

中 华 人 民 共 和 国

城市地质综合调查报告

比例尺 1 : 50000

杭州市幅

临浦镇幅

H-51-61-A

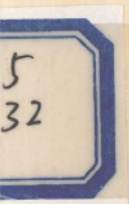
H-51-61-C

(第 六 册)

10040-01-006

浙 江 省 地 质 矿 产 局

1987 年 7 月



中 华 人 民 共 和 国

城 市 地 质 综 合 调 查 报 告

比例尺 1 : 50000

杭州市幅

临浦镇幅

H-51-61-A

H-51-61-C

第 六 册

(旅 游 地 质)

责 任 编 辑 朱汉生 李关盛

大 队 长 章 瑜

大 队 总 工 程 师 张健康

技术负责兼分队长 包超民

浙江省区域地质调查大队五分队

1987年7月 萧山

目 录

第六篇 旅游地质	1
概述	1
第一章 杭州风景地质各论	4
第一节 西湖	4
第二节 钱塘江	7
第三节 岩溶	8
第四节 泉	10
第五节 古火山	11
第二章 开辟杭州国家地质公园的条件及设想	13
第一节 地质简史	13
第二节 地质公园雏议	14
第三章 潜在风景资源及开发建议	21
第一节 湘湖景区	21
第二节 白马湖景区	24
第三节 庙山坞景区	26
第四节 灵山景区	29
第五节 白龙潭景区	33
第六节 古荡景区	35
第七节 景区开发层次	37
主要参考文献	39

第六篇 旅游地质

概 述

杭州是我国六大古都之一，美丽的西湖自古以来名扬中外，市区西南葱茏起伏的群山和碧波荡漾的湖水，以及散布在丛山和西湖周围的名胜古迹，吸引着无数游人。西湖是国家级风景名胜区。国务院将杭州市的性质定为全国历史文化名城和重点风景旅游城市。杭州市城市建设总体规划中的建设目标是将杭州建成风景优美，环境整洁；科学发达，文化昌盛；经济繁荣，供应丰富；文明礼貌，社会安定的社会主义风景旅游城市。在今后若干年内将成为我国东南沿海的旅游中心和国际第一流的风景区。

按照上述杭州城市性质和建设目标，根据地质矿产部1983年全国1:5万区域地质调查工作会议精神，浙江省地质矿产局于1984年6月下达的杭州市、临浦镇幅1:5万区域地质调查任务书中提出：为适应不断发展的旅游事业的需要，要进行风景资源和可供普及地学的地质地貌景观地区的调查。

本区位于祖国东南沿海，浙江省的北部。以富春江、钱塘江为界，西北为天目山余脉，东南属龙门山系，整个地势西南高、东北低。富春江南岸的低山丘陵，为大片火山岩覆盖区，沟谷深切、山体高峻。富春江西北部、西湖西南为大片丘陵，坡度缓，溪流短。由于岩性的差异和剥蚀程度的不同又可分为两个地形圈：外圈的午潮山、白岩山、五云山、天竺山、北高峰，主要由砂岩构成，岩性坚硬，高峻挺拔。群山中山涧溪谷纵横，山水清冽。内圈有飞来峰、南高峰、玉皇山、凤凰山等，为灰岩山体，山势较低，石骨嶙峋，洞穴横生。

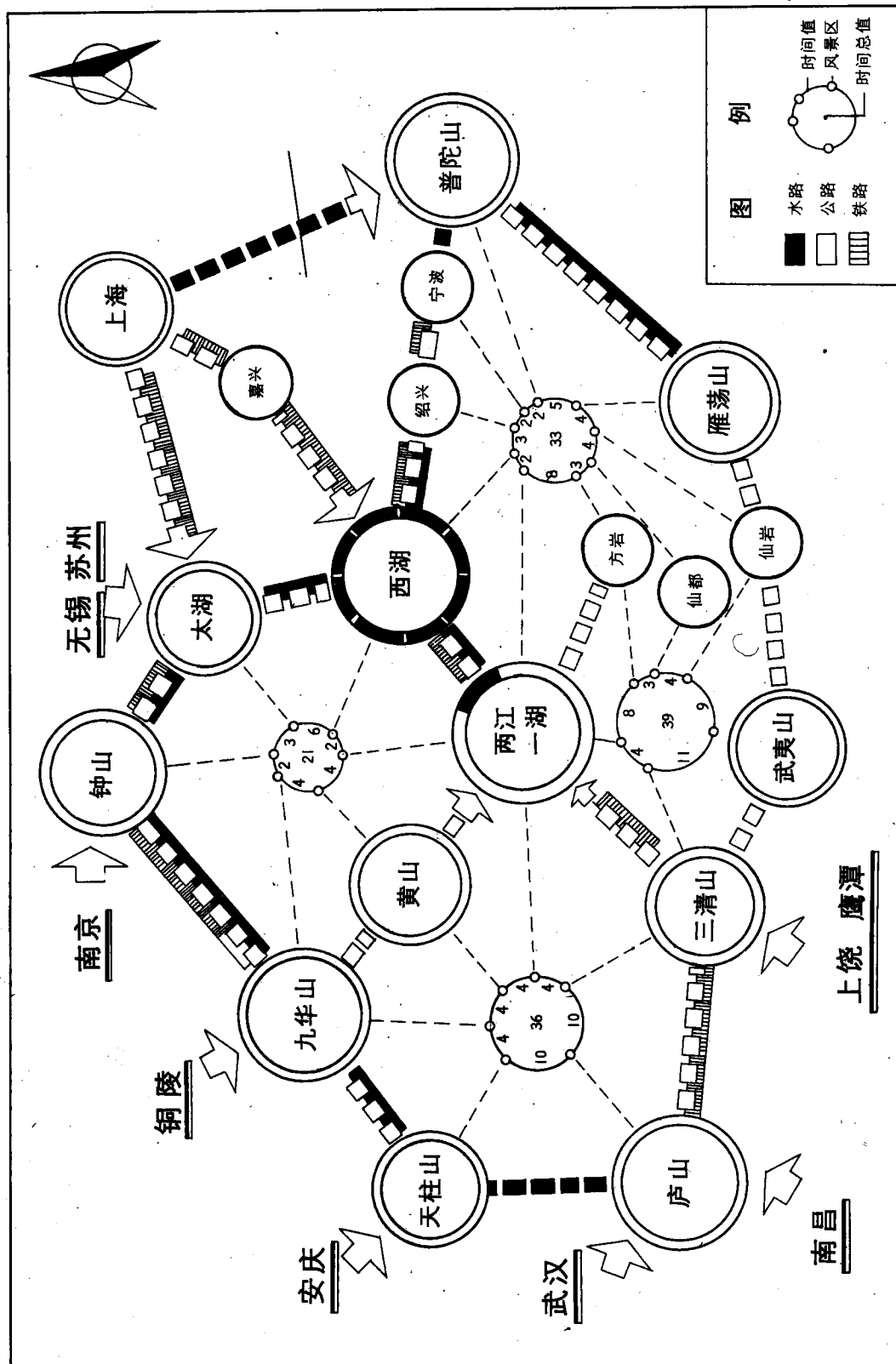
区内分布着广袤的平原，面积约占60%，北部属长江三角洲杭嘉湖平原的南缘，东部属萧绍平原的北缘。平原区地势平坦，水流成网，阡陌纵横，是典型的江南鱼米之乡。图区中南部钱塘江、富春江、浦阳江三江交汇，形成冲海积沙洲。

本区属亚热带季风性湿润气候，四季分明，使得风景旅游区有四时不同风光。

本区地理位置重要，水陆交通便利，拥有铁路、公路、内河航运和民航等运输手段。沪杭、浙赣、杭长三条铁路从本区向外延伸。杭州是浙江省省会，全省公路网的中心，并有直达汽车通往莫干山、天目山、黄山等著名风景区。内河航运有世界上开凿最早，里程最长的京杭大运河，沟通海河、黄河、淮河、长江等水系。我省最大的河流——钱塘江，经过五县，奔流直下，斜贯整个测区。

本区经济繁荣，工业兴旺。杭州的丝绸工业历史悠久，闻名中外；电子仪表、机械、纺织、化工等工业也蓬勃发展。近年卫星城镇的乡镇工业加速了经济繁荣。本区经济发达程度居全国前列。

杭州素称文物之邦，旅游之地，“上有天堂，下有苏杭”，自古以来就有这样的美称。除西湖被列为国家级风景名胜区外，国家级的富春江-新安江-千岛湖风景名胜区，又以本区



上海经济区旅游网络图
(据两江湖风景区总体规划)

为起点。杭州-宁波-普陀旅游线和杭州-苏州-无锡古运河旅游线，都以本区为枢纽向外辐射(参见上海经济区旅游网络图)。

旅游业已成为本区重要的经济活动和其它各项建设的轴心之一。随着对外开放和对内搞活经济政策的实施，国民经济发展迅速，人民生活水平显著提高，旅游活动已日益成为人们的生活内容。本区闻名遐迩的风光名胜，更是游客向往的地方。1986年市区共接待国际游客26.6万人次，国内游客达1550万人次。

然而，本区旅游业的发展也存在着一些薄弱环节。旅游资源未充分开发；布局上只是集中在西湖周围，尤其是西湖北部；游客也往往集中于几个热点。灵隐、岳坟等景点已人满为患，达到饱和状态，严重地影响了游览效果和景点保护。迫切需要在扩大景区内涵的同时，探索、开发新的旅游基地。

鉴于以上的要求，本次工作是在地质调查的基础上，对测区的风景旅游资源作了普查。基本查清了自然风光的分布，并进行了成因分类，从成因上作科学解释；探讨了建立杭州地质公园的素材，提出开展地质旅游；指出了杭州外围的风景资源后备基地及开发建议。

杭州市区历史悠久，文化古迹遍布，园林艺苑独具匠心。本次侧重调查的是杭州山水的形成规律，注重普及地学知识，增加旅游内涵，进而对杭州的山山水水有更为深刻的了解。

杭州郊区的风景旅游资源，则是从自然风光和文物古迹等诸方面作了初步调查，对开发、保护提出了初步的意见，以期能挖掘潜在风景资源，对有关部门开发风景资源起抛砖引玉作用。

第一章 杭州风景地质各论

杭州是我国自然风光最秀丽的城市之一。西湖风姿绰约，岚光水影；环湖青山内峙外耸，蜿蜒锦绣；湖山相依，波光恋着山岚，碧波倒映峰峦，自然协调。洞泉映趣，潺潺流水，款款碧泉，声声扣人心弦。北高峰、天竺山和五云山，岩性坚硬，山势高峻，巍峨挺秀。南高峰、玉皇山和吴山，岩溶发育，洞壑棋布，景色幽奇。其中有玲珑剔透的飞来峰，怪石峥嵘的十二生肖石，钟乳倒悬的烟霞洞，无弦琴声的水乐洞。

杭州风景，有湖光山色之胜，山、石、洞、泉之美。根据地质景观成因不同，分别就西湖、钱塘江、岩溶、泉水和古火山等主要成因类型，探讨其生成原理。

第一节 西湖

当你泛舟西湖，或徜徉湖岸，仿佛置身画中，那绚丽多彩的湖光山色，赢得多少赞叹，“若把西湖比西子，淡妆浓抹总相宜”。

相传，龙、凤俩在仙岛上将宝石琢磨成珠子，后来珠子从天宫掉到地上，变成晶莹的西湖。龙、凤也化作了玉皇山、凤凰山，守在西湖边。现在杭州还留有这样的歌谣：西湖明珠从天降，龙飞凤舞到钱塘。

美丽的传说，给西湖增添了神秘色彩。西湖明珠是怎样形成的，它和宝石有什么联系？是天上掉下来，还是大地的产物？让我们用地质学原理来剖析其成因吧。

西湖风光著称于世，将自然美和人工美凝聚一体。对它的成因，历来为中外学者所关注。

早在二十年代，我国著名地质学家竺可桢、章鸿钊等就提出了西湖成因见解，继有朱庭枯、陈吉余等提出解释。总括各家的成因说，有几点共同的认识：西湖本是古海湾，海湾的沙坝堆积，使西湖与大海隔离，成为泻湖。人工的疏浚使西湖得以存在。以上各家都未指出西湖的原始洼地成因。现在，我们从洼地的形成来追溯西湖的诞生过程。

约在二亿三千万年前的二叠纪末，印支构造运动揉挤了地壳早先形成的岩层，成为裙边状的褶皱，形成以西湖为中心的复向斜构造，并呈指状向西湖倾没。处于复向斜核心的为丁家山组砂页岩，岩性较脆，又受到强烈挤压，岩石支离破碎，易于被风化、剥蚀，天长日久，逐渐低洼。易脆的岩性和破坏性的构造运动，是造就剥蚀洼地的良好条件和动力。

随着地质科学的深入研究，各种现代技术的应用，通过实地考察，对西湖成因又有新的认识，发现西湖原始洼地的形成还与火山作用有内在的联系。

西湖北侧的宝石山是由火山凝灰岩组成，所谓红色的宝石，实是火山碧玉团块。在宝石山之南，又见有火山角砾和集块，这些都是近火山口的岩石组合。地质调查中发现并经有关专家现场证实：保俶塔南、关岳庙旁，存在着古火山通道，这对我们认识客观规律，提供了一个极好的事实。

地质钻探能给我们提供“水落石出”的手段。已经查明，西湖湖底及市区北部大片第四纪松散沉积物之下，都是火山堆积物，岩性和宝石山大致相同。

地球物理勘探资料查明，宝石山一带呈现较好的重力低异常区。据此推测：距今 1.5 亿年的晚侏罗世时，大致在现在的宝石山南麓和里西湖一带，发生了强烈的火山爆发，宝石山、西湖大部及其附近，堆积了厚数百米的火山物质。由于火山喷发，岩浆物质大量外流，导致地壳内部空虚，最后陷落成为洼地。又经历了一亿多年地壳运动，堆积物不断被风化侵蚀，改变着原火山口面貌。

根据地质资料和历史记载，尔后，随着地壳演变，至全新世冰后期，气候由冷转暖，冰盖消融，海面上升，海水沿钱塘江河谷入侵，杭州以东的广大地区沦为沧海，杭州已受到海水影响，如西湖 1 孔(图1-1)中见到了与其相关的沉积物(mQ_4^1)。随着海面持续上升，海侵范围不断扩展，到全新世中期海侵达到高潮。吴山、宝石山之间的低洼地成了与外海相

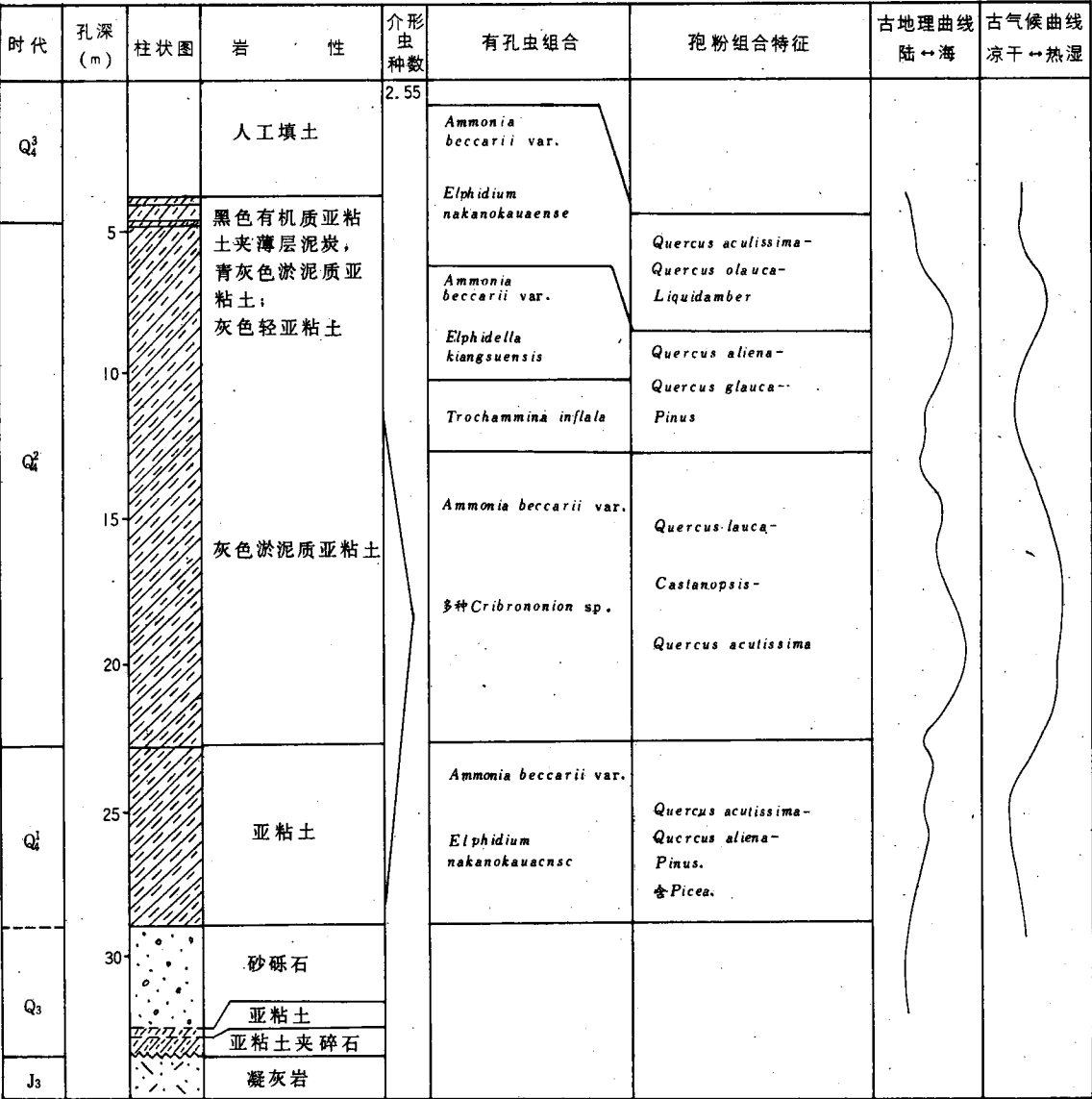


图1-1 杭州西湖钻孔全新统综合柱状图
(据 1 : 20万杭州幅报告)

通的浅海海湾，并相应沉积了一套海相淤泥质亚粘土。微古孢粉分析，含有孔虫，气候温暖湿润。

对I₁海侵亚层中的淤泥质亚粘土，¹⁴C同位素年龄测定为7000±130年，说明杭州市区海侵终止于距今7000年以后。距今约4700年，在良渚、古荡一带，出现良渚文化。先秦至西汉，杭嘉湖平原大部分相继成陆，而杭州仍处于水下，西湖尚未出现。现今宝石山还有秦始皇的揽船石。随着时间的推移，钱塘江潮流挟带的泥沙在鼓楼至体育馆一带大量堆积淤高，日积月累，在古西湖海湾外形成了“岸外沙坝”，据钻孔揭露，全新统上组(al-mQ₄³)沉积厚度达6—18 m，淤闭了湾口，海湾便成了泻湖，西湖就从大海中脱颖而出(图1-2)。

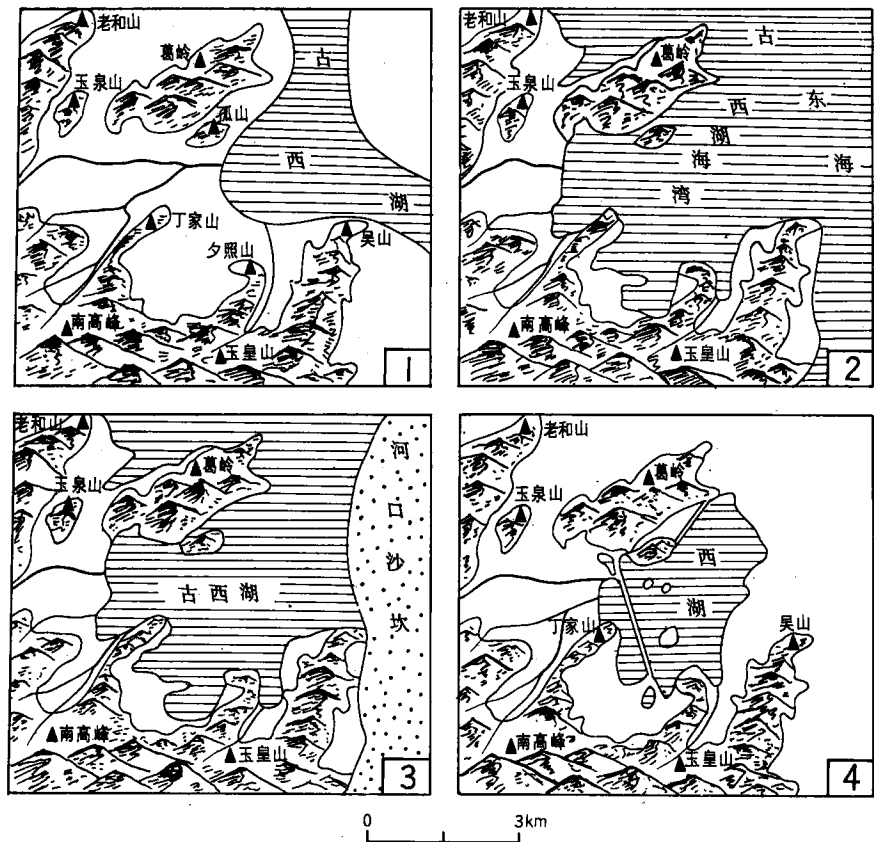


图1-2 西湖演变示意图

(据《杭州地质》)

1. 全新世早期的古西湖；2. 全新世中期的西湖海湾；3. 全新世晚期的古西湖；4. 现代的西湖。

距今约二千年左右，杭州市区露出水面。而古西湖又经历过沼泽化阶段，堆积了灰黑色湖沼积亚粘土。经微体古生物分析，含有滨海边缘浅水型毕克卷转虫变种等有孔虫，当时为边滩泻湖环境。该层¹⁴C测年为2600±120年。隋朝以前杭州市区仍受海水的影响，湖水为半咸水性质。唐朝在涌金门一带开挖六井，说明湖水已淡化，西湖真正结束海栖生活。

西湖形成后，周围群山泥沙不断搬运而来，湖泊日益萎缩，如不摆脱被填塞的厄运，便如现今古荡一带的湖沼地。西湖至今仍容光焕发，又全靠历代人民的筑堤造坝，疏浚打扮。

宋代，西湖已淤塞，半为葑田。雨时不能蓄洪，旱时不能灌溉。苏轼带领民工二十余

万，开挖葑滩堆成南北长堤，建六桥，这就是今天的苏堤。湖中淤泥堆成中岛，即三潭印月。

以后，西湖又有过几次较大治理。明朝，郡守杨孟瑛，开挖湖中被豪富霸占的田荡，加高苏堤，使其恢复了唐宋旧观。清代，李卫和王钧又对西湖疏浚挖深，奠定了今天西湖的规模。

1986年，杭州市政府耗资巨大，完成了宏伟的引水工程，钱塘江水引进西湖，使西湖变得更加晶莹碧透，光彩夺目。

第二节 钱塘江

站在玉皇山巅，向南眺望，钱塘江从西南到东北如蓝色飘带，曲折而去。钱塘江是我省第一大河。它源自安徽休宁县怀玉山脉，全长 500km。本区为其下游，成倒写的“之”字形，所以也称之江。

奔流直下的水流和携带的泥沙，具有巨大的动能。水流的紊流、环流等多种运动方式，对河床有强烈的机械侵蚀作用。一方面冲刷河床底部岩石，使河床降低；同时又侵蚀河床的两侧或谷坡，促进河床左右迁徙或谷坡后退。而河水的运动不是直线流动，河床只要有微小的弯曲或转折，水体就会在离心力的驱使下，偏向河道的凹岸，产生单向环流。由于地球自转，即使河道平直，在科里奥利力的作用下，对经向河流也会起侧蚀作用。

本区钱塘江已近河口，河床坡降小，又受到海水的顶托，下蚀作用接近极限——下蚀基准面，以侧蚀作用为主。钱塘江经过地段又多为第四系覆盖区，岩层松散，更能盛行侧蚀作用，使凹岸淘蚀后退，凸岸堆积外突；越蚀越强，河道就愈变愈弯。首尾相连的河曲，宛若游龙。

钱塘江的弯曲，还受基底岩石的断裂控制。地质勘探资料表明，北东向的球川-萧山深断裂通过钱塘江流域的渔山-浦沿-西兴一线。而北西向的孝丰-三门湾大断裂又切割了北东向断裂，从闻堰插向九溪，两者成交错弯曲的断裂，控制了江体格架，钱塘江由此而发展(图1-3)。后期，钱塘江的发育，河床的自由摆动，加强了其弯曲度。江水流到闻堰附近，支流浦阳江汇入，更是推波助澜，冲向六和塔，使北岸不断后退。

奔泻千里的钱塘江，在本区不仅受流水影响，还有潮汐作用。

自闸口以上为江流作用带，江水受到下游海水的阻塞和浦阳江水流的纳入，流速减缓，水体携带的泥沙，堆积成沙洲及沿江沙滩，如小沙、长安沙等。

闸口以下为海潮作用带，随着海洋潮汐的涨落，河口也相应地出现潮汐现象。“八月十八潮，

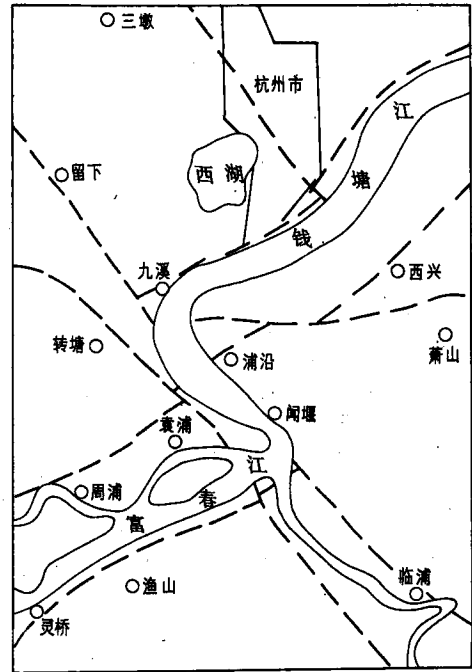


图1-3 之江基底断裂构造略图

状观天下无”。当潮水来时，江面上浊浪滔滔，逆江而上，一道白色水墙奔腾咆哮，确有万马奔腾之势。

钱塘江大潮的形成有着独特的自然条件。

钱塘江口是典型的喇叭形河口。杭州湾口宽达 100 km，澉浦附近江面只有 20 km。但这段江面是逐渐缩小的，涨潮时水面慢慢上升。澉浦以内，江面迅速收缩，到盐官仅有 3 km（图 1-4）。当涌潮到来，后浪推前浪，形成巨大的潮头，波澜壮观。

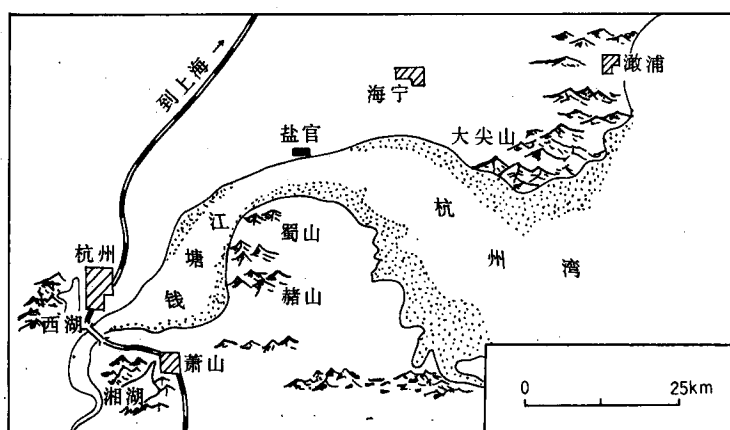


图 1-4 杭州湾喇叭口形势略图

(据韦恭隆)

钱塘江潮的另一个重要因素，就是在大尖山以内水下发育了一个巨大的拦门沙坎，在形态上沙坎外陡内缓，由于庞大的水下沙滩，当来势凶猛的潮水碰到这沙堆，一跃而起，拔高潮头，滚滚向前。由于江底泥沙冲淤变迁，涌潮最强烈的地段不断变化，观潮位置随之改变。观潮之风盛于南宋，当时在六和塔一带，观潮彩棚绵延 15 km，家家楼台坐满观潮人。据传，南宋高宗赵构逃到杭州，半夜被潮声震醒，误为金兵，吓得大惊失色。到明朝嘉靖年间，杭州的潮势减弱，观潮地点东移盐官。六十年代后，随着海涂的整治围垦，江道变迁迅速，现在除盐官为观潮佳点外，高潮中心已转移到萧山的头蓬一带，在近杭州地段，仅是强弩之末了。

第三节 岩溶

杭州西郊丘陵，沿西湖东为吴山、紫阳山；南有将台山、玉皇山、南屏山、满觉陇、南高峰、龙井；西有飞来峰；地质构造上为几个紧密向斜蜿蜒相连，地面怪石嶙峋，更有曲折幽静的洞壑，是杭州游览胜地。山体由石灰岩组成，溶蚀后的各种地貌称岩溶地貌。

灵隐飞来峰有玉乳洞、青林洞等；南高峰有烟霞洞、水乐洞、石屋洞、千人洞；玉皇山有紫来洞、石佛洞、仙人洞、观音洞等，岩石表面锯齿状岩溶芽锋利，洞内千姿百态。这里每山有洞，每洞有景。

为什么坚硬的岩石中有众多的洞穴，它们又有怎样的生成规律呢？

当含有二氧化碳的地下水或天降水，流经石灰岩地区，与灰岩的碳酸钙很容易起反应，

生成易溶于水的碳酸氢钙，随水转移。到了一定距离，其物理化学环境发生了变化，碳酸氢钙又会从水中沉淀出来。天长日久，慢慢地顺着岩层细小的裂缝溶蚀，愈来愈大，成为洞穴，所以灰岩多溶洞。在洞顶，往往有水下滴，同时沉淀出土黄色碳酸钙，层层积累，成为钟乳、石笋，或沿壁沉淀结晶，使洞内琳琅满目。

杭州位于亚热带季风气候区，湿润温和，雨量适中。5—6月份降水量多，持续时间长。8—9月份多暴雨和高温，地表水通过岩石的孔隙，促进岩溶发育。

岩中中常有裂缝，叫节理或断层，为地下水的运动提供通道，从而在总体上控制了洞穴的形态特征和展布方向。

灰岩中多岩溶，但其分布并不均匀；岩石的物质组分是决定岩溶发育程度的重要因素。

杭州山区的石灰岩为二亿七千万年前石炭纪、二叠纪的产物。按岩石成分可分为三层。从老到新，第一层为黄龙组富含筳科化石的纯灰岩，底部夹有碳酸钙镁组成的白云岩，相对不易溶于水。这层的溶洞占总数的18%左右。

第二层，为颜色较深的质纯灰岩。岩石中以球状结构和含筳科化石为特征，为船山组灰岩，最易溶蚀，发育于该层的洞穴约占65%，且洞体大，洞内钟乳和表面石芽最发育。

最上层，为二叠系栖霞组石灰岩，其成分复杂，含有较多黑色坚硬的硅质结核，呈小颗粒或团块。还有泥质夹层，难以被溶蚀，洞穴数量占15%左右。

这三层岩性的不同，限制了岩溶发育的规模和范围。

然而，滴水穿石非一日之功。地下水的溶蚀速度是极缓慢的，难以用人工测出(表1-1)。西湖山区溶洞的形成自灰岩生成后即开始；但较清楚的历史，可追踪到七千万年前新生代以来。

表1-1 我国一些地区的溶蚀速度一览表

地 区	年降水量(mm)	年平均气温(°C)	溶蚀速度(mm/10 ³ a)	单位面积年溶蚀量(t/km ²)
河北西部	400—600	6—8	20—30	98—100
湖北宜昌①	1200	12—15	84.99	220
四川西部	1160—1350	9	40—50	110—132
广西中部	2000	20—22	120—200	700—1040

①相当本区(引自《中国岩溶研究》，1979)

第三纪初期，地壳相对稳定，经受长期的剥蚀后，高山剥落，低谷填平，岩溶开始发育。过四千五百万年后，地壳开始间断性上升。已准平原化的地面，被切割抬升，形成古夷平面。其高度明显地分布在230—270m和150—180m。剥蚀平台和岩溶互为对应，相应高度的主要溶洞有千人洞、烟霞洞、紫来洞。

近二百万年来的第四纪早期，山体抬升，发育了地表岩溶(岩溶洼地和落水洞)，并促进竖井式溶洞的发展；中期，气候炎热，雨量充沛，地表堆积了蠕虫状网纹红土，此时发育的岩溶洞穴有水乐洞、灵华洞、北观音洞等；晚期，陆地上升，岩溶进入了新的发展阶段，这时期的洞穴有飞来峰的玉乳洞、青林洞、通天洞，满觉陇的石屋洞，玉皇山的莲花洞等。飞来峰玉乳洞下的暗河，还正处在溶蚀的初期。

第四节 泉

西湖群山多名泉，尤以虎跑、龙井、玉泉最为著名。

“龙井茶，虎跑水”是杭州的双绝。虎跑泉，位于虎跑寺内。甘冽的泉水，有天下第三泉之称，吸引着无数游观。泉水出露于寺后的石崖缝隙中。这里属白鹤峰山麓的集水漏斗，海拔60m。南、西、北三面高山环抱。

虎跑四周的岩层是一套坚硬的西湖组石英砂岩，岩层倾向和坡向一致。在岩层中有几组裂隙，水从裂隙中汩汩流出(图1-5)。这类泉称裂隙泉。类似的泉有韬光金莲池、古荡兔儿泉(表1-2)。此类发育在石英砂岩中的裂隙泉，水质纯净，沁人心脾。西湖组石英砂岩成分大多是极纯净的石英颗粒，粒间的胶结物也是硅质，其化学性质相当稳定。在虎跑寺附近山区，没有污染，水质甘纯。纯净水的表面张力大，在一杯水中，水可高出2—3mm而不外溢，或将硬币轻轻平放在水面不会下沉，增添了游客寻幽览胜的乐趣。另外，经化验表明，虎跑水含有对人体有益的

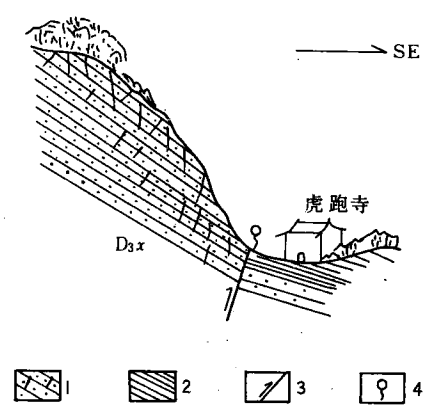


图1-5 虎跑泉形成示意图

1. 节理发育的砂岩; 2. 泥质岩; 3. 断层; 4. 虎跑泉

表1-2 杭州主要泉水分类表

类别	泉 名	位 置	水化学类型	流量(l/s)	固形物(mg/l)
岩 溶 泉	龙 井 泉	龙井寺内	HCO ₃ -Ca	0.5	279
	狮 峰 泉	狮峰山下	HCO ₃ -Ca	小	137.31
	冷 泉	灵隐冷泉亭	HCO ₃ -Ca	小	.69
	水乐洞泉	水 乐 洞	HCO ₃ -Ca	3—50	285
	七星亭泉	七星亭潜龙池	HCO ₃ -Ca	小	221
砂 岩 裂 隙 泉	虎 跑 泉	虎跑寺内	HCO ₃ -Ca (Mg)	0.37	27
	兔 儿 泉	古 荡	HCO ₃ -Ca (Mg·Na)	0.6	20
	西穆坞泉	西穆坞西南	HCO ₃ -Ca-Mg	0.3	16
	韬 光 泉	韬光寺下	HCO ₃ -Ca	0.5	
第 四 纪 泉	莲 花 泉	玉泉莲花峰下	HCO ₃ -Ca	小	277
	军 区 泉	军区东侧	HCO ₃ -Ca	小	306
	八卦田泉	八卦田东	HCO ₃ -Ca	2	315
	金沙港泉	金 沙 港	HCO ₃ -Ca	0.027	136

放射性元素——氡(Rn)。一般水中含氡量极小。当每升水含氡量大于12.75 Bq 时,称为氡水。而虎跑泉水每升中含有26 Bq ,经常饮用这种矿泉水,对人体排放尿酸,增强肝胃分泌和新陈代谢有很好的促进作用。

西湖西南,自然野趣浓郁的龙井,碧荫深处,泉水潺潺,吸引着无数游客。

龙井泉是另一类型的泉——岩溶泉。泉的周围是石灰岩,清泉出自灰岩溶隙,四季不涸。

龙井周围的石灰岩层是向着龙井倾斜的,岩溶发育常循着层面,给地下水向龙井汇集创造了有利条件。地形上龙井处于高峻的棋盘山东麓,又是地表水汇集处,集水面积较大,且植被茂盛,有利于拦蓄地表水向地下渗透,所以龙井水补给丰富。这些渗入地下的水,最终顺着岩溶裂隙流向龙井,形成不竭的清泉。

石灰岩易溶于水,龙井泉水中含有较高的Ca、Mg离子,总硬度达14.2度,属重碳酸-钙型水。此类岩溶泉,在杭州还有多处。

杭州三大名泉之一的玉泉,位于杭州市植物园内。供人观赏的鱼乐园,就是泉水涌出口。玉泉鱼池西面的庭院中尚有古珍珠泉,以足顿地,有气泡成串冒出,形如珍珠。

玉泉周围是一片平缓的植物园,那末,玉泉又是怎样形成的呢?

从灵隐到玉泉,为一个倾向北东的洪积扇,由松散洪积物覆盖。在地质历史中,暴雨冲刷灵隐一带山头,泥砂等随洪水堆积而成,因胶结松散,还没有成为坚硬的岩石。堆积物颗粒大小混杂,内部多孔隙,水容易渗入,是良好的含水层(图1-6)。由于洪水的机械分选,洪积扇一般粗的靠近上游山谷,细的在远处。近灵隐较粗,玉泉则是细砂土及粘土,透水性差。当大气降水从灵隐周围的山沟流向玉泉,路途中不断渗入松散堆积层。松散层之

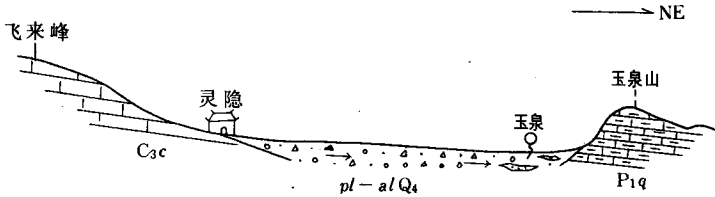


图1-6 玉泉形成示意图

下的基岩成为隔水层。渗入后的水,在松散层中缓慢流向玉泉。玉泉附近,土质细密,水不易渗入,加之有玉泉山阻挡,使地下水位被抬高,冒出地表成泉。附近植物园内,也有同样的几处泉眼。

玉泉一带的松散层和空气直接接触,地下水埋深又浅,水中含有较多的气体,所以泉水涌出时,常有气泡伴出,犹如珍珠。这便是珍珠泉的由来。

赋存于第四系松散层中的泉还有四眼井,以及市区众多的民用井泉。

第五节 古火山

西湖北面,横卧着长长的葛岭和宝石山,宛若城堡,形成西湖北侧的天然屏障。宁静的宝石山雄浑多姿,保俶塔婷婷玉立,山坡林木苍翠,是杭州的游览胜地。但你可曾知道,宝石山是地下岩浆的产物,曾有过“火红”的年代。

约在一亿五千万年前，杭州大地经受了一场强烈的火山爆发，从地球内部喷出炽热的火山碎屑和尘埃，坠落后形成火山碎屑岩地层，组成景色奇绝的葛岭和宝石山。

东端宝石山中密布赭红色的宝石，大小各异。宝石山也因此得名。所谓宝石即碧玉。它的主要化学成分是二氧化硅，类似于石英，其红色是由于被氧化铁染成，属酸性火山喷发的产物。当时，火山爆发到了晚期，岩浆中的二氧化硅成分增多，粘性增大，被铁质染色后，冷却成一团团细腻的碧玉。

宝石山岩石浑圆、突立，险象丛生。有的悬置山顶，岌岌可危；有的斜倚成峰，各有姿态。

保俶塔西侧的正川洞，洞顶巨大岩石有悬空压顶之势。两侧石壁陡立，形成石峡。左边，绝壁临湖，悬崖险峻，拾级沿崖步游，如入华山险境。这又是怎样形成的呢？

当岩石裸露地表，昼热夜冷，表里温差大，膨胀不一致，容易产生裂隙，岩石本身有走向北东和北西的两组相交裂隙，切岩石成菱形体。风化作用多沿裂隙进行，久而久之，使岩石蚀去棱角，层层剥落，趋于球状风化，最终使岩块渐趋浑圆。

宝石山的石峡和悬崖，多呈北东和北西方向展布，倾角 $70^{\circ}-80^{\circ}$ ，甚至直立，分别受两组节理控制。通常在一组节理相对发育，且延伸较长的情况下，可形成石峡或悬崖。

葛岭抱朴庐东侧，岩石表面有密集的浅色和灰紫色相间的细条纹，条纹断续相连，两端有撕裂的锯齿状，这是火山岩典型的假流纹构造。火山爆发时，当粘度较高的岩浆，上升到近地表浅处，由于压力猛降，大量气体自岩浆中不断膨胀，如牛奶沸腾，剧烈发泡，使熔岩破碎。气液裹着火山碎屑，从火山斜坡上运移堆积。尔后，熔结、冷却成岩。浅色或紫色的玻璃质熔浆，形成断续、弯曲的条带，具此特征的岩石叫火山熔结凝灰岩。

林木葱郁的栖霞岭上，分布有几个岩洞。如卧云洞、金鼓洞、紫云洞、蝙蝠洞等，构成了栖霞洞景。诸洞中以紫云洞最为宏大、壮观。

火山岩极坚硬，洞穴又是怎样形成的呢？

仔细考察就会发现一些现象。首先洞体平直简单，岩石棱角锐利。其次，诸洞展布均沿北东约 30° 方向，且几乎落在一条直线上，洞的倾角也一致。原来，火山碎屑岩夹有一至两层沉凝灰岩，夹层中又有断层通过，洞体就沿此夹层面发育。经风化及水流作用，循松软的沉积岩夹层进行侵蚀和浸泡软化，其碎屑物被崩落、搬运而淘空，逐渐刻蚀出倾斜状深槽。槽的顶板为坚硬的火山碎屑岩，并有裂隙，在重力作用下，岩石不断崩落，岩洞初具规模；然后，由浅入深，由小到大，发展成为现今洞厅。这种成因的岩洞，称为崩坍岩洞。

第二章 开辟杭州国家地质公园的条件及设想

杭州市区 100 km² 之余的范围内, 六亿年漫长地质历史中沧海桑田的变迁, 不仅塑造出秀丽风景, 也留下了丰富的地质遗迹。

杭州地层出露齐全, 从古老的寒武系到晚近的第四系都有保存, 是恢复地质历史的基础; 岩石类型众多, 有砂岩、泥岩、灰岩、火山凝灰岩等; 岩溶地貌广泛发育; 更有李四光定型的山字型构造; 还有全省典型的第四系中更新统 (Q₂) 剖面; 关岳庙火山通道、良渚黑陶文化, 犹如一本很好的地质教科书, 是理想的国家地质公园, 可为地学爱好者, 大、中学生探索地球奥秘提供实习基地。

第一节 地质简史

杭州不仅历史悠久, 文化昌盛, 而且地质历史漫长而灿烂。区内古老的岩石、丰富的化石等地质遗迹, 是这里沧海桑田的见证。它告诉人们, 杭州大地经历了海的消亡, 陆的诞生, 有过山崩地裂, 也有过火山爆发。让我们一起来回顾杭州地质历史和山水的地质生涯吧。

地史上追溯到距今六亿年开始的早古生代, 杭州是汪洋大海, 海洋中只有少数低级动物。个体 1—3 cm, 多胸节的底栖节肢动物——三叶虫占统治地位。整个地区随着地壳运动, 以沉降为主, 伴有振荡式上升, 海水时深时浅, 往复交替。反映在岩石上, 沉积了一套浅海相碳酸盐岩。海水的振荡, 使碳酸盐组分不纯, 岩石由石灰岩、泥质灰岩和泥岩交替叠置而成, 地质上称沉积韵律, 这就真实地记录了当时地壳运动的“节奏”。留下荆山岭一带完整保存着这类岩石及当时的生物, 即寒武纪、奥陶纪地层。

历时一亿六千万年后即到志留纪。受地壳运动的影响, 杭州的海面渐渐变低, 地基抬升, 成为浅海或滨海, 广泛沉积了一套泥质岩、粉砂岩及岩屑砂岩。从留下到转塘一带都有这套岩层分布。

志留纪末期, 加里东运动波及全区, 杭州地区的古地理环境发生了根本变化。海水退出本区, 杭州大地上升成陆。一直到晚泥盆世, 地壳小幅度沉降, 海水从北东方向入侵。本区处于海陆交替的三角洲、滨海环境, 四周的河流从远处山谷不断运送砂石, 堆积在三角洲、滨海中。坚硬的岩块经长途搬运, 千里迁徙, 被碰碎磨圆, 最后经自然分选、沉积, 固结成纯净、坚硬的西湖组石英砂岩。现今杭州群山中, 陡峻山体常是这种岩石。

其后, 三角洲、滨海环境未维持很久, 到距今三亿五千万年晚泥盆世末, 本区出现海、陆交互相的珠藏坞组沉积。到中石炭世, 地壳又转为下沉, 杭州大地再次沉陷, 海侵急剧扩大, 沦为浅海。清澈的海水, 温暖的气候, 使生物大量繁衍生息。最具代表的是珊瑚虫和个体很小 (2—3 mm), 形似麦粒, 有钙质外壳的筳科小虫。这时期, 海水给我们留下了大量浅海相的碳酸盐岩石。广泛分布在西湖周围和转塘的石龙山、西山一带。

二亿三千万年以来的中生代, 杭州不再受大规模的海水浸没。然而地壳运动并没有因此而减弱。相反, 一次空前的构造运动发生在距今 2.3—1.8 亿年, 地质上称印支运动。这

次运动以褶皱造山为主要形式，将先前沉积的岩层，扭成各种弯曲，同时产生总体以北东向为主的断裂，结束了杭州拗陷沉积的历史。多个岩层弯曲首尾相连，形成了以西湖为中心的西湖复向斜构造(图 2-1)。正是这次地壳运动使群山纷纷拔地而起，高耸入云，奠定了杭州群山的格架。

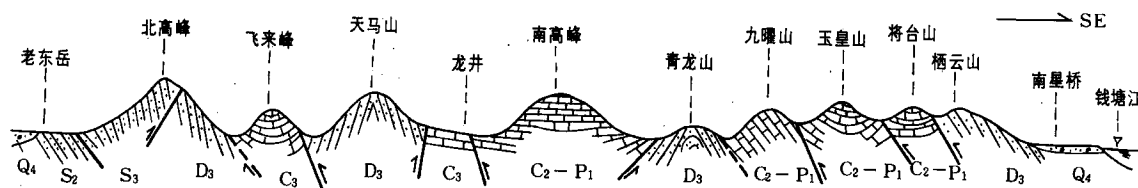


图2-1 西湖复向斜地质剖面示意图

紧接着，燕山运动使本区经历了一场强烈的火山喷发，宁静的大地遭到火山爆发的塑性岩块和火山灰的袭击，处处硝烟弥漫，尘埃飞扬。火山堆积物厚达百余米。现在的宝石山及东北平原区浮土之下，大多是火山产物。宝石山上赭红色的碧玉，就是火山喷发晚期近火山口的熔浆冷凝而成，关岳庙则是火山通道之一。

到白垩纪，本区开始了内陆断陷盆地的地质历史阶段，出现了一套河湖相的红色砂、砾岩，同时伴随小规模火山喷发和岩浆侵入。至此，本区在历次地壳运动作用下，形成了现在地质构造雏形。

地史跨入距今七千万年的新生代，在喜马拉雅运动主宰下，开始了新的地质历史篇章。至第四纪早期，新构造运动以抬升为主，测区处于风化剥蚀阶段，形成了由南西向北东倾斜的波状起伏的古准平原。

二百万年以来，平原区又几经沧桑。

起初仍以上升为主，天气湿热，洪水泛滥，水流夹滚石，堆积于山前，形成典型的扇形地貌。钱塘江果园一九溪一带尤为明显。尔后，海面上升，海侵直接影响本区，波及东部、北部的部分低洼地段，留下了一套冲积、海积物。

距今约一万年，气温再度升高，海面再度上涨。现今的西湖，直至灵隐及东北广袤的平原，都被海水淹没，海水直逼富阳。

中全新世晚期，海水渐向后退，杭嘉湖平原首先成陆。约四千年前，古代文明开始出现，发源了良渚文化。此时西湖仍处于海湾状态。北面的宝石山和东南的吴山成为天然海岬。约在两千年前，杭州市区才免遭海水的浸没，陆地跃出海面。而西湖地势低洼，仍碧波荡漾，至此，西湖从大海中分离出来，成为大自然的明珠。真是江山多娇，岁月峥嵘。

第二节 地质公园倡议

杭州附近，地质研究程度高，有得天独厚的优越条件。建有不少典型剖面 and 构造形式，可作为专业地质旅游点，开辟为国家地质公园。

(一) 临安山字型构造

早在1947年，吴磊伯考察浙江地质时，发现杭州凌家桥弧形褶皱断裂，后经李四光同