



# 中华人民共和国国家物资储备行业标准

GC/T XXXX—2022

## 地下水封洞库地下结构设计规范

Code for design of underground structures of underground water-sealed cavern

(征求意见稿)

2022 - XX - XX 发布

2022 - XX - XX 实施

国家粮食和物资储备局 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 .....	1
4 基本规定 .....	2
5 工程勘察 .....	3
5.1 一般规定 .....	3
5.2 选址勘察与初步勘察 .....	3
5.3 详细勘察 .....	4
5.4 施工勘察 .....	4
5.5 补充勘察 .....	4
6 总体设计 .....	5
6.1 一般规定 .....	5
6.2 平面设计 .....	6
6.3 纵断面设计 .....	6
6.4 横断面设计 .....	7
7 建筑材料 .....	7
7.1 一般规定 .....	7
7.2 混凝土 .....	8
7.3 喷射混凝土 .....	8
7.4 注浆材料 .....	8
7.5 钢材 .....	8
8 结构稳定性分析 .....	9
8.1 一般规定 .....	9
8.2 围岩稳定性分析 .....	10
8.3 复合式衬砌荷载计算 .....	11
9 衬砌结构通用设计 .....	11
9.1 一般规定 .....	11
9.2 锚喷衬砌 .....	12
9.3 复合式衬砌 .....	13
9.4 明洞衬砌 .....	13
9.5 构造要求 .....	13
10 洞口及洞门 .....	16

10.1	一般规定	16
10.2	洞口工程	16
10.3	洞门工程	17
11	主洞室与巷道结构设计	17
11.1	一般规定	17
11.2	施工巷道	17
11.3	水幕巷道	19
11.4	主洞室	20
11.5	连接巷道	20
11.6	不良地质地段设计	21
12	竖井	22
12.1	一般规定	22
12.2	工艺竖井	22
12.3	通风竖井	23
12.4	泵坑	23
13	密封塞	23
13.1	一般规定	23
13.2	计算	23
13.3	布置位置	24
13.4	构造	24
14	操作巷道	24
14.1	一般规定	24
14.2	布置	25
14.3	线形	25
14.4	断面	25
14.5	支护	25
14.6	竖井操作区洞室	27
14.7	紧急避难洞室	28
14.8	预留预埋	28
15	信息化施工与监测	29
15.1	一般规定	29
15.2	施工方法	29
15.3	超前地质预报	30
15.4	施工监控量测	31
15.5	长期安全监测	32
参 考 文 献		36

## 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。

本文件由国家粮食和物资储备局提出并归口。

本文件起草单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司、国家石油储备中心、中海油石化工程有限公司、中铁隧道局集团有限公司、北京麦斯达夫科技股份有限公司、中国地质大学（北京）。

本文件主要起草人：



# 地下水封洞库地下结构设计规范

## 1 范围

本文件规定了地下水封洞库地下结构设计的基本规定、工程勘察、总体设计、建筑材料、结构稳定性分析、衬砌结构通用设计、洞口及洞门、主洞室与巷道结构设计、竖井、密封塞、操作巷道及信息化施工与监测。

本文件适用于地下水封洞库的地下结构设计工作。

## 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。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB 50218 工程岩体分级标准
- GB/T 50455—2020 地下水封石洞油库设计标准
- GB 50996 地下水封石洞油库施工及验收规范
- JTG 3370.1—2018 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- NB/T 35079 地下厂房岩壁吊车梁设计规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**地下水封洞库** underground water-sealed cavern

位于地下水位以下一定深度岩体中开挖出的采用水封原理储存油品的地下空间系统，以及配套辅助设施组成的存储库。

[来源：GB/T 50455—2020，2.0.1，有修改]

### 3.2

#### 动态设计 dynamic design

根据施工揭露的地质情况和监测到的围岩变形、受力情况，对地下结构设计方案进行动态调整的设计方法。

[来源：GB/T 50455—2020，2.0.21]

### 3.3

#### 不良地质地段 unfavorable geological district

发育有对地下水封洞库建设不利或有不良影响的地质体的地段。

[来源：SY/T 7486—2020，3.2，有修改]

### 3.4

#### 锚喷衬砌 bolt-shotcrete lining

喷射混凝土、锚杆、钢筋网或钢拱架单独或组合的将洞室围岩被覆起来的衬砌形式。

[来源：JTG 3370.1—2018，2.1.28，有修改]

### 3.5

#### 复合式衬砌 composite lining

由喷锚衬砌和模筑混凝土衬砌构成的双层衬砌结构形式。

[来源：JTG 3370.1—2018，2.1.30，有修改]

## 4 基本规定

4.1 地下结构设计应符合安全实用、质量可靠、经济合理、技术先进的要求。

4.2 地下结构宜采用锚喷衬砌，特殊地段可采用复合式衬砌结构。

4.3 地下结构中不可维修主体结构的设计使用年限不应小于 50 年，可维修构件的设计使用年限不应小于 20 年。

4.4 地下结构应采用工程类比与监测量测相结合的设计方法。对于大跨度、高边墙的洞室，还应辅以数值计算法复核；对于复杂的大型地下洞室群，可采用模型试验法验证。

4.5 地下洞室应进行围岩稳定性分析和渗流场分析。

4.6 应做好工程勘察工作，地下结构设计应以相应阶段地质勘察成果为依据，并利用围岩自稳能力。

4.7 位于侵蚀性、高寒等特殊环境的地下水封洞库，地下结构设计应满足耐腐蚀、防寒保温等相关要求。

4.8 地下水封洞库围岩中地下水处理以“以堵为主”为原则，并利用围岩抗渗能力。

4.9 地下水封洞库洞室应采用控制爆破开挖，并应符合 GB 50996 的规定。

4.10 地下结构设计应坚持动态设计理念，施工期间根据量测与实际揭露地质等信息对设计参数或施工方案实施必要的动态调整。

4.11 预留预埋、长期安全监测系统及构造物设计应根据工艺、功能和设备的具体要求进行设计，并应与相关专业进行协调。预留洞室、预埋件和预埋监测设备等应能保证洞室结构的稳定，不应损害地下结构的支护能力。

4.12 地下水封洞库宜采用 BIM 建筑信息模型。

- 4.13 锚固地层为特殊地层，以及采用新型锚杆和锚固结构的工程应进行专项试验研究。
- 4.14 已建地下水封洞库周边需新建建（构）筑物前，应开展专项安全影响评估与论证。
- 4.15 地下结构设计应贯彻国家有关政策，不断总结地区实践经验和研究成果的基础上，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

## 5 工程勘察

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 工程地质勘察应与地下水封洞库的设计阶段相适应，并为地下水封洞库地下结构设计提供齐全、准确的地质资料，满足设计要求。
- 5.1.2 各勘察阶段工作量应根据库址区域地质条件复杂程度、地质工作研究程度、工程规模和勘察阶段等加以确定。
- 5.1.3 地下水封洞库勘察的基本任务如下：
- 查明库址区的地质构造条件及区域稳定条件、拟建洞库岩体的工程地质条件及岩体的稳定特征；
  - 查明库址所在区域和库区周围的水文地质条件；
  - 查明库区岩体断裂带、破碎带及节理密集带等潜在的渗漏通道；
  - 进行围岩质量分级。
- 5.1.4 工程地质勘察应按设计要求提供勘察成果，并在施工阶段对前期勘察数据进行验证、动态修正。

### 5.2 选址勘察与初步勘察

- 5.2.1 选址勘察与初步勘察应符合下列规定：
- 应初步查明库址所在区域地层岩性与构造稳定性，基本查明库区工程地质条件和水文地质条件；
  - 应基本查明库址范围地层、岩性和构造，优选建库范围，优化地下水封洞库布置，建议洞室埋深和轴线方向；
  - 应初步建立地下水动态观测网并实施长期监测。
- 5.2.2 选址勘察与初步勘察应向设计提供下列内容：
- 库址区域的水文、气象、地形、地质、地震、交通、有用矿产等基本情况，已有各种岩石地下建筑及采石场等的经验资料；
  - 库址区的岩性（层）、构造，岩层的产状，主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模及其组合关系；
  - 库址区域 1:10000 综合工程地质图和库址 1:2000~1:5000 综合工程地质图；
  - 库址区域钻探、物探和试验成果；
  - 可用岩体的范围、总面积、洞室轴线方向、洞室埋深、洞室的高度与跨度；
  - 库址区的地下水位、渗透性和水化学成分等水文地质参数，初步确定稳定地下水文标高，提出洞室埋深初步建议；
  - 库址区岩体质量预分级、地应力状态分布规律，提出洞室轴线方向、跨度、间距等有关地下工程布置的建议；
  - 岩（土）体的物理力学指标、放射性指标、岩石化学成分、岩体对油品影响评价；
  - 分析地下水渗流场、估算地下水封洞库渗水量、评价洞室稳定性；
  - 提供初步数字化三维地质模型；

k) 存在问题及建议。

### 5.3 详细勘察

#### 5.3.1 详细勘察应符合下列规定：

- a) 详细勘察应进一步查明确定库址的工程地质和水文地质条件，重点查明地下工程关键部位地质情况；
- b) 详细勘察应完善地下水动态观测网。

#### 5.3.2 详细勘察应向设计提供下列内容：

- a) 库址区 1：2000 综合工程地质图；
- b) 主洞室、施工巷道、水幕巷道纵断面工程地质图；
- c) 巷道口边坡、仰坡的稳定性分析；
- d) 库址区的岩性（层）、构造，岩层的产状，主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模及其组合关系；
- e) 地下水位、渗透性和水化学成分等水文地质参数，地下水监测成果，预测掘进时突然涌水的可能性，估算最大渗水量；
- f) 主要软弱结构面的分布和组合情况，并结合岩体应力评价洞顶、边墙和洞室交叉部位岩体的稳定性，提出处理建议；
- g) 竖井的岩体结构、节理性质、岩体（块）特性、岩（土）体的物理力学指标；
- h) 根据地下工程设计布置进行岩体质量分级统计，并给出支护建议；
- i) 按岩体质量分级结果确定建库岩体范围，提出洞室轴线方向、跨度、间距、巷道口位置等建议；
- j) 确定稳定的地下水位标高，提出洞罐埋深建议；
- k) 库址岩体质量分段分级及范围、洞室稳定性分析评价；
- l) 提供完善的数字化三维地质模型；
- m) 存在问题及建议。

### 5.4 施工勘察

#### 5.4.1 施工勘察应符合下列规定：

- a) 施工勘察应在详细勘察基础上，根据施工开挖暴露的实际地质情况实时勘察，必要时应进行专项地质勘察；
- b) 施工勘察应建立地下水动态观测网。

#### 5.4.2 施工勘察应向设计提供下列内容：

- a) 编制巷道、竖井、洞室的地质展示图和洞室顶、壁、底板基岩地质图以及洞室围岩含水实况展示图等；
- b) 测定岩体爆破松动圈及岩体应力；
- c) 提出进一步超前地质预报的建议；
- d) 实测地下水封洞库渗水量，预测地下水封洞库投产后地下水位恢复情况；
- e) 观测地下水动态；
- f) 对复杂地质问题应进行工程地质论证，提出施工方案建议，必要时进行补充勘察；
- g) 提出针对不同性质、类型的含水裂隙的注浆封堵措施的建议；
- h) 定期提交施工勘察报告。

### 5.5 补充勘察

#### 5.5.1 补充勘察应符合下列规定：

- a) 补充勘察应在施工勘察基础上, 针对设计单位或施工单位勘察需求, 进行专项地质勘察;
- b) 详细查明复杂地质问题的成因、规模及风险等级。

#### 5.5.2 补充勘察应向设计提供下列内容:

- a) 编制复杂地质问题专项报告, 详细介绍地质问题成因与规模;
- b) 开展专项研究, 评价复杂地质问题风险类型及等级;
- c) 提出专项整治方案。

## 6 总体设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 地下结构设计应满足洞库规划、洞库功能、土地资源、生态环境、可持续发展等要求, 各洞室的线形、净空断面、洞室数量等设计要素均应充分考虑施工或运营的便利性。

6.1.2 地下结构设计应结合洞库规模、地质条件、施工和运营需求等因素, 合理确定主洞室、水幕巷道、施工巷道、连接巷道、操作巷道、竖井等地下结构设计内容。

6.1.3 地下结构设计应遵循下列原则:

- a) 洞库位置应满足洞库功能和发展的需要, 符合规划总体布局;
- b) 在地形、地貌、地质、气象、社会和人文环境等调查的基础上, 综合比选洞库各洞室结构的轴线方案的走向、平纵线形、洞口位置、洞内外接线条件、各洞室之间的相互位置关系等, 提出推荐方案;
- c) 根据各洞室的功能和结构受力要求, 确定各洞室经济合理的内轮廓;
- d) 洞室内外平、纵线形应协调顺畅, 满足施工车辆行车安全, 对运营期间继续使用的洞室, 还应考虑运营期间检修的舒适性、逃生救援的便利性、运营成本的合理性;
- e) 根据洞室规模、空间布置、施工车辆及其组成、环境保护和安全要求等, 选择合理的施工及运营通风方式, 根据需要确定可靠的通风、照明、防灾救援等设施的设置规模;
- f) 应结合洞室规模、施工方法、工期和运营要求, 对地下洞室内外防排水系统、各功能洞室、弃渣处理、管理设施、环境保护等进行综合设计;
- g) 应考虑各洞室与周边既有构筑物 and 规划构筑物之间的相互影响;
- h) 总体设计应考虑节能降耗。

6.1.4 库址设置位置的地质、水文条件应符合下列规定:

- a) 区域地壳稳定, 地质构造较简单;
- b) 围岩岩石坚硬程度为坚硬岩或较坚硬岩;
- c) 围岩岩体完整程度为完整、较完整, 且稳定性良好;
- d) 围岩透水性弱、有稳定地下水位。

6.1.5 主洞室不应在下列区域内选址:

- a) 环境敏感区;
- b) 抗震设防烈度为 9 度及以上区域, 活动断裂构造部位或发震断裂带;
- c) 不良地质作用发育且对洞库稳定性有直接危害或潜在威胁的区域;
- d) 含过量有害气体与放射性元素的岩体分布区域;
- e) 岩石矿物成分和地下水对储存原油或成品油质量有严重影响的区域。

6.1.6 水幕巷道、施工巷道、连接巷道、操作巷道、竖井等位置应选择在稳定的地层中, 避免穿越工程地质和水文地质极为复杂以及严重不良地质地段。必须通过时, 应采取切实可靠的工程技术措施。

- 6.1.7 施工巷道数量应根据工期、出渣及材料运输要求确定；根据需要设置施工期间的排水洞室、变电洞室等辅助洞室；当施工巷道后期作为地下洞库的补水通道时，应考虑施工巷道的长期稳定性要求。
- 6.1.8 操作巷道结构设计应包含操作巷道、管道自然补偿洞室、竖井操作区洞室、水幕监测洞室、逃生巷道及紧急避难洞室等结构设计。操作巷道内应设置排水设施，应考虑排出渗水、清洗水、消防废水等水量，并应设置防止事故时可燃液体沿巷道漫流的设施。
- 6.1.9 每座洞罐宜设置 2 个竖井，进油竖井和出油竖井宜设置在不同的洞室。当地面布置竖井困难时，可考将竖井布置在操作巷道内，此时竖井上方应设置固定的起吊设施。

## 6.2 平面设计

- 6.2.1 主洞室的平面布置应根据洞库的设计容量，结合地形、地应力大小及方向、围岩的结构面等因素合理确定主洞室的数量、走向、长度与断面大小。
- 6.2.2 施工巷道、操作巷道、竖井等与地面联通的洞室，洞口宜设置在标高低、明挖方量少、岩体完整性好、便于排水、便于施工的地势较平缓位置；不应设在滑坡、崩坍、岩堆、危岩落石、泥石流等不良地质地段，以及排水困难的沟谷低洼处和不稳定的悬崖陡壁下。
- 6.2.3 相邻洞室净间距宜为洞室宽度的 1 倍~2 倍。两洞跨度不同时，应以较大跨度控制。
- 6.2.4 水幕巷道应根据主洞室的布置以及洞罐水力分隔需要布设，其末端应超出主洞室外壁投影不小于 20m。
- 6.2.5 相邻的主洞室之间应设置连接巷道保证洞室内油品流动通畅，连接巷道和施工巷道宜合并设置，连接巷道用作施工巷道时，尚应满足施工巷道的相关要求。
- 6.2.6 竖井宜靠近主洞室边墙布置。
- 6.2.7 泵坑应设置在出油竖井正下方，其尺寸应满足设备、管道安装及操作的要求。
- 6.2.8 密封塞的位置应根据地质和水文条件确定，不应布置在风化、断层、强渗透和不利节理倾向的地带上。
- 6.2.9 施工巷道平面布置和长度设置应结合使用功能、地形条件、地质条件、洞口场地等因素综合确定，转弯半径应满足施工机具工作要求。
- 6.2.10 操作巷道宜设置不少于 2 个通向地面的安全出口；仅设置 1 个通向地面的安全出口时，应在无安全出口端适当位置设置紧急避难洞室或避难仓；操作巷道内宜设置车辆错车和掉头的会车场。
- 6.2.11 紧急避难洞室应布置在稳定的岩层中，避开地质构造带、应力异常区以及渗水量较大区域。
- 6.2.12 竖井操作区至操作巷道区段应设置人员逃生的专用疏散通道。

## 6.3 纵断面设计

- 6.3.1 在地表设置出入口的洞室，防洪标准应按洪水重现期不小于 100 年设计，并符合下列规定：
  - a) 对于受洪水、潮水及内涝水威胁的场地，当靠近江河、湖泊等地段时，洞口最低设计标高应比设计频率计算水位高 0.5m 及以上；
  - b) 当在海岛、沿海地段或潮汐作用明显的河口段时，场地最低设计标高应比设计频率计算水位高 1.0m 及以上；
  - c) 当有波浪侵袭或有壅水现象时，尚应加上最大波浪或壅水高度。
- 6.3.2 主洞室拱顶距设计稳定地下水位垂直距离不应小于式（1）计算值，且距微风化层顶面垂直距离不应小于 20m。

$$H_w = 100P + 20 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$H_w$ ——设计稳定地下水位至洞室拱顶的垂直距离（m）；

$P$ —洞室内的气压设计压力（MPa）。

- 6.3.3 操作巷道底板标高宜在设计稳定地下水位线上方，且宜设置不小于5%的向外纵坡，最大纵坡不宜大于5%。当设置有2个不同方向通向地面安全出口的操作巷道设置为单项坡时，标高较高的洞口在接地口处宜设置反坡形成排水驼峰。
- 6.3.4 水幕巷道竖向位置应满足地下水封洞库设计稳定地下水位要求，且不宜设置在中风化及风化程度更严重的岩层内；水幕巷道底板至主洞室顶的垂直距离不宜小于20m。
- 6.3.5 避难洞室内地面应高于操作巷道底板不小于0.2m。
- 6.3.6 施工巷道宜采用无轨运输巷道，综合纵坡宜为6%~10%，最大坡度不应大于13%；应沿施工巷道纵向每150m~200m设置缓坡段，缓坡段长度不宜小于40m。洞口宜设置凸曲线或拦水设施。
- 6.3.7 最上方连接巷道的顶标高宜与洞室顶面标高一致。
- 6.3.8 竖井口的标高除应满足防洪标准外，还应高出地面不小于200mm。

## 6.4 横断面设计

- 6.4.1 各洞室断面形状应根据岩体质量、地应力特征及施工方法确定；岩体自稳能力强时宜采用直墙圆拱断面，岩体自稳能力差或水平地应力值较大时宜选用曲墙圆拱断面。
- 6.4.2 主洞室断面宽度不宜大于25m，高度不宜大于35m。
- 6.4.3 连接巷道断面大小及数量可根据实际需要确定。
- 6.4.4 施工巷道断面应满足施工运输车辆双向通行、施工人员单侧通行，以及通风、给排水、电力和其他设施占用空间要求，内空断面宽度不宜小于8m，高度不宜小于5m；单条车道宽度不应小于3.5m，行车高度不应小于4.5m；人行道宜单侧布置，宽度不宜小于1.0m；底板宜铺设混凝土路面。
- 6.4.5 施工巷道内宜设置紧急停车带，紧急停车带宽度不应小于3.0m，长度不应小于20m，高度不应小于5m，沿施工巷道左右两侧交错设置，同一侧间距宜采用800m~1200m；紧急停车带与缓坡段的设置宜综合考虑，有条件时，宜将紧急停车带设于缓坡段。
- 6.4.6 水幕巷道断面尺寸应符合施工要求，跨度及高度不宜小于4m，且不宜大于7m。
- 6.4.7 竖井断面宜取圆形，直径应满足管道、泵、仪表、电缆等安装及检修的要求，且不宜小于3m。当竖井操作区设置在地下时，操作区内轮廓净宽不应小于15m，净高不应小于18m。
- 6.4.8 密封塞嵌入围岩的深度不宜小于1000mm。
- 6.4.9 操作巷道内轮廓大小应满足设备管道安装、巡检车辆通行、人员操作、检修和疏散的要求，且净宽不应小于5m，净高不应小于7m；逃生巷道内轮廓大小应满足救援车辆通行、人员疏散和逃生的要求。
- 6.4.10 操作巷道内设置竖井时，竖井操作区净宽不应小于15m，净高不应小于18m，净长不应小于20m。
- 6.4.11 避难洞室内生存室的宽度不应小于2.0m，净高不应小于2.0m，长度应根据设计额定避险人数以及内配装备情况确定，设计额定避险人数宜为5人~10人，每人应有不低于 $1.0\text{ m}^2$ 的有效使用面积。
- 6.4.12 疏散通道内轮廓净宽不应小于1.2m，净高不应小于2.1m。

## 7 建筑材料

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 建筑材料的选用应符合结构强度和耐久性要求，同时满足抗冻、抗渗和抗侵蚀的需要。
- 7.1.2 当有侵蚀性水作用时，所用混凝土和水泥砂浆均应采用具有抗侵蚀性能的水泥和集料配制，其抗侵蚀性能的要求视水的侵蚀特性确定。
- 7.1.3 混凝土和喷射混凝土中可根据需要掺加添加剂，其性能满足下列要求：

- a) 对混凝土的强度及其与围岩的黏结力基本无影响，对混凝土和钢材无腐蚀作用；
- b) 对混凝土的凝结时间影响不大（除速凝剂和缓凝剂外）；
- c) 不易吸湿，易于保存；
- d) 不污染环境。

## 7.2 混凝土

- 7.2.1 混凝土结构应符合 GB 50010 的规定。
- 7.2.2 钢筋混凝土结构中，钢筋的技术条件应符合 GB/T 1499.1、GB/T 1499.2 的规定。
- 7.2.3 不应使用碱活性集料配制混凝土。
- 7.2.4 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C25。

## 7.3 喷射混凝土

- 7.3.1 喷射混凝土材料应符合 GB 50086 的规定。
- 7.3.2 喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C25。
- 7.3.3 水泥宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥质量应符合 GB 175 的规定。有特殊要求时，可采用特种水泥。
- 7.3.4 粗骨料应选用坚硬耐久的卵石或碎石，粒径不宜大于 12mm；当使用碱性速凝剂，不应使用含有活性二氧化硅的石料。
- 7.3.5 细骨料应选用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5。
- 7.3.6 纤维喷射混凝土用钢纤维及合成纤维应符合下列规定：
  - a) 钢纤维的抗拉强度应不低于  $1000\text{N}/\text{mm}^2$ ，直径宜为 0.40mm~0.80mm，长度宜为 25mm~35mm，并不应大于混合材料输送管内径的 0.7 倍，长径比为 35~80；
  - b) 合成纤维的抗拉强度不应低于  $280\text{N}/\text{mm}^2$ ，直径宜为  $10\ \mu\text{m}$ ~ $100\ \mu\text{m}$ ，长度宜为 4mm~25mm。

## 7.4 注浆材料

- 7.4.1 注浆材料宜使用纯水泥浆液。水泥的品种应根据地质条件 and 环境水的侵蚀作用等因素确定，可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥等。
- 7.4.2 浆液应无毒无臭，不污染环境。
- 7.4.3 浆液黏度低，流动性好，可注性强，凝结时间可按要求控制。
- 7.4.4 浆液固化稳定性好，能满足注浆工程的使用寿命要求。
- 7.4.5 浆液应对注浆设备、管路及混凝土结构物无腐蚀性，易于清洗。

## 7.5 钢材

- 7.5.1 钢材及其连接材料，应符合 GB 50011 和 GB 50017 的规定。
- 7.5.2 型钢和钢板宜采用 Q235、Q345 钢，抗震结构和焊接结构不应采用 A 质量等级的钢材。钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值与抗拉强度实测值得比值不应大于 0.85；钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。
- 7.5.3 手工电弧焊应采用符合 GB/T 5117 或 GB/T 5118 规定的焊条。选用焊条型号时应与构件钢材强度等级相适应，按下列规定采用：
  - a) 当构件钢材为 Q235 时，宜采用 E43 型焊条；
  - b) 当构件钢材为 Q345 时，宜采用 503 型焊条；
  - c) 当 Q235 时和 Q345 两种钢材相焊时，宜采用 E50 型焊条。
- 7.5.4 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂应与主体金属力学性能相适应。

7.5.5 钢筋的搭接焊、帮条焊、熔槽帮条焊及坡口焊选用的焊条，宜符合表 1 的规定。

表1 焊条选用要求

钢筋牌号	焊弧焊接头型式	
	搭接焊、帮条焊	熔槽帮条焊、坡口焊
HPB300	E43 系列	E43 系列
HPB335	E43 系列	E50 系列
HPB400	E50 系列	E55 系列
HPB500	E60 系列	E70 系列

7.5.6 高强度螺栓应采用性能等级为 8.8 级和 10.9 级的高强度螺栓。用于安装的普通螺栓性能等级宜采用 4.6 级。

7.5.7 锚杆材料应符合 GB 50086 的规定。普通砂浆锚杆杆体材料宜采用 HRB400、HRB500 热轧带肋钢筋。锚杆垫板材料宜采用 Q235 热轧钢板。

7.5.8 地脚螺栓不应采用 A 质量等级的钢材，宜采用未经冷拉的 Q235 钢或 Q345 钢。

## 8 结构稳定性分析

### 8.1 一般规定

8.1.1 水封洞库地下结构上的荷载应按表 2 的规定分类。

表2 洞库地下结构上的荷载分类

编号	荷载名称
1	围岩压力
2	土压力
3	结构自重
4	结构附加荷载
5	储油压力
6	水压力
7	施工荷载

8.1.2 应根据水封洞库地下结构所处的地形、地质条件、埋置深度、支护条件、施工方法、相邻地下结构间距等因素确定围岩压力，按释放荷载或松散荷载计算。在施工和实地量测中发现与实际不符时，应及时修正。

8.1.3 在水封洞库地下结构上可能同时出现的荷载，应按满足承载能力和正常使用要求分别进行组合，并按最不利组合进行设计。

8.1.4 地下水封洞库围岩稳定分析可按表 3 选择地质分析、数值分析、监测分析和反馈分析等方法，对围岩的整体稳定性进行定性和定量的综合分析评判。

表3 地下水封洞库围岩稳定分析方法

洞室跨度 B(m)	主要围岩级别	分析方法			
		地质分析	数值分析	监测分析	反馈分析
B≤20	I~IV	√	√	√	—
20<B≤30	I、II	√	√	√	○
	III	√	√	√	√
B>30	I、II、III	√	√	√	√

注：“√”为宜进行，“○”视情况选择。

- 8.1.5 地下水封洞库围岩稳定性应考虑下列因素综合分析评判：
- a) 地形、工程地质、水文地质、初始地应力场、洞库布置；
  - b) 地下水封洞库群开挖方案；
  - c) 施工期、运行期地下水渗控设计方案；
  - d) 洞库群支护型式、参数、支护时机；
  - e) 室内与现场试验、测试与监测成果。
- 8.1.6 地下水封洞库地下结构围岩稳定分析，应根据洞库区地质条件和地应力场，对地下水封洞库地下结构的支护设计参数、施工方案进行分析论证，评价围岩稳定性。
- 8.1.7 地下水封洞库地下结构围岩分类、岩体与结构面物理力学参数和洞库区初始地应力场等的测试、分析和取值，应符合 GB 50218 的规定。
- 8.1.8 围岩稳定分析所采用的岩体与结构面物理力学参数应考虑施工爆破和开挖卸荷影响。
- 8.2 围岩稳定性分析
- 8.2.1 围岩整体稳定数值分析可采用有限元法、有限差分法、离散元法等，对节理发育的围岩宜采用离散元法和非连续变形分析法。局部块体稳定分析可采用刚体极限平衡法。
- 8.2.2 水封地下洞库洞室群围岩的整体稳定分析宜采用三维数值模型，下列情况也可采用二维或局部三维数值模型：
- a) 地质结构单一、三维特征和效应不明显的洞段；
  - b) 进行洞室布置格局、间距或支护的比较时；
  - c) 控制性断面的快速计算与反馈分析。
- 8.2.3 围岩稳定数值分析应根据地应力测试成果进行地应力场反演，洞库区地应力场反演分析宜采用三维数值模型，地应力场反演分析数值计算模型宜根据洞库区地应力水平合理概化，模型应包括已揭示的所有二级结构面、主要三级结构面并反映地形、地貌特征。
- 8.2.4 水封地下洞库区范围内地应力测点数量不宜少于 6 个；当库区最大跨度小于 25m 时，地应力测点数量可适当减少，但不应少于 3 个。
- 8.2.5 洞库区地应力场反演成果应与实测成果进行校验分析，可采用显著性检验或复相关系数法，三个方向的正应力计算值和实测值之差宜控制在实测值的±20%以内。
- 8.2.6 地下水封洞库围岩整体稳定数值分析，宜根据围岩性质及地应力条件按下列原则选用合适的力学模型：
- a) 硬岩宜采用弹脆性或弹脆塑性力学模型；
  - b) 中硬岩宜采用弹塑性或弹脆塑性力学模型；
  - c) 软弱或具流变性质的围岩，或高地应力下的中硬岩，宜采用黏弹塑性力学模型。

8.2.7 围岩整体稳定数值分析应反映岩体的岩类分区、结构特征和变形特性。计算模型应反映计算区域已揭示的三级以上结构面，高地应力区宜模拟四级结构面；对于层状结构岩体，应反映其各向异性；宜模拟节理岩体和破碎带岩体。

8.2.8 围岩整体稳定数值分析应模拟地应力场、支护方案、开挖与支护顺序等工程因素，宜考虑地下水影响。

8.2.9 围岩整体稳定数值分析时，断层可采用实体单元、界面单元或其他能反映断层影响的方法模拟；若断层及其影响带的宽度较大时，宜采用实体单元模拟。

8.2.10 围岩整体稳定数值分析时，宜根据岩体应力、应变状态选用下列强度准则对围岩的破坏模式进行判别：

- a) 围岩的塑性剪切破坏宜根据围岩应力状态和强度条件，采用莫尔-库仑（Mohr-Coulomb）屈服准则、德鲁克-普朗克（Drucker-Prager）强度准则、基于摩尔-库伦屈服准则的修正准则、霍克布朗（Hoek-Brown）屈服准则等进行判别；
- b) 围岩的拉裂破坏可根据岩体抗拉强度进行判别，当围岩任一方向拉应力超过岩体抗拉强度时，则围岩进入拉损破坏。

8.2.11 围岩稳定数值分析应综合考虑围岩塑性区、松弛区、应力和应变、变形、能量耗散等各种判别指标，对围岩的稳定状况进行综合评价。当出现下列情形时可判定围岩的稳定性差或可能失稳：

- a) 给定条件下数值计算过程不收敛但提高岩体强度参数后收敛；
- b) 岩墙、岩柱部位的塑性区出现贯通；
- c) 支护结构受力的计算值大于设计值。

### 8.3 复合式衬砌荷载计算

8.3.1 地下水封洞库地下洞室复合式衬砌结构自重可按结构设计尺寸及材料标准重度计算，结构附加恒载应按实际情况计算。

8.3.2 深埋地下结构松散荷载垂直均布压力及水平均布压力，在不产生显著偏压及膨胀力的围岩条件下，可参考 JTG 3370.1 进行计算。

8.3.3 浅埋和深埋地下结构的分界可按荷载等效高度值，并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。按荷载等效高度的判定可参考 JTG 3370.1 进行计算。

8.3.4 水幕荷载应根据地下水位和设计最低水位等地下水压力状态确定。

8.3.5 储油荷载应根据洞罐内的操作压力和油品液位等条件确定。

8.3.6 施工荷载应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。

## 9 衬砌结构通用设计

### 9.1 一般规定

9.1.1 地下水封洞库地下洞室应根据洞室围岩级别、施工条件和使用要求等，合理选择采用锚喷衬砌、复合式衬砌、明洞衬砌。

9.1.2 地下结构一般采用锚喷衬砌，洞口浅埋 V 级围岩段、风机悬挂段宜采用复合式钢筋混凝土衬砌，结合地形地质条件适时采用明洞衬砌。

9.1.3 衬砌设计应综合考虑围岩地质条件、断面形状、支护结构、施工条件等，充分利用围岩的自承能力。衬砌应有足够的强度、稳定性和耐久性，保证洞室长期使用安全。

9.1.4 衬砌结构类型、支护参数，应根据使用要求、围岩级别、工程地质和水文地质条件、洞室埋置深度、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，还应根据现场监控量测结果调整支护参数，实行动态设计。

9.1.5 洞口浅埋土层段应设仰拱，仰拱曲率半径应根据地质条件、地下水、断面形状、洞室宽度等条件确定。路面与仰拱之间可采用混凝土或片石混凝土填充。

9.1.6 围岩较差地段衬砌应向围岩较好地段延伸 5m~10m。

9.1.7 横洞与主洞的交叉段，主洞与横洞衬砌均应加强，加强段衬砌应向各交叉洞延伸，延伸长度不应小于 5.0m，延伸长度范围内不宜设变形缝。

9.1.8 根据围岩地质条件、断面大小等情况，合理采用超前大管棚、超前小导管等超前支护措施。

## 9.2 锚喷衬砌

9.2.1 锚喷衬砌应采用工程类比法设计，根据隧洞围岩级别及开挖跨度确定锚喷衬砌类型和参数；围岩整体稳定性验算可采用数值分析法，局部可能失稳的围岩块体稳定性验算可采用块体极限平衡方法。

9.2.2 喷射混凝土的抗渗等级不应小于 P6。

9.2.3 侵蚀性介质段落锚喷衬砌应考虑耐侵蚀要求。

9.2.4 喷射混凝土的强度等级应不低于 C25，厚度不应小于 50mm。

9.2.5 喷射混凝土钢筋网设计应符合下列规定：

- a) 钢筋网钢筋直径不应小于 6mm，不应大于 12mm；
- b) 钢筋网网格应按矩形布置，钢筋间距宜为 150mm~200mm；
- c) 钢筋网钢筋的搭接长度不应小于 30d（d 为钢筋直径），并不应小于 1 个网格长度；
- d) 钢筋网喷射混凝土保护层厚度不应小于 20mm，当采用双层钢筋网时，两层钢筋网之间的间隔距离不应小于 60mm；
- e) 单层钢筋网喷射混凝土厚度不应小于 80mm，双层钢筋网喷射混凝土厚度不应小于 120mm；
- f) 钢筋网可配合锚杆或临时短锚杆使用，钢筋网宜与锚杆或其他固定装置连接牢固。

9.2.6 大跨断面、地质条件较差地段，可采用纤维喷射混凝土支护，纤维喷射混凝土设计应符合下列规定：

- a) 纤维喷射混凝土设计强度等级应不低于 C25；
- b) 钢纤维掺量宜为干混合料质量的 1.5%~4%；
- c) 合成纤维喷射混凝土纤维掺量应根据试验确定；
- d) 防水要求较高时，可采用强度等级高于 C30 的高性能喷混凝土。

9.2.7 锚杆支护设计应根据洞室围岩条件、断面尺寸、功能作用、施工条件等选择锚杆种类和参数，并符合下列规定：

- a) 用作永久支护的锚杆应为全长黏结型锚杆，端头锚固型锚杆作为永久支护时必须在孔内注满砂浆或树脂，砂浆或树脂的强度等级不得小于 M20；
- b) 自稳时间短的围岩，宜采用全黏结树脂锚杆或早强水泥砂浆锚杆；
- c) 预应力锚杆的锚固端应锚固在稳定岩层内；
- d) 岩体破碎、成孔困难的围岩，宜采用自进式锚杆；
- e) 锚杆直径宜采用 20mm~32mm；
- f) 锚杆露头应设垫板，垫板尺寸不应小于 150mm（长）、150mm（宽）、6mm（厚）。

9.2.8 系统锚杆设计应符合下列规定：

- a) 锚杆宜沿洞室周边径向布置，当结构面或岩层层面明显时，锚杆宜与岩体主结构面或岩层层面成大角度布置；
- b) 锚杆宜按梅花形排列；

c) 系统锚杆长度和间距应根据围岩条件、洞室宽度，按计算或工程类比确定。

9.2.9 局部不稳定的岩块宜设置局部锚杆，可采用全长黏结型锚杆、端头锚固型锚杆、预应力锚杆，锚固端应置于稳定岩体内，锚杆参数可根据工程类比或通过计算确定。

9.2.10 在围岩条件较差地段、洞口浅埋段、大跨交叉口段时，宜在喷射混凝土层内增设钢架，钢架可采用工字钢、H型钢、格栅钢架等形式。钢架设计应符合下列规定：

- a) 钢架间距宜为 0.5m~1.2m。钢架与锚杆纵向间距模数应一致；
- b) 采用钢架的地段连续使用钢架的数量不应少于 3 榀；
- c) 相邻钢架之间应设横向连接，采用钢筋作横向连接时，钢筋直径不宜小于 20mm、间距不应大于 1m，并在钢架内缘、外缘交错布置；
- d) 钢架应分节段制作，节段之间应通过钢板连接牢固；
- e) 钢架与围岩之间的混凝土保护层厚度不应小于 40mm；临空一侧的混凝土保护层厚度不应小于 20mm。

9.2.11 格栅钢架设计应符合下列规定：

- a) 主筋应采用 HRB400 钢筋，辅筋可采用 HRB400 或 HPB300 钢；
- b) 主钢筋直径宜选用 18mm~25mm，腹筋直径宜选用 12mm~20mm；
- c) 截面尺寸根据工程类比或计算确定，截面高度可采用 120mm~220mm。

9.2.12 在设置超前支护的地段，应设钢架作为超前支护的尾端支点，钢架截面高度不宜小于 160mm。

9.2.13 锚喷支护应采用湿拌喷射法施工。

### 9.3 复合式衬砌

9.3.1 衬砌结构类型、支护参数，应根据使用要求、围岩级别、工程地质和水文地质条件、埋置深度、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，还应根据实际实行动态设计。

- a) 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，并应符合本文件 9.2 的规定；
- b) 二次衬砌宜采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土衬砌结构，宜采用连接圆顺、等厚的衬砌断面；
- c) 在确定开挖断面时，除应满足洞室净空和结构尺寸外，尚应考虑围岩及初期支护的变形，预留适当的变形量。

9.3.2 围岩地质条件较差或洞室跨度较大、需要采用分部开挖施工时，应进行开挖方法设计，明确各部开挖顺序和临时支护参数。

### 9.4 明洞衬砌

9.4.1 洞口地质条件较差或存在落石等影响时，宜设置明洞衬砌。

9.4.2 明洞结构应采用钢筋混凝土结构。

9.4.3 当明洞作为整治滑坡的措施时，应按支挡工程设计，并采取综合治理措施。

9.4.4 地质条件有明显变化的地段，应设置沉降缝，气温变化较大地区，可根据明洞长度设置伸缩缝。

9.4.5 防落石危害的明洞，应验算落石冲击荷载下明洞结构安全性。

9.4.6 明洞基础应稳定，尽量设置与基岩之上；当基础位于软弱地基上时，可采用仰拱、整体式钢筋混凝土底板，也可采用桩基、扩大基础、基础加深和地基加固处理等措施。

9.4.7 明洞洞顶回填、拱背处理应根据明洞设置目的、作用，以及地形条件、边仰坡病害确定。

### 9.5 构造要求

9.5.1 永久性非预应力锚杆杆体水泥浆或水泥砂浆保护层厚不应小于 20mm。

9.5.2 混凝土基础台阶的刚性角不应大于 45°。

9.5.3 钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度，应符合表 4 的规定。

表4 混凝土保护层最小厚度 (mm)

构件厚度	保护层最小厚度 (mm)	
	非侵蚀性环境	侵蚀性环境
<150	根据情况确定	根据情况确定
150~300	30	40~55
301~500	35	40~60
>500	40	50~60

注：严重侵蚀性环境地段取大值，轻微侵蚀性环境地段取小值。

9.5.4 钢筋混凝土结构构件中纵向受力主钢筋的截面最小配筋率，应符合表 5 的规定。

表5 钢筋混凝土结构构件中受力主钢筋的截面最小配筋率

受力类型	最小配筋率 (%)				
	受压构件	全部受力主钢筋	0.6		
一侧受力主钢筋		0.2			
受弯构件、偏心受拉、轴心受拉构件一侧的受拉钢筋	钢筋种类	混凝土强度等级			
		C25	C30	C40	C50
	HPB300	0.25	0.30	0.35	0.40
HRB400	0.20	0.20	0.25	0.30	

注1：受压构件全部受力主钢筋最小配筋百分率，当采用 HRB400 钢筋时，应按表中规定减小 0.1%。  
 注2：偏心受拉构件中的受压钢筋，应按受压构件一侧受力主钢筋考虑。  
 注3：受压构件的全部受力主钢筋和一侧受力主钢筋的配筋率以及轴心受拉构件和小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率应按构件的全截面面积计算；受弯构件、大偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率应按全截面面积扣除受压翼缘面积后的截面面积计算。  
 注4：当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧受力主钢筋”系指沿受力方向两个对边中的一边布置的受力主钢筋。

9.5.5 钢筋弯起应符合下列规定，如图 1：

- a) 当受力主钢筋需弯起时，弯起钢筋的弯终点 B 处应留有锚固长度，该长度在受拉区不应小于 20d (d 为钢筋直径)，在受压区不应小于 10d，光圆钢筋在端部尚应设弯钩；

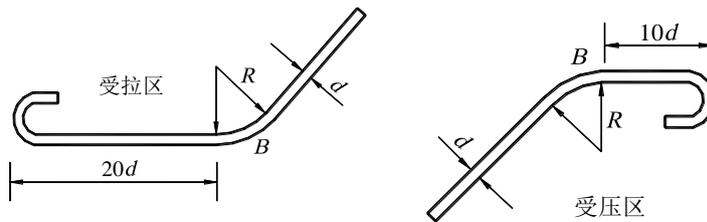


图1 弯起钢筋端部构造

- b) 弯起钢筋的弯起角，对于梁宜取 45° 或 60°；对于板不宜小于 30°；

- c) 弯起钢筋为 HPB300 时，最小弯曲半径  $R$  为  $10d$  ( $d$  为钢筋直径)；弯起钢筋为 HRB400 时，最小弯曲半径  $R$  为  $12d$ 。

#### 9.5.6 钢筋锚固长度应符合表 6 的规定。

表6 钢筋的锚固长度

锚固条件		钢筋类别	
		HPB300 光面钢筋	HRB400、HRB500 钢筋
受压钢筋自不受力处算起的锚固长度	$\geq 30d$	不设弯钩	—
	$< 30d$	10d 加直钩	—
	$\geq 20d$	—	不设弯钩
	$< 20d$	—	10d 加直钩
受拉构件的钢筋按黏结力计算的锚固长度	在无横向压力区域	30d 加半圆钩	20d 加直钩
	在有横向压力区域	15d 加半圆钩	10d 加直钩
受弯构件、偏心受压构件的受拉钢筋自不受力处算起的锚固长度	在受压区	10d 加直钩	10d 不设弯钩
	在受拉区 (在困难情况下)	20d 加半圆钩	20d 加直钩
弯起钢筋伸到受压区的长度	$\geq 20d$	不设与纵筋平行的直段，端部采用直钩	不设与纵筋平行的直段，且不设弯钩
	$< 20d$	设与纵筋平行长度为 $10d$ 的直段，并加直钩	设与纵筋平行长度为 $15d$ 的直段，且不设弯钩
注1：HRB400、HRB500 钢筋的直径大于 25mm 时，其锚固长度应乘以修正系数 1.1。 注2：HRB400、HRB500 级的环氧树脂涂层钢筋，其锚固长度应乘以修正系数 1.25。 注3：钢筋在混凝土施工过程中易受扰动（如滑模施工）时，其锚固长度应乘以修正系数 1.1。 注4：HRB400、HRB500 钢筋在锚固区的混凝土保护层厚度大于钢筋直径的 3 倍且配有箍筋时，其锚固长度可乘以修正系数 0.8。			

#### 9.5.7 受力主钢筋末端需设弯钩时，弯钩内径应为 $4d$ ( $d$ 为钢筋直径)，弯后直段长度应为 $5d$ 。

#### 9.5.8 受力主钢筋连接应符合下列规定：

- 受力主钢筋接头宜设置在受力较小处，在同一根钢筋上宜少设接头；
- 直径大于 25mm 的光圆钢筋以及所有螺纹钢筋的接头均应采用焊接或机械连接，焊接或机械连接接头的抗拉强度不应低于钢筋本身的强度；
- 焊接接头应相互错开，焊接接头连接区段长度为  $35d$  ( $d$  为钢筋较大直径) 且不小于 500mm，凡接头中点位于该连接区段长度内的焊接接头均属于同一连接区段；
- 位于同一连接区段内受力钢筋的焊接接头、机械连接接头面积百分率，对受拉主钢筋接头，不应大于 50%。受压主钢筋的接头面积百分率可不受此限制；
- 直径较小的光面钢筋可以采用搭接，此时钢筋端部应弯成半圆形弯钩，两钩切点间的距离对受拉钢筋不得小于  $30d$ ，对受压钢筋不应小于  $20d$ ，在搭接范围内应用铁丝捆扎或焊接；
- 其他情况下的钢筋连接应符合 GB 50010 的规定。

9.5.9 仅受轴心压力并配有受力主钢筋及一般箍筋的构件配筋构造应符合下列规定：

- a) 受力主钢筋截面积不应小于构件截面积的 0.6%，且不宜大于 3%；
- b) 受力主钢筋的直径不宜小于 12mm；
- c) 箍筋间距不应超过受力主钢筋直径的 15 倍，且不应大于构件横截面的最小尺寸；
- d) 箍筋的直径不应小于受力主钢筋直径的 1/4，且不应小于 6mm。

9.5.10 结构衬砌配筋构造应符合下列规定：

- a) 受力钢筋最小直径不应小于 16mm；
- b) 受力主钢筋截面积不应小于构件截面积的 0.6%，且不宜大于 3%；
- c) 衬砌内外侧应设垂直于受力方向的分布钢筋，分布钢筋直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 300mm；
- d) 衬砌内外两层受力钢筋应设连接箍筋，箍筋的直径不应小于 6mm。箍筋两端应设 180° 弯钩，弯钩内径不应小于受力钢筋直径，弯后直段长度不应小于 5d（d 为钢筋直径）；
- e) 箍筋应布置在受力主钢筋和分布筋的交叉位置，间距不应大于分布筋间距的 2 倍，受力主钢筋和箍筋应进行绑扎或焊接；
- f) 应在内外层受力主筋之间设构造限位钢筋，限位钢筋直径不应小于 18mm，限位钢筋间距不宜小于 2.0m×2.0m。限位钢筋应布置在受力主筋与分布钢筋的交叉位置，设有限位钢筋位置不设箍筋，限位钢筋应与受力主筋焊接。

9.5.11 对于腐蚀环境下的构件，浇筑在混凝土中并部分暴露在外的吊环、连接件等铁件应与混凝土构件中的钢筋隔离、或对外露铁件采取可靠的防腐措施。

9.5.12 其他地下结构构件钢筋构造要求应符合 GB 50010 的规定。

## 10 洞口及洞门

### 10.1 一般规定

10.1.1 洞口位置应根据地形、地质条件、巷道外相关工程、施工条件及洞室的布置情况，结合环境保护、储油期相关要求，通过经济、技术比较确定。

10.1.2 应结合洞口地形、洞口防护和路基排水，设置排水系统。

10.1.3 洞门结构应能防止洞口边仰坡的碎落、滚石、坍塌物等掉落路面。

10.1.4 易产生积雪的洞口，宜考虑防止积雪危害的措施。

10.1.5 洞口及洞门设计宜考虑便于检查和维护的条件。

10.1.6 洞口及洞门设计应与周边自然环境相协调

10.1.7 有条件情况下，设置洞门铭牌。

### 10.2 洞口工程

10.2.1 洞口位置确定应符合下列规定：

- a) 应设置在标高低、明挖方量少、岩体完整性好、便于排水、便于石渣运出的位置；
- b) 巷道轴线宜与地形等高线呈大角度相交；
- c) 跨沟或沿沟进洞时，应考虑水文情况，结合防护工程、防排水工程，综合分析确定；
- d) 缓坡地段进洞时，应结合巷道进洞条件、洞外路堑设置条件、边仰坡防护、排水、施工等因素，综合分析确定。

10.2.2 洞口设计应符合下列规定：

- a) 减少洞口边坡及仰坡开挖高度，最大限度地减少对原地面的扰动；

- b) 洞口边坡、仰坡根据情况采取放坡、喷锚、设置支挡结构物、接长明洞等措施进行防护，宜采用绿化护坡；
  - c) 受暴雨、洪水、泥石流影响时，应设置防洪设施；
  - d) 位于陡崖下的洞口，应清除危石，不宜切削山坡，宜接长明洞；
  - e) 附近地面建筑及地下埋设物与洞口相互影响时，应采取防范措施。
- 10.2.3 地下库区施工完成后，施工巷道洞口应封闭。
- 10.2.4 操作巷道施工完成后，洞口应设置密封防护门。

### 10.3 洞门工程

- 10.3.1 洞门形式应根据洞口地形、地质条件及周边环境条件确定。
- 10.3.2 洞门宜与巷道轴线正交。
- 10.3.3 端墙式洞门设计应符合下列规定：
- a) 洞门端墙和翼墙应具有抵抗来自仰坡、边坡土压力的能力，应按挡土墙结构进行设计。洞门墙墙身最小厚度不应小于 0.5m，翼墙墙身厚度不应小于 0.3m；
  - b) 洞顶仰坡与洞顶回填顶面的交线至洞门端墙墙背的水平距离不宜小于 1.5m；洞顶排水沟沟底至拱顶衬砌外缘的最小厚度不应小于 1.0m；洞门端墙墙顶应高出墙背回填面 0.5m；
  - c) 洞门端墙应根据需要设置伸缩缝、沉降缝和泄水孔；
  - d) 洞门端墙基础应置于稳固地基上，并埋入地面下一定深度。嵌入岩石地基的深度不应小于 0.2m；埋入土质地基的深度不应小于 1.0m。基底埋置深度应大于靠墙设置的各种沟、槽底的埋置深度。地基为冻胀土层时，基底高程应在最大冻结深度以下不小于 0.25m；
  - e) 地基承载能力不足时，应进行加固处理；
  - f) 洞门结构设计应满足抗震要求。
- 10.3.4 明洞式洞门设计应符合下列规定：
- a) 洞口段衬砌应采用钢筋混凝土结构，当两侧边墙地基松软或软硬不均匀时，应采取处理措施；
  - b) 洞口段衬砌应伸出原山坡坡面或设计回填坡面不小于 500mm；
  - c) 洞口段衬砌端面可呈直削、削竹；
  - d) 采用削竹式洞门时，削竹面仰斜坡率应陡于或等于原山坡坡率或设计回填坡面坡率；
  - e) 设计回填坡面宜按自然山坡坡度回填。采用土石回填时，坡率不宜陡于 1:1，表面宜植草覆盖。

## 11 主洞室与巷道结构设计

### 11.1 一般规定

- 11.1.1 主洞室与巷道结构设计应进行围岩稳定性和渗流场分析。
- 11.1.2 主洞室与巷道结构设计应利用围岩自稳和抗渗能力。
- 11.1.3 主洞室与巷道应采用控制爆破开挖，并应符合 GB 50996 的规定。
- 11.1.4 水幕巷道不宜进行注浆止水。
- 11.1.5 施工巷道充水后，应设封塞封堵进洞口。

### 11.2 施工巷道

#### 11.2.1 布置

施工巷道应按以下要求布置：

- a) 施工巷道数量应根据出渣及材料运输要求确定；
- b) 设有两条及以上施工巷道时，宜设计为单向通行；
- c) 施工巷道出渣及材料运输宜采用无轨运输；
- d) 施工巷道内可根据需要设排水洞室、变电洞室、车辆调头洞室、车辆失控防撞洞室等辅助洞室；
- e) 施工巷道后期可充满水作为地下洞库的补水通道。

### 11.2.2 线形

11.2.2.1 施工巷道选址应综合考虑地形、地质条件及施工的需要，宜避免在岩溶发育和地下水丰富地段设置。

11.2.2.2 施工巷道布置和长度应结合使用功能、地形条件、地质条件、洞口场地等综合确定。

11.2.2.3 施工巷道直线段纵坡不宜大于 10%，曲线段一般不宜大于 8%，并不得大于 13%。

11.2.2.4 施工巷道内每隔 150m~200m 设计一个平坡段，平坡段长度不宜小于 3 倍车长，且不宜小于 30m。为利于排水，平坡段可设 3% 以内的纵坡。

### 11.2.3 断面

11.2.3.1 施工巷道的断面尺寸，应满足出渣、进料车辆的通行要求，同时应考虑风、水、电管线和行人的要求。

11.2.3.2 断面宜布置为圆拱直墙形。

11.2.3.3 施工巷道行车道宜布置为双车道，车道宽度不应小于 3.5m，行车高度不应小于 4.5m。人行道宜单侧布置，宽度不宜小于 1.0m。

### 11.2.4 支护

11.2.4.1 施工巷道衬砌结构形式应根据地形地质条件、埋深等因素综合确定，支护参数可根据工程类比法确定。

11.2.4.2 施工巷道洞口段、不良地质段应加强支护。

11.2.4.3 施工巷道支护参数可参考表 7 执行。

表7 施工巷道支护参数

级别位置	围岩				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
拱部	50~80mm 喷射混凝土； 局部 L=4.5m 锚杆	50~80mm 喷射混凝土； 局部 L=4.5m 锚杆	80~140mm 钢筋网喷射混凝土； L=4.5m@1~1.5m 锚杆	140mm~240mm 钢筋网喷射混凝土； L=4.5m@0.5~1.0m 锚杆； 钢架间距 0.8m~1.2m	200mm~240mm 钢筋网喷射混凝土； L=4.5m@0.5m~1.0m 锚杆； 钢架间距 0.5m~0.8m； 必要时设钢筋混凝土二次衬砌
边墙	局部 L=4.5m 锚杆	局部 50~80mm 喷射混凝土；局部 L=4.5m 锚杆			
仰拱	--	--	--	--	200mm~240mm 喷射混凝土； 钢架间距 0.5m~0.8m； 必要时设钢筋混凝土仰拱

### 11.2.5 交叉口

施工巷道与其他巷道或主洞室交叉口段，各交叉洞支护参数均应加强，加强段衬砌应向各交叉洞延伸，延伸长度不小于 3.0m，并宜在加强段终点设置变形缝。

### 11.2.6 路面

施工巷道路面宜设置为双向坡，横坡坡率可采用 1.0%~2.0%，并宜与洞外路面横坡坡率一致。应根据地质条件确定施工巷道路面结构。路面结构宜采用不小于 20cm 厚的混凝土结构，路面下宜设垫层，垫层可兼做调平层。

## 11.3 水幕巷道

### 11.3.1 布置

水幕巷道应按以下要求布置：

- 水幕巷道的布置应考虑场区的水文地质和工程地质条件，并根据主洞室的布置以及洞罐水力分隔需要进行；
- 水幕巷道宜布置在微风化岩层中，不宜布置在中风化及风化程度更严重的岩层内；
- 水幕巷道可分为水幕主巷道和水幕支巷道，主巷道和次巷道底板应在同一高程上，且宜布置为相互垂直或大角度相交；
- 水幕巷道底板至洞室顶的垂直距离不宜小于 20m；
- 水幕巷道超出储油洞室边缘的水平投影距离不宜小于 20m。

### 11.3.2 断面

水幕巷道断面形状宜采用圆拱直墙形，断面尺寸应符合施工要求，水幕主巷道宽度和高度不宜大于 7m×7m，水幕支巷道宽度和高度不宜小于 4m×4m。

### 11.3.3 支护

水幕巷道支护参数可参考表8执行。

表8 水幕巷道支护参数

级别位置	围岩				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
拱部	局部 50mm~80mm 喷射混凝土； 局部 2m~4m 锚杆	局部 50mm~80mm 喷射混凝土； 局部 2m~4m 锚杆	80mm~140mm 喷射钢筋网混凝土； 布置 2 m~4m@2~3m 锚杆	120mm~240mm 喷射钢筋网混凝土； 布置 2 m~4m@1~3m 锚杆； 钢架间距 0.8m~1.2m	
边墙	局部 2m~4m 锚杆	局部 2m~4m 锚杆	局部 2~4m 锚杆	120mm~240mm 喷射钢筋网混凝土； 2m~4m@1~3m 锚杆； 钢架间距 0.8m~1.2m	

11.3.4 交叉口

水幕巷道交叉口应进行加强支护，加强支护宽度不宜小于与其交叉的水幕巷道外轮廓线两侧各1倍洞跨。

11.4 主洞室

11.4.1 布置

主洞室应按以下要求布置：

- a) 主洞室主体应布置在微风化岩层内；
- b) 主洞室的轴线方向应考虑地应力和优势结构面等因素，当库区处于低地应力区时，洞室轴线方向应主要考虑优势结构面的影响；当库区处于高地应力区时，洞室轴线方向与最大水平地应力方向宜平行或小角度相交；
- c) 相邻洞室净间距宜为洞室宽度的1倍~2倍；
- d) 洞室拱顶上距微风化层顶面垂直距离不应小于20m；
- e) 洞室拱顶上距设计稳定地下水位垂直距离不应小于按式（1）计算值；
- f) 主洞室底板应铺设素混凝土，厚度不应小于100mm。

11.4.2 断面

11.4.2.1 洞室断面形状应根据岩体质量、地应力特征及施工方法确定。

11.4.2.2 岩体自稳能力强时宜采用直墙圆拱式断面，岩体自稳能力差或水平地应力值较大时宜选用曲墙断面。

11.4.2.3 洞室断面宽度不宜大于25m，高度不宜大于35m。

11.4.3 支护

11.4.3.1 主洞室支护参数可参考表9执行。

表9 主洞室支护参数

级别位置	围岩				
	I级	II级	III级	IV级	V级
拱部	50mm~80mm 喷射混凝土； 局部3m~6m 锚杆	50mm~100mm 喷射混凝土； 3m~6m@2.5 锚杆	50mm~120mm喷 射钢纤维混凝土； 3m~6m@2 锚杆	140mm钢筋网喷 射混凝土； 3m~6m@1m~2m 锚杆	
边墙	局部3m~6m 锚杆	50~100mm喷 射混凝土； 3m~6m@2.5 锚杆	50~120mm喷射 钢纤维混凝土； 3m~6m@2 锚杆	140mm钢筋网喷 射混凝土； 3m~6m@1m~2m 锚杆	

11.4.3.2 与其他地下结构交叉段应进行加强支护，加强支护宽度不宜小于与其交叉的其他地下结构外轮廓线两侧各1倍洞跨。

11.5 连接巷道

### 11.5.1 布置

11.5.1.1 连接巷道应保证相邻洞室内油品流动通畅，最上方连接巷道的顶面标高宜与洞室顶面标高一致。

11.5.1.2 连接巷道和施工巷道宜合并设置，连接巷道用作施工巷道时，应满足施工巷道的要求。

### 11.5.2 断面

连接巷道断面形状宜采用直墙拱形，断面大小及数量可根据实际需要确定。

### 11.5.3 支护

连接巷道支护参数可参考表10执行。

表10 连接巷道支护参数

级别位置	围岩				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
拱部	50mm~80mm 喷射混凝土； 局部 4m 锚杆	50mm~80mm 喷射混凝土； 局部 4m 锚杆	50mm~100mm 喷射钢纤维混凝土； 4m@2 锚杆	50mm~120mm 钢筋网喷射混凝土； 4m@1.5m 锚杆	
边墙	局部 4m 锚杆	局部 4m 锚杆	50mm~100mm 喷射钢纤维混凝土； 4m@2 锚杆	50mm~120mm 钢筋网喷射混凝土； 4m@1.5m 锚杆	

### 11.6 不良地质地段设计

11.6.1 当洞室位于岩爆、断层破碎带、地下水发育等特殊地质地段时，应根据具体情况，采取相应辅助工程措施，确保施工安全及避免运营期油气外泄。

11.6.2 位于特殊地质地段的洞室，除应进行特殊设计外，在施工中还应对地下水位变化进行监测，对围岩变形和支护衬砌结构变形或受力进行监测。当设计与实际情况不符时，应及时修正设计。

11.6.3 岩爆处置应遵循“以防为主、防治结合”的原则，对可能发生岩爆段应进行监测、预报。爆分级及处治可按 JTG 3370.1 进行。

11.6.4 超前钻孔揭示的渗水量大的洞段和断层破碎带，应采用预注浆；掘进后有较大渗漏水时，应采用后注浆；注浆应符合下列规定：

- 预注浆钻孔，注浆参数应根据掘进面前方岩层裂隙状态、地下水情况、设备能力、浆液有效扩散半径、钻孔偏斜率和对注浆效果的要求等综合分析确定；
- 预注浆的段长，应根据工程地质、水文地质条件、钻孔设备及工期要求确定，宜为 10m~50m，掘进时应保留 3m~10m 的止浆岩盘；
- 后注浆应在断层破碎带、裂隙密集带、围岩与岩脉接触带或水量较大处布孔，注浆加固深度宜为 3m~5m；大面积渗漏，布孔宜密，钻孔宜浅；裂隙渗漏，布孔宜疏，钻孔宜深；
- 后注浆钻孔布置应根据渗漏水情况确定；
- 预注浆或后注浆的压力，应为静水压力以上 0.5MPa~1.5MPa。
- 注浆完成后，当渗水量大于 0.1L (min•m) 时，应补充注浆。

## 12 竖井

### 12.1 一般规定

- 12.1.1 竖井宜直接通向地面，设置在地面标高较低的位置，且应避开地质灾害和洪水易发地段。
- 12.1.2 竖井口应高出地面不小于 200mm。
- 12.1.3 竖井的井壁在中风化围岩以上部分应采用钢筋混凝土及锚杆支护；中风化围岩及以下部分应采用加强锚杆喷射混凝土支护。
- 12.1.4 竖井密封塞中心起每侧 10m 范围内的竖井段应支护。
- 12.1.5 竖井内允许有地下水渗出，但对于线流、含泥沙以及对施工和安全产生不利影响的渗水应进行注浆封堵，封堵应按 GB/T 50455 的规定执行。
- 12.1.6 竖井内的预留预埋件的埋设和处理应符合 GB 50996。
- 12.1.7 竖井开挖前，宜采用注浆等措施加固井口段软弱围岩。
- 12.1.8 对井身已探明的破碎带和地下水发育地段，宜在开挖前进行注浆处理。
- 12.1.9 井口开挖后应施工钢筋混凝土锁口，锁口应高出地面不应少于 500mm。
- 12.1.10 井口应设防护设施，防止杂物坠入井内；对露天竖井，应设置不小于 3m 宽的井台。
- 12.1.11 边坡和井台交接处应设置排水沟。
- 12.1.12 竖井与洞室连接段应加固后方可开挖。
- 12.1.13 竖井开挖封塞键槽前，应按设计要求对封塞键槽岩体实施加固。

### 12.2 工艺竖井

#### 12.2.1 布置

工艺竖井的布置应符合下列规定：

- a) 每座洞罐宜设置 2 个工艺竖井；
- b) 洞罐的进油竖井和出油竖井宜设置在不同的洞室；
- c) 竖井宜直接通向地面，竖井口宜设置在操作便利、地面标高较低的位置，根据环境条件可设置成露天、棚或房等形式；
- d) 受条件限制时，工艺竖井口可设置在操作巷道内；
- e) 工艺竖井宜与主洞室外切。

#### 12.2.2 断面

工艺竖井的断面应符合下列规定：

- a) 工艺竖井的断面尺寸应满足管道、泵、仪表、电缆等安装及检修的要求；
- b) 工艺竖井不应欠挖，且应预留变形量。

#### 12.2.3 支护

- 12.2.3.1 竖井支护参数可参考表 11 执行。

表11 竖井支护参数

级别位置	围岩				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
	50mm~100mm 钢筋网喷射 混凝土； 3 m~5m@2m 锚杆	50mm~100mm 钢筋网喷射 混凝土； 3 m~5m@2m 锚杆	50mm~100mm 钢 筋网喷射混凝 土； 3 m~5m@2m 锚杆	50mm~100mm 钢 筋网喷射混凝 土； 3 m~5m@1m~2m 锚杆； 钢架间距 0.8m~ 1.2m	50mm~100mm 钢筋 网喷射混凝土； 3 m~5m@1m 锚杆； 钢架间距 0.5m~ 0.8m； 必要时增设混凝 土二次衬砌

12.2.3.2 竖井井口段应采用喷锚支护和钢筋混凝土措施锁固井口；

12.2.3.3 井壁有不利的节理裂隙和涌水时，应采取加强支护措施。

### 12.3 通风竖井

12.3.1 井口应设置防护、防洪和防雨等设施。

12.3.2 竖井直径应根据通风量、设备和安装条件等因素综合确定。

12.3.3 竖井停用后应做封闭处理。

12.3.4 通风竖井支护同工艺竖井。

### 12.4 泵坑

12.4.1 泵坑应设置在洞室底部对应出油竖井中心处。

12.4.2 泵坑周围应设置混凝土围堰。

12.4.3 泵坑的有效容积不应小于单座洞罐 12h 的设计最大渗水量。

12.4.4 泵坑的尺寸应满足设备、管道安装要求。

12.4.5 泵坑支护参数可参考表 12 执行。

表12 泵坑支护参数

级别位置	围岩				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
	50mm~100mm 钢筋网喷射 混凝土； 3m@1.5m 锚杆	50mm~100mm 钢筋网喷射 混凝土； 3m@1.5m 锚杆	50mm~100mm 钢 筋网喷射混凝 土； 3m@1.5m 锚杆	50mm~100mm 钢 筋网喷射混凝 土； 3m@1.5m 锚杆	

## 13 密封塞

### 13.1 一般规定

13.1.1 密封塞键槽处应选取减小对岩体的扰动的爆破技术。

13.1.2 竖井与洞罐之间应设置竖井密封塞，施工巷道与洞罐之间应设置施工巷道密封塞。

### 13.2 计算

13.2.1 竖井密封塞的结构计算应包括下列荷载：

- a) 大气压力；
- b) 充水压力；
- c) 防渗层压力；
- d) 管道、套管及设备重量；
- e) 密封塞自重；
- f) 地震荷载；
- g) 内部可能产生的最大荷载，取值为 1MPa。

13.2.2 巷道密封塞的结构计算应包括下列荷载：

- a) 大气压力；
- b) 充水压力；
- c) 地震荷载；
- d) 内部可能产生的最大荷载，取值为 1MPa。

13.2.3 密封塞厚度的设计，应符合下列规定：

- a) 密封塞在荷载组合作用下不应产生与围岩之间的相对移动和泄漏；
- b) 密封塞厚度设计值应满足混凝土与围岩界面处的剪切应力和混凝土抗压承载力验算、泄漏阻抗路径、容许的压力梯度变化值的要求；
- c) 有条件时，宜根据现场试验数据设计。

13.3 布置位置

13.3.1 竖井密封塞应在距主洞室顶 5m~10m 的竖井内设置。

13.3.2 施工巷道密封塞宜在底标高与主洞室顶标高一致的施工巷道内设置。

13.3.3 密封塞的位置应根据工程地质和水文地质条件确定，应选择围岩完整性相对完整的地段。

13.3.4 密封塞不应布置在风化、断层、强渗透和不利结构面倾向的围岩段。

13.4 构造

13.4.1 密封塞键槽嵌入围岩的深度不宜小于 1000mm。

13.4.2 密封塞键槽的围岩应进行锚杆支护及注浆。

13.4.3 密封塞宜采用混凝土结构或钢筋混凝土结构，并宜在上下表面对称配置双层双向限裂钢筋，裂缝宽度不宜大于 0.2mm。

13.4.4 密封塞所用混凝土强度等级宜为 C30~C35。上下表面的钢筋直径不应小于 14mm，间距不宜大于 200mm，混凝土保护层厚度靠近洞室一侧不宜小于 100mm，远离洞室一侧不宜小于 50mm。

13.4.5 管道和套管穿过密封塞时，应靠近密封塞中心，穿过部位应增加补强钢筋，配筋应采用有限元数值模型进行应力检算。

13.4.6 当体积过大，一次浇筑混凝土确有困难时，可设置一道施工缝，并在相交处增设直径 10mm，间距为 300mm~500mm 的垂直插筋，呈梅花形布置，上下各锚固 30 倍插筋直径。施工缝处预留主筋的搭接长度可取 53 倍主筋直径。

13.4.7 密封塞混凝土内部宜埋设水冷散热管道。

13.4.8 竖井密封塞应与穿过的管道或套管进行稳固、密封连接，施工巷道密封塞应设置人孔。

14 操作巷道

14.1 一般规定

- 14.1.1 当在地面布置工艺竖井比较困难时，可考虑设置操作巷道，将工艺竖井布置在操作巷道内。
- 14.1.2 操作巷道内工艺竖井上方应设置固定的起吊设施。
- 14.1.3 操作巷道内宜设置用于车辆调头的回车场。
- 14.1.4 操作巷道宜设不少于2个不同方向通向地面的安全出口；当受地形条件限制设置2个安全出口困难时，可设1个安全出口，但应按本文件中14.7的规定设置紧急避难洞室。
- 14.1.5 操作巷道内（竖井操作区至操作巷道口范围）应设置专用于人员逃生的疏散通道，通道净宽不应小于1.2m，净高不应小于2.1m。通道结构应采用钢筋混凝土结构，防火设计应满足GB 50016要求。
- 14.1.6 操作巷道口应设置密封防护门。
- 14.1.7 操作巷道结构设计应满足功能要求，遵循“安全、经济、耐久和便于养护维修”的设计原则，满足“防水、防火”的技术要求。
- 14.1.8 操作巷道结构设计应包含操作巷道、管道自然补偿洞室、竖井操作区洞室、逃生巷道及紧急避难洞室等结构设计。
- 14.1.9 操作巷道内应设置排水设施，应考虑排出渗水、清洗水、消防废水等水量，并应设置防止事故时可燃液体沿巷道漫流的设施。
- 14.1.10 操作巷道应合理设置通风、照明、监控、紧急呼叫、火灾探测报警、消防及供配电等附属设施。当设2个安全出口、长度大于等于500m或仅设1个安全出口、长度大于等于200m时，应设置机械通风排烟设施。当长度大于等于200m时，应设置照明设施。

## 14.2 布置

- 14.2.1 操作巷道平面布置应根据工程地质条件、工艺竖井位置、两端接线和管道布置条件等综合确定。
- 14.2.2 操作巷道底板标高宜设置在设计稳定地下水位上方。
- 14.2.3 操作巷道交叉口应布置于地质条件较好地段。
- 14.2.4 操作巷道洞口应设在地层稳定、地质条件较好的位置，不应设在排水困难、地势狭窄的沟谷低洼处或不稳定的悬崖陡壁下。

## 14.3 线形

- 14.3.1 操作巷道洞口至竖井操作区管道布设范围内的平面线形应采用直线。
- 14.3.2 操作巷道纵坡形式宜采用单向坡，当仅设1个安全出口时坡度应向外；当地下水发育、操作巷道较长时也可采用人字坡。
- 14.3.3 操作巷道最小纵坡不应小于0.5%，最大纵坡不宜大于5%。受地形条件或其他特殊情况限制时，经技术经济论证后，巷道最大纵坡可适当加大，但不应大于8%。
- 14.3.4 操作巷道洞口在接地口处宜设置反坡，形成排水驼峰。

## 14.4 断面

- 14.4.1 操作巷道内轮廓大小应满足设备管道安装、巡检车辆通行、人员操作、检修和疏散的要求。逃生巷道内轮廓大小应满足救援车辆通行、人员疏散和逃生的要求。
- 14.4.2 操作巷道净宽不应小于5m，净高不应小于7m。
- 14.4.3 巷道断面形状应根据岩体质量、地应力特征及施工方法确定，岩体自稳能力好时宜采用圆拱直墙形断面，岩体自稳能力差或水平地应力较大时，可采用曲墙形断面。

## 14.5 支护

- 14.5.1 操作巷道应根据围岩级别、水文地质、施工条件和使用要求，选择采用锚喷支护或复合式衬砌。采用锚喷支护作为永久性支护时，应满足防水、防渗、防潮相关要求，确保操作巷道运营环境良好。

- 14.5.2 I～III级围岩段可采用锚喷支护，IV级围岩段宜采用复合式衬砌，V级围岩段应采用复合式衬砌。
- 14.5.3 洞口浅埋偏压段、断层破碎带等不良地质及地下水发育段应采用复合式衬砌。
- 14.5.4 操作巷道设置风机段落应采用复合式衬砌。
- 14.5.5 锚喷支护和复合式衬砌的初期支护设计参数，可按工程类比法确定；施工期间应通过监控量测进行修正。
- 14.5.6 二次衬砌在I～III级围岩可作为安全储备或防水加强措施，IV～V级围岩宜按承载结构设计。
- 14.5.7 二次衬砌应根据地基承载力、侧压力大小等合理确定仰拱或底板结构。
- 14.5.8 可行性研究阶段操作巷道的支护设计，可按表13初步选择支护类型及其参数。

表13 操作巷道支护参数表

围岩级别	初期支护				二次衬砌	
	喷射混凝土 (mm)	钢筋网 (mm)	锚杆 (环距×纵距)	钢架	拱墙	仰拱 (底板)
I级围岩	50~80厚C30、P6喷射混凝土	Φ6.5@200×200	Φ25砂浆锚杆 L=2~2.5m随机布置	—	—	—
II级围岩	100~120厚C30、P6喷射混凝土	Φ6.5@200×200	Φ25砂浆锚杆 L=3m随机布置	—	—	—
III级围岩	150厚C30、P6喷射混凝土	Φ6.5@200×200	Φ25砂浆锚杆 L=3.5m@1.5m×1.2m	—	—	—
IV级围岩	280厚C30、P6喷射混凝土	Φ6.5@200×200	Φ25砂浆锚杆 L=4m@1.2m×0.8m	I 20a@0.8m	—	—
IV级围岩	220厚C25喷射混凝土	Φ6.5@200×200	Φ25砂浆锚杆 L=4m@1.2m×1m	I 16@1m	400mm厚C30、P8钢筋混凝土	必要时设置
V级围岩	260厚C25喷射混凝土	Φ6.5@200×200	R25中空注浆锚杆 L=4m@1m×0.6m	I 20a@0.6m	500mm厚C30、P8钢筋混凝土	500mm厚C30、P8钢筋混凝土

注1：本表适用于开挖跨度为12m的操作巷道。  
 注2：I～III围岩可根据实际情况设置二次衬砌作为结构安全储备或防水加强措施。  
 注3：IV级围岩宜采用复合式衬砌，也可采用锚喷支护。

- 14.5.9 操作巷道交叉口应加强支护设计，并根据地质条件、开洞大小采取锁口锚杆措施。
- 14.5.10 复合式衬砌各级围岩预留变形量值可根据围岩级别、开挖跨度、埋置深度、施工方法和支护条件，采用工程类比法确定。当无类比资料时，可按表14采用。

表14 围岩预留变形量

围岩级别	预留变形量
I级围岩	0
II级围岩	0~30
III级围岩	30~50
IV级围岩	50~80
V级围岩	80~120
注1：浅埋、软岩、跨度较大巷道取大值，深埋、硬岩、跨度较小巷道取小值。	
注2：预留变形量应根据监控量测结果进行调整。	

14.5.11 超前支护及围岩加固应根据地质条件、施工安全确定，常用的超前支护及围岩加固措施见表15。

表15 常用的超前支护及围岩加固措施

项目		内容
围岩支护措施	超前支护	超前锚杆
		超前小导管
		超前管棚（管幕）
		超前水平旋喷桩
	临时封闭措施	喷射混凝土
		临时仰拱
围岩加固措施	超前加固	超前周边注浆
		超前帷幕注浆
	周边加固	周边径向注浆
	地表加固	地表砂浆锚杆
		地表注浆
		地表竖向旋喷桩

14.5.12 超前锚杆可用于开挖临空后可能存在剥落或局部坍塌的软弱围岩及缓倾岩层地段。

14.5.13 超前小导管可用于自稳时间短的软弱破碎带或浅埋、偏压等地段。

14.5.14 超前管棚（管幕）可用于洞口及洞身浅埋段、软弱围岩或断层破碎带等地段。

14.5.15 巷道穿越软弱围岩地段、富水断层破碎带、涌泥或塌方严重等地段可采用注浆加固岩体，提高围岩强度和自稳能力。

14.5.16 衬砌混凝土应连续灌注，拱圈、仰拱不得留纵向施工缝，边墙纵向施工缝应设在水沟盖板以下、过水断面以上。

14.5.17 明暗洞分界处、软硬地层分界处等应设置变形缝。

## 14.6 竖井操作区洞室

14.6.1 竖井操作区洞室应布置于I~III级围岩中，对于局部IV级或V级围岩，应采取必要的工程措施。

14.6.2 竖井操作区洞室内轮廓大小应满足竖井施工、设备管道安装、人员操作检修的要求。

14.6.3 竖井操作区洞室内轮廓净宽不应小于15m，净高不应小于18m。

14.6.4 可行性研究阶段竖井操作区洞室的支护设计，可按表16初步选择支护类型及其参数。

表16 竖井操作区洞室支护参数

围岩级别	锚喷支护			
	喷射混凝土 (mm)	钢筋网 (mm)	锚杆 (环距×纵距)	钢架
I 级围岩	120~150 厚 C30、P6 喷射混凝土	Φ 10@200× 200	Φ28 砂浆锚杆 L=4m@1.5m×1.5m	—
II 级围岩	150~200 厚 C30、P6 喷射混凝土	Φ 10@200× 200	Φ28 砂浆锚杆 (L=4m@3m×1.5m) Φ28 低预应力锚杆 (L=6m@3m×1.5m) 相间布置	—
III 级围岩	200~280 厚 C30、P6 喷射混凝土	Φ 10@200× 200	Φ32 砂浆锚杆 (L=6m@3m×1.5m) Φ32 低预应力锚杆 (L=8m@3m×1.5m) 相间布置	必要时设置 I 20a@1.5m
注1: 本表适用于开挖跨度为 20m 的竖井操作区洞室, 开挖跨度指吊车梁以上的开挖跨度。				
注2: 原位监控量测变形较大部位宜进行二次支护。				

14.6.5 当洞室开挖跨度大于 20m、高跨比大于 1.2 时, 边墙支护参数应根据工程的具体情况, 予以加强。必要时, 可采用 L=10m 的预应力锚杆。

14.6.6 围岩完整性较差、裂隙较发育地段或高地应力区岩体卸荷松弛强烈地段, 宜通过锚杆孔对围岩松动区进行低压固结灌浆, 固结灌浆参数通过现场试验确定。

14.6.7 当原位监控量测显示初期支护不能保证洞室长期稳定要求时, 应进行二次支护。二次支护可采用锚喷支护、混凝土衬砌, 应考虑其与初期支护共同工作。

14.6.8 岩壁吊车梁执行 NB/T 35079, 按受拉锚杆达到屈服强度的极限状态、岩壁吊车梁与岩壁结合面达到抗滑临界失稳的极限状态进行设计。

14.6.9 岩壁吊车梁承受桥机的竖向轮压、横向水平荷载应由机电专业根据桥机设计厂家资料提供。

14.6.10 岩壁吊车梁上、下一定范围的洞室边墙宜进行加强支护设计。

14.6.11 竖井操作区洞室和岩壁吊车梁部位的开挖方案及施工组织应做专项设计。

14.6.12 岩壁吊车梁部位的开挖应采用控制爆破技术并预留保护层开挖。

14.6.13 边墙喷射混凝土时, 与岩壁吊车梁接触的岩面应予以保护, 防止混凝土喷射到该岩面上。

14.6.14 洞室下层爆破开挖应在梁体混凝土达到设计强度等级后进行。在下层及邻近洞室爆破开挖时, 应进行控制爆破, 爆破对岩壁吊车梁产生的质点振动速度不宜大于 7cm/s。

#### 14.7 紧急避难洞室

14.7.1 紧急避难洞室应布置在稳定的岩层中, 避开地质构造带、应力异常区以及渗水量较大区域。

14.7.2 紧急避难洞室内生存室的宽度不应小于 2.0m, 长度应根据设计额定避险人数以及内配装备情况确定, 设计额定避险人数宜为 5 人~10 人, 每人应有不低于 1.0m<sup>2</sup> 的有效使用面积; 净高不应低于 2.0m。

14.7.3 紧急避难洞室必须设置单独通向外部的供气管路和压风自救装置、供水管路和供水阀门, 满足避险人员的避险需要, 额定防护时间不小于 96h。

14.7.4 紧急避难洞室应设置对外通信联络设备。

14.7.5 紧急避难洞室内地面应高于操作巷道底板不小于 0.2m。

14.7.6 紧急避难洞室应采用复合式衬砌结构, 防火设计应满足 GB 50016 要求。

#### 14.8 预留预埋

14.8.1 应根据工艺、设备等要求进行预留洞室和预埋件设计, 预留、预埋设计应与相关专业做好协调。

- 14.8.2 预留洞室和预埋件设计应能保证巷道结构的强度和稳定性，不应损害结构的承载能力。
- 14.8.3 预留洞室尺寸应能满足设备放置空间和维护操作空间要求。
- 14.8.4 预留洞室应避免衬砌结构变形缝和施工缝布置，避开距离不宜小于 2.0m。
- 14.8.5 巷道内各类设施的悬挂及安装预埋件应根据其承重和耐久性要求，进行强度和防腐设计，并应符合下列规定：
- a) 预埋件设计使用年限，应与结构设计使用年限一致；
  - b) 有承重要求的预埋件，应满足使用承载力要求；
  - c) 吊挂风机预埋件的强度应能承受不小于风机重量 15 倍的荷载。

## 15 信息化施工与监测

### 15.1 一般规定

- 15.1.1 地下水封洞库应根据地质条件、开挖断面和围岩稳定情况选择合适的开挖方法。
- 15.1.2 洞库工程施工应进行全程地质预报，施工中应根据库区详细地质勘察资料和设计文件，制定地质预报方案。
- 15.1.3 地下水封洞库监控量测应作为施工工序纳入洞库工程施工组织管理。
- 15.1.4 地下水封洞库安全监测系统应包括储油洞室施工运行期安全监测与储油水封控制安全监测两部分；土建工程全部完工后应进行自动化监测系统的建立，并纳入自动化监测管理。

### 15.2 施工方法

- 15.2.1 巷道可采用全断面开挖法、短台阶开挖法和环形开挖预留核心土法等工法。
- 15.2.2 洞室顶层可采用全断面开挖法、中导洞开挖法、分部开挖法；洞室台阶可采用全断面开挖法、短距离拉中槽开挖法，严禁采用长距离拉中槽法开挖。
- 15.2.3 竖井可采用正井开挖法、反井扩挖法、正反井结合开挖法、掘进机开挖法。
- 15.2.4 巷道、洞室开挖法宜采用机械化施工，I～III级围岩开挖后，应采用喷射混凝土封闭围岩，支护作业完成断面距开挖工作面的最大距离不宜超过 60m，IV、V级围岩支护应紧跟开挖工作面。
- 15.2.5 竖井开挖时锚喷支护应紧跟开挖面，锁口二次衬砌首次施做高度不宜超过 10m。
- 15.2.6 小净距设计施工应符合下列要求：
- a) 应根据地质条件，进出口地形条件，结合使用要求，经综合比选后确定最小净距；
  - b) 支护参数应经工程类比、计算分析综合确定；
  - c) 设计与施工应遵循“少扰动、快加固、勤量测、早封闭”的原则，并将中间岩柱的稳定与加固作为设计与施工的重点；
  - d) 小净距段监控量测应把中间岩柱稳定、浅埋段地表沉降和爆破振动对相邻洞室的影响作为监控量测的重要内容；
  - e) 为确保小净距段的安全，应对相邻双洞最大临界震动速度按净距、围岩级别、支护实施阶段分别进行控制，最大临界震动速度可通过试验和参照 GB 6722 取值；
  - f) 小净距隧道有偏压时，支护参数、施工方法、施工顺序宜进行特殊设计。
- 15.2.7 当洞室相向开挖接近贯通时，应符合下列规定：
- a) 当两开挖面距离小于 30m 时，爆破作业严禁同时起爆；
  - b) 在两开挖面距离小于 15m 时，应单向开挖，并制定贯通面的相应措施。
- 15.2.8 台阶法开挖施工时，应符合下列要求：
- a) 台阶长度及高度应根据地质情况、断面大小和施工机械设备情况综合确定；

- b) 上台阶使用钢架支护时，可采取扩大拱脚或施工锁脚锚杆等措施固定钢架；
  - c) 下台阶应在上台阶喷射混凝土达到设计强度的 70% 时方能开挖；
  - d) 当岩体不稳定时，应缩短台阶长度，下台阶可分左、右两侧错进开挖，支护应紧跟开挖施工。
- 15.2.9 预留核心土开挖法应符合下列要求：
- a) 开挖循环进尺宜为 0.5m~1m；
  - b) 喷锚支护、钢架支撑应紧跟开挖施工，每两榀钢架之间应采用钢筋连接牢固；
  - c) 预留核心土面积的大小应满足开挖面稳定的要求，不宜小于上半断面面积的 50%；
  - d) 当地质条件差，围岩自稳时间较短时，开挖前应在拱部施工超前支护。
  - e) 在核心土后的部位，及时施做系统锚杆支护。
- 15.2.10 当开挖面积大于 100m<sup>2</sup> 时，分部开挖采用导洞超前时应符合下列要求：
- a) 导洞超前长度不宜超过 20m；
  - b) 导洞开挖可局部进行喷射混凝土临时防护；
  - c) 导洞的大小应满足开挖、装渣设备的作业要求，导洞轮廓线与设计开挖线宜保留 1m 以上的保护层。
- 15.2.11 竖井采用自上而下全断面正井开挖法时，应遵守下列规定：
- a) 应做好井口支护，确保井口稳定，防止井台上杂物坠入井内；
  - b) 竖井井台周围设排水沟，防止雨水流入井内；
  - c) 提升系统应有专项设计，必须设置防断绳等安全保护装置，验收合格后方可使用；
  - d) 竖井深度超过 15m 时，人员上下爬梯宜分段设休息平台，并设护栏；
  - e) 竖井深度超过 30m 时，人员上下宜采用提升系统；
  - f) 井内涌水较大地段，宜做注浆堵水处理。
- 15.2.12 反井扩挖法开挖时，导洞下部应及时出渣，避免石渣堆积过高堵塞导洞。
- 15.2.13 反井扩挖法开挖时，扩挖部位要控制爆破石渣块度，避免大块石渣堵塞导洞。
- 15.2.14 竖井严禁自下而上开挖。
- 15.2.15 洞罐开挖前，水幕系统必须超前覆盖，超前覆盖的长度不宜小于 20m。
- 15.2.16 洞罐顶层开挖前，在地质素描、超前地质物探的基础上，全覆盖施做超前钻孔。
- 15.2.17 超前钻孔出水时，宜采取超前注浆堵水，钻孔深度宜大于 10m。
- 15.2.18 开挖后，出现较大渗水，宜采取注浆堵水，钻孔深度宜大于 5m。
- 15.2.19 堵水注浆材料宜优先选用纯水泥浆，出水量较大时可选用水泥-水玻璃等浆液，注浆压力宜为静水压力以上 0.5-1.5MPa。

### 15.3 超前地质预报

- 15.3.1 超前地质预报应完成下列任务：
- a) 在前期地质勘察成果的基础上，进一步查明掌子面前方一定范围内围岩的地质条件，进而预测前方不良地质、渗水等问题；
  - b) 为信息化设计和施工提供依据，提供地质风险预警；
  - c) 为编制交竣工文件提供地质资料。
- 15.3.2 施工前编制超前地质预报方案，方案中应包括采用的方法、使用的仪器设备以及成果处理，并明确规定应急处理的管理要求。
- 15.3.3 施工全程均应进行地质素描，将开挖后所揭露的地层岩性、地质构造、结构面产状、地下水出露点位置及出水状态、出水量等准确记录并绘制成图表。
- 15.3.4 超前地质预报应包括下列主要内容：
- a) 岩性预报，特别是对软弱夹层、破碎地层及特殊性岩土岩性的预报；

- b) 地质构造预报，特别是对断层、节理裂隙密集带等影响岩体完整性的构造发育情况的预报；  
c) 地下水预报，特别是对富水断层、富水地层中的裂隙水等发育情况的预报。

15.3.5 开挖揭露的地质情况可与多方法超前地质预报对比印证，并据实动态调整超前地质预报分级、方法和手段。

15.3.6 物理勘探应根据探测对象的埋深、规模及其与周围介质的物性差异，选择有效的方法，工程中常用的物理勘探方法及适用范围可按表 17 的规定选取。

表17 常用的物理勘探方法及适用范围

方法名称		适用范围
电法	直流电法	超前探测洞库掌子面和侧帮的含水构造
	高密度电阻法	探测岩溶、洞穴、地质界线
电磁法	甚低频	探测隐伏断层、破碎带；探测岩体接触带；含水构造及地下暗河等
	地质雷达	探测隐伏断层、破碎带；探测地下岩溶、洞穴；探测地层划分
地震波法和声波法	折射波法	划分洞库围岩级别；测定岩体的纵波速度
	反射波法	划分地层界线；探测隐伏断层、破碎带；探测地下洞穴；测定含水层分布
	地震波法（TSP）	划分地层界线；查找地质构造；探测不良地质体的厚度和范围
	瑞雷波法	探测隐伏断层、破碎带；探测岩溶、地下洞穴
红外线地下水探测头		探测局部地温异常现象；判断地下脉状流、脉状含水带、隐伏含水带等所在的位置

15.3.7 地质复杂地段的超前地质预报可采用钻探法，超前钻孔的位置、数量结合地质素描和地质分析等情况确定，并对钻孔出水量及时进行测定，孔深宜大于三倍爆破开挖进尺的长度，两次钻孔搭接长度不宜小于一倍爆破开挖进尺长度。

15.3.8 地质预报结果应及时上报，以便相关参建单位及时做出应急决策。

#### 15.4 施工监控量测

15.4.1 洞库施工应根据洞库地质状况、支护设计、工程环境、施工方法等编制监控量测方案。方案应明确工程量测项目及方法、量测仪器及设备、测点布置、量测程序、量测频次、数据处理及信息反馈要求。

15.4.2 监控量测工作应结合开挖、支护作业的进程，按量测方案布点和监测，根据量测情况及时调整补充，量测数据应及时分析、处理和反馈。

15.4.3 洞库施工必测项目、方法、位置及频次应符合表 18 的规定。

表18 洞库施工监控量测项目、方法、位置及频次

项目名称	断面与测点布置	监测方法及工具	量测频次			
			1d~15d	16d~30d	30d~90d	大于 90d
洞内外观测	/	人工巡查		开挖及初期支护后进行		
周边位移	每隔 5m~50m 一个断面，每断面 1~3 对测点	全站仪或收敛计	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/7d	1~3 次/30d

表 18 (续)

项目名称	断面与测点布置	监测方法及工具	量测频次			
			1d~15d	16d~30d	30d~90d	大于 90d
拱顶下沉	每隔 5m~50m 一个断面	水准仪或全站仪	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/7d	1~3 次/30d
地表下沉	洞口段、浅埋段 ( $h_0 \leq 2b$ )	水准仪或全站仪	开挖面距量测断面前后 $<2b$ 时, 1~2 次/d; 开挖面距量测断面前后 $<5b$ 时, 1 次/2~3d; 开挖面距量测断面前后 $>5b$ 时, 1 次/3~7d;			
地表水位观测	地表水位监测井 地下水压力计孔	渗压计	气候及降雨情况应每天记录; 离海边较近的项目, 潮汐水位应每天记录; 地下水压力应每天记录; 监测井水质分析(化学、物理及细菌)每半年 1 次			
爆破振动	相互临近巷道、临近建(构)筑物	爆破振动监测仪	—			
<p>注1: <math>b</math>-洞室开挖宽度, <math>h_0</math>-洞室埋深。 注2: I、II级围岩可不进行围岩变形量测。</p>						

15.4.4 监控量测应进行数据处理和分析, 围岩变形超过位移控制基准或速率较大时, 应发出预警并采取安全措施, 并应反馈到相关单位。围岩变形监控量测数据分析应符合下列要求:

- a) 每次量测后宜绘制时间-位移时态曲线, 并注明施工工序和开挖面距离量测断面的距离;
- b) 当位移时态曲线的曲率趋于平缓时, 应对数据进行回归曲线分析, 预测最终位移值, 并与设计预留变形值进行比较, 确定量测管理等级。位移控制基准宜符合表 19 的规定。

表19 位移控制基准

类别	距开挖面 1B	距开挖面 2B	距开挖面较远
允许值	65% $U_0$	90% $U_0$	100% $U_0$
注: $B$ 为洞库最大开挖宽度; $U_0$ 为极限相对位移值(可依据预留变形量和量测回归分析进行综合取值)。			

15.4.5 围岩稳定时间应根据量测分析成果及洞库所处围岩结构受力情况等进行分析判定。围岩稳定判定可按下列标准进行:

- a) 洞库周边水平位移速度小于 0.2mm/d;
- b) 洞库位移速率变化趋势小于 0;
- c) 洞库位移相对值已达到相对总位移量的 90%以上。

15.4.6 地下水位高程及孔隙水压力应符合设计要求。

### 15.5 安全监测

15.5.1 地下水封洞库施工与运营阶段应进行围岩稳定与水力稳定等监测, 不同监测对象的监测项目选取应符合表 20 的规定。关键地段和重要项目, 宜采用自动化监测技术。

表20 地下水封洞库施工与运营阶段安全监测项目

监测对象	监测类别	监测项目	监测方法
总体	巡查	日常巡查	人工巡查记录
		年度巡查	
		特殊情况下的巡查	
储油洞室及水幕巷道	围岩变形监测	围岩表面收敛	全站仪或收敛计
		围岩深部位移	多点位移计
	支护结构监测	支护锚杆应力	锚杆应力计
		支护钢格栅或钢支撑应力	钢筋计或钢板计
		混凝土应力	埋入式应变计
		衬砌混凝土与围岩结合面变形	埋入式测缝计
	渗压监测	主洞室之间岩体的渗透压力	渗压计
		洞灌区之间岩体的渗透压力	渗压计
	微震监测	岩石内部微破裂	微震监测仪
		相对错位	
断层活化			
体积变化			
操作巷道与施工巷道	围岩变形监测	围岩表面收敛	全站仪、收敛计或激光测距仪
		围岩深部位移	多点位移计
	支护结构监测	支护锚杆应力	锚杆应力计
		支护钢格栅或钢支撑应力	钢筋计或钢板计
		混凝土应力	埋入式应变计
		衬砌混凝土与围岩结合面变形	埋入式测缝计
洞灌区水封及环境水质	洞灌区周边渗压及水质监测	洞灌区岩体渗压（或地下水位）	渗压计
		洞灌区周边地下水质监测	测油仪
	储油水封监测	水幕巷道内水压力	渗压计
		水幕密封地下水位	渗压计
竖井	围岩变形监测	围岩表面收敛	收敛计或激光测距仪

#### 15.5.2 储油洞室安全监测断面与测点布置应符合以下规定：

- 根据储油洞室群布置形式、结构设计特点、围岩地质条件，以及施工支洞和水幕巷道布置的具体情况，沿水幕巷道布置贯穿各个储油洞室的监测断面；
- 根据主洞室开挖地质揭露情况，选取具有代表性的关键部位（典型结构、地质条件不利处等）适当布置监测断面；
- 在各洞室拱顶布置适量多点位移计，并在储油洞室开挖前从水幕巷道钻孔预埋安装，取得各洞室开挖岩体变形的初始值和洞室在施工期间岩体变形量；
- 在各监测断面处或加强支护处布置锚杆应力计；
- 对不利地质条件洞段的支护结构，布置适量的钢筋计、钢板计等监测仪器。

#### 15.5.3 水幕巷道安全监测断面与测点布置应符合以下规定：

- 根据水幕巷道的布置、长度、围岩地质条件、结构设计特点，以及与储油洞室相互关系等具体情况，选择水幕巷道内的III、IV级围岩处适量布置监测断面；
- 在拱顶布置适量多点位移计，并配合在该监测断面布置锚杆应力计和收敛测点；

- c) 在各监测断面分别布置适量钢筋计和钢板计。
- 15.5.4 操作巷道与施工巷道安全监测设计应符合以下规定：
  - a) 根据操作巷道与施工巷道的长度、围岩地质条件、结构设计特点，以及与储油洞室、水幕巷道或操作竖井连接的具体情况，综合考虑所有施工巷道的地质情况，选择Ⅲ、Ⅳ级围岩处适量布置监测断面；
  - b) 在拱顶布置适量多点位移计，并配合在该监测断面布置锚杆应力计和收敛测点。
- 15.5.5 洞灌区水封控制及环境水质监测测点布置应符合以下要求：
  - a) 在储油洞室群周边及顶部岩体布置渗压监测孔，同时在周边布置地下水水质监测孔；
  - b) 在储油洞室群上部主要垂直于主洞室方向的水幕巷道内布置水压力计；
  - c) 在水幕巷道内向下打孔分层、分组埋设渗压计。
- 15.5.6 应在储油洞室、施工巷道以及水幕巷道等部位呈网状均匀布置适量的微震传感器，构成微震监测系统网络。
- 15.5.7 各监测项目应根据洞库的建设或运行状态选取不同的监测频率，其初始监测取值及其监测频率应符合表 21 的规定。

表21 各监测项目监测初值取值与监测频率

监测项目	初始期	施工期	首次储油期	初储油期	运行期
日常巡查	/	2 次/周	1 次/天 ~ 1 次/2 天	1 次/天	1 次/月
年度巡查	2 次/年				
特殊情况下的巡查	在洞库工程区（或其附近）发生有感地震、洞库遭受雷电、台风、洪水、干旱，以及发生其他影响洞库安全运用的特殊情况时，及时进行巡视检查				
支护结构应力	仪器埋设后，24 小时以内，每隔 4 小时监测 1 次；之后每天监测 3 次，直至钢板计、钢筋计等仪器达到最高水化热温升为止；以后每天监测 1 次，持续一旬；以后每旬监测 2 次，持续 1 月	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/旬 ~ 1 次/月	1 次/月 ~ 1 次/季
锚杆应力	在加固前测一稳定值，加固过程中进行阶段监测，加固后测一稳定值后转入正常监测，开始一天测一次，或根据物理量变化速率调整测次；放炮开挖前后各监测一次	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/旬 ~ 1 次/月	1 次/月 ~ 1 次/季
结构缝开合度	—	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/天 ~ 1 次/旬	1 次/旬 ~ 1 次/月	1 次/月 ~ 1 次/季
储油水封压力	渗压计埋设后，24 小时以内，每隔 4 小时监测 1 次；之后每天监测 3 次，直至渗压计等仪器达到最高水化热温升为止；以后每天监测 1 次，持续一旬；以后每旬监测 2 次，持续 1 月	2 次/旬 ~ 1 次/月	1 次/天	2 次/旬 ~ 1 次/旬	1 次/旬 ~ 2 次/月
围岩深部位移	安装灌浆后 3 天（初凝）开始读数，每天监测一次，达到初始稳定后开始正式监测读数	3 天~5 天监测 1 次，或根据变化速率调整；放炮开挖前后各监测一次	7 天~10 天监测一次，如遇特殊情况，视实际需要适当加密监测		

表 21 (续)

监测项目	初始期	施工期	首次储油期	初储油期	运行期
围岩变形	收敛测点（或不锈钢标靶）埋设后立即开始读数，监测断面距掌子面 2 倍洞径以内，每天监测 1~2 次（根据变化速率调整）；监测断面距掌子面超过 2 倍洞径后，每周监测 1~2 次；放炮开挖前后各监测 1 次；监测断面距掌子面超过 4 倍洞径后，每月监测 1~2 次（或根据变化速率调整）；如遇特殊情况，视实际需要适当加密监测；每次监测应读数三次取其均值				
地下水水质水位	地下水水位施工期可采用电测水位计监测，用电测水位计监测管内水位时，两次测读误差不大于 10mm； 蓄油期采用压力传感器实现自动化监测。 地下水水质分析监测在施工期根据招标人要求进行监测；储油期采用专用的水质自动化装置进行地下水的分层取样，以及实现水质自动化分析监测和评估				
微震	微震监测传感器埋设后，应及时接入微震监测自动化系统，每天监测 1 次。如遇施工爆破等特殊情况应加密监测				

15.5.8 地下水封洞库施工期监测工作应符合下列要求：

- a) 参加仪器埋设、检验的施工人员和监测人员，应为经过专门技术培训的专业人员；
- b) 监理工程师应认真监督现场仪器设备的检查、检验、埋设及监测的全过程；
- c) 运行单位宜派人参加仪器埋设和施工期监测的全部工作。

15.5.9 地下水封洞库运行期监测工作应符合下列要求：

- a) 监测仪器电缆全部引入观测站后应及时安装自动化检测单元设备，尽早实现自动化监测；
- b) 及时做好数据库和监控分析软件的准备，尽早实现自动化监测、数据处理、资料整理和后处理分析工作；
- c) 接入自动化监测系统的仪器，在自动化监测系统形成后应加密监测次数，并与人工监测结果进行互相校验，尽快发现并处理存在的问题。

15.5.10 地下水封洞库监测数据分析及成果整理应符合以下要求：

- a) 现场监测数据及成果应校对，及时绘制过程线和关系曲线，提交成果资料；
- b) 发现异常情况时，应查找原因，采取必要的补救措施，并及时将有关工程情况按工作程序上报。

### 参 考 文 献

- [1] GB 50021 岩土工程勘察规范
  - [2] GB/T 50123 土工试验方法标准
  - [3] GB 50568 油气田及管道岩土工程勘察标准
  - [4] CJJ 221 城市地下道路工程设计规范
  - [5] JTG D70/2 公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施
  - [6] NB/T 35090 水电站地下厂房设计规范
  - [7] SL 377 水力水电工程锚喷支护技术规范
  - [8] SY/T 7486 地下水封洞库工程物探规程
  - [9] SY/T 7608 地下水封洞库水幕给水技术规范
-