

ICS 93.080.20
CCS P 66

DB51

四 川 省 地 方 标 准

DB/T -1

公路隧道竖井技术规程

Technical regulation for highway tunnel shaft

1-08- 02 发布

1 - 09 - 01 实施

四川省市场监督管理局 发 布

目次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	6
5 竖井工程调查与勘察	8
5.1 一般规定	8
5.2 竖井工程调查	9
5.3 竖井工程工预可勘察	9
5.4 竖井工程初步勘察	9
5.5 竖井工程详细勘察	10
6 竖井设计	11
6.1 一般规定	11
6.2 井壁结构计算方法	12
6.3 普通凿井法井筒衬砌设计	13
6.4 冻结凿井法井筒衬砌设计	17
6.5 井筒防排水设计	21
6.6 井筒内隔板设计	22
7 竖井施工提升与悬吊作业	23
7.1 一般规定	23
7.2 提绞设备	24
7.3 凿井设备的悬吊与运行	25
8 竖井掘进与衬砌	28
8.1 一般规定	28
8.2 竖井施工测量	29
8.3 锁口施工	30
8.4 表土层施工	30
8.5 基岩施工	30
8.6 冻结法施工	32
8.7 井筒注浆	35
9 竖井工程质量检验与验收	37
9.1 一般规定	37
9.2 掘进工程	38
9.3 混凝土结构支护工程	38
9.4 冻结施工工程	39
9.5 防治水工程	41
竖井施工辅助作业与环境控制	41

10.1 信号、通信及照明	41
10.2 施工排水与供水	42
10.3 施工供高压风	43
10.4 施工通风	44
10.5 施工供电与混凝土搅拌	44
10.6 作业环境控制	45
附 录 A（资料性） 混凝土井壁内力及承载力计算	46
附 录 B（资料性） 井架（塔）影响段井壁计算	53
附 录 C（资料性） 竖井施工机械化配置	59
附 录 D（资料性） 竖井提绞设备选型及验算	62
附 录 E（资料性） 竖井施工质量检验工程划分	67

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由四川省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川川交路桥有限责任公司、四川巴陕高速公路有限责任公司、西南交通大学、陕西煤业化工建设（集团）有限公司矿建三公司。

本文件主要起草人：林国进、唐协、张睿、田尚志、向波、李泳伸、周雄华、方勇、卓军波、何佳、张兆杰、许圣祥、田志宇、杨枫、朱长安。

本文件首次发布。

公路隧道竖井技术规程

1 范围

本文件规定了公路隧道竖井的术语和定义、总体要求、竖井工程勘察与调查、竖井设计、竖井施工提升与悬吊作业、竖井掘进与衬砌、竖井工程质量检验与验收、竖井施工辅助作业与环境控制等方面的具体要求。

本文件适用于四川省境内设计基本地震峰值加速度值小于或等于0.40g地区、以钻爆法开挖为主的新建公路隧道通风竖井及辅助施工竖井，公路改扩建竖井和用于其它用途的竖井参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GBZ 159 工作场所空气中有害物质监测的采样规范
- GBZ/T 192（系列标准） 工作场所空气中粉尘测定
- GBZ/T 300（系列标准） 工作场所空气有毒物质测定
- GB/T 1447 纤维增强塑料拉伸性能试验方法
- GB/T 1448 纤维增强塑料压缩性能试验方法
- GB/T 1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法
- GB/T 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法
- GB/T 3356 定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法
- GB/T 7679.3 矿山机械术语第3部分 提升设备
- GB 16413 煤矿井下用玻璃钢制品安全性能检验规范
- GB 18871 电力辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB/T 20961 单绳缠绕式矿井提升机
- GB/T 25706 矿山机械产品型号编制方法
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护技术规范
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50213 煤矿井巷工程质量验收规范
- GB 50384 煤矿立井井筒及硐室设计规范
- GB 50385 矿山井架设计标准
- GB 50511 煤矿井巷工程施工规范
- GB 50653 有色金属矿山井巷工程施工规范
- GB 50915 有色金属矿山井巷工程设计规范
- GB 51036 有色金属矿山井巷工程质量验收规范

GB 51227 立井钻井法施工及验收规范
GB/T 51277 矿山立井冻结法施工及质量验收标准
AQ 1029 煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范
AQ 1083 煤矿建设安全规范
AQ 2062 超深竖井施工安全技术规范
JB/T 12193 凿井提升机
JGJ 8 建筑变形测量规范
JGJ 120 建筑基坑支护技术规程
JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
JTG 3370.1 公路隧道设计规范
JTG/T 3374 公路瓦斯隧道设计与施工技术规范
JTG B01 公路工程技术标准
JTG C20 公路工程地质勘察规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTG F90 公路工程施工安全技术规程
JTG/T D70/2 公路隧道通风设计细则
TB 10049 铁路工程水文地质勘察规范
YB 4391 冶金矿山井巷工程施工质量验收规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

竖井 vertical shaft

在地层中开凿直通地面的竖直通道，服务于通风或施工等，竖井井筒包括锁口、井身和马头门。

[来源：JTG 3370.1-2018，2.1.10，有修改]

3.2

锁口 Locking ring

施作在井口，用于防止井口坍塌的结构。

3.3

马头门 ingate

竖井与井下各联络道连接处的过渡段。

[来源：YB 4391-2013，2.0.4，有修改]

3.4

井壁 lining

在井筒围岩表面构筑的具有一定厚度和强度、维护井筒稳定和安全的支护体，一般为混凝土或钢筋混凝土现浇而成。

[来源：GB 50915-2013，2.1.5]

3.5

壁座 shaft crib

在井筒围岩中开凿并构筑的混凝土或钢筋混凝土基座。

3.6

普通凿井法 conventional shaft sinking method

在稳定的或含水较少的地层中，自地表往下采用钻爆法或其它常规手段凿井的作业方法。

[来源：GB 50384-2016，2.1.5，有修改]

3.7

特殊凿井法 special shaft sinking method

在含水或不稳定的地层中，采用特殊技术、装备和工艺直接形成井筒或对地层进行处理后，再采用普通凿井法的一种作业方法，主要有冻结凿井法、钻井凿井法、沉井凿井法和帷幕凿井法等。

[来源：GB 50384-2016，2.1.6，有修改]

条文说明：

经调研目前煤矿行业在立井（竖井）建井技术上领先于其它行业，普通凿井法在基岩深度小于 1000m 的井筒施工中非常成熟；冻结凿井法和钻井凿井法适用于表土层厚度小于 500m、冻结或钻井凿井深度小于 600m 的井筒施工。煤矿行业特殊凿井法主要采用冻结法。

钻井凿井法分为反井钻井凿井法和正井盲井钻井凿井法，反井钻井凿井法由于反井钻机难以一次钻成一个井筒，一般通过反井钻机钻凿导孔，然后刷大至设计直径，由于局限于设备扭矩等能力，凿井深度有限；正井盲井钻井凿井法是根据井筒设计的要求，采用竖井钻机在设计的位置上，钻凿一个满足的设计深度和直径的井孔，并进行永久支护。公路行业个别深度不大竖井采用过反井钻井凿井法施工，但失败数多于成功数，正井盲井钻井凿井法施工直径有限，在公路竖井中极为罕见，如果涉及可参考《煤矿立井井筒及硐室设计规范》GB 50384-2016 和《立井钻井法施工及验收规范》GB 51227-2017。

沉井凿井法是在不稳定含水地层中开凿井筒的一种特殊凿井方法，适用于表土层厚度小于 200m 的井筒施工，我国采用沉井凿井法施工的井筒多在 20 世纪 50 年代~70 年代末，20 世纪 80 年代以来，采用沉井凿井法施工的立井井筒较少。

帷幕凿井法是在不稳定含水地层中开凿井筒的一种特殊凿井方法，适用于表土层厚度小于 60m 的井筒施工。我国从 1974 年开始引入煤矿建井中，20 世纪 70 年代~80 年代中期采用帷幕凿井法共施工了 24 个井筒，最大帷幕深度为 56m，20 世纪 90 年代至今，尚无采用帷幕凿井法施工立井井筒的案例。

3.8

冻结凿井法 freezing shaft sinking method

在不稳定含水地层中修建竖井时，借助人工制冷手段暂时加固地层和隔断地下水后再进行普通凿井的作业方法。

[来源：GB 50384-2016，2.1.5，有修改]

3.9

单层井壁 single-layer shaft lining

分段一次性（或连续一次性）施工而成，根据需要由单一或多种材料复合成型的地下筒形构筑物。

[来源：GB 50384-2016，2.1.7]

3.10

双层井壁 double-layer shaft lining

由外层井壁和内层井壁组合而成。外层井壁由上而下随井筒掘进段施工而成，内层井壁由下而上施工而成。

[来源：GB 50384-2016，2.1.8]

3.11

薄壁圆筒 thin shell tube

壁厚与圆筒外半径之比小于规定数的圆筒。竖井井筒中，井壁厚度 t 与井筒井壁外半径 r_w 之比小

$\frac{t}{r_w} < \frac{1}{10}$) 时称为薄壁圆筒。

[来源: GB 50384-2016, 2.1.13]

3.12

1/10 (即

厚壁圆筒 thick shell tube

壁厚与圆筒外半径之比大于或等于规定数的圆筒。竖井井筒中, 井壁厚度 t 与井筒井壁外半径 r_w 之

比大于或等于 1/10 (即 $\frac{t}{r_w} \geq \frac{1}{10}$) 时称为厚壁圆筒。

[来源: GB 50384-2016, 2.1.14]

3.13

短段掘砌作业 operation by short section excavation and lining

竖井工程施工在同一掘砌和支护循环内, 短段掘进与支护两大工序交替进行施工的作业方式。

[来源: GB 50511-2010, 2.0.6, 有修改]

3.14

表土层 topsoil

覆盖于基岩之上的松散堆积物统称为表土层。

[来源: GB 50384-2016, 2.1.4]

3.15

竖向附加力 vertical additional surface force

地层因疏水等原因相对于井壁产生沉降时, 地层作用于井壁外侧面上的竖直向下的面力。

[来源: GB 50915-2013, 2.1.5]

3.16

矿井提升机 mine hoist

卷筒直径 2m 及 2m 以上, 通过卷筒旋转带动与钢丝绳相连的提升容器竖井中提升、下放人员及物料的机电设备, 简称提升机。

[来源: GB/T 7679.3-2005, 2.1.1.1]

3.17

凿井绞车 sinking winder

卷筒直径 2m 以下 (不包括 2m), 通过卷筒旋转带动与钢丝绳相连的提升容器或辅具在竖井中提升、下放人员和物料以及进行作业的机电设备, 简称稳车。

[来源: GB/T 7679.3-2005, 2.1.1.2]

3.18

容量绳 rope capacity

缠绕在矿井提升机或凿井绞车卷筒上一定长度的钢丝绳。

[来源: GB/T 7679.3-2005, 2.2.23, 有修改]

3.19

凿井井架 sinking shaft headframe

用于悬挂凿井提升容器和井筒内各种凿井设备和设施的工程结构物。

[来源: AQ 1083-2011, 3.1]

3.20

天轮平台 sheave wheel platform

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

[来源: AQ 1083-2011, 3.3]

3.21

翻碴台 strike board

为了将凿井产生的碴石和废弃物等排出井外, 在井架上设置的专用工作平台。

[来源: AQ 1083-2011, 3.4, 有修改]

3.22

罐道 guide

竖井井筒中提升容器运行的导向设施。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、型钢组合罐道、冷弯方形型钢罐道、冷拔方管型钢罐道、玻璃钢复合罐道等。

[来源: GB 50384-2016, 2.1.3]

3.23

导向绳 guide rope

竖井施工时, 用作提升容器导向、限制提升容器摆动量的钢丝绳; 也称为钢丝绳罐道、罐道稳绳、稳绳和罐道绳。

[来源: AQ 2062-2018, 3.4]

3.24

提升容器 sinking head frame

竖井施工时, 用于升降人员和物料等的容器, 主要包括罐笼和吊桶等。

[来源: AQ 2062-2018, 3.3]

3.25

安全间隙 safty spacing

提升容器与周围的提升容器、井壁、管路、电缆、吊盘喇叭口和封口盘出口等的最小距离。

[来源: AQ 2062-2018, 3.5]

3.26

吊盘 stage

用于竖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。

[来源: 改写AQ 1083-2011, 3.10]

3.27

封口盘 shaft cover

竖井施工期间, 在井上口安装的便于人员工作和防止坠物的封盖, 一般为钢结构。

[来源: AQ 1083-2011, 3.5]

3.28

井盖门 shaft door

在封口盘提升吊桶通过口上安装的能够开闭的盖门。

[来源: AQ 1083-2011, 3.6]

3.29

滑架 sliding guide

装于吊桶上方, 对吊桶起导向和保护作用的设施。

[来源: AQ 1083-2011, 3.15]

3.30

临时改绞 temporary winding modification

将吊桶提升改为临时罐笼提升。

[来源: AQ 1083-2011, 3.17]

3.31

关键项目 dominant item

对安全、耐久性、环境保护和使用功能等起决定性作用的检验项目。

[来源: JTG F80/1-2017, 2.0.3, 有修改]

3.32

一般项目 general item

除关键项目外的检验项目。

[来源: JTG F80/1-2017, 2.0.4]

3.33

外观质量 quality of appearance

通过观察和必要的测试所反映的工程外在质量和功能状态。

[来源: JTG F80/1-2017, 2.0.5]

4 基本规定

4.1 竖井设计使用年限根据使用功能确定,应符合下列规定:

- 作为运营通风等的永久性竖井应与隧道主体结构设计使用年限一致,具有规定的强度、稳定性和耐久性,建成的竖井应能适应长期运营的需要,方便维修作业。
- 仅作为辅助施工通道等的临时竖井,设计使用年限根据工期要求确定且不小于一年,应确保使用期的安全,使用完后应妥善处理。

;

根据 JTG B01《公路工程技术标准》补充设计使用年限,作为运营通风竖井应隧道主体结构保持一致,作为辅助施工竖井参考 JGJ 120《建筑基坑支护技术规程》基坑设计使用年限要求不小于一年,使用完后应参照《煤矿安全规程》(2016版)第一百三十一条填实或综合利用等。

4.2 竖井位置的选择应根据其使用功能、所处的地形与地质条件、环境保护区要求、施工场地布置、施工便道和弃渣等因素,从安全性、可实施性和经济性等方面经综合比较后确定,并应符合下列规定。

- 竖井应避免在岩溶发育区、富含水层、全新活动断裂、采空区、流砂层和滑坡地层等不良地质中设置。
- 竖井井口的布置应符合下列规定:
 - 井口位置的高程高出洪水频率为 1/100 的水位至少 1.0m。
 - 井口应避免受滑坡、崩塌、雪崩和泥石流等不良地质灾害的威胁。
 - 井口地形具备竖井施工布置提升系统与运营设置构(建)建筑物的场地条件。

;

公路竖井主要作为隧道运营通风风道,应尽可能选择深度较浅的竖井,竖井施工便道须满足大型车辆运输提升系统等机械设备的条件。竖井宜避开不良地质,确保安全。

公路竖井一般布置在地形低洼处,井口位置应避免布置在沟心,应充分考虑洪水淹没的危害;井口的布置应避免受周边滑坡和崩塌等不良地质的危害。另外,竖井施工在井口布设提升系统和后期运营需要在井口设置风塔或风机房等构(建)建筑物,井口需要较开阔的场地。

4.3 竖井井筒宜采用圆形断面，断面尺寸应根据使用功能、设计使用年限、所处工程地质与水文条件、凿井方法和掘砌方式等因素确定。

：

圆形断面井筒具有承受荷载性能好、通风阻力小、服务年限长、维护费用少以及便于施工等优点；作为观光电梯井也可根据需要采用矩形断面。断面尺寸应根据通风的需要、施工空间或地质条件等因素确定。

4.4 竖井凿井方法应根据井筒直径、深度、工程地质与水文条件等因素，经过技术经济方案比较后确定，在较大范围的表土层、软岩层、破碎岩层或富水地层等不良地质中宜采用冻结凿井法。

：

公路竖井工程主要采取自地面往下普通凿井法凿井，钻爆开挖，提升出碴；小范围局部不良地质段，可采取注浆和喷锚临时支护等措施加固后再采取普通凿井法。对于竖井深度一般不超过 300m，井底有施工通道，岩体自稳性能较好且通常为非坚硬岩，无岩溶等重大不良地质时可采用反井钻机法施工，即先自地面竖井范围钻直径 20 厘米左右的导向孔，通过导向孔安装连接井底和地面的反井钻机，自井底往上钻直径 2 米左右的留碴孔，再从地面自上而下采用钻爆法扩挖，通过留碴孔往井底出碴，扩挖成井阶段除了不需要提升出碴外，其余均与普通凿井法一致，仍需要提升等施工机械设备。目前由于在导向孔偏斜控制和反向钻留碴孔等施工方面要求高，采用反井钻机施工竖井的成功案例较少，而且在煤矿和冶金矿山等国家标准中几乎未提及，因此本规程不推荐。在有条件采用反井钻机时，可重点加强自上而下的钻孔测斜控制和自下而上反钻井施工，总结经验，形成技术体系。

当竖井穿越较大范围的表土层、软岩层、破碎岩层或富水地层等不良地质中采用冻结凿井法施工，借助人工制冷手段暂时加固地层和隔断地下水，再进行普通凿井法施工，确保快速安全成井。

4.5 竖井掘砌方式与井筒支护结构型式应相互适应，宜采用模筑混凝土衬砌和短段掘砌作业方式。

：

现行 JTG 3370.1-2018《公路隧道设计规范》要求竖井宜采用喷锚衬砌+模筑混凝土衬砌组成的复合式衬砌，JTG T 3660-2020《公路隧道施工技术规范》要求“竖井永久性支护可在竖井开挖完成后自下而上分节施工”，公路隧道竖井通常采用自地面往下长段单行掘砌作业方式，即长段竖井开挖完成时只有喷锚衬砌，喷锚衬砌应有足够的强度才能保障竖井的安全稳定。另外，喷锚衬砌表面凹凸不平，与吊盘之间的间隙不均，喷锚衬砌一旦剥落掉块，易通过较大间隙伤人，存在一定的安全风险。

为保障井壁围岩的稳定性，充分发挥围岩与井壁的摩擦力，和控制井壁与吊盘之间较均匀合理的间隙，开挖后有必要采用模筑混凝土衬砌代替喷锚衬砌，也减少了喷锚衬砌的工序。实践证明，井下爆破时井盖门打开，爆破冲击波往上，对液压模板保护下浇筑的混凝土井壁影响小。因此，模筑混凝土衬砌和短段掘砌作业是一种安全和高效的支护和掘砌方式。

4.6 作为隧道运营通风的竖井，多个风道可合设于一座竖井内，通过设置隔板实现各风道独立。

：

采用一座竖井作为一个风道时，当断面积较小，造成施工困难，而且多个风道对应多座竖井，施工安全风险增大，有时由于井口场地限制，无法同时施工，严重制约施工进度。公路竖井内加隔板实现风道独立，技术可行，经济合理。

4.7 竖井施工应纳入隧道总体施工组织中，根据功能定位选择合理的施工时机，一次施工完成；竖井辅助主洞施工时，应综合成本和效率等选择合理的运输方式，宜对竖井提升进行临时改绞，临时改绞必须编制施工专项设计。

：

如竖井辅助隧道施工，应尽早施工，如仅仅作作为运营通风等功能的竖井，应尽量安排在与隧道同步施工到竖井底部的时间节点，减少竖井机械抽水。竖井井筒未施工完且中断施工后，应继续机械抽水，减少地下水对竖井结构的影响。

必须编制施工专项设计。

井筒施工提升采用临时设计与辅助阶段应分别进行提坠和落井体、编制坠体坠落报告; 竖井施工前应编制专项施工方案, 专项施工方案中包括施工计划、施工技术及工艺、施工安全保证措施和应急预案等。

根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》和 JTG T 3660《公路隧道施工技术规范》基本规定要求, 竖井施工应编制专项施工方案, 专项施工方案中包括施工计划、施工技术及工艺、施工安全保证措施和应急预案等。

4.9 竖井施工期间, 井筒内必须设有在提升设备故障时专供人员出井的安全设施和出口; 永久性竖井应设置便于后期运营养护的通道。

根据《煤矿安全规程》(2016 版) 第四十条, 竖井施工期间通常采用两套提升系统, 同时还设置安全梯稳车作为提升设备故障时应急提升人员的安全设施。

根据 JTG 3370.1-2018《公路隧道设计规范》关于竖井的要求, “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”。条文解释为“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故和停电时可作为逃生、处理卡罐等事故的主要设施”。但根据调查, 作为隧道运营通风竖井, 如设置永久梯子间, 一方面阻碍通风, 另一方面梯子间本身难以维护, 后期使用存在安全隐患, 因此公路竖井可不设置永久性梯子间, 如竖井需要设置梯子间, 可参照 GB 50384《煤矿立井井筒及洞室设计规范》要求设置。

为满足永久性竖井后期运营井筒检修需要, 应在井口预留后期进行检修的通道口, 可利用无人机高清摄影和拍照进行检查, 必要时采用升降设备进入竖井进行维修养护。

4.10 竖井建设应实行动态设计与信息化施工, 制订并落实以地质综合分析为核心的超前地质预报方案和监控量测方案, 及时动态调整设计与施工。

竖井建设属于隐蔽性工程, 主要依赖超前地质预报和监控量测反馈进行动态设计和信息化施工, 做到安全、经济与合理。要充分利用竖井勘察钻探和开挖揭露的地质状况, 以地质综合分析为核心进行超前地质预报。

4.11 竖井勘察、设计与施工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、新工艺和新工法。

竖井建设的方向是综合机械化凿井, 无人或少人下井作业, 做到安全、高效与耐久。

4.12 竖井建设必须符合国家有关国土管理、环境保护和水土保持等法律与法规要求, 应保护原有植被, 妥善处理弃渣和污水。

5 竖井工程调查与勘察

5.1 一般规定

5.1.1 公路竖井工程地质勘察应与隧道勘察相结合, 统筹实施, 其勘察阶段、方法与内容等应遵循 JTG C20 的规定。

竖井属于公路隧道主体工程的一部分，本规程未述及的勘察内容及要求，应主要遵循 JTG C20《公路工程地质勘察规范》，如竖井井筒围岩分级及稳定性评价，瓦斯有害气体勘察等；竖井井口地面附属设施勘察应按照 GB 50021《岩土工程勘察规范》相关要求执行。

5.1.2 公路竖井穿越岩溶或富水地层时应开展水文地质专项勘察，查明竖井区水文地质条件，分析竖井工程建设对环境影响，评估地下水对竖井施工的安全风险，提出建议措施。

竖井施工对地下水疏排明显，且地下水对于施工安全影响大，岩溶或富水地层开展水文地质勘察工作尤为重要，水文地质专项勘察可参照 TB 10049《铁路工程水文地质勘察规范》实施。

5.1.3 公路竖井工程对应于各勘察阶段应开展水文、气象和环境等调查，调查内容等应遵循 JTG 3370.1 的规定。

竖井勘察除满足 JTG C20《公路工程地质勘察规范》要求的工程地质调绘、物探、钻探及测试等工作内容外，应加强竖井调查工作，主要指在收集相关资料（含勘察资料）的基础上对现场情况进行核对竖井可实施性与合理性，包括地形地质条件、环境保护区、施工场地和便道等。

5.2 竖井工程调查

5.2.1 邻近水库、河流、湖泊、湿地或冲沟的井口，调查核实最高水位，调查分析临水斜坡地质结构特征及其稳定性；水文地质条件复杂时，除进行调查、勘探和试验外，必要时进行水文地质动态观测或专题研究。

5.2.2 工程环境调查应符合下列规定：

- 调查环境保护区级别及范围，评价竖井施工、排风和出碴等对周边环境的影响。
- 调查竖井井口施工场地布设及便道条件，井口施工场地应满足提升等设施布置的需要，施工便道应满足运输提升设备等大件运输的条件。

5.3 竖井工程工预可勘察

5.3.1 竖井预可和工可勘察宜以资料收集和工程地质调绘为主，初步查明竖井位置地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、不良地质与特殊岩土的类型、性质、分布范围及发育规律等。

5.3.2 可行性研究阶段勘察报告应提供下列资料：

- 对于影响公路隧道工程方案的竖井工程应参考初勘成果资料的要求。
- 其它公路竖井工程的勘察报告包含在全线勘察报告中，重点说明竖井工程地质和水文地质条件、新构造运动、地震动参数、井口场地稳定性和不良地质与特殊性岩土情况等内容。

5.4 竖井工程初步勘察

5.4.1 竖井初步勘察应在充分利用公路主体工程的调绘、物探、钻探和测试等成果基础上，采用遥感解译、工程地质调绘、物探及必要的钻探等方法，基本查明以下内容：

- 竖井区地形地貌、地层岩性、地质构造。
- 表土层类型、性质及厚度。
- 特殊性岩土的类型、分布范围及工程地质性质等。
- 高地应力、涌突水（泥）和瓦斯等不良地质的类型、分布范围、规模、形成条件、发生及发展的规律等。
- 井口临近沟（河）谷的水力特征、洪（枯）水位高程、冲淤特征等。
- 地下水的类型、埋深、赋存、补给、排泄及径流条件。

竖井勘察工作应纳入隧道主体勘察一并考虑,隧道洞身深孔应尽可能布设在初拟竖井或临近范围,钻孔钻进、试验要求参见详勘内容。

2 工程地质调绘的比例尺 1:2000,范围为竖井中心半径不小于 200m。若竖井所在区域崩塌、滑坡、泥石流等不良地质发育时,应根据实际情况确定调绘范围;地质条件复杂、水文地质条件复杂、不良地质强烈发育地段,应根据地形地质条件布置 1~2 条控制性勘探剖面,每 3 竖井应利用物探剖面成果点,若竖井地质条件复杂、不良地质强烈发育时,可根据地形条件同时满足场地稳井处采用交叉分布深测线进行解译。深部解译应与隧道勘察相结合,采用(可控源)音频大地法;浅部解译包括电测深工程地质法应提供详实资料:

- 文字说明:对竖井工程的地质条件和水文地质条件进行说明,分段评价说明竖井围岩级别及物理力学性质;分析评价不良地质与特殊岩土发育情况,岩爆、大变形、涌水突泥和有害气体(物质)等发生的可能性和对竖井建设的影响;分析计算竖井的地下涌水量进行;分析井口地段边坡的稳定性;评估竖井建设场地的适宜性及竖井工程建设对当地环境可能造成的不良影响。
- 图表资料:1:1000~1:2000 工程地质平面图;1:1000~1:2000 工程地质剖面图;1:100~1:400 井口边坡地质横断面图;1:50~1:200 挖探(钻探)柱状图;物探、测井资料;原位测试、地应力测量等资料;水文地质测试资料;岩、土、水测试资料;瓦斯及其它有害气体涌出资料;附图、附表和照片等。

5.5 竖井工程详细勘察

5.5.1 竖井详细勘察应充分利用初步勘察及公路主体工程勘察成果,采用补充地质调绘、钻探及测试等综合勘察方法,查明竖井的工程地质及水文地质条件。

5.5.2 应对初勘调绘资料进行复核,并开展补充工程地质调绘,比例尺宜采用 1:500,范围为竖井井筒中心半径不小于 200m。

5.5.3 详勘阶段竖井井筒宜有完整的钻孔资料,应符合下列规定。

- 当竖井井筒不穿过含水表土层,并无煤层瓦斯及其它有害气体突出危险,且具备下列条件之一时,可不设完整的钻孔:
 - 已有勘探资料表明工程地质和水文地质条件简单,只需浅孔查明表土层厚度。
 - 前期勘察阶段,距设计竖井井筒中心 25m 范围内已实施过钻孔,其提供的地质、水文资料符合详勘要求。
 - 收集到竖井附近既有矿井或其它类似工程资料,可准确掌握竖井工程地质、水文地质及其它有害气体情况及其变化规律。
- 当竖井井筒穿越地层的地质条件复杂或不良地质强烈发育,利用隧道主体工程勘察成果尚不能查明竖井地质条件,应布设完整的钻孔勘探。钻孔勘探应取样试验,并开展瓦斯、地应力等测试及水文试验。

5.5.4 竖井井筒完整的钻孔布置应符合下列规定。

- 具备下列情况之一者,钻孔可布置在井筒范围内:
 - 地质构造和水文地质条件简单,且无煤层瓦斯及其它有害气体突出危险。
 - 专为探测溶洞或施工特殊需要的钻孔。
- 井底距离富水层较近和采用冻结法施工的井筒,钻孔不应布置在井筒范围内。
- 当地质构造复杂时,钻孔布置应根据具体条件确定。

- d) 钻孔中心距井筒中心不应超过 25m。
 - e) 钻孔终深宜大于井筒设计深度 10m。
- 5.5.5 钻孔钻进与取样应符合下列规定。
- a) 钻进过程中，每钻进 30~50m 应测定一次倾角和方位角，全孔偏斜率应控制在 1.0%以内。
 - b) 在岩层钻进中，每一层应采取一个样品进行物理力学试验，当岩性变化较大且层厚超过 5m 时，应适当增加采样数量。

条文说明：

为详细查明竖井洞身的地质条件，竖井钻孔的偏斜率须严格控制，本规程予以重点强调。对于竖井钻孔的钻探工艺、原位测试及试验的要求，应按照 JTG C20 的相关规定执行。

5.5.6 钻孔取样测试应符合下列规定。

- a) 黏土层：矿物成分分析、液限、塑限、天然含水量、天然密度、比重、孔隙率、内摩擦角、粘聚力、膨胀力、膨胀量和自由膨胀率。
- b) 粉土层：颗粒级配、液限、塑限、天然含水量、密度、比重、孔隙率、渗透系数、内摩擦角和粘聚力。
- c) 砂土和碎石土层：颗粒级配、天然含水量、密度、比重、孔隙率、渗透系数、内摩擦角和粘聚力。
- d) 岩层：密度、孔隙率、吸水率、含水率、天然状态抗压强度、饱和状态抗压强度、内摩擦角、粘聚力、弹性模量和泊松比。
- e) 当采用冻结法凿井时，应选择冻结范围内有代表性的地层进行下列试验，并提交专项试验报告：
 - 1) 土层与岩层的冻结温度。
 - 2) 土层与岩层在 $^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 和 -10°C 状态下的比热容和导热系数。
 - 3) 黏土层在 -5°C 、 -10°C 和 -15°C 状态下的冻胀力和冻胀量。
 - 4) 冻土单轴压缩应力-应变曲线、单轴抗压强度、弹性模量和泊松比。
 - 5) 冻土三轴压缩应力-应变曲线、三轴抗压强度、内摩擦角和粘聚力。
 - 6) 冻土单轴压缩蠕变性能。
 - 7) 冻土三轴压缩蠕变性能。

具体试验方法应按 JTG E40《公路土工试验规程》和 JTG E41《公路工程岩石试验规程》等相关规程执行。

5.5.7 提交的竖井详勘资料应符合第 5.4.5 的规定。

6 竖井设计

6.1 一般规定

6.1.1 公路竖井井壁衬砌结构应符合下列规定：

- a) 永久性竖井井壁衬砌结构应符合下列规定：
 - 1) 采用普通凿井法施工段宜采用模筑混凝土或钢筋混凝土整体式衬砌的单层井壁。
 - 2) 采用冻结凿井法施工段应采用模筑混凝土或钢筋混凝土整体式衬砌的双层井壁。
 - 3) 当竖井位于表土层或破碎岩等不稳定地层、软质岩地层时，开挖后应先设置喷锚衬砌作为临时支护，后施做整体式衬砌。
- b) 临时竖井位于 I 级、II 级或 III 级围岩段，在确保安全情况下可仅设置喷锚衬砌，位于其它地层中可参照永久性竖井设置。
- c) 井筒中设置有内隔板的竖井，综合地质情况、竖井直径大小、施工难度和经济性等比较后可采用模筑混凝土或钢筋混凝土整体式衬砌的双层井壁。

整体式衬砌混凝土强度等级不得低于 C30，喷射混凝土强度等级不得低于 C25。

- e) 受力钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，构造钢筋和钢筋网可采用 HPB300 钢筋。

；

d)

现行 JTG 3370.1-2018《公路隧道设计规范》要求竖井宜采用喷锚衬砌+模筑混凝土衬砌，但未明确掘砌方式。如按照 JTG T 3660-2020《公路隧道施工技术规范》“竖井永久性支护可在竖井开挖完成后自下而上分节施工”要求，竖井开挖完成时只有喷锚衬砌，这时喷锚衬砌应有足够的强度保障竖井的安全稳定。

本规程喷锚衬砌作为开挖后井壁防止剥落、掉块和片帮的有效手段，属于临时支护，宜采用喷射混凝土或钢筋网+喷射混凝土或锚杆+钢筋网+喷射混凝土支护，喷混凝土不宜厚，但强度高，以充分发挥围岩与整体式衬砌井壁之间的摩擦承载力；对于永久性竖井采用短段掘砌作业时，开挖喷锚衬砌后应紧接着施做模筑（钢筋）混凝土整体式衬砌。

6.1.2 井口应设钢筋混凝土锁口，锁口底部应采用钢筋混凝土扩大基础，并与锁口整体浇筑；当锁口地基不满足承载力要求时，应进行地基处理。

6.1.3 建设或运营过程中可能引起表土层沉降的竖井井筒，应结合表土层沉降对竖井井筒的影响进行井壁结构设计，可采用适应表土层沉降的井壁结构或采取防止沉降的措施。

6.1.4 位于基本地震峰值加速度大于或等于 0.10g 的地区，竖井井口段 30m 以内井壁应采用钢筋混凝土结构。

6.1.5 当竖井穿越深厚松散表土层、膨胀岩层、黄土地层、含水未固结地层、溶洞、破碎带、高地应力、流沙以及瓦斯溢出地层等特殊地质时，应根据具体情况采用相应的特殊工程措施；位于季节性冻土（岩）中的竖井应考虑地下水冻胀的影响。

；

竖井穿越松散表土层时可采取预注浆加固措施；高地应力大变形地层、季节性冻土（岩）层可考虑采用双层井壁；穿越瓦斯地层应参照 JTG/T 3374《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》和《煤矿安全规程》采取相应的防护措施。

6.1.6 竖井地质较差的井身段一定间隔、马头门上方和冻结法凿井法掘砌的底部等部位应设置壁座。

6.1.7 当永久性竖井井筒所处地层地下水及相关气体具有腐蚀性时，井筒井壁及内隔板等装备设计均应考虑腐蚀对混凝土、钢筋和钢材等材料的影响。

；

应按照 JTG/T 3310-2019《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》进行耐久性设计。

6.2 井壁结构计算方法

6.2.1 井筒支护设计，井壁结构的承载力应满足式(1)。

$$\gamma_0 S(v_k, P_0) \leq R(f_c, f_y, \dots) \dots \dots \dots (1)$$

γ_0 结构重要性系数；

$S(\cdot)$ 内力组合计算函数；

v_k 荷载调整系数；

P_0 作用在结构上的荷载标准值；

R 结构的承载力；

$R(\cdot)$ 结构承载力函数；

f_c 混凝土轴心抗压强度设计值（）；

f_y 钢筋抗压强度设计值（）。

公路竖井井壁仍然采用安全系数法为基础的结构计算方法，因为井壁受力复杂，荷载类型、大小及其不均匀程度的确定比较粗略，采用分项多系数极限状态设计法尚不成熟，参考 GB 50384《煤矿立井井筒及硐室设计规范》并进行修改，引入荷载调整系数。

6.2.2 公路竖井井壁结构重要性系数选取应符合下列规定：

- a) 服务年限不少于 50 年或表土层深度不小于 150m 的竖井井筒，应按 1.10~1.15 选取；
- b) 服务年限少于 50 年且表土层深度小于 150m 的竖井井筒，应按 1.05~1.10 选取。

6.2.3 公路竖井井筒井壁在不同受力状态下的荷载调整系数值选取应符合表 1 的规定。

表1 井筒荷载调整系数值

序号	受力特征		荷载调整系数值
1	均匀水土压力		1.35
2	静水压力	永久荷载	1.35
		临时荷载	1.10
3	稳定性		1.30
4	井塔偏压		1.20
5	不均匀压力		1.10
6	交界面受力		1.20
7	井壁吊挂力		1.20
8	附加力		1.20
9	冻土压力		1.05

6.3 普通凿井法井筒衬砌设计

6.3.1 井壁所受径向荷载标准值计算应符合下列规定。

a) 表土层段井壁所受径向荷载标准值计算应符合下列规定：

1) 均匀荷载标准值应按下式计算：

$$P_k = \rho \cdot h \quad \dots \dots \dots (2)$$

P_k 作用在结构上的均匀荷载标准值 () ；

ρ 似重力密度 (MN/m³)，一般取值 0.013；

h 井壁所处表土层计算处深度 (m)。

2) 不均匀荷载标准值应按下式计算：

$$P_{A,k} = P_k \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$P_{B,k} = P_{A,k} (1 + \beta_r) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\beta_s = \frac{\tan^2 \left[45^\circ - (\phi - 3) / 2 \right]}{\tan^2 \left[45^\circ - (\phi + 3) / 2 \right]} - 1 \dots\dots\dots (5)$$

$P_{A,k}$ 、 $P_{B,k}$ 最小、最大荷载标准值 () ;

β_s 表层土不均匀荷载系数;

ϕ 土层内摩擦角 (°), 以井筒检查钻孔资料为准, 也可按表 2 选用。

表2 岩(土)层水平荷载系数表

秦氏岩（土）层 类	物理力学性质					$\tan^2(45^\circ - \phi/2)$ 或 $\tan^2(45^\circ - \phi'/2)$	
	容重 kN/m³	土层内摩擦角 ϕ		岩层内摩擦角 ϕ'		最大~最小	平均
		最大~最小	平均	最大~最小	平均		
流砂	—	0° ~18°	9°	—	—	1.0~0.528	0.729
松散岩石(砂土类)	15~18	18° ~26° 34'	22° 15'	—	—	0.528~0.382	0.450
黏土类	17~20	26° 34'~40°	30°	—	—	0.382~0.217	0.333
软质岩 f=1~3	14~24	—	—	40° ~70°	55°	0.217~0.037	0.099
较坚硬岩 f=4~6	24~26	—	—	70° ~80°	75°	0.031~0.008	0.017
坚硬岩 f=8~10	25~28	—	—	80° ~85°	82° 30'	0.008~0.002	0.004

注：f 为岩石坚硬系数（普氏岩石坚硬系数）

注: f 为岩石坚硬系数(普氏岩石坚硬系数)

b) 基岩段井壁所受径向荷载标准值计算应符合下列规定:

1) 均匀荷载标准值应按下式计算:

$$P_{n,k}^u = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_{n-1} h_{n-1}) A_n \dots\dots\dots (6)$$

$$P_{n,k}^s = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n) A_n \dots\dots\dots (7)$$

$$A_n = \tan^2(45^\circ - \phi'/2) \dots\dots\dots (8)$$

$P_{n,k}^s$ 、 $P_{n,k}^u$ 第 n 层岩层顶、底板作用在井壁上的均匀荷载标准值 () ;

h_1 、 h_2 、...、 h_n 各岩层厚度 (m) ;

γ_1 、 γ_2 、...、 γ_n 各岩层的重度 (m) ;

A_n 岩层水平荷载系数可按选用。

2) 不均匀荷载标准值应按下式计算:

$$P_{A,k} = P_{n,k}^s \dots\dots\dots (9)$$

$$P_{B,k} = P_{A,k} (1 + \beta_s) \dots\dots\dots (10)$$

β_s 岩层水平荷载不均匀系数, 以井筒钻孔资料为准, 或当岩石倾向角小于或等于 55° 时, 可 β

取 0.2。

3) 岩石破碎带均匀荷载标准值应按下式计算:

$$P_{n,k}^s = (\gamma_{k+1}h_{k+1} + \gamma_{k+2}h_{k+2} + \dots + \gamma_{n-1}h_{n-1})A_n \dots \dots \dots (11)$$

$$P_{n,k}^s = (\gamma_{k+1}h_{k+1} + \gamma_{k+2}h_{k+2} + \dots + \gamma_n h_n)A_n \dots \dots \dots (12)$$

k 破碎带以上岩层层数。

6.3.2 井筒井壁厚度可按下列方法初步拟定:

- a) 通过工程类比初步拟定;
- b) 按下列公式计算初步拟定混凝土井壁厚度:

$$t = r_i \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_c - 2\gamma_0 P}} - 1 \right) \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{混凝土井壁:} \quad f_s = 0.85 f_c \dots \dots \dots (14)$$

$$\text{混凝土井壁:} \quad f_s = f_c + \rho_{\min} f_y' \dots \dots \dots (15)$$

$$P = \nu_k P_k \dots \dots \dots (16)$$

t 井壁厚度 (m);

r_i 计算处井壁内半径 (m);

f_s 井壁材料强度设计值 (MN/m²);

f_c 混凝土轴心抗压强度设计值 (MN/m²);

f_y' ——钢筋抗压强度设计值 (MN/m²);

P 计算处作用在井壁上的设计荷载计算值 (MN/m²);

γ_0 结构重要性系数;

P_k 作用在结构上的径向均匀荷载标准值 (MN/m²);

$\rho_{\min}$ 井壁截面的最小配筋率, 应按 6.3.8 采用。

条文说明:

根据井壁径向荷载, 按厚壁圆环截面所受的正应力不超过材料强度初步拟定井壁厚度。

6.3.3 表土层段井壁所受的竖向荷载标准值可按下列公式计算:

$$Q_{z,k} = Q_{z1,k} + Q_{f,k} + Q_{l,k} + Q_{2,k} \dots \dots \dots (17)$$

$$Q_{f,k} = P_{f,k} F_w \dots \dots \dots (18)$$

$Q_{z,k}$ 井壁所受的竖向荷载标准值 (MN);

$Q_{z1,k}$ 计算截面以上井壁自重标准值 (MN);

$Q_{t,k}$ 计算截面以上井壁所受竖向附加总力标准值 (MN) ;

$P_{t,k}$ 计算截面以上井壁外表面所受竖向附加力的标准值 (MN/m²) ;

F_w 计算截面以上井壁外表面面积 (MN/m²) ;

Q_{1k} 直接支承井筒上的井塔重量标准值 (MN) ;

Q_{2k} 计算截面以上井筒装备重量标准值 (MN) 。

6.3.4 井壁竖向承载力应满足下式要求:

$$\gamma_0 \gamma_k Q_{zk} \leq f_c A_0 + f_y' A_z \cdots \cdots (19)$$

A_z 竖向钢筋横截面面积 (m²) ;

A_0 计算截面井壁横截面面积 (m²) 。

6.3.5 表层土层段的井壁环向内力及承载力宜按附录 A.1 的规定计算; 三向应力作用下井壁承载力计算宜按附录 A.3 的规定计算; 表层土与基岩交界面上下结构强度计算宜按附录 A.4 的规定计算。

6.3.6 基岩段井筒的井壁厚度可按下列方法综合确定:

- a) 按类比法确定;
- b) 采用表 3 推荐的经验数值;
- c) 有条件时, 可按第 6.3.1 条、第 6.3.2 条和附录 A.1 中有关公式计算。

表3 基岩段混凝土井壁厚度经验数值

井筒净直径(m)	井壁厚度(mm)
3.0~4.5	300
4.5~5.0	300~350
5.0~6.0	350~400
6.0~7.0	400~450
7.0~8.0	450~500
8.0~9.0	500~600
9.0~10.0	600~700

注: 当竖井深度大于600m或净直径大于1.0m的井筒, 可适当加大井壁厚度或提高混凝土强度等级。

6.3.7 井塔(架)影响段井壁应按本规范附录 B 的规定计算; 当井塔直接支承在井筒上时, 井塔影响段井壁应计算 N_0 (井塔嵌固水平的轴向力)、 Q_0 (井塔嵌固水平的水平力)、 M_0 (井塔嵌固水平的弯矩) 等荷载的作用。

6.3.8 临时喷锚衬砌最大段高、厚度及结构可参照表 4 拟定。

表4 喷锚衬砌的段高、厚度及结构

围岩级别	岩层描述	掘砌最大段高(m)	喷锚衬砌结构与喷层厚度(mm)
I	1. 坚硬、完整、整体性强, 不易风化; 2. 层状岩层, 层间胶结好, 无软弱夹岩	不限	-
II	1. 较坚硬; 2. 层状岩层, 层间胶结好; 3. 坚硬块状岩层, 裂隙面闭合无泥质充填物	80~100	喷砼, 厚 20~50
III	1. 中硬岩层; 2. 层状岩层以坚硬为主, 夹有少数软岩层; 3. 较坚硬的块状岩层	50~80	喷砼, 厚 50~80
IV	1. 较软岩层; 2. 中硬层状岩层; 3. 中硬块状岩层	30~50	锚杆、钢筋网、喷砼, 厚 80~100
V	1. 强风化、潮解的松软岩层; 2. 各类破碎岩层	<30	锚杆、钢筋网、喷砼, 厚 80~150

6.3.9 井壁现浇钢筋混凝土整体式衬砌配筋应符合下列规定:

- 全截面配筋率不应小于 0.4%; 当混凝土强度等级为 C60 及以上时, 配筋率不应小于 0.5%;
- 截面单侧配筋率不应小于 0.2%;
- 配置构造钢筋应符合表 5 的规定;
- 一般环境, 钢筋保护层(钢筋外边缘至混凝土表面的最小距离)厚度, 内缘钢筋宜为 50mm, 外缘钢筋宜为 70mm, 当位于腐蚀性环境时, 应满足 JTG T 3310 的要求。

表5 井壁构造配筋

竖井深(m)	钢筋最小直径(mm)	钢筋最大间距(mm)	钢筋最小间距(mm)
100	16	330	200
200	18	300	200
>300	20	300	150

6.4 冻结凿井法井筒衬砌设计

6.4.1 井筒的冻结深度, 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 30m³/h 时, 应延长冻结深度至含水层底部 10m 以上。冻结孔深度应符合下列规定:

- 单圈冻结孔、多圈孔的主冻结孔的深度不应小于井筒冻结深度, 深入不透水基岩深度应按表 6 选取;
- 辅助冻结孔深度应穿过表土层深入基岩风化带 5m 以上;
- 防片帮冻结孔深度应符合井筒连续施工的要求。

表6 单圈冻结孔、多圈孔的主冻结孔深入不透水基岩深度

冻结深度(m)	≤300	300~400	400~500	>500
单圈冻结孔或多圈孔的主冻结孔深入不透水基岩的深度(m)		~12	12~14	14~18

:

参考 GB/T 51277《矿立井冻结法施工及质量验收标准》, 主冻结孔是指用于形成冻结壁主体厚度和强度的冻结孔, 辅助冻结孔是指用于增大表土层冻结壁厚度和降低平均温度的冻结孔, 防片帮冻结孔是指用于缩短冻土扩至井帮的时间

止或减少片帮的冻结孔。非冻结深度随表土层厚度的增加而增大。冻结孔的布置方式由主冻结孔圈内设置辅助冻结孔。

表土层厚度 (m)	掘砌深度浅于单圈冻结孔、主冻结孔设计深度值 (m)
200~300	7~9
300~400	9~11
400~500	11~13
>500	13~15

2 冻结段井筒的掘砌深度应浅于主冻结孔设计深度，其值应符合表 7 规定。

7

6.4.3 冻结凿井法井筒内层井壁应满足承受水压、竖向荷载等荷载的要求；外层井壁应满足承受冻结压力及井壁悬挂、抗裂、稳定性计算的要求；双层井壁应满足整体承受永久水土压力及竖向荷载等荷载的要求。

6.4.4 冻结凿井法井筒支护应符合下列规定：

- a) 冻结凿井法井筒掘砌深度必须进入稳定基岩，并设置壁基。
- b) 采用图 1 所示壁基结构形式时，壁基高度计算应满足下式要求，并不应小于 m。

$$H_b \geq \frac{G + N_f - \pi(R_{wn}^2 - R_{jn}^2)[\sigma] - \pi(R_{jn}^2 - r^2)f_c}{2\pi R_{wn}\tau_n - G_1} \dots\dots\dots (20)$$

- H_b 壁基高度 (m)；
- G 壁基以上井筒内、外井壁的计算重量 (MN)；
- N_f 壁基以上井筒所受到的竖向附加力计算值 (MN)；
- r 井筒内半径 (m)；
- R_{wn} 外井壁内半径 (m)；
- R_{nw} 外井壁 (壁基) 外半径 (m)；
- R_{jn} 基岩段井壁外半径 (m)；
- G_1 每延米壁基的计算重量 (MN)；
- $[\sigma]$ 壁基下部围岩容许压应力 ()，无地质资料时可参考《采矿工程设计手册》(煤炭工业出版社 2003 版) 选取，硬质岩取 3.0~3.5MPa，较软岩取 2.5MPa，软岩取 2.0MPa；
- f_c 混凝土轴心抗压强度设计值 ()；
- τ_n 壁基外缘与围岩的粘结强度，范围为 0.5~2.0，当混凝土强度等级高、围岩岩性好，取上限，反之取下限。
- c) 冻结凿井法井筒掘砌的底部必须将内、外层井壁整体浇筑作为壁座。

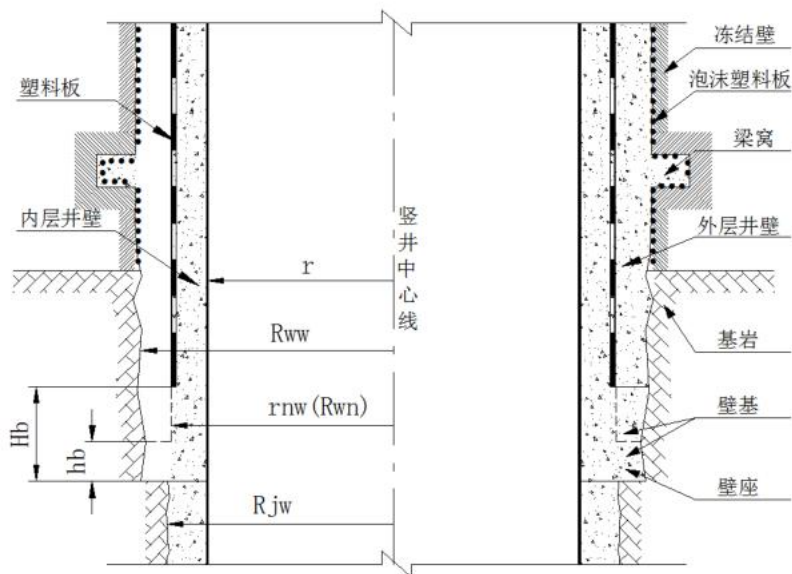


图1 壁基和壁座计算简图

- d) 壁座厚度不应小于内、外层井壁厚度之和；壁座的高度应根据围岩强度、壁座所承受的荷载、井壁结构形式等按式（21）计算，但不应小于 4m；内、外层井壁整体浇筑部分以下井壁应渐变至正常基岩段井壁厚度。

$$h_b \geq \frac{G_n}{2\pi r_{nw} [f_j]} \dots \dots \dots (21)$$

h_b 壁座的高度，内外井壁整体浇筑段高度（m）；

G_n 整体浇筑段以上井筒内井壁的计算重量（MN）；

r_{nw} 内井壁外半径（m）；

$[f_j]$ 混凝土容许抗剪强度（），取 0.7 倍抗拉强度设计值。

- e) 冻结壁与现浇混凝土外层井壁之间宜根据冻结壁的位移量铺设 25mm~75mm 厚的聚苯乙烯泡沫塑料板。
- f) 外层井壁与内层井壁之间宜铺设厚度为 1.5mm~3.0mm 的聚乙烯塑料板，也可铺设两层柔韧性较好的沥青油毡。
- g) 冻结段井筒内层、外层井壁厚度均不应小于 300mm。

根据 GB 50384-2016《煤矿立井井筒及硐室设计规范》，冻结壁与现浇混凝土之间设置聚苯乙烯泡沫塑料板，以减缓冻结壁对井壁的冻胀力及变形压力，调节在井壁上的不均匀压力，同时利用泡沫塑料板良好的隔热保温性能，为现浇混凝土井壁提供良好的养护条件。内外层井壁间设置聚乙烯塑料板或一定厚度的沥青油毡，可减小内外层井壁间的约束力，减少内壁的近水平裂缝。

表土段内、外层井壁整体所受径向荷载标准值计算应符合下列规定：

- 1) 均匀荷载标准值应按公式(2)计算。
- 2) 不均匀荷载标准值应按下列公式计算：

5 井壁所受径向荷载标准值计算应符合下列规定。

a)

$$P_{A,k} = P_k \dots \dots \dots (22)$$

$$P_{B,k} = P_{A,k} (1 + \beta_t) \dots \dots \dots (23)$$

β_t 表土层不均匀荷载系数，取值 0.2~0.3。

b) 内、外层井壁分别承受的径向荷载标准值计算应符合下列规定：

- 1) 内层井壁荷载标准值应按下式计算：

$$P_{n,k} = \gamma_w \cdot k_z \cdot h \dots \dots \dots (24)$$

$P_{n,k}$ 内层井壁所承受的荷载标准值 () ；

k_z 荷载折减系数，取 0.81~1.00；

γ_w 水的重力密度 (MN/ m³)，取值为 0.01；

h 井壁计算处深度 (m)。

- 2) 外层井壁承受的冻结压力标准值 $P_{d,k}$ 宜按冻土 (岩) 试验、实测等资料选取，也可按表 8 选取。

表8 不同深度黏土层冻结压力标准值

表土层深度 H(m)	100	150	200~400	400~500
冻结压力 $P_{d,k}$ (MPa)	1.2~1.5	1.5~1.8	0.01H	(0.01~0.012) H

6.4.6 井壁所受的竖向荷载标准值应按式 (17) 计算。

6.4.7 冻结凿井法井筒的井壁厚度应按公式(2)~(5)计算初步拟定，计算处作用在井壁上的设计荷载计算值 P，根据不同受力状况，采用冻结压力、均匀水土压力、静水压力等相应的荷载计算值。

6.4.8 表土层段井筒的井壁圆环内力及承载力应按附录 A.1 的规定计算。表土层与基岩交界面上下结构强度计算应按本规范附录 A.4 的规定计算。井壁环向稳定性应按本规范附录 A.2 的规定计算。三向应力作用下井壁的承载力可按本规范附录 A.3 的规定计算。

6.4.9 井壁竖向承载力应按下列规定计算。

- a) 井壁在自重力和竖向附加力等共同作用下的竖向承载力应符合第 6.3.4 条的规定；
- b) 外层井壁在吊挂力作用下的承载力应按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leq f_y A_s \dots \dots \dots (25)$$

$$N_{d,k} = \pi \gamma_h h_d (R_{ww}^2 - R_{nn}^2) \dots \dots \dots (26)$$

$$N_d = v_k N_{d,k} \dots \dots \dots (27)$$

N_d 井壁吊挂力的计算值 (MN) ;

$N_{d,k}$ 井壁吊挂力的标准值 (MN) ;

h_d 井壁吊挂段高 (m), 取 15m~20m;

γ_h 混凝土 (或钢筋混凝土) 的重力密度 (MN/m³) 。

6.4.10 冻结凿井法井壁现浇钢筋混凝土整体式衬砌钢筋配置应符合下列规定:

- a) 井壁配筋率应根据计算确定, 最小配筋率应符合第表 4 条的规定;
- b) 竖向钢筋宜选用直螺纹或锥螺纹连接, 连接质量应符合 JGJ 107《钢筋机械连接技术规程》中有关标准的最高等级; 钢筋搭接长度应符合现行 GB 50010《混凝土结构设计规范》的规定。
- c) 钢筋间距宜为 150mm~330mm, 构造钢筋配置应符合表 5 规定。

6.5 井筒防水设计

6.5.1 竖井防水设计应遵循“防、排、截、堵相结合, 因地制宜, 综合治理”的原则, 妥善处理地表水和地下水, 防排水系统应完整通畅。

6.5.2 应根据地下水水量, 选择竖井井筒背后及井底的防排水方式和相应的设施, 含水基岩中的井筒应进行壁后注浆堵水。

6.5.3 竖井单层井壁和双层井壁的外层井壁与围岩之间应设置环向盲管和纵向盲管, 盲管直径不应大于 100mm, 纵向盲管不宜超过 4 根, 盲管材料参数应符合 JTG370.1 的规定。

6.5.4 竖井口应有防止地表水流入和防止洪水危害的措施。

6.5.5 井壁接茬处宜设置止水条。

条文说明:

为提高井壁的防水性能, 井壁接茬处设置止水条等和进行充填注浆。

6.5.6 冻结凿井法双层井壁之间应注浆充填, 钻孔应穿透内层井壁, 进入外层井壁深度不应大于 100mm, 注浆时温度应大于或等于 4℃。

6.5.7 用于冻结凿井法冻结壁与外层井壁之间的聚苯乙烯泡沫塑料板物理机械性能应符合表 9 规定。

表9 聚苯乙烯泡沫塑料板物理机械性能指标

序号	项目		密度 (kg/m ³)	
			21	31
1	抗压强度	压缩 10%	0.122	0.181
		压缩 25%	0.144	0.216
		压缩 50%	0.305	0.364
		压缩 75%	0.331	—
2	抗拉强度 ()		0.13	0.25
3	弯拉强度 ()		0.302	0.38
4	冲击强度 ()		0.046	0.049
5	冲击弹性 (%)		28	30

序号	项目	密度 (kg/m ³)	
		21	31
6	耐热性 (不变形) (°C)	75	75
7	耐寒性 (不变形、不脆) (°C)	-80	-80
8	体积吸水率 (24h) (%)	0.016	0.004
9	吸声系数 (700Hz~2000Hz) (%)	50~80	50~80
	导热系数 [J/(m·s·°C)]	0.0315	0.0321
11	水分渗透 [g/(m ² ·h)]	0.38	0.31

6.5.8 用于冻结凿井法外层井壁与内层井壁之间的聚乙烯塑料板物理机械性能应符合表 规定。

表 聚乙烯塑料板物理机械性能指标

项目	指标
抗拉强度 ()	≥17
断裂伸长率 (%)	≥450
直角撕裂强度 (N/mm)	≥80
水蒸气渗透系数 [g/(m·s·Pa)]	≤1.0×10 ⁻¹⁴
-70℃低温冲击脆化性能	通过
尺寸稳定性 (%)	±3

6.6 井筒内隔板设计

6.6.1 井筒内隔板宜采用钢筋混凝土结构，并验算强度和稳定性，混凝土强度等级和钢筋应与井壁支护结构一致。

6.6.2 井筒内隔板也可采用玻璃钢材料或钢材等轻型结构，应符合下列规定：

- 在高压差且不断变化状况下，井筒内隔板应整体稳定。
- 隔板各部位应密闭连接，防止送、排风道发生蹿风。
- 在复杂条件作用下，内隔板以及其连接、密封材料应具有良好的耐久和耐腐蚀性。
- 钢材宜选用强度高、塑性好、可焊性好的碳素结构钢和低合金钢，应符合现行国家标准 GB 50017 的规定。

6.6.3 玻璃钢材料的基料宜采用不饱和聚酯树脂，质量应符合表 11 的规定。当设计有特殊要求时，也可采用其他树脂作为基料。

表11 不饱和聚酯树脂的质量指标和特性

树脂型号	外观	酸值 (mgKOH/g)	粘度 (min)	树脂含量 (%)	胶化时间 (min)	热稳定性
191	透明淡黄色液体	28~36	25℃时 6~13	60~66 (固体含量)	25℃时 ~25	25℃时 0.5a, 80℃时 24h

6.6.4 玻璃钢材料内嵌钢芯宜选用 Q235、Q345、Q390、Q420 等型号钢材。其规格尺寸及质量应符合设计要求和有关质量标准；内嵌钢芯应进行除锈处理，并达到国际通用标准 Sa2.5 级。

6.6.5 玻璃钢材料制成品的抗静电指标不应大于 3.0×8 。

6.6.6 玻璃钢材料制成品的阻燃系数应大于 26 氧指数。

6. 6. 7 玻璃钢材料制成品的机械、安全性能应符合表 12 的规定。

表12 玻璃钢材料制成品的机械和安全性能指标

项 目			单位	指标	试验方法
				合格	
常温机械性能	拉伸强度	玻纤纱		120	《定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法》GB/T 3354
		玻纤布		130	《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB/T 1447
常温机械性能	压缩强度	玻纤纱		35	《纤维增强塑料压缩性能试验方法》GB/T 1448
		玻纤布		40	《纤维增强塑料压缩性能试验方法》GB/T 1448
	弯曲强度	玻纤纱		70	《定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法》GB/T 3356
		玻纤布		80	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》GB/T 1449
安全性能	表面电阻		Ω	上下表面电阻算术平均值不大于 3×10^8	《煤矿井下用玻璃钢制品安全性能检验规范》GB 16413
	酒精喷灯火焰燃烧 试验	有焰燃烧时间	s	移去喷灯后,6块试件 的有焰燃烧时向的算术平均值应不大5, 每块试件的有焰燃烧续燃时间最大单值应不大于15	《煤矿井下用玻璃钢制品安全性能检验规范》GB 16413
		无焰燃烧时间		移去喷灯后,6块试件 的有焰燃烧时向的算术平均值应不大20, 每块试件的无焰燃烧续燃时间最大单值应不大于60	

7 竖井施工提升与悬吊作业

7.1 一般规定

7.1.1 竖井施工应采用机械化作业线配置，凿岩、装岩、支护和提升等环节应相互匹配，发挥设备综合能力，其配置可参考附录 C。

竖井施工与隧道施工最大不同在于竖井施工需要提升系统进行进料和出碴，因此竖井合理的机械化配置是施工安全和施工效率的重要保障。

7.1.2 竖井井筒施工前，应先施工井筒锁口，并应安设满足施工安全要求的临时封口盘，再安装凿井井架；在完成封口盘安设和吊盘悬挂后，再正式掘进。

7.1.3 竖井主要凿井设备应具有安全管理部门颁发的安全标志证书；新安装的设备应由有资质的单位进行检测、检验，检验合格，出具报告后方可投入运行；施工单位应按规定进行日常检查、维护和保养，并每年进行一次性能检测。

参考《安全生产法》第三十条、《特种设备安全法》第三十二条规定和《煤矿安全规定》（2016 版）第四百二十九条。竖井主要凿井设备如提升机、凿井井架、凿井绞车、钢丝绳、天轮、吊桶和钩头等。

提绞设备

4 必须按照设计设备使用说明书规定的提升能力和使用条件使用,严禁超载、超速、超宽、超深、超压、超温、超期使用,严禁任意扩大使用范围,用缠绕式提升机。

- b) 宜选用凿井提升机。
- c) 应对提升机卷筒直径、卷筒宽度和提升强度等进行验算,详见附录 D。

7.2.2 凿井井架的选择应符合下列规定:

- a) 宜采用 IV 型及以上的凿井井架。
- b) 能承受施工荷载,符合 GB 50385 的规定。
- c) 天轮平台的尺寸,应满足提升及悬吊设施的天轮布置要求。
- d) 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。
- e) 应满足施工组织设计规定的施工阶段提升方式的要求。
- f) 井架四周围板及顶棚不得使用易燃性材料。

7.2.3 凿井井架的安装应符合下列规定。

- a) 凿井井架地基和基础应满足承载力和变形要求。
- b) 凿井井架每次移设后都应除锈并涂防腐剂。
- c) 遇恶劣气候时,不得进行吊装作业。
- a) 采用扒杆起立井架时,应符合下列规定:
 - 1) 扒杆选型必须经过验算,强度、稳定性和地基承载力应满足要求。
 - 2) 销轴使用前应进行无损探伤检测。
 - 3) 吊耳必须进行强度校核,且不得横向使用。
 - 4) 扒杆起立时应当有缆风绳控制偏摆,并使缆风绳始终保持一定张力。

参考《煤矿安全规程》(2016 版)修订版第六十五条。

7.2.4 凿井井架的安装质量应符合下列规定:

- a) 井架中心线的实际位置与设计位置的偏差不得超过 5mm。
- b) 天轮平台的水平偏差,不得超过 3mm。
- c) 各部位的螺栓必须紧固。
- d) 井架的构件应平直,其弯度的矢高,不得超过 2%。
- e) 井架天轮平台的板梁,不得割孔和焊接。
- f) 井架上安设的避雷装置,必须符合国家现行安全规程的要求。

参考 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.1.4 条。

7.2.5 凿井绞车(稳车)应符合下列规定:

- a) 凿井绞车的提升能力,应按悬吊设施及附属装置的最大静荷重计算,计算见附录 D。
- b) 必须装设制动装置和防逆转装置,并设有电气闭锁。
- c) 天轮到滚筒上的钢丝绳出绳的最大内、外偏角不应大于 $1^{\circ}30'$,单层缠绕时,内偏角应保证不咬绳。
- d) 悬吊安全梯用的凿井绞车,应有两回路供电线路,其中的一回路应直接由变电所馈出。

参考 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.1.7 条和《煤矿安全规程》(2016 版)修订版第七十二条。

7.3 凿井设备的悬吊与运行

7.3.1 井筒内布置的悬吊设施之间安全间隙应符合下列规定：

- 井口及井筒内设置的固定梁和各种悬吊设施的外缘，距离井筒中心不应小于 100mm，并不得在承受荷载的梁上钻孔。
- 两个提升容器的导向装置最突出部分的间隙，不得小于 $0.2+H/3000$ （H 为提升高度，单位为 m）；井筒深度小于 300m 时，其间隙不得小于 300mm。
- 吊桶与孔口（井盖门和吊盘喇叭口等）的间隙不得小于 150mm，吊桶与永久井壁的间隙，不得小于 450mm，吊桶与钢丝绳罐道之间不得小于 100mm。
- 吊桶上滑架与孔口的间隙不得小于 100mm。
- 吊盘与永久井壁的间隙，不应大于 150mm。
- 抓岩机停止工作，抓斗悬吊时的最突出部分与运行吊桶的间隙不得小于 200mm。
- 管、线与永久井壁的间隙（井壁固定管线除外）不得小于 300mm；管、线卡子与其通过孔口的间隙（井壁固定管线除外）不得小于 100mm。
- 风筒及管路悬吊卡子与提升容器最突出部分的间隙，不得小于 500mm，井筒深度超过 400m 时，宜采用井壁固定吊挂。
- 安全梯应靠近井壁悬吊，与井壁间隙不应大于 500mm，与通过孔口的间隙不得小于 150mm；
- 吊泵与其通过孔口的间隙不得小于 50mm。
- 照明及动力等强电缆与信号、通信及放炮等弱电电缆的间隙，不应小于 300mm，弱电电缆与压风、排水管路的间距不应小于 1m，放炮电缆应单独悬吊。

条文说明：

参考《煤矿安全规程》（2016 版）修订版第七十三条，GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.1.5 条、第 10.1.6 条和 AQ 1083-2011《煤矿建设安全规范》第 6.8.2 条。

7.3.2 封口盘的设置、运行和维修应符合下列规定：

- 封口盘钢梁伸入梁窝内应不小于 300mm，各钢梁之间的紧固件应牢固可靠。
- 封口盘上的绳孔及铺板之间的缝隙应封闭严密。
- 封口盘铺板与钢梁之间进行焊接成整体；井口布置推车轨道型号不小于 22kg/m。
- 封口盘上的井盖门小绞车安装在二平台时，小绞车应固定牢固，应定期对钢丝绳和井盖门小绞车进行检查，发现钢丝绳有断丝和磨损时应进行更换。
- 井盖门应设开起限位装置，井盖门两边的缝隙应封闭严密，井盖门门绞装置与封口盘钢梁应焊接牢固；井盖门螺母拧紧后应与螺栓焊接。
- 井盖门上的杂物应及时清扫，保持清洁。
- 井口下放物件时，应有专人负责挂钩和捆绑。
- 放炮前，应将吊桶提至井盖门上方 5m 左右并打开井盖门；放炮后，应对封口盘检查安全无误后，人员方可下井。

7.3.3 吊盘应符合下列规定：

- 吊盘必须使用两层或多层吊盘，并采用稳车悬吊。
- 应根据施工中承受的荷载分别对各层盘的钢梁和立柱及连接部分进行强度验算并满足钢结构设计要求，从上层盘的悬吊点到最下层盘加装保险绳。
- 吊盘结构的强度应按全荷载计算，且施工荷载不应大于吊盘设计的规定。
- 吊桶通过各层吊盘的孔口，上下均应设置喇叭口。
- 同一层吊盘的稳盘装置，不应少于 3 个，并应均匀分布在同一层吊盘的周边上。

：

参考 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.1.12 条和 AQ 1083-2011《煤矿建设安全规范》第 6.9.2 条。

井口伞钻悬吊装置、导轨梁等设施的布置及强度，必须在施工组织设计中明确和验算。

- b) 下井和升井的摘挂钩和各臂收拢绑扎等工作应由专人负责。
- c) 伞钻在井筒中运输时各臂必须收拢绑扎，通过各施工盘口时应有专人监视。

4 伞钻使用应符合下列规定：

- a)
 - e) 支撑臂支撑井壁必须上仰 $^{\circ}$ ，支撑完成后方可放松伞钻悬吊钢丝绳，但不得摘钩，在松动支撑臂之前严禁再扳动调高器手柄。
 - f) 提升伞钻的钢丝绳套每次使用前必须检查。

参考《煤矿安全规程》（2016版）修订版第五十九条和AQ 1083-2011《煤矿建设安全规范》第6.9.6条。

7.3.5 抓岩机的悬吊和使用应符合下列规定：

- a) 应采用中心回转抓岩机，应与吊盘连接可靠，并设置专用保险绳，工作时保险绳应处于拉紧状态。
- b) 抓岩机连接件及钢丝绳，在使用期间必须由专人每班检查一次。
- c) 抓岩完毕必须将抓斗收拢并锁挂于机身，锁抓斗的索具必须每班检查。

参考《煤矿安全规程》（2016版）修订版第六十条和AQ 1083-2011《煤矿建设安全规范》第6.9.6条。

7.3.6 吊桶提升应符合下列规定。

- a) 吊桶上方必须安设带保护伞的滑架，滑架应灵活可靠。
- b) 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，钩头主要受力部件应当每年进行一次无损探伤检测。
- c) 吊桶提梁及钩头、缓转器等的安全系数，应符合《煤矿安全规程》有关规定。
- d) 稳绳的终端和钩头连接装置的上方，应设缓冲装置。
- e) 提升钩头必须设有防止吊桶提梁脱出的安全闭锁装置，缓转器的下方应设悬挂保险带的吊环。
- f) 吊桶升降人员时应符合下列规定：
 - 1) 吊桶内人均有效面积不应小于 0.2 m^2 ，严禁超员。
 - 2) 乘坐人员必须挂牢安全绳，严禁身体任何部位超出吊桶边缘。
 - 3) 严禁采用自动翻转式、底卸式吊桶升降人员。
 - 4) 吊桶提升到地面时，人员必须从井口平台进出吊桶，并只准在吊桶停稳和井盖门关闭后进出吊桶。
 - 5) 不得人、物混装；运送爆炸物品必须使用专用箱，除爆破工或者护送人员外，不得有其它人员。

参考《煤矿安全规程》（2016版）修订版第七十五条、第七十七条、第三百三十九条和GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第10.2.3条。

7.3.7 提升速度应符合下列规定。

- a) 吊桶沿稳绳升降时的加速度和减速度不得超过 0.5 m/s^2 。
- b) 吊桶沿罐道稳绳升降时，吊桶提人的最大速度不得超过采用式（28）求得的值，且最大不超过 7 m/s ，吊桶提物的最大速度不得超过采用式（29）求得的值，且最大速度不得超过 8 m/s 。

$$V_m = 0.25\sqrt{H_m} \cdots \cdots \cdots (28)$$

$$V_m = 0.40\sqrt{H_m} \cdots \cdots \cdots (29)$$

V_m 最大提升速度, m/s;

H_m 最大提升高度, m。

- c) 无罐道稳绳段的吊桶最大升降速度和距离应符合下列规定:
- 1) 升降人员的速度不得大于 1m/s, 升降物料的速度不得大于 2m/s。
 - 2) 升降的距离不得大于 40m。
- d) 人员在井筒内检查设备时, 吊桶的升降速度不得超过 0.3m/s。
- e) 无论运送何种爆炸物品, 都不得超过 1m/s。
- f) 严禁吊盘和提升容器同时运行, 提升容器或钩头通过吊盘时速度不得大于 0.2m/s。
- g) 采用钩头吊挂不规则易碰挂的物料时, 其升降速度, 应符合下列规定:
- 1) 有导向装置时, 不应超过 1m/s。
 - 2) 无导向装置时, 不应超过 0.3m/s。

参考《煤矿安全规程》(2016 版) 修订版第七十四条、第六十六条、第三百三十九条和 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.2.1 条和第 10.2.2 条。

7.3.8 提升天轮及钢丝绳应符合下列规定:

- a) 天轮直径与钢丝绳直径的比值: 当天轮的钢丝绳围抱角大于 90 度时, 不应小于 60 倍, 围抱角小于 90 度时, 不应小于 40 倍。
- b) 天轮直径与钢丝绳中最粗钢丝直径的比值不应小于 900 倍。
- c) 天轮的安全荷重应大于其实际选用的最大钢丝绳的钢丝破断拉力的总和。
- d) 吊桶提升宜选用多层异状股或多层股不旋转钢丝绳。
- e) 安全系数最小值: 升降人员为 9, 升降物料为 7.5。

参考 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.2.4 条和《煤矿安全规程》(2016 版) 修订版第四百零八条。

7.3.9 悬吊天轮及钢丝绳应符合下列规定:

- a) 天轮直径与钢丝绳直径的比值不应小于 20 倍, 与钢丝绳中最粗钢丝直径的比值不应小于 300 倍。
- b) 天轮的安全荷重应大于其实际选用的钢丝绳的最大静拉力。
- c) 悬吊设施宜采用 6 股 19 丝或每股 19 丝以上的钢丝绳。
- d) 稳绳宜采用三角股钢丝绳或椭圆股钢丝绳。
- e) 双绳悬吊时, 应采用捻向相反的钢丝绳。
- f) 悬吊设施的钢丝绳, 应在滚筒上留有 3 圈~5 圈绳。
- g) 安全系数应按表 13 采用。
- h) 钢丝绳的试验、检查内容和要求, 应符合现行《煤矿安全规程》有关规定。

表13 悬吊钢丝绳安全系数

序号	悬吊设施名称	安全系数
1	吊盘、吊泵、伞钻、抓岩机、罐道绳、防撞绳、排水管	≥ 6
2	风筒、风管、注浆管、输料管、电缆、供水管、模板	≥ 5
3	安全梯	≥ 6

参考 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.1.8 条和《煤矿安全规程》（2016 年）修订版第四百零八条，第四百一十条和第四百一十一条分别规定了新钢丝绳和在用钢丝绳的使用和管理要求。虽然 AQ1083-2011《煤矿建设安全规范》第 6.9.6 条提出提升伞钻的钢丝绳套安全系数不得低于 8，考虑到实际使用情况，本规程与悬吊抓岩机钢丝绳安全系数保持一致。

7.3.10 罐道绳应符合下列规定：

- a) 优先采用密封式钢丝绳。
- b) 每个提升容器（平衡锤）设有 4 根罐道绳时，每根罐道绳的最小刚性系数不得小于 500N/m，各罐道绳张紧力之差不得小于平均张紧力的 5%，内侧张紧力大，外侧张紧力小。
- c) 1 个提升容器（平衡锤）只有 2 根罐道绳时，每根罐道绳的刚性系数不得小于 1000N/m，各罐道绳的张紧力应相等。2 根罐道绳应采用不同捻向或不旋转钢丝绳，2 根主提升钢丝绳必须采用同一捻向或不旋转钢丝绳。
- d) 吊桶提升时每根罐道绳的最小刚性系数不得小于 500N/m，2 根罐道绳的张紧力应相等。
- e) 悬挂吊盘的钢丝绳满足罐道绳要求时，可以兼作罐道使用，但必须制定安全措施。

：

参考《煤矿安全规程》（2016 版）修订版第三百九十八条和 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》，规定同一提升容器，4 根罐道绳的张力有一定的差值，为了防止在提升过程中罐道绳产生共振。

8 竖井掘进与衬砌

8.1 一般规定

8.1.1 竖井施工前，应熟悉设计文件，进行图纸和现场核对；施工场地应避免布置在受洪水、泥石流、塌方、滑坡及雪崩等自然灾害威胁的地段。

8.1.2 竖井施工特殊工种岗位人员均应持证上岗，施工前应对施工人员进行安全培训和安全、技术交底。

：

竖井施工特殊工种岗位包括：井下电气作业，井下爆破、安全监测监控、瓦斯检查、安全检查、提升机操作、瓦斯抽放作业、瓦斯防突作业和探放水作业等。

8.1.3 竖井施工中应建立技术档案，收集和整理各种测试记录、隐蔽工程记录、质量检查记录和竣工工程图纸等相关文件资料，资料应真实、齐全和完整。

8.1.4 与井筒相连的洞室，在井筒施工时，应同时掘出 3m~5m，并与井筒一起浇筑混凝土。

8.1.5 向井下输送混凝土宜采用底卸式吊桶，混凝土强度等级大于 C40 或者输送深度大于 400m 时，严禁采用溜灰管输送；采用溜灰管输送浇筑混凝土，应符合下列规定：

- a) 石子粒径不得大于 40mm，混凝土塌落度不宜小于 150mm。
- b) 溜灰管内径不宜小于 150mm，末端应安设缓冲装置并采用分灰器入模。
- c) 溜灰管送料前，应先输送少量水泥砂浆，井壁浇筑完后，应及时清洗。
- d) 使用溜灰管送料时，应加强井上下的信号联系，一旦发生堵管现象，应立即停止送料，并应及时进行处理。

：

2014 年 5.14 大海则煤矿溜灰管坠管事故造成 13 人死亡，《煤矿安全规程》（2016 版）修订版第五十五条，提出“强度大于 C40、深度大于 400m 时，严禁采用溜灰管输送”。

8.1.6 井筒钢筋混凝土内隔板宜自井底往上滑模施工，当井筒采用单层井壁时，宜与井壁筋连接；当井筒采用双层井壁时，应与内侧井壁自井底往上采用整体滑升模板浇筑混凝土。

8.2 竖井施工测量

8.2.1 井筒施工前,应根据井筒中心设计的平面坐标和高程、井筒十字中线的坐标方位角、井口附近的测量控制点标定井筒中心和井筒十字中线,应符合下列规定:

- e) 井筒十字中线点在井筒每侧均不得少于三个,点间距离应不小于 20m;离井口边缘最近的十字中线点距井筒应不小于 15m,用冻结法施工时应不小于 30m。
- f) 井筒实际中心坐标和十字中线的坐标方位角应按地面一级导线的精度要求标定,两条十字中线垂直度的允许误差为 $\pm''$ 。
- g) 应在不易受破坏的地点如锁口和提升机基础上埋设井筒十字中线基点,并对基点进行保护;如果十字中线某地受损坏,应按未动的十字中线基点补设。

以基点为标志的井筒十字中线是两条互相垂直且交点通过井筒中心的直线,其中与井筒提升中心线平行或重合的一条称为井筒的主要中心线,如图 2 所示。

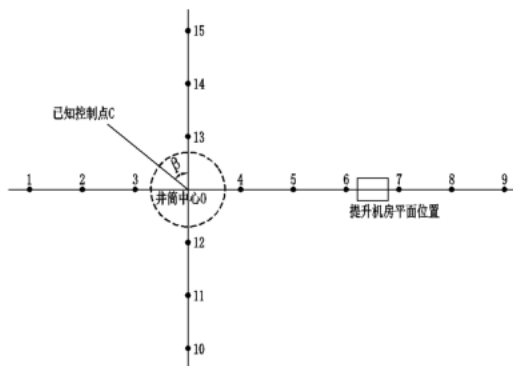


图2 竖井井筒十字中线基点平面示意图

8.2.2 井口高程基点的测量,应按四等水准测量的精度要求测设;通过井筒导入高程时,井下高程基点两次导入高程的互差不得超过井筒深度的 1/8000。

8.2.3 井筒掘砌均应采用中垂线指向。

虽然 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》规定井筒掘砌深度在 300m 以内时,可采用激光指向,当井筒深度大于 300m 时,掘进可采用激光指向,砌筑井壁应采用中垂线指向。并要求采用激光指向时,应定期对激光仪进行校验,掘进和浇筑井壁时允许偏差值分别不得超过 15mm 和 5mm;采用中垂线指向时,应定期检查井筒中心线,中心线点位置偏差不得超过 5mm。但根据调查,井筒掘砌指向基本都采用中垂线指向,不仅精度高,而且便于施工,简单实用。如采用激光指向需增加固定盘,施工不便。

8.2.4 投点和联系测量应符合下列规定:

- a) 投点和联系测量期间,应采取隔离或降低风速的措施。
- b) 定向投点用的小绞车应放置在井口合适位置,各部件必须能承受投点时所承受负荷的三倍,滚筒直径不得小于 250mm,必须有可靠的制动装置,导向滑轮直径不得小于 150mm。
- c) 投点用的钢丝应采用小直径高强度钢丝,钢丝上悬挂重砣的重量应是钢丝极限抗拉强度的 60%~70%。
- d) 垂线下放后,必须检查重砣与桶壁、桶底之间及垂线与井壁、井筒设备之间应无接触。

锁口施工

- 8.3.1 锁口处于表土层时宜采用挖掘机开挖；锁口处于基岩中时可采取浅孔控制爆破。
- 8.3.2 井筒锁口支护应遵循下列规定：
- 混凝土支护时可采用装配式金属模板。
 - 采用砌砖结构临时锁口时，应在施工一段永久井壁后，在其上方砌砖临时锁口，砖墙外侧灌注水砂浆。
 - 采用砌砖和混凝土结构的临时锁口时，应先施工下部混凝土结构锁口段，然后在其上砌砖。
- 8.3.3 当井内风筒和管路等从封口盘下锁口通过时，应采取安全防护措施；拆除临时锁口进行永久锁口施工前，在永久锁口下方应当设置保护盘，并满足通风、防坠和承载要求。

：

参考《煤矿安全规程》（2016版）第四十二条。

8.4 表土层施工

- 8.4.1 竖井表土层施工初期，在提升系统形成前，井内应设临时爬梯供人员上下；当井深大于 20m 后，应利用提升设施上下人员，并挂设工作吊盘；当井深大于 40m 时，应安设提升导向稳绳。
- 8.4.2 表土层掘进应符合下列规定：
- 短段掘砌段高不应大于 2m。
 - 表土层宜采用挖掘机开挖，挂设吊盘后宜配合中心回转抓岩机出碴。
 - 砾石土等密实地层可采取浅孔控制爆破开挖，但应采取防止影响井口设施。
 - 普通凿井法施工且地下水丰富时，应采取降、排或堵水措施。
- 8.4.3 表土层段开挖后井壁应及时施做喷锚衬砌和采用金属整体模板浇筑混凝土衬砌。
- 8.4.4 表土层施工监控量测应符合下列规定：
- 表土层段井筒施工过程中，应通过事先设立的观测点，定期观测井口地表沉降，凿井井架、井筒和地面设施位移与变形情况。
 - 对井帮进行地质素描，并观测变形情况。
 - 对于位移或变形危及施工安全时，必须立即停止作业、撤出人员，及时采取加固措施。

：

本节主要针对普通凿井法施工。参考 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》和《煤矿安全规程》（2016版）第四十四条对表土层施工时进行监控量测，具体技术要求按 JTG T 3660-2020《公路隧道施工技术规范》和 JGJ 8-2016《建筑变形测量规范》。

8.5 基岩施工

- 8.5.1 基岩掘进，应采用钻眼爆破法施工，炮眼钻进应符合下列规定：
- 井径大于 4m 时，宜采用伞钻钻眼；井径不大于 4m 时，可采用手持气动凿岩机钻眼。
 - 炮眼的深度与布置应根据岩性和作业方式等确定，炮眼深宜为 2.0m~5.5m，且与砌壁段高配套浅眼多循环作业的炮眼深应为 1.2m~2.5m。
 - 钻眼前应清除工作面余渣。
 - 应准确确定炮眼圈径和每圈炮眼眼位。
 - 每圈周边炮眼和辅助炮眼应钻至同一水平位置。
 - 钻眼时应避开残眼和岩层裂隙，每个炮眼钻完后应及时封住眼口，装药前应用压气清除炮眼内的岩粉和污水。
 - 严禁边打眼边装药和用压气吹拒爆炮眼。
- 8.5.2 在竖井内运送爆炸器材时，必须符合下列规定：

- a) 雷管和炸药必须分开运送下井,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。
- b) 用吊桶运送爆炸物品时,应使用专用箱;吊桶升降速度均不得大于 1m/s,只允许爆破工程技术人员随行。
- c) 在交接班、人员上下井时间内,严禁运送爆炸物品。
- d) 严禁将爆炸物品存放在井口房或井内任何部位。

此条款参考《爆破安全规程》(2016版)第三百三十九条以及《公路隧道施工技术规范》相关条款给出。

8.5.3 爆破作业应符合下列规定:

- a) 宜采用高威力且防水性能好的水胶炸药或乳化炸药,实行光面爆破。
- b) 爆破图表应根据岩性变化适时调整;掏槽眼宜布置 6 个~8 个,眼深应比其他炮眼深 200mm 以上,装药系数宜为 0.5~0.6;周边眼宜采用小炮眼,药卷直径宜小于 35mm,间距宜为 400mm~600mm,装药系数宜为 0.3;辅助眼间距宜为 750mm~950mm,装药系数宜为 0.4~0.5。
- c) 井筒掘进时,应监测井筒内的杂散电流;当电流超过 30mA 时,应检查电器设备的接地质量,确保爆破导线不得有破损和裸露接头,应采用抗杂散电流的雷管。
- d) 炮眼应采用粘土或可塑性的不燃性材料充填。
- e) 放炮前,工作面施工设施应提到吊盘上,吊盘距工作面深度应大于 30m,爆破员检查线路后最后升井,井口房内的人员全部撤出,打开井盖门,发出警示信号后再等 5 秒再起爆。
- f) 井筒爆破可采用动力电源或大容量的发爆器起爆。
- g) 连线不良造成的拒爆,可重新连线起爆;在距盲炮眼 0.3m 以外另打与拒爆炮眼平行的新炮眼,重新装药起爆;严禁用镐刨或从炮眼中取出原放置的起爆药卷或从起爆药卷中拉出电雷管。
- h) 爆破应有良好照明,距爆破作业面 100m 范围内照明电压不得超过 36V。

8.5.4 装岩作业可采用中心回转抓岩机、长绳悬吊抓岩机或小型气动抓岩机等设备进行,宜采用中心回转抓岩机配合矿用挖掘机装岩,并用挖掘机清底。

8.5.5 竖井在 II 级、III 级围岩中,井筒开挖高度不宜超过 4m;在 IV 级、V 级围岩,井筒开挖高度不宜超过 2m。

8.5.6 井筒衬砌施工应符合下列规定。

- a) 锚喷支护应按现行国家标准 GB 50086 的有关规定执行,喷射混凝土前应用井筒中垂线检查掘进断面尺寸,并应埋设喷射厚度标志。
- b) 单层井壁和双层井壁的外层井壁现浇混凝土衬砌应采用整体金属模板,应符合下列规定:
 - 1) 高度宜为 2m~5m,钢板厚度应根据模板刚度计算结果确定,且不小于 8mm。
 - 2) 模板组装后,其外沿半径应大于井筒设计净半径的 10mm~40mm;模板上下面应保持水平,其允许偏差应为±mm。
 - 3) 需重复使用的模板,在使用前应修整和清理。
 - 4) 通过地面稳车或吊盘悬吊时,其悬吊点不应少于 3 个。
 - 5) 整体模板应设窗口式或开口式浇筑口。
- c) 双层井壁的内层井壁和内隔墙现浇混凝土衬砌应采用整体滑升模板,应符合下列规定:
 - 1) 高度宜为 1.2m~1.4m,钢板厚度不应小于 3.5mm。
 - 2) 上下锥度应为 0.6%~1.0%。
- d) 混凝土质量控制应符合下列规定:
 - 1) 混凝土所用的水泥、骨料、水、外加剂等原材料的质量,混凝土配合比、原材料计量、搅拌、混凝土养护和强度试验等必须符合设计和 GB 50204 的有关规定,并应做好隐蔽工程记录。

- 2) 在地面配制混凝土时,雨季必须有防雨措施;冬季施工和冻结井筑壁必须符合有关规范要求,应采取加热措施,保证混凝土入模温度不宜低于 15℃。
- 3) 混凝土强度必须符合设计要求,壁厚应符合规范要求。 1.0MPa;装配式金属模板 1.0MPa;
- 4) 混凝土应对称入模,分层浇筑,模板拆除时,应机械拆除,井壁接茬应平整严实,接茬缝应符合施工规范和验收规范的要求。表面用整体光滑模板或装配式金属模板时,应清除混凝土井壁上的浮层并逐层打磨,不得有油污。
- 5) 脱模时的混凝土强度应达到设计强度的 70% 以上,并应符合下列规定:
 - a) 井筒穿过断层破碎带时,应采用喷锚或吊挂井圈临时支护、注浆加固等措施施工,并采用短段掘砌或自下而上砌筑永久井壁。

8.6.5 冻结管和供液管的材质与连接应符合下列规定:

- a) 冻结管应采用无缝钢管，每批新钢管应抽样进行压力试验，在压力为冻结深度静水压力的 1.3 倍时应无渗漏现象为合格；复用旧钢管时，应逐根除锈，压力试验要求应与新钢管相同。
- b) 冻结管的壁厚应符合表 14 的规定。

表14 冻结管的壁厚

冻结地层深度(m)	冻结管壁厚(mm)
表土层及风化带中	≤200
	200~400
	400~600
	>600
基岩中	≤300
	>300

- c) 冻结管可采用螺纹管箍或焊接管箍连接，深井冻结时宜采用管箍连接。采用螺纹管箍连接时，下管应采用电动扭矩板手上紧并达到密封要求；采用焊接管箍连接时，管箍焊条的材质应与管体材质相适应，坡口加工和焊缝质量应符合设计规定，每个接头焊好后宜冷却 5min~min 再下入钻孔内。
- d) 冻结管下到孔底后，应立即进行动压试漏，试验压力应为全冻结管内盐水柱与管外清水柱的压力差及盐水泵工作压力之和的 2 倍，经试压 30min 压力下降不超过 0.05，再持续时间 15min 压力不下降应为合格。发现渗漏时，应根据渗漏情况采取补救措施，并应符合质量验收标准后再移钻机施工下一个钻孔。
- e) 供液管的外径与壁厚应符合表 15 的规定。

表15 供液管的外径与壁厚

供液管品种	外径(mm)	壁厚(mm)
焊接钢管	≥38	3
聚乙烯软管	≥50	5

8.6.6 穿过洞室的冻结管与地层之间的环形空间必须封堵充填，充填长度自洞室顶板向上不应小于 100m。

8.6.7 冷冻站房结构应通风良好，空气中氨的浓度不得超过 0.004%。站房内应设置防火、防毒、避雷等安全设施。当室外气温高于 35℃时，室外高压贮氨容器等应设遮阳凉棚。

8.6.8 冻结站充氮前，应进行试漏检验，并应符合下列规定：

- a) 压气试漏的压力应符合表 16 的规定，试漏时间应为 24h；初始 6h 之内的压力下降不应超过 0.05Mpa，持续 18h 之内压力不下降可为合格。
- b) 在压气试验合格后应进行真空试漏，系统内试漏真空度应为 0.097MPa~0.101MPa，且 24h 后的压力应保持为 0.090MPa~0.093MPa。

表16 压气试漏的压力

系统	设备名称	试验表压力(MPa)
高压系统	高压机排气、油氨分离器、冷凝器、贮液桶、集油器至调节站	1.8
中压系统	自低压机排出口，经中间冷却器、高压机吸气	1.4

系统	设备名称	试验表压力 (MPa)
低压系统	自调节站、氨液分离器、蒸发器、浮球阀至低压机吸入口	1.2

8.6.9 氨压缩机所用制冷剂的纯度应大于 99.8%。

8.6.10 环形冷冻沟槽的底板宜高于正常地下水位，净高不应小于 1.8m，顶、底板和墙体均应有防水性能，顶板还应具有隔热抗压性能。当地下水位较高时，宜设排水设施。冷冻沟槽低于地下水位部分的底板和墙体应采用防水混凝土。

8.6.11 地面盐水管路系统应进行动压试漏，试验压力不得小于盐水泵最大工作压力的 1.5 倍，持续 15min 压力不下降可为合格。

8.6.12 冻结盐水设计温度应不低于-35℃时，宜采用氯化钙溶液，溶液的比重应根据设计盐水温度确定，溶液的浓度应在冰盐合晶点范围以内。

8.6.13 盐水降温梯度应符合下列规定：

- a) 在正温阶段，盐水的降温梯度不宜大于 5℃/d。
- b) 当温度降至 0℃后，盐水的降温梯度宜为 1.5℃/d~2.5℃/d。

8.6.14 冷冻系统的低温设备和低温管路应进行隔热和防潮处理，其冷量损失不应大于冻结站工作制冷能力的 15%。

8.6.15 冷却水的水质、水温、水量应符合冻结设计规定，水源井应布置在冻结井筒的地下水流向的上方，与被冻结井筒的距离不宜小于抽水影响半径。在抽水影响半径范围内的水源井在冻结壁交圈前应停止使用。

8.6.16 冻结器之间的盐水流量和温度差应符合下列规定：

- a) 每个冻结器的盐水循环量与同圈平均值的差值不宜大于 1m³/h。
- b) 每个冻结器的回路盐水温度与同圈平均值的差值不宜大于 1℃。
- c) 差异冻结时，同一深度的冻结孔可按本条第 1 和 2 款的规定执行。

8.6.17 冻结站的供冷量应根据井筒不同施工阶段进行调整，并应符合下列规定：

- a) 冻结初期，应根据冻结设计盐水降温规定将盐水降至要求温度。
- b) 在表土层段掘砌过程中，应根据冻结壁厚度、平均温度、井帮稳定性、掘砌速度等实际情况调整供冷方式和盐水循环量。
- c) 掘砌进入风化带后，当井帮稳定、外层井壁完好时，可适当提高盐水温度或减小盐水循环量；
- d) 当内层井壁套壁进入表土层后，在套壁工作正常和外层井壁安全状况良好的条件下，可通过技术分析提出停冻时间。

8.6.18 冻结全过程应确保冻结盐水循环系统和每个冻结器的安全运转，并应符合下列规定：

- a) 冻结壁形成期应定期检测每个冻结器的盐水流量与温度，并应符合设计规定。
- b) 多圈孔冻结时，各圈冻结孔盐水宜采用独立的配、集液圈，也可采用独立的主冻结孔圈和辅助与防片帮冻结孔圈共用的配集液圈盐水循环系统。

8.6.19 冻结壁设计应符合下列规定：

- a) 应满足强度和变形的要求。
- b) 井筒按设计段高和井帮裸露时间施工时，冻结壁的径向位移值每段高不宜大于 50mm。
- c) 冻土允许抗压强度应采用 $\Phi 61.8\text{mm} \times 150\text{mm}$ 圆柱体试件按每分钟 1/100 恒应变速率轴向加载获得的冻土单轴抗压强度，除以安全系数 1.2（砂性土层）和 1.4（粘性土层）后确定。

8.6.20 井筒开挖应具备下列条件：

- a) 水文观测孔内的水位有规律的上升并溢出管口不应少于 7d；当水位观测孔失效或无水文孔时，井筒内的水位应有规律地上升。
- b) 根据测温孔实测温度分析，井筒浅部不会发生较大片帮，且不同深度、不同土层的冻结壁厚度和强度符合设计规定，同时满足连续掘砌施工要求。

- c) 地面的提升、搅拌、运输、供热等辅助设施均应适应井筒施工的要求。
- 8.6.21 冻结掘砌段高应根据地层性质、冻结壁的强度、井帮稳定性和井壁结构、施工工艺、掘砌速度等因素综合分析确定，并应符合下列规定：
- a) 表土层段段高应符合下列规定：
- 1) 试挖阶段不宜大于 2m。
 - 2) 正式开挖阶段，应严格控制冻结壁径向位移小于或等于 50mm，循环作业时间少于或等于 30h，段高小于或等于 3.8m；深厚粘土层施工时段高不应大于 2.5m。
- b) 基岩段的掘砌段高不宜大于 4m。
- 8.6.22 冻结段采用钻爆法施工时，应符合下列规定：
- a) 应编制爆破安全技术措施，使用抗冻安全炸药。
- b) 应根据冻结孔偏斜图，严格控制周边眼倾角及与荒径的距离，使炮眼与冻结管的距离不小于 1.2m。
- 8.6.23 冻结段宜采用外层井壁短段掘砌和内层井壁一次滑模浇筑混凝土的施工工艺，应把分次套壁的施工工艺作为工程预案。表土层段施工过程中如出现冻结管断裂和外层井壁压坏等现象危及井筒安全时，应暂停掘进并提前施做内层井壁。
- 8.6.24 混凝土的适宜入模温度应为 15℃；低温季节施工时的入模温度不应低于 5℃，高温季节施工时的入模温度不应高于 30℃；模板脱模时的混凝土强度应符合第 8.5.6 条关于混凝土质量控制的规定。
- 8.6.25 冻结站拆除及盐水管路处理，应符合下列规定：
- a) 应在内层井壁施工结束后再拆除冻结站，拆除工作开始前应先回收盐水和氨。
- b) 冻结管是否回收应由冻结单位和建设单位协商确定，对回收冻结管应编制专项措施；冻结管回收后，应用水泥浆充填冻结孔。
- c) 不回收冻结管时，供液管应全部回收，冻结管应用水泥浆充填。

8.7 井筒注浆

- 8.7.1 井筒通过岩溶地区，或揭穿含水层和地质构造带前，应编制防治水专项措施。
- 8.7.2 井筒过含水层工作面注浆应符合下列规定。
- a) 预计井筒单层涌水量大于 10m³/h 的含水层，应采取预注浆堵水。
- b) 井筒穿过的基岩含水层赋存较深，或含水层间距较大，中间有良好隔水层时，宜采用工作面注浆法施工；工作面注浆可采用工作面预注浆或工作面直接堵漏的方法。
- c) 工作面预注浆前，应超前钻孔通过被注的含水层，核实含水层实际厚度与含水量。
- d) 工作面预注浆的段高不宜大于 50m，宜采用下行式注浆，一次或多次注完全部含水层。钻孔应沿井筒周边布置，应与岩层节理、裂隙相交。
- e) 工作面预注浆应在含水层上方预先浇筑混凝土止浆垫，并应符合下列规定：
- 1) 混凝土止浆垫顶面应超过井壁下口 500mm 以上，并应对井壁及止浆垫混凝土强度进行验算。
 - 2) 探水前，应对孔口管和止浆垫进行注浆加固，并进行抗压试验，试验压力不应小于工作压力的 1.2 倍。
 - 3) 混凝土止浆垫的厚度，应根据注浆压力、混凝土强度等级和井筒直径计算确定。
 - 4) 在工作面有涌水的情况下，应先铺设 0.5m~1.5m 厚的碎石滤水层，安设集水箱、排水管和注浆管，再浇筑混凝土止浆垫；当止浆垫混凝土达到强度后，应注浆封闭涌水加固止浆垫。

- 5) 井筒遇到含水层, 注浆前应作疏水降压处理, 采取强排水或直接堵漏法处理无效时, 应待井筒涌水上升到静水位, 再在下部凿筑止水墙, 可随掘随筑, 止水垫应连续进行, 止水垫的厚度应与制浆的工作人员, 应佩戴防护眼镜和口罩, 水泥搅拌房内应采取防尘措施。
 - 6) 工作面预注浆应采取防冒浆和堵漏措施。
 - j) 工作面直接堵漏注浆可采用手持式凿岩机或伞钻钻孔, 钻孔的数量、角度及深度应根据含水层的裂隙状况确定; 注浆孔深度应超前掘进凿岩深度 2m 以上, 凡遇有涌水的钻孔应进行注浆堵水。
 - k) 注浆压力与浆液浓度, 应符合下列规定:
 - 1) 注浆终压宜大于或等于静水压力的 2 倍~4 倍。
 - 2) 浆液浓度、材质、凝结时间、注入量等, 应根据不同条件进行选择, 水玻璃的模数宜为 2.4~3.2; 水泥浆与水玻璃的体积比, 宜为 1:0.3~1:0.6。
 - l) 工作面注浆结束的参考标准应符合下列规定:
 - 1) 各注浆孔的注浆压力达到终压, 浆液流量应小于 30L/min~40L/min, 稳定时间: 水泥浆 20 min~30 min, 水泥—水玻璃浆液 10min, 可结束该孔段的注浆工作。
 - 2) 直接堵漏注浆, 应达到各钻注孔的涌水已封堵、无喷水, 且其涌水量应小于施工设计规定。
- 8.7.3 井筒壁后、壁间注浆应符合下列规定。**
- a) 建成后的井筒或正施工的井壁段, 符合下列之一情况时, 均应进行壁后、壁间注浆进行处理, 并应采取防止井壁破坏的措施:
 - 1) 深度小于 600m 的井筒, 漏水量超过 6m³/h。
 - 2) 深度大于 600m 的井筒, 漏水量超过 10m³/h。
 - 3) 井壁有集中漏水, 漏水量超过 0.5m³/h 的出水点。
 - b) 壁后、壁间注浆的工艺和材料应根据井壁结构、质量、漏水特征与壁后地质、水文地质条件等因素确定; 裂隙水地层宜采用水泥浆液堵水, 孔隙水或微裂隙地层宜采用超细水泥浆液或化学浆液堵水。
 - c) 壁后、壁间注浆的施工顺序应根据含水层的厚度分段进行。对漏水段较长的井筒, 宜采取由上往下逐段进行注浆, 每个分段内宜先由下往上注浆, 再由上往下复注一次。
 - d) 壁后、壁间注浆孔的布置, 应符合下列规定:
 - 1) 注浆孔的数量应根据堵水需要选定, 在含水层上下界面位置或裂隙含水层中的注浆孔宜加密。
 - 2) 注浆段壁后为表土层时, 注浆孔的深度应小于井壁厚度 200mm; 双层井壁段壁间注浆时, 注浆孔应穿过内层井壁进入外层井壁, 进入外层井壁深度不应大于 100mm; 当需要穿透井壁注浆造孔时, 预留井壁保护层厚度必须大于 200mm, 安设孔口管及阀门并试压合格后, 在孔口管内造孔注浆。
 - 3) 漏水的井筒段壁后为含水岩层时, 注浆孔应进入岩层 1.0m 以上。
 - e) 壁后、壁间注浆的压力应大于静水压力 0.5MPa~1.5MPa; 在岩石裂隙中的注浆压力可适当提高。
 - f) 井上、下均应有可靠的通讯设施, 升降注浆作业吊盘或工作盘时, 应得到值班人员的允许。
 - g) 井筒内进行钻孔注浆作业时, 作业点下方不得有人。注浆中应观察井壁, 发现问题应立即停止作业, 并应及时处理。

- h) 钻孔时应经常钻孔内涌水量和含砂量。涌水量较大或涌水中含砂时，应停止钻进并及时注浆；钻孔中无水时，应及时严密封孔。
- i) 注浆管露出井壁的管端与提升容器之间的间隙，应符合《煤矿安全规程》的有关规定。
- j) 壁后、壁间注浆结束的标准应符合下列规定：
- 1) 各注浆孔的注浆压力应达到设计压力。
 - 2) 各钻注孔的涌水应已封堵、无喷水，且其涌水量应小于施工设计规定。

9 竖井工程质量检验与验收

9.1 一般规定

9.1.1 竖井工程质量检验评定应按分项工程、分部（或子分部）工程和单位工程逐级进行；分项工程、分部（或子分部）工程和单位工程应按本规程要求进行工程划分；分项工程应按主要施工工序进行划分，质量检验应符合本规程规定；竖井工程质量检验评定验收应按现行 JTG F80/1-2017 进行。

JTG F80/1-2017《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》对于竖井按 200m 深划分为分部工程，过于笼统，参照 GB 50213《煤炭井巷工程质量验收规范》、GB 51036《有色金属矿山井巷工程质量验收规范》和 YB 4391《冶金矿山井巷工程施工质量验收规范》进行细化。

9.1.2 分项工程检查项目分为关键项目和一般项目，检查项目包括基本要求、实测项目、外观质量和质量保证资料四项内容，应分别检查，按 JTG F80/1-2017 分项工程质量检验评定表记录，并符合下列规定：

- a) 应对所列基本要求逐项检查，检查不符合规定时，不得进行工程质量的检验评定。
- b) 主控项目的实测项目每个检查断面的测点合格率应不低于 95%，一般项目的实测项目每个检查断面的测点合格率应不低于 80%。
- c) 外观质量应进行全面检查，并满足规定要求，否则检查项目为不合格。
- d) 应有真实、准确、齐全、完整的施工原始记录（如开挖后地质素描、钻孔测斜资料等）、试验检测数据、质量检验结果等质量保证资料。

JTG F80/1-2017《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》附录 K 分项工程质量检验评定内容如下。

分项工程名称： 工程部位： 所属建设项目（合同段）：
所属分部工程名称： 所属单位工程： 施工单位： 分项工程编号：

基本要求			1 2 ...													
实测项目	项次	检查项目	项目值或允许偏差	实测值或实测偏差值										质量评定		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值、代表值	合格率 (%)	合格判定
外观质量													质量保证资料			
工程质量等级评定																

检验负责人： 检测： 记录： 复核： 年 月 日

掘进工程

9.2.1 表土层开挖关键项目应满足下列规定：

- 表土层开挖及临时支护基本要求应符合设计的规定。
- 表土层开挖的实测项目为井筒开挖半径，采用普通凿井法和冻结凿井法施工允许偏差分别为 $0\text{ mm}\sim+250\text{ mm}$ 和 $0\text{ mm}\sim+400\text{ mm}$ ，检验方法采用挂线丈量，检查数量按本规程附录 E-2 的规定检查断面和测点。
- 开挖后外观质量岩面应无松动石块。

：

表土层系指覆盖于基岩以上的冲积层或岩石风化带，结构松软，整体性、稳定性较差。开挖超挖难于控制，因此对此段开挖规格的超挖值要求较宽，但不准欠挖。

9.2.2 基岩开挖关键项目应满足下列规定。

- 基本要求应符合下列规定：
 - 开挖应采用光面爆破，爆破设计和爆破作业规程应符合施工设计要求。
 - 临时支护应符合设计要求。
 - 马头门的位置和方位应正确，底板标高的允许偏差应不超过 $\pm 50\text{ mm}$ ，方位的允许偏差应不超过 1° 。
- 实测项目为无临时支护开挖后井筒半径允许偏差为 $-50\text{ mm}\sim+200\text{ mm}$ ，采用临时支护后井筒半径允许偏差为 $0\text{ mm}\sim+200\text{ mm}$ ，检查方法和检查数量与 9.2.1 条一致。
- 开挖后外观质量岩面应无松动石块，不应有明显的炮震裂缝。

9.3 混凝土结构支护工程

9.3.1 模板关键项目应满足下列规定。

- 基本要求应符合下列规定：
 - 模板及其支架应有设计。
 - 竖井采用滑升模板、整体移动式模板、组合模板拆除时的混凝土强度应符合施工组织设计和作业规程的要求。
- 质量保证资料应包含板及其支架的材质、规格、承载力、刚度应符合设计、作业规程及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定。使用前应进行整体组装、调试和检测，并提交报告。
- 在浇筑混凝土之前，应对支模进行验收。在浇筑混凝土过程中，应对模板及其支架进行监测和及时调整，检查数量按本规程附录 E-2 的规定检查断面和测点，实测项目应符合下列规定：
 - 竖井采用整体滑升钢模板时，支模的允许偏差应符合表 17 的规定。
 - 竖井采用整体移动式钢模板时，支模的允许偏差应符合表 18 的规定。
 - 竖井采用组合钢模板时，支模的允许偏差应符合表 19 的规定。

表17 竖井整体滑升钢模板支模允许偏差

检查项目	允许偏差/mm
模板半径（井筒中心线至模板表面）	$+20\sim+40$
提升架在两个方向的垂直偏差	≤ 5
安装千斤顶辐射梁的水平度（全长）	≤ 5
模板上口半径	± 5
模板下口半径	± 5

表 17（续）

检查项目	允许偏差/mm
提升架前后位置	±5
提升架左右位置	±10

表18 竖井整体移动式钢模板支模允许偏差

检查项目	允许偏差/mm
模板半径（井筒中心线至模板表面）	+20~+40
上下口垂直偏差	≤10
接缝宽度	≤3
相邻模板间高低差	≤5
相邻模板间平整度	≤5

表19 竖井组合钢模板支模允许偏差

检查项目	允许偏差/mm
模板半径（井筒中心线至模板表面）	+10~+40
垂直偏差	≤10
接缝宽度	≤3
相邻模板间高低差	≤5
相邻模板间平整度	≤5

普通竖井单层井壁与冻结段外层井壁“整体移动式钢模板”、冻结段内层井壁“液压滑升钢模板”首次使用时，应在井下进行组装、调试和检验；“竖井组合钢模板”首次使用时应进行现场组装、调试和检验。

9.3.2 衬砌钢筋和混凝土衬砌应符合 JTG F80/1-2017 的要求。

9.4 冻结施工工程

9.4.1 冻结钻孔关键项目应满足下列规定。

a) 基本要求：

- 1) 逐孔检查钻孔孔位应符合设计要求，检查钻孔记录或现场抽查复测。
- 2) 逐批检查主冻结管、辅助冻结管、防片帮冻结管及其接箍、底锥、焊条的品种、材质、规格（如冻结管的直径和壁厚）应符合冻结设计的要求，检查出厂合格证或出厂质量证明。
- 3) 逐孔检查主冻结管、辅助冻结管、防片帮冻结管的压力试漏应符合冻结设计的要求，检查压力试验记录、检测报告或现场抽查复测。
- 4) 逐孔检查相邻冻结孔的终孔孔底间距应符合设计要求，检查钻孔成孔测斜记录和成孔总平面偏斜投影图。
- 5) 逐孔检查冻结管、供液管的下管深度不应小于设计深度，检查钻进加尺记录或成孔测斜深度记录。
- 6) 逐孔检查水位观测孔（或管）的位置、深度、结构应符合设计规定，并能正常报道水位变化情况，检查水位观测孔的结构、施工记录和水位管安装原始记录。
- 7) 逐孔检查钻孔泥浆性能应符合冻结施工设计要求，检查原材料合格证或化验单和泥浆性能试验记录。

实测项目：逐孔实测主冻结孔偏斜率和终孔间距。

- c) 外观质量：逐批检查冻结管材锈蚀情况、有无明显变形、有无裂缝、厚度是否均匀、有无明显弯曲、有无明显扁口、有无明显夹皮、有无明显凹陷、有无焊接防滑块等。

；

b)

参照 GB/T 51277《矿山立井冻结法施工及质量验收标准》，每根冻结管由若干节钢管及底锥用接箍连接或直接焊接而成，管体、接箍、底锥和焊条的材质要匹配，强度、脆化温度转化点和拉伸应符合设计要求。出厂合格证或出厂质量等资料可作为质量保证资料。

9.4.2 冻结制冷关键项目应满足基本要求：

- a) 冻结站制冷系统、冷却水系统、盐水系统的设备型号、规格、数量和安装质量应符合冻结设计要求；检查产品说明书、出厂合格证、安装质量验收报告。
- b) 冻结站的制冷系统和地面盐水系统的压力试漏，应符合表 20 的规定，制冷系统按分组、分系统段检查，盐水管路按分组循环系统检查；检查压力试验记录和检验报告。

表20 冻结站的制冷系统和地面盐水管路试漏压力

系统		设备、管路	试漏方式	试验表压力/MPa
制冷系统	高压段	高压机排气、油氨分离器、冷凝器、贮液桶、集油器至调节站	压气	1.8
	中压段	自低压机排出口，经中间冷却器、高压机吸气	压气	1.4
	低压段	自调节站，经氨液分离器、蒸发器、浮球阀至低压机吸入口	压气 真空度	1.2 0.097~0.101
地面盐水管路		自盐水泵至去、回路干管和集、配液圈	压水	≥0.75

- c) 分项检查冻结器、盐水管的盐水流量、温度的检测装置和安装质量应符合冻结施工设计要求；对照冻结施工设计，检查盐水管路、冻结器的安装记录和检验结果。
- d) 冻结壁形成期的盐水温度不应高于设计值 2℃，盐水流量应符合施工设计要求；检查去路干管和每个冻结器的盐水温度和流量，检查每天的盐水温度实测记录和每月实测盐水流量不少于 1 次。
- e) 冻结壁的交圈时间应符合冻结施工设计的要求，延迟不应超过 10d；检查每个水位观测孔的水位，对照设计检查分析不同含水层的水位变化和冻结壁交圈时间。
- f) 冻结壁有效厚度和平均温度应满足井筒冻结段安全、连续施工的要求；检查每个测温孔不同深度、不同土层的温度，对照设计检查分析冻结壁的有效厚度、平均温度和安全掘进段高。
- g) 冻结管安全工作状况应能满足井筒冻结段安全掘砌的要求；逐孔检查冻结的安全状况，对照设计检查分析冻结器的盐水流量和温度实测记录。
- h) 逐项检查冻结站冷却水系统的补给水源井位置、水量和管路、储水池、排水沟的安装施工质量应满足冻结施工设计的要求；检查冷却水系统的安装记录和检验结果。
- i) 分项检查冻结站制冷系统的低温设备、管路和地面盐水管路的保温质量应符合冻结施工设计要求；检查冻结站内外低温设备、管路的安装记录和验收记录。

；

第 1 款冻结站的设备型号、规格、数量和安装质量与冻结站的正常运行密切相关，应符合冻结设计的要求。第 5 款冻结壁交圈时间是确定冻结段开挖时间的重要依据，直接影响冻结段能否安全施工，应按照冻结设计规定，加强观测和分析。第 6 款冻结壁有效厚度和平均温度是计算冻结壁强度和稳定性的主要参数，应按照冻结设计要求，加强对不同深度、不同土层冻结壁温度状况的检测和分析，为保证冻结段安全施工提供依据。第 7 款冻结管断裂是由于冻结壁强度不达标、冻结壁径向位移超标、冻结管材质与强度、焊接质量不合格等因素造成的。防止冻结管断裂主要对策是采取加强

冻结的方法，提高冻结壁的有效厚度和平均温度，并限制开挖段高、缩短井帮裸露时间，减少冻结壁径向位移量等综合防治措施。第8款冻结井筒的水源井位置、抽水量对冻结壁交圈时间影响较大，水质、水量影响制冷效果，二者均应满足设计要求。第9款低温设备和低温管路的隔热质量是影响冷站冷量损失和冻结费用的重要因素。

9.5 防治水工程

9.5.1 工作面预注浆关键项目应满足下列规定。

- 注浆材料 and 外加剂的质量应符合设计要求和 GB 50108 的规定。
- 每一注浆段浆液配合比及浓度应符合施工设计要求。
- 工作面预注浆结束的标准应为：各注浆孔的注浆压力达到设计终压且注入量小于 40L/min；
- 工作面预注浆段开挖漏水量不应大于 6m³/h。
- 工作面预注浆采用的止浆垫或岩帽厚度、强度均应符合设计要求。
- 孔口管结构和埋设质量应符合下列规定，应逐孔检查记录孔口管安设和耐压试验：
 - 孔口管结构应符合设计要求。
 - 孔口管埋设应牢固。
 - 试验压力应大于注浆终压 1.2 倍。
 - 孔口不应跑浆。

预注浆的原材料主要有水泥、水玻璃、外加剂和掺合料等，原材料质量对形成浆液结石体物理力学性能、封水效果影响较大，因此，地面预注浆应进行浆液配合比试验，并应控制原材料及外加剂的质量。

根据煤矿立井调查，6m³/h 的地面预注浆段井筒开挖漏水量是根据实践经验提出的，注浆技术能够达到，经济合理，保障井筒掘砌施工安全。

9.5.2 后注浆关键项目应满足下列规定：

- 注浆材料 and 外加剂的质量应符合设计要求和 GB 50108 的规定。
- 每一注浆段浆液配合比及浓度应符合施工设计要求。
- 注浆后全井筒渗水量应符合表 21 要求。

表21 竖井建成后总漏水量的标准和检验方法

项目		总漏水量（m³/h）	检验方法	
普通凿井法	井筒深度≤600m	≤6	不得有 0.5 以上的集中出水孔	一昼夜实测 3 次井筒漏水量，取平均值
	600m<井筒深度≤1000m	≤10		
	井筒深度>600m	宜≤12		
冻结法	≤400m	≤0.5		
	>400m， 每百米漏水增加量≤0.5m³/h	≤0.5， $1+\frac{h_d-400}{100}$		
注：h _d —冻结法施工的井筒段深度，>400m。				

竖井施工辅助作业与环境控制

10.1 信号、通信及照明

10.1.1 信号应符合下列规定：

开挖工作面与吊盘、吊盘与井口、翻碴平台与提升机房、井口与提升机房必须设置独立的信号装置。

- a) b) 井口与提升机房之间，应采用数码显示声光兼备的信号装置，信号装置必须与提升机的控制回路闭锁，并应设置直通电话。
- c) 每一台提升机，应有独立的信号系统，装备一套提升系统的井筒，必须有备用信号装置。
- d) 设置井盖门安全信号，当吊桶上升距井盖门 40m~50m 时，信号铃应自动发出有声信号。
- e) 信号系统应简单、可靠，信号应清楚易辨，系统上应做到联锁严密。
- f) 井下发出的提升信号的接收和转发，应符合《煤矿安全规程》的有关规定。
- g) 信号电源应独立可靠，并应有电源指示灯。

参考《煤矿安全规程》（2016 版）修订版第七十六条和 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.7.1 条。

10.1.2 通讯及视频监控应符合下列规定：

- a) 开挖工作面、吊盘、井筒中间转水站、井口信号房、提升机房及调度室等重要工作和指挥场所，必须安装本安型通信设备。
- b) 开挖工作面、吊盘、转水站、井盖门、井口信号房、翻碴台、提升机房及调度室等重要场所应安装视频监控系统，其图像记录保留时间不低于 7 天。

条文说明：

在竖井井筒和井底隧道的施工中，安装视频监控系统，对于安全施工和调度指挥，能起到很好的作用。

10.1.3 井下照明应符合下列规定：

- a) 井下照明应能满足施工需要，并应具有良好的显色性和稳定性。
- b) 井下的照明装置应符合安全要求，控制方式应简单可靠。
- c) 开挖工作面照明应满足施工需要，井下吊盘不少于 2 盏，工作面不少于 4 盏；井筒内单独作业人员必须携带矿灯。
- d) 夜间施工翻碴台工作人员必须携带矿灯。

参考 AQ 1083-2011《煤矿建设安全规范》第 6.10.5 条和 GB 50511-2010《煤矿井巷工程施工规范》第 10.9.1 条和第 10.9.2 条。

10.2 施工排水与供水

10.2.1 在吊盘上安装高扬程卧泵及水箱排水，工作面涌水通过风动潜水泵或电动潜水泵排至吊盘水箱内；用电动潜水泵排水时，必须使用检漏保护装置。

公路竖井深度一般不超过 600m，目前高扬程卧泵可满足从吊盘水箱一次排出的能力。

10.2.2 吊盘上设卧泵转水，在设计井筒布置和吊盘时，应预留上层盘设置水箱和下层盘安设水泵的位置，并验算吊盘的强度。

10.2.3 排水管采用无缝钢管，应满足排除井筒工作面最大涌水量的要求，管内径和管壁厚度分别按式（30）和（31）计算。

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi V_c}} \dots\dots\dots (30)$$

$$t = \frac{d}{2} \left(\sqrt{\frac{\sigma_s + \lambda p}{\sigma_s - \lambda p}} - 1 \right) - t_c \quad \dots \dots \dots (31)$$

d 无缝钢管内径 (m) ;

V_c 无缝钢管内经济流速, 可取 1.5m/s~2.2m/s;

Q 排水量 (m³/h) ;

t 管壁厚度 (mm) ;

t_c 无缝钢管管壁附加厚度, 取 1~2mm;

σ_s 无缝钢管的允许应力, 取 80MPa;

P 排水终压 () ;

λ 超载系数, 可取 1.1。

10.2.4 竖井施工用水设在上层吊盘设释压水箱, 以适应凿岩等用水压力的需要。供水宜选 $\Phi 50\text{mm}$ 无缝钢管, 用高压法兰联接, 管路可通过井壁固定或钢丝绳悬吊。当兼注浆管时, 应根据注浆压力确定法兰的承载能力。

10.3 施工供高压风

10.3.1 空气压缩机的选择, 应符合下列规定:

a) 建井期的总耗风量和供风量分别按式 (32) 和 (33) 计算:

$$Q = \alpha \beta \gamma \sum_{i=1}^n k q_i \quad \dots \dots \dots (32)$$

$$Q_s = Q(1+15\%) \quad \dots \dots \dots (33)$$

Q 总耗气量 (m³/min) ;

α 管路漏气系数, 取 1.15;

β 机械磨损使耗风量增加的系数, 取 1.1~1.15;

γ 高原修正系数, 海拔每增加 100m, 系数增加 1%;

n 同型号风动机具使用数量 (台) ;

k 同型号风动机具同时使用系数, 当 $n \leq 10$ 时, 取 1~0.85; $< n \leq 30$, 取 0.84~0.75;

q_i 单台气动工具耗风量 (m³/min) ;

Q_s 供风量 (m³/min) 。

b) 当各个施工阶段的风量供应变化较大时, 备用风量应为设计风量的 20%~30%, 备用空气压缩机不得少于 1 台;

c) 宜选用同一型号的空气压缩机, 当负荷有波动时可选用容量不同的空气压缩机;

d) 水冷的空气压缩机组, 备用冷却水泵不应少于 1 台, 其能力应与最大一台冷却水泵相等。空气压缩机的进水温度一般不宜超过 30℃, 出水温度不宜超过 40℃。

10.3.2 压气管路的选择和敷设, 应符合下列规定:

压气管路宜采用钢管，管径应满足最远用气处的总压力损失不超过 0.1MPa 的要求。

- b) 井筒地质条件复杂或含水层水量较大，宜采用法兰连接，作为备用排水管使用，并应符合排水管要求。

10.3.3 空气压缩机站的设置，应符合下列规定：

- a) 地面临时空气压缩机站，应设在用气负荷中心。
- b) 站址应选择在空中清洁、通风良好处，远离产生尘埃和废气的地点。
- c) 空气压缩机之间的通道宽度，不宜小于 1.5m。

10.3.4 储气罐的设置应符合下列规定：

- a) 应设在地面阴凉处。
- b) 应装设超温保护设施。
- c) 应装设动作可靠的安全阀和放水阀。
- d) 出口的管路上应设置释压阀，释压阀的口径不得小于出气管的直径。
- e) 新安装或检修后的气包，应用 1.5 倍工作压力进行水压试验。

10.4 施工通风

10.4.1 竖井开挖深度超过 30m 或进行爆破作业，必须实行机械通风。

10.4.2 工作面需风量应按瓦斯涌出量、炸药用量、人数和最低风速 0.15m/s 等规定要求分别进行计算，取其中最大值作为实际需风量，同时满足 JTG T 3660 的要求。

10.4.3 井筒设计深度大于 500m 时，宜分段计算需风量和通风风阻，选择相应能力的通风机。地面通风机安设位置距井口不应小于 20m，应远离污染源，并安装一台同等能力的备用通风机。

10.4.4 风筒直径不应小于 600mm；当通风长度大于 600m 时，宜选用直径不小于 700mm 的风筒；通风长度大于 800m 时，宜选用直径不小于 800mm 的风筒。

10.4.5 当井筒净直径大于 8m、深度超过 500m，宜布置双套通风系统，两趟风筒应分开布置。

10.4.6 通风安全监测监控系统应符合下列规定：

- a) 瓦斯矿井的井筒爆破施工应安装瓦斯监测断电系统，具备瓦斯电闭锁、地面和井下瓦斯浓度显示、瓦斯超限地面和井下同时报警等功能；当电网停电后，系统应能持续工作不小于 2h。
- b) 井筒揭过突出煤层前，应装备通风安全监控系统，并符合 AQ 1029 的规定。
- c) 工作面瓦斯传感器应安设在吊盘下方、风筒对侧，距离工作面距离为 $m \sim 15m$ ，瓦斯传感器应实现瓦斯电闭锁；回风流瓦斯传感器安设在井口封口盘回风口处，传感器距井壁不小于 200mm。
- d) 安全监测监控电缆应吊挂竖直，与动力电缆、放炮电缆分开敷设，易碰撞、挤压、刮伤的地段应有保护措施。

10.4.7 压入到井内的空气温度应为 2°C 以上，当外界气温较低时，宜设置空气加热设备等措施。

10.5 施工供电与混凝土搅拌

10.5.1 供电系统选择应遵循下列原则：

- a) 主变容量应按照需用系数、功率总和选择，宜选用移动变电站。
- b) 根据负荷统计计算，总功率因数低于 0.9 时，必须进行功率补偿，宜选用电容器补偿，补偿容量随负荷变化自动调整。
- c) 按经济电流密度选择电缆截面，并校验电压损失。
- d) 单回路供电时，应设临时备用电源。

10.5.2 井筒施工期间,应在井口附近安装集中搅拌系统搅拌混凝土,地面搅拌站内宜布置 1~2 台强制式混凝土搅拌机,并采用配套的自动计量系统上料,搅拌系统应能满足井筒连续施工的需要;有条件时应采用商品混凝土。

10.5.3 向井下输送混凝土时,必须制定安全技术措施。

10.6 作业环境控制

10.6.1 竖井内作业环境检查应符合下列规定:

- a) 应测试通风的风量、风速和风压等,检查通风设备能否满足需求。
- b) 应检测粉尘和有毒物质的浓度,测定方法应符合 GBZ 159、GBZ/T 192 和 GBZ/T 300 的规定。

10.6.2 竖井作业环境中空气中粉尘浓度和有毒物质浓度应按照 JTG/T 3660 的规定控制。

10.6.3 竖井施工应采取综合防尘措施,并符合下列规定:

- a) 应配备测尘仪器测定粉尘浓度。
- b) 应采用湿式钻眼,冻结基岩段干打眼时应采取捕尘、降尘措施。
- c) 工作面爆破后和出碴时应洒水降尘。
- d) 所有接尘人员应佩戴防尘保护用品。

10.6.4 竖井作业环境空气中的氧气含量应大于 19.5%;竖井内噪音不应大于 85dB;竖井内气温不宜高于 28℃。

10.6.5 竖井穿越放射性地层时应遵守现行 GB 18871 的规定。

;

竖井施工中作业环境主要因素包括通风、粉尘、噪音、温度、有毒有害气体、放射性等,本条提出作业环境控制要求,施工中应采取相应的措施,以保证职业健康标准。

10.6.6 冬季施工应符合下列规定:

- a) 井口棚应封闭保温,各出入口应悬挂门帘;井口及二层台宜采用暖气取暖,井口 20m 范围内禁止使用电器设备及明火取暖。
- b) 井口 20m 以外的值班室及厂房、车间等可安设火炉取暖,应有防火措施。
- c) 石子、砂子可采取在上面覆盖用篷布缝制内装麦草的保温袋保温防冻。
- d) 混凝土搅拌站可采用锅炉或电热器加热搅拌用水,水的加热温度应控制在 60℃~80℃,如采用大于或等于 42.5R 级水泥时,水的加热温度应控制在 40℃以上;寒冷地区的砂石等材料应设材料加热棚,棚内可采用地暖加热。
- e) 井口棚内应经常保持干净,不得有积水、杂物,防止结冰。
- f) 井口周围和井架、天轮平台钢梁及二平台上的积雪、积水、结冰应及时清理干净。
- g) 应做好井口封闭保暖工作,防止雨水和二平台排碴时积水进入井下,应经常安排专人检查、清除井口及井壁结冰。

附录 A
(资料性)
混凝土井壁内力及承载力计算

A.1 井壁圆环截面内力及承载力计算

A.1.1 均匀压力作用下了混凝土井壁单位高度圆环截面内力及承载力计算应符合下列规定。

a) 薄壁圆筒 ($t < r_w / 10$) 井壁应按下列规定进行计算:

1) 井壁圆环截面轴向力(图 A.1)应按下式计算:

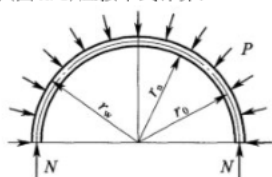


图 A.1 井壁圆环截面轴向力计算简图

$$N = r_w P \dots\dots\dots (A.1)$$

N 每米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 ()。

2) 素混凝土井壁圆环截面承载力应按下列公式计算:

$$N \leq 0.85 \varphi_1 t f_c \dots\dots\dots (A.2)$$

$$L_0 = 1.814 r_0 \dots\dots\dots (A.3)$$

φ_1 素混凝土构件稳定系数 (见表 A.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 A.1 素混凝土构件稳定系数

L_0 / b	<4	4	6	8	12	14	16
φ_1	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	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 取井壁截面计算宽度 (m)。

3) 钢筋混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算:

$$N \leq \varphi (t f_c + A_s f_y') \dots\dots\dots (A.4)$$

钢筋混凝土轴心受压构件稳定系数 (见表 A.2);

A_s 每米井壁截面配置钢筋面积 (mm²/m);

f_y' 钢筋抗压强度设计值 (N/mm²)。

表 A.2 钢筋混凝土轴心受压构件稳定系数

L_0/b	<8		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

注：表中 L_0 为构件计算长度〔按式(A.3)计算〕。

b) 厚壁圆筒($r \geq r_0/10$)井壁计算方法如下：

1) 井壁圆环截面轴向力(图 A.2)应按本规范公式(A.1)计算。

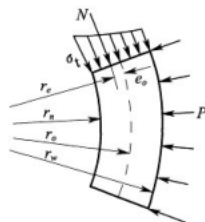


图 A.2 井壁圆环截面轴向力计算简图

2) 井壁圆环截面切向应力应按下式计算：

$$\sigma_t = \frac{2r_w^2 P}{r_w^2 - r_n^2} \dots \dots \dots (A.5)$$

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式计算：

$$\sigma_t \leq 0.85 f_c \dots \dots \dots (A.6)$$

4) 钢筋混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算：

$$\sigma_t \leq f_c + \rho f_y \dots \dots \dots (A.7)$$

ρ 井壁圆环截面配筋率(%)。

c) 井壁圆环截面配筋率 ρ 和钢筋截面面积 A_s 应按下列方法确定：

1) 当 $\sigma_t \leq f_c$ 时，应按构造规定配置钢筋；当 $\sigma_t > f_c$ 时，应按下式计算配筋率：

$$\rho = \frac{\sigma_t - f_c}{f_y} \dots \dots \dots (A.8)$$

2) 当计算结果 $\rho > \rho_{\min}$ 时， A_s 应按下式计算：

$$A_s = \rho b_n (r_w - r_n) \dots \dots \dots (A.9)$$

3) 当计算结果 $\rho \leq \rho_{\min}$ 时， A_s 应按下式计算：

$$A_s = \rho_{\min} b_n (r_w - r_n) \dots \dots \dots (A.10)$$

b_n 井壁截面计算宽度(m)，取 1.0m；

$\rho_{\min}$ 最小配筋率(%)，全截面配筋率不应小于 0.4%；当混凝土强度等级为 C60 及以上时，配筋率不应小于 0.5%；截面单侧配筋率不应小于 0.2%。

4) 当计算结果 ρ 值过大时, 应加大井壁厚度。

A. 1. 2 不均匀压力作用下的混凝土井壁整体圆环内力及承载力计算应符合下列规定。

a) 井壁圆环截面轴向力和弯矩 (图 A. 3) 计算方法如下:

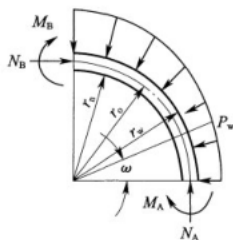


图 A. 3 井壁圆环截面轴向力和弯矩计算简图

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

$$N_A = (1 + 0.785\beta)r_w P_A \dots\dots\dots (A. 11)$$

$$M_A = -0.149\beta r_w^2 P_A \dots\dots\dots (A. 12)$$

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

$$N_B = (1 + 0.5\beta)r_w P_A \dots\dots\dots (A. 13)$$

$$M_B = 0.137\beta r_w^2 P_A \dots\dots\dots (A. 14)$$

$$P_B = P_A (1 + \beta) \dots\dots\dots (A. 15)$$

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 ();

β 不均匀荷载系数, 表土段, $\beta = 0.2 \sim 0.3$ 基岩段, $\beta = \beta_1$ 取 0.2。

3) 按 $w = 0^\circ$ 和 $w = 90^\circ$ 计算后, 根据需要可分别进行偏心距和承载力计算。

b) 素混凝土井壁承载力计算方法如下:

1) 当偏心距 $e_0 < 0.225t$ 时, 应按下列公式计算:

$$N \leq 0.85\varphi_1 f_t b_n (t - 2e_0) \dots\dots\dots (A. 16)$$

$$e_0 = \frac{M_A}{N_A} \text{ 或 } \frac{M_B}{N_B} \dots\dots\dots (A. 17)$$

e_0 轴向力作用点至受拉钢筋合力点之间的距离 (mm)。

2) 当偏心距 $e_0 \geq 0.225t$ 时, 应按下式计算:

$$N \leq \varphi_1 \frac{0.8525 f_t b_n t}{6e_0 - 1} \dots\dots\dots (A. 18)$$

f_t 混凝土抗拉强度设计值 (N/mm)。²

c) 钢筋混凝土井壁偏心受压承载力和钢筋配置 (图 A. 4) 应按下列公式计算:

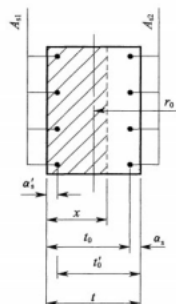


图 A.4 井壁偏心受压承载力和钢筋配置计算简图

$$N \leq a_1 f_c b x + f_y' A_{s1} - \sigma_s A_{s2} \dots \dots \dots (A.19)$$

$$Ne \leq a_1 f_c b x \left(t_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_{s1} (t_0 - a_s') \dots \dots \dots (A.20)$$

$$e = e_0 + \frac{t}{2} - a_s \dots \dots \dots (A.21)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \dots \dots \dots (A.22)$$

$$M = C_m \eta_{ms} M_2 \dots \dots \dots (A.23)$$

$$C_m = 0.7 + 0.3 \frac{M_1}{M_2} \dots \dots \dots (A.24)$$

$$\eta_{ms} = 1 + \frac{1}{1300(M_2/N + e_a)/t_0} \left(\frac{l_0}{t} \right)^2 \xi_c \dots \dots \dots (A.25)$$

$$\xi_c = \frac{0.5 f_c A_0}{N} \dots \dots \dots (A.26)$$

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

d) 按上述规定计算时, 尚应符合下列规定:

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, 为大偏心受压构件, 取 $\sigma_s = f_y$, 此处相对受压区高度 $\xi_x = x/t_0$ (令 $N = f_c b x$ 即可求得 x 值); 当 $\xi_x > \xi_b$ 时, 为小偏心受压构件, σ_s 可按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{t_0} - \beta_1 \right) \dots \dots \dots (A.27)$$

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 应按表 A.3 取值。

表 A.3 有屈服点钢筋的相对界限受压区高度的取值

混凝土强度等级 钢筋强度等级	≤C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
400	0.518	0.508	0.499	0.489	0.480	0.472	0.463
500	0.482	0.473	0.464	0.455	0.446	0.438	0.429

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

$$Ne' \leq f_y A_{s2} (t - a_s - a_s') \dots \dots \dots (A.28)$$

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:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{Ne - \xi(1 - 0.5\xi)a_1 f_c b_s t_0^2}{f_y(t_0 - a_s)} \dots\dots\dots (A. 29)$$

5) 相对受压高度可按下式计算:

$$\xi = \frac{N - \xi_0 a_1 f_c b_s t_0}{\frac{Ne - 0.43 a f b t^2}{\beta - \xi} + a f b t} + \xi_0 \dots\dots\dots (A. 30)$$

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。当由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, 其间按线性内插法确定;

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; 当混凝土强度等级为 C80 时, β_1 取为 0.74, 其间按线性内插法确定;

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 (m²);

σ_s 受拉边或受压较小边的钢筋应力 (MN/m²);

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合力点的距离 (m)。

A.2 井壁环向稳定性计算

A.2.1 保证井壁环向稳定应符合下列基本条件:

a) 素混凝土井壁:

$$\frac{L_0}{t} \leq 24 \dots\dots\dots (A. 31)$$

b) 钢筋混凝土井壁:

$$\frac{L_0}{t} \leq 30 \dots\dots\dots (A. 32)$$

A.2.2 井壁环向稳定性可按下式验算:

$$\frac{E_c t^3}{4r_0^3(1 - \nu_c^2)} \geq P \dots\dots\dots (A. 33)$$

ν_c 混凝土泊松比, $\nu = 0.2$

E_c 混凝土弹性模量 (N/mm²)。 ²

A.3 三向应力作用下井壁承载力计算

井壁在三向应力作用下可按下列公式验算其内缘的承载力:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_r^2 + \sigma_z^2 - \sigma_1 \sigma_r - \sigma_r \sigma_z - \sigma_z \sigma_1} \leq f_c + \rho f_y' \dots\dots\dots (A. 34)$$

$$\sigma_z = \frac{Q_{z1,k} + Q_{1,k} + Q_{2,k} + P_{t,k} F_w}{A_0} \dots\dots\dots (A. 35)$$

σ_z 计算截面井壁纵向应力计算值(MN/m)²;

σ_r 计算截面井壁径向应力计算值(MN/m)²;

σ_t 井壁圆环截面切向应力(MN/m)²;

$Q_{z1,k}$ 计算截面以上井壁自重标准值(MN);

$Q_{1,k}$ 直接支承在井筒上的井塔重量标准值(MN);

$Q_{2,k}$ 计算截面以上井筒装备重量标准值(MN);

F_w 计算截面以上井壁外表面积(m)²;

A_0 计算截面井壁横截面积(m)²;

$P_{t,k}$ 计算截面以上井壁外表面所受竖向附加力的标准值()。

A. 4 表土层与基岩交界面上下的结构强度计算

A. 4. 1 作用在表土层与基岩交界面处井壁上的剪力和纵向弯矩(计算简图见图 A. 5)可按下列公式计算:

$$V_{\max} = \frac{P_0}{4\lambda} \dots\dots\dots (A. 36)$$

$$M_{\max} = \frac{0.0806 P_0}{\lambda^2} \dots\dots\dots (A. 37)$$

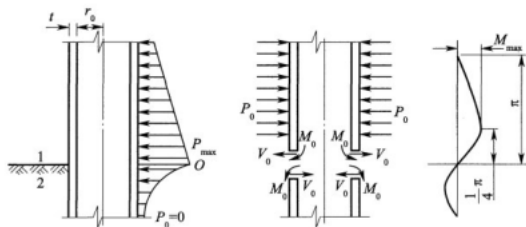
$$\lambda = \sqrt{\frac{3(1-\nu_c^2)}{t_0^2 t^2}} \dots\dots\dots (A. 38)$$

$V_{\max}$ 交界面处每米井壁最大剪力计算值(MN);

$M_{\max}$ 交界面处每米井壁最大纵向弯矩计算值(MN·m);

P_0 交界面处井壁受到的均匀水土压力计算值();

λ 壳体常数(m)⁻¹。



说明:

0 表土与基岩交界面;

1 表土层;

2 基岩;

$P_{\max}$ 井壁在表土地层段受到的最大水土压力计算值();

V_{0-0} 截面产生的剪力(N);

M_0 剪力 V 使井壁在 0-0 截面产生的弯矩(N·m)。

图 A.5 作用在表土层与基岩界面处井壁上的剪力和纵向弯矩计算简图

A.4.2 纵向钢筋配置计算应符合下列规定。

- a) 交界面上下井壁纵向钢筋的截面面积计算，应视为单位宽度井壁（每米）能承受按式（A.39）计算出的弯矩 M 。其受弯承载力应按下式确定：

$$M \leq a_1 f_c b_n x \left(t_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_{s1} (t_0 - a_s') \quad \dots \dots \dots (A.39)$$

- b) 混凝土受压区高度应符合下列规定：

- 1) 受压区高度应按下式确定：

$$a_1 f_c b_n x = f_y A_{s2} - f_y' A_{s1} \quad \dots \dots \dots (A.40)$$

- 2) 受压区高度尚应符合下列条件：

$$x \leq \xi_b t_0 \quad \dots \dots \dots (A.41)$$

$$x \geq 2a_s' \quad \dots \dots \dots (A.42)$$

A.4.3 斜截面抗剪强度可按下式计算：

$$V_{\max} \leq 0.25 \beta_c f_c b_n t_0 \quad \dots \dots \dots (A.43)$$

β_c 混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 $\beta_c = 1.0$ ；混凝土强度等级为 C80 时，取 $\beta_c = 0.8$ ；其间按线性内插法确定。

t_0 井壁截面有效厚度 (m)。

A.4.4 钢筋配置应符合下列规定：

- a) 钢筋配置长度在界面上、下应各不小于一个波长，波长可按下式计算：

$$L = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \dots \dots \dots (A.44)$$

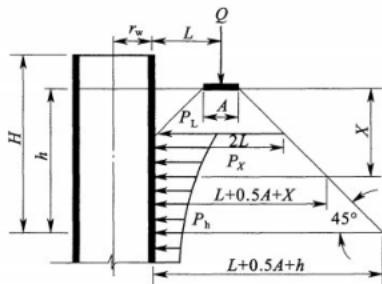
L ——波长 (m)。

- b) 井壁内外缘宜配置相同规格钢筋。

附录 B
(资料性)
井架(塔)影响段井壁计算

B.1 井塔(架)基础置于表土层地基上影响段井壁计算

B.1.1 井塔(架)基础置于天然地基上, 最大侧向压应力出现在基础底以下 $h=L-A/2$ 处。不同类型基础对井壁产生的最大侧向压力(图 B.1)应分别按下列规定计算:



说明:

- h 基础底至计算深度距离(m);
- H 井口设计标高到计算深度距离(cm);
- X 基础底至计算深度范围内某一深度的距离(m);
- P_x 基础底以下 L 深处井壁所受侧压力();
- P_h 基础底以下 h 深处井壁所受侧压力();
- P 基础底以下 X 深处井壁所受侧压力()。

图 B.1 基础对井壁产生的最大侧向压力计算简图

a) 带形基础时应按下式计算:

$$P_{\max} = \frac{QA_h}{2L(2L-A+B)} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

b) 环形基础时应按下列公式计算:

$$P_{\max} = \frac{QA_h}{\pi \left[(r_w + 2L)^2 - r_w^2 \right]} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$A_h = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

- $P_{\max}$ 基础对井壁产生的最大侧向压力计算值();
- Q 基础上部结构总重力(包括基础自重力)计算值(MN);
- A_h 岩(土)层水平荷载系数;可按式(B.3)计算;
- ϕ 土层的内摩擦角($^\circ$);
- L 基础中心至井壁外缘距离(m);
- A 带形或环形基础宽度(m);
- B 带形或环形基础长度(m)。

B.1.2 井壁圆环截面内力应按下列规定计算。

a) 当井塔(架)基础为带形基础时, 井壁圆环截面内力(图 B.2)应按下列公式计算:

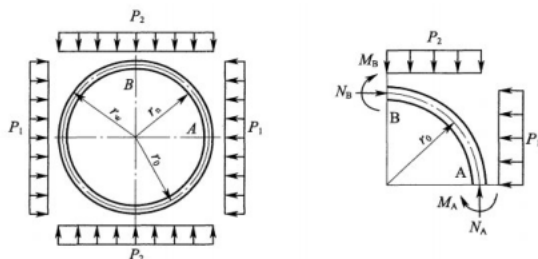


图 B.2 井壁圆环截面内力计算简图

1) A 截面上的内力应按下列公式计算:

$$N_A = r_w P_2 \dots\dots\dots (B.4)$$

$$M_A = -0.25 r_w^2 (P_2 - P_1) \dots\dots\dots (B.5)$$

2) B 截面上的内力应按下列公式计算:

$$N_B = r_w P_1 \dots\dots\dots (B.6)$$

$$M_B = -0.25 r_w^2 (P_2 - P_1) \dots\dots\dots (B.7)$$

P_1 、 P_2 按公式(B.1)计算出的各方向最大侧向压力计算值()。

b) 当井塔(架)基础为环形基础时,井壁圆环截面内力计算应符合本规范附录B的有关规定。

B.2 井塔直接支承在井筒上影响段井壁计算

井塔直接支承在井筒上时,影响段井壁受力宜采用“m”法计算(图B.3),并应按以下规定计算:

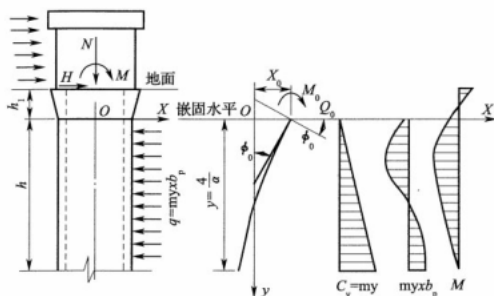


图 B.3 “m” 法计算简图

a) 基础(即井筒)计算宽度 b_p 应按下式计算:

$$b_p = 0.9(D+1) \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

b_p 基础(即井筒)计算宽度(m);

D 井筒外直径(m)。

b) 基础变形系数应按下列公式计算:

$$a = \sqrt{\frac{mb_p}{E_c I}} \dots\dots\dots (B.9)$$

$$I = \pi(D^4 - d^4)/64 \dots\dots\dots (B.)$$

a 基础变形系数(1/m);

m 地基变形系数(MN/m⁴),可按表B.1选用;

d 井筒内直径(m);
 I 井筒横截面惯性矩(m^4)。

表 B.1 地基变形系数

土的分类	地基变形系数 $m(\text{MN}/\text{m}^3)$
淤泥; 淤泥质土; 饱和湿陷性黄土	2.5~6
流塑($I_L > 1$)、软塑($0.75 < I_L \leq 1$)状黏性土; $e > 0.9$ 粉土; 松散粉细砂; 松散、稍密填土	6~14
可塑($0.25 < I_L \leq 0.75$)状黏性土、湿陷性黄土; $e = 0.75 \sim 0.9$ 粉土; 中密填土; 稍密细砂	14~35
硬塑($0 < I_L \leq 0.25$)、坚硬状黏性土($I_L \leq 0$)、湿陷性黄土; $e < 0.75$ 粉土; 中密的中粗砂; 密实老填土	35~100
中密、密实的砾砂、碎石类土	100~300

注:表中 I_L 为液性指数, e 为孔隙比。

c) 井塔基础对井筒影响深度应按下式计算:

$$y = \frac{4}{a} \dots \dots \dots \quad (\text{B.11})$$

y 井塔基础对井筒影响深度(m)。

d) 嵌固水平处横向位移 x_0 及转角 Ψ_0 应按下列公式计算:

$$x_0 = Q_0 \delta_{QQ} + M_0 \delta_{QM} \dots \dots \dots \quad (\text{B.12})$$

$$\Psi_0 = -(Q_0 \delta_{MQ} + M_0 \delta_{MM}) \dots \dots \dots \quad (\text{B.13})$$

$$\delta_{QQ} = \frac{2.441}{a^3 E_c I} \dots \dots \dots \quad (\text{B.14})$$

$$\delta_{QM} = \delta_{MQ} = \frac{1.625}{a^2 E_c I} \dots \dots \dots \quad (\text{B.15})$$

$$\delta_{MM} = \frac{1.751}{a E_c I} \dots \dots \dots \quad (\text{B.16})$$

式中:

x_0 、 Ψ_0 井塔基础嵌固水平处的横向位移及转角;

Q_0 、 M_0 井塔作用于基础上的水平力和弯矩计算值;

δ_{QQ} $M = 0$ 时的位移;

δ_{QM} $Q = 0$ 时的位移;

δ_{MQ} $M = 0$ 时的转角;

δ_{MM} $Q = 1$ 时的转角;

E_c 混凝土弹性模量(N/mm^2);²

I 井筒截面惯性矩(m^4)。

e) 嵌固水平以下沿井筒深度弯矩和侧向水平压应力应按下列公式计算:

$$M_y = a^2 E_c I X_0 A_3 + a E_c I \Psi_0 B_3 + M_0 C_3 + \frac{Q_0}{a} D_3 \dots \dots \dots \quad (\text{B.17})$$

$$\sigma_x = m \cdot y \left(x_0 A_1 + \frac{\Psi_0}{a} B_1 + \frac{M_0}{a^2 E_c I} C_1 + \frac{Q_0}{a^3 E_c I} D_1 \right) \dots \dots \dots \quad (\text{B.18})$$

A_3 、 B_3 、 C_3 、 D_3 、 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 —系数, 见表 B.2、B.3;

M_y 嵌固水平以下沿井筒深度弯矩计算值($\text{MN} \cdot \text{m}$);

σ_x 嵌固水平以下沿井筒深度侧向水平压应力计算值(MN/m^2)。²

f) 井筒上部井壁横截面承载力应按下列规定计算:

- 1) 应根据 $y=4/a$ 深度范围内的最大弯矩 $M_{\max}$ 和该点的竖向力 N (嵌固面处轴向力 N_0 与计算位置以上井壁自重之和) 按下式计算偏心距:

$$e_0 = \frac{M_{\max}}{N} \dots \dots \dots (B.19)$$

- 2) 计算长度 (即纵向屈曲长度) L_0 应按下列方法计算:

$$\text{当 } h < 4/a \text{ 时, } L_0 = h_1 + h \dots \dots \dots (B.20)$$

$$\text{当 } h \geq 4/a \text{ 时, } L_0 = h_1 + 4/a \dots \dots \dots (B.21)$$

h 计算水平至嵌固水平高度 (m);

h_1 井筒上部井塔大块基础高度 (m)。

- 3) 井壁横截面偏心受压承载力应按下列公式计算:

$$N \leq a_0 f_c A_0 + (a_0 - a_1) f_y A_z \dots \dots \dots (B.22)$$

$$N \eta e_i \leq a_1 f_c A_0 (r_n + r_w) \frac{\sin \pi a_0}{2\pi} + f_y A_z r_0 \frac{\sin \pi a_0 + \sin \pi a_1}{\pi} \dots \dots \dots (B.23)$$

a_0 受压区混凝土截面面积与全截面面积的比值;

a_1 —受拉纵向钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值; 当 $a_0 > 2/3$ 时, $a_1 = 0$ 。

上述各公式中的系数和偏心矩应按下列公式计算:

$$a_1 = 1 - 1.5a_0 \dots \dots \dots (B.24)$$

$$e_i = e_0 + e_a \dots \dots \dots (B.25)$$

- g) 在 $y=4/a$ 深度范围内, 应以土层对井壁的弹性抗力 σ_x 与水土压力组合的最大值对井壁环向承载力进行验算。

表 B.2 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 、 A_2 、 B_2 、 C_2 、 D_2 系数值

换算深度 h/ay	A_1	B_1	C_1	D_1	A_2	B_2	C_2	D_2
0	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
0.1	1.00000	0.10000	0.00500	0.00017	0.00000	1.00000	0.10000	0.00500
0.2	1.00000	0.20000	0.02000	0.00133	-0.00007	1.00000	0.20000	0.02000
0.3	0.99998	0.30000	0.04500	0.00450	-0.00034	0.99996	0.30000	0.04500
0.4	0.99991	0.39999	0.08000	0.01067	-0.00107	0.99983	0.39998	0.08000
0.5	0.99974	0.49996	0.12500	0.02083	-0.00260	0.99948	0.49994	0.12499
0.6	0.99935	0.59987	0.17998	0.03600	-0.00540	0.99870	0.59981	0.17998
0.7	0.99860	0.69967	0.24495	0.05716	-0.01000	0.99720	0.69951	0.24494
0.8	0.99727	0.79927	0.31988	0.08532	-0.01707	0.99454	0.79891	0.31983
0.9	0.99508	0.89852	0.40472	0.12146	-0.02733	0.99016	0.89779	0.40462
1.0	0.99167	0.99722	0.49941	0.16657	-0.04167	0.98333	0.99583	0.49921
1.1	0.98658	1.09508	0.60384	0.22163	-0.06096	0.97317	1.09262	0.60346

表 B.2 (续)

换算深度 $h=ay$	A_1	B_1	C_1	D_1	A_2	B_2	C_2	D_2
1.2	0.97927	1.19171	0.71787	0.28758	-0.08632	0.95855	1.18756	0.71716
1.3	0.96908	1.28660	0.84127	0.36536	-0.11883	0.93817	1.27990	0.84002
1.4	0.95523	1.37910	0.97373	0.45588	-0.15973	0.91047	1.36865	0.97163
1.5	0.93681	1.46839	1.11484	0.55997	-0.21030	0.87365	1.45259	1.11145
1.6	0.91280	1.55346	1.26403	0.67842	-0.27194	0.82565	1.53020	1.25872
1.7	0.88201	1.63307	1.42061	0.81193	-0.34604	0.76413	1.59963	1.41247
1.8	0.84313	1.70575	1.58362	0.96109	-0.43412	0.68645	1.65867	1.57150
1.9	0.79467	1.76972	1.75190	1.12637	-0.53768	0.58967	1.70468	1.73422
2.0	0.73502	1.82294	1.92402	1.30801	-0.65822	0.47061	1.73457	1.89872
2.2	0.57491	1.88709	2.27217	1.72042	-0.95616	0.15127	1.73110	2.22299
2.4	0.34691	1.87450	2.60882	2.19535	-1.33889	-0.30273	1.61286	2.51874
2.6	0.03315	1.75473	2.90670	2.72365	-1.81479	-0.92602	1.33485	2.74972
2.8	-0.38548	1.49037	3.12843	3.28769	-2.38756	-1.75483	0.84177	2.86653
3.0	-0.92809	1.03679	3.22471	3.85838	-3.05319	-2.82410	0.06837	2.80406
3.5	-2.92799	-1.27172	2.46304	4.97982	-4.98062	-6.70806	-3.58647	1.27018
4.0	-5.85333	-5.94097	-0.92677	4.54780	-6.53316	-12.15810	-10.60840	-3.76647

表 B.3 A_3 、 B_3 、 C_3 、 D_3 、 A_4 、 B_4 、 C_4 、 D_4 系数值

换算深度 $h=ay$	A_3	B_3	C_3	D_3	A_4	B_4	C_4	D_4
0	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000
0.1	-0.00017	-0.00001	1.00000	0.10000	-0.00500	-0.00033	-0.00001	1.00000
0.2	-0.00133	-0.00013	0.99999	0.20000	-0.02000	-0.00267	-0.00020	0.99999
0.3	-0.00450	-0.00067	0.99994	0.30000	-0.04500	-0.00900	-0.00101	0.99992
0.4	-0.01067	-0.00213	0.99974	0.39998	-0.08000	-0.02133	-0.00320	0.99966
0.5	-0.02083	-0.00521	0.99922	0.49991	-0.12499	-0.04167	-0.00781	0.99896
0.6	-0.03600	-0.01080	0.99806	0.59974	-0.17997	-0.07199	-0.01620	0.99741
0.7	-0.05716	-0.02001	0.99580	0.69935	-0.24490	-0.11433	-0.03001	0.99440
0.8	-0.08532	-0.03412	0.99181	0.79854	-0.31975	-0.17060	-0.05120	0.98908
0.9	-0.12144	-0.05466	0.98524	0.89705	-0.40443	-0.24284	-0.08198	0.98032

表 B.3 (续)

换算深度 h/ay	A_3	B_3	C_3	D_3	A_4	B_4	C_4	D_4
1.0	-0.16652	-0.08329	0.97501	0.99445	-0.49881	-0.33298	-0.12493	0.96667
1.1	-0.22152	-0.12192	0.95975	1.09016	-0.60268	-0.44292	-0.18285	0.94634
1.2	-0.28737	-0.17260	0.93783	1.18342	-0.71573	-0.57450	-0.26886	0.91712
1.3	-0.36496	-0.23760	0.90727	1.27320	-0.83753	-0.72950	-0.35631	0.87638
1.4	-0.45515	-0.31933	0.86573	1.35821	-0.96746	-0.90954	-0.47883	0.82102
1.5	-0.55870	-0.42039	0.81054	1.43680	-1.10468	-1.11609	-0.63027	0.74745
1.6	-0.67629	-0.54348	0.73859	1.50695	-1.24808	-1.35042	-0.81466	0.65156
1.7	-0.80848	-0.69144	0.64637	1.56621	-1.39623	-1.61346	-1.03616	0.52871
1.8	-0.95564	-0.86715	0.52997	1.61162	-1.54728	-1.90577	-1.29909	0.37368
1.9	-1.11796	-1.07375	0.38503	1.63969	-1.69889	-2.22745	-1.60770	0.18071
2.0	-1.29535	-1.31361	0.20676	1.64628	-1.84818	-2.57798	-1.96620	-0.05652
2.2	-1.69334	-1.90567	-0.27087	1.57538	-2.12481	-3.35952	-2.84858	-0.69158
2.4	-2.14117	-2.66329	-0.94885	1.35201	-2.33901	-4.22811	-3.97323	-1.59151
2.6	-2.62126	-3.59987	-1.87734	0.91679	-2.43695	-5.14023	-5.35541	-2.82106
2.8	-3.10341	-4.71748	-3.10791	0.19729	-2.34558	-6.02299	-6.99007	-4.44491
3.0	-3.54058	-5.99979	-4.68788	-0.89126	-1.96928	-6.76460	-8.84029	-6.51972
3.5	-3.91921	-9.54367	-10.34040	-5.85402	1.07408	-6.78895	-13.69240	-13.82610
4.0	-1.61428	-11.73070	-17.91860	-15.07550	9.24368	-0.35762	-15.61050	-23.14040

附 录 C
(资料性)
竖井施工机械化配置

C.1 井深小于 600m、净直径小于 5.5m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架宜选用 IVG 型或 IV 型;
- b) 布置 1 套单钩提升, 提升机宜选用 JK-2.5、JK-2.8、2JK-3.0 或 2JK-3.5 型;
- c) 选用 5m³/4m³/3m³/2m³吊桶, 3m³/2m³底卸式吊桶及 9T/11T II 型提升钩头;
- d) 安全梯宜选用 JZA-5/800 型凿井绞车悬吊, 其它设施宜选用 JZ-10/600 或 2JZ-10/600 型凿井绞车悬吊;
- e) 选用 FJD-6A 或 SJZ5.5 型伞钻配 YGZ-70 型凿岩机凿岩;
- f) 选用 1 台 HZ-6 或 HZ-4 型中心回转抓岩机装岩, 矿用挖掘机清底;
- g) 选用 DC50-80×8 型卧泵或 600m 以上扬程的潜水泵排水;
- h) 选用 1 台 JW1000 型搅拌机和 1 套 PLD1600 型配料机搅拌混凝土;
- i) 选用 2 台 40m³和 1 台 20m³螺杆式空压机供压气;
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板, 冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板;
- k) 选用 2 台自卸式汽车出碴和 1 台装载机装碴或上料。

C.2 井深小于 600m、净直径 5.5~9.0m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用 IV 型或 V 型;
- b) 选用 2 台提升机提升, 宜选用 JK-2.8、JK-3.0、2JK-3.0 或 2JK-3.5 型;
- c) 选用 5m³/4m³/3m³吊桶, 3m³/2m³底卸式吊桶及 9T/11T II 型提升钩头;
- d) 安全梯宜选用 JZA-5/800 型凿井绞车悬吊, 吊盘宜选用 JZ-16/800 型凿井绞车悬吊, 其它设施宜选用 JZ-10/600 或 2JZ-10/600 型凿井绞车悬吊;
- e) 选用 FJD-6A 型伞钻配 YGZ-70 型凿岩机凿岩;
- f) 选用 1~2 台 HZ-6 或 HZ-4 型中心回转抓岩机装岩, 矿用挖掘机清底;
- g) 选用 DC50-80×8 型卧泵或 600m 以上扬程的潜水泵排水;
- h) 选用 1 台 JW1000 型搅拌机和 1 套 PLD1600 型配料机搅拌混凝土;
- i) 选用 2 台 40m³和 1 台 20m³螺杆式空压机供风;
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板, 冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板;
- k) 选用 2~4 台自卸式汽车出碴和 1 台装载机装碴或上料。

C.3 井深小于 600m、净直径大于 9.0m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用 V 型或 VI 型;
- b) 选用 2 台提升机提升, 宜选用 JK-2.8、2K-3.5、JKZ-3.0 或 JZ32 型;
- c) 选用 5m³/4m³吊桶, 3m³底卸式吊桶及 11T II 型提升钩头;
- d) 安全梯宜选用 JZA-5/800 型凿井绞车悬吊, 吊盘宜选用 JZ-16/800 型凿井绞车悬吊, 其它设施宜选用 JZ-10/600 或 2JZ-10/600 型凿井绞车悬吊;
- e) 选用 FJD-6A 或 SJZ8A 型伞钻配 YGZ-70 凿岩机凿岩;
- f) 选用 2 台 HZ-6 型中心回转抓岩机装岩, 矿用挖掘机清底;
- g) 选用 DC50-80×8 型卧泵或 600m 以上扬程的潜水泵排水;
- h) 选用 1 台 JW1000 型搅拌机和 1 套 PLD1600 型配料机搅拌混凝土;
- i) 选用 2 台 40m³和 1 台~2 台 20m³螺杆式空压机供压气;
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板, 冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板;

- k) 选用 2 台~4 台自卸式汽车出碴和 1 台装载机装碴或上料。

C.4 井深 600m~800m、净直径小于 5.5m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用 IVG 型或 IV 型;
- b) 选用 1 台~2 台提升机提升, 宜选用 JK-2.5、JK-2.8 或 2JK-3.5 型;
- c) 选用 5m³/4m³/3m³/2m³ 吊桶, 3m³/2m³ 底卸式吊桶及 9T/11T II 型提升钩头;
- d) 安全梯宜选用 JZA-5/800 型凿井绞车悬吊, 吊盘宜选用 JZ-16/800 型凿井绞车悬吊, 其它设施宜选用 JZ-10/800 或 2JZ-10/800 型凿井绞车悬吊;
- e) 选用 FJD-6A 型或 SJZ55 型伞钻配 YGZ-70 型凿岩机凿岩;
- f) 选用 1 台 HZ-6 或 HZ-4 型中心回转抓岩机装岩, 矿用挖掘机清底;
- g) 选用 DC50-80×8~ 型卧泵或 600m~800m 以上扬程的潜水泵排水;
- h) 选用 1 台 JW1000 型搅拌机和 1 套 PLD1600 型配料机搅拌混凝土;
- i) 选用 2 台 40m³ 和 1 台 20m³ 螺杆式空压机供风;
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板, 冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板;
- k) 选用 2 台自卸式汽车出碴和 1 台装载机装碴或上料。

C.5 井深 600m~800m、净直径 5.5~9.0m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用 IVG 型或 V 型;
- b) 选用 2 台提升机提升, 宜选用 JK-2.8、JK-3.0 或 2JK-3.5 型;
- c) 选用 5m³/4m³/3m³ 吊桶, 3m³/2m³ 底卸式吊桶及 11T/15T II 型提升钩头;
- d) 安全梯宜选用 JZA-5800 型凿井绞车悬吊, 吊盘和模板宜选用 JZ-16/800 型凿井绞车悬吊, 其它设施宜选用 JZ-10/800 或 2JZ-10/800 型凿井绞车悬吊;
- e) 选用 FJD-6A 型伞钻配 YGZ-70 型凿岩机凿岩;
- f) 选用 1 台~2 台 HZ-6 或 HZ4 型中心回转抓岩机装岩, 矿用挖掘机清底;
- g) 选用 DC50-80×8~ 型卧泵或 600m~800m 以上扬程的潜水泵排水;
- h) 选用 1 台 JW1000 型搅拌机和 1 套 PLD1600 型配料机搅拌混凝土;
- i) 选用 2 台 40m³ 和 1 台 20m³ 螺杆式空压机供风;
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板, 冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板;
- k) 选用 2 台~4 台自卸式汽车出碴和 1 台装载机装碴或上料。

C.6 井深 600m~800m、净直径大于 9.0m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用 V 型或 VI 型;
- b) 选用 2 台提升机提升, 宜选用 JK-2.8、JK-3.0、JK-3.2 或 2JK-3.5 型;
- c) 选用 5m³/4m³/3m³ 吊桶, 3m³/2m³ 底卸式吊桶及 11T/15T II 型提升钩头;
- d) 安全梯宜选用 JZA-5/800 型凿井绞车悬吊, 吊盘和模板宜选用 JZ-16/800 型凿井绞车悬吊, 其它设施宜选用 JZ-10/800 或 2JZ-10/800 型凿井绞车悬吊;
- e) 选用 FJD-6A 型或 SJZ8A 型或双联伞钻配 YGZ-70 型凿岩机凿岩;
- f) 选用 2 台 HZ-6 型中心回转抓岩机装岩, 矿用挖掘机清底;
- g) 选用 DC50-80×8~ 型卧泵或 600m~800m 以上扬程的潜水泵排水;
- h) 选用 1 台 JW1000 型搅拌机和 1 套 PLD1600 型配料机搅拌混凝土;
- i) 选用 2 台 40m³ 和 1 台 20m³ 螺杆式空压机供风;
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板, 冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板;
- k) 选用 2 台~4 台自卸式汽车出碴和 1 台装载机装碴或上料。

C.7 井深 800m~900m、净直径小于 5.5m 的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用IVG型或V型；
- b) 选用1台提升机提升，宜选用JKZ-3.2、JKZ-2.8、2JK-3.5、2JK-3.6型；
- c) 选用5m³/4m³/3m³吊桶，3m³/2m³底卸式吊桶及11T/15T II型提升钩头；
- d) 安全梯宜选用JZA-5/1000型凿井绞车悬吊，吊盘、模板、抓岩机、稳绳及动力电缆宜选用JZ2-16/1300型凿井绞车悬吊，其它设施宜选用JZ2-10/1300、2JZ2-10/1300型凿井绞车悬吊；
- e) 选用FJD-6A型伞钻配YGZ-70凿岩机凿岩；
- f) 选用1台HZ-6或HZ-4型中心回转抓岩机装岩，矿用挖掘机清底；
- g) 选用DC50-80×~12型卧泵或800m~1000m以上扬程的潜水泵排水；
- h) 选用1台JW1000型搅拌机和1套PLD1600配料机搅拌混凝土；
- i) 选用2台40m³和1台20m³螺杆式空压机供风；
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板，冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板；
- k) 选用2台自卸式汽车出碴和1台装载机装碴或上料。

C.8 井深800m~1000m、净直径5.5~9.0m的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用IVG型或V型；
- b) 选用2台提升机提升，宜选用JKZ-3.6、JKZ-3.2、JKZ-2.8、2JK-3.5、2JK-3.6型；
- c) 选用5m³/4m³/3m³吊桶，3m³/2m³底卸式吊桶及11T/15T II型提升钩头；
- d) 安全梯宜选用JZA-5/1000型凿井绞车悬吊，吊盘宜选用JZ2-16/1000型或JZ2-25/1000型凿井绞车悬吊，模板、抓岩机、稳绳及动力电缆宜选用JZ2-16/1000型凿井绞车悬吊，压风管、排水管宜选用2JZ2-16/1000型、2JZ2-25/1000型凿井绞车悬吊，其它设施宜选用JZ2-10/1000、2JZ2-10/1000型凿井绞车悬吊；
- e) 选用FJD-6型伞钻配YGZ-70凿岩机凿岩；
- f) 选用1~2台HZ-6型中心回转抓岩机装岩，矿用挖掘机清底；
- g) 选用DC50-80×~12型卧泵或800m~1000m以上扬程的潜水泵排水；
- h) 选用1台JW1000型搅拌机和1套PLD1600配料机搅拌混凝土；
- i) 选用2台40m³和1台20m³螺杆式空压机供风；
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板，冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板；
- k) 选用2~4台自卸式汽车出碴和1台装载机装碴或上料。

C.9 井深800m~1000m、净直径大于9.0m的井筒施工配套方式

- a) 凿井井架选用V型或VI型；
- b) 选用2~3台提升机提升，宜选用JKZ-4.0、JKZ-3.2、JKZ-3.6、2JK-3.5、2JK-3.6型；
- c) 选用5m³/4m³/3m³吊桶，3m³/2m³底卸式吊桶及11T/15T II型提升钩头；
- d) 安全梯宜选用JZA-5/1000型凿井绞车悬吊，吊盘、模板宜选用JZ2-25/1000型凿井绞车悬吊，其它设施宜选用JZ2-16/1000、JZ2-25/1000、2JZ2-16/1000、2JZ2-25/1000型凿井绞车悬吊；
- e) 选用FJD-6~9型、SJZ8A型或双联伞钻配YGZ-70凿岩机凿岩；
- f) 选用2台HZ-6型中心回转抓岩机装岩，矿用挖掘机清底；
- g) 选用DC50-80×~12型卧泵或800m~1000m以上扬程的潜水泵排水；
- h) 选用2台JW1000型搅拌机和2套PLD1600配料机搅拌混凝土；
- i) 选用3台40m³和1台20m³螺杆式空压机供风；
- j) 冻结段双层井壁的外层井壁或单层井壁段宜选用整体金属模板，冻结段双层井壁的内层井壁宜选用整体滑升模板；
- k) 选用4台自卸式汽车出碴和2台装载机装碴或上料。

附 录 D
(资料性)
竖井提绞设备选型及验算

D.1 吊桶选型

应根据井筒断面、计划进尺、井筒深度等相关因素，按抓岩机能力、提升机强度、井筒断面布置的可能性选择。

吊桶容积按下列公式计算：

$$V_T = K \cdot A_{\text{th}} \cdot T_1 / 0.9 \times 3600 \dots \dots \dots (\text{D. 1})$$

V_T 吊桶容积 ()， $^3 < V$ (标准吊桶体积)；

K 提升不均匀系数，取值在 1.15~1.25；

A_{th} 抓岩机最大生产能力 (m^3/h)；

T_1 提升一次循环时间 (s)，见式 D.18。

D.2 提升钢丝绳选型及验算

D.2.1 钢丝绳最大悬垂高度

钢丝绳最大悬垂高度按下式计算：

$$H_0 = H_j + H_i + H_l \dots \dots \dots (\text{D. 2})$$

H_0 钢丝绳最大悬垂高度 (m)；

H_j 井深 (m)；

H_i 天轮平台高度 (m)；

H_l 天轮出绳点与天轮平台间的高度 (m)。

D.2.2 吊桶载重

吊桶载重按下式计算：

$$Q = K_m [r_g \times V_{\text{TB}} + (1 - 1/K_s) V_{\text{TB}} \times r_w] \dots \dots \dots (\text{D. 3})$$

Q 吊桶载重 (kg)；

K_m 装满系数，一般取 0.9；

r_g 岩石松散容重，一般取 $1600\text{kg}/\text{m}^3$ ；

K_s 岩石松散系数，取 1.8~2.0；

r_w 水容重，取 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

D.2.3 钢丝绳终端荷重

钢丝绳终端荷重按下式计算：

$$Q_1 = Q + Q_{\text{dz}} + Q_{\text{h}} + Q_{\text{g}} \dots \dots \dots (\text{D. 4})$$

$$Q_2 = Q_{\text{h}} + Q_{\text{g}} \dots \dots \dots (\text{D. 5})$$

$$Q_3 = Q_{\text{r}} + Q_{\text{dz}} + Q_{\text{h}} + Q_{\text{g}} \dots \dots \dots (\text{D. 6})$$

Q_1 提碇终端荷重 (kg) ;
 Q_2 提伞钻时终端荷重 (kg) ;
 Q_3 提人时终端荷重 (kg) ;
 Q_u 吊桶自重 (kg) ;
 Q_h 滑架重量 (kg) ;
 Q_g 钩头重量 (kg) ;
 Q_s 伞钻重量 (kg) ;
 Q_r 人重 (kg) 。

D. 2. 4 提升钢丝绳的选择

提升钢丝绳按下式计算结果进行选择:

$$P_s = \frac{Q_0}{\left(\frac{110\sigma_R}{9.8m_a} - H_0 \right)} \dots\dots\dots (D. 7)$$

P_s 每米钢丝绳重量 (kg) ;
 Q_0 钢丝绳最大终端荷重 (kg) , Q_2 、 Q_3 和 Q_r 最大值;
 σ_R 钢丝绳钢丝的极限抗拉强度, 取值 1470MPa~1870MPa;
 m_a 提升钢丝绳安全系数, 提人时 $\geq m_d$, 提物时 $\geq m_s$ 5;
 P_{sb} 每米钢丝绳标准重量 (kg) , 选择钢丝绳 $\geq P_{sb}$ 。 P

D. 2. 5 安全系数校核

安全系数按下式进行校核:

$$m = Q_d / (Q_0 + P_{sb} \times H_0) \geq m_a \dots\dots\dots (D. 8)$$

Q_d 合格钢丝拉断力总和 (kg) 。

D. 3 提升机选型及验算

D. 3. 1 卷筒直径

卷筒直径按下式计算:

$$D \geq 60 d_s \dots\dots\dots (D. 9)$$

$$D \geq 900 \delta \dots\dots\dots (D.)$$

D 计算卷筒直径 (mm) ;
 d_s 钢丝绳直径 (mm) ;
 δ 钢丝绳中最粗钢丝直径 (mm) 。

D. 3. 2 选定提升机卷筒直径

提升机卷筒直径按下式计算结果选定:

$$D_1 \geq D \dots\dots\dots (D. 11)$$

D_T 所选提升机的卷筒直径 (mm)。

D. 3. 3 校验提升机卷筒宽度

提升机卷筒宽度按下式校验：

$$B = \left(\frac{H_0 + n_1}{\pi \cdot D_T} + 3 + n' \right) (d_s + \varepsilon) \leq B_T \quad \dots \dots \dots (D. 12)$$

B 计算提升机卷筒宽 (m) ;
 n_1 提升钢丝绳试验长度, 一般取 30m;
 n' 错绳圈, 一般取 2~4;
 ε 提升钢丝绳绳圈间隙, 取 2mm~3mm;
 B_T 所选提升机卷筒宽度 (mm)。

D. 3. 4 验算提升机强度

提升机强度按下式验算：

$$F_y \geq Q_0 + P_{sb} \times H_0 \dots \dots \dots (D. 13)$$

F_y 提升机强度要求允许的钢丝绳最大静张力 (kg)。

D. 3. 5 电动机功率估算

电动机功率按下式计算：

$$P = \frac{(Q_0 + P_{sb} \times H_0) \times V_m}{102 \eta_c} \leq P_N \dots \dots \dots (D. 14)$$

P 计算提升机配置电机功率 (kw) ;
 V_m 提升机最大提升速度 (m/s) ;
 η_c 传动效率, 一级减速取 0.92, 二级减速取 0.85, 行星齿轮减速一级取 0.98, 二级取 0.96;

P_N 所选提升机配置电机功率 (kw)。

D. 3. 6 提升机钢丝绳偏角选择

D. 3. 6. 1 相对高度

相对高度按下式计算：

$$H = H_1 + H_2 + H_3 - H_4 \dots \dots \dots (D. 15)$$

H 相对高度 (m) ;
 H_1 天轮平台高度 (m) ;
 H_2 天轮梁高度 (m) ;
 H_3 天轮垫座高度 (m) ;
 H_4 提升机滚筒轴中心高度 (m)。

D. 3. 6. 2 最大悬长

最大悬长按下式计算：

$$L_2 = (L_0^2 + H^2)^{1/2} < 60 \dots \dots \dots (D. 16)$$

L_2 滚筒中心至天轮中心斜线长 (m) ;

L_0 滚筒中心至天轮中心实际水平距离 (m) 。

D. 3. 6. 3 计算偏角

偏角按下式计算:

$$\alpha = \arctg(B_1 / L_2) \dots \dots \dots (D. 17)$$

α 提升机钢丝绳偏角 (°) ;

B_1 提升中心线到滚筒边最大距离 (m) 。

D. 3. 7 提升能力计算

D. 3. 7. 1 当加减速速度相等时, 提升一次循环时间, 计算如下:

$$T_1 = \frac{2K_v(h-40)}{V_m} + 54 + \theta_d \dots \dots \dots (D. 18)$$

K_v 速度系数, 取 1.2~1.5;

h 提升高度 (m) ;

θ_d 井下摘挂钩、稳罐及井上卸载休止时间, 取 60s~90s。

D. 3. 7. 2 提升能力计算如下:

$$A_T = \frac{3600 \times K_m \times V_{TB}}{K \times T_1} \dots \dots \dots (D. 19)$$

A_T 提升能力 (m³/h) ;

K_m 吊桶装满系数, 取 0.9;

V_m 标准吊桶体积 () ;³

K 提升不均匀系数, 取 1.25。

D. 4 提升天轮直径选型及验算

提升天轮直径按下式计算结果进行选型和验算:

$$D_{ts} \geq n_3 \times d_s \dots \dots \dots (D. 20)$$

$$D_{ts} \geq 900 \times \delta \dots \dots \dots (D. 21)$$

D_{ts} 提升天轮直径 (mm) ;

n_3 提升天轮直径与钢丝绳直径的比值, 当天轮的钢丝绳围抱角大于 90 度时, 取 60; 围抱角小于 90 度时, 取 40。

D. 5 悬吊设施钢丝绳选型及验算

D. 5. 1 悬吊钢丝绳的终端荷重按下式计算:

$$W_0 = W_l / n \dots \dots \dots (D. 22)$$

W_0 悬吊钢丝绳的终端荷重 (kg) ;

W_l 悬吊设备荷重 (kg) ;

n 悬吊同一设备钢丝绳数。

D. 5. 2 悬吊钢丝绳的选择宜按下式计算：

$$P_s = \frac{W_0}{\left(\frac{110\sigma_B}{9.8m_{sd}} - H_0\right)} \dots\dots\dots (D. 23)$$

m_{sd} 悬吊钢丝绳安全系数。

D. 5. 3 安全系数校核

按下式进行安全系数校核：

$$m_0 = Q_0 / (Q_0 + P_{sb} \times H_0) \geq m_{sd} \dots\dots\dots (D. 24)$$

D. 6 凿井绞车的选型

凿井绞车提升强度计算如下：

$$F_{js} \geq Q_0 + P_{sb} \times H_0 \dots\dots\dots (D. 25)$$

F_{js} 凿井绞车要求允许的钢丝绳最大静张力（kg）；

D. 7 悬吊天轮直径选型及验算

悬吊天轮直径按下式计算结果进行选型和验算：

$$D_{td} \geq 20 \times d_s \dots\dots\dots (D. 26)$$

$$D_{td} \geq 300 \times \delta \dots\dots\dots (D. 27)$$

D_{td} 悬吊天轮直径（mm）。

附 录 E

(资料性)

竖井施工质量检验工程划分

E.1 竖井分项工程、分部工程和单位工程划分见表 E.1。

表 E.1 竖井分项工程、分部工程和单位工程按划分

单位工程	分部工程	子分部工程	分项工程
竖井	锁口	—	开挖、模板、钢筋、混凝土
	井身和马头门	锚喷支护*	开挖*、锚杆*、喷射混凝土*、钢筋网*、钢架*
		混凝土支护*	开挖*、模板、混凝土*
		钢筋混凝土支护*	开挖*、模板、钢筋*、混凝土*、夹层铺设
	冻结	—	冻结钻孔、制冷冻结*
	防治水	—	地面预注浆、工作面预注浆、壁后注浆、卷材防水层、抗渗混凝土、探水
	壁座	—	开挖*、模板、钢筋*、混凝土*
注：表中分项、分部工程名称后带*的，为指定分项工程、指定分部工程；对于支护形式相同的井筒分部工程，可按月度验收区段划分为若干子分部工程。			

E.2 竖井分项工程实测项目检查断面及测点见表 E.2。

表 E.2 竖井分项工程质量检查断面及测点的规定

项目	选择检查断面的规定	选择测点的规定	竖井断面测点示意图
竖井	工序检查：每循环一个；	每一个检查断面的井壁上应均匀设 8 个测点，以井筒中心线为基准，检验井筒净半径。	