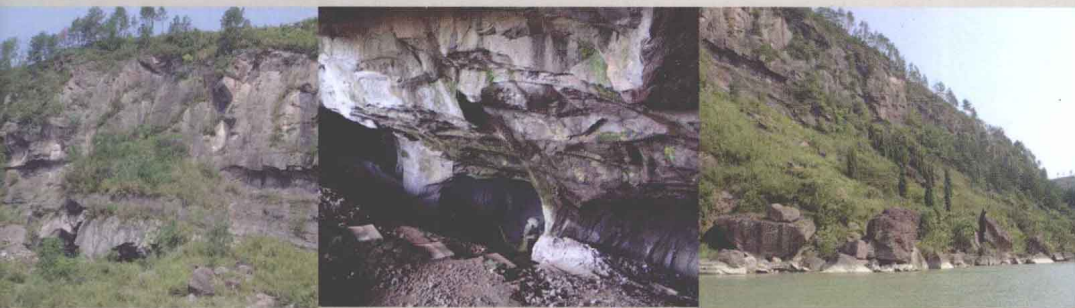




仙居飞凤岩

大型古地下工程洞室群 科学技术问题研究

杨志法 郭改梅 张路青 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

仙居飞凤岩大型古地下工程 洞室群科学技术问题研究

杨志法 郭改梅 张路青 著

中国科学院工程地质力学重点实验室资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书论述了一座始采于宋代的大型古地下采石场洞室群的科学技术问题。主要内容包括洞室群的地理位置、始采年代、分布及结构特点、蕴藏于其中的古人朴素的科学思想,以及古代工匠所显示出的高超的勘测、设计和施工方法。另外,本书还提及相关地质灾害防治对策等内容,并就如何开展相关科普旅游问题,提出了若干建议。

本书可供从事岩石地下工程设计、施工、科研的工程技术人员及大专院校工程地质、岩石力学、地下建筑学、采矿和旅游专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

仙居飞凤岩大型古地下工程洞室群科学技术问题研究/杨志法,郭改梅,张路青著. —北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-032821-2

I. ①仙… II. ①杨…②郭…③张… III. ①采石场-地下工程:岩石工程-工程技术-仙居县-古代 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 237581 号

责任编辑:刘宝莉 沈 建 / 责任校对:钟 洋
责任印制:赵 博 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

青囊科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 3 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012 年 3 月第一次印刷 印张:18 3/4 插页:1

字数:365 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

大型古地下工程是人类发展过程中留下来的、凝结着古代人民智慧和劳动的遗迹。它反映了当时人类的社会活动、社会关系、意识形态以及利用自然、改造自然的状况,是人类宝贵的历史文化遗产。因此,对大型古地下工程的科学研究对于人们认识自己的历史和创造力量,揭示人类社会发展的客观规律,认识并促进当代和未来社会的发展具有重要的意义。同时,大型古地下工程的科学研究也能为古地下工程的旅游开发和保护管理提供科学的依据。

国外一些国家对于大型古地下工程的旅游开发、保护及科学研究开展得比较早,如波兰的 Weiliczka 古地下盐矿以及以色列的 But Guvrin 大型古地下采石场等。我国对于大型古地下工程的关注和研究始于 20 世纪 90 年代。本专著第一作者——杨志法是最早关注大型古地下工程的学者之一。从 20 世纪 90 年代末起,他就在国家自然科学基金项目的资助下开始致力于大型古地下工程的工程地质力学问题研究,从寻访大型古地下工程开始,到古地下工程的地质调查、实验测试及分析、工程力学的演算与分析等,栉风沐雨、呕心沥血十几载。

2010 年,杨志法率领其研究组厚积薄发共同撰写并出版了《龙游石窟大型古地下工程洞室群科学技术问题研究》一书,这本书是中国第一部关于大型古地下工程科学技术研究的专著,对我国大型古地下工程的旅游开发、保护及科学研究具有重要意义。时隔一年,他们又撰写了《仙居飞凤岩大型古地下采石场洞室群科学技术问题研究》专著。由于两个大型古地下工程分处不同的行政区域,且开挖的地层年代及岩性、大型古地下工程开挖的目的及背景各有不同,更重要的是洞室结构和规模也相去甚远,所以进一步研究并揭示蕴藏在仙居飞凤岩大型古地下采石场洞室群中的科学技术亮点与对龙游石窟的研究一样具有重要意义。

相信这本书的出版能让人们进一步了解中国大型古地下工程以及揭示蕴藏其中的古代工程科学技术知识,并希望对现代工程地质力学的发展起到促进作用。同时,该研究成果对仙居有关部门对飞凤岩大型古地下采石场洞室群今后的旅游开发以及文物保护提供了科学支持。

最后,祝愿作者在我国大型古地下工程洞室群的研究方面取得更大的成绩。

王思敬

中国工程院院士

2011 年 10 月

前 言

20 世纪 90 年代后期,我国就开始了跨度超过 20m 的大型古地下工程的研究,基本上与国外同步。飞凤岩大型古地下工程始挖于 800 多年前的宋代,是因古人开采凝灰岩石材而遗留下来的一座大型古地下采石场洞室群。

本书的研究目的主要有四个:第一,揭示蕴藏于飞凤岩大型古地下工程中古人的朴素的科学思想和工程科学技术亮点;第二,通过对这些历时数百年的“1:1 现场试验场”的研究,可望对现代科学(包括岩石力学、工程地质学、地下建筑学等)的发展和现代工程设计、施工有所借鉴和启示;第三,通过飞凤岩大型古地下工程中有关科学技术问题的研究,可望为该类不可移动文物的长期保护提供重要资料;第四,促进该古工程科普旅游事业的发展,为提高国民科学素质做出贡献。

为达到上述目的,在中国科学院工程地质力学重点实验室基金和国家自然科学基金项目“大型古地下工程科学技术问题和长期稳定性研究”(No. 40272112)、“石质文物岩石风化速度的定量化及防风化方法的研究”(No. 40672190)的资助下,对飞凤岩大型古地下洞室群进行了有关工程地质调查、工程测量、室内围岩物理力学试验、三维数值模拟等方面的工作。具体成果可概括为以下七个方面:

(1) 现场调查发现,飞凤岩大型古地下洞室群各洞室顶板高程的变化趋势与上覆白垩系塘上组凝灰岩和赖家组粉砂岩之间的整合接触面基本一致。据研究,古人对洞室群的这一布局,不仅避免了上部粉砂岩(非石材开采对象)的开挖,而且也避免了粉砂岩作为洞室顶板时对洞室稳定的不利影响。这一点似乎可以说明,古人在开采石材前就已经对飞凤岩山体进行了详细的“工程地质勘察”,因而能在充分考虑实际地质条件的基础上合理地选择洞口的位置及“设计”洞室群的空间布局。

(2) 现场调查结果还表明,古人在飞凤岩大型古洞室群中开采石板时,巧妙地利用已有的垂直或接近垂直于开采面的地质结构面作为待采石板的侧边界。这一技术提高了采石的效率,节省了采石费用。

(3) 借助于数值模拟的对比分析还发现,在采石过程中为了同时确保施工安全和高效采石的目的,古人采用了若干有利于洞室稳定的结构措施。例如:第一,在岩柱与顶板之间采用了柱顶弧形斜托,从而改善了岩柱及顶板的应力状态。第二,在某些岩柱之间采用了肋形仰拱结构。它不仅有效地改善了岩柱及下侧底板的应力状态,而且还可有效减小围岩的侧鼓及底鼓变形。第三,当岩体内的地质结构面较多或洞室的跨度较大时,古人高超地选用了穹形结构。这一措施使得洞

室顶板的拉应力分布范围大幅度减小。第四,为了提高采石效率,古人在地质结构面较少的岩体内采用了平顶结构,并在洞室跨度和高度过大的部位预留了若干隔墙和水平隔板结构。显然,隔墙的作用主要是为了解决洞室跨度过大的问题,而水平隔板则用于解决因边墙过高而可能造成的高边墙失稳问题。

(4) 通过围岩变形破坏的现场调查作者发现,飞凤岩大型古地下洞室群围岩变形破坏的主要方式为顶板开裂、岩柱被压裂及顶板、岩柱和边墙上的块体失稳等问题。研究表明,顶板的开裂很可能是洞室的跨度过大所造成的,而岩柱被压裂主要是由于洞内岩柱数量较少或某些岩柱横截面太小而无法承担来自顶板的过大压力所致。至于块体失稳问题,则是在多条结构面及临空面的组合切割下形成的块体在一定条件下发生失稳和塌方的现象。另外,洞内位于位置较高的潜在危石的下落也会对下方人员的生命安全构成严重威胁。通过上述研究,作者提出了若干有助于保证游客安全的建议,以供当地管理者参考。

(5) 飞凤岩大型古地下采石场南邻永安溪。从地形上看,南侧的洞口边坡(即南坡)很陡,所以在从南坡入洞的东西向简易公路上行进的车辆和行人,必然会受到来自南坡上方的潜在滚石的巨大威胁。为了解决这一问题,作者根据滚石发生条件、气象因素及滚石对车辆、行人等的威胁程度对公路进行了危险分段和分区。研究还发现,对于景区洞口所在的陡峻南坡来说,滚石的发生主要受凝灰岩与粉砂岩之间的整合接触面控制。

(6) 为了保证洞室的整体稳定,在围岩变形破坏调查及规律分析的基础上,作者提出了以支顶为主的洞内地质灾害防治思路;对公路沿线的滚石威胁区,则提出“以避为先”的防治对策。例如,作者提出了将景区入洞口的位置从陡峻的南坡改为平缓的北坡的建议,以避免大的地质灾害的发生。

(7) 对于保持了数百年长期稳定的飞凤岩大型古地下洞室群,作者进一步讨论了有关古工程科学技术亮点及其对现代科学发展和现代工程设计的启示。

作者认为上述研究可以供从事工程地质、岩石力学、地下建筑学、古地下工程、文物保护及相关旅游专业的研究者、工程技术人员和大专院校的师生参考。

作 者

2011年9月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.1.1 国外大型古地下工程	1
1.1.2 国内大型古地下工程洞室群的发现及其特点	4
1.1.3 古地下工程的研究价值	8
1.2 飞凤岩大型古地下采石场洞室群的研究目的	9
1.3 关于古代地下工程问题的讨论	11
1.3.1 关于古代地下空间利用问题	11
1.3.2 关于古代以开采地下矿(石)为目的的生产活动的讨论	13
1.4 古地下工程的研究现状	13
1.5 本书的主要研究内容	14
第 2 章 飞凤岩大型古地下工程洞室群的结构特点及研究方法	16
2.1 飞凤岩大型古地下采石场的地理位置	16
2.2 关于古洞开挖的目的和始挖年代的考证	19
2.2.1 关于飞凤岩古洞开凿目的的考证	19
2.2.2 关于飞凤岩大型古地下采石场始采年代的考证	23
2.3 洞室群分布调查及洞室结构特征	24
2.3.1 洞室群分布调查与测绘	25
2.3.2 洞室群的主要尺寸及结构特征	32
2.3.3 洞室结构的特点	40
2.3.4 洞口分布及洞口反坡现象	44
2.4 各洞室上覆岩层厚度的确定	56
2.5 飞凤岩大型古地下采石场洞室群研究的方法论	57
2.5.1 研究目的	57
2.5.2 现代地下工程的开发与利用	58
2.5.3 关于现代地下工程研究的基本理论和方法	61
2.6 研究方法	67

第3章 飞凤岩大型古地下采石场洞室群的工程地质条件评价	72
3.1 气候条件	72
3.2 地形地貌	73
3.3 地质条件评价	75
3.3.1 区域地质条件评价	75
3.3.2 飞凤岩古地下采石场分布区的工程地质条件分析评价	78
3.3.3 水文地质条件评价	115
3.3.4 环境地质条件评价	121
第4章 蕴藏于飞凤岩古洞室群中的工程科学亮点	122
4.1 考虑地质结构面的洞室群布局“设计”及石板开采技术	122
4.1.1 关于古人采石对象的猜想	122
4.1.2 关于古人何为选地下采石方法的猜想	122
4.1.3 关于飞凤岩大型古地下采石场洞室底板高程变化不大的原因的推测	123
4.1.4 关于古人在采石场洞室群布局中如何处理整合面的猜想	123
4.1.5 从洞室群布局中揭示出的古人朴素的科学思想	131
4.2 石板开采工艺中的科学技术问题	132
4.2.1 采石板位置的选择问题	132
4.2.2 岩柱和边墙的预留与采石量之间的协调理念	141
4.2.3 符合断裂力学原理的石板开采技术	143
4.2.4 利用陡倾角结构面代替采石板必需的侧槽技术	146
4.3 关于运石出洞上船方法的猜想	147
4.4 柱顶弧形斜托在提高洞室稳定程度方面的作用	151
4.4.1 柱顶弧形斜托的几何特征及计算模型	152
4.4.2 计算结果的对比分析	154
4.5 肋形仰拱在提高洞室稳定性方面的作用	160
4.5.1 5号洞西区肋形仰拱的尺寸及计算模型的建立	160
4.5.2 12号岩柱计算结果的对比分析	161
4.5.3 13号岩柱计算结果的对比分析	169
4.5.4 肋形仰拱底板计算结果的对比分析	175
4.5.5 关于飞凤岩大型古地下采石场肋形仰拱作用的综合分析	180
4.6 平顶型洞室隔墙及水平隔板对洞室稳定性的作用	180
4.6.1 16-1、16-2号洞及其计算模型	181
4.6.2 三个模型计算结果的对比分析	183

4.7 关于穹形结构的特点和作用的分析	190
4.7.1 飞凤岩大型古地下采石场穹形结构的举例	190
4.7.2 数值模型	191
4.7.3 两模型计算结果的对比分析	192
4.7.4 几点结论	197
4.8 飞凤岩古地下采石场的废石处理方法所显示出的环保理念萌芽	198
4.9 对现代科学发展和工程建设的某些启示	198
4.9.1 对现代地下储油库设计的可能启示	198
4.9.2 对离壁式地下洞室设计的启示	199
4.9.3 加深对爆破损伤严重性的认识	199
4.9.4 可望利用古工程的开裂进行围岩长期强度的反演	200
第5章 飞凤岩大型古地下采石场洞室围岩稳定性评价	201
5.1 研究目的	201
5.2 研究方法	202
5.3 洞室群围岩变形破坏现状调查	202
5.3.1 洞室顶板变形破坏的调查	203
5.3.2 岩柱变形破坏调查	213
5.3.3 洞口的变形破坏调查	216
5.4 岩柱长期抗压强度反演研究	217
5.4.1 问题的提出	217
5.4.2 岩柱长期抗压强度反分析原理和方法	218
5.4.3 5号洞11号岩柱的反分析	220
5.5 飞凤岩大型古地下采石场围岩稳定性的分析与评价	222
5.5.1 洞顶稳定性的初步分析	223
5.5.2 飞凤岩大型古地下采石场洞室群稳定性评价	226
第6章 景区范围内的滚石与潜在滚石灾害	228
6.1 有关滚石及滚石灾害问题的概述	229
6.1.1 滚石及滚石灾害的概念	229
6.1.2 滚石及滚石灾害问题的研究现状	230
6.2 飞凤岩古洞室群景区滚石分布调查及滚石危害性分段	231
6.2.1 飞凤岩南坡上的滚石分布调查	231
6.2.2 简易公路滚石活动区沿线滚石灾害影响因素的分析	232
6.2.3 滚石因素中各单因素的分级及分级标准的赋值	236

6.2.4	简易公路段滚石问题潜在危害性分类	237
6.2.5	简易公路段滚石问题潜在危害性分区(段)	239
6.3	景区滚石的发生机理	247
第7章	关于飞凤岩大型古地下采石场景区旅游价值问题的讨论	249
7.1	独特的景点	249
7.1.1	优雅的休闲场所	249
7.1.2	引发遐想的奇特墙洞	250
7.1.3	引发童趣的娱乐活动	251
7.1.4	百年古寺飞凤岩寺	251
7.1.5	洞内塑像	251
7.1.6	蝙蝠洞	253
7.1.7	多部影视拍摄地	253
7.2	难得的科普旅游资源	253
7.2.1	以古工程科学技术为基础的科普旅游	254
7.2.2	以地质学知识为基础的科普旅游	254
7.2.3	与社会科学话题有关的科普旅游	254
7.3	关于推进飞凤岩景区旅游可持续发展的建议	255
7.3.1	与永安溪漂流相接的设想	255
7.3.2	关于景观式加固理念和设计方法的研究	258
7.3.3	关于建造北洞口通道和北坡停车场的建议	260
第8章	关于飞凤岩大型古地下采石场地质灾害防治对策的研究	263
8.1	地质灾害防治的原则	263
8.2	古洞室群内地质灾害的防治对策	264
8.2.1	洞室群内围岩变形破坏的特点	264
8.2.2	洞室地质灾害防治的对策	265
8.2.3	关于安全通道的构想	270
8.3	洞内监测	272
8.4	景区水泥公路段滚石灾害的防治对策	274
8.4.1	景区潜在地质灾害的分布特征	274
8.4.2	水泥公路段滚石灾害的防治对策	275
	参考文献	279
	后记	289

第 1 章 绪 论

1.1 问题的提出

古代科学技术是古代文明的重要组成部分,也是推动古代社会发展的重要动力之一。我国古代的科学技术成就是伟大的。它不仅曾对中国及世界上很多其他国家的发展起到了重要推动作用,而且对现代社会科学发展也有着不容忽视的影响。在我国的古代科学技术中,四大发明对世界的贡献最大。它为世界文明的形成和发展奠定了基础。实际上,除四大发明以外,我国古代在自然科学和技术上还有许多方面都有着辉煌的成就,其中就包括本专著将要论述的主题——大型古地下工程及其所蕴藏的科学技术问题。李约瑟博士是世界著名的科技发展史专家。他一直关注和研究着我国的古代科学技术及其对世界的贡献,并在其专著《中国科学技术史》中相当系统地论述了我国古代科学技术的成就和贡献^[1]。然而,纵览全书也未发现有关我国大型古地下工程科学技术方面的论述。据作者推测,李约瑟在撰写《中国科学技术史》时在中国境内也许尚未发现大型古地下工程,或者当时的人们并没有意识到大型古地下工程本身也蕴藏着令我们惊奇不已的古代工程科学技术。

目前,国内业界有人将跨度大于或等于 20m 的洞室称为大型地下工程。如果将这一标准也用到古地下工程的分类上,则可将跨度大于或等于 20m 的古地下工程称之为大型古地下工程。因此,当某一个古洞室群中有一个或多个洞室(单洞)的跨度大于或等于 20m 时,则不妨称之为大型古地下工程洞室群。关于这一界定,还需作两点说明:第一,为使问题简单化,在界定大型古地下工程洞室群时仅考虑洞室的跨度,而不讨论洞室长度、洞室群所占的总面积等数据;第二,在讨论大型古地下工程的跨度时,通常是指无岩柱的情形,有岩柱时则需要说明跨度是在有岩柱条件下量测得到的数据。

1.1.1 国外大型古地下工程

一般说来,每个国家都会把在本国境内发现的大型古地下工程看作该国古代文化的组成部分。对于那些珍贵无比的不可移动文物,政府往往都会投入大量资金开展有关历史价值、艺术价值、科学价值和旅游价值等方面的研究,以便系统研究其内在的价值,并为它们的长期保护提供科学依据,甚至开发为旅游景点。除我

国之外,作者还发现在波兰、以色列和土耳其境内都有大型古地下工程洞室群。它们分别为波兰维利奇卡(Wieliczka)古地下盐矿、以色列巴特古林(Bet Guvrin)大型古地下采石场以及位于土耳其伊斯坦布尔的巴斯里卡(Basilica)古地下蓄水池。现对这三座大型古地下工程分述如下:

1. 维利奇卡(Wieliczka)古地下盐矿

位于波兰境内的维利奇卡(Wieliczka)古地下盐矿是一座开挖于中新统含盐岩层中的古地下采矿场洞室群。图 1-1 给出了因采盐矿而遗留下来的废矿井和采场洞室的分布示意图。据有关资料,该古地下盐矿始挖时间为 700 年前^[2,3]。因为该古地下采矿场蕴含着深厚的文化底蕴、古工程科学技术亮点及历史背景,所以深受波兰政府和人民的重视。1978 年 9 月,该古地下采矿场被联合国教科文组织批准为首批世界文化与自然遗产;1994 年波兰总统亲自将其列为国家历史文物。目

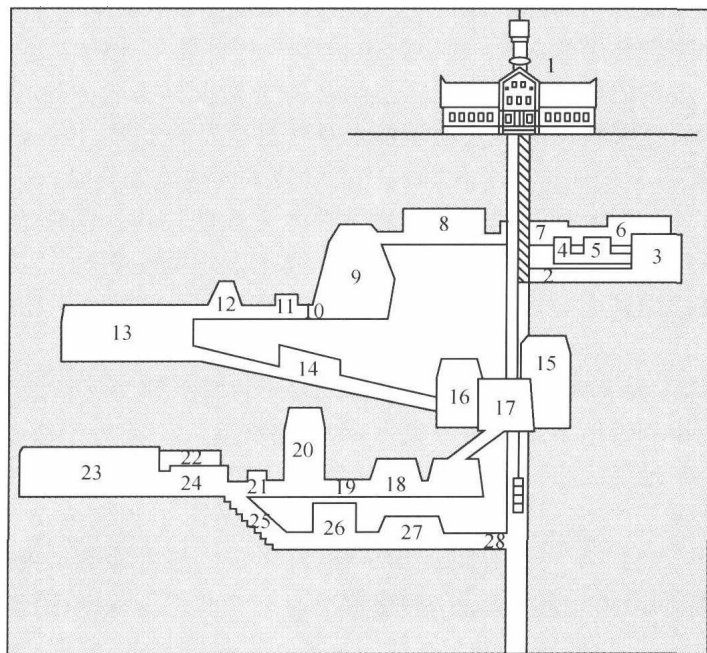


图 1-1 维利奇卡古地下采矿场矿井及洞室分布示意图

1—Danilowicz 矿井;2—Danilowicz 矿井的井底;3—哥白尼室;4—圣·安东尼教堂;5—Janowice 室;6—燃烧室;7—Sielec 室;8—Casimir the Great 室;9—Pieskowa Skala 室;10—Kunegunda 纵廊;11—Kunegunda 矿井的井底;12—Holy Cross 教堂;13—Saint Kinga's 教堂;14—Erazm Baracz 室;15—Michalowice 室;16—Drozdowice 室;17—Weimar 室;18—Jozef Pilsudski 室;19—Kazanow 纵廊与 Poniatowski 横廊的连接处;20—Stanislaw Staszic 室;21—Treasurer Spirit 室;22—Witold Budryk 室;23—华沙室;24—维斯瓦河室;25—Prinzinger 倾斜的通风室;26—Jan Haluska 室;27—Izabela 室;28—Danilowicz 矿井的井底

前该古地下采矿场已成为波兰重要的旅游资源。为了充分利用这一古地下洞室群,该旅游区将采矿遗存下来的洞室改造成为地下教堂、地下餐厅、地下健身室等(图 1-2~图 1-4),并吸引了一些乐队或音乐人到这一地下博物馆中举行音乐会,让音乐进入地下。作者认为,他们将文物区的保护与旅游相结合,古为今用,很有创意^[2,3]。



图 1-2 利用废采矿场洞室建造的教堂(图 1-1 中的 13 Saint Kinga's 教堂)



图 1-3 利用废采矿场洞室建造的地下餐厅

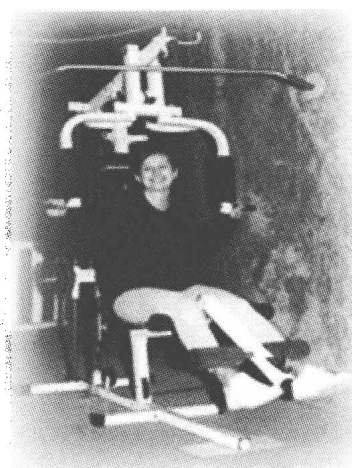


图 1-4 利用废采矿场洞室建造的健身房

2. 巴特古林(Bet Guvrin)大型古地下采石场

位于以色列境内的巴特古林(Bet Guvrin)地下洞室群是开凿于始新世灰岩中的一座大型古地下采石场。据有关资料,该采石场始挖于 1300 年前。该古洞室群

中的最大单洞跨度(无岩柱)为 40m。洞室为穹形结构,也有人称之为钟形结构(图 1-5)。值得一提的是,从结构力学的角度看,这种结构对洞室的稳定极为有利。这也许就是其逾千年而保存下来的重要原因之一。由于该洞室群具有重要的科学价值及深厚的文化底蕴,所以以色列政府将之开发为国家考古博物馆。据相关报道,这一古洞室群每年接待约 20 万游客。由此带来的经济价值对于人口很少的以色列来说是相当可观的,其社会价值更不必说了^[4,5]。

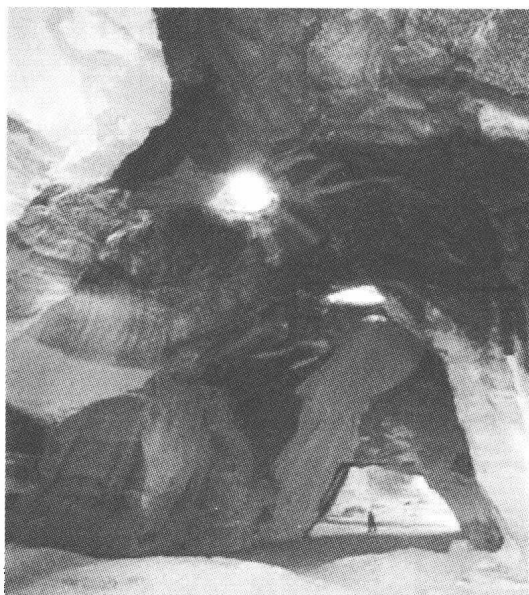


图 1-5 巴特古林大型古地下采石场中具穹形结构的洞室

3. 巴斯里卡(Basilica)古地下蓄水池

位于土耳其伊斯坦布尔的巴斯里卡(Basilica)古地下蓄水池,始建于公元 532 年。该古地下蓄水池高 9m,长 140m,跨度达到 70m,但有 336 根岩柱密集地支撑着洞室顶板,以保证其稳定。在该古地下工程中,每根岩柱表面都有优美的雕刻(图 1-6),令人瞩目。目前,巴斯里卡古地下蓄水池已经成为伊斯坦布尔重要的旅游胜地^[6,7]。

1.1.2 国内大型古地下工程洞室群的发现及其特点

直到 20 世纪 90 年代,我国才出现有关大型古地下工程的报道及研究。1992 年以来,在我国的浙江、安徽两省陆续发现了九座大型古地下工程洞室群^[8]。它们分别为龙游石窟(包括凤凰山龙游石窟、上坂村古洞室群和翠光岩古洞室群等)、天台黑洞古地下采石场洞室群、黄岩蟠龙洞古地下采石场、宁海伍山石窟古地下采石



图 1-6 巴斯里卡古地下蓄水池

场、宁波尚化山古地下采石场洞室群、温岭长屿洞天、三门蛇蟠岛大型古地下采石场、安徽花山谜窟古地下采石场以及本专著将要讨论的仙居飞凤岩大型古地下采石场洞室群。这九座大型古地下洞室群的分布见图 1-7。图 1-8~图 1-10 给出了上述九个大型古地下工程洞室群中的龙游石窟、天台黑洞大型古地下采石场洞室群和三门蛇蟠岛大型古地下洞室群等三个洞室的照片。

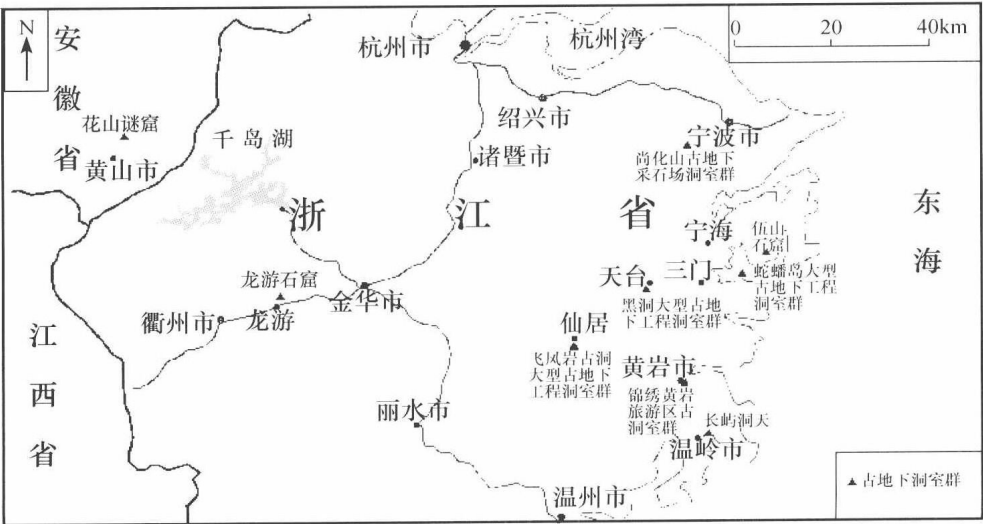


图 1-7 我国浙皖一带九座大型古地下洞室群分布图



图 1-8 凤凰山龙游石窟 2 号洞



图 1-9 天台黑洞大型古地下采石场 5 号洞

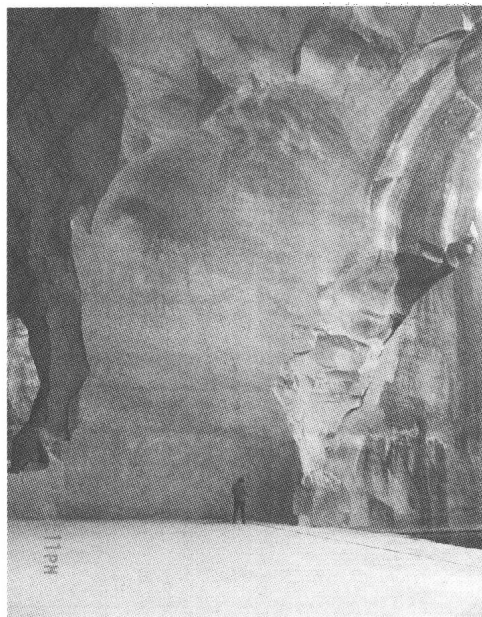


图 1-10 蛇蟠岛古洞室群清风洞 1 号洞

对于上述大型古地下工程洞室群,还需做以下说明:第一,龙游石窟、伍山石窟是旅游部门为旅游需要而起的名字。据有关文献^[9],石窟是与佛教有关的石窟寺的简称。但到目前为止,尚未证实龙游石窟与佛教有关,而伍山石窟则已被确定为地下采石场。这就说这两座大型古地下工程的名字并非特别合适,但由于两者都已被推向旅游市场,所以仍建议继续沿用其原来的名字,以免影响旅游。第二,经过对目前所掌握资料的分析,上述9座大型古地下工程洞室群中只有龙游石窟的建造目的至今尚不能确定,其余8座大型古地下工程洞室群都是大型古地下采石场。第三,作为本专著的研究对象——飞凤岩大型古地下采石场(也可称之为飞凤岩大型古地下工程)原名为石仓洞,但为了增加其旅游价值,作者认为采用该古洞室群所在山体的名字——飞凤岩作为它的新名较为合适。

经初步考察发现,包括飞凤岩大型古地下采石场在内的上述大型古地下工程洞室群具有如下特点:

(1) 它们都是由古人手工开挖和刻凿而成的大型古地下工程洞室群,而非自然形成的洞穴。

(2) 除尚化山古地下采石场洞室群有多个由古人人工加垒的块石柱外,其余8座大型古地下工程洞室群都无任何外加支护结构。

(3) 它们的始挖年代距今长达几百年,有的甚至上千年。还需指出,虽然龙游凤凰山石窟洞室群的始挖年代未定(有专家将之推到2000年前的西汉,甚至更早的春秋战国时代;但也有专家则持反对意见),但上述黑洞古地下采石场的始采年代已被作者论证为距今约1400年的隋代或更早。

(4) 它们的规模都很大。从跨度角度看,各座大型古地下工程洞室群基本上都有一个或多个单洞的跨度大于或等于20m。其中黑洞大型古地下工程洞室群5号洞的跨度达到80m。这是迄今为止世界上古代和现代地下工程中跨度最大的;从洞室群的分布面积看,多数大型古地下工程洞室群的面积都很大,其中飞凤岩古地下采石场洞洞相连着的分布面积约达30000m²;从洞室群中洞室的数量看,长坞洞天大型古地下采石场洞室群的洞室数量最多,达1314个。

(5) 洞室群的布局 and 空间结构较为复杂。第一,它们或为独立单洞的群聚,或为洞洞相连的庞大群体;第二,洞室内大多预留有一根或多根岩柱,但也有无岩柱的;第三,它们的顶板多采用斜顶、平顶或穹顶等形式的结构;第四,洞室群中部分为多层结构。

(6) 这些大型古地下工程洞室群基本上都是傍水而建,这主要是为了方便运输,包括运送所采的石材。

综上所述,我国的大型古地下工程洞室群具有规模宏大、结构复杂、历史悠久、保存较完整等特点。作者相信,拥有这些特点的我国大型古地下洞室群之所以能维持几百年甚至上千年的稳定,是因为古人运用他们的聪明才智,在漫长的工程实