

块体理论在某地下洞库围岩稳定性分析中的应用

徐大宝

中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊
Email: 306077657@qq.com

收稿日期: 2021年2月25日; 录用日期: 2021年3月17日; 发布日期: 2021年3月29日

摘要

稳定性分析是岩体工程研究的核心问题, 块体理论是常用的岩体工程稳定性分析方法之一。本文依托某地下水封洞库工程实例, 通过对储油洞室围岩发育的各组节理进行地质素描, 再利用Unwedge程序进行分析计算, 进行关键块体的搜索计算并判断其稳定性, 进而为施工支护提供依据, 为地下洞室的块体稳定性分析提供了一种准确快捷的途径。

关键词

块体理论, 围岩稳定性, 支护设计

Application of Block Theory in Stability Analysis of Surrounding Rock of an Underground Cavern

Dabao Xu

China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd., Langfang Hebei
Email: 306077657@qq.com

Received: Feb. 25th, 2021; accepted: Mar. 17th, 2021; published: Mar. 29th, 2021

Abstract

Stability analysis is the core issue of rock mass engineering research, and block theory is one of the commonly used analysis methods of rock mass engineering stability. Based on an example of an underground water-sealed cavern project, this paper conducts a geological sketch of each group of joints developed in the surrounding rock of the oil storage cavern, and then uses the Unwedge program to search for key blocks, and judges their stability. The construction support provides a basis, and provides an accurate and quick way for the block stability analysis of underground caverns.

Keywords

Block Theory, Surrounding Rock Stability, Supporting Design

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在地下开挖过程中, 由于岩体被结构面切割成大小不同、形状不一的各种岩块, 在自然状态下, 这些空间块体处于静力平衡状态[1]。当进行隧道开挖时, 使暴露在临空面上某些块体失去原始的静力平衡状态, 因而造成某些块体首先沿着结构面滑移、失稳, 进而产生连锁反应, 造成整个隧道围岩的破坏[2]。在岩体结构的研究中, 各类结构面的分布情况、表面特征、连续性、密度、结构面之间的接触关系及其的空间组合形式为主要的研究内容, 其中结构面之间的空间组合形式为最重要的研究内容。

由 R. E. Goodman 与 G. H. Shif 提出的块体理论[3], 是近年来发展和完善起来的一种适合于工程岩体稳定性分析的有效方法。该理论提出后受到国内外学者的广泛重视, 刘锦华和吕祖珩最早将块体理论介绍到中国, 其对块体理论的基本原理和分析方法及在岩体工程中的应用进行了系统、全面的介绍[4]。王思敬等应用矢量分析法对地下工程围岩块体进行分析[5]。张子新等将赤平投影图解析化, 提出了赤平投影解析法[6] [7]。张奇华进行块体理论软件开发, 并应用于工程[8]。块体理论在发展过程中, 在三峡等

许多重大工程中都得到了推广应用。本文利用块体理论这一原理分析评价该地下洞室围岩的破坏机制，从而进行洞室围岩的稳定性评价。进行关键块体的搜索计算并判断其稳定性，进而为施工支护提供依据，并使洞库在开挖前能采取相应防治措施，达到提前预报的目的。

2. 工程实例

2.1. 工程概况及地质背景

某地下水封洞库设计库容 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，共设有 8 条断面，跨度为 19 m (宽) \times 24 m (高)，长 934 m 的储油洞室，每两个相邻洞室设为一个洞罐，共分为 4 个罐，每组洞罐的 2 条储油洞室之间通过连接巷道互相连通。截面形状为直墙圆拱形，洞室轴线走向为东西方向。

储油洞室围岩岩性主要为微、未风化花岗岩，岩性较为单一，局部见辉绿岩、细晶岩、角闪闪长玢岩等岩脉，场区无区域断裂和活动性断层分布，地壳稳定，局部发育有小断层和节理密集带，场区地下水主要为第四系松散岩类孔隙潜水和基岩裂隙水。

2.2. 结构面发育情况

根据洞室开挖地质素描可知，场区主要存在三组节理，产状分别为① $275^\circ \angle 30^\circ$ 、② $140^\circ \angle 85^\circ$ 、③ $240^\circ \angle 85^\circ$ ，其中以前两组最为常见，节理张开度一般小于 1 mm，节理面多平直、平滑。

① $275^\circ \angle 30^\circ$ ，倾角较缓，在场区分布较为普遍，节理间距一般大于 2 m，部分地段改组节理较密，节理面多平直、不规则或平滑，张开度一般小于 1 mm，无充填，部分段改组节理张开度可达 5~20 mm，粘土质成分或风化花岗岩碎块充填。场区大多数岩脉产状与该组节理相同。

② $140^\circ \angle 85^\circ$ ，该组节理陡直展布，在场区分布最为普遍，节理间距一般大于 1 m，部分地段改组节理较密，节理面多平直、平滑状，张开度一般小于 1 mm，无充填，部分段改组节理张开度可达 5~20 mm，可见绿泥石或风化花岗岩碎块充填。该组节理透水性相对较好，水幕巷道中多数出水点与该组节理有关，深层风化也多沿该组节理发育。场区大多数热液蚀变带和小型破碎带产状与该组节理相同。

③ $240^\circ \angle 70^\circ$ ，该组节理在场区分布不如前两组普遍，节理间距一般大于 1 m，局部地段改组节理较密，节理面多平直、平滑状，张开度一般小于 1 mm，无充填，局部可见粘土或风化花岗岩碎块充填。场区只有少数岩脉、热液蚀变带和小型破碎带产状与该组节理相同。

2.3. 关键块体软件分析计算

2.3.1. Unwedge 程序简介

Unwedge 软件是 E. HOEK 等人基于石根华块体理论编制的地下洞室块体稳定性分析 Unwedge 程序 [9]。该程序是一种分析在坚硬岩体中开挖形成的块体稳定性的应用分析软件。它假定结构面相切的块体为四边形，即由三组结构面和开挖临空面组成，它仅考虑块体的重力及结构面的力学性质，并假定结构面为平面，岩体的变形仅为结构面的变形，结构体为刚体，结构面贯穿研究区域，且在保持产状不变的情况下任意移动，开挖断面沿轴向方向保持不变。

2.3.2. 关键块体软件分析计算

本文利用块体数值模拟软件 Unwedge 作为分析计算工具，对某地下储备库储油洞室的围岩块体进行数值模拟，对储油洞室的围岩稳定性系数进行计算根据施工勘察地质素描调查资料显示，该场区洞室围岩主要发育有三组优势结构面，其主要参数见表 1，输入 Unwedge 软件结构面相关参数，得到可移动块体相关计算结果见表 2 及可移动块体分布结果见图 1。

Table 1. Parameters of main structural planes
表 1. 主要结构面参数表

结构面	产状		强度参数		长度/m	发育程度
	倾向/°	倾角/°	C/MPa	$\phi/^\circ$		
1	275	30	0.05	20	20~60	发育
2	140	85	0.1	5.3	30~80	发育
3	245	70	0.08	35	5~30	一般

Table 2. Calculation results of movable blocks
表 2. 可移动块体计算结果

块体编号	块体体积/m ³	块体重量/t	出露位置	滑动结构面	稳定性系数 Fs
2	102.5	276.8	底板	—	—
4	148.2	400.1	右侧边墙	①、③	5.764
5	185.2	499.9	左侧边墙	②、③	1.876
7	12.6	33.9	顶拱	③	1.457
8	0.02	0.05	右侧拱腰	脱落	0

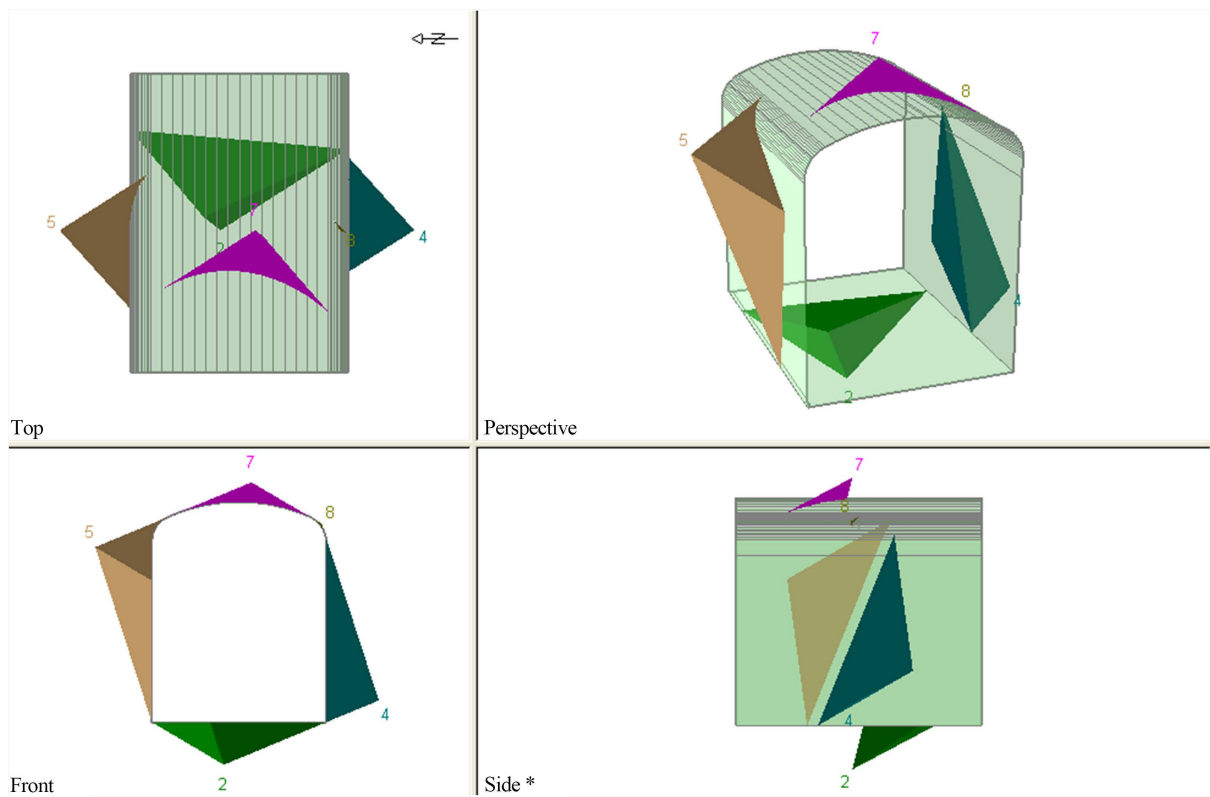


Figure 1. Distribution of movable blocks
图 1. 可移动块体分布图

通过对计算结果进行分析,并结合可移动块分析图的相关内容可以看出,2号块体以及4号块体均为稳定块体,其中4号块体稳定性弱于2号块体,5号、7号以及8号块体的稳定性系数依次为1.876、1.457,0,由于地下储油洞室的施工过程中,围岩块体会受到工程爆破等人类工程活动的扰动,且扰动

程度较为剧烈，加之地下储油洞室对于块体稳定性有较高的要求，因此为确保在服役周期内洞室的安全性，要求储油洞室围岩的稳定性系数需大于 2.0，因此应该采取支护措施对稳定性系数小于 2.0 的储油洞室围岩块体进行加固。

2.3.3. 支护设计

受结构面切割形成的可移动块体，针对其发育的部位以及稳定性系数而采用不同强度的锚喷支护设计，相关支护参数见表 3，支护效果图及支护前后稳定性系数变化分别见图 2、表 4。

Table 3. Spray anchor support parameter design

表 3. 喷锚支持参数设计

块体编号	锚杆			喷射砼厚度/cm
	长度/m	横向间距/m	纵向间距/m	
5	6	1 m	1 m	10
7	5	1.5 m	1.5 m	10
8	5	1.5 m </td <td>1.5 m</td> <td>10</td>	1.5 m	10

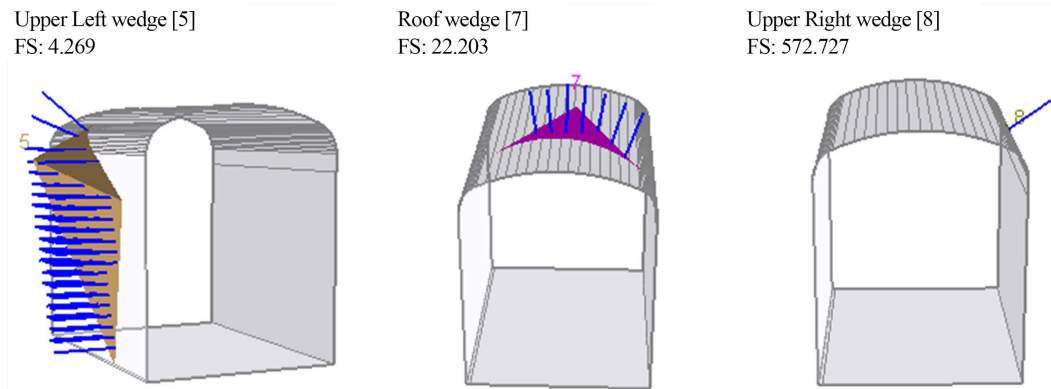


Figure 2. Three-dimensional view of spray anchor support

图 2. 喷锚支护立体图

Table 4. Changes of stability coefficient before and after support

表 4. 支护前后稳定性系数变化表

块体编号	支护前/Fs	锚杆支护/Fs	喷锚支护/Fs
5	1.876	2.390	4.268
7	1.457	3.678	22.203
8	0	71.102	572.727

通过比较支护前以及支护后围岩的稳定性系数可以看出，在采取支护措施后，洞室围岩块体的稳定性系数显著提高。其中，对仅采取锚杆支护作为支护措施的围岩的稳定性系数进行分析可以看出，5号、7号及8号块体在支护后，稳定性系数均满足工程要求，但其中5号、7号块体的稳定性系数仍低于8号块体；为进一步提高围岩稳定性，本文进一步计算了采取喷锚支护后围岩块体的稳定性系数，计算得出7号及8号块体的稳定性系数依次由 2.390、3.687 提高到 4.268、22.203。通过数值模拟结果可以看出，采取喷锚支护可以显著提高洞室围岩的稳定性系数，考虑到喷锚支护具有工艺简单，施工快速的优点，因此在施工过推荐采用喷锚作为围岩支护手段，可以对稳定围岩起到明显而积极效果。

3. 结论

1) 本文根据勘察试验资料给出了不同产状的结构面抗剪强度参数指标,具有一定代表性,但考虑到试验结果的离散性较大,需要工程人员有足够的经验来结合具体地质条件确定相关参数,需要找到一种更好的方法来解决这个问题。

2) 在拟建地下水封洞库中,洞室顶部的关键块体所占比例最大,且优势明显;左侧边墙稳定性较差;右侧边墙稳定性较好。应重点防治洞室顶部和左侧边墙关键块体失稳。关键块体主要以结构面②、③面滑动,因此在洞库开挖施工过程中,针对这②、③结构面的出露处需加强监测。

3) 本文通过 Unwedge 软件直接生成某地下水封储库三维的关键块体图形,展示了受结构面切割形成的最大不稳定块体其大小和位置,并得出各关键块体的破坏模式及稳定性系数,通过采用针对性的喷锚支护设计使得关键块体稳定性显著提高。

参考文献

- [1] 朱华,汪飞,刘阳,等. 块体理论在地下水封石洞油库围岩稳定性的分析与应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(1): 151-159.
- [2] 石根华. 岩体稳定分析的几何方法[J]. 中国科学, 1981(4): 487-495.
- [3] Goodman, R.E. and Shi, G.H. (1985) Block Theory and Its Application to Rock Engineering. Prentice-Hall Inc., Englewood.
- [4] 刘锦华,吕祖珩. 块体理论在工程岩体稳定分析中的应用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [5] 王思敬,杨志法,刘竹华. 地下工程岩体稳定分析[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [6] 张子新,孙钧. 块体理论赤平解析法及其在洞室稳定分析中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(12): 1756-1760.
- [7] 毛海和,夏才初,张子新,等. 块体理论赤平解析法在虎滩水电站地下厂房洞室群稳定分析中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8): 1308-1314.
- [8] 张奇华. 块体理论的应用基础研究与软件开发[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [9] 丁斌. Unwedge 软件在隧洞工程施工地质中的应用研究[J]. 岩土工程技术, 2019, 33(5): 303-306.