DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.04-06

复杂地质条件下地下硐室群开挖支护的效果评价

王 盼

(江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341000)

摘 要:以某拟建抽水蓄能电站地下厂房硐室群为例,考虑含有断层及岩脉的复杂地质条件,采用三维数值方法计算硐 室群开挖过程及喷锚支护过程围岩受力特性,进而评价喷锚支护的实施效果.研究结果表明:厂房硐室开挖完成后,硐室 与断层及岩脉夹层交叉部位的围岩变形发生突变,在支护措施完成后,位移量减小;断层及岩脉夹层与硐室拱座部位、硐室 边墙与底板的交汇处等局部位置出现明显的应力集中,支护措施的实施改变了局部围岩应力场的分布,使得局部围岩压应 力增大,拉应力减小;毛洞和支护完成后的硐室围岩塑性区分布规律及部位基本相同,硐室围岩塑性区分布范围随支护强 度的增加而减少,支护措施的实施有效地降低了硐室围岩塑性区;从围岩变形量、特征应力及塑性区分布等综合判断,该地 下厂房硐室支护效果明显,能够使围岩稳定性提高.

关键词:水工结构;地下硐室;围岩稳定;喷锚支护;数值分析

中图分类号:TV36 文献标识码:A 文章编号:1004-4701(2019)04-0260-09

0 引 言

随着我国新兴能源的大规模开发利用,抽水蓄能 电站得到迅速发展^[1-3]。地下厂房作为抽水蓄能电站建 筑结构的重要组成部分,其安全稳定性成为抽水蓄能 电站建设的重中之重。地下厂房一般布置在高深山体 内^[4],围岩地质条件及岩层结构复杂,特别是在地下厂 房开挖施工与支护过程中经常受到构造应力及断层破 碎带的干扰,导致施工停滞^[5-6]。因此,采用合理的支护 方式对于地下厂房硐室群的围岩稳定性尤为重要。

喷锚支护作为硐室开挖中常用的支护形式,其具 有粘结性强、深入性强及灵活性好等特点,因此在边坡 工程及地下工程中得到广泛应用^[7-10]。对于喷锚支护的 应用、施工方法及支护优化方面的研究,已有诸多学者 开展。叶均华等^[11]采用数值模拟方法对大跨度隧道的喷 锚支护过程进行研究,认为喷锚支护对围岩的应力影 响较大;温李彬^[12]着重分析了喷锚支护施工技术在隧道 工程中的技术难点与重点;凌影^[13]采用 FLAC3D 建立数 值模型研究了喷锚支护的加固作用,认为喷锚支护有 效抑制了围岩塑性区的发展;于忠锋四采用数值方法通 过研究围岩稳定性对喷锚支护进行优化。可见,硐室开 挖完成后围岩受力状态与稳定特性和喷锚支护措施密 切相关,以上研究成果大多集中于喷锚支护的施工方 法及支护优化等方面,有关复杂地质条件下硐室群喷 锚支护实施效果方面的研究较少。本文以某拟建抽水 蓄能电站地下厂房硐室群为例,考虑含有多组复杂断 层及岩脉的地质条件,采用 FLAC3D 建立含有断层及 岩脉接触面单元的三维数值模型,计算硐室群开挖过 程及喷锚支护过程围岩受力特性,对比研究开挖毛洞 和喷锚支护完成后的围岩变形、应力响应及其塑性区 分布,进而评价该支护措施的实施效果,为有复杂断层 及岩脉地质条件的地下厂房喷锚支护施工提供参考。

1 工程概况

1.1 地下厂房硐室布置

所研究抽水蓄能电站工程枢纽主要由上水库、下

收稿日期:2019-05-20

作者简介:王 盼(1991-),男,硕士,助教.

水库、输水系统与发电厂房系统4个部分组成。地下厂 房硐室群围岩岩性主要为中粒黑云母花岗岩,厂房顶 拱上覆岩体厚330m左右。地下厂房洞室群主要包括主 厂房、副厂房、主变洞、母线洞等建筑物,是一组以主、 副厂房洞室为中心的地下硐室群,硐室布置见图1。从 上游引水水流方向看,依次平行布置主厂房、主变洞和 尾闸室3 大硐室,主厂房与主变洞之间的岩体厚度为 40.00m,主变洞与尾闸室之间的岩体厚度为25.00m;主 厂房与主变洞对应各机组由母线洞连接,另有交通联 系洞连接主厂房和主变洞;安装间布置在主厂房右侧; 进厂交通洞从安装场下游侧进厂。

主厂房洞室包括主机间、副厂房及安装间,主厂房 洞室开挖尺寸 172.00m×26.70m×58.40m(长×宽×高)。安 装场布置在主机间右端,长度为 41.00m,与主机间宽 度相同。地下厂房内布置 4 条母线洞,其位置分别与每 台机组相对应,母线洞长度为 40.00m。母线洞仅为一 层,与主机间母线层地面高程相同。母线洞洞内净空尺 寸 9.00m×10.00m(宽×高)。主变洞洞室开挖尺寸 146.00m×20.00m×20.50m(长×宽×高),尾水支洞轴线间 距 24.00m,内径 5.10m。4 条尾水支洞经尾水岔洞汇入 一条尾水主洞,尾水主洞为圆形有压洞,内径为 11.50m。



图1 地下厂房硐室布置

1.2 基本地质条件

该地下厂房工程厂区岩体完整性较好,硐室围岩 新鲜。围岩以Ⅱ 类为主,约占 70%;节理较发育部位为 Ⅲ 类,约占 25%;局部断层破碎带或蚀变岩脉属Ⅳ~V 类围岩,约占 5%。岩石单轴饱和抗压强度大于 70MPa, 属于坚硬岩类。勘探支洞共揭露厂房围岩周围存在断 层 4 条、岩脉 24 条,断层及岩脉相互交错分布较为复 杂,其中主厂房东北方向分布断层夹层 δf93、δf94 及 δf84,整体厂区有岩脉 δ45 贯穿,同时分布有部分贯穿 的岩脉 δ46 及断层 δf81,见图 2。在本文计算中,为充分 反应岩脉层及断层对地下硐室开挖围岩变形与应力的 影响,将着重考虑厂房区域围岩厚度较大的主要岩脉 层及断层。



图 2 厂房围岩周围岩脉及断层分布

2 数值模型

2.1 计算模型

采用经典有限差分岩土软件 FLAC3D¹⁵¹建立厂房 硐室群三维计算模型,整体模型从上至下主要考虑全 风化岩层、弱风化岩层、厂房围岩及断层和岩脉层等分 布岩体。其计算范围:平面范围上游主厂房以上 150.00m,下游至尾水闸门室以下 150.00m,两端为地下 厂房开挖线以外 150.00m;垂直方向在主厂房底板最低 高程以下 150.00m。整体数值模型 X 方向长度为 421.00m,Y 方向长度为 472.00m,模型下边界高程 140.00m,地面最大高程 834.00m,见图 3。建立模型时, 将 δf93 和 δf94 合并为厚度 2.00m 的岩脉层,在三维模 型中按实体单元加接触面单元予以模拟,与地下厂房 洞室群相切割的 δf84 按实体单元模拟,δf84 两侧和 δf81、δ45、δ46 处设置接触面单元进行模拟,见图 3 (c)。 为了更好地研究地下厂房围岩的各种力学特性,对开 挖洞室附近的岩体部分区域网格进行了细化处理,而 对远离硐室轮廓的区域采用较大尺寸的网格。开挖前 整个三维计算模型单元数为163190个,节点数为48 919个。







(b) 地下厂房硐室群三维网格



(c) 岩脉及断层接触面网格

图 3 数值计算网格

2.2 硐室群开挖与支护方案

根据开挖步序的施工便捷性及经济性,以相同高 程差围岩为一区段的原则将主厂房分为7个开挖区, 分别为 I~VII;主变洞分为3个开挖区,分别为 I~III;尾 闸室分为两个开挖区,分别为 I~II;母线洞分为一个开 挖区,为I;尾水支洞分为一个开挖区为I,见图4(a)。基 于本工程前期对开挖步序的优化计算成果,最终确定 了7个开挖步,见表1,其中主厂房在第1步至第7步 开挖完成,主变室在第2步至第4步开挖完成,尾闸室 在第3步至第4步开挖完成,母线洞在第4步完成,尾 水支洞在第3步至第5步开挖完成。

为及时控制开挖后围岩的持续变形,需在开挖完成后对围岩进行支护加固。该工程采用喷射混凝土结合锚杆的支护方式对围岩进行加固。锚杆单元采用 FLAC3D中的结构单元 cable 进行模拟,锚杆单元弹性 模量 195GPa,抗拉强度 1.26GPa,表 2 给出了主要硐室 的支护参数。由于三维计算包含的大量数据和信息,在 该计算方案下,着重分析围岩 14 处特征测点及 4 个厂 房断面围岩的力学响应,特征测点及典型厂房断面见 图 4。



开挖次序	主厂房	主变室	尾闸室	母线洞	尾水支洞
1	Ι				
2	П				
3	Ш	Ι	т		
4	\mathbf{IV}	Ш	п	Ι	Ι
5	\mathbf{V}	Ш	Ш		
6	VI				
7	VII				

表 1 计算开挖步序

表 2 主要硐室支护参数表

		支护参数			
硐室名称及	及其部位	喷射混凝土厚度 /mm	支护锚杆 直径(mm)\间距(m) \排距(m)\长度(m)		
十厂户	顶拱	150	28\1.5\1.5\7		
土)厉	边墙	150	25\1.5\1.5\5		
十亦调	顶拱	150	25\1.5\1.5\6		
主文神	边墙	150	25\1.5\1.5\4		
母线	洞	80	25\1.5\1.5\4.5		
尾水式	友洞	80	22\2\2\4.5		
尾闸	室	80	22\1.5\1.5\3.5		

表 3 计算基本参数

些体公司	饱和密度 ρ/ ⁽ kg/m ³⁾	弹形模量 E/GPa	泊松比	抗剪强度		
石仲力広			υ	arphi/°	c/MPa	
全强风化层	2 550	4.00	0.28	35	0.45	
弱风化层	2 600	14.00	0.24	46	1.05	
厂房围岩	2 614	19.25	0.23	52	1.54	
断层	2 300	0.50	0.35	19	0.11	
岩脉	2 800	25.00	0.22	53	1.25	
岩脉接触面				23	0.12	

2.3 计算边界及初始条件

计算边界条件:模型底部采用位移固定约束,四周

竖向边界采用法向位移约束,模型上表面采用自由边 界。硐室围岩实体单元及接触面单元采用基于摩尔库 伦屈服准则的弹塑性本构模型。根据勘探地质资料,对 各类围岩计算参数取值,见表 3。岩脉接触面法向刚度 20GPa,切向刚度 1.8GPa。计算步骤为:第1步,生成初 始地应力场(位移清零);第2步,按照拟定计算方案中 的开挖顺序进行逐级开挖;第3步,对开挖后的毛洞进 行锚杆支护;第4步,喷射混凝土厚度层;第5步,利用 fish 语言编制的端口生成 Tecplot 后处理文件。

3 计算结果与分析

地下硐室群在不同开挖步下及不同支护条件下其 围岩的力学响应均不同。限于篇幅,本文仅对具有代表 性的1号机组轴线剖面及其特征位置测点处的围岩在 开挖完成和支护完成条件下的变形力学特征展开研 究,从围岩变形、应力特性及塑性区分布三个方面对比 分析开挖完后毛洞与支护完成后的围岩稳定特性,进 而对复杂地质条件下围岩支护方案的支护效果进行评 价。

3.1 硐室围岩变形分布对比

图 5 为喷锚支护完成后 1 号机轴线剖面的水平位 移及竖向位移等值线分布,因开挖完成后毛洞的位移 等值线分布与喷锚支护完成后等值线分布基本一致, 限于篇幅不再给出,只给出了 1 号机轴线剖面各特征 测点的毛洞与支护完成后的位移对比统计值,见表 6。

从图 5 可知,地下硐室群开挖完成后,围岩水平 位移及竖向位移值随着离硐壁距离越大而减小,硐室 围岩的水平位移极大值出现在边墙中部、铅直方向的 沉降极大值出现在硐室围岩拱顶,卸荷回弹位移极大 值出现在洞室底板中部,在断层及岩脉与硐室开挖侧 壁相交位置,水平位移大小突变较小,而竖向位移大 小突变较大,硐室围岩在开挖条件下,断层及岩脉夹 层抗变形能力相对较低,导致岩脉两侧岩体形成上下 错动变形,进而导致围岩竖向变形突变比水平位移的 要大。表 6 数据表明,开挖完成后的毛洞围岩变形在 支护完成后,位移量都有所减小,其中减小幅度最大 为 33.3%,为尾闸室拱顶测点的竖向位移。由于厂房 硐室围岩抗变形能力较高,围岩变形模量较大,所以 开挖卸荷下硐室围岩变形绝对量较小,锚杆及混凝土 的控制效果在0.1~0.9mm 以内。整体上,各测点在喷

mm

锚支护的作用下, 位移量有明显减小, 说明喷锚支护 效果明显。

3.2 硐室围岩应力对比

图 6 为地下硐室支护完成后的第一主应力及第三





主应力等值线分布图,图中正值代表拉应力,负值代表 压应力。开挖完后的毛洞应力等值线图与图6基本类 似,故不再给出。表7统计了1号机轴线剖面的各特征 测点在开挖完成后毛洞及支护完成后的第一主应力值



(b)竖向位移

(a)水平位移

图5 计算方案1位移等值线图

主 /	些 尔测占的位我统计值
表 4	特征测点的位移统计值

测点特征位置		测点编号 —	1 号机轴线剖面水平位移			1 号机轴线剖面竖向位移		
			毛洞	锚杆+喷混凝土	增减幅度/%	毛洞	锚杆+喷混凝土	增减幅度/%
	拱顶	1	-10.6	-10.0	-5.7	-5.6	-5.1	-8.9
	上游边墙	2	-14.4	-13.5	-6.3	3.8	3.4	-10.5
	下游边墙	3	3.3	2.9	-12.1	4.7	4.4	-6.4
主厂房	上游边墙	4	-15.7	-15.4	-1.9	4.2	4.0	-4.8
	下游边墙	5	4.1	3.9	-4.9	7.9	7.6	-3.8
	下游边墙	6	-2.0	-1.8	-10.0	16.8	16.3	-3.0
	底板	7	-3.6	-3.3	-8.3	12.9	12.3	-4.7
	拱顶	8	-3.1	-2.7	-12.9	-4.9	-4.5	-8.2
十亦安	上游边墙	9	-10.6	-10.1	-4.7	1.8	1.5	-16.7
土文主	下游边墙	10	1.9	1.6	-15.8	1.8	1.6	-11.1
	底板	11	-4.7	-4.3	-8.5	14.3	14	-2.1
	拱顶	12	-2.1	-1.8	-14.3	0.3	0.2	-33.3
尾闸室	上游边墙	13	-6.9	-6.3	-8.7	3.6	3.4	-5.6
	下游边墙	14	2.1	1.8	-14.3	2.9	2.6	-10.3

和第三主应力值对比,表中正值代表拉应力,负值代表 压应力。

由图 6 可知可知,地下硐室群开挖完成后,三大洞 室的拱顶、底板和边墙中间部位出现明显的应力松弛,



(a)第一主应力

拉应力区主要分布在主厂房边墙。此外,因断层及岩脉 夹层抗变形能力相对较低,导致断层及岩脉夹层与洞 室拱座部位、洞室边墙与底板的交汇处等局部位置出 现明显的应力集中。因此,针对此类部位应进行重点加



(b)第三主应力

王应力

图 6 计算方案 1 应力等值线

= c	共行河上の十六十十七十
衣り	特征测点的土应力对比表

MPa

测点特征位置		测点编号 –	第一主应力			第三主应力		
			毛洞	锚杆+喷混凝土	增减幅度/%	毛洞	锚杆+喷混凝土	增减幅度/%
	拱顶	1	-47.94	-48.34	0.8	-5.08	-5.07	-0.2
	上游边墙	2	-8.46	-8.73	3.2	-0.18	-0.20	11.1
	下游边墙	3	-13.04	-13.95	7.0	-0.54	-0.64	18.5
主厂房	上游边墙	4	-5.03	-5.03	0.0	-0.13	-0.15	15.4
	下游边墙	5	-23.37	-23.68	1.3	-1.70	-1.77	4.1
	下游边墙	6	-41.00	-41.88	2.1	-4.65	-4.84	4.1
	底板	7	-15.43	-15.98	3.6	-0.79	-0.80	1.3
	拱顶	8	-12.70	-13.41	5.6	-1.19	-1.22	2.5
主恋安	上游边墙	9	-15.20	-15.67	3.1	-2.31	-2.47	6.9
工义主	下游边墙	10	-14.22	-14.91	4.9	-1.27	-1.34	5.5
	底板	11	-6.89	-7.11	3.2	0.08	0.07	-12.5
	拱顶	12	-22.62	-23.04	1.9	-6.79	-7.02	3.4
尾闸室	上游边墙	13	-11.74	-11.97	2.0	-3.21	-3.79	18.1
	下游边墙	14	2.11	2.04	-3.3	2.85	2.67	-6.3

固,如进行固结灌浆。

由表 7 可知,毛洞开挖和有支护开挖条件下的硐 室围岩应力分布规律基本一致,但特征部位数值有区 别。三大硐室在毛洞和支护完成后,其围岩应力值相 差不大。总体上,毛洞开挖条件下的第一主压应力小 于支护条件下的第一主压应力;而毛洞开挖条件下的 第三主拉应力则大于有支护条件洞室开挖引起的第三 主拉应力值。其主要原因在于,锚杆的加固,改变了 局部围岩应力场的分布,使得局部围岩压应力增大, 拉应力减小。整体上,硐室围岩以压应力为主,在特征 点的应力中,最大值出现在主厂房拱顶处,为-47.94MPa, 支护完成后,拱顶第一主压应力有所降低,为-48.34MPa, 降低幅度为-0.8%。尽管毛洞和支护条件下硐室开挖 引起的典型剖面特征点第一主压应力达到 47.94MPa, 但仍小于三类围岩的抗压强度,故硐室围岩的整体抗 压安全性好。从各测点在开挖完后毛洞和支护完后的 第一主应力与第三主应力值变化可知,支护效果较为 明显。

3.3 硐室围岩塑性区对比

分析地下厂房开挖后毛洞及支护后围岩的塑性区 分布可以认识潜在围岩破坏区域。图 7 与图 8 分别为 1 号机轴线剖面和发电机平切面在开挖完成后毛洞和支 护完成后的围岩塑性区分布对比。从图中可知,毛洞和 支护完成后的硐室围岩塑性区分布规律及部位基本相 同,但分布范围有所相差。塑性区分布主要分为两种情 况:第一,由于岩脉岩体的抗剪强度低,大部分单元均







图 8 发电机平切面塑性区分布图

出现剪切塑性区;第二,由于硐室开挖卸荷效应及岩脉 切割剪切变形,硐周围岩体局部出现剪切与张拉塑性 区。

由图 7 可知,开挖完成后,主厂房拱顶与断层相交 部位出现较大范围的剪切塑性区,而支护完成后塑性 区大量减少;而从图 8 来看,厂房开挖后围岩塑性区主 要分布在主厂房西南方向的断层周围,硐室内壁零星 分散分布小范围塑性区,支护完成后,断层周围塑性区 只有小部分减少,主要原因为支护锚杆的影响范围有 效,出现塑性区部位离硐室距离较大,建议加大锚杆长 度进行支护。

整体上,硐室围岩塑性区分布范围随支护强度的 增加而减少,支护措施的实施有效地降低了硐室围岩 产生塑性破坏区。从塑性区体积变化来看,毛洞方案下 塑性区体积为 5.52×10⁵m³,支护完成后塑性区体积为 4.81×10⁵m³,塑性区减少幅度为 12.9%。可见,支护效果 较为明显。

4 结 论

考虑复杂断层及岩脉,采用三维数值模拟方法对 毛洞及支护完成后的厂房围岩变形、应力及塑性区分 布规律进行对比研究,得到以下结论:

(1)地下硐室群开挖完成后,围岩水平位移及竖向 位移值随着离硐壁距离越大而减小,硐室围岩的水平 位移极大值出现在边墙中部、铅直方向的沉降极大值 出现在硐室围岩拱顶,卸荷回弹位移极大值出现在洞 室底板中部。断层及岩脉夹层抗变形能力相对较低,导 致围岩竖向变形突变较大,支护完成后,位移量都有所 减小。

(2) 地下硐室群开挖完成后,因断层及岩脉夹层 抗变形能力相对较低,导致断层及岩脉夹层与硐室拱 座部位、硐室边墙与底板的交汇处等局部位置出现明 显的应力集中。预应力锚杆的加固,改变了局部围岩 应力场的分布,使得局部围岩压应力增大,拉应力减 小。

(3)毛洞和支护完成后的硐室围岩塑性区分布规律及部位基本相同,硐室围岩塑性区分布范围随支护

强度的增加而减少,支护措施的实施有效地降低了硐 室围岩产生塑性破坏区。

(4)从围岩变形量、特征应力及塑性区分布等综合 判断,该地下厂房硐室支护效果明显,能够使围岩稳定 性提高。

参考文献:

- [1] 李秀. 苏联抽水蓄能电站的建造技术 [J]. 江西水利科技, 1989(01):77~80.
- [2] 史震古. 抽水蓄能电站综述 [J]. 江西水利科技,1994(03): 269~276.
- [3] 李长江. 抽水蓄能电站水库防渗技术分析 [J]. 江西水利科 技,2007(01):20~24.
- [4] 黄润秋,黄达,段绍辉,等. 锦屏 I 级水电站地下厂房施工期 围岩变形开裂特征及地质力学机制研究 [J]. 岩石力学与工 程学报,2011,30(01):23~35.
- [5] 王克忠,李仲奎,王玉培,等. 大型地下洞室断层破碎带变形 特征及强柔性支护机制研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2013,32(12):2455~2462.
- [6] 魏勇,胡林江. 溧阳抽水蓄能电站地下厂房 F54 断层处理措 施[J]. 水力发电,2013,39(03):71~72+75.
- [7] 蔡晓鸿,吕有年.水工压力隧洞粘着式锚喷衬砌和围岩应力 的弹塑性解[J]. 江西水利科技,1986(04):9~20+24.
- [8] 于亮飞. 浅谈喷锚支护在边坡工程中的应用 [J]. 西部资源, 2019(02):198~199.
- [9] 王朝东,夏祥. 喷锚支护在深基坑工程中的应用[J]. 岩石力 学与工程学报,2003(S1):2490~2492.
- [10] 宿祺,李硕,刘心玲. 喷锚支护在岩质边坡工程中的应用[J]. 东北水利水电,2016,34(08):17~18+26.
- [11] 叶均华,黄育,郭志昆,等. 地下大跨度隧道开挖支护过程的数值模拟[J]. 地下空间与工程学报,2013,9(02):271~278.
- [12] 温李彬. 喷锚支护施工技术在隧道工程中的应用分析[J]. 建设科技,2017(13):112~113.
- [13] 凌影. FLAC3D 喷锚支护在围岩稳定分析中的应用 [J]. 科 技展望, 2016, 26⁽¹²⁾:164.
- [14] 于忠锋. 大型地下岔管开挖过程中喷锚支护措施优化研究[J]. 云南水力发电,2016,32(03):85~87.
- [15] Itasca Consulting Group, Ine. FLAC3D, Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimension(Version2.1), 2003.

编辑:张绍付

Evaluation of excavation support of underground chambers under complex geological conditions

WANG Pan

(Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Taking the chamber group of the underground powerhouse of a proposed pumped storage power station as an example, considering the complex geological conditions including faults and veins, the three-dimensional numerical method is used to calculate the surrounding rock excavation process and the surrounding rock stress characteristics of the spray -anchor support process. Furthermore, the effect of the implementation of the spray anchor support was evaluated. The results show that after the excavation of the chamber, the intersection of the diverticulum and the fault and the interstitial layer of the vein, the deformation of the surrounding rock is abrupt, and the displacement is reduced after the support measures are completed. Significant stress concentration occurs at the local location of the fault and the vein interlayer and the abutment of the stress field of the local surrounding rock, so that the local surrounding rock compressive stress increases, and the tensile stress is reduced. The distribution and location of the surrounding rock of the cavern decreases with the increase of the support strength. The support measures effectively reduce the surrounding rock of the cavern plastic zone. Judging from the deformation of surrounding rock, characteristic stress and distribution of plastic zone, the effect of supporting the diverticulum of the underground powerhouse is obvious, which can improve the stability of surrounding rock.

Key words: Hydraulic structure; Underground chamber; Surrounding rock stability; Spray anchor support; Numerical analysis

翻译:王 盼