

ICS 75.010

P 71

备案号: 53456—2016

**SY**

中华人民共和国石油天然气行业标准

**P**

**SY/T 7040—2016**

---

# 油气输送管道工程地质灾害 防治设计规范

Code for design of prevention engineering  
for oil and gas transportation pipeline geological hazard

2016—01—07 发布

2016—06—01 实施

---

国家能源局 发布

中华人民共和国石油天然气行业标准

油气输送管道工程地质灾害  
防治设计规范

Code for design of prevention engineering  
for oil and gas transportation pipeline geological hazard

**SY/T 7040—2016**

主编部门：中国石油天然气集团公司

批准部门：国家能源局

石油工业出版社

2016 北 京

# 国家能源局 公 告

2016 年 第 1 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《核电厂常规岛及辅助配套设施建设施工技术规范 第5部分：水处理及制氢系统》等345项行业标准，其中能源标准（NB）54项、电力标准（DL）125项和石油天然气标准（SY）166项，现予以发布。

附件：行业标准目录（节选）

国家能源局  
2016 年 1 月 7 日

附件：

### 行业标准目录 (节选)

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                                                 | 代替标准         | 采用国际<br>国外标准 | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------|----------|
| 180 | SY 4201.1—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 设备安装工程 第1 SY 4201.1—2007<br>部分：机泵类 |              |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 181 | SY 4201.2—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 设备安装工程 第2 SY 4201.2—2007<br>部分：塔类  |              |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 182 | SY 4201.3—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 设备安装工程 第3 SY 4201.3—2007<br>部分：容器类 |              |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 183 | SY 4201.4—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 设备安装工程 第4 SY 4201.4—2007<br>部分：炉类  |              |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 184 | SY 4202—2016   | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 储罐工程                               | SY 4202—2007 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号         | 标准名称                        | 代替标准         | 采用国际<br>国外标准 | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|----------|----------|
| 185 | SY 4203—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 站内工艺管道工程  | SY 4203—2007 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 186 | SY 4204—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 油气田集输管道工程 | SY 4204—2007 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 187 | SY 4205—2016 | 石油天然气建设工程施工质量验收规范 自动化仪表工程   | SY 4205—2007 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 188 | SY 5436—2016 | 井筒作业用民用爆炸物品安全规范             | SY 5436—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 189 | SY 6279—2016 | 大型设备吊装安全规程                  | SY 6279—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 190 | SY 6303—2016 | 海洋石油设施热工（动火）作业安全规程          | SY 6303—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 191 | SY 6307—2016 | 浅海钻井安全规程                    | SY 6307—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 192 | SY 6320—2016 | 陆上油气田油气集输安全规程               | SY 6320—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 193 | SY 6321—2016 | 浅海采油与井下作业安全规程               | SY 6321—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 194 | SY 6345—2016 | 海洋石油作业人员安全资格                | SY 6345—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 195 | SY 6346—2016 | 浅海移动式平台拖带与系泊安全规范            | SY 6346—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                    | 代替标准           | 采用国际<br>国外标准 | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|-------------------------|----------------|--------------|----------|----------|
| 196 | SY 6353—2016   | 油气田变电站（所）安全管理<br>规程     | SY 6353—2008   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 197 | SY 6354—2016   | 稠油注汽热力开采安全技术规程          | SY 6354—2008   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 198 | SY 6360—2016   | 油田注聚合物、碱液、表面活性剂开采安全规程   | SY 6360—2008   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 199 | SY 6503—2016   | 石油天然气工程可燃气体检测报警系统安全规范   | SY 6503—2008   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 200 | SY 7028—2016   | 钻（修）井井架逃生装置安全<br>规范     |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 201 | SY/T 0088—2016 | 钢质储罐罐底外壁阴极保护技<br>术标准    | SY/T 0088—2006 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 202 | SY/T 0097—2016 | 油田采出水用于注汽锅炉给水<br>处理设计规范 | SY/T 0097—2000 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 203 | SY/T 0308—2016 | 滩海石油工程注水设计规范            | SY/T 0308—1996 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 204 | SY/T 0311—2016 | 滩海石油工程通信技术规范            | SY/T 0311—1996 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 205 | SY/T 0544—2016 | 石油钻杆内涂层技术条件             | SY/T 0544—2010 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 206 | SY/T 0605—2016 | 凝析气田地面工程设计规范            | SY/T 0605—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                        | 代替标准           | 采用国际<br>国外标准 | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|-----------------------------|----------------|--------------|----------|----------|
| 207 | SY/T 0609—2016 | 优质钢制对焊管件规范                  | SY/T 0609—2006 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 208 | SY/T 4130—2016 | 玻璃纤维增强热固性树脂现场<br>缠绕立式储罐施工规范 |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 209 | SY/T 5185—2016 | 砾石充填防砂水基携砂液性能<br>评价方法       | SY/T 5185—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 210 | SY/T 5250—2016 | 油田用背罐车                      | SY/T 5250—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 211 | SY/T 5252—2016 | 岩样的自然伽马能谱实验室测<br>量规范        | SY/T 5252—2002 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 212 | SY/T 5289—2016 | 油、气、水井压裂设计与施工<br>及效果评估方法    | SY/T 5289—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 213 | SY/T 5337—2016 | 砾石充填工具技术要求                  | SY/T 5337—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 214 | SY/T 5347—2016 | 钻井取心作业规程                    | SY/T 5347—2005 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 215 | SY/T 5395—2016 | 黏土阳离子交换容量及盐基分<br>量测定方法      | SY/T 5395—1991 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 216 | SY/T 5402—2016 | 原油水含量的测定 电脱法                | SY/T 5402—2008 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 217 | SY/T 5412—2016 | 下套管作业规程                     | SY/T 5412—2005 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号             | 标准名称                     | 代替标准                               | 采用国际<br>国外标准 | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------|----------|----------|
| 218 | SY/T 5416.1—2016 | 定向井测量仪器测量及检验<br>第1部分：随钻类 | SY/T 5416.1—2006                   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 219 | SY/T 5416.3—2016 | 定向井测量仪器测量及检验<br>第3部分：陀螺类 | SY/T 5416.3—2007                   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 220 | SY/T 5426—2016   | 石油天然气钻井工程 岩石可<br>钻性测定与分级 | SY/T 5426—2000                     |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 221 | SY/T 5490—2016   | 钻井液试验用土                  | SY/T 5444—1992<br>SY/T 5490—1993   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 222 | SY/T 5523—2016   | 油田水分析方法                  | SY/T 5523—2006                     |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 223 | SY/T 5533—2016   | 石油钻机用 DS 系列电磁涡流<br>刹车    | SY/T 5533—2002<br>SY/T 5716.7—1995 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 224 | SY/T 5536—2016   | 原油管道运行规范                 | SY/T 5536—2004<br>SY/T 5737—2004   |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 225 | SY/T 5552—2016   | 地锚车                      | SY/T 5552—2009                     |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 226 | SY/T 5562—2016   | 油气井用射孔枪                  | SY/T 5562—2000                     |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 227 | SY/T 5593—2016   | 井筒取心质量规范                 | SY/T 5593—1993                     |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 228 | SY/T 5618—2016   | 套管用浮箍、浮鞋                 | SY/T 5618—2009                     |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |



| 序号  | 标准编号             | 标准名称                       | 代替标准           | 采用国际<br>国外标准               | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------|----------|
| 229 | SY/T 5692—2016   | 电缆式地层测试器作业技术规范             | SY/T 5692—2008 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 230 | SY/T 5710—2016   | 地层测试工具性能检验技术规范             | SY/T 5710—2002 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 231 | SY/T 5711—2016   | 钻具螺纹镀铜和磷化技术条件              | SY/T 5711—1995 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 232 | SY/T 5715—2016   | 石油天然气工业用碳钢、合金钢、不锈钢和镍基合金铸件  | SY/T 5715—1995 | API Spec 20A;<br>2012, NEQ | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 233 | SY/T 5753—2016   | 油井酸化水井增注用表面活性剂性能评价方法       | SY/T 5753—1995 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 234 | SY/T 5754—2016   | 油田酸化互溶剂性能评价方法              | SY/T 5754—1995 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 235 | SY/T 5755—2016   | 压裂酸化用助排剂性能评价方法             | SY/T 5755—1995 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 236 | SY/T 5767—2016   | 原油管道添加降凝剂输送技术规范            | SY/T 5767—2005 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 237 | SY/T 5783.2—2016 | 注入、产出剖面测井资料处理与解释规范 第2部分：斜井 |                |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 238 | SY/T 5815—2016   | 岩石孔隙体积压缩系数测定方法             | SY/T 5815—2008 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 239 | SY/T 5829—2016   | 油气田开发井井号命名规则               | SY/T 5829—1993 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 240 | SY/T 5928—2016   | 地震勘探资料归档规范                 | SY/T 5928—2009 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                       | 代替标准                             | 采用国际<br>国外标准             | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------|----------|
| 241 | SY/T 5945—2016 | 测井解释报告编写规范                 | SY/T 5945—2004                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 242 | SY/T 5971—2016 | 油气田压裂酸化及注水用黏土<br>稳定剂性能评价方法 | SY/T 5971—1994<br>SY/T 5762—1995 |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 243 | SY/T 5978—2016 | 含油气盆地构造单元划分                | SY/T 5978—1994                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 244 | SY/T 5979—2016 | 石油天然气藏（田/区）命名<br>规范        | SY/T 5979—1994                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 245 | SY/T 5996—2016 | 水泥胶结组合仪                    | SY/T 5996—1994                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 246 | SY/T 6110—2016 | 气藏描述方法                     | SY/T 6110—2008                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 247 | SY/T 6113—2016 | 修井用气动卡盘                    | SY/T 6113—2008                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 248 | SY/T 6213—2016 | 酸化用氟硼酸                     | SY/T 5765—1995<br>SY/T 6213—1996 |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 249 | SY/T 6214—2016 | 稠化酸用稠化剂                    | SY/T 6214—1996<br>SY/T 5694—1995 |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 250 | SY/T 6240—2016 | 重晶石化学分析推荐作法                | SY/T 6240—2008                   | API RP 13K;<br>2011, MOD | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 251 | SY/T 6253—2016 | 水平井射孔作业技术规范                | SY/T 6253—2007                   |                          | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称              | 代替标准           | 采用国际<br>国外标准              | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|-------------------|----------------|---------------------------|----------|----------|
| 252 | SY/T 6284—2016 | 石油企业职业病危害因素监测技术规范 | SY/T 6284—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 253 | SY/T 6319—2016 | 防止静电、雷电和杂散电流引燃的措施 | SY/T 6319—2008 | API RP 2003;<br>2008, MOD | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 254 | SY/T 6373—2016 | 油气田电网经济运行规范       | SY/T 6373—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 255 | SY/T 6374—2016 | 机械采油系统经济运行规范      | SY/T 6374—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 256 | SY/T 6381—2016 | 石油工业用加热炉热工测定      | SY/T 6381—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 257 | SY/T 6382—2016 | 输油管道加热设备技术规范      | SY/T 6382—2009 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 258 | SY/T 6393—2016 | 输油管道工程设计节能技术规范    | SY/T 6393—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 259 | SY/T 6417—2016 | 套管、油管和钻杆使用性能      | SY/T 6417—2009 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 260 | SY/T 6420—2016 | 油田地面工程设计节能技术规范    | SY/T 6420—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 261 | SY/T 6422—2016 | 石油企业用节能产品节能效果测定   | SY/T 6422—2008 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 262 | SY/T 6464—2016 | 水平井完井工艺技术要求       | SY/T 6464—2010 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 263 | SY/T 6549—2016 | 复合射孔施工技术规范        | SY/T 6549—2003 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 264 | SY/T 6550—2016 | 地震勘探归档数据转储规范      | SY/T 6550—2003 |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号             | 标准名称                                      | 代替标准                             | 采用国际<br>国外标准               | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|----------|
| 265 | SY/T 6573—2016   | 最低混相压力实验测定方法<br>细管法                       | SY/T 6573—2003                   |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 266 | SY/T 6575—2016   | 油田提高采收率方法筛选技术<br>规范                       | SY/T 6575—2003                   |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 267 | SY/T 6578—2016   | 输油管道添加减阻剂输送技术<br>规范                       | SY/T 6578—2009                   |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 268 | SY/T 6593—2016   | 核磁共振成像测井仪刻度规范                             | SY/T 6593—2004                   |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 269 | SY/T 6617—2016   | 核磁共振测井资料处理及解释<br>规范                       | SY/T 6617—2005                   |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 270 | SY/T 6621—2016   | 输气管道系统完整性管理规范                             | SY/T 6621—2005                   | ASME B31. 8S;<br>2014, MOD | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 271 | SY/T 6662.7—2016 | 石油天然气工业用非金属复合<br>管 第7部分：热塑性塑料内<br>衬玻璃钢复合管 |                                  |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 272 | SY/T 6690—2016   | 井下作业井控技术规程                                | SY/T 6690—2008<br>SY/T 6120—2013 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 273 | SY/T 6707—2016   | 海洋井场调查规范                                  | SY/T 6707—2008                   |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号             | 标准名称                                    | 代替标准           | 采用国际<br>国外标准            | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|------------------|-----------------------------------------|----------------|-------------------------|----------|----------|
| 274 | SY/T 6722—2016   | 石油企业耗能用水统计指标与计算方法                       | SY/T 6722—2008 |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 275 | SY/T 6741—2016   | 石油专用计量器具校准方法编写规则                        | SY/T 6741—2008 |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 276 | SY/T 6755—2016   | 在役油气管道对接接头超声相控阵及多探头检测                   | SY/T 6755—2009 |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 277 | SY/T 6767—2016   | 石油企业余热资源量测试与计算规范                        | SY/T 6767—2009 |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 278 | SY/T 6858.5—2016 | 油井管无损检测方法 第5部分：超声测厚                     | SY/T 5447—1992 |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 279 | SY/T 6858.6—2016 | 油井管无损检测方法 第6部分：非铁磁体螺旋渗透检测               | SY/T 6508—2000 |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 280 | SY/T 6896.3—2016 | 石油天然气工业特种管材技术规范 第3部分：钛合金油管              | .              |                         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 281 | SY/T 6986.2—2016 | 液化天然气设备与安装 船用输送系统的设计与测试 第2部分：输送软管的设计与测试 |                | BS EN 1474-2: 2008, MOD | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号             | 标准名称                                        | 代替标准 | 采用国际<br>国外标准               | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|------------------|---------------------------------------------|------|----------------------------|----------|----------|
| 282 | SY/T 6986.3—2016 | 液化天然气设备与安装 船用<br>输送系统的设计与测试 第3<br>部分：海上输送系统 |      | BS EN 1474-3:<br>2008, MOD | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 283 | SY/T 7029—2016   | 液化天然气船对船输送作业指南                              |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 284 | SY/T 7030—2016   | 定向射孔作业技术规范                                  |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 285 | SY/T 7031—2016   | 油气储运术语                                      |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 286 | SY/T 7032—2016   | 输气管道添加减阻剂输送减阻<br>效果测试方法                     |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 287 | SY/T 7033—2016   | 钢质输气管道失效抢修技术规范                              |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 288 | SY/T 7034—2016   | 管道站场用天然气过滤器滤芯<br>性能试验方法                     |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 289 | SY/T 7035—2016   | 黄金管生烃热模拟实验方法                                |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 290 | SY/T 7036—2016   | 石油天然气站场管道及设备外<br>防腐层技术规范                    |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 291 | SY/T 7037—2016   | 油气输送管道监控与数据采集<br>(SCADA) 系统安全防护规范           |      | API Std 1164:<br>2009, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 292 | SY/T 7038—2016   | 油气田及管道专用道路设计规范                              |      |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                 | 代替标准 | 采用国际<br>国外标准                    | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|----------------------|------|---------------------------------|----------|----------|
| 293 | SY/T 7039—2016 | 油气厂站钢管架结构设计规范        |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 294 | SY/T 7040—2016 | 油气输送管道工程地质灾害防治设计规范   |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 295 | SY/T 7041—2016 | 钢管管道聚丙烯防腐层技术规范       |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 296 | SY/T 7042—2016 | 基于应变设计地区油气管道用直缝埋弧焊钢管 |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 297 | SY/T 7043—2016 | 石油天然气工业用高压玻璃钢管       |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 298 | SY/T 7044—2016 | 海底管道用大口径无缝钢管         |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 299 | SY/T 7045—2016 | 离心泵和回转泵轴封系统          |      | ANSI/API Std<br>682:2004, IDT   | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 300 | SY/T 7046—2016 | 制冷系统安全标准             |      | ANSI/ASHRAE<br>Std 15:2004, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 301 | SY/T 7047—2016 | 锚链规格书                |      | API Spec 2F:<br>1997, IDT       | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 302 | SY/T 7048—2016 | 海洋结构用钢板生产资格预评定推荐作法   |      | API RP 2Z:<br>2005, IDT         | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 303 | SY/T 7049—2016 | 滩海海底管道检验技术规范         |      |                                 | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                 | 代替标准 | 采用国际<br>国外标准              | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|----------------------|------|---------------------------|----------|----------|
| 304 | SY/T 7050—2016 | 滩海陆岸石油设施检验技术规范       |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 305 | SY/T 7051—2016 | 人工岛石油设施检验技术规范        |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 306 | SY/T 7052—2016 | 滩海漫水路及井场结构施工技术规范     |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 307 | SY/T 7053—2016 | 海底管道总体屈曲 高温/高压下的结构设计 |      | DNV RP F110;<br>2007, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 308 | SY/T 7054—2016 | 海底管道维修推荐作法           |      | DNV RP F113;<br>2007, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 309 | SY/T 7055—2016 | 水下分离器结构设计推荐做法        |      | DNV RP F301;<br>2007, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 310 | SY/T 7056—2016 | 海底管道自由悬跨             |      | DNV RP F105;<br>2006, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 311 | SY/T 7057—2016 | 动态立管                 |      | DNV OS F201;<br>2010, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 312 | SY/T 7058—2016 | 海底管道阀门规范             |      | API 6DSS; 2010,<br>IDT    | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 313 | SY/T 7059—2016 | 浮式生产系统和张力腿平台的立管设计    |      | API RP 2RD;<br>2006, IDT  | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

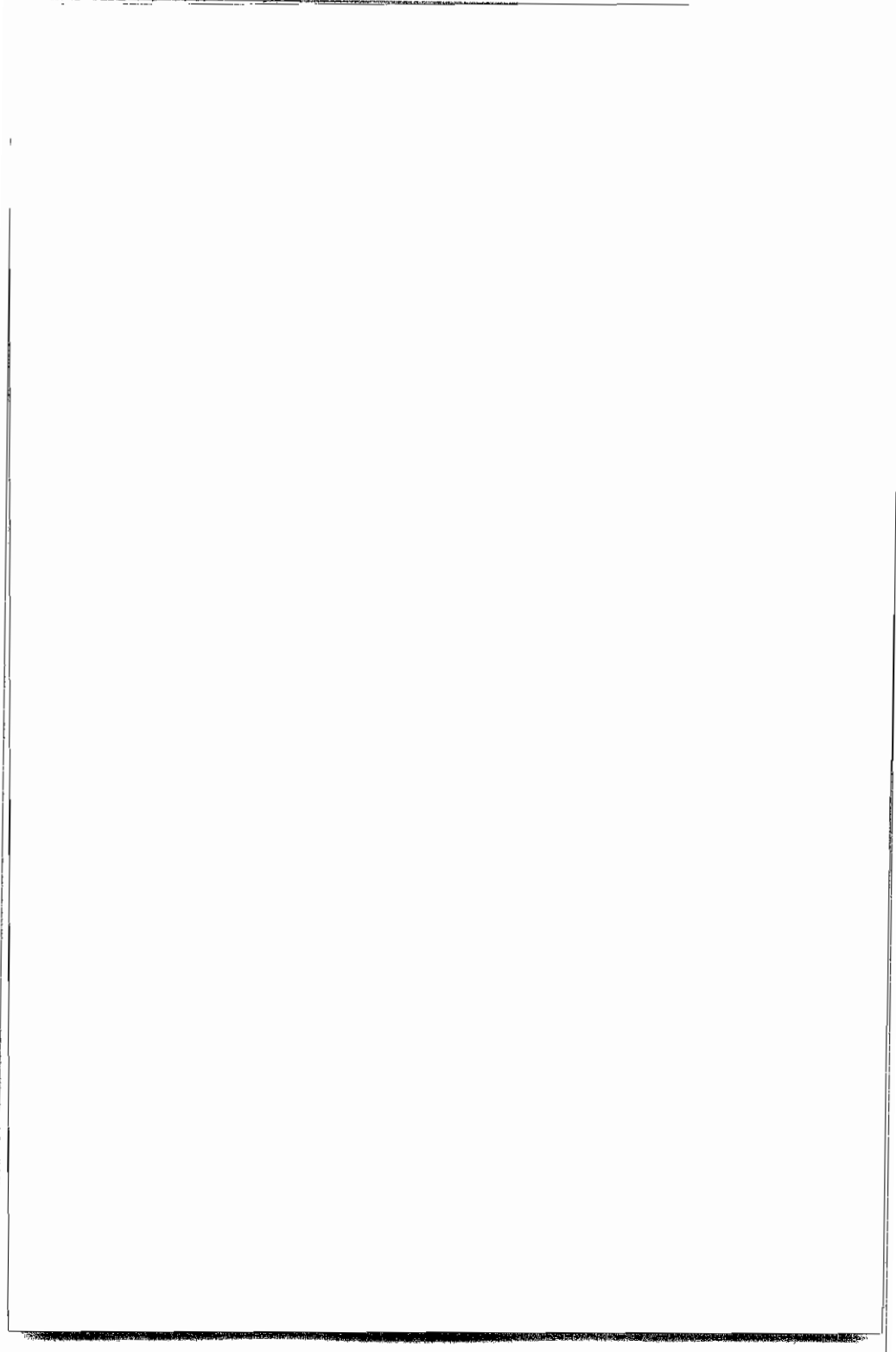


| 序号  | 标准编号             | 标准名称                                          | 代替标准 | 采用国际<br>国外标准              | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|------------------|-----------------------------------------------|------|---------------------------|----------|----------|
| 314 | SY/T 7060—2016   | 海底管道稳定性设计                                     |      | DNV RP F109;<br>2009, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 315 | SY/T 7061—2016   | 水下高完整性压力保护系统<br>(HIPPS) 推荐做法                  |      | API RP 170;<br>2009, IDT  | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 316 | SY/T 7062—2016   | 水下生产系统可靠性及技术风<br>险管理推荐做法                      |      | API RP 17N;<br>2009, IDT  | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 317 | SY/T 7063—2016   | 海底管道风险评估推荐作法                                  |      | DNV RP F107;<br>2010, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 318 | SY/T 7064.5—2016 | 石油天然气工业 海洋结构物<br>特殊要求 第5部分: 设计和<br>施工过程中的重量控制 |      | ISO 19901-5;<br>2003, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 319 | SY/T 7066—2016   | 气田节能量计算方法                                     |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 320 | SY/T 7067—2016   | 水平井油藏地质设计技术要求                                 |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 321 | SY/T 7068—2016   | 注蒸汽采油二维比例物理模拟<br>实验技术要求                       |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 322 | SY/T 7069—2016   | 天然气净化工程劳动定额                                   |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 323 | SY/T 7070—2016   | 微地震井中监测技术规程                                   |      |                           | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号           | 标准名称                      | 代替标准           | 采用国际<br>国外标准 | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|----------------|---------------------------|----------------|--------------|----------|----------|
| 324 | SY/T 7071—2016 | 陆上节点地震数据采集系统检<br>验项目及技术指标 |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 325 | SY/T 7072—2016 | 大地电测深法资料处理解释<br>技术规程      |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 326 | SY/T 7073—2016 | 陆上可控电磁法勘探资料处<br>理解释技术规程   |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 327 | SY/T 7074—2016 | 钻井液高温高压滤失量测试仪<br>校准方法     |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 328 | SY/T 7075—2016 | 石油钻修井指重表校准方法              | JJG(石油)03—1999 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 329 | SY/T 7077—2016 | 自然伽马刻度器校准方法               | JJG(石油)48—1999 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 330 | SY/T 7078—2016 | 中子寿命测井仪校准方法               |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 331 | SY/T 7079—2016 | 补偿中子刻度器校准方法               | JJG(石油)47—1999 |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 332 | SY/T 7080—2016 | 抽油机井综合测试仪校准方法             |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 333 | SY/T 7081—2016 | 检波器测试仪检定装置校准方法            |                |              | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号            | 标准名称                       | 代替标准            | 采用国际<br>国外标准               | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------|----------|
| 334 | SY/T 7082—2016  | 补偿中子测井仪校准方法                | JIG(石油)52—2000  |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 335 | SY/T 7083—2016  | 特种往复式抽油泵                   |                 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 336 | SY/T 7084—2016  | 固井水泥头及常规固井用胶塞              |                 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 337 | SY/T 7085—2016  | 承压设备的设计计算                  |                 | API Std 6X;<br>2014, MOD   | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 338 | SY/T 7086—2016  | 石油天然气工业 钻井和采油<br>设备 压裂泵送设备 |                 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 339 | SY/T 7087—2016  | 石油天然气工业 钻井和采油<br>设备 液氮泵送设备 |                 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 340 | SY/T 7088—2016  | 钻井泵的安装、使用及维护               |                 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 341 | SY/T 7089—2016  | 海洋平台钻机选型推荐作法               |                 |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 342 | SY/T 7508—2016  | 液化石油气中总硫的测定<br>氧化钨库仑法      | SY/T 7508—1997  |                            | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 343 | SY/T 10008—2016 | 海上钢质固定石油生产构筑物<br>全浸区的腐蚀控制  | SY/T 10008—2010 | NACE SP 0176;<br>2007, MOD | 2016-1-7 | 2016-6-1 |

| 序号  | 标准编号            | 标准名称                | 代替标准            | 采用国际<br>国外标准              | 批准日期     | 实施日期     |
|-----|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------------|----------|----------|
| 344 | SY/T 10029—2016 | 浮式生产系统规划、设计及建造的推荐作法 | SY/T 10029—2004 | API RP 2FPS:<br>2011, IDT | 2016-1-7 | 2016-6-1 |
| 345 | SY/T 10040—2016 | 浮式结构物定位系统设计与分析      | SY/T 10040—2002 | API RP 2SK:<br>2005, IDT  | 2016-1-7 | 2016-6-1 |



## 前 言

根据《国家能源局关于下达 2014 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2014〕298 号）的要求，本规范编制组结合近年来油气输送管道工程地质灾害防治的工程建设实践，经广泛调查研究，认真总结防治工程设计经验，参考有关国内外技术标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范的主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、采空区、监测共 9 章和 8 个附录。

本规范由国家能源局负责管理，由石油工程建设专业标准化委员会负责日常管理，由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。执行过程中如有意见或建议，请寄送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，邮编：065000）。

本规范主编单位：中国石油天然气管道工程有限公司

本规范参编单位：四川省地质工程勘察院

四川省蜀通岩土工程公司

西安西北石油管道公司

本规范主要起草人：穆树怀 高剑锋 王 鸿 霍锦宏

许 杰 张文伟 马晓成 李国辉

崔少东 刘佳祥 孟 建 王成雷

桑广世 刘宗祥 宫自强 王 峰

王向东 何文秀 詹胜文 陈雪见

李 炜 唐培连 徐大宝 李 印

刘艳东 韩桂武 胡谋鹏 任文明

曾志华 苏卫峰 沈茂丁 黄 亮  
本规范主要审查人：董 旭 王小林 何 平 赵其华  
白路遥 庞鑫峰 亢会明 刘炳汉  
胡树林 骆建文 王卫东 王 峰  
侯学瑞

## 目 次

|                   |    |
|-------------------|----|
| 1 总则 .....        | 1  |
| 2 术语 .....        | 2  |
| 3 基本规定 .....      | 4  |
| 4 崩塌 .....        | 6  |
| 4.1 一般规定 .....    | 6  |
| 4.2 缓冲层 .....     | 7  |
| 4.3 被动拦挡 .....    | 8  |
| 4.4 主动防护 .....    | 9  |
| 5 滑坡 .....        | 12 |
| 5.1 一般规定 .....    | 12 |
| 5.2 减载与反压 .....   | 14 |
| 5.3 截排水 .....     | 15 |
| 5.4 抗滑桩 .....     | 18 |
| 5.5 锚固 .....      | 21 |
| 5.6 重力式抗滑挡墙 ..... | 24 |
| 6 泥石流 .....       | 26 |
| 6.1 一般规定 .....    | 26 |
| 6.2 排导 .....      | 28 |
| 6.3 拦挡 .....      | 32 |
| 6.4 其他防治工程 .....  | 35 |
| 7 岩溶塌陷 .....      | 37 |
| 7.1 一般规定 .....    | 37 |
| 7.2 治水 .....      | 42 |
| 7.3 填垫 .....      | 43 |
| 7.4 灌注 .....      | 43 |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 8 采空区                     | 44  |
| 8.1 一般规定                  | 44  |
| 8.2 注浆                    | 44  |
| 8.3 砌筑支撑                  | 50  |
| 8.4 开挖回填                  | 51  |
| 8.5 强夯                    | 51  |
| 9 监测                      | 53  |
| 附录 A 油气管道工程地质灾害防治工程等级划分   | 55  |
| 附录 B 危岩稳定性分析计算            | 58  |
| 附录 C 滑坡稳定性分析及推力计算         | 64  |
| 附录 D 常用被动防护网及主动防护网配置及防护功能 | 73  |
| 附录 E 抗滑桩设计有关参数            | 75  |
| 附录 F 岩体锚固稳定性分析及锚固力计算      | 78  |
| 附录 G 锚杆、锚索选型及设计参数值        | 80  |
| 附录 H 泥石流沟床糙率系数            | 83  |
| 标准用词说明                    | 85  |
| 引用标准名录                    | 86  |
| 附件 油气输送管道工程地质灾害防治设计规范     |     |
| 条文说明                      | 87  |
| 参考文献                      | 140 |

## Contents

|     |                                      |    |
|-----|--------------------------------------|----|
| 1   | General provisions .....             | 1  |
| 2   | Terms .....                          | 2  |
| 3   | Basic requirements .....             | 4  |
| 4   | Collapse .....                       | 6  |
| 4.1 | General requirments .....            | 6  |
| 4.2 | Buffer layer .....                   | 7  |
| 4.3 | Passive block .....                  | 8  |
| 4.4 | Active protection .....              | 9  |
| 5   | Landslide .....                      | 12 |
| 5.1 | General requirments .....            | 12 |
| 5.2 | Load shedding and backpressure ..... | 14 |
| 5.3 | Cut and drain .....                  | 15 |
| 5.4 | Anti - slide pile .....              | 18 |
| 5.5 | Anchoring .....                      | 21 |
| 5.6 | Gravity retaining wall .....         | 24 |
| 6   | Debris .....                         | 26 |
| 6.1 | General requirments .....            | 26 |
| 6.2 | Drainage .....                       | 28 |
| 6.3 | Block .....                          | 32 |
| 6.4 | Other prevention .....               | 35 |
| 7   | Karst collapse .....                 | 37 |
| 7.1 | General requirments .....            | 37 |
| 7.2 | Water control .....                  | 42 |
| 7.3 | Fillback .....                       | 43 |
| 7.4 | Perfusion .....                      | 43 |

|            |                                                                                                                               |     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8          | Mined – out area collapse .....                                                                                               | 44  |
| 8.1        | General requirments .....                                                                                                     | 44  |
| 8.2        | Grouting .....                                                                                                                | 44  |
| 8.3        | Dry masonry and supporting .....                                                                                              | 50  |
| 8.4        | Fillback .....                                                                                                                | 51  |
| 8.5        | Dynamic compaction .....                                                                                                      | 51  |
| 9          | Monitoring design .....                                                                                                       | 53  |
| Appendix A | Classification of prevention engineering for oil<br>and gas pipeline geological hazard .....                                  | 55  |
| Appendix B | Stability Annslysis formula of perilous rocks .....                                                                           | 58  |
| Appendix C | Stability annslysis and thrust calculation of<br>landslide .....                                                              | 64  |
| Appendix D | Commonly used configuration and protective<br>function table of passive protective net and<br>initiative protective net ..... | 73  |
| Appendix E | Anti – slide pile design related parameters .....                                                                             | 75  |
| Appendix F | Stability annslysis of rock anchoring and<br>anchoring force calculation .....                                                | 78  |
| Appendix G | Anchor and anchor wire selection and design<br>parameters .....                                                               | 80  |
| Appendix H | Roughness coefficient table of debris<br>riverbed .....                                                                       | 83  |
|            | Explanatation of wording in this code .....                                                                                   | 85  |
|            | List of quoted standards .....                                                                                                | 86  |
|            | Addition; Explanatation of provisions .....                                                                                   | 87  |
|            | Reference .....                                                                                                               | 140 |

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在油气输送管道工程地质灾害防治设计中贯彻执行国家现行的有关方针政策，统一设计技术标准，使油气输送管道工程地质灾害防治设计符合安全适用、技术先进、经济合理的要求，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于油气输送管道工程崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、岩溶塌陷和采空区等地质灾害防治设计。

**1.0.3** 油气输送管道工程地质灾害防治设计除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 管道工程地质灾害 pipeline geological hazard

在自然或人为作用下形成或诱发的,对管道工程建设和管道安全构成威胁,或对运营环境造成破坏的地质灾害。

### 2.0.2 崩塌 collapse

较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象。

### 2.0.3 滑坡 landslide

斜坡上的部分岩(土)体主要在重力作用下沿明显的界面发生剪切破坏向坡下运动的现象。

### 2.0.4 泥石流 debris flow

由于降水(暴雨、冰川、积雪融化水)在沟谷或山坡上产生的一种挟带大量泥砂、石块和巨砾等固体物质的间歇性洪流。

### 2.0.5 岩溶 karst

以水对可溶性岩石(碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤素岩等)进行化学溶蚀作用为特征,并包括水的机械侵蚀和崩塌作用,以及物质的携出、转移和再沉积的综合地质作用,以及由此所产生现象的统称。

### 2.0.6 岩溶塌陷 karst collapse

在岩溶地区,下部可溶岩层中的溶洞或上覆土层中的土洞,因自身洞体扩大或在自然与人为因素影响下,顶板失稳产生塌落或沉陷的地质现象。

### 2.0.7 采空区 mined-out area

地下矿层被开采后形成的空间(空洞)。

### 2.0.8 稳定性系数 factor of stability

作用在滑动面(或滑体、崩塌体)的抗滑力(或力矩)与滑

动力（或力矩）的比值。

**2.0.9 安全系数 factor of safety**

为保证斜坡稳定而采用的具有一定安全储备的稳定性系数。

**2.0.10 动态设计法 methods of information design**

根据施工信息和施工勘察反馈的资料，对地质结论、设计参数及设计方案进行再验证，如确认原设计条件有较大变化，及时补充、修改原设计的设计方法。

### 3 基本规定

**3.0.1** 地质灾害防治设计应遵循预防为主,防治结合的原则,并应符合环境保护的要求,采取合理的综合治理方案和有效的治理工程措施。

**3.0.2** 油气输送管道工程地质灾害防治工程等级划分应符合本规范附录 A 的规定。

**3.0.3** 防治工程等级为Ⅰ级的地质灾害防治应采用动态法设计,防治工程等级为Ⅱ级的地质灾害防治宜采用动态法设计。

**3.0.4** 地质灾害防治设计应具备下列基础资料:

- 1 油气管道工程地质灾害危险性评估报告。
- 2 包含管道工程线路中线、相关建(构)筑物以及环境敏感点、矿区等工程区的地形图。
- 3 油气管道各设计阶段地质灾害工程勘查(察)成果。

**3.0.5** 地质灾害防治设计应与管道线路工程、站场工程、水工保护、水土保持设计相结合。

**3.0.6** 地质灾害防治工程设计应符合下列要求:

- 1 在各种设计荷载组合下,防治措施结构应满足稳定性、强度和耐久性要求。
- 2 防治工程设计应合理选择岩土的物理力学参数。
- 3 防治工程的抗震设计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 防治工程的排水措施应与当地排水措施、设施相协调。

**3.0.7** 地质灾害防治工程建筑材料应符合下列要求:

- 1 水泥应依据环境符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 及《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748 的规定。
- 2 拌制砂浆和混凝土用水水质应符合现行行业标准《混凝

土用水标准》JGJ 63 的规定。

3 混凝土及钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

4 生石灰应符合现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479 的规定。

5 砂应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的规定。

6 卵石、碎石应符合现行国家标准《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685 的规定。

7 预应力锚索材料采用的钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。

8 预应力锚索所用锚具应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定。

9 用于锚杆(索)的防腐材料应符合现行行业标准《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》JG/T 3007 的规定。

10 混凝土砌块、毛石砌体的强度等级应符合现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的规定。

11 钢材应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

12 主动防护网、被动防护网应符合现行行业标准《铁路沿线斜坡柔性安全防护网》TB/T 3089 的规定。

**3.0.8** 油气输送管道工程地质灾害防治设计应在不断总结生产实践和科学试验的基础上,积极采用新技术、新方法和新工艺。



## 4 崩 塌

### 4.1 一般规定

#### 4.1.1 崩塌防治方案设计应符合下列规定：

1 当管道通过崩塌落石区，宜采取清除危岩、加大埋深或在管道上方设置缓冲层的措施。无法完全消除威胁时，应采取在危岩体与管道之间平行管道走向设置拦石墙或拦石网被动拦挡措施。

2 当被动防护难以满足安全需求时，应针对对管道存在威胁的危岩区域，采取主动防护措施。

4.1.2 崩塌防治设计应针对危岩体在施工环境、实施治理方案条件下的稳定性进行分析，危岩体稳定性分析计算应符合本规范附录 B 的规定，并按表 4.1.2 校核危岩体的稳定状态。施工条件下应达到基本稳定状态，运营条件下应达到稳定状态。

表 4.1.2 危岩稳定状态表

| 危岩失稳<br>类型 | 危岩稳定状态    |                      |                     |              |
|------------|-----------|----------------------|---------------------|--------------|
|            | 不稳定       | 欠稳定                  | 基本稳定                | 稳定           |
| 滑移式危岩      | $F < 1.0$ | $1.00 \leq F < 1.15$ | $1.15 \leq F < F_t$ | $F \geq F_t$ |
| 倾倒式危岩      | $F < 1.0$ | $1.00 \leq F < 1.25$ | $1.25 \leq F < F_t$ | $F \geq F_t$ |
| 坠落式危岩      | $F < 1.0$ | $1.00 \leq F < 1.35$ | $1.35 \leq F < F_t$ | $F \geq F_t$ |

注：1.  $F$  为危岩稳定性系数。

2.  $F_t$  为设计安全系数。

4.1.3 崩塌防治设计应分为以下三种工况，防治设计应按工况 I 和工况 II 中的不利工况设计，按其余两种工况校核。

1 工况 I：自重。

2 工况 II：自重 + 暴雨。

3 工况Ⅲ：自重+地震。

4.1.4 崩塌防治设计荷载应符合下列规定：

1 岩石重度应取标准值，荷载分项系数取 1.0。

2 危岩裂隙水压力计算应符合本规范附录 C.0.3 的规定，危岩体脱离母体则不考虑裂隙水影响。

4.1.5 崩塌防治工程设计安全系数  $F_t$  应按表 4.1.5 取值。

表 4.1.5 防治工程设计安全系数  $F_t$

| 危岩<br>失稳<br>类型 | 工程级别与工况 |      |       |        |       |       |        |       |       |
|----------------|---------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                | Ⅰ级防治工程  |      |       | Ⅱ级防治工程 |       |       | Ⅲ级防治工程 |       |       |
|                | 工况Ⅰ     | 工况Ⅱ  | 工况Ⅲ   | 工况Ⅰ    | 工况Ⅱ   | 工况Ⅲ   | 工况Ⅰ    | 工况Ⅱ   | 工况Ⅲ   |
| 滑移式            | 1.3~    | 1.2~ | 1.1~  | 1.25~  | 1.15~ | 1.05~ | 1.15~  | 1.1~  | 1.02~ |
|                | 1.5     | 1.4  | 1.15  | 1.35   | 1.25  | 1.1   | 1.25   | 1.2   | 1.05  |
| 倾倒式            | 1.4~    | 1.3~ | 1.15~ | 1.3~   | 1.2~  | 1.1~  | 1.2~   | 1.15~ | 1.1~  |
|                | 1.6     | 1.5  | 1.25  | 1.5    | 1.3   | 1.2   | 1.4    | 1.25  | 1.2   |
| 坠落式            | 1.5~    | 1.4~ | 1.2~  | 1.4~   | 1.3~  | 1.15~ | 1.3~   | 1.2~  | 1.05~ |
|                | 1.7     | 1.6  | 1.3   | 1.6    | 1.5   | 1.25  | 1.5    | 1.3   | 1.15  |

注：1. 崩塌防治工程设计安全系数，应根据防治工程等级取值。

2. 主体防治工程安全系数可取高值，附属或临时防治工程安全系数可取低值。

3. 应根据区域气象、地质特点以及地震设防级别，对各种工况出现的可能性进行分析，然后进行计算比较，以最不利工况作为设计工况。

4. 荷载安全系数，即危岩下滑力和倾倒地等的设计安全系数，在进行支护结构设计时，尚应满足相关支护结构设计安全系数要求。

## 4.2 缓冲层

4.2.1 管道通过崩塌落石区时可通过在管道上部填筑缓冲层，降低落石对管道的冲击力。

4.2.2 崩塌落石的冲击力及缓冲土层应按下列公式计算：

$$P = P_{(Z)} \cdot F = 2\gamma \cdot Z \left[ 2 \tan^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right] F \quad (4.2.2-1)$$

$$Z = v_R \cdot \sqrt{\frac{Q}{2g \cdot \gamma \cdot F}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \tan^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 1}} \quad (4.2.2-2)$$

$$F = \pi R^2 \quad (4.2.2-3)$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3Q}{4\pi\gamma_1}} \quad (4.2.2-4)$$

- 式中  $P$ ——落石冲击力 (kPa);  
 $P_{(Z)}$ ——落石冲击缓冲层后陷入缓冲层的单位阻力 (kPa);  
 $F$ ——落石等效球体的截面积 ( $m^2$ );  
 $\gamma$ ——缓冲层重度 ( $kN/m^3$ );  
 $\varphi$ ——缓冲层内摩擦角 ( $^\circ$ );  
 $Z$ ——落石冲击的陷入深度 (m);  
 $v_R$ ——落石块体接触缓冲层时的冲击速度 (m/s);  
 $Q$ ——石块重量 (kN);  
 $g$ ——重力加速度 ( $9.80m/s^2$ );  
 $\gamma_1$ ——落石重度 ( $kN/m^3$ ).

#### 4.2.3 缓冲层结构要求应符合下列规定:

- 1 缓冲层厚度应大于落石冲击的陷入深度。
- 2 地面以上缓冲层应保证自身稳定,且高度不宜超过 5m。
- 3 缓冲层宜采用粉质黏土、黏土或碎石土等材料填筑。
- 4 缓冲层顶面宜设置成顺落石运动方向的斜坡。
- 5 缓冲层填土密实度不应小于 0.85。
- 6 缓冲层顶应设计保护层,保护层厚度不宜小于 0.5m。

### 4.3 被动拦挡

#### 4.3.1 管道工程崩塌防治被动拦挡工程宜采用被动防护网、拦

石墙，被动拦挡工程应根据落石的冲击能和弹跳高度进行设计。

**4.3.2 被动防护网的设计应符合下列规定：**

- 1 应平行管道轴线布置在管道与崩塌体之间。
- 2 被动防护网的防护能级范围宜为 150kJ~2000kJ，宜按本规范附录 D 选型。

**4.3.3 拦石墙的设计应符合下列规定：**

- 1 拦石墙应布设在管道与崩塌体之间地带，且与管道中线的间距不宜小于 15m。
- 2 拦石墙后宜设置缓冲层，当场地条件具备时，宜在墙后开挖落石槽。缓冲层设计应符合本规范第 4.2 节的规定。
- 3 拦石墙材料宜采用浆砌石、毛石混凝土、混凝土。
- 4 拦石墙应同时满足地基承载力、抗滑移、抗倾覆及结构强度要求，结构设计应符合本规范第 5.6 节的要求。
- 5 作用在拦石墙上的荷载应包括作用到缓冲土层上落石冲击力的水平分力，冲击力的分布宽度应根据扩散角确定。

**4.4 主动防护**

**4.4.1 管道工程崩塌防治主动防护设计宜采用清理危岩、封填和支顶、挂网喷混凝土锚杆锚固、锚杆（索）及主动防护网。主动防护措施的选择应符合下列规定：**

- 1 针对坡体上散落或脱离母岩的危石，应采用清理危岩措施。
- 2 当崩塌区危岩块体未脱离母体，危岩块体平均直径不小于 1.0m 时，宜设置锚杆（索）锚固危岩体。
- 3 管道上方崩塌区危岩块体未脱离母体，危岩块体直径小于 1.0m，且需防护范围大于 100m<sup>2</sup> 时，宜采用主动防护网或锚杆挂网喷混凝土，固定锚杆入岩深度不应小于 1.5m。
- 4 当管道通过地区一侧坡度大于 60°，或岩体反倾的倾倒式危岩体，崖脚或崖面存在不稳定凹腔时，应采用支撑墙、立柱、挑梁支顶措施。

**4.4.2 封填和支顶工程设计应符合下列要求：**

1 封填材料宜采用低强度高抗渗性砂浆、黏土或细石混凝土。

2 支顶和封填工程顶部与危岩体接触部位，宜采用膨胀水泥砂浆或混凝土封闭，封闭层厚度宜为 30cm~40cm，墙柱的底部基础宜设置成内倾或台阶状。

3 危岩顶部裂缝封填，当裂缝宽度大于 2cm 时，应采用高强度砂浆或坍落度超过 200mm 的细石混凝土封闭裂缝；当顶部表面裂缝宽度小、范围广时，宜用细石混凝土全面浇筑，浇筑厚度宜为 20cm~30cm。

4 崖面凹腔高度大于 8m 时，宜采用支撑墙或支撑柱支顶。

**4.4.3 清理危岩与挂网喷混凝土锚杆锚固工程设计应符合下列规定：**

1 清理危岩实施时，应在坡脚或坡体下部平缓处设计被动拦挡防护措施。

2 当危岩区坡面岩体结构裂隙发育，宜清除孤石；坡面宜采用挂网喷混凝土锚杆锚固措施，锚杆宜采用全黏结构造锚杆，锚固段进入稳定岩体长度不应小于 1.0m。

**4.4.4 锚杆（索）锚固设计应符合下列规定：**

1 锚杆（索）应进行锚固力、锚固长度及锚杆结构设计计算，并应符合本规范第 5.5 节的规定。

2 锚固砂浆强度等级不应低于 M30。

3 危岩体锚固深度应伸入主控裂隙面不小于 5.0m。

4 当危岩体整体性较好时外锚头应采用点锚，整体性较差时宜采用竖梁或格梁加强整体性，竖梁或格梁设计应符合现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219—2006 中第 9 章的规定。

**4.4.5 主动防护网设计应符合下列规定：**

1 主动防护网防护区域应超出需治理区域边界以外不小于 2m，实际防护面积应根据坡面起伏情况确定，宜按设计防护面

积的 1.05 倍~1.10 倍作为实际防护面积。

2 主动防护网的锚固锚杆应包括系统锚杆和随机锚杆，系统锚杆应按防护单元格、纵横向支撑绳交叉点位置布置，防护网悬空区域面积不应超过  $5\text{m}^2$ ；系统锚杆无法保证悬空面积要求时，应增设随机锚杆。

3 防护网锚固锚杆孔位宜设在坡面低洼处，锚杆直径不应小于  $\phi 12\text{mm}$ ，锚杆长度宜为  $2\text{m}\sim 3\text{m}$ ，系统锚杆锚固深度不宜小于  $1.5\text{m}$ ，随机锚杆锚固深度不宜小于  $1.0\text{m}$ 。上沿系统锚杆方向宜与水平面成  $30^\circ$  向下布置；其余系统锚杆方向宜与坡面垂直，且应与水平面夹角不小于  $15^\circ$ 。

4 主动防护网选型应符合本规范附录 D 的规定。

## 5 滑 坡

### 5.1 一般规定

5.1.1 油气输送管道滑坡防治应针对可能对管道造成危害的原生和次生滑坡地质灾害进行防治设计。

5.1.2 滑坡防治工程设计应充分评价管道工程施工和滑坡防治工程施工对滑坡体的扰动,设计方案应包括控制滑坡失稳的措施。

5.1.3 滑坡工程设计中应针对施工条件和运营条件进行稳定性分析,滑坡稳定性分析应符合本规范附录 C 的规定,施工条件和运营工况下应进行稳定性校核,其稳定性系数不应小于本规范表 5.1.6 中相应防治工程等级的安全系数。

5.1.4 滑坡防治设计应分为以下三种工况,应按工况 I 和工况 II 中的不利工况设计,按其余两种工况校核。

- 1 工况 I: 自重。
- 2 工况 II: 自重 + 暴雨。
- 3 工况 III: 自重 + 地震。

5.1.5 作用于滑坡体上的荷载及取值应符合下列规定:

1 滑坡推力计算时,滑体重力作为基本荷载,荷载分项系数应取 1.0。

2 地下水、裂隙水以及河流(水库)水位对滑坡的动(静)水压力、浮托力等,可依据本规范附录 C 中的方法计算。

3 地震作用于滑体或条块重心处的水平静力应按下列式计算:

$$Q = k_w G \quad (5.1.5)$$

式中  $Q$ ——滑体或滑块单位宽度的地震力(kN/m);

$k_w$ ——综合水平地震系数,由所在地区地震基本烈度按

表 5.1.5 的规定确定；

$G$ ——滑体或某一条块单位宽度自重（含滑坡顶部建构筑物作用）（kN/m）。

表 5.1.5 地震水平作用系数

| 地震基本烈度   | 7 度   |       | 8 度   |       | 9 度   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 地震峰值加速度  | 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.30g | 0.40g |
| 综合水平地震系数 | 0.025 | 0.038 | 0.050 | 0.075 | 0.100 |

4 作用在支护结构上的滑坡推力计算应符合本规范附录 C 的规定。

5.1.6 滑坡防治设计安全系数应按表 5.1.6 取值，支护结构设计还应满足相关支护结构设计安全系数要求。

表 5.1.6 滑坡防治工程设计安全系数

| 防治工程等级 | 设计工况   | 安全系数 $F_{St}$ |
|--------|--------|---------------|
| I 级    | 工况 I   | 1.30~1.35     |
|        | 工况 II  | 1.15~1.20     |
|        | 工况 III | 1.10~1.20     |
| II 级   | 工况 I   | 1.25~1.30     |
|        | 工况 II  | 1.10~1.15     |
|        | 工况 III | 1.05~1.10     |
| III 级  | 工况 I   | 1.20~1.25     |
|        | 工况 II  | 1.05~1.10     |
|        | 工况 III | 1.02~1.05     |

注：1. 滑坡防治工程设计安全系数，应根据防治工程等级确定。

2. 滑坡防治工程设计，可采用分级方法进行，即主体防治工程安全系数可取高值，附属或临时防治工程安全系数可取低值。

3. 滑坡防治工程设计，应首先根据区域气象、地质特点以及地震特点，对各种工况出现的可能性进行分析，然后进行计算比较，以最不利工况作为设计工况采用。



5.1.7 下列滑坡防治工程的设计应进行专门论证:

- 1 地质环境条件很复杂的滑坡防治工程。
- 2 滑坡防治工程施工将和已建油气管道安全运营要求发生重大冲突时。
- 3 滑坡邻近有重要建(构)筑物、地质条件复杂、破坏后果很严重的滑坡防治工程。
- 4 已发生过严重事故的滑坡防治工程。
- 5 抗震设防烈度大于9度地区的滑坡防治工程。
- 6 采用新结构、新技术的滑坡防治工程。

## 5.2 减载与反压

5.2.1 削方减载措施适用于主滑面倾角大于20°的滑坡和错落性滑坡,应在滑坡上部的主滑段实施减载;前缘回填反压措施适用于滑坡前缘地形条件不受限制的滑坡治理,应在滑坡体的前缘抗滑段实施。

5.2.2 削方减载和前缘回填反压设计应依据控制性滑动面进行设计计算,减重或反压的数量应通过稳定性计算或滑坡推力计算来确定,使滑坡的整体稳定系数达到设计要求,或设置支挡工程位置的滑坡推力控制在预定数值之内。稳定性计算采取圆弧法或分块推力传递法。滑坡整体稳定性系数宜按下式计算:

$$F_s = \frac{W_n \cdot \sin \alpha_n + W_n \cdot \cos \alpha_n \cdot \tan \phi_n + C_n \cdot L_n + E_{n-1} \cdot \sin(\alpha_{n-1} - \alpha_n) \tan \phi_n}{E_{n-1} \cdot \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n)} \quad (5.2.2)$$

式中  $F_s$ ——滑坡整体稳定系数;

$W_n$ ——抗滑段滑体重量 (kN/m);

$\alpha_n$ ——抗滑段滑面的倾角 (°),反绕时取负值;

$\phi_n$ ——抗滑段滑带土的内摩擦角 (°);

$C_n$ ——抗滑段滑带土的内聚力 (kPa);

$L_n$ ——抗滑段滑面的长度 (m);

$E_{n-1}$ ——滑坡各条块传到抗滑段的剩余下滑力 (kN/m);

$\alpha_{n-1}$ ——上一段 ( $n-1$ ) 的滑动面倾角 ( $^{\circ}$ )。

### 5.2.3 削方减载工程设计应符合下列规定:

1 滑动面已经贯通的滑坡采用减载措施时,应辅以相应的支挡工程和截排水措施。

2 减载的范围和数量应根据滑坡的地形条件,并通过稳定性计算或滑坡推力计算确定。使未滑动的滑坡体的整体稳定系数达到设计要求,或设置支挡工程位置的滑坡推力控制在预定数值之内。

3 减载设计的方量,应以不影响上方边坡的稳定为原则。

4 削方开挖方案应包括削方减载后形成的边坡坡面的护面及绿化方案,弃土、弃渣方案,并应要求采用逆作法施工。

5 削方高度较高时,应设计单级或多级卸荷平台,相邻平台高差不宜大于 10m,平台宽度宜为 2.0m~3.0m。

### 5.2.4 回填反压工程设计应符合下列规定:

1 填土的基底软弱土层应挖除或换填,基底应设计成台阶状。

2 填土底部应采用碎块石或砂卵石等渗水材料填筑。

3 回填反压应分层碾压或夯实,压实系数应大于 0.9,对于渗透性较大的填料,表层宜进行防水处理。

4 库(江)水位变动带的回填反压应对回填体进行防地下水渗流和库岸冲刷处理,坡脚应设置护脚墙、反滤层和防冲护坡。

## 5.3 截排水

### 5.3.1 截排水工程设计应符合下列规定:

1 截排水工程设计应结合区域气象、水文、地质、地形等条件合理确定方案。

2 地表排水工程的设计标准应根据滑坡防治工程等级确定。

3 地下排水工程设计应按现行行业标准《滑坡防治工程设

计与施工技术规范》DZ/T 0219 相关规定执行。

**5.3.2 设计频率地表水汇流量应按下列公式计算：**

$$Q_p = 16.67\psi \cdot S_p \cdot F \quad (5.3.2)$$

式中  $Q_p$ ——设计频率地表水汇流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$S_p$ ——设计重现期平均降雨强度 ( $\text{mm/h}$ )，应符合现行行业标准《公路排水设计规范》JTG/T D33 的规定，设计降雨重现期根据滑坡防治工程等级选取，Ⅰ级取 20 年，Ⅱ级、Ⅲ级取 10 年；

$\psi$ ——径流系数，城镇地区可取 0.50~0.80，荒郊地区可取 0.40~0.60；

$F$ ——汇流面积 ( $\text{km}^2$ )。

**5.3.3 设计排水沟过流量应按下列公式计算：**

$$Q = A \cdot C \sqrt{R \cdot i} \quad (5.3.3-1)$$

$$R = A/X \quad (5.3.3-2)$$

$$C = R^{1/6}/n \quad (5.3.3-3)$$

式中  $Q$ ——设计流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$A$ ——过水断面面积 ( $\text{m}^2$ )；

$R$ ——水力半径 ( $\text{m}$ )；

$i$ ——比降；

$C$ ——谢才系数；

$X$ ——过水湿周 ( $\text{m}$ )；

$n$ ——糙率，按表 5.3.3 查取。

**5.3.4 设计排水沟泄水能力应按下列公式计算：**

$$Q = v \cdot A \quad (5.3.4-1)$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (5.3.4-2)$$

式中  $v$ ——排水沟水流流速 (m/s)，不应大于表 5.3.3 最大允许流速值；

$A$ ——沟内过水断面面积 (m<sup>2</sup>)；

$I$ ——排水沟水力坡度，无旁侧入流的明沟，水力坡度可采用沟的底坡；有旁侧入流的明沟，水力坡度可采用沟段的平均水面坡降。

表 5.3.3 常用明渠糙率及最大允许流速

| 地表状况                 | 糙率          | 允许最大流速<br>(m/s) | 地表状况                 | 糙率          | 允许最大流速<br>(m/s) |
|----------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------|-----------------|
| 土质明沟                 | 0.022       | 0.8~1.2         | 浆砌片石明沟               | 0.025       | 3.0             |
| 带杂草土质明沟              | 0.027       | 1.2             | 干砌片石明沟               | 0.032       | 2.0             |
| 砂砾质明沟                | 0.025       | 2.0             | 岩石质明沟                | 0.035       | 3.0             |
| 水泥混凝土明沟 (钹抹面)        | 0.015       | 4.0             | 水泥混凝土明沟 (预制)         | 0.012       | 4.0             |
| 植草皮明沟<br>(流速 0.6m/s) | 0.050~0.090 | —               | 植草皮明沟<br>(流速 1.8m/s) | 0.035~0.050 | 1.8             |

5.3.5 排水沟最小容许弯曲半径应按下式计算：

$$R_{\min} = 1.1 v^2 \cdot A^{\frac{1}{2}} + 12 \quad (5.3.5)$$

式中  $R_{\min}$ ——最小容许弯曲半径 (m)。

5.3.6 截排水工程构造应符合下列规定：

- 1 地表截排水沟断面形状宜采用梯形或矩形断面排水沟。
- 2 滑坡外围截水排水沟应依据滑坡后缘地形设置在滑坡体后缘 5m 以外的稳定坡面上。
- 3 截排水沟纵坡超过 10% 时，应设置消能措施。当高差小于 5m 时，宜设置单级消能；高差大于 5m 时，宜设置多级

消能。

4 截排水沟每隔 8m~10m 应设置沉降缝,缝内应填塞沥青类防水材料。当地基存在不均匀沉降时,应在接缝处设置叠瓦式构造。

5 截排水沟进出口宜采用喇叭口或八字形导流翼墙。导流翼墙长度可取设计水深的 3 倍~4 倍。当排水沟断面变化时,应采用渐变段衔接,渐变长度宜取水面宽度之差的 5 倍~20 倍。

6 截排水沟弯曲段应考虑水位弯道雍高的影响,安全超高不宜小于 0.3m;排水沟弯曲段的弯曲半径不得小于最小容许半径及沟底宽度的 5 倍。

7 截排水沟宜采用毛石混凝土或素混凝土修建,混凝土强度等级不宜低于 C20。

#### 5.4 抗 滑 桩

5.4.1 抗滑桩适用于滑动面埋深小于 25m,桩长小于 35m 的滑坡治理,并应符合下列规定:

1 抗滑桩宜垂直滑坡主滑方向,并结合管道走向布置。

2 抗滑桩材质宜采用钢筋混凝土,截面形状可设计成矩形或圆形,结构形式可设计成悬臂式或锚拉式。

3 截面形状采用矩形时,桩间中心距宜为 5m~8m,截面短边长度不宜小于 1.0m;采用圆形抗滑桩,桩间中心距宜为 2m~4m,截面直径宜为 0.8m~1.6m。

4 悬臂式抗滑桩嵌固长度应大于总桩长的 1/3。

5 可在土质滑体的桩间设置挡板或浆砌石挡墙,宜按桩间土的水平土压力进行设计。

6 当桩顶位移不满足要求或桩身弯矩过大时,宜采用锚拉桩,嵌固长度不应小于桩长的 1/5。

7 抗滑桩后无构筑物时桩顶位移宜控制在 10cm 以内,有构筑物时宜控制在 5cm 以内。

8 埋入式抗滑桩应进行越顶验算,嵌固端位于土层时还应

进行深层滑动验算。

**5.4.2 抗滑桩外力计算应符合下列规定：**

1 抗滑桩设计滑坡推力应按附录 C 的规定计算。抗滑桩所受滑坡推力可根据滑体的性质和厚度，按三角形、矩形或梯形分布计算。

2 应进行抗滑桩桩前土压力计算，当被动土压力小于滑坡推力时，桩的阻滑力按被动土压力考虑。被动土压力应按现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219—2006 中第 7.2.4 条的规定计算。

3 滑动面以上桩前的滑体抗力，应由设计滑坡推力与极限平衡时滑坡推力之差确定，当桩前滑坡体可能滑动时，不应计其抗力。

4 抗滑桩锚固深度计算，应根据地基的横向容许承载力确定，桩的最大横向压应力  $\sigma_{\max}$  应小于或等于地基的横向容许承载力。

1) 地层为岩层，桩为矩形截面时，地基的横向容许承载力可按下式计算：

$$[\sigma_H] = \eta_1 \cdot R_c \quad (5.4.2-1)$$

式中  $\eta_1$ ——折减系数，根据岩层的裂隙、风化程度、软化程度、沿水平方向的差异性等，可采用 0.1~0.5；

$R_c$ ——岩石单轴抗压极限强度 (kPa)。

2) 地层为土层或全风化岩层时，地基的横向容许承载力可按下式计算：

$$[\sigma_H] = \eta_2 (\sigma_P - \sigma_A) \quad (5.4.2-2)$$

式中  $\eta_2$ ——折减系数，根据土体结构特征和力学强度参数的精度，可采用 0.5~1.0；

$\sigma_P$ ——桩前岩土体作用于桩身的被动土压力 (kPa)；

$\sigma_A$ ——桩前岩土体作用于桩身的主动土压力 (kPa)。

#### 5.4.3 抗滑桩内力计算及结构设计计算应符合下列规定:

1 滑动面以上的桩身内力应根据滑坡推力和桩前滑坡体抗力计算。滑动面以下的桩身变位和内力应根据滑动面处的弯矩和剪力,按地基的弹性抗力进行计算。

2 滑动面以下的地基系数应根据地层的性质和深度按下列条件确定:

- 1) 当滑动面以下地层为较完整的岩层时,地基系数应为常数  $K$ ;
- 2) 当滑动面以下地层为硬塑~坚硬的黏性土、碎石类土、风化破碎的岩块时,桩前滑动面以上无滑坡体和超载时,地基系数为三角形分布;桩前滑动面以上有滑坡体和超载时,地基系数为梯形分布。

3 判定抗滑桩属刚性桩、弹性桩时,应按现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219—2006 第 7.2.9 条的规定执行。抗滑桩设计有关参数应符合本规范附录 E 的规定。

4 抗滑桩桩底支承根据锚固段地层条件,可采用自由端或铰支端支撑。

5 当抗滑桩产生的弯矩过大时,可采用锚拉桩,其设计应符合本规范第 5.5 节的相关规定。桩身可按弹性桩进行计算。

6 抗滑桩截面设计、混凝土结构及配筋设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的规定进行计算,荷载分项系数可采用 1.35。

7 抗滑桩桩身应按受弯构件设计,无特殊要求时,可不作抗裂、挠度等验算。

5.4.4 人工挖孔抗滑桩成孔时,应进行护壁;护壁所承受的土压力,在地面下 5m 以内应按主动土压力计算,5m 以下各点的土压力应取 5m 处的主动土压力。

#### 5.4.5 抗滑桩构造应符合下列规定:

- 1 桩身混凝土的强度等级宜为 C30~C35,挡板混凝土强度

等级不应低于 C20，耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

2 人工挖孔抗滑桩井口应设置锁口及护壁措施，锁口、护壁混凝土强度等级宜为 C15~C20。

3 纵向受拉钢筋宜采用 HRB400 以上的带肋钢筋，直径应大于 16mm，净距不应小于 120mm；采用束筋时，每束不宜多于 3 根。当配置单排钢筋受限时，可设置 2 排或 3 排，排距宜控制在 120mm~200mm 之内。受力钢筋为单筋且有护壁时，混凝土净保护层厚度不应小于 50mm；无护壁时，不应小于 70mm。束筋采用双筋或者三筋并筋方式配筋时，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定，确定混凝土保护层厚度。

4 纵向受拉钢筋的截断点连接方式及搭接长度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定执行。

5 桩内不宜配置斜筋，可采用调整箍筋的直径、间距和桩身截面尺寸等措施，满足斜截面的抗剪强度。

6 箍筋宜采用封闭式且肢数不宜多于 4 肢，直径不宜小于 10mm，间距不应大于 400mm。

7 桩的两侧及受压边应配置纵向构造钢筋，两侧纵向钢筋间距不应大于 300mm，直径不应小于 12mm。桩的受压边两侧应配置架立钢筋，其直径不宜小于 16mm。

## 5.5 锚 固

5.5.1 滑坡推力较小的浅表层滑坡的治理和结构加固宜采用锚杆结构，滑坡推力较大、滑面（带）较深的滑坡治理和结构加固宜采用锚索结构。

5.5.2 当滑坡体为堆积层或土质滑坡，且采用预应力锚索时，应与钢筋混凝土梁、格构或抗滑桩共同组成抗滑支挡体系，且其锚固段宜置于岩层内。

5.5.3 锚杆（索）的锚固段不应设置下列地层中：



- 1 有机质土, 淤泥质土。
- 2 液限  $W_L > 50\%$  的土层。
- 3 相对密实度  $D_r < 0.3$  的土层。

**5.5.4** 下列情况下锚杆(索)应进行现场极限抗拉拔试验:

- 1 采用新工艺、新材料或新技术的锚杆(索)。
- 2 无锚固工程经验的岩土层内的锚杆(索)。

**5.5.5** 岩体稳定性分析及锚固力计算应按本规范附录 F 执行。锚杆(索)的形式应根据锚固段地层工程特性、锚杆承载力大小以及锚杆材料和长度因素综合考虑, 按本规范附录 G 的规定选择。

**5.5.6** 锚杆设计计算应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 中第 8.2 节的规定。

**5.5.7** 锚杆构造设计应符合下列规定:

1 土层锚杆的锚固段长度不应小于 4m, 并不宜大于 10m; 岩石锚杆的锚固段长度不应小于 3m, 并不宜大于  $45D$  和 6.5m; 当计算锚固段长度超过构造要求长度时, 应采取改善锚固段岩土体质量、压力灌浆、扩大锚固段直径、采用荷载分散型锚杆等, 提高锚杆承载能力。

2 锚杆间距宜大于 1.5m, 当小于 1.5m 时, 应将锚固段错开布置或改变相邻锚杆倾角。

3 锚杆钻孔内的锚筋截面积不应超过钻孔截面积的 20%。

4 锚杆锚固段上部覆盖岩土层厚度不应小于 4.5m, 锚杆的倾角宜为  $10^\circ \sim 35^\circ$ , 锚杆的设置不应相邻构筑物基础产生不利影响。

5 锚杆对中支架应沿锚杆轴线方向每隔 1m~3m 设置一个, 对土层应取小值, 岩层可取大值。

6 当锚固段岩体破碎、渗(失)水量大时, 应进行岩体灌浆加固设计。

7 永久性锚杆的防腐蚀处理应符合下列规定:

- 1) 锚杆的自由段位于岩土层中时, 可采用除锈、刷沥青

船底漆、沥青玻纤布缠裹二层进行防腐蚀处理；

- 2) 对位于腐蚀性等级为弱或微的岩土层内的锚固段应除锈，水泥（砂）浆保护层厚度不应小于 25mm，对位于腐蚀性为中或强的岩土层内的锚固段应进行双层防腐，放入波纹管中；
- 3) 经过防腐蚀处理后，锚杆的自由段外端应埋入钢筋混凝土构件内 50mm 以上。

8 临时性锚杆的防腐蚀可采取下列处理措施：

- 1) 锚杆的自由段可采用除锈后刷沥青防锈漆处理；
- 2) 外锚头可采用外涂防腐涂料或外包混凝土处理。

**5.5.8 预应力锚索设计计算应符合现行行业标准《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025 的规定，并应符合下列规定：**

1 计算滑坡预应力锚固力前，应按附录 C 和附录 F 进行滑坡稳定性分析。

2 极限锚固力应由破坏性拉拔试验确定，设计锚固力应依据滑坡推力和安全系数确定。

3 预应力锚索锁定值应根据滑坡体结构和变形状况确定：

- 1) 当滑坡体结构完整性较好时，锁定锚固力可为设计锚固力的 100%；
- 2) 当滑坡体蠕滑明显，预应力锚索与抗滑桩相结合时，锁定锚固力宜为设计锚固力的 50%~80%；
- 3) 当滑坡体具崩滑性时，锁定锚固力宜为设计锚固力的 30%~70%。

**5.5.9 外锚结构设计应符合下列规定：**

1 垫墩应双向布筋，可按中心有支点单向受弯构件计算内力，并检算垫墩与钢垫板连接处混凝土局部承压与冲切强度，垫墩大小根据被加固边坡地基承载力确定。

2 地梁、格子梁可将锚拉点预应力简化为集中荷载，按弹性地基梁进行计算，地梁、格子梁可简化为单元梁，按简支梁、连续梁进行内力计算。

**5.5.10** 预应力锚索数量取决于滑坡产生的推力和防治工程安全系数，锚索间距宜大于 4m。若锚索间距小于 4m，群锚效应分析应按下列式计算：

$$D = 1.5 \sqrt{L \cdot d / 2} \quad (5.5.10)$$

式中  $D$ ——锚索最小间距 (m)；

$d$ ——锚索钻孔孔径 (m)；

$L$ ——锚索长度 (m)。

**5.5.11** 预应力锚索构造设计应符合下列规定：

1 锚索自由段伸入滑动面或潜在滑动面的长度应大于 1m，且总长不应小于 3m~5m；张拉段长度应根据张拉机具决定，锚索外露部分长度宜为 1.5m。

2 外锚结构形式应根据被加固边坡岩土情况选择垫墩（垫块、垫板）、地梁、格子梁、柱、桩、墙，外锚结构材料宜采用钢筋混凝土结构，混凝土等级不宜低于 C30，外锚钢筋保护层厚度应不小于 50mm。

3 预应力锚索应设置对中支架，对中支架间隔宜为 1.5m~3.0m。

4 锚索应防锈、防腐处理。

5 锚索孔注浆应采用孔底注浆法，注浆材料宜采用 M30 水泥砂浆，注浆压力宜为 0.6MPa~0.8MPa。

**5.5.12** 格构锚固设计应符合现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219 的规定。

## **5.6 重力式抗滑挡墙**

**5.6.1** 滑坡推力小于 150kN/m 的浅层滑坡治理宜采用重力式抗滑挡墙，重力式抗滑挡墙设计应符合下列规定：

1 应垂直主滑方向布置在滑坡剪出口或潜在剪出口附近。

2 宜与排水、减载、护坡等措施相结合。

3 挡墙高度不宜大于 8m。

4 抗震设防烈度为 8 度及以上时，应采用混凝土结构。

**5.6.2** 重力式抗滑挡墙设计计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

**5.6.3** 重力式抗滑挡墙的构造应符合下列规定：

1 重力式抗滑挡墙材料宜采用浆砌块石、条石或混凝土。块石、条石的强度等级不应低于 MU25，混凝土的强度等级不应低于 C20。

2 重力式抗滑挡墙基底可做成逆坡。对土质地基，基底逆坡坡度不宜大于 0.1:1；对岩质地基，基底逆坡坡度不宜大于 0.2:1。

3 毛石挡土墙的墙顶宽度不宜小于 600mm，混凝土挡土墙的墙顶宽度不宜小于 400mm。

4 重力式抗滑挡墙的基础埋置深度，应根据滑面位置、地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况和岩石风化程度等因素确定。基础应置于土质滑坡滑动带以下不小于 1.5m，置于岩质滑坡滑床以下不小于 1.0m，同时地基应满足承载力要求。受水流冲刷时，在冲刷线以下不应小于 1.0m。

5 挡墙地基纵向坡度大于 5% 时，基底应做成台阶式基础，且最下一级台阶宽度不宜小于 1.0m。

6 重力式抗滑挡墙应设置泄水孔。根据水量大小，泄水孔孔径宜为 50mm~100mm 的圆孔，孔间距宜为 2m~3m。泄水孔宜采用梅花形布置，倾角不应小于 5%，最下一排泄水孔的出水口应高出地面或常水位 200mm。

7 重力式抗滑挡墙的伸缩缝间距宜为 10m~15m。在地基变化、挡墙高度及截面变化处应设沉降缝，伸缩缝、沉降缝宽度宜为 20mm~30mm，缝中应填塞沥青木板或其他有弹性的防水材料，填塞深度不应小于 200mm。

8 在挡墙背侧应设置 300mm~500mm 厚的反滤层，背侧最下一排泄水孔下侧应设厚度不小于 300mm 的隔水层。

9 墙后填料宜采用透水性强的砂性土、碎石土，不得采用淤泥、耕植土、膨胀土等作为填料，重要的和高度较大的挡墙不宜采用黏土作为填料。

## 6 泥 石 流

### 6.1 一般规定

6.1.1 管道工程泥石流治理设计应采用以流域为单元,生物措施与工程治理相结合的综合治理方法。

6.1.2 管道通过形成区时,宜采用坡面截水沟、沟谷区的拦砂坝、导流堤、护岸和护底措施,并宜恢复植被、建造多树种多层次的立体防护林。

6.1.3 管道通过流通区时,管道埋深应大于泥石流最大侵蚀深度。防治措施宜以疏导为主,宜采用导流堤和护岸、清障措施,并宜采用潜坝、停淤场、坝下护岸、护底等管道防护辅助措施。

6.1.4 管道通过堆积区时,管道应深埋,当前缘受冲刷时,还应采取护岸措施。

6.1.5 下列泥石流防治工程的设计应进行专门论证:

- 1 环境地质条件很复杂的防治工程;
- 2 防治工程施工将对已建油气管道安全运营要求发生重大冲突;
- 3 治理工程下游有重要水利工程、城镇;
- 4 泥石流活动性很强或已发生过严重事故的泥石流防治工程;
- 5 采用新型结构、新技术的防治工程。

6.1.6 泥石流防治设计基础参数选取及计算应符合下列规定:

- 1 泥石流流体重度,宜采用称重法或体积比法等试验测定。
- 2 泥石流流速应按下列公式计算:

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \cdot \varphi + 1}} \cdot \frac{1}{n} \cdot H_c^{2/3} \cdot I_c^{1/2} \quad (6.1.6-1)$$

式中  $v_c$ ——泥石流流速 (m/s);

$\gamma_H$ ——固体物质重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$H_c$ ——计算断面的平均泥深 (m);

$I_c$ ——泥石流水力坡度;

$n$ ——泥石流沟床的糙率系数, 应按本规范附录 H 的规定取值;

$\varphi$ ——泥石流泥砂修正系数, 依据泥石流重度  $\gamma_c$  和泥石流固体物质重度  $\gamma_H$  查表 6.1.6-1 取得。

表 6.1.6-1 泥石流泥沙修正系数

| $\gamma_H$ | $\gamma_c$ |       |       |       |       |       |      |      |      |      |       |
|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
|            | 1.3        | 1.4   | 1.5   | 1.6   | 1.7   | 1.8   | 1.9  | 2.0  | 2.1  | 2.2  | 2.3   |
| 2.4        | 0.272      | 0.400 | 0.556 | 0.750 | 1.000 | 1.330 | 1.80 | 2.50 | 3.67 | 6.00 | 13.00 |
| 2.5        | 0.250      | 0.364 | 0.500 | 0.667 | 0.875 | 1.140 | 1.50 | 2.00 | 2.75 | 4.00 | 6.50  |
| 2.6        | 0.231      | 0.333 | 0.454 | 0.600 | 0.778 | 1.000 | 1.28 | 1.67 | 2.20 | 3.00 | 4.33  |
| 2.7        | 0.214      | 0.308 | 0.416 | 0.545 | 0.700 | 0.890 | 1.12 | 1.43 | 1.83 | 2.40 | 3.25  |

3 泥石流流量计算可根据实际选用现场形态调查法或雨洪计算法。

1) 按现场形态调查法泥石流流量应按下式计算:

$$Q_c = V_c \cdot F_c \quad (6.1.6-2)$$

式中  $Q_c$ ——泥石流流量 ( $\text{m}^3$ );

$F_c$ ——泥石流过流断面面积 ( $\text{m}^2$ );

$V_c$ ——泥石流流速 ( $\text{m}/\text{s}$ )。

2) 按雨洪计算法泥石流流量应按下列公式计算:

$$Q_c = K_Q \cdot Q_B \cdot D \quad (6.1.6-3)$$

$$K_Q = 1 + \frac{\gamma_c - 1}{\gamma_H - \gamma_c} = 1 + \varphi \quad (6.1.6-4)$$

式中  $Q_B$ ——清水洪峰流量 ( $\text{m}^3$ ), 可按所在地区省水利厅印发

的水文手册中计算公式计算；

$K_Q$ ——泥石流流量修正系数；

$D$ ——堵塞系数，可按表 6.1.6-2 查得。

表 6.1.6-2 泥石流堵塞系数

| 堵塞程度  | 严重堵塞 | 中等严重堵塞  | 轻微堵塞    | 无堵塞 |
|-------|------|---------|---------|-----|
| $D$ 值 | >2.5 | 2.5~1.5 | 1.5~1.1 | 1.0 |

4 泥石流过流湾道超高  $\Delta H_w$ 。按下式计算：

$$\Delta H_w = \frac{v_c^2 \cdot B}{2g \cdot R} \quad (6.1.6-5)$$

式中  $B$ ——泥面宽 (m)；

$R$ ——主流中心弯曲半径 (m)。

## 6.2 排 导

6.2.1 排导工程设计应符合下列规定：

1 管道工程所经沟谷较窄或管道工程对沟谷两侧环境影响较大的泥石流治理宜采用排导槽。

2 管道工程经过宽浅沟谷或管道工程对沟谷一侧环境影响较大的泥石流治理，宜采用导流堤护岸或单边防护堤。

3 单边防护堤宜按挡墙式护岸设计，并应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的相关规定。

6.2.2 排导工程结构设计应符合下列规定：

1 整体式框架结构和全断面衬砌结构应具有足够的刚度。

2 导流堤护岸或单边防护堤设计，抗滑、抗倾和地基承载力应符合本规范第 5.6 节的要求。

3 基础应置于最大冲刷深度以下不小于 1.0m。

4 结构的顶冲部位应具有较好的抗冲击强度。

6.2.3 排导槽的基本荷载计算应符合下列规定：

1 结构自重应按下式计算：

$$W = V \cdot \gamma \quad (6.2.3-1)$$

式中  $W$ ——结构自重 (kN/m);  
 $V$ ——单位宽度结构体积 (m<sup>3</sup>);  
 $\gamma$ ——结构体材料重度 (kN/m<sup>3</sup>)。

2 水石流体水平压力应按下列公式计算:

$$F_{dl} = \frac{1}{2} \gamma_{ys} \cdot h_s^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_{ys}}{2} \right) \quad (6.2.3-2)$$

$$\gamma_{ys} = \gamma_{ds} - (1 - n) \gamma_w \quad (6.2.3-3)$$

式中  $F_{dl}$ ——水石流体水平压力 (kN);  
 $\gamma_{ys}$ ——浮砂重度 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $\gamma_{ds}$ ——干砂重度 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $\gamma_w$ ——水位重度 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $n$ ——孔隙率;  
 $h_s$ ——水石流体堆积厚度 (m);  
 $\varphi_{ys}$ ——浮砂内摩擦角 (°)。

3 泥石流体水平压力应按下式计算:

$$F_{vl} = \frac{1}{2} \gamma_c \cdot H_c^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_a}{2} \right) \quad (6.2.3-4)$$

式中  $F_{vl}$ ——泥石流水平压力 (kN);  
 $\gamma_c$ ——泥石流重度 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $H_c$ ——泥石流体泥深 (m);  
 $\varphi_a$ ——泥石流体内摩擦角 (°), 一般取值 4°~10°。

4 水平水压力应按下式计算:

$$F_{wl} = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H_w^2 \quad (6.2.3-5)$$

式中  $F_{wl}$ ——水平水压力 (kN);



$\gamma_w$ ——水体的重度 ( $\text{kN/m}^3$ );

$H_w$ ——水的深度 (m)。

5 作用于排导槽上的泥石流整体冲击力应按下式计算:

$$F_s = \lambda \cdot \frac{\gamma_c}{g} v_c^2 \cdot \sin \alpha \quad (6.2.3-6)$$

式中  $F_s$ ——泥石流整体冲击压力 ( $\text{kPa}$ );

$v_c$ ——泥石流流速 ( $\text{m/s}$ );

$g$ ——重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ ), 取  $g = 9.8 \text{m/s}^2$ ;

$\alpha$ ——建筑物受力面与泥石流冲压方向的夹角 ( $^\circ$ );

$\lambda$ ——建筑物形状系数, 圆形建筑物  $\lambda = 1.0$ , 矩形建筑物  $\lambda = 1.33$ , 方形建筑物  $\lambda = 1.47$ 。

6 作用于排导槽上泥石流中大块石的冲击力宜按下式计算:

$$F_b = \sqrt{\frac{48E \cdot L \cdot v^2 \cdot W}{g \cdot L^3}} \cdot \sin \alpha \quad (6.2.3-7)$$

式中  $F_b$ ——泥石流大块石冲击力 ( $\text{kPa}$ );

$E$ ——工程构件弹性模量 ( $\text{kPa}$ );

$L$ ——构件长度 (m);

$v$ ——石块运动速度 ( $\text{m/s}$ );

$W$ ——石块重量 ( $\text{kN}$ );

$g$ ——重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ ), 取  $g = 9.8 \text{m/s}^2$ ;

$\alpha$ ——块石运动方向与构件受力面的夹角 ( $^\circ$ )。

#### 6.2.4 排导槽过流断面设计应符合下列规定:

1 排导槽宜设计成 U 型断面, 断面面积宜根据流通段沟道的特征类比确定, 断面尺寸应满足下式规定:

$$\frac{B_L}{B_X} \cdot \frac{H_L^{\frac{5}{3}}}{H_X^{\frac{5}{3}}} \cdot \frac{n_X}{n_L} \cdot \frac{I_L^{\frac{1}{2}}}{I_X^{\frac{1}{2}}} = 1 \quad (6.2.4-1)$$

式中  $B_X$ ——排导槽的宽度 (m);

$B_L$ ——流通区沟道宽度 (m);

$H_L$ ——流通区沟道泥石流厚度 (m);

$H_X$ ——排导槽设计泥石流厚度 (m);

$n_X$ ——排导槽的糙率系数;

$n_L$ ——流通区沟道的糙率系数;

$I_L$ ——流通区沟道纵坡降 (‰);

$I_X$ ——排导槽纵坡降 (‰)。

2 排导槽的深度应按下式计算确定:

$$H = H_c + H_d + \Delta H \quad (6.2.4-2)$$

式中  $H$ ——排导槽深度 (m);

$H_c$ ——设计泥深 (m);

$H_d$ ——排导槽淤积高度 (m);

$\Delta H$ ——排导槽安全超高 (m), 宜取 0.5m~1.0m。

3 排导槽弯道段, 排导槽深度应按下式计算:

$$H_w = H + \Delta H_w \quad (6.2.4-3)$$

式中  $H_w$ ——排导槽弯道深度 (m);

$\Delta H_w$ ——泥石流弯道超高 (m)。

4 排导槽宜采用侧墙加防冲肋板或全衬砌结构, 防冲肋板间距宜按下式计算:

$$L = \frac{H - \Delta H}{I_0 - I'} \quad (6.2.4-4)$$

式中  $L$ ——防冲肋板间距 (m);

$H$ ——防冲肋板埋深 (m), 一般取  $H = 1.5\text{m} \sim 2.0\text{m}$ ;

$\Delta H$ ——防冲肋板安全超高 (m), 一般取  $\Delta H = 0.5\text{m}$ ;

$I_0$ ——排导槽设计纵坡降 (‰);

$I'$ ——肋板下冲刷后的排导槽纵坡降 (‰), 一般取  $I' = (0.5 \sim 0.25) I_0$ 。

5 排导工程侧壁防护边墙宜按护岸设计, 应按现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的相关规定执行。

### 6.2.5 排导工程构造要求应符合下列规定:

1 排导工程宜布置在相对顺直沟谷段,应利用天然沟道随弯就势,出口段与主河宜向下游锐角相交。

2 当排导槽为宽不大于 5.0m,纵坡降较小,排导不畅的小型槽时,宜采用全衬砌排导槽,横断面宜采用 V 型,槽底横向斜坡宜为 150‰~300‰。

3 肋板式排导槽的肋板与墙基础成整体,肋板顶部宜与沟底齐平。边墙基础深度应结合冲刷深度及地基承载力确定,且不应小于 1.0m~1.5m,沟底宜采用混凝土或浆砌块石铺砌,肋板宜采用钢筋混凝土,厚度宜为 0.8m~1.0m。

4 排导槽在泥石流进口段的收缩角取值应根据泥石流性质确定:

1) 黏性泥石流或含大漂砾的水石流,  $8^{\circ} \leq \theta \leq 15^{\circ}$ ;

2) 稀性泥石流或高含沙水流,  $15^{\circ} \leq \theta \leq 25^{\circ}$ 。

5 喇叭口长度应为设计平面液面宽度的 5 倍~8 倍,横断面纵轴宜对称布置。

6 排导槽在急流段宜采用等宽度的直线形平面设计或以缓弧相接的大钝角相交折线形布置,转折角宜为  $135^{\circ} \sim 150^{\circ}$ ;槽宽不宜突然放宽或突然收缩,渐变段长宜为沟道宽度的 5 倍~10 倍,扩散角宜为  $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

## 6.3 拦 挡

6.3.1 油气输送管道泥石流治理的拦挡工程宜采用防冲墙、防冲墩、重力式拦挡坝。

6.3.2 防冲墙设计应符合下列规定:

1 防冲墙应布置在管道中线的下游。

2 防冲墙埋深应依据泥石流沟谷最大冲刷深度和管道设计埋深确定,防冲墙墙顶不宜超出原地表。

3 防冲墙按照重力式挡墙设计,应符合本规范第 5.6 节的要求。

### 6.3.3 防冲墩设计应符合下列规定:

1 防冲墩应布置在管道中线的下游,宜沿垂直沟谷方向布置两排或多排,纵向交错成三角形或梅花形。

2 作用于防冲墩上泥石流中大块石的冲击力  $F_b$  宜按下式计算:

$$F_b = \sqrt{\frac{3E \cdot J \cdot V^2 \cdot W}{g \cdot L^3}} \cdot \sin\alpha \quad (6.3.3-1)$$

3 防冲墩布置间距应按下式确定:

$$b/D_m = 1.5 \sim 2 \quad (6.3.3-2)$$

式中  $b$ ——桩的排距和行距 (m);

$D_m$ ——泥石流最大粒径 (m)。

4 防冲墩超出管道高度宜按公式 (6.3.3-3) 计算,且超出泥石流沟谷原地面的高度不宜大于 0.5m。

$$h = (2 \sim 4)b \quad (6.3.3-3)$$

式中  $h$ ——防冲墩超出管道高度 (m);

$b$ ——桩的排距和行距 (m)。

5 防冲墩基础应埋在冲刷线以下,且埋置深度不应小于总长度的 1/3;防冲墩可采用钢轨、钢管或组合钢构件或钢筋混凝土桩体。

6 防冲墩的受力分析与结构设计,应符合本规范第 5.4 节的要求。

**6.3.4 重力式拦挡坝宜分段布置在对管道工程具有潜在影响的小支沟、冲沟上,一条沟内宜布置 2~3 座。重力式拦挡坝设计应符合下列规定:**

1 作用于拦挡坝基本荷载应按本规范第 6.2 节的公式计算。过坝动水压力、扬压力基本荷载按下列公式计算。

1) 过坝泥石流的动水压力为过坝泥石流水平作用在坝体上的泥石流流动压力,按下式计算:

$$\sigma = (\gamma_c / g) v_c^2 \quad (6.3.4-1)$$

式中  $\sigma$ ——过坝动水压力 (kPa);

$v_c$ ——泥石流的平均流速 (m/s);

$g$ ——重力加速度 (m/s<sup>2</sup>), 取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ;

$\gamma_c$ ——泥石流的重度 (kN/m<sup>3</sup>)。

2) 作用在迎水面坝踵处的扬压力应按下列式计算:

$$F_y = K \frac{H_1 + H_2}{2} B \cdot \gamma_w \quad (6.3.4-2)$$

式中  $F_y$ ——扬压力 (kPa);

$H_1$ ——坝上游水深 (m);

$H_2$ ——坝下游水深 (m);

$B$ ——坝底宽度 (m);

$K$ ——折减系数, 可根据坝基渗透性按现行行业标准《水工建筑物荷载设计规范》DL 5077 的规定确定。

2 重力式拦挡坝可采用浆砌石或钢筋混凝土结构, 临时工程可采用钢筋石笼。断面尺寸可按表 6.3.4-1 的规定选用。

表 6.3.4-1 重力式拦挡坝断面

| 类别   | 断面      |         |             |              |
|------|---------|---------|-------------|--------------|
|      | 高 (m)   | 顶宽 (m)  | 迎水坡         | 背水坡          |
| 断面尺寸 | 4.0~8.0 | 1.0~1.5 | 1:0.3~1:0.4 | 1:0.05~1:0.2 |

3 重力式拦挡坝整体稳定性应符合抗滑和抗倾覆安全系数的要求, 设计标准应符合表 6.3.4-2 的要求。

4 重力式拦挡坝宜沿沟道自下而上分段布置, 布置间距应按下列公式确定:

当  $I_2 = 0$  时:

$$L = \frac{H}{I_1} \quad (6.3.4-3)$$

当  $I_2 \neq 0$  时:

$$L = \frac{H}{I_1 - I_2} \quad (6.3.4-4)$$

式中  $L$ ——拦挡坝间距 (m);

$H$ ——拦挡坝有效高度 (m);

$I_1$ ——原沟床纵坡 (‰);

$I_2$ ——相邻两个拦挡坝溢流口之间的纵坡降 (‰)。

表 6.3.4-2 重力式拦挡坝设计标准

| 防治工程<br>等级 | 降雨强度    | 抗滑安全系数 |      | 抗倾覆安全系数 |      |
|------------|---------|--------|------|---------|------|
|            |         | 基本荷载   | 特殊荷载 | 基本荷载    | 特殊荷载 |
| I          | 100 年一遇 | 1.20   | 1.10 | 1.60    | 1.30 |
| II         | 50 年一遇  | 1.15   | 1.08 | 1.50    | 1.25 |
| III        | 20 年一遇  | 1.10   | 1.05 | 1.40    | 1.20 |

注: 荷载基本组合用于设计工况, 为自重 + 地下水; 特殊组合用于校核工况, 特殊组合 I 为自重 + 暴雨 + 地下水组合, 特殊组合 II 为自重 + 地震 + 地下水组合, 两者选一种不利组合进行校核。

## 6.4 其他防治工程

6.4.1 当管道工程紧临滑坡或泥石流沟岸坡不稳定段时, 宜采用拦砂坝固床稳坡工程反压滑坡剪出口或保护坡脚。拦砂坝坝高应按下式计算:

$$H_d = L_s \cdot I_b + h_s - L_s \cdot I_s \quad (6.4.1)$$

式中  $H_d$ ——沟底以上拦砂坝的有效高度 (m);

$L_s$ ——上游坡需要掩埋处距拦砂坝顶上游侧的距离 (m);

$I_b$ ——沟床原始纵坡 (‰);

$I_s$ ——淤积纵坡, 取  $1/2I_b \sim 3/4I_b$ ;

$h_s$ ——沟底以上需要淤埋的深度 (m)。

**6.4.2** 护坡工程应采用不低于 M10 的水泥砂浆砌石砌筑, 护坡高度应高于设计最高泥位; 护坡内壁坡度宜与岸坡平行, 护砌厚度在顶部不宜小于 50cm, 底部不宜小于 100cm, 基础应置于最大冲刷深度以下不小于 80cm, 且总埋深不宜小于 100cm。

**6.4.3** 临时性护坡可采用石笼护坡。石笼应沿流向卧置, 基础埋置于冲刷深度以下应不小于 1.0m。

**6.4.4** 护底工程宜采用浆砌块石铺砌, 砂浆强度不应低于 M7.5, 铺砌厚度不应小于 0.5m。

**6.4.5** 坡面治理工程设计应符合下列规定:

1 泥石流沟形成区的治理宜采用削坡、挡土、排水和水平台阶坡面治理工程。

2 削坡坡比应根据地层确定, 且宜缓于 1:1, 坡面宜进行生物防护。

3 排水工程宜采用排水沟, 沟槽陡缓交界处应作消能、水跃处理。

4 坡面  $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$  时的水平台阶工程, 北方地区田面宽不宜小于 8m, 南方地区不宜小于 5m, 田坎高宜为 0.5m~1.0m; 坡面  $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$  时的水平台阶工程, 北方地区田面宽不宜小于 4m, 南方地区不宜小于 2m, 田坎高宜为 1.0m~2.0m。

**6.4.6** 生物工程应符合下列要求:

1 在油气输送管道工程影响区宜实施生物治理工程。生物工程应根据泥石流发生的条件、泥石流性质及危害状况、泥石流发展趋势, 结合当地自然条件和社会经济实际制定方案。

2 生物工程植物选取应满足治理山地灾害的需要。应选择根系深而发达、固土能力强、寿命长的植物, 选择的植物应与栽植地的气候条件相适应。深根植物不应种植在管道中线两侧 5m 范围内。

3 生物工程宜与其他防治方案相结合。

## 7 岩 溶 塌 陷

### 7.1 一般规定

7.1.1 岩溶塌陷治理应根据溶洞稳定性分析和管道稳定性分析结果选用治水、填垫、灌注、跨越等工程措施。

7.1.2 岩溶坑洞类岩溶地基处理以及直径小于 10m、埋深小于 5m、裸露的岩溶土洞宜采用填垫法；已发生塌陷或经处理处于欠稳定的岩溶塌陷区宜采用灌注法；地下水或地表水丰富的岩溶地区宜采用治水工程，并宜与填垫法、灌注法联合使用；当基础下存在溶洞、溶槽、漏斗时，可采用梁板跨越，跨越基础应进行强度、变形验算。

7.1.3 溶洞稳定性分析应符合下列规定：

1 塌落厚度可按式计算：

$$H = \frac{H_0}{K - 1} \quad (7.1.3 - 1)$$

式中  $H$ ——塌落厚度 (m)；

$H_0$ ——塌落前洞体最大高度 (m)；

$K$ ——松散系数，石灰岩取 1.2，土层取 1.05。

2 当溶洞顶板具有一定厚度时，洞室顶板稳定性应进行下列计算：

1) 当顶板跨中有裂缝，顶板两端支座处岩石坚固完整时，弯矩宜按下式计算：

$$M = \frac{1}{2} p l^2 \quad (7.1.3 - 2)$$

式中  $M$ ——弯矩 (kN·m)；

$p$ ——顶板所受总荷载 (kN/m)，顶板厚  $H$  时岩体自重、顶板上覆土体自重和顶板上附加荷载之和；



$l$ ——溶洞跨度 (m)。

- 2) 当顶板裂隙位于两段支座处, 而顶板较完整时, 弯矩宜按下式计算:

$$M = \frac{1}{8} p l^2 \quad (7.1.3-3)$$

- 3) 当顶板支座和顶板岩层均较完整时, 弯矩宜按下式计算:

$$M = \frac{1}{12} p l^2 \quad (7.1.3-4)$$

- 4) 抗弯验算, 当岩体抗弯强度大于弯矩时, 宜按下列公式判断洞室顶板稳定性:

$$\frac{6M}{bH^2} \leq \sigma \quad (7.1.3-5)$$

$$H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (7.1.3-6)$$

式中  $M$ ——弯矩 (kN·m);

$H$ ——顶板岩层厚度 (m);

$\sigma$ ——岩体计算抗弯强度 (石灰岩一般为允许抗压强度的 1/8) (kPa);

$b$ ——梁板的宽度 (m)。

- 5) 抗剪验算, 当岩体抗剪强度大于其所受剪力时, 宜按下列公式判断洞室顶板稳定性:

$$\frac{4f_s}{H^2} \leq S \quad (7.1.3-7)$$

$$H \geq \sqrt{\frac{4f_s}{S}} \quad (7.1.3-8)$$

式中  $f_s$ ——支座处的剪力 (kN);

$S$ ——岩体计算抗剪强度（石灰岩一般为允许抗压强度的  
1/12）（kPa）；

$H$ ——顶板岩层厚度（m）。

3 顶板可抵抗剪切的厚度可按下列公式计算：

$$T \geq P \quad (7.1.3-9)$$

$$T = H \cdot S \cdot L \quad (7.1.3-10)$$

$$H = \frac{T}{S \cdot L} \quad (7.1.3-11)$$

式中  $P$ ——溶洞顶板所受总荷载（kN）；

$T$ ——溶洞顶板的总抗剪力（kN）；

$L$ ——溶洞平面的周长（m）。

7.1.4 管道稳定性分析应符合下列规定：

1 单位长度管道受力宜按下式计算：

$$G = N + P + g \quad (7.1.4-1)$$

式中  $G$ ——单位长度管道受到向下的力（kN/m）；

$N$ ——单位长度管道自重（kN/m）；

$P$ ——单位长度管道内充水重量（kN/m）；

$g$ ——单位长度管道上覆土重量（kN/m）。

2 岩溶塌陷条件下管道的受力模式可按图 7.1.4 的规定简化计算。

3 稳定性评价应符合下列规定：

1) 管道的跨越按强度校核，管道跨越溶洞的最大允许宽度应按下列公式计算：

$$L = \sqrt{\frac{\sigma_s \cdot W \cdot \varphi}{G}} \quad (7.1.4-2)$$

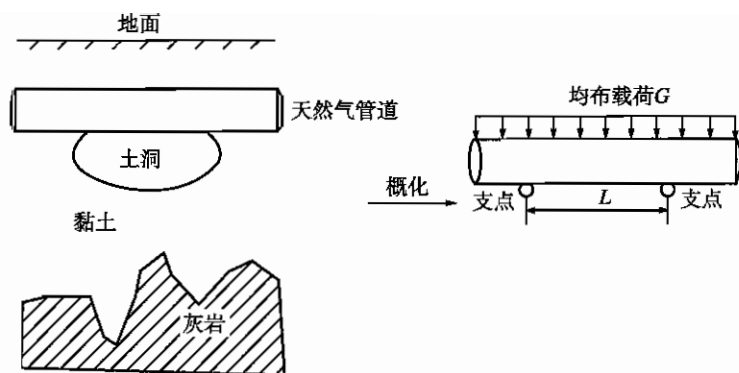


图 7.1.4 管道受力模式简图

$$W = \frac{D^4 - (D - 2t)^4}{32D} \quad (7.1.4-3)$$

式中  $L$ ——图 7.1.4 中两支点之间的距离 (m);

$D$ ——管道的外径 (m);

$t$ ——管道的壁厚 (m);

$W$ ——管道的截面抵抗矩 ( $\text{m}^3$ );

$\phi$ ——弯矩系数, 取 1.15;

$\sigma_s$ ——管道的屈服强度 (MPa)。

2) 管单元的极限弯矩可按式计算:

$$M_j = \sigma_s \cdot \frac{D^3}{6} \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{2t}{D} \right)^3 \right] \quad (7.1.4-4)$$

式中  $M_j$ ——管单元的极限弯矩 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )。

3) 管道承受的弯矩可按式计算:

$$M = \frac{1}{8} G \cdot L^2 \quad (7.1.4-5)$$

式中  $M$ ——管道承受的最大弯矩 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )。

4) 稳定性评价:

a) 当  $M/M_j > 1$  时, 土洞坍塌会影响管道安全, 场

地不稳定,需采取抗塌措施;

- b) 当  $M/M_s \leq 1$  时,土洞坍塌不会影响管道安全,场地稳定,可不采取抗塌措施。

**7.1.5 管道施工条件下岩溶塌陷区场地稳定性分析应符合下列规定:**

1 土洞抗塌力及上覆土自重计算。管道施工机械对岩溶土洞的影响,可采用极限平衡方法进行计算,计算原理如图 7.1.5 所示。

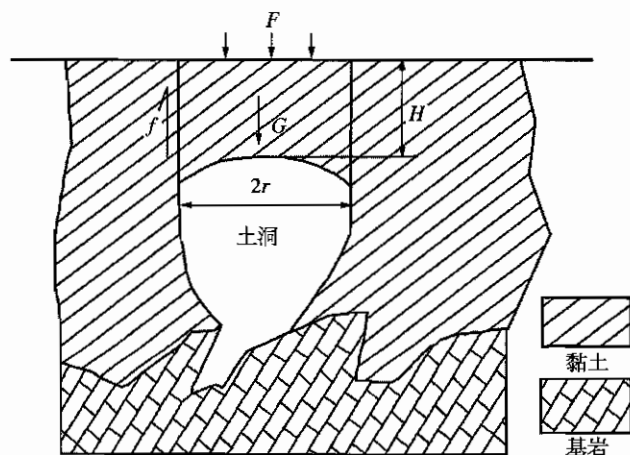


图 7.1.5 土洞极限平衡理论计算原理示意图

$F$ —施工机械对土洞上覆土产生的荷载

2 抗塌力  $f$  和土洞上覆土自重  $G_{\text{土洞土}}$  宜根据莫尔库仑定律,按下列公式计算:

$$f = 2\pi \cdot r \cdot H(C + 0.5B \cdot \gamma \cdot H^2 \tan \phi) \quad (7.1.5-1)$$

$$G_{\text{土洞土}} = \gamma \cdot \pi \cdot r^2 (H + r) \quad (7.1.5-2)$$

式中  $f$ ——抗塌力 (kN);

$G_{\text{土洞土}}$ ——土洞上覆土自重 (kN);

$r$ ——土洞半径 (m);

$H$ ——土洞顶板厚度 (m);  
 $B$ ——侧压力系数, 一般取 0.5;  
 $\gamma$ ——土的容重 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ );  
 $C$ ——土的内聚力 (kPa);  
 $\phi$ ——土的内摩擦角 ( $^\circ$ ).

3 管道施工条件下岩溶塌陷区场地稳定性应按下列两种情况进行评价:

- 1) 当  $f/(G+F) > 1$  时, 施工机具不会造成土洞的坍塌, 场地稳定, 可不采取抗塌措施;
- 2) 当  $f/(G+F) \leq 1$  时, 施工机具会造成土洞的坍塌, 场地不稳定, 应采取抗塌措施。

## 7.2 治 水

7.2.1 岩溶塌陷发育地段应对地表水和地下水采取截流、排泄、疏导及堵水等措施。

7.2.2 截流工程设计应符合下列要求:

1 地表水截流设施宜与水流方向垂直, 截流后水流应有固定出口, 无排泄通道时应设排水沟、急流槽、集水槽等排水措施, 可按本规范第 5.3 节要求设计。

2 地下水截流可用填石渗沟 (盲沟)、管式渗沟或洞式渗沟, 渗沟应设置排水层、反滤层和封闭层。地下水截流措施设计计算及结构设计应符合现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219 的相关要求。

7.2.3 排泄设计应符合下列要求:

- 1 排泄设施纵坡宜顺势, 沟底应平整, 排水应畅通。
- 2 排泄设施宜采用混凝土浇注或浆砌片石砌筑。
- 3 排泄设施的出水口宜引至天然河沟。
- 4 设置排水沟或排水管的地基应满足承载力要求。

7.2.4 疏导设计应符合下列要求:

- 1 处理季节性冒水洞地段, 可采用封堵加涵管处理方式。

2 处理涌水量较大的泉眼地段,可采用竖井加涵管方式。

**7.2.5** 岩溶水可采用注浆技术封堵,注浆设计参数宜根据地质资料在代表性地段选取 2 个~3 个钻孔进行注浆试验确定。

### 7.3 填 垫

**7.3.1** 填垫法治理岩溶塌陷时应符合下列规定:

1 当基岩出露并见溶洞口时,应封闭洞口,溶洞底部宜采用块石、片石,中部采用碎石,上层采用土或混凝土填塞。

2 不易积水且无基岩出露的塌陷坑,可采用黏土回填夯实,回填体宜高出地面 0.3m~0.5m。

**7.3.2** 已充填的溶洞宜采用换填法,应清除洞中充填物,并可采用块石、片石、砂、混凝土等材料进行换填。

**7.3.3** 浅埋的岩溶土洞宜采用挖填法,应挖除洞内塌陷土体,溶洞底部宜采用块石、片石、砂夯填,表层采用黏性土覆盖并夯实。

**7.3.4** 石芽或大块孤石区段宜采用垫褥法,应凿去局部突出的基岩,并宜在基础与岩石的接触部位设置褥垫,褥垫材料可采用炉渣、中砂、粗砂、土夹石。

### 7.4 灌 注

**7.4.1** 已发生塌陷或处于欠稳定的岩溶塌陷区宜采用灌注法。可通过钻孔或岩溶洞口进行注浆。灌注材料可采用水泥、碎料(砂、矿渣等)和速凝剂(水玻璃、氧化钙)等。

**7.4.2** 灌浆方式可采用低压间歇定量式或循环式灌注。

**7.4.3** 灌注量应根据溶洞体积和孔隙率确定。

**7.4.4** 灌注工程设计应符合本规范第 8.2 节的要求。

## 8 采 空 区

### 8.1 一 般 规 定

**8.1.1** 采空区塌陷防治设计范围应包括管道主体工程压覆的采空区、管道附属工程所压覆的采空区、影响管道安全的与采空区相伴生的巷道、废弃的矿井、地裂缝及塌陷坑。

**8.1.2** 下列采空区防治工程的设计应进行专门论证：

- 1 环境地质条件很复杂的采空区防治工程。
- 2 采空区防治工程治理与油气管道安全运营要求发生重大冲突。
- 3 矿层及采空区内含有大量有毒有害气体。
- 4 采空区内存在大量地下水。
- 5 已发生过严重事故的采空区。
- 6 采用新结构、新技术的采空区防治工程。

### 8.2 注 浆

**8.2.1** 已垮塌、具有滑落迹象或经稳定性评价处于欠稳定或不稳定，对管道工程造成影响或具有潜在影响的采空区治理宜采用注浆法，并应符合下列要求：

- 1 注浆施工前应选择代表性地段，按设计注浆孔总数的3%~5%的孔进行现场注浆试验。
- 2 当治理区临近生产矿井巷道时，应在井下修建止浆墙。
- 3 当治理区临近废弃矿井巷道时，应设计止浆帷幕。

**8.2.2** 采空区治理设计计算应符合下列规定：

- 1 采空区注浆范围应根据采空区的分布、埋藏深度以及上覆岩性等因素确定。
- 2 采空区治理宽度可按下列公式计算：

$$B = D + 2d + D' \quad (8.2.2-1)$$

式中  $B$ ——采空区治理宽度 (m);  
 $D$ ——管沟宽度 (m);  
 $d$ ——管沟施工作业带宽度, 取 10m;  
 $D'$ ——采空区覆岩移动影响宽度 (m)。

3 当管道线路通过水平矿层采空区 (如图 8.2.2-1 所示) 时, 采空区覆岩移动影响宽度, 应按公式 (8.2.2-2) 计算:

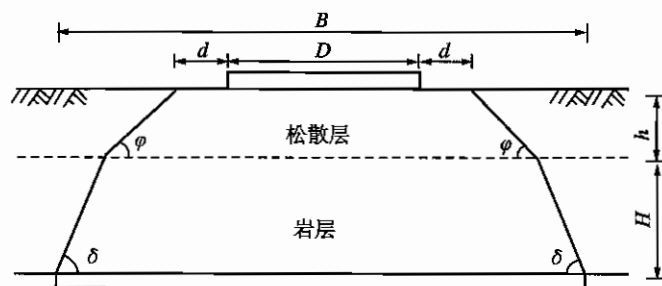


图 8.2.2-1 水平矿层采空区处置宽度计算简图

$$D' = 2(h \cdot \cot\varphi + H \cdot \cot\delta) \quad (8.2.2-2)$$

式中  $h$ ——地表松散层厚度 (m);  
 $H$ ——采空区上覆岩层厚度 (m);  
 $\varphi$ ——松散层移动角 ( $^{\circ}$ );  
 $\delta$ ——管道走向方向采空区上覆岩层移动影响角 ( $^{\circ}$ ), 应按表 8.2.2 的规定取值。

4 当管线与倾斜矿层采空区 (如图 8.2.2-2 所示) 矿层走向垂直时, 线路上每点的宽度可按公式 (8.2.2-2) 计算; 当线路与岩层走向平行时, 应按下式计算:

$$D' = 2h \cdot \cot\varphi + H_1 \cdot \cot\beta + H_2 \cdot \cot\gamma \quad (8.2.2-3)$$

式中  $H_1, H_2$ ——采空区上山、下山边界上覆岩层厚度 (m);  
 $\beta$ ——采空区下山方向上覆岩层移动影响角 ( $^{\circ}$ );



$\gamma$ ——采空区上山方向上覆岩层移动影响角 ( $^{\circ}$ )。

表 8.2.2 覆岩移动影响角分类

| 采空区类型                                       | 新(准)采空区                      |                              |                              | 老采空区                         |                              |                              |
|---------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                             | $\leq 40\%$                  | $40\% \sim 60\%$             | $\geq 60\%$                  | $\leq 40\%$                  | $40\% \sim 60\%$             | $\geq 60\%$                  |
| 坚硬覆岩<br>$R_c \geq 60\text{MPa}$             | $78^{\circ} \sim 83^{\circ}$ | $76^{\circ} \sim 82^{\circ}$ | $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ | $85^{\circ} \sim 88^{\circ}$ | $82^{\circ} \sim 86^{\circ}$ | $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ |
| 中硬覆岩<br>$30\text{MPa} < R_c < 60\text{MPa}$ | $73^{\circ} \sim 78^{\circ}$ | $72^{\circ} \sim 76^{\circ}$ | $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$ | $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ | $77^{\circ} \sim 82^{\circ}$ | $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ |
| 软弱覆岩<br>$R_c \leq 30\text{MPa}$             | $64^{\circ} \sim 73^{\circ}$ | $62^{\circ} \sim 72^{\circ}$ | $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ | $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ | $72^{\circ} \sim 77^{\circ}$ | $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$ |

注: 1.  $R_c$  为岩石天然单轴抗压强度。

2. 本表适用于地形较为平坦, 地表倾角小于  $15^{\circ}$  的地区。

3. 当管道及其建(构)筑物位于山地坡脚等低洼部位, 坡体下方有新采区或准采区时, 应考虑管道及其建(构)筑物可能受到采动滑移影响, 此时移动影响角应减小  $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ , 坡角越大, 移动影响角越小。

4. 取值时应考虑开采深厚比对移动角的影响。当开采深厚比大时, 移动影响角取大值; 开采深厚比小时, 移动影响角取小值。

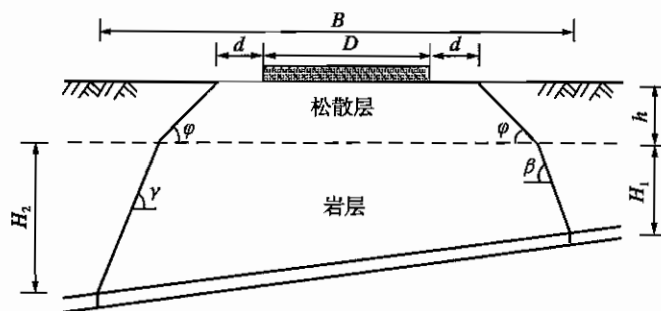


图 8.2.2-2 倾斜矿层采空区矿层与线路走向平行时处置宽度计算简图

5 沿管线中线方向的采空区治理长度, 计算简图如图 8.2.2-3 所示, 治理长度可按式计算:

$$L = L_0 + 2h \cdot \cot\varphi + H_1 \cdot \cot\beta + H_2 \cdot \cot\gamma \quad (8.2.2-4)$$

式中  $L$ ——沿管线中线方向的采空区治理长度 (m);  
 $H_1, H_2$ ——采空区下山和上山覆岩层厚度 (m);  
 $\beta, \gamma$ ——分别为矿层下山和上山方向岩层移动影响角 ( $^\circ$ );  
 $\varphi$ ——松散层移动角 ( $^\circ$ );  
 $L_0$ ——沿管道中线方向采空区长度 (m)。

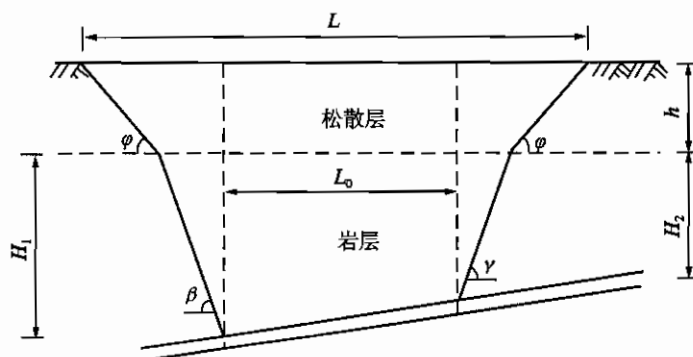


图 8.2.2-3 采空区治理长度计算图

6 采空区治理深度应按下列情况确定:

- 1 当治理范围位于采空区边界以内时, 治理深度应为地面至采空区底板以下 1m。
- 2 当治理范围位于采空区边界外侧至岩层移动影响范围以内时 (如图 8.2.2-4 所示), 可按下列公式计算:

$$h = h_1 + h_2 \quad (8.2.2-5)$$

$$h_1 = H - l \cdot \tan\delta \quad (8.2.2-6)$$

式中  $h$ ——采空区治理深度 (m);  
 $H$ ——采空区埋深 (m);  
 $l$ ——注浆孔距采空区边界的距离 (m);

$\delta$ ——矿层移动影响角 ( $^{\circ}$ );

$h_2$ ——影响裂隙带以下的处治深度, 取 5m~10m 为宜。

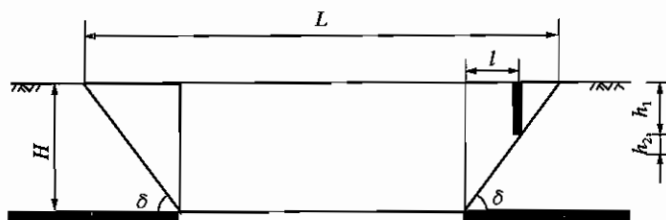


图 8.2.2-4 深度计算图

7 注浆总量应按下式计算:

$$Q_{\text{总}} = \frac{A \cdot S \cdot M \cdot K \cdot \Delta V \cdot \eta}{c \cdot \cos \alpha} \quad (8.2.2-7)$$

式中  $Q_{\text{总}}$ ——注浆总量 ( $\text{m}^3$ );

$A$ ——浆液损耗系数, 取 1.0~1.2;

$S$ ——采空区处治面积 ( $\text{m}^2$ );

$M$ ——矿层平均采出厚度 (m);

$K$ ——回采率 (%), 通过实际调查确定;

$\Delta V$ ——采空区剩余空隙率 (%);

$\eta$ ——充填率 (%), 可取  $\eta = 80\% \sim 90\%$ ;

$c$ ——浆液结石率 (%), 经试验确定, 无试验数据时可取

$c = 70\% \sim 95\%$ ;

$\alpha$ ——岩层倾角 ( $^{\circ}$ )。

8 单孔注浆量应按下式计算:

$$Q_{\text{单}} = \frac{A \cdot \pi \cdot R^2 \cdot M \cdot \Delta V \cdot \eta}{c \cdot \cos \alpha} \quad (8.2.2-8)$$

式中  $R$ ——浆液有效扩散半径 (m), 按 1/2 孔间距计算;

$A$ ——单孔注浆量浆液损耗系数, 取 1.2~2。

8.2.3 注浆孔设计及构造应符合下列规定:

1 采空区治理范围的边缘部位应布设帷幕孔,帷幕孔间距宜为 10m,误差范围为  $\pm 5\text{m}$ 。

2 注浆孔宜采用梅花型布设,其排距、孔间距应经现场试验确定。

3 注浆孔、帷幕孔孔深应按本规范第 8.2.2 条确定。

4 开孔孔径宜控制在 130mm~150mm 之间,可经一次或两次变径,终孔孔径不应小于 91mm。

5 注浆孔和帷幕孔均应进入完整基岩 4m~6m 处方可变径(软岩取大值,硬岩取小值)。

6 取心孔的数量应为注浆孔、帷幕孔总数的 3%~5%,采空区部位岩心采取率不应小于 30%,其他部位岩心采取率不应小于 60%。

7 钻孔每百米孔斜不应超过  $1^\circ$ 。

8 注浆管宜选用直径不小于  $\phi 50\text{mm}$  的钢管,需投入集料时,管径不应小于  $\phi 89\text{mm}$ ;当采空区处治深度小于 50m 时,可采用  $\phi 50\text{mm}$  的 PVC 管或 PE 管。

#### 8.2.4 注浆材料应符合下列规定:

1 采空区注浆主要材料宜采用水泥、粉煤灰。当采空区空洞和裂隙发育,地下水流速大于 200m/h 时,宜先灌注砂、砾石、石屑、矿渣集料后注浆。

2 注浆材料的配比应通过现场试验确定。水固质量比宜取 1:1.0~1:1.3。

#### 8.2.5 注浆参数应符合下列规定:

1 注浆压力宜通过现场注浆试验确定。管沟下伏采空区注浆压力宜控制在 1.0MPa~1.5MPa。

2 注浆压力达到设计结束压力时,结束吸浆量应小于 70L/min。

3 管沟下伏采空区治理浆液结石体的单轴抗压强度不应小于 0.6MPa。

4 注浆充填率应达到 80%~85%。

### 8.3 砌筑支撑

8.3.1 具备人工作业和材料运输条件的采空区治理宜采用砌筑支撑法，砌筑材料宜以浆砌片石为主。

8.3.2 砌筑支撑分为砌筑和部分砌筑（墙柱式）支撑，砌筑工程量计算应符合下列规定：

1 全部砌筑支撑工程量按下式计算：

$$Q_{\text{总}} = S \cdot M \cdot \xi \quad (8.3.2-1)$$

式中  $Q_{\text{总}}$ ——砌筑量 ( $\text{m}^3$ )；

$S$ ——实际空洞面积 ( $\text{m}^2$ )；

$M$ ——采空区平均高度 (m)；

$\xi$ ——塌落影响系数，可取 0.9~1.0。

2 部分砌筑支撑墙柱之间的距离，宜根据采空区顶板地层岩性及其破碎程度等地质条件进行稳定性计算或类比法确定，墙柱体宽度不宜小于 2m。砌筑工程量应按下式计算：

$$Q_{\text{总}} = S_1 \cdot M \cdot S / \Delta S \quad (8.3.2-2)$$

$\Delta S$  为单墙有效面积时：

$$\Delta S = B \cdot L_1 \quad (8.3.2-3)$$

$\Delta S$  为单柱有效面积时：

$$\Delta S = 1.13^2 \cdot L_1^2 \quad (8.3.2-4)$$

式中  $Q_{\text{总}}$ ——浆砌片石的量 ( $\text{m}^3$ )；

$\Delta S$ ——单墙或单柱处置的有效面积 ( $\text{m}^2$ )；

$S_1$ ——单墙或单柱的平均面积 ( $\text{m}^2$ )；

$M$ ——采空区平均高度 (m)；

$L_1$ ——墙顶中线之间距离或柱顶中心之间距离 (m)。

## 8.4 开挖回填

**8.4.1** 上覆顶板完整性差,岩体强度低,规模较小、易开挖,且埋深小于6m的采空区宜采用开挖回填法。

**8.4.2** 开挖回填范围应按本规范第8.2.2条的方法确定。回填量应按下式计算:

$$Q = S \cdot (M \cdot K + h) / \psi \quad (8.4.2-1)$$

$$S = L \cdot B \quad (8.4.2-2)$$

式中  $Q$ ——开挖后的回填量 ( $m^3$ );

$S$ ——管道下伏采空区处置面积 ( $m^2$ );

$M$ ——采空区的平均高度 (m);

$K$ ——矿藏回采率 (%);

$h$ ——矿藏上覆土体平均厚度 (m);

$\psi$ ——压实系数,根据上覆岩土体密实度可取0.85~0.95;

$L$ ——采空区处置长度 (m);

$B$ ——采空区处置宽度 (m)。

**8.4.3** 开挖回填工程的构造应符合下列规定:

1 回填材料应选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土,填料最大粒径应小于150mm。

2 泥炭、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过允许含量的土,不应直接用于填筑。

3 回填材料应分层铺筑,均匀压实。回填石料应分别采用不同的填筑层厚和压实控制标准,回填石料的压实质量标准宜用孔隙率作为控制指标,并结合压实功率、碾压速度、压实遍数、铺筑层厚等施工参数,压实系数不应小于0.90。

## 8.5 强 夯

**8.5.1** 上覆顶板完整性差、岩体强度低、埋深小于10m的采空

区，已爆破回填或主变形已完成的采空区，及采空区边缘地带裂缝区治理宜采用强夯法。

**8.5.2 强夯法设计计算应符合下列规定：**

1 治理范围应按本规范第 8.2.2 条的方法确定。

2 上覆顶板完整性差、岩体强度低、埋深小于 10m 的采空区，及已爆破回填或主变形已完成的采空区，其治理长度为管道中线所经采空区的实际分布长度，治理宽度应按下式计算：

$$B = B_0 + 2L_2 \quad (8.5.2)$$

式中  $B$ ——采空区治理宽度 (m)；

$B_0$ ——管沟开挖及作业带的最大宽度 (m)；

$L_2$ ——超出管沟开挖的宽度 (m)，取 3m~5m。

## 9 监 测

**9.0.1** 油气输送管道工程地质灾害监测应依据地质灾害危险性等级和防治工程等级，确定地质灾害监测开展的时机、监测项目、监测周期和频率。

**9.0.2** 滑坡及崩塌监测项目应符合表 9.0.2 的规定。

表 9.0.2 滑坡及崩塌监测项目

| 序号 | 监测内容   |          | 防治工程等级 |      |       |     |      |       |
|----|--------|----------|--------|------|-------|-----|------|-------|
|    |        |          | 建设期    |      |       | 运营期 |      |       |
|    |        |          | I 级    | II 级 | III 级 | I 级 | II 级 | III 级 |
| 1  | 变形监测   | 地表位移监测   | 应测     | 应测   | 宜测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 2  |        | 深部位移监测   | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 3  |        | 支护结构变形监测 | 应测     | 宜测   | 宜测    | 应测  | 应测   | 宜测    |
| 4  |        | 建（构）筑物变形 | 应测     | 应测   | 宜测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 5  | 支护结构   | 锚杆（索）应力  | 应测     | 宜测   | 可测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 6  | 应力监测   | 抗滑桩应力    | 应测     | 宜测   | 可测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 7  | 管道应变监测 |          | 应测     | 宜测   | 可测    | 应测  | 应测   | 可测    |
| 8  | 相关因素监测 | 地下水      | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 9  |        | 雨量       | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 10 |        | 江（湖）水位   | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |

**9.0.3** 泥石流监测项目应符合表 9.0.3 的规定。

**9.0.4** 岩溶塌陷及采空区塌陷监测项目应符合表 9.0.4 的规定。

**9.0.5** I 级和 II 级监测应至少每 15d 观测 1 次，III 级监测应至少每 30d 观测 1 次，在汛期和特殊情况下宜适当加密观测频次；



施工安全监测和运营期的应急监测应每天至少观测 1 次。

**9.0.6** 监测周期应根据滑坡（不稳定斜坡）稳定情况设定，应不小于一个水文年。

**表 9.0.3 泥石流监测项目**

| 序号 | 监测内容       |        | 防治工程等级 |      |       |     |      |       |
|----|------------|--------|--------|------|-------|-----|------|-------|
|    |            |        | 建设期    |      |       | 运营期 |      |       |
|    |            |        | I 级    | II 级 | III 级 | I 级 | II 级 | III 级 |
| 1  | 管道应变监测     |        | 应测     | 宜测   | 可测    | 应测  | 应测   | 可测    |
| 2  | 相关因素<br>监测 | 泥位监测   | 宜测     | 可测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 3  |            | 雨量     | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 4  |            | 江（湖）水位 | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |

**表 9.0.4 岩溶塌陷及采空塌陷监测项目**

| 序号 | 监测内容       |          | 防治工程等级 |      |       |     |      |       |
|----|------------|----------|--------|------|-------|-----|------|-------|
|    |            |          | 建设期    |      |       | 运营期 |      |       |
|    |            |          | I 级    | II 级 | III 级 | I 级 | II 级 | III 级 |
| 1  | 变形监测       | 水平位移监测   | 应测     | 应测   | 宜测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 2  |            | 垂直位移监测   | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 4  |            | 建（构）筑物变形 | 应测     | 应测   | 宜测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 5  |            | 裂缝监测     | 应测     | 应测   | 宜测    | 应测  | 宜测   | 可测    |
| 6  | 管道应变监测     |          | 应测     | 宜测   | 可测    | 应测  | 应测   | 可测    |
| 7  | 相关因素<br>监测 | 地下水      | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |
| 8  |            | 江（湖）水位   | 宜测     | 宜测   | 可测    | 宜测  | 可测   | 可测    |

## 附录 A 油气管道工程地质灾害 防治工程等级划分

**A.0.1** 油气管道工程地质灾害的危险性可从灾害的易发性和对管道的危害性两方面综合判定，定性分级见表 A.0.1-1 至表 A.0.1-3。

**表 A.0.1-1 地质灾害易发性分级**

| 地质灾害易发性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 易发性分级 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 滑坡不稳定，正在变形中，或 2 年内出现拉裂、沉降、前缘膨胀或剪出等明显变形。<br>2 危岩（崩塌）主控裂隙拉开明显，后缘拉张裂隙与基脚软弱、发育岩腔构成不利的危岩体结构，已有小规模崩塌事件或预计近期要发生灾害，崩塌破坏强度大。<br>3 泥石流形成条件充分，泥石流沟的发育阶段处于发展期或旺盛期，近年来发生过泥石流事件；沟道或坡面侵蚀严重，2 年内地貌改变明显，发生过坍塌、堤岸后退等水毁现象且具备一定规模，河沟槽摆动明显，河床掏空或下切深度达 1m 以上。<br>4 岩溶区陷穴发育，形成串珠状的塌陷坑和潜蚀洞穴。<br>5 采空区地质构造复杂，存在高角度断层，上覆岩层和松散层内含有厚度大于 1m 的砂层或软土层，地下水位较高，地表塌陷盆地内积水，巷柱式或房柱式开采地段 | 大     |
| 1 滑坡处于欠稳定状态，目前变形迹象不明显或局部有轻微变形，但从地形地貌及地质结构判断，有发生滑动的趋势。<br>2 危岩主控裂隙拉开较明显，或有基脚软弱、发育岩腔，具有崩塌的趋势，崩塌岩块破坏强度较大。<br>3 泥石流形成条件较充分，泥石流沟的发育阶段处于较旺盛期；沟道或坡面发生侵蚀，近年来地貌有改变，有坍塌、堤岸后退等水毁现象。<br>4 地下有采空区，长、短壁陷落法开采，地表有零星塌陷坑，地裂缝发育特征不甚明显                                                                                                                                   | 中     |
| 1 基本稳定，一般条件下不会发生地质灾害，但在地震或特大暴雨、长时间持续降雨条件下可能出现崩塌、滑坡或泥石流。<br>2 有发生水毁、采空塌陷的可能性，但表现不明显                                                                                                                                                                                                                                                                    | 小     |

表 A.0.1-2 地质灾害对管道的危害性等级

| 地质灾害对管道危害性                                                                                                                                                        | 危害性等级 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 危害性大,如管道破裂或断裂,将发生泄漏,或严重扭曲变形造成输油气中断。<br>2 管道处在以下情况时可判定为危害性大:<br>1) 管道在滑坡内部;<br>2) 崩塌落石块体可能直接冲击的区域;<br>3) 管道在泥石流流通区;<br>4) 管道发生悬空、漂浮,流水冲击管道;<br>5) 管道位于塌陷区或潜在塌陷区内 | 大     |
| 1 危害性较大,如管道裸露、悬空、漂浮、变形及损伤等,可能引起介质少量泄漏,可在线补焊和处理事故。<br>2 管道处在以下情况时可判定为此级:管道处在滑坡、崩塌影响区,泥石流形成区、堆积区,管道发生露管和埋深严重不足,管道位于塌陷区边缘                                            | 中     |
| 不构成明显危害,各种灾害影响到管道安全的可能性小                                                                                                                                          | 小     |

表 A.0.1-3 油气管道工程地质灾害危险性等级

| 危害性等级       |     | 对管道危害性 |     |     |
|-------------|-----|--------|-----|-----|
|             |     | 1—小    | 2—中 | 3—大 |
| 地质灾害<br>易发性 | A—小 | 1A     | 2A  | 3A  |
|             | B—中 | 1B     | 2B  | 3B  |
|             | C—大 | 1C     | 2C  | 3C  |

A.0.2 油气管道工程地质灾害防治工程等级基于地质灾害危险性,结合地质灾害对环境影响等级进行调整,地质灾害环境影响分级和地质灾害防治工程等级见表 A.0.2-1 和表 A.0.2-2。

表 A.0.2-1 地质灾害环境影响分级

| 地质灾害对环境影响程度                   | 影响等级 |
|-------------------------------|------|
| 影响大,灾害点附近有城镇、重要交通干线、河流、自然保护区等 | 严重   |
| 影响较大,附近有村镇、居民点、溪流等            | 中等   |
| 有少数零星居民                       | 轻微   |

表 A.0.2-2 油气管道工程地质灾害防治工程等级及措施

| 防治工程等级 | 危害性等级            | 环境影响分级 | 防治工程措施                          |
|--------|------------------|--------|---------------------------------|
| I      | I (2C, 3B, 3C)   | 轻微~严重  | 应避让, 如果无法避让, 应立即治理, 并采取监测措施     |
|        | II (1C, 2B, 3A)  | 严重     | 宜避让, 如果无法避让, 应治理, 并采取适当的防范、监控措施 |
| II     | II (1C, 2B, 3A)  | 轻微~中等  | 可避让或无需治理, 应作为风险点进行日常巡视、管理       |
|        | III (1A, 1B, 2A) | 严重     |                                 |
| III    | III (1A, 1B, 2A) | 轻微~中等  |                                 |

## 附录 B 危岩稳定性分析计算

### B.0.1 滑移式危岩稳定性计算

滑移式危岩稳定性计算（如图 B.0.1 所示）见公式（B.0.1）：

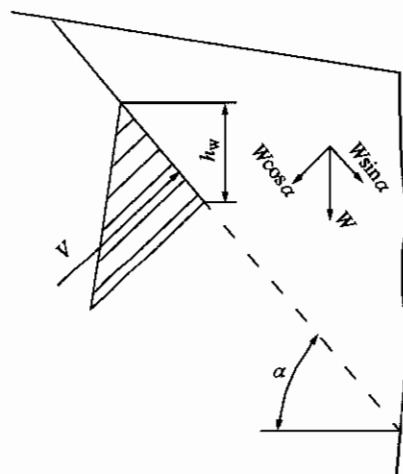


图 B.0.1 滑移式危岩稳定性计算

$$F = \frac{(W \cdot \cos \alpha - Q \cdot \sin \alpha - V) \cdot \tan \varphi + c \cdot l}{W \cdot \sin \alpha + Q \cdot \cos \alpha} \quad (\text{B.0.1})$$

式中  $F$ ——危岩稳定性系数；  
 $W$ ——危岩体自重（kN/m）；  
 $\alpha$ ——滑面倾角（°）；  
 $Q$ ——地震力（kN/m），按本规范公式（5.1.5）确定；  
 $V$ ——裂隙水压力（kN/m）；  
 $\varphi$ ——后缘裂隙内摩擦角标准值（°）；  
 $c$ ——后缘裂隙黏聚力标准值（kPa）；  
 $l$ ——滑动面长度（m）。

### B.0.2 倾倒式危岩稳定性计算

倾倒式危岩稳定性计算根据控制岩体的部位的不同分以下两种情况：

1 由后缘岩体抗拉强度控制时，按下式计算（如图 B.0.2-1 所示）：

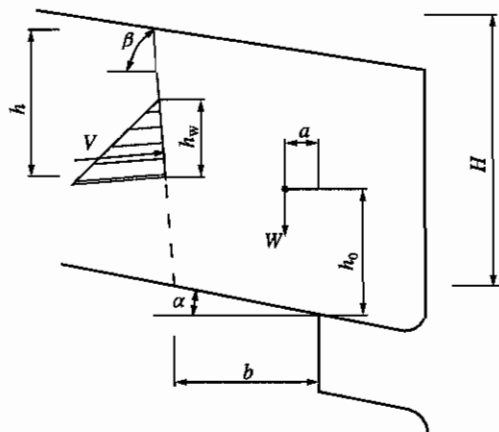


图 B.0.2-1 倾倒式危岩稳定性计算  
(由后缘岩体抗拉强度控制)

危岩体重心在倾覆点之外时：

$$F = \frac{\frac{1}{2} f_{lk} \cdot \frac{H-h}{\sin \beta} \cdot \left[ \frac{2}{3} \times \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta-\alpha) \right]}{W \cdot a + Q \cdot h_0 + V \cdot \left[ \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{h_w}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta-\alpha) \right]} \quad (\text{B.0.2-1})$$

危岩体重心在倾覆点之内时：

$$F = \frac{\frac{1}{2} f_{lk} \cdot \frac{H-h}{\sin \beta} \cdot \left[ \frac{2}{3} \times \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta-\alpha) \right] + W \cdot a}{Q \cdot h_0 + V \cdot \left[ \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{h_w}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta-\alpha) \right]} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中  $f_{lk}$ ——危岩体抗拉强度标准值 (kPa)；

$H$ ——后缘裂隙上端到未贯通段下端的垂直距离 (m);  
 $h$ ——后缘裂隙深度 (m);  
 $\beta$ ——后缘裂隙倾角 ( $^{\circ}$ );  
 $h_w$ ——后缘裂隙充水高度 (m);  
 $a$ ——危岩体重心到倾覆点的水平距离 (m);  
 $b$ ——后缘裂隙未贯通段下端到倾覆点之间的水平距离 (m);  
 $h_0$ ——危岩体重心到倾覆点的垂直距离 (m);  
 $\alpha$ ——危岩体与基座接触面倾角 ( $^{\circ}$ ), 外倾时取正值, 内倾时取负值。

2 由底部岩体抗拉强度控制时, 按下式计算 (如图 B. 0. 2 - 2 所示):

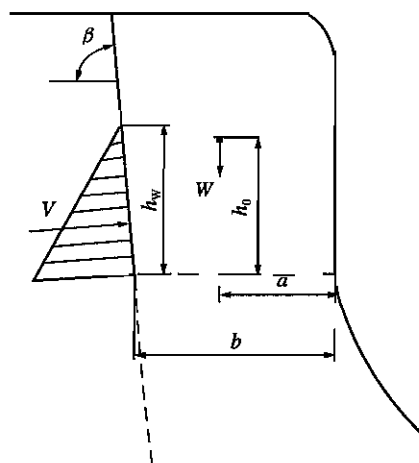


图 B. 0. 2 - 2 倾倒式危岩稳定性计算  
(由底部岩体抗拉强度控制)

$$F = \frac{\frac{1}{3} f_{lk} \cdot b^2 + W \cdot a}{Q \cdot h_0 + V \cdot \left( \frac{1}{3} \times \frac{h_w}{\sin \beta} + b \cos \beta \right)} \quad (\text{B. 0. 2 - 3})$$

### B. 0.3 坠落式危岩稳定性计算

1 对后缘有陡倾裂隙的悬挑式危岩按下列公式计算, 稳定性系数取两种计算结果中的较小值 (如图 B. 0.3-1 所示)。

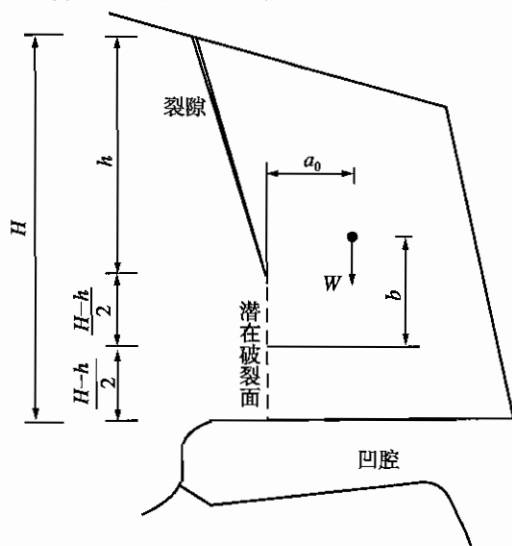


图 B. 0.3-1 坠落式危岩稳定性计算  
(后缘有陡倾裂隙)

$$F = \frac{c \cdot (H - h) - Q \cdot \text{tg} \cdot \varphi}{W} \quad (\text{B. 0.3-1})$$

$$F = \frac{\zeta \cdot f_{1k} \cdot (H - h)^2}{W \cdot a_0 + Q \cdot b_0} \quad (\text{B. 0.3-2})$$

式中  $\zeta$ ——危岩抗弯力矩计算系数, 依据潜在破坏面形态取值, 一般可取  $1/12 \sim 1/6$ , 当潜在破坏面为矩形时可取  $1/6$ ;

$f_{1k}$ ——危岩体抗拉强度标准值 (kPa), 根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.20 的折减系数确定;

$a_0$ ——危岩体重心到潜在破坏面的水平距离 (m);



$b_0$ ——危岩体重心到潜在破坏面形心的铅垂距离 (m);  
 $c$ ——危岩体黏聚力标准值 (kPa);  
 $\varphi$ ——危岩体内摩擦角标准值 ( $^{\circ}$ )。

2 对后缘无陡倾裂隙的悬挑式危岩按下列公式计算, 稳定性系数取两种计算结果的较小值 (如图 B.0.3-2 所示):

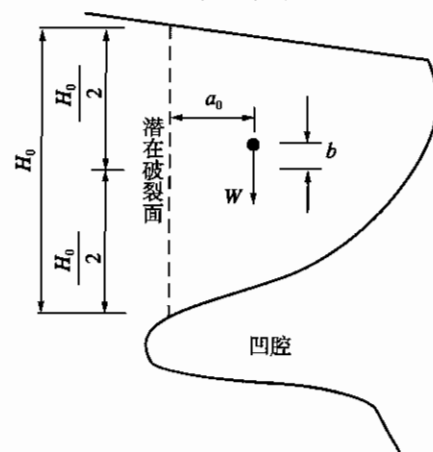


图 B.0.3-2 坠落式危岩稳定性计算  
(后缘无陡倾裂隙)

$$F = \frac{c \cdot H_0 - Q \cdot \operatorname{tg} \varphi}{W} \quad (\text{B.0.3-3})$$

$$F = \frac{\xi \cdot f_{1k} \cdot H_0^2}{W \cdot a_0 + Q \cdot b_0} \quad (\text{B.0.3-4})$$

式中  $H_0$ ——危岩体后缘潜在破坏面高度 (m);  
 $f_{1k}$ ——危岩体抗拉强度标准值 (kPa), 根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.30 的折减系数确定。

#### B.0.4 错断式崩塌稳定性计算

错断式危岩主要是依靠前部未断裂岩体的抗剪切强度来维持平衡。其稳定性应由岩体容许的抗剪强度与岩体受的剪应力的比

值决定。危岩的稳定性系数计算公式为：

$$F = \frac{(W \cdot \cos\alpha - T \cdot \sin\alpha) \cdot \tan\varphi + c \cdot l}{W \cdot \sin\alpha + T \cdot \cos\alpha} \quad (\text{B. 0. 4})$$

式中  $F$ ——危岩稳定性系数；  
 $W$ ——危岩体自重 (kN/m)；  
 $T$ ——水平力 (kN/m)，包括地震力和裂隙水压力；  
 $\alpha$ ——剪切面倾角 (°)；  
 $c$ ——剪切处岩体黏聚力标准值 (kPa)；  
 $\varphi$ ——剪切处岩体内摩擦角标准值 (°)；  
 $l$ ——剪切面的长度 (m)。

#### B. 0. 5 膨胀式崩塌稳定性计算

膨胀式危岩主要是岩体挤压下部软弱层发生破坏而造成失稳。其稳定性系数即软弱带容许的抗压强度与软弱带受到的最大压力的比值。

## 附录 C 滑坡稳定性分析及推力计算

**C.0.1** 滑面为圆弧形或单一滑面的土质滑坡稳定性分析及滑坡推力计算（如图 C.0.1 所示）应符合下列规定：

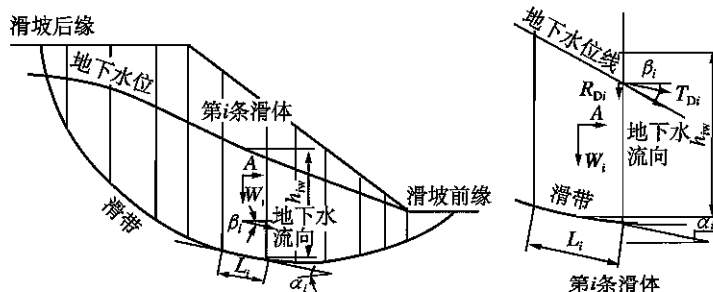


图 C.0.1 瑞典条分法计算示意图

1 滑坡稳定性系数  $K_f$  计算公式如下：

$$K_f = \frac{\sum \{ [W_i \cdot (\cos\alpha_i - A\sin\alpha_i) - N_{wi} - R_{Di}] \tan\varphi_i + c_i \cdot L_i \}}{\sum [W_i \cdot (\sin\alpha_i + A\cos\alpha_i) + T_{Di}]} \quad (\text{C.0.1-1})$$

其中：

垂直渗透压力：

$$R_{Di} = N_{wi} \cdot \sin\beta_i \cdot \sin(\alpha_i - \beta_i)$$

水平渗透压力：

$$T_{Di} = N_{wi} \cdot \sin\beta_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i)$$

孔隙水压力：

$$N_{wi} = \gamma_w \cdot h_{iw} \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i$$

式中  $W_i$ ——第  $i$  块体重量 (kN/m);  
 $c_i$ ——第  $i$  块段滑动面上黏聚力 (kPa);  
 $\varphi_i$ ——第  $i$  块段滑带土内摩擦角 ( $^\circ$ );  
 $L_i$ ——第  $i$  块段滑面长 (m);  
 $\alpha_i$ ——第  $i$  块段滑动面倾角 ( $^\circ$ );  
 $\beta_i$ ——第  $i$  块地下水流向 ( $^\circ$ );  
 $r_w$ ——水的容重 ( $\text{kN/m}^3$ );  
 $h_{iw}$ ——第  $i$  块浸润线以下高度 (m);  
 $A$ ——地震加速度 (重力加速度  $g$ )。

2 滑坡推力  $E$  计算公式如下:

$$E_i = K_s \cdot [W_i \cdot (\sin \alpha_i + A \cos \alpha_i) + N_{wi} \cdot \sin \beta_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i)] +$$

$$E_{i-1} - W_i \cdot (\cos \alpha_i - A \sin \alpha_i) + N_{wi} + N_{wi} \cdot \sin \beta_i \cdot$$

$$\sin(\alpha_i - \beta_i) \cdot \tan \varphi_i - c_i \cdot L_i$$

(C. 0.1-2)

式中  $E_{i-1}$ ——第  $i-1$  条块的剩余下滑力 (kN/m), 作用于分界面的中点;

$K_s$ ——滑坡设计安全系数。

**C. 0.2** 滑面为折线形土质滑坡稳定性分级及滑坡推力计算 (如图 C. 0.2-1 所示) 应符合下列规定:

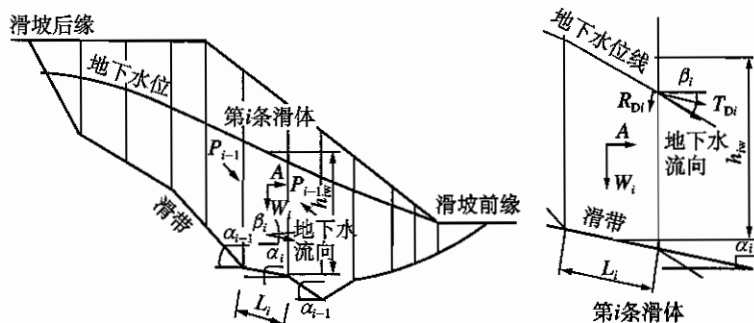


图 C. 0.2-1 传递系数法计算示意图

1 滑坡稳定系数  $K_f$  计算公式如下:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [(W_i((1-r_U)\cos\alpha_i - A_{Vi} \cdot \cos\alpha_i) - R_{Di})\tan\varphi_i + c_i \cdot L_i] \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j}{\sum_{i=1}^{n-1} \{ [W_i(\sin\alpha_i + A_{Hi} \cdot \cos\alpha_i) + T_{Di}] \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j \} + T_n} + R_n \quad (\text{C.0.2-1})$$

其中:

孔隙压力比:

$$r_U = \frac{S_{wi}}{2S_i}$$

第  $n$  块抗滑力:

$$R_n = \{W_n[(1-r_U) \cdot \cos\alpha_n - A_{Vi} \cdot \cos\alpha_n] - R_{Dn}\} \cdot \tan\varphi_n + c_n \cdot L_n$$

第  $n$  块下滑力:

$$T_n = W_n \cdot (\sin\alpha_n + A_{Hi} \cos\alpha_n) + T_{Dn}$$

$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi_i \psi_{i+1} \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

传递系数:

$$\psi_i = \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \cdot \tan\varphi_{i+1}$$

垂直渗透压力:

$$R_{Di} = N_{wi} \cdot \sin\beta_i \cdot \sin(\alpha_i - \beta_i)$$

水平渗透压力:

$$T_{Di} = N_{wi} \cdot \sin\beta_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i)$$

孔隙水压力:

$$N_{wi} = \gamma_w \cdot h_{iw} \cdot L_i \cdot \cos\alpha_i$$

水平地震加速度:

$$A_H = a_h \cdot \xi \cdot a_i$$

垂直地震加速度:

$$A_v = \frac{1}{3} A_H$$

- 式中  $W_i$ ——第  $i$  块体重量 (kN/m);  
 $c_i$ ——第  $i$  块段滑动面上黏聚力 (kPa);  
 $\varphi_i$ ——第  $i$  块段滑带土内摩擦角 ( $^\circ$ );  
 $L_i$ ——第  $i$  块段滑面长 (m);  
 $\alpha_i$ ——第  $i$  块段滑动面倾角 ( $^\circ$ );  
 $S_{wi}$ ——第  $i$  块水下面积 ( $m^2$ );  
 $S_i$ ——第  $i$  块面积 ( $m^2$ );  
 $\psi_i$ ——第  $i$  块段的剩余下滑力传递至第  $i+1$  块段时的传递系数 ( $j=i$ );  
 $\beta_i$ ——第  $i$  块地下水流向 ( $^\circ$ );  
 $r_w$ ——水的容重 ( $kN/m^3$ );  
 $h_{iw}$ ——第  $i$  块浸润线以下高度 (m);  
 $a_h$ ——水平向设计地震加速度代表值;  
 $\xi$ ——地震作用效应的折减系数, 取 0.25;  
 $a_i$ ——质点  $i$  的动态分布系数, 其取值参见图 C.0.2-2。

图 C.0.2-2 中在设计烈度为 7 度、8 度、9 度时,  
 $a_m$  分别取 3.0, 2.5, 2.0。

2 滑坡推力  $E$  计算公式如下:

$$E_i = K_s [W_i \cdot (\sin\alpha_i + A_{Hi} \cdot \cos\alpha_i) + N_{wi} \cdot \sin\beta_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i)] + \psi_i \cdot E_{i-1} - W_i \cdot (\cos\alpha_i - A_{Vi} \cos\alpha_i) + N_{wi} + N_{wi} \cdot \sin\beta_i \cdot \sin(\alpha_i - \beta_i) \cdot \tan\varphi_i - c_i \cdot L_i \quad (C.0.2-2)$$

式中  $E_{i-1}$ ——第  $i-1$  条块的剩余下滑力 (kN/m), 作用于界面的中点;

$K_s$ ——滑坡设计安全系数。

**C.0.3** 岩质滑坡稳定性分析及滑坡推力计算应符合下列规定:

1 滑坡稳定系数  $K_f$  计算公式如下:

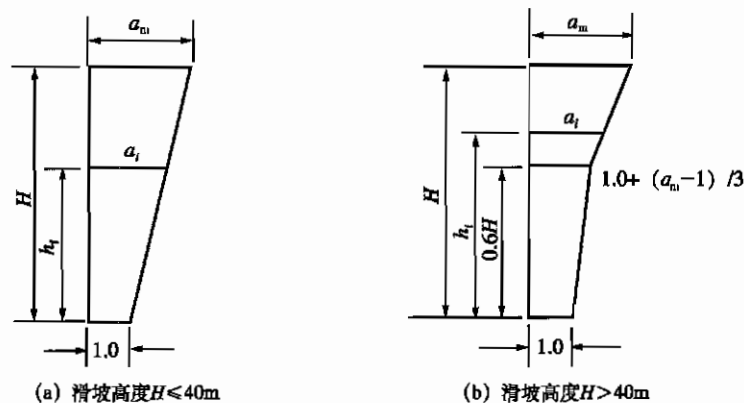


图 C.0.2-2 动态分布系数  $a_i$  示意图

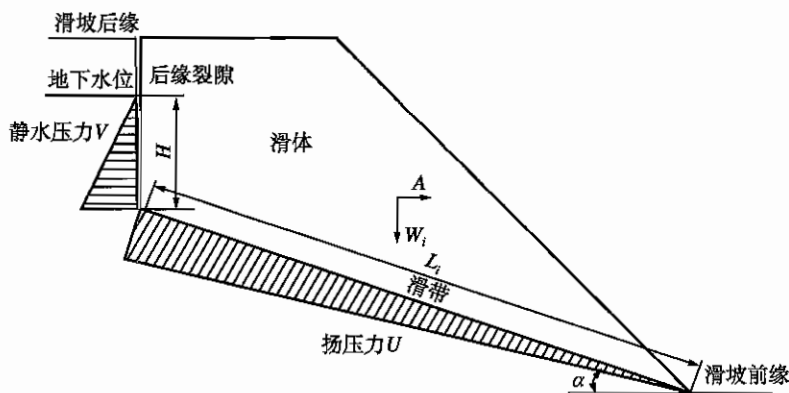


图 C.0.3 岩质滑坡计算示意图

$$K_f = \frac{[W \cdot (\cos\alpha - A \cdot \sin\alpha) - V \cdot \sin\alpha - U] \cdot \tan\varphi + c \cdot L}{W \cdot (\sin\alpha + A \cos\alpha) + V \cdot \cos\alpha} \quad (\text{C.0.3-1})$$

其中:

后缘裂缝静水压力:

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

沿滑面扬压力:

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H \cdot L$$

2 滑坡推力  $E$  计算公式如下:

$$E = K_s \cdot [W \cdot (\sin \alpha + A \cdot \cos \alpha) + V \cdot \cos \alpha] - [W \cdot (\cos \alpha - A \cdot \sin \alpha) - V \cdot \sin \alpha - U] \cdot \tan \varphi - c \cdot L \quad (\text{C. 0. 3 - 2})$$

**C. 0. 4** 库水位变动影响地下水浸润线的计算应符合下列规定:

1 库水位上升时, 地下水位浸润线如图 C. 0. 4 - 1 所示可按式计算:

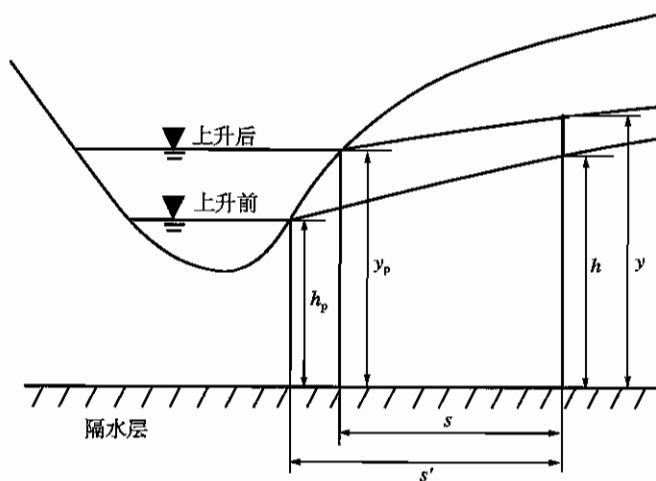


图 C. 0. 4 - 1 库水位上升地下水位浸润线计算示意图

$$y = \sqrt{y_p^2 + \frac{s'}{s} (h^2 - h_p^2)} \quad (\text{C. 0. 4 - 1})$$

式中  $y_p$ ——水位上升后的库水位 (从隔水层顶面算起) (m);

$h_p$ ——水位上升的库水位 (从隔水层顶面算起) (m);

$s$ ——水位上升前计算点至库岸距离 (m);

$s'$ ——水位上升后计算点至库岸距离 (m);



$y$ ——水位上升后计算点的地下水位（从隔水层顶面算起）（m）；

$h$ ——水位上升前计算点的地下水位（从隔水层顶面算起）（m）。

2 库水位下降时（假定库水位下降前库水位与地下水位一致），地下水位浸润线如图 C. 0. 4-2 所示可按式计算：

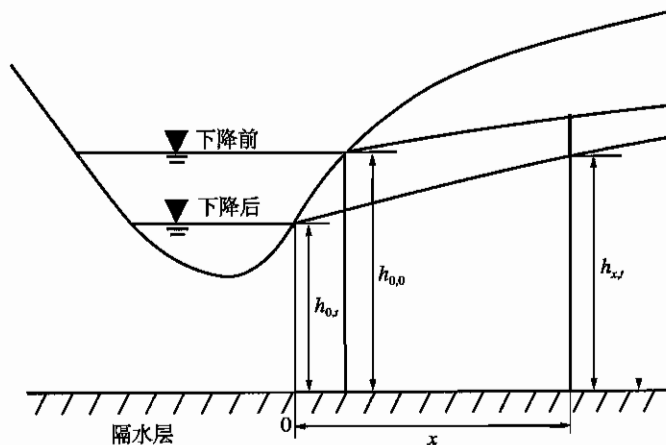


图 C. 0. 4-2 库水位下降地下水位浸润线计算示意图

$$h_{x,t} = (h_{0,0} - h_{0,t}) \cdot F(\lambda) \quad (\text{C. 0. 4-2})$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{x^2}{4a \cdot t}} \quad (\text{C. 0. 4-3})$$

$$a = \frac{K \cdot M}{\mu} \quad (\text{C. 0. 4-4})$$

$$M = \frac{h_{0,0} - h_{0,t}}{2} \quad (\text{C. 0. 4-5})$$

式中  $h_{0,0}$ ——下降前的库水位（从隔水层顶面算起）（m）；  
 $h_{0,t}$ ——下降后的库水位（从隔水层顶面算起）（m）；  
 $h_{x,t}$ ——库水位下降后计算点的地下水位（从隔水层顶面算起）（m）；  
 $F(\lambda)$ ——库水位对地下水位的影响系数，可查表（C. 0. 4 - 1）确定；  
 $t$ ——库水位下降所经历的时间（s）；  
 $a$ ——导水系数（ $m^2/s$ ）；  
 $x$ ——水位下降后计算点到库岸的距离（m）；  
 $M$ ——含水层厚度（m）；  
 $\mu$ ——给水度，无试验资料时，可按表（C. 0. 4 - 2）经验值确定；  
 $K$ ——渗透系数（m/s）。

表 C. 0. 4 - 1 库水位对地下水位的影响系数  $F(\lambda)$

| $\lambda$ | $F(\lambda)$ | $\lambda$ | $F(\lambda)$ | $\lambda$ | $F(\lambda)$ |
|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 0. 03162  | 0. 9643      | 0. 2000   | 0. 7731      | 1. 000    | 0. 1573      |
| 0. 0400   | 0. 9549      | 0. 2449   | 0. 7291      | 1. 140    | 0. 1069      |
| 0. 0500   | 0. 9436      | 0. 2828   | 0. 6892      | 1. 265    | 0. 0736      |
| 0. 06325  | 0. 9287      | 0. 3162   | 0. 6548      | 1. 378    | 0. 0513      |
| 0. 07746  | 0. 9128      | 0. 4000   | 0. 5716      | 1. 483    | 0. 0359      |
| 0. 08944  | 0. 8994      | 0. 5000   | 0. 4795      | 1. 581    | 0. 0254      |
| 0. 10000  | 0. 8875      | 0. 6325   | 0. 3711      | 1. 643    | 0. 0202      |
| 0. 1265   | 0. 8580      | 0. 7746   | 0. 2733      | 1. 732    | 0. 0143      |
| 0. 1581   | 0. 8232      | 0. 8944   | 0. 2059      | 1. 789    | 0. 0114      |

表 C.0.4-2 不同岩土给水度经验值

| 岩土名称 | 给水度 $\mu$ | 岩土名称     | 给水度 $\mu$    |
|------|-----------|----------|--------------|
| 卵石   | 0.35~0.30 | 含碎石的粉质黏土 | 0.10~0.01    |
| 粗砂   | 0.30~0.25 | 强裂隙岩石    | 0.01~0.002   |
| 中砂   | 0.25~0.20 | 裂隙岩石     | 0.002~0.0002 |
| 细砂   | 0.20~0.15 | 强岩溶化岩石   | 0.15~0.05    |
| 粉砂   | 0.15~0.10 | 岩溶化岩石    | 0.05~0.01    |
| 粉土   | 0.10~0.05 | 弱岩溶化岩石   | 0.01~0.005   |

注：引自《水力发电工程地质手册》，并作适当补充。

## 附录 D 常用被动防护网及主动防护网 配置及防护功能

表 D.0.1 常用被动网结构配置及防护功能

| 型号      | 网型        | 结构配置                | 防护功能               |
|---------|-----------|---------------------|--------------------|
| RX-025  | DO/08/250 | 钢柱+支撑绳+拉锚系统+缝合绳+减压环 | 拦截撞击能 250kJ 以内的落石  |
| RX-050  | DO/08/250 | 同 RX-025            | 拦截撞击能 500kJ 以内的落石  |
| RX-075  | DO/08/250 | 同 RX-025            | 拦截撞击能 750kJ 以内的落石  |
| RXI-025 | R5/3/300  | 钢柱+支撑绳+拉锚系统+缝合绳     | 同 RX-025           |
| RXI-050 | R7/3/300  | 同 RXI-025           | 同 RX-050           |
| RXI-075 | R7/3/300  | 同 RX-025            | 同 RX-075           |
| RXI-100 | R9/3/300  | 同 RX-025            | 拦截撞击能 1000kJ 以内的落石 |
| RXI-150 | R12/3/300 | 同 RX-025            | 拦截撞击能 1500kJ 以内的落石 |
| RXI-200 | R19/3/300 | 同 RX-025            | 拦截撞击能 2000kJ 以内的落石 |
| AX-015  | DO/08/250 | 同 RX-025            | 拦截撞击能 150kJ 以内的落石  |
| AX-030  | DO/08/200 | 同 RX-025            | 拦截撞击能 300kJ 以内的落石  |
| AXI-015 | R5/3/300  | 同 RXI-025           | 同 AX-015           |
| AXI-030 | R7/3/300  | 同 RX-025            | 同 AX-030           |
| CX-030  | DO/08/200 | 同 RX-025            | 同 AX-030           |
| CX-050  | DO/08/150 | 同 RX-025            | 同 RX-050           |
| CXI-030 | R7/3/300  | 同 RXI-025           | 同 AX-030           |
| CXI-050 | R7/3/300  | 同 RX-025            | 同 RX-050           |

注：本表型号中后边数字代表被动防护网的能量吸收能力，如“050”表示系统最大能量吸收能力为 500kJ，“150”表示系统最大能量吸收能力为 1500kJ，以此类推。规格型号表示方法符合现行行业标准《铁路沿线斜坡柔性安全防护网》TB/T 3089 的规定。

表 D.0.2 常用主动网结构配置及防护功能

| 型号      | 网型        | 结构配置                                | 主要防护功能                                                                                |
|---------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| GAR1    | 钢丝绳网      | 边沿（或上沿）钢丝绳锚杆+支撑绳+缝合绳                | 围护作用，限制落石运动范围，部分抑制崩塌的发生                                                               |
| GAR2    | 钢丝绳网      | 系统钢丝绳锚杆+支撑绳+缝合绳，孔口凹坑+张拉             | 坡面加固，抑制崩塌和风化剥落、溜坍的发生，限制局部或少量落石运动范围                                                    |
| GPS1    | 钢丝绳网+钢丝格栅 | 同 GAR1                              | 同 GAR1，有小块落石时选用                                                                       |
| GPS2    | 钢丝绳网+钢丝格栅 | 同 GAR2                              | 同 GAR2，有小块危石或土质边坡时选用                                                                  |
| GER1    | 钢丝格栅      | 同 GAR1 但用铁线缝合                       | 同 GAR1，但落石块体较小且寿命要求较短时选用，以碎落防护为主                                                      |
| GER2    | 钢丝格栅      | 同 GAR2 但用铁线缝合                       | 同 GAR2，但危石块体较小且寿命要求较短时采用                                                              |
| GTC-65A | 高强度钢丝格栅   | 预应力钢筋锚杆+孔口凹坑+缝合绳（根据需要选用边界支撑绳和钢丝绳锚杆） | 同 GPS2，能满足可达 100 年或更长的防腐寿命要求，但其加固能力仅为 GPS 的 70%~80%，不适合于体积大于 1m <sup>3</sup> 的大块孤危石加固 |
| GTC-65B | 高强度钢丝格栅   | 同 GAR1                              | 同 GAR1，能满足可达 100 年或更长的防腐寿命要求，但不适合于体积大于 1m <sup>3</sup> 的大块落石防护                        |

## 附录 E 抗滑桩设计有关参数

E.0.1 抗滑桩地基系数及地层物理力学指标应符合表 E.0.1 的规定。

表 E.0.1 抗滑桩地基系数  $K$  及地层物理力学指标

| 地层种类            | 内摩擦角    | 弹性模量 $E$<br>( $10^4 \text{ kPa}$ ) | 泊松比<br>$\mu$ | 地基系数 $K$<br>( $\text{kPa/m}$ )              | 剪切应力<br>( $\text{kPa}$ ) |
|-----------------|---------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 细粒花岗岩、<br>正长岩   | 80°以上   | 5430~6900                          | 0.25~0.30    | $2.0 \times 10^6 \sim$<br>$2.5 \times 10^6$ | 1500 以上                  |
| 辉绿岩、玢岩          |         | 6700~7870                          | 0.28         | $2.5 \times 10^6$                           |                          |
| 中粒花岗岩           | 80°以上   | 5430~6500                          | 0.25         | $1.8 \times 10^6 \sim$<br>$2.0 \times 10^6$ | 1500 以上                  |
| 粗粒正长岩、<br>坚硬白云岩 |         | 6560~7000                          |              |                                             |                          |
| 坚硬石灰岩           | 80°     | 4400~10000                         | 0.25~0.30    | $1.2 \times 10^6 \sim$<br>$2.0 \times 10^6$ | 1500                     |
| 坚硬砂岩、大理岩        |         | 4660~5430                          |              |                                             |                          |
| 粗粒花岗岩、<br>花岗片麻岩 |         | 5430~6000                          |              |                                             |                          |
| 较坚硬石灰岩          | 75°~80° | 4400~9000                          | 0.25~0.30    | $0.8 \times 10^6 \sim$<br>$1.2 \times 10^6$ | 1200~1400                |
| 较坚硬砂岩           |         | 4460~5000                          |              |                                             |                          |
| 不坚硬花岗岩          |         | 5430~6000                          |              |                                             |                          |
| 坚硬页岩            | 70°~75° | 2000~5500                          | 0.15~0.30    | $0.4 \times 10^6 \sim$<br>$0.8 \times 10^6$ | 700~1200                 |
| 普通石灰岩           |         | 4400~8000                          | 0.25~0.30    |                                             |                          |
| 普通砂岩            |         | 4600~5000                          | 0.25~0.30    |                                             |                          |
| 坚硬泥灰岩           | 70°     | 800~1200                           | 0.29~0.38    | $0.3 \times 10^6 \sim$<br>$0.4 \times 10^6$ | 500~700                  |
| 较坚硬页岩           |         | 1980~3600                          | 0.25~0.30    |                                             |                          |
| 不坚硬石灰岩          |         | 4400~6000                          | 0.25~0.30    |                                             |                          |
| 不坚硬砂岩           |         | 1000~2780                          | 0.25~0.30    |                                             |                          |

续表 E.0.1

| 地层种类   | 内摩擦角 | 弹性模量 $E_0$<br>( $10^4$ kPa) | 泊松比<br>$\mu$ | 地基系数 $K$<br>(kPa/m)                      | 剪切应力<br>(kPa) |
|--------|------|-----------------------------|--------------|------------------------------------------|---------------|
| 较坚硬泥灰岩 | 65°  | 700~900                     | 0.29~0.38    | $0.2 \times 10^6 \sim 0.3 \times 10^6$   | 300~500       |
| 普通页岩   |      | 1900~3000                   | 0.15~0.20    |                                          |               |
| 软石灰岩   |      | 4400~5000                   | 0.25         |                                          |               |
| 不坚硬泥灰岩 | 45°  | 30~500                      | 0.29~0.38    | $0.06 \times 10^6 \sim 0.12 \times 10^6$ | 150~300       |
| 硬化黏土   |      | 10~300                      | 0.30~0.37    |                                          |               |
| 软片岩    |      | 500~700                     | 0.15~0.18    |                                          |               |
| 硬煤     |      | 50~300                      | 0.30~0.40    |                                          |               |
| 密实黏土   |      | 10~300                      | 0.30~0.37    |                                          |               |
| 普通煤    |      | 50~300                      | 0.30~0.40    |                                          |               |
| 胶结卵石   |      | 50~100                      | —            |                                          |               |
| 掺石土    |      | 50~100                      | —            |                                          |               |

**E.0.2** 抗滑桩随深度增加的土质地基系数应符合表 E.0.2 的规定。

表 E.0.2 抗滑桩随深度增加的土质地基系数  $m$  (随深度增加的比例系数)

| 序号 | 土的名称                              | 竖直方向 $m_0$<br>(kPa/m <sup>2</sup> ) | 水平方向 $m$<br>(kPa/m <sup>2</sup> ) |
|----|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | $0.75 < I_L < 1.0$ 的软塑黏土及粉质黏土; 淤泥 | 1000~2000                           | 500~1400                          |
| 2  | $0.5 < I_L < 0.75$ 的软塑粉质黏土及黏土     | 2000~4000                           | 1000~2800                         |
| 3  | 硬塑粉质黏土及黏土; 细砂和中砂                  | 4000~6000                           | 2000~4200                         |
| 4  | 坚硬的粉质黏土及黏土; 粗砂                    | 6000~10000                          | 3000~7000                         |
| 5  | 砾砂; 碎石土、卵石土                       | 10000~20000                         | 5000~14000                        |
| 6  | 密实的大漂石                            | 80000~120000                        | 40000~84000                       |

注:  $I_L$  为土的液性指数, 其土质地基系数  $m_0$  和  $m$  值,  $m = (0.6 \sim 0.7) m_0$ , 相应于桩顶位移 0.6cm~1.0cm。有可靠经验时可不受本表限制。

**E.0.3** 较完整岩层的单轴极限抗压强度、侧向容许应力和地基系数对应值应符合表 E.0.3 的规定。

表 E.0.3 抗滑桩嵌固段岩石抗压强度和地基系数

| 序号 | 抗压强度 (kPa) |             | 地基系数 (kN/m <sup>3</sup> ) |               |
|----|------------|-------------|---------------------------|---------------|
|    | 单轴极限值      | 侧向容许值       | 竖直方向 $K_0$                | 水平方向 $K$      |
| 1  | 10000      | 1500~2000   | 100000~200000             | 60000~160000  |
| 2  | 15000      | 2000~3000   | 250000                    | 15000~200000  |
| 3  | 20000      | 3000~4000   | 300000                    | 180000~240000 |
| 4  | 30000      | 4000~6000   | 400000                    | 240000~320000 |
| 5  | 40000      | 6000~8000   | 600000                    | 360000~480000 |
| 6  | 50000      | 7500~10000  | 800000                    | 480000~640000 |
| 7  | 60000      | 9000~12000  | 1200000                   | 720000~960000 |
| 8  | 80000      | 12000~16000 | 150000~2500000            | 90000~2000000 |

注:  $K = (0.6 \sim 0.8) K_0$  (静止土压力系数)。



## 附录 F 岩体锚固稳定性分析及锚固力计算

**F.0.1** 采用预应力锚索锚固岩体时, 锚索对滑坡作用示意图如 F.0.1 所示。

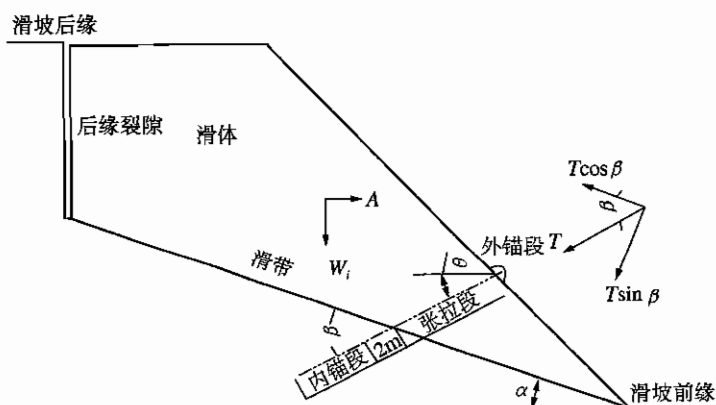


图 F.0.1 预应力锚索对滑坡作用示意图

**F.0.2** 采用预应力锚索锚固岩体时, 根据极限平衡法, 须考虑预应力沿滑面施加的抗滑力和垂直滑面施加的法向阻滑力。稳定分析及预应力锚固力计算应符合下列规定:

1 稳定系数  $K_i$  计算公式推荐如下:

$$K_i = \frac{[W \cdot (\cos \alpha - A \cdot \sin \alpha) - V \cdot \sin \alpha - U + T \cdot \sin \beta] \cdot \tan \varphi + C \cdot L}{W \cdot (\sin \alpha + A \cdot \cos \alpha) + V \cdot \cos \alpha - T \cdot \cos \beta} \quad (\text{F.0.2-1})$$

其中后缘裂缝静水压力  $V$  按下式计算:

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2 \quad (\text{F.0.2-2})$$

沿滑面扬压力  $U$  按下式计算:

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot L \cdot H \quad (\text{F. 0. 2-3})$$

式中  $\beta$ ——锚索（杆）与滑坡面的夹角（°），与滑面倾角（ $\alpha$ ）、  
锚索倾角（ $\theta$ ）之间的关系为  $\beta = \alpha + \theta$ ；

$\theta$ ——锚索（杆）倾角（°）；

$T$ ——预应力锚索锚固力（kN）。

2 预应力锚固力  $T$  按下式计算：

$$T = \frac{K_s \cdot K_a - W_b - C \cdot L}{\sin \beta \cdot \tan \varphi + K_s \cdot \cos \beta} \quad (\text{F. 0. 2-4})$$

$$W_a = W \cdot (\sin \alpha + A \cdot \cos \alpha) + V \cdot \cos \alpha \quad (\text{F. 0. 2-5})$$

$$W_b = [W \cdot (\cos \alpha + A \cdot \sin \alpha) - V \cdot \sin \alpha - U] \cdot \tan \varphi \quad (\text{F. 0. 2-6})$$

**F. 0. 3** 当锁定锚固力低于设计锚固力的 50% 时，可不考虑预应力锚索产生的法向阻滑力，稳定系数计算公式简化如下：

$$K_f = \frac{[W \cdot (\cos \alpha - A \cdot \sin \alpha) - V \cdot \sin \alpha - U] \cdot \tan \varphi + C \cdot L}{W \cdot (\sin \alpha + A \cdot \cos \alpha) + V \cdot \cos \alpha - T \cdot \cos \beta} \quad (\text{F. 0. 3-1})$$

相应地，预应力锚索锚固力按下式计算：

$$T = \frac{K_s \cdot K_a - W_b - C \cdot L}{K_s \cdot \cos \beta} \quad (\text{F. 0. 3-2})$$

## 附录 G 锚杆、锚索选型及设计参数值

**G.0.1** 锚孔壁与注浆体直径黏结强度设计值应符合表 G.0.1 的规定。

表 G.0.1 锚孔壁与注浆体之间黏结强度设计值

| 岩土种类 | 岩土状态    | 孔壁摩擦阻力<br>(MPa) |
|------|---------|-----------------|
| 岩石   | 硬岩及较硬岩  | 1.0~2.5         |
|      | 较软岩     | 0.6~1.0         |
|      | 软岩      | 0.3~0.6         |
|      | 极软岩及风化岩 | 0.15~0.3        |
| 黏性土  | 软塑      | 0.03~0.04       |
|      | 硬塑      | 0.05~0.06       |
|      | 坚硬      | 0.06~0.07       |
| 粉土   | 中密      | 0.1~0.15        |
| 砂土   | 松散      | 0.09~0.14       |
|      | 稍密      | 0.16~0.20       |
|      | 中密      | 0.22~0.25       |
|      | 密实      | 0.27~0.40       |

注：1. 锚孔壁与水泥砂浆之间的黏结强度设计值应通过现场拉拔试验确定，当无试验资料时，可参照此表选用，但施工时应进行拉拔验证。

2. 有可靠的资料和经验时可不受本表限制。

**G.0.2** 钢筋、钢绞线与水泥砂浆之间的黏结强度设计值应符合表 G.0.2 的规定。

**G.0.3** 锚索束表面尺寸应符合表 G.0.3 的规定。

表 G.0.2 钢筋、钢绞线与水泥石浆之间的黏结强度设计值 (MPa)

| 锚杆类型            | 水泥石浆或水泥石浆强度等级 |      |
|-----------------|---------------|------|
|                 | M30           | M35  |
| 水泥石浆与螺旋钢筋或带肋钢筋间 | 2.40          | 2.70 |
| 水泥石浆与钢绞线、高强钢丝间  | 2.95          | 3.40 |

注：1. 当采用两根钢筋点焊成束时，黏结强度应乘折减系数 0.85。

2. 当采用三根钢筋点焊成束时，黏结强度应乘折减系数 0.65。

表 G.0.3 锚索束表面尺寸

| 束数 | 外表直径 $d_s$<br>(cm)  | $\phi 12.7\text{mm}$ 型 |                | $\phi 15.2\text{mm}$ 型 |                |
|----|---------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
|    |                     | 直径 $d_s$<br>(cm)       | 周长 $V$<br>(cm) | 直径 $d_s$<br>(cm)       | 周长 $V$<br>(cm) |
| 3  | $(d\pi + 3d) / \pi$ | 2.48                   | 7.79           | 3.00                   | 9.42           |
| 4  | $(d\pi + 4d) / \pi$ | 2.89                   | 9.08           | 3.46                   | 10.86          |
| 5  | $(d\pi + 5d) / \pi$ | 3.29                   | 10.34          | 3.94                   | 12.38          |
| 6  | $(d\pi + 6d) / \pi$ | 3.70                   | 11.62          | 4.42                   | 13.89          |
| 7  | $(d\pi + 7d) / \pi$ | 3.70                   | 11.62          | 4.42                   | 13.89          |
| 9  | $(d\pi + 8d) / \pi$ | 4.50                   | 14.14          | 5.39                   | 16.93          |
| 12 | $(d\pi + 9d) / \pi$ | 4.91                   | 15.43          | 5.87                   | 18.44          |

注： $d$  表示每束锚索的直径。

G.0.4 预应力钢绞线规格应符合表 G.0.4 的规定。

表 G.0.4 预应力钢绞线规格

| 名称                                | 公称直径<br>(mm) | 强度级别<br>(MPa) | 公称截面积<br>(mm <sup>2</sup> ) | 单位重量<br>(kg/m) | 极限张拉荷载<br>$P_u$<br>(kN) | 屈服张拉荷载<br>$P_y$<br>(kN) | 伸长率<br>% | 1000h 松弛率 % |           |
|-----------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------|-----------|
|                                   |              |               |                             |                |                         |                         |          | 初始负荷 (kN)   |           |
|                                   |              |               |                             |                |                         |                         |          | 0.7 $P_u$   | 0.8 $P_u$ |
| 由 7 根钢丝构成<br>$\phi 12.7\text{mm}$ | 12.7         | 1860          | 98.7                        | 0.774          | 184                     | 156                     | 3.5      | <2.5        | <4.5      |
| 由 7 根钢丝构成<br>$\phi 15.2\text{mm}$ | 15.2         | 1860          | 139                         | 1.101          | 259                     | 220                     | 3.5      | <2.5        | <4.5      |

G.0.5 锚杆选型见表 G.0.5。

表 G.0.5 锚杆选型

| 锚杆类别 | 锚杆特征                 |               |          |          |                 |
|------|----------------------|---------------|----------|----------|-----------------|
|      | 材料                   | 锚杆承载力标准值 (kN) | 锚杆长度 (m) | 应力状况     | 备注              |
| 土层锚杆 | 钢筋 (Ⅱ, Ⅲ级)           | <450          | <16      | 非预应力     | 锚杆超长时, 施工安装难度较大 |
|      | 钢绞线, 高强钢丝            | 450~800       | >10      | 预应力      | 锚杆超长时施工方便       |
|      | 精轧螺纹钢 (直径 18mm~25mm) | 400~800       | >10      | 预应力      | 杆体防腐性好, 施工安装方便  |
|      | 无黏结钢绞线               | 450~800       | >10      | 预应力      | 压力型、压力分散型锚杆     |
| 岩层锚杆 | 钢筋 (Ⅱ, Ⅲ级)           | <450          | <16      | 非预应力     | 锚杆超长时, 施工安装难度较大 |
|      | 钢绞线, 高强钢丝            | 500~3000      | >10      | 预应力      | 锚杆超长时施工方便       |
|      | 精轧螺纹钢 (直径 25mm~32mm) | 400~1100      | >10      | 预应力或非预应力 | 杆体防腐性好, 施工安装方便  |
|      | 无黏结钢绞线               | 450~3000      | >10      | 预应力      | 压力型、压力分散型锚杆     |

## 附录 H 泥石流沟床糙率系数

H.0.1 泥石流沟床糙率系数  $n$  值见表 H.0.1。

表 H.0.1 泥石流沟床糙率系数  $n$  值

| 类别 | 沟床特征                                                                 | $n$       |     |     |     |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|
|    |                                                                      | $H_c$ (m) |     |     |     |
|    |                                                                      | 0.5       | 1.0 | 2.0 | 4.0 |
| 1  | 黄土地区泥石流沟或大型的黏性泥石流沟，沟床平坦开阔，流体中大石块很少，纵坡为 20‰~60‰，阻力特征属低阻型              | —         | 29  | 22  | 16  |
| 2  | 中小型黏性泥石流沟，沟谷一般平顺，流体中含大石块较少，沟床纵坡为 30‰~80‰，阻力特征属中阻型或高阻型                | 26        | 21  | 16  | 14  |
| 3  | 中小型黏性泥石流沟，沟谷狭窄弯曲，有跌坎；或沟道虽顺直，但含大石块较多的大型稀性泥石流沟；沟床纵坡为 40‰~120‰，阻力特征属高阻型 | 20        | 15  | 11  | 8   |
| 4  | 中小型稀性泥石流沟，碎石质河床，多石块，不平整，沟床纵坡为 100‰~180‰                              | 12        | 9   | 6.5 | —   |
| 5  | 河道弯曲，沟内多顽石、跌坎，床面极不平顺的稀性泥石流沟，沟床纵坡为 120‰~250‰                          | —         | 5.5 | 3.5 | —   |

H.0.2 黏性泥石流河床糙率  $n_c$  值见表 H.0.2。

表 H. 0.2 黏性泥石流河床糙率  $n_c$  值

| 序号 | 泥石流流体特征                                                                                           | 沟床状况                                                                               | 糙率值                                                                                          |                            |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|    |                                                                                                   |                                                                                    | $n_c$                                                                                        | $\frac{1}{n_c}$            |
| 1  | 流体呈整体运动；石块粒径大小悬殊，一般在 30cm~50cm，2m~5m 粒径的石块约占 20%；龙头由大石块组成，在弯道或河床展宽处易停积，后续流可超越而过，龙头流速小于龙身流速、堆积呈垄岗状 | 河床极粗糙，沟内有巨石和挟带的树木堆积，多弯道和大跌水，沟内不能通行，人迹罕见，沟床流通段纵坡在 100%~150%，阻力特征属高阻型                | 平均值 0.270<br>$H_c < 2m$ 时，<br>0.445                                                          | 3.57<br><br>2.25           |
| 2  | 流体呈整体运动，石块较大，一般石块粒径 20cm~30cm，含少量粒径 2m~3m 的大石块；流体搅拌较为均匀；龙头紊动强烈，有黑色烟雾及火花；龙头和龙身流速基本一致；停积后呈垄岗状堆积     | 河床比较粗糙，凹凸不平，石块较多，有弯道、跌水；沟床流通段纵坡 70%~100%，阻力特征属高阻型                                  | $H_c < 1.5m$ 时，<br>平均 0.040<br>$H_c \geq 1.5m$ 时，<br>0.050~0.100<br>平均 0.067                 | 20~30<br>25<br>10~20<br>15 |
| 3  | 流体搅拌十分均匀；石块粒径一般在 10cm 左右，挟有个别 2m~3m 的大石块；龙头和龙身物质组成差别不大；在运动过程中龙头紊动十分强烈，浪花飞溅；停积后浆体与石块不分离，向四周扩散呈叶片状  | 沟床较稳定，河床物质较均匀，粒径 10cm 左右；受洪水冲刷沟底不平而且粗糙，流水沟两侧较平顺，但干而粗糙；流通段沟底纵坡 55%~70%，阻力特征属中阻型或高阻型 | $0.1m < H_c < 0.5m$<br>0.043<br>$0.5m < H_c < 2.0m$<br>0.077<br>$2.0m < H_c < 4.0m$<br>0.100 | 23<br><br>13<br><br>10     |
| 4  |                                                                                                   | 泥石流铺床后原河床黏附一层泥浆体，使干而粗糙的河床变得光滑平顺，利于泥石流体运动，阻力特征属低阻型                                  | $0.1 < H_c < 0.5m$<br>0.022<br>$0.0 < H_c < 2.0m$<br>0.033<br>$2.0 < H_c < 4.0m$<br>0.050    | 46<br><br>26<br><br>20     |

## 标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，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 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。



## 引用标准名录

- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 《建筑用砂》GB/T 14684
- 《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685
- 《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
- 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- 《堤防工程设计规范》GB 50286
- 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013
- 《水工建筑物荷载设计规范》DL 5077
- 《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219—2006
- 《崩塌、滑坡、泥石流监测规范》DZ/T 0221
- 《建筑用生石灰》JC/T 479
- 《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》JG/T 3007
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《公路排水设计规范》JTG/T D33
- 《铁路沿线斜坡柔性安全防护网》TB/T 3089
- 《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025

附件

## 油气输送管道工程地质灾害防治设计规范

### 条文说明

## 编制说明

《油气输送管道工程地质灾害防治设计规范》SY/T 7040—2016), 经国家能源局 2016 年 1 月 7 日批准发布, 自 2016 年 6 月 1 日起实施。

在本规范制定过程中, 编制组对我国油气管道工程地质灾害防治设计、施工及监测现状和特点做了广泛调查研究, 收集、听取了各方面的意见, 总结了国内石油天然气行业地质灾害防治的工程实践经验, 同时吸收、借鉴了其他相关行业的成熟经验和相关标准规定。

为便于广大勘察、设计、施工、科研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, 本规范编制组按章、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本规范正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握本规范规定的参考。

## 目 次

|             |     |
|-------------|-----|
| 1 总则        | 91  |
| 2 术语        | 92  |
| 3 基本规定      | 94  |
| 4 崩塌        | 99  |
| 4.1 一般规定    | 99  |
| 4.2 缓冲层     | 101 |
| 4.3 被动拦挡    | 102 |
| 4.4 主动防护    | 107 |
| 5 滑坡        | 111 |
| 5.1 一般规定    | 111 |
| 5.2 减载与反压   | 113 |
| 5.3 截排水     | 114 |
| 5.4 抗滑桩     | 116 |
| 5.5 锚固      | 122 |
| 5.6 重力式抗滑挡墙 | 123 |
| 6 泥石流       | 128 |
| 6.1 一般规定    | 128 |
| 6.2 排导      | 131 |
| 6.3 拦挡      | 132 |
| 6.4 其他防治工程  | 133 |
| 7 岩溶塌陷      | 134 |
| 7.1 一般规定    | 134 |
| 7.2 治水      | 135 |
| 7.3 填垫      | 135 |
| 7.4 灌注      | 135 |

|                |     |
|----------------|-----|
| 8 采空区 .....    | 136 |
| 8.1 一般规定 ..... | 136 |
| 8.2 注浆 .....   | 136 |
| 8.3 砌筑支撑 ..... | 139 |
| 8.4 开挖回填 ..... | 139 |
| 8.5 强夯 .....   | 139 |
| 9 监测 .....     | 140 |

# 1 总 则

**1.0.1** 石油天然气管道工程具有特殊性，其地质灾害治理具有针对性，安全要求高。而地质灾害对油气管道工程建设和运营安全威胁很大：据国内外文献资料统计，世界范围内地质灾害所造成的管道安全事故约占 10%。基于国内油气管道建设和运营期地质灾害防治经验教训，油气管道工程地质灾害防治具有其特殊性和针对性，本规范参考国内其他行业有关标准、规范，并进行了分析和对比，提出了符合本行业特点的条款。

**1.0.2** 本条明确了本规范的适用范围，主要适用于油气管道工程经常遇到的崩塌（包括危岩）、滑坡、泥石流和地面塌陷（岩溶塌陷和采空区塌陷）等地质灾害防治工作，其他油气储运工程可参照执行。

**1.0.3** 由于地质灾害及治理工程的复杂性，本规范不可能将油气管道工程地质灾害防治的所有技术问题全部包括进去，所以从事油气管道工程地质灾害防治的工程人员进行工作时，除应执行本规范规定外，尚应参照执行国家相关法律、法规和现行有关标准、规范。

## 2 术 语

本章所列术语，其定义及范围仅适用于本规范。

**2.0.1** 《地质灾害防治条例》（中华人民共和国国务院令第 394 号，2004 年 3 月 1 日起施行）对地质灾害定义如下：“包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害”。一般认为这是狭义的地质灾害定义，有些学者提出广义的地质灾害包括以下 12 类：

- (1) 地壳活动灾害：地震、火山喷发、断层错动等；
- (2) 斜坡岩土体运动：崩塌、滑坡、泥石流等；
- (3) 地面变形灾害：地面沉降、地面塌陷、地裂缝等；
- (4) 矿山与地下工程灾害：煤层自燃、洞井塌方、冒顶、偏帮、鼓底、岩爆、高温、突水、瓦斯爆炸等；
- (5) 城市地质灾害：建筑地基与基坑变形、垃圾堆积等；
- (6) 河、湖、水库地质灾害：塌岸、淤积、渗漏、浸没、溃决等；
- (7) 海岸灾害：海平面上升、海水入侵、海岸侵蚀、海港淤积、风爆潮等；
- (8) 海洋地质灾害：水下滑坡、潮流沙坝、浅层气害等；
- (9) 特殊岩土灾害：黄土湿陷、膨胀岩土胀缩、冻土冻融、砂土液化、淤泥触变等；
- (10) 土地退化灾害：水土流失、土地沙漠化、盐碱化、潜育化、沼泽化等；
- (11) 水土污染与地球化学异常灾害：地下水质污染、农田土地污染、地方病、地热害等；
- (12) 水源枯竭灾害：河水漏失、泉水干涸、地下含水层疏

干等。

现行行业标准《油气管道地质灾害风险管理技术规范》SY/T 6828 对管道工程地质灾害的类型进行了分类：可分为岩土类灾害、水力类灾害和构造类灾害。岩土类灾害包括：滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、特殊类土（如黄土湿陷、膨胀土胀缩、冻土冻胀融沉、盐渍土盐胀溶陷、风蚀沙埋等）等；水力类灾害包括：坡面水毁、河沟道水毁和台田地水毁；地质构造类灾害包括：断层错动、地震等。

**2.0.2** 本规范的崩塌既指崩塌发生现象，也包括危岩体和崩塌堆积体，但崩塌堆积体应按照滑坡进行设计。

**2.0.3** 本规范的滑坡泛指已经发生的滑坡和可能以滑坡形式破坏的不稳定斜坡或变形体。不稳定斜坡（unstable slope）是指在内、外地质营力和人为因素作用下，处于或接近于极限平衡状态的斜坡，或在正常的工程施工过程及工程使用过程中，处于或接近于极限平衡状态的斜坡。

**2.0.6~2.0.7** 国内工程界一般认为地面塌陷包括岩溶塌陷、采空区塌陷和黄土塌陷等三种类型。本规范仅涉及岩溶塌陷和采空区塌陷。



### 3 基本规定

**3.0.1** 地质灾害防治设计应遵循预防为主,防治结合的原则,原则上油气管道工程选线时不宜使管线直接通过地质灾害体,对无法避让且对管线有威胁的地质灾害点一般应一次根治,不留后患。地质灾害与地质环境关系密切,工程扰动破坏环境是造成地质灾害的诱因,环境保护是防止地质灾害发生的必要条件;当地质灾害不可避免时,应采取合理的综合治理方案和有效的治理工程措施。

**3.0.2** 油气管道工程地质灾害的危险性程度可从灾害的易发性和对管道造成的危害性两方面综合判定。易发性是指地质灾害可能发生概率大小,影响因素主要包括地质、地形地貌、气候、水文、植被和人类活动等各种基础条件与诱发条件等。对管道的危害性程度表现为露管、管道变形、管道破损泄漏等。地质灾害易发区主要特征简表见表1。

主要根据地质灾害危险性等级确定油气管道工程地质灾害防治工程等级,并可根据危害对象和对环境影响程度进行调整。防治工程等级是制定设计方案的依据之一。

**3.0.3** 地质灾害的发育、发展本身就是一个动态的过程,管道工程从可研选线、勘察、设计、施工是一个周期性的工程,地质灾害的可变性需要防治工程设计者们随时调整方案,更好地治理灾害。本条依据防治工程等级综合考虑地质灾害的可变性及其危害程度,规定了防治工程等级为Ⅰ级的地质灾害防治应采用动态法设计,防治工程等级为Ⅱ级的地质灾害防治宜采用动态法设计。

动态设计法是本规范地质灾害防治设计的基本原则,施工图设计采用动态设计法时,应提出对施工方案的特殊要求和监测的

要求,应掌握施工现场的地质状况、施工情况和变形、应力监测的反馈信息,并根据实际地质情况和监测信息对原设计做出校核、修改和补充。当地质勘察参数难以准确确定、设计理论和方法带有经验性和类比性时,根据施工中反馈的信息和监控资料完善设计,是一种客观求实、准确安全的设计方法,可以达到以下效果:

表 1 地质灾害易发区主要特征简表

| 灾种    | 易发区划分                                                                            |                                                                            |                                                         | 非易发区                                                       |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|       | 高易发区                                                                             | 中易发区                                                                       | 低易发区                                                    |                                                            |
|       | $G=4$                                                                            | $G=3$                                                                      | $G=2$                                                   | $G=1$                                                      |
| 滑坡、崩塌 | 构造抬升剧烈,岩体破碎或软硬相间;黄土塬岗细梁地貌、人类活动对自然环境影响强烈。暴雨型滑坡。规模大,高速远程                           | 红层丘陵区、坡积层、构造抬升区,暴雨久雨。中小型滑坡,中速,滑程远                                          | 丘陵残积缓坡地带,冻融滑坡。规模小。低速蠕滑。植被好,顺层滑动                         | 缺少滑坡形成的地貌临空条件,基本上无自然滑坡,局部溜滑                                |
| 泥石流   | 地形陡峭,水土流失严重,形成坡面泥石流;数量多,10条沟/20km以上,活动强,超高频,每年暴发可达10次以上。沟口堆积扇发育明显完整、规模大。排泄区建筑物密集 | 坡面和沟谷泥石流,6条沟/20km~10条沟/20km;强烈活动;分布广,活动强,淹没农田,堵塞河流等。沟口堆积扇发育且具有一定规模。排泄区建筑物多 | 坡面和沟谷泥石流均有分布,3条沟/20km~5条沟/20km;中等活动。沟口有堆积扇,但规模小,排泄区基本通畅 | 以沟谷泥石流为主,物源少,排泄区通畅;1条沟/20km~2条沟/20km,多年活动一次。沟口堆积扇不明显,排泄区通畅 |

续表 1

| 灾种        | 易发区划分                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                            | 非易发区                                                                                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | 高易发区                                                                                                                                                                                        | 中易发区                                                                                                                                                                                   | 低易发区                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                           |
|           | $G=4$                                                                                                                                                                                       | $G=3$                                                                                                                                                                                  | $G=2$                                                                                                                                                                      | $G=1$                                                                                                                                     |
| 岩溶<br>塌陷  | 碳酸盐岩岩性纯,连续厚度大,出露面积较广。地表洼地、漏斗、落水洞、地下岩溶发育。多岩溶大泉和地下河,岩溶发育深度大。灾害点密度 $\geq 1$ 个/ $\text{km}^2$ ,地面塌陷或地裂缝破坏面积 $\geq 1000\text{m}^2/\text{km}^2$                                                   | 以次纯碳酸盐岩为主,多间夹型。地表洼地、漏斗、落水洞、地下岩溶发育。岩溶大泉和地下河不多,岩溶发育深度不大。灾害点密度为 $0.1$ 个/ $\text{km}^2 \sim 1$ 个/ $\text{km}^2$ ,地面塌陷或地裂缝破坏面积为 $500\text{m}^2/\text{km}^2 \sim 1000\text{m}^2/\text{km}^2$ | 以不纯碳酸盐岩为主,多间夹型或互夹型。地表洼地、漏斗、落水洞、地下岩溶发育稀疏。灾害点密度为 $0.05$ 个/ $\text{km}^2 \sim 0.1$ 个/ $\text{km}^2$ ,地面塌陷或地裂缝破坏面积为 $100\text{m}^2/\text{km}^2 \sim 500\text{m}^2/\text{km}^2$ | 以不纯碳酸盐岩为主,多间夹型或互夹型。地表洼地、漏斗、落水洞、地下岩溶不发育。灾害点密度为 $0$ 个/ $\text{km}^2 \sim 0.05$ 个/ $\text{km}^2$ ,地面塌陷或地裂缝破坏面积为 $<100\text{m}^2/\text{km}^2$ |
| 采空区<br>塌陷 | 地质构造复杂,采空区内具有落差大于 $10\text{m}$ ,且直立地表的高角度断层带;直径大于 $40\text{m}$ ,面积大于 $1200\text{m}^2$ 的陷落柱和冲刷带;上覆岩层和松散层内含有厚度大于 $1\text{m}$ 的水砂层或软土层;采空区的水位较高,地表塌陷盆地内积水;采空塌陷时可能发生断裂、滑坡、崩塌等次生灾害地段,巷柱式或房柱式开采地段 | 地面平均坡度大于 $10^\circ$ 且地形起伏变化很大的山区,具有山顶、山坡、山梁、沟谷等山区地形地貌特征;有全新世以来活动断裂,河岸和边坡边缘、软硬不均的场地(如古河道、断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷及半挖半填地基等);长、短壁陷落法开采地段及小煤窑地区                                                       | 地面坡度小于 $10^\circ$ 且地形起伏变化很小的平原;或稳定条件较好,无大的断层、陷落柱、水砂层和软土层,地下水位较低的斜坡;开采方法为条带或充填法等特殊开采方法                                                                                      | 地形平坦,无大的断裂通过,上覆岩层巨厚且完整性好,地下水位低;开采方式为充填法                                                                                                   |

1 避免勘察结论失误。山区地质情况复杂、多变,受多种因素制约,地质勘察资料准确性的保证率较低,勘察主要结论失误造成边坡工程失败的现象不乏其例。因此规定地质情况复杂的一级边坡在施工开挖中补充施工勘察工作,收集地质资料,查对核实原地质勘察结论。这样可有效避免勘察结论失误而造成工程事故。在有专门审查制度的地区,场地和边坡勘察报告应含有审查合格书。

2 设计者掌握施工开挖反映的真实地质特征、滑坡变形量、应力测定值等,对原设计作校核和补充、完善设计,确保工程安全,设计合理。

3 边坡变形和应力监测资料是加快施工速度或排危应急抢险,确保工程安全施工的重要依据。

4 有利于积累工程经验,总结和发展边坡工程支护技术。

设计应提出对施工方案的特殊要求和监测要求,掌握施工现场的地质状况、施工情况和变形、应力监测的反馈信息,根据实际地质状况和监测信息对原设计作校核、修改和补充。

**3.0.4** 地质灾害防治设计应依据油气管道主体工程布置、地质灾害危险性评价、专项调查、工程勘察成果开展工作,并取得施工技术、设备性能、施工经验和施工条件等资料,为设计提供参考。有条件时还应取得类似地质灾害工程治理经验。

**3.0.5** 油气管道工程地质灾害防治工程可起到水工保护、水土保持的作用,而其他专业设计方案也会影响地质灾害防治方案实施,所以各相关专业应充分结合,确保各专业形成最优的综合设计方案,可降低工程成本,实现最佳经济效益。

**3.0.6** 支挡防护类工程结构设计一般要求:

1 支挡结构在各种工程荷载组合下,必须符合强度、稳定性及耐久性的要求。

2 针对勘察行业长期存在的问题,由于勘察资料成果不明致使施工开挖后不得已而变更设计的情况,而更有甚者,在没有勘察资料的情况下进行模糊设计。因而本款强调必须探明工程地

质条件及水文地质情况，时设计更符合实际。

3 现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 颁布以来，为地质灾害、边坡类构筑物的地震设计找到一定的依据，本款旨在对地质灾害抗震设计明确依据的规范。

4 地质灾害的发生与水的关系极大，排水是必不可少的，但是排水的不当往往会诱发新的问题，本款强调了地质灾害排水设施因地制宜的原则，以防因水而诱发新的灾害。

**3.0.7** 为统一地质灾害防治工程所用水泥、钢材、水、混凝土、钢筋、生石灰、砂、卵石、碎石、石材、预应力钢绞线以及防腐、防护网等材料的技术要求，根据施工实际情况及有关规范，本条对上述材料做了明确的规定。

**3.0.8** 科技创新是国家所倡导的，随着新材料、新技术、新工艺的不断涌现，应鼓励勘察、设计等各方积极研究地质灾害防治新技术、新方法，以降低工程成本和施工难度，但应经充分论证和试验后方可实施。

## 4 崩 塌

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 本条规定了崩塌防治方案设计原则。崩塌多发生在 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的斜坡上。按照失稳形式及崩塌体的规模、范围、大小可分为剥落、坠石和崩落等几类,根据资料统计,剥落的块度较小,块度大于0.5m者占25%以下,产生剥落的岩石山坡一般在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ;坠落的块度较大,块度大于0.5m者占50%~70%,山坡角在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ;崩落的块度更大,块度大于0.5m者占75%以上,山坡角多大于 $40^{\circ}$ 。治理时可根据失稳形式及块体大小选择合适的方案。

由于管线线位具有一定的灵活性,故崩塌治理思路一般是通过绕避、深埋、被动缓冲的方法可大大减少崩塌的危害,如果不能满足才考虑主动支护。最优的治理方案是施工简单容易、成本最低、效果最优。

1 绕避地质灾害是管线防治地质灾害首要选择,通过线路绕避可大大减少管道沿线的地质灾害的威胁,尤其是一些大型、复杂、治理代价高的灾害点,当管道必须通过崩塌落石区时,应首先考虑加大埋深的方式避免落石冲击力对管道的威胁。

2 管道深埋无法完全消除威胁时,可通过在管道上设置缓冲层或被动拦挡工程来降低落石冲击力,减轻落石灾害。

3 对零星危岩或被动防护难以满足安全需求时,宜结合清除危岩或采取主动防护措施:防治崩塌体倾倒破坏,宜采用岩腔嵌补或支顶,崩塌体上部锚索锚杆加固,封闭崩塌体顶部裂隙;防治崩塌体坠落破坏,宜采用岩腔嵌补或支顶;防治崩塌体剥落破坏,可采用浅层加固措施,如喷混凝土、锚杆挂网喷混凝土;防治崩塌体错落破坏,宜采用清方减载、岩腔嵌补或支顶,崩塌

体上部锚索锚杆加固。

**4.1.2** 本条强调了保证施工条件地质灾害防治方案的可实施性，因此在崩塌危岩防治设计时尚应根据施工工况、治理措施实施后复核危岩体的稳定状态。

对于本规范附录 B 危崩塌的稳定性分析，需要通过定性分析和定量计算来综合判定。定性分析主要是通过控制危岩的结构面的分析。定量计算则是根据危岩失稳模式，建立模型来进行工况计算，而得到危岩稳定性系数。稳定性分析应包括：

- 1 危岩的定性分析主要根据地形、危岩体结构面产状采用赤平投影分析，分析危岩的失稳模式和做出稳定性的定性分析。

- 2 根据危岩失稳的模式建立危岩失稳模型进行稳定性计算。

- 3 岩体的物理力学参数根据取样试验获得的测试结果经过统计分析确定，结构面的参数宜通过试验测试获得。

- 4 危岩裂隙的充水高度根据结构面的张开和贯通情况来设定，一般可按 1/3 至全充水来考虑以上。

- 5 按危岩稳定性系数判定危岩的稳定状态时，当危岩稳定性系数  $F$  小于设计安全系数  $F_1$  时，说明危岩的稳定性不满足安全要求，应对崩塌和管道防护进行工程处治。

**4.1.3** 崩塌防治工程主要考虑天然、暴雨和地震三种工况，自重需考虑基岩裂隙水压力。

由于不同类型失稳模式其力学作用模式差异较大，故其安全系数的差异较大，但整体上是随着勘察精度的提高、工程重要性的调高而提高安全系数的取值。

**4.1.4** 本条提出崩塌防治设计荷载要求：

- 1 因为危岩体重度用于稳定性分析，建议取标准值。

- 2 危岩体设计计算中，危岩裂隙水压力计算应符合本规范岩质含裂隙水滑坡的计算，当危岩体脱离母体则不考虑裂隙水影响。

## 4.2 缓冲层

**4.2.1** 管道通过崩塌落石区时,当管道可以形成较大埋深,但不能完全消除落石冲击力时,可配合采用铺填缓冲层,可通过填筑缓冲层降低落石对管道的冲击力。缓冲层的作用是增加落石冲击力在土体中的扩散进而降低落石对管道的冲击力。但在地面以上铺填土体不宜过高且必须保证整体稳定。崩塌物体的冲击力按可能出现的单个大块落石的质量进行计算。单个落石石块的质量应根据调查确定,并了解母岩节理裂缝切割情况,考虑崩塌物体滚动时,经碰撞而变小的可能。

**4.2.2** 落石冲击力主要由落石速度和其在缓冲层中的击入深度决定。这里计算的模型为被动拦挡工程缓冲层的冲击力,单独采用深埋措施时可采用此公式核算其安全性。冲击力在缓冲填土层中的扩散角由地基压力扩散角确定,与发挥缓冲作用的填料的性质及落石形状有关。被动拦挡辅以缓冲层时应考虑冲击力  $P$  作用到缓冲土层的扩散角,可考虑为  $35^\circ$ ,以扩散角达到构造物上的宽度而确定冲击力的分布。缓冲层计算简图如图 1 所示。

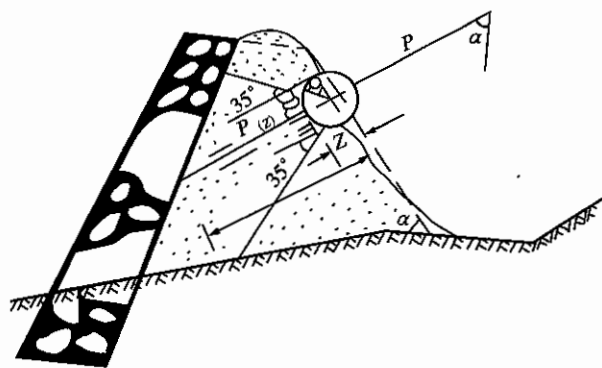


图 1 缓冲层计算简图

**4.2.3** 此条规定了缓冲层结构要求。

1~5 款规定了缓冲层结构要求,缓冲层起到的是传力缓冲作用,故其整体应比较密实且用细颗粒为主的土体填筑,尤其在



接近管道的部位，不能使用大颗粒的块碎石，以免在落石冲击下对管道造成损害。缓冲层在地面以上通过斜坡可以分解落石冲击时的速度进而降低对管道的冲击力。

6 根据近年来国土部门的地质灾害防治经验，为了保护缓冲层的使用时间，缓冲层顶应设计保护层，保护层可采用浆砌片（块）石，厚度不宜小于 0.5m。

依据《崩塌与落石》（胡厚田编著，中国铁道出版社，1989-11）给出经验公式，路堑边坡上危石的崩落距离计算应符合公式（1）的规定，危岩的崩落距离见表 1。

$$x_r = \frac{\alpha + 45}{45} \cdot H \quad (1)$$

式中  $x_r$ ——落石崩落距离（坡脚到崩落点的距离）（m）；

$\alpha$ ——边坡坡度（°）；

$H$ ——落石高度（m）。

表 2 危岩的崩落距离

| 边坡坡度（°） | 边坡高度（m） |     |      |      |      |
|---------|---------|-----|------|------|------|
|         | 12      | 20  | 30   | 40   | 50   |
| 90      | 3.5     | 6.0 | 12.0 | 12.0 | 15.0 |
| 80      | 3.5     | 5.5 | 8.0  | 11.0 | 14.0 |
| 70      | 3.0     | 5.0 | 7.5  | 10.0 | 13.0 |
| 60      | 2.5     | 4.5 | 7.0  | 9.0  | 12.0 |
| 50      | 2.5     | 4.0 | 6.5  | 8.5  | 11.0 |
| 40      | 2.5     | 4.0 | 6.0  | 8.0  | 10.0 |

### 4.3 被动拦挡

4.3.1 被动拦挡工程宜平行管道轴线布置在管道与崩塌体之间下方地形较缓、落石弹跳高度较低、速度较低且坡体稳定的坡

段。因为被动拦挡措施受高度所限，当崩塌块石能量高、弹跳高度大时，不宜采用被动拦挡措施。被动拦挡措施应同时满足拦截落石的冲击能和弹跳高度的要求，当落石块径较大或落石冲击能量较大时宜设置多级拦挡措施。参照《崩塌与落石》（胡厚田）推荐崩塌落石速度、弹跳高度等计算方法：危岩坠落失稳基本呈落体运动或偶尔与坡面接触，其冲击能大体等于危岩的势能，根据危岩体的势能可计算出危岩落到时的速度和冲击能。对滚动和弹跳的运动危岩，则需要计算出在不同坡段的速度、冲击能力和弹跳高度。根据落石在不同据坡面的形状选用不同公式计算落石运动速度以及弹跳高度。计算公式可按崩塌失稳后根据不同的失稳模式和地形会有不同的运动特征，对于坠落式危岩其大体类似于落体运动定律。而对于在坡面弹跳滚动的石块，其运动特征比较复杂，不同的坡型有不同的特征。这里主要根据 H·M·罗依尼什维里教授提出的计算公式进行落石在不同坡段上的运动速度以及弹跳高度计算。

1 近直线型山坡危岩失稳，坠落块石沿山坡运动时的计算速度应按下列公式计算：

$$v = \mu \sqrt{2g \cdot h} = \epsilon \sqrt{H} \quad (2)$$

$$\mu = \sqrt{1 - K \cdot \cot \alpha} \quad (3)$$

$$\epsilon = \mu \sqrt{2 \cdot g} \quad (4)$$

式中  $v$ ——坠落块石沿山坡运动时的计算速度 (m/s)；

$H$ ——石块的坠落高度 (m)；

$g$ ——重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)；

$\alpha$ ——山坡坡度角 (°)；

$K$ ——石块沿山坡运动所受一切有关因素综合影响的阻力特性系数，按表 3 所列公式计算；

$\mu$ ——山坡综合系数；

$\epsilon$ ——计算速度系数。

表 3 阻力特性系数  $K$  值计算公式表

| 顺序 | 山坡坡度角 $\alpha$           | $K$ 值计算公式                                     |
|----|--------------------------|-----------------------------------------------|
| 1  | $0^\circ \sim 30^\circ$  | $K = 0.41 + 0.0043\alpha$                     |
| 2  | $30^\circ \sim 60^\circ$ | $K = 0.543 - 0.0048\alpha + 0.000162\alpha^2$ |
| 3  | $60^\circ \sim 90^\circ$ | $K = 1.05 - 0.0125\alpha + 0.000025\alpha^3$  |

注:  $K$  值计算公式可用于有下列情况的山坡:

$\alpha \geq 45^\circ$  基岩外露的山坡;

$\alpha = 35^\circ \sim 45^\circ$  基岩外露, 局部有草和稀疏灌木的山坡;

$\alpha = 30^\circ \sim 35^\circ$  有草, 稀疏灌木, 局部基岩外露的山坡;

$\alpha = 25^\circ \sim 30^\circ$  有草, 稀疏灌木的山坡。

2 失稳块石沿折线型山坡运动, 其中缓坡的坡度角  $\alpha < 30^\circ$ , 陡坡段坡度角  $\alpha \leq 60^\circ$ , 坡段长度超过 10m, 相邻坡段的坡度角相差  $5^\circ$  以上。最高一个坡段坡角的速度应按公式 (2) 计算, 其余坡段的终端速度应按公式 (5) 计算:

$$v_i = \sqrt{v_{i(0)}^2 + 2g \cdot H_i \cdot (1 - K_i \cdot \cos \alpha_i)} = \sqrt{v_{i(0)}^2 + \epsilon_i^2 \cdot H_i} \quad (5)$$

当  $\alpha_{i-1} > \alpha_i$  时:

$$v_{i(0)} = V_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (6)$$

当  $\alpha_{i-1} < \alpha_i$  时:

$$v_{i(0)} = V_{i-1} \quad (7)$$

式中  $v_{i(0)}$ ——石块运动所考虑坡段的起点的初速度 (m/s);

$\alpha_i$ ——所考虑坡段的坡度角 ( $^\circ$ );

$\alpha_{i-1}$ ——相邻的前一坡段的坡度角 ( $^\circ$ );

$v_{i-1}$ ——石块在前一坡段终端的运动速度 (m/s);

$\epsilon_i$ ——各段计算速度系数可依据公式 (4) 计算。

3 多线段型山坡, 其中上部为陡峻山坡, 坡度角  $\alpha_1 > 60^\circ$ ,

高度超过 10m，下部坡段坡度较缓。块石自陡坡上坠落至坡脚时的速度  $v_R$  的计算公式同公式 (2)。石块自坡脚向前运动的反射切线分速度  $v_{1(0)}$  按下式计算：

$$v_{1(0)} = (1 - \lambda) v_R \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (8)$$

式中  $\lambda$ ——石块冲击到坡面上的瞬间摩擦系数，可按表 4 取值。

表 4 瞬间摩擦系数  $\lambda$  取值表

| 顺序 | 山坡表面覆盖物的情况                        | 瞬间摩擦系数 $\lambda$ |
|----|-----------------------------------|------------------|
| 1  | 基岩外露                              | 0.1              |
| 2  | 密实的岩块和堆积层                         | 0.3              |
| 3  | 长有草皮的光滑坡面                         | 0.1              |
| 4  | 松散的坡积层、堆积层等                       | 0.4              |
| 5  | 基岩埋藏不深 ( $\leq 0.5\text{m}$ ) 的山坡 | 0.3              |

石块运动至较缓坡段末端处的速度按下式计算：

$$v_2 = \sqrt{v_{1(0)}^2 + \epsilon_2^2 \cdot H_2} \quad (9)$$

4 落石在斜坡坡面的垂直弹跳最大的弹跳高度可按下列公式计算：

$$l_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot (\tan\alpha - \cot\beta)^2}{2g \cdot \tan\alpha \cdot (2 + \cot^2\beta)} \quad (10)$$

$$h_{\max} = l_{\max} \cdot \tan\alpha = \frac{v_0^2 \cdot (\tan\alpha - \cot\beta)^2}{2g \cdot (2 + \cot^2\beta)} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{200 + 2\alpha \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{45}\right)}{\sqrt[3]{v_{1(0)}}} \quad (12)$$

式中  $l_{\max}$ ——落石最大弹跳高度 (m)；

$h_{\max}$ ——落石在斜坡面的最大垂直弹跳高度 (m);

$v_0$ ——石块落至 0 点时的反射速度 (m/s), 使用该坡段的落石初始速度值;

$\beta$ ——石块反射速度  $v_0$  方向与纵坐标间的夹角 ( $^{\circ}$ )。

5 崩落块石冲击能量可按下式计算:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = 1.2 \times \frac{1}{2}mv^2 = 0.6mv^2 \quad (13)$$

对直接坠落到地面的岩块则可不考虑滚动能部分。

落石的大小对其运动能量有很大的影响, 由于落石在到达工程部位前可能会解体故落石的体积根据危岩体的体积和历史上崩落危岩在管线防治工程部位堆积的粒径来综合取值。

**4.3.2 被动防护网**作为一种柔性防护工程, 采用锚杆、钢柱、支撑绳和拉锚绳等固定方式将金属柔性网以一定的角度安装在坡面上, 形成栅栏形式的拦石网, 从而实现对落石和泥石流中固体物质拦截的一种防护网, 简称被动网。被动网的防护能级一般为 150kJ~2000kJ。具有减压环的被动网根据其防护能量、结构形式和特征分为 RX, AX, CX 三类, 不具有减压环的则分为 RXI, AXI, CXI 三类。其中 RX (RXI) 使用最为普遍, 网高一般为 3m~5m。

被动防护网因其占地少, 施工快, 在铁路、公路系统使用较多, 中缅管道建设中也起到了很好的防护效果, 保证了施工安全。

**4.3.3 该条规定了拦石墙工程设计原则:**

1 根据铁路系统经验, 拦石墙适用于坡度  $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ , 且由于拦石墙施工材料进场及占地较大, 因此应具有一定宽度的缓冲平台。另外一般在拦石墙后设有落石槽。由于其设置在坡地上, 故要求坡体平缓且稳定, 一般不宜布设在  $30^{\circ}$  以上的坡体上。

2~5 拦石墙与落石槽宜配合使用, 设置位置可根据地形在横断面上合理布置。落石槽的槽深和底宽可通过现场调查或试验确定, 分别再加 0.5m 和 1.0m 安全值, 使拦截的落石不因滚动

或弹跳而越出槽外。拦石墙墙背应设缓冲层,缓冲层的设置可以有效分解落石冲击力,在保证厚度和稳定性的前提下,不宜过缓,以免落石从落石槽内翻越。

拦石墙应按挡土墙设计,墙背压力考虑崩坍冲击荷载的影响。拦石墙应采用水泥砂浆砌片石修筑。在有足够的用地宽度或横坡小于 $30^{\circ}$ 的缓坡地带,可用拦石堤代替拦石墙,拦石堤顶宽为 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ ,迎石坡面宜采用坡度为 $1:0.75$ 的干砌片石铺砌。

#### 4.4 主动防护

**4.4.1** 主动防护工程是在危岩区上施加主动防护而提高危岩稳定、减少落石;目前主要分为锚固和主动柔性网工程两大类。本规范涉及的主动防护工程包括主动柔性防护网、锚杆锚固、坡面清理危岩、岩体封闭等。

锚杆锚固工程由于其能提供较大的支护力,故主要针对块体大、完整性较好的危岩;而对于岩体破碎、数量大的危岩通过主动网则可以起到护坡和一定的围护作用,限制崩塌运动。两种工程手段也可搭配使用。

**4.4.2** 当危岩体底部出现明显岩腔等缺陷时,宜采用充填措施。路堑边坡上的成层岩体因岩性不同,抵抗风化的能力也不同,往往在边坡上形成深浅不同的凹陷。天长日久,凹陷较深处的岩体就形成上部突出的危岩。此类情况可采用浆砌片石或混凝土嵌补,以便对危岩进行加固处理。

2 支顶和封填工程顶部与危岩体接触部位,宜采用膨胀水泥砂浆或混凝土,墙柱的底部基础宜设置成内倾或台阶状。

3 裂缝封填可以减少水的入渗和风化作用,对砂浆封填裂缝,由于裂缝的形态和展布不确定,注浆将造成较大的侧向压力,故不宜使用压力注浆,同时对裂缝深大的裂缝还需要考虑注浆过程中危岩受浆体侧压力的稳定性。

黏土封填主要适用于宽度较大但深度不大的土层裂缝,为保证黏土层不因为沉陷而失去封闭的作用,必须保证回填的质量。

4 崖面凹腔过高,墙、柱支顶难以实施时,可采用钢筋混凝土挑梁进行支顶。

**4.4.3** 对规模较小,便于清除的危岩,可采用清理危岩措施。一般清理危岩主要针对坡体上散落的危石或者与母岩已经脱离的危岩,对稳定性较好、难度大或清除可能诱发新的危岩时,则不宜进行清理危岩处理。清理危岩的过程中由于可能发生落石,故需要做好安全防护工作。以下几种情况在设计时应引起注意:

危岩清除设计是对稳定性不足、方量不大的危岩体(危石)进行清除,必须同控制危岩体的结构面确定危岩清除的范围,避免对母岩造成影响,而诱发新的不稳定块体。为明确范围,必须确定危岩的平面范围和深度,进而确定清除的工程量。

危岩清除工作顺序需要根据危岩的失稳形式和结构特征确定,避免在清除中造成危岩体突然失稳。采用至上而下、由表及里、从十分破碎到比较破碎的清除方式,目的是从稳定性很差到稳定性较差地逐一清除破碎的危岩体。

清理危岩主要为人工清除,因为爆破能量难以控制、岩体结构复杂,而爆破比较容易造成较大范围或新的危岩,故一般不宜采用。

对采用爆破均需要进行专门的设计评价,分析爆破的范围、对危岩及母岩的影响程度、确定危岩爆破的方式和药量。

危岩清除中对体积较大、位置较高的危岩体,均可能在清理时造成落石掉落。故需要做好下方的缓冲和防护工程,尤其是下方已经存在不能移动的保护对象时,必须保证施工落石不造成安全事故。

**4.4.4** 锚杆(锚索)设计主要依据危岩所需要的支护力,其自由段长度由危岩体厚度或卸荷破碎带厚度决定,而锚固段长度则通过锚杆设计锚固力计算得出,具体设计参见滑坡治理中锚杆工程设计。

1 锚杆(索)应进行专项勘察,查清卸荷裂隙带深度,进行锚固力、锚固长度及锚杆结构设计计算。

3 危岩体锚固深度应按照伸入主控裂隙面计算,伸入主控裂隙面不小于 5.0m。

**4.4.5** 主动防护网应由锚杆、支撑绳、钢绳网、格栅网、缝合线等组成。支撑绳、钢绳网、格栅网、缝合线等属于构造要求,结合设计选型符合材料要求即可。主动网的主要特征构成为钢丝绳网、钢丝格栅和高强度钢丝格栅三类。前两者通过钢丝绳锚杆和支撑绳固定方式,后者通过钢筋(可施加预应力)和钢丝绳锚杆(有边沿支撑绳时采用)、锚垫板以及必要时的边沿支撑绳等固定方式,将作为系统特征构成的柔性网覆盖在有潜在地质灾害的坡面上,从而实现防护目的。

1 适用于主动防护网的坡面,地形起伏大小决定了防护区域面积的准确程度,一般地防护区域应超出需治理区域边界以外不小于 2m,设计防护面积应根据坡面起伏情况确定,根据以往工程实践教训,实际的防护面积采用设计计算的防护网面积时,常常发生不能完全覆盖需防护范围,这里明确按设计防护面积乘上 1.05~1.1 的系数作为实际防护面积。

2 主动防护网的锚固锚杆应包括系统锚杆和随机锚杆,系统锚杆应按防护单元格、纵横向支撑绳交叉点位置布置,防护网悬空区域面积不应超过  $5\text{m}^2$ 。保证防护网紧贴地面。系统锚杆无法保证悬空面积要求时,应增设随机锚杆以保证防护网紧贴地面。

3 防护网锚固锚杆孔位宜设在地表低洼处,锚杆直径不应小于  $\phi 12\text{mm}$ ,锚杆长度宜为 2m~3m,系统锚杆锚固深度不宜小于 1.5m,随机锚杆锚固深度不宜小于 1.0m。上沿系统锚杆方向宜与水平面成  $30^\circ$  向下布置;其余系统锚杆方向宜与坡面垂直,且应与水平面夹角不小于  $15^\circ$ 。

锚杆设计成 2m~3m 的短锚杆,是为了方便施工,同时降低工程造价。单根锚杆抗拔力为  $50\text{kN}\sim 80\text{kN}$ ,这对于自重较大的危岩防治是不够的。但斜坡稳定系统在开发时采用了以钢丝绳制作的柔性锚杆,系统安装时支撑绳与锚杆环进行穿接,在抵抗



危岩运动时，锚杆头在一定的空间范围内可以自由位移，有效地避免了锚杆头应力集中而容易破坏的现象。同时，钢绳网上受到的力会通过纵向、横向支撑绳向周边的多个锚杆传递，分摊到各锚杆上的拉拔力就降低了很多，此时对于单根段锚杆而言，抗拔力就足够了，即产生了斜坡稳定系统的“群锚效应”。另有很多研究表明，锚杆的锚固长度超过 3m 时，对锚杆抗拔力的提升作用极小。另外，当坡体存在个别突兀的巨石时，应单独锚固设计。

主动网的锚杆为系统锚杆，一般采用钢丝绳锚杆，长度 2m~3m，对于部分主动网需要对危岩提供较多支护力时，可采用单独设计的加强锚杆，其设计按锚杆的设计要求进行。

## 5 滑 坡

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 油气管道工程呈线性展布, 沿线地质条件复杂, 不可避免地会遇到滑坡等灾害, 特别是在山区管道线路选线中, 滑坡是影响线路方案比选的重要因素, 稳定差的大型滑坡和滑坡群地段的选线不当一方面可能导致建设投资增加, 另一方面可能导致运营管理风险的增大。由于滑坡防治工程相对较为复杂, 且工程投资较大, 在选线阶段原则上应避开滑坡地段, 特别是对于大中型滑坡, 应以避让为主; 在无法避开滑坡的情况下应最大程度减轻滑坡对管道的危害。

当管线必须从滑坡地段通过时, 一般宜选择从滑坡体后缘通过, 且管沟开挖土方应堆放在滑坡体以外地带; 当管线必须从滑坡前缘通过时, 宜采用浅挖深埋 (即回填反压); 管线不宜从滑梯中斜穿通过, 但可采用上下正穿通过, 以减少治理工程量。

斜坡地区存在较厚的松散堆积层、地形呈圈椅型、前沿鼓胀、后缘负地形、分级错台等地貌特征时, 多显示斜坡区稳定性差, 管道工程穿越这些区段存在受到滑坡危害的可能, 因此在进行油气管道工程建设时, 对滑坡及工程建设可能造成活动的潜在不稳定斜坡应按滑坡进行工程勘察和防治工程设计。不稳定的崩塌堆积体, 可参照本章进行治理设计。

**5.1.2** 滑坡防治工程设计应开展专项勘察、评价, 以工程勘察评价资料为依据, 结合滑坡与管道工程的位置关系及周边环境情况, 多方案比较, 并应充分预估管道工程施工和滑坡施工对滑坡体的扰动, 设计方案应包括控制滑坡失稳的措施。

**5.1.3** 滑坡灾害是动态发展的, 应结合管道工程建设阶段, 进行稳定性评价, 其滑坡稳定性系数和滑坡推力可作为防治工程设

计的参考, 滑坡稳定性评价可采用本规范附录 C 稳定性评价公式计算, 进行滑坡稳定状态评价。

**5.1.4** 滑坡推力设计计算主要考虑天然、暴雨和地震三种工况, 设计前两者为设计工况, 设计是应选其中的最不利工况, 作为治理设计工况。由于不同类型失稳模式其力学作用模式差异较大, 故其安全系数的差异较大, 但整体上是随着勘察精度的提高、工程重要性的调高而提高安全系数的取值。因为管道工程大多情况下处于野外, 且管道本体荷载相对于滑坡可忽略不计。支护结构设计如抗滑挡墙、抗滑桩、锚索等尚应满足相关支护结构设计安全系数要求。

对于位于河(水库)岸边的滑坡治理工程, 应考虑水位变动的影响。

**5.1.5** 滑坡作用在支护结构上的滑坡推力应考虑如下几条:

1 滑坡自重设计工况下的荷载应考虑滑坡体自重荷载、滑坡体上构筑物的附加荷载、动荷载、地下水作用产生的荷载、江(库)水位变化产生的附加荷载。

2 滑坡暴雨设计工况下的荷载应在自重设计工况荷载基础上, 增加降雨造成的土体饱和增重荷载、滑面(带)土体饱和后抗剪强度的折减。

3 滑坡地震设计工况下的荷载应在自重设计工况荷载基础上, 增加地震荷载本规范表 5.1.5 来源于现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 中表 5.2.6。本规范表 5.1.5 中的“地震峰值加速度”来源于《中国地震动参数区划图》, 与设计基本地震加速度的取值相当, 只是在  $0.10g$  和  $0.20g$  之间有一个  $0.15g$ ,  $0.20g$  与  $0.40g$  之间有一个  $0.30g$  的区域, 这两个区分别同 7 度和 8 度地区相当。

**5.1.6** 本规范表 5.1.6 的取值只针对设计下滑力安全储备; 支护结构设计应满足相关支护结构设计安全系数要求。对于地质条件特别复杂, 滑坡成因存在较大争议, 且滑坡危险性巨大的滑坡防治工程, 滑坡防治工程的设计原则应充分结合管道保护要求,

是区别于其他行业滑坡防治工程的特点。设计安全系数  $F_{st}$  可在本规范表 5.1.6 的基础上提高 0.05 进行设计。

#### 5.1.7 下列滑坡防治工程的设计应进行专门论证：

1 “地质环境条件很复杂”的滑坡防治工程，是指构造发育、地层条件复杂、地下水或地表水对滑坡影响很大，地层力学参数离散性大或低于常规较多的滑坡工程。

5 “新结构、新技术”是指还未被规范和有关文件认可的新结构、新技术。对工程中出现的超过规范应用范围的重大技术难题，新结构、新技术的合理推广应用以及严重事故的正确处理，采用专门技术论证的方式可达到技术先进、确保质量。此外，新结构、新技术的应用还应进行试验检验，并采用专家技术论证的方式解决以上 5 种条件下的防治工程治理。

### 5.2 减载与反压

5.2.1 削方减载或前缘回填反压是滑坡治理中最直接、最有效的方法之一，施工难度低，施工速度快，既可作为应急措施，也可作为永久措施。处于蠕滑挤压阶段的滑坡，上部减重可减少下滑力，使滑坡处于相对稳定状态，为勘察设计和施工争取了时间。对正在滑动或已经滑动的滑坡，减重减少了倾角较大的滑坡或错落型滑坡，减重效果更为明显。特别对于应急抢险工程，宜首先考虑。减重与反压措施适用范围：推移式滑坡或由错落转化的滑坡，宜采用滑坡后缘减重，前缘反压措施。滑床具有上陡下缓形状，滑坡后缘及两侧的地层相对稳定，不致因减重开挖而引起滑坡向后及向两侧发展时，宜采用减重措施。滑坡前缘有较长的抗滑段，宜利用减重弃方反压抗滑或修筑路堤。

5.2.2 削方减载和前缘回填反压设计，应依据控制性滑动面进行设计计算确定具体方案。首先根据防治工程等级确定设计安全系数；对滑坡体分条用传递系数法计算每个土条的下滑力和剩余下滑力，其计算的目的是首先要划分主滑段和抗滑段；确定减重的部位和数量，而后进行再一次分条块计算下滑力及剩余下滑力，

计算稳定性系数；根据计算结果评价稳定性，若不满足稳定性要求，再次调整削方或反压方案，直至满足要求。

**5.2.3** 众多实践经验表明，对已经滑动的滑坡，仅用减重而不采用地下排水和支挡工程的，不能长久稳定滑坡，几年或稍长时间仍会滑动。其原因是已经滑动的滑坡，滑动面已贯通，滑带土强度已降低，若无地下排水措施提高滑带土强度，或作支挡结构增强其抗滑力，减重只是起到减重的作用，如大人和小孩在冰面上均会滑倒一样，因为摩擦系数是一样的。

**5.2.4** 回填压脚的作用原理比较简单而明确，即增加抗滑段抗滑力而稳定滑坡，其实质也是一种支挡工程措施，填土压脚的设计如同一般路堤或护堤，但需经滑坡稳定计算达到滑坡的稳定要求为准。

### 5.3 截排水

**5.3.1** 由于水是滑坡发生和发展的重要影响因素，因此，容易实施且见效快的地表排水工程对任何一个滑坡的预防和治理都是不可缺少的。排水既可作为应急工程的一部分，又是永久治理工程之一。地表排水的目的是把滑坡区以外的山坡来水用截水沟排出，不使其流入滑坡区，把滑坡区内的降水及地下水露头（包括泉水、湿地及其他水体）通过人工沟道尽快排出滑坡区，减少其对滑坡稳定的影响。

因此在滑坡防治工程设计中，截排水工程作为主体或附属工程设施，均应在工程中进行考虑；同时鉴于地表及地下水分析的复杂性和不确定性，作为附属工程的截排水工程对滑坡稳定性的影响，通常作为安全储备进行考虑，而不参与滑坡稳定性计算；对于作为主体工程的大型截排水工程，应在前期进行水文地质专项勘察，以确定截排水工程的可行性、有效性。本规范只明确了常用的地表排水工程设计方法。本规范未含有地下排水部分。

**5.3.2** 排水工程设计应首先对排水系统各主沟段、支沟段控制的汇流面积进行分割计算，并根据设计降雨强度和校核标准分别

计算各主沟段、支沟段汇流量和输水量，以此确定排水沟断面面积或校核已有排水沟过流能力。

设计频率地表水汇流量的计算公式 [见公式 (5.3.2-1)] 引自现行行业标准《公路排水设计规范》JTG/T D33—2012，结合现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30—2015 中第 4.2.1 条之规定，对于降雨重现期，高速公路和一级公路采用 15 年，其他等级公路采用 10 年。管道工程排水设计规定降雨设计重现期根据防治工程等级选定，Ⅰ级取 20 年，Ⅱ级、Ⅲ级取 10 年。地表径流系数依据现行行业标准《地质灾害防治工程设计规范》DB 50/5029 按照城镇地区取 0.50~0.80，荒郊地区取 0.40~0.60。

径流系数受降雨强度、降雨历时、地表覆盖状况、土壤种类和湿度等多种因素的影响，本规范给出的系数是重庆地方标准提出的经验数据，适用于地表覆盖、土壤种类及湿度特征不明确地区。如地形特点及地表种类明确的可参考表 5 取值。

表 5 地表种类与径流系数对应表

| 地表种类 | 陡峻的山地     | 起伏的山地     | 起伏的草地     | 平坦的耕地     | 落叶林地      | 针叶林地      | 水田、水面     |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 径流系数 | 0.75~0.90 | 0.60~0.80 | 0.40~0.65 | 0.45~0.60 | 0.35~0.60 | 0.25~0.50 | 0.70~0.80 |

5.3.4 本条规定了设计排水沟泄水能力的计算公式。在表 6 中明确了部分材料明渠的最大允许流速值，以便系统开展排水沟设计。

明沟的最小允许流速为 0.4m/s，且明沟的最大允许流速与沟壁材料和水深有关，不同的沟壁材料在水深为 0.4m~1.0m 时的最大允许流水主要受沟壁材料控制，而管道工程滑坡防治工程多数在此区间。若遇特殊情况，水深不在 0.4m~1.0m 时，最大允许流速应乘以水深系数，不同水深相应的水深修正系数应符合表 6 的规定。

表 6 最大允许流速的水深修正系数

| 水深 $h$ (m) | $h \leq 0.4$ | $0.4 < h \leq 1.0$ | $1.0 < h < 2.0$ | $h \geq 2.0$ |
|------------|--------------|--------------------|-----------------|--------------|
| 修正系数       | 0.85         | 1.00               | 1.25            | 1.40         |

### 5.3.6 本条明确了截排水系统的构造要求。

1 地表截排水沟断面形状采用梯形或矩形断面排水沟，管道工程的滑坡治理属于附属工程，施工周期短，通常采用明渠，以便于施工、维护及清理。

2 本款依据滑坡治理通常做法，以往管道工程滑坡或边坡外围截水排水沟设置在坡体后缘稳定坡面不足 5m，发生了截水沟断流导致滑坡复活事故，故此提出明确要求。

3 本款依据现行行业标准《地质灾害防治设计规范》DB 50/5029，截排水沟纵坡超过 5% 时，应设置跌水、消能池等消能措施。当高差在 5m 以内时，宜采用单级消能；高差大于 5m 时，宜采用多级消能。

4 在现行行业标准《地质灾害防治设计规范》DB 50/5029 要求伸缩缝 10m~15m，考虑管道工程实际，截排水沟沉降缝间距缩小到 8m~10m。

5~7 参考现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219 及《地质灾害防治设计规范》DB 50/5029 要求。

## 5.4 抗 滑 桩

5.4.1 抗滑桩是防治滑坡的一种有效工程措施，其布设于滑坡的适当部位，一般完全埋置在地面下，有时也可露出地面。但无论前者还是后者，桩的下段均必须埋置在滑动面以下稳定地层一定深度。管道工程滑坡治理设计时，抗滑桩的平面布设除考虑滑坡防治要求外，还应考虑与油气管道的相互位置关系，宜布置于油气管道与后部滑体之间，并沿管道平行布置。

抗滑桩类型较多：按施工方法分，有打入桩、钻孔桩和挖孔桩；按材料分，有木桩、钢桩和钢筋混凝土桩；按截面形状分，

有圆形桩、管形桩和矩形桩；按桩与土的相对刚度分，有刚性桩和弹性桩；按结构型式分，有排式单桩、承台式桩和排架桩等。本规范抗滑桩推荐材质为钢筋混凝土，截面形状可设计成矩形桩或圆桩，结构形式可设计成悬臂桩或锚拉桩，成桩方法可设计成灌注桩或旋挖桩等。但是旋挖桩由于机械荷载等因素，不宜在滑体上部使用，当护坡前缘场地条件满足时可采用，其优点是机械成孔，速度快。

抗滑桩是凭借桩与周围岩、土的共同作用，把滑坡推力传递到稳定地层，即利用稳定地层的锚固作用和被动抗力，来平衡滑坡推力，桩在滑坡中在一定程度上改善了滑坡状态，促使滑坡向稳定转化。与防治滑坡的传统措施，例如排水、减载、挡土墙等工程相比，抗滑桩施工简便，效果突出，因而在国内外均得到了迅速的发展，广泛地为人们所重视。

根据抗滑桩类型的不同，兼有以下优点：

- 1) 抗滑能力强，圬工数量小，在滑坡推力大、滑动带深的情况下，能够克服抗滑挡土墙难以克服的困难。
  - 2) 桩位灵活，可以设在滑坡体中最有利于抗滑的部位，可以单独使用，也能与其他建筑物配合使用。
  - 3) 可以沿桩长根据弯矩大小合理地布置钢筋。因此，在相同条件下，比一般不能分段布置不同数量钢筋的桩（如管形桩、打入桩）要经济。
  - 4) 施工方便，设备简单。采用混凝土或少筋混凝土护壁，安全、可靠。
  - 5) 间隔开挖桩孔，不易恶化滑坡状态，利于整治正在活动中的滑坡，利于抢修工程。
  - 6) 通过开挖桩孔，能够直接校核地质情况，进而可以检验和修改原来的设计，使之更切合实际。发现问题，易于补救。
- 2 对本规范抗滑桩的材质及截面形式等做了要求。
  - 3 截面形状采用矩形的抗滑桩，现行行业标准《铁路路基



《支挡结构设计规范》TB 10025—2016 中第 10.1.3 条为 6m~10m, 第 11.1.2 条为 5m~8m, 现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219 为 5m~10m, 结合管道实际, 大型桩较少, 确定为桩间中心距宜为 5m~8m, 结合近几年管道项目施工情况, 截面短边长度确定为不宜小于 1.0m; 采用旋挖成孔的圆形抗滑桩, 桩间中心距宜为 2m~4m, 截面直径宜为 0.8m~1.6m。

考虑到桩的受力条件和施工方便, 抗滑桩以采用正面一边较短、侧面一边较长的矩形截面为好。尺寸大小根据下滑力大小、桩距以及锚固段的侧壁容许压应力等因素综合考虑。当采用人力挖孔施工时, 桩的最小宽度一般不宜小于 1.5m。多年来铁路部门常用的截面尺寸为 2m×3m, 2.5m×3.5m, 3m×4m 等, 尤以 2m×3m 者最为多见。

4 抗滑桩嵌固长度应大于总桩长的  $1/3$ , 地基条件较差时, 应达到  $2/5 \sim 3/5$ , 同时可加大桩截面尺寸以增加抗力。与现行行业标准《滑坡防治工程设计与施工技术规范》DZ/T 0219 一致。

5 针对土质滑体桩间土挤出问题, 要求在桩间设置钢筋混凝土挡板或浆砌石挡墙, 小截面抗滑桩桩间可采用钢筋混凝土联系梁连接以增加整体稳定性。

桩间土压力根据现行行业标准《地质灾害防治设计规范》DB 50/5029, 可采用拟化筒仓法计算抗滑桩桩间支挡的水平土压力: 桩间支挡位置应设置在桩前缘临空一侧, 支挡所受的推力应与桩尺寸、间距及滑体土的性质有关, 考虑到土拱效应, 桩承受了全部推力, 则桩间支挡可拟化为一个由桩、土拱和桩间支挡组成的筒仓的一个侧壁来计算其所承受的推力。

现对图 2 情况进行分析, 此时拟化的筒仓为 ABCED 多边形仓, 侧壁水平土压力 (该式也可用于桩间拱板的情况) 可按下列公式计算:

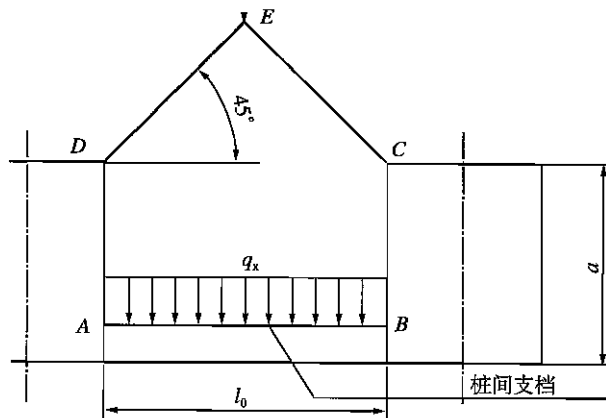


图 2 拟化筒仓法计算桩间支挡结构简图

$$q_x = \frac{A}{P} \cdot \frac{\gamma}{\tan \phi} \cdot [1 - e^{-\left(\frac{P}{A}\right)kz}] \quad (14)$$

其中：

$$A = l_0 \cdot \left( a + \frac{l_0}{4} - \delta \right)$$

为简化可取：

$$A = l_0 \cdot \left( a + \frac{l_0}{4} \right)$$

$$k = k_a \cdot \tan \phi$$

$$k_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$P = 2a + 2.414l_0$$

式中  $q_x$ ——桩间土对挡板的水平推力；

$A$ —— $ABCED$  的面积；

$l_0$ ——桩间净距；

$a$ ——桩平行水平滑坡推力方向的边长；

$\delta$ ——挡板厚度；

$P$ ——闭合截面 ABCED 的周长；

$\gamma$ ——滑体土重度；

$\phi$ ——滑体土的内摩擦角；

$z$ ——计算点至桩顶面的深度。

6 抗滑桩悬臂长度较长，弯矩较大时可采用预应力锚拉桩，嵌固长度不应小于桩长的 1/5。

7 抗滑桩后无构筑物的桩顶位移宜控制在 10cm 以内，有构筑物的宜控制在 5cm 以内。现行行业标准《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025—2006 中第 11.1 节要求桩顶位移控制在悬臂段长度的 1/100，且小于 10cm。

8 埋入式抗滑桩必须进行越顶计算，当下部构筑物对表层溜滑的要求严格时，应设置挡土板。嵌固端位于土层时，为了防止形成行的滑动，应进行深层滑动验算。

#### 5.4.2, 5.4.3 抗滑桩计算步骤：

1 首先根据勘察报告及现场符合情况，弄清滑坡的原因、性质、范围、稳定状态、发展趋势。

2 根据滑坡地质横断面及滑动面处岩、土的抗剪强度指标，计算滑坡推力。

滑坡推力的分布对抗滑桩的设计影响很大，由于影响因素很多，很难给出各类滑坡推力的分布图形。在计算滑坡推力时，通常假定滑坡体沿滑动面均匀下滑。当滑体为砾石类土或块石类土时，下滑力采用三角形分布；当滑体为黏性土时，采用矩形分布；介于两者之间时，采用梯形分布。此外，根据铁二院两种模拟滑体的抗滑桩模型试验结果，当滑体为松散介质时，下滑力的重心约在滑动面上桩长 1/4 处；当滑体为黏性土时，虽然比松散介质稍高，但也未超过滑动面以上桩长的 1/3。另外，从多次实验的结果可看出，滑体的完整性越好，其下滑力的重心越低。综上所述，规定滑坡推力可采用三角形、梯形或矩形分布是安全可

行的。

3 当抗滑桩受到滑坡推力的作用产生变形时，一部分滑坡推力通过桩体传给锚固段地层，另一部分传给桩前滑体。但是，桩前滑体本身的抗力与滑坡的性质和桩前滑体的大小等因素有关。试验表明，桩前滑体的体积愈大，抗剪强度愈高，滑动面愈平缓、愈粗糙，桩前滑体抗力愈大，反之愈小。另外，还与是否存在多层滑面有关。对某一定的滑坡，当抗滑桩受到滑坡推力的作用产生变形时，滑动面以上桩前滑体抗力大于桩体所能提供的极限抗力时，桩前滑体将产生隆起破坏，或沿桩前滑体中某一薄弱面产生剪切破坏。

4 根据滑坡推力大小、地形及地层性质，拟定桩长、锚固深度、桩截面尺寸及桩间距。

5 确定桩的计算宽度，并根据滑体的地层性质，选定地基系数。

桩的截面及其计算宽度：抗滑桩的截面形状对桩的抗滑作用有影响。目前采用矩形（包括方形）和圆形两种，在利用钻机施工的条件下，桩的截面是圆形，设计时要把圆形截面换算成相当的矩形截面。试验表明，不同尺寸的圆形桩和矩形桩，施加水平荷载时，直径为  $d$  的圆形桩与正面边长为  $0.9d$  的矩形桩，在其两侧土体开始被挤出的极限状态下，其临界水平荷载值相等。所以，矩形桩的形状换算系数为 1，而圆形桩的形状换算系数为 0.9。

另外，在水平荷载作用下，桩侧土体的受力状态实际是较复杂的空间问题。为了简化计算而按平面问题考虑时，应将桩的实际宽度换算成与平面受力条件相当的宽度。由试验知道，受力换算系数对于正面边长  $b$  大于或等于 1m 的矩形桩为  $1 + 1/b$ ，对于直径  $d$  大于或等于 1m 的圆形桩为  $1 + 1/d$ 。所以，桩的正面计算宽度  $B_p$ ，等于桩的实际宽度乘以形状换算系数和受力换算系数，即：

对于矩形桩：

$$B_p = 1(1 + 1/b)b = b + 1$$

对于圆形状:

$$B_p = 0.9(1 + 1/d)d = 0.9(b + 1)$$

应该注意的是,只有在计算桩侧弹性抗力时,才用桩的正面计算宽度。计算桩底反力时,仍用桩的实际宽度。其次,上列公式没有充分考虑桩两侧土体实际受力状态的空间问题,故计算值 $B_p$ 略嫌偏小。

6 根据选定的地基系数及桩的截面形式、尺寸,计算桩的变形系数( $\alpha$ 或 $\beta$ )及其计算深度( $\alpha h$ 或 $\beta h$ ),据以判断按刚性桩或弹性桩来设计。

7 根据桩底的边界条件采用相应的公式计算桩身各截面的变位、内力及侧壁应力等,并计算最大剪力、弯矩及其部位。

8 校核地基强度。若桩身作用于地基的弹性应力超过地层容许值或者小于其容许值过多时,则应调整桩的埋深,或桩的截面尺寸,或桩的间距,重新计算,直至符合要求为止。

9 根据计算的结果,绘制桩身的剪力图和弯矩图。

10 对于钢筋混凝土桩,据以进行配筋设计。

**5.4.4** 人工挖孔桩一般情况下应进行护壁,并应进行土压力计算。

## 5.5 锚 固

**5.5.1, 5.5.2** 明确了锚固工程常用形式及其适用范围。锚固工程主要是锚杆(索)或锚杆(索)与其他支挡结构的组合,是滑坡防治工程较常用的工程措施,应根据滑坡的特点选择合适的结构形式。锚杆是将拉力传至稳定岩土层的构件,当采用钢绞线或高强钢丝束作为杆体材料时,锚杆也可称为锚索。锚固于土层中的锚杆称为土层锚杆;锚固于岩层中的锚杆称为岩层锚杆;施加了预应力的锚杆称为预应力锚杆;未施加预应力的锚杆称为非预

应力锚杆。锚杆材料类型应符合如下要求：

1 锚杆材料可根据锚固工程性质、锚固部位和工程规模等因素，选择高强度、低松弛的普通钢筋、预应力螺纹钢筋、预应力钢丝或钢绞线。

2 锚杆材料的物理力学性能应符合下列规定：

- 1) 采用高强预应力钢丝时，其力学性能必须符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 的规定；
- 2) 采用预应力钢绞线时，其力学性能必须符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定；
- 3) 采用预应力钢绞线、预应力螺纹钢筋时、无黏结钢绞线、普通螺纹钢筋时，其抗拉强度应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 中表 E.0.2-1~表 E.0.2-4 的规定。

**5.5.4** 锚杆基本试验应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 中第 C.2 节的规定。

**5.5.5** 本条规定了岩体稳定性分析及锚固力计算要求，以及锚杆和锚索的选型、选材规定。

## **5.6 重力式抗滑挡墙**

**5.6.1** 重力式抗滑挡墙适用于滑坡推力小于 150kN/m 的滑坡治理。

应根据使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑确定挡墙类型，对开挖边坡的情况宜优选仰斜式挡墙；滑坡稳定性较好且前缘用地空间紧张时，宜采用直立式或俯斜式挡墙；回填反压工程宜选用衡重式或仰斜式挡墙。

以仰斜、垂直和俯斜式三种不同的墙背所受的土压力分析，在墙高和墙后填料等条件相同时，仰斜墙背所受的土压力为最小，垂直墙背次之，俯斜墙背较大；因此仰斜式的墙身断面较经济。用于路堑墙时，墙背与开挖的临时边坡较贴合，开挖量与回填量均较小。但当墙趾处地面横坡较陡时，采用仰斜式墙背会增

加墙高，断面增大。故仰斜墙背适用于路堑墙及墙趾处地面平坦的路肩墙或路堤墙。仰斜墙背的坡度愈缓，所受的土压力愈小，但施工愈困难，故仰斜墙背的坡度不宜缓于 1 : 0.3。

俯斜墙背所受的土压力较大，相对而言，俯斜墙背的断面比仰斜式要大。但当地面横坡较陡时，俯斜式挡土墙可采用陡直的墙面，从而减小墙高。俯斜墙背的坡度缓些固然对施工有利，但所受的土压力亦随之增加，致使断面增大，因此墙背坡度不宜过缓，通常控制  $\alpha < 21^\circ 48'$ （即 1 : 0.4）。

垂直墙背的特点介于仰斜和俯斜墙背之间。

3 采用重力式抗滑挡墙时，在中等坚实地基上，挡土高度在 8m 以下时，可采用重力式，但宜采用混凝土结构，但在滑坡工程地区挡土高度在 6m 以上时，尽量不采用浆砌石结构的重力式挡土墙。

挖方强求施工难以采用逆作法，开挖面形成后边坡稳定性相对较低，有时可能危及施工人员安全，造成滑坡启动。因此对重力式挡墙的高度做了限制。

4 抗震设防烈度为 8 度时，挡墙材料不宜采用浆砌块（片）石；9 度及以上时，挡墙材料不应采用浆砌块（片）石。

**5.6.2** 对于高大挡墙，通常不允许出现达到极限状态的位移值，因此土压力计算考虑一定的增大系数，同时与现行国家标准《地基基础设计规范》GB 50007 一致。

重力式抗滑挡墙在承受滑坡推力方面存在很大的局限性，推力过大后挡墙的结构尺寸偏大，不经济；挡墙高度过高后对基础的承载力要求很高，需考虑其他结构形式来解决基础承载力要求。

抗滑移、抗倾覆稳定性验算是重力式抗滑挡墙设计中非常重要的项目。当抗滑移稳定性不满足要求时，可采取增大挡墙断面尺寸、通过把墙底做成逆坡或换填砂石垫层等措施使抗滑移稳定性满足要求。当抗倾覆稳定性不满足要求时，可采用增大挡墙断面尺寸、增长墙趾或改变墙背的做法（如在直立墙背上做卸荷

台)使抗倾覆稳定性满足要求。

地震工况时,土压力按本规范第 5.1.5 条规定进行计算地震水平力。

挡墙设计时应充分考虑墙后填土对挡墙的影响,根据勘察报告提供的参数换算成等效内摩擦角进行计算,同时还需考虑强(连续)降雨工况下等效内摩擦角的折减。

### 5.6.3 本条明确了构造要求。

1 重力式抗滑挡墙材料可根据当地地材条件,采用浆砌块石,选用的条石或块石应能抗风化,冻融损失率应小于 1%,单块重量不宜小于 30kg。块石、条石的强度等级不应低于 MU25,混凝土的强度等级不应低于 C20。当挡土墙挡土高度较大、地基条件较好,但当地石料供应困难,或挡土高度较大、地基条件较差、需要采用轻型结构时,挡土墙宜采用混凝土或钢筋混凝土结构。

2 重力式抗滑挡墙基底可做成逆坡。对土质地基,基底逆坡坡度不宜大于 0.1:1;对岩质地基,基底逆坡坡度不宜大于 0.2:1。

3 重力式抗滑挡墙墙顶宽度不宜小于 600mm。

4 重力式抗滑挡墙的基础埋置深度,应根据滑面位置、地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况和岩石风化程度等因素确定。一般挡土墙的墙基础放在稳定地层上满足承载力要求即可,抗滑挡墙的墙基础应放在滑动带以下一定深度,并考虑滑动面向下发展加深从墙底滑出(所谓“挡墙坐船”)的可能性。当滑床为土层时,挡墙埋入滑带下深度宜为 1.5m~2.0m;当滑床为岩层时,埋深为 0.5m~1.0m。同时地基应满足承载力要求。

5 挡墙地基纵向坡度大于 5%时,基底应做成台阶式基础,且最下一级台阶宽度不宜小于 1.0m。

6 重力式抗滑挡墙须设置泄水孔。根据水量大小,泄水孔孔径宜为 50mm~100mm 的圆孔。孔间距 2m~3m。泄水孔宜



采用梅花形布置, 倾角不小于 5%, 最下一排泄水孔的出水口应高出地面或常水位 200mm。

排水孔按平行于补给及排泄边界直线排布,  $b > 2d$ , 其单孔排水量可参照下式计算:

$$Q = \frac{1.36K \cdot (2H - S_w) \cdot S_w}{\lg\left(\frac{d}{\pi \cdot r_w}\right) + \frac{1.36b_1 \cdot b_2}{d \cdot b}} \quad (15)$$

$$b = b_1 + b_2$$

式中  $Q$ ——排水孔单孔排水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$K$ ——渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ );

$H$ ——潜水含水层厚度 ( $\text{m}$ );

$S_w$ ——水位降深 ( $\text{m}$ );

$d$ ——排水孔间距之半 ( $\text{m}$ );

$r_w$ ——排水孔半径 ( $\text{m}$ );

$b_1$ ——孔排至排泄边界距离 ( $\text{m}$ );

$b_2$ ——孔排至补给边界距离 ( $\text{m}$ )。

7 重力式抗滑挡墙的伸缩缝间距, 宜采用 10m~15m。在地地质、水文条件变化、挡墙高度突变及截面变化处应设沉降缝; 平曲线路段挡墙按折线布置时, 转折处宜设沉降缝。伸缩缝与沉降缝可合并设置, 其宽度宜采用 20mm~30mm, 缝内沿墙内、外、顶三边填塞塞沥青木板或其他有弹性的防水材料, 填塞深度不应小于 200mm, 当墙背为填石且冻害不严重时, 可仅留空缝, 不塞填料。

8 在挡墙背侧泄水孔的进水侧应设置 300mm~500mm 厚的反滤层, 背侧最下一排泄水孔下侧应设厚度不小于 300mm 的隔水层。

9 墙后填料土的选择首先应根据工程所在地实际, 因地制宜, 根据防渗、排水和土料来源等方面的因素综合考虑, 尽量选取抗剪强度指标高的土料。处于防渗段的填土宜选择黏性土, 非

防渗段的填土可选择无黏性土，填土中不应含植物根、垃圾、淤泥、粉细砂等杂物。这是设计时应遵循的一般规则。

## 6 泥 石 流

### 6.1 一 般 规 定

**6.1.1~6.1.4** 泥石流是油气管道穿越山区常见的地质灾害，对其发育情况、活动规律等特征要提前调查清楚，调查应在油气管道工程的可行性研究阶段或初步设计阶段的前期进行，为管道的选线和后续泥石流的防治方案的选择和防治工程的设计提供基础资料。

泥石流堆积区相对比较稳定，堆积厚度的增加对埋入的管道影响较小。管道通过泥石流的其他区域，保持与沟道垂直的角度通过，泥石流对管道运行安全的影响最小。管道不宜顺泥石流沟道敷设。

泥石流对油气管道工程的危害性，可根据管道的敷设方式和泥石流不同区域分别评价，按以下几种情况分别评价：一是管道沿泥石流沟谷敷设，泥石流对线路管道的危害主要表现为泥石流冲刷覆盖层而使管道暴露，对管道产生很大的冲击力，造成管道裸露、变形破损。应按百年一遇暴雨状态计算泥石流的侵蚀力（冲击和冲刷）。二是管道穿越泥石流沟谷的流通区，当管道穿越流通区时，一般情况下，沟道纵坡降大，泥石流暴发时的下切侵蚀作用会造成管道裸露，使管道遭受泥石流的冲击，同时破坏沟源和两岸山体的稳定性。在重力作用下，滑坡、崩塌不断发生，泥石流活动进一步发展，对管道产生更大的冲击力，使管道冲出、产生弯曲变形甚至剪切断裂。此外，泥石流是一种饱含大量泥沙石块的特殊洪流，固体物质含量高，大块石多，灾害发生时，这种巨大的冲击力还会破坏管道表层防护层，对管道通过的两边岸坡产生侵蚀，造成坍岸，使管道裸露。三是管道穿越泥石流沟谷的堆积区，泥石流堆积区物质大量淤积，沟道宽阔，比降

不大, 泥石流流速慢慢降低, 冲击力小, 表现为侵蚀搬运—沉积一再侵蚀搬运一再沉积。所以, 管道穿越泥石流堆积区具有冲淤并存的特点, 泥石流对管道的主要危害是淤埋管道并伴有轻微的下切侵蚀和侧蚀作用。淤埋管道对其没有大的危害, 但堆积厚了(3m 以上) 对今后的管道维修将造成困难。多数情况下堆积区外围有河流通过, 应评价外围河流的侧蚀冲刷情况, 确定适宜的管道埋设深度。同时, 泥石流巨大的冲刷能力, 会剥蚀埋设管道的土层并磨损管道表层防护层, 导致其功能失效。泥石流沟易发程度数量化评分见表 7。

随着国家对环保的重视, 管道工程建设应以不造成新的地质灾害为原则, 保护环境, 泥石流治理应采用生物措施与工程治理相结合的综合治理。管道工程应以尽量少扰动原始地貌为原则, 且管道通过的地段以进行重点治理。

表 7 泥石流沟易发程度数量化评分表

| 序号 | 影响因素                     | 量级划分                                  |    |                                  |    |                           |    |                |    |
|----|--------------------------|---------------------------------------|----|----------------------------------|----|---------------------------|----|----------------|----|
|    |                          | 极易发<br>(A)                            | 得分 | 中等易发<br>(B)                      | 得分 | 轻度易发<br>(C)               | 得分 | 不易发生<br>(D)    | 得分 |
| 1  | 崩塌、滑坡及水土流失(自然和人为活动的)严重程度 | 崩塌、滑坡等重力侵蚀严重, 多层滑坡和大型崩塌, 表土疏松, 冲沟十分发育 | 21 | 崩塌、滑坡发育, 多层滑坡和中小型崩塌, 有零星植被覆盖冲沟发育 | 16 | 有零星崩塌、滑坡和冲沟存在             | 12 | 无崩塌、滑坡、冲沟或发育轻微 | 1  |
| 2  | 泥沙沿程补给长度比(%)             | >60                                   | 16 | 60~30                            | 12 | 30~10                     | 8  | <10            | 1  |
| 3  | 沟口泥石流堆积活动程度              | 主河河形弯曲或堵塞, 主流受挤压偏移                    | 14 | 主河河形无较大变化, 仅主流受迫偏移               | 11 | 主河河形无变化, 主流在高水位时偏, 低水位时不偏 | 7  | 主河无河形变化, 主流不偏  | 1  |

续表 7

| 序号 | 影响因素                                            | 量级划分                            |    |                                                |    |                                                |    |                         |    |
|----|-------------------------------------------------|---------------------------------|----|------------------------------------------------|----|------------------------------------------------|----|-------------------------|----|
|    |                                                 | 极易发<br>(A)                      | 得分 | 中等易发<br>(B)                                    | 得分 | 轻度易发<br>(C)                                    | 得分 | 不易发生<br>(D)             | 得分 |
| 4  | 河沟纵坡                                            | $>12^{\circ}$<br>(213‰)         | 12 | $12^{\circ}\sim 6^{\circ}$<br>(213‰~<br>105‰)  | 9  | $6^{\circ}\sim 3^{\circ}$<br>(105‰~<br>52‰)    | 6  | $<3^{\circ}$<br>(52‰)   | 1  |
| 5  | 区域构造影响<br>程度                                    | 强抬升区,<br>Ⅷ度以上地<br>震区, 断层<br>破碎带 | 9  | 抬升区, Ⅶ<br>~Ⅷ度地震<br>区, 有中小<br>支断层               | 7  | 相 对 稳 定<br>区, Ⅶ度以<br>下地震区,<br>有小断层             | 5  | 沉降区, 构<br>造影响小或<br>无影响  | 1  |
| 6  | 流域植被覆盖<br>率 (%)                                 | $<10$                           | 9  | 10~30                                          | 7  | 30~60                                          | 5  | $>60$                   | 1  |
| 7  | 河沟近期一次<br>变幅 (m)                                | $>2$                            | 8  | 2~1                                            | 6  | 1~0.2                                          | 4  | $<0.2$                  | 1  |
| 8  | 岩性影响                                            | 软岩、黄土                           | 6  | 软硬相间                                           | 5  | 风化强烈和<br>节理发育的<br>硬岩                           | 4  | 硬岩                      | 1  |
| 9  | 沿沟松散物<br>储量<br>( $10^4\text{m}^3/\text{km}^2$ ) | $>10$                           | 6  | 10~5                                           | 5  | 5~1                                            | 4  | $<1$                    | 1  |
| 10 | 沟岸山坡坡度                                          | $>32^{\circ}$<br>(625‰)         | 6  | $32^{\circ}\sim 25^{\circ}$<br>(625‰~<br>466‰) | 5  | $25^{\circ}\sim 15^{\circ}$<br>(466‰~<br>268‰) | 4  | $<15^{\circ}$<br>(268‰) | 1  |
| 11 | 产沙区沟槽横<br>断面                                    | V型、U型<br>谷、谷中谷                  | 5  | 宽U型谷                                           | 4  | 复式断面                                           | 3  | 平坦型                     | 1  |
| 12 | 产沙区松散物<br>平均厚度 (m)                              | $>10$                           | 5  | 10~5                                           | 4  | 5~1                                            | 3  | $<1$                    | 1  |
| 13 | 流域面积<br>( $\text{km}^2$ )                       | 0.2~5                           | 5  | 5~10                                           | 4  | 0.2以下,<br>10~100                               | 3  | $>100$                  | 1  |

续表 7

| 序号 | 影响因素          | 量级划分       |    |             |    |             |    |             |    |
|----|---------------|------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|
|    |               | 极易发<br>(A) | 得分 | 中等易发<br>(B) | 得分 | 轻度易发<br>(C) | 得分 | 不易发生<br>(D) | 得分 |
| 14 | 流域相对高差<br>(m) | >500       | 4  | 500~300     | 3  | 300~100     | 2  | <100        | 1  |
| 15 | 河沟堵塞程度        | 严重         | 4  | 中等          | 3  | 轻微          | 2  | 无           | 1  |

注：影响因素的权重值，在评价需要时，可结合调查情况、征求专家意见确定。

**6.1.5 “新结构、新技术”**是指还未被规范和有关文件认可的新结构、新技术。对工程中出现的超过规范应用范围的重大技术难题，新结构、新技术的合理推广应用以及严重事故的正确处理，采用专门技术论证的方式可达到技术先进、确保质量。此外，新结构、新技术的应用还应进行试验检验，并采用专家技术论证的方式解决本条中 5 种条件下的防治工程治理。

**6.1.6** 规定了泥石流防治设计基础参数选取及计算方法，与现行行业标准《泥石流灾害防治工程设计规范》DZ/T 0239 相关要求一致。无试验条件情况下，可按现行行业标准《泥石流灾害防治设计规范》DZ/T 0239 的规定取值。

## 6.2 排 导

**6.2.1** 明确了本规范排导工程常用措施：排导槽、导流堤及单边防护堤。排导槽适用于管道工程所经沟谷较窄或管道工程对沟谷两侧环境影响较大的泥石流；导流堤护岸或单边防护堤适用于宽浅沟谷，或管道工程对沟谷一侧环境影响较大的泥石流。

单侧防护堤工程是管道泥石流防护的主要措施，主要适用于管道沿沟道铺设的情况，可结合道路路肩墙，防护效果较好。防护堤可就地取材，技术含量较低，可多点施工，造价低，施工进度快。

防护堤设计主要注意基础埋置深度问题,一般规定埋置深度要超过常年洪水(泥石流)侵蚀基准线以下,还要考虑安全超高和弯道超高问题,一般要高出设计泥位线以上30cm~50cm。

排导槽为泥石流主要排导工程,一般为浆砌石或混凝土结构,根据断面型式可分为矩形、梯形和“V”型三种,根据泥石流沟道的特征选择断面型式,纵坡较小沟道可选择“V”型断面,较大纵坡可选择矩形或梯形断面,同时要注意与原始沟道相结合,减小挖填方量。

排导槽计算要注意弯道超高和侧墙稳定性。

#### 6.2.2 明确排导工程结构计算规定。

#### 6.2.3 基本荷载包括结构自重、土压力、泥流体重量和静压力、泥石流的冲击力。特殊荷载为地震力。

基本荷载组合:结构自重、土压力、设计情况下的流体重量和流体静压力、泥石流的冲击力。

特殊组合:结构自重、土压力、校核情况下的流体重量和流体静压力、泥石流的冲击力、地震力。

### 6.3 拦 挡

#### 6.3.1 管道工程泥石流常用的拦挡工程措施一般包括重力式拦挡坝、防冲墙和防冲墩等。

拦挡坝和拦砂坝为一般泥石流治理工程的主要拦挡设施,一般把坝高 $H_{d1} < 5\text{m}$ 的重力式拦挡坝称为谷坊坝, $H_{d1} \geq 5\text{m}$ 为拦砂坝。本规范统一为重力式拦挡坝,其不包括拦砂坝,一般成串布置在小支沟、冲沟上,形成坝群,整体防治,起到固床、拦挡功效。拦砂坝对坝址的要求较高,坝址处地基和坝肩条件要好,坝上游要有足够的库容条件。

管道泥石流防护拦挡坝主要用于管道穿越沟道的防护工程,固床防止泥石流揭底冲刷,一般采用浆砌石或混凝土结构,临时工程可采用钢筋石笼。

管道泥石流治理工程中,如果采用拦挡坝工程,应进行专项

勘察。

防冲墙与防冲墩为埋地式构筑物，埋深宜为冲刷线以下 1.5m~2.0m，顶标高不大于原河床标高以上 0.5m。

**6.3.2** 明确了防冲墙设计规定。

**6.3.3** 防冲墩设计规定，参考了现行行业标准《泥石流灾害防治工程设计规范》DZ/T 0239 中桩林设计方法。

#### **6.4 其他防治工程**

**6.4.1** 拦砂坝固床稳坡工程适用于紧靠滑坡或沟岸不稳定段的下游修建，以达到反压滑坡剪出口或保护坡脚，使沟床岸坡达到稳定的目的。

**6.4.2** 本条规定了护坡工程基本要求。

**6.4.3** 本条规定了临时性护坡的基本要求。

**6.4.4** 本条规定了护底工程的基本要求。

**6.4.5** 本条规定了坡面治理工程设计构造要求。

**6.4.6** 生物工程适用条件应与植物选择条件相适应，并宜与其他防治方案相结合。根据《中华人民共和国石油天然气管道保护法》（中华人民共和国主席令〔2010〕第 30 号）第三十条深根植物不应种植在管道中线两侧 5m 范围内。



## 7 岩溶塌陷

### 7.1 一般规定

**7.1.1, 7.1.2** 岩溶对管道工程的影响有：在主要受力层范围内，若有溶洞、暗河等，在附加荷载或荷载振动作用下，溶洞顶板坍塌，使管道突然下沉变形，或使建构筑物变形破坏；基础埋置在基岩上，其附近有溶沟、竖向溶蚀裂隙、落水洞等，有可能使基础下岩层沿倾向上上述临空面的软弱结构面产生滑动，从而使管道或建（构）筑物受剪切破坏。油气管道工程通过岩溶发育地区时，应首先进行岩溶调查，指导选线、选址，无法避让岩溶塌陷等灾害时，应评价其对管道工程的影响，确定是否开展防治工程设计和施工。总结以往工程经验，油气管道工程岩溶塌陷防治宜采用以下方法：

1 岩溶水的处治以地面、地下疏导引排为主。

2 由于地表水作用形成的土洞或塌陷地段，宜采取地表截流、防渗或堵漏等措施。

3 由于地下水作用形成的塌陷及浅埋土洞，宜清除软土，抛填块石作反滤层，面层用黏土夯填。深埋土洞宜用砂、砾石或细石混凝土灌填。

4 溶洞宜采用填塞封堵、注浆加固、结构特跨越等方法。

**7.1.3** 进行溶洞塌落厚度计算时，当管道工程通过顶板为中厚层或薄层、裂隙发育、易风化的岩层，顶板有坍塌可能的溶洞，顶板坍塌自行填塞洞体，或仅知洞体高度时，可依据规范给出的计算公式计算。

**7.1.4** 本条根据《西气东输二线管道工程岩溶塌陷区岩土工程勘察设计导则》，对管道稳定性验算补充了适量内容。

**7.1.5** 管道施工工况的安全是极其重要的，本规范尤其强调了

施工期施工条件下管道的安全性，为此进行施工条件下的岩溶塌陷区场地稳定性分析。

## 7.2 治 水

**7.2.1** 水是岩溶发育的必需条件之一，此条总结提出了岩溶塌陷发育地段应采取的几项治水措施。结合西二线工程及广西地区岩溶水治理一些实例编制。岩溶塌陷发育地段应对地表水和地下水采取截流、排泄、疏导及堵水等措施，以消除环境水对岩溶塌陷的促进作用。

**7.2.5** 堵水要求较高，可采用注浆技术封堵岩溶水，但应选做注浆试验，确定注浆设计参数。

## 7.3 填 垫

**7.3.1~7.3.5** 填垫法施工较为容易，成本相对较低，是油气管道工程处理中小型岩溶塌陷的主要方法。其主要设计工作是根据地质条件和现场其他情况，因地制宜确定填垫的具体方法和计算具体工程量。

## 7.4 灌 注

**7.4.1** 灌注法可用于已发生了较严重的塌陷或经稳定性评价处于欠稳定的岩溶塌陷区。灌注材料主要是水泥、碎料（砂、矿渣等）和速凝剂（水玻璃、氧化钙），水泥标号应大于 425 号。通过钻孔或岩溶洞口进行注浆。

## 8 采 空 区

### 8.1 一 般 规 定

**8.1.1** 本章适用于油气管道工程无法避绕的各类矿产采空区治理设计。

**8.1.2** 本条列出应进行专门论证的采空区防治工程的设计。

1 “地质环境条件很复杂”的采空区防治工程，是指处于构造发育、地层条件复杂的采空区。

3 矿层及采空区内含有大量有毒有害气体时，如治理方式不当会对环境和人身安全造成严重后果。

4 采空区内存在大量地下水时，应进行专项调查、评价查明地下水来源，进行专家论证防治方案的可行性。

6 “新结构、新技术”是指还未被规范和有关文件认可的新结构、新技术。对工程中出现的超过规范应用范围的重大技术难题，新结构、新技术的合理推广应用以及严重事故的正确处理，采用专门技术论证的方式可达到技术先进、确保质量。此外，新结构、新技术的应用还应进行试验检验，并采用专家技术论证的方式解决以上 5 种条件下的防治工程治理。

### 8.2 注 浆

**8.2.1** 注浆法系指用人工的方法向采空区的冒落带和裂隙带注入具有充填、胶结性能的浆液材料，以便充填其裂隙和空洞，增加其强度的注浆施工方法。对于埋深较大的矿层，且开采后发生了较严重的垮落，采空区充填程度较高，下部空间相对狭小的地段，难于采用开挖回填、强夯、干砌支撑和浆砌支撑等方法处治采空区时，一般宜采用注浆法。该法以往主要用于治理公路路基部位的采空塌陷区。对于管道工程，可按采空区注浆设计的标

准。对于地质条件复杂、有多层采空区分布、采空区勘察精度较低、注浆施工经验较少的地区，在注浆施工前应选择一段路段进行现场注浆试验，包括浆液的配比、成孔工艺、注浆设备、注浆施工工艺等；对于地质条件简单、采空区勘察精度较高、区域注浆施工经验较多、注浆工艺较成熟的地区，可不进行现场注浆试验，直接进行注浆的设计和施工。

#### 8.2.2 本条对采空区注浆治理方法计算做了规定。

采空区覆岩移动的影响宽度依据现行行业标准《采空区公路设计与施工技术细则》JTG/T D31-03-2011 相关要求，并参照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》（国家煤炭工业局编著）的规定计算，根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中表 1，当钢制瓦斯管道保护等级为Ⅲ级，根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中表 2，围护带宽度取 10m，相当于作业带及其影响范围，因此作业带宽度取同样宽度。因老采空区与新采区、准采区的覆岩移动变形规律不同，计算时采用不同的覆岩移动影响角。对于新采区和准采区，其覆岩移动主要是由开采过程引起的，采空区覆岩移动的影响宽度按覆岩移动角计算；对于老采空区，其覆岩移动主要是由残余空洞、裂隙的再冒落和压密过程引起的，其在地表的影响范围远较开采过程小，采空区覆岩移动的影响宽度可按覆岩活化移动影响角计算。

基岩移动角值随开采深度的增加而增大，随开采厚度的增加而减小，与开采深厚比呈正相关关系。因此在使用本规定表 8.2.2 的规定取值时，应考虑开采深厚比的影响，深厚比愈大，移动角取值相应也愈大。另外，采空区覆岩移动的影响范围与矿山开采方式、回采率、开采深厚比、覆岩的软硬程度以及矿山开采时间等因素有关。由于山区地表采动点的移动有向下坡方向滑移的分量，导致山区移动范围增大。因此当管道建（构）筑物位于山地坡脚等低洼部位，邻近山体上坡方向下方有新采区或准采区时，应考虑管道建（构）筑物可能受到采动滑移影响。根据资

料分析,移动角一般应减小  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ,并且减小值与坡角有关,坡角愈大,减值愈大。

注浆量计算的关键是确定采空区剩余空隙率。该值的确定应以实测为主;无条件实测时,可采用经验数据。

**8.2.3 注浆孔设计及构造要求:**注浆管宜选用直径不小于  $\phi 50\text{mm}$  的钢管,需投入集料时,管径不应小于  $\phi 89\text{mm}$ ;当采空区处治深度小于  $50\text{m}$  时,可采用  $\phi 50\text{mm}$  的 PVC 管或 PE 管。

**8.2.4 注浆材料要求,**注浆管材料一般选用钢管;当采空区处治深度小于  $50\text{m}$  时,也可采用 PVC 管或 PE 管,以便节省材料,降低工程投资。采用 PVC 管或 PE 管时,要求壁厚大于  $2\text{mm}$ ,强度大于  $3\text{MPa}$ 。

采空区注浆以充填采空区及其覆岩中的空洞和裂隙为主,对浆材的细度、强度要求相对较低,为充填式注浆。水泥粉煤灰、水泥黏土类浆液结石体具有一定的强度,且造价低廉、材料来源丰富、浆液配制方便、操作简单,目前在工程中得到了广泛运用。根据材料配比试验研究,水固比(质量比)取  $1:1.0\sim 1:1.3$  时,浆液的可注性良好,可在注浆施工中采用。浆液的浓度使用,应由稀到浓,一般根据工程目的、施工现场的具体情况,选用适当的浓度比级。采空区充水时,宜采用较大的浓度比级。反之采用较小的浓度比级。路基注浆材料配比,水泥可调整为  $20\%$ ,或更高。

采空区注浆对浆液的凝结时间指标、结石体强度有一定要求,在确定固相比时应根据工程对浆液的初、终凝时间,单轴抗压强度要求,确定水泥、粉煤灰或水泥、黏土的比例。为了提高采空区处治效果,在处治桥梁、隧道等重要构造物下伏采空区时,应适当增加水泥的用量。

当采空区空洞和裂隙发育,地下水流速大于  $200\text{m/h}$  时,为节省注浆材料,通常先灌注砂、砾石、石屑、矿渣等集料,以此充填大的空洞和裂隙,减小过水断面,增加水流阻力,为有效注浆创造条件。

**8.2.5 注浆参数要求：**注浆压力的大小决定了浆液的有效扩散半径和充填、压密的效果。注浆压力大，浆液扩散距离大，空隙中浆液充填程度也高；但压力超过受注层的强度时，可能导致地层结构的破坏，对沉降稳定不利。注浆结束压力与采空区冒落带、裂隙带的空隙、裂隙发育程度、水文地质条件等有关，在注浆设计中，注浆压力的选择应以不使地层结构破坏为原则，通过注浆试验确定适宜的注浆压力。通常当注浆压力达到设计值时，结束吸浆量越小，注浆质量越好。

### **8.3 砌筑支撑**

**8.3.1** 本节对砌筑支撑方法的应用做了规定。

采用人工对采空区进行干（浆）砌筑墙体或墩柱来支撑顶板，以防止采空区顶板产生塌落，引起上覆公路工程变形破坏。

对于矿层开采后顶板尚未塌陷的采空区，可采用非注浆充填方法（包括干砌片石、浆砌片石、井下回填等方法）。由于采空区的工程地质条件复杂，应针对采空区的具体情况，采用适宜的处治方法，达到最佳治理效果。干砌片石、浆砌片石、井下回填等方法的技术规定可参照相应的规范执行。

### **8.4 开挖回填**

**8.4.1** 本节规定了开挖回填方法的适用范围。

**8.4.3** 本节规定了开挖回填设计的构造要求。

### **8.5 强 夯**

**8.5.1** 本节规定了强夯方法的适用范围。

## 9 监 测

**9.0.1** 20 世纪 90 年代随着黄茨滑坡监测预警成功,我国地质灾害监测预警技术得到不断提升。我国油气管道工程地质灾害防治监测工作在以往的工作主要在运营期开展,存在监测点布置需开挖扰动已建管道的问题,针对管道的监测更是会存在较大风险。因此在建设期进行系统的地质灾害监测设计、实施施工期安全监测,做好运营期监测规划,是非常有意义的。监测设计在以往的地质灾害防治工作中实施力度不大,由于在建设期的地质灾害监测推动需要业主的大力支持,因此在本条明确了油气管道工程地质灾害专业监测设计的任务来源。

油气管道工程地质灾害监测分为勘察设计阶段监测和观测、施工安全监测与长期监测三个阶段,勘察设计阶段监测和观测应结合各种灾害勘察工作开展,其成果作为地质灾害勘察的一部分。施工安全监测期内的监测数据及成果应及时反馈给相关单位,以便及时指导设计及施工。

油气管道工程地质灾害监测设计应从可行性研究阶段开始,便于监测工作的开展和实施。

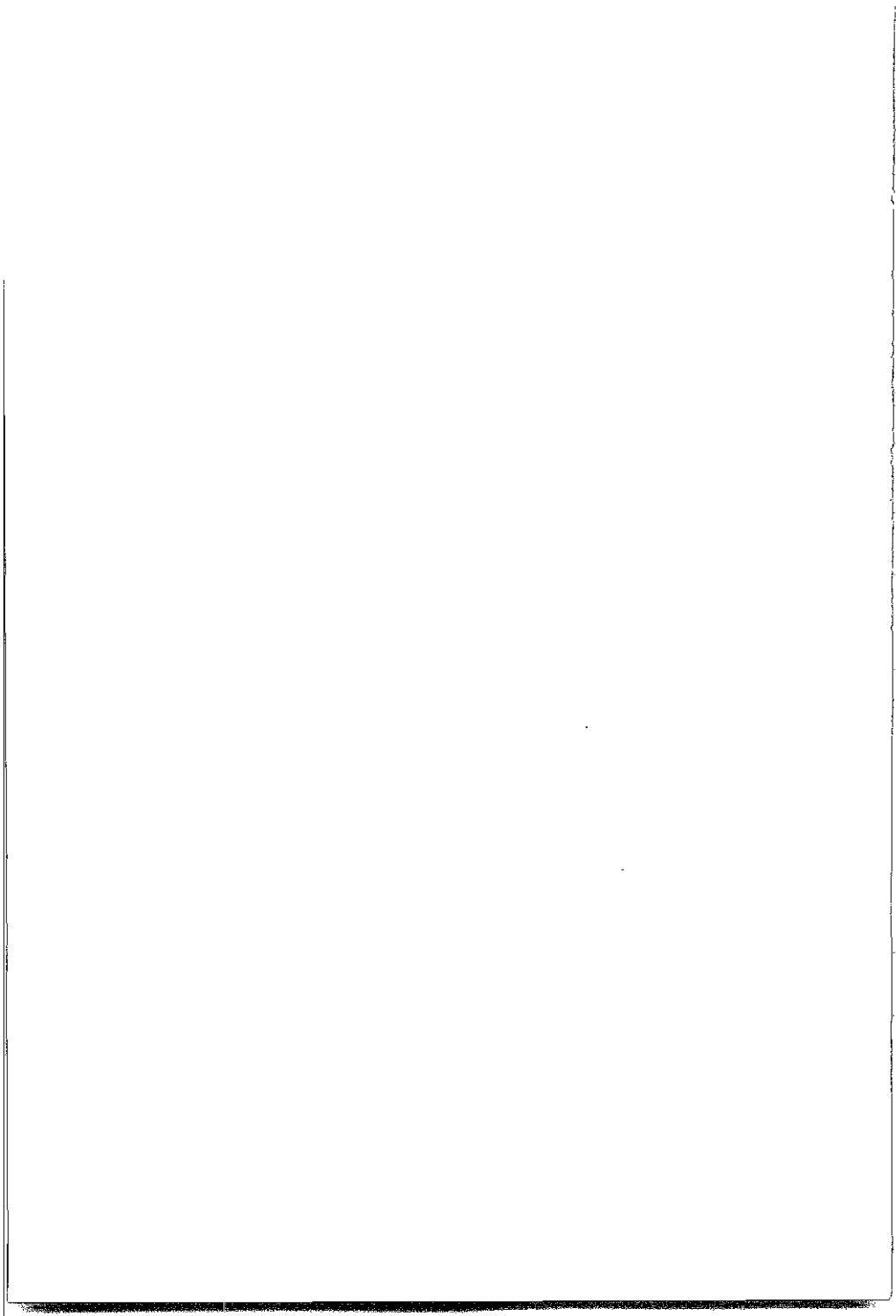
油气管道工程地质灾害监测应依据地质灾害调查与勘察工作开展,依据地质灾害防治工程等级,进行监测设计,确定地质灾害监测开展的时机、监测项目、监测周期和频率。

**9.0.5~9.0.6** 规定了监测周期及频率。并明确地质灾害经治理或其他原因处于平稳状态时,经委托单位批准可结束监测。

## 参 考 文 献

- [1] 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- [2] 《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539
- [3] 《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568
- [4] 《滑坡防治工程勘查规范》DZ/T 0218
- [5] 《泥石流灾害防治工程勘查规范》DZ/T 0220
- [6] 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- [7] 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- [8] 《采空区公路设计与施工技术细则》JTG/T D31 - 03 - 2011
- [9] 《西气东输二线管道工程岩溶塌陷区岩土工程勘察设计导则》Q/SY GJX 0140—2008
- [10] 《石油天然气管道保护法》[中华人民共和国主席令(第三十号)]
- [11] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程. 北京: 煤炭工业出版社, 2000
- [12] 林宗元. 岩土工程勘察设计手册. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 1996
- [13] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第四版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2007





中华人民共和国  
石油天然气行业标准  
油气输送管道工程地质灾害  
防治设计规范  
SY/T 7040—2016

\*

石油工业出版社出版  
(北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

850×1168 毫米 32 开本 5.375 印张 160 千字 印 1—1500

2016 年 5 月北京第 1 版 2016 年 5 月北京第 1 次印刷

书号: 155021·7424 定价: 60.00 元

版权专有 不得翻印