

岩石地下建筑技术座谈会资料选编

工程地质勘测

中国建筑工业出版社

岩石地下建筑技术座谈会资料选编

工程地质勘测

华北勘察院 选编
国家建委建筑科学研究院

·内部发行·

中国建筑工业出版社

本书系岩石地下建筑技术座谈会资料选编的工程地质勘测部分。内容包括岩体中的人工峒室和天然溶洞的工程地质勘测、野外测试技术及稳定性评价的地质分析与理论计算方法等共二十七篇，可供工程地质和有关设计人员参考。

岩石地下建筑技术座谈会资料选编

工程地质勘测

华北勘察院
国家建委建筑科学研究院 选编

·内部发行·

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：20 5/8 字数：491 千字

1977年9月第一版 1977年9月第一次印刷

印数：1—6,450册 定价：1.50元

统一书号：15040·3309

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

深挖洞、广积粮、不称霸。

独立自主、自力更生。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

在伟大领袖毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针指引下，近十几年来，岩石地下建筑有了很大发展。在勘测、设计、施工及科研方面积累了很多经验。为了系统地总结和交流这方面的经验，推动地下建筑科学技术的发展，国家建委责成建筑科学研究院于一九七四年十月在广西桂林召开了“岩石地下建筑技术座谈会”。根据会议介绍和收到的技术资料，我们组织选编了《岩石地下建筑技术座谈会资料选编》。对已大量印发的资料，未列入本选编。在选编本书时，这些工程地质勘测资料均请原编写单位作了审查和修改。

本资料选编分工程地质勘测、土建设计、通风技术、施工技术四个分册出版，介绍了某些工程实践的经验和科学试验成果，本着在学术上“百家争鸣”的方针，选编时将一些目前看法尚不一致的技术问题也一并选入，供有关勘测、科研、设计、施工人员参考。

由于我们水平有限，经验不足，一定会存在不少问题，请读者批评指正。

华 北 勘 察 院

国家建委建筑科学研究院

一九七六年一月

目 录

某地下工程峒体工程地质工作总结	第二设计院 (1)
某地下峒室的稳定性分析	水利电力部西南电力设计院 (17)
某水电站地下厂房岩体稳定性问题小结	水利电力部第六工程局勘测设计队 (35)
有限单元法简介及在某地下厂房围岩应力弹塑性分析中的应用	
.....	中国科学院湖北岩体土力学研究所第二研究室 (49)
某工程地下厂房岩柱稳定计算	长江水利水电科学研究院岩基室 (62)
用地质结构面分析某地下建筑物岩体稳定性的探讨	水利电力部成都勘测设计院 (74)
岩体初始应力场及岩体应力测量	冶金工业部矿冶研究所矿山压力研究室 (84)
地层压力量测工作中的几点体会	铁道部科学研究院铁道建筑研究所隧道室 (98)
地下工程岩体稳定性的声波测试及其评价	中国科学院地质研究所工程地质研究室 (120)
弹性波探测技术在岩体力学及工程地质方面的初步应用	
.....	中国科学院湖北岩体土力学研究所 (133)
地下峒室围岩声波探测几种方法的初步应用	铁道部科学研究院西南研究所岩体组 (143)
关于地下建筑的现状及方向	中国科学院地质研究所 谷德振 (153)
地下建筑围岩稳定的地质力学分析	长春地质学院 刘国昌 (164)
再论山体压力	第五机械工业部勘测公司 常士骥 (173)
关于地下工程岩体稳定问题的初步探讨	中国科学院地质研究所 王思敬 (184)
确定岩体初始全应力场的一个途径	长江水利水电科学研究院岩基室 陈彦生等 (197)
岩石峒库的稳定性及其评价	
.....	水利电力部第六工程局、铁道部科学研究院西南研究所、四川省工业建筑设计院、重庆建筑工程学院《稳定性评价科研调查小组》 (203)
关于峒室围岩稳定性评价的一些看法	湖北综合勘察院 (214)
评价地下峒室侧墙和底板稳定性的一种现场试验方法	
.....	长江水利水电科学研究院岩基室 (221)
关于地下建筑围岩稳定性的一些理论计算问题	
.....	同济大学地下工程系、建筑科学研究院建筑设计研究所、第五机械工业部勘测公司、华北勘察院 (228)
用孔底应力解除测量岩体原始应力	冶金工业部矿冶研究所矿山压力研究室 (253)
光弹性单向应变计的试制与应用	冶金工业部矿冶研究所矿山压力研究室 (262)
弦式钢筋应力计室内试验小结	铁道部科学研究院铁道建筑研究所隧道室 (271)
天然溶洞稳定性的工程地质评价及利用中的一些经验	
.....	水利电力部第六工程局、铁道部科学研究院西南研究所、四川省工业建筑设计院、重庆建筑工程学院《稳定性评价科研调查小组》 (277)
天然溶洞的稳定性评价	第五机械工业部勘测公司 (289)
某大型天然溶洞的工程地质勘测	水利电力部西南电力设计院 (300)
天然溶洞的工程地质评价	湖北综合勘察院 (313)

某地下工程峒体工程地质工作总结

第二设计院

一、地质及工程概况

(一) 地质概况

工程区位于一轴面走向为 $N40^\circ E$ 的背斜的西北翼。该背斜轴部出露志留纪地层，石炭纪地层缺失，翼部由二叠纪、三叠纪地层组成，与上覆侏罗纪地层呈假整合接触。背斜狭窄，向斜开阔。本区主要构造线为沿背斜轴北东方向出现的区域性断裂，表现出受北西—南东向构造压应力作用下变形的特征，属于白垩纪后期燕山运动所造成的褶皱断裂体系。

工程区为顺山坡出露的三叠纪中统石灰岩组，露头良好。与工程有关的岩层特征如下（见图1、2）。

1. T_{g3} 为紫红色或灰绿色钙质页岩夹泥质灰岩，厚度21米。

2. T_{g4} 灰色中厚层及薄层灰岩，间夹棕灰色薄层灰岩。波状层理，缝合线发育。岩性均一、完整。中部及底部偶有溶蚀孔洞。主体工程即位于该层中。

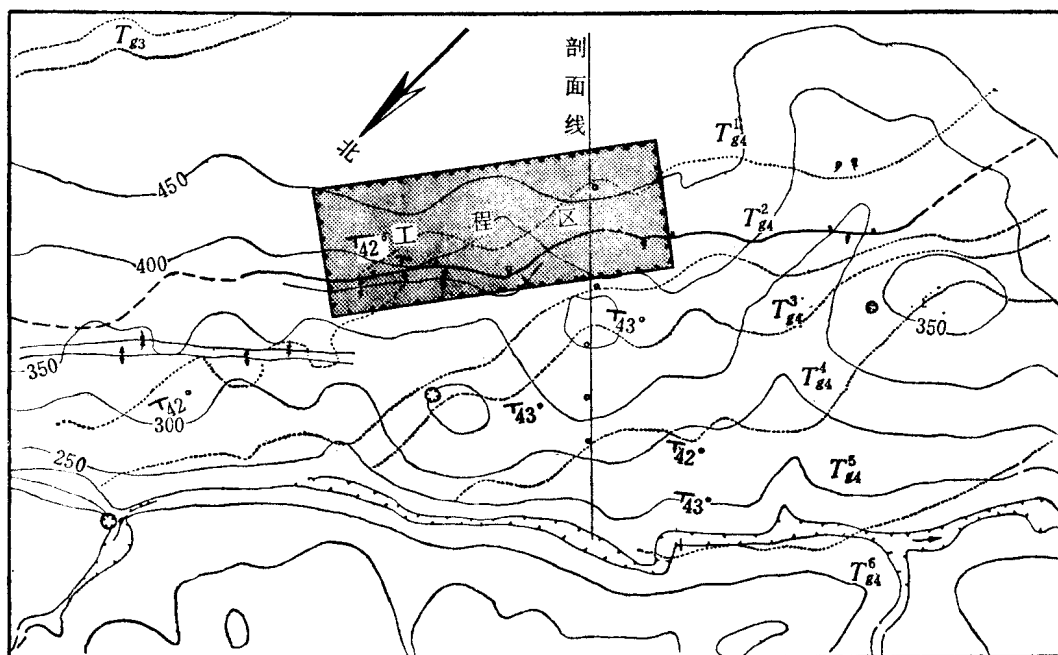


图1 主工程区地质平面示意图

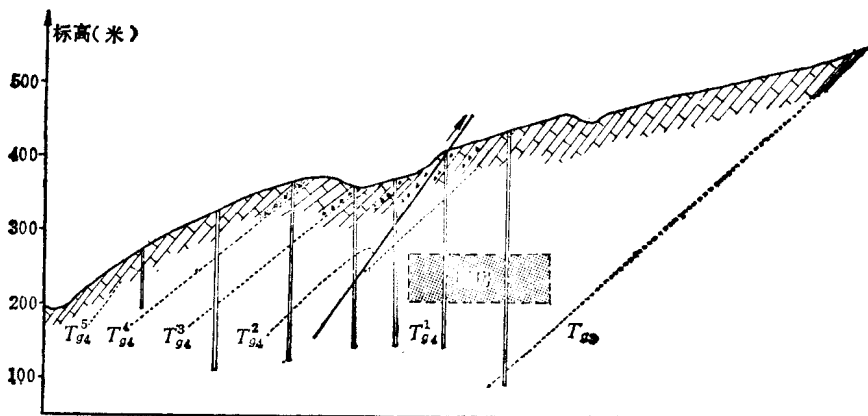


图 2 主工程区地质剖面示意图

3. T_{94}^{2-5} 中厚层灰岩, 薄层白云岩, 夹钙质及泥质角砾岩。小褶皱及断层发育, 岩体较为破碎。

岩层走向主要为 $N30^\circ E$, $NW \angle 40^\circ \sim 50^\circ$ 。在工程范围内主要有区域走向断层, 为走向 $N30^\circ E$, $NW \angle 50^\circ$ 的冲断层。断距10米左右, 影响宽度10~20米。断层带由断层泥、断层角砾岩及压碎岩构成, 宽0.5~1米。上下盘岩层发生拖拉褶皱, 方解石脉呈网状分布。

工程区灰岩中主要发育以下三组断裂面, 是控制峒体稳定的主要因素。

1. 走向断裂, 表现为顺倾向的层间错动面或切层平缓断裂面以及反倾向裂隙。由于岩性均一, 层面一般闭合好, 仅在局部张开有时渗水。反倾向裂隙一般少而短小, 走向 $N30^\circ \sim 50^\circ E$, $SE \angle 50^\circ \sim 60^\circ$ 。

2. 横向断裂, 主要走向为 $N60^\circ W$ 方向的张扭性断层及裂隙, 倾角 $65^\circ \sim 85^\circ$, 多在工程区东部出现, 与峒轴夹角仅 15° , 沿断裂面往往形成串珠状溶洞。

3. 斜向剪裂隙, 为一对X节理, 走向分别为近南北及东西, 倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$, 但发育较差。

工程区灰岩地层中的溶蚀现象较为发育, 主要为溶蚀裂隙、溶孔, 甚至还有落水洞和暗河。其发育规律明显地表现出受层面及断裂所控制。近河地段较远离河流地段发育; 浅部地层较深部地层发育; 断层裂隙集中地段溶洞发育。但在主体工程部位除个别厂房地段有沿断层发育的溶洞外, 一般表现为溶蚀裂隙和溶孔, 并且亦未发现低标高溶洞。

工程区的地下水类型主要为岩溶裂隙水和裂隙水。水质为 HCO_3-Ca 型水或 $HCO_3-Ca-Mg$ 型水, 矿化度低。裂隙水水量小, 联通性差, 且分散, 多呈滴水或线水出现。各厂房地段地下裂隙水总出水量也只有几米³/昼夜。溶洞水水量大而集中, 受季节影响较大, 据雨季测量结果, 在某一厂房附近的流量为10000米³/昼夜以上。

总之, 本地下工程处于单斜的中生代石灰岩层中, 岩性单一, 具有坚硬、致密、性脆、完整等特点。构造简单, 断裂发育少、连续性差、且规模不大。常见的裂隙是层面裂隙, 一般干燥、夹泥少。裂隙水不发育、水量小、渗透慢、连通性差。虽然溶洞水水量大, 但集中, 且在主厂区地段一般不发育。

(二) 工程概况

本工程, 包括上百条支峒、岔峒、导峒、管沟、竖井、斜井。在长数百米, 宽数百米, 占地面积很狭窄的范围内, 打了这么多的峒, 可以说是峒挨峒, 峒连峒, 纵横交错,

上下重叠，把整个山体，挖成了一个架空结构。引峒一般长达数百米。进峒厂房的跨度一般14~15米左右，高15~20米左右。拱脚最大跨度31.2米，峒室最高69米。在这些主峒的顶部、底部和四周，还开了许多跨度、高度不等，部位、标高不同的支峒、岔峒，最多的一条主峒要同几十条支岔峒相连接，甚至还在主体边墙垂直方向上开挖出跨度达24米、高度达7米的短支峒。主体工程具有“口多、嘴小、脖子长、肚子大”的特点。

工程的结构设计，摆脱了把围岩当作荷载看待的陈旧观点，而把围岩作为可靠的结构物看待。在深入掌握工程地质条件，充分发挥围岩自承潜力的前提下，首先在峒体构造上，例如支岔峒连接点，“十字”峒交岔段，上下峒重叠处，采取了许多行之有效的构造措施。而把支护结构，仅仅作为提高围岩自承能力的辅助措施。对跨度小的峒体，一般都采用了钢筋网喷锚结构，对跨度大、边墙高的主厂房峒体，顶拱采用了现浇钢筋混凝土衬砌，边墙、端墙均采用钢筋网喷锚结构。现在来看，如果能提高施工中光面爆破技术，顶拱采用钢筋网喷锚结构，也是安全可靠的。

主体工程所在地段，一般来说，地质情况清楚，地质条件良好。在整个施工过程中，进展顺利，未出现过塌方，滑移事故，规模几立方的掉块也只有几处。施工开挖表明，实际的地质情况，与根据各阶段的勘察资料所作的推测、判断和结论，基本上是吻合的。在施工过程中，虽然也遇到过溶洞、断层、突然大量涌水等问题，但也正是由于掌握了基本规律，而比较顺利通过了。

在施工后期，领导部门曾组织过专门会议，邀请许多单位有经验的同志，在现场对地质勘察、结构设计和峒体施工进行全面鉴定审查。与会同志对本地下工程的厂址选择、地质工作、结构设计和峒体施工，都作了充分的全面的肯定，并一致认为本工程厂址选的比较理想，地质条件比较好，地质工作比较细致，地质资料比较准确，结构设计比较先进。

在各主体工程竣工后，对峒室周边松动圈进行了超声波测试。测试结果进一步验证了各峒室围岩是稳定的。对地质条件较差的局部地段，所采取的加固措施是合理的，可以保证其稳定性。

二、地质勘察工作

地下工程的地质勘察工作，必须坚持必要的程序，分阶段，由浅入深，过细地做好勘察工作。这样做不仅是合理的，也是完全必要的。地下工程的勘察工作基本上是按选厂阶段、扩大初步设计、施工图设计和施工配合四阶段进行的。

（一）选厂阶段的地质工作

地质条件的好坏，直接关系到地下工程建设的质量、速度和投资。而选择一个地质条件好的厂址，选厂阶段的地质工作又是诸阶段地质工作的关键阶段。通过这一阶段的工作对拟用场地地区稳定性和山体稳定性作出明确结论，以提供定厂根据。

选厂阶段的地质工作，包括选厂踏勘阶段的地质调查和厂址比较阶段的地质勘察工作两个步骤。前一步工作的目的在于提出有可能作为厂址的比较方案，后一步工作的目的在于提出论证各比较方案地段建设地下工程的可能性，选定厂址。前一阶段的工作以收集研究档案资料和现场踏勘为主，后一阶段的工作以地质测绘为主，辅以必要的勘探和试验工作。在这一阶段工作结束以后，应当对场地地区稳定性和山体稳定性作出明确结论，作为

确定地下工程厂址的可靠依据。

在本地下工程中,选厂阶段的地质工作我们是这样做的:

1.选厂踏勘阶段的地质调查

第一步根据本地下工程的特点,拟定厂址选择所要求的地质条件。

(1)区域地质构造稳定。不是明显具有发震构造的地区。第四纪以来没有明显的构造活动,历史上地震基本烈度不超过7度。

(2)地形条件良好。山高体大坡陡,有实现进峒厂房总平面布置的回旋余地,有足够的覆盖厚度。

(3)地层相对年轻,在地质历史上经历构造运动相对较少。具有厚度大、岩性单一,坚硬或中等坚硬的地层,岩体完整。成层稳定,较弱夹层没有或很少。

(4)水文地质条件力求简单

第二步根据初拟地质条件和图上选点情况,广泛收集地质资料,并结合工程特点,设计意图,研究其区域地质构造概况:如是否初步具备进峒地质条件?可利用地层是哪一层?它处在什么样的构造部位?地下水的基本特征?区域与山体是否稳定等问题。

第三步在收集和研究资料的基础上,进行现场踏勘。该地下工程选厂工作中先后踏勘了二十几个地点。最后选取了两个地点作为厂址比较方案。其优缺点比较如表1:

I、II号场地地质条件比较表

表 1

	I 号 场 地	II 号 场 地
岩 性	花岗岩,有一定分布面积,坚硬	石灰岩,厚度大,中厚层状
地 质 构 造	构造比较复杂,附近有区域断裂通过,小断裂较多,裂隙组数多,岩崩严重,岩石风化严重	构造简单,附近无区域性断裂通过,裂隙组数不多,岩石风化轻微,无崩塌现象
水 文 地 质	裂隙水,水量有限	岩溶裂隙水,水量可能不大
地 震	基本烈度7度,不是发震区	基本烈度6度,不是发震区

2.厂址比较阶段的地质勘察工作

在综合分析I、II号场地工程地质条件的基础上,我们把厂址比较阶段的地质勘察工作的重点放在II号场地地区。

主要的勘察工作有:地质测绘(1:2000)、节理统计(三个点)、钻探、抽水(注水)试验、薄片鉴定与化学分析、力学试验、水分析、物探测井等。并提出了勘察报告。在报告中,除按规范提出了必要的图件资料外,还提出了±0.00米标高处的水平切面图。对区域性的大地构造和场地范围内的地质构造、节理裂隙系统、地层、水文地质、工程地质条件进行了初步的分析,并作出了相应的结论。基本满足了选厂阶段地质工作的要求。

在完成上述地质工作的基础上,对于工程场地地区稳定性和山体稳定性作了如下的分析和结论,并且根据这些结论选定II号场地为本地下工程的厂址。

(1)区域稳定性分析

所谓区域稳定性分析,是指在工程使用期限内工程场地有无地壳剧烈升降、掀斜、褶皱、断层复活、地震等一系列的新构造活动以及过大的地应力等影响工程安全。

本工程处在开阔向斜和狭窄背斜的交接带,厂区位于宽向斜部位。说明在历次构造运动中不是受力很集中的部位,地质构造简单,区域范围内无大型的压性或扭性构造形迹,断裂构造也没有再活动的形迹,不具备发震条件。从区域地震的历史记录资料来看,虽然也有地震,基本烈度均在6度以下,但本地区不是震中区,而是受邻近以远地区的影响。厂区地形地貌的对照性也不明显,说明新构造运动不强烈。因此,工程所处地段从区域上讲是稳定的。

(2) 山体稳定性分析

山体是否稳定,一般认为与地质构造、岩体结构,地下水活动,地震等因素有关。

本工程区进峒山体位于侵蚀基准面以上,虽然岩层倾向与进峒山坡坡向一致,但是岩层倾角($40^{\circ}\sim 45^{\circ}$)大于地形坡度(30° 左右),不可能产生顺层滑坡。工程区缓倾角的软弱结构面很不发育,且连续性也很差,虽有走向断层和一些反倾向的构造裂隙存在,但是因为是高角度的亦不可能出现切层滑坡。

根据勘测资料分析,工程区山体内部没有倾向最低侵蚀基准面的大断层存在,同时厂区这一套岩组,虽然有薄层,但抗风化力强,结合力好;虽然有角砾岩软弱层,但胶结是比较好的,超底滑动也不可能产生。因此可以认为工程区所在的自然山体是稳定的。不致因为峒体开挖而产生大规模的滑移坍塌。

但是,也正因岩层倾向与山坡坡向一致,在大范围的破坏坡脚、切断岩层的情况下,例如建设公路而出现局部的,表层滑落是可能的。如果遇到这种情况时,采用一些加固措施,是可以保证山体稳定性的。

(二) 扩大初步设计阶段的地质工作

这一阶段地质工作的目的有二:一是为评价峒室围岩的稳定性,提供峒室结构初步设计的依据;二是对进峒体作出初步的工程地质分区,提供主体位置和厂房总平面规划的依据。

本地下工程,在选厂阶段地质工作的基础上,又进行了钻探、抽水试验、水分析、节理统计、电测井、电测剖面、岩石物理力学试验等工作。在获得这些资料的前提下,我们分析研究了与峒体扩初设计密切相关的一些问题。

1. 通过岩性对比作出工程地质分区草图,初步圈出适于布置峒室的地层和地段。

总的认为地下厂区放在 T_1^1 层中是比较理想的,这一地层的岩层组合是中厚层灰岩,坚硬完整,节理裂隙很不发育,岩石新鲜,无风化影响,虽夹一些薄层,但层面结合力好,无软弱夹层,岩溶亦不甚发育。 $T_2^1\sim T_3^1$ 层中夹炭质页岩和泥质、钙质角砾岩,裂隙、岩溶比较发育,小构造比较发育。

2. 对峒室围岩的稳定性作出初步评价,供衬砌结构设计方案考虑。

在本厂区及其邻近地区,没有紧密褶皱留下的过大地应力,而且工程区的整个山体位于侵蚀基准面以上,并有冲沟割切,地应力释放条件好。可以认为地应力不大,对工程稳定性不产生有害影响。也就是说峒室开挖以后上部岩石受压而产生的侧向应力是不大的。同时主厂区进山数百米,基本上不存在残余应力。因此从这个角度分析,峒室是稳定的。

主厂区岩体结构面主要是层面,层面裂隙和走向断层起控制作用,对于拟定的峒轴向(315°)与岩层走向($35^{\circ}\sim 40^{\circ}$)近于垂直的各峒室而言,不控制其稳定性。虽然有 295° 的构造裂隙与峒轴呈 20° 角相交,与层面和层面裂隙组合对峒室边墙的安全性是一不利因

素, 但因其倾角陡, 连续性差, 裂隙率低, 分布稀少, 而且不密集出现, 所以一般不致产生大规模的滑移, 局部掉块是可能的。

在拟建厂房地段, 为坚硬完整的 T_{94}^1 石灰岩岩组, 岩质均一, 无软弱层, 拱脚、墙脚的压碎变形破坏是不可能的。

溶洞大体是靠近河流200米地段比较发育, 拟建厂区的 T_{94}^1 灰岩地层, 底板为 T_{94} 页岩, 顶板为 T_{94}^2 泥质角砾岩层, 不利于水的渗透, 故岩溶不发育。由于溶洞坍塌而致洞室破坏的可能性也是不存在的。

因此, 认为洞室总的稳定性是好的。洞室围岩是可靠的结构物。正是基于这种观点, 拟定了本工程大量采用钢筋网喷锚结构补强围岩稳定性的设计方案, 缩短了施工周期, 节约了建设投资, 保证了工程质量。

3. 进行了水文地质的分析, 初步拟定了厂区排水方案。

(三) 施工图设计阶段的地质工作

这一阶段地质工作的目的: 一是提供确定每一洞室具体位置的依据; 二是提供施工图设计的具体资料。基于本工程地区地质条件比较简单, 而又通过前两阶段的工作, 地质情况基本清楚的前提下, 本阶段主要是进行了 576 米的洞探和编录工作, 借此直观地研究进洞部位的地质构造、岩性、地下水、夹泥、岩溶等情况。了解地下深处地质结构面性状, 组合关系的变化情况, 进行详细工程地质分区, 确定各厂房的理想位置, 制定衬砌和排水设计方案。为施工图设计和施工预报提供资料。此外还可以将一些专门性的地质问题追索清楚。

探洞对查明深部构造以及一些专门性问题有其独特的优点; 对于厂房多而集中的大型地下工程进行探洞是非常必要的。探洞数量和位置应根据工程规模, 地质构造复杂程度及了解程度确定。一般讲, 探洞位置、方向的选择, 应当与施工导洞结合起来, 借以减少工程量。

根据洞探资料, 我们编制了比较详细的工程地质分区图(图3)。

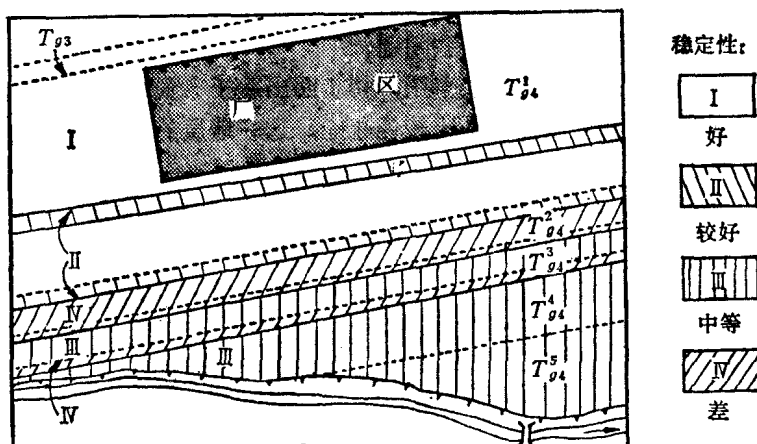


图 3 标高 $\times \times \times$ 米处水平切面工程地质分区图

根据本工程实际情况和岩性、断层发育程度、岩体结构的空分布特点、水文地质条件及其它工程地质条件, 对进洞山体按其洞室围岩的稳定性程度, 分为稳定性好, 稳

定性较好, 稳定性中等和稳定性差四个工程地质区。

各工程地质区的地层及其岩石物理力学性质见表 2。

表 2

工程地质分区		地 层	岩 块 的 物 理 力 学 性 质 指 标				
分区 序号	稳定性评价		湿 容 重 γ (克/厘米 ³)	湿 压 强 R_b (公斤/厘米 ²)	弹 性 模 量 E (公斤/厘米 ²)	泊 松 比 μ	内 摩 擦 角 φ
I	稳定性好	T_{q4}^1	2.7	1220	7.93×10^5	0.275	80°
II	稳定性较好	T_{q4}^1 T_{q4}^2	2.7	1090	7.26×10^5	0.296	75°
III	稳定性中等	T_{q4}^3 T_{q4}^5 T_{q4}^4	2.7	960	6.5×10^5	0.316	70°
IV	稳定性差	T_{q4}^2 角砾岩 T_{q4}^3 角砾岩 T_{q4}^4 角砾岩	2.7				

各工程地质区的稳定性特征见表 3。

在上述分区的基础上, 认为各主要峒室布置在 I 区是比较理想的, 并具体地确定了各峒室的位置。同时, 还具体的对有代表性的峒室的稳定性进行了典型分析。

1. 对主峒室的稳定性分析

主要峒室位于 I 区范围内, 各条峒室, 峒轴线平行, 主峒跨大墙高, 很有代表性。虽然我们对 I 区的稳定性作了总的评述, 整体稳定性是好的。但岩体毕竟还是存在节理裂隙的, 所以我们还是非常认真地研究了该段内每一组裂隙的力学性质和空间分布, 乃至这些裂隙的微小变化。

主要厂房地段, 岩石坚硬完整。构造简单, 层面裂隙走向与峒轴线接近垂直, 对峒体稳定影响不大。节理不发育, 裂隙率为 0.17 条/米, 且互相切割组合成滑移体。围岩稳定条件良好。在峒室拱部无平缓或水平的软弱结构面; 边墙部位不存在走向大致平行峒轴线而倾向峒室的软弱结构面和不利的结构面组合; 前后端墙无反倾向的裂隙存在。据此, 认为峒室围岩是稳定的。同时, 为了进一步验证其稳定性, 还从理论计算上, 对厂房不同部位围岩应力进行估算。基于峒室围岩完整坚硬, 裂隙不仅数量少且贯穿性差, 层间结合好, 故可认为围岩是连续的, 均质的, 各向同性的弹性体。根据峒室形状特点, 我们分别选用了椭圆形断面应力分布的计算公式和圆拱直墙断面应力分布的计算公式, 验算峒室围岩边界应力是否超过岩体强度。

计算结果表明 (表 4): 各点切向应力值均低于岩石的极限抗压强度。峒室各部位均处于弹性变形稳定状态, 不存在压碎破坏的可能。施工以来, 未出现任何稳定性问题。说明上述稳定性分析是符合实际情况的。

2. 对横通道的稳定性分析

横通道净跨 7 米, 高 21 米, 轴向与岩层走向呈 5°~15°锐角相交。由于横峒开挖, 将在数百米长度、20 余米高度的范围内, 几乎是垂直岩层倾向切断了岩层, 对横峒一侧边墙而言, 岩层倾向横通道岩层层面, 将是可能滑动的滑移面, 同时在某一段范围内, 由于北西

各工程地质区稳定性特征说明表

表 3

工程地质分区		岩层特征	断层	岩溶发育	水文地质特征	稳定性特征
分区序号	稳定性评价					
I	稳定性好	T_{04}^1 坚硬致密灰岩, 中厚层至薄层状, 具有水平及微波状, 层面缝合线发育, 上部泥质纹理多, 层间结合好, 无软弱夹层, 抗风化力强, 岩体完整新鲜	裂隙很少, 裂隙率 0.17 条/米, 主要为层面裂隙, 反倾向裂隙少, 连续性差, 一般干燥不夹泥, 密实充填好, 结构面不可能组合成滑移体	仅有层面溶蚀现象, 岩溶不发育	裂隙水少连通性差	围岩稳定, 个别情况下出现小的掉块
II	稳定性较好	T_{04}^1 岩性同上	走向断层带, 裂隙发育常夹泥	沿构造线发育串珠状溶洞, 围岩稳定	溶洞裂隙水。施工中可能遇到突然大量涌水现象	围岩整体稳定性较好, 局部掉块是可能的
		T_{04}^2 顶部的白云岩, 中部的薄层灰岩, 层面结合好, 抗风化力强, 岩体新鲜, 完整	主要为层面裂隙, 反倾向裂隙较发育, 但一般密实连续性差, 不具备滑移体的组合条件	有沿层面和裂隙面发育的溶孔和小溶洞, 围岩稳定	溶洞裂隙水	
III	稳定性中等	T_{04}^3 、 T_{04}^4 、 T_{04}^5 中厚层夹薄层白云岩石灰岩, 一般层间结合比较好, 无软弱夹层, 风化破碎	小构造较为发育, 岩体受结构面的切割, 整体性较差, 个别地段岩体结构面可能组合成小的滑移体	溶洞较发育, 围岩稳定	溶洞裂隙水	围岩基本稳定, 不致出现冒顶, 偏帮坍塌, 但存在局部坍塌可能
IV	稳定性差	T_{04}^6 上部、 T_{04}^7 、 T_{04}^8 底部泥质钙质胶结角砾岩, 层面一般新鲜完整, 但抗风化力差, 遇水容易松软	裂隙很不发育		相对的隔水层	整体稳定性差, 小断面的塌室经过支护, 也是可以保证稳定的

应力计算结果汇总表 (单位: 公斤/厘米²)

表 4

计 算 部 位	计 算 公 式	用椭圆形断面应力分布的计算公式	用圆拱直墙形断面 应力分布的计算公式
拱 顶		56.3	30.6
拱 脚		76.8	95.7
边 墙 中 点			52.4
边 墙 底			148.5

向断层, 缓倾向走向断层及一条层间错动组合成一个可能失稳的四面体。为了对这个四面体的稳定性作出评价, 用赤平极射投影的方法, 解析了四面体的几何形态及其规模。并配合有限单元应力分析, 进行了初步试算。按照上部滑动面摩擦系数采用0.25, 内聚力 C 值采用0.6公斤/厘米², 下部滑动面摩擦系数采用0.30, C 值采用0.5公斤/厘米²。试算结果: 安全系数为1.5左右, 属于稳定状态。同时由于结构体以一楔形体插入岩体深部, 受上部岩体压力及峒壁岩石的牵制, 使其难于滑出。可见整体稳定性是不成问题的。实际开挖后, 至今没有发现变形滑移。

(四) 施工配合阶段的地质工作

施工配合阶段的地质工作, 主要是在导峒施工阶段对各施工导峒, 特别是主体工程部位作地质编录, 并对不良地质地段, 进行详细的工程地质研究, 同时还应进行必要的岩体力学试验, 取得必要的设计计算数据。

这一阶段地质工作的目的: 一是处理设计、施工中遇到的工程地质问题; 二是验证勘察资料, 对每一峒室和每一峒室的各个部分如顶拱, 拱脚, 边墙, 端墙, 墙脚作出稳定性结论; 三是落实设计, 提出设计修改的根据; 四是配合主峒开挖施工。

这一阶段地质编录工作的主要内容, 是研究每一峒室各部位(拱顶、拱脚、侧墙、端墙、墙脚)围岩的岩性特征、断裂情况、结构面夹泥含水情况、岩溶发育及其稳定程度等。以提出必要的图纸资料, 处理设计、施工中提出的各有关问题、积累工程的技术资料, 保证工程的质量与顺利进行。

这一阶段工作时间长, 工作内容比较多, 责任也比较重, 确实是一项艰苦、繁重而又非常重要的工作。对于大型的地下工程, 地质人员必须参加设计和施工配合工作, 贯彻始终。实践证明, 这一阶段的工作是整个地质工作过程中的一个必不可少的重要环节。

三、几个设计问题

作为地下工程的设计人员最关心的是: 总体布置如何利用地质条件? 峒室轴线如何考虑? 峒室间距应该多大? 峒口放在什么位置? 采取什么支护形式……等问题。

这些问题必须取得地质人员的充分配合才能比较切合实际地得到解决。在某种意义上说, 地下工程的设计问题, 实质上是一个工程地质问题。

(一) 厂房位置选择

根据峒体规模, 工程区地质条件, 覆盖层要求, 认为厂房应设置在页岩与断层之间。

即 I 区 $T_{9,1}$ 层 (如图 3) 较为合适。其理由是:

1. 厂房不能穿过 $T_{9,1}$ 页岩层, 并应和页岩岩层保持一定的距离。因为页岩层透水性能差, 是一个良好的隔水层, 可以隔断上游地下水与厂区地下水的水力联系。以减少排水工程量, 保证峒室的安全;

2. 避开稳定性差的角砾岩层, 尤其是泥质胶结的角砾岩;

3. 避开断层破碎带和溶洞较发育的地段;

4. 满足进峒厂房峒顶防护厚度要求;

5. I 区 $T_{9,1}$ 层峒室围岩稳定条件好;

6. 水文地质条件比较简单, 地下水出露点少量小, 相对而言, 峒室干燥一些。

(二) 峒轴向选择

峒轴线的方向主要依据地质构造线的方向, 地形特点确定的。通过对工程区地质构造和地形特点的分析, 拟定 $N315^\circ W$ 为峒体轴线方向, 这对峒体各部的受力条件比较有利 (如图 4)。它既和构造选线保持了最大交角 (80° 左右), 又和地形等高线近乎垂直。

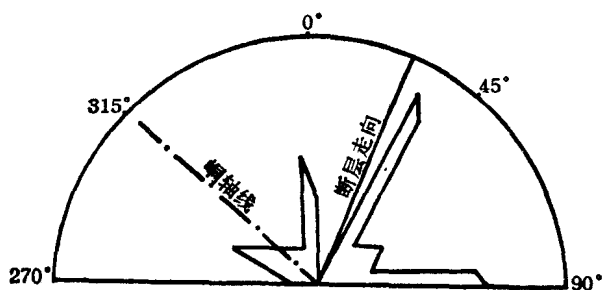


图 4 峒轴线与构造关系示意图

(三) 峒间距确定

确定峒间距的方法, 经验公式和经验数据都有。一般多主张按峒室跨度一倍半到两倍考虑为宜。由于该工程部分峒室侧墙高, 峒室与峒室之间支岔峒多, 施工出渣量大, 同时考虑到峒体开挖的稳定性, 主峒两侧与邻近峒室的距离定为 70 米。其他各峒室间距也相应调整至跨度的二倍多。但事实上, 由于设计方案改变了要求, 在

原总图布置的基础上, 在两峒室间又增加了一些峒室。使得有些峒室之间的距离仅相当于峒室的跨度。因此, 确定峒间距, 除考虑地质条件外, 还要综合考虑各方面的因素。例如:

1. 厂房的高度和跨度; 2. 支峒的多少、大小和分布; 3. 施工条件、土建安装、生产要求; 4. 地形条件和进峒工程的规模。

(四) 峒口位置选择

峒口是地下工程的咽喉。峒口位置的选择是很重要的。本工程在选择峒口位置时考虑了以下几个因素:

1. 山坡陡峻, 地形完整; 2. 岩石出露, 岩体比较完整坚硬; 3. 高于历年最高洪水位; 4. 避开不良物理地质现象和有不便清除的危岩分布地段; 5. 避开冲沟沟口; 6. 满足防护要求。

但是由于本工程规模较大, 峒口较多, 加上生产上的要求, 我们只能在综合考虑上述诸因素的基础上, 做到峒口选择比较合理。但也有个别峒口, 不得不在地形地质条件比较差的地段。依靠早进峒和施工方法的改善保证峒口成型。在整个施工过程中, 各峒口都很稳定, 未发生什么问题, 保证了峒室开挖的顺利进行。

(五) 岩溶问题

在石灰岩地层中建造大型地下工程，岩溶问题是设计时必需考虑的问题之一。经过勘察之后，我们对工程区岩溶的发育规律有了一定的认识。工程区岩溶的发育受到地形地貌、地质构造等因素的控制。越接近工程区口部的现代河流，岩溶越是发育；远离现代河流岩溶逐渐减少、直至消失。从地表向山体深部，岩溶发育逐渐减弱，至峒室拱顶标高部位基本上见不到溶蚀现象。从地质构造角度看，沿断层和张开裂隙发育的地段岩溶发育。

水平溶洞的发育标高，厂房之间基本与侵蚀基准面标高相当；在厂房部位见到的溶洞最低标高为220米以上。220米标高以下，溶蚀现象轻微或见不到溶蚀的痕迹。

沿断裂方向断续分布的大小不等的溶洞中，由于新构造运动的影响，在不同标高沉积了砾石、砂和粘土。峒室开挖以后，在主厂房底部又打了几个钻孔，未发现低标高溶洞。这就排除了设计人员担心的江河水灌渗入低标高厂房的问题和其他问题。

（六）排水问题

排水是地下工程设计、施工和使用中的重要问题。国内外的大量实践，在这方面提供了许多经验教训。所以，工程建设一开始，我们就把排水作为重要问题进行研究。

经过峒探以后，我们结合各勘察阶段的资料，着重研究了工程区的水文地质条件，认识到采用廊道集中排水的方案不符合实际情况。经过同设计人员共同讨论，商定了采用施工导峒分散排水的方案。具体作法是：

1. 对于施工开挖所揭露的溶洞水和地下水良好通道——构造破碎带出来的水，采取集中引入导峒排出。

2. 对于裂隙水，通过各峒室厂房侧沟和支岔峒边沟引入低标高施工导峒排出。

这样作的好处是充分利用施工导峒，大大减少了排水工程量。实践表明，采取这种排水作法，是符合实际的。

本工程区，地下水类型为裂隙—溶洞水，出露标高因岩体裂隙和岩溶发育情况而异，高差悬殊，补给条件差。在厂区范围内，上游（底板）的 T_0 页岩阻隔了远处地下水的补给；下游的 T_2 泥质角砾岩阻挡了洪水期河水的补给（枯水期地下水补给河水；洪水期，河水猛涨猛落，补给地下水也很有限）。而排泄条件比较好，主厂区 T_0 层中沿走向断层串珠状溶洞较发育，是良好的排水通道。

工程区主要水文地质特征是：

1. 富水性差，渗透速度慢。水文地质试验成果如表5。

水文地质试验成果表

表 5

地 层 代 号	含水层裂隙率	单 位 涌 水 量 (升/秒·米)	渗 透 系 数 (米/昼夜)	渗 透 性 评 价
T_0^1	0.162	0.006	0.0074	极劣透水性岩石
T_0^2	1.19	0.006	0.0073	极劣透水性岩石
T_0^3		0.006		极劣透水性岩石
T_0^4	0.337	0.005	0.0206	劣透水性岩石
T_0^5		0.46	2.04	透水性岩石

2. 含水层裂隙率小，连通性差，含水不均。一般不可能形成高水头压力。

3. 溶洞水水流集中，水量大，例如峒探过程中，由于探峒穿过溶洞，涌水量达2万多