

## 前　　言

本规范是根据住房城乡建设部《关于印发 2012 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》(建标〔2012〕5 号)的要求,由中国石油天然气管道工程有限公司会同有关单位,对原国家标准《储罐区防火堤设计规范》GB 50351—2005 进行修订而成的。

本规范修订过程中,编制组进行了广泛的调查研究,总结了我国油气储运及化工品储运系统防火堤工程建设的实践经验,通过对已经完成的油气储运及化工品储运系统防火堤的设计进行分析、验证,并在广泛征求意见的基础上,经反复讨论研究、屡次修改,完成报批稿最终报住房城乡建设部审查定稿。

本规范共分 5 章和 2 个附录,主要内容包括:总则,术语,防火堤、防护墙的布置,防火堤的选型与构造,防火堤的强度计算及稳定性验算等。

本规范修订的主要内容是:

1. 规定了同一防火堤范围内不同介质的储罐要求,储罐数量要求,储罐布置要求,隔堤设置要求;
2. 修订了防火堤内不同介质储罐总容积的相关要求;
3. 修订了防火堤内有效容积的要求;
4. 修订了防火堤高度的要求;
5. 补充修订了防火堤踏步、坡道、逃逸爬梯的设置要求;
6. 补充了防火堤内设置排水明沟及格栅盖板的相关要求;
7. 补充修订了防火堤的选型、构造等相关要求。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由石油工程建设专业标准化委员会负责日常工作,中国石油

天然气管道工程有限公司负责具体技术内容的解释。在本规范执行过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,注意积累资料,如发现需要修改和补充之处,请将意见和有关资料寄送到中国石油天然气管道工程有限公司(地址:河北省廊坊市和平路146号,邮政编码:065000),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人及主要审查人:

**主 编 单 位:**中国石油天然气管道工程有限公司

**参 编 单 位:**中国石化工程建设有限公司

中国石化集团公司总图设计技术中心站

解放军总后勤部建筑工程规划设计研究院

**主要起草人:**刘杨龙 岳忠 郭宝申 叶宏跃 王宇  
闫高峰 许文忠 董旭 陆勇 刘长清  
杨峰 高宏义 龚云峰 刘中庆

**主要审查人:**王金国 王小林 张广智 张效羽 李正才  
刘庆砚 李慧 吴勇 崔忠涛 鲁谨薇  
穆冬玲 赵红民 沈红 顾玉梅

## 目 次

1 总 则 .....	( 1 )
2 术 语 .....	( 2 )
3 防火堤、防护墙的布置 .....	( 4 )
3.1 一般规定 .....	( 4 )
3.2 油罐组防火堤的布置 .....	( 5 )
3.3 液化石油气、天然气凝液、液化天然气及其他储罐组 防火堤、防护墙的布置 .....	( 8 )
4 防火堤的选型与构造 .....	( 10 )
4.1 选型 .....	( 10 )
4.2 构造 .....	( 10 )
5 防火堤的强度计算及稳定性验算 .....	( 13 )
5.1 荷载效应和地震作用效应的组合 .....	( 13 )
5.2 荷载、地震作用及内力计算 .....	( 14 )
5.3 强度计算 .....	( 21 )
5.4 稳定性验算 .....	( 21 )
附录 A 土压力系数表 .....	( 24 )
附录 B 防火堤基底的摩擦系数 .....	( 26 )
本规范用词说明 .....	( 27 )
引用标准名录 .....	( 28 )

# Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms .....	( 2 )
3	Fire dike and safety wall arrangement .....	( 4 )
3.1	General requirements .....	( 4 )
3.2	Tank group's fire dike arrangement .....	( 5 )
3.3	Liquefied petroleum gas, natural gas liquids, liquefied natural gas and other storage tanks fire dike and safety wall arrangement .....	( 8 )
4	Selection and details of fire dike .....	( 10 )
4.1	Selection .....	( 10 )
4.2	Details .....	( 10 )
5	Strength calculation and stability analysis of fire dike .....	( 13 )
5.1	Combination for load effects and earthquake action .....	( 13 )
5.2	Calculation of load, earthquake action and internal forces .....	( 14 )
5.3	Strength calculation .....	( 21 )
5.4	Stability checking .....	( 21 )
Appendix A	The earth pressure coefficient table .....	( 24 )
Appendix B	The friction coefficient of the fire dike base .....	( 26 )
	Explanation of wording in this code .....	( 27 )
	List of quoted standards .....	( 28 )

# 1 总 则

- 1. 0. 1** 为了合理设计防火堤、防护墙，保障储罐区安全，制定本规范。
- 1. 0. 2** 本规范适用于地上液态储罐区的新建和改建、扩建工程中的防火堤、防护墙的设计。
- 1. 0. 3** 防火堤、防护墙的设计，应在满足各项技术要求的基础上，因地制宜，合理选型，达到安全耐久、经济合理的效果。
- 1. 0. 4** 储罐区防火堤、防护墙的设计除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 储罐组 tank group

由防火堤或防护墙围成的一个或几个储罐组成的储罐单元。

### 2.0.2 储罐区 storage tank farm

由一个或若干个储罐组组成的储罐区域。

### 2.0.3 防火堤 fire dike

用于常压易燃和可燃液体储罐组、常压条件下通过低温使气态变成液态的储罐组或其他液态危险品储罐组发生泄漏事故时，防止液体外流和火灾蔓延的构筑物。

### 2.0.4 隔堤 dividing dike

用于减少防火堤内储罐发生少量液体泄漏事故时的影响范围，或用于减少常压条件下通过低温使气态变成液态的储罐组发生少量冷冻液体泄漏事故时的影响范围，而将一个储罐组分隔成若干个分区的构筑物。

### 2.0.5 防护墙 safety wall

用于常温条件下通过加压使气态变成液态的储罐组发生泄漏事故时，防止下沉气体外溢的构筑物。

### 2.0.6 隔墙 dividing wall

用于减少防护墙内储罐发生少量泄漏事故时液体变成气体前的影响范围，而将一个储罐组分隔成若干个分区的构筑物。

### 2.0.7 防火堤内有效容积 effective capacity surrounded by dikes

一个储罐组的防火堤内可以有效利用的容积。

### 2.0.8 设计液面高度 design height of liquid level

计算防火堤有效容积时堤内液面的设计高度。

**2.0.9** 防火堤内堤脚线 inboard toe line of dike

防火堤内侧或其边坡与防火堤内设计地面的交线。

**2.0.10** 防火堤外堤脚线 outboard toe line of dike

防火堤外侧或其边坡与防火堤外侧设计地面的交线。

### 3 防火堤、防护墙的布置

#### 3.1 一般规定

- 3.1.1 防火堤、防护墙的选用应根据储存液态介质的性质确定。
- 3.1.2 防火堤、防护墙应采用不燃烧材料建造，且必须密实、闭合、不泄漏。
- 3.1.3 防火堤的防火性能应符合现行国家标准《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183、《石油储备库设计规范》GB 50737、《石油库设计规范》GB 50074、《石油化工企业设计防火规范》GB 50160 的相关规定。
- 3.1.4 进出储罐组的各类管线、电缆应从防火堤、防护墙顶部跨越或从地面以下穿过。当必须穿过防火堤、防护墙时，应设置套管并应采用不燃烧材料严密封闭，或采用固定短管且两端采用软管密封连接的形式。
- 3.1.5 防火堤、防护墙内场地宜设置排水明沟。
- 3.1.6 防火堤、防护墙内场地设置排水明沟时应符合下列要求：
- 1 沿无培土的防火堤内侧修建排水沟时，沟壁的外侧与防火堤内堤脚线的距离不应小于 0.5m；
  - 2 沿土堤或内培土的防火堤内侧修建排水沟时，沟壁的外侧与土堤内侧堤脚线或培土堤脚线的距离不应小于 0.8m；
  - 3 沿防护墙修建排水沟时，沟壁的外侧与防护墙内堤脚线的距离不应小于 0.5m；
  - 4 排水沟应采用防渗漏措施；
  - 5 排水明沟宜设置格栅盖板，格栅盖板的材质应具有防火、防腐性能。
- 3.1.7 每一储罐组的防火堤、防护墙应设置不少于 2 处越堤人行

踏步或坡道，并应设置在不同方位上。隔堤、隔墙应设置人行踏步或坡道。

**3.1.8** 防火堤的相邻踏步、坡道、爬梯之间的距离不宜大于60m，高度大于或等于1.2m的踏步或坡道应设护栏。

### 3.2 油罐组防火堤的布置

**3.2.1** 同一防火堤内的地上油罐布置应符合下列规定：

**1** 在同一防火堤内，宜布置火灾危险性类别相同或相近的油品储罐（甲<sub>B</sub>类、乙类和丙<sub>A</sub>类油品储罐可布置在同一防火堤内，但不宜与丙<sub>B</sub>类油品储罐布置在同一防火堤内），当单罐容积小于或等于1000m<sup>3</sup>时，火灾危险性类别不同的常压储罐也可布置在同一防火堤内，但应设置隔堤分开；

**2** 沸溢性的油品储罐不应与非沸溢性油品储罐布置在同一防火堤内，单独成组布置的泄压罐除外；

**3** 常压油品储罐不应与液化石油气、液化天然气、天然气凝液储罐布置在同一防火堤内；

**4** 可燃液体的压力储罐可与液化烃的全压力储罐布置在同一防火堤内；

**5** 可燃液体的低压储罐可与常压储罐布置在同一防火堤内；

**6** 地上立式油罐、高位罐、卧式罐不宜布置在同一防火堤内；

**7** 储存Ⅰ级和Ⅱ级毒性液体的储罐不应与其他易燃和可燃液体储罐布置在同一防火堤内。

**3.2.2** 同一防火堤内油罐总容量及油罐数量应符合下列规定：

**1** 固定顶油罐及固定顶油罐与浮顶、内浮顶油罐混合布置，其总容量不应大于120000m<sup>3</sup>，其中浮顶、内浮顶油罐的容积可折半计算；

**2** 钢浮盘内浮顶油罐总容量不应大于360000m<sup>3</sup>，易熔材料浮盘内浮顶油罐总容量不应大于240000m<sup>3</sup>；

**3** 外浮顶油罐总容量不应大于600000m<sup>3</sup>；

**4** 单罐容量大于或等于  $1000m^3$  时油罐数量不应多于 12 座，单罐容量小于  $1000m^3$  或仅储存丙<sub>B</sub>类油品时油罐数量可不限；

**5** 油罐不应超过 2 排，但单罐容量小于  $1000m^3$  的储存丙<sub>B</sub>类油品的油罐不应超过 4 排，润滑油罐的单罐容积和排数可不限。

**3.2.3** 立式油罐的罐壁至防火堤内堤脚线的距离，不应小于罐壁高度的一半；卧式油罐的罐壁至防火堤内堤脚线的距离不应小于 3m；建在山边的油罐，靠山的一面，罐壁至挖坡坡脚线距离不应小于 3m。

**3.2.4** 相邻油罐组防火堤外堤脚线之间应有消防道路或留有宽度不小于 7m 的消防空地。

**3.2.5** 油罐组防火堤内有效容积不应小于油罐组内一个最大油罐的公称容量。

**3.2.6** 油罐组防火堤顶面应比计算液面高出 0.2m。立式油罐组的防火堤高于堤内设计地坪不应小于 1.0m，高于堤外设计地坪或消防道路路面（按较低者计）不应大于 3.2m。卧式油罐组的防火堤高于堤内设计地坪不应小于 0.5m。

**3.2.7** 油罐组防火堤有效容积应按下式计算：

$$V = AH_j - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \quad (3.2.7)$$

式中： $V$ ——防火堤有效容积( $m^3$ )；

$A$ ——由防火堤中心线围成的水平投影面积( $m^2$ )；

$H_j$ ——设计液面高度(m)；

$V_1$ ——防火堤内设计液面高度内的一个最大油罐的基础露出地面的体积( $m^3$ )；

$V_2$ ——防火堤内除一个最大油罐以外的其他油罐在防火堤设计液面高度内的体积和油罐基础露出地面的体积之和( $m^3$ )；

$V_3$ ——防火堤中心线以内设计液面高度内的防火堤体积和内培土体积之和( $m^3$ )；

$V_4$ ——防火堤内设计液面高度内的隔堤、配管、设备及其他

构筑物体积之和( $m^3$ )。

**3.2.8** 防火堤内的地面设计应符合下列规定：

- 1 防火堤内地面应坡向排水沟和排水出口,坡度宜为 0.5%;
- 2 防火堤内地面宜铺设碎石或种植高度不超过 150mm 的常绿草皮;
- 3 防火堤内地面应设置巡检道;
- 4 当油罐泄漏物有可能污染地下水或附近环境时,堤内地面应采取防渗漏措施。

**3.2.9** 防火堤内排水设施的设置应符合下列规定：

- 1 防火堤内应设置集水设施,连接集水设施的雨水排放管道应从防火堤内设计地面以下通出堤外,并应采取安全可靠的截油排水措施;

2 在年累积降雨量不大于 200mm 或降雨在 24h 内可渗完,且不存在环境污染的可能时,可不设雨水排除设施。

**3.2.10** 油罐组防火堤内设计地面宜低于堤外消防道路路面或地面。

**3.2.11** 油罐组内的单罐容量大于或等于  $50000m^3$  时,宜设置进出罐组的越堤车行通道。该道路可为单车道,应从防火堤顶部通过,弯道纵坡不宜大于 10%、直道纵坡不宜大于 12%。

**3.2.12** 油罐组内隔堤的布置应符合下列规定：

- 1 单罐容量小于  $5000m^3$  时,隔堤内油罐数量不应多于 6 座;
- 2 单罐容量等于或大于  $5000m^3$  且小于  $20000m^3$  时,隔堤内油罐数量不应多于 4 座;
- 3 单罐容量等于或大于  $20000m^3$  且小于  $50000m^3$  时,隔堤内油罐数量不应多于 2 座;
- 4 单罐容量等于或大于  $50000m^3$  时,隔堤内油罐数量不应多于 1 座;
- 5 沸溢性油品油罐,隔堤内储罐数量不应多于 2 座;
- 6 非沸溢性丙<sub>B</sub>类油品油罐,隔堤内储罐数量可不受以上限

制，并可根据具体情况进行设置；

7 立式油罐组内隔堤高度宜为0.5m~0.8m，卧式油罐组内隔堤高度宜为0.3m。

### 3.3 液化石油气、天然气凝液、液化天然气及其他 储罐组防火堤、防护墙的布置

3.3.1 防火堤、防护墙的设计高度，应符合下列规定：

1 全冷冻式液化石油气、天然气凝液及液化天然气单防罐储罐组的防火堤高度应符合下列规定：

- 1) 防火堤内的有效容积应容纳储罐组内一个最大罐的容量；
- 2) 防火堤高度应比设计液面高度高出0.2m。

2 全压力式或半冷冻式液化石油气、天然气凝液储罐组的防护墙高度宜为0.6m，隔墙高度宜为0.3m。

3.3.2 全冷冻式液化石油气、天然气凝液及液化天然气单防罐储罐壁至防火堤内堤脚线的距离，不应小于储罐最高液位高度与防火堤高度之差加上液面上气相当量压头之和；当防火堤高度大于或等于储罐最高液位高度时距离可不限。全压力式或半冷冻式液化烃储罐罐壁到防护墙的距离不应小于3m。

3.3.3 相邻液化石油气、天然气凝液及液化天然气单防罐储罐组的防火堤之间，应设消防道路。

3.3.4 同一防火堤、防护墙内储罐总容量及储罐数量应符合下列规定：

1 全压力式或半冷冻式储罐数量不应多于12座且不应超过2排，沸点低于45℃甲<sub>B</sub>类液体压力储罐总容积不宜大于60000m<sup>3</sup>；

2 全冷冻式储罐总容量不应超过200000m<sup>3</sup>，储罐数量不宜多于2座。

3.3.5 防火堤、防护墙内的地面设计应符合下列规定：

**1** 防火堤和防护墙内应采用现浇混凝土地面，并宜设置不小于 0.5% 的坡度坡向排水沟和排水口；

**2** 储存酸、碱等腐蚀性介质的储罐组内的地面应做防腐蚀处理。

**3.3.6** 防火堤、防护墙内场地应设置集水设施，并应设置可控制开闭的排水设施。

**3.3.7** 储罐组内的隔堤、隔墙的设置应符合下列规定：

**1** 全压力式储罐组总容积大于  $8000m^3$  时应设隔墙，隔墙内各储罐容积之和不应大于  $8000m^3$ ，当单罐容量大于或等于  $5000m^3$  时应每罐一隔；

**2** 全冷冻式单防罐组应每罐设置一隔堤；

**3** 沸点低于  $45^\circ C$  的甲<sub>B</sub>类液体压力储罐隔堤内总容积不宜大于  $8000m^3$ ，单罐容积大于或等于  $5000m^3$  时应每罐一隔。

## 4 防火堤的选型与构造

### 4.1 选型

4.1.1 防火堤的选型宜符合下列规定：

- 1 防火堤宜选用土筑防火堤，也可采用钢筋混凝土防火堤、砌体防火堤、夹芯式防火堤，不宜采用浆砌毛石防火堤；
- 2 在用地紧张和抗震设防烈度8度及以上地区宜选用钢筋混凝土防火堤。

4.1.2 防护墙宜采用砌体结构。

### 4.2 构造

4.2.1 防火堤、防护墙的基础埋置深度应根据工程地质、冻土深度和稳定性计算等因素确定，且不宜小于0.5m。

4.2.2 储存酸、碱等腐蚀性介质的储罐组，防火堤堤身内侧应做防腐蚀处理。全冷冻式储罐组的防火堤，应采取防冷冻的措施。

4.2.3 采用浆砌毛石防火堤时，应做内培土。

4.2.4 防火堤、防护墙、隔堤及隔墙的伸缩缝应根据建筑材料、气候特点和地质条件变化情况进行设置，并应符合下列规定：

1 伸缩缝的设置应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《砌体结构设计规范》GB 50003的规定；

- 2 伸缩缝不应设在交叉处或转角处；
- 3 伸缩缝缝宽宜为30mm~50mm；
- 4 伸缩缝应采用非燃烧的柔性材料填充或采取其他可靠的构造措施。

4.2.5 防火堤内侧培土应符合下列规定：

- 1 防火堤内侧培土高度应与堤同高，培土顶面宽度不应小于

300mm。

**2** 培土应分层压实,坡面应拍实,压实系数不宜小于 0.90。

**3** 培土表面应做面层,面层应能有效地防止雨水冲刷、杂草生长和小动物破坏。面层可采用砖或预制混凝土块铺砌,砂浆灌缝,在四季常青地区,可用高度不超过 150mm 的人工草皮做面层。

#### **4.2.6** 土筑防火堤的构造应符合下列规定:

**1** 筑堤材料应为黏性土;

**2** 堤顶宽度不应小于 500mm;

**3** 筑堤土应分层夯实,坡面应拍实,压实系数不应小于 0.94;

**4** 土筑防火堤应设面层,并应符合本条第 3 款的规定。

#### **4.2.7** 钢筋混凝土防火堤的构造应符合下列规定:

**1** 堤身及基础底板的厚度应由强度及稳定性计算确定且不应小于 250mm;

**2** 受力钢筋应由强度计算确定并满足下列要求:

**1)** 钢筋混凝土防火堤应双向双面配筋;竖向钢筋直径不宜小于 12mm,水平钢筋直径不宜小于 10mm;钢筋间距不宜大于 200mm。

**2)** 钢筋的保护层厚度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行;基础底板受力钢筋的保护层厚度当有垫层时,不应小于 40mm,无垫层时,不应小于 70mm。

**3)** 堤身的最小配筋率和耐久性要求应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

#### **4.2.8** 砖、砌块防火堤的构造应符合下列规定:

**1** 防火堤堤身厚度应根据强度及稳定性计算确定,且不应小于 300mm。

**2** 普通砖和多孔砖的强度等级不应低于 MU10,其砌筑砂浆强度等级不应低于 M5,混凝土多孔砖的砌筑砂浆强度等级不应

低于 Mb5；混凝土小型空心砌块的强度等级不应低于 MU7.5，其砌筑砂浆强度等级不应低于 Mb7.5；基础为毛石砌体时，毛石强度等级不应低于 MU30；浆砌应饱满密实并不得采用空心砖砌体。

**3** 堤顶应做现浇钢筋混凝土压顶，压顶在变形缝处应断开。

**4** 抗震设防烈度大于或等于 6 度的地区或地质条件复杂、地基沉降差异较大的地区宜采取加强整体性的结构措施。

**5** 夹芯式砖砌防火堤应符合下列构造要求：

1)两侧砖墙厚度不宜小于 240mm；

2)沿堤长每隔 1.5m~2.0m 宜设不小于 200mm 厚拉结墙与两侧墙咬槎砌筑；

3)中间应填 300mm~500mm 厚度的黏土，且应分层夯实，压实系数不宜小于 0.90；

4)堤顶应做现浇钢筋混凝土压顶，压顶在变形缝处应断开。

**6** 砌体防火堤的耐久性要求应符合现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定。

**4.2.9** 浆砌毛石防火堤的构造应符合下列规定：

**1** 堤身及基础最小厚度应根据强度及稳定性计算确定且不应小于 500mm，基础构造应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定；

**2** 毛石强度等级不应低于 MU30，砂浆强度等级不宜低于 M10，浆砌应饱满密实；

**3** 堤顶应做现浇钢筋混凝土压顶，压顶在变形缝处应断开；

**4** 堤身应做 1:1 水泥砂浆勾缝。

**4.2.10** 防护墙、隔堤、隔墙的构造应符合下列规定：

**1** 砌体防护墙、隔堤、隔墙厚度不宜小于 200mm，应双面抹水泥砂浆，顶部宜设钢筋混凝土压顶，压顶在变形缝处应断开；

**2** 毛石防护墙、隔堤、隔墙厚度不宜小于 400mm，应双面水泥砂浆勾缝，顶部宜设钢筋混凝土压顶，压顶在变形缝处应断开。

## 5 防火堤的强度计算及稳定性验算

### 5.1 荷载效应和地震作用效应的组合

**5.1.1** 防火堤设计应按承载能力极限状态进行堤内满液工况荷载效应的基本组合计算。在 7 度及 7 度以上地区,应进行地震作用效应和其他荷载效应的基本组合计算。

**5.1.2** 进行堤内满液工况荷载效应基本组合计算时,荷载效应基本组合的设计值应按下式计算:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Y S_{Yk} + \gamma_T S_{Tk} \quad (5.1.2)$$

式中:  $S$ ——荷载效应组合的设计值;

$\gamma_G$ 、 $\gamma_Y$ 、 $\gamma_T$ ——分别为堤身自重荷载、静液压力、静土压力荷载分项系数,取值按表 5.1.4 确定;

$S_{Gk}$ ——按堤身自重荷载标准值计算的效应值;

$S_{Yk}$ ——按静液压力荷载标准值计算的效应值;

$S_{Tk}$ ——按静土压力荷载标准值计算的效应值。

**5.1.3** 地震作用效应和其他荷载效应的基本组合计算时,荷载效应和地震作用效应组合的设计值应按下式计算:

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_Y S_{GY} + \gamma_T S_{GT} + \Psi \gamma_{Eh} \sum_{i=1}^n (S_{EGk} + S_{EYk} + S_{ETk}) \quad (5.1.3)$$

式中: $\gamma_G$ 、 $\gamma_Y$ 、 $\gamma_T$ ——分别为堤身自重荷载、静液压力、静土压力荷载分项系数,取值按表 5.1.4 确定;

$\gamma_{Eh}$ ——水平地震作用分项系数,取值按表 5.1.4 确定;

$S_{GE}$ ——按堤身自重荷载代表值计算的效应值;

$S_{GY}$ ——按静液压力荷载代表值计算的效应值;

$S_{GT}$ ——按静土压力荷载代表值计算的效应值;

$S_{EGk}$ 、 $S_{EYk}$ 、 $S_{ETk}$ ——分别为按堤身水平地震作用标准值、水平动液压力标准值和水平动土压力标准值计算的效应值；

$\Psi$ ——组合值系数，可取 0.6。

**5.1.4** 荷载效应和地震作用效应基本组合的分项系数应符合下列规定：

1 截面强度计算时，分项系数应按表 5.1.4 采用，当结构自重荷载效应对结构承载力有利时， $\gamma_G$  取 1.0；

2 进行稳定性验算时，各分项系数均取 1.0。

**表 5.1.4** 荷载效应和地震作用效应基本组合的分项系数

所考虑的组合	$\gamma_G$	$\gamma_Y$	$\gamma_T$	$\gamma_{Eh}$
堤内满液工况荷载效应基本组合	1.2	1.0	1.2	—
地震作用和其他荷载效应基本组合	1.2	1.0	1.2	1.3

注：表中“—”号表示组合中不考虑该项荷载或作用效应。

## 5.2 荷载、地震作用及内力计算

**5.2.1** 自重荷载标准值可按下式计算：

$$G_{1k} = \gamma B_1 H_1 \quad (5.2.1)$$

式中： $G_{1k}$ ——每米堤长计算截面以上堤身自重荷载标准值(kN/m)；

$H_1$ ——计算截面至堤顶面的距离(m)；

$B_1$ ——计算截面以上堤身的平均厚度(m)；

$\gamma$ ——材质重度(kN/m<sup>3</sup>)。

**5.2.2** 防火堤内侧所受的静液压力荷载标准值(图 5.2.2)可按下列公式计算：

$$P_{Yk} = \gamma_y Z \quad (5.2.2-1)$$

$$P_{Yk} = \frac{1}{2} \gamma_y H_Y^2 \quad (5.2.2-2)$$

$$M_{Yk} = P_{Yk} H_0 \quad (5.2.2-3)$$

$$H_0 = \frac{1}{3} H_Y \quad (5.2.2-4)$$

式中： $p_{Yk}$ ——每米堤长静液压力沿液体深度分布的水平荷载标准值( $\text{kN}/\text{m}^2$ )；  
 $\gamma_y$ ——堤内液体重度，取  $10\text{kN}/\text{m}^3$ ；  
 $Z$ ——液体深度(米)；  
 $P_{Yk}$ ——计算截面以上每米堤长静液压力合力标准值( $\text{kN}/\text{m}$ )；  
 $H_Y$ ——计算截面至液面距离(米)；  
 $M_{Yk}$ ——计算截面以上每米堤长静液压力合力对计算截面的弯矩标准值( $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$ )；  
 $H_0$ ——计算截面以上每米堤长静液压力合力位置至计算截面的距离(米)。

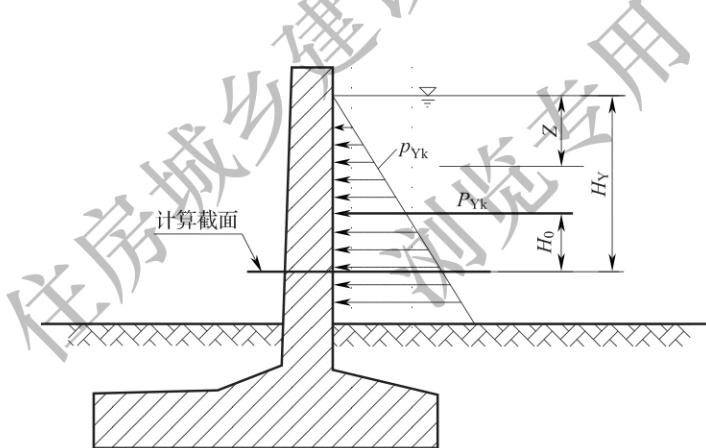


图 5.2.2 静液压力计算示意图

**5.2.3** 防火堤内培土的静土压力荷载标准值(图 5.2.3)可按下列要求计算：

1 图 5.2.3 中的折线 AFD 为土压力分布曲线，F 为转折点，其压力分布可按下列公式计算：

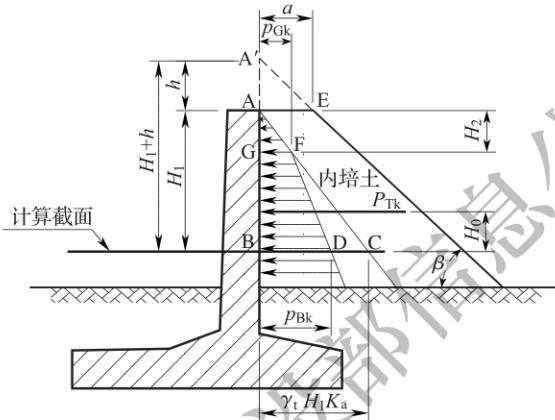


图 5.2.3 内培土压力计算示意图

$$p_{Ak} = 0 \quad (5.2.3-1)$$

$$p_{Gk} = \gamma_t H_2 K_a \quad (5.2.3-2)$$

$$H_2 = \frac{K'_a h}{K_a - K'_a} \quad (5.2.3-3)$$

$$h = a \tan \beta \quad (5.2.3-4)$$

$$\text{当 } H_1 < H_2 \text{ 时, } p_{Bk} = \gamma_t H_1 K_a \quad (5.2.3-5)$$

$$\text{当 } H_1 \geq H_2 \text{ 时, } p_{Bk} = \gamma_t (H_1 + h) K'_a \quad (5.2.3-6)$$

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (5.2.3-7)$$

$$K'_a = \frac{\cos^2 \phi}{\left( 1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \sin(\phi + \beta)}{\cos \beta}} \right)^2} \quad (5.2.3-8)$$

式中:  $p_{Ak}$ 、 $p_{Bk}$ ——分别为堤顶和计算截面处每米堤长静土压力分布荷载标准值( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$p_{Gk}$ ——土压力分布曲线转折处的每米堤长静土压力分布荷载标准值( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$h$ ——培土坡线与堤背延长线的交点  $A'$  至堤顶的距离(m);

- $a$ ——培土顶面宽度(m)；  
 $H_1$ ——计算截面以上培土高度(m)；  
 $H_2$ ——压力分布曲线转折点至堤顶的距离(m)；  
 $\beta$ ——培土坡面与水平面的夹角(°)；  
 $\gamma_t$ ——土体重度,可取  $16\text{kN/m}^3 \sim 18\text{kN/m}^3$ ；  
 $K_a$ ——以 AB 为光滑堤背而填土面为水平时的主动土压力系数,可按式(5.2.3-7)计算或按本规范附录 A 表 A.0.1 确定；  
 $K'_a$ ——以 A'B 为假想堤背而培土坡面与水平成  $\beta$  角时的主动土压力系数可按式(5.2.3-8)计算或按本规范附录 A 表 A.0.2 确定；  
 $\phi$ ——培土的内摩擦角(°),当无实验资料时,可根据土的性质取  $35^\circ \sim 40^\circ$ 。

2 当  $H_1 < H_2$  时,土压力合力及弯矩可按下列公式计算:

$$P_{Tk} = \frac{1}{2} p_{Bk} H_1 \quad (5.2.3-9)$$

$$M_{Tk} = P_{Tk} H_0 \quad (5.2.3-10)$$

$$H_0 = \frac{1}{3} H_1 \quad (5.2.3-11)$$

式中: $P_{Tk}$ ——计算截面以上每米堤长静土压力合力标准值( $\text{kN/m}$ )；  
 $M_{Tk}$ ——计算截面以上每米堤长静土压力合力对计算截面的弯矩标准值( $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$ )；  
 $H_0$ ——计算截面以上每米堤长静土压力合力作用位置至计算截面的距离(m)。

3 当  $H_1 \geq H_2$  时,土压力合力及弯矩可按下列公式计算:

$$P_{Tk} = \frac{1}{2} p_{Gk} H_1 + \frac{1}{2} p_{Bk} (H_1 - H_2) \quad (5.2.3-12)$$

$$M_{Tk} = P_{Tk} H_0 \quad (5.2.3-13)$$

$$H_0 = \frac{p_{Gk} H_1 (2H_1 - H_2) + p_{Bk} (H_1 - H_2)^2}{3 [p_{Gk} H_1 + p_{Bk} (H_1 - H_2)]} \quad (5.2.3-14)$$

#### 5.2.4 防火堤受到的水平地震作用的计算应符合下列规定：

1 钢筋混凝土防火堤的水平地震作用(图 5.2.4-1)标准值可按下列公式计算：

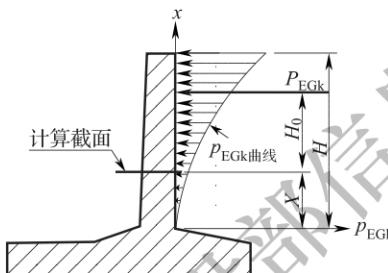


图 5.2.4-1 钢筋混凝土防火堤水平地震作用计算示意图

$$p_{EGk} = \eta_1 \alpha_{max} \gamma B_1 \left( 1 - \cos \frac{\pi x}{2H} \right) \quad (5.2.4-1)$$

$$P_{EGk} = \eta_1 \alpha_{max} \alpha_1 \gamma B_1 H \quad (5.2.4-2)$$

$$M_{EGk} = P_{EGk} H_0 \quad (5.2.4-3)$$

$$H_0 = \alpha_2 H \quad (5.2.4-4)$$

式中： $p_{EGk}$ ——每米堤长水平地震作用分布值( $\text{kN}/\text{m}^2$ )；

$P_{EGk}$ ——计算截面以上每米堤长水平地震作用合力标准值( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$M_{EGk}$ ——计算截面以上每米堤长水平地震作用合力对计算截面的弯矩标准值( $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$ )；

$\alpha_{max}$ ——水平地震影响系数最大值，当设防烈度为 7 度、8 度和 9 度时分别取 0.08(0.12)、0.16(0.24) 和 0.32，括号内数值分别用于设计基本地震加速度为  $0.15g$  和  $0.30g$  的地区；

$\eta_1$ ——钢筋混凝土防火堤基本振型参与系数，取 1.6；

$X$ ——计算截面至基础顶面的距离(m)；

$\alpha_1, \alpha_2$ ——根据  $X/H$  值求得的相应系数，按表 5.2.4 确定；

$H_0$ ——计算截面以上每米堤长水平地震作用合力作用点

至计算截面的距离(m)；

$H$ ——基础顶面至堤顶的高度(m)；

$B_1$ ——计算截面以上堤身平均厚度(m)。

2 砖、砌块及毛石防火堤的水平地震作用(图 5.2.4-2)可按下列公式计算：

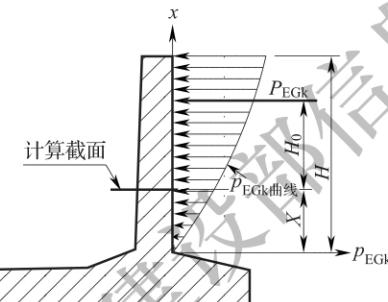


图 5.2.4-2 砖、砌块及毛石防火堤水平地震作用计算示意图

$$p_{EGk} = \eta_2 \alpha_{max} \gamma B_1 \sin \frac{\pi x}{2H} \quad (5.2.4-5)$$

$$P_{EGk} = \eta_2 \alpha_{max} \alpha_3 \gamma B_1 H \quad (5.2.4-6)$$

$$M_{EGk} = P_{EGk} H_0 \quad (5.2.4-7)$$

$$H_0 = \alpha_1 H \quad (5.2.4-8)$$

式中： $\eta_2$ ——砖、砌块及毛石防火堤基本振型参与系数，取 1.27；

$\alpha_3$ 、 $\alpha_4$ ——根据  $X/H$  比值求得的相应系数，按表 5.2.4 确定。

表 5.2.4 系数  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\alpha_4$  数值表

$X/H$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$X/H$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
0.00	0.3634	0.7393	0.6366	0.6878	0.30	0.3524	0.4554	0.5672	0.3902
0.05	0.3633	0.6895	0.6347	0.5885	0.35	0.3460	0.4133	0.5428	0.3566
0.10	0.3630	0.6394	0.6288	0.5437	0.40	0.3376	0.3729	0.5150	0.3245
0.15	0.3620	0.5917	0.6190	0.5019	0.45	0.3268	0.3345	0.4841	0.2935
0.20	0.3601	0.5447	0.6055	0.4625	0.50	0.3135	0.3591	0.4502	0.2636
0.25	0.3570	0.4992	0.5882	0.4253	0.55	0.2975	0.2621	0.4135	0.2348

续表 5.2.4

$X/H$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$X/H$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
0.60	0.2784	0.2284	0.3742	0.2069	0.80	0.1688	0.1063	0.1967	0.1010
0.65	0.2562	0.1959	0.3326	0.1797	0.85	0.1324	0.0784	0.1486	0.0755
0.70	0.2306	0.1649	0.2890	0.1529	0.90	0.0922	0.0510	0.0996	0.0500
0.75	0.2015	0.1351	0.2436	0.1268	0.95	0.0480	0.0261	—	—

5.2.5 地震作用时,防火堤内水平动液压力标准值(图 5.2.5)可按下列公式计算:

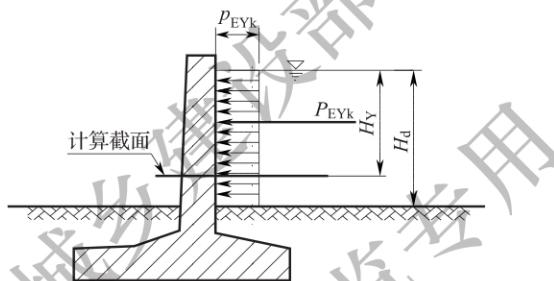


图 5.2.5 水平动液压力计算示意图

$$P_{EYk} = 1.25\alpha_{max}\gamma_y H_d f_d \quad (5.2.5-1)$$

$$P_{EYk} = p_{EYk} H_Y \quad (5.2.5-2)$$

$$M_{EYk} = \frac{1}{2} P_{EYk} H_Y^2 \quad (5.2.5-3)$$

式中:  $p_{EYk}$  ——每米堤长水平动液压力标准值( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$f_d$  ——水平动液压力系数,取 0.35;

$H_d$  ——液体深度( $\text{m}$ );

$P_{EYk}$  ——计算截面以上每米堤长水平动液压力合力标准值( $\text{kN}/\text{m}$ );

$M_{EYk}$  ——计算截面以上每米堤长水平动液压力合力对计算截面的弯矩标准值( $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$ );

$H_Y$  ——计算截面至液面的距离( $\text{m}$ )。

**5.2.6** 地震作用时,防火堤培土的水平动土压力标准值可按下列公式计算:

$$P_{ETk} = 1.25\alpha_{max} P_{Tk} \tan\phi \quad (5.2.6-1)$$

$$M_{ETk} = 0.4H_T P_{ETk} \quad (5.2.6-2)$$

式中: $P_{ETk}$ ——计算截面以上每米堤长水平动土压力合力标准值(kN/m);

$M_{ETk}$ ——计算截面以上每米堤长水平动土压力合力对计算截面的弯矩标准值(kN·m/m);

$P_{Tk}$ ——土压力合力标准值(kN/m),可按本规范式(5.2.3-9)或(5.2.3-12)计算确定;

$H_T$ ——计算截面以上培土高度(m)。

### 5.3 强度计算

**5.3.1** 防火堤应进行截面强度计算。

**5.3.2** 防火堤截面强度计算应符合下列规定:

1 防火堤截面强度应符合下式要求:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.3.2-1)$$

式中: $\gamma_0$ ——结构重要性系数,取1.0;

$S$ ——荷载效应组合设计值,按本规范式5.1.2计算;

$R$ ——防火堤抗力设计值,按各现行有关规范确定。

2 防火堤截面抗震强度验算应符合下式要求:

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (5.3.2-2)$$

式中: $\gamma_{RE}$ ——防火堤承载能力抗震调整系数,对于钢筋混凝土防火堤,取0.85;对于其他防火堤,取1.0;

$S$ ——荷载效应组合设计值,按本规范式5.1.3计算。

**5.3.3** 基础强度和地基承载力计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。

### 5.4 稳定性验算

**5.4.1** 防火堤的稳定性验算应包括抗滑验算和抗倾覆验算。

#### 5.4.2 防火堤抗滑验算应符合下列规定：

##### 1 防火堤抗滑验算应符合按下式要求：

$$(R_H + P_P) / P \geq 1.3 \quad (5.4.2-1)$$

式中： $P$ ——防火堤每米堤长所承受的总水平荷载设计值(kN/m)，

按式 5.1.2 和式 5.1.3 计算确定；

$R_H$ ——每米堤长基础底面摩擦阻力设计值(kN/m)，按式 5.4.2-2 计算确定；

$P_P$ ——每米堤长被动土压力设计值(kN/m)，按式 5.4.2-3 计算确定。

##### 2 基础底面摩擦阻力设计值可按下式计算：

$$R_H = \mu G \quad (5.4.2-2)$$

式中： $G$ ——每米堤长自重及覆土传至基础底面的垂直荷载合力设计值(kN/m)；

$\mu$ ——基础与地基之间的摩擦系数，应根据试验资料取值；当无试验资料时按附录 B 取值。

##### 3 被动土压力设计值可按下列公式计算：

$$P_P = \frac{1}{2} \eta \gamma_i d^2 K_P + 2 \eta C d \sqrt{K_P} \quad (5.4.2-3)$$

$$K_P = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (5.4.2-4)$$

式中： $\eta$ ——被动土压力折减系数，取 0.3；

$d$ ——基础埋置深度(m)；

$K_P$ ——被动土压力系数，按式(5.4.2-4)计算或按本规范附录 A 表 A.0.3 确定；

$C$ ——黏性地基土的黏结力(kN/m<sup>2</sup>)；

$\phi$ ——地基土的内摩擦角(°)。

#### 5.4.3 防火堤抗倾覆验算(图 5.4.3)应符合下列规定：

##### 1 防火堤抗倾覆验算应符合下式要求：

$$M_w / M \geq 1.6 \quad (5.4.3-1)$$

式中： $M$ ——各倾覆力矩换算至基础底面并按 5.1.2 条和 5.1.3 条

进行组合后的每米堤长总力矩设计值(kN·m/m)；

$M_w$ ——每米堤长垂直荷载合力产生的稳定力矩设计值(kN·m/m)，按式(5.4.3-2)计算。

## 2 稳定力矩设计值可按下式计算：

$$M_w = eG \quad (5.4.3-2)$$

式中： $e$ ——垂直荷载合力作用线至基础前端的水平距离(m)。

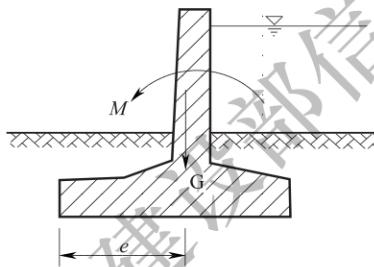


图 5.4.3 防火堤抗倾覆验算简图

## 附录 A 土压力系数表

**A. 0. 1** 主动土压力系数  $K_a$  可按表 A. 0. 1 确定。

**表 A. 0. 1 主动土压力系数  $K_a(\alpha=0; \delta=0)$**

$\phi(^{\circ})$	20	22	25	28	30	32	34
$K_a$	0.490	0.455	0.406	0.347	0.333	0.307	0.283
$\phi(^{\circ})$	36	38	40	42	45	48	50
$K_a$	0.260	0.238	0.217	0.198	0.172	0.147	0.132

**A. 0. 2** 主动土压力系数  $K'_a$  可按表 A. 0. 2 确定。

**表 A. 0. 2 主动土压力系数  $K'_a(\alpha=0; \delta=0)$**

内摩擦角 $\phi(^{\circ})$	培土坡度 $\beta(^{\circ})$			
	30	35	40	45
22	0.343	0.328	0.313	0.298
25	0.308	0.295	0.282	0.268
28	0.276	0.265	0.253	0.241
30	0.257	0.247	0.236	0.225
32	0.239	0.229	0.219	0.209
34	0.221	0.213	0.204	0.194
36	0.205	0.197	0.189	0.180
38	0.189	0.182	0.174	0.167
40	0.174	0.168	0.161	0.154
42	0.160	0.154	0.148	0.151
45	0.140	0.135	0.130	0.125
48	0.122	0.118	0.114	0.109

**A. 0.3** 被动土压力系数  $K_P$  可按表 A. 0.3 确定。

**表 A. 0.3 被动土压力系数  $K_P$**

$\phi(^{\circ})$	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
$K_P$	2.20	2.37	2.56	2.77	3.00	3.25	3.54	3.85	4.20	4.60	5.04

## 附录 B 防火堤基底的摩擦系数

表 B 土对防火堤基底的摩擦系数  $\mu$

土 的 类 别		摩擦系数 $\mu$
黏性土	可塑	0.25~0.30
	硬塑	0.30~0.35
	坚硬	0.35~0.45
粉土		0.30~0.40
中砂、粗砂、砾砂		0.40~0.50
碎石土		0.40~0.60
软质岩		0.40~0.60
表面粗糙的硬质岩		0.65~0.75

注:1 对易风化的软质岩和塑性指数  $I_p > 22$  黏性土,  $\mu$  值应经试验确定;

2 对碎石土,可根据其密实度、填充物状况、风化程度等确定。

## 本规范用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

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

## 引用标准名录

- 《砌体结构设计规范》GB 50003
- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《石油库设计规范》GB 50074
- 《石油化工企业设计防火规范》GB 50160
- 《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183
- 《石油储备库设计规范》GB 50737

住房城乡建设部信息公开  
浏览专用