

东海陆架盆地地质结构及构造演化

刘金水^{1,2} 廖宗廷¹ 贾健谊² 周祖翼¹ 杨娟²
(¹同济大学海洋与地球科学学院,上海 200092)
(²中石化上海海洋石油局,上海 200120)

摘 要 东海陆架盆地发育于东海大陆架之上,是一个复合型沉积盆地。盆地的西侧是浙闽隆褶带,东侧是钓鱼岛岩浆岩带,盆地从西至东呈现为凹-凸-凹的格局,南北差异明显,总体地质构造格架表现为东西分带、南北分块的特征。该盆地存在元古代的变质基底,是浙闽沿海陆区出露的深变质岩系向东的延伸,这套古老的变质岩系组成了陆架盆地的主要基底。盆地在垂向上表现为明显的多层结构。除古生界地质结构尚待证实外,中生界明显为裂谷型二层结构,新生界为三层结构。盆地结构特征受控于特定的构造演化过程。中生代以前不同性质的地体增生和中生代以来太平洋板块的运动方向不断变化以及印度板块作用造成的地壳蠕散是控制盆地形成和构造演化的主要体制,使盆地构造演化表现为多阶段、多种构造体的明显特征。

关键词 地质结构 构造演化 东海陆架盆地

1 引言

东海陆架盆地位于中国东部宽阔的大陆架之上,东西宽约 250-300km,南北长约 1500km,整体呈北北东向带状展布(图 1)。盆地西与浙闽隆褶带相邻,东由钓鱼岛岩浆岩带将其与冲绳海槽盆地分隔,北界为长江口北岸启东嘴至济州岛一线,南界为广东省南澳岛与台湾省鹅銮鼻一线,面积约 26.7 万 km²[1-2]。自 1983 年 4 月上海海洋石油局在东海西湖凹陷钻探的平湖一井首获商业油气流以来[2-3],东海陆架盆地便成为国内地学家的研究热点[2-6],各方面的研究取得了众多成果。但至今为止,盆地的地质结构和构造演化仍然存疑,直接影响到盆地未来的油气勘探,为此,本文综合近年来的研究成果,试对东海陆架盆地的地质结构和构造演化作进一步的讨论。

2 构造格局

地壳结构是影响油气形成、运移和储藏的重要因素,是判断能否形成商业油气藏的关键之一[7]。自 1974 年以来,大量的海洋地质和地球物理研究为揭示东海陆架盆地以及盆地东西两侧的钓鱼岛岩浆岩带和浙闽隆褶带的地壳结构提供了较丰富的信息[8],并逐步形成了对东海陆架区东西分带、南北分块构造格局的认识。

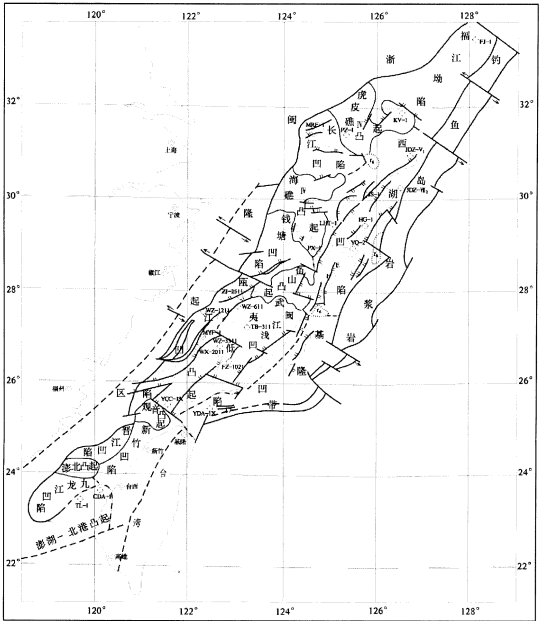


图 1 东海陆架盆地构造区划图

Fig.1 The Location Map of the East China Sea Shelf Basin

2.1 浙闽隆褶带

该隆褶带在海底地形上表现为地势较高。由舟

收稿日期 2003-03-25

第一作者简介 刘金水,男,1965 年生,高级工程师,现从事石油地质研究和地震资料解释工作。

山群岛、虎皮礁、苏岩礁和济州岛等一系列岛屿组成,该隆起带的基底具有两套岩系,一套是以 NEE 走向为主的前震旦纪变质岩系,另一套是以 NNE 走向的中生代碎屑岩和火山岩系。在该隆褶带西南的中国东南大陆也出露了这两套岩系。在东北的海域,这套基底岩系之上还发育有第三系和第四系沉积,但厚度较薄,仅 800 – 1200m^[9]。在磁力异常平面剖面图上表现为高频高幅剧变的磁异常^[10],推测由该带火山岩的高磁异常引起。

2.2 东海陆架盆地

东海陆架盆地位于浙闽隆褶带的东侧,是东海陆架的主要组成部分,也是东海陆架上最主要的油气储藏和生产区。前人推测盆地的基底主要为白垩纪 – 始新世的岛弧岩浆岩^[11],这种认识应该有所变化,下文将作详细论述。盆地的典型特征是沉积了巨厚的第三系、第四系,厚度在 4000 – 9000m 之间,其中西湖凹陷的沉积厚度在 4000 – 8000m 之间,厚度自北向南逐渐增大。地震 P 波速度在第三系和第四系为 1.8 – 4.4km/s,在前第三系中为 4.6 – 5.3km/s^[8],差别较为明显。该区的地磁异常较为平缓,且根据磁异常截然不同的特征,可将该带的磁异常分为南北两部分^[10],其界线大致是分隔冲绳海槽南北部的吐噶啦断裂带向北西方向的延伸。

2.3 钓鱼岛岩浆岩带

钓鱼岛岩浆岩带位于台湾岛以北,是东海陆架的东缘。南起钓鱼岛,向东北延伸过赤尾屿、男女群岛,直达五岛列岛。其基底较复杂,盖层主要由上第三系和第四系组成,其间夹有海底火山喷出物,具有高磁力和高重力异常。其上的第三系、第四系沉积厚度较薄,仅为 600 – 1000m。以宫古断裂带为界,将该带分为南北两段,其中北段缺失早中新统和第三纪晚期的沉积,而南段则缺失上中新统和上新统下部^[12-13]。第三系、第四系的地震 P 波速度为 1.8 – 5.92km/s,以下地层的地震 P 波速度为 5.9 – 6.7km/s,差别也较明显。

3 地层结构

3.1 基底

东海陆架盆地的基底一直存在较大争议,过去许多研究者认为主要是中生代火山岩^[7,11],但近几年的研究已取得突破性进展。八十年代中期,位

于陆架盆地瓯江凹陷的灵峰一井和 WZ6 – 1 – 1 井,揭露了一套厚约 300 多米的黑云母角闪斜长片麻岩,该套变质岩石密度为 2.75g/cm³,其变质年龄为 1806Ma – 1970Ma (Rb – Sr 法),属元古代。与此同时,在东海陆架盆地北部,日本所钻 JDZ – V – 2 井,韩国所钻的 KV – 1 井也钻遇了这套片麻岩。

由于上述变质岩与浙闽地区陈蔡群 (Rb – Sr 年龄 1830Ma) 和闽北建瓯群 (U – Pb 年龄 1822Ma) 相当,同时,重磁特征也与周边地区有较大的相似性。由此可以推测,东海陆架盆地的基底是浙闽沿海陆区出露的深变质岩系向东的延伸,并可能延伸分布至西湖 – 基隆大断裂以西的陆架盆地大部分地区。这套古老的变质岩石组成了陆架盆地的主要基底。

3.2 盖层

过去一般认为东海陆架盆地的盖层主要为第三系 – 第四系,单层结构。但通过研究后认为,东海陆架盆地的盖层包括古生界、中生界和新生界,整体为多层结构。盆地的侏罗系 – 白垩系已被钻井证实,并已证明它们是浙闽沿海大陆同时代地层向海域的延伸部分^[2]。此外,近年来一些研究者通过地质和地球物理综合研究后认为,东海陆架盆地存在古生界,并认为它们可能是油气的主要来源之一^[5-6]。这一认识具重大意义,若古生代地层被证实,它们应该是盆地的第一套盖层。

3.2.1 中生界

迄今为止,已有多口探井揭露了东海陆架盆地存在侏罗系及白垩系,除上海海洋石油局石门潭一井揭露白垩系外,中国海洋石油总公司和外国石油公司的合作井 FZ13 – 2 – 2、FZ10 – 1 – 1 等钻井揭露了侏罗系、白垩系。

从已揭露的情况看,陆架盆地的侏罗系主要由中下侏罗统福州组、上侏罗统厦门组组成;白垩系主要由下白垩统渔山组、上白垩统闽江组、石门潭组组成。两者加起来厚度 2000m,但这只是构造隆起部位的地层厚度,推测在深凹部位,其厚度将有较大的增加。根据新采集的地震资料发现,在东海陆架盆地新生界之下,存在一套厚度约 4000m 的沉积地层 (图 2),是中生界或是古生界,或是由两者共同组成,尚有待于进一步证实。

据钻井及地震资料,侏罗系、白垩系之间为不整合接触关系,并初步证实中生代为裂谷型盆地类型。因此,东海陆架盆地的中生界也是多层结构,这一认

识为今后探索中生界的含油气性奠定了基础。

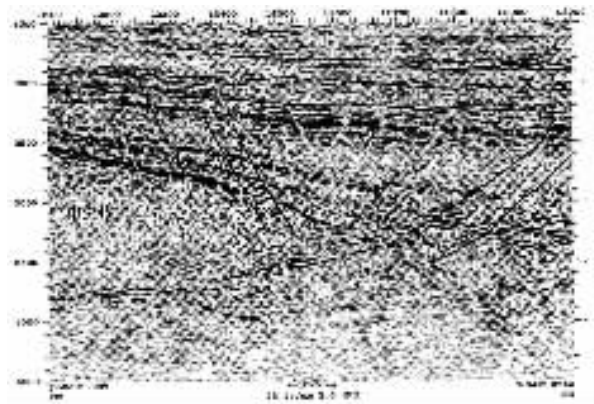


图 2 海礁凸起中生代

Fig.2 The Mesozoic Stratum in the Yushan Rise

3.2.2 第三系 – 第四系

东海陆架盆地第三系 – 第四系具有三个主要结构层：即古新世 – 始新世裂谷期结构层、渐新世 – 中新世反转期结构层和上新世 – 第四纪沉降期结构层。

(1) 古新统 – 始新统：在瓯江凹陷、长江凹陷钻井揭露了古新统，瓯江凹陷自下而上为石门潭组上段、灵峰组、明月峰组；长江凹陷为长江组（与瓯江凹陷灵峰组时代相当）、美人峰组（与瓯江凹陷明月峰组时代相当）。

通过西部凹陷带瓯江凹陷的灵峰一井、石门潭一井、明月峰一井，长江凹陷的美人峰一井的钻探，初步查明了古新统为一套“南海北陆”的碎屑岩沉积建造。东部凹陷带钻井尚未钻遇古新统。

在瓯江凹陷、长江凹陷及西湖凹陷揭露了始新统，并将其命名为瓯江组、宝石组和平湖组。进入始新世后，东海陆架盆地东西两个凹陷带的演化出现了明显的差异，西部凹陷带演化为反转期，主要发育下、中始新统，而缺失中、上始新统；此时，东部凹陷带还处在裂谷发育的鼎盛时期，钻井揭露的主要是中、上始新统。

东部凹陷带的始新统，其展布特征从西往东呈一大型“匙状”结构。西湖凹陷的保俶斜坡、基隆凹陷的安平斜坡为构造、沉积枢纽带，该带以西由于区域抬升，呈向东微倾的单斜地层；该带以东则为始新统沉积中心，仍以裂谷为主，始新统最厚逾 5000m，位于基隆凹陷中北部。中部凸起带北部的海礁、虎

皮礁凸起缺失始新统，中部凸起带南部的武夷低凸起及西部凹陷带缺失始新统宝石组和平湖组。

(2) 渐新统 – 中新统：渐新统花港组由两个沉积旋回组成，可划分为上下两个岩性段，其下段为灰、深灰色泥岩与浅灰、灰白色细砂岩、粉砂岩互层，夹煤层，底部块状中砂岩、含砾砂岩。上段为深灰、绿灰、棕红色泥岩与浅灰、灰白色粉砂岩、细砂岩不等厚互层夹煤层。主要含孢粉化石，并含有少量有孔虫和介形虫化石。

渐新世时东海陆架盆地东部凹陷带也进入了反转期，随着西部凹陷带的继续抬升及海平面的下降，渐新统的沉积局限在东部凹陷带，并逐渐超覆于中部凸起带东侧斜坡，渐新统的沉积中心主要沿着钓鱼岛岩浆带西侧的凹陷带展布，最大沉积中心位于基隆凹陷中北部，最大沉积厚度超过 3000m，渐新统以陆相沉积为主夹有海侵层，在东部凹陷带深凹部位呈串珠状分布着湖泊群，围区为河流沉积环境。

中新统包括龙井组、玉泉组和柳浪组。是新生代陆架盆地反转期的重要组成部分，其构造变动主要发生在东部凹陷带。以陆相沉积为主，但在盆地的南部为海相或海陆过渡相沉积环境，在研究程度较高的西湖凹陷见有海侵层。沉积厚度从西往东逐渐加厚，其沉积中心位于西湖凹陷北部和基隆凹陷中部。

中新世时西部凹陷带、中部凸起带基本为一向东微倾的大斜坡，其枢纽带位于中部凸起带与东部凹陷带的过渡区，往东地层逐渐增厚，构造变动加剧。龙井组、玉泉组，特别是柳浪组沉积后发生了反转挤压运动，致使中新统在西湖凹陷、新竹凹陷发生了强烈褶皱，伴有逆断层活动，并导致一些地区的柳浪组遭受剥蚀。而福江坳（凹）陷、基隆凹陷褶皱作用不明显。

(3) 上新统至第四系：上新统三潭组不整合于中新统之上，分布广泛，变形很小。岩性下部为灰白色砂砾岩、砂砾，上部为灰色泥岩与粉、细砂岩互层。含孢粉和有孔虫化石。第四系岩性主要为浅灰、灰色粘土与粉砂层、细砂层互层，局部为生物介壳层。发现有大量的钙质超微和有孔虫化石。

上新统至第四系，不整合于中新统之上，分布广泛，变形很小，局部构造稀少。由于东海陆架盆地东临的冲绳海槽盆地的持续扩张，太平洋板块俯冲带向大洋方向迁移，东海陆架盆地进入了区域沉降阶

段,在东部凹陷带东侧,特别是东部凹陷带诸凹陷的脊部能见到一些构造活动的迹象。

该时期主要受冲绳海槽运动的影响,在鱼山凸起、基隆凹陷南部见有岩浆活动,特别在一些靠近活动的北西向断裂处岩浆活动尤甚。在中部凸起带边缘及钓鱼岛岩浆岩带西侧见有断裂活动的迹象。

4 盆地构造演化

东海陆架盆地是位于欧亚板块中国部分东缘的复合盆地,由于不同阶段受不同构造机制的制约,因而其构造演化明显表现出阶段性特征。

4.1 晚古生代—中生代构造演化

晚古生代—中生代,东海陆架盆地主要作为中国板块东南沿海构造带的组成部分而演化,该时期这一构造带的演化可分为以下几个主要阶段^[14]。

(1)晚古生代的拼贴阶段 主要表现为不同来源和不同性质地体的拼合与增生^[15]。它们控制了这一时代的沉积作用与构造演化。

(2)侏罗纪剪切阶段 表现为沿具左旋平移性质的 NNE 向断裂发生巨大的剪切作用。这一作用除造成较大规模的变形和变质作用外,还造成大规模“泄漏”火山岩的形成。

(3)早白垩世俯冲阶段:根据有关研究成果^[16-17],从早白垩世开始,我国东南沿海东侧(大致沿现代海域 40—50 米等深线)发生向西方向的俯冲,造成该地域强烈的构造形变、岩浆活动和变质作用,在此背景下,火山作用进一步加强。

(4)中白垩世改造阶段:由于受库拉/太平洋板块向中国板块斜向俯冲的影响,东海陆架区发生了一次十分重要的区域性构造事件(基隆运动)。这次构造事件使东海陆架区中的古老地层进一步褶皱固结,并由此奠定了该区新生代沉积盆地基底的基本格架。

4.2 新生代的盆地构造演化

东海陆架盆地新生代的构造演化也明显表现出阶段性特征。根据建造和改造特征,可分为下列几个构造演化阶段^[18]。

(1)古新世—始新世 由于太平洋板块的运动方向由 NWW 转向 NNW,造成整个东海陆架区处于剪切拉张应力状态,并分别发生了两次与盆地断陷型结构形成直接相关联的区域性构造事件(雁荡运动

和瓯江运动)。这个时期是陆架盆地中各个断陷的主要形成期。

(2)晚始新世 这一时期太平洋板块的运动方向又由 NNW 转为 NWW,同时菲律宾板块也开始向 NWW 方向运动,并斜向俯冲于欧亚板块之下。同时,由于受印度板块的影响,欧亚板块东部的大陆地壳向东蠕散。在上述几方面构造应力的联合作用下,东海陆架区发生了以剪切挤压作用为主的构造事件(玉泉运动)。该事件形成了以钓鱼岛隆起为代表的褶皱隆升,在东海陆架盆地中形成大量压扭型雁行排列的褶皱雏形。玉泉运动后整个盆地处于应力场相对松弛阶段,接受了相当大厚度的渐新统沉积。

(3)早中新世 菲律宾板块的运动方向由 NWW 转向 NNW,受其影响,本区发生龙井运动一、二幕,整个东海陆架盆地再次受剪切拉分作用控制,盆地的断陷结构转为拗陷结构,开始接受巨厚的中新世沉积。

(4)中新世末—上新世初 由于菲律宾板块的运动方向又由 NNW 转向 NWW 的影响,整个东海陆架区挤压抬升(龙井运动四幕),地层遭受强烈剥蚀,并形成广泛的区域不整合,压扭性雁行排列的褶皱构造基本定型。龙井运动后整个陆架盆地再次处于应力松弛阶段。

(5)上新世—现在 由于受印度板块强烈作用的影响,喜马拉雅山快速上升,欧亚板块东部大陆地壳也加速向东蠕散,整个东海陆架区处于整体拉张下沉状态,由此接受了水平沉积的上新统—第四系。这一阶段,可能受菲律宾板块的影响,整个东海陆架区发生了一次区域性的冲绳运动,但这次运动没有造成对陆架盆地构造格局的明显影响。

5 结论

基于上述研究,本文有下列结论性认识:

(1)发育于东海大陆架之上的东海陆架盆地是一个复合型沉积盆地。其地质结构在横向上表现为东西分带、南北分块地质结构特征 纵向上则主要为多层结构。除明显表现出一般盆地的古老基底和盖层双层结构外,其盆地的主要组成盖层也明显表现为多层结构特征,除古生界结构尚待证实外,中生界明显为裂谷型二层结构,新生界为明显的三层结构。

(2) 由于盆地不同阶段受不同构造机制控制,因此,盆地的构造演化也表现为明显的阶段性特征。中生代以前(特提斯洋板块)不同性质的地体增生和中生代以来太平洋板块的运动方向不断变化以及印度板块作用造成的中国东部大陆地壳蠕散是控制盆地形成和构造演化的主要机制。

参考文献

- [1] 刘光鼎,中国海区及邻域地质—地球物理系列图说明书^[M],北京:地质出版社,1994。
- [2] 周志武、赵金海、殷培龄,东海地质构造特征及含油气性^[A],朱夏、徐汪主编,中国新生代沉积盆地,北京:石油工业出版社,1990,226—242。
- [3] 上海海洋地质调查志编委会,上海海洋地质调查志^[M],上海:上海社会科学院出版社,1998。
- [4] WANG - G - M、COWARD, M. P.、YUAN, W. LIU, Fold growth during basins inversion - example form East China Sea basin^[A], In : Bachannan J. G. (eds), Basin Inversion, Geological Society Special Publication, 1995, (88), 493 - 552.
- [5] 李维贤,东海陆架多旋回复合盆地的油气远景^[J],石油实验地质,2001,23(2)。
- [6] 吕炳全、王红罡、李维贤等,东海陆架盆地油气勘探的新领域^[J],古地理学报,2002,4(2),88 - 97。
- [7] 姜丽丽、刘福田,东海及邻区地球动力学研究进展^[J],海洋地质与第四纪地质,2000,20(3)。
- [8] 赵金海、贾健谊、马惠福,东海新生代盆地找油气的几点认识^[J],海洋石油,1999,(3),1 - 7。
- [9] 金翔龙、陶普之,黄东海地质^[M],北京:科学出版社。
- [10] 刘光鼎,中国海区及邻域地质地球物理特征^[M]北京:科学出版社,1992。
- [11] 周志武、赵金海、殷培龄,东海地质构造特征及含油气性^[A],朱夏、徐旺编,中国新生代沉积盆地,北京:石油工业出版社,1990,226 - 242。
- [12] 陈琳琳、王文强,东海陆架盆地西湖凹陷深层烃源岩探讨^[J],海洋石油,1999,2,1 - 8。
- [13] 陶普之、李乃胜,东海地壳热流^[M];青岛:青岛出版社,1992。
- [14] 周祖翼,福建晚古生代 - 中生代大陆边缘构造演化^[D],同济大学博士学位论文,1989。
- [15] 陈焕疆、廖宗廷,江绍 - 武夷 - 云开古生代地体碰撞构造带^[A],郭令智主编,现代地球科学进展,南京:南京大学出版社,1993。
- [16] Karig, D. E. Origin and development of marginal basins in the western Pacific^[J], J. Geophys. Res., 1971, 76, 2542 - 2561.
- [17] Otsuki, K., Plate tectonics of eastern Eurasia in the light of fault systems^[J], Science Reports of the Tohoku University, 1985, 55(2), 69 - 74.
- [18] 贾健谊,东海西湖凹陷盆地分析与油气资源评价^[D],同济大学硕士论文,1994。

The Geological Structure and Tectonic Evolution of the East China Sea Shelf Basin

Liu - Jinshui^{1,2} Liao - Zongting¹ Jia - Jianyi²

(¹ School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092)

(² Shanghai Offshore Petroleum Bureau, CNSPC, Shanghai 200120, China)

Abstract The East China Sea shelf basin, as a composite sedimentary basin, is occurred on the East China Sea shelf. On the west of basin is Min - Zhe upfold, while Diao - yudao magmatic rock belt on the left. The basin shows a concave - convex - concave pattern from west to east. The differences between the south and north are obvious. The total geological structure characterized to be belted from east to west and blocked from south to north. The metamorphic basement of Proterozoic Era existed in this basin, and was believed to be the eastern prolongation of the deep - metamorphic rock systems which occurred along the coastland of Min - Zhe area. The main basement of the shelf basin was consisted of this ancient metamorphic rock system. The vertical section shows and obvious multiple - layer structure. The Mesozoic Erathem shows an obvious rift - valley two - layer structure, while the Cenozoic Erathem shows a three - layer structure. But the geological structure of the Palaeozoic Erathem was still not certified. The characterize of the basin structure was enslaved to the process of the tec-

tonic evolution. The accretions of the terranes of the different properties before dMesozoic Era, the change of the drift direction of the Pacific Ocean plate and the lithosphere's creep deformation conducted by the India plate ater Mesozoic Era contributed to the formation of the basin and the tectonic evolution, thus characterized the tectonic evolution of the basin as multiple - phase and complex - structure terranes.

Key words geological structure, tectonic evolution, East China Sea shelf basin

知 识 窗

饮水与健康

牛晓英

人天天都在喝水,但是为什么要喝水,许多人却知之甚少。

水是构成一切生物体的基本成分。不论是动物还是植物,均以水维持最基本的生命活动。人可数天无食,不可一天无水,所以,水是生命之源泉,水也是人类最必需的营养素之一。人的体重约 50% ~ 70% 是水分。含水量随年龄、性别及身体状况的不同而异。脑组织大约含 85% 的水,血液大约含有 90% 的水,水是人体细胞和体液的主要组分。体内的水分主要与蛋白质、脂类或碳水化合物相结合,形成胶体状态。人体总水量中约 50% 是细胞内液,其余 50% 为细胞外液包括细胞间液、血浆,维持着身体内环境水和电解质的平衡。水是吸收营养、输送营养物质的介质,又是排泄废物的载体,人通过水在体内的循环完成着新陈代谢过程。在这个过程中水还具有人体散热、调节体温、润滑关节和各内脏器官等作用,它对人类生命至关重要,如果失水达 10% ~ 20%,就会危及生命。所以说,水是生命的源泉是一点也不过分的。

水既然对人类这么重要,那么人们每天所摄取水的质量就是至关重要的问题,它直接关系到人的健康。古今中外都有大量的记载,不论是“长寿村”、还有一些地区发生的地方病,原因都与当地的饮水有关,好水带来了健康,污染水带来了疾病。因此,饮用对人体健康不仅无害而且有益的健康水是当今人们迫切的需求。

近半个世纪以来饮用水的质量引起了大量中外专家的关注,世界各国的科学家通过大量的调查、统计、研究、分析,对健康水应具备的条件已达成了共识,主要有以下几点:

1、没有污染,不含有害物质,卫生、安全。

2、含有人体必需的矿物质和微量元素,富有营养。

3、要有一定硬度。所谓硬度,就是指水中钙、镁等盐类的总量。钙、镁在水中是以离子状态存在的,非常易于被人体吸收,能起到很好的补钙作用,水垢就是加热后流失的钙镁。专家们认为,水中一定要有钙、镁离子,它们被医学家称之为人体的保护元素,能抵抗其他有害元素的侵袭。不要喝软水。

4、水的 PH 值 > 7.0,中偏弱碱性为好。因为人的体液呈偏碱性的,若长期处于酸性体质,人就会生病。

我们提醒读者在选择饮水时一定要把握以上几条标准,饮用无污染的、有一定硬度的、矿物质、微量元素含量较多的中性偏弱碱性的水,即健康水。现在市面上的桶装水五花八门,品种繁多,其中饮用天然矿泉水就是这样的健康水,而纯净水、蒸馏水则不宜多喝,它只具备了 1 个条件,即无污染,其他三项皆不具备。“饮用天然矿泉水”才是饮用水中的上品。

上海志留纪、奥陶纪地层新发现化石及其地层意义

许保桐

(上海市地质调查研究院)

徐明德

(安徽省淮南矿务局)

摘 要 在开展上海岩石地层清理工作中,对以往留存地层断代疑点的地层补做了采样、分析鉴定工作。在志留纪、奥陶纪地层中发现孢粉、牙形刺及腹足类化石,对所属地层时代的厘定起了关键作用。

关键词 地层 化石 时代

1 于五十年代末期,为在上海地区开展普查找矿,曾在原崇明县西北部庙镇钻有一口深孔(即崇明庙镇崇西中学孔),孔深 1038.88 米,钻遇基岩厚度达 589.30 米。在当时亦极为稀罕。据记载,其主要岩性为:上部紫红、灰黑色的石英砂岩夹薄层砂质页岩,在砂岩中可见有泥砾;中~下部为灰褐色、灰色为主夹灰绿色的泥质砂岩与粉砂质泥岩互层(已无岩心实物)。此后,经重力普查证实该处为一重力异常高值区。

按其地层岩性和重力场特征,经区域对比,在 1985 年编著本市区域地质志中笔者将其厘定为志留系(未分)处理(其分布范围见插图 1)而引起不同争议。

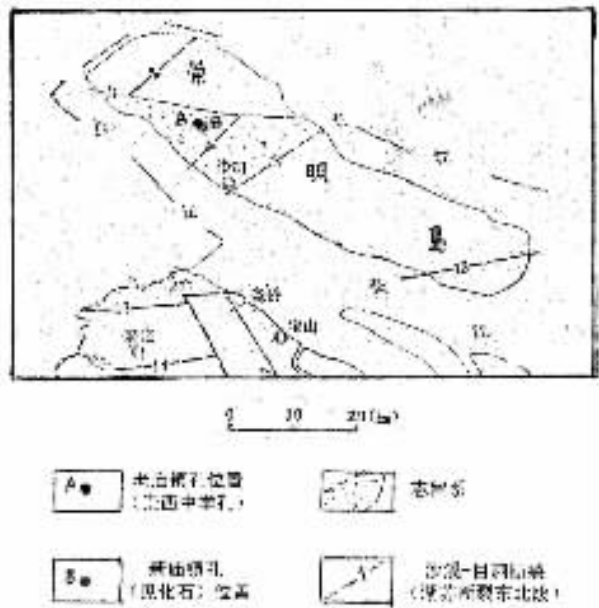


图 1 上海地区志留系分布图

Fig.1 The distribution of Silurian system in Shanghai area

资源与环境地质综合研究》,在原庙镇孔(崇西中学孔)附近布置一口深孔,目的之一是补取基岩岩心,进行鉴定分析,以消除长期留存的疑题。

新庙镇孔位于崇明县庙镇乡中心幼儿园旁(距原庙镇孔约 500m 左右)。终孔深度为 420.40m。采样后经南京古生物研究所分析鉴定,发现有较丰富的孢粉化石。

现将该钻孔地层剖面整理后,简介如下:

新庙镇孔地层剖面

上覆地层 新近系上新统砂、粘土疏松层

~~~~~ 不整合 ~~~~~

康山组( $S_{1k}$ ) 厚度 > 40.5m※

7. 风化层(紫红色石英砂岩) 14.1m

6. 浅褐色细粒岩屑石英杂砂岩。以细粒为主,成分为石英占 60%,另泥质变质岩岩屑较多,受轻微绢云母化 9.8m

5. 褐灰色纹层状岩屑石英杂砂岩 3.0m

4. 浅灰色层纹状泥质粉砂岩。泥质粉砂岩与泥岩、粉砂质泥

岩呈纹层状互层,液化流动构造发育,含孢粉 *Leiosphaeridia* sp., *Synsphaeridium* sp., *Dactylofusa cabottii*, *Nodospora* sp., *Tetrahedraletes* sp. (见图版 I) 3.3m

3. 灰白色含粉砂质泥质细晶白云岩。局部夹富细砂的砂层,呈斑块状分布,似生物潜穴充填(含

收稿日期 2003-05-09

第一作者简介:许保桐,男,1937 年生,高级工程师,上海市地质调查研究院,长期从事上海地区基础地质研究。

*Dactylofusa Cabottii*, *Nodospora* sp., *Leiosphaeridia* sp.  
(见图版 I) 1.5m

2. 灰黑色细粒岩屑石英杂砂岩。同 6 层, 唯轻微变质, 含 *Dactylofusa Cabottii* (见图版 I) 4.2m

1. 深灰色细粒岩屑石英杂砂岩。基本同上 (未见底) > 4.6m

1.2 上述钻孔地层内出现众多孢粉化石, 属国内外已知早志留世常有的典型孢粉型化石, 如卡博特指棱藻 *Dactylofusa Cabottii*, 节球孢 *Nodospora* sp., 以及四胞体 *Tetrahedraletes* sp. 等, 这众多孢粉化石发现, 亦证实崇明庙镇一带为志留纪地层。

依据钻孔地层岩性特征以及所含孢粉化石, 经区域对比, 与浙西的康山组一致 (新庙镇孔地层剖面) 而原庙镇孔 (即崇西中学孔) 地层剖面中康山组之下一套地层与河沥溪组相一致, 因此这也为本区新增二个岩石地层单位。

2 1986 年出版上海市区域地质志所附基岩地质图中显示, 本区南部奉贤塘外 奉新圈划为一隐伏灰岩体, 其时代厘定为上寒武世 (Є3) (见插图 2)。

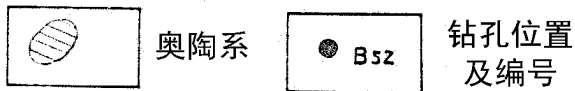
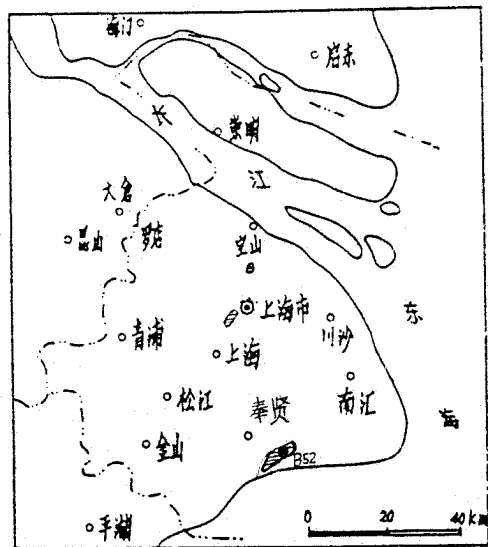


图 2 上海地区奥陶系分布图

Fig.2 The distribution of Ordovician system in Shanghai area

该灰岩体所在区其重力探测为一重力高值带。北面受钱桥断裂控制, 西侧紧靠庄行构造火山盆地。

于八十年代末开展金山卫 ~ 漕泾 ~ 星火地区规划阶段供水水文地质勘察, 钻凿了 B51 ~ B55 等勘探孔, 作者在查阅钻孔薄片鉴定资料过程中, 注意到其中 B52 孔 194.0m 样品的岩矿鉴定描述。描述中提到该岩样内含有 70% 的生物碎屑, 并附有放大的镜下鉴定照片, 其生物骨屑形态极为清晰, 这一信息引起作者重视, 因而特地保留该样品实物。并于近期送南京古生物研究所分析鉴定。分析结果出乎意外, 发现了较为丰富牙形刺、腹足类化石, 经对比确定其时代为早奥陶世。这又一次证实了本区南部塘外 ~ 奉新灰岩体的地质时代当属早奥陶世, 与浙西杭州地层小区早奥陶世地层相对比完全一致。

上述牙形刺化石的发现, 为上海地区南部隐伏灰岩体的时代厘定提供了可靠依据。

2.1 现将奉贤县奉新乡星火交管站 B52 孔, 钻孔地层及化石层位简介如下:

上覆地层 新近系疏松砂、粘土

~~~~~ 不整合 ~~~~~

牯牛潭组 (O1 ~ 2g) 厚度 > 25.9m※

10. 紫红色含碎屑微晶 (泥晶) 灰岩。见有次生硅质岩, 角砾状构造。顶部为风化破碎带 14.3m

9. 紫红色微晶生物碎屑灰岩与灰色微晶灰岩互层。见脉状 (或条带状) 硅质岩穿插, 含牙形刺:

Periodon aculeatus Hadding, *Protopanderodus rectus* (见图版 II)。

(*Lindstrom*), *Walliserodus ethingtoni* (*Fahraeus*); 腹足类:

Umbonellina cf. *Inflata* Yu, *Maclurites* sp., *Sinu-ites* sp., *Raphispira* sp., *Liospira* sp. (见图版 III)。

以及海百合茎、介形虫等化石碎片 11.6m

~~~~~ 整合 ~~~~~

红花园组 (O<sub>1h</sub>) 厚度 50.2m

8. 灰色及灰黑色粉晶团块灰岩。层内见有少量生物骨屑, 且已白云石化 8.9m

7. 紫红色与兰灰色含泥灰岩与微晶灰岩互层。二者呈互层状出现 4.7m

6. 兰灰色微晶灰岩。局部角砾状构造, 裂隙极为发育 12.7m

5. 灰色与灰白色微晶灰岩。层内夹有泥质微晶

※ 以下厚度均为视厚度



灰岩薄层,其中灰白色为含泥质页片状夹层,但不稳定,时而尖灭消失 4.2m

4. 青灰色、灰黑色微晶灰岩。其间夹有含泥炭质云灰岩薄层 19.7m

~~~~~整合~~~~~

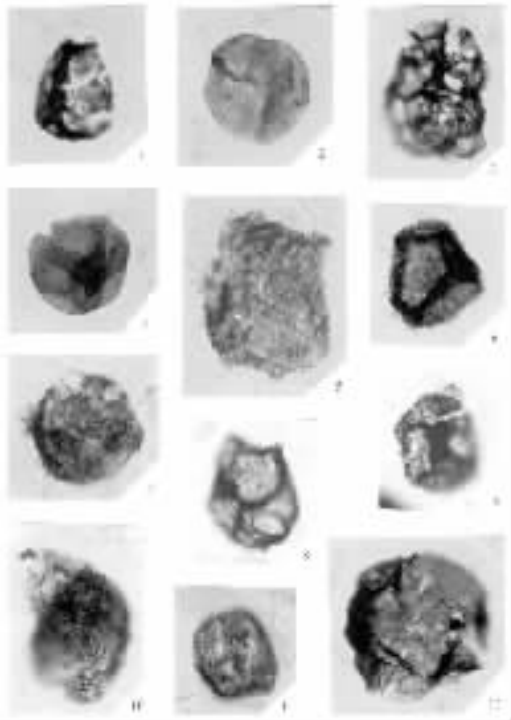
- 仑山组(O₁l) 厚度 > 102.8m
- 3. 灰紫色白云质灰岩(云灰岩) 21.8m
 - 2. 灰色含灰质白云岩 35.0m
 - 1. 灰色含灰质细晶白云岩(未见底)。 > 46.0m

2.2 以上钻孔地层中所发现的牙形刺 *Periodon aculeatus* Hadding 刺状围刺, *Protopanderodus rectus* (Lindstrom) 直原潘德尔刺以及 *Walliserodus ethingtoni* (Fahraeus) 埃氏瓦利塞刺,此动物群常见于国内中奥陶世晚期牯牛潭期,属北大西洋型的冷水、广海盆地,开阔台地或斜坡相的动物群。

此外尚见有腹足类 *Umbonellina* cf. *Inflata* Yu 膨胀似昌螺(比较种), *Maclurites* sp. 马氏螺(未定种), *Sinuities* sp. 缺凹螺(未定种), *Raphispira* sp. 脊旋螺(未定种)以及 *Liospira* sp. 滑旋螺(未定种)等。

以上含化石地层时代应为中奥陶世。
根据地层岩性特征以及所含化石与浙西余杭市留下荆山岭、闲林埠一带牯牛潭组相对比一致。

图版 I



图版 I 说明

- 1,6,8 节球孢(未定种) *Nodospora* sp.
 - 1. x 665(孔深 410.17m); 6. x 665(孔深 407.05m); 8. x 665(孔深 407.05m) 崇明县新庙镇孔。
- 2. ,12 光面球藻(未定种) *Leiosphaeridia* sp
 - 2. x 665(孔深 410.17m); 12. x 665(孔深 407.05m) 崇明县新庙镇孔。
- 3. 连球藻(未定种)? *Synsphaeridium* sp
 - 3. x 665(孔深 407.05m) 崇明县新庙镇孔。
- 4. 四胞体(未定种) *Tetrahedraletes* sp
 - 4. x 665(孔深 407.05m) 崇明县新庙镇孔。
- 5,9,10,11 卡博特指棱藻 *Dactylofusa* Cabottii
 - 5. x 665(孔深 410.17m); 9,10,11. x 665(孔深 407.05m) 崇明县新庙镇孔。
- 7. 网面球藻(未定种) *Dictyotidium* sp
 - 崇明县新庙镇孔。

图版 II



图版 II 说明

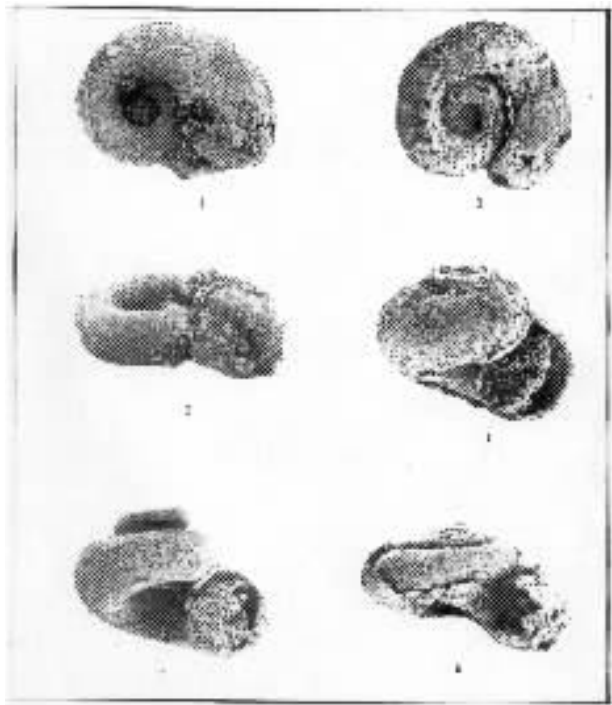
- 1, 2 *Walliserodus ethingtoni* (Fahraeus)
 - 侧视, x 100, x 100(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔
- 3,14 *Protopanderodus rectus* (Lindstrom)
 - 侧视 x 66, x 66(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔
- 4 ~ 13 *Periodon aculeatus* Hadding
 - 4,6,7,9 multiramiform 分子之侧视, x 60, x 60, x 80, x 60(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔
 - 5,10 prioniodiform 分子之侧视, x 66, x 80(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔

8,11,12,13 falodiform 分子之侧视

x 66, x100, x100, x120, (孔深 171.58m)

奉贤县奉新乡 B52 孔。

图版 III



图版 III 说明

1,2 马氏螺(未定种) *Maclurites* sp.

1,2. 底视, 口视, x 100(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔

3 缺凹螺(未定种) *Sinuites* sp.

3. 顶视, x 60(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔

4 膨胀似昌螺(比较种) *Umbonellina* cf. *Inflata* Yu

4 口视, x 80(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔

5 脊旋螺(未定种) *Raphispira* sp.

5. 口视, x 87(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔

6 滑旋螺(未定种) *Liospira* sp.

6. 口视, x 57(孔深 171.58m), 奉贤县奉新乡 B52 孔

3 结论

上述本区所新发现化石,无疑是上海地区基础地质研究的一个新的进展,其重要意义在于,它不但修正了以往对该隐伏地质体时代确定,同时对本区的志留系、奥陶系划分和对比提供了坚实可靠的依据。最为重要的是它充分反映了本区下古生代地层沉积环境与浙西的一致,同属扬子—江南过渡型沉积区范畴。

参考文献

- [1] 上海地质矿产局,1986,上海市区域地质志.地质出版社.
- [2] 浙江省地质矿产局,1989,浙江省区域地质志.地质出版社.
- [3] 浙江省地质矿产局,1996,浙江省岩石地层.中国地质大学出版社.
- [4] 江苏省地质矿产局,1997,江苏省岩石地层.中国地质大学出版社.

New Fossils in Shanghai Silurian & Ordovician Period and Their Stratigraphic Significance

Xu Baotong

(Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai)

Xu Mingde

(Huainan Mineral Resources Bureau of Anhui Province)

Abstract While checking up Shanghai litho - stratigraphic documents, additional sampling, analyzing and identifying work have been done for former doubtful points of stratum dating. Sporopollen, conodontophorida and gasteropod fossils have been found in the strata of the silurian & Ordovician period, all these have play an important role in identifying the time of these strata.

Key word stratum fossil time

地下水中砷元素的形成及其控制因素

曾昭华 张志良

(江西省国土资源厅环境地质研究所, 江西南昌 330012)

摘 要 研究了长江中下游地区和吉林省地区地下水中砷元素形成的主要控制因素及其分布规律。结果表明, 地下水中砷主要以 H_3AsO_3 、 H_2AsO_4^- 、 $\text{HA}_3\text{O}_4^{2-}$ 等形式存在。它的形成和分布与含水介质及其上覆土层中的砷含量、地下水的酸碱度、地下水的迳流条件、氧化还原环境、有机物质及铁锰等有密切的关系。

关键词 地下水 砷元素 形成 控制因素 分布规律

1 前言

砷及其化合物对体内酶蛋白的巯基具有特殊的亲和力, 特别与丙酮酸氧化酶的巯基结合, 成为丙酮酸氧化酶与砷的复合物, 使酶失去活性, 影响细胞正常代谢, 导致细胞的死亡。砷进入血液循环后, 直接作用于毛细血管壁, 使其通透性增强, 麻痹毛细血管, 造成组织营养障碍, 产生急性和慢性中毒^[1]。尽管如此, 但砷也有生血^[2]和杀菌作用。只要不过量的进入人体和避免在人体内蓄积, 长期饮用微量的砷 ($2 \sim 5 \mu\text{g}/\text{L}$), 可能对人体健康有益^[3], 尤其是在抑制肺癌^[4]、大肠癌^[5]、白血病^[6]、乳腺癌^[7]的发生和发展有一定的作用。河南省郑县温泉和吉林省敦化玉泉等, 除含偏硅酸外, 还含有微量的偏砷酸, 长期饮用此矿泉水者, 有健康长寿和防止地方病发生的功效^[8]。我国饮用水卫生标准 (GB5749-85) 和地下水质量标准^[9] (GB14848-93) 以及饮用天然矿泉水标准^[10] (GB8537-87) 均规定, 饮用水的砷含量不超过 $40 \sim 50 \mu\text{g}/\text{L}$ 。

人体摄入的砷主要来源于饮用水和食物中, 一般饮用水中的砷比食物中的砷易被人体吸收, 而地下水是饮水的重要水源, 因此, 研究地下水砷形成的控制因素及其分布规律具有重要的现实意义。

2 地下水砷形成的控制因素

地下水砷的形成及其迁移、富集主要与含水介质及其上覆土层中的砷含量, 地下水的酸碱度与迳流条件、氧化还原环境、有机物质和铁锰以及地下水的化学类型等有密切关系。

2.1 地下水的含水介质性质

含水介质的岩性和化学性质是控制地下水砷形成的基本条件, 也是主要条件。根据长江中下游地区和吉林省地区的研究结果表明, 地下水的砷含量与含水介质及其上覆岩土的砷以及铁锰物质含量有密切的关系。^[11、12]而地下水砷含量随岩土中的砷及铁锰物质含量的增高而增高见表 1。

长江三角洲南部区的沿江地带的含水介质中含有较多的铁锰结核, 其矿物组成为菱铁矿、褐铁矿等, 而这些铁矿中伴有砷共生。在还原环境中, 使砷能转入地下水中, 从而形成 As 的高含量。

2.2 地下水的酸碱度

酸碱度对地下水砷的迁移富集起着重要的作用^[13]。一般地下水砷含量随 PH 值的增大 (碱性的增强) 而增高 (表 2、表 3)。

2.3 地下水迳流条件

地下水的迳流条件也是影响 As 的迁移富集的一个重要因素。地下水迳流条件的好坏与地形地貌条件密切相关, 山区地形坡度大, 地下水迳流条件好, 水中的 As 易流失而贫乏。平原区地形坡度小, 地下水迳流条件差, 水中的 As 易富集, 所以地下水的 As 含量, 山区较低, 而平原区较高见表 4。

江汉平原东部区的 3 单元和鄱阳湖区的 3 单元均属弱碱性, 有利于 As 的富集, 但由于地下水的迳流条件极好, As 易于流失, 故地下水中的 As 含量低,

收稿日期 2003-04-24

第一作者简介: 曾昭华, 1934 年生, 男, 教授级高级工程师, 长期从事水工环地质、医疗地质、农业地质研究。

表 1 地下水与岩土砷含量的关系

Table1 The relationship between of As content in groundwater and rocks sosils

| 地
区 | | 单元代号 | 样品数(个) | 含水层岩性 | 氧化还原环境 | 地下水
迳流条件 | PH
值 | As 含量 | | |
|---------|----------|------|--------|--------------------|--------|-------------|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | | | | | | 岩石
($\times 10^{-6}$) | 土层
($\times 10^{-6}$) | 地下水
($\mu\text{g/L}$) |
| 长江中下游地区 | 江汉平原东部区 | 1 | 32 | 粉细砂、砂砾石(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 7.30 | | 13.70 | 19.480 |
| | | 2 | 20 | 砂、砂砾石 | 过渡环境 | 较好 | 7.04 | | 13.70 | 1.280 |
| | | 3 | 13 | 碳酸盐岩 | 氧化环境 | 极好 | 7.40 | | | 0.650 |
| | | 4 | 6 | 碎屑岩 | 氧化环境 | 好 | 7.50 | | | 1.155 |
| | | 5 | 8 | 粘土砾石层 | 过渡环境 | 差 | 7.30 | | 13.70 | 1.120 |
| | 鄱阳湖区 | 1 | 18 | 粉细砂、砂砾石(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 6.08 | | 12.56 | 0.851 |
| | | 2 | 37 | 砂、砂砾石 | 过渡环境 | 较好 | 6.21 | | 12.56 | 0.675 |
| | | 3 | 20 | 碳酸盐岩 | 氧化环境 | 极好 | 7.52 | 11.85 | | 0.695 |
| | | 4 | 15 | 红色碎屑岩 | 过渡环境 | 较好 | 6.11 | 7.58 | | 0.650 |
| | | 5 | 17 | 碎屑岩 | 氧化环境 | 好 | 6.47 | 8.18 | | 0.548 |
| | | 6 | 20 | 变质岩 | 氧化环境 | 好 | 6.14 | 8.47 | | 0.759 |
| | | 7 | 15 | 岩浆岩 | 氧化环境 | 好 | 6.19 | 1068 | | 0.791 |
| | 长江三角洲南部区 | 1 | 24 | 中粗砂、粉细砂(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 7.40 | | 10~40 | 11.900 |
| | | 2 | 17 | 中细砂、粉细砂(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 7.80 | | 10~40 | 21.225 |
| | | 3 | 46 | 砂、中细砂、砂砾石
(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 7.40 | | 10~40 | 14.450 |
| | | 4 | 12 | 砂、中细砂、粉砂(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 7.40 | | 10~40 | 2.685 |
| | | 5 | 51 | 砂、砂砾石(含淤泥) | 还原环境 | 差 | 7.50 | | 10~40 | 5.360 |
| 吉林省地区 | | 1 | 4 | 碱性熔岩 | 氧化环境 | 极好 | 7.15 | | | 0.170 |
| | | 2 | 17 | 玄武岩 | 氧化环境 | 好~极好 | 7.19 | | | 0.530 |
| | | 3 | 34 | 碳酸盐岩 | 氧化环境 | 好~极好 | 7.32 | | | 0.405 |
| | | 4 | 59 | 变质岩 | 氧化环境 | 好~极好 | 6.94 | | | 0.363 |
| | | 5 | 30 | 花岗岩 | 氧化环境 | 好~极好 | 6.81 | | | 0.350 |
| | | 6 | 72 | 花岗岩 | 氧化环境 | 较好~好 | 6.49 | | | 0.255 |
| | | 7 | 24 | 碎屑岩 | 氧化环境 | 较好~好 | 6.95 | | | 1.430 |
| | | 8 | 31 | 砂砾石(含淤泥) | 还原环境 | 较好~好 | 6.61 | | | 0.402 |
| | | 9 | 19 | 砂石(含淤泥) | 还原环境 | 差~较好 | 7.06 | | | 0.788 |
| | | 10 | 38 | 黄土状土 | 过度环境 | 差 | 7.20 | | | 0.366 |
| | | 11 | 6 | 砂砾石(含淤泥) | 过度环境 | 差~较好 | 7.37 | | | 1.120 |
| | | 12 | 60 | 砂、亚砂土(含淤泥) | 还原环境 | 差~较好 | 7.38 | | | 0.938 |
| | | 13 | 36 | 亚砂土(含淤泥) | 还原环境 | 极差 | 7.49 | | | 3.110 |
| | | 14 | 12 | 砂砾石 | 氧化环境 | 较好 | 7.47 | | | 0.810 |
| | | 15 | 15 | 砂砾石 | 氧化环境 | 较好 | 7.43 | | | 1.098 |
| | | 16 | 18 | 砂砾石 | 氧化环境 | 好 | 7.51 | | | 1.014 |
| | | 17 | 7 | 花岗石 | 氧化环境 | 好 | 7.74 | | | 1.190 |

分别与 0.650 $\mu\text{g/L}$ 和 0.695 $\mu\text{g/L}$ 。

2.4 氧化还原环境

氧化还原环境对于地下水中的 As 迁移富集也有密切的关系即氧化还原作用制约砷在环境中存在

的形式和迁移能力。砷的高价氧化物比低价氧化合物有更强的水解性,因而在氧化条件下水解并沉淀,使其迁移能力减弱。而在还原条件下,砷多形成较稳定的化合物在水中迁移,在富含有机质的还原环

境中,砷化合物的溶解性增强,被吸附性减弱,致使砷在地下水中富集,因此在还原环境中的地下水砷含量高于氧化环境中的地下水砷含量(表 3)。

表 2 长中下游地区地下水 As 含量与 PH 值的关系

Table2 The relationship between of As content and PH Value of groundwater in the Rogion of the Middle and Lower Reaches of the YangtZe River

| 区 | 样品数
(个) | As
($\mu\text{g/L}$) | PH 值 |
|----------|------------|---------------------------|------|
| 江汉平原东部区 | 79 | 2.587 | 7.30 |
| 翻阳湖区 | 142 | 0.677 | 6.36 |
| 长江三角洲南部区 | 150 | 9.939 | 7.50 |

表 3 吉林省地下水 As 含量与酸碱度的关系

Table3 The relationship between of As conent and the acidity - alkalinty of groundwater in Jilin province

| 酸碱性 | 样品数(个) | As($\mu\text{g/L}$) |
|---------|--------|-----------------------|
| 弱酸性氧化环境 | 243 | 0.444 |
| 弱酸性还原环境 | 56 | 0.632 |
| 弱碱性氧化环境 | 72 | 0.703 |
| 弱酸性还原环境 | 45 | 1.015 |

表 4 吉林省地下水的 As 含量与迳流条件的关系

Table4 relationship between of As content and the run - off condition of groundwater in Jilin province

| 地形地貌 | 地下水迳流条件 | As($\mu\text{g/L}$) |
|--------|---------|-----------------------|
| 东南部山区 | 好 ~ 极好 | 0.446 |
| 中部高平原 | 较好 | 0.562 |
| 西北部低平原 | 极差 | 2.029 |

2.5 地下水的化学成分

地下水化学成分对砷的迁移富集的影响,主要是 Cl 和水化学类型

2.5.1 地下水的 Cl 含量

研究表明,活泼的 Cl 离子与 As 之间有密切的关系,即 As 含量随地下水 Cl 含量的增高而增高,二者具有同步增高的趋势见图 1。

2.5.2 地下水的化学类型

地下水化学类型对砷含量的影响,在长江三角洲南部区和吉林省地区的地下水中极为明显。水化学类型由 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \rightarrow \text{HCO}_3 - \text{Mg} \rightarrow \text{HCO}_3 - \text{Na} \rightarrow \text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \rightarrow \text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型,As 含量由低逐渐增高。在氯化物重碳酸型水中,As 含量达到最高

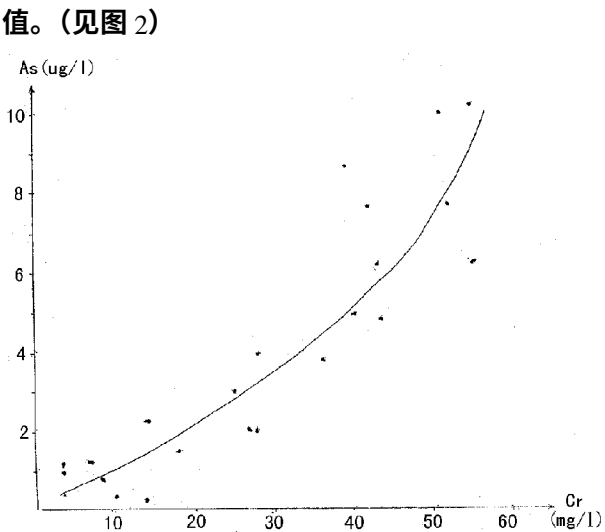


图 1 地下水 As 与 Cl 含量关系图

Fig.1 The relationship between of As and Cl content in groundwater

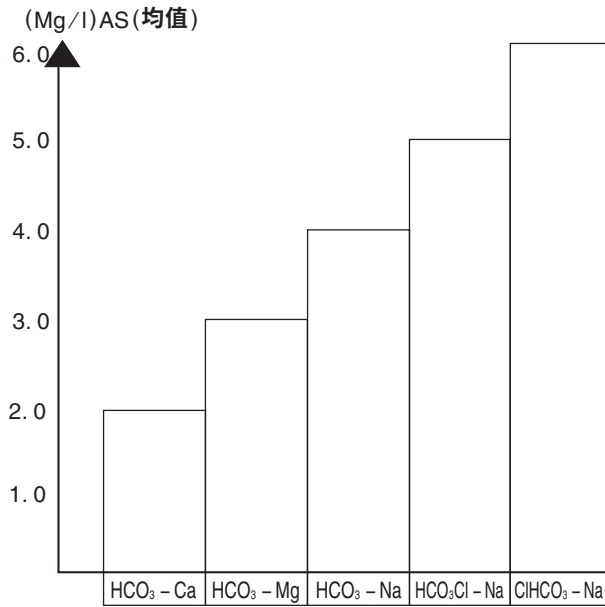


图 2 地下水化学类型与 As 含量关系图

Fig.2 The relationship between of hgdrcchemistry tgpes and As content in groundwater

3 地下水砷的存在形式及其形成与分布

砷与铁、锰、硫等元素一样,是一个反映地下水氧化——还原环境的标志性元素,其理化性质决定了它在地下水中的迁移和富集规律。

砷是一个变价元素,常见的价态为 As^{3-} 、As、 As^{3+} 、 As^{5+} 几种,但在土层中多以三价或五价存在。

土层中砷包括溶解态和吸附态两种形式。溶解态砷一般只占全砷的 5 - 10%, 并多为 AsO_3^{3-} 和 AsO_4^{3-} 等阴离子。

地下水的砷主要以 H_3AsO_3 、 H_2AsO_4^- 、 HAso_4^{2-} 等形式存在见图 3。

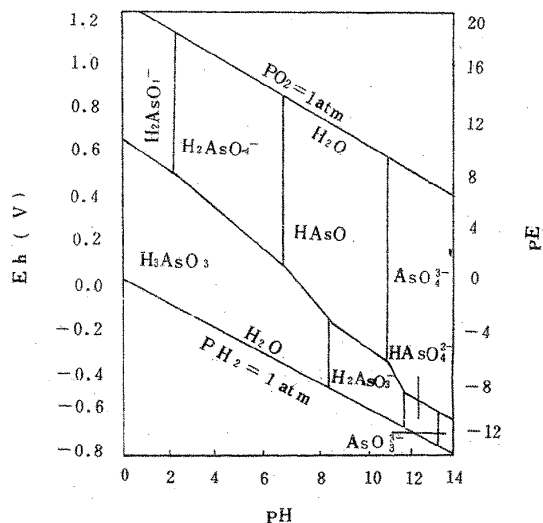


图 3 As 的 Eh - pH 图

Fig.3 The relationship between Eh - pH diagram of As

砷的形成除了与含水介质及其上覆岩土层性质、地下水迳流条件, 尤其是有有机物质和铁、锰物质存在、水化学类型有关外, 主要取决于氧化还原条件和酸碱度见图 4。

从江汉平原东部区、鄱阳湖区、长江三角洲南部区及吉林省地区地下水各单元的砷含量及其变化可知, 地下水 As 的形成, 在基岩区和平原区各有所不同。

3.1 基岩区地下水砷的形成与分布

在碳酸盐岩、变质岩、碎屑岩、岩浆岩(碱性熔岩、玄武岩、花岗岩)分布区, 地下水均处于氧化环境, 迳流条件好或极好, 矿化度低, 地下水化学类型较简单, 主要为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型, 其次为 $\text{HCO}_3 - \text{Mg}$ 型或 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型。这种环境中的地下水即使与碱性和有较丰富的砷来源, 也易形成沉淀和流失, 从而导致地下水砷含量贫乏。因此, 除江汉平原东部区的 4 单元($1.155\mu\text{g/L}$)及吉林省的 7 单元($1.430\mu\text{g/L}$)和 17 单元($1.190\mu\text{g/L}$)外, 其它单元的砷含量均较低, 为 $0.170 \sim 0.791\mu\text{g/L}$ 。

3.2 平原区地下水砷的形成与分布

在平原区, 地下水迳流缓慢, 地下水化学类型较

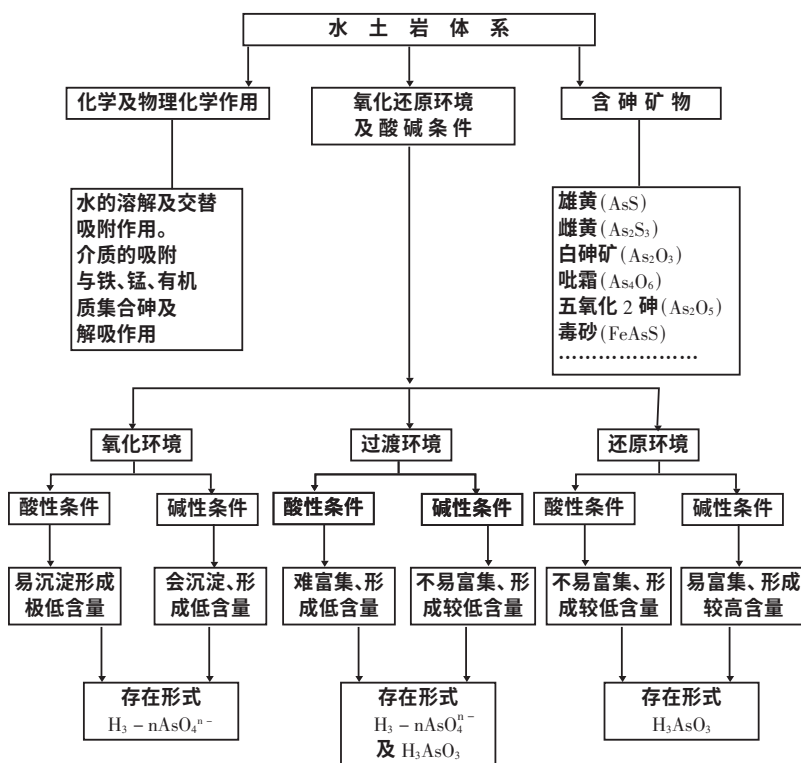


图 4 地下水中砷的生成模式

Fig.4 Formation model diagram of As in groundwater

复杂,主要为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \text{ Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型,次为 $\text{HCO}_3 - \text{Na} \text{ HCO}_3 - \text{Mg}$ 型,相对于基岩分布的山区、丘陵区易于富集,尤其在还原环境中和碱性条件下,更有利于地下水砷的迁移富集。还原环境不仅使土层中的砷酸还原为亚砷酸,而且还会使砷酸铁以及其它形式与砷酸盐相结合的高价铁还原成比较容易溶解的低价铁形式。随着电位的降低,还原性的增强,溶解性砷铁的含量增高。此外,随着 pH 值的增大,碱性的增强,土层胶体上正电荷减少,对砷的吸附量降低,相应地可使可溶性含量也增高,从而导致地下水中砷含量增高。

江汉平原东部区的 1 单元,长江三角洲南部区各单元和吉林省的 9、12、13 单元的地下水,不但为弱碱性,而且富含有机物质和处于还原环境中,所以砷含量均较高,除吉林省的 9 单元 ($0.788 \mu\text{g/L}$)、12 单元 ($0.938 \mu\text{g/L}$) 外,其它单元均高于 $2.684 \mu\text{g/L}$,尤其是江汉平原的 1 单元高达 $19.480 \mu\text{g/L}$,长江三角洲南部区的 2 单元高达 $21.225 \mu\text{g/L}$ 。

在长江三角洲南部区的常州——张家港,无锡、苏州、芦墟、海宁——嘉兴、宝山等地有少数地段的砷含量超过 $50 \mu\text{g/L}$,成为不能作为饮用水的水源。

4 结语

文中所利用的地下水砷数据,由于采用了严格的质量控制措施和测试仪器、方法先进,数据精确可靠,因此,地下水中砷元素含量其分布,是地下水合理开发利用,区域环境质量评价,制定环境质量标

准,防治疾病,维护生态平衡,进行国土整治的重要科学依据。

参考文献

- [1] 吴沈春,环境与健康^[M],北京:人民卫生出版社,1982,341
- [2] 符克军,曹光辉,徐艳钢,人体生命元素^[M],北京:中国医药科技出版社,1995,449
- [3] 颜世铭,洪沼毅,李增禧,实用元素医学^[M],郑州:河南医科大学出版社,1999,378-379
- [4] 曾昭华,曾雪萍,中国肺癌与土壤环境中元素的相关性研究^[J],中华流行病学杂志,1998,19(2-A):328-330
- [5] 曾昭华,曾雪萍,中国大肠癌与土壤环境中元素的相关性研究^[J],浙江地质,2001,17(2):55-58
- [6] 曾昭华,曾雪萍,中国白血病与土壤环境中元素的相关性研究^[J],中国肿瘤,1999,8(3):116-117
- [7] 曾昭华,曾雪萍,中国乳腺癌与土壤环境中元素的相关性研究^[J],江苏环境科技,1999,12(3):1-3
- [8] 曾昭华,曾雪萍,地下水中砷的形成与人群健康关系^[J],河南地质,1997,15(1):78-79
- [9] 国家技术监督局,中华人民共和国地下水质量标准^[M],北京:中国标准出版社,1993
- [10] 国家标准局,饮用天然矿泉水中华人民共和国国家标准^[M],北京:中国标准出版社,1988
- [11] 曾昭华,长江中下游地区地下水中化学元素背景特征及形成^[J],地质学报,1996,70(3):262-269
- [12] Zeng Zhaohua. The Background Features and Formation of Chemical Elements of Groundwater in the Region of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River^[J]. ACTA GEO-LOGICA SINICA,1997,71(1):80-89
- [13] 曾昭华,长江中下游地区地下水环境背景形成的控制因素^[J],江西地质,1993,211-222

The Formation of As Element in Groundwater and the Controlling Factor

Zeng Zhaohua Zhang Zhi Liang

(The Institute of Environmental Geology, JBCMR, Nanchang Jiangui 330012 China)

Abstract This paper studied with main controlling factors of the formation of As element in groundwater and its distributing law in the Region of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River and in Jilin province Region. The result shows that the As in the groundwater mainly exists of H_3AsO_3 , H_2AsO_4^- , HASO_4^{2-} etc. Its formation and distributing of the As in groundwater is closely relative to the content of aqueous medium and the Superincumbent soil the acidity-alkalinity and the run-off Condition of groundwater, environment of the oxidation and reduction, organic matter, Fe and Mn grade.

Key Words groundwater arsenic element formation controlling factors distributing law

灰色系统在地面沉降分析中的应用

宫相霖 董荣鑫

(同济大学海洋与地球科学学院 上海 200093)

摘 要 该文将灰色系统理论引入地面沉降的研究之中。根据上海地面沉降的历史数据建立了上海地面沉降发展的 $GM(1,1)$ 模型以及地面沉降与地下水位变化的映射 $GM(1,2)$ 模型,最后运用所建立的模型对地面沉降的发展态势进行了预测。

关键词 地面沉降 灰色系统 $GM(1,N)$ 建模 上海

世界上已有许多国家和地区出现了较为严重的地面沉降,坐落在第四纪松散土层上的城市,尤其是沿海城市,由于开采地下水或油气,使地下水位不断下降,导致地面发生沉降。

和任何环境地质问题一样,研究地面沉降问题的重点在于研究其形成和发展规律,以便对其可能出现的地点、范围、时间和灾害规模做出早期预测。在已经出现地面沉降灾害的地区,预测的目的在于指出灾害可能继续发展的趋势并寻求有效的防止措施。对于已具备产生地面沉降灾害的地质环境而将进行大规模工程开发活动的地区,早期预测对区域的合理规划和开发,土地利用决策的制订等具有重要意义。因此,迫切需要弄清导致地面沉降的因素及其机制,提出切实可行的预测与控制地面沉降的方法与措施。

1 地面沉降系统的灰色特性

地面沉降的诱发因素有天然的及人为的,其形式及性质是多种多样的。不同因素所诱发的地面沉降的范围、速度及持续时间不同。一个地区的地面沉降可由单一因素诱发,也可是多种因素综合诱发的结果。因此,地面沉降研究的对象是土层-地质作用-人类活动的复杂系统。考察这个系统可以发现:

(1) 表征系统的参数是灰数。这不仅意味着统计数据的灰性,也意味着监测数据的灰性。土层厚度、沉降深度、地下水位下降深度、含水量、孔隙比、重度、密度等数据,由于试验技术不完善、外界干扰、仪器的误差,以及其它各种原因,使这些实测数据在

形式上是白数,实质上是灰数,严重时甚至失真。诸如此类的数据,均可看作是在真实值的某个邻域内变化的灰数。

(2) 影响地面沉降的因素是灰元。或者说,在各种影响地面沉降的因素中,有许多因素不完全明确,即使已经明确的却难以量化,而已经量化的却又随机变化。比如,对某个地区来说,有许多因素影响着地面沉降的幅度及其速率,其中包括静载荷作用、动载荷作用、开采地下水、开采天然气、新构造运动海平面上升、地震、火山活动、流沙和挖土等因素,但要确定全部影响地面沉降的因素是十分困难的。同时,已知的许多影响因素难以量化,如地震、火山活动、开采地下水、天然气对地面沉降影响的程度,地下水活动对地面沉降影响的程度等。此外,即使已经量化的许多因素也是灰色的,如地下水位、土的含水量等参量均在变化。

(3) 构成系统的各种关系是灰关系。首先,各种因素和地面沉降主行为的关系是灰的。比如说,影响地面沉降的因素包括:土层的物理力学性质,人类的活动,地球的内外营力作用,但这些因素是灰元,要找到这些因素和地面沉降的定量映射关系是不大可能的。其次,因素与因素之间的关系是灰的。比如说,人类改造自然的的活动可能影响地球各种营力的作用,但这些因素本身就是灰元,其关系自然是灰关系。第三,在土层-地质作用-人类活动系统中,

收稿日期:

第一作者简介:宫相霖,男,1976年1月生,同济大学硕士研究生,专业方向 环境地质与工程。

三个子系统之间的关系也是灰关系。比如,人类的城市建设活动会影响到土层的物理力学性质,反过来,土层的一些性质又会影响人类的城市建设,这种相互影响呈现明显的不确定性。

因此,土层-地质作用-人类活动系统是一个信息部分已知,部分未知的不具有物理原型的灰色系统。将灰色系统理论应用于地面沉降研究是有科学依据的。

2 地面沉降数学模型的选择

现有的大多数地面沉降预测建模大都是数理统计方法,如回归分析、方差分析、主成分分析等,其中以回归分析用的最多,然而回归分析有下述缺点:(1)要求大样本量;(2)要求样本有较好的分布规律;(3)计算工作量大;(4)可能出现量化结果与定性分

析结果不符的现象。在很多情况下由于样本的随机分布而难以建立合适的回归模型。而灰色系统理论提出的数据生成法,可以弱化系统的随机性,建立数学模型后又可进行残差辨识,从而提高模型精度。因此,使用灰色系统建模理论能解决许多以往回归分析方法所不能解决的问题。然而,数学模型的选择还必须建立在已有的地质资料基础之上。本文以有厚达 150~300 米三角洲沉积的上海为例,引入了灰色系统理论,选择灰色模型(Gary Modal),来对地面沉降进行研究。

3 地面沉降 GM(1,1)模型的建立

根据历年来上海高桥地面沉降量(见表 1)建立 GM(1,1)模型,并在此基础上的以后的沉降进行预测。

表 1 1979~1988 年高桥地区累计地面沉降量^[1]
Tab.1 Accumulated land subsidence in Gaoqiao Area between 1979 and 1988

| 年份 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 累计沉降量(mm) | 20.0 | 54.7 | 73.3 | 84.0 | 89.3 | 100 | 106.7 | 121.1 | 133.3 | 143.2 |

3.1 数据处理

以表 1 的数据作为建模的原始数据序列 $\{\chi^{(0)}\}$, 则对 $\{\chi^{(0)}(i)\}$ 作 1-AGO 处理,即一阶累加生成处理,则可得一阶办加生成数列 $\{\chi^{(1)}(i)\}$ 为:

$$\begin{aligned} \{\chi^{(1)}(i)\} &= \{\sum_{k=1}^i \chi^{(0)}(k)\} \\ &= \{20.0000 \quad 74.6667 \quad 148.000 \quad 232.0000 \quad 321.3333 \quad 421.3333 \quad 528.0000 \quad 649.0667 \quad 782.4000 \quad 925.6000\} \end{aligned}$$

3.2 计算系数向量

对 $\{\chi^{(1)}(i)\}$ 可建立白化形式的微分为 $\frac{d\chi^{(1)}(t)}{dt}$

$$+ a\chi^{(1)}(t) = b$$

其中,a,b 为系数,由最小二乘原理可得 $\hat{a} =$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = [B^T B]^{-1} B^T Y_N$$

$$\text{其中 } B = \begin{bmatrix} -0.5[\chi^{(1)}(1) + \chi^{(1)}(2)] & 1 \\ -0.5[\chi^{(2)}(1) + \chi^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5[\chi^{(1)}(n-1) + \chi^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y_N = [\chi^{(0)}(2) \quad \chi^{(0)}(3) \quad \cdots \quad \chi^{(0)}(n)]^T$$

将 $\{\chi^{(0)}(i)\}$, $\{\chi^{(1)}(i)\}$ 代入上几式可得

$$B = \begin{bmatrix} -47 & .3500 & 1.0000 \\ -111 & .3500 & 1.0000 \\ -190 & .0000 & 1.0000 \\ -276 & .6500 & 1.0000 \\ -371 & .3000 & 1.0000 \\ -474 & .6500 & 1.0000 \\ -588 & .5500 & 1.0000 \\ -715 & .7500 & 1.0000 \\ -854 & .0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$Y_N = [54.7 \quad 7.3 \quad 84.0 \quad 89.3 \quad 100.0 \quad 106.7 \quad 121.1 \quad 133.3 \quad 143.2]^T$$

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1024 \\ 59.3202 \end{bmatrix}$$

则微分方程为 $\frac{d\chi^{(1)}(t)}{dt} - 0.1024\chi^{(1)} = 59.3202$

解其时间响应函数

$$\begin{aligned} \sim^{(1)}_{X_1}(t+1) &= [\chi^{(0)}(1) - \frac{b}{a}] e^{-at} + \frac{b}{a} = 599.2988 e^{0.1024T} - 579.2988 \end{aligned}$$

上式便是上海高桥地区沉降的 GM(1,1)模型。

3.3 模型计算值

令 t=0,1,2……,11,代入上面建立的 GM(1,1)

模型,可求出地面沉降的一阶累加预测值 $\{\chi^{(1)}(i)\}$

$$\{\chi^{(1)}(i)\} = \{ \begin{matrix} 20.0000 & 84.06210 & 156.2107 \\ 235.5208 & 323.3837 \\ 420.7219 & 528.5571 & 648.0214 & 780.3689 & 926.9888 \end{matrix} \}$$

再根据式： $\{\chi^{(0)}(i)\} = \{\chi^{(1)}(i)\} - \{\chi^{(1)}(i-1)\}$ 得原始序列的预测值为：

$$\{\chi^{(0)}(i)\} = \{ \begin{matrix} 20.0000 & 64.6210 & 71.5898 \\ 79.3101 & 87.8629 \\ 97.3382 & 107.8352 & 119.4643 & 132.3474 & 146.6199 \end{matrix} \}$$

表 4 列出了实测值及模型计算值。经比较,可知精度已较高。

表 4 原始序列及其模型计算值的比较

Tab.4 Comparison between original order and model calculation value

| 年份 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 实测累加
沉降量(mm) | 20.0 | 54.7 | 73.3 | 84.0 | 89.3 | 100 | 106.7 | 121.1 | 133.3 | 143.2 |
| 模型计算值(mm) | 20.0 | 64.62 | 71.58 | 79.31 | 87.86 | 97.33 | 107.83 | 119.46 | 132.34 | 146.61 |
| 误差 | 0 | 9.92 | -1.71 | -4.69 | -1.44 | -2.66 | 1.44 | -1.64 | -0.95 | 3.42 |
| 相对误差(%) | 0 | 18.14 | 2.33 | 5.58 | 1.61 | 2.66 | 1.06 | 1.35 | 0.71 | 2.39 |

3.4 残差建模修正

建立残差 GM(1,1)模型,进一步提高模型的精度。

先求残差序列为： $\{\epsilon^{(0)}(i)\} = \{\chi^{(0)}(i) - \chi^{(1)}(i)\}$

$$= \{ \begin{matrix} 0.0000 & 9.9200 & -1.7100 \\ -4.6900 & -1.4400 \\ -2.6618 & 1.1352 & -1.6357 & -0.9526 & 3.4199 \end{matrix} \}$$

残差序列中最小值 $\epsilon_{\min}^{(0)}$ 小于 0,需将坐标下移 $2 \times |\epsilon_{\min}^{(0)}|$,得：

$$\{\tilde{\epsilon}^{(0)}(i)\} = \{\epsilon^{(0)}(i) + 2 \times |\epsilon_{\min}^{(0)}|\} = \{ \begin{matrix} 0.3800 \\ 19.3100 & 7.6698 & 4.6901 & 7.9430 \\ 6.7182 & 10.5152 & 7.7443 & 8.4274 & 12.7999 \end{matrix} \}$$

由正数化后残差序列建立微分方程动态模型和时间响应函数为：

$$\frac{d\tilde{\epsilon}^{(1)}(t)}{dt} + 0.0350\tilde{\epsilon}^{(1)}(t) = 11.4209$$
$$\tilde{\epsilon}^{(0)}(t+1) = -316.9314e^{-0.0350t} + 326.3114$$

令 $t=0,1,2,\dots,19$,可得正数化后残差序列一阶累加预测值为：

$$\{\tilde{\epsilon}^{(1)}(i)\} = \{ \begin{matrix} 0.3800 & 20.02812 & 30.8079 & 40.9729 \\ 50.7886 & 60.2670 & 69.4198 \end{matrix} \}$$

还原,并将横坐标上移 $2 \times |\epsilon_{\min}^{(0)}|$,得原始参差的预测值：

$$\{\tilde{\epsilon}^{(0)}(i)\} = \{\tilde{\epsilon}^{(1)}(i) - 2 \times |\epsilon_{\min}^{(0)}|\}$$
$$= \{ \begin{matrix} 0.0000 & 1.5212 & 1.1467 \\ 0.7850 & 0.4357 \\ 0.0984 & -0.2273 & -0.5417 & -0.8454 & -1.1387 \end{matrix} \}$$

对模型计算值进行修正

$$\{\chi_{11}^{(0)}(i)\} = \{\chi^{(0)}(i) + \tilde{\epsilon}^{(0)}(i)\}$$
$$= \{ \begin{matrix} 20.0000 & 66.1422 & 72.7365 \\ 80.0951 & 88.2987 \\ 97.4366 & 107.6079 & 118.9226 & 131.5020 & 145.4812 \end{matrix} \}$$

模型修正前后的比较见表 5,可见残差修正进一步提高了模型的精度。

表 5 残差修正前后的结果比较表

Tab.5 Result comparison before or after remained error modification

| 年份 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
|---------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 实测值(mm) | 20 | 54.7 | 73.3 | 84 | 89.3 | 100 | 106.7 | 121.1 | 133.3 | 143.2 |

| | | | | | | | | | | |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 原始模型 | | | | | | | | | | |
| 计算值(mm) | 20 | 64.62 | 71.58 | 79.31 | 87.86 | 97.33 | 107.83 | 119.46 | 132.34 | 146.62 |
| 修正后模型 | | | | | | | | | | |
| 计算值(mm) | 20 | 66.14 | 67.39 | 80.09 | 88.29 | 97.43 | 107.60 | 118.92 | 132.50 | 145.48 |

3.5 预测

根据 1979 ~ 1988 年的实测沉降值建立的 GM (1,1)模型,对 1989 ~ 1993 年的地面沉降进行预测 (见表 6),并与 1989 ~ 1993 年高桥地区的实测沉降值作比较 (见表 6)。

表 6 地面沉降模型预测值与实测值比较

Tab.6 Comparison between forecasting and measured value of land subsidence model

| | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年份 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
| 模型计算累计
沉降值(mm) | 155.62 | 162.34 | 170.35 | 176.32 | 191.23 |
| 实测累计沉降值 | 150.0 | 155.7 | 163.5 | 169.0 | 179.7 |
| 误 差(mm) | 5.62 | 6.64 | 6.85 | 7.32 | 11.53 |

表 6 的数据表明运用灰色模型对上海高桥地区地面沉降的预测是可行的,其精度是较高的。其误差开始较小,随预测长度的加大,误差增大。说明系统所处环境已发生变化,需要补充新的数据,重新修正模型,以使其更好的反映出地面沉降的真实情况。

4 地面沉降与地下水位变化 GM(1,2)建模

根据地面沉降和地下水的实测值建立两者之间的映射函数,从而可以根据地下水位的变化预测地面沉降量。表 7 是 1965 ~ 1976 年 12 年间地面沉降及地下水位的实测数据。

表 7 1965 ~ 1976 年上海地面沉降及地下水位的实测数据^[2]

Tab.7 Measured data of Shanghai land subsidence and groundwater level between 1965 and 1976

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年份 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
| 地下水位标高(m) | - 19.89 | - 9.01 | - 6.07 | - 4.14 | - 4.09 | - 2.57 | - 1.11 | - 0.74 | - 0.37 | - 0.53 | - 1.03 | - 0.96 |
| 年沉降量(mm) | 22.1 | - 6.3 | - 0.2 | - 4.9 | 3.7 | - 1.8 | - 8.6 | 5.5 | - 1.3 | 2.6 | 10.9 | - 0.1 |

将地下水位及年沉降量正数化后变为表 8 所示：

表 8 正数化后地面沉降量及地下水位标高

Tab.8 Land subsiding amount and groundwater level after making digit positive

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年份 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
| 正数化后
地下水位标高(m) | 19.89 | 30.77 | 33.71 | 35.64 | 35.69 | 37.21 | 38.67 | 39.04 | 38.41 | 39.25 | 38.75 | 38.82 |
| 正数化后
年沉降量(mm) | 39.3 | 10.9 | 17.0 | 12.3 | 20.9 | 15.4 | 8.6 | 22.7 | 15.9 | 19.8 | 28.1 | 17.1 |

4.1 GM(1,2)模型的建立

得一阶累加生成数列如表 9 所示：

对原始数据作一阶累加生成 (1—AGO 处理)，

表 9 沉降量与地下水位一阶累加值

Tab.9 1—AGO value of subsiding amount and groundwater level

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-----|--------|-------|--------|
| 建模序列 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 沉降量
一阶累加值 | 39.3 | 50.2 | 67.2 | 79.5 | 100.4 | 115.8 | 124.4 | 147.1 | 163 | 182.8 | 210.9 | 228 |
| 地下水位
一阶累加值 | 19.89 | 50.66 | 84.37 | 120.01 | 155.7 | 192.91 | 231.6 | 270.6 | 310 | 349.28 | 388 | 426.85 |

构造建立 GM(1,2)模型所需的数据阵 B

B =

$$\begin{bmatrix} -0.5 \cdot [\chi_1^{(1)}(1) + \chi_1^{(1)}(2)] & \chi_2^{(1)}(2) \\ -0.5 \cdot [\chi_1^{(1)}(2) + \chi_1^{(1)}(3)] & \chi_2^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots \\ -0.5 \cdot [\chi_1^{(1)}(11) + \chi_1^{(1)}(12)] & \chi_2^{(1)}(12) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -44 & .7500 & 50 & .6600 \\ -58 & .7000 & 84 & .3700 \\ -73 & .3500 & 120 & .0100 \\ -89 & .9500 & 155 & .7000 \\ -108 & .1000 & 192 & .9100 \\ -120 & .1000 & 231 & .5800 \\ -135 & .7500 & 270 & .6200 \\ -155 & .0500 & 310 & .0300 \\ -172 & .9000 & 349 & .2800 \\ -196 & .8500 & 388 & .0300 \\ -219 & .4500 & 426 & .8500 \end{bmatrix}$$

Y_n 矩阵为：

$$\begin{aligned} Y_N &= [\chi_1^{(0)}(2) \quad \chi_1^{(0)}(3) \cdots \cdots \chi_1^{(1)}(12)] \\ &= [10.9 \quad 17.0 \quad 12.3 \quad 20.9 \quad 15.4 \quad 8.6 \quad 22. \\ &7 \quad 15.9 \quad 19.8 \quad 28.1 \quad 17.1]^T \end{aligned}$$

根据 B 和 Y_n 可得微分方程的系数向量为：

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = [B^T B]^{-1} B_N^Y = \begin{bmatrix} -0.5248 \\ -0.2081 \end{bmatrix}$$

其白化形式的动态微分方程

$$\frac{d\chi_1^{(1)}(t)}{dt} - 0.5248\chi_1^{(1)}(t) = -0.2081\chi_2^{(1)}(t)$$

则,上述微分方程的时间响应函数为：

$$\begin{aligned} \hat{\chi}_1^{(1)}(t+1) &= [39.3 - 0.3965\chi_2^{(1)}(t)] e^{0.5248t} + \\ &0.3965\chi_2^{(1)}(t) \end{aligned}$$

令 t = (1, 2, …… 11), 由上式可得一阶累加生成序列 $\hat{\chi}_1^{(1)}(i)$ 的预测值。又,据式 $\hat{\chi}_1^{(0)}(i) = \hat{\chi}_1^{(1)}(i-1)$, 可得地面沉降量的还原序列。表 10 列出了原始值、模型计算值及其误差,从结果可以看出模型的精度已经合格。

表 10 原始值与模型计算值的比较表

Tab.10 Comparison between original and model calculation value

| 建模序列 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 原始值 | 39.3 | 10.9 | 17 | 12.3 | 20.9 | 15.4 | 8.6 | 22.7 | 15.9 | 19.8 | 28.1 | 17.1 |
| 模型计算值 | 39.3 | 11.51 | 17.39 | 13.25 | 23.40 | 17.60 | 8.80 | 23.58 | 17.26 | 21.62 | 31.19 | 18.43 |
| 误差 | 0 | 0.61 | 0.39 | 0.95 | 2.50 | 2.20 | 0.20 | 0.88 | 1.36 | 1.82 | 3.09 | 1.33 |
| 相对误差 | 0 | 5.6 | 2.3 | 7.8 | 12 | 14.3 | 2.4 | 3.9 | 8.6 | 9.2 | 11 | 7.8 |

4.2 模型精度的检验

运用以上所建立的地下水位与地面沉降量的映

射 GM(1,2)模型,对实际的地面沉降所做预测如表 11。

表 11 模型的运用

Tab.11 Application of the model

| | | | | | | | |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 地下水位标高 | -34 | -33 | -30 | -27.82 | -25.21 | -27.48 | -26.16 |
| 实际沉降量 | 105 | 105 | 98 | 98 | 73.5 | 79.9 | 61.6 |
| 模型计算值 | 113.4 | 112.67 | 105.06 | 107.02 | 81.585 | 82.377 | 65.789 |
| 相对误差 | 8 | 7.3 | 7.2 | 9.2 | 11 | 3.1 | 6.8 |

从表 11 可以看出模型计算值还是令人满意的。

5 结束语

地面沉降研究是一项复杂的系统工程,地面沉

降本身也是部分信息已知部分信息未知的灰色系统。运用灰色系统理论进行地面沉降分析有如下几点体会：

①在地面沉降的定量分析中,灰色建模理论是一个有力的数学工具。灰色模型建模表明 地面沉

降量与地下水为密切相关,大致呈正比例关系。

②灰色建模理论中的数据生成,使紊乱的原始序列呈现某种规律,规律不明显的变得明显起来,建模后又进行残差辨识,提高了模型精度。

③灰色建模理论解决了一向认为不能解决的微分方程建模问题。在地面沉降的研究中,灰色建模理论有着广泛的用途。

④地面沉降量不可能无限制的递减至 0,或无限制的增加至无限大,在达到一定的数值后,将会出现非常缓慢的变化乃至停滞,也可能出现回升。因此每隔一定的时间间隔,必须剔除旧信息,补充新信息,重新建模预测。

参考文献

[1] 龚士良,上海市浦东新区地面沉降分析,上海地质,1995 (2)。
[2] 《上海地质矿产志》编纂委员会,上海地质矿产志,上海社会科学院出版社,1999.7。
[3] 赵云胜等,灰色系统理论在地学中应用研究,华中理工大学出版社,1999。
[4] 傅立,灰色系统理论及其应用,科学技术文献出版社,1992。
[5] 张先林,上海地面沉降动态分析与灰色预测,上海地质,1991(1)。

The Application of Grey System in The
Land Subsidence Analysis

Gong xiang lin Dong rong xin

(School of Ocean and Earth Science ,Tongji University , Shanghai 200092)

Abstract Because the grey system is of universal significance in engineering, it is introduced into the research of land subsidence. According to the theory concerning grey system, several grey models, GM(1,1), GM(1,2), of subsidence are put forward by the author.

Key words land subsidence grey system GM(1,N) model making Shanghai

知 识 窗

饮用天然矿泉水对人体有什么好处

牛晓英

经科学测定,人体血液中各种化学元素,微量元素平均值与地壳中元素的丰度值密切相关。矿泉水溶解了地壳中相关地层的矿物质,所以矿泉水中所含人体必需的微量元素和矿物质也最接近人体的自然状态。从营养学上讲,矿物质、微量元素在人体中所起的作用不亚于维生素,它的作用要比我们认识到的大得多。而且维生素可在人体内合成,矿物质则不行,只能外补。

有人说:“我们所需要的矿物质、微量元素主要来自食物,水中不含矿物质不影响大局。”作为人体必需和有益的十几种微量元素:铁、锌、硅、锶、氟、铜、硼、溴、碘、锂、锰、硒、铬、钼、锗、钴、钒,虽然主要来源于食物,但水中的微量元素多以离子状态存在,更易渗入细胞被人体吸收。

(下转第 32 页)

强夯法地基处理有效加固深度的分析研究^{*}

叶观宝 陈望春 徐 超

(同济大学地下建筑与工程系岩土加固与测试技术研究室, 上海 200092)

摘 要 该文对强夯法地基处理有效加固深度的定义、影响因素、计算方法以及适用范围进行了讨论和分析,并结合工程实例验算了各种计算方法的精度。该项工作对强夯法地基处理的工程实践具有借鉴价值。

关键词 强夯法 有效加固深度 计算方法 影响因素

1 前言

强夯法加固地基因其具有设备简单、施工方便、节省材料、经济易行、适用面广、效果显著等诸多优点而得到广泛应用。强夯法虽然在实践中被证实是一种好的地基处理方法,然而到目前为止现场检验有效加固深度的方法和标准还不一致,还没有一套成熟完善的理论和设计计算方法。本文主要讨论强夯法处理地基的有效加固深度的计算方法,对比分析了几种计算方法、关于强夯有效加固深度的主要影响因素,并结合工程实例验算了各种计算方法的精度。

2 有效加固深度的判别标准

有效加固深度也称有效影响深度,有效加固深度的标准根据不同地基不同加固目的而有所不同。对于以抗震液化为主要目的粉细砂地基,可以取经强夯后不再发生地震液化土层的最大深度;对于以消除湿陷性为目的的湿陷性黄土地基有效加固深度指的是消除黄土湿陷性的深度;对于其他以减小地基沉降为目的的地基,按建筑地基规范关于压缩层厚度的规定,取每米厚土层压缩量占强夯时地面平均沉降的 2.5% 之土层深度。总而言之,有效加固深度是指不完全满足工程要求的地基经过加固后达到设计要求的深度,具体的控制指标及其临界值应结合工程要求和土质条件。

在建立有效加固深度的计算公式和现场确定有效加固深度时,应该有一个判别标准。为此一些研究者提出了基于加固土性指标或其变化的具体标准。Leonard^[1]认为判断标准的确定应考虑土类和初始密度,针对所研究的砂土,提出了以标准贯入击数

增加 3 - 5 击为依据。范维桓^[2]提出应以加固后土层承载力超过 150kPa 为临界值,或依据现场效果检测结果来确定,对于砂土标贯击数 $N = 10 - 15$,一般粘性土中 $N = 5 - 7$;用静力触探时 $P_s = 15 - 20\text{kPa}$ (软土、一般粘性土)或 $P_s = 50 - 90\text{kPa}$ (粉细砂)。张永均^[3]对抛石地基强夯处理的有效加固深度的定义为土体竖向变形量为地表夯沉量 5% 的深度。张峰^[4]建议竖向压缩应变为 5% 的深度为有效加固深度。

从目前的研究结果来看,有效加固深度的判别标准可以从两个方面来确定:1. 从原位测试指标来定义,地基土工程性能有明显改变的深度;2. 从现场测量来确定,地基土竖向变形(应变)比较明显的深度。具体指标因工程地质条件的不同会有一定差异。

3 有效加固深度的影响因素

有效加固深度是加固效果的一个重要体现,有效加固深度的影响因素有夯击能量的大小、地基土的性质、施工方法及有无其他辅助设施(是否设排水板、是否降水等)等。而夯击能量又受到锤重、落距、机械的机械效率等因素影响,地基土性质又受土的类别、地下水位、土的密实度、孔隙比、含水量、压缩性等诸多因素控制而在不同场地显示出千差万别的

^{*} 本科题由上海市重点学科(岩土工程)项目(沪教科[2001]44 号)资助

收稿日期 2003 - 04 - 29

第一作者简介 叶观宝,博士,1964 年 10 月生,同济大学地下建筑与工程系教授。

个性 施工方法更是会因场地、施工单位的经验、施工机具的特性的不同而不同。由此可见是上述诸多因素综合作用的结果,要找到一个同时考虑上述诸多变量影响的强夯有效加固深度的理论公式在目前的技术条件下几乎是不可能的。

4 有效加固深度计算方法的比较分析

自从法国工程师梅纳提出有效加固深度的经验公式以后,研究人员对强夯加固效果和有效加固深度进行了多方面的研究,并提出了相应的计算公式,这些公式可以分为两大类:经验公式方法和简化理论分析方法。

4.1 经验公式方法

经验公式方法可以细分为基于工程实践结果、室内模型试验和现场观测成果的经验公式方法。

4.1.1 基于工程实践结果的经验公式方法

基于工程实践结果的经验公式一般选取与强夯机具密切相关的锤重(M)、落距(H)、锤底直径(D)、单位面积夯击能(E)等作变量,将土性的影响概括的用修正系数来代替,形式简洁便于计算,但是由于土性修正系数选取的随意性精度不高。常用的公式有修正梅纳公式和 BILLAM 公式。

修正的梅纳公式: $Z = \alpha \sqrt{MH}$ (1)

式中 Z 为强夯有效加固深度, m ; M 为夯锤的重量, t ; H 为落距, m ; α 为与土类有关的修正系数,碎石土和砂土 $\alpha = 0.6 - 0.39$, 粉土粘性土湿陷性黄土 $\alpha = 0.5 - 0.35$ 。

• BILLAM 法 $Z = M Hk/D^2$ (2)

式中 Z 为强夯有效加固深度, m ; M 为夯锤的重量, t ; H 为落距, m ; k 为折减系数,与土的种类和初始密度有关,一般取 $0.10 \sim 0.16$; D 为夯锤底面直径, m 。

上述公式表明单击夯击能是影响有效加固深度的主要因素,锤底面积也有影响。

4.1.2 基于室内模型试验的经验公式方法

基于室内模型试验的经验公式除了考虑机具影响因素外还考虑土性参数的影响,有所提高,费香泽等^[5]提出如下计算方法:

$$Z = \sqrt{\frac{M^{2/3}HN}{10D\gamma_d(1-\omega)}} \quad (3)$$

式中 Z 为强夯有效加固深度, m ; M 为夯锤的重

量, t ; H 为落距, m ; N 为每遍的击数; D 为夯锤底面直径, m ; γ_d 为土的天然干容重, g/cm^3 ; ω 为土的含水量。

此模型指出除了单击夯击能、锤底面积外,每遍的击数、土性指标中的天然干容重和含水量对加固深度也有影响。但是公式形式比较复杂,不便于计算。

4.1.3 基于现场观测成果的经验公式方法

基于现场观测成果的经验公式一般不考虑强夯机具影响直接通过对加固前后土性指标的对比结合现场夯沉量的量测给出简明适用的公式。张利洁等^[6]根据现场实测结果提出了如下计算公式:

$$Z = \Delta Z \frac{1 + e_0}{e_0 - e} \quad (4)$$

式中 Z 为强夯有效加固深度, m ; ΔZ 为夯沉量, m ; e_0 为加固前土的孔隙比; e 为加固后的土的孔隙比。

此法是基于现场的实测资料和加固前后土的孔隙比变化,概念清晰,算法简单,精度较高。不过需要指出的是此方法的提出是基于动力压密的机理,适用的土性是以动力压密作用为主的无粘性土。

4.2 简化理论分析法

简化理论分析法试图从基于解析的理论分析来建立强夯效果的预测性评价公式,主要用来评价有效加固深度。这类分析主要有两类:一类是由动力学原理、功能原理等理论或试验确定锤土接触面上的应力,用弹性静力学公式来求解动应力的扩散,用附加应力达到某一临界值的深度定义有效加固深度,可称之为应力法;另一类是从冲击波及能量的传播和消耗规律来推导有效加固深度的计算公式,可称之为能量法。王成华(1991)^[7]提出的等效拟静力法就是其中的一种。

等效拟静力法是一种将夯击力视为等效拟静荷载,从引起等效塑性沉降的角度看,该等效拟静力应达到或超过地基的极限荷载。其基本假定为强夯拟静压力引起的拟静附加应力达到土自重应力 0.2 倍处深度以内,土体才产生塑性变形,此深度即为强夯地基的有效加固深度。由此导出强夯有效加固深度为:

$$Z = \frac{ap_e - 0.2(\gamma - \gamma')d_w}{0.2\gamma' + bp_e/D} \quad (5)$$

$$p_e = \sqrt{\frac{\eta KE_0 MH}{c(1-v^2)D^3}} \quad K = E_d/(E_0 - E_d) \quad \text{式中 } Z$$

为强夯有效加固深度, m ; M 为夯锤的重量, t ; H 为落距, m ; p_e 为等效拟静压力 ; η 为考虑机具摩擦、空气阻力、弹性变形等能量损耗效率系数 : 一般可取 0.67 ; d_w 为地下水位埋深, m ; γ, γ' 为水上土的天然容重和水土土的有效容重, kN/m^3 ; a, b 为常数, 对圆锤 $a = 0.135, b = 0.024$, 对方锤 $a = 0.167, b = 0.029$; c 为锤形常数, 对圆形锤 $c = 0.62$, 对方形锤 $c = 0.89$; D 为锤径, m ; E_0 为地基变形模量, kPa ; E_d 为等效弹性模量, kPa ; K 为模量系数, 取值见表 1 ; ν 为土的泊松比, 成层土地基的 E_0, ν, K 可按土层厚度取加权平均值。

表 1 模量系数 K 的取值表
Tab.1 value of modulus coefficient K

| 土性 | 淤泥及淤泥质粘土 | 一般粘性土及松散细砂 | 冲填土及人工填土 |
|-----|--------------------|-------------|-------------|
| K 值 | 0.33 ~ 1.00 | 0.25 ~ 0.50 | 0.17 ~ 0.33 |
| 备注 | 对较软的土取大值, 较硬的土取小值。 | | |

此法的最大特点便是考虑的因素全面, 包含了土性、强夯施工工艺中诸多重要参数, 尤其值得一提的是考虑了夯锤形状以及地下水位的影响, 比较接近实际工程中的情况, 但是由于是采用对动力作

用的近似的等代静力分析与现场动力作用还是有较大出入, 而且参数选取太多, 不方便计算。

4.3 有效加固深度算法的比较分析

上述计算方法考虑有效加固深度影响因素的时候是从机具设备与土性两个角度去考察, 不过侧重点不一样, 几种算法的具体对比见表 2。

在机具方面, 单击夯夯击能直接影响有效加固深度, 但是在单位夯击能未达到最佳夯击能的情况下夯击数的增大也会导致有效加固深度变大 ; 另外夯锤的形状与几何尺寸对夯击效果也有影响 ; 同等条件下圆形锤可以克服方形锤由于上下两次夯击着地不完全重合以及着地倾斜引起的夯击能量损失固而加固深度更大 ; 同等条件下锤底面积小的夯锤由于单位面积受力较大有效加固深度大于锤底面积大的加固效果。

在土性方面, 土的泊松比、模量、孔隙比、容重、含水量、地下水位的埋深等因素都会对加固深度有影响, 但是考虑到一般土性的强夯加固是动力密实作用的结果, 与土体密实程度直接相关的孔隙比、天然干容重的影响更为显著, 一般来讲天然干容重大、加固前孔隙比小的土相对比较密实可压缩空间小有效加固深度也小。

表 2 几种计算方法的对比表 *
Tab.2 comparison of different computation methods

| 方 法 | 特 点 | 公式来源 | 选用参数 | | 适用范围 | 精度 |
|----------|-----|------------|------------------------|-------------------------------------|--------------|--------|
| | | | 机具参数 | 土性参数 | | |
| 修正梅纳法 | | 工程实践结果的归纳 | M、H | α | 粉土、砂土、黄土、粘性土 | 不高、常偏大 |
| BILLAM 法 | | 工程实践结果的归纳 | M、H、D | k | 粉土、砂土、黄土、粘性土 | 较高 |
| 费香泽法 | | 室内模型试验 | M、H、D、N | γ_d, ω | 粉土、砂土、黄土 | 较高 |
| 张利洁法 | | 现场观测结合土工试验 | | $\Delta Z, e_0, e$ | 粉土、砂土 | 高 |
| 等效拟静力法 | | 应力法理论解析解 | M、H、D、 η, a, b, c | $\gamma, \gamma', d_w, K, E_0, \nu$ | 粉土、砂土、黄土、粘性土 | 较高 |

* 上表中参数的意义同前文

5 有效加固深度的工程实例分析

某机场跑道由于地基条件不能满足工程沉降控制要求, 使用强夯法处理, 加固处理的相关参数如

下 强夯的夯锤锤重 M 为 15t, 锤径 D 为 2.5m, 落距 H 为 20 m, α 为 0.5, 每遍击数 N 为 15, 锤形常数取 $a = 0.135, b = 0.024, c = 0.62$, 能量损耗率系数取 $\eta = 0.67$, 土的折减系数为 0.13, 模量系数为 0.17。加

固前土的孔隙比 e_0 为 0.80,含水量为 0.27,地下水位为 2 米,地下水位以上土天然容重 γ 为 14.9 kN/m³,地下水位以下土的有效容重 γ' ,为 9.6kN/m³,土的天然干容重 γ_d 为 1.51g/cm³,地基变形模量 E_0 为 9000kPa,土的泊松比 ν 为 0.30,加固后土的孔隙比 e 为 0.60,夯沉量 ΔZ 为 0.75m,实测得到的有效加固深度为 7.0m。不同公式计算的有社加固深度见表 3:

表 3 几种计算方法的计算结果表

| Tab.3 calculated results of different computation methods | | | | | |
|---|-----------|-------------|----------|----------|------------|
| 方法 | 修正
梅纳法 | BILLAM
法 | 费香
泽法 | 张利
洁法 | 等效拟
静力法 |
| 计算值(m) | 8.66 | 6.24 | 8.10 | 6.75 | 6.24 |
| 相对误差 | 23.7% | 10.9% | 15.7% | 3.6% | 10.9% |

由此可见修正梅纳方法与实测值偏差最大,张利洁法最接近实测值,其他方法得出的结果误差较大。

6 结语

强夯有效加固深度是强夯施工工艺、土性条件等诸多因素综合作用的结果,强夯有效加固深度的影响应当重点考察单击夯击能、夯击击数、锤底面积、夯锤形状、土的孔隙比、天然干容重等因素。通过对本文的对比分析,可以得出以下结论供参考。
1.修正的梅纳公式和 BILLAM 公式由于只考虑和夯

击能量有关的因素和土性可以在施工以前对加固深度做出预估。2.张利洁等提出的方法考虑夯沉量、孔隙比变化这两个强夯加固效果的参数因而较其他方法能更好的反映无粘性土的加固深度,可以用于地基处理后有效加固深度的估算和验证,3.现有的理论计算公式都还不完善,需结合现场实测积累经验。对加固深度的实测,软粘土可以采用静力触探方法,无粘性土则可以采用静力触探或标准贯入试验方法。

参考文献

[1] G. A. Leonard et al. Dynamic Compaction of Granular Soils. ASCE,GT4,1980,V106(4) 435-446.
[2] 范维恒. 强夯处理地基中的几个根本问题. 太原工学院学报,1982,3(2) 15-26
[3] 张永钧,平涌潮,孔繁峰,张峰. 强夯法处理大块抛石地基的试验研究[A]. 第三届全国地基处理学术讨论会论文集[C]. 北京 中国建筑工业出版社,1992.395-400.
[4] 张峰. 碎石土的强夯模型研究[J]. 建筑科学,1992,3(3) : 25-28
[5] 张利洁,聂文波,刘贵应,练操. 强夯效果浅析[J]. 土工基础,2002,3(1) 24-27
[6] 费香泽,王钊,周正兵. 强夯加固深度的试验研究[J]. 四川大学学报,2002,7(4) 56-59
[7] 王成华. 强夯地基加固深度估算方法述评[J]. 地基处理,1991,2(1) 20-24

Analysis on Effective Improvement Depth of Dynamic Consolidation

Ye Guanbao Chen Wangchun Xu Chao

(Department of Geotechnical Engineering,Tongji University, Shanghai, 200092)

Abstract Effective improvement depth of dynamic consolidation is discussed and analyzed on the issues of definition,related factors,and computation methods.Precisions of these methods are discussed based on an engineering example.This work can be referred by related engineering.

Key Words dynamic consolidation effectlve improvement depth computation methods influencing factors

对天然地基承载力计算公式的理解和应用

毛群芳 (上海振华工程咨询公司 200063)

徐四一 (中船勘察设计研究院 200063)

摘 要 文章就新老国标和上海标准对地基承载力的计算公式进行了分析比较,并认为在上海地区岩土工程勘察报告中提供天然地基承载力设计值 f_d 更适合。

关键词 临塑荷载 P_{cr} 界限荷载 $P_{1/4}$ 概率极限状态设计 地基承载力特征值 f_a 地基承载力设计值 f_d

1 引言

天然地基承载力多是岩土工程勘察文件中不可缺少的一个内容,也是天然地基浅基础设计的基本依据,一般情况下多根据有关公式按土的室内试验强度指标计算取得。为此,各地、各部门有关规范中均有相应的计算公式。随着人类对岩土工程认识的不断提高,各规范在不同时期均升级换版。在上海地区主要使用全国规范和上海规范:

全国规范按时间先后依次为《工业与民用建筑地基基础设计规范》TS7-74(以下简称 74 规范)、《建筑地基基础设计规范》GBJ7-89(以下简称 89 规范)、《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002(以下简称 02 规范);

上海市规范按时间先后则依次为《上海市建筑物结构设计试行标准》1954 年 11 月(其中第六章为地基基础设计,规定要求地基设计必须满足安全要求,同时规定上海地区天然地基的容许承载力为 $8t/m^2$,木桩的容许摩阻力为 $1t/m^2$)、《上海市地基基础设计规范》(试行草案)1963 年(以下简称市 63 规范)、《上海市地基基础设计规范》(试行)1975 年(以下简称市 75 规范)、上海市工程建设规范《地基基础设计规范》DGJ08-11-89(以下简称市 89 规范)、上海市工程建设规范《地基基础设计规范》DGJ08-11-1999(以下简称市 99 规范)、上海市工程建设规范《岩土工程勘察规范》DGJ08-37-2002(以下简称市 02 规范)。

根据有关规定目前上海地区岩土工程勘察应执行 2001、2002 版相关国标、市标及市 99 地基规范。各种版本规范在按土的强度指标计算确定天然地基承载力方面有较多出入。对比各不同时期国标、市

标有关计算公式和相应规定的转变及其差别,似有助于对现行国标、市标的深入理解,有助于合理执行有关规定,更如实地反映勘探场地的岩土工程特征以服务于工程设计。本文拟就此提出一点粗浅的看法,供同行切磋、探讨。

2 有关计算公式和相应规定的比较和理解

2.1 国家标准

三个不同时期的国标中,天然地基承载力计算公式在实质上几乎完全相同,比较三个计算公式即可知:

74 规范 地基土容许承载力 $R_s = N_B \times \gamma \times B + N_D \times \gamma_D \times D + N_c \times C$ (t/m^2)

89 规范 地基承载力设计值 $f_v = M_b \times \gamma \times b + M_d \times \gamma_d \times d + M_c \times C_k$ (kPa)

02 规范 地基承载力特征值 $f_a = M_b \times \gamma \times b + M_d \times \gamma_m \times d + M_c \times C_k$ (kPa)

计算公式的一致性,是各规范均以相应于取理论上的基础底下地基土的塑性破坏区深度为基础宽度的 $1/4$ 的界限荷载 $P_{1/4}$ 为地基承载力之故,虽然其代号和名称略有变化,但由 φ 值所确定的承载力系数(共 3 个)除 74 规范中宽度系数 M_b 在 $\varphi > 30^\circ$ 时较 89 规范和 02 规范略有变化外,其余均相同。究其名

收稿日期 2003-04-16

第一作者简介:毛群芳,女,1964 年生,1983 年毕业于华东地质学院工程地质水文地质专业,高级工程师,从事岩土工程专业工作。

称的变化(容许承载力→承载力设计值→承载力特征值),主要是由于国际上工程设计原则由确定性设计向可靠度设计转变。为符合概率极限状态设计形势,89 规范将承载力改名为“设计值”新版 02 规范意识到 $P_{1/4}$ 界限荷载公式不能满足概率极限状态设计计算的基本要求,与“设计值”的概念不符,将“设计值”改名为“特征值”。

三个规范对所计算引用的土的强度指标 C 、 φ 有较大变化,74 规范规定“粘性土的抗剪强度值可根据具体情况采用不同试验仪器和方法确定。如加荷速率较快时,宜用不排水快剪,一般可采用固结快剪,…”。在 77 年全国勘察规范(TJ21-77)则规定“ C 、 φ 的计算值,必要时可根据不同地区的经验,将剪应力的峰值平均值乘以 0.7~0.9 的折减系数确定”。89 规范根据可靠度设计要求,计算时应用标准值 C_k 、 φ_k 。同时规定“对于一级建筑物当采用剪切试验时…,并应采用不固结不排水三轴压缩试验,对于其他等级建筑物如为可塑状粘性土与饱和度不大于 0.5 的粉土时,可采用直接剪切试验;”。新版 02 规范在仍规定应用标准值 C_k 、 φ_k 同时,则进一步明确在承载力计算时所引用的土的抗剪强度指标“当采用室内剪切试验确定时,应选择三轴压缩试验中的不固结不排水试验”,即 C_k 、 φ_k 值为“室内 n 组三轴压缩试验的结果”,否定了在地基承载力计算中固结快剪试验结果的运用。由于所引用的强度参数的变化,按新老规范计算得承载力值有较大变化,尤其在用 74 规范取 C 、 φ 的七折值情况下,所得承载力较小(见后表 1)。

2.2 上海市标准

作为地方标准,上海市起步较早,起点依据是当时的苏联标准《房屋和工业建筑物天然地基设计标准和技术规范》即 MNTY127-55 规范。作为国内第一本地方规范,1963 年上海规范中土的强度计算采用的也是和国标相同的临界荷载 $P_{1/4}$ 公式。在其后的工程实践中发现相应的基础沉降量过大,因而 75 版规范就以不容许基础底面下地基土出现塑性变形区的公式取代了 $P_{1/4}$ 临界荷载公式。89 规范公式亦为与之相同的临塑荷载公式,仅将成果由地基土强度 $R(t/m^2)$ 更名为地基土容许承载力 $f(kPa)$ 。99 规范则是根据上海地区工程经验将承载力计算按概率极限状态设计原则转轨的结果,据此要求以 Hansen 公式取代了不适于可靠度设计的界限荷载

公式,因此可以说解放以来上海规范发生了二次大的变革:界限荷载→临塑荷载→可靠度设计。

市 63 规范 地基土容许承载力 $P_{1/4} = N_B \times \gamma_B \times B + N_D \times \gamma \times D + N_c \times C$ (t/m^2)

市 74 规范 地基土强度 $R = N_D \times \gamma \times D + N_c \times C$ (t/m^2)

市 89 规范 地基土容许承载力 $f = N_D \times \gamma \times D + N_c \times C$ (kPa)

市 99 规范 地基承载力设计值 $f_d = \gamma_d \cdot f_{dh}$ (kPa)
 $= \gamma_d (1/2 \times N_r \times \xi_\gamma \times \gamma \times b + N_q \times \xi_q \times \gamma_0 \times d + N_c \times \xi_c \times C_d)$

市 63、75、89 规范的承载力系数表几乎完全相同,市 99 规范则有较大变化,由 φ_d 确定的三项承载力系数均有不同幅度的增大。而计算公式引用的土的强度参数 C 、 φ 在前三个规范公式中均规定为土的直剪固结快剪峰值强度七折修正后的直线回归值。唯市 99 新规范要求根据直剪固结快剪峰值强度指标平均值 C_k 、 φ_k 经处理后的设计值 C_d 、 φ_d ,处理公式为 $C_d = \lambda \times C_k / \gamma_c$, $\varphi_d = \lambda \times \varphi_k / \gamma_\varphi$ 。并规定 λ 为土的抗剪强度指标标准值修正系数为 0.7; γ_c 为土的凝聚力的分项系数取 2.0; γ_φ 为土的内摩擦角分项系数取 1.3。 λ 系数的修正处理实际上是将土的 C 、 φ 值打七折,使之与早期规范用值相一致,而分项系数则使承载力计算符合概率极限状态设计原则变为设计值。由于荷载设计参数采用了 1.2~1.4 的分项系数,按市 99 规范计算的地基承载力设计值较常值提高了 20%左右(见表 1)。

现以上海地区基本土层条件按各种公式进行试算比较:

假定条形基础,基础宽度 1.5m,基础埋深 1.0m,地下水位埋深 0.5m

三种地基土情况:

情况 1 :①层褐黄色粉质粘土 直剪固结峰值 C 、 φ 实测平均值
 $C_m = 24kPa$, $\varphi_m = 19^\circ$; 三轴快剪 $C_k = 70kPa$, $\varphi_k = 0$; $\gamma = 19.0kN/m^3$

情况 2 :②层灰黄色粉质粘土 直剪固结峰值 C 、 φ 实测平均值 $C_m = 17kPa$, $\varphi_m = 16^\circ$; 三轴快剪 $C_k = 50kPa$, $\varphi_k = 0$; $\gamma = 18.0kN/m^3$

情况 3 :③层灰色淤泥质粉质粘土 直剪固结峰

值 $C、\varphi$ 实测平均值 $C_m = 14\text{kPa}$, $\varphi_m = 13^\circ$; 三轴快剪
试算结果见表 1。
 $C_k = 30\text{kPa}$, $\varphi_k = 0$; $\gamma = 17.5\text{kN/m}^2$

表 1 承载力比较计算表
Tab.1 Calculation table for comparing

| 规范 | 国家标准 | | | 上海市标准 | | | |
|--------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | TJ7 - 74 | GBJ7 - 89 | GB50007 - 2002 | 1963 年 | 1975 年 | DGJ08 - 11 - 89 | DGJ08 - 11 - 1999 |
| 承载力名称 | 地基土容许承载力
$R_s(t/m^2)$ | 地基承载力设计值
$f_v(\text{KPa})$ | 地基承载力特征值 $f_a(\text{KPa})$ | 容许承载力
$P_{1/4}(t/m^2)$ | 地基强度
$R(t/m^2)$ | 地基土容许承载力
$r(\text{KPa})$ | 地基承载力设计值 $f_d(\text{KPa})$ |
| | 视情况定
(直固快剪七折值 $C、\varphi$) | 直剪固快标准值
$C_k、\varphi_k$ | 三轴快剪标准值
$C_k、\varphi_k$ | 直剪固快七折值
$C、\varphi$ | 直剪固快七折值
$C、\varphi$ | 直剪固快七折值
$C、\varphi$ | 直剪固快设计值
$C_d、\varphi_d$ |
| 承 情况 1 | 10.9 | 167 | 172 | 10.9 | 10.4 | 104 | 124 |
| 载 情况 2 | 7.7 | 112 | 127 | 7.7 | 7.5 | 75 | 95 |
| 力 情况 3 | 6.4 | 87 | 81 | 6.4 | 6.1 | 61 | 82 |

3 应用分析

2002 国家标准考虑到作为国家标准的覆盖面和应用习惯,继续引用 $P_{1/4}$ 临界荷载的计算公式。但根据国家统一设计技术标准规定和贯彻可靠度设计原则,承载力应定义为地基极限承载力标准值和地基承载力设计值。为避免矛盾改用‘地基承载力特征值’的命名,以 f_a 表示。按该规范术语 2.1.3 款,地基承载力特征值是‘指由荷载试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值,其最大值为比例界限值’。按此定义, f_a 是一套系列值,不是一个定值 而其最大值即比例界限值应是基底下地基土即将发生塑料破坏的临界值,即临塑荷载值 P_{cr} 。它与 02 规范 f_a 公式是不吻合的,后者为临界荷载 $P_{1/4}$ 公式,此时变形曲线已不呈线性,地基土呈弹塑性变形。此外,从汉语名辞理解“特征值”可有多种情况解,用于本规范似欠确切。此外,该公式要求计算使用的土的强度指标 $C、\varphi$ 值均应由三轴试验测得,是注意到国际上在土的强度试验中普遍采用三轴试验方法,基本上舍弃了直接剪切试验的动向,但忽视了我国众多的工程勘察单位缺乏甚至不具备足够的三轴试验设备及相应的取土设备、取土工艺和试验经验的现状,该现状的扭转有待时日。而定义中强调承载力测定手段以载荷试验为基准,这对于一般规模工程又是一项难以办到

的事情,而对于设计人员 f_a 又是一个承载力新值,在已有众多的 f 的情况下, f_a 的出现又给使用者增添了理解和使用的麻烦。市 99 规范是在总结上海地区 50 余年来天然地基设计的经验和教训的基础上向国际标准靠拢的产物,岩土是一套十分特殊的材料,有很大的离散性和地域性,不能和一般材料等量齐观。长期的工程实践证实,上海地区由于其软土的高压缩性,制约地基承载力设计取值的主要因素不是强度而是变形。在九十年代对各种建筑物的沉降量控制标准进一步从严修改的同时,较一致地认为用临塑荷载以固结快剪强度七折值求得的 $C、\varphi$ 值计算得的地基承载力值较符合上海地区天然地基设计要求,这是一套十分宝贵的地区性岩土工程经验。市 99 规范将这套实际上是由变形控制的土的强度和承载力之间的关系式用适应于可靠度设计计算的汉森极限承载力公式表示,既继承了 50 年来上海软土地区的岩土工程经验,又满足了工程设计向概率极限状态可靠度设计转轨的要求,便于与国际接轨。

为迎合‘当国标与地方标准有矛盾时,以国标为准’的一般习惯,出现了同时提供按 02 国标计算的特征值 f_a 和按市 99 规范计算的设计值 f_d 的做法,似也同时可满足确定性设计和可靠度设计二种设计需要,但对比计算可知(表 1),02 国标的 f_a 值要比市 99 规范的 f_d 值大得多,不符合特征值小于设计值的

常规。这是因为除了所采用的计算公式($P_{1/4}$ 公式)不一致外,还和计算引用的土的强度指标 C 、 φ 值不是七折值而是按三轴试验测得的峰值的标准值等因素有关。为此,上海市 02 规范出现了按原位测试结果求得地基承载力基本值 f_0 后按经验关系 $f_{ak} = 0.9 f_0$ 及市 99 规范计算 f_d 值后按经验得出 f_{ak} 值,从而满足 02 国标提供 f_{ak} 和 f_a 值的要求。因此,我们认为:上海地区岩土工程勘察报告按 02 国标要求提供 f_{ak} 和 f_a 值实际意义不大,为设计使用习惯和方便,用途更大的仍应是按市 99 规范提供的承载力设计值 f_d 。当然,若设计方要求提供确定性设计需要的承载力值时,勘察报告可按不同方法提供地基承载力特征值 f_{ak} ,但同时应说明 f_a 值确定的方法、公式,以便随着设计要求的变化(基础类型、尺寸、埋深、地下水等)进行修正。

人们普遍认识到,市 99 规范有其适用地层的局限性。对于粉性、砂性土层,按该公式所计算得到的 f 值偏小。这是计算公式的局限性所致。现规范公式(汉森公式)适用于粘性土地基上,在一定时间内逐步形成的,一般建筑物外荷载是分级逐步施加的情况。此时地基土出现整体稳定破坏,而粉性砂性土地层则是局部剪破坏。早期上海规范则多用临塑

荷载公式以 C 、 φ 的折扣值代入,以满足粘性土地基从控制沉降角度之发的地基承载力确定的要求。为此,上海 99 规范提出对于粉性、砂性土地基宜用各种原位测试方法确定 f_d 。2002 版上海岩土工程勘察规范更明确对这类土宜由原位测试方法确定天然地基的地基承载力设计值,并列出了各种原位测试手段计算 f_0 的公式和由 f_0 计算 f_d 的公式。

在岩土工程勘察报告编制中应注意到 根据 99 市标计算得到的 f_d 值是在假定基础宽度、基础埋深和地下水位埋深的情况下取得的一个特征参数。而在结论和建议一节中,则是要根据已查明的场地地层分布条件结合具体工程设计特性有针对性地提供拟建工程的天然地基承载力设计值 f_{d0} 。这对于②层由地表向下土性逐渐变差的沿海平原地基土而言,尤其重要。如拟建场地第①层土厚度约 1.5m,若以第②层为天然地基持力层,则应该计算基础埋深 $d = 1.5m$ 时的天然地基承载力设计值 f_d ,并且需要考虑下卧层,即采用双层地基计算(实际 f_d 值可能小于标准情况下的 f_d 值)。当基础砌置深度大于 1.5m,而褐黄色土②₁ 层埋藏偏深时,实际计算得到的 f_d 会大于标准情况下的 f_d 值。勘察报告不应把土性表中的 f_d 值与结论建议中的 f_d 值简单地等同起来。

Understanding and Application on Calculation Formulas for Bearing Capacity of Natural Foundation

Mao Qunfang

(Shanghai ZhenHua Engineering Consulting corporation 200063)

Xu Siyi

(China shipbuilding Industry Institute of Engineering Investigation & Design 200063)

Abstract By analyzing calculation formulas for bearing capacity of foundation in new - edition state standard and former state standards as well as Shanghai standard, and comparing with them, the design value of bearing capacity of natural foundation (f_d) provided in the Geotechnical Investigation Report in Shanghai Region is considered to be advisable.

Key Words Critical edge pressue (P_{cr}) Critical pressue ($P_{1/4}$) Design of Probability Limit State Characrestic Value of Subgrade Bearing Capacity (f_a) and Design Value of Bearing Capacity of Foundation (f_d)

钻孔灌注桩在某工程中的应用及质量控制

张浩罡

(上海中环投资开发(集团)有限公司 上海 200060)

摘要 作为地下隐蔽工程的钻孔灌注桩其质量的好坏直接影响到上部构、建筑物的使用质量和安全,从成孔到灌注成桩其工艺复杂且环环相扣,相互制约又相互影响。文章从影响成桩质量的几个要点,着重分析和阐述了保证灌注质量的措施和方法。

关键词 泥浆 清孔 首灌 成桩质量

1 工程概况

本工程位于上海市普陀区,据钻探勘察报告,拟建场地土层自上而下依次为:杂填土、砂制粉土、淤泥质粉土、粉土及粉质黏土。该大厦由三栋高层楼宇组成,分别为 21、18、24 层,总建筑面积 31227m²。且另有一地下车库其建筑面积为 4400 平方米。工程所采用桩基础为直径 $\phi 600$ 的钻孔灌注桩,设计桩长为 32.6m,其围护结构也采用搅拌桩套灌注桩的围护方案,灌注桩长 11m,桩径 $\phi 600$,砼设计强度为水下 C30。

2 灌注桩的施工质量控制

由于钻孔灌注桩施工工艺性较强,不少工程也因此发生断桩等质量事故,但通过对钻孔灌注桩施工中影响质量的重点环节进行预控,就能基本保证桩身质量。

2.1 泥浆质量控制

钻孔灌注桩主要靠泥浆静压力来平衡对孔壁的压力。而泥浆的密度在钻孔灌注桩施工中占有重要地位,直接影响桩的质量。泥浆比重低,钻进速度快,不易糊钻,形成的护壁泥浆皮薄而坚韧,可使桩身砼与原始地层接触紧密,提高桩身摩阻力。特别是在浇灌砼时,要控制泥浆的性能指标(密度 1.05 ~ 1.2,黏度 17 ~ 20S,含砂率 4%),以减小背压和砼浇灌时的阻力,保证首灌混凝土的冲击力,挤开孔底沉淤,并有利于克服夹泥断桩等质量问题。但对一些刚开孔的杂填土层和一些特殊土层(如砂层、卵石层等),就应适当地加大泥浆比重及黏度,以防漏浆和塌孔。

2.2 沉渣厚度的控制

钻孔灌注桩承载力达不到设计要求,多为孔底沉渣厚度过厚造成,当桩以摩擦力为主时,沉渣不得大于 300mm,当桩以端承力为主时,沉渣厚度不得大于 100mm。沉渣少,嵌严密实,有利于减少桩在长期荷载下的最终沉降量,以及减少整个建筑物的最终沉降量,以及减少整个建筑物的不均匀沉降。为此最后一次清孔宜采用泵吸反循环清孔,并需清孔迅速。而采用正循环清孔,要排出岩屑和泥团只有依靠加大泥浆的比重和黏度来悬浮携渣,清孔速度慢且清不干净,大比重的泥浆还会影响混凝土的浇灌和桩身摩阻力。因此在本工程中采用反循环的方式,并对沉渣厚度数据进行了重点的控制

2.3 混凝土灌注工艺的控制

2.3.1 原材料、配合比的控制

应优先采用早强、和易性及保水性好,干缩性小的普通硅酸盐水泥,中粗砂,细度模数宜控制在 2.3 ~ 2.8 范围内,5 ~ 40mm 连续级配的碎石,若掺加外加剂,应选用缓凝性的外加剂,并应注意外加剂对水泥的适应性。由于混凝土在泥浆中灌注和养护,故应将强度提高 10%,为确保浇灌顺畅,还应有良好的和易性和流动性,塌落度控制在 18 ~ 20cm。(见表)

2.3.2 首灌砼及砼量的要求

收稿日期 2003.6.11

第一作者简介 张浩罡,男,1974 年 9 月生,同济大学工业与民用建筑专业毕业,就职于中环投资开发(集团)有限公司,从事工程现场施工管理工作。

原材料投量允许偏差表

| 项次 | 项目 | 允许偏差 (%) |
|----|-----------|----------|
| 1 | 水泥、外掺混合材料 | ± 2 |
| 2 | 粗、细骨料 | ± 3 |
| 3 | 水、外加剂溶液 | ± 2 |

首灌砼的和易性和流动性一定要好,首灌砼量应经计算确定,其计算公式为 $V \geq 0.25\pi h_1 \times d \times d + 0.25\pi k \times D \times D \times h_2$

- 式中:V——混凝土的初灌量
h₁——管内混凝土柱与管外泥浆柱压力平衡所需高度: $h_1 = (h - h_2) \times r_w / r_c$
h——桩孔深度
h₂——初灌混凝土下灌后,导管外混凝土面的高度,取 1.3 ~ 1.8
r_w——泥浆密度,取 1.1 ~ 1.2
r_c——混凝土密度,取 2.3 ~ 2.4
d——导管内径
k——混凝土充盈系数,取 1.3
D——桩孔直径

要保证首灌后砼埋管 1 ~ 2m,否则将会影响首灌砼的冲击力和排淤能力,进而影响桩尖嵌岩质量。

2.3.3 导管埋深的控制

导管的埋深对砼的浇灌质量有很大的影响,并直接关系桩身完整性质量。根据砼的流动扩散规律,埋深过浅会导致管外混凝土表面上的泥浆和泥渣卷入砼中形成夹层,造成断桩;埋深过大,则混凝土不易流出,易堵管。因此导管的埋深宜控制在 3——10m 范围内,最小不得少于 2m。

3 浇灌过程中事故处理方法及避免措施

3.1 首灌失败的补救措施

首灌不成功,应立即采用泵吸反循环清孔吸出孔内砼,然后重新首灌。若发生堵管,则应拔出导管,疏通后重新下导管(离砼面 30——40cm),然后继续灌桩,但此次第一斗砼要能起到排除管内泥浆并封住导管口的作用,然后使导管下插穿过夹渣面

继续灌注,并保持导管底下拔出来渣面。这一措施应迅速完成,以防混凝土凝结硬化,即使采取上述措施,并提高强度等级,仍易造成软弱夹层。

3.2 避免堵管的措施

以较快的速度浇灌砼,并使井孔内埋管深度达到 3——4m。灌注过程中,通常观察泛浆情况可知是否发生堵管。若灌注下一盘料后泛浆顺利,泥浆涌出孔口,即可断定灌注顺利,未堵管。反之泛浆不顺利,泥浆涌出管口很少甚至不泛浆,可能是发生堵管的前兆,即立即采取措施(如快速上升或下降导管)。

发生堵管的原因如下:

- (1)埋管过浅,导致砼灌下后孔内泥浆返到导管内,形成混浆,使管内砼流动性降低,石子呈团状,堵在管口而造成堵管。
- (2)埋管过深,由于砼不能靠自身重力作用冲出导管而造成堵管。
- (3)混凝土搅拌不良或石粒粒径过大,使砼流动性降低而堵管。

为防止堵管,灌注砼时导管不得埋得过深或过浅,并应严格控制砼的搅拌质量,不合格的砼不得进入导管。灌注过程中应注意提管高度每次不宜超出 60cm,灌注一定量后须拆管,否则会使埋管过深。每次拆管前应测定砼的表面高度,并与计算值进行比较,按偏于保守的原则确定埋管深度不超过 7m 且不少于 2m。

4 结论:

钻孔灌注桩质量控制从成孔检测到灌注成桩需严格按照有关规范及设计要求进行全过程监控外,还必须在实际操作工艺中对泥浆比重、二次清孔、首灌质量、排除灌注中故障方面加强措施。本工程由于抓住了以上环节,因此对桩身完整性的小应变检测及单桩竖向抗压试验的最终结果均达到和满足了设计要求,取得了较好的效果。

参考文献

[1] 黄培航.大直径灌注桩质量事故处理.建筑科技 99.2

Using and Controlling of Quality for Pouring Hole Pile Drilling in Some Engineering Project

Zhang Haogang

(Shanghai Zhong Huan Investment Development (group) Co., Ltd 200060)

Abstract : The quality of the pouring hole pile drilling influences on the use and the safety of construction directly as a concealed engineering underground. The technology of it is linked complicatedly from hole drilling to pile pouring. The paper analyses and illustrates the measures and ways to emphatically guarantee the quality of pile pouring from the aspect of pile quality.

Key words : mud eliminate holes pouring at first the quality of pile

(上接第 21 页)食物中的微量元素由于受植物纤维和植酸的影响,吸收率多数不到 30%,有的还不足 10%。而溶于水中的微量元素吸收率高达 90% 以上,而且人一天的饮水量要大于食量,所以不足部分,必须靠饮水来补充。

经专家实验发现,喝水补进的矿物质和微量元素在 20 ~ 30 分钟即可到达血液中,而食物中的矿物质则需要 5 ~ 6 小时才能到达血液中。

也有人说:“矿物质、微量元素缺乏,我可以吃含微量元素、矿物质的营养品来补充,水中没有微量元素、矿物质无关紧要。”我们说,营养品是能给人补充微量元素、矿物质,但水中的微量元素、矿物质在水中所起的作用已不仅仅是营养物质的作用。

随着科学的发展,人们对水的研究日益深入。在这里值得提出的是,近年来一些专家教授论述:从量子力学、化学及结构学观点及其实验证明,水中矿物质对生物体不但有营养作用,而且对维持水的正常构架起着主要作用。除去矿物质后,水的结构发生异变,功能也发生异变。从分子生物学、营养学研究进展来看,水不但起解渴、载体的作用,而且直接参与生物物质代谢、能量代谢和遗传信息传递等作用。

我们知道水分子 H_2O 是有正、负极性的,矿泉水中含有丰富的矿物质、微量元素,它们以正、负离子状态存在,例如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 等等,这些正、负离子被吸附在有正、负极性的水分子周围,形成了一个个团状小分子,这种小分子团极易参与人体细胞的新陈代谢。它将有损人体的营养物质、微量元素带入细胞膜内,将细胞内的废物溶解带出,排出体外。而除去矿物质、微量元素的水,水分子之间互相吸引、链接,成为链条状的大分子团,这种大分子团水不易进入人体细胞,甚至会产生相反的作用,它会在细胞间产生负压,导致人体内原有的矿物质、微量元素向外流失。从这个观点来看,矿泉水中矿物质、微量元素所起的作用已远远大于其本身的营养作用。这就是不能忽视水中微量元素、矿物质的价值的原因。

民间有句俗称“药补不如食补,食补不如水补”。而“水补”的关键是要正确地选择饮用水,天然矿泉水就是您最好的选择。

综合工程物探在上海地铁四号线抢险工程中的应用

王治华 夏学礼

(上海市地质调查研究院 上海 200072)

摘 要 在上海地铁四号线抢险工程中,综合工程物探快速、准确地圈定了受地面沉降影响,周边土体的扰动范围及深度,并对江底隧道的状况进行了调查。文章介绍了用地质雷达、高分辨率 SH 波浅层反射波法、瞬态瑞雷面波法勘探及水上高密度多波列地震影像法等综合工程物探方法在该工程中的应用前提及效果。

关键词 地质雷达 SH 波 瑞雷波 绕射波 土体扰动 沉降。

1 前言

上海地铁四号线区间隧道,上、下行联络通道突然渗水。由于内外压力失衡导致通道部分塌陷,地面也随之出现“漏斗型”沉降。因此,及时、快

速、准确地提供沉降区域周边土体的扰动范围及深度、江底土体沉降及土体扰动范围、江底隧道现状的数据资料对抢险的指挥决策十分重要。针对各种工程物探方法在本工程中的预期效果进行了对比分析后,结合本区的工程地质条件及场地现状,最终选择

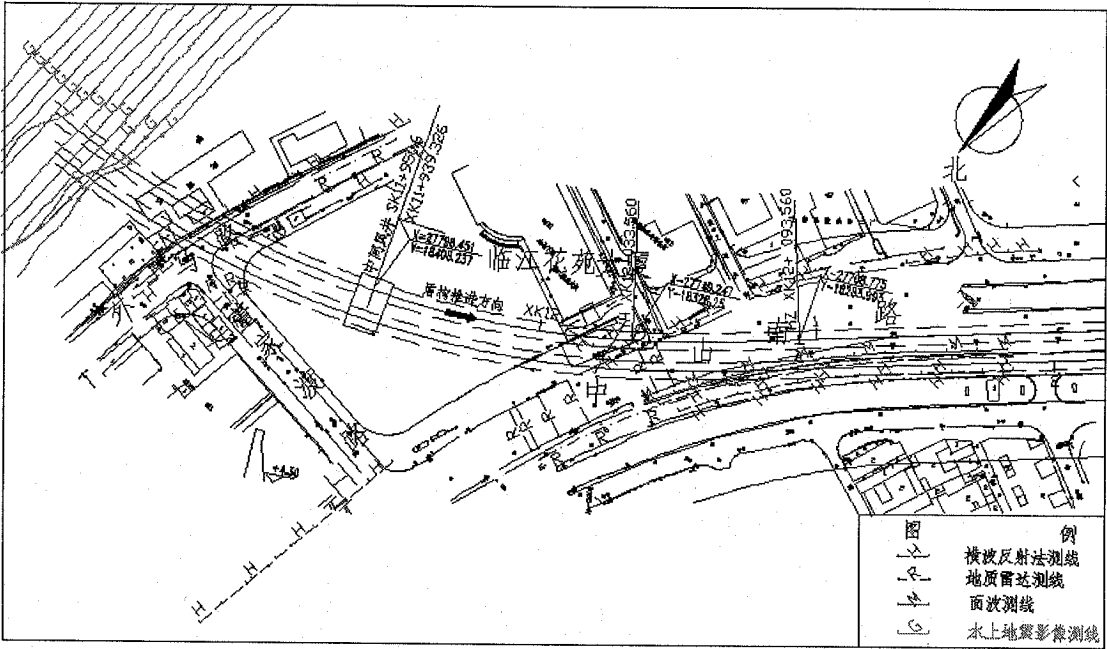


图 1 上海市地铁四号线抢险工程综合工程物探工作布置图

Figure 1 The arrangement of integrated engineering exploration in Shanghai Subway No.4 line relieving engineering

了地质雷达、瞬态瑞雷波法勘探、高分辨率 SH 波浅层反射波法勘探、水上高密度多波列地震影像法等多种工程物探方法进场工作。工作布置见图 1。

2 方法技术

地铁四号线在事故段通过的地层为工程地质第

收稿日期 2003-08-15

第一作者简介 王治华,男,1978 年生,本科,2001 年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理系,参加工作后一直从事工程物探的研究与应用工作。

⑥层(暗绿色粘土层)和第⑦1层(砂性土),埋深 26 ~ 30m,上覆地层为粉质粘土(第⑤层)、淤泥质粘土(第④层)等软土地层。因此,确定本次工程物探最大的勘探深度为 30 米。投入的工程物探方法有:
地质雷达

在工程物探领域,地质雷达具有分辨率高、使用方便等优点。它是通过雷达发射天线向地下发射高频的电磁波,当电磁波遇到电性差异分界面将产生反射(或有散射、绕射等),用另一(或同一)天线接收返回信息。它与单道接收的地震记录类似,因此,可参考地震反射剖面的处理、解释方法,结合电磁波的特性对波组的相位、振幅变化特征进行分析,推断地下异常体的形状、空间位置。

浅层 SH 波反射波法勘探

在浅层地震勘探中,SH 波反射波法勘探具有分辨率高的特点,尤其是在软土地层中,它能详细地划分地层。对上海的浅部软土地层而言(30m 以内),其横波速度较低,仅为 80 ~ 150m/s,图 4 为其频谱图,能量主要集中在 12 ~ 50HZ,因此,对大于 1m 的薄层也能划分。本次抢险工作,要求判断隧道上方土体是否已被扰动及扰动的地质层位。浅层 SH 波反射波法勘探的工作思路是首先在远离塌陷区地段获得土体未受扰动时的 SH 波反射记录,然后向塌陷区追踪,观察浅部地层的变化,最终判断隧道上方土体的扰动边界及扰动的地质层位。

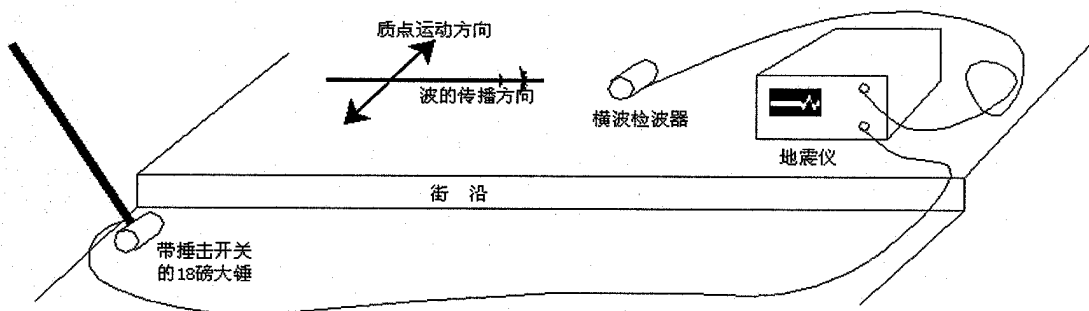


图 2 SH 波数据采集示意图
Figure 2 SH wave data acquisition

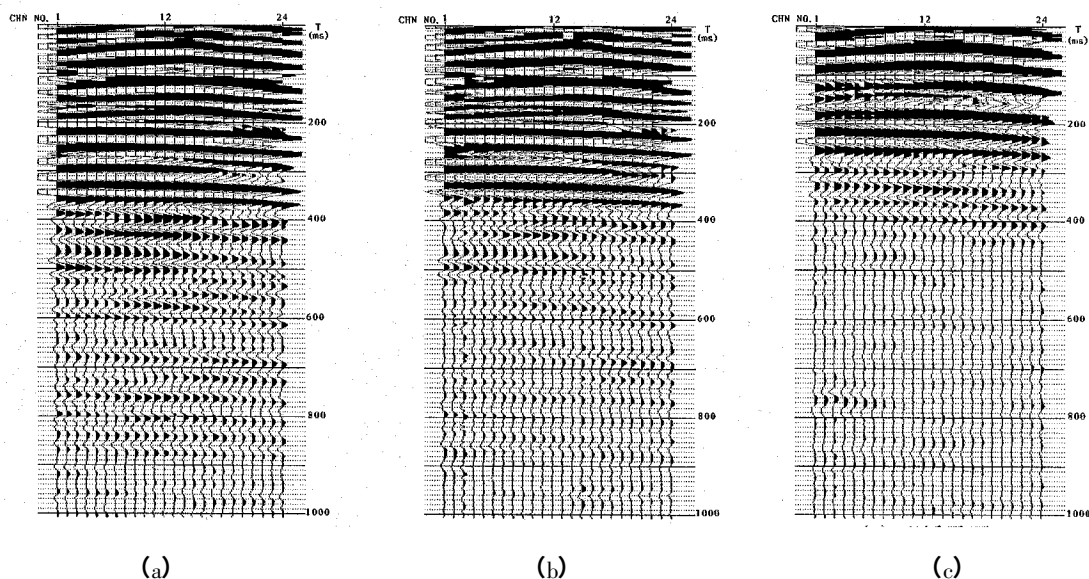


图 3 不同激震方式 SH 波对比图
(a)铁锤敲击街沿,(b)木榔头敲击街沿,(c)叩击木板震源

Figure 3 Excitation of SH wave by different modes

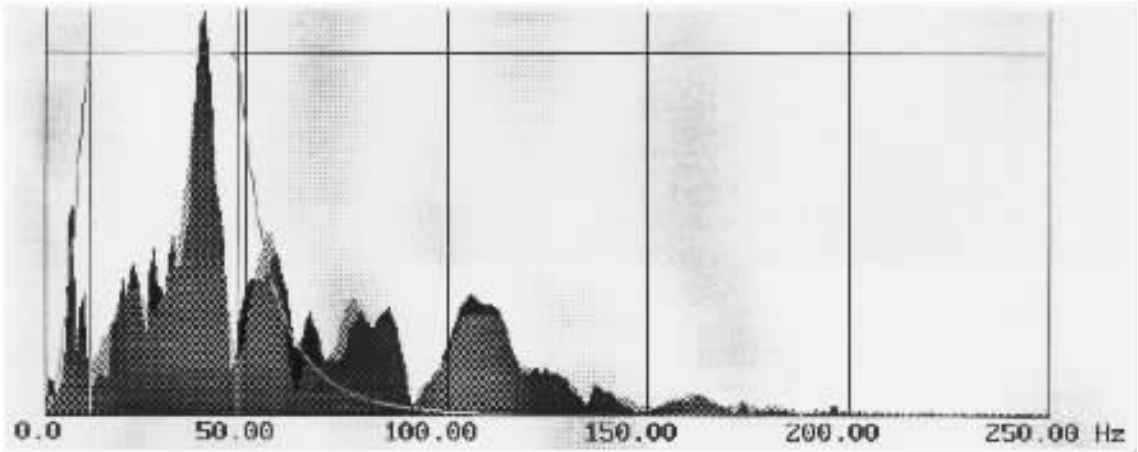


图 4 SH 波频谱图

Figure 4 SH wave spectrum diagram

由于受场地条件的限制,本次工作无法采用多次覆盖观测系统,仅能视场地状况沿测线分段进行单炮采集。在本次工作中,我们采用了水平敲击街沿和敲击木板二种激法方式来激发 SH 波。图 2 是敲击街沿的采集方式。图 3 是采用敲击木板和敲击街沿在同一排列采集的 SH 波记录。可见,二种 SH 波激发方式所获得的横波反射记录的信噪比都较高。

瞬态瑞雷波法勘探

瞬态瑞雷波法勘探具有快速且受场地条件限制较少的特点,另外,它获得的浅部土层的瑞雷波传播速度又接近土层的剪切波速度,这样,我们可以研究沿测线方向浅部土层的横波速度的大小与变化规律,来圈定浅部土体的扰动状况及范围。

水上高密度多波列地震影像法

由于本次陆地塌陷区位于黄浦江边,因此,对江底沉陷区和土体扰动范围的圈定以及对江底 25 米深处的隧道现状进行评价,对工程抢险和隧道的修复具有十分重要的意义。为此,我们采用了水上高密度多波列地震影像勘探。其工作方法是采用敲击铁船船底或用汽枪为震源来激发高频弹性波,用单个水听器小偏移距(10m 左右)接收来自水底和水底以下地层或不均匀介质体(如江底隧道)的反射、散射、绕射波等多波列信号,来研究水下地层和隧道。为此,在垂直隧道走向布置了线距 5m,长 200m 的数条测线,进行数据采集。为了增加数据采集密度,采用敲击震源船为震源,平均 1.3s 激震 1 次,船速控

制在 1 节,这样一般在沿测线间隔 1.3m 采集一道数据。当采用汽枪震源时,平均 3s 激震 1 次,船速控制在 1 节以内,这样也可以达到沿测线高密度数据采样的要求。

3 主要成果

在本次地质灾害调查中,我们在同一测线一般都采用了多种工程物探方法,其目的是为了在资料解释时相互佐证,以使得出的结论准确、可靠。

3.1 圈定陆地土体扰动边界

塌陷区地质层简介

- 自上而下,地层依次为:
- ①填土 层底标高 2.70m,厚度 1.36m
 - ②2 灰色粘质粉土 层底标高 - 9.64m,厚度 11.0m
 - ④灰色淤泥质粉土 层底标高 - 13.34m,厚度 3.70m
 - ⑤1 灰色粘土 层底标高 - 16.44m,厚度 3.10m
 - ⑤2 灰色粉质粘土 层底标高 - 20.94m,厚度 4.50m
 - ⑥暗绿色 ~ 草黄色粉质粘土 层底标高 - 24.84m,厚度 3.90m
 - ⑦1 草黄色砂质粉土 层底标高 - 32.94m,厚度 8.10m
 - ⑦2 灰黄色粉砂 未钻穿

土体扰动边界确定

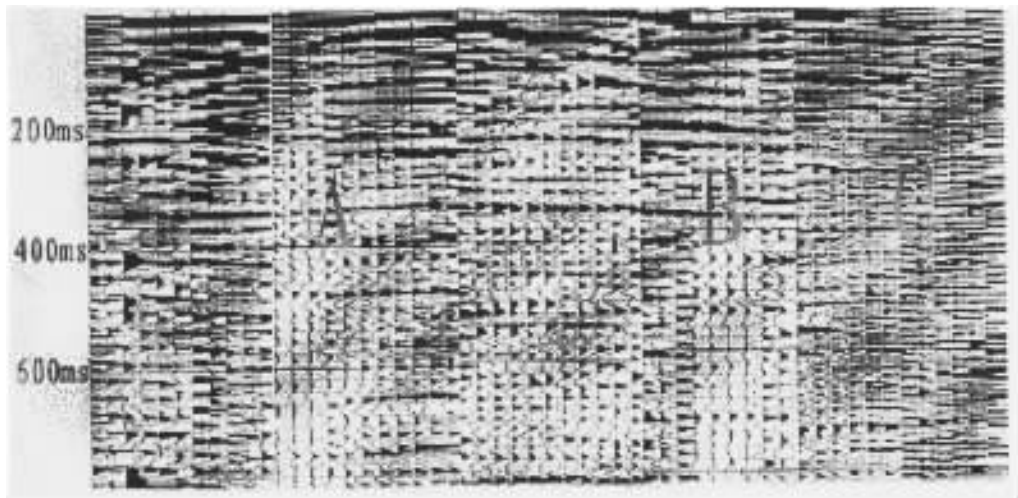


图 5 单次覆盖视 t0SH 波剖面图

Figure 5 Single covering apparent t0 SH wave section

图 5 是单次覆盖视 t0SH 波反射波法时间剖面图。从图可见,有两组可供对比追踪的反射波组,其中双回程反射时为 220ms 的一组反射波组,若选择的叠加速度为 100m/s,对应埋深为 11m,与本工作区工程地质资料对比,应为第④层的反射。双回程反射时为 340ms 的一组反射波组,叠加速度为 140m/s,对应深度为 23.8m,对应本区工程地质第⑥层(暗绿色粘土),该层在上海地区是一标志性反射波组。将该剖面划分为三个区:A 区、B 区和 C 区,图中作了标注。A 区的两个反射波组均可连续对比追踪,说明该区段地层稳定,土体没有受到扰动。B 区的

上部反射波组其双回程反射时由 220ms 增至 230ms,其埋深已由 11m 变化至 11.5m,而双回程 340ms 的反射波组在靠近地面塌陷区的一端已增至 390ms,对应⑥层埋深已由 23.8m 下沉至 27.3m,因此,断定该处深部的沉陷大于浅部,塌陷是由深部向浅部逐步发育。在 C 区,两个反射波组除在远距塌陷区段可对比追踪外,已无法对比追踪,表明该区下部土体已严重扰动和坍塌。据此,确定 A 区为稳定区、B 区为过渡区、C 区为完全扰动区,扰动边界定为 A 区与 B 区之间,扰动深度达到第⑥层。

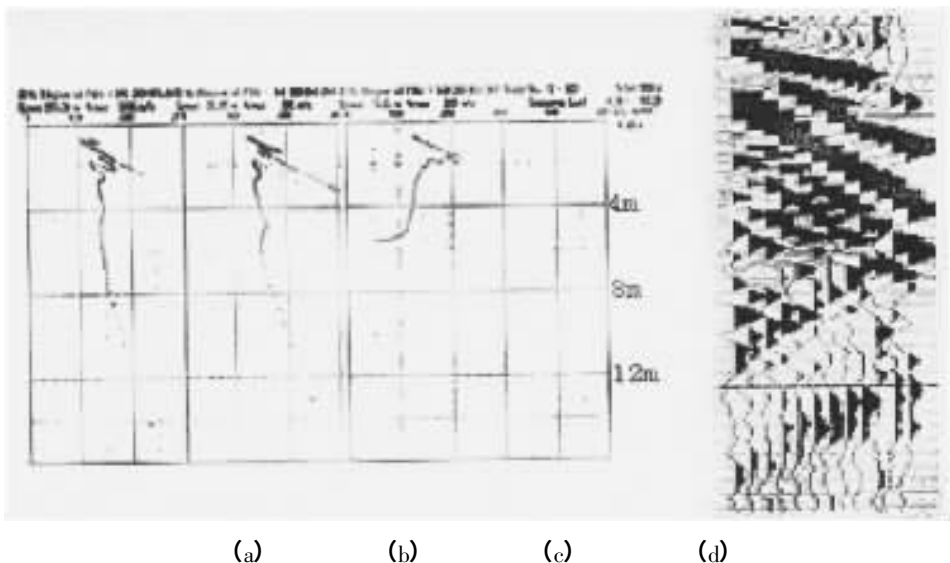


图 6 瑞雷波频散曲线图及波形图

Figure 6 The frequency disperse curve and the waveform of Ravleigh wave

图 6 为瞬态瑞雷波频散曲线及瑞雷波波形图,从(a)可见,频散曲线大致可有四层:第一层为杂填土,厚 2m 左右,与地质雷达资料吻合;第二层为淤泥质粘土,横波速度 150m/s;第三层横波速度高于第二层,横波速度为 170m/s,解释为粉质淤泥质粘土;第四层速度更高。频散曲线的这一特征证明该

频散曲线对应区段的地质结构稳定。(b)的频散曲线与(a)类似,其对应的波形图(d)有明显的“V”字波,这是由于该排列接近隧道。(c)为隧道上方的频散曲线,已严重畸变,速度突降,说明该处土体已严重扰动。本次瑞雷波勘探所采用的技术手段判断土体是否已受扰动在本工程中取得了较好的效果。

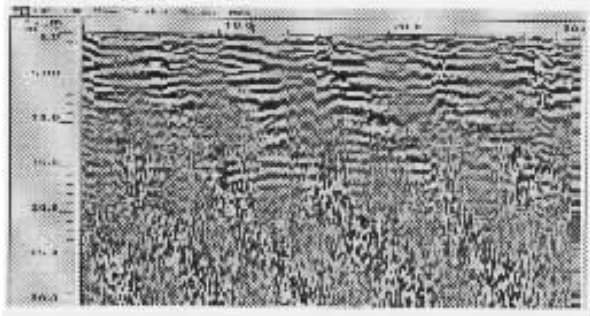


图 7 地质雷达成果图

Figure 7 The result of ground penetrating radar

图 7 是董家渡路上 Line3 测线的地质雷达成果图,反映出地下 15 米以内有三层地质层:第一层埋深 2.5m 左右,与瞬态瑞雷波资料解释结果吻合,为杂填土;第二层埋深 10m 左右,对应于工程地质第④层;第三层埋深 15m 左右,对应于工程地质第⑤层。仔细分析埋深为 10m 和 15m 这两个地质层位的雷达图像,两个层位均已发生倾斜且已不能连续对比追踪,尤其是 15m 这层已经发生扭曲,这显然是受到深部土体严重扰动的影响所致。

图 8 是 Line1 线地质雷达成果图,从图中可见 5m 左右有一层,对应人工堆积层,15m 左右也有一

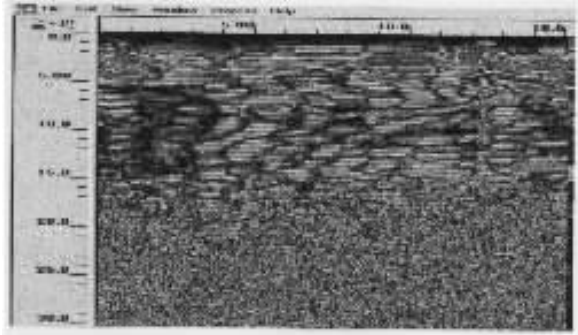


图 8 地质雷达成果图

Figure 8 The result of ground penetrating radar

清晰的地质层反映,与 Line3 一样,相对应于工程地质第⑤层。分析可见,在测线右端(靠近中山路一侧)较稳定,而在测线左端(靠近塌陷区一侧)已经倾斜,表明该处在地下 15m 的土体已经扰动。

综上所述,为了调查由于地面塌陷而诱发的周边土体的扰动状况及深度,我们在塌陷区周围,利用一切可以利用的空间布置综合物探测线,据不同工程物探方法对地下土体的反应特征确定了其扰动边界,见图 11。

3.2 圈定江底沉陷区边界

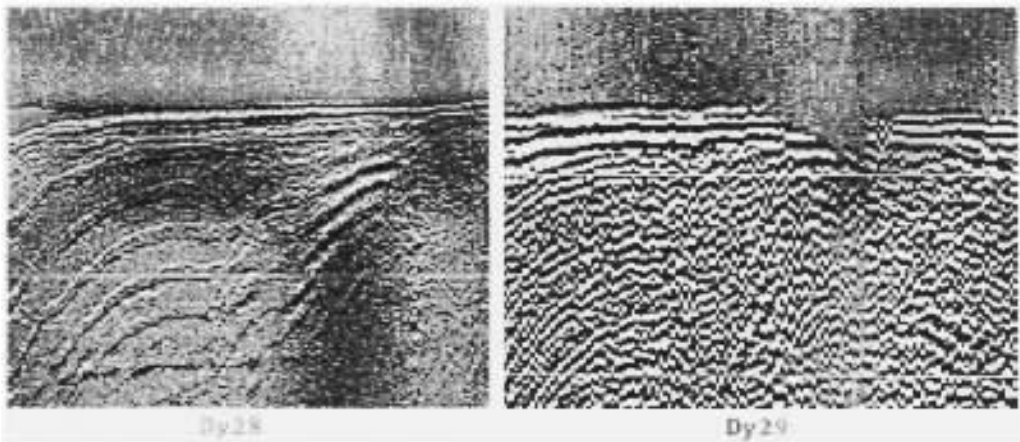


图 9 水上高密度多波列地震影像探测成果图

Figure 9 High density multiwave seismic photography result on the water

图 9 是水上相邻的 DY29 线及 DY28 线高密度多波列地震影像图,对比可见,两者对江底地形的反映有显著的不同,在 DY29 线的 87 道至 109 道间水底已明显沉陷,且土体已十分疏松。而距 DY29 线仅 5 米的 DY28 号线的江底反映正常,同样在靠近江边的 DY30、DY31 号线上有和 DY29 同样的图像特征。据水上高密度多波列地震影像资料确定了沉陷范围,见图 11。

3.3 圈定江底土体的扰动范围

江底地质层简介

自上而下地层依次为:

①江底淤泥 层底标高 -4.20m,厚度 2.20m

③₂ 灰色粉质粘土 层底标高 -13.10m,厚度 8.90m

④灰色粘土 层底标高 -15.40m,厚度 2.30m

⑤灰色粉质粘土 层底标高 -22.80m,厚度 7.40m

⑥暗绿色~草莓色粉质粘土 层底标高 -24.80m,厚度 2.00m

⑦₁ 草黄色砂质粉土 层底标高 -29.50m,厚度 4.70m

⑦₂ 灰黄色粉砂 未钻穿

江底土体扰动边界确定

图 10 为通过隧道上方的 DY26 及 DY24 两测线的水上高密度多波列地震影像图。在 DY26 剖面图上有多个低频的同相轴,而在 DY24 的图像上则没

有这一特征,表明 DY26 线隧道上方的土体已受到扰动,土体疏松,高频弹性波被强烈吸,或由于隧道及其上方不均一介质(扰动土)的存在导致弹性波在传播的过程中产生类型转换以及产生波散,因此产生了较为复杂的波场。应用这些弹性波的波场特征就能确定江中隧道上方土体的扰动边界,见图 11。

3.4 确定江底隧道的顶板标高

应用工程物探方法来确定江底隧道的埋深是一个十分困难的课题。但对于工程抢险来说,这一资料的快速取得又十分重要。为此,我们选择了水上高密度多波列地震影像法勘探,在江面上布置了垂直隧道的 200 米长的多条剖面,剖面距 5 米。并先后采用敲击船底和汽枪震源在同一剖面上进行数据采集。弹性波在传播过程中如遇异常地质体(结合本地区为隧道)会产生绕射。而绕射波时距曲线有如下特征:①无论在何处激发,绕射波时距曲线的最小时间与地下不均匀体对应;②无论在何处激发,绕射波时距曲线的最小时间梯度方向指向绕射体;③当激发点位于绕射体最上方时,该绕射体产生的绕射波旅行时间要比其它位置激发得到的绕射波旅行时间更短^[2]。因此,若能在高密度地震影像上找到由于隧道而引起的绕射波,就可根据绕射波的最小时间来计算隧道的顶面埋深。这里,波速选择的准确与否又成为计算准确与否的关键。由于隧道的顶面标高是已知的,因此,我们在正常段反推隧道上方介质的平均速度,经多条测线计算在隧道上方介质的平均速度为 1430m/s 且较稳定。

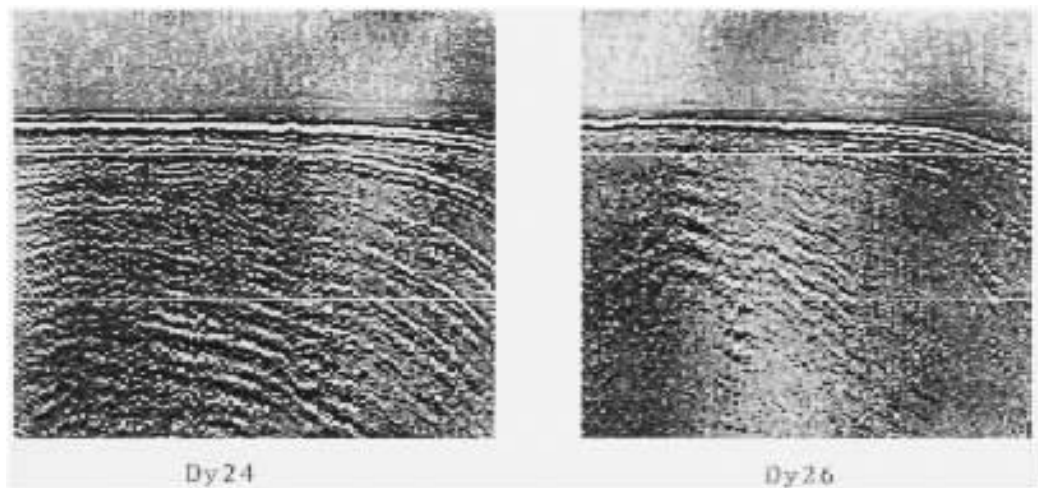


图 10 水上高密度多波列地震影像探测成果图

Figure 10 High density multiwave seismic photography result on the water

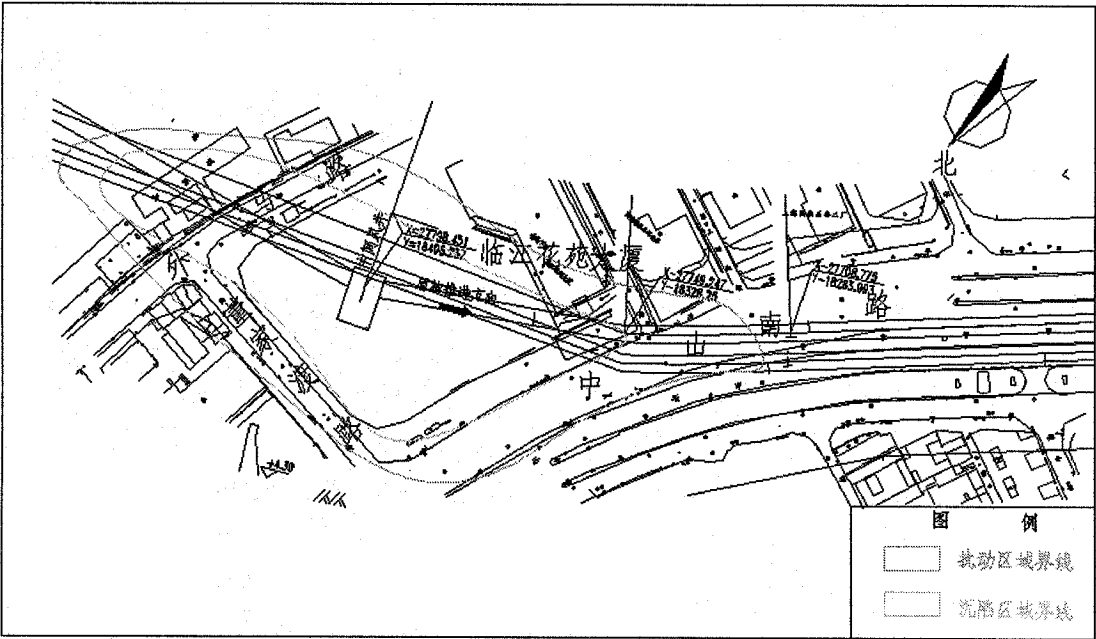


图 11 上海市地铁四号线抢险工程综合工程物探解释成果图

Figure 11 The interpretation result of integrated engineering exploration in Shanghai Subway No.4 line relieving engineering

图 12 是江底隧道上方的高密度多波列地震影像图,可见在 30 ~ 40ms 处有一明显的绕射波,能量很强,有两个相位,这是由于隧道壁与上部土体、隧道壁与隧道中心空间均是物性差异较大的波组抗界面。分析绕射波形,找到最小时间,利用已定的平均速度,最终计算出测线经过的江底隧道的顶部埋深。根据解释、计算得出的隧道顶板标高,与隧道设计标高对比见图 13,可见,探测结果与设计数据比较吻合,表明江底隧道未受较大影响。

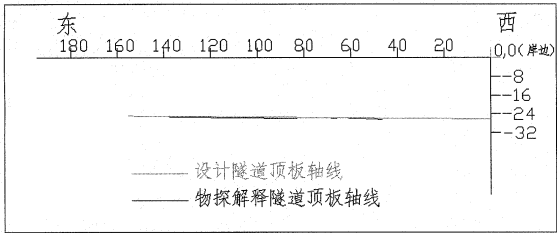


图 12 水上高密度多波列地震影像探测成果图

Figure 12 High density multiwave seismic photography result on the water

3.5 综合物探成果与其它勘查手段成果之比较

本次事故发生后,除了我们应用综合物探手段对事故区域进行勘查外,抢险指挥部还动用了沉降

监测,钻探探摸等手段对事故发生区域进行跟踪监测、探摸。通过与指挥部提供的其它的监测成果比较发现,我们运用综合物探手段所圈定的深层土体扰动范围与地表沉降监测结果相吻合,而钻探探摸得出的隧道受损端点亦与我们圈定的扰动边界接近。充分说明了本次调查所采用的方法技术的有效性及取得成果的可靠性。

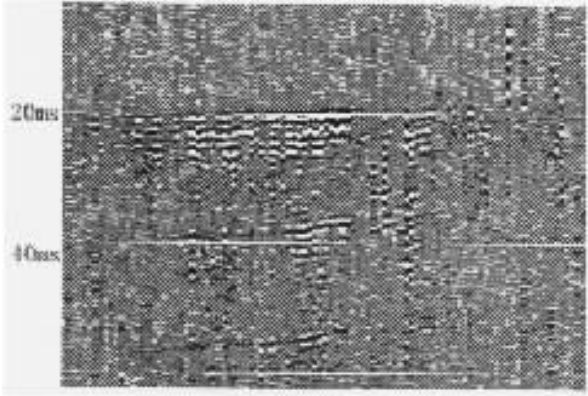


图 13 隧道顶板探测标高与设计标高对比图

Figure 13 Comparison of detection elevation with design elevation of the tunnel top

4 结束语

综合工程物探方法应用于突发性城市地质灾害调查的应用效果表明,综合工程物探方法在城市基础设施的建设中应是大有可为的。它有着其它勘探手段无法替代的优势。

在城市开展工程物探工作中有干扰大,环境苛刻,解决问题复杂等诸多问题,从整个抢险工程的过程可见,因地制宜,因时制宜地选择工程物探方法对取得较好的解决效果十分重要,并且要灵活找到解释的依据。本次工作中,发现扰动土体会产生宽频波,以及瑞雷波传播过程中产生的“V”字形波形,这

些都是比较特殊的现象,我们也正是分析这些特征,来解决问题,并得到验证。这也为以后的物探工作提供了宝贵的借鉴的经验。本次工作得到了夏学礼高工的悉心指导,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 刘传正 地质灾害勘查指南[M] 北京 地质出版社 2000
- [2] 柴铭涛 地震新技术在调查堤坝渗漏、滑坡中的应用,地质与勘探 2003.10

Application of Integrated Engineering Exploration Methods in Shanghai Subway No.4 line Relieving Engineering

Wang Zhihua Xia Xueli

(Shanghai Institute of Geological Survey Shanghai 200072)

Abstract In the Shanghai Subway No.4 line relieving engineering, integrated engineering exploration bounded the disturbed surrounding soil rapidly and accurately, which is caused by the ground sinking, and surveyed the state of the tunnel under the bottom of river. In this paper, the application premises and the results of integrated engineering exploration methods, including ground penetrating radar, high differentiation SH wave shallow reflection, transient Rayleigh wave exploration, high density multiwave seismic photography on the water, are introduced in this engineering.

Key words ground penetrating radar SH wave transient Rayleigh wave diffracted wave soil disturbance sinking

会议报导

“饮用水已进入健康水时代”专题研讨会在沪召开

7月29日下午,上海市地质学会矿泉水专业委员会、上海科技报在市科学会堂联合举办“饮用水已进入健康水时代”的专题研讨会。会议得到了上海霖碧饮品销售公司的大支支持并独家赞助。

研讨会由上海科技报副总编胡陶荣和矿泉水专业委员会主任委员牛晓英共同主持;上海第二医科大学医学营养学教授上海营养学会名誉理事长史奎雄;上海复旦大学公共卫生学院教授、博士生导师朱惠刚;上海产品质量监督检验所食品室主任、高级工程师钟全斌;华东理工大学资源与环境学院教授、上海市环保产业协会饮水专业委员会主任陆柱;市地质学会矿泉水专业委员会主任委员高级工程师牛晓英、顾问高级工程师孙翠玉;上海科技开发交流中心盛兆龙处长;矿泉水企业代表霖碧饮品有限公司冯经理均在会上作了发言。

(下转第 46 页)

自动化监测在市政建设工程中的应用

郁钧 郁标 黄新才

(上海市地质调查研究院 上海 200072)

摘要 自动化监测系统是一门应用范围较广的技术,最早是在水利大坝中的应用,近年来在桥梁、轨道交通和隧道等市政建设工程中也得到了进一步发展,文章着重介绍自动化监测系统在市政建设工程地铁车站中的应用。

关键词 市政工程 地铁 变形 测量 自动化监测。

1 前言

上海的基础设施正进入了高速发展时期,但由于上海地处长江三角洲,地层为软土层,因此在这些重大工程的建设过程中,他们对周围环境产生的影响,以及在这些重大工程的建成后的监护过程中,要精确、及时获取这些构筑物的基础、结构的变形的数据,而应用自动化监测系统为诸如此类的工程的安全服务,具有重要的现实意义。

上海某地铁车站南北走向,呈长方形,车站全长 300m,宽 26.5m(标准段)见图 1。该车站基础西侧壁面利用原地铁一号线车站的地下连续墙,基坑开挖深度为 15 米左右。该车站的施工会对地铁一号线车站及隧道产生一定的影响,考虑到地铁运行安全的特殊性,故对一号线车站的连续墙、车站的轨道和对应的隧道实施自动化监测。这对获取的全过程形变数据,进行整体分析,来指导车站的施工,确保地铁一号线车站和隧道的安全,这也是监测方法的必然选择。

2 工作方法与技术

2.1 自动化监测方法的特点

与传统的人工测量相比较有以下几点特点:

- (1)、实现实时、连续跟踪测量,不受外界因素的影响,而常规监测,只能在地铁晚间停运后进入隧道工作,也只有 3-4 个小时;
- (2)、整个测量观测、记录、存储、计算和出报表等工作完全采用自动化,避免人工记录、誊写和计算而出现的错误,保证了监测精度;
- (3)、根据监测点的不同要求能以不同颜色直观表示其变化形态幅度及范围;

(4)、根据工况情况要求能自动设置预警、预报和报警三级装置,保证施工阶段全过程的安全。

2.2 自动化监测的内容

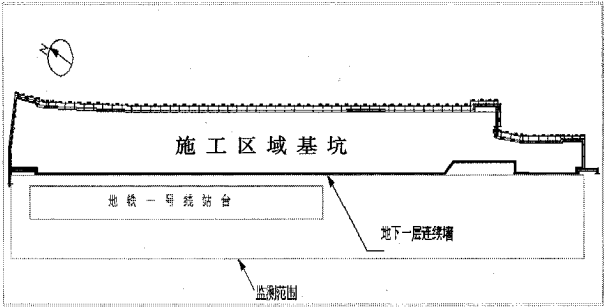


图 1 地下连续墙和轨道监测示意图

Fig.1 Sketch of underground continuous wall and track monitoring

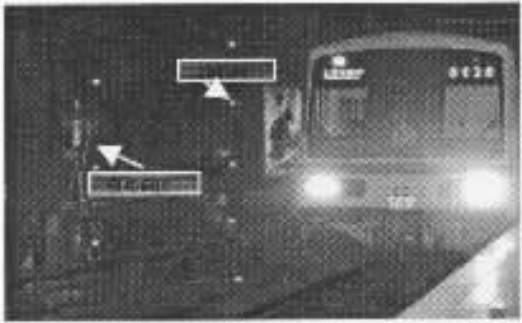


图 2 地下连续墙监测点布置示意图

Fig.2 Sketch of monitoring points distribution for underground continuous wall

根据工程施工的情况和地铁一号线车站的特点,

收稿日期 2003-05-13

第一作者简介 郁钧,男,工程师,1972 年生,1994 年毕业于同济大学勘探物理专业,长期从事工程物探检测和工程监测等工作。

监测内容如下：

(1)、地下连续墙水平位移、垂直位移和应力、应变监测；

(2)、轨道之间的差异沉降的监测；(3)、站台立柱及轨道垂直位移监测。

2.3 自动化监测的工作布置

(1) 地下连续墙垂直位移监测

于车站上行线东侧墙上采用 Geokon 4675 型 (LLG) 液体沉降仪进行自动化监测。在南、北端头井之间及标准段内每 10m 左右布置点。另在远离车站稳定区域设置参照点作为基准。

(2) 地下连续墙水平位移和垂直位移监测

采用自动化全站仪 (Leica TCA1800 1 秒级) 监测地下连续墙墙体二维变化, 从北端头井开始每 10 米布置一监测断面, 每个断面自下而上, 每隔 1.0 米安装 1 个棱镜, 每个断面安装 6 个棱镜, 并在监测区间北端相对稳定区域设置参照点。见图 2。

(3) 地下连续墙应力、应变监测

于车站上行线东侧墙上采用 Geokon 型号 VSM - 4000 型钢弦式频率应变计。在北端头井、南端头井之间及标准段每 30m 左右布置一组断面。每个断面安装 2 个监测点, 分别设置于地下连续墙顶端和底端 (上、下各一个)。

(4) 轨道之间的差异沉降的监测

在车站上行线轨道道基上, 采用 Geokon 型号 6700 型电子水平尺进行监测。监测点布置从北端头井至南端头井之间每 20m 左右布置监测点。

(5) 站台立柱及轨道垂直位移监测

采用 Trimble DiNi11 电子水准仪, 在液体沉降仪水平面对应的站台的每个立柱上布置监测点。

在立柱水平面对应的上、下行线轨道路基上布置监测点。在相对稳定区域设置参照点。监测点布置图见图 4。

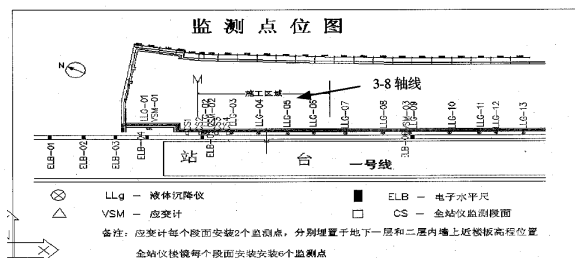


图 3 监测点位示意图

Fig. 3 Sketch of monitoring points

2.4 监测报警值的确定

根据《上海市轨道交通管理条例》的有关规定并结合本工程的实际情况, 工程施工期间轨道交通设施变形的控制及其监测报警值的确立, 必须满足安全运行的条件, 因此, 报警的标准如下：

(1)、车站结构及隧道累计垂直位移 $\geq 10\text{mm}$ ；

(2)、车站连续墙累计水平位移 $\geq 2.5\text{mm}$ ；

(3)、轨道差异累计沉降 $\geq 2\text{mm}$ ；

(4)、连续墙累计变形 $\geq 4\text{mm}/10\text{m}$ 。

2.5 监测频率

(1)、液体沉降仪、全站仪、应变计、电子水平尺自动化监测 采用半小时记录一次数据, 每天四小时一次提交监测报表；

(2)、常规监测 约半个月监测 1 次, 并提交每次监测报表。

3 自动化监测系统

3.1 自动化监测系统的组成

(1)、MICRO - 10 型数据记录仪是一种能激励、测读电传感器的数据记录仪。该工程选用的 Geokon 的 4675 型 (LLG) 液体沉降仪、VSM - 4000 型钢弦式频率应变计、6700 型电子水平尺等不同类型的传感器, 他们的输入和输出信号有电压型的、电流型的等, 必须选用了不同类型的数据转换模块, 合理设置激振电压等有关参数, 通过 MICRO - 10 型数据记录仪实现了达到数据自动记录和存储的目的。

(2)、全站仪 (Leica TCA1800) 采用自编带有控制和多种测量改正的软件。

以上两套系统最后都通过有线网络将数据传到现场控制室, 实行计算机自动化管理。

3.2 自动化监测软件

自动化监测采用 GEOSCOPE 软件及数据处理系统, 可进行实时数据采集、运算、存储管理、图表输出, 或者呈现于 PC 屏幕上, 通过网络还可以呈现于业主等计算机屏幕上, 并且不断更新。软件系统主要由 2 个模块构成: SMACS 及 SAAM。SMACS 为资料撷取、管理、归档及结果图形化的软件。它可将大量资料撷取后经统计分析换算成可靠之位移量, 以曲线方式呈现于 PC 屏幕上, 并且不断更新。SMACS 也可接受 CAD 档 (如工地平面图、施工图等)、数码相片或图文件, 结合文字标记显示更直觉化操作方

式,同时可管理报警系统。而 SAAM 模块是用于报告输出及以自动方式管理工地所有监测资料。

下列画面是控制室计算机所显示几种典型画

面,由鼠标双击于任意量测点上既可显示最新时间变化曲线图(见图 4~图 5)。

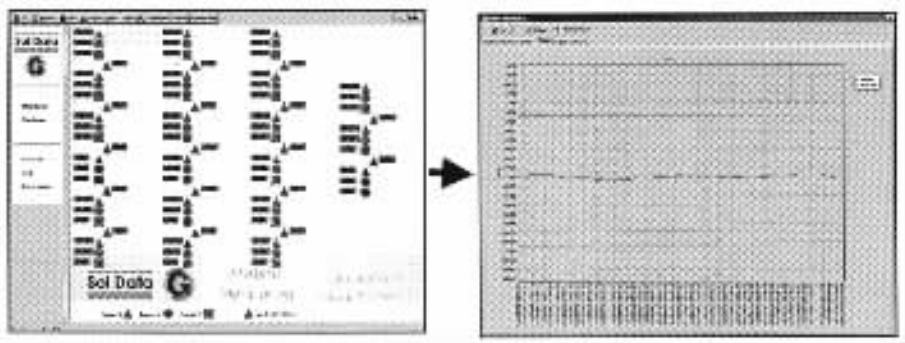


图 4 全站仪测点图,藉由鼠标双击量测量,可显示最新时间曲线图(如右图 5)

Fig.4 Whole station to demonstrate the latest time curve through hitting measured points by mouse

图 5 全站仪测点时间~水平方向变化量曲线

Fig.5 Time - horizontal changing curve of whole station measured points

3.3 预警/报警系统

预警/预报系统根据设计允许累计最大变化值,可事先设定 3 级处理步骤,依不同监测项目定义变更屏幕上标记的颜色,并可依此条件执行不同的预警/预报措施。如垂直位移监测的报警值见表 1

表 1 垂直位移监测的预警/预报措施表

Tab.1 Pre - warning & forecasting measures for vertical displacement monitoring

| 变 量 | 级 别 | 措 施 |
|--------------------------|-------------|-----------------------------|
| $< \pm 5.0\text{mm}$ | 正常 : (绿色) | 变化值在允许范围之内 |
| $\geq \pm 5.0\text{mm}$ | 警示阶段 : (黄色) | 预警——发现位移增加 (50%) |
| $\geq \pm 8.0\text{mm}$ | 行动阶段 : (橙色) | 位移增加到设计行动值 (80%), 依规范执行相关措施 |
| $\geq \pm 10.0\text{mm}$ | 报警阶段 : (红色) | 经执行相关措施后, 位移仍持续增加, 需采取紧急措施 |

当垂直位移达到报警值时,系统可依事先设定方式启动报警措施,如打开现场的信号灯、喇叭、自动电话拨叫器、传真机、呼叫器或其它设备。

4 自动化监测成果分析

本工程由于涉及的监测时间比较长,相关技术数据很丰富,限于篇幅,本文只对某一区域某一时段施工对地铁一号线的影响进行分析。

4.1 连续墙全站仪监测

在 3~8 轴线西侧靠近地铁一号线连续墙 10 米范围内,从 2002 年 11 月 15 日开始陆续进行搅拌桩和旋喷桩施工,施工工况见图 6。

4.1.1 搅拌桩施工

在 3 至 8 轴线之间 CS2 监测剖面(CS21~CS26, □)附近,从 11 月 15 日开始搅拌桩施工,搅拌桩施工对地铁一号线影响,主要反映在一号线连续墙体水

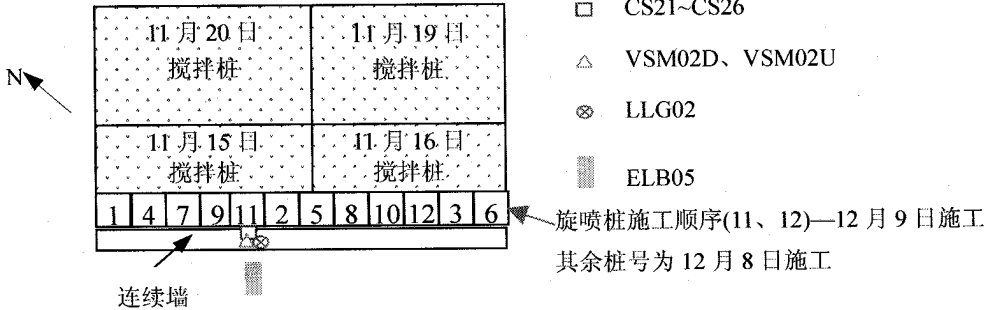


图 6 搅拌桩与旋喷桩施工桩位示意图

Fig.6 Sketch of mixing pile & spray construction pile

平位移(向车站方向为“ $-$ ”)和墙体垂直位移,墙体顶部(CS26)累计水平位移达到 -1.8mm 左右,而墙体底部(CS21)累计水平位移至 -1.3mm 左右(见图8,搅拌桩7d,d为天数),在搅拌桩施工一半凝固期

—凝固期这个过程中,连续墙处于被挤压的一个过程(平均位移 0.25mm/d 左右),但还没有达到稳定状态见图7。

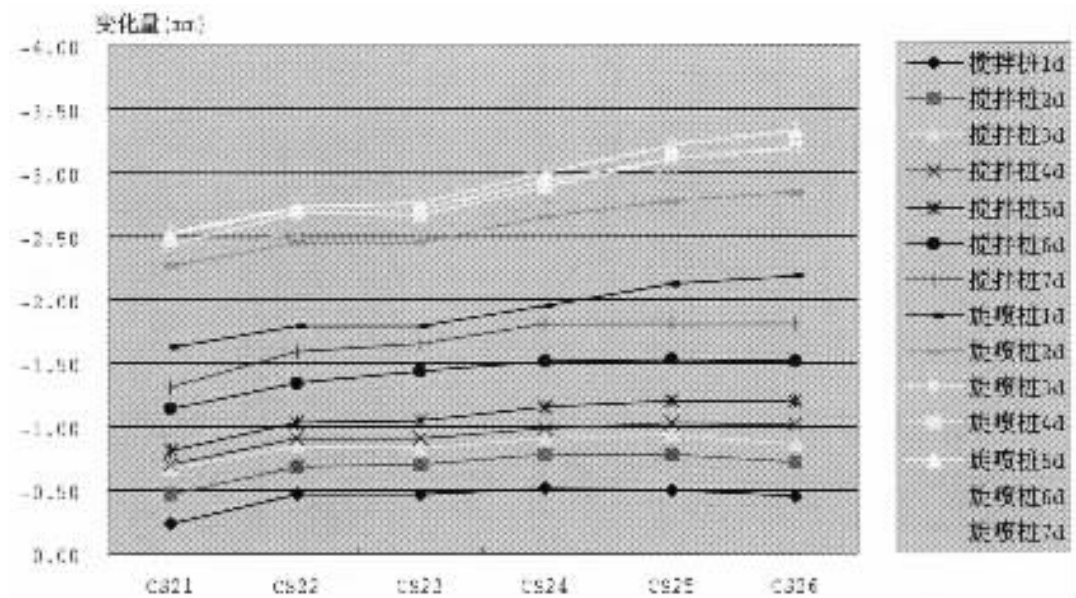


图7 CS2剖面水平位移变化曲线图

Fig.7 Horizontal displacement curve for CS2 profile

而整个7天过程中墙体(CS26)向上抬升(为“ $+$ ”)与下沉(为“ $-$ ”)在 $+0.4\text{mm}$ 至 -0.8mm 左右范围内,墙体顶部与底部抬升较均匀同步(相差最大为 0.1mm 左右),其中前几天是抬升,后几天是下沉,垂直位移变化不大,稳定较快。

4.1.2 旋喷桩施工

从12月8日开始在搅拌桩与连续墙之间进行旋喷桩施工,由于此时的搅拌桩已经基本凝固(原土体已得到加固),因此旋喷桩的施工对墙体的挤压作用较明显。当施工完成1根时,跳开4根再施工1根,当天完成10根(见图7,施工顺序为1、2、3...)。9日对8日跳空的两根(11、12)再进行施工。施工第一天墙体顶部(CS26)累计水平位移 -2.2mm 左右,而墙体底部(CS21)累计水平位移 -1.6mm 左右(见图7,旋喷桩1d),第2天日变化量最大,墙体底部(CS21)累计水平位移 -2.3mm 左右,而墙体顶部(CS26)累计水平位移 -2.8mm 左右,日变化量为 $0.6-0.7\text{mm/d}$,墙顶累计位移量已经达到预计报警值($\leq \pm 2.5\text{mm}$)。针对上述情况采取增加跳空桩的根数,放慢施工速度,第3天日变化量为 0.3mm 左右,第4、5、6、7天日变化量已经控制为 0.15mm 左右,达

到了预警、预报的目的,确保了工程的安全。

而墙体垂直位移,第一天墙体底部(CS21)累计向上抬升至 1.4mm 左右,而墙体顶部(CS26)累计向上抬升至 1.3mm 左右,以后这几天的变化量在 0.15mm 左右。墙体顶部与底部抬升较均匀一致(相差最大为 0.1mm 左右),墙体上抬比较明显,但稳定较快。见图7。

4.1.3 CS26监测点在搅拌桩和旋喷桩施工(11月15日12月30日)总的情况

连续墙上CS2监测点在11月29日之前,水平位移(Y-axis)呈现出一个线性增加的趋势(最大为 -2.6mm 左右)。而后至12月8日,水平位移处于一个平稳状态;12月8日开始旋喷桩施工,水平位移又开始增加至 -3.4mm 左右,到12月12日又趋于稳定见图8。这个过程也符合施工的情况。其中有几次水平位移累计值达到了报警值。

连续墙垂直位移(Z-axis)在11月23日之前在0值附近波动,至29日上抬到 1.1mm 左右,到12月8日又处于平稳期上下波动不大。再至12月20日由于旋喷桩施工的影响上抬到 2.2mm 左右,最后又进入一个上下波动不大的平稳期。见图8。

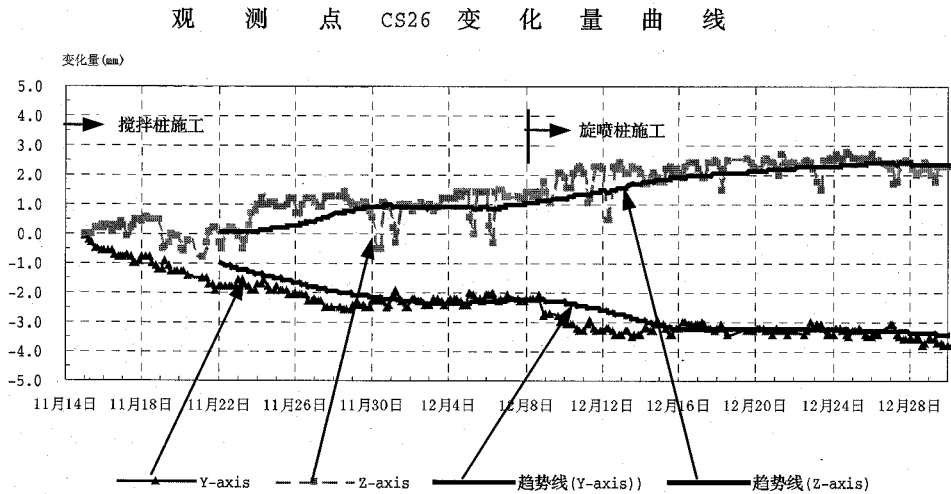


图 8 全站仪观测点(CS26)Y、Z 二个方向位移量变化曲线图

Fig.8 Horizontal displacement curve of the direction of Y,Z for whole station measured point(CS26)

4.2 连续墙液体沉降仪(LLG02)监测

第一天当旋喷桩施工到第 9 根桩时,液体沉降仪 LLG02 上升 0.4mm 左右,累计上升最大达 1.3mm 左右。第二天,墙体向上抬升日变化量为 0.2mm 左右,第三天,墙体(LLG02)下沉至 1.3mm 左右,第四天,墙体向上抬升日变化量为 0.2mm 左右,第五、六天,墙体向上抬升日变化量为 0.1mm 左右,墙体总的来说是一个抬升增加的过程。

图 9 是全站仪(CS23 - Z)、液体沉降仪(LLG02)和电子水平尺(ELB05)对比曲线图(时间在 11 月 24 日到 12 月 30 日之间),12 月 6 日以前 LLG02 值与

CS23 值之间有 1mm 左右差值(这两个点的物理位置差不多在一起,可以作不同方法的一定的比较),这可能与基准点不同有关,但他们的变化趋势、规律还是相一致的,都围绕于一个值上下波动。至 12 月 8 日 LLG02 上抬到 1.25mm 左右,至 12 月 18 日上抬到 2.75mm 左右,再至 12 月 30 日围绕于 2.5mm 这个值左右上下波动,趋于稳定。这与全站仪 CS23 - Z 的变化比较一致,能反映客观的、实际的施工情况。

其他观测剖面 CS11 - CS16、CS31 - CS36、CS42 - CS43 变化趋势基本与 CS21 - CS26 相同。

全站仪(CS)、液体沉降仪(LLG)和电子水平尺(ELB)变化曲线

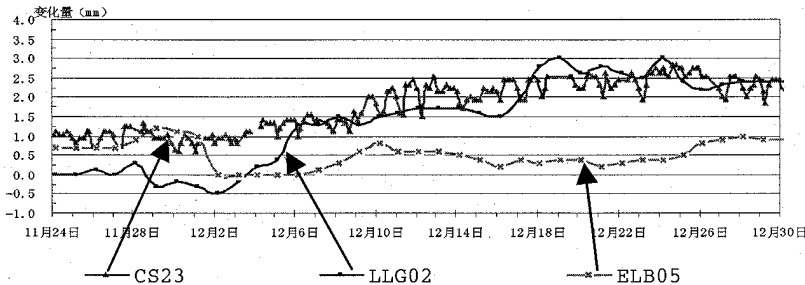


图 9 全站仪(CS23 - Z)、液体沉降仪(LLG02)和电子水平尺(ELB05 对比曲线图)

Fig.9 Comparing curves for whole station measured point(CS23 - Z),liquid subsiding meter(LLG02) & electric horizontal ruler(ELB05)

4.3 电子水平尺(ELB05)监测

电子水平尺主要是监测轨道之间的差异变化(靠近墙的一侧上抬数值为‘+’)。图 9 中 ELB05 在

11 月 24 日至 12 月 30 日之间最大变化量为 1.2mmo 在 11 月 29 日至 12 月 2 日之间有一个 1.2mm 左右的起伏,之后最大变化量只有 0.8mm 左右。总的来

说两根轨道之间差异变化不大,上抬与下沉均比较同步,都没有出现预定的报警值。

4.4 应变计 VSM01 及 VSM02 监测

VSM01 和 VSM02 两个剖面在这段施工过程中应变计受拉或受压的量值在 $+26\mu\epsilon$ 至 $-62\mu\epsilon$ 之间。由于墙体的应力应变不大,因此墙体没有出现开裂现象。

5 结论

对地铁一号线的车站的监测实践充分表明:

1、搅拌桩和旋喷桩施工,对一号线墙体影响主要表现为水平位移和垂直位移:

- 不同阶段,对水平位移和垂直位移的影响

也不一样,水平位移影响明显,垂直位移比水平位移影响小。

- 不同施工范围,对墙体的影响也不一样;
- 施工密度越大,对墙体的影响越大;
- 施工结束后的一定时间内,继续对墙体产生影响,这与桩体的养护(凝固)时间比较长有关系。

2、自动化监测手段能够有效监测到目标物的实时的变形情况,为施工提供及时有效的信息。其中合理选用各种监测仪器设备尤其重要。而且仪器设备的高质量与高精度也起到了极其重要作用。

3、自动化监测手段在市政工程建设过程有着广阔的发展前景。合理应用自动化监测手段更能有效地全面的掌握监测目标物的变形状态,只有这样才能更加能确保工程安全。

Auto – monitoring Applied in Municipal Construction Projects

Yu Jun Yu Biao Huang Xin cai

(Shanghai Institute of Geological Survey Shanghai 200072)

Abstract :Auto – monitoring system is the technology that is applied extensively. It was applied in water conservancy projects and dam works initially. And in recent years it has been furthered to develop in the municipal construction projects such as bridge, railway traffic and tunnel. This paper mainly introduces its application in monitoring the metro station near another constructed project.

Key words :municipal works metro deform survey auto – monitoring

(上接第 40 页)

专家的发言紧紧抓住日常市民中产生的误区:“饮用水是不是越纯越好?”人所需要的矿物质和微量元素是否主要从食物中获取、水中有无无关紧要?”“饮水是否只为了解渴,水有无营养是否并不重要?”进行论述。一致认为 提高市民健康水平不可忽视饮用水质量、健康水要符合四条标准:没有污染,不含有害物质;二是含有适量的矿物质和微量元素;三硬度适中,含有适当的钙、镁;四是 PH 值 >7.0 ,呈弱碱性。矿泉水和优质山泉水大都符合健康水标准,而天然矿泉水是健康水之冠。

上海市地质学会矿泉水专业委员会 供稿

数字填图技术在区域地质调查中应用实例

——以民和试点图幅为例

高山 冯光胜 张旺生

(中国地质大学(武汉)地球科学学院,湖北武汉,430074)

摘 要 文章根据 2002 年中国地调局在青海省民和幅进行区域地质调查数字填图技术试点,结合实践,详细介绍了数字填图技术在区域地质调查中从野外到室内以最终阶段成果的 PRB 过程,证明了区域地质调查填图数字化是切实可行的。

关键词 数字填图 区域地质调查 PRB 过程 RGMAPGIS

1 前言

区域地质调查是一项基础性、公益性、综合性的地质调查研究工作,涉及的信息种类多,内容广泛复杂、信息量大。区域地质调查成果,是服务于国民经济建设和社会发展的重要基础性资料。全面、准确、快捷地采集野外第一手资料,是保证地质调查任务完成的基础。以往传统的野外地质填图数据采集技术已经不能适应当前地质工作现代化的要求。开展地质填图数据采集与制图技术研究,以实现地质调查数据获取全过程的信息化,是世界先进国家区调工作的普遍趋势。

自 1999 年开始中国地质调查局和国土资源部的“计算机辅助区域地质调查系统”、“区域地质调查新技术新方法集成示范—数字填图”、“1:5 万东山、宫前幅计算机填图试点”,开展了数字填图技术的研究与实验,成果表明,该研究取得了突破性的进展^[1]。

由中国地质调查局研制开发的数字填图系统 RGMAPGIS(区域地质填图地理信息系统)是以采集、存储、管理、描述、分析和再现地球表面在空间分布有关的数据的信息系统。该系统分为野外数据采集系统和 PC 桌面填图系统:野外数据采集系统(RGMAP3850)采用掌上机 WinCE + GPS + 数码相机 + 摄像机;桌面填图系统可在便携式计算机 Windows95/98/ME/2000/NT 平台上安装运行。可对地质、地理、地球物理、地球化学和遥感等多源地学进行综合分析和解释进行地质制图,实现区域地质调查全过程中“3S”集成的地对地、空对地观察,历史专题图与现势的多源地学信息的整合与再现。

中国地质调查局为了今后在全国全面开展数字填图工作,前后选择四个 1:5 万图幅(福建东山、宫前幅、湖北崇阳、汀泗桥幅)及两幅青藏高原 1:25 万(青海阿拉克湖幅、民和幅)为试点。2002 年 4 月中国地质大学(武汉)地调院承担“青海 1:250000 民和县幅区调”任务^①。

2 数字填图技术在民和试点图幅中的应用

2.1 有关数字填图的计算机硬、软件

数字填图技术与 GIS 嵌入系统的技术与发展密切相关;HPC、PPC、GPS 是野外数据采集的必备条件^[2]。这两者对数字填图技术的根本实现起决定作用。硬件采用 GPS、掌上机(Compaq3850)、笔记本电脑(IBM)、数码相机(Sony);软件以 RGMAPGIS 数字填图系统为主,并使用 MapGIS、ArcInfo、ArcView、MapInfo、ERDAS、CorelDraw、Photoshop 进行图形图像处理和数据格式转换。

2.2 区域地质调查多源空间数据的处理

地理数据使用 MapGIS 软件对纸介质地形图扫描,交互式矢量化,采用 1956 年黄海高程系,1954 年北京坐标系,高斯—克吕格投影。野外电子手图以

* 基金项目 中国地调局“青海省民和幅(J48C0040 01)数字填图”项目资助。

收稿日期 2003-03-18

第一作者简介:高山,男,1975 年 11 月生,硕士研究生,研究方向遥感、GIS 技术应用

①张克信等,青海省民和幅区域地质调查设计书,中国地质大学(武汉)地调院,2002

1:10 万数字地形图为基础,等高距 40m 的 1:25 万数字等高线数据(等高距为 100m)作为数字地质图及专题图地理底图。对于野外地质点空间数据采集,用 GPS 在电子地形图中自动定位标识,并可进行路线跟踪、等距定点,数据以 GPS. wt 文件保存。数字等高线格式转换为 e00 数据,使用 ArcView3.2 中 import 模块导入此 e00 数据,输出为 shp 格式。利用 Arcview 的 3D 扩展模块,Grid 栅格化处理,生成为 DEM 数据。

遥感数据采用 Landsat7ETM+ 数据,使用 ERDAS 图像处理软件对 TM5、4、3 和高分辨率 TM8 进行几何校正、图像增强、多波段遥感信息融合^[3],制成测区 1:10 万和 1:25 万假彩色遥感影像图。参考国家 1:50 万区域地质数据库编制 1:25 万遥感地质解译图。

对多源地学信息如地理、地质、遥感、物探、化探进行数据融合^[4],信息提取,制成不同的地质对象的点(*.wt)、线(*.wl)、面(*.wp)及栅格图层,利用 RGMAPGIS 项目管理工具可以任意添加、删除、编辑图层,生成需要的各种地质图件。

2.3 数字区调实现 PRB 过程:

自然界中的地质现象是经地质学家在野外调查,将实际观测结果作为具有描述性信息的地质对象的空间属性(点、线、面等)和描述地质对象的属性记录在地图上或笔记簿上。按空间对象的定义进行统计。野外路线观测的对象基本上可以包括所有的空间对象,除此之外,区域地质调野外路线观测的过程如野外观测路线、定点、采样本身也是野外数据采集的对象。

用实体点——地质点(POINT)、网链——分段路线(ROUTING)、全链或几何拓扑环——点和点间界线(BOUNDARY)的数据模型和组织方式^[5],就可以对野外路线观测的对象及其过程的描述进行定义、分类、聚合和归纳,分层并结构化的储存在空间数据库中。它把野外路线观测描述的地质现象的复杂过程及其本身观测的过程抽象为 PRB 过程。不但满足了传统地质填图的要求及符合野外填图基本规律,还能在野外全程收集到各种复杂的地质现象,并使之数字化,标准化和规范化。

PRB 过程是数字地质填图工作的最基本框架^[5],分为三级体系:

①一级 PRB 过程

它是路线地质调查的最小组合单位,以 P 开始的多个 B、R 进行任意的组合。是构成二、三级 PRB 过程的重要基础。

②二级 PRB 过程

一条野外路线地质调查的路线可以由一个 PRB 过程或多个 PRB 过程组合而成。

③三级 PRB 过程

根据民和幅数字填图试点,把区域地质调查填图的全过程划分三级 PRB 过程,实践证明 PRB 过程是切实可行的。它由六个过程构成了数字填图技术主流程,数字填图 PRB 过程流程原形模型见图 1。

(1) 前期 PRB 过程

通过对搜集能反映测区地质研究程度的已有最新成果资料进行数字化,生成历史的数字化产品。在民和幅项目中收集了 12 幅 1:5 万区调原始资料,有目的性挑选前人路线和剖面,进行室内 PRB 录入过程。制作 1:10 万及 1:25 万数字地形图,作为背景图层,如民和幅新城地区(1:10 万)数字等高线数据 Txincheng. wl、Txincheng-Ewt、Txincheng-Z. wt,背景图层“D:\GMAPPING\J48D012003\...”。

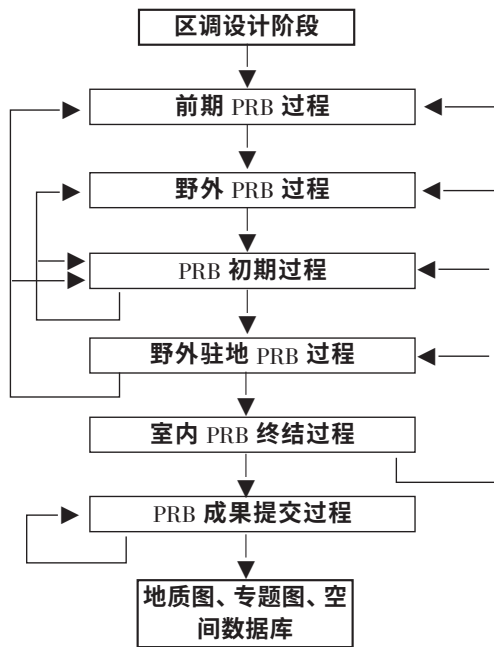


图 1 数字填图 PRB 过程流程原形模型(据李超岭,2001)

Fig.1 PRB procedure of digital mapping Chart

(2) PRB 初期过程

建立民和幅 PRB 过程电子字典库。通过野外踏勘、遥感解译与前人资料研究,针对测区实际情况,根据任务书要求和地质、自然地理条件编写 PRB

过程字典。野外数据采集系统提供了三种类型词典 PRB 过程一般术语字典 (PRB 过程 2 级字典)、PRB 过程野外记录结构化描述字典 (PRB 过程 1 级字典)、PRB 过程规范结构化填空补缺式描述字典 (PRB 过程 1.5 级字典)^[6]。

(3) 野外 PRB 过程

通过掌上机野外数据采集系统 (RGMAP3850) PRB 过程和 PRB 过程模型,对连续的野外地质路线观测和观察,取全、取准野外各项原始地质资料。空间数据掌上矢量化、点状实体符号化、属性结构化存

储。PRB 过程是主流程。以实战的 1:10 万新城为例,共定地质点 (P) 105 个,填图路线 (PRB 过程) 总长 438 公里,实测 PRB 剖面 4 条,总长 21.5 公里,采样 (点实体) 约 670 件,及大量数码相片 (点实体)、产状数据 (点实体)、素描图 (点实体),这些数据分别以特定点、线符号在各自对应的图层中表达 地质对象的文字描述则以超文本 (* .txt) 方式与描述对象 (点、线) 热链接,以便检查、查询、编辑点、线属性见图 2。

(4) 野外驻地 PRB 过程

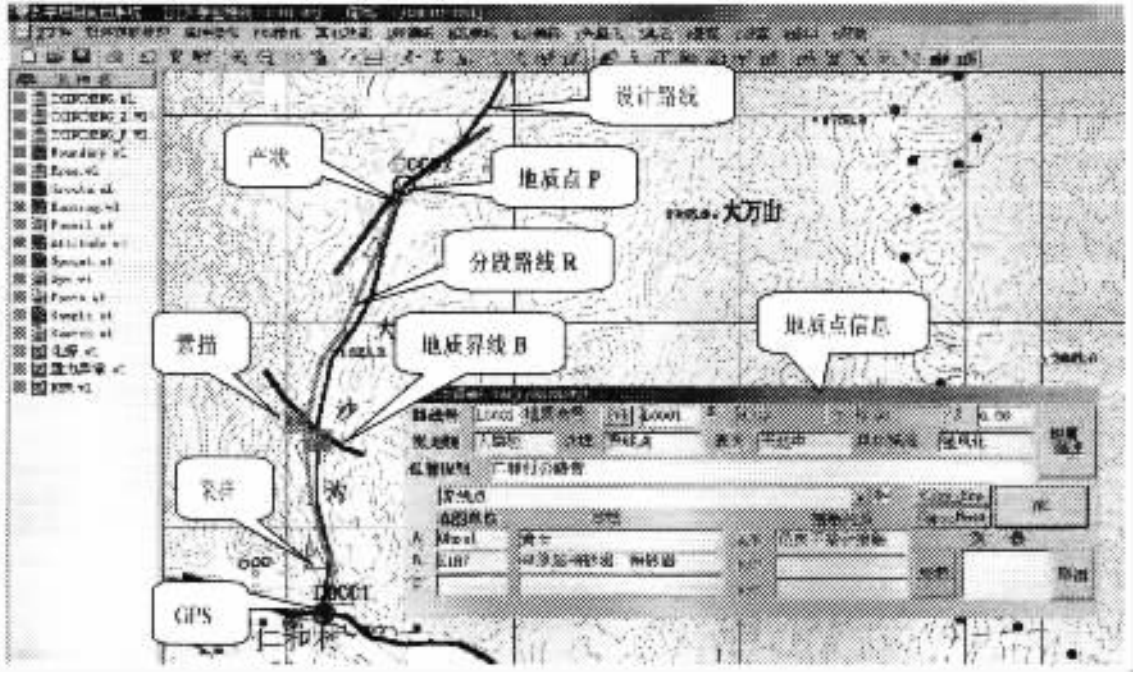


图 2 野外路线 PRB 过程
Fig.2 PRB procedure for field trip

其过程是把掌上机野外路线 (如新城 L0001) 转入野外手图库 “D : \ RgMapping \ J48D012003 \ 数字填图 \ 野外手图”,进入野外手图库后,在 RGMAPGIS 数字填图系统上,首先进行行业标准化进程。数据交换,当天野外数据进库、路线总结,局部 N 个 PRB 过程地质联图,入图幅 PRB 库。

(5) 室内 PRB 终结过程

野外的 PRB 过程结束后,进入室内 PRB 终结过程。其过程是 N 个 PRB 过程的处理过程。其过程是把野外路线的单个 PRB 过程转入野外手图库,进入野外手图库后,即进入 N 个 PRB 过程的处理过程。多个 PRB 过程的处理包括野外 PRB 检查、野外

PRB 小结、地质联图、野外实际材料图、编稿地质图的制作与处理的过程,这个过程由 RGMAPGIS 系统实现。建立样品数据库、专题数据库、剖面数据库、地质点库、数字地质图空间数据库、影像数据库。

(6) PRB 成果提交过程

编稿地质图数据转出版系统接口 ;区调报告的电子文档编写,实现多源区调数据与空间数据的挂接、检索与分析 ;在 PC 数字填图系统上,生产新的数字产品 空间数据库、数字地质图、各种专题图 (如第四纪地貌图、遥感解译地质图、构造地质图)。

3 结论

在民和幅试点图幅中,完成的 1:10 万新城幅数字填图过程,经历了区调设计—野外数据采集—室内成图、数据建库—数字图件、空间数据库完整的 PRB 流程,完全满足了区域地质调查需要。从野外到室内以及最终阶段的成果表达,通过可视化的 PRB 过程达到地质调查全过程的数字化统一性再现,并使区域地质调查成果的表现形式从单一的图种拓展成适合各种不同专业、不同领域的应用需求的图类。实践中证明数字填图技术应用于区域地质调查是切实可行的。

参考文献

- [1] 郝永莲,计算机辅助区域地质调查研制成功—地质调查与填图将进入数字化时代地质,第 28 卷第 1 期,2001
- [2] 李超岭等,数字区域调查理论与技术方法研究,计算机工程与应用,43,2001
- [3] 张迁,多源空间数据融合方法研究,安徽地质第 11 卷第 4 期,265,2001
- [4] 马建文,严积惠,地理信息系统及资源信息系统综合,地质出版社,1994 中国
- [5] 李超岭等,数字地质调查与填图技术方法研究,中国地质,第 29 卷第 2 期,214,2002
- [6] 张克信,李超岭等,青海高原区域地质调查野外工作手册,中国地质大学出版社,2001

Application Digital Mapping Techniques in Test Maps

GAO Shan FENG Guang-sheng ZHANG Wang-sheng
(China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract Based on China Geological Survey applied digital mapping techniques in Minhe test map in 2002, it detailed introduced the PRB procedure of digital mapping techniques from field to workroom and the final production and to prove digital techniques is being feasible in region geological survey.

Key words digital mapping techniques region geological survey PRB procedure RGMAPGIS

知识窗

什么是饮用天然矿泉水

牛晓英

随着生活水平的提高,人们的生活方式已从温饱型转向营养型,自我保健和环境保护意识普遍提高,人们在改变饮食结构的同时,改善饮水的质量已成为迫切要求。因而各种各样的桶装水就进入了百姓家庭。但许多消费者都有一种误解,认为凡是桶装水、瓶装水——这种可以直接饮用的水就是好水,就是矿泉水,什么“纯净水”、“蒸馏水”、“矿泉水”都差不多,不管什么水,只要干净就行。也有的只认品牌,却不关心喝的是什么水。

在我国有不少地区水源受到了严重污染,人们渴望喝到干净、卫生、安全的水,因此认为纯净就是好,而且越纯越好。俗语说“水至清则无鱼”,太纯净了就不能孕育生命了。

从蒸馏水、纯净水的加工工艺上看,原水通过蒸馏或反渗透等方法进行处理和净化,确实能达到去除细菌、杂质的目的,

(下转第 60 页)

矿物标型特征及其在宝石鉴定中的应用

——以刚玉类宝石为例

周征宇 李 冉 陈 桃 廖宗廷

(同济大学宝石学教育中心, 上海 200092)

摘 要 矿物标型学说在宝石鉴定中具有广泛的应用前景。本文的初步分析结果表明,通过矿物标型学说不仅可以为宝石的鉴定特征找到理论依据,而且还有助于指导鉴定天然宝石与合成宝石、天然宝石与人工优化处理宝石,对某些宝石而言,还能帮助鉴定其产地。将矿物标型学说应用于宝石学,有望帮助鉴定工作者找到新的鉴定思路。

关键词 标型特征 矿物 宝石 鉴定 刚玉

1 引言

在宝石鉴定中,鉴定工作者和消费者要解决的问题一般有三个:一是宝石材料种属鉴定,是金刚石、刚玉、水晶或是其它,相互间价值相差较大,市场上用低档宝石仿冒高档宝石者常见;二是在材料种属确定后,必须准确鉴别它们是天然或是合成的,两者间价值也有天壤之别;三是在宝石被确定为天然以后,还需准确确定它们是否经过人工的优化处理。为了满足市场需要,优化处理的宝石越来越多。虽然宝石经优化处理后,有时可能具有与天然者相同的装饰价值,但价值也相差巨大。因此,不管是专业的鉴定工作者还是消费者,准确无误地解决上述三方面的问题具有重大意义。

上述问题的解决,其中第一个问题相对较为简单,只需通过常规测试获得被测宝石的物理特征(如密度、折射率等),即能得到正确的答案。但要解决第二、三个问题并非易事,而且随着宝石合成技术、优化处理技术的不断进步,相关宝石的鉴别越来越难,这对传统宝石学提出了严峻的挑战,借助相关学科的理论和方法以进一步完善宝石学已成为当务之急。为此,本文从成因矿物学理论出发,并以刚玉类宝石为例,试就矿物标型特征及其在宝石鉴定中的应用作初步探讨。期望能引起更多研究者的重视,推动我国宝石鉴定理论研究与实践的不断发

展,众所周知,宝石鉴定的关键就在于找出其确切的标志性特征。然而,任何特征都是一定环境条件下的产物——或者是物源条件不同,或者是物化条件不同,都会在宝石中留下这样那样的“印记”。这与目前在矿物学中广泛应用的标型特征的概念不谋而合。

标型特征是指地质体中的某种矿物由于形成时、空及地质环境的不同,或是形成时地质作用的不同,造成矿物在宏观或微观性状上表现出特有的特征,因而可以作为成因上的标志者。^[1]。自费尔斯曼(1936)第一次在矿物学中引入标型性一词以来,它已广泛地应用于矿床成因、成矿地质作用及成矿规律等方面的研究,并已取得了丰硕的成果。随着近几年宝石研究的飞速发展,也已经有不少宝石学者开始关注标型学说,并将其引入研究领域,但仍多集中于矿床成因的探讨,几乎没有人将之与宝石的鉴定结合起来。笔者通过研究发现,如果将标型学说引入宝石鉴定工作,就可以对宝石的许多鉴定特征作出系统的归类和合理的解释。因此,通过标型理论的指导,便能在鉴定过程中提高测试的针对性,从而提高鉴定工作的效率。

下文就试以刚玉类宝石为例,来探讨矿物标型特征在宝石鉴定中的可能应用方向。

3 矿物标型学说在刚玉类宝石鉴定中的应用探索

收稿日期 2003-03-05

第一作者简介 周征宇,1978年生,同济大学海洋与地球科学学院在读博士研究生。

2 概述

3.1 天然与人工合成刚玉类宝石的鉴定

(1) 物理化学标型

众所周知,绝大部分刚玉的人工合成是对自然界的地质形成过程的模拟。水热法在一定程度上再现了地下热液矿物的结晶过程,助溶剂法则模拟了自然界的岩浆分异结晶成矿过程^[2]。然而刚玉的合

成与其在自然界中的生长不同,它要求在极短的时间内长出个体足够大的晶体,因此往往需要通过添加催化试剂或改变温度、压力等条件来实现晶体的快速生长。不同的生长条件必然会造成合成刚玉与天然刚玉在物理化学性质上的差异,这些差异即为其物理化学标型,例如红宝石(表 1):

表 1 天然红宝石与合成红宝石的物理化学标型

Table 1 the physical and chemical typomorphic characteristics of natural and synthetic ruby

| 物理化学特征 | 天然红宝石 | 合成红宝石 | |
|--------|---|-------------------|----------------------------|
| | | 焰熔法 | 助熔剂法 |
| 特征化学成分 | Al ₂ O ₃ 、Fe、Ti、Cr、Mn、V 等 | 元素种类单一,一般不含 Fe | Mo, W, La, Bi, Pb, Pt、Ir 等 |
| 发光性 | 较弱 | 明显,X 射线下可有红色磷光 | 较强的荧光 |
| 特征吸收光谱 | 694nm、692nm、668nm、659nm、620nm – 540nm | 强而清晰的铬吸收线 | X 荧光谱可见微量 Pb 的存在 |
| 晶形 | 常见六方筒状或柱状 | 梨晶,晶体碎块无裂理,无台阶状构造 | 可见穿插双晶,缺失六方柱面、六方锥面 |

注 根据笔者的观察及陈远胜,1999 张蓓莉,1997 廖宗廷,1997,2002 资料^[3-6]综合

由此可见,通过这些标型,我们不仅可以识别出天然刚玉与合成刚玉,有时甚至能辨别出刚玉的各种合成方法。

(2) 包裹体标型

自然界中刚玉的生长不可能自始至终都在均一的条件下进行,而刚玉合成时的温压条件相对稳定,原料的纯度相对较高,杂质元素的种类相对单一。这些差异所造成的影响就集中体现在刚玉颜色的分布和内部的包裹体标型上:

首先,大多数天然刚玉的颜色都不甚均匀,颜色纯正艳丽的红、蓝宝石则更是稀少。而合成刚玉颜色普遍要优于天然刚玉。

其次,总体来讲,合成刚玉的包裹体相对较少,即使有,也远比天然刚玉的要简单。

再次,对于不同的刚玉合成方法来说,温压参数各不相同,物化条件各有差异、晶体生长速度也不尽相同,它们往往体现在刚玉内部的一些成分或形态独特的包裹体上(表 2):

表 2 天然刚玉与合成刚玉的包裹体标型

Table 2 the typomorphic characteristics of the inclusions in natural and synthetic corundum

| 类型 | 天然刚玉石 | 合成刚玉 | 合成方法 |
|--------|--|---|------|
| 物质型包裹体 | 金红石、锆石、刚玉、尖晶石、石榴石、云母、赤铁矿、单相或多相指纹状包体 | 籽晶、Al ₂ O ₃ 粉末、坩埚金属材料、钉状流体包裹体 | 水热法 |
| | | 单相助熔剂指纹状包裹体,助熔剂及坩埚金属材料包裹体 | 助溶剂法 |
| 结构型包裹体 | 多裂理(图版 1),聚片双晶纹、负晶、三角形生长标志(图版 2、3)、柱面生长纹(图版 4、5) | 60°交角双晶交叉线、弧形生长纹(图版 6)、拉长形气泡,雁行状裂纹 | 焰熔法 |
| | | 圣诞树枝状、锯齿状、波纹状生长纹 | 水热法 |
| 颜色型包裹体 | 六边形平直色带、不规则红色色斑 | 不均匀的搅动状颜色(Ramaura),蓝色三角状生长带(Douros) | 助溶剂法 |
| | | 弯曲色带、台面可见二色性 | 焰熔法 |

注 根据笔者镜下观察及张蓓莉,1997 廖宗廷等,1997 李兆麟,2000 吴开华等,1996 丘志力,1995 张庆麟,1997 李隽波等,1999 袁心强,2000 资料综合^[4-12]

表 3 天然与优化处理刚玉类宝石的鉴定标型

Table 3 the indentical tyпомorphic characteristics of the natural and enhanced corundum

| 类型 | | 未经优化处理 | 经优化处理后 | 经优化处理后 |
|-------------------------|------|--|--|------------|
| 颜色标型 | | 颜色及色带贯穿整个宝石晶体 | 颜色浓集在刻面宝石的表层裂隙 | 扩散处理 |
| | | | 颜色富集在裂隙导致多色性异常 | 染色 |
| | | | 格子状色块、不均匀扩散晕 | 热处理 |
| | | | 裂隙中可见干涉色 | 注油 |
| 包裹体标型 | | 包裹体边缘棱角分明，连续的针丝状金红石包体有时出现含 CO ₂ 的流体包裹体 | 低熔点固态包裹体的边缘常呈浑圆状，圆盘状裂隙，熔融凹坑，无含 CO ₂ 的流体包裹体，金红石熔融成丝、点状物 ^[7] | 热处理 |
| 其它物理化学特征 | 化学成分 | Al ₂ O ₃ 、Fe、Ti、Cr、Mn、V 等 | 可检测到油、胶或染料的吸收峰 | 充填，注油，染色 |
| | | | 表面 Cr ₂ O ₃ 含量高达 4% | 扩散处理红宝石 |
| | 折射率 | 1.762 – 1.770 | 1.80 | 扩散处理 |
| | 条痕 | 无色 | 红色 | 镀膜，涂层处理红宝石 |
| | 发光性 | | 淡绿或淡蓝色荧光 | 热处理蓝宝石 |
| | | | 染料显橙红 – 橙黄色荧光 | 染色处理红宝石 |
| | | | 短波紫外光下呈斑块状蓝白色磷光 | 扩散处理蓝宝石 |
| | 吸收光谱 | Fe ²⁺ 、Ti ⁴⁺ 吸收带，Fe ³⁺ 吸收线（蓝宝石） | 缺失 450nm 铁线 | 热处理蓝宝石 |
| 缺少 Fe ³⁺ 吸收线 | | | 扩散处理蓝宝石 | |

注 根据笔者观察及张蓓莉,1997 廖宗廷等,1997,2002 吴瑞华等,1994 刘春燕,1997 资料[4 – 6,13 – 14]综合

表 4 世界不同产地天然刚玉类宝石特征包裹体

Table 4 the tyпомorphic characteristics of the natural corundum occurred throughout the world

| 红宝石产地 | 特征包体 | 蓝宝石产地 | 特征包体 |
|-------|---------------------|----------|---------------|
| 缅甸 | 针状金红石、热液状色斑 | 斯里兰卡 | 细长针状金红石、晕圈锆石 |
| 越南 | 棒状方解石、三水铝石、空晶、双晶条带 | 印度(克什米尔) | 电气石、金云母、溶蚀状长石 |
| 泰国 | 带褐色晕或应力纹的锆石，空晶、磁黄铁矿 | 缅甸 | 金红石、刚玉、聚片双晶 |
| 斯里兰卡 | 黑云母、锆石、流体包裹体 | 泰国 | 锆石、长石、磁黄铁矿 |
| 中国 | 金红石、黑云母 | 坦桑尼亚 | 方解石、独居石、磁黄铁矿 |
| 坦桑尼亚 | 尘状气液包体涡流 | 蒙大拿(美国) | 石榴石、尖晶石 |
| 马拉维 | 角闪石 | 尼日利亚 | 钠长石、铀烧绿石 |
| 尼泊尔 | 黝帘石、石墨 | 马拉维 | 软水铝石 |
| 俄罗斯 | 尘状金红石、流体包裹体 | 澳大利亚 | 辉石、尘状包体、熔融包体 |
| 肯尼亚 | 电气石、蓝晶石、长石 | 中国 | 铌钽铁矿 |
| 柬埔寨 | | 哥伦比亚 | 针状勃母石 |

注 据丘志力,1994,《宝石中的包裹体——宝石鉴定的关键》^[9]

只要稍加分析,我们就不难找出上述标型产生的机理,从而推导出相应的合成方法。因此包裹体标型无疑为宝石的鉴定提供了一条有效而又快捷的思路。

3.2 优化处理刚玉类宝石的鉴定

由于天然的优质红蓝宝石极少,为了满足市场需求,市场存在将质量较差的红宝石和蓝宝石原料,通过一系列的优化处理,提高其质量,包括改变颜

色、净度和掩盖裂隙等的现象^[10]。刚玉类宝石处理的方法有很多,如扩散处理、染色处理、辐照处理、热处理等。然而不管哪种方法,都必将改变原宝石的某些特征,并留下能指示其成因的某些标型,表 3 就是很好的说明。

3.3 刚玉类宝石产地的鉴别

深入研究天然刚玉类宝石中的某些标型特征还可以区分它们的产地。例如因产地不同,宝石具不同的成矿物质来源,生长时的物理化学条件和所经历的地质作用也有很大差异,造成在包裹体成分、相比例、形态及共生组合等方面具有不同的特性,形成独特的产地包裹体标型(表 4)。

4 结论

通过研究,本文有以下结论性认识:

将矿物标型特征的概念引入宝石研究与鉴定工作,不但能为宝石的多种鉴定特征提供理论上的依据,而且还能为实际鉴定天然宝石与人工合成及优化处理宝石提供新的思路。对某些宝石而言,它还能帮助鉴定其产地。因此,矿物标型特征在宝石鉴定中具有广泛的应用前景。笔者相信,将成因矿物学应用于宝石学研究必将对宝石学的发展起极大的推动作用。

参考文献:

[1] 薛君治、白学让、陈武,成因矿物学,武汉,中国地质大学

出版社,1991

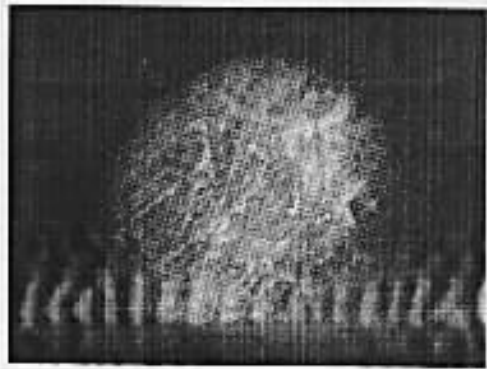
- [2] 何雪梅、沈才卿、吴国忠,宝石的人工合成及鉴定,北京,航空工业出版社,1998
- [3] 陈远胜,当前合成宝石国际市场的发展动态,珠宝科技,1999,11 (4),22-23
- [4] 张蓓莉,系统宝石学,北京,地质出版社,1997
- [5] 廖宗廷、许耀明、陈刚等,宝石学概论,上海,同济大学出版社,1997
- [6] 廖宗廷、朱静昌、郭守国,珠宝鉴赏,武汉,中国地质大学出版社,2002
- [7] 李兆麟,天然宝石和人工合成宝石包裹体研究,宝石和宝石学杂志,2000,2 (1),27-33
- [8] 吴开华、陈昌荣,包裹体特征在宝石鉴别中的应用研究,矿产与地质,1996,10 (1),50-54
- [9] 丘志力,宝石中的包裹体——宝石鉴定的关键,北京,冶金工业出版社,1995
- [10] 张庆麟,包裹体在宝石研究中的意义,珠宝科技,1997,9 (1),39-42
- [11] 李隽波、张良钜,水热法合成红蓝宝石的宝石学特征,桂林工学院学报,1999,19 (2),126-130
- [12] 袁心强,桂林水热法合成红、蓝宝石的宝石学特征,宝石和宝石学杂志,2000,2 (4),12-17
- [13] 吴瑞华、王春生、袁晓江,天然宝石的改善及鉴定方法,北京,地质出版社,1994
- [14] 刘春燕,经热扩散处理的蓝宝石鉴定,甘肃地质学报,1997,6 (2),95-96
- [15] 刘江霞、元利剑、曾骥良等,桂林水热法合成黄色蓝宝石的宝石学特征研究,宝石和宝石学杂志,2001,3 (1),7-11

The Typomorphic Characteristics of Minerals and Their Applications in the Identifications of Gems

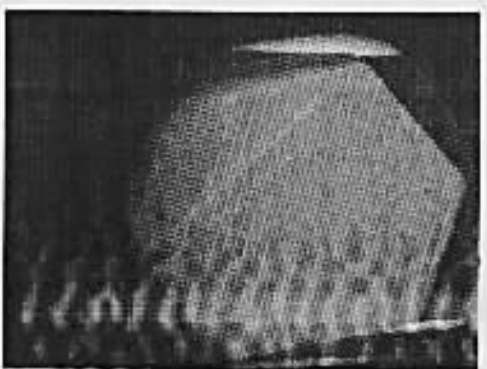
Zhou - Zhengyu Li - Ran Chen - Tao Liao - Zongting
(Education Center of Gemmology, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract The typomorphic characteristics of minerals possess extensive applications in the identifications of gems. The research results show that the typomorphic characteristics of minerals can help us to identify not only nature gems and enhancement & treatment ones, but also the locality of some gems. The theory about typomorphic characteristics of minerals would provide new theoretic bases and find new identify ways if it is applied to gemmology.

Keywords typomorphic characteristic mineral gem identification corundum



图版 1 红宝石晶体的裂纹



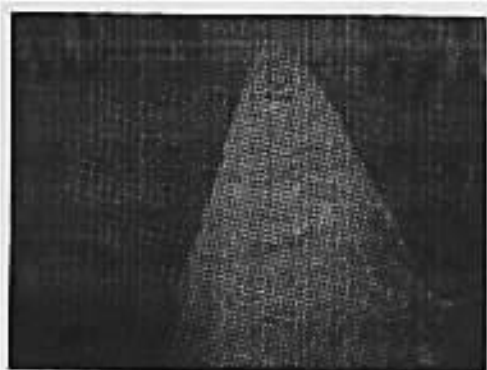
图版 2 刚玉晶体表面的三角形生长标志



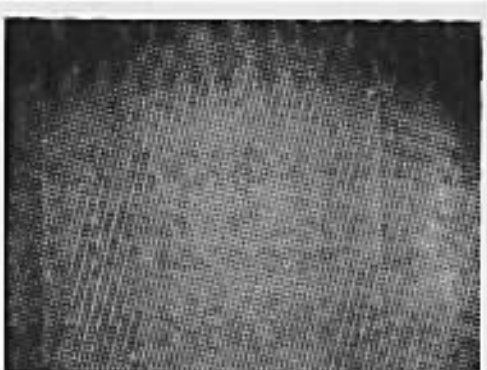
图版 3 刚玉晶体表面的三角形生长标志



图版 4 红宝石晶体表面的生长纹



图版 5 刚玉晶体表面的生长纹



图版 6 合成红宝石晶体的弧形生长纹

山西娄烦变质岩中蓝晶石、十字石和红柱石的特征及形成条件

卢保奇¹ 王赐银²

(1. 上海大学材料学院宝石技术与工艺专业 上海 201800;

2. 南京大学地球科学系 南京 210093)

摘要 通过电子探针成分分析和矿物共生组合分析,利用地质温度计估算十字石、蓝晶石和红柱石的形成温压条件,以揭示十字石、蓝晶石和红柱石的形成与本区西川河断裂区域变质作用的关系。研究表明 本区西川河断裂以北地区出露的十字石和蓝晶石形成条件受压力控制($P = 5.5 - 7\text{Kpa}$),变质温度为 $520 - 550^\circ\text{C}$ 而西川河断裂以南地区出露的红柱石的形成条件主要受温度控制($T = 570 - 600^\circ\text{C}$),压力小于 3Kpa 。西川河断裂控制了南北地区的变质条件,进而控制了特征变质矿物十字石、蓝晶石和红柱石的空间分布。

关键词 蓝晶石 十字石 红柱石 地质温度计 西川河断裂

山西娄烦变质岩是一套经受中 - 高级区域变质作用的陆源碎屑岩及酸性和中性的火山岩。区内除广泛发育石榴石外^[1],特征变质矿物蓝晶石、十字石和红柱石亦很常见,其中少量蓝晶石、十字石达到宝石级,而红柱石多数被炭质交代而形成空晶石。对这些矿物成分特征的研究以及相关计算,以确定它们的形成条件,阐明它们与断裂区域变质作用的关系,进而为找矿提供理论基础。

1 山西娄烦变质岩地质概况和变质岩石学特征

山西娄烦变质岩系分布于山西省吕梁山区,它北起岚县袁家村一带,南至娄烦县的尖山铁矿及西川河西侧,总体呈南北向展布^[2]。区内吕梁群由四个地层组成,从东向西依次为:袁家村组、裴家庄组、近周营组和杜家沟组。这四个地层从北向南都表现出变质程度递增的趋势。特征变质矿物十字石、蓝晶石和红柱石主要出现在袁家村组、裴家庄组的中段和南段。其岩性为一套变泥质岩系,原岩为富铝的泥砂质沉积岩类。这一套等化学系列的变质泥岩^[3],在不同的变质温度、压力条件下具有不同的变质矿物组合。北段主要为变质砾岩、变质砂岩及绢云母绿泥千枚岩、绿泥石片岩、硬绿泥石千枚岩,石榴云母片岩和石英岩等。这类岩石基本上保留了原岩的结构和构造特征;中段尖山一带岩性主要为白云母石英片岩、十字石榴云母片岩、蓝晶十字白云母片岩等,其中以十字石榴子石云母片岩为特征;南部

西川河南岸,岩性主要为石榴红柱云母片岩和矽线二云片岩等(表 1)。

2 蓝晶石、十字石和红柱石的产状及特征

2.1 蓝晶石的产状及特征

蓝晶石主要产于本区袁家村组和裴家庄组中段的蓝晶十字石榴二云母片岩中,出露的范围是 100 米 - 10 米,可见少量达宝石级的蓝晶石,颜色呈淡黄色,半透明 - 不透明,呈板柱状集合体;单晶体长约 40 厘米,宽约 4 - 5 厘米(王赐银,周顺之,1976)。多数蓝晶石呈细长的柱状、板状变晶,可见其被白云母、石英等穿插切割,呈破碎的竹节状;在平行于(010)的片状变晶中,可见 {001} 完全解理,干涉色一级灰 - 一级黄,平行于(010)切面近于平行消光,平行于(100)切面斜消光, $c \wedge Ng = 30^\circ$ 。

蓝晶石是本区中高压条件下所形成的特征变质矿物,笔者对尖山十字蓝晶白云母片岩中的蓝晶石进行 4 个点区的电子探针分析(表 2)。结果显示蓝晶石的化学成分除 SiO_2 和 Al_2O_3 外,还含少量 FeO^* (0.17 - 0.30%),阳离子数 $\text{Al} = 2.1 - 2.00$, $\text{Si} = 0.99 - 1.00$ 。计算所得的分子式为: $\text{Al}_{2.01} [\text{SiO}_4] \text{O}_6$ 。

收稿日期 2003 - 03 - 19

第一作者简介:卢保奇,男,1967 年生,南京大学地球科学系硕士毕业,讲师,主要从事宝石学教学与科研工作。

表 1 袁家庄组和裴家庄组变质岩及特征变质矿物

Tab.1 The characteristics of metamorphic rocks and minerals in Y Jia Cun and P Jia Zhuang

| | 位置 | | 主要变质岩 | 代表性矿物组合 | 特征变质矿物 | 结构构造 |
|------|----|-------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|
| | 北段 | 袁家村 | 变质砂岩
绢云-绿泥千枚岩
黑云母千枚岩 | 绢云母+绿泥石+
黑云母+石英+斜
长石 | 绿泥石
黑云母
硬绿泥石 | 变余砂质结构,千
枚状构造 |
| 西川河北 | 中段 | 皇姑山
榆树掌 | 含榴硬绿泥石片岩
石榴白云母片岩
石榴二云母片岩 | 硬绿泥石+铁铝榴
石+白云母+黑云
母+石英 | 硬绿泥石
铁铝榴石 | 显微鳞片变晶结
构,斑状结构,片
状构造 |
| | 南段 | 尖山一带 | 含榴十字云母片岩
十字黑云母片岩
蓝晶十字白云母片岩 | 十字石+蓝晶石+
铁铝榴石+黑云母
+白云母 | 十字石
蓝晶石 | 鳞片变晶结构,片
状构造 |
| 西川河南 | | 何家兰-
蔡家庄
对面 | 石榴砂线云母片岩
砂线二云母片岩
含榴红柱石云母片岩 | 砂线石+铁铝榴石
+红柱石+白云母+
石英 | 砂线石
红柱石 | 粒状鳞片变晶结
构,片状构造 |

表 2 特征变质矿物十字石、蓝晶石和红柱石等的电子探针分析结果

Tab.2 The microprobe analysis of mineral staurolite and kyanite and sillimanite and relative data

| 产地 | 尖山 | | | | | | | | | | | | 何家兰南 | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 样号 | JS-11 | | | | LJ1-6-5 | | | | JS-4 | | | 9012 | LH1-2 | LH1-4 | LH1-2 |
| 矿物 | 十字石 | | | | 蓝晶石 | | | | 角闪石 | | | 石榴石 | 红柱石 | 黑云母 | |
| SiO ₂ | 28.64 | 28.50 | 28.50 | 28.18 | 36.29 | 37.52 | 37.36 | 37.06 | 41.72 | 41.89 | 42.06 | 37.68 | 37.72 | 37.53 | 34.93 |
| TiO ₂ | 0.43 | 0.49 | 0.42 | 0.47 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | 0.09 | 1.57 |
| Al ₂ O ₃ | 56.26 | 56.28 | 56.16 | 56.87 | 62.53 | 63.71 | 63.39 | 63.21 | 13.74 | 13.08 | 12.42 | 21.55 | 22.11 | 61.05 | 18.96 |
| FeO | 12.42 | 12.01 | 12.49 | 12.27 | 0.23 | 0.17 | 0.30 | 0.23 | 27.17 | 27.07 | 26.97 | 32.04 | 36.79 | 0.96 | 21.55 |
| MnO | 2.59 | 1.63 | 0.00 | 1.10 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| MgO | 1.30 | 0.71 | 0.89 | 0.85 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 3.71 | 3.59 | 3.48 | 2.13 | 1.69 | 0.16 | 9.38 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.07 | 11.22 | 11.38 | 2.24 | 2.86 | 0.13 | 0.04 |
| Na2O | 0.22 | 0.03 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.02 | 1.62 | 1.69 | 1.75 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.13 |
| K2O | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.55 | 0.48 | 0.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.02 |
| 总和 | 101.85 | 99.65 | 98.54 | 100.01 | 99.07 | 101.41 | 101.15 | 100.54 | 99.61 | 99.07 | 98.53 | 95.74 | 101.19 | 99.02 | 94.59 |
| 阳 离 子 数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 3.83 | 3.86 | 3.88 | 3.81 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 6.41 | 6.47 | 6.54 | 3.10 | 3.00 | 1.02 | 2.69 |
| Al ^{IV} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.59 | 1.53 | 1.46 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.31 |
| Al ^{VI} | 8.86 | 8.99 | 9.05 | 9.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.9 | 0.85 | 0.81 | 2.09 | 2.07 | 0.95 | 0.41 |
| Ti | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.09 |
| Fe ²⁺ | 1.39 | 1.36 | 1.42 | 1.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.49 | 3.50 | 3.50 | 2.15 | 2.45 | 0.02 | 1.60 |
| Mn | 0.29 | 0.19 | 0.00 | 0.13 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mg | 0.26 | 0.14 | 0.18 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.85 | 0.83 | 0.81 | 0.26 | 0.20 | 0.01 | 0.71 |
| Ca | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.82 | 1.86 | 1.89 | 0.20 | 0.24 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.06 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.48 | 0.51 | 0.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| K | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.79 |

* 样品由南京大学地球科学系中心实验室测试

2.2 十字石的产状及其特征

十字石作为特征变质矿物,主要产在该区南段

十字黑云母片岩和蓝晶十字白云母片岩中,与蓝晶石、石榴石共生。镜下可见十字石呈柱状的变斑晶,

具筛状变晶结构, Ng - 黄色, Nm - 浅黄色, Np - 无色, 二轴晶正光性。野外观察可见十字石晶体的“X”双晶和“+”双晶, 镜下可见十字石大部分已绢云母或白云母化, 仅保留其假象。值得一提的是, 在本区曾发现宝石级十字石的巨大单晶体(王赐银, 1976), 金黄色 - 淡黄色、半透明 - 不透明、呈柱状集合体。

为了确定本区十字石的形成条件, 笔者对本区尖山十字黑云母片岩中的十字石进行了 4 个点区的电子探针分析(表 2)。结果表明, 十字石是一种富含铝的铁铝硅酸盐矿物, 富含 FeO 是其显著特征之一, 达 12% 左右, $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg) = 0.94$ 。

通常认为形成十字石变质反应有如下三种^[4]:

① 23 硬绿泥石 = 5 铁铝榴石 + 4 十字石 + 21H₂O (10Kpa, 600°C)

② 31 硬绿泥石 = 4 十字石 + 5 铁铝榴石 + 3 尖晶石 + 29H₂O (7 - 30Kpa, 700°C)

③ 4 硬绿泥石 + 5 红柱石 = 2 十字石 + 石英 + 3H₂O (4 - 8Kpa, 545°C)

根据本区出露的十字石蓝晶石片岩的矿物组合分析, 推断本区的十字石应是反应①形成的。

2.3 红柱石的产状及特征

红柱石分布于本区西川河以南的较窄范围内, 主要产于红柱云母片岩中。镜下呈柱状, 变斑晶被白云母、绢云母等强烈交代而呈红柱石假象, 受后构造影响, 方形的截面多已呈菱形、拉长的菱形。其中可见炭质沿红柱石菱形对角线分布, 为空晶石, 大小约 3.5 ~ 2.5mm。呈柱状的假象者, 其晶体中可见十字石、蓝晶石、白云母等包体。红柱石的电子探针分析结果如表(2)。

3 蓝晶石、十字石、红柱石的形成条件

3.1 蓝晶石、十字石的形成条件和指示意义

蓝晶石、十字石作为本区低角闪岩相特征变质矿物主要产于本区的十字蓝晶二云母片岩、石榴云母片岩中, 与本区北段高绿片岩相过渡的可能等变反应为^[5]:

① 硬绿泥石 + 白云母 = 十字石 + 黑云母 + 石英 + 水

② 硬绿泥石 + 白云母 = 蓝晶石 + 黑云母 + 水

为了判断十字石和蓝晶石的形成条件, 笔者对本区与之共生的角闪石进行了电子探针分析, 结果

如表(2)。该区角闪石应属于钙质角闪石类的铁镁质角闪石或铁角闪石 $[Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+}) = 0.19]$ 。在 Al^{VI} - Si 变异图^[6](图 1)上投影点落在大于 5Kpa 的压力型区域。此变异图是以 5Kpa 的压力为界的, 说明本区角闪石的形成压力要大于 5Kpa, 而投影点没有超出图中最大可能的区, 结合都城秋穗(1961)关于区域变质作用类型划分方案, 该区的角闪石应属于中压条件下形成的。Hyndman, D. w. (1972)曾研究了不同变质相中角闪石中 Al^{VI}含量的变化规律^[7], 指出在角闪岩相中, Al^{VI}为 1.50 - 1.65, 在麻粒岩相中为 1.64 - 2.05。这说明角闪石中 Al^{VI}含量越高, 反映形成温度越高。Leake, E. (1971)指出: 钙质角闪石中的 Al^{VI}与压力成正相关关系, 即 Al^{VI}含量越高, 压力越大。Закруткин, В. В (1968)根据钙质角闪石中的 AL^{IV}/AL^{VI}来确定角闪石的寄主

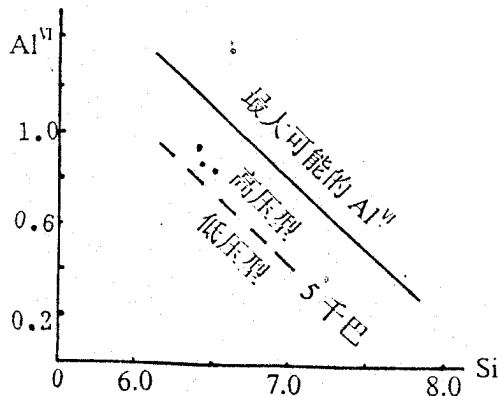


图 1 角闪石压力与 Al^{VI} - Si 变异图

Fig. 1 The relation of Al^{VI} and Si in Amphibole

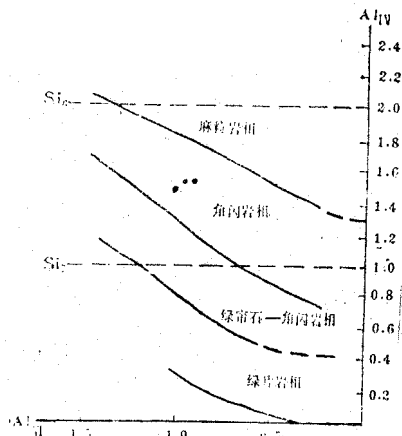


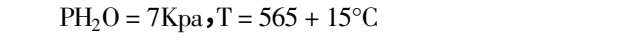
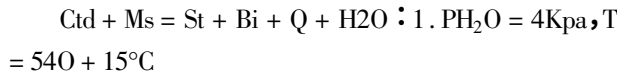
图 2 角闪石中 AL^{IV} 与 AL^{VI} 变异图

Fig. 2 The relation of AL^{IV} and AL^{VI} in Amphibole

岩石所属的变质相(图 2),从图中可知,三个投影点均落在角闪岩相,说明该区角闪石应属于中压低角闪岩相。这与图(1)的投影结果是一致的。因此本区十字石、蓝晶石也应形成于中压条件。

为了进一步定量计算十字石、蓝晶石的形成的温、压条件,笔者选取本区中与之共生的石榴石-黑云母[其中,石榴石的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.11$,黑云母的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.45$],利用石榴石-黑云母地质温度计来估算变质温度(图 3),再在石榴石-黑云母地质压力计上投影(图 4),计算结果为压力 5.5Kpa 左右,温度为 520 - 550℃之间。

Hoschck(1969)对形成十字石的变质反应作了很好的试验研究,得出下列反应及形成条件:



笔者的估算结果与 Hoschck 的估算结果比较接近。因此,通过上述矿物成分特征所确定的温、压条件与实验资料基本吻合,可以确定本区十字石蓝晶石形成的变质温度在 520° - 550℃ 之间,压力约 5 -

7Kpa,属于中压变质相系的特征变质矿物。

3.2 红柱石的形成条件和指示意义

为了定量计算红柱石形成的温、压条件,笔者选取本区中与之共生的石榴石-黑云母矿物对估算出该区形成的温度约为 570 - 600℃ 之间[其中,石榴石的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.08$,黑云母的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.31$],压力小于 3Kpa,估算结果表明红柱石形成于热变质程度较低和变质压力较低的条件。

4 结论

1. 本区等化学系列的岩石在不同的变质条件下出现了不同的特征变质矿物和变质矿物组合,在空间上从北向南规律分布。

2. 电子探针及矿物对温压估算表明 本区十字石和蓝晶石形成于中压条件($P = 5.5 - 7Kpa$),属于低角闪岩相,温度为 520 - 550℃。而红柱石则受形成的温度控制($T = 570 - 600^{\circ}C$),形成压力小于 3Kpa。

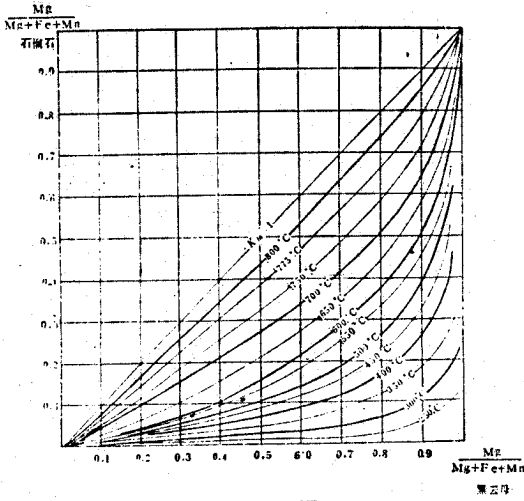


图 3 石榴石-黑云母矿物对与变质温度的关系

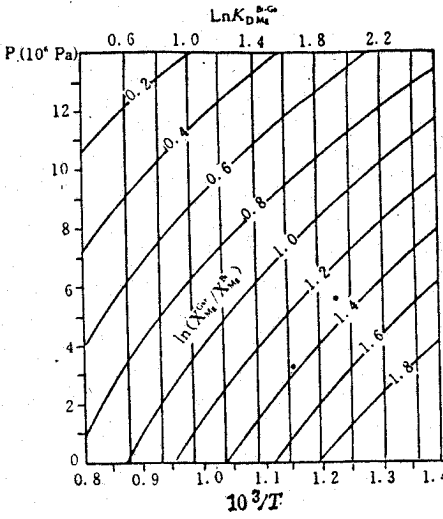


图 4 石榴石-黑云母矿物对与变质压力关系

Fig.3-4 The relation of metamorphic T & P and garnet - biotite assemblage

3. 西川河以北地区变质条件以压力为主,出现了压力型特征变质矿物十字石和蓝晶石。而西川河以南地区变质条件以温度为主,出现了温度型特征变质矿物红柱石。

4. 西川河断裂区域变质作用控制了本区的变质条件,且该断裂的南北两盘所经历的变质温压条件不同。

参考文献：

- [1] 卢保奇,翁臻培,晋北吕梁群石榴石的特征及指示意义^[1],珠宝科技,2002,Vol.14,No2,1-5
- [2] 山西省区域地质志,地质出版社^[M],1982
- [3] 王赐银等,东天山苦水变质带变质作用及其成因研究^[1],南京大学学报,1992,28(4)
- [4] 贺同兴等,变质岩石学,地质出版社^[M],1980,51-52
- [5] Winkler, H. G. F. : Petrogenesis of metamorphic rocks [M], 1979
- [6] Rasse, P. Contrib. Mineral. Petrol., 1974, 45
- [7] Hyndman, P. W., petrology of Igneous and Metamorphic rocks, McGraw-Hill Book Company, 1972

The Characteristics and Forming Conditions of Staurolite and Kyanite and Sillimanite in The Metamorphic Rocks in LouFan District, ShanXi Province

LU Bao - qi¹ WANG ci - yin²

(1. Gemology Department of Shanghai University, Shanghai 201800

(2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract The characteristics and forming conditions of staurolite and kyanite and sillimanite in the metamorphic rocks in LouFan District, ShanXi Province have been investigated. EPMA and the mineral paragenesis and the estimated calculation of geothermometer indicate that Staurolite and Kyanite in the North of the Xichuan are formed at the higher pressure ($P = 5 - 7 \text{ Kpa}$) and the lower temperature ($T = 520 - 550^\circ\text{C}$), whereas Sillimanite in the South is controlled by relatively higher temperature ($T = 570 - 600^\circ\text{C}$) and the lower pressure ($P < 3 \text{ Kpa}$), which is dominated by the fault of Xichuan river.

Key words staurolite kyanite sillimanite geothermometer the fault of Xichuan river

(上接第 50 页)但同时也去除了几乎所有的对人体有益和必需的微量元素、无机矿物质,失去了饮水的营养功能。今年 3 月份“世界水日”之际,中国消费者协会向消费者发出了消费提醒 建议广大消费者不要长期饮用纯净水。

但是许多人并不清楚如何识别矿泉水和其他各种水。饮用天然矿泉水按照国家标准规定,必须是深部循环的地下水,包括自然喷出和人工打井,用水泵抽上来的;必须是未受污染的;它必须含有一定量的矿物质和微量元素,而且它的水质、水量、水温在一年四季都是相对稳定的,其 54 个水质指标的测试都必须符合饮用天然矿泉水国家标准规定的要求。具体的说,这些内容都要反映在其商标上。商标上必须标明矿泉水水源地名称及通过国家或省级鉴定认可的批准号,必须有采矿许可证号,标明产品名称“饮用天然矿泉水”,净含量、标准号、厂名、厂址,还必须标明宏量矿物质主要阴、阳离子(即 K^+ 、 Ca^{+2} 、 Na^+ 、 Mg^{+2} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{-2} 、 Cl^-)的含量,主要微量元素的含量(如 锶、偏硅酸、锌等)、PH 值、溶解性总固体值等等。长期饮用矿泉水对预防心脏病、高血压等心血管疾病有一定的好处。

浅析管理信息系统的建设

乐艳莉

(上海市地质调查研究院 上海 200072)

摘 要 管理信息系统是利用信息进行管理的系统。它的建设不仅要考虑技术问题还要考虑企业的组织问题和人的行为问题。推进管理信息系统的建设是对企业务层次人员在观念上、行为上的一种变革。管理信息系统的建设应根据企业的实际情况,选择相应的开发模式。

关键词 管理信息系统 社会系统 人的行为和管理

世上从来没有一项技术象管理信息系统那样引起人们如此不同的议论,有人把它说成是推行管理现代化的灵丹妙药,有人则把它说得一无是处。这究竟是什么原因?只能从管理信息系统的性质上找出答案。

1 管理信息系统是一个什么系统

任何企业无论其有无计算机,有无网络,只要有信息,就有管理信息系统存在。管理信息系统只有好差之分,不存在有无的问题。国内现在流行的‘计算机辅助企业管理’和管理信息系统不是一回事。管理信息系统是利用信息进行管理的系统,是由人与计算机组成的人机系统。它不仅要考虑技术问题,而且还要考虑企业的组织问题和人的行为问题。因而管理信息系统是个管理系统,是个社会系统,是个社会技术系统。它具有社会系统的所有特点,其中主要的是开放系统的特点。

2 推进管理信息系统是一场变革

信息系统是一个社会系统。当应用信息技术引起系统功能的提高和改变时,对企业来说应是一场革命。至少应该是企业组织的变化和企业务层人员工作方式的改变,进而是整个企业成员通过相关的信息系统而产生思维方式的改变。

一般情况,对基层的影响是工作方式的改变,是效率的提高和人员的减少;对中层的影响是引起组织结构和权利结构的改变,以及职业的转移;对于高层的影响可能是管理幅度的扩大和决策方式的改变。

基层应用的是数据处理系统,用以提高效率;中层用的是信息控制系统,不仅是提高效率还要价值增值;高层应用的是决策支持系统,主要用于提高效益和寻找机会。推行管理信息系统对于不同的层次将会产生不同的影响,因而也将会会有不同的阻力。

基层的担心显然是系统代替了人的工作,引起作为工作人员本身的价值体现降低或工作负担过重。当然,更有不愿学习新知识和不愿放弃旧的工作方式。有了这种思想就会在行动上有所表现:或者采取不合作态度,不愿交出自己的手工作业程序和经验,或者不愿承担新的信息收集工作,甚至采取消极怠工的态度。总之,克服这种阻力是有困难的。但只要领导的决心大,方法对,这种阻力是可以克服的。因为,这里存在着许多误解。事实上从总体上讲,任何一个先进生产力给职工带来的不是工作岗位的减少、个人价值的削弱和生活水准的减低,而只是工作岗位的转移,工作方式、思维方式的改变。

来自中层的阻力是最可怕的阻力。中层最担心的是组织结构和权利结构的变化,管理方式的改变,以及自己在这种变革中将受到的影响。出于以上的担心,中层将可能在思考是否能跟上和适应这种改变,或者是退下来作为这种改变的代价。在管理信息系统发展的初期阶段,所谓的‘中层管理即将消失’

收稿日期 2003-04-04

作者简介:乐艳莉,女,1974年生,1993年毕业于南京地校地图制图专业,工程师,现主要从事计算机制图、网络管理及计算机信息化等工作。

以及大家臆想中的‘扁平式管理’的说法更加剧了中层的恐惧感。其实,管理信息系统的建立并不会使中层管理消失,而是加强。中层组织的数目减少,固定岗位可能减少,而相对的人数增加,临时性的组织增加,组织的变动加快。真正的实现了能者居上的目标,而且对于每个人来说更容易找到适合自己发展的工作岗位。

对于高层来说,高层并不担心信息技术对其本身的影响。而高层在管理信息系统上主要使认识问题 如何处理眼前利益和长远利益的矛盾 如何认识通过管理信息系统而产生的变革与企业发展的关系 在管理信息系统上的投入上,如何控制和支持管理信息系统的建设 如何克服自下而上的阻力 如何认识管理信息系统的必要性和该系统运行时所产生的效益,管理信息系统的建设究竟是‘用哪种技术或哪种软件来完成系统的建设’还是‘大家都说好的系统就是好系统’,还是‘尽管大家经历了一个痛苦的过程,我们终于使大家不再觉得时间不够用、人员不够用,办事有规矩了’的系统。

3 管理信息系统的建设模式

3.1 西方管理信息系统建设的历程

可以用诺兰的六段论来描述:初装——扩展——控制——一体化——数控管理——成熟阶段。在实践过程中,该历程耗用了大量的人力和资金。在某些阶段中,产生过较大的失败。如在一体化过程中,大约有 50% 的系统失败了。但总的来看,西方管理信息系统的研究度过了困难,总体收益远远超过损失。

3.2 国内管理信息系统建设的概述

20 世纪 80 年代初,我国信息工作者认为不必重复西方的老路,不需要经过工业化的所有步骤,跨越阶段,直接进入信息社会。经过几年的实践证明,管理信息系统的成败在于全体人员的行为与素质,在于管理的先进与落后。

20 世纪 80 年代末,有两个 80% 的估计 80% 的系统失败了,或没有达到设计要求 80% 的原因在于管理。

20 世纪 90 年代期间,大量引进 ERP 或 MRP 等软件。其中失败的案例依然居多。

3.3 拟往企业管理信息系统建设成功的经验

(1) 正确的认识自己的环境

从企业的实际出发,确定合适的目标,取得合适的进展。环境的分析包括:

- ① 信息系统对企业带来的好处;
- ② 管理人员的改革意识和管理水平;
- ③ 职工的文化素质和企业的管理基础;
- ④ 技术力量情况;
- ⑤ 资金状况;

认识环境,要分析动力何在。开发管理信息系统的动力来自内力驱动和外力驱动。

内力驱动来自内部提高效益或改进技术的需要。外力驱动使市场驱动或上级驱动。行政驱动仍是一种有效的动力,但是容易使得为了上档次,搞一些规划和买一些计算机,造成了项目的形式化。

(2) 选择合适的道路

针对自己的情况,选择合适的道路。大致有如下方式:

① 自上而下全面开发的方式

列入上级规划,得到上级立项支持。一般起点高,采用内外结合的方式。先建立以决策层领导为首的领导班子,然后进行总体规划,明确系统目标,选择精干的技术队伍,按照系统工程步骤按部就班的严格执行。该方式见效早,但久久不能达到期望值。

② 全面引进的方式

在引进管理信息系统的时候不仅引进硬件和软件,而且引进全部管理系统和管理方式。该方式效果好,但实现难度大,外部条件、内部人员素质以及资金要求较高,但可以跨越阶段的方式。

③ 建立全新的企业,全心的系统

美国和日本越来越多的采用这种方式,就是在建立全新的生产线的同时,也建立全新的管理系统。当新厂运行时就将老厂关闭,甚至新老厂分设两地。这种生产更新的方式效果好,干扰少,但投资要求高。适合在企业单位有意向建立相对独立的新机构或是新管理方式的团队时采用。

对于具体的企业单位来说,采用哪种方式取决于企业的实际情况,包括技术情况、组织和行为情况。也许在推行管理信息系统的过程中,人的行为和管理问题更为重要。只有认真开展管理信息系统的思想工作,管理信息系统的发展才能健康和顺利。