



T/CECS G XXXX: 2021

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路隧道竖井技术规程

Technical Standards for Highway Tunnel Shaft

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道竖井技术规程

Technical Standards for Highway Tunnel Shaft

T/CECS G: XX-XX-XX

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2021 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

征求意见稿

主 编 单 位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：XXXX

XXXXXX

XXXX

主 编：XXX

主要参编人员：XXX

XXX

XXX

XXX

主 审：

参与审查人员：

参 加 人 员：

征求意见稿

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定.....	6
4 总体设计.....	9
4.1 一般规定	9
4.2 竖井位置选择	10
4.3 竖井平面布置	11
4.4 竖井纵面及井深	13
4.5 竖井横断面	13
4.6 马头门	14
4.7 联络通道	16
5 荷载.....	17
5.1 一般规定	17
5.2 永久荷载	18
5.3 可变荷载	18
5.4 偶然荷载	19
5.5 结构计算	20
6 竖井结构.....	31
6.1 一般规定	31
6.2 井口结构设计	32
6.3 整体式衬砌	33
6.4 复合式衬砌	35
6.5 竖井壁座	37
6.6 竖井马头门	39
7 防水与排水.....	40
7.1 一般规定	40
7.2 防水	42
7.3 排水	44

7.4 施工排水.....	45
8 施工准备.....	47
8.1 一般规定.....	47
8.2 施工场地布置与临时工程.....	48
8.3 施工人员、材料和设备.....	50
9 正井法施工.....	52
9.1 一般规定.....	52
9.2 井口施工.....	53
9.3 设备安装.....	54
9.4 开挖.....	56
9.5 出渣.....	58
9.6 支护.....	59
9.7 衬砌.....	63
10 反井法施工.....	67
10.1 一般规定.....	67
10.2 施工准备.....	67
10.3 钻导向孔.....	68
10.4 扩孔.....	69
10.5 出渣.....	70
10.6 支护.....	70
10.6 衬砌.....	70
11 辅助工程措施.....	71
11.1 一般规定.....	71
11.2 地层稳定措施.....	71
11.3 涌水措施.....	71
11.4 冻结法施工.....	72
附录 1 伞钻技术参数.....	74
附录 2 反井钻机技术参数.....	75
附录 3 常用凿井井架型号与技术参数.....	76
附件 4 井架部分算例.....	77
本规程用词用语说明.....	81

1 总则

1.0.1 为规范公路隧道竖井的规划、设计及施工，提高公路隧道竖井建设水平，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于设计基本地震峰值加速度值小于或等于 $0.40g$ 地区、以钻爆法为主要开挖手段的新建和改扩建公路隧道竖井的规划、设计及施工。

条文说明

本条明确指出本规程只适用于地震峰值加速度值小于或等于 $0.40g$ 的地区，不包括地震峰值加速度值大于 $0.40g$ 的地区。

1.0.3 公路隧道竖井设计应满足隧道功能，遵循“安全、耐久、经济、环保”的基本原则。

1.0.4 竖井设计应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.5 公路隧道竖井的规划、设计与施工除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 竖井 vertical shaft

为改善运营通风或施工条件，在地层中开凿的连通地面与下部洞室的竖直通道。

2.1.2 锁口圈 locking ring

在竖井井口施作的用于防止井口塌方、保护后续开挖人员和设备安全的钢筋混凝土结构。

2.1.3 井身 shaft body

竖井的主要组成部分，是指竖井锁口圈和马头门之间的结构。

2.1.4 壁座 well seat

支撑向上砌筑段井壁和悬挂向下掘进段临时支架，在竖井围岩中开凿并构筑的混凝土或钢筋混凝土基座。

2.1.5 马头门 ingate

竖井井身与下部洞室连接的过渡段。

2.1.6 正井法 downward well method

从井口开始全断面自上而下开挖一次成井。

2.1.7 反井法 anti-well method

由下向上挖掘出小断面溜渣孔后，再由上向下扩挖成井。

2.1.8 凿井井架 sinking head frame

凿井时用于承载提升和悬吊荷载、布置天轮、卸渣等设备、设施的构筑物。

2.1.9 提升容器 lifting conveyance

竖井施工时，用作升降人员、物料的容器。

2.1.10 罐道 cage guide

公路隧道竖井井筒中提升容器的导向设施。罐道分柔性罐道和刚性罐道两种形式，常用的柔性罐道有钢丝绳罐道，刚性罐道有钢轨罐道和型钢组合罐道。

2.1.11 过卷高度 over wind height

为避免提升容器因过卷而造成安全事故，在确定井架高度时留有的安全高度。

2.1.12 天轮平台 sheave wheel platform

为悬吊凿井设备、设施、提升人员和物料在井架上由天轮梁、天轮及附属设施等组成的平台。

2.1.13 稳车 winch

开凿立井时悬吊井内设备、设施的绞车，也称为凿井绞车。

2.1.14 吊盘 stage

用于立井施工作业及保护作业人员安全，悬吊在井筒内可升降的工作平台。

2.1.15 滑动模板 slipform

模板固定于围圈上，用以保证构件截面尺寸及结构的几何形状。模板直接与新浇混凝土接触且随着提升架上滑，承受新浇混凝土的侧压力和模板滑动时的摩阻力，简称滑模。

2.1.16 滑动模板施工 slipforming construction

以滑模千斤顶、电动提升机或手动提升器为提升动力，带动模板沿着混凝土（或模板）表面滑动而成型的混凝土结构施工方法的总称，简称滑模施工。

2.1.17 操作平台 working deck

用以完成钢筋绑扎、混凝土浇灌等操作及堆放施工机具和材料的情模施工的主要工作面；也是拔杆、井架等随升垂直运输装置及料台的支承结构。其构造形式与所施工结构相适应，直接或通过围圈支承于提升架上。

2.1.18 空滑 partial virtual slipforming

模板内允许有混凝土浇灌层处于无混凝土的状态，但施工中有时需将模板提升高度加大，使模板内仅存有少量混凝土，甚或处于空模状态。

2.1.19 混凝土出模强度 concrete strength of the construction initial setting

结构混凝土从滑动模板下口露出时所具有的抗压强度。

2.2 符号

p ——井壁竖向所受地压力（kN/m）；

q ——井底均布荷载（kPa）；

N ——单位高度井壁圆环截面上的轴向力计算值（MN/m）；

P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值（MPa）；

M_x ——竖向弯矩（kN·m）；

M_θ ——环向弯矩（kN·m）；

N_θ ——环向力（kN）；

Q_x ——剪力（kN）；

A_s ——每米井壁截面配置钢筋面积（m²）；

f_y' ——普通钢筋抗压强度设计值（N/mm²）；

H ——竖井的深度（m）；

D ——竖井的计算直径（m）；

R ——竖井平均半径 (m)；

R_0 ——竖井内净半径 (m)；

r_0 ——计算处井壁中心半径 (m)；

r_1 ——计算点到竖井中心的水平距离 (m)；

r_w ——计算处井壁外半径 (m)；

t ——竖井井壁厚度 (m)；

K_{M_r} ， K_{M_t} ——计算弯矩系数；

K_{M_x} ， K_{N_θ} ， K_{Q_x} ——竖向弯矩系数、环向力系数、剪力系数；

ρ ——比例系数， $\rho = \frac{r_1}{R_0}$ ；

φ_1 ——素混凝土构件稳定系数；

φ ——钢筋混凝土轴心受压构件稳定系数。

3 基本规定

3.1.1 公路隧道竖井设置应综合考虑竖井的功能、地形地貌、气象、地质条件、施工安全及对周围环境的影响等因素，进行多方案的技术经济和环境综合比选。

条文说明

隧道竖井设计应在公路隧道总体设计原则的指导下，满足隧道的使用功能要求，控制隧道竖井规模，合理利用土地资源、保护生态环境。

3.1.2 公路隧道竖井工程地质勘察应按设计阶段的技术要求开展相应的勘察工作，正确反映建设场地工程地质与水文地质条件，评价井口边坡、竖井围岩级别及对周围环境的影响，为竖井工程建设提供资料完整、评价正确的地质勘察报告。

条文说明

收集资料，明确设计、施工范围内的地形、围岩，以及不良地质等，为竖井规划、设计提供必要的地质资料，避免施工出现未预计到的围岩条件，进行井口、井身、井底及周围的地质调查及勘探。

对于山岭隧道，竖井勘探宜结合隧道主洞钻探布置钻孔。初勘阶段应揭露出覆盖层厚度，基本查明竖井工程地质及水文地质条件；考虑到该阶段可能存在几个比选方案，不可能布置较为详细的勘探工作量。详勘阶段宜结合隧道主洞勘探布置钻孔不应少于1个。

根据竖井的地质调查与勘探的成果，进行竖井围岩分级。

设计所需的地勘资料包括但不限于下列内容：

竖井平面图及纵断面图；

各层岩土物理力学参数及原位测试参数；

地下水埋藏条件；含水层段抽水试验成果图；地下水控制的建议；

不良地质作用，如滑坡、崩塌、岩溶、土洞等；

抗震设防区按设防烈度提供的液化土层；

竖井围岩分级，评价场地稳定性、适宜性；

对边坡开挖的稳定性计算及支护设计所需的岩土参数，论证开挖对周围建筑或设施（若有）的影响。

有关地基土冻胀、湿陷性和膨胀性评价；

竖井测温资料及温度预报曲线；

其他资料。

3.1.3 竖井的设计使用年限不应小于公路隧道的使用年限。

3.1.4 竖井设计和施工中使用的混凝土及钢筋、钢材等力学指标应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关要求。

3.1.5 在湿陷性黄土地区、冻土区、膨胀性围岩区、高地应力区及含有瓦斯等有害气体地层的竖井工程，应进行专项勘察与设计。

3.1.6 寒冷地区有冻害地段竖井衬砌不渗水，背后不积水。

3.1.7 竖井施工宜采用正井法或反井法，具备条件的项目可积极推进竖井掘进机的应用。

3.1.8 竖井施工中的现场监控量测项目应与设计方案、施工方案相匹配，主要包括：支护结构、地下水状况、竖井底部及围岩、不良地质体及瓦斯等有害气体监测。

条文说明

建议由建设方委托具有相应资质的第三方实施现场监测。监测单位应编制监测报告，及时处理、分析竖井监测数据，并将监测结果与评价及时反馈给建设方、设计和施工单位，以方便动态调整。

3.1.9 各项监测项目、监测点布置、监测方法及精度应符合现行标准《公路隧道施工技术规范》中有关规定。

征求意见稿

4 总体设计

4.1 一般规定

4.1.1 竖井设计方案宜进行比选论证，确定最优竖井设置方案。

条文说明

竖井方案比较需考虑隧道通风需求、洞身埋深、地表地形、地质、水位、气象、交通条件、施工组织等综合因素。

4.1.2 竖井设计应根据地质条件，采用整体式或复合式衬砌结构，且应有完善的防排水设施。

4.1.3 竖井设计应考虑井口截排水、防洪、景观、绿化等设计。

4.1.4 竖井设计应制订施工计划。施工计划主要应包括：工期、施工方法、工区划分、临时设施、施工便道、弃渣场、污水处理和监控量测方案要求等。

4.1.5 对于高寒、高海拔竖井，宜考虑井口积雪、涎流冰等危害，并考虑相关预防措施。

4.1.6 辅助施工用途竖井竣工后，可加设盖板覆土封闭或以弃渣回填处理。井底至通道顶部范围应采用混凝土回填封堵，并做好排水系统。

4.1.7 竖井应设安全防护设施和检查步梯或爬梯，施工阶段井筒内应设安全步梯。

条文说明

本条参考《公路隧道设计规范》第一册 土建工程（JTG 3370.1）。设置安全梯，在运营期间利用安全梯来检查检修井筒结构、井内设备；施工期间发生突发事件和停电时可作为逃生、处理卡罐等事故的主要设施。

4.2 竖井位置选择

4.2.1 竖井井口位置应根据地形、地质情况及施工条件，结合环境保护要求，不得大挖大刷。井口应尽量选择开阔平坦的地形区域，以利于施工场地和竖井建筑物的布置，利于废气的排放和出渣。

条文说明

竖井施工需要一套专门的设施，如吊盘、抓岩机、吊桶、提升架等，在选设井口位置时，井口地形要有布置提升设备以及卸料和出渣所需的场地。当竖井作为运营风道且采用地面风机房时，井口场地还需结合风机房以及风塔设置，统筹规划，既要方便管理，还要有利于空气排放，降低对周围环境的影响。

4.2.2 在满足隧道竖井使用功能的前提下，竖井位置宜设在隧道埋深较浅处。

条文说明

竖井位置的确定与隧道洞顶的地形关系最为密切，应尽量将竖井设在隧道埋深较浅处，以减少土建工程量，并减小后期的通风运营费用。

4.2.3 竖井位置宜选择在 50m 范围内无架空线路，30m 范围内无建（构）筑物，且不因竖井施工而影响周围建（构）筑物基础稳定的地方。

条文说明

本条参考《油气管道穿越工程竖井设计规范》。

4.2.4 竖井宜设置在围岩条件好且稳定的地层，避开地形地貌复杂、地质构造及不良地质发育的地段。无法绕避时，应采取工程治理措施。

条文说明

竖井位置宜选在非内涝低洼区、非汇水区、地质构造简单、地层单一、地层岩性条件好的区域。避开较厚表土层、流沙层、地下水发育、岩溶、断层破碎带、煤层和采空区等不良地层，避开滑坡、崩塌体、泥石流、活动断层等地质灾害发育的区域。

4.2.5 竖井井口位置应考虑场地条件和防洪要求，严禁设在可能被洪水淹没处，井口应高出洪水频率 1/100 的水位以上至少 0.5m，如设在低洼处，必须设置安全可靠的防洪措施。

条文说明

“井口应高出洪水频率为 1/100 的水位至少 0.5m”是根据工程实践中的经验教训而提出来的，在洪水位标高难以确定，洞（井）口有可能被洪水淹没时，则需有确保安全的防洪措施。

4.3 竖井平面布置

4.3.1 竖井洞口位置选择和设计应保证不受洪水或不良地质威胁，有利于施工场地布置，注意环境保护，重视弃渣场地和施工便道的设计，严禁弃渣堵塞河道、沟渠或道路交通，并应减少由于便道及构造物的修建对农田、水利设施和生产生活用水的影响。

4.3.2 竖井平面位置宜设置在隧道中线一侧，宜尽量靠近主隧道。当采用地面风机房方案时，井底与隧道净距不宜小于 20m；当采用地下风机房时，井底与地下风机房的净距宜为 15~20m。地质围岩条件较好时，净距可适当减少。

条文说明

竖井如设在隧道中线上，对主洞施工有干扰，不安全，而且竖井与隧道接头处拱顶衬砌结构处理较复杂，竖井漏水将可能直接滴在主洞行车道上，威胁行车安全。设在隧道中线一侧，则可避免上述缺陷。从调研资料，竖井多布置在隧道左右洞的外侧，太佳线西凌井隧道竖井布置在左右洞中间部位。竖井平面位置与隧道的间距根据井口地形和井底连接洞室布置以及竖井施工对隧道的影响程度确定的。竖井平面位置与隧道开挖边界水平距离要结合风机房及其它洞室的布置等因素综合考虑，见图 4-1、图 4-2。

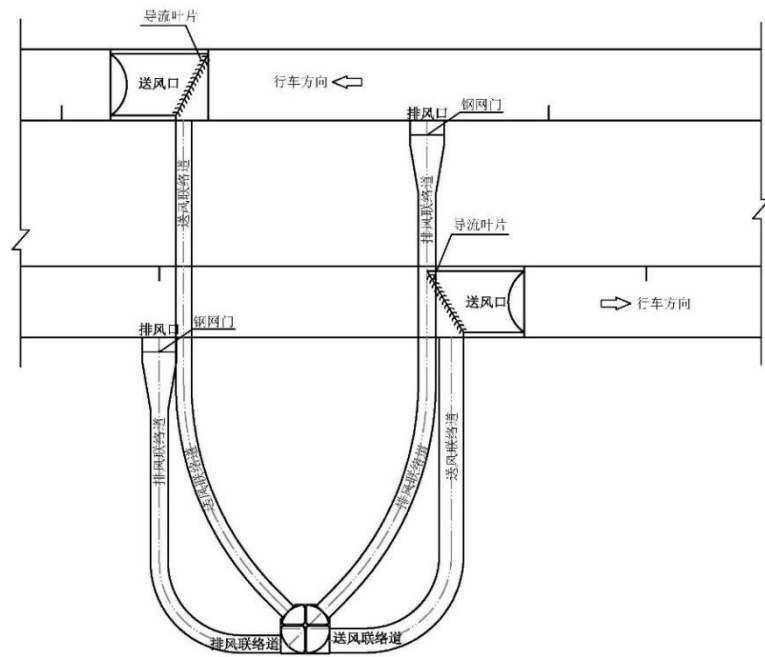


图 4-1 布置在隧道左右洞外侧的竖井与隧道连接示意

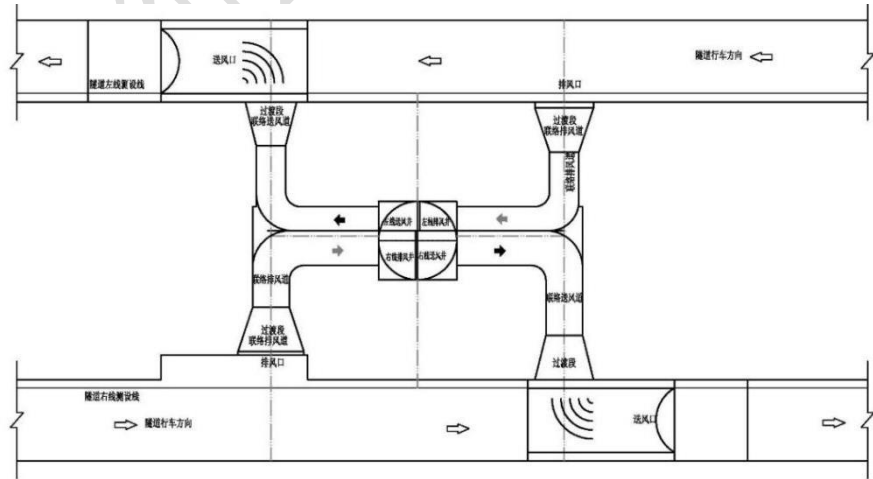


图 4-2 布置在隧道左右洞之间的竖井与隧道连接示意

4.4 竖井纵面及井深

4.4.1 隧道竖井宜按垂直水平面设置。

条文说明

从施工过程、施工工艺、施工设备以及井筒结构受力状态考虑，通常把井筒倾斜度 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的井，均划为竖井范畴，但工程实践中 90° 竖直井居多。

4.4.2 隧道竖井井深应根据围岩条件、施工方法、施工机械、地下水抽排能力、工期要求、经济性等因素综合确定。

条文说明

施工竖井需采用复杂的垂直提升设备，施工进度较慢，宜用于竖井施工深度不超过 200m 的范围内。用于通风的竖井深度不宜超过 400m，竖井深度大于 400m 时，应作充分的技术经济比较和论证。

4.5 竖井横断面

4.5.1 竖井断面形状和尺寸应满足使用功能要求，并应考虑施工设备和施工作业所需要的空间。断面形状宜采用圆形断面，断面尺寸根据运营通风需要、提升设备、管路布置、安全通道、安全距离等因素综合确定。

条文说明

竖井采用圆形断面有利于发挥围岩的自承能力，衬砌结构承受围岩压力好，通风阻力小，便于施工。功能上有特殊要求时，也可采用矩形或正方形断面。断面尺寸除满足使用功能要求外，还需考虑施工期间对断面净空的需求。施工期间，竖井断面内提升容器之间以及提升容器最突出部分和井壁、灌道、井梁之间的最小间隙见表 4.5-1。

表 4.5-1 竖井内设备间距表（单位：cm）

间隙类别 罐道和井梁布置		容器和 井壁之 间	容器和 容器之 间	容器和 罐道之 间	容器和井 梁之间	备注
罐道布置在容器一侧		15	20	4	15	罐耳和罐道卡子之间 为 2
罐道布置 在容器两 侧	大罐道	39	—	5	20	有卸载滑轮的容积， 滑轮和罐道间隙增加 2.5
	钢罐道	15	—	4	15	
罐道布置 在容器正 面	木罐道	20	20	5	20	—
	钢罐道	15	—	4	15	
钢丝绳罐道		35	45	—	35	设防撞绳时，容器之 间的最小间隙为 20

4.5.2 竖井作运营期间通风用途时，竖井面积大小应根据隧道送排风量确定，且宜按风道内设计风速控制在 13m/s~18m/s 的范围内选定。

条文说明

井内风速高低的取值与通风井的长度有关（即考虑井内摩阻力变化对送排风机功率的影响）。当通风井偏长时，应取较低的风速；当通风井偏短时，可取较高的风速。当竖井采用送排式通风方案时，竖井中应设置中隔墙。

4.6 马头门

4.6.1 马头门断面形状和尺寸应满足运营通风需要，也应能满足施工所用材料、设备的运输及运营期间设备的安装空间。

4.6.2 马头门衬砌应采用整体式或复合式衬砌结构，竖井衬砌应在马头门上方设置壁座，其形式、间距可根据地质条件确定。

条文说明

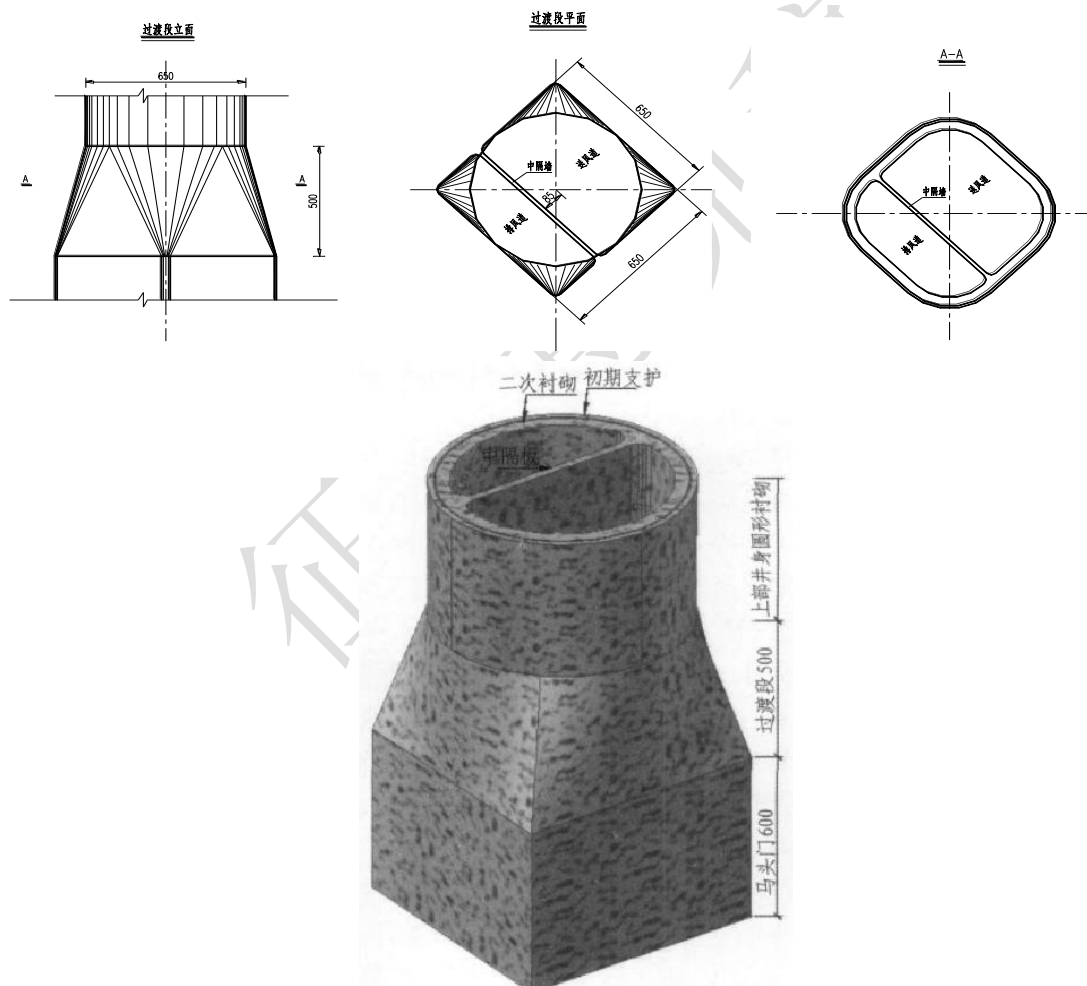
马头门是水平结构和竖向结构的交叉点，结构特殊，受力复杂，要承受井身洞壁传来的力，故“应采用复合式衬砌或整体式衬砌”；采用整体式模注混凝土衬砌和复

合式衬砌时，模注混凝土衬砌与地层间粘结力弱，井壁摩擦力低，设置壁座可增强井壁与围岩间的相互作用，使井壁自重荷载和通过井壁传递的荷载传给围岩。

4.6.3 井底马头门与横向的联络风道连接处宜采用直墙圆拱断面；与上部竖井井身的连接宜采用似矩形断面。

条文说明

考虑到井底设备的布置，竖井底部通常采用正方形断面。在竖井下部与井底的可设置一段不小于5m长的圆形变方形的过渡段，竖井断面由圆形渐变为正方形，即似矩形断面。



过渡段构造图（单位：cm）

4.7 联络通道

4.7.1 联络通道支护应根据围岩类型、工程地质、水文地质、洞室宽度、埋置深度、施工方法等因素综合确定，对运营期间作为运营通风道、疏散救援通道等连接通道，应按使用要求设计衬砌支护方案。

4.7.2 联络通道的断面形式和尺寸根据竖井提升方式、装载设备的安装检修更换、行人安全、运营通风要求等因素综合确定，断面形状和尺寸应满足运营通风、施工出渣、施工通风等使用功能要求。

征求意见稿

5 荷载

5.1 一般规定

5.1.1 隧道竖井结构上的荷载应按表 5.1.1 的规定分类。

表5.1.1 隧道竖井结构上的荷载分类

编号	荷载分类		荷载名称	荷载类型
1	永久荷载		围岩的侧向压力	井筒荷载
2			结构和固定设备（如扶梯）自重	井筒荷载、井底荷载
3			竖井以上的结构附加恒载	井筒荷载、井底荷载、井口荷载
4			混凝土收缩和徐变的影响力	井筒荷载、井底荷载、井口荷载
5			地下水压力（侧压力和浮托力）	井筒荷载、井底荷载
6	可变荷载	基本可变荷载	地面荷载	井筒荷载、井底荷载、井口荷载
7		其他可变荷载	温度变化的影响力	井筒荷载、井底荷载、井口荷载
8			冻胀力	井筒荷载、井底荷载、井口荷载
9			施工荷载	井筒荷载、井底荷载、井口荷载
10	偶然荷载		落石冲击力	井筒荷载
11			地震作用	井筒荷载、井底荷载、井口荷载

5.1.2 应根据隧道竖井所处的地形、地质条件、埋置深度、支护条件、施工方法等因素确定围岩的侧向压力。施工和实地测量中发现与实际不符时，应及时修正。

5.1.3 应根据井架和井口建筑物传给锁口圈的荷载核算锁口圈的截面强度。

条文说明

锁口圈的结构验算应结合锁口圈相邻的上部结构、井口段衬砌结构自重和周边的构筑物 and 施工组织，分析并考虑因此产生的有影响的静止和施工动荷载。

5.2 永久荷载

5.2.1 隧道竖井结构自重可按结构设计尺寸及材料标准重度计算，固定设备的自重和竖井以上的结构附加恒载应按实际情况计算。

5.2.2 作用在竖井壁上的围岩侧向压力应按现行《公路隧道设计细则》的有关规定执行。

5.2.3 竖井侧壁上的水压力，应按静水压力计算，相应设计水位应根据勘察部门和水文部门提供的数据采用，如在施工中采用防排水措施，应做相应调整。

5.2.4 可能出现的最高和最低地下水位应综合考虑近期内变化及构筑物设计基准期内的发展趋势确定。

5.2.5 地下水对竖井作用的浮托力应按最高水位确定。

5.2.6 当基岩段地下含水量较丰富时，应将计算水压力与岩（土）压力叠加。

5.3 可变荷载

5.3.1 地面荷载包括地面堆积荷载、公路车辆荷载，其作用在竖井壁上的侧压力应按下列规定确定：

- 1 地面堆积荷载作用在竖井壁上的侧压力可折算为等效的土层厚度进行计算；
- 2 地面车辆荷载作用在竖井壁上的侧压力，应为该荷载传递到计算深度处的竖向压力乘以计算深度处土层的主动土压力系数；
- 3 地面堆积荷载和地面车辆荷载作用在竖井壁上的侧压力取二者中的较大值。

5.3.2 考虑温度变化、混凝土收缩徐变和竖井送排风时温度变化对结构的影响。

5.3.3 寒冷地区隧道冻胀力可根据当地的自然条件、围岩冬季含水率、冻结深度及排水条件等确定。

5.3.4 施工荷载应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。

5.4 偶然荷载

5.4.1 有落石危害需验算冲击力时，可通过现场调查或有关计算验证。

条文说明

落石冲击力可按日本道路公团给出的滚石冲击力进行近似计算，公式如下：

$$P = 2.108(mg)^{\frac{2}{3}}\lambda^{\frac{2}{5}}H^{\frac{3}{5}}$$
$$\lambda = \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}$$

式中：P—滚石冲击力（kN）；

m—滚石质量（t）；

g—重力加速度；

λ —地表土层的拉梅常数；

E， μ —地表土层的弹性模量和泊松比；

H—滚石下落高度（m）。

5.4.2 地震荷载应根据隧道抗震设防烈度下的地震动参数进行计算。地震荷载可按现行《公路隧道设计细则》的有关规定计算。

5.5 结构计算

5.5.1 隧道竖井结构应按破损阶段法验算构件截面的强度。结构有抗裂要求时，对混凝土构件应进行抗裂计算，对钢筋混凝土构件应验算其裂缝宽度。

5.5.2 按破损阶段验算构件截面的强度时，应根据不同的荷载组合，分别采用不同的安全系数，并不应小于表 5.5.2-1 和表 5.5.2-2 所示的数值。验算施工阶段的强度时，安全系数可采用表 5.5.2-1 和表 5.5.2-2“永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载”所示的数值乘以折减系数 0.9。

表5.5.2-1 混凝土结构各种荷载组合的强度安全系数

破坏原因	永久荷载+ 基本可变荷载	永久荷载+ 基本可变荷载+ 其他可变荷载	永久荷载 或永久荷载+ 偶然荷载
混凝土达到抗压极限强度	2.4	2.0	1.8
混凝土达到抗拉极限强度	3.6	3.0	2.7

表5.5.2-2 钢筋混凝土结构各种荷载组合的强度安全系数

破坏原因	永久荷载+ 基本可变荷载	永久荷载+ 基本可变荷载+ 其他可变荷载	永久荷载 或永久荷载+ 偶然荷载
钢筋达到极限强度或 混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7	1.5
混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0	1.8

5.5.3 均匀压力作用下混凝土井壁单位高度圆环截面内力及承载力应按下列规定计算：

1 薄壁圆筒（ $t < r_w / 10$ ）井壁

1) 井壁圆环截面轴向力（图 5.5.3-1）应按下式计算：

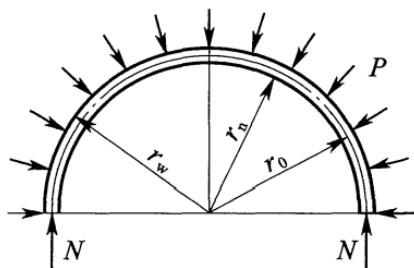


图5.5.3-1 薄壁圆筒井壁圆环截面轴向力图

$$N = r_w P \quad (5.5.3-1)$$

式中： N ——单位高度井壁圆环截面上的轴向力计算值（MN/m）；

r_w ——计算处井壁外半径（m）；

P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值（MPa）。

2）素混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算：

$$N \leq 0.85 \varphi_1 t f_c \quad (5.5.3-2)$$

$$L_0 = 1.814 r_0 \quad (5.5.3-3)$$

式中： φ_1 ——素混凝土构件稳定系数（见表 5.5.3-1）；

r_0 ——计算处井壁中心半径（m）；

L_0 ——计算处井壁圆环计算长度（m）；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）。

表5.5.3-1 素混凝土构件稳定系数 φ_1

L_0 / b	< 4	4	6	8	10	12	14	16
φ_1	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72
L_0 / b	18	20	22	24	26	28	30	—
φ_1	0.68	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.44	—

注： b 的取值：对于偏心受压构件，取弯矩作用平面的截面高度；对于轴心受压构件，取截面短边尺寸。

3）钢筋混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算：

$$N \leq 0.9 \varphi (t f_c + A_s f_y') \quad (5.5.3-4)$$

式中： φ ——钢筋混凝土轴心受压构件稳定系数（见表 5.5.3-2）；

A_s ——每米井壁截面配置钢筋面积（m²）；

f_y' ——普通钢筋抗压强度设计值（N/mm²）。

表5.5.3-2 钢筋混凝土构件稳定系数 φ

L_0/b	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
φ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56
L_0/b	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

2 厚壁圆筒 ($t \geq r_w/10$) 井壁

1) 井壁圆环截面轴向力 (图 5.5.3-2) 应按 5.5.3-1 式计算。

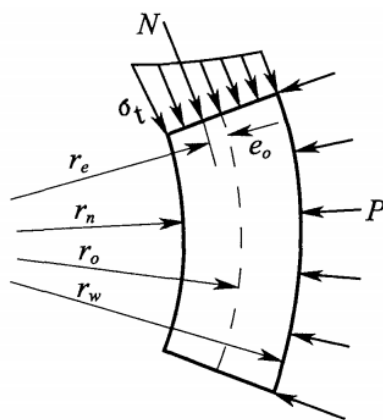


图5.5.3-2 厚壁圆筒井壁圆环截面轴向力图

2) 井壁圆环截面切向应力应按下列式计算:

$$\sigma_t = \frac{2r_w^2 P}{r_w^2 - r_n^2} \quad (5.5.3-5)$$

式中: σ_t ——井壁圆环截面切向应力 (MPa);

r_w ——计算处井壁外半径 (m);

r_n ——计算处井壁内半径 (m)。

3) 素混凝土井壁圆环截面承载力应按下列式计算:

$$\sigma_t \leq 0.85 f_c \quad (5.5.3-6)$$

4) 钢筋混凝土井壁圆环截面承载力应按下列式计算:

$$\sigma_t \leq 0.9(f_c + \rho f_y) \quad (5.5.3-7)$$

式中: ρ ——井壁圆环截面配筋率 (%)

5.5.4 不均匀压力作用下混凝土井壁整体圆环内力及承载力应按下列规定计算：

1 井壁圆环截面轴向力和弯矩（图 5.5.4）计算。

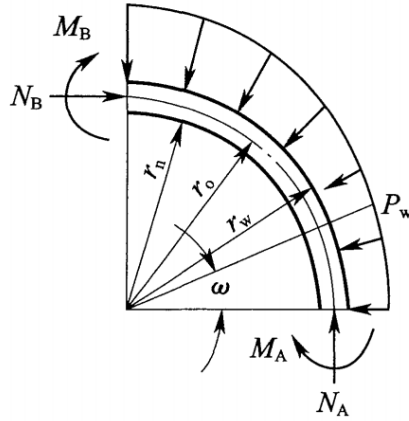


图5.5.4-1 不均匀压力作用井壁内力计算图

1) $\omega = 0^\circ$ (A 截面) 时应按下列公式计算：

$$N_A = (1 + 0.785\beta)r_w P_A \quad (5.5.4-1)$$

$$M_A = -0.149\beta r_w^2 P_A \quad (5.5.4-2)$$

2) $\omega = 90^\circ$ (B 截面) 时应按下列公式计算：

$$N_B = (1 + 0.5\beta)r_w P_A \quad (5.5.4-3)$$

$$M_B = 0.137\beta r_w^2 P_A \quad (5.5.4-4)$$

$$P_B = P_A(1 + \beta) \quad (5.5.4-5)$$

式中： N_A 、 N_B ——A、B 截面的轴向力计算值 (MN)；

M_A 、 M_B ——A、B 截面的弯矩计算值 (MN·m)；

P_A 、 P_B ——A、B 截面的压力计算值 (MPa)；

β ——不均匀荷载系数，冲积地层段， $\beta = \beta_t = 0.2 \sim 0.3$ ；基岩段， $\beta = \beta_y$ ， β_y 可取 0.2。

3) 按 $\omega = 0^\circ$ 及 $\omega = 90^\circ$ 时两组公式计算后，取一组较大数值进行偏心矩和承载力计算。

2 素混凝土井壁承载力应按下列公式计算：

1) 当偏心矩 $e_0 < 0.225t$ 时，应按下式计算：

$$N \leq 0.85\varphi_1 f_c b_n (t - 2e_0) \quad (5.5.4-6)$$

$$e_0 = \frac{M_A}{N_A} \text{ 或 } \frac{M_B}{N_B} \quad (5.5.4-7)$$

式中： e_0 ——轴向力作用点至受拉钢筋合力点之间的距离（mm）。

2) 当偏心矩 $e_0 \geq 0.225t$ 时，应按下式计算：

$$N \leq \varphi_1 \frac{0.8525 f_t b_n t}{\frac{6e_0}{t} - 1} \quad (5.5.4-8)$$

式中： f_t ——混凝土抗拉强度设计值（N/mm²）；

b_n ——井壁截面计算宽度（m），取 1.0m

3 钢筋混凝土井壁偏心受压承载力和钢筋配置（图 5.5.4-2）应按下列公式计算：

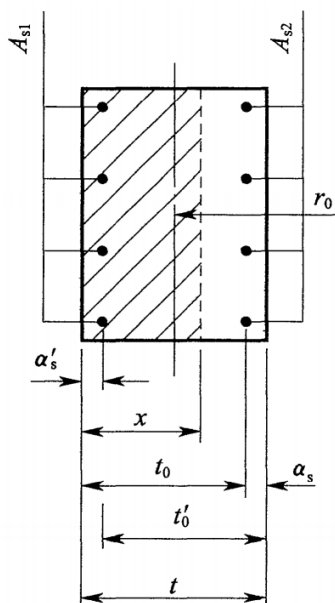


图5.5.4-2 井壁截面偏心受压钢筋配置计算图示

$$N \leq a_1 f_c x + f_y' A_{s1} - \sigma_s A_{s2} \quad (5.5.4-9)$$

$$Ne \leq a_1 f_c b_n x (t_0 - \frac{x}{2}) + f_y' A_{s1} (t_0 - a_s') \quad (5.5.4-10)$$

$$e = e_i + \frac{t}{2} - a_s \quad (5.5.4-11)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (5.5.4-12)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (5.5.4-13)$$

$$M = C_m \eta_{ns} M_2 \quad (5.5.4-14)$$

$$C_m = 0.7 + 0.3 \frac{M_1}{M_2} \quad (5.5.4-15)$$

$$\eta_{ns} = 1 + \frac{1}{1300(M_2/N + e_a)/t_0} \left(\frac{L_0}{t}\right)^2 \xi_c \quad (5.5.4-16)$$

$$\xi_c = \frac{0.5 f_c A_0}{N} \quad (5.5.4-17)$$

当 $C_m \eta_{ns}$ 小于 1.0 时, $C_m \eta_{ns}$ 取 1.0。

按上述规定计算时, 尚应符合下列要求:

1) 受拉边或受压较小边钢筋 A_{s2} 的应力 σ_s 可按下列方法计算:

当 $\xi_x \leq \xi_b$ 时为大偏心构件, 取 $\sigma_s = f_y$, 此处相对受压区高度 $\xi_x = x/t_0$, 令

$N = f_c b_n x$ 即可求得 x 值;

当 $\xi_x > \xi_b$ 时, 为小偏心受压构件, σ_s 可按下列式计算:

$$\sigma_s = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{t_0} - \beta_1\right) \quad (5.5.4-18)$$

2) 受拉钢筋屈服和受压区混凝土破坏同时发生时的相对界限受压区高度 ξ_b , 当混凝土强度等级小于 C50, 钢筋强度级别为 400MPa 时取 0.518, 钢筋强度级别为 500MPa 时取 0.482。

3) 计算中若计入钢筋 A_{s2} 时, 受压区高度应满足 $x > 2a'_s$ 的条件。当不满足此条件时, 其正截面受压承载力应按下列式计算:

$$Ne'_s \leq f_y A_{s2} (t - a_s - a'_s) \quad (5.5.4-19)$$

4) 双侧对称配筋的小偏心受压构件可按下列近似公式计算钢筋截面面积:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{Ne - \xi(1 - 0.5\xi)a_1 f_c b_n t_0^2}{f_y(t_0 - a'_s)} \quad (5.5.4-20)$$

5) 相对受压高度可按下列式计算:

$$\xi = \frac{N - \xi_b a_1 f_c b_n t_0}{\frac{Ne - 0.43 a_1 f_c b_n t_0^2}{(\beta_1 - \xi_b)(t_0 - a'_s)} + a_1 f_c b_n t_0} + \xi_b \quad (5.5.4-21)$$

式中： a_1 ——系数，为矩形应力图的应力取值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值。

当混凝土强度等级不超过 C50 时， a_1 取为 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时， a_1 取为 0.94，其间接线性内插法确定；

M_1 、 M_2 ——已考虑侧移影响的偏心受压构件两端截面按结构弹性分析确定的对同一主轴的组合弯矩设计值，绝对值较大端为 M_2 ，绝对值较小端为 M_1 ，当构件按单曲率弯曲时， M_1/M_2 取正值，否则取负值；

C_m ——构件端截面偏心距调节系数，当小于 0.7 时取 0.7；

η_{ns} ——弯矩增大系数；

ξ_c ——截面曲率修正系数，当计算值大于 1.0 时取 1.0；

β_1 ——系数，为矩形应力图的受压区高度取值与中和轴高度的比值。当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 取为 0.8；

x ——混凝土受压区高度（m）；

A_{s1} 、 A_{s2} ——受压区、受拉区环向钢筋的截面面积（ m^2 ）；

σ_s ——受拉边或受压较小边的钢筋应力（ MN/m^2 ）；

a_s 、 a'_s ——受拉、受压钢筋的合力点至构件截面边缘的距离（m）；

e ——轴向力作用点至受拉钢筋合力点之间的距离（m）；

e_i ——初始偏心距（m）；

e_a ——附加偏心距（m），取偏心方向截面最大尺寸的 1/30 和 0.02m 两者中的较大值；

e'_s ——轴向压力作用点至受压区钢筋 A_{s1} 合力点的距离（m）。

5.5.5 井壁环向稳定性应按下列规定计算：

1 素混凝土井壁：

$$\frac{L_0}{t} \leq 24 \quad (5.5.5-1)$$

2 钢筋混凝土井壁：

$$\frac{L_0}{t} \leq 30 \quad (5.5.5-2)$$

3 井壁环向稳定性可按式验算：

$$\frac{E_c t^3}{4r_0^3(1-\nu_c^2)} \geq P \quad (5.5.5-3)$$

式中： ν_c ——混凝土泊松比， $\nu_c=0.2$ ；

E_c ——混凝土弹性模量（N/mm²）。

5.5.6 竖井井壁竖向计算应符合下列规定：

1 圆形竖井壳体插入良好地基深度大于或等于 1.5 倍井壁厚度或竖井井壁与底板整体浇筑可按底端刚接计算，顶端自由时，计算简图如图 5.5.6（a）所示。

2 圆形竖井壳体插入地基深度小于 1.5 倍井壁厚度时可按底端铰接计算，顶端自由时，计算简图如图 5.5.6（b）所示。

3 井壁内力为三角形荷载作用下的竖向弯矩 M_x 、环向弯矩 M_θ 、环向力 N_θ 、剪力 Q_x ，内力应按下列公式计算。

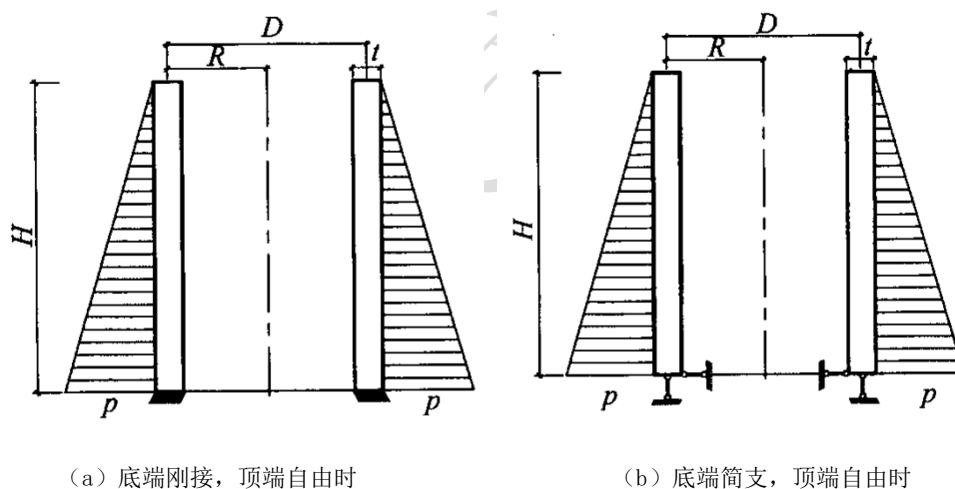


图5.5.6 井壁计算简图

竖向弯矩 M_x 的计算见公式（5.5.6-1）：

$$M_x = K_{M_x} p H^2 \quad (5.5.6-1)$$

环向弯矩 M_θ 的计算见公式

$$M_\theta = \frac{1}{6} M_x \quad (5.5.6-2)$$

环向力 N_θ 的计算见公式

$$N_{\theta} = K_{N_{\theta}} pR \quad (5.5.6-3)$$

剪力 Q_x 的计算见公式

$$Q_x = K_{Q_x} pH \quad (5.5.6-4)$$

式中： D ——竖井的计算直径（m）；

R ——竖井平均半径（m）；

t ——竖井井壁厚度（m）；

M_x ——竖向弯矩（kN·m）；

M_{θ} ——环向弯矩（kN·m）；

N_{θ} ——环向力（kN）；

Q_x ——剪力（kN）；

p ——井壁竖向所受地压力（kN/m），可按现行《油气管道穿越工程竖井设计规范》（ST/T 6884）附录 A 分为表土段和基岩段分别计算；

H ——竖井的深度（m）；

K_{M_x} ， $K_{N_{\theta}}$ ， K_{Q_x} ——竖向弯矩系数、环向力系数、剪力系数，可按现行《油气管道穿越工程竖井设计规范》（ST/T 6884）附录 C 选取。

条文说明

此处计算来源于《油气管道穿越工程竖井设计规范》（ST/T 6884），文中并未提及涉及基岩段时的荷载形式，此处包含三角形荷载作用下的竖向弯矩系数、环向力系数、剪力系数，导致难以考虑基岩段的荷载形式。

5.5.7 圆形竖井结构井底的内力计算应符合下列规定：

竖井井底的内力计算，当井壁与井底刚接时，计算简图如图 5.5.7-1 所示；当井壁与井底铰接时，计算简图如图 5.5.7-2 所示。内力应按下列公式计算确定。

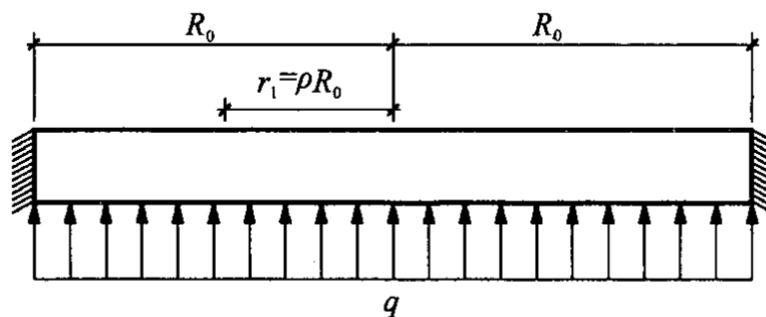


图5.5.7-1 刚接计算简图

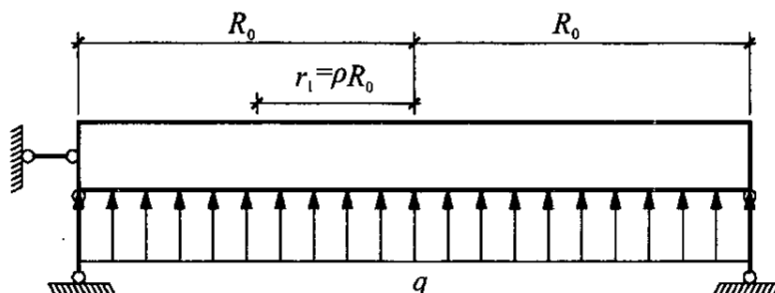


图5.5.7-2 简支计算简图

径向弯矩 M_r 的计算见公式（5.5.7-1）

$$M_r = K_{M_r} q R_0^2 \quad (5.5.7-1)$$

径向弯矩 M_t 的计算见公式（5.5.7-2）

$$M_t = K_{M_t} q R_0^2 \quad (5.5.7-2)$$

式中： K_{M_r} ， K_{M_t} ——计算弯矩系数，刚接时按表 5.5.7-1 取值，简支时按表 5.5.7-2 取值；

r_1 ——计算点到竖井中心的水平距离（m）；

ρ ——比例系数， $\rho = \frac{r_1}{R_0}$ ；

R_0 ——竖井内净半径（m）；

q ——井底均布荷载（kPa）（井底荷载应取因竖井自重产生的地基反力与井底处地下水压力中较大者）。

表5.5.7-1 计算弯矩系数（刚接）

ρ	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K_{M_r}	0.073	0.071	0.065	0.056	0.041	0.024	0.020	0.002	-0.054	-0.088	-0.125
K_{M_t}	0.073	0.072	0.069	0.065	0.058	0.049	0.040	0.027	0.013	-0.004	-0.021

表5.5.7-2 计算弯矩系数（简支）

ρ	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K_{M_r}	0.198	0.195	0.190	0.178	0.166	0.148	0.128	0.102	0.072	0.038	0.000
K_{M_t}	0.198	0.197	0.194	0.190	0.183	0.174	0.164	0.153	0.139	0.124	0.104

5.5.8 马头门和连接处结构较为复杂，宜参照现行《公路隧道设计细则》（JTG/T D70），采用荷载-结构法进行计算，并对其极限状态进行校核。

征求意见稿

6 竖井结构

6.1 一般规定

6.1.1 竖井结构的选择与设计应综合考虑围岩地质条件、竖井深度、气象条件、施工场地、施工方案等因素。结构应有足够的强度、稳定性和耐久性，保证竖井长期使用安全。

6.1.2 竖井结构型式、支护参数，应根据围岩级别、使用要求、工程地质和水文地质条件、结构受力特点，并结合周边工程环境、支护手段、施工方法，通过工程类比和结构计算综合分析确定。在施工阶段，尚应根据现场监控量测结果，实行动态设计，必要时可通过试验分析确定。

6.1.3 竖井围岩Ⅳ级及以上较好段落竖井可采用整体式衬砌，掘砌一体施工工艺竖井宜采用整体式衬砌。围岩条件Ⅴ级及以下段落和采用冻结法施工的竖井宜采用复合式衬砌。

6.1.4 围岩较差地段衬砌应向围岩较好地段延伸 5~10m。

6.1.5 竖井宜采用圆形断面形式。当竖井采用钢筋混凝土隔板分隔风道时，钢筋混凝土隔板厚度不宜小于 20cm。

6.1.6 竖井支护结构钢筋混凝土强度等级不低于 C30；竖井内喷射混凝土宜采用湿喷工艺，强度等级不低于 C25。

条文说明

《混凝土结构设计规范》、《公路隧道设计规范》及《公路隧道设计细则》规定钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不低于 C25；预应力混凝土结构的混凝土强度等级不低于 C30。《公路隧道设计细则》第 7.3.7 条规定了对竖井及重要隧道和斜井工程，喷

射混凝土的强度等级不低于 C25；喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度不低于 5MPa。《煤矿立井井筒及硐室设计规范》第 4.1.1 条用于立井井筒支护的钢筋混凝土，其混凝土强度等级不得低于 C30；素混凝土的强度等级不得低于 C25。

考虑到竖井结构为永久性构筑物，不易检修，采用就高原则，规定了钢筋混凝土的强度等级不低于 C30。为了提高和保证喷射混凝土强度，减少对环境的影响，喷射混凝土建议采用湿喷工艺，而不是潮喷，严禁采用干喷。

6.1.7 当表层为深厚覆盖层时，应进行开挖稳定性评价与防护处理，以提高整体稳定性。

6.2 井口结构设计

6.2.1 竖井锁口圈应采用钢筋混凝土，锁口圈的形式、尺寸应根据井口地质条件及施工方法等因素确定。

6.2.2 竖井锁口圈应置于稳固的地基之上，并埋入地面下一定深度。对于基岩地段，锁口圈嵌入岩石地基深度不应小于 0.5m。对于土层地段，应校核地基承载力；当地基承载力不足时，应采取地基加固措施。

条文说明

对于岩石地基，锁口圈埋入深度应满足表 6.2.2 的要求。强风化破碎岩石按土层地段进行地基加固。

表 6.2.2 竖井锁口圈埋深

岩体类别	埋置深度 (m)
较完整的硬质岩石	0.25
一般硬质岩石	0.60
软质岩石	1.00

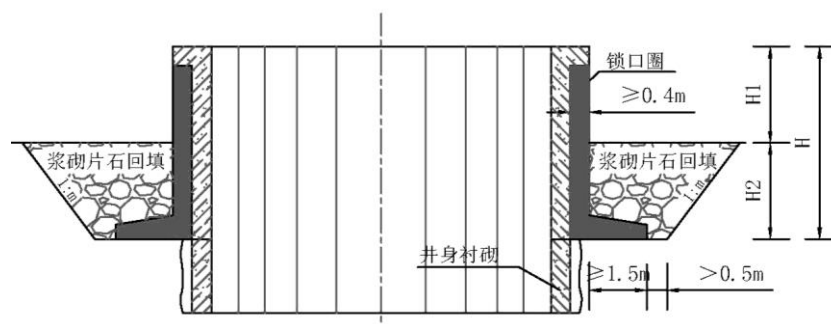


图6.2.2-1 竖井锁口圈构造示意图

6.2.3 竖井锁口圈厚度不宜小于 0.4m，钢筋混凝土基础加宽部分不宜小于 1.5m。

6.2.4 锁口圈应高出地面不小于 1.0m，并做好井口场地排水。

6.2.5 井口段二次衬砌顶部宜搁置于锁口圈顶部，且顶部厚度不宜小于 60cm。

6.3 整体式衬砌

6.3.1 竖井整体式衬砌应符合下列规定：

- 1 混凝土强度等级不应低于 C30；
- 2 结构厚度不宜小于 30cm；
- 3 V 级围岩段应采用钢筋混凝土结构，大直径竖井 IV 级围岩段宜采用钢筋混凝土结构；
- 4 井口不小于 20m 范围井身应采用钢筋混凝土结构；
- 5 靠近马头门不小于 10m 范围井身应采用钢筋混凝土结构；
- 6 直径大于 12m 的竖井井身宜采用钢筋混凝土结构。

条文说明

V 级围岩段竖井结构受力较大，同时考虑井口段抗震需要，整体式衬砌采用钢筋混凝土结构。

根据调研资料，德国 Gorleben 探测矿直径 7.5m 的矿井，其 IV 级围岩段采用 1m 厚的钢筋混凝土衬砌；而英国 Sellafied 的某个直径 5m 的矿井，其 IV 级围岩段采用

1.2m 厚的混凝土衬砌。对第 3 款，大直径竖井Ⅳ级围岩段是指直径超过 7m 竖井，可根据围岩开挖的实际情况采用钢筋混凝土结构或混凝土结构。

第 6 款中对直径大于 12m 的竖井井身，围岩较好地段，则结构受力较小，可根据实际情况采用钢筋混凝土结构或混凝土结构。

6.3.2 整体式衬砌厚度，可采用工程类比法进行设计，支护参数可按表 6.3.2 选用，并通过理论分析进行验算；在施工过程中应根据围岩开挖情况及监控量测信息对设计支护参数进行必要的调整。

表6.3.2 竖井整体式衬砌厚度

围岩级别	整体式衬砌厚度 (cm)		
	$D < 7\text{m}$	$7\text{m} \leq D < 10\text{m}$	$10\text{m} \leq D \leq 12\text{m}$
II	30	40	50
III	35	45	60
IV	40	50	65
V	50	60	70

6.3.3 整体式衬砌可不设防水板，施工缝处宜设止水条。

6.3.4 整体式衬砌配筋应符合下列规定：

- 1 全截面配筋率不应小于 0.4%；
- 2 截面单侧配筋率不应小于 0.2%；
- 3 钢筋保护层厚度，内缘钢筋宜为 50mm，外缘钢筋宜为 50~60mm。

条文说明

《混凝土结构设计规范》规定设计使用年限为 100 年的混凝土结构，钢筋保护层厚度不应小于推荐值的 1.4 倍，，外缘保护层厚度按板取 56mm；《公路隧道设计规范》第一册 土建工程 (JTJ 3370.1) 第 8.6.3 条，根据环境类型，保护层最小厚度在 40~60mm 之间。本规程取 50~60mm。

6.4 复合式衬砌

6.4.1 复合式衬砌应符合下列规定：

- 1 初期支护应按永久支护结构设计，宜采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护单独或组合使用，特殊情况也可采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土作为初期支护。
- 2 二次衬砌应采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土衬砌结构，并应符合本规范第6.3节的规定。

条文说明

第1款中一般情况下初期支护宜采用锚网喷混凝土，但当存在寒区、季节性冻土和常年冻土、围岩地质条件差、结构承受荷载较大等特殊情况时，为避免因混凝土材料劣化、因荷载较大出现开裂变形和混凝土剥落等潜在风险，进而威胁施工安全时，初期支护可局部段落或整体都采用可靠性较高的模筑混凝土。

6.4.2 复合式衬砌的开挖断面除应满足竖井净空和结构尺寸外，尚应考虑围岩及初期支护的变形，预留适当的变形量。预留变形量大小应根据围岩级别、埋置深度和支护情况等，通过计算分析确定或采用工程类比法预测，且不宜大于10cm。预留变形量还应根据现场监控量测结果进行调整。

6.4.3 复合式衬砌支护参数可根据工程类比法确定或按表6.4.3选用；

表6.4.3 竖井复合式衬砌支护参数

围岩级别	复合衬砌					
	D<7m		7m≤D<10m		10m≤D≤12m	
	初期支护	二次衬砌	初期支护	二次衬砌	初期支护	二次衬砌
II	—	—	喷射混凝土厚8~13cm，锚杆长1.5~2m，间距1.2m	30cm	喷射混凝土厚10~15cm，锚杆长2~2.5m，间距1m，必要时局部配钢筋网	40cm
III	喷射混凝土厚10~15cm，锚杆长2~2.5m，间距1m，必要时局部配钢筋网	30cm	喷射混凝土厚13~18cm，锚杆长2~2.5m，间距1m，必要时局部配钢筋	40cm	喷射混凝土厚15~20cm，锚杆长2.5~3m，间距1m，必要时局部配	50cm

			网		钢筋网	
IV	喷射混凝土厚 15~20cm, 锚杆长 2.5~3m, 间距 0.75~1m, 配钢筋网	40cm	喷射混凝土厚 18~23cm, 锚杆长 2.5~3m, 间距 0.75~1m, 配钢筋网, 必要时配钢拱架	50cm	喷射混凝土厚 20~25cm, 锚杆长 3~3.5m, 间距 0.75~1m, 配钢筋网, 必要时配钢拱架	60cm
V	喷射混凝土厚 20~25cm, 锚杆长 3~3.5m, 间距 0.5~0.7m, 配钢筋网, 必要时配钢拱架	45cm	喷射混凝土厚 23~28cm, 锚杆长 3~3.5m, 间距 0.5~0.7m, 配钢筋网, 配钢拱架	55cm	喷射混凝土厚 25~30cm, 锚杆长 3.5~4m, 间距 0.5~0.7m, 配钢筋网, 配钢拱架	65cm

注: VI级围岩地段应采用特殊支护措施。

条文说明

根据调研情况, 山岭隧道的竖井围岩相对较好, 围岩支护多采用复合式衬砌, 初支的喷射混凝土一般为 C25, 少量为 C20。在马头门处加强初期支护。

竖井二次衬砌多采用 C30、C35 混凝土。竖井锁口圈采用钢筋混凝土结构; 在 V 级围岩及马头门部位大多采用钢筋混凝土结构; 少量竖井二次衬砌为 C25 混凝土, 但二次衬砌相对较厚。

竖井中隔板的厚度一般为 30~40cm, 采用钢筋混凝土结构。

钢筋网一般是 $\phi 6$ 、 $\phi 6.5$ 、 $\phi 8$ 的网片, 规格主要为 20cm $\times$ 20cm、25 cm $\times$ 25 cm 的尺寸; V 级围岩多采用单层或双层, IV 级采用单层, III 级采用单层或局部采用。

锚杆在 V 级围岩中, 大多采用 D25 的中空注浆锚杆, 长度一般 3.0~4.0m, 环向 $\times$ 纵向的间距一般为 1.0m $\times$ 0.75m~1.0m $\times$ 1.0m; IV 级围岩支护中, 锚杆长度一般 3.0~3.5m, 环向 $\times$ 纵向的间距一般为 1.0m $\times$ 0.9m~1.2m $\times$ 1.2m。

钢拱架在 V 级、IV 级围岩中使用, 主要是四肢箍格栅钢架, 型钢拱架使用较少。

公路隧道竖井复合式衬砌结构支护参数统计表

围岩级别	项目	D<7m		7m $\leq$ D<10m		10m $\leq$ D $\leq$ 12m	
		初期支护	二次衬砌 (cm)	初期支护	二次衬砌 (cm)	初期支护	二次衬砌 (cm)
II	喷射混凝土厚 (cm)	6	30	5	30	6~8	40
	锚杆长 (m)	2.5		2.5		2.5	
	锚杆间距 (m)	局部		局部		局部	
	钢筋网						
	钢拱架, 间距 (m)						

III	喷射混凝土厚 (cm)	8	30	8~15	30、35	10~20	40、45
	锚杆长 (m)	2.5		2.5		2.5~3.5	
	锚杆间距 (m) 5	局部		1.0~1.2		1.0~1.5	
	钢筋网	局部或单层		单层		单层	
	钢拱架, 间距 (m)					I14, 1.0m (佛岭隧道)	
IV	喷射混凝土厚 (cm)	15~20	30、40	18~22	35、 40、45	17~24	45、50
	锚杆长 (m)	2.5、3.0		3.0~4.0		3.0~4.0	
	锚杆间距 (m)	1.0~1.2		0.8~1.0		0.9~1.0	
	钢筋网	单层		单或双层		单层	
	钢拱架, 间距 (m)	格栅, 1.2		格栅, 0.8~1.0		格栅、型钢, 0.9~1.0	
V	喷射混凝土厚 (cm)	20~24	40、45	22~24	40~50	24~26	50~80
	锚杆长 (m)	3.0		3.0~4.0		3.0~4.0	
	锚杆间距 (m)	1.0~1.2		0.75~1.0		0.8~0.9	
	钢筋网	单或双层		单或双层		单或双层	
	钢拱架, 间距 (m)	格栅, 1.0		格栅, 0.75~ 0.8		格栅、型钢, 0.8~0.9	

6.5 竖井壁座

6.5.1 井口段及马头门的上方应设置壁座。

6.5.2 井身段壁座间距可根据井壁混凝土允许支撑高度确定：

$$H = \frac{R_a}{K \times \gamma} \quad (6.5.2-1)$$

式中：H——二次衬砌允许支撑高度（m）；

K——安全系数，一般取 2.4；

γ ——混凝土重度（kN/m³）；

R_a ——混凝土的抗压极限强度（kN）。

条文说明

《公路隧道设计规范》JTG A04 表明，在竖井支护中，一般地质条件下可采用无壁座支护；当地质条件差，采用整体式模注混凝土衬砌和复合式衬砌时，模注混凝土衬砌与地层间粘结力弱，井壁摩擦力低，设置壁座可增强井壁与围岩间的相互作用，

使井壁自重荷载和通过井壁传递的荷载传给围岩。

按混凝土的极限抗压强度计算，深度约 200m 的竖井，二次衬砌混凝土的强度足以支撑；为了减轻下部混凝土所受压力，也可以在较好的围岩地段，可按 100m~150m 设置一处壁座。若以施工脱模时的强度，则不宜使用此公式。

对于深度超过 200m 的竖井，尤其是从上向下施作的二衬，为了防止二次衬砌出现“脱裤子”的现象，应设置壁座。据调研统计，在二次衬砌外围一般每 20~35m 左右设置一处壁座，以承担壁座以上的二次衬砌结构的重量，减少由上部衬砌重量对下部二次衬砌结构产生的压应力。

6.5.3 壁座可采用单锥或双锥形状，单锥形壁座适用于坚硬、半坚硬土及岩石地层；双锥形壁座适用于黏土及砂土层中。

6.5.4 壁座高度应不小于二次衬砌厚度的 2.5 倍，且不小于 1.0m；深入围岩宽度不小于二次衬砌厚度的 1.5 倍。

条文说明

壁座高度 h 应不小于二次衬砌厚度 d 的 2.5 倍，一般取 1.0~1.3m；宽度 b 不小于 1.5 d （II、III 级围岩地段 $b=0.6\sim0.8\text{m}$ ，IV 级围岩地段 $b=1.0\sim1.2\text{m}$ ，V 级围岩地段 b 不大于 1.5m），倾角 α 可按以下角度取值：

V 级围岩地段： $\alpha=50^\circ\sim60^\circ$ ；

IV 级围岩地段： $\alpha=25^\circ\sim45^\circ$ ；

II、III 级围岩地段： $\alpha=0^\circ\sim15^\circ$ 。

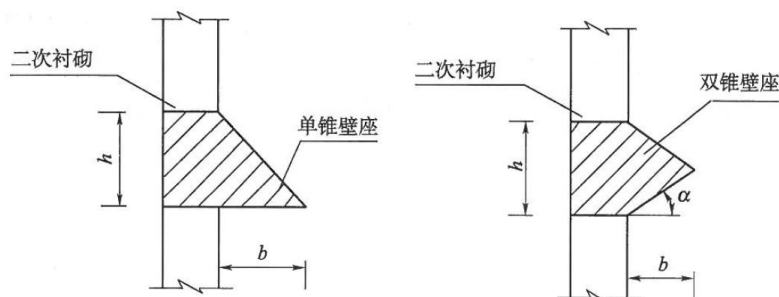


图6.5.4-1 单锥及双锥壁座构造图

6.6 竖井马头门

6.6.1 马头门结构应采用钢筋混凝土结构，马头门靠近竖井侧应加强支护，长度不宜小于竖井净直径的 1.5 倍。

条文说明

竖井底部马头门处由于周边围岩受力状态复杂，设计上对初期支护与二次衬砌进行加强处理。

征求意见稿

7 防水与排水

7.1 一般规定

7.1.1 竖井防排水设计应遵循以下基本原则：

- 1 竖井防排水应遵循“堵、防、排、截”相结合，因地制宜，综合治理，限量排放的原则。
- 2 确立以衬砌结构自防水为主、衬砌接缝为关键点的防水体系。
- 3 根据地下水的分布情况，妥善处理井口地表水、井身地下水，形成一个完整通畅的防排水系统。

条文说明

本条主要参考《公路隧道设计规范》防排水设计原则。由于近年个别长大隧道的开挖出现严重破坏地下水环境导致地下水位严重下降，水质污染等情况，本条提出限量排放原则。

7.1.2 公路隧道竖井衬砌结构防水等级满足下列要求：

- 1 有少量漏水点，不得有线流和漏泥沙，每昼夜漏水量 $<0.5\text{L}/\text{m}^3$ ，安装设备的孔眼不渗水。
- 2 任意 100m^2 防水面积上的漏水点，渗水形成的水膜或湿渍不超过 7 处。
- 3 单个湿渍或水膜面积不大于 0.3m^2 ，单点漏水量不大于 $2.5\text{L}/\text{d}$ 。

条文说明

《公路隧道设计规范》中对竖井防水等级及要求未做详细阐述，结合《铁路隧道设计规范》10.1.2 和 10.1.3 条及《地下工程防水技术规范》中对防水等级及铁路隧道竖井防水的要求，认为公路隧道竖井与铁路隧道竖井功能、结构、环境适用差异不大。因此采用铁路隧道竖井防水要求。

7.1.3 对于寒冷地区的竖井防排水应满足下列要求:

- 1 处于冻土层的衬砌结构,外露的钢筋混凝土应具有良好的抗冻性能。
- 2 寒区设防段衬砌混凝土抗渗等级不应低于 P10。

条文说明

《公路隧道设计规范》第 10.2.3 条要求隧道模筑混凝土的抗渗等级不宜小于 P8;《铁路隧道设计规范》第 12.9.2 和 12.9.3 条规定寒冷和严寒地区应设置抗冻设防段,抗冻设防衬砌混凝土抗渗等级不低于 P10。结合工程实践,此处寒冷和严寒地区混凝土抗渗等级不低于 P10。

7.1.4 竖井采取的防排水措施,应注意保护自然环境,所用材料应满足环保要求。当竖井内渗漏水可能影响周围环境时,应采取相应的防治措施。

条文说明

依据《公路隧道设计规范》第 10.1.4 条规定隧道防排水措施与环境保护的要求,《铁路隧道设计规范》第 16.2 条对水资源的保护,视水压及涌水量采取以堵为主,限量排放原则处理,要求不能明显降低地下水位改变当地水环境。

7.1.5 断层破碎带及富水段等不良地质条件下的防排水应满足下列要求:

- 1 当存在富水层或断层破碎带时,应根据富水层工程地质及水文地质条件,结合埋深及围岩加固采取地表预注浆,井身注浆或开挖面超前帷幕注浆等堵水措施。
- 2 竖井开挖至破碎带及富水段落前,应先进行探水,并进行超前预注浆措施。开挖后有大量渗漏水及涌水时,宜采用支护前围岩注浆堵水,同时竖井环向与竖向排水管应加密。

条文说明

竖井地层存在富水层或断层破碎带,应根据富水层工程地质条件及距地面的距离,若富水层距地表距离小,层数多,层间距又不大时,可地表预注浆加固堵水,《矿山

井巷工程施工及验收规范》第 3.5.1 条；富水层位于深埋段，可采用井身注浆和超前帷幕注浆，注浆参数应根据工程地质及水文地质设定，并在施工中不断修正。

7.2 防水

7.2.1 地表水可能渗入竖井时，应采取防治措施，符合下列规定：

1 地表水可能渗入竖井时，应先采取防治措施，对地表存在的陷穴、坑洞、钻孔等进行防水处理，回填封闭。

2 公路隧道竖井井口附近存在水库、池塘、溪流和井泉，有可能渗入竖井，影响周围生产生活用水时，应采取措施处理，必要时采用井口周围地表注浆加固措施。

条文说明

根据《公路隧道设计规范》10.4.1 截水沟应距仰坡开挖线 3~5m，结合黄土地区隧道修建经验，黄土地区截水沟应距仰坡开挖线 5~10m。地下水来源多由地表水补给，因此应对地表可能积水下渗的陷穴，坑洞回填；对河渠，溪流井泉采取改沟、铺砌或者地表加固等措施处理。

7.2.2 竖井采用复合式衬砌时，初期支护与二次衬砌间可不设防水层，依靠模注混凝土自防水，施工缝防水、变形缝防水组成防水系统。

条文说明

根据《公路隧道设计规范》12.2.4 规定采用复合式衬砌时可不设防水层，主要是基于竖井防水要求不高、防水施做困难，一旦渗水引排困难、防水层不利于围岩支托衬砌自重。部分竖井开挖期间涌水量过大时，需要采取注浆堵水措施；注浆效果难以达到堵水要求或寒区竖井，可根据实际情况增设防水层。

7.2.3 竖井模注混凝土应满足抗渗要求，混凝土抗渗等级不宜小于 P8。

7.2.4 竖井衬砌施工缝、变形缝应采取可靠的防水措施。

- 1 施工缝、变形缝宜采用中埋式带注浆管膨胀止水条组合形式的防水措施。
- 2 地下水量小、水压不大地段，施工缝、变形缝可采用中埋式止水带。

条文说明

模筑混凝土的施工缝及变形缝是防水的关键，为此提出“采取可靠的防水措施”。

7.2.5 侵蚀性地下水环境，防排水材料要求：

- 1 模注混凝土及喷射混凝土应根据水的侵蚀特征采用抗侵蚀的特种水泥和集料配制。
- 2 其他防排水材料应能在热、氧气及其他化学侵蚀介质、微生物侵蚀介质等因素的长期综合作用下，抗老化、抗侵蚀。
- 3 可适当提高混凝土的防水等级。

7.2.6 围岩渗水、涌水较大的地段，宜采取堵水措施。

- 1 对于围岩破碎，渗水、涌水量较大的地段，根据涌水量及水压并结合围岩加固向围岩内预注浆，注浆浆液应采用高分子聚合物或水泥水玻璃双浆液，加快凝固时间，防止浆液流散。衬砌后注浆时，应防止浆液堵塞衬砌背后的排水管。
- 2 距地表距离不大于 50m 的含水岩层，其层数多、层间距又不大时，可采用地面预注浆。
- 3 当埋深大于 50m 且穿过的基岩含水层或含水层间距较大，中间有良好隔水层，宜采用工作面超前预注浆法。

条文说明

竖井注浆措施须结合地层稳定措施进行，须根据工程地质及水文地质等条件确定注浆方式及注浆分段长度，注浆浆液应无毒无害。

7.3 排水

7.3.1 竖井井口周围应设置完备的截排水设施。在竖井开挖前，距竖井基坑开挖线边缘 3~5m、黄土地区 5~10m 以外应根据实际地形情况和需要设置截水沟和排水沟。

7.3.2 竖井井筒排水设计应符合下列规定：

- 1 沿井壁基岩应设环向泄水孔，插入打孔盲管，直径不小于 50mm。
- 2 沿井身衬砌背后应设环向半圆排水管，直径不小于 100mm；沿井身衬砌背后应设纵向排水管，直径不小于 100mm。
- 3 环向排水管与竖向排水管采用三通连接。

条文说明

- 1 泄水孔设置于围岩渗水量较大地段。
- 2 竖井衬砌应设置完整的排水系统，排水系统主要由通长竖向排水管、环向排水管及泄水孔组成，环向排水管与竖向排水管通过三通管连接，最后将水汇入竖向排水管通过井底连接通道的水沟汇入隧道主洞排水系统。
- 3 竖向排水管设置不宜少于 4 根，环向排水管间距 10m，水量大时可根据实际情况加密。

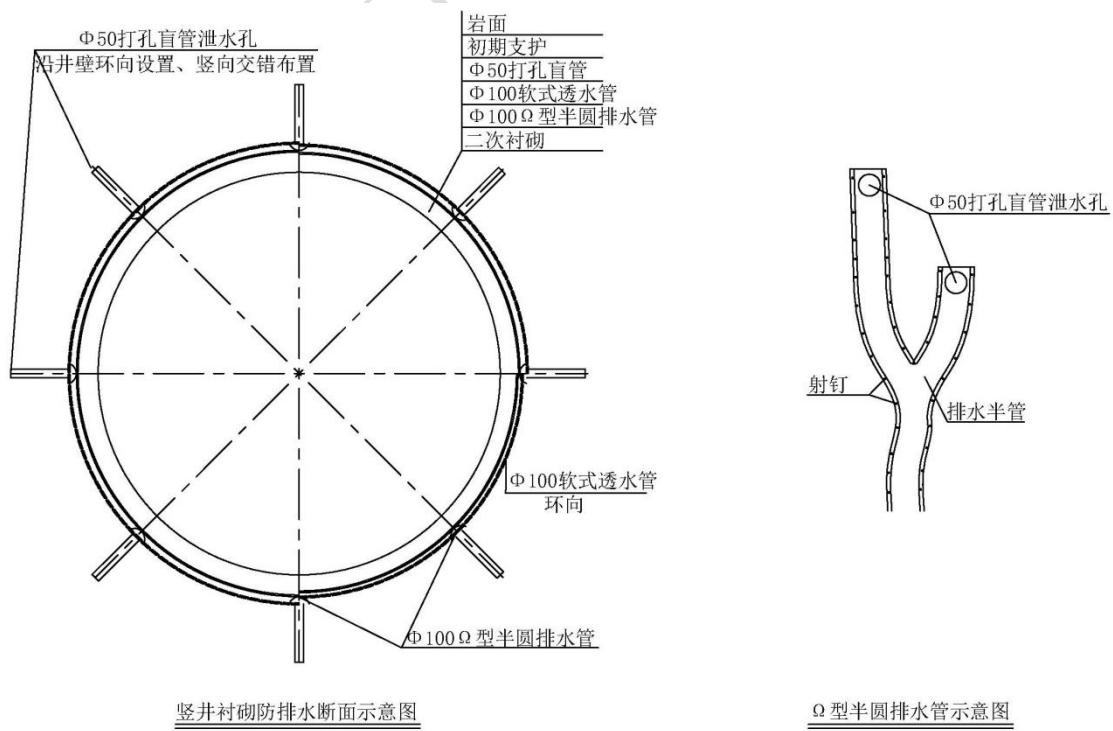


图7.3-1 竖井衬砌排水断面示意图

7.3.3 井底联络通道排水

井底联络通道排水系统，与竖井井身及隧道主洞排水系统连接顺畅。井底防排水设置原则与隧道主洞一致。

7.4 施工排水

7.4.1 竖井施工期间的排水方案应根据水文地质、井深及各阶段涌水量大小等因素确定。当涌水量大于 $50\text{m}^3/\text{h}$ 时，应采取注浆堵水等措施。

条文说明

当井身涌水量大于 $50\text{m}^3/\text{h}$ 时，应采取注浆堵水措施，系参照煤矿系统的经验数据定的。

7.4.2 竖井施工，应随开挖面挖集水坑，并及时将集水坑的水排出。竖井井壁渗水影响施工时，可用压浆堵水，固结地层后再进行开挖。

条文说明

本条参考《公路隧道施工技术规范》。竖井施工时根据水量大小通常采用水泵或吊桶排出掌子面积水。

7.4.3 施工集水坑设置的位置不得影响井内运输和安全。

7.4.4 竖井施工排水可根据井深及排水设备性能，采用一级或者多级排水方式进行，应根据技术经济比较确定。

7.4.5 当竖井多级排水时，腰泵站水仓容积宜按泵站 $10\sim 15\text{min}$ 的排水能力设计。

条文说明

竖井分段排水时，腰泵站主要起转水作用，水仓容积不需过大，规定按泵站 10～15min 排水能力设计是根据现场施工经验确定的。腰泵站水仓容积设定需考虑以下因素：

保证水泵工作时的良好水力条件，防止吸入空气，吸水管入口处应在最低水位以下 0.5～1m，泵的吸入口与池底的距离一般为吸水管径的 1.3～1.5 倍；

保证水泵启动所需的瞬时流量，避免水泵启动过于频繁。

7.4.6 应制定防涌（突）水（泥）的安全应急预案。

征求意见稿

8 施工准备

8.1 一般规定

8.1.1 公路隧道竖井施工前，应熟悉设计文件和地质勘察报告，领会设计意图，做好现场调查和图纸核对工作。

8.1.2 隧道竖井施工前，应编制施工组织设计，并做好施工准备和组织落实工作。编制时，应根据工期、地质和自然条件、施工方法、施工进度等因素，配备适宜、充足的施工机械，组织均衡生产，提高劳动生产效率。

8.1.3 编制施工组织设计、施工作业规程或安全技术措施，建立质量和安全保障体系。

条文说明

在地勘资料的基础上，对工程量大且结构复杂、施工难度大的部位，如竖井锁口、井筒、马头门等，编制施工组织设计；对施工中可能存在的塌方、突涌水等灾害，编制施工预案。同时，对竖井井架或井塔地基基础的稳定性及设计、提升悬吊系统的复核计算与设备选型、竖井施工压风计算及供配电等相关内容。

8.1.4 隧道竖井施工应具备满足竖井施工需要和质量控制要求的试验检测能力。

条文说明

为了控制和保证隧道竖井工程的质量，开工前需要具备相应的试验检测条件。根据工程规模和技术要求，建立具有临时试验资质的工地试验室，承担施工所需的常规试验及检测工作。数量较少的试验检验项目，可通过委托试验进行，开工时需要确定准备委托进行试验检测的单位“具有计量认证和检测项目检测资质”。

8.1.5 隧道竖井开工前，应完成施工方案编制及混凝土配合比设计等技术准备工作。

条文说明

施工方案影响先期工程的开工；而混凝土配合比的试验需对混凝土试件进行 28d 的标准养护，因此，为不影响施工工期，隧道开工前，需要提前做好混凝土配合比。

8.1.6 竖井在冬、雨季等特殊气象条件下施工，尤其是寒冷及高寒缺氧地区，应选择合适的施工方法和施工机械，采取保温防冻措施。

8.2 施工场地布置与临时工程

8.2.1 施工场地布置应遵循因地制宜、统一规划、安全方便、节地环保的原则，并应符合下列规定：

- 1 应考虑工程规模、工期、地形特点、弃渣场和水源等情况进行安全、合理布置。
- 2 应事先规划，以井口为中心布置并减少与现有道路交叉和干扰。
- 3 运输便道、场区道路和临时排水设施等，应统一规划、合理布局、形成网络。
- 4 竖井施工场地应进行放样测量、基桩埋设、场地平整及障碍物拆迁；
- 5 井口开工前，应完成井口上部边坡截排水沟的施工；
- 6 平整场地时，应对测量基桩采取保护措施；场地整平结束后，应及时对基桩进行检查与校核。
- 7 施工场地周边开挖应采取降低开挖高度和面积、挡护等保持边坡稳定措施。
- 8 施工场地周边应有防治边坡失稳、崩塌、落石危害的措施。

8.2.2 临时工程和设施布设应满足安全和施工活动正常开展的需要，并应符合下列规定：

- 1 临时工程应在隧道开工前完成。
- 2 临时工程布置应考虑高边坡等突发性自然灾害的影响，制定相应的应急预案。
- 3 临时工程应适用当地暴雪、暴雨、大风、台风、高温、高寒等极端天气条件，制定预警、预防和应急措施。
- 4 临时工程布置宜考虑永临结合方案。

-
- 5 施工机械、设备安装及井塔或井架安装应符合相关规定，并及早实施。
 - 6 爆炸物品储存库必须符合现行《小型民用爆炸物品储存库安全规范》（GA838）规定。

条文说明

以上两条参考《公路隧道施工技术规范》。临时工程主要包括四通(通水、通电、通路、通讯畅通)一平(平整场地)及临时房屋等。

8.2.3 严禁将临时房屋和设施布置在受洪水、泥石流、塌方、滑坡及雪崩等自然灾害威胁的地段。

8.2.4 施工便道应符合下列规定：

- 1 线形、纵坡、宽度、路基及路面结构应满足大型设备、材料及出渣运输的需要。
- 2 应设置必要的安全防护、排水设施和警示、提醒标志。
- 3 使用期间应养护。

8.2.5 竖井施工常规绞、稳设备布置宜采用水平对称布置，井架均匀对称受力。确因施工场地限制也可采用直角布置，但要对井架受力进行验算和专家论证。

8.2.6 拌和站建设宜紧邻井口，宜采用溜灰管输送井下混凝土，且采取安全技术措施。

条文说明

《煤矿安全规程》规定，向井下输送混凝土时，提出“强度大于 C40、深度大于 400m 时，严禁采用溜灰管输送”。主要是受 2014 年 5.14 大海则煤矿溜灰管坠管事故的影响，该事故造成一次死亡 13 人。对公路隧道竖井，混凝土强度一般不超过 C40，但井深有可能大于 400m，此处“宜采用溜灰管输送井下混凝土”，并且采取技术措施，保证安全。

8.2.7 压风机群应布置在人员活动范围较少便于散热的位置，周边配套好防火设施。高压管道应采取架空或地埋式。储气罐和高压阀门应取得特种设备使用合格证。

8.2.8 施工现场电力供应应根据设备选型计算出准确功率，采用就近原则建设供电线路。

8.3 施工人员、材料和设备

8.3.1 应根据工程规模、工期、技术难度等，配备满足工程需要的管理、技术、测量、试验、质检和安全人员。

8.3.2 从事公路隧道竖井施工的各类特殊岗位人员均应持证上岗。

8.3.3 公路隧道竖井施工前应对施工人员应经过岗前专业培训，接受安全、职业健康等教育。

8.3.4 施工前应对施工人员进行技术交底。

8.3.5 材料进场时应按批次和规定频率进行试验、检测，并满足设计和相关规范要求。

8.3.6 根据竖井的设计直径和深度选择合适、安全、可靠的设备，包括提升绞车、悬吊稳车、凿井井架等大型设备的规格和类型等，确保施工能力和进度计划相匹配。相关设备应符合特种设备使用管理要求。

8.3.7 应配备满足工程需要的施工设备和仪器，并完成相应检定工作。

8.3.8 井架、绞车、钢丝绳等均能满足施工安全需要。

8.3.9 天轮平台的尺寸应满足提升及悬吊设施的天轮布置要求。

8.3.10 井架高度及角柱的跨度应满足提升悬吊施工机械和设施以及作业方式的要求。

条文说明

井架等设备的安装必须编制施工组织设计。遇恶劣气候时，不得进行吊装作业。吊盘、吊桶(罐笼)、悬吊装置的销轴在使用前应当进行无损探伤检测，合格后方可使用。吊盘上放置的设备、材料及工具箱等必须固定牢靠。安装井架或者井架上的设备时必须盖严井口。装备井筒与安装井架及井架上的设备平行作业时，井口掩盖装置必须坚固可靠，能承受井架上坠落物的冲击。

8.3.11 竖井井架应安装避雷装置。

8.3.12 所有临时、永久设施不得使用易燃性材料。

9 正井法施工

9.1 一般规定

9.1.1 施工前应设置安全栅栏和安全门，安全栅栏高度不应低于 120cm，其结构应满足作业安全的要求。

9.1.2 井口的锁口圈应在井身开始掘进前完成，并配备井盖。除升降人员或物料时，不得打开井盖。

条文说明

竖井锁口圈是防止井口坍塌、落石，保证施工安全的重要结构，故需要在井身开挖前做好。井口配备井盖是为了防止人员和物体的坠井。

9.1.3 人员升降时，每人所占吊桶底的有效面积不宜小于 0.2m^2 ，吊桶的净高不得小于 1.5m。

条文说明

本条参考《煤矿建设安全规范》AQ1083。

9.1.4 绞车运输速度应符合下列规定：

- 1 运输炸药时绞车运行速度不得超过 1m/s ；运输雷管时绞车运行速度不得超过 2m/s ，绞车操作司机在绞车运行启停时应保证吊桶不发生震动。
- 2 人员及挖机升降井绞车运行速度不得大于 2m/s 。
- 3 物料升降时绞车运输速度不得大于 4m/s 。

9.1.5 所有提升钩头必须设有防止脱出的安全闭锁装置，吊桶钩头上应设悬挂安全带的吊环。

9.1.6 竖井掘进时应进行施工送风；工作面空气质量达到要求后，施工人员方可进入工作面进行出渣。

条文说明

掘进工作面的需风量需满足放炮后 15min 内能将工作面的炮烟排出的要求。同时，按工作面施工人数最多计算，每人每分钟新鲜空气量不少于 4m^3 。遇有瓦斯等有害气体时的通风，应按国家相关安全规程执行。

9.1.7 施工开挖后，及时编录工程地质与水文地质柱状图、竖井掘进纵剖面图；定期测量与记录井身涌水量。

9.2 井口施工

9.2.1 根据竖井规模、井口结构型式、结构物高度、工程地质与水文地质条件等确定合理的井口基坑开挖方案和地下水控制措施。

9.2.2 竖井锁口圈基坑边缘位置临时堆放的土方和建筑材料，或沿基坑边缘的移动运输工具和机械与基坑边缘的距离一般应根据地质围岩性状确定。

条文说明

竖井锁口圈基坑施工时，土方量巨大，其临时堆放的位置距离基坑边缘及高度应根据地质围岩计算确定。一般情况下，距基坑边缘不小于 2m，弃土堆置高度不应超过 1.5m；且井架基础应与结构物基础同时开挖。

9.2.3 基坑开挖时，应在合理位置设置永久、临时观测点，埋设控制桩和水准点。

9.2.4 基坑验槽后及时浇筑封底垫层，垫层应铺满基底。

9.2.5 基坑深度超过 5m 的时候需要制定专项施工方案并进行专家论证及相关单位审批程序。

9.2.6 结构物施工时钢筋绑扎和混凝土施工应符合设计和相关规范的要求。井架基础和井口结构物基础应浇筑成整体结构。

9.2.7 基坑回填时的回填材料优先用基槽挖出的土进行回填，不得含有有机杂质。应围绕结构物对称分层回填并夯实。

9.3 设备安装

9.3.1 竖井设备安装作业施工队伍应具有专业安装资质单位进行安装作业。

9.3.2 施工单位应提前编写设备安装方案并履行报批程序。

9.3.3 高空吊装禁止夜间作业。

9.3.4 设备安装完毕调试验收后方可投入使用。

9.3.5 竖井运输时应符合下规定：

1 井口、井底、绞车房和工作吊盘间均应有联络信号，并有专人负责。必要时应装设直通电话。

2 提升机械不得超负荷运行，并应有深度指标器和防止过卷、超速等保护装置以及限速器和松绳信号等。

3 罐笼提升应设置可靠的防坠器。

4 提升钢丝绳与吊桶的连接，必须采用具有可靠保险和回转卸力装置的专用钩头，不得自动脱钩。钩头主要受力部件每年应进行 1 次无损探伤检测。

5 提升用的钢丝绳和各种悬挂使用的钩、链、环、螺栓等连接装置，应具有规定的安全系数，使用前应进行拉力试验，合格后方可使用。使用中应定期检查、修理和

更换。悬挂吊盘、模板、抓岩机的钢丝绳，检验检测周期不得超过 1 年。悬挂水管、风管、输料管、安全梯和电缆的钢丝绳,检验检测周期不得超过 2 年。

6 不得超员、超载。不得人物混运。严禁用自动翻转式、底卸式吊桶升降人员。

7 提升机、罐笼、绞车应符合现行《矿井提升机和矿用提升绞车安全要求》（GB 20181）和现行《罐笼安全技术要求》（GB 16542）的有关规定，并制定操作规程。

条文说明

本条参考《公路隧道施工技术规范》。

9.3.6 井架安装应满足下列要求：

- 1 井架安装前，应对井架基础进行地基基础设计。
- 2 地基承载力不足时，应对基础进行加固处理。
- 3 井架中心线的实际位置与设计位置的偏差不得超过 5mm。
- 4 天轮平台的水平偏差，不得超过 3mm。
- 5 各部位的螺栓宜采用双螺母，必须紧固。
- 6 井架的构件应平直，其弯曲矢高不得超过 2‰。
- 7 井架天轮平台的板梁，严禁割孔和焊接。
- 8 井架上安设的防雷接地装置，必须符合国家现行安全规程的要求。

9.3.7 绞车安装应符合下列规定：

- 1 绞车安装必须设置强制减速及停机装置，确保制动装置可靠，防止冲顶。
- 2 绞车距井架的距离，不得小于井架的高度，绞车与天轮的距离不得小于 10m。

9.3.8 井筒内布置的悬吊设施，应符合下列规定：

- 1 悬吊设施的选择和布置，应满足施工组织设计规定的施工阶段的要求。
- 2 不得在井口及井筒内设置的固定梁以及各种悬吊设施承受荷载的梁上钻孔。
- 3 井筒内风筒及管路与吊桶的水平距离应大于 500mm，井筒深度超过 500m 时，宜采用井壁固定吊挂。

4 安全梯应靠近井壁悬吊，距井壁不应大于 500mm，通过的孔口其周围间隙不得小于 150mm。

5 照明、动力电缆与信号、通信、放炮电缆的间距，不应小于 300mm，信号和放炮电缆与压风、排水管路的间距不应小于 1m，放炮电缆应单独悬吊。

9.3.9 吊桶安装应符合下列规定：

- 1 吊桶两侧应设置对称稳绳，上方有防坠物伞帽。
- 2 两个或两个以上吊桶的导向轮突出部分之间的间隙 D ，应按下式计算：

$$D > 0.2 + \frac{H}{3000} \quad (9.3.9-1)$$

式中： D —间隙（m）；

H —提升高度（m）。

- 3 井筒深度小于 300m 时，上述间隙不得小于 30cm。

9.3.10 吊盘的设置，应符合下列要求：

- 1 吊盘结构的强度，应按全荷载计算，施工荷载不应大于设计规定。
- 2 吊桶通过吊盘的孔口，上下均应设置喇叭口。
- 3 吊盘的稳盘绳，不应少于 4 根，并应均匀分布在同一吊盘的周边上。
- 4 工作吊盘的载重量不应超过吊盘的设计载重能力。

9.4 开挖

9.4.1 钻孔应符合下列规定：

- 1 钻孔前应先清除开挖面的石渣并排出井下积水。
- 2 按设计要求控制圈径、孔距，孔底宜钻到同一水平面上。
- 3 不得沿炮孔的残孔或顺岩层裂隙钻孔。
- 4 每次爆破后应检测断面。
- 5 每掘进 5~10m 应核对中线，及时纠正偏斜。
- 6 炮孔钻完后，应将孔口临时堵塞。

条文说明

根据围岩条件，确定合理的钻孔设备，可根据井筒直径大小，优先考虑大型伞钻，节省钻孔时间，减少人力投入。根据围岩硬度和岩石裂隙发育程度确定孔深、孔径及炮孔间距，并及时调整爆破设计，确保开挖断面尺寸满足设计要求。

9.4.2 爆破应符合下列规定：

- 1 竖井爆破优先中深孔、深孔光面爆破技术，，根据实际条件也可采用综合爆破法和聚能水压爆破法，并应根据设备性能、岩石性质、爆破器件等因素编写爆破作业专项施工方案。
- 2 装药前应清理炮孔，已装药的炮孔应及时堵塞封闭。
- 3 爆破前所有人员撤离至安全区域，爆破后持续通风半小时以上，待气体检测合格后方可入井，检测人员不得走出吊桶。
- 4 中深孔、深孔的爆破器材，应选用威力大、防水、防冻的乳胶炸药或水胶炸药。雷管脚线的长度，应与炮孔深度相适应。
- 5 爆破的石渣块度宜满足装渣要求。
- 6 通过软弱破碎地层时，每班应派专人观测地面沉降和井壁变化情况，发现危险预兆，应立即停止作业，撤出人员，进行处理。应及时施工初期支护和永久支护。
- 7 竖井壁座宜与竖井井身同步开挖，并及时施作支护和壁座钢筋混凝土。壁座预埋连接钢筋宜采取套筒连接方式。

9.4.3 在竖井内运送爆炸物品，必须符合下列规定：

- 1 雷管和炸药必须分开运送；严禁将起爆药卷与炸药装在同一爆炸物品容器内运往井底工作面。
- 2 必须事先通知绞车司机和井上、下把钩工。
- 3 运送雷管时，罐笼内只准放置 1 层爆炸物品箱，不应滑动。
- 4 运送炸药时，爆炸物品箱堆放高度不得超过罐笼高度的 2/3。
- 5 采用将装有炸药或者雷管的车辆直接推入罐笼内的方式运送时，雷管应装在专用的、带盖的、有木质隔板的车厢内，车厢内部应铺有胶皮或者麻袋等软质垫层，并只

准放置 1 层爆炸物品箱。炸药箱可以装在矿车内,但堆放高度不得超过矿车上缘。运输炸药、雷管的矿车或者车厢应有专门的警示标识。

- 6 使用吊桶运送爆炸物品时,应使用专用箱。
- 7 装有爆炸物品的罐笼或者吊桶内,除爆破工或者护送人员外,不得有其他人员。
- 8 运送雷管及爆炸物品时,升降速度应符合一般规定的要求。
- 9 司机在启动和停止绞车时,应控制罐笼、吊桶震动。
- 10 在交接班、人员上下井时间内,严禁运送爆炸物品。
- 11 严禁将爆炸物品存放在井口房、井底车场。

9.4.3 竖井正井钻爆法施工要严格控制欠挖,宜减少超挖。

条文说明

本条参考《公路隧道施工技术规范》。要求每循环必须检查断面尺寸,并和设计轮廓进行对比,严格控制超挖。

对于欠挖较小部分采用风镐凿除,欠挖较大则必须进行二次爆破处理。竖井超欠挖控制参数可参照《公路隧道施工技术规范》中的相关要求。

9.5 出渣

9.5.1 根据竖井井筒直径大小可选择单钩提升或双钩提升出渣。

9.5.2 井下装渣设备采用抓岩机装渣,若无防爆要求也可采用小挖机装渣或者抓岩机与小挖机配合装渣。

9.5.3 出渣时吊桶内渣石不应高于吊桶高度的 90%,防止高空坠物。

9.5.4 井口卸渣可采用底卸式或座翻式。

9.5.5 出渣和挖机升降的运输速度应满足一般规定中相关要求。

9.5.6 竖井井口位置不应堆放

9.6 支护

竖井初期支护应遵循“一掘一支”原则。竖井初期支护形式有喷射混凝土支护和模筑混凝土支护两种形式。

9.6.1 喷射混凝土应符合下列规定：

- 1 喷射混凝土施工宜采用湿喷工艺，不得采用干喷工艺。
- 2 喷射混凝土配合比应满足设计强度和喷射工艺的要求。
- 3 当喷射作业分层进行时，后一层喷射应在前层混凝土终凝后进行。
- 4 喷射混凝土混合料应采用机械搅拌，应拌和均匀，搅拌时间不应少于 2min。
- 5 喷射混凝土回弹物不得重新用作喷射混凝土材料。
- 6 喷射混凝土应适时进行养护，井内环境温度低于 5℃时不得洒水养护。
- 7 冬季施工时，喷射作业区的气温不应低于 5℃。在结冰的岩面上不得进行喷射混凝土作业。混凝土强度未达到 6MPa 前不得受冻。
- 8 喷射混凝土作业安全与防护应满足下列要求：
 - 1) 应检查和处理支护作业区危石，施工机具应布置于安全地带。
 - 2) 喷射混凝土应直接喷在围岩面上，与围岩密贴，受喷面不得填塞杂物。
 - 3) 喷射混凝土作业应按初喷混凝土和复喷混凝土分别进行。
 - 4) 初喷混凝土厚度宜控制在 20~50mm，岩面有较大凹洼时，可结合初喷找平。
 - 5) 根据喷射混凝土设计厚度、喷射部位和钢架、钢筋网设置情况，复喷可采用一次作业或分层作业。
 - 6) 施工用作业台架应牢固可靠，并应设置安全栏杆。
 - 7) 施工时，非作业人员不得进入喷射作业区，喷嘴前禁止站人。
 - 8) 作业区粉尘浓度必须符合相关规范的规定。作业人员应戴防尘口罩、防护镜、防护帽等劳保用品。
 - 9) 喷射作业完成后，应及时清洗机具。

9.6.2 模筑混凝土应符合下列规定：

1 竖井模筑混凝土砌筑井壁，一般采用整体液压金属模板，模板应具有足够的刚度、强度和稳定性，模板应使用不少于 3 根稳绳对称布置悬挂。

2 模板形状应与衬砌断面形状相适应，模板表面各点应不侵入衬砌内轮廓。安装模板时应检查中线、半径和模板竖直度，按要求设置预留变形量。

3 混凝土施工应满足下列要求：

1) 混凝土配合比应满足设计和施工工艺要求。

2) 每循环混凝土浇筑前应清理并冲洗上循环混凝土底部。

3) 混凝土应在初凝前完成浇筑。

4) 混凝土应分层对称浇筑，每层高度不超过 30cm。

5) 冬季施工，混凝土的入模温度不应低于 5℃，夏季不应高于 32℃。

6) 采用可靠的运输方式，或在井下二次拌和防止混凝土离析。

9.6.3 锚杆应符合下列规定：

1 采用的锚杆类型、规格、技术性能应满足设计要求。2 在设有系统锚杆的地段，系统锚杆宜在下一循环开挖前完成。

3 锚杆钻孔施工应符合下列规定：

1) 钻孔机具应根据锚杆类型、规格及围岩情况选择。

2) 孔位允许偏差为±150mm，钻孔数量不得少于设计数量。。

3) 水泥砂浆锚杆钻孔直径应大于锚杆杆体直径 15mm。其他形式锚杆钻孔直径应满足设计要求。

4) 钻孔深度不应小于锚杆杆体有效长度，但深度超长值不应大于 100mm。

4 锚杆安装前应做好下列检查工作，并做好原始记录：

1) 锚杆材料型号、规格、品种应符合设计要求，配件应配套。

2) 锚杆孔位、孔径、孔深及布置形式应满足设计要求。

3) 孔内应无积水，岩粉应吹出或冲洗干净；遇水软化、泥化或崩解的地层，不得用水冲洗钻孔。

4) 锚杆杆体应调直、除锈，清除油污。

5) 锚杆外端标准螺纹应有效，逐根检查并与标准螺母试装配。

5 普通水泥砂浆锚杆施工应满足下列要求:

- 1) 普通水泥砂浆锚杆材料、直径、长度,应符合设计要求。
- 2) 锚杆砂浆应拌和均匀、随拌随用,已初凝的砂浆不得使用。
- 3) 锚杆孔灌浆时,灌浆管应插至距孔底 50~100mm 处,并随砂浆的灌入缓慢匀速拔出。
- 4) 灌浆后应及时插入锚杆杆体,锚杆杆体插到设计深度时,孔口应有砂浆流出;若孔口无砂浆流出或杆体插不到设计深度时,应将杆体拔出,清孔,重新安装。。
- 5) 砂浆终凝后应及时安装垫板、螺母,垫板与喷射混凝土应紧密接触。螺母应拧紧。

6 药包锚杆施工应满足下列要求:

- 1) 药包应进行泡水检验。
- 2) 不应使用受潮结块的药包。
- 3) 药包宜在清水中浸泡,随用随泡。
- 4) 药包应以专用工具推入钻孔内,并应防止中途药包纸破裂。
- 5) 锚杆插到设计深度时,孔口应有浆液溢出。孔口无浆液流出或杆体插不到设计深度时,应将杆体拔出,清孔,重新安装。
- 6) 锚杆应安装垫板并拧紧螺母。

7 中空注浆锚杆施工应满足下列要求:

- 1) 插入中空锚杆后,应安装止浆塞。止浆塞应留有排气孔。
- 2) 应对锚杆中孔吹气或注水疏通。
- 3) 待排气孔出浆后,方可停止注浆。
- 4) 浆体终凝后应安装垫板、拧紧螺母。

9.6.4 钢筋网应符合下列规定:

- 1 钢筋网材料应满足设计要求,钢筋网钢筋在使用前应调直、清除锈蚀和油渍。
- 2 钢筋网安装应满足下列要求:
 - 1) 应在初喷混凝土后再进行钢筋网铺设。
 - 2) 采用双层钢筋网时,第二层钢筋网应在第一层钢筋网被喷射混凝土全部覆盖后再进行铺挂。
- 3) 钢筋搭接长度不得小于 30d (d 为钢筋直径),并不得小于一个网格长边尺寸。

-
- 4) 钢筋网应与锚杆或其他固定装置连接牢固。
 - 5) 钢筋网应随受喷岩面起伏铺设，与初喷混凝土面的最大间隙不宜大于 30mm，不宜将钢筋预焊成片后铺挂。

9.6.5 钢架应符合下列规定：

- 1 钢架的型号、规格、强度和刚度应满足设计要求。
- 2 钢架加工应满足下列要求：
 - 1) 钢架加工尺寸，应符合设计要求，其形状应与开挖断面相适应。
 - 2) 钢架支护断面内轮廓尺寸可根据隧道实际开挖轮廓进行加工，加工的内轮廓曲线半径不应小于设计钢架的内轮廓曲线半径。
 - 3) 钢架可分节段制作，每节段长度应根据设计尺寸和开挖方法确定。
 - 4) 钢架节段两端应焊接连接钢板，连接钢板平面应与钢架轴线垂直。
 - 5) 与连接钢板焊接应采用双面焊。
 - 6) 连接钢板规格尺寸应满足设计要求，连接钢板上螺栓孔应不少于 4 个，应采用冲压或铣切成孔，并应清除毛刺，不得采用氧焊烧孔。
 - 7) 不同规格的首榀钢架加工完成后，应放在平整地面上试拼。当各部尺寸满足设计要求时，方可进行批量生产。
- 4 钢架安装应满足下列要求：
 - 1) 钢架应在初喷混凝土后安装。
 - 2) 竖井钢架必须安装在外露的锚杆上。承载钢架的锚杆数量不得少于整环锚杆数量的 80%。
 - 3) 钢架节段与节段之间应通过连接钢板用螺栓连接。
 - 4) 相邻两榀钢架之间必须用纵向钢筋连接，连接钢筋直径不应小于 18mm，连接钢筋间距不大于 1.0m。
 - 5) 钢架应贴近初喷射混凝土面安装，当钢架和围岩初喷射混凝土面之间有间隙时，用喷射混凝土充填密实。

条文说明

当采用格栅钢架时，连接钢板可采用角钢。

9.7 衬砌

9.7.1 竖井二次衬砌宜采用液压滑模自下而上一次成型的工艺。

9.7.2 滑模装置的设计与组装应符合国家现行有关标准的规定。安装完毕的滑模，应经检查验收后，才允许投入生产。

条文说明

滑模装置中模板系统包括模板、围圈、提升架；操作平台系统主要包括操作平台、料台、随升垂直运输设施等；液压提升系统包括液压控制台、油管、千斤顶、支承杆等；施工精度控制系统包括千斤顶同步、建筑物轴线和垂直度等的控制与观测设施等。

整个滑模装置设计均应有结构设计图和计算书。按设计制作后，应进行组装调试。滑模装置的设计与组装时偏差控制均应符合国家现行的《滑动模板工程技术标准》GB 50113 及其它有关标准的规定。

9.7.3 滑模施工必须根据工程结构的特点及现场的施工条件编制施工组织设计，并应包括但不限于下列主要内容：

- 1 施工总平面布置。
- 2 滑模施工技术设计。
- 3 施工程序和施工进度安排。
- 4 施工安全技术质量要求及其检查措施。
- 5 劳动组织及人员培训。
- 6 材料、预埋件和设备供应计划等。
- 7 高温、雷雨、大风、冬期等特殊气候条件的滑模施工专项技术措施。
- 8 制定滑模施工过程中结构物和施工操作平台稳定及纠偏、纠扭等技术措施。

条文说明

第 8 款，滑模施工中常出现问题有：滑模操作盘倾斜、滑模盘平移、扭转、模板变形、混凝土表面缺陷、爬杆弯曲等，其产生的根本原因在于千斤顶工作不同步，荷

载不均匀，浇筑不对称，纠偏过急等。因此，在施工中首先把好质量关，加强观测检查工作，确保良好运行状态，发现问题及时解决。

1) 纠偏

利用千斤顶自身纠偏，即关闭五分之一的千斤顶，然后滑升 2~3 行程，再打开全部千斤顶滑升 2~3 行程，反复数次逐步调整至设计要求。并针对各种不同情况，施加一定外力给予纠偏。所有纠偏工作不能操之过急，以免造成混凝土表面拉裂、死弯、滑模变形、爬杆弯曲等事故发生。

2) 爬杆弯曲处理

爬杆弯曲时，采用加焊钢筋或斜支撑，弯曲严重时切断，接入爬杆重新与下部爬杆焊接，并加焊“人”字型斜支撑。

3) 模板变形处理

对部分变形较小的模板采用撑杆加压复原，变形严重时，将模板拆除修复。

9.7.4 带有中隔板的竖井，中隔板应和二次衬砌同时整体施工。

9.7.5 竖井二次衬砌滑模中混凝土和钢筋施工各项参数和注意事项均应满足设计要求和《公路隧道施工技术规范》中的相关规定。

9.7.6 正常滑升时，混凝土的浇筑应符合下列规定：

- 1 应均匀对称交圈浇筑；每一浇灌层的混凝土表面应在一个水平面上，并应有计划、均匀地变换浇筑方向。
- 2 应采取薄层浇筑，一次浇筑不应超过 30cm。
- 3 上层混凝土覆盖下层混凝土的时间间隔不应大于混凝土的凝结时间，当间隔时间超过规定时，接茬处应按施工缝的要求处理。

条文说明

滑模施工按以下顺序进行：下料—平仓振捣—滑升—钢筋绑扎—下料。滑模滑升要求对称均匀下料。模板初次滑升要缓慢进行，并在此过程中对提升系统、液压控制系统、盘面及模板变形情况进行全面检查，发现问题及时处理，待一切正常后方可进行正常浇筑和滑升。

9.7.7 混凝土的振捣应符合下列规定：

- 1 宜使用滑模专用的振捣器及浇筑用的配套工具。
- 2 振捣混凝土时振捣器不应直接接触及支承杆、预埋件、钢筋、模板。
- 3 振捣器插入下层混凝土的深度，宜为 50mm 左右。
- 4 模板滑动时严禁振捣混凝土。

9.7.8 竖井二次衬砌滑模施工要确保 24 小时连续不间断滑升，混凝土初凝时间应控制 2 小时左右，终凝时间应控制在 6 小时左右，滑升速度根据井筒内温度控制在每小时 15~25cm，24 小时不大于 6m。

条文说明

滑模施工要连续进行，因故停止浇筑混凝土超过 2 小时，应采取“停滑措施”，并对停工造成的施工缝认真处理。混凝土停止浇筑后，每隔 0.5~1 小时，滑升 1~2 个行程，直到混凝土与模板不在粘结（一般 4 个小时左右）。

9.7.9 混凝土的出模强度应控制在 0.2MPa~0.4MPa。当出模混凝土发生流淌或局部坍落现象时，应立即停滑处理。当发现混凝土的出模强度偏高时，应增加中间滑升次数。

条文说明

本条参考《液压滑动模板施工安全技术规程》JGJ65。

9.7.10 混凝土出模后应及时检查，宜采用原浆压光对混凝土表面缺陷进行修整。

9.7.11 在滑升的过程中，每次滑升要进行一次测量工作，应检查和记录结构垂直度、扭转及结构截面尺寸等偏差数值，发现问题及时处理。

9.7.12 模筑混凝土钢筋加工、安装应符合下列规定：

1 钢筋加工应满足下列要求：

- 1) 钢筋在加工前应调直。
- 2) 钢筋表面的油渍、铁锈等清除干净。
- 3) 钢筋拉直、弯折、弯钩、弯曲应采用冷加工。

2 钢筋安装应满足下列要求：

- 1) 横向钢筋和纵向钢筋每个节点都应绑扎或焊接。
 - 2) 钢筋搭接长度及焊缝应满足设计要求。
 - 3) 相邻主筋搭接位置应错开，错开距离不应小于 1000mm。
 - 4) 同一受力钢筋的两个搭接距离不应小于 1500mm。
 - 5) 钢筋的连接必须符合相关规定。
- 3 安装钢筋时，钢筋的长度、间距、位置、保护层厚度应满足设计要求。

10 反井法施工

10.1 一般规定

10.1.1 反井法适用于中等强度岩石、深度在 400m 以内的竖井。

10.1.2 反井法施工应具备下部出渣条件。

条文说明

在公路隧道施工过程中，当工程地点环境复杂、上部出渣条件受限时，如主隧道、通风道已贯通且竖井深度在 400m 以内时，可采用反井法施工。

10.2 施工准备

10.2.1 根据钻机工作尺寸，开挖钻机工作洞室。

10.2.2 在井位中心浇筑一个深至基岩、略高于地面的混凝土基础以保护井口。

10.2.3 铺设轨道、水、电至钻进现场。

10.2.4 调平车架，将机架立至欲钻进角度，微调斜撑杆至钻进角度，确保调角靴板与地面接触良好，牢固主机。

10.2.5 根据控制桩点及成果书，经复测无误后，测设竖井中心点。同时放出十字线护桩，每边不少于 3 个护桩。井口高程通过临时水准点控制，将井口场地开挖整平接近设计高程。

10.3 钻导向孔

10.3.1 导孔钻进宜优先采用清水钻进方式，并选择适用于岩石硬度的导孔钻头。

10.3.2 为保证导孔精度，开孔时应采用开孔钻杆和扶正器，慢速、均匀推进。

条文说明

开孔的好坏不仅影响钻进偏斜率，还将影响钻进效率和钻具寿命。为此，开孔时要采用短钻杆、低轴压、低转速和间断推进的方式，并用扶杆器扶住钻杆。短钻杆钻入后，首先接稳定器（起导向作用）。稳定器完全进入导孔时，才能逐渐将轴压和转速增加到正常值，并改用连续推进。距第一个稳定器 7~8m 时接入第二根稳定器（仍起导向作用）以后，每隔 15~20m 装一根稳定器（主要起稳定作用）。

10.3.3 导孔钻进过程中，应随时观测、分析钻进情况及返出岩屑性状，为扩孔钻进、孔壁维护提供参考。

10.3.4 导孔钻进遇不良地质条件时，应采用优质膨润土配制泥浆进行护壁，并加大循环量，必要时先灌注混凝土或进行灌浆处理，再钻孔。

10.3.5 随着钻深的增加，应逐渐增加换钻杆前的冲洗排渣时间，及时清除集在孔口附近的岩渣，孔内的岩渣排净再换钻杆。

10.3.6 钻深达到 50m 时开始启用液压减压钻进系统，随着钻深的增加，应加大减压压力，施加在钻头上的轴压应维持在一个理想值。

10.3.7 钻孔偏斜率应不大于 1.0%。

条文说明

造成钻孔偏斜的原因很多，除了钻井人员技术水平、钻井工艺、钻井设备性能等主观和人为因素以外，钻孔偏斜的客观原因主要有钻头载荷与钻作用、岩层特性和钻头移步以及钻孔内岩屑等 4 个方面。

在钻进方向和直度要求很高时，需经常进行定向测量工作。对于深井，钻孔期间需对井孔偏斜情况进行测量，以便及时掌握孔内的变化情况，确定相应的措施，防止出现无法挽回的偏斜，而造成重大损失。根据钻孔深度、岩石地质条件和对钻孔精度要求等不同条件，可选用钟表、磁性和陀螺测斜仪进行测井。钻孔纠偏的方法需视钻孔的具体情况而定：如果钻孔偏斜程度和方向非常有规律，可采取偏置钻机的方法来纠正预计的偏斜，移动钻机的距离和方向可根据施工经验而定；也可堵塞偏孔、重新钻孔的方法解决偏斜，堵塞钻孔指用纯水泥浆将变向进行充填，并使之凝固。

10.3.8 根据岩石的坚硬程度、磨蚀性确定扩孔滚刀的齿形和布置。一般采用镶齿结构。

10.3.9 严格控制扩孔钻头上提速度，应由慢速逐渐转入正常速度。

10.3.10 钻机系统压力应依据岩石硬度大小进行调整。

10.3.11 钻头距竖井上口 25m 时，应降低钻压，慢速上提，直至终孔。

10.4 扩孔

10.4.1 竖井可分多次扩挖。

10.4.2 由下而上扩挖，可采用钻爆法施工，风动凿岩机钻孔，电雷管控制爆破，由下向上打眼至一定高度，由下而上分次放炮。

10.4.3 由上而下扩挖，可采用人工钻爆法施工，圆形小吊笼挂在提升绞车的钩头上，压风管、供水管、照明电缆、信号电缆用一台稳车单独悬吊。

10.4.4 每次放炮后，应待炮烟排净再下吊笼重新装药，开始下一循环，直到地面。

10.4.5 应防止扩挖炮渣堵塞卸渣孔。

条文说明

防止扩挖炮渣堵塞卸渣孔的技术措施有：

- 1 加密炮眼缩小炮眼间距，将炮渣最大块度控制在 40mm 以下。
- 2 增加雷管的段别，将各段起爆时间延长，利用起爆时间差分批抛掷落入卸渣孔。
- 3 采用台阶开挖，利用台阶存渣再经人工清渣进入卸渣孔。
- 4 发生堵孔现象采用电力爆破疏通堵孔石渣。

10.4.6 扩挖完成后，拆除临时井架。

10.5 出渣

10.5.1 反井钻机开挖的竖井导井断面不能满足溜渣需要时，应自下而上先将导井扩挖至直径 3m 左右，再自上而下进行扩挖。特大断面或断面形状不规则的竖井，宜布置至少 2 个溜渣导井。扩挖的导井应根据围岩情况判定是否需要临时支护。

10.6 支护

滑膜支护同正井法。

10.6 衬砌

无。

11 辅助工程措施

11.1 一般规定

11.1.1 竖井穿过自稳性较差的地层、断层破碎带、流沙层、砂砾层及富水段时，可采取下列辅助工程措施：

1 地表注浆、挖除换填、旋喷桩、超前小导管注浆、超前钻孔注浆、小导管径向注浆、钢板护筒、插板等围岩稳定措施。

2 正井法施工可采用超前围岩预注浆堵水、围岩径向注浆堵水等涌水处理措施。反井法施工可采用超前钻孔排水等涌水处理措施。

11.2 地层稳定措施

11.2.1 在地层松散、井壁自稳能力弱的井口段可采用地表注浆加固地层。地表注浆应符合相关规范。

11.2.2 在断层破碎带、流沙层、砂砾层的井身段可采用工作面超前小导管注浆加固地层。超前小导管注浆应符合相关规范。

11.3 涌水措施

11.3.1 竖井涌水处应当坚持“预测预报、有疑必探、先探后掘”的基本原则，遵循“以堵为主、排堵结合、安全环保”的设计原则，采取“防、堵、疏、排、截”的综合防治措施，结合竖井的施工工法、地质条件、地下水存贮补给形式、竖井结构形式和环保要求等合理选择防治水措施。

11.3.2 地下水丰富且排水时挟带泥沙的破碎带、风化层，超前钻孔揭露的可能存在涌水突泥隐患的段落，排水后对周边地表水和地下水影响较大的或排水后引起地表沉降对竖井结构安全有影响的地段可采用超前预注浆堵水。涌水、涌泥，地下水丰富的断层破碎带等对施工安全威胁较大的段落，可采用超前帷幕注浆。

11.3.3 地下水丰富但围岩自稳性较好，排水对周边地表水和地下水影响较大的，出水量稳定对施工现场影响较大的可采用径向注浆堵水。

11.4 冻结法施工

11.4.1 冻结法施工适用于不稳定冲积层、基岩含水层、松软地层、断层等复杂地层。

11.4.2 冻结深度应根据地层埋藏条件确定，并应深入稳定的不透水基岩 10m 以上；基岩下部涌水量大于 $30\text{m}^3/\text{h}$ 时，应延长冻结深度至含水层底部 10m 以上。

11.4.3 冻结孔、测温孔、水位孔宜采取钻、测纠相结合的钻进工艺，应符合下列规定：

1 在钻进过程中，应每隔 30~50m 测斜一次，发现偏斜率超过设计值时，应进行纠偏。

2 钻孔偏斜应符合下列规定：

1) 位于冲积层的钻孔不宜大于 0.3%。

2) 位于风化带及含水基岩的钻孔，不宜大于 0.5%。

3 钻孔成孔后，应每隔 50m 进行成孔测斜，并绘制成孔偏斜平面投影图。

11.4.4 冻结全过程必须确保冻结盐水循环系统和每个冻结器的安全运转。

11.4.5 井筒开挖应具备以下条件：

1 水位观测孔内的水位应有规律的上升并溢出管口，当水位观测孔遭受破坏时井筒内的水位应有规律地上升。

-
- 2 根据测温孔实测温度分析，判断井筒浅部不会发生较大片帮和不同深度、不同土层的冻结壁厚度和强度可以满足设计和施工要求。
 - 3 地面的提升、搅拌、运输、供热等辅助设施均能适应井筒施工的要求。

条文说明

冻结法施工参考《煤矿井巷工程施工规范》GB50511 确定。

征求意见稿

附录 1 伞钻技术参数

伞形钻架基本参数

基本参数		型 号		
		FJD-4	FJD-6	FJD-9
钻臂数量		4	6	9
适用井筒直径 m		4.5~6.5	5.5~8.0	6.5~8.0
收拢后外形尺寸 m	高度	≤5.30	≤7.20	≤7.70
	外接圆直径	≤1.50	≤1.65	≤1.75
一次钻凿岩炮孔的深度 m		≥3.0	≥4.2	≥4.2
周边垂直炮孔圈径 m		7.2	8.0	8.8
伞钻重量 t		≤5.0	≤7.5	≤10.5
总耗风量 m ³ /min		50	80	100
液压系统工作压力 kgt/cm		55	70	70
压岩机	型号	YGZ-70	YGZX-55 YGZ-70	YGZ-70
	数量	6	6	9
	钎尾规格	六角 25×159	30 圆钎杆×42 六角 25×159	30 圆钎杆×42 六角 25×159
	钎头直径	40-45	42-50	38-55

附录 2 反井钻机技术参数

反井钻机主要型号和技术参数

钻机原型号	ZFYD1200	强力 ZFYD1200	ZFYD1500	ZFY2000	ZFYD2500 ZFY2500	ZFY3000
钻机新型号	ZFY1.2/20 /200D	ZFY1.2/40 /300D	ZFY1.5/40 /100D	—	ZFY2.5/100 D	—
导孔直径 (mm)	200	250	250	250	250 (270、 311)	311
扩孔直径 (mm)	1200	1200~1500	1500~ 1800	2000	2000~2500	3000
钻孔深度 (mm)	200	300	100	300	100	150
钻杆直径 (mm)	150	176	200	200	200 (228、 250)	250
导孔钻速 (r/min)	0~52	0~35	0~35	0~33	0~33	0~18
扩孔钻速 (r/min)	0~26	0~17	0~17	0~12	0~12	0~9
扩孔额定扭矩 (kN·m)	14.9	22	22	68.5	68.5	137.7
扩孔最大扭矩 (kN·m)	21.5	44	44	98	98	180
钻头许用最大推 力 (kN)	196	222.5	222.5	222.5	222.5	264
扩孔最大拉力 (kN)	440	1154	1154	2200	1470 (1800)	2200
钻孔倾角 (°)	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90
适用岩石硬度	F≤10	F≤10	F≤10	F≤14	F≤10 (F≤14)	F≤14
主机运搬重量 (包括搬运车) (t)	3.65	6.5	6.5	9.41	9.41	10.2
主机搬运尺寸 (长宽高) (mm)	2160×940 ×1543	2309×1142 ×1704	2309×1142 ×1704	2473×1420 ×2089	2473×1420 ×2089	2473×1420 ×2089
主机工作尺寸 (长宽高) (mm)	1915×1020 ×2700	2265×1245 ×3000	2265×1245 ×3000	2690×1590 ×3800	2690×1590 ×3100 (3800)	2690×1590 ×3800
钻杆有效长度 (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
钻孔偏斜率 (%)	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
电机功率 (kW)	66	86	86、121	161	161	161
驱动方式	全液压驱动					

附录 3 常用凿井井架型号与技术参数

常用凿井井架型号与技术参数

井架 型号	井筒 深度 (m)	井筒直径 (m)	主体架角 柱跨距 (m)	天轮平台 尺寸 (m)	基础顶 面至翻 渣台高 度 (m)	井架 总质量 (t)	悬吊总荷重 (kN)	
							工作时	断绳时
I	200	4.6~6.0	10×10	5.5×5.5	5.0	25.649	666.4	901.6
II	400	5.0~6.5	12×12	6.0×6.0	5.8	30.584	1127.0	1470.0
III	600	5.5~7.0	12×12	6.5×6.5	5.9	32.284	1577.8	1960.0
IV	800	6.0~8.0	14×14	7.0×7.0	6.6	48.215	2793.0	3469.2
新 IV	800	6.0~8.0	16×16	7.25×7.25	10.4	83.020	3243.8	3978.8
V	1100	6.5~8.0	16×16	7.5×7.5	10.3	98.000	4184.6	10456.6

附件 4 井架部分算例

某山岭隧道通风竖井，井径 8.5m，井深 560m，围岩级别为Ⅲ～Ⅴ级，Ⅲ级～Ⅳ级占比约为 90%，围岩主要为中粗粒黑云母花岗岩。主要提升设备及井架的计算如下：

1 凿井井架所需最小高度

根据井筒直径与井筒深度，选用标准 IVG 型凿井井架，井架主要技术参数如下：

主体架角柱跨距：15.3m×15.3m

天轮平台尺寸：7.0m×7.0m

由基础顶面至天轮平台上面的高度：26.4m

由基础顶面至第一层平台的高度：10m

井架最小高度计算公式：

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0.5R$$

式中： h_1 —翻渣台高度，10m；

h_2 —吊桶翻转所需高度，2.5m；

h_3 —吊桶、钩头、连接装置和滑架的总长度，6.5m；

h_4 —提升过卷高度，4m；

R —提升天轮的公称半径，1.25m；

$$H=10+2.5+6.5+4+0.5\times1.25=23.625\text{ (m)} < 26.4\text{ (m)}$$

所选井架满足施工要求。

2 提升悬吊系统

(1) 提升绞车

主提升绞车选择 JK-3.0/20 型凿井绞车。绞车主要技术参数如下：

绞车最大静张力：130kN；静张力差：90kN

滚筒宽度：1700mm；最大提升速度：3.88m/s

电机功率：800KW

副提升绞车选择 JK-2.5/20 型凿井绞车。绞车主要技术参数如下：

绞车最大静张力：90kN；静张力差：90kN

最大提升速度：4.88m/s；滚筒宽度：1700mm

电机功率：480KW

(2) 提升钢丝绳：

选择 18×7-Φ31-170 特型不旋转钢丝绳。

(3) 提升容器选择

主提升容器选用 4.0m³（直径 170cm）座钩式吊桶；井深 400m 以上，副提升容器选用 3.0m³（直径 150cm）座钩式吊桶，井深 400m 以下，副提升容器选用 2.0m³座钩式吊桶。

(4) 强度验算

1) 提升机验算（副提绞车）

①滚筒直径验算

根据规程规定： $D/d \geq 60$ ， $D/\delta \geq 900$

式中：D—滚筒直径 mm；

d—钢丝绳直径 mm；

δ—钢丝直径 mm；

则：绞车

$$D/d = 2500/31 = 80 > 60, D/d = 3000/34 = 88 > 60$$

$$D/\delta = 2500/2.0 = 1250 > 900, D/\delta = 3000/2.0 = 1500 > 900$$

经计算绞车滚筒直径均符合要求。

②滚筒宽度验算

单层缠绕宽度计算公式：

$$B = [(H_0 + 30) \div (\pi \times D) + 3 + n'](d + \varepsilon)$$

式中：B—计算宽度 mm；

H₀—最大提升高度 mm；

30—实验绳长度 mm；

D—滚筒直径，2.5m；

3—磨擦圈数 mm;

d—钢丝绳直径, 31mm;

ε —钢丝绳排列间隙, 3;

n' —错绳圈数, 3;

则: $B=[(460+30)/(3.14 \times 2.5)+3+3](31+3)=2326$ (mm)

缠绕层数的计算公式:

$$n = B/BT$$

式中: BT—所选绞车滚筒宽度 mm;

n—计算缠绕层数。

则: $n=2326/1500=1.551$

绞车缠绕层数为 2 层, 滚筒宽度符合要求。

③提升机强度验算

最大静张力验算公式:

$$F_j = Q + Q_Z + H_0 \times PSB$$

式中: F_j —计算最大静张力 kg;

Q —提升物料重量 kg;

Q_Z —提升容器及连接装置重量 kg;

H_0 —钢丝绳最大悬垂高度, 577m;

PSB —钢丝绳单位长度重量, 4.07kg/m;

最大重物为挖掘机提升时, 挖掘机自重: 5500kg,

$$F_j=5500+215+250+577 \times 4.07=8313\text{kg} < 9000\text{kg}$$

提升绞车均符合要求。

2) 钢丝绳安全系数验算

钢丝绳安全系数可按下式计算:

$$m = \frac{Q_P}{F_j}$$

式中: m—计算安全系数;

Q_P —钢丝绳最大破断力总和, 60650kg;

F_j —提升物料的最大静张力, 8313kg;

挖掘机提升时:

$$m=60650/8313=7.3>6.5$$

安全系数满足《煤矿安全规程》第四百零八条 K 取 6.5 的要求。

(5) 悬吊方式及设备

悬吊系统考虑吊盘、压风管、溜灰管、爆破电缆、风筒、信号电缆的悬吊，吊盘设 6 台稳车悬吊，溜灰管设 1 台稳车悬吊，压风管设 1 台稳车悬吊，风筒设 1 台稳车悬吊、爆破电缆、信号电缆及动力电缆与吊盘悬吊，吊盘的两根悬吊绳兼做稳绳，具体见下表。

竖井提升悬吊设备一览表

序号	设备名称	提 绞 设 备								
		设备型号			钢 丝 绳			天 轮		
		规格型号	单位	数量	规格型号	单位	数量	规格型号	单位	数量
1	主提升	JK-3.0/20	台	1	18×7-34-1770	根	1	Φ3000	个	1
2	副提升	JK-2.5/20	台	1	18×7-31-1770	根	1	Φ2500	个	1
3	吊 盘	JZ-10/800	台	6	6×19-31-1770	根	4	Φ600	个	6
4	压风管	2ZJ-10/800	台	1	6×19-31-1770	根	2	双槽 Φ600	个	1
5	溜灰管	2ZJ-16/800	台	1	6×19-34-1770	根	2	双槽 Φ600	个	1
6	安全梯	JZ-5/800	台	1	6×19-24-1770	根	1	Φ600	个	1
7	风筒	2ZJ-10/800	台	1	6×19-26-1770	根	2	双槽 Φ600	个	1

本规程用词用语说明

1 执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

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 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。