坡砌块厚度、尺寸的要求,防止因动水作用损毁护坡。

4.5.12、4.5.13 石笼是防护工程中常用的措施之一,特别在已建工程中应用很多。如马惠宁输气管道在环江穿越中,采用石笼护基、护脚很普遍。为此,这两条规定提出了铺砌石笼的要求与河底护管长度的要求。

4.5.14、4.5.15 采用柔性混凝土板作为防止水流冲淘、保护护坡基础或河床,在水力部门、交通或铁道部门也是经常采用的措施。这两条规定了采用混凝土柔性护板的条件、连接方式及敷设长度等要求。

5 水平定向钻法穿越设计

5.1 敷 设 要 求

5.1.1 水平定向钻法敷设穿越管段是一项成熟的非开挖穿越技术,已在穿越水域、公路、铁路和其他地面障碍物工程中被大量采用。定向钻的穿越断面选择和其他穿越方法的断面选择有相同之处,管段布置(出入土点和穿越曲线)要在水域形态稳定的场地上。还要求考虑穿越施工条件,场地大小满足钻机系统设备布置和管段组装、试压等工序需要,但场地的情况可以按照具体的工程作出调整。

5.1.2 水平定向钻敷设的穿越管段,均为弹性曲线敷设。曲率半径越大,管段承受的弯曲应力越小,管段回拖阻力相对越小,亦可降低对防腐涂层的损伤。根据国内外大量的工程经验,本条规定曲率半径不宜小于 $1500D$;特殊条件下若达不到较大的曲率半径,也可以采取 $1200D$ 。有条件时尽量选取较大的曲率半径。

5.1.3 水平定向钻入土和出土角大小是与埋深和曲率半径有关的,根据钻机性能和工程经验规定了本条的角度要求。特殊敷设条件下,入土角与出土角可适当加大或减小,比如要求河堤下方埋深要深时可加大出入土角;在短距离穿越公路或其他障碍物时可以采用更小的出入土角度。

5.1.4、5.1.5 穿越管段管顶设计埋深应低于洪水冲刷深度或疏浚深度以下 6m ,是考虑了地层结构的稳定性和抗压裂的稳定性,保证成孔稳定性要求;且考虑定向钻穿越存在深度的偏差等因素。尤其是近几年我国油气输送管道口径不断增大,如西气东输二线管道直径达 1219mm ,过去 $D1016$ 管线在沁河、淮河的定向钻穿越中曾出现过冒浆、塌陷现象,随着管径的增大,复杂地层中的

穿越难度大为增加。为此,设计人员应根据地质条件,结合穿越河段水利部门的要求,并且要考虑挖砂、淤积、船舶抛锚、冒浆等不利影响,做出合理的穿越曲线设计。

5.1.6 穿越管段的管端临时封头是必要的,其他焊接于管体上的附件(一般是管段试压中焊接上的)必须在回拖之前切除,保持穿越管段外壁光滑,外防腐层连续。附件不仅有可能造成阴极保护漏电失效,更危险的是附件可能造成管道的直接破坏。

5.1.7 地层中钻孔的成孔性是水平定向钻能否敷设穿越管段的关键,在淤泥、流沙、卵石层中,成孔都很困难;在高强度且变化复杂的岩层中,由于岩性软硬变化也影响成孔顺直,易发生错台现象,不利于管段回拖。当两侧地质条件复杂时,可通过加套管隔离、开挖换填、地质改良硬化等措施,为定向钻扩孔、回拖创造条件。

5.1.8 本条是根据工程实例提出的。某工程在浙江一处穿越工程中,钢管内充入一定体积的水回拖(未全部充满),至入土端上抬时,由于端部水体在重力作用下向曲线底部流动,形成管端真空,造成负压失稳,拖出的管端压溃。通过近几年的工程实践,大口径管道一般在管道内设置 PE 管注水,形成沿长度的均匀配重,而不在穿越管段内直接注水。

5.1.9 本条为强制性条文,是根据国家对环境保护要求提出的,强调采用环保型泥浆,并将用过的泥浆进行处理后循环使用,不仅避免了环境污染,更增加了泥浆材料的使用率,降低了工程费用。泥浆主要由优质膨润土加上泥浆添加剂构成。泥浆添加剂按照功能不同可分为提黏剂、降黏剂、降失水剂、润滑剂、防塌剂等,可采用纤维素类(如 CMC)、淀粉类、单宁类泥浆助剂等。这些助剂已能够满足泥浆工艺各方面的要求,具有多方面的优越性。

5.1.10 本条针对定向钻对穿的两个条件提出了要求。主要基于一次穿越过长(超过 2000m,不同管径和地质)钻杆扭矩难以满足要求,两端夯套管时一侧钻进施工可能存在定位偏差钻具难以进

入套管的情况,这些情况处理不好都会给工程带来一定风险。

5.1.11 在岩石区段,由于岩性、风化程度的变化,岩石中裂隙、破碎带的存在,定向钻穿越钻孔会存在成孔不规则问题,另外清孔时效果不理想,钻孔内可能存在坚硬的碎石块;长距离的沙层、砾石层穿越对穿越管体形成较强的摩擦;在加设套段地段,套管端部可能存在凹陷或棱角;这些现象都可能造成管段回拖时卡管、擦管,刮伤防腐层或划伤钢管。故强调定向钻穿越回拖时应做好管段的外侧防护措施,如直接采用耐划伤的防腐涂层,或在防腐层外部连续涂覆耐磨保护层。

5.2 管段计算

5.2.1 由于水平定向钻敷设考虑了冲刷深度,也考虑地层稳定性,一般埋深较深,不会受动水作用,也不会发生静水浮力漂管事故,故本条规定可不核算管段的水下稳定。

5.2.2 这条规定是对穿越管段的力学核算与作用及组合制定的,水平定向钻敷设的穿越管段受力状况基本上与大开挖穿越管段相似,故规定的计算式相同。但要注意,在施工管段回拖时,应考虑拖拽力使管段存在拉应力,以及泥浆形成的外部压力,组合核算时应计入。

5.2.3 本条计算穿越管段回拖力是依据管段在泥浆中的浮力扣除自重后产生的摩擦力,再加上拖管前进时管段在泥浆中的黏滞力,形成必须要满足的回拖力。由于回拖时边界条件复杂,故在选择钻机时应有一定的安全裕量;根据国内外多年施工经验,一般按1.5倍~3.0倍的回拖力作为钻机选型的依据。根据 Jeffrey S. Puckett 在“Analysis of Theoretical Versus Actual HDD Pulling Loads”中的分析,泥浆的黏滞系数取 0.025psi 较为合适,将其单位转换为公制为 0.175kN/m^2 。

5.2.4 根据近年来国内管道在水平定向钻穿越施工回拖中的经验,钢管发生外压下的径向屈曲失稳,可依据《材料力学》中的铁摩

辛柯公式核算,本条列出了径向屈曲失稳的核算公式。本条与《化工容器设计》(作者王志文,化学工业出版社出版)取式不同,原因是化工容器设计中规定了初始圆筒椭圆度小于0.5%,管道行业实际使用的管材在制造、运输、施工后都超过此规定,故不宜采用。我们将铁摩辛柯公式与现行行业标准《石油天然气工业一套管、钻杆和管线性性能计算》SY/T 6328 和美国的《套管、油管 and 钻杆使用性能通报》API Bul 5C₂ 规定的计算方法作了分析对比,以 $\Phi 711 \times 8.7\text{mm}$ L415 钢管为例,在考虑了规定的安全系数后,允许的承载外压铁摩辛柯公式为0.448MPa,《石油天然气工业一套管、钻杆和管线性性能计算》SY/T 6328 公式为0.487MPa,API Bul 5C₂ 为0.59MPa。管道扩孔回拖时,可能遇到的不利因素较多,而且只有铁摩辛柯公式和海洋管道标准考虑了钢管屈服强度的影响,为安全计,本条采用铁摩辛柯公式。

本条采用的设计系数是参照《海底管道系统规范》SY/T 10037,材料与作用因素三项最大值,得安全系数为1.59;鉴于回拖过程中不可预见因素较多,取0.6的设计系数,其安全系数达1.67,高于《海底管道系统规范》SY/T 10037 标准。

6 隧道法穿越设计

6.1 一般规定

6.1.1 本条对山岭隧道和水域隧道位置选择提出了6项具体要求。

其中第6款对隧道竖井选择时应考虑的周边环境给出了要求,一方面便于场地布置,另一方面为了降低施工对周围建构物的影响及对居民日常生活影响。

6.1.2 强调隧道位置选择应避开溶洞、暗河及采空区等不良地层。

6.1.5 隧道结构的净空尺寸,在满足管道安装和维护及隧道施工工艺要求的前提下,应考虑施工误差、结构变形和后期沉降等影响而留出必要的余量。

1 施工误差一般包括:

(1)由于施工测量、放线、铺轨、盾构推进、结构陈放或顶进引起结构或线路在平面位置和高程上的偏离;

(2)由于施工立模、浇注混凝土时模板变形等造成结构净空尺寸的变化;

(3)钻爆法隧道施工时的超挖;

(4)装配式构件的制作和拼装误差等。

2 盾构推进过程中相对中心位置的偏离,即所谓上下左右的“蛇行”,在盾构隧道的施工误差中占有相当的比例。

3 隧道后期沉降量与地层条件和施工方法等因素有关。在软黏土地层中要注意地面超载、地下水变动、土体卸载之后再加载以及在反复作用下引起的位移。

4 在确定隧道净空尺寸时,必须根据工程的具体情况,综合考虑地质条件、隧道埋深、作用状况、施工方法、结构类型及跨度等

各种因素,参照类似工程的实践设定。当隧道内布置多条管道时,隧道内一般保留不小于 500mm 的巡检通道。

5 盾构隧道的设计内径与输送管道的数量、直径有着密切的关系。国内已贯通使用的油气管道隧道内径及管道直径,见表 2。

表 2 国内盾构隧道直径与运营管道关系表

序号	项目名称	穿越名称	工程地点	施工时间 (年份)	管道规格 (mm)	隧道内径 (m)
1	忠武输气 管道工程	红花套长 江盾构隧道 穿越工程	湖北省 宜昌市	2002.11 - 2004.3	$\phi 711 + \phi 273$	2.44
2	仪征-长 岭输油管道 工程	黄石长江 盾构隧道穿 越工程	湖北省 黄石市	2005.1 - 2006.2	$\phi 762$	2.44
3	广东 LNG 输气 管道工程	珠江盾构 隧道穿越 工程	广东省 广州市	2005.3 - 2006.10	$\phi 762 + \phi 711$	3.08
4	川气东送 输气管道 工程	黄石长江 盾构隧道穿 越工程	湖北省 黄石市	2007.3 - 2008.2	$\phi 1060$	2.44
5	川气东送 输气管道 工程	武汉长江 盾构隧道穿 越工程	湖北省 武汉市	2007.3 - 2008.9	$2\phi 1060$	3.08
6	川气东送 管道工程	宜昌长江 盾构隧道穿 越工程	湖北省 宜昌市	2006.8 - 2007.10	$2\phi 1060$	3.08
7	西气东输 二线管道 工程	长江盾构 隧道穿越 工程	江西省 九江市	2008.6 - 2010.1	$\phi 1219$	3.08

续表 2

序号	项目名称	穿越名称	工程地点	施工时间 (年份)	管道规格 (mm)	隧道内径 (m)
8	长吉输气 管道工程	松花江盾 构隧道穿越 工程	吉林省 吉林市	2008.6 - 2009.6 2010.12	$\phi 610 + \phi 355$	2.44
9	西气东输 二线管道 工程	西二线上 海支线钱 塘江盾构隧 道穿越工程	浙江省 杭州市	2009.5 - 2011.5	$\phi 1016$	3.08
10	西气东输 二线管道 工程	南昌-上 海支线温 圳抚河盾构 隧道穿越 工程	江西省 南昌市	2010.12 - 2011.12	$\phi 1016$	3.08
11	西气东输 二线管道 工程	广州-南 宁支线绥 江盾构隧道 穿越工程	广东省 佛山市	2011.6 -	$\phi 1016$	3.08

6.1.6 盾构法隧道埋深应根据隧道功能、地面环境、地下设施、工程地质和水文地质条件、盾构特性、施工方法、开挖断面的大小等确定。

盾构、顶管隧道的合理覆土厚度,对保证隧道施工和运营安全、降低工程投资、缩短施工周期至关重要。日本规范中提出盾构隧道顶部必要的覆土厚度一般为 $1.00D \sim 1.5D$ (D 为隧道外轮廓直径);《给排水工程顶管技术规程》CECS 246:2008 中第 5.4.1、5.4.2、5.4.3 条对顶管穿越覆土厚度作了规定,主要如下:

(1) 5.4.1 顶管覆土厚度在不稳定土层中宜大于管道外径的 1.5 倍,并应大于 1.5m。

(2) 5.4.2 穿越江河水底时,覆土层最小厚度不宜小于管道外

径的 1.5 倍,且不小于 2.5m。

(3)5.4.3 在有地下水地区及穿越江河时,管顶覆土厚度尚应满足管道抗浮要求。

美国标准 Standard Construction Guideline for Microtunneling (CI/ASCE36-01)提出:管顶覆土厚度主要考虑降低掘进时的施工风险,最小不宜小于 1.0 倍设备外径,并不小于 1m。

本次修订根据上述具体要求,结合油气管道的重要性及冲刷深度存在一定的不确定性,同时结合原规范的使用情况,对盾构(顶管)覆土厚度进行了修订。

6.1.7 由于混凝土抗裂性能差,故对混凝土结构应进行抗裂验算;允许的裂缝宽度可参照现行国家标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 的相关规定选用。目的是为了保证隧道结构在施工和正常使用的安全。

6.1.8 隧道的弃渣场位置选择、支挡构筑物的结构设计,对于下游安全和环保关系重大,设计中应充分重视,应按照环境影响评价报告的要求进行。弃渣场地选择应结合线路走向、管道进出洞要求设计,不应影响后续工程的开展。

6.1.9 本条为强制性条文,意在加强环境保护、增加泥浆材料的使用效率。

6.1.10 本条根据《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求,根据各种隧道的工法特点,结合管道隧道使用功能,本着技术合理、节约投资的原则,对隧道防水等级进行了明确。

6.1.11 为保证施工人员、隧道结构和相关构筑物安全,隧道施工应进行相关监测,监测范围包括隧道结构和洞内外施工环境,对突发的变形等异常情况应启动应急响应方案。隧道结构监控量测内容应包括围岩及隧道结构沉降量测,必要时,还应进行衬砌应力等量测;隧道环境监控量测应包括地表沉降观测、邻近建(构)筑物变形量测和地下管线变形量测等,应根据结构状况、重要程度、影响大小对邻近建(构)筑物有选择地进行。

6.1.12 根据《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的第 3.2.1 条规定,结合管道隧道使用、运营特点,对隧道结构进行安全等级分级。

6.1.13 长隧道工程在管道工程建设中一般列为控制性工程进行全程跟踪、重点控制,早准备、早开工,以免影响整体工程的按时投产。隧道长度分级,不同的行业有不同的分级标准,《铁路隧道设计规范》中将全长 10000m 以上的隧道称为特长隧道,全长在 3000m 以上至 10000m 的隧道称为长隧道,全长在 500m 以上至 3000m 的隧道称为中长隧道,全长在 500m 以下的隧道称为短隧道。到目前为止,油气管道最长的隧道为果子沟 1 号隧道,全长 3080m,同时由于管道隧道断面较小,机械化设备难以开展工作,长度超过 3000m 的隧道施工工期长,难度大,不宜大量采用。

6.2 作 用

6.2.1 施加在隧道结构上的作用(载荷),如地层压力、水压力、地面各种作用及施工作用等,有许多不确定因素,所以必须考虑每个施工阶段的变化及使用过程中作用的变动,选择使结构整体或构件的应力为最大、工作状态为最不利的作用组合及加载状态来进行设计。

6.2.2 水压力的确定应注意以下问题:

1 作用在地下结构上的水压力,原则上应采用孔隙水压力,但孔隙水压力的确定比较困难,从实用和偏于安全考虑,设计水压力一般都按静水压力计算。

2 在评价地下水位对地下结构的作用时,最重要的三个条件是水头、地层特性和时间因素。

6.3 作用组合与作用计算

6.3.4 对于深埋隧道松散压力作用概率统计特征有如下研究

结论:

1 隧道塌方是岩体发生松散破坏的最直接表现。分析研究中建立了具有 1046 个样本的塌方数据库,将其按数理统计原理,进行塌方高度的概率参数统计,又用 K-S 检验法对分布概形优度拟合检验,得到最优分布概形为正态分布。

2 计算深埋隧道衬砌时,围岩压力按松散压力考虑。目前常用的计算方法有概率极限状态法与容许应力法,本条规定的是按极限状态法。

3 为便于设计人员根据实际情况,也可按容许应力法进行校核。垂直匀布压力可按下列公式计算确定:

$$q = \gamma h \quad (6)$$

$$h = 0.45 \times 2^{S-1} \omega \quad (7)$$

式中: ω ——宽度影响系数, $\omega = 1 + i(B - 5)$;

B ——坑道宽度(m);

i —— B 每增减 1m 时的围岩压力增减率:当 $B < 5\text{m}$ 时,取 $i = 0.2$;当 $B > 5\text{m}$ 时,可取 $i = 0.1$;

其余符号含义同本规范式 6.3.4-1、式 6.3.4-2。

水平匀布压力可按本规范表 6.3.4 确定。

6.3.7 为便于使用,特增加本条关于盾构、顶管隧道的作用计算公式。其来源于《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246:2008。

6.3.8 超静定结构(如拱式结构、钢架等)由于温度变化及混凝土收缩引起的变形将产生截面内力,如连续钢架式棚洞对温度变化及混凝土收缩均很敏感,以往设计曾考虑了这部分应力。

混凝土收缩的原因,主要是由于水泥浆凝结而产生,也包括了环境干燥所产生的干燥现象。

混凝土收缩有下列现象:

- (1) 随水灰比增长而增加;
- (2) 高等级水泥的收缩较大,采用外加剂时也会加大收缩;
- (3) 增加填充骨料可减少收缩,并随骨料的种类形状及颗粒组

成的不同而异；

(4)收缩在凝结初期比较快,以后逐渐迟缓,但仍持续很长时间。

对于钢筋混凝土结构,当混凝土收缩时,钢筋承受力,阻碍了混凝土部分的收缩变形,并使混凝土承受拉力。

分段灌注的混凝土结构和钢筋混凝土结构,因收缩已在合拢前部分完成,故对混凝土收缩段的影响可予酌减,拼装式结构也因同样理由可酌减。

6.4 钻爆法隧道衬砌设计

6.4.2 本条对山岭隧道平面设计、纵断面设计提出了具体要求。平面上宜直线布置,便于运输、测量监控,特殊条件下亦可选用折线形隧道,折线转角处半径与油气管道曲率半径相适应;纵断面上宜采用人字坡,便于自流排水。

6.4.3 本条对山岭隧道的洞口布置提出了基本要求。

6.4.5 本条对明洞的设置条件作了基本规定,隧道设计时应避免对洞口山体进行大量刷坡。

6.4.6 隧道衬砌因其通过的地质情况、结构受力、计算方法以及施工条件的不同,有整体式衬砌(模筑混凝土衬砌及砌体衬砌)、复合式衬砌(内、外两层衬砌组合而成)、喷锚衬砌(喷射混凝土、锚杆喷射混凝土、锚杆钢筋网喷射混凝土、喷钢纤维混凝土衬砌)等形式。

喷锚衬砌是一种加固围岩、抑制围岩变形,积极利用围岩自承能力的衬砌形式。它具有支护及时、柔性、密贴等特点,在受力条件上比模筑衬砌优越,对加快施工进度、节约劳动力及原材料、降低工程成本等效果显著,亦能保证管道运营安全,应予推广。

复合式衬砌由内、外两层衬砌组合而成。通常称第一层衬砌为初期支护,第二层衬砌叫作二次衬砌;复合式衬砌内外两层组合的方式有喷锚与整体、装配与整体、整体与整体等多种,一般常用

的是喷锚与整体的组合。其优点是能充分发挥围岩的自承能力，调整衬砌受力状态，充分利用衬砌材料的抗压强度，从而提高衬砌的承载力。

整体衬砌是一次衬砌成形的传统形式，施工进度较慢，小断面隧道较少采用。

衬砌结构类型及强度，必须能长期随围岩压力等承受作用，而围岩压力等作用又与围岩级别、水文地质、埋藏深度、结构工作特点等有关，因此在选定时，可根据这些情况考虑。此外，衬砌结构的选用还受施工方法、施工措施等影响，因而还需考虑施工条件等。鉴于地下结构的工作状态极为复杂，影响因素较多，单凭理论计算还不能完全反映实际情况，为了使理论与实践相结合，选用的衬砌更为合理，除根据以上因素外，还要通过工程类比和结构计算并适当考虑工程误差确定。

6.4.7 对设置衬砌时应符合的各项规定说明如下：

1 隧道边墙一般有直墙和曲墙两种，一般隧道开挖后，围岩均会产生较大侧压力导致衬砌破坏，故一般跨度不大于5m的小断面隧道可采用直墙式衬砌，大断面隧道应采用曲墙式衬砌，尤其严寒地区洞口若不封闭，洞内冬季会冰冻，会产生较大侧压力导致衬砌破坏，更应采用曲墙式衬砌。

2 当隧道外侧山体覆盖较薄，地面横坡较陡，或因洞身岩层构造不利，层面倾斜较陡，有顺层滑动可能以及施工坍塌产生围岩松动、滑移等情况而引起明显偏压的地段，为了承受不对称的围岩压力，应采用偏压衬砌。但也要注意当隧道外侧覆盖厚度过薄，会出现外侧土坡失稳，因而尚应采取设置地面锚杆、抗滑桩或支挡结构等措施。

3 洞口地段，一般埋藏较浅，地质条件较差，受自然条件（雨水侵蚀、冰冻破坏、气候变化等）影响，土质较松散，岩石易风化，稳定性较洞内差，衬砌受力情况也较洞内不利，如有时受仰坡方向的纵向推力等。因此，洞口应设置洞口段衬砌或加强衬砌。根据经

验,本款规定应不小于5m的加强衬砌长度。

4 在洞身地质条件变化地段,围岩压力是不相同的,为了避免强度不够,引起衬砌变形,围岩较差地段的衬砌及偏压衬砌段应适当向围岩较好的地段延伸,以起过渡作用,延伸长度应视围岩的具体变化情况而定,一般延伸5m~10m。

5 在洞身有明显的硬软地层分界处,由于地基承载力相差很大,前后衬砌下沉不匀,往往造成破裂,甚至引起其他病害,此时应设置变形缝。

6.4.8 采用复合式衬砌有关规定说明如下:

1 复合式衬砌的初期支护多采用喷锚支护,具有支护及时、柔性的特点,并在一定程度上能够随着围岩的变形而变形,力求最大限度地发挥围岩的自承能力。根据围岩条件,复合衬砌初期支护采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护形式单一或组合施工,并通过监控量测手段,确定围岩已基本趋于稳定,再进行内层二次衬砌施工,二次衬砌可采用模筑混凝土、喷锚、拼装式衬砌等。

2 影响二次衬砌受力状态的因素很多,除围岩级别、地下水状态、隧道埋置深度外,还有初期支护的刚度、隧道断面大小及其施作时间等,故设计二次衬砌时,应综合考虑各种因素的影响,以期达到经济安全的目的。目前,多采用工程类比法设计二次衬砌。管道隧道均属于小断面隧道,若采用模筑混凝土二次衬砌工法,则衬砌台车与出渣设备在空间上产生矛盾,初支和二衬不能同步施工,因而绝大多数隧道都是待贯通之后才施作二次衬砌,造成较差的围岩段施工中存在不安全因素,也造成隧道工期的延长,若二衬也采用喷锚支护就可解决上述两项缺点。

二次衬砌一般受力比较均匀,为防止应力集中,故宜采用连接圆顺、等厚的马蹄形断面。

3 表6.4.8中复合衬砌的设计参数,是根据国外铁路(公路)隧道支护参数统计、类比,结合专家意见进行调研修改的。其中IV、V级围岩当初期支护设置格栅钢架时,要求喷射混凝土必须覆

盖钢架。

6.4.9 采用喷锚衬砌时,应符合的规定说明如下:

1 为确保衬砌不侵入隧道限界,喷锚衬砌内轮廓除考虑按整体式衬砌内轮廓要求放大外,尚应预留 100mm 作为补强之用。喷锚衬砌是柔性结构,厚度较薄,并与围岩共同作用,考虑必要时需要加强喷锚衬砌,以防内轮廓尺寸不够,因此预留。

3 鉴于有水时不利于喷层与围岩的紧密黏结,难以充分发挥喷射混凝土的应有作用,甚至给喷射混凝土带来不利影响;洞内地下水具有侵蚀性的地段,易造成衬砌腐蚀,由于喷层厚度较薄,受腐蚀的危害甚于模筑混凝土衬砌,岩性较软的岩层,开挖后易风化潮解,亲水性很强,遇水泥化、软化、膨胀、围岩压力大,严重者发生淤泥状流淌,稳定性较差,喷锚衬砌难以阻止其迅速的变形;喷锚衬砌抗冻胀性能较差,严寒和寒冷地区,土壤冻胀导致衬砌破坏的危害甚于模筑混凝土衬砌,故大面积淋水地段、能造成腐蚀及膨胀性地层的地段、严寒和寒冷地区不封闭的隧道,不宜采用喷锚衬砌。对于地下水不发育的 V 级围岩的山岭隧道,通过现场试验确定相关参数后,也可采用锚喷支护。

6.4.10 采用整体式衬砌时,应符合的规定说明如下:

1 隧道洞口地段,如线路中线与地形等高线斜交,地质条件较好,为降低边、仰坡开挖高度,选用斜交洞门时,可采用斜交衬砌。但因斜交地段地层压力和衬砌受力较为复杂,施工也较困难,特别是在松软地层地段,易出现病害或造成事故,为了安全,故制定本条规定。

2 在严寒地区,冬春季节,洞内气温常在 0°C 以下,衬砌圻工由于冷缩影响,往往导致开裂、变形,为了结构安全,应设置伸缩缝,伸缩缝的间距可视隧道长度及其所在地区最冷月平均气温等条件确定,一般是洞口段短些,洞内长些,气温影响较大者短些,影响较小者长些;设计时,可根据具体情况,每隔 10m~30m 设置一道,如围岩较好,又无地下水时,亦可采用贯通拱圈与边墙的工作

缝代替之。

3 隧道衬砌背后,尤其是拱圈顶部与围岩之间,由于混凝土收缩,一般会留有空隙,特别是当采用支撑开挖法施工时,Ⅲ~Ⅵ级围岩与衬砌更不易密贴,围岩压力不能均匀传布,也不能充分发挥围岩的弹性反力,衬砌易变形,所以作了本条规定。

当洞身通过地质不良地段或傍山有偏压地段,一般地压较大,且不对称,如不及时压注水泥砂浆填充衬砌与围岩间空隙,衬砌更易变形,因此要求向衬砌背后进行断面压注水泥砂浆或其他浆液,既填充空隙,改善衬砌受力状态,又加固围岩,减少围岩压力。

有地下水地段设有引水设备时,应采取措施,防止堵塞通路,但不能因为需引水而不压浆,衬砌是主体结构,防止衬砌变形是主要的。如压浆后排水通路堵塞造成渗漏时,可再钻孔、凿槽或埋管引水,或采取其他防水措施。

6.4.11 初期支护应具有合理的刚度,并且在一定程度能够随着围岩的变形而变形;由于喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架或格栅钢架等的不同作用各不相同,初期支护的刚度与其组成成分有着密切关系。故在设计时应根据工程地质、水文地质、隧道断面尺寸、覆盖层厚度等条件选择初期支护的组成部分,确定初期支护的刚度时,除上述因素外,还应考虑地面及地下建筑物的种类及状态和使用目的等因素;当隧道所在地区对地表下沉量有严格限制时,在此条件下,应进行现场试验,防止单凭经验处理问题。在松散、胶结性差的地层中可加设钢筋网,以提高喷射混凝土与受喷岩面间的黏结力,防止喷层剥落和松散介质坍塌。

在不同地质条件下,使用锚杆的目的也不同。在节理、层理发达的硬岩和中硬岩中,因岩石本身强度高,一般会出现因开挖而使围岩中的应力超过围岩本身强度的现象;在此条件下,采用锚杆的目的在于抑制岩块间的滑动,以保持围岩稳定。在软岩或土砂地层中,往往因开挖而使围岩中的应力超过本身的强度,从而在围岩中出现塑性区,使净空变形加大,此时采用锚杆的目的在于限制塑

性区的产生及发展,尽力减少围岩变形,以达到稳定围岩的目的。

锚杆类型可分为端头锚固型、全长黏结型、摩擦型、预应力锚杆等。

6.4.12 对隧道的仰供衬砌提出了具体要求。

6.4.13 钻爆法隧道设计、施工应遵循新奥法,是集设计、施工、勘察于一体的动态控制过程。通过施工勘察与监测,可以调整设计支护参数和施工工艺,提前发现工程难点、疑点,及早进行技术准备,实现安全、可靠、经济、合理的目标。因此工程设计中应针对具体的条件提出具体的施工勘察和监测要求。

6.4.19 隧道设计应采取下列施工防水、防坍塌措施,保证施工安全。

1 留设隔水岩柱。

一般山岭钻爆法隧道,其顶面上覆盖层厚度一般不小于隧道横断面高度的 2.5 倍~3 倍,但对于水下隧道来讲,在隧道开挖后,受打眼、爆破作业的扰动,围岩原始状态遭到破坏,从而产生导水裂隙或使原裂隙扩张导通,因此必须留设隔水岩柱将河水与开挖隧道“隔离”,防止涌水,保证施工安全。“隔水岩柱”实际就是隧道埋深,参照煤矿水下采煤方法在采区顶部保留一定厚度的隔水岩柱,以防止水的侵入。一般而言隧道顶与水体之间的竖向距离不宜小于隧道横断面高度的 10 倍。防水侵入的保护岩层厚度按下式计算:

$$S=1.5 \times (H \times B)^{0.5} / F + C \quad (8)$$

式中: S ——保护岩层的厚度(m);

H ——水头高度(m);水深与隧道最小埋深之和,要考虑顶部基岩的预水裂隙长度;

B ——隧道毛断面宽度(m);

F ——围岩的强度系数;

C ——风化层厚度(m)。

2 超前探水。

对于有的围岩,裂隙发育或岩石破碎,甚至有断裂带,断裂带

中充填物胶结不实等情况下,仅留隔水岩柱隔水是不够的。为了确保开挖面安全作业,设计应要求施工中必须向开挖面打超前钻“探水”。探水钻孔有两个作用:一是根据探水钻孔所取岩芯判断开挖前方岩石破碎情况,裂隙发育程度等(因为工程地质勘察时,按详勘要求一般钻孔孔距 50m,孔与孔之间地层情况很难预测);二是根据钻孔流水流量判断裂隙是否导水,是否与河水有水力联系(一般流水是清水而不带黄色说明与河水无水力联系),从而确定是否需要采取进一步措施治水。一般超前探水钻孔 3 个,钻孔口应有防突水措施(在孔口安装闸门),一个钻孔取岩芯,两个不取岩芯,钻孔长度一般 30m~50m,孔径为 100mm~150mm,钻孔搭接长度 10m。钻孔外插角一般 3° 。

3 超前地质预报。

根据围岩状况,对于断层较多,围岩破碎的隧道除了要进行超前钻孔探水外,还应进行超前地质预报,采用 CQTC—1、TSP 等超前地质预报探测系统,可以探测前方各种地质构造、破碎带、充水带,与超前探水结合,有效地避免大量涌水、坍塌等地质灾害,确保施工安全。

4 注浆“堵水”。

超前钻探发现开挖面前方出现异常状况,围岩破碎,裂隙发育,钻孔水流量大,不采取措施施工难度较大且存在较大风险时,应立即停止开挖作业,采取注浆措施“堵水”,以防止大量的裂隙水涌入开挖面。

6.5 盾构法隧道设计

6.5.1 本条对盾构法隧道的适用条件提出了基本要求。

6.5.2 本条对盾构隧道纵断面设计提出了具体要求。

1 纵断线形的形式主要考虑围岩类别、岩性、裂隙发育程度、涌水大小等因素确定。分为“一”字形、“U”字形和倒“J”字形,见图 1、图 2、图 3。

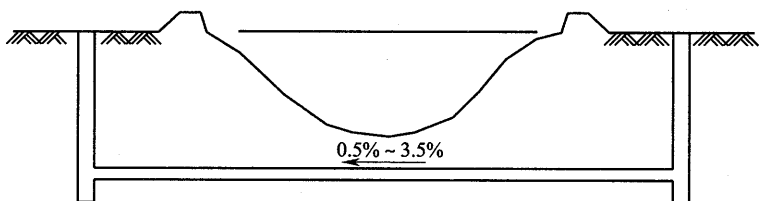


图1 “—”字形纵断线

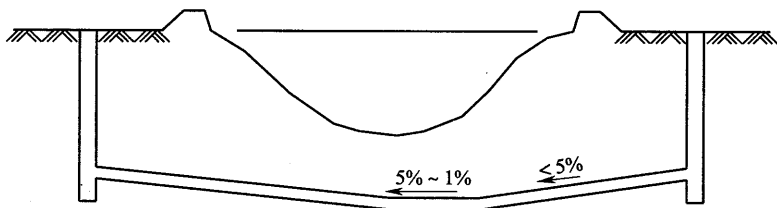


图2 “U”字形纵断线

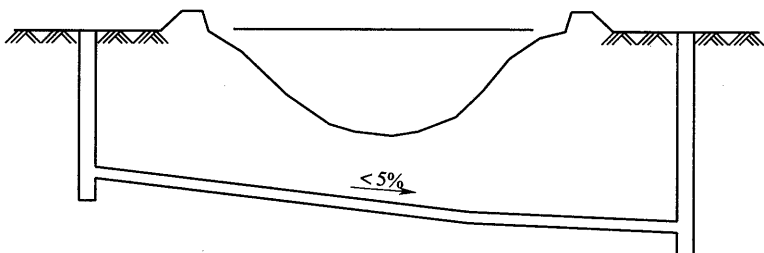


图3 倒“J”字形纵断线

(1) 对于岩性单一且均匀的岩层可以考虑“—”字形,这样隧道施工简单,设计单坡排水或人字坡排水即可;

(2) 对于透水性差的粉土、粉质黏土、黏土、硬岩(I、II类)、地下水少,可以考虑“U”字形,隧道纵断面顺着河床横断面,有利于减小竖井的深度;

(3) 连续穿越两种岩性差异较大的河床,可以考虑倒“J”字形,在较硬岩石层为“—”字,向软岩或卵石层过渡时逐渐向上斜,形成倒“J”字形;

(4) 对穿越长度 2000m 以上,考虑到盾构机资源获得(采买或调运)周期长,在保证施工周期不因引进盾构机而受影响的同时,可提前开工,并可降低费用。也可考虑钻爆法隧道与盾构法隧道相结合的方案。一端钻爆法掘进,一端盾构掘进。

盾构机掘进坡度应根据具体地质条件、设备配套爬坡能力确定,单坡度过大运送管片的轨道车马力要加大,并且要增加一些自动可靠的制动机构,另外大坡度对管片的组装技术要求增高,因此一般坡度不超过 5%;对平巷隧道为了自动排水(主要由管片接缝渗水,泥水加压平衡机泥浆运输管道堵塞拆除漏水等)一般设计成 0.2%~0.4%的坡度;盾构隧道曲率半径除考虑隧道施工转弯要求外,还要考虑管道弹性敷设安装的要求,不应小于 1000D 管道曲率半径控制,主要是减少管道产生的附加弯曲应力。

6.5.3 盾构隧道施工多采用土压平衡式盾构机和泥水平衡式盾构机。根据具体地质、水文条件确定。盾构机选型可参考表 3。

表 3 盾构隧道盾构机选型表

地质条件			土压平衡式				泥水平衡式	
			土压		泥土压			
地质分类	土质	N 值	适用性	问题	适用性	问题	适用性	问题
冲积黏性土	腐殖土	0	X		△	地基变形	△	地基变形
	淤泥黏土	0~2	○		○		○	
	砂质淤泥及砂质黏土	0~5	○		○		○	
		5~10	○		○		○	
洪积黏土	黏土	10~20	△	土砂堵塞	○		○	
		15~25	△	土砂堵塞	○		○	
	砂质黏土	25 以上	△	土砂堵塞	○		○	
软岩	硬黏土及泥岩	50 以上	△	土砂堵塞	△	刀具磨损	△	刀具磨损

续表 3

地质条件			土压平衡式				泥水平衡式	
			土压		泥土压			
地质分类	土质	N 值	适用性	问题	适用性	问题	适用性	问题
砂质土	淤泥黏土混砂	10~15	○		○		○	
	松散砂土	10~30	△	细颗粒含量	○		○	
	密实砂土	30 以上	△	细颗粒含量	○		○	
砾砂及卵石	松散砾砂	10~40	△	细颗粒含量	○		○	
	固结砾砂	40 以上	△	地下水压力	○		○	
	混有卵石砾砂	—	△	刀具磨损	○		△	刀具磨损； 输浆管堵塞

注：X—原则上不适用的土质条件；

△—应用时要研究辅助工法及辅助机构等；

○—原则上适用的土质条件。

6.5.4 为了取得较好的经济效益，在工程地质条件好、周围土层能提供一定抗力的条件下，衬砌结构可以设计得柔一些，但圆衬砌环变形的大小对结构受力、接缝张角、接缝防水、地表变形等均有重大影响，故必须对衬砌结构的变形进行验算，做必要的控制。

6.5.5 衬砌结构的计算简图应根据地层情况、衬砌的构造特点及施工工艺等确定。

6.5.6 本次修订增加隧道管片结构内力的计算公式，本公式源自日本隧道设计规范。

6.5.7 隧道的抗漂浮稳定性及地基承载力验算要求。

1 对隧道进行抗漂浮验算的主要目的是避免隧道在施工、运营期间发生上浮现象,发生上浮现象的原因包含埋深过浅或地震状态下的沙土液化。根据其他抗漂浮稳定性的设计要求,抗漂浮稳定性系数一般取 1.15,故本规范作此规定。

2 盾构隧道结构的地基承载力验算主要包含隧道施工及管道试压时的验算,隧道充水运行时竖向载荷更大,必须验算。施工时的地基承载力验算主要考虑如果地基承载力过低,会造成盾构设备磕头,姿态难以控制,此时应对该段进行地基加固;试压时,特别是竖井附近第一个管道支墩处,由于竖井内数十米的试压水柱集中作用,可能造成局部地基承载力不足,应扩大该支墩基础或在井底加设临时的管道支撑措施,降低竖向集中作用。地基承载力过低的地层不应采用隧道内充水运行。

6.5.8 装配式衬砌的构造要求。

1 装配式衬砌结构的环片之间均用螺栓连接,虽有施工操作繁琐、用钢量大的缺点,但可增加隧道抵抗变形的能力,有利于保证施工精度、施工安全及衬砌接缝防水,故在软弱、含水、承载力差的土层中多选用螺栓连接环片。

环片按其螺栓手孔的大小,通常有箱形和平板之分。当衬砌较厚时,为减轻自重,常选用腹腔开有较大、较深手孔的箱形环片;环片较薄时,为了能承受施工中盾构千斤顶的顶力,则以选用较少开孔的平板形环片为宜。

2 选用较大的环宽,可减少隧道纵向接缝和漏水环节、节约螺栓用量、降低环片制作费和施工费、加快施工进度,但受运输和盾构及机械设备能力的制约,故应综合考虑。

3 钢筋混凝土环片的厚度视隧道直径、埋深、工程地质和水文地质条件的不同,一般为隧道外轮廓直径的 0.05 倍~0.06 倍。

6.5.11 管片壁后注浆包括同步注浆、即时注浆及二次补强注浆等,同步注浆和即时注浆应与盾构掘进同步进行;根据隧道稳定状态和环境保护要求,可进行二次补强注浆,注浆量与速度应根据环

境条件和沉降监测结果等确定；注浆材料应满足强度、流动性、稳定性、可填充性、凝结时间、收缩率、环保等要求。

6.6 顶管法隧道设计

6.6.1 油气管道顶管机选型根据工程条件确定，多采用土压平衡式或泥水平衡式顶管机，可按表4经技术比较后确定。

表4 顶管机选型参考表

地 层	顶管机类型		
	土压平衡	泥水平衡	气压平衡
淤泥 $f_d > 30\text{kPa}$	★★	★	★
黏性土 含水量 $> 30\%$	★★	★	★
黏性土 含水量 $< 30\%$	★	★★	★
粉质土	★	★★	★
砂土 $k < 10^{-4}\text{cm/s}$		★★	★★
砂土 $k < 10^{-4} \sim 10^{-3}\text{cm/s}$		★	★★
砾砂 $k < 10^{-3} \sim 10^{-2}\text{cm/s}$		★	★
含障碍物			★

注：★★—首选机型；★—可选机型；空格—不宜选用。

6.6.2 本条对顶管隧道的纵断面布置提出了具体要求。

1 限于目前的顶管设备与施工技术水平，顶管多以水平为主，同时考虑排水要求，对坡度作了规定。

2 顶管隧道曲线顶进多指平面内的，其曲率半径应符合管道安装的要求。

6.6.4 顶管最大顶力计算公式较多，本规范中结合实际使用情况，引用了现行行业标准《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246-2008 的计算公式。

6.6.5 为克服大段顶进过程中摩擦力的影响，应设置中继站，同时中继站间距不宜过大，以免隧道行程难以控制，造成隧道呈“蛇行”状，影响管道在隧道内布置安装。

6.7 竖井工程

6.7.2 圆井有利于结构受力,地质条件差时采用;矩形等断面竖井的空间利用率高,且施工(支模,钢筋绑扎等)方便。

6.7.4 沉井深度超过 50m,均应采取措施。措施中包括设后浇带、用补偿收缩混凝土和增加水平钢筋等。

6.7.5 土对井壁摩阻力的数值与沉井入土深度、土的性质、地下水状况、井壁外形及施工方法有关,此项数值应根据实践或经验资料确定。

6.7.9 沉井平面形状、大小主要由地基容许承载力而定。若沉井设在受水流冲刷较大的地方,应考虑阻水较小的截面形式(如做成圆端或尖端)。对于圆形沉井,从外形来说是阻水较小的,但对于外形较大尺寸的沉井,反而增大挡水面积,对抗冲刷不利,所以宜加以比较。一般管道隧道的沉井都设在不受水流冲刷或水流冲刷很小的位置,沉井平面多选为圆形。

棱角处做成圆角或钝角,可使沉井在平面框架受力状态下减小应力集中,同时可减少井壁摩擦面积和便于吸泥(不致形成死角)。做成圆角、圆端形后在下沉过程中,容易形成“土拱”作用,减少侧面土压力,亦即减小土对井壁摩擦力,方便下沉。

沉井井孔的最小宽度应视取土机具而定,一般不宜小于 2.5m~3m。井孔布置应结合取土机具所能及的范围一起考虑,统筹安排布置。

沉井外壁从主体结构的受力来考虑,最好做成垂直的,以能增强土对沉井的侧向弹性抗力作用,但有时为了顺利下沉的需要,往往又将沉井外壁做成台阶形或斜坡形,但在有些土质中采用台阶形或斜坡形外壁对减少土对井壁的摩擦力未必有效。沉井采用任何形式的外壁,应根据设计要求,地质及水文情况、施工技术条件、施工方法等全面考虑确定。

松软土中制造沉井底节,如高度过大容易发生倾斜而且难以

纠偏,故一般认为不应大于沉井宽度的0.8倍。

6.7.20 本条对桩墙式围护结构的设计进行了规范,说明如下:

1 计算方法。本规范推荐采用侧向地基反力法,其特点是将围护墙视为竖向弹性地基上的结构,用压缩刚度等效的土弹簧模拟地层对墙体变形的约束作用,可以跟踪施工过程,逐阶段地进行计算。由于能较好地反映基坑开挖和回筑过程中各种基本因素,如加、拆撑、预加轴力等对围护结构受力的影响,并在分步计算中考虑结构体系受力的连续性,因而被我国工程界公认为是一种较好的深基坑围护结构的计算方法。当把围护结构作为主体结构的一部分时,还可以较好地模拟围护墙刚度和结构组成随施工过程变化等各种复杂情况。

2 土压力取值。基坑开挖阶段作用在围护结构墙背上的土压力视墙体水平位移的大小在主动土压力和静止土压力之间变化。当墙体水平位移很小时,墙背土压力接近静止土压力,并随墙体水平位移增大而减小,最终达到土压力的最小值,即主动土压力。设计时应根据对围护结构的变形控制要求以及实际的变形情况,结合地区经验,合理确定墙背土压力的计算值。

6.7.21 地下连续墙应符合的规定说明如下:

1 单元槽段的长度和深度。槽段长度和深度的确定,一般应与以下因素有关:

(1)设计要求:即与结构物的用途、形状、尺寸、地下连续墙的预留孔洞等有关。

(2)槽段稳定性要求:即与场地工程地质条件、水文地质条件、周围的环境条件和泥浆质量、比重等有关。

(3)施工条件:即与挖槽机性能、贮浆池容量、钢筋笼的加工和起吊能力、混凝土供应和浇灌能力,现场施工场地大小和施工操作的有效工作时间等有关。

2 地下连续墙的接头形式应满足结构使用和受力要求,当作用纵向分布并没有内衬时,可采用普通圆形接头;无内衬时应采用

防水接头；当需要把单元槽段连成整体时，采用刚性接头。

3 从传力可靠和简化施工考虑，地下连续墙与主体结构水平构件宜采用钢筋连接器连接。钢筋连接器的抗疲劳性能及割线模量应符合《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的要求。

4 为保证使用要求，墙体表面的局部突出大于 100mm 时应予以凿除，墙面侵入隧道净空的部分也应凿除。

6.7.22 钻孔咬合桩

钻孔咬合桩是指平面布置的排桩间相邻桩相互咬合（桩圆周相嵌）而形成的钢筋混凝土“桩墙”，它用作构筑物一定深度内的基坑支护结构。目前经过大量的工程实践，钻孔咬合桩在国内已成为一项成熟的支护结构施工技术，在地铁、道路下穿线、高层建筑物等城市构筑物的深基坑工程中已广泛推广，适用于有淤泥、流沙、地下水富集等不良条件的地层。

钻孔咬合桩“桩墙”有别于圆形桩与异形桩组合的“桩墙”，咬合桩的混凝土终凝出现在桩的咬合以后，成为无缝的连续“桩墙”；它与普通钻孔支护排桩相比，大幅度提高了支护结构的抗剪强度和安全性；它具有良好的截水性能，不需普通钻孔排桩的辅助截水及桩间挡土措施。

作为一种新的基坑支护技术，钻孔咬合桩的设计尚无针对性较强的专门的设计规范作为指导，目前设计人员主要依据的规范有：国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010，行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120，以及地方规范，比如深圳地区《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05 等；但是不同的设计者选用的设计理论也不尽相同，从大量的成功的工程实例来看，钻孔咬合桩采用刚度等代地下连续墙计算方法的设计是安全可靠的。

6.7.23 型钢水泥土搅拌墙

1 竖井支护结构都应根据基坑周围环境保护要求确定变形控制指标，型钢水泥土搅拌墙的变形控制还应满足内插型钢拔除回收等的要求。竖井开挖过程中应避免发生较大变形造成水泥土

开裂,影响其截水效果以及对水泥土抗剪能力的削弱。

2 目前,工程中多采用普通硅酸盐水泥进行三轴水泥土搅拌桩的施工,相关经验积累都是建立在此基础上的。我国幅员辽阔,各地土层条件差异较大,若在工程中采用其他品种的水泥,应通过室内和现场试验确定施工参数,积累经验。

6.8 斜巷工程

6.8.1 为了保证洞口正常工作,本条规定采用钻爆法施工的山地或水域隧道,应确保洞口在设计洪水频率下不被洪水淹没,使隧道内在施工或运营期间不受洪水影响。

6.8.2 斜巷提升难度较大,根据现在施工技术,规定了不同的提升方式的斜巷倾角。

6.8.3 为确保施工、运营期间人员进出隧道的安全,应设置人行道和躲避洞。对超过 15° 的斜巷应设台阶及扶手。

6.8.4 为使管道等材料能够进入到平巷段,应在斜巷与平巷段交界处设置马头门。马头门处衬砌厚度与配筋应根据计算进行加强。

6.8.6 斜巷底部应根据设计计算出水量设置集水坑和相应的排水措施。

6.8.7 本条规定旨在保证斜巷施工运输时人员安全。

6.9 工程材料

6.9.2 表 6.9.2 中混凝土的最低强度等级大多是从满足工程的耐久性要求考虑的。为了减少地下超长结构混凝土的收缩应力和温度应力,现浇混凝土结构混凝土的设计强度也不宜采用低于表 6.9.2 规定的等级。盾构环片及混凝土顶管的强度均不宜低于 C50,对于坚硬岩石的顶管、盾构隧道施工应适当提高混凝土强度等级。

6.9.3 本条规定的钢管许用拉应力、压应力、剪应力及支承应力。

这是依据现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 的规定,并参照美国的《烃类和其他液体输送管线系统》ASME B31.4 的有关规定制定的。

6.9.4 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010,混凝土工程中不再采用 HPB235 钢筋。

6.9.5 盾构隧道钢筋混凝土管片连接螺栓的机械性能等级一般采用 4.6 级~8.8 级。为了保证隧道的使用寿命,对螺纹紧固件表面必须进行防腐蚀处理。

6.10 防水与排水

6.10.2 钻爆法施工的隧道防水措施说明如下:

1 围岩注浆是将不透水的凝胶物质(防水材料)通过钻孔注入扩散到岩层裂隙中,把裂隙中的水挤走,堵住地下水的通路、减少或阻止涌水流入工作面,同时还起到固结破碎岩层的作用,从而为开挖、衬砌创造良好的条件。

2 混凝土或钢筋混凝土结构自防水是一个综合体系,故应以系统工程对待,确立以混凝土自防水为根本,接缝防水为重点的防水原则。

3 原条文中“应铺设防水板或系统盲管(沟)”,要求过高,对于采用其他措施能达到防水要求的可不设防水板、系统盲沟等。

6.10.3 洞口或明洞建筑于露天地区,一般有地表径流的影响,如不设法截、拦、排走,容易引起冲刷坡面,产生坍塌;或流入回填体内部,浸泡回填料,增加明洞负荷,因此要做好明洞截、排水系统。

6.10.4 用盾构法施工的隧道,通常修建在地质条件不太好的含水地层中,地下水中含有的腐蚀性介质将影响钢筋混凝土管片的耐久性,在设计时就应采取保护措施加以保护。

6.10.5 本次修订增加了顶管法隧道的防水要求。

6.10.6 盾构及顶管隧道进出施工防水极其重要,可避免涌水、突泥及竖井周边不均匀沉降的发生。可根据井口的结构、尺寸和埋

深,并考虑地形地貌、地质及水文条件、环境要求和对地面建筑物的影响等因素合理选用,如降水法、旋喷桩、搅拌桩、注浆法、SMW桩、冻结法或组合加固等。盾构(顶管)进、出洞土体加固范围最小为:长度为主机长度加2m,宽度为主机外缘左右方各3m,高度为主机外缘上下方各3m。当洞口处于砂性土或有承压水地层时,宜采取降水和土体加固组合措施。应对洞口外土体的加固效果进行检查,加固体强度、抗渗指标应经过现场取样试验确定。当洞口处于砂性土或有承压水地层时,应在洞门处打米字形9点水平探测孔,观测加固土体的抗渗性,如发现渗漏水或夹泥沙的空洞必须采取补充加固措施。

6.12 隧道内管道安装

6.12.1 通过十几年来国内长输管道工程采用隧道的情况来看,隧道内管道敷设已成了隧道设计中的一个重要环节。隧道内管道的敷设方式应充分考虑到管道输送的介质、隧道的纵坡、隧道断面的大小、敷设管道的数量以及施工方式等条件。如在忠武输气管道工程中,山区隧道有 $3\text{m}\times 3\text{m}$ 和 $2.5\text{m}\times 2.5\text{m}$ 两种城门洞型断面,当隧道纵坡度大于 15° 时,管道在隧道内采用滑动支座连续架空敷设;当隧道纵坡度小于 15° 时,采用地上填土敷设的方式(隧道围岩都为基岩)。在江底隧道中情况又不一样,考虑施工条件受限制,平洞段管道采用滑动支座连续架空敷设的方式(支座与隧道底板齐平)。目前国内的管道山岭隧道采用覆土敷设的较多;水下隧道基本采用支座架空敷设形式。

6.12.4 水域隧道或排水不畅地山岭隧道,由于水流不能自动流出,容易造成水淹管道,无论采取填土埋设还是架空敷设,都应考虑水淹状态下管道的抗漂浮稳定性问题。应通过计算并采取可靠措施,确保管道安全。

6.12.6 隧道内钢结构长期处于潮湿空气工作环境,受潮气的侵蚀,金属结构表面容易腐蚀,从而危及管道的安全。因此,为了提

高防腐层的使用周期,减少生产成本,应采用高质量、附着力强、不易裂缝脱皮、耐水性好的防腐材料。

6.12.7 管道同锚固墩(件)之间的良好绝缘,可防止阴极保护电流漏失,是保证管道达到有效的阴极保护所必需的。

6.12.8 水域隧道建议充水运营。运营期间隧道内充水可平衡隧道内、外水压,对结构安全有力;避免不断渗(透)水破坏隧道周围稳定环境影响结构安全;避免无关人员进入隧道影响安全运营;利于隧道内消防安全;有利于防腐;可以降低日常通风、排水、照明等维护费用,节能环保。山岭隧道日常运营时一般用土把洞门封住,并设置排水、排气管。

7 公路、铁路穿越设计

7.1 一般规定

7.1.1 油气管道在选线阶段,首先要考虑避免或减少与铁路(公路)的交叉,可以使管道线路设计更加合理,也可以避免或减少因交叉带来的相互影响。公路、铁路穿越点一般应选择在路基稳定、便于穿越的位置,当条件受限时也可从公路、铁路的桥梁下交叉穿越。铁路编组站、大型客站、变电所是铁路上的大型和重要工程,一旦发生事故,危险性大,故严禁交叉。

7.1.6 本条款参照了国家现行标准《输油管道工程设计规范》GB 50253、《输气管道工程设计规范》GB 50251 及《钢质管道穿越铁路和公路推荐作法》SY/T 0325 的要求,并结合实际工程情况确定的。管道与被穿越的铁路(公路)宜垂直相交,使交叉管段长度短,穿越投资少,管理方便;但同时考虑穿越收到地形、地质条件、地方规划因素、各类敏感目标的限制,许多地段只能小角度交叉穿越,为此规定交叉角不宜小于 30° 。油气管道与公路、铁路桥梁下交叉时,在对管道采取防护措施后,交叉角可小于 30° ,此规定对于管道穿越既有铁路桥下,尤其是铁路桥跨越埋地管道,都给出了较大灵活性。

7.1.7 穿越点四周要求有足够的空间,是为了满足穿越管道施工安装、正常维护以及事故抢险的需要。

7.1.8 铁路(公路)现有的涵洞是根据其具体的用途设置的,如人员、车辆通行、排水等,如果油气管道利用涵洞穿越,从管道工程方面考虑方便了施工,减少了投资,但是对于铁路(公路)来说,改变了涵洞功能,增加了安全隐患。

7.1.9 本条规定了管道穿越铁路(公路)时输送管道或者套管顶

部的最小覆盖层厚度。覆盖层厚度不仅关系到管道的受力问题,还关系到路基及其路基下部土层承受车辆作用的问题,因此管道穿越公路、铁路,既要进行管道计算,还应该满足最小覆盖层厚度。如果不能满足最小覆盖层厚度,应该采取加固措施。最小覆盖层厚度是参照现行行业标准《钢质管道穿越铁路和公路推荐作法》SY/T 0325 制订的。

7.1.10 本条是为了避免公路、铁路不均匀沉降对输送管道或者套管的影响。如果土层不均匀,应采取措施保证管道的安全。

7.1.11 套管的内径比管道内径大 300mm 主要为了便于油气管道安装。钢筋混凝土套管采用人工顶管施工方法时,内直径不应小于 1m,是为了满足顶管人工开挖作业的需要。

7.1.13 本条是根据现行行业标准《铁路工程设计防火规范》TB 10063 的规定编制的。

7.1.14 采用钻孔(包括水平定向钻孔、顶管等)敷设穿越管道,如果孔洞尺寸较输送管道或者套管过大,容易产生路基的塌陷,造成穿越管道受力不均匀和路面破坏,影响交通和管道运行,因此,要控制孔洞的直径。出现孔洞过大现象时,应迅速采取措施,充填过大的孔洞,避免造成路基的塌陷;如果钻孔、顶管、隧洞必须废弃时,应该迅速采取补救措施进行处理,如低等级混凝土填实孔洞。

7.2 无套管穿越设计

7.2.1 本条款提出无套管穿越管段的计算要求。

7.2.2、7.2.3 这两条是沿用原规范的内容。本次编制参照现行行业标准《钢质管道穿越铁路和公路推荐作法》SY/T 0325,提供了土压力、车辆作用、内部压力产生管道应力的计算方法,穿越管段其他还承受管道自重、输送介质自重、地下水浮力、季节更替引起的温度变化、输送介质温度的变化、管道操作状态变化的作用,对管道的影响应根据实际情况进行计算分析;各种原因引起的地基变形(如地基不均匀沉降、冻胀、盐渍土、湿陷性黄土、附近区域

开挖、爆破施工的影响等)对管道的影响极大,管道设计选线时应该避开或采取措施进行处理,否则必须进行计算分析。其他还有地震、腐蚀对管道的影响等,应该根据情况,进行计算分析。

7.2.4~7.2.6 土压力作用下管道的环向应力、公路车辆作用下管道环向、轴向循环应力、管道内部压力产生的管道环向应力的计算,是参照现行行业标准《钢质管道穿越铁路和公路推荐作法》SY/T 0325 的计算方法。

7.2.7 无套管穿越在公路车辆作用下,管段产生环向应力与轴向应力,本条规定在计入内压、温度等作用组合产生的应力,应按本规范第 4.4.2 条与第 4.4.3 条进行强度核算。

7.2.8 穿越管段的环向焊缝和轴向焊缝疲劳复核,采用允许应力法,即通过将垂直于管线焊缝的循环应力与耐疲劳极限应力的允许值比较进行复核。

7.2.9 本条为强制性条文。为了防止公路开挖作业损坏管道,本条提出在管顶上方 500mm 处设警示带,提醒作业人员。

7.2.10 采用大开挖直埋穿公路的管段,为保证车辆作用能达到按刚性角分布,且不危害因沉降造成事故,制定本条规定。

7.3 有套管穿越设计

7.3.1、7.3.2 输送管道采用涵洞、套管等有保护方式穿越公路、铁路,涵洞的净尺寸应该满足管道安装施工和维护的要求,同时,还应该满足公路、铁路的要求。另外,涵洞顶部覆盖层的厚度,对涵洞结构的受力影响较大,应该根据公路、铁路有关规范进行计算,综合考虑确定。钢筋混凝土涵洞、套管的设计方法应该按照现行的公路、铁路桥涵设计规范执行。直径大于 1000mm 的钢质套管,由于管材较少,宜采用钢筋混凝土套管。

7.3.4、7.3.5 套管中的输送管道与套管之间,以及多根输送管道之间电绝缘是阴极保护的需要。电绝缘体支撑的支撑压力,应该进行控制,不应使管道防腐涂层造成损坏。

8 焊接、试压及防腐

8.1 焊接、检验

8.1.1 穿越工程是管道工程的一部分,因此本条规定应按现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 与《输油管道工程设计规范》GB 50253 的规定执行穿越管段的焊接。

8.1.2 根据十几年来我国管道工程对焊接进行无损检测的要求,采用 100% 的射线探伤检验已在西气东输等一系列大型工程中执行。线路工程在进行了 100% 的射线探伤后,基本上不再作超声波检验焊缝。考虑到穿越工程的重要性,规定了对接环焊缝除进行 100% 的射线探伤外,还要进行 100% 的超声波检验。

8.1.3 射线探伤和超声波探伤分级标准各规定了两个验收标准:其中现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 是以压力容器探伤为主的分级标准,超声波探伤检验是按现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345 执行的,这两个标准都是在输油和输气工程设计规范中所规定采用的。另一个是行业标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109,依据美国 API 推荐的 RP1104 编制的,本标准更适用于长距离管道现场野外对接接头焊缝的射线和超声波探伤检验,我国近期施工的管道多以此为验收标准。

8.2 清管、测径及试压

8.2.1 本条规定了对试压前后进行清管处理,是为了保证穿越管段内部清洁及输送介质的质量。

8.2.2 水域小型穿越、二级及以下等级公路穿越、1200m 以下的山岭隧道在线路中很多,且分散于全线,为减少管道试压段落的零

碎分割,不影响施工周期及施工中的资源利用,并参照美国《液态烃和其他液体管线输送系统》B31.4 与《输气和配气管线系统》B31.8 标准要求,制定了本条规定。

8.2.4、8.2.5 这两条规定了分阶段试压、合格要求,与现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 及《输油管道工程设计规范》GB 50253 是符合的。

8.2.6 为检验穿越管段的安全性,本条规定强度试压的试验压力要求为 1.5 倍设计内压力,严密性试验压为设计内压力,并规定了稳压时间要求。需要说明的是,输油管道各点的设计内压力设计中可能选取的不同,特别是低洼处的静压力应予充分的考虑。本条规定与输气、输油管道工程的设计和施工验收规范均一致。

8.2.7 定向钻穿越回拖之后的严密性试压是检验管道穿越质量的重要手段,能够检验管道的承压密封性,避免由于回拖施工作业造成的管道损坏漏检。

8.2.8 由于穿越管段是单独试压,它与埋地管段存在碰口连头的问题。本条规定应避免施工连头段采用机械强力组装焊接的情况,以避免在管道中形成很大的组装应力,强力组装的焊口内容易存在焊接缺陷而且探伤困难,所以作出本条规定。最好将两端埋地管段在自由状态下与穿越管段碰口,然后再回填埋地管道。

8.3 防 腐

8.3.1 这两条规定了穿越管段防腐应遵循的标准规范,要求满足相关标准的规定。

8.3.2 在同一条穿越管段中,由于所处的环境条件在不长的距离内是相同的,故要求防腐涂层和等级应相同。既便利了施工,也将腐蚀控制置于同一要求内,达到相同的安全目标。

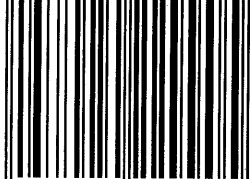
8.3.4 在对稳管或护管构筑物有腐蚀性的环境中,为确保这些构筑物不因腐蚀而丧失使用功能,制定本条规定,要求采用相应的防腐性材料制作这些构筑物。

8.3.5 在大、中型穿越管段一端设置阴极保护测试桩点,是为了检测穿越管段的阴极保护是否处于正常保护范围,防止管段因腐蚀而损坏。

8.3.6、8.3.7 这两条规定是为了确保穿越管段的阴极保护发挥正常的保护功能,有利于管段的抗腐蚀。

8.3.8 管道的补防腐补口是保证防腐涂层的完整性的重要环节,补口作业位于野外现场环境,且多是人工操作,控制不严格则达不到质量要求,所以,本条特意指出应按照相关标准要求,设计中需要专门提出技术要求。

S/N:1580242·299



9 781580 242299 051 >



统一书号: 1580242·299