

某天然气储配站场地边坡处治可靠性评价

张家兰, 文海家, 李百战

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘 要: 在分析某天然气储配站场地环境地质条件的基础上, 对其开挖形成的高边坡采用喷锚及格构锚固措施进行处治; 采用重庆市地方规范规定的极限平衡法及数值模拟分析两种方法对边坡处治后的可靠性进行综合评价, 结果表明治理工程实施后边坡稳定安全系数达到规范要求, 设计锚杆无破坏现象, 有效处治的边坡能满足天然气储配站场地环境的安全要求。

关 键 词: 天然气储配站; 场地边坡; 锚固; 可靠性评价; 数值分析

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Reliability assessment of treating site slope of a natural gas storage station

ZHANG Jia-lan, WEN Hai-jia, LI Bai-zhan

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Based on analyzing the site geological-conditions of a natural gas storage station, a high slope formed by excavating is treated by using spray anchor and framed anchor. Two methods, a limit-equilibrium way from Chongqing local norms and other numerical simulations, are used to analyze and evaluate the treated slope reliability comprehensively. The results show that the slope stability factor, after the implementation of project management, may comply with the requirements of safety norms, and the designed bolts have no damage. The effective treatment of the slope can meet the safety requirements of the natural gas storage station.

Key words: natural gas storage station; site slope; anchor; reliability assessment; numerical simulation

1 工程概况

某天然气储配站位于重庆市辖某郊县城郊, 渝巫路东南侧, 建有设计压力 1.6 MPa、1 000 m³ 球罐 2 个。场区属高陡~平缓丘陵坡地地貌, 东南侧原斜坡坡度一般为 30°~40°, 高程为 400~415 m; 球罐及调压计量区场地设计标高为 400 m, 经人工平基后, 在场地东南侧形成高差约 5~15 m、长约 100 m 的人工岩质边坡。由于受场地局限, 在场地东南侧陡立开挖边坡, 其设计坡度为 1:0.15^[1]。该场地边坡的处治及其安全性是确保场区道路、球罐及调压计量区等正常营运的首要条件之一。

天然气储配站工艺布置及场地边坡环境示意图 1。

2 边坡地质条件与处治方案

2.1 地质及环境条件^[1]

据地质勘察资料, 场地地层自上而下按堆积年

代主要有第四系残积物 (Q₄) 和侏罗系中统上砂溪庙组 (J_{2s}) 地层。第四系残积土一般厚约 0.2~4.0 m; 侏罗系中统上砂溪庙组为砂、泥岩互层: 上部以泥岩为主, 层厚为 1~9 m, 强风化带厚约 0.8~5.2 m, 网状裂隙风化裂隙发育; 下部以砂岩为主, 并夹泥岩透镜体, 层厚 2~4 m, 强风化带厚约 0.9~3.2 m。见图 2。

边坡岩体属层状结构, 岩层产状为 115°∠12°, 边坡为反向坡; 基岩中等风化带层间裂隙发育, 另发育有 2 组主要构造裂隙, 第 1 组产状 120°∠80°, 裂面平整、闭合, 连通性差; 第 2 组产状 330°∠75°, 裂面粗糙, 隙宽约 1 mm, 铁质充填, 连通性差。边坡内地下水贫乏, 地震基本烈度为 VI 度, 场区内无其他不良地质现象。

2.2 边坡处治方案

开挖边坡高差较大, 必须对其进行永久性支护。为保证开挖后修建的天然气储配站的安全, 并兼顾节省治理工程投资, 对不同切坡高度、不同部位采

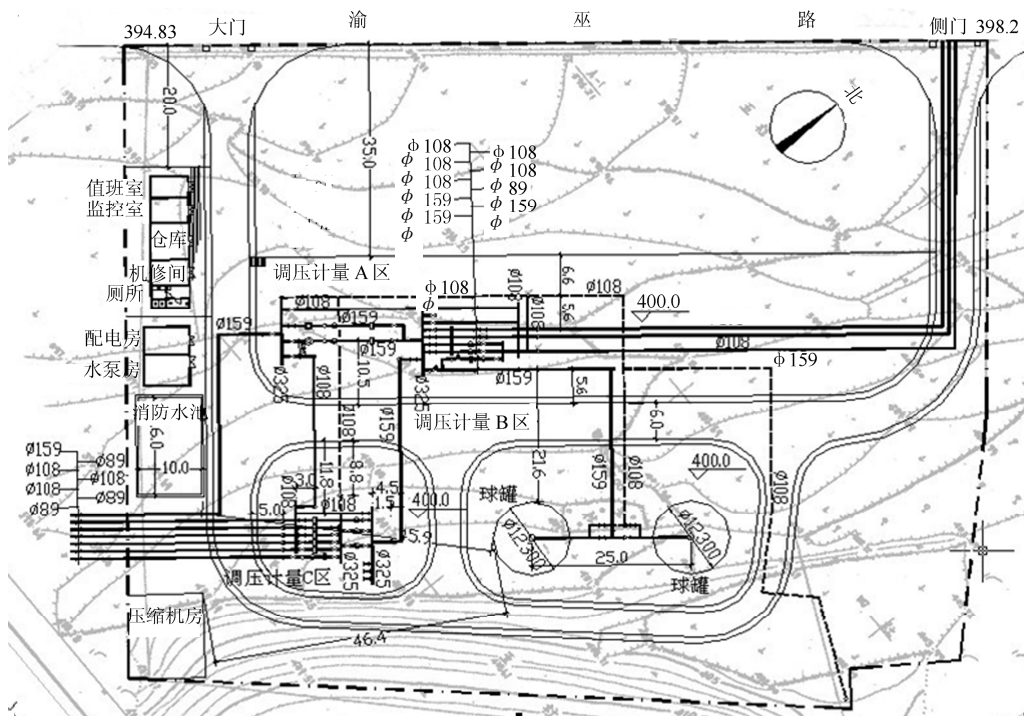


图1 某天然气储配站工艺布置及场地环境示意图

Fig.1 Sketch of processing and environment of a natural gas storage station

用不同支护方案进行加固处理：对边坡高度较低的北东段采用锚杆喷射混凝土支护方案；高度较高的南西段采用格构锚固支护方案^[1]。格构锚固典型支护剖面如图2所示。

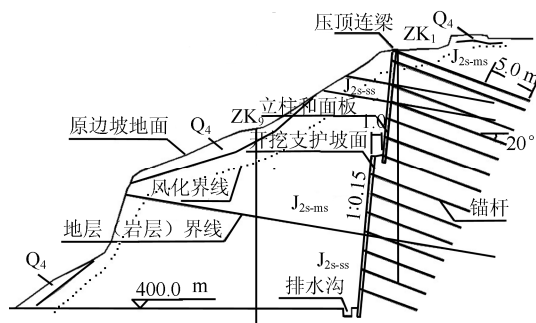


图2 典型地质剖面及边坡处治措施示意图

Fig.2 Typical section of case slope

3 边坡处治可靠性分析

3.1 边坡可能破坏特征分析

根据文献[2]，该边坡属于ⅡB类边坡。由于边坡高达5~15 m，坡底为天然气储配站球罐，破坏后果严重，因此，边坡安全等级属一级。

据地勘资料及现场调查情况，该边坡岩体为互层状结构，其倾角较小，且为反向坡，天然状态下较为稳定。但边坡岩体发育有2组裂隙，陡开挖后，随坡脚应力的释放，这种岩体在坡顶荷载（动、静

荷载）及自重作用下，据类似工程经验^[3-4]，有可能其层间沿裂隙剪切而错动，另外还可能沿第2组外倾结构面发生剪切破坏。

3.2 岩体物理力学参数

根据地质勘察资料、地区经验及相关文献^[2, 5]的有关规定，边坡泥岩体计算参数取值如表1所示。

3.3 支护方案可靠性验算

经分析，边坡可能破裂角为61.5°。据《工程地质勘察规范》^[2]，结合开挖边坡可能破坏特征，采用极限平衡法对其进行稳定性计算：

$$K = \frac{F}{S} = \frac{(G \cos \beta - Q \sin \beta) \tan \varphi + CL}{G \sin \beta + Q \cos \beta} \quad (1)$$

式中： $Q = \alpha G$ 为水平地震作用力， α 为水平地震系数，Ⅵ度地震地区取为0.05； G 为可能破坏楔体的岩体自重； c 、 φ 为结构面的抗剪强度； β 、 L 为结构面的倾角和长度。各种工况下由式(1)计算得到的稳定系数在1.12—1.27之间，表明边坡整体处于欠稳定状态，无安全储备，应对其进行加固处治。

表1 岩土物理力学参数

Table 1 Main physico-mechanical parameters of rock

重度 (kN/m ³)	抗压强度/MPa		抗拉 强度 /MPa	弹性 模量 /GPa	抗剪强度		泊松 比	承载力 /MPa
	饱和	天然			c /MPa	φ / (°)		
25.500	5.819	9.214	1.229	1.151	2.413	33.100	0.367	5.929

据《建筑边坡支护技术规范》^[5],对采用前述处治措施的边坡整体稳定性可按式进行分析:

$$\gamma_s = \frac{(cL + G \cos \theta \tan \varphi) S_x}{G \sin \theta S_x} + \frac{\sum N_{gk} [\cos(\theta + \alpha) + \sin(\theta + \alpha) \tan \varphi]}{G \sin \theta S_x} \quad (2)$$

式中: N_{gk} 为锚钉轴向拉力标准值; S_x 为锚钉的水平间距; α 为锚钉与水平线夹角; θ 为滑面与水平线夹角; γ_s 为锚钉边坡抗滑安全分项系数,其他同前。

经计算,支护后边坡典型剖面的抗滑安全分项系数为 $\gamma_s = 2.05$, γ_s 大于规范规定值 1.3,表明边坡经处治后,其安全储备有较大的提高,边坡支护措施可靠。

3.4 处治可靠性数值分析

据现场情况,参照类似工程经验^[3,6,9-10],可以选取典型边坡剖面进行数值模拟,分析其可靠性。

3.4.1 计算方案

数值模拟可简化为平面应变问题进行分析,采用 Mohr-Coulomb 塑性模型。数值计算对边坡加固后的应力场、位移场及锚杆受力情况分别进行模拟。

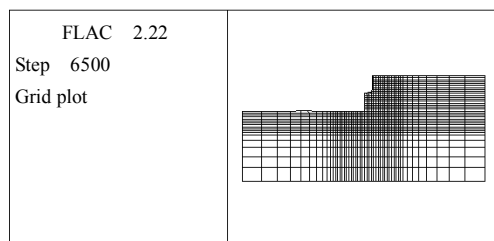


图3 数值分析网格划分

Fig.3 The FLAC^{2D} grids of a typical section

边坡开挖支护后典型剖面网格划分情况见图3。划分单元数为 1 215 个,节点数 1 336 个。左右边界的左右方及下部边界的上下方约束。

数值计算及其前、后处理采用岩土工程专业数值分析软件 FLAC^{2D} 程序完成。

3.4.2 位移与应力分析

图4、5为处治后边坡内部水平位移、竖向位移场示意图。可见开挖边坡经加固后变形很小,整体稳定性良好。

图6、7分别为边坡处治后的小、大主应力场分布情况,可知加固后边坡内部仅有局部应力集中,数值较小;图8为处治后边坡内部的塑性区分布图,表明边坡加固后,塑性区范围均很小。

3.4.3 锚杆受力分析

图9为结构锚杆受力图,可见,每根锚杆所受

轴力较小,且分布均衡,无破坏现象。

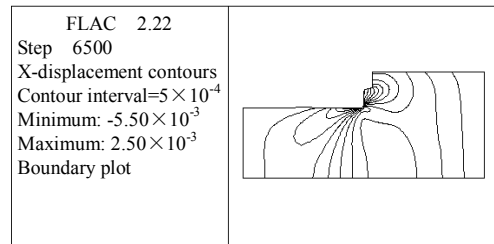


图4 处治边坡水平位移场等值线图

Fig.4 The isopleth map of slope horizontal displacements

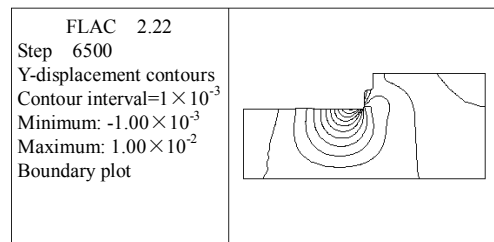


图5 处治边坡竖向位移场等值线

Fig.5 The isopleth map of slope vertical displacements

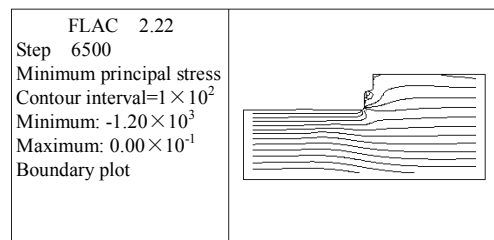


图6 处治边坡内部最小主应力场

Fig.6 The minimum stress field of slope

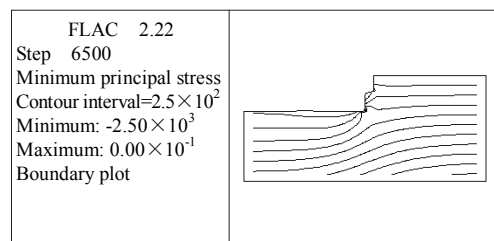


图7 处治边坡内部大主应力场

Fig.7 The maximum stress field of slope

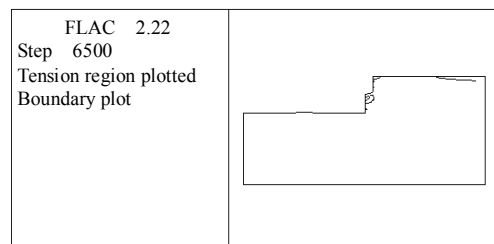


图8 处治边坡内部塑性区分布

Fig.8 The plastic field of slope

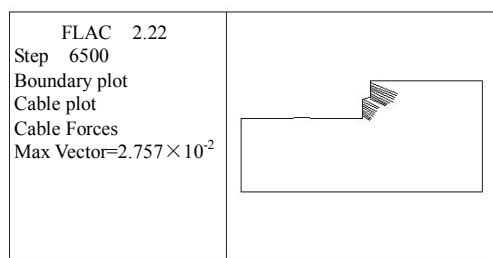


图9 锚杆受力图

Fig.9 The bolter stress of the anchored slope

4 结 论

(1) 高边坡稳定是确保山区建筑场地环境安全的重要问题，其安全性需多种方法综合评定。

(2) 天然气储配站场地边坡支护前后稳定性验算结果对比表明，边坡治理后稳定安全储备可得到较大的提高。

(3) 数值模拟分析表明，加固后边坡无有害变形，应力集中及塑性区不明显；结构锚杆所受力较小且均衡，无破坏现象，能保证边坡稳定。

(4) 多种方法分析结果综合对比表明，边坡支护措施可靠，可确保天然气储配站场地环境的安全。

参 考 文 献

- [1] 重庆大学建筑设计研究院. 垫江天然气储配站设计总说明[R]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [2] 重庆市设计院 DB50 / 5005—1998 工程地质勘察规范

[S]. 重庆: [s.n.]: 1998.

- [3] WEN H J, ZHANG J L, ZHANG Y X. Stability analysis of a high excavated-slope [C]//Proceedings of the international conference on geotechnical engineering for disaster mitigation & rehabilitation. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2005: 379—385.
- [4] 文海家, 丁志成, 张永兴. 建筑场地边坡稳定性综合分析评价实例[J]. 地下空间, 2001, 21(1): 8—13.
- [5] 重庆市建设技术发展中心 DB50 / 5018—2001. 建筑边坡支护技术规范[S]. 重庆: 重庆市建设委员会, 2001.
- [6] 文海家, 张永兴. 某变电站场地边坡加固措施及效果评价[C]//中国水利水电工程的未来与发展, 大连: 大连理工大学出版社, 2002: 405—409.
- [7] WEN H J, ZHANG J L, ZHANG Y X. Crucial problems on security assessment of building site adjacent to excavated high slope[J]. **Journal of Chongqing University** (English Edition), 2002, 1(2): 38—41.
- [8] 文海家, 张永兴, 柳源. 山区建筑场地高切坡治理工程及效果分析[C]//全国岩土与工程大会论文集. 北京: 人民交通出版社, 2003: 646—651.
- [9] 文海家, 张永兴. 山区建设场地高切坡评估概要[J]. 地下空间, 2002, 22(4): 299—302.
- [10] 胡居义, 文海家, 张永兴. 高边坡喷锚支护及其可靠性预测[J]. 工程勘察, 2004, 32(6): 1—3.