

备案号：J3031—2022

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20712—2022

# 磷化工固体废物堆场设计与施工规范

Design and construction standard of  
phosphoric chemical industry solid waste stack



2022-04-08 发布

2022-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布


中华人民共和国化工行业标准

# 磷化工固体废物堆场设计与施工规范

**Design and construction standard of  
phosphoric chemical industry solid waste stack**

HG/T 20712—2022

主编单位：北京轩昂环保科技股份有限公司  
中石化南京工程有限公司  
中国石油和化工勘察设计协会环境保护设计专业委员会  
批准部门：中华人民共和国工业和信息化部  
实施日期：2022年10月1日

 北京科学技术出版社

# 中华人民共和国工业和信息化部

## 公告

2022年 第10号

工业和信息化部批准《化工装置管道机械设计规定》等555项行业标准（见附件1）。其中，化工行业4项、石化行业8项、有色金属行业5项、建材行业3项、机械行业（含制药装备）156项、汽车行业45项、船舶行业6项、航空行业48项、轻工行业68项、纺织行业103项、包装行业6项、电子行业18项、通信行业85项。批准《车用起重尾板》1项汽车行业标准修改单（见附件2）。批准《旅行箱包》等11项行业标准外文版（见附件3）。其中，轻工行业8项、纺织行业2项、电子行业1项。批准《高碳钢盘条索氏体含量标准样品》等79项行业标准样品（见附件4）。其中，冶金行业78项、有色金属行业1项，现予公布。行业标准修改单及行业标准样品自发布之日起实施。

以上化工行业标准（工程建设类）及汽车行业标准由北京科学技术出版社出版，石化行业标准由中国石化出版社出版，有色金属行业标准（工程建设类）由中国计划出版社出版，建材行业标准由中国建材工业出版社出版，机械行业标准由机械工业出版社出版，机械（制药装备）行业标准、纺织行业标准（含外文版）及包装行业标准由中国标准出版社出版，船舶行业标准由中国船舶工业综合技术经济研究院组织出版，航空行业标准由中国航空综合技术研究所组织出版，轻工行业标准（含外文版）由中国轻工业出版社出版，电子行业标准（含外文版）由中国电子技术标准化研究院组织出版，通信行业标准由人民邮电出版社出版。

附件：4项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

中华人民共和国工业和信息化部

二〇二二年四月八日

附件：

4项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

序号	标准编号	标准名称	被代替标准编号	实施日期
1	HG/T 20645—2022	化工装置管道机械设计规定	HG/T 20645—1998	2022-10-01
2	HG/T 20712—2022	磷化工固体废物堆场设计与施工规范		2022-10-01
3	HG/T 22818—2022	橡胶工厂综合监控系统设计规范		2022-10-01
4	HG/T 22819—2022	橡胶工厂物流设计规范		2022-10-01



# 前 言

本规范是根据工业和信息化部办公厅《关于印发 2016 年第三批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科函〔2016〕152 号）文件的要求，由中国石油和化工勘察设计协会为归口单位，委托中国石油和化工勘察设计协会环境保护设计专业委员会负责组织，北京轩昂环保科技股份有限公司、中石化南京工程有限公司为主编单位，会同参编单位共同编制完成。

本规范在编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结了我国磷化工固体废物堆场在建设和运行方面的工程结构设计、施工工艺、质量控制、工程质量验收工作的实践经验，同时参考了国内外磷化工固体废物堆场工程技术应用的大量资料。经编制组反复讨论，并广泛征求业内技术人员的意见，多次修改、补充、完善，最终经审查定稿。

本规范共分 9 章和 3 个附录，主要内容包括总则、术语和定义、基本规定、新建磷石膏库设计、改造及扩建磷石膏库设计、磷石膏库闭库（封场）设计、磷石膏库回采设计、磷石膏输送及回水系统设计、磷石膏库施工。

本规范由工业和信息化部负责管理，由中国石油和化工勘察设计协会技术归口，由中国石油和化工勘察设计协会环境保护设计专业委员会负责日常管理和具体技术内容的解释。本规范在执行过程中如有意见和建议，请与中国石油和化工勘察设计协会环境保护设计专业委员会联系（联系地址：天津市北辰区京津路 1 号；邮编：300400；电话：022-23406454；电子邮箱：920889978@qq.com），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

**主 编 单 位：**北京轩昂环保科技股份有限公司

中石化南京工程有限公司

中国石油和化工勘察设计协会环境保护设计专业委员会

**参 编 单 位：**贵州磷化（集团）有限责任公司

云南云天化股份有限公司

湖北宜化集团有限责任公司

上海胜义环境科技有限公司

中蓝连海设计研究院有限公司

中国天辰工程有限公司

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

北京轩昂环境修复有限公司

**主要起草人：**刘 宁 蒋少军 刘亚凯 崔广宁 袁亚平 纳志辉 孙群富 郑泽民

孙效平 谭中侠 王海羽 陈永坤 赵义武 赵 谊 陶维中 吴维兴

魏欣欣 奚金荣 马官明 陶延山 方佩珍 赵 跃 熊晓飞 王曜明

**主要审查人：**郭天勇 李明阳 蓝 蓉 王晓民 袁永强 王秀腾 孙立田 陈加林

陈朝侠 吴晓峰 王宜将 陈 兵 沈庆海

# 目 次

1	总则	(1)
2	术语和定义	(2)
3	基本规定	(8)
3.1	磷石膏库选址	(8)
3.2	磷石膏库等别及构筑物级别	(8)
3.3	堆存工艺	(9)
3.4	磷石膏库勘察	(10)
4	新建磷石膏库设计	(11)
4.1	设计基础资料	(11)
4.2	设计主要内容	(11)
4.3	设计的一般规定	(12)
4.4	磷石膏坝	(13)
4.5	排渗系统	(16)
4.6	排洪系统	(17)
4.7	防渗及地下水导排、导气系统	(20)
4.8	清污分流系统	(21)
4.9	调节回水池	(21)
4.10	排放工艺	(22)
4.11	安全环保监测系统	(23)
4.12	辅助设施	(25)
5	改造及扩建磷石膏库设计	(26)
5.1	设计的基础资料	(26)
5.2	设计的主要内容	(26)
5.3	设计的一般规定	(26)
6	磷石膏库闭库(封场)设计	(28)
6.1	闭库设计的一般规定	(28)
6.2	闭库设计的主要内容	(28)
7	磷石膏库回采设计	(30)
7.1	回采设计的一般规定	(30)
7.2	回采设计的主要内容	(30)

8 磷石膏输送及回水系统设计 .....	(32)
8.1 渣浆输送系统 .....	(32)
8.2 干法输送系统 .....	(33)
8.3 回水输送系统 .....	(33)
9 磷石膏库施工 .....	(34)
9.1 施工准备 .....	(34)
9.2 土建和管线工程 .....	(34)
9.3 防渗工程 .....	(35)
附录 A 粘土衬层隔水效力等效防渗计算方法 .....	(42)
附录 B 土工合成材料应变计算及加筋层设计方法 .....	(43)
附录 C 气压、真空电火花及破坏性检测方法 .....	(46)
本规范用词说明 .....	(47)
引用标准名录 .....	(48)
附：条文说明 .....	(51)

# Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and definitions	(2)
3	Basic requirements	(8)
3.1	location of phosphogypsum stack	(8)
3.2	class of phosphogypsum stack and grade of corresponding structure	(8)
3.3	stacking process	(9)
3.4	phosphogypsum stack survey	(10)
4	new phosphogypsum stack design	(11)
4.1	Basic information of design	(11)
4.2	main content of design	(11)
4.3	general requirements of design	(12)
4.4	phosphogypsum dam	(13)
4.5	Drainage system	(16)
4.6	Flood drainage system	(17)
4.7	Seepage control, groundwater drainage and air-venting system	(20)
4.8	Diversion system	(21)
4.9	Recycling pond	(21)
4.10	Stacking process	(22)
4.11	Safety and environmental monitoring system	(23)
4.12	Safety and environmental monitoring system	(25)
5	Phosphogypsum stack modification and expansion design	(26)
5.1	Basic information of design	(26)
5.2	main content of design	(26)
5.3	general requirements of design	(26)
6	Phosphogypsum stack closure design	(28)
6.1	General requirements of closure design	(28)
6.2	Main content of closure design	(28)
7	Phosphogypsum recovery design	(30)
7.1	General requirements of recovery design	(30)
7.2	Main content of recovery design	(30)

8	Transportation and return water system design of phosphogypsum stack .....	(32)
8.1	Slurry transportation system .....	(32)
8.2	Dry transportation system .....	(33)
8.3	Return water transportation system .....	(33)
9	Phosphogypsum stack construction .....	(34)
9.1	Construction preparation .....	(34)
9.2	Civil work and pipeline construction .....	(34)
9.3	Seepage control system construction .....	(35)
Appendix A	Equivalent calculation of anti-seepage clay barrier .....	(42)
Appendix B	Geosynthetics strain calculation and reinforced layer design .....	(43)
Appendix C	Barometric, vacuum, electric spark and destructive inspection method .....	(46)
	Explanation of wording in this code .....	(47)
	List of quoted standards .....	(48)
	Addition: Explanation of provisions .....	(51)

# 1 总 则

1.0.1 为了使磷化工固体废物在堆场设计和施工中更好地贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规范。

1.0.2 磷化工一般工业固体废物主要包括磷石膏、磷尾矿、黄磷渣及磷矿开采过程中排出的弃土（或废石）。本规范适用于新建、改建和扩建、回采、封场闭库的磷石膏堆场（也称磷石膏库）的设计及施工。

1.0.3 本规范不适用于磷化工危险废物堆场的设计与施工。

1.0.4 磷尾矿库的设计应按现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 的有关规定执行，磷尾矿库的施工应按现行国家标准《尾矿设施施工及验收规范》GB 50864 的有关规定执行。

1.0.5 磷矿排土场的设计可按现行国家标准《有色金属矿山排土场设计标准》GB 50421 的有关规定执行，磷矿排土场的施工可按《金属非金属矿山排土场安全生产规则》AQ 2005 中的有关规定执行。

1.0.6 黄磷渣堆场、磷石膏中转场或暂存场的设计与施工可按本规范中干式磷石膏库的相关规定执行。

1.0.7 磷化工固体废物堆场的设计与施工宜采用安全可靠、符合国情、经济合理的新技术、新工艺、新设备及新材料。

1.0.8 磷化工固体废物堆场的设计和施工除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和定义

### 2.0.1

磷化工 **phosphoric chemical industry**

从磷矿石到磷肥和各类含磷化学品生产的整条产业链，包括磷酸、黄磷、磷肥以及磷酸盐类的生产。

### 2.0.2

磷化工固体废物 **phosphoric chemical industry solid waste**

磷矿石采矿、选矿或磷化工生产过程中产生的固体废物，主要包括磷石膏、磷尾矿、黄磷渣、磷矿山弃土（或废石）等。

### 2.0.3

磷化工固体废物堆场 **phosphoric chemical industry solid waste stack**

用以贮存磷化工固体废物的场所。

### 2.0.4

磷石膏 **phosphogypsum**

以磷矿石为原料，采用湿法制取磷酸过程中产生的，以硫酸钙为主要成分的物质。

### 2.0.5

磷石膏暂存场 **temporary storage site of phosphogypsum**

临时贮存磷石膏的场所，也称为磷石膏中转场，其设计库容一般不超过磷化工企业磷石膏年产能的5倍。

### 2.0.6

磷尾矿 **phosphate tailings**

以磷矿为原料，在精选磷矿过程中产生的废渣。

### 2.0.7

磷矿排土场 **waste dump of phosphate mine**

用来集中堆放磷矿采矿活动中产生的废弃土石的场所。

### 2.0.8

黄磷渣 **electric furnace phosphorus slag**

磷矿石通过电炉法生产黄磷时排出的废渣。

### 2.0.9

酸性水 **acidic water**

磷石膏库、调节回水池及磷石膏输送和回水系统内水的统称，包括输送磷石膏的载浆水，磷石

膏库回水，磷石膏库内孔隙水、澄清水，调节回水池中的贮存水，以及与磷石膏接触后超过外排标准的雨水。

#### 2.0.10

干式磷石膏库 **dry phosphogypsum stack**

入库磷石膏不具自然流动性，采用汽车、带式输送机等机械排放且非洪水工况下库内不存水的磷石膏库。

#### 2.0.11

湿式磷石膏库 **wet phosphogypsum stack**

入库磷石膏具有自然流动性，采用水力输送排放的磷石膏库。

#### 2.0.12

调节回水池 **recycling pond**

磷石膏库外用于调蓄库内酸性水的场所。

#### 2.0.13

磷石膏坝 **phosphogypsum dam**

用于拦挡磷石膏和库内水的磷石膏库外围构筑物。通常指初期坝和磷石膏堆积坝的总称。

#### 2.0.14

初期坝 **starter dam**

用土、石或其他材料筑成的作为堆积坝底部支撑体的坝。

#### 2.0.15

磷石膏堆积坝 **phosphogypsum embankment**

生产过程中用磷石膏堆积而成的坝。

#### 2.0.16

副坝 **auxiliary dam**

磷石膏堆积坝上升到一定高度后，在磷石膏库周边山体较低的拗口处修筑的，用于拦挡库内磷石膏和酸性水的坝体。

#### 2.0.17

磷石膏库挡水坝 **water dam of phosphogypsum stack**

在坝前不形成有效干滩直接挡水的坝。

#### 2.0.18

拦挡坝 **debris dam**

修筑于山谷型干式磷石膏库下游，用于拦挡库内渗水、径流及雨水冲刷夹带磷石膏的坝体。

#### 2.0.19

全库容 **whole storage capacity**

坝顶标高水平面与磷石膏坝体外坡面以下、库底面以上所围成的空间容积（不含非磷石膏构筑的坝体体积）。



2.0.20

有效库容 **effective storage capacity**

磷石膏坝体外表面以下、库底面以上用于贮存磷石膏（含悬浮状磷石膏浆体）的空间容积。

2.0.21

调洪库容 **flood regulation storage capacity**

调洪起始水位以上、设计洪水位以下可蓄积洪水的空间容积。

2.0.22

总库容 **total storage capacity**

设计最终状态时的全库容。

2.0.23

调节回水池空余容积 **idle capacity of recycling pond**

在保证一定安全超高的情况下，调节回水池内水面以上至挡水坝坝顶标高以下的空间。

2.0.24

调节回水池死水容积 **stagnant volume of recycling pond**

回水泵无法吸入的调节回水池底部容积。

2.0.25

调节回水池工作容积 **work capacity of recycling pond**

扣除空余容积与死水容积之后的调节回水池容积。

2.0.26

浸润线 **phreatic line**

坝体中渗流水的自由表面的位置，在横剖面上为一条曲线。

2.0.27

临界浸润线 **critical position of the phreatic line**

坝体抗滑稳定安全系数能满足本规范最低要求时的坝体浸润线。

2.0.28

控制浸润线 **controlled position of the phreatic line**

既满足临界浸润线要求，又满足磷石膏堆积坝下游坡最小埋深浸润线要求的坝体最高浸润线。

2.0.29

沉积滩 **deposited beach**

湿法堆存工艺中水力冲积形成的沉积体表层，按库内集水区水面划分为水上和水下两部分，通常将水上部分称为干滩。

2.0.30

最小安全超高 **minimum free height**

设计洪水位时安全超高的最小允许值。

#### 2.0.31

##### 一次建坝 **one-step constructed dam**

指全部用土石等天然筑坝材料一次或分期建造的坝。

#### 2.0.32

##### 磷石膏坝高 **phosphogypsum dam height**

干式磷石膏库为磷石膏坝顶面最高点与坝脚最低点的高差，当磷石膏坝坝脚有初期坝或拦挡坝作为支撑体时，为磷石膏坝顶面最高点至初期坝或拦挡坝坝轴线处原地面的高差；湿式磷石膏库采用上游式筑坝为堆积坝坝顶与初期坝坝轴线处原地面的高差，其他坝型为坝顶与坝轴线处原地面的高差。

#### 2.0.33

##### 总坝高 **total dam height**

设计最终状态时的坝高。

#### 2.0.34

##### 堆坝高度或堆积高度 **embankment height or accumulation height**

干式磷石膏库为磷石膏坝顶面最高点与坝脚最低点的高差，当磷石膏坝坝脚有初期坝或拦挡坝作为支撑体时，为磷石膏坝顶面最高点至初期坝或拦渣坝坝顶的高差；上游式磷石膏坝为磷石膏堆积坝坝顶与初期坝坝顶的高差。

#### 2.0.35

##### 上游式筑坝法 **upstream stacking method**

在初期坝上游方向堆积磷石膏的筑坝方式，其特点是堆积坝坝顶轴线逐级向初期坝上游方向推移。

#### 2.0.36

##### 库尾式堆排筑坝法 **downstream discharge phosphogypsum dump method**

干式磷石膏库入库磷石膏自库区尾部向库区前部推进排放碾压，并在影响坝体外坡稳定区域采用分层碾压堆存的筑坝方式。

#### 2.0.37

##### 库前式堆排筑坝法 **upstream discharge phosphogypsum dump method**

干式磷石膏库入库磷石膏自初期坝前向库尾推进排放碾压，并在影响坝体外坡稳定区域内采用分层碾压堆存的筑坝方式。

#### 2.0.38

##### 库中式堆排筑坝法 **center discharge phosphogypsum dump method**

干式磷石膏库入库磷石膏自库区中部向库周边推进排放碾压，并在影响坝体外坡稳定区域内采用分层碾压堆存的筑坝方式。

#### 2.0.39

##### 库周式堆排筑坝法 **surrounding discharge phosphogypsum dump method**

干式磷石膏库入库磷石膏自库周边向库中间推进排放碾压，并在影响坝体外坡稳定区域内采用

分层碾压堆存的筑坝方式。

#### 2.0.40

满足饱和酸性条件的磷石膏 **wet phosphogypsum stack under saturated acidic condition**

磷石膏板结形成稳定沉积相，库内水 pH 值持续小于 2.0，且磷石膏堆积坝坝顶标高以上汇水面积与库内集水区面积之比小于 2 的湿法式磷石膏库。

#### 2.0.41

满足饱和酸性条件的磷石膏子坝 **phosphogypsum embankments under saturated acidic condition**

在满足饱和酸性条件的磷石膏库中，使用碾压法或胶结法修筑的磷石膏子坝。

#### 2.0.42

正常生产水位 **normal production water level**

在用磷石膏库内能满足生产回水、磷石膏排放和防排洪要求的水位。

#### 2.0.43

移动式竖井 **removable spillway**

一种随磷石膏堆积坝抬升而抬升的被动排洪设施。一般由可移动的竖向集水井和穿过堆积坝的排水管构成。

#### 2.0.44

最小澄清距离 **minimum clarification distance**

当磷石膏库处于正常生产水位时，满足回水水质要求的沉积滩与回水构筑物之间的最小距离。

#### 2.0.45

渠槽法 **rim-ditch method**

通过在堆积坝坝顶外缘用磷石膏堆筑内堤和外堤，使得渣浆在两堤之间流动，并在内堤间隔埋管或开口，使得渣浆均匀排放至磷石膏库四周的排浆方法。

#### 2.0.46

池填法 **pond filling method**

通过在堆积坝坝顶和库内筑堤形成池形排浆区，在池内排浆形成显著高于库区水面的干滩区域的排浆方法。

#### 2.0.47

碾压法筑磷石膏子坝 **phosphogypsum dike construction by compaction method**

使用晾晒后的磷石膏，分层压实至设计规定干密度的磷石膏子坝修筑方法。

#### 2.0.48

胶结法筑磷石膏子坝 **phosphogypsum dike construction by cementation method**

挖取饱和酸性水中浸泡的磷石膏，分层沥干形成胶结体后再整形修坡的磷石膏子坝修筑方法。

#### 2.0.49

中间防渗衬垫 **intermediate seepage barrier**

为达到环境保护标准要求或增强堆体稳定性，在磷石膏库运行过程中铺设的位于磷石膏堆体内

部的防渗衬层。

2.0.50

排渗管排渗 **tube drainage**

在坝体内设置排渗管，降低浸润线的自流排渗加固方法。

2.0.51

人工粘土 **artificial clay**

使用膨润土、聚合物等添加料对天然砂、土进行改良，经充分搅拌均匀后所形成的满足环保防渗要求的粘土类材料。

## 3 基本规定

### 3.1 磷石膏库选址

3.1.1 磷石膏库库址的选择应符合国土空间规划,符合水资源和生态资源保护以及现行国家标准的要求。

3.1.2 磷石膏库的选址应依据磷化工建设项目总体规划布局,综合考虑地形地貌、水文地质、气候、环境、建筑材料等条件,从安全、环保、经济等方面全面比选后确定。库址距居民集中区及公共设施等与环境敏感区的环境保护距离由环境影响评价报告文件及批复文件确定。

3.1.3 磷石膏库不应设在下列地区:

- 1 风景名胜区、自然保护区、饮用水源保护区;
- 2 国家法律禁止的矿产开采区域;
- 3 磷石膏库失事将使下游重要城镇、工矿企业、铁路干线或高速公路等遭受严重威胁区域。

3.1.4 磷石膏库库址选择应根据汇水面积、工程地质及水文地质、库长、库区周边环境等因素经多方案技术经济比较综合确定,并应符合下列要求:

- 1 汇水面积小,并有足够的库容;
- 2 避开不良地质现象严重区域;
- 3 上游式磷石膏库有足够的初、终期库长;
- 4 上游式磷石膏库库底平均纵坡不宜陡于 20%。

### 3.2 磷石膏库等别及构筑物级别

3.2.1 磷石膏库的等别应按下列原则确定:

1 磷石膏库等别应根据磷石膏库的总库容及总坝高按表 3.2.1 确定。磷石膏库各使用期的设计等别应根据该期的全库容和磷石膏坝高分别按表 3.2.1 确定。当按磷石膏库的全库容和磷石膏坝高分别确定的磷石膏库等别的等差为一等时,应以高者为准;当等差大于一等时,应按高者降一等确定。

2 采用露天废弃采坑及凹地贮存磷石膏,且周边未建磷石膏坝时,不定等别;周边建磷石膏坝时,应根据坝高及其形成的库容确定磷石膏库的等别。磷石膏库副坝应根据坝高及其对应的库容按照表 3.2.1 确定的磷石膏库各使用期的设计等别确定其构筑物级别。

表 3.2.1 磷石膏库各使用期的设计等别

等别	全库容 $V$ ( $\times 10^4$ ) / $m^3$	磷石膏坝高 $H/m$
一	$V \geq 50\ 000$	$H \geq 200$
二	$10\ 000 \leq V < 50\ 000$	$100 \leq H < 200$
三	$1\ 000 \leq V < 10\ 000$	$60 \leq H < 100$
四	$100 \leq V < 1\ 000$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 100$	$H < 30$

3.2.2 除磷石膏库副坝外的磷石膏库构筑物的级别应根据磷石膏库各使用期的设计等别及其重要性按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 磷石膏库构筑物的级别

磷石膏库等别	构筑物的级别		
	主要构筑物	次要构筑物	临时构筑物
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	5	5
四	4	5	5
五	5	5	5

注:

1. 主要构筑物系指磷石膏坝、排水构筑物等失事后将造成下游灾害的构筑物。
2. 次要构筑物系指除主要构筑物外的永久性构筑物。
3. 临时构筑物系指施工期临时使用的构筑物。

### 3.3 堆存工艺

3.3.1 堆存工艺包括干法堆存和湿法堆存, 应根据磷石膏的特性、产量及场址自然条件等, 经技术经济比较后确定。

3.3.2 湿式磷石膏库堆存工艺宜采用上游式磷石膏筑坝法; 干式磷石膏库堆存工艺宜采用磷石膏堆排筑坝法, 根据排放筑坝方向分为库尾式堆排筑坝法、库前式堆排筑坝法、库中式堆排筑坝法、库周式堆排筑坝法。

3.3.3 干式磷石膏库不得干湿混排, 进入库内的磷石膏含水率不宜高于 30%。

3.3.4 干式磷石膏库堆存作业可采用带式输送机、装载机、推土机等机械设备。影响堆积坝体稳定性的区域应分层碾压, 碾压参数应通过试验确定, 压实度不低于 92%, 不影响堆积坝体稳定的区域可适当降低碾压标准或不进行碾压。

### 3.4 磷石膏库勘察

3.4.1 磷石膏库工程应按基本建设程序进行，并满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》（2009年版）GB 50021 的要求。

3.4.2 磷石膏库岩土工程勘察应符合有关国家标准要求，按工程建设各勘察阶段的要求，正确反映工程地质和水文地质条件，查明不良地质作用、地质灾害及影响磷石膏库和各构筑物安全的不利因素，提出工程措施建议，形成资料完整、评价正确、建议合理的勘察报告。

3.4.3 磷石膏库工程详细勘察应符合下列要求：

- 1 查明坝址、坝肩、库区、库岸的工程地质和水文地质条件；
- 2 提供区域地质构造、地震地质资料，分析场地地震效应，提供抗震设计有关参数；
- 3 查明可能威胁磷石膏库、磷石膏坝及排洪设施安全的滑坡、潜在不稳定岸坡、泥石流等不良地质作用的分布范围并提出治理措施建议；
- 4 查明坝基、坝肩以及各拟建构筑物地段的岩土组成、分布特征、工程特性，并提供岩土的渗透系数、强度和变形参数；
- 5 分析和评价坝基、坝肩、库岸、排洪设施场地等的稳定性，并对潜在不稳定因素提出治理措施和建议；
- 6 分析和评价坝基、坝肩、库区的渗漏及其安全对环境的影响，并提出防治渗漏的措施和建议；
- 7 分析和评价排洪隧洞、排水井、排水斜槽、排水管和截洪沟等排洪构筑物地基（围岩）的强度、变形特征，当围岩强度不足、地基不均匀或存在软弱地基时，应提出地基处理措施和建议；
- 8 判定水和土对建筑材料的腐蚀性；
- 9 确定筑坝材料的产地，并查明筑坝材料的性质和储量。

3.4.4 改建和扩建磷石膏库工程还应对磷石膏堆积体进行岩土工程勘察，应明确下列要求：

- 1 磷石膏的成分、颗粒组成、密实程度、沉（堆）积规律、渗透特性、力学特性和化学特性；
- 2 磷石膏堆积体的地形地貌特征、厚度、体积、密实程度、成层条件、地基或基岩的埋藏条件、浸润线埋深及其变化规律；
- 3 当库区内填埋了其他固体废弃物时，应查明其体量、埋深及工程特性；
- 4 现状磷石膏坝的稳定性、继续扩建至设计高度的适宜性和稳定性；
- 5 磷石膏堆积坝在地震作用下的稳定性；
- 6 堆体沉降及侧向变形导致中间防渗衬垫、封场覆盖系统及其他设施失效的可能性，库区扩建工程可能产生的环境影响。

## 4 新建磷石膏库设计

### 4.1 设计基础资料

#### 4.1.1 磷石膏库设计前应搜集下列基础资料：

- 1 磷石膏的产量及其物理、化学性质，力学试验资料等；
- 2 地质资料，包括拟选库址区地形图、工程地质和水文地质资料等；
- 3 气象及水文资料；
- 4 建筑材料调查；
- 5 地震资料；
- 6 其他相关资料。

### 4.2 设计主要内容

#### 4.2.1 可行性研究报告阶段应包括下列内容：

- 1 拟建磷石膏库的库址选择，拟选库址一般不少于2个；
- 2 项目概况、编制依据、磷石膏库规模、堆存工艺；
- 3 安全运行参数、安全要求；
- 4 总图布置、公用设施、辅助工程；
- 5 生态环境保护、劳动安全与卫生；
- 6 工程技术经济及投资估算；
- 7 体现工艺、安全、环保参数及要求的附图。

#### 4.2.2 初步设计阶段应包括下列内容：

- 1 项目概况、编制依据、堆存方案；
- 2 总库容和磷石膏库等级、磷石膏排放量、排放方式及要求、堆积方式及要求；
- 3 主要工程内容、技术方案及计算、定员及项目实施周期；
- 4 对周围环境、社会、生态的影响；
- 5 安全设施设计、安全控制参数、安全监测系统设置及要求；
- 6 环境保护设计、环保监测系统设置及要求；
- 7 职业卫生、消防设施设计；
- 8 工程技术经济及概算；
- 9 体现工艺、安全、环保参数及要求的附图。

#### 4.2.3 施工图阶段应包括下列内容：

- 1 磷石膏库施工说明，包括磷石膏排放量、排放方式及要求、堆积方式及要求、总坝高、总



库容、等别、不同运行期防洪标准及防洪安全控制参数、安全及环保监测系统设置及要求、其他相关专业的的设计文件说明等；

2 磷石膏库施工图纸，包括总平面布置图、初期坝施工图、堆积坝施工图、排洪设施设计图、调节回水池设计图、辅助设施施工图和库容曲线图、防渗、排渗、清污分流、地下水导排等详细设计图以及其他相关专业的的设计图纸等。

### 4.3 设计的一般规定

4.3.1 磷石膏库设计应对不良工程地质条件采取可靠的治理措施。

4.3.2 在同一沟谷内建设两座或两座以上磷石膏库时，后建库设计时应充分论证各库之间的相互关系与影响，并采取相应安全风险防范对策措施。

4.3.3 采用废弃的露天采坑及凹地储存磷石膏时，应进行安全、环保专项论证。专项论证的内容应包括磷石膏排放前后边坡的稳定性、库内设施的安全性、防渗系统和排渗系统的可靠性等。

4.3.4 湿式磷石膏库设计应包含磷石膏坝、调节回水池系统、排洪系统、清污分流系统、渣浆输送及回水系统、防渗系统、排渗系统、地下水导排及导气系统、安全及环保监测系统、辅助设施等。

4.3.5 当满足下列条件时，湿式磷石膏库可按满足饱和酸性条件的磷石膏库设计：

- 1 磷石膏库内酸性水 pH 值持续小于 2.0；
- 2 磷石膏堆积坝坝顶标高以上汇水面积与库内集水区面积的比值小于 2。

4.3.6 干式磷石膏库设计应包含堆排工艺、拦挡坝或初期坝、堆积坝、排洪系统、防渗系统、排渗系统、调节回水池、清污分流系统、安全及环保监测系统、辅助设施等。

4.3.7 干式磷石膏库的设计应符合下列条件：

1 年降雨量均值超过 800mm 或年最大 24h 雨量均值超过 65mm 的地区，不应采用库尾式、库中式磷石膏堆排筑坝法；

- 2 应针对不良气候条件对作业过程的安全影响采取可靠防范措施；
- 3 正常运行条件下，库内不应存水。

4.3.8 磷石膏库设计除应明确堆存工艺、筑坝方法外，还应明确下列安全运行控制参数：

- 1 磷石膏库等别，设计最终堆积高程、总坝高、总库容、有效库容；
- 2 年入库磷石膏量及排放方式；
- 3 初期坝、副坝、拦挡坝和一次建坝的坝型、坝高、坝顶宽度、上下游坡比、筑坝材料及其控制参数、地基处理；
- 4 磷石膏堆积坝平均堆积外坡比；
- 5 排洪系统形式，排洪构筑物的主要参数；
- 6 磷石膏坝排渗型式；
- 7 磷石膏坝各运行期、各剖面的控制浸润线埋深。

4.3.9 湿式磷石膏库设计除应提供本规范第 4.3.8 条的安全运行控制参数外，还应提供下列安全运行控制参数：

- 1 入库磷石膏渣浆浓度；

2 子坝筑坝工艺、坝高、坡比；

3 库内控制的正常生产水位、调洪高度、安全超高、防洪高度、沉积滩坡度、正常生产水位时的干滩长度、最小干滩长度等。

4.3.10 干式磷石膏库设计除应提供本规范第 4.3.8 条的安全运行控制参数外，还应提供下列安全运行控制参数：

- 1 堆存磷石膏的含水率、分层厚度、影响坝体稳定区域、压实指标；
- 2 临时边坡的堆积坡比、台阶高度、台阶宽度；
- 3 坝体顶面坡向及坡度；
- 4 库内调洪起始水位、调洪高度、防洪高度、安全超高、最小防洪宽度。

#### 4.4 磷石膏坝

4.4.1 磷石膏坝坝址选择应以避免不良工程地质和水文地质条件为原则，结合磷石膏库回水、防洪及堆积坝填筑等因素综合论证确定。

4.4.2 初期坝坝型应根据磷石膏堆存方式、磷石膏坝筑坝方式等因素综合确定。当初期坝采用不透水坝型时，应采取可靠的坝体排渗方式。

4.4.3 磷石膏坝应满足渗流控制和静、动力稳定的要求。

4.4.4 初期坝宜采用当地材料修筑并满足设计要求。

4.4.5 湿式磷石膏库初期坝坝高的确定应符合下列要求：

- 1 可贮存磷酸装置投产后半年以上的磷石膏量；
- 2 应使磷石膏浆得以澄清；
- 3 满足后期堆积坝上升速度的要求；
- 4 当磷石膏堆积坝沉积滩顶与初期坝顶齐平时，应满足相应等别磷石膏库防洪标准要求。

4.4.6 库前堆排的山谷型干式磷石膏库或库周堆排的平地型干式磷石膏库，应设初期坝，初期坝坝高除不需考虑磷石膏渣浆澄清外，均应按湿式磷石膏库设计。库尾堆排的山谷型干式磷石膏库应在谷口设置拦挡坝，拦挡坝应采用水库坝设计规范设计。

4.4.7 初期坝为透水坝时，坝基和筑坝材料均应满足防腐蚀的性能要求。初期坝下游坡坡比在初定时可按表 4.4.7 确定。堆石坝上游坡坡比不宜陡于 1:1.6；土坝上游坡坡比可略陡于或等于下游坡坡比。

表 4.4.7 初期坝下游坡坡比

坝高/m	土坝下游坡坡比	堆石坝下游坡坡比	
		岩基	非岩基*
5~10	1:1.75~1:2.0	1:1.5~1:1.75	1:1.75~1:2.0
10~20	1:2.0~1:2.5		
20~30	1:2.5~1:3.0		

注：\*软基除外。

4.4.8 湿式磷石膏库宜采用上游式筑坝法，可使用磷石膏筑子坝。

4.4.9 遇有下列情况之一时，磷石膏坝坝基应进行相应处理：

- 1 易产生渗漏破坏的砂砾石地基；
- 2 易液化土、软粘土、冰渍层、永冻层和湿陷性黄土地基；
- 3 岩溶发育地基；
- 4 涌泉或地下水集中出露。

4.4.10 干式磷石膏库的高度应根据磷石膏的物理力学性质、库区基底岩土工程地质、气象水文等条件经计算确定，堆积坝的外边坡坡度应经稳定性计算确定。

4.4.11 安全超高及干滩长度应满足下列要求：

1 湿式磷石膏库，不满足饱和酸性条件时，磷石膏堆积坝滩顶与设计洪水位的高差，不得小于表 4.4.11 的最小安全超高值。同时，磷石膏堆积坝至设计洪水位水边线的距离，不得小于表 4.4.11 的最小干滩长度值。

2 设计地震水平加速度不小于 0.05g 地震区的湿式磷石膏库，当不满足饱和酸性条件时，磷石膏堆积坝滩顶与正常生产水位的高差，不应小于表 4.4.11 的最小安全超高值和地震沉降、地震壅浪高度之和。

3 湿式磷石膏库，当满足饱和酸性条件时，可使用磷石膏子坝挡水，磷石膏子坝坝顶宽度不应小于 15m。

4 设计地震水平加速度不小于 0.05g 地震区的湿式磷石膏库，当满足饱和酸性条件时，磷石膏子坝坝顶与设计洪水位的高差不应小于表 4.4.11 的最小安全超高值、最大风壅水面高度和最大波浪爬高三者之和；磷石膏子坝坝顶与正常运行水位的高差，不应小于表 4.4.11 的最小安全超高值与地震沉降值、地震壅浪高度、最大风壅水面高度及最大波浪爬高之和。

5 挡水坝和一次建坝的磷石膏库，坝顶与正常运行水位的高差不应小于表 4.4.11 的最小安全超高值与地震沉降值、地震壅浪高度、最大风壅水面高度及最大波浪爬高之和。

表 4.4.11 上游式磷石膏堆积坝的最小安全超高与最小干滩长度

设计值	坝的级别				
	1	2	3	4	5
最小安全超高/m	1.5	1.0	0.7	0.5	0.4
最小干滩长度/m	150	100	70	50	40

注：

1. 3 级及 3 级以下的磷石膏坝经渗流稳定论证安全时，表内最小干滩长度最多可减少 30%。
2. 地震区的最小干滩长度尚应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定。

4.4.12 洪水工况下坝前存水的干式磷石膏库堆积坝防洪宽度应符合表 4.4.12 的规定，同时坝外坡面顶标高与设计洪水位的高差应符合本规范表 4.4.11 的最小安全超高值的规定。

表 4.4.12 干式磷石膏库堆积坝的最小防洪宽度

设计值	坝的级别				
	1	2	3	4	5
最小防洪宽度/m	100	70	50	35	25

4.4.13 渗流及稳定性计算应符合下列规定：

1 磷石膏坝设计应进行渗流计算。渗流计算应分析放浆、雨水等因素对磷石膏坝浸润线的影响；湿式磷石膏库 1、2、3 级磷石膏坝的渗流应按三维数值模拟计算或物理模型试验确定。

2 不满足饱和酸性条件的磷石膏库，磷石膏堆积坝下游坡浸润线的最小埋深除应满足坝坡抗滑稳定的要求外，尚应满足表 4.4.13-1 的要求。

表 4.4.13-1 磷石膏堆积坝下游坡浸润线的最小埋深

设计值	堆积坝高度 $H/m$				
	$H \geq 150$	$150 > H \geq 100$	$100 > H \geq 60$	$60 > H \geq 30$	$H < 30$
浸润线的最小埋深/m	10~8	8~6	6~4	4~2	2

注：任意高度堆积坝下游坡浸润线的最小埋深可用插入法确定。

3 磷石膏库初期坝与堆积坝坝坡的抗滑稳定性应根据坝体材料及坝基岩土的物理力学性质，考虑各种荷载组合，经计算确定。计算方法宜采用简化毕肖普法。地震荷载按拟静力法计算。坝基存在软弱土层或铺设防渗膜的磷石膏库，应验算经软弱土层及防渗膜上、下界面等潜在滑移面的坝坡抗滑稳定安全系数。坝坡抗滑稳定安全系数不应小于表 4.4.13-2 规定的数值。

表 4.4.13-2 坝坡抗滑稳定最小安全系数

运行条件	坝的级别			
	1	2	3	4、5
正常运行	1.50	1.35	1.30	1.25
洪水运行	1.30	1.25	1.20	1.15
特殊运行	1.20	1.15	1.15	1.10

4 磷石膏坝稳定性计算宜采用有效应力法，并根据不同运行条件按表 4.4.13-3 进行组合。

表 4.4.13-3 磷石膏坝稳定计算的荷载组合

运行条件	计算方法	荷载类别				
		1	2	3	4	5
正常运行	有效应力法	有	有	有	—	—
洪水运行	有效应力法	—	有	有	有	—
特殊运行	有效应力法	有	有	有	—	有

注：

1. 荷载类别 1 指运行期正常库水位时的稳定渗透压力。
2. 荷载类别 2 指坝体自重。
3. 荷载类别 3 指坝体及坝基中的孔隙水压力。
4. 荷载类别 4 指设计洪水位时有可能形成的稳定渗透压力。
5. 荷载类别 5 指地震荷载。

5 湿式堆存磷石膏坝的计算断面应考虑磷石膏沉积规律, 根据沉积时间和颗粒粗细程度概化分区。各区磷石膏的物理力学指标可参考类似磷石膏坝确定, 必要时通过试验研究确定。在用磷石膏坝稳定计算应根据勘察及试验结果确定概化分区及相应的物理力学指标。

6 干式堆存磷石膏的物理力学性质指标应按碾压取样试验或参考类似工程实测资料确定。

7 上游式堆坝的磷石膏库在堆筑第一级子坝前应通过勘察取得磷石膏的物理力学指标, 由设计单位复核坝坡稳定性。磷石膏库在堆至  $1/3 \sim 1/2$  总坝高时, 应对坝体进行全面的工程地质和水文地质勘察, 并由设计单位对磷石膏坝做全面论证, 以验证最终坝坡的稳定性和确定后期的处理措施。

8 3级及3级以下的磷石膏坝可采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306中的地震基本烈度作为地震设计烈度, 当磷石膏坝溃决会产生严重次生灾害时, 磷石膏坝的地震设防标准应提高一级。1级和2级磷石膏坝的地震设计烈度应按批准的场地危险性分析结果确定。考虑地震荷载时, 可按现行行业标准《水工建筑物抗震设计规范》SL 203推荐的方法进行计算。

9 磷石膏坝动应力抗震计算应符合现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863要求。

4.4.14 磷石膏堆积坝应满足下列要求:

1 每隔  $5\text{m} \sim 15\text{m}$  高差设一条马道, 宽度不应小于  $1.5\text{m}$ , 有行车要求时, 宽度不应小于  $5\text{m}$ , 坡度宜为  $1\% \sim 2\%$ , 坡向排水沟方向;

2 磷石膏坝下游坡与两岸山坡结合处的山坡上应设置坝肩截水沟;

3 每隔  $5\text{m} \sim 15\text{m}$  高差顶面设置横向排水沟, 并应在坡面上设置人字沟或纵向排水沟, 排水沟底部须防渗, 且应考虑磷石膏坝长期沉降的影响, 避免坝面积水;

4 磷石膏堆积坝平均堆积外坡比不宜陡于  $1:3$ , 最终下游坡面应设置维护设施, 维护设施可采用碎石、块石或山坡土覆盖, 采用山坡土覆盖的应在坡面植草或灌木类植物。

#### 4.5 排渗系统

4.5.1 磷石膏库应根据渗流控制和坝坡稳定的要求设置排渗系统, 排渗体的布置宜通过渗流计算确定。

4.5.2 磷石膏坝的渗流控制措施应确保浸润线低于控制浸润线。

4.5.3 排渗设计应符合下列规定:

1 防渗层的上部应设置排渗体, 宜采用单层形式, 在初期坝上游坡面、临近初期坝的库区底部以及堆积坝坡面内设置;

2 酸性水中的排渗体应采用硅石料 ( $\text{CaCO}_3$  含量不大于  $5\%$ ) 或耐腐蚀的人工材料构筑, 石料渗透系数不宜小于  $1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ , 粒径宜为  $20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ;

3 排渗体断面形式宜采用梯形断面, 断面尺寸应根据酸性水汇流面积、收集管管径及数量确定, 宽度不宜小于  $1.0\text{m}$ , 厚度不宜小于  $40\text{cm}$ ;

4 排渗体宜采用网状和鱼刺状布置形式, 坡度不宜小于  $0.5\%$ ;

5 排渗体外应设反滤层, 宜采用规格不低于  $300\text{g/m}^2$  的无纺土工布;

6 主排渗体内应设置高密度聚乙烯 (HDPE) 收集管, 收集管的外径不宜小于  $200\text{mm}$ ;

- 7 HDPE 收集管的开孔率应保证管道的环刚度要求；
  - 8 排渗体与防渗膜之间应设保护衬层，如采用非织造土工布，规格不宜小于 600g/m<sup>2</sup>，如采用粘土类衬层，厚度不宜小于 20mm；
  - 9 酸性水排渗体内的导排管宜保持满管流状态。
- 4.5.4 干式磷石膏库底部应设排渗体，及时排出磷石膏孔隙酸水，防渗层以上水头不宜超过堆积高度的 1/5。

#### 4.6 排洪系统

4.6.1 磷石膏库的防洪标准应符合下列规定：

- 1 磷石膏库各使用期的防洪标准应根据使用期库的等别、库容、坝高、使用年限及对下游可能造成的危害程度等因素，按表 4.6.1 确定。

表 4.6.1 磷石膏库防洪标准

设计值	磷石膏库各使用期等别				
	一	二	三	四	五
洪水重现期/年 或 PMF	1 000~5 000	500~1 000	200~500	100~200	100

注：PMF 为可能最大洪水。

- 2 当确定的磷石膏库等别的库容或坝高偏于该等上限，磷石膏库使用年限较长或失事后对下游会造成严重危害者，防洪标准应取上限或提高等别。
  - 3 采用露天废弃采坑及凹地贮存磷石膏的磷石膏库，若周边未建磷石膏坝时，防洪标准应采用百年一遇洪水；若建有磷石膏坝时，应根据坝高及其对应的库容确定库的等别及防洪标准。
  - 4 磷石膏坝与两岸山坡结合处应设截水沟，磷石膏坝坝面应设排水沟。
- 4.6.2 磷石膏库洪水计算应根据各省水文图集或有关部门建议的特小汇水面积的计算方法进行计算。当采用全国通用的公式时，应采用当地的水文参数。设计洪水的降雨历时应采用 24h。
- 4.6.3 磷石膏库的水文、水力及调洪计算应按现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 的有关规定执行。
- 4.6.4 磷石膏库调洪演算应采用水量平衡法进行计算。
- 4.6.5 磷石膏库应采取防止泥石流、滑坡、树木杂物等影响泄洪能力的工程措施。
- 4.6.6 磷石膏库应设置可靠的排洪设施，排洪设施的排洪能力不应包括机械排洪的排洪能力。
- 4.6.7 磷石膏库的排洪方式，应根据地形、地质条件、洪水总量、调洪能力、回水方式、水质要求、操作条件与使用年限等因素，经过技术经济比较后确定。
- 4.6.8 磷石膏库排洪构筑物形式及尺寸应根据水力计算和调洪计算确定，并应满足设计、日常巡检维修和防洪安全要求。对特别复杂的排洪系统，应进行水工模型或模拟试验验证。
- 4.6.9 除库尾堆排的干式磷石膏库外，三等及三等以上磷石膏库不得采用截洪沟排洪，三等以下磷石膏库采用截洪沟截洪分流时，应进行充分论证。

4.6.10 不满足饱和酸性条件的磷石膏库，宜采用排水井（斜槽）-排水管（隧洞）排洪系统。排洪构筑物的形式和尺寸应根据水力计算和调洪演算确定。

4.6.11 满足饱和酸性条件的磷石膏库，可采用可移动式竖井或穿坝管排洪。穿坝管移除后，应按设计要求通过胶结法或碾压法修复磷石膏子坝，修复区域两周内不得挡水。

4.6.12 在正常运行条件下，湿式磷石膏库从库内澄清水区向调节回水池回水，不宜使用排洪系统，应采用虹吸或穿坝管等可更换的回水系统。

4.6.13 当上游汇水面积较大，库内调洪难以满足要求时，可在上游设拦洪坝截洪。拦洪坝的坝高应由拦洪坝上游汇水区域内产生的洪峰流量确定。拦洪坝材料宜采用浆砌石或混凝土。拦洪坝以上的库外排洪系统不得与库内排洪系统合并。

4.6.14 磷石膏库排洪构筑物应进行结构计算，结构计算应满足相应水工建筑物设计规范要求，排水井还应满足现行国家标准《高耸结构设计标准》GB 50135 的相关要求。

4.6.15 库内排洪构筑物应采取必要的防腐、防护措施。防腐措施应按现行国家标准《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046 的有关规定执行。

4.6.16 库尾式、库中式干式磷石膏堆排筑坝的磷石膏库的排洪设计应符合下列要求：

1 在设计最终状态时，磷石膏库外围应设永久截排洪系统。

2 当设计磷石膏堆积坝坝高超过 60m，应设置中间截洪沟。

3 磷石膏堆积坝外坡面下游应设置拦挡坝，所形成库容应满足储存一次洪水冲刷挟带的磷石膏渣量；渣量应根据冲刷试验或现场调查确定，当缺少试验数据时，可按下式估算确定。拦挡坝坝高与总坝高之比宜为 1/8~1/4，并不宜小于 5m。

$$W_{ch}=1\ 000H_p\times a\times F\times P \quad \dots\dots\dots (4.6.16)$$

式中：

$W_{ch}$ ——最大一次冲渣量，单位为立方米（ $m^3$ ）；

$H_p$ ——50 年一遇 24h 的降雨量，单位为毫米（mm）；

$a$ ——磷石膏的细度系数；

$F$ ——终期磷石膏堆积区面积，单位为平方千米（ $km^2$ ）；

$P$ ——磷石膏库等别系数。

4 拦挡坝前应设置排洪井、管或其他排洪设施，泄流能力应保证 72h 内排空库内的一次设计洪水。排洪入口应高于磷石膏淤积标高 0.5m 以上，并应及时清理坝前淤积磷石膏。

5 干式磷石膏库运行过程中，应在磷石膏堆积区设临时排水沟，将洪水排至磷石膏库下游，并应在磷石膏堆积体最终的下游坡面设永久性纵横截排水沟。

4.6.17 干式磷石膏库内排洪系统除不需考虑澄清水距离外，应按湿式磷石膏库的排洪系统进行设计。

4.6.18 排洪构筑物的进水位置应根据堆积高程时库区域地形、地貌、地质条件以及洪水、调洪计算后确定。

4.6.19 库内的排洪构筑物应满足下列要求：



1 排洪构筑物的工作流态宜控制在无压流状态；当设计为有压流状态时，排洪管本体及接缝处的止水应满足工作水压的要求；

2 当采用高密度聚乙烯管作为埋地排洪管时，排水管及接头应满足承外压要求；

3 排洪井井底应设置消力坑，排洪管或隧洞变坡、转弯和出口处应采取消能防冲措施；

4 斜槽的净高不宜小于 1.2m；

5 隧洞的净高不宜小于 1.8m，净宽不宜小于 1.5m；

6 排洪系统终止使用时，应有对排水口进行封堵的措施；

7 在排洪构筑物上或库内适当地点，应设立清晰醒目的水位标尺。

4.6.20 对于沟埋式和平埋式排洪管可就地取土回填，两侧回填土应夯实，顶部应松填，其厚度不宜小于 0.5m。

4.6.21 排洪管通过土坝时，每隔 10m~15m 宜设一道截水环。管道两侧及管顶以上 0.5m 的回填土应人工夯实，其密实度不应低于坝体的填筑标准。排洪管通过堆石坝时，应在管周围填筑级配良好的碎石过渡层，厚度不小于 0.5m。

4.6.22 排洪构筑物的基础应避免设置在工程地质条件不良或需要填方的地段，无法避开时，应进行地基处理。库内建(构)筑物地基的设计应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行。

4.6.23 除隧洞外的地下排洪构筑物基础应置于有足够承载力的地基上。对于承载力不足的地基，应采取符合基础承载力要求的工程措施。构筑物防腐措施应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046 的有关规定执行，地下酸性水排洪构筑物的下方宜增加一道防渗层。

4.6.24 钢筋混凝土排洪构筑物的结构设计应按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》SL 191 的有关规定执行；排洪隧洞设计应按现行行业标准《水工隧洞设计规范》SL 279 和《水工建筑物荷载设计规范》SL 744 的有关规定执行；排洪管道应按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的有关规定执行。

4.6.25 钢筋混凝土排洪管应根据当地的气温和地基条件确定伸缩缝和沉降缝的分缝长度。建在岩基上的排洪管，宜每隔 15m~25m 设一条伸缩缝，在岩性变化或断层处应设沉降缝；建在非岩基上的排洪管，宜每隔 4m~8m 设一条沉降缝。接缝处应采用橡胶或塑料止水带。当排洪管的地基为软弱土层或沉陷量过大时，应进行地基加固处理。

4.6.26 排洪设施在终止使用时应及时进行封堵，封堵后应同时保证封堵段下游的永久性结构安全和封堵段上游磷石膏堆积坝渗透稳定安全及相邻排洪构筑物安全。封堵体宜采用刚性结构，封堵设计应按现行行业标准《水工隧洞设计规范》SL 279 的有关规定执行。排洪井的封堵体不得设置在井顶、井身段。



#### 4.7 防渗及地下水导排、导气系统

4.7.1 磷石膏库必须进行防渗处理，防止地下水和地表水的污染，同时还应防止地下水进入库区。

4.7.2 磷石膏库应采用单人工复合衬层作为防渗衬层，并符合下列技术要求：

1 人工合成材料应采用高密度聚乙烯膜，厚度不小于 1.5mm，并满足现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643 规定的技术指标要求。采用其他人工合成材料的，其防渗性能至少相当于 1.5mm 高密度聚乙烯膜的防渗性能；

2 粘土衬层厚度应不小于 0.75m，且经压实、人工改性等措施处理后的饱和渗透系数不应大于  $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。使用其它粘土类防渗衬层材料时，应具有同等以上隔水效力。隔水效力的计算可按本规范附录 A 进行。

4.7.3 磷石膏库基础层表面应与地下水年最高水位保持 1.5m 以上的距离。当库区基础层表面与地下水年最高水位距离不足 1.5m 时，应建设地下水导排系统。地下水导排系统应确保磷石膏库运行期地下水水位维持在基础层表面 1.5m 以下。

4.7.4 土工膜应采用高密度聚乙烯土工膜（HDPE 膜），其材质性能应符合现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643—2011 中环保用高密度聚乙烯土工膜的有关规定。

4.7.5 当库区处于岩溶发育区或设计磷石膏堆积高度大于 60m 时，厚度不应小于 2.0mm。

4.7.6 土工膜的设计、施工和验收应符合现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643 和《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290 的有关规定。

4.7.7 当采用天然粘土衬里、改性粘土衬层作为复合防渗层时，应与接触的酸性水相容，其饱和渗透系数、防腐及使用寿命等技术指标应满足设计要求。

4.7.8 磷石膏库地基应为防渗系统提供稳定的基础。对不能满足承载力、沉降限制及稳定性等要求的地基应进行相应的处理，并应符合下列规定：

- 1 处理后的地基在设计荷载作用下的沉降变形量在设计允许范围内；
- 2 对土工膜下地下水和气体进行有效疏排；
- 3 对可能导致磷石膏及酸水泄漏的通道采取有效封堵措施。

4.7.9 在选择地基处理方案时，应经过实地考察和岩土工程勘察，结合磷石膏堆体荷载、防渗结构和地基的特点，经过技术经济比较确定。

4.7.10 库内地基边坡设计应按现行行业标准《水利水电工程边坡设计规范》SL 386 的有关规定执行。

4.7.11 不均匀沉降计算应沿若干条选定的沉降线进行，沉降线应沿库区设施布置，并应考虑下列位置：

- 1 库区底部高程及表面高程剧烈变化的位置；
- 2 库区基层下存在回填土、软弱土层等特殊区域；
- 3 两个相邻堆存区交界线附近。

4.7.12 土工膜由不均匀沉降引起的拉伸应变应小于其允许应变特征值，允许应变特征值的计算可按本规范附录 B 推荐的公式计算。中间防渗衬垫系统中的土工膜还应进行由于下部堆体局部沉降

引起的拉伸应变验算，并应符合本规范附录 B 的规定。

4.7.13 当基础沉降导致底部导排系统和防渗系统的坡度和拉伸应变不满足要求时，应对基础进行处理。

4.7.14 存在涌泉或地下水出露的磷石膏库及调节回水池，应在水平防渗层下设地下水导排系统。

4.7.15 根据水文地质情况，地下水导排方式可选择碎石导流层、导排盲沟、土工复合材料导流层等方法，导排盲沟可按本规范第 4.5 节排渗系统进行设计。地下水收集导排系统应具有在设计荷载作用下长期服役的性能。

4.7.16 岩溶地区及地下水位变化较大的磷石膏库，应在防渗层下间隔铺设导气带，导气带宜使用土工复合排水网。

#### 4.8 清污分流系统

4.8.1 磷石膏库及调节回水池周边应设置清污分流的截水沟。截水沟过流断面宜按 50 年一遇洪水重现期的防洪标准设计。

4.8.2 堆积坝下游坝坡稳定后应及时覆盖并设置排水沟网，及时将地表水排出磷石膏库。

4.8.3 对于山谷型磷石膏库，应在周边及堆积坝下游坡面与两岸山坡结合处山坡上设置截水沟。

4.8.4 应根据磷石膏库分区和运行规划进行清污分流设计，防止未运行区域的汇水流入堆体。

4.8.5 已达设计高程的堆体应及时覆盖并设置排水沟网，及时将地表水排出库区。

4.8.6 磷石膏库清污分流的分区应满足下列要求：

1 平地型磷石膏库应以水平分区为主，山谷型磷石膏库宜采用水平分区与垂直分区相结合的设计；

2 磷石膏库宜根据一定时间堆存量划分运行区域，通过对未作业区域的临时性覆盖实现清污分流；

3 临时覆盖的区域，宜按 20 年一遇洪水重现期计算地表汇流，并设计排水沟、跌水、缓冲池、排水涵管等排水构筑物；

4 磷石膏库外无自然水体或排水沟渠时，排水口宜根据场外地形走向、地表径流流向、地表水体位置等设置排水管渠。

4.8.7 当磷石膏库外自然或人工排水沟渠的过水能力不足时，可在库区设置临时性缓冲池，收集、缓冲地表汇流。

#### 4.9 调节回水池

4.9.1 调节回水池系统设计应包括澄清池、调节回水池、挡水坝、回水泵房等。

4.9.2 调节回水池总容积包括空余容积、工作容积和死水容积，总容积计算宜取下列计算的大值：

1 按设计洪水标准和截水沟标高以下库区面积计算的两次 24h 洪水之和；对于磷石膏库中已按闭库（封场）标准进行清污分流的区域，当设有满足规范要求的独立排洪系统，汇水不进入调节回水池时，可在计算调节回水池容积时排除。

2 按历史最大年降水量和截水沟标高以下库区面积计算的调节回水池最大蓄水量。调节回水池最大蓄水量应以历史最大年降水量为基础,通过库区全年水量平衡演算确定。全年水量平衡演算为库区全年总进水量与总出水量的差值。总进水量包括库区降水和磷石膏排放带入库区的水量。总出水量包括渗漏损失水量、蒸发损失水量、工厂回用水量和处理排水量。

4.9.3 调节回水池应采取防渗措施,防渗层的防渗性能不低于磷石膏库区防渗要求。

4.9.4 调节回水池内构筑物应采取防腐措施。防腐措施应满足现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的要求。

4.9.5 调节回水池挡水坝应按坝型采用相应的水库坝设计规范设计。

4.9.6 调节回水池前宜设置澄清池。澄清池应设置清渣措施以及清渣过程中对防渗系统的保护措施。

#### 4.10 排 放 工 艺

4.10.1 湿式磷石膏的排浆方式宜采用冲积法排浆,满足饱和酸性条件的磷石膏库,也可采用渠槽法或池填法在坝前排浆。

4.10.2 当采用冲积法排浆时,应符合下列规定:

- 1 入场的排浆主管与支管相连接,在坝前采取均匀布置的方式;
- 2 在坝前分散排放,维持坝体均匀上升;
- 3 排浆支管数量和间距应根据排浆量和排浆速度确定。

4.10.3 当采用渠槽法或池填法排浆时,应符合下列规定:

- 1 排浆沟外堤的宽度不应低于 6m;
- 2 排浆沟外堤应始终高于排浆沟内堤;
- 3 应在坝轴线两侧交替排浆,不应长期在坝轴线一侧排浆。

4.10.4 正常运行工况下,磷石膏库不应通过排洪构筑物,或采用虹吸、机械、自流等方式,将澄清后的酸性水从磷石膏库区导入调节回水池或澄清池。

4.10.5 不满足饱和酸性条件的湿式磷石膏库,宜采用碾压法筑磷石膏子坝;满足饱和酸性条件的磷石膏库,可采用碾压法或胶结法筑磷石膏子坝。

4.10.6 湿式磷石膏库应进行水平衡演算,并符合下列要求:

- 1 应收集当地水文、气象、降雨量、蒸发量及库区汇水面积等资料;
- 2 应计算进水量、回水量、损失水量、可能的盈余水量及亏水量等内容;
- 3 应进行降雨量与回水量不同工况的计算,对盈水工况和亏水工况下的工艺装置实施补救措施;
- 4 宜以一个水文年为时间单位,径流调节时间以一个月为宜;
- 5 宜采用多年月平均降雨量、多年月平均蒸发量、月排入水量、月均固结排出水量综合考虑确定回水量;
- 6 应按库区初期、中期及终期等具有代表性的时期分段计算。

4.10.7 干式磷石膏库可采用库尾、库前、库中及周边堆排方式,应满足下列要求:

- 1 山谷型磷石膏库可采用库尾堆排的方式,堆排时应自下而上,按设计要求设置台阶并碾压,

单级台阶高度不宜超过 15m，平台应保持 1%~2%的坡度，坡向为拦挡坝方向；

2 山谷型磷石膏库也可采用库前堆排，类似湿式磷石膏库上游法筑坝，排放应自初期坝向库尾推进，边堆放边碾压并修整边坡；

3 平地型磷石膏库可采用库中堆排方式，自库区中部向库周推进，边堆放边碾压，达到设计最终堆高时一次修整堆积坝外坡；

4 平地型磷石膏库也可采用自库周向库中推进的周边堆排方式，始终保持库周高、库中低，边堆放边碾压并修整边坡。

4.10.8 干式磷石膏库内的磷石膏堆积体应满足下列要求：

1 当采用库尾堆排方式时，每级堆存高度不得大于 15m，两级之间宜设马道以及排水沟，马道宽度不宜小于 5m，且应有 2%~3%的逆向坡将地表水排向排水沟；

2 当采用库前堆排方式时，宜采用分层水平推进，每级堆筑高度宜为 5m~10m，两级之间宜设马道以及排水沟，马道宽度不宜小于 5m，在顶部碾压成顺坡排水，坡度宜为 1%~2%坡向排水沟方向；

3 堆积体最终的下游坡单级坡比不宜陡于 1:2，坡面应设置覆盖层及永久性纵横截排水沟；

4 磷石膏堆排筑坝过程中，应分阶段尽早形成永久边坡，影响堆积坝最终外边坡稳定的区域应采用分层碾压排放作业，压实度不应小于 0.92。

4.10.9 干式磷石膏库内运输可采用汽车和带式输送机两种方式。

4.10.10 采用汽车运输方式应符合下列规定：

1 库内应设置汽车行驶的环库和库内运输道路，道路等级可采用厂外三级道路标准；

2 库内运输道路的末端应设置卸料平台，其直径应满足运输车辆的回转要求；

3 卸料平台的布置应满足将磷石膏堆放至整个库区的需要，平台间距不宜大于 100m；

4 库内运输道路及卸料平台应随磷石膏坝高度上升而逐级加高；

5 环库和库内运输道路坡度应不大于 8%。

4.10.11 采用带式输送机运输方式应符合下列规定：

1 带式输送机的长度和数量应满足将磷石膏堆放至整个库的需要；

2 带式输送机的末端应具有一定的仰角和高度，并满足推土机作业的安全距离要求；

3 带式输送机及其支架宜采用轻质结构，其基础设置不应影响防渗层的完整性；

4 寒冷地区采用带式输送机时，应采取防冻措施。

#### 4.11 安全环保监测系统

4.11.1 磷石膏库应设置可靠的安全、环保监测系统。安全监测应符合现行行业标准《磷石膏库安全技术规程》AQ 2059—2016 的有关规定，环保监测应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599—2020 的有关规定。

4.11.2 磷石膏库应设置人工安全监测和在线安全监测相结合的安全监测设施，人工安全监测与在线安全监测的监测点应相同或接近，并应采用相同的基准值。监测设施横剖面应结合磷石膏坝

稳定计算断面布置，监测设施的布置还应满足下列要求：

- 1 应全面反映磷石膏库的运行状态；
  - 2 磷石膏坝位移监测点的布置应延伸到坝脚以外的一定范围；
  - 3 坝肩及基岩断层、坝内埋管处必要时应设置监测设施。
- 4.11.3 湿式磷石膏库安全监测项目应包括坝体位移、坝顶标高、坝顶宽度、坝体坡度、滩顶标高、浸润线、干滩长度、降水量、库内及调节回水池水位、库内水量和水质（包括 pH 值）、库区地质滑坡体位移、坝体和排洪系统进出口等，三等及三等以上湿式磷石膏库还应监测孔隙水压力、渗透水量及其水质。
- 4.11.4 干式磷石膏库安全监测项目应包括坝体位移、浸润线、降水量、坝体和排洪系统进出口等。
- 4.11.5 磷石膏库应设置可靠的视频监控，随时掌握库区内及周边情况，重要部位视频监控包括入库道路口、围墙、坝体区、库区、库内水域区、调节回水池等。
- 4.11.6 磷石膏库在线安全监测系统应符合下列规定：
- 1 应具备自动巡测、应答式测量功能；
  - 2 应具备传感器和采集设备、供电系统、通信网络故障自诊断功能；
  - 3 应具备防雷及抗干扰功能；
  - 4 应具备数据后台处理、数据库管理、数据备份、预警、监测图形及报表制作、监测信息查询及发布功能；
  - 5 应具备与现场巡查和人工安全监测接口，进行数据补测、比测和记录；
  - 6 应具备耐腐蚀和长期服役功能。
- 4.11.7 磷石膏库建设前应监测地下水和本底值，作为磷石膏库建设和运行的污染影响评价依据。
- 4.11.8 磷石膏库应设置渗漏监控系统，监控防渗衬层的完整性。
- 4.11.9 磷石膏库应设置地下水监测井，按下列要求布置：
- 1 在地下水流场上游应布置 1 个监测井，在下游至少应布置 1 个监测井，在可能出现污染扩散区域至少应布置 1 个监测井。设置有地下水导排系统的，应在地下水主管出口处至少布置 1 个监测井，用以监测地下水导排系统排水的水质；
  - 2 岩溶发育区以及环境影响评价文件中确定地下水评价等级为一级的磷石膏库，应根据环境影响评价结论加大下游监测井布设密度；
  - 3 监测井的位置、深度应根据场区水文地质特征进行针对性布置；
  - 4 监测井的建设与管理应符合现行行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164 的技术要求；
  - 5 已有的地下水取水井、观测井和勘测井，如果满足上述要求可以作为地下水监测井使用。
- 4.11.10 地下水监测项目应包含 pH 值、氟化物、硫酸盐、总磷、氨氮、砷、铅等重金属，监测频次应达到每季度一次。
- 4.11.11 应在满足废水排放标准与环境管理要求基础上，针对项目建设、运行、封场后等不同阶段对可能造成地表水环境影响制定地表水监测计划。

## 4.12 辅助设施

4.12.1 磷石膏库辅助设施主要包括管理用房、车库、机修、消防、供配电、给排水、道路、设备、围墙、通信、照明等，并宜符合下列要求：

- 1 管理用房避开坝体下游；
- 2 配置供管理人员上下班使用和巡检的交通工具；
- 3 配置生产调度电话和无线通信工具，满足生产调度要求；
- 4 设置应急器材库；
- 5 设置检修间，并配置检修和吊装设备；
- 6 设置机具间。

4.12.2 管理用房、车库、机修间等建筑应满足防火、消防、防震、防雷等相关规范要求。

4.12.3 供配电设施宜采用双回路，供电负荷等级宜与主体装置一致，并设置检修电源。

4.12.4 根据堆存工艺要求，库区可配置计量、装载、转运、碾压、推土等作业设备。

4.12.5 库区四周应设安全防护设施。

4.12.6 干式磷石膏库宜设置运输车辆的清洗设施和为防止扬尘用的喷水设施。

4.12.7 库区的运输道路应根据其功能、使用年限和交通运输量分为主要道路和辅助道路、临时道路和永久性道路。其布局应满足堆存作业、消防、维护、管理、生活后勤和其他辅助工作的要求，并应符合现行国家标准《厂矿道路设计规范》GBJ 22 和《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

4.12.8 设置的环境保护图形标志牌应符合现行国家标准《环境保护图形标志 固体废物贮存（处置）场》GB 15562.2 的规定。

4.12.9 设置的安全标志牌应符合现行国家标准《安全标志及其使用导则》GB 2894 的规定。

4.12.10 职业卫生宜按照现行行业标准《工业企业设计卫生标准》GBZ 1 执行。

4.12.11 劳动安全应按照现行行业标准《化工企业安全卫生设计规范》HG 20571 和现行国家标准《生产过程安全卫生要求总则》GB/T 12801 执行。

## 5 改造及扩建磷石膏库设计

### 5.1 设计的基础资料

#### 5.1.1 改造及扩建设计前应收集下列技术资料：

- 1 现有磷石膏库原勘察设计施工相关资料，包括场地地基、初期坝、堆积坝、防渗系统、排渗系统、清污分流系统等勘察设计与施工资料；
- 2 现有磷石膏库运行相关资料，包括堆存总量、库内分区、库内作业方式、堆体抬升过程及后期发展规划；
- 3 磷石膏库周边环境和条件，各系统的运行情况，安全监测及环保监测结果；
- 4 当地气候气象条件，包括多年平均降雨量、年最大降雨量、月最大降雨量；
- 5 山谷型磷石膏库的汇水面积、地表径流、地下补给量和洪峰流量；
- 6 活动断层和抗震设防烈度；
- 7 临近的水源地保护区、水源开采情况和环境保护要求。

### 5.2 设计的主要内容

#### 5.2.1 磷石膏库改造及扩建设计主要内容应包括磷石膏坝、磷石膏堆体、酸性水收集系统、防渗系统、封场覆盖系统、地表水导排系统、清污分流系统等。改造及扩建后应符合下列技术要求：

- 1 磷石膏库边坡稳定性应达到本规范规定的安全稳定控制标准；
- 2 酸性水收集和导排系统应具有长期服役性能，堆体内浸润线高度应低于控制浸润线；
- 3 防渗系统应达到与本规范规定的水平防渗系统同等的防渗效果；
- 4 封场覆盖与地表水导排系统应能有效控制降雨入渗，减少酸性水产量；
- 5 封场覆盖系统结构选型与设计应符合本规范的有关规定。

### 5.3 设计的一般规定

#### 5.3.1 当磷石膏库存在安全隐患或未达到现行国家环境保护标准规定的污染控制要求时，应进行治理和改造。

#### 5.3.2 现有磷石膏库可进行水平向、竖向或两者兼有的扩建，扩建时应对现有磷石膏库进行治理和改造，扩建后的磷石膏库应符合本规范及现行国家相关安全及环境保护标准的规定。

#### 5.3.3 加高扩容的磷石膏库改建、扩建项目设计应满足下列要求：

- 1 除一等库外，防洪标准应在按本规范第 4.6.1 条确定的防洪标准基础上提高一个等级；
- 2 设置可靠的排渗设施，磷石膏堆积坝的控制浸润线埋深不应小于通过计算确定的控制浸润线的 1.2 倍；

- 3 利用旧的排洪构筑物应根据加高要求核算其可靠性，终止使用的排洪构筑物应进行可靠封堵；
- 4 磷石膏库加高高度超过 50m 时，应进行专项论证。
- 5.3.4 磷石膏库垂直扩建时，应对扩建场地进行基层处理，主要包括扩建库底基层和四周边坡。
- 5.3.5 基层面地形构建及标高设计应基于磷石膏堆体的沉降验算结果，堆体沉降验算应符合本规范附录 B 的规定。
- 5.3.6 现有磷石膏库防渗系统未达到现行国家环境保护标准的规定时，应在现有堆体和扩建堆体交界处增设中间防渗衬垫。并应采取有效措施防止现有磷石膏堆体中的竖向刚性设施破坏中间防渗衬垫。
- 5.3.7 中间防渗衬垫从上至下宜包括排渗层、防渗层和加筋层。加筋层宜采用双向土工格栅抵抗下部堆体局部沉陷，并宜按本规范附录 B 计算和设计。
- 5.3.8 中间防渗衬垫基层坡度或堆体厚度变化较大处及中间防渗衬垫与天然边坡交界处的锚固沟宜采用柔性锚固方式；加筋层应锚固在锚固沟内。
- 5.3.9 防渗系统未达标的磷石膏库宜采用排渗管排渗、竖井抽排等方式排出磷石膏堆体中酸性水，降低浸润面；已污染地下水的，可采用垂直防渗帷幕控制酸性水的渗漏与扩散，垂直防渗帷幕应采取防腐措施。



## 6 磷石膏库闭库（封场）设计

### 6.1 闭库设计的一般规定

- 6.1.1 磷石膏库运行达到设计最终状态，且不再接纳磷石膏而停用时，应进行闭库设计。
- 6.1.2 闭库前，应对磷石膏库安全、环保现状进行分析和评价。若存在生产安全事故隐患的，闭库设计应包含生产安全事故隐患的治理措施内容。
- 6.1.3 磷石膏库闭库勘察，除应对磷石膏坝进行勘察外，还应对周边影响磷石膏库安全的不良地质现象进行勘察。
- 6.1.4 闭库时应考虑磷石膏堆体长期沉降的影响，并依据长期沉降的计算结果平整库顶面，防止后期堆积坝顶积水。下列系统应进行不均匀沉降验算，沉降计算可按本规范附录 B 推荐的公式计算：
- 1 位于可压缩地基上的导排系统和防渗系统；
  - 2 堆体内部的水平导排系统和中间防渗衬垫系统；
  - 3 封场覆盖系统。
- 6.1.5 闭库后应对废弃的各类设施进行封闭和封堵。
- 6.1.6 库区道路入口处应设置安全警示标志。

### 6.2 闭库设计的主要内容

- 6.2.1 闭库设计应包括下列内容：
- 1 坝体稳定性分析及防洪能力复核；
  - 2 磷石膏坝闭库工程措施；
  - 3 排洪系统闭库工程措施；
  - 4 环保设施闭库工程措施；
  - 5 闭库后安全环保监测措施；
  - 6 生态恢复措施。
- 6.2.2 磷石膏坝闭库工程措施应包括下列内容：
- 1 对坝体稳定性不足的，应采取加固坝体、降低浸润线等措施，使坝体稳定性满足本规范要求；
  - 2 整形处理后的单级边坡坡度不宜大于 1:2，整体边坡坡度不宜大于 1:3；
  - 3 整治坝体的塌陷、裂缝、冲沟；
  - 4 完善坝面排水沟和土石覆盖或植被绿化、坝肩截水沟、监测设施等。
- 6.2.3 排洪系统闭库工程措施应包括下列内容：
- 1 根据防洪标准复核磷石膏库防洪能力，当防洪能力不足时，应完善排洪系统；
  - 2 当原排洪设施结构强度不能满足要求或受损严重时，应进行加固处理；必要时，可新建排

洪设施，同时将原排洪设施进行封堵。

6.2.4 环保设施闭库工程措施应包含下列内容：

- 1 应建立完整的防渗及覆盖系统，其结构按照由下到上顺序宜为防渗层、排渗层、覆盖层；
- 2 防渗层可采用高密度聚乙烯（HDPE）土工膜、天然粘土、改性粘土或其他等效材料，防渗层的防渗性能应等效于渗透系数  $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  和厚度 0.45m 的天然粘土层；当采用土工膜时，土工膜厚度不宜小于 1.0mm；
- 3 排渗层可采用粗骨料或土工排水材料，粗骨料的渗透系数不宜小于  $1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ ；
- 4 闭库后，应在防渗层上设置覆盖层，覆盖层包括保护层和植被层。植被层厚度视种植的植被种类确定，并能有效防止植被根系穿透防渗层。

6.2.5 闭库后安全监测措施应符合现行行业标准《磷石膏库安全技术规程》AQ 2059 的有关规定，环保监测措施应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599 的有关规定。

6.2.6 闭库后的生态恢复措施应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599 的有关封场的相关规定，同时应符合现行行业标准《磷石膏库安全技术规程》AQ 2059 的有关磷石膏库闭库后维护的相关规定。

## 7 磷石膏库回采设计

### 7.1 回采设计的一般规定

7.1.1 回采可分为磷石膏库闭库后的回采和运行期的回采。

7.1.2 磷石膏库回采应对磷石膏堆体进行勘察，勘察应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 等有关规定执行，勘察报告内容应包括浸润线分布、磷石膏强度、渗透系数、含水率、干密度等技术参数，并提出工程措施建议。

7.1.3 磷石膏库回采各期的等别及相关要求应按下列规定执行：

- 1 磷石膏库的等别应按本规范第 3.2 节规定的磷石膏库的全库容和坝高确定；
- 2 磷石膏坝的稳定性应符合本规范第 4.4 节的要求；
- 3 磷石膏库的防洪应符合本规范第 4.6 节的相关要求。

7.1.4 回采应符合下列要求：

- 1 回采方式应技术合理、安全可靠，保证安全和环保设施的完整性和可靠性；
- 2 回采过程中应保证磷石膏库安全设施的可靠性；
- 3 回采顺序宜按照“由内到外，先库后坝，从上至下，逐层开采”原则进行；
- 4 边运行边回采的磷石膏库，应分区进行，并采取有效措施保证分区坝的稳定性；
- 5 回采过程中应注意防洪。

### 7.2 回采设计的主要内容

7.2.1 回采设计应包括下列内容：

- 1 磷石膏库概述；
- 2 项目实施的背景；
- 3 回采的规模、回采范围、回采年限和相应的回采安全措施；
- 4 回采的规划及顺序，包括回采工艺、输送方式、设备配置，排水、排洪方案以及现有设施的利用、保护措施；
- 5 回采期间磷石膏坝及库内回采边坡的渗流和稳定性分析及安全措施；
- 6 回采期间磷石膏库防洪标准、调洪演算及防洪安全措施；
- 7 回采期间的环境保护方案；
- 8 回采期间磷石膏库的安全、环保监测设施；
- 9 回采磷石膏的处置方案；
- 10 对周围环境、社会、生态的影响；
- 11 工程经济技术分析。

7.2.2 运行期的回采设计应满足下列要求：

1 应建立回采安全管理制度、编制回采作业计划和回采事故应急救援预案，做好回采安全管理工作；

2 距磷石膏库内排水井、排水斜槽、排水涵管等设施周边 15m 范围内的磷石膏，不得采用挖掘机械回采并应均匀同步下降；

3 回采至初期坝、库区防渗层时，应采取相应的保护措施；

4 逐层开采的高度不宜大于 3m，台阶坡面角应根据磷石膏力学性质确定；

5 回采设备选型应根据地基承载力确定；

6 回采作业现场应设置合理的运输线路；

7 回采设施应布置在安全地带，必要时应采取防止滑坡、泥石流等措施；

8 暴雨、大雪、大风、大雾等恶劣天气不得回采作业，并应采取安全防范措施；

9 回采区应采取有效措施，防止滑坡、塌方和泥石流等灾害的发生。

7.2.3 闭库后的回采设计应满足下列要求：

1 回采宜采用均衡的由库区内部向四周、自上而下分层控制的开采方式；

2 开挖单级边坡高差不得大于 10m，多级开挖整体边坡坡度不宜大于 1:3；

3 阶段性回采结束后应及时覆盖，回采终止且不再接纳磷石膏而停用后，按本规范要求进行闭库。

7.2.4 回采工程涉及到的铲装作业、道路运输、带式输送机运输、水力开采、挖掘船开采及电气设施应按现行国家标准《金属非金属矿山安全规程》GB 16423 执行。

7.2.5 回采运输设计可按本规范第 8.2 节“干法输送系统”及第 8.3 节“回水输送系统”设计中的有关规定执行。

## 8 磷石膏输送及回水系统设计

### 8.1 渣浆输送系统

8.1.1 渣浆输送系统主要利用渣浆泵及管线将磷石膏渣浆水力输送至磷石膏库，应包括渣浆配制系统、渣浆泵站、输送管路等。

8.1.2 大型项目和缺少可类比工程的项目宜通过渣浆水力输送试验确定设计参数，并说明试验条件及结论。渣浆输送系统设计应包括下列内容：

- 1 渣浆特性，包括磷石膏的排放量、比重、颗粒组成、渣浆浓度等；
- 2 渣浆输送方式，包括渣浆泵站至磷石膏库沿线的地形地貌、高差等；
- 3 管路的布置及铺设方式、防冻、防淤、防泄漏、防腐及防渗措施，穿越或跨越建（构）筑物、障碍物等的位置、方式等；
- 4 管路断面尺寸、长度、材质及流量、扬程、流速、水力坡降等水力输送参数，并列出具计算方法、公式及图表；
- 5 主要输送设备及辅助设备的型号、台数，泵站的位置、尺寸，各泵站的配置及泵站间连接方式等；
- 6 设备、管道及系统的控制与运行的工艺条件及要求；
- 7 事故处理的方式与设施、设备选型等。

8.1.3 渣浆输送管线应符合现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 的有关规定，并应符合下列规定：

- 1 渣浆输送管路的材质应结合渣浆的特性、输送压力、敷设方式等因素确定，应选择防腐、耐磨材质，宜选择钢衬 PO（PE）管、钢衬胶管、HDPE 管等材质；
- 2 渣浆输送管路流速的确定应结合渣浆浓度、摩阻力等因素确定，保证输送畅通、不沉降，宜为 1.6 m/s~2.0 m/s；
- 3 渣浆输送管路敷设可采用架空、埋地方式，埋地管路敷设接口处应采取可靠的防渗漏措施；
- 4 在寒冷地区渣浆输送管路应有保温、防冻措施；
- 5 渣浆输送管路应设置压力水冲洗设施。

8.1.4 渣浆泵应根据输送的渣浆流量、扬程、渣浆浓度及磨蚀性等因素进行选型，宜选择离心式渣浆泵，过流部件应选择防腐耐磨材质。

8.1.5 当生产中如需要根据不同工况调整泵的扬程、流量时，渣浆泵可采用变频调速装置。

8.1.6 渣浆泵的备用数量应根据磷石膏的磨蚀性，渣浆泵的类型、材质，泵站的工作条件以及检修水平等因素确定，备用泵数量宜按照一用一备设计。

8.1.7 离心式渣浆泵需要水封用水时，其水量、水质与水压应按设备要求而定。当无具体要求

时，水量可按渣浆流量的 1%~2%计算，水中悬浮物应小于或等于 300mg/L，水封水在渣浆泵进口处的压力必须比渣浆泵工作压力大 50kPa~200kPa。水封水泵应设有备用。

8.1.8 输送泵站内的排水应妥善收集处理，不得任意排放。

8.1.9 输送泵站宜配置检修用起重设备。

8.1.10 输送泵站内渣浆泵、管道及阀门的布置及配套设施设计应按现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 的有关规定执行。

## 8.2 干法输送系统

8.2.1 干法输送磷石膏可采用汽车或带式输送机等。

8.2.2 当采用汽车输送磷石膏时，应采取可靠的防泄漏及防尘措施，运输道路应按现行国家标准《厂矿道路设计规范》GBJ 22 执行。

8.2.3 当采用带式输送机输送磷石膏时，应采取防泄漏、防腐蚀措施，可采用管状带式输送机、T 型带式输送机、D 型带式输送机，并符合相关形式的设计选型和现行国家标准《带式输送机 安全规范》GB 14784 的规定。

8.2.4 带式输送机的设计应符合现行国家标准的相关规定。

## 8.3 回水输送系统

8.3.1 回水输送系统宜采用耐酸管道将磷石膏库内酸性水送回厂区，包括回水泵站、回水管路等。

8.3.2 回水泵站设计应符合现行国家标准《泵站设计规范》GB 50265 的有关规定，并应符合下列规定：

1 回水泵流量应根据回水量及磷化工企业装置接纳能力经计算确定，并留有 1.1~1.2 的安全系数；

2 回水泵扬程应根据回水池最低水位、厂区回水用户高程、回水管线阻力损失经计算确定；

3 回水泵宜按照一用一备设计；

4 磷石膏库回水泵过流部件应采用防腐蚀材料；

5 回水泵房应设置吊装检修设施；

6 回水泵站供配电设施宜采用双回路，供电负荷等级宜与主体装置一致，应设置检修电源。

8.3.3 湿式磷石膏库回水管路宜与渣浆管路共架敷设，回水管路和渣浆管路宜互为备用，管径、壁厚、压力等级、材质宜与渣浆管相同，埋地敷设管路的防渗漏措施应与渣浆管路相同。

8.3.4 回水管路应设置计量设施。

8.3.5 在寒冷地区的回水管路应有保温、防冻措施。

## 9 磷石膏库施工

### 9.1 施工准备

- 9.1.1 工程施工前，应掌握工程项目的情况和资料，主要包括现场地形、地貌、气象资料及水文地质资料，地基基础处理情况，材料运输道路及临时堆放场地，工程材料、施工机械供应条件，工程设计文件资料，建筑物、各种管线和其他设施的情况。
- 9.1.2 工程施工前应编制施工组织设计。施工组织设计的内容，主要包括工程概况、场地布置、工序安排、施工进度计划、施工方法、材料、主要机械设备的供应、保证施工质量、安全、工期、季节性施工措施等。施工方案中应包括施工质量保证和施工质量控制内容。
- 9.1.3 工程施工前应进行图纸会审及安全技术交底工作。
- 9.1.4 材料到场后，应在施工、建设、工程监理等单位共同的见证下对进场材料进行现场取样，并在监理单位监督下，送往具有检测资质的第三方检测机构进行检测。
- 9.1.5 开工前应检查机械的性能稳定性和完备性。
- 9.1.6 检测设备应经过具有资质的计量检定机构进行检定或校准。
- 9.1.7 施工完毕后应保存施工报告、全套竣工图、所有材料的现场及实验室检测报告。采用高密度聚乙烯膜作为人工合成材料衬层的磷石膏库还应提交人工防渗衬层完整性检测报告。

### 9.2 土建和管线工程

- 9.2.1 碾压式土石坝、排水井或排水斜槽、钢筋混凝土排水管、排水隧洞、溢洪道与截洪沟、输浆泵站与回水泵站等土建工程的施工与验收，应按现行国家标准《尾矿设施施工及验收规范》GB 50864 的有关规定执行。
- 9.2.2 地下水导排系统施工应符合下列要求：
- 1 地下水管道沟槽开挖时不应扰动槽底土壤，槽底、槽壁应平整，槽底不应受水浸泡，基底积水应及时排出，沟槽允许偏差应符合表 9.2.2-1 的规定。

表 9.2.2-1 沟槽允许偏差

序号	项目	允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	槽底高程	±20	30m	1	用水准仪测量
2	槽底中线至每侧宽度	不小于设计值	30m	2	挂中心线用尺量，每侧计 1 点

2 地下水导排管道安装，槽底砾石层的材料规格和质量应符合设计要求，砾石层中不含泥块等杂物，管道的材料、规格、压力等级和加工质量应符合设计规定，管内不得有泥、砂等杂物，管道间焊缝表面应平顺、均匀，不应有裂纹、气孔等缺陷，管道安装允许偏差应符合表 9.2.2-2 的规定。

表 9.2.2-2 管道安装允许偏差

序号	项目	允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	中线位移	20	30m	1	挂中心线用尺量

3 地下水导排管道沟槽回填，回填的砾石材料规格、质量应符合设计规定，回填石料中不应含有淤泥、腐殖土等杂物，砾石回填后，其面层包裹的土工布搭接应符合设计规定，砾石不得外露，回填的砾石层顶面高程允许偏差应符合表 9.2.2-3 的规定；砾石层上方应用符合要求的土料回填至土建结构面，回填土的压实度应符合表 9.2.2-4 的规定。

表 9.2.2-3 回填砾石的顶面高程允许偏差

序号	项目	允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	顶面高程	±40	30m	1	水准仪测量

表 9.2.2-4 回填土的压实度标准

序号	项目	质量标准	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	密实度	设计值	500m <sup>2</sup>	3	环刀法检验

9.2.3 磷石膏库输浆管与回水管的施工与验收，应按现行国家标准《尾矿设施施工及验收规范》GB 50864 的有关规定执行。

### 9.3 防渗工程

9.3.1 防渗设施中的土建构建面施工，除应满足现行国家标准《尾矿设施施工及验收规范》GB 50864 的相关规定外，还应符合下列要求：

- 1 挖方范围内的树木、杂草、腐殖土、石块应全部清除，挖方表面无明显凹凸，坡度达到设计坡度；
- 2 回填土料不得含有淤泥、树根、腐殖土、垃圾或其他杂物，回填土料的土质和含水率符合设计要求和施工规范的规定，填方应按规定分层夯实；
- 3 土质构建面应平整、坚实、无裂缝、无松土，表面应无积水、石块、树根及尖锐杂物，清除有害物质后的小坑穴应回填合格的土料并夯压密实，经压实后的构建面应平整；
- 4 岩质构建面应无溶洞、无滑坡隐患、无松散石块，如有小溶洞应先清理达标后灌浆填充；



5 岩质边坡平整度无法达到铺设土工材料的要求时,可采用强度不小于 M7.5 的水泥砂浆进行抹面找平。

9.3.2 锚固沟施工应符合下列要求:

- 1 开挖锚固沟时,不应扰动沟底土壤,沟底应平整、无松土;
- 2 锚固沟距离边坡边缘不宜小于 1 000mm;
- 3 防渗系统工程材料转折处不应存在直角的刚性结构,应做成弧形结构;
- 4 锚固沟断面不宜小于 800mm×800mm;
- 5 锚固沟的允许偏差应符合表 9.3.2-1 的规定;
- 6 锚固沟回填土前,沟底不应受水浸泡,积水应及时排出;
- 7 回填土质应符合设计要求,土中不应有树根、垃圾等杂物;
- 8 回填土应采用小型夯实机分层夯实,夯实后的土方压实度应符合表 9.3.2-2 的规定;
- 9 在无法获得足够的锚固尺寸时,宜采取  $\phi 12$  以上的门字钢筋,间隔 3m 进行加强锚固后再回填土或混凝土;
- 10 在岩石地质区域的锚固沟,应采用膨胀螺栓加钢板的方式进行刚性锚固,浇筑 C20 以上混凝土进行最终锚固。

表 9.3.2-1 锚固沟允许偏差

序号	项目	允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	沟底高程	+30	30m	1	用水准仪测量
2	沟底宽度	-30	30m	1	尺量检查
3	沟面宽度	-30	30m	1	尺量检查

表 9.3.2-2 锚固沟回填土压实度标准

序号	项目	质量标准	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	密实度	设计值	300m <sup>2</sup>	3	用环刀法检验

9.3.3 土工合成材料的质量检验应符合下列要求:

- 1 土工合成材料应符合设计及相关标准要求;
- 2 土工合成材料应具有出厂合格证、质量检测报告等资料;
- 3 进口土工材料还应提供材料原产地证明、海运提单、装箱单、质量证书等资料;
- 4 所使用的土工合成材料应经第三方检测机构检测。

9.3.4 土工合成材料的装卸、转运和堆放应符合下列要求:

- 1 土工材料进场后应严格按照厂家提供的装卸吊运方式方法卸货;
- 2 不同的土工材料分类堆放,一般不宜超过 4 层,最大堆放高度以厂家提供的数据为准;

3 材料堆场基底平整、坚实，滤水，周围应设置排水沟，远离易燃易爆物品和有腐蚀性的化学物品；

4 超过 1 个月不使用的土工合成材料应用不透光材料覆盖，避免因长期暴露在紫外线下而导致土工材料的老化；

5 土工材料在安装前应避免受到损坏，有损坏的材料，应视其损坏的程度，部分或全部弃之不用；

6 材料的转运应保持包装完好，剪裁过的土工材料在转运时应捆绑牢固，并使用专门的吊装带进行吊运。

#### 9.3.5 土工布的安装应符合下列要求：

- 1 土工布的材料规格、材料性能应符合设计要求和有关标准的规定；
- 2 铺设土工布的土建结构面应平整，不应有积水、龟裂、腐殖土、石块、尖锐物体以及树根等可能刺穿或降解土工布的物体，不应存在土质软弱的地层；
- 3 土工布的铺设应平整，不应有破损和褶皱现象；
- 4 切割土工布时，应避免破坏其他土工材料；
- 5 土工布在坡面上的接缝宜与坡面线平行，在场底的水平接缝距离坡脚应大于 1.5m；
- 6 在需要土工布接缝主要受力时，应采取缝合的连接方式；
- 7 土工布的缝合应达到接缝无跳针、无漏缝；
- 8 采用热粘合时，接缝搭接宽度范围内的重叠部分应全部粘接、无漏焊；
- 9 土工布上如果有孔洞，应使用相同规格材料进行修补，修补范围应大于破损处周边 300mm；
- 10 土工布连接前接缝重叠宽度及允许偏差应符合表 9.3.5 的规定。

表 9.3.5 土工布连接前接缝重叠宽度及允许偏差

序号	项目	接缝重叠宽度及允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	缝合连接	100±15	30m	1	尺量检查
2	热粘连接	200±25	30m	1	尺量检查

#### 9.3.6 高密度聚乙烯（HDPE）土工膜应符合下列要求：

1 土工膜的材料规格和质量应符合设计要求和有关标准的规定，按照环保用土工膜的指标要求选择；所使用的焊条材质与土工膜应为同一材质，并由同一家工厂采用相同原料生产，不得采用代用焊条。

2 糙面土工膜必须有均匀的外观，没有大的结块。

#### 9.3.7 HDPE 土工膜铺设应符合下列要求：

- 1 应根据磷石膏库地形合理规划土工膜焊缝的布置，确定土工膜的裁剪尺寸；
- 2 铺设土工膜的基底表面不应有积水、尖锐物体、树根及油渍；
- 3 每天铺设的土工膜数量不应超出当天合理的焊接量；

- 4 在低于 0℃和高于 40℃的气温下，不宜进行土工膜安装工作；
- 5 土工膜的铺设方法应保证土工膜及其下层的土工材料不受到损坏；
- 6 外露的土工膜边缘应及时用砂袋或者其他重物压载，避免土工膜被风吹起或被拉出锚固沟；
- 7 焊缝的搭接宽度及允许偏差应符合表 9.3.7 的规定；
- 8 土工膜在坡面上的接缝宜与坡面线平行，在场底的水平接缝距离坡脚应大于 1.5m；
- 9 土工膜在施工时应与基础紧密贴合；
- 10 已铺设的土工膜应用油漆记号笔编写土工膜编号、卷号、铺设日期、技工及设备编号；
- 11 铺设完成的土工膜应进行检查，存在生产、安装缺陷或破损的位置，应采用记号笔标记并修复；
- 12 PE 管穿过土工膜时，应采用加强的单轨挤压焊接工艺进行焊接，焊缝应均匀、密封和牢靠，焊接后的土工膜与 PE 管道应紧密贴合；
- 13 混凝土构筑物等刚性构件与土工膜的衔接，应在刚性构件需焊接的部位安装 HDPE 材质预埋件，并采用加强的单轨挤压焊接工艺进行焊接。

表 9.3.7 焊缝的搭接宽度及允许偏差

序号	项目	搭接宽度及允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	热熔焊接	100±20	20m	1	尺量检查
2	挤出焊接	75±20	20m	1	尺量检查

#### 9.3.8 土工膜焊接应符合下列要求：

- 1 焊接人员和焊接机器组合应每天在焊接施工前进行试焊接；
- 2 试焊接的人员、设备、土工膜材料和设备参数设置应与施工时完全相同；
- 3 每次试焊接的间隔不应大于 5h；
- 4 试焊接样品尺寸要求：热熔焊接为 300mm×2 000mm，挤出焊接为 300mm×1 000mm；
- 5 试焊接完成后在样品上裁剪三个标准件(宽 25.4mm)进行剥离强度和抗剪强度的定性检测，三个试焊样品中有任何一个不合格，试焊接不通过；
- 6 未通过焊接测试的焊接人员和焊接设备不允许进行焊接工作；
- 7 焊接过程中，焊缝搭接范围内应保证干净和干燥；
- 8 焊缝应连贯，焊缝末端应延伸到锚固沟内不小于 300mm；
- 9 焊接过程中，操作人员要始终跟随焊接设备，观察焊机屏幕参数，如发生变化，要对焊接参数进行微调，保持焊接参数恒定；
- 10 存在“T”型或“十”字型的双轨热熔焊缝处，应采用直径大于 300mm 的圆形或椭圆形补片进行单轨挤压焊接；
- 11 直径大于 30mm 的孔洞，应采用直径大于 300mm 的圆形或椭圆形补片进行单轨挤压焊接；
- 12 单轨挤压焊接的部位不应有污物；

13 单轨挤压焊接前，补片应临时用热焊粘接在土工膜表面，热焊粘接不应引起过度的熔解、磨损或穿洞；

14 采用单轨挤压焊接时，土工膜焊接的部位应除去表面的氧化物，磨平工作应在焊接前 1h 内进行；

15 磨平工作不应引起过度磨损或穿洞，不应超出单轨挤压焊接的范围；

16 去除磨平部位上的灰尘不应擦拭，宜采用掸拭；

17 气压检测留下的针眼应焊接封堵；

18 焊接完成后，应进行全面的检查，焊缝不应有裂纹、气孔、漏焊或跳焊现象，存在缺陷的焊缝应重新焊接；

19 焊接完成后，应在焊缝旁边记录独有的焊缝编码、焊接设备号码、焊接人员编号、日期、时间和焊接的方向等信息。

9.3.9 土工膜焊缝检测应符合下列要求：

1 检测设备应经过标定；

2 双轨热熔焊缝应进行气压检测，检验标准应满足本规范附录 C 中 C.1 的要求；

3 单轨挤压焊缝应进行真空检测或电火花检测，检验标准应满足本规范附录 C 中 C.2 和 C.3 的要求；

4 双轨热熔焊缝应按每 1 000m 取一个 300mm×1 000mm 的试样进行破坏性检测，取样位置应避免焊缝受力处，并应及时修补，焊缝强度质量应满足本规范附录 C 中 C.4 的要求；

5 焊接质量检测应在监理人员见证下进行，破坏性检测应在检测合格后的试样中按总量的 5% 随机抽取样品送第三方检测单位进行检测；

6 监理人员可根据实际的焊接条件和试样的失败率，增加或减少取样频率；

7 不合格的双轨热熔焊缝应重新焊接或采用单轨挤压焊接对其进行加强焊接；

8 不合格的单轨挤压焊缝应重新焊接。

9.3.10 土工复合排水网安装应符合下列要求：

1 土工复合排水网的材料规格、材料性能应符合设计和有关标准的规定；

2 铺设土工复合排水网的基底不应有尖锐物体、树根及油渍；

3 铺设时应避免土工复合排水网和其他任何下层的土工材料受到损坏；

4 土工复合排水网的接缝在坡面上宜与坡面平行，在场底的水平接缝距离坡脚宜大于 1.5m；

5 在边坡上无法避免横向接缝时，应将接缝设置在离坡脚较近的边坡上；

6 土工复合排水网下层土工布应自然搭接，上层土工布宜采取缝合或热粘接；

7 土工复合排水网中的土工网宜用塑料扣捆扎，沿材料卷的长度方向，连接间距不宜大于 500mm，垂直卷材方向连接间距不宜大于 200mm；

8 塑料扎扣的张力不应小于 200N；

9 塑料扎扣应位于重叠部分的中间和穿过超过一根土工网的网轴；

10 土工复合排水网中的破损均应使用相同材料修补，修补范围应大于破损范围周边 300mm；

11 土工复合排水网缝合前的接缝重叠宽度及允许偏差应符合表 9.3.10 的规定。

表 9.3.10 土工复合排水网缝合前接缝重叠宽度及允许偏差

序号	项目	接缝重叠宽度及允许偏差/mm	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	接缝	100±20	30m	1	尺量检查

9.3.11 人工粘土的铺设施工应符合下列要求：

- 1 不应在大雨、大雪等恶劣天气条件下施工。如施工过程中突遇雨雪天气，应停止施工，并采取防水覆盖保护措施。
- 2 施工铺设前，应先根据要求做好试验段参数测试，确定合理的虚铺厚度、不同机器或压实方式下的压实遍数，保证试验段指标符合要求。
- 3 在施工过程中，对压实的防渗层区域，应按照表 9.3.11-1 的要求控制防渗层的质量。

表 9.3.11-1 人工粘土防渗衬层的压实要求

序号	项目	要求
1	压实度（平地）	≥90%
2	压实度（坡面）	≥85%

4 质量控制的取样频率应符合表 9.3.11-2 的规定，以批为单位进行检验。同一类型、规格的材料铺设厚度以每 500m<sup>2</sup> 为一批，不足 500m<sup>2</sup> 的按一批计。材料铺设压实度和含水率指标以 3 000m<sup>2</sup> 为一批，不足 3 000m<sup>2</sup> 的按一批计。

表 9.3.11-2 测试项目取样频率

序号	测试项目	试件数量/组	检测频率/m <sup>2</sup>
1	压实度	1	3 000
2	铺设厚度	1	500
3	含水率	1	3 000

9.3.12 管道安装应符合下列要求：

- 1 非金属管道的堆放高度不宜超过 1.5m；
- 2 不应使用破损的管道或管件；
- 3 管道施工可按照现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 相关要求执行。

9.3.13 管道施工完成后应进行水压试验，并满足下列要求：

- 1 酸性水输送管道水压试验的试验压力应为工作压力的 1.5 倍~2 倍；
- 2 水压升至试验压力后，保持恒压 15min，检查接口、管身无破损及漏水现象时，管道强度试验为合格；

3 长度小于或等于 1km 的管道，可不分段试压，大于 1km 的管道，应分段试压，每段长度以 1km 为限；

4 内径小于或等于 400mm 的管道，在试验压力下，15min 降压不大于 0.05MPa 时，可认为严密性试验合格；

5 内径大于 400mm 的管道，在试验压力下，15min 降压不大于 0.02MPa 时，可认为严密性试验合格；

6 非永久隐蔽性管道水压试验，按设计规定执行。

#### 9.3.14 防渗系统成品保护应符合下列要求：

1 所有进入防渗区域人员严禁穿高跟鞋及钉鞋等可能有损坏土工材料的鞋类；

2 防渗区域内严禁吸烟，严禁热工具直接接触土工材料；

3 所用工具应轻拿轻放，不得随意乱摔、重放，以防止损伤土工材料；

4 做好土工材料的防风防雨工作，尤其是土工材料边缘的压载工作；

5 不应将大型设备在无保护措施的情况下放置在已安装完成的土工材料上；

6 在边坡坡脚等拐角位置，需要压重物进行压载，防止因热胀冷缩造成悬空；

7 车辆和土工材料之间保护层的厚度应满足表 9.3.14 的要求；

8 排渗层施工应安排专人进行检查，及时制止有损于防渗系统的行为，并及时修复损坏部位。

表 9.3.14 地面压力限制与最小厚度

设备地面压力/KPa	最小厚度/mm
<100	300
100~450	600
>450	850

9.3.15 防渗系统验收应按现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599 及其他国家相关标准、规范的有关规定执行。

## 附录 A 粘土衬层隔水效力等效防渗计算方法

A.1 使用其他粘土类防渗衬层材料时，需具有同等隔水效力。隔水效力的等效通量计算，可按式 (A.1-1) 和式 (A.1-2) 进行：

$$J_A = C_0 \cdot k \cdot (H + L) / L \quad \dots\dots\dots (A.1-1)$$

$$R_A = \frac{(J_A)_{其他}}{(J_A)_{标准}} = \frac{k_{其他} \cdot L_{标准} (H + L_{其他})}{k_{标准} \cdot L_{其他} (H + L_{标准})} \quad \dots\dots\dots (A.1-2)$$

式中：

$J_A$ ——渗滤液随液体运移过程的平流通量， $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ；

$C_0$ ——溶质浓度， $\text{mg}/\text{cm}^3$ ；

$k$ ——渗透系数， $\text{cm}/\text{s}$ ；

$H$ ——渗滤液水头， $\text{cm}$ ；

$L$ ——衬层厚度， $\text{cm}$ ；

$R_A$ ——两种粘土衬层的平流通量比。

A.2 若平流通量比  $R_A \leq 1$ ，则认为在通过粘土衬层的稳定平流通量方面，使用其他粘土类防渗衬层与本规范第 4.7.2 条中要求的厚度为 0.75m、饱和渗透系数为  $1 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$  压实粘土标准方案相当或占优。

## 附录 B 土工合成材料应变计算及加筋层设计方法

B.1 沉降计算可按式 (B.1) 计算:

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} \left[ C_c \log \left( \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right) + C_a \log \left( \frac{\Delta t}{t_0} \right) \right] \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$\Delta H$ ——沉降量, m;

$e_0$ ——沉降发生前的初始孔隙比;

$H_0$ ——沉降发生前的初始厚度, m;

$C_c$ ——主固结系数, 采用室内固结试验测定;

$C_a$ ——次固结系数, 采用室内固结试验测定;

$\sigma_0$ ——前期固结应力, kPa;

$\Delta\sigma$ ——竖向增填或其它外加荷载引起的应力增量, kPa;

$t_0$ ——次固结开始时间, s;

$\Delta t$ ——施加应力增量后的时间间隔, s。

B.2 土工合成材料的允许应变特征值应根据现行行业标准《土工合成材料测试规程》SL/T 235 的规定进行拉伸试验, 试验曲线如图 B.2 所示, 并按式 (B.2) 计算:

$$\epsilon_a = \frac{\epsilon_r}{F_R} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$\epsilon_a$ ——土工合成材料允许应变特征值, %;

$\epsilon_r$ ——土工合成材料最大拉力所对应的应变, %;

$F_R$ ——安全系数, 取值不宜小于 1.5。

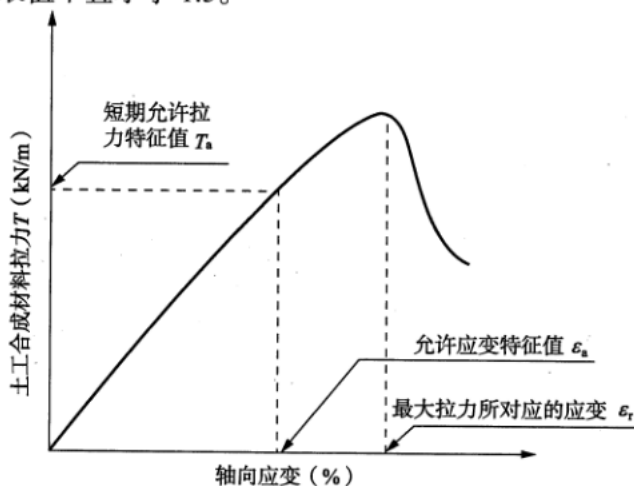


图 B.2 土工合成材料拉应力-应变关系示意图



**B.3** 土工合成材料短期允许拉力特征值应为土工合成材料允许应变特征值对应的拉力，土工合成材料长期允许拉力特征值应按式 (B.3) 计算：

$$T_1 = T_a / (RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_{CBD}) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$T_1$ ——土工合成材料长期允许拉力特征值，kN/m；

$T_a$ ——土工合成材料短期允许拉力特征值，kN/m；

$RF_{CR}$ ——蠕变折减系数，应按表 B.3-1 取值；

$RF_{ID}$ ——施工损伤折减系数，应按表 B.3-2 取值；

$RF_{CBD}$ ——生物或化学降解折减系数，可为 1.1~1.2。

**表 B.3-1 蠕变折减系数 RFCR**

材料类型	HDPE	PVC	VLDPE	LLDPE
取值	2.5	2.0	2.0	2.0

**表 B.3-2 施工损伤折减系数 RFID**

衬垫系统下部和上覆土层 类型	施工机械类型 (回填和压实)		
	轻型	中等重量	重型
光滑 (无石子)	1.1	1.2	1.3
中等光滑	1.2	1.3	1.4
粗糙 (含石子)	1.3	1.4	1.5

**B.4** 防渗衬垫下部堆体局部沉陷条件下本规范图 B.6 土工合成材料设计拉力  $T$  与拉伸应变之间的关系可按式 (B.4) 计算：

$$T = 2\gamma_s r^2 (1 - e^{-0.5H/r}) \Omega \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

$T$ ——土工合成材料设计拉力，kN/m；

$H$ ——上覆土体的厚度，m；

$\gamma_s$ ——上覆土体的平均容重，kN/m<sup>3</sup>；

$r$ ——圆形沉陷区域半径，m，宜为 0.9m；

$\Omega$ ——与土工合成材料拉伸应变  $\varepsilon$  对应的无量纲参数，按表 B6 线性插值计算。

**B.5** 磷石膏堆体局部沉陷引起土工膜拉伸应变的验算过程为：假定土工膜设计拉力  $T=T_1$ ，然后按本规范式 (B.4) 计算土工膜的拉伸应变  $\varepsilon$ ，应小于其允许应变特征值  $\varepsilon_a$ 。

**B.6** 对于用于抵抗堆体局部沉陷的土工格栅加筋层，其设计层数的计算过程为：按本规范式 (B.2) 确定中间衬垫系统中各种土工合成材料的最小允许应变特征值  $\varepsilon_a$ ，根据土工格栅拉伸试验曲线本规范图 B.2 确定与  $\varepsilon_a$  相对应的短期允许拉力特征值  $T_a$ ，按本规范式 (B.3) 计算单层土工格栅的长期允许拉力特征值  $T_1$ ；假定土工格栅拉伸应变  $\varepsilon=\varepsilon_a$ ，然后按本规范式 (B.4) 计算土工格栅的设

计拉力  $T$ ；土工格栅加筋层的设计层数  $n$ ，应按下式计算：

$$n \geq T / T_1 \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

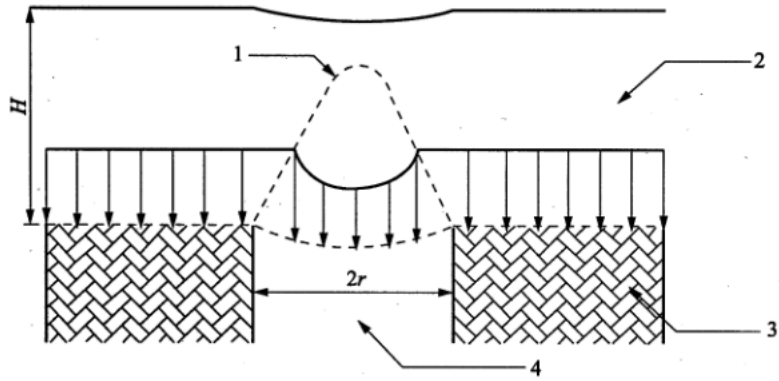


图 B.6 防渗衬垫下部磷石膏堆体局部沉陷条件下土工膜和加筋层受力及变形示意图

1——土拱；2——上覆土；3——下卧磷石膏；4——局部沉陷区域

表 B.6 无量纲参数  $\Omega$  与拉伸应变关系表

拉伸应变 $\varepsilon/\%$	$\Omega$	拉伸应变 $\varepsilon/\%$	$\Omega$
6.00	0.90	8.43	0.78
6.69	0.86	9.00	0.76
7.00	0.84	9.36	0.75
7.54	0.82	10.00	0.73
8.00	0.80	10.35	0.72

## 附录 C 气压、真空电火花及破坏性检测方法

### C.1 HDPE 土工膜热熔焊接的气压检测

针对热熔焊接形成的双轨焊缝，焊缝中间预留气腔的特点，采用气压检测设备检测焊缝的强度和气密性。一条焊缝施工完毕后，将焊缝气腔两端封堵，用气压检测设备对焊缝气腔加压至 250kPa，维持 3min~5min，气压不应低于 240kPa，然后在焊缝的另一端开孔放气，气压表指针能够迅速归零方视为合格。

### C.2 HDPE 土工膜挤压焊接的真空检测

挤压焊接所形成的单轨焊缝，应采用真空检测方法检测。用真空检测设备直接对焊缝待检部位施加负压，当真空罩内气压达到 25kPa~35kPa 时焊缝无任何泄漏方视为合格。

### C.3 HDPE 土工膜挤压焊缝的电火花检测

等效于真空检测，适应地形复杂的地段，应预先在挤压焊缝中埋设一条  $\phi 0.3\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$  的细铜线，利用 35kV 的高压脉冲探头在距离焊缝 10mm~30mm 的高度探扫，无火花出现视为合格，若不合格则表明出现火花的部位有漏洞。

### C.4 HDPE 土工膜焊缝强度的破坏性取样检测

——每台焊接设备焊接一定长度时，应取一个破坏性试样进行室内试验分析，取样位置应立即修补。定量的检测焊缝强度质量、热熔及挤出焊缝强度合格的判定标准应符合表 C 的规定。

——每个试样裁取 10 个 25.4mm 宽的标准试件，分别做 5 个剪切试验和 5 个撕裂试验。每种试验 5 个试样的检测结果中应有 4 个符合表 C 的要求，且平均值应达到表 C 的标准，最低值不得低于标准值的 80%方视为通过强度检测。

——若未通过强度检测，应在检测失败的位置沿焊缝两端各 6m 范围内重新取样检测，重复以上过程直至合格为止。对排查出有怀疑的部位用挤出焊接的方式加以补强。

表 C 热熔及挤出焊缝强度判定标准值

厚度/mm	剪切		剥离	
	热熔焊接/ (N/mm)	挤出焊接/ (N/mm)	热熔焊接/ (N/mm)	挤出焊接/ (N/mm)
1.5	21.2	21.2	15.7	13.7
2.0	28.2	28.2	20.9	18.3

注：测试条件为环境温度 25℃，机器运行速度 50mm/min。

## 本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
  - 2) 表示严格，在正常情况下均这样做的用词：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 规范中指定应按其他有关标准、规定执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- [1] 《安全标志及其使用导则》GB 2894
- [2] 《带式输送机 安全规范》GB 14784
- [3] 《环境保护图形标志 固体废物贮存（处置）场》GB 15562.2
- [4] 《金属非金属矿山安全规程》GB 16423
- [5] 《中国地震动参数区划图》GB 18306
- [6] 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599
- [7] 《尾矿库安全规程》GB 39496
- [8] 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- [9] 《建筑设计防火规范》（2018年版）GB 50016
- [10] 《岩土工程勘察规范》（2009年版）GB 50021
- [11] 《高耸结构设计标准》GB 50135
- [12] 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- [13] 《泵站设计规范》GB 50265
- [14] 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- [15] 《给排水工程管道结构设计规范》GB 50332
- [16] 《有色金属矿山排土场设计标准》GB 50421
- [17] 《尾矿设施设计规范》GB 50863
- [18] 《尾矿设施施工及验收规范》GB 50864
- [19] 《生产过程安全卫生要求总则》GB/T 12801
- [20] 《地下水质量标准》GB/T 14848
- [21] 《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643
- [22] 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
- [23] 《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290
- [24] 《厂矿道路设计规范》GBJ 22
- [25] 《工业企业设计卫生标准》GBZ 1
- [26] 《金属非金属矿山排土场安全生产规则》AQ 2005
- [27] 《磷石膏库安全技术规程》AQ 2059
- [28] 《化工企业安全卫生设计规范》HG 20571
- [29] 《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164
- [30] 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- [31] 《水工混凝土结构设计规范》SL 191

- [32] 《水工建筑物抗震设计规范》SL 203
- [33] 《碾压式土石坝设计规范》SL 274
- [34] 《水工隧洞设计规范》SL 279
- [35] 《水利水电工程边坡设计规范》SL 386
- [36] 《水工建筑物荷载设计规范》SL 744
- [37] 《土工合成材料测试规程》SL/T 235



中华人民共和国化工行业标准

# 磷化工固体废物堆场设计与施工规范

HG/T 20712—2022

## 条文说明



# 目 次

制订说明	(54)
1 总则	(55)
3 一般规定	(57)
3.1 磷石膏库选址	(57)
3.2 磷石膏库等别及构筑物级别	(57)
3.3 堆存工艺	(58)
3.4 磷石膏库勘察	(58)
4 新建磷石膏库设计	(59)
4.1 设计基础资料	(59)
4.2 设计主要内容	(59)
4.3 设计的一般规定	(59)
4.4 磷石膏坝	(59)
4.5 排渗系统	(59)
4.6 排洪系统	(60)
4.7 防渗系统及地下水导排、导气系统	(60)
4.8 清污分流系统	(60)
4.9 调节回水池	(60)
4.11 安全环保监测系统	(61)
4.12 辅助设施	(61)
5 改造及扩建磷石膏库设计	(62)
6 磷石膏库闭库(封场)设计	(63)
6.1 闭库设计的一般规定	(63)
6.2 闭库设计的主要内容	(63)
7 磷石膏库回采设计	(64)
7.1 回采设计的一般规定	(64)
7.2 回采设计的基本内容	(64)
8 磷石膏输送及回水系统设计	(65)
8.1 渣浆输送系统	(65)
8.2 干法输送系统	(66)
8.3 回水输送系统	(66)

9 磷石膏库施工.....	(67)
9.1 施工准备.....	(67)
9.2 土建和管线工程.....	(67)
9.3 防渗工程.....	(67)

## 制 订 说 明

《磷化工固体废物堆场设计与施工规范》(HG/T 20712—2022), 经工业和信息化部 2022 年 4 月 8 日以第 10 号公告批准发布。

根据工信部通知精神, 本次规范制订工作是编制第一部专门针对磷化工固体废物堆场的技术规范。本规范涵盖磷化工生产行业中除危险废物以外的一般工业固体废物的选址、设计、施工、监测、封场、回采的全过程, 包括了设计和施工要求, 使本规范成为磷化工固体废物堆场设计和施工中技术先进、内容完整的专业技术规范。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定, 《磷化工固体废物堆场设计与施工规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

本规范是首次发布。

# 1 总 则

1.0.1 磷化工固体废物是磷化工生产企业在生产过程中产生的固体废物的统称，主要包括磷石膏、磷尾矿、磷矿山排土及黄磷渣等。据不完全统计，目前我国磷化工固体废物堆存量仅磷石膏一项就近 5 亿多吨，而且还在以每年 5 000 万吨的排放量增长。这些固体废物如果随意倾倒、堆放，不仅占用土地，还会造成环境的污染，危害人类健康。磷化工固体废物堆场作为磷化工固体废物的安全环保堆存场所，是磷化工企业重要的生产附属设施和安全环保设施，其运营直接影响磷化工企业效益，是企业可持续发展的关键因素之一。

磷化工固体废物中排放量最大的为磷石膏，其主要成分为硫酸钙，还含有少量的磷、氟、铁、铝、硅等杂质，磷石膏浸出液呈酸性，并含有氟化物、总磷等污染物。在堆放过程中，磷化工固体废物堆场如果发生渗漏，渗滤液或输渣水进入地下水系，会影响地下水；若储存不当，渗滤液外溢，也会影响地表水。因此，必须建设规范的堆场以保证不会影响环境。

磷石膏库堆存处理不同于其他一般工业固体废物和危险废物的填埋处理，具有其特殊的要求。堆存废物的短期和长期物理性状不一致，或可能二次开发（或回采），使得其堆场设计不同于其他一般的固体废物填埋场设计，如：防洪、防渗、场区功能分割、堆积坝等设计内容均有其特殊的要求。我国已建成投运了多座磷石膏库，但是至今尚无针对磷化工行业固体废物堆场的设计或施工规范，导致在相关项目的设计和施工过程中无据可依，不利于磷化工行业环境保护和安全防护。以前磷化工固体废物堆场的设计和管理一直是按照《尾矿设施设计规范》GB 50863 和《尾矿库安全规程》GB 39496 中的相关要求来执行，但由于磷化工固体废物中磷石膏、黄磷渣等主要固体废物的性质与尾矿存在较大差异，磷化工固体废物堆场在运行中存在的一系列问题，如磷石膏坝的水溶性，磷石膏堆场中渗滤液对构筑物的腐蚀性，磷石膏堆场运行过程中的回采等，现行规范并未给予明确的规定和说明，给磷石膏库安全运行带来隐患。

鉴于上述情况，制订一部专门针对磷化工固体废物堆场的技术规范是十分必要的，对于规范磷化工固体废物的贮存，防范磷化工固体废物在堆存过程中对环境造成污染，使磷肥工业可持续发展具有重要意义。

1.0.2~1.0.3 本条规定了本规范的适用范围。磷化工固体废物既包含磷石膏、磷尾矿、黄磷渣、废石、排土等一般工业固体废物，也有危险废物。本规范不包括危险废物的堆存场处置，黄磷厂产生的磷泥等危险废物的处理处置按照国家现行的相关标准执行。磷石膏产量在磷化工固体废物中所占比重较大，其堆存产生的环境污染和环境风险是磷化工企业可持续发展的关键问题之一，因此本规范主要针对磷石膏库的设计和施工做出了规定，其他磷化工固体废物包磷尾矿、黄磷渣及磷矿开采过程中排出的弃土（或废石）的堆场可按本规范的相关条款执行。

1.0.4 磷尾矿主要来源于磷矿石的化学浮选，其物理特性与其他化学矿山尾矿类似，因此磷尾矿库的设计按现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 的有关规定执行，磷尾矿库的施工按《尾

矿设施施工及验收规范》GB 50864 的有关规定执行即可。

1.0.5 磷矿排土主要来源于磷矿山开采过程中产生的弃土和废石，其物理特性与其他化学矿山开采过程中产生的弃土和废石类似，因此磷矿排土场的设计可参照现行国家标准《有色金属矿山排土场设计规范》GB 50421 的有关规定执行，磷矿排土场的施工可参照《金属非金属矿山排土场安全生产规则》AQ 2005 中的有关规定执行。

1.0.6 黄磷渣来源于电炉生产黄磷过程中，由磷灰石、石英、焦炭在电弧炉中，以 1 600℃左右高温熔炼产生的炉渣，主要成份为 CaO 47%~52%、SiO<sub>2</sub> 40%~43%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.8~2.5%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2%~5%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.8%~3%、F 2.5%~3%。主成份 CaO+SiO<sub>2</sub> 总量达 87%~95%，与天然硅灰石矿石的化学组成极为相似，有害元素含量较低，属于一般固体废物。目前企业一般送水泥厂作为辅料，掺入水泥生料中综合利用，若进行堆存可按本规范中干式磷石膏库的相关规定执行。磷石膏暂存场或中转场是磷石膏临时贮存的场所，按照本规范第二章中的定义，其设计库容一般不超过磷化工企业磷石膏年产能的 5 倍，这样的库容条件下，采用湿式排放堆存的可能性极小，因此也按照干式磷石膏库设计。

## 3 一般规定

### 3.1 磷石膏库选址

3.1.1 本条是关于磷石膏库场址选择的总体要求。场址是否合理，首先应该考虑是否满足国家、地方城乡建设总体规划及现行国家标准的要求，充分了解当地的区域发展规划。磷石膏库的运行周期一般都比较长，如果不考虑发展因素，会给区域的发展带来影响。

3.1.2 本条是关于磷石膏库的选址应综合考虑并遵循的原则。磷石膏库场址的选择是否合理涉及整个工程的合理性，对工程投资、安全运行、维护和管理都有很大的影响。磷石膏库项目在建设前应该进行环境影响评价，场址位置及其环境敏感目标的卫生防护距离及其他要求满足环境影响评价文件及其批复的要求。

#### 3.1.3

1、2 本条款规定了不能在某些区域建设磷石膏库，此类区域的具体范围是省、直辖市、自治区等各级政府规定或批准的。

3 磷石膏库既是环保上的污染源又是安全上的危险源，为确保下游的重要城镇、工矿企业、铁路干线或高速公路等避免遭受威胁，特作出此规定。

3.1.4 本条是关于磷石膏库选址时应考虑的因素，从汇水面积、工程地质、水文地质、库长、库区周边环境等方面进行综合比较。

1 选择汇水面积小，并有足够库容的磷石膏库，有利于减少库区雨水量，保持库区水系统的平衡，减少库区因水不平衡而带来含氟含磷污水外排，造成处理成本上升或带来水环境的污染；

2 建设磷石膏库的最终目的是为了减少磷石膏污染土壤和地下水，不良的地质条件容易造成渗漏，对地下水带来影响；

3 上游式磷石膏库初、终期库长越长越有利于磷石膏及水的自然沉降，堆积体越密实和稳定，而且回水悬浮物低、回水水质稳定，有利于磷化工企业回收磷资源；

4 库底平均纵坡陡于 20%，不利于磷石膏库的坝坡稳定性。

### 3.2 磷石膏库等别及构筑物级别

3.2.1 磷石膏库等别决定磷石膏库的防洪标准和各主要、次要、临时构筑物的级别。由于坝高和库容是逐年增加的，重要性和危险性亦随之加大，因此磷石膏库在各不同的运行期的等别有所不同。本条是根据国内磷化工企业实际运行情况，并根据库容、坝高或堆积体高度确定的磷石膏库等别，可使磷石膏库的初期坝、堆积坝及排水设施的设计更加经济、合理。

3.2.2 结构设计的安全系数与构筑物级别有关。结合相关规范，如现行行业标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274、《水工混凝土结构设计规范》SL 191、《水工隧洞设计规范》SL 279 等，编制了表 3.2.2。

### 3.3 堆存工艺

3.3.1 本条是关于磷石膏选择堆存工艺时考虑的主要因素。

3.3.2 本条是根据目前国内外磷化工企业磷石膏库堆存工艺实际运行经验作出的规定。

3.3.3 本条对干式磷石膏库堆存工艺作出不得干湿混排，并对磷石膏入库含水率提出要求，目的是为了

为了避免干式磷石膏库中浸润线抬升，影响堆积坝体安全稳定性。

3.3.4 本条是对入库后磷石膏的倒运、推平及碾压作出的技术要求。由于磷化工企业的磷酸生产工艺和使用磷矿石的不同，产生的磷石膏物理特性各不相同，磷石膏的碾压参数也不相同。为了保证堆积坝体的稳定性，需要通过试验确定碾压参数，包括压实度参数，一般不应低于 92%；对于非堆积坝区域的磷石膏，为了降低成本，减少工作量，可适当降低碾压标准或不进行碾压。

### 3.4 磷石膏库勘察

3.4.1 按照有关国家基本建设程序要求，在磷石膏库设计前对其选址进行岩土工程勘察，为设计提供依据。

3.4.2 本条是对磷石膏库进行岩土工程勘察的要求，除满足有关国家标准要求外，还可以正确反映场地地质条件，报告深度满足各设计阶段的资料需求。

3.4.3 本条详细规定了对新建磷石膏库进行岩土工程勘察的要求。

3.4.4 本条详细规定了对改建和扩建磷石膏库的磷石膏堆积坝进行岩土工程勘察的要求。

## 4 新建磷石膏库设计

### 4.1 设计基础资料

4.1.1 本条是关于设计所应依据的基础资料以及设计基础资料主要包括的内容，是设计磷石膏库的输入条件。收集设计基础资料是设计的先决条件，详实而准确的基础资料才能保证设计的准确性、合理性及经济性。

### 4.2 设计主要内容

4.2.1 本条规定了可行性研究阶段必须包含的内容。

4.2.2 本条规定了初步设计阶段必须包含的内容。

4.2.3 本条规定了施工图阶段必须包含的内容。

### 4.3 设计的一般规定

本节规定了湿式和干式磷石膏库设计所应包含的主要内容；界定了满足饱和酸性条件的湿式磷石膏库；对同一山谷内建设两座或多座磷石膏库以及利用废弃的露天采坑及凹地储存磷石膏的特殊情况，规定了所应开展的论证工作；针对磷石膏的水溶性，提出了年降雨量均值超过 800mm 或年最大 24h 雨量均值超过 65mm 的地区，不应采用库尾式、库中式磷石膏堆排筑坝法的要求；规定了湿式和干式磷石膏库设计所应明确的安全运行控制参数。

### 4.4 磷石膏坝

本节规定了磷石膏坝的选址原则以及初期坝坝高和坝坡的设计要求。对于湿式磷石膏库，按满足饱和酸性条件和不满足饱和酸性条件两种情况进行区分，如满足饱和酸性条件，可取消对最小干滩长度和堆积坝下游坡浸润线最小埋深的限制，使用磷石膏子坝挡水，但磷石膏子坝的宽度不得小于 15m，并应满足最小安全超高的要求；如不满足饱和酸性条件，应同时满足最小安全超高、最小干滩长度和堆积坝下游坡浸润线最小埋深的要求。对于干式磷石膏库的堆积坝，提出了最小防洪宽度的要求。磷石膏坝稳定性的计算，采用计算准确性较高、计算难度适中的简化毕肖普法。鉴于磷石膏渗透性较高，选择荷载组合时，仅采用有效应力法。对于磷石膏堆积坝面的排水沟，鉴于磷石膏沉降量较大且易溶于水，提出了考虑长期沉降和排水沟底部防渗的要求。

### 4.5 排渗系统

本节规定了排渗系统设计应满足磷石膏库渗流控制和坝坡稳定的要求。根据磷石膏库内酸性水具有腐蚀性和半管流的管道易结垢堵塞的特点，规定了酸性水中导渗体应采用硅石料或耐腐蚀的人工材料，导管宜保持满管流状态。为了避免干式磷石膏库中浸润线过高，底部磷石膏长期浸泡软化而产生



失稳破坏的风险，要求在干式磷石膏库底部铺设排渗体，控制浸润面高度不超过堆场高度的 1/5。

#### 4.6 排洪系统

本节规定了磷石膏库各使用期的防洪标准主要按照磷石膏库各使用期的等别进行划分，同时综合考虑库容、坝高、使用年限及对下游可能造成的危害程度等因素，取洪水重现期的上限或下限。对于湿式磷石膏库中的排洪系统，如满足饱和酸性条件，可使用磷石膏子坝挡水，因此，除可采用传统的排水井（斜槽）—排水管（隧洞）排洪形式外，还可采用可移动式竖井或穿坝管的排洪形式。对于上游汇水面积较大，在上游设拦洪坝截洪的磷石膏库，由于库外排的是清水，而库内排的是酸性水，因此要求拦洪坝以上的库外排洪系统不得与库内排洪系统合并。由于磷石膏库中埋地排水构筑物发生渗漏的情况常有发生，因此除要求构筑物防腐措施应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046 的有关规定执行外，还要求地下酸性水排水构筑物的下方宜增加一道防渗层。鉴于磷石膏回水时管道、隧洞结晶堵塞现象频繁发生且结晶难以清除，为避免排洪构筑物排水断面缩小影响排洪，提出了正常运行工况回水不宜使用排洪系统的要求。

#### 4.7 防渗系统及地下水导排、导气系统

磷石膏属于第Ⅱ类一般工业固体废物，根据《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599—2020 要求，第Ⅱ类一般工业固体废物应采用单层复合防渗系统。本节规定的磷石膏库单层复合防渗系统的结构形式，与 GB 18599 相关规定一致，并在附录 A 中补充了粘土衬层等效防渗的计算方法。对于库区基础层表面与地下水年最高水位距离不足 1.5m 的磷石膏库，提出建立地下水导排系统，通过工程手段使得磷石膏库运行期地下水水位维持在基础层表面 1.5m 以下。鉴于酸性水的腐蚀性，提出采用天然粘土衬里、改性粘土衬层作为复合防渗层时，应与接触的酸性水相容，与酸水接触后，其饱和渗透系数和使用寿命等技术指标仍能满足设计要求。地基基础的稳定性是保证防渗系统安全的必要条件，本节要求对防渗基础层的不均匀沉降和土工膜的拉伸应变进行验算，并在附录中提供了可参考的沉降计算方法。

#### 4.8 清污分流系统

磷石膏易溶于清水，为了避免清水侵蚀磷石膏坝体，并最大限度减少磷石膏库的入库清水量，以降低安全环保压力，提出在磷石膏库和调节回水池的周边、磷石膏堆积坝与山坡的结合处、磷石膏堆积坝坡面进行清污分流，并提出了库内清污分流的原则。

#### 4.9 调节回水池

本节规定了调节回水池设计应包含的内容。明确了调节回水池总容积计算的方法，鉴于本计算方法已考虑两次 24h 洪水之和，无需在计算得到的总容积基础上再增加空余容积。由于调节回水池是酸性水的集中贮存场所，环保要求高，要求调节回水池的防渗性能不低于磷石膏库区的防渗要求。由于膜下滞气可导致防渗膜爆裂，要求调节回水池底部不仅应设置地下水导排，且应设置导气系统。为避免回水中的细颗粒沉淀减少调节池有效容积，提出设置澄清池，并及时清除澄清池中的沉渣。

## 4.11 安全环保监测系统

- 4.11.2 本条是对磷石膏库监测设施布置的具体要求，其目的是能够全面掌握磷石膏库的安全状态。
- 4.11.3 本条是对湿式磷石膏库监测项目的具体要求，相应增加了对调节回水池水位、渗透水量、水质等几种磷石膏库特有的项目监测要求。
- 4.11.4 本条是对干式磷石膏库监测项目的具体要求。
- 4.11.5 本条是对磷石膏库视频监控的要求，明确了视频监控的重点部位，确保全面掌握磷石膏库的可视安全现状情况。
- 4.11.6 本条是对磷石膏库在线安全监测系统的功能规定，明确了监测、诊断、数据分析、信息管理等功能。
- 4.11.7 本条规定了磷石膏库建设前的地下水和地表水本地值监测要求，以便评价项目建设和运行的环境影响。
- 4.11.8 本条是监控磷石膏库防渗层完整性的要求，采用先进的监控技术能够及时发现防渗层的漏点位置，并采取相应的修复措施，确保防渗措施长期有效，从而保护土壤及地下水环境。
- 4.11.9 本条是对于堆场周边污染监测井布置的具体要求，在《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599的基础上对磷石膏库库底导排地下水提出了明确的监测井设置及监测要求，其目的是能够更加全面地掌握堆场对地下水的污染影响。
- 4.11.10 本条明确了磷石膏库的自行监测要求，在《排污许可证申请与核发技术规范 磷肥、钾肥、复混肥料、有机肥料及微生物肥料工业》HJ 864.2相关规定的基礎上新增了砷的监测要求。
- 4.11.11 本条是对磷石膏库不同阶段的地表水监测要求。由于各地区地表水的分布情况不一，地表水的监测难以统一规范，需因地制宜地制订地表水监测计划，及时发现和治理地表水环境污染。

## 4.12 辅助设施

- 4.12.1 磷石膏库的运行管理要求复杂、精细、严格，并且要求按24h三班制运行，故要求在磷石膏库设置专门的管理站，并配套相应的设施、设备和人员进行管理。
- 4.12.3 磷石膏库属于磷化工装置重要的配套设施，与工艺装置联系紧密。且磷石膏产量大，一般情况下磷石膏库运行按24h三班制，因此规定了供配电设施宜采用双回路，供电负荷等级宜与主体装置一致，确保磷石膏库运行的安全稳定。

## 5 改造及扩建磷石膏库设计

对不满足国家现行安全环保标准的磷石膏库，应进行治理整改，以满足安全生产和环境保护的需要。对于具备扩建条件的磷石膏库，可在治理和改造基础上，进行扩建。对于加高扩容的磷石膏库，从防洪标准、浸润线控制、排洪设施等方面提出了设计所应满足的要求。提出了磷石膏库改造和扩建设计所包含的内容，强调了改造和扩建设计应收集的资料以及通过岩土工程勘察应查明的内容。提出了扩建工程应进行沉降验算，以保证在上覆荷载作用下，中间防渗衬垫系统及其他重要设施的安全。

## 6 磷石膏库闭库（封场）设计

### 6.1 闭库设计的一般规定

- 6.1.1 本条规定了磷石膏库服务期满后必须进行闭库。磷石膏库长期停用会带来安全和环保方面的安全隐患，停用后应及时进行闭库。
- 6.1.2 闭库时应对磷石膏库存在的隐患和风险进行调查、分析，作为闭库设计的依据。堆场运行期间产生沉降或因压实度不足、作业面设置不合理等原因存在的安全及环保隐患，在闭库设计中需要通过工程措施消除。
- 6.1.3 本条规定了闭库勘察的必要性。闭库勘察不应破坏原磷石膏库的防渗系统。
- 6.1.4 磷石膏具有蠕变性能，所以在闭库设计时需要根据闭库勘察资料进行沉降计算，并依据沉降结果采取对应的工程措施消除沉降对闭库工程的影响。
- 6.1.5 废弃的各类设施耐久性有限，所以，闭库时需要进行封闭和封堵。

### 6.2 闭库设计的主要内容

- 6.2.1 本条规定了闭库所采取的安全、环保措施。
- 6.2.2 本条规定了闭库时要采取工程措施保证坝体的安全性。坡度设置应能保证及时疏导闭库区域的降水并保证不产生冲刷，保证边坡防渗和覆土的稳定性，保证堆体安全。
- 6.2.3 本条规定了闭库时要保证磷石膏库排洪系统的完整性。
- 6.2.4 本条规定了闭库防渗的结构层。
- 6.2.5 本条规定了闭库后安全环保监测措施的要求。
- 6.2.6 本条规定了闭库后生态恢复的要求。

## 7 磷石膏库回采设计

### 7.1 回采设计的一般规定

- 7.1.1 运行期的回采既有磷石膏排放又有磷石膏回采，所以需要考虑分区回采。
- 7.1.2 回采勘察的目的是为回采设计的坝体稳定性计算、回采工艺、磷石膏运输等提供设计依据，回采勘察不能破坏原磷石膏库的防渗系统。
- 7.1.3 进行回采的磷石膏库在整个回采期间，其等别、坝体稳定性及防洪标准均按本规范执行。
- 7.1.4 回采过程中磷石膏库作为危险源和污染源始终存在风险，因此规定在回采全过程中必须保证磷石膏库安全、环保设施的可靠性。

磷石膏库初期坝、副坝及堆积坝均为磷石膏堆积体和水体的周边支撑体，其稳定性直接影响磷石膏库安全，故规定须由库内向库周、自上而下的均衡开采方式，以保证整个回采期间磷石膏坝稳定性和磷石膏库防洪安全。

### 7.2 回采设计的基本内容

- 7.2.2 本条规定了回采时关于安全、环保事项的总体要求，明确了运行期回采时关于安全的注意事项。
- 7.2.3 规定了闭库回采时关于安全、环保的注意事项。
- 7.2.5 进行回采的磷石膏库在整个回采期间，其回采运输设计按本规范相关条款执行。

## 8 磷石膏输送及回水系统设计

### 8.1 渣浆输送系统

8.1.1 本条是湿式磷石膏库中渣浆输送系统设计的主要内容。渣浆输送系统中渣浆配制系统、渣浆泵等设施由于与磷酸工艺装置密切相关，一般均位于磷酸装置区内。

8.1.2 本条是关于磷石膏渣浆输送系统设计参数确定和主要内容。磷石膏库渣浆输送系统设计参数一般可根据国内磷石膏库长期运行的湿法输送经验确定。但对于大型项目和缺少可类比工程的项目，当具备试验条件时，宜进行水力输送试验，并说明试验条件及结论，这样可确保选择最佳的设计参数，以利于磷石膏库建设经济性和安全可靠。

8.1.3 本条是关于磷石膏渣浆输送管线设计的规定。磷石膏渣浆输送类似冶金行业的尾矿浆输送，除本规范规定外，其他技术要求可按现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 的有关规定执行。

1 本条依据磷石膏渣浆物理力学特性和国内磷石膏库长期运行的湿法输送使用经验，宜选择钢衬 PO (PE) 管、钢衬胶管、HDPE 管等材质，输送管路可满足长期运行要求。

2 本条依据磷石膏渣浆物理力学特性和国内磷化工企业的使用经验确定的经济流速。

3 本条依据磷石膏渣浆物理力学特性和国内磷化工企业的使用经验，渣浆输送管路敷设架空、埋地方式均可，一般国内西南方的企业多采用架空方式，北方的企业多采用埋地方式。因渣浆液中含有一定量的氟和磷，pH1~pH3，为防止埋地管路敷设运行后发生泄漏污染土壤和地下水，应在管路接口处下方采取可靠的防渗漏措施，如采用高密度聚乙烯 (HDPE) 膜防渗层，或抗渗钢筋混凝土管沟或套管等。

4 在寒冷地区，渣浆输送管路架空敷设需要采取保温防冻措施，可设置保温层或伴热措施，目的是防止温度过低造成管道堵塞；也可采用埋地方式保温，但要考虑埋地管道的防渗措施。

8.1.4 根据国内磷石膏渣浆物理力学特性，渣浆的含固率一般为 20%~30% 时，密度为  $1.10\text{t/m}^3 \sim 1.15\text{t/m}^3$ ，颗粒组成主要集中在 0.01mm~0.1mm 之间；渣浆液中含有的一定的氟和磷，pH1~pH3。根据国内磷化工企业磷石膏渣浆输送泵的使用经验，一般选择离心式泵型式，过流部件采用防腐耐磨材质，如双相不锈钢等。通常选用低转速离心泵，过流部件材质可内衬 Cr30 以上不锈钢，轴可选 2205 以上双相不锈钢。轴封可为填料或 plan11 外接冲洗水的机械密封。

8.1.5 设置变频调速装置的目的，一是为了节电，二是为了调整输送系统参数，使浆体流态达到稳定。

8.1.6 渣浆泵的备用数量与多种因素有关，除了磷石膏的磨蚀性，选用渣浆泵的类型、材质外，还需要考虑泵站的工作条件、管道布置以及操作检修水平等因素。随着新型耐磨泵的产生，泵的备用率已有所降低。

8.1.7 渣浆泵水封效果的好坏直接影响盘根和轴承的使用寿命，与水封水的流量、压力和水质有关。

8.1.8 输送泵站内的排水可能与磷石膏接触，水中含有少量的氟和磷，pH呈酸性，任意排放将污染水环境。

8.1.9 渣浆泵检修较为频繁，检修工作劳动强度大。为了加快检修速度，减轻检修人员负担，规定起重设备按离心泵泵体或电机的整体重量考虑。

## 8.2 干法输送系统

8.2.2 干法输送的磷石膏含有少量的氟和磷，含水率约 70%~80%，呈粉状和酸性，为了防止在汽车运输过程中沿途泄漏、沿途扬尘污染环境，汽车应采取密闭措施，如采用槽罐汽车运输等。

8.2.3 干法输送的磷石膏含有少量的氟和磷，呈粉状和酸性，因此采用的带式输送机材料应考虑耐氟的酸性腐蚀，如耐氟橡胶等材料，并应采取沿途防泄漏措施，避免污染输送沿途环境。

采用的管状带式输送机、T型带式输送机或D型带式输送机为密闭或半密闭型式，均可防止物料泄漏，设计可根据实际情况选取。

## 8.3 回水输送系统

8.3.1 本条是关于回水系统设计的主要内容，回水系统中回水泵站一般位于磷石膏库附近，与磷化工生产工艺装置密切相关。

8.3.2 本条款是关于回水泵站设计的技术规定。

6 回水泵站属于磷石膏库重要的配套设施，并与磷化工磷酸装置联系紧密。磷石膏库的回水主要用于磷酸装置产生的磷石膏调浆，一般情况下磷石膏库运行与磷化工磷酸装置一致，按 24h 三班制运行，因此规定了供配电设施宜采用双回路，供电负荷等级宜与主体装置一致，确保磷石膏库运行安全稳定。

8.3.3 湿式磷石膏库一般距离磷化工厂生产装置较远，回水管路与磷石膏渣浆管路共架敷设目的是节省投资、便于生产管理。回水管路和渣浆管路互为备用，定期互换，不仅节省备用的渣浆管，节省投资，同时还可利用渣场的回水冲刷原来的渣浆管，防止管道结垢，延长渣浆管路的使用寿命。

8.3.5 在寒冷地区的回水管路为了防止结冰而堵塞管道，需要设置保温、防冻措施，如设置保温层或伴热措施，也可采用埋地方式保温，但要考虑埋地管道的防渗措施。

## 9 磷石膏库施工

### 9.1 施工准备

9.1.5 人工防渗系统的施工主要通过小型热熔焊接机完成。土工材料厚度小，易熔解，为保证材料焊接时焊缝和材料本身的完整性和可靠性，保证焊缝熔焊高度，设备的稳定性是很重要的。

### 9.2 土建和管线工程

9.2.2 本条第三款中规定的砾石不得外露，一方面是要求通过土工布包裹，使管道、砾石、土工布形成完整的地下水导排系统，达到设计使用目的；另一方面是防止外露的砾石在进行上层土料回填时进入上层的土构建面，给上方铺设的人工防渗材料带来安全隐患。

### 9.3 防渗工程

9.3.2 锚固沟施工时，不扰动沟底土壤是为了尽量保持处理后基础的稳定性和完整性；HDPE 土工膜的硬度随膜厚度增加而增加，为避免短距离内的折叠造成材料损坏，规定了转折处的处理方法和锚固沟到边坡边缘的最小距离；锚固沟的设置和回填是为了抵抗土工膜上卸料后产生的摩擦力，鉴于磷石膏库的面积和规模，对锚固沟的尺寸给出了建议；对于特殊地质条件和地形的锚固处理给出了规定和建议。

9.3.4 土工材料是堆场防渗系统的核心，土工材料的装卸、转运和堆放都要优先考虑材料的安全和防护。土工材料属于石化制品，针对其可燃、对某些腐蚀性化学品不耐受、紫外线耐受度等特性做出了规定。

9.3.6 《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643 中的土工膜有两种，磷化工固体废物堆场属于环境保护配套工程，土工膜的选择应按照该标准中环保用土工膜的指标要求确定。

9.3.7 本条是关于土工膜铺设时的施工要求。为防止气候变化导致未焊接的土工膜发生位移或污染等问题，提出了每天铺设的土工膜当天必须全部完成焊接的要求；土工膜随气温变化会产生很大的形变，因此不宜在温度过高或过低时施工，避免由于温差造成土工膜形变过大对工程质量造成不良影响；按照规范要求的方式对土工膜进行登记和工程资料的编制，便于日后进行质量管理和问题追索；管穿膜以及土工膜和刚性构件的连接时，由于角度原因双轨焊机不具备施工条件，多采用单轨挤压焊接工艺完成。

9.3.8 本条是关于土工膜焊接的施工要求。试焊接是在人员、设备、材料、参数设定完全一致，气候条件基本一致的情况下进行的焊接验证工作，用来确定施工时的焊接工作是否能够满足要求，因此每次试焊的间隔不能过长；条文中对于试焊接后的检测工作做出了详细要求，试焊接成功是焊接工作正式开展的前置条件；第八款中焊缝末端是指整条焊缝的最末端，在这之前，无论



是由几幅膜焊接起来的焊缝都是连贯的；焊缝同样按照规范要求的方式进行登记和工程资料的编制，便于日后进行质量管理和问题追索。

9.3.11 本条是关于人工粘土的铺设要求。人工粘土是一种主要由级配砂、天然纳基膨润土和高分子聚合物组成的改性粘土，有着良好的可塑性和低渗透系数，可以作为天然粘土层的替代材料。在遇水后，膨润土吸收适当水分膨胀，与高分子聚合物形成一个化学键网络，形成一种强有力的、稠密的蛛网式水凝胶结构，进而达到设计的防渗效果。经实验表明，改性后的人工粘土渗透系数低于  $5 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ ，仅为高质量天然粘土的 1/100，且耐酸碱，可应对不均匀沉降，抗冻融循环，不易发生钙化反应。人工粘土在铺设时避免恶劣天气是为了防止由于大量的水分对粘土压实后的防渗效果产生不良影响；在铺设前通过实验确定施工机械、压实方式和遍数与虚铺厚度的关系是为了保证经过试验段参数测试后，施工成品可以达到设计的要求。